

食品工程原理与设备

- 物料输送原理与设备
- 清洗、清理与分级
- 粉碎、混合和均质
- 干 燥
- 食品包装、罐装
- 沉降、过滤、膜分离
- 换热设备
- 蒸发、浓缩
- 吸收、蒸馏、萃取
- 冷冻机械与设备机械

- 郭康权 杨中平
- 闫小丽 朱新华
- 贺喜莹 范芳娟

- **1、课程的性质**

- 食品机械方向的专业课。

- **2、课程的目的和任务**

- 主要介绍典型食品加工工程的基本原理、设备结构性能和主要参数。
- 通过学习，使大家掌握一般食品加工系统和机械与设备的选型、设计、维护的基本知识和技能。

- **3、内容组织形式**

- 以单元操作设备为主线，列举设备的类型和细部结构，以期达到举一反三，触类旁通的效果。

- **4、学时与学分**

- 总学时72学时，4个学分。实验、构造实习另外安排，课外调研12学时（不计在总学时内）。

- **5、先修课程**

- 数学、力学、电工电子、机械学等基础课；

- **6、推荐教材或参考书目**

- 教材：《食品工程原理与设备》

- 主要教学参考书：

- ①《农产品加工机械与设备》，沈再春主编，中国农业出版社

- ②《食品工厂机械与设备》，轻工业出版社

- ③《食品工程原理》，机械工业出版社

- **7、主要教学方法与手段**

- 课堂讲授为主，图片和实物照片是最基本的教学手段。采用计算机多媒体设备讲解。

- **8、考核方式**

- 平时考核占**20%**，课程考试成绩占**80%**。

- 平时考核包括：课堂考勤**10%**、平时作业、课外实践报告等**10%**；

- 缺课或不完成实验、课外调研等累计达三分之一以上者，不得参加课程考核（重修者除外）。

第一章 物料输送原理与设备

– 第一节 带式输送机

重点：设备的特征、功能

– 第二节 螺旋输送机

（必须掌握）

– 第三节 刮板输送机

了解：设备的用途

– 第四节 斗式升运机

难点：受力分析、运动分析

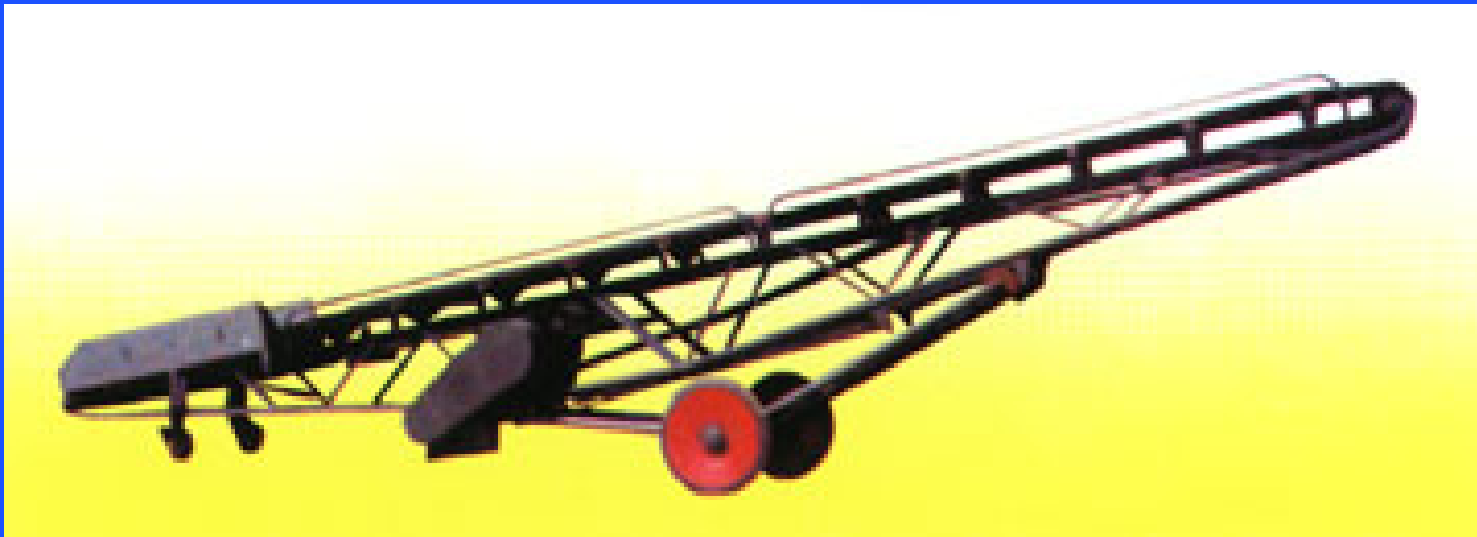
– 第五节 气力输送

– 第六节 液体物料输送

- 离心泵，齿轮泵，螺杆泵。

第一节 带式输送机

- 输送物料：粉粒体、块状、成形物、麻袋等
- 功能：水平输送、倾斜输送
- 形式：固定式、移动式
- 特点：输送量大，动力消耗少，运转连续，工作平稳，
输送距离大。
- 一、带式输送机的构造及工作原理：
组成：输送带、滚筒、料斗、支辊、卸料装置、驱动装置



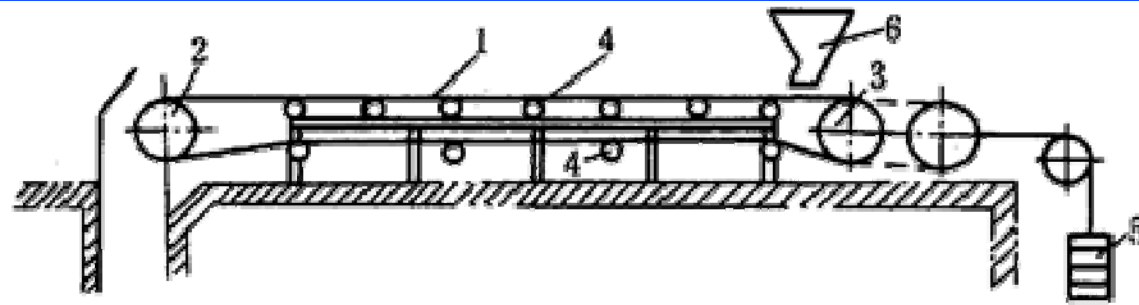


图 1-1 带式输送机示意图

1. 输送带 2. 驱动鼓轮 3. 张紧轮 4. 托架 5. 张紧用重物 6. 进料斗

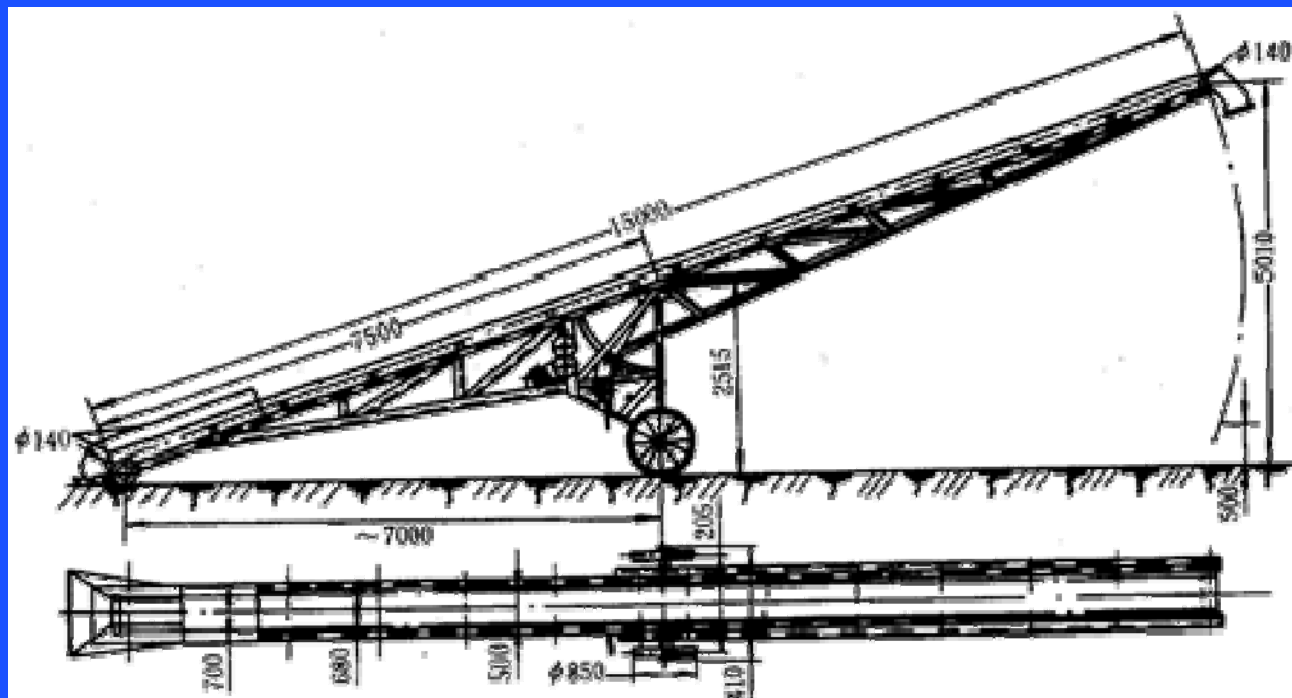


图 1-2 轻便移动式带式输送机



一、带式输送机的构造：

- 橡胶输送带：
 - 1. 型式：轻型、普通型、强力型、井港型、耐热型
 - 轻 型：主要用于农产品、粉末、包装物品
 - 普通型：主要用于小块矿石、煤块、砂砾、焦炭
 - 2. 标记：
 - 宽度mm×层数×(工作面胶厚+非工作面胶厚)mm×长度m
 - 例如：**800×8×(6+3)×100**
 - 3. 滚筒直径：根据橡胶带层数的确定
 - 如：**400mm (3层)、500mm (4层)、800mm (6层)**

一、带式输送机的构造:

- 5. 层数的确定:

$$i = \frac{S_{\max} n}{B [\sigma]}$$

- 6. 胶带张力 S_{\max}

$$S_{\max} = S_a + S_b$$

- (1) 水平安装胶带的张力 S_a

$$S_a = P \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1}, \quad P = \frac{1000 N}{V}$$

- (2) 倾斜安装时, 带自重的附加张力 S_b

$$S_b = q_d g l \left(\sin \alpha + f \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

带式输送机的构造:

- 滚筒:
功能: 驱动、张紧、改向

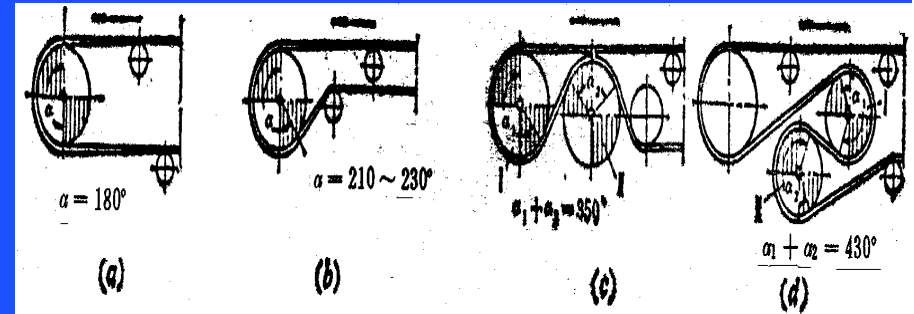


图 1-3 运输带围绕驱动滚筒的型式

a, b—单滚筒驱动 c, d—双滚筒驱动

- 支承装置:
功能: 承托运输带及物料的重量
型式: 单辊式、多辊式

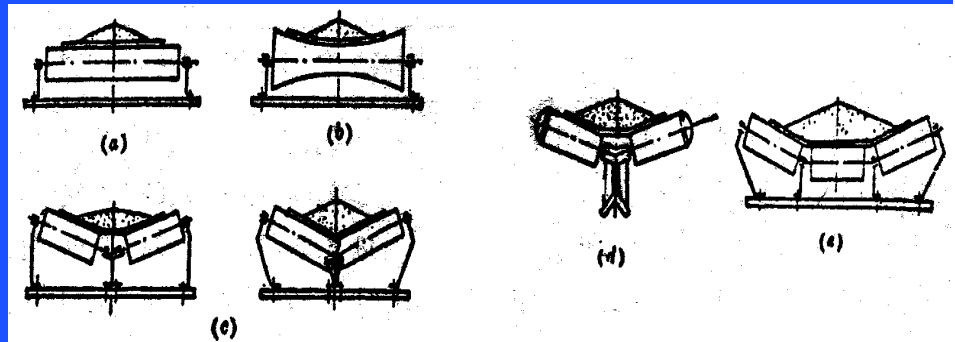
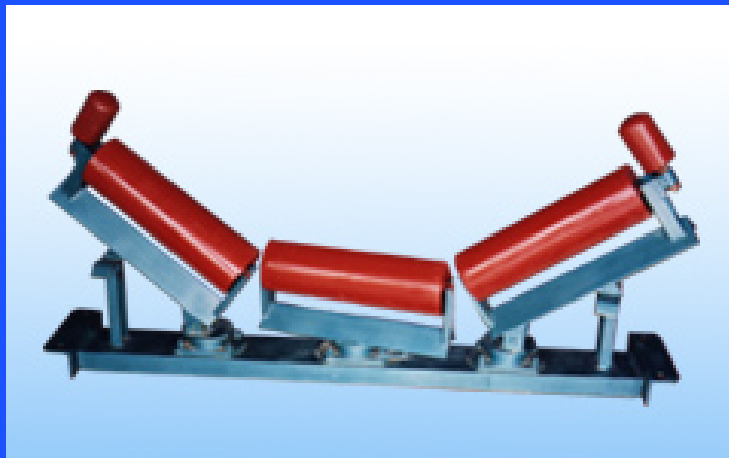


图 1-4 上带支承装置的形式

a—平面单辊 b—凹面单辊 c—双支双辊 d—单支双辊 e—三辊

一、带式输送机的构造：

- 卸料装置：
型式：犁式、抛卸

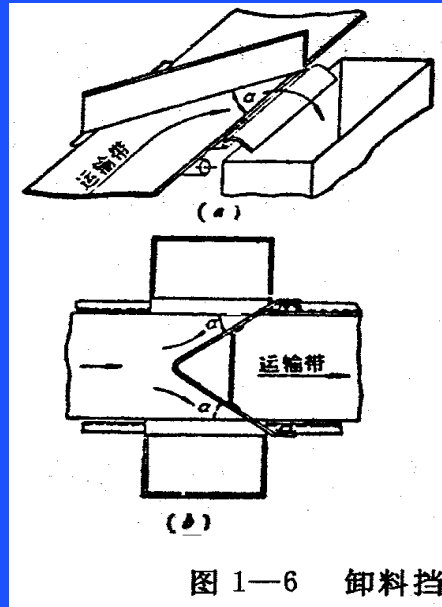


图 1—6 卸料挡料

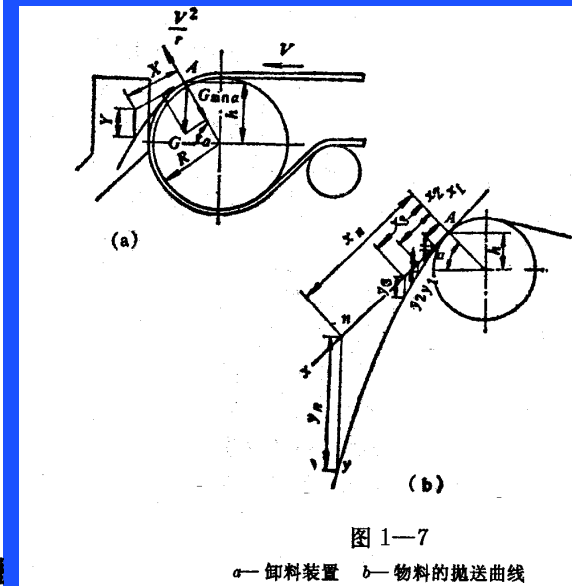


图 1—7
a—卸料装置 b—物料的抛送曲线

- 张紧装置：
功能：调节输送带的松紧程度
型式：螺旋式
重锤式
弹簧式
复合式

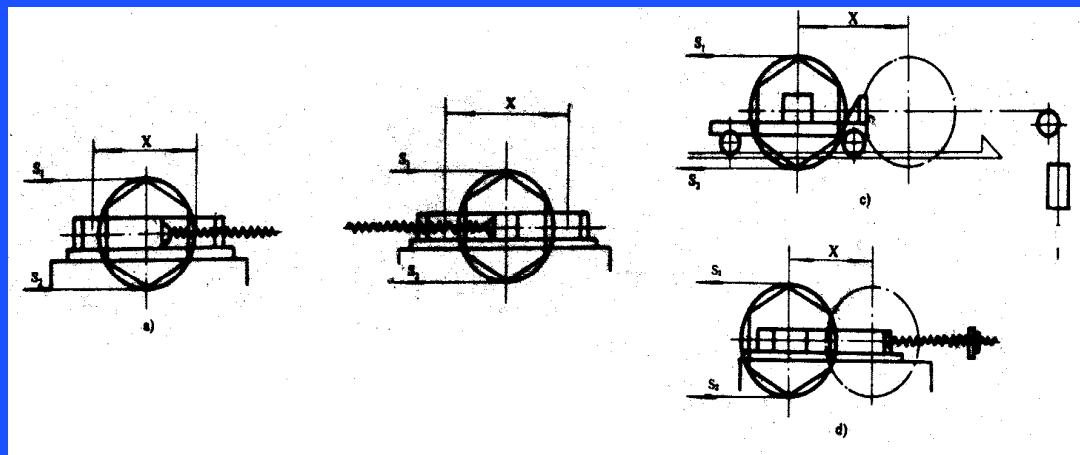


图 1—8 张紧装置简图

表1-7 皮带输送机的典型布置形式

水平运输	单滚筒传动		向上运输	单滚筒传动	
	双滚筒传动			双滚筒传动	
	三滚筒传动			三滚筒传动	
向上运输	单滚筒		向下运输	单滚筒	
				双滚筒	

表1-8 皮带输送机的常见结构形式



直线皮带



转弯皮带输送机



波状挡边带式输送机



提升输送带



多层皮带输送机

(二) 生产率和功率消耗:

- 1 生产率: $Q=3600FV \rho$ (吨/小时)
- 2 功率消耗:
- $N=QL/1.36 K + QH/367$ (千瓦)
- Q、L与K的关系如表1-6所示。

第二节 螺旋输送机

- 又称绞龙，有输送、搅拌、混合作用
- 功能：水平输送、倾斜输送、垂直输送
- 特点：结构紧凑，卸料简单，密封性好，动力消耗大，对物料破碎作用大，对过载敏感，输送距离短。

• (一) 水平螺旋输送机

• 1、构造

由轴、叶片、机壳、轴承等组成。

螺旋：左旋、右旋、单头、双头、三头

叶片：实体、带式、浆型

轴承：端轴承、中间轴承

机壳：槽身、端板、盖板、进出料口

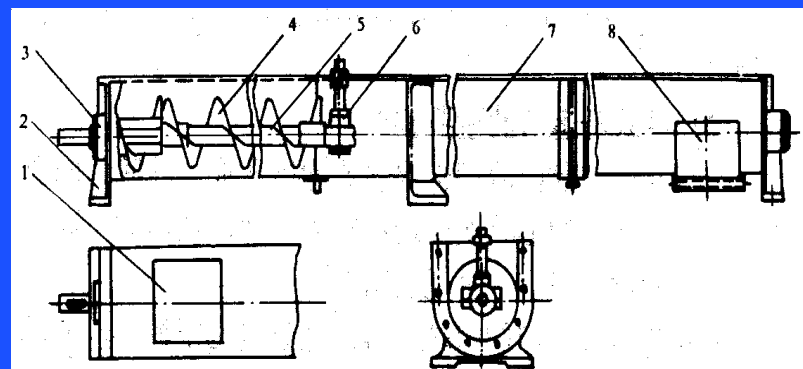


图 1—9 螺旋式输送机简图

1. 进料口 2. 端盖板 3. 端轴承 4. 螺旋叶片 5. 螺旋轴
6. 中间轴承 7. 机壳 8. 出料口

螺旋输送机构造

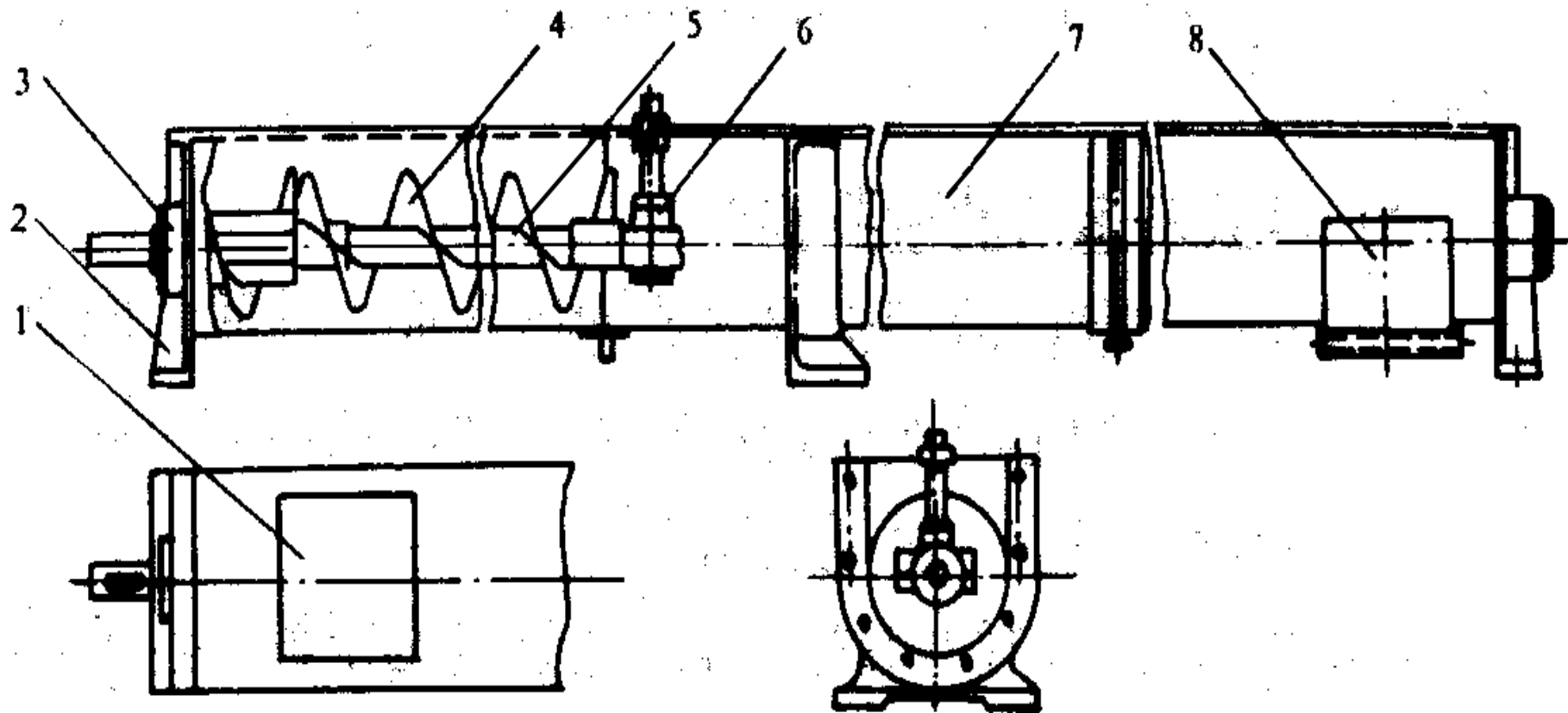


图 1—9 螺旋式输送机简图

1. 进料口 2. 端盖板 3. 端轴承 4. 螺旋叶片 5. 螺旋轴
6. 中间轴承 7. 机壳 8. 出料口

螺旋叶片形状

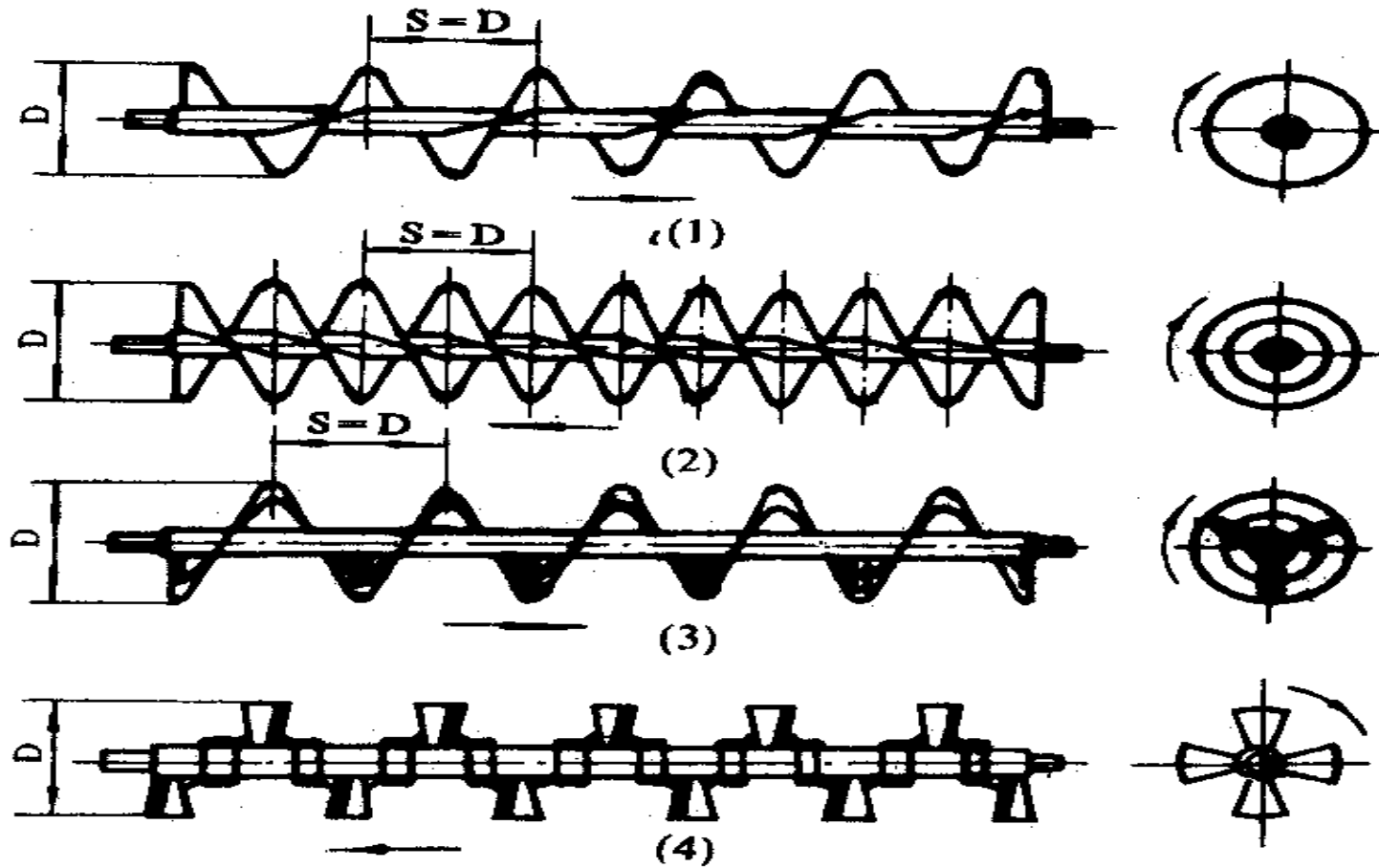


图 1—10 螺旋叶片面型

1. 实体面型 2. 带式面型 3. 叶片面型 4. 叶片浆型

2、工作原理

O点牵连速度 V_o ，相对速度AB，绝对速度 V_f

根据速度图的分析,可算出物料的轴向输送速度

$$V_z = V_f \cos(\alpha + \varphi)$$

因为

$$V_f = V_n / \cos\varphi$$

$$V_n = V_o \sin\alpha$$

$$V_o = \omega r = \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{S}{2\pi \tan\alpha} = \frac{Sn}{60 \tan\alpha}$$

所以

$$\begin{aligned} V_z &= \frac{Sn}{60} \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos\varphi} \cos(\alpha + \varphi) \\ &= \frac{Sn}{60} \cos^2\alpha (1 - f \tan\alpha) \end{aligned}$$

式中 S—螺旋叶片的螺距;

n—螺旋轴转速;

f, φ —摩擦系数和摩擦角。

由上式可知,当 $1 - f \tan\alpha \leq 0$ 时, $V_z \leq 0$, 物料将不能沿轴向运动,因此,螺旋输送机的螺旋角应满足以下条件

足以下条件

$$\tan\alpha \leq \frac{1}{\tan\varphi}$$

即

$$\alpha \leq 90^\circ - \varphi$$

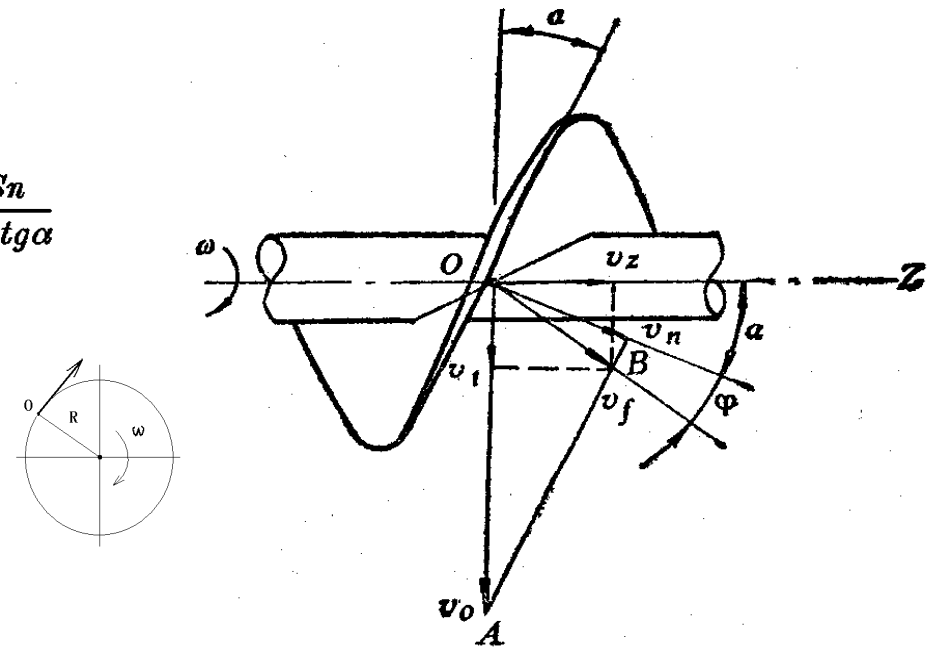


图 1—11 输送物料的运动速度

因为螺旋输送内径处螺旋角最大,故确定时应按此条件进行校核。

当螺旋的半径和转速一定时,轴向速度 v_z 是螺旋角 α 的函数。要使输送能力增强,可以

对 v_z 求导,并令 $\frac{dv_z}{d\alpha} = 0$,求得物料的轴向速度最大时的螺旋角 $\alpha_{max} = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$ 。

另外,由于螺旋叶片上各点半径不同,即螺旋角 α 不同,所以各点的 v_z 也不相等。物料的平均轴向速度可用积分法计算。

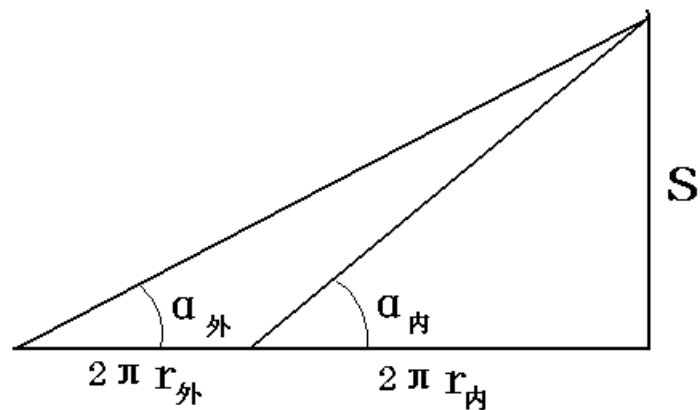
$$V_{\text{平均}} = \frac{1}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} \int_{V_{\text{内}}}^{V_{\text{外}}} v_z 2\pi r dr$$

式中 $r_{\text{外}}$ —螺旋叶片外径;

$r_{\text{内}}$ —螺旋叶片内径;

r —螺旋叶片任意一点的半径。

上式中 v_z 为 α 的函数,将其变换为 r 的函数。



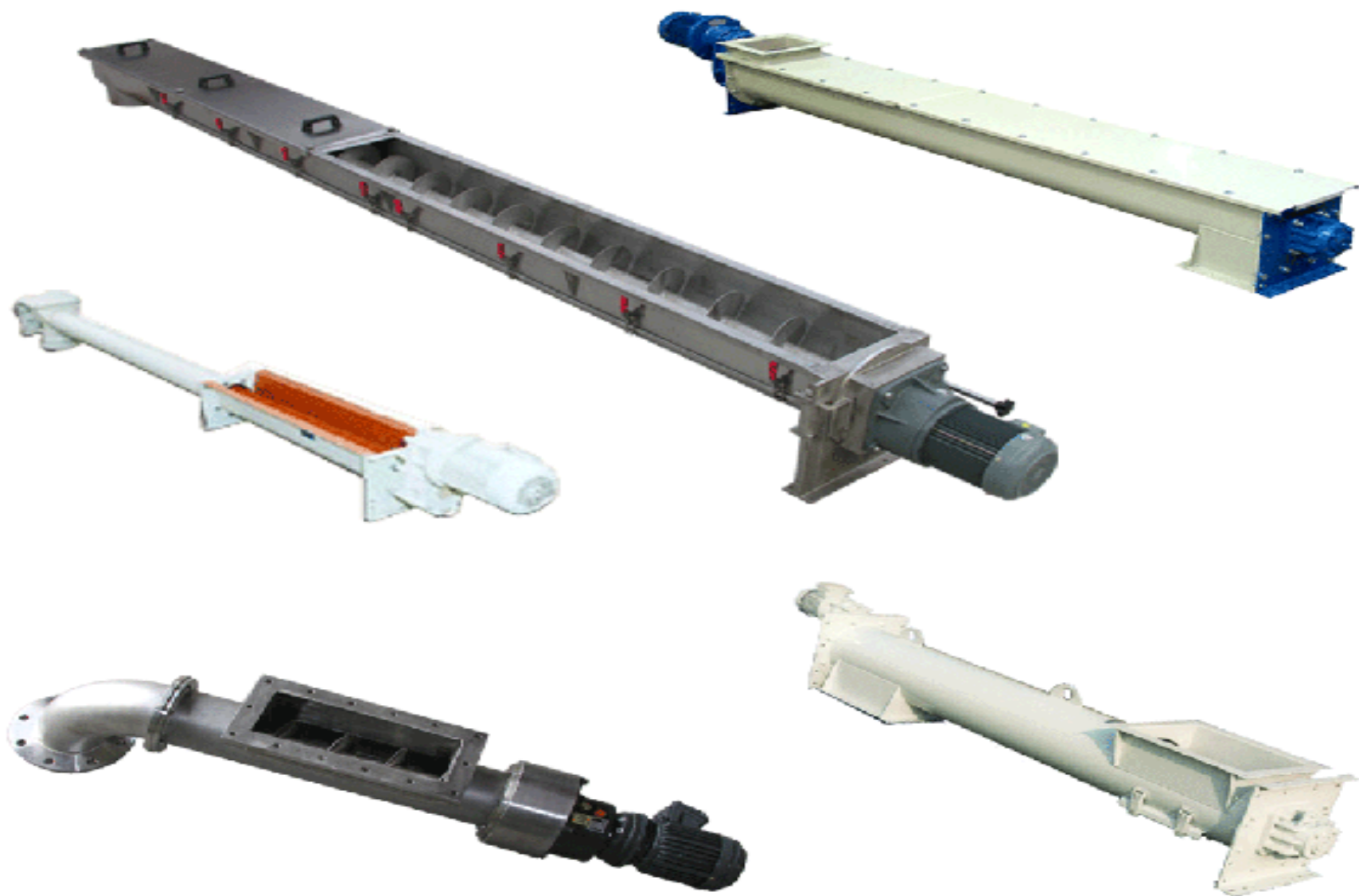


图1—10 螺旋输送机的结构



3、螺旋输送机的生产率和功率消耗:

- (1) 生产率:

$$Q = \frac{\pi[(D + 2\lambda)^2 - d^2]}{4} 60\varphi s n\rho c$$

- (2) 输送功耗: 水平输送或倾角在**20~45°**之间

$$N_1 = \frac{Q}{367} (L_{\text{平}}\mu + H) \times \eta$$

- (3) 输送倾角在**45~90°**之间时:

- $$N_2 = (2 \sim 3) N_1$$

二、垂直螺旋输送机

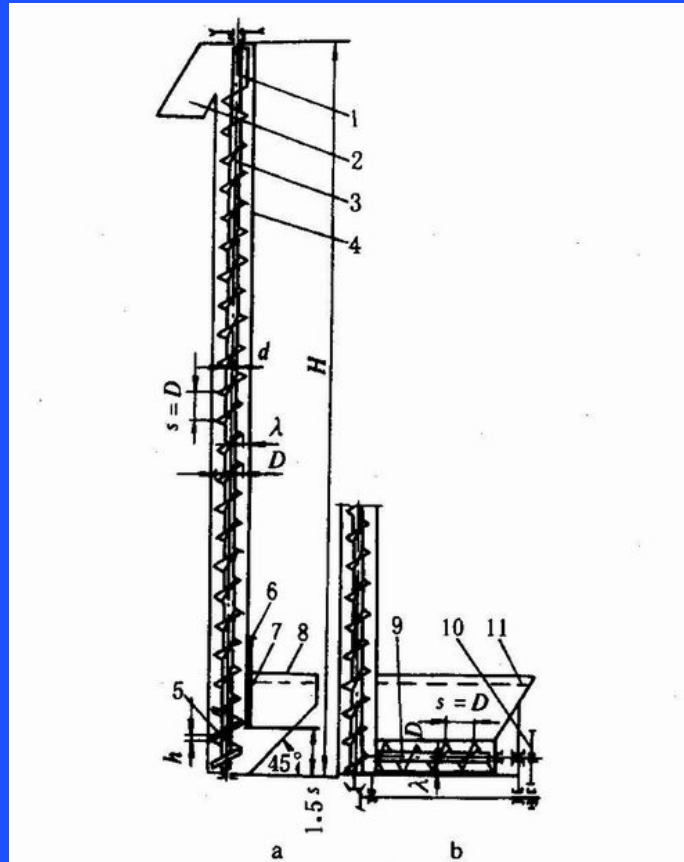


图 1-10 立式螺旋输送机简图

a. 带抓取凸边的 b. 带喂料器的

1. 出料叶板 2. 导管 3. 螺旋 4. 输送管 5. 抓取凸边 6. 活门 7.8. 装料斗 9. 单头螺线的螺旋 (在出口处为双头螺线) 喂料器 10. 传动装置 11. 料斗

D . 螺旋外径 s . 螺距 H . 输送机高 λ . 径向间隙

$$h = (0.2 \sim 0.3)D$$

垂直螺旋输送机

垂直螺旋输送机是依靠螺旋较高的转速向上输送物料的,其原理是物料在垂直螺旋叶片高速旋转的带动下得到很大的离心惯性力,叶片对物料的阻力将物料推向螺旋四周并压向机壳,形成对机壳的较大压力,足以克服物料由本身重力在螺旋面上所产生的下滑分力;同时,在螺旋叶片克服了螺旋面和机壳阻止它上升的阻力,在机壳内作与螺旋叶片相反方向的螺旋形运动,从而达到提升的目的。因此,这种离心惯性力所形成的物料对机壳的摩擦作用是垂直螺旋输送机内上升的前提。螺旋的转速越高,物料的离心力就越大,物料上升的螺旋最低转速称为临界转速。低于临界转速时,物料不能

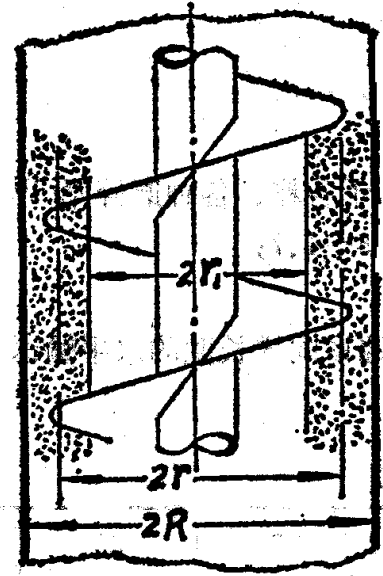


图 1-13 物料在垂直螺旋输送机内的运动

物料在离心力的作用下将有可能出现下列三种运动状态:

1. 当离心力小于物料与叶片之间的摩擦力时,物料在叶片上处于静止状态,并随叶片一同旋转,物料不能上升。
2. 当离心力大于物料与叶片之间的摩擦力时,物料沿叶片表面滑向外壳壁,此时物料与外壳产生的摩擦力还不足以克服物料与叶片表面之间的摩擦力及物料重力沿叶片向下的分力,物料与叶片表面无相对运动。仍将与叶片一起旋转,并相对外壳作圆周运动,物料同样不能上升。
3. 进一步提高螺旋转速,在离心力作用下,物料与壳壁之间产生的摩擦力大于它与螺旋面的摩擦力和物料重力沿叶片向下的分力时,则螺旋叶片对物料的推力使物料与壳壁和叶片表面产生相对滑动,物料沿着壳壁按螺旋叶片相反方向的螺旋形轨迹上升,达到向上输送物料的目的。

垂直螺旋输送机工作原理

- 2、垂直输送物料所受的力
- 1) 重力 $m g$ 铅垂向下
- 2) 离心力 $m r \omega^2$ 径向
- 3) 切向摩擦力 $f m r \omega^2$ 水平
- 4) 斜面摩擦力 F 沿着斜面
- 5) 斜面反力 N 垂直于斜面
- $m g$ 分解成 F 方向 $m g \sin \alpha$
 N 方向 $m g \cos \alpha$
- $f m r \omega^2$ 分解成 R 方向 $f m r \omega^2 \cos \alpha$
 N 方向 $f m r \omega^2 \sin \alpha$

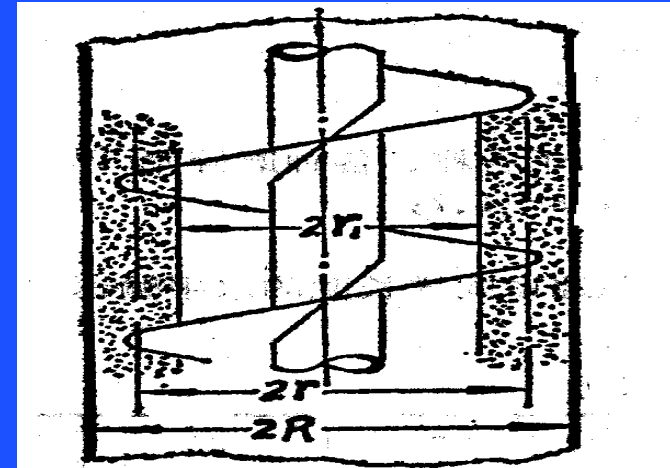
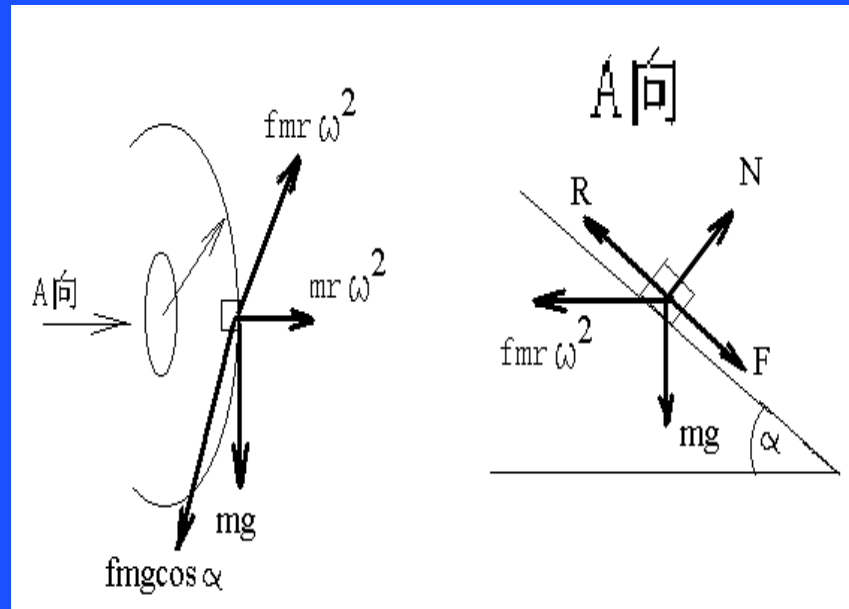


图 1—13 物料在垂直螺旋输送机内的运动



工作原理

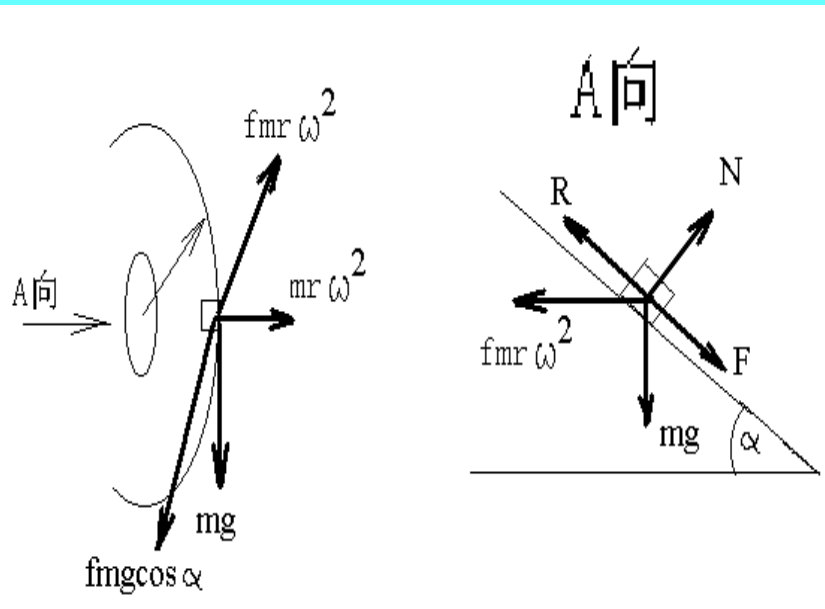
- 斜面摩擦力 $F=f(mg\cos\alpha + fmr\omega^2\sin\alpha)$
- 物料上移的临界条件:

$$R=F+mg\sin\alpha$$

即:

$$fmr\omega^2\cos\alpha=f(mg\cos\alpha + fmr\omega^2\sin\alpha)+mg\sin\alpha$$

代入 $\omega = \pi n / 30$ 求解得:



$$n_o = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{gtg(\alpha + \phi)}{r tg\phi}}$$

三、弹簧输送机

- 弹簧输送机具有结构简单、体积小、重量轻、灵活性大、能耗低等优点。
- 其结构型式有三种：
 - 水平硬管式，
 - 垂直硬管式，
 - 弯曲软管式。
- 输送管内径40~100mm，
- 生产率：1~16t / h，
- 水平输送距离：15~20m。
- 合理的转速：1000~1200r / min。
- 由于弹簧输送机形式多样，对颗粒状及粉状物料一般都能适用。

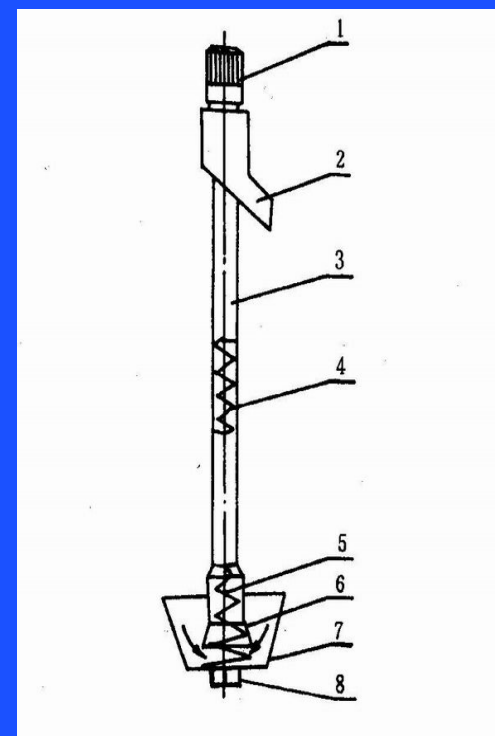


图 1-11 垂直型弹簧输送机

1. 电机 2. 出料口 3. 输送管 4. 螺旋弹簧 5. 螺旋叶片 6. 喂料嘴 7. 接料斗 8. 轴承座

四、振动式输送机

- (一) 构造 振动式输送机俗称振槽，
- 主要由槽、摇臂、曲柄连杆机构、驱动装置组成。
- 槽是一个长方形浅盘，宽为400~800mm，长一般为8~10m，高度为50~200mm。
- 摇臂与铅垂线的夹角为 α ，间距约1m。
- 曲柄半径为15~30mm，
- 槽的振动频率为250~400r/min。
- 由于曲柄半径远小于摇臂的长度，故槽的运动可近似地看作是往复直线运动，其方向与水平成 α 角， $\alpha = 16^\circ \sim 20^\circ$ 。

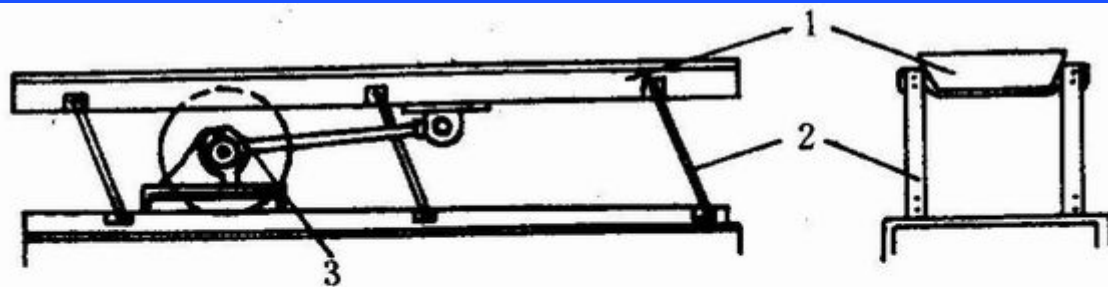


图 1-12 振动式输送机示意图

1. 输送槽 2. 摇臂 3. 曲柄连杆机构

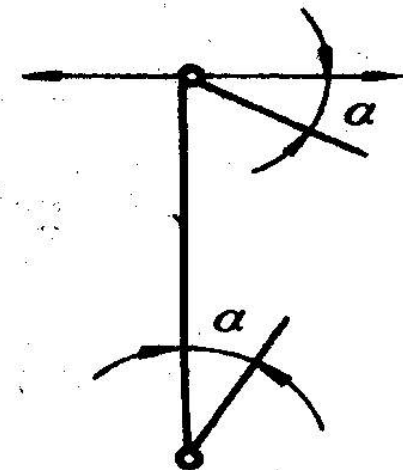


图 1-13 输送槽运动方向角

- (二) 生产率和功率消耗

- 1. 生产率 振动式输送机的生产率可用下式计算:

- $$Q = 3600bhv\rho \quad (\text{t/h})$$

- 式中 b —振槽的宽度 (m); h —物料层厚度 (m); ρ —物料密度 (t/m^3);

- v —物料在槽面上的移动速度 (m/s)。

- v 可由下式求出:

- $$v = 0.21rnftg\alpha \quad (\text{m/s})$$

- 式中 r —曲柄半径 (m); n —曲柄转速即振动频率 (r/min);

- f —物料对槽的摩擦系数; α —摇臂与垂线间夹角。

- 2. 功率消耗 振动式输送机所需的功率为消耗于使输送机产生振动及物料运动的功率之和, 即

$$N = \frac{Gn^3r}{5440} + \frac{QL\mu}{367} \quad (\text{kW})$$

- 式中 G —输送机振动部分的质量 (t); n —输送机振动频率 (r/min);

- r —曲柄半径 (m); Q —物料输送量 (t/h);

- L —输送机长度 (m);

- μ —阻力系数。

第三节 刮板输送机

- 有普通刮板输送机（简称刮板输送机）和埋刮板输送机之分。
- 一、普通刮板输送机：
 - 组成：牵引构件、刮板、料槽、带轮
 - 功能：可水平、倾斜、水平倾斜组合输送
 - 型式：固定式、移动式
 - 特点：结构简单，装卸料方便，机件易磨损，动力消耗大，不易输送较湿物料

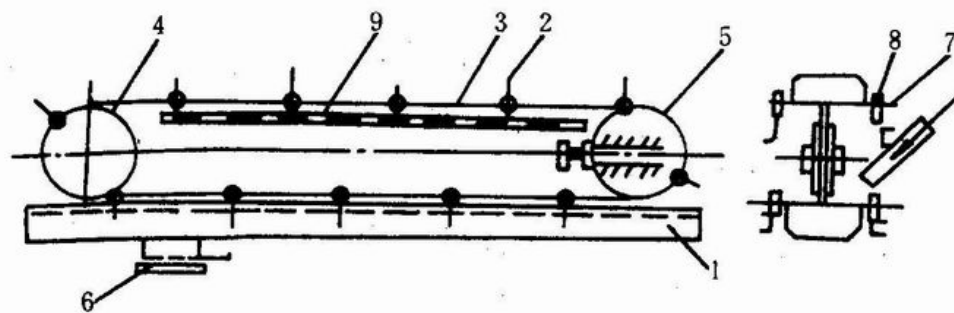


图 1-14 刮板输送机

1. 料槽 2. 刮板 3. 链条 4,5. 链轮 6. 卸料口 7. 链条销轴 8. 滚轮 9. 导轨

第三节 刮板输送机

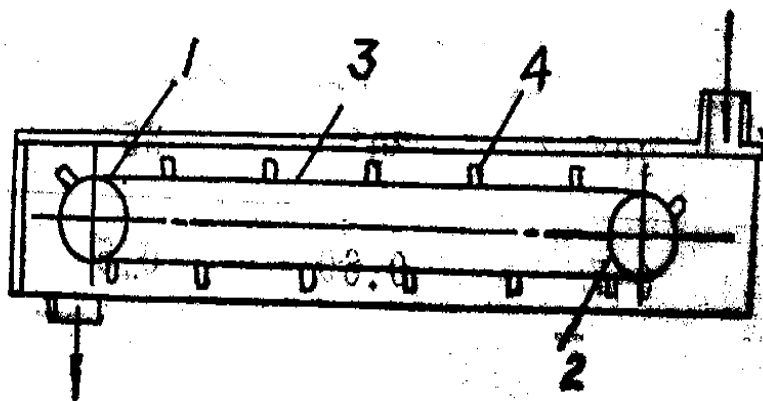
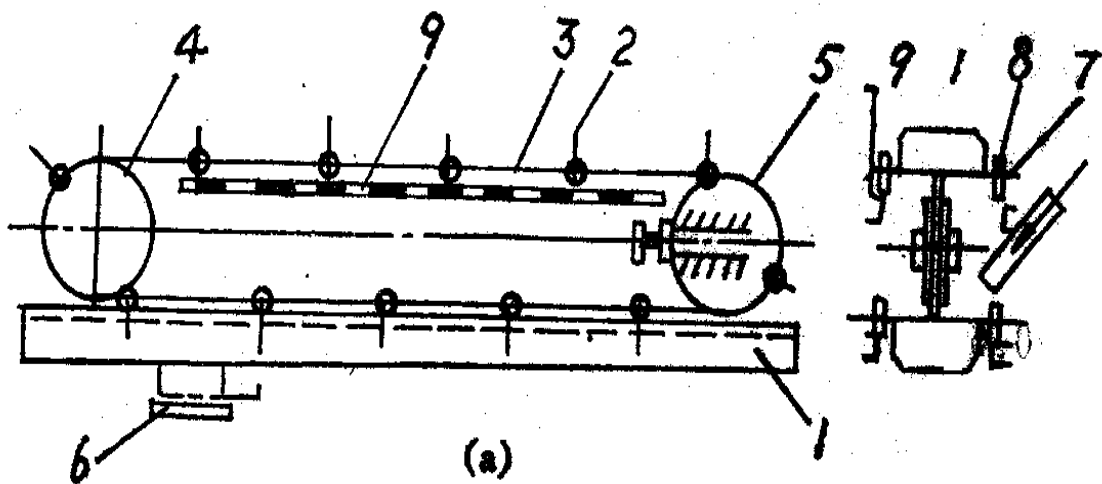


图 1—14 普通型刮板输送机

a—普通式 b—简易式

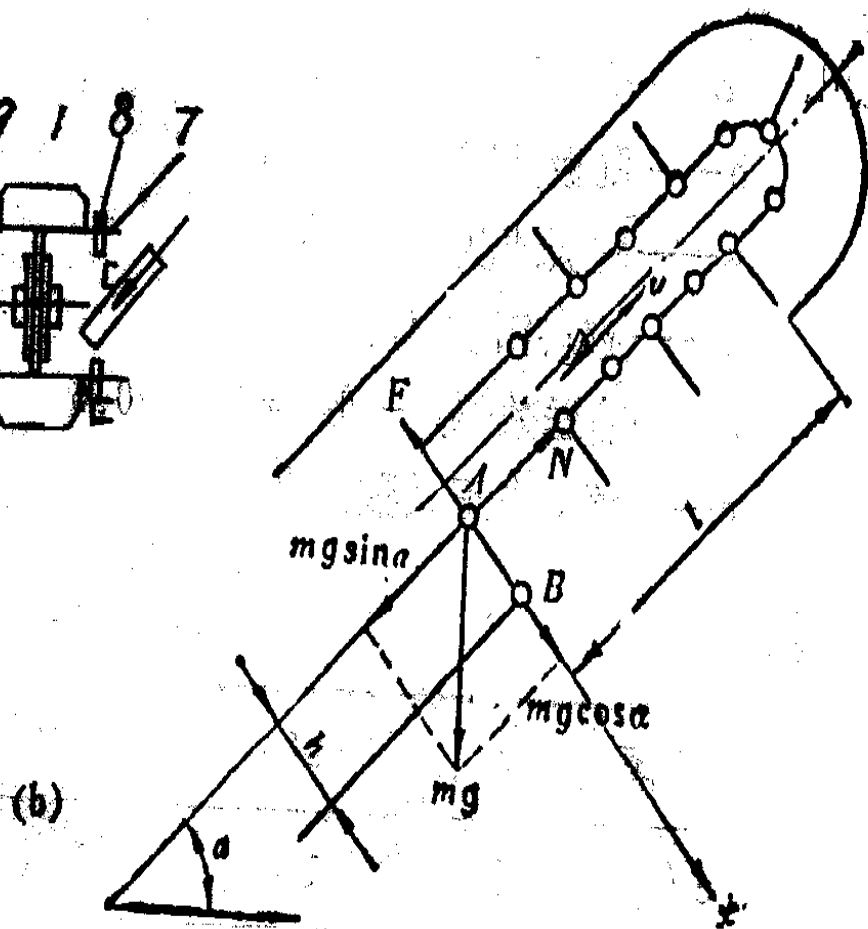


图 1—15 下刮式卸料时的受力分析

普通刮板输送机:

- (1) 结构: 牵引构件、刮板、料槽等。

- (2) 机构参数:

卸料长度 $l \geq vt = v \sqrt{\frac{2h \cos \phi}{g \cos(\alpha + \phi)}} \quad (\text{米})$
(倾斜安装)

- (3) 生产率和功率消耗:

- 生产率: $Q = 3600 b h v \rho \eta c \quad (\text{吨/时})$

- 功耗: $N = Q (L K + H) / 367 \eta \quad (\text{千瓦})$

二、埋刮板输送机

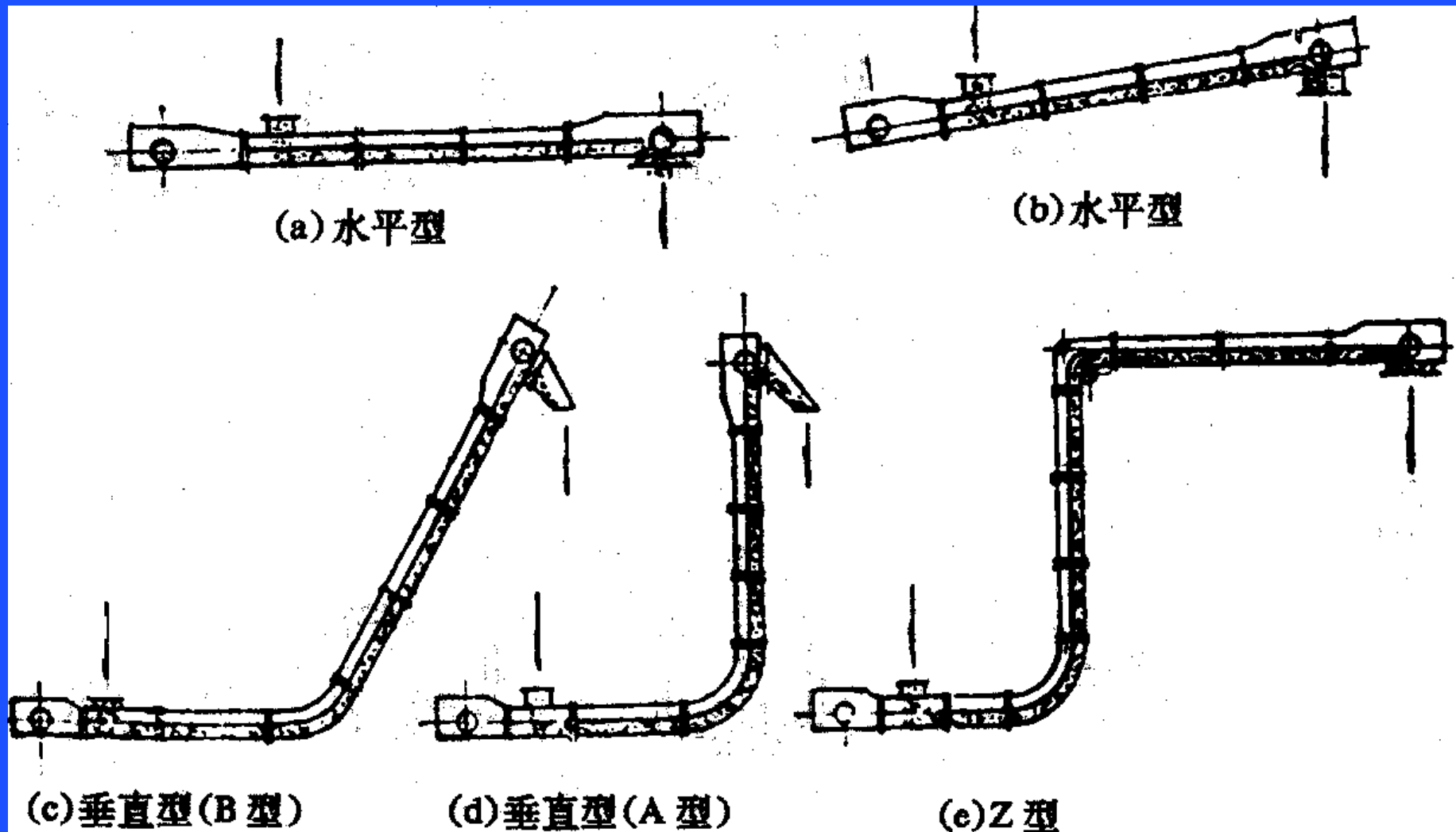


图 1—16 埋刮板输送机类型

埋刮板输送机

- 刮板及链条埋入物料中（料层厚为刮板高的4~12倍）
- 功能：可水平、倾斜、垂直、组合输送
- 特点：结构简单，密封性好，装卸方便，工艺布置灵活，输送量大，适应性强，动力消耗大

- (1) 工作原理及构造：

由封闭外壳、刮板、链条、驱动链轮、张紧轮及进出料口组成，依靠物料间的内摩擦力进行输送。

- 刮板形式：T、U₁、U₂、O₁、O₂ 型。

- (2) 生产率和功消耗：

生产率： $Q=3600 b H V \rho \eta$

功消耗： $N=K T V / \eta_M$ (千瓦)

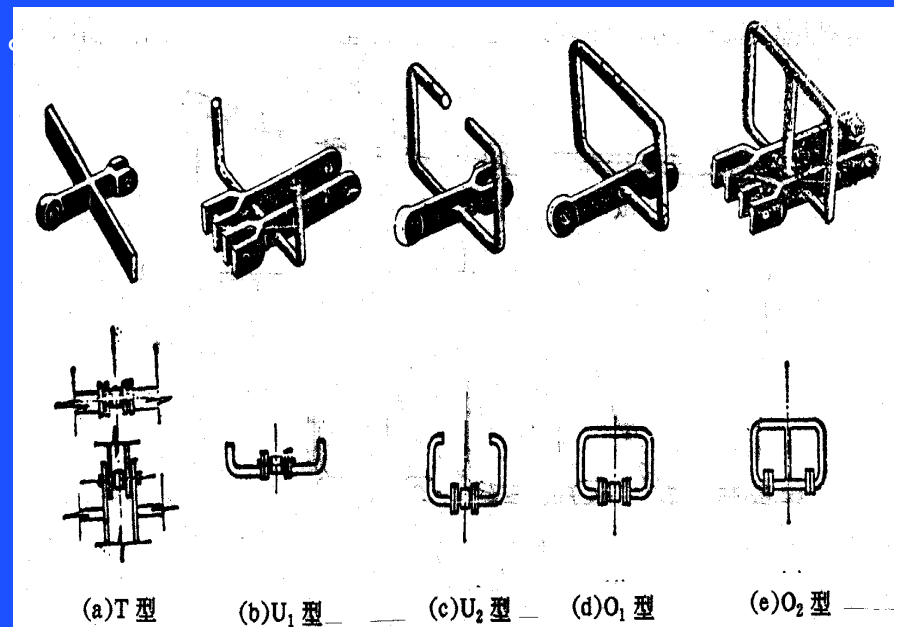


图 1—17 刮板型式

小 结

- 带式输送机

类型、构造、功能、用途、特点

- 螺旋输送机

构造、功能、用途、特点

水平螺旋输送机的输送速度、垂直螺旋输送机的受力分析。

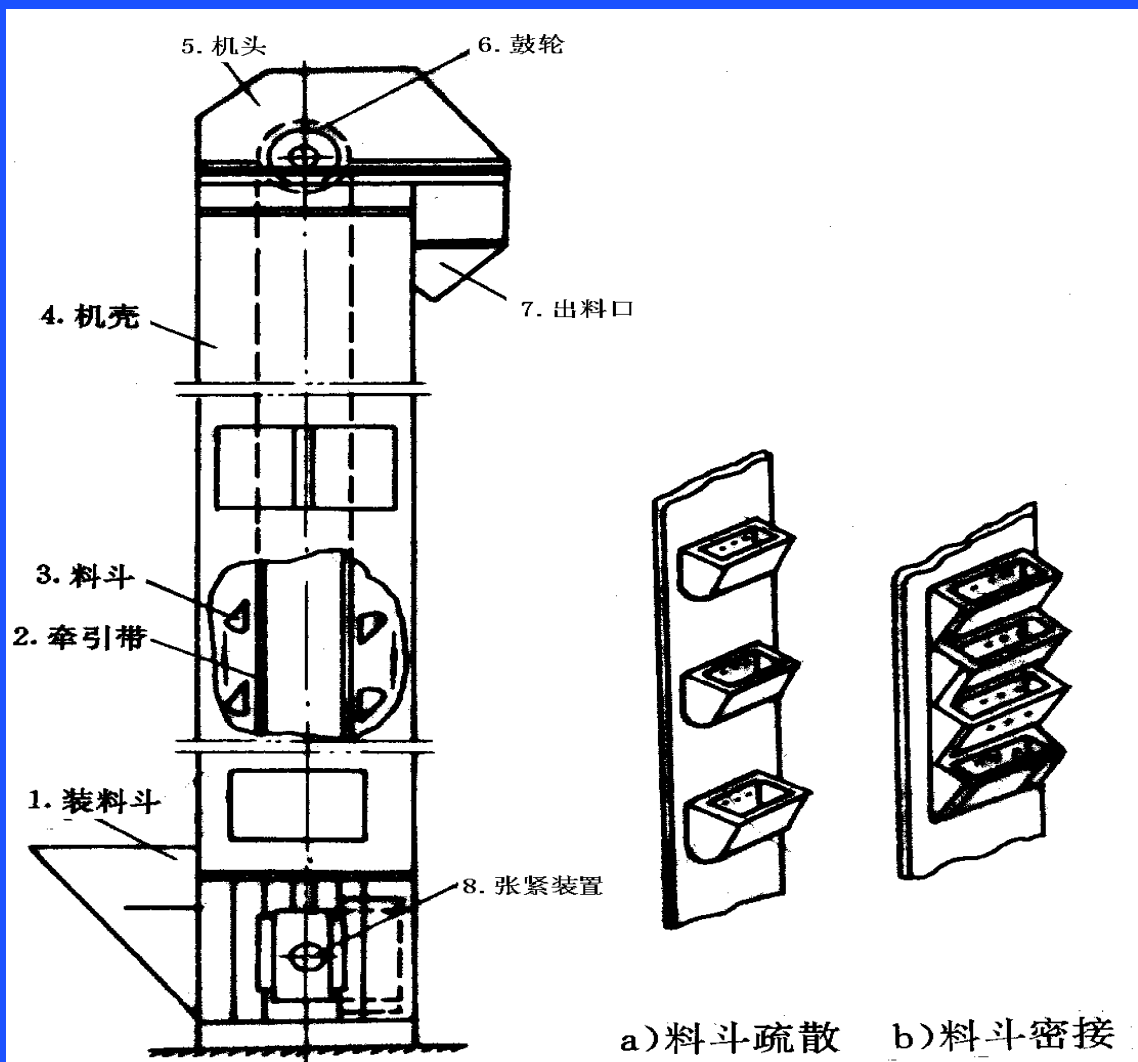
- 振动式输送机

构造、功能、用途、特点

- 刮板输送机

类型、构造、功能、用途、特点

第四节 斗式升运机

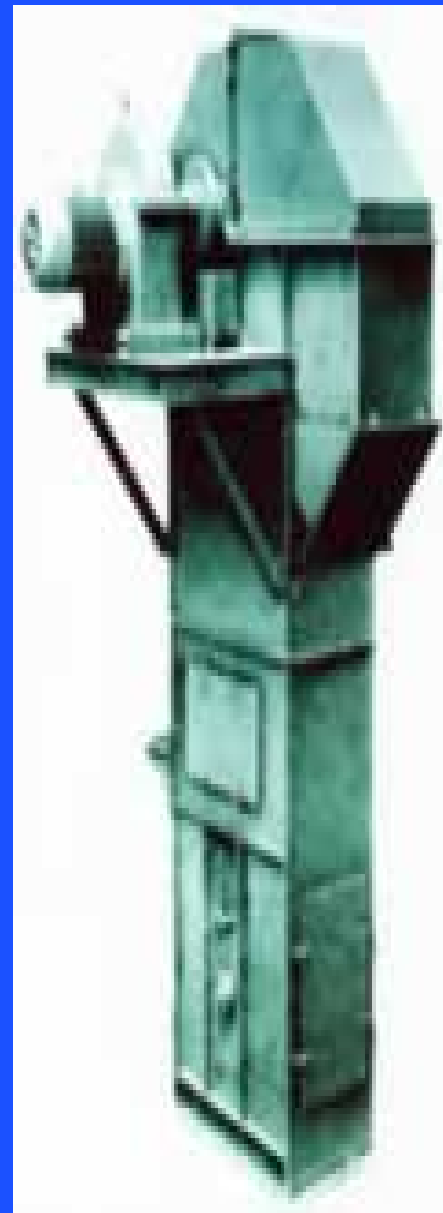


(1) 斗式升运机外形

(2) 料斗布置形式

图 1-18

斗式提升机



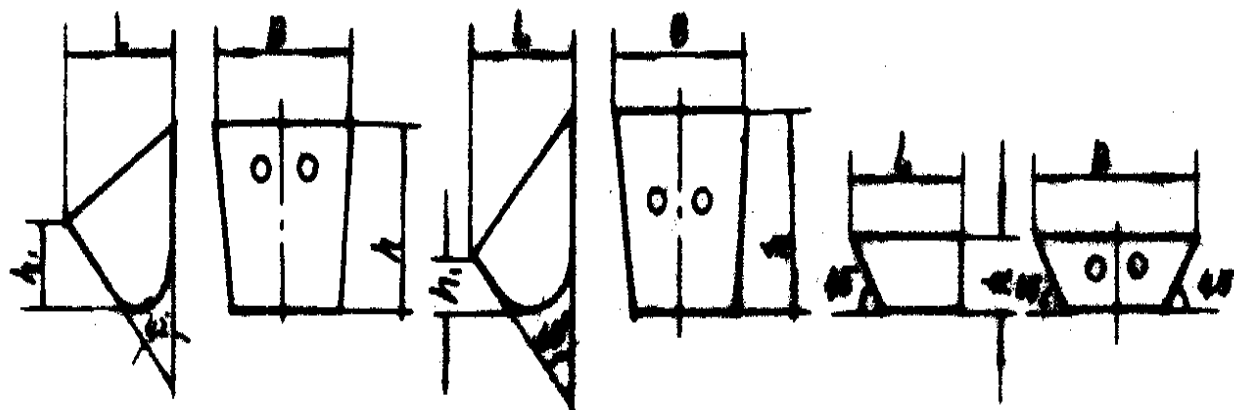
斗式提升机

- 功能：垂直提升粉粒体、小块状物料
- 特点：提升高度大，占地面积小，密封好
- (一) 构造

组成：由牵引带、料斗、张紧装置、机壳及装卸装置构成

料斗：有底、无底

牵引带：平皮带、链条

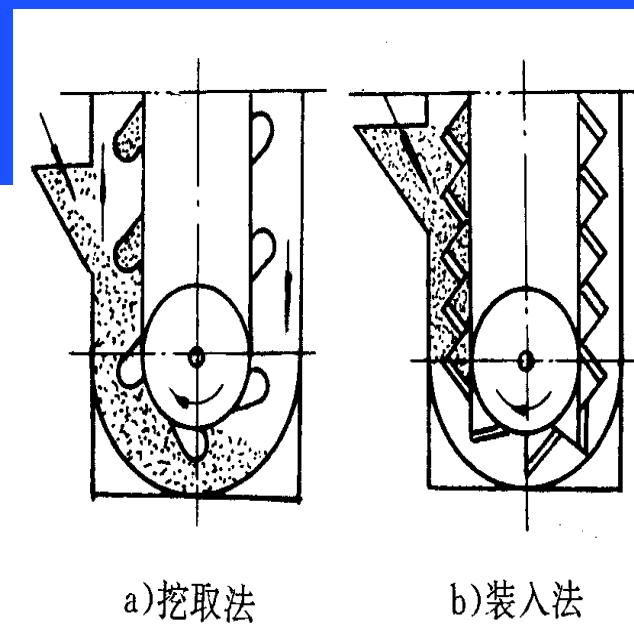


(a)深型料斗

(b)浅型料斗

(c)无底料斗

图 1-19 料斗



a)挖取法

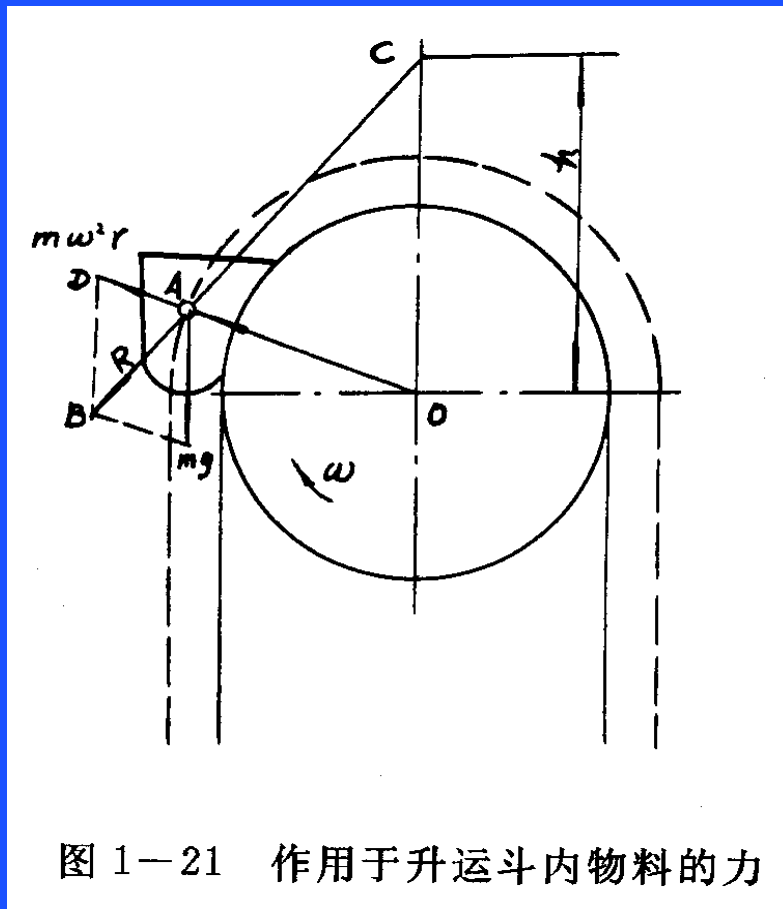
b)装入法

图 1-20 料斗进料方式

(a)底部刮取 (b)直接喂入

二、卸料方式:

- 重力式、离心式和混合式



$\triangle AOC$ 与 $\triangle ABD$ 相似

$$\frac{OC}{BD} = \frac{OA}{AD} \quad \text{即} \quad \frac{h}{mg} = \frac{r}{m\omega^2 r}$$

$$\text{所以} \quad h = \frac{g}{\omega^2} = \frac{895}{n^2}$$

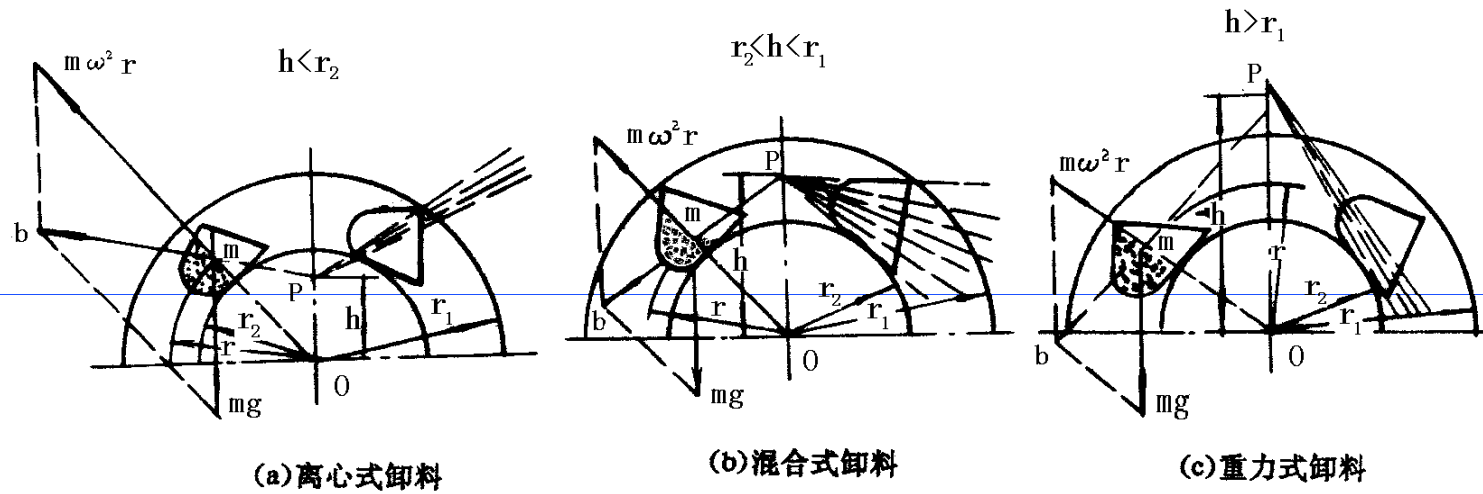


图 1—22 升运卸载的形式

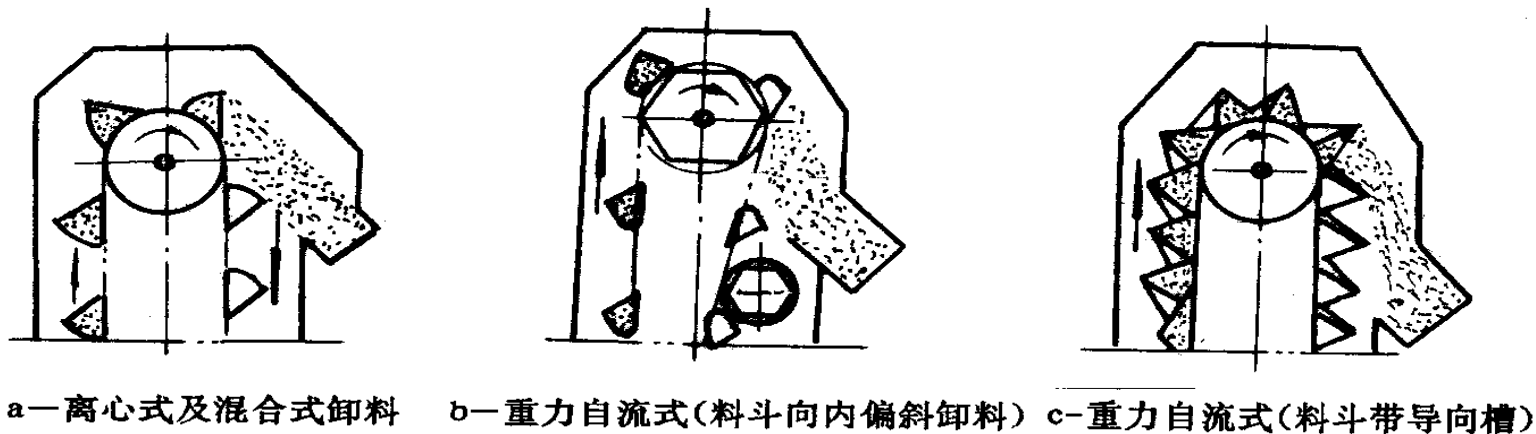


图 1—23 卸料器的顶罩

• (三) 生产率和功率消耗:

生产率: $Q = 3600 i V_{\text{斗}} \phi \rho / a$ (吨/时)

功耗: $N = Q H / 367 \eta$ (千瓦)

顶罩的轮廓尺寸

- 料斗将物料向上抛起的最大高度 H :

$$H = \frac{V_{斗}^2}{2g}$$

- 物料轨迹包络线最高点 d 的坐标

$$Y_{最大} = \frac{r_{斗}^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

- 包络线与水平轴线的交点 c 的坐标

$$X_{最大} = \frac{r_{斗} \sqrt{r_{斗}^2 + h^2}}{h}$$

- 出料口下边到轮子水平轴线的距离

$$Z = (1.5 \sim 2) r_{轮}$$

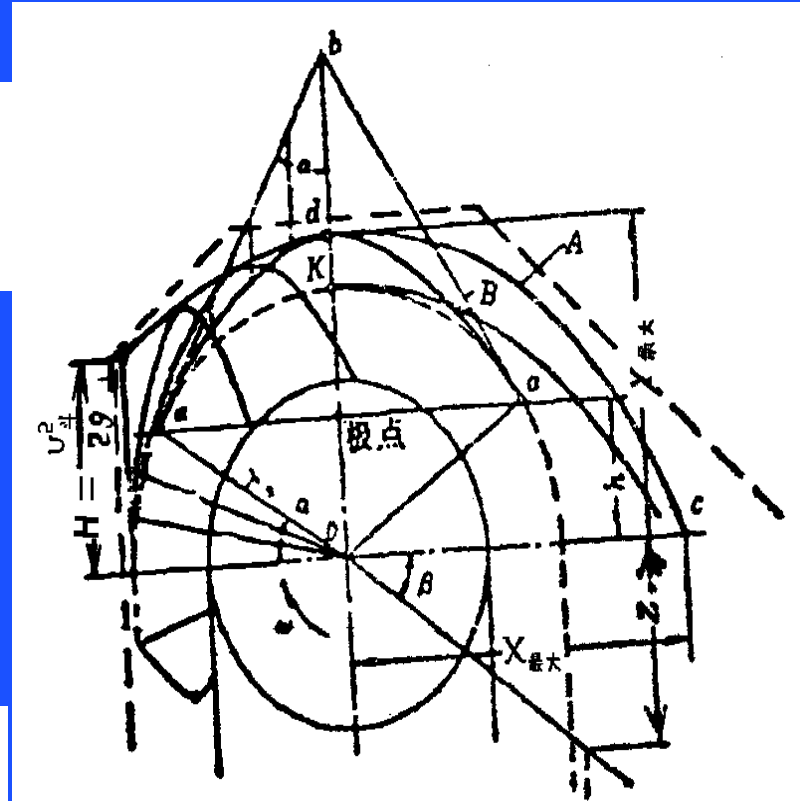


图 1-24 升运器卸料装置的轮廓尺寸

第五节 气力输送

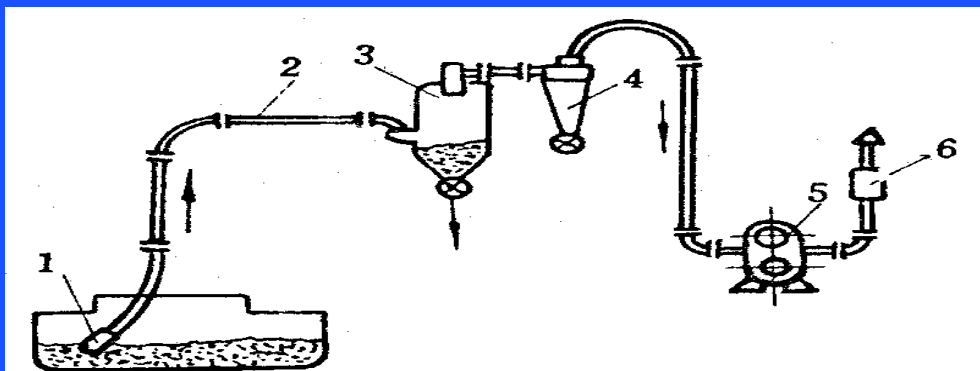


图 1—29 吸气式气力输送装置

- 1—吸咀 2—输送管 3—分离器 4—除尘器
5—鼓风机 6—消声器

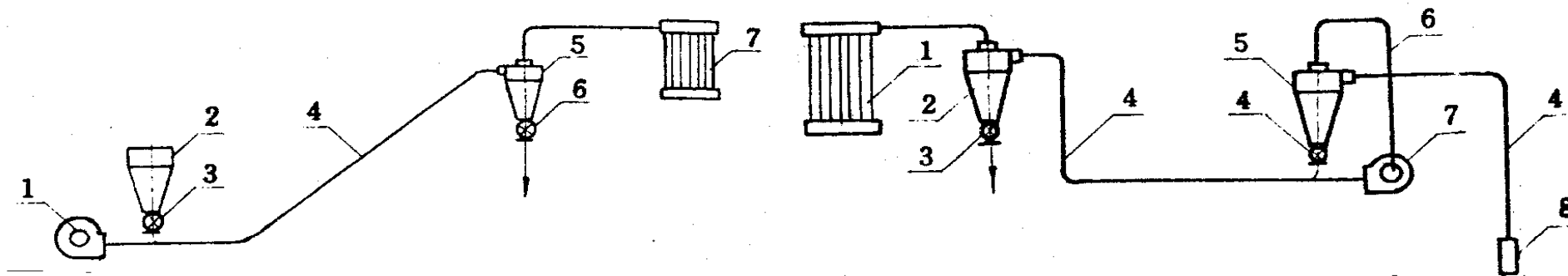
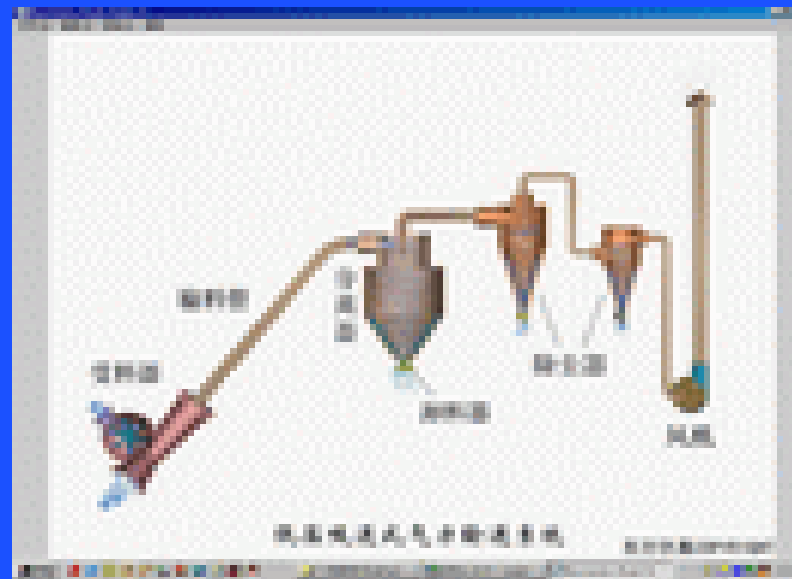


图 1—30 压气式气力输送装置

1. 鼓风机 2. 料斗 3. 供料器 4. 输送管
5. 物料分离器 6. 闭风器 7. 除尘器

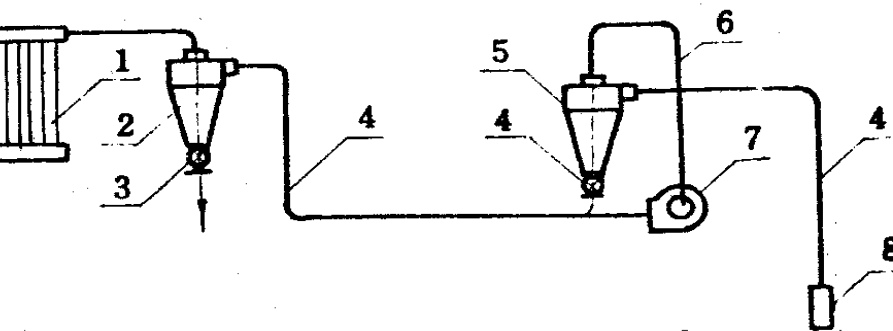
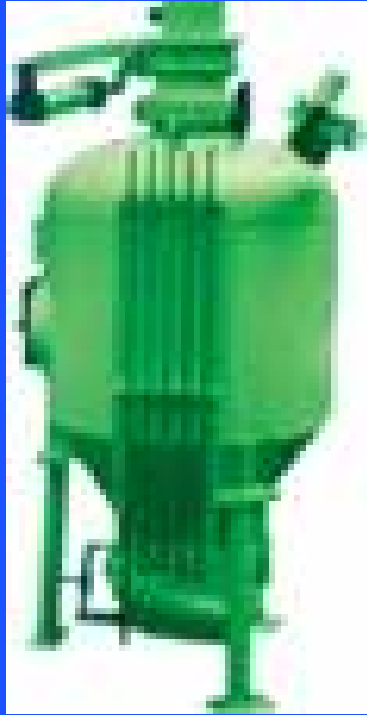


图 1—31 混合式气力输送装置

- 1—除尘器 2—卸料器 3—闭风器 4—输料器
5—卸料器 6—风管 7—风机 8—接料器

一、气力输送的分类

- 1、浓相输送：
 - 浓相输送分为发送罐输送和旋转阀输送。
 - 发送罐正压浓相输送是通过将发送罐加压至一定压力，采用切换出料阀及气刀对物料进行分配（物料在管道中呈柱塞状态）来实现输送的。
 - 旋转阀浓相输送是采用正压输送方式，而动力采用压缩机提供。系统具有较高压力、较低流速但输送能力大，对物料几乎无影响。
- 2、稀相输送：
 - 稀相输送通常采用较高的气流速度和较低的固气比，输送距离可达数百米。输送气体常采用空气或氮气，动力一般由罗茨风机提供，物料在管道中呈悬浮状态。



发送罐



贮气罐



气水油分离器

浓相输送设备

- 气力输送系统输送管道中的气固两相流动按输送条件可分为稀相悬浮流、分层流和浓相柱塞流3种形式。
- 现有的气力输送装置多为稀相高速悬浮输送装置,但这类输送方式存在输送效率低、管道磨损严重以及物料易破裂等缺点。近几年来,各种低速浓相输送装置得到开发,其中以柱塞流气力输送设备的应用最引人注目。
- 这类输送设备的动力消耗较小,其形式包括间歇式和连续式两种,间歇式不能实现物料连续输送,而连续式则存在物料浓度在输送过程中发生较大变化的情况,在某些应用场合(如高炉供煤)难以满足现场对稳定性的要求。

- 低速、高浓度和流态化的输送设备,水平管道中气固两相流动呈分层流动形态,管道上部为稀相悬浮流,下部为密相滑动床,输送混合比为30~200(kg 固体/kg 气体)。
- 这种输送方式可以克服柱塞流输送中的不连续和不稳定现象,以及悬浮流输送中效率低等不足。整个输送系统由发送装置、监测装置和执行部分组成。
- 发送装置包括气源、发送罐和输送管道等几部分,监测部分主要由压力传感器、料位计和电子称等测量仪表组成,而执行部件主要是各种控制阀门。为了解决运行不当造成的管路堵塞问题,还专门设置了排堵装置。
- 系统工作时,一定量的物料进入发送罐,并在其中由压缩空气进行流化,当发送罐中的压力达到一定值时,物料流入管道进行输送。

运输机理

- 中细颗粒、高混合比、水平管输送时,其管道中的两相流形态在一定条件下属于浓相分层输送,是介于悬浮流动和柱塞流动之间的中间连续流动形式,其特点是悬浮层与滑动床层之间颗粒的相互作用极为复杂,如颗粒层间的碰撞、悬浮层颗粒在滑动床表面的滑动等。
- 层间颗粒的各种作用所产生的动量交换是滑动床移动的主要动力。
- 在表观气速较低时,分层流动的阻力主要来自滑动床与管壁的滑动摩擦;表观气速较高时,悬浮颗粒与管壁间的摩擦阻力起主要作用。

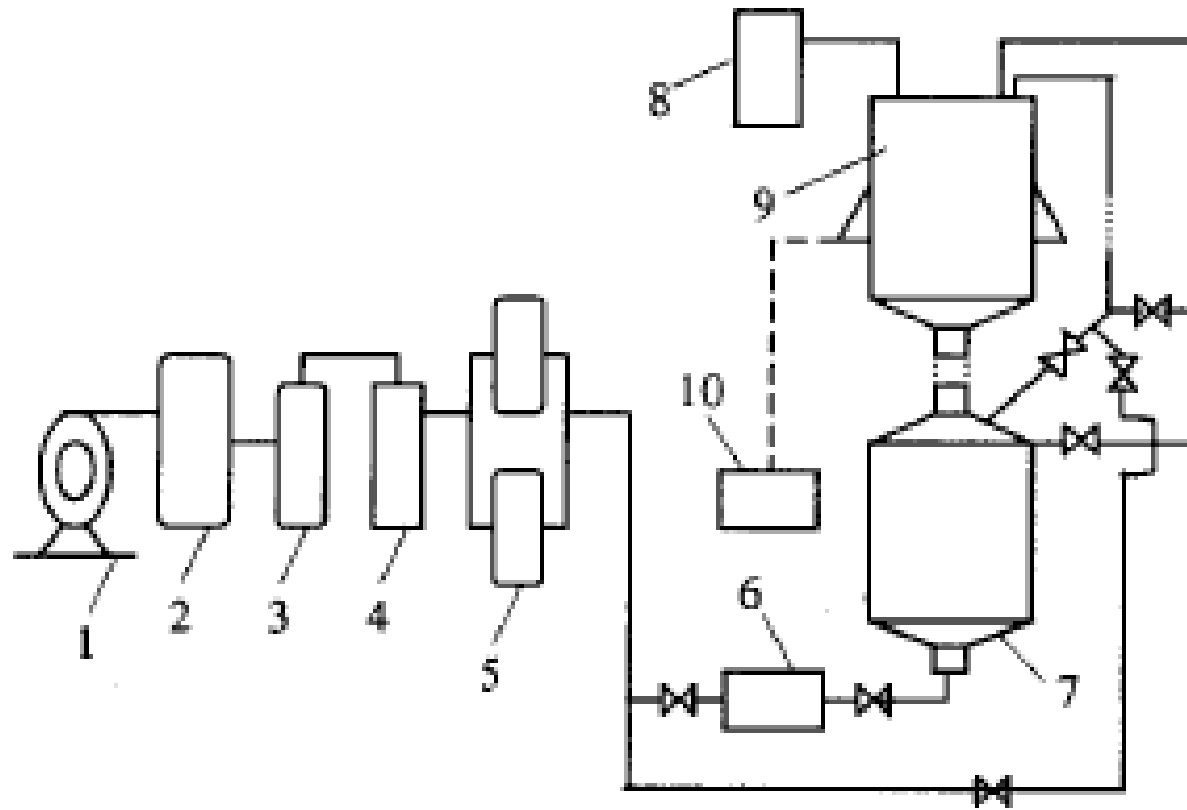


图 1 实验系统图

Fig.1 Scheme of experiment system

1. 压气机 2. 稳压箱 3. 油水分离器 4. 干燥器 5. 充气罐
6. 气体流量计 7. 发送罐 8. 收尘器 9. 料仓 10. 称重计



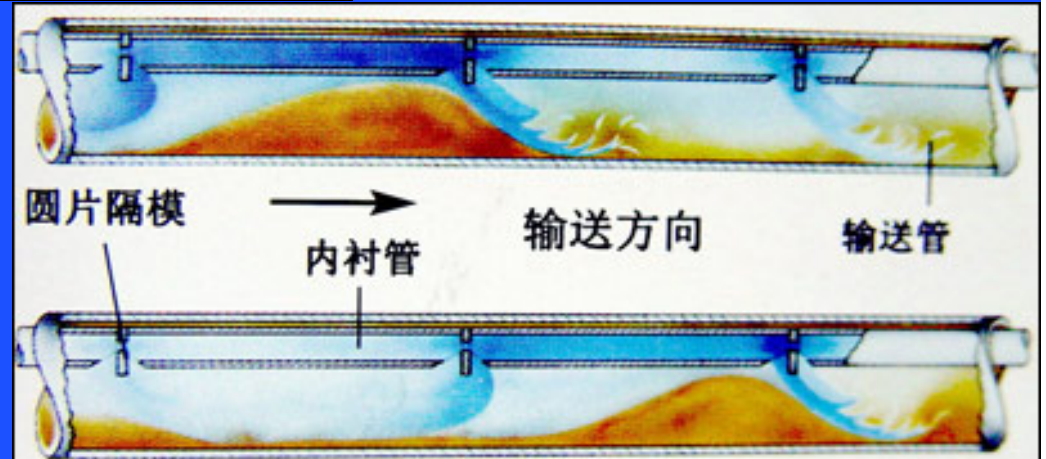
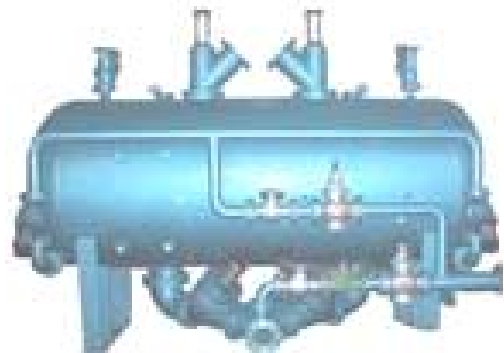


插图 1: 紊流双套管浓相输送原理

- **正压浓相输送系统:**正压气力除灰系统由供料设备、气源设备和集料设备三大基本功能组分以及管道、控制系统等构成。
- **QSB型全自动气力输送泵**是上引式仓泵，是根据压差原理、射流技术与流态化技术相结合的新型浓相气力输送装置，是正压气力输送系统的主要设备,它以压缩空气为动力，将粉状物料经输送管道输至灰库或储料仓。
- **产品特点:**该泵技术先进、结构新颖、性能稳定、运行可靠、自动化程度高、操作简单、维护检修少,运行综合成本低,规格齐全。有特殊要求可专门设计。





罗茨鼓风



给料机



关风机



湿法除尘器



脉冲袋式库顶除尘器



气动三通阀



膨胀圆筒卸料器



三通球形弯头

气力输送

- 输送原理：利用气流的能量，使粉体物料沿管道移动。
- 一、气力输送的特点和分类：
 - 1、优点：结构简单，工艺布置灵活，输送距离大，密封性好，适应性广，自动化程度高，生产率高。
 - 2、缺点：

动力消耗大，磨损严重，不宜输送湿物料，系统噪音大。
 - 3、分类：

吸送式：用风机吸入口的负压，将物料吸入管道的输送方式

压送式：用风机输出的高压气流，将喂入的物料吹送的输送方式

混合式：吸送和压送组合的输送方式

(一) 气力输送分类

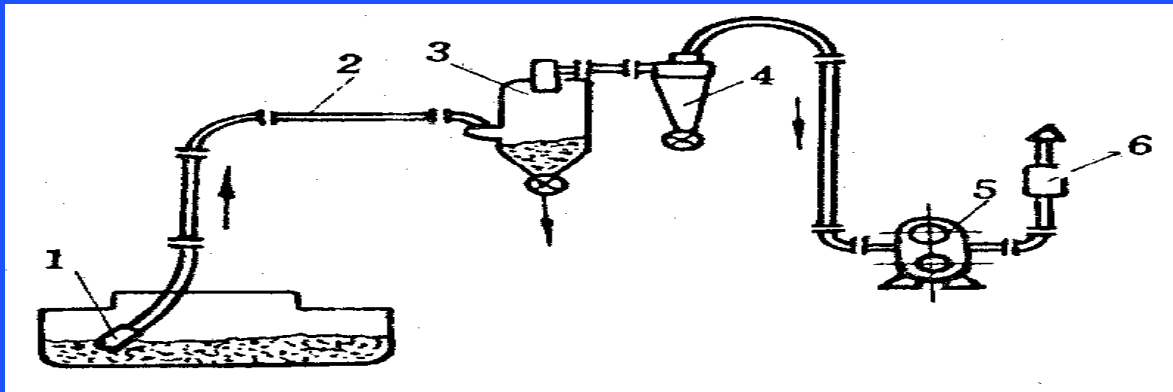


图 1—29 吸气式气力输送装置
1—吸咀 2—输送管 3—分离器 4—除尘器
5—鼓风机 6—消声器

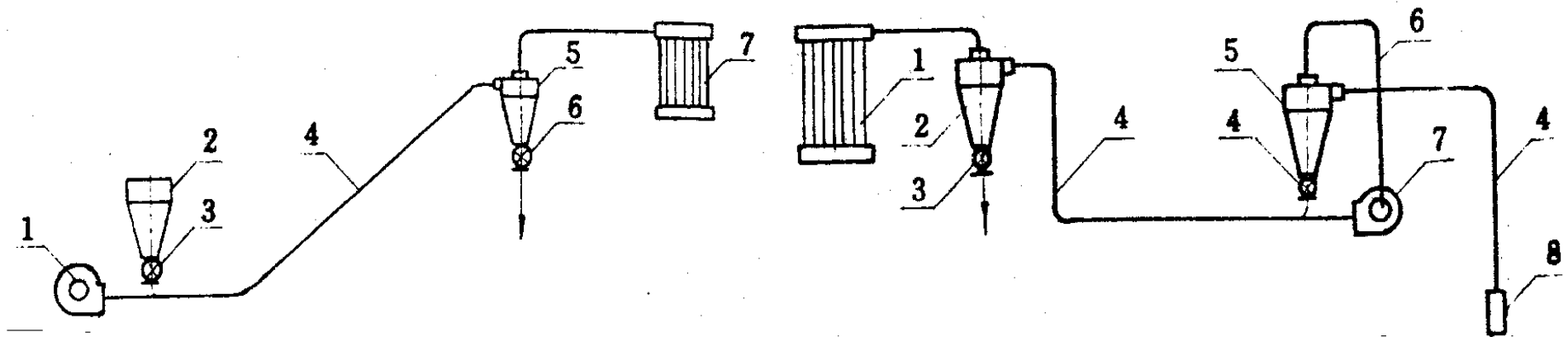


图 1—30 压气式气力输送装置
1. 鼓风机 2. 料斗 3. 供料器 4. 输送管
5. 物料分离器 6. 闭风器 7. 除尘器

图 1—31 混合式气力输送装置
1—除尘器 2—卸料器 3—闭风器 4—输料器
5—卸料器 6—风管 7—风机 8—接料器

气力输送的主要参量

- (1) 沉降速度和悬浮速度:

- 沉降速度 V_t :

粒子在静止流体中自由下落，最终达到匀速沉降时粒子的速度称为沉降速度。
即作用于粒子的重力、浮力、阻力之和为零时的速度。

$$V_t = \sqrt{\frac{4gd_s}{3C} \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a}}$$

- 悬浮速度 V_a :

粒子在匀速气流中保持静止或悬浮状态时气流的速度称为该粒子的悬浮速度。

$$V_a = V_t。$$

表 1-11 物料的悬浮速度

物 料 名 称	悬浮速度〔米/秒〕	物 料 名 称	悬浮速度〔米/秒〕
小 麦	9~11	稗 子	4~7
I、II 皮磨物料	5~7	玉 米	9.8~14
III、IV 皮磨物料	2~3	高 粱	9.8~11.8
心磨物料	4~5	小 米	13.2
面 粉	2~3	茶 叶	6.9
麸 皮	2375~3.25	井肩石	11
大 麦	8.4~10.8	山芋干丝	8.7~12
荞 麦	7.5~8.7	水 泥	7.2~8.4
燕 麦	8~9	合成树脂	0.223~0.513
稻 谷	8.1~10.1	研磨砂	0.55
糙 米	11.3~14.5	碎木材	0.79~1.26
苍 糠	3~4	刨 花	7.4~9.4
清 糠	2~3	木锯屑	2.6~4
菜 籽	8.2	煤块(核桃大)	4.2~5.5
向日葵籽	7.3~8.4	煤 粉	10.6~11
棉 籽	9.5	细干盐	7
花 生	12.5~15	陶 土	9.8
粟	8.5	矿 石	1.8~2.1
大 豆	10	粉煤灰	10~20
豌 豆	15~17.5		0.11

（二） 输送量、气流速度、输送浓度比：

- **输送量：**
单位时间内输送物料的重量
- **输送气流速度：**
兼顾输送的可靠性及工作的经济性所选的气流速度，如表1-12。
悬浮速度的1.5-3倍。
- **混和比（输送浓度比）：**
单位时间内输送物料重量 G_s 与所需空气量 G_a 的之比。
与物料性质、输送方式、条件、距离和管道直径等因素有关。

表 1—12 输送物料的气流速度

物 料 名 称	输送速度 v [米/秒]	物 料 名 称	输送速度 v [米/秒]
大 麦	15~25	药 粒	12~20
小 麦	15~24	煤 粉	20~30
麸 皮	14~19	砂	25~35
粉间大粗粒	14~20	水 泥	10~25
粉间小粗粒	14~18	灰 土	15~25
面 粉	10~18	矾 土	20~40
稻 谷	16~25	粘土粉	16~18
糙 米	15~25	铝 粉	17~20
大 米	16~20	铸铁屑	19~23
谷 壳	14~20	褐煤块	18~40
大 豆	18~30	硫 铵	25
玉 米	25~30	石 灰	26~30
棉 籽	23	豌 豆	17~27
亚麻籽	23	荞 麦	15~20
花 生	15	稗 子	12~30
咖啡豆	12	麦 芽	21
砂 糖	25	型 砂	29~43
盐	27~30	新旧砂	30~40
锯 屑	15~25	陶土粉	16~23
木 片	30~40	矿 渣	27~30
刨 花	18~23	木 粉	16~18

(二) 气力输送系统的组成:

- 由供料器、输送管道及管件、卸料器、除尘器、风机等组成。
- 1、供料器：气力输送系统中供给或排放物料的装置，同时要闭风。

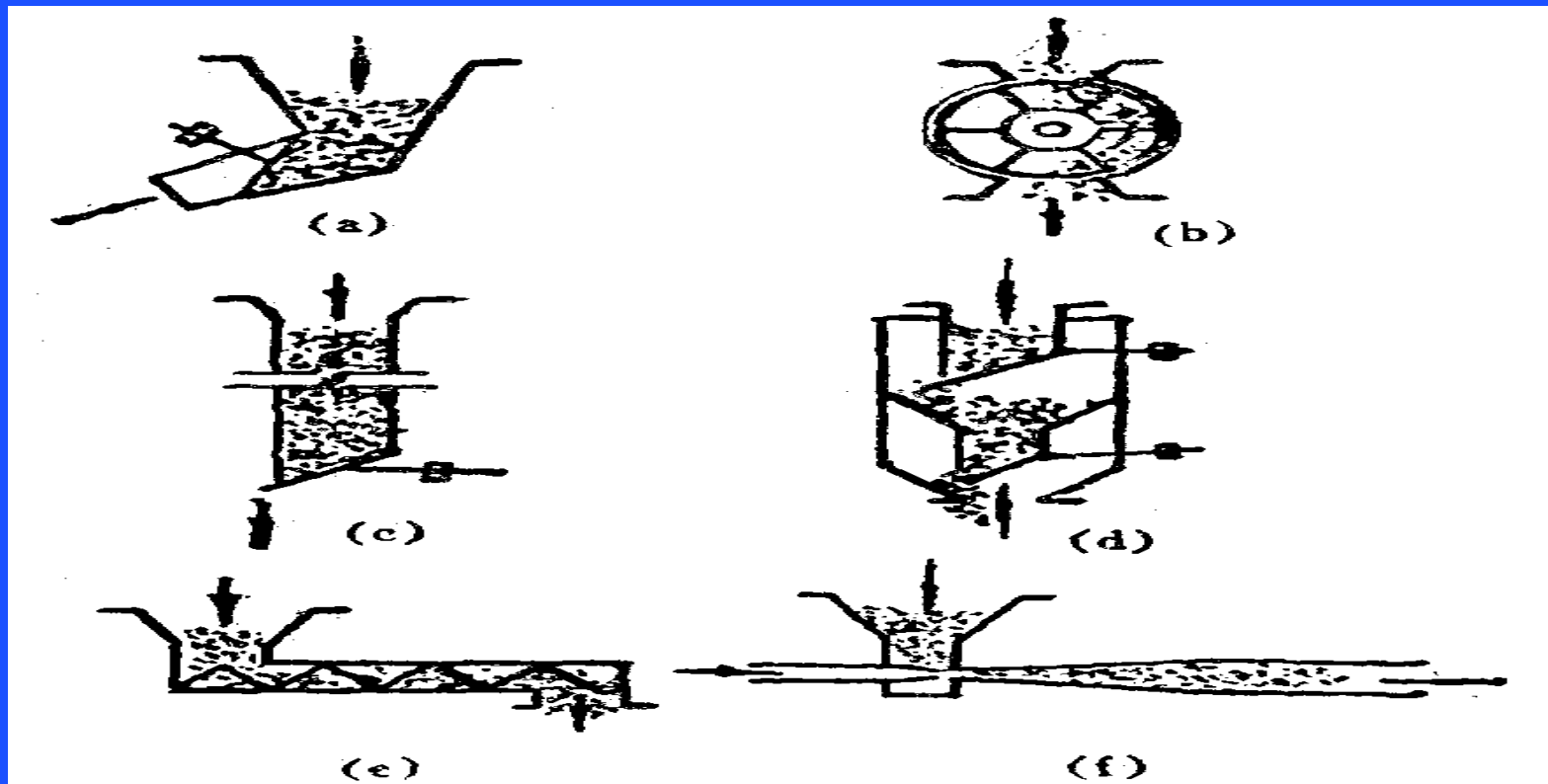


图 1—32 供料器种类

(a) 闸板式 (b) 旋转式 (c) 料封压力门式
(d) 双重排料阀式 (e) 螺旋式 (f) 喷射式

1、气力输送供料器

- (1) 料封压力门：靠堆积一定物料高度完成自动卸料和闭风

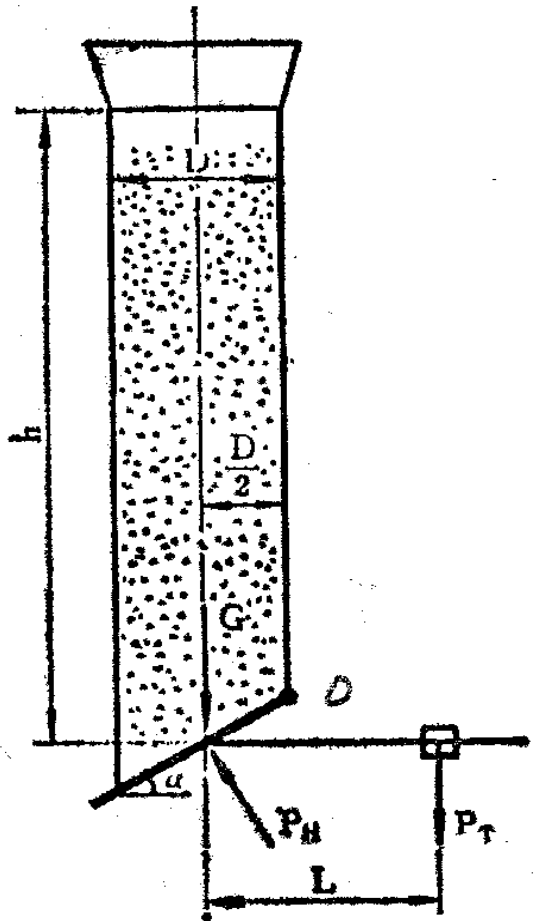


图 1-33 压力门式闭风器

(1) 物料质量

$$G = \frac{\pi}{4} D^2 h \rho \quad (\text{公斤})$$

(2) 空气负压力

$$P = P_H F = H \cdot \frac{\pi D^2}{4 \cos \alpha}$$

(3) 砵重 P_T (忽略了压力门与砵杆重)

$$h = \frac{H \frac{\pi}{8} \cdot \frac{D^3}{\cos^2 \alpha} + P_T (L - \frac{D}{2})}{\frac{\pi}{8} D^3 \rho}$$

压力门安全工作的条件为 $L > \frac{D}{2}$ ，
由此可以导出

$$\cos \alpha > \sqrt{\frac{H}{\rho h}}$$

1、送供料器

- (1) 闸板式供料器：以闸板和重锤实现排料和闭风。
- (2) 双层排料阀式供料器：简称双层供料管，将料封压力门重叠的结构，图d
- (3) 旋转式供料器：靠叶轮在机壳内旋转排料和闭风，图b

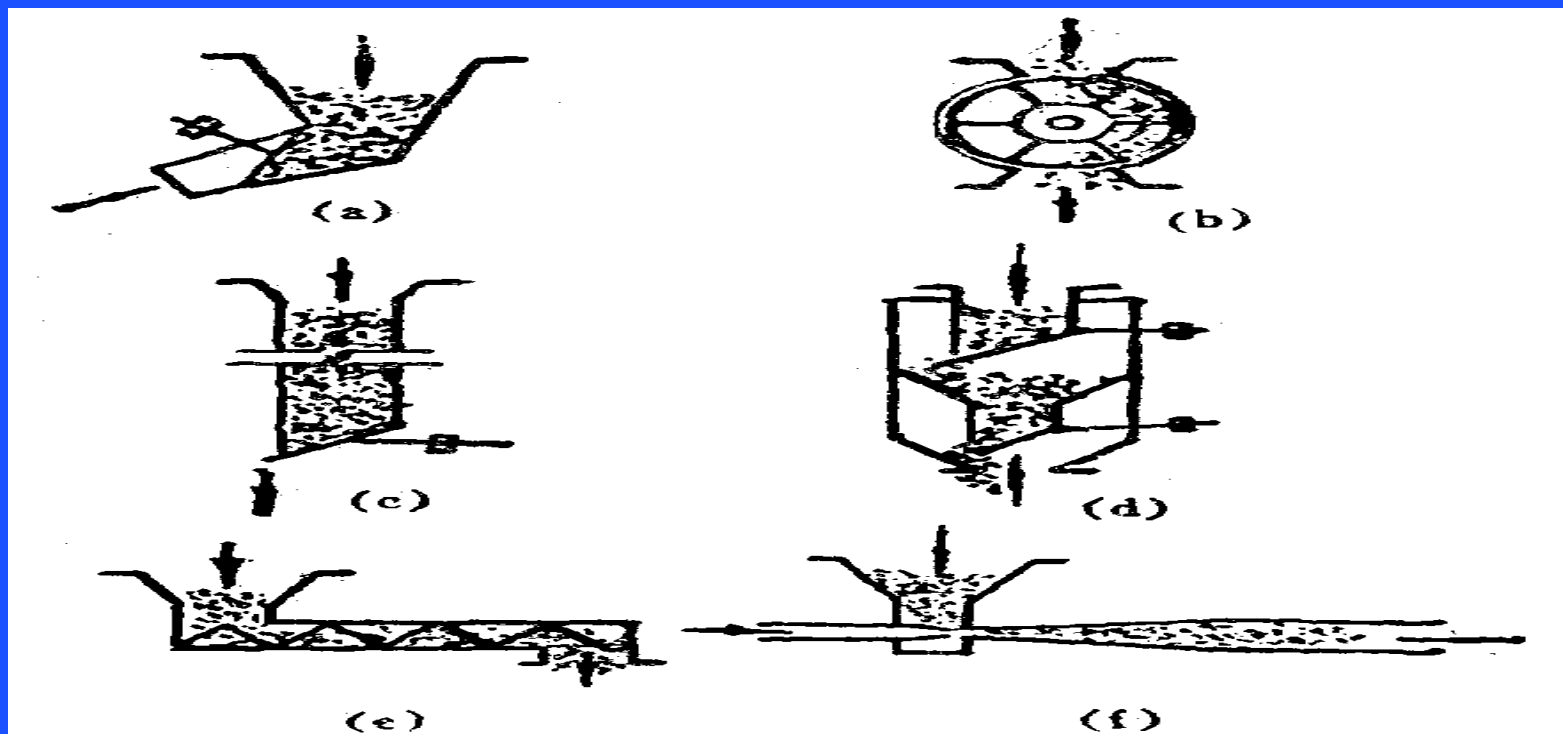
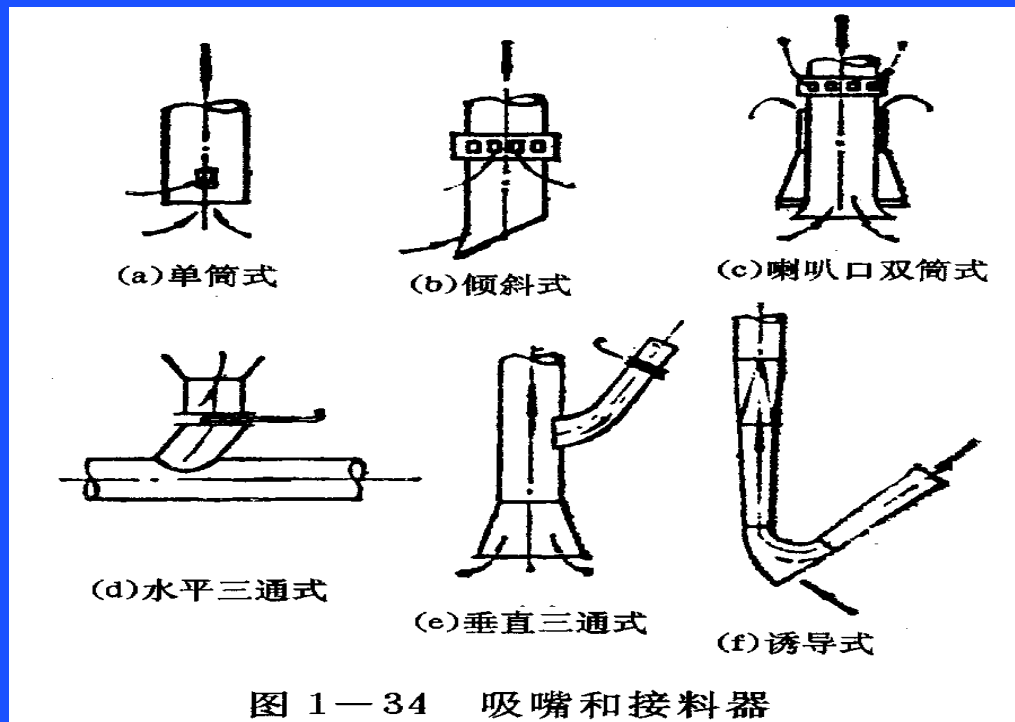
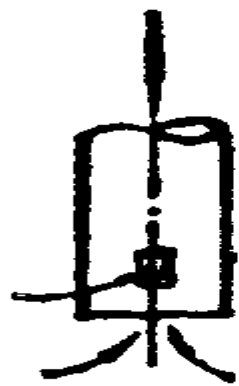


图 1—32 供料器种类

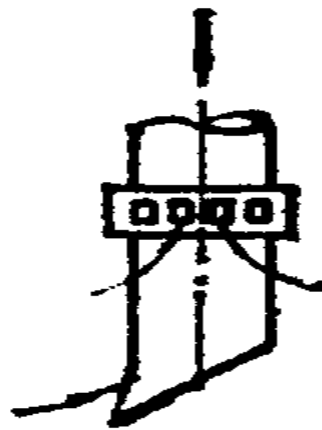
(a) 闸板式 (b) 旋转式 (c) 料封压力门式
(d) 双重排料阀式 (e) 螺旋式 (f) 喷射式

- (4) 螺旋式供料器：结构原理同螺旋输送机
- 供料量： $G=15\pi(D^2-d^2)Sn\phi\rho$ （公斤/时）
- (5) 吸嘴：有单筒吸嘴和双筒吸嘴
- (6) 三通式接料器：有水平三通式、直立式三通式
- (7) 诱导式接料器：使用于低压系统，料气混合好，阻力小





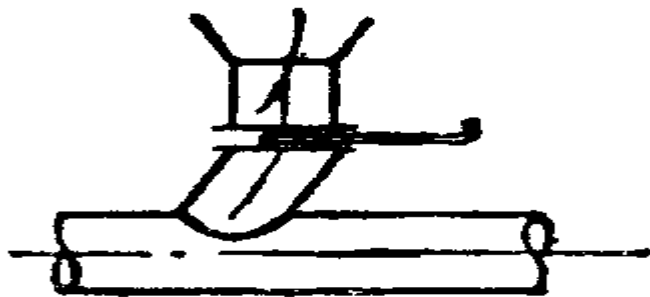
(a) 单筒式



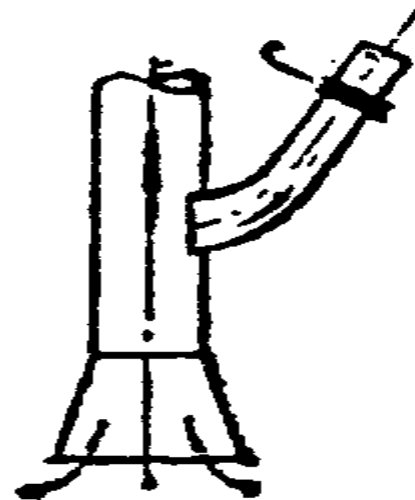
(b) 倾斜式



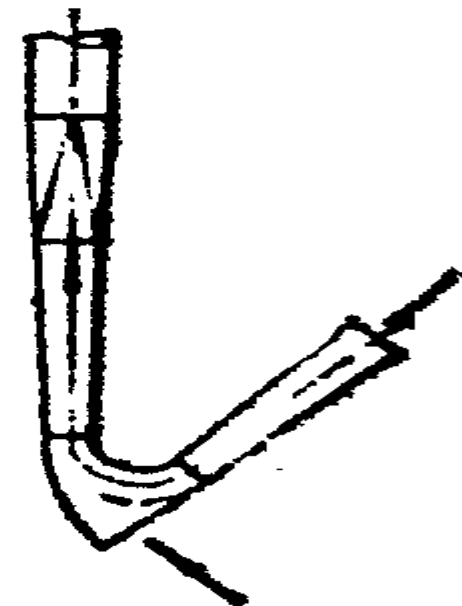
(c) 喇叭口双筒式



(d) 水平三通式



(e) 垂直三通式



(f) 诱导式

图 1—34 吸嘴和接料器

气力输送系统组成

- 2、输送管道及管件：用于提升物料和组成网络。

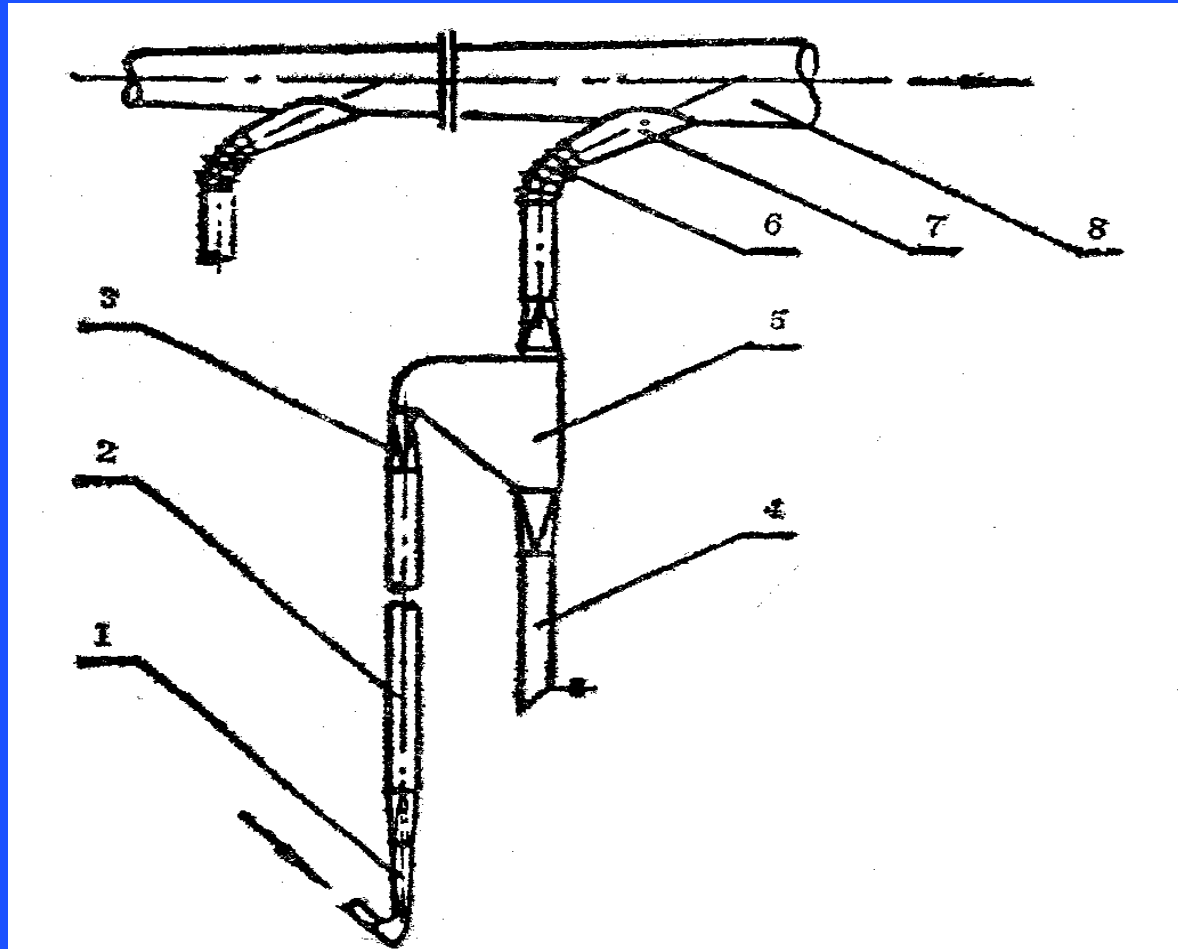


图 1—35 输料管及管件

1—接料器 2—输料管 3—变形接管 4—料封压力门
5—卸料器 6—弯头 7—三通 8—汇集风管

三、气力输送系统组成

- 3、卸料器：用于分离空气和物料
- (1) 重力式卸料器：有三角箱、容积式等
- 三角箱卸料器：
- 特点是结构简单，分离效果好，体积大，适合分离不易破碎的物料。

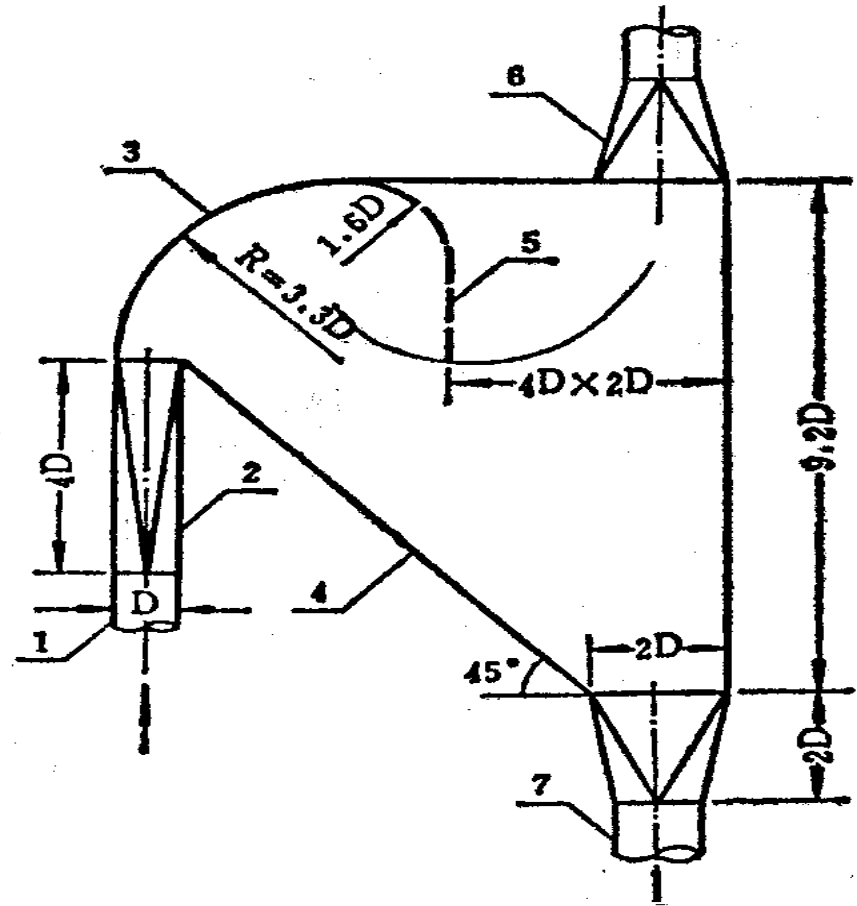


图 1—36 三角箱卸料器

1—输送管 2—渐扩管 3—活动顶盖 4—沉降箱
弧形挡板 6—出风口 7—排料口

气力输送系统组成

- 容积式卸料器：
- 通过料器容积的突变，而使物料受重力作用从两相流中沉降分离出来。
- 结构简单，性能稳定，不适宜粉状物料。

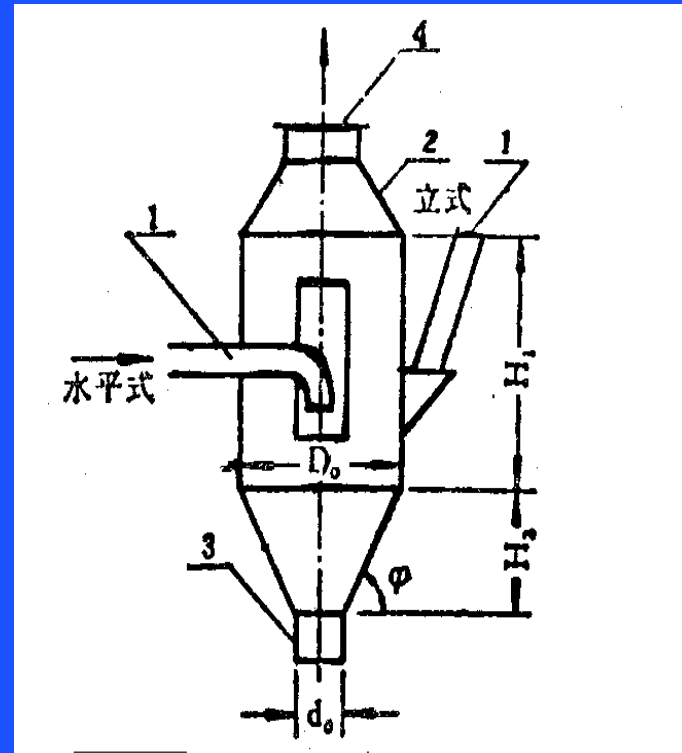


图 1—37 容积式卸料器

1—料、气进口 2—沉降箱 3—排料口

4—净空气出口

气力输送系统组成

- (2) 惯性卸料器:
- 又叫大弯头卸料器, 借助惯性力使物料分离, 设备高度小, 跨度大, 有利于设备之间的连接, 适用于粒状物料。

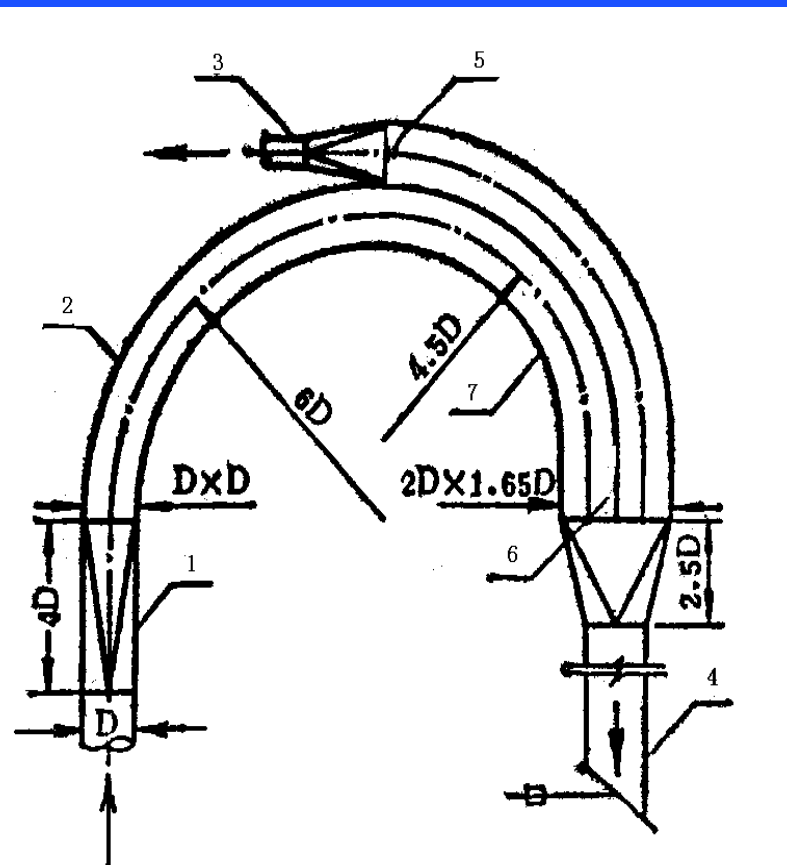


图 1-38 大弯头卸料器

- 1—渐扩管 2—矩形弯头 3—出风口 4—压力门
5—调风阀 6—调节板 7—集料管

气力输送系统组成

- (3) 离心式卸料器：又称旋风分离器，利用两相流旋转时离心力的作用使料气分离。

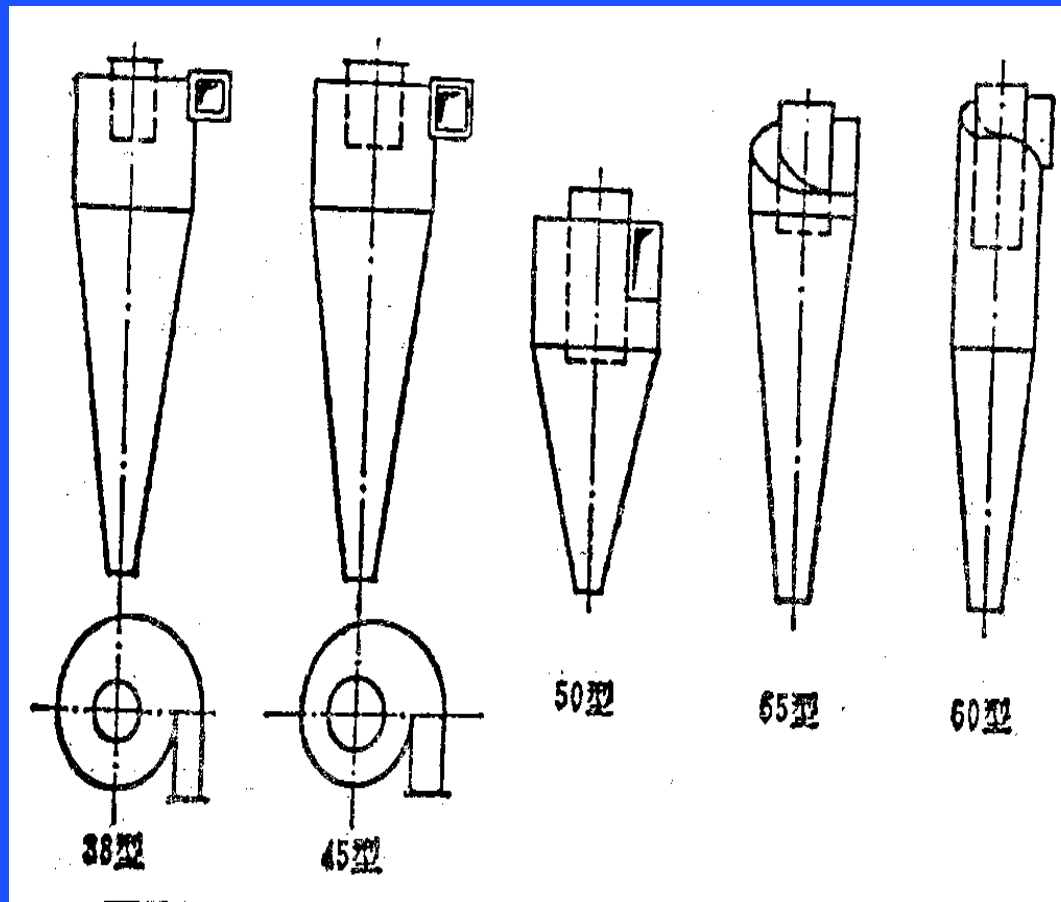


图 1-39 离心式卸料器

气力输送系统组成

- 4、除尘器：
- (1) 离心式除尘器：
- 提高除尘途径：
 - 提高进口风速，常用 $12\sim 20\text{ m/s}$ ；
 - 增加气流旋转圈数（增加筒体高度）；
 - 缩小筒体直径和出风管直径。

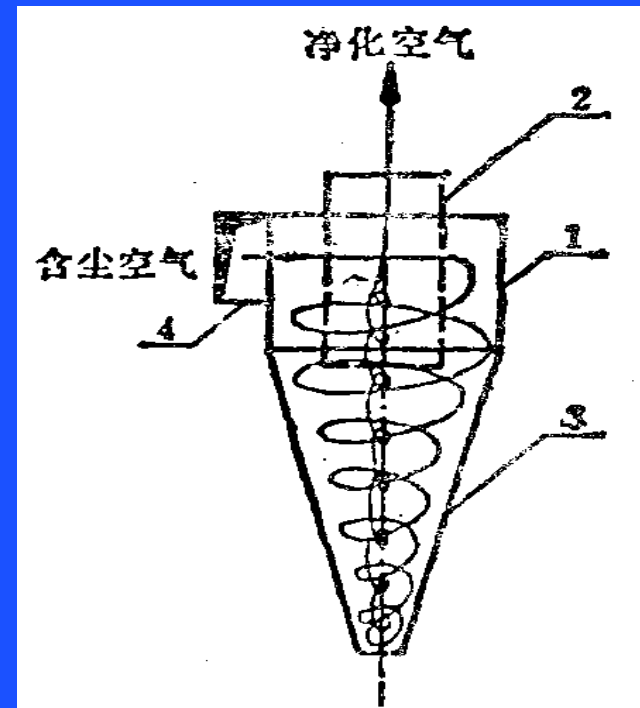


图 1—40 旋风分离器
工作原理意图

袋式除尘器

- (2) 袋式除尘器：有压气式布袋除尘器， 吸气式布袋除尘器

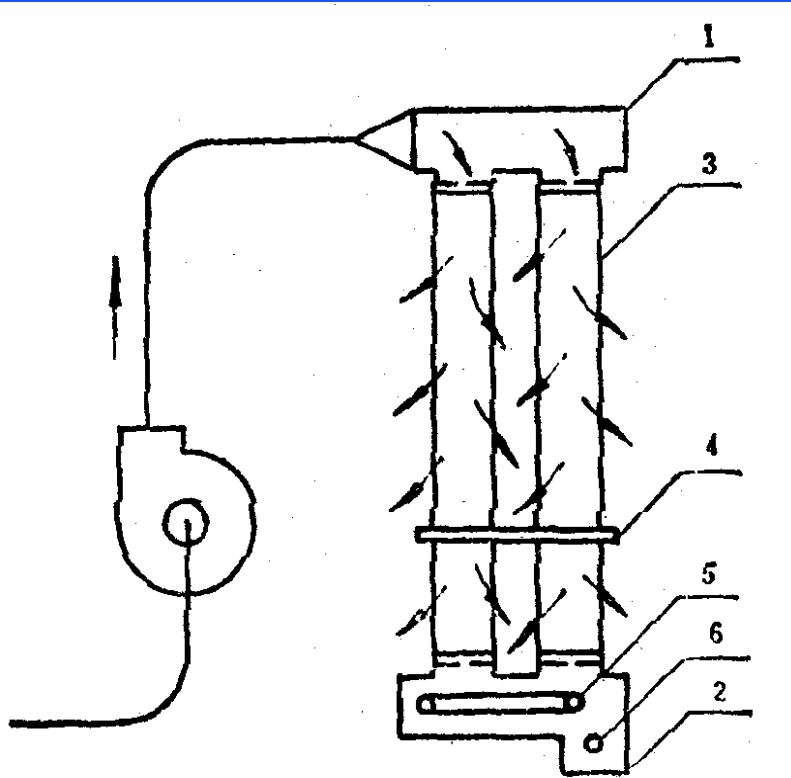


图 1—41 压气式布袋除尘器示意图
 1—上箱 2—下箱 3—布袋 4—清理机构 5—刮板
 输送机 6—汇集绞龙

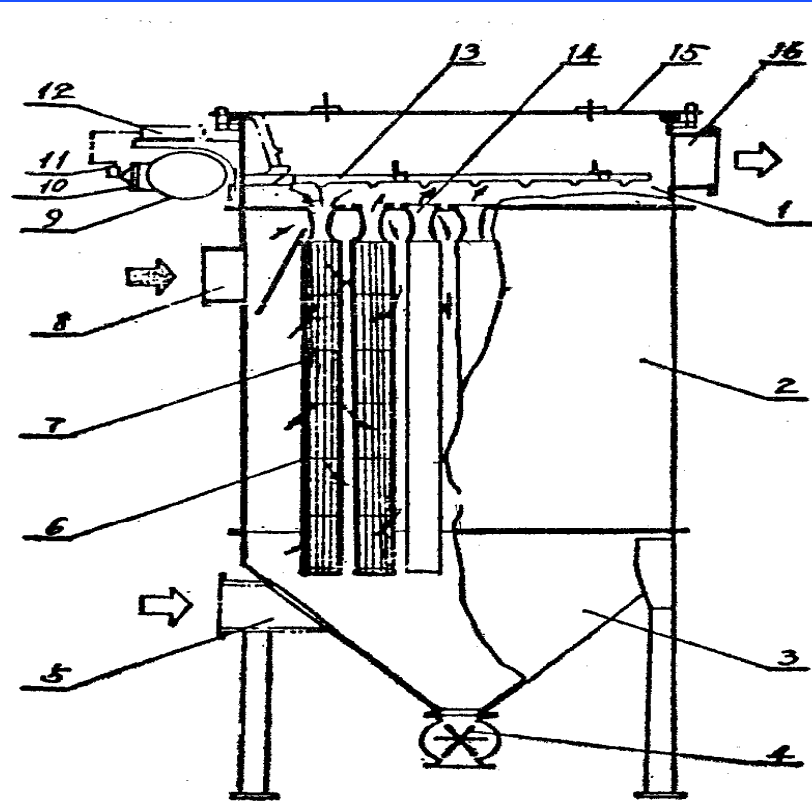


图 1—42 脉冲式布袋除尘器
 1—上箱体 2—中箱体 3—下箱体 4—排灰阀
 5—下进气口 6—滤袋框架 7—滤袋 8—上进
 气口 9—气包 10—嵌入式脉冲阀 11—控制阀
 12—脉冲控制仪 13—喷吹管 14—文氏管
 15—顶盖 16—排气口

吸气式布袋除尘器

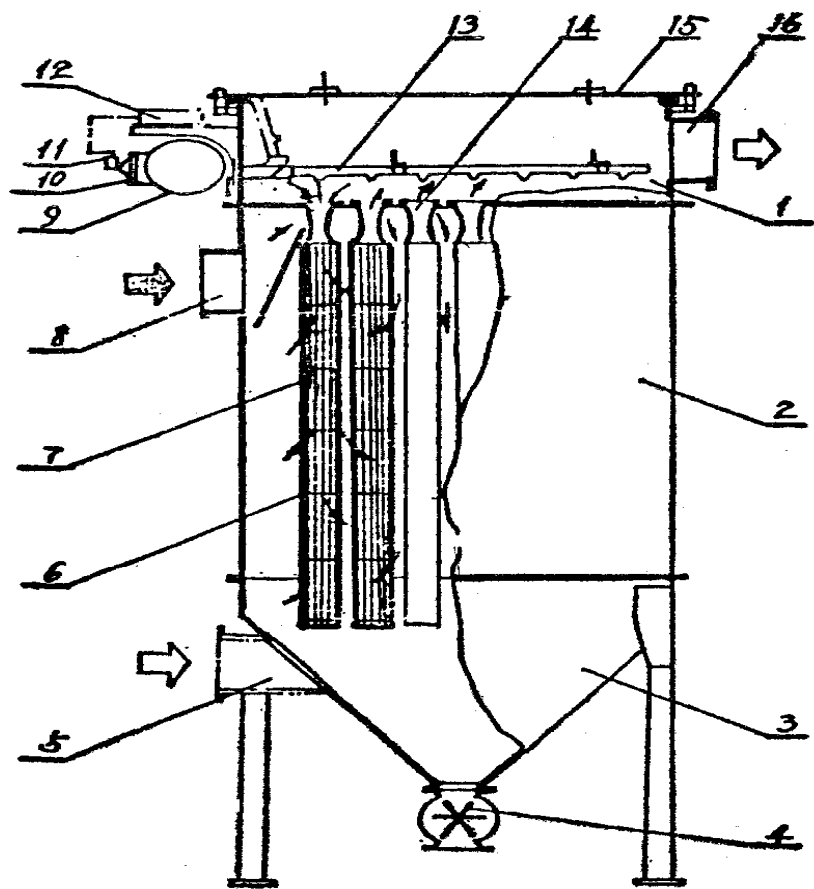


图 1—42 脉冲式布袋除尘器

- 1—上箱体 2—中箱体 3—下箱体 4—排灰阀
 5—下进气口 6—滤袋框架 7—滤袋 8—上进气口
 9—气包 10—嵌入式脉冲阀 11—控制阀
 12—脉冲控制仪 13—喷吹管 14—文氏管
 15—顶盖 16—排气口

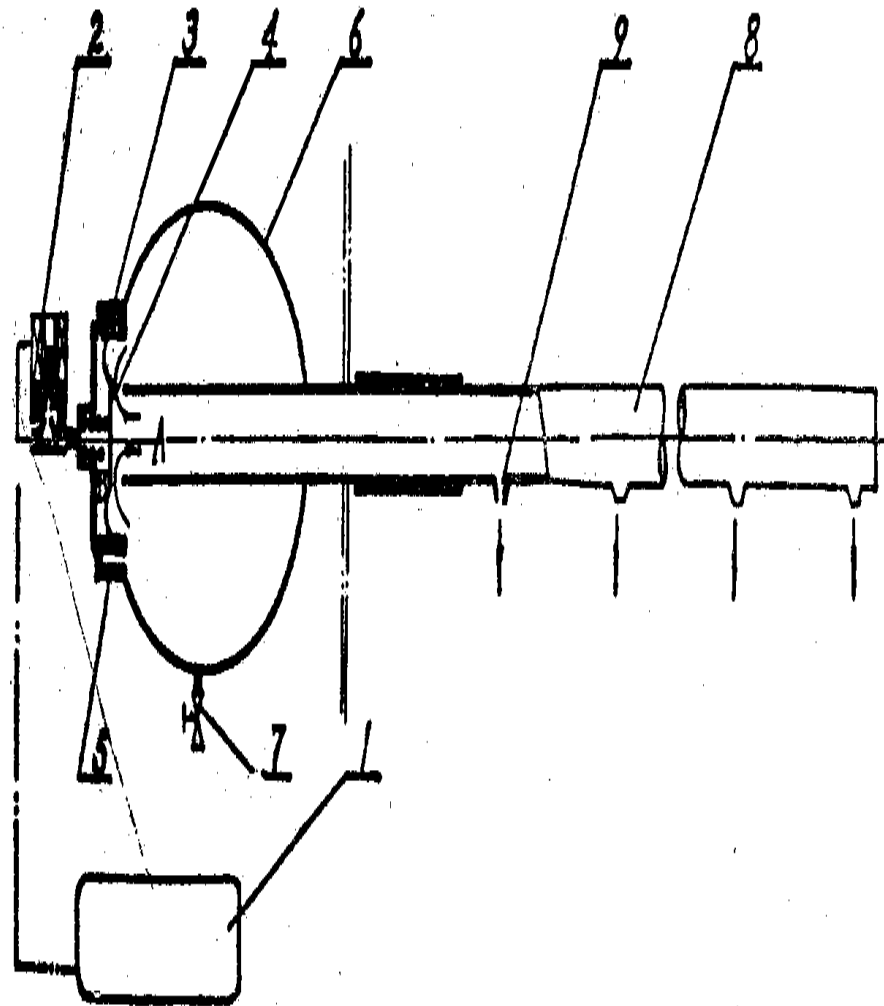
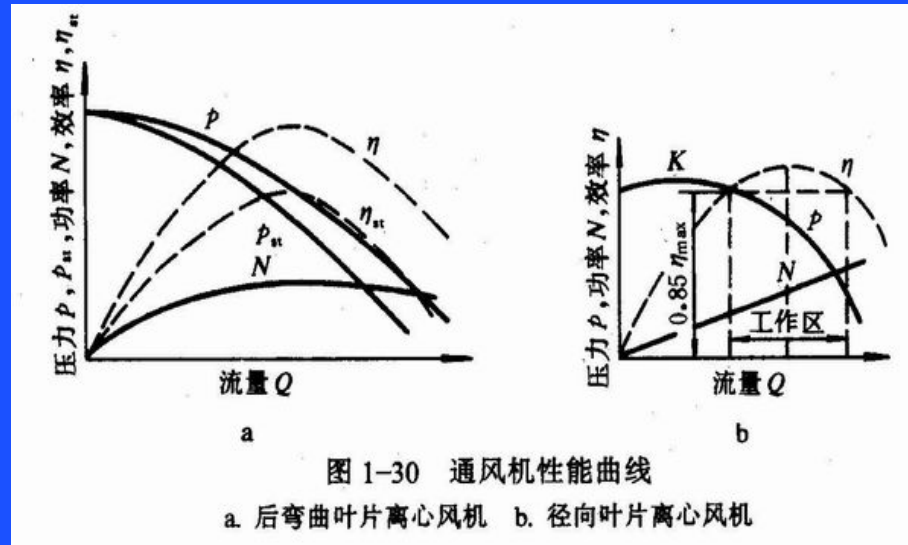


图 1—43 脉冲式布袋除尘器的喷吹系统

- 5. 风机
- 分类：根据结构分 轴流风机、离心式风机。
- 根据排气压力分 高压（3~15kPa）、中压（1~3kPa）、
- 低压（小于 1kPa）
- 主要性能参数：流量、压力、转速、功率、效率。
- 性能曲线是在规定的条件下测得的压力、功率、效率与流量之间的关系曲线。



- 网络的阻力H

$$H=R Q^2$$

- 式中 R—网络的阻力系数； Q—网络的气流流量。

风机性能指标

• 流量

① 质量流量： q_m ，单位时间内流经通风机气体的质量，单位： kg/s 。

② 容积流量： q_v ，单位时间内流经风机进口法兰处的气体容积。常用单位有： m^3/s 、 m^3/min 、 m^3/h 。

压力

风机压力是指气体在通风机内的压力升高值，或者说是风机进出口处气体压力之差。单位为Pa，有动压、静压、全压之分。

① 风机压力：风机出口滞止压力和风机进口滞止压力之差，也就是单位容积气体通过风机以后获得的总能量

③. 风机静压：风机压力减去用马赫系数修正的通风机动压。

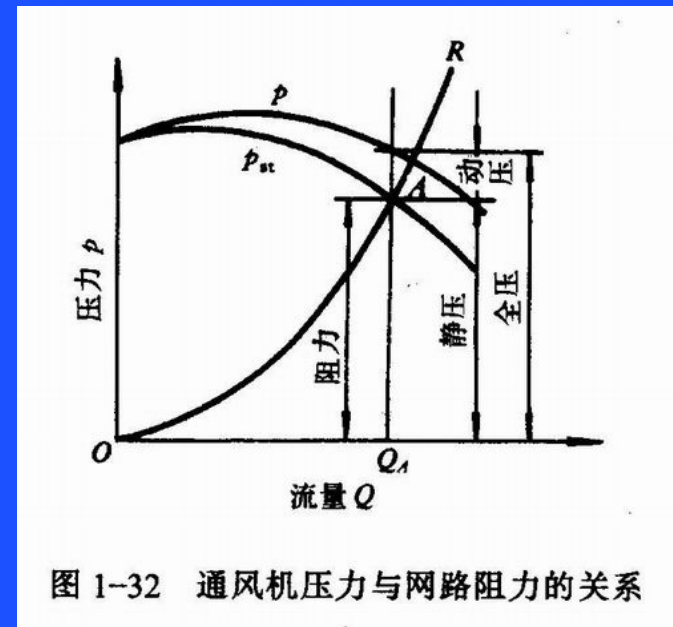
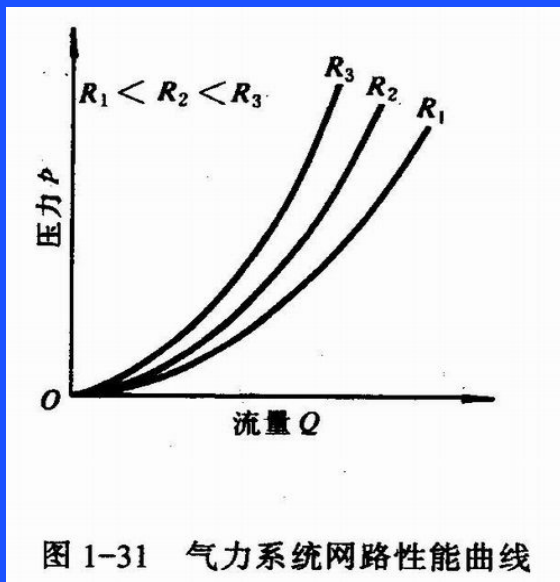
功率

- ①风机单位质量功：通过风机的单位质量流体能量的增加。
- ②风机单位质量静功：通过风机的单位质量流体静压能量的增加。
- ③风机空气功率：质量流量与风机单位质量功的乘积，或进口容积流量、压缩性修正系数 k_P 和风机压力的乘积。
- ④风机静空气功率：质量流量与风机单位质量静功的乘积，或进口容积流量、压缩性修正系数 k_{Ps} 和风机静压的乘积
- ⑤叶轮功率：供给风机叶轮的机械功率。
- ⑥风机轴功率：供给风机轴的机械功率。
- ⑦电机输出功率：电机或其他原动机的输出轴功率。
- ⑧电机的输入功率：电机驱动装置端子上供给的电功率。

效率

- ①风机叶轮效率：风机空气功率与除以叶轮功率。
- ②风机叶轮静效率：风机静空气功率与除以叶轮功率。
- ③风机轴效率：风机空气功率与除以风机轴功率。
- ④风机电机效率：风机空气功率与除以电机输出功率。
- ⑤总效率：风机空气功率与除以电机输入功率。

- 风机的调整有以下几种方法：
- (1) 改变转速
- 因风量与转速成正比。这种调节方法虽无附加的压力损失，但需要有一变速装置，调节范围不大。
- (2) 节流装置调节
- 采用节流装置调节时，风机的全压除用于克服网路阻力外，还有一部分用于克服节流装置的阻力。这种调节方法最简单，应用普遍。
- (3) 更换风机。
- 调节幅度大。



- 通风机所需的轴功率按下式计算：

$$N = \frac{pQ}{1000\eta} \quad (\text{kW})$$

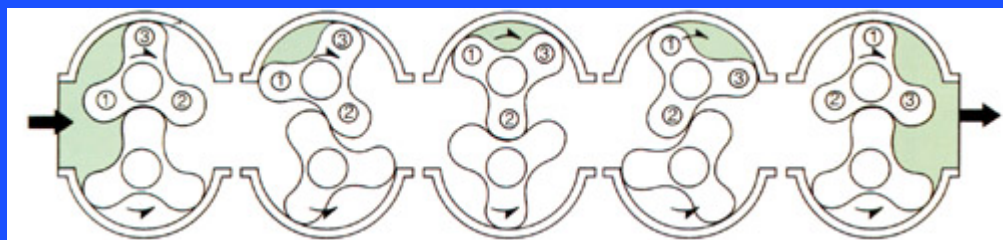
- 式中 N—通风机轴功率（kW）；
- p—通风机全压；
- Q—通风机流量（m³/s）；
- η—通风机全压效率；

- 电动机所需功率

$$N_e = \frac{K_i N}{\eta_i} \quad (\text{kW})$$

- 式中 K_i—电动机功率储备系数，当N < 0.5 kW时，K_i = 1.5，当N > 0.5 kW时，K_i = 1.1；
- η_i—机械传动效率。

罗茨风机

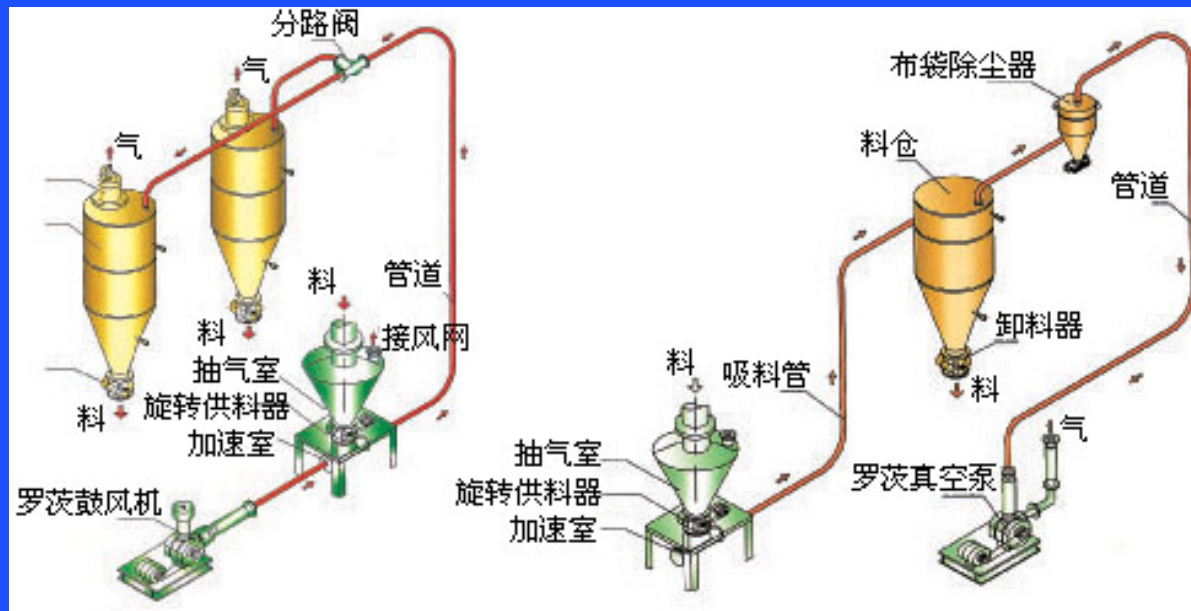


- 工作原理：容积式风机，输送的风量与转数成比例，三叶型叶轮每转动一次，由2个叶轮进行3次吸、排气。
- 在2根平相行的轴上设有2个三叶型叶轮，轮与椭圆形机箱内孔面及各叶轮三者之间始终保持微小的间隙，由于叶轮互为反方向匀速旋转，使箱体和叶轮所包围着的一定量的气体由吸入的一侧输送到排出的一侧。
- 各支叶轮始终由同步齿轮保持正确的相位，不会出现互相碰触现象，因而可以高速化，不需要内部润滑。

罗茨风机

- 罗茨风机的特性
- 风机振动小，噪声低。
- 叶轮和轴为整体结构且叶轮无磨损，风机性能持久不变，可以长期连续运转。
- 风机容积利用率大，容积效率高，且结构紧凑，安装方式灵活多变。
- 风机油封选用氟橡胶材料，耐高温，耐磨，使用寿命长。
- 机种齐全。

气力输送

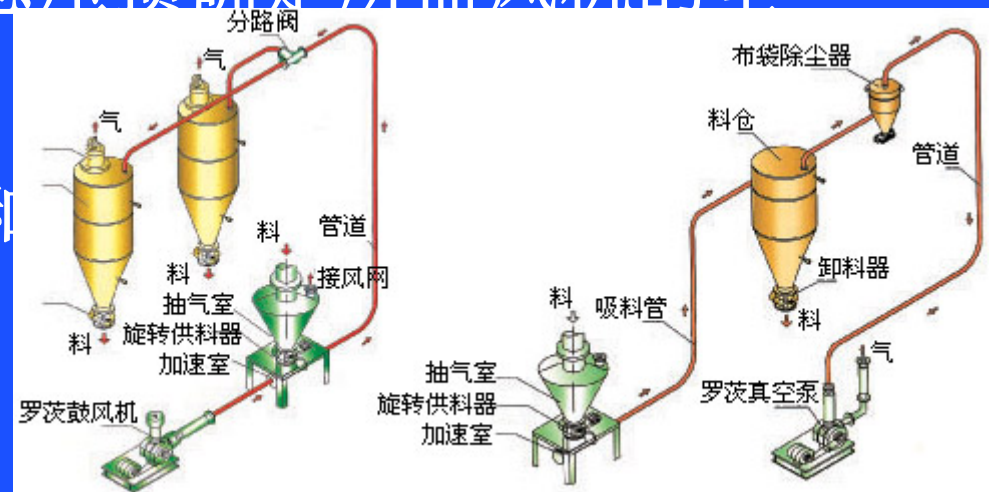


（三）气力输送的一般设计计算：

- 设计程序
 1. 调查研究：了解物料的性状、输送线路、距离等条件。
 2. 确定输送方式和输送能力。
 3. 确定系统中主要部件的类型，绘制网路布置示意图。
 4. 确定各输送管道的计算输送量和输送浓度比。
 5. 确定各输送管道的气流速度，按照各管道内不同性质的物料采用适当的气流速度。
 6. 计算各管道的输送空气量及系统总空气量。

气力输送的一般设计计算：

- 7. 确定各管道内径，垂直高度，水平长度及弯头的数量，弯角，管路的结构和路线。
- 8. 确定三通，分叉管，汇集管及排风管，风帽等的形式，尺寸和数量。
- 9. 确定系统的压力损失，使各管阻力大致平衡。
- 10. 根据系统的总风量和总压损确定所需风机的型式和容量。
- 11. 确定所需电机的型号和



- 2. 设计计算方法

- (1) 输送量与混合比 如已知1天的平均输送量 G_d , 则小时输送量为

$$G = K_a K_b \frac{G_d}{T} \quad (t / h)$$

- 式中 T—每日工作时数;
- K_a —物料发送不均匀系数, 采用供料器时 $K_a = 1.15$;
- K_b —考虑远景发展系数, $K_b = 1.0 \sim 1.25$ 。
- 混合比 m 系单位时间内输送物料的重量与所需空气重量之比。一般选取范围见表1-4, 1-5。

表1-4 混合比一般选取范围

输送方式		混合比 m
吸送式	低真空	1~10
	高真空	10~50
压送式	低压	1~10
	高压	10~40
	流态化压送	40~80

表1-5 粮食加工常用物料的混合比

被运物料	混合比	被运物料	混合比
各种原粮(低真空)	3~10	面粉厂运送谷物及磨碎料	0.3~7
各种粉料(低真空)	0.3~4	麸皮及下脚料	0.1~0.5
各种原粮(高真空)	>25	由船仓中吸卸谷物	≤40

- (2) 物料颗粒在输料管中的运动速度 v_s ：
- 垂直输料管内(气流速度与悬浮速度之差)
- $$V_s = v_a - v_t \quad (\text{m/s})$$
- 垂直加速段的颗粒速度 v_s' 可按图 1-34查得。
- 图中 $m_1 = 2gh/v_s^2$ ， h 为垂直加速段高度 (m), g 为重力加速度 (m/s^2)。
- 水平加速段的颗粒速度 v_s 可按图1-35查得。
- 图中 $m_2 = 2gL/v_s^2$ ， L 为水平加速段长度 (m)。 水平输料管内一般 $v_s = (0.70 \sim 0.85) v_a$ 。

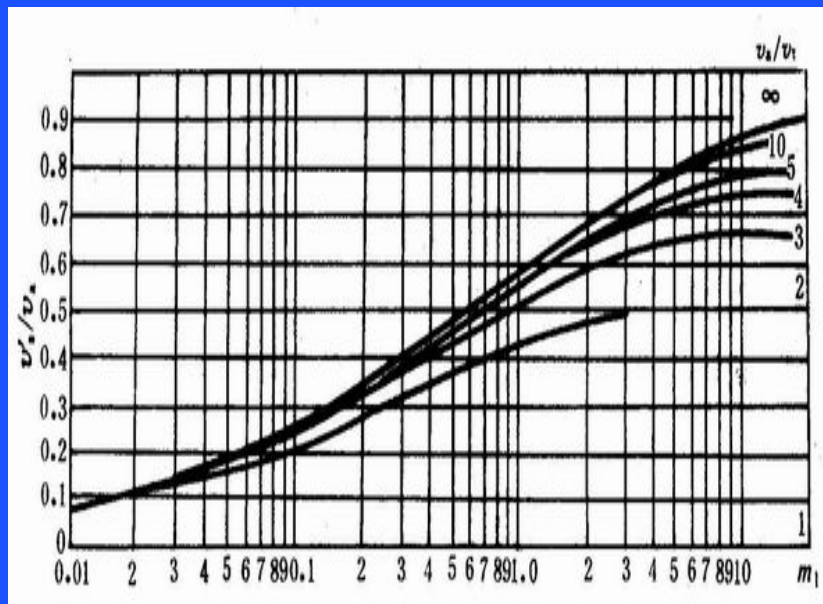


图1-34 垂直加速段 v_s'/v_a 与 m_1 的关系曲线

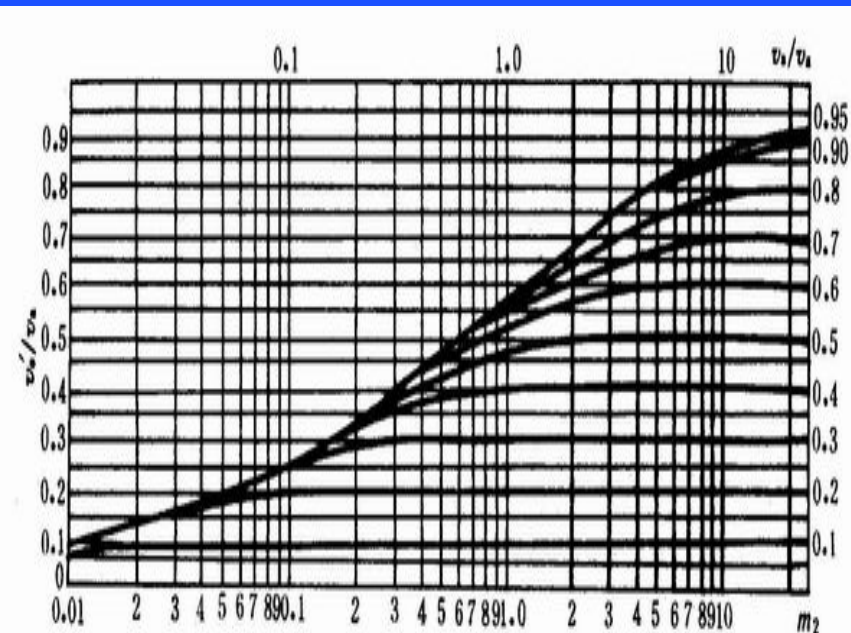


图1-35 水平加速段 v_s'/v_a 与 m_2 的关系曲线

- (3) 气力输送压力损失计算

- ① 纯气流在管网中产生的压力损失为

- $\Delta p_a = \Delta p_{a1} + \Delta p_{a2}$
- 式中 Δp_{a1} —— 直管的沿程阻力损失；
- Δp_{a2} —— 管件的局部压力损失。

- 第一，直管沿程摩擦压力损失 Δp_{a1} ：
- 气流在直管道中的压力损失，在低真空吸送及压送时可近似作为等容过程计算：

$$\Delta p_{a1} = \lambda_a \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho_a v_a^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

式中 v_a —— 管内气流速度 (m/s) ；

λ_a —— 纯气流摩擦阻力系数，可取 0.02 ~ 0.04 ；

L —— 管道长度 (m) ；

D —— 圆管内径 (m) ；

ρ_a —— 纯气体密度 (kg/m³) 。

- 第二，管件局部压力损失 Δp_{a2}

$$\Delta p_2 = \zeta_a \frac{\rho_a v_a^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

- 式中 ζ_a —纯气流通过渐缩或渐扩过渡管、三通管、集风管、同等附属管件的损失系数。 ζ_a 可从有关手册中查得。

- ②气力输送系统管网的压力损失 ΔP_s 。

- 二相流的压力损失为

- $$\Delta P_s = \Delta P_{s1} + \Delta P_{s2} + \Delta P_{s3} + \Delta P_{s4} + \Delta P_{s5} + \Delta P_{s6}。$$

- 沿程压力损失 ΔP_{s1} 、弯管压力损失 ΔP_{s2} 、

- 局部压力损失 ΔP_{s3} 、加速压力损失 ΔP_{s4} 、

- 提升损失 ΔP_{s5}

- 各种分离器、除尘器等压力损失 ΔP_{s6} 。

- 第一，直管沿程压力损失：低真空或低压输送装置

$$\Delta P_{s1} = \lambda_s \frac{L}{D} \bullet \frac{\rho_a v_a^2}{2} \quad (\text{Pa})$$
$$\lambda_s = \lambda_a (1 + mK_1)$$

- 式中 m ——物料混合比；
- λ_a ——纯气流摩擦阻力系数；
- λ_s ——二相流摩擦阻力系数。

- K_1 随输送管直径及颗粒直径的增大而增大，水平输送管较垂直输送管的 K_1 为大，随输送速度的增大而减小。当物料在输送管道中处于均匀悬浮状态时， K_1 为常数。 K_1 与混合比 m 无关。
- 图 1-36 为输送小麦时与弗鲁特数之间的关系。
- 对于其它物料，如无实验数据，可按下列式概算：

$$K_1 = 81 \frac{gD}{v_a^2} \cdot \frac{\rho_s}{\sqrt{c}}$$

- 式中 ρ_s —— 物料密度 (t/m^3)；
- c —— 颗粒阻力系数，对形状不规则物料， $c = c_d \phi$ ；
- c_d —— 当量圆球粒的阻力系数，0.2~0.4；
- ϕ —— 颗粒形状系数（表1-7）。

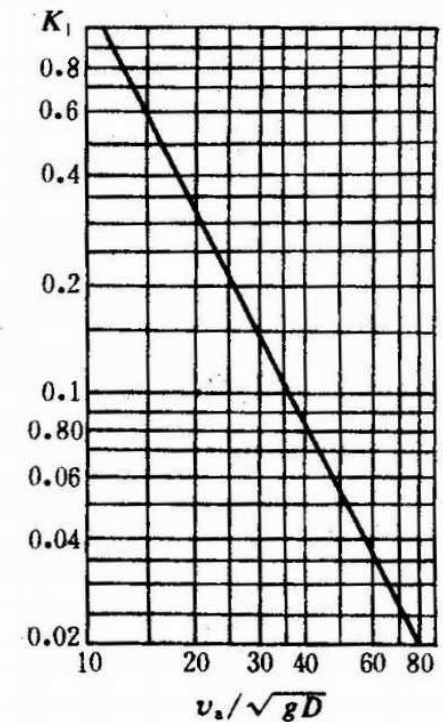


图 1-36 输送小麦时， K_1 值与弗鲁特数 $\left(\frac{v_a}{\sqrt{gD}}\right)$ 之间的关系

- 第二, 弯管的压力损失:

$$\Delta P_{s2} = \zeta_{\omega} \frac{\rho_a v_a^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

- 式中 ζ_{ω} —— 二相流弯管阻力系数。
- $\zeta_{\omega} = \zeta_a (1 + mK_2)$
- 式中 ζ_a —— 纯气流弯管阻力系数。可由图1-37、图1-38查得;
- 第三, 局部压力损失: 同纯气流局部压力损失。
- 第四, 加速压力损失: 物料颗粒加速到稳定运动状态的压力损失

$$\Delta P_{s4} = \zeta_s G_s \frac{\rho_a v_a^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

式中 $\zeta_s = \left(1 + m \frac{v_s^2}{v_a^2}\right)$ —— 加速压损系数

G_s —— 每秒输送物料量 (kg/s)

- v_s —— 物料在稳定运动状态的速度, 对于垂直输送料管, $v_s = v_a - v_t$; 对于水平输送管 $v_s = (0.7 \sim 0.85) v_a$, v_t 为物料的悬浮速度。

- 第五，提升压力损失：在垂直输料管中提升物料时，克服重力所产生的压力损失

$$\Delta P_{s5} = 9.8m\rho_a h \frac{v_a}{v_s'} \quad (\text{Pa})$$

- 式中 h —垂直提升高度 (m)。
- 当垂直管高度 $h > 10\text{m}$ 时， $v_s' = v_a - v_t$ ；
- 当 $h < 10\text{m}$ 时，则采用 v_s' ，由计算的 m_1 值 ($m_1 = 2gh/v_s^2$) 并由图1—34或图1—35查得 v_s'/v_a 值代入上式求得 ΔP_{s5} 。
- 第六，工作部件压力损失：各种接料器、卸料器、除尘器等的压力损失 ΔP_{s6} ，可参考有关手册。

例：已知某输送小麦的吸送式双管气力输送网路，输料量 $G = 32\text{t/h}$ ，垂直输送高度 $h = 14\text{m}$ ，接料器阻力系数 $\zeta = 0.5$ 。

设计计算：

取混合比 $m = 5$ ，输送气流速度 $v_a = 22\text{m/s}$ 则需空气量

$$Q_0 = \frac{G}{\rho_a m} = \frac{32000}{1.2 \times 5} = 5330 (\text{m}^3/\text{h}) = 1.48\text{m}^3/\text{s}$$

因采用双管系统，故 $Q_1 = Q_2 = 2665\text{m}^3/\text{h} = 0.74\text{m}^3/\text{s}$

$$\text{输料管直径 } D = \sqrt{\frac{4Q_1}{\pi v_a}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.74}{3.1416 \times 22}} = 0.207 (\text{m})$$

$$\text{输送气流动压 } H_d = \frac{\rho_a v_a^2}{2} = \frac{1.2 \times 22^2}{2} = 290 (\text{Pa})$$

$$\text{实际混合比 } m = \frac{16000}{1.2 \times 2665} = 5.01$$

① 管道沿程的压力损失

$$\Delta p_{s1} = \lambda_s \frac{L}{D} H_d (\text{Pa})$$

因 $\lambda_s = \lambda_a(1 + mK_1)$ ，取 $\lambda_a = 0.025$ 并由图 1-36 查得 $K_1 = 0.6$ 故 $\lambda_s = 0.025(1 + 5.01 \times 0.6) = 0.1$

$$\text{则 } \Delta p_{s1} = 0.1 \times \frac{14}{0.207} \times 290 = 1961 (\text{Pa})$$

② 弯头的压力损失

每个输料管有 90° 弯头 1 个, 设 $R \cdot d = 4$

$$\Delta p_{s2} = \zeta_w H_d,$$

$$\zeta_w = \zeta_a (1 + mK_2), \text{ 由有关手册查得 } \zeta_a = 0.23,$$

由图 1-37 查得 $K_2 = 1.68$ 故 $\zeta_w = 0.23(1 + 5.01 \times 1.68) = 2.17$

则
$$\Delta p_{s2} = 2.17 \times 290 = 628 \text{ (Pa)}$$

③ 局部压力损失 局部压力损失由接料器、卸料器、汇集管等组成:

$$\Delta p_{\text{接}} = \zeta H_d = 0.5 \times 290 = 145 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{卸}} = 500 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{汇}} = 300 \text{ Pa}$$

则
$$\Delta p_{s3} = \Delta p_{\text{接}} + \Delta p_{\text{卸}} + \Delta p_{\text{汇}} = 945 \text{ Pa}$$

④ 加速压力损失

$$\Delta p_{s4} = \zeta_s G_s H_d \text{ (Pa)}$$

因
$$\zeta_s = \left(1 + m \frac{v_s^2}{v_a^2}\right), \quad v_s = v_a - v_t = 22 - 10 = 12 \text{ (m/s)}$$

故
$$\zeta_s = \left(1 + 5.01 \frac{12^2}{22^2}\right) = 2.49$$

则
$$\Delta p_{s4} = 2.49 \times 4.44 \times 290 = 3219 \text{ (Pa)}$$

⑤ 提升压力损失

$$\Delta p_{s5} = m \rho_a h \frac{v_a}{v_s'} \times 9.8 \text{ (Pa)}$$

因
$$v_a / v_t = 22 / 10 = 2.2$$

$$m_1 = 2g \frac{h}{v_s'^2} = 2 \times 9.8 \frac{14}{12^2} = 1.9$$

由图 1-34 查得 $v_s' / v_a = 0.5$

则
$$\Delta p_{s5} = 5.01 \times 1.2 \times 14 \times \frac{9.8}{0.5} = 1650 \text{ Pa}$$

输送管道总压力损失

$$\begin{aligned} \Delta p_s &= \Delta p_{s1} + \Delta p_{s2} + \Delta p_{s3} + \Delta p_{s4} + \Delta p_{s5} \\ &= 1961 + 628 + 945 + 3219 + 1650 = 8420 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

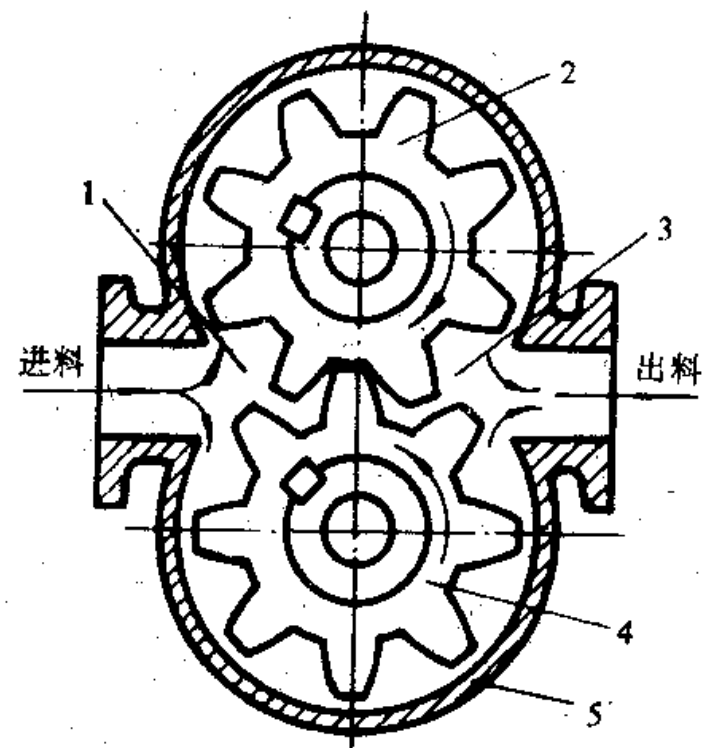
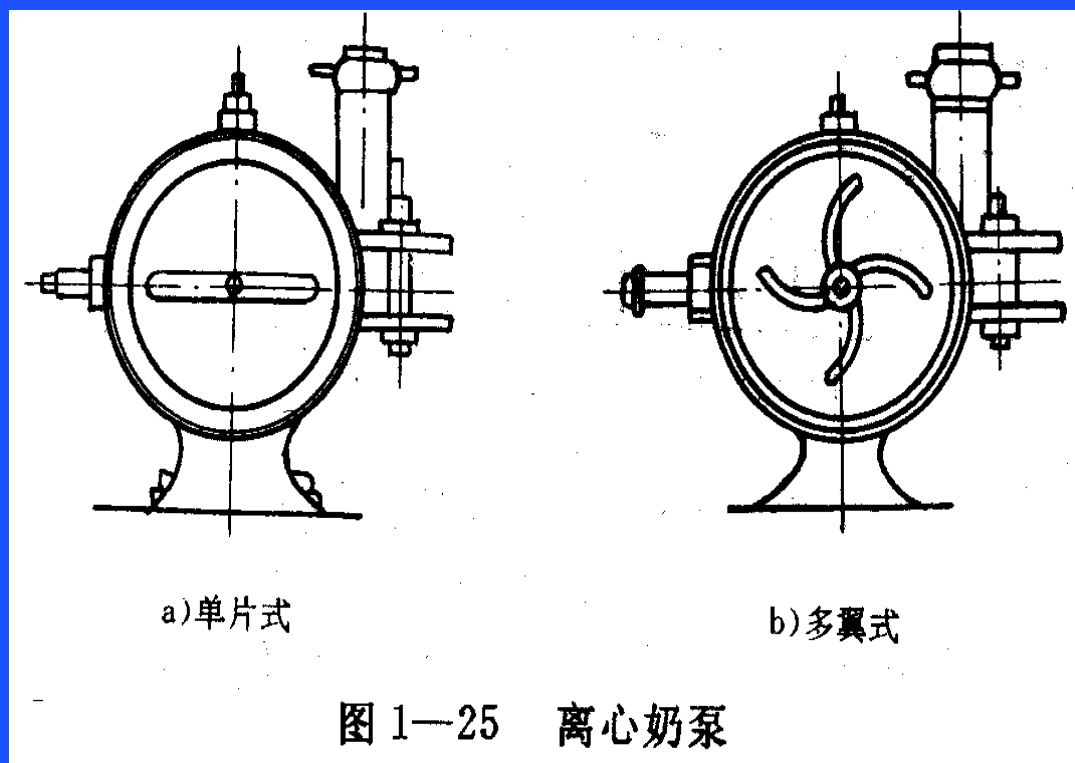
风机的全压
$$p = 1.1 \times \Delta p_s = 9262 \text{ (Pa)}$$

风量
$$Q = 1.1 Q_0 = 5863 \text{ (m}^3/\text{h)} = 1.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

查 6—23 型离心风机性能曲线, 选用 6—23—1 风机 No. 8, 其效率 $\eta = 0.815$, 转速 $n = 2360 \text{ r/min}$

电动机所需功率

第六节 泵



第六节 泵

- 一、离心泵：

实现连续地液体输送。

- 离心泵的优点：

- ①传动结构简单，一般采取二极或四极的电动机直联。
- ②液体输出量可任意调节。
- ③操作维修清洗容易。

- 离心泵的缺点：

- ①泵的安装要求低于液体贮槽出口之处或预先灌水，因为必须保证泵体内及吸液管内充满液体才能正常运行。
- ②操作不妥或设计不善时，易引起泡沫现象。

离心泵结构

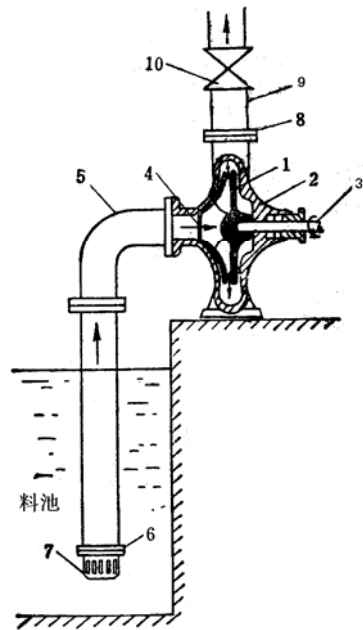


图1-39 离心泵装置简图

1—叶轮 2—泵壳 3—泵轴 4—吸入口 5—吸入管
6—底阀 7—滤网 8—排出口 9—排出管 10—调节阀

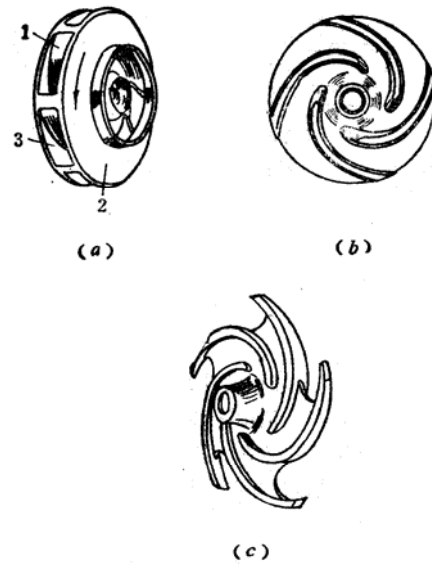


图1-40 离心泵的叶轮

(a) 闭式 (b) 半闭式 (c) 开式
(a) 单吸式 (b) 双吸式



离心泵性能

(1) $H-Q$ 曲线

(2) $N-Q$ 曲线

(3) $\eta-Q$ 曲线

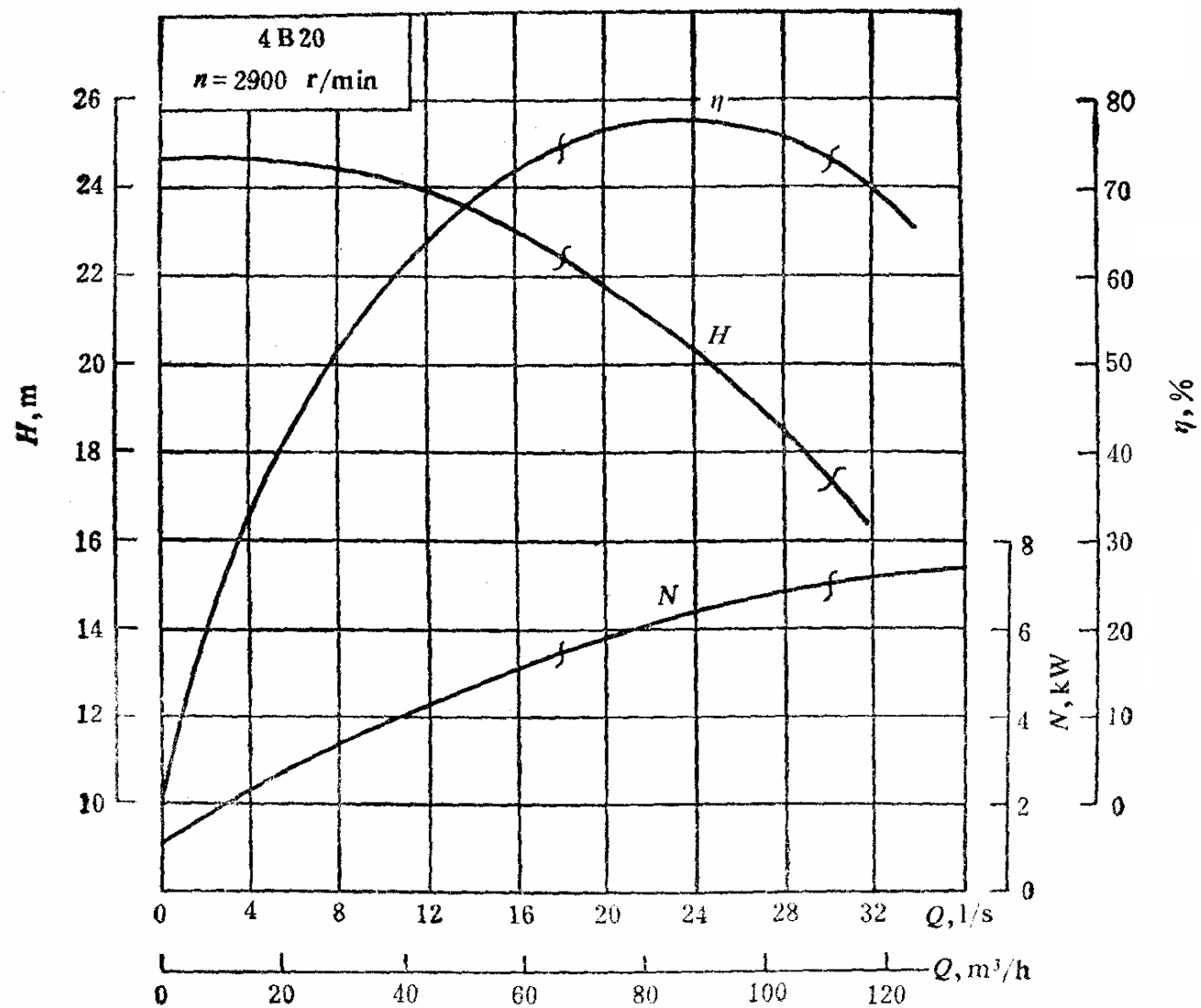


图1-42 4B20型离心水泵的特性曲线

第二节 泵

- 二、齿轮泵：主要用于输送粘稠液体
有外、内啮合泵，正齿轮泵，斜齿、人字形齿轮泵。
齿轮泵采用耐腐蚀材料如尼龙、不锈钢等制成，
结构简单、重量轻、能自吸、工作可靠，应用范围较广。
但流量及压力有脉动，且噪声大，所输送的液体必须具有润滑性。
- 三、螺杆泵：用于高黏度液体及带有固体的料液

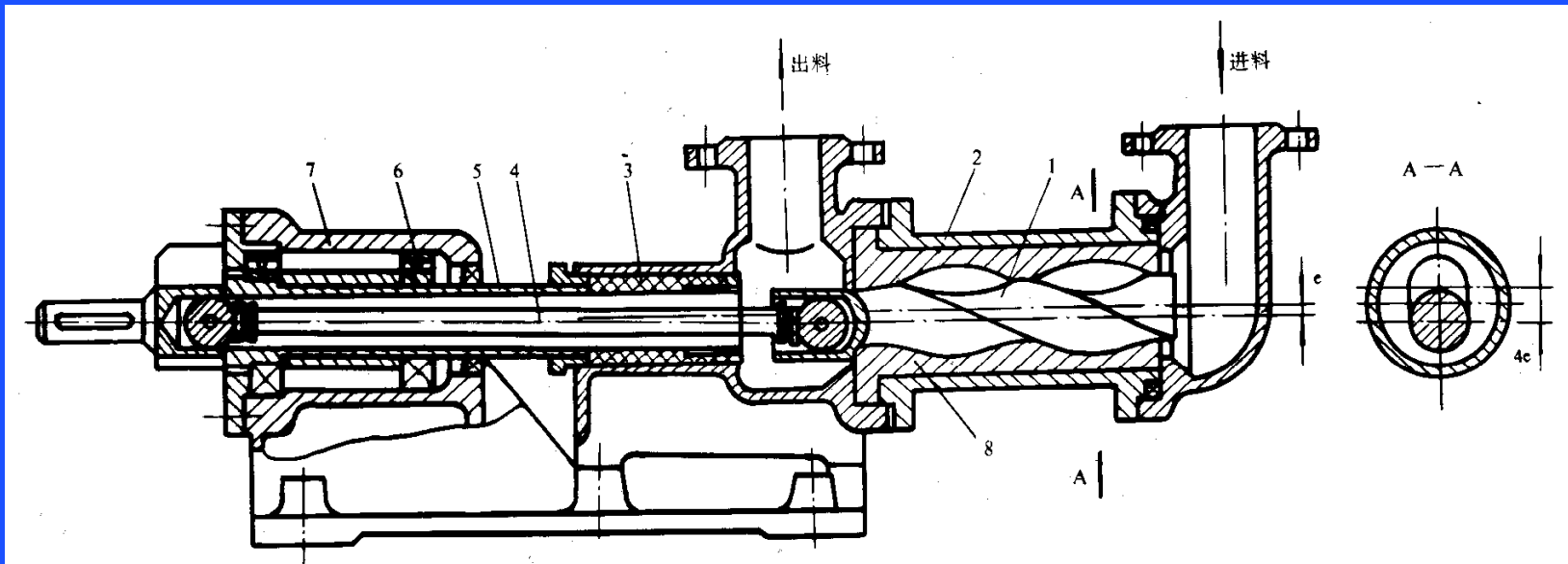


图 1—27 螺杆泵

1—螺杆 2—螺腔 3—填料函 4—平行销连杆 5—套轴 6—轴承 7—机座

螺杆每转一周其流量为

$$Q_1 = \frac{(4eD + \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi D^2}{4})t}{100^3} = \frac{4eDt}{100^3} \quad (\text{米}^3/\text{转})$$

螺杆泵每小时流量为：

$$Q = 60Q_1n\eta = \frac{neDT\eta}{4165} \quad (\text{米}^3/\text{时})$$

- 四 滑片泵：
用于肉糜输送

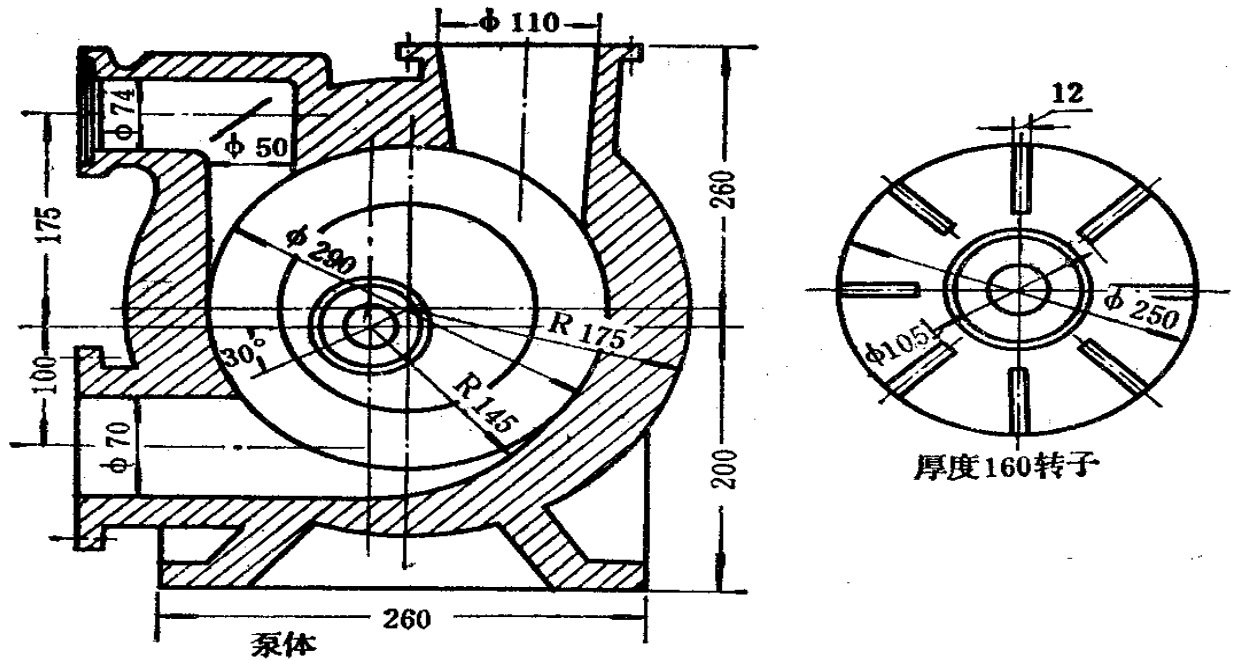


图 1—28 滑片泵的送料泵体和转子

小 结

— 斗式提升机

构造、功能、特点
卸料方式

— 气力输送装置

- 类型、特点
- 供料器、卸料器、除尘器、风机
- 类型、构造、特点
- 气力输送系统主要参数、设计计算

— 离心泵,

构造、用途、特点

— 齿轮泵,

构造、用途、特点

— 螺杆泵

构造、用途、特点

设计计算方法:

- 1、各管道风量和管径的计算:

- (1) 根据各管道的输送量确定各管道的计算物料输送量 G_s :

$$G_s = a G \quad (\text{公斤/小时})$$

- (2) 根据混合浓度比 μ_s 和物料输送量 G_s 计算各管道所需风量 Q 和管道

的直径 D

风量 $Q = G_s / \mu_s \rho$

由 $Q = 900 \pi D^2 V$

可得管径 $D = 0.0188 (Q / V)^{1/2}$

- 2、系统总风量的计算:

$$Q_{\text{总}} = \varepsilon_0 \sum Q_{1-n}$$

- 3、低压吸送管网的压力损失计算:

压力损失是由输送系统的全部压力损失 H_1 和通过除尘器等辅助系统消耗的压损 H_2 两部分组成。

(二) 设计计算方法:

- (1) H_1 的计算

$$H_1 = H_{机} + H_{接} + H_{加} + H_{摩} + H_{弯} + H_{复} + H_{升} + H_{卸}$$

- A、作业机压损 $H_{机}$

$$H_{机} = \varepsilon Q_{秒}^2$$

- B、接料器压损 $H_{接}$

$$H_{接} = \zeta V^2 \tau / 2g$$

- C、加速物料压损 $H_{加}$

$$H_{加} = (1 + \beta \mu_s) V^2 \tau / 2g$$

– 实际中常用确定的经验公式:

$$H_{加} = i G_s$$

输送谷物及其磨碎的粗料时,
输送小麦磨碎的细料时,

i —加速每吨物料的压损。

$$i_{粗} = 33000 \times V / D^2 ;$$

$$i_{细} = 35700 \times V / D^2$$

(二) 设计计算方法:

- D、摩擦压损 $H_{\text{摩}}$

$$H_{\text{摩}} = R L (1 + K \mu_s) \quad K - \text{阻力系数}$$

- E、提升压损 $H_{\text{升}}$

$$H_{\text{升}} = \rho \mu_s h$$

- F、弯头的压损 $H_{\text{弯}}$

$$H_{\text{弯}} = \xi' (1 + \mu_s) V^2 \gamma / 2g \quad \xi' - \text{弯头阻系数}$$

- G、恢复物料速度的压损 $H_{\text{复}}$

$$H_{\text{复}} = \delta H_{\text{加}} \quad \delta - \text{速度恢复系数}$$

- H、卸料器的压损 $H_{\text{卸}}$

$$H_{\text{卸}} = \xi_1 V^2 \gamma / 2g \quad \xi_1 - \text{卸料器压力损失系数}$$

- (2) H_2 的计算:

由空气通过汇集管, 连接风管和除尘器等部分阻力损失组成

$$H_2 = H_{\text{汇}} + H_{\text{管}} + H_{\text{除}}$$

$$H_{\text{汇}} + H_{\text{管}} = 30 \sim 50 \text{ (毫米汞柱)}$$

$$H_{\text{除}} \quad \text{从表1-23中查取}$$

(二) 设计计算方法:

- 全部压力损失 H :

$$H = H_1 + H_2$$

考虑计算上的偏差及其它因素的影响,

$$H_{\text{总}} = 1.1 H \quad (\text{毫米汞柱})$$

- 4、风机的选择及电机功率的计算
- (1) 风机功率 N

$$N = H_{\text{总}} Q_{\text{总}} / 367200 \eta \quad (\text{千瓦})$$

- (2) 电机功率 $N_{\text{电机}}$

$$N_{\text{电机}} = K N / \eta_{\text{传}} \quad (\text{千瓦})$$



西北农林科技大学
Northwest A&F University

食品工程原理与设备

机械与电子工程学院

农产品加工工程教研组



食品工程原理与设备

内容提要

第二章：清理、分级

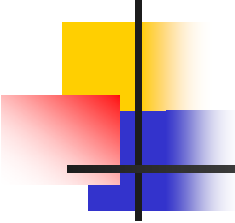
第三章：粉碎、混合与均质



农产品加工

- **农产品加工：**以农业的原始产品为原料，用物理、化学的方法以保持和提高农产品的品质或改变其形状的初级工业过程。
- **食品加工：**是农产品加工的延续，是以农产品加工的产品为原料所进行的深（精）加工。

一般认为，农产品加工是以初加工为主，以深加工为辅；食品加工主要是精加工和深加工。



农产品加工的重要性

- 农业产业结构调整
- 三农问题
- 我国物产丰富，是原材料生产大国
- 投入少，见效快



我国农产品加工机械现状

- 发展速度快，规模大。
- 发展不平衡。主要集中在粮油机械、饲料机械、畜产品等方面，而特种农产品加工机械较少。
- 配套能力差。成套产品较少。
- 技术含量低（自动化、材料、能耗、产品质量等方面）。
- 研发投入少，高技术产品主要依赖进口和仿造（检测、分级、包装等设备）。



第一节 清洗

清洗所用的机械分三类：

- ①原料清洗机械，如水果清洗机械；
- ②包装容器清洗机械，如空瓶清洗机；
- ③器皿清洗机械，如器皿清洗机等。



第一节 清洗

常用的清洗液有以下几种：

- ① **冷水**：不损伤原料的品质。
- ② **热水**：温度以不损伤原料的品质为宜，有杀菌作用。
- ③ **蒸汽**：如制糖时用离心分离机分离结晶糖，须用蒸汽清洗去掉表面的不纯物及糖蜜，而糖的水分并不增加。
- ④ **药剂溶液**：酸性溶液、漂白粉、强氧化剂碱性溶液。

第一节 清洗

常见的清洗方法：

- ①浸泡：在静止水或流动水或其他溶液中浸泡。
- ②喷淋：适合大多数产品的清洗，但要注意选择好喷水压力和水雾分布型式。
- ③冲洗：在高速水流中靠物料间摩擦、碰撞等清洗物料。
- ④刷洗：通过刷棍等部件刷洗物料。

