# 第八章 浓缩与干燥机械设备

# 第八章 浓缩与干燥机械设备

- 第一节 概述
- 第二节 真空浓缩机械与设备
- 第三节 冷冻浓缩机械与设备
- 第四节 真空干燥设备
- 第五节 喷雾干燥机械与设备
- 第六节 沸腾干燥的机械与装备
- 第七节 冷冻干燥技术装备
- 第八节 电磁辐射干燥机械与装备

# 第一节　概述

- 一、浓缩与干燥的概念及主要方法
- 二、浓缩与干燥的目的

# 第一节 概述

## 一、浓缩与干燥的概念及主要方法

浓缩　　是从溶液中除去部份溶剂的操作过程。

呈液相物料中：溶剂 —对流扩散作用→ 液相表面去除 → 物料处于低溶剂含量（约30%）的相对稳定状态

常用的浓缩方法：常压加热浓缩、真空浓缩、冷冻浓缩、结晶浓缩

干燥　从食品或食品物料中除去水分的过程。

物料内部的溶剂 —分子扩散作用→ 从固相物料溶质相对完全除去 → 物料的水分（溶剂）含量一般可在3%～11%左右，甚至更低。

常用的干燥方法有：自然干燥（晒干、风干）和人工干燥（常压加热干燥、真空加热干燥、红外线干燥、微波干燥、冷冻升华干燥等）

# 第一节 概述

## 二、浓缩与干燥的目的

1．浓缩的目的

（1）除去食品原料中的大部分水分，以减少包装、贮藏和运输的费用；

（2）通过提高制品的浓度，达到增加制品贮藏性的目的；

（3）满足食品加工的工艺过程要求，如作为产品干燥脱水或结晶的预处理。

（4）在浓缩过程中，可提取果汁中的芳香物质。

2．干燥的目的

（1）便于物料的贮藏和运输，扩大供应范围；

（2）满足食品含水率的要求，达到安全贮藏的目的；

（3）抑制贮藏中的生化反应，保证产品质量；

（4）经干燥和其它工艺处理，制成风味和形状各异的产品。

# 第二节　真空浓缩机械与设备

- 一、真空浓缩的原理与特点
- 二、真空浓缩设备的结构与应用
- （一）真空浓缩设备的分类
- （二）真空浓缩设备的基本结构
- （三）蒸发器的结构与操作
- （四）真空浓缩装置辅助设备
- （五）多效蒸发设备的流程

# ▪一、真空浓缩的原理与特点

## ▪原理：

溶液受热 —溶剂分子获得动能→ 克服分子间的吸引力 —逸出液面→ 蒸汽分子 → 蒸汽被不断地排除

↑ 热能不断地供给

工程上为了提高这种气化速度，大多采用在沸腾状态下的气化过程

## •特点：

（1）成分复杂的食品原料大多具有热敏性，以及质量上对产品色、香、味的要求，使得食品的浓缩力求“低温短时”，由于料液的沸点与外压有关，低压相对应于低温，真空浓缩对产品的质量有保障。

（2）真空浓缩排除了溶解在料液中的空气、氧气，由于蒸发空间无氧，对易氧化物料的加工品质有利。

（3）蒸发速度快，比常压浓缩省时。

（4）起到预杀菌或部分杀菌的作用。

（5）操作空间密闭，有助于减少微生物对物料的污染。

- 二、真空浓缩设备的结构与应用
- （一）真空浓缩设备的分类
- 1.按加热蒸汽被利用的次数分

（1）单效浓缩设备；（2）多效浓缩设备；（3）带有热泵的浓缩设备。

2.按料液的流程分

- （1）循环式：有自然循环与强制循环之分；（2）单程式。

3.按料液蒸发时的分布状态分

- （1）非膜式：料液在蒸发器内聚集在一起，只是翻滚或在管中流动，形成大蒸发面。非膜式蒸发器有可分盘管式浓缩器和中央循环管式浓缩器。
- （2）薄膜式：料液在蒸发器内蒸发时被分散成薄膜状。薄膜式蒸发器有可分为升膜式、降膜式、片式、刮板式、离心式薄膜浓缩器等。
- （二）真空浓缩设备的基本结构

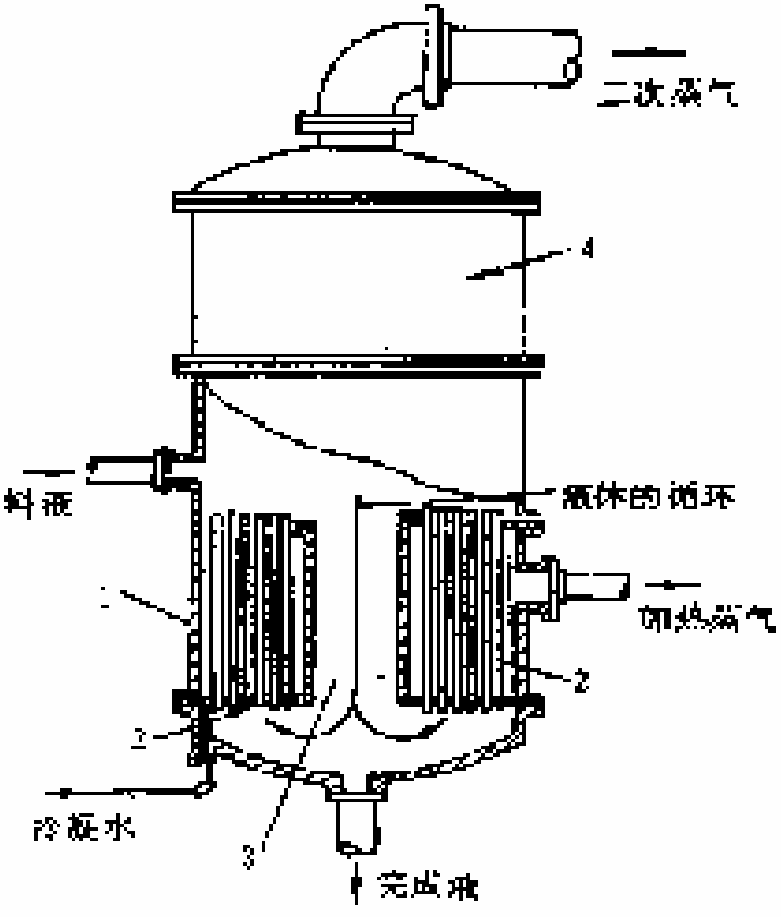
加热室、蒸发室所组成的蒸发器、除沫器、冷凝器以及真空装置等。

# 第二节 真空浓缩机械与设备

- （三）蒸发器的结构与操作

蒸发器
1. 中央循环管式浓缩锅
2. 盘管式浓缩锅
3. 升膜式浓缩设备
4. 降膜式浓缩设备
5. 刮板式薄膜浓缩设备

- （三）蒸发器的结构与操作
- 1．中央循环管式浓缩锅



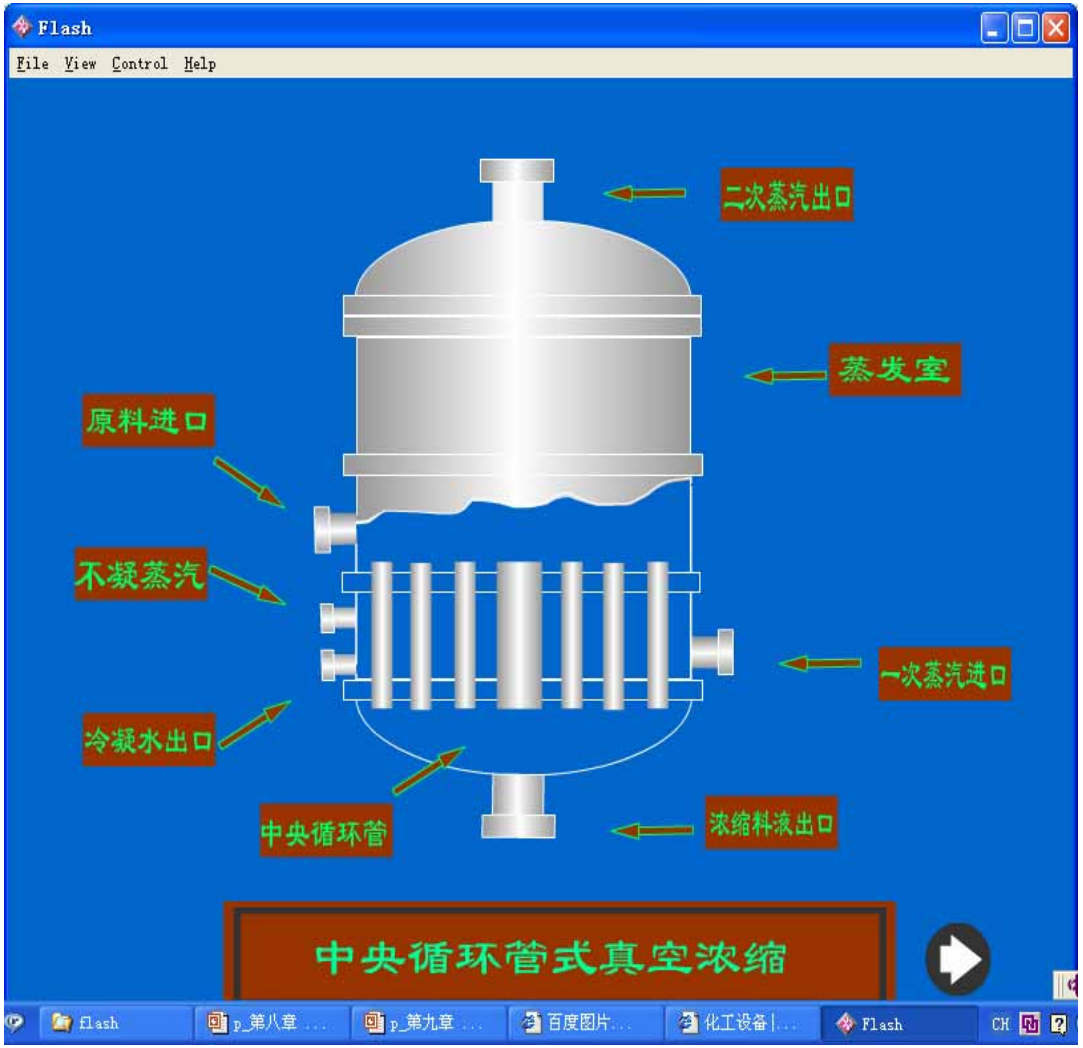
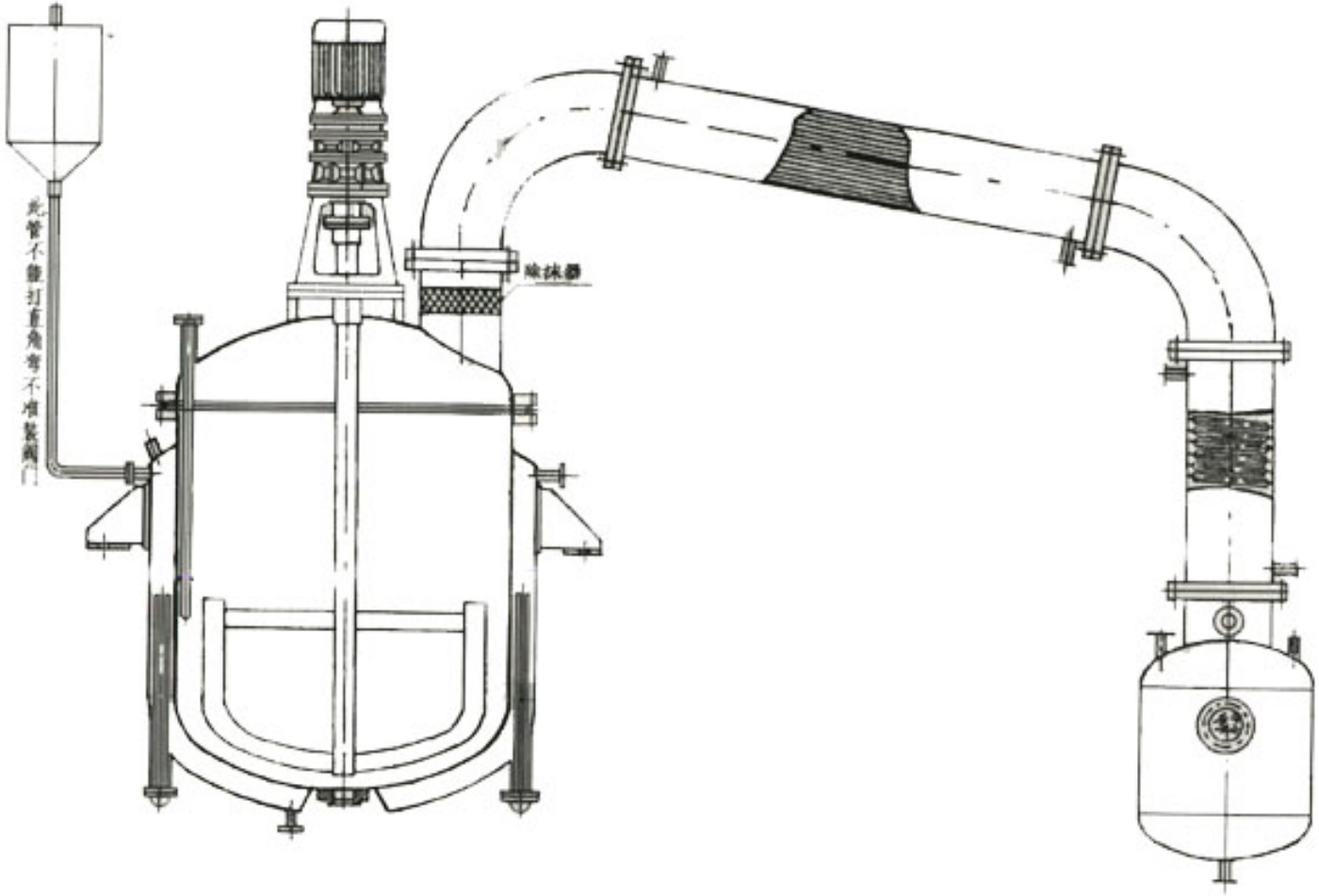




图8-1 中央循环管式浓缩锅
1—外壳；2—加热室；3—中央循环管；4—蒸发室

动画


此管不能打直角弯不准装阀门
除沫器

## 2．盘管式浓缩锅

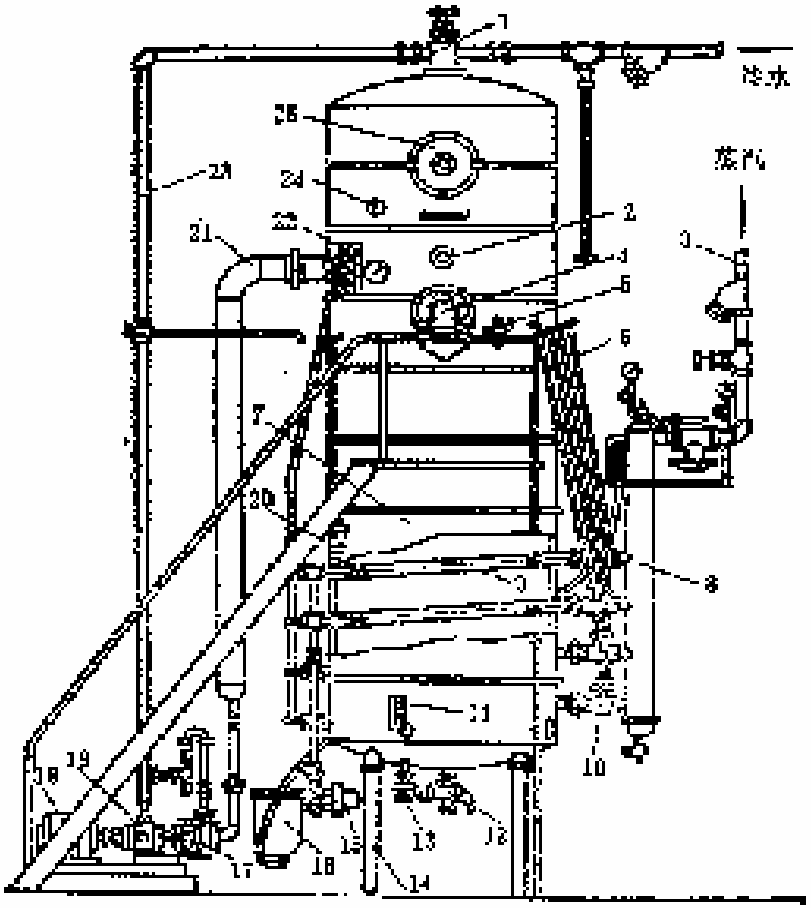



图8-2 盘管式单效真空浓缩装置

1—冷水分配头；2—视镜；3—加热蒸汽总管；4—人孔；5—放空旋塞；6—蒸汽阀门操纵杆；7—浓缩罐；8—蒸汽分配管；9—盘管；10—蒸汽阀门；11—温度计；12—放料旋塞；13—取样旋塞；14—罐体支架；15—汽水分离器；16—排水器；17—冷却水排水泵；18—电动机；19—真空泵；20—料液进口旋塞；21—冷却水排出管；22—蒸汽压力表；23—不凝气体排出管；24—真空表；25—观察孔

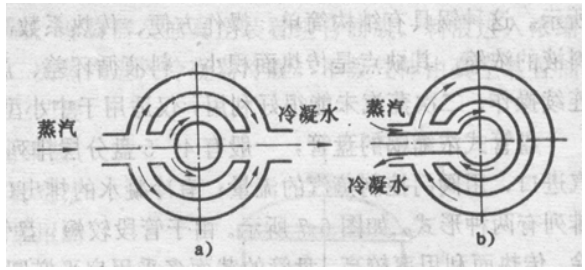



图8-6 短形盘管进出口布置

a.边进一边出 b.同一边进一边出

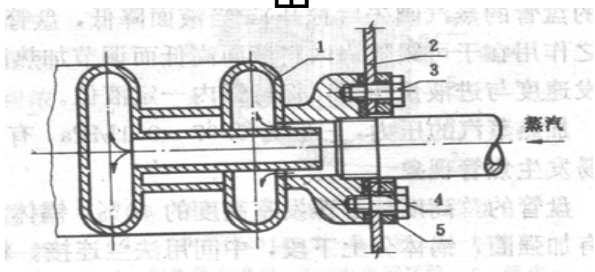
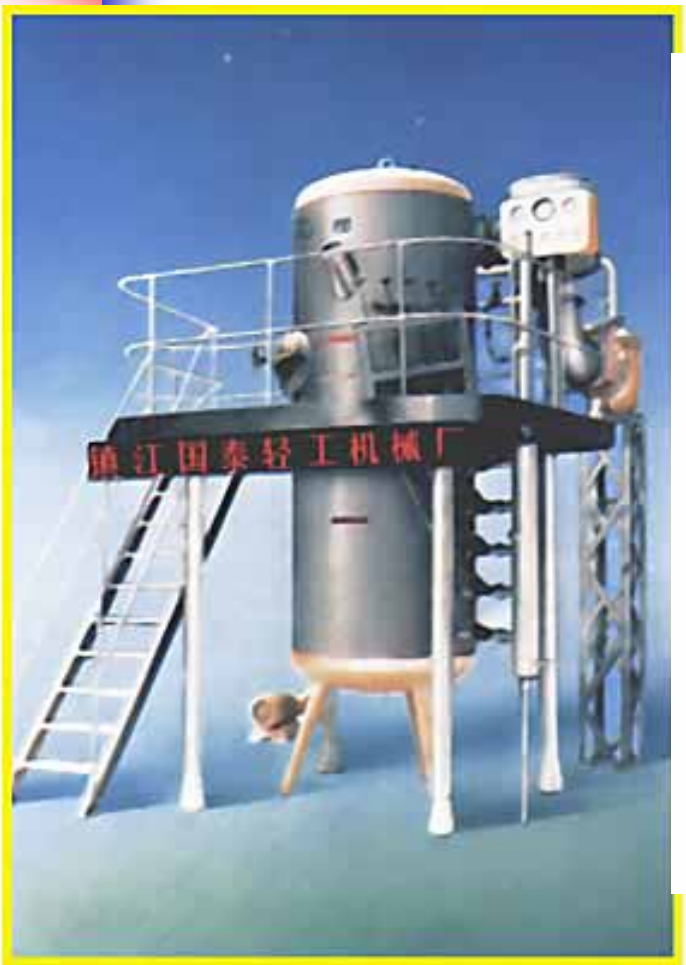
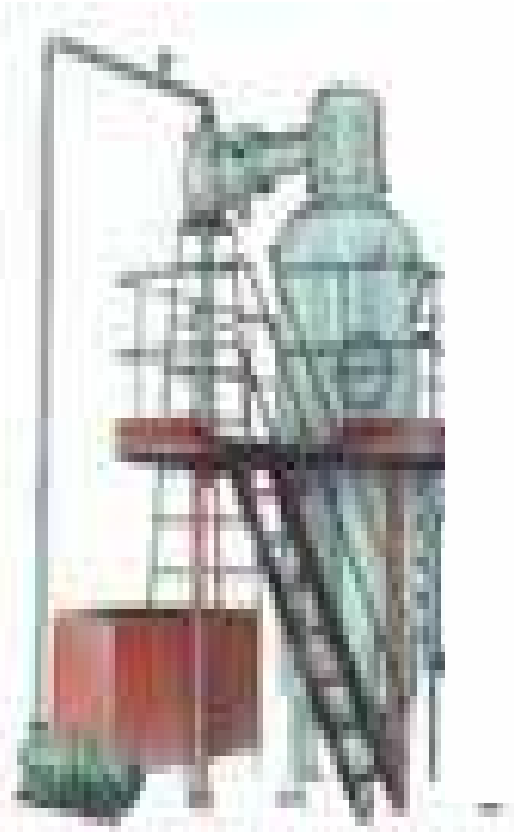


