

恒逸（文莱）实业有限公司

PMB 石化项目基础知识教材

编写：

目 录

第二篇 炼油机械设备篇	4
第一章 泵	4
第一节 概述	4
第二节 离心泵	5
第三节 磁力传动泵	13
第四节 屏蔽泵	16
第五节 计量泵	17
第六节 真空泵	19
第七节 螺杆泵	20
第八节 齿轮泵	22
第二章 压缩机	24
第一节 压缩机的分类与应用	24
第二节 离心式压缩机	25
第三节 活塞式压缩机	30
第四节 螺杆压缩机	37
第三章 蒸汽轮机	40
第一节 汽轮机的种类	40
第二节 汽轮机的工作原理	41
第三节 汽轮机结构	41
第四节 调速控制系统	43
第五节 辅助设备	47
第四章 风机	50
第一节 概述	50
第二节 离心风机	50
第三节 轴流风机	52
第五章 油气装卸设备	54
第一节 鹤管	54
第六章 动力设备	58
第一节 液力透平	58
第二节 膨胀机	59
第三节 内燃机	59
第七章 容器类设备	61
第一节 压力容器的分类	61
第二节 压力容器的主要部件	62
第八章 塔设备	71
第一节 塔的分类	71

第二节	板式塔	72
第三节	填料塔	81
第四节	塔外件	89
第九章	换热设备	91
第一节	换热设备的分类及工作原理	91
第二节	管壳式换热器	92
第三节	空气冷却器	98
第十章	管式加热炉	101
第一节	管式加热炉的工作原理	101
第二节	管式加热炉类型	102
第三节	管式加热炉的主要零部件	104
第四节	管式加热炉低温露点腐蚀的机理及防治	109
第十一章	管道及配件	111
第一节	管道分类	111
第二节	适用范围及材质	112
第三节	管道连接方式	112
第四节	管配件	113
第五节	法兰	114
第六节	阀门	119

第二篇 炼油机械设备篇

第一章 泵

第一节 概述

泵通常是指为液体提供能量的流体输送设备。泵的种类很多，其中离心泵具有性能范围广泛、流量均匀、结构简单、运转可靠和维修方便等诸多优点，因此离心泵是工业生产中应用最为广泛的一种液体输送设备。除了在高压小流量或计量时常用往复式泵，液体含气时常用旋涡泵和容积式泵，高粘度介质常用转子泵外，其余场合，绝大多数使用离心泵。据统计，在石油、化工生产装置中，离心泵的使用量占泵总量的70%~80%。

泵的种类繁多，结构各异，分类方法很多，常见按照泵的工作原理分类（图2-1）。

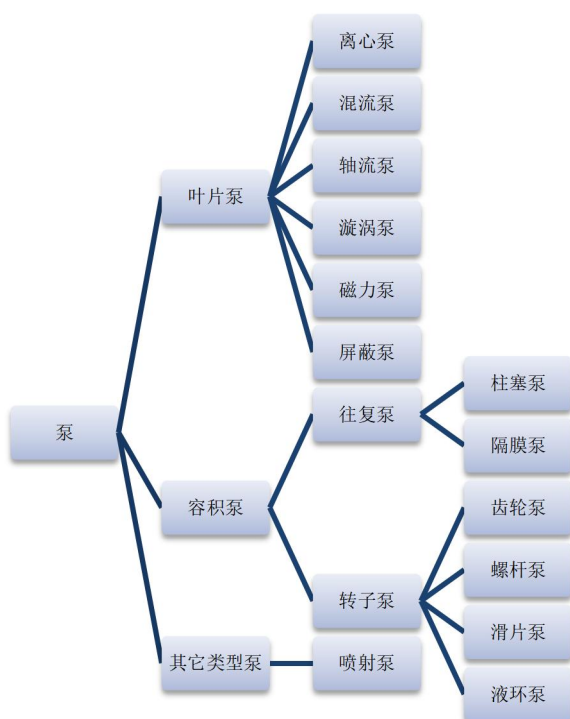


图2-1 泵的分类

第二节 离心泵

一、离心泵的分类

按照API 610 离心泵的分类,石油化工用离心泵分为3大类18个小类(表2-1)。

表2-1 Table-Pump classification type identification

Pump type			Orientation		Tape code
Centrifugal pumps	Overhung	Flexibly coupled	Horizontal	Foot-mounted	OH1
				Centreline-supported	OH2
			Vertical in-line with bearing bracket		OH3
		Rigidly coupled	Vertical in-line		OH4
		Close-coupled	Vertical in-line		OH5
			High-speed integrally geared		OH6
	Between-bearings	1-and 2-stage	Axially split		BB1
			Radially split		BB2
		Multistage	Axially split		BB3
			Radially split	Single casing	BB4
				Double casing	BB5
	Vertically suspended	Single casing	Discharge through column	Diffuser	VS1
				Volute	VS2
				Axial flow	VS3
		Separate discharge		Line shafte	VS4
				Cantilever	VS5
		Double casing	Diffuser		VS6
			Volute		VS7