清洗作业可采用下述几种方法的一种，也可以把其中几种方法组合起来使用。

一、原料清洗

(一) 滚筒式清洗机

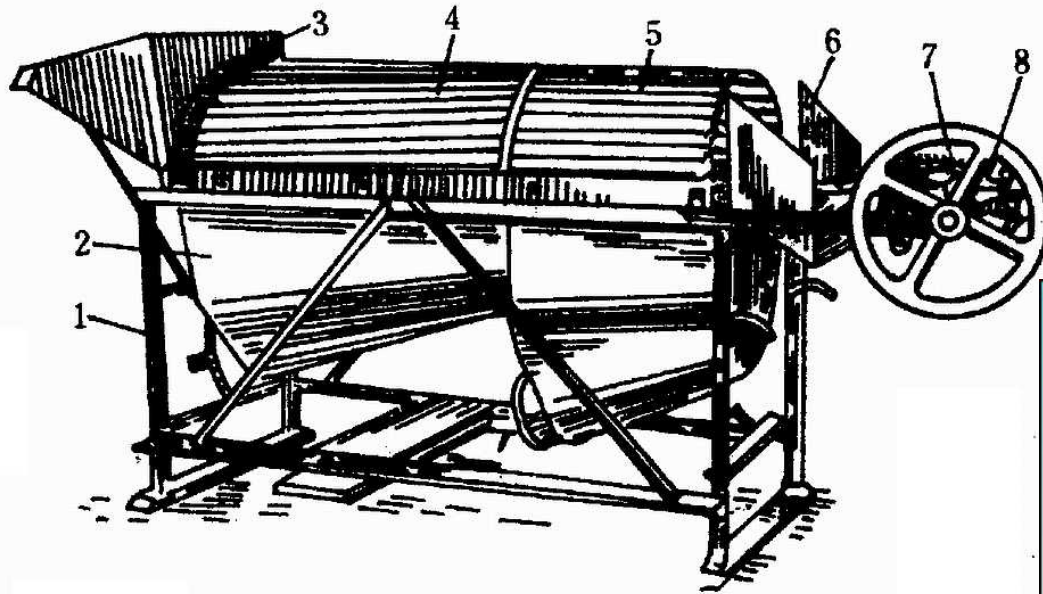


图 2-1 栅条滚筒式清洗机

1. 机架 2. 水槽 3. 喂料斗 4、5. 栅条滚筒 6. 出料口
7. 传动装置 8. 传动皮带

一、原料清洗

(二) 螺旋式清洗机

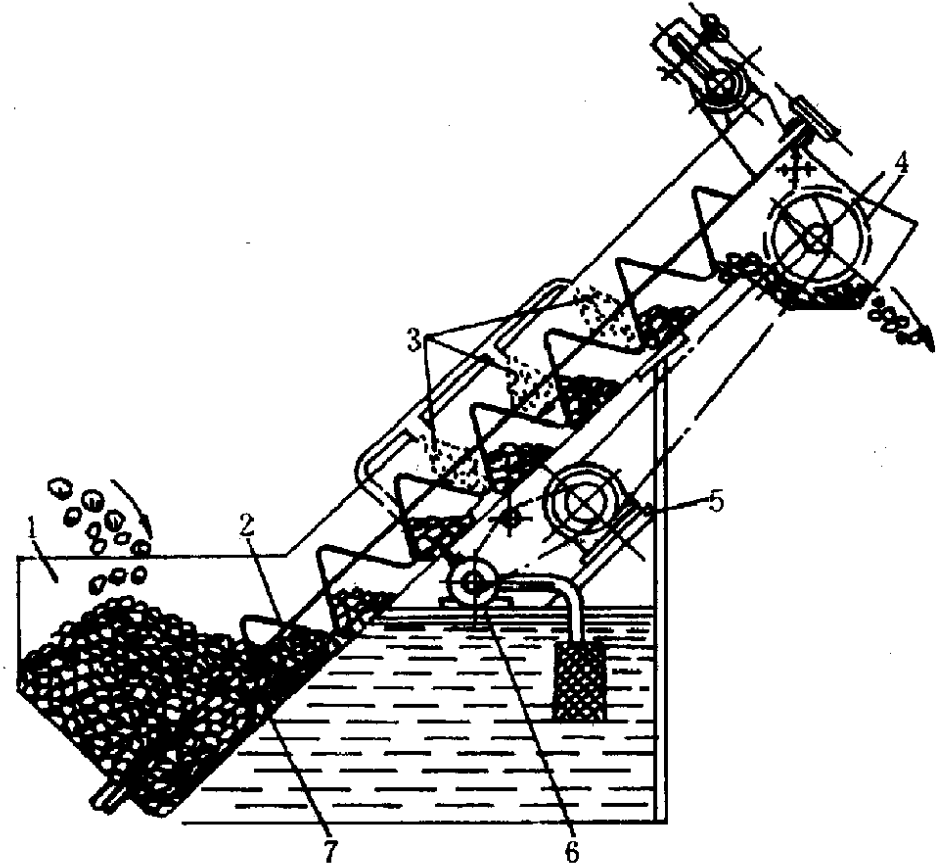


图 2-2 螺旋式清洗机

1. 喂料斗 2. 螺旋推运器 3. 喷头 4. 滚刀 5. 电动机
6. 泵 7. 滤网

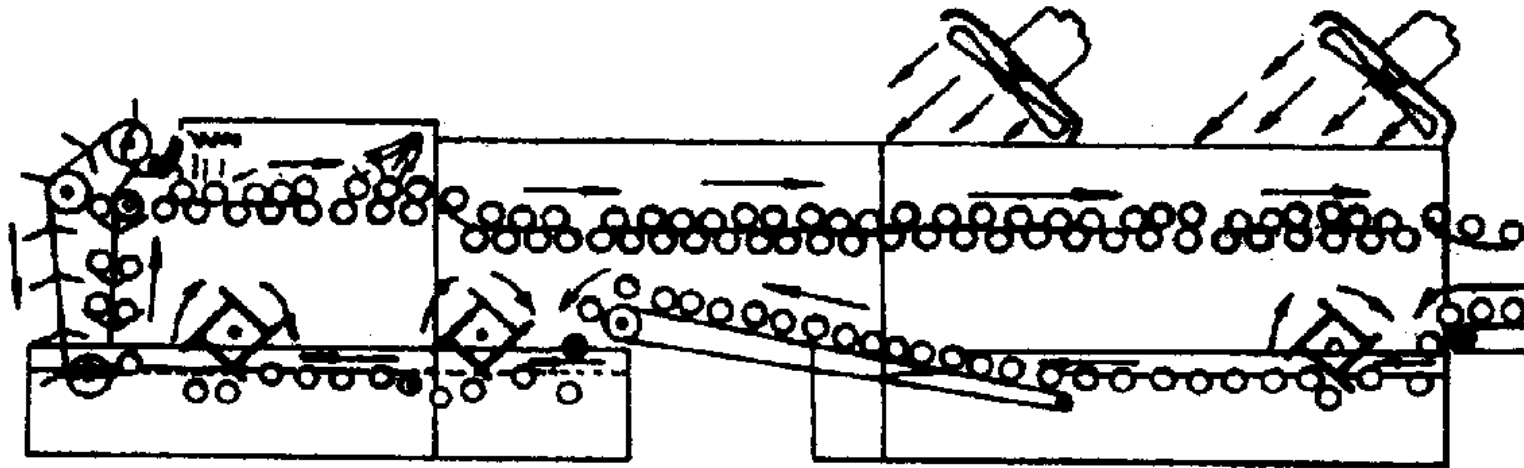
一、原料清洗

(三) 带式清洗机



一、原料清洗

■ (四) 组合式清洗机



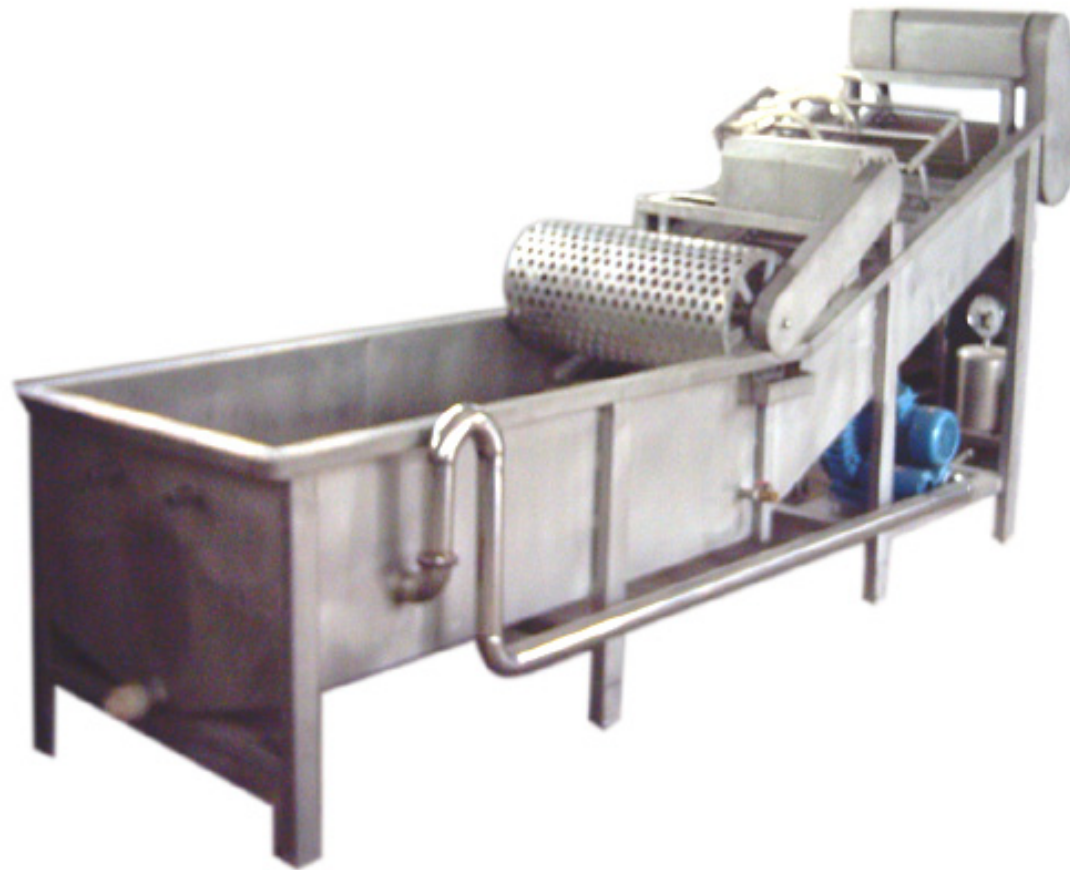
洗涤剂

图 2-3 组合式清洗机

二次水

一、原料清洗

(四) 鼓泡式清洗机



一、原料清洗

(五) 振动式清洗机



二. 包装容器清洗机械

(一) 刷式清洗机



果汁及其他饮料所用玻璃瓶常采用毛刷式清洗机进行清洗。刷瓶前先将瓶放入浸泡槽浸泡，这样可以改善洗瓶效果。然后将空瓶放入机内，瓶内部用旋转的毛刷及水清洗。

二. 包装容器清洗机械

(二) 全自动清洗机

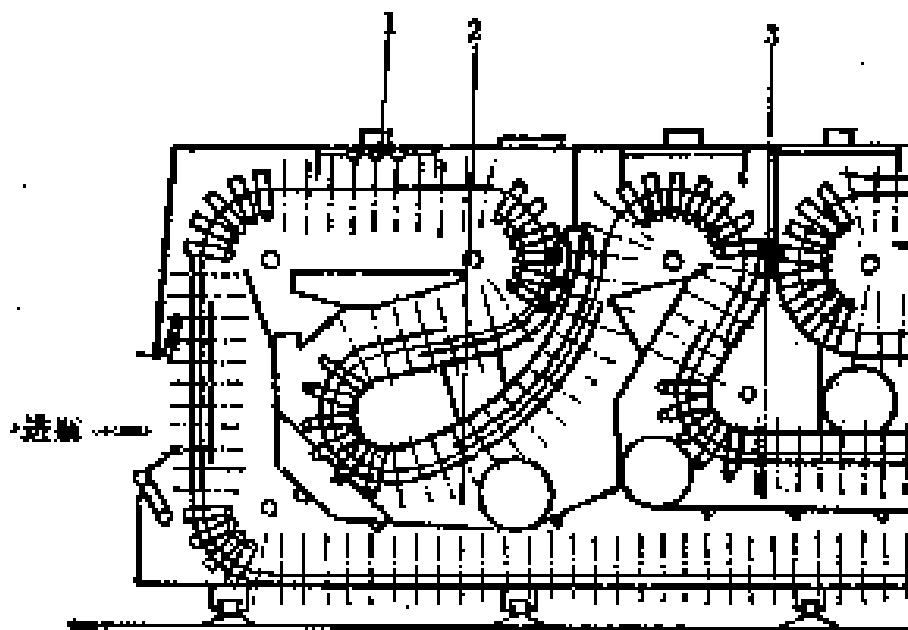
果汁及牛奶等用的玻璃瓶，空瓶内剩余的果汁、牛奶等时间久了变成浆状物，干后很难除去。特别是回收瓶，很难除去商标纸。



全自动洗瓶机依进出瓶的方式不同分为双端式和单端式；依瓶套的传动方式不同又可分为连续式和间歇式。

二. 包装容器清洗机械

1. **双端式洗瓶机**: 亦称为直通式洗瓶机。



优点: 较适于连续化生产, 与生产线配套。

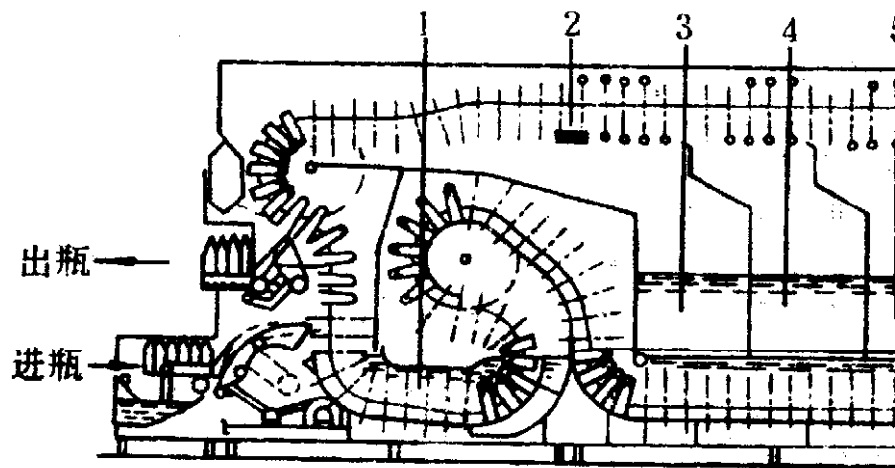
缺点: 瓶套自出瓶处回到进瓶处为空载, 因而洗瓶空间的利用不及单端式的充分。需要的工人较多。

图 2-3 双端式洗瓶机

1 - 预洗刷 2 - 预泡槽 3 - 洗涤剂浸泡槽 4 - 洗涤剂喷射槽 5 - 洗涤剂喷射区
6 - 热水预喷区 7 - 热水喷射区 8 - 温水喷射区 9 - 冷水喷射区 10 - 中心加热器

二. 包装容器清洗机械

2. 单端式洗瓶机: 又称来回式洗瓶机。



优点: 洗瓶空间的利用不及单端式的充分, 洗涤剂浸泡充分, 需要的工人少。

缺点: 在洗瓶过程中容易因脏瓶而弄脏净瓶, 对连续化生产不适应。

图 2-4 单端式洗瓶机

1. 预泡槽 2. 新鲜水喷射区 3. 冷水喷射区 4. 温水喷射区 5. 第二次热水喷射区
6. 第一次热水喷射区 7. 第一次洗涤剂浸泡槽 8. 第二次洗涤剂浸泡槽 9. 第一次洗涤剂喷射槽

二. 包装容器清洗机械

(三) 空罐清洗机

该种空罐清洗机结构简单，生产率高，占地少，易操作，水及蒸汽用得少，但对不同罐型的适应性差。

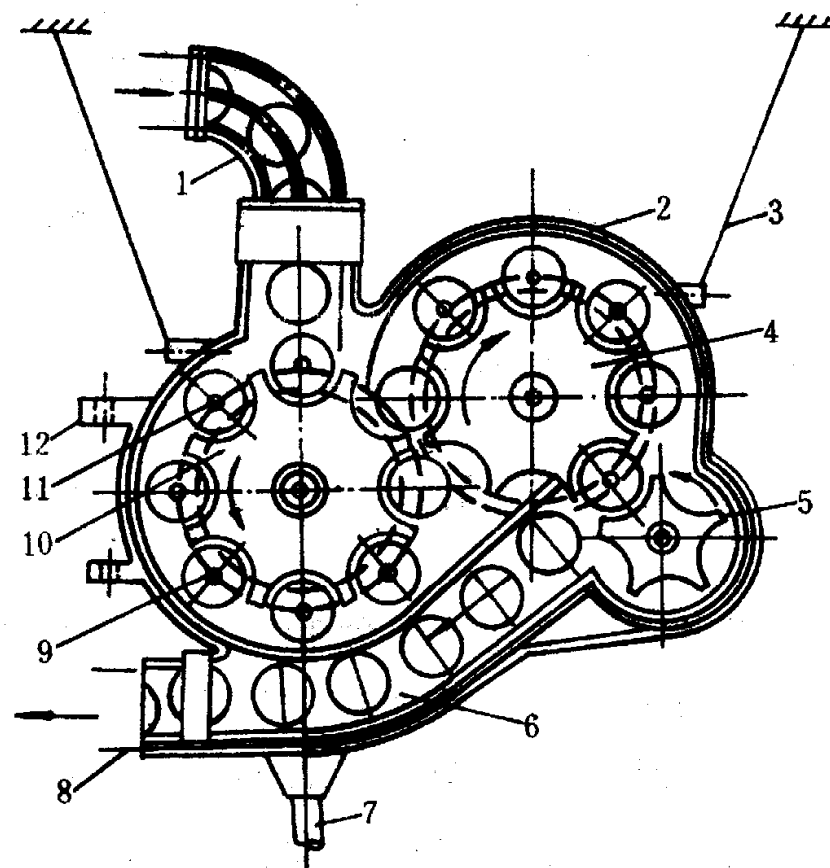


图 2-5 旋转圆盘式清洗机

1. 进罐槽 2. 机壳 3. 连接杆 4. 5. 10. 星形轮
6. 下罐坑道 7. 排水管 8. 出罐口 9. 水喷嘴
11. 空罐 12. 固定盖的环

洗碗机的工作原理是通过电机驱动洗涤泵使洗涤液在一定压力下从喷臂喷出，形成三维方向的密集热水流，达到清洁餐具的作用，洗涤结束后对餐具烘干处理。洗碗机不仅能清洗餐具，还能对餐具消毒烘干。

喷洗区

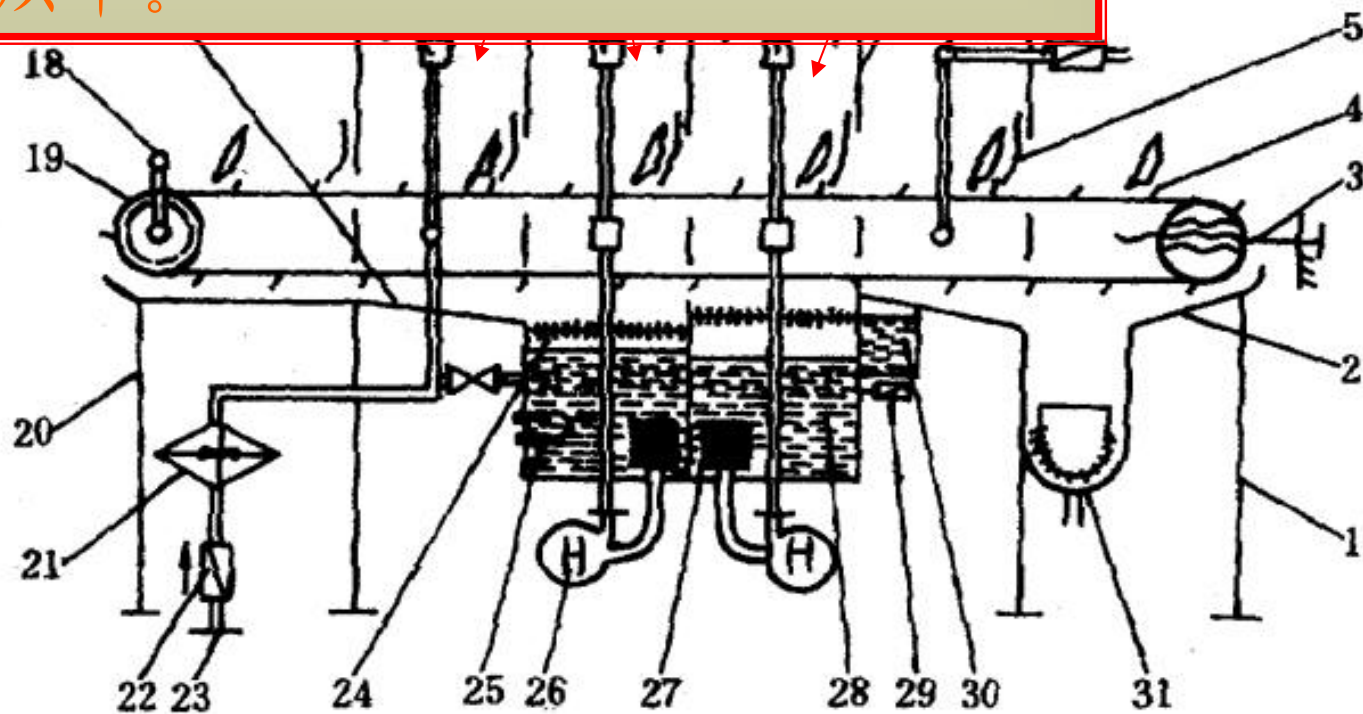


图 2-6 器皿清洗机原理图

动画

三、器皿清洗机械

K-500 桌下型洗碗机



台式洗碗机WP5E



三、器皿清洗机械

- K-1200 掀门式高温洗碗机



第二节 清理与分级机械



一、清理与分级的含义

- ▶ **清理**：系指清除异物或杂质。清理工作可以用手拣、洗涤、风选、筛选、磁选、光选等方法来进行。
- ▶ **分级**：系指把清理过的产品按质量不同分离开来。其质量可按照尺寸、形状、密度、结构和颜色来划分。

第二节 清理与分级机械

- ▶ **定级**：指按商业价值和用途划分品级，与物理分级时所公认的考虑因素相比，定级取决于更多的因素。

定级所考虑的因素可以分类如下：葛

- (一) 物理特性：

1. 含水量；
2. 单元尺寸；
3. 单元重量；
4. 结构；
5. 颜色；
6. 杂质；
7. 形状。葛





第二节 清理与分级机械

□ (二) 化学特性

1. 成分分析； 藟
2. 酸败情况、自由脂肪酸指数(用于含油脂的物料)；
3. 气味和味道。

□ (三) 生物学特性:

1. 发芽情况；
2. 虫害的种类和数量； 藟
3. 霉菌损害的种类和数量；
4. 细菌数量。

第二节 清理与分级机械

二、农产品清理与分级的一般原理和方法

水果、蔬菜及小麦可用洗涤的方法清除表面污物；

水果、蔬菜是按颜色、损伤情况、大小和重量进行分级。

谷物和坚果的清理和分级一般利用下列原理和方法：

1. 空气动力学特性的不同——**气流清选法**；畚
2. 颗粒大小的不同——**筛选法**；畚
3. 颗粒形状的不同——**精选**；畚
4. 比重的不同——**干法比重分选**和**湿法比重分选**；畚
5. 磁性的不同——**磁选法**；畚
6. 弹性的不同——**撞击法**；畚
7. 颜色的不同——**光电分选法**。



一、气流清选

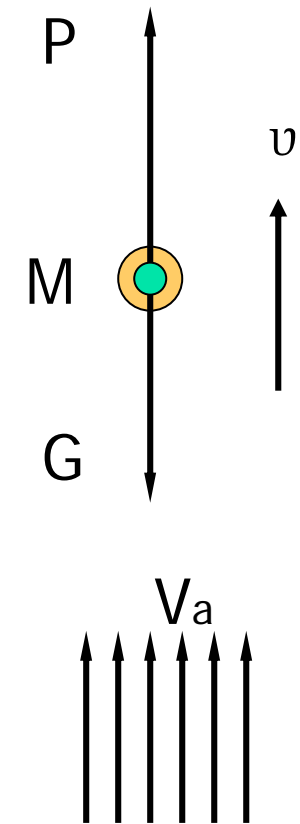
- **气流清选**：利用物料的空气动力学特性进行分选的方法叫气流清选。
- **空气动力学特性**：是指不同尺寸、形状、密度的物料与空气产生相对运动时受到空气的作用力也不同，以致它们在外力（包括空气作用力、重力及浮力）作用下表现出不同的运动状态。

物料的空气动力学特性常常用悬浮速度表示。

物料悬浮速度愈小其获得气流方向加速度的能力愈强。因此，可以利用物料与杂质悬浮速度的不同进行分选。

(一) 气流清选原理

- 当 $P > G$ 时， $dV/dt < 0$ ，物料向上运动；
- 当 $P < G$ 时， $dV/dt > 0$ ，物料向下运动；
- 当 $P = G$ 时， $dV/dt = 0$ ，物料在气流中既不上升也不下降，而呈悬浮状态，那么这时的气流速度 V_a 为该物料的**悬浮速度**。
$$V_a = \sqrt{\frac{G}{K\rho_a F}}$$



问题：为什么物料颗粒在 $P = G$ 时处于上下翻腾状态？



(一) 气流清选原理

- 如果物料的颗粒为球形， $V_a = 2.3 (\rho d/K)^{1/2}$;
- 如果颗粒不是球形的，其当量直径为
$$d' = 1.24 (a b c)^3$$
- 物料的悬浮速度是气流清选的主要理论依据。由于谷粒与杂质的密度、大小和阻力系数不同，其悬浮速度也不同，因此，只要控制气流速度大于轻杂质的悬浮速度，而小于谷粒的悬浮速度，则可将二者分离。藁

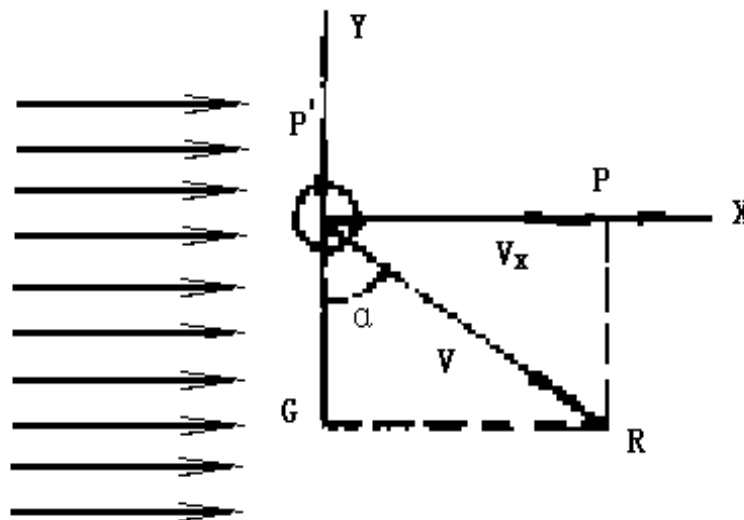
(二) 水平气流:

常用水平气流作用力与重力的比值表示物料在其中的空气动力学特性，并称其为物料的**飞行系数**，即

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{P}{G} = \frac{K\rho_a F (V_a - V_x)^2}{G}$$

飞行系数越大，物料被气流带走的距离就越远。由于物料与杂质的飞行系数不同，其飞行的轨迹和距离就不同，从而达到分离的目的。

问题：如何提高飞行系数？

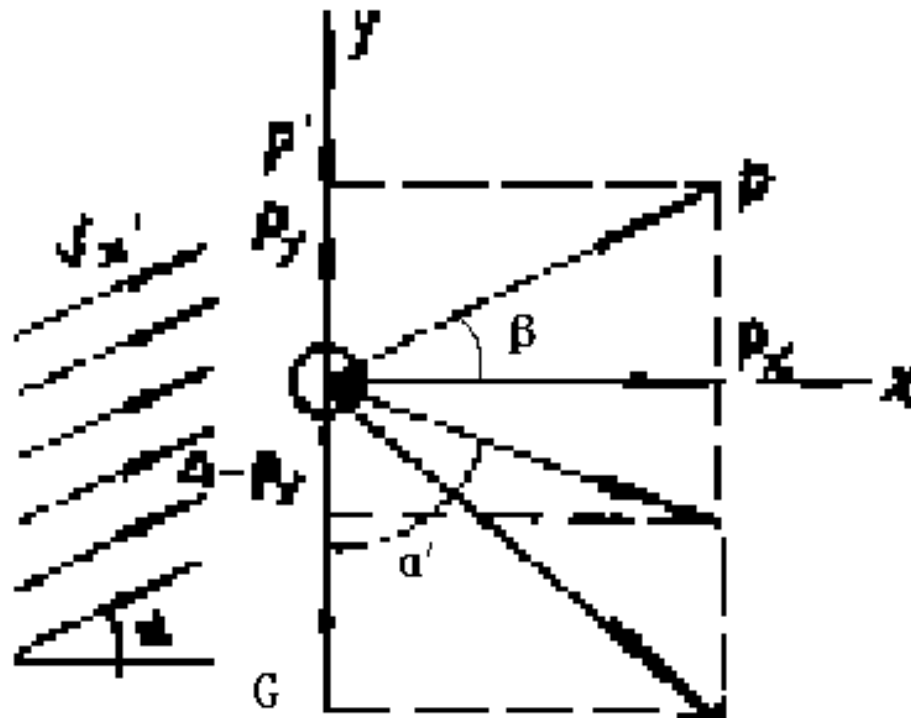


物料在水平气流中

(三) 倾斜气流:

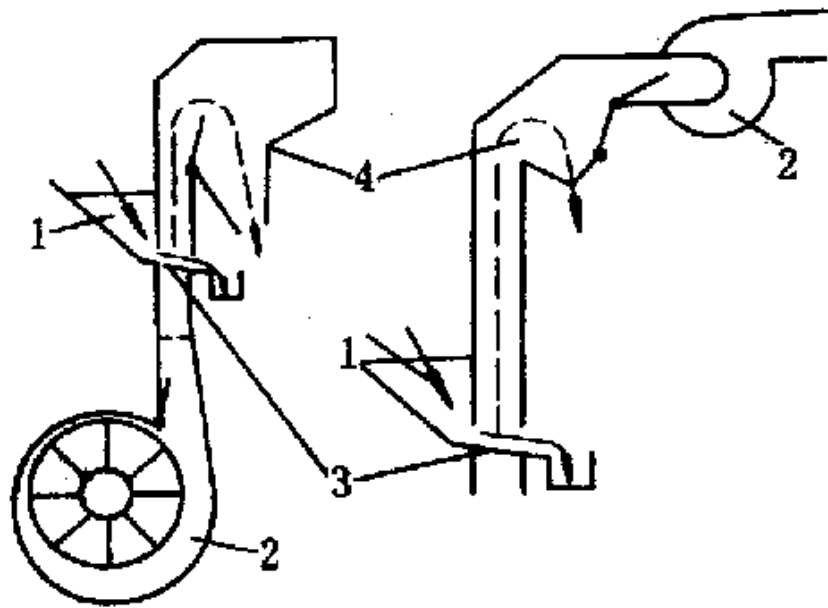
倾斜气流与水平气流的分离原理基本相同，但分离效果较水平气流好。气流的作用力与重力的比值为：

$$\operatorname{tg}\alpha' = \frac{P_x}{G - P_y} = \frac{P \cos\beta}{G - P \sin\beta}$$

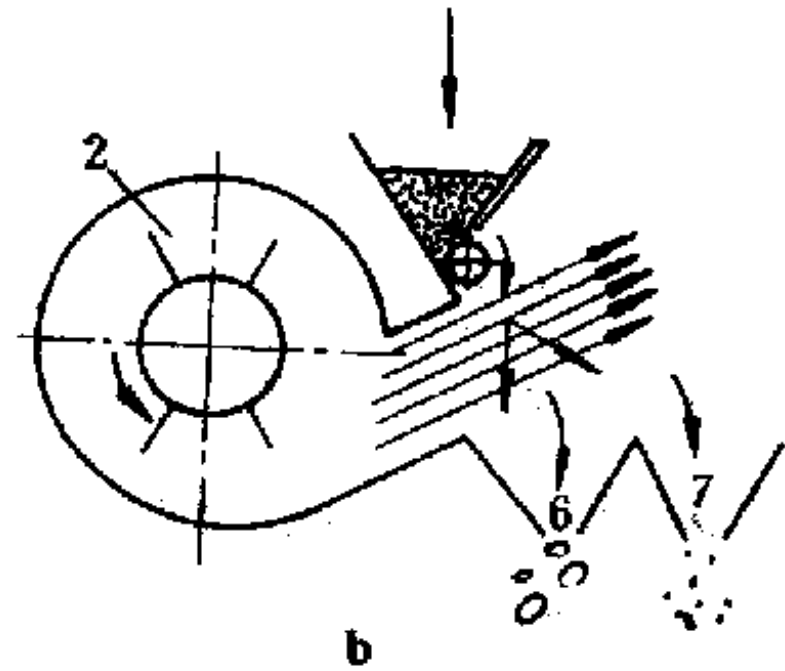


物料在倾斜气流中

(四) 气流清选设备



a



b

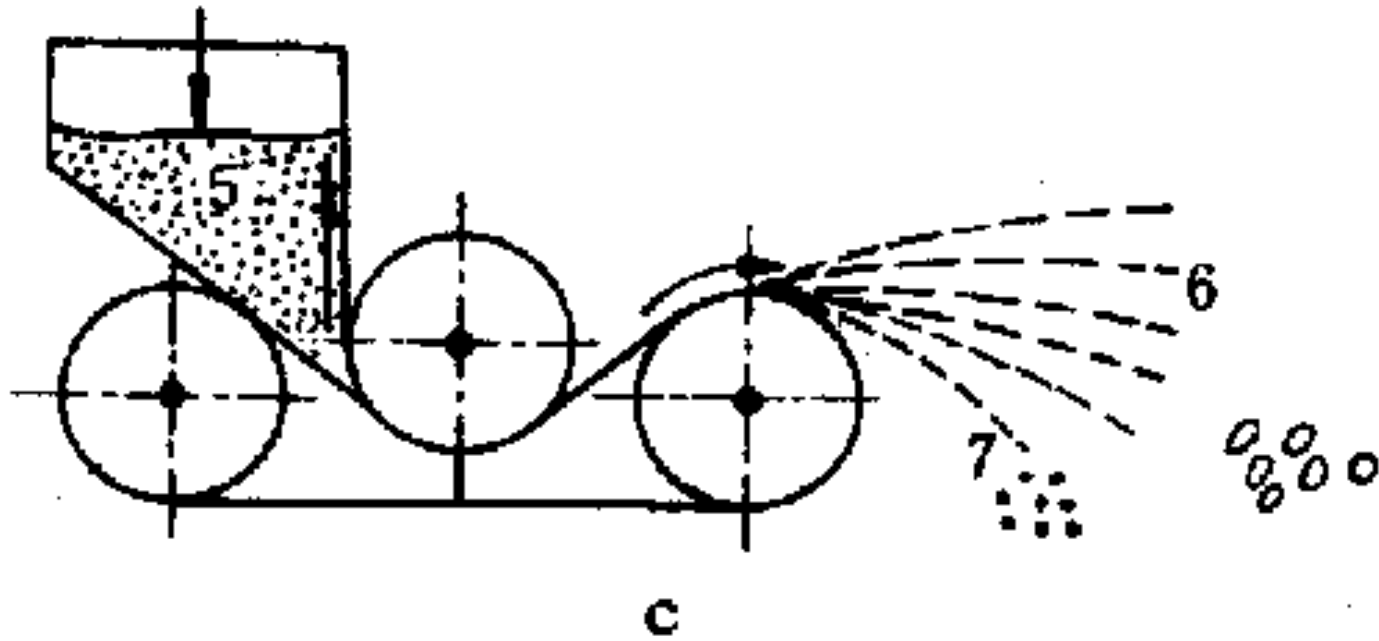
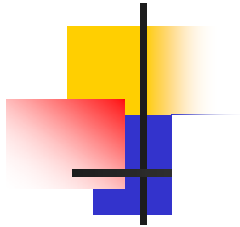


图 2-7 气流分选

二、筛 选



1. 基本概念

- **筛选**：根据物料粒度的不同，利用一层或数层静止的或运动的筛面对物料进行分选的方法。
- 由于筛选和重力分选的主要对象是谷物，就其性质而言，介于固体和液体之间而被称为**散粒体**。散粒体具有**流动性**和**自动分级性能**。

二、筛 选

(一) 筛选原理

- ❖ 组成散粒体的颗粒都是固体，散粒体能在一定的限度内保持其原有的形状，这是它与固体相同之处；散粒体具有流动性，其保持形状的能力较小，这是它与液体相似之处。
- ❖ 散粒体具有自动分级的性质。由粒度和比重不同的颗粒组成的散粒体，其各种颗粒相互均布，在受到振动或以某种状态运动时，散粒体的各种颗粒会按它们的粒度、比重、形状和表面状态的不同而分成不同的层次。



(一) 筛选原理

比重小、颗粒大而扁、表面粗糙的颗粒浮于上层；比重大、颗粒小而圆、表面光滑的颗粒趋于最下层；中间层为混合物料。物料颗粒之间的摩擦力越小，空隙度越大，越易形成自动分级；物料的比重、粒度、形状和表面差别越大，分级而形成的层次越清楚，反之，各层界限就不十分明显，特别是中间层。



(一) 筛选原理

自动分级的特性为筛选和重力分选创造了有利的条件。

产生自动分级的原因，一般的看法是：蓄

- 1) 流动的谷粒具有液体的性质，颗粒受浮力作用，比重小而颗粒大的上浮。
- 2) 谷物在流动时松散，孔隙度变大，颗粒之间的摩擦力变小使性质不同的颗粒产生分级。

(一) 筛选原理

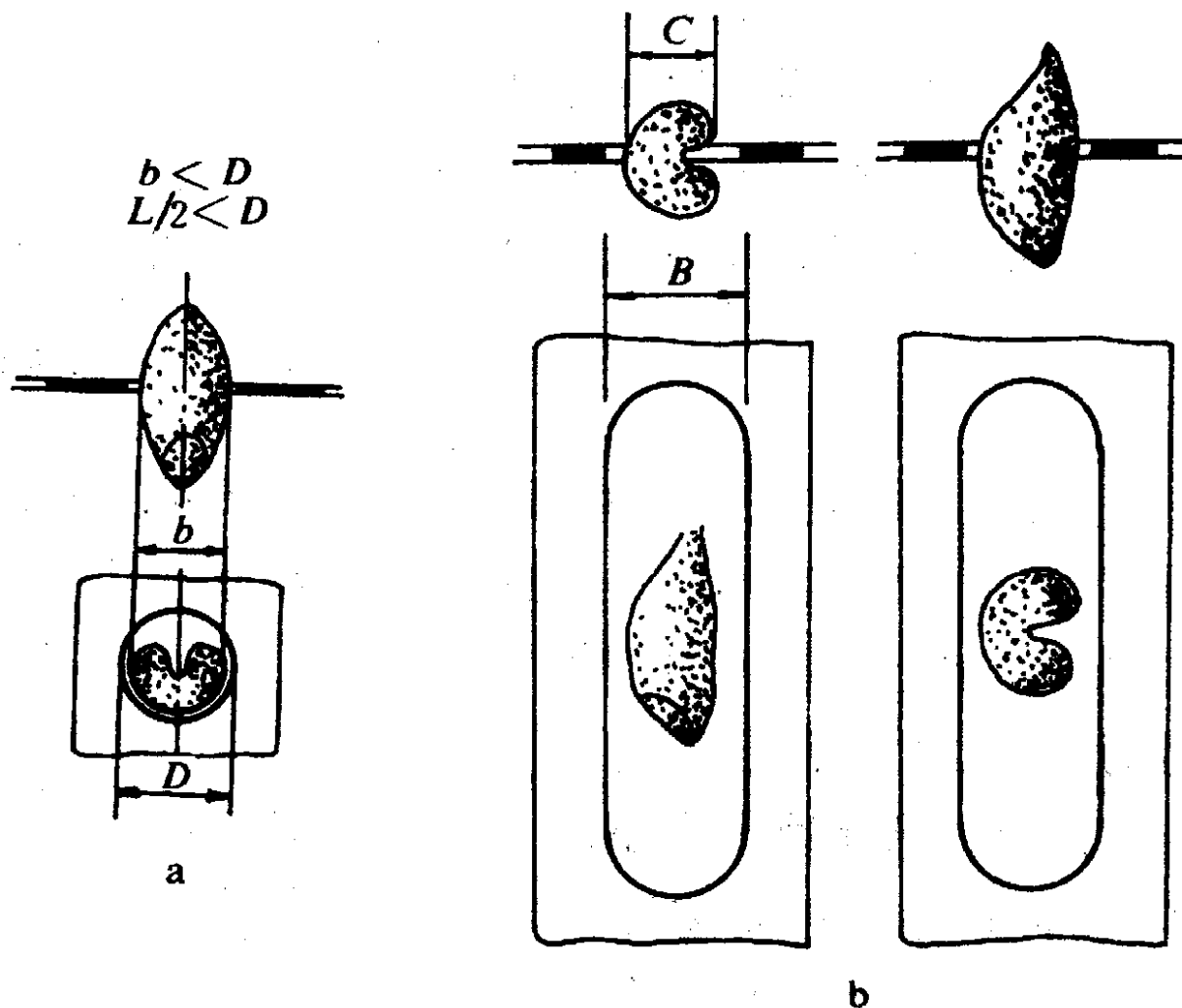
2. 筛孔分离原理

- **筛选的任务**：清理和分级
- **筛选的原理**：根据物料粒度（厚度、宽度）或形状的不同进行分选。
- **筛选的条件**：根据物料粒度大小进行筛选，须配备适当的筛孔，使物料与筛面充分接触，并且具有适当的相对运动速度。

(一) 筛选原理



- ❖ 1. 按谷粒厚度不同分离：长方形筛孔是根据物料厚度不同进行分离的。
- ❖ 2. 按谷粒宽度不同分离：圆形筛孔主要是根据物料宽度不同进行分离的。
- ❖ 3. 按谷粒的形状不同分离：三角形筛孔主要根据物料的形状分离。



1.长方形筛孔按 粒度厚度不同 分离。

筛孔只限制谷粒的厚度，而谷粒的长度和宽度不受限制，谷粒不需要竖立起来即可通过筛孔，这样，筛面只需作水平振动即可。

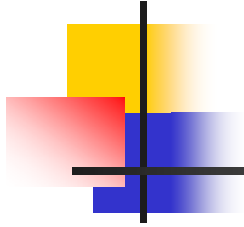
问题：振动方向如何确定？



(一) 筛选原理

在实际应用中，多用长方形筛孔分离厚度与谷粒厚度相差较大的杂质，或按厚度不同对谷粒进行分级。

试验证明，增加这种筛孔的长度可提高其筛分效率，但增加到一定程度后，筛分效率提高很少。筛孔长度一般为谷粒长度的2—3倍。另外，筛孔过长，筛面强度和刚度将被削弱。



- **筛分效率**：物料经筛选一定时间后，过筛物的重量占原料中可过筛物料重量的百分比叫筛分效率。

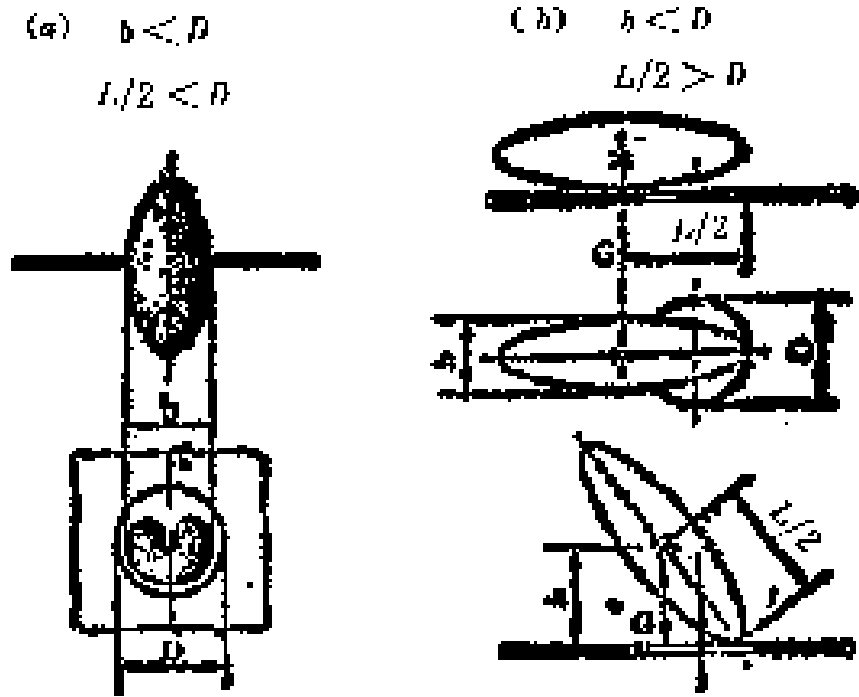


图 2-35 圆形筛孔分离原理

2. 圆形筛孔按谷粒宽度分离

圆形筛孔只限制谷粒的宽度。筛分时，谷粒必须竖立起来才能穿过筛面。但是，当谷粒的长度大于筛孔直径的两倍以上时，尽管谷粒的宽度小于筛孔的直径，谷粒也不能穿过筛面，而只能在筛面上水平运动。

在生产中，多用圆形筛孔分离比谷粒宽度大和比谷粒长得多的大杂质，以及比谷粒宽度小的小杂质，或按谷粒的宽度进行分级。

(一) 筛选原理

3. 筛孔形状和尺寸的选择:

筛孔形状和尺寸的选择取决于筛分物料的粒度及其截面形状。

- 长方形筛孔是按厚度分离的；圆形筛孔是按宽度分离的；三角形筛孔是按形状分离的；正方形和菱形筛孔是按颗粒大小分离的，但不能准确按厚度或宽度分级，只用于初清筛上分离大杂质，或分级要求不高的场合。
- 各种形状的筛孔，当筛孔面积相同时，长方形筛孔的筛孔面积百分率最大，其次为正方形，圆形的最小。而且，长方形筛孔不易堵塞筛孔。

选择筛孔的形状和尺寸，除依靠实际经验参照常用的筛孔选定外，合理的办法是按谷粒和杂质的**筛理曲线**来确定。

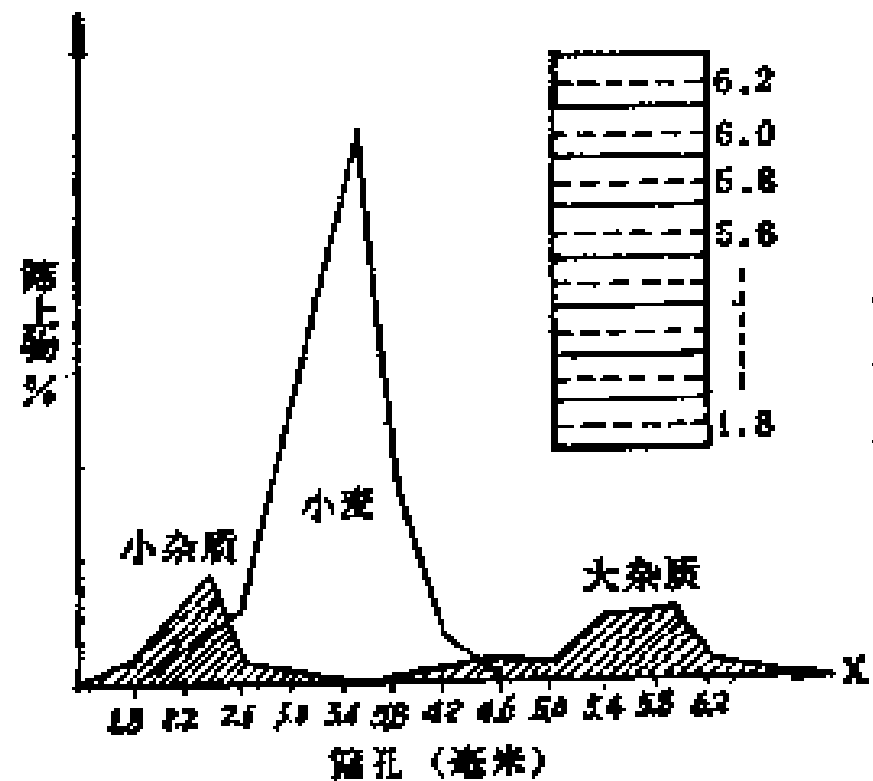


图 2—12 小麦的筛理曲线



(一) 筛选原理

- **筛孔面积百分率**：筛孔面积占整个筛面面积的百分比。
- **筛理曲线**：以标准筛的各层筛孔直径为横坐标，以各层筛上物占物料总重量的百分比为纵坐标绘出的曲线图叫筛理曲线。

(一) 筛选原理

4. 筛面的运动形式

- **静止倾斜筛面**: 物料靠自重 在筛面作直线滑动, 小于筛孔的颗粒通过筛孔进行分离。这种筛子因物料相对筛面的运动路程 (筛程) 较短, 筛分效率较低。
- (1) **往复振动筛面**: 筛面作往复直线运动, 物料沿筛面作往复滑动。筛程较长。可用来清除物料中细小杂物, 其筛分效率及生产率均较高。



a



b

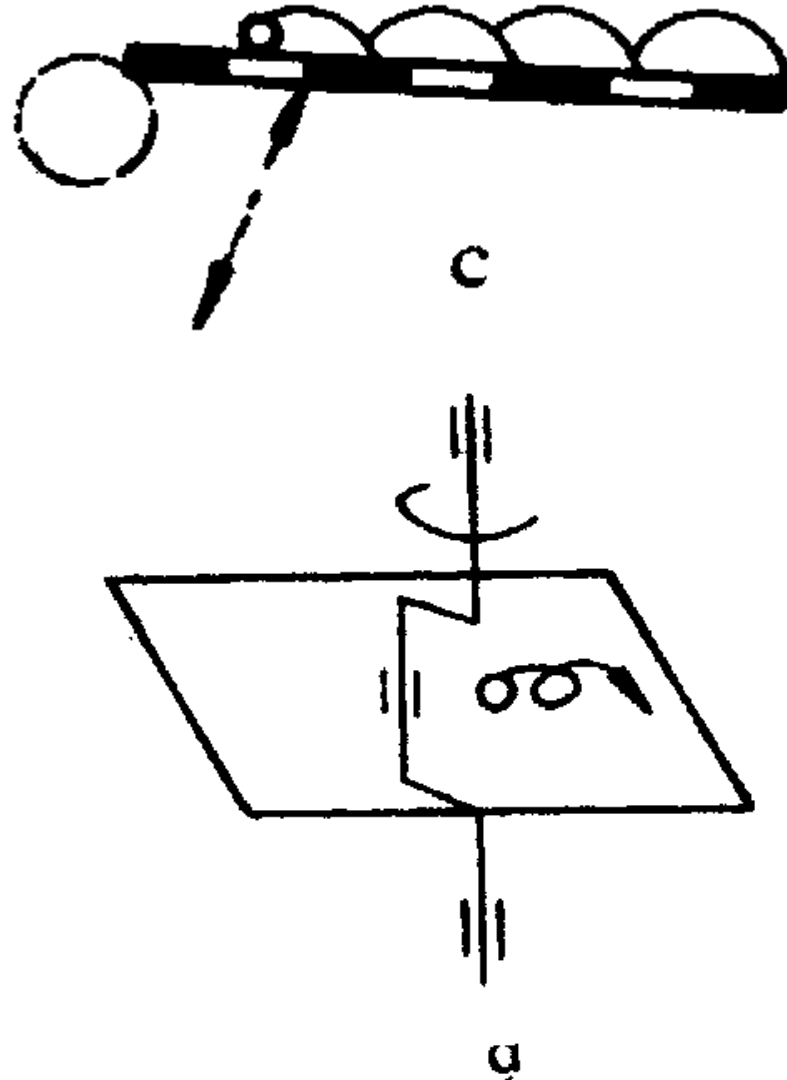
(一) 筛选原理

(2) 高速振动筛:

筛面在垂直平面作圆形或椭圆形平动，也可以作直线运动，物料在筛面上作小的跳动，颗粒不易堵塞筛孔。

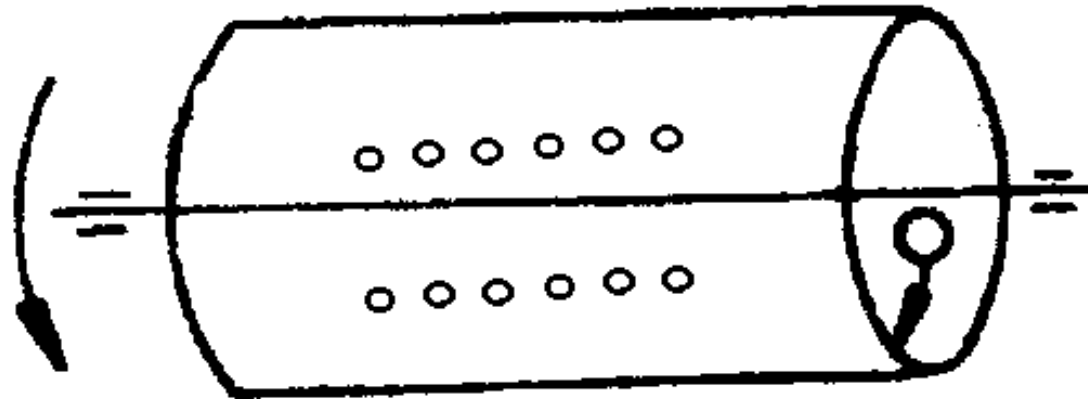
(3) 回转筛面:

筛面在水平面内作圆运动。物料在筛面上作螺旋线运动，筛程最长。筛分效率及生产率均较高。



(一) 筛选原理

- (4) 旋转筛面：筛面呈圆筒形或多角筒形，绕一倾斜轴旋转，物料在筛筒内作翻转运动而被筛选。因物料只与部分筛面接触，因而筛分效率较低，适用于物料的初清理。



(二) 平面回转筛

回转平面筛通过偏心机构使筛面上每一点作半径为 R ，角速度为 ω 的平面圆周运动。

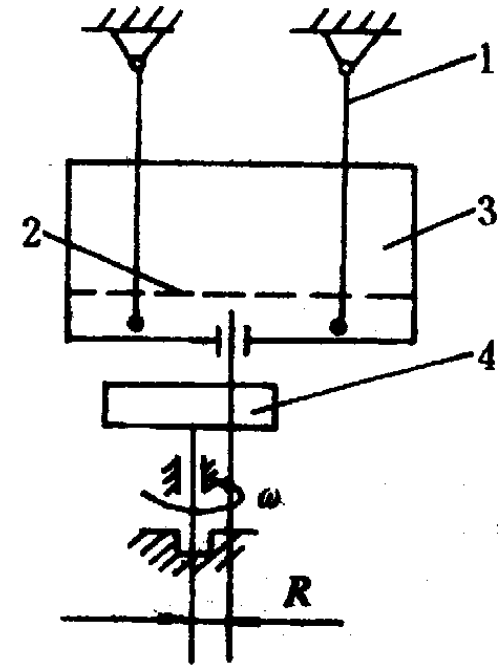
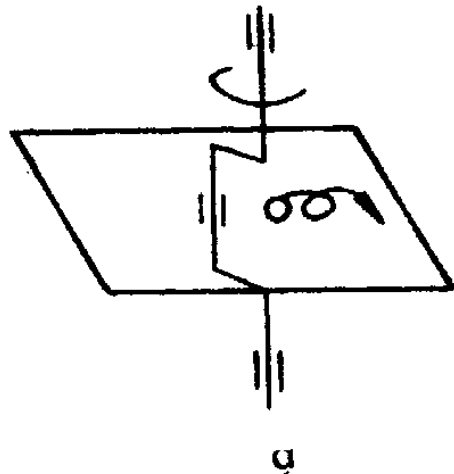


图 2-11 回转平面筛示意图
1. 吊杆 2. 筛子 3. 筛体 4. 偏心轮

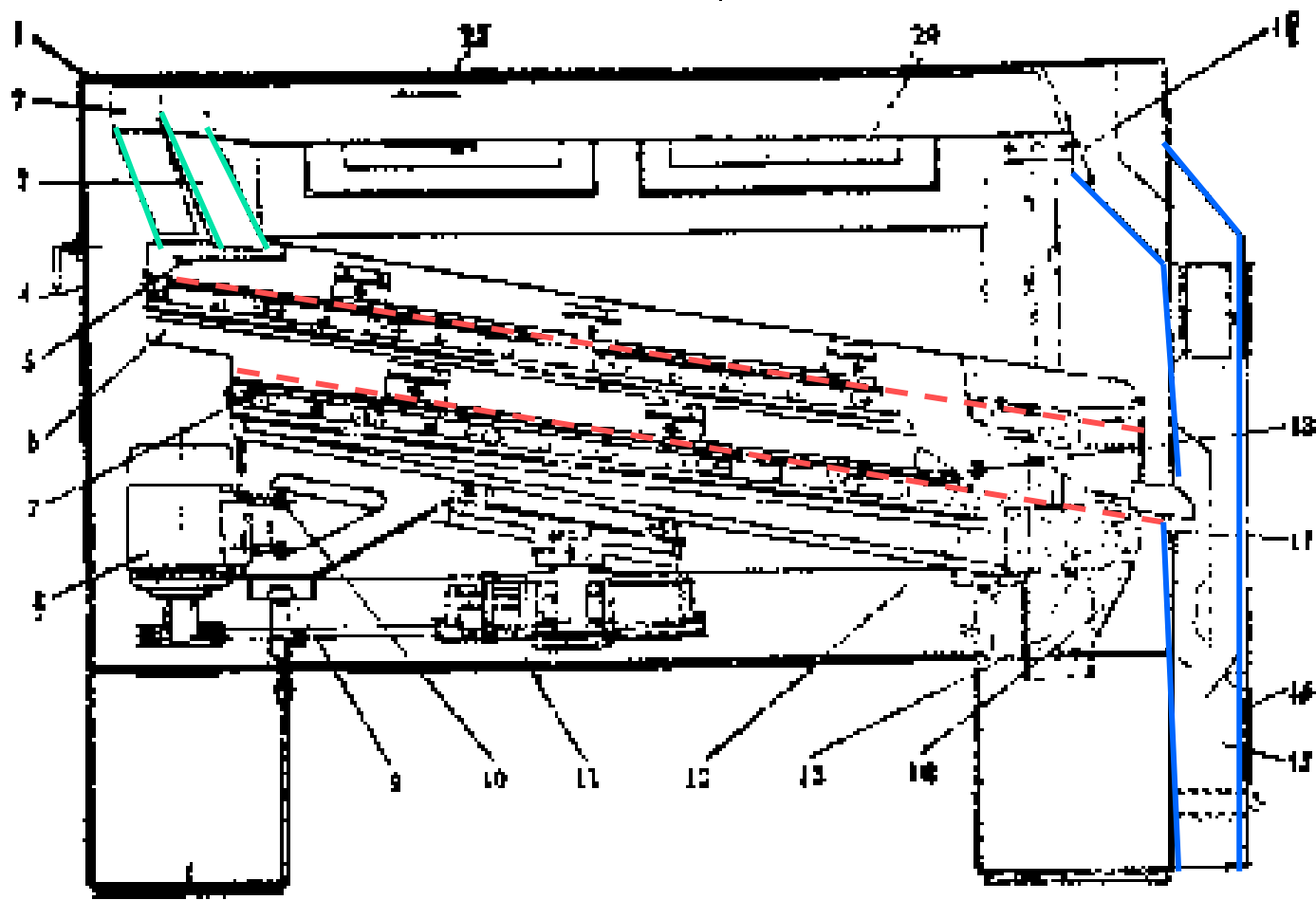


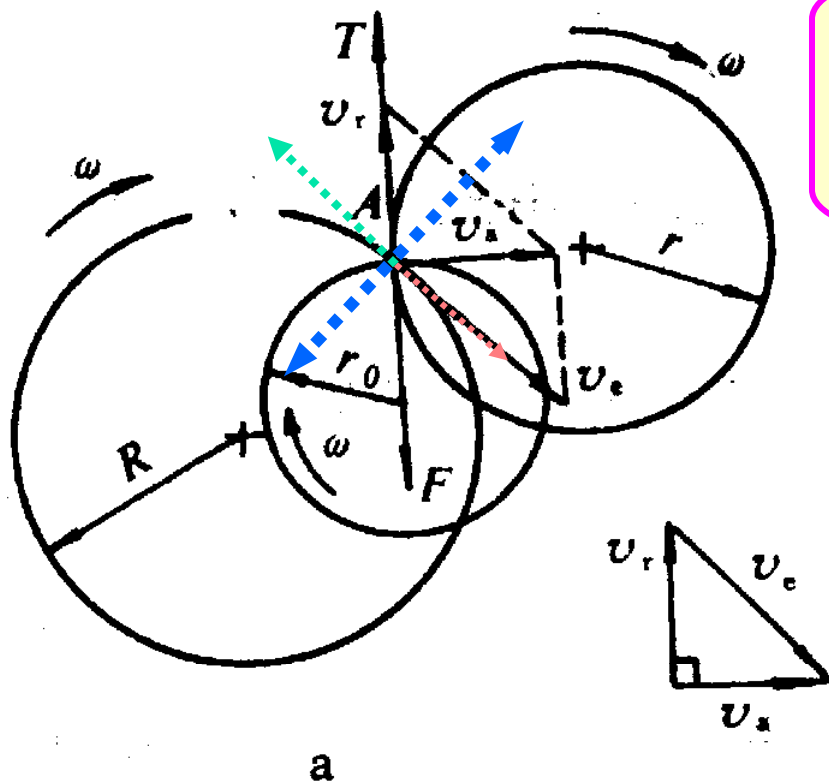
图 2-47 平面回转筛的结构

1—机架 2—吸风管道 3—进料斗 4—检修门 5—缓冲滴板 6—上层筛面 7—下层筛面 8—电动机
 9—限振装置 10—调节螺栓 11—传动轮 12—吊杆 13—小杂质出口 14—大杂质出口 15—出料口
 16—检查窗 17—惯性重块 18—手轮 19—调节门 20—观察窗

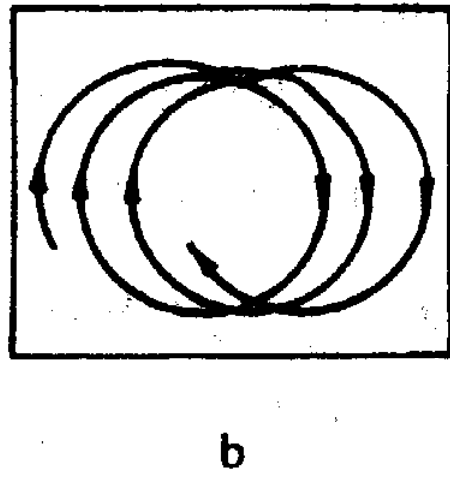
(二) 平面回转筛

1. 结构及工作原理





摩擦力较大时，无相对运动，绝对运动与相对运动相同。



摩擦力为零时，相对运动为一个和牵连运动相切的等圆，此时无绝对运动。

图 2-12 物料在回转平面筛上的运动

a. 筛面水平放置 b. 筛面倾斜放置

R 筛面运动的回转半径 r 物料相对筛面运动的回转半径
 r_0 物料的绝对运动回转半径 v_c 筛面上A点的瞬时速度
 v_r 处于筛面上A点的物料相对筛面的瞬时速度 v_a 处于筛面上A点的物料的绝对瞬时速度



(二) 平面回转筛

- 实际工作情况处于上述两种状态之间， F 的方向如图所示，则物料相对筛面运动的方向与 F 相反，物料绝对运动的离心力 T 与 F 平衡。 $T=F$ 。而物料绝对运动的方向应垂直于 F 。物料相对运动和绝对运动的轨迹分别为半径为 r 和 r_0 ，角速度为 ω 的圆。 $T = m\omega^2 r_0$ ， $F = mgf$ （ f 为物料与筛面的摩擦系数），则

$$m\omega^2 r_0 = mgf \qquad r_0 = \frac{gf}{\omega^2}$$

(二) 平面回转筛

设物料绝对运动速度为 v_a ，筛面运动速度为 v_e ，物料相对筛面的运动速度为 v_r ，由此得出

$$v_e^2 = v_a^2 + v_r^2 \quad (\omega R)^2 = (\omega r_o)^2 + (\omega r)^2$$

$$r = \sqrt{R^2 - \left(\frac{gf}{\omega^2}\right)^2}$$

由上式看出，筛面回转半径越大、角速度越高及摩擦系数越小，则物料相对筛面的回转半径越大，筛程也越长。

(二) 平面回转筛

2. 物料在筛面上的推进方式

在理想的情况下，筛面上的物料始终作平面圆周运动。但实际上，运动的物料与筛框及其它物料相互碰撞，其运动轨迹就发生如图所示的变化。

但是，以这种方式推进物料的速度太慢。为了适应生产的需要，筛面上物料的推进方式有以下几种。

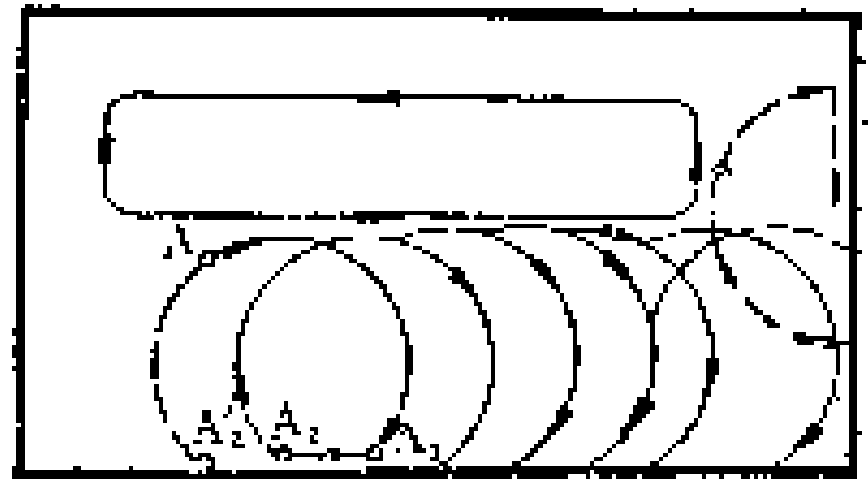
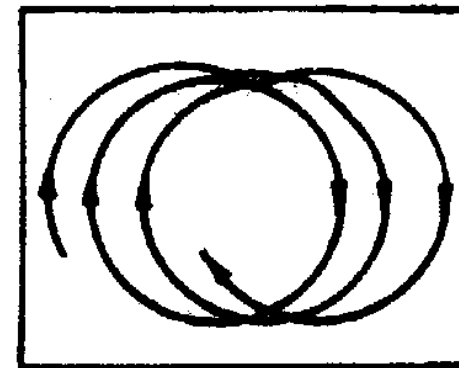
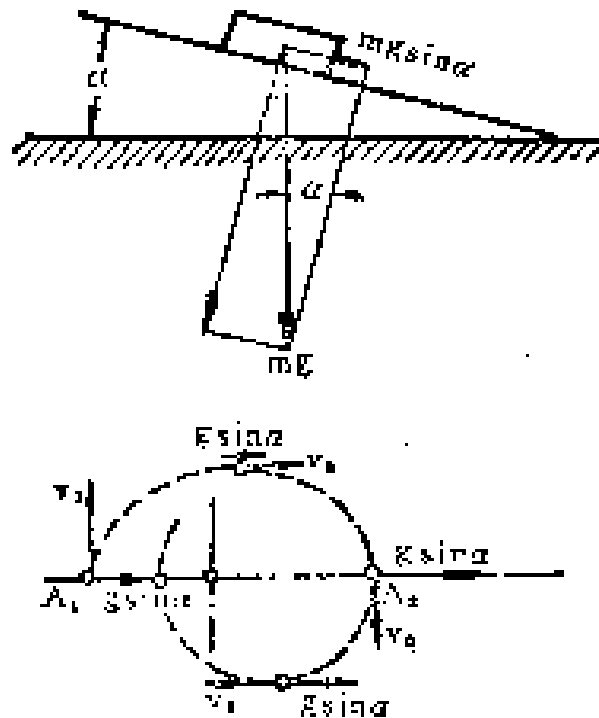


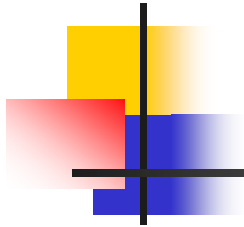
图 2-40 物料的运动轨迹

(1) 利用倾斜筛面推进物料

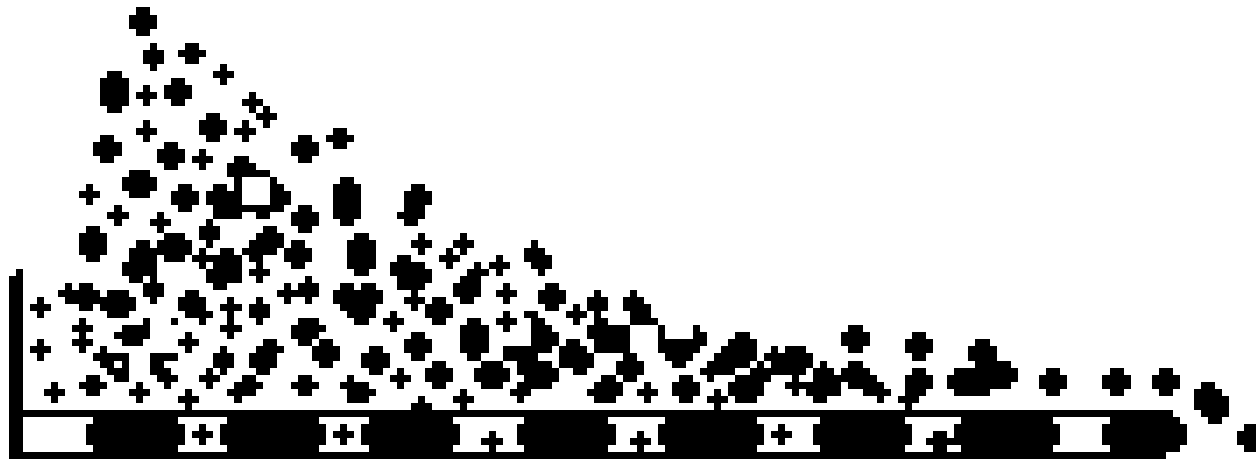


b

图 2-50 物料在倾斜面上运动



(2) 利用物料的散落性推进物料



(3) 利用拔齿推进物料

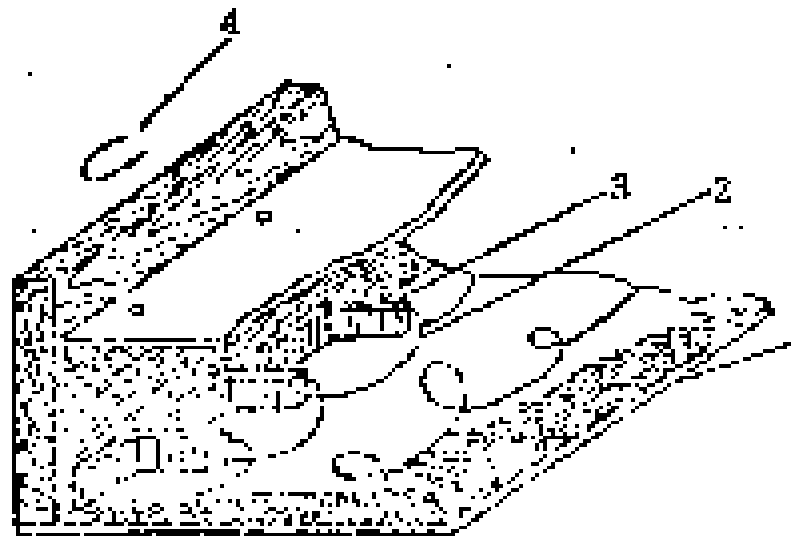
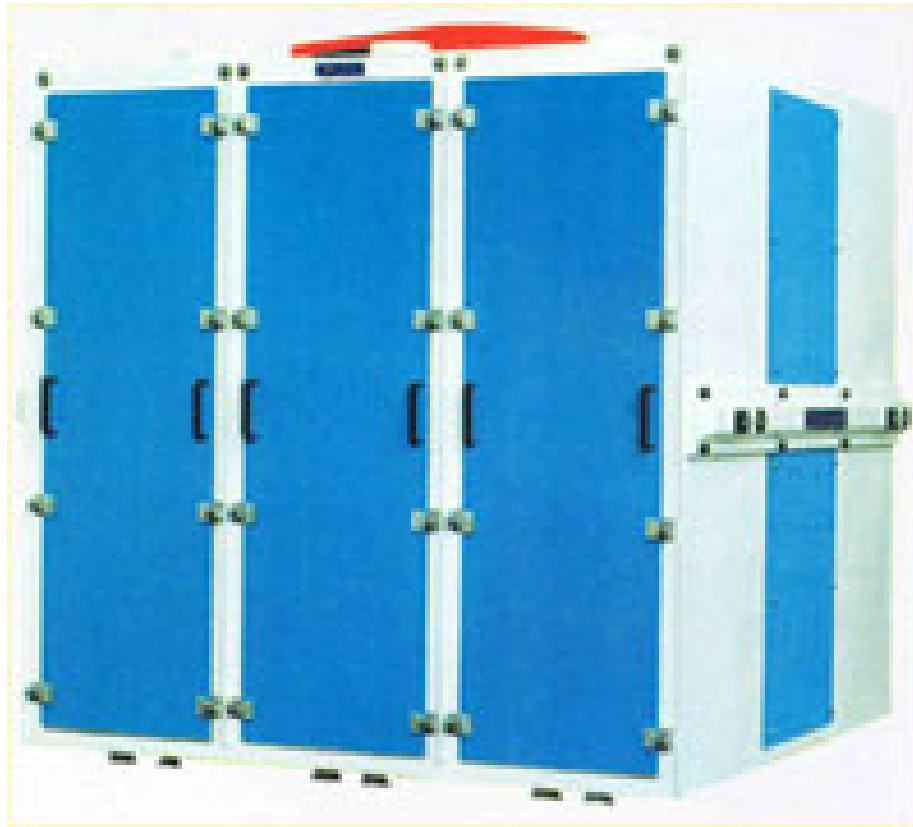


图2—51 拔齿推进物料运动

1—筛面 2—物料运动轨迹

3—拔齿 4—筛体的回转方向

(二) 平面回转筛



(三) 振动筛

振动筛是利用速度和加速度作周期变化的筛面，使物料在筛面上产生相对运动，筛面配备以适当的筛孔，同时在风道里运用适当的气流速度，按谷物和杂质粒度大小和悬浮速度的不同进行分离的。

特点：物料在筛面上作往复直线运动，不跳动，筛程长，自动分级好，适于除去大小杂质或按粒度进行分级。筛分效率和生产率较高。



b

1. 结构

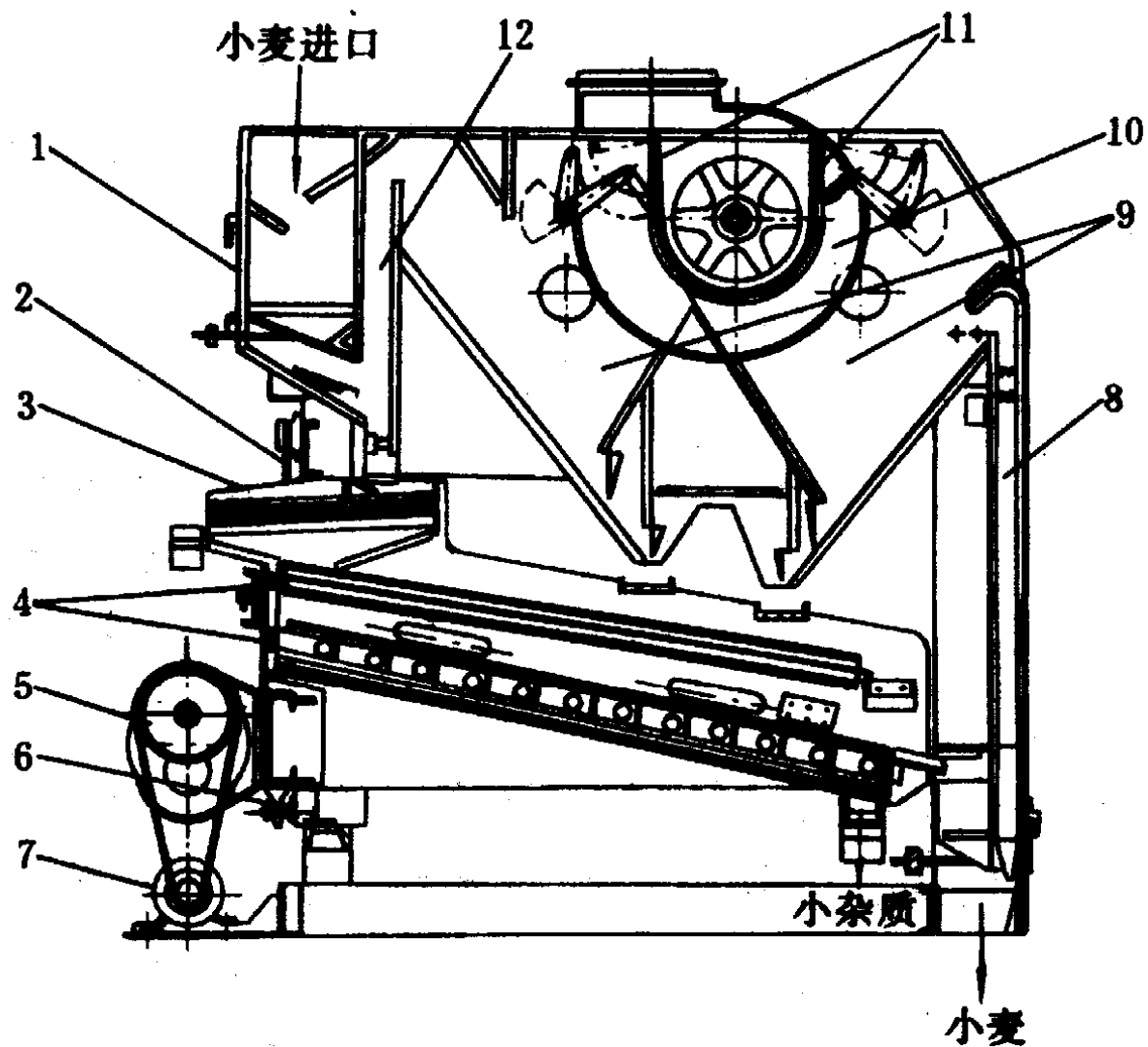
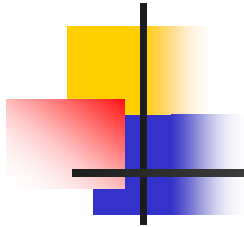


图 2-13 振动筛的结构

- 1. 进料斗 2. 吊杆 3. 筛体 4. 筛格 5. 自衡振动器
- 6. 弹簧限振器 7. 电动机 8. 后吸风道 9. 沉降室
- 10. 风机 11. 风门 12. 前吸风道

(三) 振动筛



振动筛的两种振动机构

曲柄连杆机构

自衡振动机构（惯性振动机构）

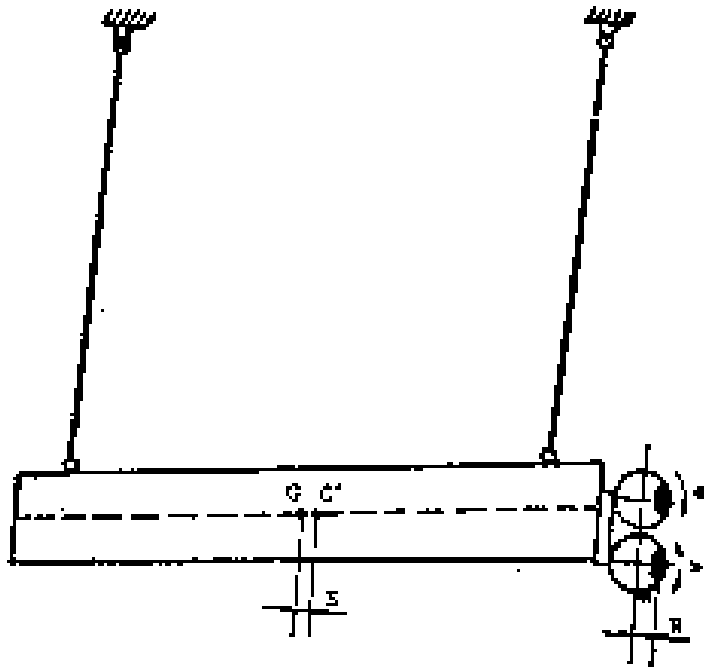


图 2—58 自衡振动机构工作示意图

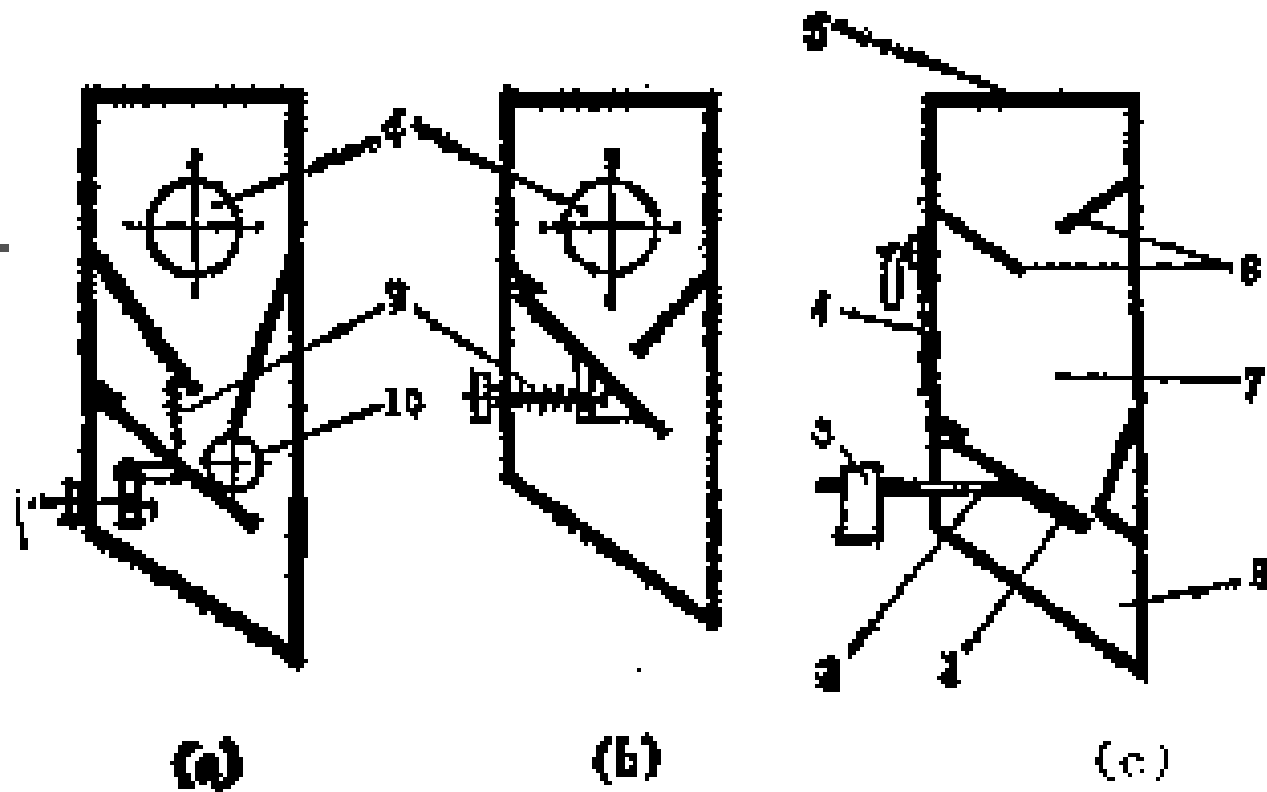
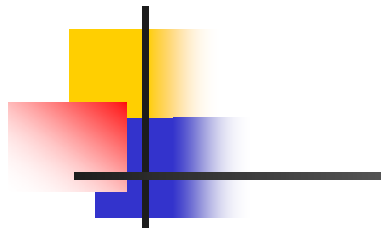


图 2-55 振动筛进料装置示意图

(a)喂料辊式 (b)弹簧压力门式 (c)重锤压力门式

1—活门 2—螺杆 3—重锤 4—观察窗 5—进料口
6—斜板 7—料斗 8—出料口 9—弹簧 10—喂料辊

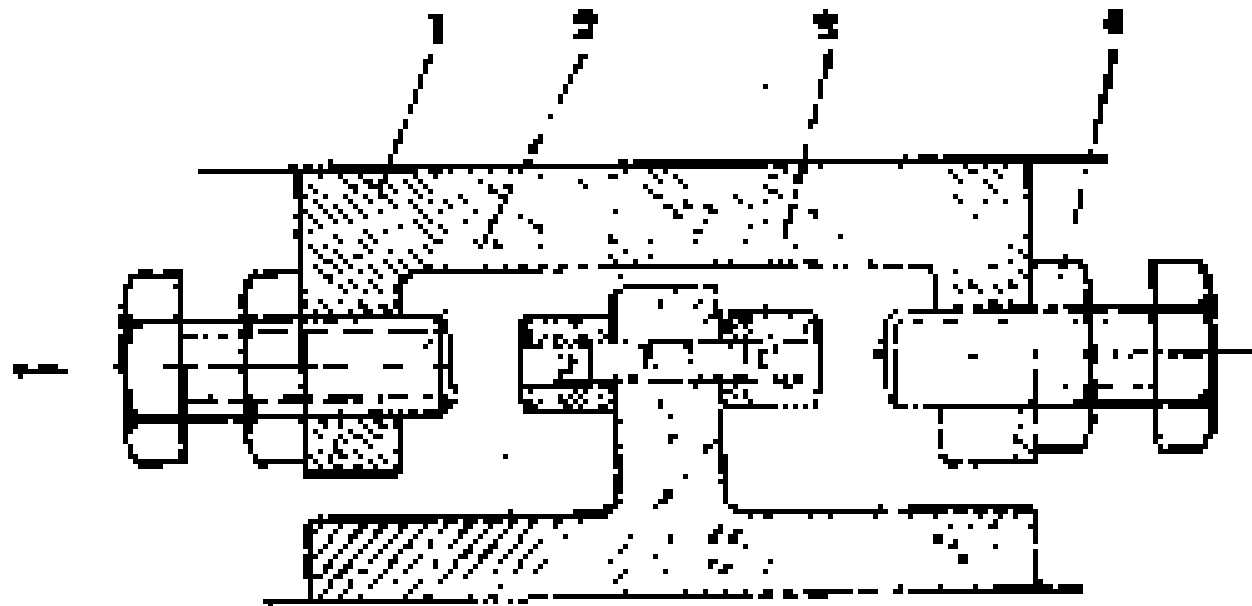
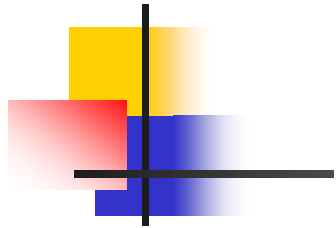


图 2—56 冲击式限振装置

1—限位卡 2 螺钉 3—橡皮头
4—螺母

(三) 振动筛

2. 振动筛工作原理

筛面的运动:

根据筛面与水平平面的夹角及其振动方向,筛面的运动形式有平面平振、平面斜振、斜面平振和斜面斜振四种。其中,以斜面平振用的最多。

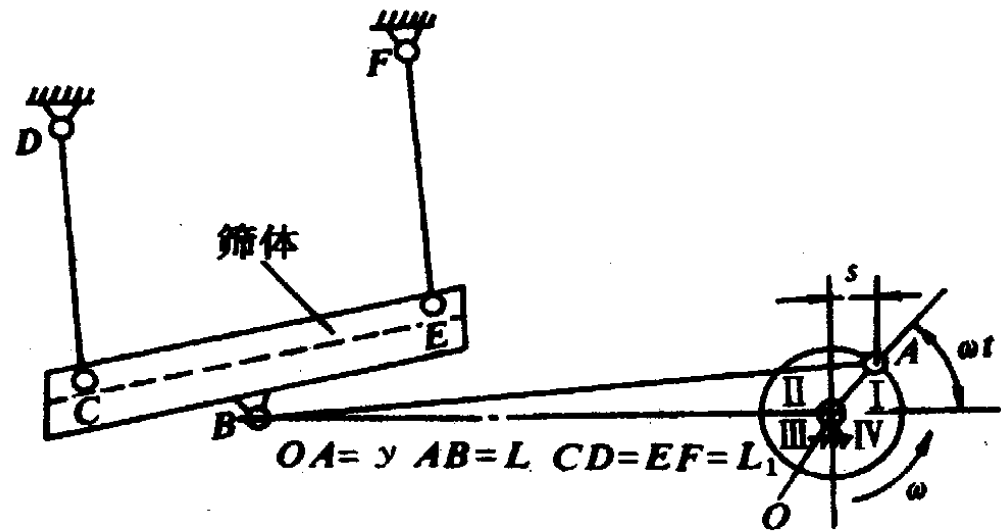


图 2-14 偏心振动机构工作示意图

(三) 振动筛

偏心半径 $OA=r$

角速度 ω

连杆 $AB=L$

由于筛体的吊杆及曲柄连杆驱动机构的连杆较曲柄的长度大得多，可以认为筛体上各点均作直线简谐运动。

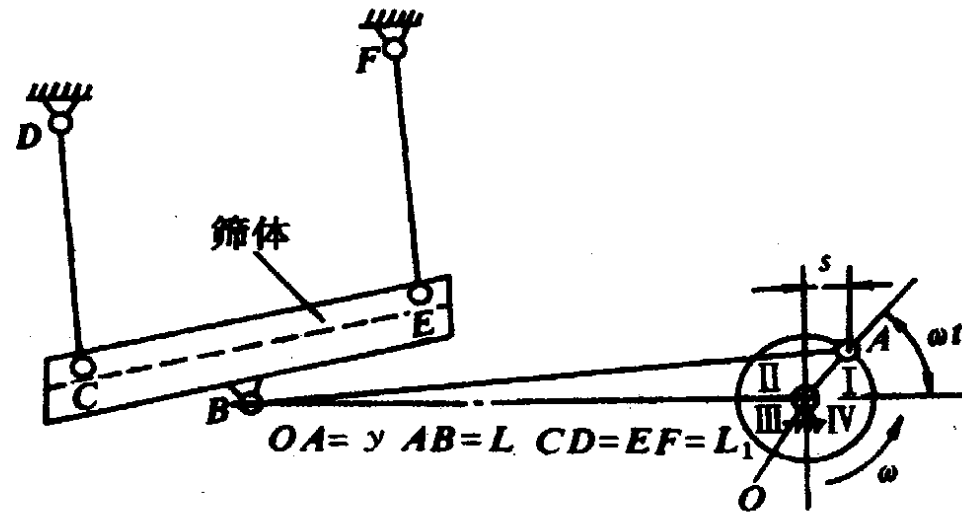


图 2-14 偏心振动机构工作示意图

(三) 振动筛

如果以曲柄OA在最右边的位置作为筛面位移和时间的起始相位，则筛面的位移、速度和加速度与时间的关系为：

位移： $s = r \cos \omega t$

速度： $v = -\omega r \sin \omega t$

加速度： $a = -\omega^2 r \cos \omega t$

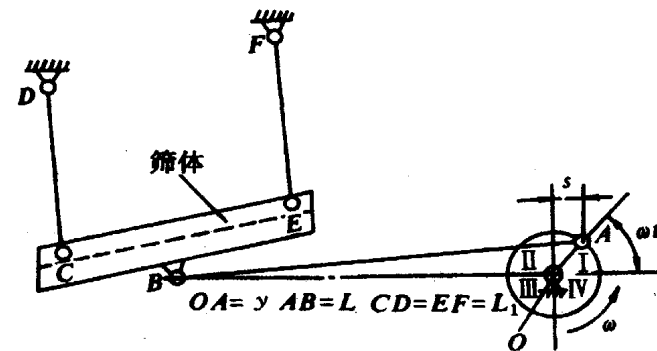


图 2-14 偏心振动机构工作示意图

由上可知，当偏心半径OA处于水平位置时，筛面的速度为零，加速度最大；当OA处于垂直位置时，筛面的速度最大，而加速度为零。

(三) 振动筛

当振动筛的筛面作周期性往复振动时,物料在筛面上可能出现不同的情况:

- (a) 相对静止,物料与筛面无相对运动;
- (b) 物料沿筛面向下滑动,并与筛面相接触;
- (c) 物料沿筛面向上滑动并与筛面相接触;
- (d) 物料跳离筛面,并沿筛面不断向前作抛物线运动。

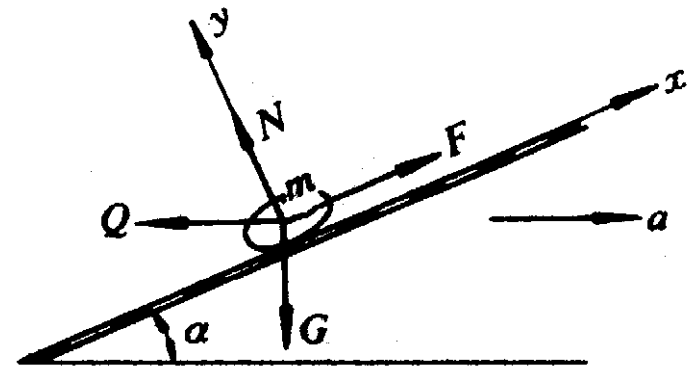


图 2-15 物料沿筛面下滑的受力分析

对于振动筛来说,一般采用 (b)、(c) 相结合的运动状态来作为筛选的工作条件。

(三) 振动筛

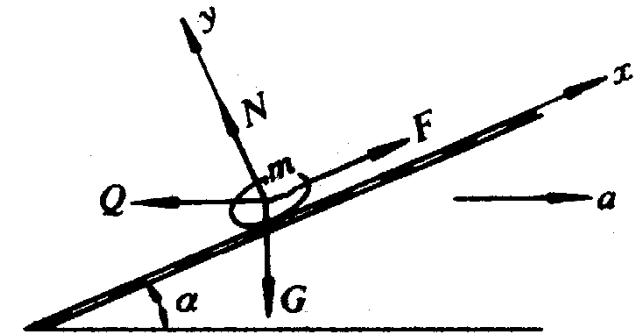


图 2-15 物料沿筛面下滑的受力分析

(1) 物料沿筛面下滑的临界条件

为使问题简化，物料颗粒之间的作用力忽略不计，取筛面上单粒物料作为研究对象。

设筛面倾角为 α ，当曲柄在 II、III 象限时，物料所受的惯性力方向向左，物料有沿筛面下滑的趋势。

$$Q = m \omega^2 r \cos \omega t$$

$$N = G \cos \alpha - Q \sin \alpha = mg \cos \alpha - m \omega^2 r \cos \omega t \sin \alpha$$

$$F = fN = tg \varphi (mg \cos \alpha - m \omega^2 r \cos \omega t \sin \alpha)$$

(三) 振动筛

物料沿筛面下滑的临界条件是

$$Q \cos \alpha + G \sin \alpha \geq F$$

即 $\omega^2 r \cos \omega t \geq g \tan(\varphi - \alpha)$

因 $|\cos \omega t|_{\max} = 1$

$$\omega = \frac{n\pi}{30}$$

(n 为曲柄每分钟转速)，则物料沿筛面下滑的曲柄临界转速为：

$$n_1 \geq 30 \sqrt{\frac{g \tan(\varphi - \alpha)}{\pi^2 r}} \quad (\text{r/min})$$

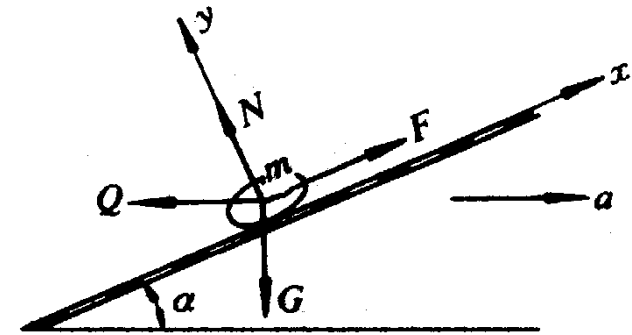


图 2-15 物料沿筛面下滑的受力分析

(三) 振动筛

(2) 物料沿筛面上滑的临界条件
当曲柄在 I、IV 象限时，物料有上滑的可能。其临界条件是：

$$Q \cos \alpha \geq F + G \sin \alpha$$

同理可以求得此时的临界转速

$$n_2 \geq 30 \sqrt{\frac{g \tan(\varphi + \alpha)}{\pi^2 r}} \quad (\text{r/min})$$

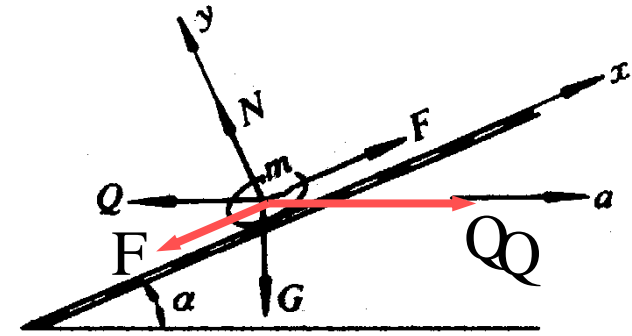


图 2-15 物料沿筛面下滑的受力分析

(三) 振动筛

(3) 物料不跳离筛面的条件

该条件是： $N \geq 0$

即： $G \cos \alpha \geq Q \sin \alpha$

此时，振动机构的转速为： $n_3 \geq \frac{30}{\sqrt{rtg\alpha}}$ (r/min)

对于振动筛，适宜的曲柄工作转速应在下列范围：

$$n_2 < n < n_3$$

在实际生产中工作转速可取为

$$n = (45 \sim 60) \sqrt{\frac{tg(\varphi + \alpha)}{r}} \quad (\text{r/min})$$

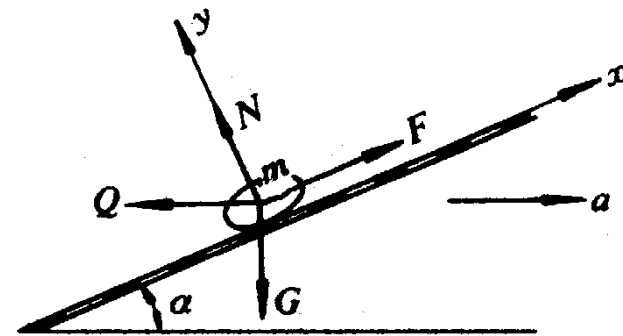


图 2-15 物料沿筛面下滑的受力分析



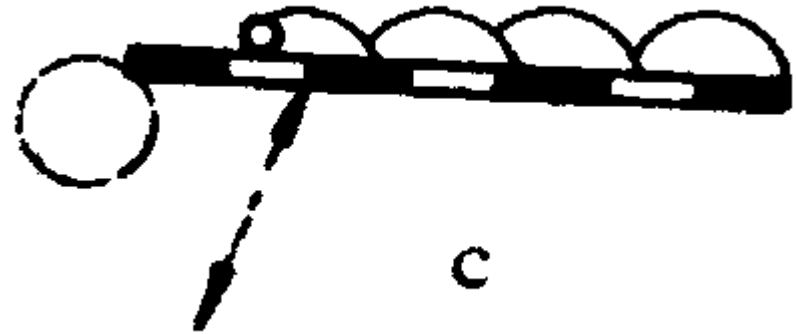
2015/4/17

74

(四) 高速振动筛

- 物料在筛面上产生跳动而进行筛选的称为**高速振动筛**。
- **工作原理**：根据物料与杂质粒度的不同，利用一定规格筛孔的筛面作高速振动进行筛理。

• **特点**：物料在筛面上产生剧烈跳动，容易松散，有利于筛去小杂质，而且筛孔不易堵塞。筛分效率和生产率较高。



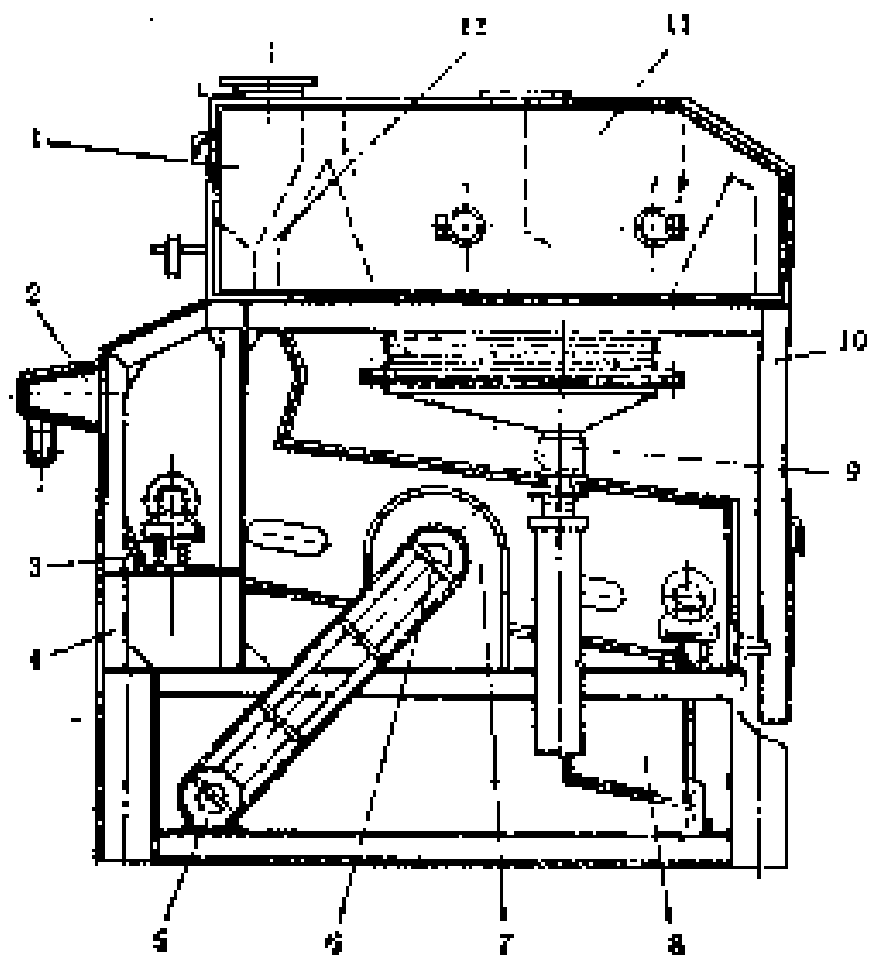
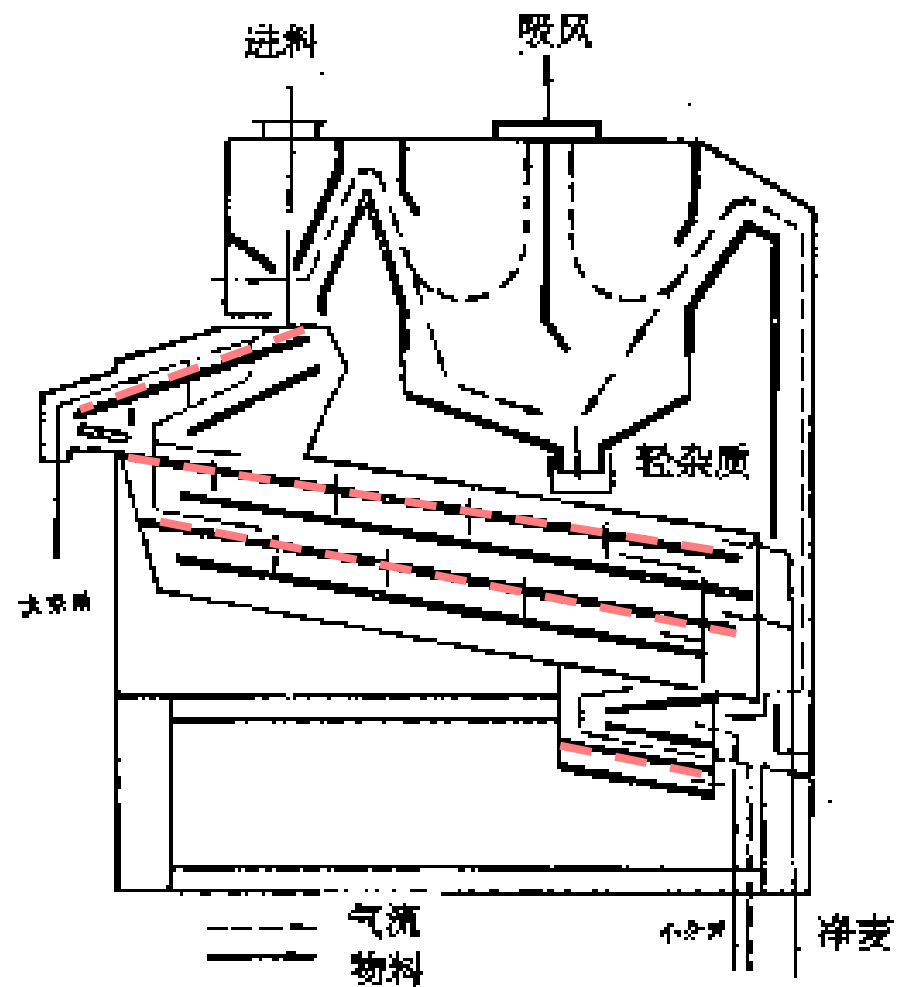


图 2-61(a) 高速振动筛的结构

- 1—进料装置 2—主筛 3—弹簧 4—机架 5—电动机
 6—传动轴 7—轴承 8—副筛 9—轻杂质出口
 10—后吸风道 11—沉降室 12—前吸风道



(b) 高速振动筛的工作过程





(四) 高速振动筛

- 高速振动筛的结构类似于振动筛，只是因为其振动频率较高，为了减小机器振动，筛体常采用弹性支承，并设有自动平衡振动器，使机器在起动或停车时不致产生共振。
- 高速振动筛的适宜工作转速 n 为

$$n \approx (40 \sim 54) \sqrt{\frac{\cos \alpha}{r}} \quad (\text{r/min})$$

(四) 高速振动筛

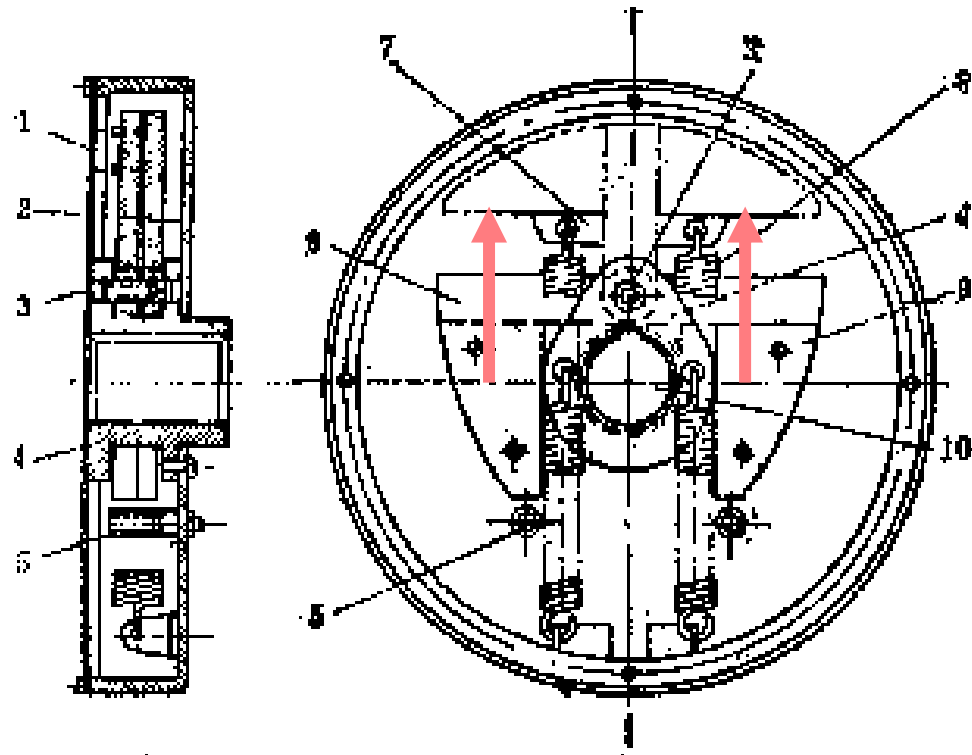


图 2-62 高速筛白振器的结构

1—护盖 2—圆盘 3—销柱 4—偏心轴套 5—支承销
6—偏心重 7—拉块 8—弹簧 9—偏重心 10—主轴

(五) 曲筛 (弧形筛)

在淀粉红粉加工中，曲筛可以用来分离、洗涤胚芽和粗、细纤维，回收淀粉。

■ 梯形钢条间构成细长的筛缝，筛缝间隙可根据加工原料的类型和组成来确定，一般在 $20\mu\text{m}$ 以下。常用的曲筛筛面弧形角为 60° 和 120° 。

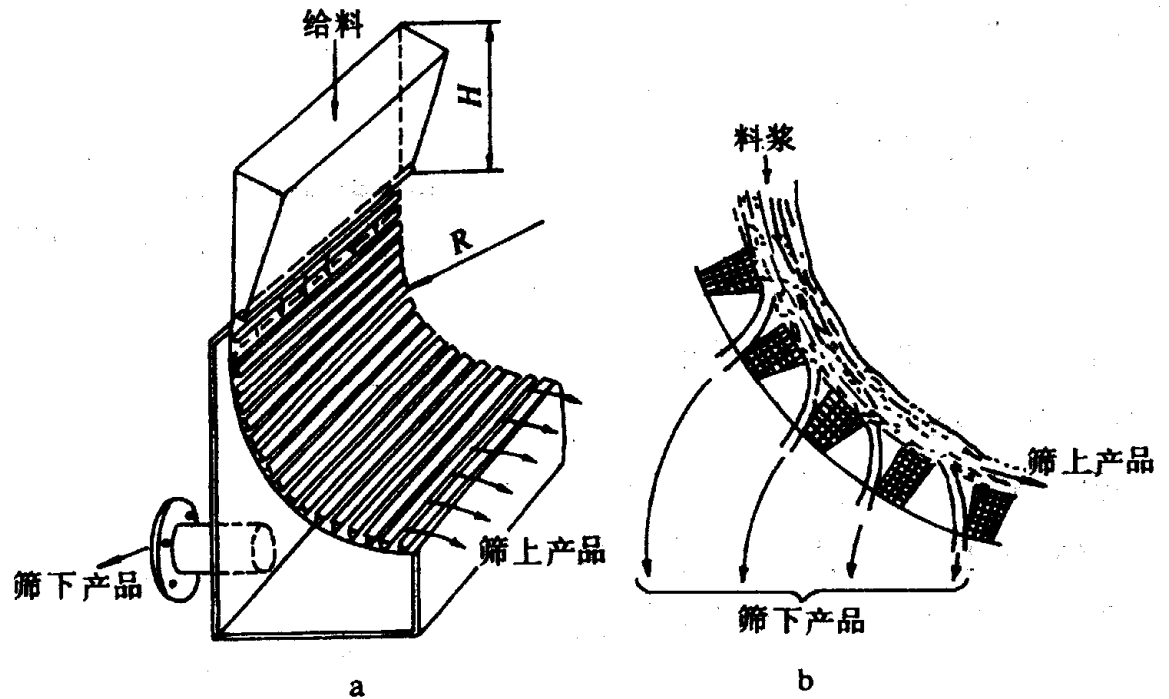


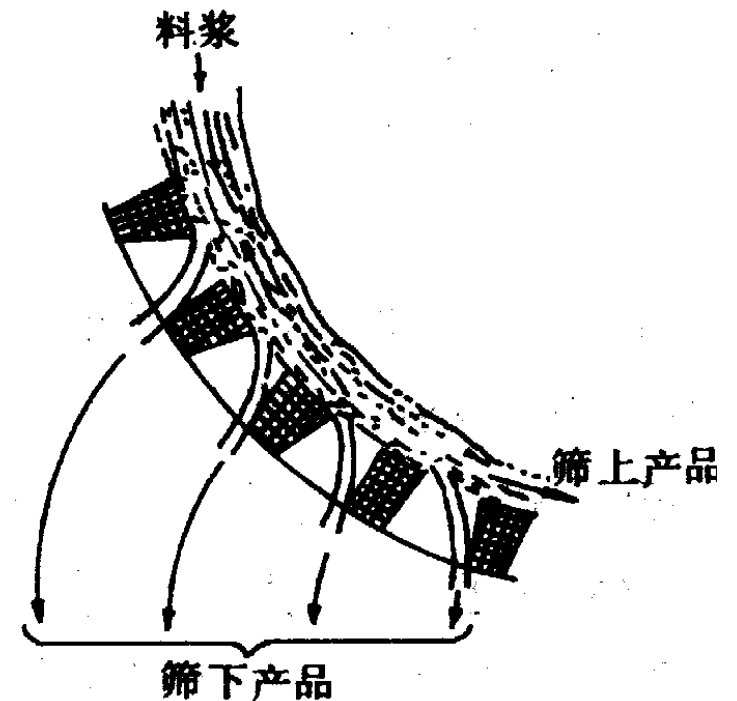
图 2-16 曲筛

(五) 曲筛 (弧形筛)

- 工作时，糊状物料借助重力或以 $0.2 \sim 0.4\text{Mpa}$ 的压力沿正切方向喷入筛面，并使其沿整个筛面宽度上均匀分布。在运动中，淀粉乳和小渣颗粒漏过筛孔，粗、细纤维则由筛面末端排出。

颗粒的筛分情况与筛条的棱是否锋利有直接关系。

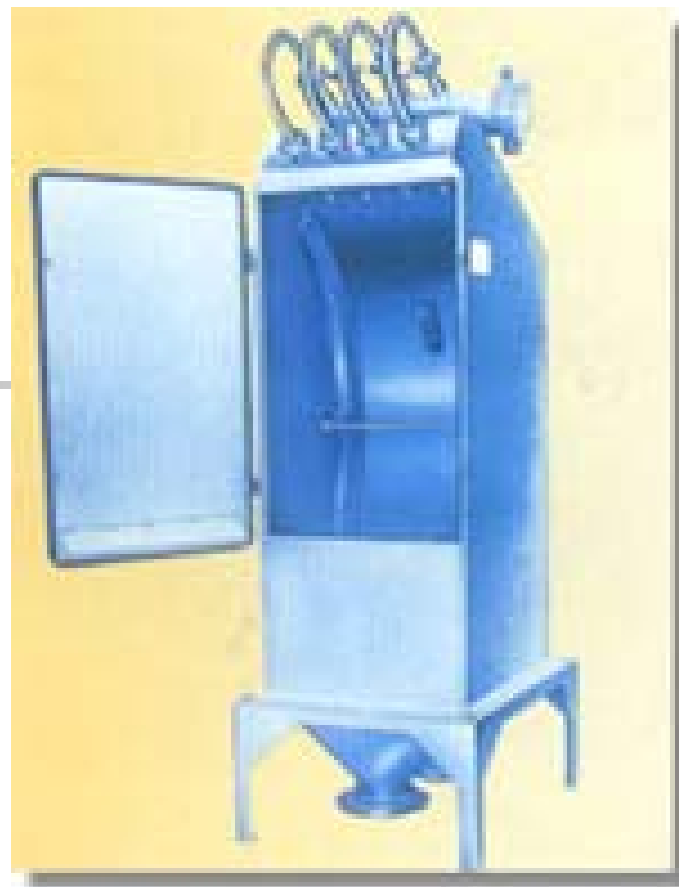
曲筛的分级粒度大致是筛孔尺寸的一半。但随着筛条棱的磨损，通过筛孔的粒度将减小。



b

■ Qs-585型压力曲筛

■ 主要技术参数



弧形半径 mm	762
中心包角	120
筛缝宽度 mm	0.03-0.15
进料压力 Mpa	0.02-0.04
含纤维渣 g/L	0.08
生产能力 m ³ /h	34-46
机重 kg	275

三、重力分选 (干法重力分选和湿法重力分选)

- ⊗ 干法重力分选是应用振动和气流作用原理，按物料的密度不同进行分选的方法。
- ⊗ 干法重力分选的典型设备是比重去石机和重力分选机。重力分选往往在筛选之后进行，可分离按尺寸分选法所不能分离的一些杂质。
- ⊗ (一) 比重去石机 比重去石机是专门清除密度比粮粒大的并肩石（石子大小类似粮粒）等重杂质的一种先进设备。
- ⊗ 比重去石机分吸式比重去石机和吹式比重去石机。

1. 构造

• 吹式比重去石机

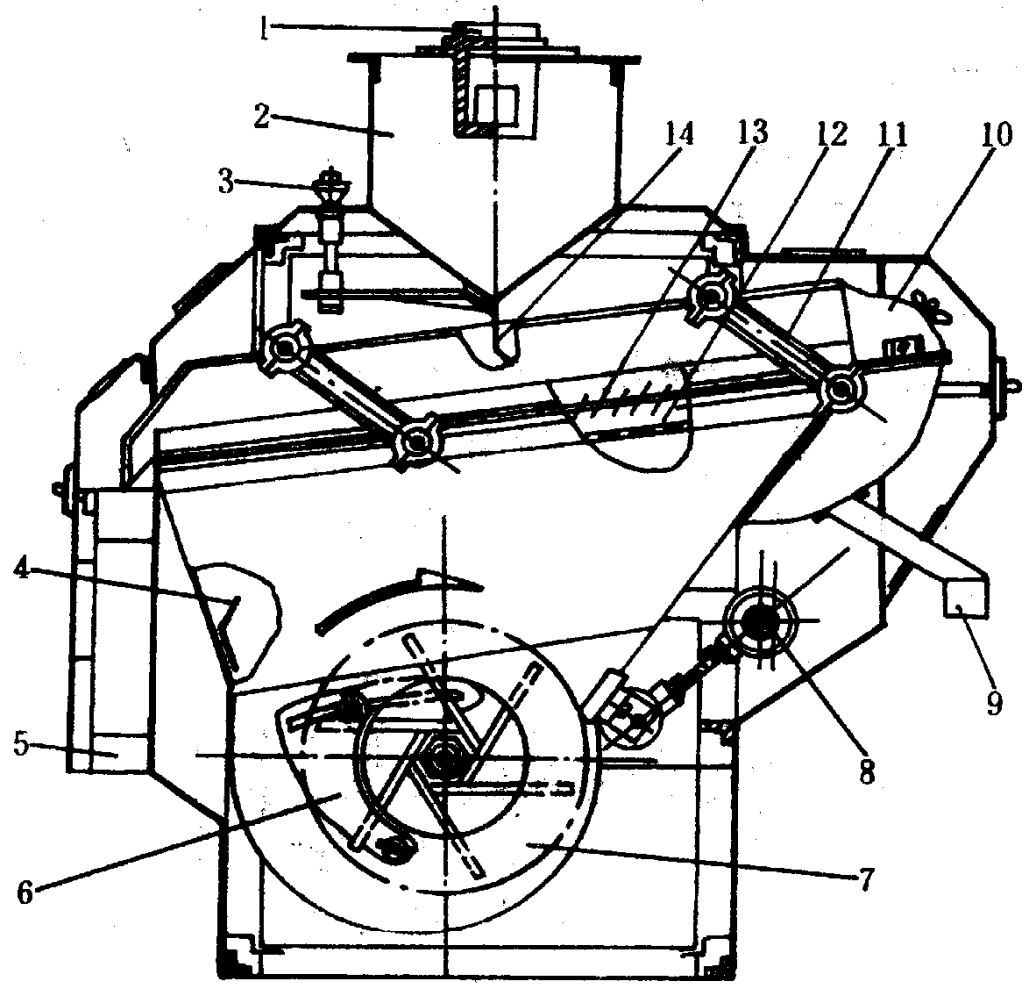


图 2-17 比重去石机

1. 进料口 2. 进料斗 3. 进料调节手轮 4. 导风板 5. 出料口
6. 进风调节装置 7. 风机 8. 偏心传动机构 9. 出石口 10.
检查装置(精选室) 11. 吊杆 12. 匀风板 13. 去石筛面
14. 缓冲匀流板

吸气式比重去石机

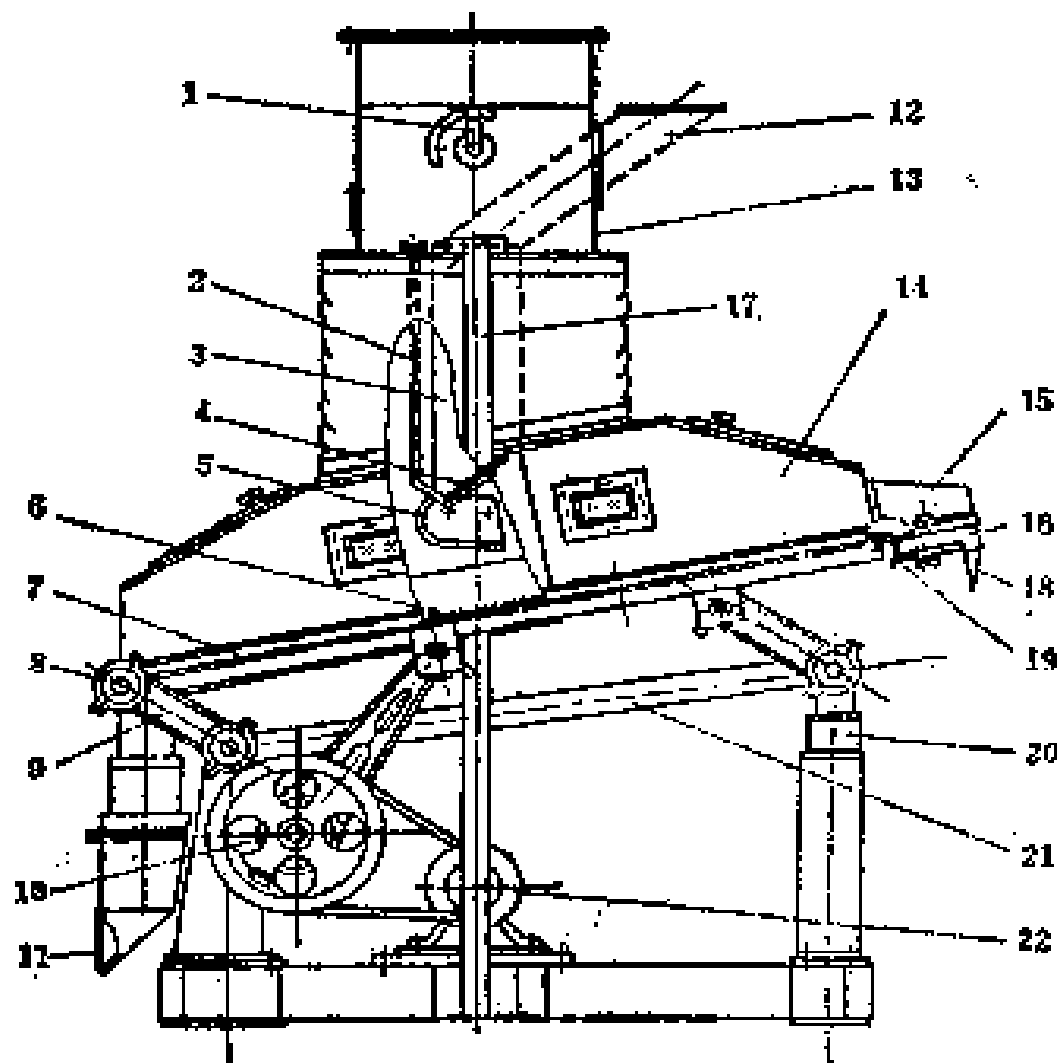


图 2 - 72 吸式比重去石机的结构

- 1 - 风量调节装置 2 - 弹簧 3 存料斗 4 压力门 5 - 缓冲槽
 6 - 去石筛面 7 - 筛体 8 - 橡胶轴承 9 - 撑杆 10 - 偏心传动机构
 11 - 出料口 12 - 进料管 13 - 进料及吸风装置 14 - 吸风罩
 15 - 检查装置(精选茶) 16 - 进风室 17 - 支架 18 - 出石口
 19 - 调风板 20 - 垫板 21 - 连杆 22 - 电动机

三、重力分选

- 根据作用不同，去石筛面分为以下几个区段
- **分离区**：物料与砂石在此区作初步分离。
- **聚石区**：筛面沿石子运动的方向逐渐收缩。

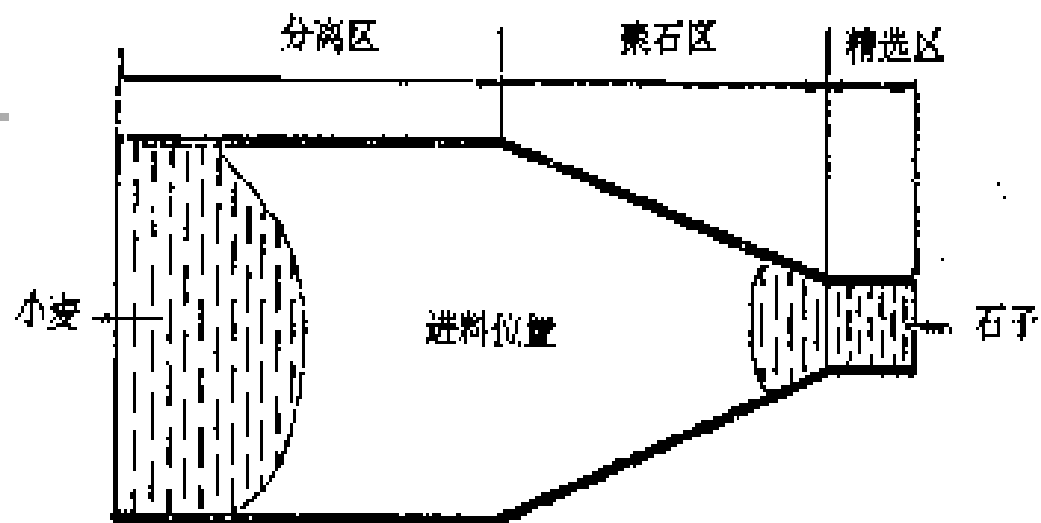


图 2 - 69 去石筛面

精选区：在此利用反向气流将谷粒吹送回去，避免随同石子

问题：为什么聚石区设计成梯

比重去石筛面

- 单面向上突起阻止石子下滑作用较强，双面突起开孔较大，对气流的阻力小。

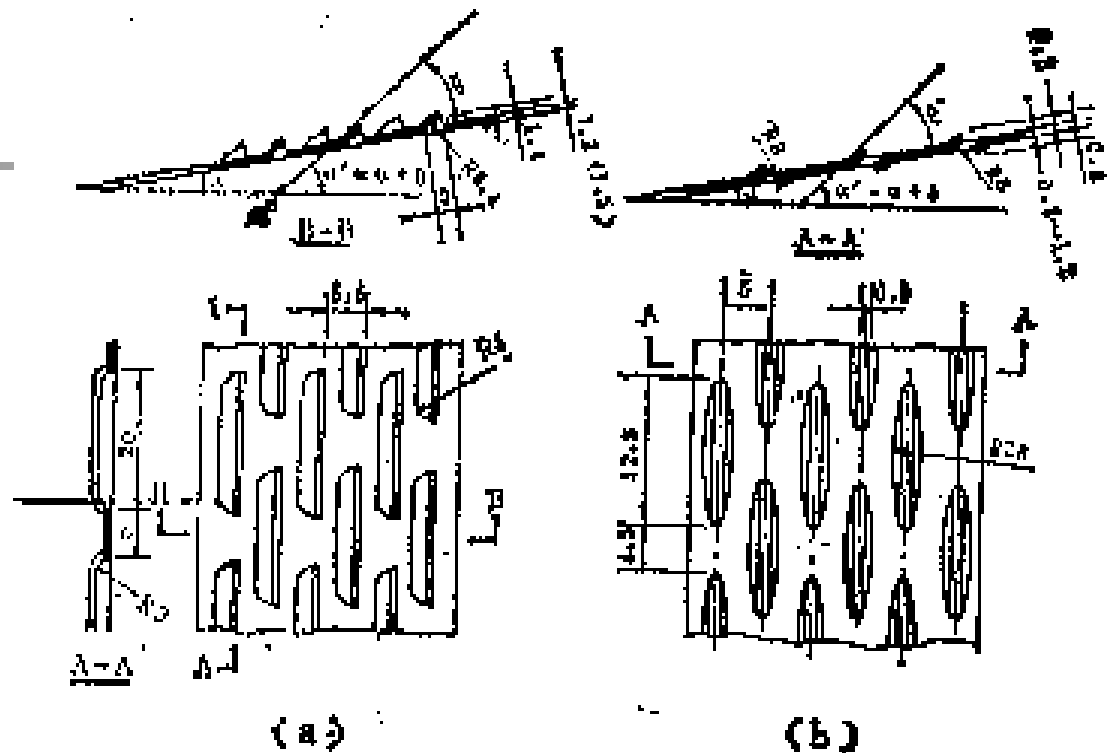


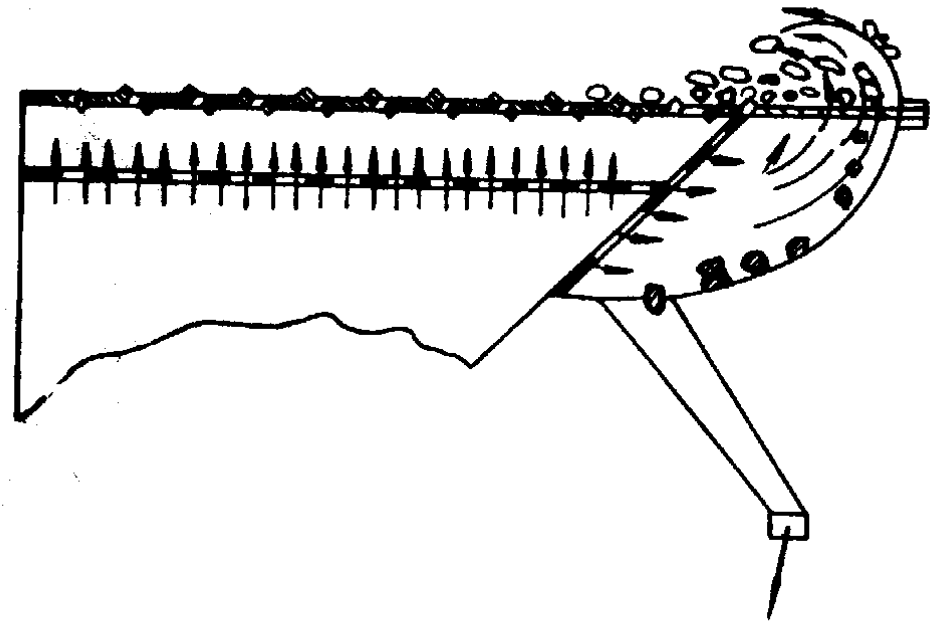
图 9-29 给煤机筛孔与石筛面的孔型

问题：去石筛面上筛孔的作用是什么？

- 精选区的筛孔也有两种：圆形和单面向下突起筛孔。

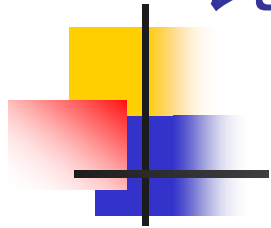
比重去石机

- 吹风系统：包括风机、导风板、匀风板、风量调节装置等。
- 传动机构：为曲柄连杆式



问题：气流及筛面振动的作用各是什么？

比重去石机



编织筛面比重去石机

- 编织筛面比重去石机的供气方式为吸气式。
其结构特点是：■
 - (1) 采用钢丝编织去石筛面，气流均匀向上穿过筛孔，因此筛孔不易堵塞；筛面下部分别设有匀风格和匀风板，以增加匀风效果。

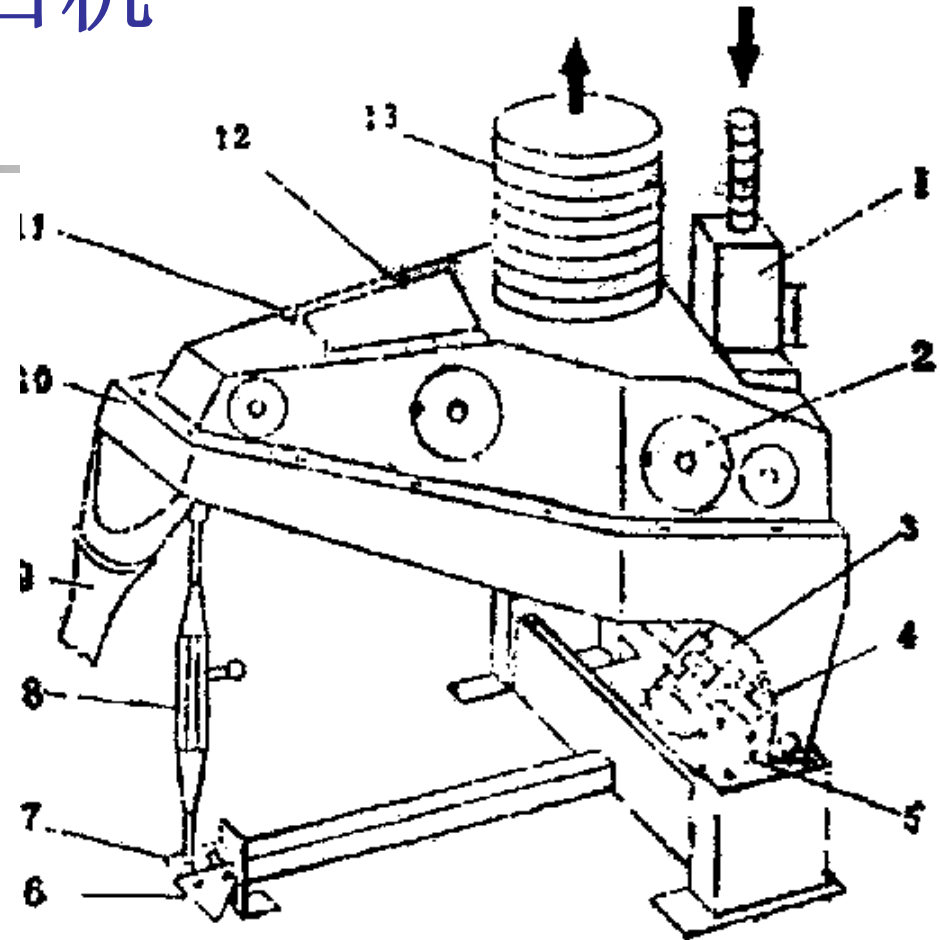


图 2 - 73 编织筛面去石机示意图

3. 编织筛面比重去石机

- (2) 去石筛面设有预分区，便于提高分离效率；
- (3) 在分离区的出料端，设有挡料台阶，以保持物料始终布满筛面，物料必须溢过台阶才能流向出料口，同时避免料层底部的石子混入物料排出；

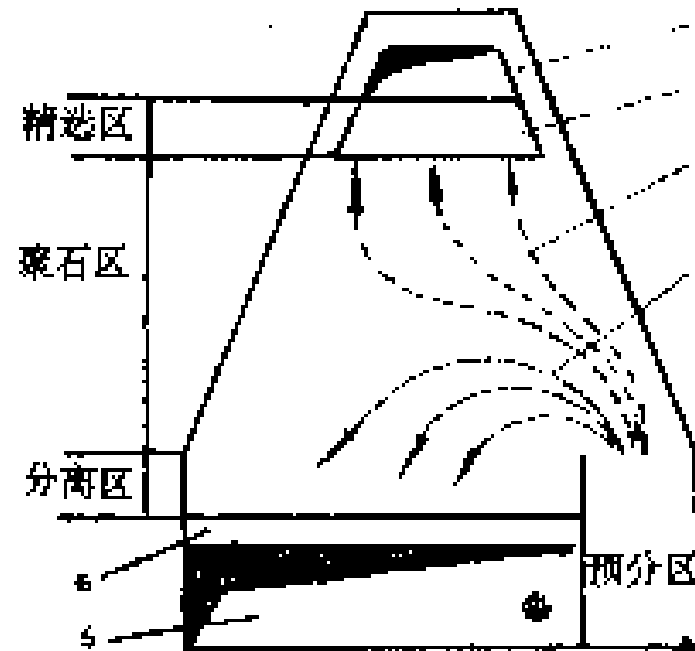


图 2 - 74 钢丝编织去石筛面

1 - 石出口 2 - 调节板 3 - 石子运动方向
4 - 小麦运动方向 5 - 小麦出口 6 - 挡料台阶

(二) 重力分选机

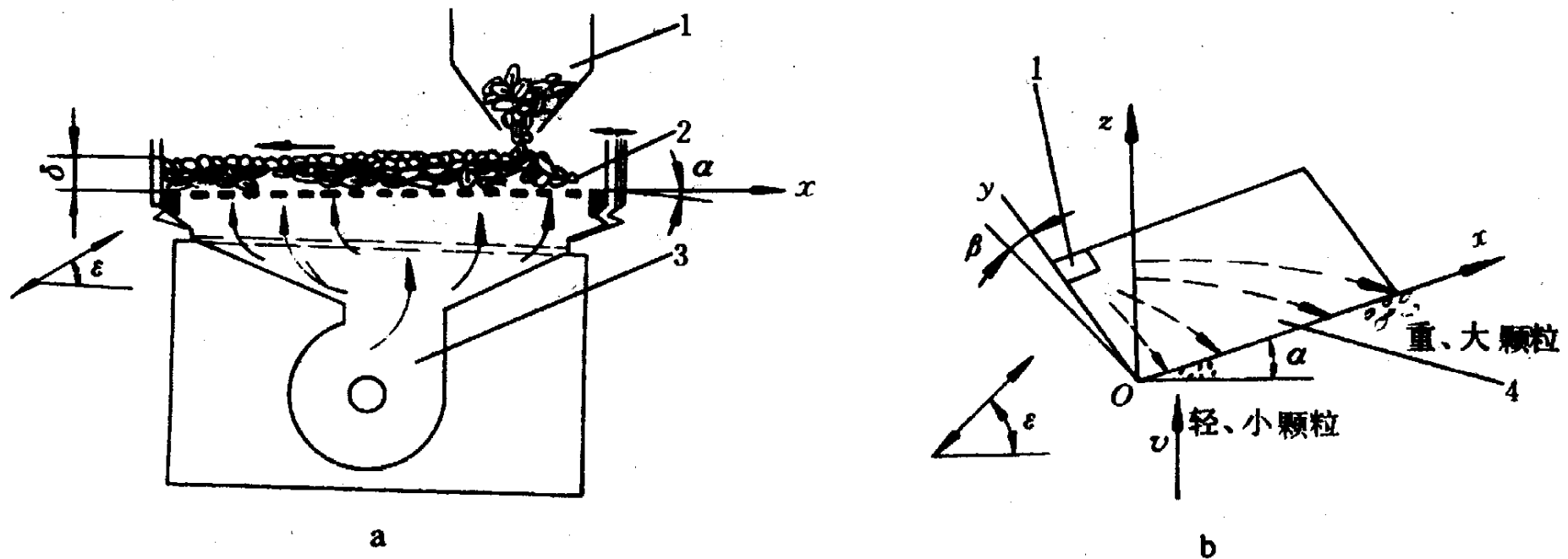


图 2-19 重力分级机

a. 种子按密度分层及上、下层种子的纵向(x向)分离 b. 种子在网面上的运动路线

1. 喂料斗 2. 振动网面 3. 风机 4. 出料边

5TZX-50型重力分級機



生产能力：50-100Kg/h

配套动力：0.8Kw

外形尺寸：1.1x0.7x1.6(m)



(三) 去石洗麦甩干机

- **湿法重力分选的原理是：**不同密度的颗粒在水中受到水的浮力及下降阻力的作用。密度小于水的颗粒及杂物上浮而被分离，密度大于水的颗粒下沉。按**沉降速度**的不同可将不同密度的颗粒分开。
- 由于水的密度和粘度比空气大得多，体积相同密度不同的颗粒，其密度比值及自由沉降速度在水中比在空气中差别更大。

例如，小麦的比重为 1.3g/cm^3 ，并肩石的比重为 2.6 ，它们在水中及在空气中的比重之比分别为 5.33 和 2 。显然，分离小麦中的并肩石，用水选比用风选更为有效。如小麦与并肩石在水中同时沉降，其自由沉降速度分别约为 10mm/s 和 240mm/s ，二者速度之差比在空气中的大。

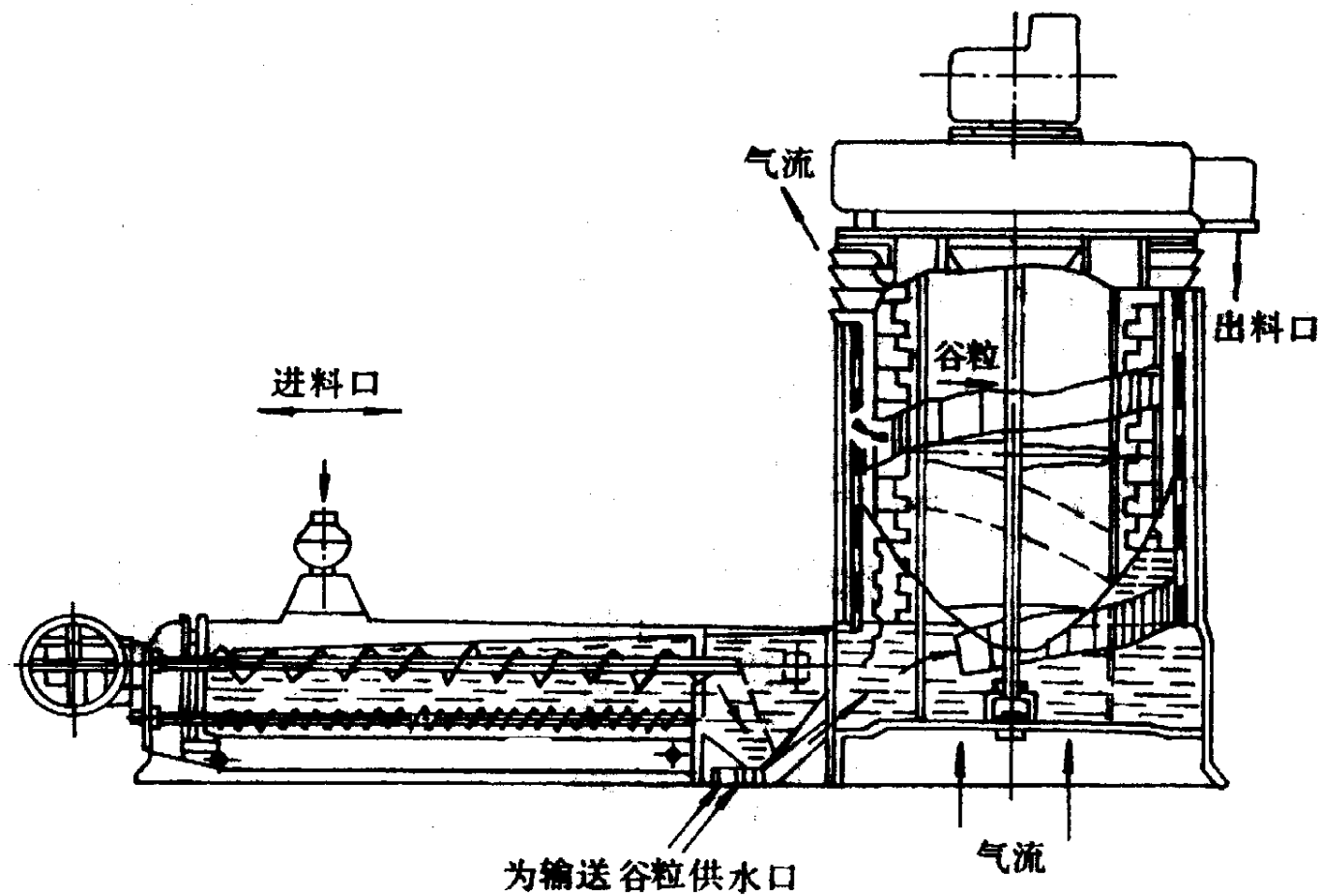


(三) 去石洗麦甩干机

- **沉降速度**：物料颗粒从静止状态开始，在流体中自由下落最终达到匀速沉降，这一临界速度就是该物料的沉降速度。

$$F = K\rho_a F (V_a - V_x)^2$$

(三) 去石洗麦甩干机



(三) 去石洗麦甩干机





四、精 选

- **精选**：按籽粒长度和形状不同进行分选的方法叫做**精选**。
- 精选对其他清选方法只是相对而言，一般是在筛选之后进行的较为精确的分选。
- 分类：常用的精选机有**袋孔（或称窝眼）精选机**和**螺旋精选器**。窝眼精选机又分为**碟片精选机**和**滚筒精选机**。精选机主要用于从小麦中除去荞子和燕麦等杂质。



四、精 选

- （一）滚筒精选机
- 按其旋转的速度有快速和慢速之分；按其作用有荞子滚筒、大麦滚筒和分级滚筒之分。

四、精 选

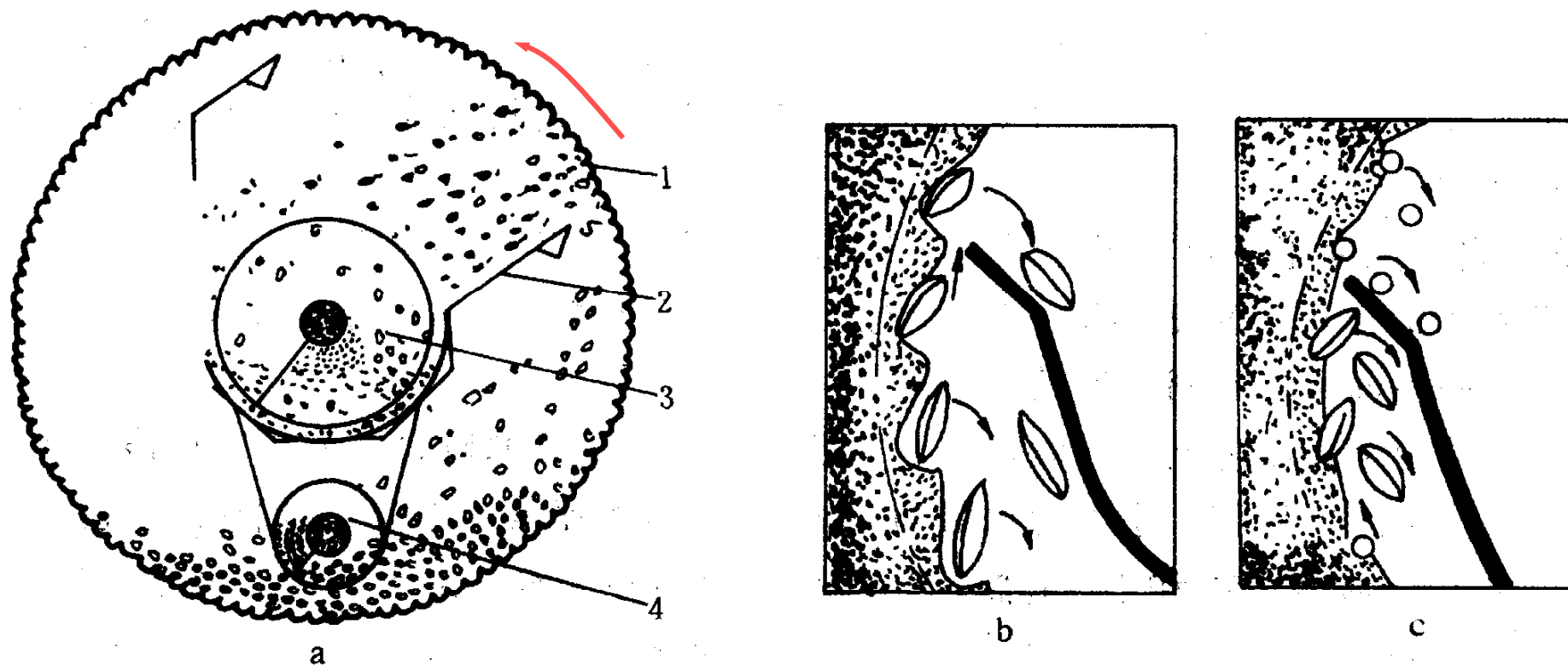


图 2-21 窝眼筒

a. 结构示意图 b. 种子分级 c. 种子清选

1. 窝眼筒 2. 承种槽 3. 短物料螺旋输送机 4. 长物料螺旋输送机

四、精 选

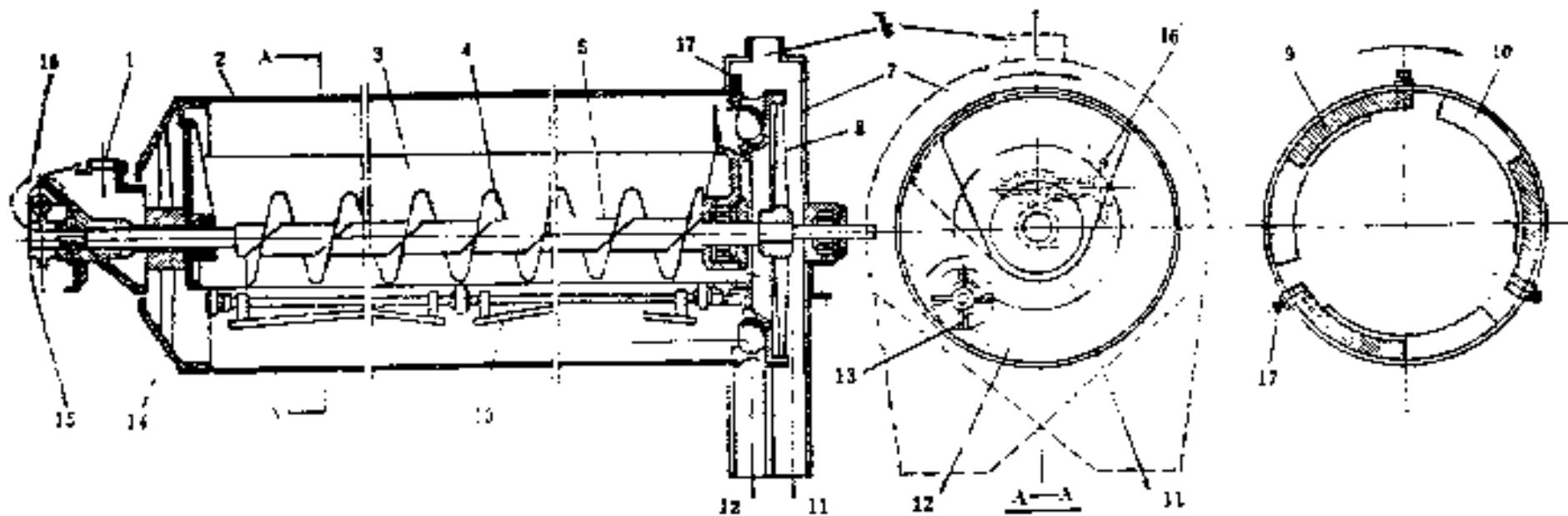
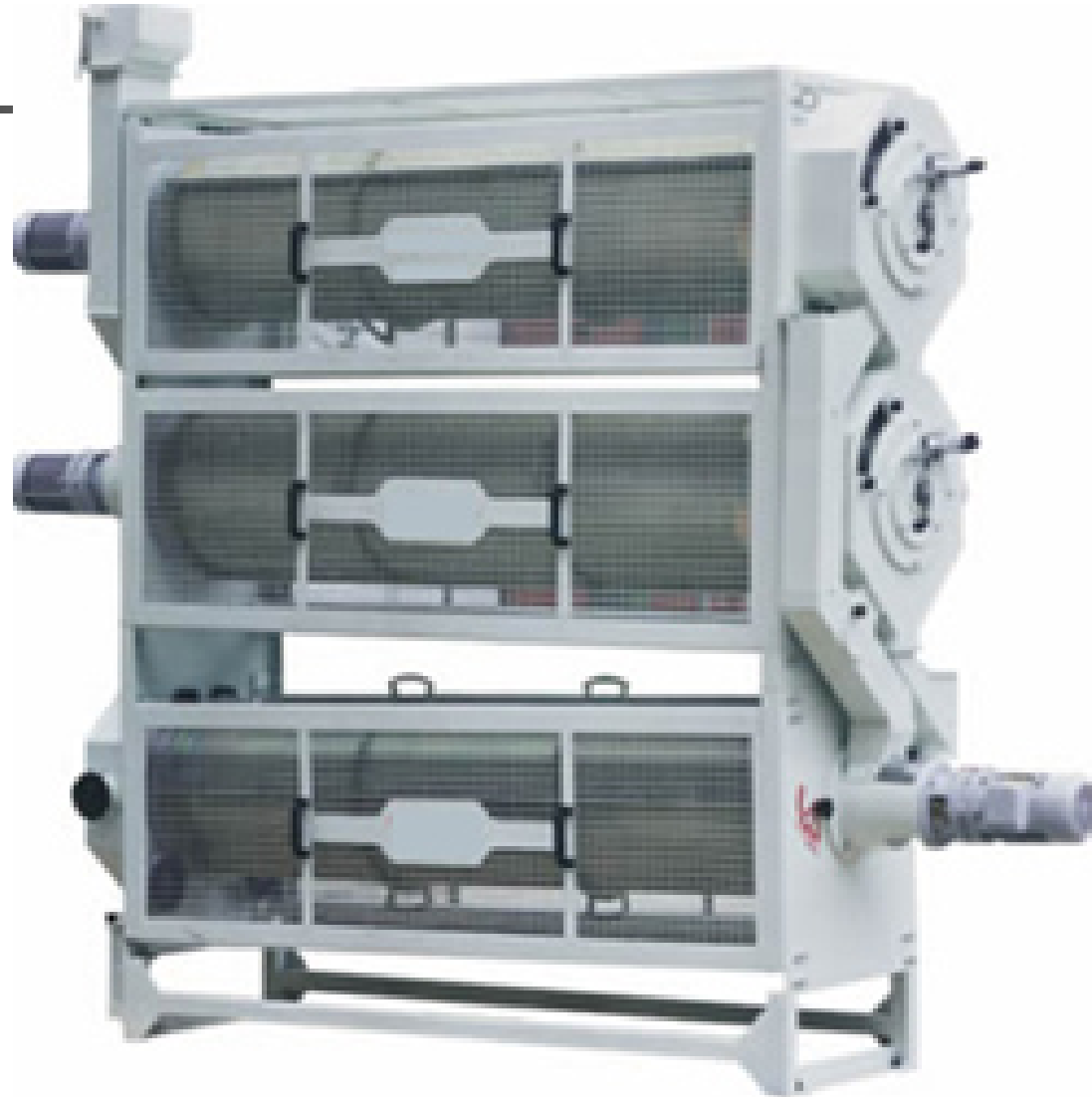
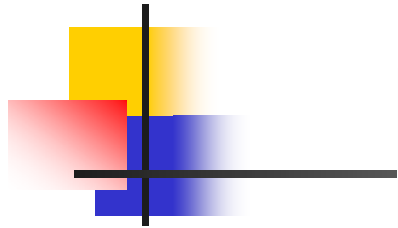


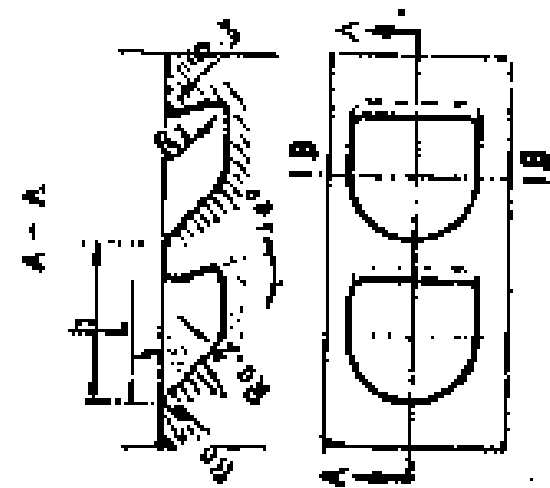
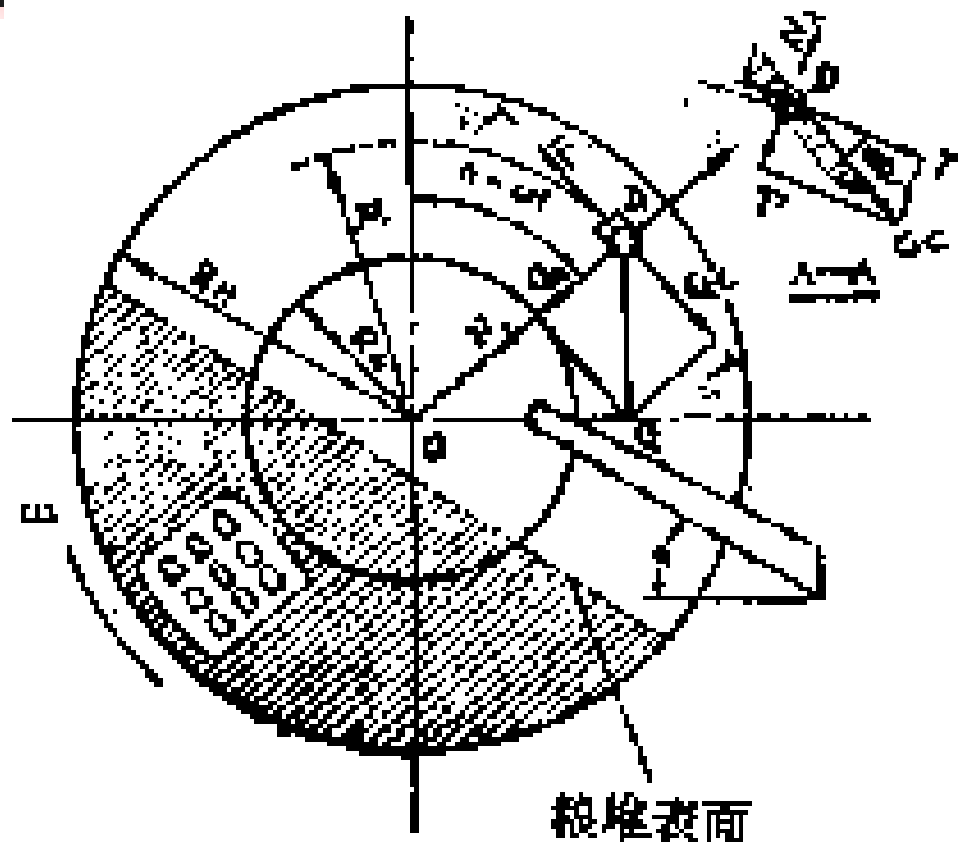
图2—69 滚筒精选机的结构

- 1—进料口 2—滚筒 3—收集槽 4—蛟龙 5—轴 6—吸风口 7—卸料保护罩 8—轴承接头
 9—可调挡板 10—固定挡盘 11—短粒出口 12—长粒出口 13—搅动器 14—端盖接头
 15—齿条板 16—手轮 17—螺钉

四、精 选



四、精 选



短粒在碟片精选机窝眼内受力分析

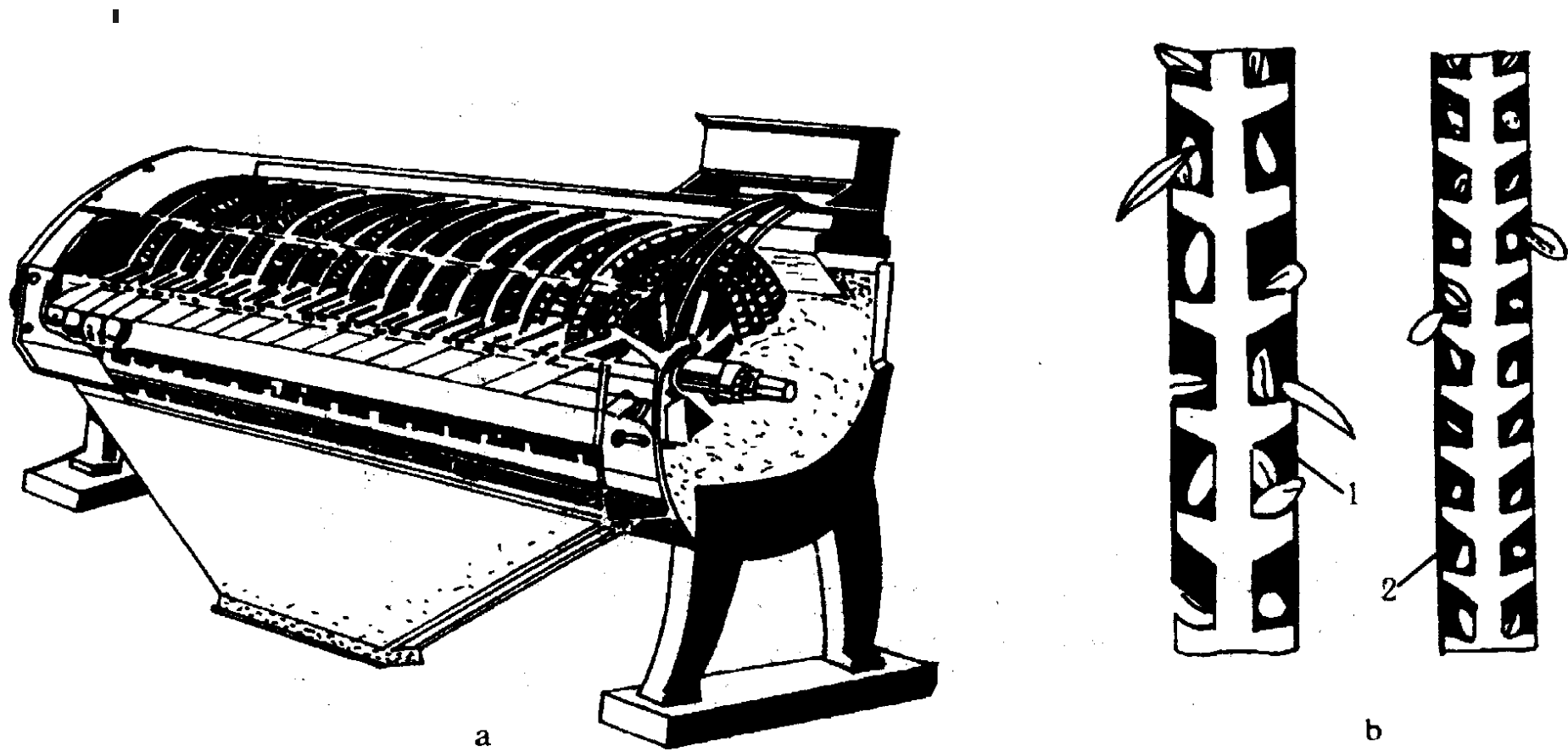


图 2-22 碟片精选机

a. 碟片精选机工作情况 b. 碟片的袋孔

1. 分离大麦和燕麦的袋孔 2. 分离荞子的袋孔

四、精 选

■ (三) 螺旋精选器 (也称抛车)

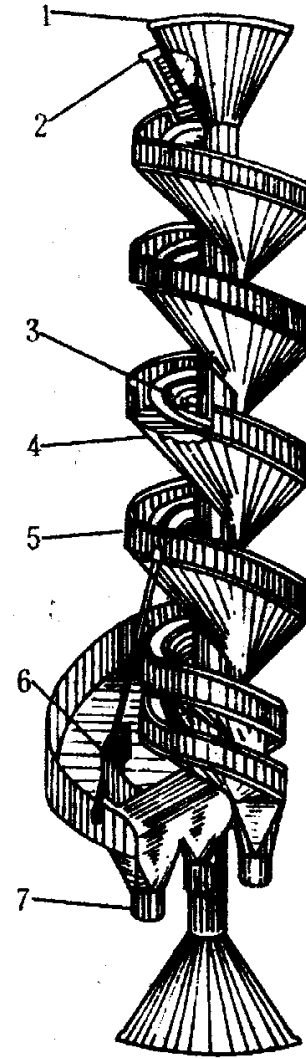


图 2-23 螺旋精选器
的结构

1. 进料斗 2. 放料闸门
3. 内抛道 4. 外抛道 5. 挡板
6. 隔板 7. 出口管道

五、磁 选

- 磁选设备分永磁溜管和永磁滚筒：
- **(一) 永磁溜管**

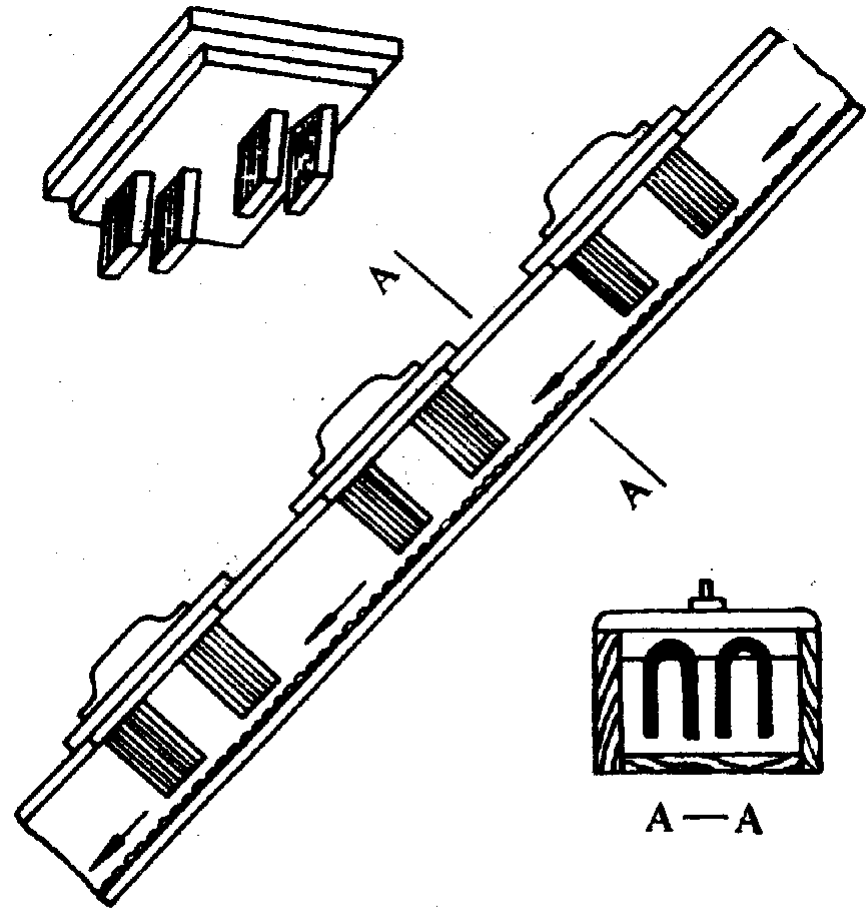
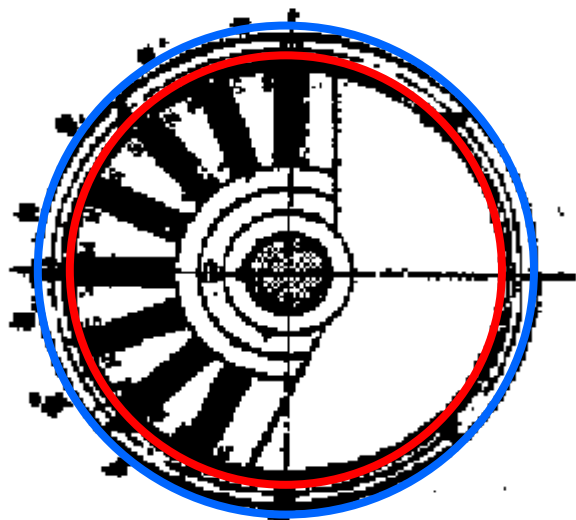


图 2-24 永磁溜管

五、磁 选

(二) 永磁滚筒



(b)

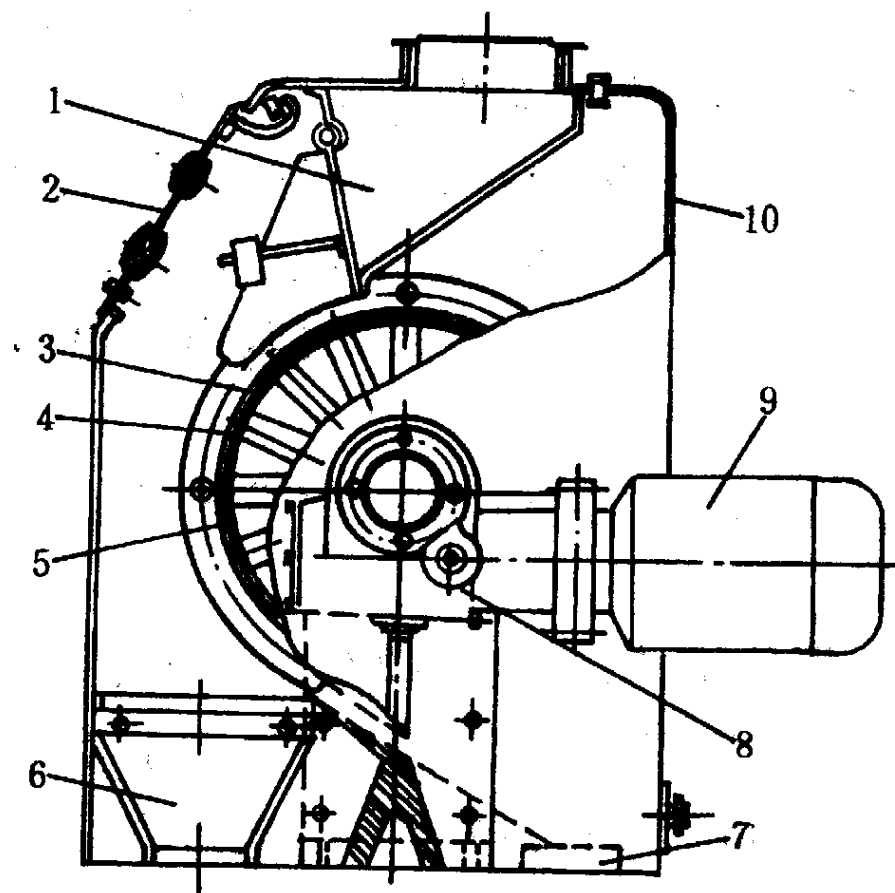


图 2-25 永磁滚筒的结构

1. 进料斗 2. 观察窗 3. 滚筒 4. 磁芯 5. 隔板
6. 小麦出口 7. 铁杂质收集盒 8. 变速机构
9. 电动机 10. 机壳

五、磁 选

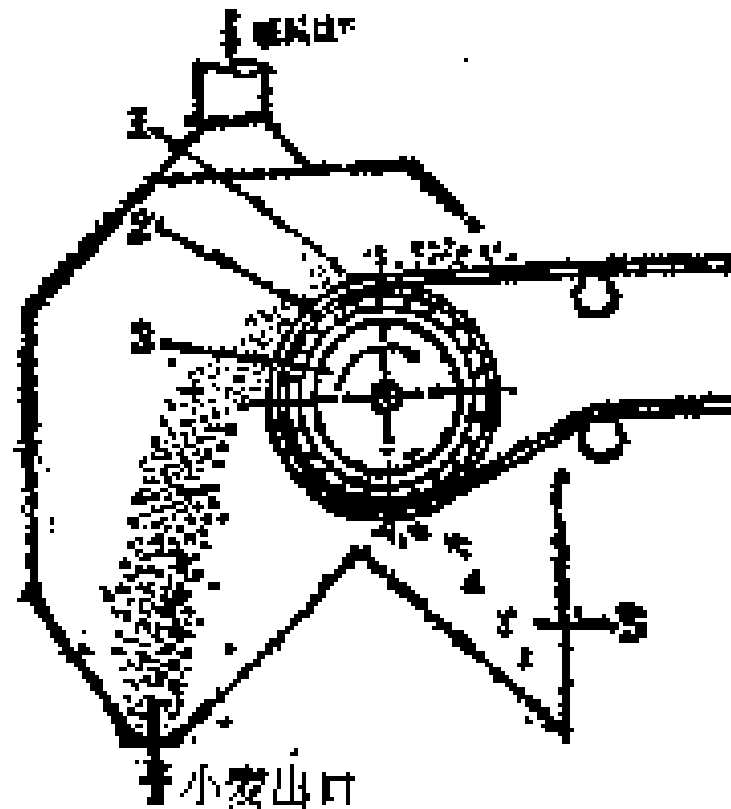


图 2 - 91 带式永磁滚筒

- 1 输送带 2 - 永久磁体 3 - 头部滚筒
4 - 粮食出口 5 - 磁性杂质出口

六、擦麦机

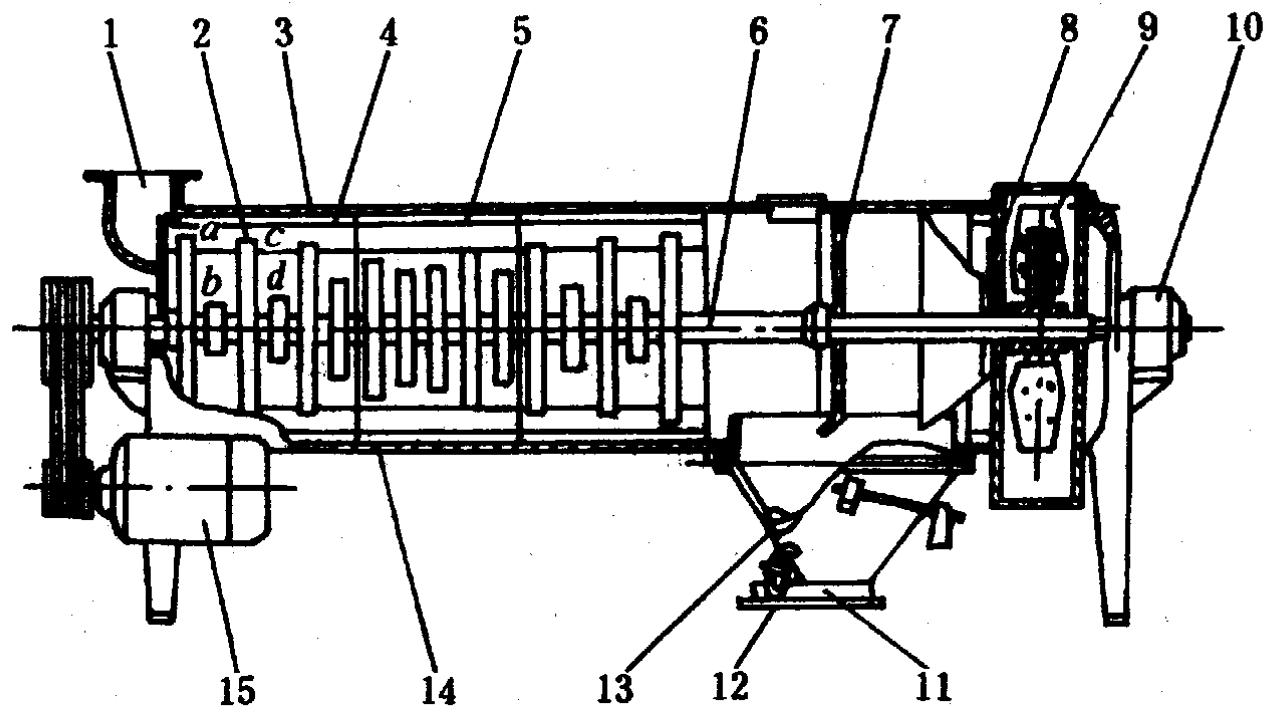


图 2-26 擦麦机

1. 进料口 2. 打板 3. 上盖 4. 齿板 5. 光板 6. 主轴 7. 筛网
8. 调节风门 9. 风机 10. 轴承 11. 出料口 12. 风门 13. 压力
门 14. 底槽 15. 电动机

六、擦麦机



七、花生米色选机

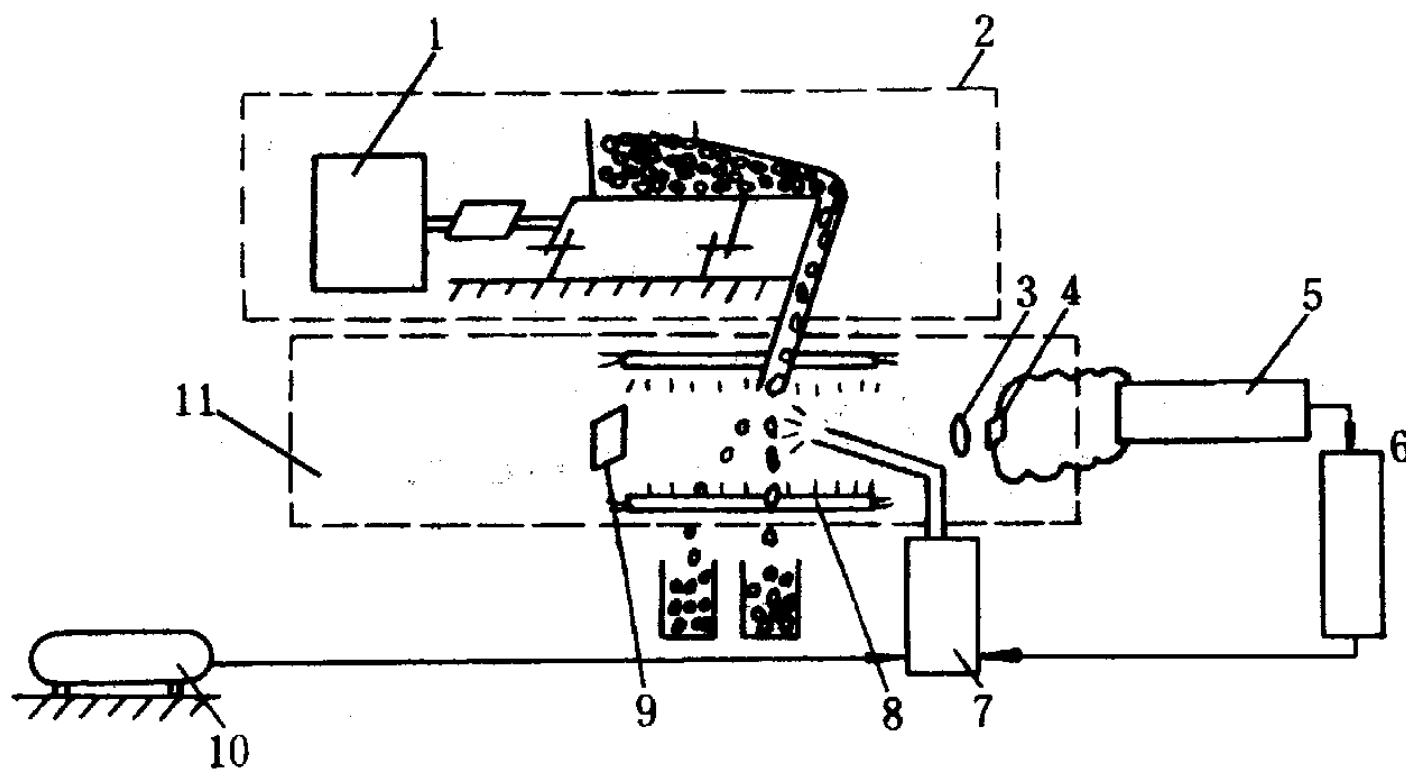
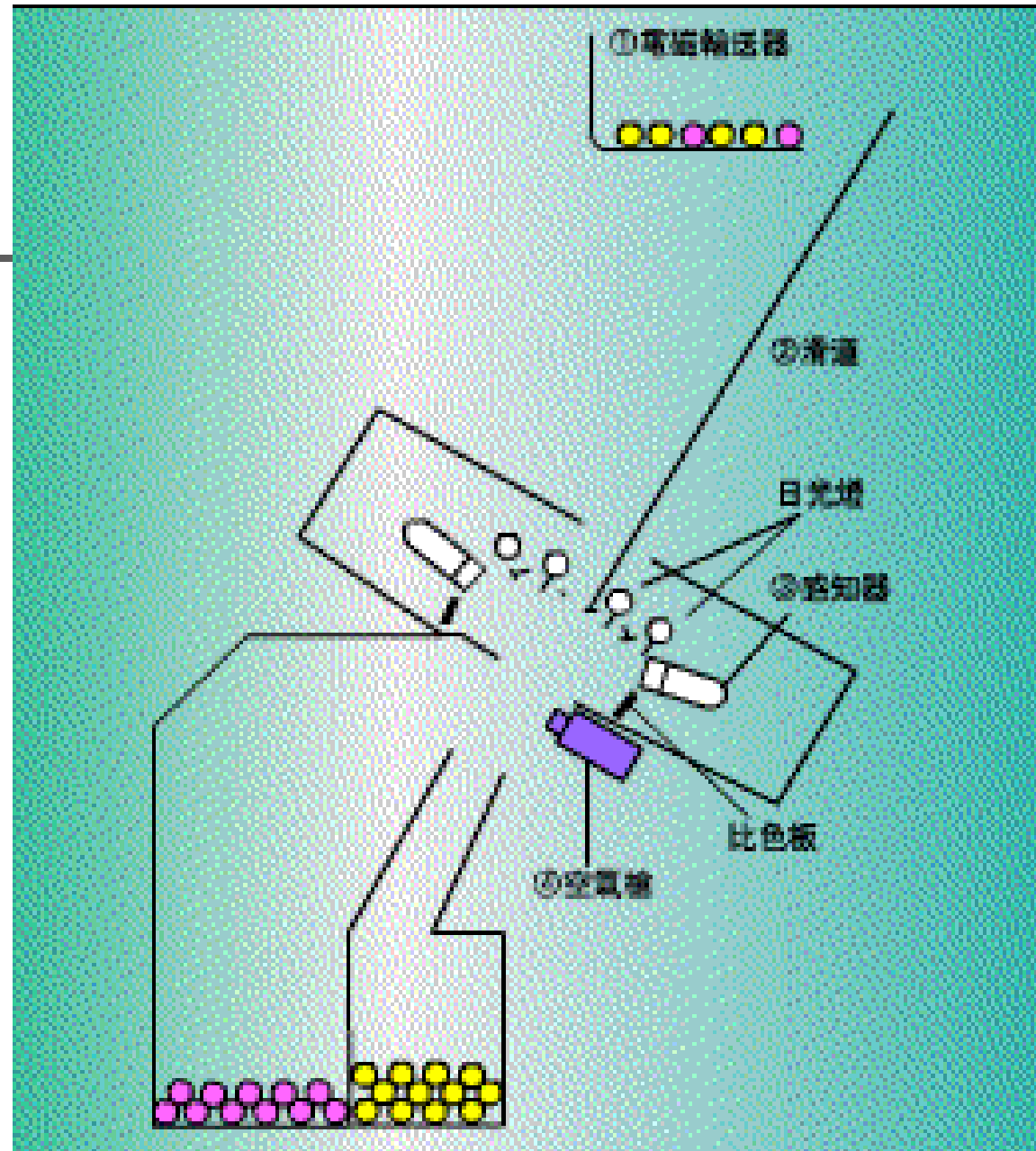
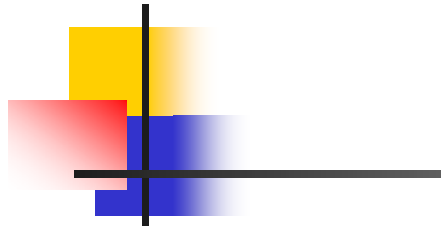
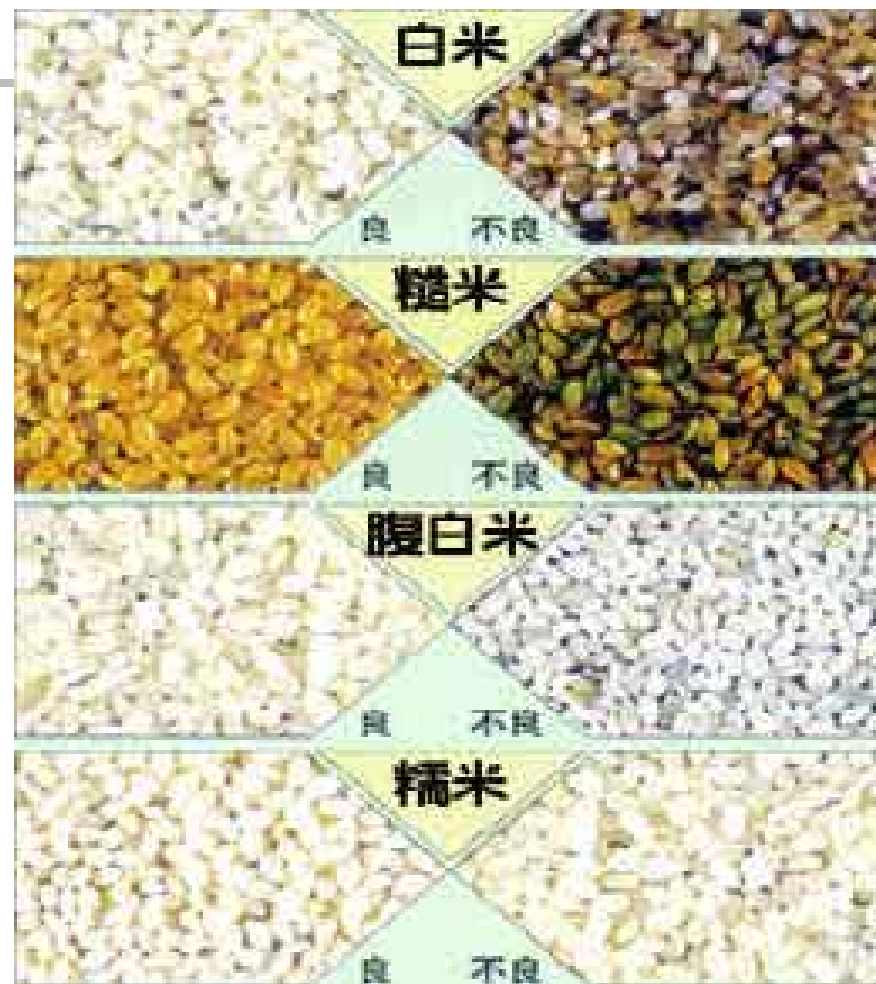


图 2-27 花生米色选机

1. 振动筛控制电路 2. 下料部分 3. 镜头 4. 硅光电池 5. 前置放大器 6. 主控组合装置 7. 电磁阀 8. 日光灯 9. 比色板
10. 空压泵 11. 光箱



七、花生米色选机





第三节 果蔬分选分级机械

- ⊗ 农产品的分选分级工作一般是在清理完成之后进行。
- ⊗ **分级**是将清理后的物料按其尺寸、形状、重量、颜色、品质等特性的不同分成等级，即利用物料各组成部分的物理机械特性差异进行分选分级。

本节着重阐述水果和蔬菜的分级。



第三节 果蔬分选分级机械

果蔬分级常用的方法可归纳为三种：

- 一、按尺寸分级
- 二、按重量分级
- 三、按光学特性分选

一、按尺寸分级

(一) 滚筒式分级机

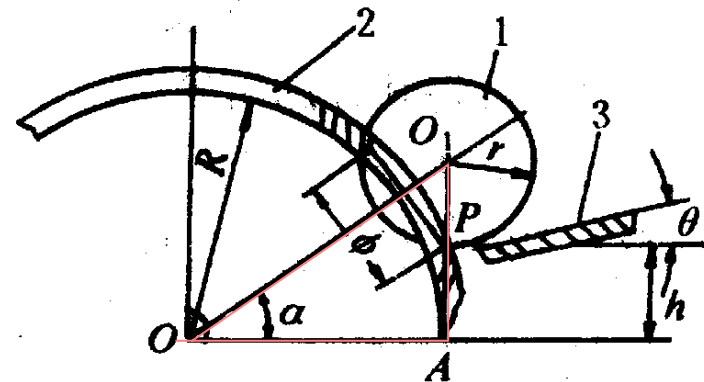
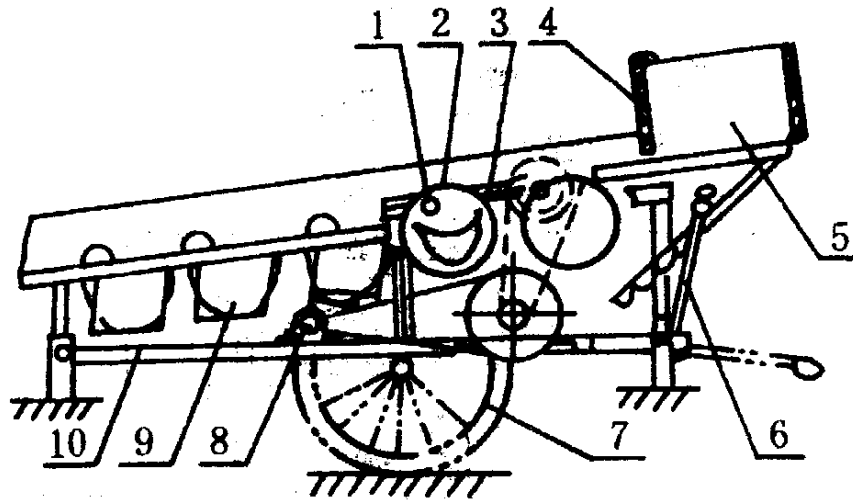
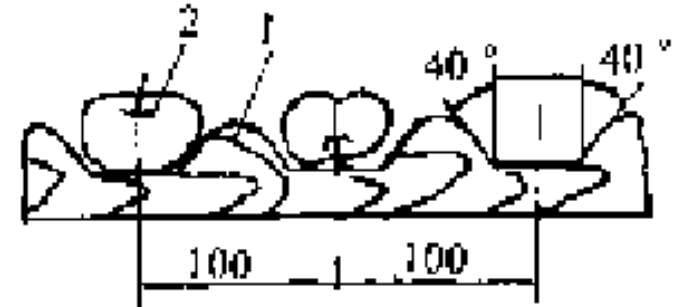


图 2-28 多级滚筒式分级机

a. 分级机结构图 1. 辊轴 2. 分级滚筒 3. V形导果槽板 4. 喂料阀门 5. 果箱 6. 手把 7. 车轮

8. 电动机 9. 接果盒 10. 机架

b. 水果喂入条件的极限状况 1. 水果 2. 分级滚筒 3. V形导果槽板

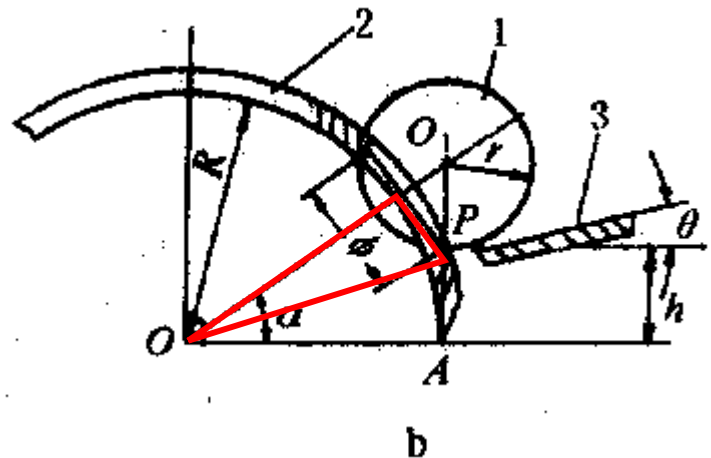
一、按尺寸分级

- 入孔条件：设 h 为 P 点至滚筒中心的垂直高度，由图中可得

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin \frac{\phi}{2r}$$

$$h = \left(\sqrt{R^2 - \frac{\phi^2}{4}} + \sqrt{r^2 - \frac{\phi^2}{4}} \right) \sin \alpha - r$$

适当加大 h 值，可改善喂入条件。



(二) 辊轴分级机

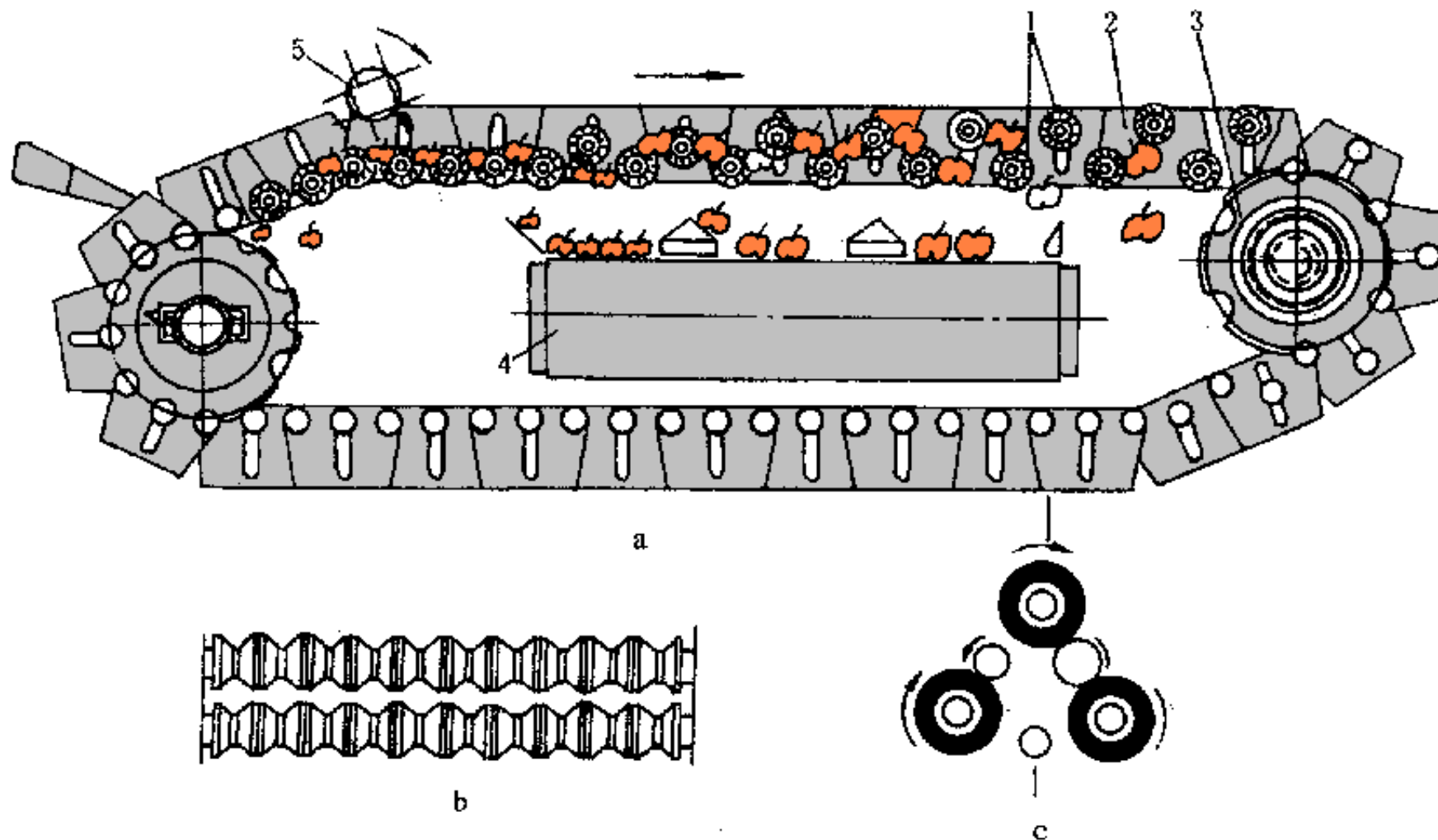


图 2-29 辊轴分级机

a. 结构示意图 b. 辊轴形状 c. 三辊轴工作原理

1. 辊筒 2. 驱动链 3. 链轮 4. 出料输送带 5. 理料辊

(三) 回转带分级机

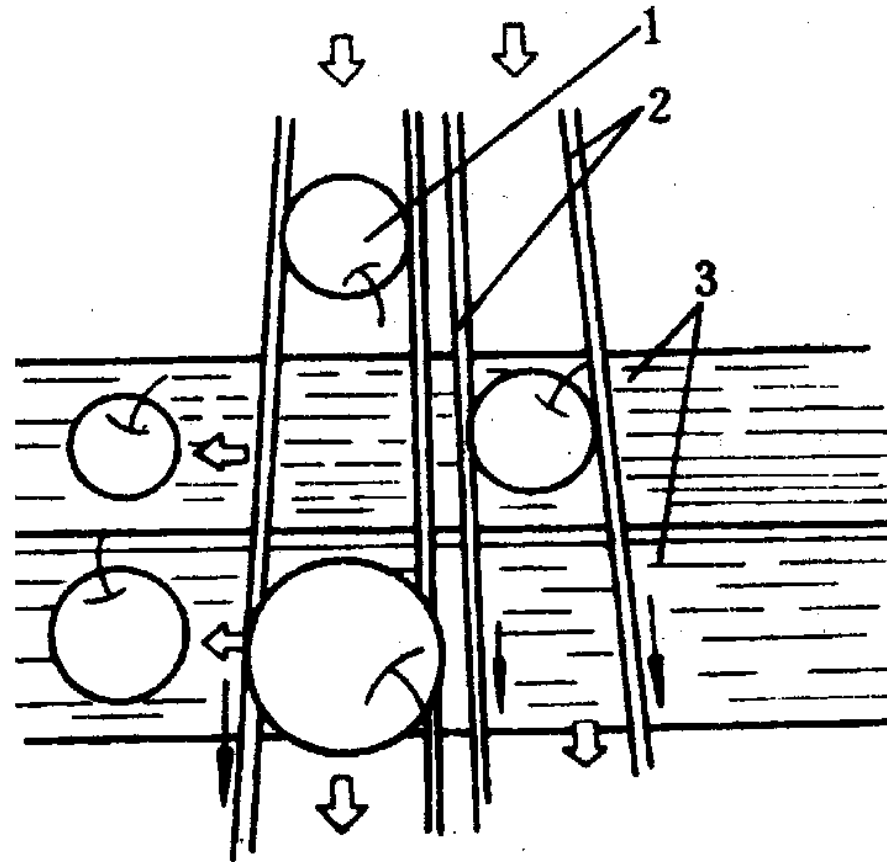


图 2-30 回转带分级原理

1. 物料 2. 选果带 3. 输送带

(四) 光电分选机

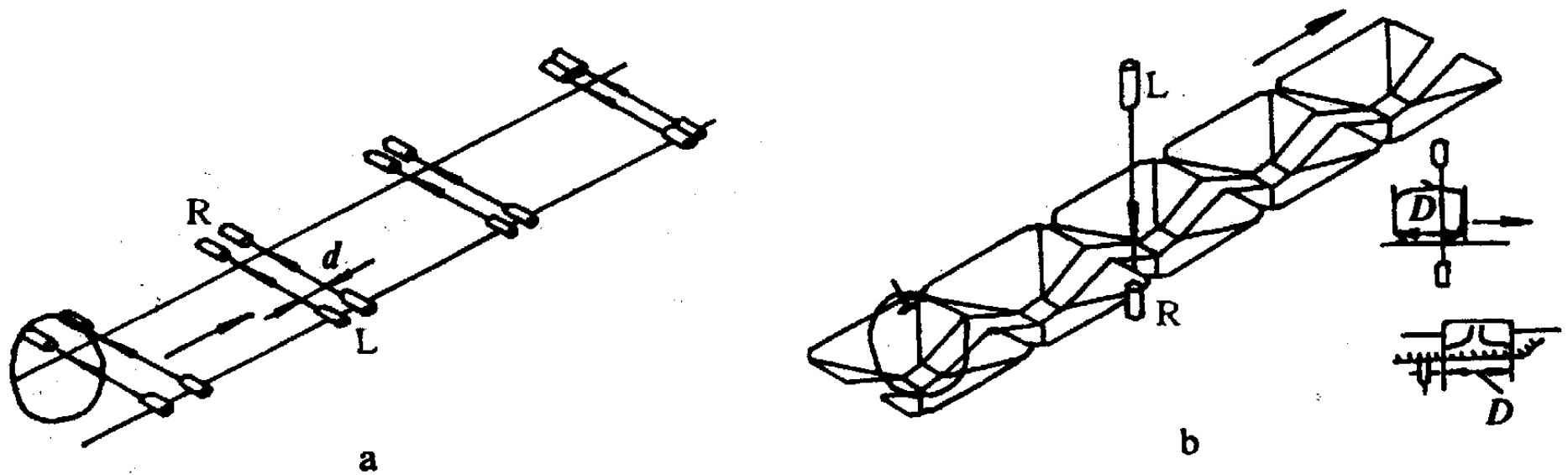


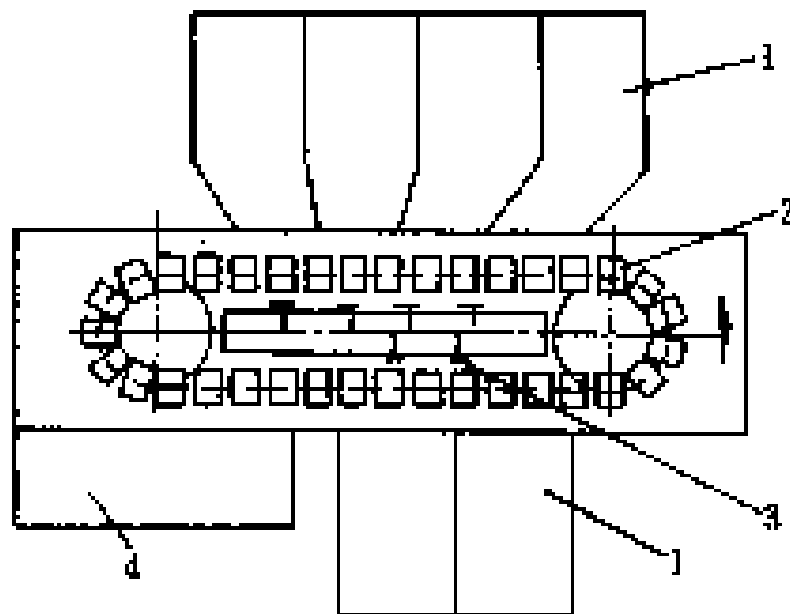
图 2-31 光电尺寸分选

a. 双单元同时遮光式 b. 脉冲计数式

思考：这种分级方法精度高吗？

二、按重量分级

重量式分级机可根据水果、家禽、蛋类等的重量不同进行分级。重量式分级机一般有秤重式和弹簧式两种，前者用得较多。



重量选果机

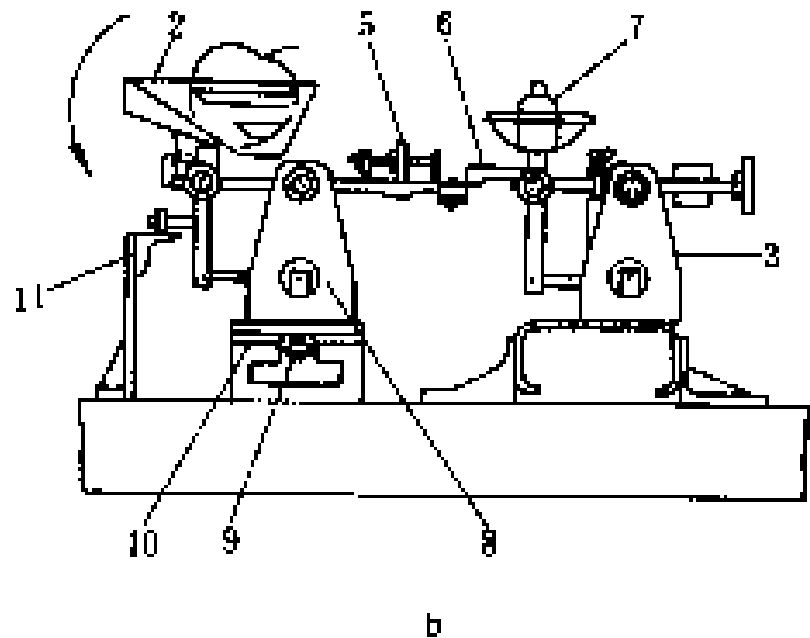


图 2-32 重量式选果机

- a. 整机结构示意图 b. 称重装置结构图
1. 接料箱 2. 料盘 3. 固定秤 4. 喂料台
5. 调整砵码 6. 分离针 7. 砵码 8. 移动秤
9. 辊子链 10. 移动秤轨道 11. 小导轨

二、按重量分级

**AUTOMATIC, WEIGHT SORTER
MODEL FK-98L**



FK-98L
全自动蔬果选别机



二、按重量分级







三、按光学特性分选

为保证农产品的表面和内部质量，还可以利用其光学特性进行分选。

(一) 按表面颜色分选

-  果蔬表面的颜色与其成熟度、味道、糖分与维生素含量等有密切关系，因此果蔬按颜色分选实质上是按品质分选。
-  水果表皮的颜色可以利用光反射特性来鉴别。将一定波长的光或电磁波照射水果，根据其反射光的强弱可以判别其表面颜色。

三、按光学特性分选

- 由图可以看出，色越绿则反射强度越弱，这是因为叶绿素吸光性强所致。此外，对于不同波长的光，色差造成的反射光强度的差异不同，其中当采用波长为 $678\mu\text{m}$ 的光照射时，则其差异较大，故可用此波长来分选。

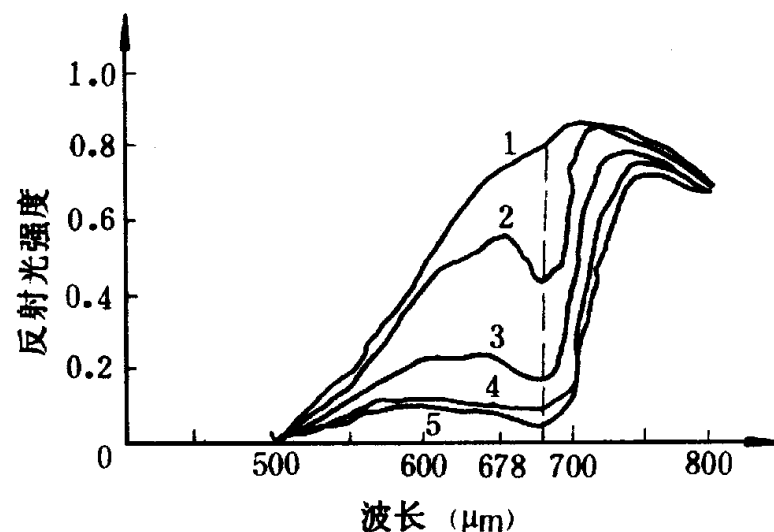


图 2-33 蜜柑的光反射特性

1. 黄色果皮 2. 淡黄色 3. 黄绿色 4. 淡绿色 5. 绿色



三、按光学特性分选

- 通常，采用光电管将反射光转变为电信号，由电流强度的大小来判别果皮的颜色。

$$I = SR$$

式中 I —电流； S —测示系统的灵敏度； R —反射率。

S 值与光照强度、光电管灵敏度、物料尺寸、形状、位置等有关，因而，这些因素会影响测试精度，为此，常选用两种不同波长的光照射，得到两个电流值 I_1 、 I_2 ，以它们比值或差值或相对值进行判别，这样可消除因物料尺寸、形状等带来的影响。

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{S_1 R_1}{S_2 R_2}$$

三、按光学特性分选

- 因两种波长下的测示系统的灵敏度相同，故

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

- 此时，判别指标与S无关，即不受物料尺寸及形状的影响。

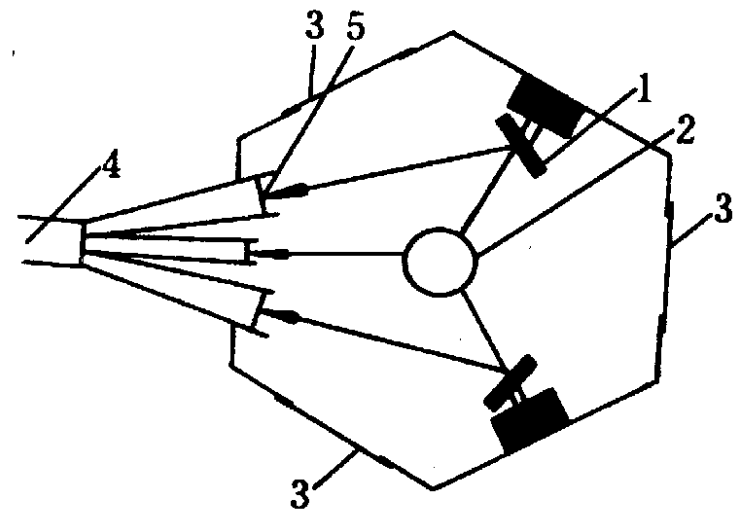


图 2-34 果皮色分选装置
(色检箱式)

1. 反射镜 2. 果实 3. 背景板
4. 集光器 5. 透镜

三、按光学特性分选

🖱️ (二) 按内部质量分选

水果内部质量分选可以通过利用水果的透光特性进行估

光学密度：描述物料透光程度的参数叫~。

光学密度越大，透光性能越差。

$$OD = \log \frac{E_1}{E_2}$$

E1 - 到达物体表面的单色光发射能量；

E2 - 单色光透过物体的能量。

水果的生物组织对一定波长光的透光度越差，则光学密度OD值越大。

三、按光学特性分选

- 由于OD值除了受光的波长及水果内部质量影响外，还与水果的形状及大小有关。若用一种波长下的OD值来判别，其精度会受到影响。

为了消除水果形状及尺寸对判别精度的影响，同样可采用两种波长的光(如692nm及740nm)照射水果，这样可得到两个OD值，用两者之差 ΔOD 值的不同来判别其内部质量。

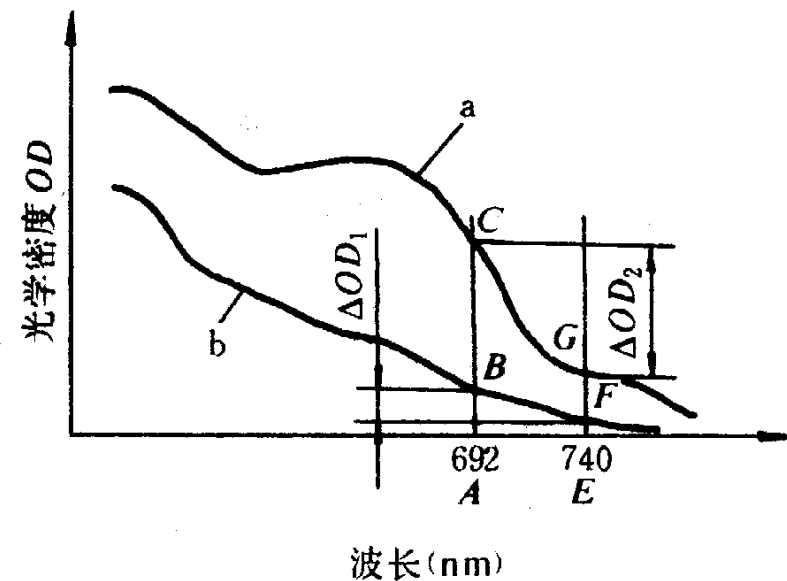


图 2-35 桃子光透过的分光特性

a. 未成熟桃子 b. 成熟桃子

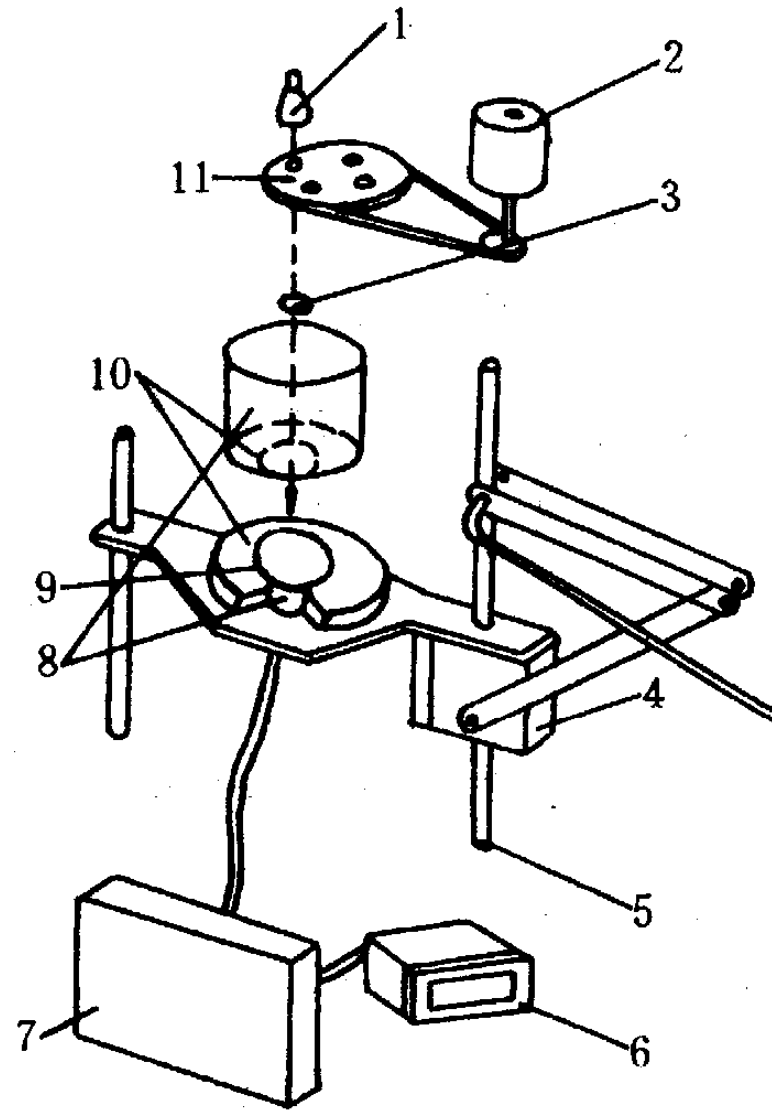
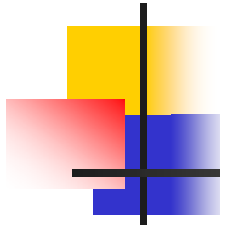


图 2-36 农产品内部品质检测装置(圆盘式滤光器)

1. 灯 2. 马达 3. 透镜 4. 试样上下移动装置 5. 导杆 6. 指示计
7. 运算放大器 8. 检测部件 9. 物料 10. 缓冲垫 11. 滤光器圆盘



第三章 粉碎、混合与均质

本章内容

- 第一节：切碎与粉碎
- 第二节：混合机理与设备
- 第三节：均质原理与设备

第一节：切碎与粉碎

对物料施加一定的外力，克服分子间的内聚力，将物料分裂破碎的操作称为**尺寸减小**。尺寸减小的过程始终伴随着物料的体积由大变小，单位体积的表面积（比表面积）由小变大，不断增加、而物料的化学性质不会发生变化。



第一节：切碎与粉碎

④ 尺寸减小的主要目的是：

- 清除不宜直接食用的物质。
- 提高食物的消化吸收率。
- 便于加工制成多种食品和饲料。
- 有利于均匀混合。
- 增快反应速度。

尺寸减小方法主要有切碎、冲击式粉碎、磨碎、压碎和气流粉碎等五种。



第一节：切碎与粉碎

④ 对切碎机的要求是：

- ①切割时省力，配套功率小；
- ②切碎质量好，特别是切碎营养丰富、含水分多、流变性突出的瓜果和蔬菜以及肉类时，要求碎屑少，汁液流失少；
- ③适于加工切割成不同几何形状和大小的成品，如片、条、丁和丝等；
- ④切碎工作部件（刀片）具有足够的强度和刚度。