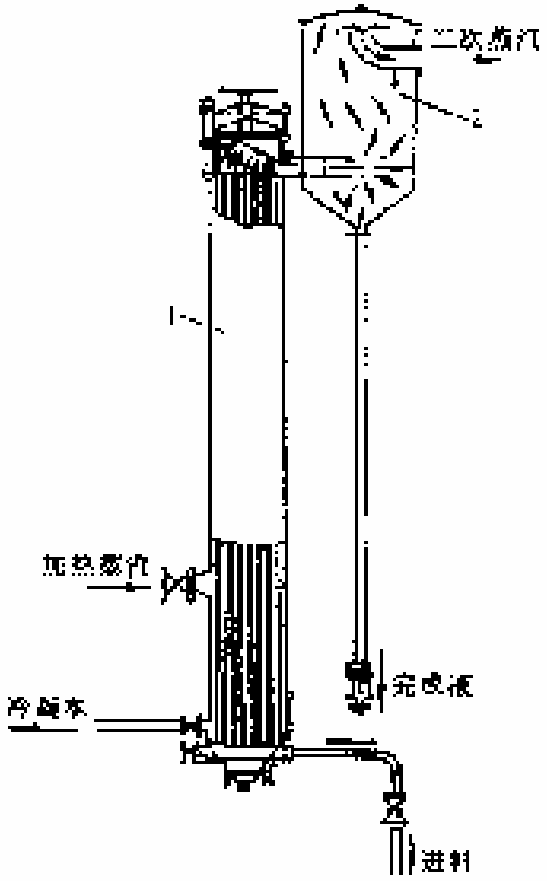

图8-7 盘管剖面图

1.盘管 2.浓缩锅壁 3.螺栓 4.填料 5.法兰


镇江国泰轻工机械厂



## 3．升膜式浓缩设备



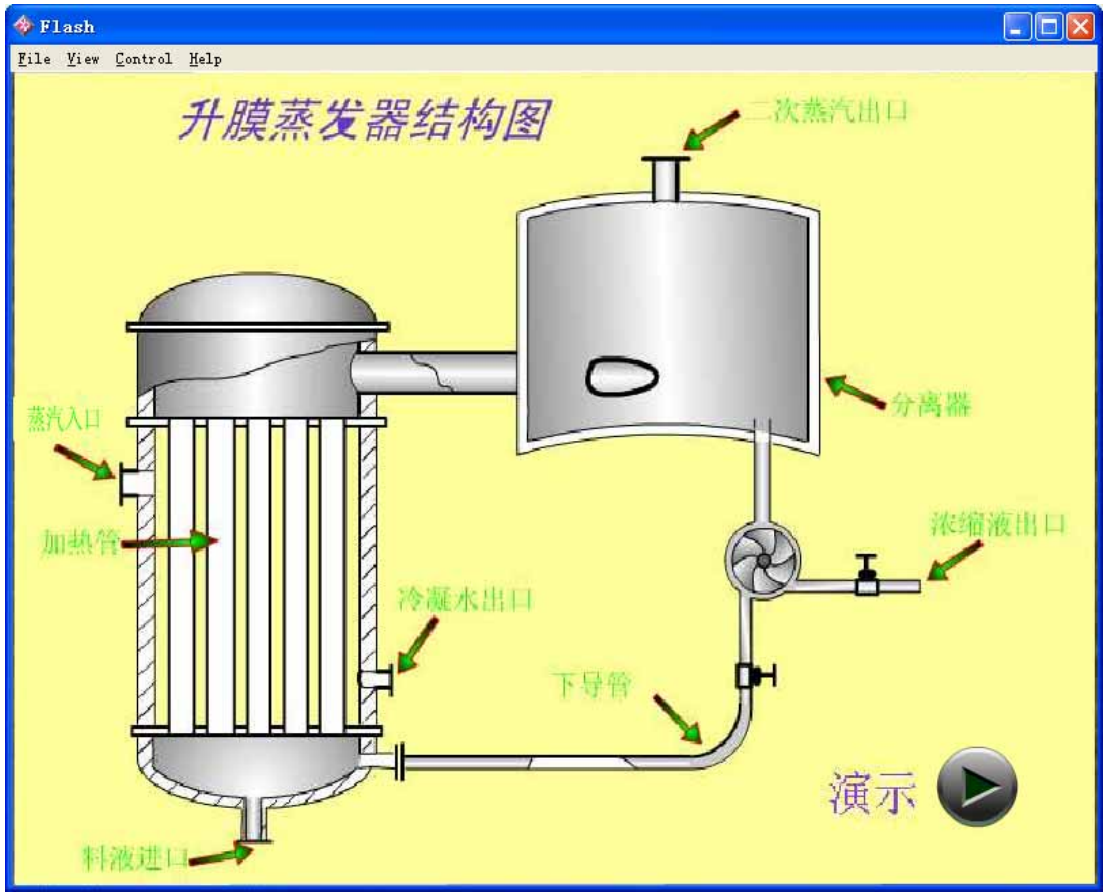




图8-3 升膜式浓缩设备

1—蒸发器；2—分离器

## 4．降膜式浓缩设备

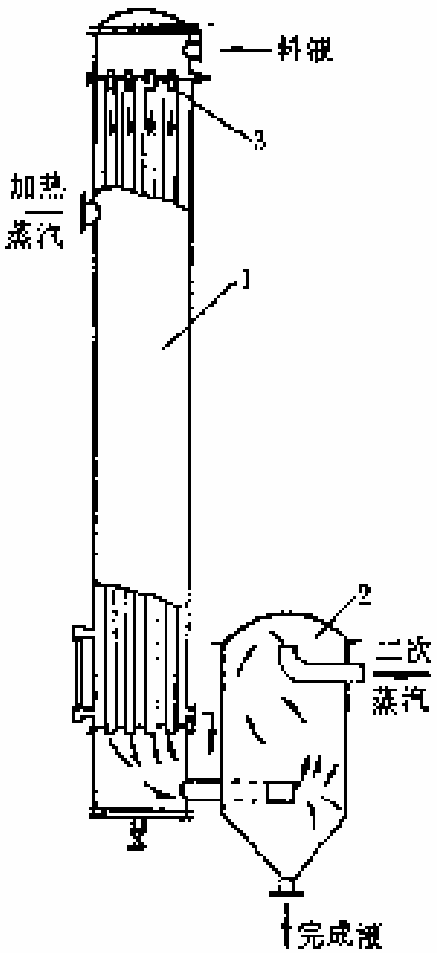



图8-4　降膜式蒸发器　1—蒸发器；2—分离器；3—液体分布器

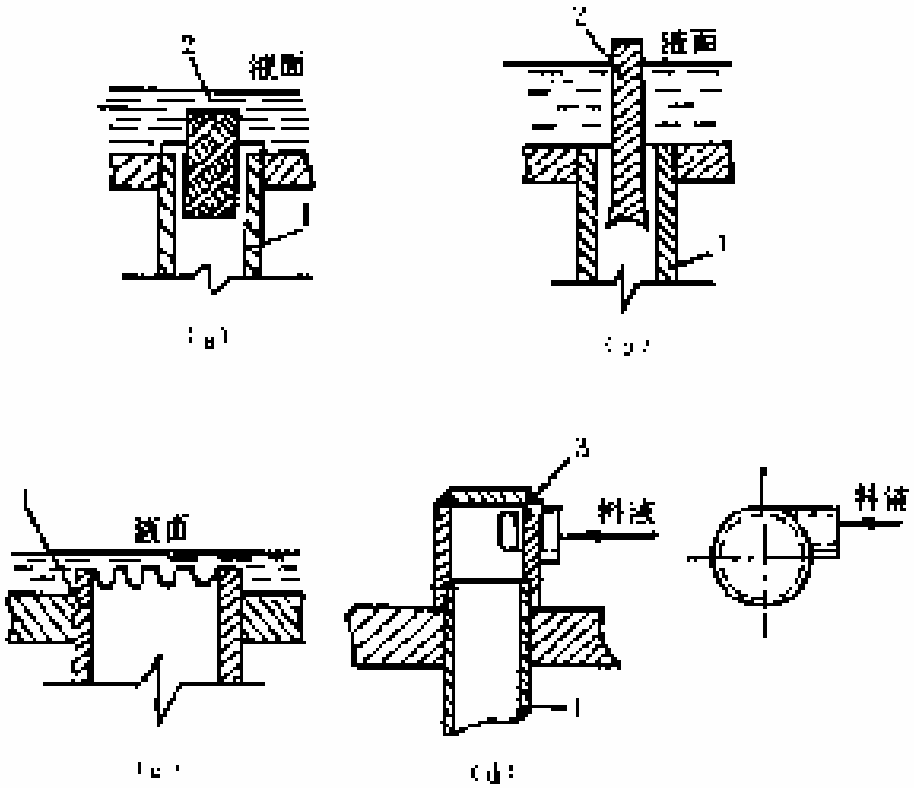



图8-5　降膜分布器 1—加热管；2—导流管；3—旋液分配头

## 5．刮板式薄膜浓缩设备

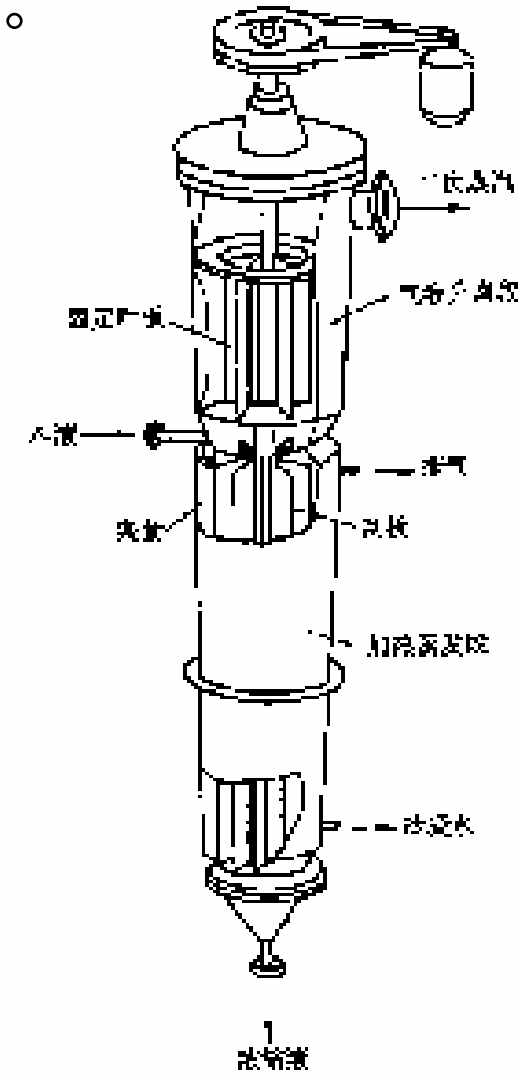


图8-6 刮板式薄膜浓缩设备

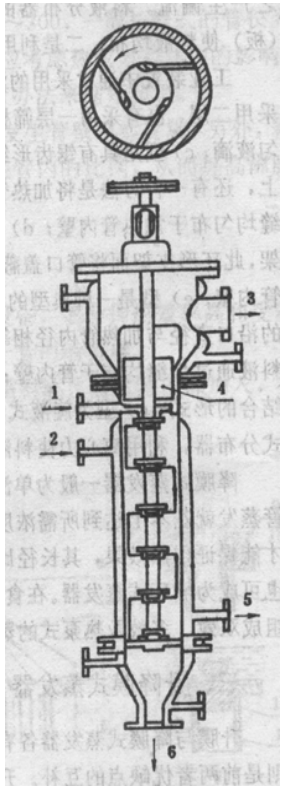


图 8－13 活动刮板式薄膜浓缩器

1.料液；2.蒸汽入口；3.二次蒸汽；4.液滴分离器；5.冷凝水出口；6.浓缩液出口

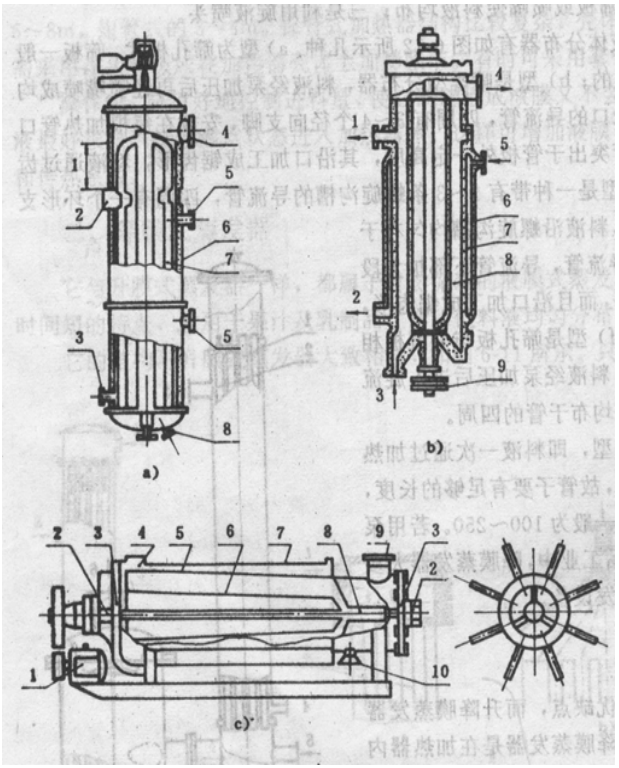


图 8－12 固定刮板式浓缩器

（a）立式降膜式

1.捕沫段；2.原料入口；3.冷凝水出口；4.二次蒸汽出口；5.不凝结气体出口；6.加热面；7.刮板；8.浓缩液出口

（b）立式升膜式

1.浓缩液；2.冷凝水；3.原料入口；4.二次蒸汽；5.加热蒸汽；6.夹套；7.传热面；8.叶片；9.带轮

（c）卧式

1.电动机；2.轴承；3.填料箱；4.料液进口；5.加热面；6.刮板；7.夹套；8.转轴；9.蒸汽出口；10.浓缩液出口

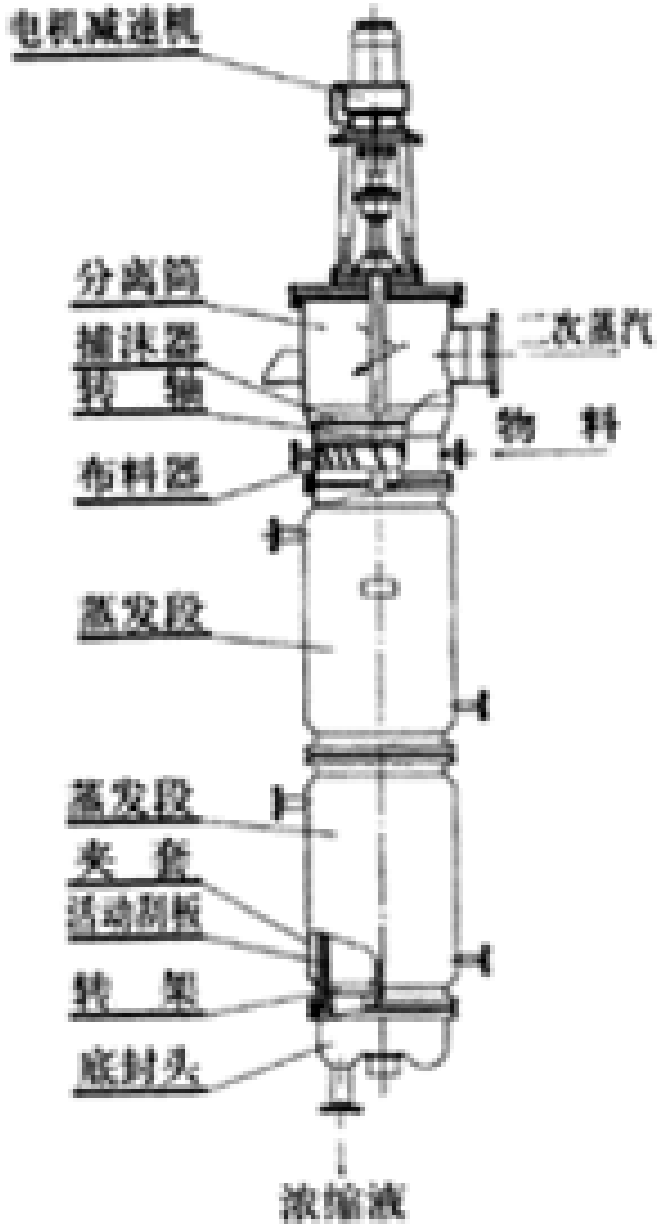



图 1 薄膜蒸发器结构示意图

# 第二节　真空浓缩机械与设备

- （四）真空浓缩装置的辅助设备

　　主要包括真空设备、液沫捕集器和冷凝器等。

真空浓缩辅助设备
- 1.真空设备
- 2.液沫捕集器
- 3.冷凝器

## ▪2．液沫捕集器

▪捕集器的结构按原理主要可归纳为以下三种。

（1）惯性型捕集器

（2）离心型捕集器

（3）表面型捕集器

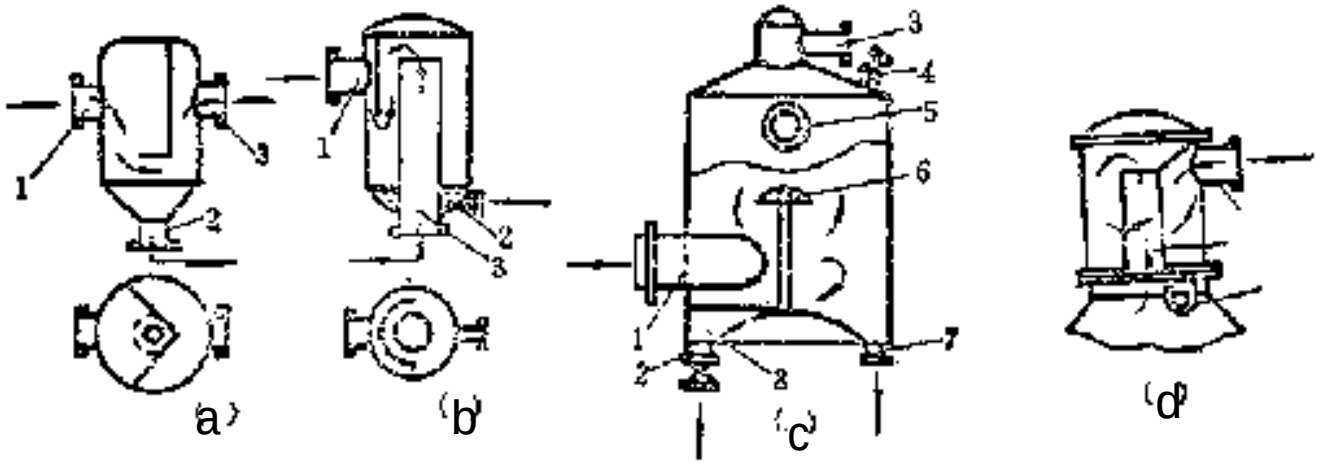
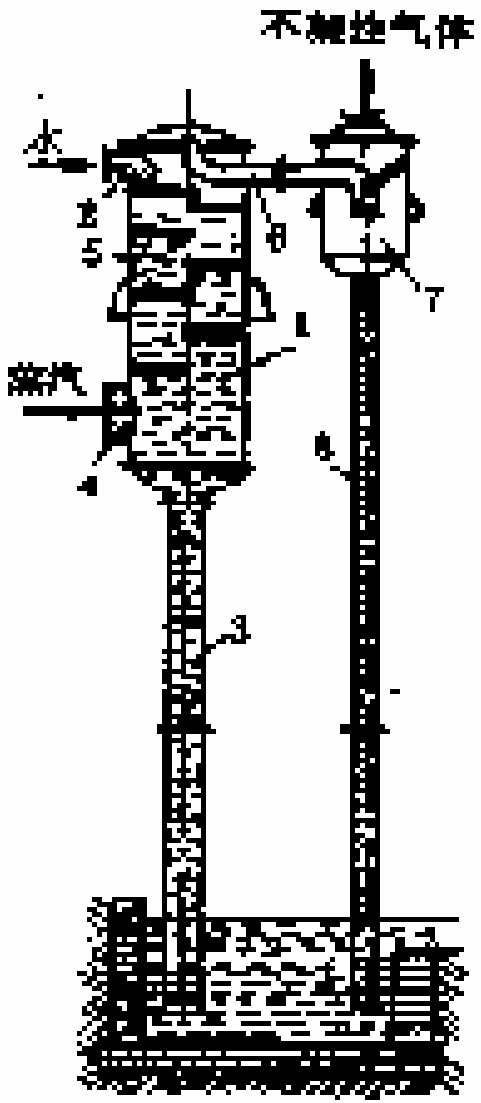
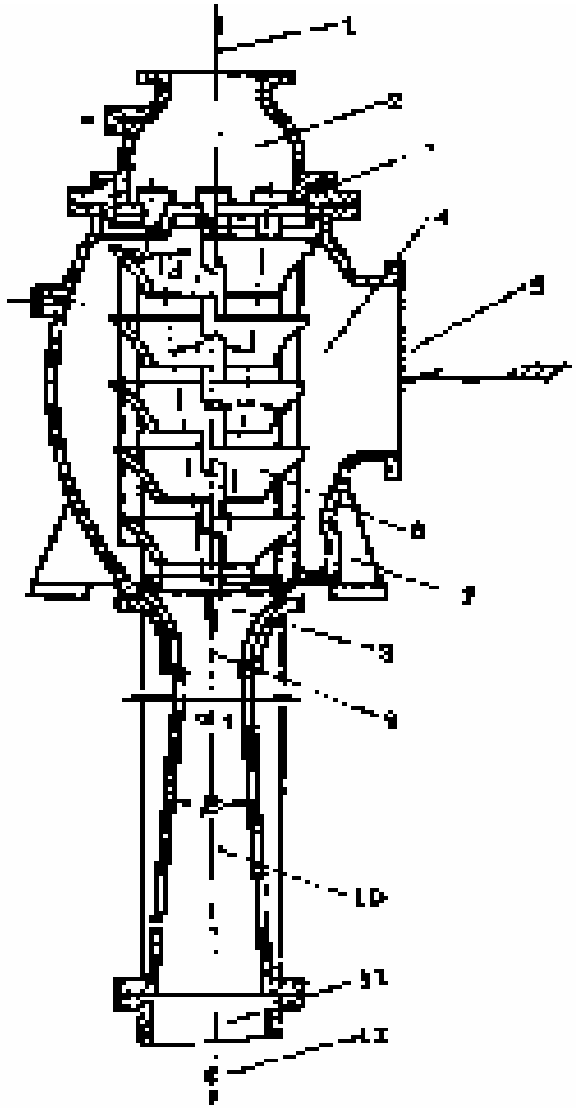