二、石油化工用离心泵的特点

石油化工用离心泵和普通泵的主要差别,在于选用的材料和采用的结构有些不同。石油化工用泵常采用一些特殊材料和特殊结构,以保证流通,保护环境,获得高的效率和良好的性能。对于输送性质恶劣液体、使用条件苛刻的石油化工泵,发生故障的原因比普遍泵要复杂得多。石油化工用泵通常有以下几点要求。

- 1、适应化工工艺要求、运行可靠;
- 2、耐腐蚀、耐磨损;。

- 3、满足无泄漏要求；
- 4、耐高温或低温并能有效连续工作。

三、 离心泵的工作原理

离心泵是由于叶轮高速旋转时产生离心力而输送液体的。图2-1所示是典型离心泵的一般装置示意图。离心泵在启动之前，泵内应灌满液体，此过程称为灌泵。工作时驱动机通过泵轴带动叶轮旋转，叶轮中的叶片驱使液体一起旋转，因此产生离心力，在此离心力的作用下，液体沿叶片流道被甩向叶轮出口，液体经过蜗壳送入排出管。液体从叶轮获得能量，使压力能和速度能均增加，并依靠此能量将液体输送到工作地点。当一个叶轮不能使液体获得足够的能量时，可用多个叶轮串联或并联起来对液体作功。

当液体甩向叶轮出口的同时，叶轮入口中心处就形成了低压，在吸液罐和叶轮中心处的液体之间就产生了压差，吸液罐中的液体在这个压差作用下，便不断地经吸入管路及泵的吸入室进入叶轮。这样，叶轮在旋转过程中，一面不断地吸入液体，一面又不断地给吸入的液体以一定的能量，将液体排出，使离心泵连续不断地工作。

四、 离心泵的主要性能参数与特性曲线

离心泵的主要性能参数有转速、流量、扬程、功率和效率等。

- 1、 转速：即离心泵叶轮的转速，用符号 n 表示，其单位是转/分，以 r/min 表示。
- 2、 流量：泵的流量 Q 是指单位时间内由泵的排液口排出的液量。大多采用体积流量 Q ，单位为 m^3/s 、 m^3/min 、 m^3/h 或 L/s 。有时也用质量流量 G 表示，单位为 kg/s 、 kg/min 、和 t/h 。
- 3、 扬程（也称压头）：有泵的扬程（实际扬程）及理论扬程之分。泵的扬程 H ——单位重量液体流过泵后的总能量的增值。或者作功元件对泵排出的单位重量液体所作的有效功（单位为 m —液柱）。
- 4、 功率：有效功率 N_{eff} 、内功率 N_i 和轴功率 N 之分。