第一节：切碎与粉碎

在任何切碎机上，刀片都是主要的工作部件。刀片有动刀片和定刀片之分，对于有支承的切碎必须有动、定刀片以构成切割副，如切菜机和切肉机等。对于无支承的切碎，如削皮机，只有动刀片，没有定刀片。动刀片和定刀片等组成的部件称为**切碎器**。

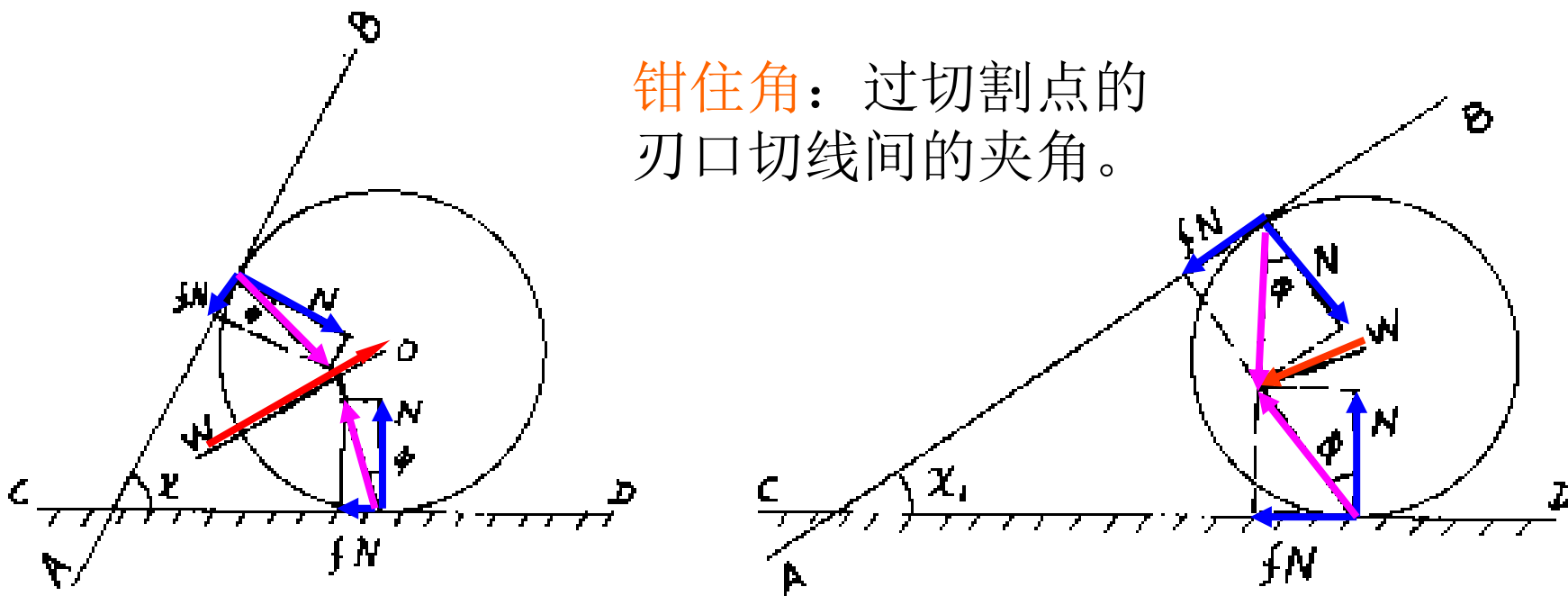
❖ （一）对切碎器的要求

刀片安装时应满足下列两方面的要求：

- 1. 钳住物料，保证切割
- 2. 切割功率要小
 - (1)产生滑切
 - (2)切割阻力矩均匀

第一节：切碎与粉碎

钳住角：过切割点的刃口切线间的夹角。



问题：前者把物料向外推，而后者能把物料钳住，为什么？

图 4 - 1 刀刃上作用的力

第一节：切碎与粉碎

❖ 1. 钳住物料，保证切割

$$f_1 N_1 \geq N_2 \sin x - f_2 N_2 \cos x$$

$$N_1 = f_2 N_2 \sin x + N_2 \cos x$$

将上两式联立，得：

$$N_2 (f_1 f_2 \sin x + f_1 \cos x) \geq$$

$$N_2 (\sin x - f_2 \cos x)$$

$$\Rightarrow f_1 f_2 \operatorname{tg} x + f_1 \geq \operatorname{tg} x - f_2$$

$$\Rightarrow f_1 + f_2 \geq \operatorname{tg} x (1 - f_1 f_2)$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg} x \leq \frac{f_1 + f_2}{1 - f_1 f_2} = \operatorname{tg}(\psi_1 + \psi_2)$$

$$\Rightarrow x \leq \psi_1 + \psi_2$$

.....由上式可知，刀片的嵌住角 x 必须小于 $\psi_1 + \psi_2$ 时才能嵌住物料，保证稳定切割。

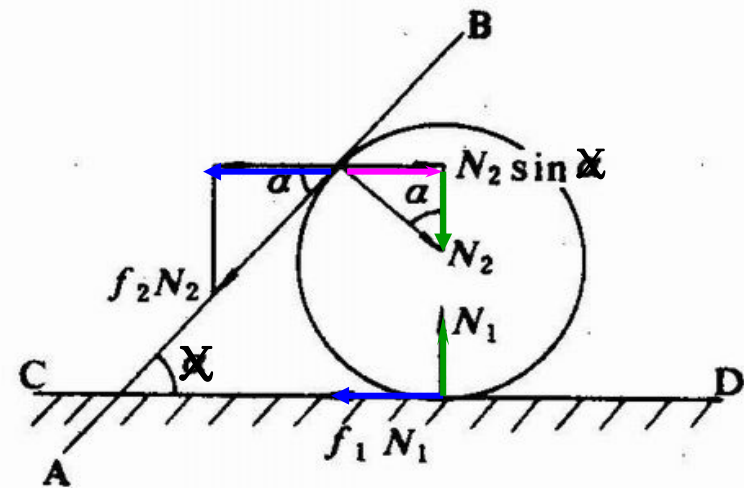


图 4-1 钳住角 α 的确定

第一节：切碎与粉碎

2. 切割功率要小

- 切割功率消耗与刀片的切割方式能否产生滑切，单位刃口长度上承受压力大小（刃口比压）以及刀片的特性系数等因素有关。若要切割功耗小，必须满足下列条件：

(1) 产生滑切

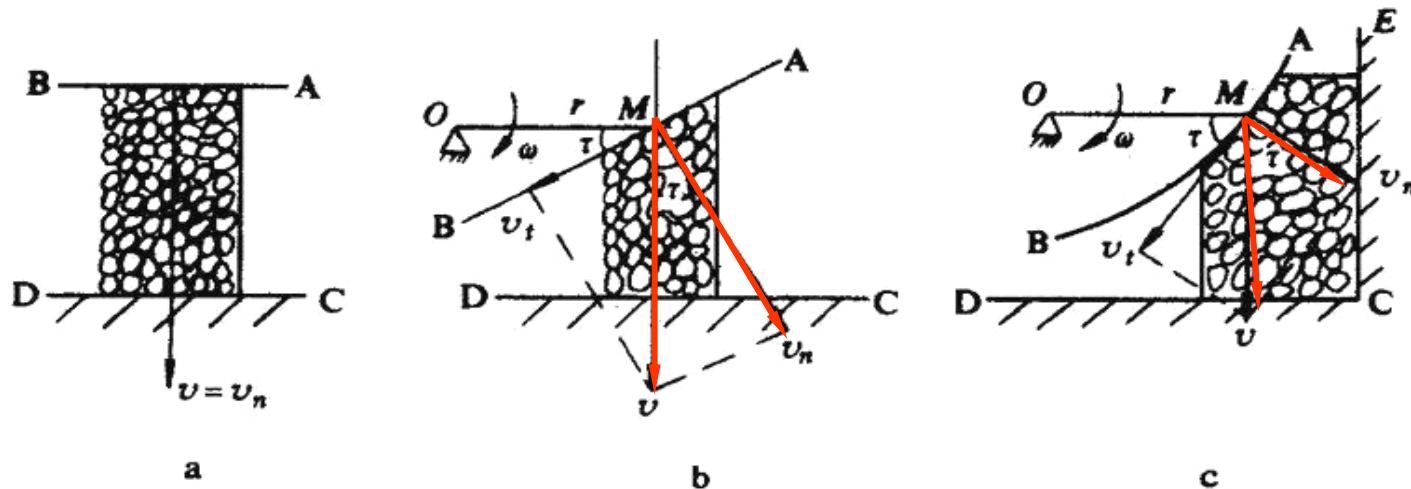


图 4-2 切刀相对被切物体的三种位置

a. 垂直切割(直线形刀刃) b. 斜切(直线形刀刃) c. 斜切(曲线形刀刃)



第一节：切碎与粉碎

- ▶ 切割速度 V 可分解为垂直刃口的法向速度 V_n 和沿刃口的切向速度 V_τ 。 V_n 称为正切速度， V_τ 称为滑切速度。 V 和 V_n 的夹角叫滑切角 τ 。
- ▶ 刀刃滑切作用的大小，可用 V_τ 和 V_n 的比值来表示，即：

$$\frac{V_\tau}{V_n} = \operatorname{tg} \tau$$

式中 $\operatorname{tg} \tau$ — 滑切系数； τ — 滑切角。

τ 角越大，滑切作用越大。



第一节：切碎与粉碎

- ▶ 当 $\tau = 0$ 时，只有砍切或正切。此时， $v = v_n$ 没有滑切速度，只有砍切速度 $v = v_n$ 。
- ▶ 当 $0 < \tau < \varphi$ 时，称为斜切。物体与刀刃间没有切向相对滑动，在正压力下切割物体，需用动力较大。
- ▶ 当 $\tau \geq \varphi$ 时，称为滑切，刀刃既对物体施加正压力，又沿着物体滑切，其切割阻力减小。滑切比砍切（正切）省力，这是一种物理现象。

问题：有滑切角一定产生滑切吗？



第一节：切碎与粉碎

❖ 为什么滑切省力？

- 1. 滑切时，实际参与切割的刃口角小于切刀的实际刃口角。
- 2. 滑切时，刃口上微小的锯齿将起到切断植物纤维的作用。
- 3. 砍切时，茎秆只受到压应力，而滑切时，物料既受压应力，又受张应力。而这类物料的切碎，张应力远小于压应力。
- 但是，省力不一定省功。滑切使切割行程增大。

第一节：切碎与粉碎

■ (2) 切割阻力矩均匀

- 切刀工作时，不但要求耗用动力少，而且要求从切割开始参加切割，直到切割终了的切割阻力矩基本相同，以保持切碎机能够平稳地工作

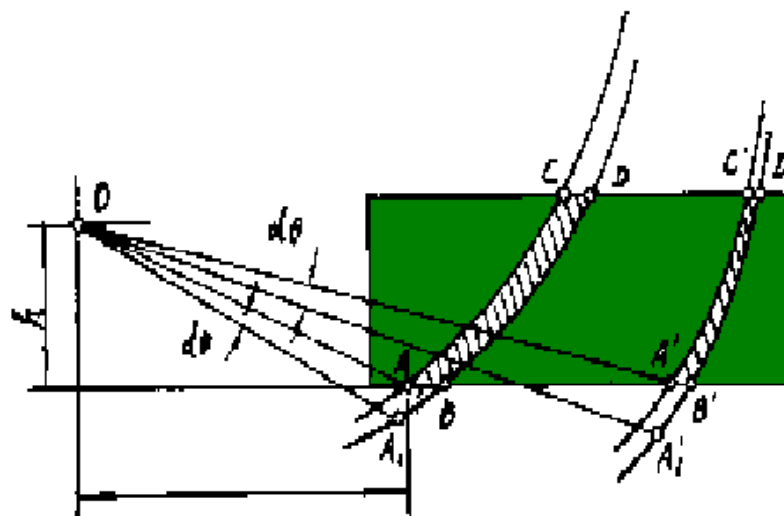


图 4-11 动刀回转时的切割阻力矩

问题：怎样配置刀具才能使切割阻力矩均匀？

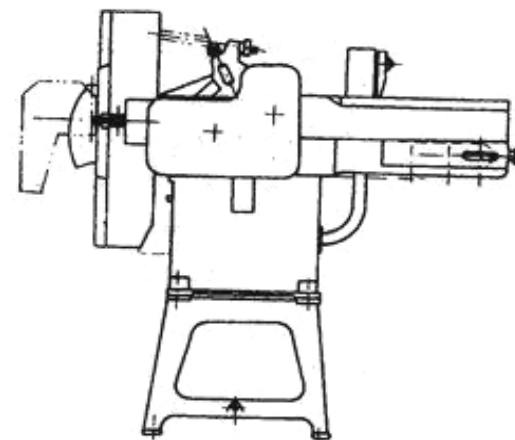
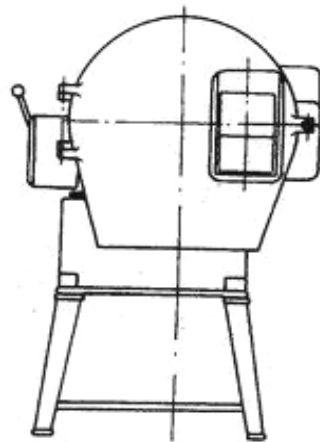
第一节：切碎与粉碎

■ (二) 一般构造

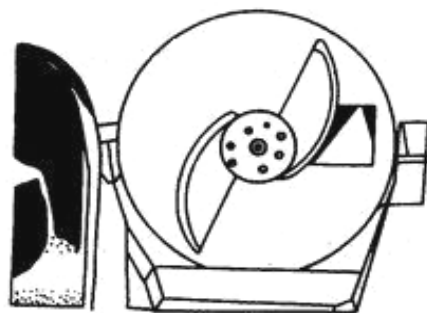
茎秆类物料的种类很多，切割这类物料切碎机主要有两种类型：盘刀式切碎机和滚刀式切碎机。

□ 1. 盘刀式切碎机

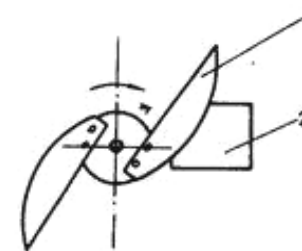
❖ 特点是动刀片刃口线的运动轨迹是一个垂直于回转轴的圆形平面。



a

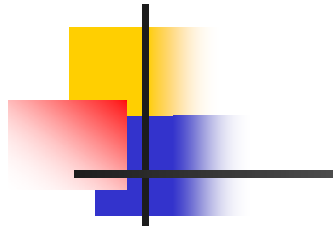


b



c

图4-3 盘刀式切碎机
a. 外形结构 b、c. 切碎器
1. 动刀 2. 喂料口



第一节：切碎与粉碎

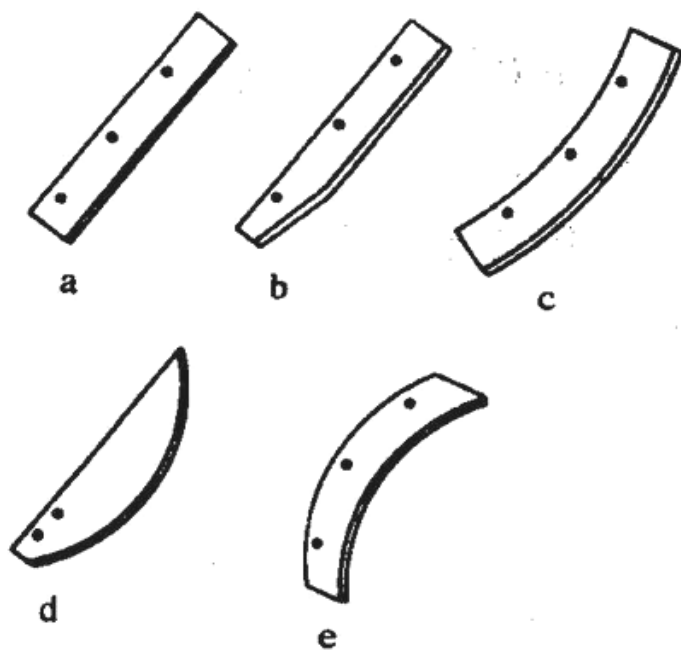


图 4-4 常见刀的几何形状

- a. 直刃口刀 b. 折刃口刀 c, d. 凸刃口刀
e. 凹刃口刀

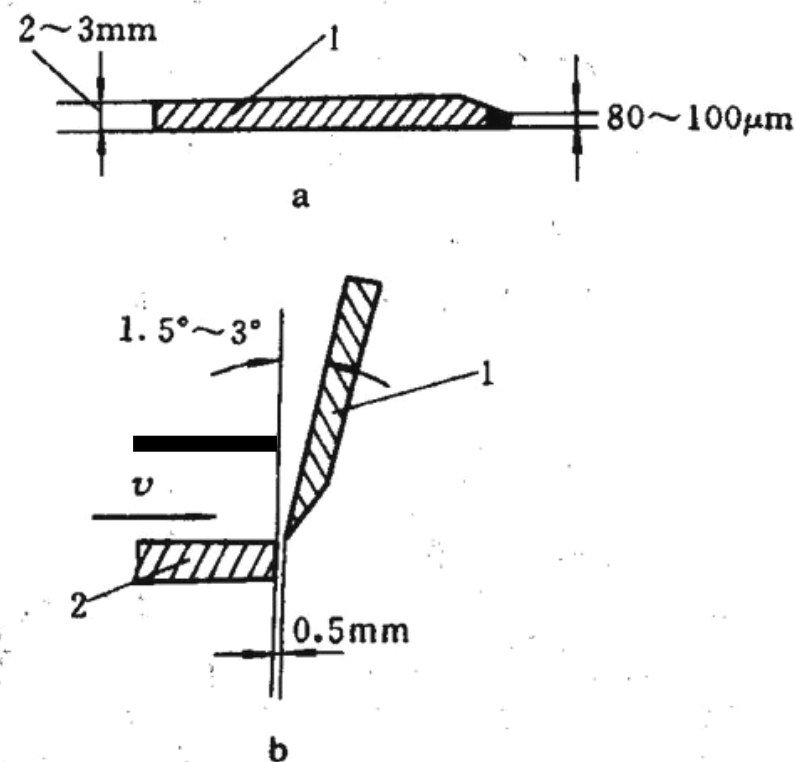


图 4-5 刀片结构和安装

- a. 动刀片结构 b. 动刀和定刀的安装
1. 动刀 2. 定刀

第一节：切碎与粉碎

2. 滚刀式切碎机

- ❖ 其特点是动刀刃口线的运动轨迹呈圆柱形，与盘刀式切碎机不同的是其切碎器是滚筒式。

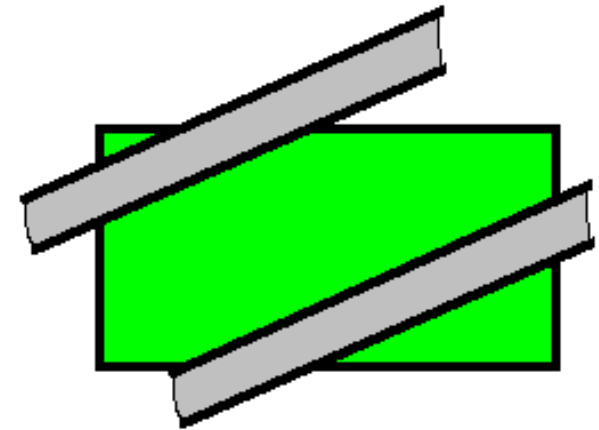
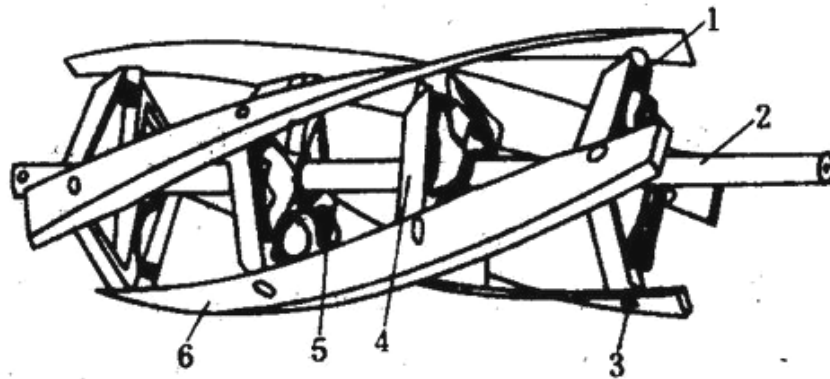
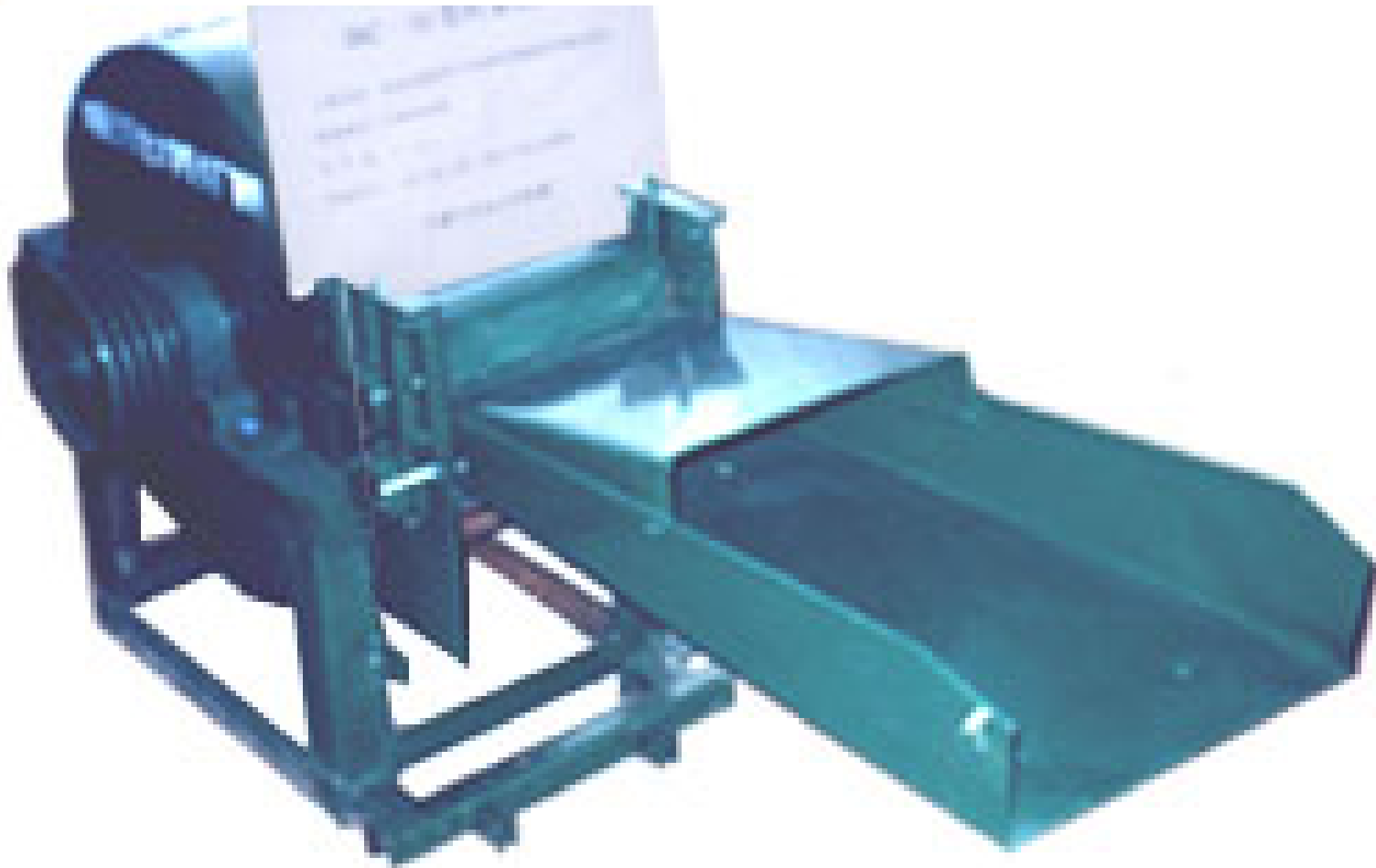
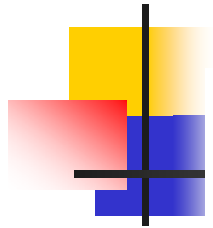


图 4-6 滚筒式切碎机的切碎机构

1. 螺母 2. 轴 3. 螺栓 4. 辐盘 5. 座孔
6. 动刀片



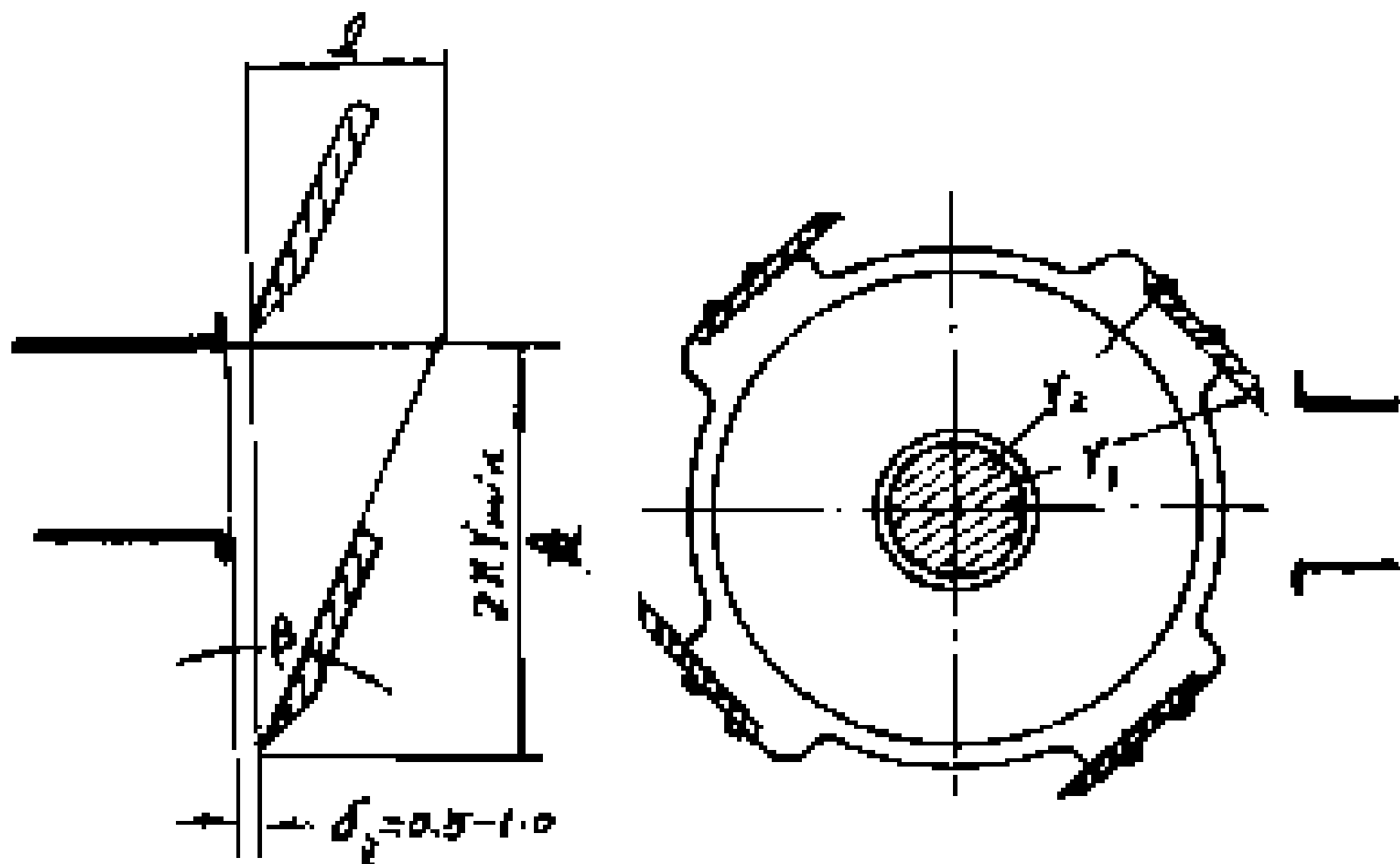
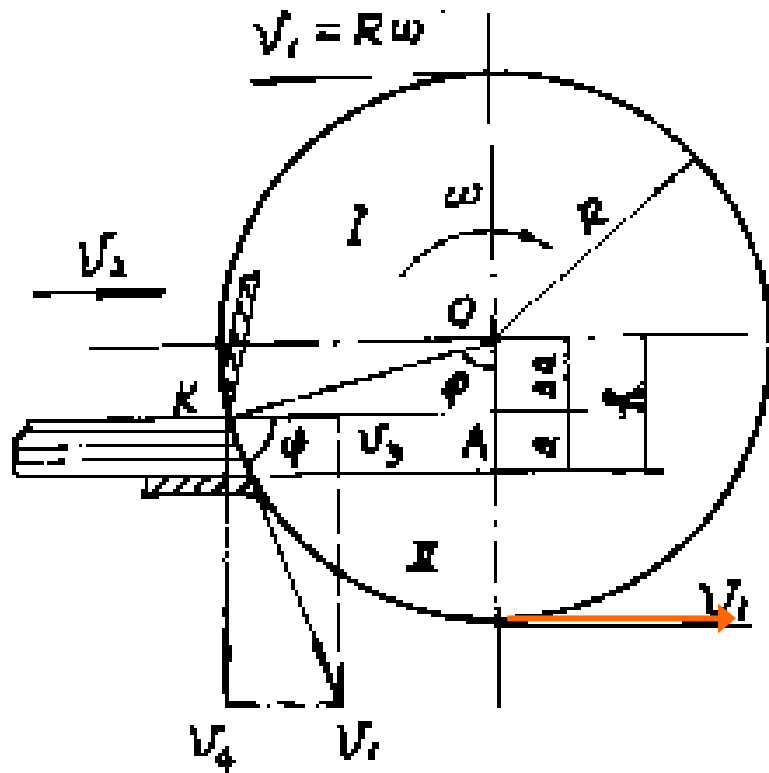
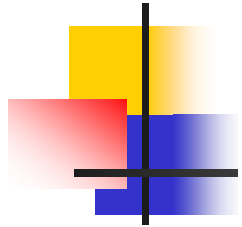


图 4—15 滚筒式切碎机的刀片安装角度

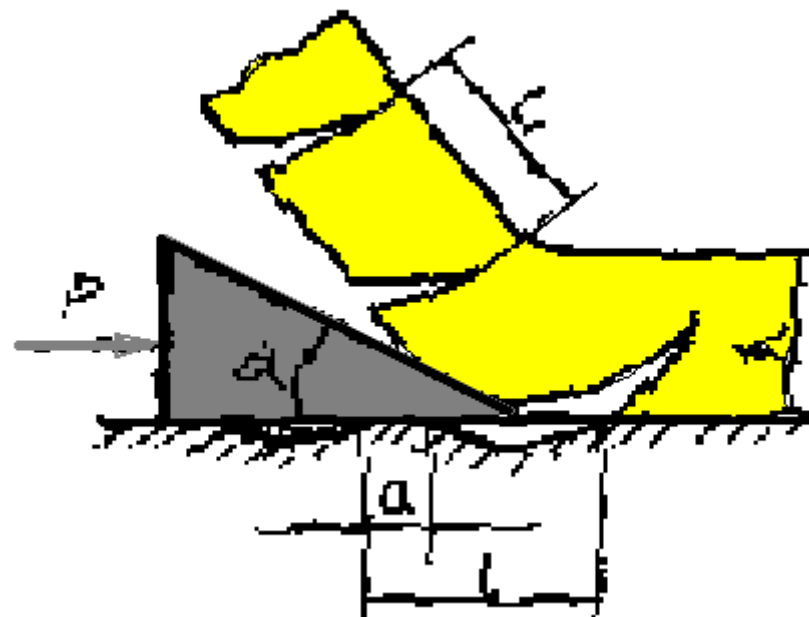


(a) 喂料口相对切割滚筒配置,

图 4-21 滚刀式螺旋破刀斤

第一节：切碎与粉碎

- ▶ 块状物料如甘蓝、薯类、洋和冻肉块等，其切割原理和作过程与茎秆类物料有所不同
- ▶ 茎秆类物料的切割主要是利用动、定刀之间的**对切作用**，如剪刀一样，根据**剪切原理**作的。
- ▶ 而块状类物料的切割是利用片的**楔切作用**，宛如加工金属的车刀一样，是根据切削原理工作的。





第一节：切碎与粉碎

- ❖ 块状物料切割时不需要滑切，而只用砍切原理进行切割，原因如下：
 - 1.块状物料与刀片之间的摩擦角一般都较大，比茎秆物料与刀片间的摩擦角大得多。马铃薯与动刀刃之间的摩擦角为 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，远比茎秆类物料与动刀刃之间的摩擦角（ $18^{\circ} \sim 24^{\circ}$ ）要大得多。
 - 2.如果采用滑切，就要大大增大滑切角，这样会使机器结构十分庞大。
 - 3.采用楔切法切碎块状物料时，刀片刃口承受的载荷通常不大。菘

第一节：切碎与粉碎

- (一) 一般构造和工作过程
 - 1. 立式盘刀式切碎机
 - (1) 简易式切碎机

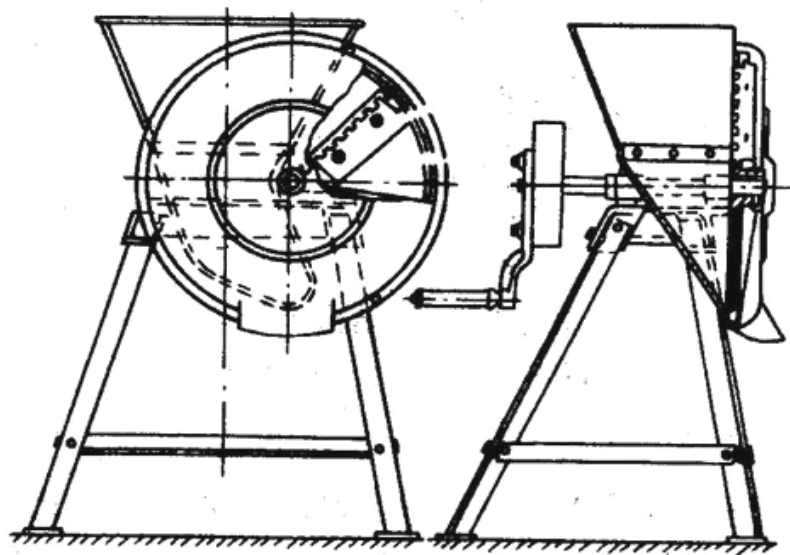


图 4-7 立式简易式切碎机

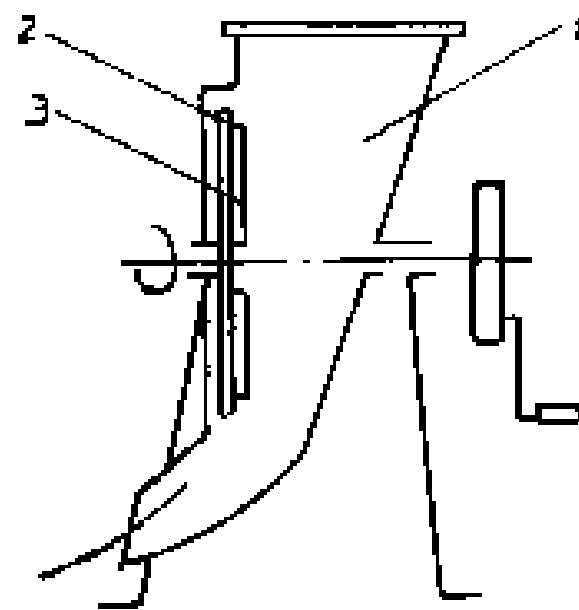


图 4 25 立式简易式切碎机

第一节：切碎与粉碎

■ (2) 双排圆盘式切碎机

- 主要用来切碎肉类和果品。其特点是切割质量好，汁液损失少，耗能低，但结构比较复杂。

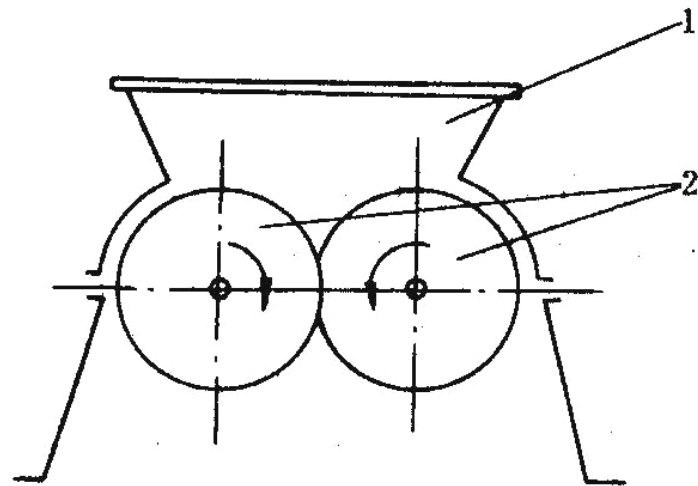


图 4-8 双排圆盘式切碎机

1. 料斗 2. 圆形动刀片

第一节：切碎与粉碎

■ (3) 斩拌机

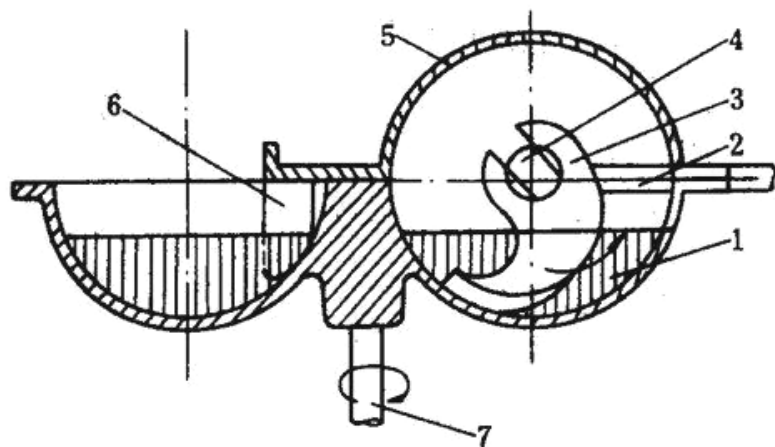


图 4-9 斩拌机

- 1. 碗式盛料器
- 2. 梳齿形定刀
- 3. 镰刀形刀片
- 4. 传动轴
- 5. 封闭式顶盖
- 6. 刮板
- 7. 主轴



第一节：切碎与粉碎

■ 2. 水平盘刀式切碎机

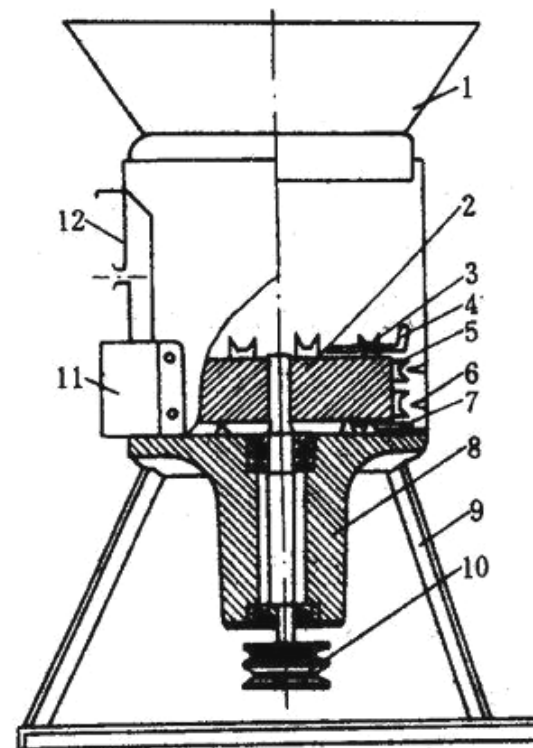


图 4-10 水平盘刀式切碎机

1. 喂料斗 2. 水平圆盘 3. 大尖刀(动刀)
4. 刮板 5. 小尖刀(动刀) 6. 小尖刀(定刀)
7. 刮片 8. 底盘 9. 支架 10. 传动皮带轮
11. 排料口 12. 插门

第一节：切碎与粉碎

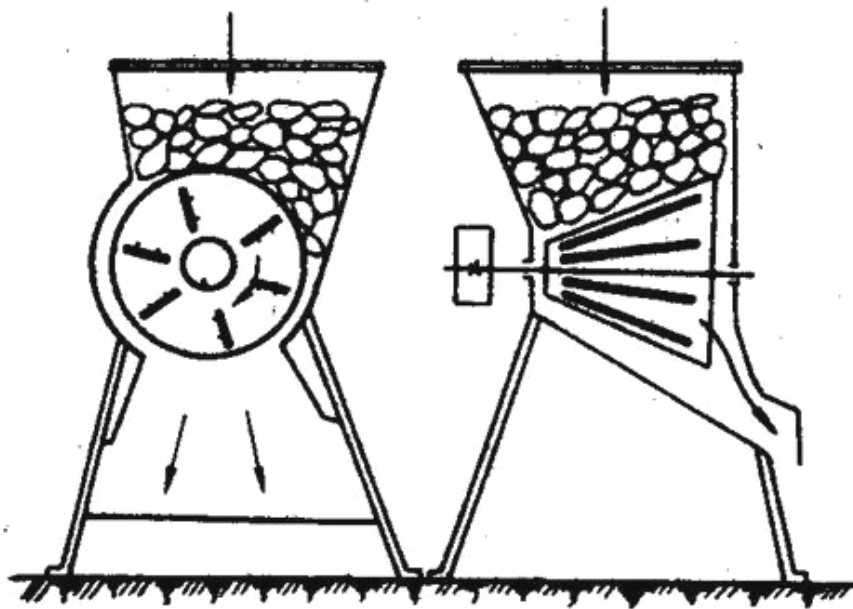


图 4-11 圆锥形滚刀式切碎机

第一节：切碎与粉碎

■ 4. 离心式切碎机

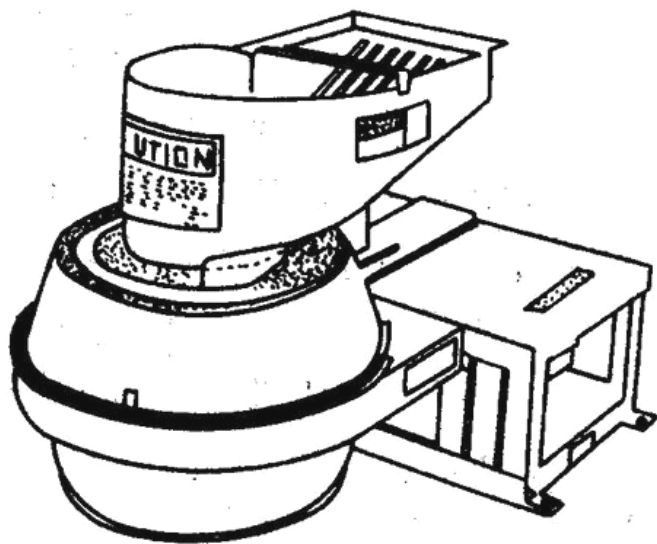


图 4-12 通用型离心式切碎机外貌

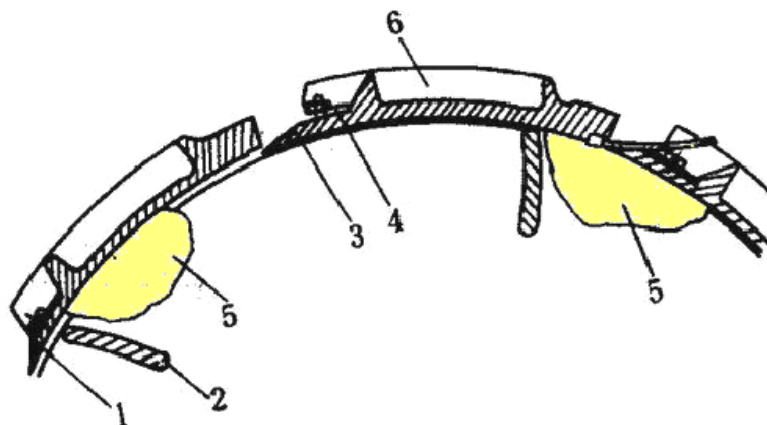


图 4-13 通用型离心式切碎机的工作过程

1. 叶轮
2. 叶片
3. 定刀片
4. 刀座
5. 块状物
6. 机壳

第一节：切碎与粉碎

■ (2) 切丁机

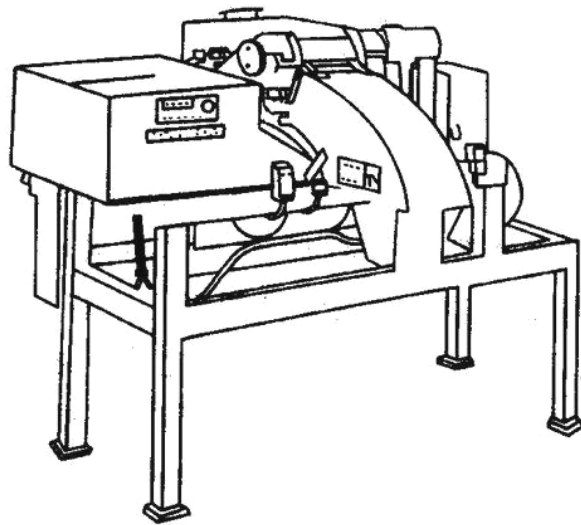


图 4-14 切丁机外形

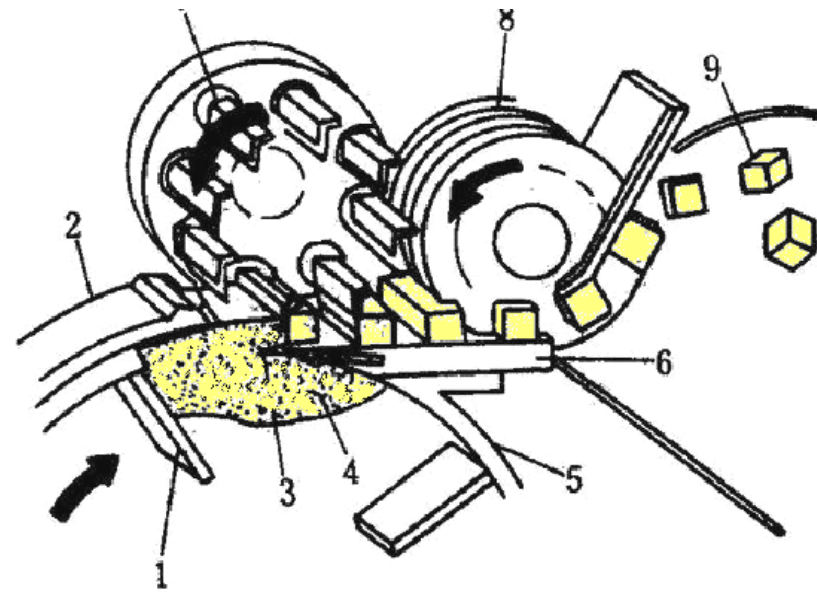


图 4-15 切丁机工作过程

1. 回转叶片
2. 外机壳
3. 定刀刃
4. 原料
5. 切刀机壳
6. 切刀座
7. 横向切刀
8. 纵向圆盘刀
9. 切丁块

第一节：切碎与粉碎

■ 5. 绞肉机

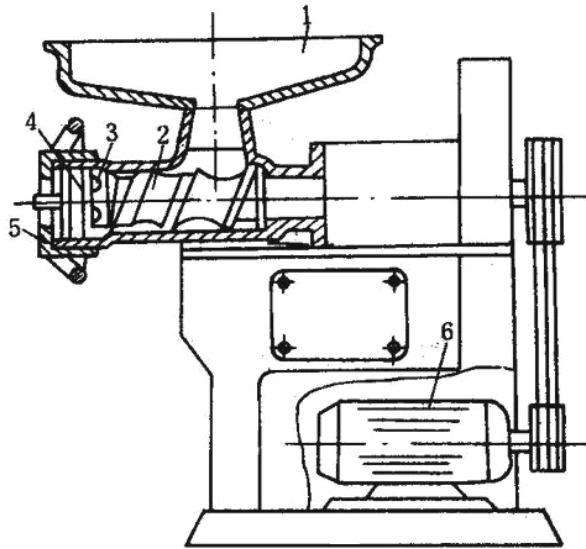


图 4-16 绞肉机

1. 料斗 2. 螺旋供料器 3. 十字切刀
4. 筛板 5. 紧固螺帽 6. 电动机

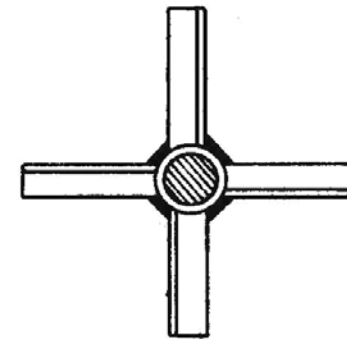
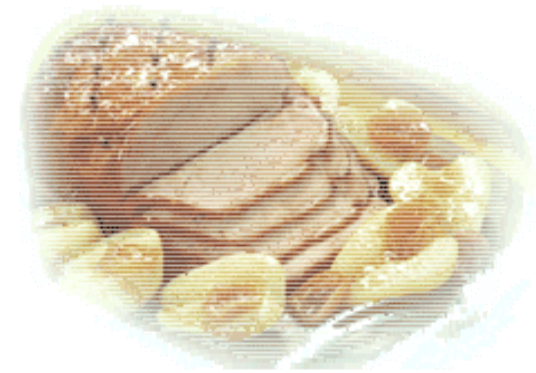


图 4-17 十字形刀



第一节：切碎与粉碎

■ (二) 刀片形状

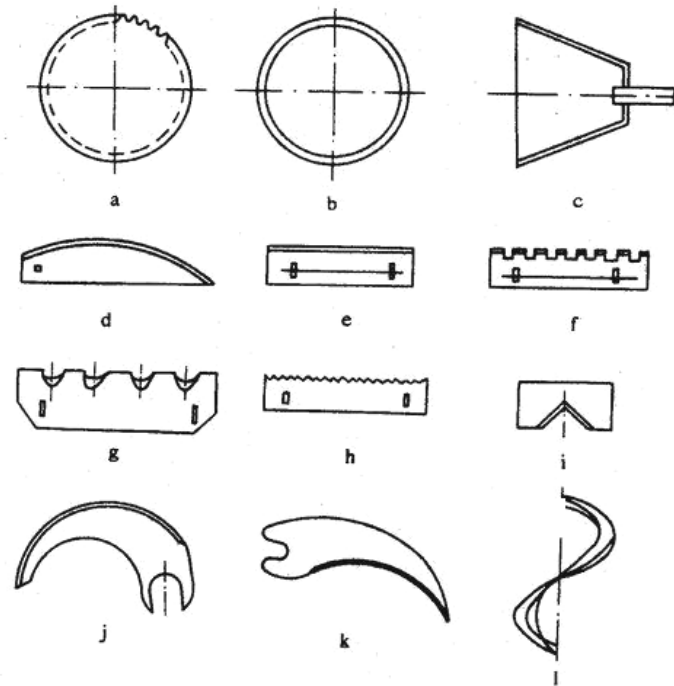


图 4-18 切碎块状物料常用的刀片

- a. 带锯齿刃口的圆盘刀 b. 带光滑刃口的圆盘刀 c. 带光滑刃口的锥形刀
d. 凸刃口刀 e. 直线刃口刀 f. 带梳齿刃口刀 g. 带鱼鳞刃口刀
h. 锯齿刀 i. 三角形刃口刀 j. 刃口向外的镰刀形切刀(凸刃刀) k. 刃口向内的镰刀形切刀(凹刃刀) l. 带光滑刃口的螺旋刀

第一节：切碎与粉碎

■ 蘑菇定向切片机

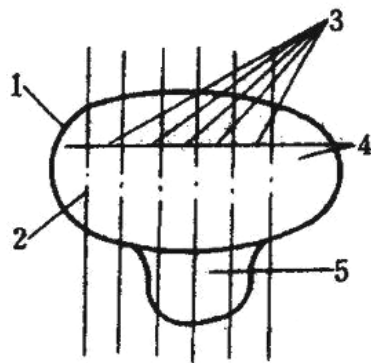


图 4-19 蘑菇同一个方向切片示意图

1. 菇盖 2. 刀片切割方向线 3. 正片
4. 边片 5. 菇柄

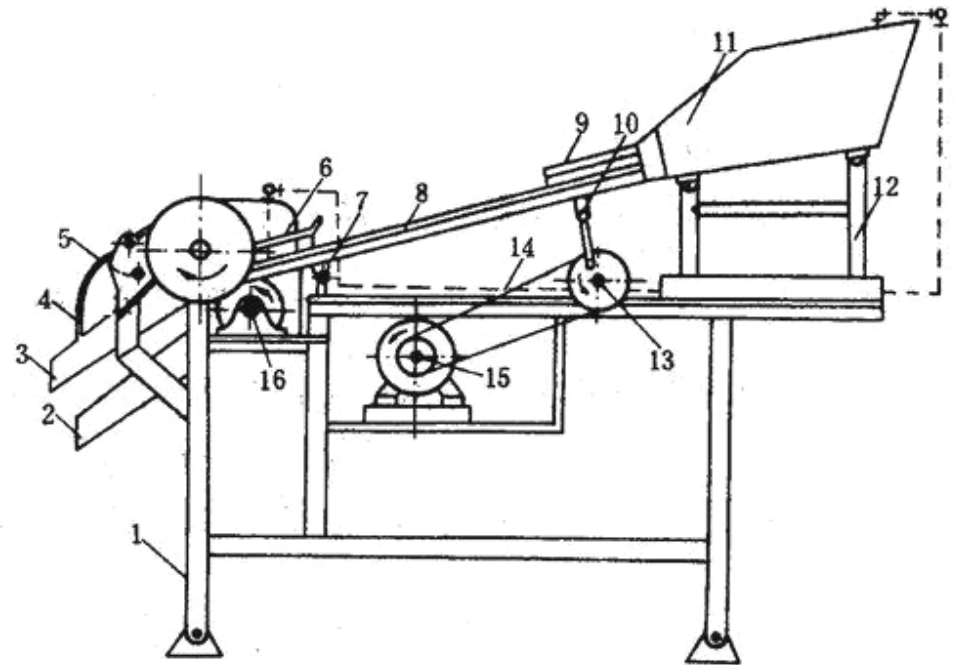


图 4-20 蘑菇定向切片机

1. 支架 2. 边片出料斗 3. 正片出料斗 4. 护罩
5. 挡梳轴座 6. 下压板 7. 铰杆 8. 定向滑料板
9. 上压板 10. 连接杆 11. 进料斗 12. 进料斗架
13. 回转轮 14. 供水管 15、16. 电动机

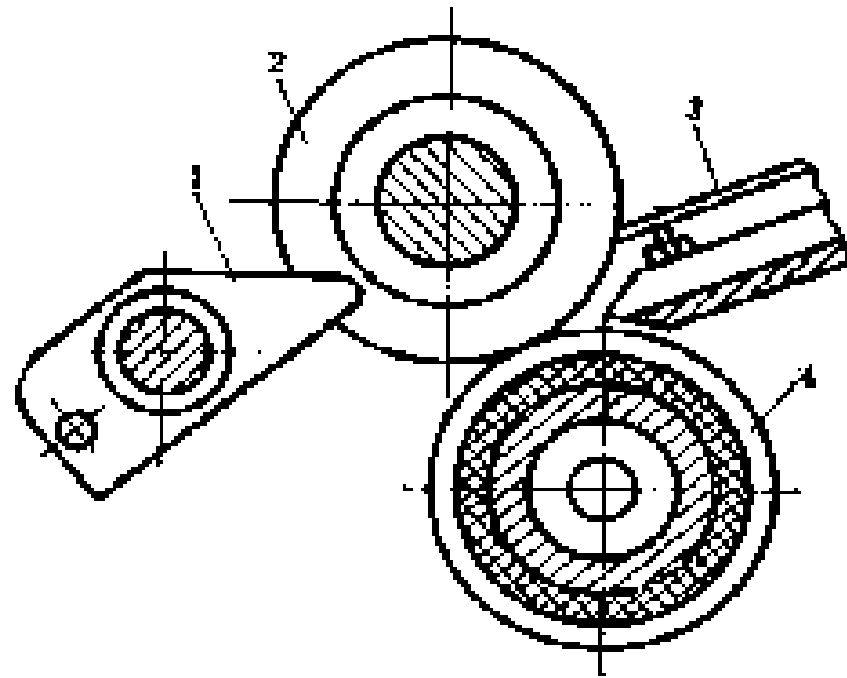
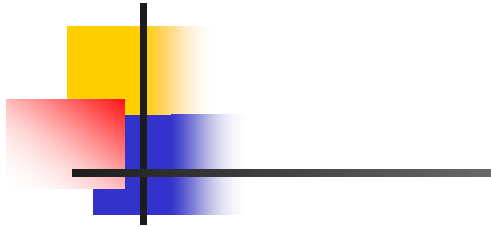


图 4-47 挡梳、垫辊及圆形刀的
的装配关系

1—挡梳 2—圆形刀 3—下压板 4—垫辊

第一节：切碎与粉碎

- 粉碎是物料尺寸减小的一种方法。一般而言，用撞击或挤压的方法使物料破碎称为**粉碎**。
- 根据原料粉碎后直径不同，粉碎机可以分为**普通粉碎机、微粉碎机和超微粉碎机**。

普通粉碎	6~60目
微粉碎	80~170目
超微粉碎	200~325目
- 迄今为止，对粒度范围的划分，并没有严格的统一标准，不同行业的理解和划分方法也不一样。

第一节：切碎与粉碎

- 粒度测定方法主要有四种，视被粉碎的物料的种类而定
- 按照常用的泰勒筛的规定，6目的筛孔尺寸为3.36mm，60目为0.25mm，80目为0.177mm，140目为0.105mm，180目为0.090mm，200目为0.074mm，325目为0.044mm，标准筛的最小筛孔为0.037mm，即400目；
- ③显微镜测量法：一般粒度小于0.074mm，即200目的粉碎物采用此法；
- ④粒度测定仪：可以测定粒度为5~0.1mm的粉碎物，粒度测定仪的种类很多，如带有数字处理系统的KF-16型颗粒分析仪、颗粒自动测定仪等。

碎

(1
标

第一节：切碎与粉碎

- **粉碎比 λ** ：粉碎前后物料直径的比值叫做粉碎比，即 $\lambda = D/d$ ，它表示物料在粉碎前后粒度的变化程度。
- 因为粉碎前后物料粒度不一致，一般用平均粒径表示粒度。粉碎比可用下列公式表达：

$$\lambda = \frac{D}{d} \approx \sqrt{\frac{D^3}{d^3}} \approx \sqrt{\frac{V_1}{V_2}} \approx \sqrt{\frac{m_1 \rho_1}{m_2 \rho_2}} \approx \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$$

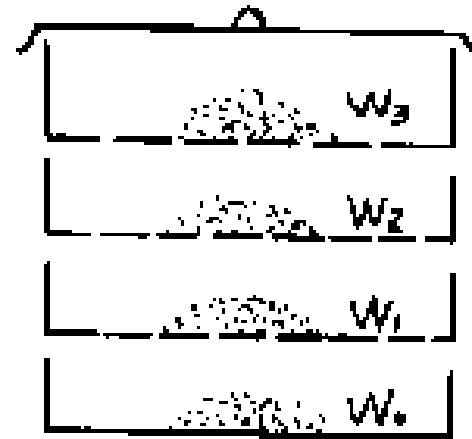


图 1-18 振动筛

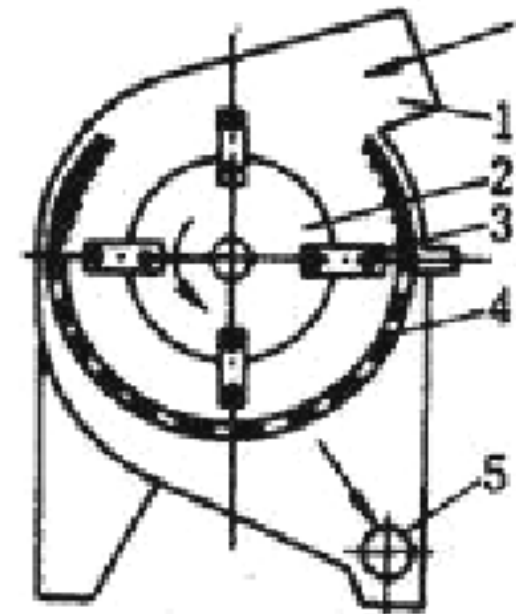


一、冲击式粉碎机

- 常用的冲击式粉碎机主要有**锤片式**和**齿爪式**两种，它们都是采用机械方法对原料以冲击方式进行粉碎。被粉碎的原料有谷粒类、果蔬类、茎秆类、饼粕类和矿物类等，其适用范围广泛，通用性强，而且构造简单，生产效率高。易于控制产品的粒度，使用维护安全、方便、可靠。
- **（一）锤片式粉碎机**
- 按进料方向不同，可以分为：
 - 切向式
 - 轴向式
 - 径向式

切向进料式粉碎机

- 1. 切向进料式粉碎机
- 切向进料式粉碎机的特点是：
 - ①进料口和粉碎室比较宽，其适应性广，通用性大，经久耐用和容易操作；
 - ②需要配套 增速传动装置和风机，结构比较复杂,体积比较庞大，工作时噪声和粉尘比较大；
 - ③耗能比较多，加工单位质量物料的能耗一般比较高。



a
a. 切向进料式粉碎机

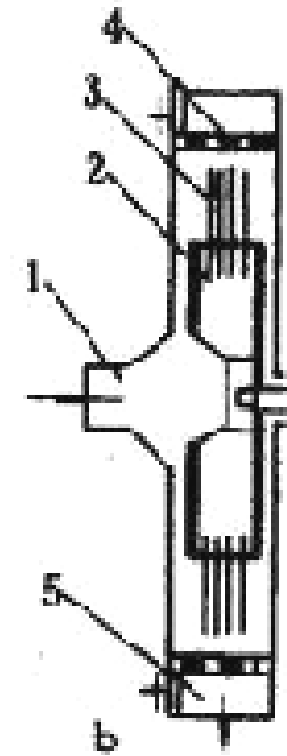
切向进料式粉碎机



2. 轴向进料式粉碎机

■ 2. 轴向进料式粉碎机

- 带四组锤片的转子，在高速回转时宛如一台轴流风机，物料从轴向进料口被吸入粉碎室，经粉碎后从筛孔排出，故又称其为轴向自吸式粉碎机。该粉碎机的特点是，粉碎室宽度小，结构简单，筛片包角比较大，一般为 300° 以上，能自动吸料，生产效率比较高。



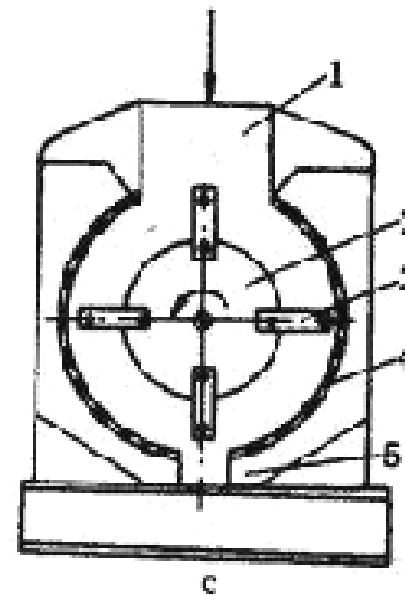
轴向进料式粉碎机

2. 轴向进料式粉碎机



3. 径向进料式粉碎机

- 3. 径向进料式粉碎机
- 其特点是粉碎室宽度大，筛片包角大，一般大于 300° ，常用于谷物粉碎。生产效率较高。



径向进料式粉碎机

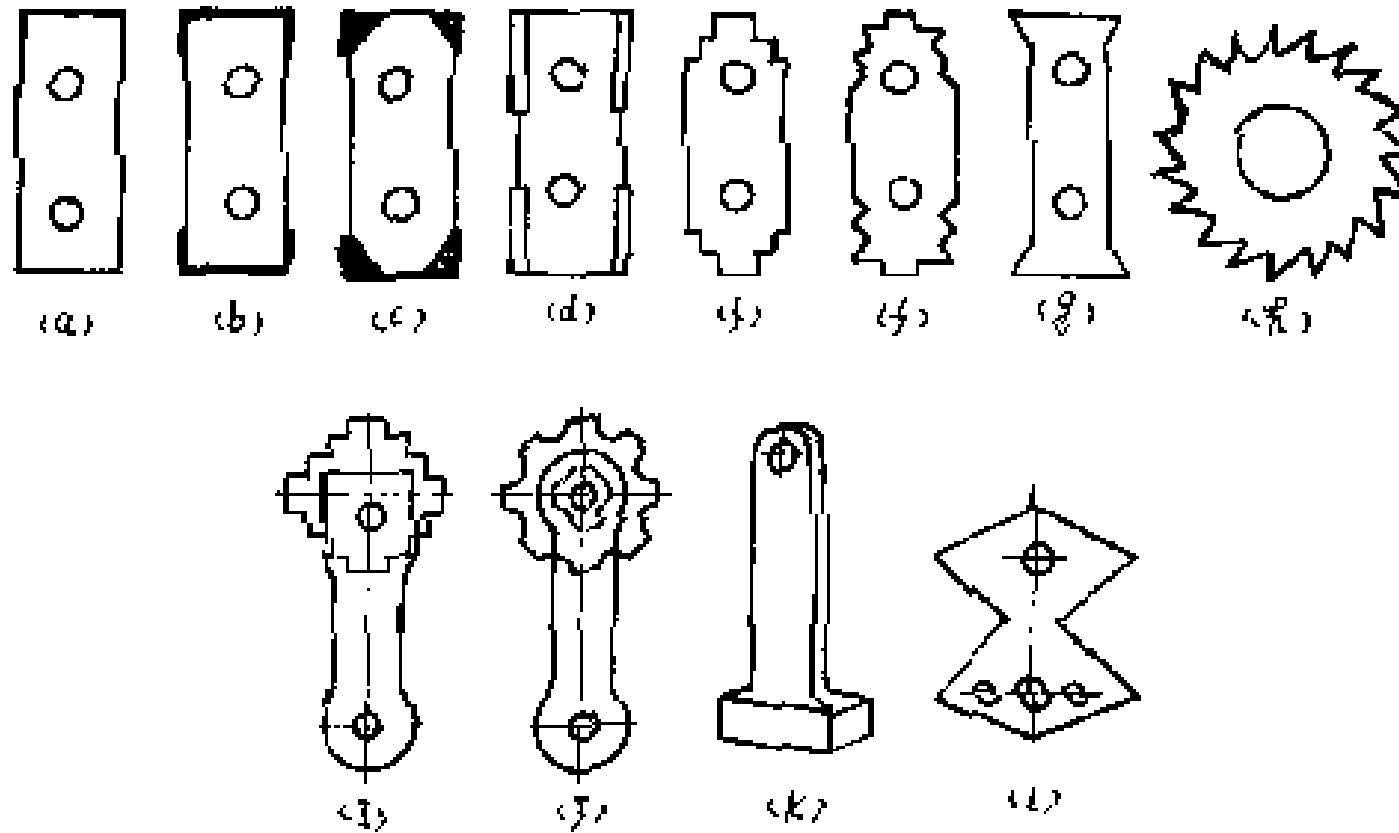
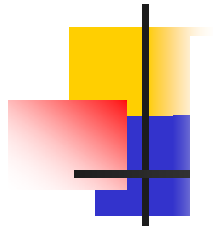


图 4-54 锤片的种类和形状

(a) 矩形锤片 (b)、(c)、(d) 两端堆焊耐磨合金的矩形锤片 (e) 阶梯形锤片 (f)、(g) 两端有尖角的锤片 (h) 周边锯齿圆形锤片 (i)、(j) 组合式锤片 (k) 榔头式锤片 (l) 双棱形锤片

(二) 齿爪式粉碎机

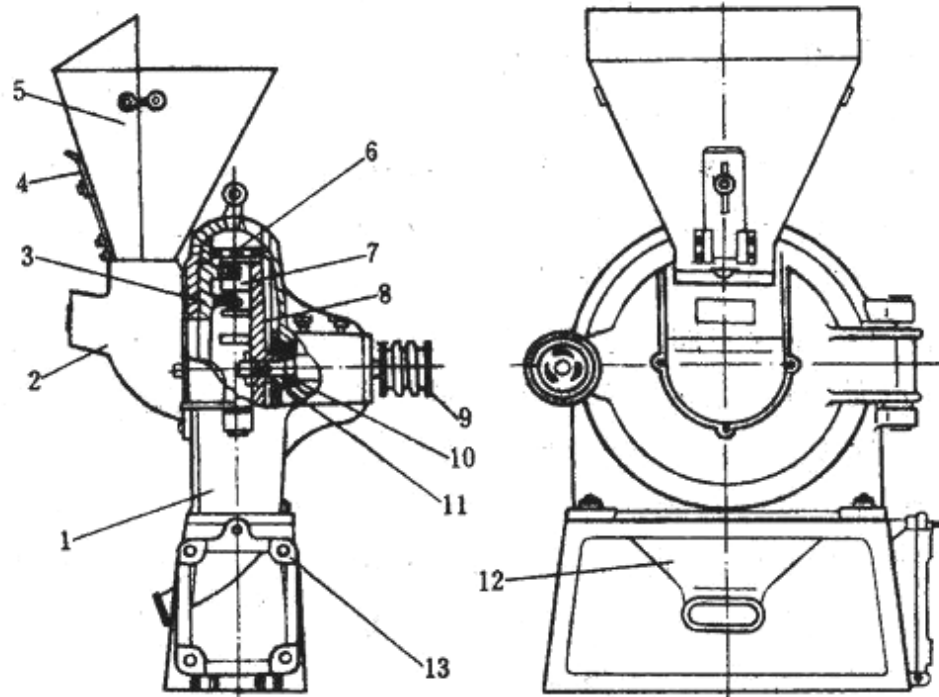


图 4-22 齿爪式粉碎机

1. 机壳 2. 进料管 3. 定齿盘 4. 闸门 5. 喂入斗 6. 环形筛
7. 齿爪 8. 动齿盘 9. 皮带轮 10. 轴承 11. 主轴 12. 出粉管
13. 电机架

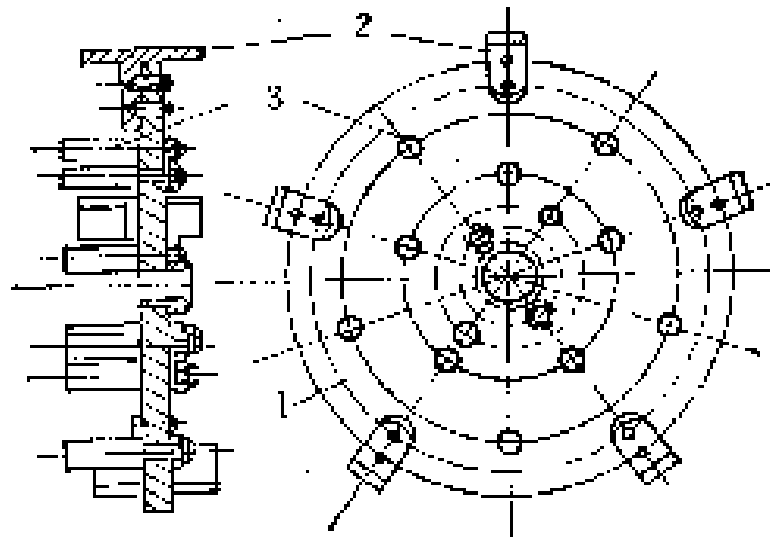


图 4—64 动齿盘
1—齿盘；2—扁齿；3—圆盘

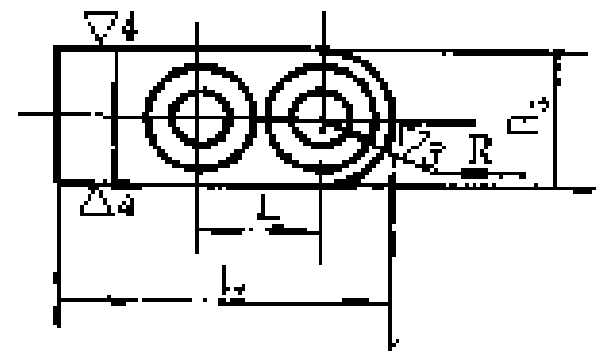
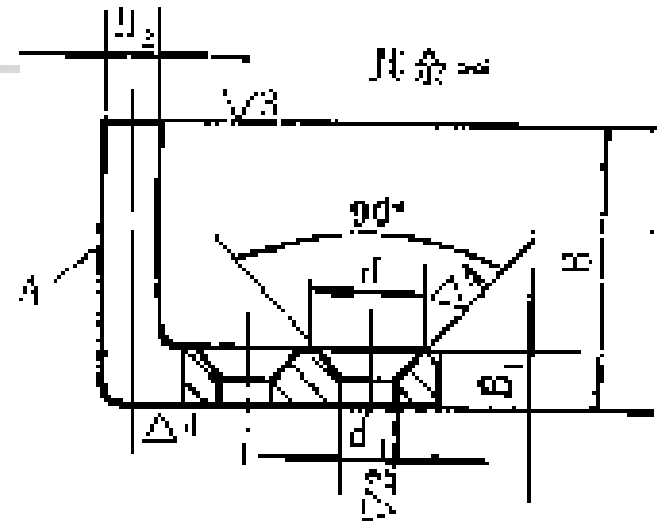


图 4—66 扁齿

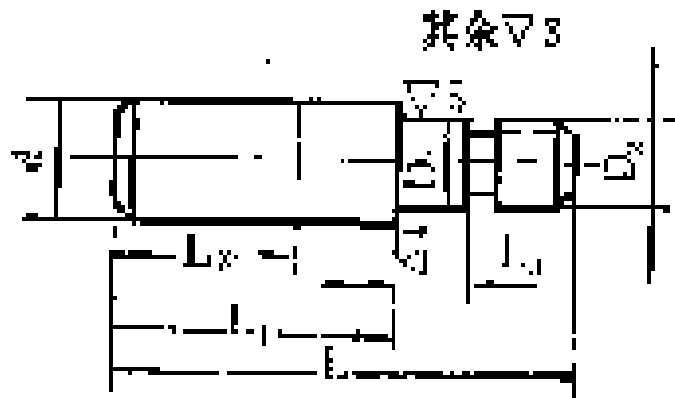


图 4—65 圆齿

(二) 齿爪式粉碎机

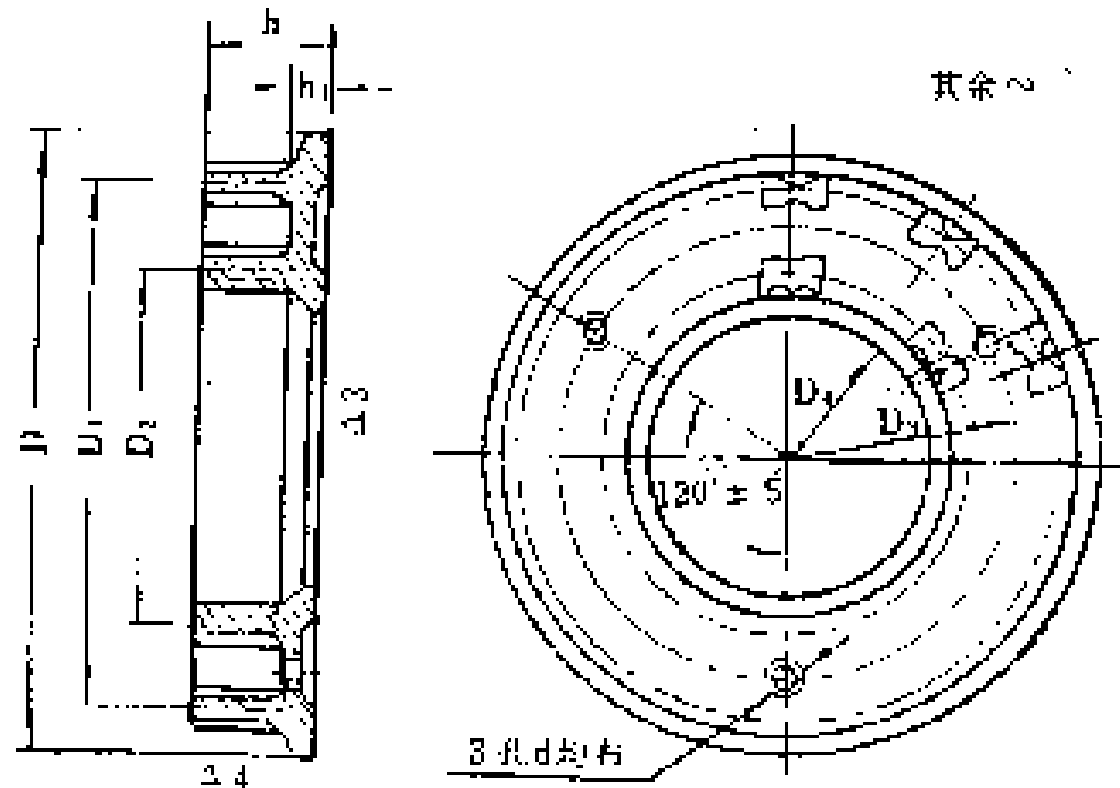


图 4-67 定齿盘

(二) 齿爪式粉碎机



Screen Ring



Stator



Rotor



二、微粉碎机

- 微粉碎机加工的产品80%以上能通过80目的筛孔。微粉碎机的种类较多，绝大多数为无筛式，常用的有以下几种。
- (一) 涡轮式粉碎机

它由进料口、叶轮、齿板和排料口等部分组成。叶轮是由多个叶片及叶片与其侧面的隔板形成的多个小室组成。机壳的内表面装有许多带有沟槽的齿板。叶轮高速回转时产生高速涡流，从而形成高频振动区。

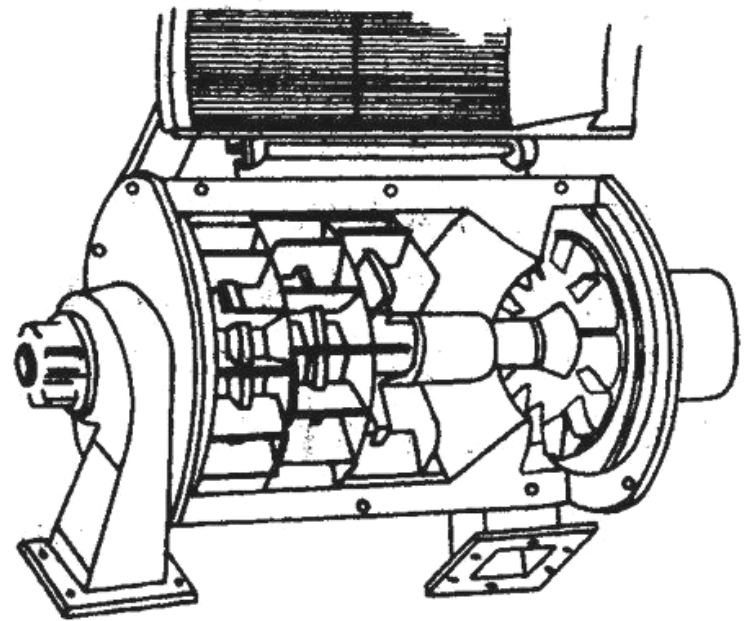
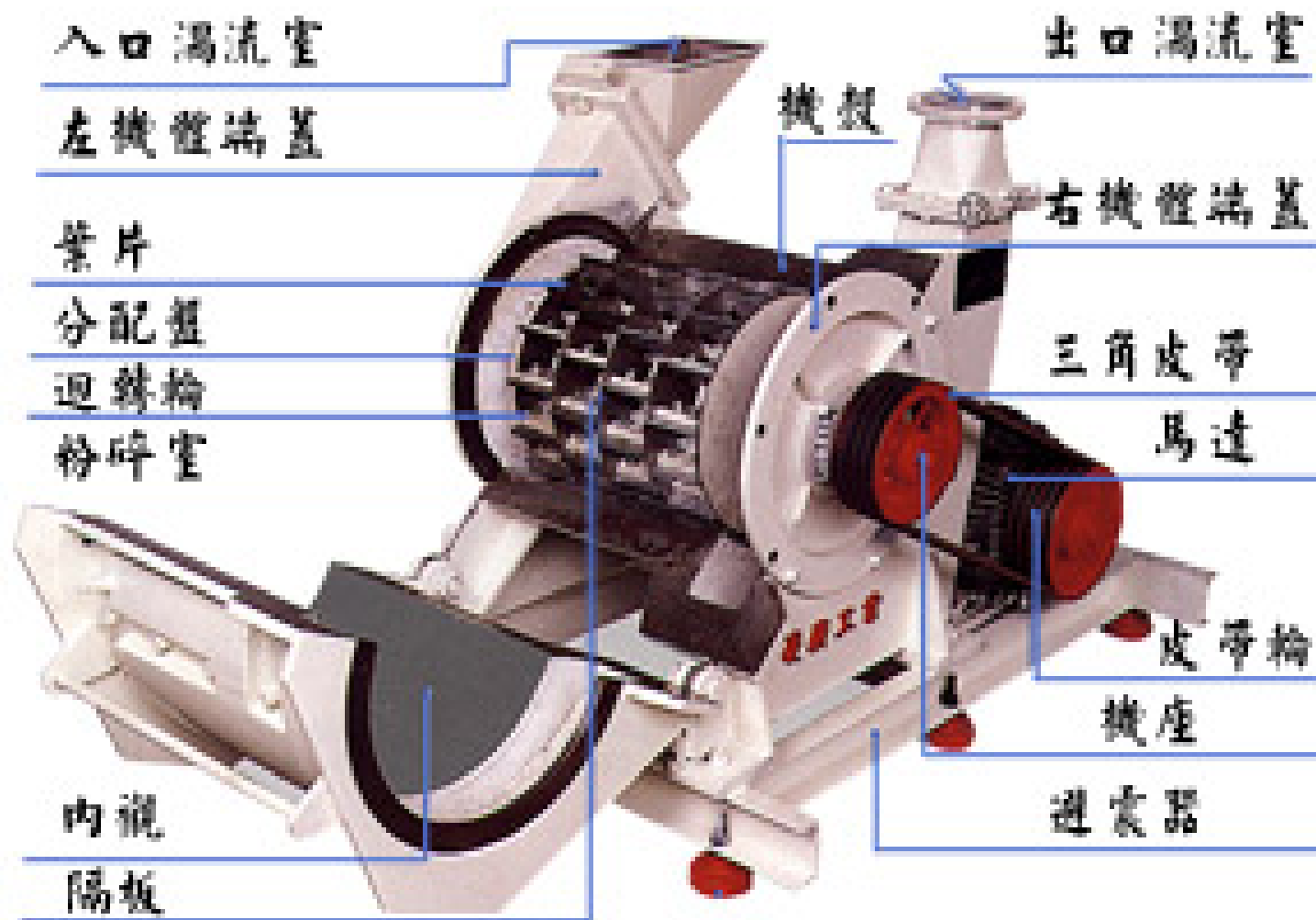


图 4-23 涡流式粉碎机

(一) 涡轮式粉碎机





涡轮式粉碎机

- 本机和一般粉碎机不同，不只是利用冲击力或剪切力等单纯粉碎力进行粉碎。
- 本机除利用高速旋转叶片的冲击力之外，还利用叶片背后产生的无数超高速涡流以及由此产生高频波的压力的振动作用，将原料粉碎，因此本机不只可以粉碎脆性物料，而且对具有黏性、弹性、纤维性的物料也能完全粉碎，此外本机在粉碎过程中原料的温度上升很少，因而对热敏感物料也可进行粉碎。

(二) 立式无筛式微粉碎机

- 主要由喂料器、粉碎器和分选器三部分组成。粉碎器由动齿盘2和环状的固定磨圈3所组成。分选器6是一个旋转的圆盘，在其周边装有叶片，有长叶片、短叶片和斜叶片等型式可供选用。在粉碎区和分选区之间有分隔的折流圈9。
- 工作时，物料从喂料螺旋送入后，在动齿盘和固定磨圈之间受到棒柱或齿爪以 110m/s 线速度的冲击、剪切和搓擦等作用而粉碎。

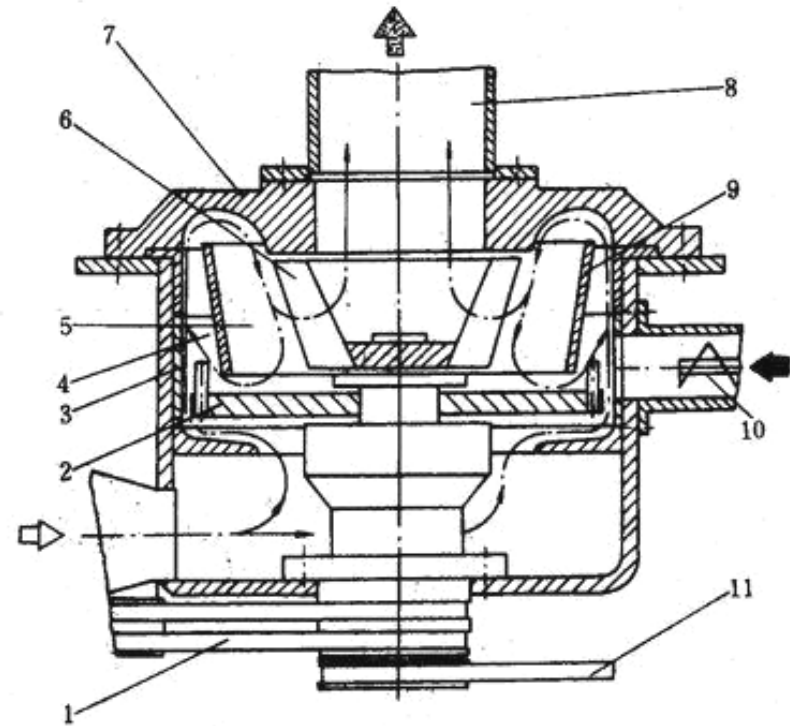
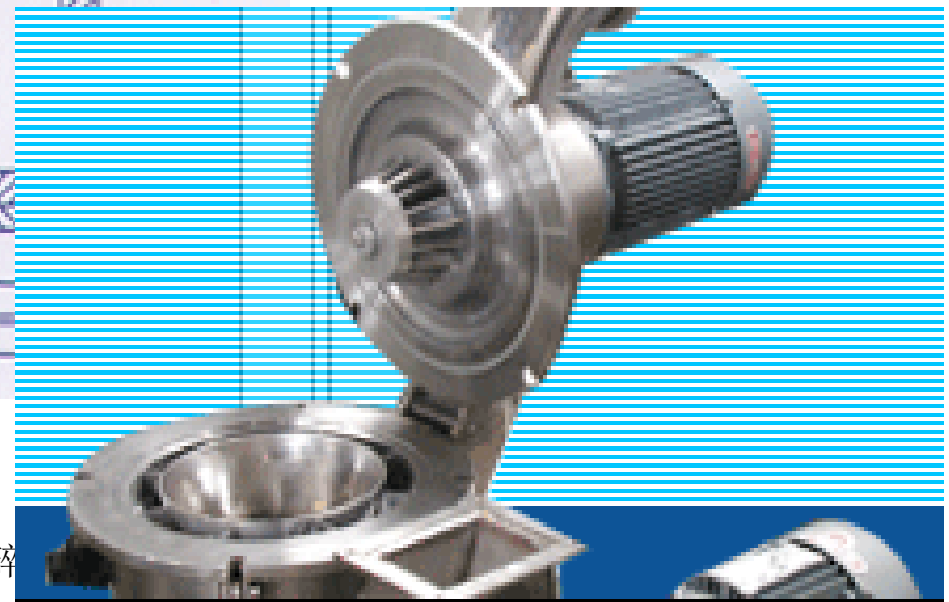
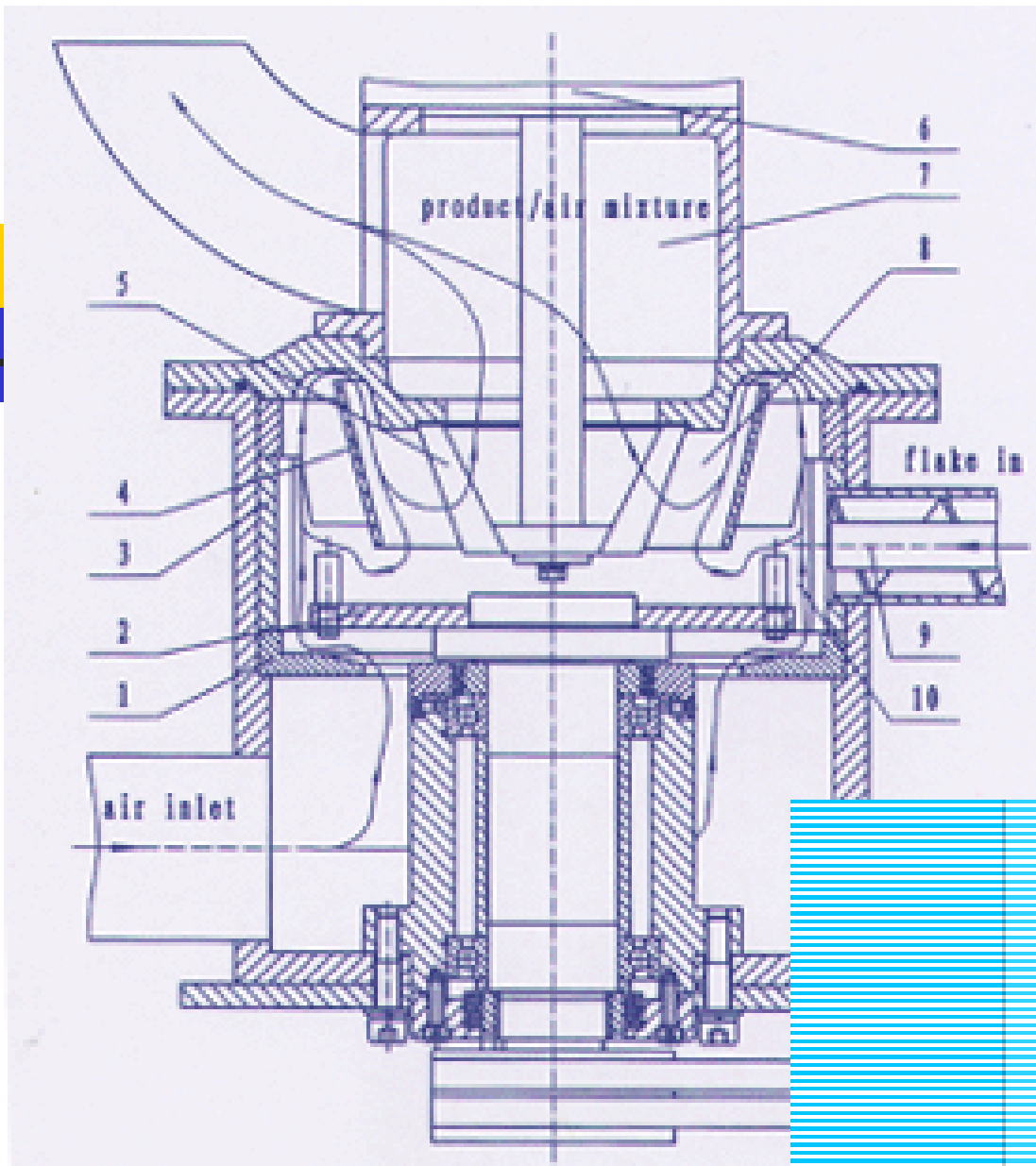
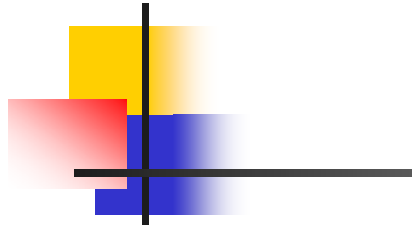


图 4-24 立式无筛式微粉碎机

1. 驱动动齿盘2的三角皮带 2. 动齿盘 3. 固定磨圈 4. 粉碎区 5. 分选区 6. 分选器 7. 上机壳 8. 粉料和空气的混合物(粉尘)排料管 9. 折流圈 10. 喂料螺旋 11. 驱动分选器6的三角皮带





ACM-10微磨系统





三、超微粉碎机

- 超微粉碎机生产的颗粒粒度极细，并有严格的粒度分布、规整的颗粒外形，常应用于颜料、染料、医药、农药、试剂及化学品、化妆品、粉末状食品等，要求颗粒极细，**平均粒径应通过200~325目筛以上**，有的仅数微米，甚至 $1\ \mu\text{m}$ 以下。
- 常用的超微粉碎机有：
 - （一）卧式超微粉碎机
 - （二）超音速喷射式粉碎机
 - （三）立式环形喷射式粉碎机

(一) 卧式超微粉碎机

- 这是一种卧轴、双室、气流分级式粉碎机，主要依靠冲击粉碎原理工作，在粉碎的同时能

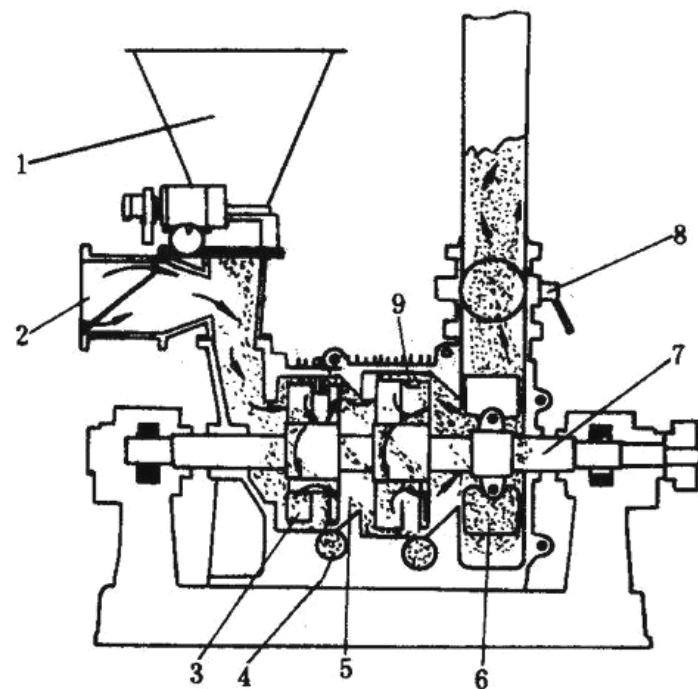
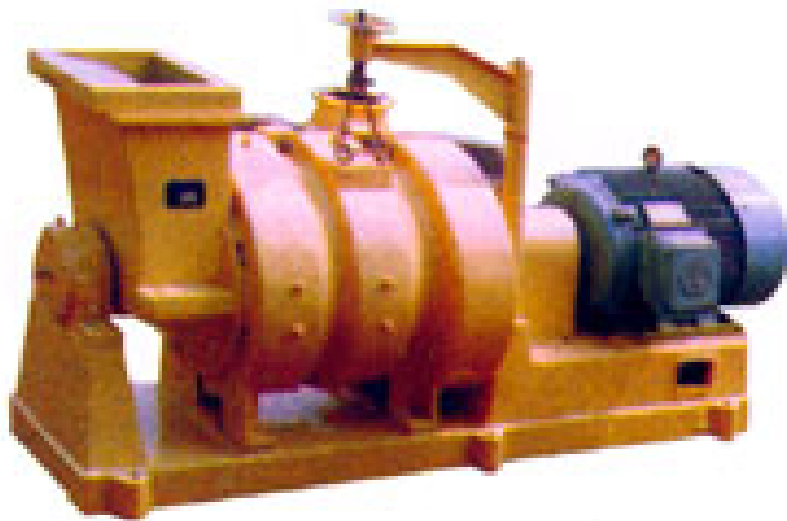


图 4-25 卧式超微粉碎机

1. 喂料斗
2. 进风口
3. 叶片
4. 螺旋卸料器
5. 锥形套管
6. 风机
7. 主轴
8. 成品排料口
9. 固定磨环

(二)超音速喷射式粉碎机

■ (二) 超音速喷射式粉碎机

- 物料从喂料口投入后，受到2.5马赫（气流速度与音速的比值）以上的超音速气流的强烈冲击，使物料颗粒相互间发生剧烈的碰撞作用，可达到 $1\ \mu\text{m}$ 的超微细粒度。粉碎机上设有粒度分级机构，微粒排出后，粗粒返回机内继续粉碎，直至达到所需粒度为止。

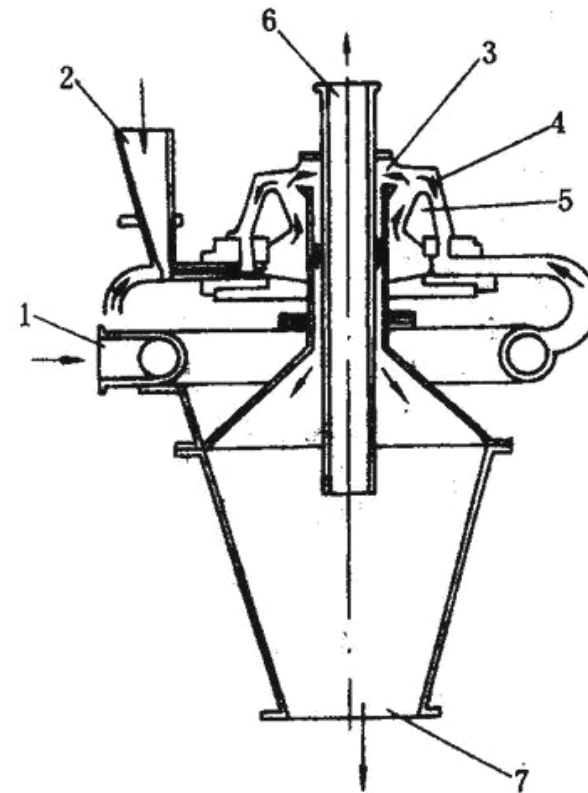


图 4-26 超音速喷射式粉碎机

1. 压缩空气 2. 原料进口 3. 分级板
4. 粗粒返回管 5. 粉碎室 6. 排气管
7. 排料口

(二) 超音速喷射式粉碎机



(三) 立式环形喷射式粉碎机

- (三) 立式环形喷射式粉碎机

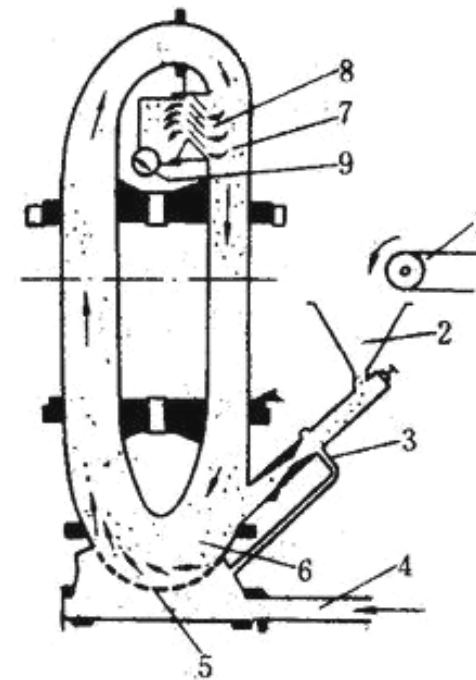
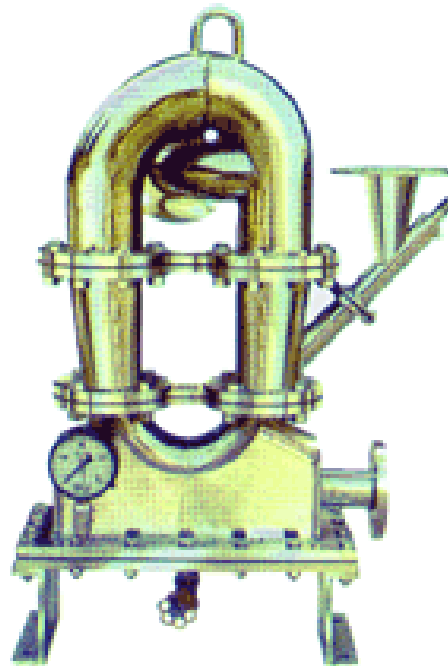


图 4-27 立式环形喷射式粉碎机

1. 带式输送机 2. 料斗 3. 文丘里加料器
4. 压缩空气或热蒸汽入口 5. 喷嘴 6. 粉
7. 分级器 8. 分级器入口 9. 粉碎物出料口

第二节：混合原理与设备

■ 概述

一、**混合**：指两种或两种以上不同组份的物料在外力作用下运动速度方向发生改变，使各组份的粒子均匀分布的过程。经过混合操作后得到的物料称为混合物。

常见混合物的类型：固体与固体、固体与液体、液体与液体、液体与气体相混合构成的混合物。

混合的目的在于获得均匀混合物，强化热交换过程，增强物理和化学反应。

■ 二 混合机及其类型：

混合机械分类：混合机、搅拌机 和 捏合机。

第二节：混合原理与设备

- 一类是对粉粒状物料，低中粘度物料进行混合的机械称为**混合机**（多指 固+固）或者**搅拌机**（多指 液+液或液+固）。
- 另一类是对高粘稠浆料和塑性固体物料进行混合的机械设备叫做**捏和机**。
- **三 均质和均质机械：**
- 对乳浊液、悬浮液进行边破碎边混合的过程叫**均质**。所采用的机械设备有均质机和胶体磨。
- 均质的目的在于既要获得均匀的混合物，又要使得产品的颗粒细微一致，不会产生离析。



第二节：混合原理与设备

- 对混合和均质机械的一般要求是：
 - ①混合物的混合均匀度高；
 - ②物料在容器内的残留量少；
 - ③均质物的颗粒微小，质地细腻；
 - ④设备结构简单，坚固耐用，操作方便，便于检视、取样和清理；
 - ⑤机械设备要防锈，耐腐蚀，容器表面光滑，工作部件能拆卸清洗；
 - ⑥电机设备和电控装置应能防爆、防湿、防尘，符合环境保护和安全运行的要求。

第二节：混合原理与设备

- 二、混合均匀度的含义及表示方法
- 混合物的混合均匀程度是衡量混合机性能好坏的主要技术指标之一。通常用混合物中某组分含量的变异系数 C_v 值来衡量混合机混合性能的好坏。

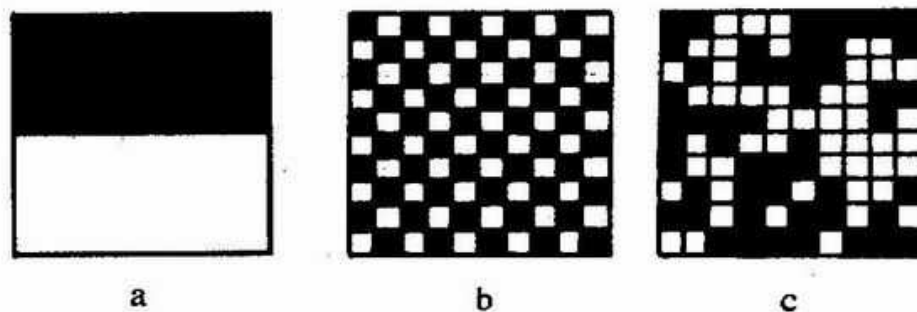


图 5-1 黑白两种粒子的混合状态

a. 原始未混合状态 b. 理想完全混合状态

c. 随机完全混合状态

第二节：混合原理与设备

- 从混合机内任意处的随机取样中，某种组分的浓度值是一个随机变量，每次测定都有其偶然性，测定前无法确定其数值。但是，大量试验统计后，发现随机变量有一定的规律性，可以采用数理统计中的几个特征数来描述混合的均匀程度。从混合机中取 n 个样品，每个样品中某组分的浓度值分别为 $X_1, X_2, \dots, X_i, X_n$ ，当测定次数为有限次数 n 时，某组分浓度的算术平均值为

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

第二节：混合原理与设备

- 当测定次数趋于无穷大时， \bar{X} 的极限为 a ，可看作为某组分浓度的真值。

$$a = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \right)$$

- 将各次浓度测定值 X_i 对于真值 a 的标准偏差定义为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - a)^2}$$

第二节：混合原理与设备

- 对于有限次数的测定，各次测定值对X的标准偏差定义为

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

- 标准偏差S的平方叫做均方根离差：

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

第二节：混合原理与设备

- 图5—2表示沿混合机某方向取样，样品中某组分浓度值的变化曲线

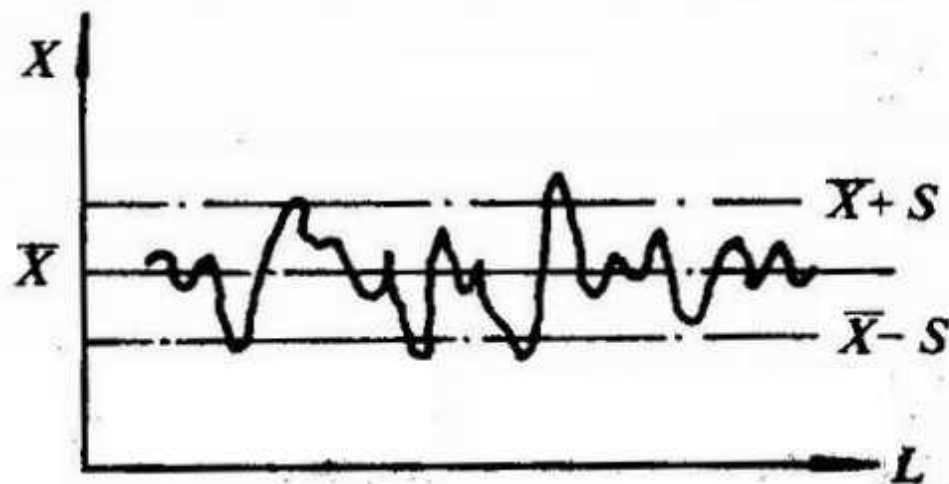


图 5-2 浓度值沿混合机某方向的变化曲线

第二节：混合原理与设备

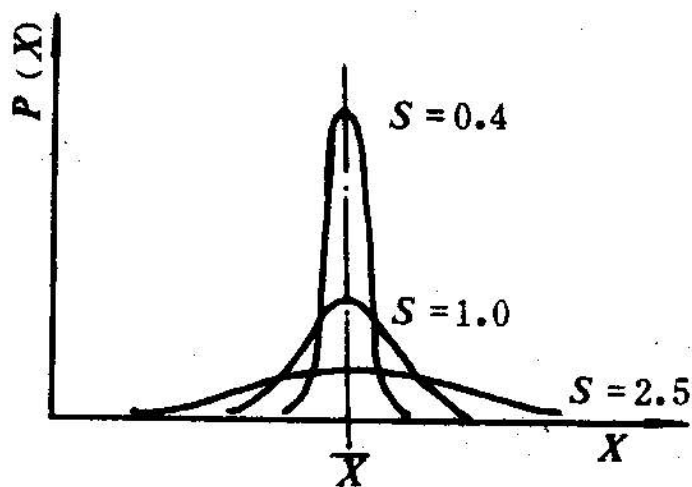


图 5-3 浓度的概率密度函数曲线

- 浓度测定值 X 的密度函数曲线见图5-3，图中 S 值的大小影响了曲线的形状。
- 但是标准偏差 S 只能反映某组分浓度绝对值的波动情况，尚不能确切地说明各个组分混合后的相对均匀程度如何。

第二节：混合原理与设备

- 例如，某组分在混合物中的含量为50%，经测定其S值为0.02，而另一种组分在混合物中的含量仅5%，其S值也是0.02，经验表明，前一种组分在混合物中均匀分布程度远比后一种好。这是因为S值只与各观测值相对x的离差有关，而与各测定值本身的大小无关。所以，仅用S和X两个特征数，还不足以全面客观地反映混合物质量的优劣，必须采用**变异系数C**这个特征量，亦即用**相对离散程度**作为特征量，才便于评价混合的质量。

$$C_v = \frac{S}{X} (\% / \%)$$



第二节：混合原理与设备

- 根据公式（5-6）的计算，上例的两种组分中，第一种组分的变异系数 C_v （即相对离散值）只有 $C_v=4\%$ ，而第二种组分的 $C_v=40\%$ 。这就表明第二种组分的相对离散程度大于第一种。所以第一种组分在混合物中的均匀分布程度比第二种要好得多。与 C_v 相对应的特征是为某组分在混合物中的相对不离散程度，也就是混合均匀度比值，可用下式来计算： $H_s=1-C_v$ (%)
- 根据公式（5-7）得到第一种组分在混合物中的均匀度为96%，而第二种组分的均匀度仅60%。



第二节：混合原理与设备

■ 三、混合机理

两种或两种以上不同组分构成的混合物在混合机或者料罐内，在外力作用下进行混合，从开始时的局部混合达到整体的均匀混合状态，在某个时刻达到动态平衡，之后，混合均匀度不会再提高，而分离和混合则反复交替地进行着。

■ 整个混合过程存在着三种混合方式：

- （一）对流混合
- （二）扩散混合
- （三）剪切混合



第二节：混合原理与设备

- （一）对流混合：由于混合机工作部件表面对物料的对运动，所有粒子在混合机内从一处向另一处作相对流动，位置发生转移，产生整体的流动称为**对流混合**。
- （二）扩散混合：对于互溶性组分如固体与液体，液体与气体，液体与液体组分等，在混合过程中，以分子扩散形式向四周作无规律运动，从而增加了两个组分间的接触面积和缩短了扩散平均自由程达到均匀分布状态。对于互不相溶性组分的粉粒子，在混合过程中以单个粒子为单元向四周移动，类似气体和液体分子的扩散，使各组分的粒子先在局部范围内扩散，达到均匀分布，称为**扩散混合**。



第二节：混合原理与设备

- （三）剪切混合：由于物料群体中的粒子相互间形成剪切面的滑移和冲撞作用，引起局部混合，称为**剪切混合**。对于高粘稠度流变物料如面团和糖蜜等，主要是依靠剪切混合，一般称为**捏和**。捏和机工作部件对物料产生的剪切力，使物料拉成愈来愈薄的料层，料层表面出现裂纹，产生层流流动，达到局部混合，谓之剪切混合。挤压膨化机和绞肉机中的物料在螺杆作用下也产生剪切混合。
- 事实上，物料在混合机里往往同时存在着上述三种混合方式，单一的混合方式是少见的，但是常以其中的一种混合方式为主。

粉料混合机

一、固定容器式混合机

(一) 螺旋环带式混合机

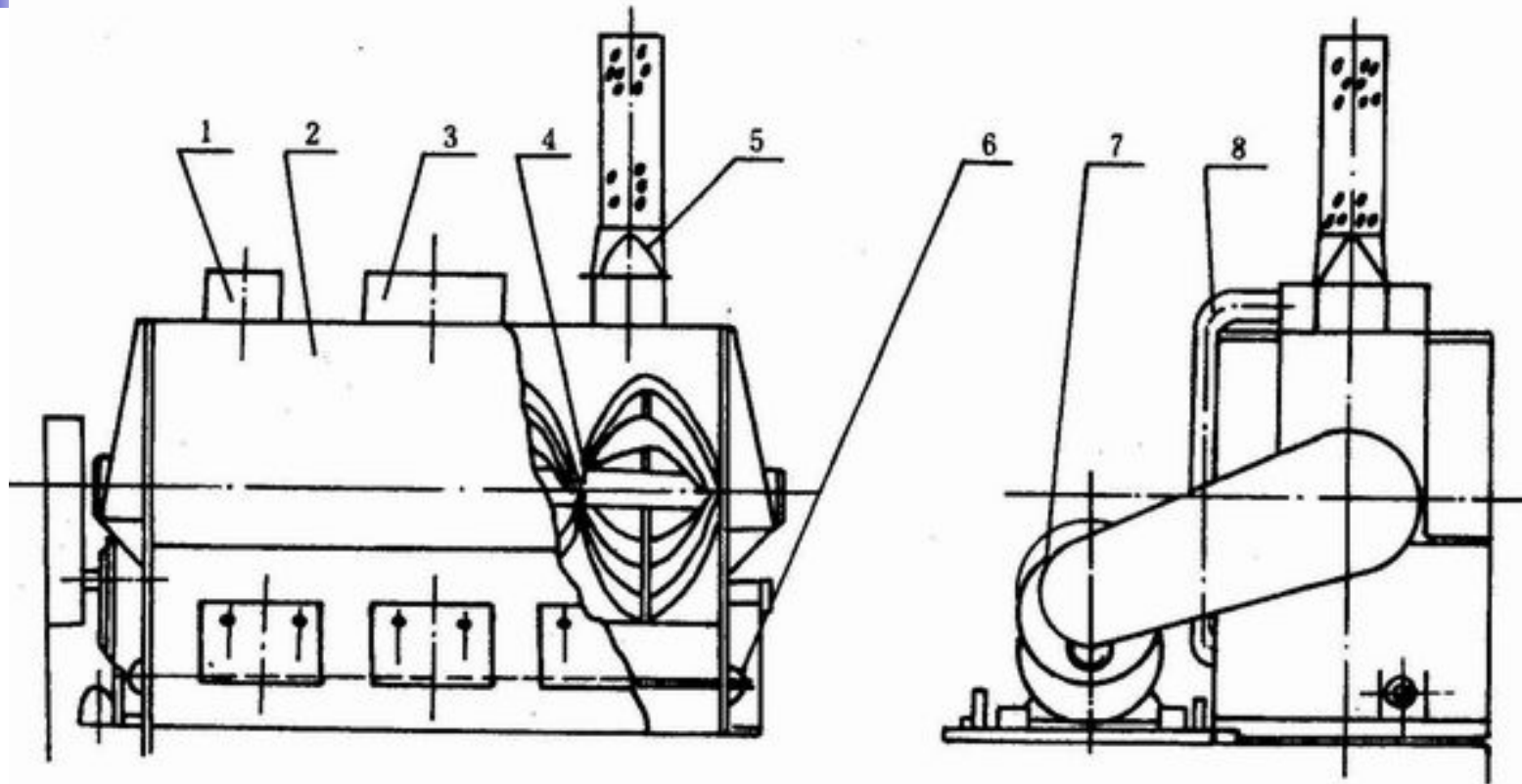


图 5-4 螺旋环带式混合机

1. 微量元素添加剂进料口 2. 机体 3. 主料进料口 4. 螺旋环带 5. 出气口和布袋过滤器

6. 排料控制机构 7. 齿轮减速电机 8. 风管

粉料混合机

（二）立式混合机

一般混合10~15min, 主轴转数为200~300r/min, 螺旋直径 $d=(0.25-0.3)D$, 螺旋叶片和内套筒3内表面之间的间隙为10mm, 料筒高 $H=(2\sim5)D$, $s=(180-200)\text{mm}$ 。

该混合机的特点是配用动力小, 占地面积少, 一次装料量多, 调批次数少, 每批料混合时间长, 腔内物料残留量较多。

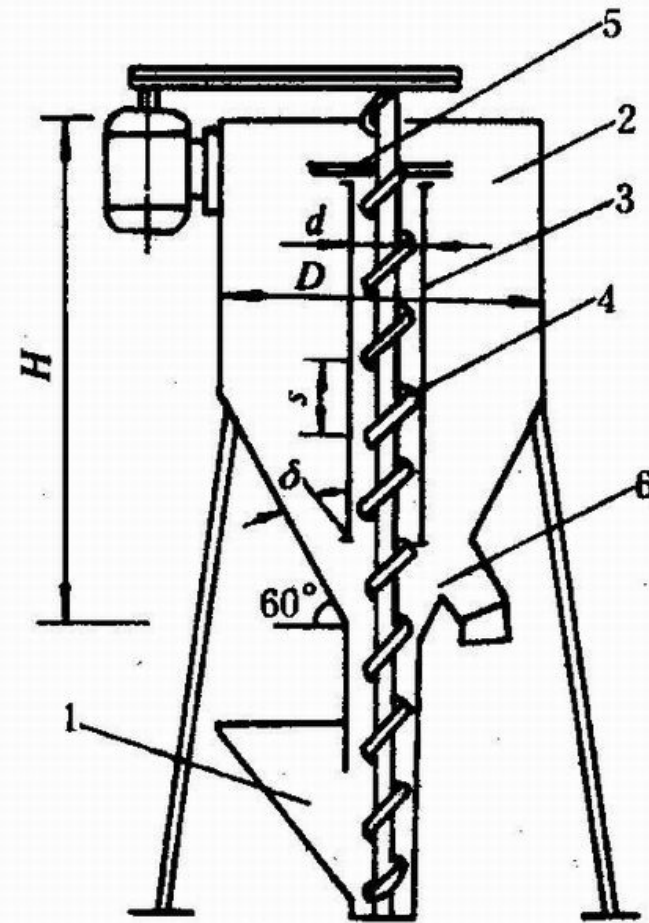


图 5-5 立式混合机

1. 料斗 2. 料筒 3. 内套筒

4. 垂直螺旋 5. 甩料板 6. 出料口

粉料混合机

- (三) 立式行星式混合机(又名那塔式混合机)
- 摇臂带动混合螺旋以 $2\sim 6\text{r/min}$ 绕中心轴旋转, 同时, 螺旋又以 $60\sim 100\text{r/min}$ 的速度自转。
- 在机壳外壁可以加水套以加热或冷却腔内物料。混合需用时间为: 小容量混合机 $2\sim 4\text{min}$, 大容量混合机 $8\sim 10\text{min}$ 。

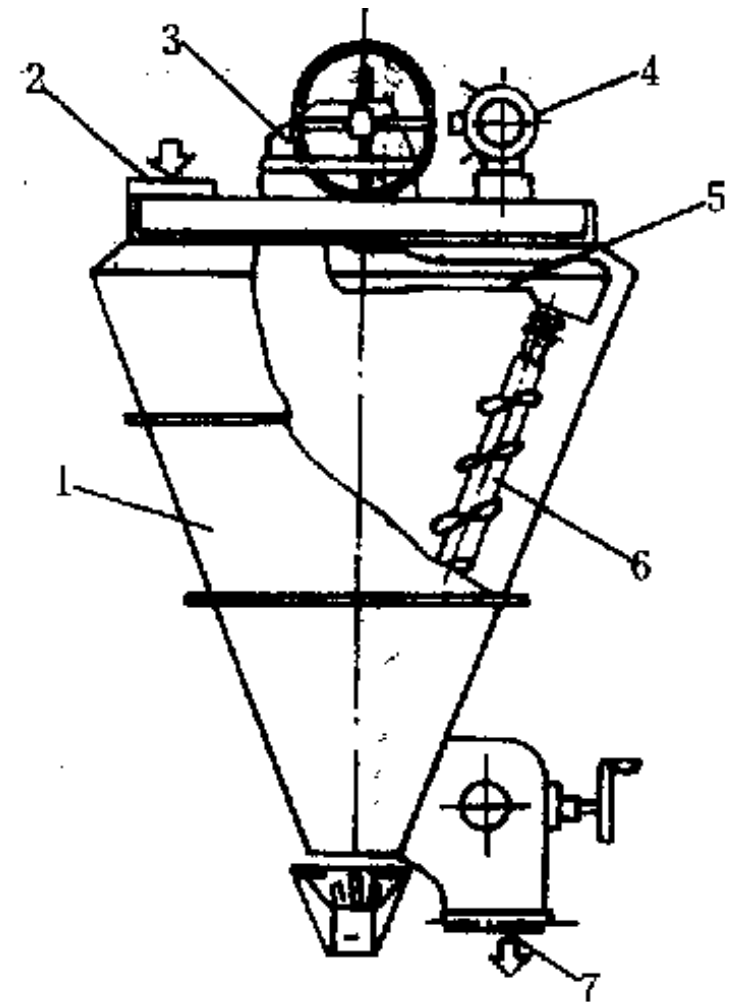


图 5-6 立式行星式混合机

1. 锥形筒体 2. 进料口 3. 减速机构
4. 电动机 5. 摇臂 6. 倾斜混合螺旋
7. 出料口



粉料混合机

■ 二、回转容器式混合机

- 这类混合机的共同特点是容器内没有搅拌工作部件、容器内的物料随着容器旋转方向自下而上依靠物料本身的重力翻转运动以达到均匀混合的目的。所以容器的回转速度不能太高，否则会因离心力过大，物料紧贴容器内壁固定不动，将严重影响混合质量。正常工作时，物料在容器内应发生涡流运动。

粉料混合机

（一）水平回转筒式和斜置回转筒式混合机

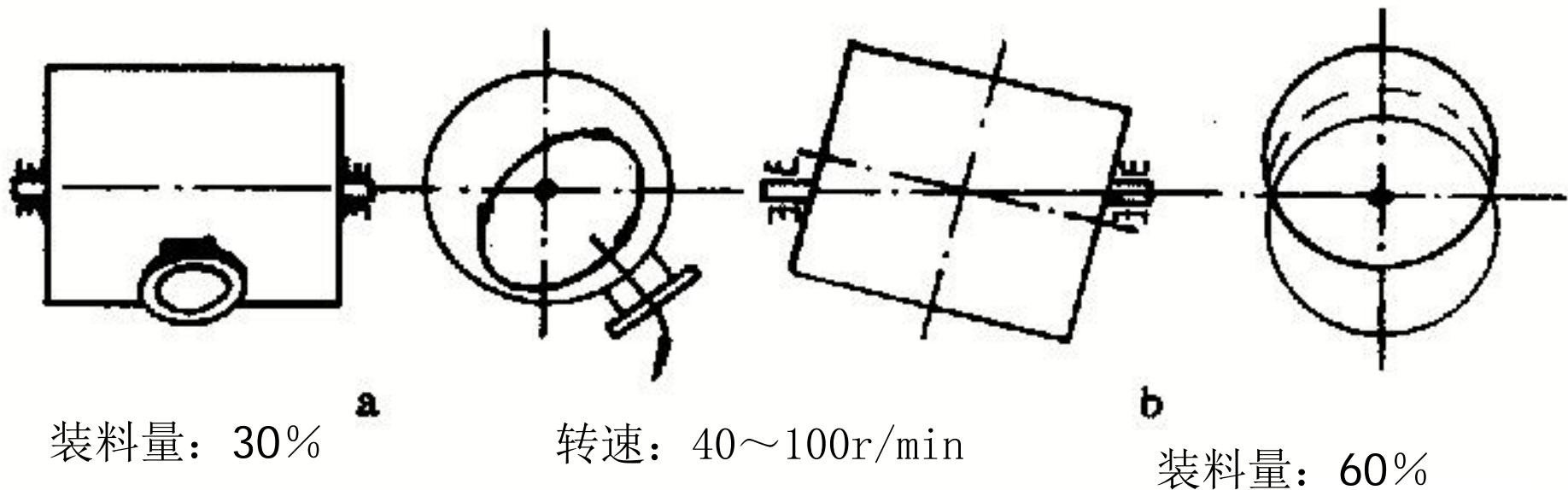


图 5-7 回转容器式混合机

a. 水平回转筒式 b. 斜置回转筒式

粉料混合机

(二) V型混合机

夹角为: $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间, 装料量为两个圆筒体积的 $10\%\sim 30\%$ 。
其转速为 $6\sim 25\text{r}/\text{min}$ 。

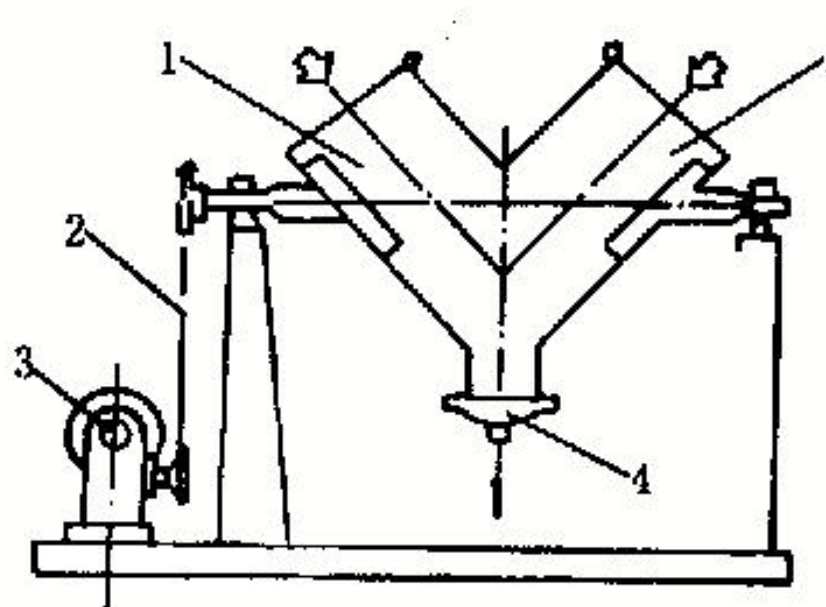
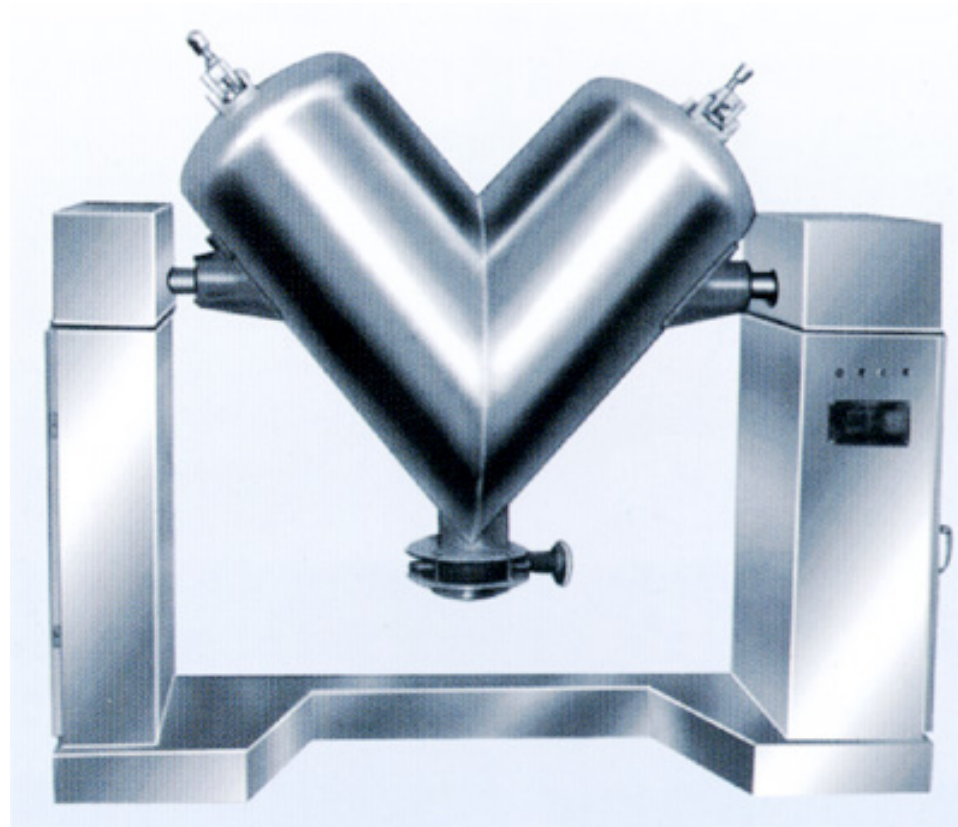


图 5-8 V型混合机

1. 原料入口 2. 链轮 3. 减速器 4. 出料口

粉料混合机



粉料混合机

■ (三) 对锥式混合机

圆锥角呈 60° 角和 90° 角两种型式。

若容器内未安装叶轮，一般混合时间5~20min，若容器内安装叶轮，混合时间可缩短到2min左右。

转速为5~20r/min.

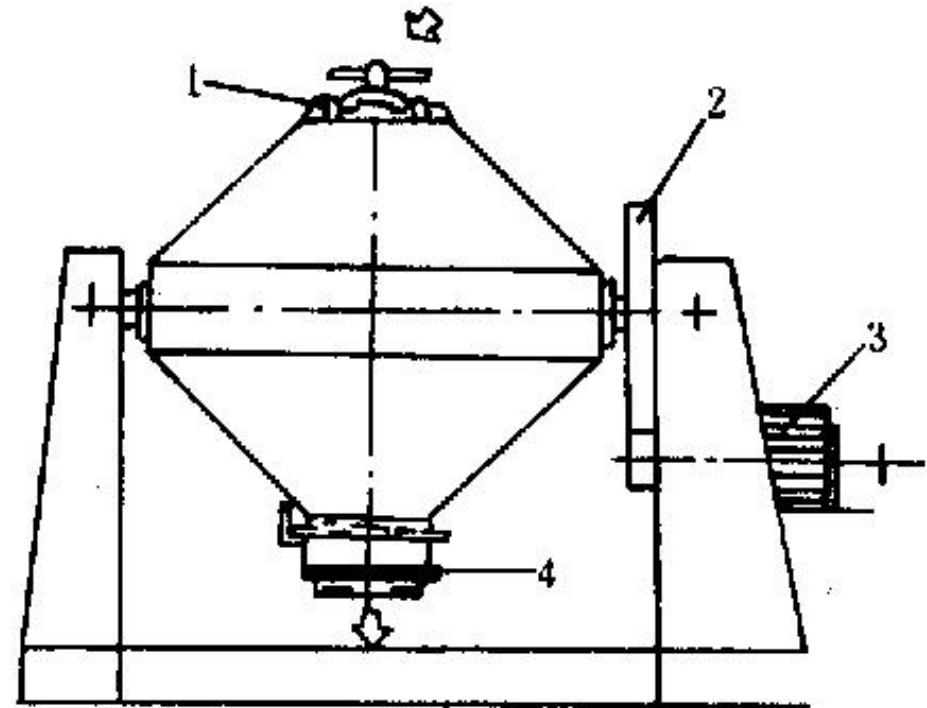


图 5-9 对锥式混合机

1. 进料口 2. 齿轮 3. 电动机 4. 出料口



液体搅拌机

- 液体--液体与液体--固体组分间的混合，称为液体**搅拌**，采用的机械设备称为液体搅拌机。这类搅拌机与粉料混合机的不同点在于，前者制备的是互溶或互不溶的液态混合物，而后者加工的是互不溶的固体粉料，得到的是互不溶的粉体混合物。
- 液体搅拌机，又称为液体-液体与液体-固体集态混合机，广泛应用于：
 - ①将不同颜色和比重差不多的液体构成均一的混合物；
 - ②使固体粒子在液体中呈悬浮或混浊状态；
 - ③从饱和溶液中析出结晶粒子；
 - ④使痕量组分在液体中均匀混合；
 - ⑤促进液体与储槽容器之间的热交换过程，并防止局部过热。

液体搅拌机

一、液体搅拌的基本原理和液体流型

- 液体搅拌的基本原理和粉体混合基本相同，即两种或两种以上组分在搅拌过程中都通过对流、扩散和剪切作用达到均匀混合的。但由于液体和粉体两种物料在物理性质上的根本差异，因此，所采用的搅拌设备也完全不同。
- 液体搅拌机的主要工作部件是搅拌叶片，包括桨叶、旋桨和涡轮叶片等型式。由液体-液体或液体-固体物料配制成的混浊液、乳浊液和悬浮液中，液体比例一般约占95%以上；高浓度的粘稠液中液体的比例要小一些。



液体搅拌机

- 在叶轮（由叶片和回转轴等组成）的旋转作用下，把机械能传给液体，在叶轮附近区域的液流中造成涡动，同时产生一股高速射流推动液体沿着一定途径在容器内作循环流动。这种流动称为液体的“流型”，它可分为**轴向流型**、**径向流型**和因在容器侧壁加设挡板等阻挡物引起液流方向变化而形成的各种**混合流型**。因此，液流的流型取决于叶片的几何形状和结构以及在容器内有无阻挡物等，而叶片的几何形状对流型的影响最大。

液体搅拌机

- 1. **轴向流型** 液体从轴向进入叶片，从轴向流出，谓之轴向流型。
- 2. **径向流型** 流体从轴向进入叶轮，从径向流出，谓之径向流型。

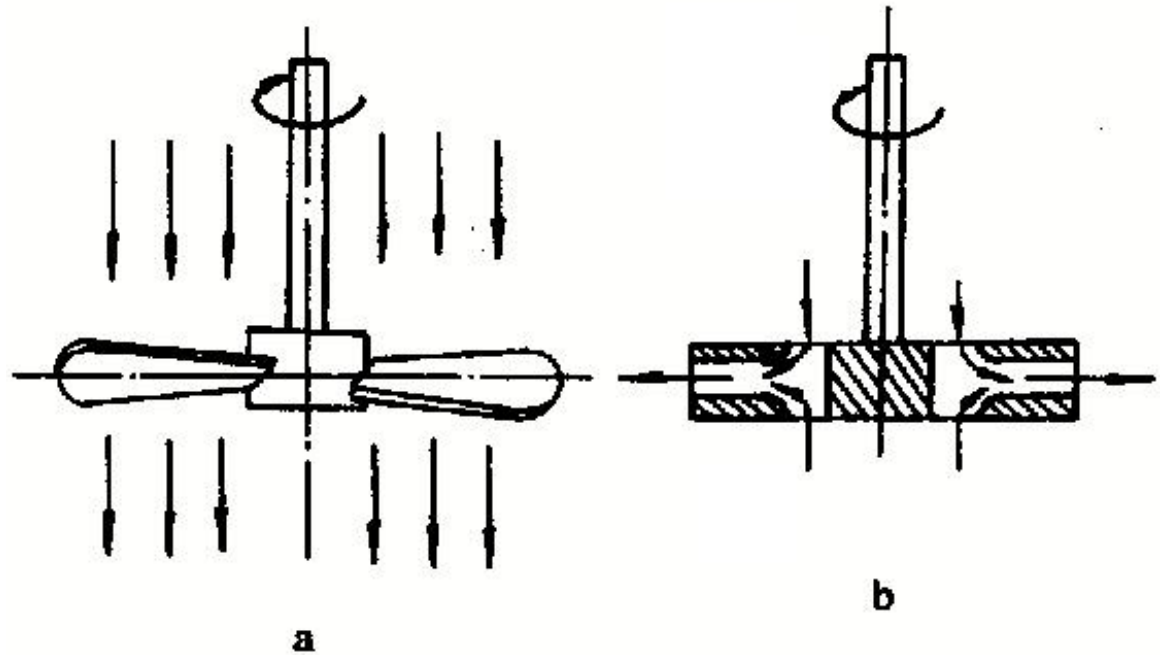


图 5-10 液流流型
a. 轴向流型 b. 径向流型

液体搅拌机

3. 混合流型

- 实际上，叶片造成的液流有三个分速度：轴向速度、径向速度和切向速度。其中轴向速度和径向速度对液体的搅拌混合起着主要作用。
- 液体搅拌机有机械式搅拌机、喷流式搅拌机、喷气式搅拌机和真空式搅拌机等以机械式搅拌机的应用最为广泛。

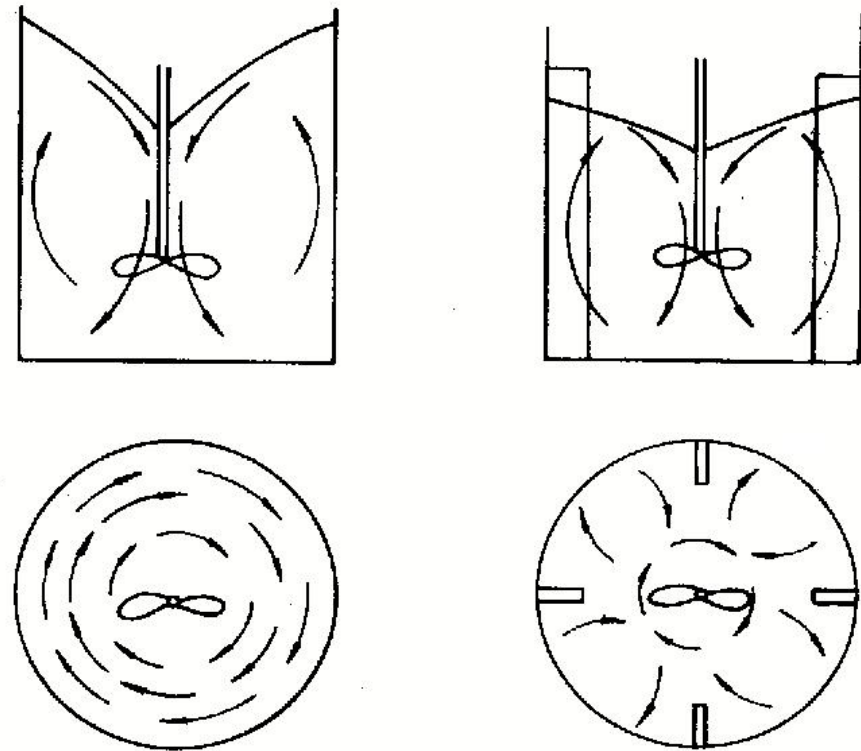


图 5-11 液体打旋

a. 不加挡板 b. 加挡板

液体搅拌机

- 二、机械式液体搅拌机
- 其中适用于处理低粘度或中等粘度液体的机械式搅拌机，一般多按叶片型式和它在容器内的安装方式来分类：
- （一）按搅拌叶片型式分类
 - 1. 桨叶式搅拌机
 - 2. 涡轮式搅拌机
 - 3. 旋桨式搅拌机
- （二）按液体搅拌机的安装型式分类
 - 1. 可搬式搅拌机
 - 2. 立式搅拌机

液体搅拌机

■ 1. 桨叶式搅拌机

- 桨叶式搅拌机的转速一般为 20-150r/min，叶片的圆周速度约为 3m/s 。叶片直径为容器直径的 $1/2-3/4$ ，宽度一般为其长度的 $1/10-1/6$ 。桨叶式搅拌机的转速较慢，液流的径向速度较大，轴向速度较低。

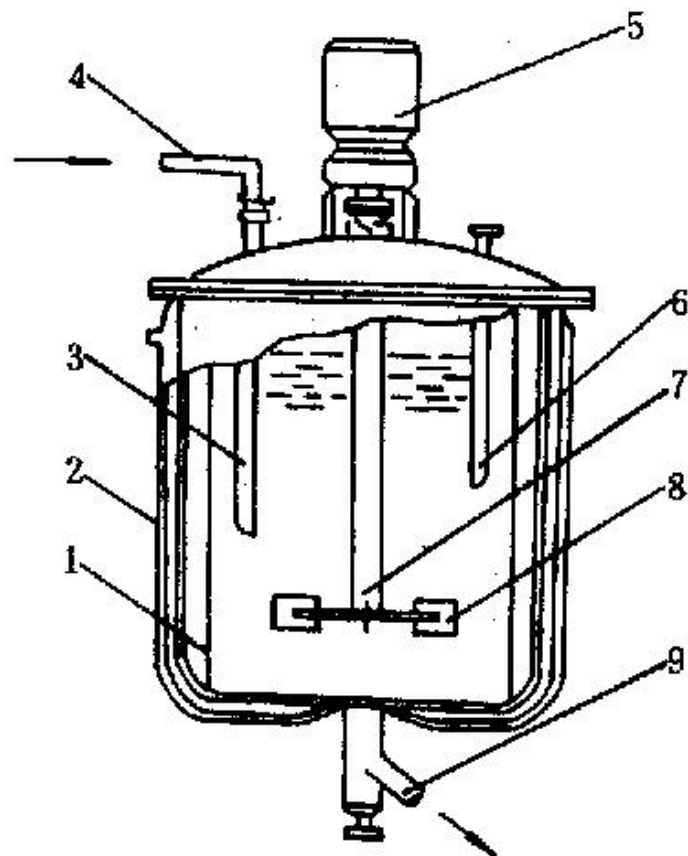


图 5-12 桨叶式搅拌机

1. 挡板 2. 容器夹套 3. 料管 4. 进料管 5. 电动机
6. 温度计 7. 搅拌轴 8. 桨叶 9. 出料管

液体搅拌机

为了加强轴向混合，并减少因切线速度产生的表面旋涡，通常在容器侧壁加设挡板。

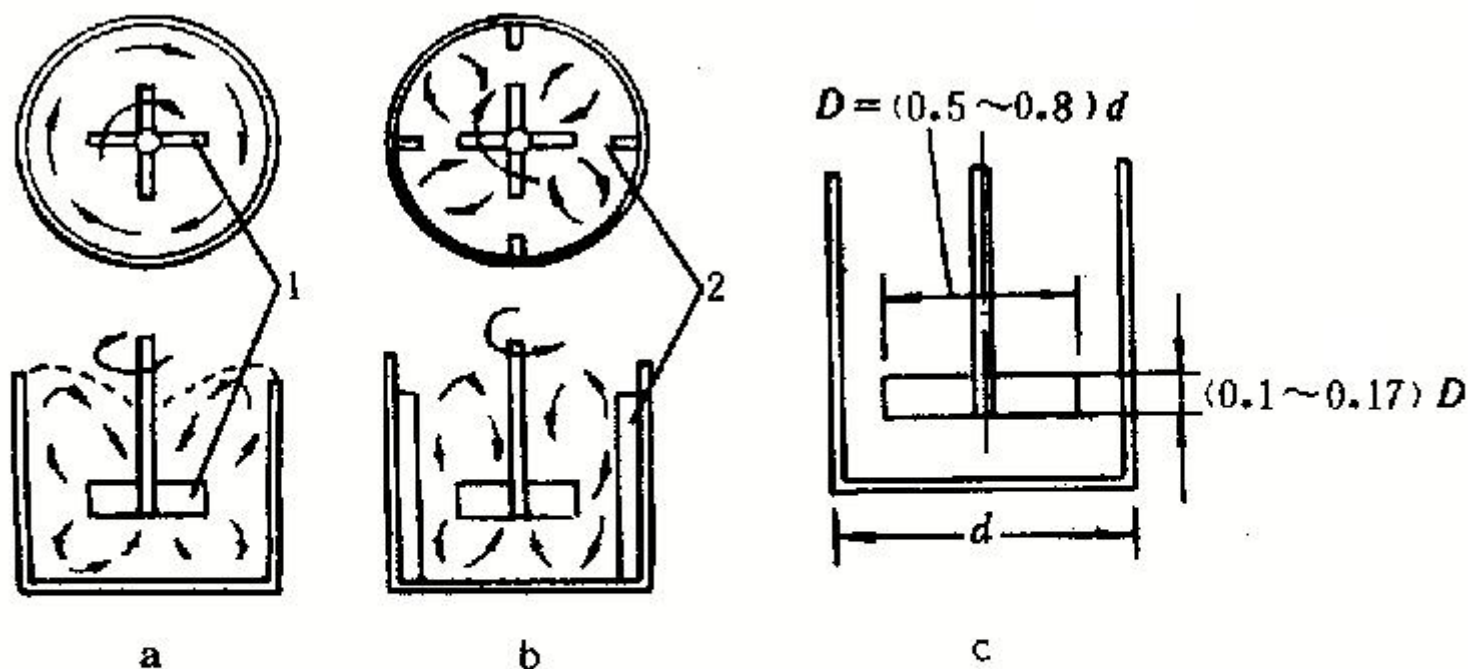


图 5-14 桨叶在容器内运动情况

a. 不加挡板 b. 加挡板 c. 相关尺寸

1. 搅拌桨叶 2. 挡板

液体搅拌机

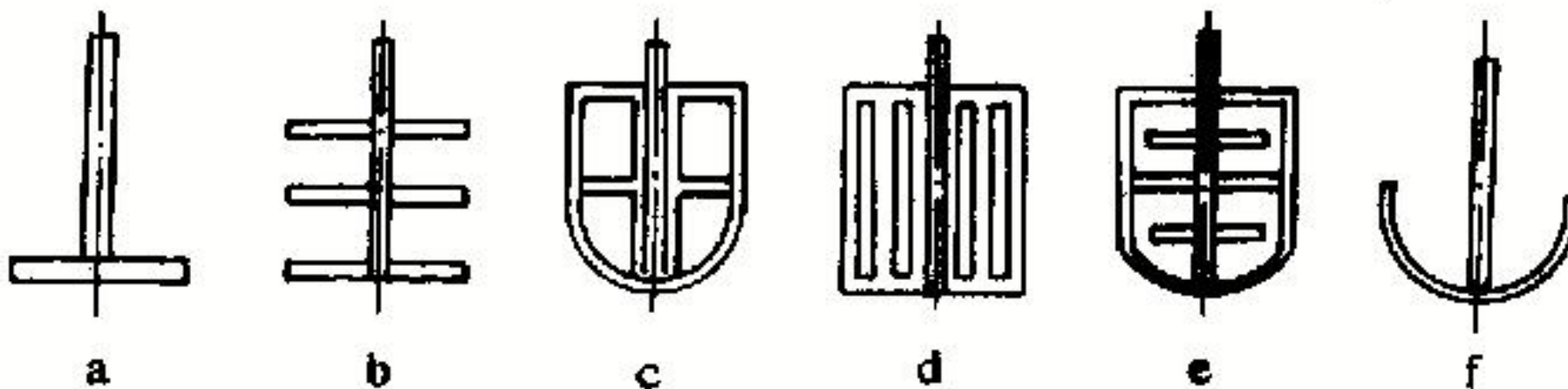


图 5-13 桨叶种类

a. 平板型 b. 多段型 c. 锚型 d. 格子型 e. 对向型 f. 马蹄型

液体搅拌机



液体搅拌机

- 为了提高搅拌效果，还可以增加桨叶对数，从一对增加到三对。为了加热物料，常把容器底部做成夹套即双底锅。
- 桨叶边缘到容器底部的间距以30~50mm为宜，对于高浓度物料为5mm。转速一般为50~70r/min。
- 桨叶式搅拌器的主要特点是：
①结构简单，容易制造；②混合效果较差；③局部剪切作用弱，不易发生乳化作用；④适用性广。

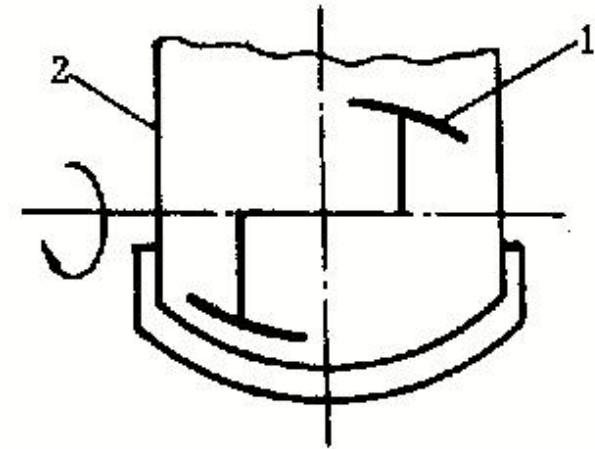


图 5-15 锚型搅拌器示意图

1. 桨叶 2. 容器

液体搅拌机

■ 2. 涡轮式搅拌机

- 涡轮式搅拌机类似桨叶式搅拌机，唯叶片多而短，属高速回转径向流动式搅拌机。液体经涡轮叶片沿驱动轴吸入，它主要产生径向液流，液体以高速向涡轮四周抛出，再沿槽壁上升流动。
- 涡轮叶片为4~6枚，直径比桨叶小，为容器直径的0.3~0.5倍，转速为400~2000r/min，圆周速度在8m/s以内。

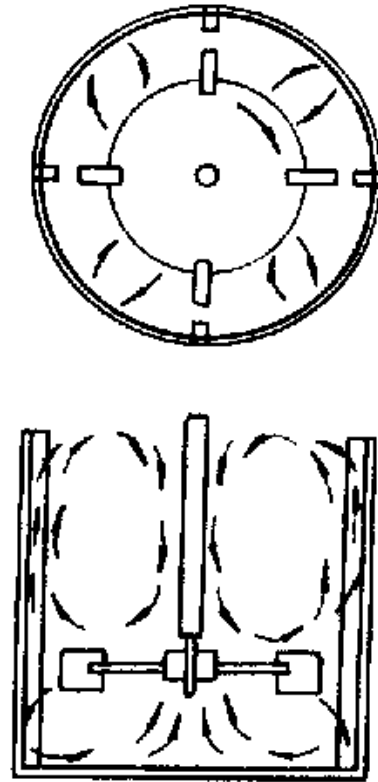


图 5-16 液体在涡轮叶片中流动

液体搅拌机

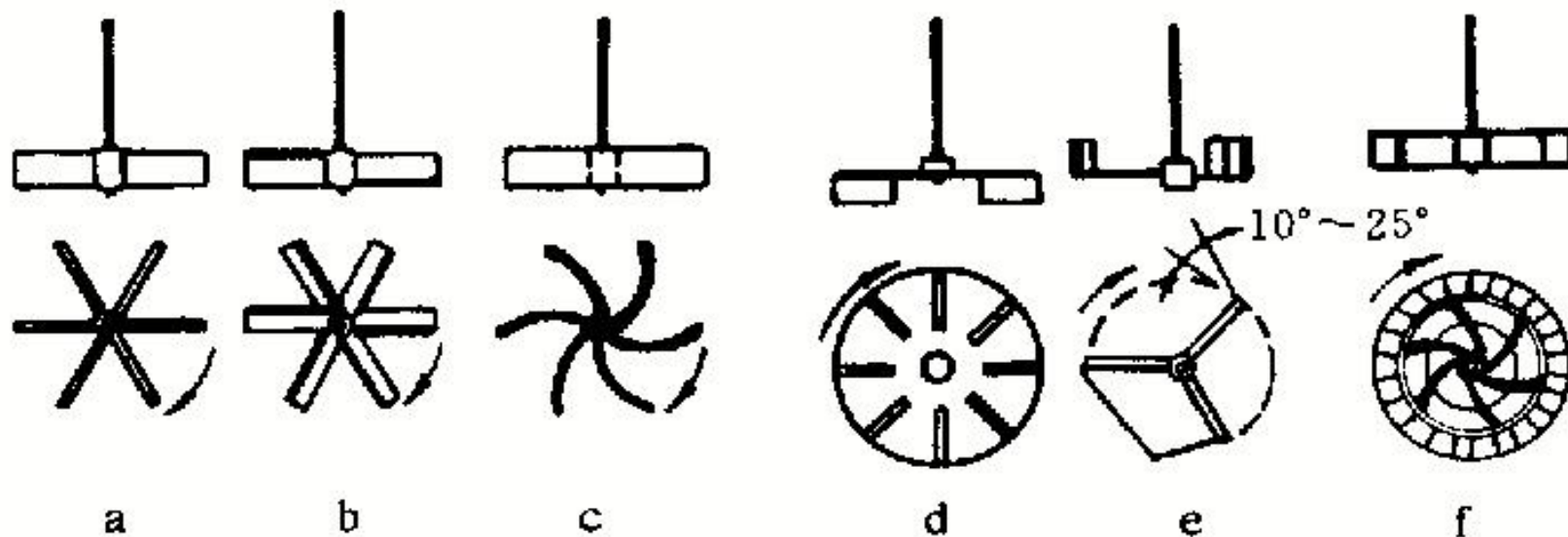
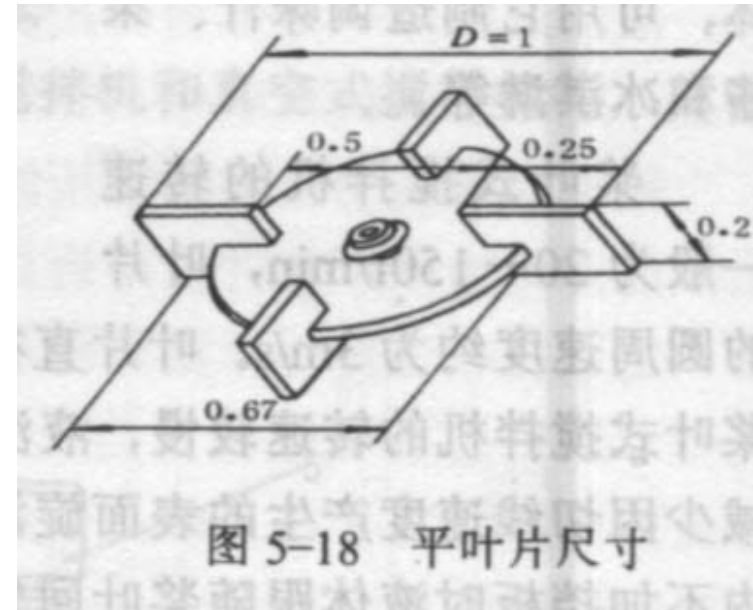


图 5-17 涡轮式搅拌机叶片

- a. 平叶片 b. 倾斜叶片 c. 弯曲叶片 d. 外周套平板叶片
e. 辐射叶片 f. 升压环曲板叶片

液体搅拌机

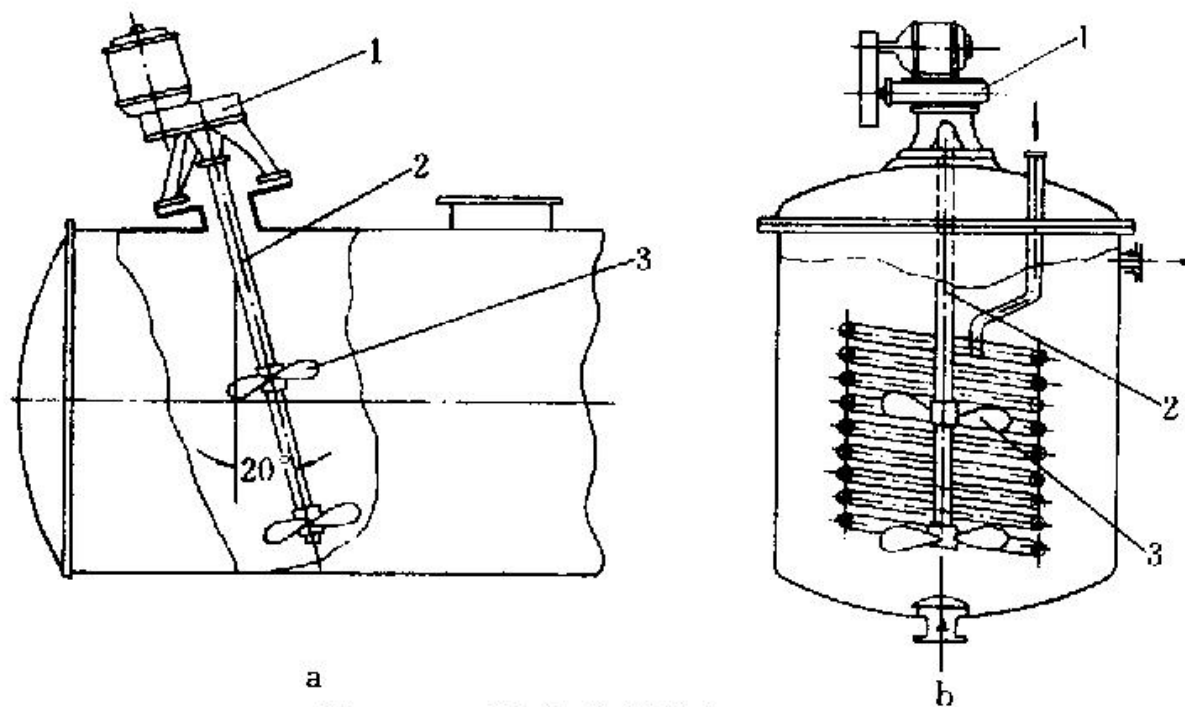
- 涡轮式搅拌机的主要特点是：
 - ①适于搅拌多种物料，尤其对中等粘度液体特别有效；
 - ②混合生产能力较高，能量消耗少，搅拌效率较高；
 - ③有较高的局部剪切效应；
 - ④容易清洗和造价较高。涡轮式搅拌机常用于制备低粘度的乳浊液、悬浮液和固体溶液。



液体搅拌机

3. 旋桨式搅拌机

又叫螺旋式搅拌机，多用于混合两种不相溶的液体制备乳浊液，如油和水的混合物等低粘性物料。



a

b

图 5-19 旋桨式搅拌机

液体搅拌机

- 旋桨式搅拌机适用于低粘度液体的高速搅拌。旋桨叶片直径为容器直径的 $1/3 \sim 1/4$ 。其转速小型为 1000r/min 以上，大型为 $400 \sim 800\text{r/min}$ 。

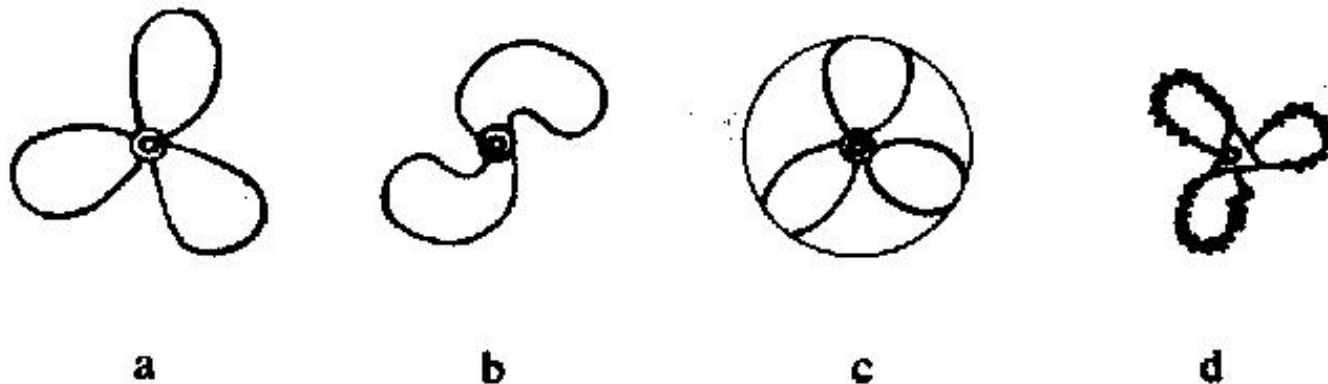


图 5-20 旋桨叶片种类

a. 三桨叶 b. 二桨叶 c. 带框叶片 d. 带齿叶片

液体搅拌机

- 由于桨叶的高速转动造成了轴向和切向速度的液体流动，致使液体作螺旋形旋转运动，并使液体受到强烈的切割和剪切作用，同时，桨叶也使气泡卷入液体中，这是它的缺点。为此，轴多偏离中心线安置，或斜置成一定角度。由于液体流动非常激烈，故适用于大容器低粘度的液体搅拌，如牛乳、果汁和发酵产品。

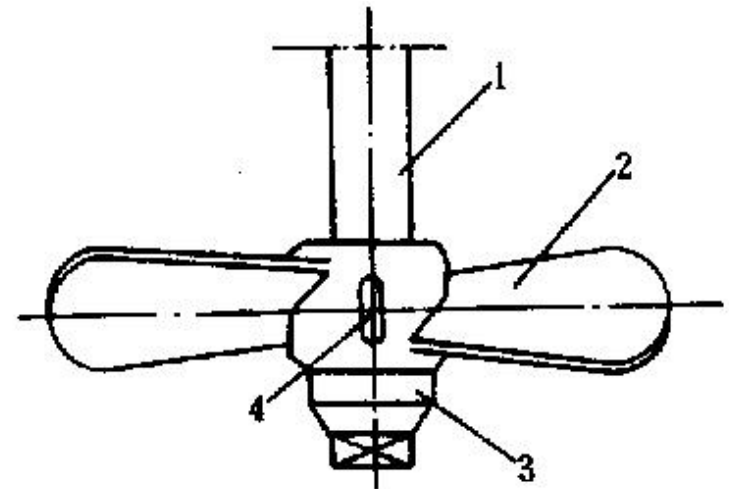
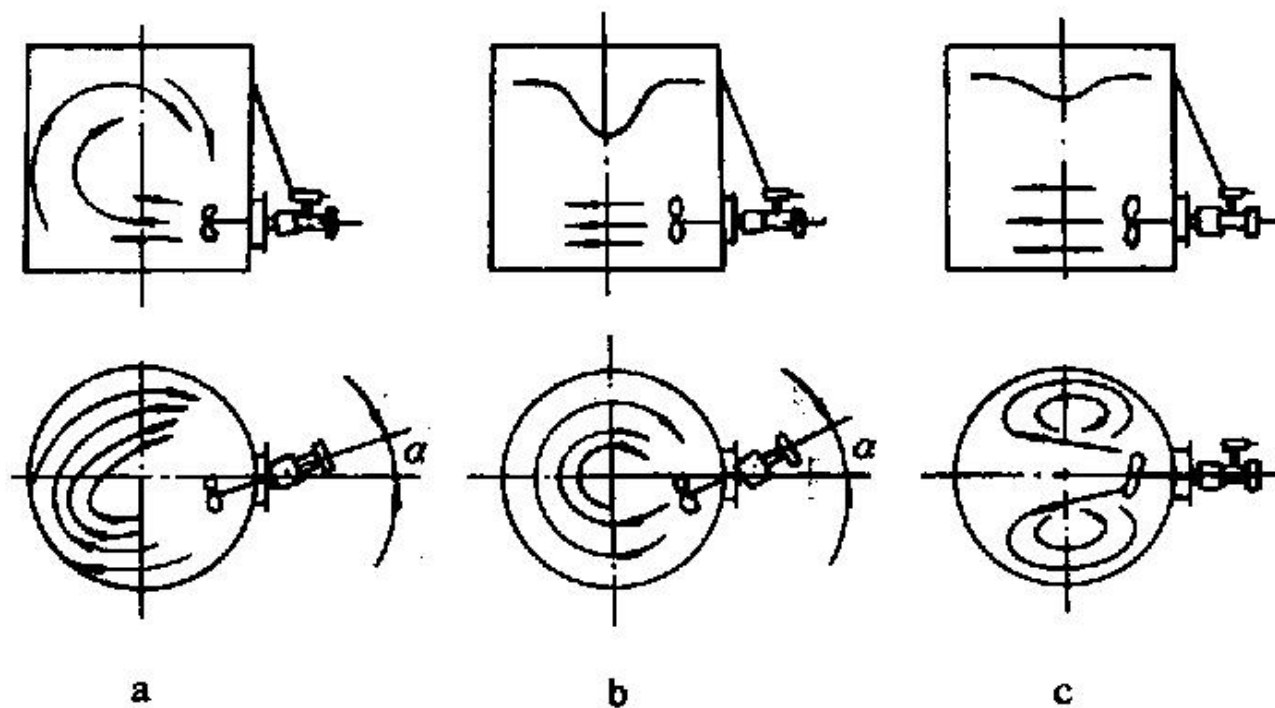


图 5-21 旋桨式搅拌器

1. 轴 2. 桨叶 3. 螺母 4. 键

液体搅拌机

- 旋桨安装位置不同，被搅拌的液体流动状态亦不同。



$\alpha = 7-12^\circ$

5-22

$\alpha > 7-12^\circ$

状态

$\alpha = 0^\circ$

液体搅拌机

- 旋桨式搅拌机的主要特点：①生产能力较高，但对互不溶液体，生产细液滴乳化液而液滴直径范围不大的情况下，生产能力受限制；②结构简单，维护方便；③常常会卷入空气形成气泡和离心涡旋；④适用于低粘度和中等粘度液体的搅拌，对制备悬浮液和乳浊液等较为理想。



液体搅拌机

■ (二) 按液体搅拌机的安装型式分类

- 1. 可搬式搅拌机
- 可采用夹钳扳手将其安装在容器上方任何位置的边缘，安装和拆卸比较方便。可以由电动机直接驱动或由减速器减速传动。旋桨转速为300~1800r/min，配用动力通常为 2kw左右。叶片可以是旋桨式或涡轮式。为了防止气泡混入，多稍偏离中心安装。

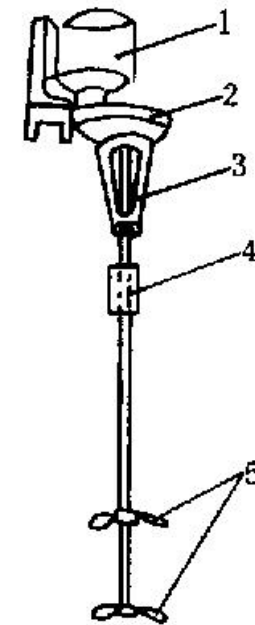


图 5-23 可搬式液体搅拌机
1. 电动机 2. 减速器 3. 叶片传动轴
4. 夹头 5. 旋桨叶片

液体搅拌机

- 2. 立式搅拌机
- 多用于开式容器中，呈垂直状安装在其下方，且倾斜 5° — 10° ，若用在密闭式容器上，可以固定不动。

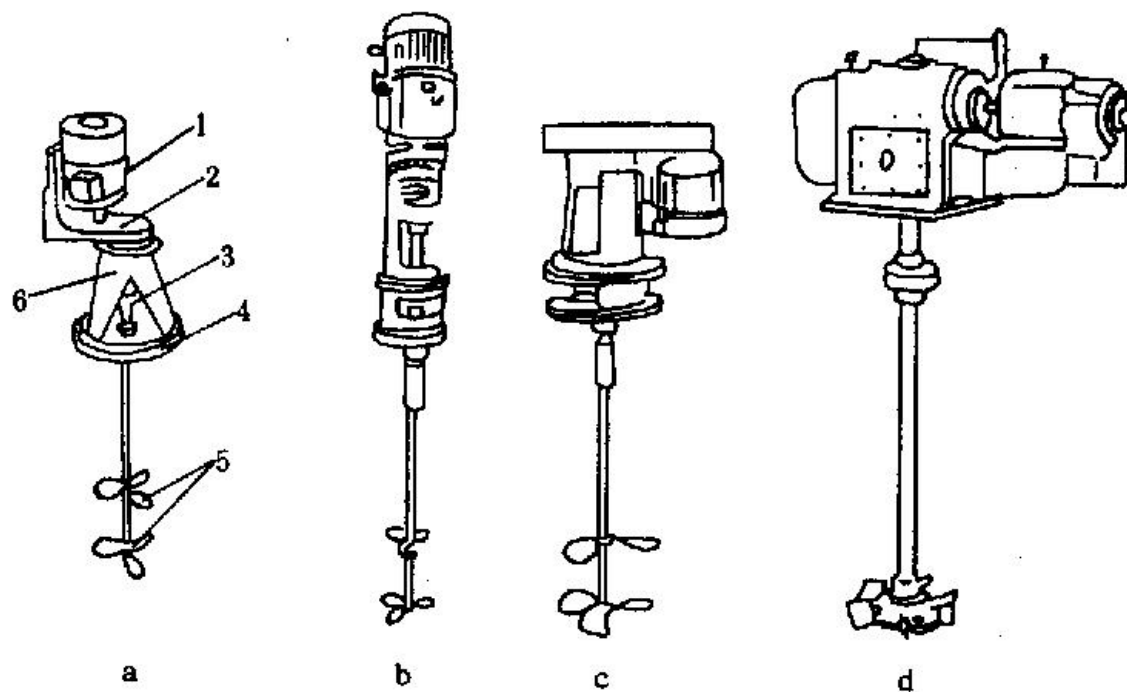


图 5-24 立式液体搅拌机驱动方式

- a. 用齿轮减速器驱动 b. 直流减速电机 c. 用V形皮带减速
d. 用变速箱驱动 1. 电动机 2. 齿轮减速箱 3. 夹头
4. 凸缘 5. 旋桨叶片 6. 台架

液体搅拌机

■ 三、喷流式搅拌机

- 在储槽下部向内插进一根喷管，其形状呈直线或Y形，它向搅拌液中施加喷流，使液流在容器内循环而起到搅拌作用。

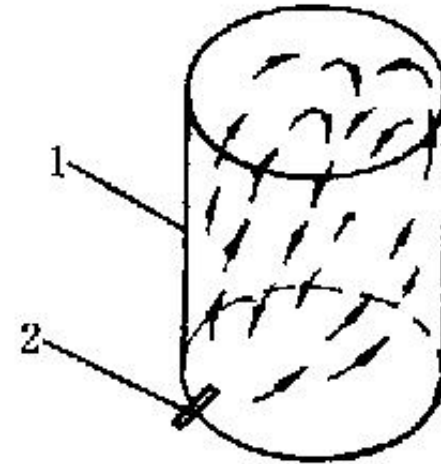


图 5-25 喷流式搅拌机

1. 料罐 2. 喷嘴

液体搅拌机

- 四、喷气式搅拌机
- 1. 散布式喷气搅拌机
- 2. 气力扬升式喷气搅拌机

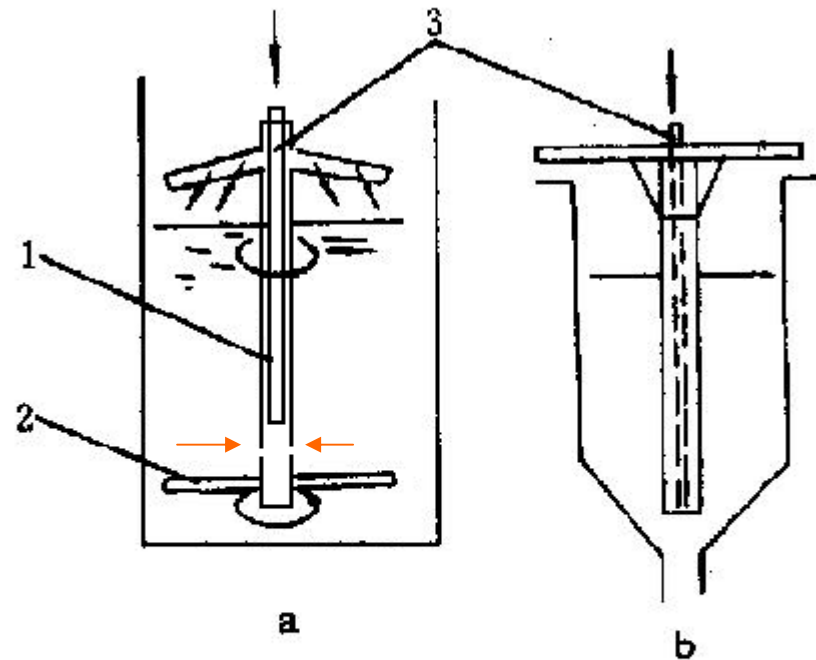


图 5-26 喷气式搅拌机

a. 散布式 b. 气力扬升式

1. 气力提升管 2. 叶片 3. 空气入口



液体搅拌机

- **五. 真空搅拌机**

- 为了保持物料原有的芳香味，所采用的一种专用搅拌设备，常用于中粘度或高粘度酱料，如生产午餐肉罐头等，该设备供肉糜在真空状态下进行混合搅拌用。

- **六、其他类型的液体搅拌机**

- 除上述外，尚有借储槽容器本身振动及液体本身振动进行搅拌的设备；利用超声波发生器对液体进行超声波搅拌的设备；利用搅拌叶片的振动，即叶片本身既作上下振动，又作交互回转进行搅拌的设备等。



捏合机

- 工作部件对物料进行剪切、挤压使其先局部混合再达到整体混合的过程叫**捏合**。
- 捏合机用于一般粉体混合机和液体搅拌机不能加工的高粘度浆体或塑性固体的捏合，如面团和蜂蜜等。这些物料的粘度高达2000Pa.s以上。流动性极差。此外，通常将工作部件对物料先是局部混合，进而达到整体混合谓之捏合、揉合或调合。捏合机具有混合搅拌的功能，又具有对物料造成挤压力、剪切力、折叠力等综合作用，因此，捏合机的叶片格外坚固，能承受巨大的作用力，容器的壳体也要具有足够的强度和刚度。



捏合机

- 捏合机理，如前所述，主要有对流混合、扩散混合和剪切混合，通常这三种混合过程同时并存，但以剪切混合为主。
- 常用的捏合机有如下几种：
 - 一、分批式捏合机
 - （一）双臂式捏合机
 - （二）波尼式捏合机
 - （三）行星式捏合机
 - 二、连续式捏合机

捏合机

- 一、分批式捏合机
- (一) 双臂式捏合机

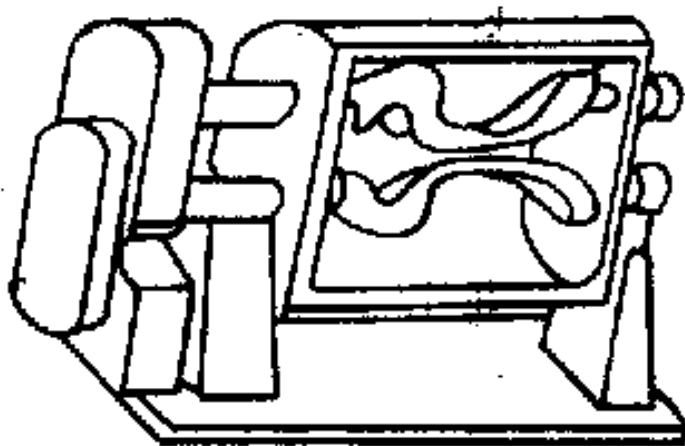


图 5-33 两轴式双臂捏和机

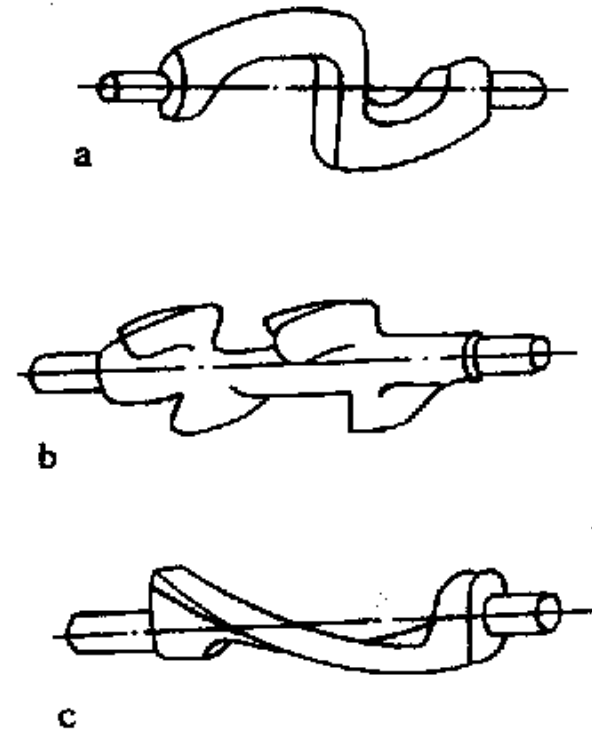


图 5-34 捍和叶片

a. σ 型 b. 鱼尾型 c. Z型

捏合机



捏合机

- (二) 波尼式捏合机

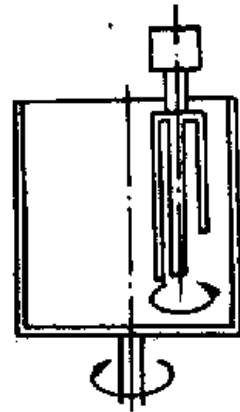


图 5-35 波尼式捏和机

捏合机

(三) 行星式捏合机

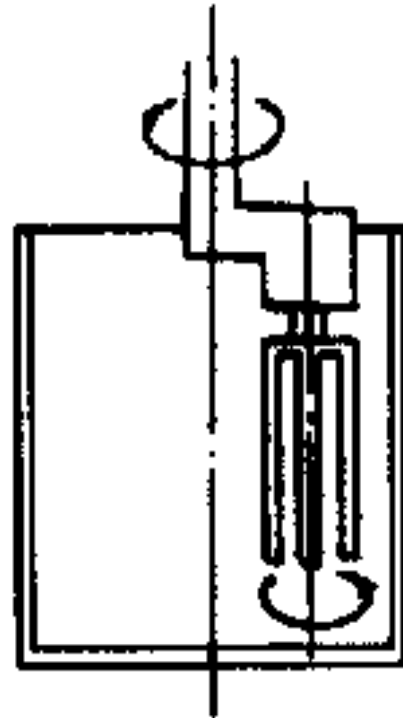


图 5-36 行星式捏和机

捏合机

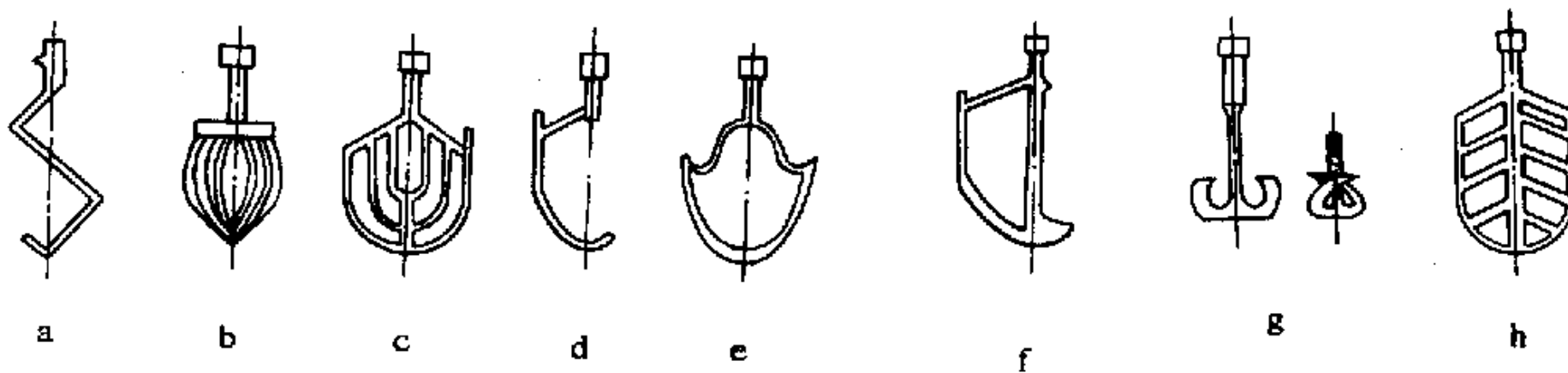
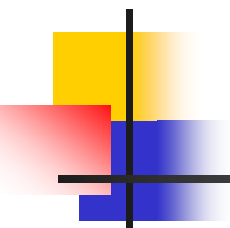


图 5-37 捏和叶片形状

a. 钩形 b. 笔尖形 c. 栅形 d. 钩形 e. 复合形 f. 扶手式栅形 g. 锚形 h. 鱼刺形

捏合机

二、连续式捏合机

(一) 可氏捏合机

主轴上有断开的螺旋，捏合机外壳内壁有齿形凸起部分起增强捏合作用。

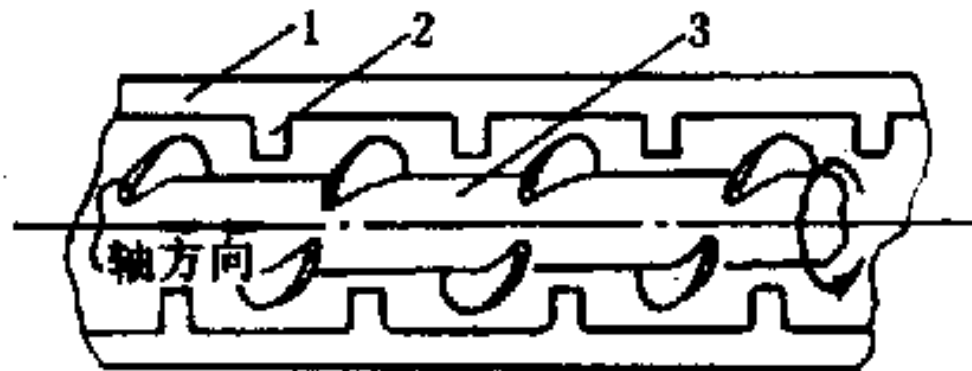
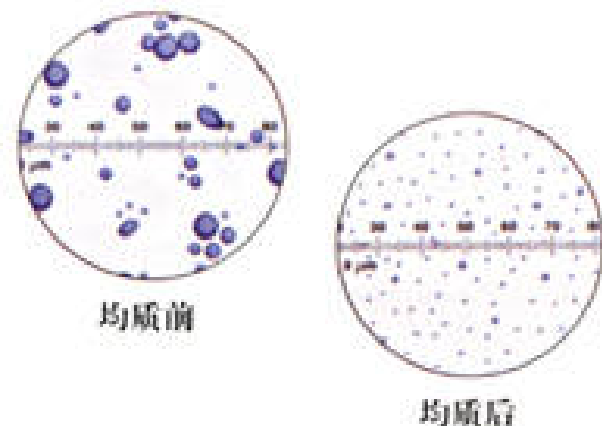


图 5-38 可氏捏合机

1. 外壳 2. 齿 3. 祸杆

第三节 均质与均质设备



- 对乳浊液、悬浮液进行边破碎边混合的过程叫均质。
- 按工作原理和构造，均质机可分为：机械式、喷射式、离心式和超声波式以及搅拌乳化机，其中以机械式均质机应用最多。
- 机械式均质机主要采用剪切力使料液中的微粒或液滴破碎和混合，它又可分为胶体磨和均质机两种。

第三节 均质与均质设备

一、胶体磨

- 主要由料斗、定磨盘和动磨盘、排料口和传动机构组成。按安装方式可分为卧式胶体磨和立式胶体磨。

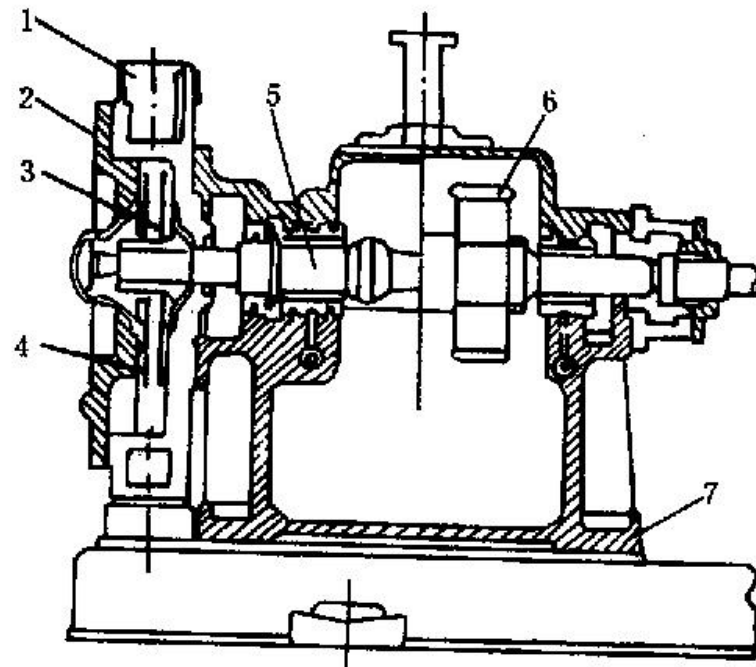
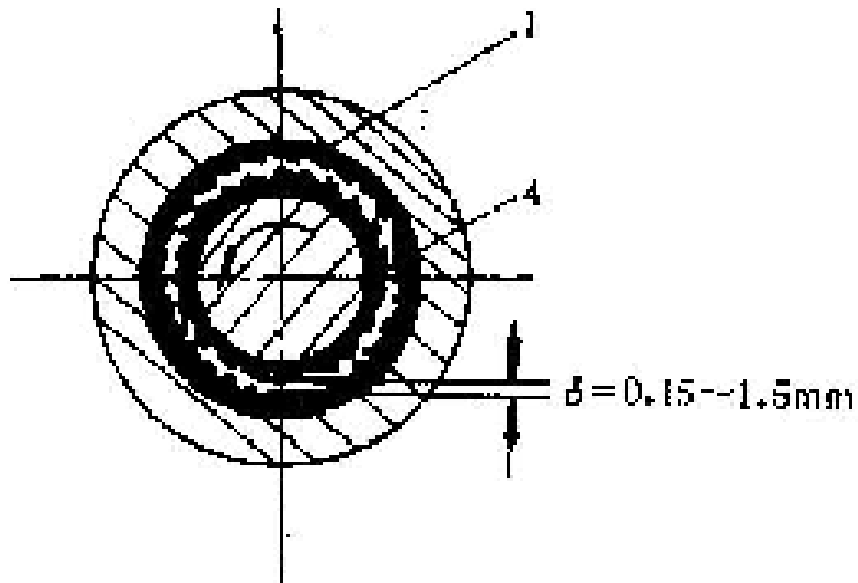


图 5-27 卧式胶体磨结构示意图

1. 进料口 2. 前机壳 3. 动磨片 4. 定磨片
5. 动、定磨片之间间隙调节装置 6. 传动机构 7. 机座

第三节 均质与均质设备



- 定、动磨盘的锥度不同，间隙由大到小，可以调节。定、动磨盘之间间隙为0.5—1.5mm，动磨盘转速3000~15000r/min。

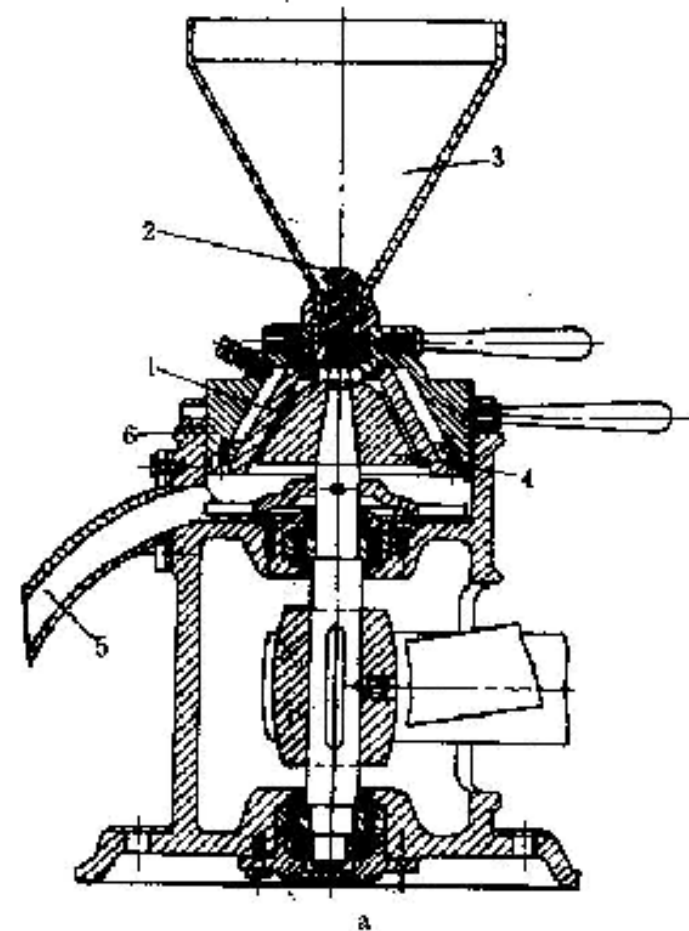


图 5-28 立式磨齿式胶体磨

a. 外貌 b. 磨齿装置

1. 定磨盘 2. 螺旋 3. 料斗 4. 动磨盘 5. 出料口 6. 壳体

第三节 均质与均质设备

- 立式胶体磨用粘度为 $10\text{Pa}\cdot\text{s}$ 左右料液的均质作业，卧式胶体磨多用于粘度较低的物料。
- 胶体磨的特点是：①结构简单，操作方便，容易清洗②适用于粘度高的物料；③转速高，要求动磨盘平衡性能好。



第三节 均质与均质设备

一、高压均质机

高压均质机是由高压泵和均质阀等组成。

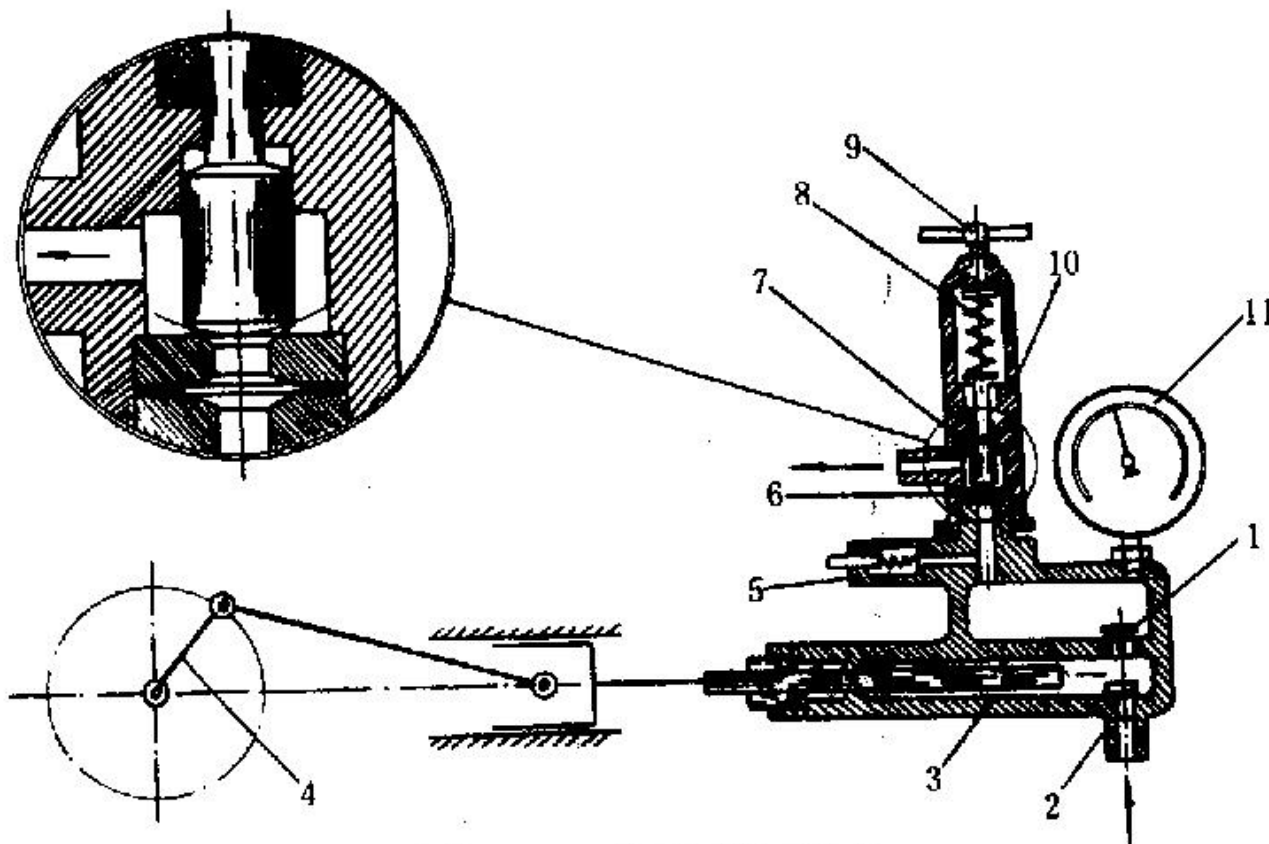
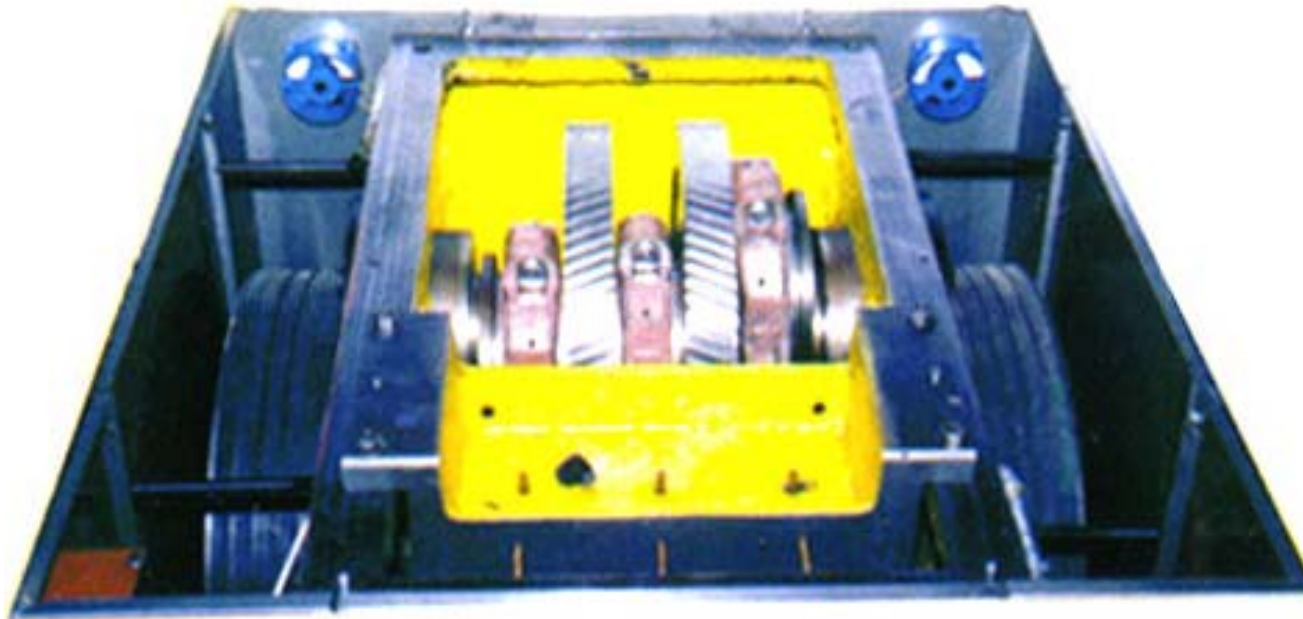


图 5-29 柱塞式往复泵

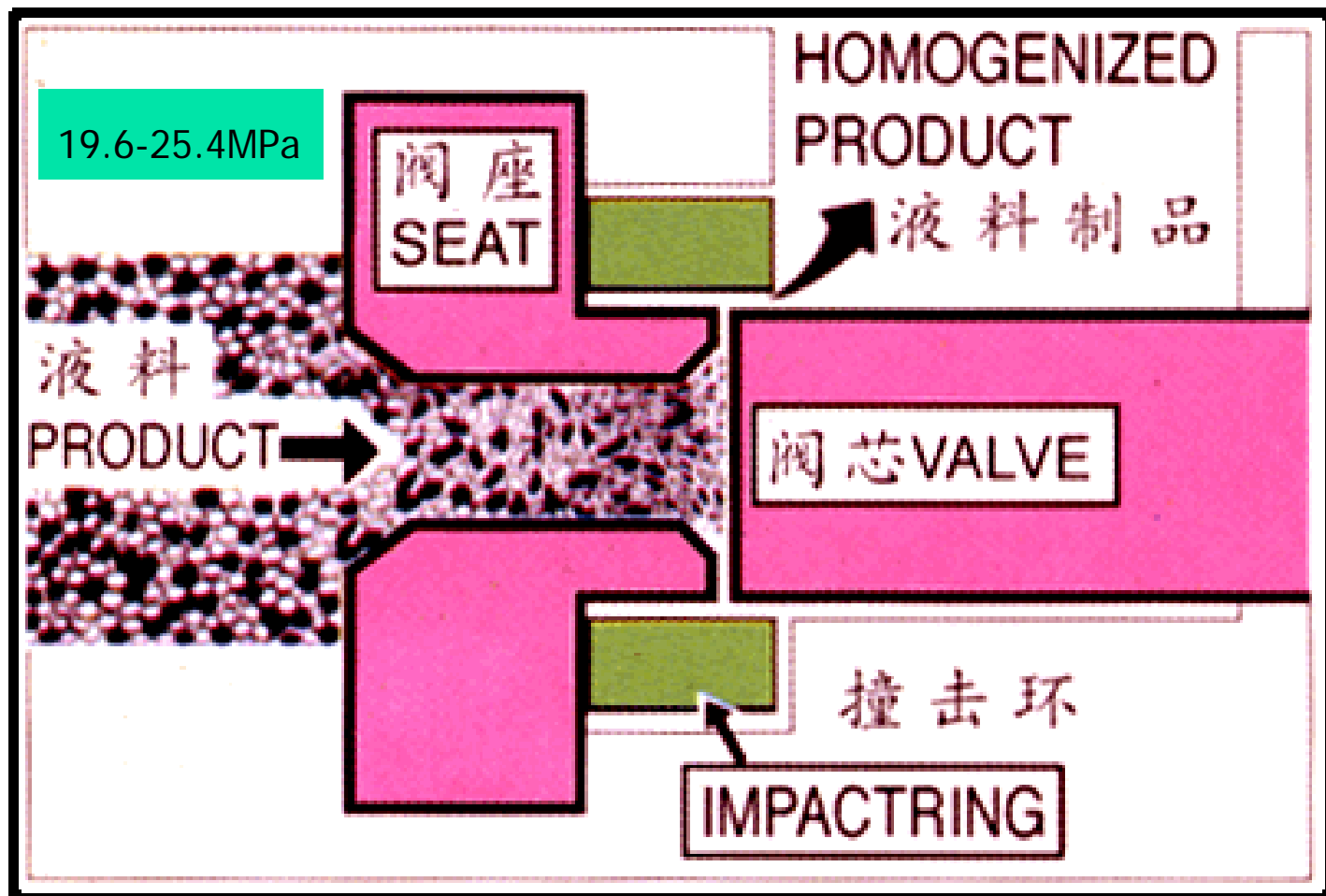
1. 压出阀 2. 吸入阀 3. 三柱塞泵 4. 曲柄连杆机构 5. 安全阀 6. 阀座
7. 均质阀 8. 弹簧 9. 螺杆手柄 10. 均质头 11. 压力表

第三节 均质与均质设备

- 传动采用二级变速，利用曲臂镶入一对人字齿轮，实施对称传动，具有结构紧凑，弯矩小，受力均匀，平稳、低噪声等。



第三节 均质与均质设备



第三节 均质与均质设备

- 大多数均质机上配备双级均质阀，在第一级中，料液压力为19.6-25.4MP.a, 主要使脂肪球破碎，第二级料液压力减为3.43MPa, 主要使脂肪球均匀分散。阀和阀座采用耐磨合金钢制造.三柱塞泵的特点是排液量比较均匀。

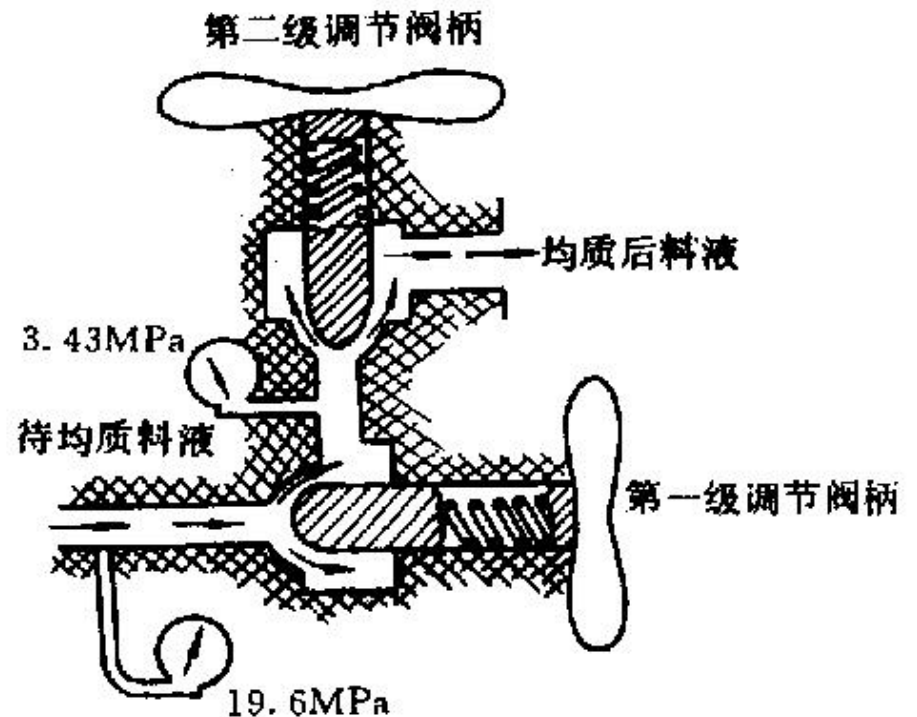


图 5-30 双级均质阀工作示意图

第三节 均质与均质设

- (二) 工作原理 料液以很高速通过均质阀缝隙处受到强裂剪切作用而均质和乳化。通过的缝隙为0.1mm时，液流的流速高达150~200m / s。
- 通过缝隙时，由于受到压力的作用，使脂肪球在缝隙处被拉伸和延展，同时又受到流液通过均质阀时的涡动作用，使延展部分被剪切为更细小的脂肪球微粒。

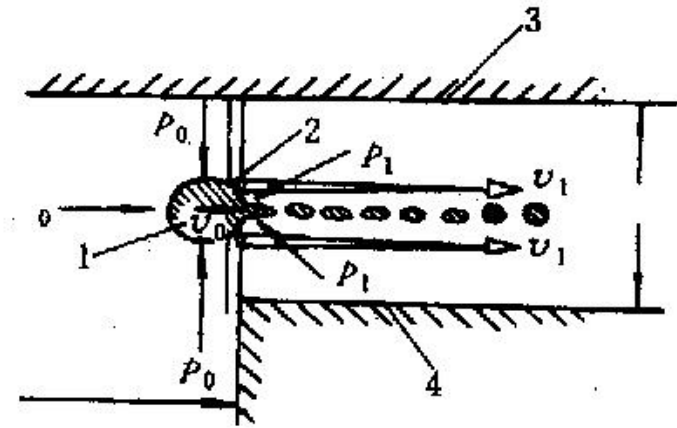


图 5-31 高压均质阀内脂肪球粉碎示意图
1. 脂肪滴 2. 增速区 3. 机盖 4. 机座

- 此外，液料中存在着表面活性物质、卵磷脂和胆脂，它围绕在更细小的脂肪微粒外层，形成一种使这些微粒不再相互粘合的膜，从这里不断离开。

第三节 均质与均质设备

- 从图 5-32中可以看出，第一级均质阀压力从22.5mPa下降到14.4mPa时，这一段区域内的脂肪球平均直径基本上保持稳定不变，即料液的压力比14.7MPa更高，脂肪球粒径也不会再减小。

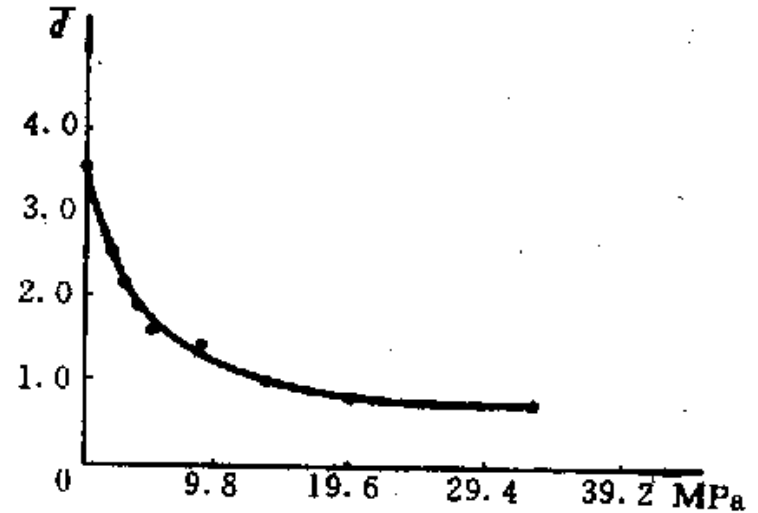


图 5-32 均质牛奶脂肪球的平均直径 \bar{d} 和均质压力 Δp 之间关系

- 当料液处于第二个均质阀，下降到7.8MPa时，随着压力继续降低，未被破碎的大粒径脂肪球愈多。

第四章 干燥

• 第一节 概述

- 一、干燥的目的和意义
- 干燥：从物体中除去水分的操作。
- 目的：防止变质，便于贮存运输，加工出不同风味。
- 干燥对象：谷物，油料，果蔬，药材等。
- 干燥方式：
 - 1、自然干燥
 - 2、人工干燥：
 - a、热风干燥；
 - b、真空干燥；
 - c、冷冻干燥；
 - d、介质接触干燥；
 - e、辐射干燥

表9-1 农产品与食品的干燥方法

名称		处理和作业方式	所需设备型式	湿料状态					适用产品
				浆状	膏糊状	粉状	粒状	块片状	
自然干燥		晒干、吹干、晾干, 间歇	晒场或棚、房				△	△	枣、粟、黄花菜、辣椒等
加压		加热、加压膨化、连续	螺旋式		△	△	△		膨化食品
人工干燥	常压	热风	对流给热, 间歇	固定床、箱式			△	△	果、蔬等农副土特产
		热风	对流给热, 半连续	隧道式			△	△	果、蔬、挂面、瓜子等干制品
		热风	对流给热, 连续	带式			△	△	果、蔬、花生等干制品
		热风	对流给热, 连续	气流式			△	△	淀粉、味精等
		热风	对流给热, 连续	流化床式			△	△	砂糖、乳粉、固体饮料等
		热风	对流给热, 间歇或连续	喷动床式			△	△	玉米胚芽、谷物等
		热风	导热或对流给热, 间歇或连续	转筒式				△	△
	喷雾	对流给热, 连续	箱式、塔式	△	△				乳粉、血粉、蛋粉、葡萄糖、酵母粉等
	薄膜	导热, 连续	滚筒式、带式	△	△				乳粉等制品
	远红外线	辐射、间歇或连续	箱式、隧道式			△	△	△	糕点、肉类等食品
微波	磁波内部加热、间歇或连续	箱式、隧道式			△	△	△	各种食品	
减压	真空	真空中传导兼辐射加热、间歇或连续	箱式、带式、转筒式	△	△	△	△	△	果、蔬、肉类、咖啡等食品
	冻结	冻结后真空中传导兼辐射加热, 间歇或连续				△	△	△	蜂王晶、果珍、人参等珍贵营养品

第一节 概述

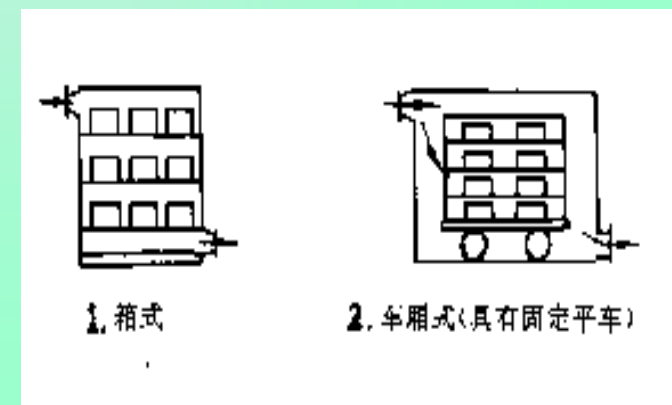
- 人工干燥优点：
 - 1、缩短时间、减少腐烂损失，提高产品质量。
 - 2、加快收获速度。
 - 3、缩小体积，减轻重量，便于运输分配。
 - 4、扩大供应范围，延长供应时间。
 - 5、提高产品的加工性，制成风味、形式各异的产品。
 - 6、可提高产品的商品等级和经济价值。

第一节 概述

- 干燥过程对原料的要求：
 - 1、耐温性：
 - 2、耐湿性：
 - 3、耐压性：
 - 4、流动性：
- 干燥方法和干燥设备的选择：
 - 1、产品的特性
 - 2、干燥程度
 - 3、生产能力的大小
 - 4、气候条件、各种经济因素、能源等

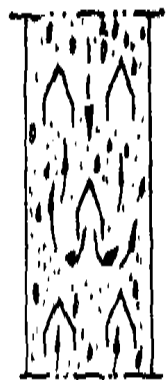
热风干燥设备的分类

- 热风干燥：用对流方式将热空气的热量传递给物料，带走物料表面的水分
- 特点：热风既是载热体又是载湿体，因此热风干燥设备结构简单，操作容易。
- 一、成件产品干燥设备： 不允许碰撞、摩擦、互相接触
 - 1、移动式干燥器：
 - a、传送带式； b、车厢式； c、链板式。
 - 2、固定式干燥器：
 - a、箱式； b、隧道式。



热风干燥设备的分类

- 二、粉粒体物料干燥设备：
 - 1、重力下落式干燥器：
 - a、竖井式； b、百叶窗式； c、百叶竖井复合式； d、瀑布式。
 - 2、机械搅拌式干燥器：
 - a、转筒式（回转式、管式）； b、转子式； c、涡轮式； d、转盘式； e、盘式干燥塔； f、螺旋式； g、振动式。