图8-7 各捕集器的结构示意图 (a)，(b)惯性型捕集器；(c)离心型捕集器；(d)表面型捕集器 1—二次蒸汽进口 2—料液之间流口；3—二次蒸汽出口；4—真空解除阀 5—视孔；6—折流板；7—排液口；8—挡板

## ■3.冷凝器

（1）干式逆流高位冷凝器（2）水力喷射式冷凝器



## （五）多效蒸发设备的流程

各效蒸发浓缩设备依据于溶液与蒸汽的流动方向不同，可分为并流法、逆流法、错流法以及平流法四种。

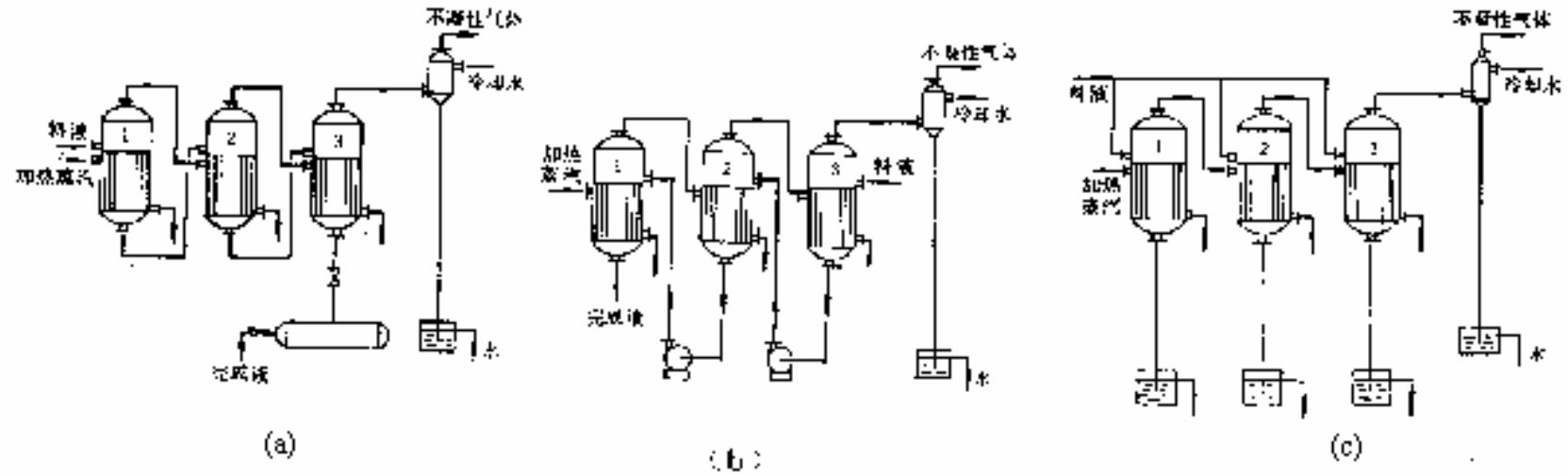
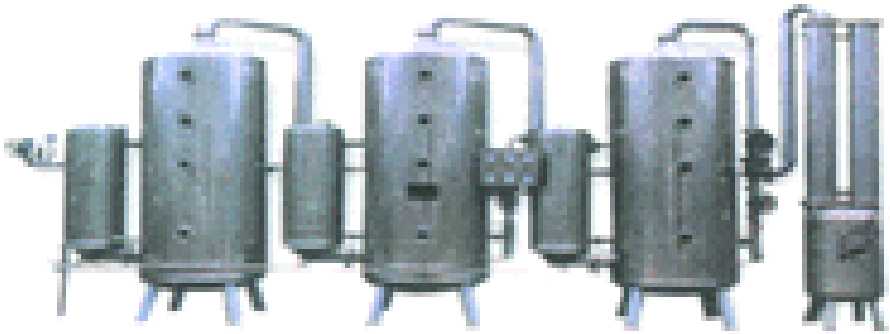
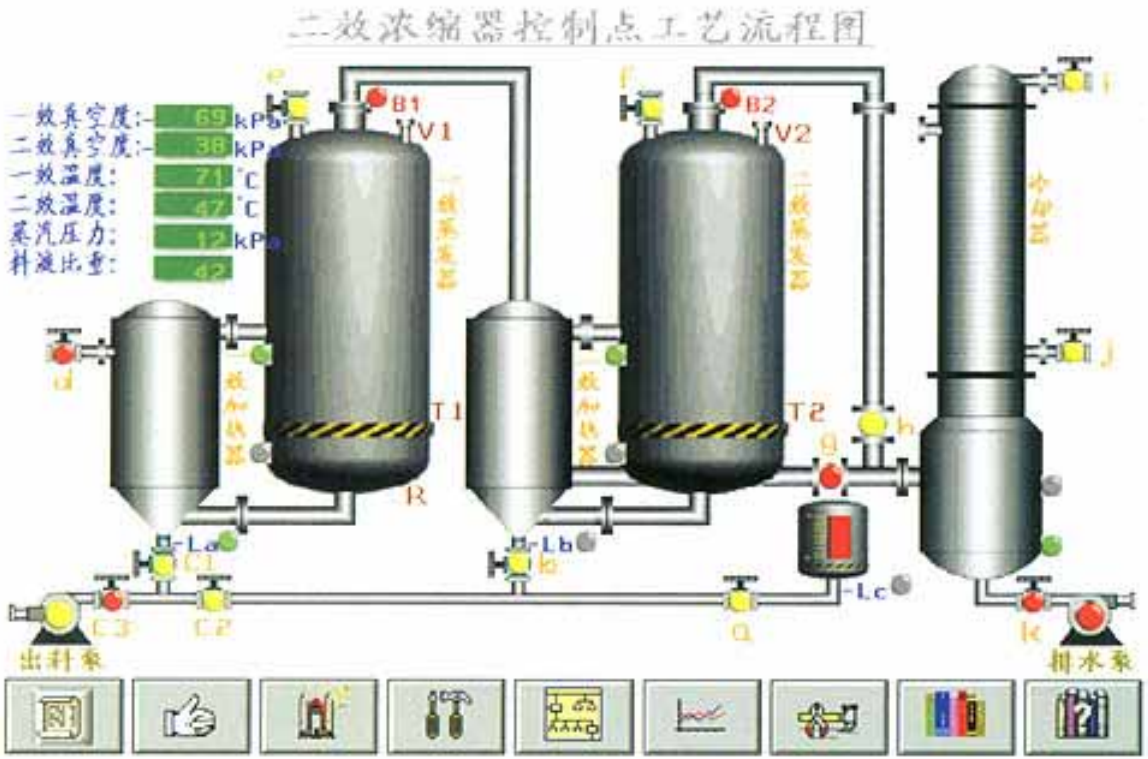


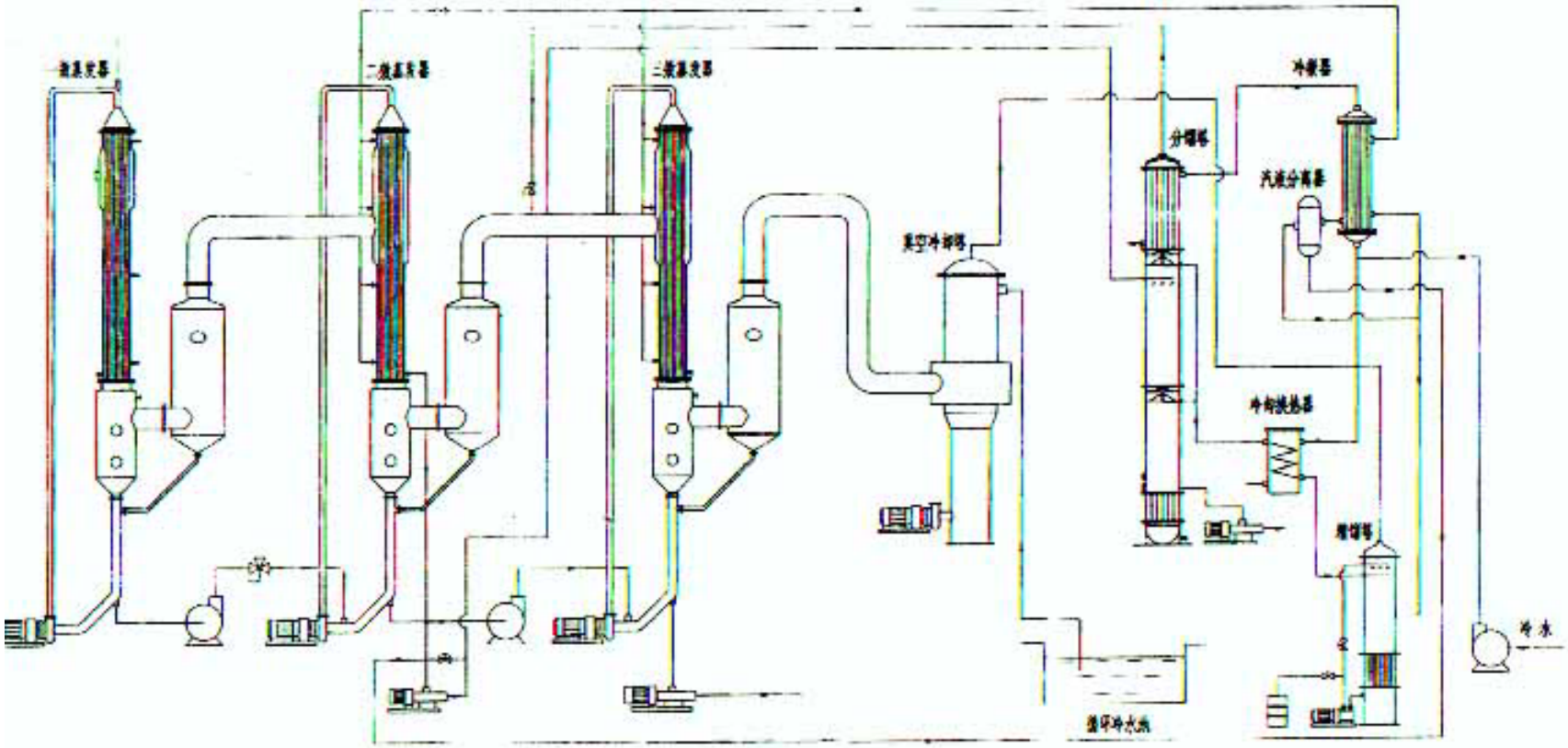

图8-9 多效浓缩设备的流程

(a)顺流法； (b)逆流法； (c)并流法

三效降膜蒸发




二效浓缩器控制点工艺流程图
一效真空度:-
二效真空度:-
一效温度:
二效温度:
蒸汽压力:
料液比重:
69 kPa
38 kPa
71 °C
47 °C
12 kPa
42
B1
V1
B2
V2
T1
T2
R
出料泵
排水泵




三效浓缩蒸发器设备图

# 代理法国 GEA Kestner 公司的蒸发浓缩技术

**蒸发器**

- 升膜蒸发器
- 降膜蒸发器
- 升膜和降膜组合式蒸发器
- 强制循环
- 闪蒸蒸发器

# 第三节 冷冻浓缩机械与设备

- 一、冷冻浓缩的原理与特点
- （一）冷冻浓缩的原理
- （二）冷冻浓缩的工艺
- （三）冷冻浓缩的特点
- 二、冷冻浓缩设备的结构与应用
- （一）冷冻浓缩设备的结构
- （二）冷冻浓缩的应用

- 一、冷冻浓缩的原理与特点
- （一）冷冻浓缩的原理

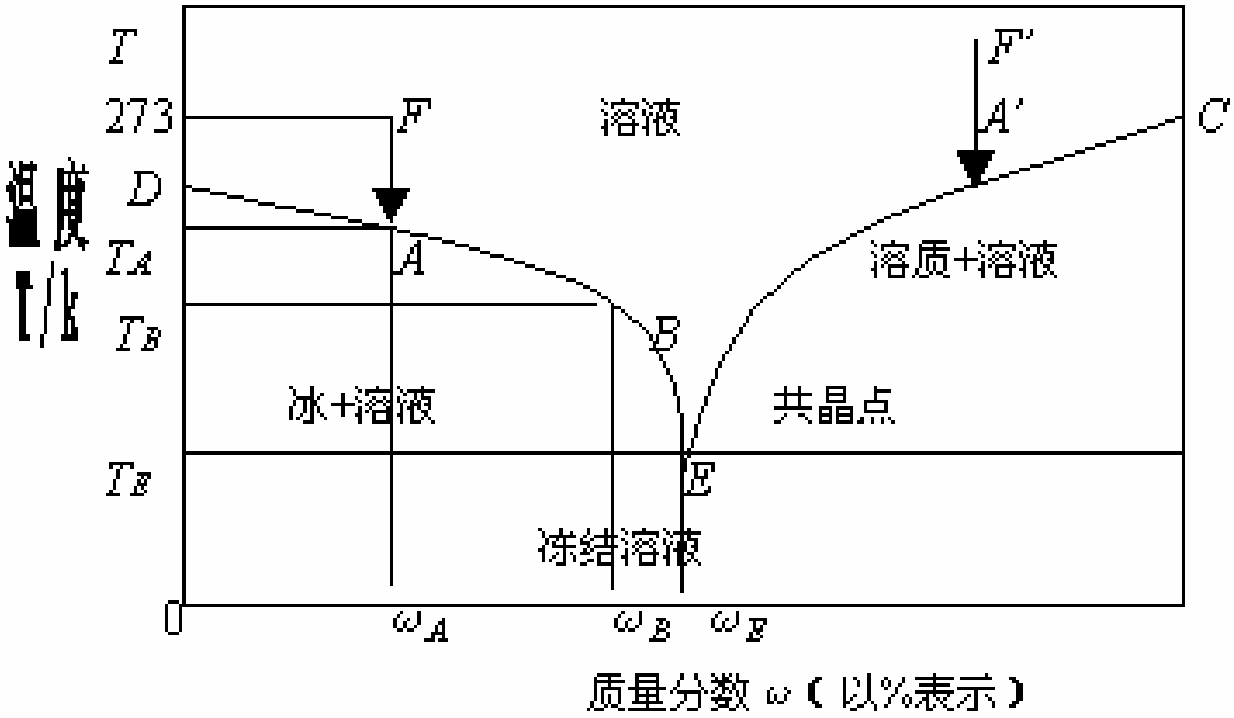



图 8-10　简单的双组分相图

- （二）冷冻浓缩的工艺

- （三）冷冻浓缩的特点

优点：冷冻浓缩对热敏性物料，尤其是食品物料的浓缩非常有利；对低沸点的芳香物质成分可避免因挥发造成的损失。

缺点：

（1）工艺对溶液的浓度有要求，冰晶与浓缩液的分离技术要求高，溶液的粘度越大，分离越困难；

（2）制成品相对浓度较低，微生物活性未能受到抑制，加工后仍需采用加热等后处理或需要冷冻贮藏；

（3）晶液分离时，部分浓缩液（溶质）会因冰晶夹带而损失；

（4）生产成本相对较高。

- 二、冷冻浓缩设备的结构与应用
- （一）冷冻浓缩设备的结构

工业上，冷冻浓缩的结晶有两种形式，一种是渐进冷冻法；另一种是悬浮冻结。分离设备有压滤机、过滤式离心机、洗涤塔等。

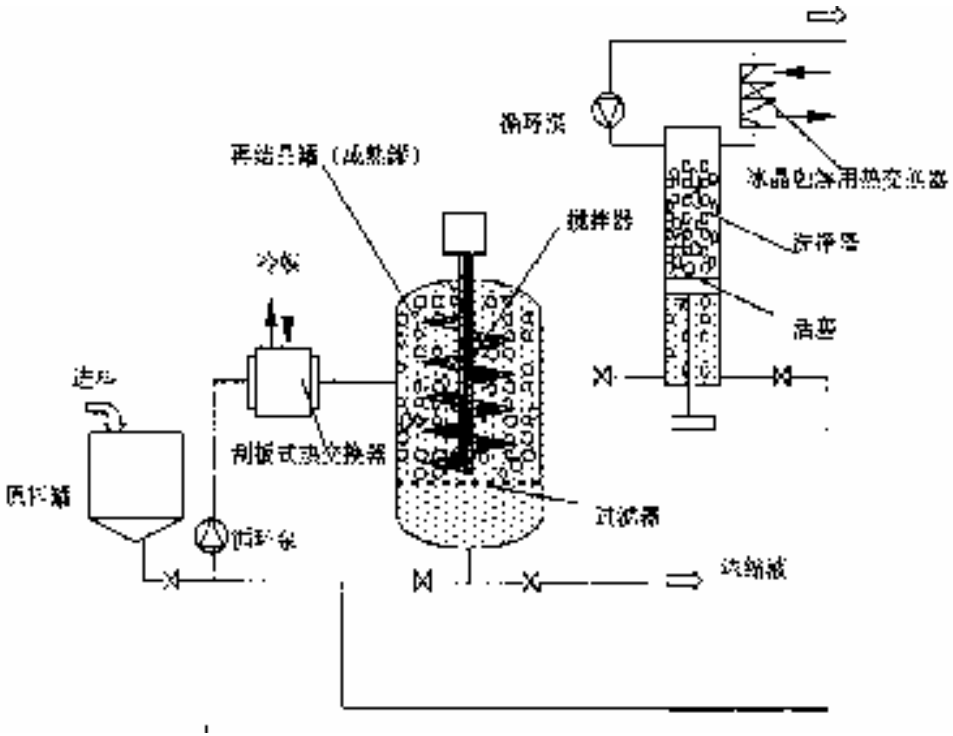



图8-11 Grenco冷冻浓缩系统示意图

## （二）冷冻浓缩的应用

由于冷冻浓缩具有浓缩温度低、挥发性芳香物质损失少，能耗少的优点，因而是液体食品及生物制品浓缩的最佳方法之一，该方法还可与其他单元操作组合使用，在国内外进行了多范围的研究和初步的利用。

# 果汁浓缩设备举例

- （1）常压浓缩 在常温下用双层锅加热浓缩，此法的缺点是蒸发慢、温度高，因此芳香物质和维生素损失较多，色泽差，现在较少使用。

- （2）真空浓缩 在减压条件下，使果汁中的水分在较低的温度下迅速蒸发。果汁受热温度低、时间短，既可保持果汁风味，亦减少营养物质的损失。目前采用较多的是中温真空浓缩设备，温度一般在45°C～55°C左右。如片式蒸发器，离心式薄膜蒸发器等。另外，各种果汁的热稳定性差别很大。如葡萄汁加热到100°C时，品质变化较小，而苹果汁不宜超过55°C。

- （3）冷冻浓缩 将果汁先行冻结，使果汁中的水分形成小形冰晶，果汁因失去水分而浓缩，再用离心机除去水的冰晶，即得到浓缩的果汁。此法浓缩得到的果汁质量好，但设备投资及损耗大，浓缩倍数小。