有效功率 N_{eff} 是单位时间内泵排出口流出的液体从泵中取得的能量。

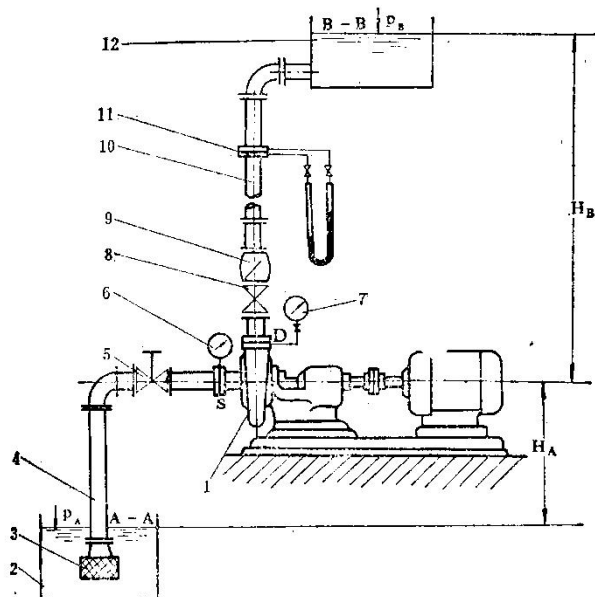
内功率 N_i （或水力功率）为单位时间内作功单元所给出的能量。

轴功率 N 是指单位时间内由原动机传递到泵主轴上的功。

5、效率：泵效率（总效率） η 是衡量泵工作是否经济的指标，定义为：

$\eta = N_{\text{eff}}/N$ ，即有效功率与轴功率的比值。

6、汽蚀余量：泵的允许吸上真空度（ H_s ）或允许汽蚀余量（NPSH），单位均以米——液柱表示。



- 1—泵；2—吸液罐；3—吸入口；4—吸入管路；5—泵入口阀；6—入口压力表；
7—出口压力表；8—泵出口阀；9—单向阀；10—排出管路；11—流量计；
12—排液罐

图 2-1 离心泵的一般装置示意图

离心泵的主要性能参数之间存在着一定的关系，可用实验测定。将实验结果标绘于坐标纸上，得出一组曲线，称为离心泵的特性曲线。图2-2为某型号离心泵在转速为2900r/min时的特性曲线。

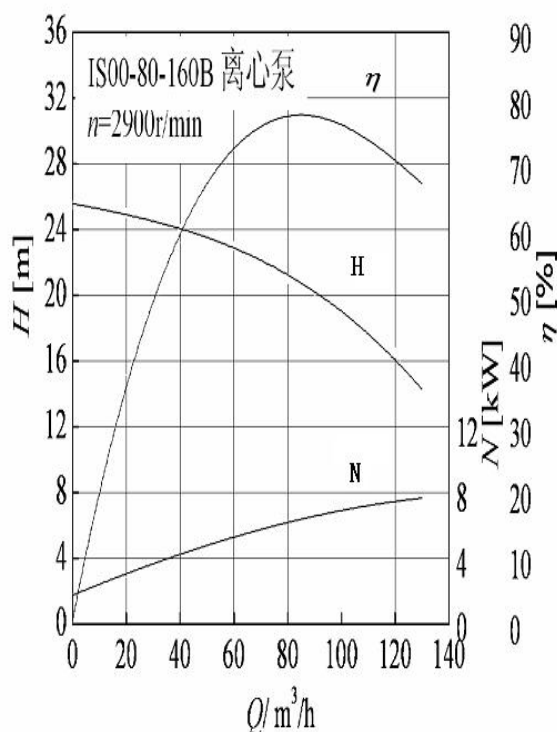


图 2-2 离心泵的特性曲线

离心泵性能曲线的特点：

- 1、H 曲线 表示泵的压头与流量的关系。离心泵的压头一般是随流量的增大而下降(在流量极小时可能有例外)。
- 2、N 曲线 表示泵的轴功率与流量的关系。离心泵的轴功率随流量的增大而上升，流量为零时轴功率最小。所以离心泵启动时，应关闭泵的出口阀门，使启动电流减少，以保护电机。
- 3、 η 曲线 表示泵的效率与流量的关系。由图 2-2 所示的特性曲线可看出，当 $Q=0$ 时， $\eta=0$ ；随着流量增大，泵的效率随之而上升并达到一最大值；此后随流量再增大时效率便下降。说明离心泵在一定转速下有一最高效率点，通常称为设计点。泵在与最高效率相对应的流量及压头下工作最为经济，所以与最高效率点对应的 Q 、 H 、 N 值称为最佳工况参数。离心泵的铭牌上标出的性能参数，就是指该泵在运行时效率最高点的性能参数。

五、 离心泵的汽蚀

液体在泵叶轮中流动时，由于叶片的形状和液流在其中突然改变方向等流动特点，决定了液道中液流的压力分布。在叶片入口附近的非工作面上存在着某些局部低压区，当处于低压区的液流压力降低到对应液体温度的饱和蒸汽压时，液体便开始汽化而形成气泡。气泡随液流在流道中流动到压力较高之处时又瞬时溃灭。在气泡溃灭的瞬间，气泡周围的液体迅速冲入气泡溃灭形成的空穴，并伴有局部的高温、高压水击现象，这就是产生汽蚀的机理。