1. 竖井式



2. 百叶窗式



3. 带有百叶窗的竖井式



4. 瀑布式



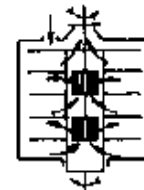
回转式



管式



转子式



涡轮式



转盘式



盘式干燥塔



螺旋输送机式



较微振动加速下

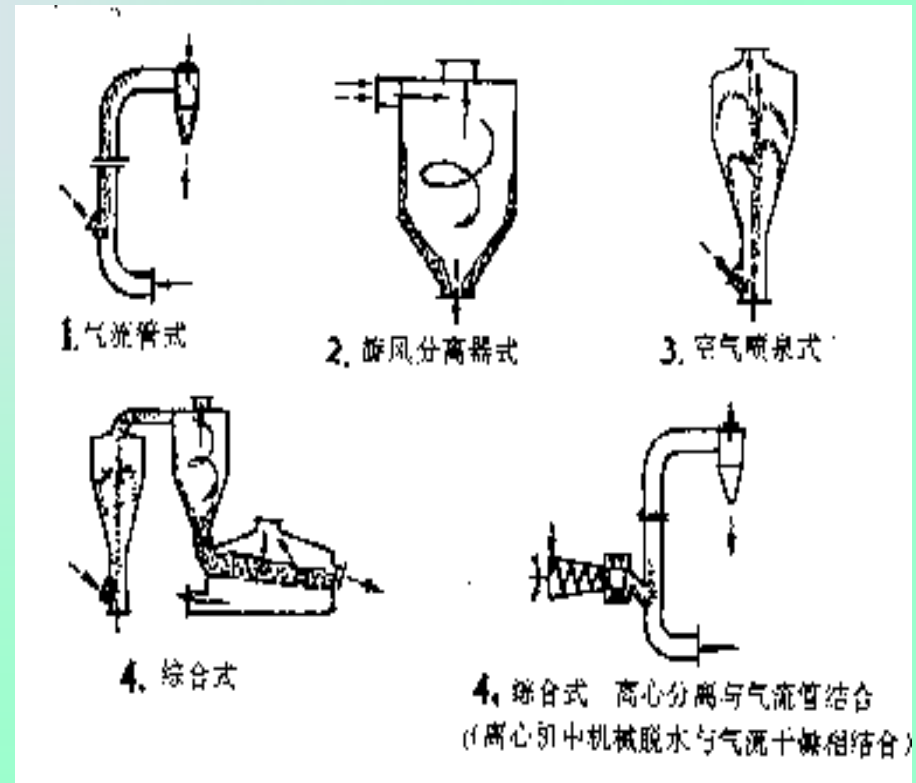
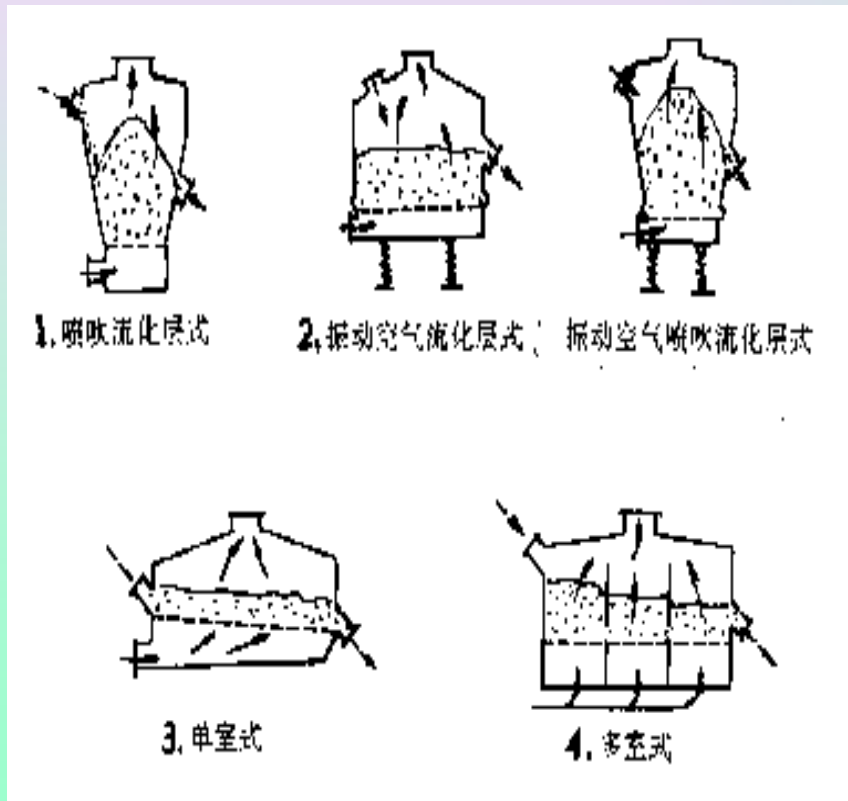
热风干燥设备的分类

– 3、流化床干燥器：

a、喷吹式； b、振动式； c、振吹式； d、单室式； e、多室式

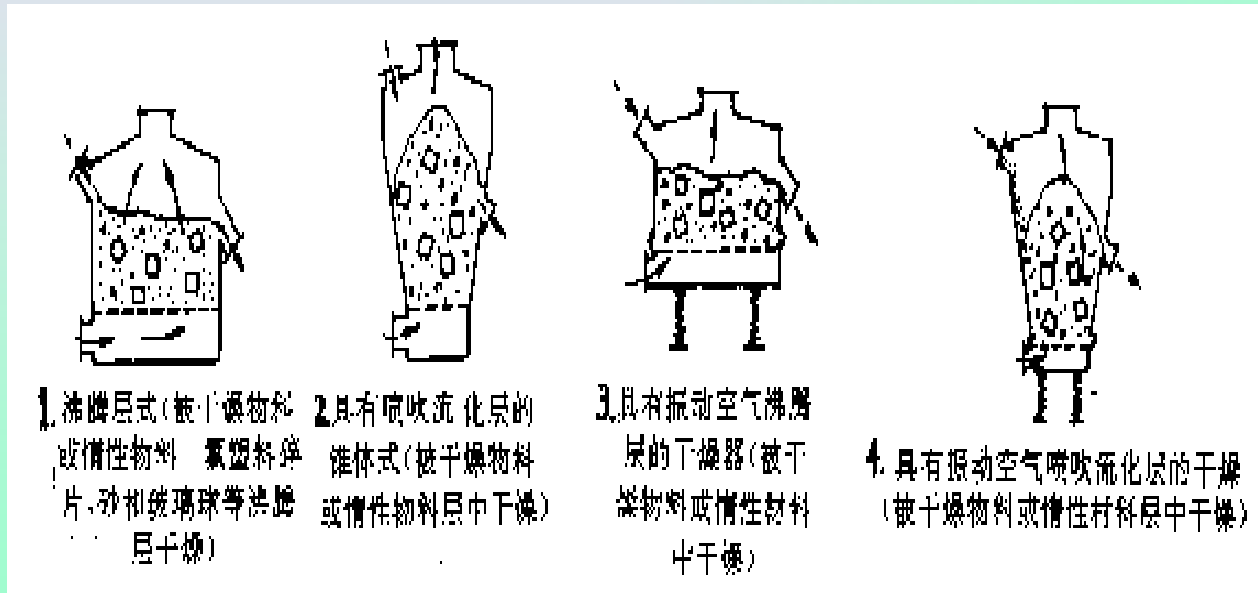
– 4、气流干燥器：

a、管式； b、旋风分离器式； c、空气喷泉式； e、综合式。



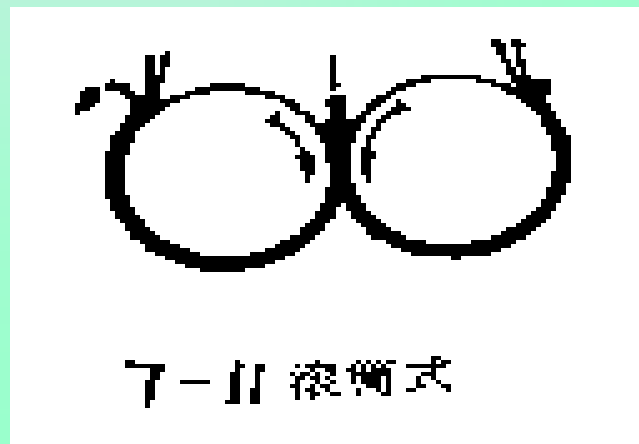
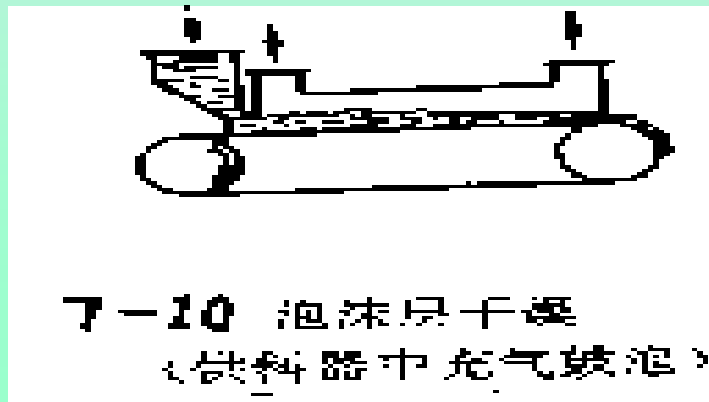
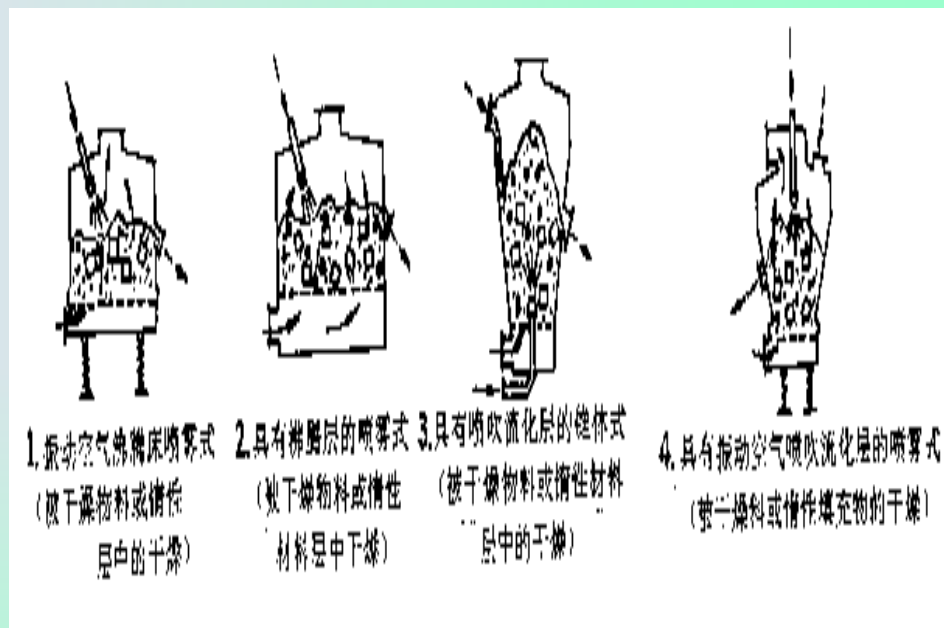
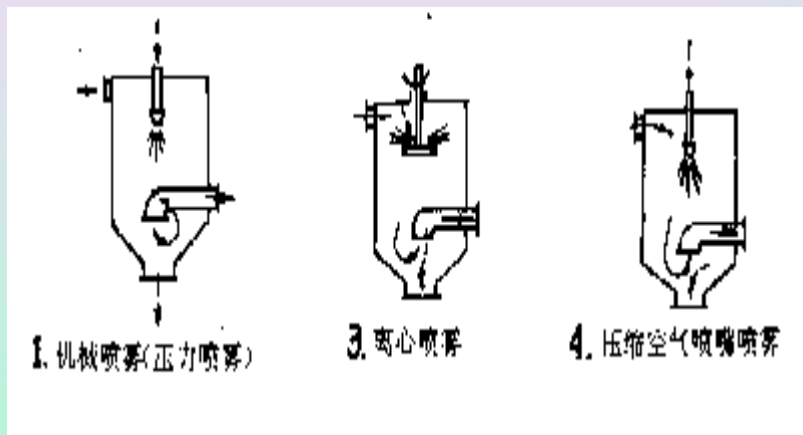
热风干燥设备的分类

- 三、块状物料干燥设备：
 - 1、流化床干燥器。
 - 2、喷吹式流化床干燥器。
 - 3、振动流化床干燥器。
 - 4、振动喷吹式流化床干燥器。



• 四、液态原料干燥设备：

- 1、喷雾干燥设备：压力式，离心式，气流式。
- 2、流化床干燥设备：振动气流式，气流式，气流喷吹式，振动喷吹式。
- 3、泡沫层干燥设备。
- 4、滚筒式干燥设备。



二、干燥技术发展趋势

- 干燥工艺和干燥设备的发展趋势，有如下几个方面：
- (一) 干燥设备向系列化、大型化发展
- (二) 改进和完善现有的干燥设备，强化干燥过程
- (三) 降低热能消耗
- (四) 改善干燥工艺
- (五) 联合干燥方法的应用
- (六) 消除对环境的污染
- (七) 改善劳动强度



- 通用型谷物干燥机



REL600型
远红外线
干燥机



大型户外型干
燥成套设备



- 太阳能干燥储藏成套设备



该设备一般不需燃料，利用太阳热，通过对谷物进行搅拌、通风，缓慢、均匀地干燥出高品位的谷物

上海大众凌伟生化股份公司的太阳能干燥设备



第二节 固定床和箱式干燥设备

• 一、固定床式干燥机

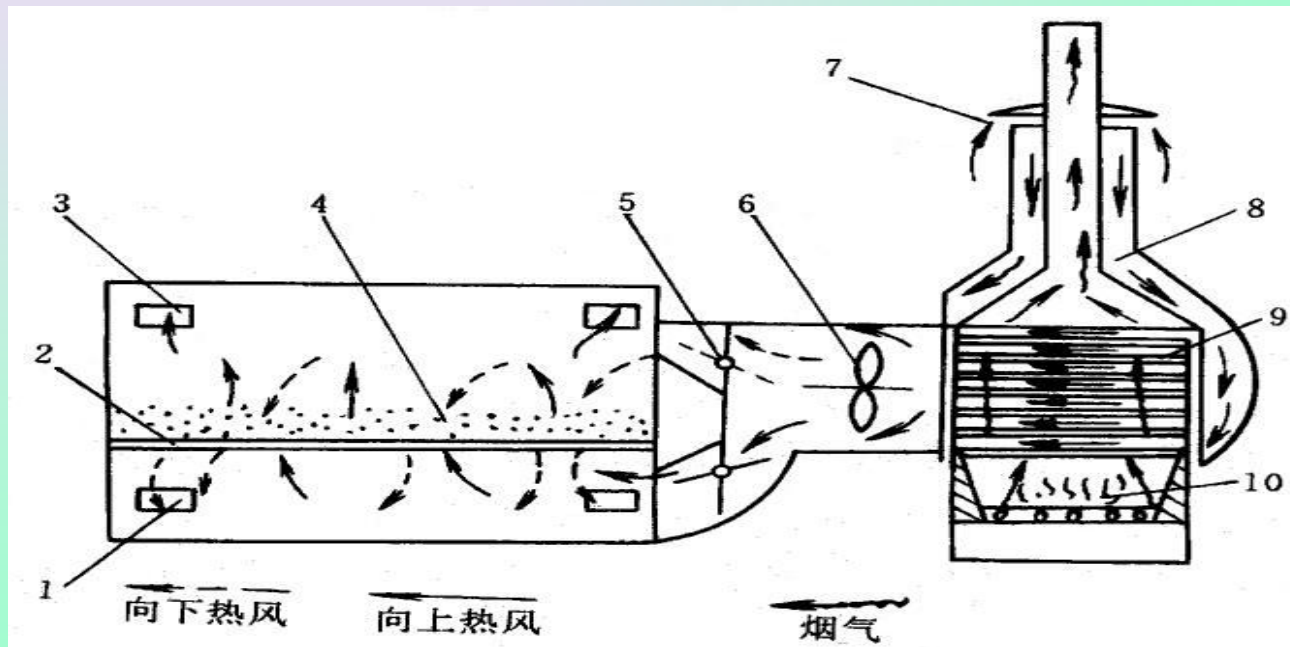


图4-1 固定床双向通风干燥机示意图

1、3. 废气出口 2. 固定床 4. 物料 5. 换向门
6. 风机 7. 空气进口 8. 预热风筒 9. 换热

第二节 固定床和箱式干燥设备

- 一、箱式干燥器
- 并行流：热风从物料表面通过，料层薄，干燥强度小。
- 交错流：热风从料层中通过，料层厚，干燥强度大。

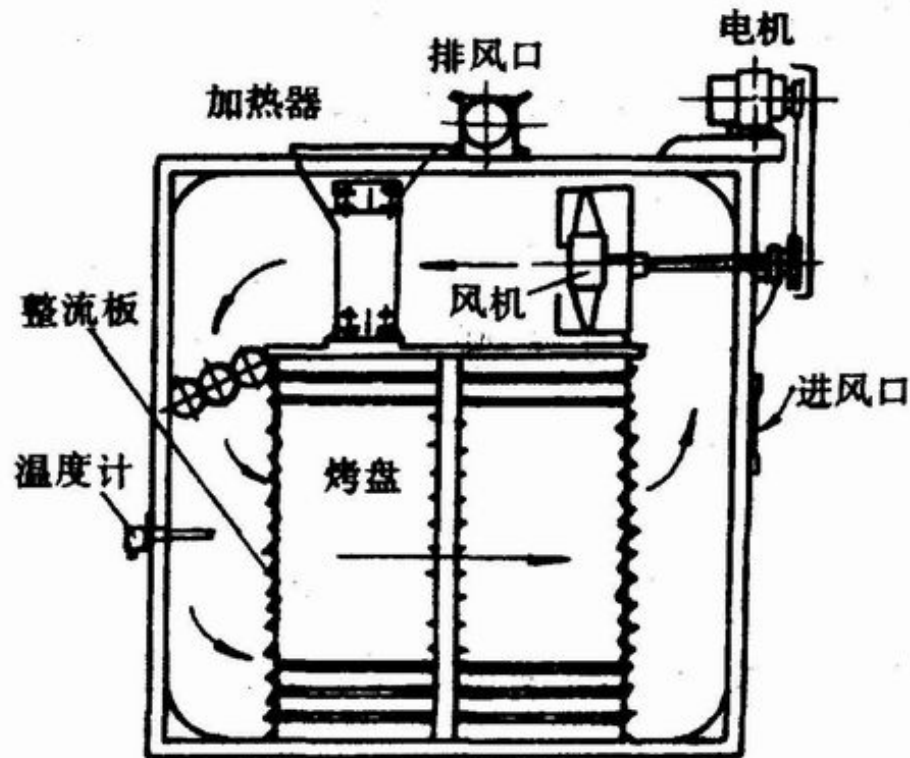


图 9-2 平流箱式干燥机

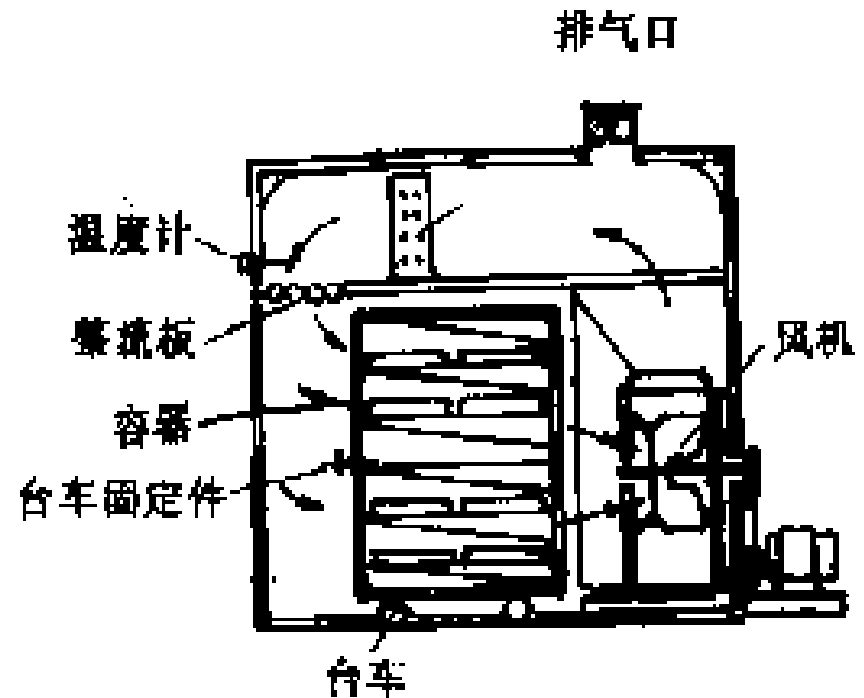


图 7-13 交错流箱型干燥器



- 二、烤房式干燥设施

- 用途：烤烟，辣椒，红枣等农副产品的干燥。

- 结构：由烤架，加热炉，烟道，烟囱，干燥容器等组成。

- 特点：热气上升顺畅，升温排湿快，易操作管理，利用率高，结构简单，造价低。缺点为干燥不均匀，劳动强度大。

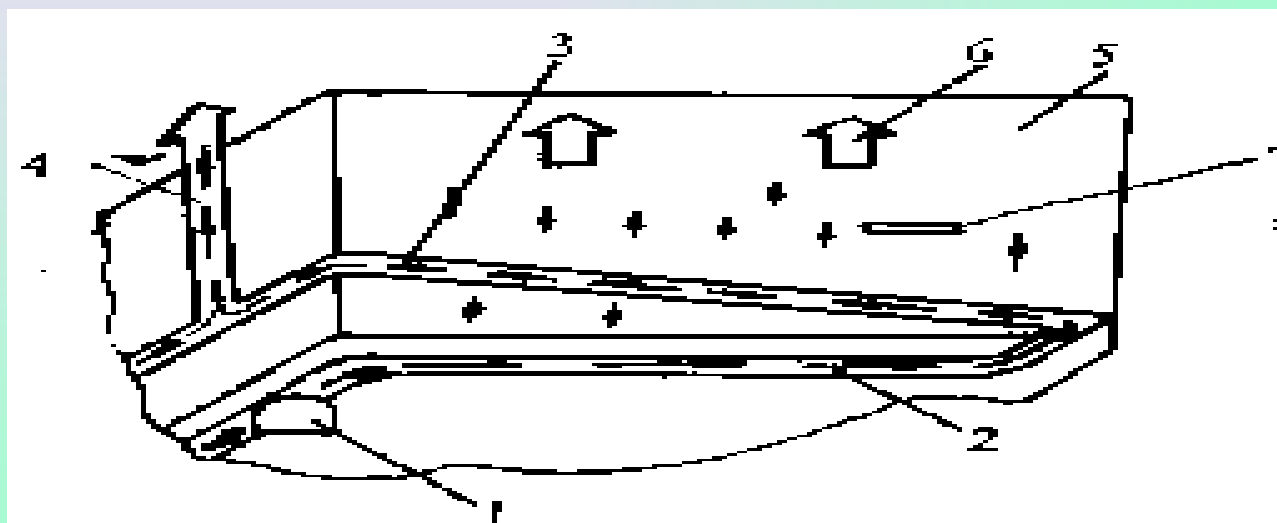
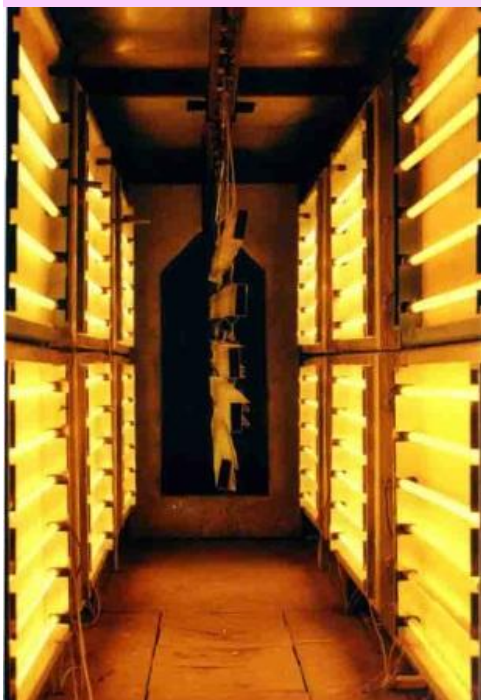


图 7-14 烤房示意图

1. 加热炉； 2. 地烟道； 3. 墙烟道； 4. 烟囱；
5. 排湿气筒； 6. 烤房侧壁； 7. 烤架



• 高红外烘房

烘房

三、循环干燥仓

- 组成：热风装置，循环装置，料仓
- 特点：干燥速度快，处理量大，有贮存仓的作用。
- 搅拌器作用：降低干燥室垂直方向水分梯度。均化空隙，增加通风均匀性。

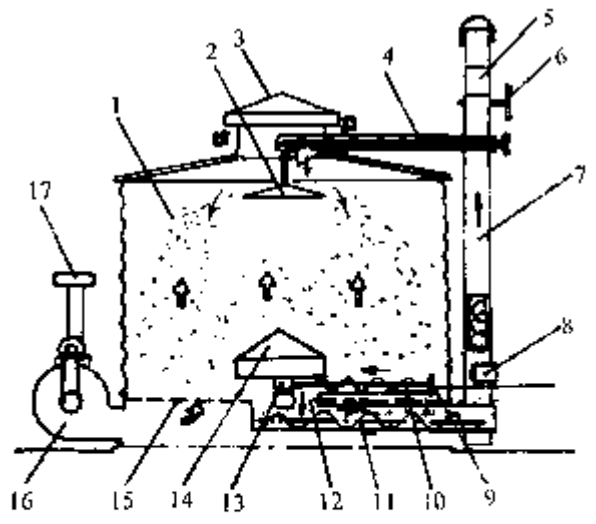


图 7-39 谷物循环干燥仓

- 1.干燥仓; 2.均分器; 3.排气口; 4.循环螺旋; 5.除尘器;
 6.切换装置; 7.升运器; 8.传动装置; 9.支持轮; 10.扫仓螺旋;
 11.排粮螺旋; 12.排粮口; 13.传动装置; 14.防护罩;
 15.带孔地板; 16.风机; 17.加热器

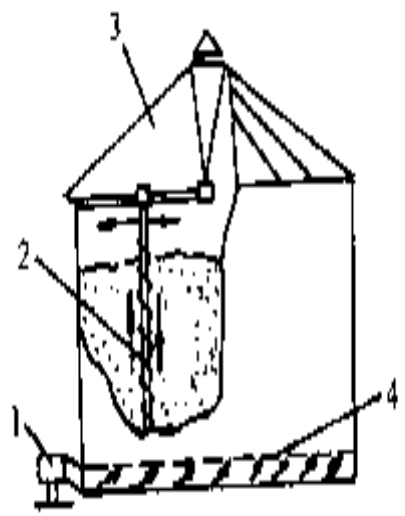


图 7-40 谷物搅拌器示意图

- 1.风机; 2.垂直搅龙; 3.搅龙移动支架; 4.穿孔地板

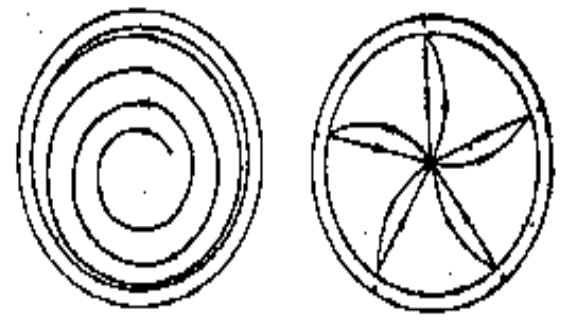


图 7-41 单搅龙搅拌器的运动轨迹

- 第三节 隧道式干燥设备

- 组成：干燥室、加热器、风机、输送装置等

- 操作：物料置于台车或输送链上，沿着隧道，一端进，一端出。

- 类型：有顺流式，逆流式，混流式。

- (一) 顺流式：物料与气流运动方向相同。

- 特点：1、可采用较高风温，水分蒸发较快，可避免过热。

- 2、干燥末期物料接触低温气流，干燥速度下降，物料损伤小，但物料难以达到较低的含水量。

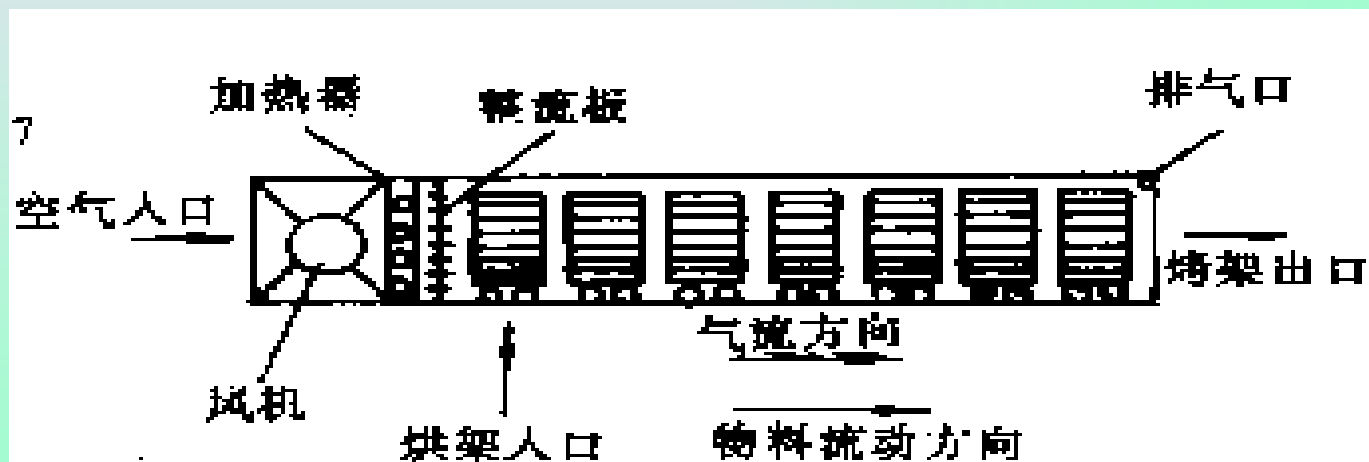
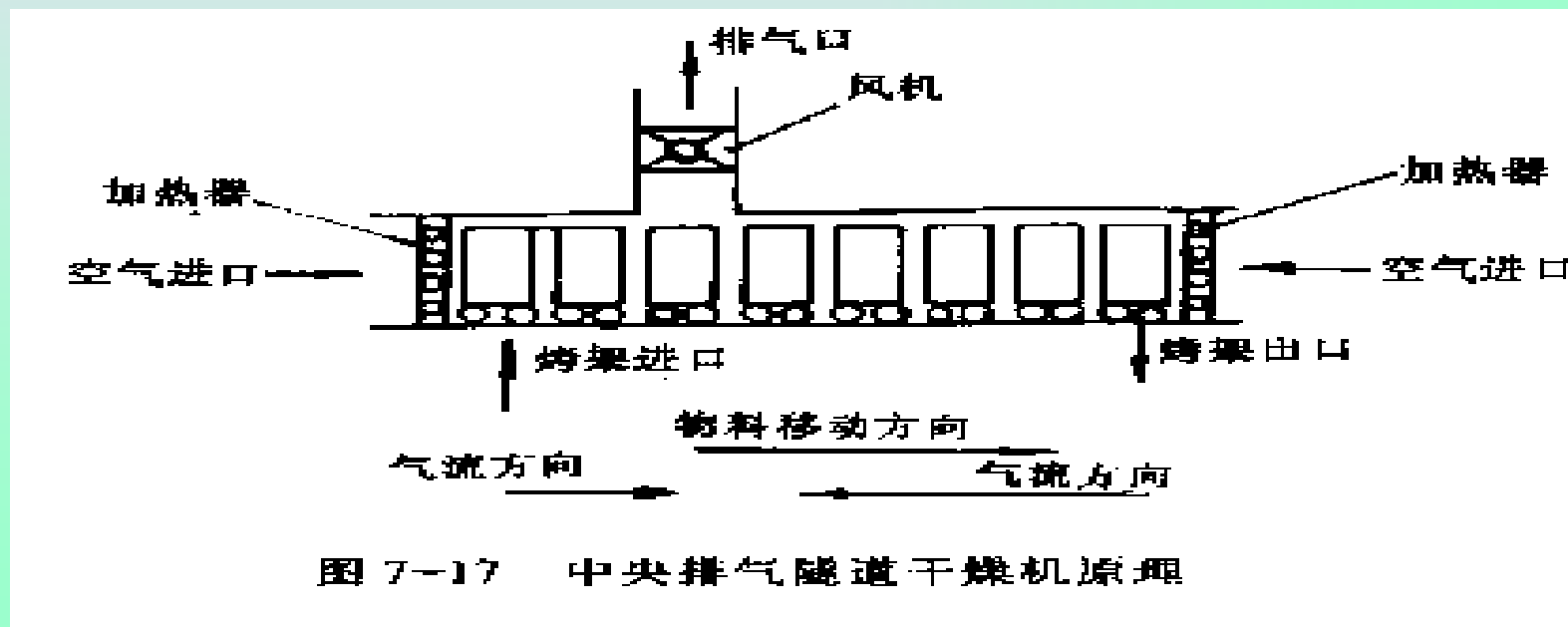


图 7-15 顺流干燥设备的原理

- (二)逆流式：物料与空气运动方向相反。
- 特点：该方式热效率高，热耗比顺流式低。物料能干燥到较低水分，但不宜处理热敏物料。
- (三)混流式：顺流和逆流组合结构。
- 特点：
 - 1、可使隧道内的空气具有不同的温度，并能分段调节，以适应物料干燥工艺的要求，提高产品的质量。
 - 2、能连续生产，处理量大，干燥时间短。
 - 3、侧壁排气时，部分热风未充分进行热交换，热效率低。



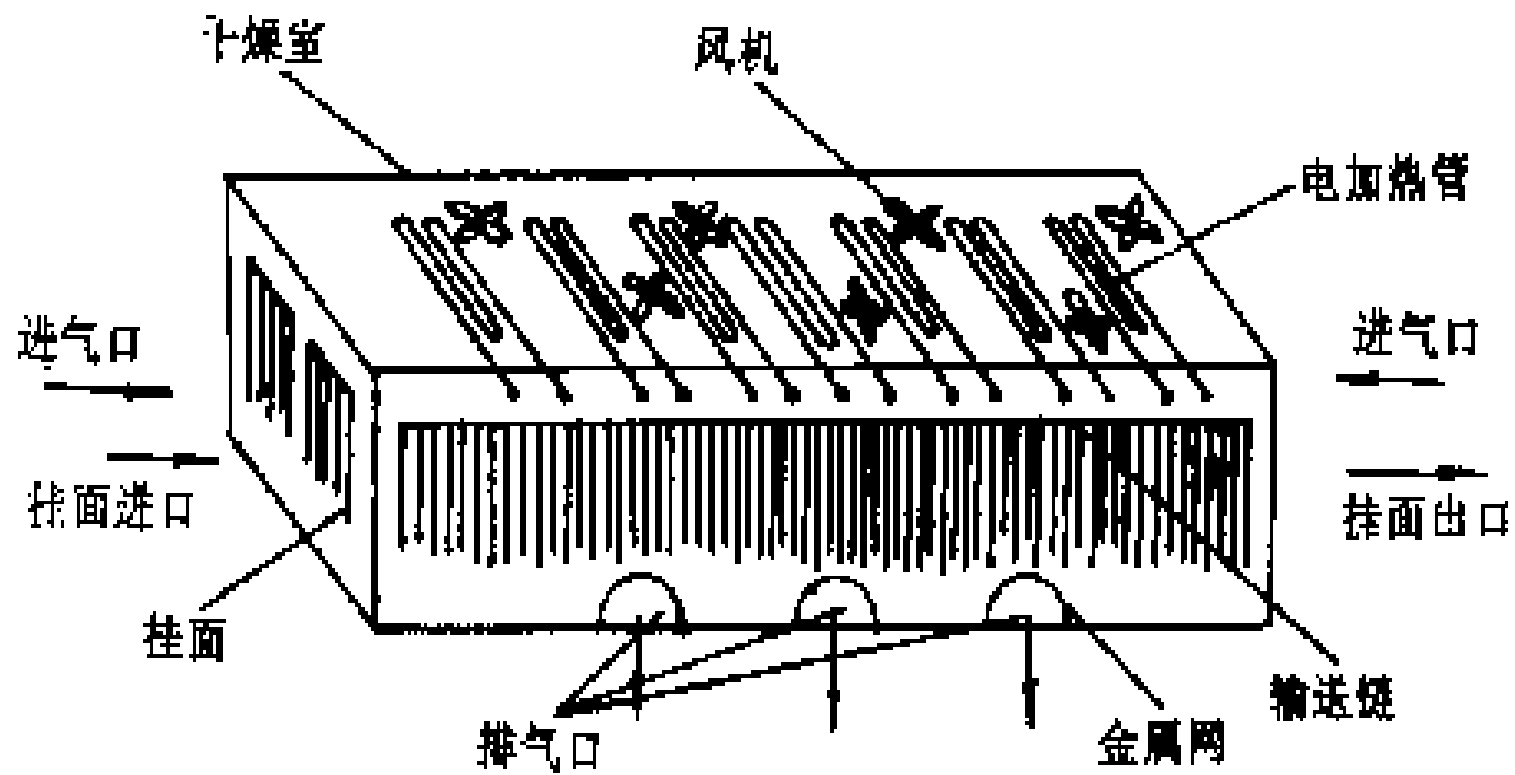
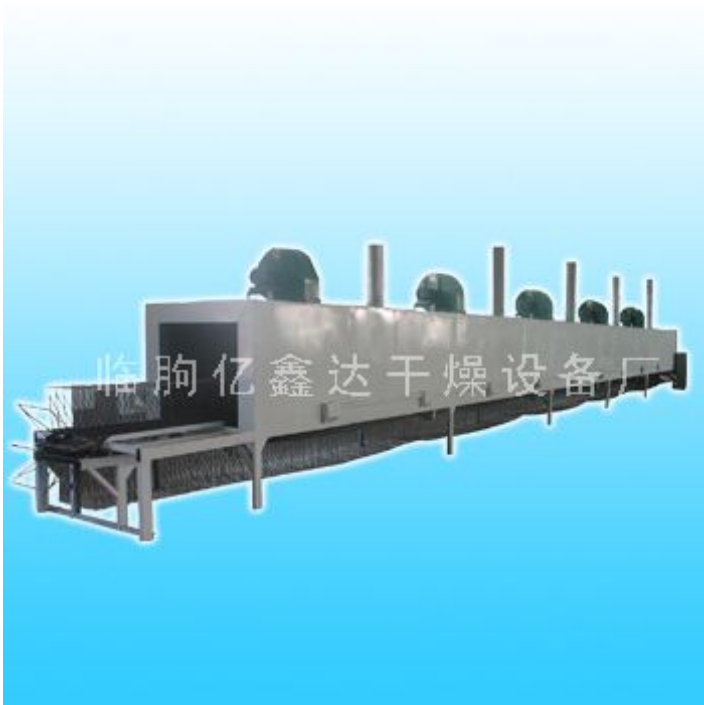


图 7-16 逆流挂面下燥设备原理



- YXD隧道式烘干机

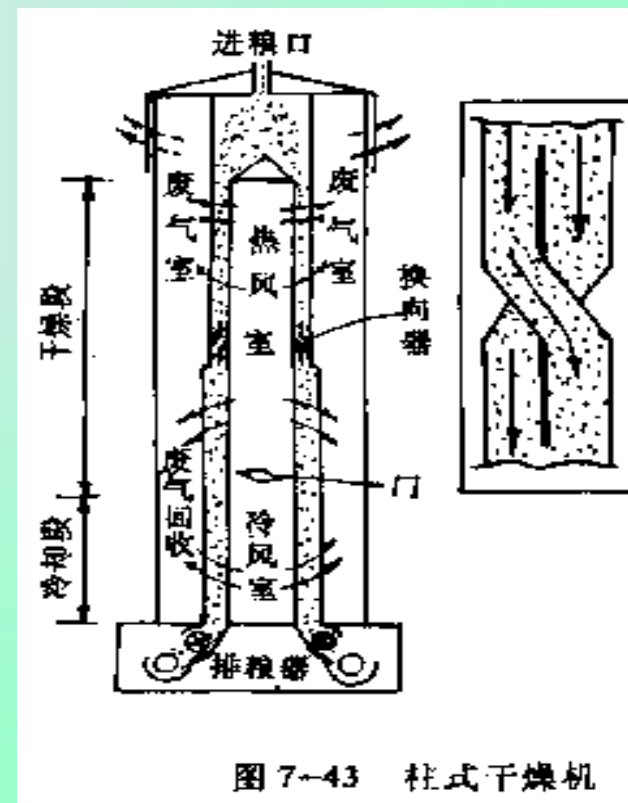
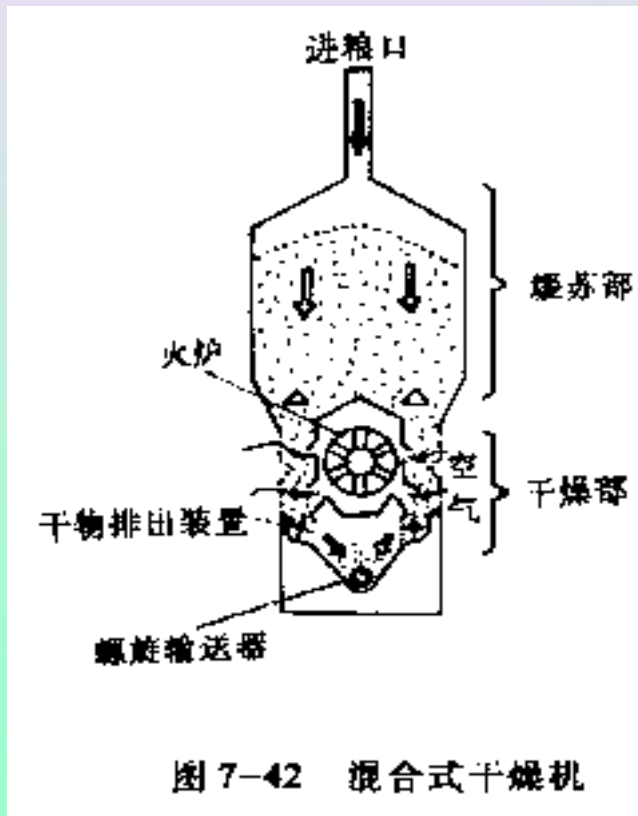
砖混式隧道烘干机2.jpg



隧道式干燥箱

(二) 高温快速连续干燥机

- 1、循环式干燥机：谷物连续流动，干燥与缓苏交替进行，适合需要缓苏干燥的谷物，操作方便，自动化程度高。
- 2、柱式干燥机：生产率高，干燥质量好，机械化程度高，但需要装卸设备，价格较高。





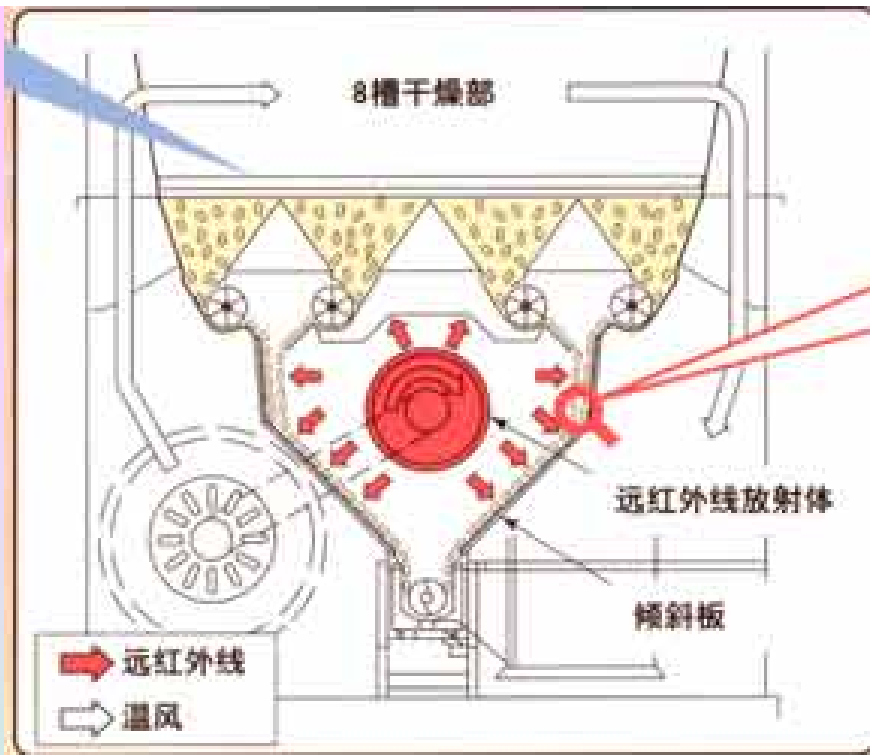




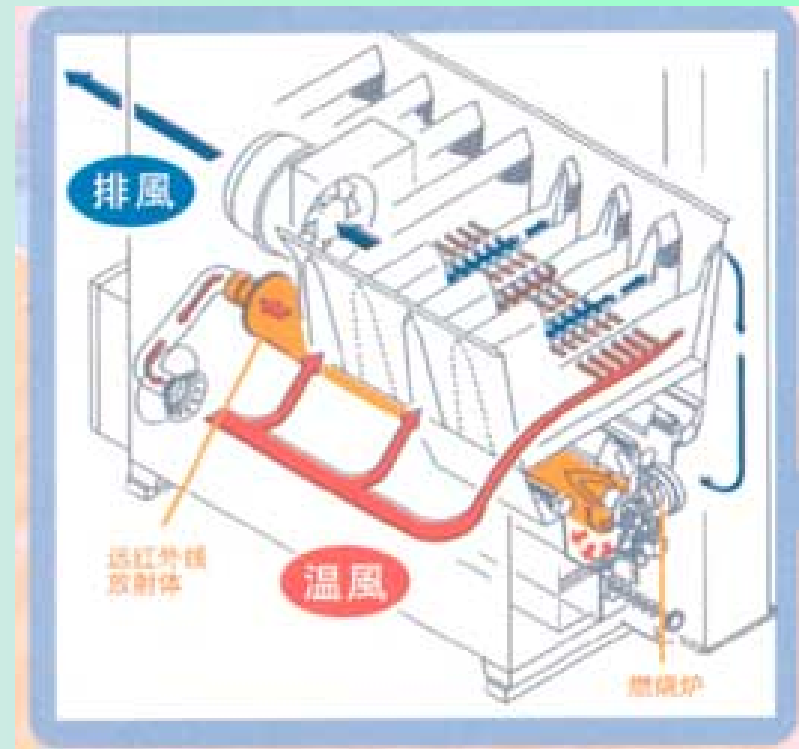
- 横流组合式粮食干燥系统



谷物全自动循环干燥机



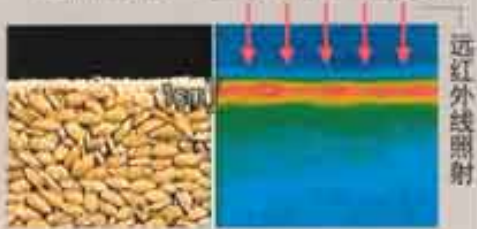
上下交叉的山形结构，有效搅拌谷物
(横向8槽，交叉流下方式)



- 每粒照射方式：远红外线均匀照射每一粒谷物，保证高品质的干燥

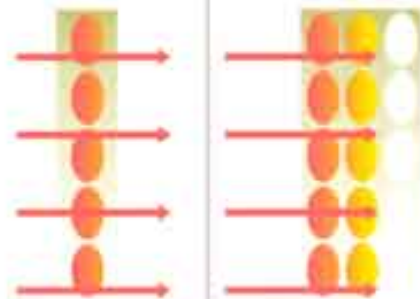
照射时谷物侧面发生的温度变化
(远红外照相机 本公司实验结果)

(谷物堆积层) (远红外照相机颜色的变化)



薄层
(远红外线干燥机)

厚层



远红外线的穿透范围有一定限度，为此专业设计薄层结构。通过远红外线照射流过薄层的每一粒谷物，使之效果全面发挥。

(四) 穿流型隧道式干燥机

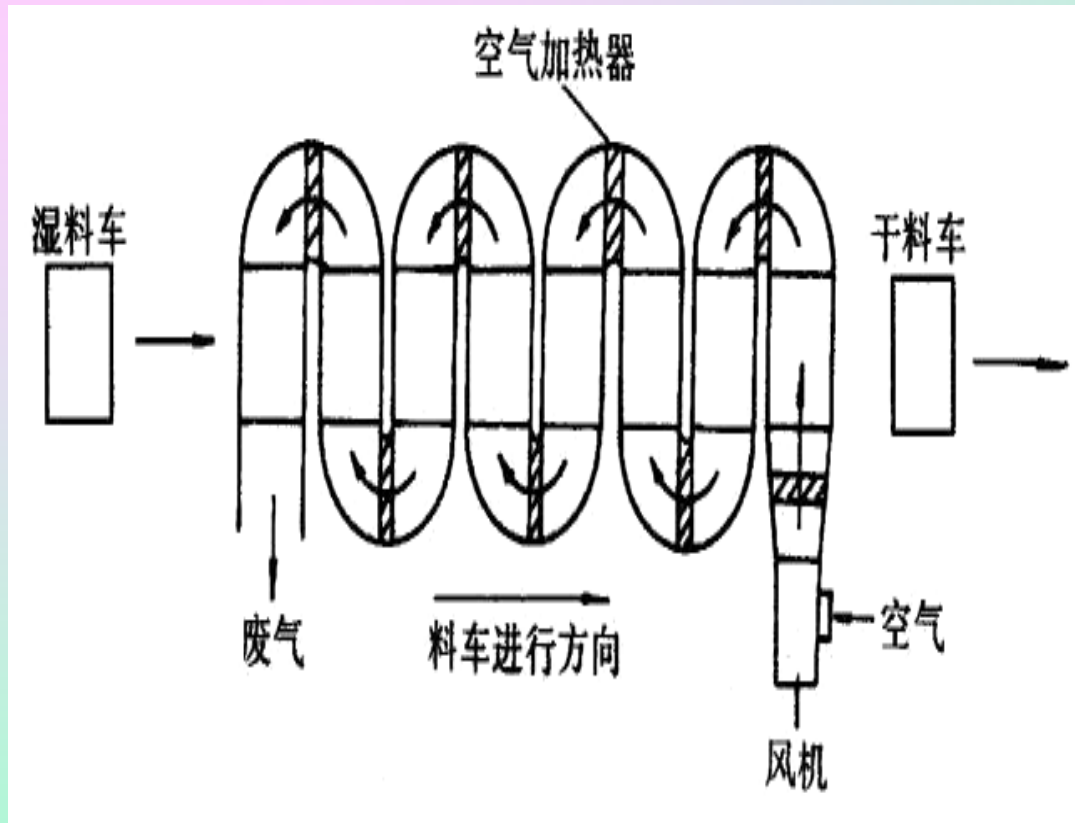


图4—7穿流型隧道式干燥机

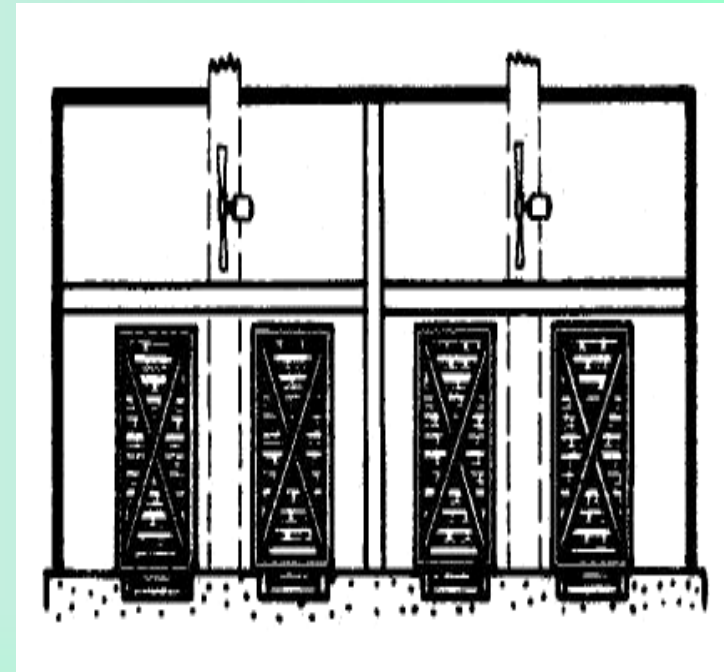


图4—8双列隧道穿流型干燥机横断面

- 穿流型隧道干燥机的特点是干燥迅速，比平流型的干燥时间缩短，产品的水分均匀，但结构较复杂，消耗动力较大。



- 窑式木材干燥机

第四节 带式干燥机

- 带式干燥设备：把物料均匀地铺在带上，带在移动过程中，物料与热风接触而干燥。
- 1、按带层次：
 单层、复合型、多层型。
- 2、按通风方式：
 向下通风型、向上通风型、复合通风型。
- 3、按物料与排气流动方向分：
 逆流排气式、并流排气式、单独排气式。

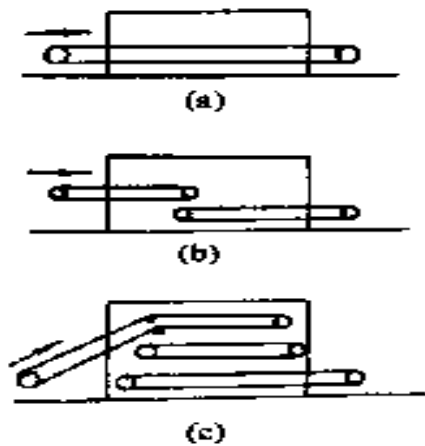


图 7-18 按带的层数分类

(a) 单层型 (b) 复合型 (c) 多层型

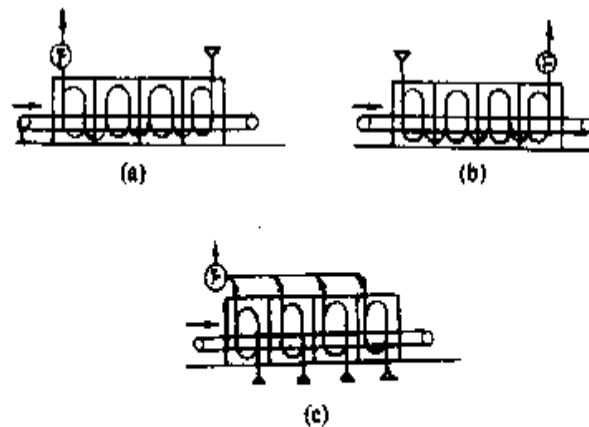


图 7-20 按排气方式分类

(a) 逆流排气式 (b) 并流排气式 (c) 单独排气式

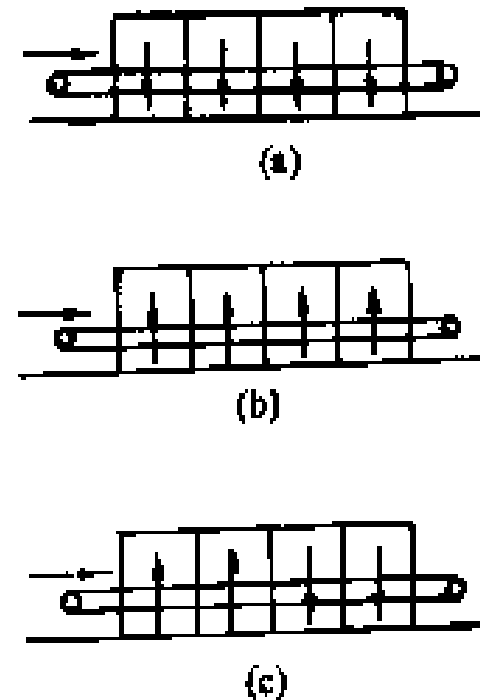


图 7-19 按通风方向分类

(a) 向下通风型 (b) 向上通风型
(c) 复合通风型

- 组成：干燥室，风机，加热器，提升器，拨料部件，进出料口等。
- 特点：
 - 1、物料不受振动和冲击，能保持物料完整。
 - 2、物料与热空气接触，物料有自行翻动作用，有利于改善干燥均匀度和增加干燥速度。
 - 3、能大批量，连续作业，操作简便省力。
 - 4、对泥状物料，可先制成粒状，再用带式通风干燥机。
 - 5、结构复杂，造价较高。

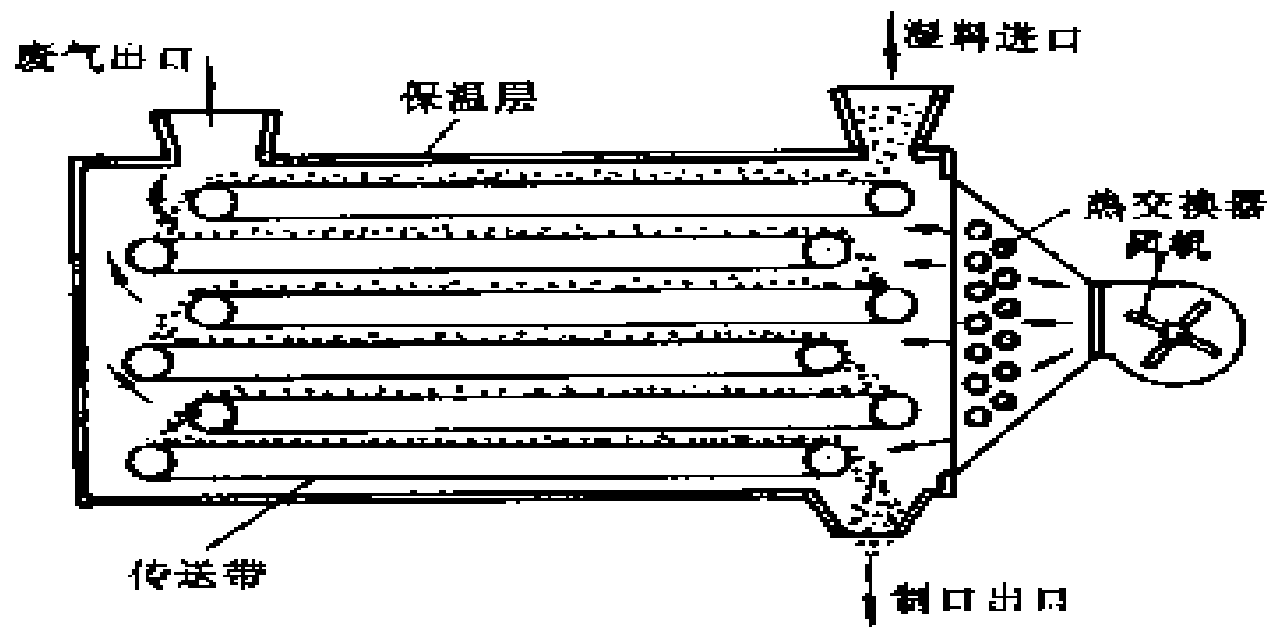
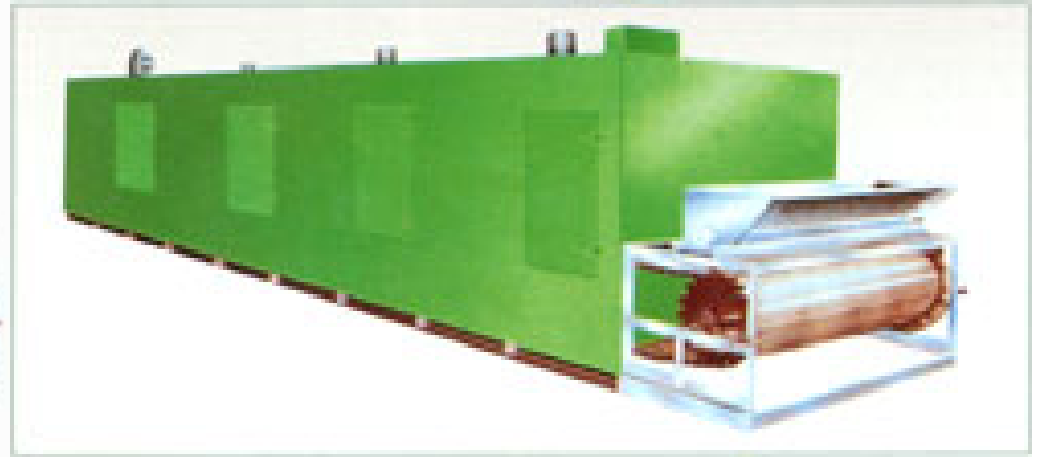
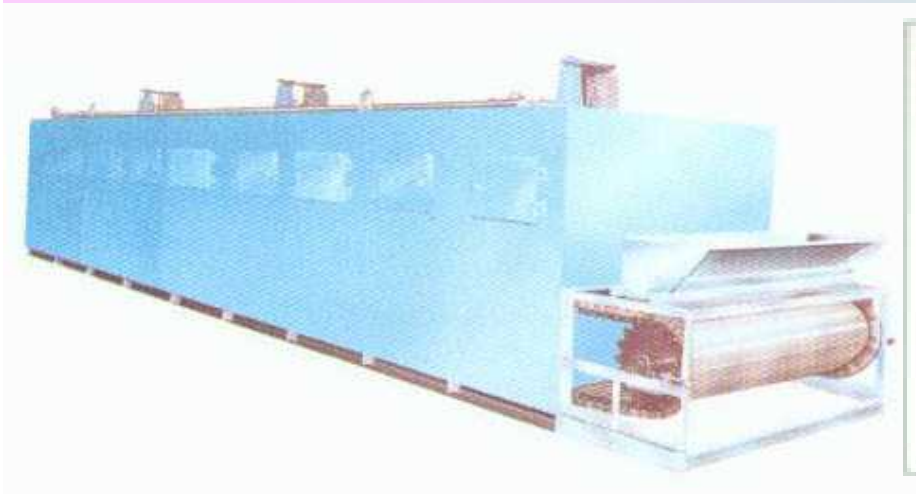
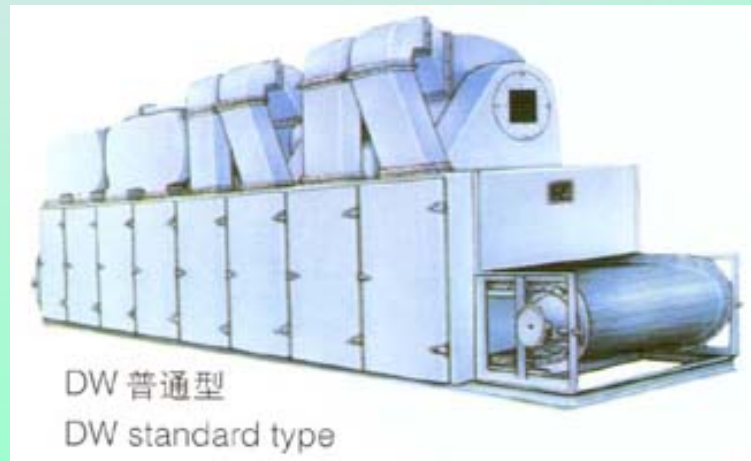


图 7-21 多带式干燥的设备



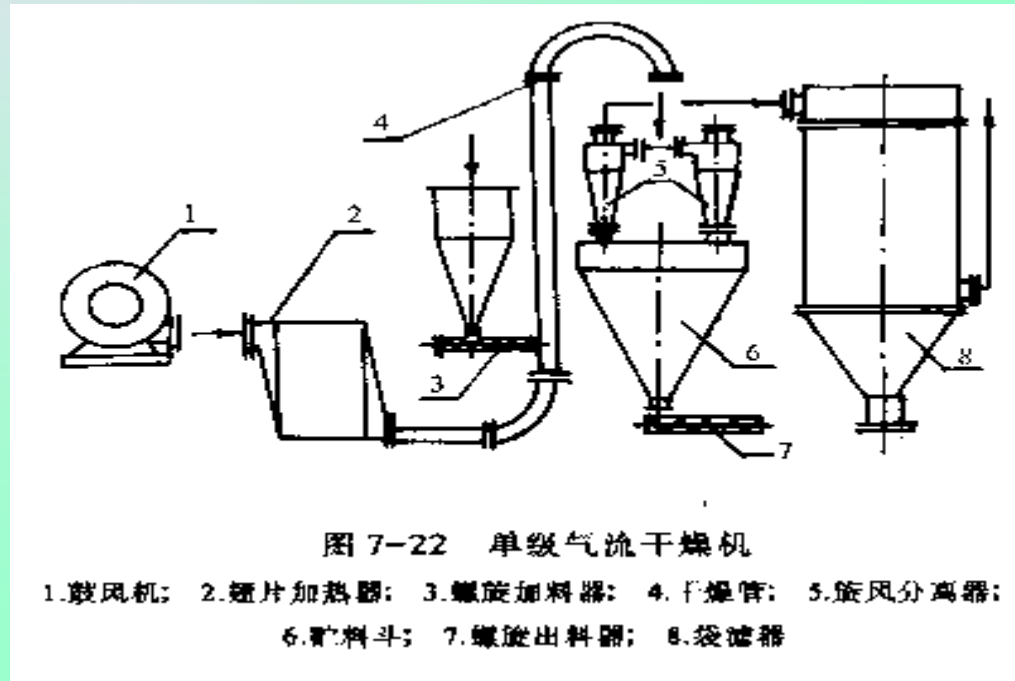
- 封闭循环带式干燥机



DW系列带式干燥机

第五节 气流干燥机

- 干燥方式：气流干燥（中大规模，连续生产）
流化床干燥（小规模，分批生产）
- 一、气流干燥
- 1、工作原理：在高速高温气流作用下，湿物料被分散成微小颗粒，与热空气充分接触，在管内输送过程中，物料被迅速干燥后形成干粉，由旋风分离器卸出。
- 2、组成：风机，热交换器，加料器，干燥管，旋风分离器和出料器等。
- 二、气流干燥的特点：
 - 1、干燥强度大；
 - 2、干燥时间短；
 - 3、适用性广；
 - 4、设备紧凑，结构简单；
 - 5、外形高，基建费用大，功耗大。



三、气流干燥机类型和主要参数。

- 按结构形式分为：直管式、脉冲式、倒锥式、套管式、旋风式。
- 按流程分：单级、两级、多级、循环式。
- （一）单级气流干燥机

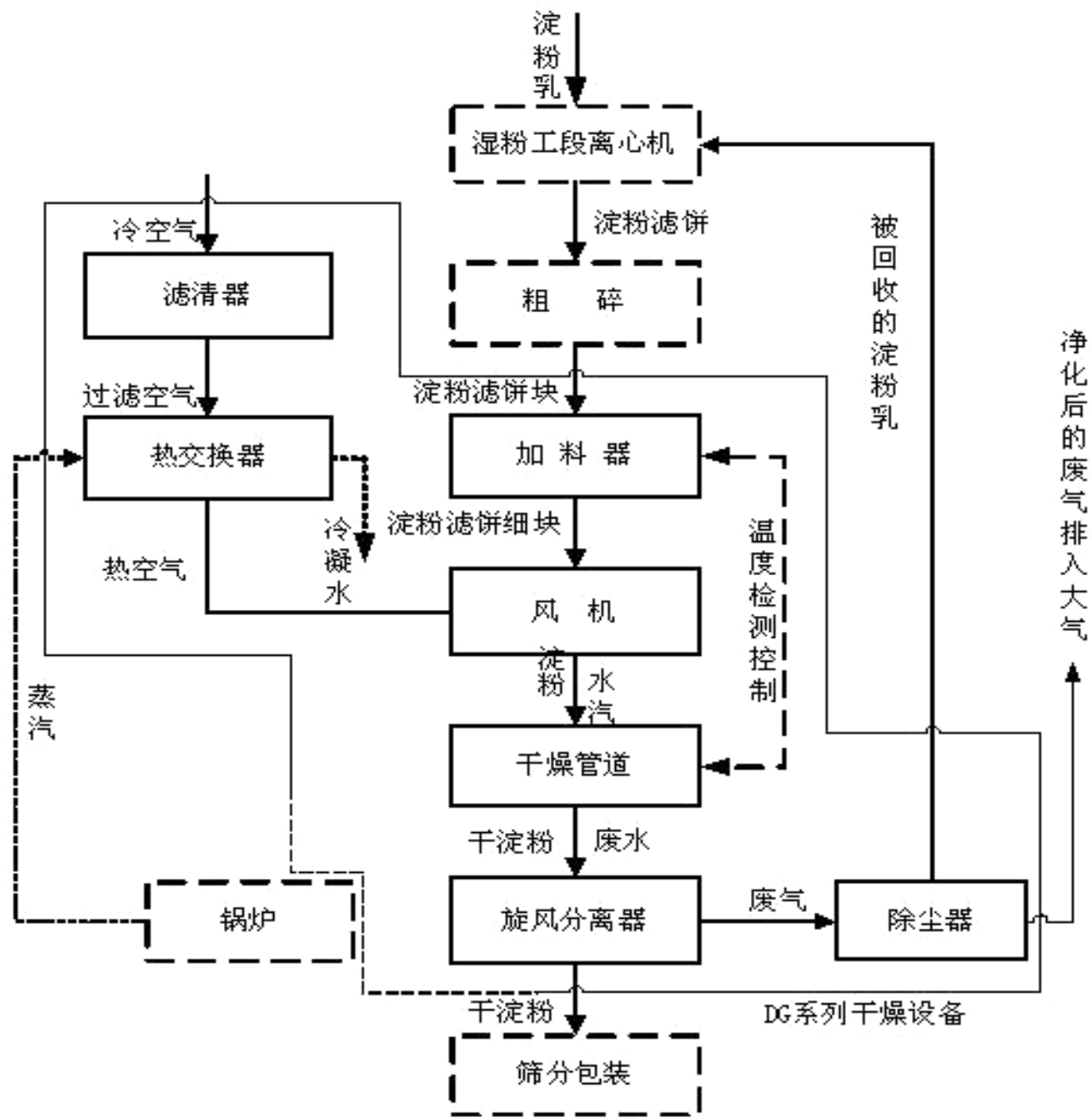


图4-14 DG系列淀粉气流干燥

(一) 单级气流干燥机

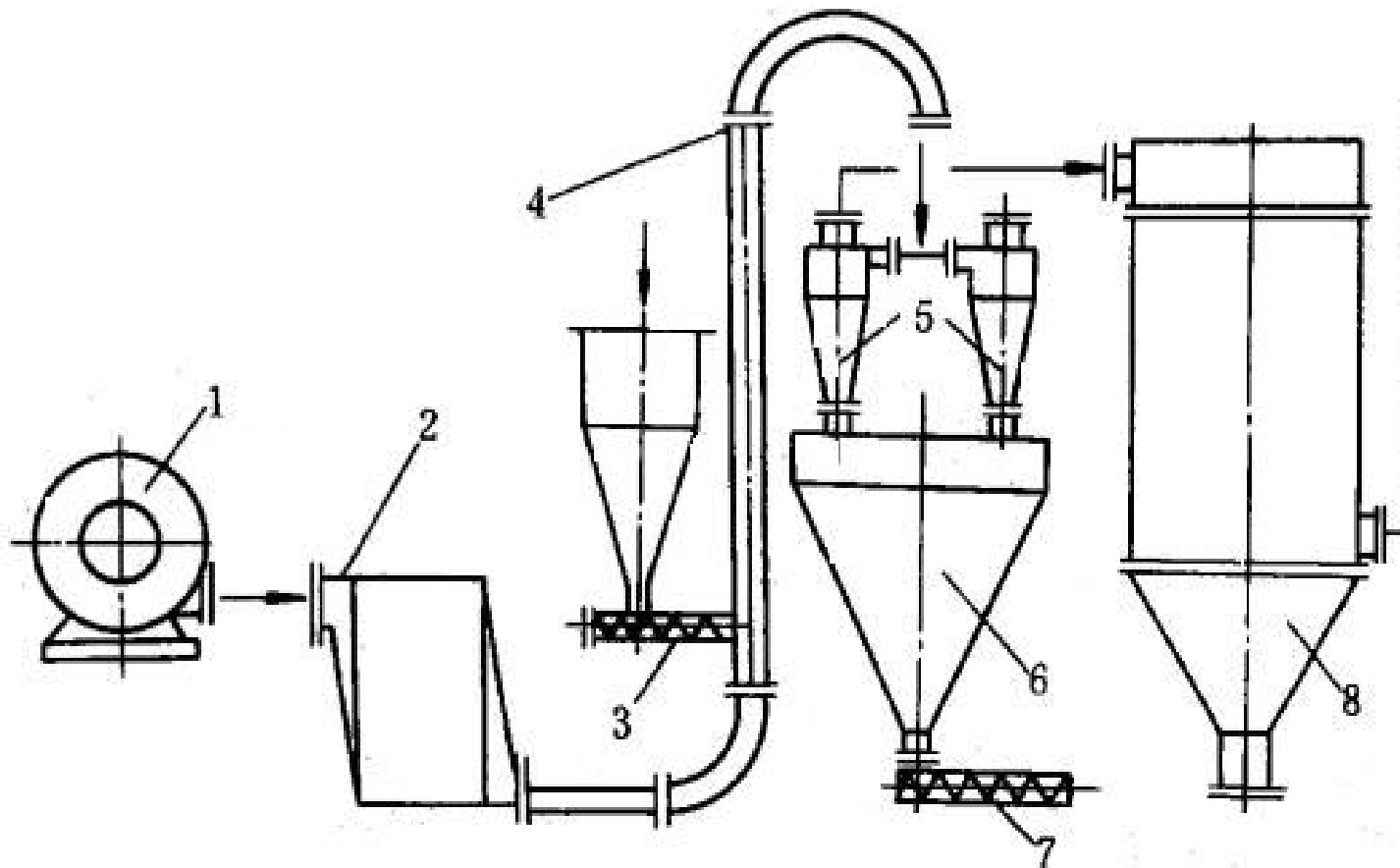


图4-15单级气流干燥机

1. 鼓风机
2. 翅片加热器
3. 螺旋加料器
4. 干燥管
5. 旋风分离器
6. 贮料斗
7. 螺旋出料器
8. 袋滤器



- QG气流干燥机



XF系列卧式沸腾干燥机



XSG系列快速旋转闪蒸干燥机

(二) 两级气流干燥机

- 可提高干燥效能，降低管的高度。中型设备，主要用于淀粉的干燥。

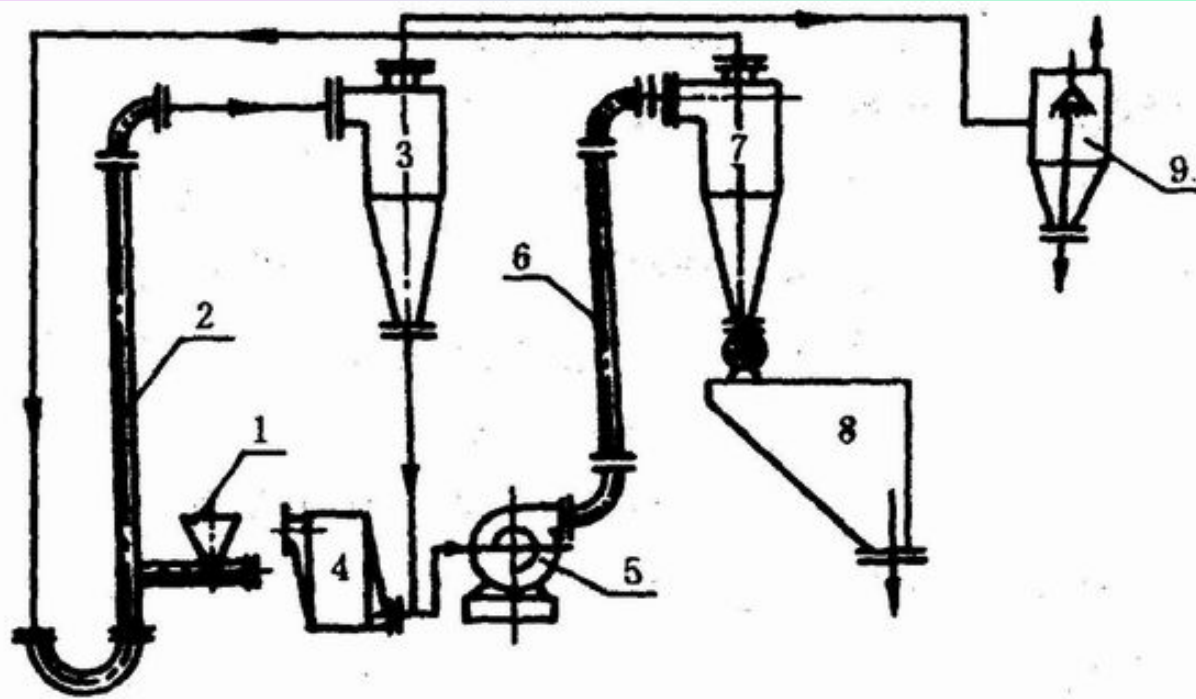


图 9-16 两级气流干燥机

1. 搅龙加料器 2. 一级气流干燥管 3、7. 旋风分离器 4. 空气加热器
5. 鼓风机 6. 二级气流干燥管 8. 过筛机 9. 湿式捕集器

- 3、脉冲式气流干燥机：在直管中加入扩大管，减少输送速度，增加换热时间，降低高度。

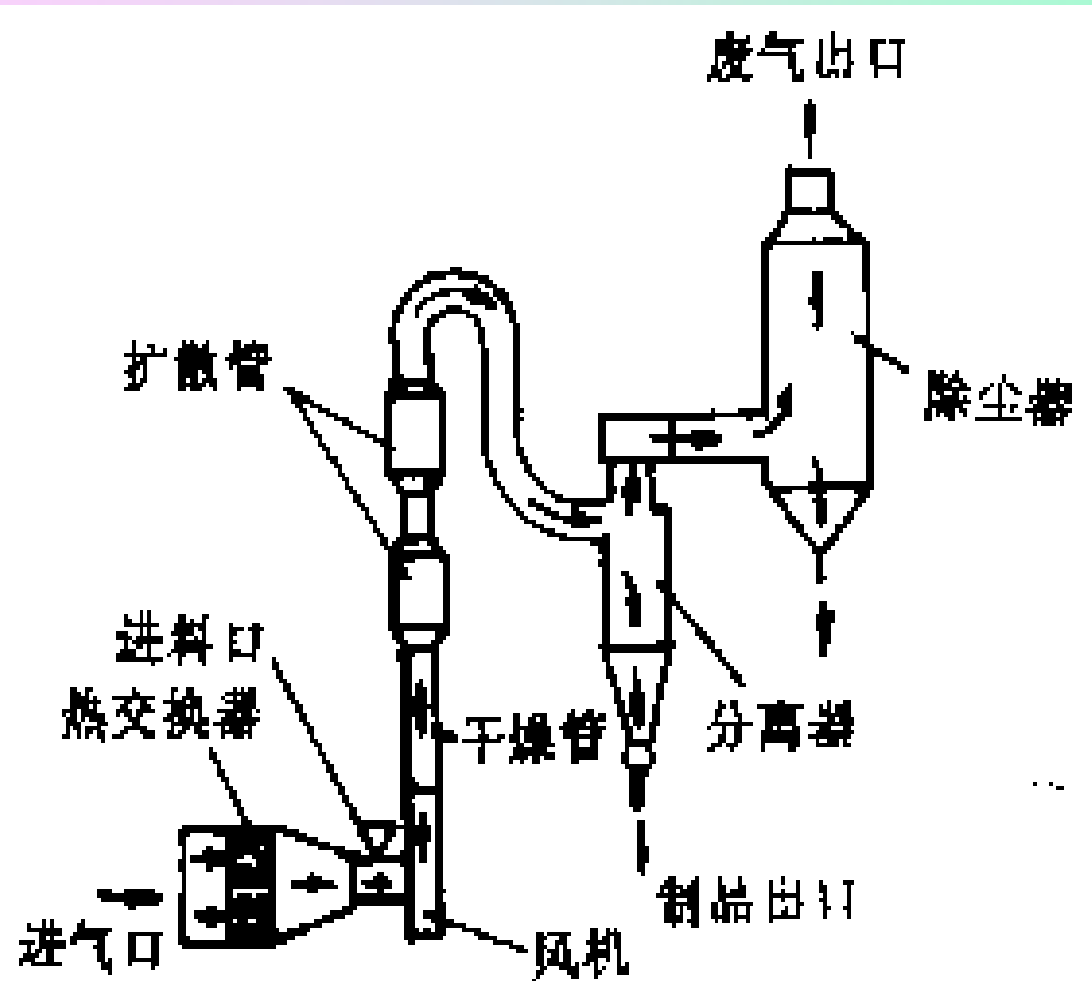


图 7-25 脉冲式气流干燥机



高温物料干燥机



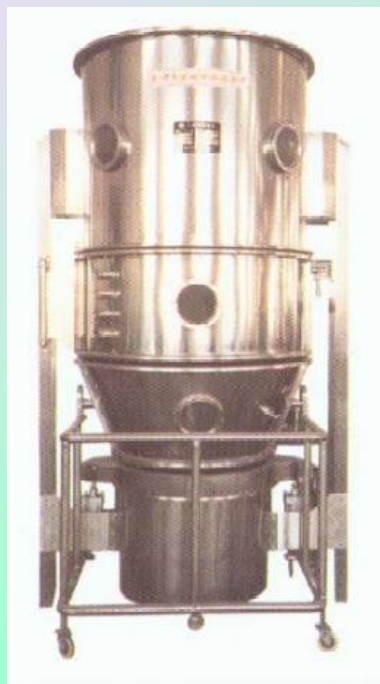
• 沸腾干燥机



旋转闪蒸干燥机



- GZQ系列振动流化床干燥机



沸腾制粒干燥机



GFG系列高效沸腾干燥机

四、气流干燥机的设计计算

- 步骤：
 - 1、按物料的性质选风温，料温。
 - 2、按处理量，初末水分，环境温湿度进行物料衡算，热量衡算。
 - 3、确定干燥管容积，求所需热量，风量。
- (一)进出口风温选择：
 - 入口风温愈高，热效率和干燥强度愈高，但不宜超过物料热加工的极限温度。料温可以近似地看成入口气流的湿球温度，故可按物料极限温度和环境湿度选择入口风温。
 - 出口风温愈低，热利用率愈高，干燥管尺寸相应增大，设计时先假定出口风温高于料温20℃左右，并高于排气的饱和温度，以防止旋风分离器或虑袋结露。因此，设计时应先假定再进行校核。
- (二)热量、风量计算
 - 1、应除去水量 ΔW ：

$$\Delta W = W (w_1 - w_2)$$

四、气流干燥机的设计计算

- 2、干燥所需的热量 q_d

$$q_d = \Delta W r_w + WC_g(t_g - t) \quad \text{kcal / hr}$$

- 3、风量 G

$$G = \frac{q_d + \Delta q}{C_p(t_1 - t_2)}$$

- 4、排气湿度 H_2

$$H_2 = \frac{GH_1 + \Delta W}{G} = H_1 + \frac{\Delta W}{G}$$

- 5、空气预热所需热量 q_t

$$q_t = G C_p (t_1 - t)$$

• (三) 干燥管容积计算

- 1、干燥管容积 V_t

$$V_t = q_d / h_a (\Delta t)_m$$

$$(\Delta t)_m = \frac{(t_1 - t) - (t_2 - t_g)}{\ln \frac{t_1 - t}{t_2 - t_g}}$$

- 2、干燥管内平均风温 t' 湿度 H_w

$$t' = (t_1 + t_2) / 2$$

$$H_w = (H_1 + H_2) / 2 = H_1 + \Delta W / 2G$$

- 3、干燥管内平均风量

$$G' = G (0.773 + 1.24 H_w) t' / 273$$

- 4、干燥管直径

$$D = (4 G' / \pi v)^{1/2}$$

- 5、干燥管高度 Z

$$Z = 4 V_t / \pi D^2$$

第四章 干燥

- 第一节 热风干燥设备的分类
- 第二节 固定床和箱式干燥设备
 - 固定床、箱式、烤房
- 第三节 隧道式干燥设备
 - 顺流、逆流、混流、穿流
- 第四节 带式干燥机
- 第五节 气流干燥机
 - 单级、两级、脉冲式

第六节 喷雾干燥设备

- 一、喷雾干燥的原理与特点：
- 原理：喷雾干燥是将被干燥的物料，通过喷雾装置形成细微液滴，在干燥室与热空气接触，蒸发掉物料中的水分，干燥成粉状制品。
- 特点：
 - 1、浆状原料直接干燥成粉粒状产品；
 - 2、适于处理热敏性物料；
 - 3、制品的溶解性和流动性好；
 - 4、可以调节产品的性状；
 - 5、连续作业，处理量大；
 - 6、设备比较复杂，一次投资费用较大。

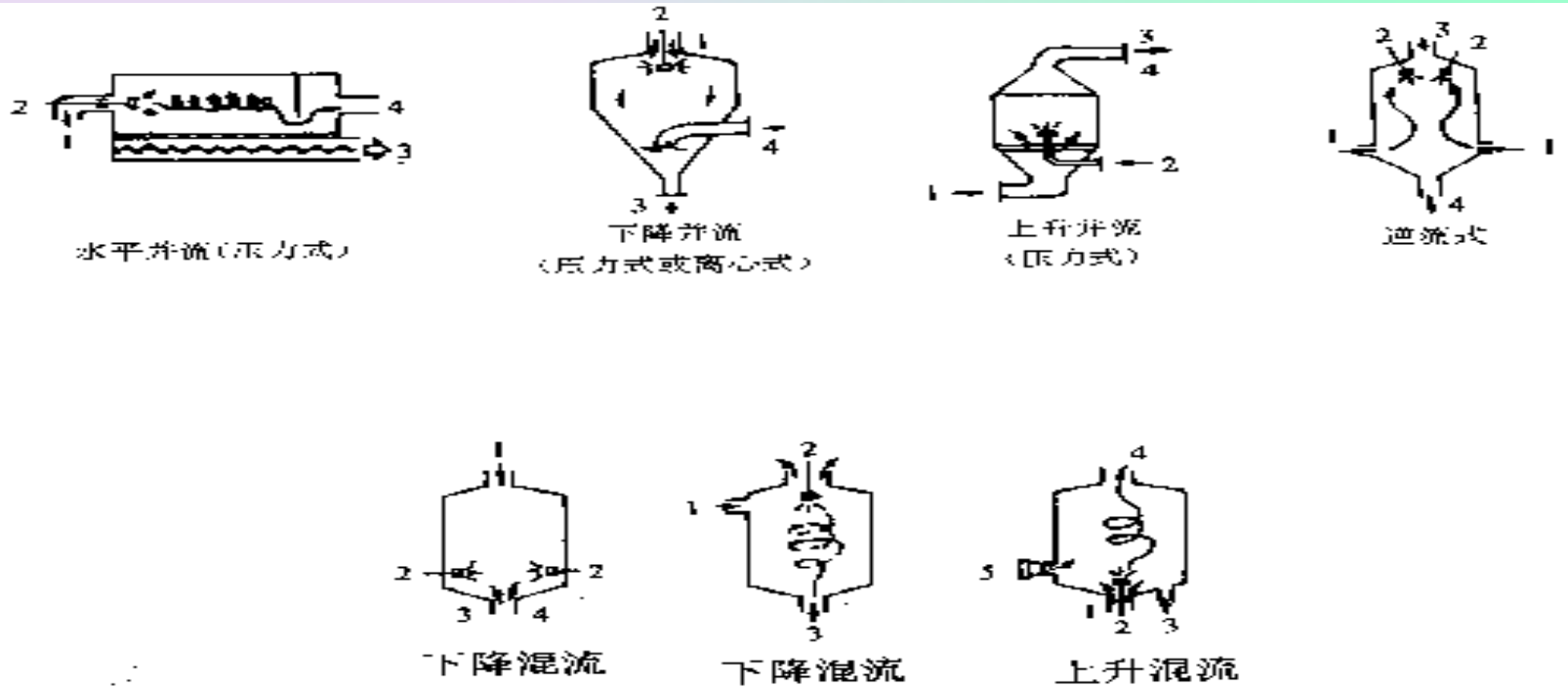
二、对喷雾干燥机的要求：

- 1、凡与物料相接触的设备部位，必须便于清洗灭菌；
- 2、避免热空气产生逆流，防止焦粉；
- 3、要保证热风清洁，防止铁锈等杂物混入产品；
- 4、产品应迅速从干燥室排出，以提高产品的溶解性和速溶性；
- 5、干燥室内温度与排风管温度不宜超过 100°C 以保证产品质量和安全；
- 6、喷雾时被干燥的物料和热空气均匀接触，加热器、干燥室和风管等要保温，以提高干燥的热效率；
- 7、对于粘性物料，应尽量减少粘壁现象。

干燥室内热风与料液流向：

按热风与料液的运动方向分为：

- 顺流：水平顺流，下降顺流，上升顺流。
- 逆流：下降逆流。
- 混流：下降混流，上升混流。



1.热空气 2.料液 3.制品 4.排风 5.二次热空气



三、雾化器的类型和性能

- (一) 压力雾化器 (压力式喷嘴)
- 雾化原理：物料通过高压泵，在70~200大气压下，从切线入口进入旋涡室获得旋转运动，在喷嘴中央形成一股旋转气流，料液形成绕旋转中心旋转的环形液膜，液膜伸长变薄，最后分袭为小雾滴。有旋转形和离心形。
- 旋转型：中空，无芯，料液切向导入。
- 离心型：有芯，料液斜向或螺旋形导入。

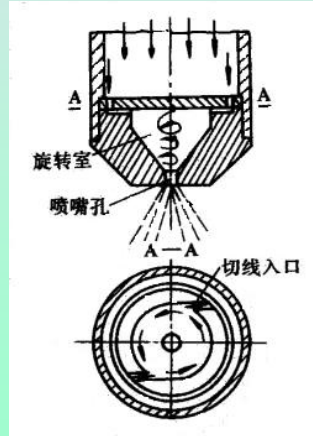


图4-17液料在雾化器内的流动示意图

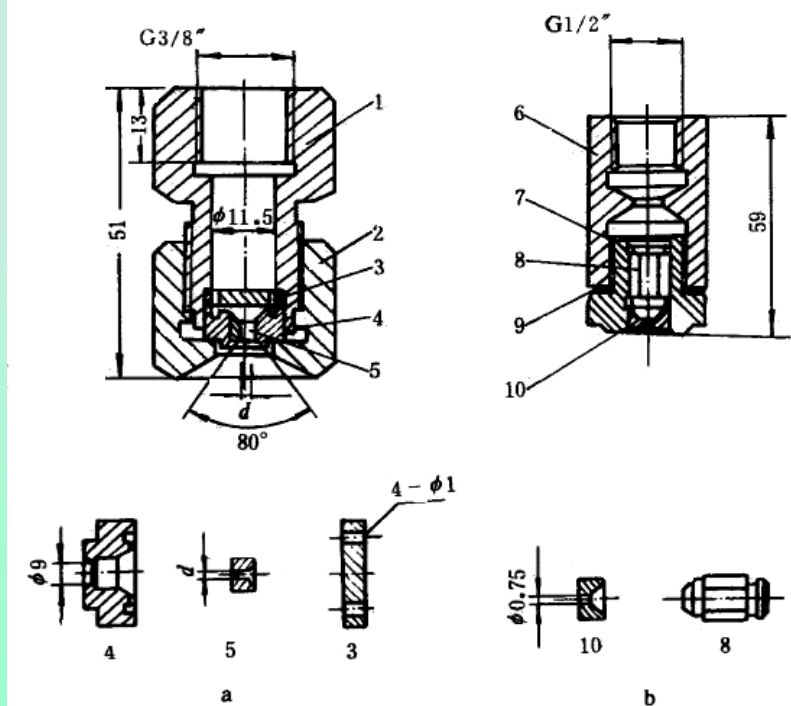


图4-18喷嘴

a. M型 b. S型

1. 管接头 2. 螺帽 3. 孔板 4. 喷头座 5. 喷头 6. 管接头 7. 喷头座 8. 芯子 9. 螺帽 10. 螺帽

三、雾化器的类型和性能

- (二) 离心式雾化器
- 雾化原理:
- 类型:
 - 1、光滑盘
 - a、平板型
 - b、盘型
 - c、碗型
 - 2、叶片轮
 - a、矩型通道型

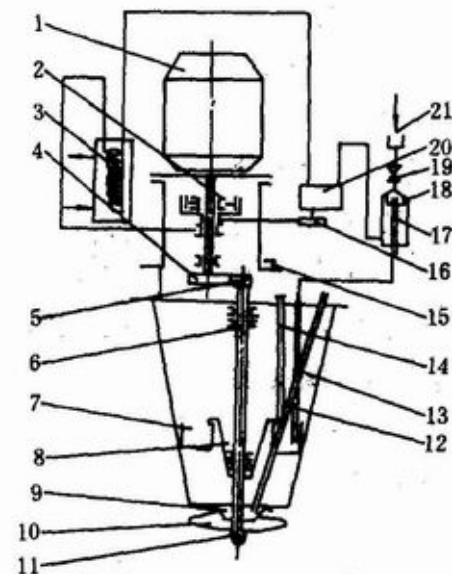


图 9-21 RP₆N₂型离心喷雾机

1. 电动机 2. 摩擦离合器 3. 冷却器 4. 大齿轮 5. 小齿轮 6. 主轴
7. 油槽 8. 回油器 9. 分配器 10. 离心盘 11. 盖形螺母 12. 吸油管
13. 进料管 14. 油标尺插入管 15. 透气塞 16. 油泵皮带轮
17. 充油器吸油管 18. 过滤网 19. 旋塞 20. 油泵 21. 油杯

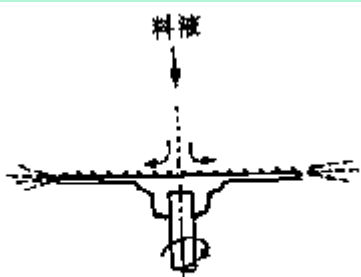


图 7-28 平板型雾化器

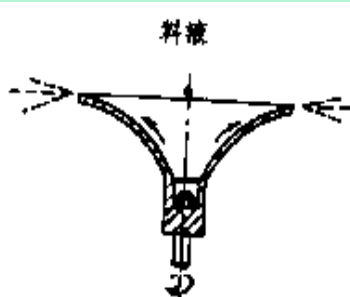


图 7-29 盘型雾化器

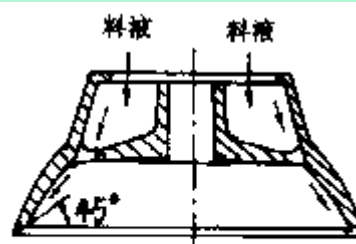


图 7-30 碗型雾化器

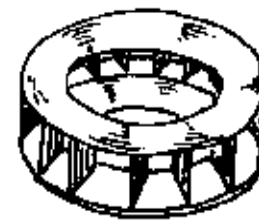


图 7-31 矩型通道雾化器

三、雾化器的类型和性能

- (三) 气流式喷雾器:
- 雾化原理: 利用高速气流对液膜的摩擦分裂作用, 把液体雾化。
高速气流可用压缩空气或蒸汽。
- 类型: 1、内混合式, 2、外混合式, 3、内外混合式。
- 三种雾化器特点:
- 压力式: 动力消耗小, 适用粘度小, 操作弹性小, 喷孔易阻塞。
- 离心式: 动力消耗中, 适用粘度高, 操作弹性大, 造价高。
- 气流型: 动力消耗大, 适用粘度范围大, 结构简单。

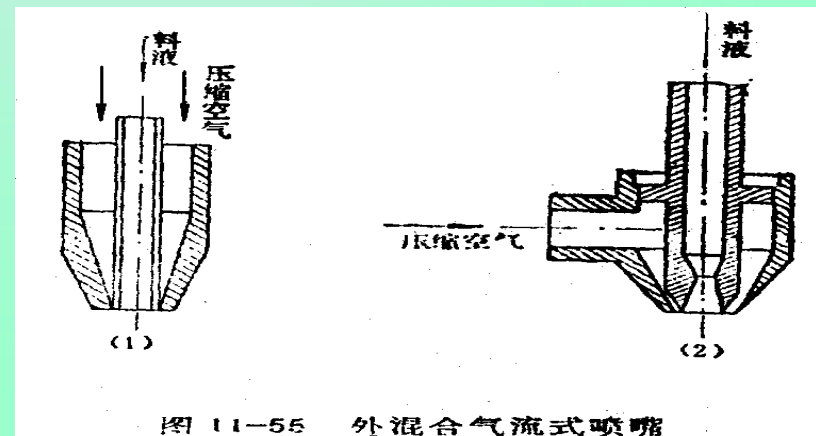
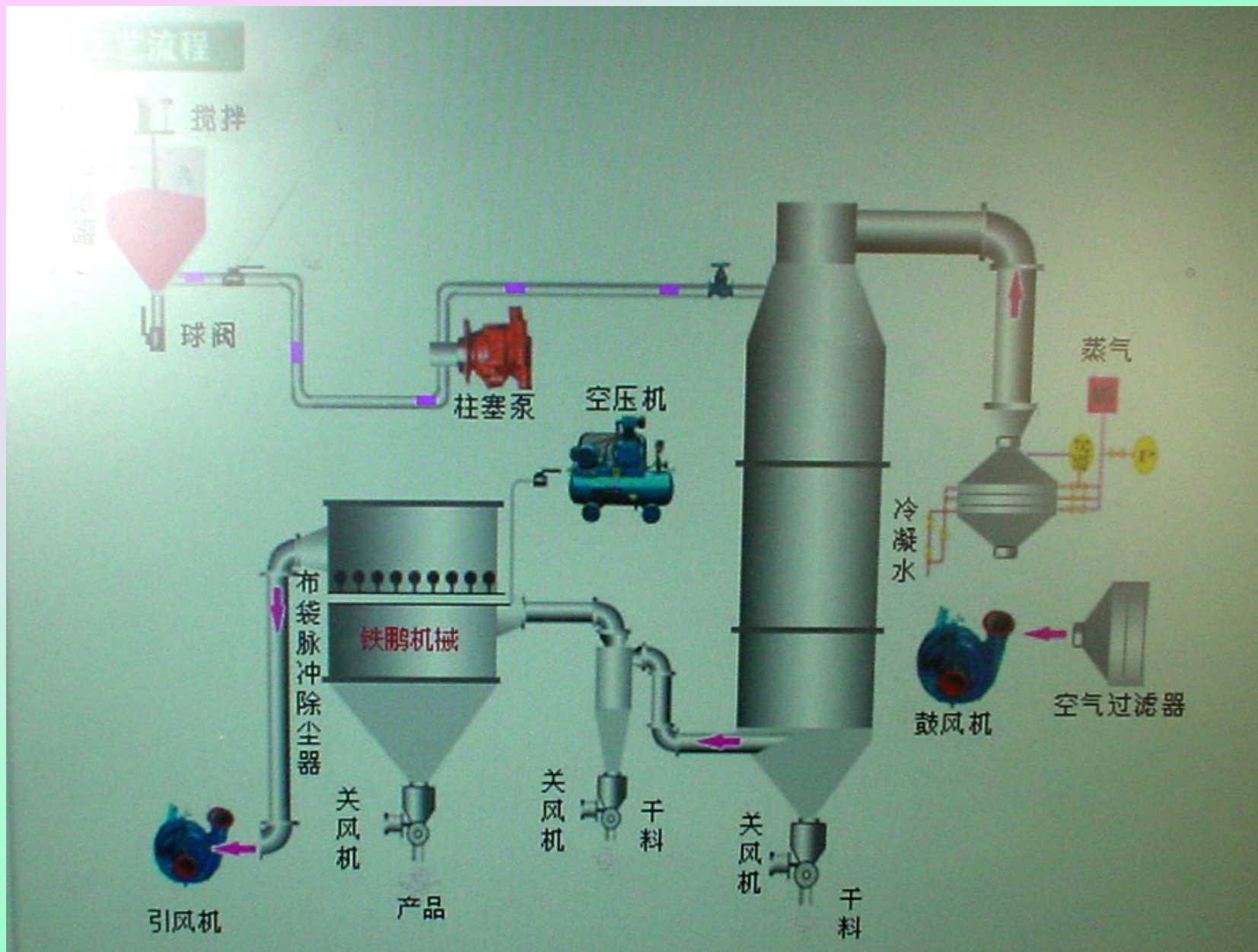


图 11-55 外混合气流式喷嘴



YPL系列压力喷雾干燥造粒机

四、喷雾干燥的附属装置。

- (一)成品卸出装置。
- 1、间歇排料阀：主要有手动碟形阀、手动滑阀和自动衡重阀，适用于中小型喷雾干燥设备。
- 2、鼓形阀：
- 3、涡旋气封阀：

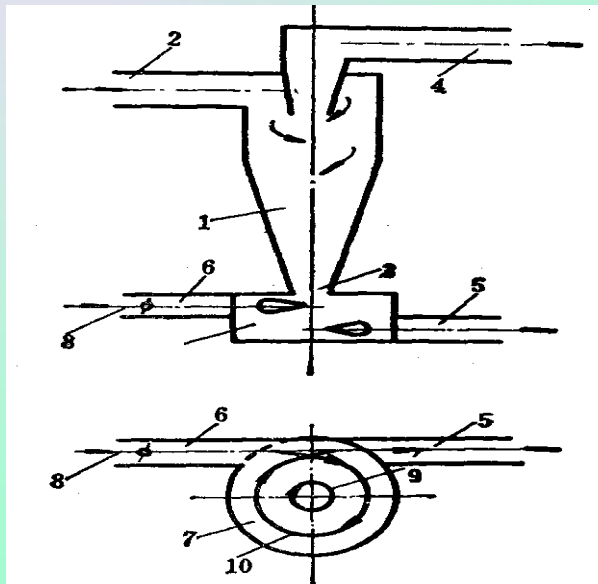
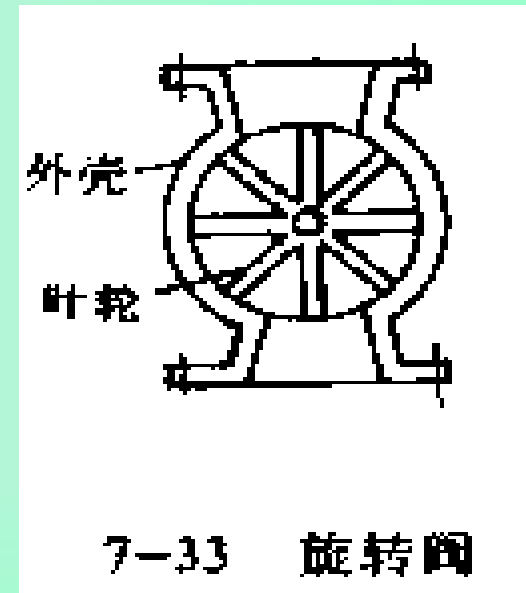


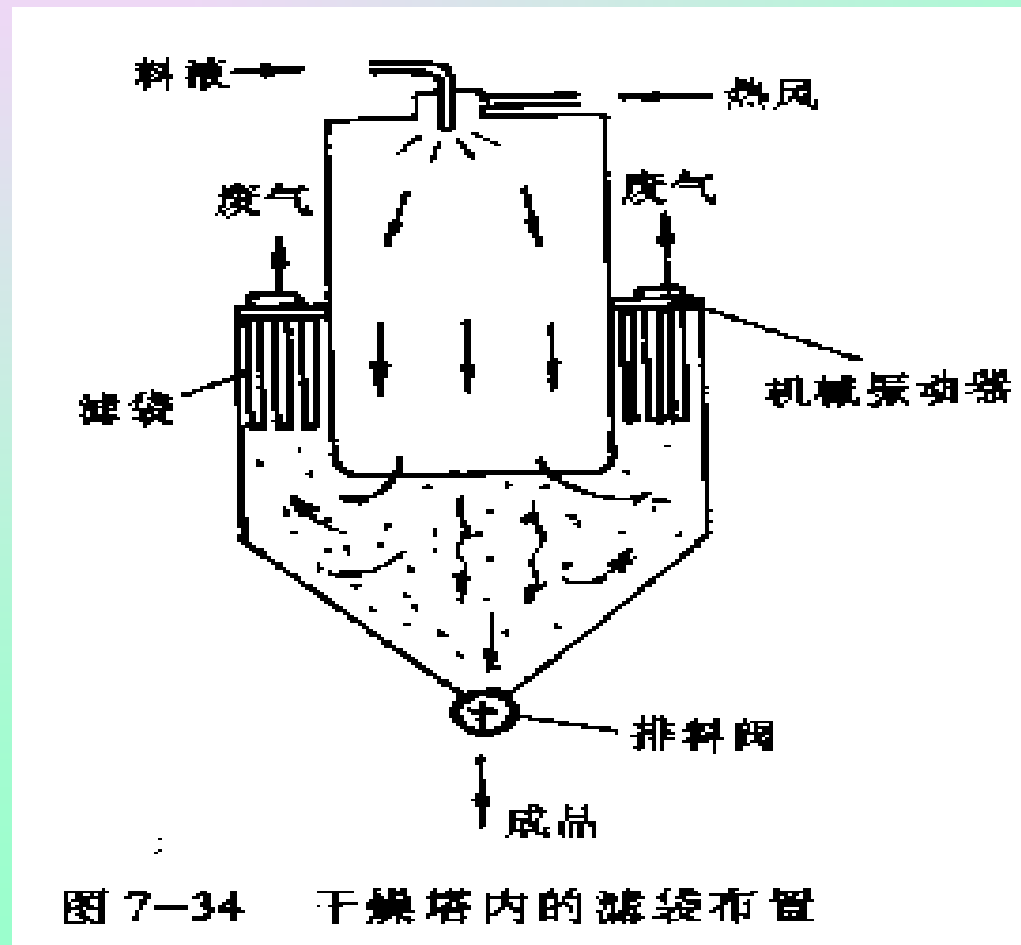
图6-31 旋风分离器及涡旋气封阀

1—旋风分离器锥体部分 2—废气到旋风分离器的进口 3—锥体下料出口处
4—废气排入大气 5—落下粉尘被空气带走 6—过滤后空气进口管 7—涡旋气封之短圆筒 8—具有一定温度一定压



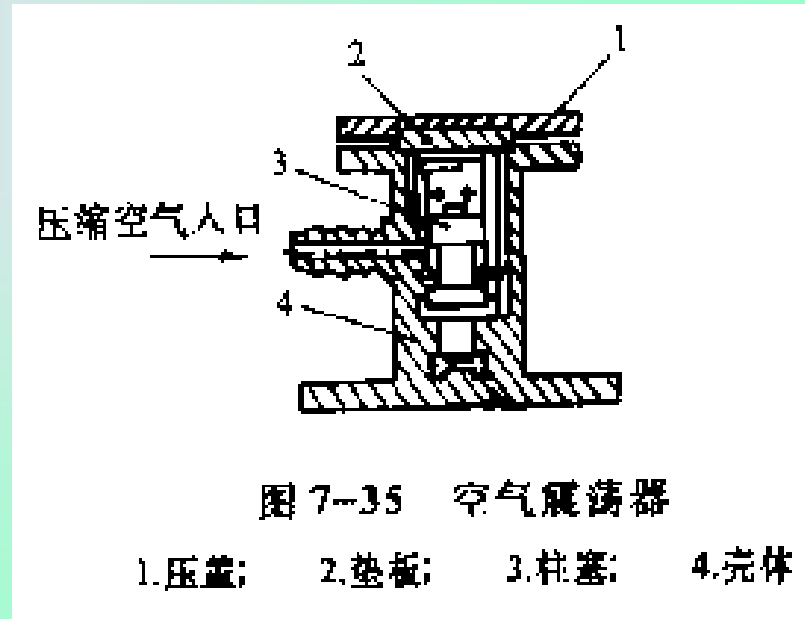
四、喷雾干燥的附属装置。

- (二) 气粉分离装置：
 - 1、布袋过滤器
 - 2、旋风分离器



五、喷雾干燥的附属装置。

- (三) 塔壁振荡器
- 1、空气击振器：利用压缩空气推动柱塞产生敲击和振荡，作用力的大小由柱塞直径和压力决定
- 2、电锤：由振动体，橡胶共振弹簧，磁铁底板电磁线组成。



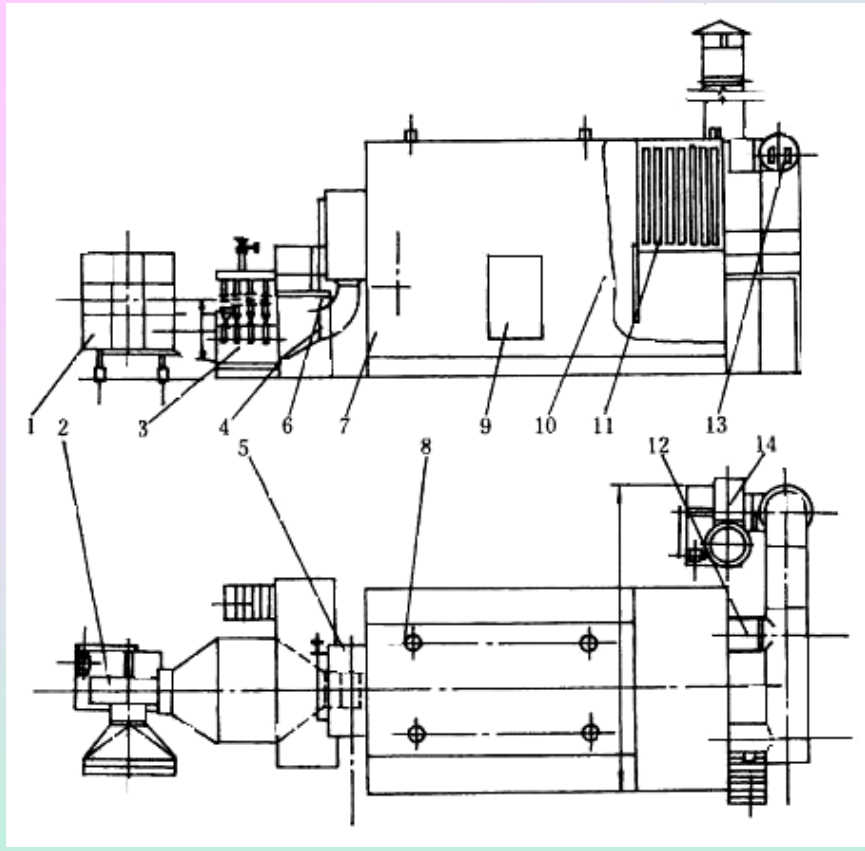


图4-22箱式平底型喷雾干燥机
 1. 空气过滤器 2. 进风机 3. 空气加热器 4. 进风管 5. 分风箱 6. 高压进乳管 7. 干燥室 8. 灯孔 9. 门 10. 窥视镜 11. 布袋过滤器 12. 排风碟阀 13. 排风管 14. 排风机

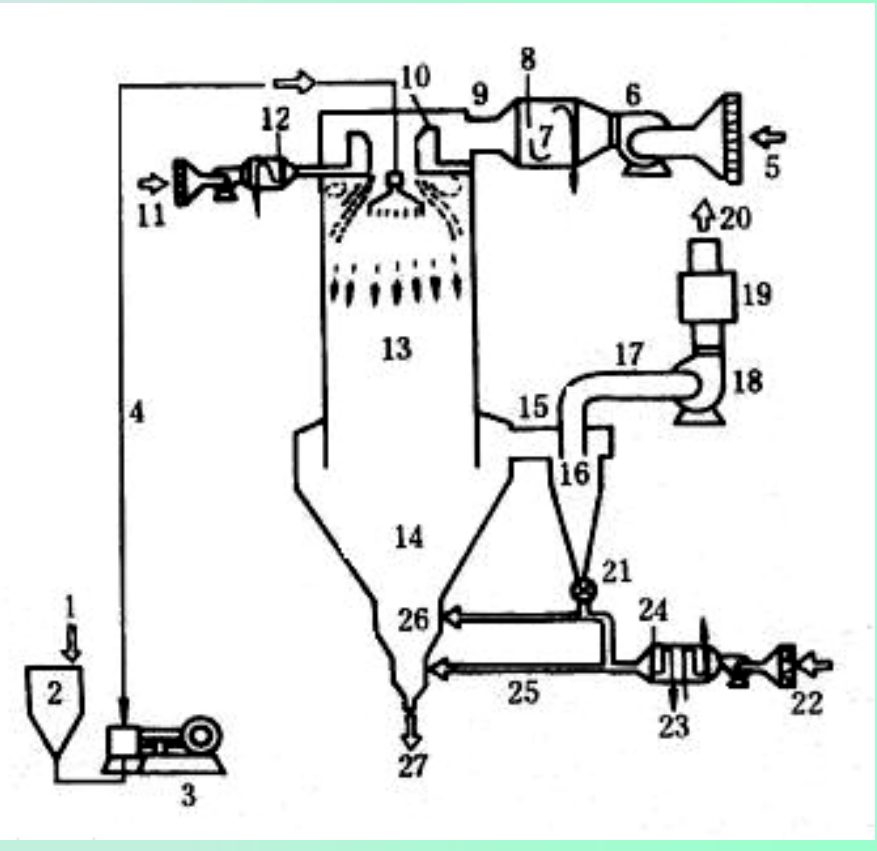


图4-23带冷却器的塔式喷雾干燥机
 1. 浓缩液 2. 贮料罐 3. 高压泵 4. 高压泵 5. 空气 6. 风机 7. 空气预热器 8. 蒸汽 9. 热风管 10. 充气室 11. 空气 12. 蒸汽 13. 干燥室 14. 分离室 15. 管道 16. 旋风分离器 17. 管道 18. 排风机 19. 消音器 20. 出风口 21. 阀门 22. 空气 23.

六、喷雾干燥设备系统

- (一) 立式并流干燥设备:
- (二) 二级喷雾干燥设备:

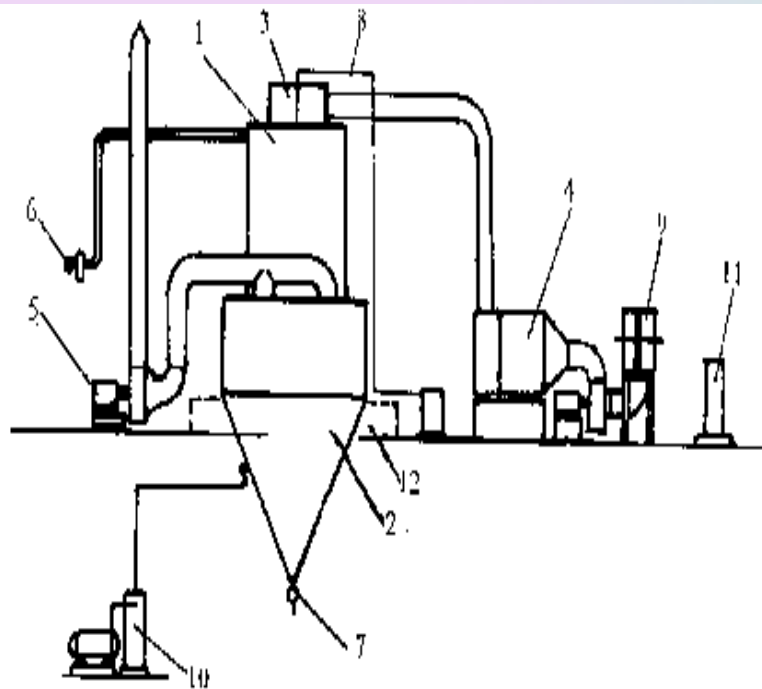
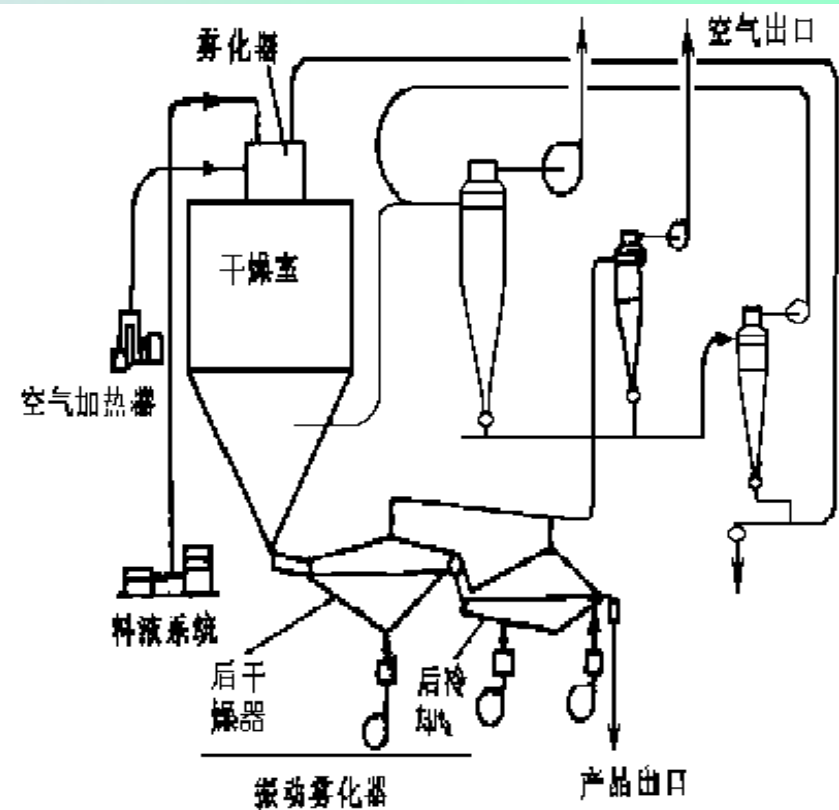


图7-36a 立式并流干燥设备

干燥塔体(室); 2.布袋过滤器; 3.热风分配室; 4.热交换器; 5.排风系统; 6.冷风系统;
7.空气过滤器; 8.高压管道; 9.下料阀; 10.空气振动系统; 11.仪表检测; 12.操作平台



7-36b 二级喷雾干燥系统流程

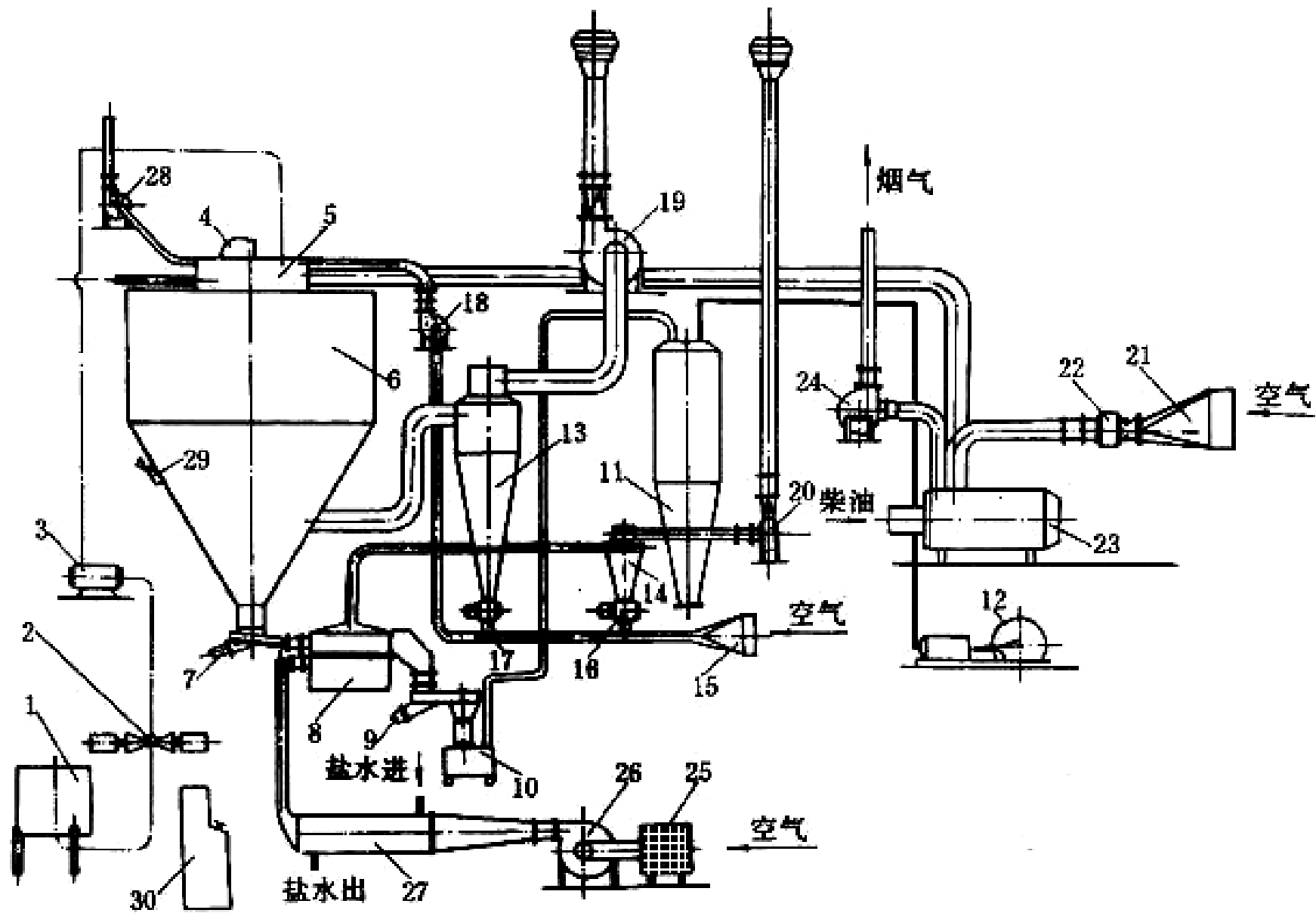


图4-24“尼罗”(Niro)离心喷雾干燥机工艺流程图

1. 物料平衡槽 2. 双联过滤器 3. 螺杆泵 4. 离心喷雾机 5. 蜗壳式热风盘 6. 干燥塔 7. 振动器 8. 沸腾冷却床 9. 振动筛 10. 粉箱 11. 贮粉罐 12. 真空泵 13. 旋风分离器 14. 细粉回收旋风分离器 15. 空气过滤器 16、17. 鼓形阀 18. 细粉回收风机 19. 排风机 20. 排风机 21. 空气过滤器 22. 燃油热风炉进风机 23. 燃油热风炉 24. 排烟风机 25. 空气过滤器 26. 风机 27. 减湿冷却器 28. 冷却风圈排风机 29. 电磁振荡器 30. 仪表控制台

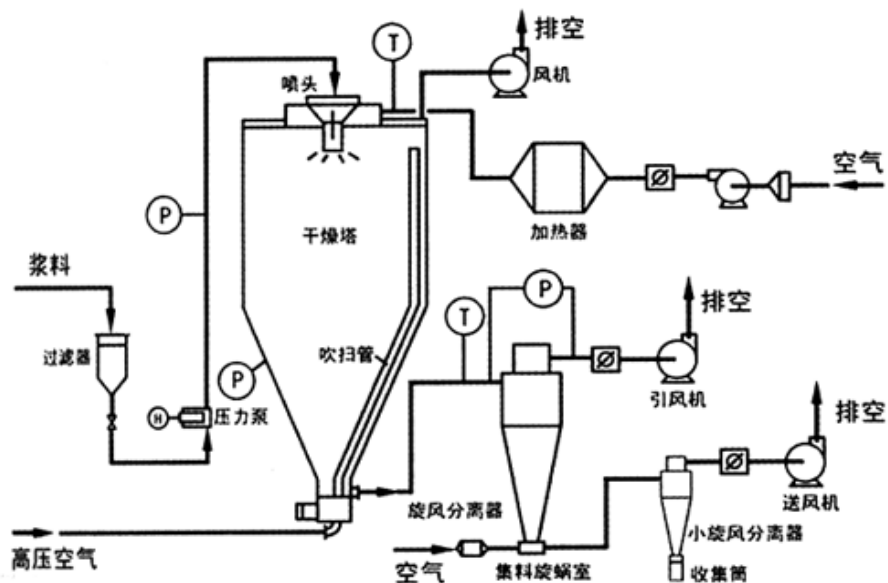


- LPG高速离心喷雾干燥机

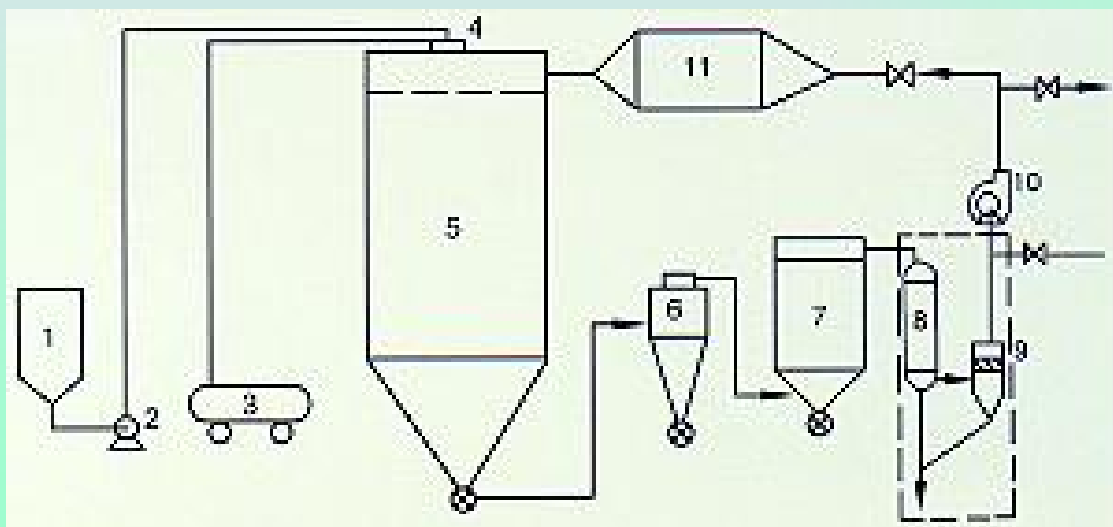


XLP系列闭路循环喷雾干燥机

结构示意图



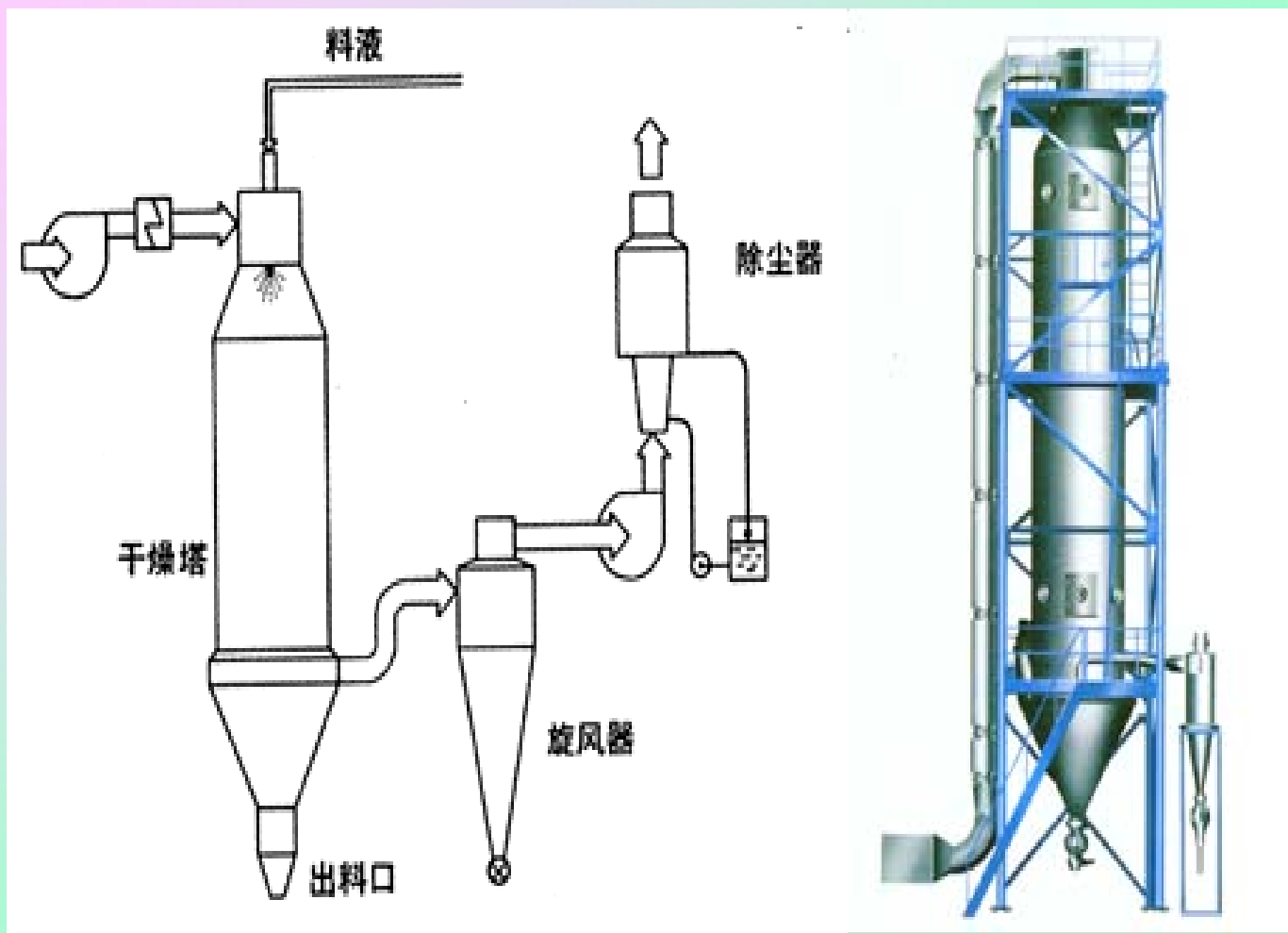
ZLG系列中药浸膏喷雾干燥机



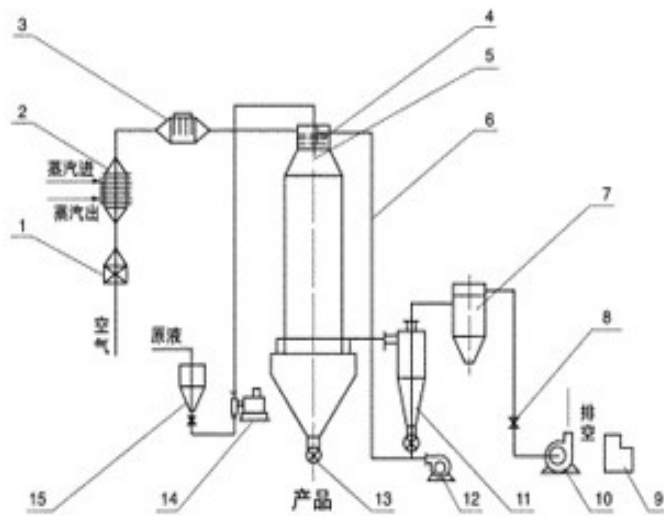
QPG系列气流喷雾干燥机



1. 液料槽
2. 液料泵
3. 压缩空气
4. 气流喷嘴
5. 干燥塔
6. 旋风分离器
7. 布袋除尘器
8. 冷凝器
9. 过滤气
10. 风机
11. 加热器



YPG系列压力喷雾干燥机



- | | |
|----------|-----------|
| 1. 空气过滤器 | 8. 调风蝶阀 |
| 2. 蒸汽加热器 | 9. 电控柜 |
| 3. 电加热器 | 10. 风机 |
| 4. 热风分配器 | 11. 旋风分离器 |
| 5. 雾化器 | 12. 返粉风机 |
| 6. 返粉管道 | 13. 下料器 |
| 7. 除尘器 | 14. 高压泵 |
| | 15. 料液桶 |



YPL系列压力喷雾干燥造粒机

第七节 滚筒干燥机

- 一、分类
- 滚筒干燥机有多种型式，如单滚筒式、双滚筒式，常压式与真空式，顶槽式与喷雾式。

• 二、工作的原理和过程

- （一）顶槽式双滚筒干燥机
- （二）喷雾式双滚筒干燥机

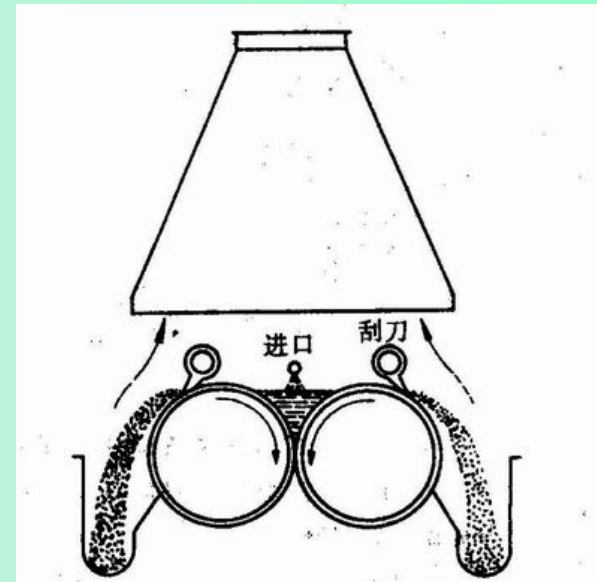


图 9-25 顶槽式双滚筒干燥机工作原理

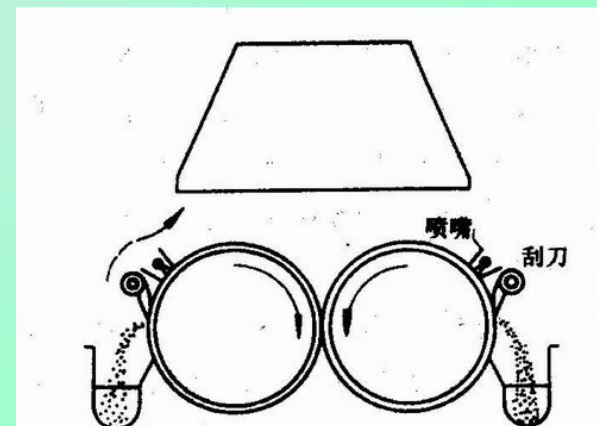
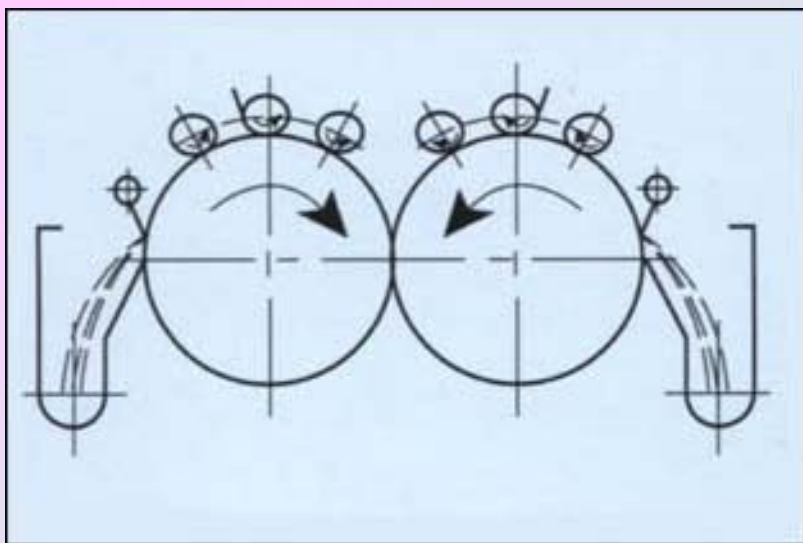
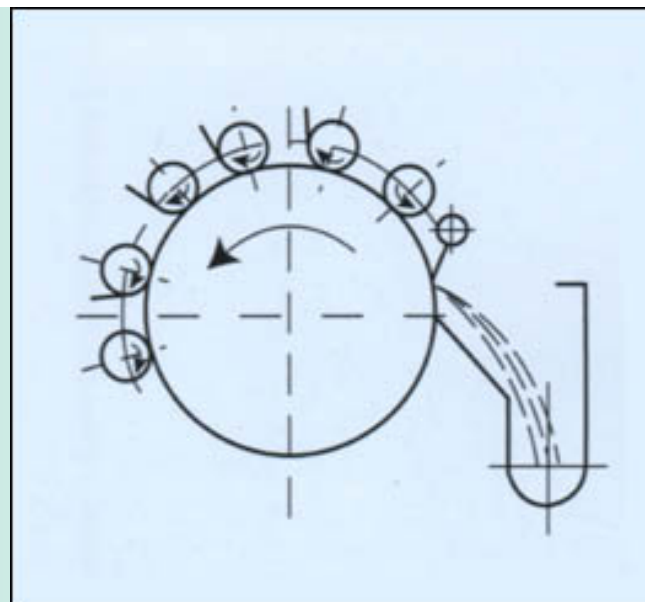


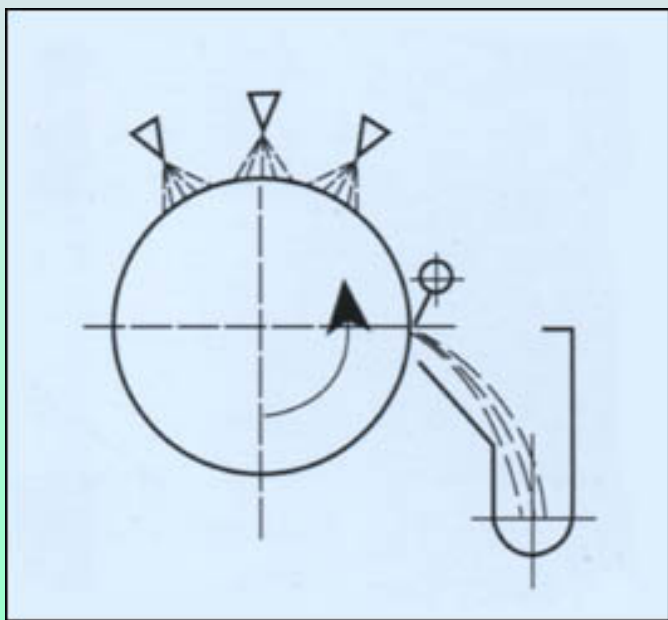
图 9-26 喷雾式双滚筒干燥机工作原理



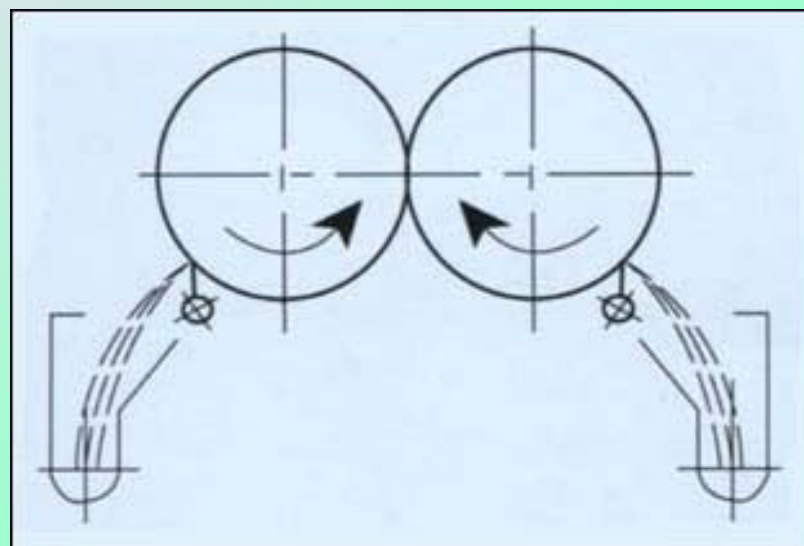
- 带多个滚筒的双滚筒干燥机



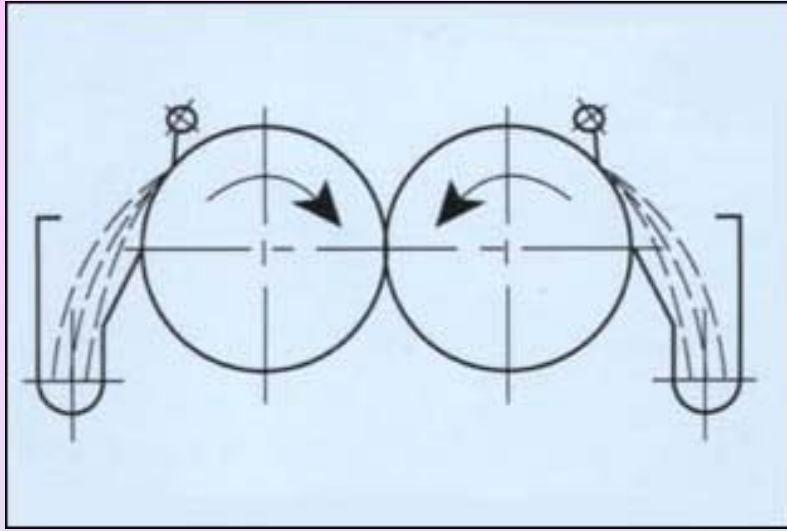
带多个小滚筒的单滚筒干燥机



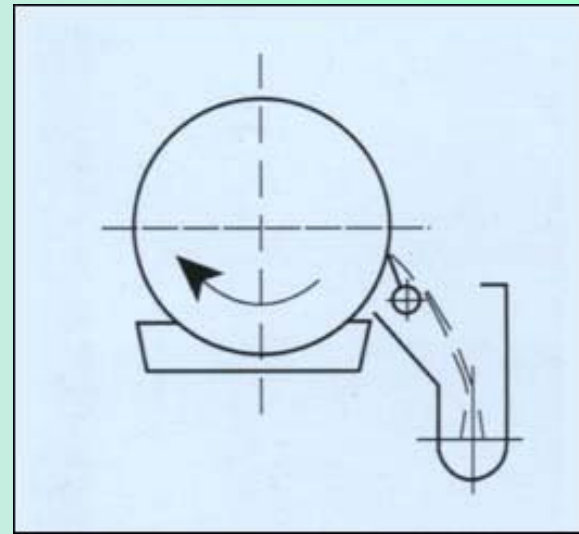
带喷嘴的单滚筒干燥机



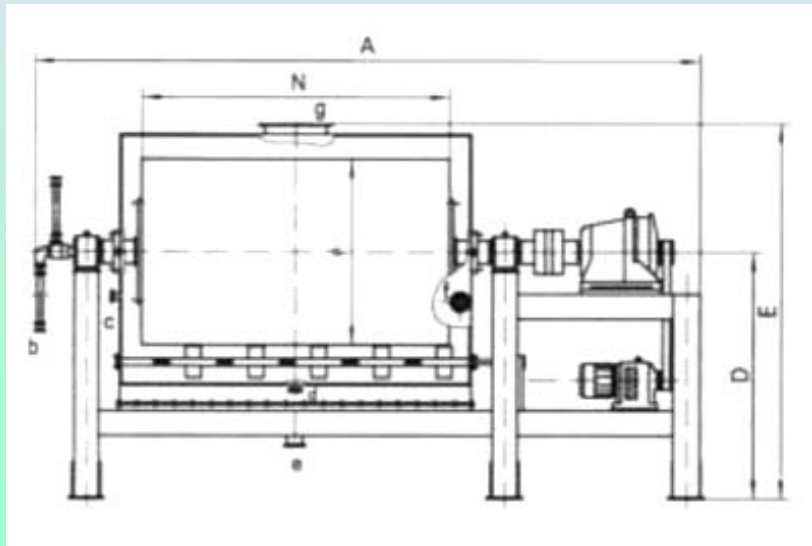
非啮合型双滚筒干燥机



• 啮合型双滚筒干燥机



浸没式单滚筒干燥机



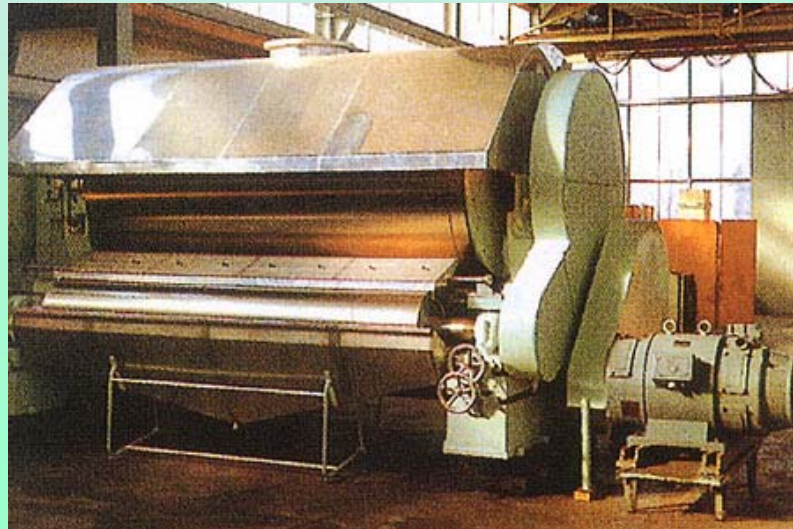
滚筒干燥机结构





- 滚筒干燥机

滚筒干燥机滚筒



滚筒干燥机外形

泡沫干燥机

- 1、加工对象：将菠萝、葡萄、苹果、番茄等干制成粉末
- 2、工艺流程：①浓缩，②加发泡剂，③搅拌，④发泡，⑤装盘，⑥干燥，⑦刮取成品。

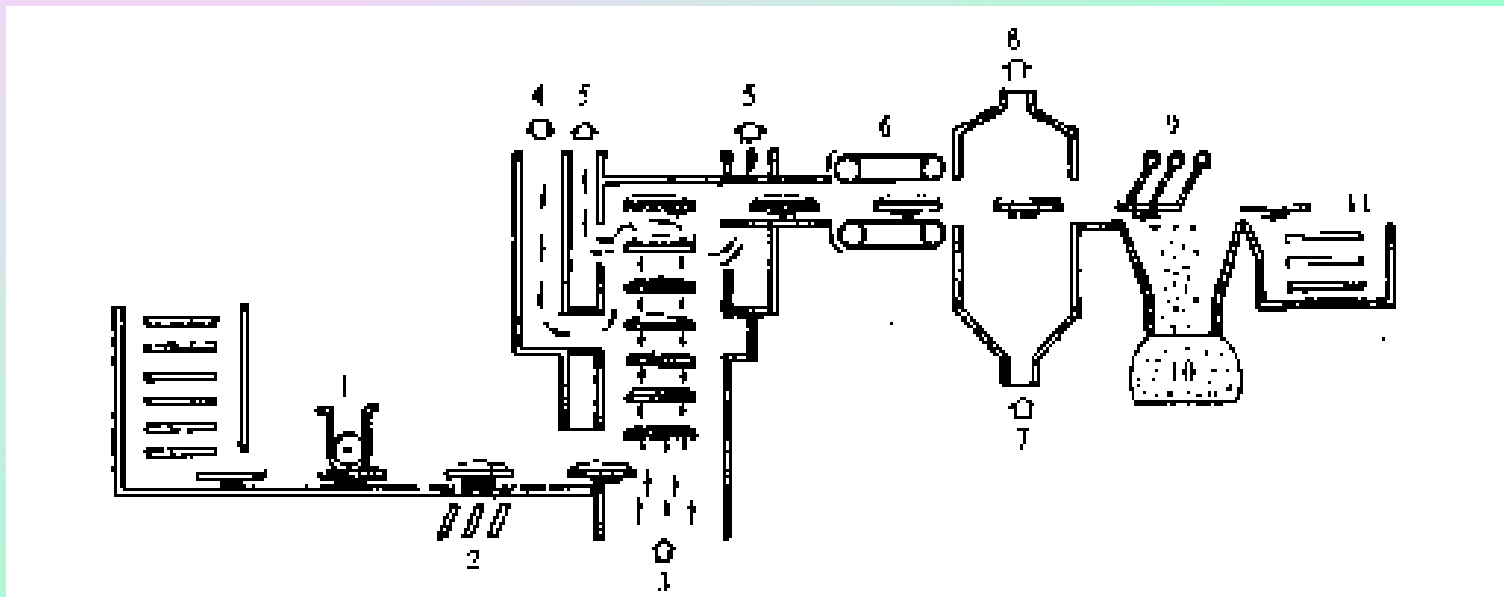


图 7-37 泡沫干燥机

1. 多孔盘泡沫供给机 2. 热风吹出喷嘴 3. 第 1 段热风入口 4. 第二段热风入口
5. 热风出口 6. 进给输送机 7. 冷风入口 8. 排气 9. 刮取用刀片 10. 干燥成品 11. 多孔盘



一、固定床干燥设备

- 2、循环干燥仓：
- 组成：热风装置，循环装置，料仓
- 特点：干燥速度快，处理量大，有贮存仓的作用。
- 搅拌器作用：降低干燥室垂直方向水分梯度。
均化空隙，增加通风均匀性。

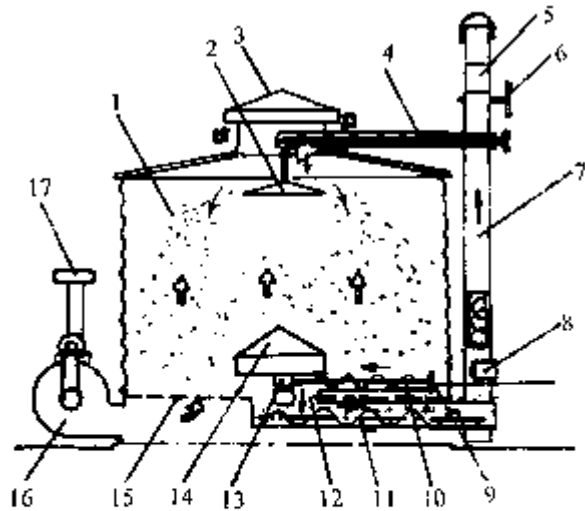


图 7-39 谷物循环干燥仓

- 1.干燥仓; 2.均分器; 3.排气口; 4.循环螺旋; 5.除尘器;
6.切换装置; 7.升运器; 8.传动装置; 9.支持轮; 10.扫仓螺旋;
11.排粮螺旋; 12.排粮口; 13.传动装置; 14.防护罩; 15.带孔地板; 16.风机; 17.加热器

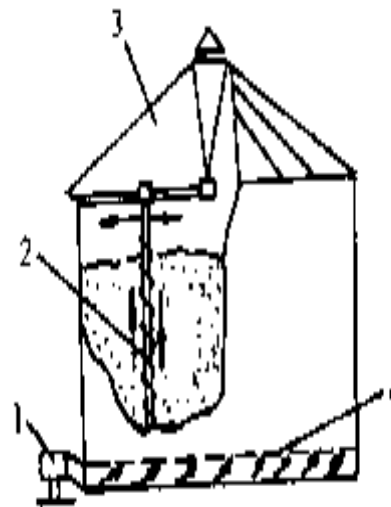


图 7-40 谷物搅拌器示意图

- 1.风机; 2.垂直搅龙; 3.搅龙移动支架; 4.穿孔地板

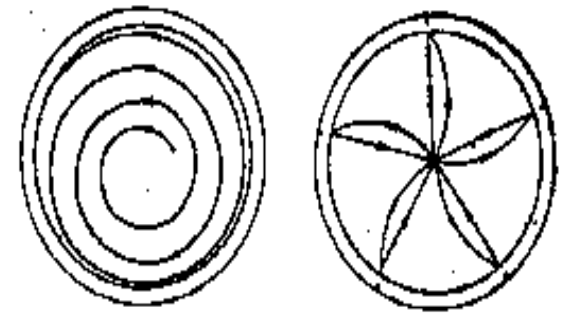


图 7-41 单搅龙搅拌器的运动轨迹

(二) 高温快速连续干燥机

- 1、循环式干燥机：谷物连续流动，干燥与缓苏交替进行，适合需要缓苏干燥的谷物，操作方便，自动化程度高。
- 2、柱式干燥机：生产率高，干燥质量好，机械化程度高，但需要装卸设备，价格较高。

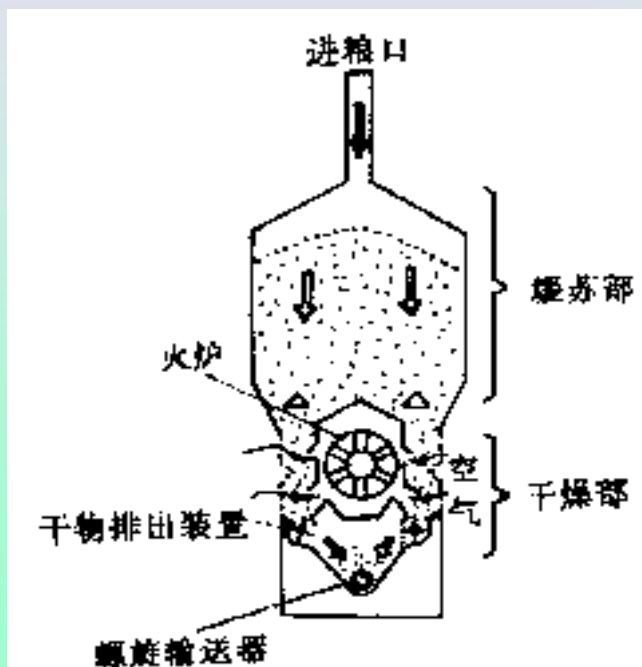


图 7-42 混合式干燥机

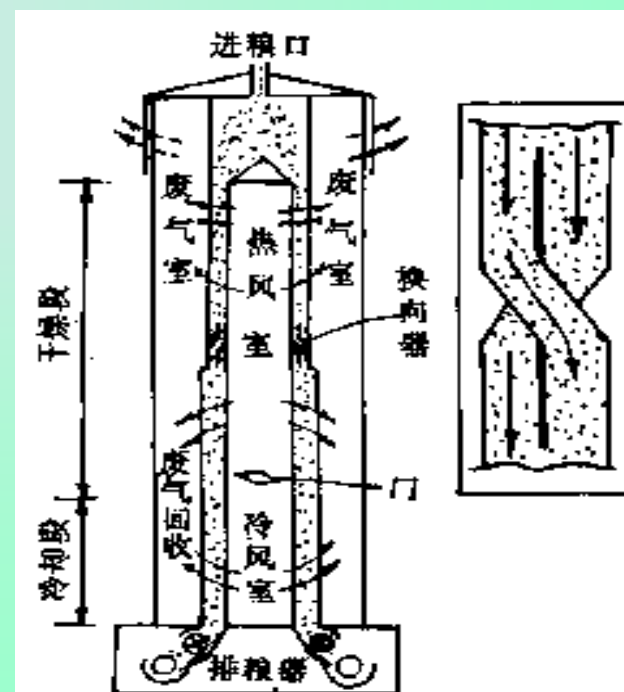


图 7-43 柱式干燥机

二、流化床干燥设备

- (一) 流化床干燥的原理与特点：
 - 原理：物料被大量气流吹起，呈悬浮状态，在沸腾移动中干燥。
 - 特点：
 - 1、物料与干燥介质接触充分，传热效果好，温度分布均匀；
 - 2、干燥速度大，停留时间短，生产能力高；
 - 3、同一设备既可以分批生产，又可连续生产；
 - 4、干燥停留时间可根据产品含水量调整；
 - 5、设备简单，投资费用低，操作维修方便；
 - 6、不适应粒径过大或过小，含水率过高，易结块的物料。
- (二) 流化床干燥设备的分类，结构，性能。
 - 1、分类：

连续单层型、连续多层型、卧式连续多室型、喷动床型、振动流化型、脉冲流化型。

第八节 流化床及喷动床干燥机

- 一、流态化干燥的特征

- (1) 物料与热风的接触面积大，体积传热系数较高。
- (2) 由于气固相对激烈地运动，热传递迅速，处理能力大；温度分布均匀，且易调和控制。
- (3) 物料受热时间的调节范围大，可使产品的终水分达较低程度。
- (4) 所用设备结构简单，造价低廉，运转稳定，操作维修方便。

- 二、流化床干燥机的类型、组成和特点

- 按结构形式分为单层型、多层型、多室型。
- 按附加装置分有带振动器和间接加热器。
- 按作业方式分为连续式和间歇式。

第八节 流化床干燥设备

- 1、结构性能：

- (1) 单层流化床干燥器：

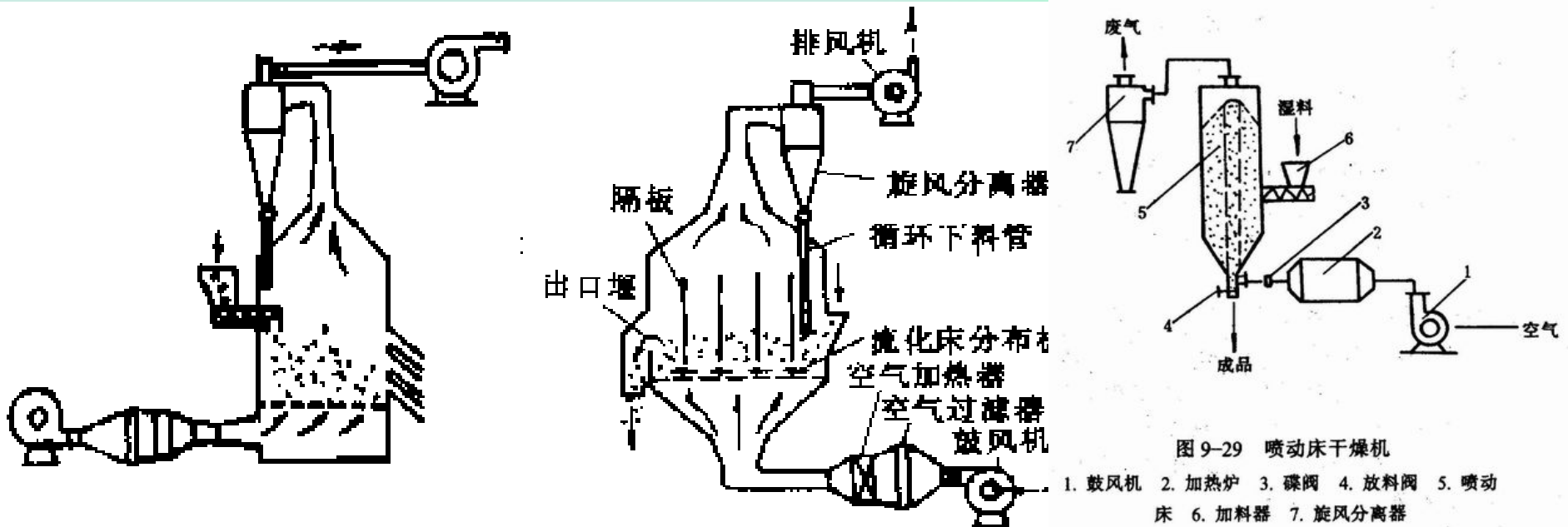
结构简单，操作方便，生产能力大，应用广泛。

- (2) 卧式多室流化床干燥器：

设置间距可调隔板，延长干燥时间，增加均匀性。

- (3) 间歇喷动型干燥器：

适用于细小颗粒，易结块，流化性能差的物料



(二) 振动流化床干燥机

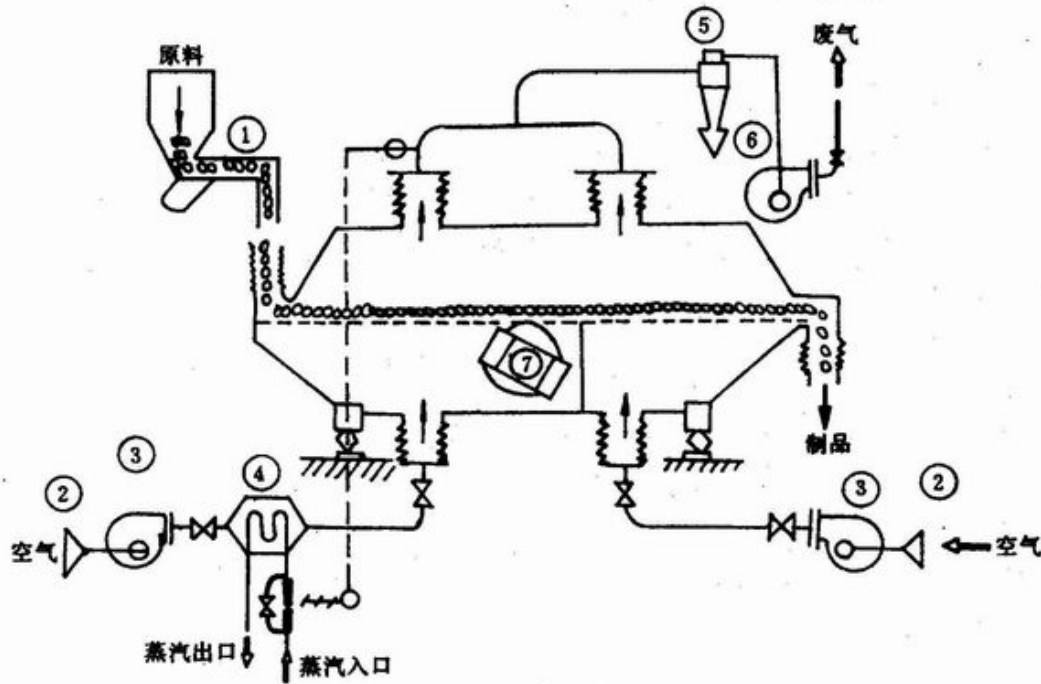
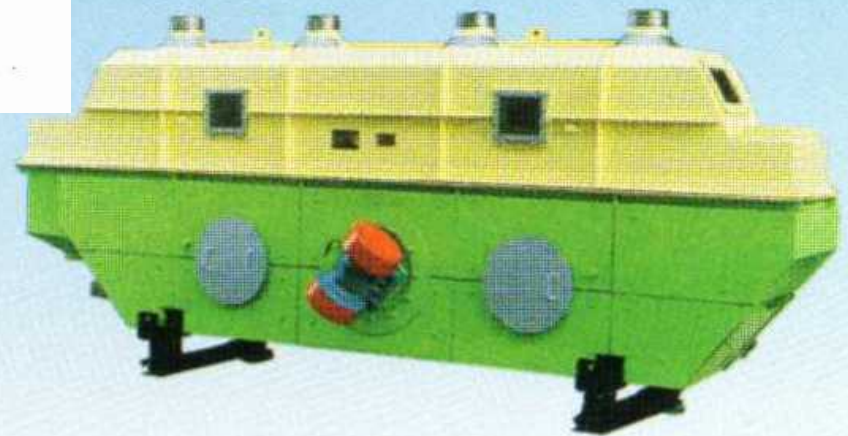


图 9-28 振动流化床干燥机

1. 振动给料器 2. 空气过滤器 3. 送风机 4. 加热器 5. 集尘器 6. 引风机 7. 电机



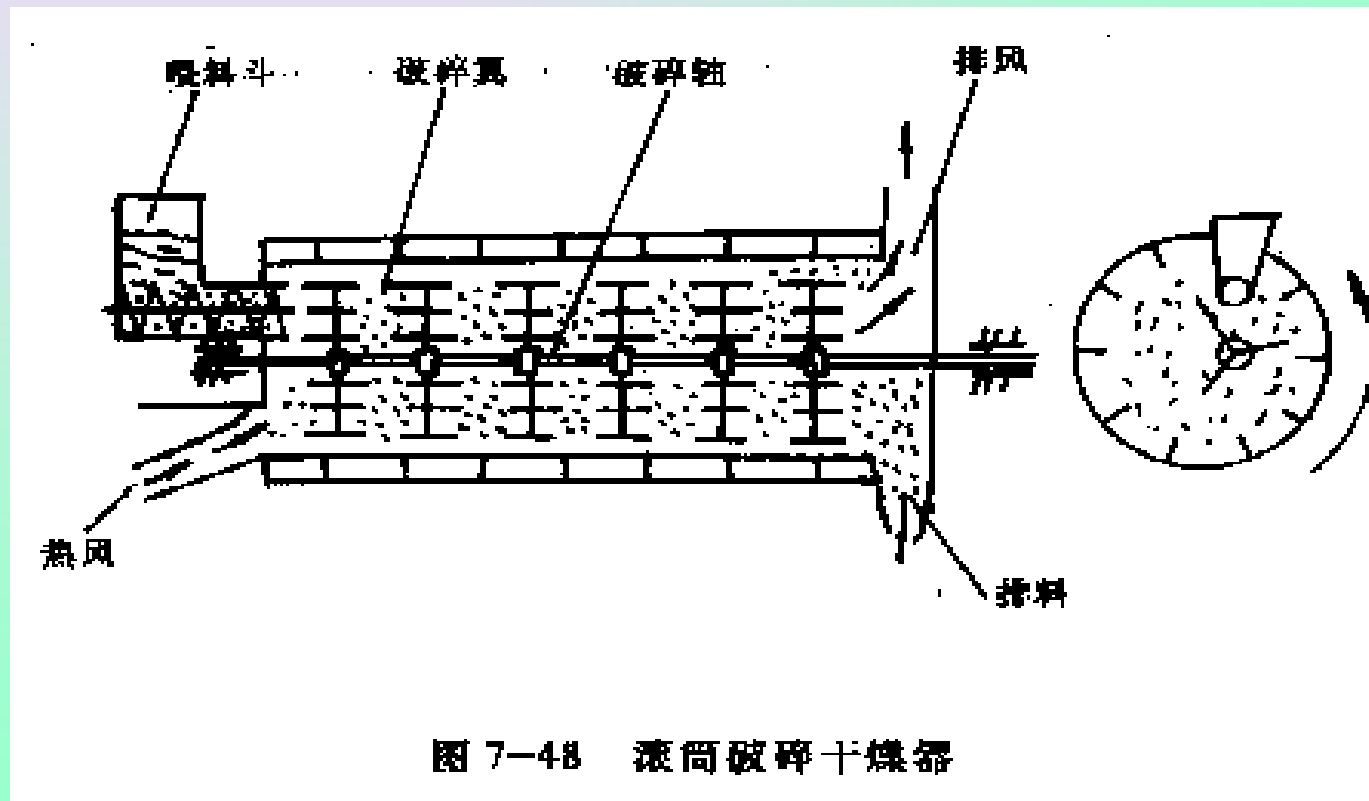
振动流化床干燥机





第九节 回转式干燥机

- (一) 工作原理:
- 特点: 物料和热风接触充分, 干燥迅速, 热效率高。作业连续平稳, 适合高水分物料, 但机构庞大, 造价高。



第九节 回转式干燥机

- 一、特征

- (1) 生产能力大，水分蒸发量可高达10t/h。连续作业。机械化程度较高。
- (2) 对物料的适应性强，即使物料的水分、粒度有较大变化、亦能适用。
- (3) 排气循环，热效率可达80%以上。
- (4) 操作稳定方便，费用较低。产品干燥的均匀性亦较好。
- (5) 比较笨重，金属材料耗量大，设备投资较高。占地面积大，传动部件多需经常检修。

- 二、分类和一般结构

- (一) 分类

- 1. 直接加热式 ①顺流式；②逆流式；③混流式；④穿流式；
⑤端面进风式；⑥侧面进风式。
- 2. 间接加热式 ①内置加热管式；②筒壁加热式。
- 3. 复合加热式 热风与物料先顺流加热，后逆流加热。

第九节 回转式干燥机



- 蒸汽管加热转筒干燥机

三、组成和工作流程

- (一) 回转式牧草高温快速干燥设备

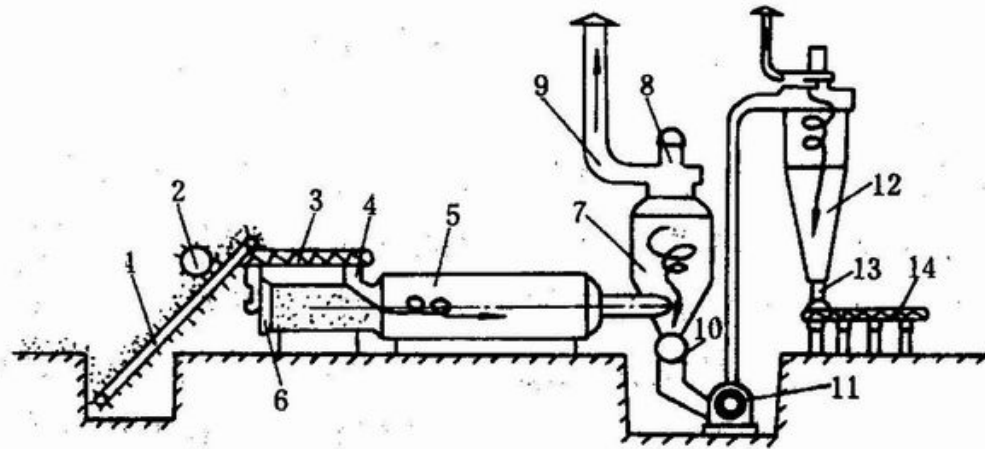


图 9-30 AS-25 型青饲料干燥机组工作原理图

1. 链耙升运器 2. 拨料轮 3. 横向螺旋输送机 4. 倾斜导料槽 5. 转筒干燥器 6. 燃烧炉 7. 主旋风分离器 8. 主吸风机 9. 排烟管 10. 主关风机 11. 粉碎机 12. 旋风分离器 13. 风机 14. 装袋螺旋输送机

- 性能参数：生产能力300kg / h；耗煤135kg/h；耗电30~40kwh。

· (二) 间接加热式回转干燥机

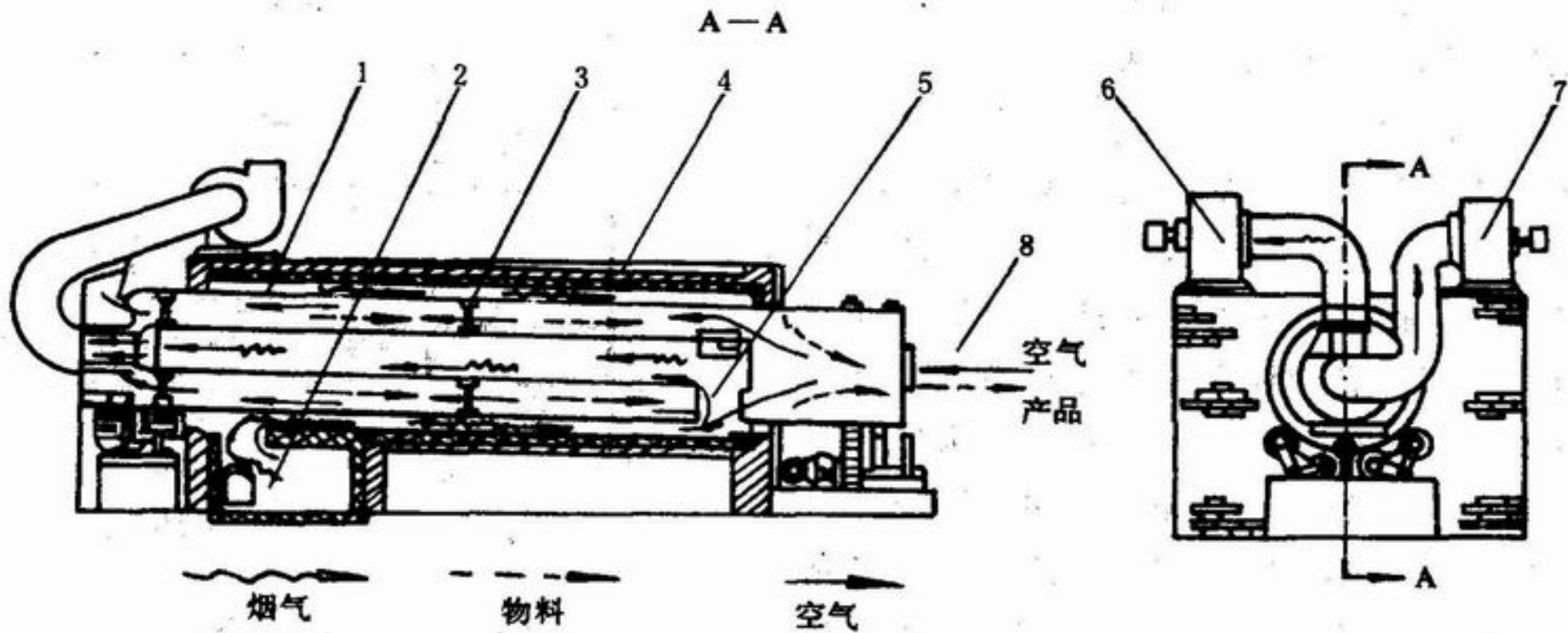


图 9-31 间接加热式回转干燥机

1. 外壳 2. 炉膛 3. 内圆筒 4. 炉壁 5. 连接管 6、7. 风机 8. 出料口



三、转筒干燥设备

- (二) 成套设备组成：
 - 1、高温烟道气供给部分：高温燃烧炉、风温调节装置
 - 2、进料部分：上料搅龙、喂料搅龙、破碎器。
 - 3、滚筒干燥器
 - 4、排料部分：螺旋搅龙。
 - 5、烘干物料的除尘及冷却部分：提升、除杂、冷却装置。
 - 6、称量包装部分：提升机，计量秤、缝包机。

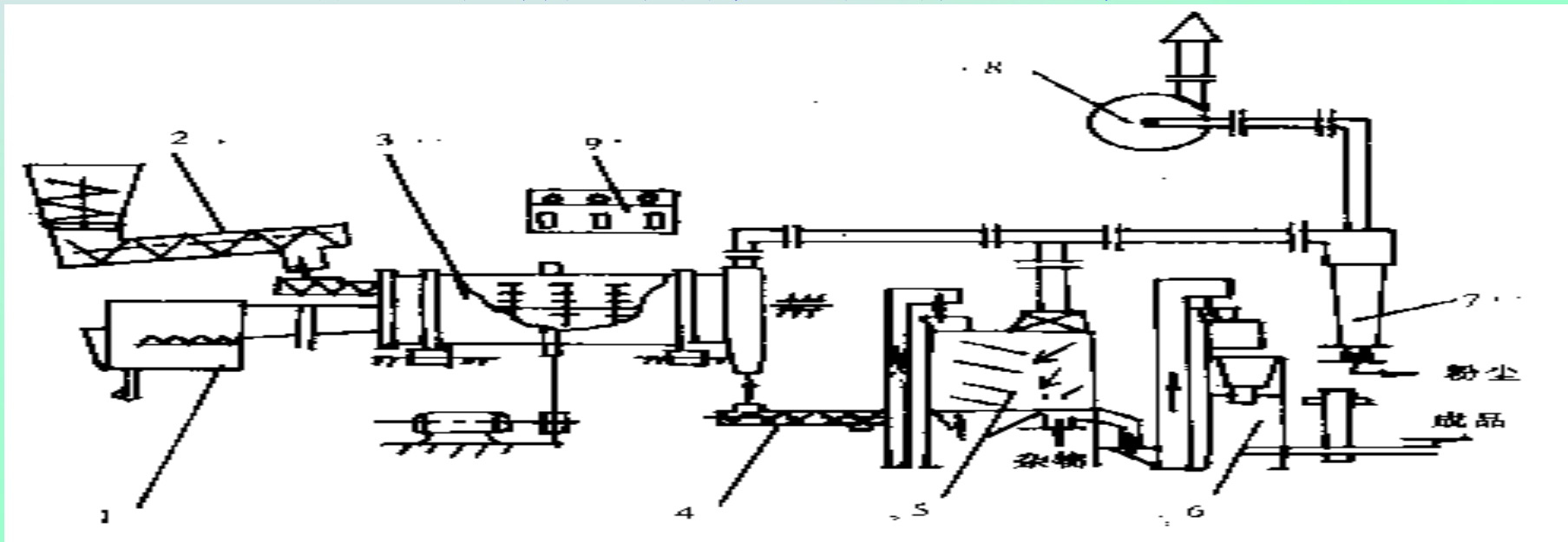


图 7-49 工艺流程图

三、转筒干燥设备

- 7、管路及除尘部分：若干弯管、直管、除尘器。
- 8、风机：引风机、
- 9、操作控制柜：
- (三)主要技术经济指标
- 1、加工处理能力：环境温度20℃，水分蒸发量不少于550千克/小时。
- 2、耗煤量：不大于110千克/小时。
- 3、耗电量：不大于25度/小时。
- 4、设备噪声：89~91分贝。

三、转筒干燥设备

- 5、物料主要营养成分损失：
 - (1)粗蛋白减少量不大于6%。
 - (2)氨基酸总量减少量不大于2%。
 - (3)氨(N)减少量不大于2%。
 - (4)磷(P_2O_5)减少量不大于0.5%。
 - (5)钾(K_2O)减少量不大于0.6%。
- 6、烘干物料卫生指标：
 - (1)细菌总数：不大于2万个/克。
 - (2)大肠杆菌总数：不大于10个/克。
 - (3)沙门氏菌：不存在。
- 7、操作人员：3人。

第十节 真空干燥机

- 特点：保持食品的色、香、味和营养成分。
- 方法：
 - ①真空干燥：在低温、真空状态下蒸发水分。
 - ②升华干燥：使原料中的水冷冻成冰，然后在真空状态下升华蒸发。
- 一、真空干燥设备
- 1、特点：
 - (1)以较低的温度得到较高的干燥速率；
 - (2)热变性小，维生素破坏少，产品表面松软，溶解性和复原性好；
 - (3)适应范围广，且能达到较低的水分。

- 型式：箱型、转筒型、带式连续型、喷雾薄膜型等。

- (一) 真空干燥箱



FZG-YZG真空干燥机

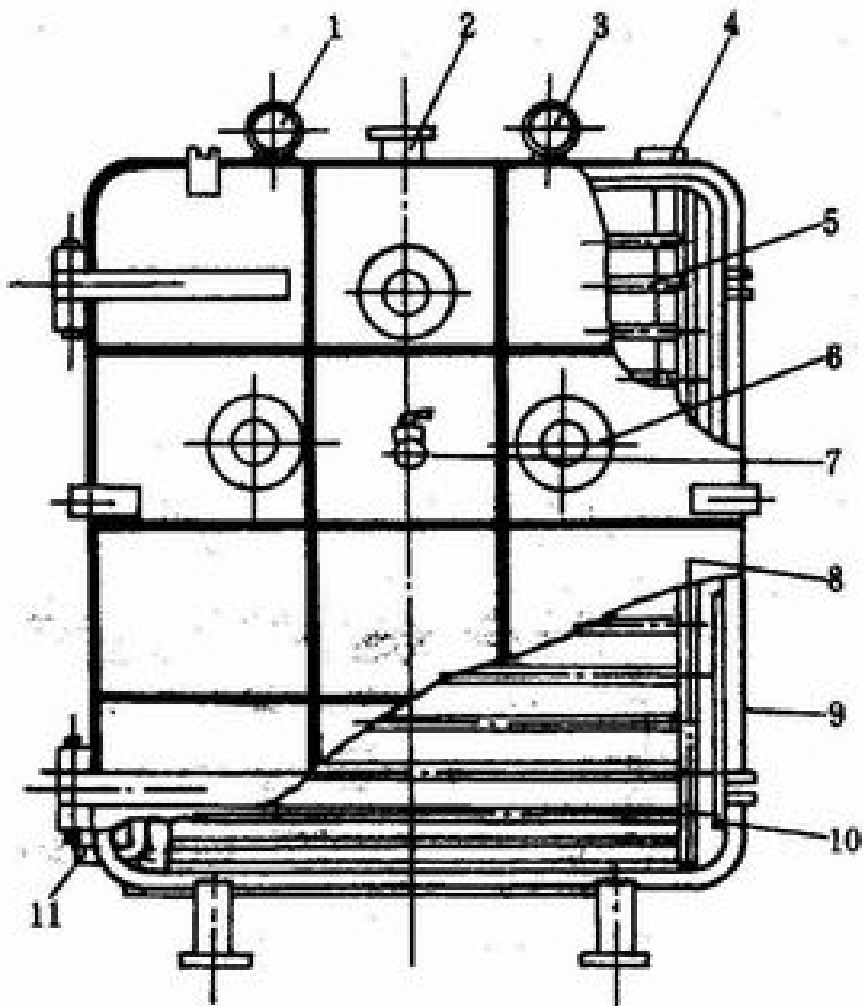
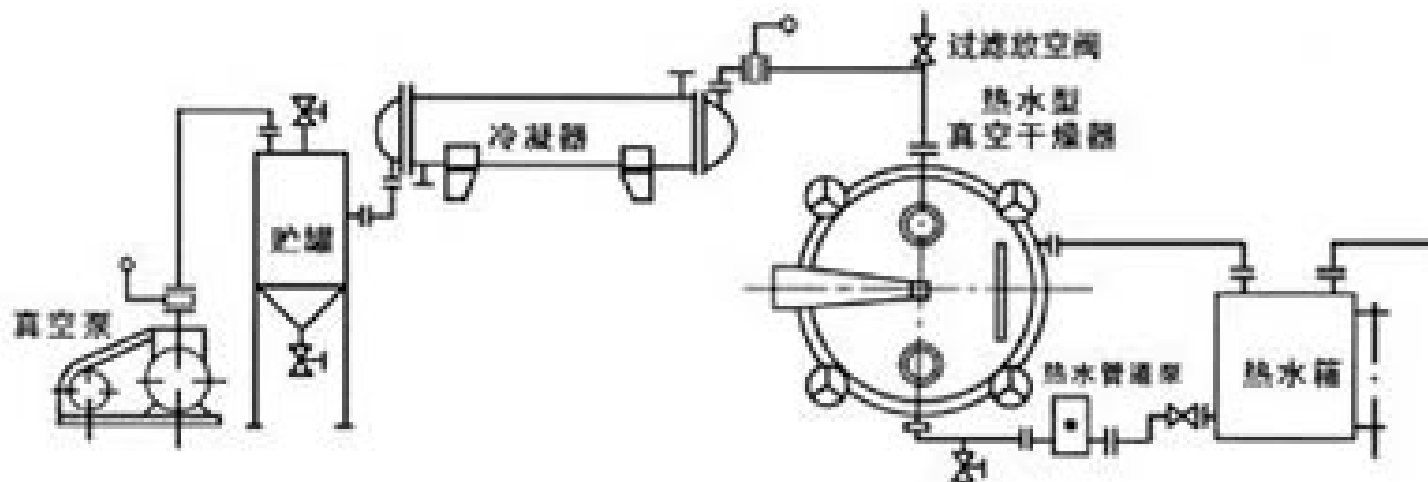


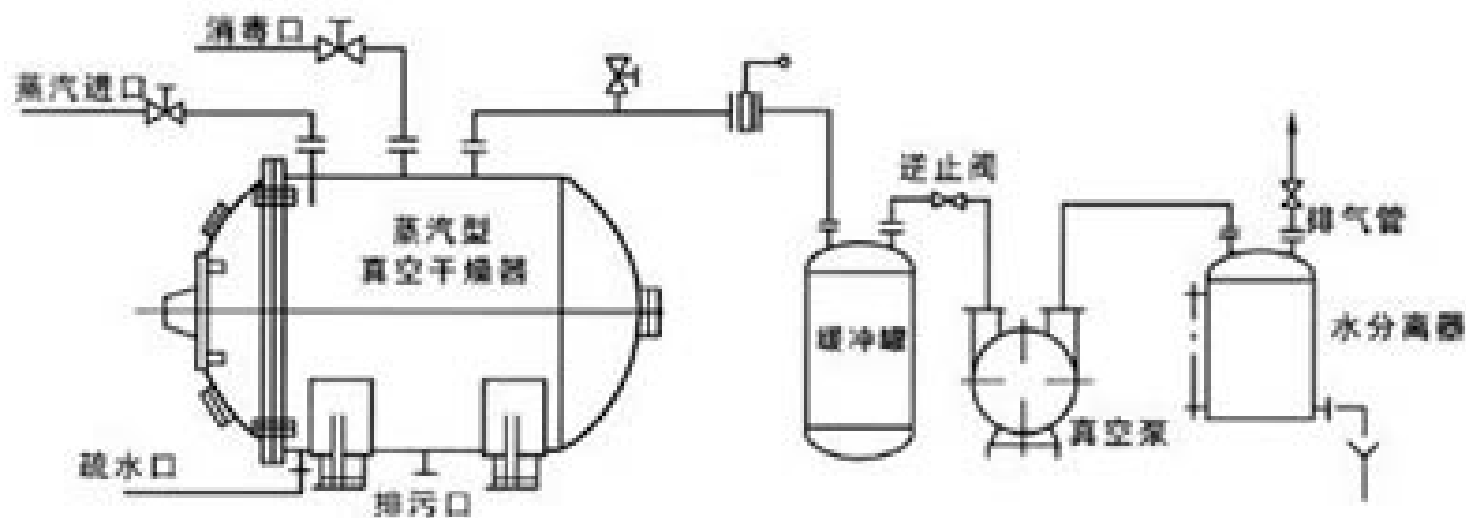
图 9-32 真空烘箱

1. 温度表 2. 真空管接口 3. 真空表
4. 蒸汽进口 5. 加热板 6. 视孔 7. 放汽阀门
8. 门 9. 箱体 10. 门填料 11. 冷凝水出口

热水加热、
溶剂回收真空
干燥系统图



蒸汽加热、
溶剂不回收真空
干燥系统图



(二) 带式连续真空干燥设备

- 加工对象：液态食品
- 产品：泡沫片状，颗粒状
- 特点：干燥时间短，能形成多孔状制品，能避免混入异物，防止污染，可直接干燥高浓度，高粘度的物料。

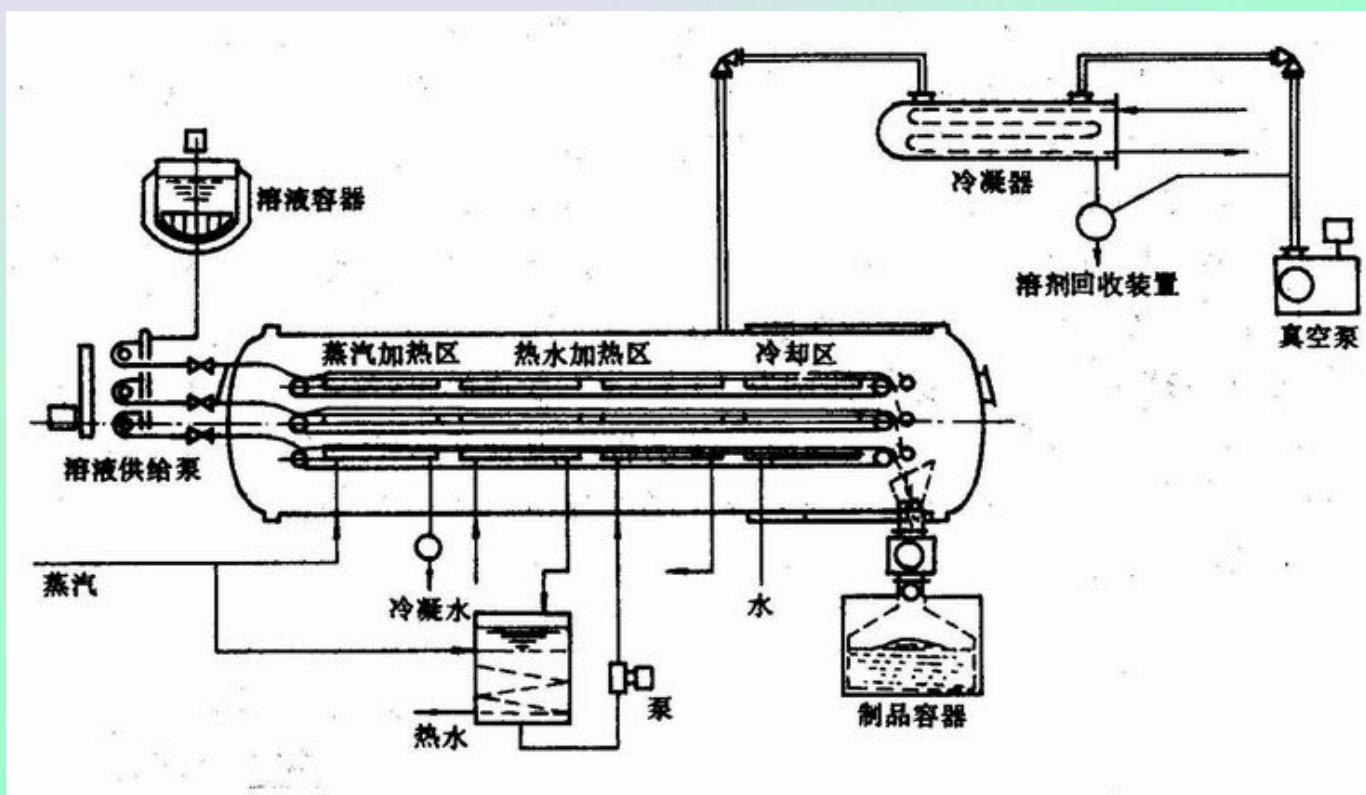
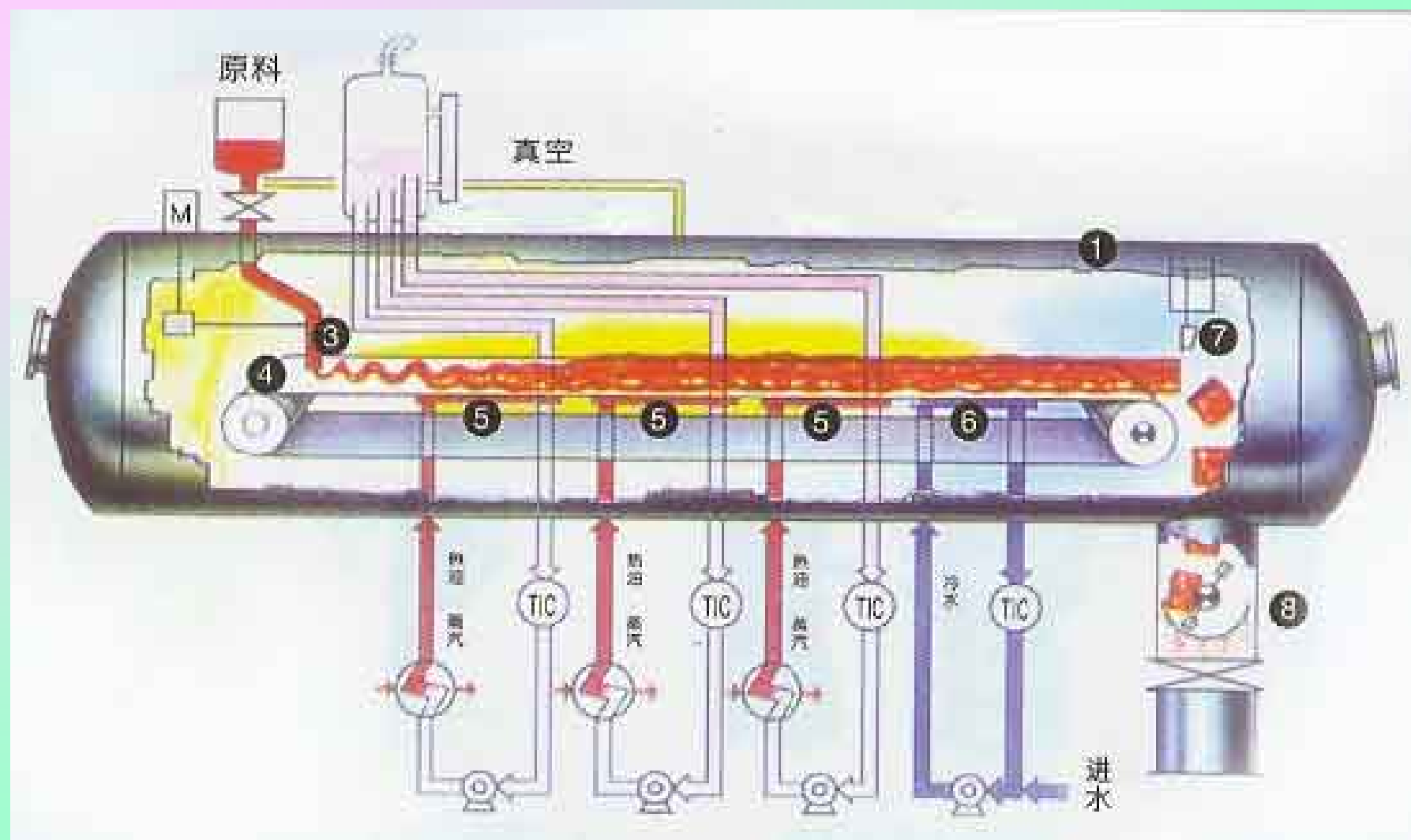
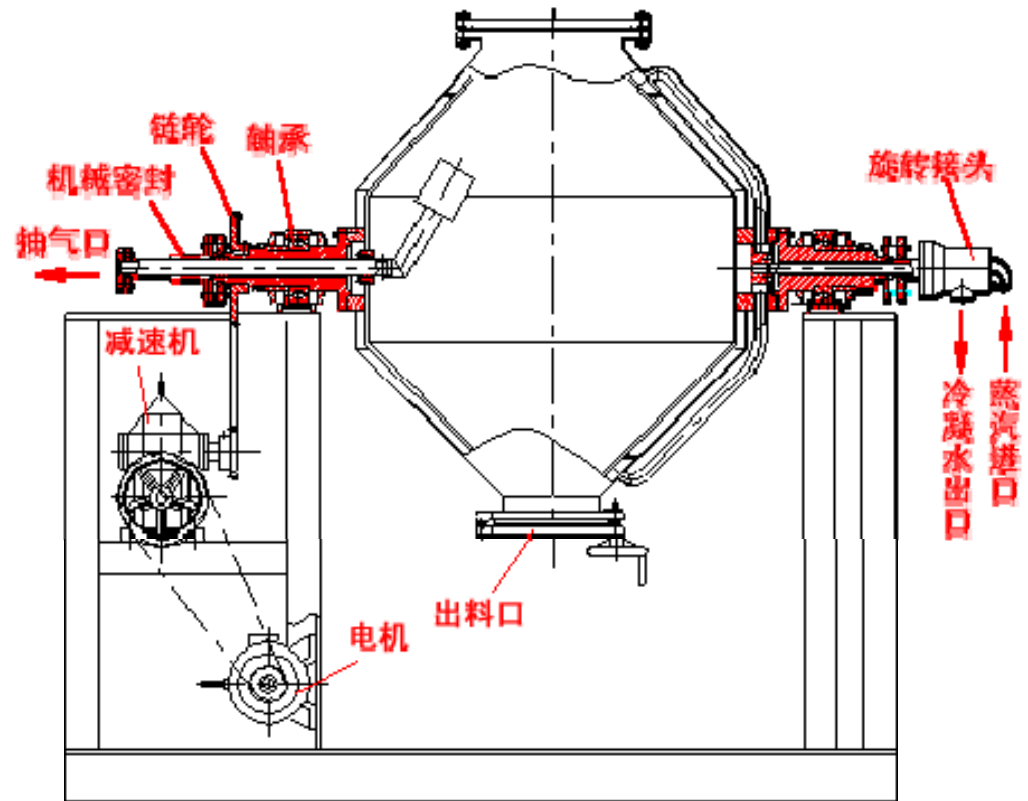


图 9-33 带式真空干燥机流程



双锥回转真空干燥机



• (三) 圆筒搅拌型真空干燥器

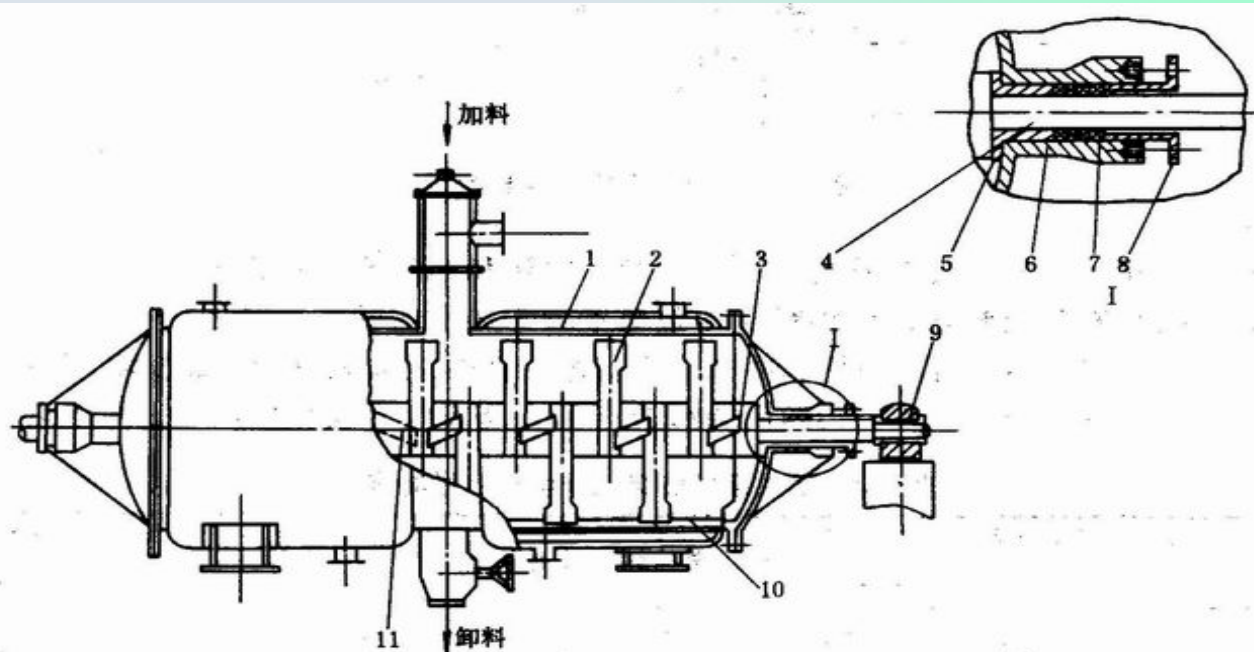
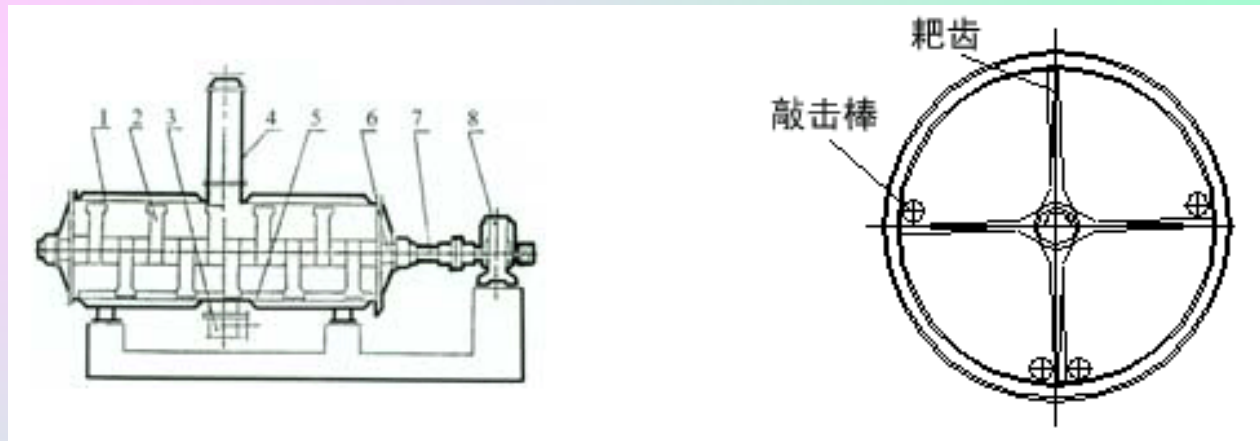


图 9-34 圆筒搅拌型真空干燥器

1. 壳体 2. 耙齿(左向) 3. 耙齿(左向) 4. 传动轴 5. 压紧圈 6. 封头 7. 填料 8. 压盖 9. 轴承
10. 无缝钢管 11. 耙齿(右向)

真空耙式干燥机





制造中的耙式干燥机



加工制造中的筒体

(四) 冷冻(升华)干燥设备

- 1、特点：
 - (1) 物料的色、香、味和性状等几乎无变化，复原性良好，维生素保留较高。
 - (2) 制品含水率可达1~5%，能长期保存。
 - (3) 制品复水迅速，食用方便，但吸湿性强，质脆易碎。
- 型式：箱型、转筒型、圆锥型、隧道型。
- 2、箱式冷冻干燥设备组成：干燥箱、冷凝器、

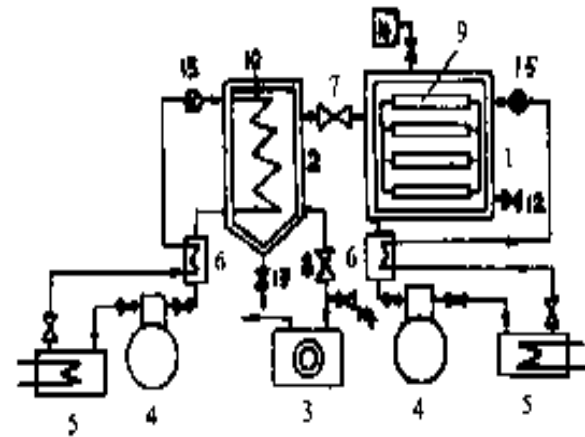


图 7-52 箱式升华干燥设备组成示意图

1. 冷冻干燥箱; 2. 冷凝器; 3. 真空泵; 4. 制冷压缩机 (冷冻机); 5. 水冷却器;
6. 热交换器; 7. 冷冻干燥箱冷凝器阀门; 8. 冷凝器真空泵阀门; 9. 板温指示; 10. 冷凝温度指示;
11. 真空计; 12. 冷冻干燥箱放气阀门; 13. 冷凝器放出口; 14. 真空泵放气阀; 15. 膨胀阀;

冷冻 (升华)干燥设备组成

- (1) 冷冻干燥箱

密封，制冷： -40°C 以下，加热： $+50^{\circ}\text{C}$ ，搁板：数层，可观察，可控制。

- (2) 冷凝器

- 功能：凝结箱内水蒸气，降低箱内温度，减轻真空泵负荷。
- 结构：为一真空密封容器，内有金属冷凝管。

- (3) 真空泵及真空测量仪表

- 泵：旋片式，滑阀式。
- 仪表：水银真空计，热偶，热阻式真空计。

- (4) 制冷系统与加热系统

- 制冷：由冷冻干燥箱，冷凝器，冷冻机，管路组成。冷冻，冷凝可合用一套冷冻机，也可独用二套。
- 加热系统功能：使冷冻工作箱内搁板升温，使固态水升华。
- 加热方式：直接加热法、间接加热法。

箱式冷冻干燥设备

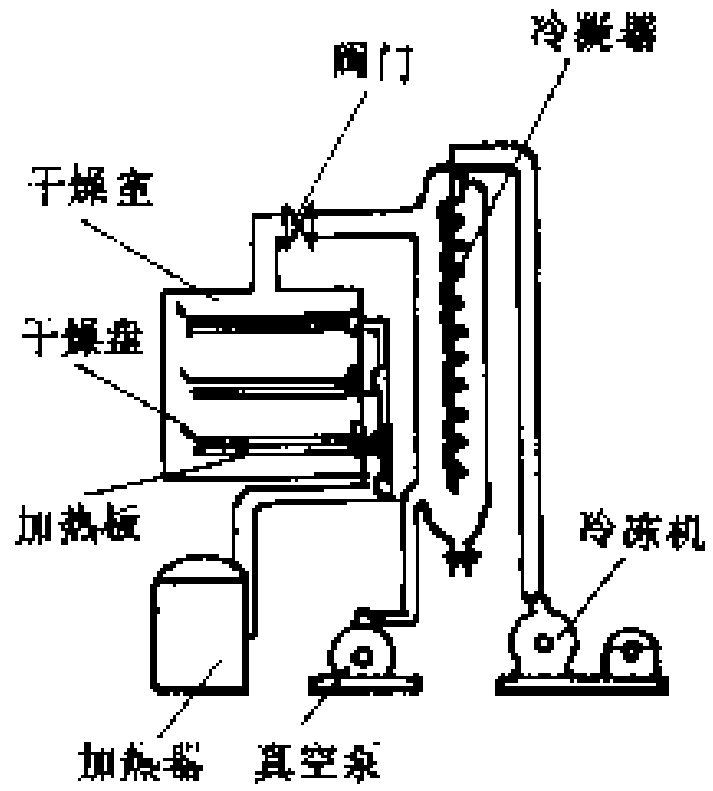


图 7-53 箱式冻结干燥设备（合用一套冷冻机）示意图





- CJS-100 食品冻干机



GLZY
-50B
药品
冻干
机

2、箱式冷冻干燥设备

- (5)控制系统
 - 组成：各种开关、安全装置。
 - 功能：制冷，真空系统的控制及安全保护。
- 3、转筒型冷冻干燥设备
 - 组成：转筒(密封)、加热、冷凝、抽气、供料等部分。
 - 操作：颗粒料—冷冻—加入转筒—密封抽气—加热升华—出料。
- 4、冷冻干燥操作流程
 - 料—前处理—预冻—干燥—包装。
- ①前处理
 - 包括选料、切块、洗涤、杀青等。

4、冷冻干燥操作流程

- ②预冻(冷冻)
 - 使液态或气态的水变成固态的冰。
 - 温度： $-20\sim-40^{\circ}\text{C}$,
 - 冷冻速度越快，冰晶越小，但升华热效率低。
- ③干燥：在真空下进行、分升华、剩余水分蒸发两个阶段。
 - 升华：排除固态冻结水。
 - 剩余水分蒸发：升华后残留解冻后水分的蒸发。
- ④包装：用防湿材料在低湿度(20%以下)作业。

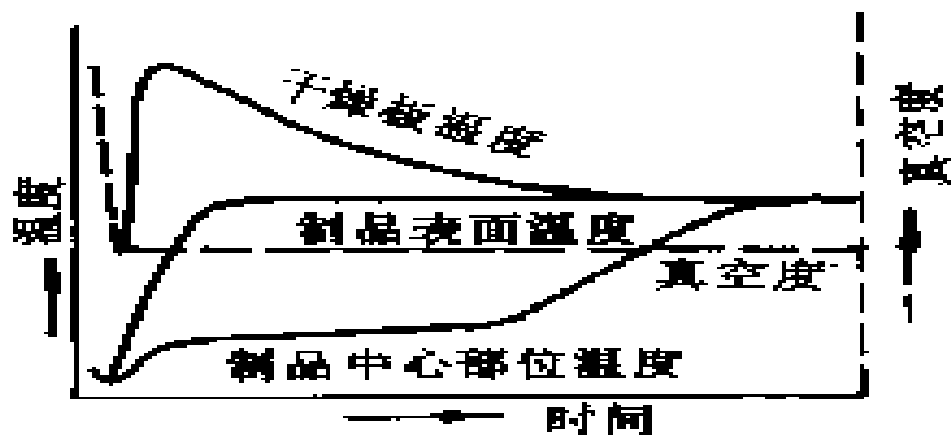


图 7-54 冻结干燥图

第十一节 对流干燥的选型与衡算

- 干燥：传热过程(气流传递热量给物料)
- 传质过程(物料传递水分给气流)
- 两变(料、气的温度、含水率)
- 两不变(料、气的干物质)
- 一、物料衡算
- 目的：计算水分蒸发量和空气消耗量。
- 方法：以干物质为基准。
- 1、单位时间水分蒸发量计算，设：
 - m_1 —进料质量； m_2 —出料质量；
 - M_1' —进料含水率，db； M_2' —出料含水率，db；
 - M_1 —进料含水率，wb； M_2 —出料含水率，wb；
 - M_d —料干物质质量； M_w —料失去水分质量；

一、物料衡算

- 干物料衡算方程

$$M_d = m_1 (1 - M_1) = m_2 (1 - M_2) \quad (\text{kg / hr})$$

- 失去水分量

$$\begin{aligned} M_w &= m_1 M_1 - m_2 M_2 = m_1 \frac{m_1 - m_d}{m_1} - m_2 \frac{m_2 - m_d}{m_2} \\ &= m_1 - m_2 \end{aligned}$$

- 降水率

- $$W = M_1 - M_2$$

一、物料衡算

- 2、干燥介质耗量计算
- ①料、气带入的水分 = 料、气带走的水分
- ②单位时间介质增加的水分 = 料失去的水分
- 即：料失去水分质量

$$M_w = m_{da} (d_2 - d_1)$$

干空气量

$$m_{da} = M_w / (d_2 - d_1)$$

d_1 , d_2 —干燥开始和结束时空气的含水率。

二、热量衡算

- 除去1千克水所需干空气量 g_{da}

$$g_{da} = \frac{m_{da}}{M_w} = \frac{\text{干空气流量}}{\text{料的失水量}} = \frac{1}{d_2 - d_1}$$

- 二、热量衡算

- 1、烘干室中的热平衡方程：

- 进入烘干室中的热量由介质带入的热量和被干燥物质本身具有的热量组成。

- ①干燥介质带入的热量

- $$m_{da} h_1 = m_{da} h_0 + Q$$

h_0 , h_1 — 进入加热器前后空气的热焓值, Q — 加热器传给空气的热量

二、热量衡算

- ②原料带入的热量

$$m_1 c_1 t_1 = m_2 c_2 t_1 + m_w c_w t_1$$

- ③烘干室排出的热量

- a、废气带走的热量： $m_{da} h_2$

- b、物料带走的热量： $m_2 c_2 t_2$

- c、损失的热量： $Q_L = kA \Delta t$

- 烘干室的热平衡方程

$$m_{da} h_1 + m_2 c_2 t_1 + m_w c_w t_1 = m_{da} h_2 + m_2 c_2 t_2 + Q_L + m_w c_w t_2 + m_w r_w$$

介质 料 废气 料 损失 水 水气化

- 2、加热器供热量

$$Q = m_{da} (h_2 - h_0) + m_2 c_2 (t_2 - t_1) + Q_L + m_w c_w (t_2 - t_1) + m_w r_w$$

二、热量衡算

- 蒸发每千克水所需供热量 q
- $q = Q / m_w = g_{da}(h_2 - h_0) + g_2 c_2 (t_2 - t_1) + q_L + c_w (t_2 - t_1) + r_w$
- 蒸发每千克水的耗煤量 G_0
- $G_0 = q / Q_H \eta_T$

三、干燥机的热效率

- 热效率 = 蒸发水分热量 Q_0 / 实际消耗的热量 Q_p

- $$Q_0 = w_0 r$$

- $$r = 4180 (579 - 0.56 t_2)$$

w_0 : 在烘干室和冷却室中蒸发的水分量

- $$Q_p = m_f Q_H$$

m_f : 实际消耗的燃料质量。

- 干燥机的热效率

$$\eta = w_0 r / m_f Q_H$$

一、选型前需要确定的条件和要求

- (一) 当地的资源与自然条件
 - 1. 热源和动力 可提供的煤、电、油等情况。
 - 2. 原料来源地、批量与供料季节、方式等。
 - 3. 自然条件温度、相对湿度等。
 - 4. 交通运输道路与运输设备等。
- (二) 物料性能及干燥特征
 - 1. 物料的形态包括大小、形状、固态或液态等。
 - 2. 物料的物理特性包括密度、粘附性和水含量及其结合状态等。
 - 3. 干燥特性包括热敏性和受热收缩、表层硬结等性质。