# 真空浓缩

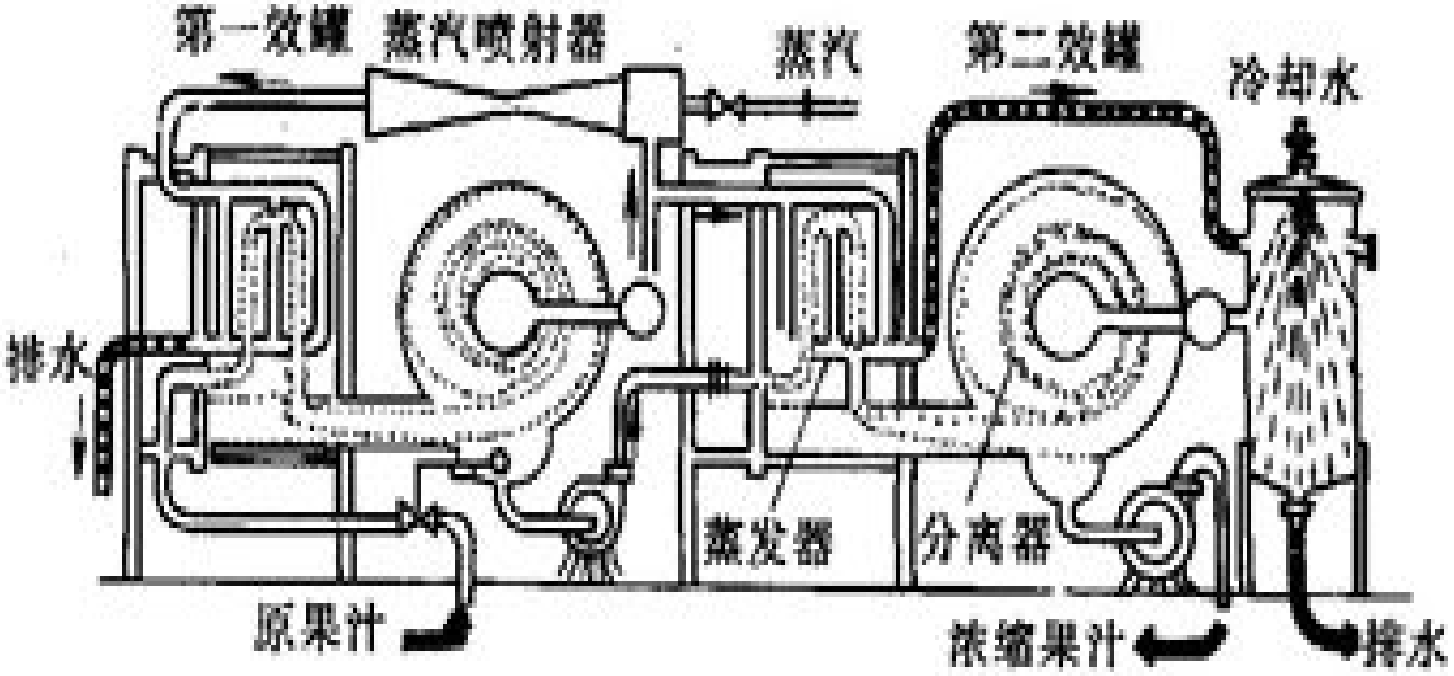



图8-37

蒸汽喷射式双效用浓缩机

# 冷冻浓缩

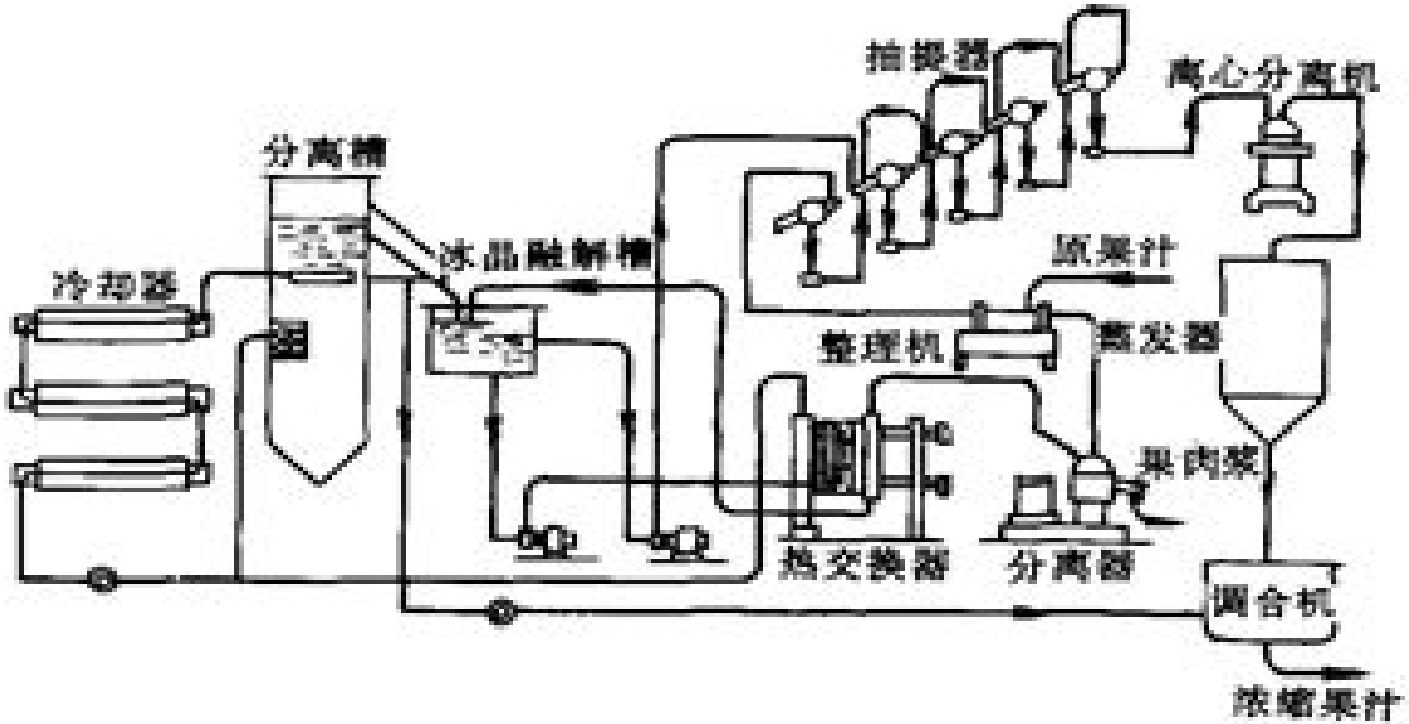



图8-39

冻结浓缩装置

# 第四节　真空干燥设备

- 一、真空干燥的基本原理和特点
- 二、真空干燥设备主要组件、分类及应用
- （一）真空干燥设备的主要组件
- （二）真空干燥设备的分类
- （三）真空干燥设备的应用

## ▪一、真空干燥的基本原理和特点

在常压下的各种加热干燥方法，因物料受热，其色、香、味和营养成分均受到一定损失。若在低压条件下，可在较低温度对物料进行干燥，能降低品质的损害。这种方法称为真空干燥。

▪1．真空干燥的基本原理（原理有问题）

由于气压愈低，水的沸点也愈低，当压力低至（2～0.1）mmHg(或266～13Pa)的高真空度时，物体内的水分迅速蒸发，这就是真空干燥，

▪2．真空干燥的特点

（1）物料在干燥过程中的温度低，避免过热。水分容易蒸发，干燥时间短，同时可使用物料形成多孔状组织，产品的溶解性，复水性，色泽和口感较好。

（2）能将物料干燥到很低的水分。

（3）可用较少的热能，得到较高的干燥速率，热量利用经济。

（4）适用性强，对不同性质，不同状态的物料，均能适应。

（5）与热风干燥相比，真空干燥的控制能达到较高的精确要求，然而设备投资和动力消耗较大，产量较低。

## 二、真空干燥设备主要组件、分类及应用

### （一）真空干燥设备的主要组件

（1）真空室　真空室是物料干燥场所，真空室的高度和体积是物料干燥量的限制因素。

（2）供热系统　真空室通常装有放物料用的搁板或其它撑物，这些搁板用电热或循环液体加热，加热食品，但对上下层重叠的加热板来说，上层可以用加热板，同时还会向下层加热板上的物料辐射热量，此外，也可以用红外线、微波以辐射方式将热量传送给物料（真空微波干燥）。

（3）真空系统　真空系统是指真空的获得和维持的装置，包括泵和管道，安装在真空室的外面。有的用真空泵，有的则用蒸汽喷射泵。

（4）水蒸汽收集装置　冷凝器是收集水蒸汽用的设备，可装在真空室外并且还必须装在真空泵前以免水蒸汽进入泵内造成污损，用蒸汽喷射泵抽真空时，它不但从真空室内抽出空气而且还同时将带出的水蒸汽冷凝，因而一般不再需要装冷凝器。

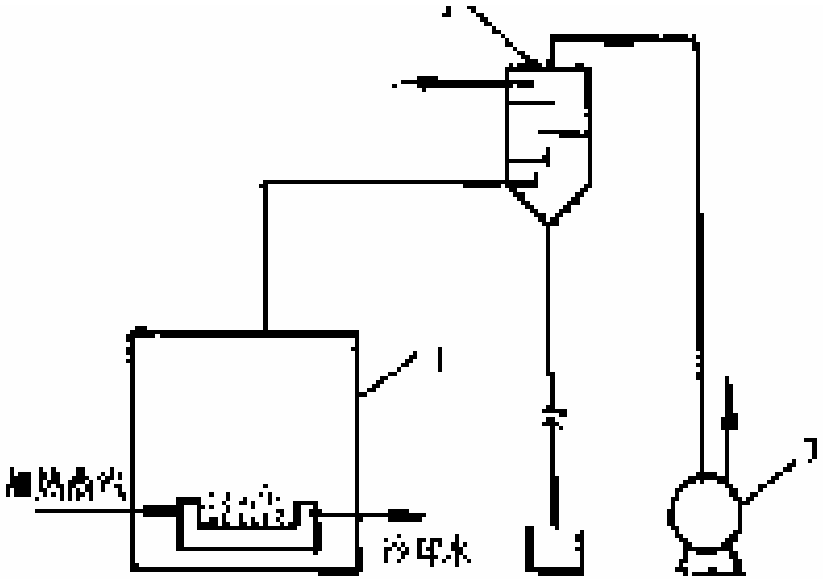
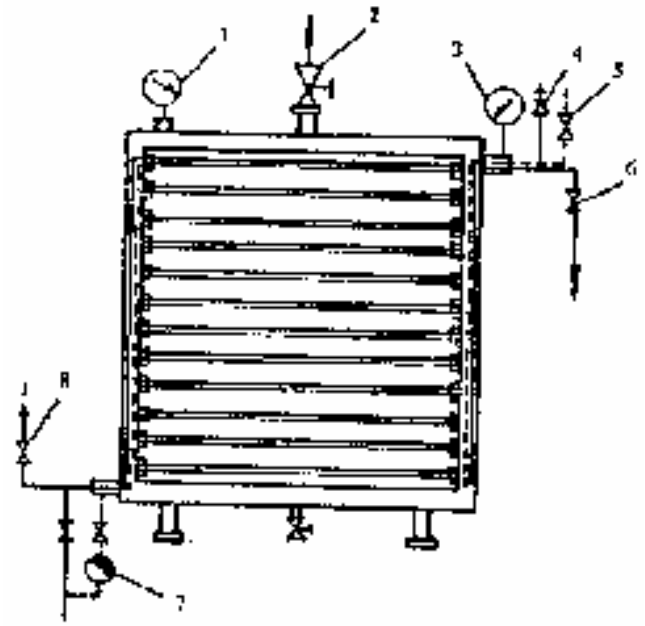


图8-13　真空干燥流程示意图
1—干燥室；2—冷凝器；3—真空泵

## （二）真空干燥设备的分类

真空干燥设备可分为间歇式和连续式两种。

## 1．间歇式真空干燥



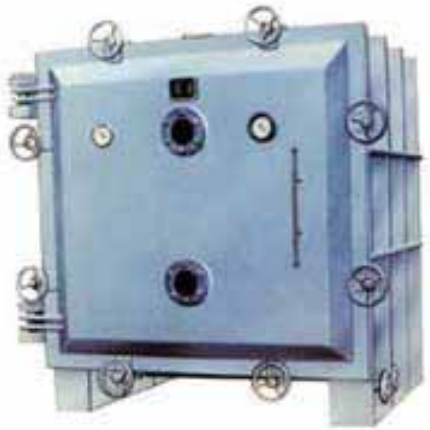


图8-14 真空干燥箱示意图

1—真空表；2—抽气口；3—压力表；4—安全阀；5—加热蒸汽进阀；6—冷却水排出阀；7—疏水器；8—冷却水进阀

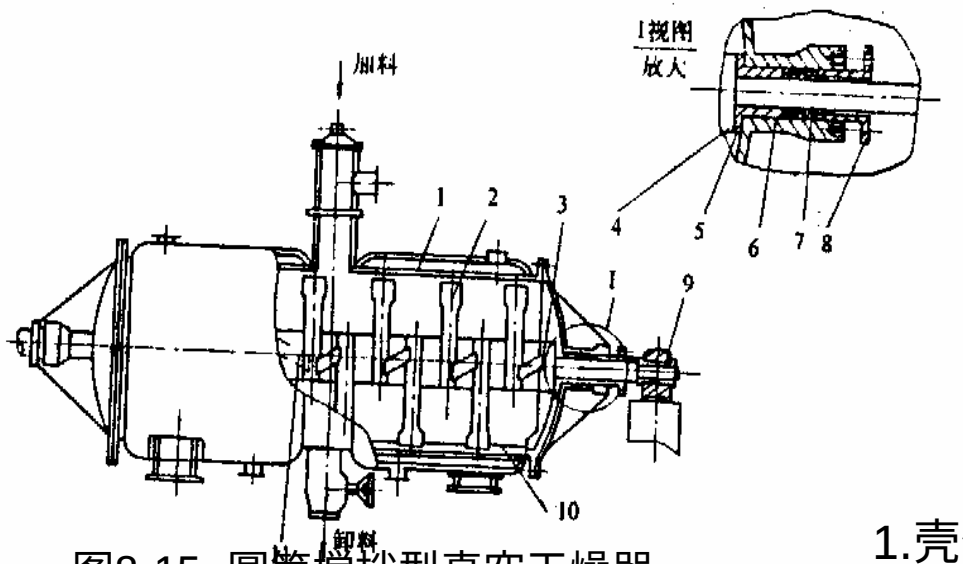
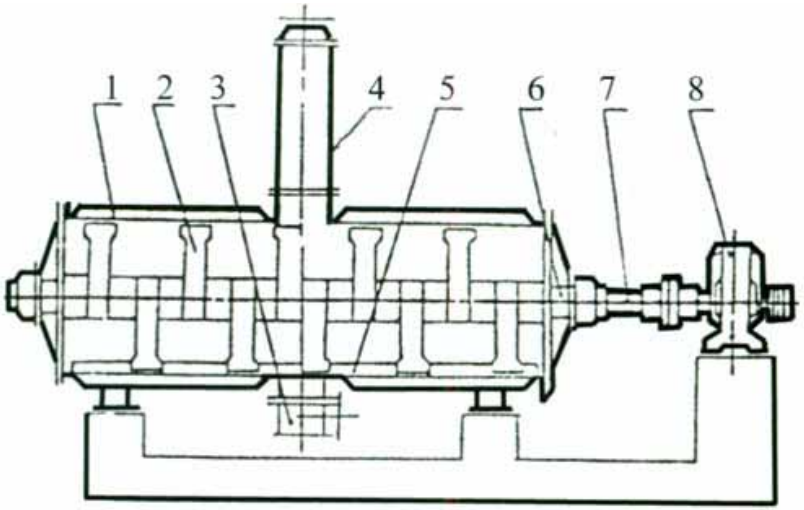
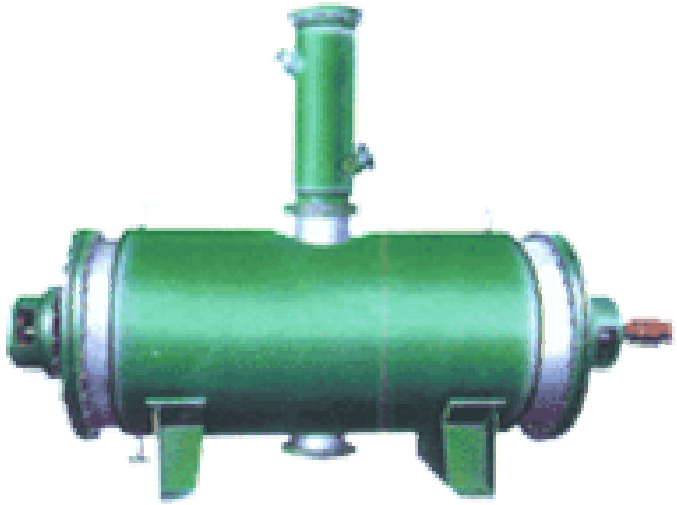



图8-15 圆筒搅拌型真空干燥器
1—壳体；2，3—耙齿（左向）；4—传动器；5—压紧圈；6—封头；7—填料；8—压盖；9—轴承；10—无缝钢管；11—耙齿（右向）




1.壳体 2.耙齿 3.出料装置 4.加料装置 5.粉碎棒 6.密封装置 7.搅拌轴 8.传动装置



双锥回转真空干操机

## ■ 2．连续式真空干燥

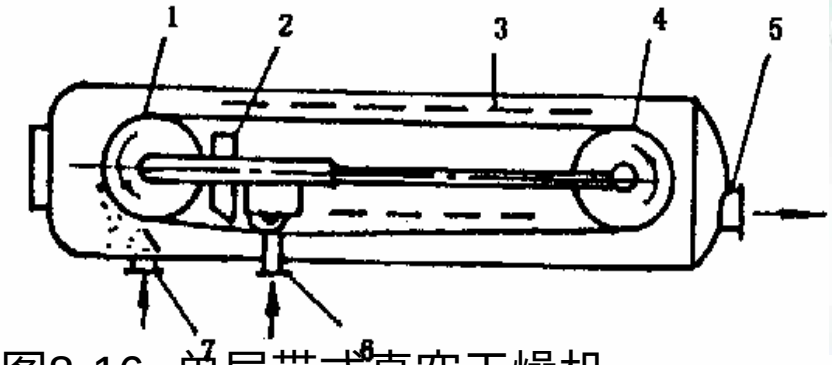



图8-16 单层带式真空干燥机

1—冷却滚筒；2—脱气器；3—辐射元件；4—加热滚筒；5—接真空系统；6—进料闭风装置；7—排料闭风装置

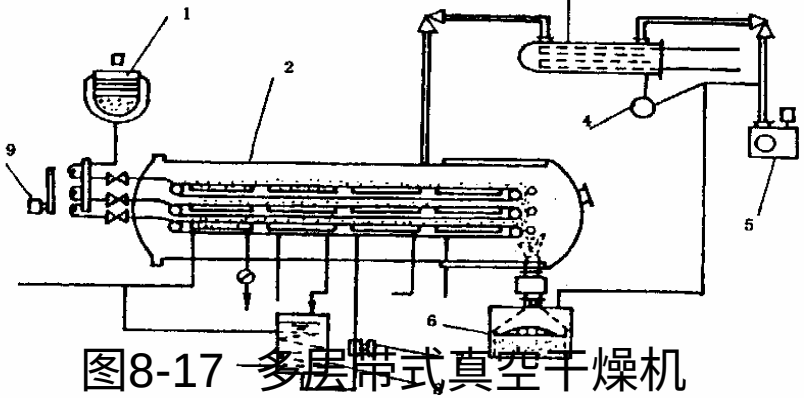
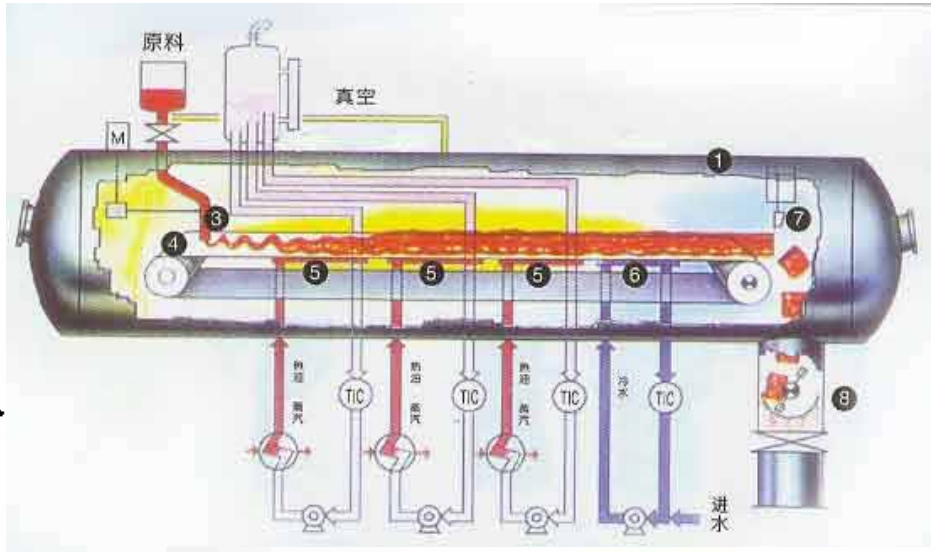
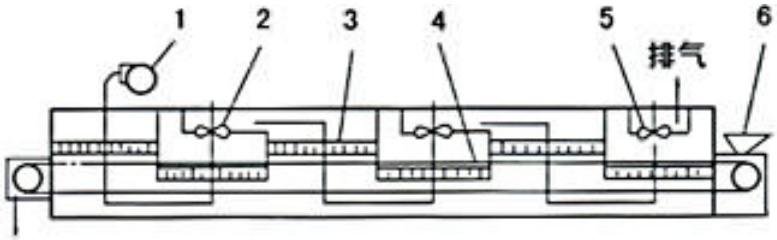