泵发生汽蚀时主要表现：

- 1、泵的性能突然下降。
- 2、泵产生振动和噪音。
- 3、泵的过流部件表面受到机械性质的破坏，严重时叶轮的表面呈蜂窝状或海绵状。

六、 离心泵的流量调节

离心泵在指定的管路上工作时，由于生产任务发生变化，出现泵的工作流量与生产要求不相适应；或已选好的离心泵在特定的管路中运转时，所提供的流量不一定符合输送任务的要求。对于这两种情况，都需要对泵进行流量调节，实质上是改变泵的工作点。由于泵的工作点为泵的特性和管路特性所决定，因此改变两种特性曲线之一均可达到调节流量的目的。

1、 改变阀门的开度

改变离心泵出口管路上调节阀门的开度，即可改变管路特性曲线。例如，当阀门关小时，管路的局部阻力加大，管路特性曲线变陡，如图 2-3 中曲线 1 所示。工作点由 M 点移至 M_1 点，流量由 Q_M 降至 Q_{M1} 。当阀门开大时，管路局部阻力减小，管路特性曲线变得平坦，如图中曲线 2 所示，工作点移至 M_2 ，流量加大到 Q_{M2} 。

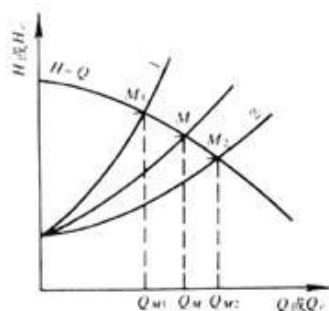


图 2-3 改变阀门开度时流量变化示意

采用阀门来调节流量快速简便，且流量可以连续变化，适合化工连续生产的特点，因此应用十分广泛。其缺点是，当阀门关小时，因流动阻力加大需要额外多消耗一部分能量，且在调节幅度较大时离心泵往往在低效区工作，因此经济性差。

2、改变泵的转速

改变泵的转速，实质上是改变泵的特性曲线。如图 2-4 所示，泵原来的转速为 n ，工作点为 M ，若将泵的转速提高到 n_1 ，泵的特性曲线 $H-Q$ 向上移，工作点由 M 变至 M_1 ，流量由 Q_M 加大到 Q_{M1} ；若将泵的转速降至 n_2 ， $H-Q$ 曲线便向下移，工作点移至 M_2 ，流量减少至 Q_{M2} 。这种调节方法能保持管路特性曲线不变。由式 4-31 可知，流量随转速下降而减小，动力消耗也相应降低，因此从能量消耗来看是比较合理的。但是，改变泵的转速需要变速装置或价格昂贵的变速原动机，且难以做到流量连续调节，因此至今化工生产中较少采用。