- (三) 对干燥产品的要求

- 1. 对产量要求
- 2. 对产品形态的要求
- 3. 对产品水分的要求
- 4. 对产品干燥均匀性的要求
- 5. 对产品的卫生要求

- 二、选型的步骤

- 1. 按湿物料形态、物理特性，初选干燥器类型。
- 2. 按投资能力和处理量的大小，确定规模，操作方法。
- 3. 根据物料的特性和对产品品质的要求，确定干燥方式。
- 4. 根据热源条件和干燥方法，确定加热装置。
- 5. 按处理量估算出干燥器的容积。
- 6. 按原料、设备、及作业等费用，估算产品成本。

第五章 食品包装、灌装

食品包装、灌装：采用适当的包装材料或容器将食品封闭起来，在规定的时间内，经过贮藏和流通环节，安全地到达消费者手中的操作。

- **包装、灌装机械：**进行包装作业的设备称为包装机械，主要用途有：用于加工包装材料、包装容器和装璜印刷的机械设备；用于完成包装过程的机械设备。
- **分类：**按其功能可分为袋装机、裹包机、热收缩包装机、真空与充气包装机、高压蒸煮袋包装机和充填灌装机械设备等。
- **组成：**由动力机、传动部分和执行部分所组成，后两部分是基本组成部分。

第一节 袋装

- **袋装机械：**将物料装入柔性材料制成的包装袋，然后进行排气或充气、封口以完成产品的包装所用机械，称为袋装机械。
- **制袋材料：**制袋用的柔性材料如纸、蜡纸、塑料薄膜、铝箔及其复合材料等。
- **塑料薄膜及其复合材料**具有良好的热封性、印刷性、透明性和防潮透气性等特点，因此，在实际生产中获得了广泛的使用。
- **袋装趋势：**由最初的散粒体到液体、气体、胶体和大块状的固体，使袋装逐渐替代灌装，罐装和裹包等传统包装形式。

一、袋装机的工作过程

- 袋装机是采用热封的柔性包装材料，自动完成制袋、物料的计量和充填、排气或充气，封口及切断等多功能的包装设备，可用于包装液体、固体和气体物料，是目前发展最为迅速、应用最为广泛的一种包装机，实线为基本操作程序，虚线为辅助的工作程序。
- 这类包装机有卧式和立式两种类型。

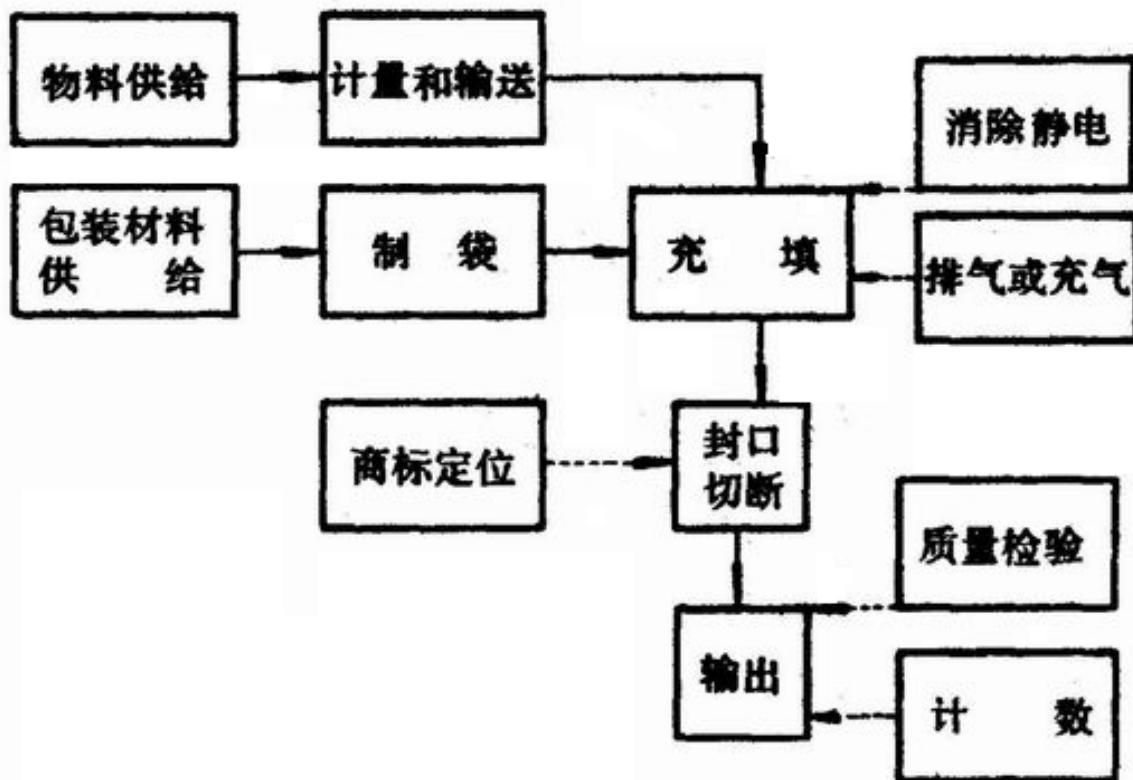


图5-1 袋装机的工作过程

- 二、袋的基本形式
用袋装机加工的塑料薄膜，有下列几种：

- 1. **枕形袋** 按接缝方式可分为纵缝搭接袋和纵缝搭接侧边折叠袋。

- 2. **扁平袋** 可分为三面封口袋和四面封口袋。

- 3. **自立袋** 其中常见的有尖顶角形袋、椭圆柱形袋、三角形袋和立方柱形袋。

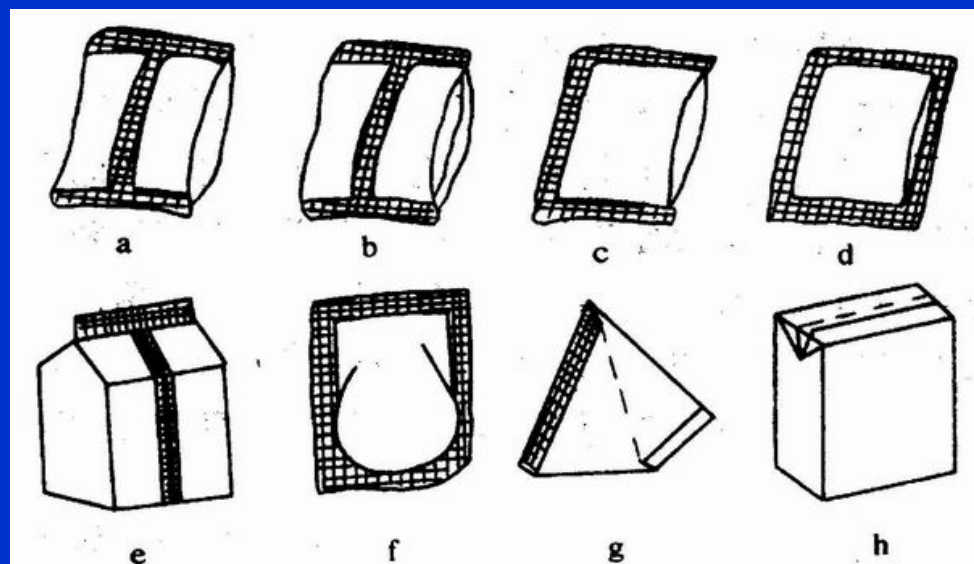


图 10-2 各种袋形

a. 纵缝搭接袋 b. 纵缝搭接侧边折叠袋 c. 三面封口袋
d. 四面封口袋 e. 尖顶角形袋 f. 椭圆柱形袋
g. 三角形袋 h. 立方柱形袋

• 三、袋装机的种类

- 袋装机有立式和卧式。
- (一) 立式袋装机 又可分为制袋式袋装机和直移型给袋式袋装机。
- 1. 制袋袋装机 适用于生产枕形袋、三面封口袋、四面封口袋、扁平袋及自立式袋。按袋形制作不同,可分为:
 - (1) 翻领成型制袋式袋装机

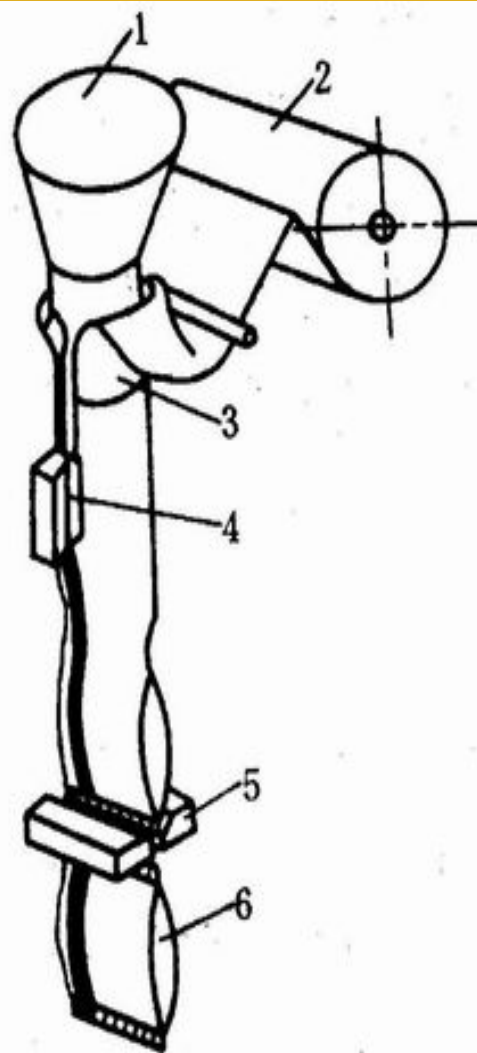


图 10-3 翻领成型制袋式袋装机

1. 料斗 2. 塑料薄膜卷筒 3. 翻领成型器 4. 纵封加热器
5. 横封加热器与切断器 6. 成品袋

- (2) 塔形与立方柱形制袋式袋装机
- 该机主要用来灌装和包装液体饮料。包装容器为塔形和立方形。
- 消毒：过氧化氢（俗称双氧水 H_2O_2 ）
- 折成圆筒状：
- 无菌空气加热，
- 压合成纵封缝。
- 料液进入圆筒状包装袋
- 袋内液面杀菌消毒

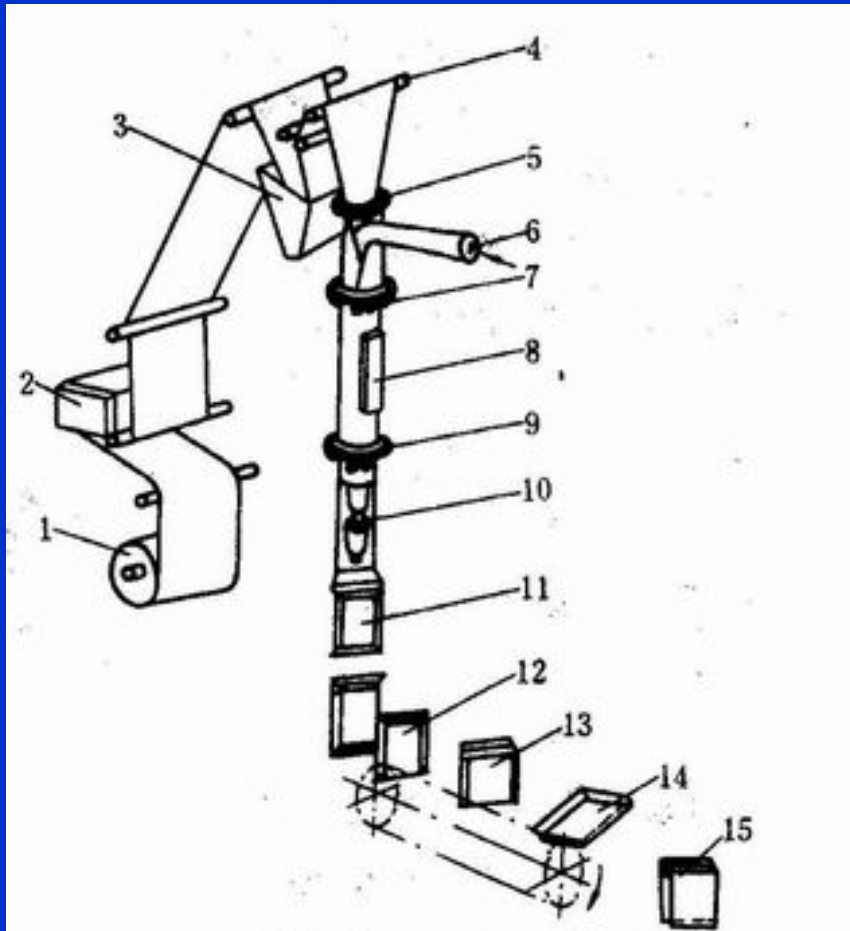


图 10-4 立方柱形制袋式袋装机

1. 薄膜卷筒 2. 印刷装置 3. 双氧水槽 4. 导
 辊 5、7、9. 成型环 6. 液体进料管 8. 纵封加热
 器 10. 螺旋式加热器 11. 封口成型切断
 12. 人链式输送机 13. 折翼 14. 折角
 15. 成品

- 立方柱形与塔形包装产品。
- **塔形包装**，上下两只横封切断器成90度空间交错，分别作上、下与开合运动。以完成包装物品的横封和切断。
- **立方柱形包装**，借助两对直角成型横具与横封口在开合及上、下的复合运动，将液面下的筒状料袋向下拉动并成形、封口和切断。
- 热封是采用电脉冲封接方式，通电预热封接，断电冷却。

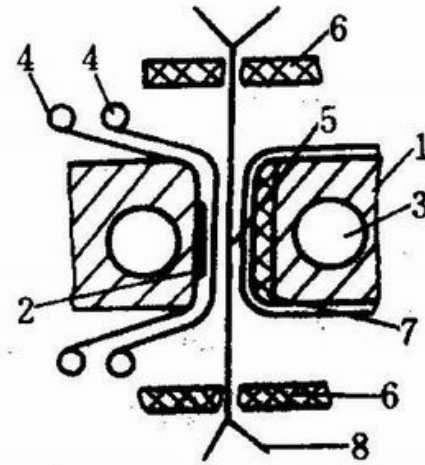


图 10-5 横封切断装置

1. 横封钳 2. 电热丝 3. 冷却小管 4. 聚四氟乙烯
5. 常热切割丝 6. 上、下夹钳 7. 硅橡胶 8. 包装袋

- 2. 直移型给袋式袋装机
- 按输送链行走路线可分为直移型和回转型两种。

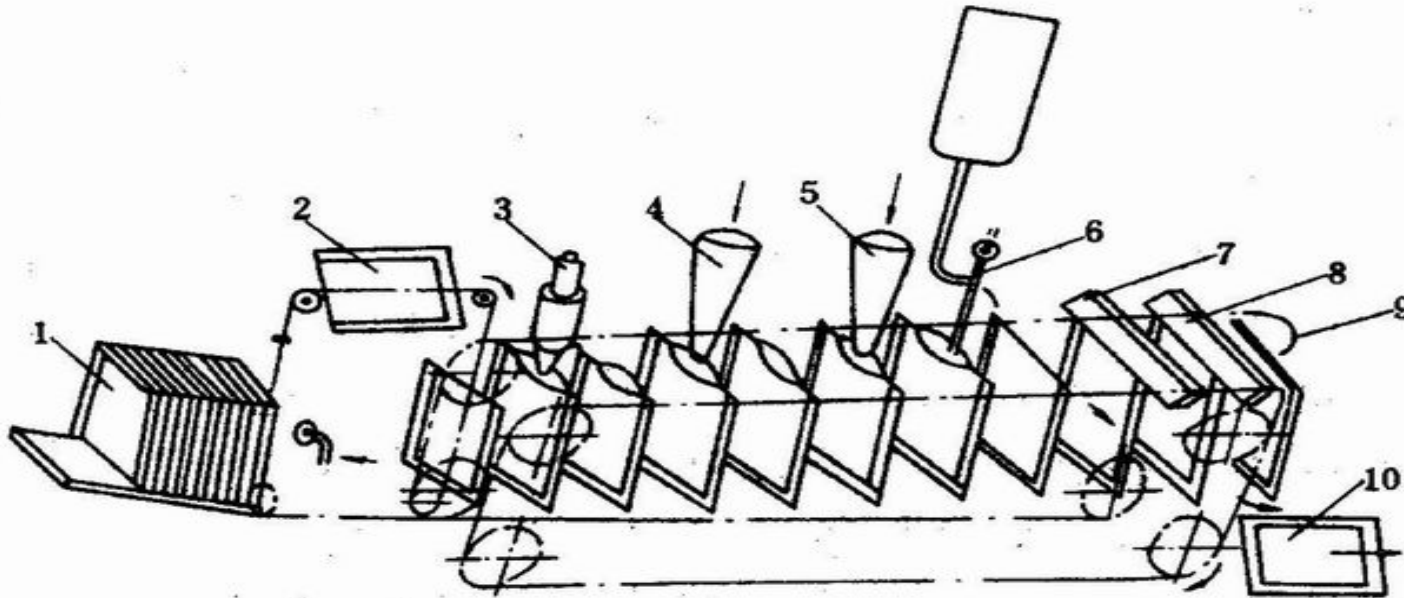


图 10-6 直移型给袋式袋装机

1. 空袋箱 2. 空袋供送 3. 吹气张开袋 4. 5. 固体物料料斗 6. 液体加料器 7. 加热封口器 8. 冷压定形 9. 链式输送机 10. 成品

(二) 卧式袋装机

- 立式袋装机多用于液体饮料的制袋、装料（充填）和封口。
- 卧式袋装机多用于饼干、糕点、方便面、冰棒和雪糕等块状物料的包装。

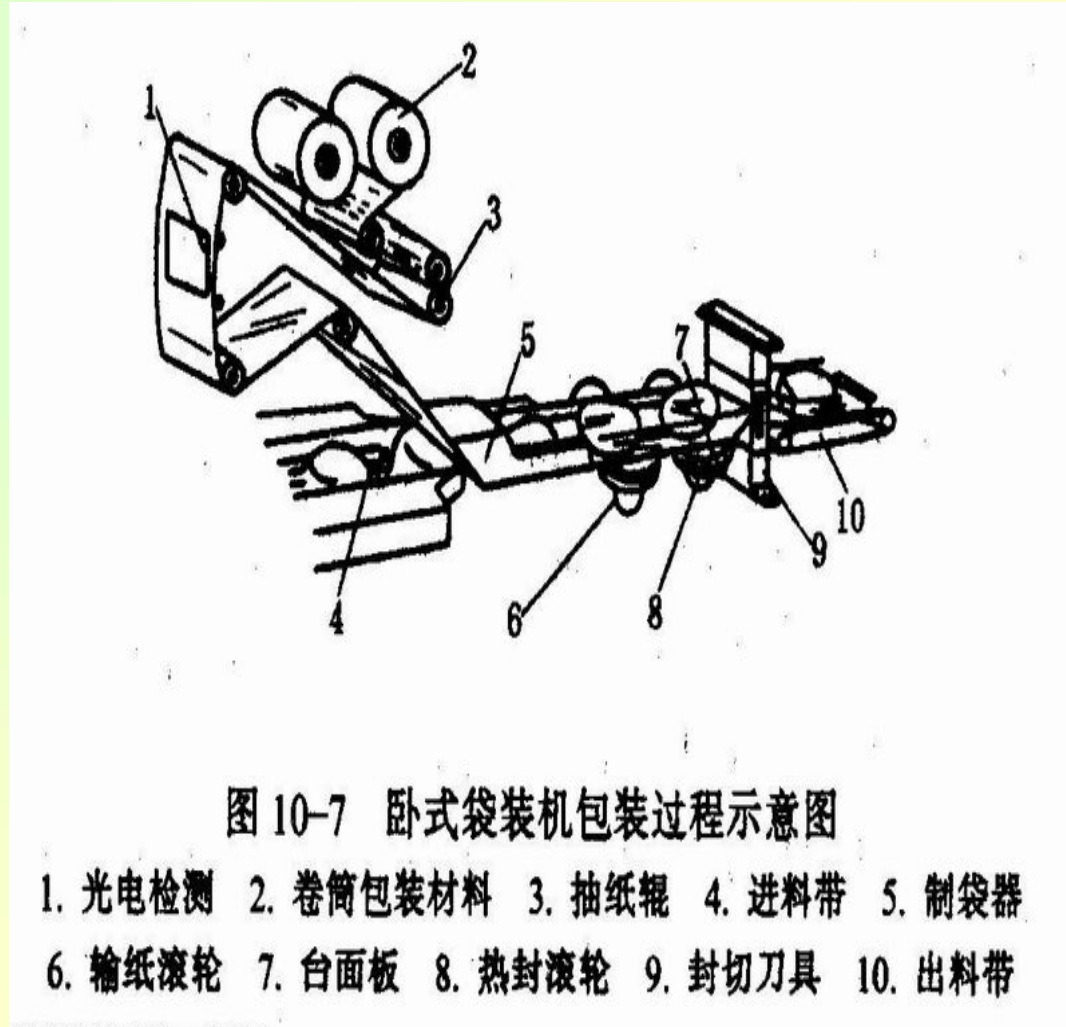


图 10-7 卧式袋装机包装过程示意图

1. 光电检测 2. 卷筒包装材料 3. 抽纸辊 4. 进料带 5. 制袋器
6. 输纸滚轮 7. 台面板 8. 热封滚轮 9. 封切刀具 10. 出料带



- XLB-FB半自动充填包装机 XLB-FD全自动立式粉剂包装机 XLB-DG立式全自动三角包装机



- XLB-KX颗粒包装机

- XLB-FX粉剂包装机

- XLB-BL链斗式半自动包装机

第二节 裹包机

包装材料：纸、铝箔、塑料薄膜及复合薄膜等，

对象：块状物料

根据物料的形状、性质和不同的包装要求，有各种裹包形状。

一、端折式裹包 饼干、面包、香烟等的包装，折角后进行粘合或热合以防松开。

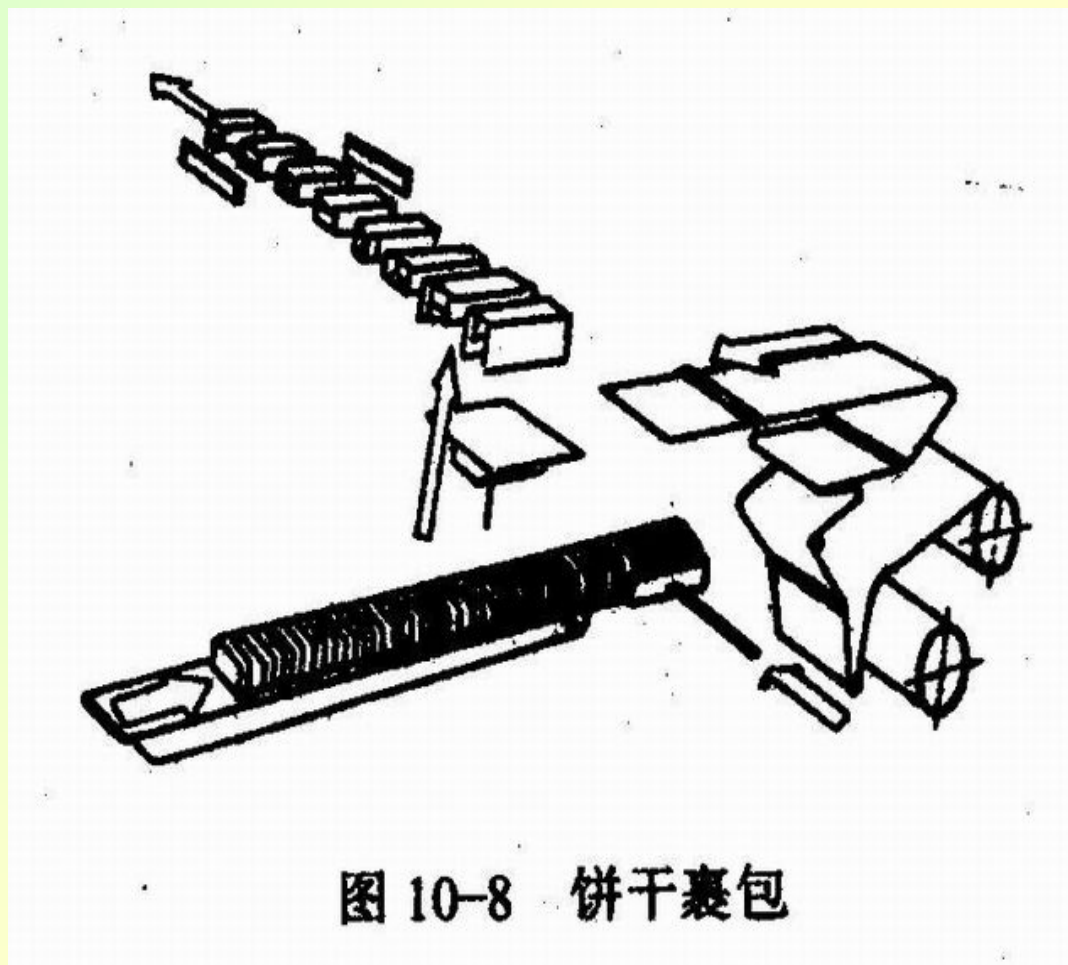
二、扭结式裹包 分为双端扭结式（如糖果和冰棒等）和单端扭结式（如冰糕等）。

三、粘合式裹包 由两层包装材料夹住物料，并粘合在一起。

四、热缩式裹包 即用热缩性材料进行裹包，而后加热，使包装材料收缩，达到裹紧物料的目的，如糖果和碗碟的包装等。

根据包装形状、包装程序和方法的不同，所用包装机也不相同，主要有端折式裹包机和扭结式裹包机等。

端折式裹包饼干的包装过程



第三节 热收缩包装机

一、工作原理:

利用热收缩材料的受热收缩特性进行包装

- **二轴延伸热收缩膜**，其纵横两个轴向延伸量几乎相等。这种薄膜可用于包装新鲜食品、托盘和容器瓶口的密封包装。
- **一轴延伸热收缩膜**，它只向一个方向延伸，适用于管状收缩包装，如酒类容器，塑料瓶、玻璃瓶和盖的密封包装等。
- **特点:**包装迅速、工效高、成本低、操作方便。
- 热收缩塑料薄膜的强度、透明度和延伸率均比一般塑料薄膜好。它的延伸率为 $1 : 4 \sim 1 : 7$ ，而普通薄膜的只有 $1 : 2$ 。

- 收缩率

- 收缩率 = $(L_1 - L_2) / L_1 \times 100\%$,

- L_1 为原始长度,

- L_2 为在 120°C 的甘油中, 浸放 $1 \sim 2\text{ s}$ 经水冷后的收缩长度。

- 收缩薄膜种类:

- 聚氯乙烯 (PVC)、

- 聚乙烯 (PE)

- 聚丙烯 (PP),

- 聚偏二氯乙烯 (PVDC),

- 聚酯 (PET),

- 聚苯乙烯 (EPS),

- 乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA) 等几种。

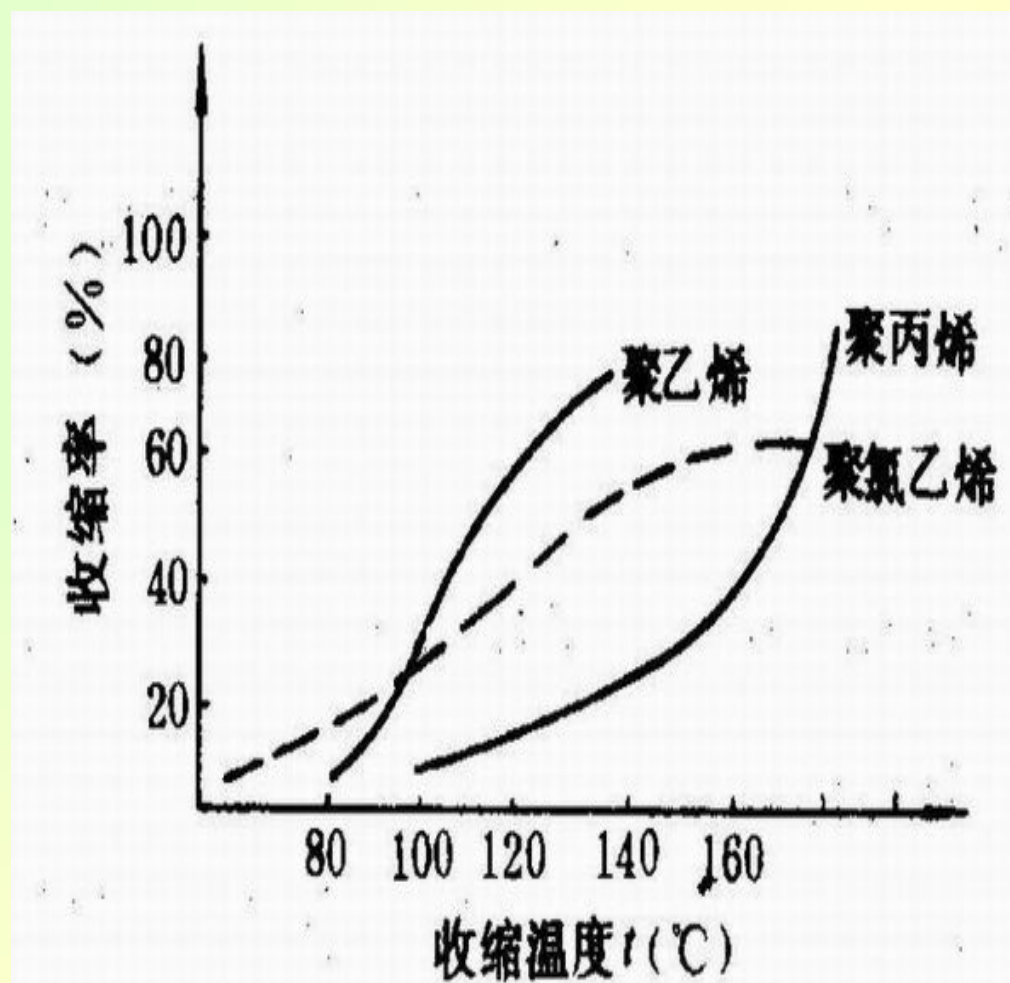


图 10-9 收缩温度与收缩率的关系

二、包装方法

- 有三种热收缩包装方法。

- (一) 搭接收缩包装法

- (二) 套筒收缩包装法

- (三) 罩盖式收缩包装法

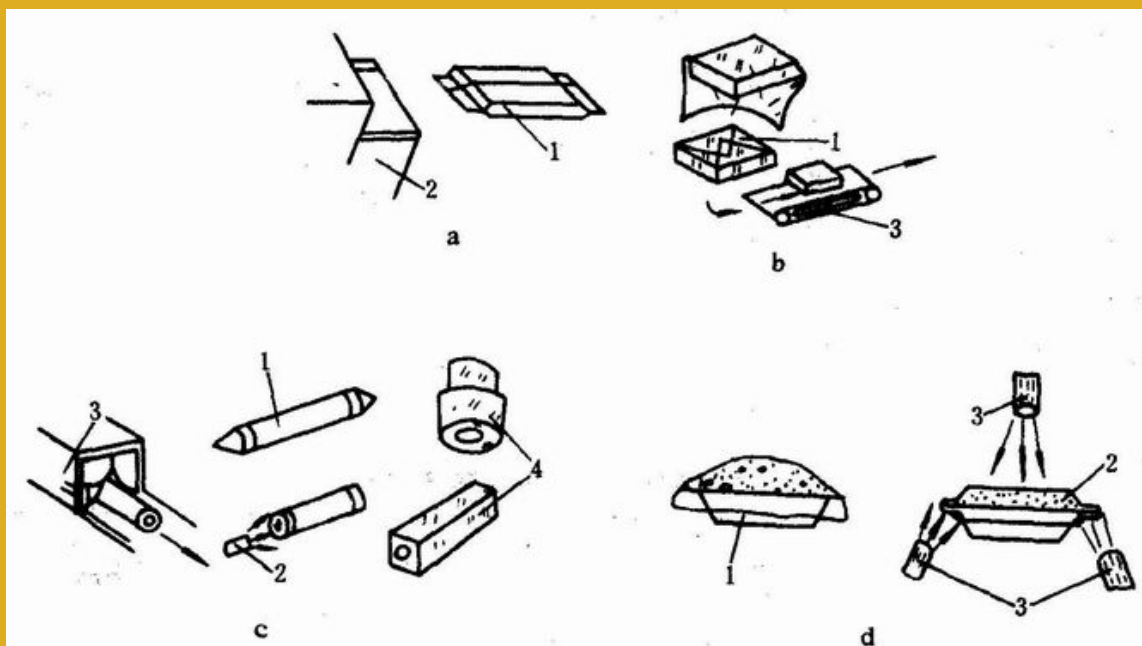


图 10-10 热收缩包装方法

- a. b. 搭接法 1. 包封后的被包物 2. 热缩隧道 3. 加热输送带
c. 套筒法 1. 热缩前包装物 2. 用热风喷嘴热缩 3. 用热隧道热缩 4. 热缩后包装物
d. 罩盖法 1. 加盖薄膜未热缩包装物 2. 用热风喷嘴热缩的包装物 3. 热风喷嘴

- (四) 加热方法 主要有两种

- 1. 热缩通道加热

- 2. 热风枪手工加热 对于批量小，不适于建造专用的加热通道的收缩包装，可以采用热风枪手工加热。

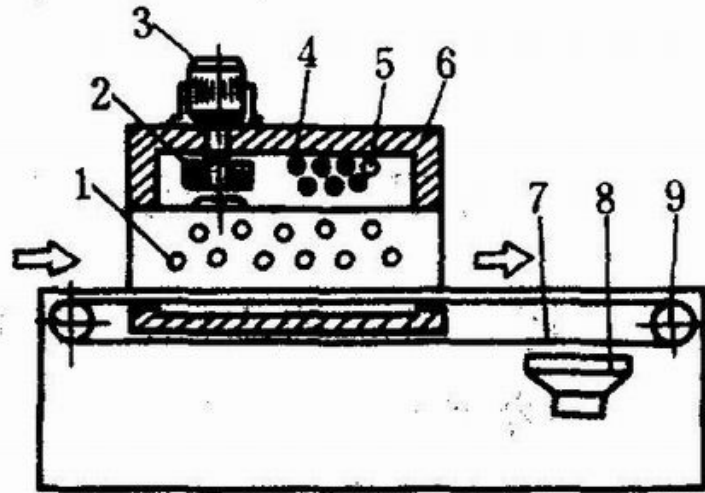


图 10-12 加热通道

1. 热风出口 2. 风机 3. 电机 4. 加热元件
5. 热电偶调温装置 6. 加热箱 7. 输送带
8. 冷风机 9. 主动轮

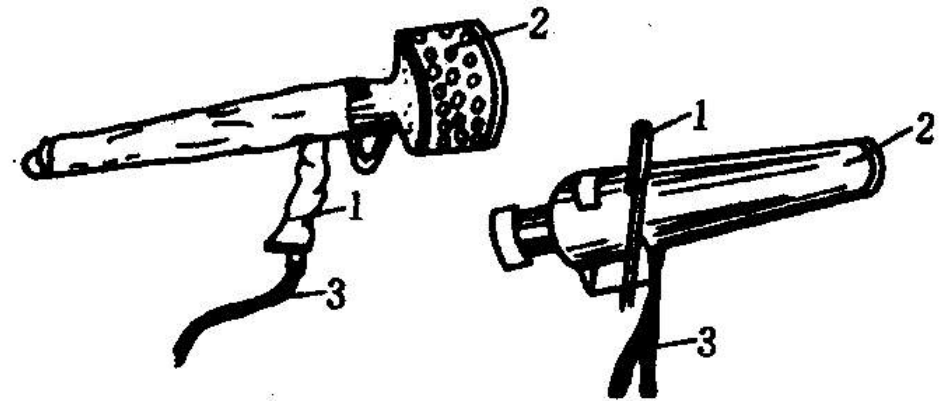


图 10-13 热风枪

1. 手柄 2. 热风吹口 3. 电线



• 全自动托盘式收缩包装机



全自动叠加型热收缩包装机



全自动套膜封切收缩包装

第四节 真空包装机与真空充气包装机

• 一、工作原理

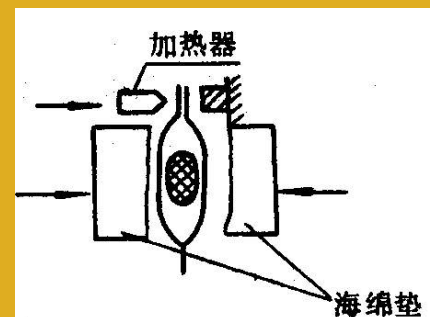
- 抽真空的目的是：
 - ①除去空气，以防止细菌繁衍导致食品腐败，或阻止金属的氧化生锈；
 - ②便于密封后加热杀菌，防止空气膨胀使包装件破裂；
 - ③缩小膨松物品的体积，便于保存、运输，并节省费用；
 - ④防止食品氧化和变质。
- 为了保护内装物和延长保存期，还可在抽真空后再充入其他惰性气体，如二氧化碳和氮气等，称为真空充气包装。

• 二、真空包装机和真空充气包装机的分类

- 按照包装材料的不同、可分为金属罐真空包装机（即真空封罐机）和塑料容器真空包装机两大类。
 - （一）真空封罐机 它将已经计量充填后的金属罐送入真空腔进行抽气和封口的设备。封罐时采用机械卷边挤压密封。
 - （二）塑料容器真空包装机 可分为机械挤压式和腔室式等型式。

- 1. 机械挤压式真空包装机

- 用海绵类物品挤压塑料袋，以排除袋内空气，随即进行热封。当食品温度在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时，袋内充满水蒸汽，而不是空气，采用此法可以得到近乎真空的包装，故此法又称热封真空包装。



- 2. 腔室式真空包装机

根据结构形式不同，有如下几种：

- (1) 合式真空包装机

塑料袋放在台面上的承受盘 9 的腔室内，关闭真空槽盖后，继电器控制后面的真空包装工序自动连续进行。各工序所需时间可由定时器任意调节。

加工包装体的封口宽度一般为 $3-10\text{ mm}$ ，长度可达 700 mm ，生产率为 $12-30\text{ 袋}/\text{min}$ 。

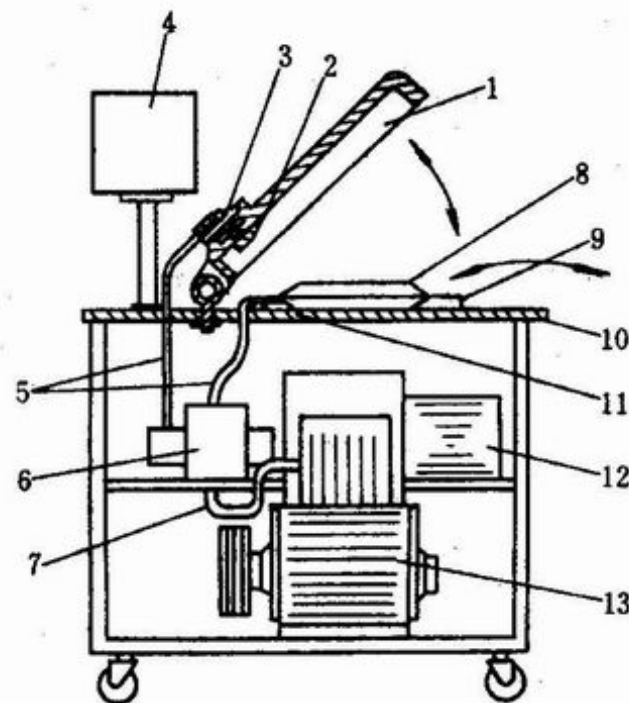


图 10-15 合式真空包装机

1. 真空槽盖 2. 封口支承 3. 加压部分 4. 控制部分 5. 7. 真空回路 6. 转换阀 8. 包装体 9. 包装体承受盘 10. 台板 11. 加热杆 12. 变压器 13. 真空泵

- (2) 传送带式真空包装机

- (3) 真空收缩包装机

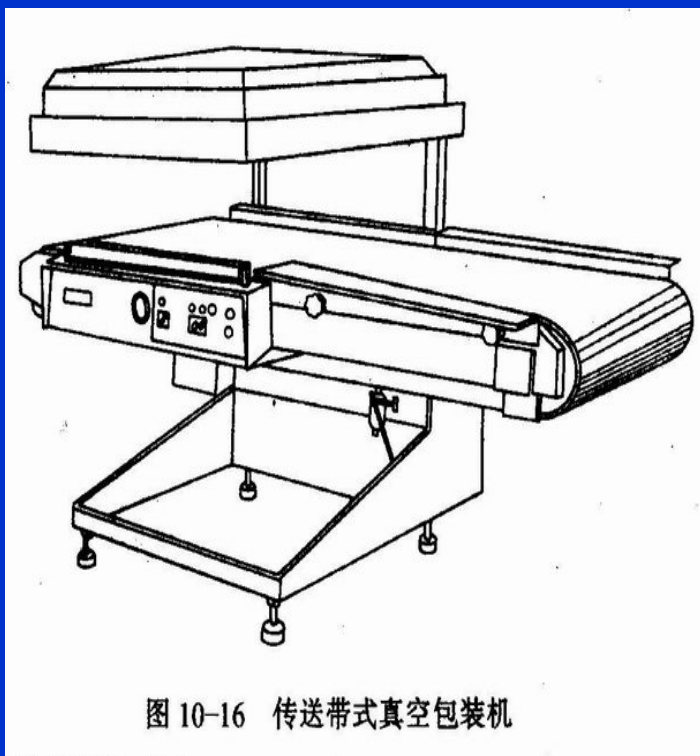


图 10-16 传送带式真空包装机

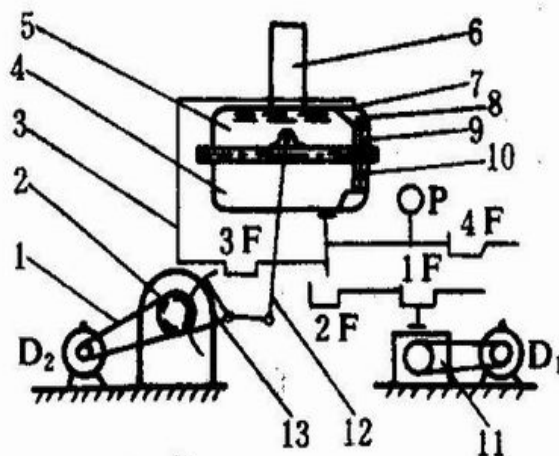


图 10-17 真空收缩包装机

1. 皮带 2. 齿轮 3. 真空管道 4. 底盘 5. 封盖 6. 平整气缸 7. 平整压板 8. 小气室 9. 上热封头 10. 下热封头 11. 真空泵 12. 连杆 13. 扇齿轮 1F、2F、3F、4F. 电磁控制阀



- 台式真空包装机 单（双）室真空包装机 FM-5540二合一收缩包装机

第五节 高压蒸煮袋包装设备

- 将装好料、封好口的复合薄膜袋，置于 120°C 的高温高压蒸汽杀菌设备内高压蒸煮，又称为“软罐”。与金属容器相比，具有下列优点：
- 比金属罐头包装大约减少 $1/4$ 的包装体积，
- 减少生产车间的包装面积，软罐的质量轻、体积小，抗腐蚀性能好，便于携带。

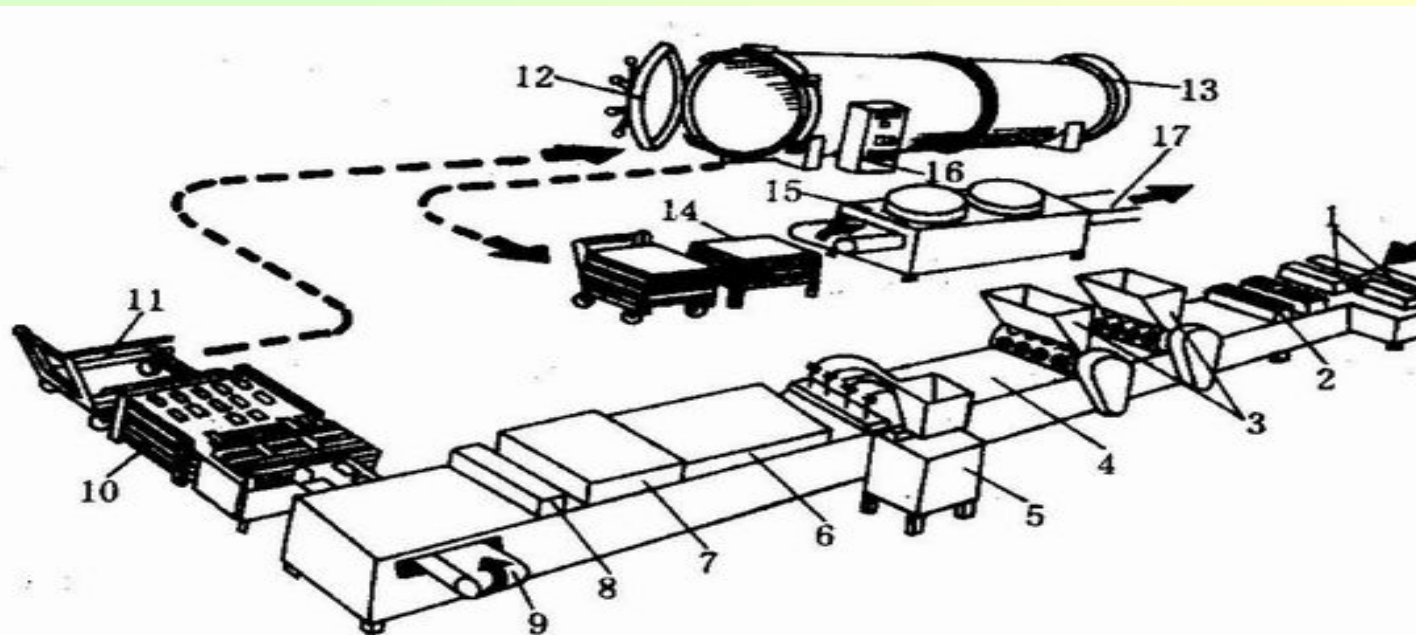


图 10-18 高压蒸煮袋包装的生产过程及设备配置

1. 空袋箱 2. 空袋输送装置 3. 回转式装料机 4. 手工排列装置
5. 活塞式液体装料机 6. 蒸汽汽化装置 7. 热封装置 8. 冷却装置
9. 输送机 10. 堆盘 11. 杀菌车 12. 杀菌锅门 13. 杀菌锅
14. 卸货架 15. 干燥器 16. 控制台 17. 输送机

第六节 液体灌装机

• 一、罐装机的分类

- (一) 按容器的运动路线分类 可分为:

- 1. 旋转式灌装机
- 2. 直线移动式灌装机

- (二) 按灌装方法分类 可分为:

- 1. 常压灌装法
- 2. 等压灌装法
- 3. 负压灌装法
- 4. 虹吸式灌装法
- 5. 机械压力式罐装法

- (三) 按定量装置分类 可分为:

- 1. 旋塞式
- 2. 阀门式
- 3. 滑阀式
- 4. 气阀式

• 二、液体罐装的工作过程

- 液体灌装的整个工作过程包括空瓶的平移输送，上下升降及定量灌装等，并由其执行机构来完成。
- (一) 平移输送机构 根据灌装时容器的运动方式和路线不同可以分为：
 1. 旋转式灌装机

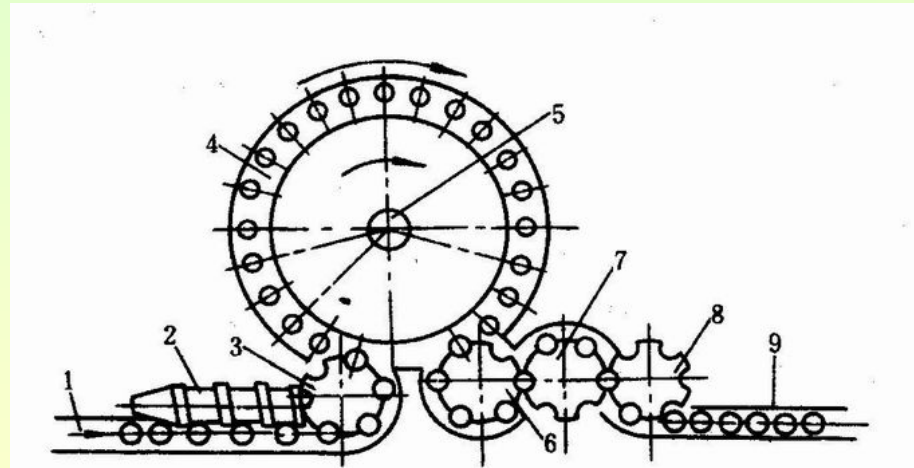


图 10-19 旋转式灌装机

1. 空瓶输送带 2. 分件供送蜗杆 3. 送进拨轮 4. 转盘 5. 旋转轴 6. 送出拨轮 7. 封盖机构 8. 拨轮 9. 输送带

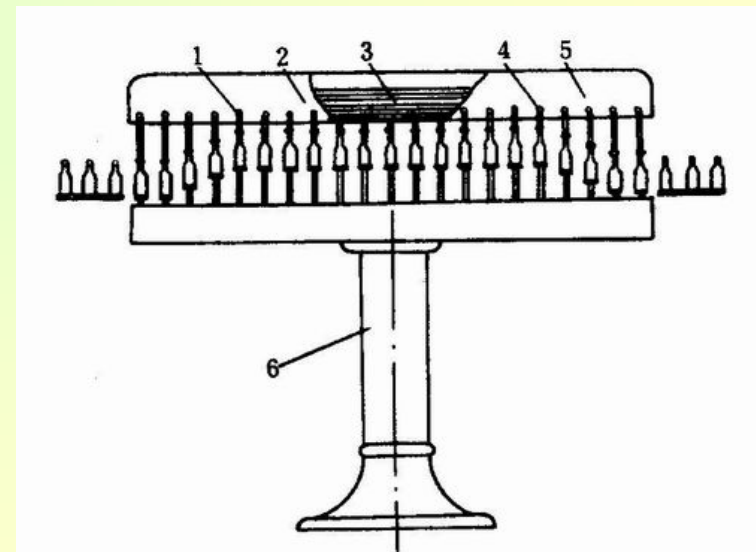


图 10-20 旋转式灌装机转盘部分侧视简图

1. 注液管 2、5. 挡块 3. 液罐 4. 液灌充填开关 6. 支柱

- 2. 直线移动式灌装机
- **五个工位：** 工位 I 为定量灌装，工位 II 为上盖，工位 III 为拧紧盖，工位 IV 为贴商标，工位 V 为装盒装箱。
- 该灌装机比旋转式灌装机结构简单，但占地面积大，通常只能用于无气液体

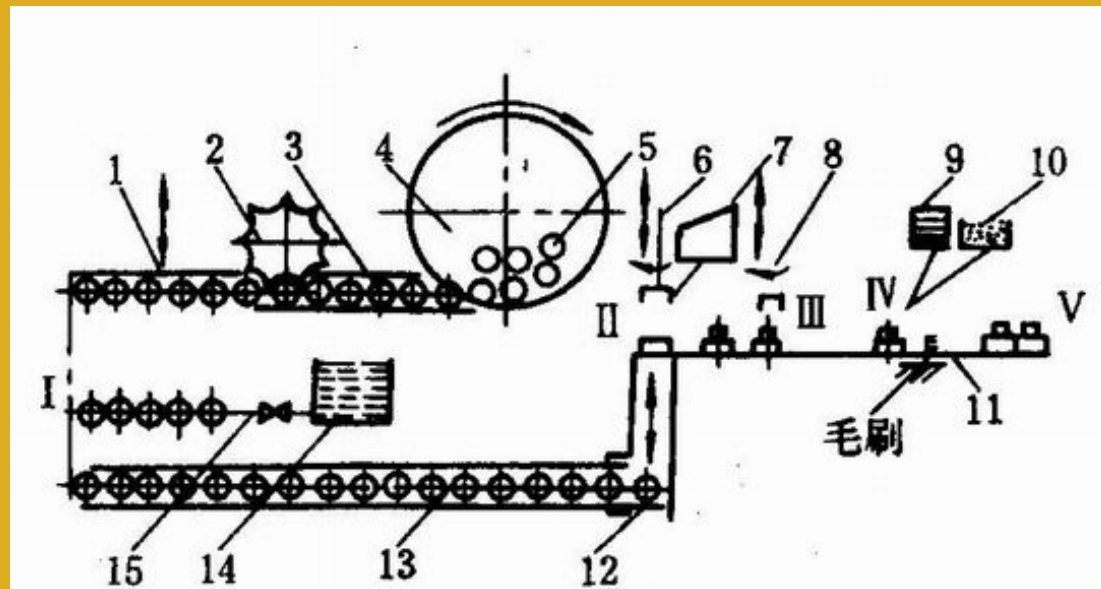


图 10-21 直线移动式灌装机

- 1、12. 推瓶板 2. 限位拨盘 3、11、13. 传送带
 4. 传送盘 5. 空瓶 6. 上盖机构 7. 料斗 8. 打盖机构
 9. 商标盘 10. 浆糊盘 14. 贮液罐
 15. 灌装管

(二) 升降机构 有三种：滑道式、压缩空气式及滑道压缩空气混合式。

• 1. 滑道式升降机构

- 滑道式升降机构的特点是结构比较简单，但在灌装过程中出了故障，瓶、罐依然沿滑道上升，会把瓶挤坏。它要求瓶、罐的质量高，特别是瓶颈不能弯曲，瓶要准确地推上瓶托，不然易被挤坏。

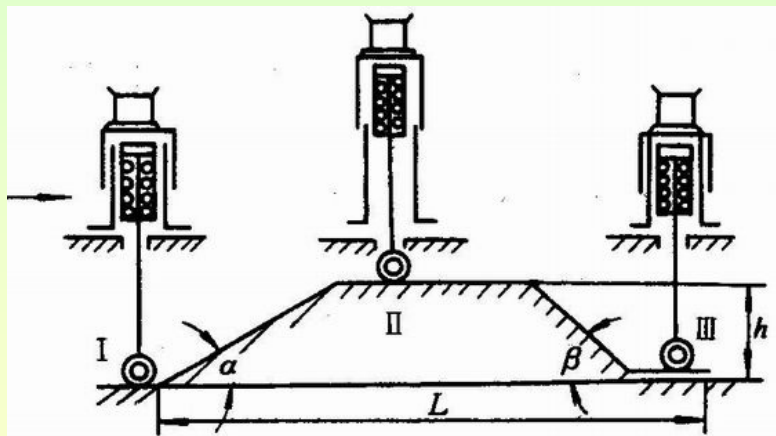


图 10-22 旋转型灌装机滑道示意图
位置 I. 瓶输送入滑道 位置 II. 瓶升到最高位置进行灌装 位置 III. 瓶装满后下降到最低位置待送走

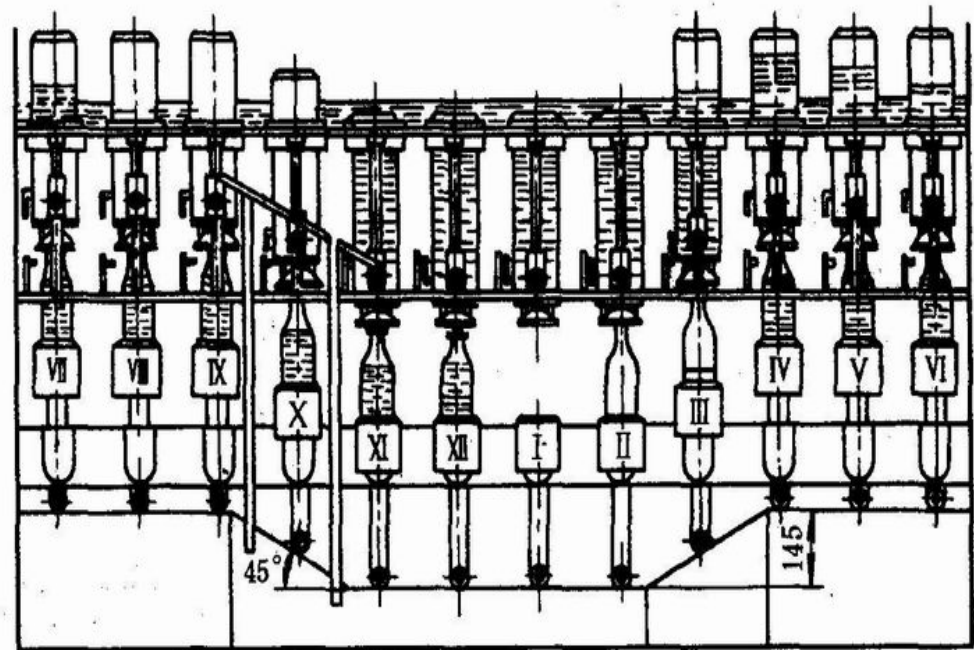


图 10-23 滑道式灌装工作过程

- 2. 压缩空气式升降机构（简称气阀）
- 当发生故障时，瓶被卡住，压缩空气好似弹簧一样被压缩，这时瓶托不再上升，故不会被挤坏，但这种机构下降时冲击力较大。

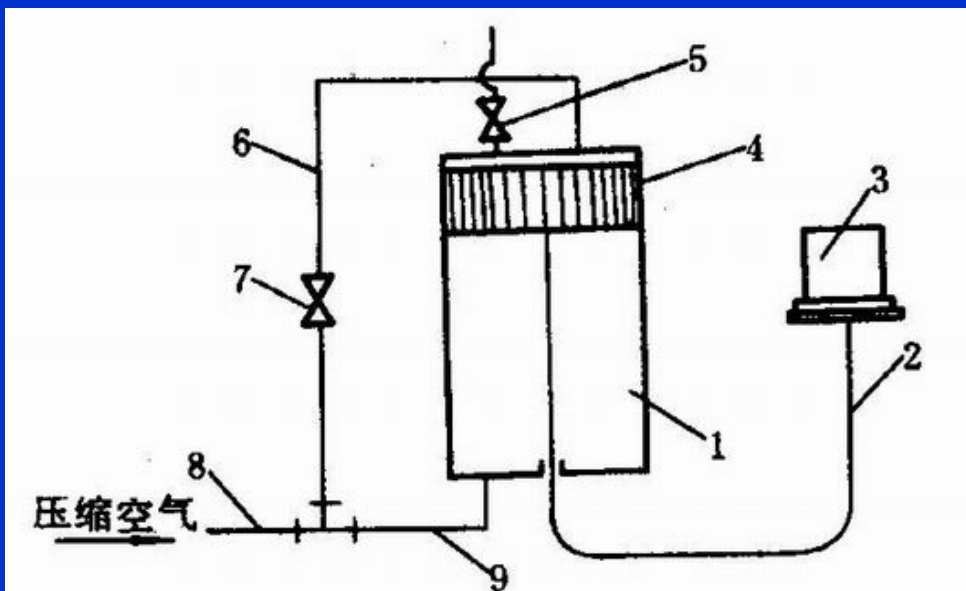


图 10-24 压缩空气式升降机构

1. 气缸 2. 瓶托 3. 瓶 4. 活塞
5、7. 阀门 6、8、9. 管

- 3. 压缩空气式与滑道式混合升降机构
- 这种机构，在下降时比较稳定，活塞筒体的工作压力为 $245\sim 382\text{kPa}$ 。

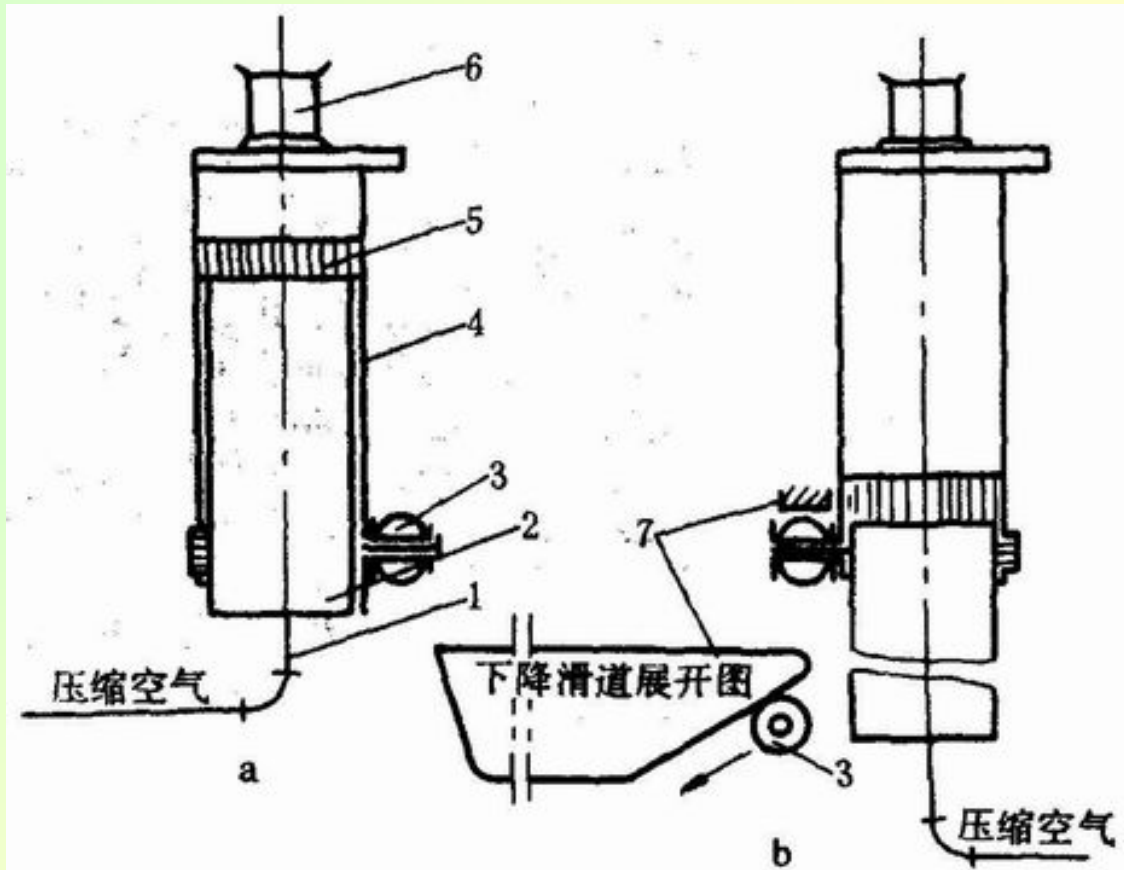


图 10-25 混合式瓶、罐升降机构示意图

a. 瓶、罐靠压缩空气上升 b. 瓶、罐靠滑道下降

1. 气管 2. 活塞芯子 3. 滚子 4. 活塞筒体 5. 活塞
6. 瓶托 7. 下降滑道

三、液体灌装的基本工作原理及其选择

- 常用的灌装方法有
- 常压、等压、负压、虹吸及机械压力式等五种。
- (一) 常压灌装

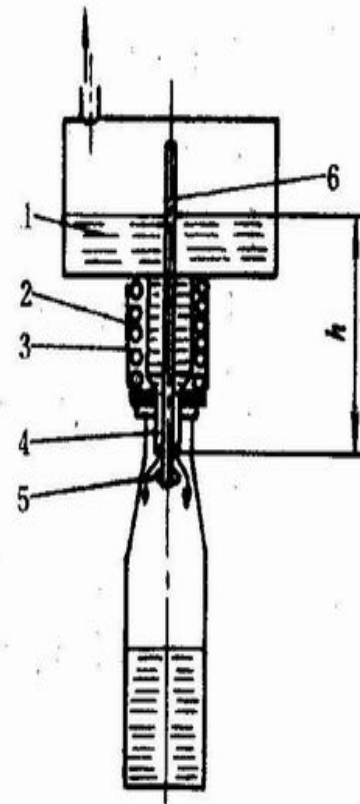


图 10-26 常压灌装法

1. 贮液箱 2. 弹簧 3. 滑套 4. 灌装阀 5. 碟阀 6. 排气管

- 常压灌装法
- 利用定量杯进行容积定量灌装

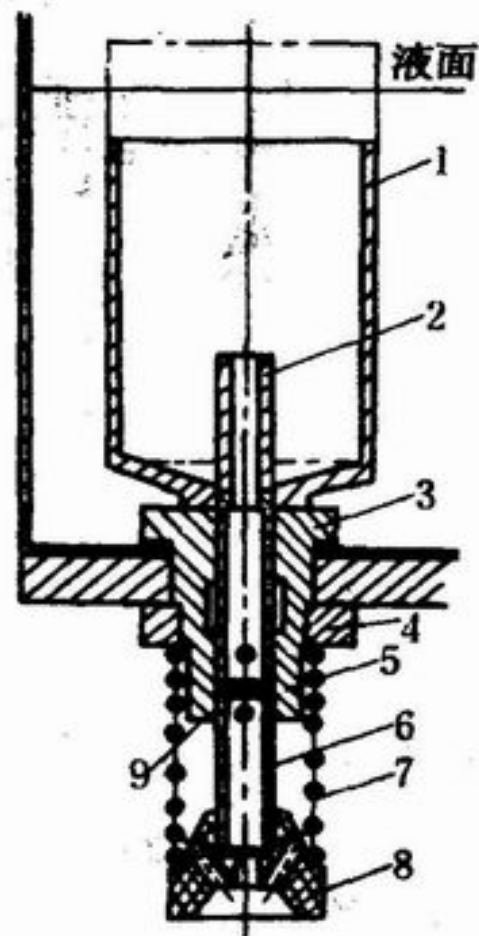


图 10-27 定量杯灌装

1. 定量杯 2. 容量调节管 3. 阀体 4. 锁紧螺母 5. 密封圈 6. 进液管 7. 弹簧 8. 喇叭头 9. 隔板

- 采用旋塞式定量杯进行较精确的定量灌装。
- 常压灌装的特点是设备结构简单，操作方便，易于保养，灌装的液面高度一致，显得整齐好看，广泛应用于不含气体的液料的灌装。

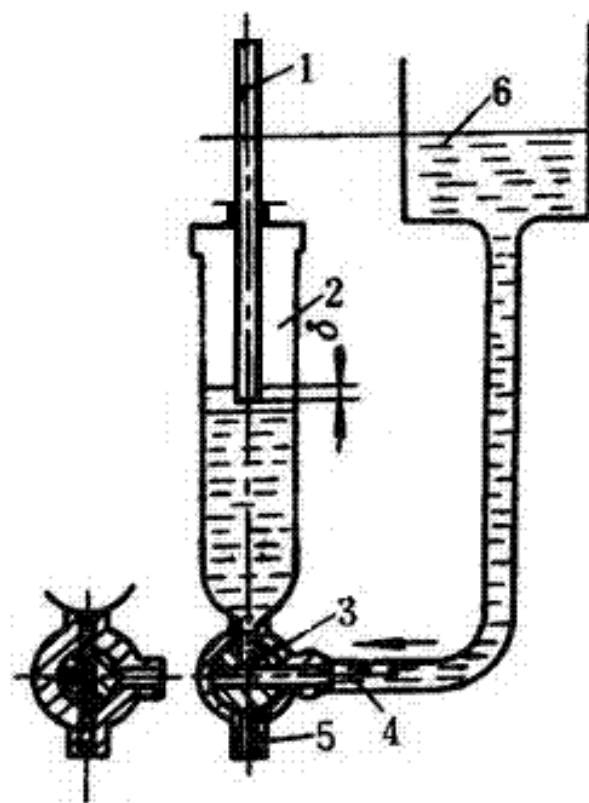


图 10-28 旋塞式定量杯

1. 排气管(调节管) 2. 定量杯 3. 三通旋塞
4. 进液管 5. 注液管 6. 贮液箱

- (二) 等压灌装 又称压力重力灌装，它是在高于大气压力的条件下进行灌装，即先对空瓶进行充气，使瓶内压力与贮液箱（或计量筒）内的压力相等，故简称充气等压，然后靠液料自重进行灌装。

- 等压灌装法适用于灌装含气液体，如汽水、汽酒和啤酒等。为了减少液体与氧的接触，可将压缩空气换成二氧化碳气，可先抽空气，再压入二氧化碳气体作为平衡气体。

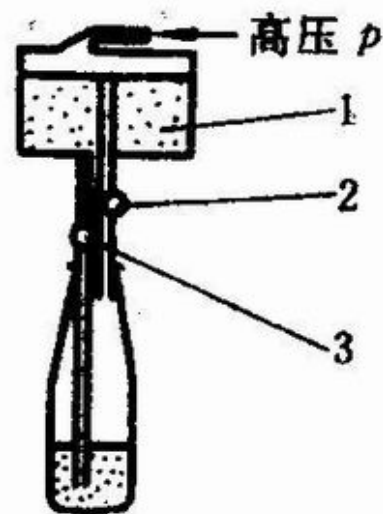


图 10-29 等压灌装
工作原理

1. 贮液箱 2. 通气管阀门
3. 下液管阀门

（三）负压灌装

- 先建立真空，然后靠液体的自重或液料箱与容器的压力差进行灌装。
- 可分为单室和双室两种负压灌装方法。

1. 单室负压灌装

- 空瓶上升与灌装阀 4 接触，瓶密封，打开气阀，瓶内形成真空。瓶继续上升，滑套压缩弹簧，打开下液阀门（灌装阀），液料靠自重从排气管周围流入瓶内。直到与贮液箱的液面等高为止。

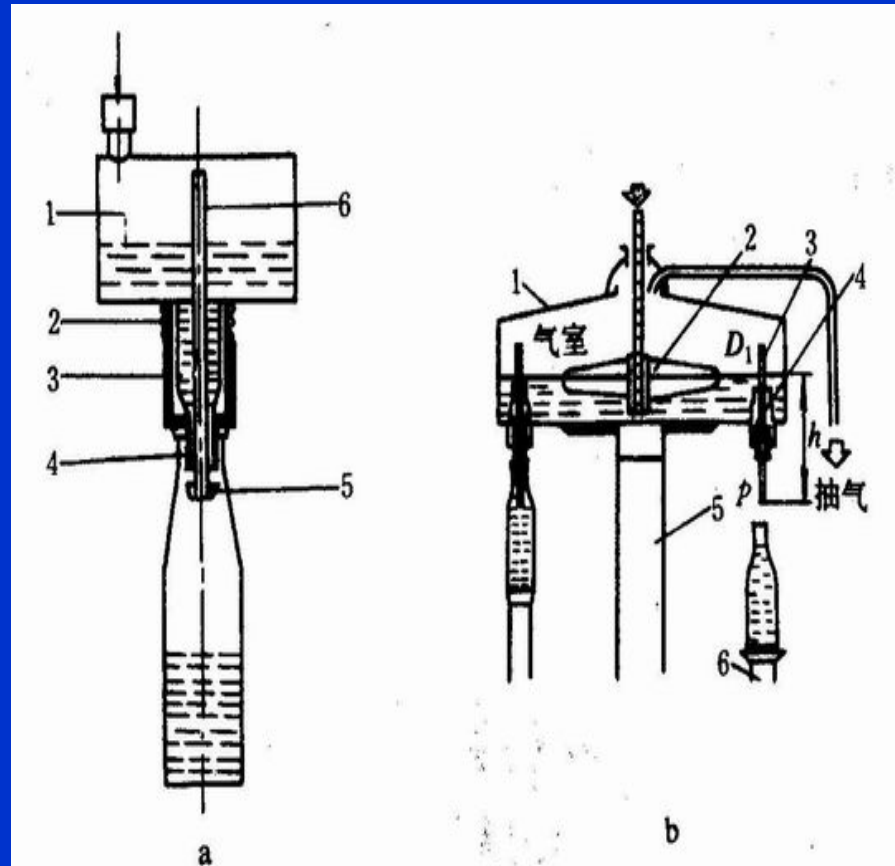


图 10-30 单室负压灌装原理图

- a. 1. 贮液箱 2. 弹簧 3. 滑套 4. 灌装阀 5. 碟阀 6. 排气管
b. 1. 贮液箱 2. 浮阀 3. 排气管 4. 灌装阀 5. 机架 6. 瓶托

- 2. 双室负压灌装
贮液箱和真空室分开，中间用真空指示管，又叫回液管连接。
- 特点：灌装速度快，挥发面小，适用于灌装芳香性液体，但设备的结构较复杂。

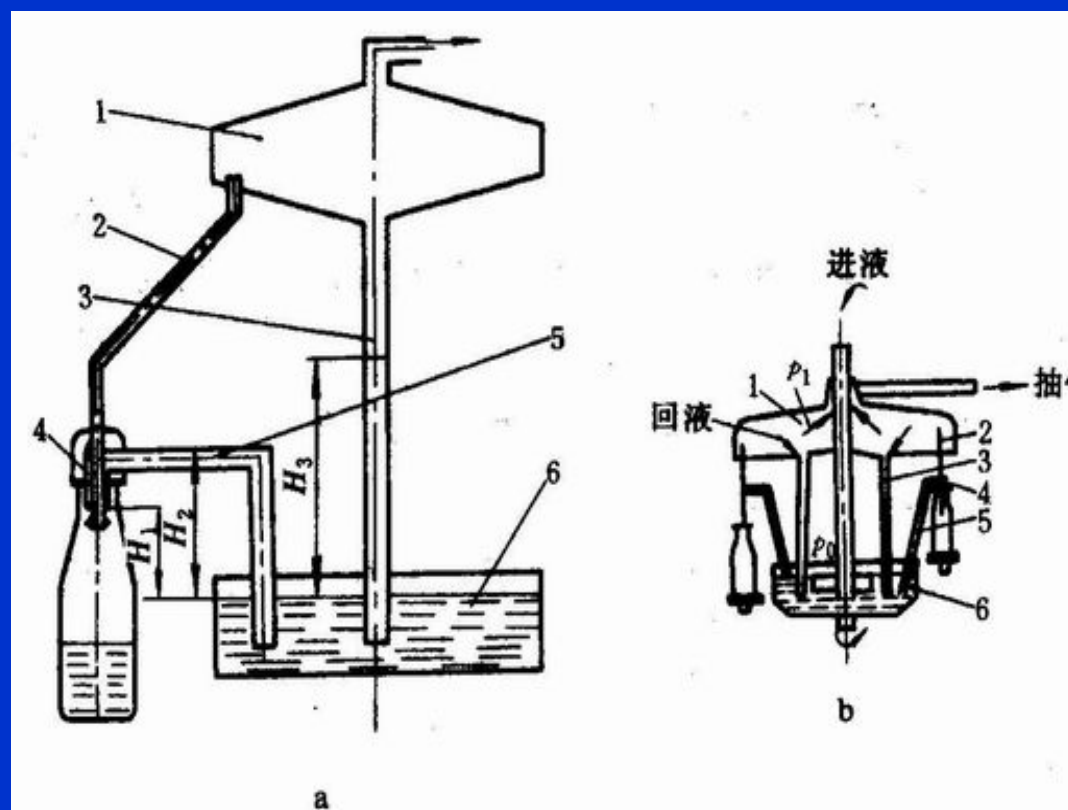


图 10-31 双室负压灌装工作原理

- a. 1. 真空室 2. 吸气管 3. 回液管 4. 灌装阀 5. 吸液管
6. 贮液箱
- b. 1. 真空室 2. 吸气管 3. 回液管 4. 灌装阀 5. 吸液管
6. 贮液箱

- (四) 虹吸灌装法 它是一种古老的和传统的灌装方法。

- 该灌装方法的特点是设备结构简单，操作方便，但灌装速度较慢。

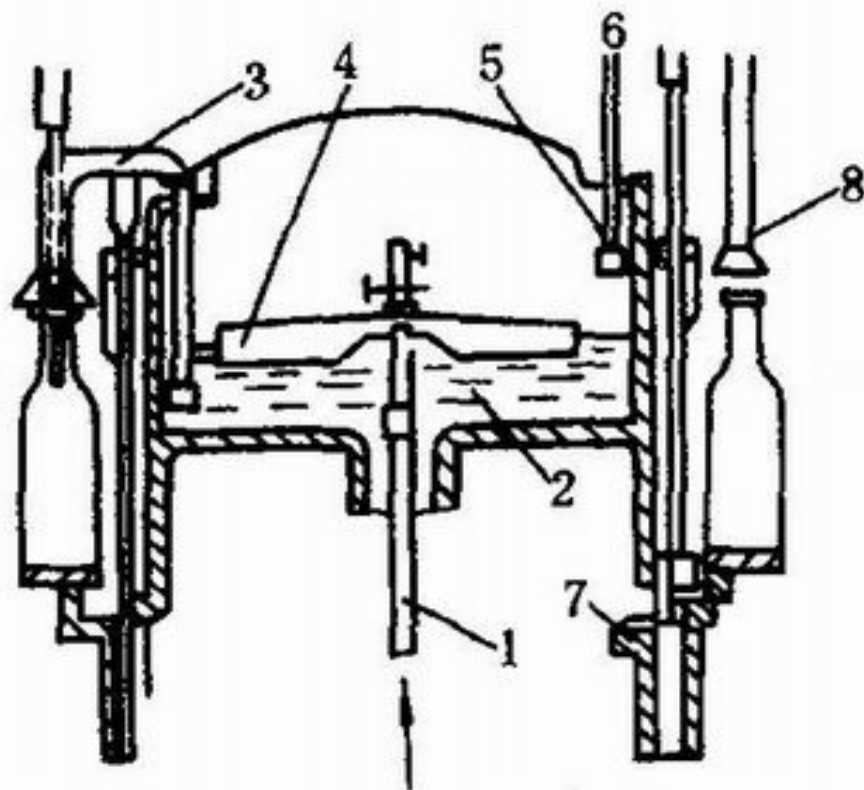


图 10-32 虹吸灌装工作原理

1. 进液管 2. 贮液箱 3、6. 虹吸管
4. 浮子 5. 液体阀 7. 曲线板
8. 灌装头

四、灌装阀

在灌装过程中必有液体和气体的流动，因此灌装阀里至少有液体和气体两条通路，或三条通路。灌装阀的结构型式很多，常用的有以下几种

(一) 弹簧阀门式灌装阀

根据用途不同，可分为：

1. 小口径弹簧阀门式灌装阀

主要用于饮料和酒类等小口径玻璃瓶的灌装。

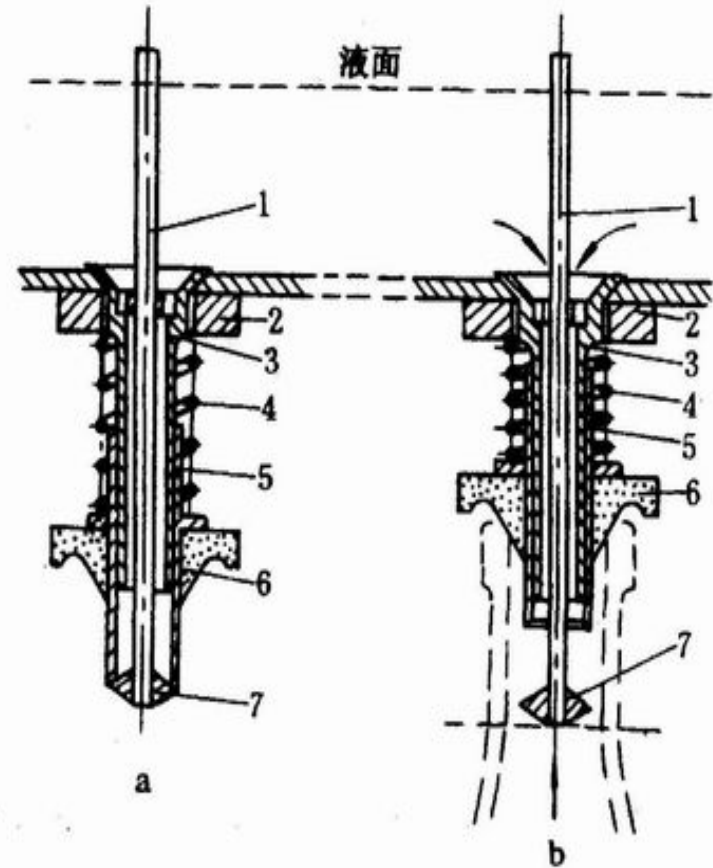


图 10-33 小口径弹簧阀门式灌装阀

a. 非灌装状态 b. 灌装状态

1. 排气管 2. 螺母 3. 阀体 4. 弹簧 5. 套筒
6. 橡皮环 7. 碟阀

- 2. 广口弹簧阀门式灌装阀

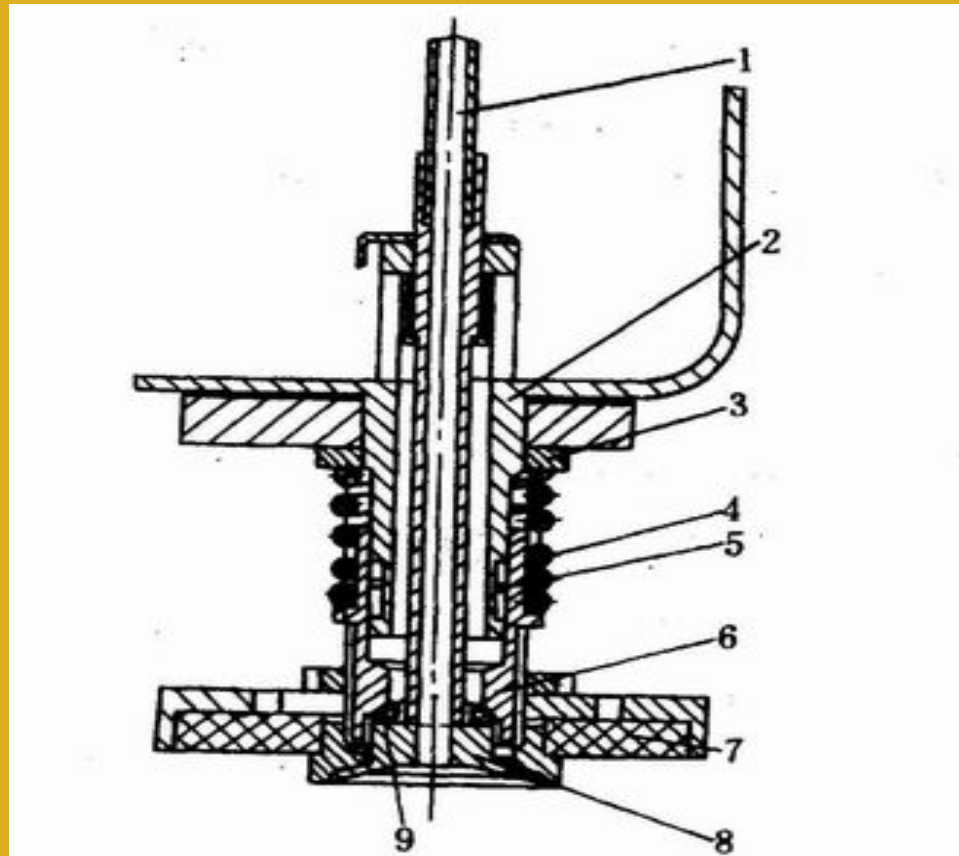


图 10-34 广口瓶用弹簧阀门式灌装阀

- 1. 排气管 2. 接头 3. 螺母 4. 弹簧
- 5. O形密封环 6. 阀座 7. 橡皮垫
- 8. 固定碟阀 9. 密封圈

(二) 负压灌装阀

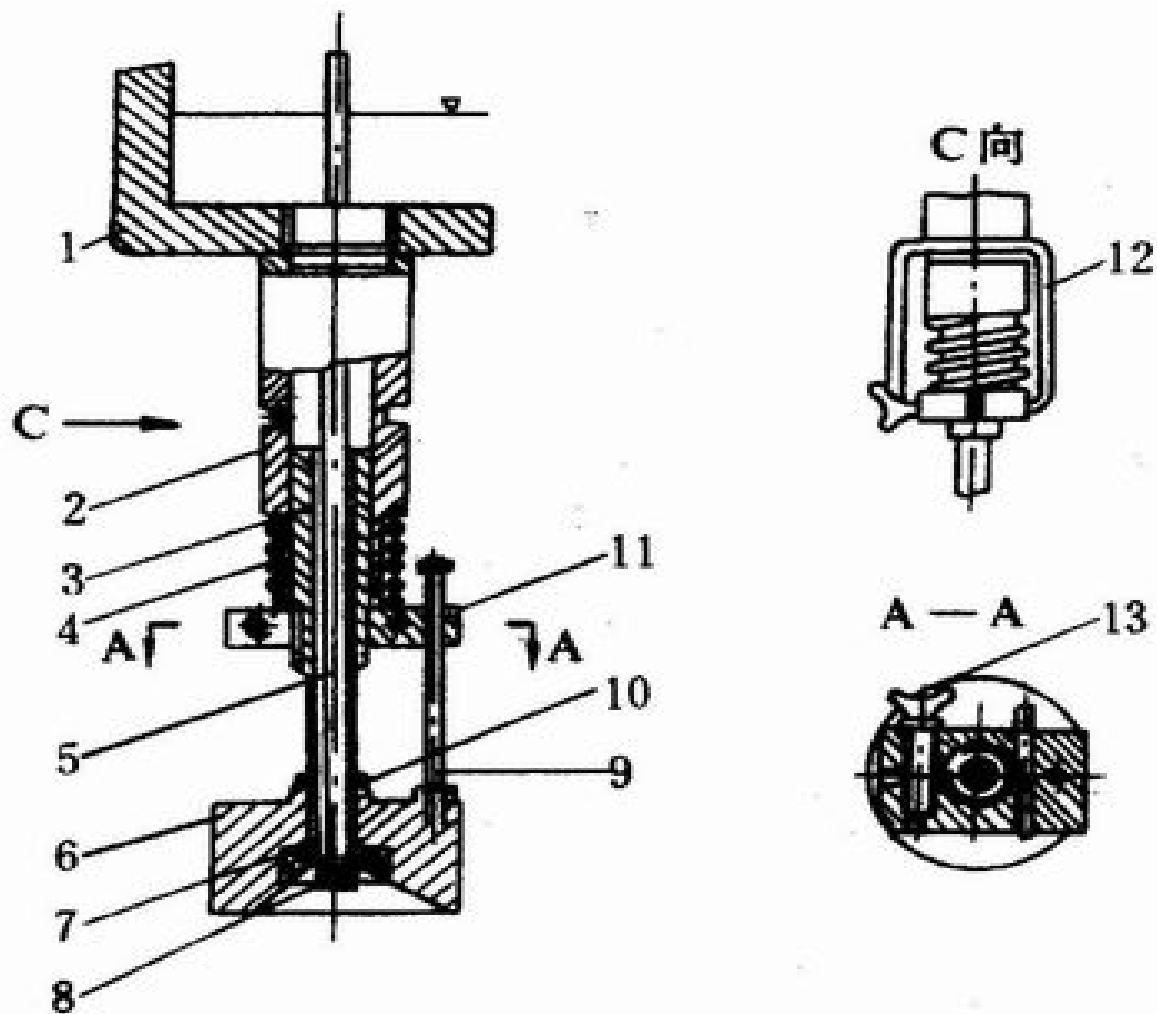


图 10-35 用于葡萄酒负压灌装阀

1. 贮液箱 2. 阀体 3. 下液管 4. 弹簧 5. 排气管 6. 导瓶罩 7、10. 密封圈 8. 阀头
9. 直杆 11. 横杆 12. 框架 13. 螺钉

2. 牛奶灌装用阀门式灌装阀

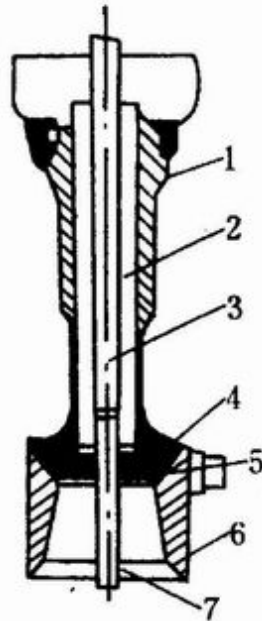


图 10-36 用于牛乳负压灌装阀

1. 阀体 2. 下液管 3. 排气管 4. 橡皮阀膜
5. 滚柱 6. 导瓶罩 7. 阀头

- (三) 等压灌装用 常用的有旋塞式、盘式和移动式等三种型式。

灌装时，空瓶顶起碗头，固定挡块拨动旋塞转柄使旋塞转过一个角度，接通进气孔道，实现充气等压过程。

旋塞再转过一个角度，又接通下液孔道和排气孔道，实现进液回气过程。

再转动旋塞，则关闭所有孔道，停止进液。

继续转动旋塞，再接进气孔道，让通道内的余液流入瓶中，实现排除余液。

再转动旋塞，则再关闭进气孔道，完成全部灌装，此时盛满液料的瓶下降，进入封口工位。

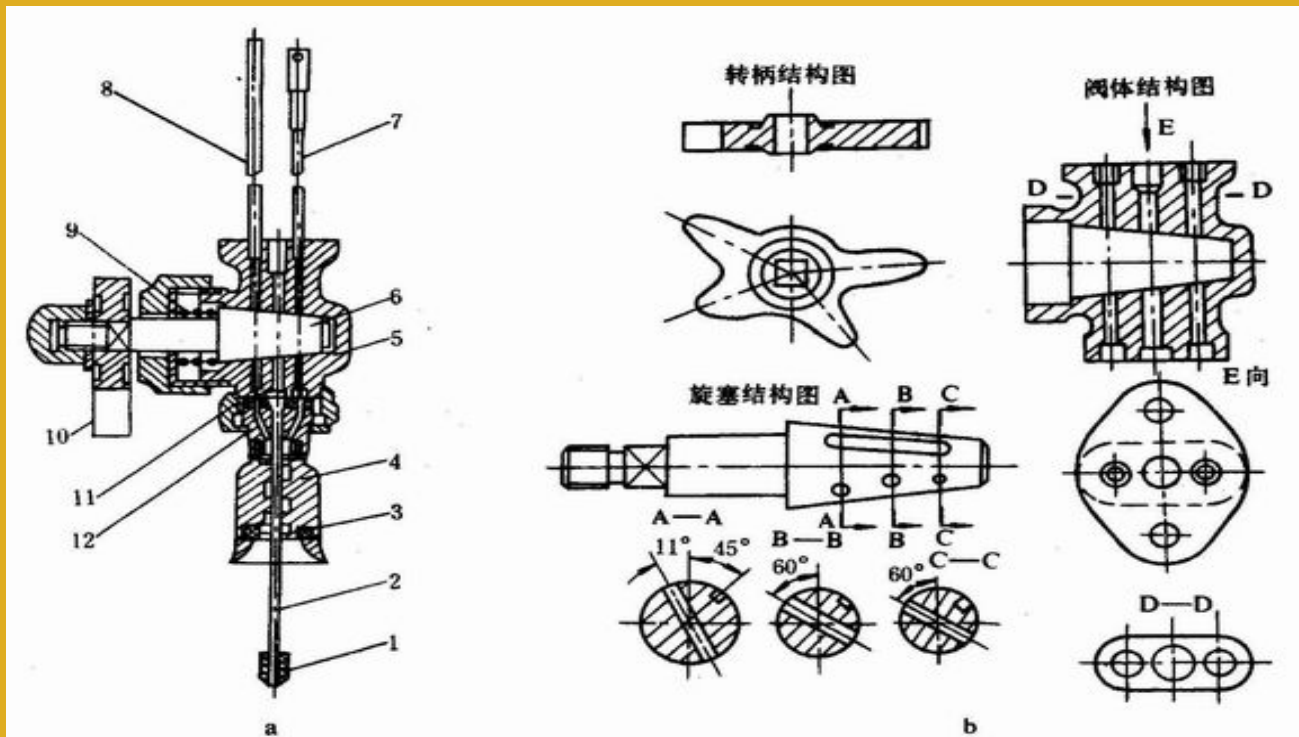
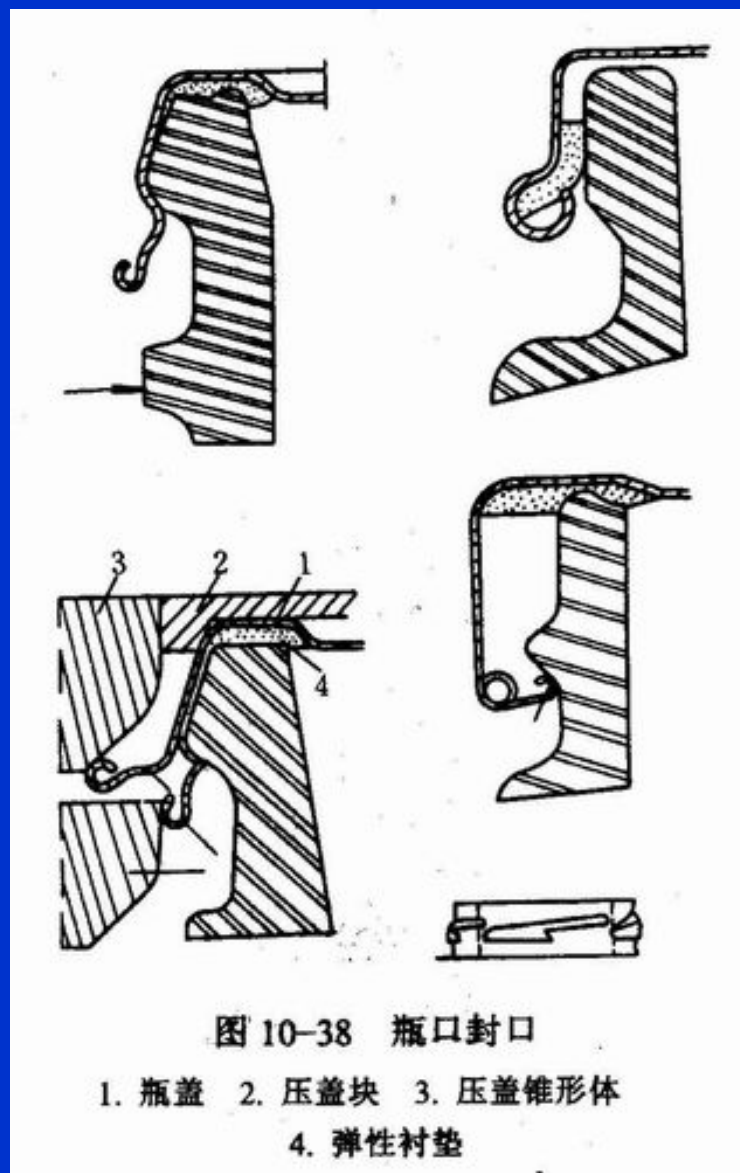


图 10-37 旋塞式等压灌装阀

1. 阀头 2. 下液管 3. 密封圈 4. 碗头 5. 阀体 6. 旋塞 7. 排气管 8. 通气管
9. 弹簧 10. 转柄 11. 下液孔 12. 接头

五、上盖机和贴标机

- 上盖机由瓶盖的整理定向输送装置和压盖和旋盖机构组成。
 1. 瓶盖的整理定向输送装置
 2. 压盖和旋盖机 压盖和旋盖都是依靠压紧弹性衬垫来实现密封的，瓶盖的内表面都有一层弹性衬垫，依靠压盖机或旋盖机将瓶盖密封在瓶口上。



(1) 压盖机构 主要由机座、回转台、压盖头和传动装置等组成，其压盖头是关键部件。 ，

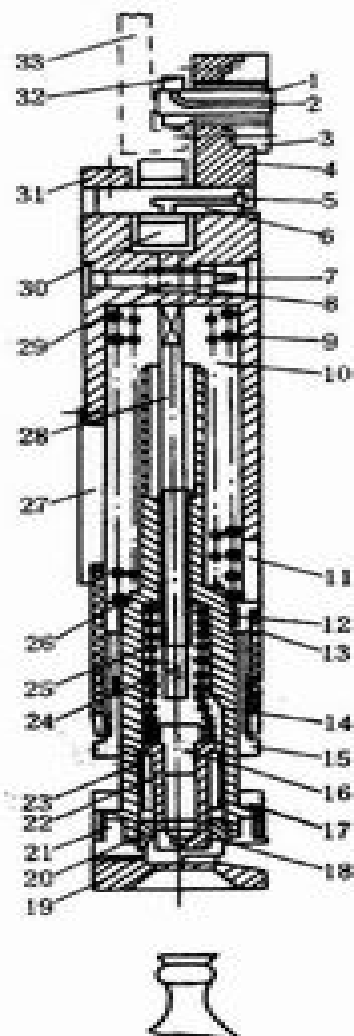


图 10-39 压盖头结构

1. 销轴 2. 螺纹销钉 3. 压板 4. 压盖柱体 5. 打油嘴
 6. 销轴 7. 方头蜗杆 8. 垫圈 9. 大弹簧 10. 24. 小弹簧
 11. 槽孔 12. 内六角螺钉 13. 滑块 14. 17. 26. 圆螺母
 15. 外螺纹套筒 16. 压头 18. 磁块 19. 对中罩 20. 铁盖
 压环 21. 销钉 22. 伸缩套筒 23. 外螺纹套筒 25. 套筒
 27. 升降导键 28. 高度调节杆 29. 方孔蜗轮 30. 压盖滚
 轮 31. 螺纹销钉 32. 小滚轮 33. 压盖升降导轨

(2) 旋盖机构

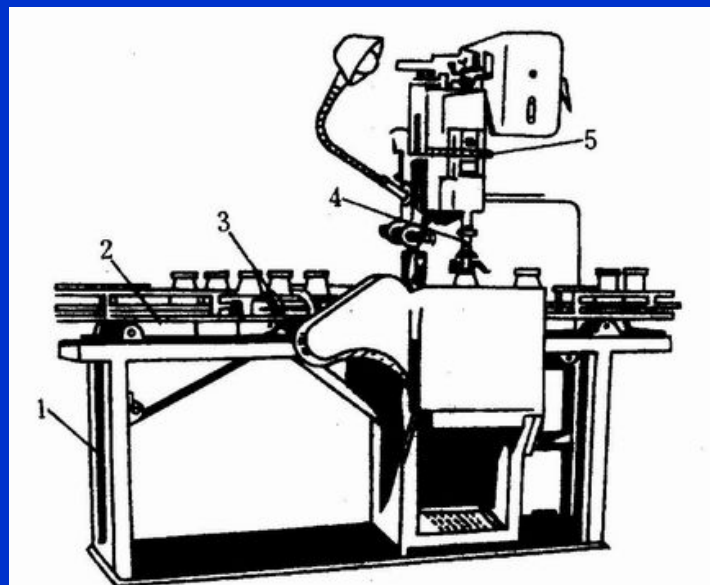


图 10-40 单向间歇式四旋盖自动旋盖机
1. 机架 2. 瓶输送链带 3. 分瓶螺杆 4. 抱瓶
旋盖机构 5. 瓶盖输送机构

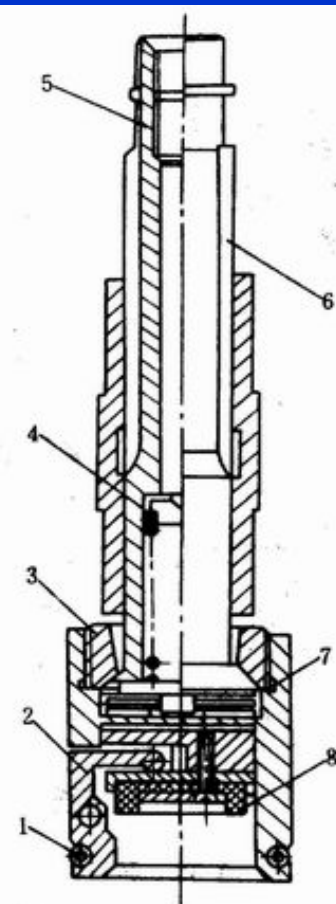


图 10-41 三爪式旋盖头
1. 4. 弹簧 2. 爪 3. 球面铰链 5. 调节螺钉
6. 传动轴 7. 摩擦片 8. 橡皮头

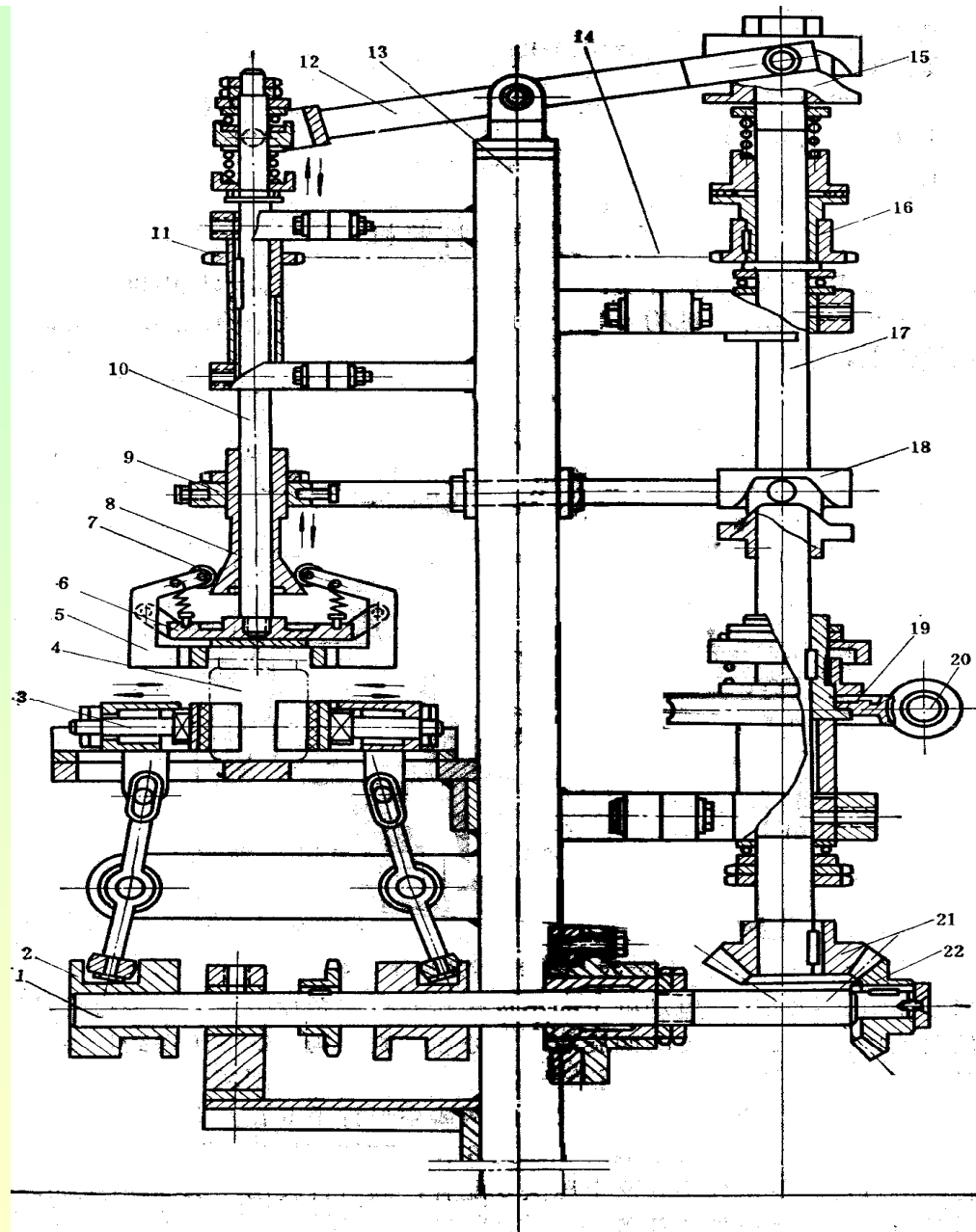


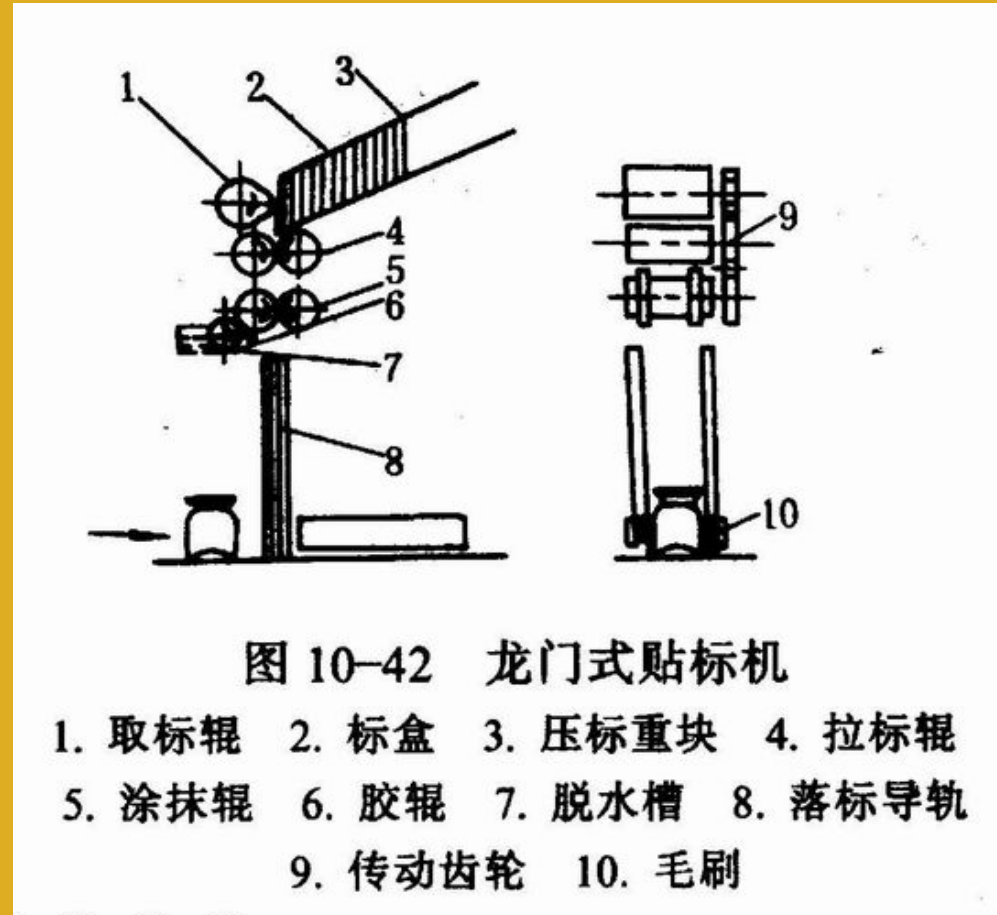
图 8-37 四轴链拧紧机传动示意图

1—水平轴 2—凸轮 3—抱手机构 4—玻璃瓶 5—拧手 6—上压头 7—拧手滚子 8—压头套筒 9—拨叉环 10—立轴 11—链轮 12—杠杆机构 13—机身 14—链条 15—升降凸轮 16—链轮 17—立轴 18—拧紧凸轮 19—蜗轮 20—蜗杆 21、22—伞齿轮

- (二) 贴标机

- 1. 龙门式贴标机

- 该贴标机只适用于粘贴宽度大致等于半个瓶身周长的标签，过宽或过窄均不适用，而且只能粘贴于圆柱形瓶身，生产能力每小时 1500—1800 瓶，适用于中小型食品厂。



- 2. 转叉式贴标机

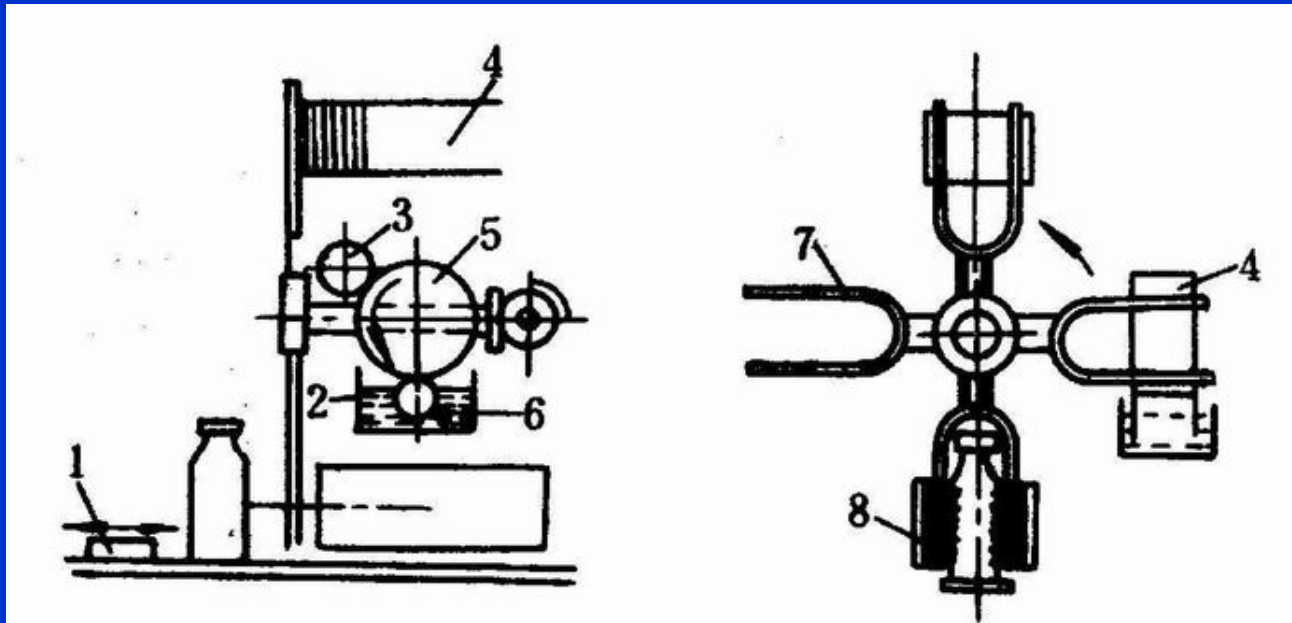


图 10-43 转叉式贴标机

1. 推瓶机构 2. 胶水槽 3. 涂抹辊 4. 标盒
5. 滚轮 6. 胶辊 7. 转叉 8. 毛刷

3. 真空吸标压捺式贴标机

该贴标机生产能力每小时2400瓶，且适应性较强。

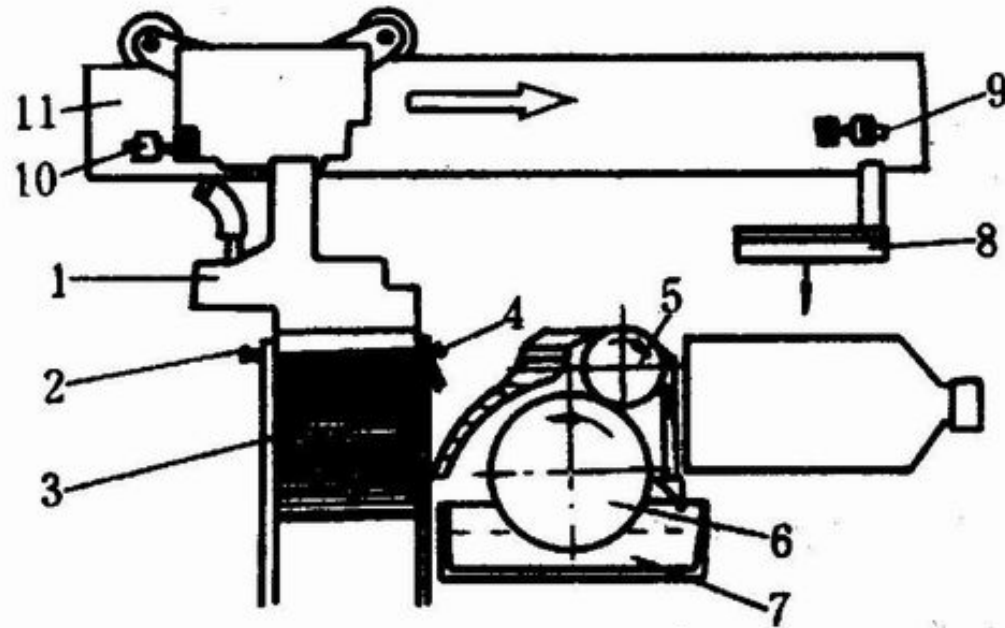


图 10-44 真空吸标压捺式贴标机

1. 吸标头 2. 梳齿 3. 标盒 4. 风嘴 5. 涂胶
辊 6. 胶辊 7. 胶水槽 8. 压垫 9、10. 挡块
11. 导轨

- 4. 旋转式贴标机

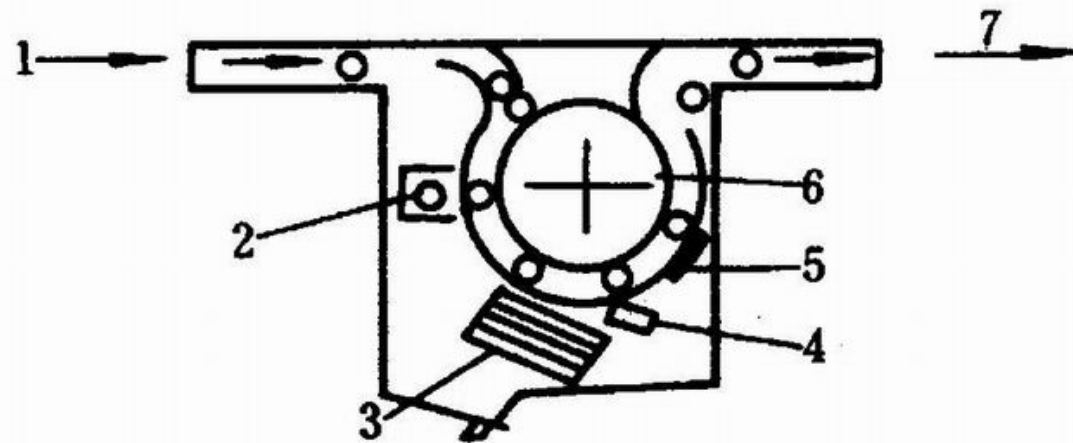


图 10-45 旋转式贴标机

1. 送瓶机构 2. 上胶机构 3. 标盒 4. 分标器
5. 熨平装置 6. 垂直转盘 7. 输出机构



XLB-YGG液体罐装生产线



XLB-YQG含汽饮料灌装生产线



全自动液体灌装机



全自动热灌装机



全自动机械式塑杯（瓶）灌装封口机



GFX-1000型回旋式灌装旋盖机

第七节 酱体灌装机

酱体食品如番茄酱、果酱、黄酱、巧克力、蛋黄酱和蜂蜜等的特点是粘度较大和流动性较差，因此常采用机械压力法灌装。

一、机械压力式酱体灌装机

机械压力式灌装机的种类比较多，常用的设备有如下几种，

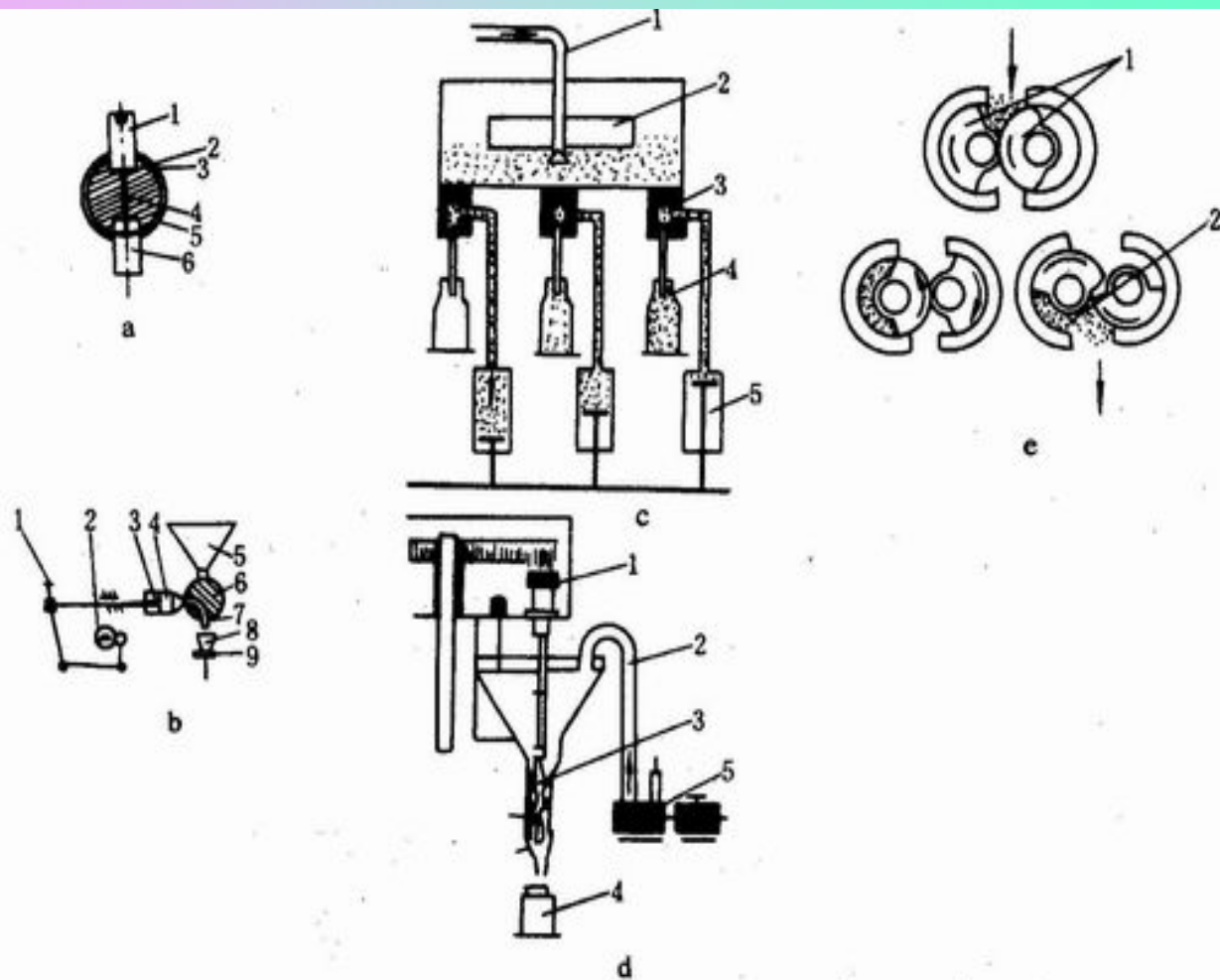


图 10-46 机械式灌装的工作原理

- a. 活塞转阀式 1. 进料管 2. 进料液缸 3. 动活塞 4. 连杆 5. 转阀 6. 容器
- b. 凸轮控制的活塞转阀式 1. 调节螺旋 2. 凸轮 3. 活塞 4. 液罐 5. 料斗 6. 转阀 7. 充料口 8. 容器 9. 输送装置
- c. 闸门控制的活塞加料式 1. 进液管 2. 浮子 3. 阀门 4. 容器 5. 活塞
- d. 螺旋式 1. 电磁离合器 2. 吸液管 3. 螺杆 4. 容器 5. 贮液箱
- e. 容积泵式 1. 转子 2. 料

- (一) 活塞转阀式机械压力灌装机
- (二) 凸轮控制的活塞转阀式机械压力灌装机
- (三) 闸门控制的活塞加料式机械压力灌装机
- (四) 螺旋式机械压力灌装机
- (五) 容积泵式机械压力灌装机

二、卧式双活塞酱体灌装机

- 常用的卧式双活塞酱料灌装机，由进出罐转盘、定量罐、装料阀门和传动机构等组成。

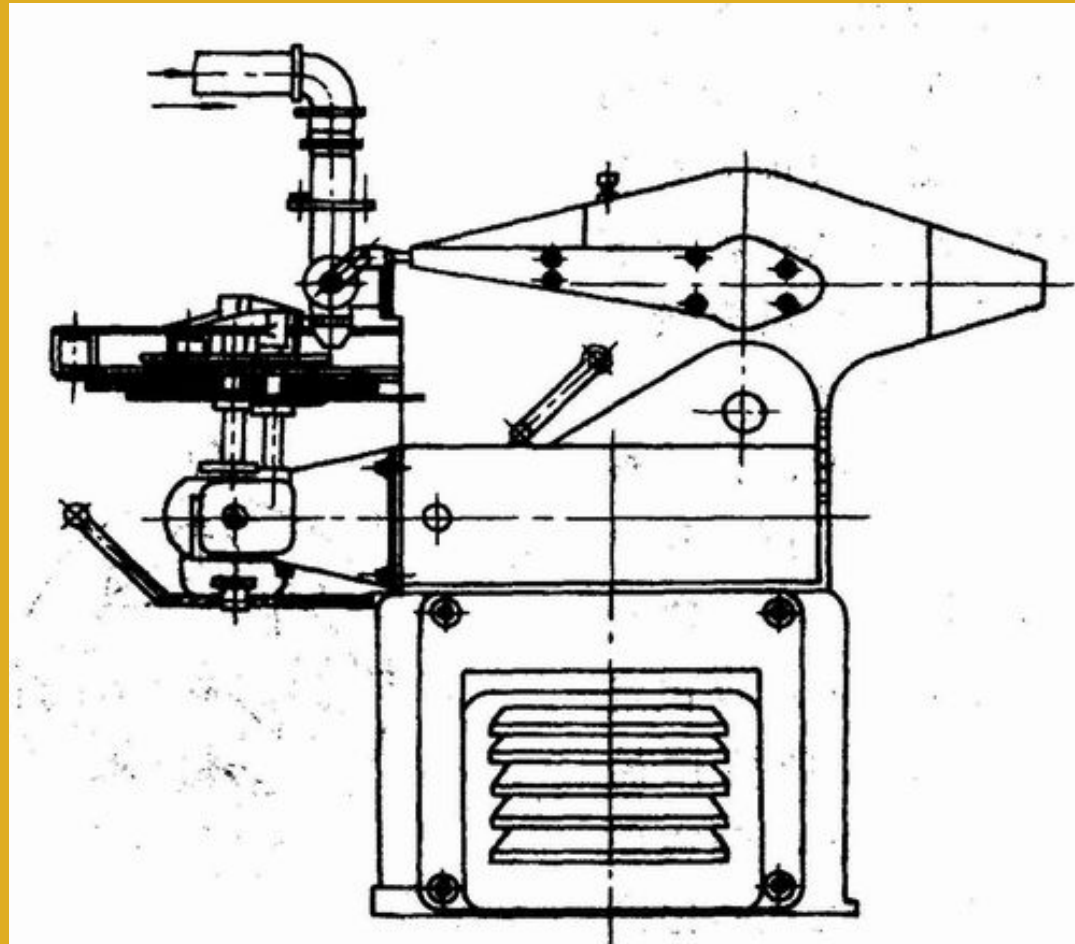


图 10-47 卧式双活塞灌装机外形

- 卧式双活塞酱料灌装机的关键设备是双活塞定量装料器

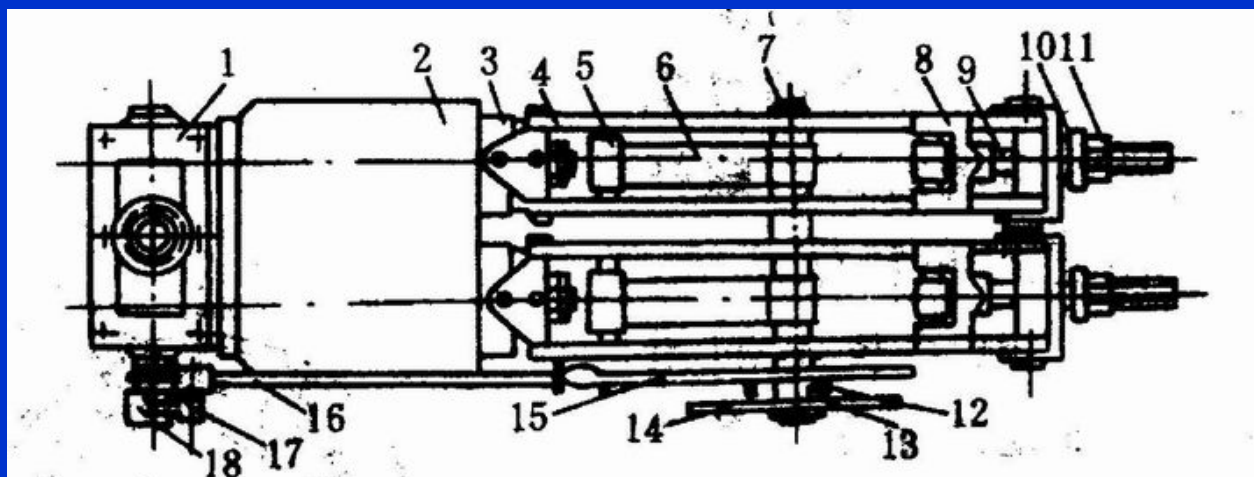


图 10-48 双活塞定量装料机构

1. 阀体 2. 缸体 3. 活塞 4. 导板 5. 滚子 6. 镰形轮 7. 主轴 8. 滑块 9. 调节螺杆 10. 调节螺母 11. 调节螺栓
 12. 滚圈 13. 液柱 14. 拉杆圆盘 15. 控制叉 16. 控制杆
 17. 阀轴 18. 曲柄



• 高黏度膏体灌装机



膏体灌装机

第八节 固体物料充填机

- 固体物料充填机上常用的定量方法有三种。即容积定量法、重量定量法和数量定量法。
- 一、粉状物料充填机
- 奶粉、豆粉、咖啡、饮料粉等物料由于密度不稳定、容易粘结和吸湿，不易流动。因此，粉状物料充填机通常多采用容积定量法。
- 容积定量设备有容杯式、螺杆式、往复式和转鼓式等。
- 随着电子技术的进步，重量式定量设备的应用迅速发展，如电子皮带秤、螺旋计量秤等。

- (一) 容积式定量充填设备
- 1. 容杯式定量设备
- 又可分为固定容杯式和可调容杯式，

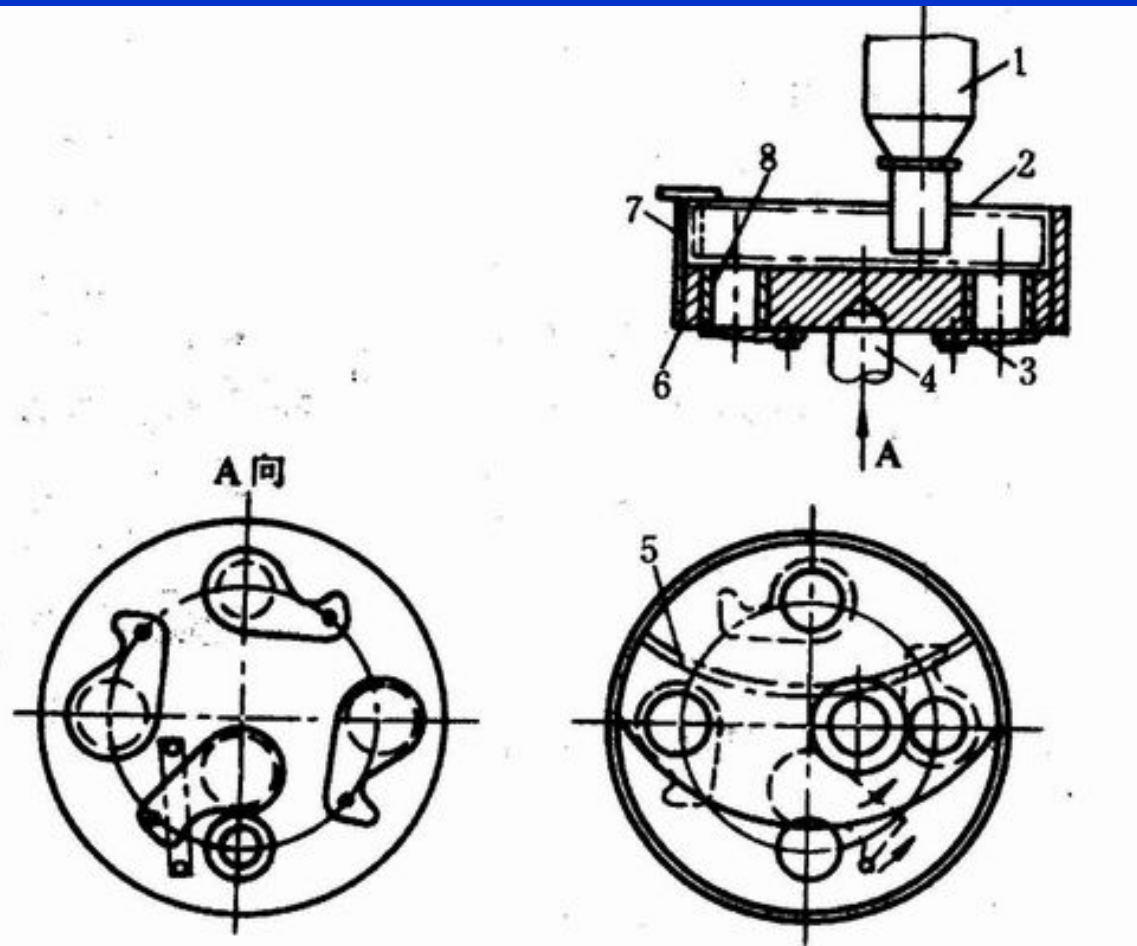


图 10-49 容杯式定量充填设备示意图

1. 料斗 2. 有机玻璃罩 3. 活门底盖 4. 转轴 5. 刮板
6. 转盘 7. 护圈 8. 定量杯

- 可调容杯式计量装置，它的定量容杯由两个相配合的套筒组成，沿轴向改变两个套筒的相对位置就能调节定量杯的容积大小。可以手动，也可以自动调整。

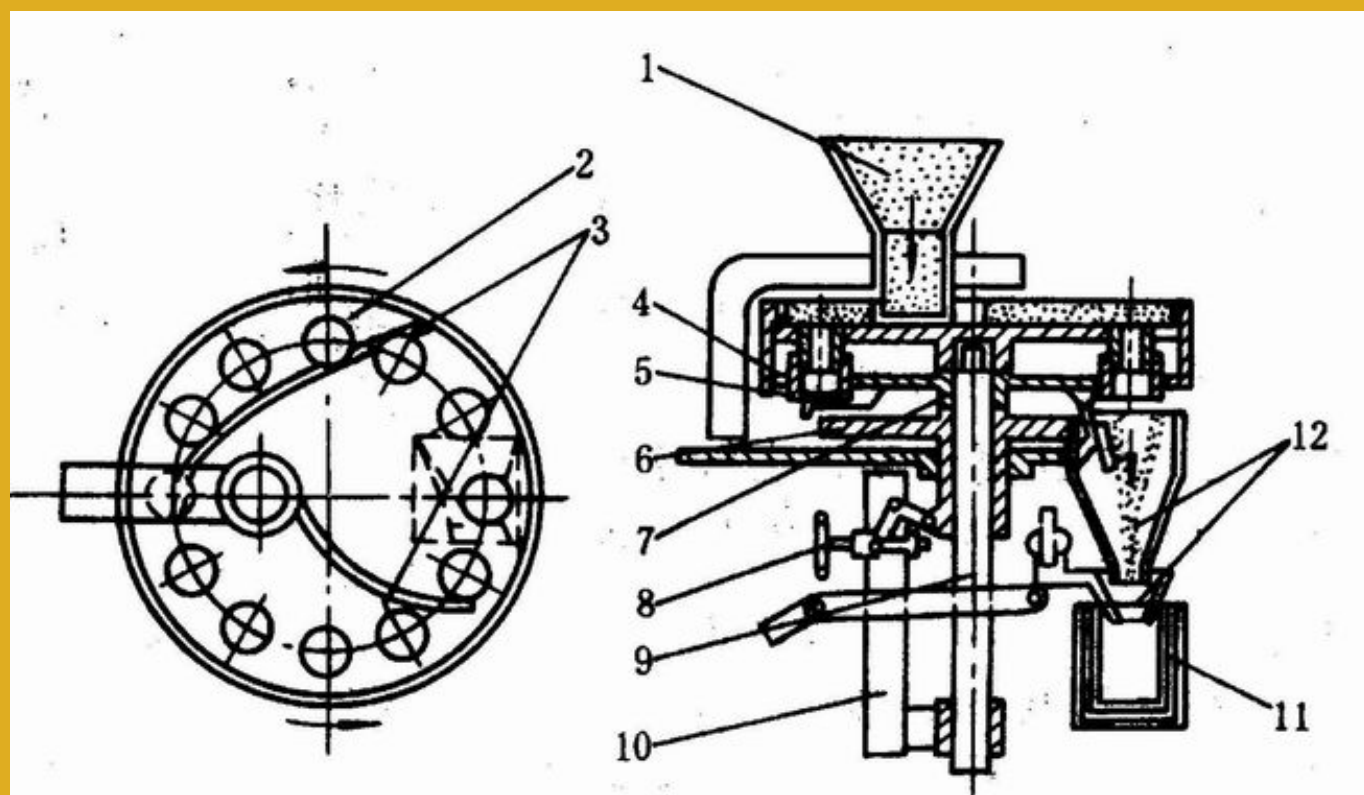


图 10-50 可调容杯式定量充填装置示意图

1. 料斗 2. 转盘 3. 刮板 4. 容杯 5. 底盖 6. 导轨 7. 托盘
8. 容杯调节机构 9. 转轴 10. 支杆 11. 瓶罐 12. 漏斗

- 生产率 Q 的计算:

$$Q = G m n \quad (\text{kg}/\text{min})$$

- 式中 G——每个定量杯中物料的质量 (kg)

$$G = V \rho$$

- n——回转圆盘的转速 (r/min)
- m——回转圆盘的定量杯数 (个)
- V——定量杯的容积 (cm^3)

- 固定定量杯的容积:
$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 H \quad (\text{cm}^3)$$

- 式中 d——固定定量杯直径 (cm) ;
- H——固定定量杯高度 (cm) 。

- 可调整杯的容积:
$$V_{\text{调}} = \frac{\pi}{4} (d_1^2 H_1 + d_2^2 H_2) \quad (\text{cm}^3)$$

- 式中 d_1 ——上容杯内径 (cm) ;
- H_1 ——上容杯高度 (cm) ;
- d_2 ——下容杯内径 (cm) ;
- H_2 ——下容杯高度 (cm) ;

- 2. 螺杆式计量设备

- 定量螺杆的每个螺距具有一定的理论容积，只要精确控制螺杆的转数，就能获得较正确的计量。

- 该装置在制药、食品计量充填包装和日用化工中用来对粉体或细颗粒物料的计量，特别适用于粉体。螺杆转数一般为每分钟 80 次，计量精度为 5%。定量螺杆的计算。

- 每圈螺旋的容积 V ：

- $$V = F L \quad (\text{cm}^3)$$

- 式中 F ——矩形螺旋的截面积，

- $$F = St/2 \quad (\text{cm}^2) ;$$

- S ——螺距 (cm)；

- t ——一圈螺旋的周长 (cm)；

- L ——螺旋展开长度 (cm)

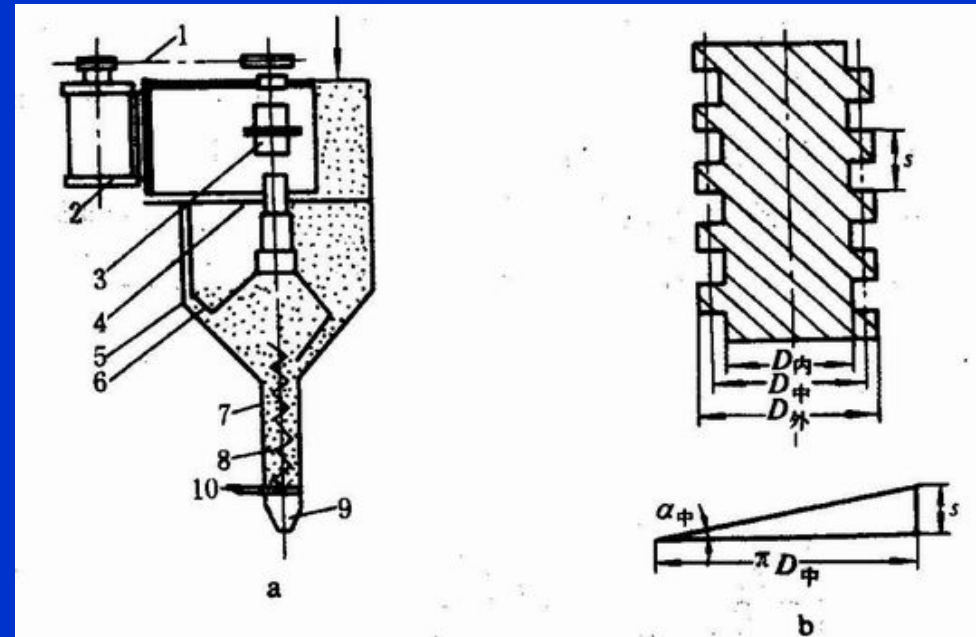


图 10-51 螺杆式计量设备示意图

a. 结构示意图 b. 计量螺杆剖面尺寸

1. 传动皮带 2. 电动机 3. 电磁离合器 4. 支承 5. 料斗 6. 搅拌器 7. 导管 8. 计量螺杆 9. 漏斗 10. 闸门

- 可展开螺旋的中径计算L值为:

$$L = \frac{\pi D_{\text{中}}}{\cos \alpha_{\text{中}}}$$

- 式中 $D_{\text{中}}$ —— 矩形螺旋的中径 (cm) ;
- $\alpha_{\text{中}}$ —— 螺旋中径的升角 ($^{\circ}$)

- 则

$$V = FL = \frac{\pi s t D_{\text{中}}}{2 \cos \alpha_{\text{中}}}$$

-
- 每次定量螺旋杆的送料量:

$$G = V \rho n_0 \text{ (kg/次)}$$

- 式中 ρ —— 物料的密度 (kg/m^3) ;
- n_0 —— 每次定量螺旋送料的转速 (r/min) 。

- 定量螺旋的生产率:

$$Q = 60Gn \text{ (kg/h)}$$

- 式中 n —— 每分钟定量螺杆的转速 (r/min) 。

- 3. 方形容器往复式计量设备
- 4. 转鼓式计量设备
- 5. 柱塞式计量设备

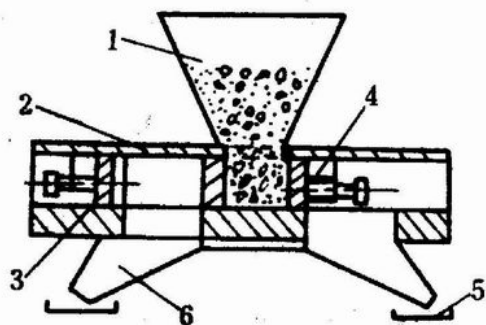


图 10-52 方形容器往复式计量设备

1. 料斗 2. 机体 3. 计量板 4. 计量容腔调节螺丝 5. 包装容器 6. 落料斗

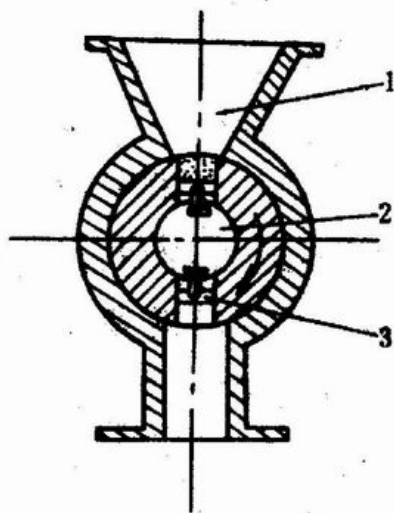


图 10-53 转鼓式计量设备

1. 物料 2. 转鼓 3. 柱塞板

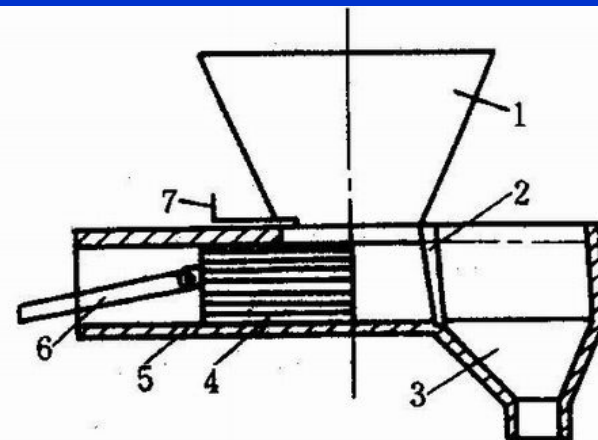


图 10-54 柱塞式计量设备

1. 料斗 2. 弹性活门 3. 装料斗 4. 柱塞
5. 柱塞缸 6. 连杆 7. 调节活门

- (二) 重量式定量充填设备 采用称重方法对物料进行计量，而后装入容器的设备。称重设备一般由供料器、秤和控制系统三个基本部分组成。常用的秤有杠杆秤、弹簧秤、液压秤和电子秤。有间歇式和连续式两种称重方式。
 - 1. 间歇式称重充填设备 它可以称净重（先称重后装料），也可以称毛重（先装料后称重）。可分为：
 - (1) 单路称重充填设备，又叫一次加料称重设备，利用杠杆秤的原理，一次称重和装料，其计量精度较低，为了提高称重精度，可由单路称重改为双路称重。
 - (2) 双路称重充填设备 又叫二次加料称重设备，即由粗称和精称两部分来完成，粗称占全部重量的80%—90%，而剩下的10%—20%由精称完成。
 - 按下料方式不同，双路称重又可分为靠倾斜自重下料和靠振动下料两种下料方式。
 - 双路称重装置的工作循环一般为10s左右，其最高速度不大于每分钟30次。

(二) 重量式定量充填设备

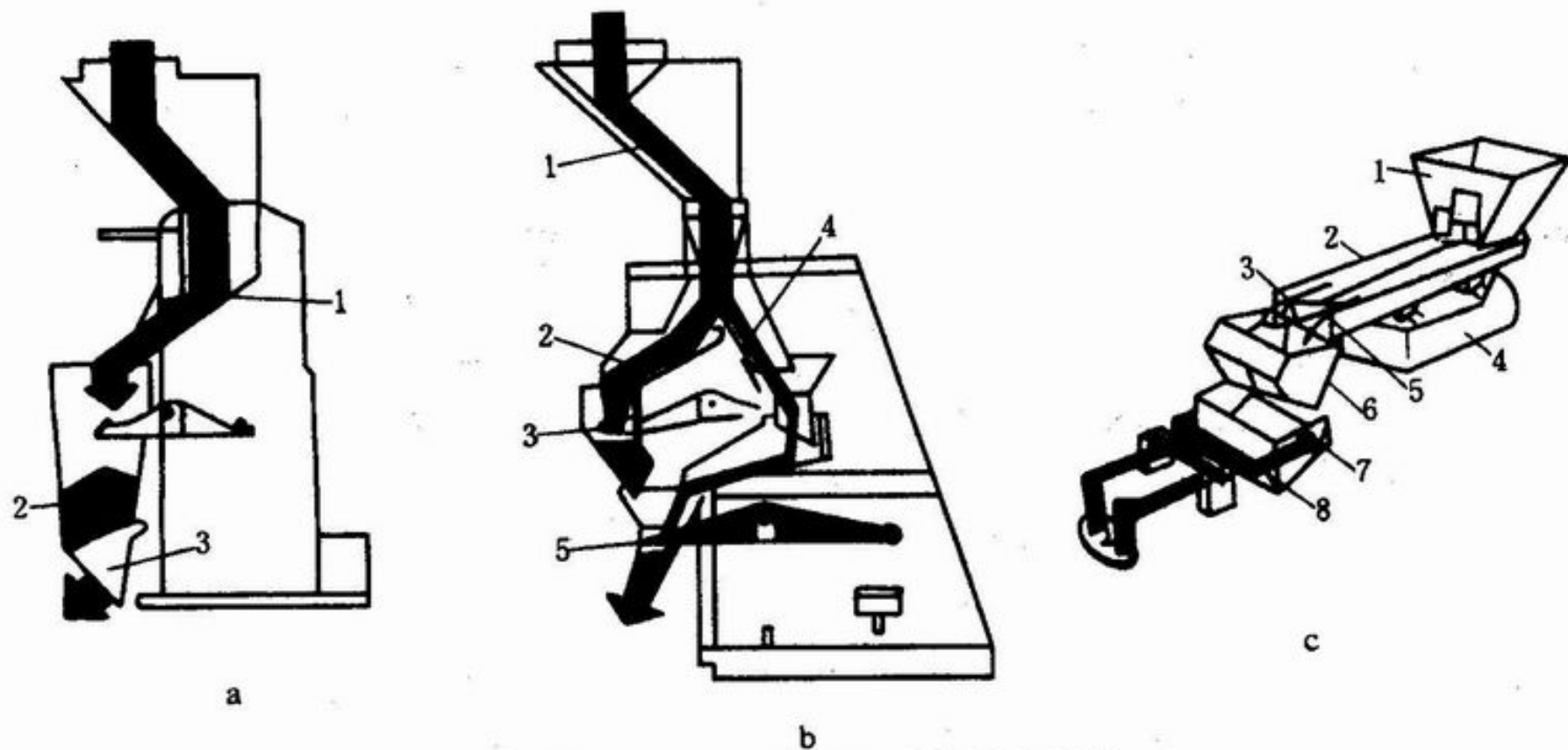


图 10-55 单路和双路称重示意图

a. 单路加料称重 1. 加料 2. 称重 3. 料门

b. 双路加料分别称重 1. 料斗 2. 粗加料 3. 粗称 4. 细加料 5. 精称

c. 双路加料一次称重 1. 料斗 2. 振动料盘 3. 粗加料料道 4. 秤体 5. 细加料料道 6. 注料斗
7. 称盘 8. 杠杆秤

为了提高称重速度，可采取如下措施：

- ①将若干个天平秤安装在一个等速旋转的圆盘上；
- ②集中称重后再等分成若干份，进行充填包装。

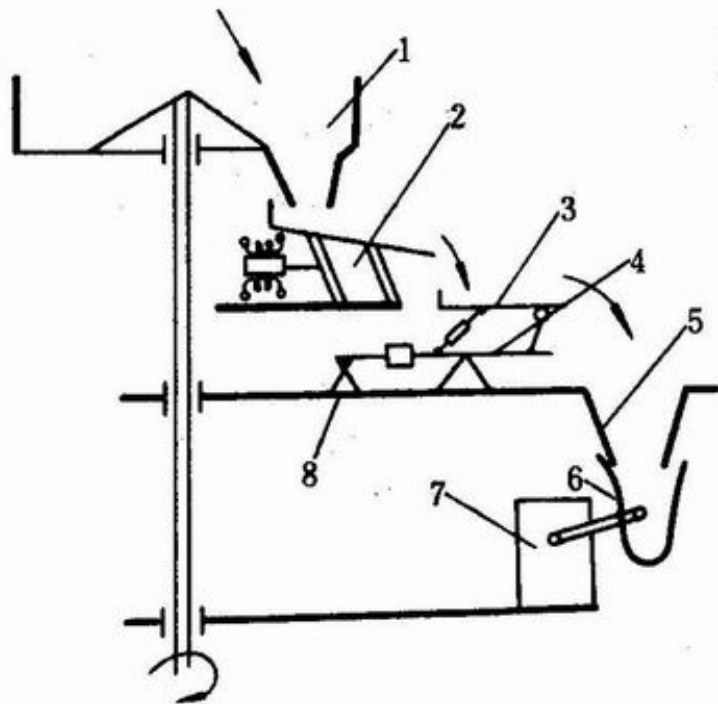


图 10-56 转盘式多秤计重装置

1. 盛料盘 2. 电磁振动供料器 3. 翻斗式受料器
4. 天平 5. 充填漏斗 6. 包装容器 7. 取袋器
8. 触点开关

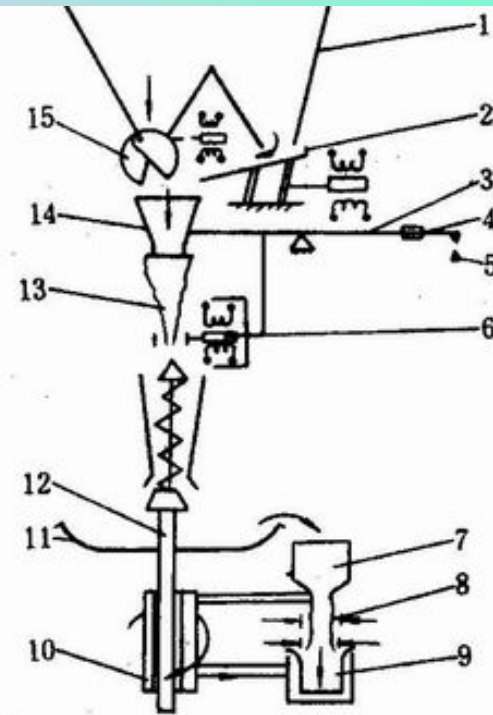


图 10-57 集中称重离心等分装置

1. 料斗 2. 微供料振动器 3. 天平
4. 砝码 5. 触点开关 6. 放料电磁铁 7. 等分盘
8. 软接料管 9. 包装容器 10. 空心等分轴
11. 离心盘 12. 离心盘轴 13. 橡皮受料斗
14. 料斗 15. 大供料斗

- 2. 连续式称重设备
- 常用的有如下几种：
- (1) 控制闸门开启的电子皮带秤

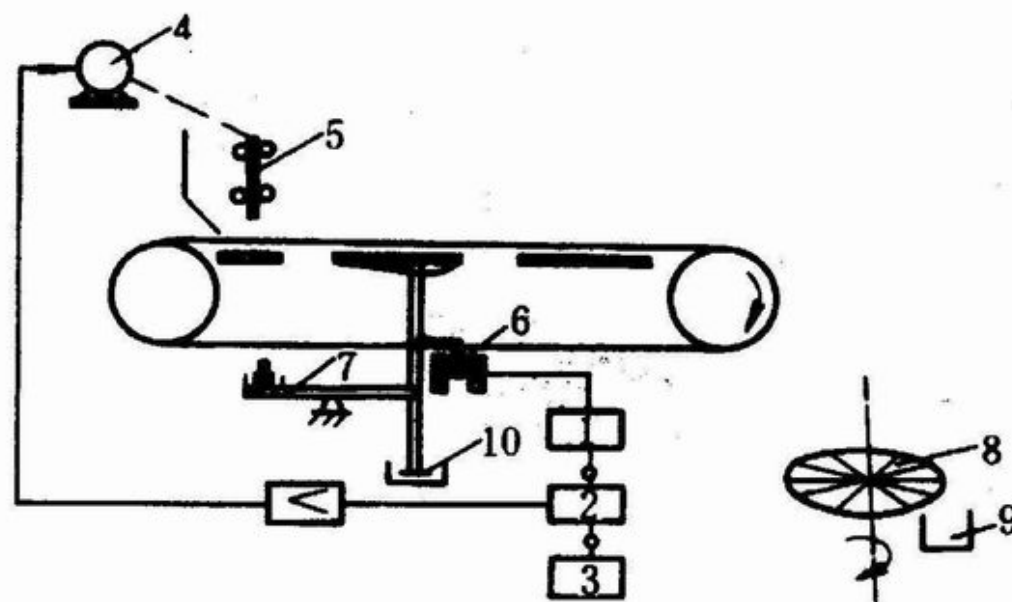


图 10-58 控制闸门开启的电子皮带秤

1. 整流器 2. 调节器 3. 重量给定 4. 可逆电机
 5. 闸门 6. 差动变压器 7. 秤 8. 等分格
 转盘 9. 包装容器 10. 阻尼器

控制皮带速度的电子皮带秤

控制闸门和皮带速度的电子皮带秤

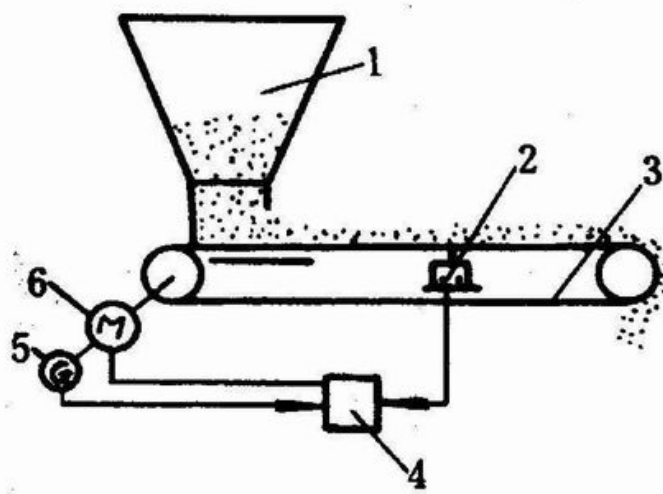


图 10-59 控制皮带速度的电子皮带秤
 1. 漏斗 2. 传感器 3. 秤量皮带 4. 计重调节器 5. 测速发电机 6. 调速电机

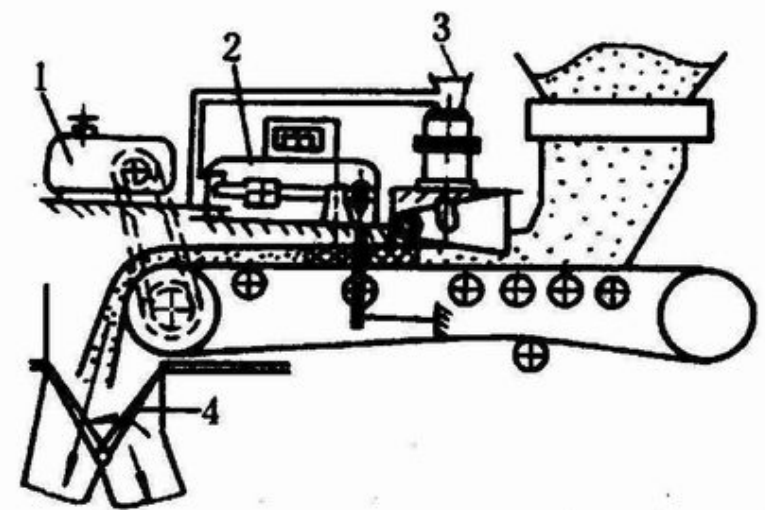


图 10-60 控制闸门和皮带速度的电子皮带秤
 1. 速度调节器 2. 称重器
 3. 驱动料门机构 4. 分路摇板

(2) 螺旋计量秤

- 分为速度调节式和重量调节式两种型式，适用于流动性好的粉粒状物料的计量。

- ①速度调节式螺旋计量秤：

- ②重量调节式螺旋计量秤：

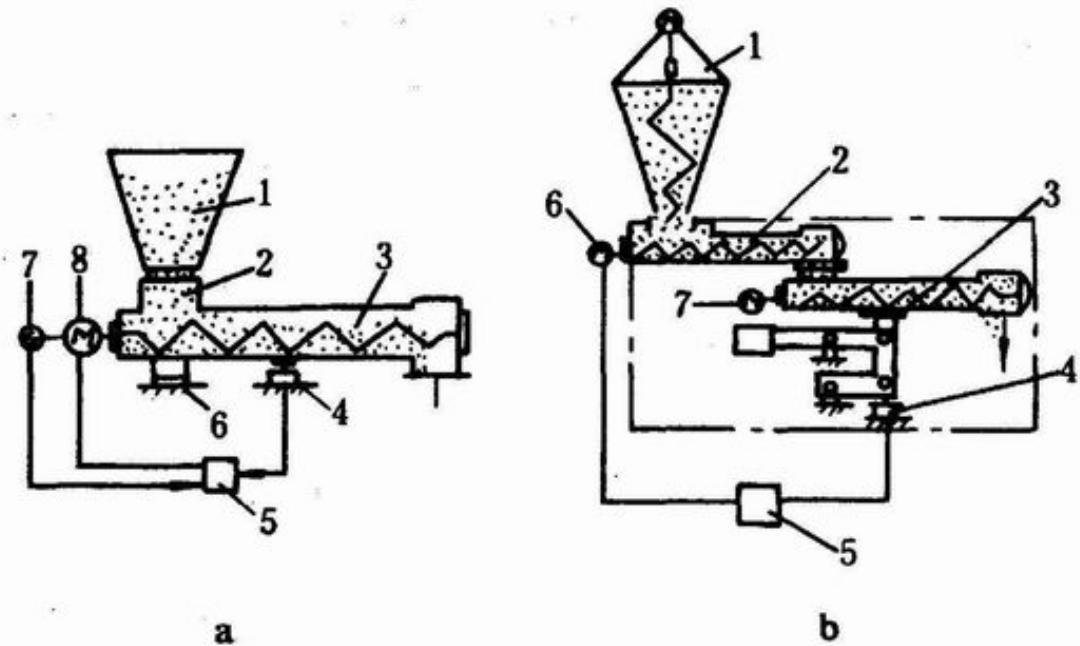


图 10-61 螺旋计量秤

- a. 速度调节式 1. 料斗 2. 受料口 3. 计量螺旋 4. 传感器
5. 调节器 6. 簧片 7. 测速电机 8. 调速电机
- b. 重量调节式 1. 料斗 2. 输料螺旋 3. 计量螺旋 4. 传感器
5. 调节器 6. 调速电机 7. 驱动电机

二、蘑菇定量装罐机

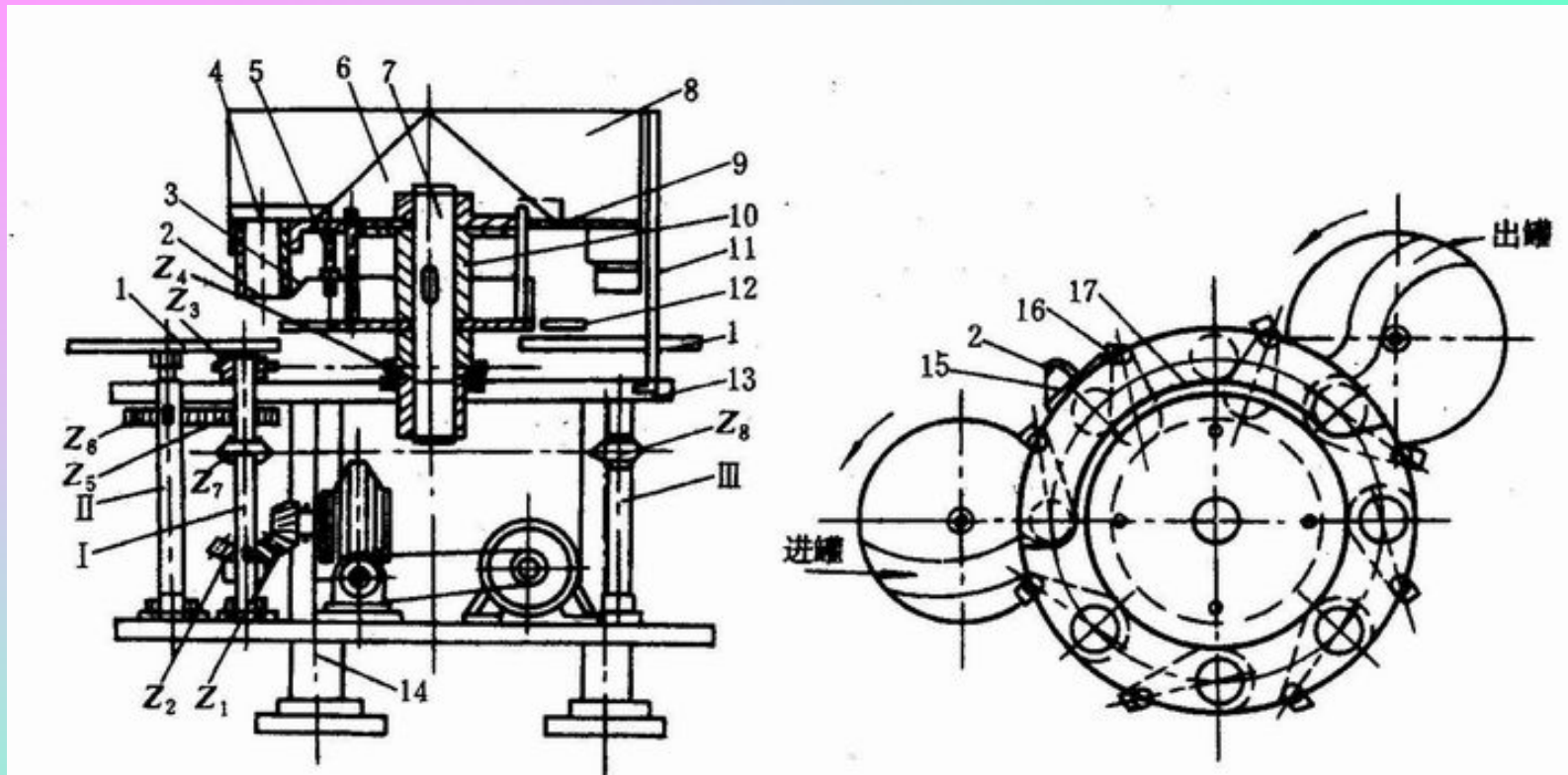


图 10-62 蘑菇定量装罐机示意图

1. 进出罐转盘 2. 活门阀门 3. 放料阀门开启机构 4. 定量杯 5. 轴 6. 圆锥体
 7. 主轴 8. 料斗 9. 旋转圆盘 10. 套轴 11. 支架 12. 星形轮 13. 固定圆盘
 14. 主柱 15. 开阀门小轴 16. 关闭销杆 17. 挡板



XLB-FD全自动立式粉剂包装机 平面自动贴标机

称重包装生产线



全自动旋盖机

全自动充填旋盖包装机

商标印刷机





第七章 换热设备

• 第一节 热源与加热方式

- 一、热源的种类与特点
- 加热的定义：使物质温度升高的操作，使物质分子运动动能增大的操作
- 热能获得：
 - ①氧化反应---燃烧
 - ②电热转换，焦尔热
 - ③光热转换，太阳能
 - ④摩擦生热
 - ⑤能量转移，热泵，传热
- 加热作用：
 - ①减少水分，干燥
 - ②抑制微生物，杀菌
 - ③生化作用，熟制

能源种类：①固体燃料，煤，柴；
②液体燃料，重油、煤油、柴油；
③气体燃料，液化石油气、天然气；
④电能；
⑤太阳能。

二、加热方式的种类、用途和经济性

- 加热方式基本有三种：
- ①利用热源或燃烧燃料产生烟气，直接或间接对物料加热；
- ②利用热源产生的蒸汽，通过换热对物料加热；
- ③利用电能产生微波、红外线，以辐射方式对物料加热。

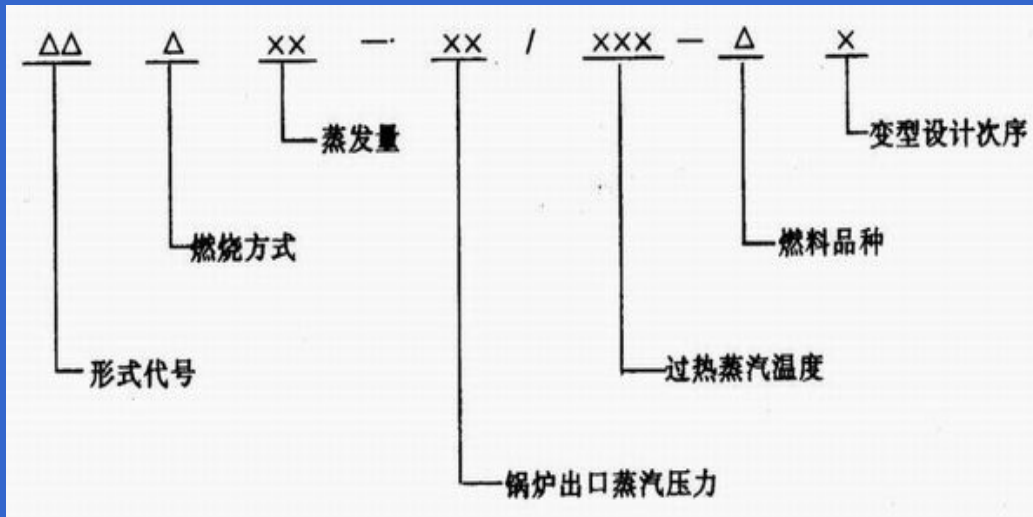
表 7-1 加热方式的种类、用途和经济性

热 源	载热介质		对物料的加热方式	用 途	经 济 性		操作性
					设备费	作业费	
煤	烟 气		直 接	干 燥	低	低	差
	空 气		直 接	干 燥	较高	低	一般
	蒸 汽	空 气	直 接	干 燥	高	稍高	较好
		水	直 接	漂烫、预煮	高	中	一般
		金属管、壁	传导、对流	干燥、杀菌、浓缩、蒸馏	高	稍高	较好
	蒸 汽		直 接	杀菌、蒸馏、杀青	中	较低	一般
	煤 气		间 接	公共饮食业	中	中	好
电	空 气		直 接	干 燥	低	高	好
	食 用 油		直 接	油 炸	低	高	一般
	远红外线		辐 射	烘烤、干燥	低	高	好
	微 波		内部加热	干燥、杀菌	高	高	好
液体燃料	烟 气		直 接	干 燥	稍高	①	一般
	空气、水、油		直接或间接	多种用热	高	①	好
气体燃料	烟 气		直 接	干 燥	稍高	①	一般
	空气、水、油		直接或间接	多种用热	高	①	好
太阳能	空 气		直 接	干 燥	很低	低	很差
秸 秆	空 气		直 接	干 燥	较高	低	差

注：① 按燃料价格而定。

第二节 工业锅炉

- 一、分类
- 工业锅炉按其容量、结构、所用燃料和按照方式等进行分类。



二、工业锅炉型号表示方法

- 工业锅炉产品型号的表示方法采用原机械工业部标准JB 1626。
- 型号的组成如下：

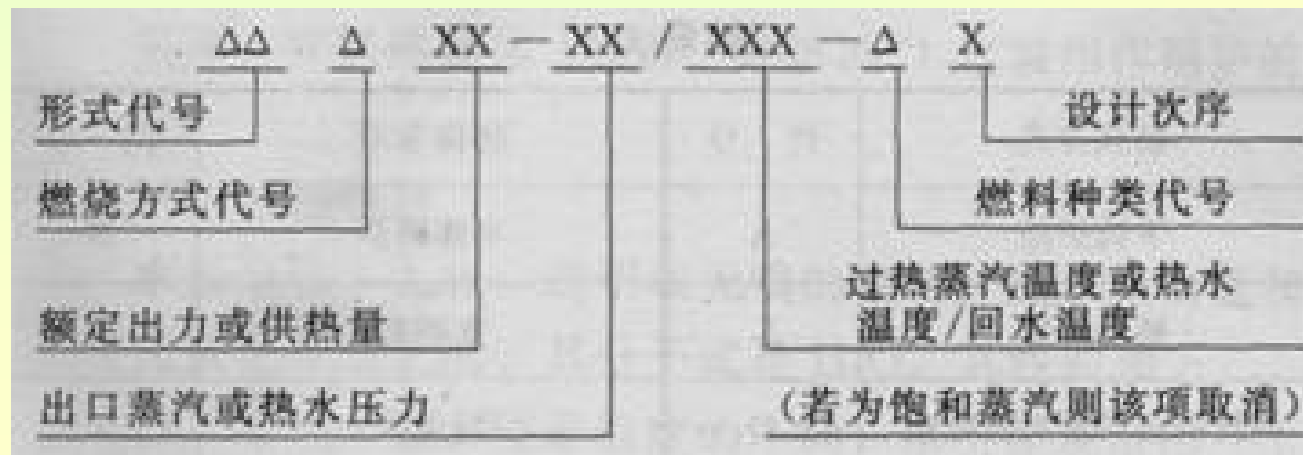


表7-2 工业锅炉类型
(机械工程手册, 13卷, 1982)

分类方法	锅 炉 类 型	
按锅炉型式	火 管	立式弯水管(LS)、立式直水管(LS)、立式横火管(LH)、卧式内燃回火管(WN)等
	水 管 ①	单锅筒纵置式②(DZ)、单锅筒横置式(DH)、单锅筒立置式(DL)、双锅筒纵置式(SZ)、 双锅筒横置式(SH)、纵横锅筒式(ZH)、强制循环式(QX)
按燃烧设备	固定炉排(G)、活动手摇炉排(H)、链条炉排(L)、抛煤机(P)、倒转炉排抛煤机(D)、振动炉排(Z)、下 饲式炉排(A)、往复推饲炉排(W)、沸腾炉(F)、半沸腾炉(B)、室燃炉(S)、旋风炉(X)	
按燃料种类	无烟煤(W)、贫煤(P)、烟煤(A)、低质烟煤(L)、褐煤(H)、油(Y)、气(Q)、木柴(M)、甘蔗渣(G)、稻壳 (D)、煤矸石(S)、特种燃料和余热锅炉	
按出厂型式	快装(K)、组装、散装	
按供热工质	蒸汽、热水及其他工质	

注：① 快装式水管锅炉用K代替锅筒数量代号。

② 包括火管锅炉。

二、技术和经济性指标

- (一) 蒸发量(蒸汽锅炉) 额定蒸汽量 “t/h”或“kg/h”。
- 发热量(热水锅炉), 单位 “kJ/h”。
- (二) 压力
- 蒸汽或热水额定压力(表压)称为锅炉的工作压力(Pa)
- (三) 温度
- 生产饱和蒸汽的锅炉只标明其工作压力, 查表可得蒸汽温度。生产过热蒸汽的锅炉或热水锅炉, 标明出口处过热蒸汽或热水的温度。

- (四) 锅炉的效率

- 是指锅炉用于生产蒸汽或热水的热量占所消耗燃料的全部热量的百分比。一般工业锅炉的效率为60%~80%。

- (五) 煤水比

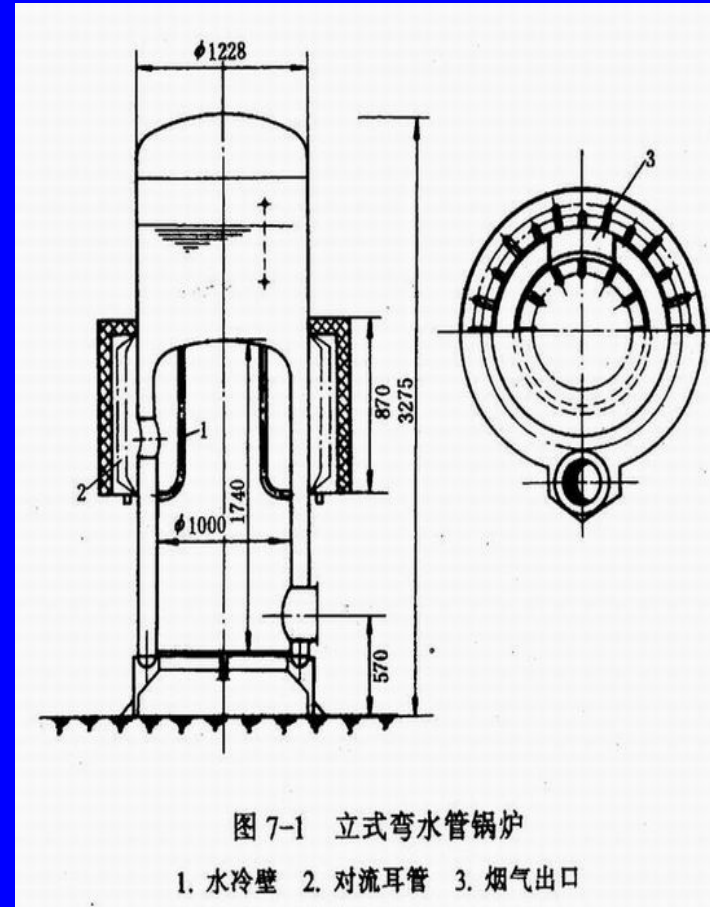
- 单位时间的耗煤量和所产生的蒸汽量之比，它与锅炉的型式、燃煤品种和运行管理情况有关，一般为1: 6—1: 15。

- (六) 金属消耗率

- 锅炉的金属消耗率是指制造锅炉耗用的金属重量与其额定蒸发量之比，工业锅炉的金属消耗率为2—6。

三、结构、工作过程与特点

- (一) 立式弯水管锅炉
- 组成：
- 优点：这种锅炉的优点是蒸汽空间较大，运行较稳定；辐射兼对流加热，热效率较高；除垢和清灰都比较方便；结构紧凑，安装、维修方便。
- 缺点：因辐射受热面太大，不宜用水分和灰分多的劣质煤；金属耗量大。





- 立式弯水管蒸汽锅炉
- **LSGI-0.4-AII 0.7**

名称	单位	规格
额定蒸发量	t/h	1
额定工作压力	Mpa	0.4-0.7
饱和蒸汽温度	° C	151-170
锅炉热效率	%	78
传热面积	m ²	42-47
炉排面积	m ²	1.13
设计煤炉		II类、烟煤
锅炉自重	t	5.9
外形尺寸（直径×高）	m	2.2×4.6

2. 卧式水、火管快装锅炉

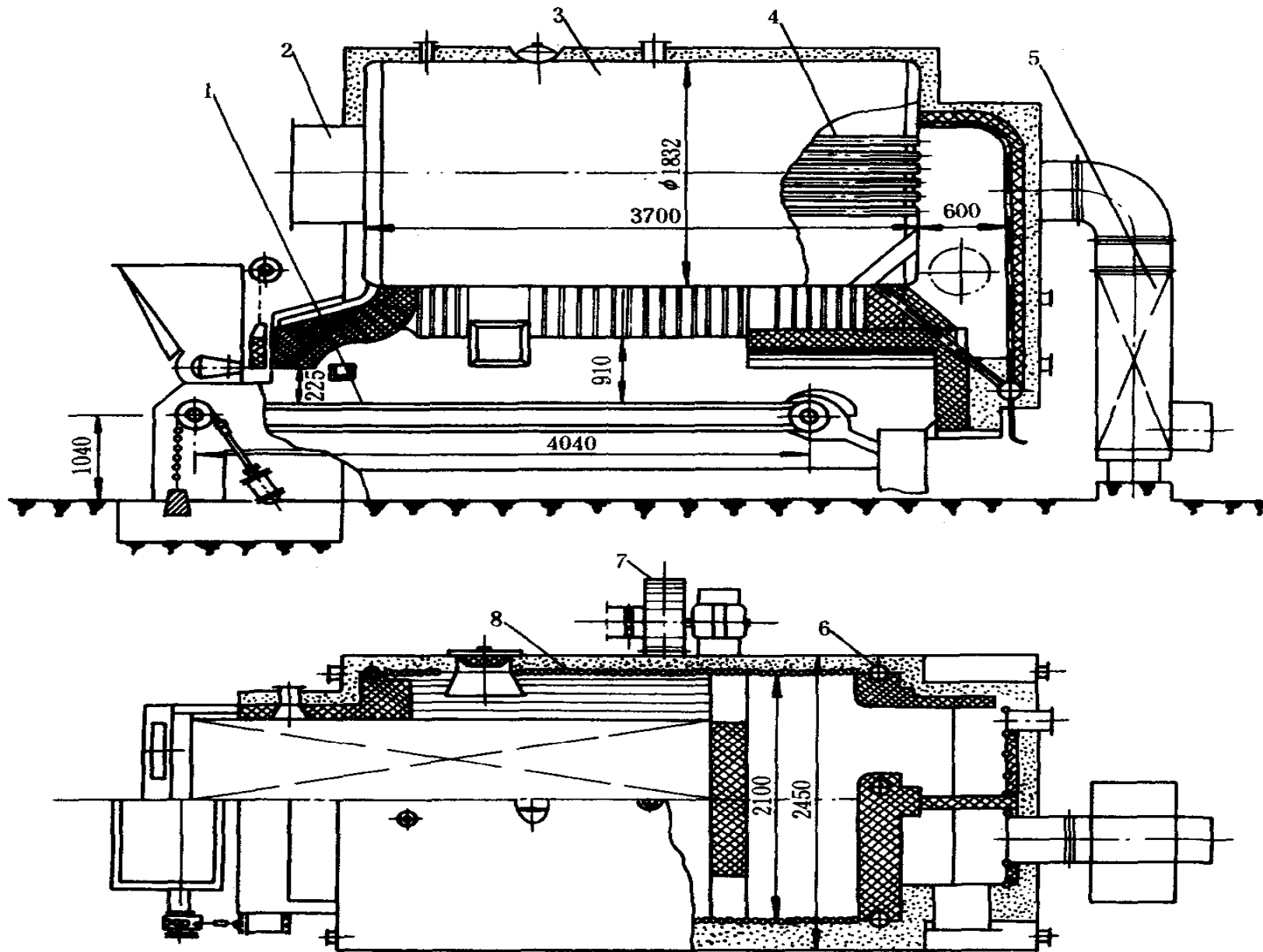


图 7-2 KZL4—13—II型快装锅炉

1. 链条炉排 2. 前烟箱 3. 锅筒 4. 烟管 5. 省煤器 6. 下降管 7. 送风机 8. 水冷壁管



- DZL系列卧式水火管快装链条常压热水锅炉

主要技术规范

型号 DZL0.7-95/70-w ii

额定蒸发量 0.7 t/h

工作压力 常压

循环水量 24 t/h

额定出水温度 95 °C

额定回水温度 70 °C

热效率 76.9 %

适用燃料 w ii、A ii

燃烧方式 链条层燃

取暖面积 m² 6000-7000

锅炉安装外形尺寸 mm 5400*4000*4100

大件运输重量 15.29 t

（二）卧式水、火管快装锅炉

- 1. 结构
- 2. 工作过程
- 3. 特点
- 优点：锅炉热效率较高，可达80%，体积小，安装简便，投资省，适于烧烟煤和贫煤。
- 缺点：当负荷突然变大时，容易产生大量汽泡，使水、汽难以分离（称汽、水共腾），火管容易结灰，维修不便。

3. 双锅筒横置式水管锅炉

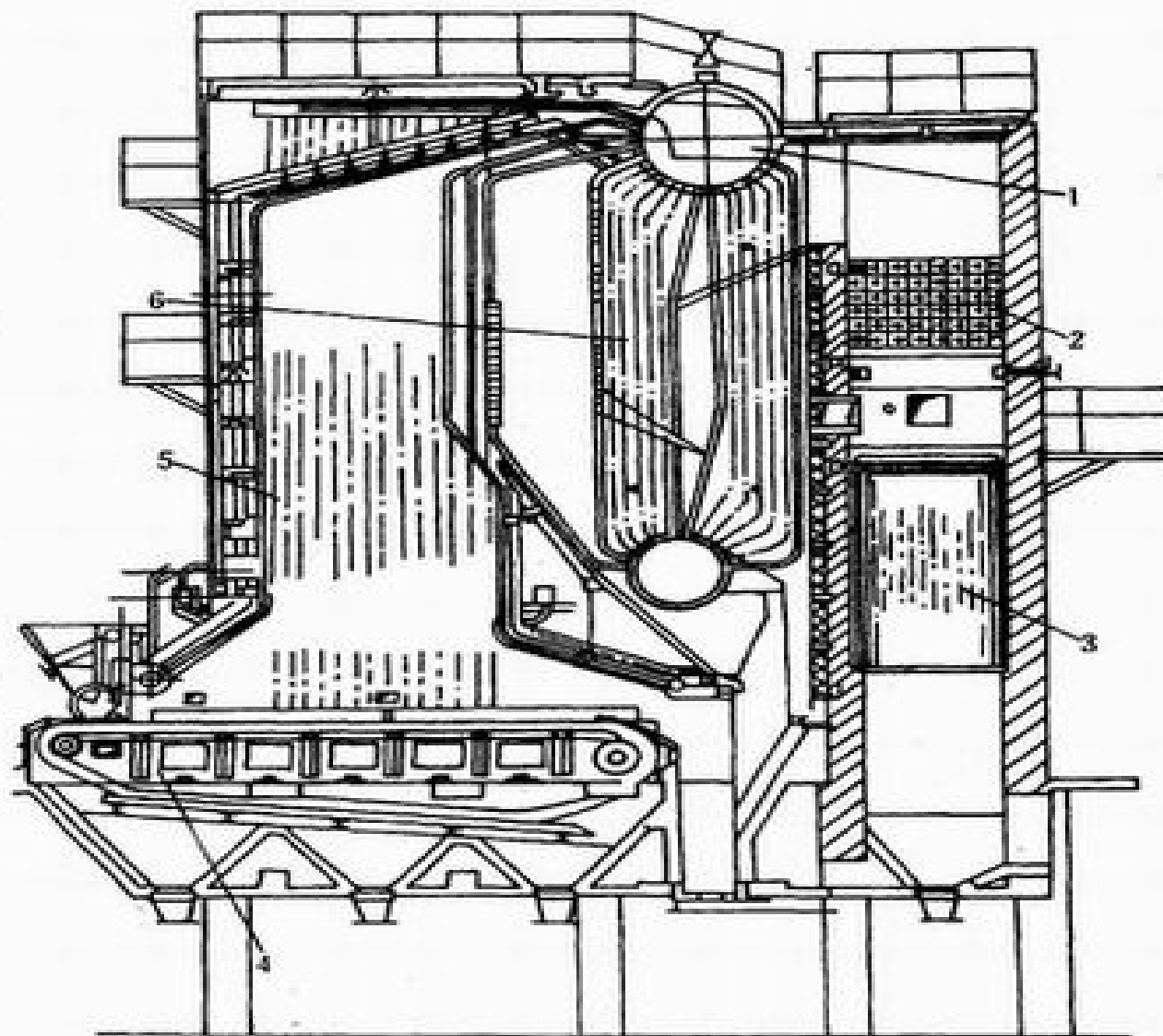
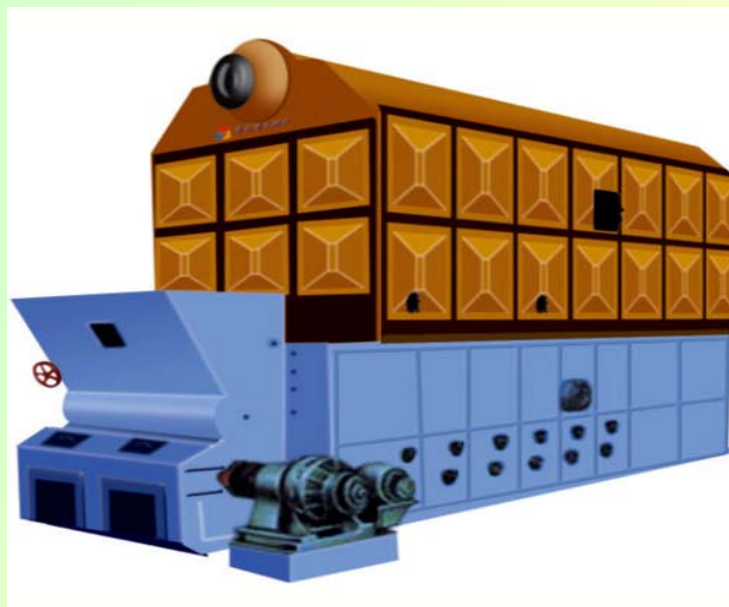


图 7-3 SHL20-13型双锅筒横置式锅炉

1. 上锅筒 2. 省煤器 3. 空气预热器 4. 链条炉排
5. 水冷壁管 6. 对流管束



- **SZL**燃煤组装式蒸汽锅炉
 - 挥发份燃烧完全，无黑烟；
 - 结构新颖，热效率高；
 - 引风负压燃烧，出力足；
 - 烟速高，传热快；
 - 烟气在炉内流程长，排烟温度低。

（三）双锅筒横置式水管锅炉

- 1. 结构
- 2. 工作过程
 - 燃料燃烧：
 - 水的循环：
- 3. 特点
 - 优点：结构紧凑、运行稳定可靠、传热效果好，通用化、系列化程度高。
 - 缺点：结构复杂，金属耗量大。

四、选 择

- (一) 一般要求
- ①燃料品种一致；
- ②热负荷变化的适应性和压火性能较好；
- ③消烟除尘效果好，符合我国《工业、三废、排放试行标准》
- ④热效率高，燃料消耗少；
- ⑤操作管理方便。劳动强度小，自动化程度高。

- (二) 锅炉的类型、容量及台数

- 锅炉房最大设计容量 Q_{\max} 按下式计算:

- $$Q_{\max} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (\text{t / h})$$

- 式中 Q_1 —全厂各车间小时最大耗汽量;

- Q_2 —全厂生活用汽小时最大耗汽量;

- Q_3 —锅炉房自用汽量, 一般取5%~8%;

- Q_4 —管网损失一般取5%~10%。

第三节 空气预热设备

• 一、蒸汽加热的空气预热设备

• (一) 空气过滤器

- 过滤面积由所需风量确定，可按下式计算：

$$F = \frac{Q}{M}$$

- 式中 F—过滤面积 (m²)

- Q—通过过滤层的空气量(m³ / h) 。

- M—过滤强度，即滤层的单位面积所允许的空气负荷 [m³ / (m²·h)]，一般为4000~8000[m³ / (m²·h)]。

- 空气通过滤层时之阻力。可按下式计算：

- $$H_f = 4.9 \text{ } sv^{1.8}$$

- 式中H_f—空气通过滤层时之阻力 (Pa) ；

- S—滤层之厚度 (cm) ；

- v—过滤速度 (m / s) 。

-

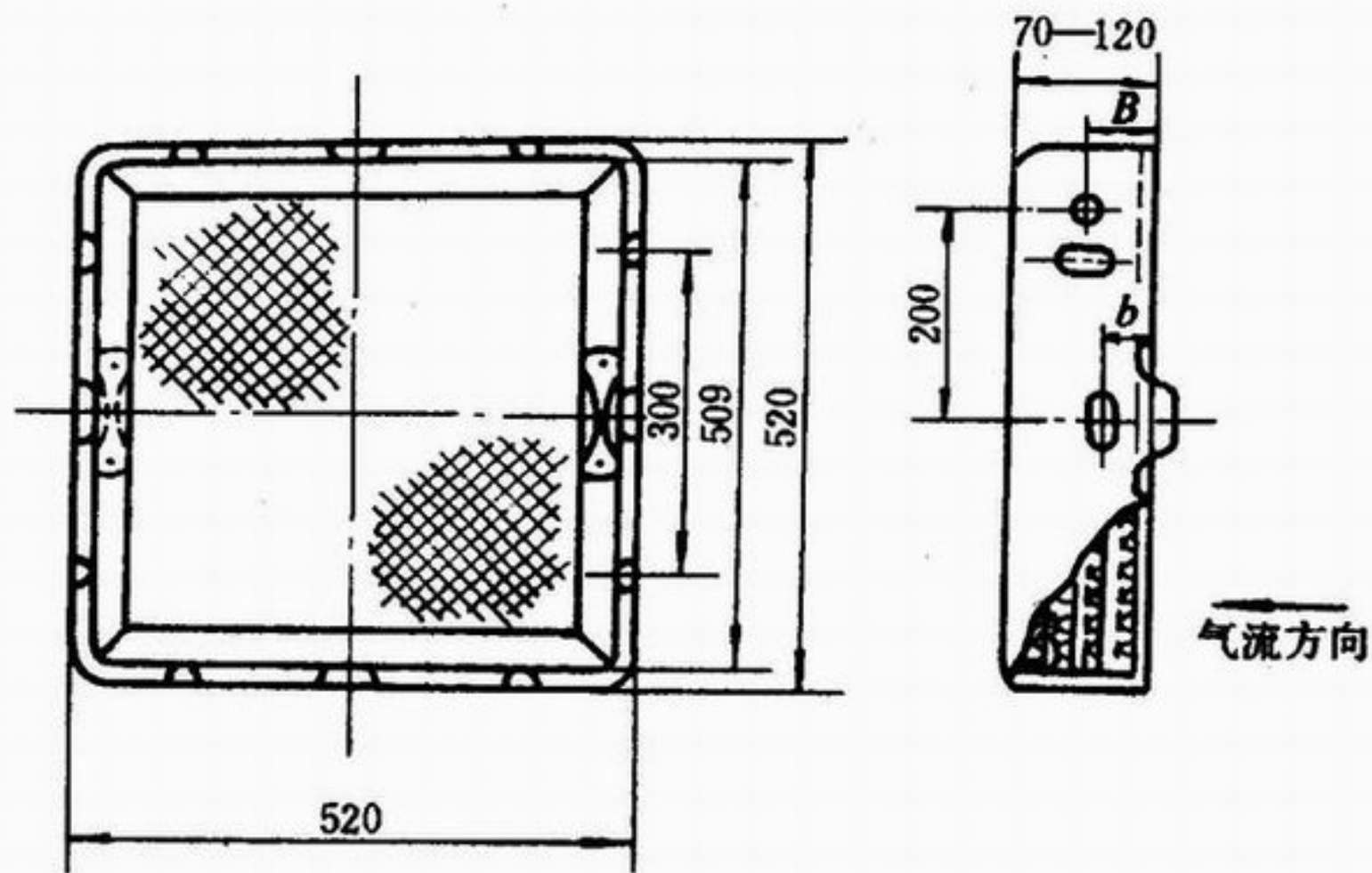


图 7-4 LWP型过滤单体

过滤器的种类及功能

- [主管路过滤器]
- 安装在主管路中。清除压缩空气中的油污、水和粉尘等，以提高下游干燥器的工作效率，延长精密过滤器的使用时间。 [
- [油雾分离器]
- 可分离掉主管路过滤器和空气过滤器难以分离掉的 $0.3\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ 气状溶胶油粒子及大于 $0.3\ \mu\text{m}$ 的锈末、炭粒。装在电磁先导阀及间隙密封滑阀的气源上最合适。
- [微雾分离器]
- 可清除 $0.01\ \mu\text{m}$ 以上的气状溶胶油粒子及 $0.01\ \mu\text{m}$ 以上的炭粒和尘埃。可作为精密计量测量用高净空气和洁净室用压缩空气的前置过滤器。
- [超微油雾分离器]
- 可除去压缩空气中的气态油粒子，且寿命长。能把有油的压缩空气变成无油压缩空气。用于涂装线、洁净室等场合。
- [除臭过滤器]
- 除去压缩空气中的气味及有害气体等。滤芯使用活性炭素纤维（ $1420\text{m}^2/\text{g}$ ）、且易更换。过滤精度 $0.01\ \mu\text{m}$ （去除95%颗粒）
- [水分分离器]
- 除去压缩空气中99%的水滴。分水效率比主管路过滤器高，比空气干燥器低。不需要电源。采用特殊滤芯。

- (二) 换热器
- 1. 结构与特点

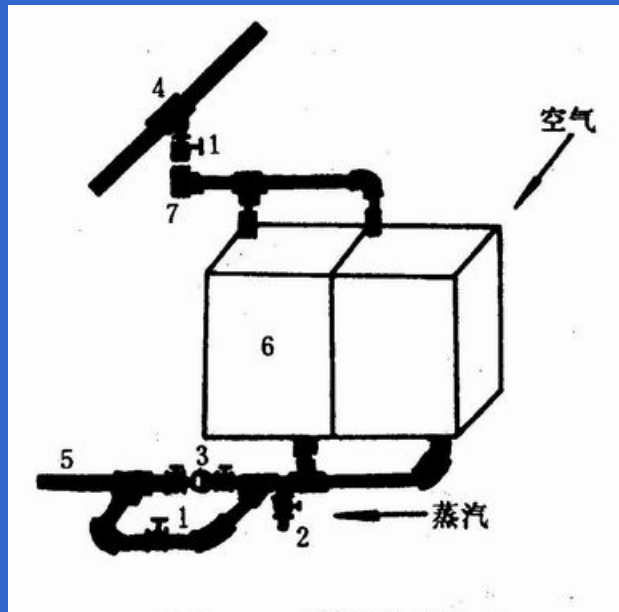


图 7-5 换热器配置

1. 球阀 2. 泄水阀 3. 疏水阀 4. 蒸汽管
5. 冷凝水管 6. 散热排管 7. 带堵三通

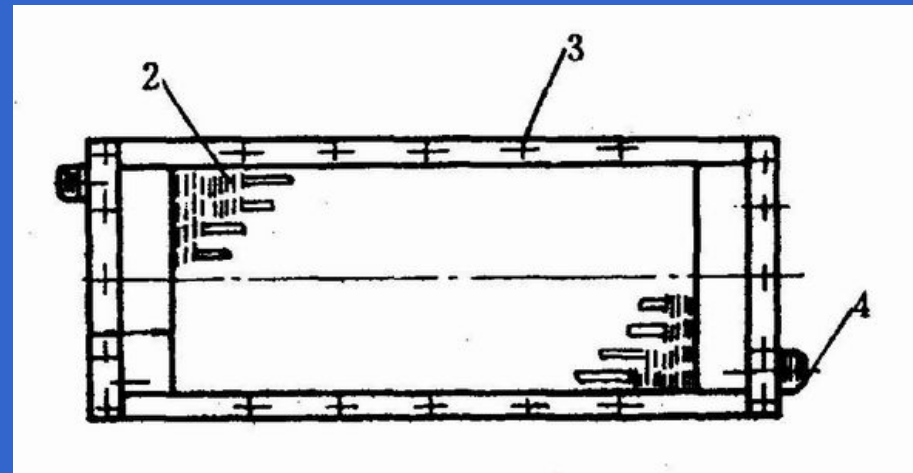


图 7-6 SRZ型散热排管

1. 蒸汽进口 2. 散热管 3. 框架
4. 汽、水出口

- 换热器安装
- 1. 散热排管一般应直立**水平安放**，即蒸汽进口在上部，汽、水出口在下部；
- 2. 在数个散热排管组合使用时，所有进汽管要**并联**连总蒸汽管道，**不允许**两个散热排管**串联**；
- 3. 连接散热排管进、出口的管道尺寸应相同；
- 4. 防止利用连接管来支承换热器；
- 5. 进汽口前的蒸汽管道上可按需要安装压力表。

- 2. 选型步骤和方法如下：
 - (1) 按既定的蒸汽表压查饱和蒸汽温度。
 - (2) 按蒸汽温度和进出风温度查得几种不同散热器排数的表面风速，并比较其利弊，选用适当的排数及相应表面风速 (m/s)。
 - (3) 按空气体积随温度变化的修正系数，求得在进风温度时的理论风量 (m^3 / h)。
 - (4) 根据表面风速和理论风量，计算出排管受风表面积 (m^2)
 - (5) 按受风表面积，查表得散热排管的规格和台数。
 - (6) 根据风量、空气的比热和密度及进、出风温计算得出预热空气所需热量 (kJ / h)。

2. 选型步骤和方法如下：

- (7) 查表得所选排管的通风净截面，按理论风量和空气密度，计算得流经散热排管的空气质量流速 ($\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)。
- (8) 按空气质量流速，查表或通过公式计算出排管的传热系数 [$\text{kJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$] 和空气阻力 (kPa)。
- (9) 对求得的传热系数，按排数进行修正。
- (10) 核实散热排管的散热量，先查表得所选散热排管的散热面积，再根据修正后的传热系数和蒸汽温度、进出风温，利用传热速率方程计算换热器的散热量 (kJ/h)，该值若大于前计算的加热空气所需热量，则认为选择合适。否则重新进行选择运算。

二、烟气加热的空气预热设备

- 管式热风炉
- 优点：结构简单，容易制造，设备费低。
- 缺点：换热器易漏气，使用寿命短，不易清灰。
- LFS—13型热风炉
- 优点：热效率高，对燃料的适应性强，运行可靠，占地面积小。
- 缺点：风温不易控制。清灰较烦，金属耗量大。

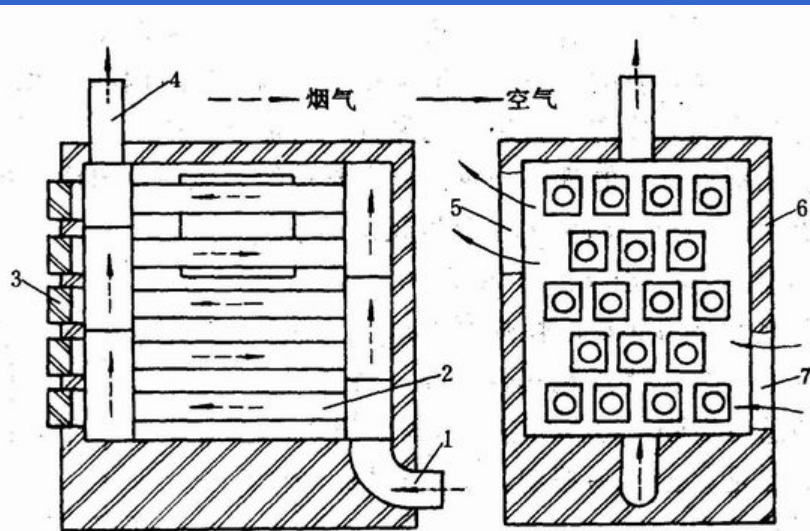


图 7-7 管式热交换器结构示意图

1. 烟道气进口(接煤炉)
2. 金属换热管束
3. 出灰门堵
4. 烟囱
5. 出风口(接通风机)
6. 保温壁
7. 进风口

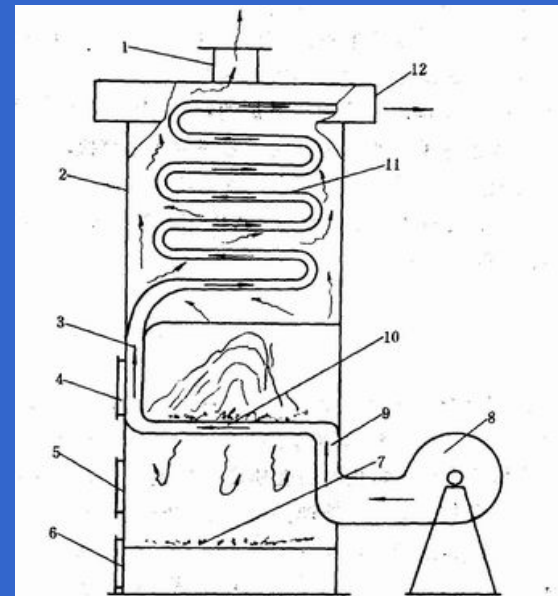
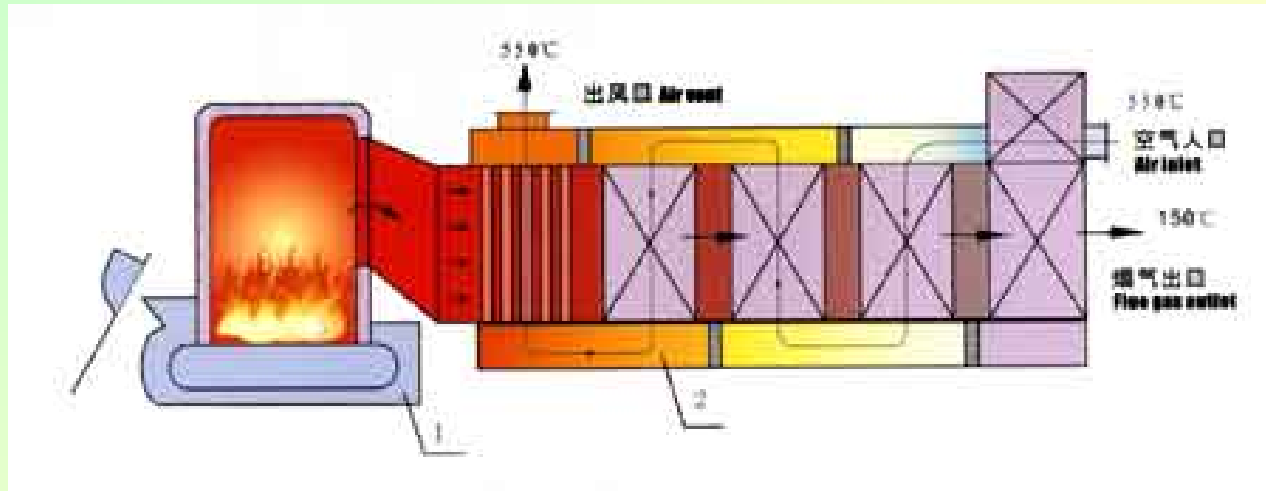


图 7-8 LFS—13型管式热风炉结构示意图

1. 烟囱
2. 壳体
3. 上炉膛前壁空气夹层
4. 投煤口
5. 观察口
6. 清灰门
7. 下层炉条
8. 风机
9. 下炉膛后壁空气夹层
10. 上层炉条
11. 炉管
12. 热风出口



- 由直接式热风炉
 - (1) 燃煤或燃气产生的热烟气进入管束换热器
 - (2) 热烟气经过各级管束后排出，空气进入管束逐次升温后由出风口排出。

- (二) 无管式热风炉
- 又称套筒式热风炉。
- 特点是炉体除冷风罩外，所有金属面都参加热交换，换热面积大；炉蕊内壁焊有散热片，能够强化换热、降低炉壳体温度、延长使用寿命；散热面多为垂直布置，减少积灰；安装简便。但金属耗量大、造价较高。

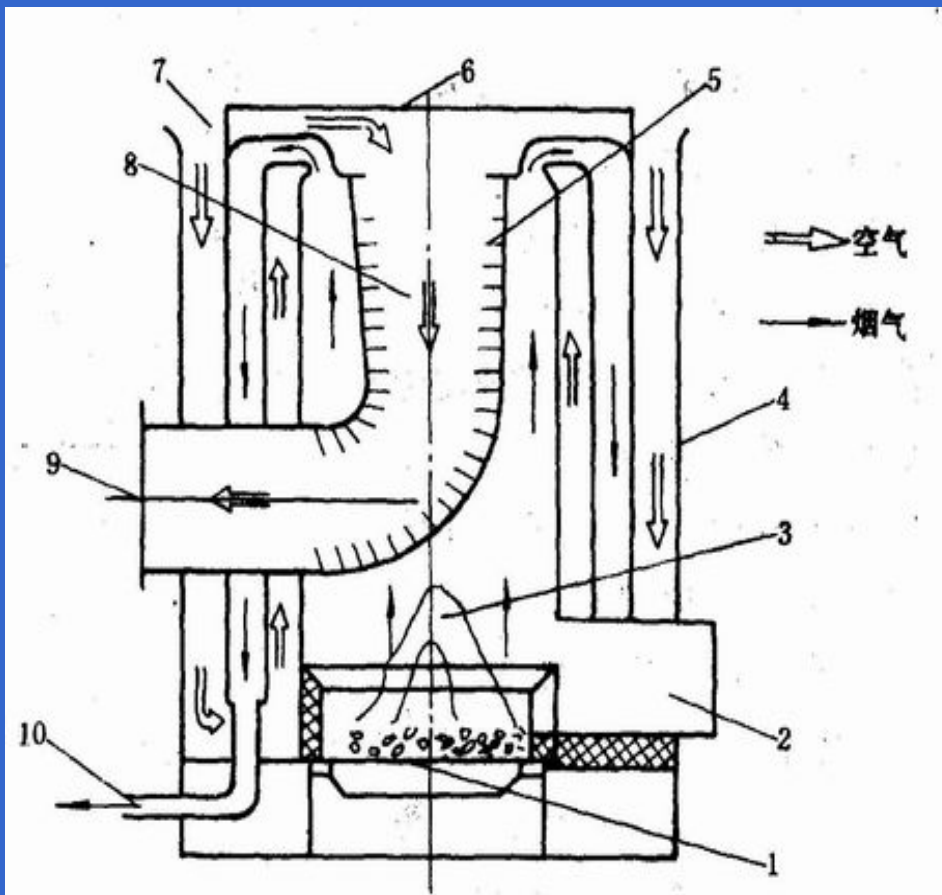


图 7-9 无管式热风炉结构示意图

1. 炉排 2. 炉门 3. 燃烧室 4. 壳体 5. 散热片
6. 冷风罩 7. 冷风进口 8. 炉蕊 9. 热风出口 10. 排烟口

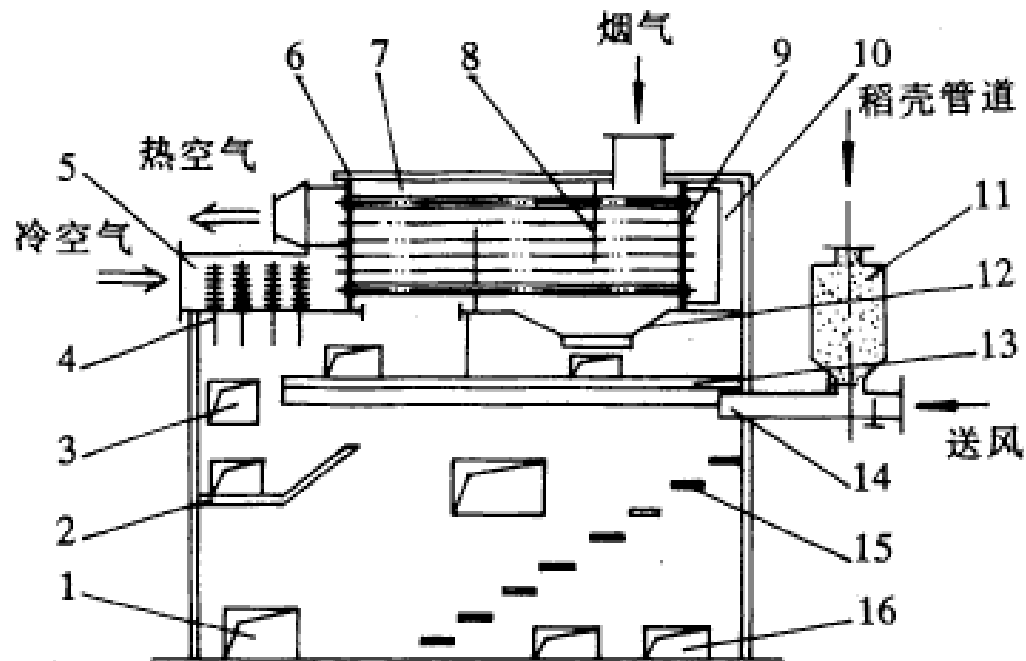


图1 燃用稻壳的热管式热风炉

- 1.灰门 2.后拱 3.旁通烟道 4.热管 5.热管换热器
- 6.碳钢管 7.列管换热器 8.折流板 9.滑动管板 10.风箱
- 11.料斗 12.灰斗 13.前拱 14.喷射器 15.倾斜炉排 16.风门

• 燃用稻壳的热管式热风炉

燃用稻壳的热管式热风炉是由燃烧设备和换热设备组成一体的快装炉型，其结构如图1所示。它的工作过程为：稻壳燃料由送风机通过喷管喷入炉膛内悬浮燃烧，未燃尽的稻壳落到倾斜炉排上滚动燃烧。燃烧后的高温烟气在前后拱导流下进入热管换热器加热段，使烟气温度从1200℃降低到700℃左右，然后进入列管式换热器，在此换热器中空气被逐步加热到所需的温度。此炉的结构特点为：

第四节 加热、冷却和杀菌设备

- 一、贮槽式换热器
- 中小乳品、食品厂，用于液体物料的加热、冷却与保温。
- 内胆与外壳间为传热夹层，当夹层内通入蒸汽或热水时，可对贮存在内胆中的物料进行升温或保温。

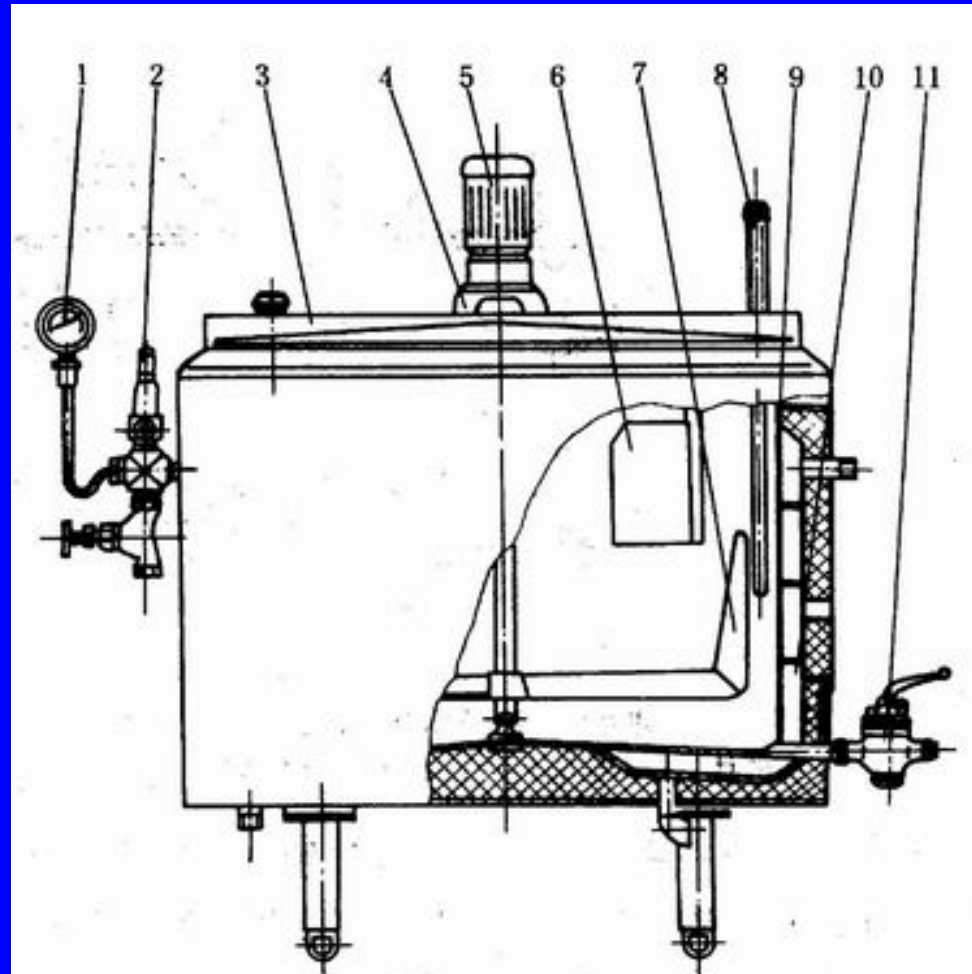


图 7-10 冷热缸

1. 压力表 2. 弹簧安全阀 3. 缸盖 4. 电动机底座
5. 电动机和行星减速器 6. 挡板 7. 锚式搅拌器
8. 温度计 9. 内胆 10. 夹套 11. 放料旋塞