图8-17 多层带式真空干燥机

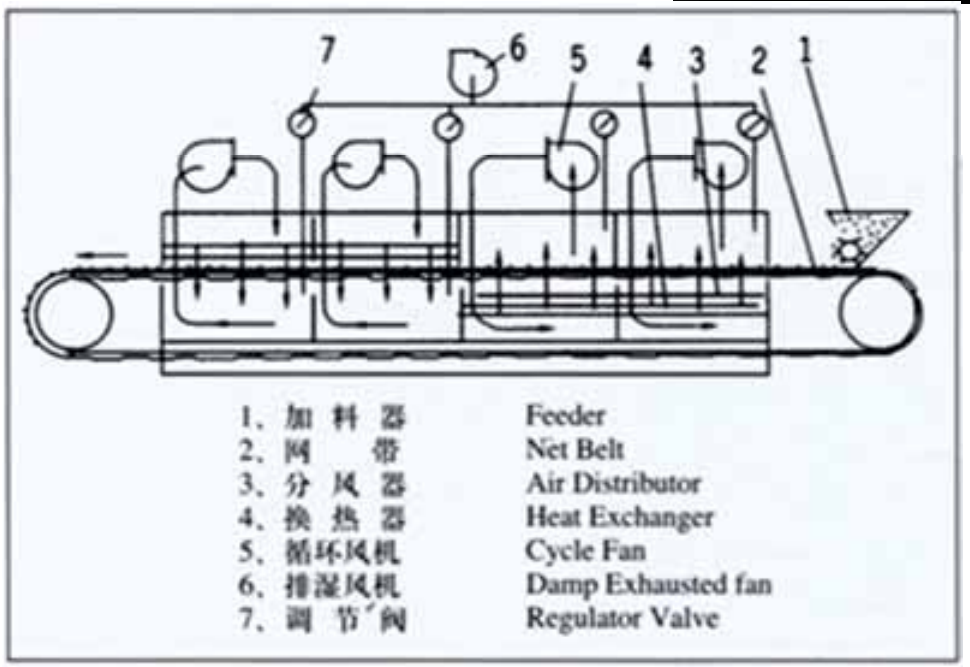
1—溶液箱；2—干燥机本体；3—冷凝器；4—溶剂回收装置；5—真空泵；6—成品收集箱；7—泵；8—温水箱；9—溶液供给泵






1.进气风机 2.循环风机 3.加热器 4.输送带5.排气风机 6.加料斗

# 带式连续干燥机


7
6
5
4
3
2
1
1、加 料 器 Feeder
2、网 带 Net Belt
3、分 风 器 Air Distributor
4、换 热 器 Heat Exchanger
5、循环风机 Cycle Fan
6、排湿风机 Damp Exhausted fan
7、调 节 阀 Regulator Valve

# 第四节　真空干燥设备

- （三）真空干燥设备的应用

真空干燥技术应用于那些结构、质地、外观、风味和营养成分在高温条件下容易发生变化或分解的食品，干燥后的产品的速溶性和品质较好。如：各种脱水蔬菜（如胡萝卜、葱）的汤料；速溶汤混合物；果汁型固体饮料；豆、肉、乳各类干制品；麦乳晶；速溶麦片、各种干酵母和酶；天然维生素混合物等。

# 第五节 喷雾干燥机械与设备

- 一、喷雾干燥的基本原理及特性
- （一）喷雾干燥的基本原理
- （二）喷雾干燥的特点
- 二、喷雾干燥装置的主要组件、分类及应用
- （一）喷雾干燥装置的主要组件
- （二）喷雾干燥器的分类
- （三）喷雾干燥设备应用

## 一、喷雾干燥的基本原理及特性

喷雾干燥是将液状物料通过雾化器形成喷雾状态（细微分散状态），雾滴在沉降过程中，水分被热空气气流蒸发而进行脱水干燥的过程。干燥后得到的粉末状或颗料状产品和空气分开后收集在一起，在这一个工序同时完成喷雾与干燥两种工艺过程。

### （一）喷雾干燥的基本原理

雾干燥一般可分为三个阶段，预热阶段、等速阶段和减速阶段

动画浏览

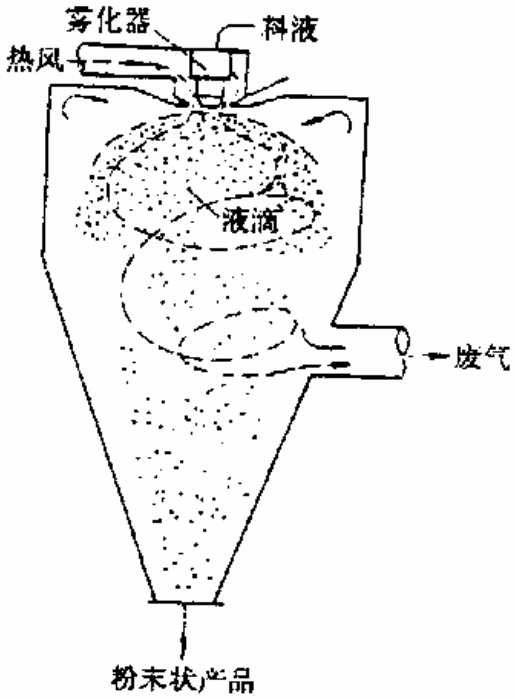



图8-18　喷雾干燥示意图

- （二）喷雾干燥的特点

- 1．优点

（1）干燥速度快　料液雾化后，表面积增大至万倍以上，在热风气流中可瞬间（0.01～0.04s）蒸发95%～98%的水分。

（2）产品质量好　喷雾干燥使用温度范围广（80～800°C），干燥产品质量较好，不容易发生蛋白质变性，维生素损失，氧化等缺陷，特别适合于易分解、变性的热敏性食品加工。

（3）工艺简单、控制方便　可简化生产工艺流程，易于操作，控制方便，保证卫生条件又避免粉尘飞扬。

（4）生产率高喷雾干燥能适应于工业上连续大规模生产，物料可连续进料连续排料，结合冷却器和风力输送，组成连续的生产作业线。操作人员少，劳动强度低。

2．缺点

（1）设备较复杂，占地面积大，一次投资较多。

（2）能耗大，热效率不高，动力消耗大。

（3）在生产粒径小的产品时，废气中约夹带有20%左右的微粒，需选用高效的分离装置，附属装置比较复杂，费用较贵。

（4）干燥室内壁易于粘附产品微粒，腔体体积大，设备的清洗工作量大。

# 喷雾干燥适合干燥的物料主要有：

- 乳制品：牛奶、奶油、冰淇淋粉等；
- 蛋白制品：豆粉、蛋粉等；
- 糖类制品：葡萄糖类制品；
- 谷类制品：麦精、淀粉等；
- 酵母制品：酵母粉、饲料酵母等；
- 饮料制品：速溶咖啡、速溶茶、可可等；
- 香料制品：天然香料、合成香料等；
- 肉、鱼类制品：骨粉、血浆粉、鱼粉等。

# 第五节 喷雾干燥机械与设备

- 二、喷雾干燥装置的主要组件、分类及应用
- （一）喷雾干燥装置的主要组件
- 喷雾干燥室、雾化器、热风分配器以及刮粉、出料装置、清扫装置。
- 附属设备：空气加热器、分离器、空气过滤器和物料进出的输送装置。
- 雾化器是关键组件，下面着重介绍雾化器。
- 压力式雾化器、
- 离心式雾化器和
- 气流式雾化器，
- 另外还有声波和超声波雾化器。

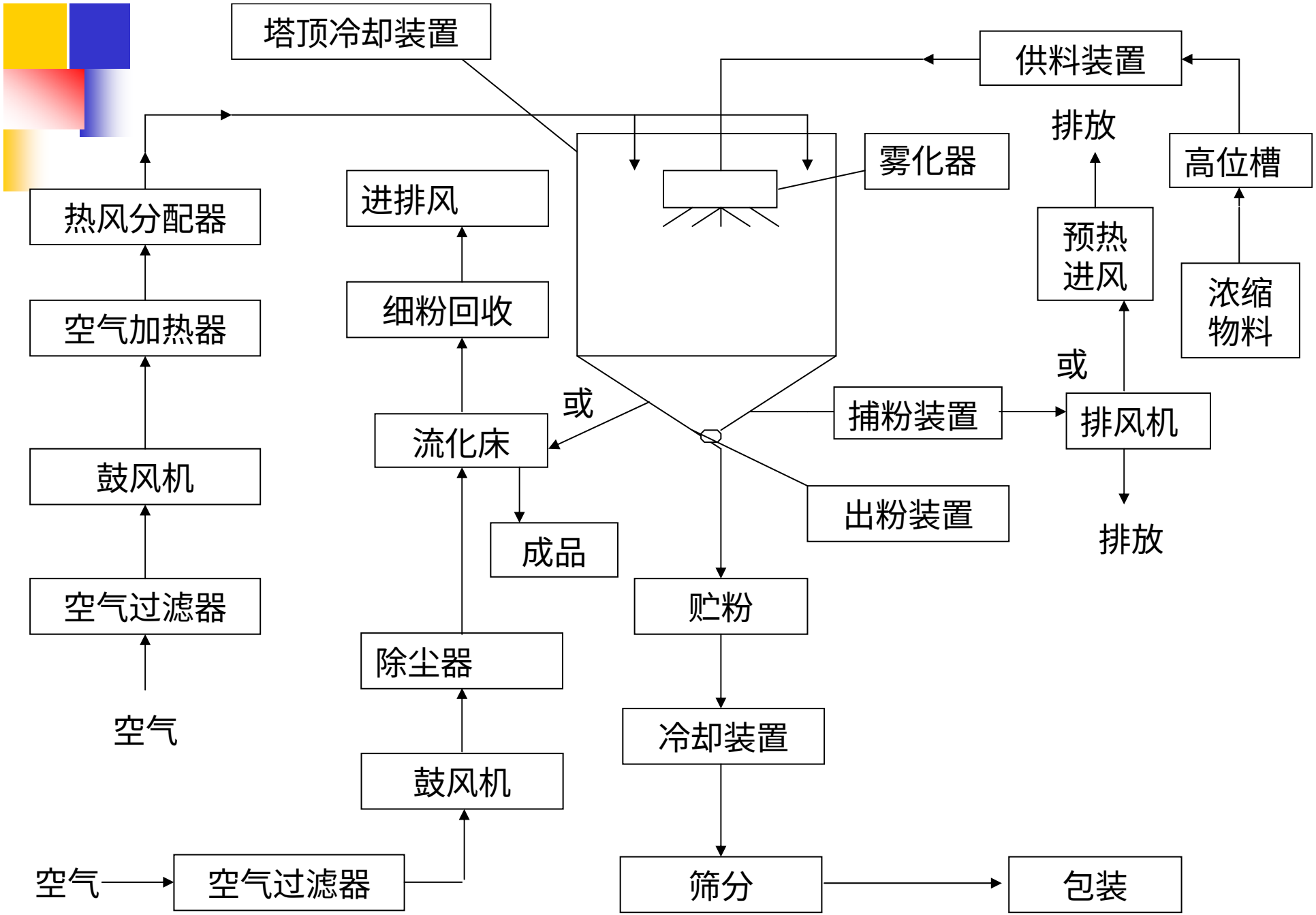



图9-1 典型的喷雾干燥系统方框图

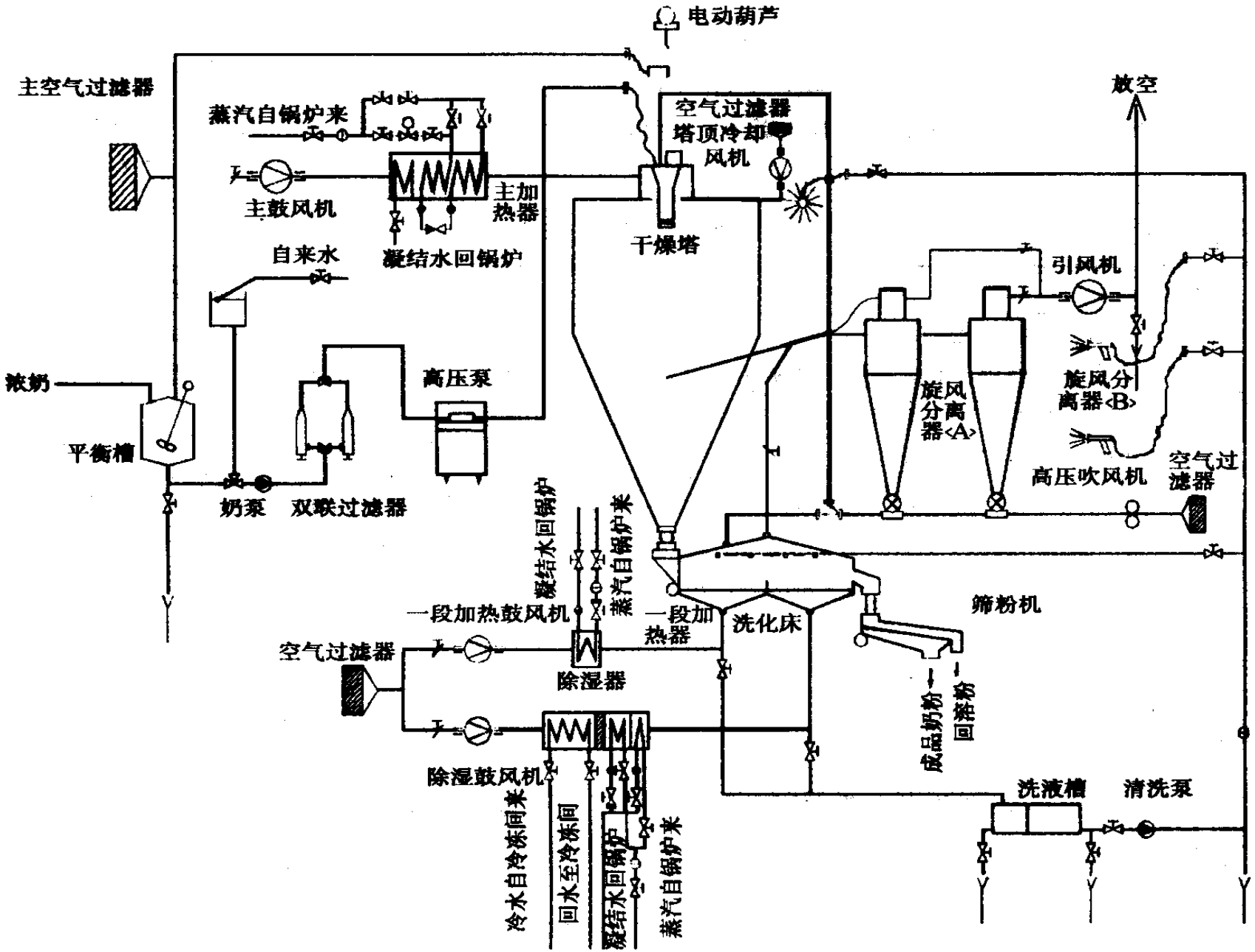



图9-2 立式喷雾干燥设备基本设置

# ■1．压力式雾化器

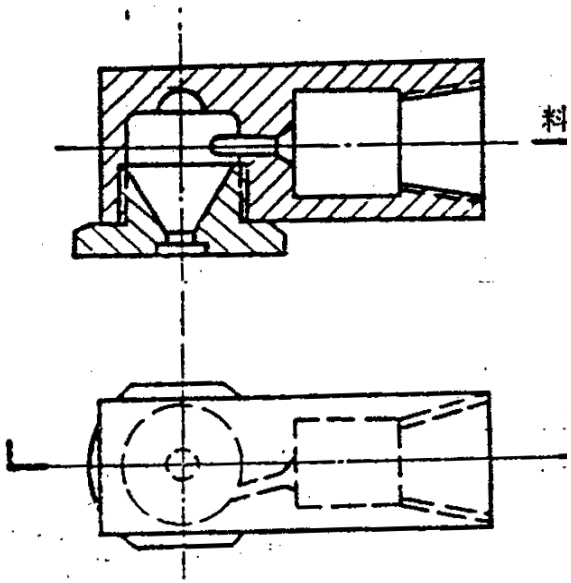



图9-7 喷雾器结构

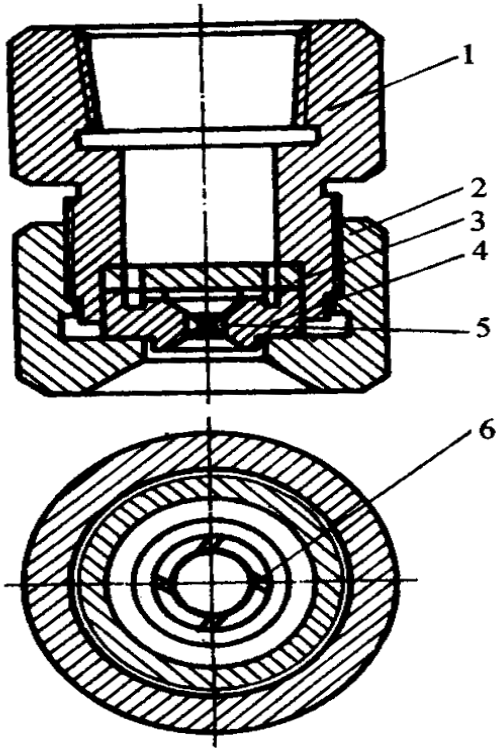



图9-8 M型（Monarch）离心压力式喷雾器

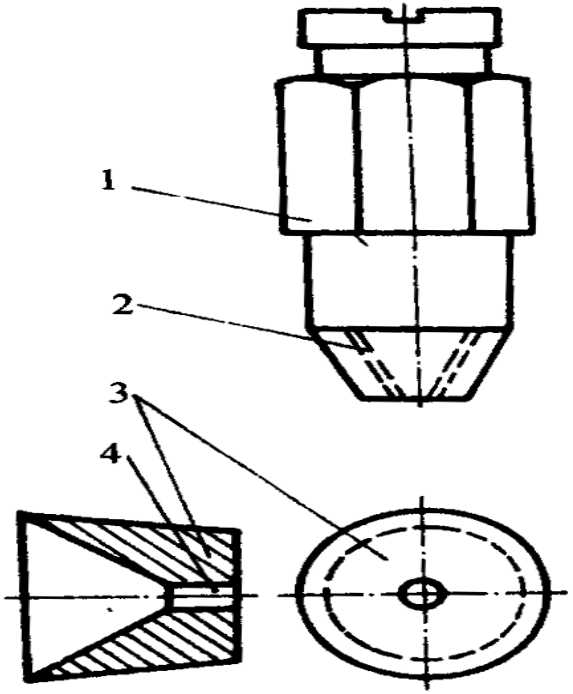
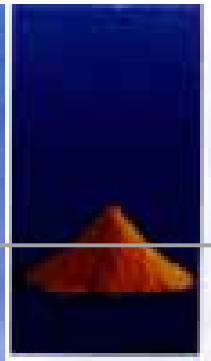
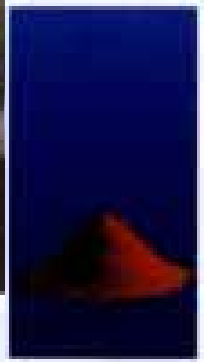
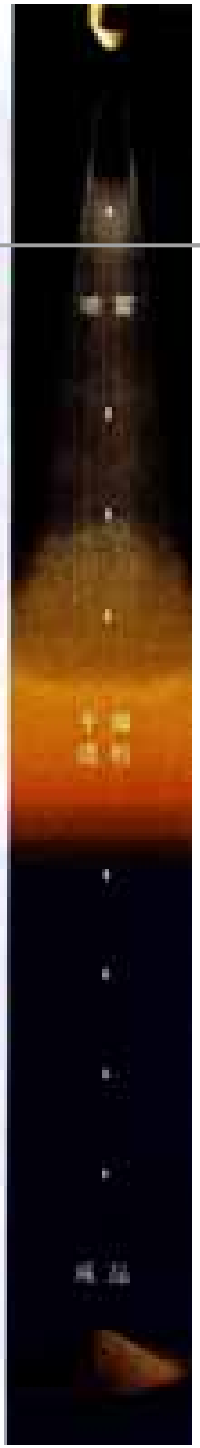
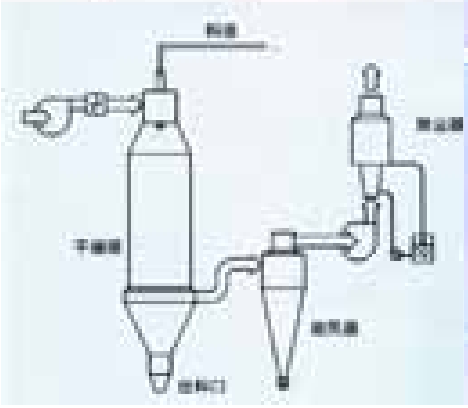