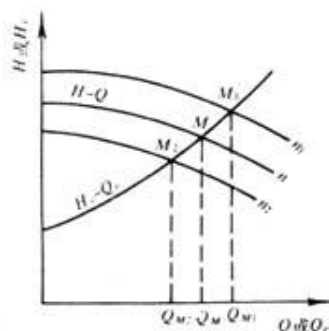


图 2-4 改变泵的转速时流量变化示意

七、 离心泵主要零部件结构及其作用

离心泵的主要部件有：泵壳、叶轮、密封环、轴和轴承、轴封等。

1、 泵壳

泵壳有轴向剖分式和径向剖分式两种。大多数单级泵的壳体都是蜗壳式的，多级泵径向剖分壳体一般为环形壳体或圆形壳体。

2、 叶轮

叶轮是离心泵的重要部件，液体就是从叶轮中得到能量的。常见叶轮如图 2-5 所示。



图 2-5 离心泵叶轮型式

3、 密封环

密封环的作用是防止泵的内泄漏和外泄漏，由耐磨材料制成的密封环，镶于叶轮前后盖和泵壳上，磨损后可以更换。

4、 轴和轴承

泵轴是支撑叶轮和传递扭矩的零件，它一端装有联轴器，并用轴承支撑在轴

承箱内，叶轮安装在轴上，在电机的带动下高速旋转（转速一般在 1500r/min 或更高）。

5、轴封装置

为防止液体流出泵外，在泵轴与泵壳之间设有轴封装置。离心泵常用的轴封装置有填料密封和机械密封。图 2-6 是典型的集装式波纹管机械密封。

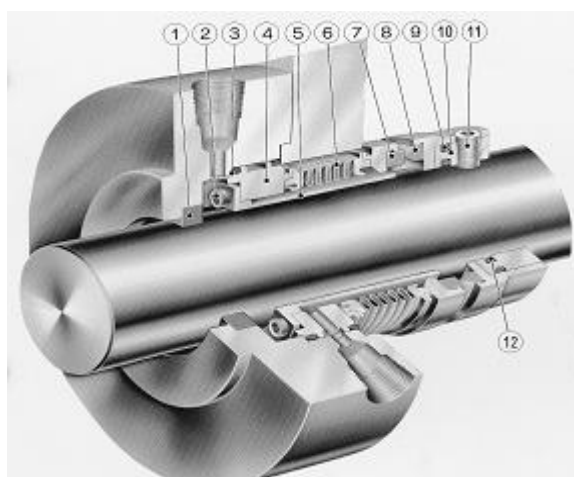
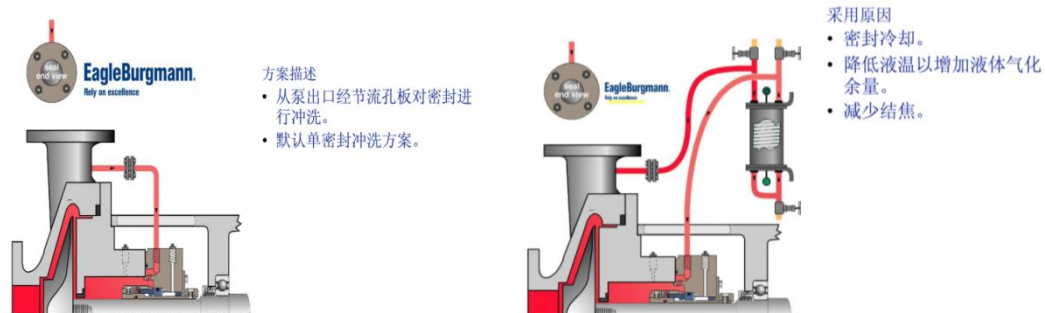


图 2-6 波纹管机械密封

1. 石墨挡环；2. 内六角螺栓；3. 9. 12. “O”形圈；4. 静环底座；
5. 轴套；6. 波纹管弹簧；7. 静环；8. 动环；10. 固定环；11. 固定螺栓

由于机械密封在工作时，动静密封面不断产生摩擦热，致使动静环间的液膜汽化，使某些零件老化、变形，严重影响使用寿命。为此，可使用各种冷却和冲洗方式，以带走摩擦热，防止杂质积聚。常用的冷却和冲洗方式如图 2-7 所示。



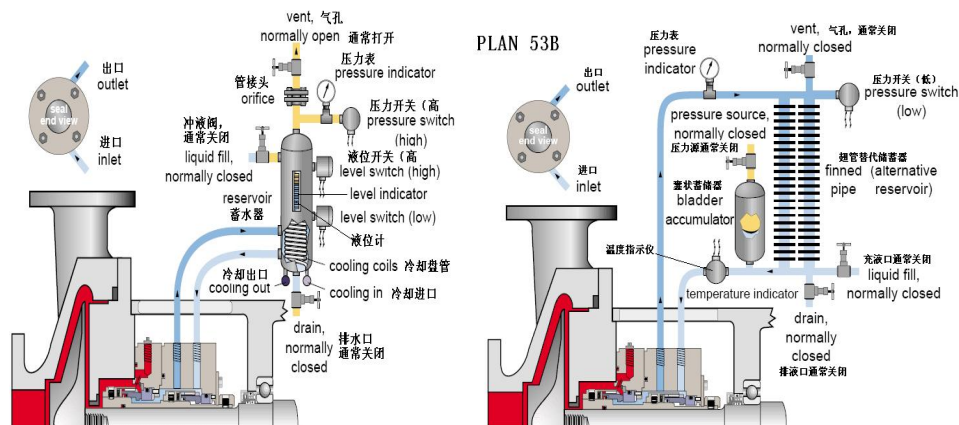


图 1.3.15 冷却和冲洗方式

第三节 磁力传动泵

一、 磁力泵的工作原理

磁力泵是一种不存在动密封的无泄漏流体输送机械。主要针对叶片泵中的离心泵进行设计，通常由泵体、隔离套及连接部件组成能够承受压力的屏蔽密封腔体。在密封腔体的外部有一个旋转的永磁场，并通过磁场的作用，带动密封腔体内部的磁性转子部件同步旋转，而密封腔体内部的转子部件带动叶轮实现对流体的做功。由于由定子部件组成的屏蔽密封腔体不存在动密封，并且带动叶轮做功的旋转轴不穿出屏蔽密封腔体。从而保证了磁力泵的零泄漏、无污染。