二、筒式换热器 (卧式杀菌釜)

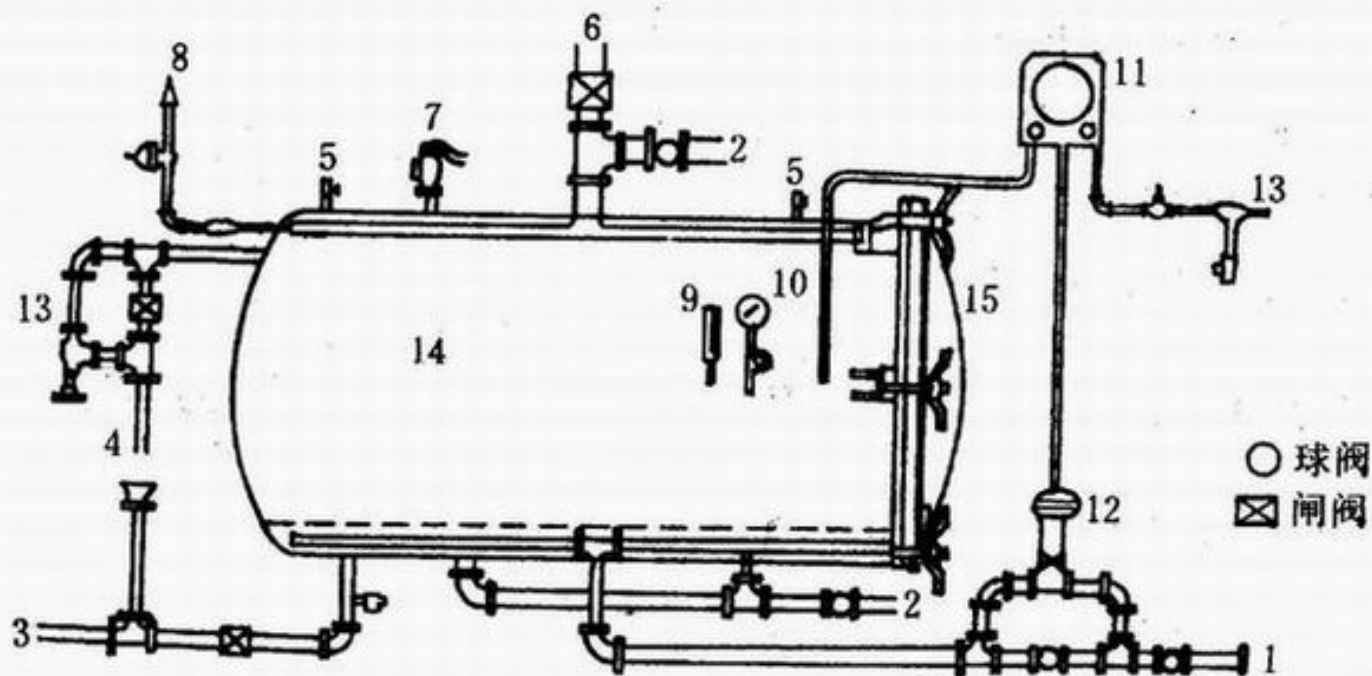
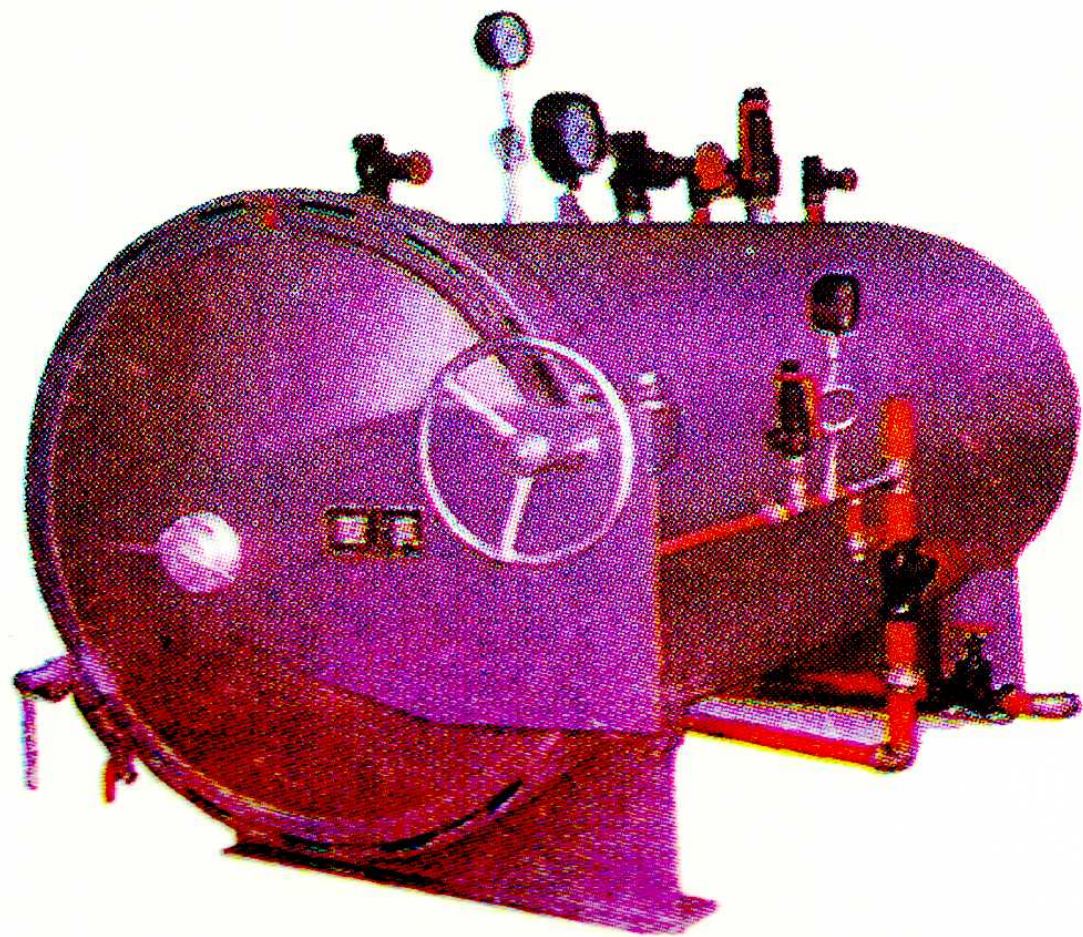


图 7-11 卧式杀菌器装置图

1. 进气管 2. 进水管 3. 排水管 4. 溢水管 5. 泄气管 6. 排气管 7. 安全阀 8. 进压缩空气管
9. 温度计 10. 压力计 11. 温度记录控制仪 12. 蒸汽自动控制仪 13. 支管 14. 筒体 15. 门



卧式杀菌锅

(二) 使用方法

- **1. 准备工作** 将罐头装车送入杀菌器内，将门锁紧，打开排气阀、泄气阀、排水管，同时关闭进水阀和进压缩空气阀。
- **2. 供汽和排气** 打开蒸汽阀门，按规规程排气，使杀菌器迅速升温，将空气排除干净。排气结束后，关闭排气阀。当达到所要求的杀菌温度时。关小蒸汽阀，并保持一定的恒温时间。
- **3. 进气反压** 在达到杀菌的温度和时间后，即向杀菌器内送入压缩空气，使杀菌器内的压力略高于罐头内的压力，以防罐头变形胀裂，称为**反压杀菌**。
- **4. 进水和排气** 在进气反压后，即启动水泵，通过进水管向器内供充分的冷却水。冷却水和蒸汽相遇，将产生大量气体，这时需打开排气阀排气。漕
- **5. 启门出车** 冷却完毕，水泵停止运转，关闭进水阀，打开排水阀，放净冷却水。冷却完成后，将杀菌车移出，再装入另批罐头进行杀菌。

(一) 列管式换热器

类型：固定板式、U形管式、浮头式

结构：浮头式，由壳体、浮头、传热管束等组成。管束一端的管板以法兰与壳体相连接，另一端的管板可在壳体内移动。

特点：这和换热器的特点是可以补偿热膨胀，清洗和维修方便，但结构复杂，造价较高。

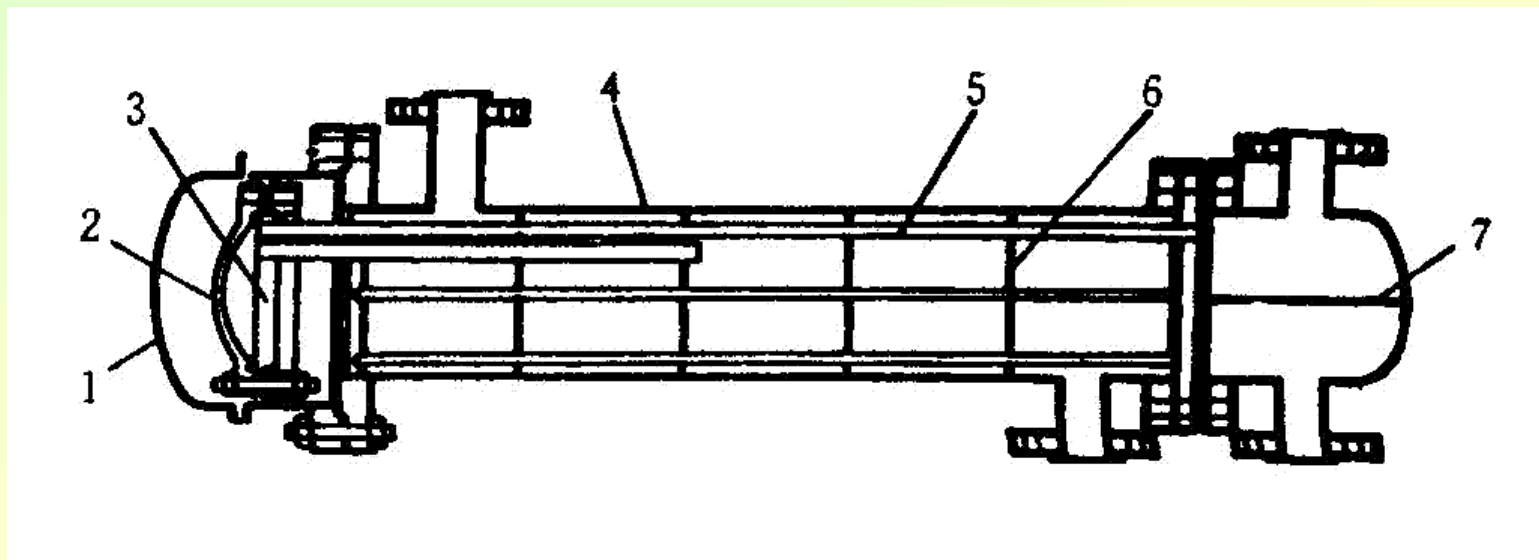


图7-12 浮头式换热器

- 1.壳盖 2.浮头盖 3.浮头管板 4.壳体 5.传热管
6.支持板 7.折流板

(二) 螺旋管式换热器

组成:

用途: 主要用于果汁的巴氏短时杀菌, 杀菌温度 $88\sim 95^{\circ}\text{C}$, 杀菌时间为 $20\sim 60\text{s}$ 。

特点是结构简单, 操作方便, 容易清洗, 能连续生产。

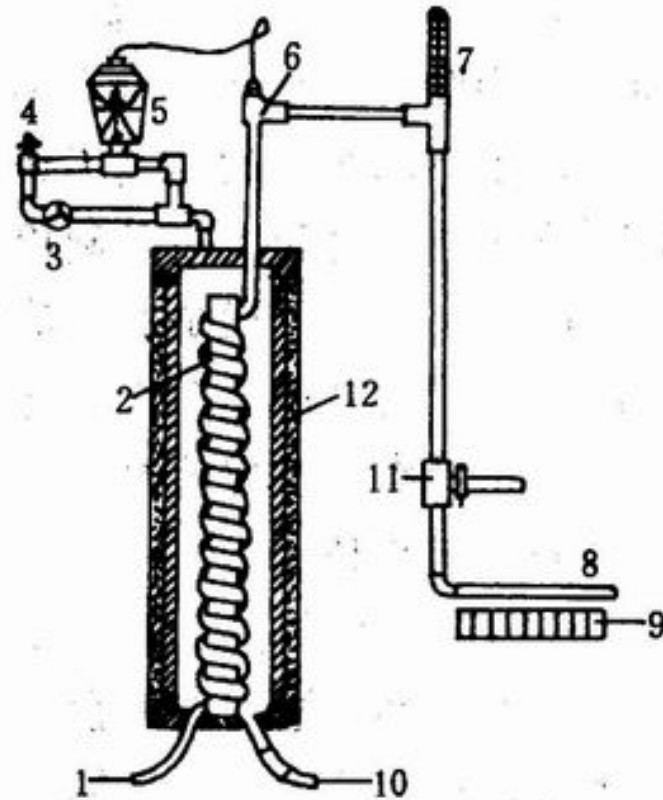


图 7-13 螺旋管式换热器

1. 液料入口 2. 螺旋管 3. 支管阀 4. 蒸汽入口 5. 调节器 6. 调节球阀 7. 温度计
8. 出料管 9. 瓶或罐 10. 蒸汽出口 11. 液料调节阀 12. 隔热层

- 1. 结构
- 2. 使用和操作
- 清洗:
- 供料:
- 回流:
- 清洗: 每班次灭菌结束时, 进行清洗直到排出水变清为止。当连续使用时, 每隔6~8h后, 需进行清洗。

(三) 套管式换热器

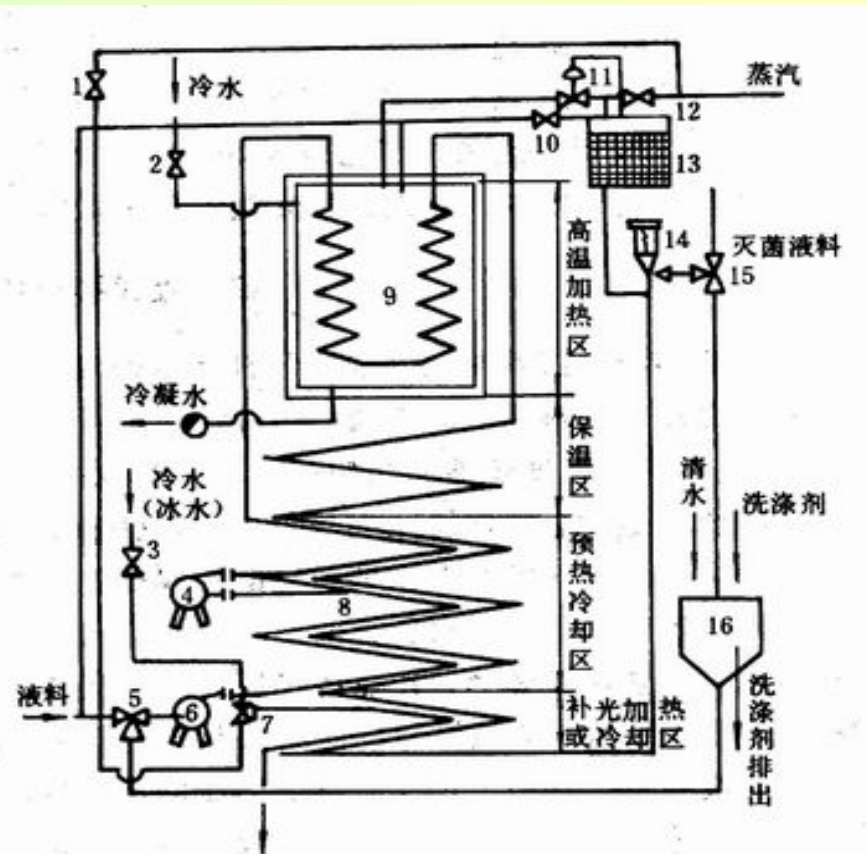


图 7-14 RP6L-40型超高温瞬时灭菌机流程图

1. 蒸汽阀 2. 进水阀 3. 冷水阀 4. 中间泵 5. 进料三通旋塞
 6. 供料泵 7. 三通旋塞 8. 套管 9. 加热器 10. 支阀 11. 电动调节阀
 12. 总阀 13. 温度自动记录仪 14. 减压阀 15. 出料三通旋塞
 16. 贮槽

- 3. 性能和特点 采用超高温瞬时灭菌，液料的营养和色香味损失很少；灭菌效率高，节能，操作方便，占地面积小，技术先进。
- 四、板片式换热器：

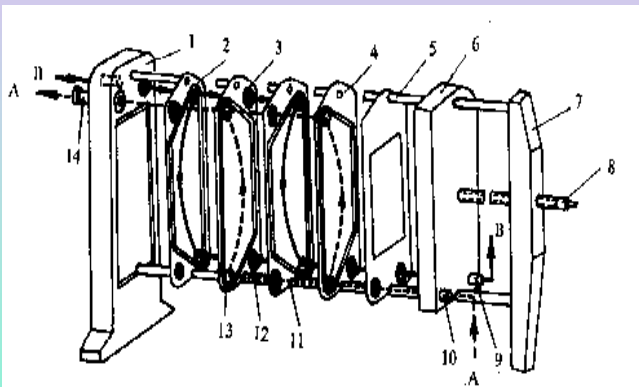


图 6-29 片式热交换器流程示意图

1.前支架 2.三角孔 3.圆环橡胶圈 4.分界板 5.导杆 6.压紧板 7.后支架
8.压紧螺栓 9, 10.连接管 11.板框橡胶垫圈 12.下角孔 13.换热片 14.连接管

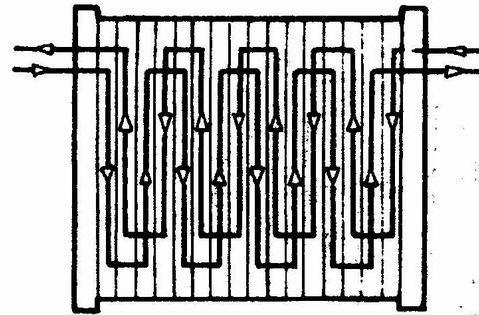


图 7-18 在板式热交换器中的流动型式：
单行程式

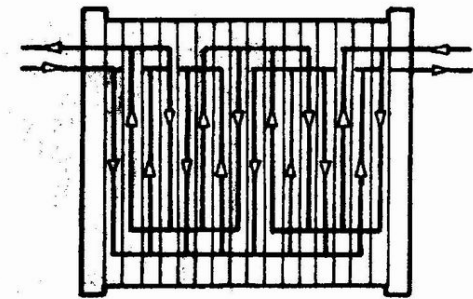


图 7-19 在板式热交换器中的流动型式：
 $4 \times 2 / 2 \times 4$ 多行程式

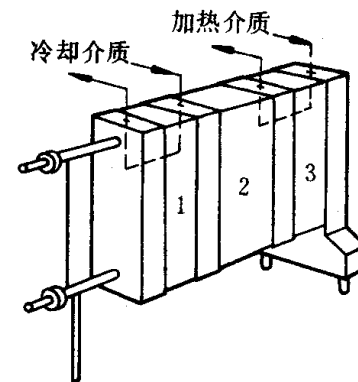


图 7-20 板式巴氏杀菌器
1. 冷却区段 2. 保温区段
3. 加热区段

- 3. 优缺点和技术参数
- (1) 传热效率高。
- (2) 结构紧凑。
- (3) 适应性广。
- (4) 适于处理热敏性的物料。
- (5) 便于清洗、操作安全。拆装容易，可就地清洗。
- (6) 连续作业，可配置自动控制装置。
- (7) 若加热温度过高，可使垫圈老化，或垫圈从换热板上脱落。
- (8) 因安装不当或垫圈变形断裂，使流体漏泄。

第七章 换热设备小结

第一节 热源与加热方式

第二节 工业锅炉

- (一) 立式弯水管锅炉
- (二) 卧式水、火管快装锅炉
- (三) 双锅筒横置式水管锅炉

第三节 空气预热设备

- 一、蒸汽加热的空气预热设备
- 二、烟气加热的空气预热设备
- 管式热风炉 LFS—13型热风炉 无管式热风炉

第四节 加热、冷却和杀菌设备

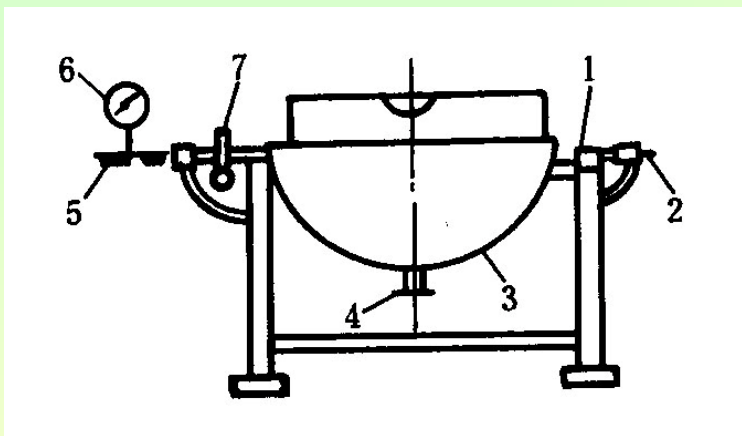
- 一、贮槽式换热器
- 二、筒式换热器
- 三、管式换热器
 - (一) 列管式换热器
 - (二) 螺旋管式换热器
 - (三) 套管式换热器
- 四、板片式换热器

第五节 预煮、煮制设备

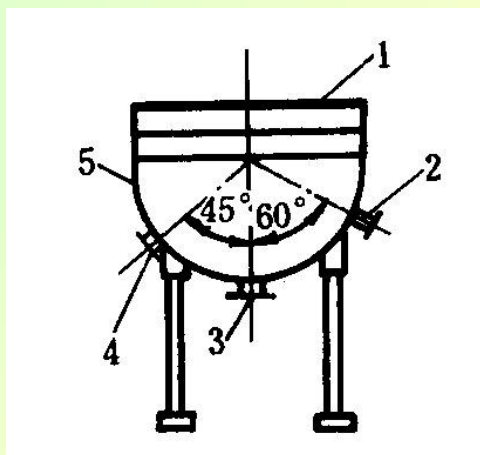
第五节 预煮、煮制设备

- 预煮：食品热加工的一种，一般为中间工序。
- 预煮的目的：破坏原料中的多酚氧化酶，保持颜色；排除气体；破坏原生质，提高出汁率；杀灭部分微生物；提高新鲜度；加快干燥速度等。
- 预煮机型式：
 - 1、间歇式：夹层锅、预煮槽
 - 2、连续式：链带式、螺旋式
- 一、夹层锅：
 - 1、可倾式：主要用于烧煮一些固体物料。
 - 2、固定式：主要用于液体物料的烧煮。
 - 3、带有搅拌器：主要用于加热粘稠物料或锅体容积大于300升

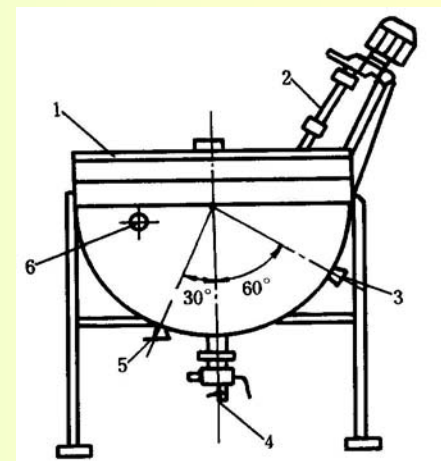
夹层锅



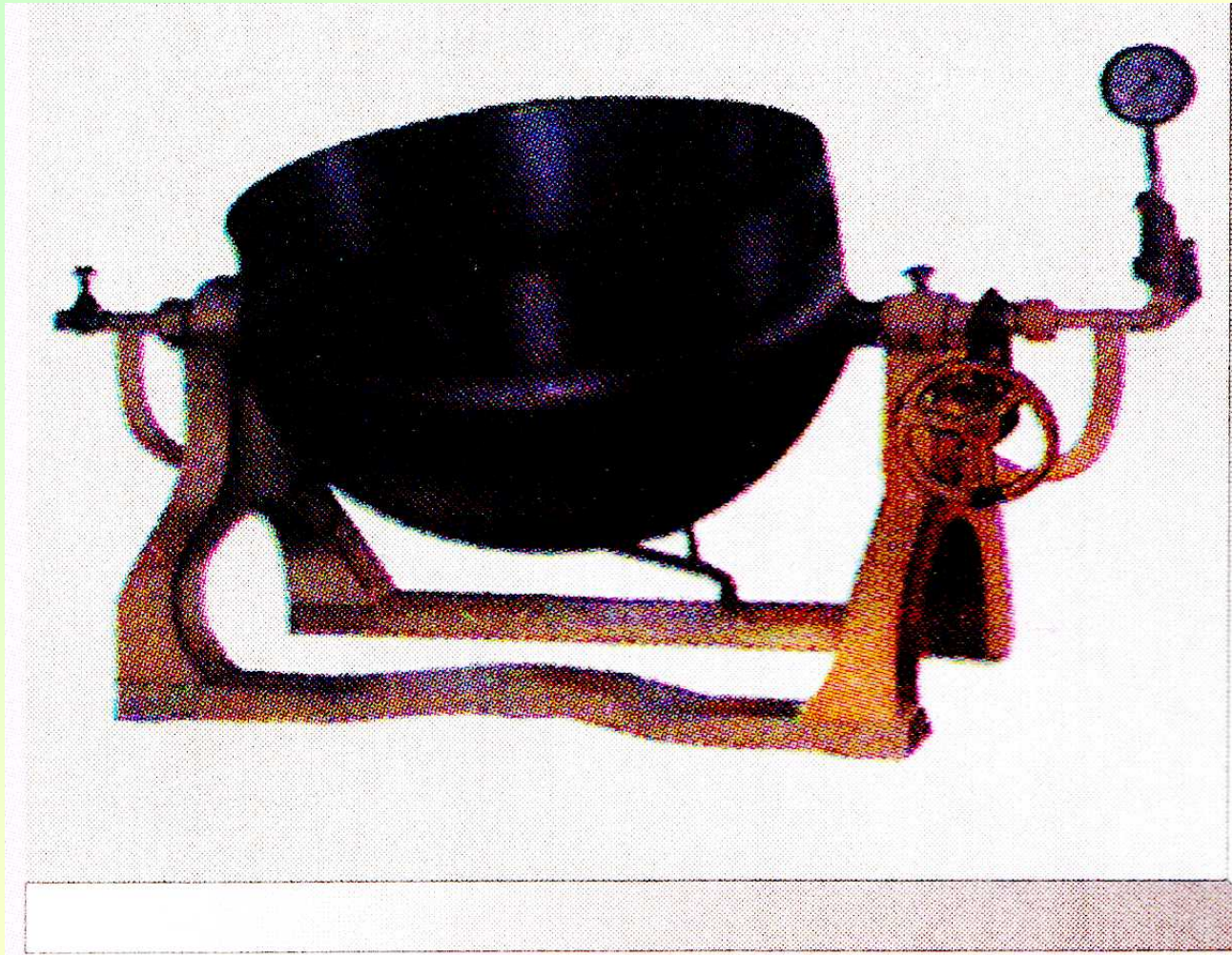
可倾式夹层锅



固定式夹层锅图



带有搅拌器的夹层锅



可倾式夹层锅

二、链带式连续预煮机

- 链带式连续预煮机：刮板式、斗槽式

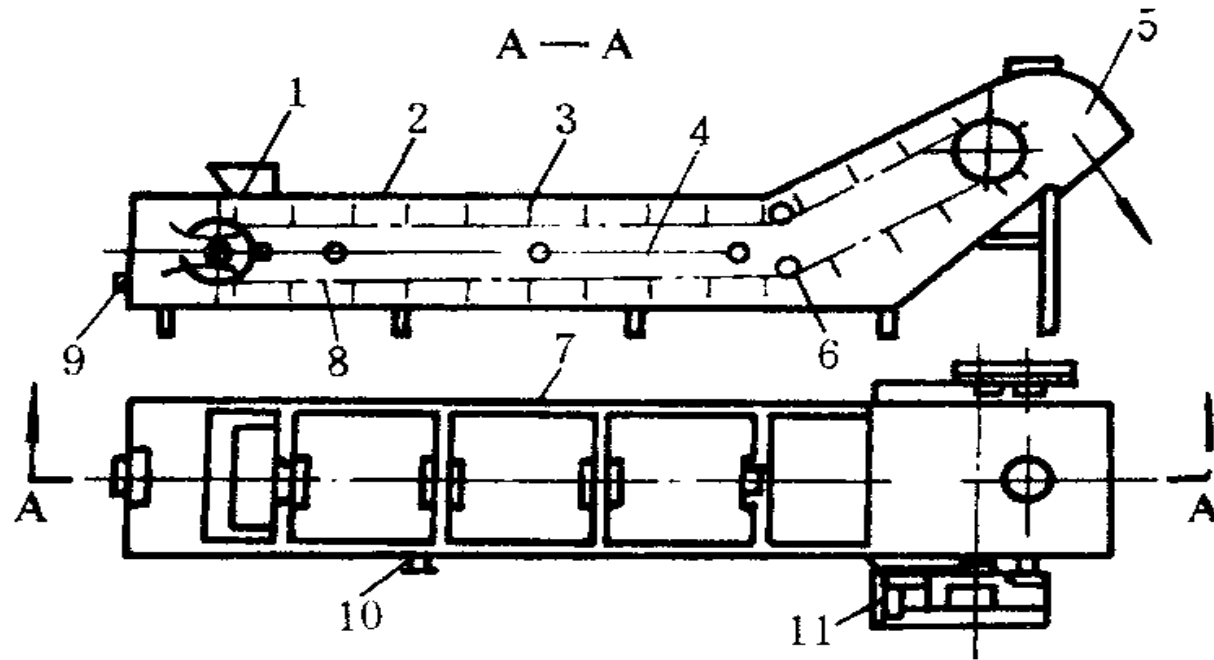


图 7-24 链带式连续预煮机

1. 进料斗 2. 槽盖 3. 刮板 4. 蒸汽吹泡管
5. 卸料斗 6. 压轮 7. 钢槽 8. 链带 9. 舱口
10. 溢流管 11. 调速电机

三、螺旋式连续预煮机

- 1、螺旋尺寸计算

- a、螺旋直径 **D**

$$D = \sqrt{\frac{G}{15 \pi n \rho s \psi}}$$

- b、螺旋长度 **L**

- $L = s n \tau \eta$

- 2、功率计算

- 水平: $N = P_{BP} V = 9.8 q V L \zeta_0 = 9.8 G L \zeta_0$

- 倾斜: $N = 9.8 G (L \zeta_0 + H) / \eta$

- 3、热耗计算: $Q = G C (T_2 - T_1)$

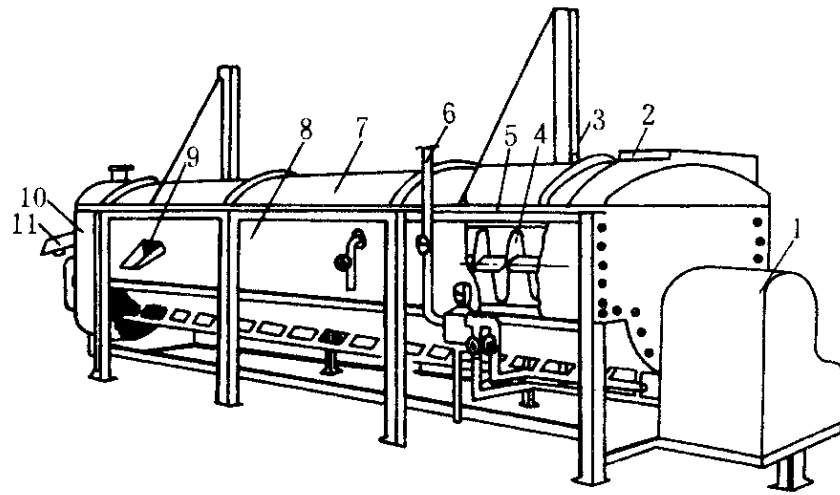


图 7-25 螺旋式连续预煮机

1. 变速装置 2. 进料口 3. 提升装置 4. 螺旋 5. 筛筒
6. 进气管 7. 盖 8. 壳体 9. 溢水口 10. 出料转斗 11. 斜槽

四、溢流煮浆机

由五个煮浆罐、连接管、阀门、水泵、生浆罐和熟浆罐等组成。该机用于豆浆的杀菌和去腥味。

作业时用泵将生豆浆送入第一煮浆罐内，通入蒸汽加热，第一罐浆满后，从其上口溢到第二煮浆罐内，如此逐级溢流并升温，平均每罐升温 10°C 以上，进口 40°C ，出口 90°C ，处理量与温度均能自动控制，操作简单，连续作业，蒸汽耗量小。煮制能力为 5000Kg/h 。

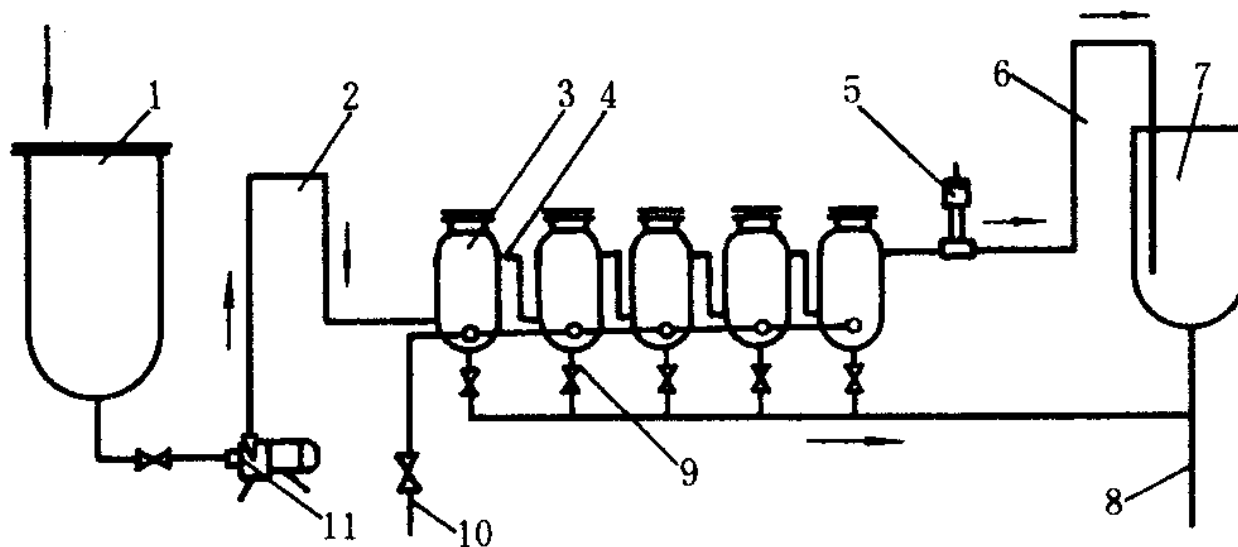


图 7-26 溢流煮浆罐工作原理图

1. 生浆罐 2. 进浆管 3. 煮浆罐 4. 溢流管 5. 电接点温度计 6. 出浆管 7. 熟浆罐
8. 放浆管 9. 最后放浆管 10. 给汽管 11. 水泵

第八节 杀菌设备

- 杀菌的作用：杀死食品中的微生物，防止食品腐败。
- 设备分类：
 - 1、按温度分：常压杀菌(热水槽)，高压杀菌(杀菌锅)
 - 2、按操作方式：间歇式，连续式
 - 3、按热源：蒸汽加热，热水加热，火焰加热，照射杀菌
- 一、立式杀菌锅：有常压和加压两种，常用于罐头的杀菌
- 二、卧式杀菌锅：用于罐头的杀菌

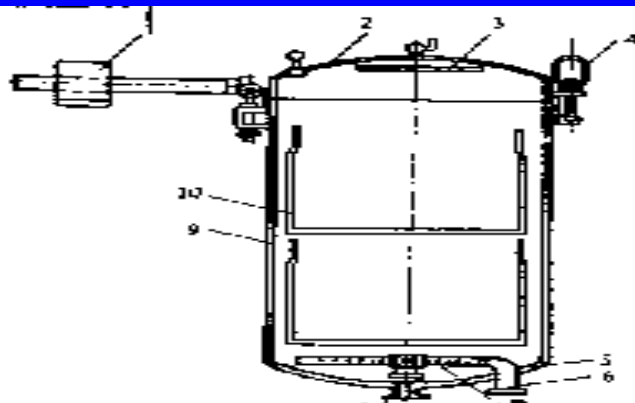


图 6-26 立式杀菌锅

- 1.平衡锤 2.锅盖 3.冷却盘管 4.锅盖与锅体
锁紧碟形螺栓 5.锅底 6.蒸汽管道 7.吹泡管
8.排水管 9.锅体 10.杀菌管

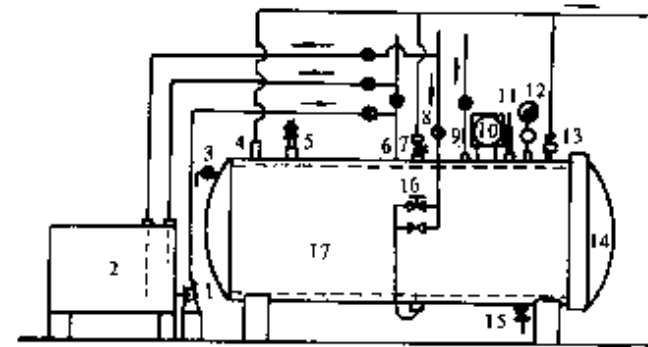


图 6-27 卧式杀菌锅装置

- 1.水泵 2.水箱 3.溢流管 4, 7, 13.放空气管 5.安全阀 6.进水管 8.进汽管
9.进压缩空气管 10.测度记录 11.温度计 12.压力表 14.锅门 15.排水管
16.薄膜阀门 17.锅体

- 五、回转式杀菌设备：

能使罐头在杀菌过程中处于回转状态，以便提高加热介质对被杀菌罐头的传热速率，缩短加热时间。

- 六、常压连续杀菌设备：

主要用于水果类和一些蔬菜圆形罐头的常压连续杀菌，它有单层，三层和五层三种。层数主要取决于生产能力的大小，杀菌时间的长短和车间面积的大小等。

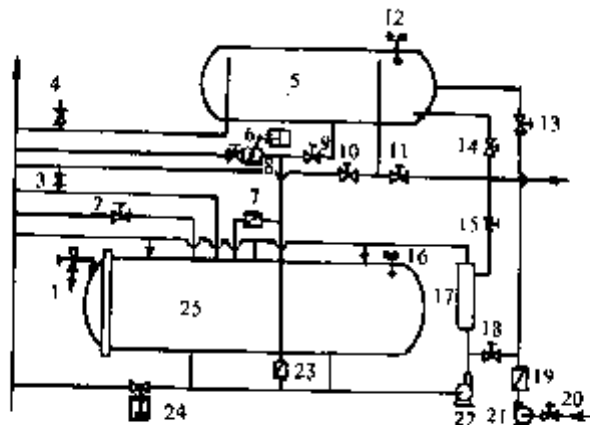


图 6-30 回转式杀菌设备

- 1.安全塞 2.下锅溢出阀 3.下锅安全阀 4.上锅安全阀 5.上锅 6.冷却水节流阀 7.单向阀
8.碟阀 9.上下锅连接阀 10.减压阀 11.增压阀 12.液位控制器 13.手柄 14.上锅加热阀
15.下锅加热阀 16.液位控制器 17.汽水混合器 18.冷水节流阀 19.单向阀 20.冷水阀
21.冷水泵 22.循环泵 23.单向阀 24.排汽阀 25.下锅

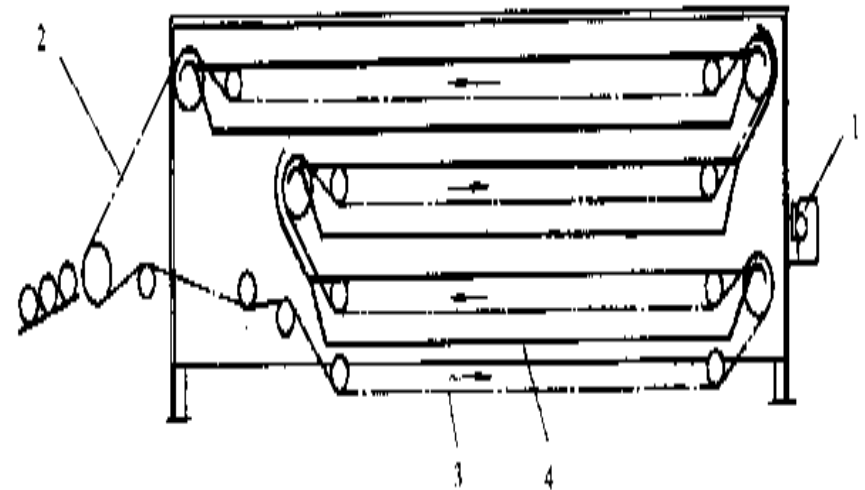


图 6-31 三层常压连续杀菌机简图

- 1.进罐机构 2.出罐机构 3.输送带 4.增体

- 七、静水压连续杀菌设备：

主要用于罐头连续杀菌，它有预热室，杀菌室和冷却室。

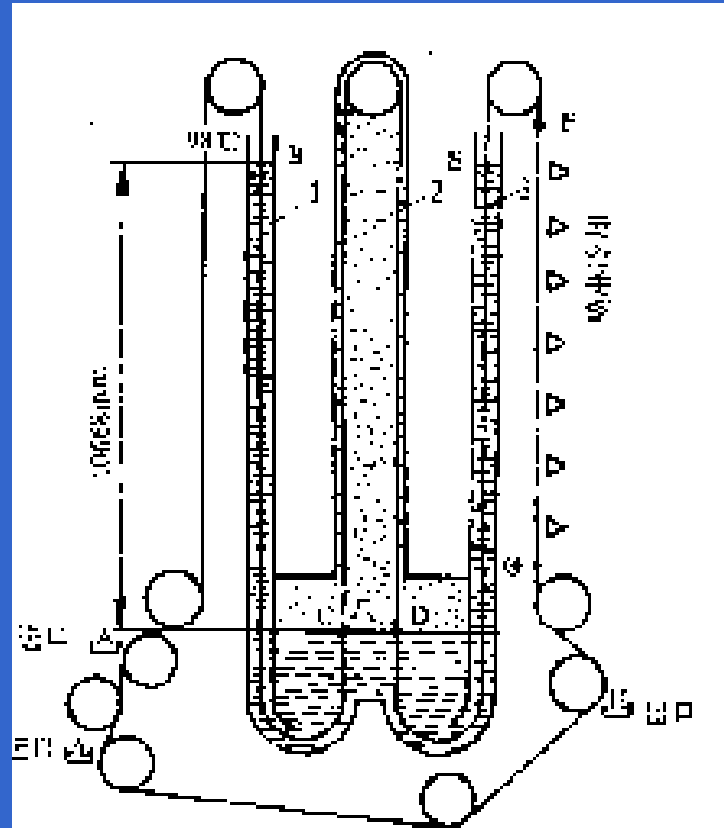


图 6-32 静水压连续杀菌设备
工作原理示意图

1. 预热室 2. 杀菌室 3. 冷却室

八、水封式连续高压杀菌设备：

属于高速连续化的杀菌设备，具有高温短时
杀菌特点。热效率高，杀菌时间短。

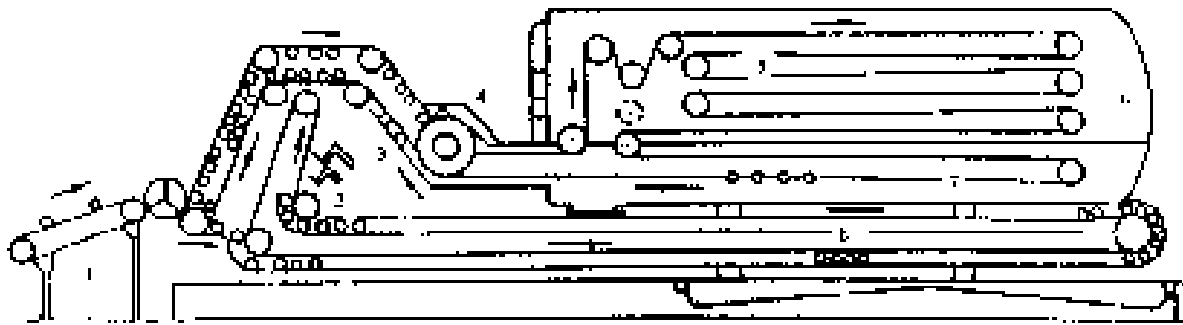


图 6-33 水封式杀菌设备

1. 自动供罐装置 2. 自动排罐装置 3. 罐头由水封阀排出 4. 水封阀
5. 杀菌室 6. 隔热板 7. 冷却槽 8. 常压冷却室

九、软缸头杀菌设备：

属于高温杀菌机，它有外部水槽，特殊水封阀及过体等组成。

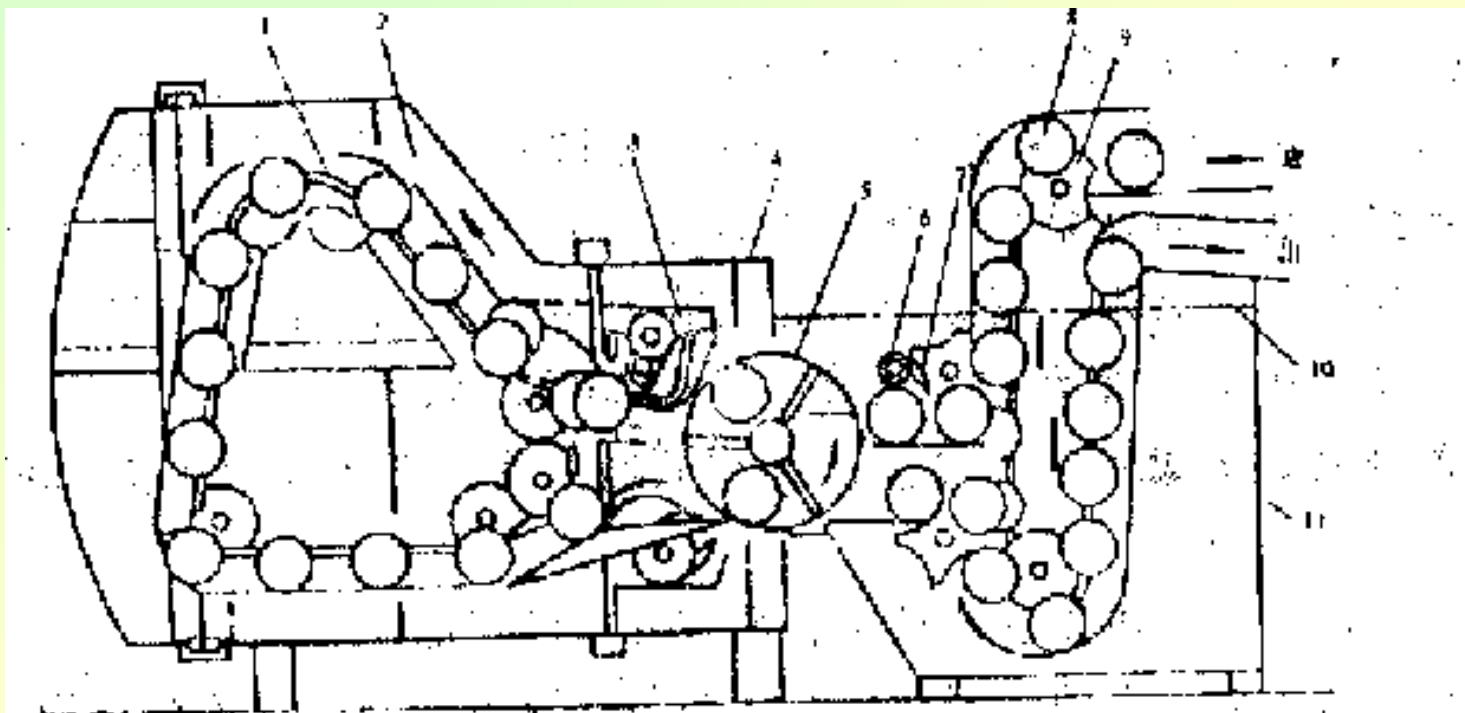


图 6-35 软罐头连续超高温杀菌机

1. 传送带 2. 蒸汽杀菌室 3. 传送杆 4. 外壳 5. 水封调转子 6. 喂入杆
7. 回转板 8. 载盘箱 9. 触点器喂入传送带 10. 水面 11. 水槽

第八章 蒸发

第八章 蒸发

本章主要内容：蒸发是食品加工中常用的单元操作，广泛用于各种液体制品的浓缩。本章介绍典型蒸发器的结构和特点，重点讲述单效蒸发器计算，并以三效蒸发器为例，介绍多效蒸发流程和计算。

学习要求：

- (1) 了解典型蒸发器工作原理及结构特点
- (2) 熟练应用物料衡算和热量衡算进行单效蒸发计算；
- (3) 能根据蒸发工艺任务、选择和设计蒸发器，了解影响蒸发操作的因素，以及提高蒸发设备的生产能力和经济性的途径。



第八章 蒸发

第八章 蒸发

本节主要内容：蒸发基本概念、典型蒸发器工作原理和结构特点

第一节 蒸发概述

均相物系分离：改变组分浓度↑

蒸发：按物料各组分挥发度不同，经加热，水分↑ → **物料浓缩**

蒸发目的：

- (1) 减少水分，以利于运输
- (2) 增大浓度，提高贮藏性
- (3) 做为其它单元操作的预处理工艺



第八章 蒸发

第一节 蒸发概述

8-1 食品物料特点及对浓缩操作的要求:

- 1 热敏性: 高温短时, $t \downarrow$, $t_{\text{局部}} \downarrow$
- 2 腐蚀性: 设备要求用不锈钢
- 3 粘稠性: 原料为非牛顿流体
层流, 边界层 $\delta \uparrow$, 热效率 \downarrow
- 4 结垢性: 易结垢, $u \uparrow$, 应加强冲洗
- 5 泡沫性: 易产生泡沫, 除泡剂, 除泡装置
- 6 对易挥发物进行回收



第八章 蒸发

8-2 蒸发操作方法

自然蒸发
沸腾蒸发

蒸 发：将溶液加热至沸腾，使其部分溶剂汽化并被移除，使溶质的分率增加。

蒸发工质：水溶液（水 + 溶质）

目 的：使料液浓度 $B \uparrow$ 。

$$B = \frac{kg_{\text{溶质}}}{kg_{\text{溶液}}} \times 100\%$$

蒸发设备 → **蒸发器**

加热方法：水蒸气，电等



第八章 蒸发

1、常压蒸发和真空蒸发

按压力：加压，常压，真空

真空蒸发优点：

热效率高，节省能源；

适宜于处理热敏物料。 P 小, $T_s \downarrow$ （蒸发温度）

第八章 蒸发

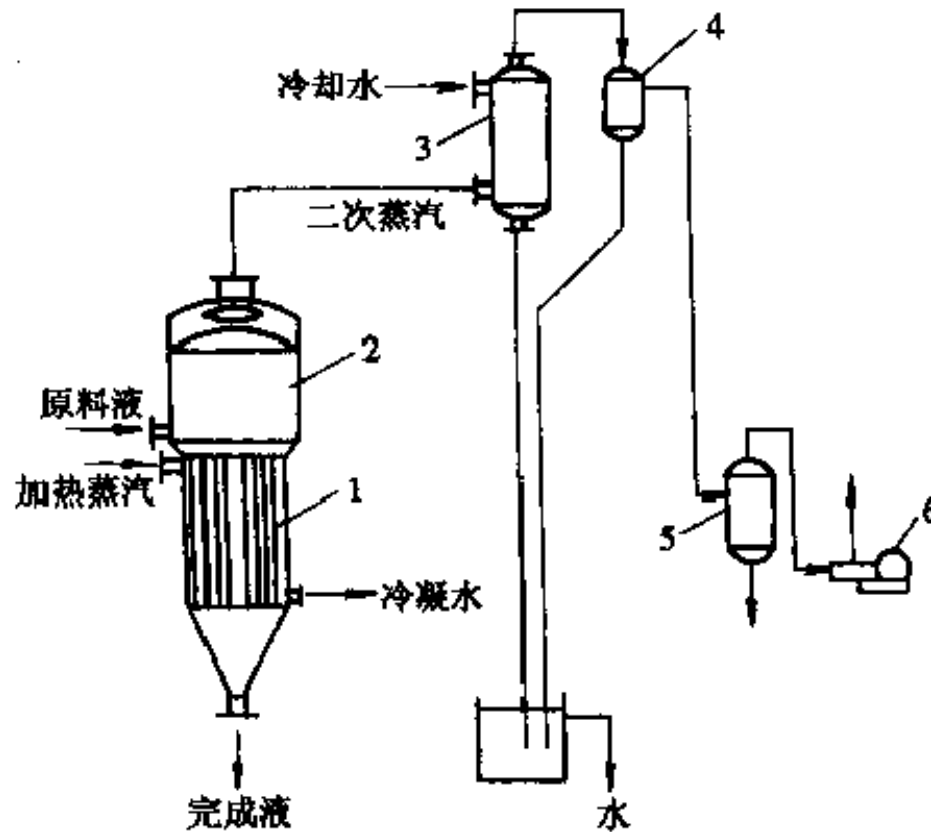


图 6-1 真空蒸发基本流程

1. 加热室 2. 分离室 3. 混合冷凝器
4. 分离器 5. 缓冲罐 6. 真空泵

2、蒸发的基本过程

真空蒸发特点:

- 1、溶液沸点低，传热温差大，所需传热面积小
- 2、可采用低压蒸汽和废热蒸汽为热源
- 3、蒸发温度低，减小热敏性的影响
- 4、操作温度低，热损失小
- 5、但料液粘度大，传热系数小，排料需设泵。

第八章 蒸 发

二次蒸汽——由溶液中汽化出的水分中产生的蒸汽。

3、单效蒸发和多效蒸发

单效蒸发：二次蒸汽不再利用

多效蒸发：二次蒸汽再加以利用

第八章 蒸发

4、闪蒸

闪蒸：将溶液的压力降到其饱和压力以下，溶液将沸腾放出显热，使部分水汽化。

闪蒸方法：

- (1) 低压下喷液，瞬间闪蒸
- (2) 将深度 H 的溶液底部料液引向顶面，上升过程闪蒸。

5、热泵蒸发

热泵：消耗一定的机械功，将低温热能转化为高温热能的装置。
提高二次蒸汽的压力与温度，作为加热蒸汽。

蒸汽喷射热泵

机械压缩式热泵

第八章 蒸发

6、间歇蒸发与连续蒸发

间歇蒸发

两种操作方法：

(1) 一次进料，一次出料

(2) 连续进料，一次出料

操作过程溶液浓度和沸点随时间而变，为非稳态过程

连续蒸发：

连续进料和出料，操作过程溶液浓度和沸点不随时间而变，为稳态过程，

一般工业生产中为连续操作。

第八章 蒸发

第二节 蒸发器

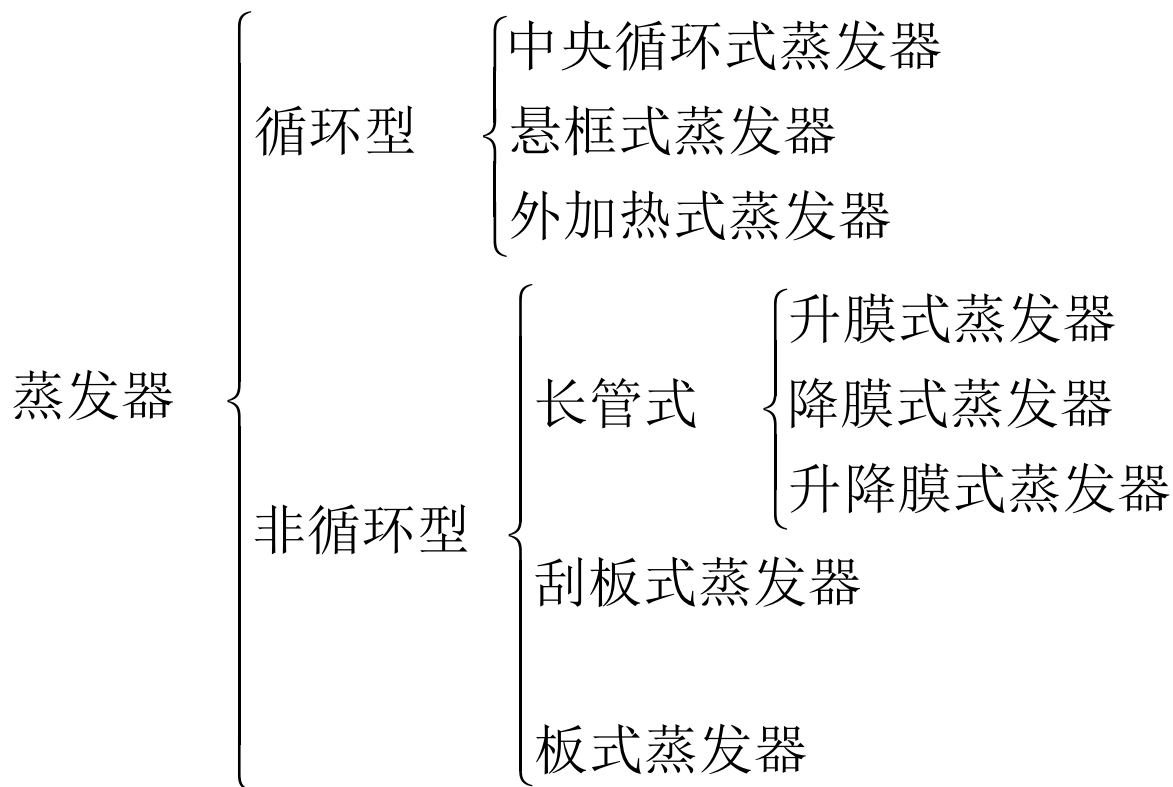
蒸发器主体部分组成:

加热室: 加热, 沸腾汽化

分离室: 分离雾沫

8-3 蒸发器

蒸发器分类



第八章 蒸发

8.3A 循环型蒸发器

1. 中央循环管式蒸发器

物料从边上升、中央下降

自然循环，流速 u 小

缺点：

- 1) 清洗不便
- 2) 热损失大，循环 u 小， $<0.5\text{m/s}$

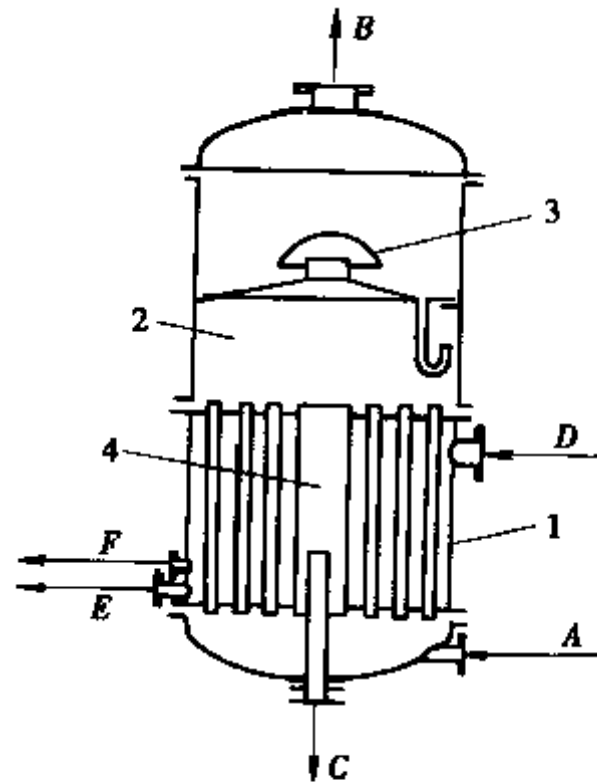


图 6-2 中央循环管蒸发器

- A. 料液 B. 二次蒸汽 C. 浓缩液
D. 加热蒸汽 E. 凝液 F. 排空
1. 加热室 2. 分离室 3. 除沫器
4. 中央循环管

第八章 蒸发

2. 悬筐式蒸发器

(1) 加热器可拆卸、清洗

(2) 物料从中间上升、边上下下降减小了热损失

(3) 适用于易结垢，结晶料液

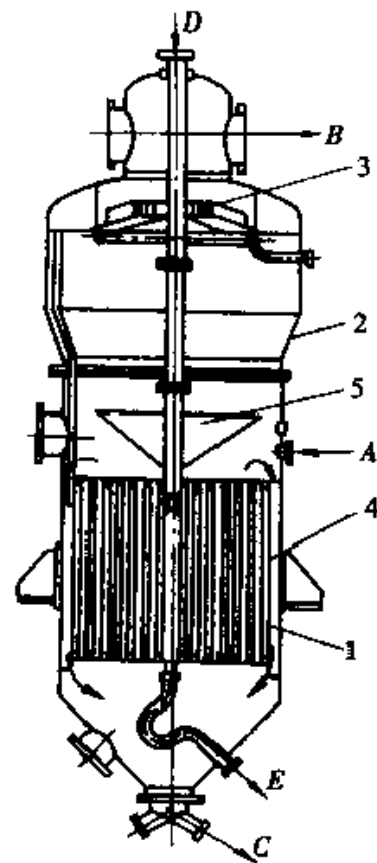


图 6-3 悬筐式蒸发器

A. 料液 B. 二次蒸汽 C. 浓缩液

D. 加热蒸汽 E. 凝液

1. 加热室 2. 分离室

3. 除沫器 4. 下降通道 5. 挡板

第八章 蒸发

3、外加热式

主要由**加热器**，**分离器**及**循环管**组成。

自然循环

强制循环

外加热优点：

- 管内加热，液面沸腾，可防结垢
- 可共用分离器，采用离心分离
- 循环管不受热($\rho_h - \rho_L$)大， $u \uparrow$ ， $u=1\text{m/s}$
- 加热管在外，检修清洗方便
- 对高粘度料液，便于采用强制循环， $u=3\sim 4\text{m/s}$

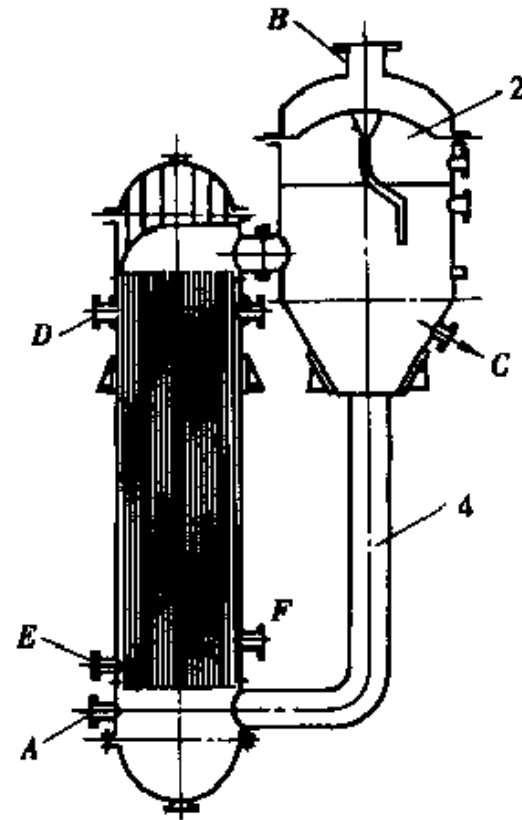


图 6-4 外加热式自然循环蒸发器

- A. 料液 B. 二次蒸汽 C. 浓缩液
D. 加热蒸汽 E. 凝液 F. 排空
1. 加热室 2. 分离室 3. 沸腾区
4. 下降循环管

第八章 蒸发

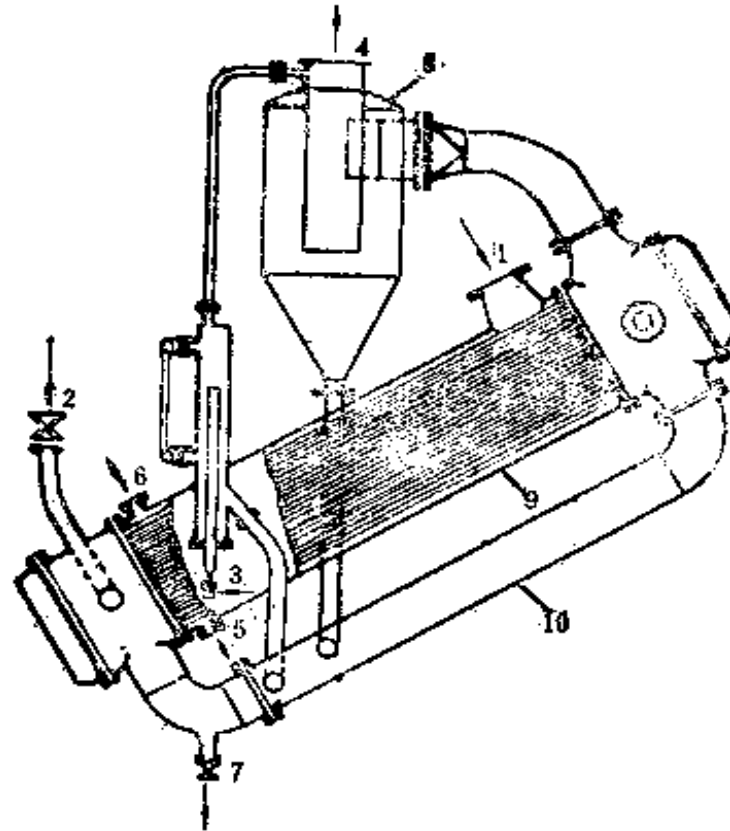


图 8-3 加热室在外的自然循环蒸发器

1—蒸汽入口；2—料液入口；3—抽出口；4—二次蒸汽出口；
5—冷凝水出口；6—不凝汽出口；7—浓缩液出口；8—分离
器；9—加热器；10—循环管

第八章 蒸 发

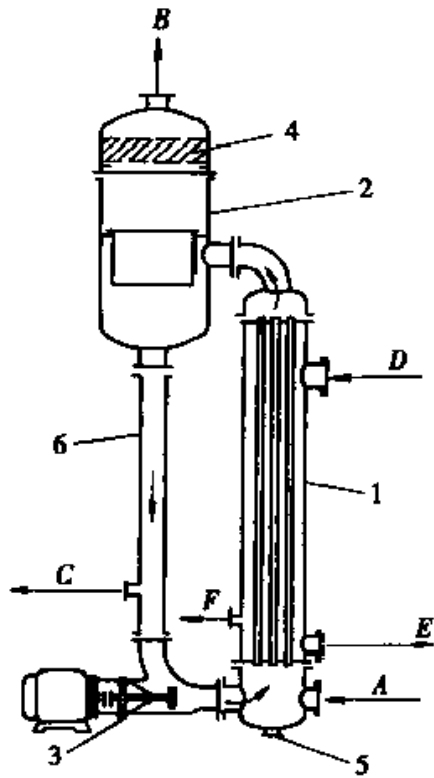


图 6-5 外加热式强制循环蒸发器

A. 料液 B. 二次蒸汽 C. 浓缩液
 D. 加热蒸汽 E. 凝液 F. 不凝气
 1. 加热室 2. 分离室 3. 泵
 4. 分离器 5. 排泄口 6. 下降管

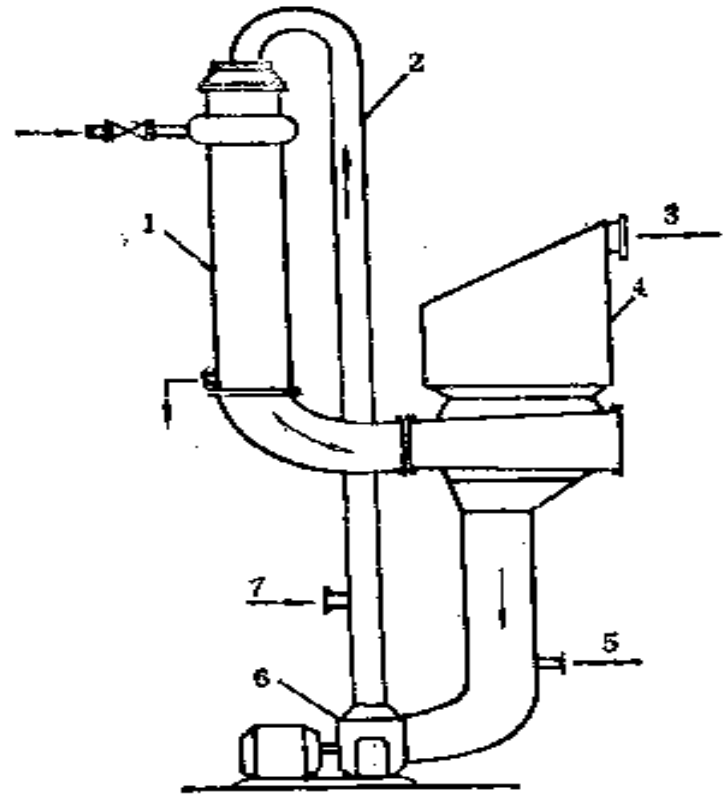


图 8-4 加热室在外的强制循环蒸发器

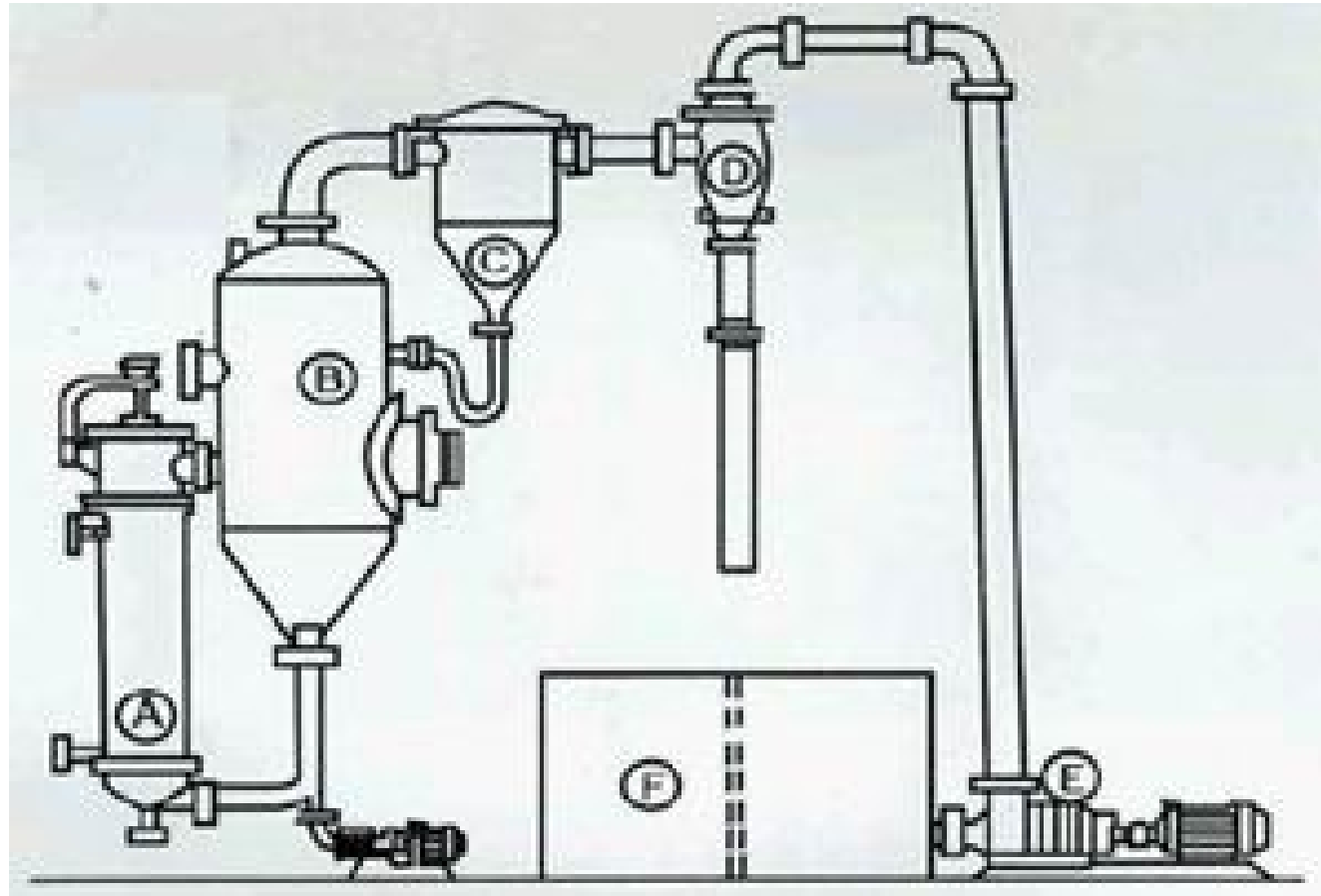
1—加热器；2—循环管；3—二次蒸汽出口；4—分离器；
 5—浓缩液出口；6—循环泵；7—加料口

第八章 蒸发



WZ I型外加热式真空蒸发器

第八章 蒸发



WZ I型外加热式真空蒸发器

第八章 蒸发



WZ1单效外循环蒸发器



外循环

连续式真空浓缩机

生产能力：1000 kg/h



第八章 蒸发

8.3B 非循环型蒸发器

1、长管式蒸发器（单程式）

特点：（1）溶液通过**加热室一次**，沿壁面呈**膜状**流动

（2）管长**6-8m**，汽 $u=100\sim 200\text{m/s}$

液体 $u=20\text{m/s}$

升膜式：借助上升气流成膜

降膜式：采用分布器布膜

两者异同点：

- ❖ 成膜方式不同，前者处理量大，后者小。
- ❖ 前者要求温度高，后者低，更适合热敏物料。
- ❖ 共性：没有静压温差损失， $\Delta'' = 0$

第八章 蒸 发

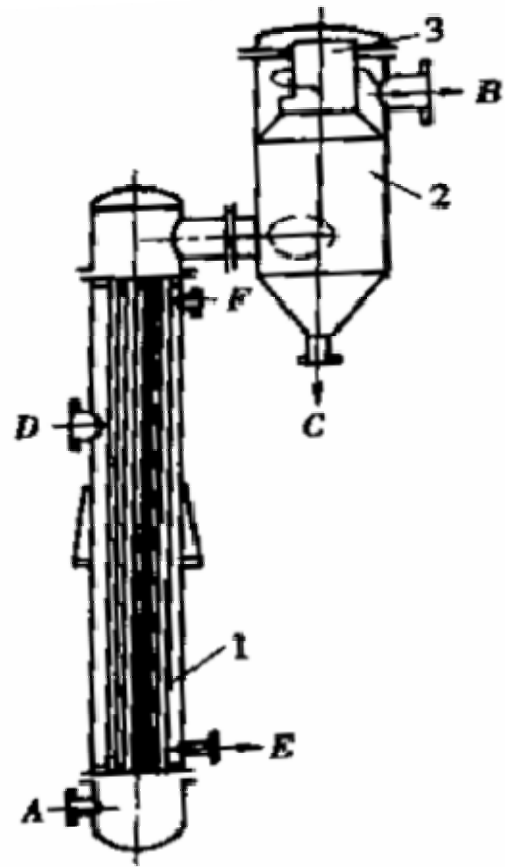


图 6-6 升膜蒸发器

A. 料液 B. 二次蒸汽 C. 浓缩液
D. 加热蒸汽 E. 凝液 F. 排空
1. 加热室 2. 分离室 3. 除沫器

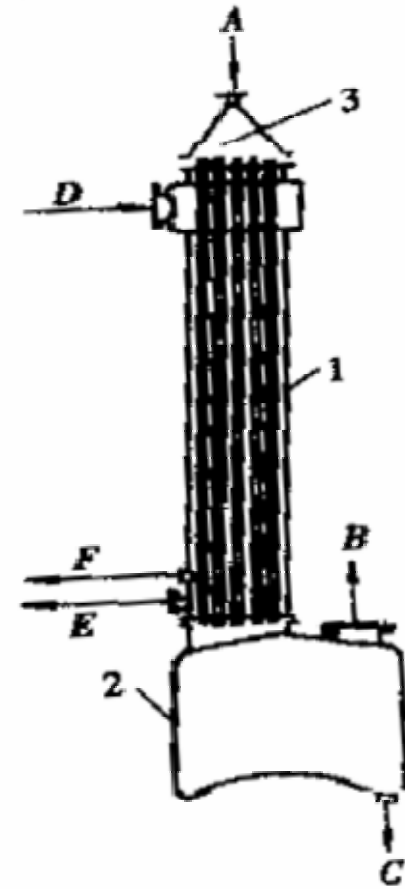
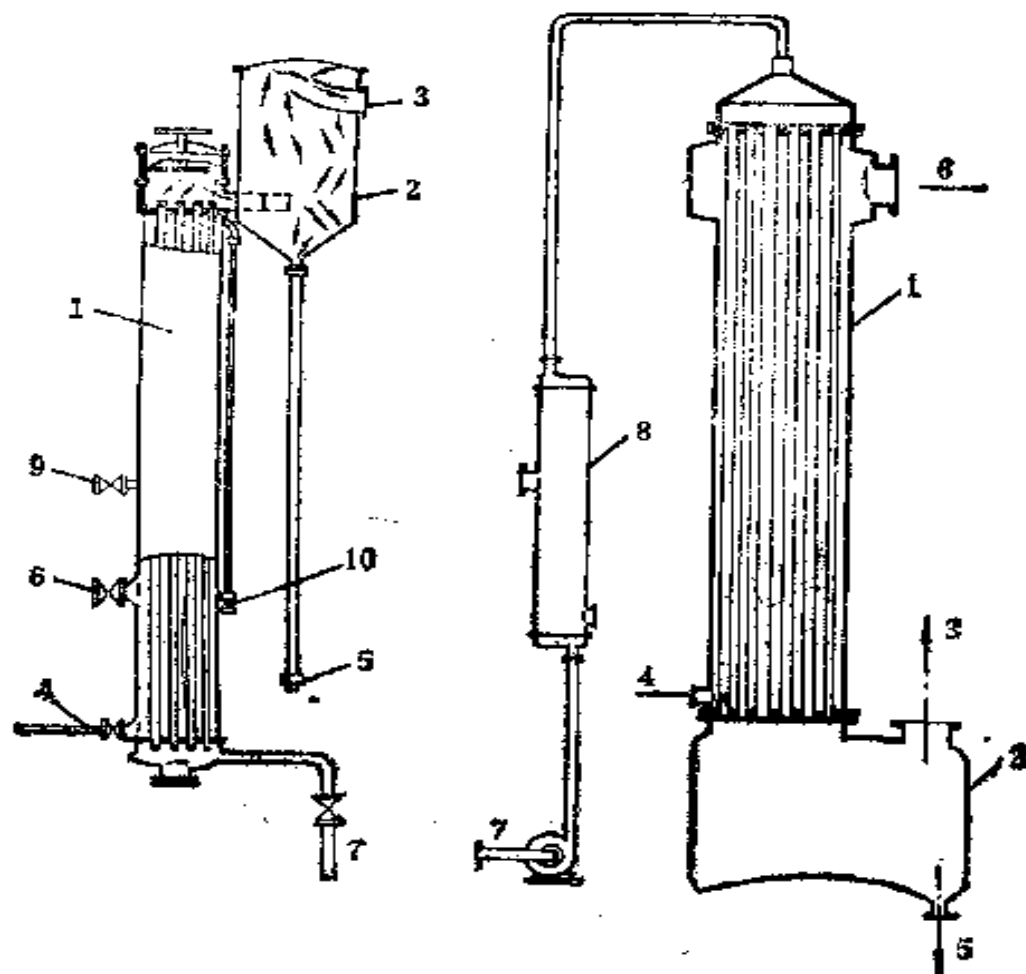


图 6-7 降膜蒸发器

A. 料液 B. 二次蒸汽 C. 浓缩液
D. 加热蒸汽 E. 凝液 F. 排空
1. 加热室 2. 分离室 3. 料液分布器

第八章 蒸发

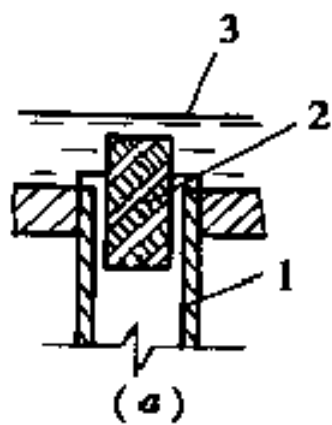


(1) 升膜蒸发器

(2) 降膜蒸发器

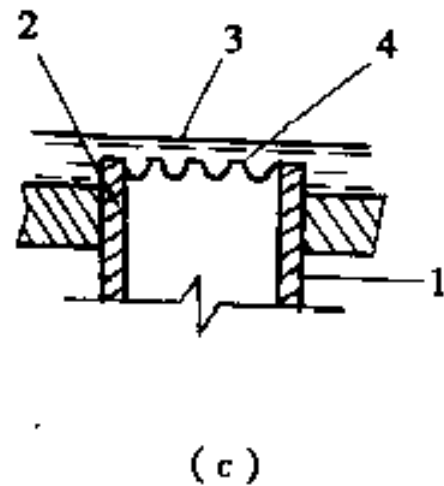
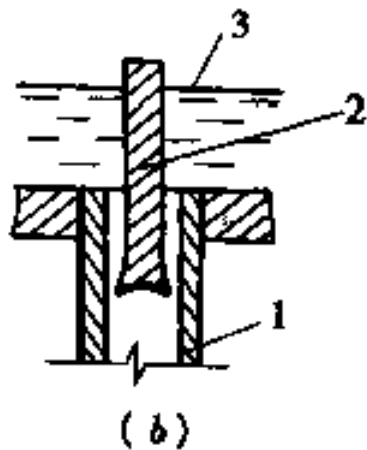
图 8-5 长管膜式蒸发器

第八章 蒸发



螺旋槽导流

凹端面锥体导流



齿缝分配

图 6-8 降膜分布器

1. 加热管 2. 导流管 3. 液面 4. 齿缝



双效降膜真空浓缩机

主要用于奶、果汁的浓缩

蒸发量: 2400 kg/h

	1效	2效
--	----	----

料液 温度:	73	48	°C
-----------	----	----	----

加热 温度:	84	70	°C
-----------	----	----	----

加热 面积:	23.6	12.2	m ²
-----------	------	------	----------------

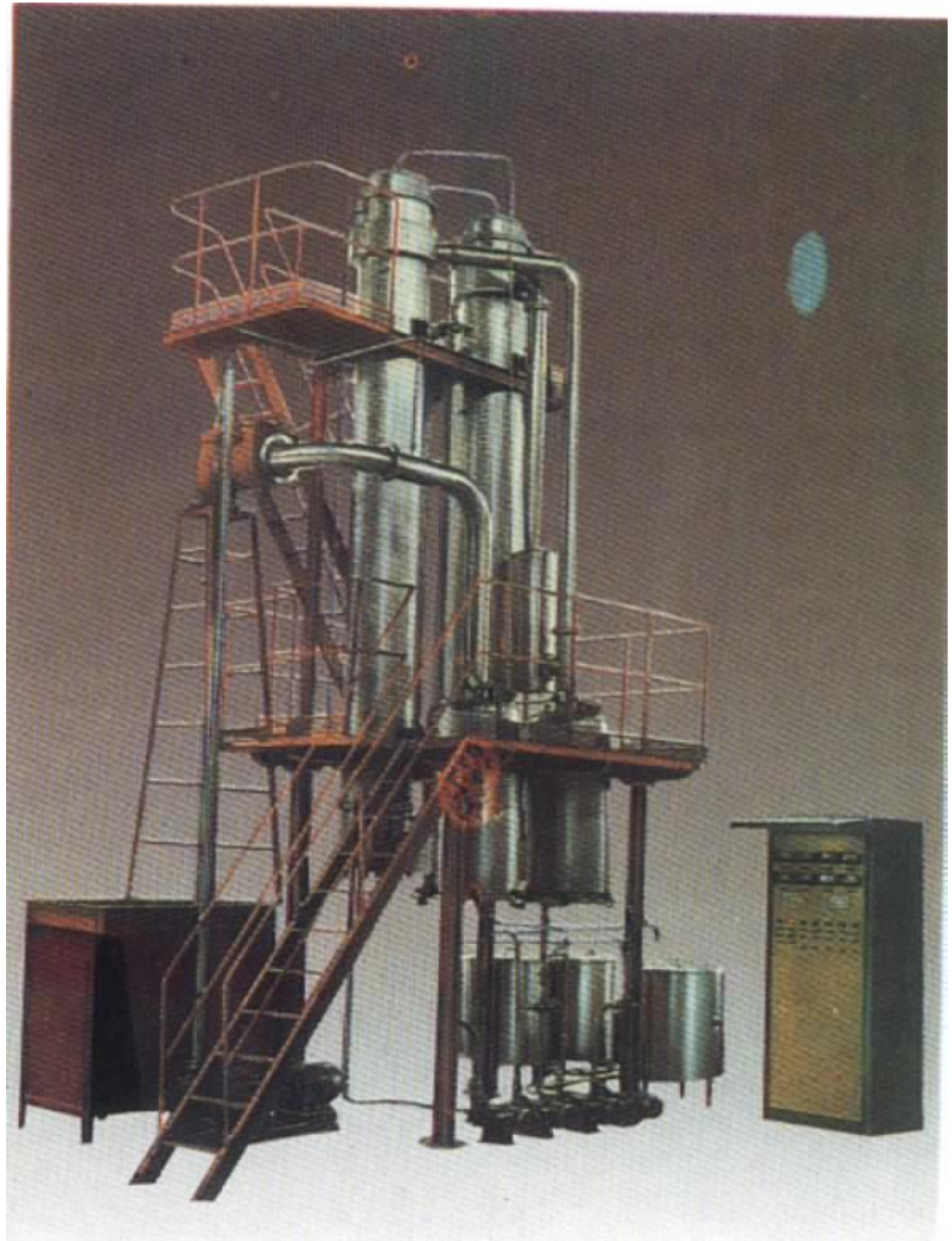
成品浓度: 45%—50%



双效降膜真空浓缩机

生产能力：50 T / 日

单元操作：蒸发



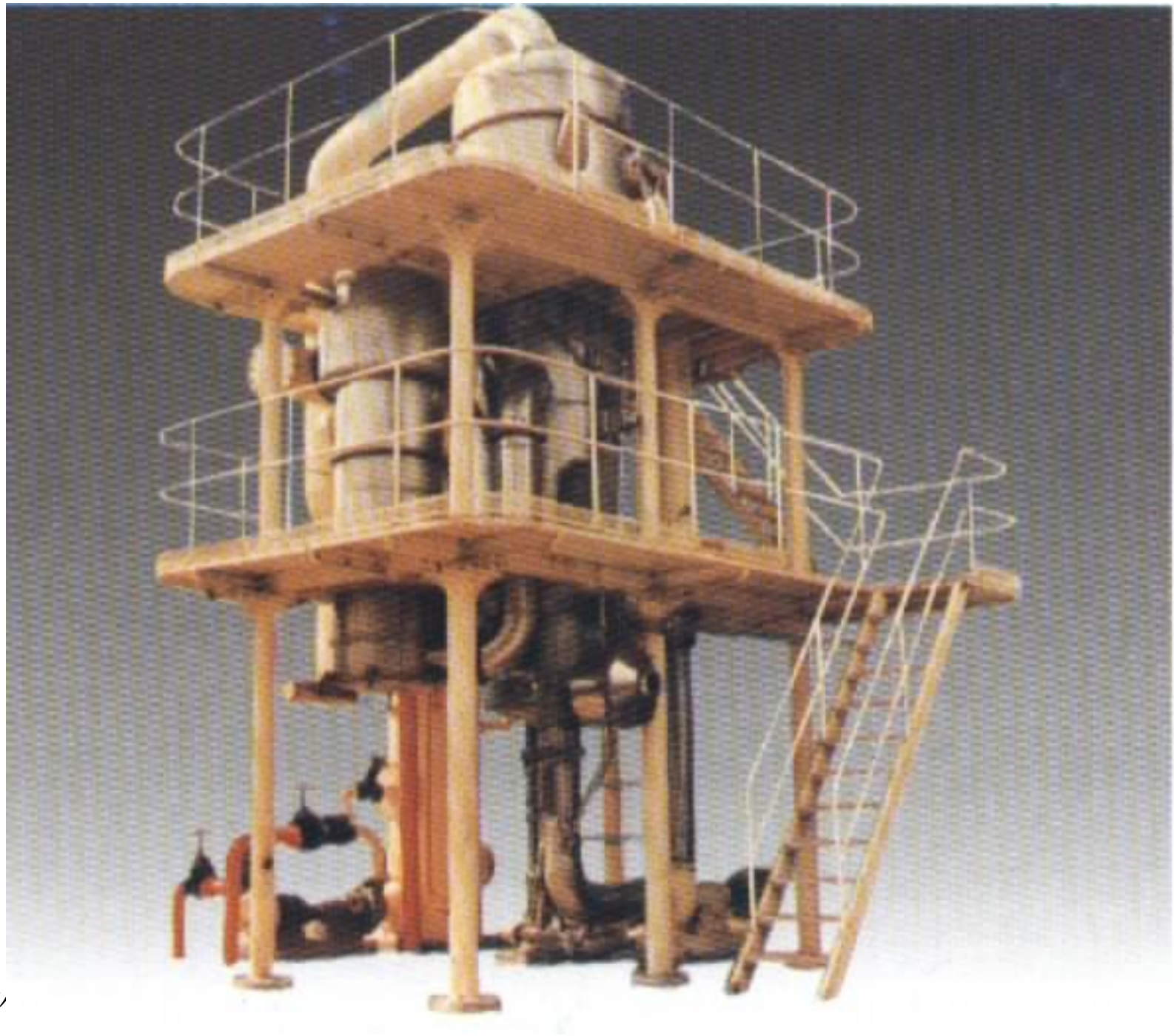
第八章 蒸 发

升降膜式蒸发器

特 点:

- 1) 先升后降，利用了溶液的位能
- 2) 可获得高浓度制品
- 3) 单位面积蒸发量大，设备体积小。

双效真空浓缩机



单元操作

三效逆流真空浓缩机

主要用于果酱的浓缩

蒸发量: 12000 kg/h

	1效	2效	3效
料液 温度:	72	57	42 °C

加热 温度:	143	72	57 °C
-----------	-----	----	-------

加热 面积:	15	200	150 m ²
-----------	----	-----	--------------------

成品浓度: 5%—28%

单元操作: 蒸发



第八章 蒸发

2、刮板薄膜式蒸发器

特点：

- 1) 机械**强制成膜**（离心形成旋转液膜）
- 2) 宜于处理黏度大，易结晶，结垢物料
- 3) 成本高，结构复杂。

立式刮板

卧式刮板

一般用于逆流浓缩操作。

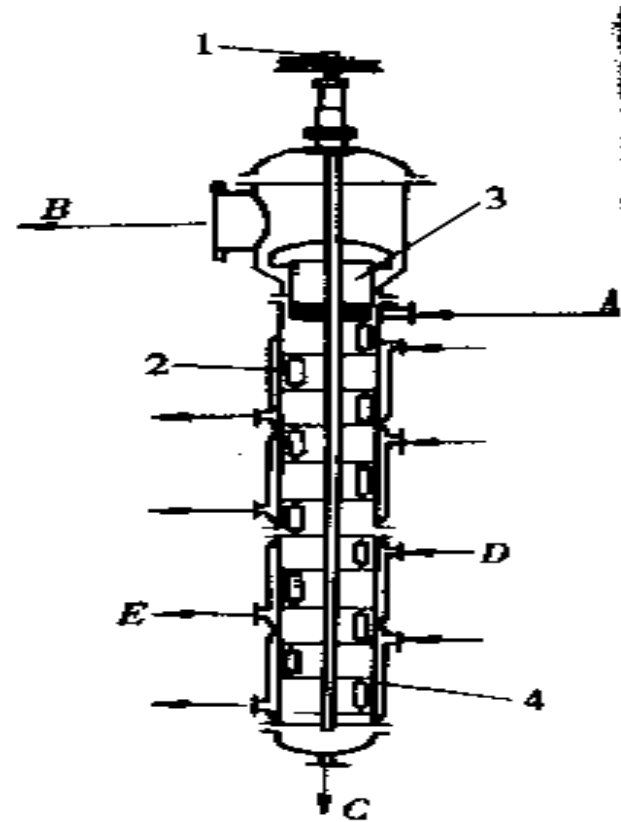


图 6-9 刮膜蒸发器
A. 料液 B. 二次蒸汽 C. 浓缩液 D. 加热蒸汽 E. 凝液
1. 轴 2. 刮板 3. 分离器
4. 夹套

第八章 蒸 发

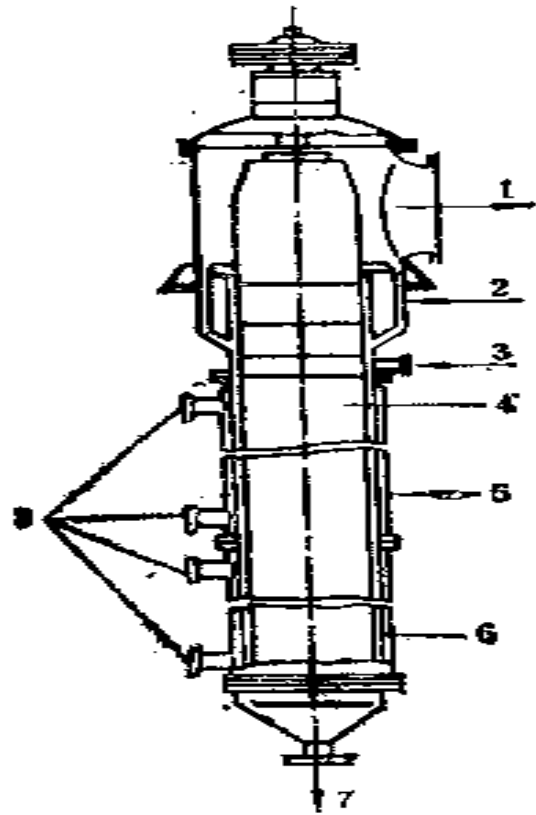


图8-7 立式刮板薄膜蒸发器

1—二次蒸汽出口；2—带固定
叶片的分离部；3—加料口；
4—转动件；5—加热夹套；
6—加热面；7—浓缩液出口；
8—加热蒸汽入口

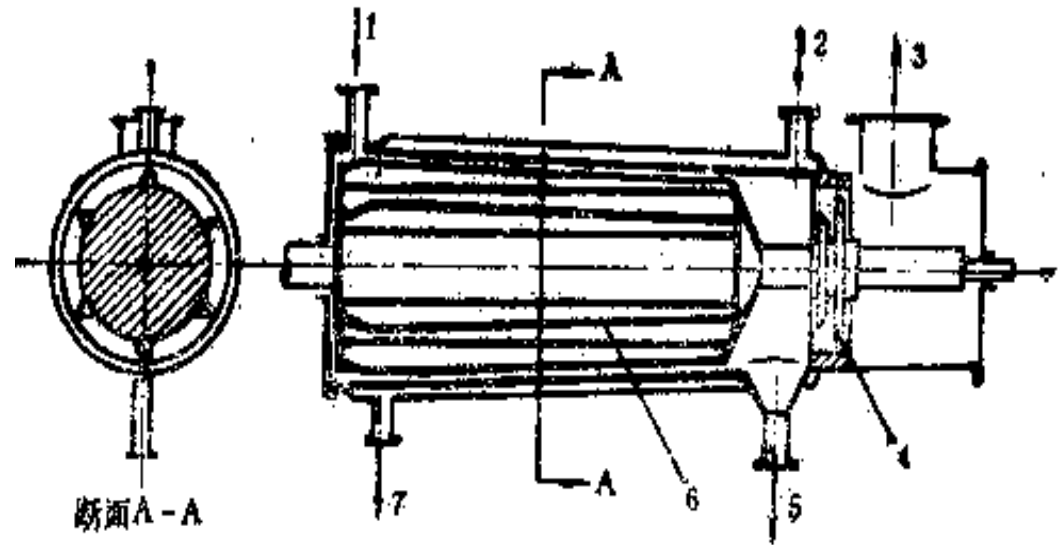


图 8-8 卧式刮板薄膜蒸发器

1—料液入口；2—加热蒸汽入口；3—二次蒸汽出口；4—除
沫器；5—浓缩液出口；6—转动件；7—冷凝水出口

第八章 蒸 发



多功能刮板浓缩罐



立式刮板式浓缩器

第八章 蒸发

3、板式蒸发器（四片一组）

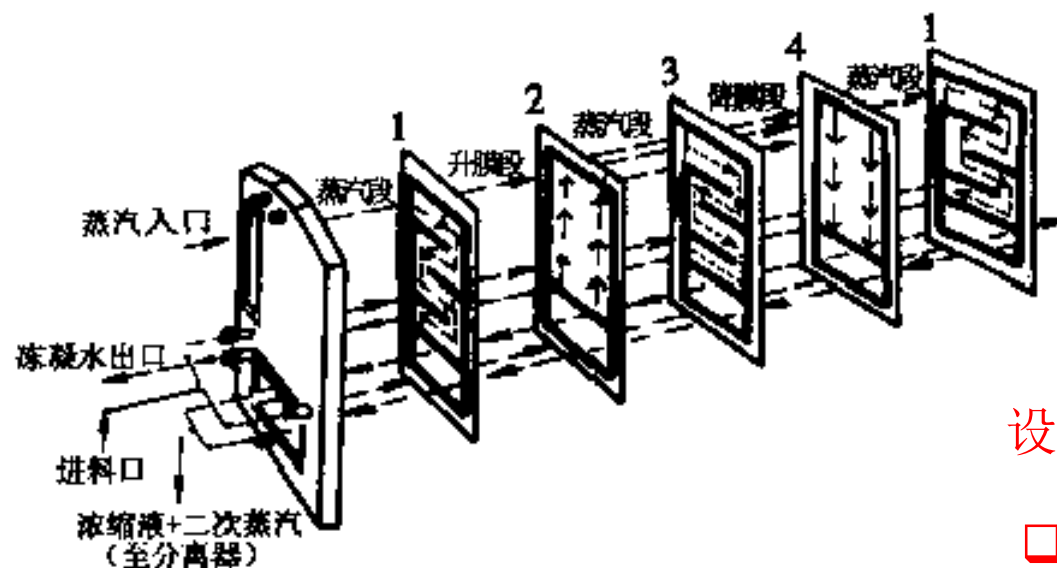


图 6-10 板式蒸发器传热板的排列

设备特点：

- ❑ 结构紧凑，工艺灵活
- ❑ 单位体积传热面积大
- ❑ 可采用升降、降膜或升降膜
- ❑ 可用组合工艺工作



1效

2效

3效

4效

板式四效蒸发器



第四效蒸发器

第八章 蒸 发



第八章 蒸发

8.3C 新型蒸发器

膨胀流动蒸发器

离心加热蒸发器

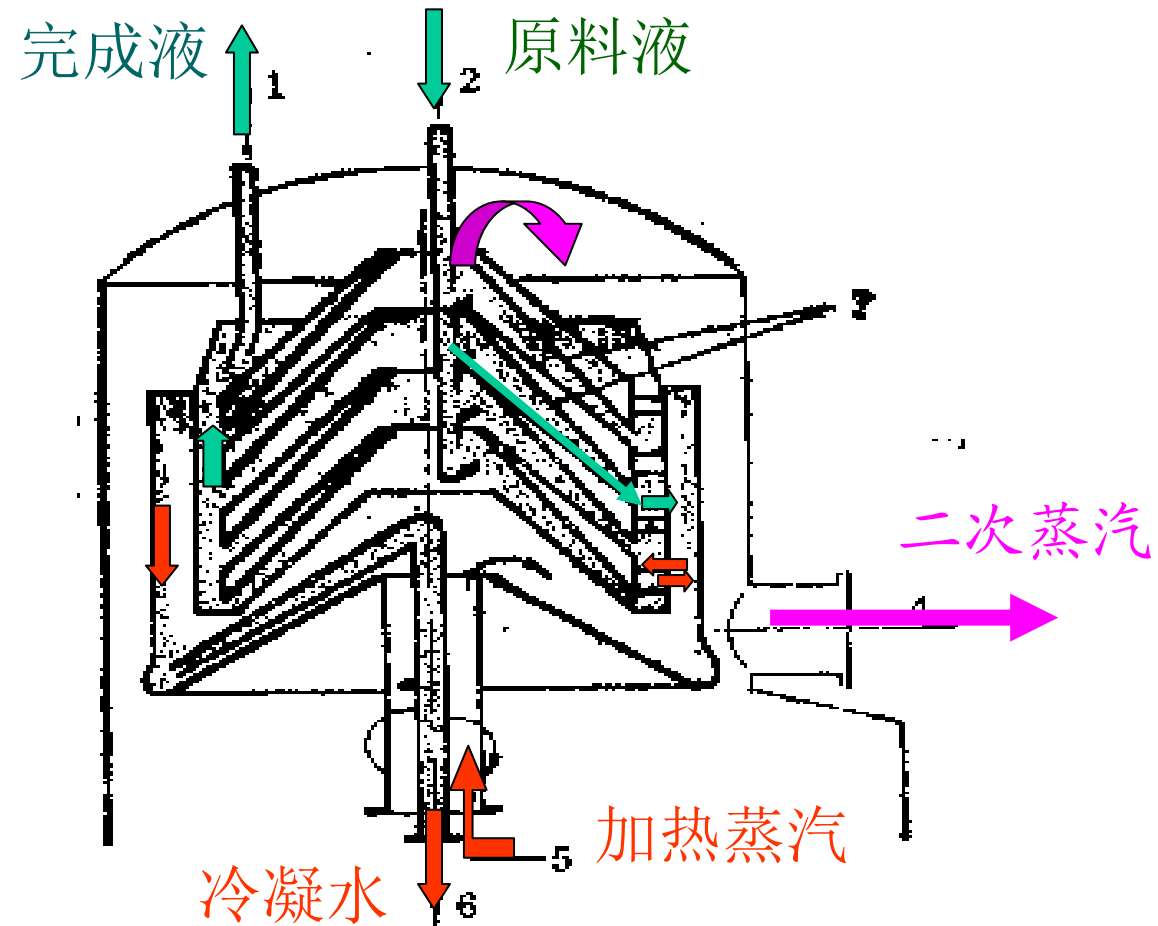


图 8-11 离心加热蒸发器

- 1—浓缩液出口；2—加料口；3—加热面；
4—二次蒸汽出口；5—加热蒸汽入口；
6—冷凝水出口

单元操作：蒸发



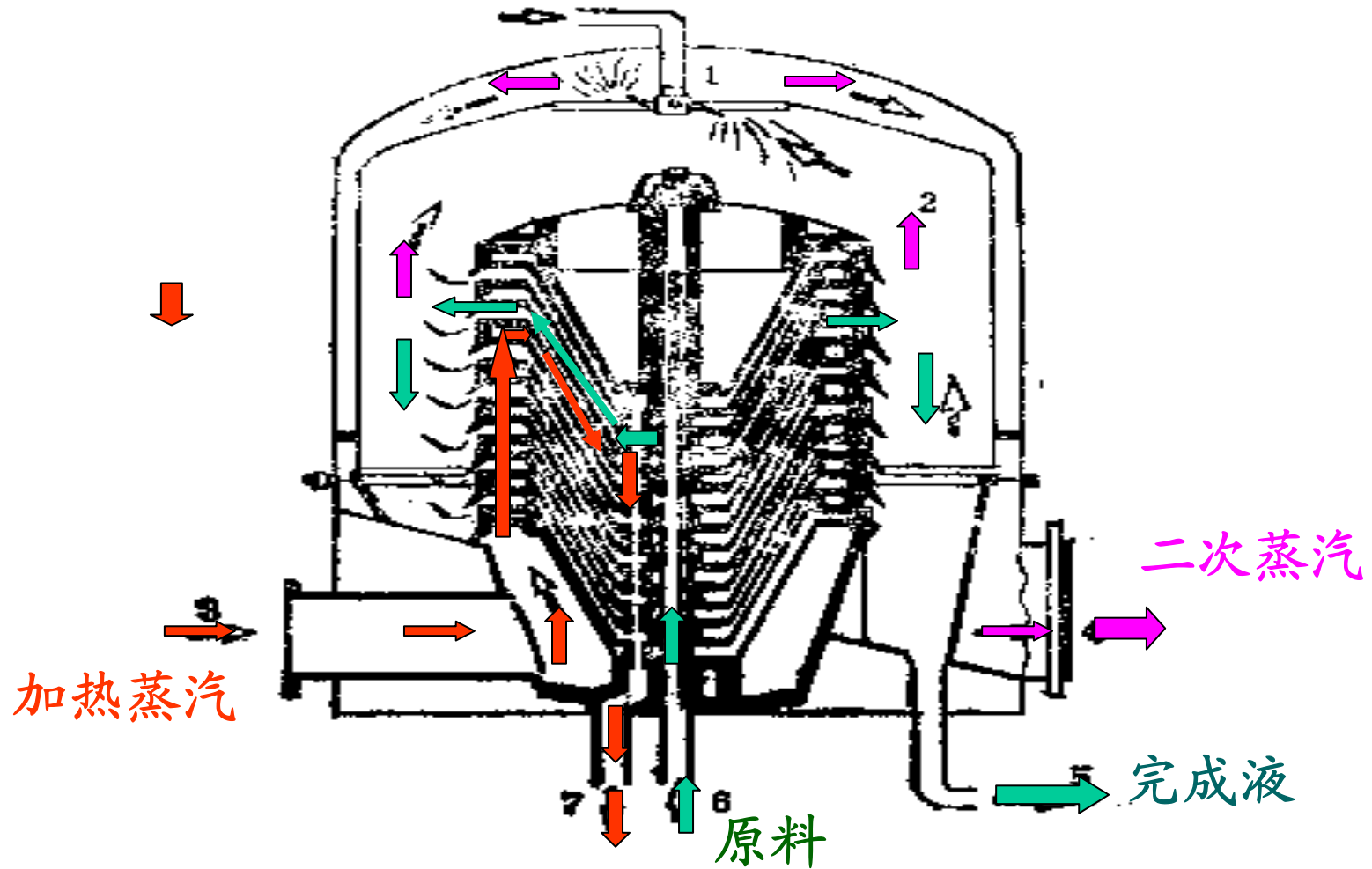


图 8-10 膨胀流动蒸发器

1—除沫器； 2—分离室； 3—加热蒸汽入口；
 4—二次蒸汽出口； 5—浓缩液出口； 6—料液
 入口； 7—冷凝水出口

单元操作：蒸发



第八章 蒸发

8-4 蒸发器的辅助设备

- 1、冷凝器：一般采用混合式冷凝器
- 2、真空泵

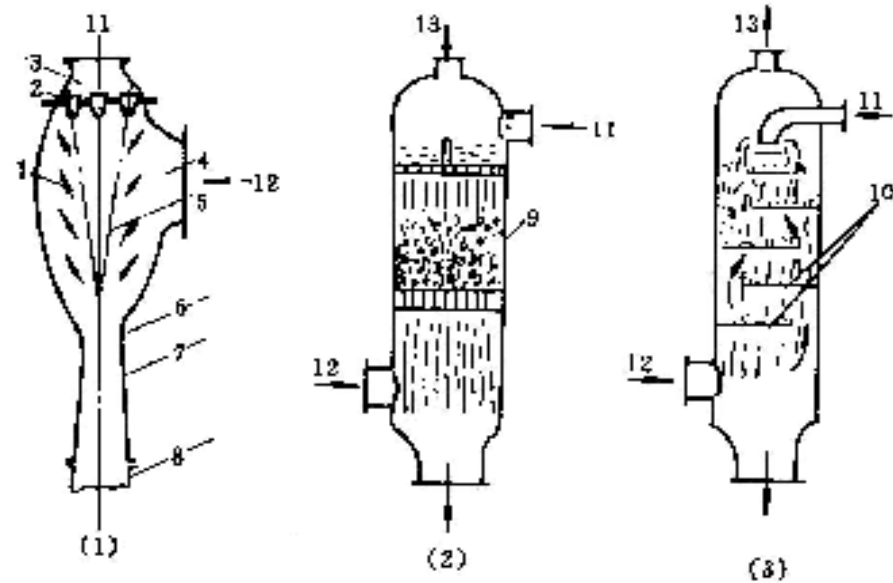


图 5-53 混合式冷凝器

(1) 喷射式 (2) 填料式 (3) 孔板式

1—导向挡板 2—喷嘴 3—水室 4—吸汽室 5—混合室
6—联管 7—扩压管 8—尾管 9—填料 10—筛板
11—水入口 12—蒸汽入口 13—不凝气体排出口

第八章 蒸发

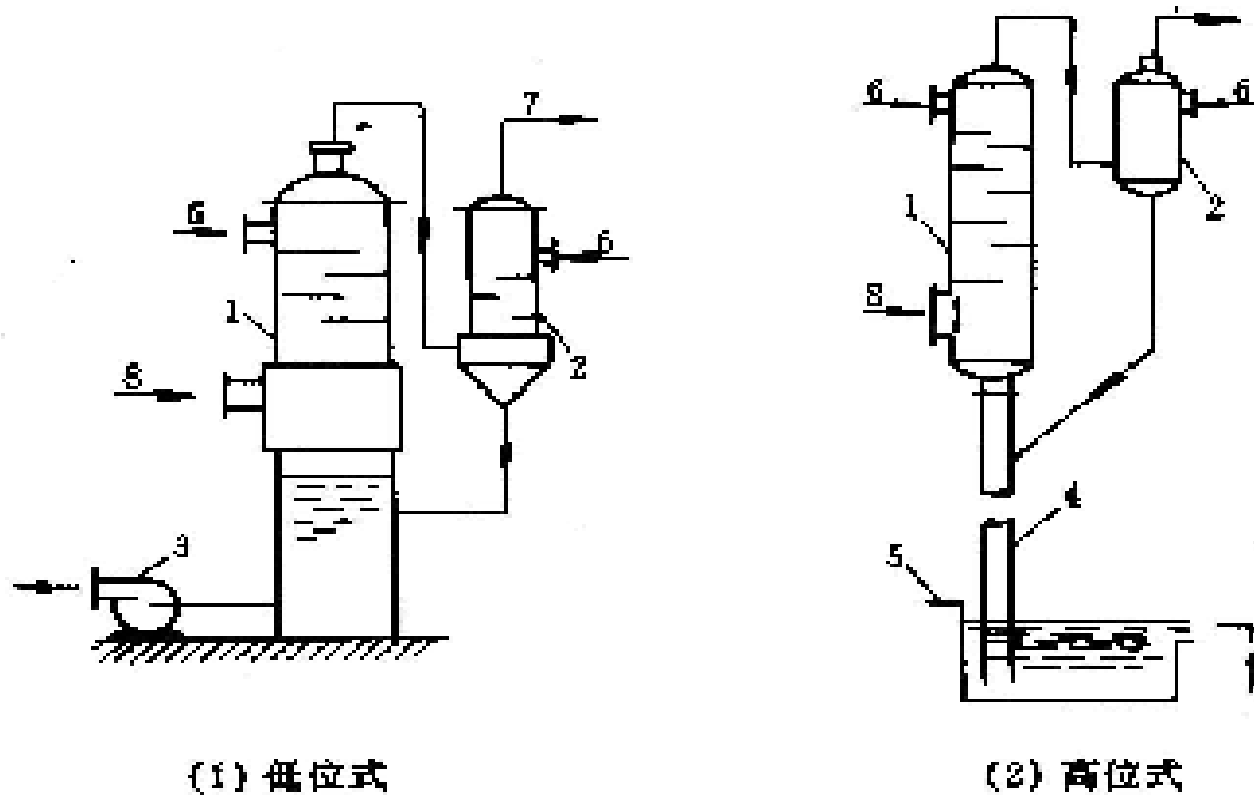


图 5-54 低位和高位冷凝器

1—主冷凝器 2—辅冷凝器 3—抽水泵 4—气压瓶
5—溢流槽 6—冷却水进 7—不凝气出 8—蒸汽进

第八章 蒸发

3、捕沫器

- 惯性型捕沫器
- 离心型捕沫器
- 表面型捕沫器

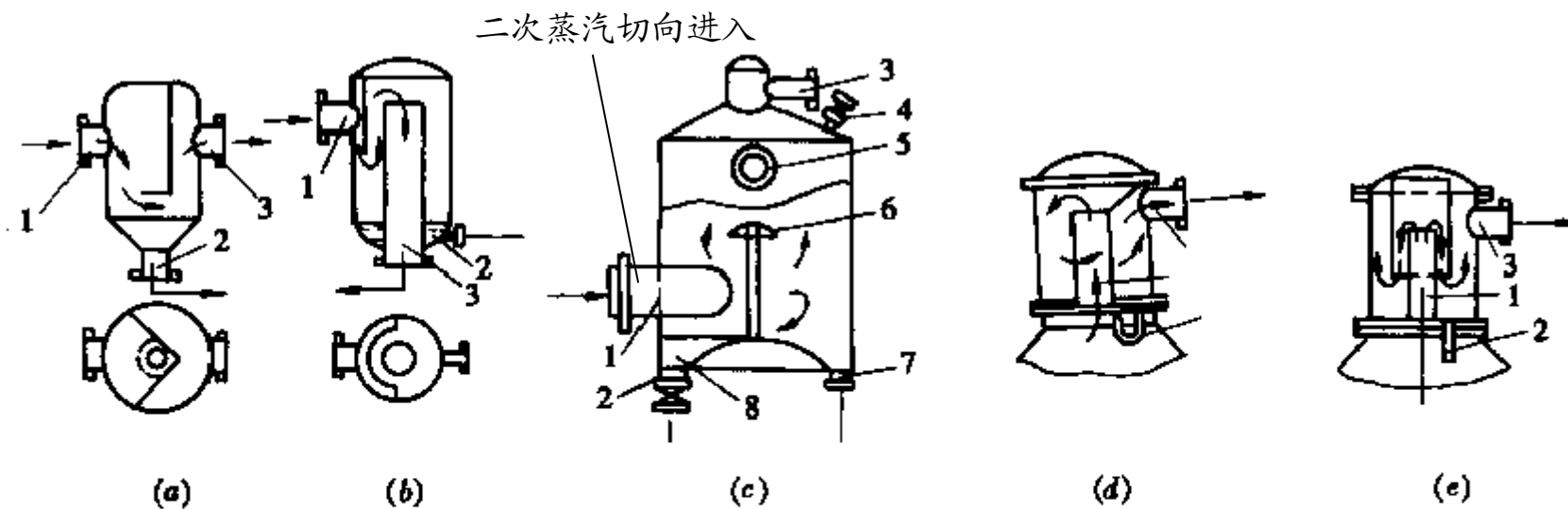


图 6-13 捕沫器的型式

1. 二次蒸汽进口 2. 料液回流口 3. 二次蒸汽出口 4. 真空解除
5. 视孔 6. 折流板 7. 排液口 8. 挡板

第八章 蒸发

蒸发器的选用

- 1、按生产能力
 - 2、按工艺要求
 - (1) 完成液浓度
 - (2) 原料热敏性
 - (3) 原料及完成液粘度
 - (4) 挥发物回收
 - 3、按经济性
- 各种蒸发器比较
按制品粘度，热敏选择



第八章 蒸发

第三节 单效蒸发

8.5 蒸发器的换热温差

溶液的沸点和温度差损失

普通换热器（两边相变），传热过程：

对溶液预热到沸点，料液温度 (T_1, p)

溶液中的水 \rightarrow 二次蒸汽 (T_e, p)

加热蒸汽 \rightarrow 冷凝液 (T_s, p_s)

传热温差：

$$\Delta T_t = T_s - T_e$$

ΔT_t —标准传热温差（水蒸汽—饱和水）， K

T_s —加热蒸汽饱和温度， K

T_e —操作压力下，溶液中水的沸点温度（饱和温度）， K

第八章 蒸发

蒸发器：处理溶液（恒温传热）

$$\Delta T = T_s - T_1$$

溶液沸点为 T_1 ，实测结果，相同蒸发压力下， $T_1 > T_e$

即含有溶质的溶液沸点高

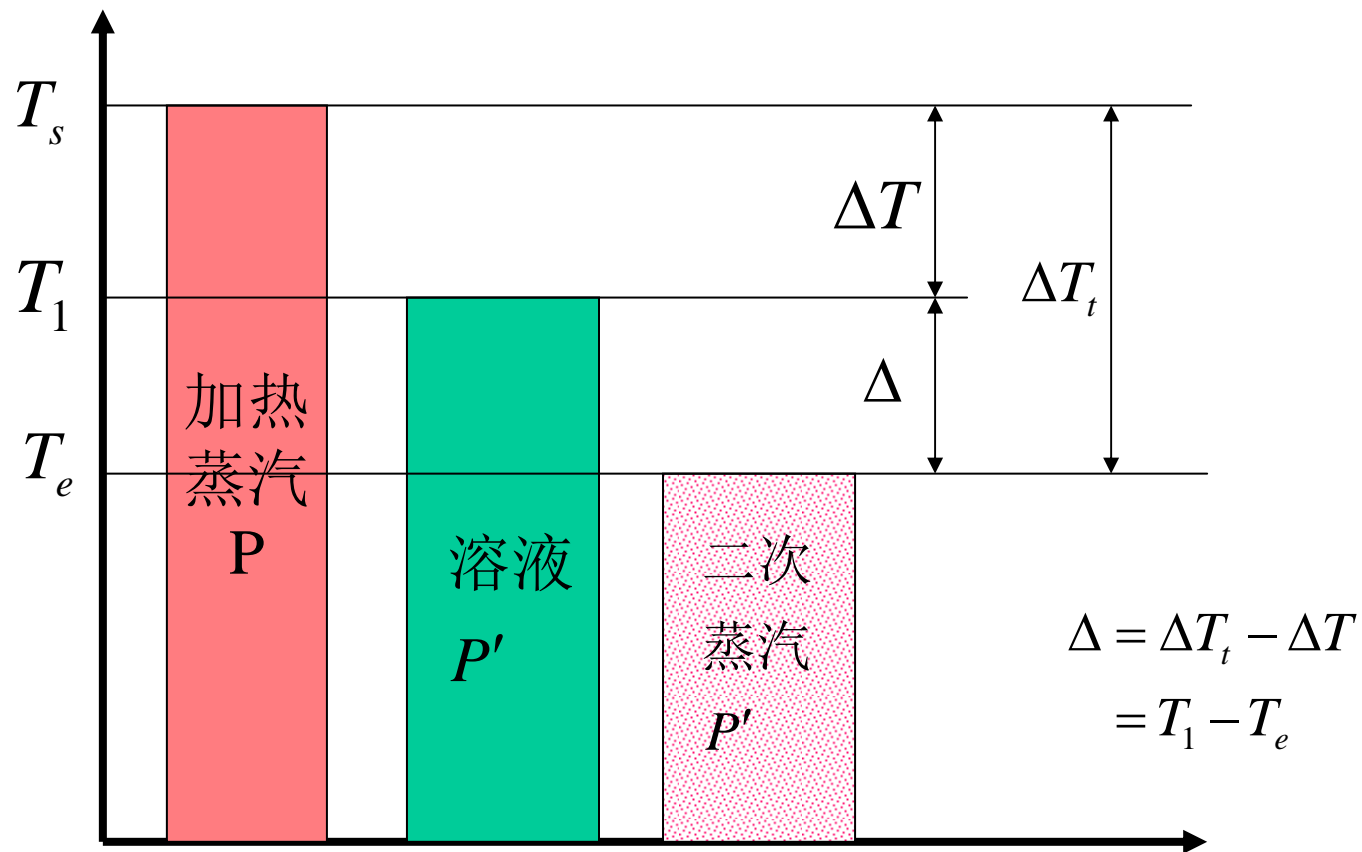
$$\Delta = \Delta T_t - \Delta T = (T_s - T_e) - (T_s - T_1) = T_1 - T_e$$

或 $\Delta T = \Delta T_t - \Delta$

Δ —称为温度差损失，或沸点升高

ΔT_t —理论传热温差

ΔT —有效传热温差



蒸发操作的温度差损失

单元操作：蒸发



第八章 蒸发

Δ 的产生及原因:

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

Δ 与溶液种类、测压法和液体静压力等因素有关

Δ' —由溶质引起的沸点升高

Δ'' —由液体静压效应引起

Δ''' —由蒸汽阻力和热损失引起

第八章 蒸发

1、由溶液蒸汽压下降引起的温度差损失 Δ'

原因：溶质分子存在影响了水分子的汽化

∴ 相同温度下，水的绝热蒸汽压高于溶液，
相同压力下，水的沸点低于溶液沸点。

例：1atm

水沸点100°C

牛奶100.37°C

蔗糖102.5°C

Δ' 影响因素：溶液种类、 w (浓度%)、 P

对同一溶液， $w \uparrow, P \uparrow \rightarrow \Delta' \uparrow$

第八章 蒸发

Δ' 的计算方法:

(1) 计算法

$$\Delta' = f \cdot \Delta'_a$$

式中: Δ'_a —常压下某种溶液 (w%) 的沸点 T_A 与水沸点的差值 (如表 6-1 糖液不同 w 值之 Δ'_a 值)

$$\Delta'_a = T_A - 100$$

f—修正系数, $f = 16.2 \cdot \frac{(T + 273)^2}{r}$

T —某压力下水的沸点, °C

r —某压力下水的汽化潜热, kJ/kg

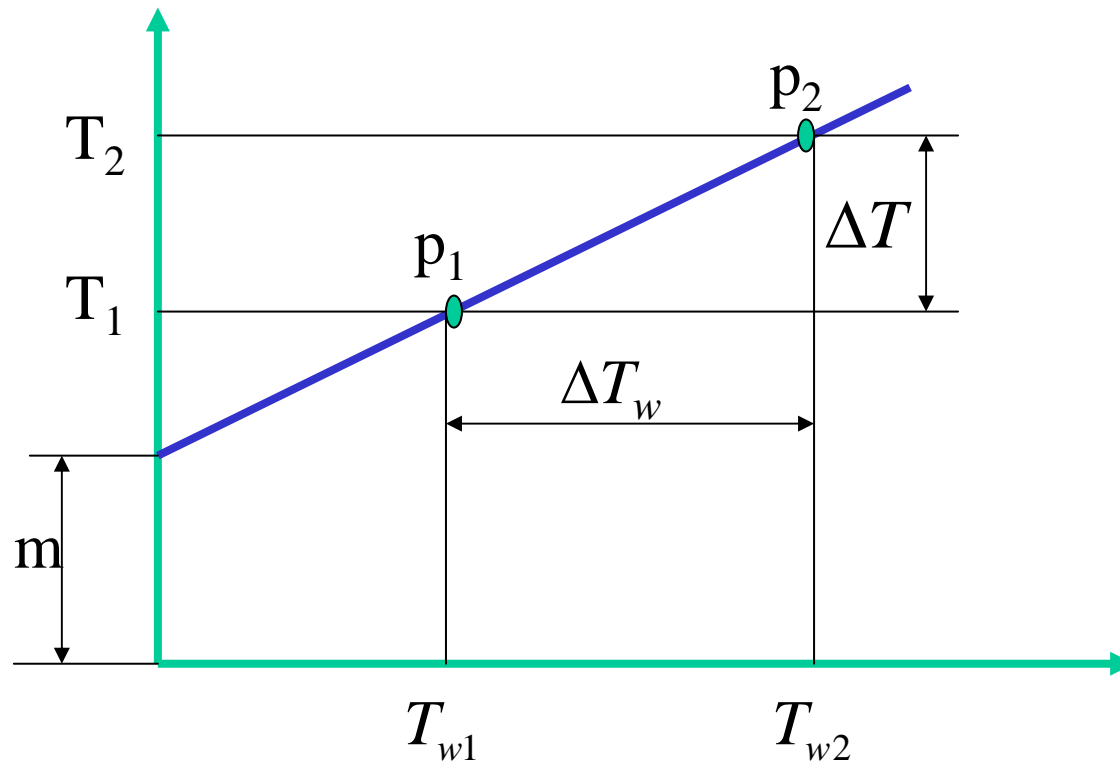
第八章 蒸发

(2) 杜林公式(图解法)

由试验测得，在浓度 $w\%$ 下：

压力	水沸点	溶液沸点
P_1	T_{w1}	T_1
P_2	T_{w2}'	T_2
P_3	T_{w3}''	T_3
⋮	⋮	⋮

将其绘于坐标上， T_w 与 T 呈线性关系



在浓度 w 下，溶液沸点、水沸点和压力的关系

单元操作：蒸发



第八章 蒸发

直线斜率 $R = \frac{T_2 - T_1}{T_{w2} - T_{w1}}$

直线截距 $m = T_1 - RT_{w1}$

故: $T = RT_w + m$

溶液种类、浓度不同，直线 R, m 不同；

a: 有某种溶液溶度 B 的杜林图

$$P \rightarrow T_w \rightarrow T \rightarrow \Delta'$$

b: 如无图，但知道水和 w 溶液的两种压力下的沸点

$$P_1: T_{w1}、T_1$$

$$P_2: T_{w2}、T_2$$

就可以求出第三种压力下的 T_3

第八章 蒸发

2、 Δ'' —由液柱静压头所引起沸点升高

例：以 1m 水层为例： $\Delta P=1\text{m H}_2\text{O}$

T_0	ΔT_{0-m} ($^{\circ}\text{C}$)	T_0 ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)
10 (m H_2O)	3	100	103
0.23 (m H_2O)	30	20	50

可见低压下 Δ'' 影响显著。

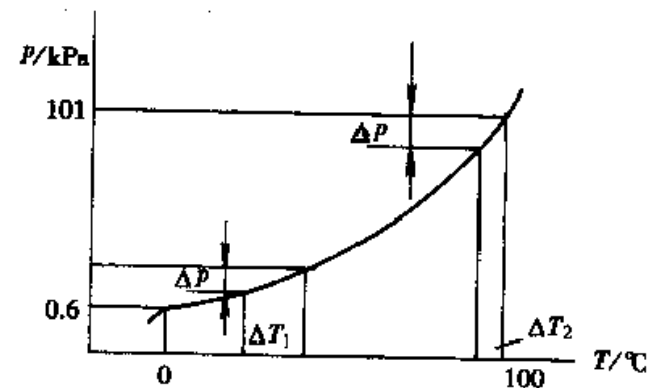


图 6-14 水的饱和蒸汽压曲线

第八章 蒸发

一般按平均压力计算 Δ'' ：

$$p_m = p + \frac{\rho g L}{2} \quad (\text{静压方程})$$

$$\therefore \Delta'' = T_m - T$$

P_m ——平均压力

T_m ——由 P_m 所查得的（水）沸点

T ——由 P 所查得的（水）沸点

注意：1) 存在阻力（上流） $\therefore P_{\text{实际}} > P_{\text{计算}}$ ，

故 Δ'' 仅是估计值。

2) 循环式： $\Delta'' \neq 0$

膜状流动： $\Delta'' = 0$

第八章 蒸发

3、 Δ''' —管路压降产生能量损失引起的温度差损失

(1) Δ''' 产生原因:

一般测得的不是蒸发室压力, 而是出口压力.

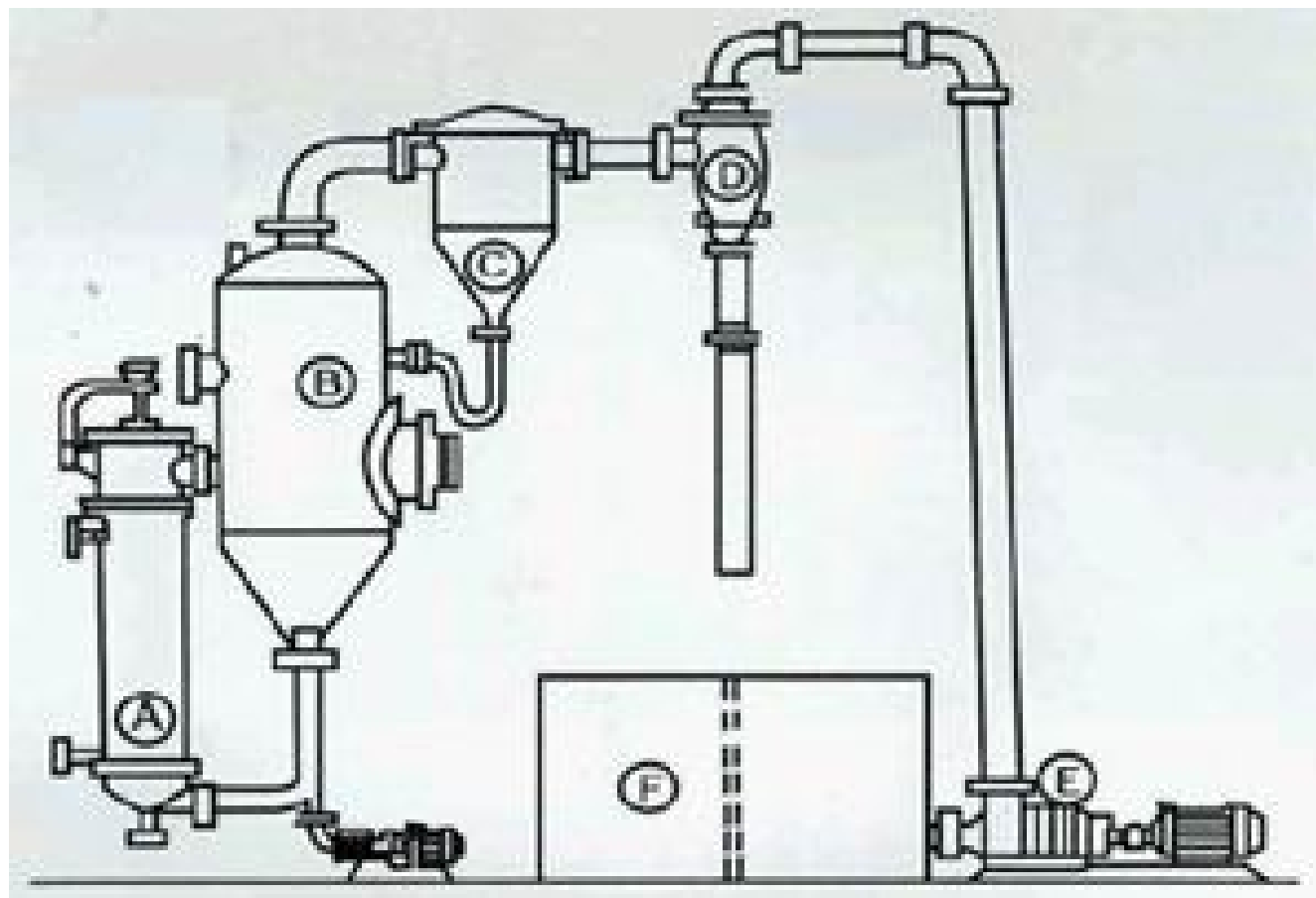
$\because P_{\text{出口}} < P_{\text{蒸发室}} \quad \therefore$ 计算出的 T 偏小.

(2) Δ''' 产生因素较复杂, 与流速 d , L , ζ 等量有关.

$\Delta''' = 0.5 \sim 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$, 一般取 $\Delta''' = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

(3) 若直接测得蒸发室压力, 则 $\Delta''' = 0$.

第八章 蒸发



WZ I型外加热式真空蒸发器

第八章 蒸发

∴ 温度差损失 Δ :

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

Δ 与溶液种类、测压法和液体静压力等因素有关

Δ' —由溶质存在引起的沸点升高

Δ'' —由液体静压效应引起的沸点升高

Δ''' —由蒸汽阻力和热损失引起的沸点升高

第八章 蒸发

例 6-1 用连续真空蒸发器将桃浆由固形物质分数为 11% 浓缩至 40%，蒸发器真空度为 8kPa，液层高为 2m，采用 100℃ 饱和水蒸气加热，桃浆的密度为 1180kg/m³。计算由于料液沸点升高和液层静压效应引起的换热温差损失及蒸发器的有效换热温差。

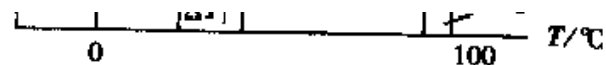


图 6-14 水的饱和蒸汽压曲线

解：绝对压力 $101 - 93 = 8\text{kPa}$ 对应的沸点 T 为 41.3°C ，汽化热 $r = 2.40\text{MJ/kg}$

(1) 计算 Δ' 用吉辛柯公式，取料液浓度为制品浓度 40%，参考糖液数据， $\Delta'_a = 1.0\text{K}$ ，则

$$\Delta' = 16.2 \frac{T^2}{r} \Delta_a = 16.2 \frac{(273.2 + 41.3)^2}{2.40 \times 10^6} \times 1.0 = 0.67\text{K}$$

(2) 计算 Δ''

$$p_m = p + \rho gh/2 = 8 + 1.186 \times 9.81 \times 2/2 = 19.6\text{kPa}$$

$$T_m = 59.6^\circ\text{C}$$

$$\Delta'' = 59.6 - 41.3 = 18.3\text{K}$$

(3) 计算 ΔT

$$\begin{aligned} \Delta T &= \Delta T_i - \Delta = (100 - 41.3) - (0.7 + 18.3) \\ &= 58.7 - 19.0 = 39.7\text{K} \end{aligned}$$

由计算可见，真空蒸发时对有效换热温差 ΔT 影响最大的是 Δ'' 。

第八章 蒸发

8-6 单效蒸发计算

所需要计算的项目：

V ——单位时间蒸发水量即蒸发量,kg/s

S ——加热蒸汽消耗量,kg/s

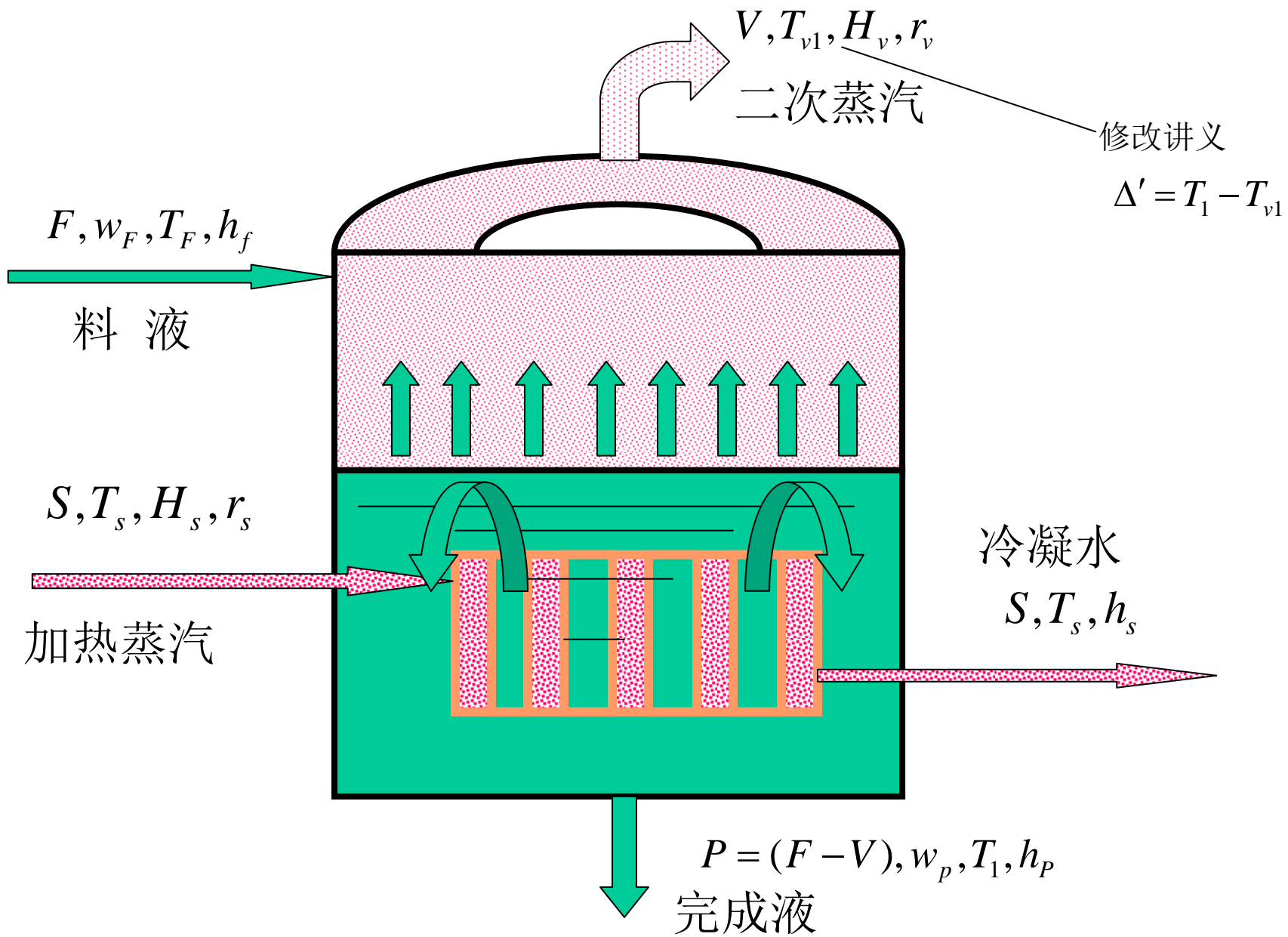
A ——蒸发器的传热面积, m^2

已知条件：

F 、 w_F 、 T_F ——原料液流量、浓度、温度

w_p ——完成液浓度

加热蒸汽的压强及冷凝器内的压强



单元操作：蒸发



第八章 蒸发

1、物料衡算：

$$\text{总：} \quad F = P + V \quad (6-9)$$

$$\text{溶质：} \quad Fw_F = (F - V)w_p \quad (6-10)$$

$$\text{若已知 } F, w_F, w_p : \quad V = F \left(1 - \frac{w_F}{w_p}\right) \quad (6-11)$$

$$F, V, w_F : \quad w_p = \frac{Fw_F}{F - V} \quad (6-10A)$$

第八章 蒸发

2、热量衡算：

进入系统的热流量： $Fh_F + SH_s$

离开系统的热流量： $VH_v + Sh_s + Ph_p$

式中 h_F - 原料液的比焓, j/kg

H_s - 加热蒸汽的比焓, j/kg

H_v - 二次蒸汽的比焓, j/kg

h_s - 蒸汽冷凝液的比焓, j/kg

h_p - 完成液的比焓, j/kg

第八章 蒸发

若用比热代替比焓进行分析，可得：

$$Ph_p = (Fc_{PF} - Vc_m)T_1 \quad (6-13)$$

式中 c_{PF} - 原料液的比热, $J/kg \cdot k$

c_m - 水的比热, $J/kg \cdot k$

$(Fc_{PF} - Vc_m)$ - 单位时间流出的完成液的热容, $J/k.s$

令：进入系统的热流量 = 流出系统的热流量

则： $Fh_F + SH_s = VH_V + Sh_s + Ph_p + \Phi'$

即： $Fh_F + SH_s = VH_V + Sh_s + Fc_{PF}T_1 - Vc_mT_1 + \Phi'$

或： $S(H_s - h_s) = V(H_V - c_mT_1) + Fc_{PF}(T_1 - T_F) + \Phi'$

第八章 蒸发

$$S(H_s - h_s) = V(H_V - c_m T_1) + Fc_{PF}(T_1 - T_F) + \Phi'$$

令： $r_s = H_s - h_s$, 为加热蒸汽的汽化潜热, J/kg

$r_V = H_V - c_m T_{v1}$, 令 $T_{v1} \approx T_1$, 则:

$r_V = H_V - c_m T_1$, 近似为二次蒸汽的汽化潜热, J/kg

则:— $Sr_s = Vr_V + Fc_{PF}(T_1 - T_F) + \Phi'$

加热蒸汽耗量: $S = \frac{Vr_V + Fc_{PF}(T_1 - T_F) + \Phi'}{r_s}$

第八章 蒸发

$$Sr_s = Vr_V + Fc_{PF}(T_1 - T_F) + \Phi'$$

分析、讨论：

(1) Sr_s = 汽化V水 + 预热物料 + 热损失

(2) 料液

$$\left\{ \begin{array}{lll} T_F < T_1 & \Phi & \text{(所需要量)} \\ T_F = T_1 & \Phi' < \Phi & \text{(沸点进料)} \\ T_F > T_1 & \Phi'' < \Phi' < \Phi & \left(\begin{array}{l} \text{自蒸发} \\ \text{闪蒸} \end{array} \right) \end{array} \right.$$

第八章 蒸发

(3) 当沸点进料，且 $\Phi' = 0$ 时：

$$Sr_s = Vr_v \quad \left(\frac{V}{S} = \frac{r_s}{r_v} \right)$$

$$e = \frac{V}{S} = \frac{\text{蒸发量}kg}{\text{加热蒸汽量}kg} \quad \text{蒸汽经济性}$$

当 $r_s \approx r_v$ (压力对汽化潜热影响较小)

$$e = \frac{V}{S} = 1 \quad (\text{即供}1Kg\text{蒸汽能蒸发出}1Kg\text{的水})$$

实际 $e = 0.9$

第八章 蒸发

3、蒸发器的传热面积A

$$\Phi = K_1 A_1 \Delta T_1 \quad \text{或: } A_1 = \frac{\Phi}{K_1 \Delta T}$$

$$(1) \Delta T_1 \text{ — 常量} \quad \Delta T_1 = T_s - T_1$$

$$(2) K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ (平板型)}$$

式中: α_1 — 蒸汽冷凝放热系数。可按膜状冷凝计算

$$\alpha_1 = 4500 \sim 18000 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$$

α_2 — 液体沸腾传热系数, 一般取经验值

$\frac{\delta_w}{\lambda_w}$ — 板壁热阻

第八章 蒸发

$$\frac{\delta_s}{\lambda_s} \text{ — — 垢层热阻, } \begin{cases} \delta_s = 0.5mm \text{ (估计值)} \\ \lambda_s = 1.5 \sim 2 w/m.k \end{cases}$$

垢层热阻影响因素:

- a) 传热面温度 $T_s \uparrow$, 垢层热阻 \uparrow
- b) 流向影响。下降 $>$ 上升
- c) 非沸腾 $>$ 沸腾
- d) 液体中蒸汽比例 \uparrow , 垢层热阻 \uparrow

K — 估计值。一般由实测或经验值, 由手册查得

第八章 蒸发

4、蒸发器的生产能力

V =单位时间蒸发水量, Kg/h

$$Sr_s = Vr_v + Fc_{pF}(T_1 - T_F) + \Phi'_1 \quad (a)$$

$$S = \frac{Vr_v + Fc_{pF}(T_1 - T_F) + \Phi'_1}{r_s} \quad (b)$$

若沸点进料,且 $\Phi' = 0$:

$$\Phi = Sr_s = Vr_v = KA\Delta T \quad (w)$$

蒸发量: $V = \frac{KA\Delta T}{r_v} \quad (kg / s)$

第八章 蒸发

提高 V 的方法:

$$1) K \uparrow \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$\alpha_1 \uparrow$, 不凝性气体逸出

$\alpha_2 \uparrow$, 一般 $\alpha_2 \ll \alpha_1$, 主要因素, 强制循环 $u \uparrow$

$\frac{1}{\alpha_F} \downarrow$ (污垢热阻) 影响较大 {

- a) 定期除污, 清洗设备
- b) 合理选择结构, $u \uparrow$ 冲洗
- c) 加微量阻垢剂

第八章 蒸发

2) $\Delta T \uparrow$

$$\because \Delta T = T_s - T_1$$

$T_s \uparrow \rightarrow p_s \uparrow$, 一般 $2-5at$, 最大 $< 8at$, T_s 过高, 膜状沸腾 $\alpha_1 \downarrow$

$T_1 \downarrow \rightarrow$ (采用真空操作), 真空度 \uparrow

- a) 功耗 $\uparrow\uparrow$
- b) T_1 过小, $\mu \uparrow \rightarrow \alpha_2 \downarrow$, 一般 $0.1 \sim 0.2at$

例 6-2 稳态下在单效蒸发器中浓缩苹果汁。已知原料液温度 43.3°C ，浓度 11%，比热容 $3.9\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，进料流量 $0.67\text{kg}/\text{s}$ 。蒸发室沸点 60.1°C ，完成液浓度 75%。加热蒸汽压力为 300kPa 。加热室传热系数为 $943\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。计算：(1) 蒸发量和完成液流量；(2) 加热蒸汽耗量；(3) 蒸汽经济性；(4) 换热面积。

解：(1) 由式 (6-11)，

$$V = F\left(1 - \frac{w_F}{w_P}\right) = 0.67\left(1 - \frac{0.11}{0.75}\right) = 0.57\text{kg}/\text{s}$$

$$P = F - V = 0.67 - 0.57 = 0.10\text{kg}/\text{s}$$

(2) 查 $T_1 = 60.1^{\circ}\text{C}$ 时， $r_V = 2355\text{kJ}/\text{kg}$ ；

$$p = 300\text{kPa} \text{ 时，} T_S = 133.3^{\circ}\text{C}, r_S = 2168\text{kJ}/\text{kg}$$

由式 (6-15)：

$$\begin{aligned} S &= \frac{Vr_V + Fc_{PF}(T_1 - T_F)}{r_S} \\ &= \frac{0.57 \times 2355 + 0.67 \times 3.9(60.1 - 43.3)}{2168} = 0.64\text{kg}/\text{s} \end{aligned}$$

(3) 由式 (6-17)

$$e = \frac{V}{S} = \frac{0.57}{0.64} = 0.89$$

(4) 由式 (6-18)

$$A = \frac{Sr_S}{K(T_S - T_1)} = \frac{0.64 \times 2168 \times 10^3}{943 \times (133.3 - 60.1)} = 20.1\text{m}^2。$$

第八章 蒸发

例：在单效真空蒸发器内，每小时将2500 kg浓度为15%的果汁浓缩到70%。若料液温度为50℃，平均比热为3.5 KJ/kg.K，完成液排料温度为65℃，热损失为加热量的5%，蒸发器的传热系数为2.5 kw / (m².K)。已知加热蒸汽的汽化潜热为2700kJ/kg，二次蒸汽的汽化潜热2600kJ/kg。

试求： 1、完成液的生产能力P和加热蒸汽消耗量S；
2、求所需蒸发器换热面积A；
2、若为沸点进料，求P和S。

第八章 蒸发

第四节 多效蒸发

8-7 多效蒸发流程

8.7A 多效蒸发操作流程

并流（顺流）： 蒸汽和料液流动方向相同

逆流： 蒸汽和料液流动方向相反

平流： 分别加料，分别排料

第八章 蒸发

1、 并流（顺流）：

料液和蒸汽方向一致

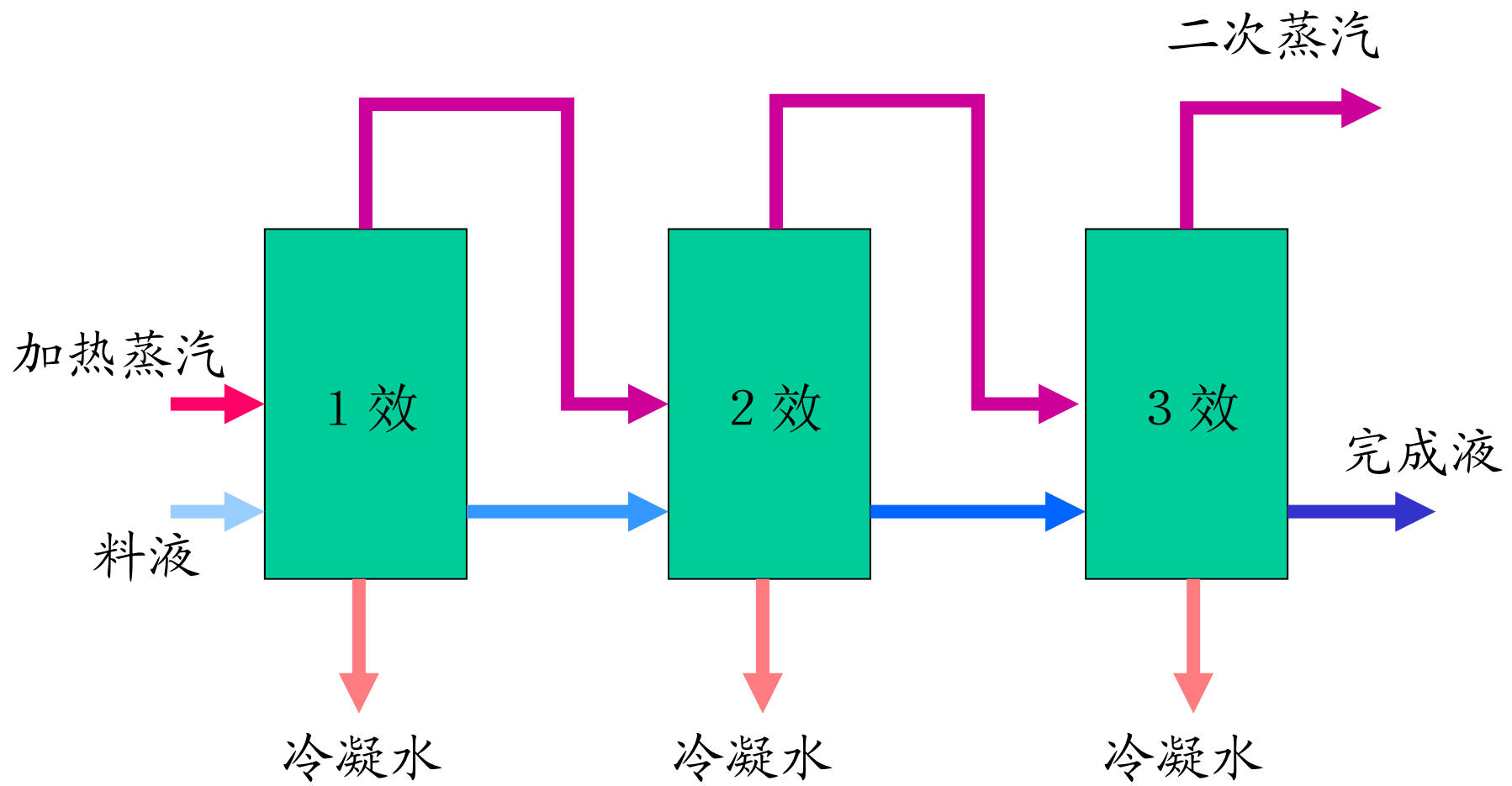
料液： $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$

蒸汽： $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$

优点： 1) 1 效压力最高 > 2 效 > 3 效； 所以： 效间不必用泵

2) 后效 $T_2 < T_1$, 过热进料， 自蒸发余热可利用。

缺点： $p \downarrow \rightarrow T \downarrow$ 粘度加大， K 下降， 流动阻力加大。



并流（顺流） 3 效蒸发流程图

单元操作：蒸发



第八章 蒸发



第八章 蒸发



R Z F 系列三效蒸发器

第八章 蒸发

2、 逆流：

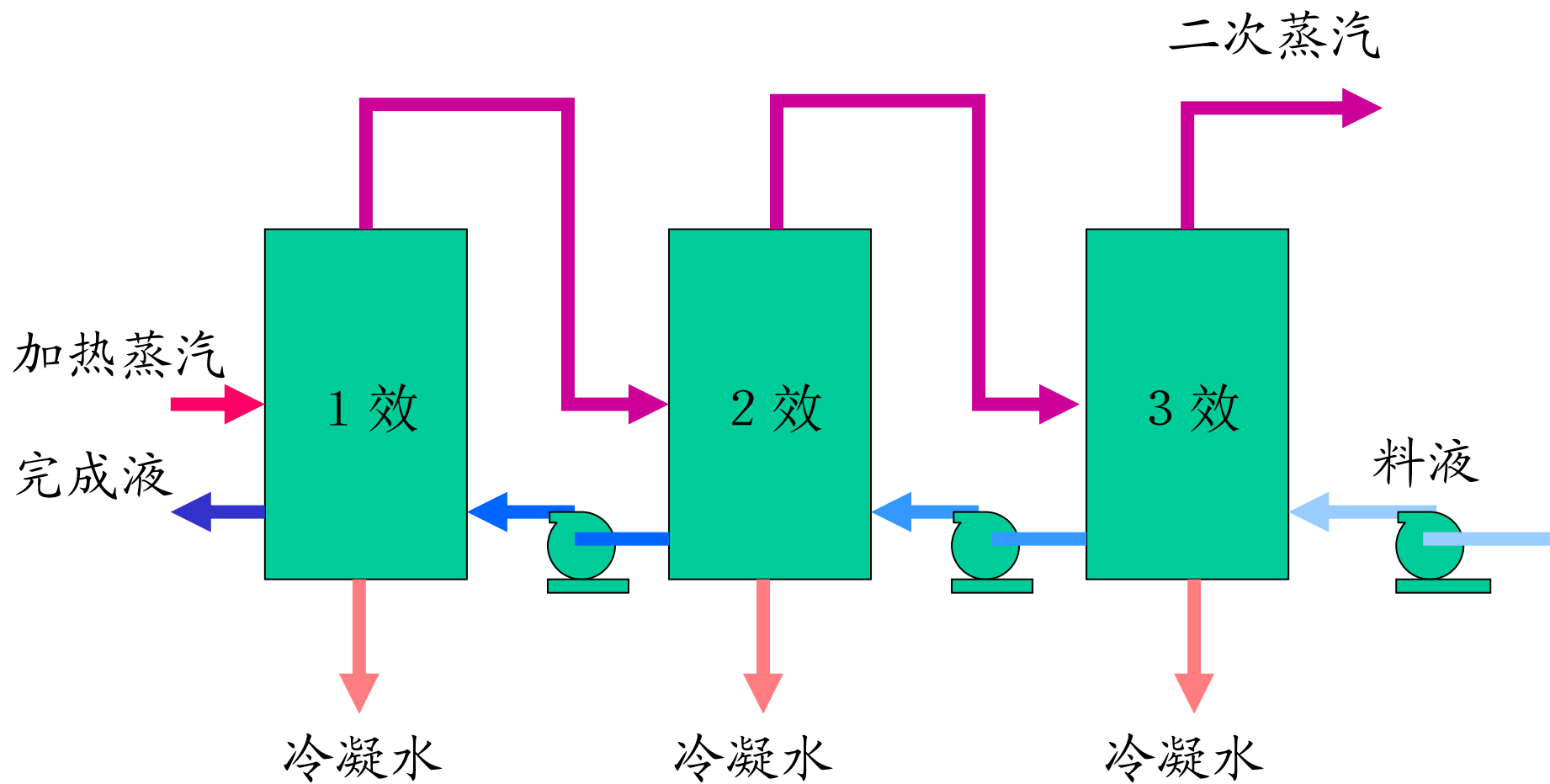
蒸汽： $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$

料液： $1 \leftarrow 2 \leftarrow 3$

优点： 溶液浓度增大， 温度也升高， 流动性好。

故适用于粘性制品。

缺点： 增加泵， 能耗增大。



逆流 3 效蒸发流程图

单元操作：蒸发



三效逆流真空浓缩机

主要用于果酱的浓缩

蒸发量: 12000 kg/h

	1效	2效	3效
料液 温度:	72	57	42 °C

加热 温度:	143	72	57 °C
-----------	-----	----	-------

加热 面积:	15	200	150 m ²
-----------	----	-----	--------------------

成品浓度: 5%—28%

单元操作: 蒸发



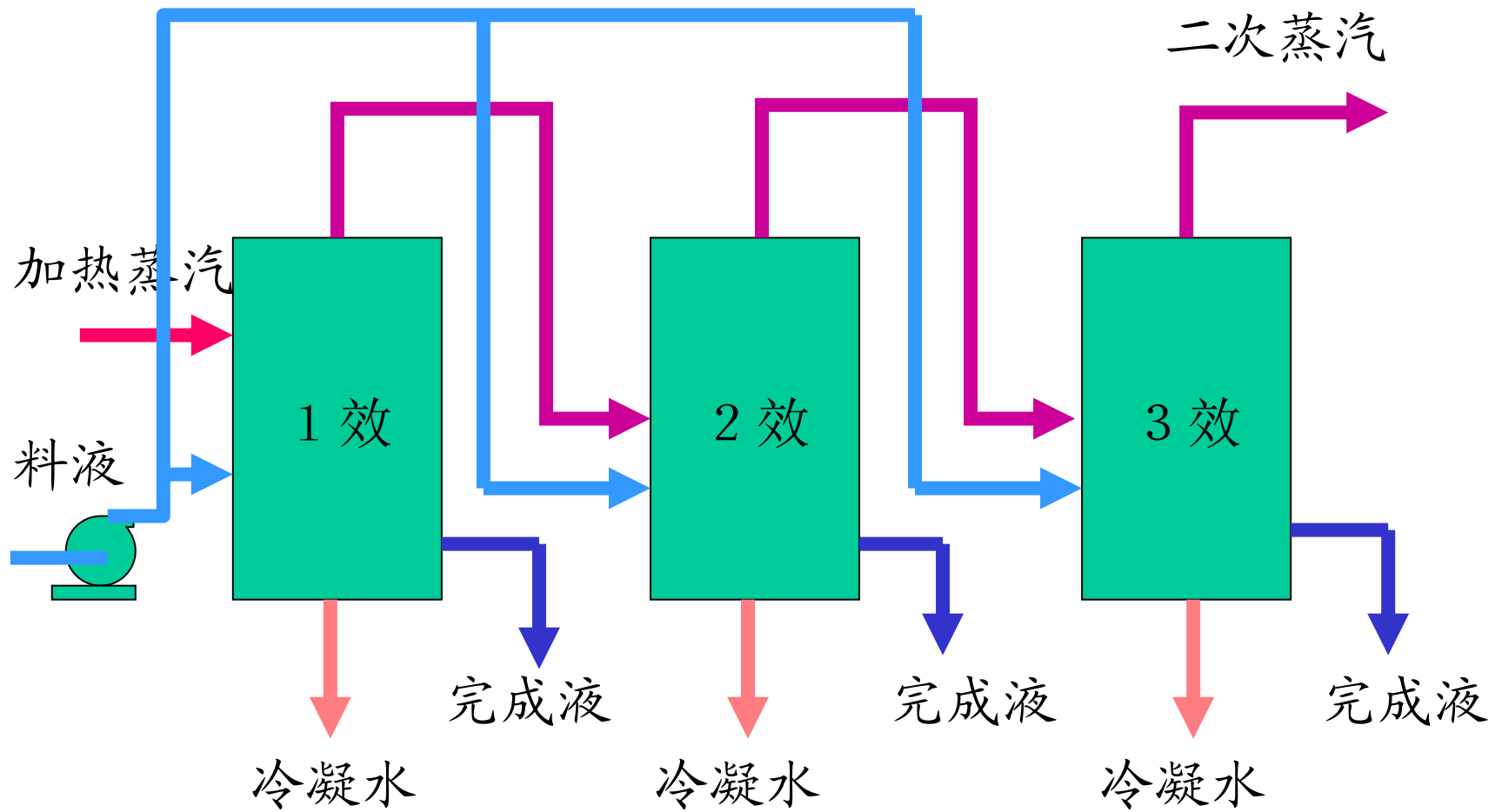
第八章 蒸发

3、平流：

每效料液完成液单独加、排。

蒸汽：	1 →	2 →	3
	↓	↓	↓
料液：	1	2	3

特点：适用于处理易结晶的料液



平流 3 效蒸发流程图

单元操作：蒸发



第八章 蒸发

8.7B 多效蒸发的经济性

1、 经济性

经济性：消耗 1kg 加热蒸汽所能蒸发出的水量。

效数	理论蒸发水量 V/S	实际	增加量
1	1	0.9	100%
2	2	1.8	
3	3	2.5	12%
4	4	3.3	
5	5	3.7	

第八章 蒸发

2、效数限制:

1) 效数越多, $\frac{V}{S} \downarrow; n \uparrow$ 节约的蒸汽量相对不明显。

效数越多, 设备费用越大。

当节约的蒸汽费用不足以抵偿设备费用的增加时, 效数就成为理论极限。

2) 每一效都产生一次 Δ'

总温差损失就较单效大

有效 ΔT 就小。

第八章 蒸发

一般工业上:

蔗糖: 3~5效

果汁、牛奶: 3效;

化工 3效;

海水淡化 20效以上。

第八章 蒸发

8-8 多效蒸发的计算（以三效为例）

1、已知条件

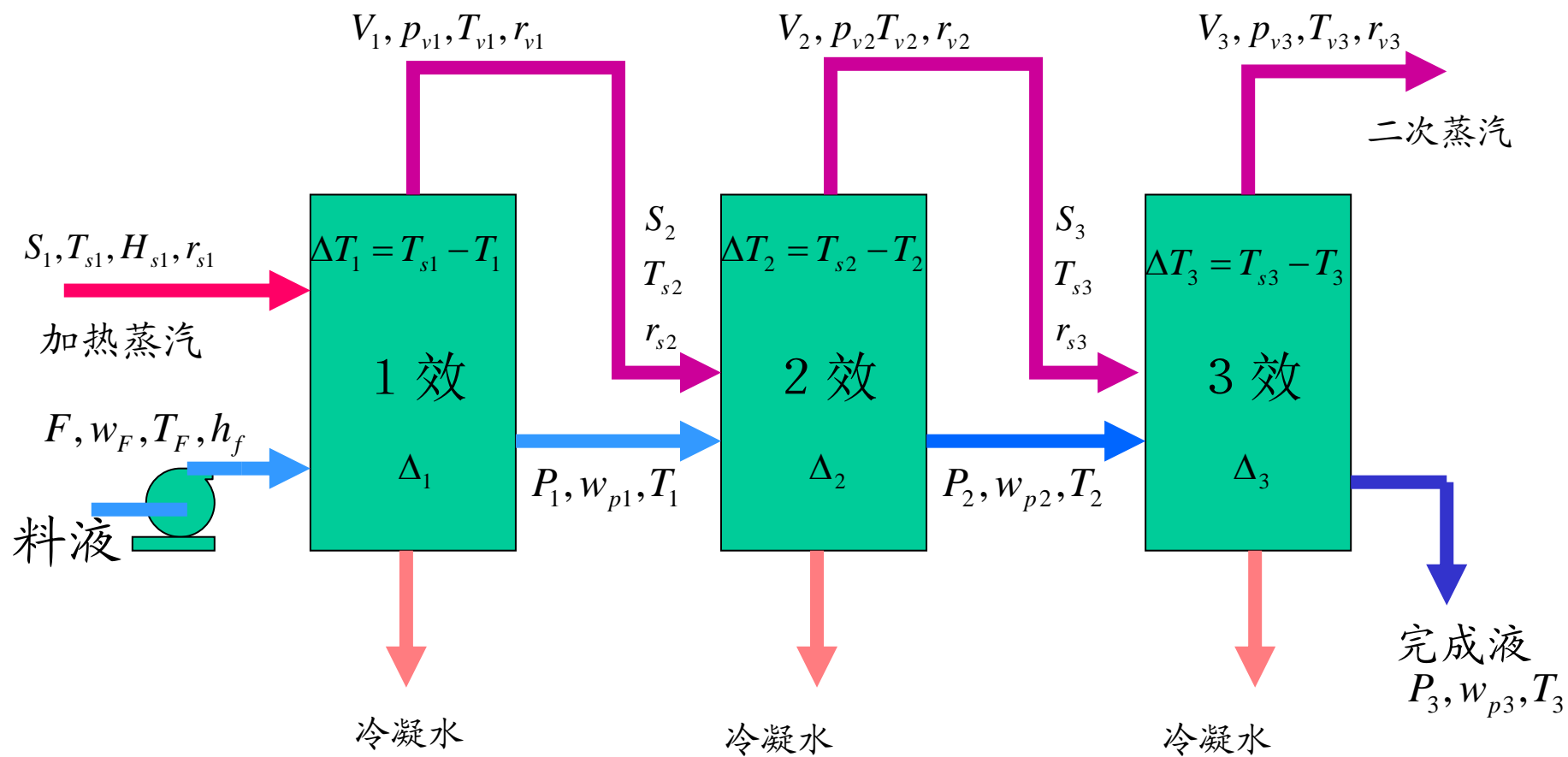
加热蒸汽： p_{s1}, T_{s1}, r_{s1}

料 液： F, T_{F1}, w_{F1}

完 成 液： w_{p3}, P'_3

2、计算项目

- (1)、各效传热温差 ΔT_i
- (2)、蒸发量 V 及各效蒸发量 V_i (kg/s)
- (3)、加热蒸汽量 S_1 (kg/s)
- (4)、各效换热面积 A_i



顺流 3 效蒸发流程图

单元操作：蒸发



第八章 蒸发

6-8 多效蒸发的计算（以三效为例）

1、多效蒸发的温差分配

单效蒸发： $\Delta T_1 = T_s - T_c$

多效蒸发： $\Delta T = \sum \Delta T_i = \Delta T_t - \sum \Delta_i$

ΔT —有效传热总温差

ΔT_i —第*i*效的有效传热温差

ΔT_t —总传热温差

Δ_i —第*i*效的温差损失

温差分配条件：(1) $\Delta T = \sum \Delta T_i$

(2) $\Phi_i = K_i A_i \Delta T_i$

(3) 附加限制原则

第八章 蒸发

温差分配原则:

(1) 各效等面积原则 $A_1 = A_2 = A_3$

$$\therefore \Delta T_1 : \Delta T_2 : \Delta T_3 = \frac{\Phi_1}{K_1} : \frac{\Phi_2}{K_2} : \frac{\Phi_3}{K_3}$$

由 $T_{f1}, T_{s1}, T'_3 \rightarrow \Delta_i$

(2) 各效等压差原则

$$\Delta P = P_s - P_c$$

$$\therefore \Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_n = \frac{\Delta P}{n}$$

由此, 可依次确定各效加热蒸汽压力及饱和温度

第八章 蒸发

(3) 各效蒸发量经验比例原则

$$V_1: V_2: V_3 = 1: 1.1: 1.2$$

由 V , V_i 比例 $\rightarrow w_i \rightarrow$ 各效沸点 $T_i \rightarrow \Delta P_i$

2、总蒸发量

总蒸发量 $V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (\text{kg} / \text{s})$

对溶质衡算: $F_{wF} = (F - V_1)w_1 = (F - V_1 - V_2)w_2 = (F - V)w_p$

$$\therefore V = F \left(1 - \frac{w_F}{w_p}\right)$$

$$w_1 = \frac{F_{wF}}{F - V_1} \quad w_2 = \frac{F_{wF}}{F - V_1 - V_2}$$

第八章 蒸发

3、加热蒸汽消耗量及各效蒸发量

$$\text{单效蒸发: } S_1 r_{s1} = V_1 r_{v1} + F c_{pF} (T_1 - T_F)$$

$$\therefore V_1 = S_1 \frac{r_{s1}}{r_{v1}} + F c_{pF} \frac{T_F - T_1}{r_{v1}}$$

$$\text{令: } \alpha_1 = \frac{r_{s1}}{r_{v1}} \quad \beta_1 = \frac{T_F - T_1}{r_{v1}}$$

α_1 —第一效蒸发系数, 表示 $kg_{\text{水}} / kg_{\text{蒸汽}}$, $\alpha_1 \approx 1$

β_1 —第一效自蒸发系数, 表示自蒸发能力大小

$$T_F > T_1, \quad \beta_1 > 0, \quad \text{蒸发量} \uparrow$$

$$T_F < T_1, \quad \beta_1 < 0, \quad \text{蒸发量} \downarrow$$

第八章 蒸发

$$\therefore V_1 = S_1 \alpha_1 + F c_{pF} \beta_1$$

取 $\alpha_1 = 1$

$$V_1 = S_1 + F c_{pF} \beta_1$$

设热利用系数为 η_1 ($\eta < 1$) :

$$V_1 = (S_1 + F c_{pF} \beta_1) \eta_1$$

同理可得: $V_2 = [S_2 + (F c_{pF} - c_w V_1) \beta_2] \eta_2$

$$V_3 = \{S_3 + [F c_{pF} - c_w (V_1 + V_2)] \beta_3\} \eta_3$$

$\therefore V_1 = S_2, V_2 = S_3$, 故:

$$V_1 = a_1 S_1 + b_1$$

$$V_2 = a_2 S_1 + b_2$$

$$V_3 = a_3 S_1 + b_3$$

第八章 蒸发

$$\because V_1 = a_1 S_1 + b_1$$

$$V_2 = a_2 S_1 + b_2$$

$$V_3 = a_3 S_1 + b_3$$

$$\therefore V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= (a_1 + a_2 + a_3) S_1 + (b_1 + b_2 + b_3)$$

$$= a S_1 + b$$

故加热蒸汽量：

$$S_1 = \frac{V - b}{a} \quad (\text{kg} / \text{s})$$

由 $S_1 \rightarrow V_i = a_i S_1 + b_i \rightarrow$ 各效蒸发量

第八章 蒸发

4、各效换热面积

$$A_1 = \frac{\Phi_1}{K_1 \Delta T_1} \quad A_2 = \frac{\Phi_2}{K_2 \Delta T_2} \quad A_3 = \frac{\Phi_3}{K_3 \Delta T_3}$$

式中：

ΔT_i - 由温差分配确定

Φ_i - 各效加热量

$$\Phi_1 = S_1 r_{s1}$$

$$\Phi_2 = S_2 r_{s2} = V_1 r_{v1}$$

$$\Phi_3 = S_3 r_{s3} = V_2 r_{v2}$$

例 6-3 在双效顺流蒸发设备中将番茄汁从固形物质量分数 4.3% 浓缩到 28%，进料流量 1.39kg/s，沸点进料，第一效沸点 60℃，加热蒸汽压力为 118kPa，冷凝器真空度为 93kPa。第一效采用自然循环，总传热系数为 900W/(m²·K)；第二效采用强制循环，总传热系数为 1 800W/(m²·K)。除效间外，温差损失可忽略不计。试计算蒸发量，各效蒸发量，加热蒸汽耗量，蒸汽经济性 & 换热面积。

解：(1) 总蒸发量

由式 (6-25)，可求得：

$$V = F \left(1 - \frac{w_F}{w_p} \right) = 1.39 \times \left(1 - \frac{4.3}{28} \right) = 1.18 \text{kg/s}$$

(2) 加热蒸汽耗量和各效蒸发量 据已知条件，假定效间流动温差损失为 1K，查饱和水蒸汽表，列出各热参数值见表 6-3。

表 6-3 各热参数值

蒸 汽	压力 (kPa)	温度 (℃)	汽化热 (kJ/kg)
I 效加热蒸汽	● 118	104.2	2 230
I 效二次蒸汽	19.9	60	2 300
II 效加热蒸汽	19.8	59	2 320
II 效二次蒸汽	8.6	43	2 390
进冷凝器蒸汽	● 8.0	42	2 393

第八章 蒸发

可计算: $\beta_1 = 0$

$$\beta_2 = \frac{T_1 - T_2}{r_2} = \frac{60 - 43}{2390 \times 10^3} = 7.1 \times 10^{-6} \text{K} \cdot \text{kg/J}$$

$$c_{PF} = c_{pw}(1 - w_F) = 4180 \times (1 - 0.043) = 4000 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

取 $\eta_1 = \eta_2 = 0.98$

$$V_1 = (S_1 + Fc_{PF}\beta_1)\eta_1 = S_1\eta_1 = 0.98S_1$$

$$V_2 = [S_2 + (Fc_{PF} - c_wV_1)\beta_2]\eta_2$$

$$= [0.98S_1 + (1.39 \times 4000 - 4180 \times 0.98S_1) \times 7.1 \times 10^{-6}] \times 0.98$$

$$V_2 = 0.932S_1 + 0.039$$

$$V = V_1 + V_2 = (0.98 + 0.932)S_1 + 0.039 = 1.18\text{kg/s}$$

$$S_1 = \frac{1.18 - 0.039}{0.98 + 0.932} = 0.597\text{kg/s}$$

则

$$V_1 = 0.98 \times 0.597 = 0.585\text{kg/s}$$

第八章 蒸发

$$V_2 = 0.932 \times 0.597 + 0.039 = 0.594 \text{kg/s}$$

(3) 蒸汽经济性

$$e = \frac{V}{S_1} = \frac{1.18}{0.597} = 1.98$$

(4) 换热面积

$$A_1 = \frac{\Phi_1}{K_1 \Delta T_1} = \frac{S_1 r_s}{K_1 \Delta T_1} = \frac{0.597 \times 2\,230 \times 10^3}{900 \times (104.2 - 60)} = 33.5 \text{m}^2$$

$$A_2 = \frac{\Phi_2}{K_2 \Delta T_2} = \frac{0.585 \times 2\,320 \times 10^3}{1\,800 \times (59 - 43)} = 47.1 \text{m}^2$$

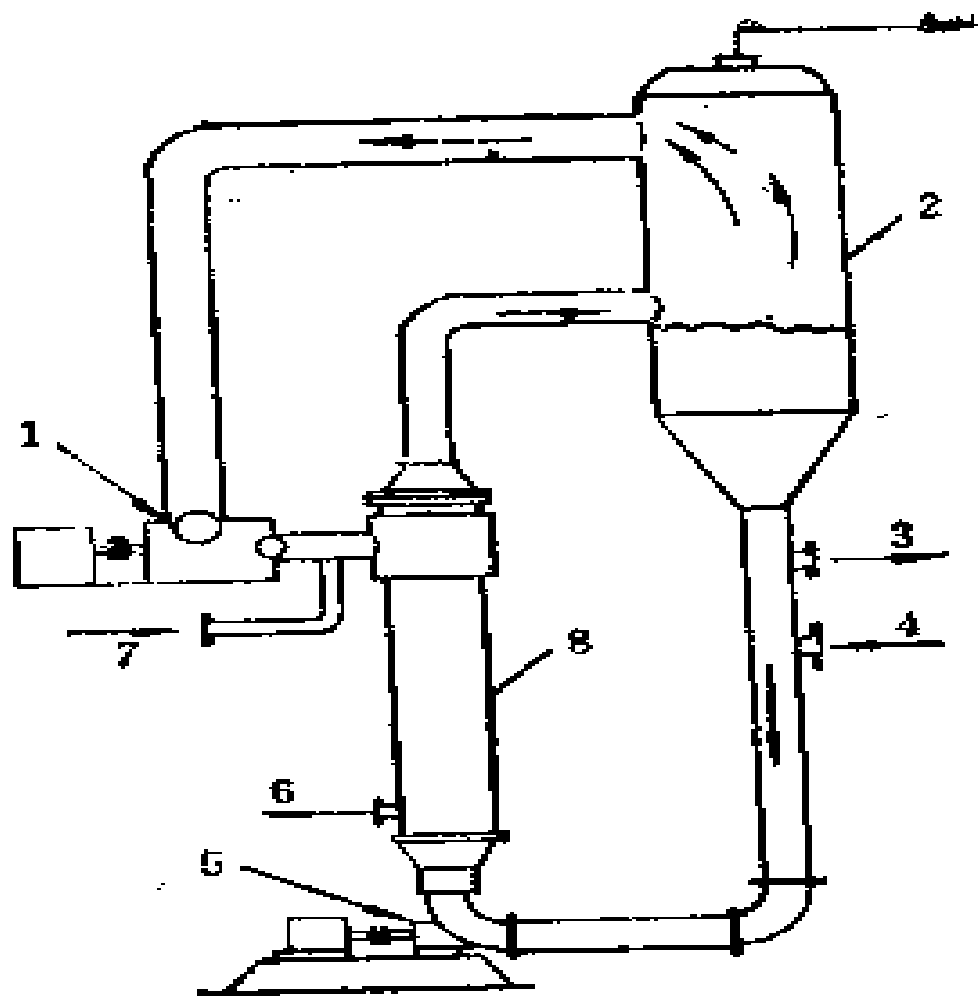


图 8-21 机械再压缩蒸发

单元操作：蒸发



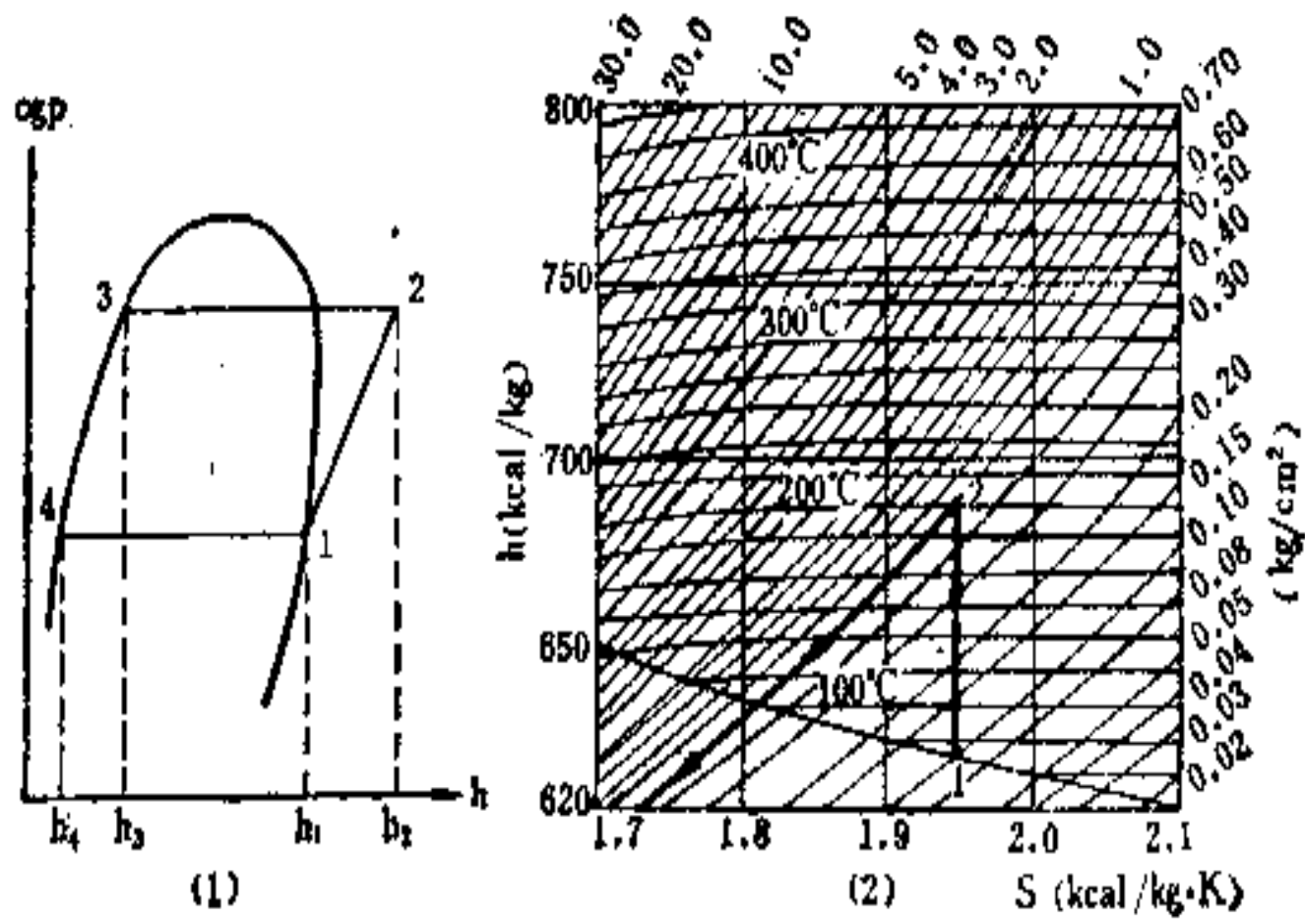


图 8-22 水蒸气状态图上蒸汽再压缩过程

(1) 压-焓图 (2) 焓-熵图

单元操作：蒸发



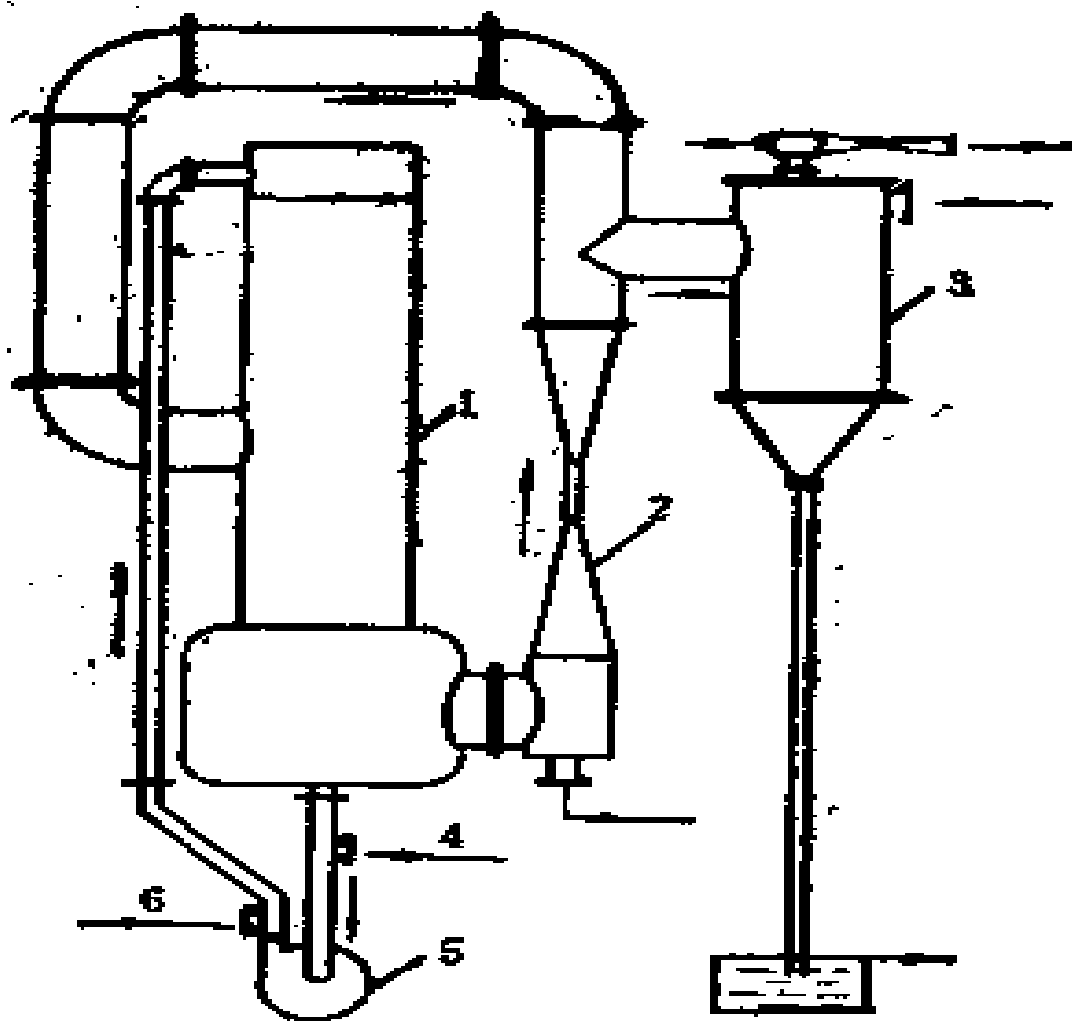


图 8-23 热再压缩蒸发

单元操作：蒸发



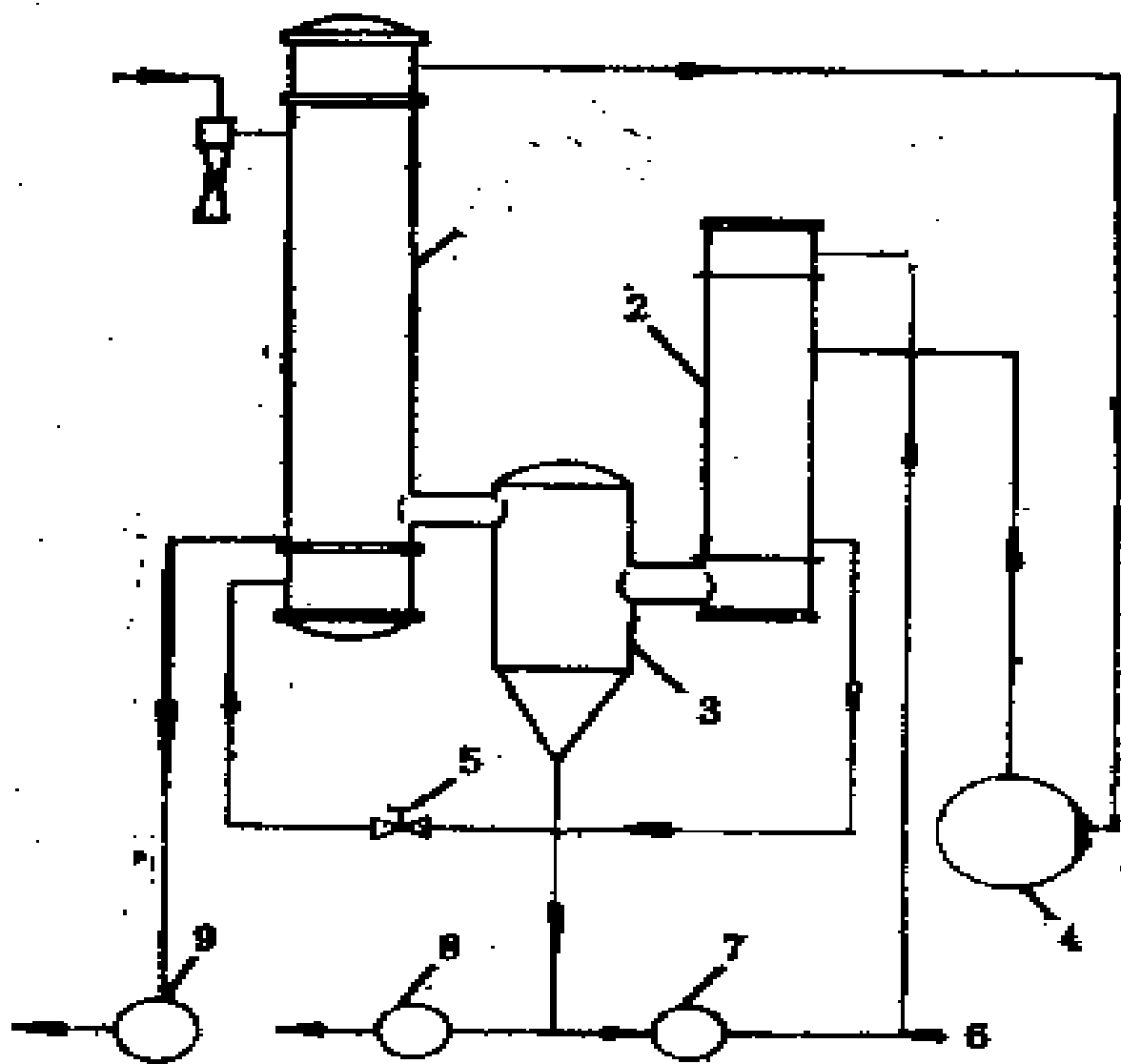
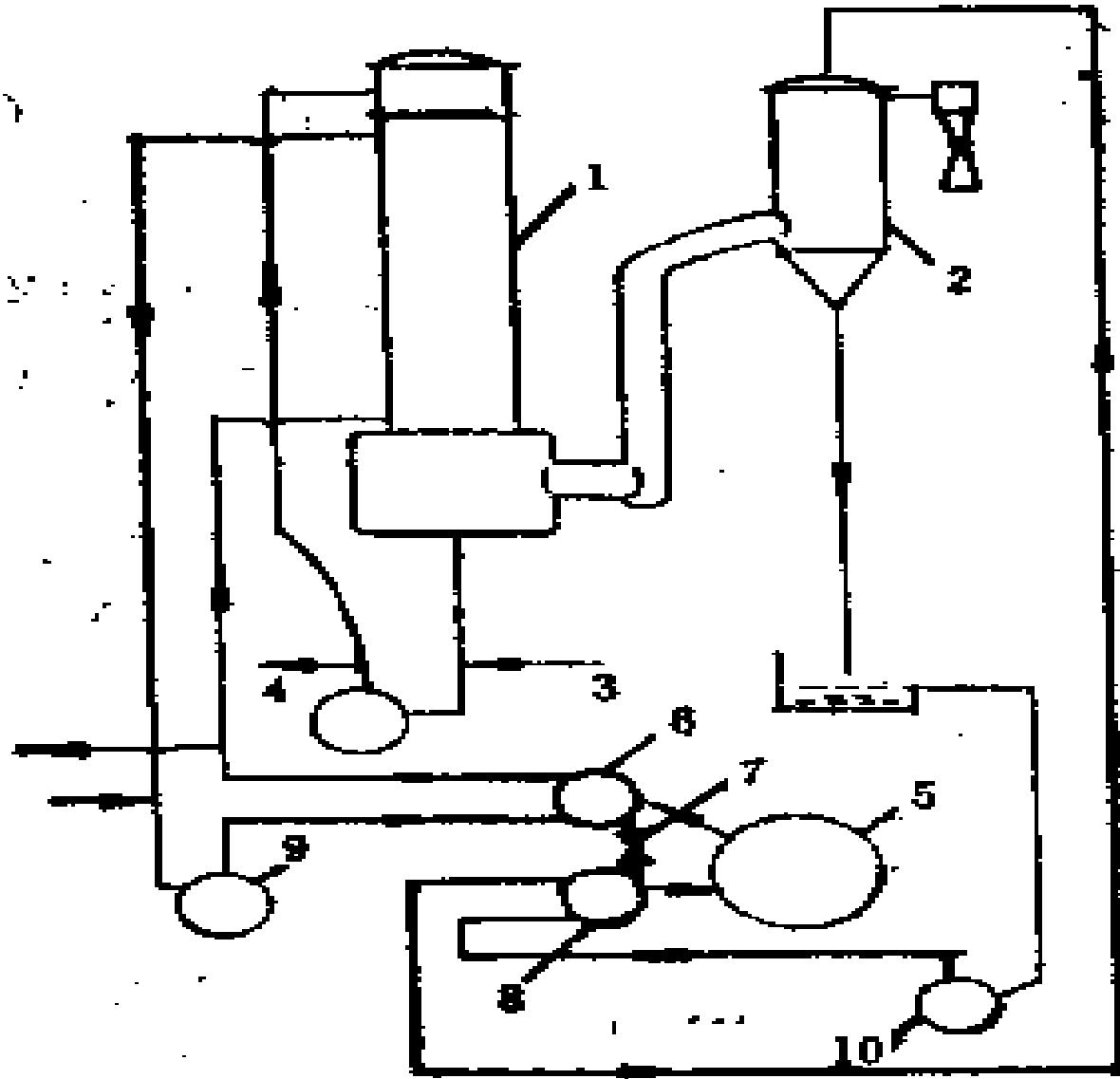


图 8-27 直接式热泵蒸发器

单元操作：蒸发



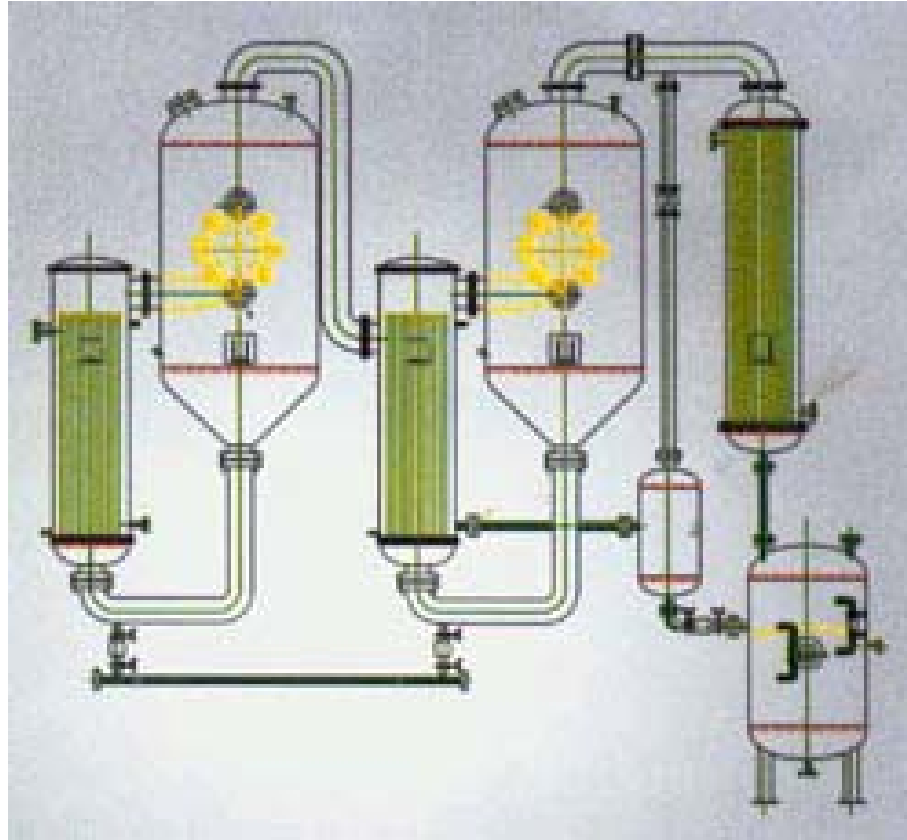


单元操作

图 8-28 间接式热泵蒸发器

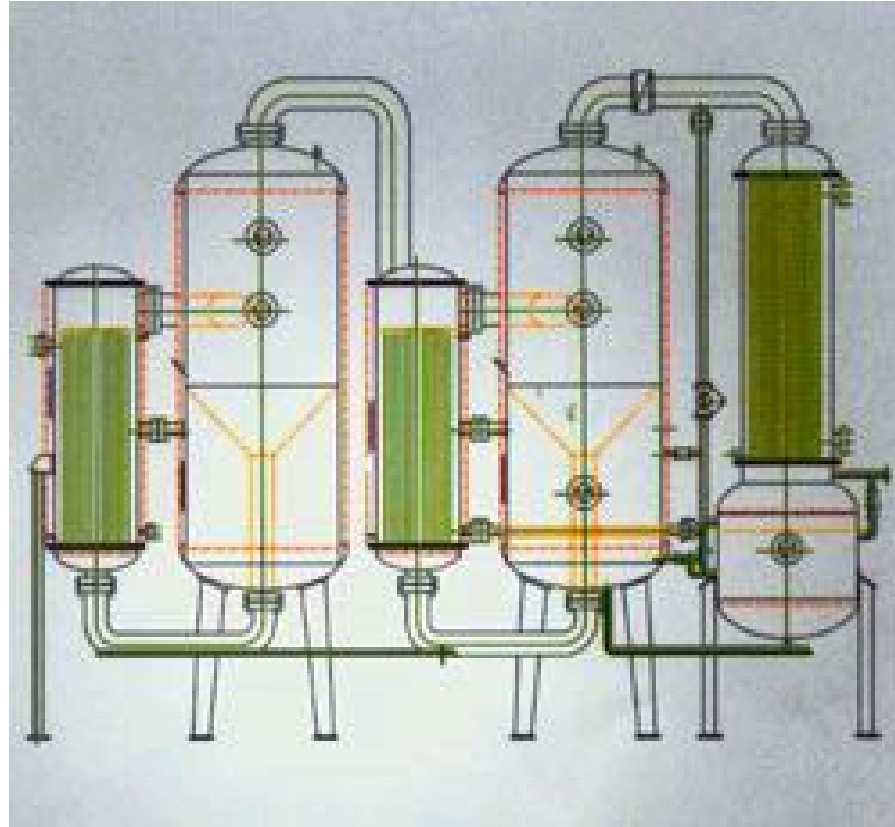


第八章 蒸发



WZ II系列双效外循环蒸发器A

第八章 蒸发

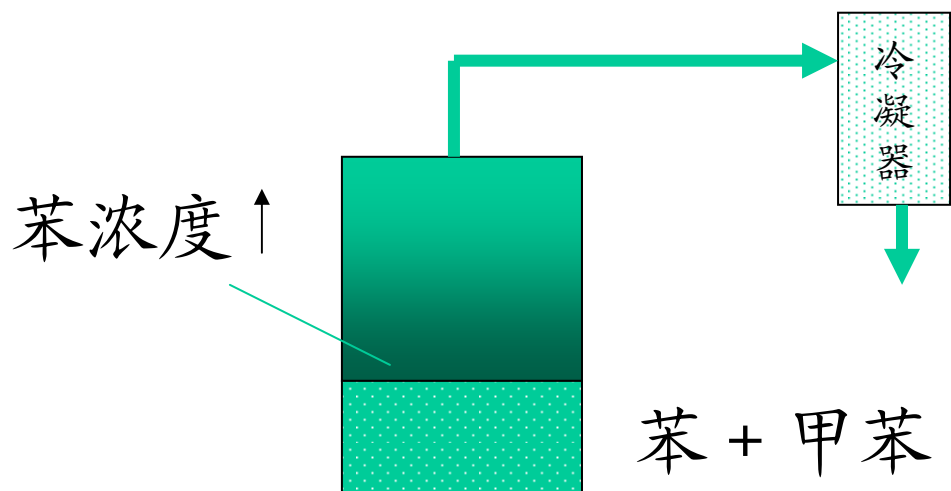


WZ II系列双效外循环蒸发器B

吸收 蒸馏 萃取

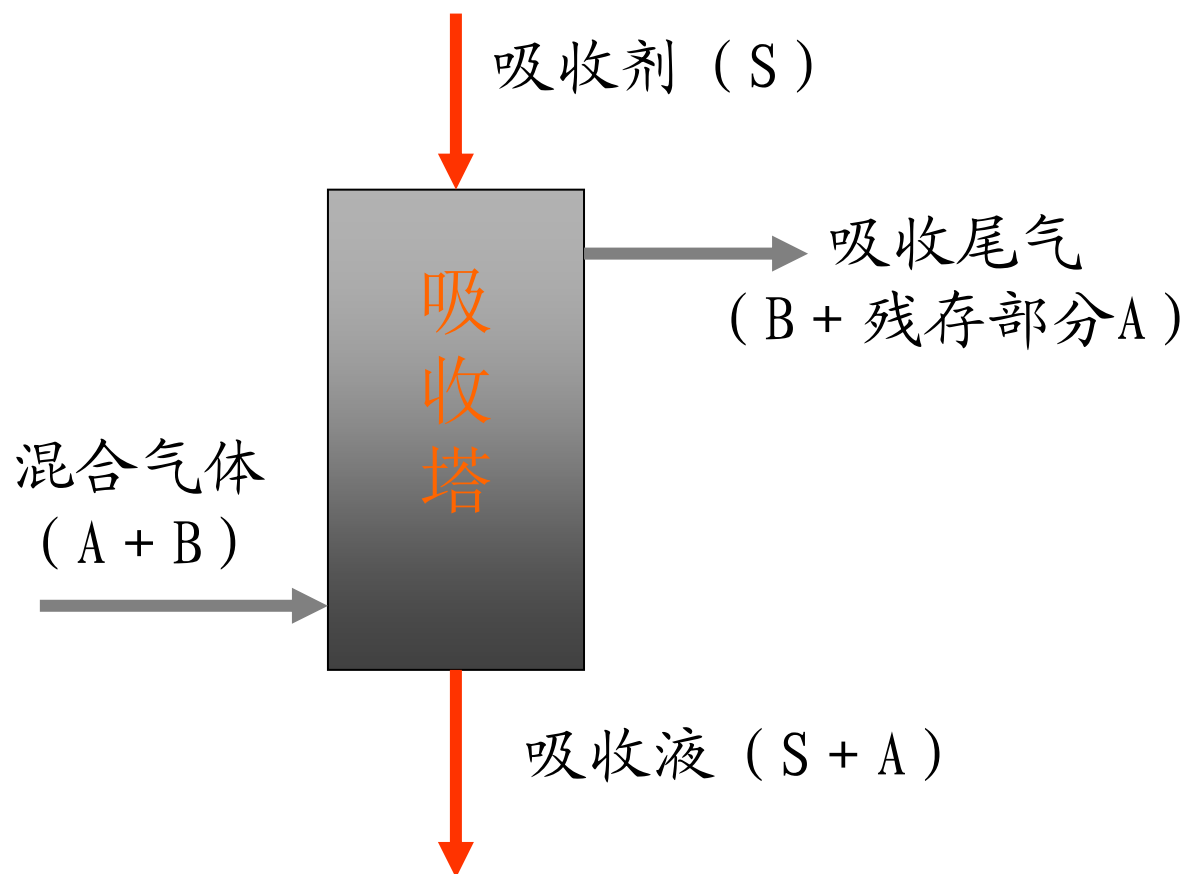
两均相系分离的单元操作，如蒸馏、吸收、萃取、膜分离等

蒸馏：将混合溶液部分气化，利用其中不同组分挥发度不同实现分离。



苯 - 易挥发物
甲苯 - 难挥发物

吸收：利用混合气体各组分溶解度的不同对混合物进行分离



吸收操作应用

1、制备某种气体溶液。如：

水吸收碳酸气制成碳酸饮料

水吸收二氧化氮制造硝酸

水吸收氯化氢制造盐酸

水吸收甲醛制造福尔马林溶液

2、分离混合气体以获得一定的组分

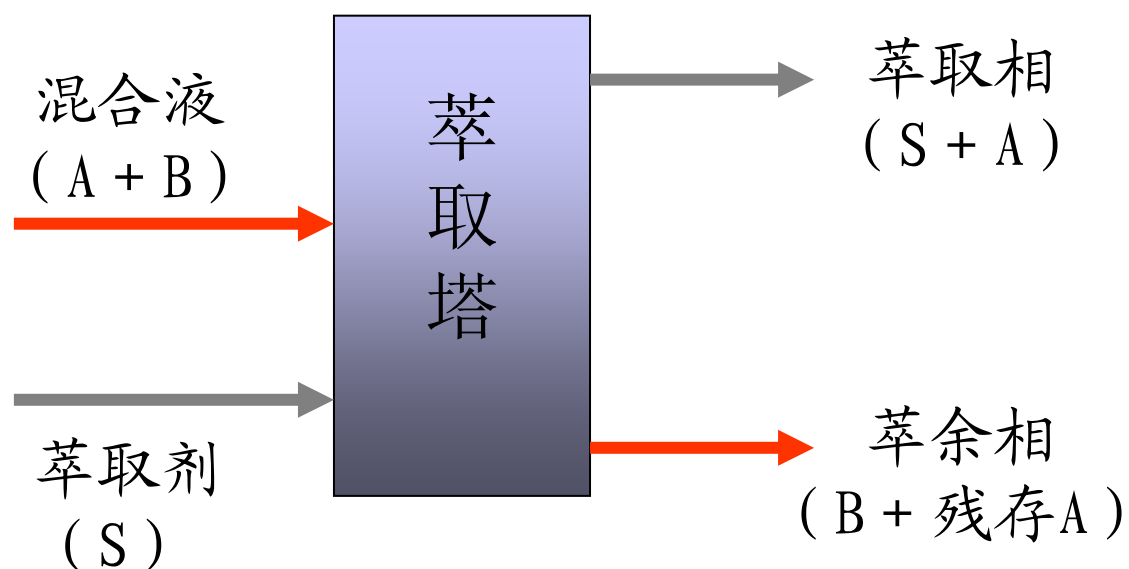
硫酸处理焦炉气以回收其中的氨

3、除去有害组分以净化气体

水脱除合成氨中的二氧化碳

萃取：利用某种溶剂选择性地溶解混合物中一种组分，从而进行提取分离的操作。

一般萃取剂与混合液性质差异较大，如密度差大



三种分离操作的共同点：

二元或多元混合物中一相或二相经自由界面

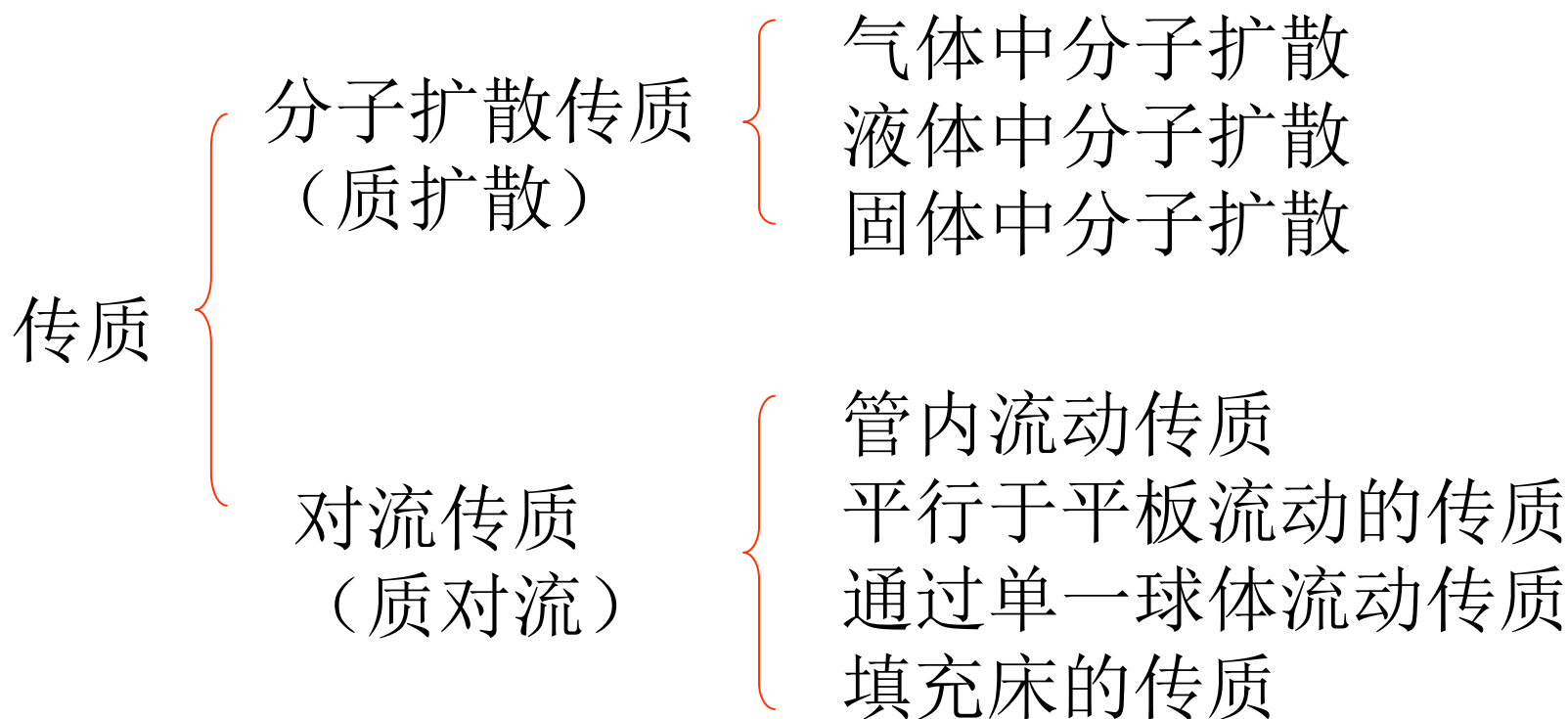
进行分子扩散或对流扩散传质

从而实现混合物的分离

本章重点讲述第一节传质、第三节蒸馏、第四节萃取。

第一节 质量传递原理

9-1 传质概述



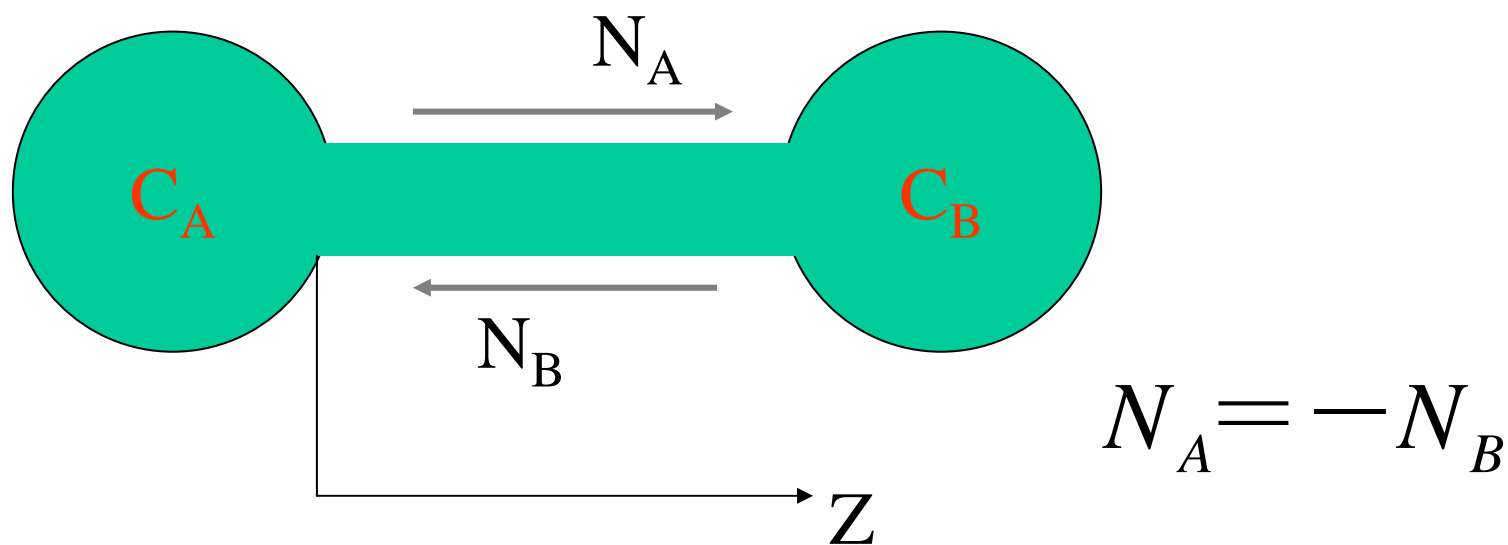
9-2 分子扩散

9.2C 稳态分子扩散

扩散：由于物质内部组分浓度梯度
物质由高浓度区向低浓度区转移的现象

稳定扩散：扩散过程中各点的浓度不随时间而变

1、稳态下气体的等摩尔对向扩散



N_A 、 N_B —组分A、B的扩散通量， $\text{kmol/m}^2\cdot\text{s}$

Fick定律:
$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} \quad (\text{kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s})$$

$$q_{mA} = -D_{AB} \frac{dC'_A}{dz} \quad (\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s})$$