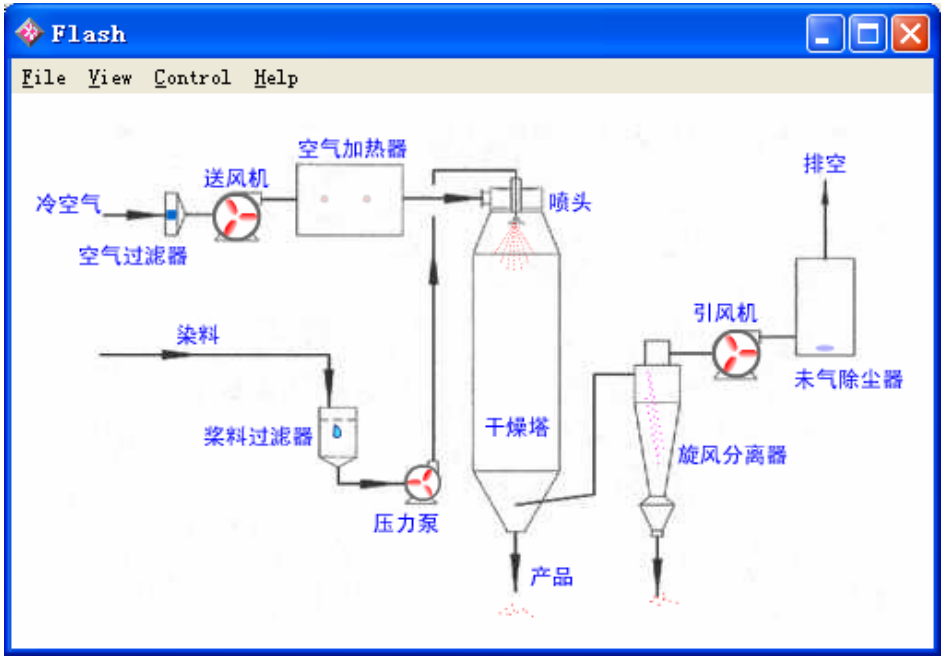

图9-9 S型（Spraying）离心式压力式喷雾器










Flash
File View Control Help
空气加热器
送风机
冷空气
喷头
排空
空气过滤器
引风机
染料
未气除尘器
浆料过滤器
干燥塔
旋风分离器
压力泵
产品

动画浏览

# 2. 离心式雾化器

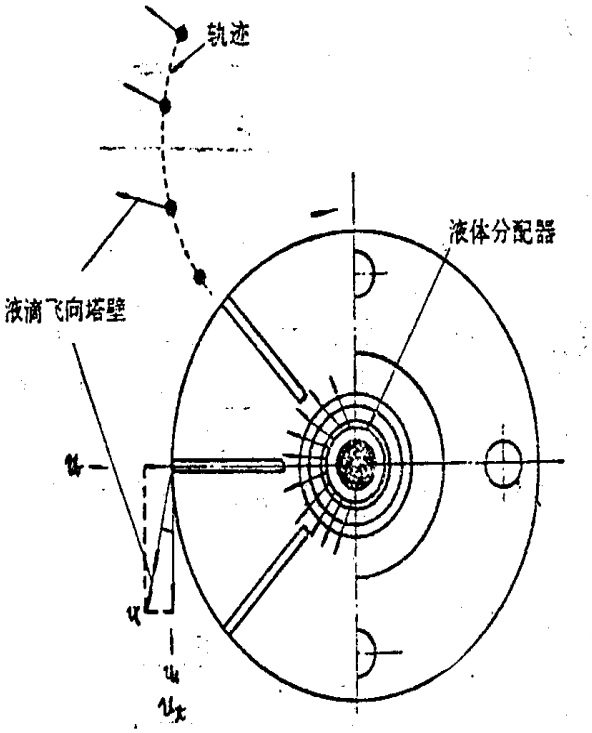



图9-21 离心喷雾液滴在离心盘上的运动轨迹

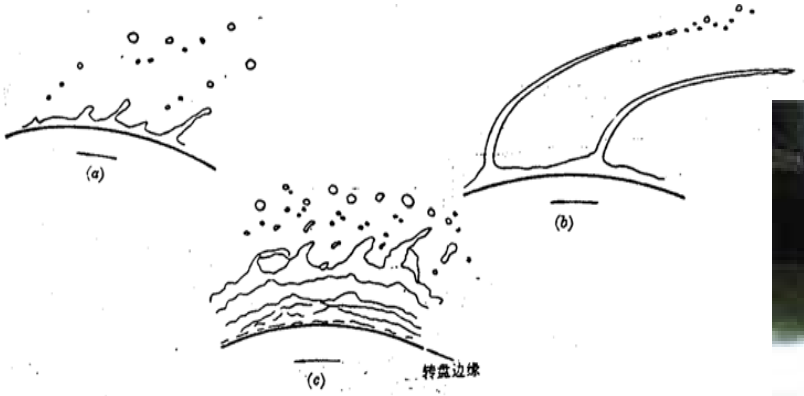


图9-22 离心喷雾原理
（a）直接分裂成液滴 （b）丝状割裂成液滴
（c）膜状分裂成液滴

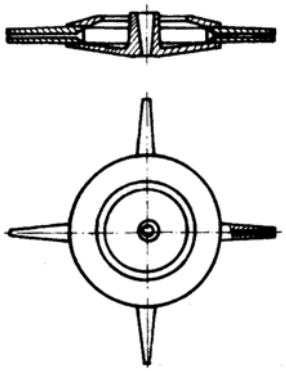


图9-26 多层喷嘴的叶轮

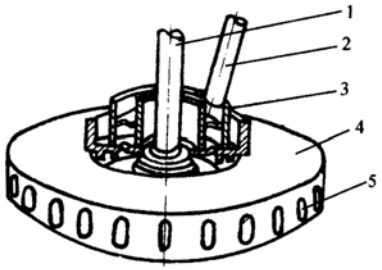
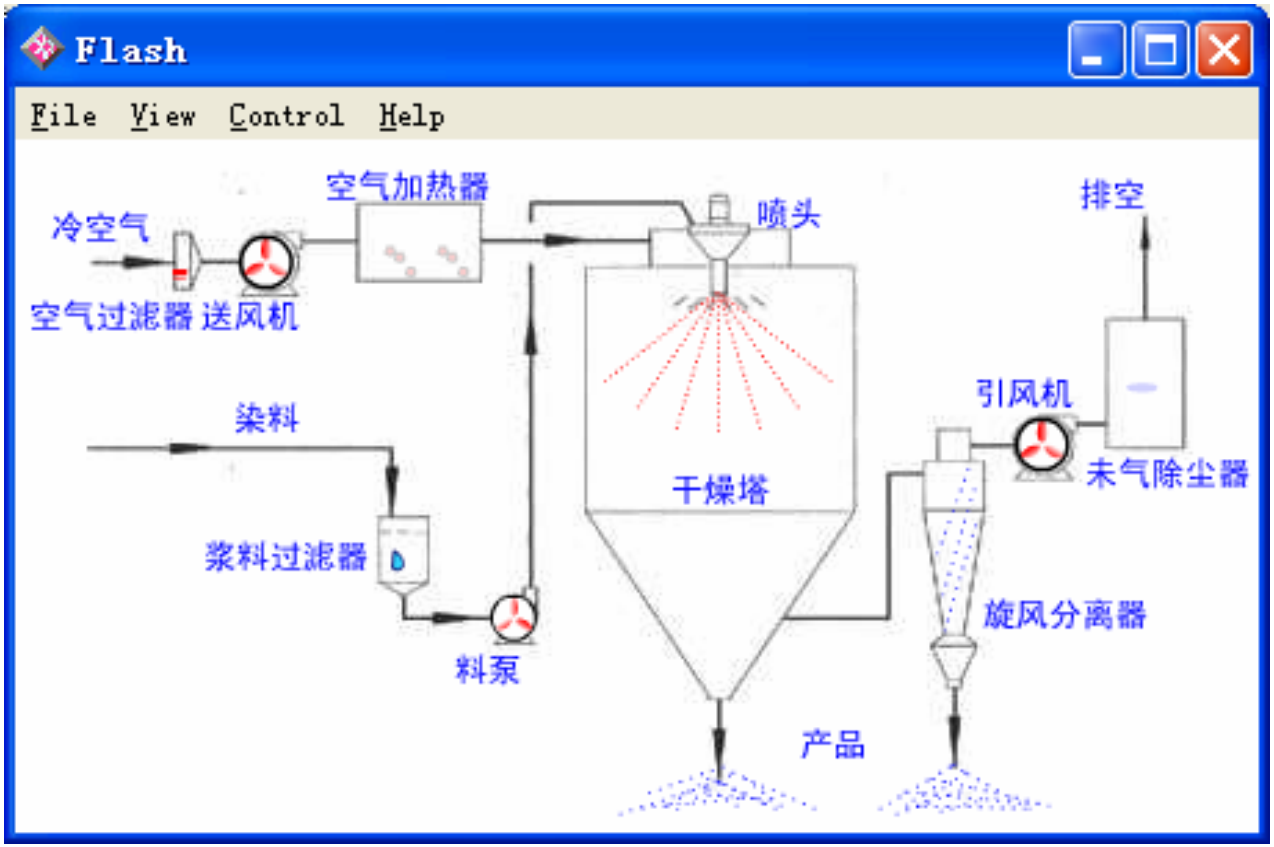


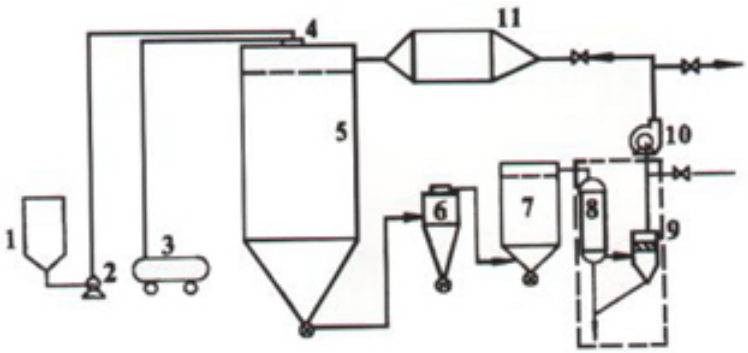

图9-27 矩形通道的叶轮式离心雾化器
1.主轴 2.进料管 3.分槽 4.转盘 5.喷孔

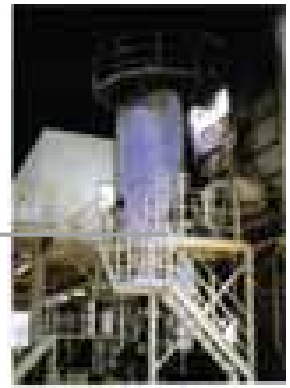

Flash
File View Control Help
空气加热器
喷头
排空
冷空气
空气过滤器 送风机
引风机
染料
干燥塔
尾气除尘器
浆料过滤器
旋风分离器
料泵
产品

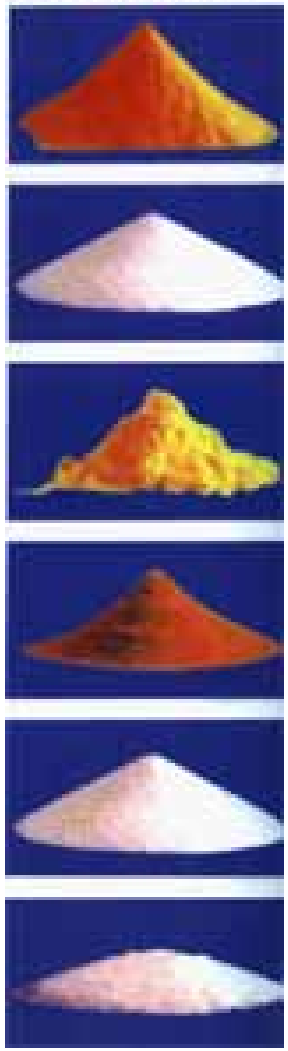
# 离心喷雾干燥

动画浏览

# 3. 气流式雾化器





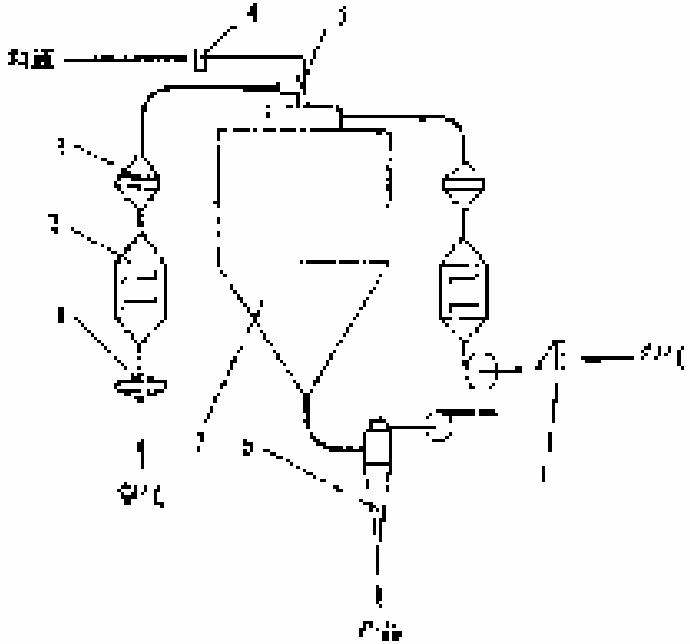


- （二）喷雾干燥器的分类
- 1．按生产流程分类
  （1）开放式喷雾干燥器
  （2）封闭循环式喷雾干燥器
  （3）自惰循环式喷雾干燥器
  （4）半封闭循环式喷雾干燥器
- 2．按喷雾和气体流动方向分类
  （1）并流型喷雾干燥器
  （2）逆流式喷雾干燥器
  （3）混合型流型喷雾干燥器
- 3．按雾化方法分类

- （二）喷雾干燥器的分类
- 1．按生产流程分类

（1）开放式喷雾干燥器

（2）封闭循环式喷雾干燥器



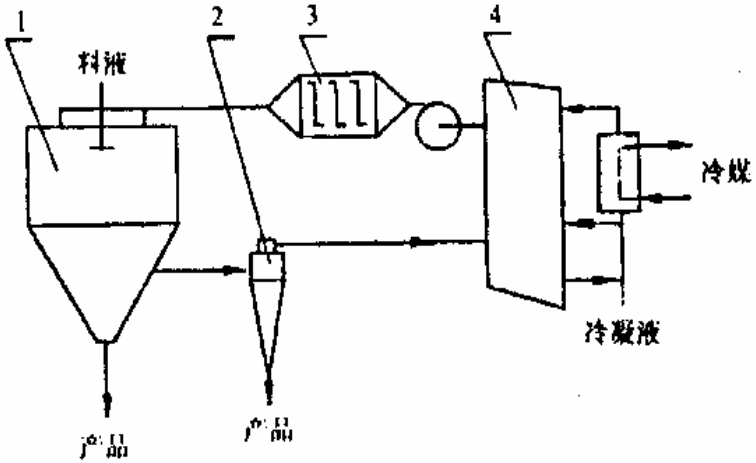



图8-19 开放式喷雾干燥系统 1—空气过滤器； 2—空气加热器；3—精过滤器；4—物料过滤器；5—气流式雾化器；6—旋风除尘器；7—

图8-20 封闭循环式喷雾干燥系统 1—干燥塔；2—分离器；3—加热器；4—冷凝器

- （3）自惰循环式喷雾干燥器
- （4）半封闭循环式喷雾干燥器

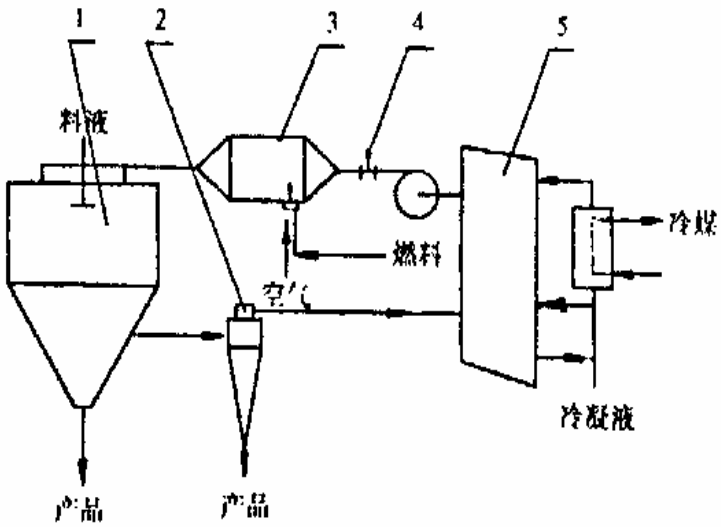



图8-21 自惰循环式喷雾干燥系统
1—干燥塔；2—旋风除尘器；3—燃烧器；4—放气缓冲装置；5—冷凝器

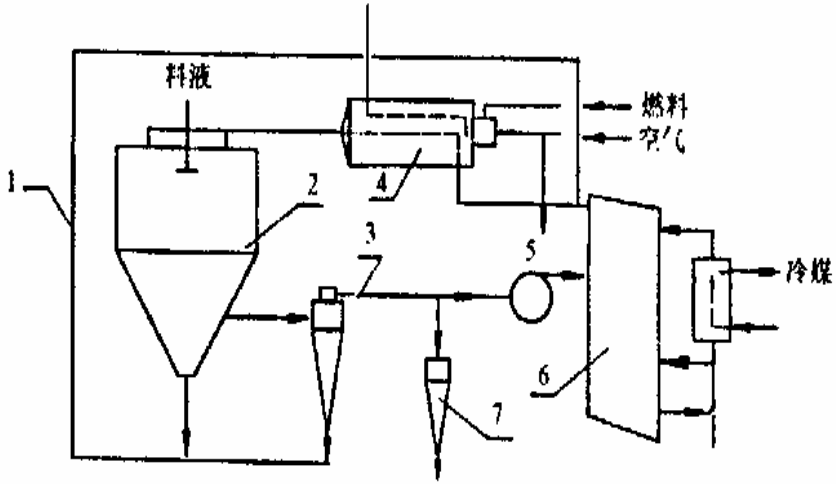



图8-22 半封闭循环式喷雾干燥器
1—循环风路；2—干燥塔；3—旋风除尘器；4—燃烧器；5—部分排放出口；6—冷凝器；7—风送旋风除尘器

## ■2．按喷雾和气体流动方向分类

■（1）并流型喷雾干燥器

。

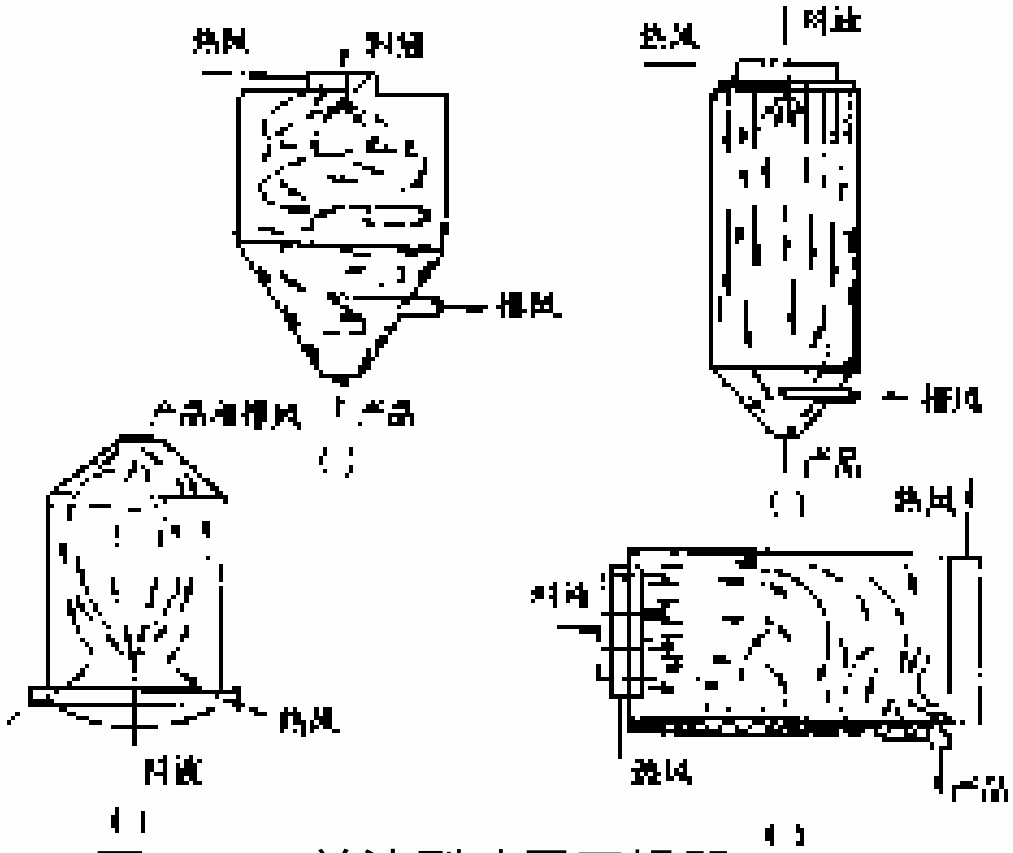
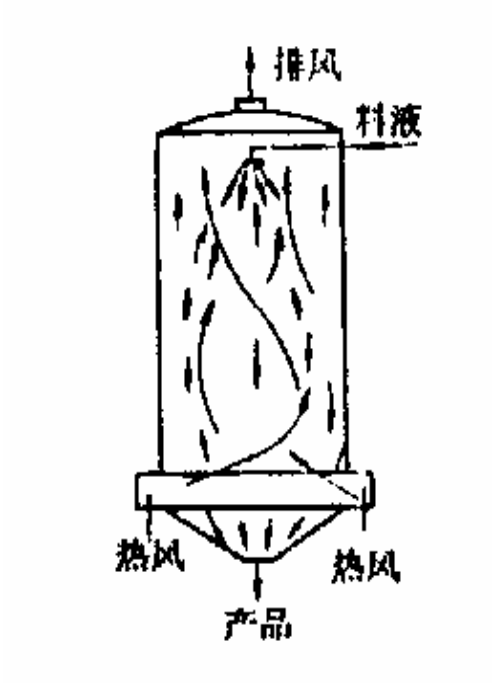