式中:

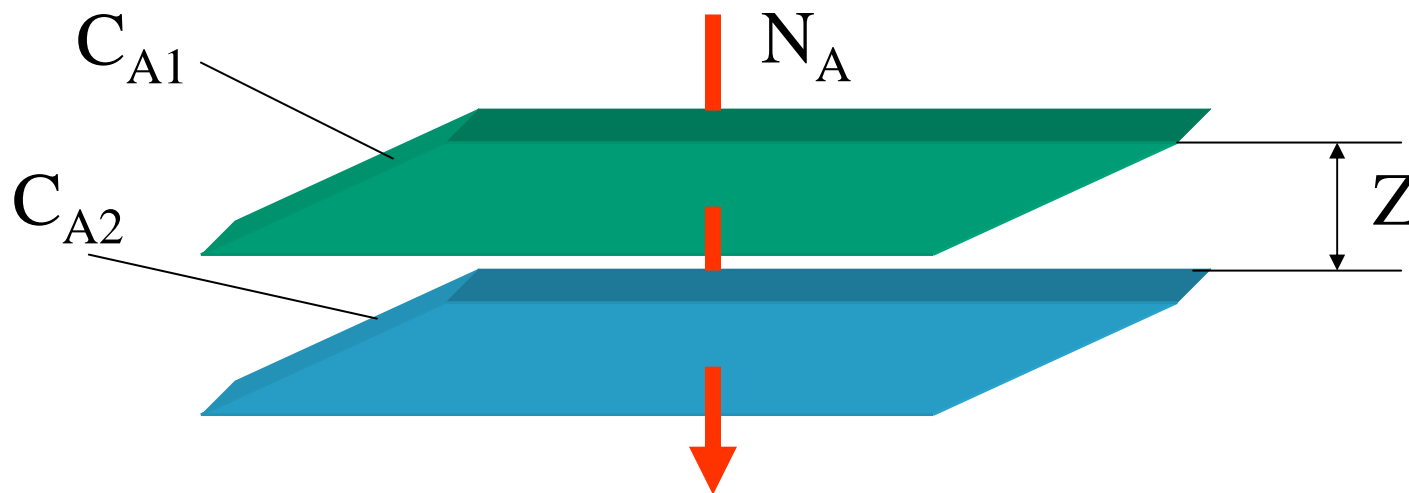
N_A 、 q_{mA} —组分A的扩散通量 $\text{kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、 $\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$

C_A 、 C'_A —组分A的浓度 kmol / m^3 、 kg / m^3

z —沿扩散方向距离, m

D_{AB} —A → B的分子扩散系数, m^2 / s

对于两平行平面间的等分子稳定扩散：



$$N_A = \frac{D_{AB}}{z} (C_{A1} - C_{A2}) \quad \text{kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$$

若组分为理想气体， $c_A = \frac{p_A}{RT}$ ，则：

$$N_A = \frac{D_{AB}}{RTz} (p_{A1} - p_{A2}) \quad \text{kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \quad (9-16)$$

例 9-1 有一装有 He 和 N₂ 混合气体的管子，各处温度皆为 25℃，总压皆为 1atm。管子一端 He 的分压为 0.60atm，另一端为 0.20atm，两端距离为 20cm。若 He - N₂ 混合物的 $D_{AB} = 6.87 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ，计算稳态时 He 的扩散通量。

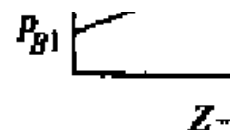
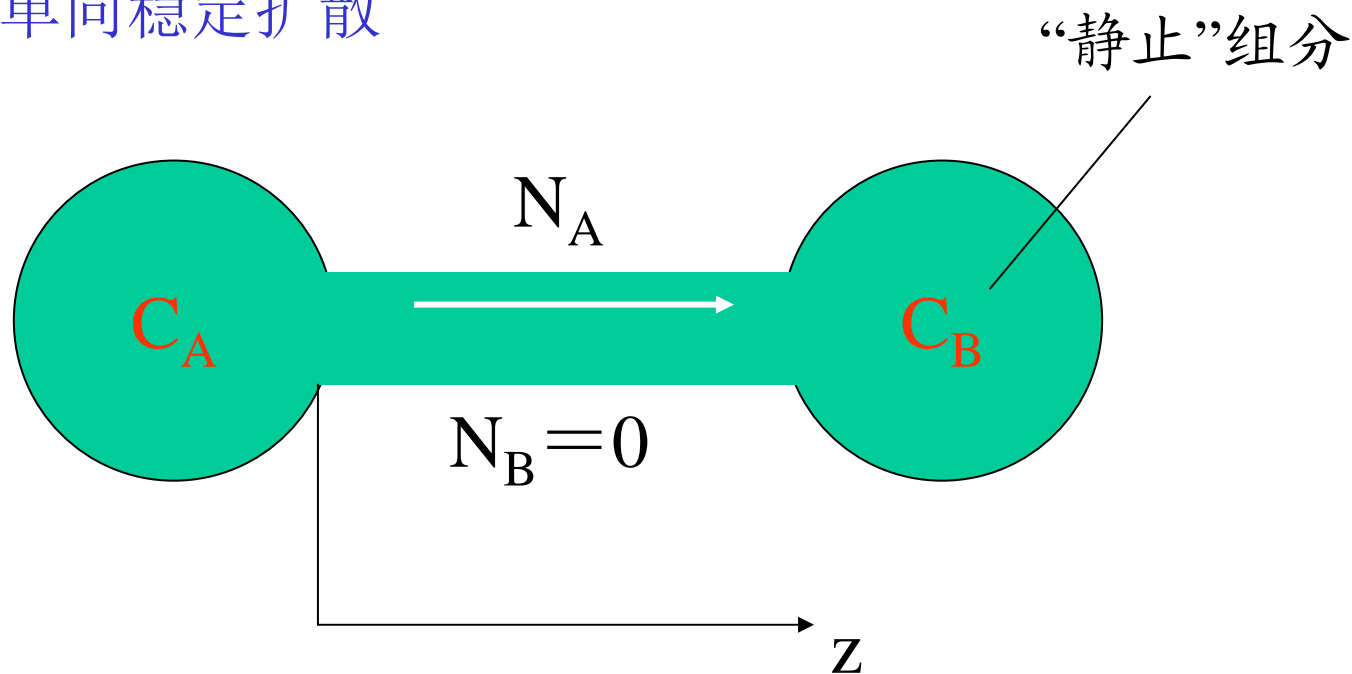


图 9-1 气

解：由于总压是常量，属等摩尔对向扩散，引用式 (9-16)，此时 A 为 He。

$$\begin{aligned}
 N_A &= \frac{D_{AB}}{RTz} (P_{A1} - P_{A2}) \\
 &= \frac{6.87 \times 10^{-5}}{8.314 \times 298 \times 0.20} \times (0.60 - 0.20) \times 1.01 \times 10^5 \\
 &= 5.63 \times 10^{-3} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})
 \end{aligned}$$

2、单向稳定扩散



若扩散+对流（流速为 u ），对组分A：

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} + uC_A$$

对组分B，可看为向右扩散 = 向左u流动带回

$$N_B = -D_{BA} \frac{dC_B}{dz} + uC_B = 0$$

设沿扩散各点，总浓度保持不变，即：

$$C_0 = C_A + C_B$$

则：

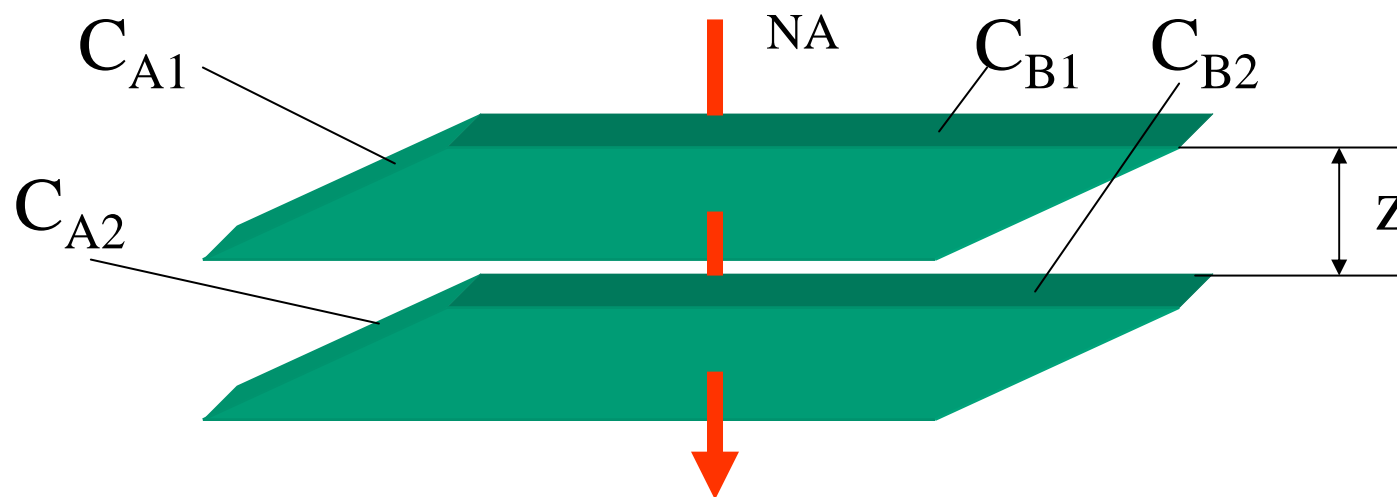
$$\frac{dC_A}{dz} = -\frac{dC_B}{dz}$$

由以上各式，消去 u ，得稳定单向扩散速率式：

$$N_A = -\frac{C_A + C_B}{C_B} D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$$

若 $C_B \gg C_A$ ，即对低浓度扩散，与*Fick*定律相同

对于两平行平面间的单向稳定扩散：



$$\text{由积分: } N_A = \frac{C_A + C_B}{C_{Bm}} D_{AB} \frac{C_{A1} - C_{A2}}{z} \quad \text{kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{其中: } C_{Bm} = \frac{C_{B2} - C_{B1}}{\ln \frac{C_{B2}}{C_{B1}}} - C_B \text{的对数平均浓度}$$

对理想气体混合物：

$$C_i = \frac{p_i}{RT}, \quad P = \sum p_i = p_A + p_B$$

则得斯蒂芬（Stefan）定律：

$$N_A = \frac{D_{AB}}{RT} \frac{p}{p_{Bm}} (P_{B1} - P_{B2}) \quad \text{kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$$

其中 P_{Bm} 为B组分两平面的分压对数平均值

例 9-2 如图 9-2 所示，细金属管底部的水保持恒温 42℃，绝对干燥空气流的温度为 42℃，压力为 1atm。水在表面 1 蒸发为水蒸汽扩散到管口 2 被空气流带走。若 1 和 2 间的距离为 15cm，42℃ 和 1atm 时水蒸气在空气中的扩散系数 $D_{AB} = 2.88 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ ，计算管中水蒸汽的扩散通量。

解：A 为水蒸气，B 为空气。因空气在水中溶解度很小，可认为空气不能扩散穿过水表面， $N_B = 0$ 。可应用式 (9-20) 计算。

查水蒸气在 42℃ 饱和蒸汽压为 $p_{A1} = 8.4 \text{kPa}$ 。因空气流较大，故 $p_{A2} = 0$ 。

$$p_{B1} = p - p_{A1}$$

$$p_{B1} = p - p_{A1} = 101.3 - 8.4 = 92.9 \text{kPa}$$

$$p_{B2} = p - p_{A2} = 101.3 - 0 = 101.3 \text{kPa}$$

$$p_{BM} = \frac{p_{B2} - p_{B1}}{\ln \frac{p_{B2}}{p_{B1}}} = \frac{101.3 - 92.9}{\ln \frac{101.3}{92.9}} = 97.4 \text{kPa}$$

$$p_{B1} = p - p_{A1} = 101.3 - 8.4 = 92.9 \text{ kPa}$$

$$p_{B2} = p - p_{A2} = 101.3 - 0 = 101.3 \text{ kPa}$$

$$p_{BM} = \frac{p_{B2} - p_{B1}}{\ln \frac{p_{B2}}{p_{B1}}} = \frac{101.3 - 92.9}{\ln \frac{101.3}{92.9}} = 97.4 \text{ kPa}$$

代入式 (9-20):

$$\begin{aligned} N_A &= \frac{D_{AB}}{RTz} \cdot \frac{p}{p_{BM}} (p_{B2} - p_{B1}) \\ &= \frac{2.88 \times 10^{-5}}{8.314 \times 315 \times 0.15} \times \frac{101.3}{97.4} \times (101.3 - 92.9) \times 10^3 \\ &= 6.40 \times 10^{-4} \text{ mol/ (m}^2 \cdot \text{s)} \end{aligned}$$

3、分子扩散系数D

$$\text{定义: } D_{AB} = -\frac{N_A}{dC_A/dz} \quad \left(\frac{\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{\text{m}}} = \text{m}^2 / \text{s} \right)$$

扩散系数D与扩散质、介质性质、形态和温度有关

- 1)、由理论或经验公式计算 D_{AB}
- 2)、由有关手册查取

9-3 对流传质（对流扩散）

9.3A 对流传质机理

1、层流中的扩散

扩散发生在垂直方向，仍可用Fick定律计算

2、湍流中的扩散

对流扩散 = 分子扩散 + 涡流扩散

$$N_A = -(D_{AB} + D_E) \frac{dC_A}{dz}$$

其中：

D_E —涡流扩散系数，反映了涡流对扩散传质的影响， D_E 与流态有关。

9.3B 传质系数

对流扩散速率方程：

$$\begin{aligned} N &= k_{cA} (C_{Ab} - C_{Ai}) \\ &= k_{cB} (C_{Bi} - C_{Bb}) \quad (\text{kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}) \end{aligned}$$

式中：

k_{cA} 、 k_{cB} —A相、B相的传质分系数

C_{Ab} 、 C_{Bb} —A相、B相主体的平均浓度

C_{Ai} 、 C_{Bi} —界面上G相、L相的浓度

9.3C 传热与传质的比拟

对传热:
$$\frac{\alpha L}{\lambda} = f\left(\frac{du\rho}{\mu}, \frac{C_p u}{\lambda}\right)$$

对传质:
$$\frac{k'_c L}{D_{AB}} = f\left(\frac{du\rho}{\mu}, \frac{\mu}{\rho D_{AB}}\right)$$

传质准数方程:
$$Sh = \varphi(Re, Sc)$$

Sh - 舍伍德 (Sherwood) 准数

Sc - 施密特 (Schmidt) 准数

9.3D 对流传质关系式

k_c 由准数方程, 经实验确定:

1、流过平板流体的传质

(1) 层流
$$Sh = 0.664R_e^{1/2}Sc^{1/3}$$

适用范围: $R_e < 5 \times 10^5$

定性尺寸: L —流体在流动方向上的板长

(2) 湍流

$$Sh = 0.0296R_e^{4/5} Sc^{1/3}$$

适用范围： $R_e > 5 \times 10^5, 0.6 < Sc < 3000$

定性尺寸： L —流体在流动方向上的板长

2、圆管内流动流体的传质

(1) 层流
$$Sh = 1.86(R_e \cdot Sc)^{1/3} \left(\frac{L}{l}\right)^{1/3}$$

l —管长, m

适用范围: $R_e < 10^4$

定性尺寸: L —圆管直径, m

(2) 湍流 $Sh = 0.023R_e^{4/5} Sc^{1/3}$

适用范围： $R_e > 10^4$

定性尺寸： L —圆管直径， m

3、流过球体的流体传质

$$Sh = 2.0 + 0.6R_e^{1/2} Sc^{1/3}$$

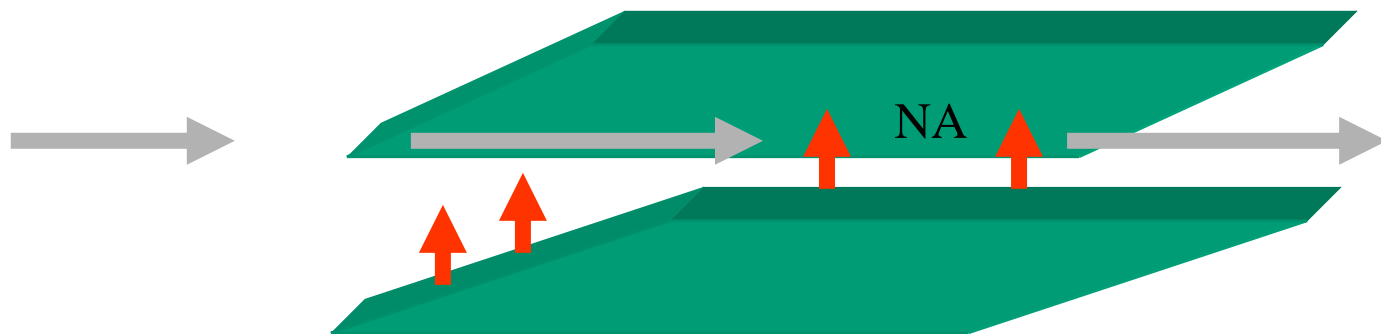
定性尺寸： L —球的直径， m

第九章 吸收 蒸馏 萃取

食品工程原理与设备

例 9-3 相对湿度为 40% 的空气以 2m/s 的流速流过充满水的长方盘。空气和水的温度皆为 25°C 。盘沿空气流向的长度为 20cm ，宽度 45cm 。水蒸气在空气中的扩散系数为 $2.6 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ ，空气的运动黏度为 $16.1 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。求水蒸发的传质系数及每小时蒸发量。

解： 已知 $u = 2\text{m/s}$ ， $L = 0.20\text{m}$ ， $D_{AB} = 2.6 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ ， $\nu = \frac{\mu}{\rho} = 16.1 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ ， $A = 0.20 \times 0.45 = 0.090\text{m}^2$ 。



$$Re = \frac{Lu\rho}{\mu} = \frac{Lu}{\nu} = \frac{0.20 \times 2}{16.1 \times 10^{-6}} = 2.48 \times 10^4 < 5 \times 10^5$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{16.1 \times 10^{-6}}{2.6 \times 10^{-5}} = 0.62 > 0.6$$

适用于式 (9-35):

$$\begin{aligned} Sh &= 0.664 Re^{1/2} Sc^{1/3} = 0.664 \times (2.48 \times 10^4)^{1/2} \times (0.62)^{1/3} \\ &= 89.2 \end{aligned}$$

$$k'_c = Sh \cdot D_{AB} / L = 89.2 \times 2.6 \times 10^{-5} / 0.20 = 0.0116 \text{ m/s}$$

查 25°C 饱和水蒸气压 $p_{Ai} = 3.3 \text{ kPa}$

$$c_{Ai} = \frac{p_{Ai}}{RT} = \frac{3300}{8.314 \times 298} = 1.33 \text{ mol/m}^3$$

空气 $\varphi = 0.40$, 则

$$c_{Ab} = 1.33 \times 0.40 = 0.53 \text{ mol/m}^3$$

蒸发流量

$$\begin{aligned} \frac{dn_A}{dt} &= k'_c A (c_{Ai} - c_{Ab}) = 0.0116 \times 0.090 \times (1.33 - 0.53) \\ &= 8.35 \times 10^{-4} \text{ mol/s} \end{aligned}$$

$$\frac{dn_A}{dt} = 8.35 \times 10^{-4} \times 3600 = 3.01 \text{ mol/h}_0$$

9-4 相间传质

相间传质过程比较复杂，可类比传热处理。

9.4A 稳态相间传质

1、相平衡曲线

两相平衡时组分在两相（如液、气两相）中的浓度关系称为相平衡曲线。

平衡时，一般组分在两相中的浓度并不相等，但有一定的分配关系。

当两相均为理想状态时：

液相：由拉乌尔定律

$$p_A = p_A^0 x_A$$

式中： p_A - 组分A在液相上方蒸汽中的平衡分压， p_a

p_A^0 - 纯组分A在平衡温度时的蒸汽压， p_a

x_A - A组分在液相中的质量浓度，%

气相：由道尔顿定律

$$p_A = y_A p$$

式中： p - 体系的总压， p_a

y_A - A组分在气相中的浓度

如水—醋酸气液相平衡曲线如图所示。

气—液两相平衡浓度关系：

$$y_A = \frac{p_A^0}{p} \cdot x_A$$

相平衡还可用其它浓度形式表示

如气相用 p_A ,液相用摩尔浓度 c_A

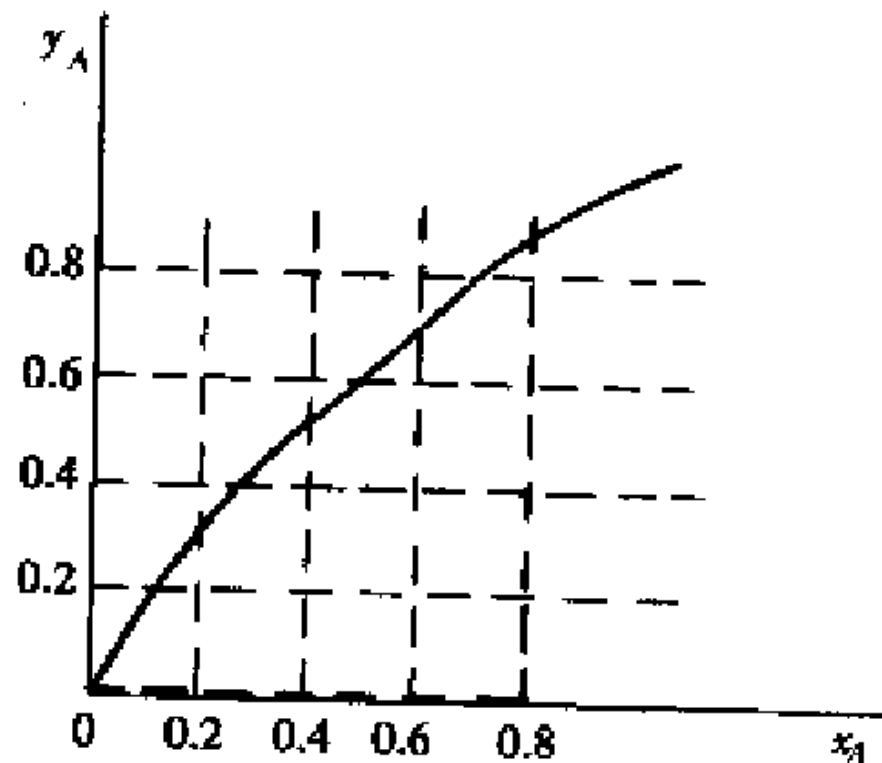


图 9-3 水 (A) -醋酸气液相平衡曲线

2、双阻理论

认为界面无阻力，则：

传质阻力=气相阻力+液相阻力

$$\text{气相} \quad N_A = k_G (p_{AG} - p_{Ai})$$

$$\text{液相} \quad N_A = k_L (c_{Ai} - c_{AL})$$

$$\therefore N_A = k_G (p_{AG} - p_{Ai}) = k_L (c_{Ai} - c_{AL})$$

$$\therefore \frac{(p_{AG} - p_{Ai})}{(c_{Ai} - c_{AL})} = \frac{k_L}{k_G}$$

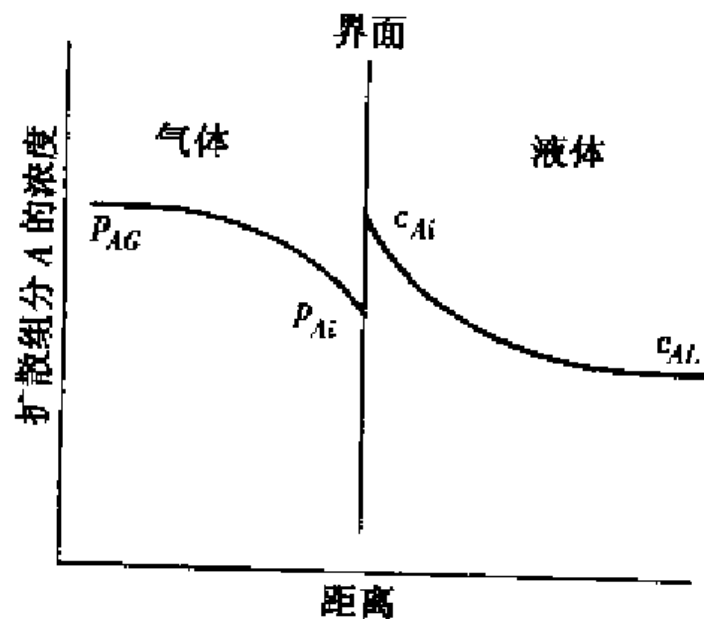


图 9-4 双阻理论模型

若点P为传质两相某一
截面主体情况

由点P作斜率 $-k_L/k_G$
的直线，交平衡曲线于点
M点，M处 (p_{Ai}, c_{Ai}) 为界
面上两相浓度

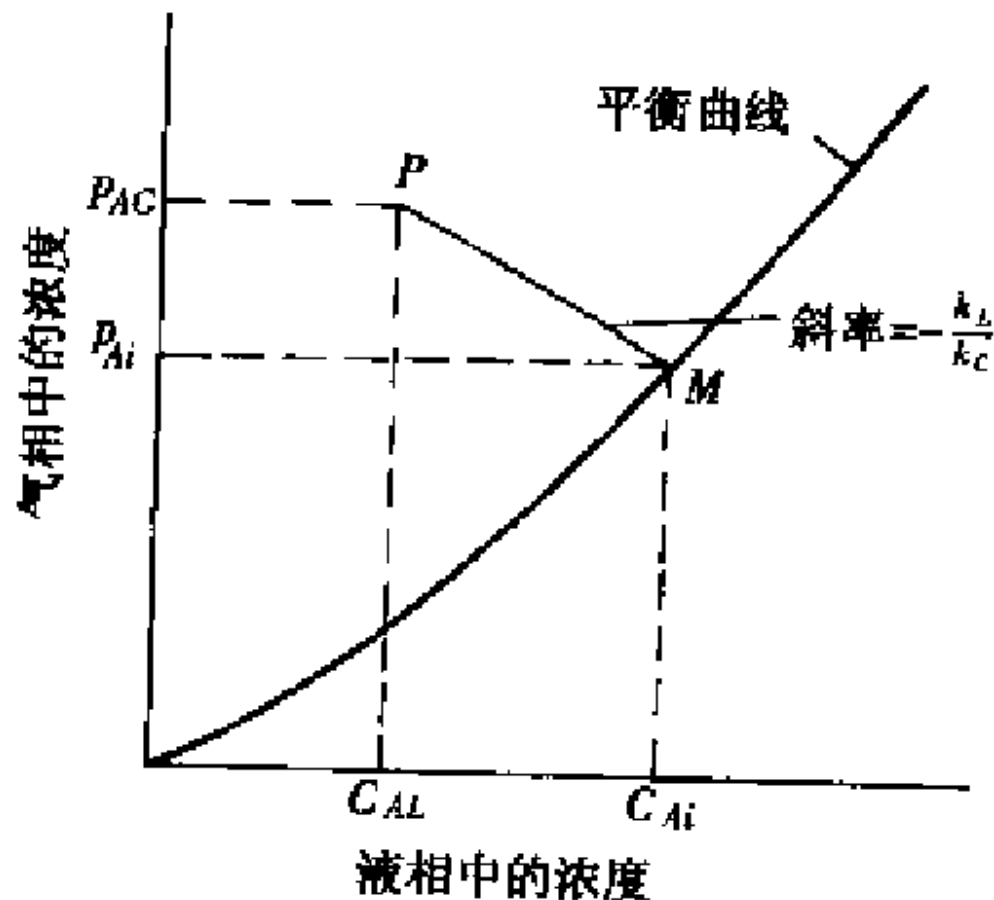


图 9-5 双阻理论界面浓度推算

3、总传质系数

K_G 、 K_L —以气相 G 、液相 L 的浓度为基准的总传质系数, m/s

p_{AL}^* —与液相主体浓度平衡的气相分压, p_a

c_{AG}^* —与气相分压 p_{AG} 平衡的液相浓度, mol/m^3

则以气相为基准: $N_A = K_G(p_{AG} - p_{AL}^*)$

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{m}{k_L}$$

或以液相为基准: $N_A = K_L(c_{AG}^* - c_{AL})$

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{mk_G} + \frac{1}{k_L}$$

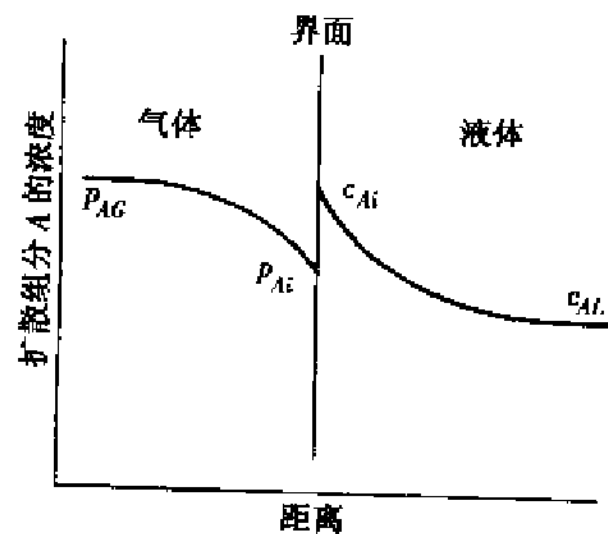


图 9-4 双阻理论模型

9.4B 工业装置中的传质

1、有效相间传质面积

$$\text{有效相间传质面积} = \alpha_v A dh$$

式中： α_v – 单位体积内有效传质界面积， m^2 / m^3

A – 塔的横截面积， m^2

dh – 塔高的微元高度， m

2、容积传质系数

以气相为基准:

$$\frac{1}{K_G a_v} = \frac{1}{k_G a_v} + \frac{m}{k_L a_v}$$

以液相为基准:

$$\frac{1}{K_L a_v} = \frac{1}{m k_G a_v} + \frac{1}{k_L a_v}$$

$K_G a_v$ —以气相 G 为基准的总容积传质系数, mol / m^3

$K_L a_v$ —以液相 L 为基准的总容积传质系数, mol / m^3

3、传质单元数

传质流量:

$$Ldc_A = N_A a_v Adh \quad (\text{mol} / \text{s})$$

$$\therefore N_A = K_L (c_{GA}^* - c_{AL})$$

$$\therefore Ldc_A = K_L (c_A^* - c_A) a_v Adh \quad (\text{mol} / \text{s})$$

对于稀溶液, L 为常量

$$dh = \frac{L}{K_L a_v A} \frac{dc_A}{(c_A^* - c_A)}$$

$$h = \int_0^h dh = \frac{L}{K_L a_v A} \int_{c_{A1}}^{c_{A2}} \frac{dc_A}{(c_A^* - c_A)}$$

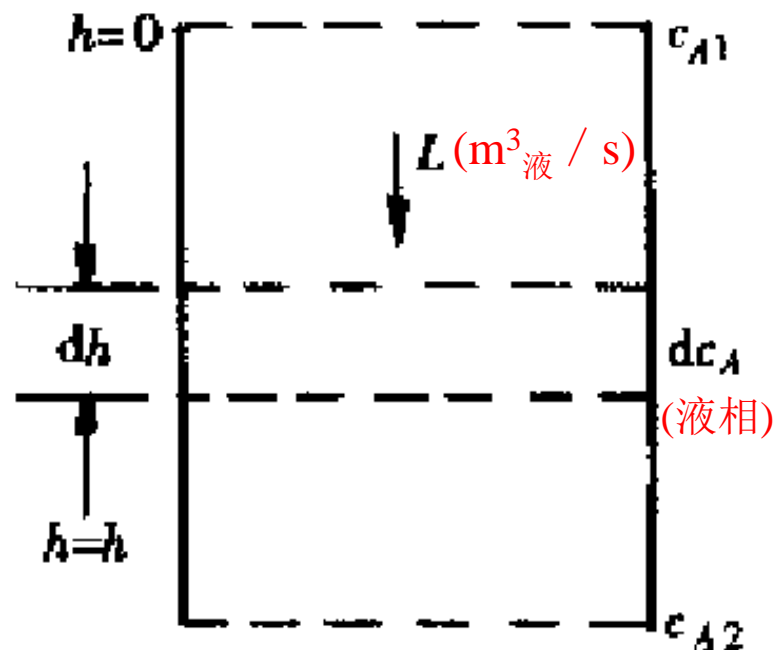


图 9-6 塔内的传质

 c_A - 在 dh 内液相的浓度 c_A^* - 与气相分压 p_{AG} 平衡的液相浓度

第九章 吸收 蒸馏 萃取

$$h = \int_0^h dh = \frac{L}{K_L a_v A} \int_{c_{A1}}^{c_{A2}} \frac{dc_A}{(c_A^* - c_A)}$$

在工程上，定义：

$$N_{OL} = \int_{c_{A1}}^{c_{A2}} \frac{dc_A}{(c_A^* - c_A)}, \text{ 为传质单元数（无因次量）}$$

$$H_{OL} = \frac{L}{K_L a_v A}, \text{ 为传质单元高度（无因次量）}$$

则塔（填料层）的有效高度：

$$h = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

第九章 吸收 蒸馏 萃取

$$h = H_{OL} \cdot N_{OL}$$

H_{OL} 和 N_{OL} 的意义:

在一个传质单元高度 H_{OL} 内,
传质可使液相浓度发生相当于推
动力 $c_A^* - c_A$ 的平均值的变化

要使液相总浓度发生总变化

$c_{A1} - c_{A2}$, 需要串联 N_{OL} 个传质单元。

同理, 对液相:

$$h = H_{OL} \cdot N_{OL} = H_{OG} \cdot N_{OG}$$

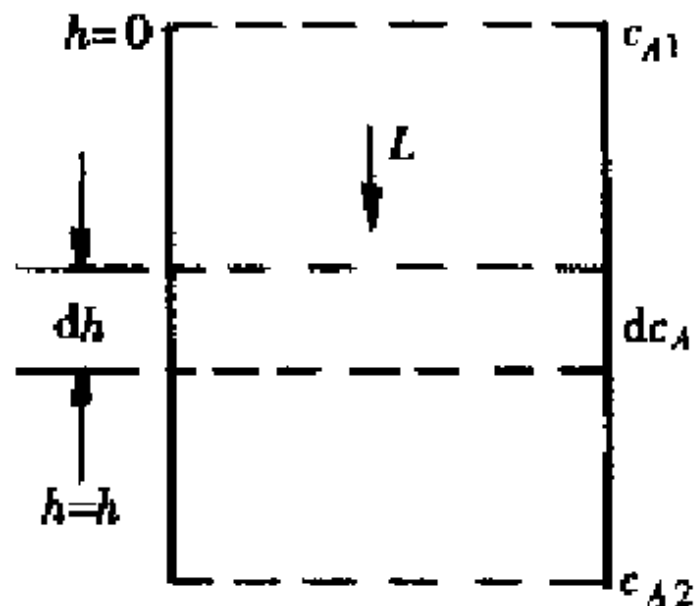


图 9-6 塔内的传质

讨论：

(1) N_{OL} 与物系的相平衡和进出口的浓度有关，若传质浓度变化大，过程平均推动力小，则分离难度大，所需传质单元数则多。反之，则少。所以 N_{OL} 反映了分离的难易程度。

(2) H_{OL} 所包含的容积传质系数反映了传质阻力的大小、填料性能的优劣等。 H_{OL} 与设备形式和操作条件有关。

H_{OL} 越小，设备传质效能越高。

第三节 蒸 馏

蒸馏：将混合溶液部分气化，利用其中不同组分挥发度不同实现分离。

分类

操作方式： 间歇蒸馏、连续蒸馏

操作压力： 常压蒸馏、真空蒸馏、加压蒸馏

操作原理： 单级蒸馏、多级蒸馏（**精馏**）

混合物组分： 双组分蒸馏、多组分蒸馏

一、蒸馏的基本原理

(一) 双组分体系汽液相平衡

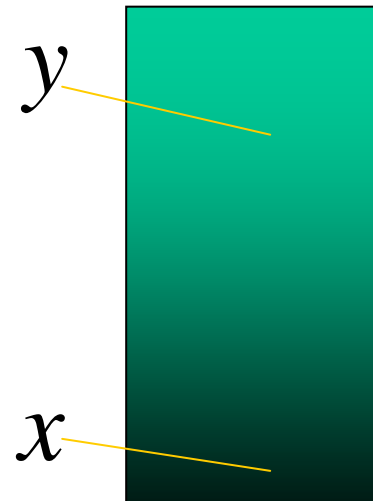
1、双组分体系汽液相图

常压下：苯 $t_s=80^\circ\text{C}$ ， 甲苯 $t_s=110^\circ\text{C}$
苯—易挥发物质

两液体混合，在 $t^\circ\text{C}$ 下

液相中苯的质量分率为 x

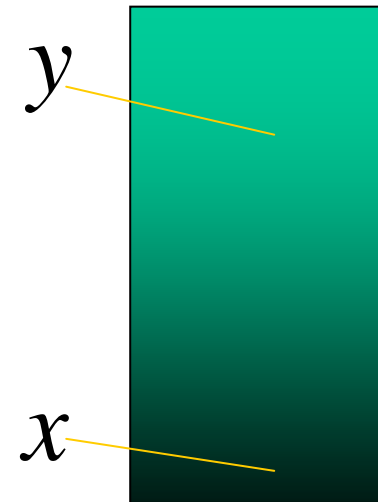
气相中苯的质量分率为 y



当时间较长时， x, y 将保持不变
称 $x-y$ 达到相平衡（汽液平衡）

若 $y > x$, 则可用蒸馏方法分离

若 $y = x$, 则不能分离



(1) 拉乌尔定律 (p-x图)

理想液体：对混合溶液 (A+B)

$$\left. \begin{array}{l} A-A \\ B-B \\ A-B \end{array} \right\}$$

分子间作用力相等

$$\text{则： } p_A = p_A^* x_A$$

$$p_B = p_B^* x_B = p_B^* (1 - x_A)$$

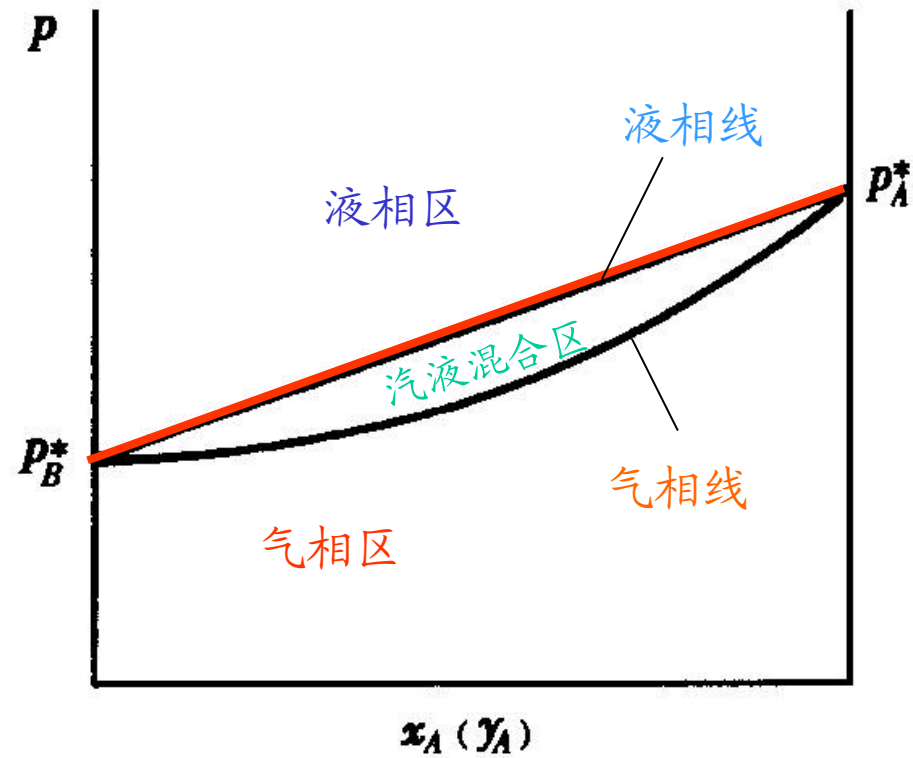
 p_A, p_B —气相中A和B的气相平衡分压, p_a
 p_A^*, p_B^* —纯组分A和B的饱和蒸汽压头, p_a
 x_A, x_B —组分A和B在溶液中的摩尔分率


分为三个区：

液相区

汽液混合区

气相区



(P-X图)

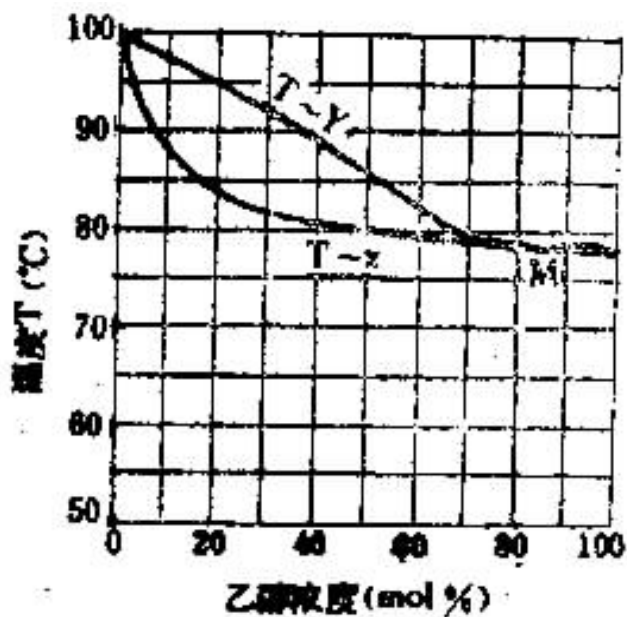
(2) 两组分的溶液的相平衡关系 (T-X图)

以水-乙醇为例

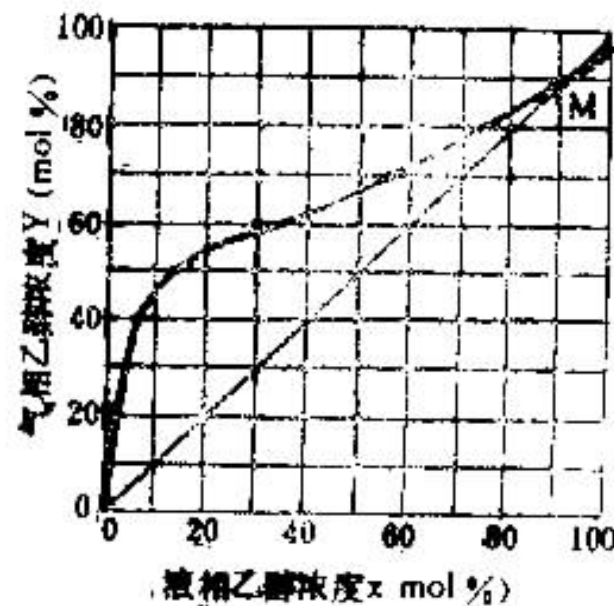
(1) $T-y$ 图

(2) $T-x$ 图

(3) $y-x$ 图



(1) $T-x-Y$ 图



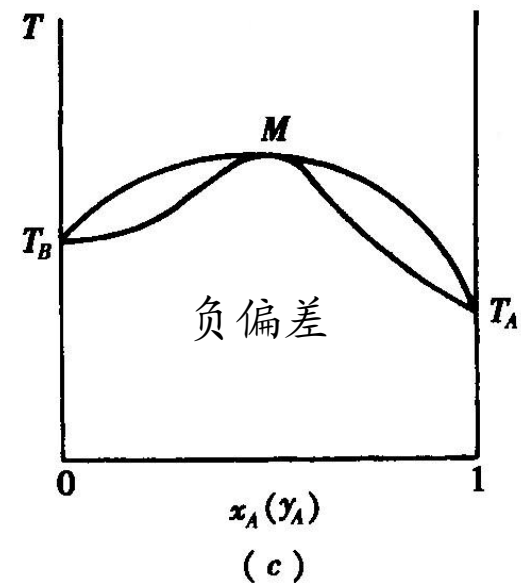
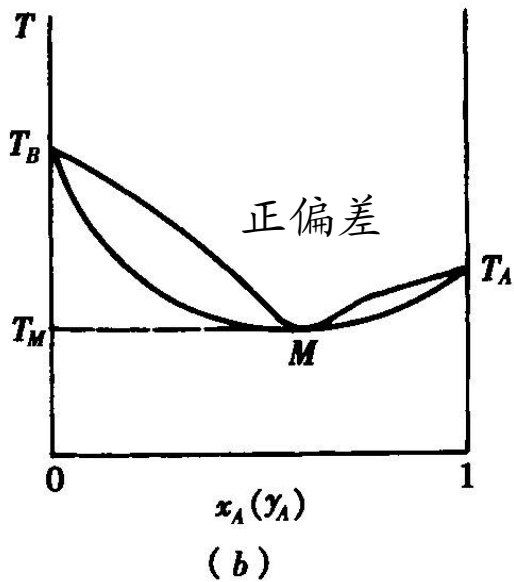
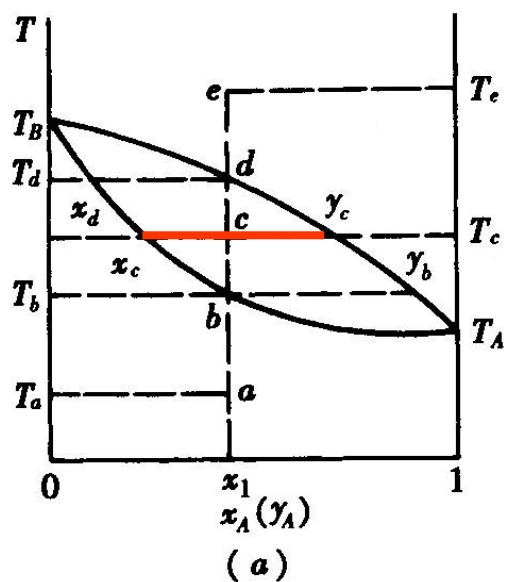
(2) $Y-x$ 图

图 12-15 乙醇-水系统的相平衡图

沸点组成图 (T-x-y) 的分析:

- 1) 分为三个区: 液相区、汽液混合区、气相区
- 2) 下方线表示液相中各组分 x 的温度和沸点
上方线表示气相中各组分 y 的温度和沸点
- 3) $x=0\%$, 难挥发物的沸点 (高沸点), 即水沸点
→
 $x=100\%$, 易挥发物的沸点 (低沸点), 即乙醇沸点
- 4) 不同组分时, 高沸点 > 沸点 > 低沸点
- 5) 若在T下, $y > x$, 则可采用蒸馏对其提纯

第九章 第三节 蒸馏

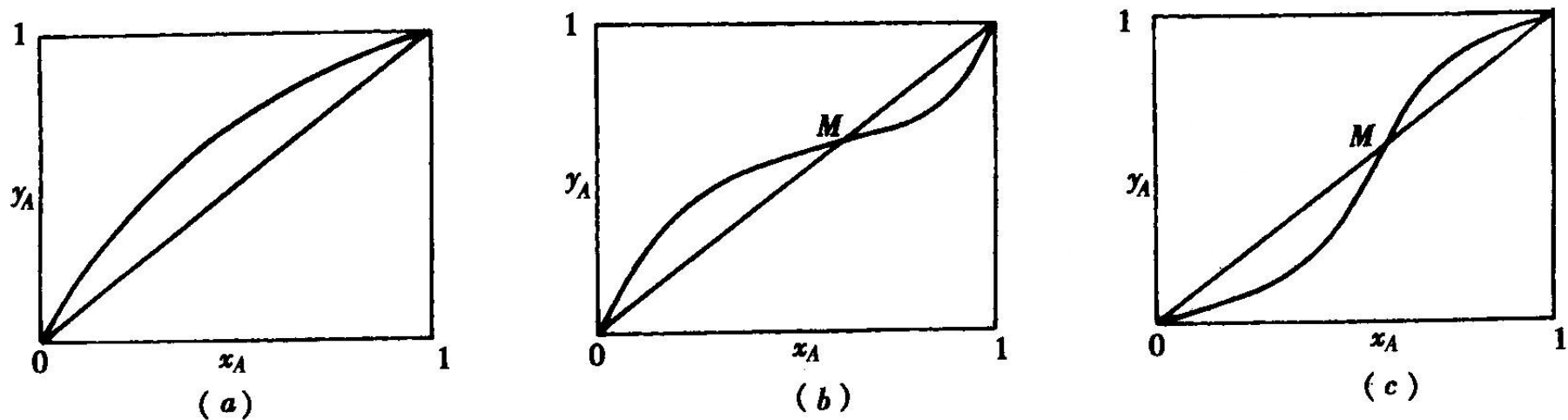


T-X相图

b-泡点, T_b-泡点温度

d-露点, T_d-露点温度

(3) Y-X相图



Y-X相图

Y-x图：如T9-22

若y-x线在45°线 ($y=x$) 上方，恒有 $y>x$ 则可以分离

2、挥发度与相对挥发度

(1) 挥发度

$$v = \frac{\text{气相中}i\text{组分的分压}}{\text{液相中}i\text{组分的摩尔分率}}$$

$$v_A = \frac{p_A}{x_A}, \quad v_B = \frac{p_B}{x_B}$$

(2) 相对挥发度

若 (A+B) 为理想溶液，则相对挥发度：

$$\alpha_{AB} = \frac{v_A}{v_B} = \frac{p_A / x_A}{p_B / x_B} = \frac{p_A^* x_A / x_A}{p_B^* x_B / x_B} = \frac{p_A^*}{p_B^*}$$

当压力不太高，总压变化不大时，由Dalton定律：

$$\alpha = \frac{p_A / x_A}{p_B / x_B} = \frac{p \cdot y_A / x_A}{p \cdot y_B / x_B} = \frac{y_A / x_A}{y_B / x_B}$$

对双组分（水+乙醇）

设易挥发组分（乙醇）为A，则：

$$x_B = 1 - x_A = 1 - x$$

$$y_B = 1 - y_A = 1 - y$$

代入相对挥发度计算式，可得x-y关系为：

$$y = \frac{\alpha x_A}{1 + (\alpha - 1)x_A} = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

$$y = \frac{\alpha x_A}{1 + (\alpha - 1)x_A} = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

- 分析：
- (1) $\alpha \approx 1, x \approx y$, 则不能用蒸馏提纯
 - (2) $\alpha > 1, y > x$, 有利于用蒸馏分离

(二) 蒸馏方法

操作方式： 间歇蒸馏、连续蒸馏

操作压力： 常压蒸馏、真空蒸馏、加压蒸馏

操作原理： 单级蒸馏 (平衡蒸馏、微分蒸馏、水蒸汽蒸馏)

多级蒸馏 (分批多级蒸馏、连续多级蒸馏 (精馏))

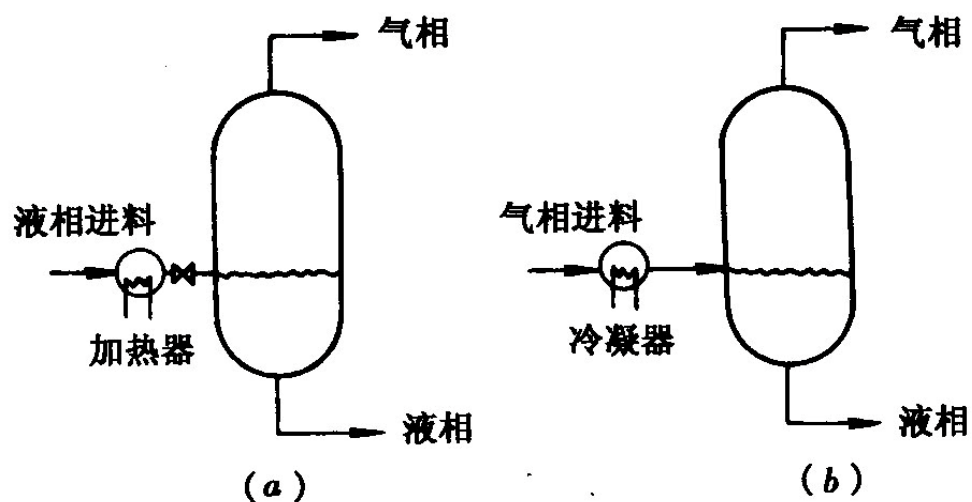
混合物组分： 双组分蒸馏、多组分蒸馏

真空蒸馏:

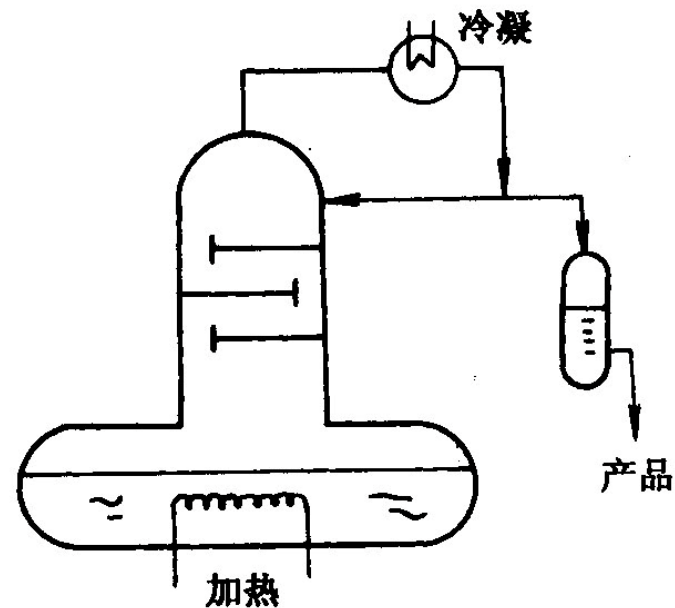
(1) 减压蒸馏	$P > 10^4$	Pa
(2) 真空蒸馏	$10^4 > P > 10^2$	Pa
(3) 高真空蒸馏	$10^2 > P > 1$	Pa
(4) 短程蒸馏	$1 > P > 10^{-2}$	Pa
(5) 分子蒸馏	$10^{-1} > P > 10^{-2}$	Pa

1、单级蒸馏：

(1) **平衡蒸馏：**使物料在蒸馏空间气液两相趋于平衡，并迅速使其分离的蒸馏操作。



(2) 微分蒸馏（简单蒸馏）：是一种渐次汽化的蒸馏方法。



(3) 水蒸汽蒸馏：向液体中通入水蒸汽进行蒸馏的方法。

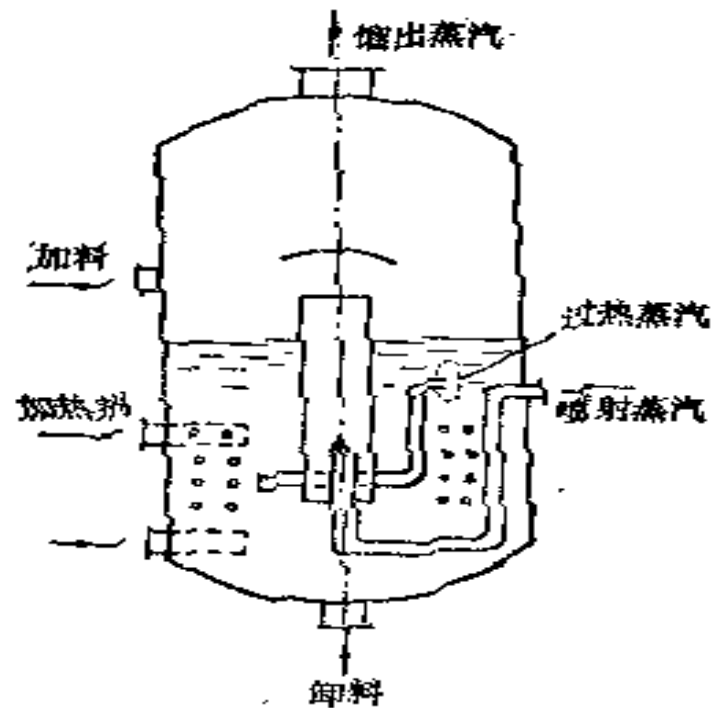
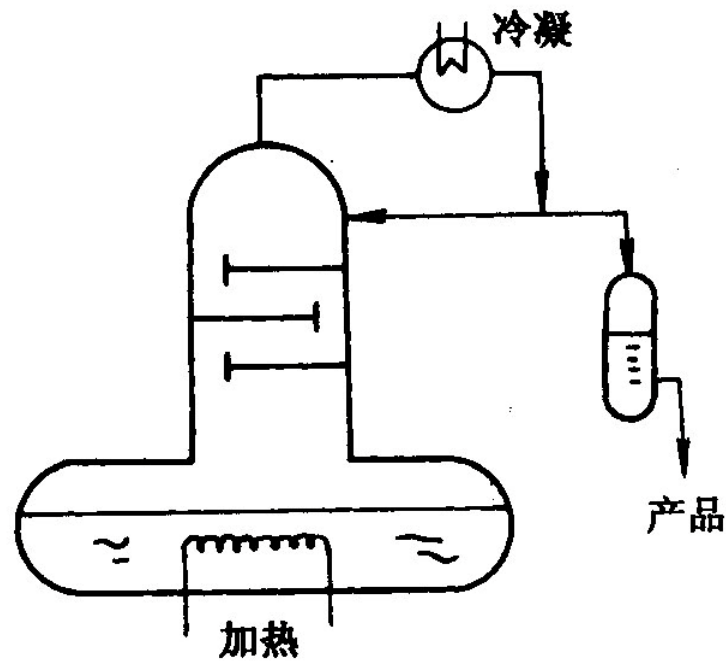


图 12-19 间歇式脱臭机

2、多级蒸馏

(1) 分批多级蒸馏



(2) 连续多级蒸馏 (精馏)

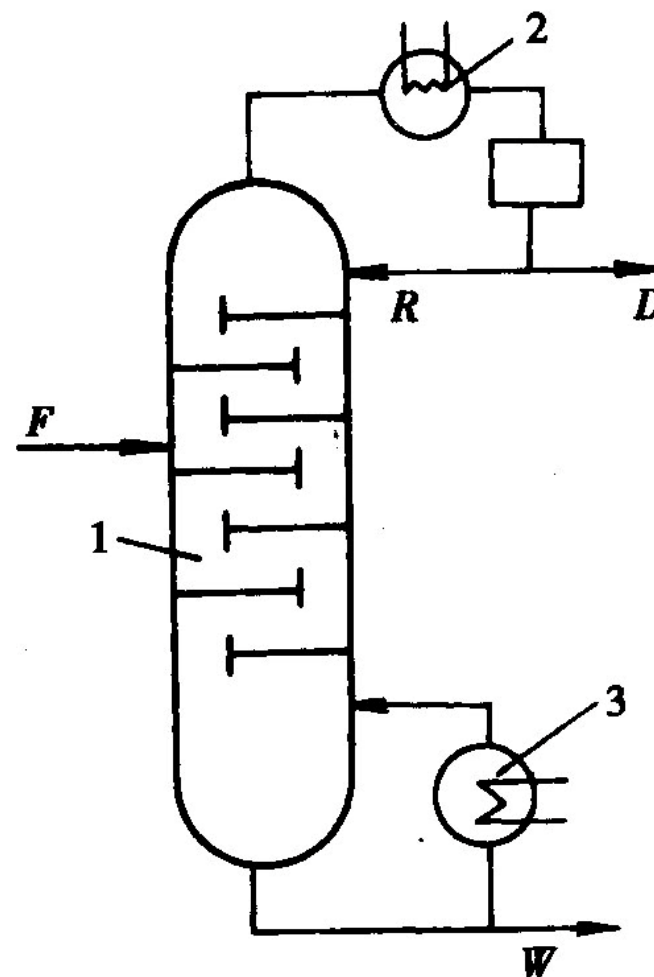


图9-27 精馏装置

1. 精馏塔 2. 冷凝器 3. 再沸腾
F. 进料 D. 塔顶产品 R. 回流 W. 塔底产品

(a) 萃取精馏

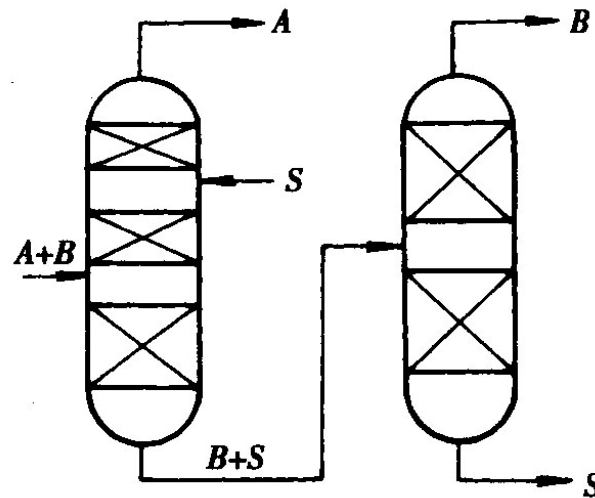


图9-28萃取蒸馏

(b) 恒沸精馏

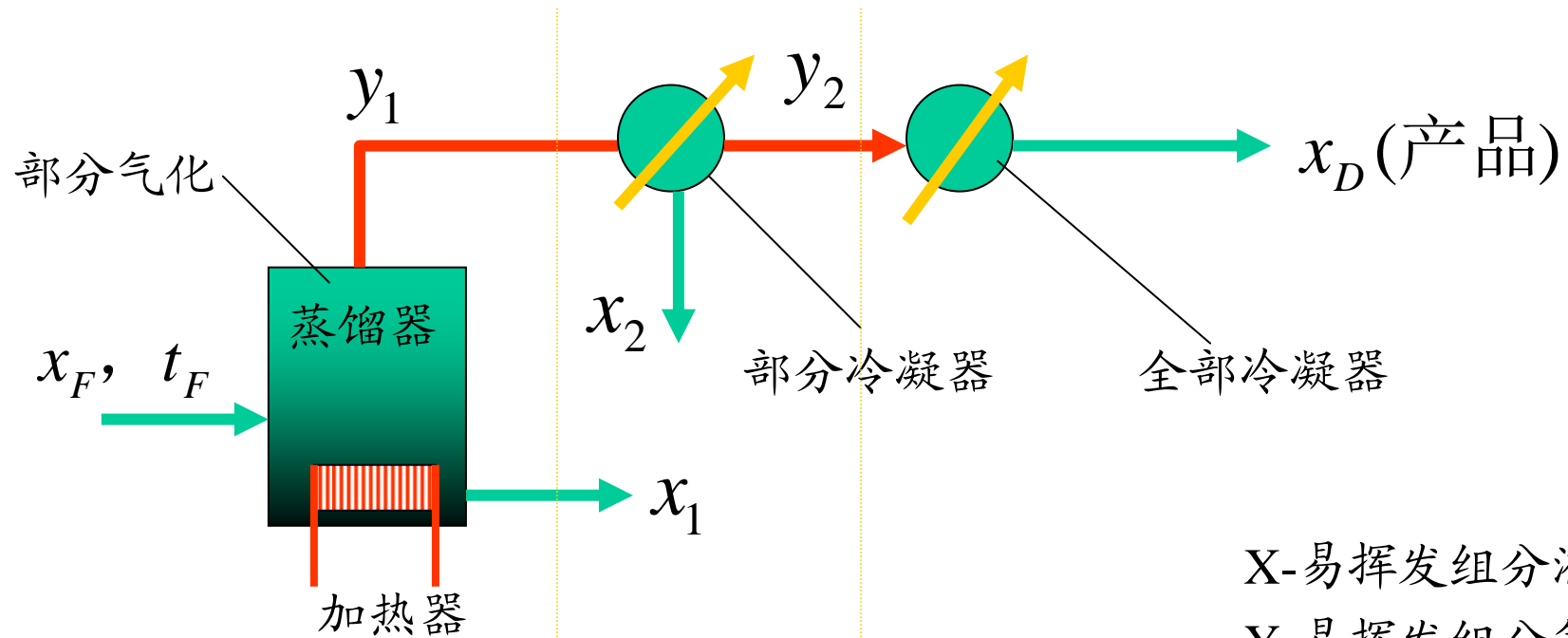
在双组分混合液中加入第三组分作挟带剂，和原溶液中一个或二个组分形成新的最低恒沸物，从塔顶蒸出，在塔底得到纯产品。

例：恒沸物E（乙醇）-W（水）（ $X_E=0.894$ ）

用苯作挟带剂，产生B-E-W三元恒沸物蒸汽

（沸点 64.85°C ），经冷凝分成两液相，有机相回流，水相再经苯回收塔和乙醇回收塔，分离出水。

蒸馏 以乙醇-水蒸馏为例：

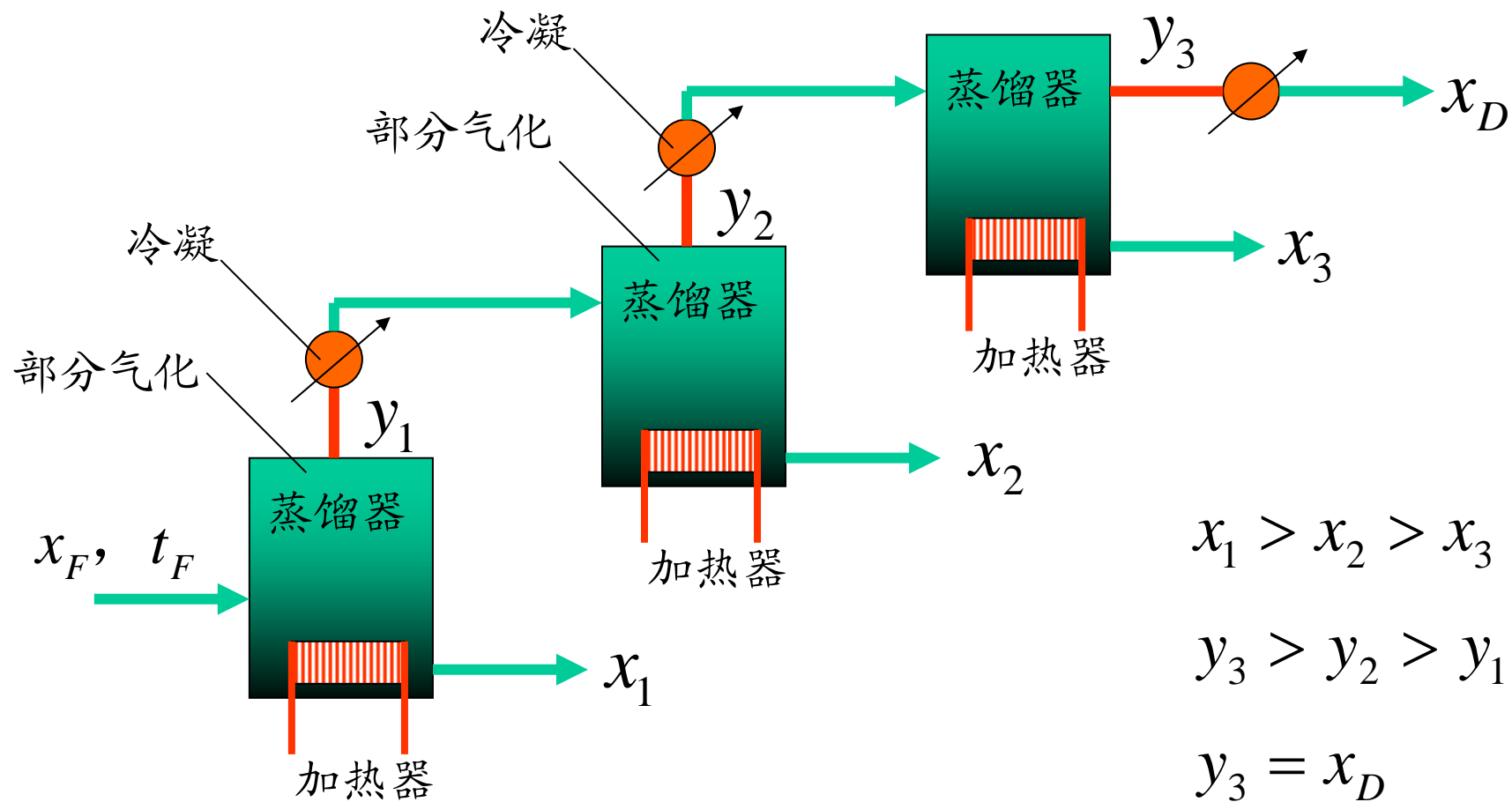


X-易挥发组分液态
Y-易挥发组分气态

$$x_1 < x_F \quad y_2 > y_1 \quad y_2 = x_D$$

$$y_1 > x_F \quad x_2 < y_2$$

精馏 以乙醇-水蒸馏为例：
多次部分气化、部分冷凝



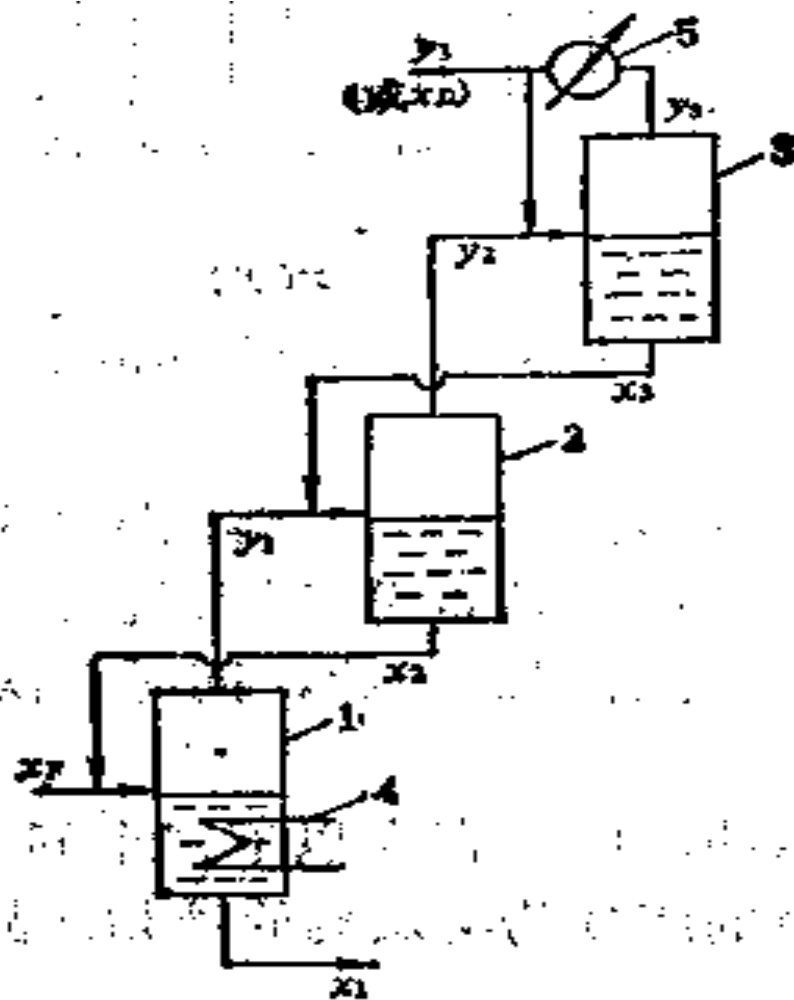


图6-7 无中间产品及中间加热器和冷凝器部分气化(冷凝)示意图

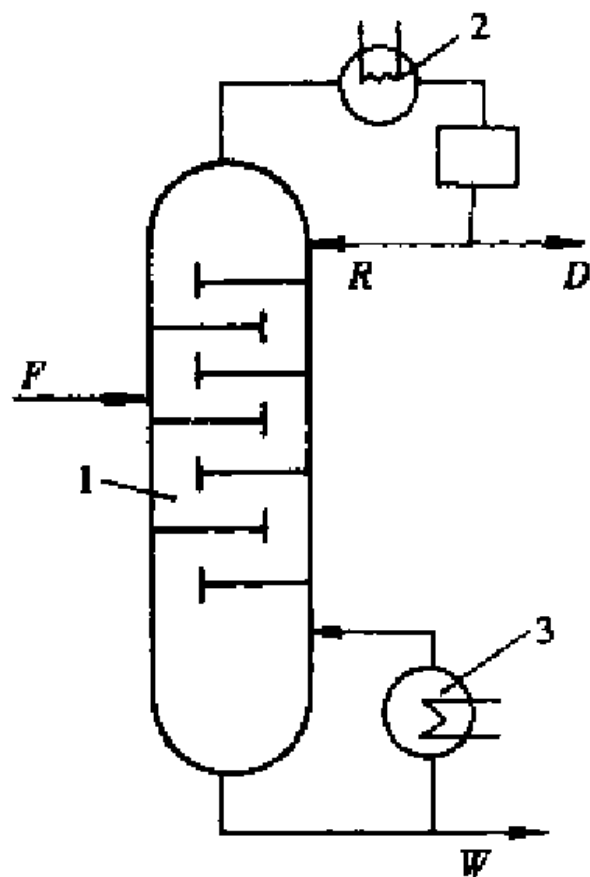


图 10-7 精馏装置

1. 精馏塔 2. 冷凝器 3. 再沸器

F . 进料 D . 塔顶产品

R . 回流 W . 塔底产品

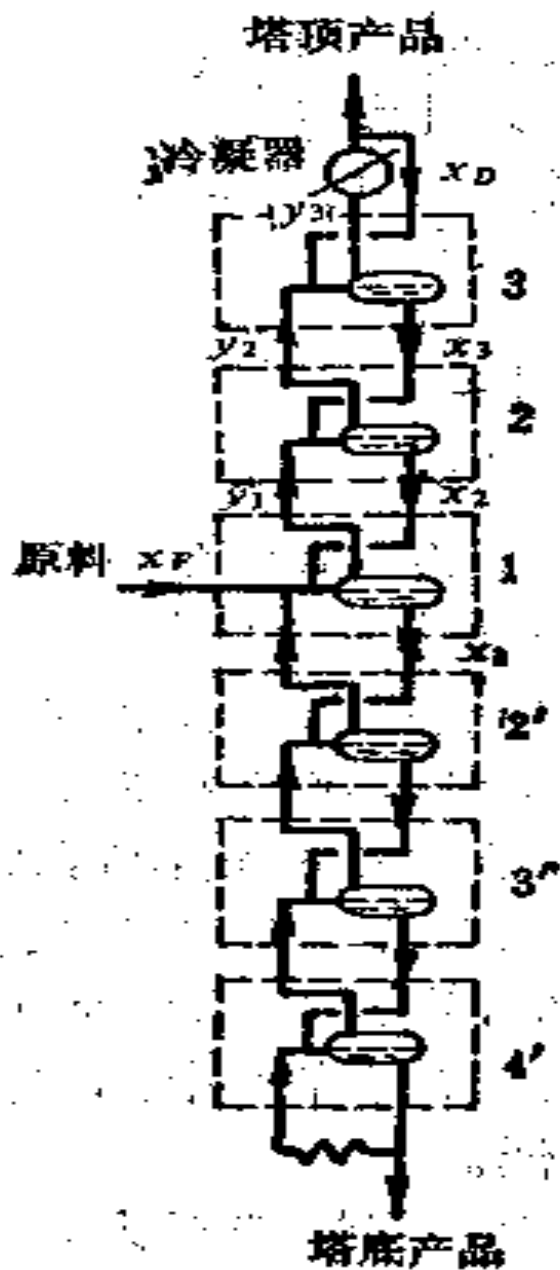
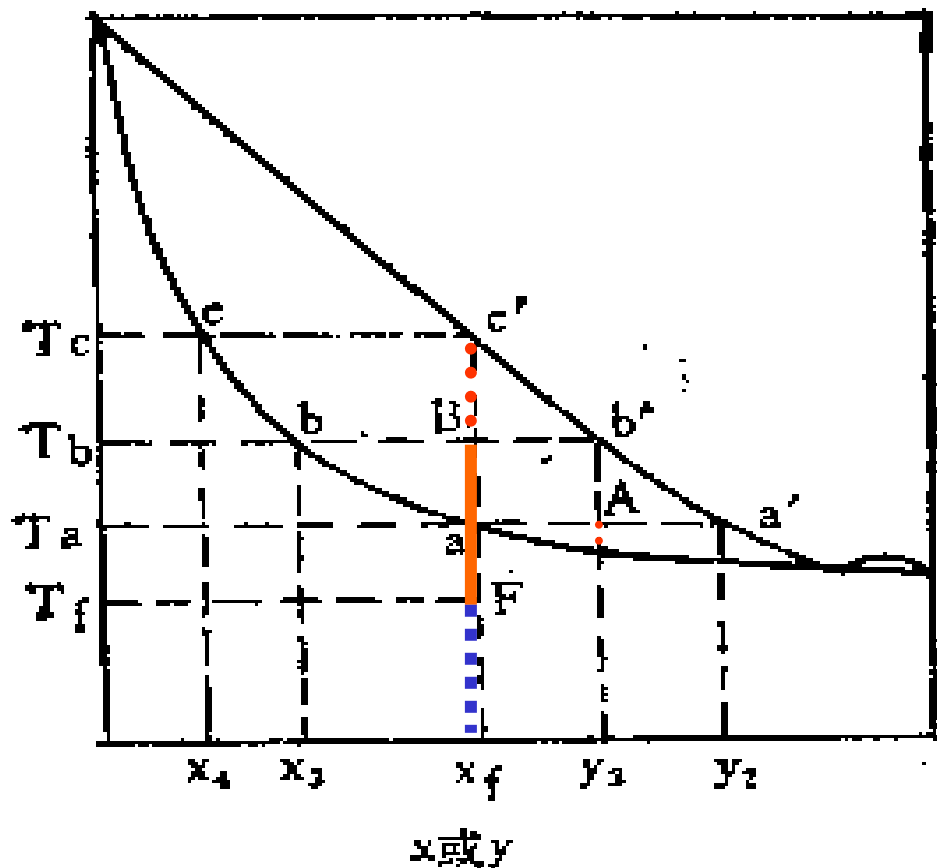


图6-8 精馏塔模型

精馏的相平衡图



酒精精馏原理图

a —泡点

a 点以下：为过冷液体
全部冷凝过程

C' —露点

C' 以上为：过热蒸汽
全部汽化过程

$a - c'$ 之间：
部分汽化、部分冷凝过程

精馏原理的实现—精馏塔

上升气流: 提供热能, 部分气化

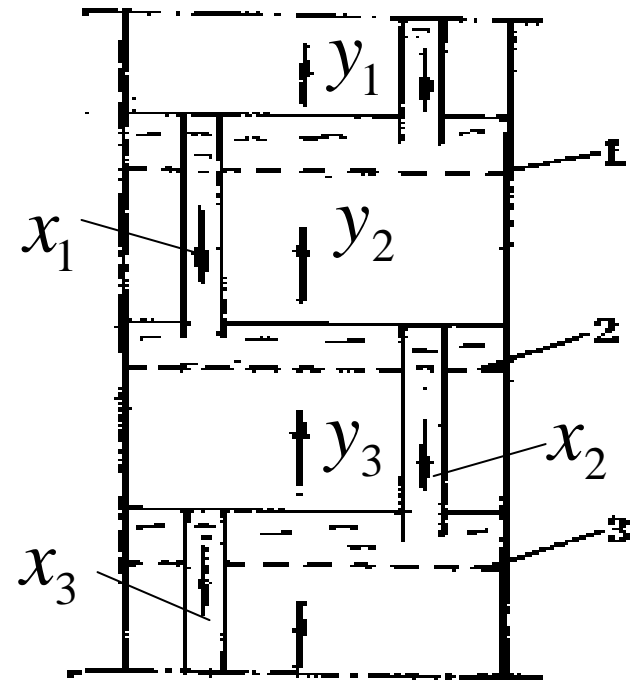
下降回流: 吸收热能, 部分冷凝

蒸汽由塔底向塔顶上升, 在每一层塔板上进行部分冷凝, 液体从塔顶向塔底下降, 在每一层塔板上进行部分汽化。

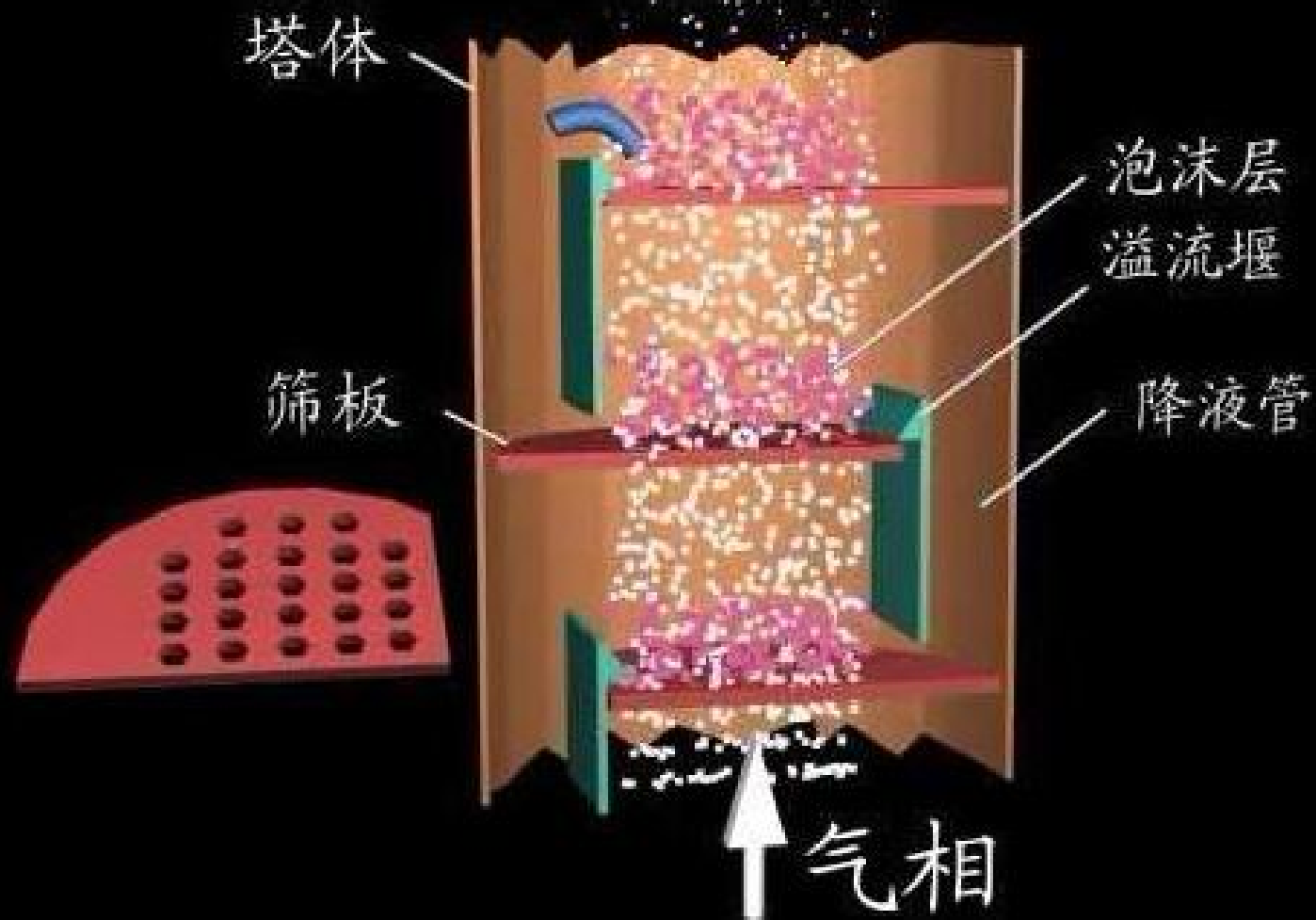
易挥发组分: 气相: $y_1 > y_2 > y_3$

液相: $x_3 < x_2 < x_1$

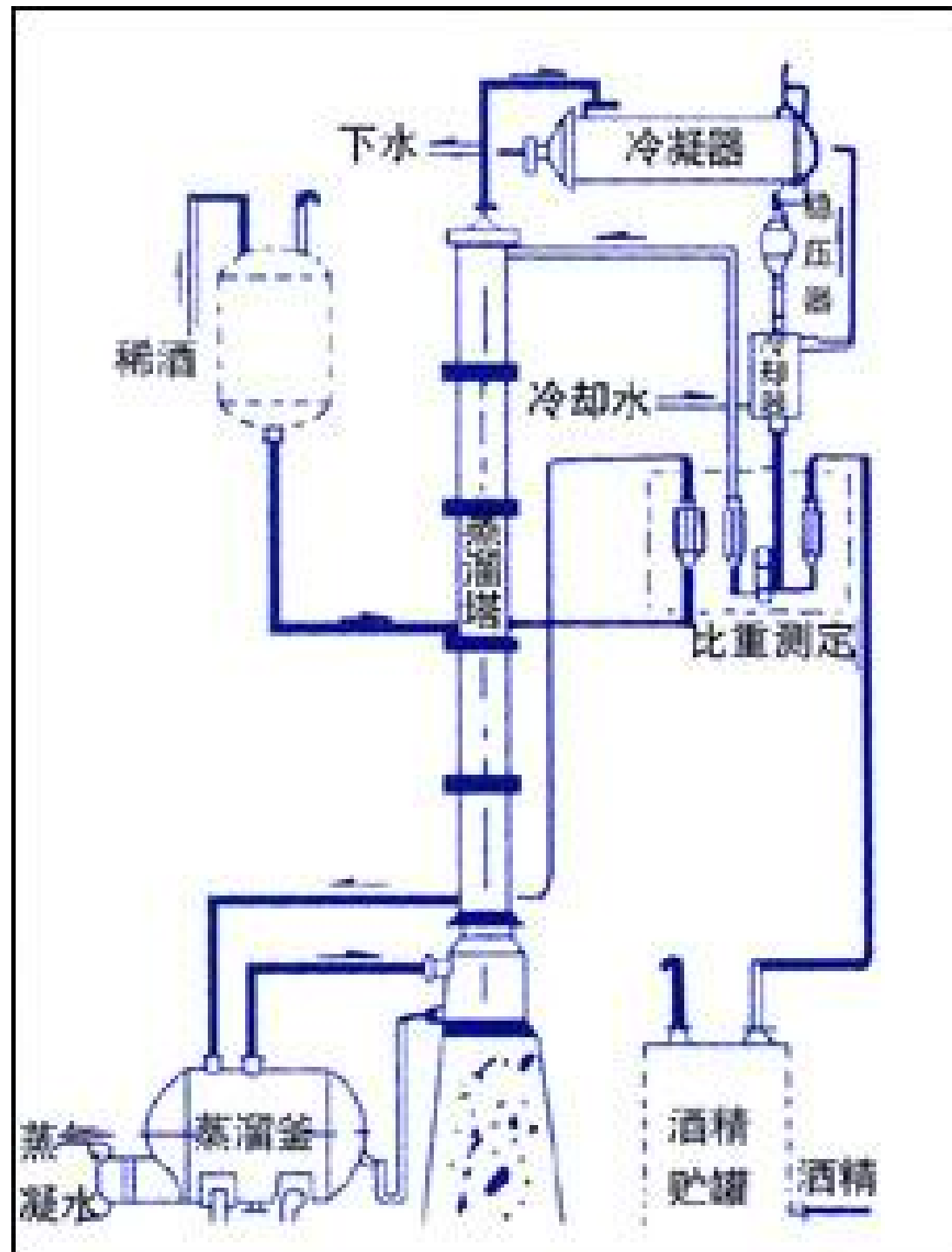
若塔板数足够多, 在塔顶可得分离出纯易挥发组分, 在塔底可得到纯难挥发组分。



精馏塔的一段



精馏塔塔板结构



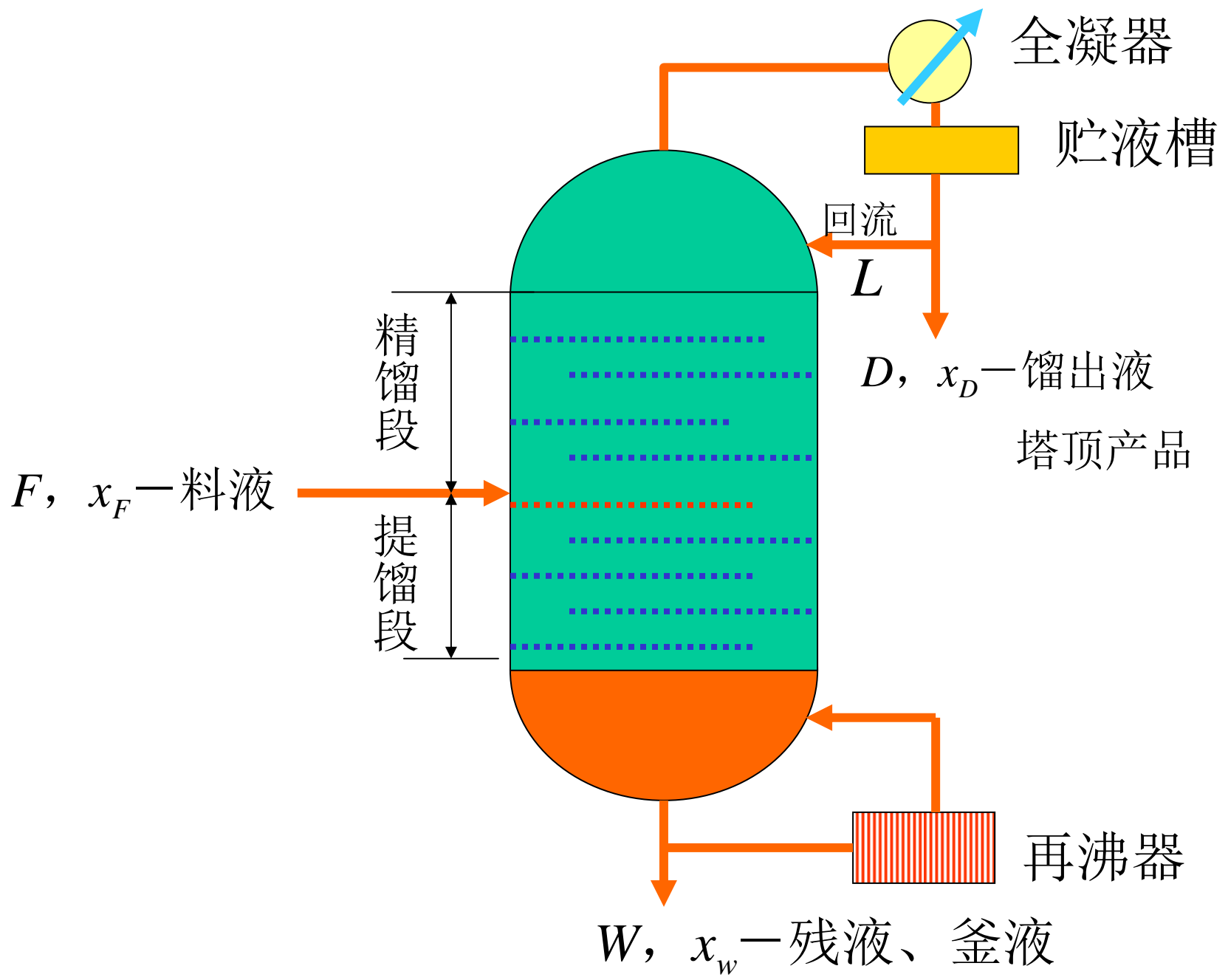
二、双组分精馏的计算

工艺计算项目：

- 1、计算产品量 D 、 W 、 F ，组成 X_D 、 X_W
- 2、选定塔型，计算塔板数 N ，回流率 L
- 3、计算塔径、塔高、板间距、溢流堰高等

工艺流程、理论板及恒摩尔流的概念

- 1、精馏的基本概念和工艺流程



上图中：

F —进料流量, ($kmol/h$)

D —塔顶产品（馏出液）的流量, ($kmol/h$)

W —塔底产品（釜液）的流量, ($kmol/h$)

x_F —进料液中易挥发组分的摩尔分率

x_D —馏出液中易挥发组分的摩尔分率

x_W —釜液中易挥发组分的摩尔分率

2、理论板 n

设：

- (1) $x_n - y_n$ 符合 $x - y$ 关系图
即在 T_n 下, $x_n - y_n$ 互成平衡
- (2) 实际接触时间较短
存在一定的偏差
- (3) 计算出理论板 n

$$\text{实际板 } n' = \frac{n(\text{理论板})}{\eta (\text{板效率})}$$

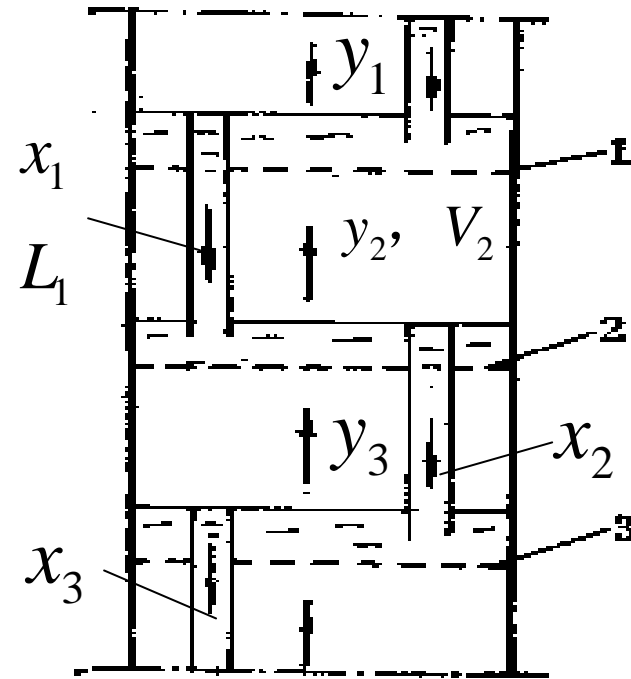


图 12-18 精馏塔的一段

3、恒摩尔流

为求理论板数 n

需利用： $x_n - y_n$ 关系（相平衡曲线）

$y_n - x_{n-1}$ 关系（操作曲线）

为此需知道：

上升蒸汽流量 V_n 与回流 L_n 之间的关系

若设：两板间温差不大
忽略液体和蒸汽的显热变化

则有：

(1) 恒摩尔汽化

精馏段： $V_1 = V_2 = \cdots V_n = V = \text{常数}$

提馏段： $V'_1 = V'_2 = \cdots V'_n = V' = \text{常数}$

(2) 恒摩尔回流

精馏段： $L_1 = L_2 = \cdots L_n = L = \text{常数}$

提馏段： $L'_1 = L'_2 = \cdots L'_n = L' = \text{常数}$

(一) 连续精馏塔物料衡算

1、全塔物料衡算

$$\text{总:} \quad F = D + W \quad (1)$$

$$\text{易挥发组分:} \quad Fx_F = Dx_D + Wx_W \quad (2)$$

一般, 已知: $F, x_F, x_D, x_W \rightarrow D, W$

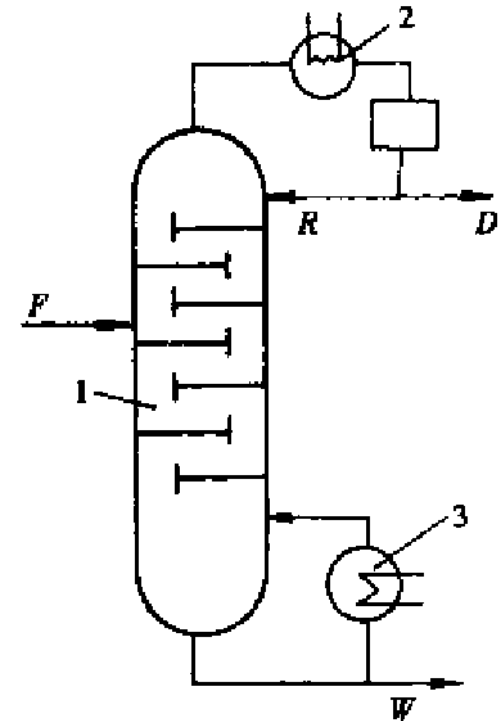


图 10-7 精馏装置
1. 精馏塔 2. 冷凝器 3. 再沸器
F. 进料 D. 塔顶产品
R. 回流 W. 塔底产品

2、精馏段的物料衡算与精馏段操作线方程式

精馏段：
$$V = L + D \quad (1)$$

易挥发组分：
$$V \cdot y_{n+1} = L \cdot x_n + D \cdot x_D \quad (2)$$

V —精馏段的蒸汽摩尔流量, $kmol/h$

L —精馏段内溢流液体的摩尔流量, $kmol/h$

y_{n+1} —精馏段内第 $n+1$ 层塔板上升蒸汽

中易挥发组分的摩尔分率;

x_n —精馏段内第 n 层塔板下降液体

中易挥发组分的摩尔分率.

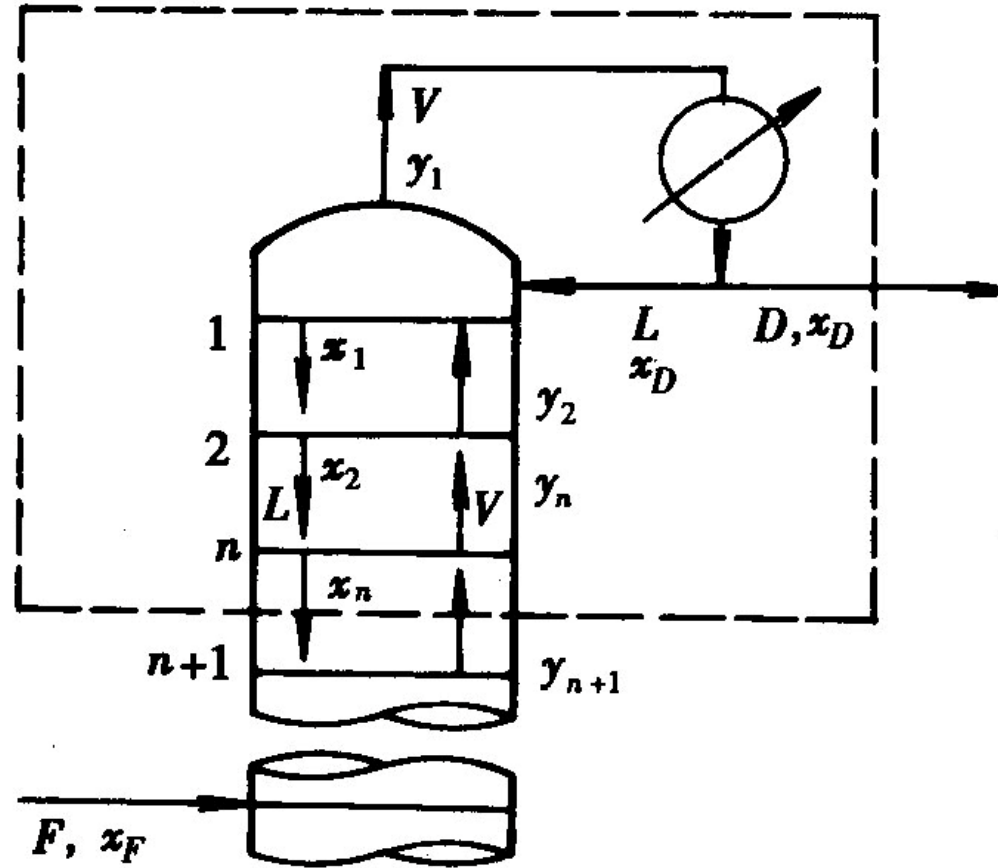


图9-31 精馏段操作线方程推导

由 (1) 和 (2) :

$$\begin{aligned}y_{n+1} &= \frac{L}{L+D} x_n + \frac{D}{L+D} x_D = \frac{L/D}{1+L/D} x_n + \frac{1}{L/D+1} x_D \\ &= \frac{R}{1+R} x_n + \frac{1}{1+R} x_D\end{aligned}$$

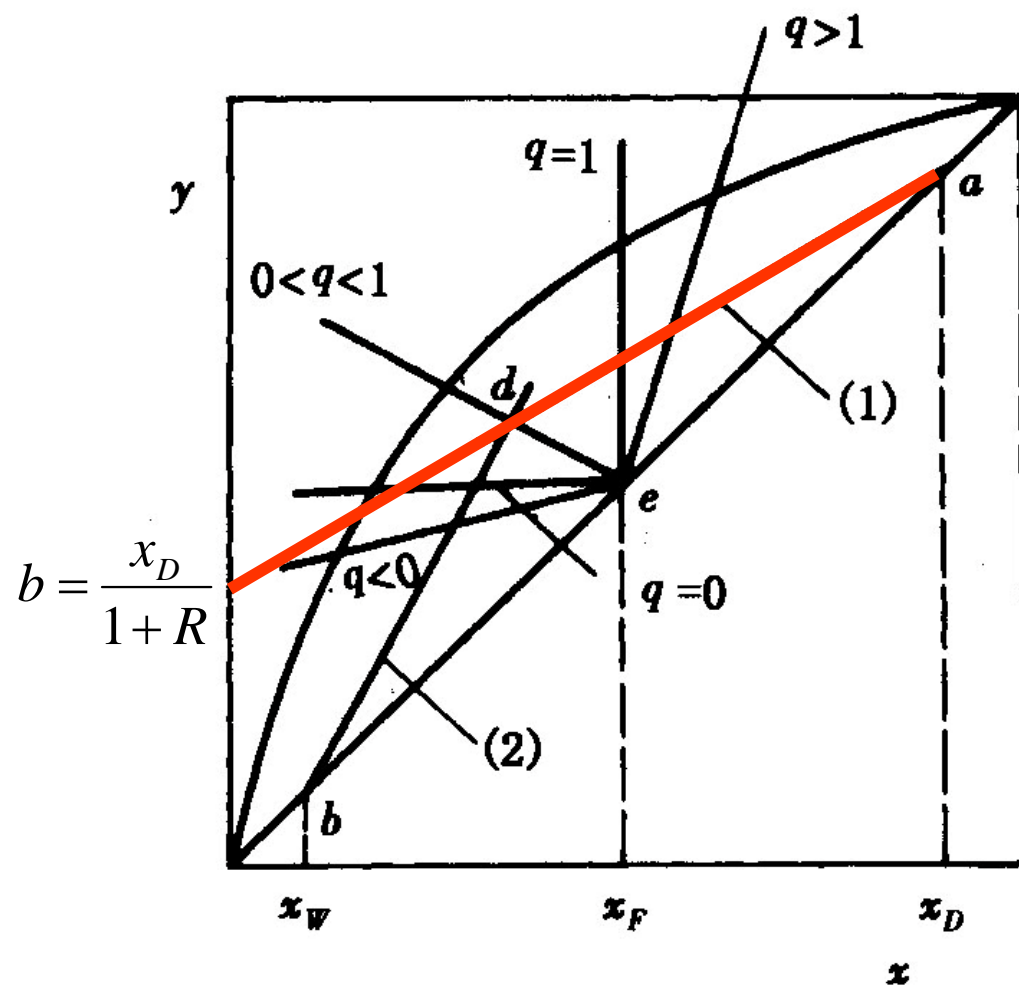
式中: $R = L/D$ 回流比

$$\text{令 } A = \frac{R}{1+R}, B = \frac{1}{1+R}$$

则得精馏段操作方程:

$$y_{n+1} = Ax_n + Bx_D$$

第九章 第三节 蒸馏



(1) 精馏段操作线

$$y_{n+1} = \frac{R}{1+R} x_n + \frac{1}{1+R} x_D$$

当 $x = x_D, y = x_D$

∴ 直线过 a 点

$$\text{斜率 } K = \frac{R}{1+R}$$

$$b = \frac{x_D}{1+R}$$

3、提馏段的物料衡算与提馏段操作线方程式

设： V' —提馏段的蒸汽摩尔流量， $kmol/h$

L' —提馏段内溢流液体的摩尔流量， $kmol/h$

y'_{m+1} —提馏段内第 $m+1$ 层塔板上升蒸汽

中易挥发组分的摩尔分率；

x'_m —提馏段内第 m 层塔板下降液体

中易挥发组分的摩尔分率。

提馏段：
$$L' = V' + W \quad (1)$$

易挥发组分：
$$L' \cdot x'_m = V' \cdot y'_{m+1} + W \cdot x_w \quad (2)$$

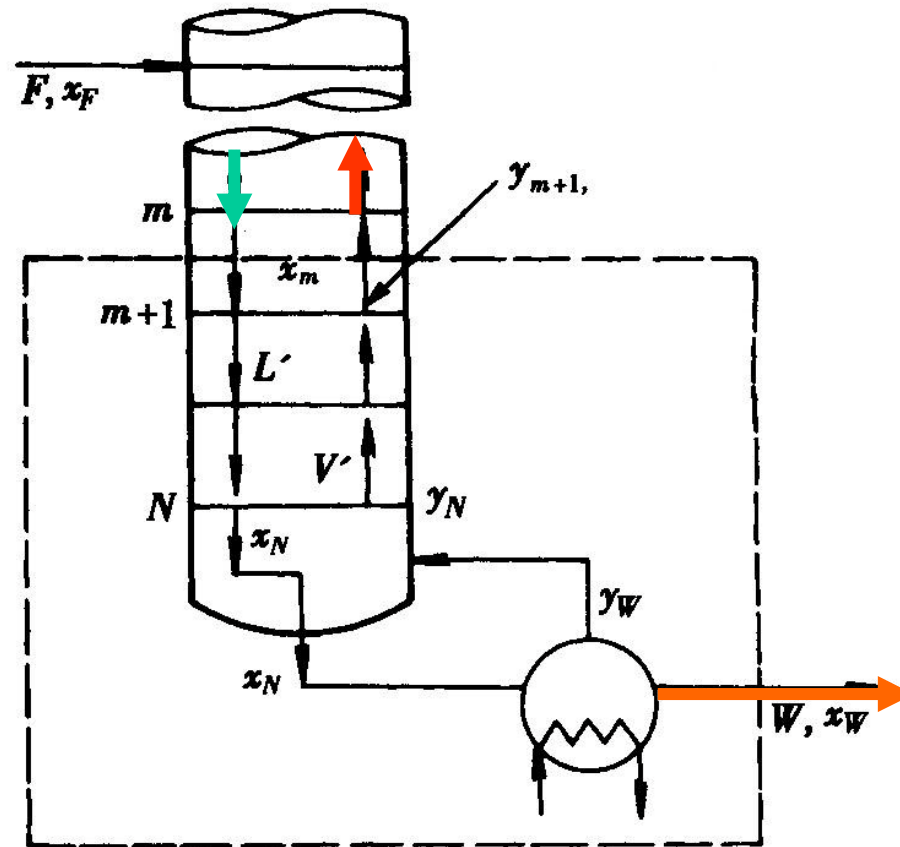


图9-32 提馏段操作线方程推导

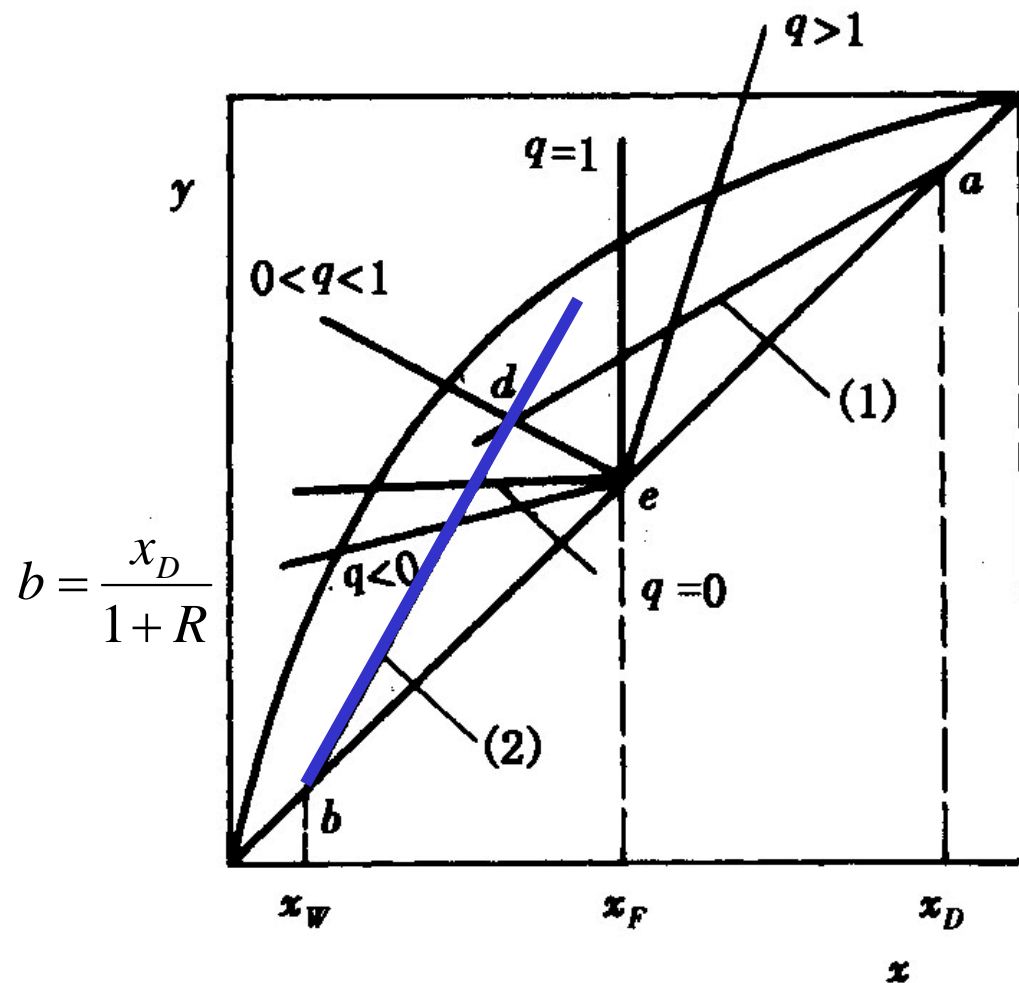
将（1）代入（2），得提馏段操作方程：

提馏段：
$$L' = V' + W \quad (1)$$

易挥发组分：
$$L' \cdot x'_m = V' \cdot y'_{m+1} + W \cdot x_W \quad (2)$$

$$y'_{m+1} = \frac{L'}{L' - W} x'_m - \frac{W}{L' - W} x_W$$

第九章 第三节 蒸馏



$$y'_{m+1} = \frac{L'}{L' - W} x_m - \frac{W}{L' - W} x_W$$

当 $x = x_W, y = x_W$

∴ 直线过 b 点

$$\text{斜率 } K = \frac{L'}{L' - W}$$

(2) 提馏段操作线

提馏段操作方程:

$$y'_{m+1} = \frac{L'}{L' - W} x_m - \frac{W}{L' - W} x_W$$

其中: L' 与 (1) 精馏段回流量 L

(2) 进料量 F

(3) 进料 F 的热状况 有关

其关系可通过对进料板作物料衡算得到

(二) 进料状态对精馏的影响

设: $q = \frac{\text{料液中液相}(kmol)}{\text{料液}(kmol)}$

则 进料中液相流量 Fq

进料中气相流量 $F(1-q)$

$$\therefore V = V' + (1-q)F \quad (1)$$

$$L' = L + qF \quad (2)$$

或 $q = \frac{L' - L}{F} \quad (2-1)$

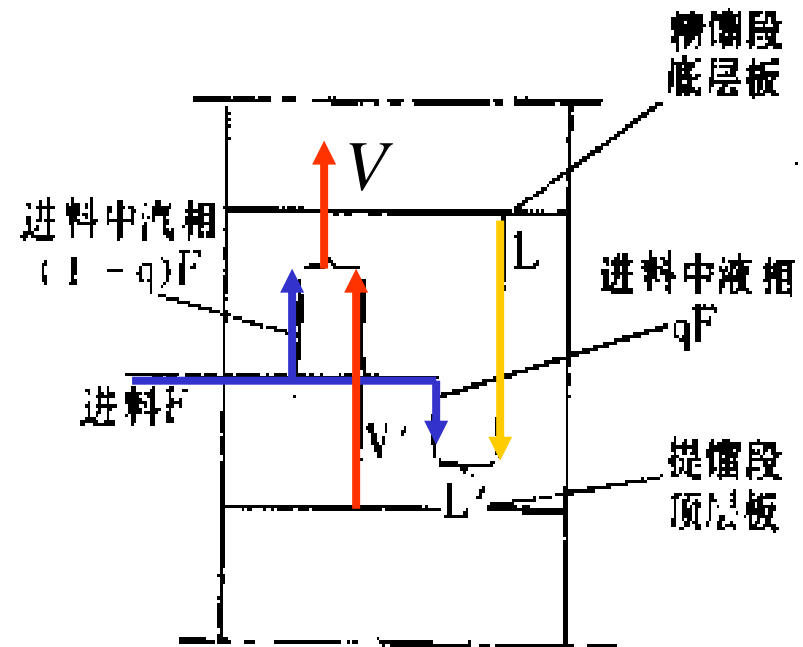


图 12-35 进料段的物料衡算

将（2）代入提馏段操作方程中：

$$\begin{aligned}y'_{m+1} &= \frac{L'}{L' - W} x'_m - \frac{W}{L' - W} x_W \\ &= \frac{L + qF}{L + qF - W} x_m - \frac{W}{L + qF - W} x_W \\ &= A' x_m - B' x_W\end{aligned}$$

y_{m+1} 与 x_m 之间为线性关系

当 L 和 W 一定时， q 由进料状况决定

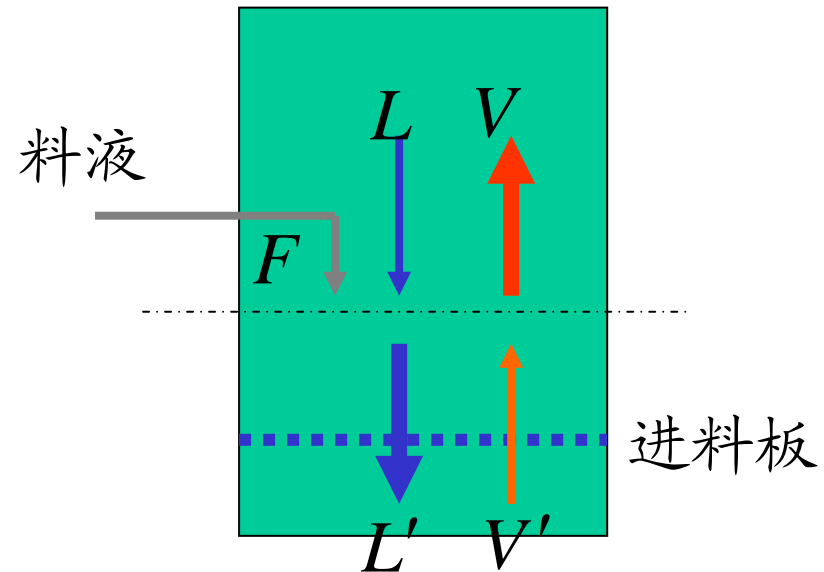
1、进料状况的影响：

(1) 原料预热到泡点进料

特点： $L' = F + L$

$$V = V'$$

$$\therefore q = \frac{L' - L}{F} = 1$$

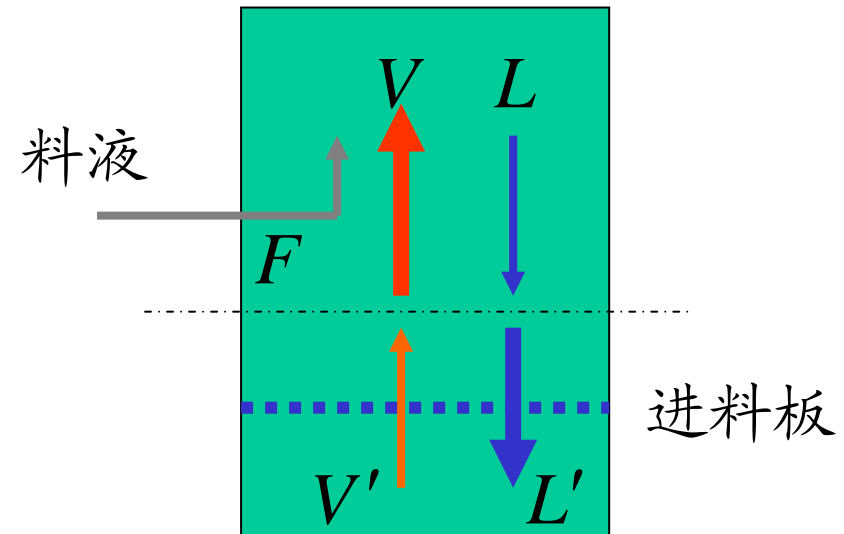


(2) 饱和蒸汽进料

特点: $F + V' = V$

$$L' = L$$

$$\therefore q = \frac{L' - L}{F} = 0$$



(3) 汽液混合液进料

特点:

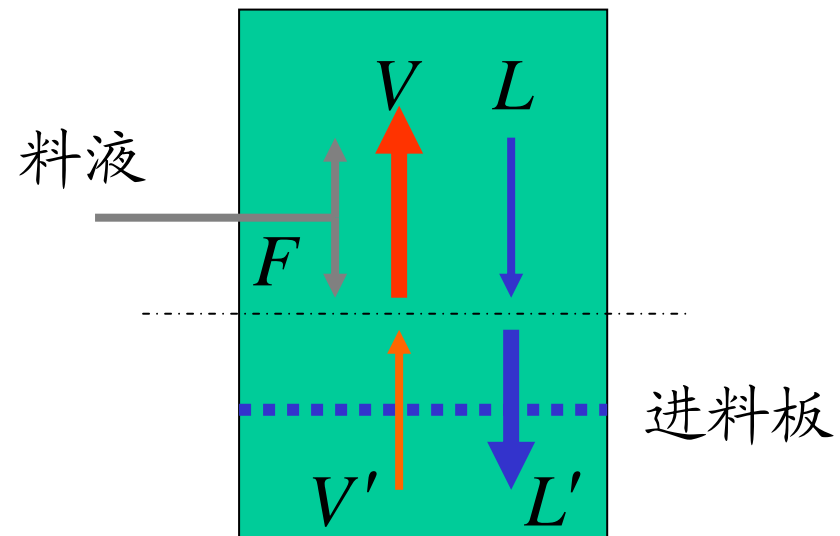
$$L' = L + \varphi F$$

$$V = V' + (1 - \varphi)F$$

$$\therefore q = \frac{L' - L}{F} = \frac{\varphi F}{F} = \varphi$$

其中: $0 < \varphi < 1$ φ —液相的分率

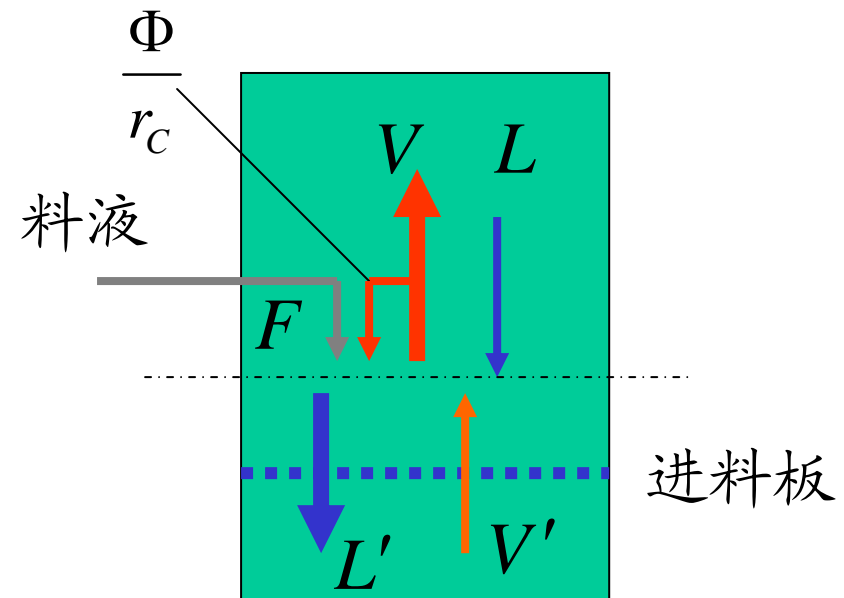
$$\therefore 0 < q < 1$$



(4) 过冷液体进料

特点:

$$L' = F + L + \frac{\Phi}{r_C}$$



式中：

Φ – V 中加热物料而被冷凝部分放出的热量(kJ / h)

r_C – 蒸汽的汽化潜热(kJ / kmol)

Φ 可由料液升温所需热量求得：

$$\Phi = FC_p(t_S - t_F)$$

F – 进料量, kmol / h

C_p – 料液比热, kJ / kmol

t_S – 加热板沸点, t_F – 料液温度

故有：

$$\begin{aligned}L' &= F + L + \frac{\Phi}{r_C} \\&= L + F + \frac{FC_p(t_S - t_F)}{r_C} \\&= L + F\left[1 + \frac{C_p(t_S - t_F)}{r_C}\right] \\&= L + F\left[\frac{r_C + C_p(t_S - t_C)}{r_C}\right]\end{aligned}$$

则：

$$\begin{aligned}q &= \frac{L' - L}{F} \\&= \frac{F[r_C + C_p(t_S - t_F)]}{F \cdot r_C} \\&= \frac{r_C + C_p(t_S - t_F)}{r_C}\end{aligned}$$

于是：

$$q = \frac{r_C + C_P(t_S - t_F)}{r_C}$$

$$= \frac{\text{单位摩尔料液变为饱和蒸汽所需热量}}{\text{单位摩尔料液的汽化潜热}}$$

该式为q计算的一般式

$$\therefore \text{泡点进料: } C_p(t_s - t_F) = 0, \quad q = 1$$

$$\text{饱和蒸汽进料:} \quad q = 0$$

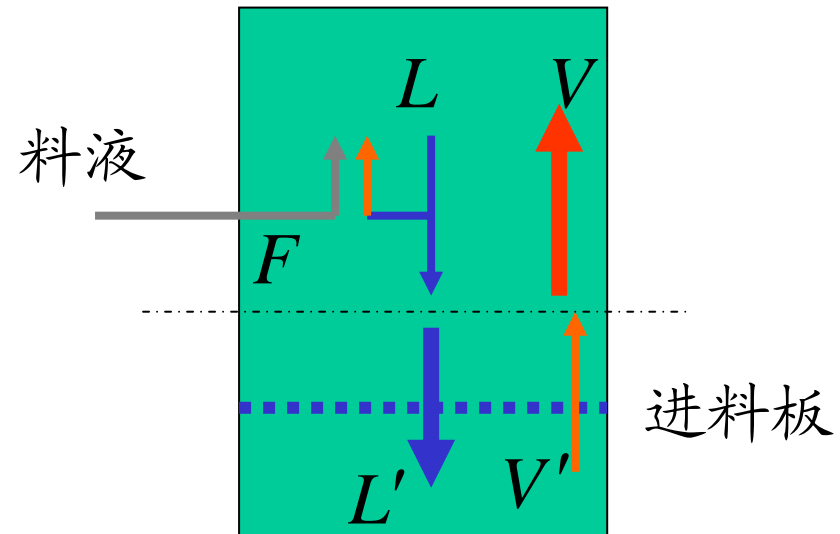
$$\text{汽液混合进料:} \quad 0 < q < 1$$

(5) 过热蒸汽进料

特点:

$$L' = L - \varphi L$$

$$\therefore q = \frac{L' - L}{F} = -\varphi L / F$$



则在提馏段：

$$y'_{m+1} = \frac{L + qF}{L + qF - W} x'_m - \frac{W}{L + qF - W} x_W$$

若已知： L 、 F 、 W 、 x_W 及进料状况 q

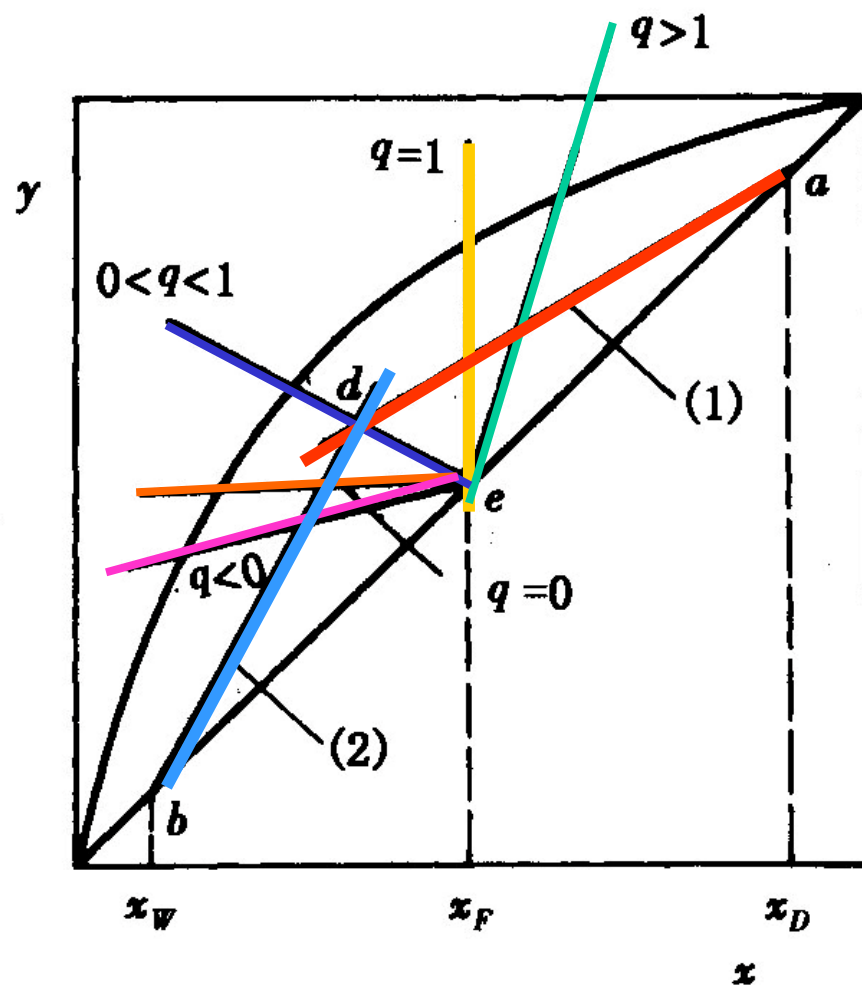
则可定出 y_{m+1} — x_m 关系（线性关系）

2、进料方程

联立精馏、提馏段两方程：

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \frac{R}{1+R}x + \frac{x_D}{1+R} \\ y = \frac{L+qF}{L+qF-W}x - \frac{W}{L+qF-W}x_W \end{array} \right.$$

得交点方程： $y = \frac{q}{q-1}x - \frac{1}{q-1}x_F$ 称为 q 线方程



$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{1}{q-1}x_F$$

当 $x = x_F, y = x_F$

∴ 直线过 e 点

$$\text{斜率 } K = \frac{q}{q-1}$$

图9-34 各种进料状态的 q 线
(1) 精馏段操作线 (2) 提馏段操作线

第九章 第三节 蒸馏

表 9-1 进料状态对应的 q 值及物流流量间的关系

进料状态	进料温度 T	进料焓 H_F	q 值	L ~ L' 关系	V ~ V' 关系
过冷液体	$T < T_b$	$H_F < H_L$	$q > 1$	$L' > L + F$	$V' > V$
饱和液体	$T = T_b$	$H_F = H_L$	$q = 1$	$L' = L + F$	$V' = V$
汽液混合物	$T_b < T < T_d$	$H_L < H_F < H_V$	$1 > q > 0$	$L < L' < L + F$	$V - F < V' < V$
饱和蒸汽	$T = T_d$	$H_F = H_V$	$q = 0$	$L' = L$	$V' = V - F$
过热蒸汽	$T > T_d$	$H_F > H_V$	$q < 0$	$L' < L$	$V' < V - F$

第九章 第三节 蒸馏

食品工程原理与设备

例 9-8 某精馏操作在露点温度进料，进料组成 $x_F = 0.45$ ，馏出液组成 $x_D = 0.90$ ，釜液组成 $x_W = 0.10$ ，若取回流比 $R = 1.7$ ，求提馏段操作线的斜率。

解：已知露点温度 T_d 进料， $q = 0$ ， q 线为过 e 点的水平线，如图 10-15 所示。

由式 (10-27)，精馏段操作线 ad 的斜率：

$$\frac{y_a - y_d}{x_a - x_d} = \frac{R}{R + 1}$$

将已知数据代入：

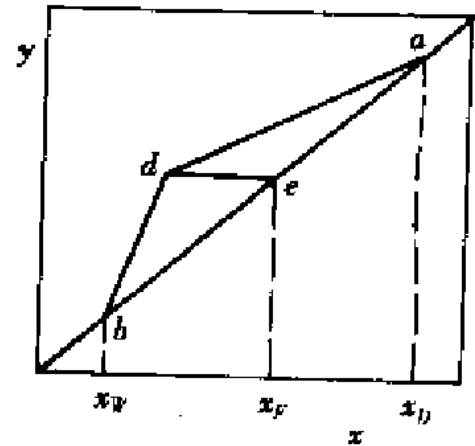
$$\frac{0.90 - 0.45}{0.90 - x_d} = \frac{1.70}{1.70 + 1} = 0.63$$

解得

$$x_d = 0.19$$

则提馏段操作线的斜率为：

$$\frac{y_d - y_b}{x_d - x_b} = \frac{0.45 - 0.10}{0.19 - 0.10} = 3.9$$



(三) 平衡级数（理论塔板数 N_T ）的确定

一般，采用图解法确定理论塔板数
在操作线与平衡线之间作梯级

对精馏段：

$$x_D = y_1 \rightarrow x_1 \Rightarrow y_2 \rightarrow x_2 \Rightarrow y_3 \cdots \rightarrow x_n < x_F$$

则 n 为加料板，精馏段有 $(n-1)$ 块板

对提馏段：

$$x_n = x'_1 \rightarrow y'_2 \Rightarrow x'_2 \rightarrow y'_3 \Rightarrow x'_3 \cdots \rightarrow x_m < x_W$$

则提馏段有 $(m-1)$ 块板

最后一块板即为再沸器

理论塔板数的确定方法

1、逐板计算法

精确，但繁琐

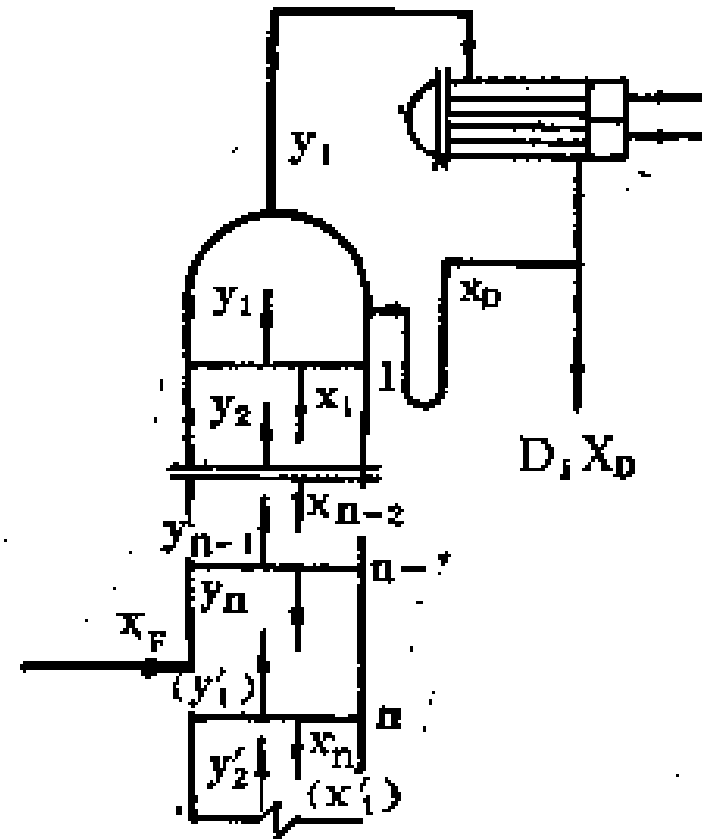


图 12-36 逐板计算法示意图

2、图解法

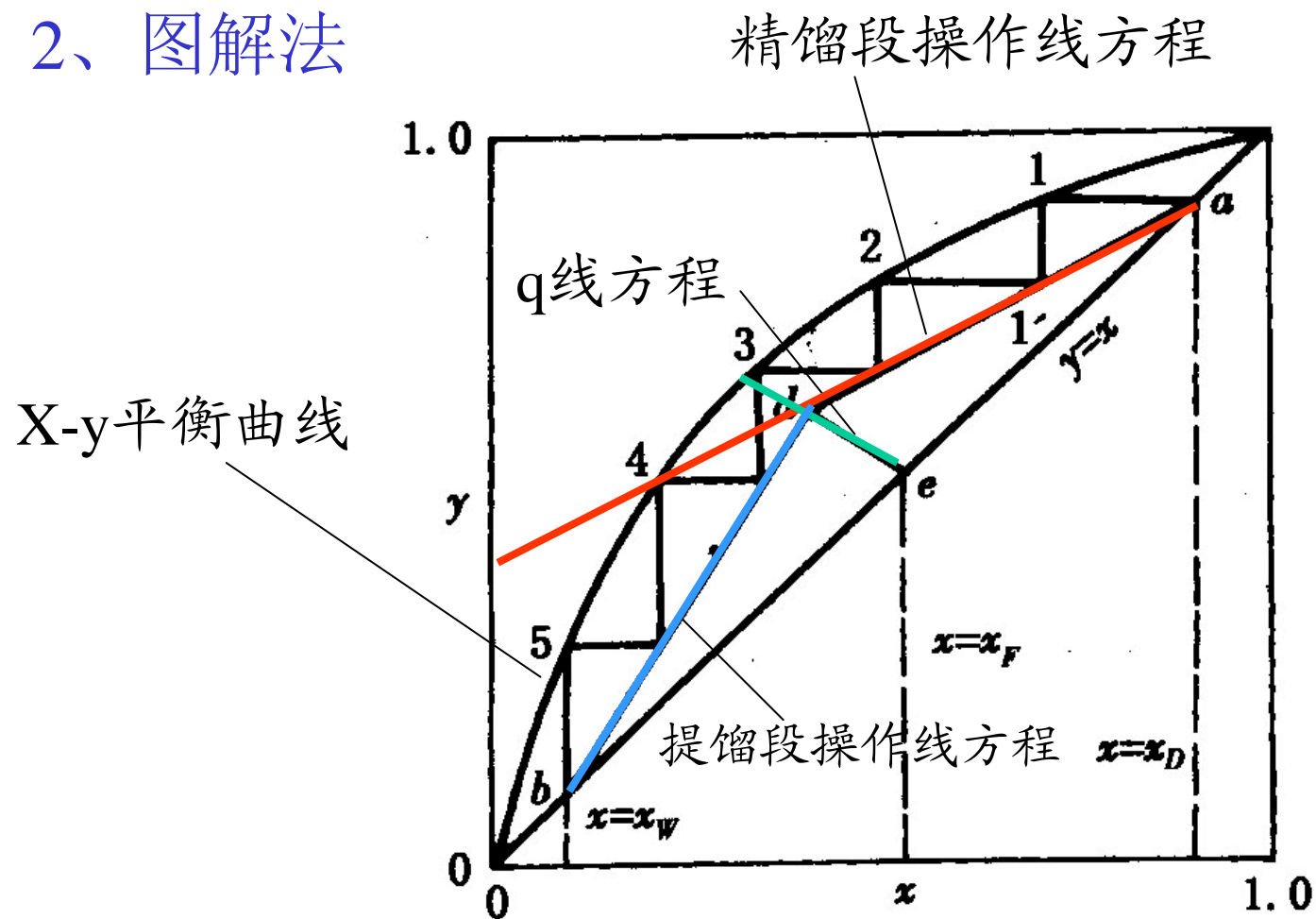


图9-36 图解法求平衡级数

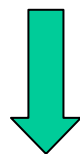
1)、作 x - y 曲线, $y = x$ 曲线 (对角线)

2)、精馏段操作线

$$y = \frac{R}{1+R}x + \frac{x_D}{1+R} \quad (\text{直线方程})$$

\therefore 点 $a(x = x_D, y = x_D)$ 在直线与对角线交点上

\therefore 由点 a 、斜率 $k = \frac{R}{R+1}$ 或截距 $b = \frac{x_D}{R+1}$



标绘精馏段操作线 (直线)

3)、提馏段操作线

$$y = \frac{L + qF}{L + qF - W} x - \frac{W}{L + qF - W} x_W \quad (\text{直线方程})$$

∴ 直线通过对角线上点 b ($x = x_W, y = x_W$)

且与精馏段操作线方程相交

联立两方程：

$$\begin{cases} y = \frac{R}{1+R}x + \frac{x_D}{1+R} \\ y = \frac{L+qF}{L+qF-W}x - \frac{W}{L+qF-W}x_W \end{cases}$$

得交点方程： $y = \frac{q}{q-1}x - \frac{1}{q-1}x_F$ 称为q线方程

由物料衡算知，q线方程过点e ($x = x_F, y = x_F$)，且斜率为 $\frac{q}{q-1}$



q线 ef

q线 ef
精馏段操作线 ac } 交点 → d

连接bd—得提馏段操作线

图解法求 N_T 步骤:

已知: x_D 、 x_w 、 x_F 、 R 、 q 及操作压力 P

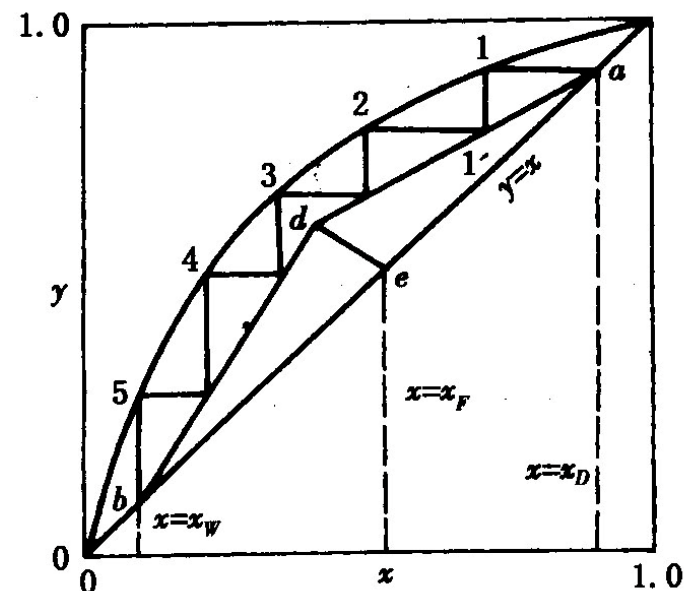
- 1、由数据作 $x-y$ 曲线和对角线 $y=x$
- 2、过 x_D 作垂线与对角线交于 a

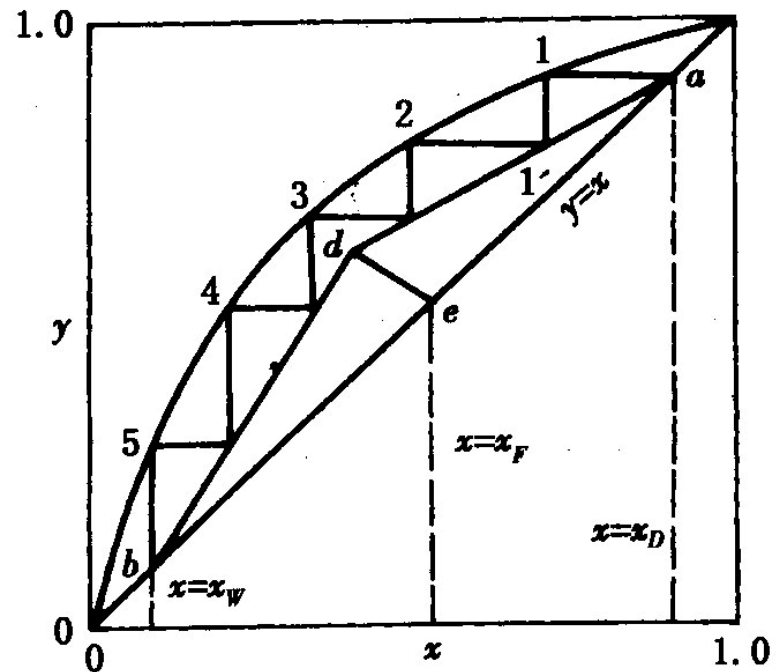
由截距 $\frac{x_D}{R+1}$ 定出 c 点

连接 ac 得精馏段操作线

- 3、过 x_F 作垂线与对角线交于 e

由斜率 $\frac{q}{q-1}$ 作 q 线,得交点 d





- 4、由 x_w 作垂线与对角线交于 b
连接 bd ,得提馏段操作线
- 5、由点 a 作梯级,直至通过 x_w (b 点)为止
- 6、理论板数 $N_T = \text{梯级数} - 1$

(四) 回流比的影响和选择

1、全回流比

$$\text{回流比 } R = \frac{L}{D}$$

$$\text{全回流: } D = 0 \quad \therefore R = \frac{L}{D} = \infty$$

$$\text{操作线斜率 } \frac{R}{R+1} = 1 \quad \text{截距 } \frac{x_D}{R+1} = 0$$

则操作线与对角线重合, $y = x$

此时, 操作线与平衡线偏离最大, 所需理论塔板数最小, 但没有产出。

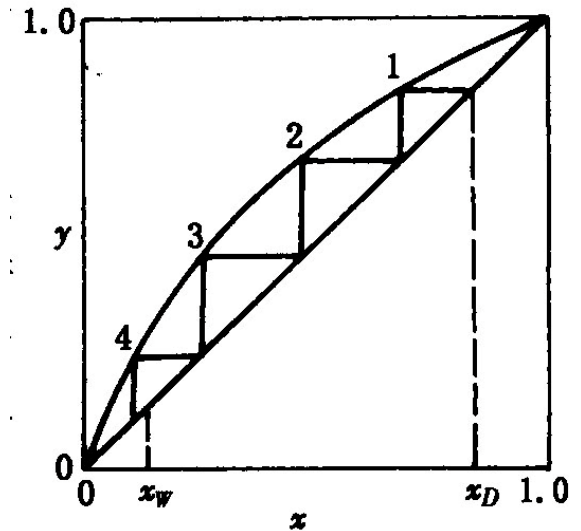


图9-37 全回流时平衡级数

2、最小回流比

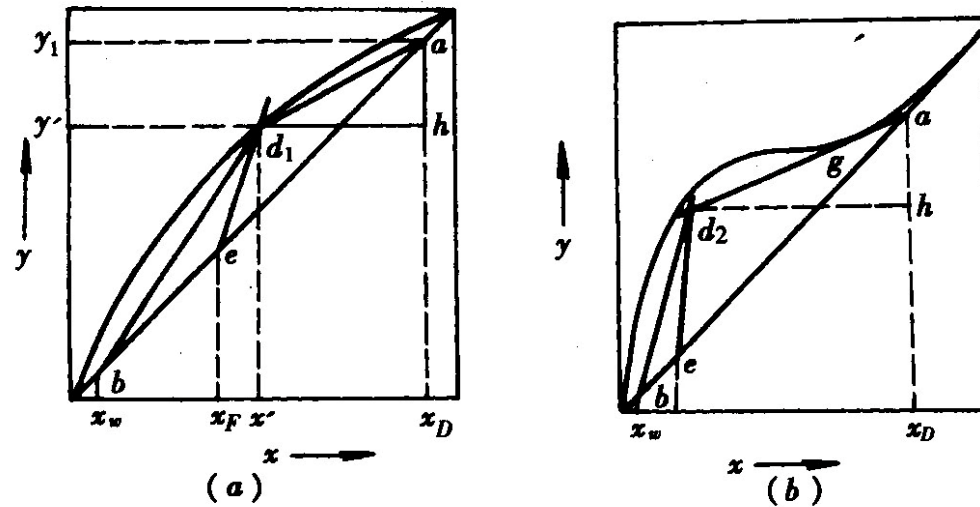


图9-38 图解法求最小回流比

(a) 平衡线无拐点

(b) 平衡线有拐点

若逐渐减小回流比

精馏段和提馏段操作线交点 → 平衡线，

其接触点 d_1 ，称为夹紧点

此时，有最小回流比 R_{\min}

但所需理论塔板数 $\uparrow\uparrow$

一般，将 R_{\min} 做为实际回流比的参考

用图解法求最小回流比:

(1) 相平衡曲线无拐点

q 线交平衡曲线于 d_1 点, 连接 ad_1 , 得精馏段操作线

其斜率为:

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{x_D - y'}{x_D - x'}$$

$$\text{则: } R_{\min} = \frac{x_D - y'}{y' - x'}$$

(2) 相平衡曲线有拐点

过点 a 作平衡线的切线与 q 线相交于点 d_2 ,

$\overline{ad_2}$ 斜率为:

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{\overline{ah}}{\overline{d_2h}}$$

$$\text{则: } R_{\min} = \frac{\overline{ah}}{\overline{d_2h} - \overline{ah}}$$

3、最适回流比

最适回流比应介于两者之间，应使操作费用和设备费用总和为最小。

操作费 = 再沸器加热费 + 冷凝器冷却费

操作费与蒸发量 V 成正比

$$\because V = L + D = RD + D = (R + 1)D$$

$$\therefore V \uparrow, R \uparrow,$$

可见，操作费随回流比 R 增大而增大

设备费 = 精馏塔费 + 附属

设备费

其关系如图9-39所示

一般，最适回流比

$$R_{opt} = (1.2 \sim 1.5)R_{min}$$

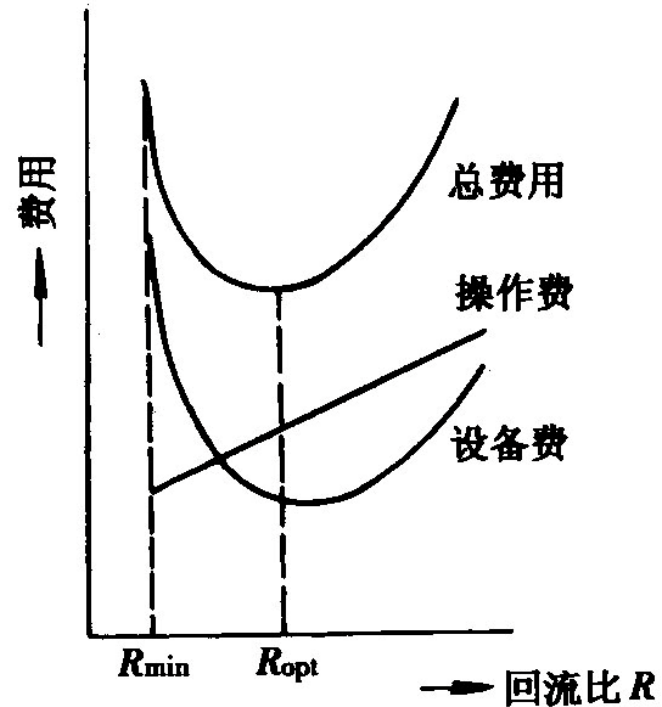


图9-39 最适宜回流比

例 9-9 在 101kPa 压力下精馏 A - B 双组分混合液，进料温度为 328K，进料流量为 27.8mol/s，进料组成为轻组分 A 的摩尔分数 $x_F = 0.45$ 。馏出液组成 $x_D = 0.95$ ，釜液组成 $x_w = 0.10$ ，回流比为 4.0。已知料液比热容为 159J/(mol·K)，汽化热为 32.1kJ/mol，泡点温度为 367K。求

- (1) 塔顶和塔底产品流量；
- (2) 平衡级数 N；
- (3) 最小回流比；
- (4) 全回流时的平衡级数。

A - B 双组份体系的液汽平衡关系如下：

x_A	0	0.13	0.29	0.41	0.58	0.78	1.00
y_A	0	0.26	0.46	0.63	0.78	0.90	1.00

解：(1) 由全塔物料衡算和 A 组分衡算式：

$$F = D + W = 27.8$$

$$Fx_F = Dx_D + Wx_w$$

$$27.8 \times 0.45 = 0.95D + (27.8 - D) \times 0.10$$

解得

$$D = 11.5 \text{ mol/s} \quad W = 16.3 \text{ mol/s}$$

(2) 在 $y-x$ 图上作 $y=x$ 对角线，据 y_A-x_A 平衡关系，作相平衡曲线，如图 10-20 所示。

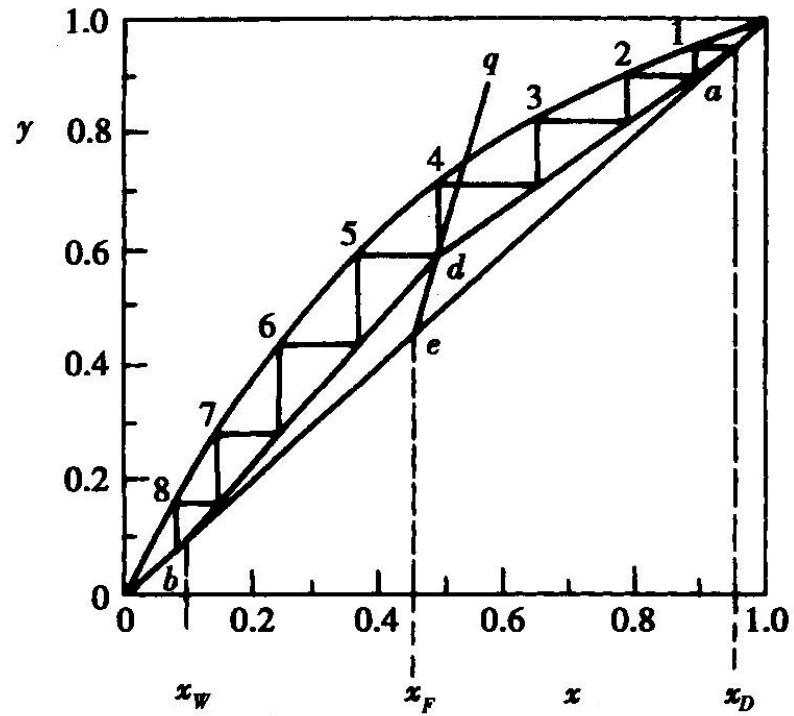
精馏段操作线方程为

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1} = \frac{4}{4+1}x_n + \frac{0.95}{4+1} = 0.80x_n + 0.19$$

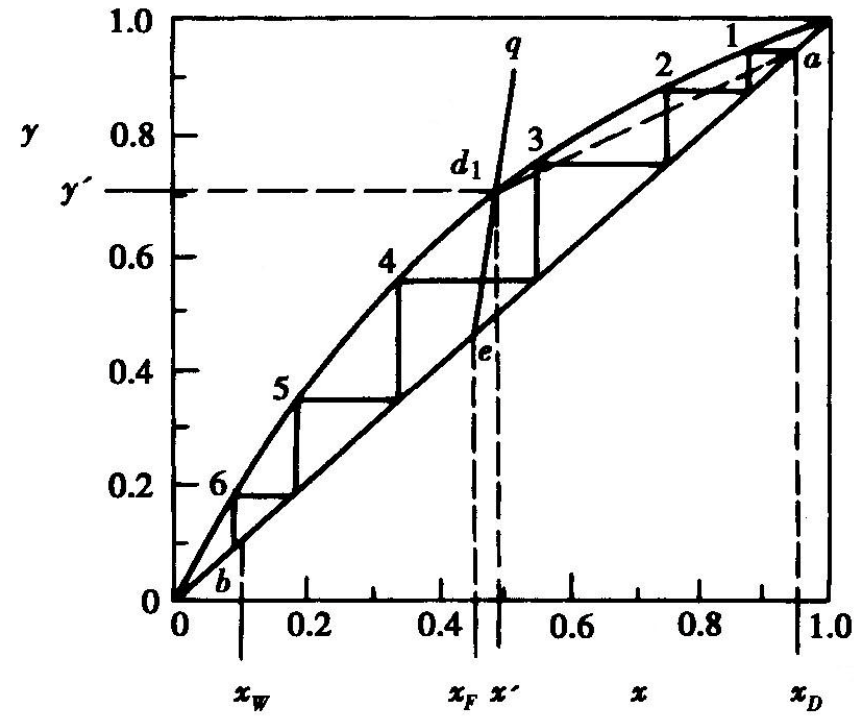
从对角线上 $y=x=x_D=0.95$ 的点 a ，作斜率为 0.80 的直线，即得精馏段操作线，如图 10-20a 所示。

由式 (10-34)，求 q 值：

第九章 第三节 蒸馏



(a)



(b)

$$q = \frac{H_V - H_F}{H_V - H_L} = \frac{\Delta_V h + c_p (T_b - T_F)}{\Delta_V h} = \frac{32.1 + 0.159 \times (367 - 328)}{32.1} = 1.20$$

q 线斜率

$$\frac{q}{q-1} = \frac{1.20}{1.20-1} = 6.00$$

从对角线上 $y = x = x_F = 0.45$ 的点 e 作斜率为 6.00 的直线，即为 q 线，与精馏段操作线交于点 d 。

连接对角线上 $y = x = x_W = 0.10$ 的点 b 和点 d ，即为提馏段操作线。

从点 a 开始，在操作线和平衡线之间作梯级到点 b ，得 $N = 8$ 。第 5 级为进料级，如图 10-20a 所示。

(3) 如图 10-20b 所示，将 q 线与平衡线的交点 d_1 与点 a 连成直线，该直线的斜率为：

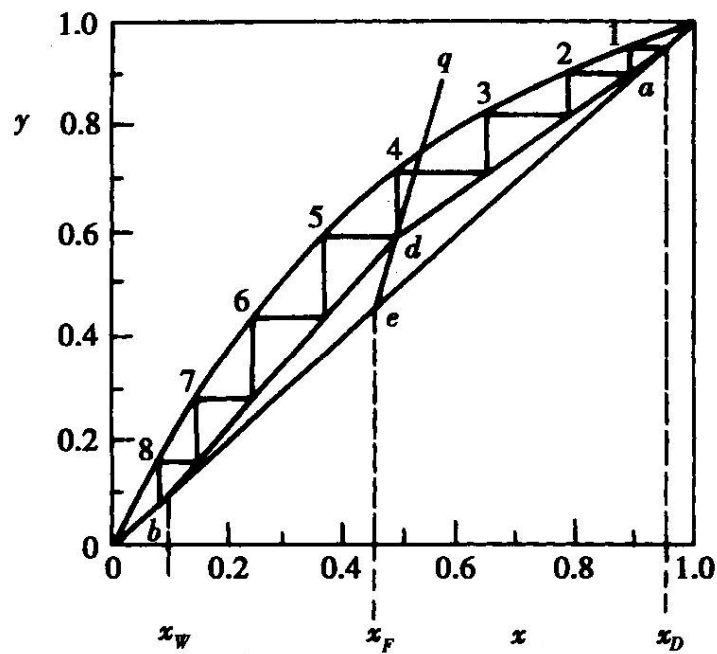
$$\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{x_D - y'}{x_D - x'} = \frac{0.95 - 0.70}{0.95 - 0.49} = 0.54$$

$$R_{\min} = 1.17$$

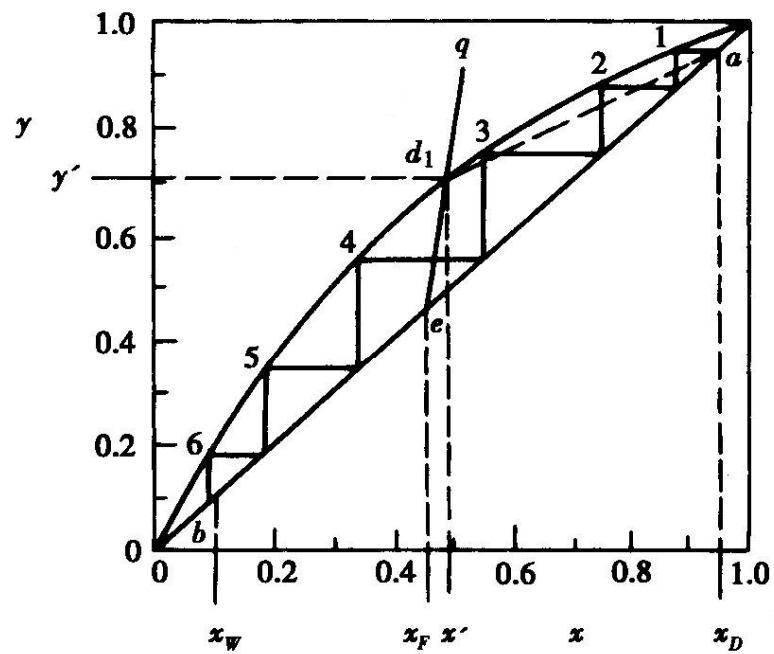
(4) 从点 a 开始在对角线 $y = x$ 和平衡线间作梯级至点 b ，得全回流时的平衡级数 $N = 6$ 。

例9-9中若为饱和液体进料，其它条件不变，
试由图解法确定：

- 1、理论塔板数 N
- 2、最小回流比



(a)



(b)

三、精馏装置

精馏装置主要由精馏塔和附属装置构成。

精馏工艺流程

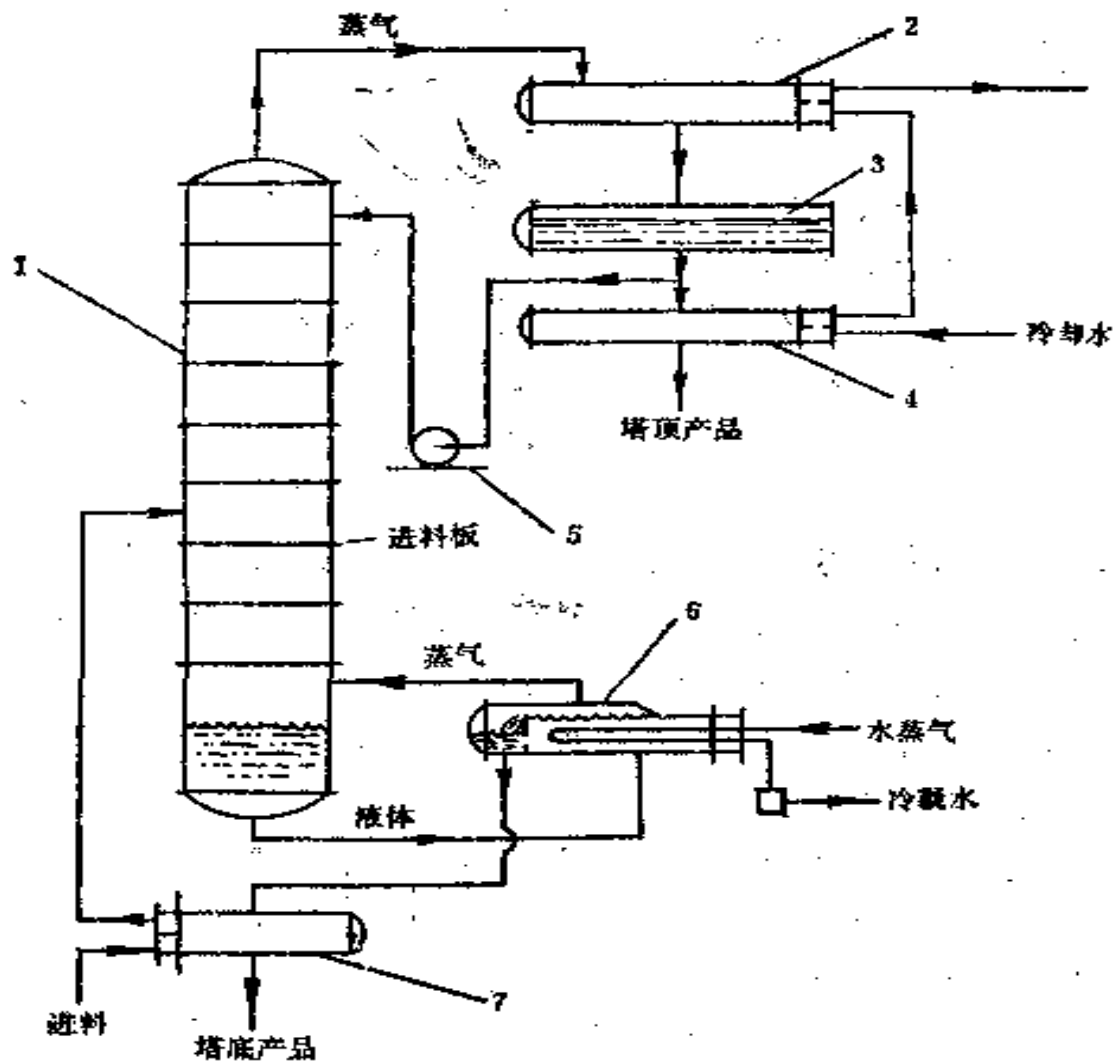


图6-10 连续精馏流程

精馏塔

精馏塔分为填料塔和板式塔

(一) 填料塔

主要由塔体、填料和塔内件构成。

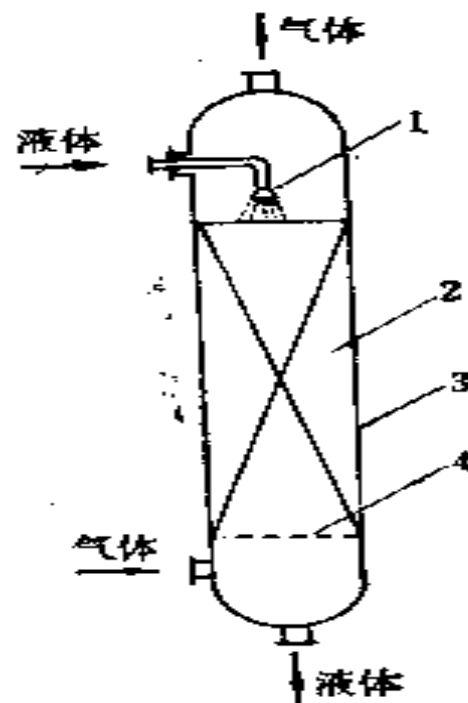


图12-25 填料塔结构简图

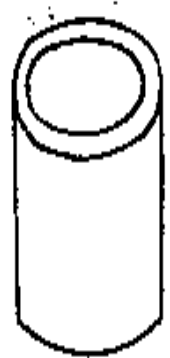
- 1—喷头；
- 2—填料；
- 3—塔体；
- 4—支承板

填料塔总体结构



弹溅式分布器





(1) 瓷环



(2) 鲍尔环



(3) 鞍型填料

图 12-26 填料的形式

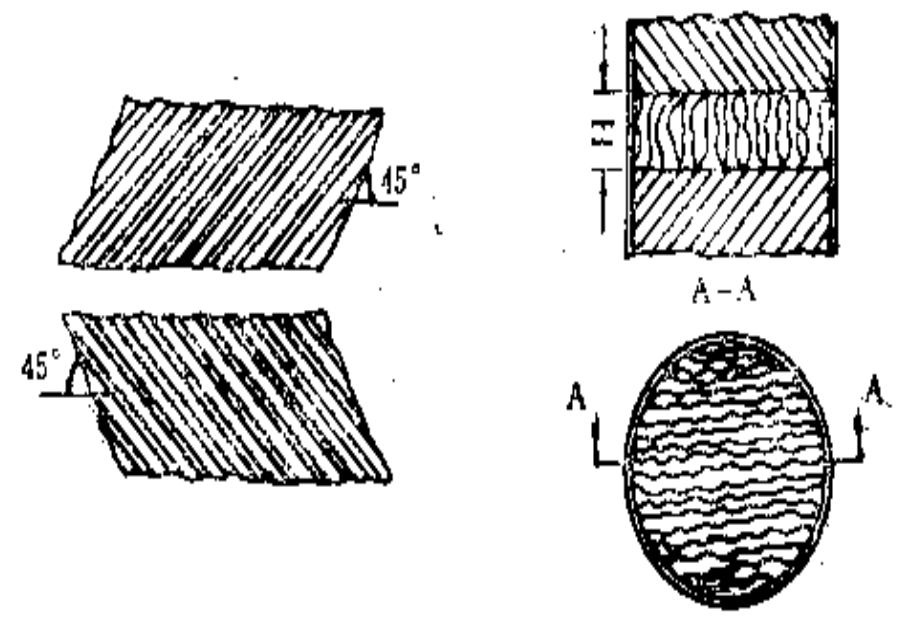
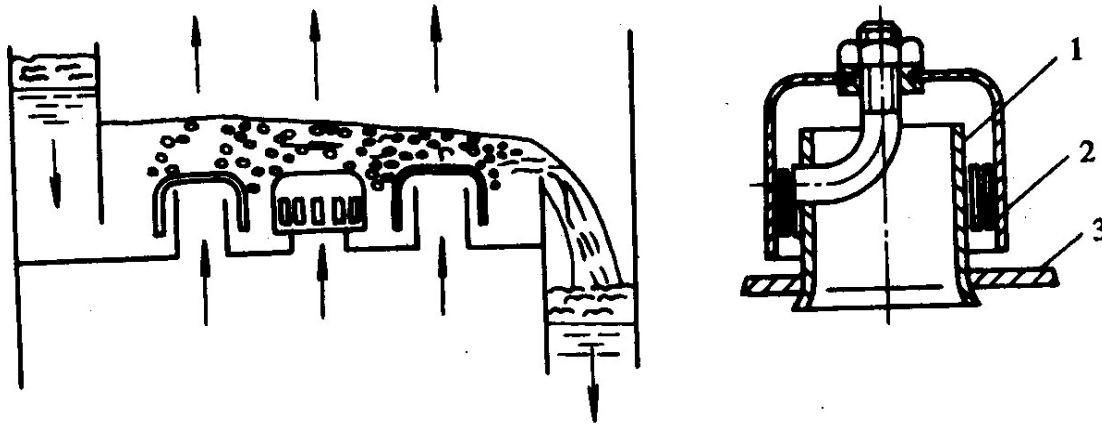


图 12-27 波纹填料

(二) 板式塔的结构与性能

1、塔板结构

(1) 泡罩塔板



1、升汽管 2、泡罩 3、塔板

(2) 浮阀塔板

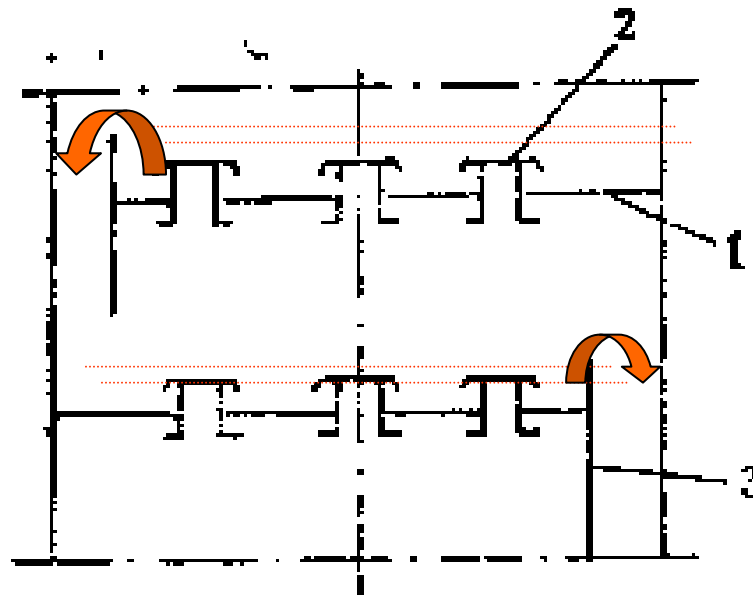


图 12-23 浮阀塔板示意图

1—塔板； 2—浮阀； 3—溢流管

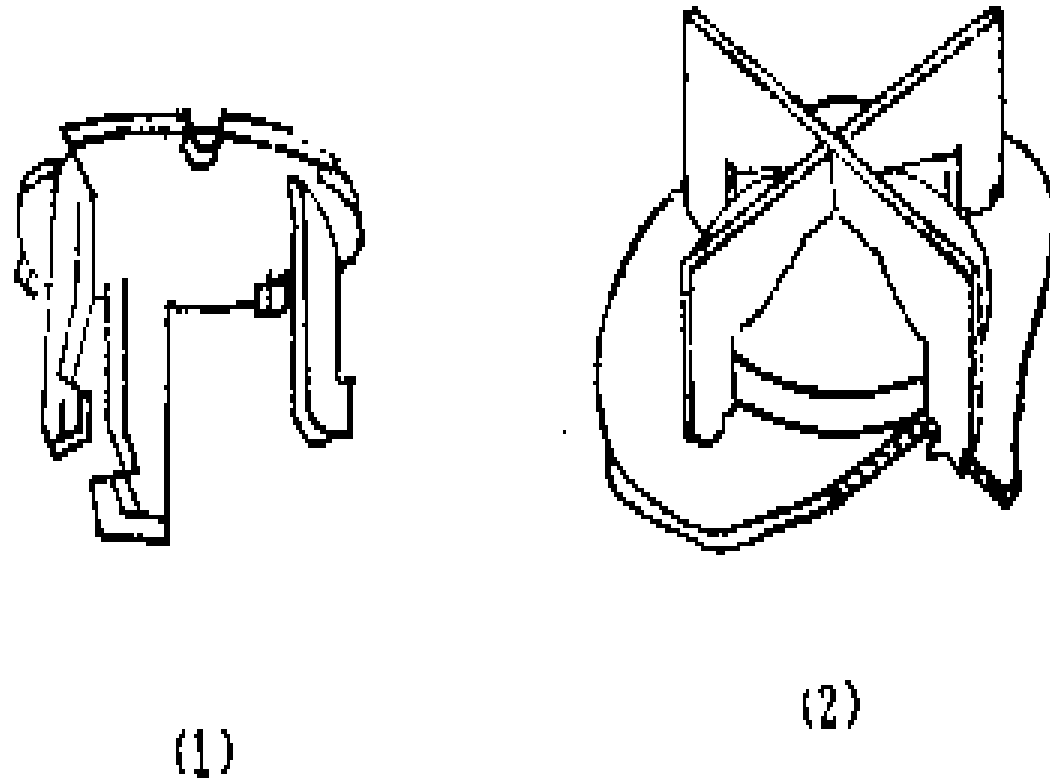


图 12-24 盘式浮阀

(1) V型浮阀 (2) 十字架型浮阀

浮阀塔板

优点:

生产能力大、操作弹性大、分离效率高、结构简单、成本低

缺点:

气速低时易漏液、阀片有时会卡死、吹脱



(3) 筛孔塔板

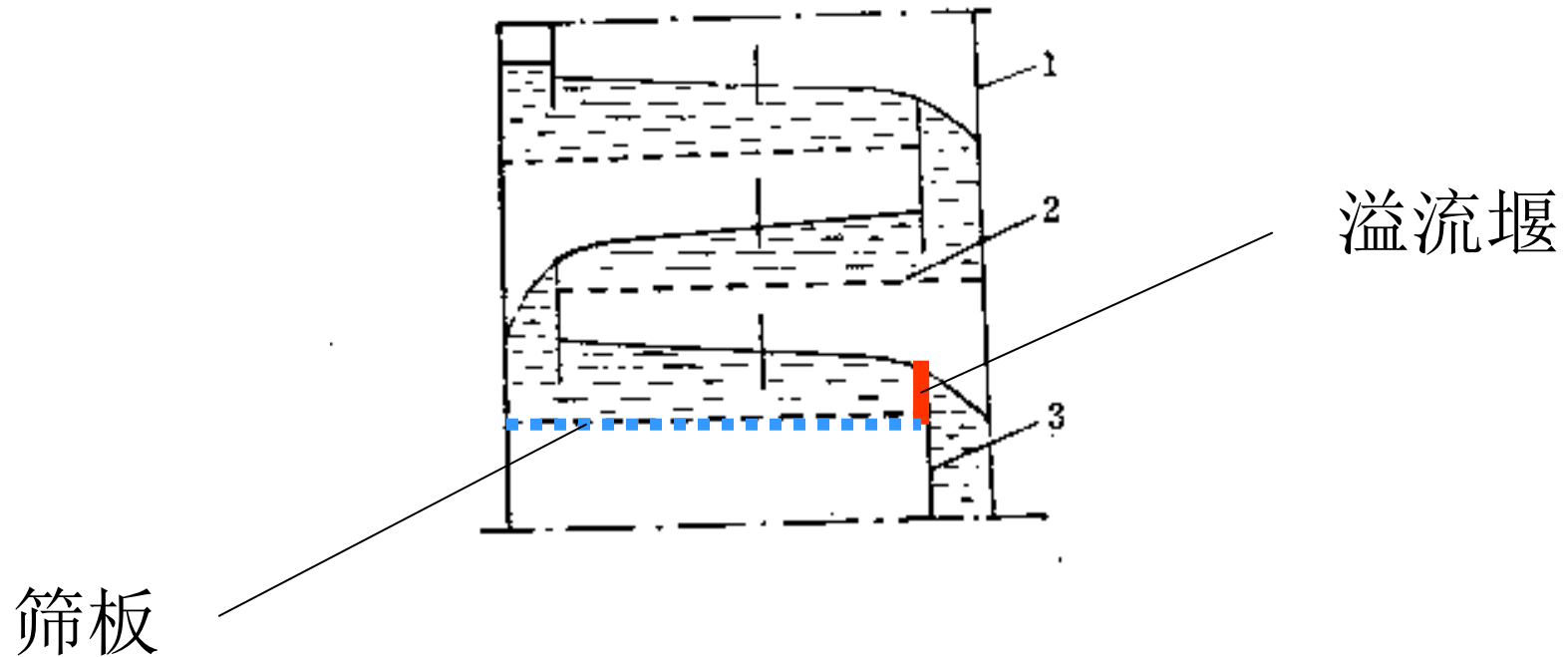
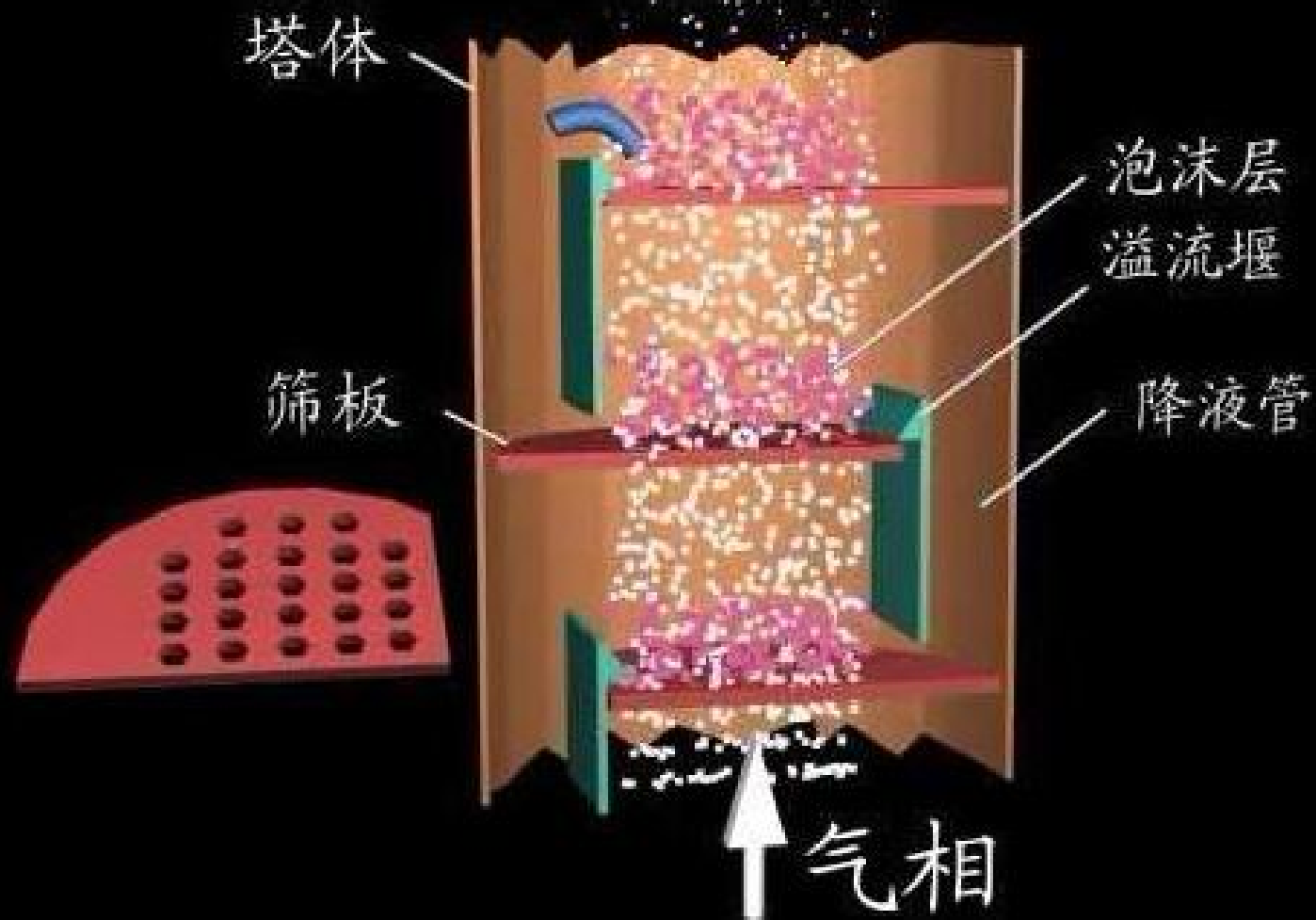


图 12-22 筛板塔的示意图

1—塔体；2—筛板；3—溢流管（或溢流堰）



精馏塔塔板结构

液相流通装置

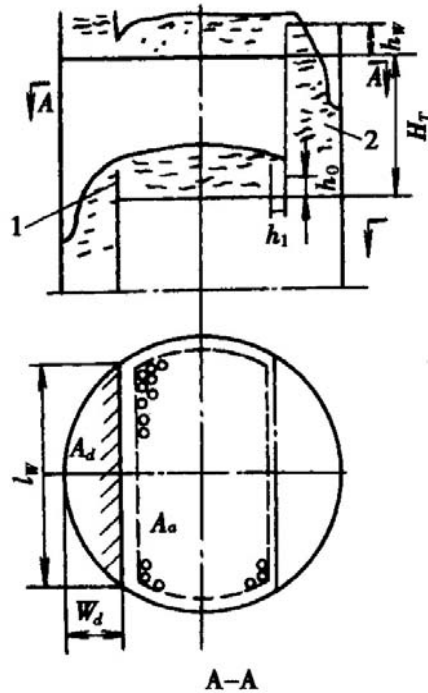


图9-43 液相流通装置
1. 溢流堰 2. 降液管

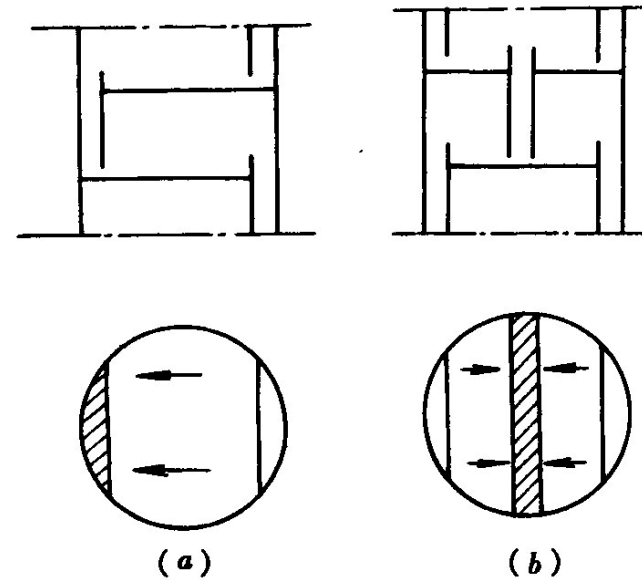


图9-44 塔板流型
(a) 单流型 (b) 双流型

2、塔板上流体的力学状况

(1) 汽液接触状态

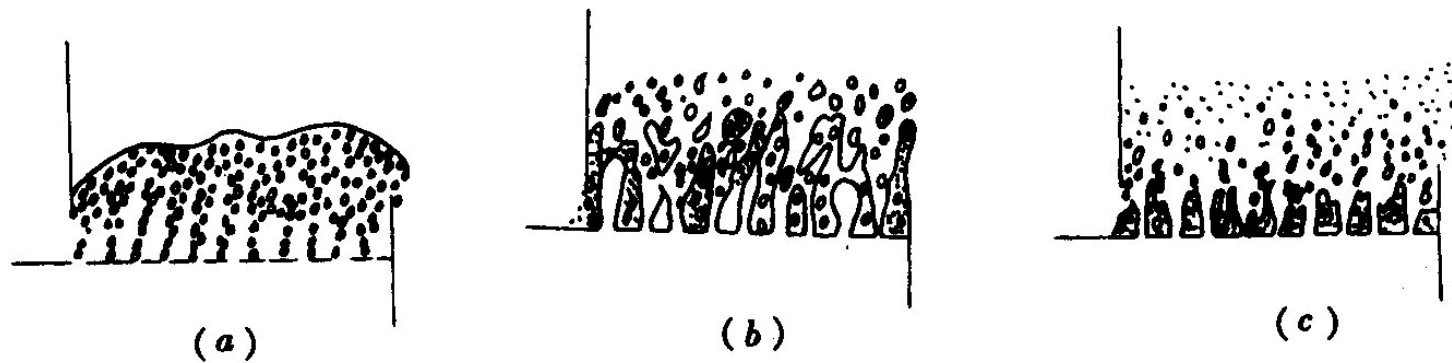


图9-45 塔顶上气液接触状态
(a) 鼓泡态 (b) 泡沫态 (c) 喷射态

(2) 漏液和液泛

(1) 漏液

汽速过小时，液体从板孔短路漏下的现象。

(2) 液泛

分为两种：

夹带液泛

降液管液泛

故塔板上应保持合适的汽液负荷

(二) 精馏装置的节能

1、热泵精馏

对低温蒸汽压缩，升温，用作再沸器的热源。

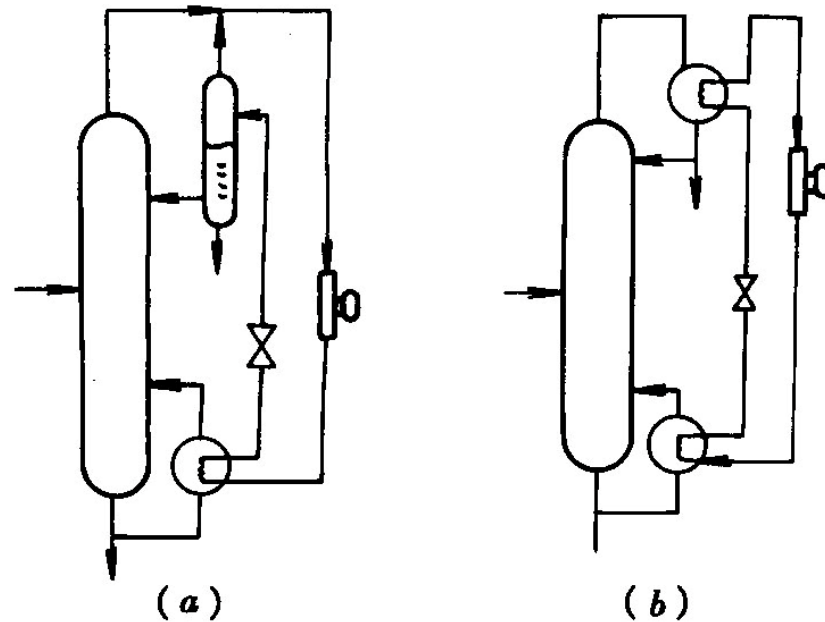
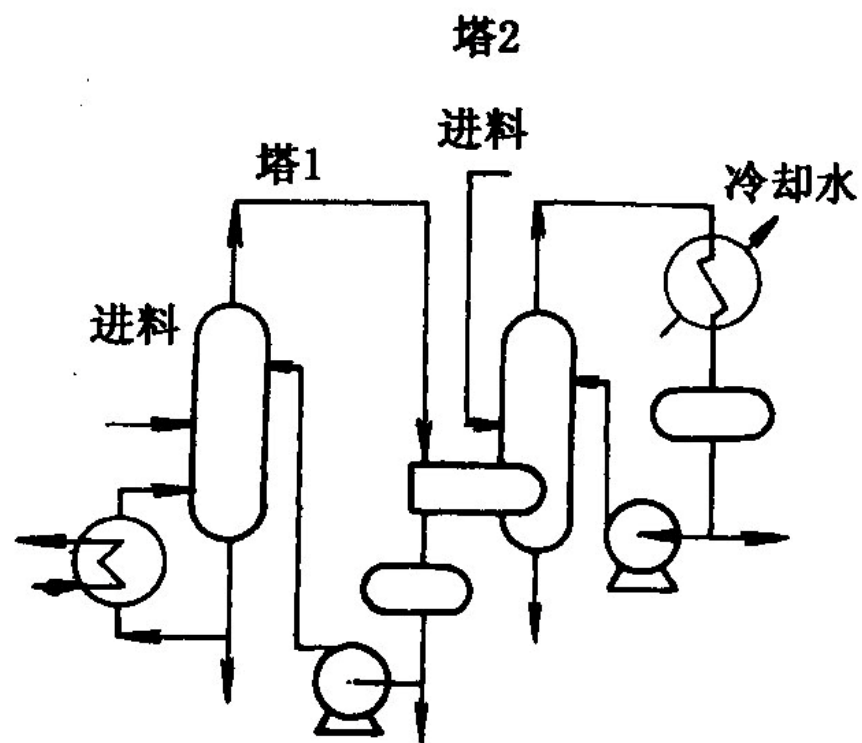


图9-49 热泵蒸馏图

(a) 开式系统 (b) 闭式系统

2、多效蒸馏

将前级的塔顶蒸汽
作为次级塔的加热蒸汽
常用双效蒸馏



9-50 甲醇-水的双效蒸馏

第四节 萃 取

萃取：使溶剂与物料充分接触，将物料中的组分溶出并与物料分离。

液—液萃取：用液体溶剂萃取与之不互溶的液体中的组分。

固—液萃取(浸取)：用液体溶剂萃取固体物料中的组分

超临界流体萃取：用超临界流体作萃取溶剂的萃取操作。

二、浸取

浸取属于固-液萃取，又称为浸出、提取或浸提。

(一) 浸取的基本原理

1. 浸取平衡

(1) 平衡级

简单的溶解平衡模型

简单的溶解平衡模型：

假定物料中多孔惰性固体内部含有溶质，如果物料与溶剂经过足够长的时间接触后，溶质完全溶解，并且固体空隙中液体浓度等于周围液体的浓度。这种接触级称为**平衡级**，或称**理想级**。

在浸取理想级中，液相与固相溶质间的平衡关系不是饱和关系。

图示为一单级浸取器。送入的原料包含惰性固体和可溶部分：

$$F = B + L_0$$

$$W = B + L_1$$

L_1 - 底流液

如果此浸取器为一平衡级

L_1 的浓度 = V_1 的浓度

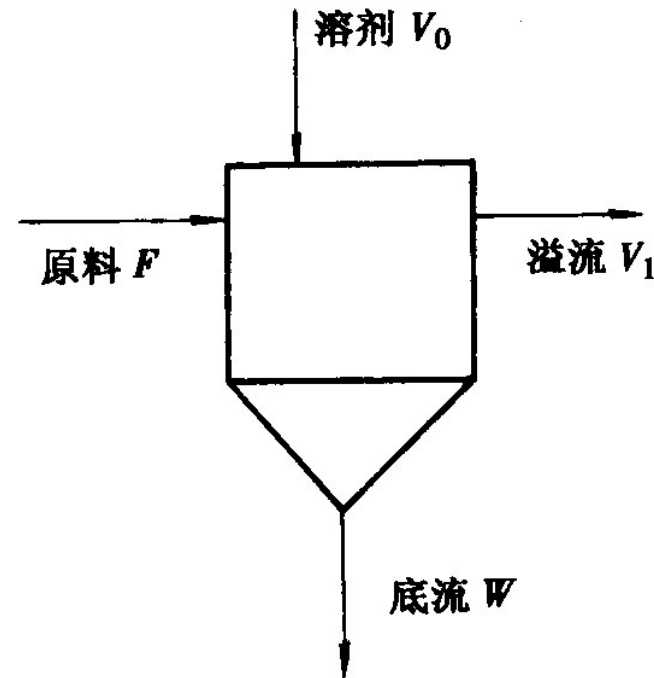


图9-66单级浸取器

(2)平衡相图

浸取时惰性固体是不溶的，所以可以采用较为简便的坐标法表达浸取操作平衡(Ponchon-Savarit相图法)，坐标量三个： N, x, y

$$\text{质量比 } N = \frac{m_B}{m_A + m_C}$$

m_B, m_A, m_C — 混合物中惰性固体B，溶质A，溶剂C的质量（kg）。

对溢流， $N=0$ 。对底流， N 随固体含液量的不同而不同。

$$y = \frac{m_A}{m_A + m_c} \text{ (溢流)}$$

$$x = \frac{m_A}{m_A + m_c} \text{ (底流液)}$$

注意：质量分数 x, y 的基准不包括B的量。若被浸取原料不含溶剂C，则 $x_0=1$ 。若为纯溶剂进料， $y_0=0$ 。

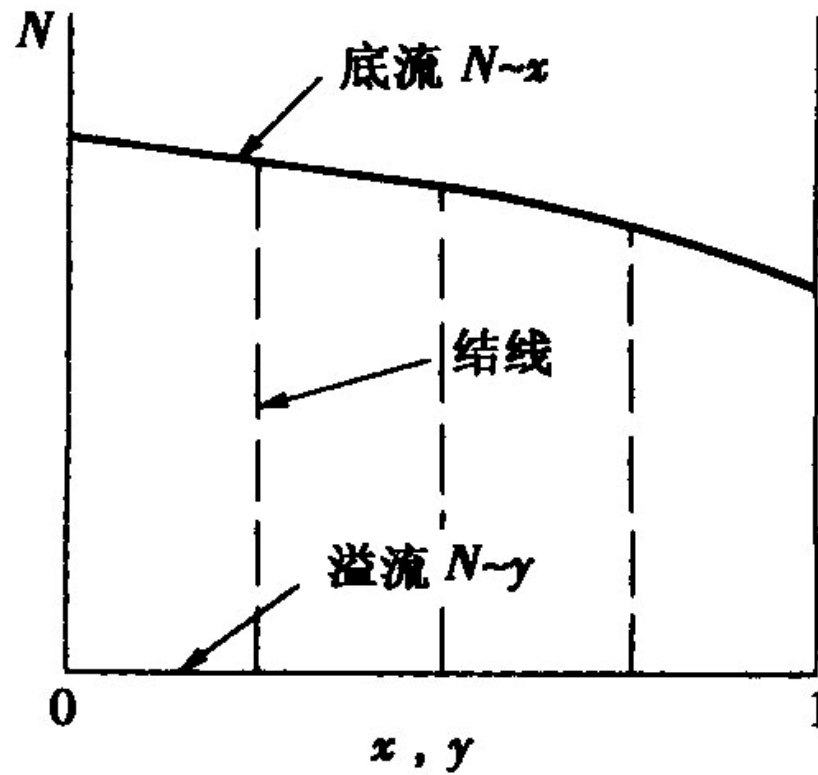


图9-67 浸取平衡相图

(3) 单级浸取的物料衡算

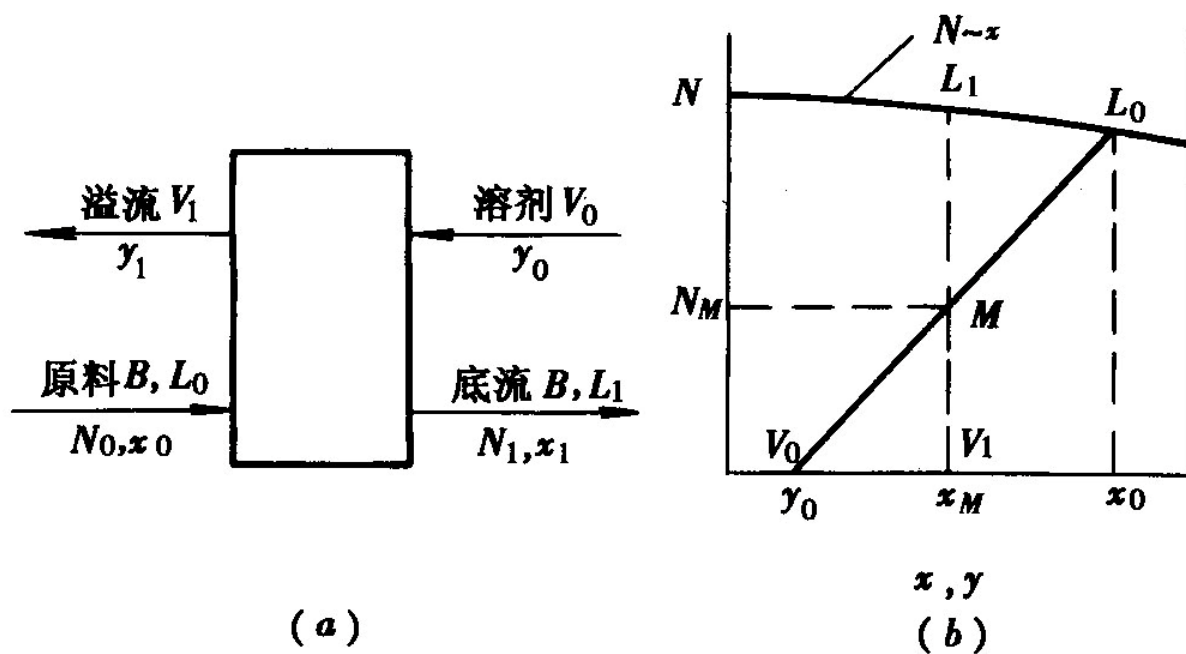


图9-68单级浸取过程
(a) 流程 (b) 相图

总物料衡算 $B + L_0 + V_0 = B + L_1 + V_1$

或 $L_0 + V_0 = L_1 + V_1 = M$

溶质A衡算 $L_0 x_0 + V_0 y_0 = L_1 x_1 + V_1 y_1 = M x_M$

固体B衡算 $B = N_0 L_0 = N_1 L_1 = N_M M$

M—总液流量, M点坐标(N_M, X_M)

由以上几式知：

$$L_0x_0 + V_0y_0 = Mx_M = (L_0 + V_0)x_M = L_0x_M + V_0x_M$$

$$L_0(x_0 - x_M) = V_0(x_M - y_0)$$

或
$$\frac{L_0}{V_0} = \frac{x_M - y_0}{x_0 - x_M}$$

根据杠杆规则，在相图图9-68（b）中， L_0MV_0 必在一条直线上。同样， L_1MV_1 亦在一直线上，M点是两直线交点。这样就可根据进料和溶剂的数据，求解溢流流量 V_1 和底流液流量 L_1 。

单级浸取的物料衡算

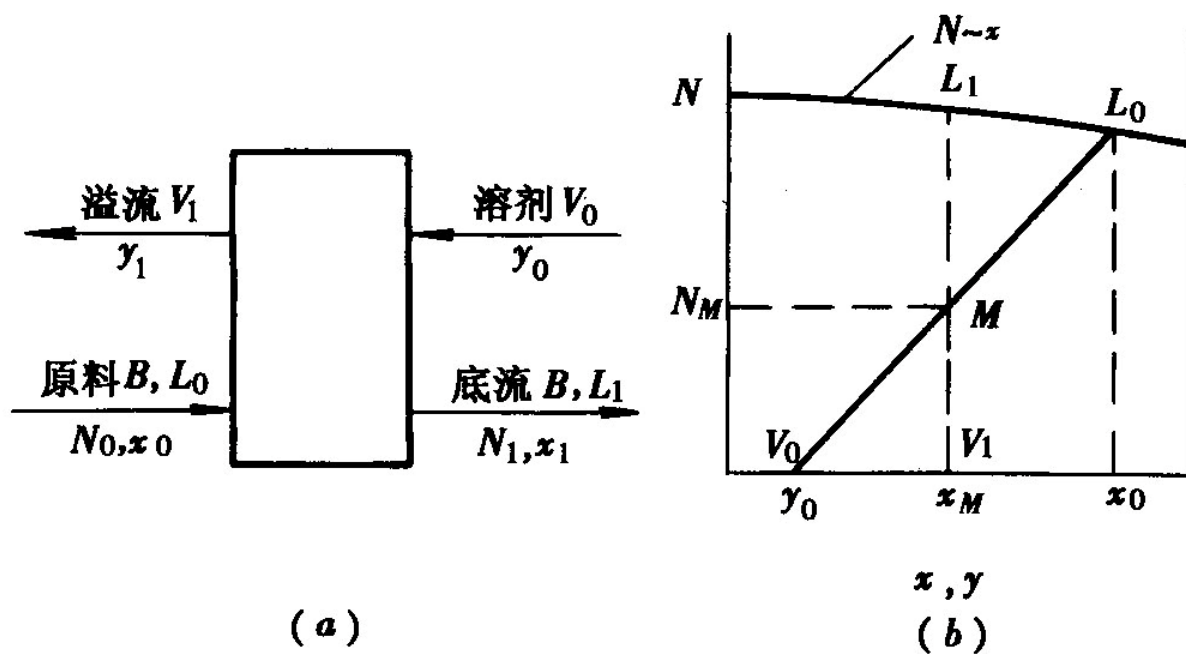


图9-68单级浸取过程

(a) 流程 (b) 相图

例9-12 在单级浸取器中，用100kg纯己烷对含油20%的100kg大豆豆片进行浸取，浸取为理想级，排出的底流 $N_1=150$ 。计算溢流量及组成以及底流液量。

解:已知: $V_0 = 100\text{kg}$, $y_0 = 0$, $L_0 = 100 \times 20\% = 20\text{kg}$

$$B = 100 - 20 = 80\text{kg},$$

$$N_0 = 80 / 20 = 4.0, x_0 = 1.0$$

$$N_1 = 1.50$$

第九章 第四节 萃取

画出相图如图9-59，作 $N=1.50$ 的水平线即为底流线，溢流线即横轴。由 $N_0=4.0, x_0=1.0$ ，确定点 L_0 。由 $y_0=0$ ，在横轴上确定点 V_0 ，即坐标原点。点 M 坐标由物料衡算确定。

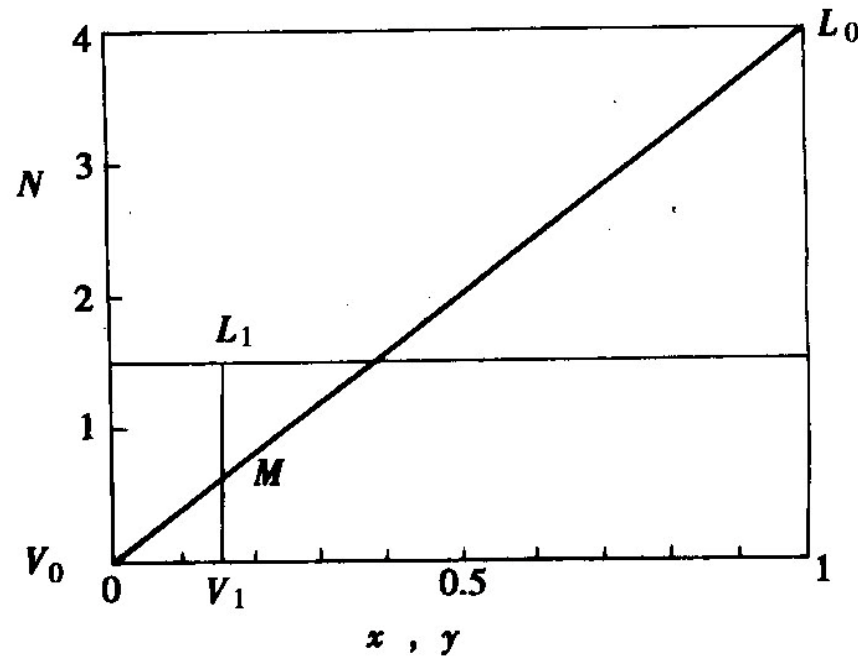


图9-59 例9-12附图

由式 (9-167) : $M = L_0 + V_0 = 20 + 100 = 120kg$

由杠杆规则式 (9-171) :

$$\frac{L_0}{V_0} = \frac{x_M - y_0}{x_0 - x_M}$$

$$\frac{20}{100} = \frac{x_M - 0}{1.0 - x_M} = 0.2$$

$$x_M = \frac{0.2}{1 + 0.2} = 0.17$$

由于为平衡级，则

$$x_1 = y_1 = x_M = 0.17$$

作 $X=0.17$ 的垂直线，交直线 $LOVO$ ，得点 M ，交底流线得点 $L1$ ，交溢流线得点 $V1$ 。

$$L_1 = N_0 L_0 / N_1 = 4.0 \times 20 / 1.50 = 53.3 \text{kg}$$

$$V_1 = M - L_1 = 120 - 53.3 = 66.7 \text{kg}$$

2.浸取机理

从微观看，浸取过程：

- (1) 溶剂由体相传递到固体表面；
- (2) 溶剂由固体表面传递到固体中的孔隙内；
- (3) 固体中的溶质溶解到溶剂中；
- (4) 溶质穿过固体中溶剂扩散到固体表面；
- (5) 溶质由固体表面扩散到溶剂体相中。

(二) 浸取流程和设备

1. 浸取流程

(1) 多级错流浸取

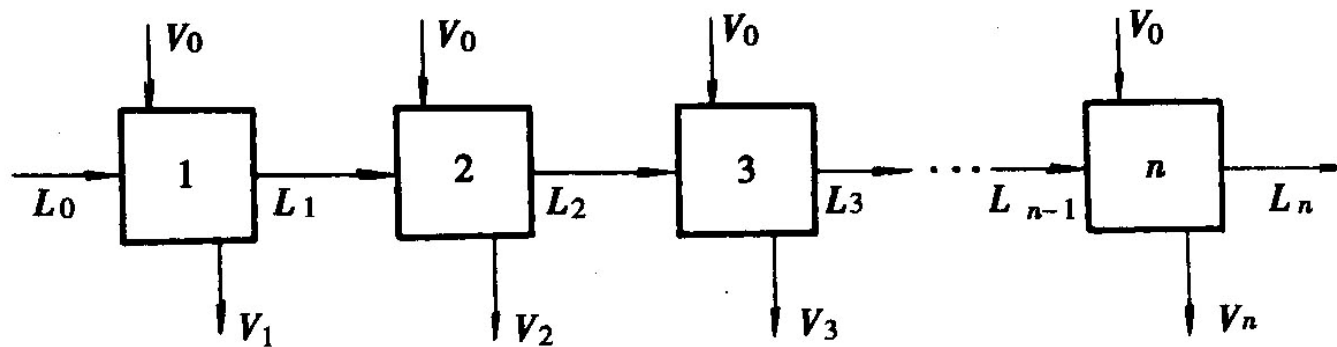


图9-70 多级错流浸取流程

(2) 多级逆流浸取流程

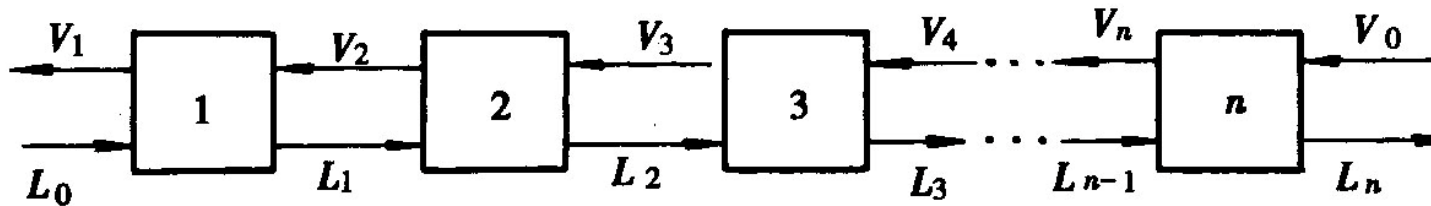


图9-71 多级逆流浸取流程

(3) 微分逆流浸取流程

固体物料和溶剂互相成逆向连续流动接触，完成浸取操作。固体物料流动依靠重力或螺旋输送机的推力而实现。

2.浸取设备

主要分两类：级式固定床浸取装置和连续移动床浸取装置。

(1) 级式固定床浸取装置

①单级浸取罐

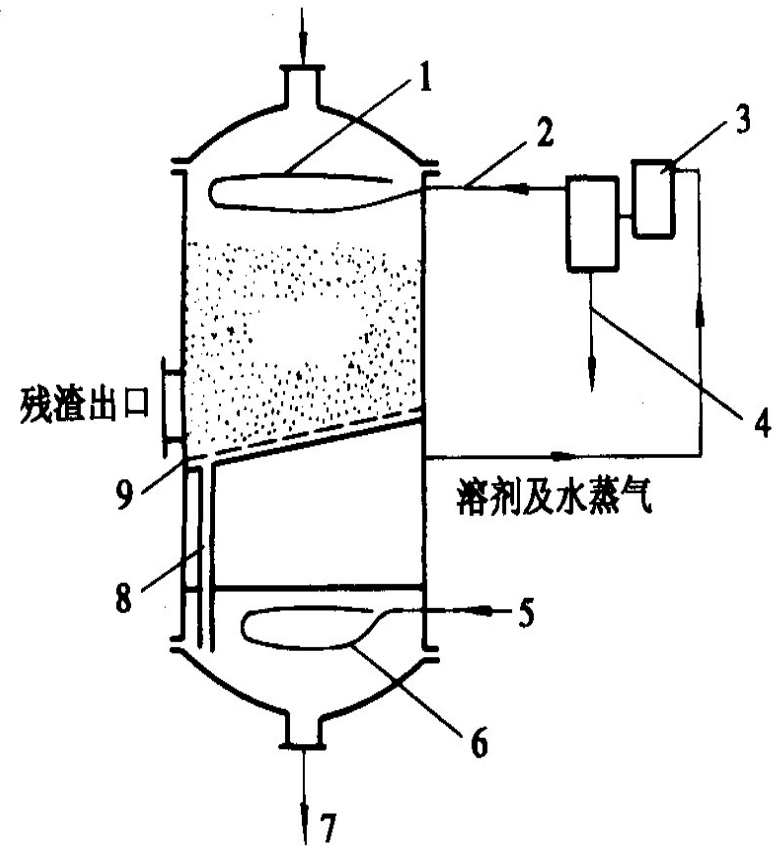


图9-72单级浸取罐

1. 溶液喷管 2. 溶剂 3. 冷凝器
4. 废水 5. 蒸汽 6. 蒸汽蛇管
7. 制品 8. 溶液导管 9. 多孔假底

②多级固定床浸取系统

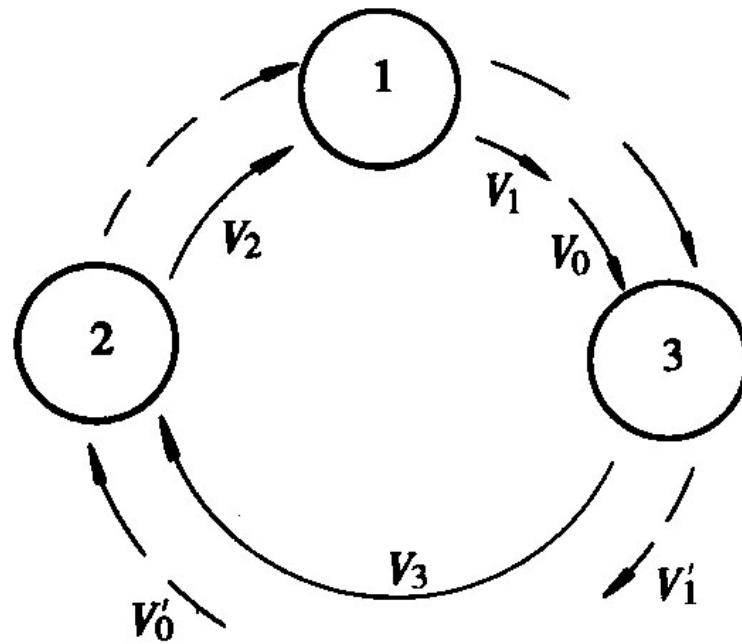


图9-73 三级逆流固定床浸出系统

(2) 连续移动床浸取装置

连续移动床浸取装置有三种形式：浸泡式、渗滤式以及浸泡和渗滤相结合的形式。

浸泡式典型设备有U型管式浸取器和板式浸取塔等，渗滤式典型设备有篮式浸取器和平转式浸取器等。

①U型管式浸取器

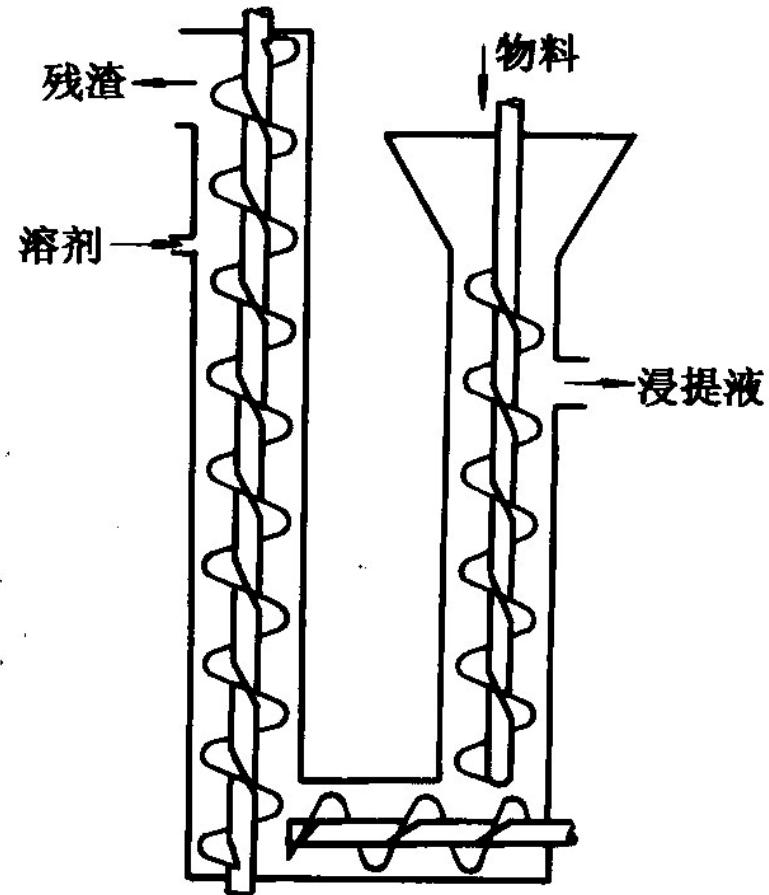


图9-74 U型管式浸取器

②板式浸取塔

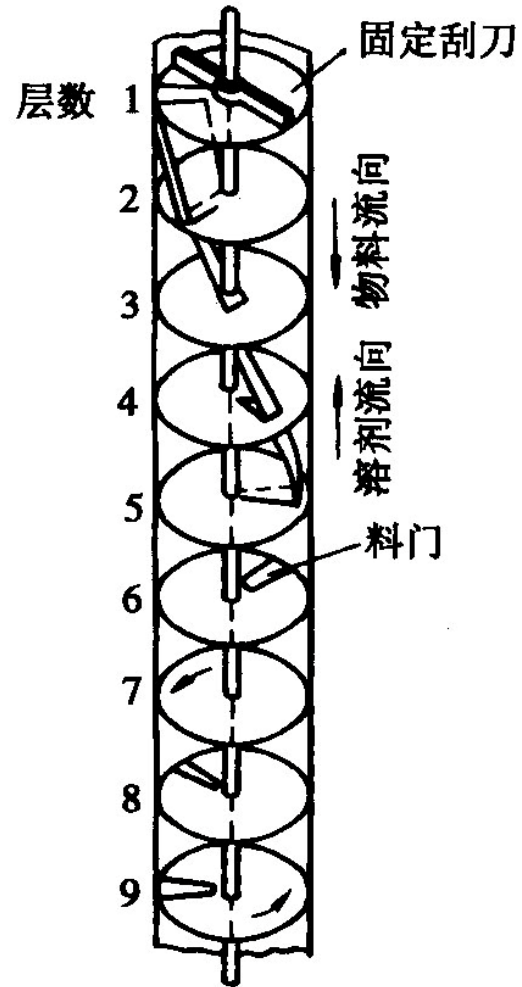


图9-75 板式浸取塔

③ 篮式浸取器

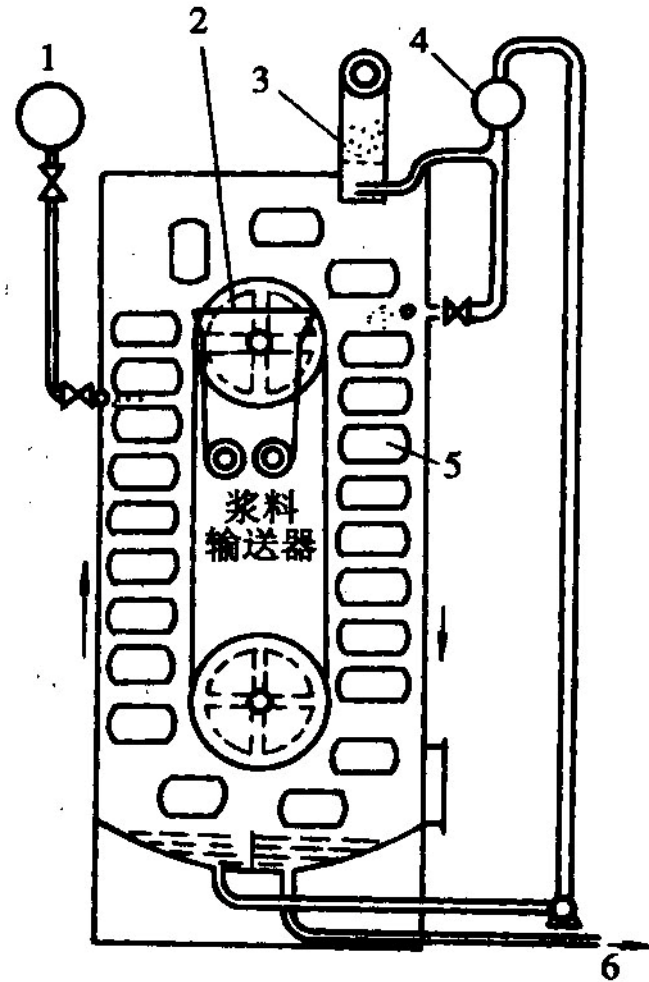


图9-76 篮式浸取器

④平转式浸取器

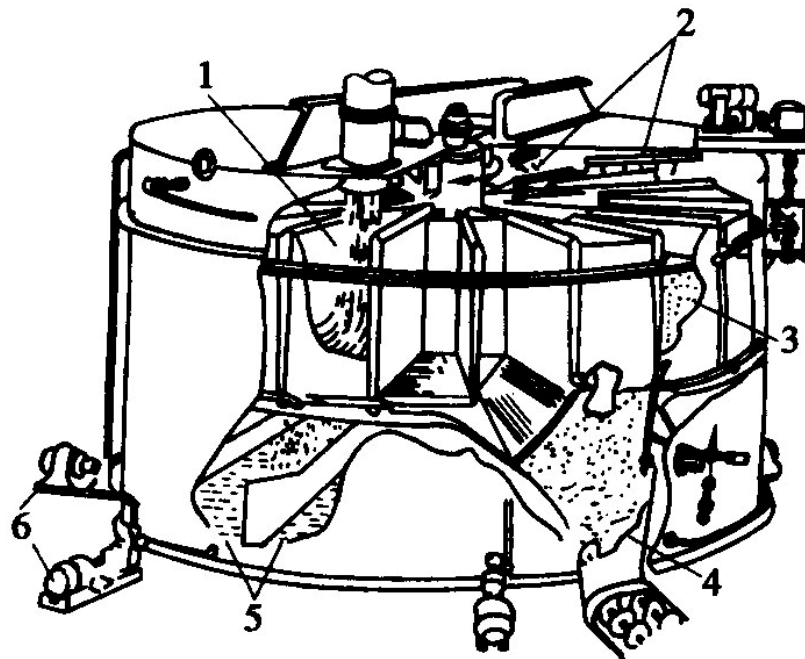


图9-77 平转式浸取器

表9-3 平转式浸取器时间分配

过 程	进 料	浸 取	沥 干	排 料	闭 门	合 计
隔室数	1	12	2.5	1	1.5	18
时间 (min)	6	72	15	6	9	108

(三)多级逆流浸取级数的计算

多级浸取级数的计算建立在平衡级概念的基础上，一般，先计算出平衡级数，再由小规模的模拟实验确定级效率或总体效率，确定出实际级数。

浸取平衡级数的计算方法主要有解析法和图解法。

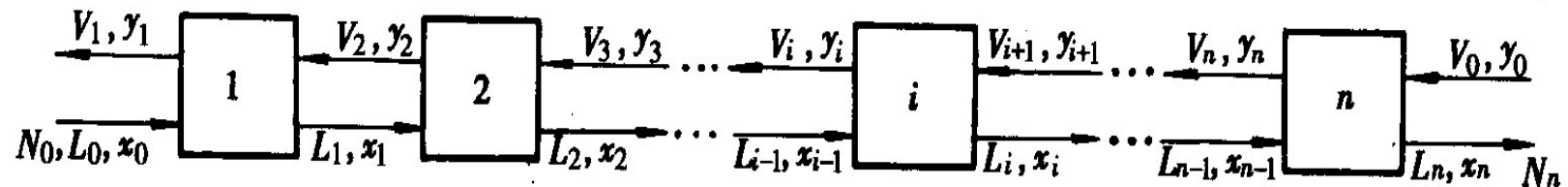
1.解析法求浸取平衡级数

2.图解法求浸取平衡级数

解析法求浸取平衡级数虽简便可行，但要求恒底流操作条件。如逐级条件变化较大，恒底流假设不适用，需采用代数法逐级计算，工作比较繁重。而用图解法则比较简便和直观。

第九章 第四节 萃取

用Ponchon-Savarit图解法求多级逆流浸取的平衡级数



总溶液衡算：
$$L_0 + V_0 = L_n + V_1 = M$$

溶质A的衡算：
$$L_0 x_0 + V_0 y_0 = L_n x_n + V_1 y_1 = M x_M$$

固体B的物料衡算：
$$B = N_0 L_0 = N_n L_n = N_M M$$

将上面的关系标绘在相图上。

根据已知的和要求达到的 B , L_0 , X_0 , V_0 , Y_0 以及等条件, 可以在图上定出 L_0 , V_0 和 L_N 等点。

根据式(9-186) - 式(9-188)计算出点 M 的坐标 N_M , X_M , 在图上画出点 M , 据前面的分析, L_0 , V_0 和 L_N 必在一条直线上, 同时, L_1 , M 和 L_N 也必定在一条直线上, 这样就可确定点 V_1 的位置。

第九章 第四节 萃取

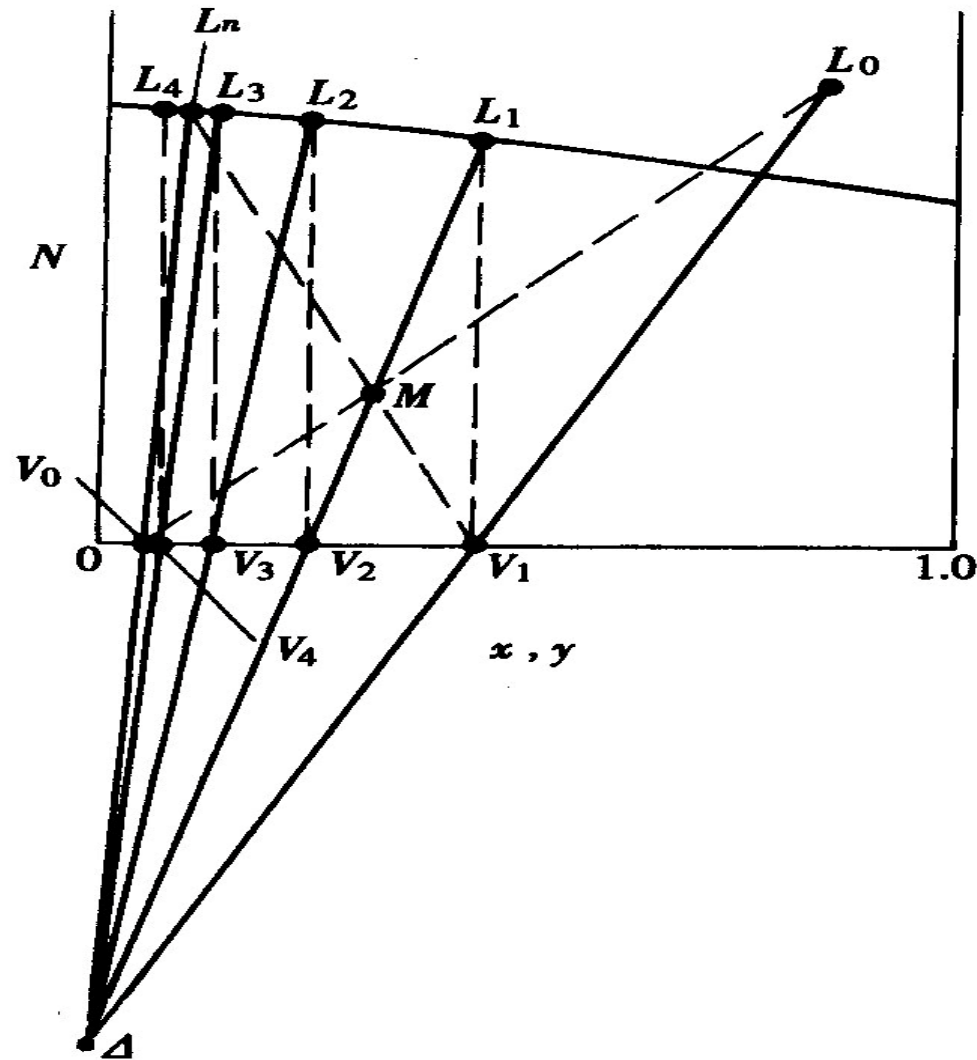


图9-80 多级逆流浸取级数图解

对第1级作总物料衡算：

$$L_0 + V_2 = L_1 + V_1$$

$$L_0 - V_1 = L_1 - V_2$$

对从第1级到第*i*级这一段作总物料衡算：

$$L_0 + V_{i+1} = L_i + V_1$$

$$L_0 - V_1 = L_i - V_{i+1}$$

$$L_0 - V_1 = L_1 - V_2 = \cdots = L_i - V_{i+1} = \cdots = L_n - V_0 = \Delta$$

$$L_0 - V_1 = L_1 - V_2 = \cdots = L_i - V_{i+1} = \cdots = L_n - V_0 = \Delta$$

式中 Δ ——级间流对底流液和溢流流量的差值，
 kg/s ， Δ 值是个恒量。

对溶质A作物料衡算，同样可以得到：

$$L_0 x_0 - V_1 y_1 = \cdots = L_i x_i - V_{i+1} y_{i+1} = \cdots = \Delta x_\Delta$$

$$x_\Delta = \frac{L_i x_i - V_{i+1} y_{i+1}}{\Delta} = \frac{L_0 x_0 - V_1 y_1}{L_0 - V_1}$$

式中 x_Δ ——差点 Δ 的横坐标。

对惰性固体B进行物料衡算得：

$$N_{\Delta} = \frac{B}{\Delta} = \frac{N_0 L_0}{L_0 - V_1} = \frac{N_i L_i}{L_i - V_{i+1}}$$

式中 N_{Δ} —差点 Δ 的纵坐标。

差点 Δ 是各线 L_0V_1 , L_1V_2 , L_nV_0 的共同交点, 称为**操作点**, 如图9-80所示。

第九章 第四节 萃取

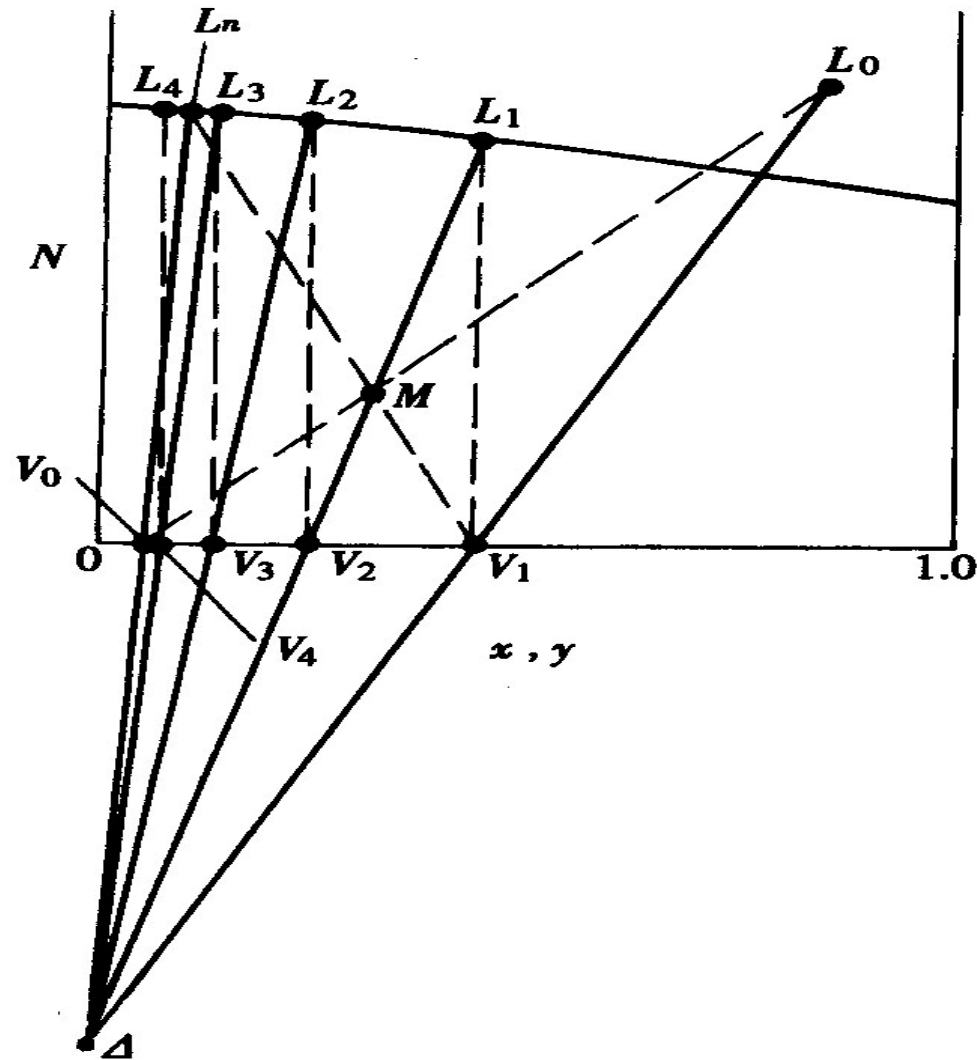


图9-80 多级逆流浸取级数图解

图解法确定浸取平衡级数的步骤：

- (1) 作底流线。对恒底流，底流线是水平线。对非恒底流，应用已知数据 $N \sim X$ 画出底流线。
- (2) 据已知进出料条件数据找出点 L_0 ， V_0 和 L_n 。
- (3) 通过计算求 X_M 和 N_M ，在图上找出点 M 。
- (4) 确定点 V_1 和 Δ 。作直线交溢流线（横轴）得点 V_1 。作直线 $L_N V_0$ 和 $L_0 V_1$ ，两线延长线的交点即为点 Δ 。

图解法确定浸取平衡级数的步骤：

(5) 依次作各级平衡结线，确定平衡级数 n 。由点 V_1 作垂线交底流线于点 L_1 ， V_1L_1 即第1级平衡结线。连接 L_1 △交溢流线（横轴）于点 V_2 ，作结线 V_2L_2 。

重复以上步骤，一直到达点 L_N 或刚超过点 L_N ，从 L_1 至 L_N 的点数就是平衡级数 n 。

图9-80求得的 $n=4$ 。

第九章 第四节 萃取

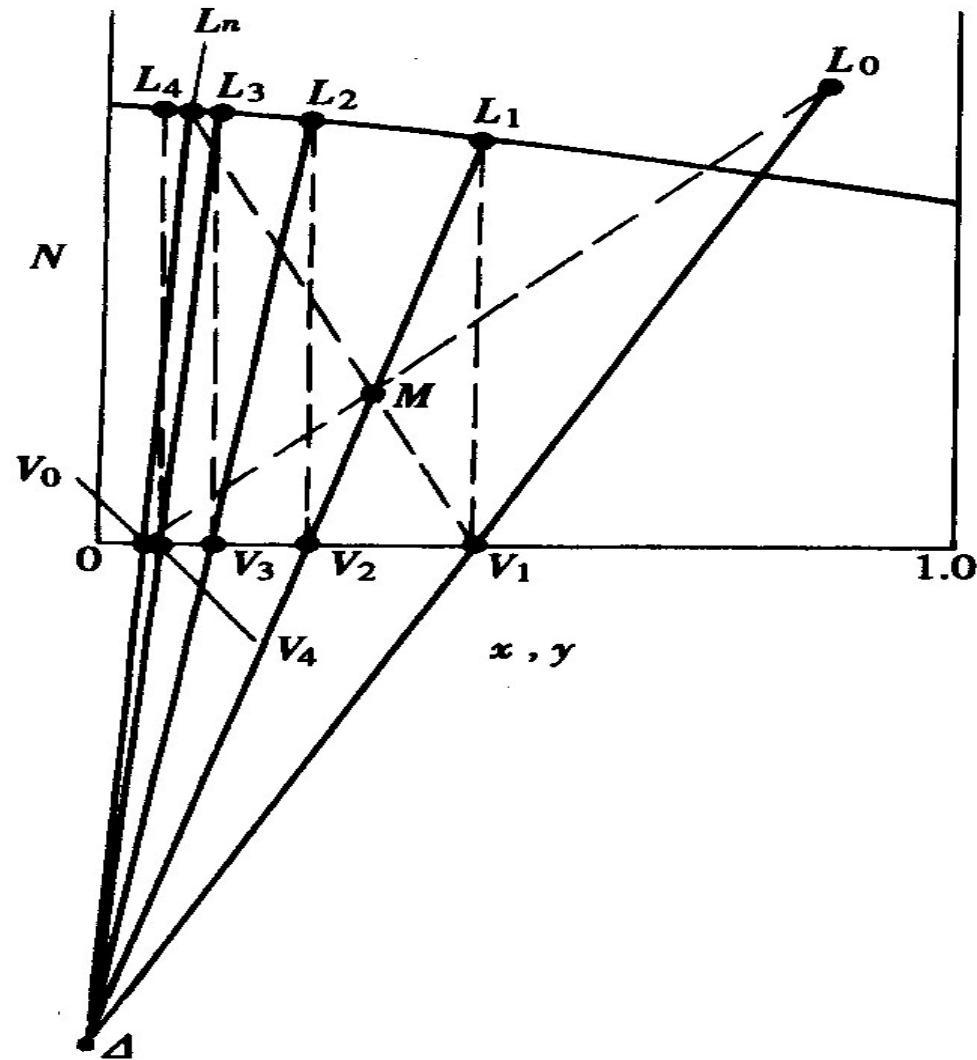


图9-80 多级逆流浸取级数图解

例9-14

例9-14 采用多级逆流系统，用苯作溶剂从一种豆粉中浸取油。惰性固体处理量为 2000 kg/h ，其中含油 800 kg 和苯 50 kg 。每小时从末级流入的浸取溶剂中含苯 1310 kg 和油 20 kg 。浸取过的固体含油 120 kg 。由澄清实验测得底流各处的对应数据 $N \sim x$ 如下表。计算离开系统的物流量和浓度以及所需的平衡级数。

N	2.00	1.98	1.94	1.89	1.82	1.75	1.68	1.61
x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

解：根据表中的底流数据，在图9-81上作 $N\sim x$ 底流线。由题给数据求得

$$L_0 = 800 + 50 = 850 \text{ kg / h}$$

$$x_0 = \frac{800}{800 + 50} = 0.941$$

$$B = 2000 \text{ kg / h}$$

$$N_0 = \frac{B}{L_0} = \frac{2000}{850} = 2.36$$

$$V_0 = 1310 + 20 = 1330$$

$$y_0 = \frac{20}{1330} = 0.015$$

第九章 第四节 萃取

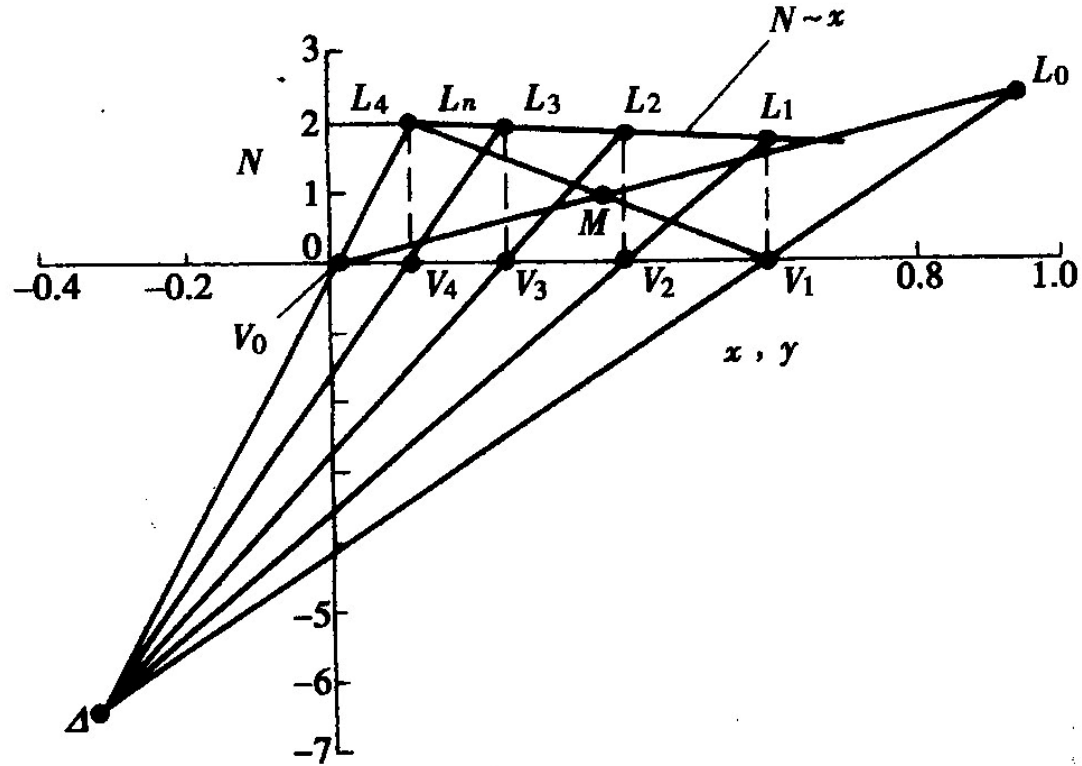


图9-81 例9-14附图

$$\frac{N_n}{x_n} = \frac{2000 / L_n}{120 / L_n} = \frac{2000}{120} = 16.7$$

从原点作斜率为16.7的直线（图中虚线）与底流线的交点即为点 L_N ， L_N 的坐标为：

$$N_n = 1.97, x_n = 0.118$$

$$M = L_0 + V_0 = 850 + 1330 = 2180 \text{ kg / h}$$

$$x_m = \frac{L_0 x_0 + V_0 y_0}{M} = \frac{850 \times 0.941 + 1330 \times 0.015}{2180} = 0.376$$

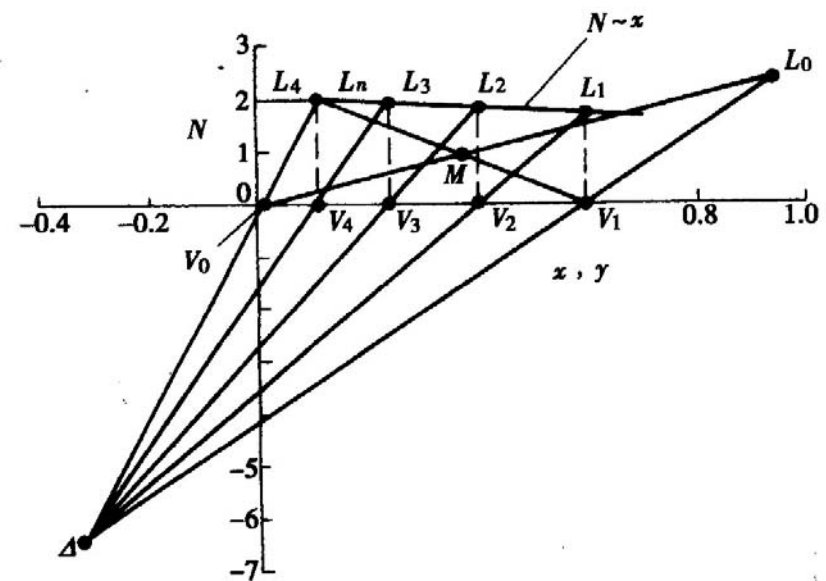
第九章 第四节 萃取

$$N_m = \frac{B}{M} = \frac{2000}{2180} = 0.918$$

得： $M(0.918, 0.376)$

作 V_0ML_0 ， L_NM 交横轴于 V_1

得 $Y_1=0.600$



在图上作直线 L_0V_1 和 L_NV_0 ，两直线相交得操作点 Δ 。过 V_1 作垂线交底流线于 L_1 。作直线 $L_1\Delta$ 交横轴于点 V_2 。作垂线 V_2L_2 交底流线于点 L_2 。继续作下去，最后第4级的点 L_4 略超出点 L_N ，因此所需平衡级数为4。

第九章 第四节 萃取

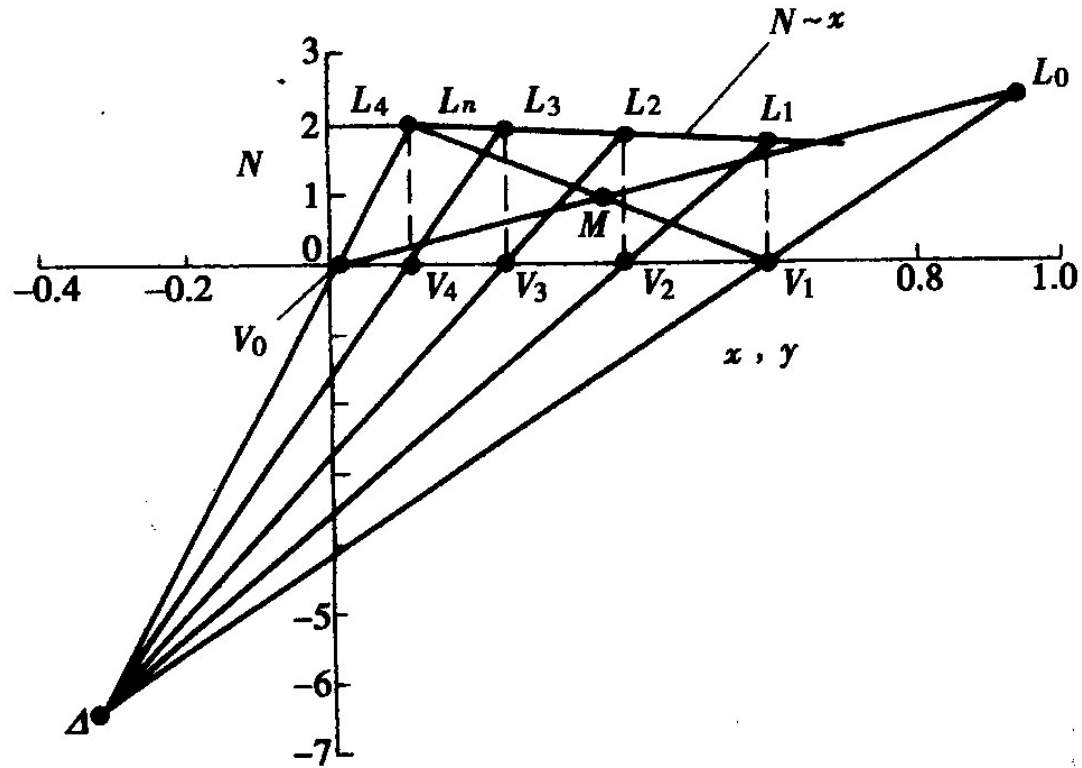


图9-81 例9-14附图

三、超临界流体萃取

(一) 超临界流体萃取的基本原理

1. 超临界流体

(1) 流体的临界点

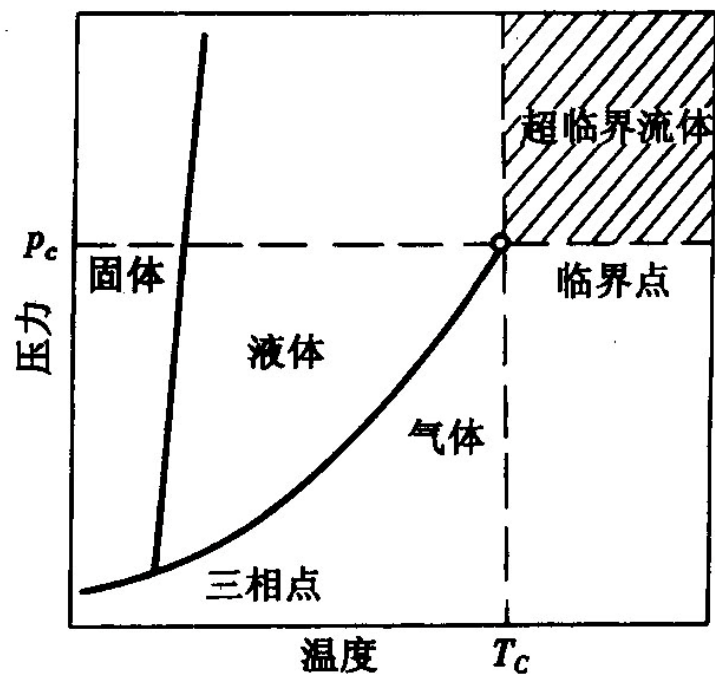


图9-82 纯流体的相态图

第九章 第四节 萃取

表9-4 SCFE常用流体的临界参量

流 体	临界温度 (°C)	临界压力	临界密度
CO ₂	31.1	7.37	468
NH ₃	132.4	11.28	235
C ₂ H ₆	32.2	4.88	203
C ₂ H ₄	9.2	5.04	217
C ₃ H ₈	96.6	4.25	217
C ₃ H ₆	91.8	4.62	232
C ₆ H ₆	288.9	4.89	302
C ₆ H ₅ CH ₃	318.5	4.11	300
H ₂ O	374.2	21.76	322

表9-5 流体的有关传质性质的比较

流体的类别	气 体	超临界流体	液 体
密 度	0.6-2	200-900	600-1600
黏 度	10-30	20-100	100-10000
扩散系数	5-200	0.01-1	0.0004-0.002

(2) 超临界流体及其特性

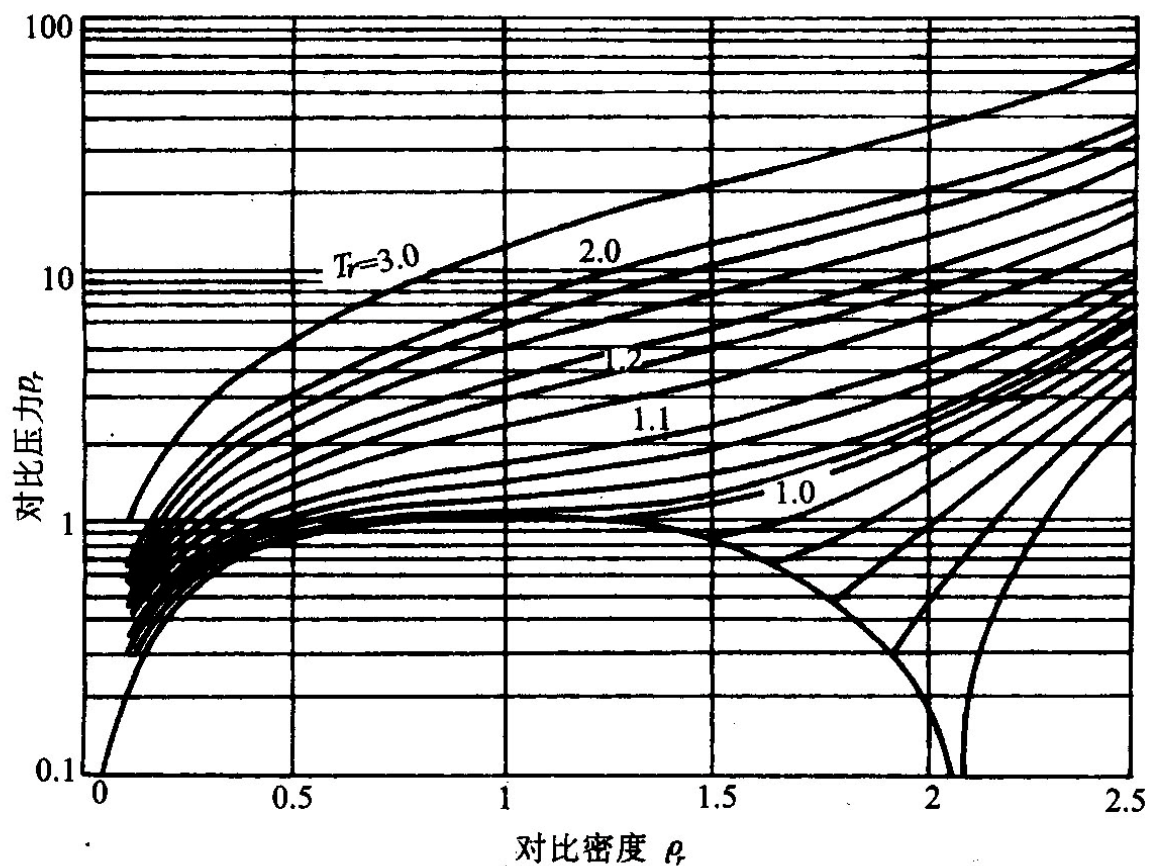
- ①超临界流体的传递性质表明它更有利于传质。
- ②超临界流体在距临界点较近的范围内，流体的密度对温度和压力的变化较为敏感。对此范围的超临界流体改变温度或压力，可明显改变溶质在流体溶剂中的溶解度。利用这一特点可以进行选择性萃取和萃取后混合物的分离。

(3) 超临界CO₂

CO₂作SCF溶剂具有一系列优点。

- ①临界密度大
- ②临界温度低
- ③临界压力不高
- ④无毒安全
- ⑤来源广，价格低廉

第九章 第四节 萃取



对比温度 $T_r = T / T_c$

对比压力 $p_r = p / p_c$

对比密度 $\rho_r = \rho / \rho_c$

表明其离开临界
值的相对程度

图9-83 CO₂的相图

2.超临界流体萃取的方法

(1)超临界流体萃取的基本流程

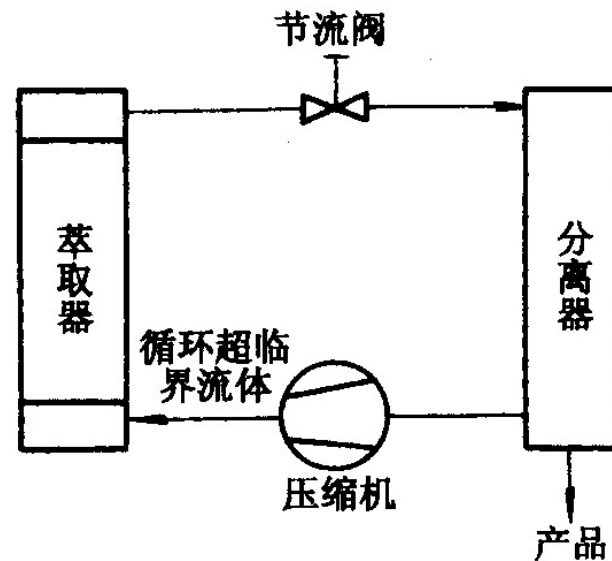


图9-84 超临界流体萃取基本流程

SCFE根据采用的分离方法的不同，可以分为3种典型流程：**变压分离、变温分离和吸附分离。**

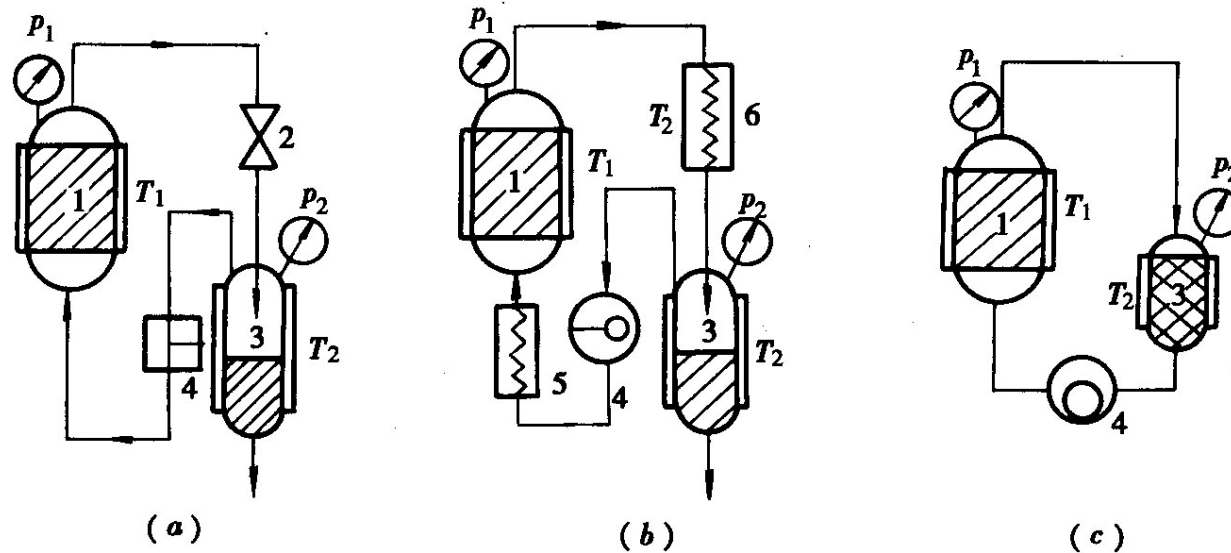


图9-85 超临界流体萃取的三种典型流程

(a) 变压法 (b) 变温法 (c) 吸附法

1. 萃取器 2. 节流阀 3. 分离器 4. 压缩机 5. 冷却器 6. 加热器

(2) 超临界流体萃取条件的选择

① 操作条件的选择

主要的操作条件为压力和温度。可根据相图选择适宜的压力和温度。此外，溶剂流量也是应考虑的操作条件。SCF流量愈大，所需萃取时间愈短。但流量的选取也应考虑使操作状态稳定。

②夹带剂的使用

夹带剂的主要作用是能大幅度增加原本在 *SCF* 中较难溶的溶质的溶解度，不但提高 *SCFE* 的效率，也扩大 *SCFE* 技术的应用和范围。

常用夹带剂有甲醇、乙醇、异丙醇、丙酮、氯仿、己烷、三氯乙烷等。

(二)超临界流体萃取在食品工业中的应用

- ①油脂的萃取
- ②胆固醇的萃取
- ③油脂的分馏
- ④油脂的精炼
- ⑤风味物质的萃取
- ⑥其他萃取

2.超临界流体萃取在食品工业中应用选例

(1)从咖啡豆中脱除咖啡因

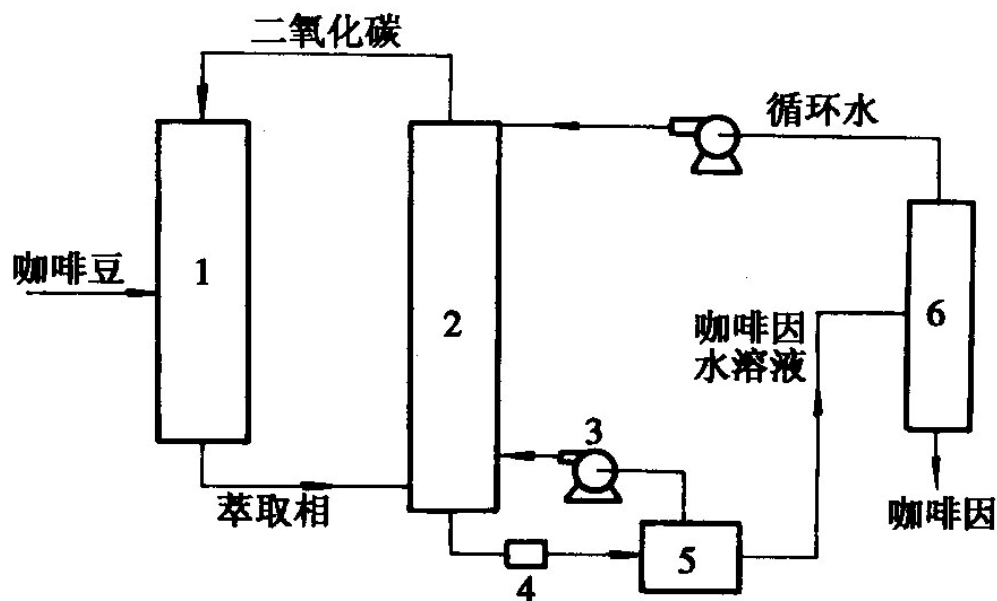


图9-86 咖啡因SC-CO₂流程图

1.萃取塔 2.吸收塔 3.压缩机 4.膨胀阀 5.脱气器 6.反渗透器

(2) 啤酒花的萃取

用 $SC-CO_2$ 萃取啤酒花，萃取压力为14，温度为 $32^\circ C$ ，萃取后采用降压的分离方法，可使酸萃取率高达95%以上，得到浅绿色带芳香的浆状萃取产物。这种工艺无溶剂残留问题，不污染环境，单宁、色素等杂质萃取出来较少，萃取物可长期贮存，不必冷藏。

(3)植物油的萃取

种子中的甘油三酸酯以及其他酯类可溶解于超临界CO₂等SCF中，而种子中存在的蛋白质、糖类和纤维素等却不溶于SC-CO₂等中。

第九章 第四节 萃取

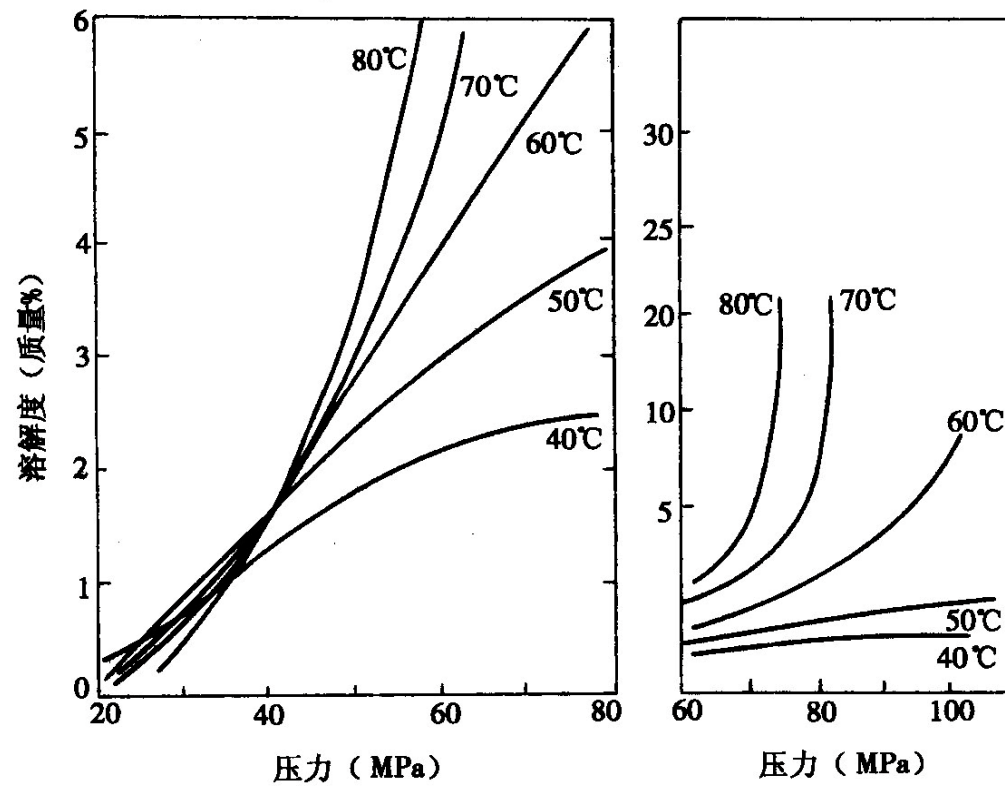


图9-87 大豆中油酯在SC-CO₂中溶解度的等温线

第九章 第四节 萃取

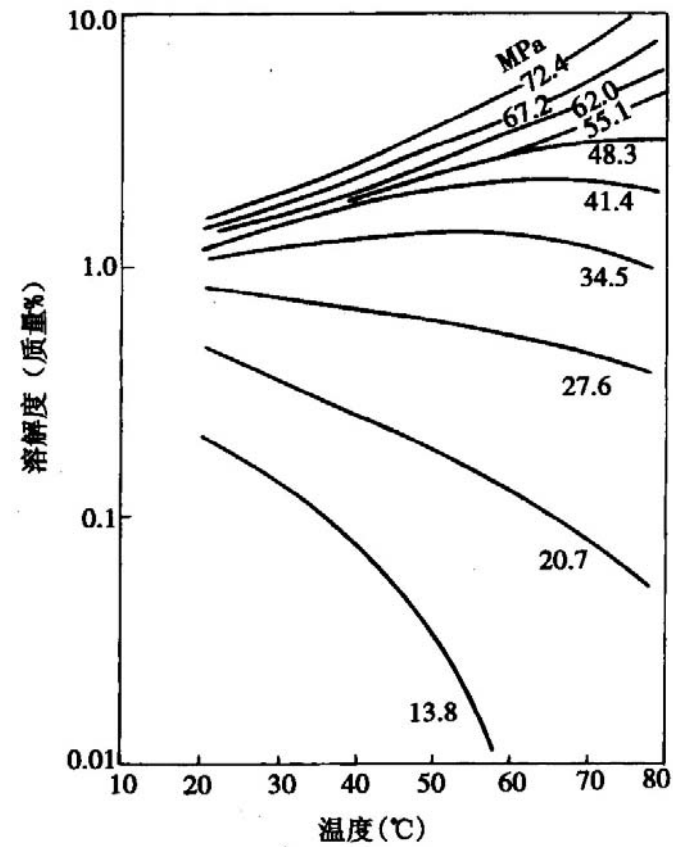


图9-88 大豆甘油酯在SC-CO₂中的溶解度的等压线

第十章 冷冻、冷藏

冷冻、冷藏具有以下功能：

(1) 贮藏：保持食品原有的色、香、味、营养价值。

(2) 销售：增加易腐食品的供应时间，解决季节性生产与常年消费之间的矛盾。

(3) 运输：长途输送易腐食品，解决产区、加工区、销区分离的问题。

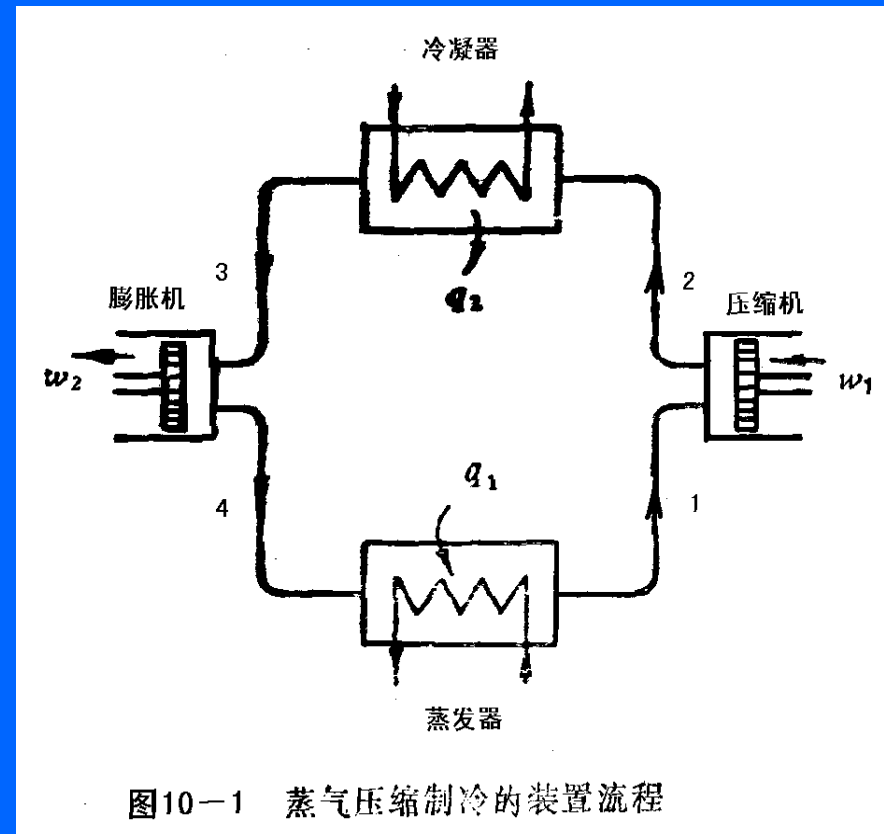
(4) 生产：延长食品厂(如罐头厂等)加工季节，解决淡、旺季之间的矛盾。

第十章 冷冻、冷藏

- 冷冻、冷藏 in 农产品、食品加工和贮藏的应用：
 - (1) 冻：食品的冻结、冻藏和冻结运输。
 - 畜产品、水产品、速冻蔬菜、速冻面食品、冰、雪糕等。
 - (2) 藏：农产品、食品的冷却、冷藏、气调贮藏和冷却运输。
 - 果品、蔬菜、蛋及油脂、冷饮等。
 - (3) 加工
 - 冻结干燥、冻结浓缩和物料的冷却加工过程等。
 - (4) 空调：食品加工厂的空气调节

第一节 制冷的基本概念与制冷循环

- 制冷原理：热 低 \rightarrow 高
- 制冷四个过程：压缩、冷凝、膨胀、蒸发。
- (1) 压缩过程
 - 将低压低温蒸汽绝热压缩成高压高温的过热蒸汽。
- (2) 冷凝过程
 - 将高温高压的过热蒸汽冷凝成高压常温的液体。
- (3) 膨胀过程
 - 将高压常温的液体节流膨胀成低压低温的液体。
- (4) 蒸发过程
 - 使低压低温液体吸热蒸发成低压低温蒸汽。

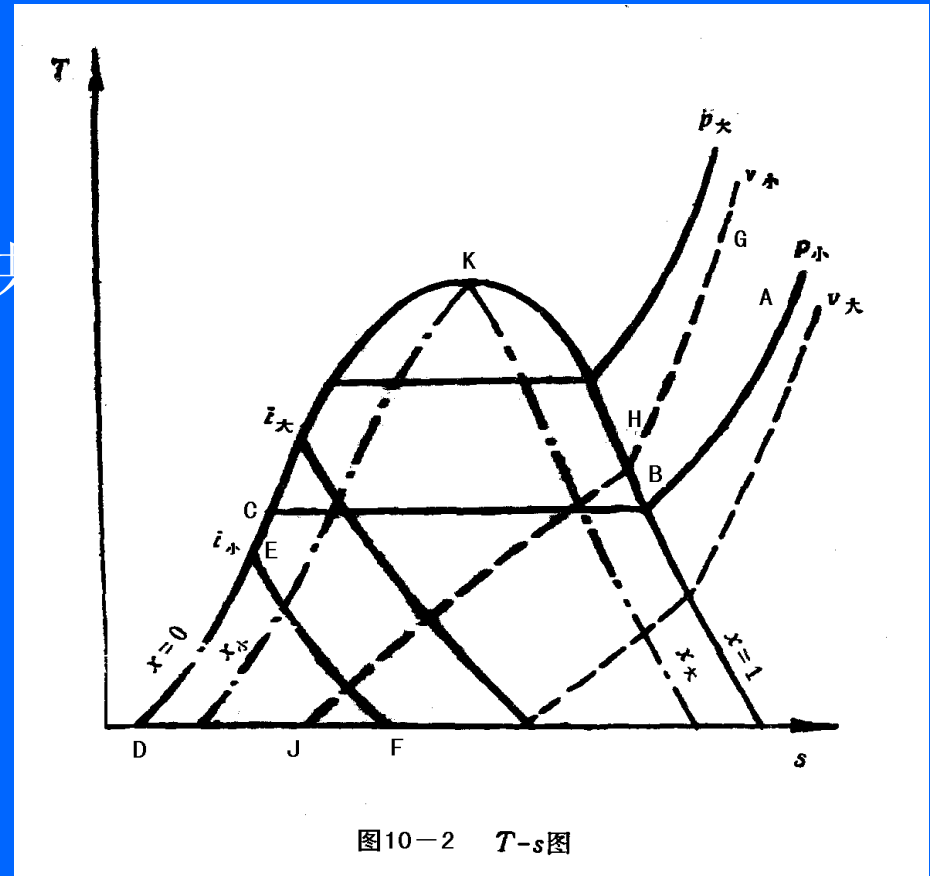


2、温熵图与压焓图

- 进行制冷循环的热力学分析及计算采用温熵图(T—s图)与压焓图(lgp—i图)。
- 基准状态(人为规定): 0°C、1kg的饱和液体
- 国际单位制规定:
 - 氨的焓值 $i=121.761\text{kJ} / \text{kg}$;
 - 熵 $s=-1.43695\text{kJ} / (\text{kg}\cdot\text{K})$;
 - 氟利昂12、氟利昂22的焓值 $i=200\text{kJ} / \text{kg}$,
 - 熵 $s=1.00\text{kJ} / (\text{kg}\cdot\text{K})$ 。
- 旧工程制规定: 任何饱和液体
 - 焓值 $i=100\text{kcal} / \text{kg}$,
 - 熵 $s=1.00\text{kcal} / (\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

(1) 温滴图(T—S图)

- (a) 饱和曲线
 - 饱和液体曲线(左支)
 - 饱和蒸汽曲线(右支)。
 - K点称为临界点。
 - 液相区；气相区；气液两相共存区
- (b) 等压线群 p
 - ABCD
- (c) 等焓线群 i
 - EF线。kJ / kg
- (d) 等比容线群 v
 - GHJ折线。m³ / kg
- (e) 等干度线群 x
 - x 表示单位kg干气体 / kg湿气体，
 - 即： x 为干气态制冷剂的质量与制冷剂质量（干气态与液态之和）之比。



(2) 压焓图($\lg p$ — i 图)

- (a) 饱和曲线
 - 饱和液体曲线(左支)
 - 饱和蒸汽曲线(右支)
 - 气液两相共存区
- (b) 等温线群 t
 - A B C D折线。K
- (c) 等熵线群 s
 - EF。kJ / (kg·K)
- (d) 等比容线群 v
 - GH。m³ / kg
- (e) 等干度线群 x
 - 点划线。

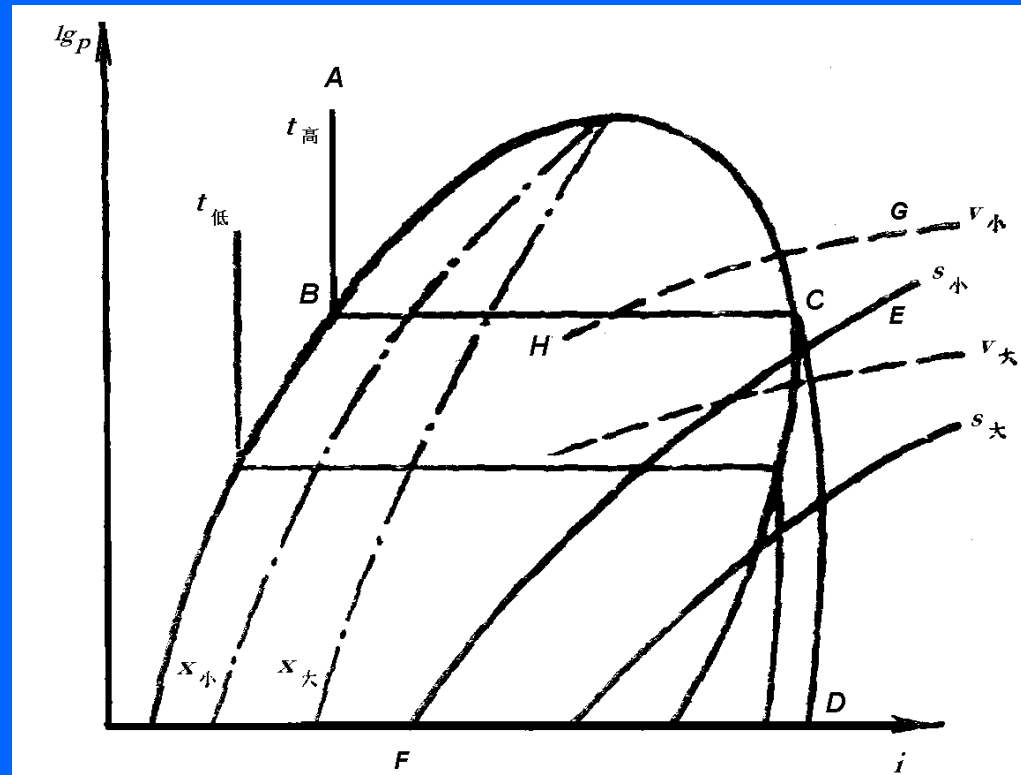


图10-3 $\lg p$ — i 图

3、理想制冷循环在T—s图上的表达

(a) 等熵可逆压缩 (绝热可逆压缩)

- 制冷剂的熵s值不变，压强p增高，由 p_1 增大至 p_2 。

(b) 等压等温可逆冷凝

- 制冷剂的压强p和温度T值均不变，熵s值减少。向冷却水所放出热量为 q_2 (kJ / kg制冷剂)，即：

- $q_2 = T_2 (s_2 - s_3)$ (10—1)

- 图中面积2—3—5—6—2代表 q_2 值。

(c) 等熵可逆膨胀 (绝热可逆膨胀)

- 制冷剂的熵s值不变，压强p下降，
- 由 p_2 下降至 p_1 。

(d) 等压等温可逆蒸发

- 制冷剂的压强p和温度T均不变，但熵s值增加。从冷冻盐水所取得的热量为 q_1 ，kJ / kg制冷剂

- $q_1 = T_1 (s_1 - s_4)$ (10—2)

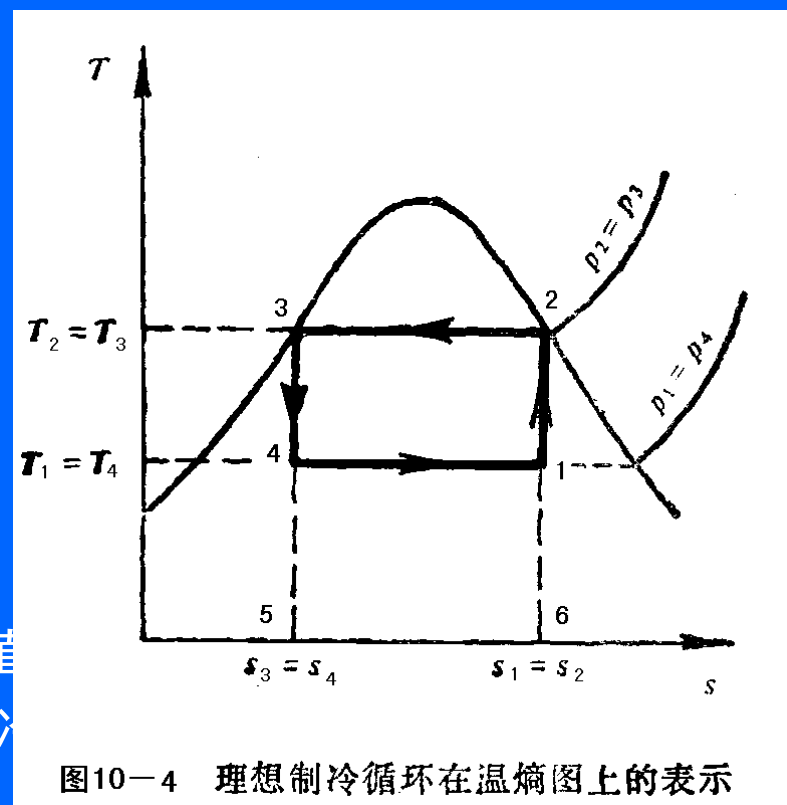


图10—4 理想制冷循环在温熵图上的表示

3、理想制冷循环在T—s图上的表达

- 在一次理想制冷循环中，针对1kg制冷剂进行制冷系统的能量衡算，得：

- $$q_1 + w_1 = q_2 + w_2 \quad (10-3)$$

- 压缩机对1kg制冷剂所作的净功 w_e 为：

- $$w_e = w_1 - w_2 = q_2 - q_1$$
- $$= T_2 (s_2 - s_3) - T_1 (s_1 - s_4) \quad (10-4)$$

- 所以净功 w_e 可以用面积1—2—3—4—1来表示。

4、制冷系数

- 制冷循环的效率用制冷系数来衡量。制冷系数是制冷剂从被冷物体中吸取的热量与循环消耗的净功的比值。

- $$\varepsilon = Q_1 / W_e = q_1 / w_e \quad (10-5)$$

- 式中 ε — 制冷系数；
- Q_1 — 单位时间内制冷剂的吸热量；kJ / h；
- W_e — 单位时间内压缩机对制冷剂所作的净功，kJ / h；
- q_1 — 单位质量制冷剂的吸热量，kJ / kg；
- w_e — 压缩机对单位质量制冷剂所作的净功，kJ / kg。

- 对理想制冷循环而言，将式10—2及式10—4代入式10—5中，得：

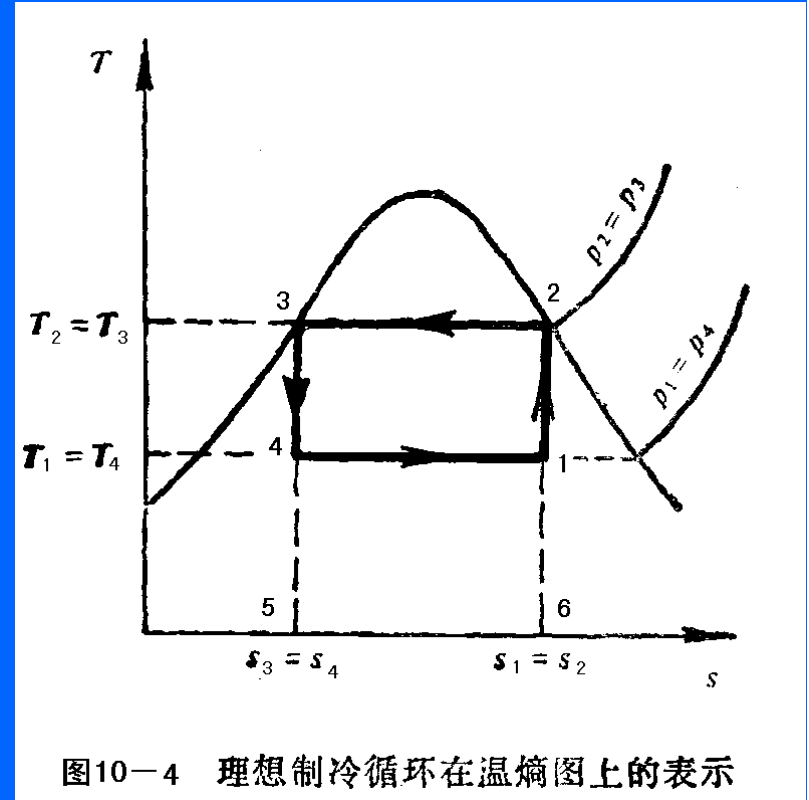
- $$\varepsilon = \frac{q_1}{w_e} = \frac{T_1(s_1 - s_4)}{T_2(s_2 - s_3) - T_1(s_1 - s_4)} \quad (10-6)$$

- 又因 $s_2 = s_1$ ， $s_3 = s_4$ ，于是上式简化为：

- $$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (10-7)$$

二、实际制冷循环

- 机械设备内必然存在摩擦
- 压缩过程与膨胀过程都不可能是可逆
- 传热过程必须维持一定的温度差
- 压缩机的干法操作。
- 冷凝过程的过冷操作
- 用针形节流膨胀阀代替膨胀机



1、实际制冷循环在T-s图上的表达

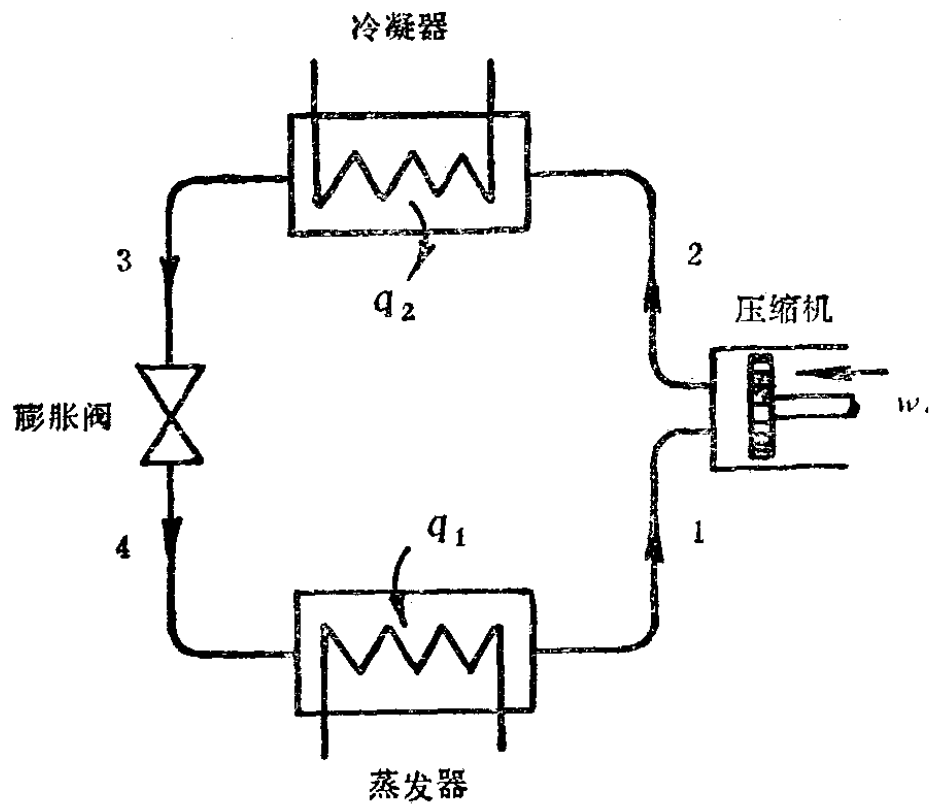


图10-5 实际蒸汽压缩制冷装置流程

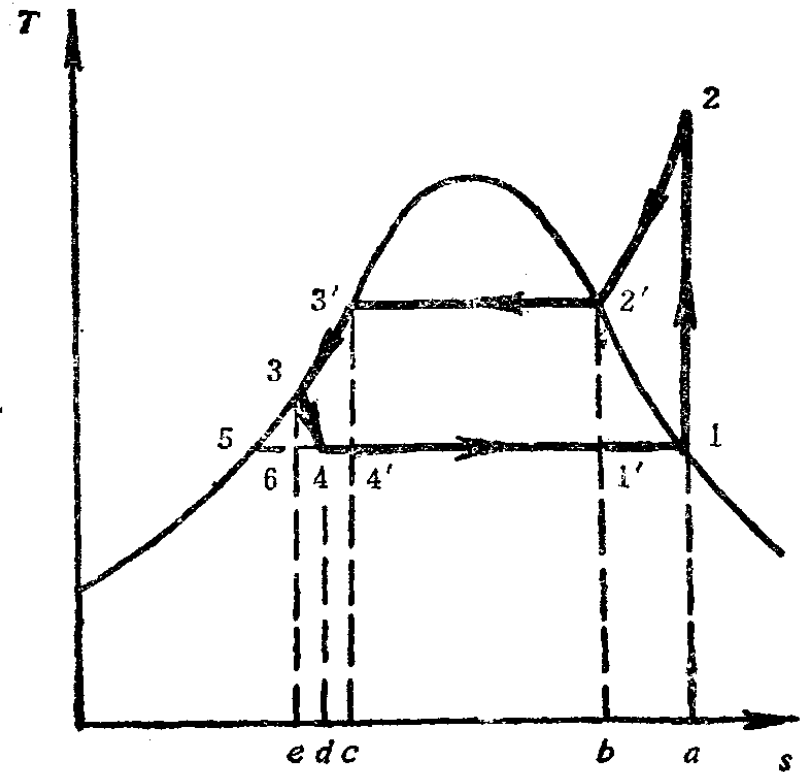


图10-6 实际制冷循环的温熵图表示

1、实际制冷循环在T—s图上的表达

(1) 等熵可逆压缩(绝热可逆压缩)

线段1—2。

在此过程中，压缩机对制冷剂做功

- $w_e = \Delta i = i_2 - i_1$

(2) 等压冷却与冷凝

线段2—2'—3'—3。

制冷剂的放热量等于它在过程前后焓的变化

- $q_2 = i_3 - i_2$

(3) 节流膨胀

线段3—4。

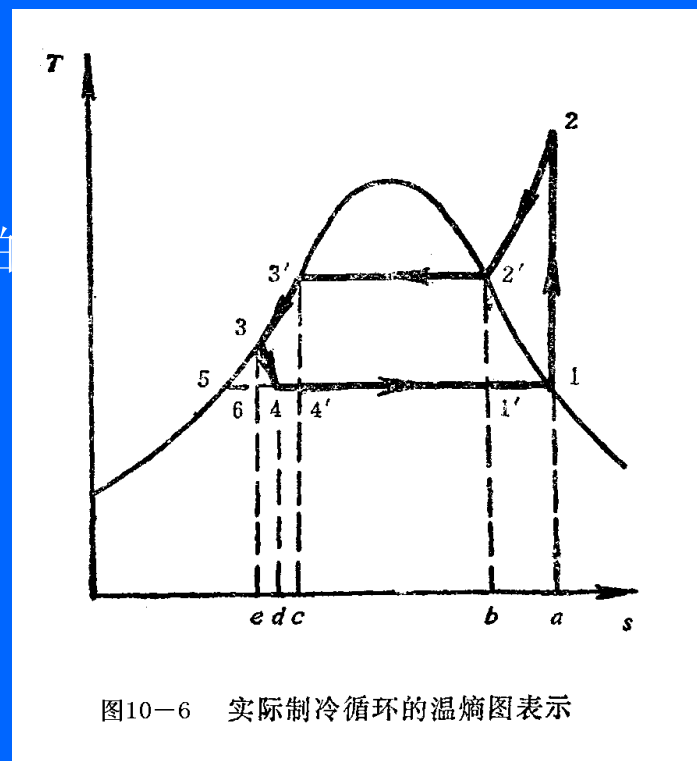
此过程制冷剂对外做功为零。

(4) 等压等温蒸发

线段4—1。

制冷剂的吸热量等于它在过程前后焓的变化，

- $q_1 = i_1 - i_4$



2、实际制冷循环在lgp-i图上的表达

(1) 压缩过程

— 线段1-2。

(2) 冷却、冷凝及过冷过程

— 线段2-2'-3'-3。

(3) 节流膨胀过程

— 线段3-4。

(4) 蒸发过程

— 线段4-1。

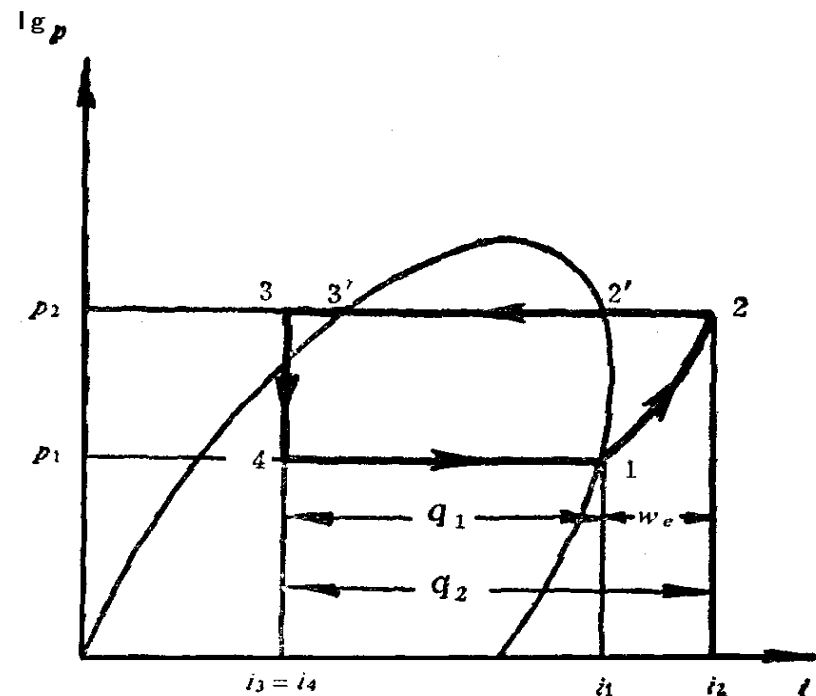
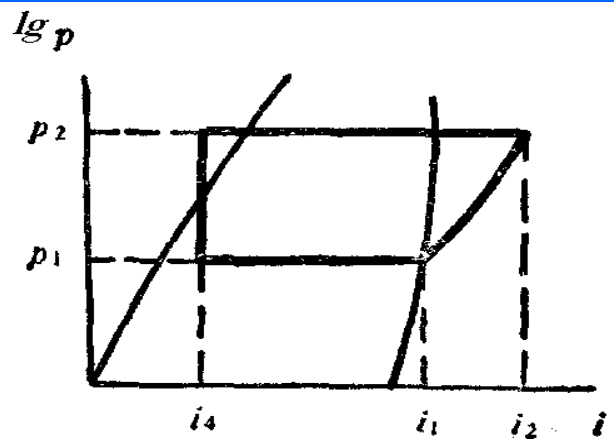
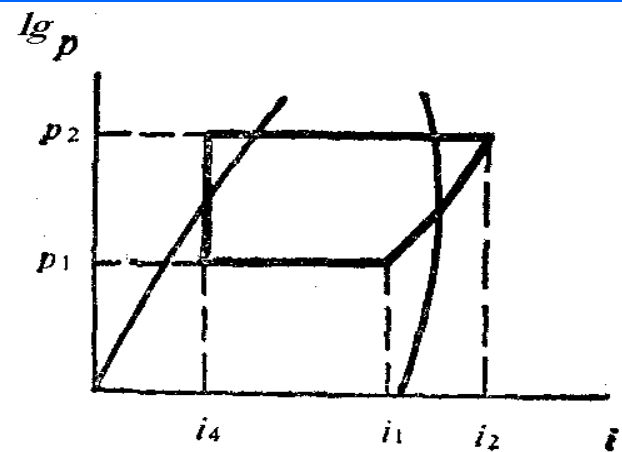


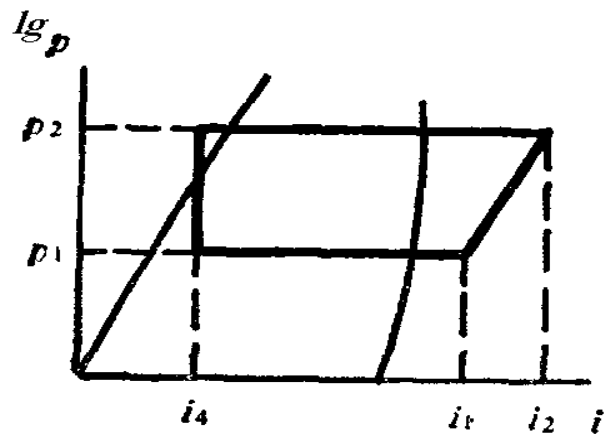
图10-7 实际制冷循环的压焓图表示



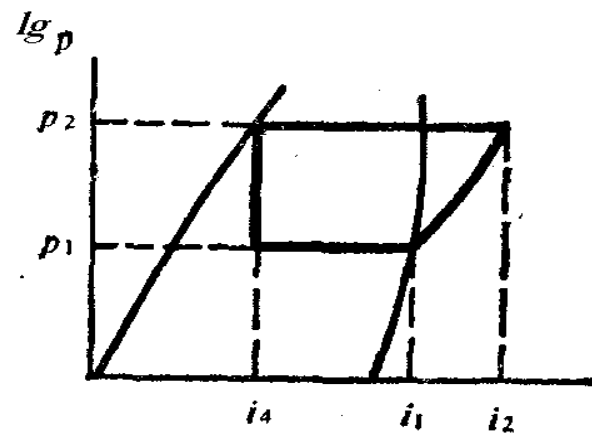
(a) 吸入蒸气为干饱和蒸气



(b) 吸入蒸气为湿蒸气



(c) 吸入蒸气为过热蒸气



(d) 膨胀阀前的制冷剂为饱和液体

图10—8 不同情况下制冷循环的压焓图

第二节 制冷机组与冷冻介质

一、制冷机组

- 一、单级压缩制冷系统
 - 1、主要设备：压缩机，冷凝器，膨胀阀，蒸发器。
 - 2、辅助设备：油分离器，空气分离器，贮氨器，汽液分离器。

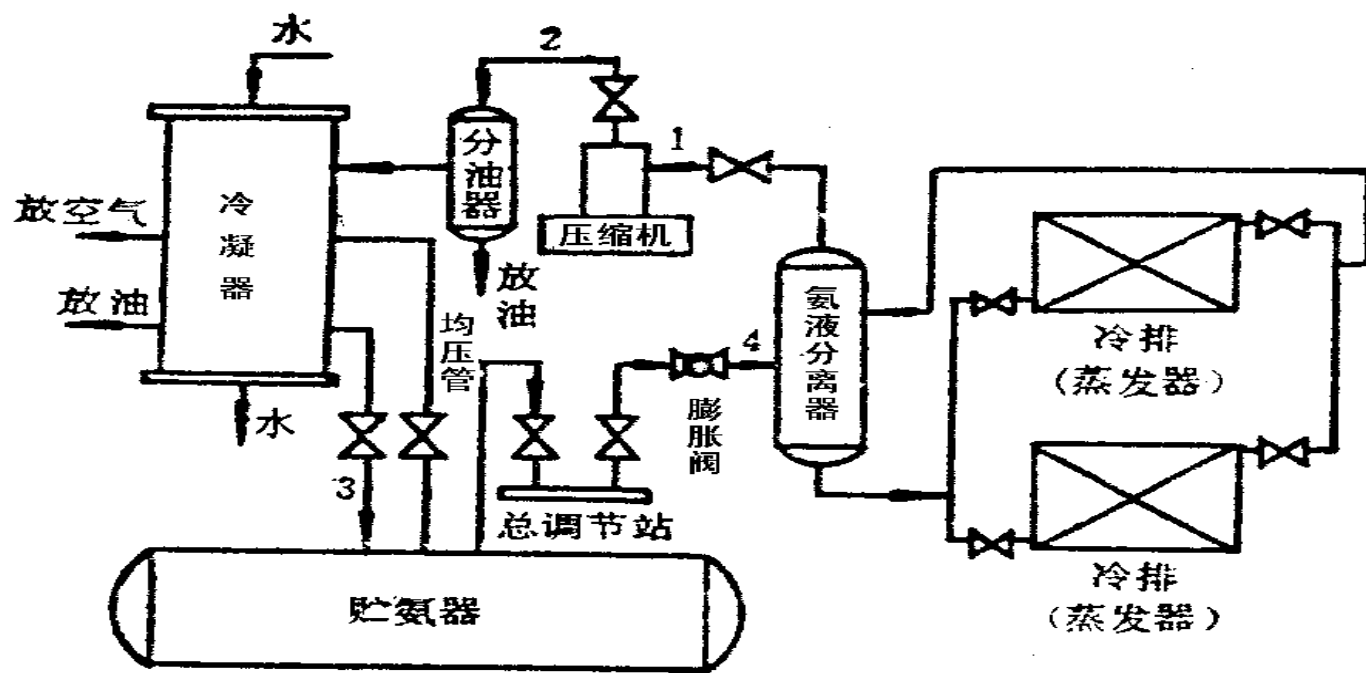


图10—9 单级压缩制冷循环图

二、制冷剂

- 指在直接蒸发式制冷系统中，通过其本身的状态变化，来传递热量的工质为制冷剂。有以下要求：
- (1) 热力学上 易于蒸发和液化，沸腾温度、冷凝温度要低，冷凝压力不宜过高，单位质量产冷量大。蒸发潜热大，蒸汽容积小。导热系数和散热系数大。
- (2) 物理化学上 对金属无腐蚀，比重和粘度要小，流动阻力小，化学性质稳定，不燃烧。高压高温下不分解，与润滑油不起化学作用。
- (3) 生理学上 无毒、无害。
- (4) 经济上 易于购得，价格低廉。

二、制冷剂

表10-1 几种制冷剂的物理性质

名 称	化学分子式	分 子 量	在 1 大气压 下的 沸 点 (°C)	临界温度 (°C)	临界压力 (大气压)	在 1 大气压 下的凝固点 (°C)
氨	NH ₃	17.03	-33.4	+132.4	115.2	-77.7
氟利昂 ₋₁₂	CF ₂ Cl ₂	120.90	-29.8	+111.5	40.8	-155.0
氟利昂 ₋₂₂	CHF ₂ Cl	86.48	-40.8	+96.0	50.3	-160.0
氯甲烷	CH ₃ Cl	50.49	-23.7	+143.1	68.1	-97.6
二氧化碳	CO ₂	44.01	-78.5	+31.0	75.0	-56.6

三、载冷剂

- 载冷剂是指在间接蒸发式制冷系统中起传递冷效应的介质(冷媒)。
- 载冷剂在蒸发器中被制冷剂冷却,再冷却物料或冷藏库。
- 常用的载冷剂是氯化钠、氯化钙盐水

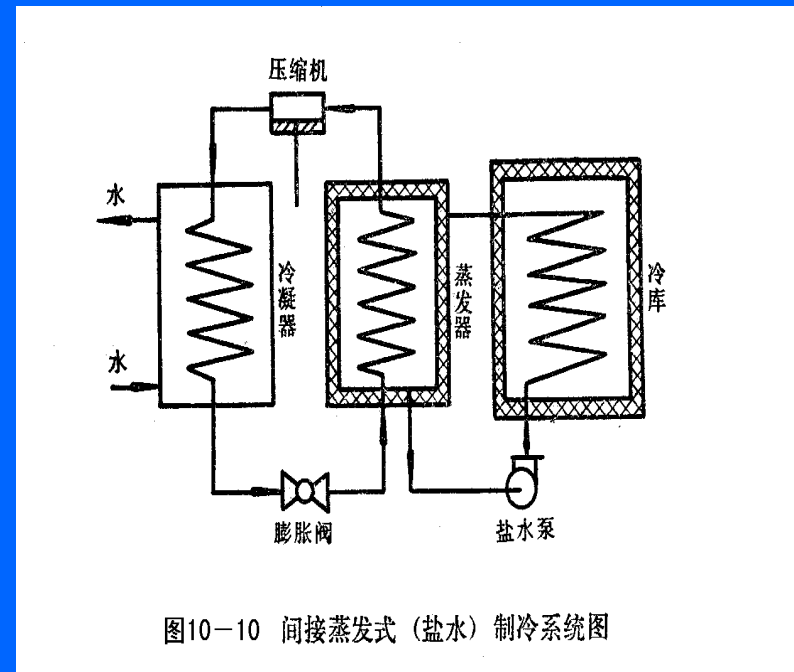
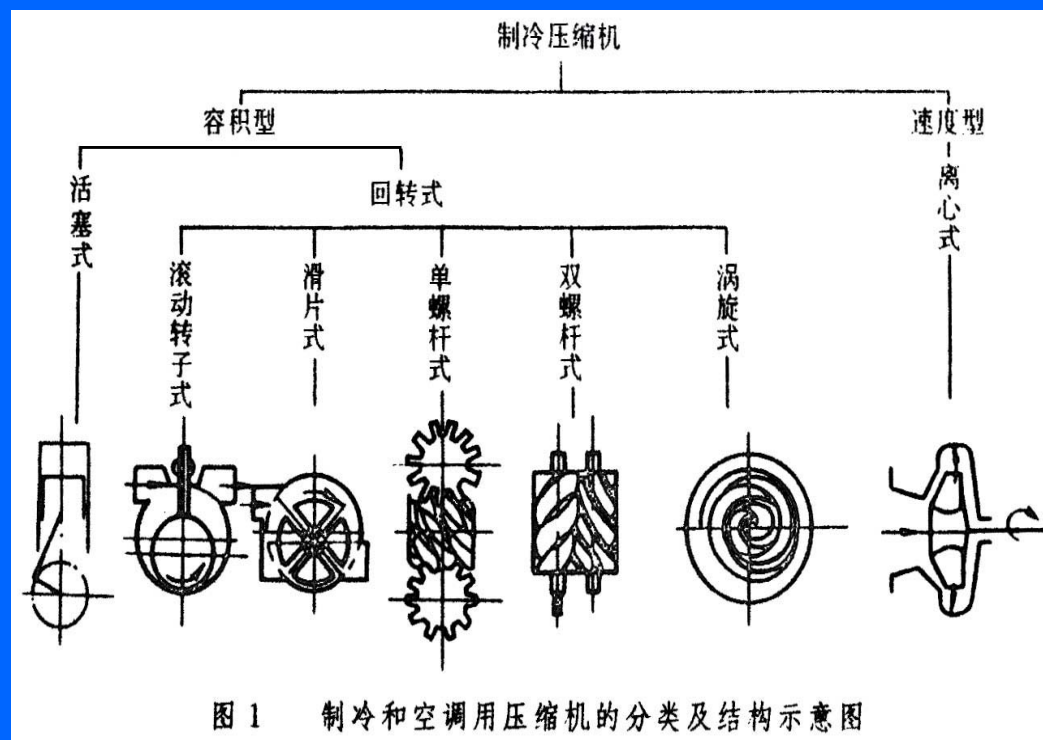


图10-10 间接蒸发式(盐水)制冷系统图

第三节 制冷压缩机

一、制冷压缩机分类

- (一) 容积式制冷压缩机
- 容积式压缩机是靠改变工作腔的容积。容积式压缩机可以分为往返活塞式和回转式两种。
- 1. 往复活塞式制冷压缩机：
- 2. 回转式制冷压缩机：
 - ① 滚动转子式制冷压缩机：
 - ② 涡旋式制冷压缩机：
 - ③ 螺杆式制冷压缩机：
 - ④ 滑片式制冷压缩机
- (二) 离心式制冷压缩机：



- 靠离心力，连续吸入气体压缩。制冷量最大可达30000KW，

一、制冷压缩机分类

图10-11 各类压缩机在制冷和空调工程中的应用范围

用途 压缩机型式	家用冷藏箱、 冻结箱	房间空调器	汽车空调设备	住宅用空调器 和热泵	商用制冷和 空调设备	大型空调设备
活塞式	← 100W				200kW →	
滚动转子式	← 100W			10kW →		
涡旋式				← 5kW	70kW →	
螺杆式					← 150kW	1400kW →
离心式						← 350kW 及以上 →

二、活塞式压缩机 分类

- 1. 按一台压缩机中蒸汽被压缩的次数分为 单级和双级。
- 2. 按蒸汽在汽缸内的流向分为 顺流式与逆流式。
- 3. 按汽缸中心线位置分为 立式、V式、W（角度）式和S式等。
- 4. 按压缩机组的封闭程度
 - (1) 全封闭式
 - (2) 半封闭式
 - (3) 开启式
- 5. 按压缩机的制冷量
 - (1) 小型 制冷量小于 209 MJ/h;
 - (2) 中型 制冷量为 209~1672 MJ/h;
 - (3) 大型 制冷量在 1672 MJ/h以上。
- 6. 按压缩方式 分为单作用和双作用。

• (三) 工作原理、结构和特点

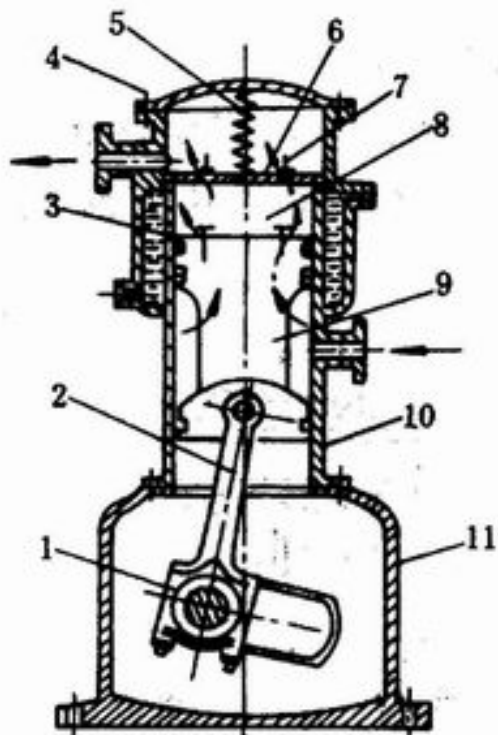


图11-2 立式、单作用直流式氨压缩机基本构造及工作原理

- 1. 曲轴 2. 连杆 3. 进气阀门
- 4. 汽缸上盖 5. 缓冲弹簧
- 6. 假盖 7. 排气阀门 8. 汽缸
- 9. 活塞 10. 汽缸体 11. 曲轴箱

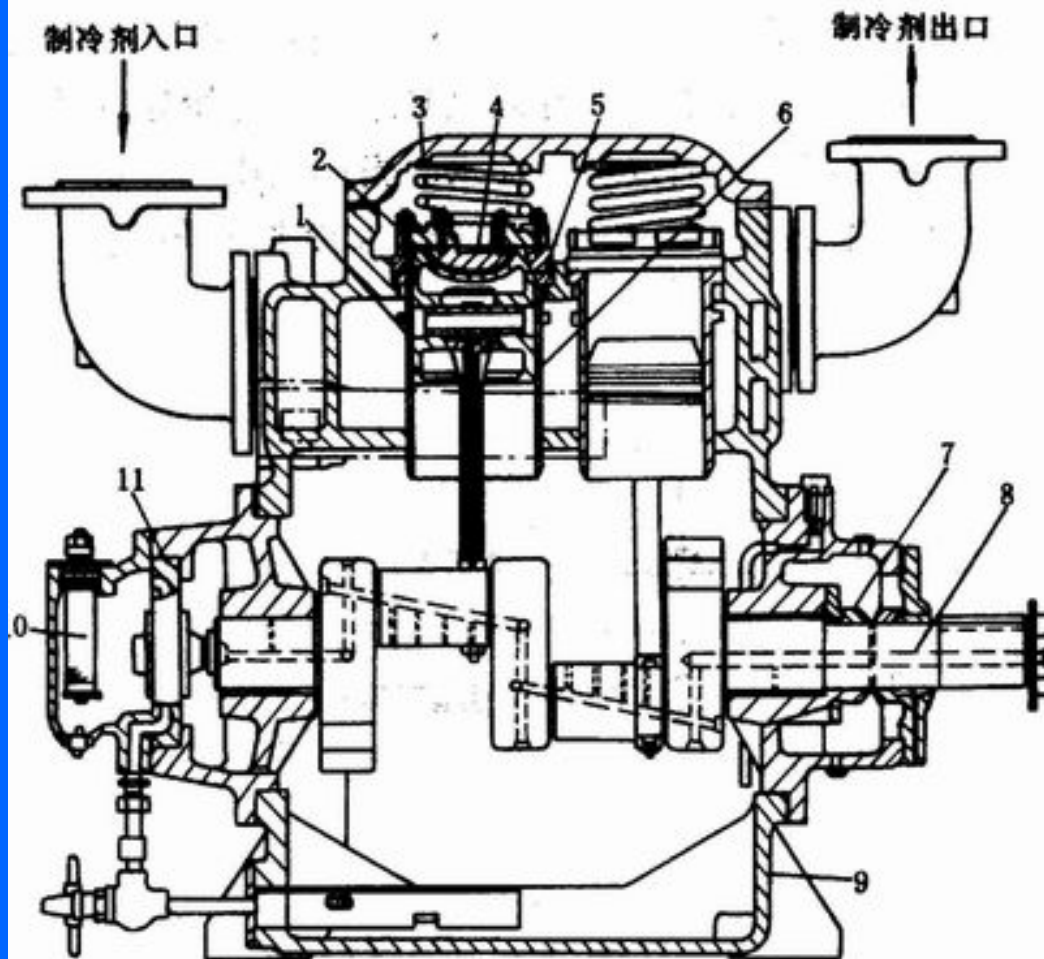


图1-3 高速多缸压缩机结构

- 1. 活塞 2. 排气阀 3. 排气弹簧 4. 阀座 5. 吸气阀
- 6. 汽缸套 7. 轴封 8. 曲轴 9. 曲轴箱
- 10. 油过滤器 11. 齿轮泵

(五) 压缩机的有关计算

- 1、压缩机产冷量的计算

- (1) 压焓图

- (2) 理论排气量:

- $$V_p = 15 \pi D^2 s n z \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

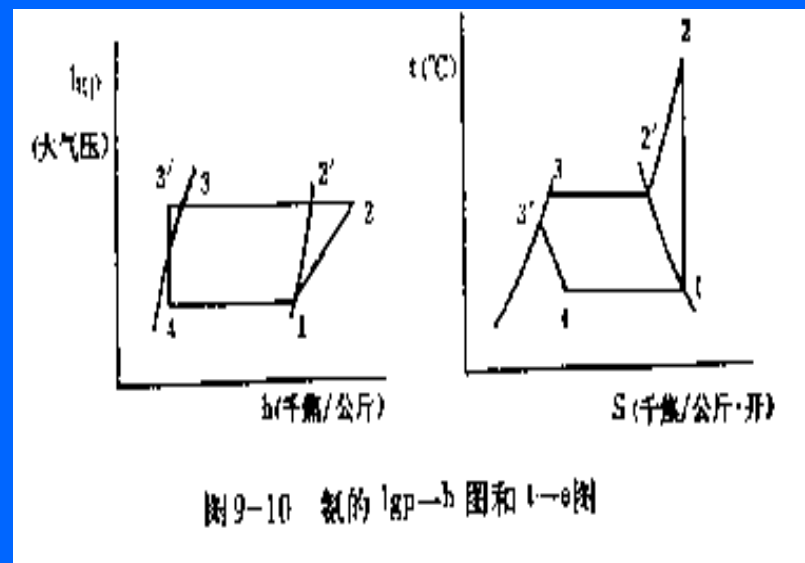
- (3) 氨循环量:

- $$G = V_p \lambda_q / V_1 \quad (\text{kg}/\text{h})$$

- (4) 产冷量(制冷能力)

$$Q = V_p \lambda_q q_r / 3.6 \quad (\text{W})$$

或
$$Q = G (i_1 - i_4) / 3.6$$



不同工况下制冷量换算

$$Q_g = Q_b \frac{q_g \lambda_g}{q_b \lambda_b}$$

工 况	蒸发温度 (°C)	吸气温度 (°C)	冷凝温度 (°C)	过冷温度 (°C)
标准工况	-15	-10	30	25
正常工况	-10	-10	30	25
空调工况	5	10	40	35

(五) 压缩机的有关计算

• 2、压缩机功耗的计算

• (1) 绝热功率: $N_j = G (i_2 - i_1) / 3600$ (kW)

• (2) 指示功率: $N_i = N_j / \eta$

$$\eta = T_2 / T_1 + b t_2$$

• (3) 摩擦功率: $N_m = P_m V_p / 3600$ (kW)

• (4) 轴功率: $N_e = N_i + N_m$

• (5) 压缩机轴功率: $N = N_e / \eta_e = (N_i + N_m) / \eta_e$ (kW)

• (6) 配用电动机功率: $N'_d = (1.10 \sim 1.15) N$ (kW)

三、螺杆式压缩机

- （一）基本结构和工作原理

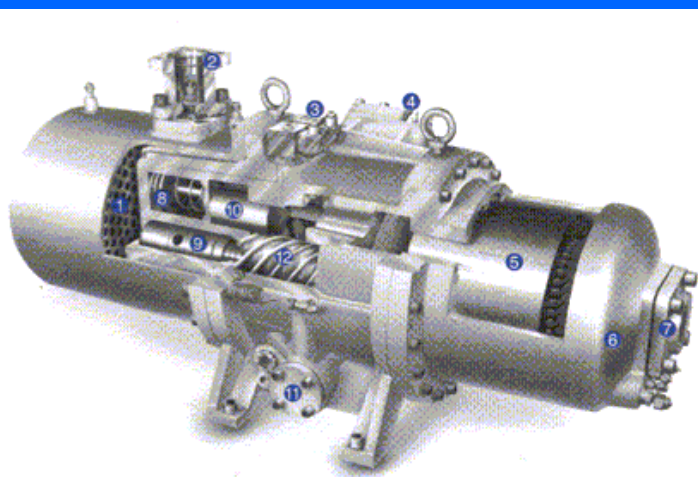


图10-15 全封闭螺杆式压缩机结构

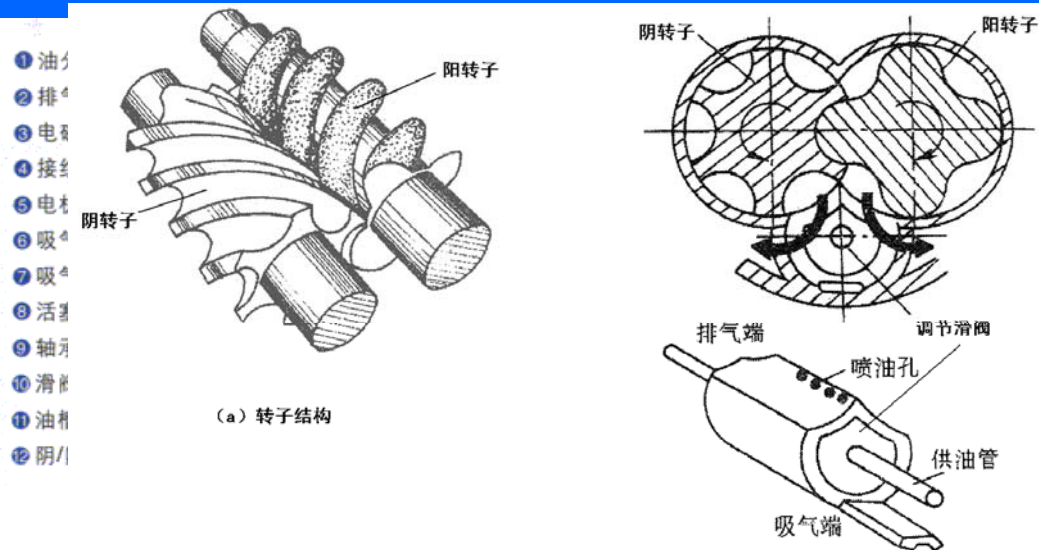
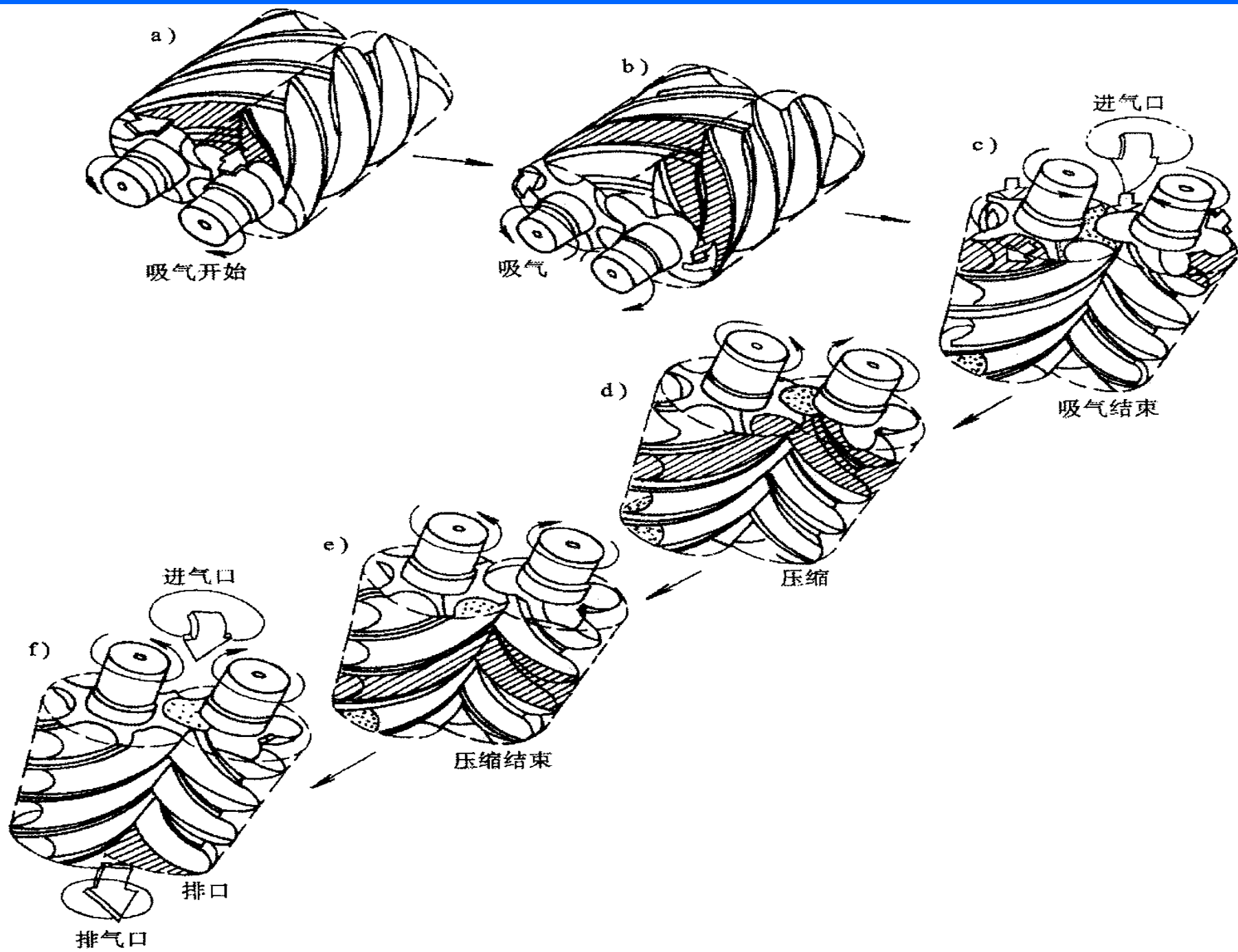


图10-16 螺杆式压缩机



为了提高螺杆压缩机的效率，利用螺杆制冷压缩机吸气、压缩、排气单向进行的特点，在机壳或端盖的适当位置开设补气口，使转子基元容积在压缩过程的某一转角范围，与补气口相通，使系统中增设的中间容器内的闪发性气体通过补气口进入基元容积中。这样，单级螺杆压缩机按双级制冷循环工作，达到节能的效果。此增设的中间容器称为经济器。

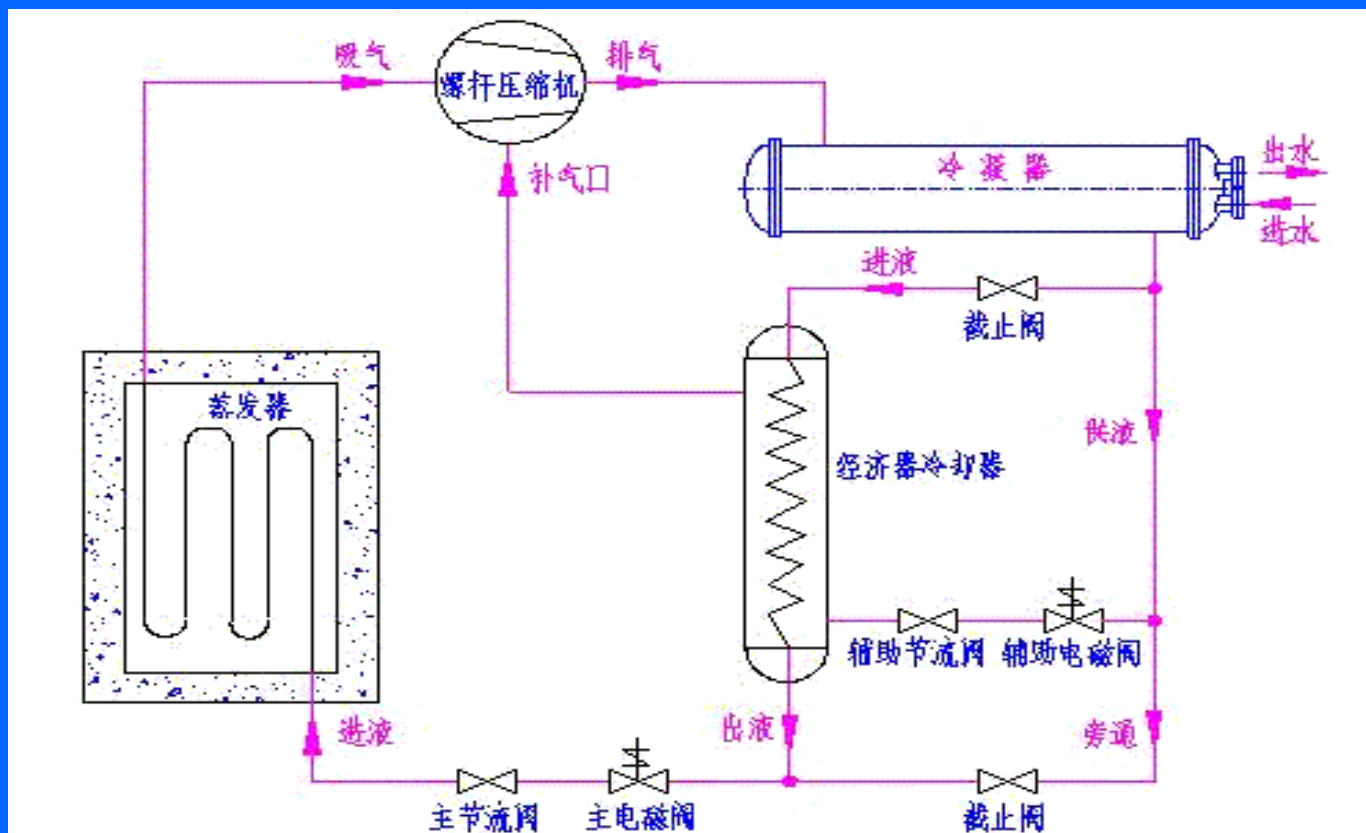


图10-17 带有经济器的螺杆压缩机系统

(三) 输气量的计算

- 理论输气量为单位时间内阴、阳转子转过的齿间容积之和，即

- $$q_{vt} = 60(z_1 n_1 V_1 + z_2 n_2 V_2) C_\phi \quad (10-20)$$

- 式中， q_{vt} —理论输气量， m^3 ；
- z_1, z_2 —阴、阳转子的螺旋头数；
- n_1, n_2 —阴、阳转子的转速，rpm；
- V_1, V_2 —阴、阳转子一头螺旋的密封容积；
- C_ϕ —扭角系数。

- 压缩机两转子的啮合旋转，相当于齿轮的啮合传动，因此

$$z_1 n_1 = z_2 n_2 \quad (10-21)$$

- 又 $V_1 = A_{01} L$ $V_2 = A_{02} L$
- 式中， A_{01} ， A_{02} —阴、阳转子一头螺旋的密封断面积， m^2 ；
- L —螺杆长度， m 。

- 则压缩机理论输气量可写成

$$q_{vt} = 60 z_1 n_1 L (A_{01} + A_{02}) C_\phi \quad (10-22)$$

- 令

$$C_n = \frac{z_1 (A_{01} + A_{02})}{D_0^2} \quad (10-23)$$

- 则压缩机理论输气量可写成

$$q_{vt} = 60 C_n C_\phi n_1 L D_0^2 \quad (10-24)$$

- D_0 —螺旋的有效直径；
- C_n —面积利用系数，是由转子齿形和齿数所决定的常数。

四、离心式压缩机

- (一) 离心式压缩机工作原理
- 主要由工作轮、扩压器和蜗壳等所组成。
- 蒸汽由吸汽口轴向进入吸汽室，在吸汽室的导流作用引导。汽体在叶片作用下，一边跟着工作轮作高速旋转，一边受离心力的作用在叶片槽道中作扩压流动，从而使汽体的压力和速度提高。

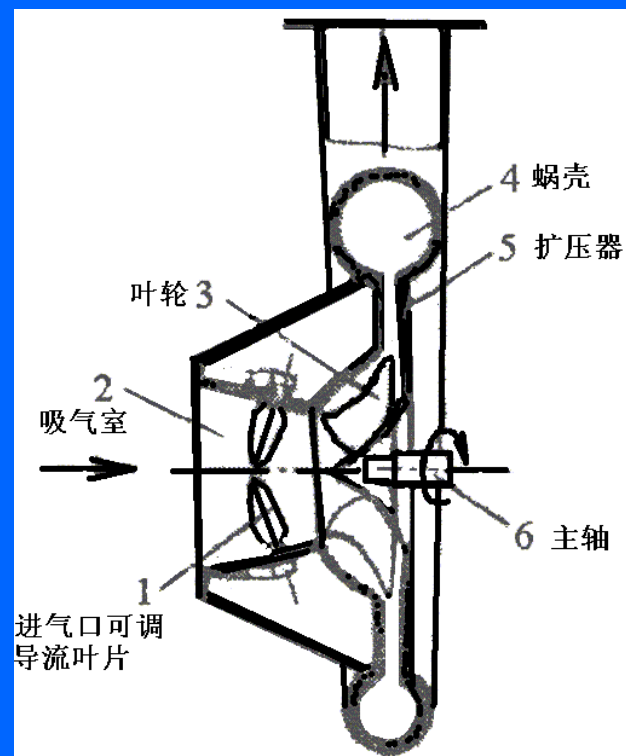


图10-18 离心式压缩机简图

（二）离心式制冷压缩机的特点与特性

- 离心式制冷压缩机具有下列优点：
 - (1) 单机制冷量大。相同制冷量相条件下，它的体积小，占地面积少，重量是活塞式压缩机的 $1/5\sim 1/8$ 。
 - (2) 工作可靠、运转平稳、噪音小、操作简单、维护费用低。
 - (3) 没有摩擦，无需润滑。故制冷剂蒸汽与润滑油不接触，从而提高了蒸发器和冷凝器的传热性能。
 - (4) 能经济方便的调节制冷量，且调节的范围较大。
 - (5) 对制冷剂的适应性差。一定结构的压缩机只能适应一种制冷剂。
 - (6) 适宜采用分子量比较大的制冷剂，只适用于大制冷量，一般都在 $25\sim 30$ 万大卡 / 时以上。

(三) 离心式制冷压缩机的调节

- 离心式制冷机组制冷量的调节有：
 1. 改变压缩机的转速；
 2. 采用可转动的进口导叶；
 3. 改变冷凝器的进水量；
 4. 进汽节流。

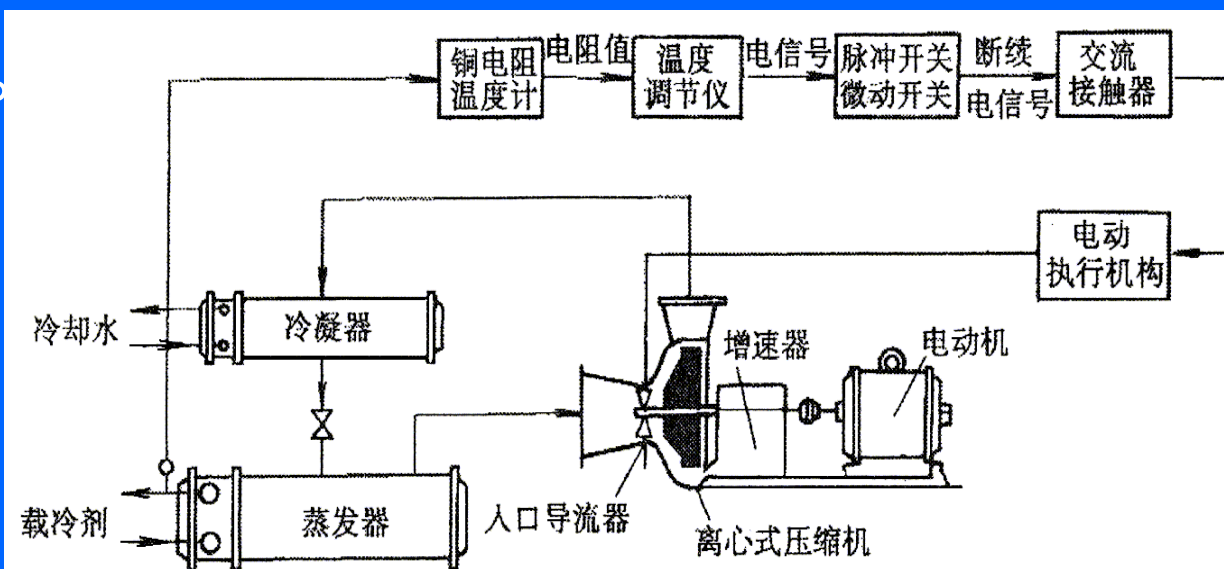


图10-19 进口导流叶片自动能量调节示意图



半封闭活塞式压缩机



全封闭压缩机



冷冻机组



水冷螺杆机组



半封闭多并联水冷冷凝机组



全封闭水冷冷凝机组

二、冷凝器

- 功能：使高压高温的过热蒸汽冷却，冷凝成高压液氨，散发热量。
- 型式：壳管式，淋水式，双管对流式，组合式，蒸发式，气冷式。
- (一) 壳管式冷凝器：有立式和卧式两种。
- 1、立式壳管式冷凝器
- 工作原理：管内通冷却水，管外为氨蒸汽。
- 组成：1. 放油孔，2. 混合气出口，3. 均压管，4. 压力表，5. 安全阀，6. 配水箱，7. 分水器。
- 优点：(1) 占地面积小，可安装在室外；(2) 传热系数较高；(3) 冷却水质要求较低，不易阻塞；(4) 清除水垢容易。
- 缺点：(1) 用水量较多；(2) 泄漏不易发现。

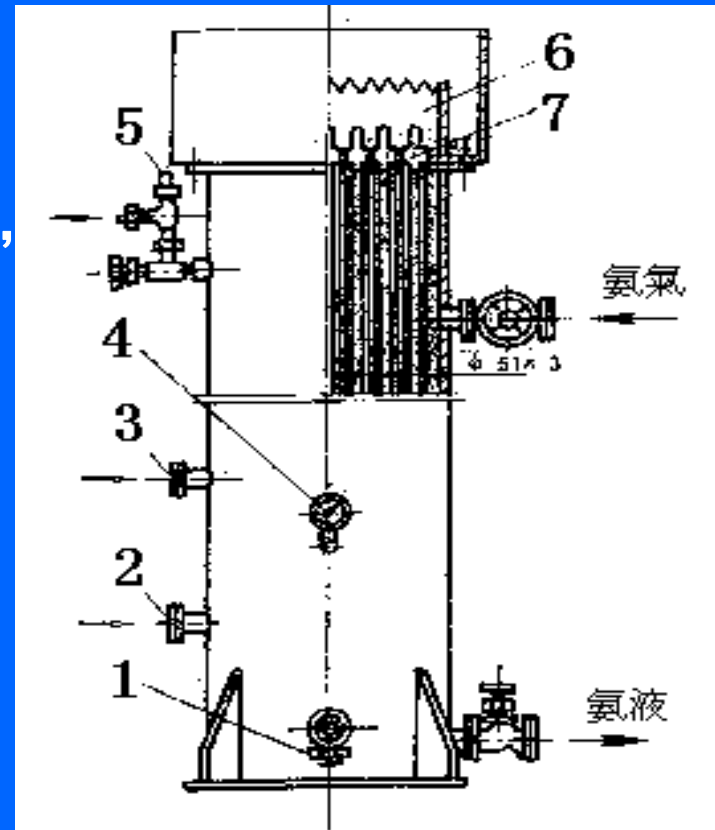


图9-11 立式壳管式冷凝器

卧式壳管式冷凝器

- 结构和组成:
- 冷却水的流速: $0.8 \sim 1.2 \text{ m/s}$
- 传热系数: $K = 2.51 \sim 3.34 \text{ MJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$,
- 单位面积热负荷: $q_F = 12.54 \sim 14.63 \text{ MJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。
- 优点是结构紧凑、占空间高度小、传热系数高。
- 缺点是清除水垢困难。

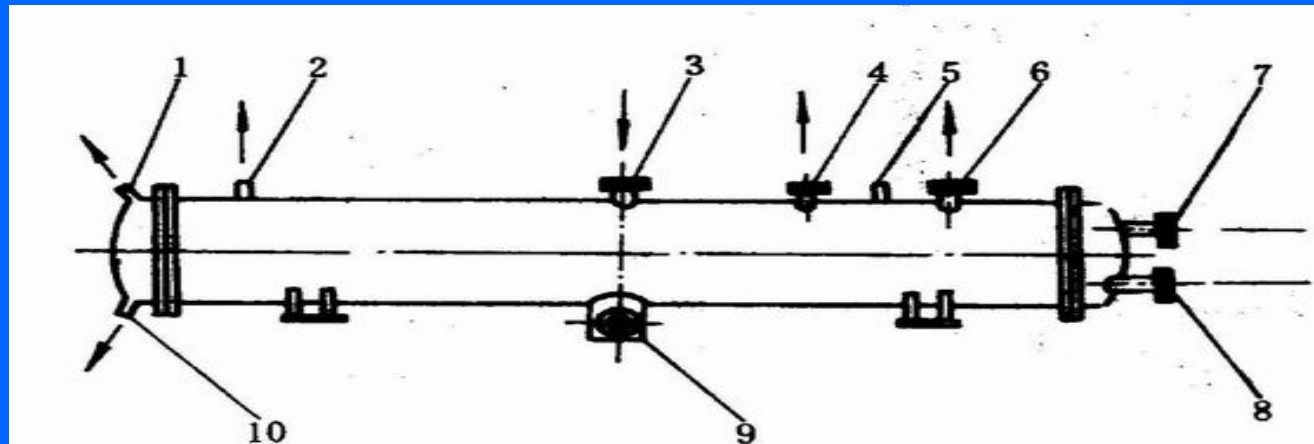
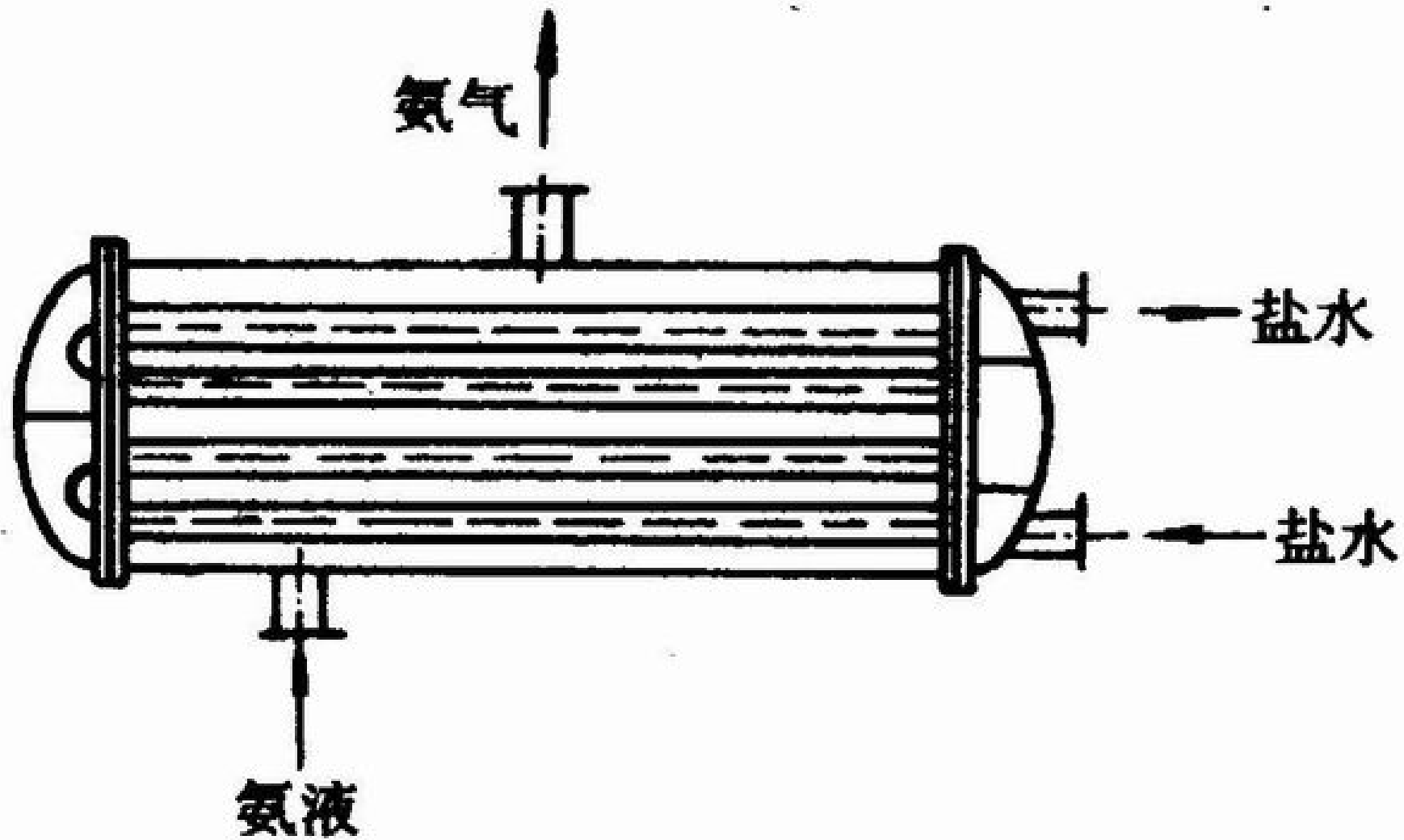


图 11-4 卧式壳管式冷凝器

1. 放空气旋塞 2. 放空气 3. 氨气进口 4. 均压管
5. 压力表 6. 安全阀 7. 水出口 8. 水进口
9. 氨液出口 10. 放水旋塞



- 2. 蒸发式冷凝器蒸发式冷凝器
- 由换热管组、供水喷淋装置和风机等组成。
- 特点：因部分冷却水蒸发，吸收大量汽化潜热，故用水量少，仅为壳管式冷凝器的 $1/25 \sim 1/50$ ，但设备与作业的费用高。管排水垢难清除，需要软化水。

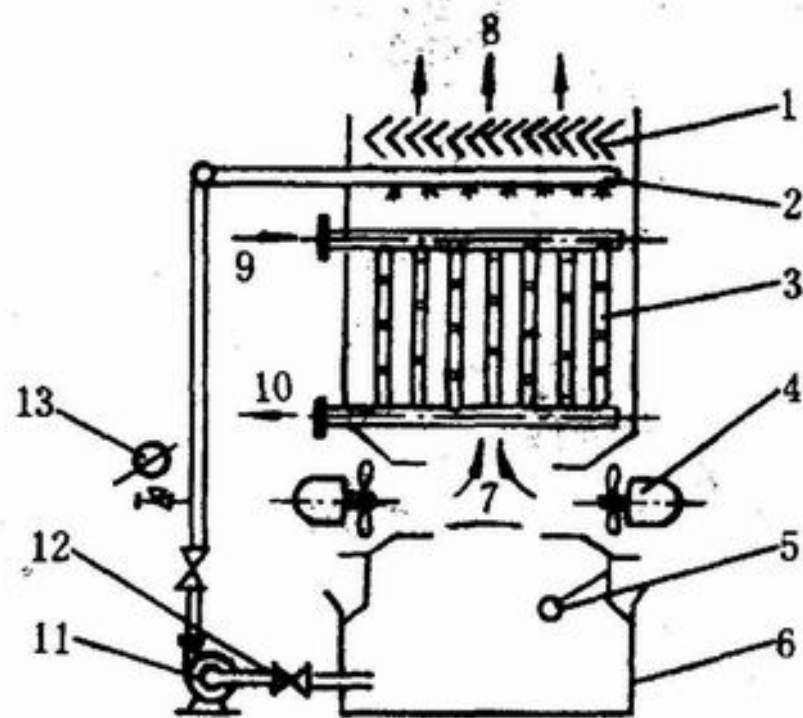


图 11-5 蒸发式冷凝器系统示意图

1. 挡水板 2. 喷水器 3. 换热管组 4. 轴流风机
 5. 补充水浮球阀 6. 水箱 7. 进风口 8. 出风口
 9. 进气集管 10. 出液集管 11. 环循水泵
 12. 水量调节阀 13. 水压表

- 3. 淋水式冷凝器。
- 由贮氨器、冷却排管 and 配水箱等组成。
- 这种冷凝器的优点是结构简单，工作安全。对水质要求不严，容易清洗。缺点是金属消耗量大，占地面积较大。

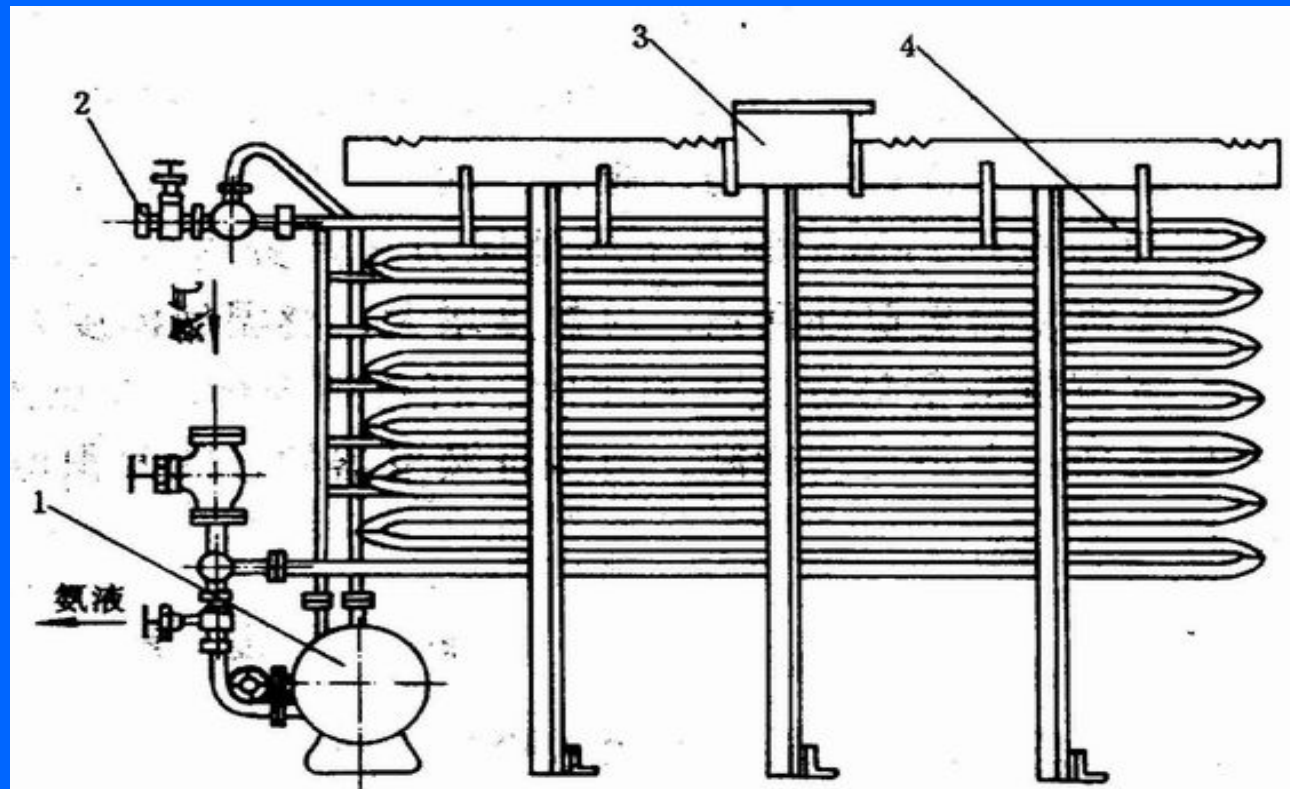


图11-6 淋水式冷凝器

1. 贮氨器 2. 放空气 3. 配水箱 4. 冷却排管



壳管式冷凝器



FWS型水冷冷凝器



JB顶出风箱式冷凝机组

三、膨胀阀

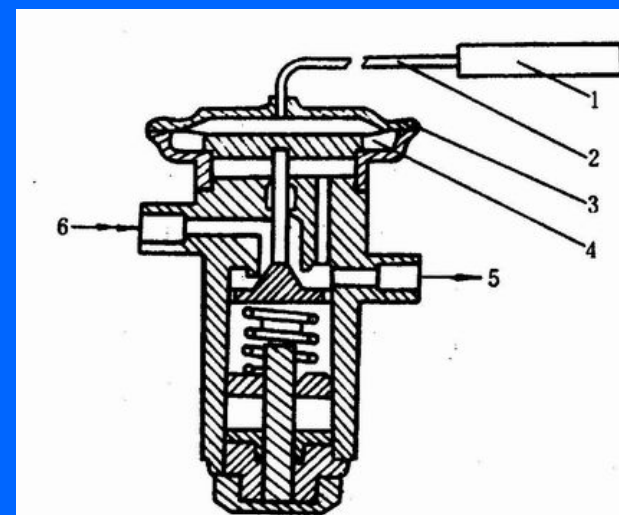
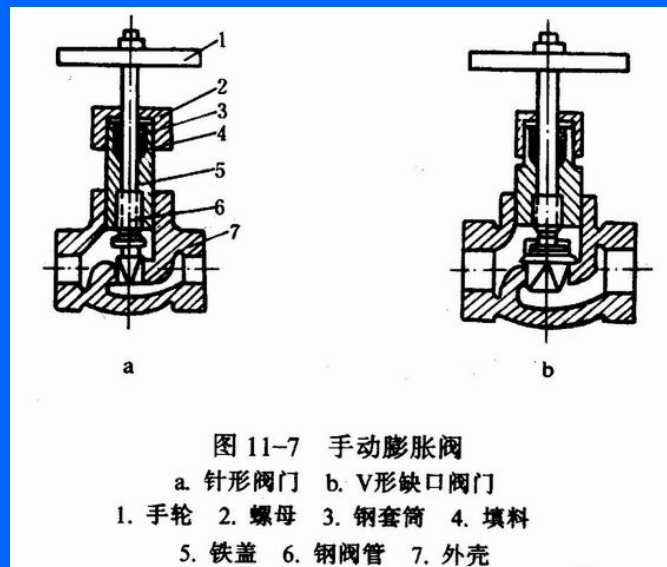
- 功能：起降压及控制流量的作用，高压液体，经节流而降压，由冷凝压力降到蒸发压力。在降低压力的同时，氨液因沸腾蒸发而吸热，降低温度。

（一）手动膨胀阀

- 阀蕊有锥形和V形缺口等型式。
- 特点：结构简单，但不能随热负荷的变化而自动调节。

（二）热力膨胀阀

- 利用蒸发器出口处蒸汽的过热度调节制冷剂。



四、蒸发器

功能：吸收被冷却介质的热量

• 分类：按被冷却介质的性质可分为三大类：

• 1. 冷却液体载冷剂的蒸发器

- 通称为液体冷却器。如水冷却器、盐水冷却器等。制冷剂在管外吸热，载冷剂依靠液泵在管内循环流动，可采用闭式循环，也可采用开式循环。
- 按结构又分为卧管式、立管式螺旋管式和蛇管式等多种。

• 2. 冷却空气的蒸发器

- 制冷剂在管内蒸发，空气在外侧流动。空气自然对流，如设在冷库库房中的墙排管、顶排管；若蒸发器是装在一个箱体内，而空气强制循环，则称为冷风机或空气冷却器。

• 3. 冷却冷冻物料的接触式蒸发器

- 制冷剂在传热间壁的一侧蒸发，间壁的另一侧与被冷却或被冻结的物料直接接触。例如平板冻结装置中的板式蒸发器等。

- 1. 卧式壳管式蒸发器
- 优点：传热效果较好，结构简单，占地面积小，因载冷剂循环系统封密，对设备腐蚀性小，
- 缺点：当盐水泵因故障停止运转时，可能发生冻结，造成管箱破裂。

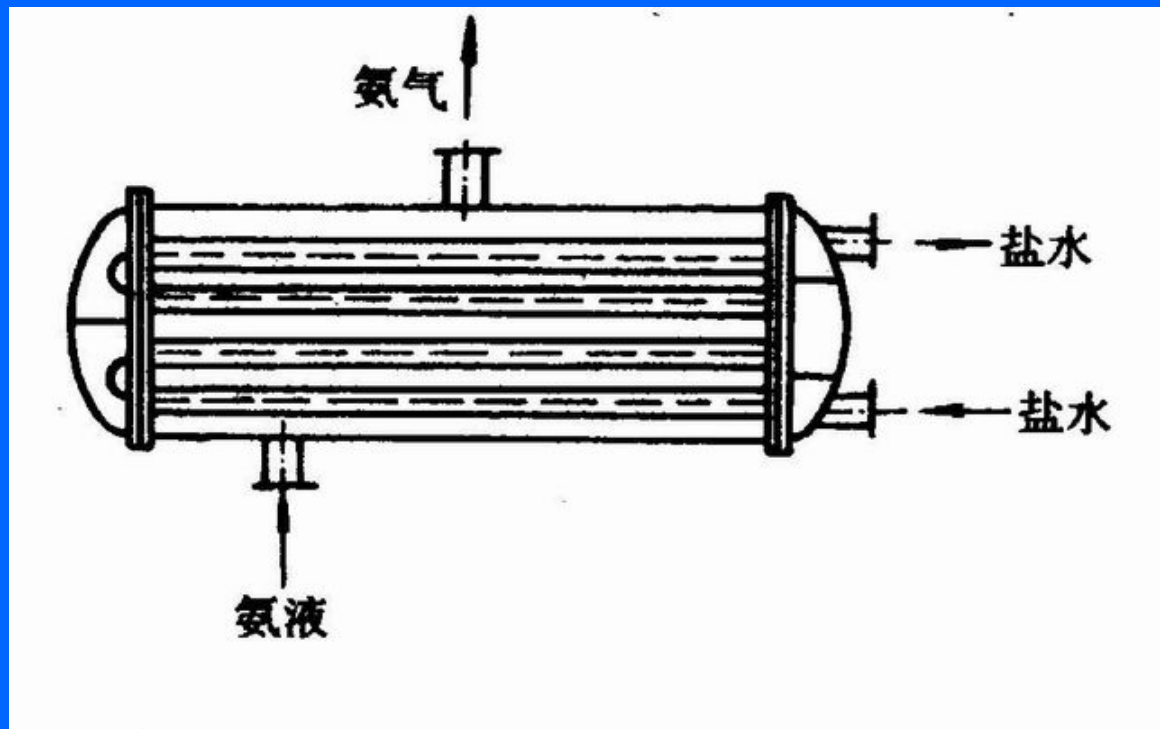


图11-9 卧式壳管式蒸发器示意图

- 2. 冷却排管
- (1) 立式冷却排管
- (2) 单列盘管式墙排管
- (3) 顶排管
- (4) 翘片管

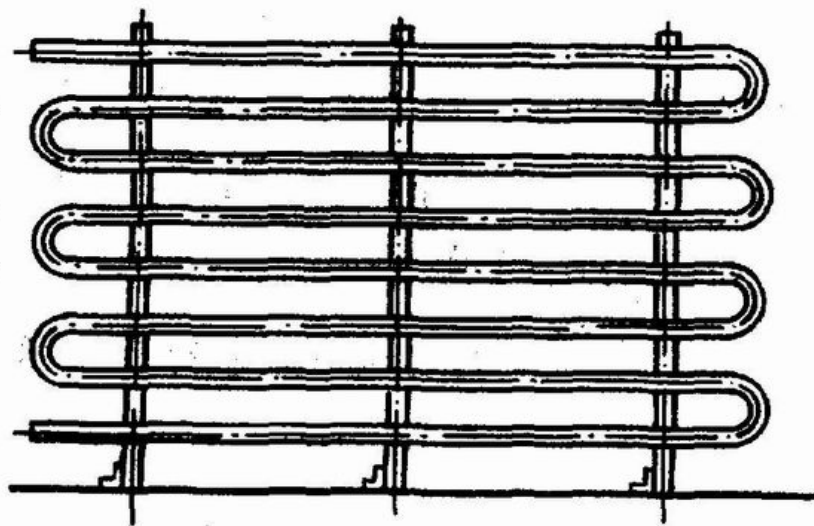


图11-10 单列盘管式冷却排管



图11-11 翘片式蒸发器

- 3. 冷风机
- 靠空气通过冷风机内的蒸发排管来冷却管外强制流动的空气。

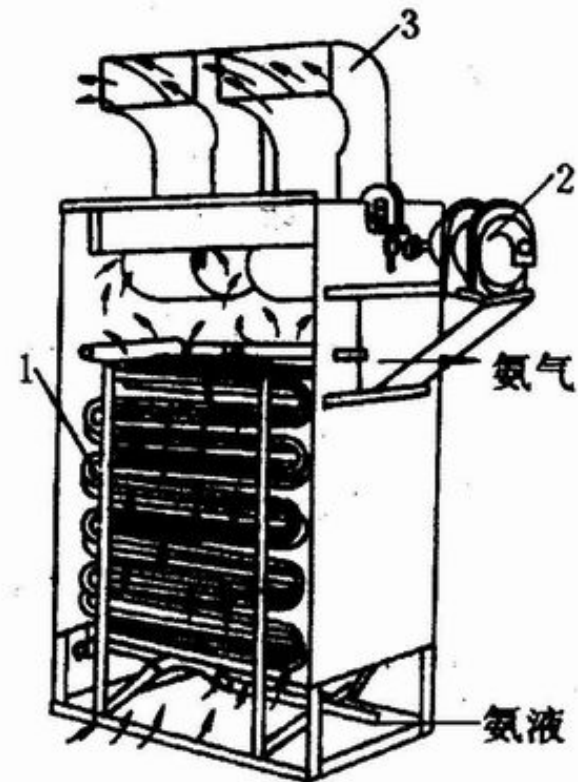
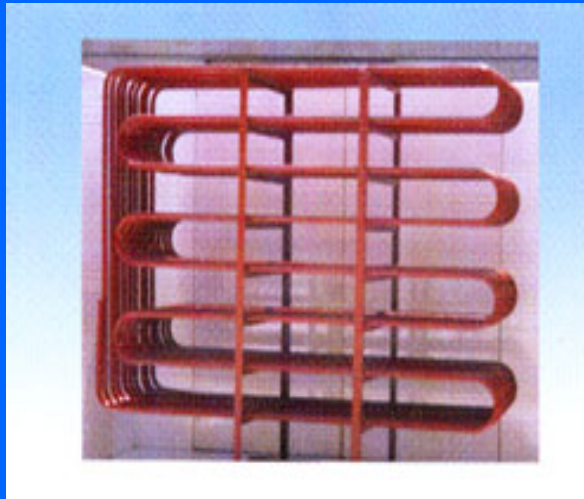


图11-12 干式冷风机(落地式)

1. 蒸发管组 2. 电动机 3. 离心式风机的出风口



斯波兰膨胀阀



骨架式小型排管



D系列蒸发器



可换芯式膨胀阀



手阀

第七节 活塞式压缩制冷设备的附属装置

- 一、油分离器 油分离器又称为油器
- 功能：用于分离高压压缩后的氨气中所挟带的润滑油，以防止润滑油进入冷凝器，使传热条件恶化。
- 油分离器的工作原理
- 目前国内常用的油分离器，用于氨制冷的有洗涤式、填料式和离心式三种，用氟利昂制冷的为过滤式油分离器。
- 这种油分离器的分离率为80%~85%。

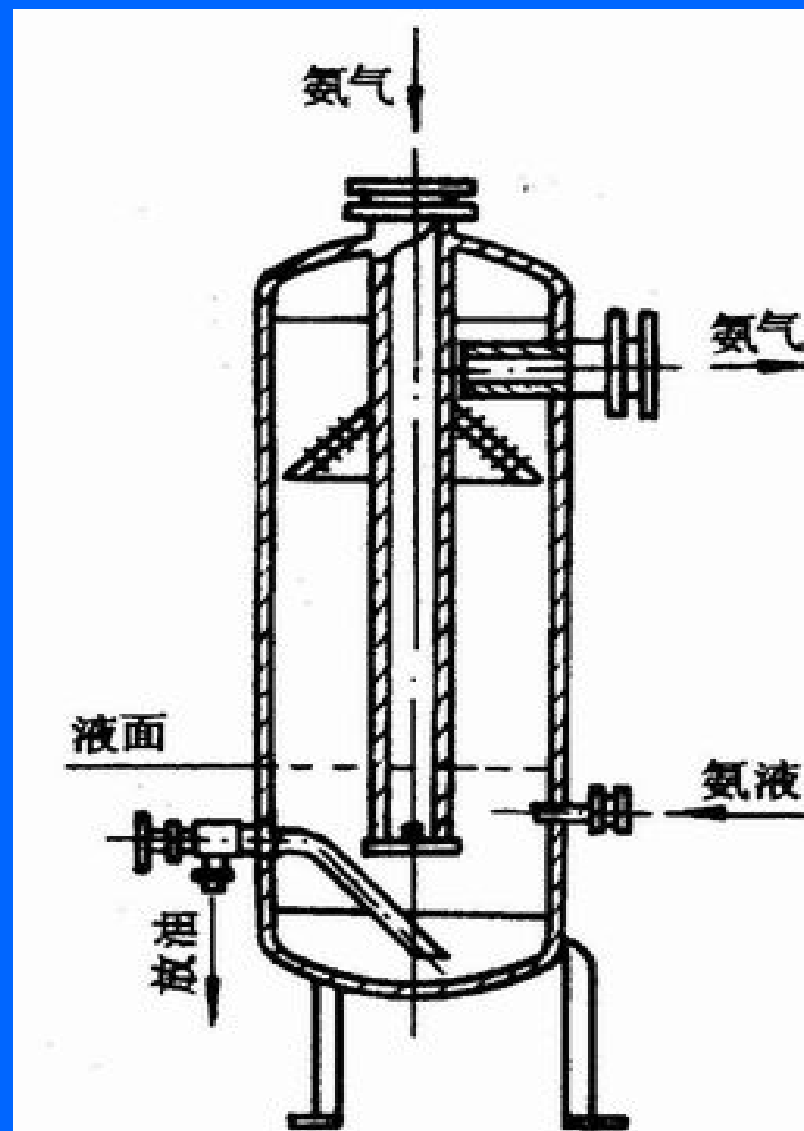


图11-13 油分离器

• 二、集油器

- 功能：集油器是汇集从氨制冷系统的油分离器、冷凝器及其他装置中分离出来的氨、油混合物，使油在低压状态下与混杂的氨再进行分离。
- 集油器的结构是金属立式圆筒形容器，筒体上有进油管、放油管、回气管及压力表等。较大的集油器装有玻璃管液面指示器。

• 三、贮液器

- 功能：贮液器的功用是贮存和调节供给制冷系统内各部分的液体制冷剂。
- 各种贮液器的结构大致相同，都是用钢板焊成的圆筒形容器，筒体上装有进液、出液、放空气、放油、平衡管及压力表等管接头；但各种贮液器的功用不同。
- （一）高压贮液器 设在冷凝器之后，与冷凝器排液管直接联通，使冷凝器内的制冷剂液体能通畅地流入高压贮液器，当蒸发器热负荷变化时，制冷剂的需要量随之变化，贮液器能起调节制冷剂循环量的作用。
- （二）低压贮液器 只在大型制冷设备中使用。其功用是收集蒸发器回气管路上氨液分离器中分离出来的低压氨液，以免液滴随回气冲入压缩机。
- （三）排液桶 它的功用是当冷库中排管冲霜时，用来暂时贮存排管排出的氨液。排液桶的容积，应能容纳需要冲霜各库房中最大房间的氨液量。
- （四）循环贮液桶 循环贮液桶是用于氨泵供液制冷系统的重要装置，它既能稳定地保证氨泵循环所需的低压氨液，又能对库房的回气进行汽液分离。



• 四、氨液分离器

- 功能：分离来自蒸发器的氨液，防止氨液进入压缩机发生敲缸。还能起到调剂分配氨液的作用。
- 氨液分离器有立式、卧式和T型三种结构型式。

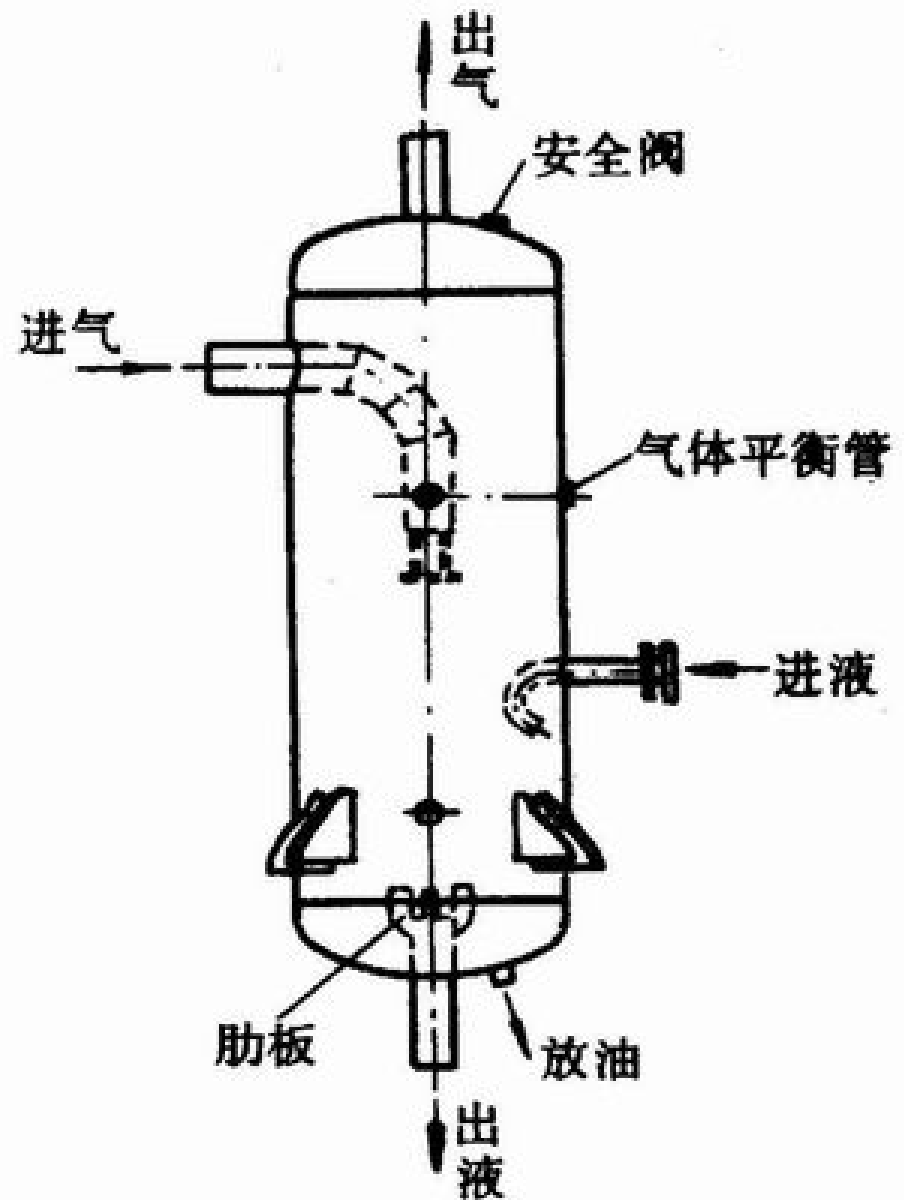


图11-14 氨液分离器

五、空气分离器

- 功能：分离排出冷凝器中不能液化的气体。
- 不凝气体的来源：
 - (1)首次加氨时残留在系统内气体。
 - (2)低压管路的渗漏。
 - (3)润滑油或氨的分解。
- 不凝气体的危害：
 - 聚集在冷凝器，高压贮氨器等设备内，降低冷凝器的传热系数，引起冷凝器压力升高，增加压缩机的功耗及耗电量。

空气分离的原理：

冷凝分离法

五、空气分离器

- 1、二重管式(套管式)空气分离器：
- 型式：立式，卧式。
- 安装：在冷凝器旁边。
- 2、四重管式空气分离器
- 结构：由四个同心套管焊制而成。其上有混合气体进口，氨液进口，氨气出口及放空气口等接头。
- 特点：分离效果高，体积小。

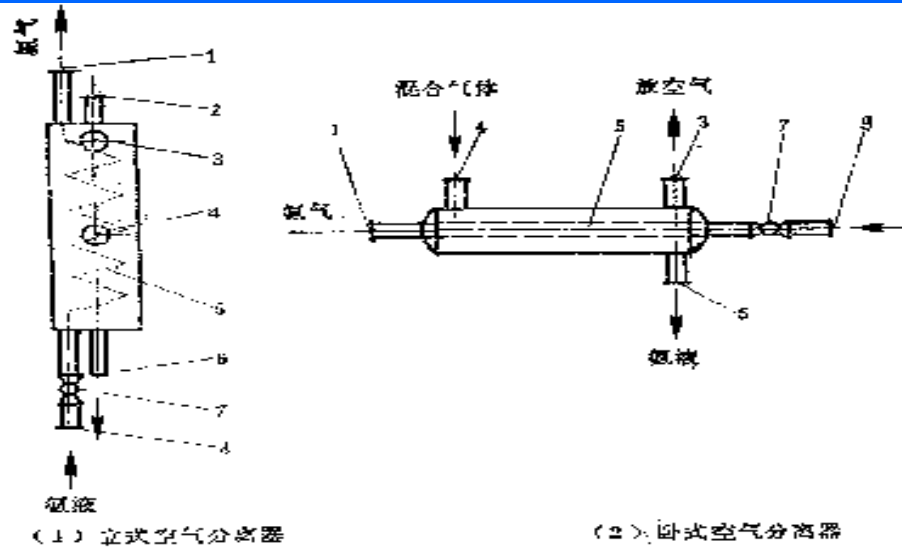


图 9-20 二重管式空气分离器

1—氨气出口 2—温度计插座 3—放空气 4—混合气体进口 5—冷却盘管 6—凝氨液出口 7—膨胀阀 8—氨液进口

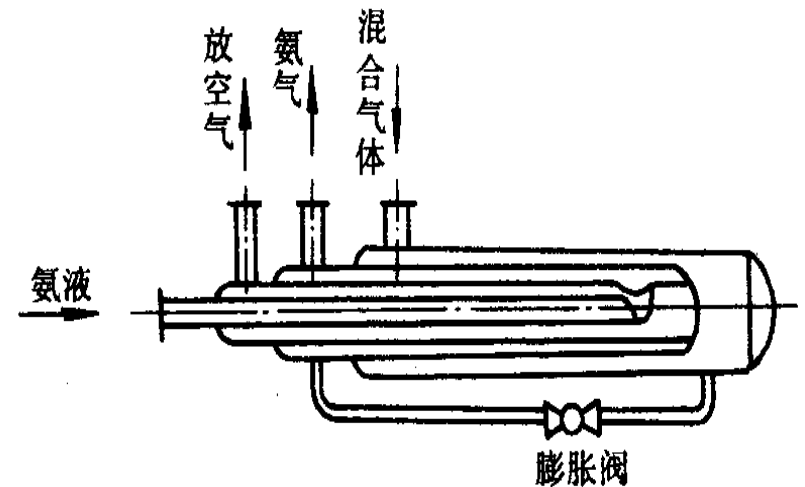


图 11-15 四重管式空气分离器

• 五、空气分离器

- 套管式空气分离器，它由四个同心套管焊接而成，从内向外数，第一管与第三管，第二管与第四管分别接通，第四管与第三管间接旁通，有节流阀。
- 工作时来自节流阀的氨液，进入一、三管蒸发吸热而汽化，氨气由第三管上的出口被压缩机吸走。
- 自来冷凝器与高压贮液器的混合气体，进入第四根管，其中氨气因受冷凝结为液体由第四根管下部经节流阀再回收引到第三管中蒸发，分离出来的不凝结气体（包括空气）由第二根管引入存水的容器中放出。
- 从水中气泡多少和大小可以判断系统中的空气是否已放尽，当系统中的空气接近放净时，水中无大气泡，当水温升高时，说明有氨气放出，应停止放气操作。

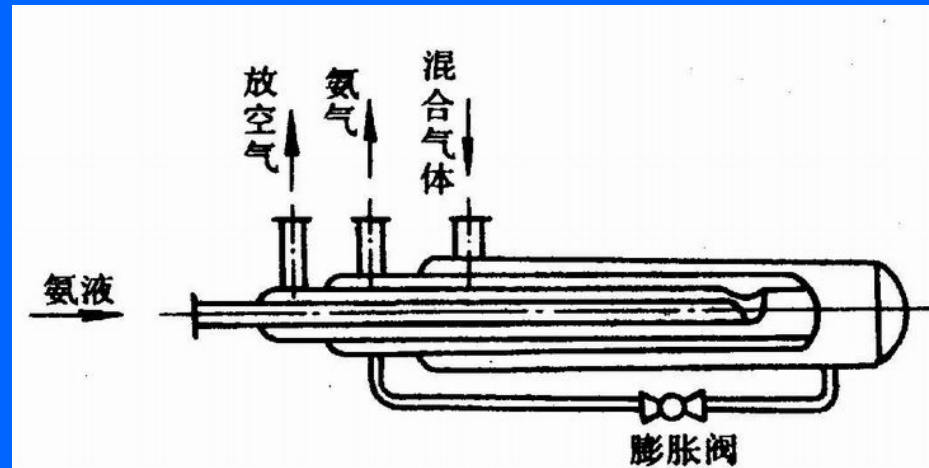
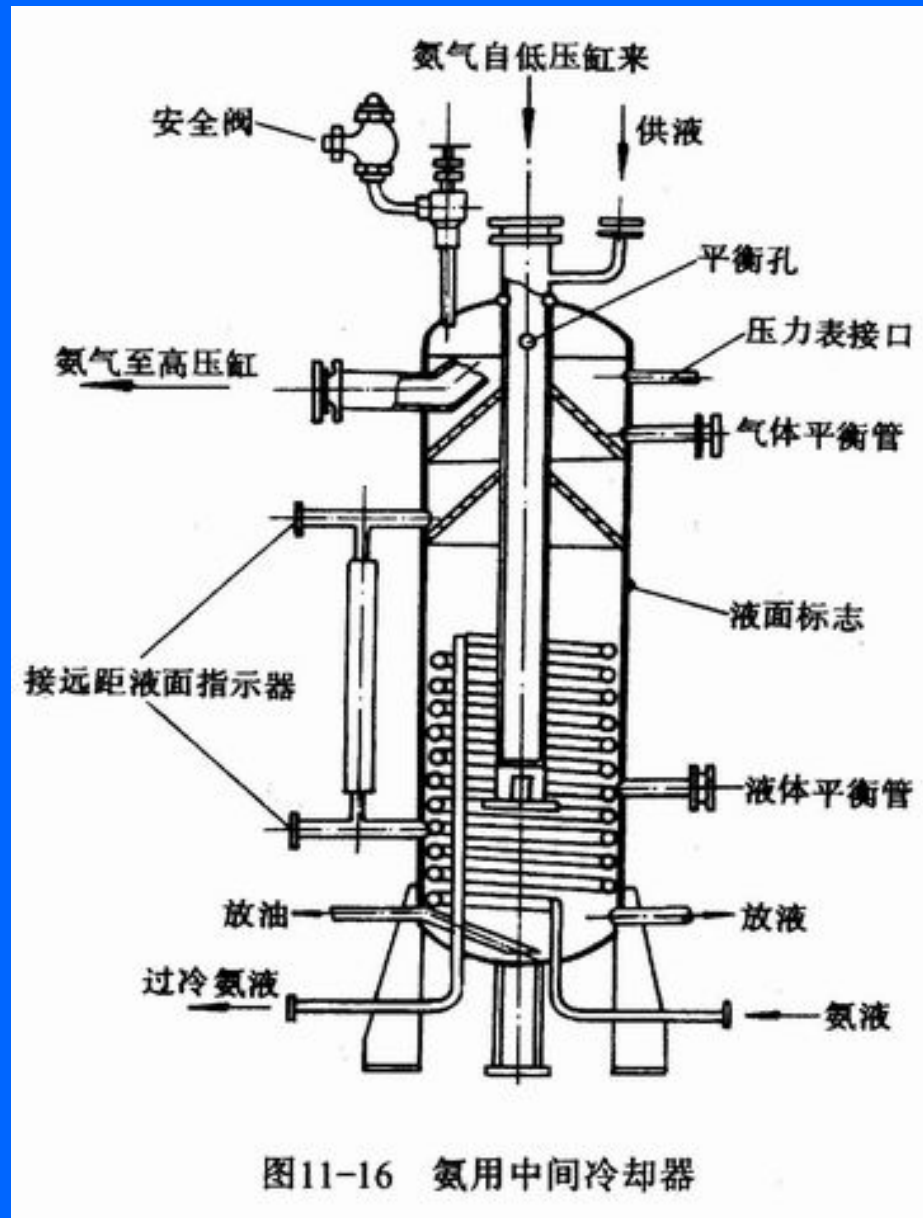


图 11-15 四重管式空气分离器

• 六、中间冷却器

- 功能：在双级（或多级）压缩制冷系统中，用以冷却低压级压缩机排出的过热气体，保证高压级压缩机的正常工作。

- 另外它具有分离低压级排气中挟带的润滑油，以及冷却制冷剂，使制冷剂获得较大过冷度的功用。



• 七、凉水装置

- 功能：将冷凝器、过冷器及压缩机的冷却水冷却水降温后，重复使用。
- 凉水装置的型式很多，常用的有点波填料凉水塔。
- 这种装置结构紧凑，占地面积小，冷却效果好，耗水量低。

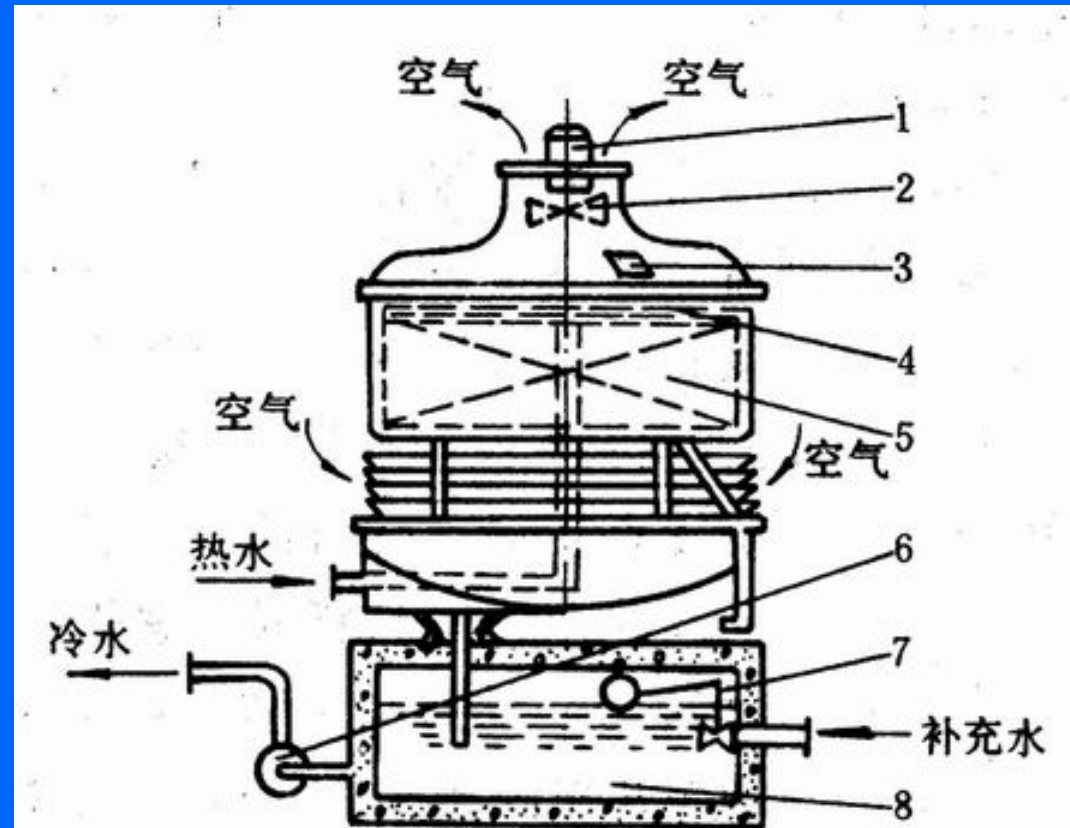


图11-17 点波填料凉水塔

1. 电动机 2. 风扇 3. 视孔 4. 喷水管(旋转布水器)
5. 填料层 6. 水泵 7. 浮球阀 8. 水池



• 高压力油表



低压力油表



电磁阀



冷却塔

第八节 冷藏库

一、冷藏库的作用、分类和组成

- (一) 作用
 - ①使易腐产品能较长时间保存；
 - ②为农产品、食品加工厂长时间均衡加工创造条件；
 - ③供大型副食店、菜场和食堂短期或临时贮存食品之用。
- (二) 分类 冷库按容量分为大型冷库（5000t以上）、中型冷库（1500～5000t）和小型冷库（1500t以下）。
 1. 按使用性质分
 - (1) 生产性冷库 主要建在产地。
 - (2) 分配性冷库 主要建在消费中心。
 - (3) 混合性冷库 兼有生产性和分配性冷库的特点。
 2. 按使用要求分
 - (1) 高温冷库 冷藏果品、蔬菜、鲜蛋等食品，。一般库温4～-2℃。
 - (2) 低温冷库 冷冻并冻藏肉类、水产品等，一般库温为-18～-30℃。
 - (3) 空调库 贮藏米、面、药材、酒等，一般库温在10～15℃。

- (三) 冷库的组成 机房, 冷却间、速冻间、冷藏间、冻藏间、制冰间、产品分级清洗间、调节站、配电间、货物升降装置、氨库和冷却塔等。

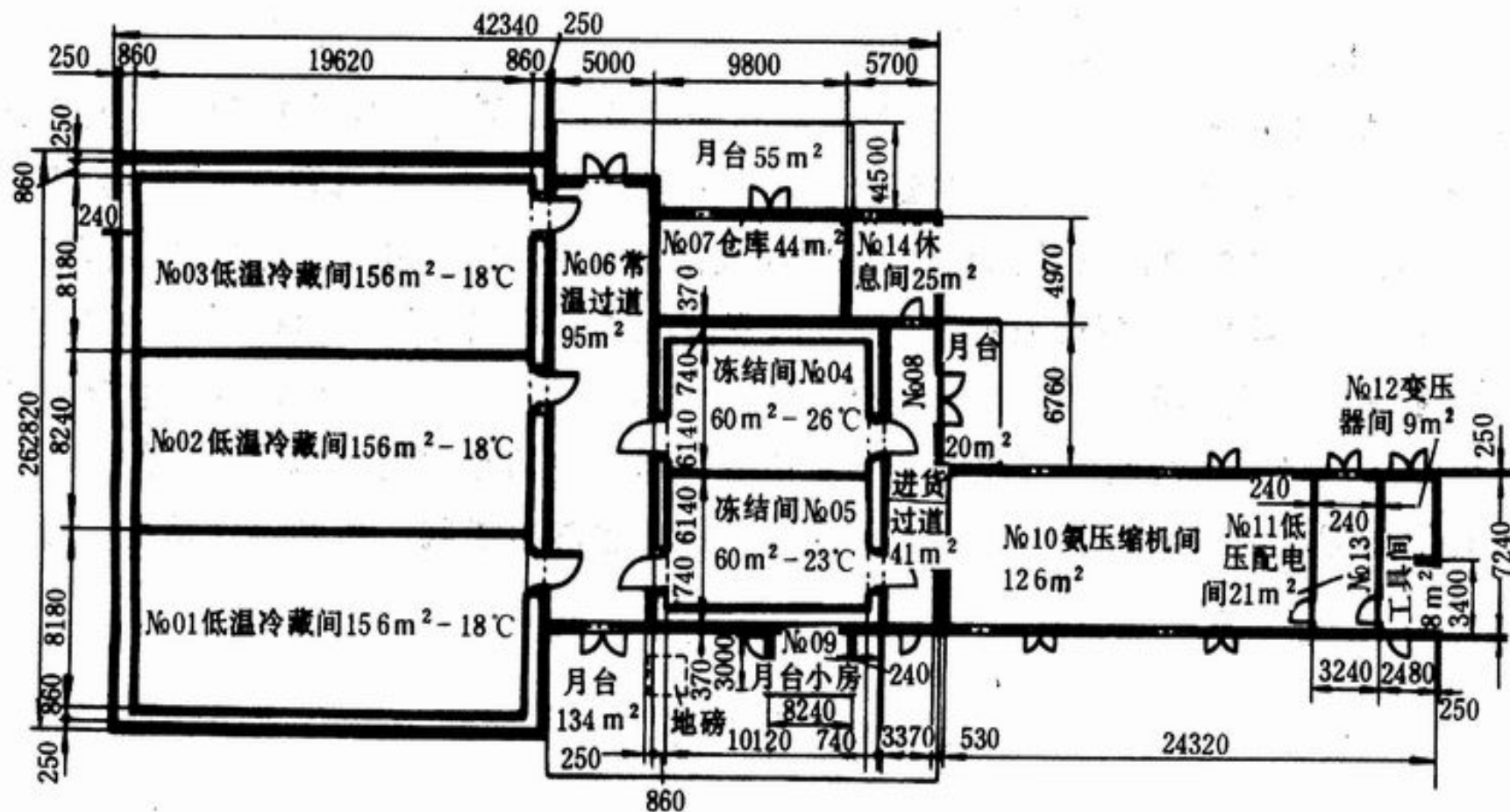


图11-22 500t小型冷藏库平面图

二、冷藏库的制冷系统及其设备选择

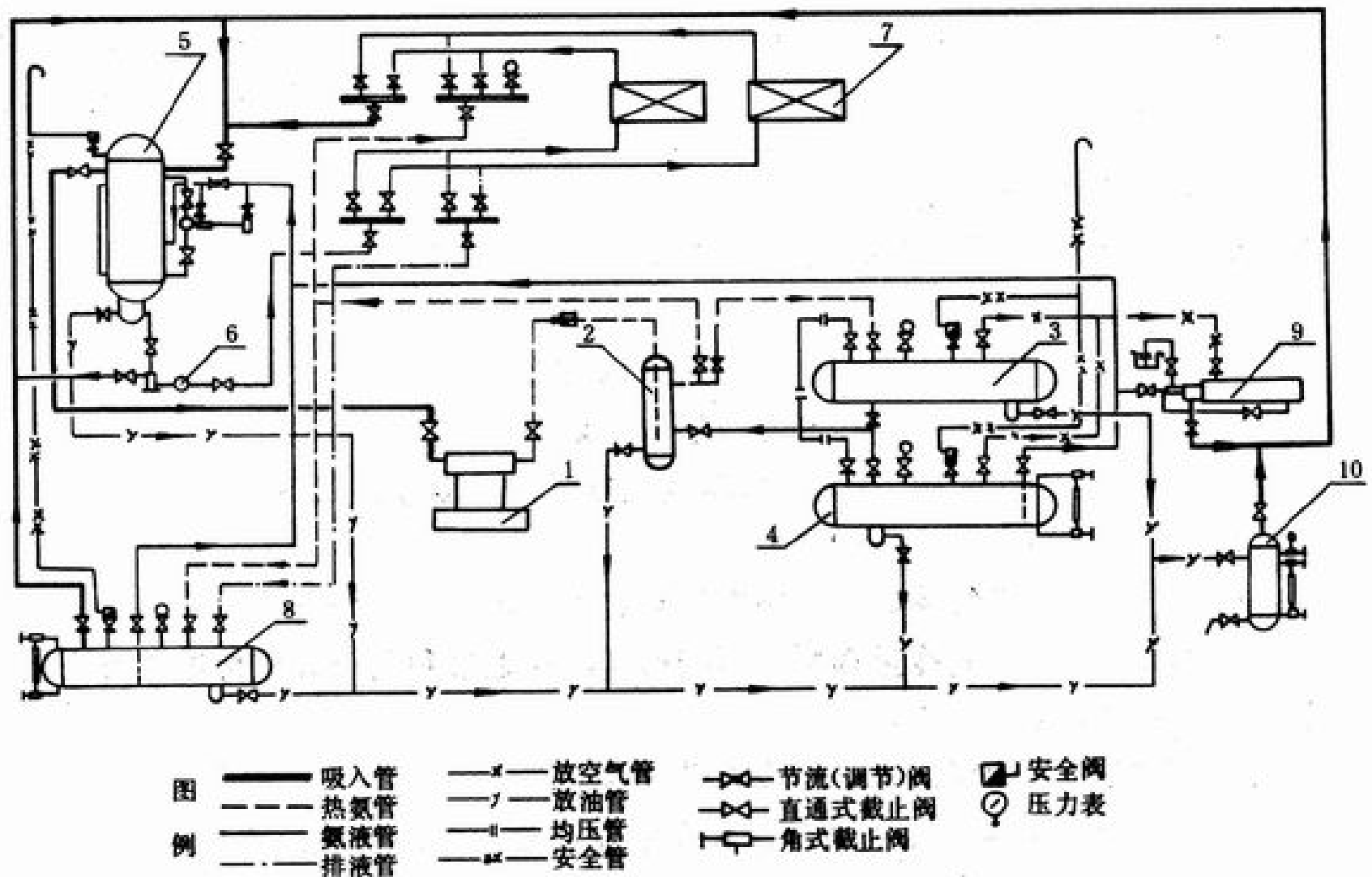


图11-23 单级压缩制冷系统原理图

1. 压缩机 2. 洗涤式油分离器 3. 冷凝器 4. 贮氨器 5. 低压循环桶 6. 氨泵
7. 冷分配设备 8. 排液桶 9. 空气分离器 10. 集油器

二、冷藏库的制冷系统及其设备选择

- 1. 压缩机 (1) 一般选择原则
 - ①负荷 总负荷按各冷间的耗冷量加以汇总修正确定。
 - ②台数 冷库所需制冷压缩机的总负荷较大时，宜选用大型压缩机，以减少台数，简化系统，但整个冷库中的压缩机，不得少于两台。
 - ③备件 不同蒸发系统的压缩机，应考虑到各系统之间相互代替的可能性。以便各零件的互换使用。
 - ④压缩比 压缩比小于8时，即 -15°C 蒸发温度的制冷系统，采用单级压缩机。压缩比大于8时，即 $-28\sim-33^{\circ}\text{C}$ 蒸发温度的制冷系统，则采用双级压缩机。

- (2) 单级压缩机的选型计算 根据压缩机总负荷，有以下两种方法：

- ①按压缩机的理论排气量选型。求得压缩机的理论排气量，再查得相近的理论排气量，即可选定压缩机的型号和台数。

$$V_p = \frac{Q_j V_2}{(i_1 - i_5) \lambda_q} \quad (\text{m}^3 / \text{h})$$

- ②按压缩机的标准工况制冷量选型。把所需的压缩机负荷折算成标准工况下的制冷量，以选配压缩机的型号和台数。

(五) 压缩机的有关计算

1、压缩机产冷量的计算

(1) 压焓图

(2) 理论排气量: $V_p = 15 \pi D^2 s n z$ (m³/h)

(3) 氨循环量: $G = V_p \lambda_q / V_1$

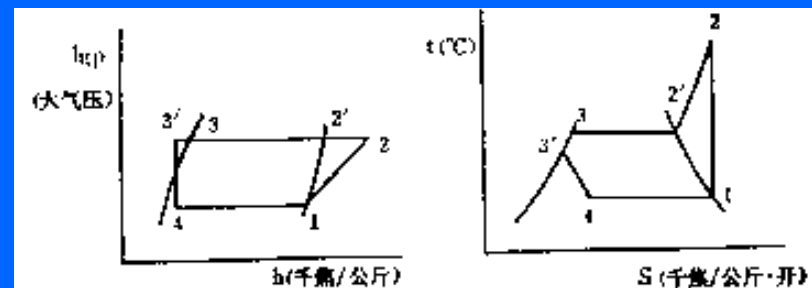
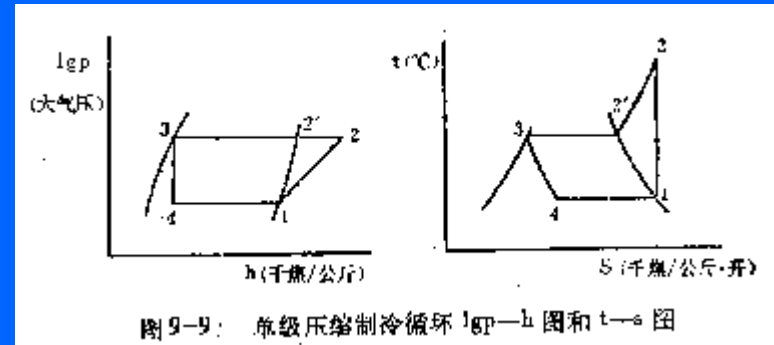
λ_q —吸气系数, V_1 —吸气温度下氨的比容

(4) 产冷量(制冷能力)

$$Q = V_p \lambda_q q_r / 3.6 \quad \text{或} \quad Q = G (i_1 - i_4) / 3.6$$

不同工况下制冷量换算

$$Q_g = Q_b q_g \lambda_g / q_b \lambda_b$$



- ## 2. 冷凝器冷凝器的选型

- (1) 立式冷凝器适用于水质较差、水源丰富的地区，一般布置在冷库机房外面；常用于大、中型冷库。
- (2) 卧式冷凝器适用于水温较低、水质较好的地区，一般布置在室内与中小型制冷机组配套，亦用于船舶制冷装置。
- (3) 淋水式冷凝器适用于空气干燥、水源不足和水质较差的地区，布置在室外通风良好的地方，一般与氨制冷设备配套。
- (4) 蒸发式冷凝器适用于水源困难的地区，一般布置于厂房的顶部或通风良好的地方。
- (5) 空气冷却式冷凝器，主要适用于小型氟利昂制冷装置。

- (二) 库房冷却系统

- 1. 供液方式 在直接冷却系统中，供液方式分为直接膨胀供液、重力供液和氨泵供液三种。

- (1) 直接膨胀供液系统 借冷凝压力与蒸发压力差经节流阀，直接向冷分配装置供液。其特点是系统简单；但因无分离装置，节流后的制冷剂是两相流，影响传热效能。

- (2) 重力供液系统 借低压氨液本身的重力进行供液。

- 为满足供液所需的静液柱，氨液分离器液面需高于冷分配设备最高点0.5—2m。

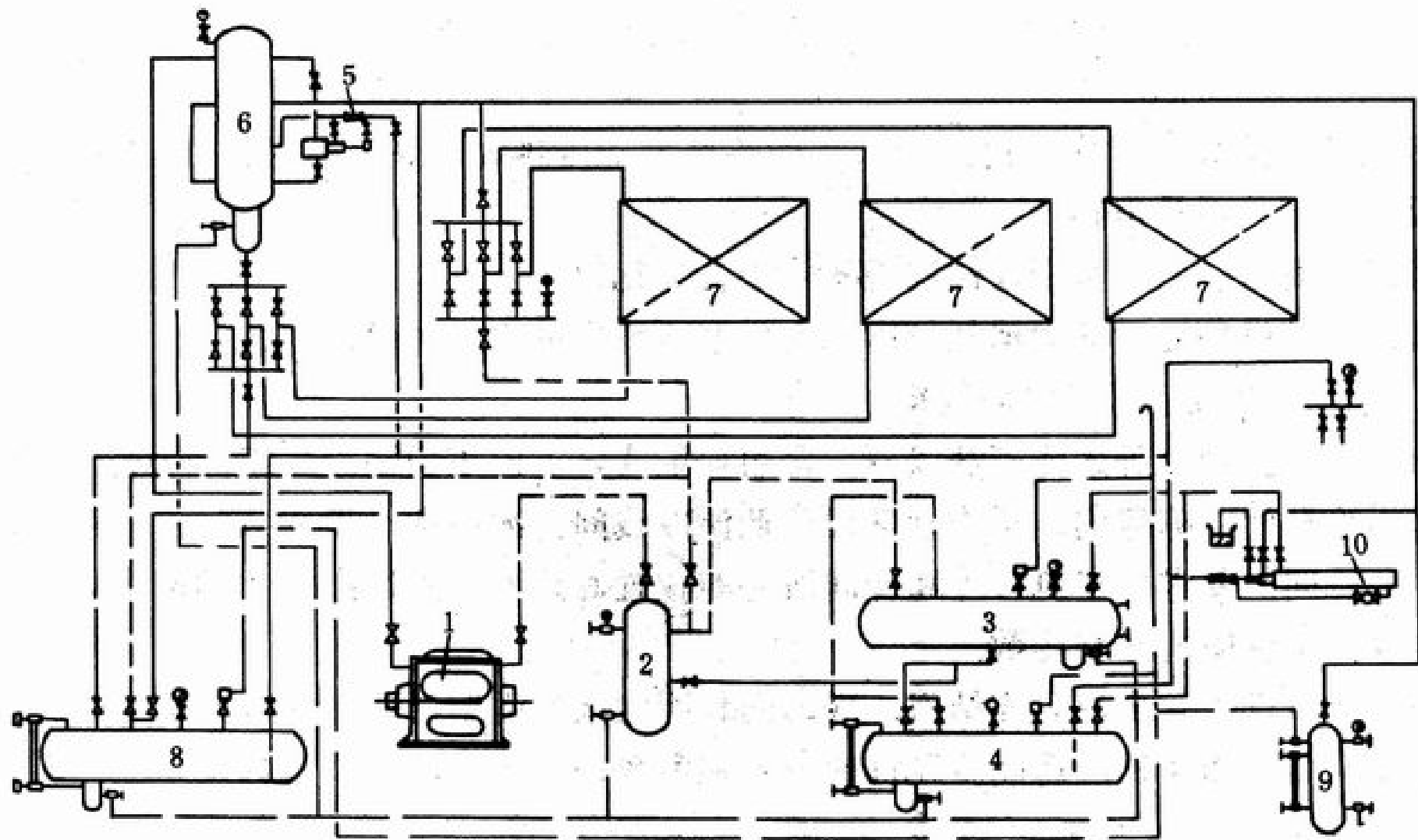


图11-24 单级压缩重力供液氨制冷系统

1. 压缩机 2. 氨油分离器 3. 卧式冷凝器 4. 高压贮液桶 5. 调节阀 6. 氨液分离器 7. 蒸发器(排管) 8. 排液桶 9. 集油器 10. 空气分离器

- ①重力供液制冷系统的优点：
 - 第一，利用氨液分离器将节流生成的闪发气体分离出来，有利于提高冷分配设备的传热效能。
 - 第二，同一蒸发温度的冷分配设备可使用一个膨胀阀和氨液分离器，节省膨胀阀。
 - 第三，供液中有氨液分离器的缓冲作用，因而容易实现正常工况的操作调节。
- ②缺点：
 - 第一，氨液在较小压差下流动，放热系数小，蒸发器的换热强度较低。
 - 第二，用一个氨液分离器向多个同层库房供液时，因冷却设备阻力较大，制冷剂有再汽化的可能。如供液路长短不一，供液不均。
 - 第三，在热负荷变化较大或供液距离较长时，还需在机房内设氨液分离器。
- 目前我国不少中小型冷藏库仍采用这种供液方式

- (3) 氨泵供液方式 这种供液系统是利用氨泵向蒸发器输送低温（低压）氨液。
- 氨泵供液的优点是：
 - ①依靠氨泵的机械作用输液，进液压力较高，即使管路配液不均，仍保证结霜均匀。
 - ②氨液在蒸发排管内强迫流动，且循环量大，传热效果好，不易积油，不产生过热，蒸发温度稳定，不易击缸。
 - ③操作简单，便于集中控制实现系统的自动化。
- 其缺点是设备费用动力消耗较高，大中型冷藏库采用这种供液方式。

- 2. 蒸发器的选择

- (1) 冷却排管

- 卧式壳管蒸发器，常用船舶或小型制冷机组。
- 立式、盘管式墙排管适用冷藏间、冻藏间。
- 顶排管常用于低温冷藏间、冰库和小型冻结间。

- (2) 冷风机

- 它多用于冻结间、冷却间和冷藏间的强制通风。按冷间特点、建筑尺寸和所需冷却面积，选配冷风机的型号和台数。



- 冷库及结构

第九节 速冻设备

- 速冻设备适用于冻结小包装或未包装的块、片、粒等状的原料，制成各种速冻食品。一般冻结温度为 $-30\sim-40^{\circ}\text{C}$ 。
- 分类：按冷却方法分为空气冷冻法、间接接触冷冻法和浸渍冷冻法。按速冻设备的结构分为箱式、隧道式、带式、流化床式和螺旋式等型式。

• 一、箱式速冻机

- 又称平板式速冻器，夹层中装有蒸发盘管。管间也可灌入盐水，制冷剂川流于蒸发盘管内；被速冻的产品放在平板间，并移动平板，将物料压紧，进行冻结。
- 平板式速冻器的特点是结构简单紧凑，作业费用较低，但生产能力小，装卸费工。

• 二、隧道式速冻机

- 这种速冻机的特点是可冻结产品的范围广，冷冻效率较高，冲霜迅速，清洗方便。

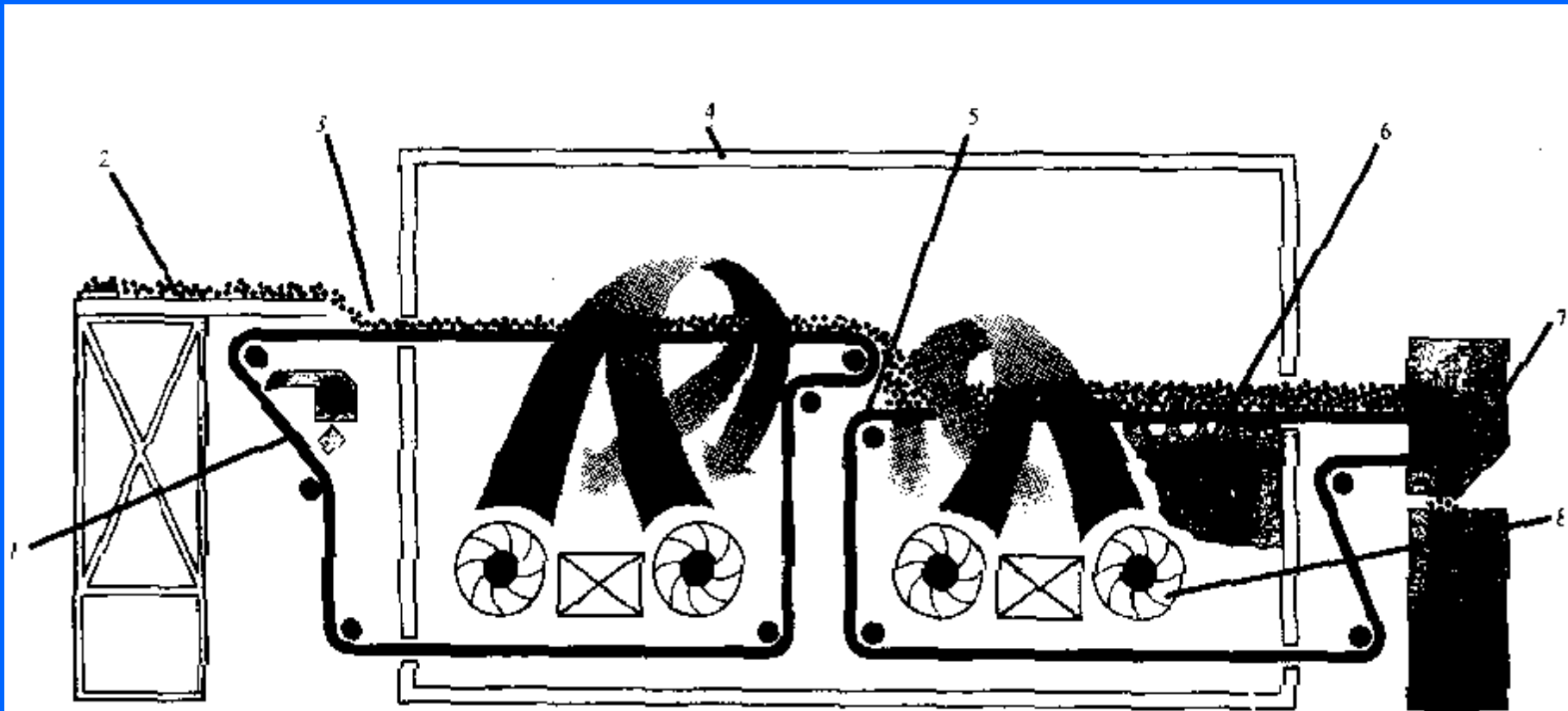


图11-25 隧道式速冻机工作示意图

1. 第一级传动网带 2. 物料 3. 进料口 4. 隧道壳体 5. 第二级传动网带 6. 制冷蒸发器 7. 卸料口 8. 风机

• 三、硫化床式速冻机

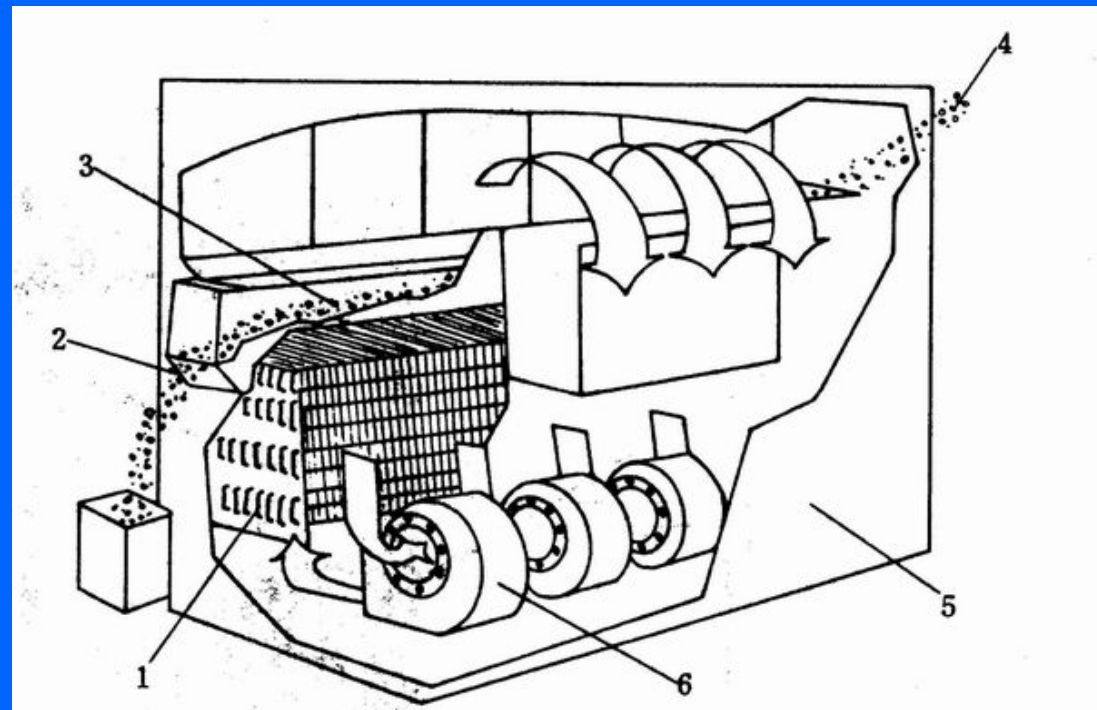
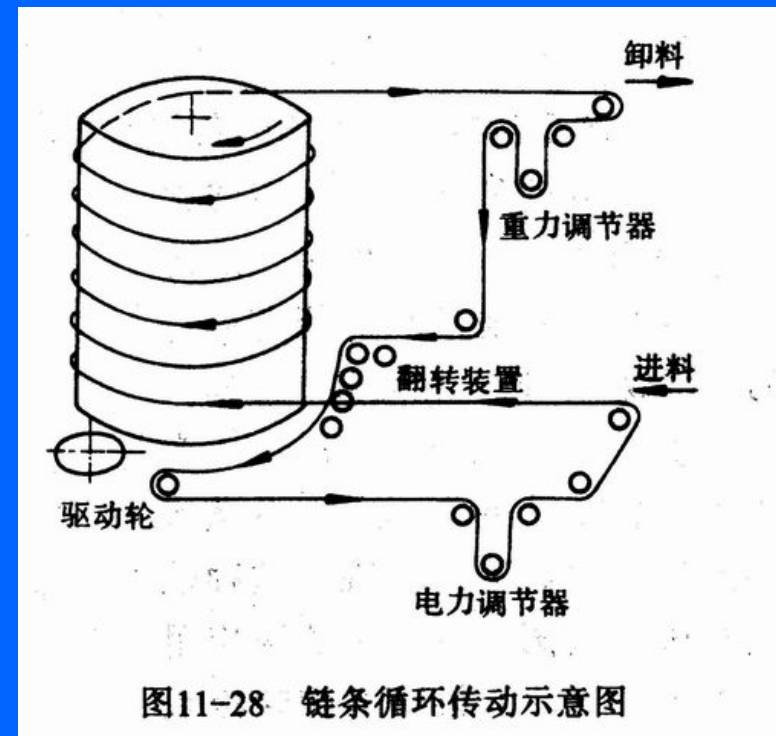
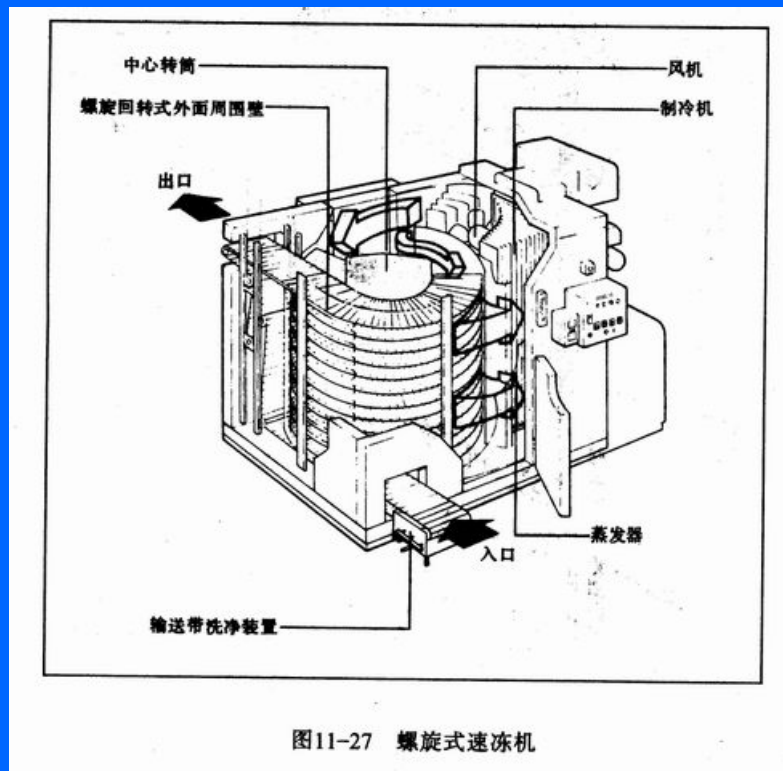


图11-26 流化床式速冻机

1. 制冷蒸发器 2. 卸料口 3. 物料 4. 进料口 5. 机罩 6. 风机

• 四、螺旋式速冻机

- 采用氟利昂双级压缩制冷系统，蒸发器为铜管铝翅片结构，冷风温度为 $-5\sim-40^{\circ}\text{C}$ 。处理能力为 $100\sim 500\text{kg/h}$ 。
- 该机的特点是结构紧凑，占地面积小，连续作业，冻结迅速，适用于薄肉片、鱼片、冰激淋和冷点心多种食品加工。但设备费用较高。



• 五、浸渍式速冻机

- 制冷剂有液态氮、液态二氧化碳和氟利昂等。为隧道式结构，隧道内有传送带，喷雾器或浸渍器和风机等。
- 特点：结构简单，使用寿命长，可超速单体冻结，但成本高。

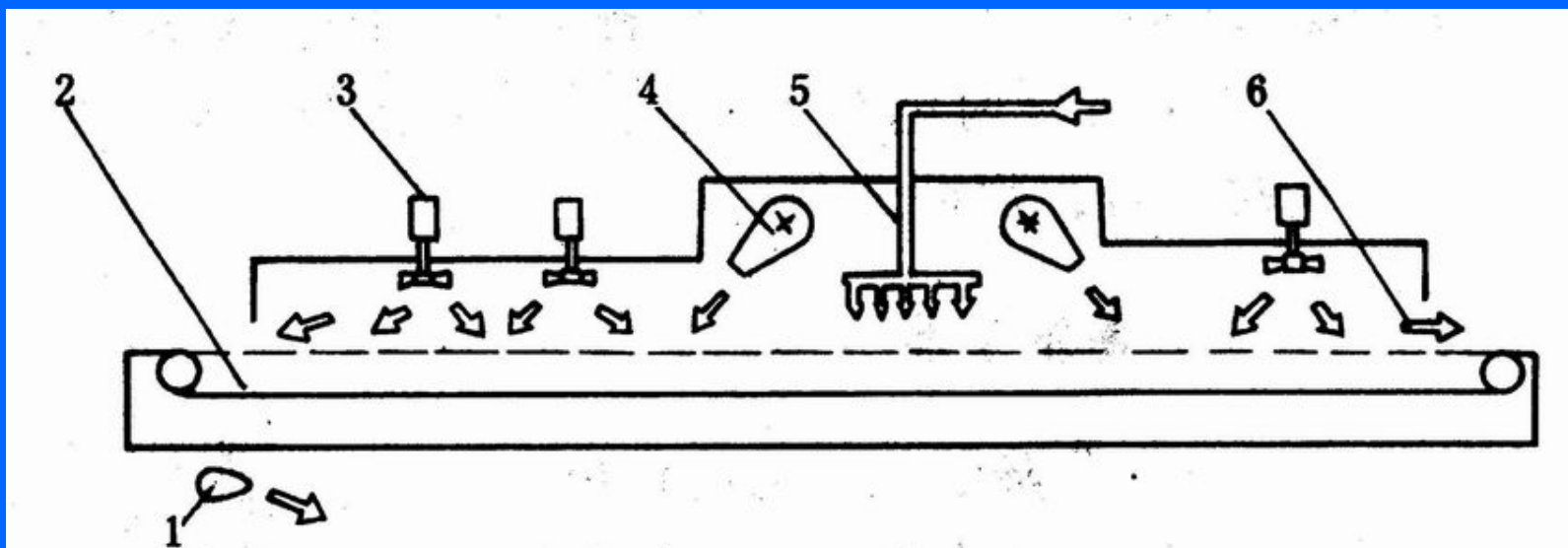
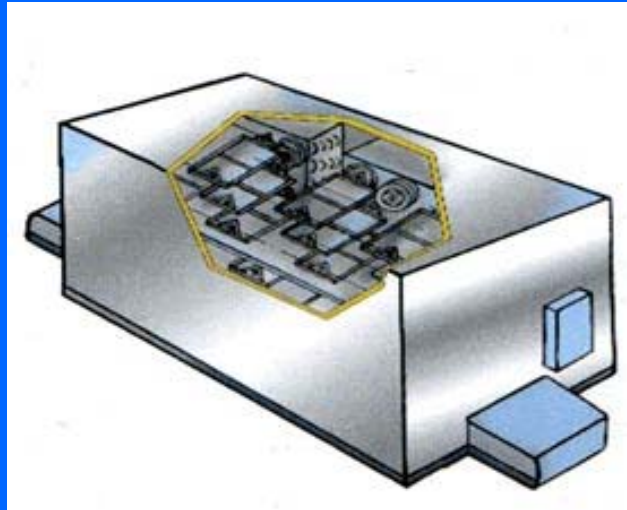


图11-29 液氮冻结装置

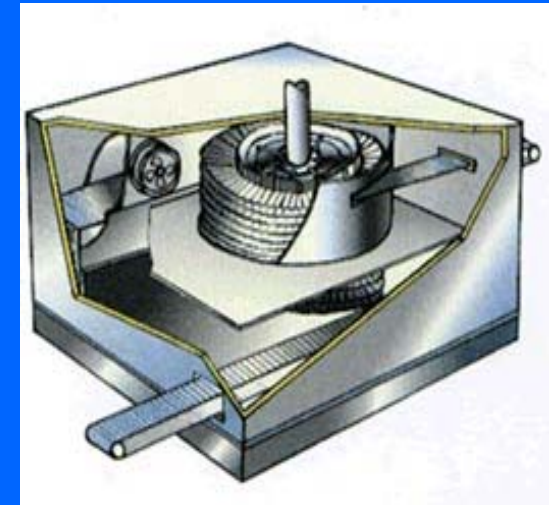
1. 排散风机 2. 进料口 3. 搅拌风机 4. 风机
5. LN₂ 喷雾器 6. 出料口



速冻蔬菜操作现场



SDD多层隧道式速冻机



LS单螺旋速冻机



- SP-I型速冻蔬菜预处理生产流水线，实现蔬菜清洗、分选、漂烫、冷却、滤水等速冻预处理流程的自动化。

第十节 气调冷藏设备

- 气调冷藏是将冷藏与气调贮藏相结合，除能控制贮藏内的温度外，还控制气体的组成，使库内的氧和二氧化碳的含量，有适当的配合，并保持一定湿度，主要用于果蔬贮藏，能获得良好的保鲜效果。
- 贮藏损失小，目前果蔬贮藏除冷藏外，多采用薄膜封闭气调。
- 气调冷藏设备，主要包括库房、制冷机组、 N_2 产生器、 CO_2 吸附机组和其他装置。

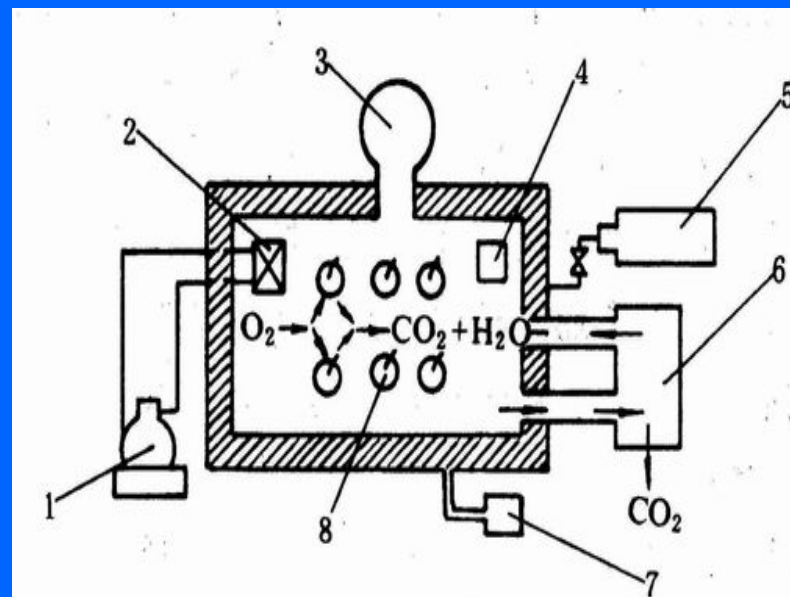


图11-30 气调冷藏库的组成

1. 制冷机
2. 空气冷却器
3. 气袋
4. 脱臭器
5. N_2 发生器
6. CO_2 洗涤器
7. 气体分析器
8. 果蔬

• 一、库房和制冷系统

- 气调冷藏库的库房结构要求更高的气密性，在四壁内侧和顶板加衬金属薄板或不透气塑料板，或涂喷塑料层，库门等都要有气密装置，严防漏气。

氮发生器

二、

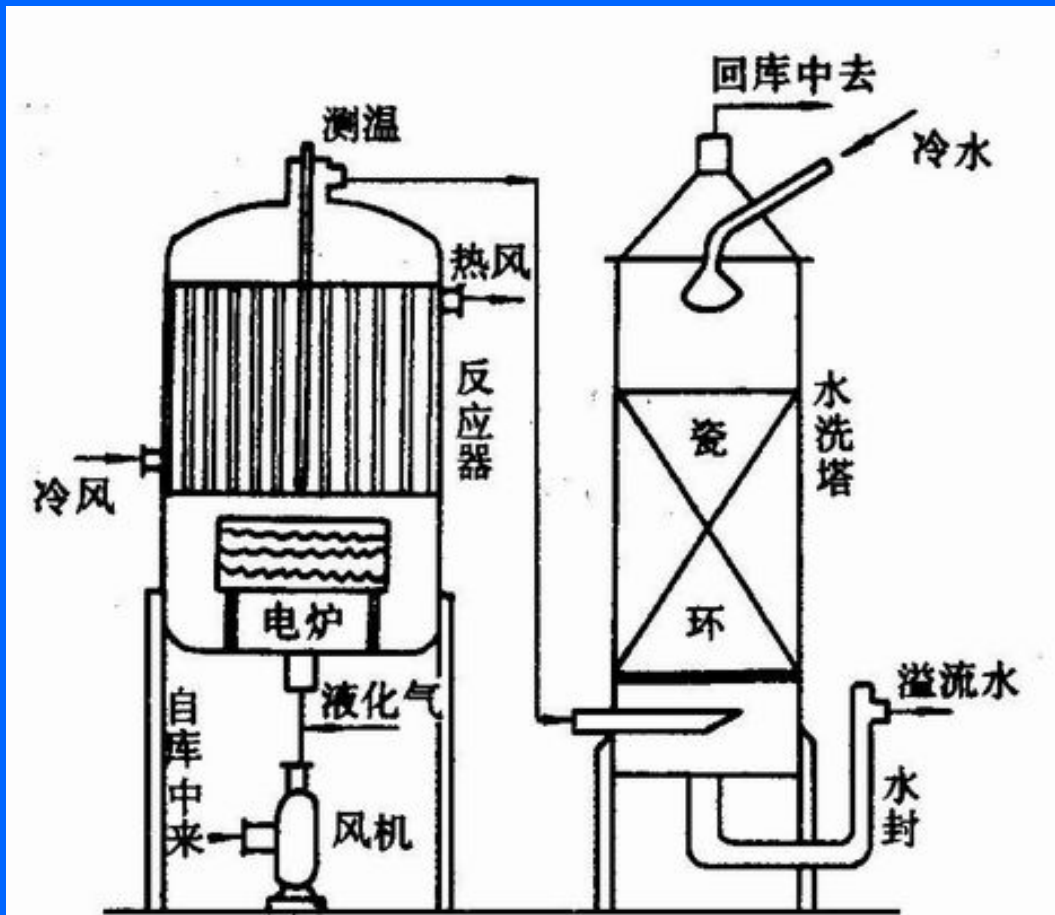


图11-31 管式N₂发生器工作流程图

- 三、二氧化碳洗涤（吸附）机组

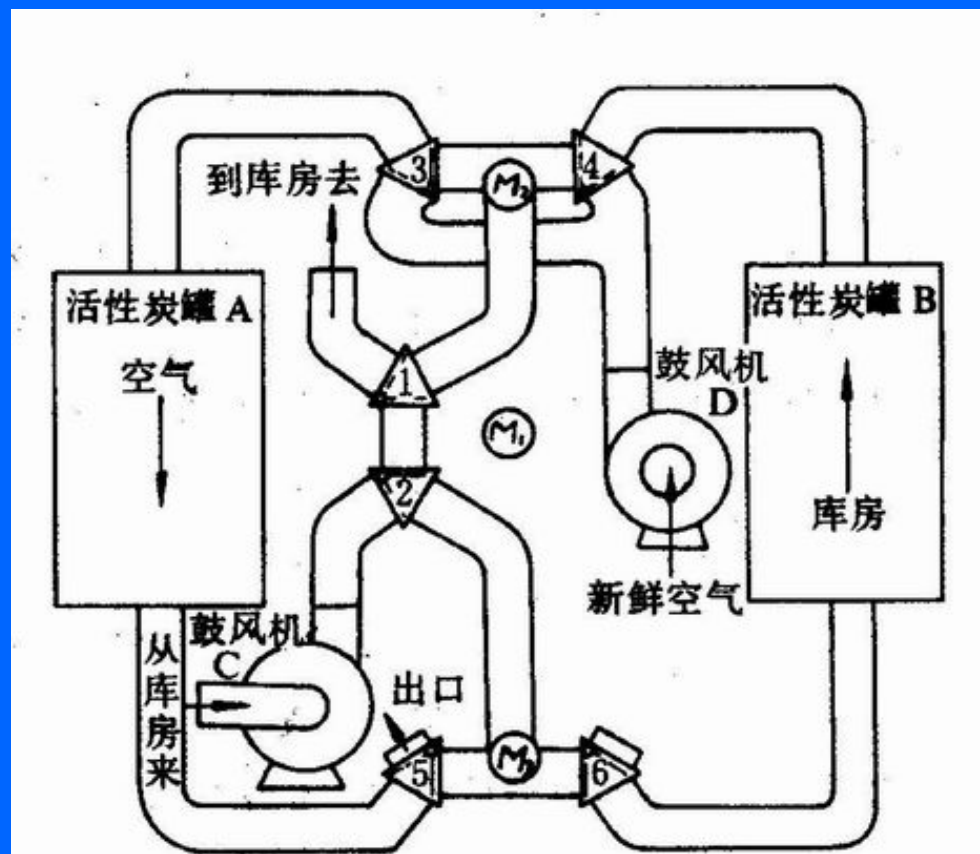


图11-32 CO₂ 吸附机组流程图

- 四、其他装置

- (一) 湿度调节器
- (二) 气压袋
- (三) 温度检测和自动记录仪器
- (四) O_2 、 CO_2 分析和记录仪器