图8-23　并流型喷雾干燥器

（a），（b）垂直下降并流型；

（c）垂直上升并流型；（d）水平并流型

- （2）逆流式喷雾干燥器
- （3）混合型流型喷雾干燥器



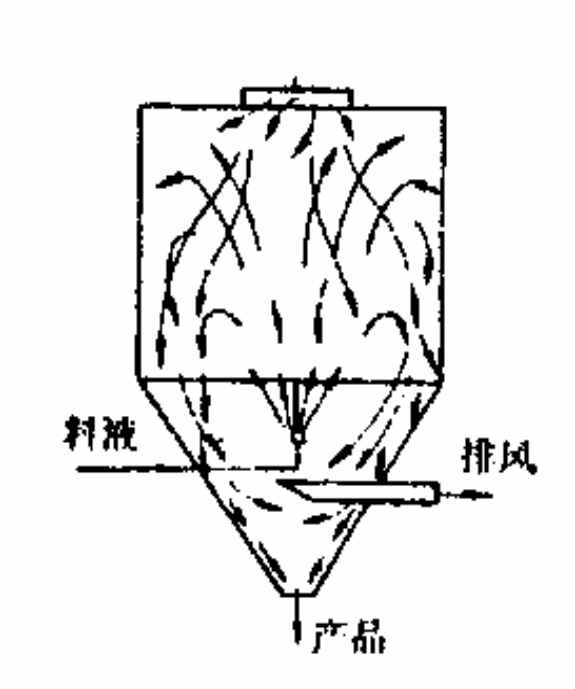




图8-24 逆流型喷雾干燥器　　图8-25 混合流型喷雾干燥器

## 3．按雾化方法分类

根据喷雾干燥设备所使用的雾化器分为压力式喷雾干燥器、离心式喷雾干燥器、气流式喷雾干燥器。

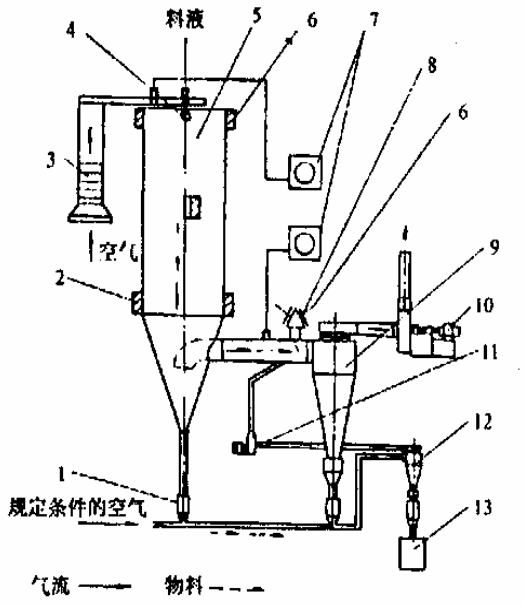



图8-26　压力式喷雾干燥器

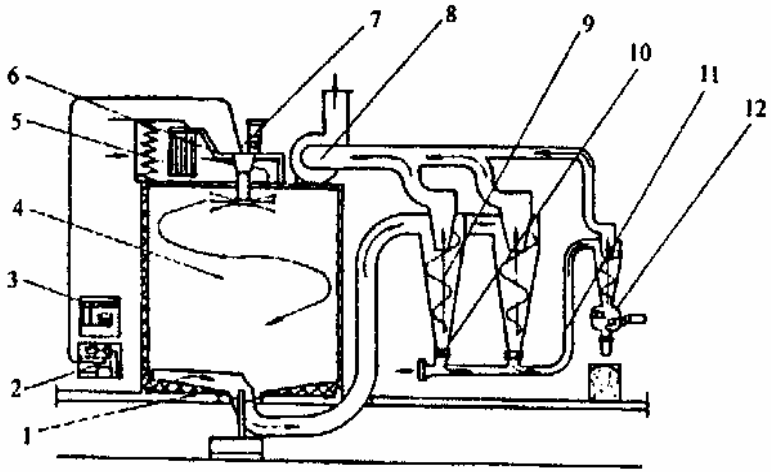


图8-27　离心式喷雾干燥器

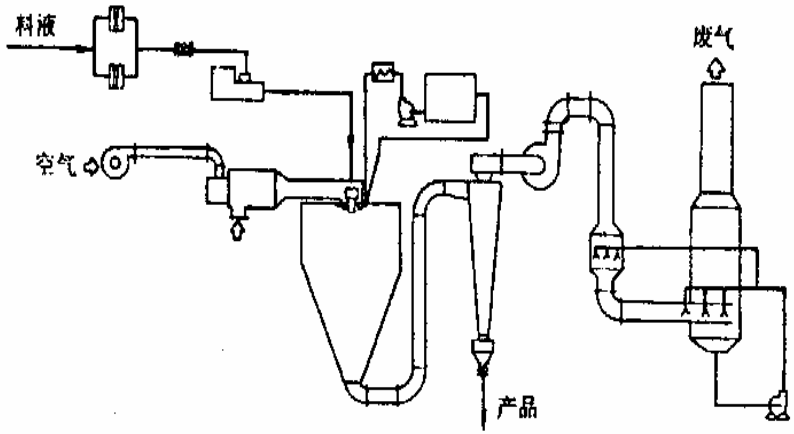



图8-28　气流式喷雾干燥器示意图

## （三）喷雾干燥设备应用

喷雾干燥作为现代对流干燥方法之一被广泛地应用于化工、食品、生物、制药等工业部门中，用于干燥真溶液、胶体溶液、悬浊液、乳浊液、浆状料和可流动的膏状料，特别是用来干燥乳与乳制品、蛋、果汁、饲料、酵母、维生素、酶制剂、血液和血浆代用品、番茄制品、咖啡及咖啡伴侣、粉末油酯等。

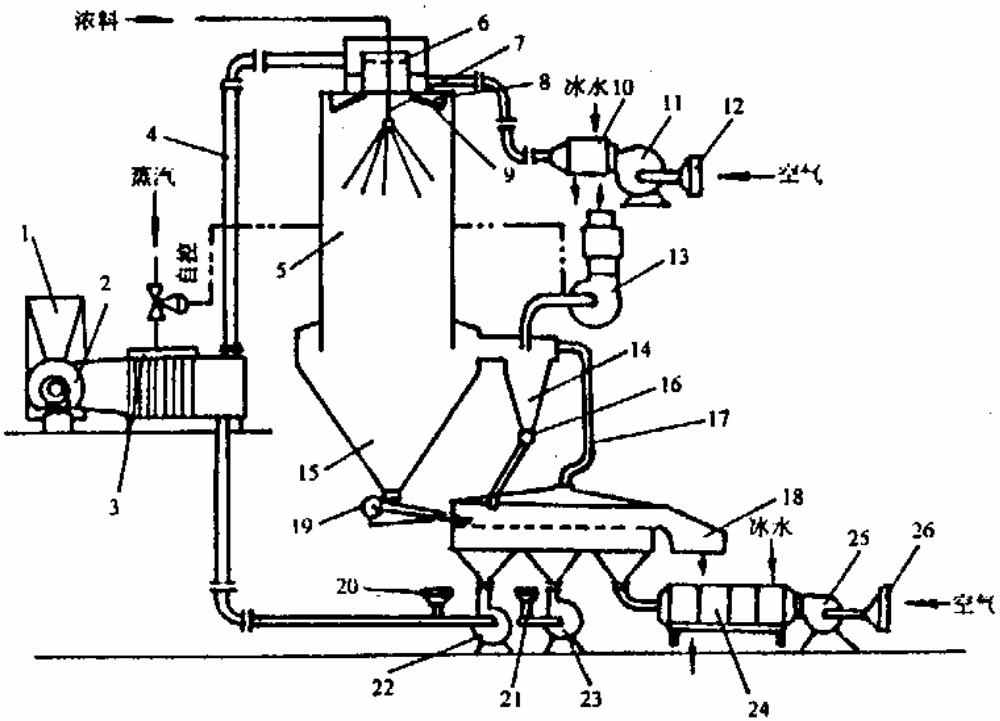
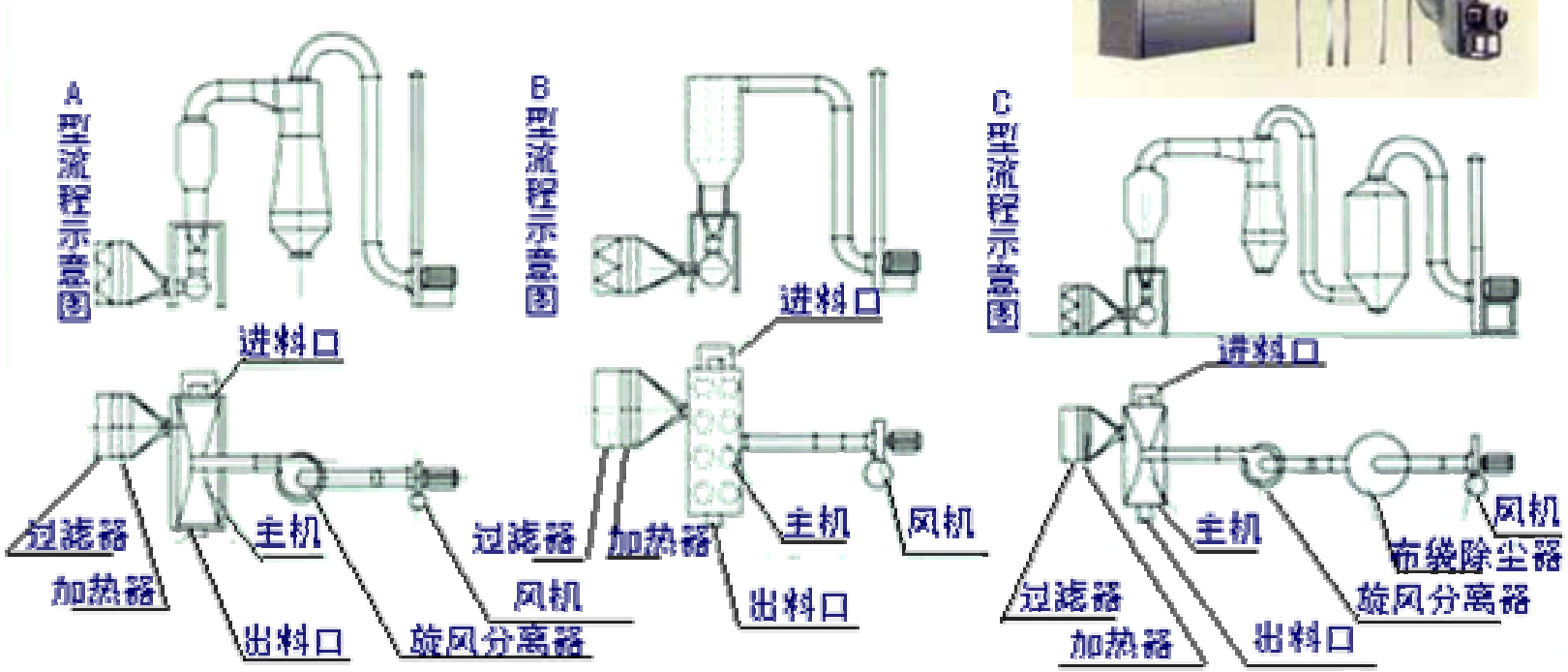



图8-29　K-7型单喷嘴二级喷雾干燥流程图

# 第六节　沸腾干燥的机械与装备

- 一、沸腾干燥的基本原理与特点
- （一）沸腾干燥基本的原理
- （二）沸腾干燥的特点
- 二、流化床干燥器的主要组件、分类和应用

# 沸腾干燥机


A型流程示意图
进料口
过滤器
加热器
主机
出料口
旋风分离器
B型流程示意图
进料口
过滤器
加热器
风机
主机
出料口
风机
C型流程示意图
进料口
过滤器
加热器
主机
出料口
旋风分离器
布袋除尘器
风机

## 一、沸腾干燥的基本原理与特点

### （一）沸腾干燥基本的原理

（1）固定床　当流体（热空气）速度较低时，在床层中固体颗粒虽与流体相接触，但固体颗粒的相对位置不发生变化，这时固体颗粒的状态称为固定床。

（2）流化床　当固定床阶段的流体速度逐渐增加，固体颗粒就会产生相互间的位置移动，若再增加流体速度，而床层的压力损失保持不变，固体颗粒在床层中就会产生不规则的运动，这时床层状态就处于流态化，即为流化床。

（3）气流输送　随着流体速度的增加，固体颗粒运动则更为剧烈，当流体流速超出固体颗粒的沉降速度时，固体颗粒就不能继续停留在容器内，而被气流带出容器，床层内的固体颗粒密度降低，因此这时也称为稀相流化床。

- （二）沸腾干燥的特点
- 1．优点

(1）接触面大，设备的效率高。搅拌激烈，热容量大，热传导效果好，

(2）干燥速度快。物料在设备内停留时间短，适宜于热敏性物料的干燥。

(3）物料在干燥室内的停留时间可由出料口控制，故容易控制成品的含水率。

(4）装量简单，设备造价低，本身无机械运动装置，保养容易，维修费用低。

- 2．缺点

(1）对被干燥物料的粒度有一定的限制，一般要求颗粒细度在40μm～6mm范围内。

(2）对易结块物料容易产生与设备间的粘结而不适用。

（3）单层流化床难于保证干燥均匀，故需设置多层，使设备的高度大为增加。

- 二、流化床干燥器的主要组件、分类和应用
- 1．单层流化床干燥器
- 2．多层流化床干燥器

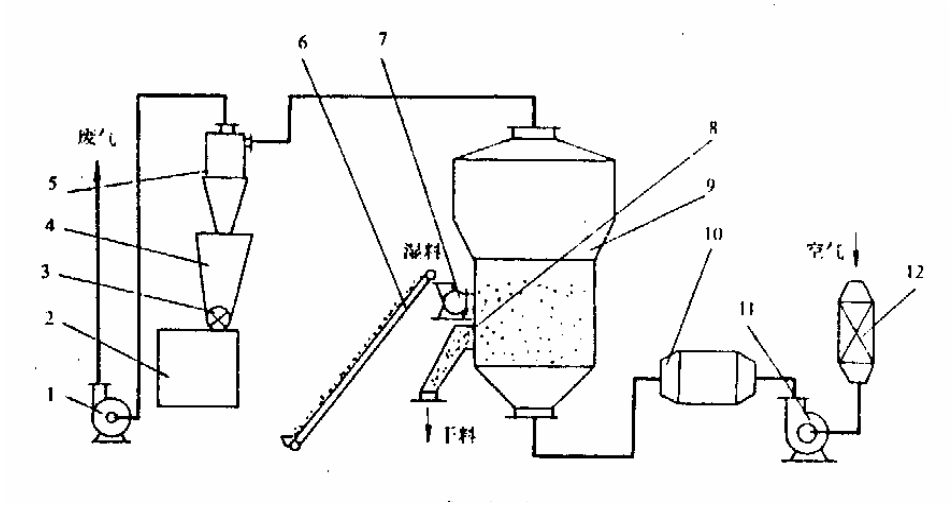



图8-31 单层沸腾干燥流程图
1—抽风机；2—料仓；3—星形下料器；4—集灰斗；5—旋风除尘器（4只）；
6—皮带输送机；7—抛料机；8—卸料管；9—流化床；10—加热器；

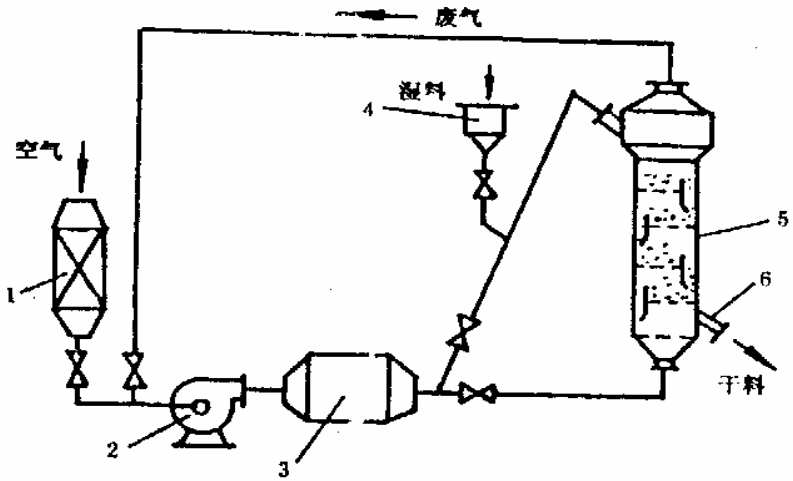
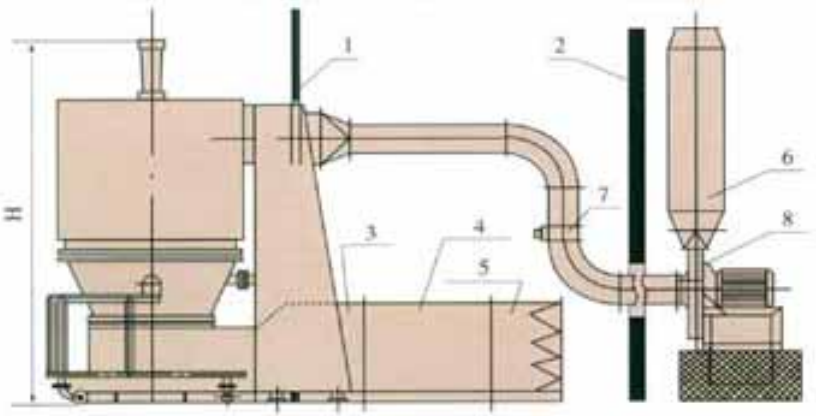



图8-32 五层沸腾干燥流程图
1—空气过滤器；2—鼓风机；3—电加热器；4—料斗；5—干燥器；6—出料管

# 高效沸腾干燥机




1、隔墙　2、隔墙　3、加热器　4、过滤器
5、过滤器　6、消音器　7、调风门　8、风机

# 卧式多室流化床干燥器

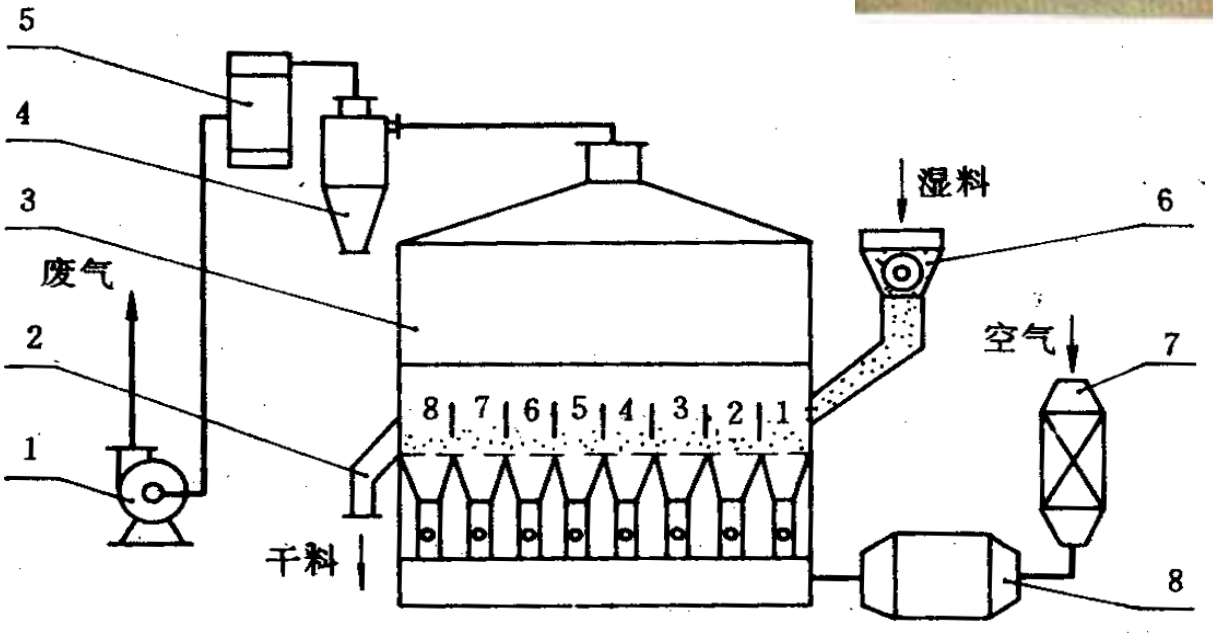
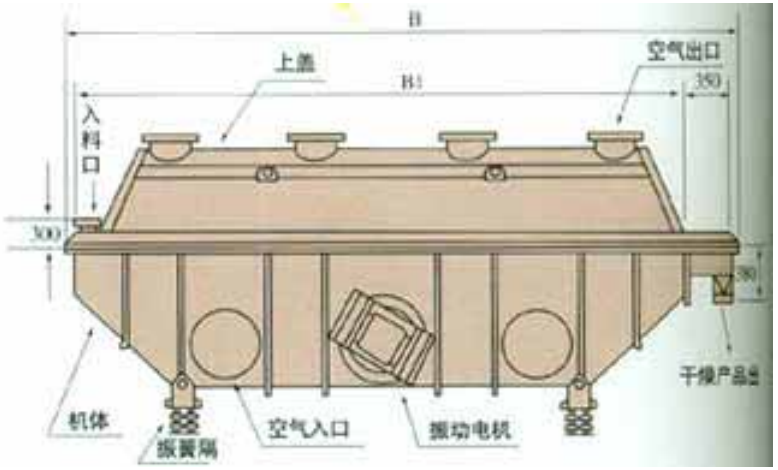



图9-49 卧式多室流化床干燥器

1.抽风机 2.卸料管 3.干燥器 4.旋风除尘器 5.袋式除尘器 6.摇摆颗粒机 7.空气过滤器 8.加热器

# 振动流化床干燥器



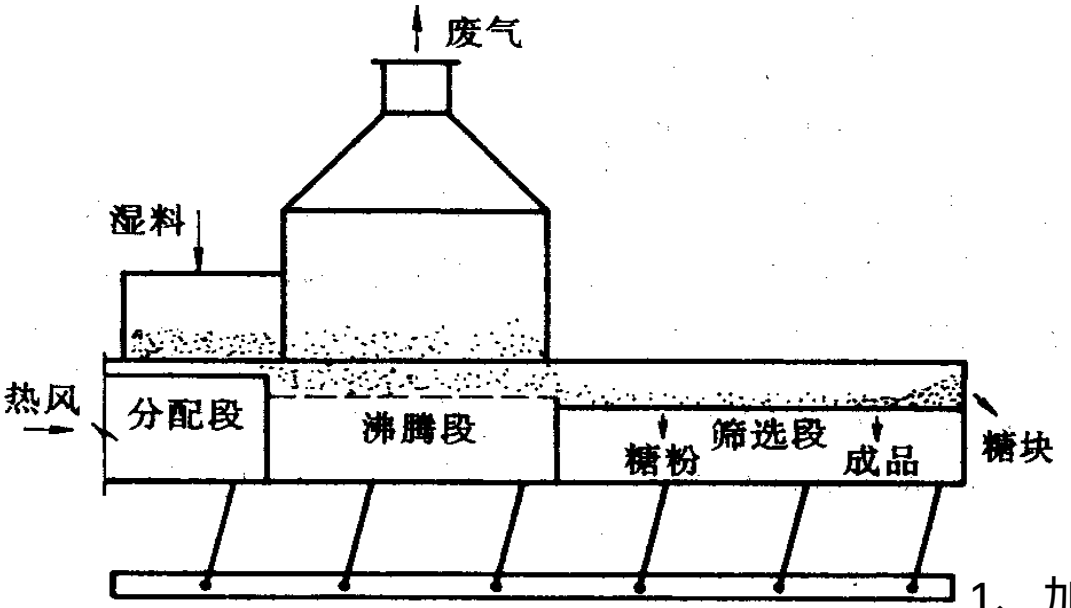
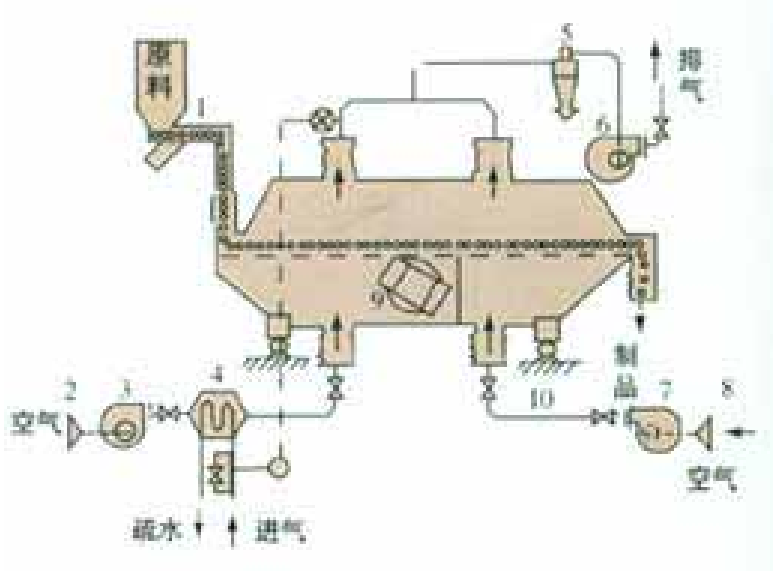




图9-51 振动流化床干燥器




1、加料器2、过滤器3、给风机4、换热器5、旋风除尘器6、排风机7、给风机8、过滤器9、振动电机10、隔振簧

# 新型流化干燥设备

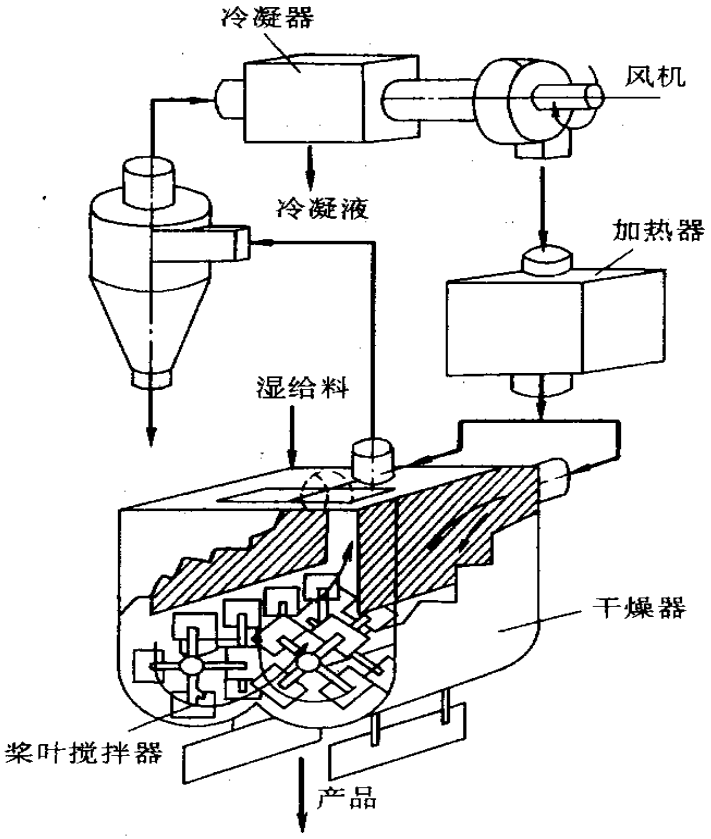



图9-89 机动流化床干燥器（美国新泽西保罗·奥，艾比公司开发）

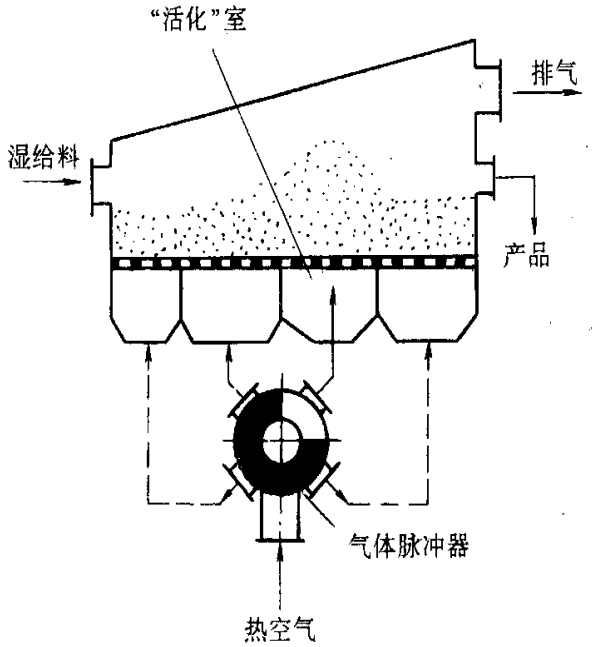



图9-88 周期性变换气流位置的脉冲流化床干燥器

# 第七节 冷冻干燥技术装备

冷冻干燥，也叫升华干燥，就是将待干燥的湿物料在较低温度下（-50～-10℃）冻结成固态后，在高真空度（0.133～133Pa）的环境下，将已冻结了的物料中的水分，不经过冰的融化而直接从固态升华为气态，从而达到干燥的目的。

- 一、冷冻干燥的基本原理及特点
- （一）冷冻干燥基本的原理
- （二）冷冻干燥的特点
- 二、冷冻干燥设备的主要组件、分类和应用

- 一、冷冻干燥的基本原理及特点
- （一）冷冻干燥基本的原理

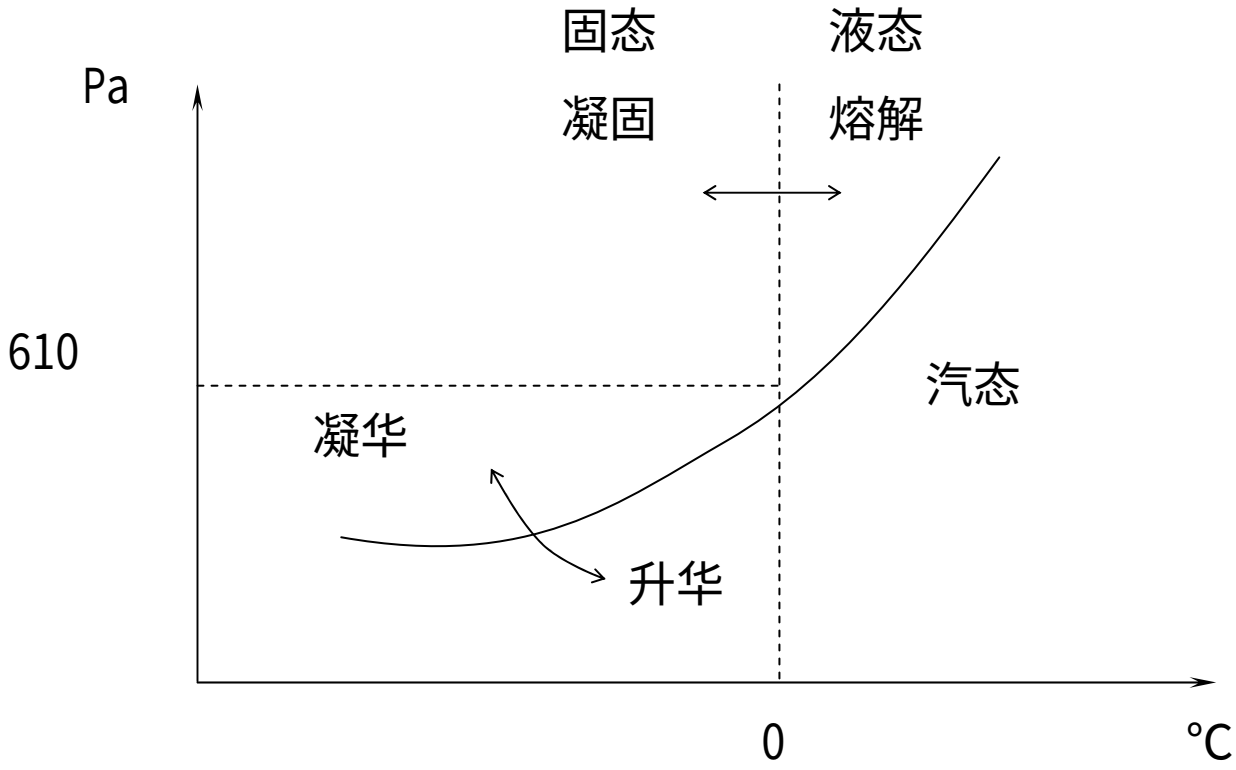



图8-37　水的相平衡图

## （二）冷冻干燥的特点

（1）冷冻干燥操作的温度低，并且处于真空状态之下，特别适用于热敏性食品和易氧化食品的干燥，可以保留新鲜食品的色、香、味以及$V_C$等营养物质。

（2）由于物料中水分存在的空间，在水分升华以后基本维持不变，故干燥后制品仍不失原有的固体框架结构，复水后易于恢复原有的性质和形状。

（3）冷冻干燥因在真空下操作，氧气极少，因此一些易氧化的物质（如油脂类）得到保护，产品能长期保存而不变质。

（4）多孔疏松结构的干燥产品一旦暴露空气中易吸湿、易氧化，最好要求真空或充氮包装，应采用具有一定保护作用的包装材料和包装形式。

（5）由于操作是在高真空和低温下进行，需要有一整套高真空获得设备和制冷设备，故投资费和操作费都很大，因而产品成本高。

# 第七节 冷冻干燥技术装备

- 二、冷冻干燥设备的主要组件、分类和应用

（一）冷冻干燥设备的主要组件

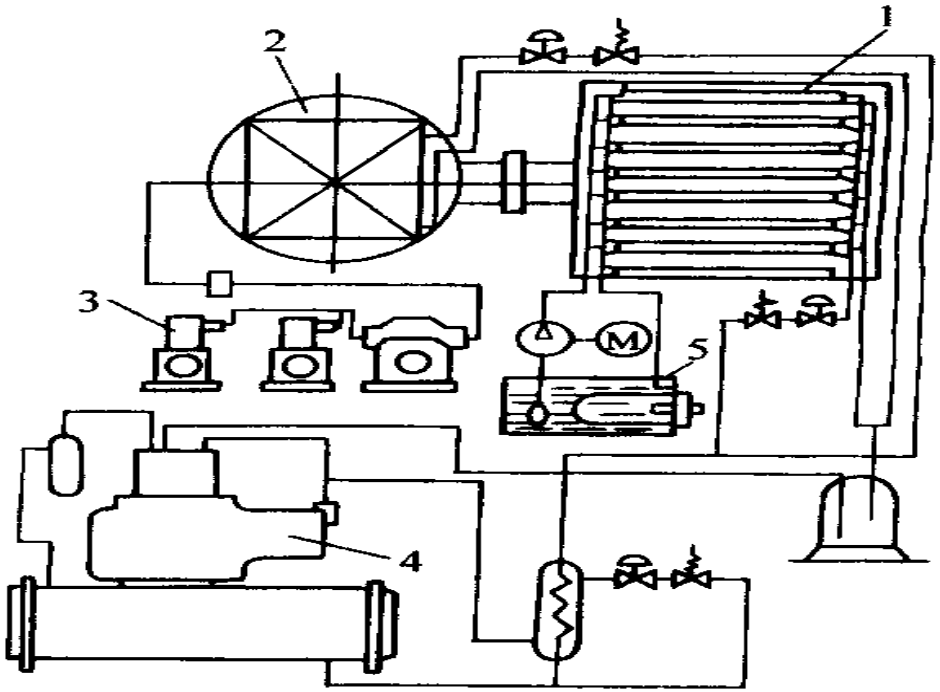
冷冻干燥室、冷凝器、真空系统、制冷系统与加热系统、控制系统

（二）冷冻干燥技术的应用

冷冻升华干燥的食品、生物制品医药等方面的应用将日益广泛，在食品工业中，常用于肉类、水产、果蔬、禽蛋、酶制剂、维生素、方便食品、咖啡、茶和调味品等干燥。

（三）冷冻干燥动画演示

# 冷冻干燥设备



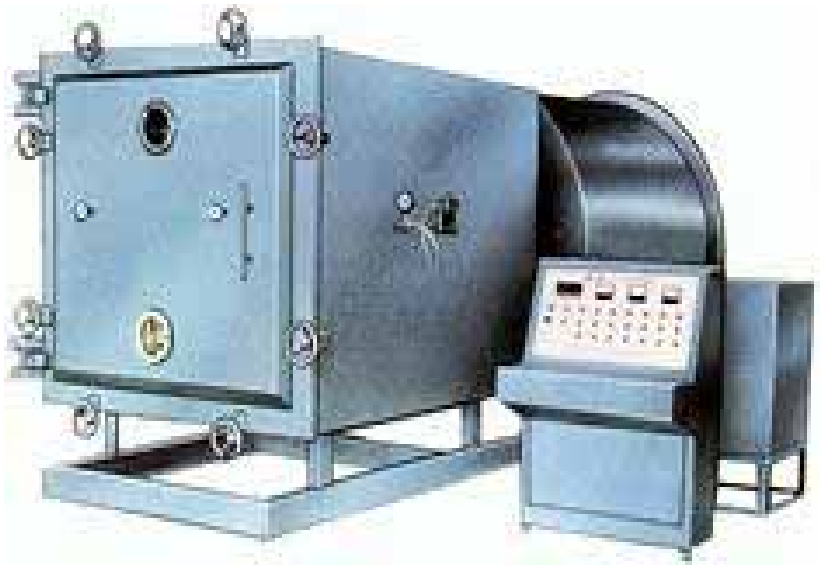



图9-65 接触导热间歇式冷冻干燥机简图
1.干燥箱 2.冷阱 3.真空系统
4.制冷系统 5.加热系统

# 第八节 电磁辐射干燥机械与装备

- 一、高频干燥设备和微波干燥设备

利用电磁波在快速变化的高频电磁场中与物质分子相互作用，被吸收而产生热效应，把能量转换为介质的热能，以达到干燥的目的。

- 二、微波干燥加热原理

# 微波干燥设备

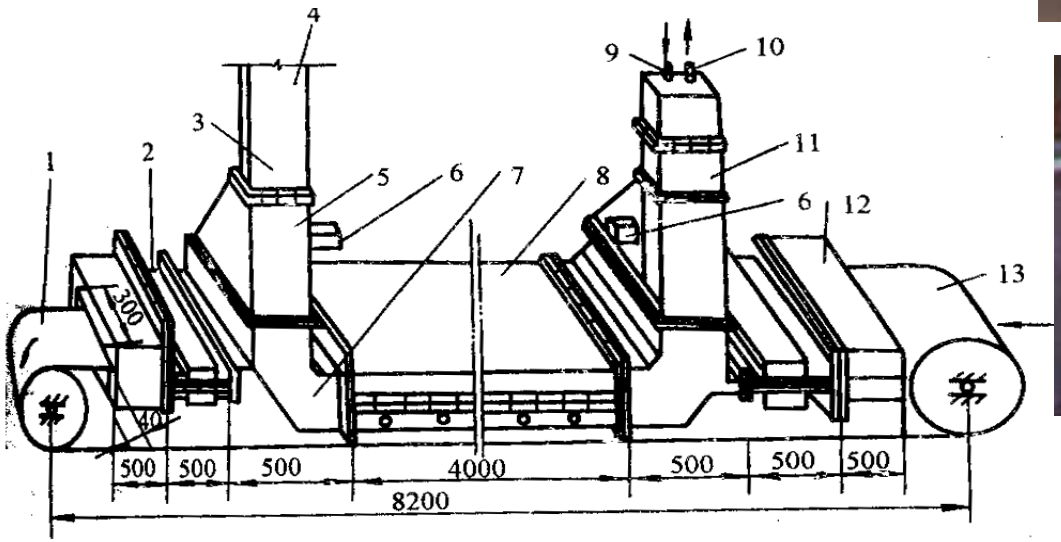



图9-75 隧道式微波加热器
1.输送带 2.抑制器 3.BJ22标准波导 4.接波导输入口 5.锥形过滤器 6.接排风机 7.b边放大直角弯头 8.主加热器 9.冷水进口 10.热水出口 11.水负载 12.吸收器 13.进料

WXD系列多管微波设备－－－南京三乐集团

## 二、红外线干燥设备

红外线干燥设备是利用辐射传热干燥的一种方法。红外线辐射器所产生的电磁波传播到被干燥的物料，当红外线的发射频率和被干燥物料中分子运动的固有频率（也就是红外线的发射波长和被干燥物料的吸收波长）相匹配时，引起物料中的分子强烈振动，在物料内部发生激烈摩擦产生热而达到干燥的目的。

# 远红外干燥灭菌烘箱