二、 磁力泵的结构

1、 磁力泵的结构详见图 2-8

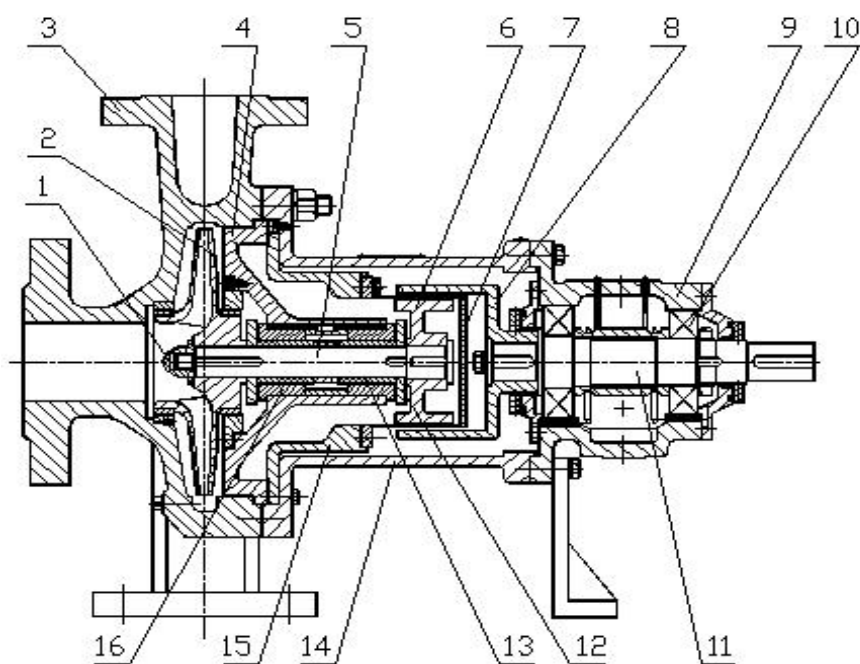


图 2-8 磁力泵结构示意图

1-叶轮螺母；2-叶轮总成；3-泵体；4-泵盖；5-泵轴；6-内磁转子；7-隔离套；
8-外磁转子；9-轴承箱；10-滚动轴承；11-驱动轴；12-止推盘；13-轴套；14-
连接架；15 中间架；16-滑动轴承

2、磁力传动原理。其原理就是根据永磁体同性相斥、异性相吸的特性。详见图 2-9 和图 2-10。

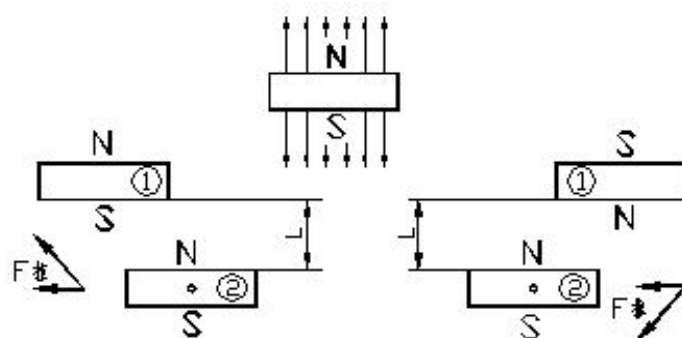


图 2-9 磁体间的相互作用力示意图

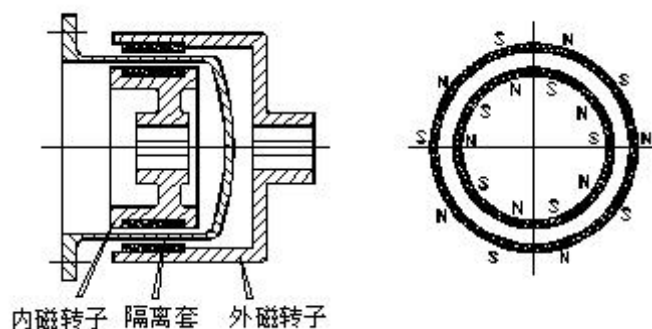


图 2-10 圆筒型磁力联轴器示意图

三、 磁力泵的特点

磁力泵的优点：

- 1、 适用于高温和易爆等不宜使用机械密封泵的条件苛刻的场合，能实现全封闭、无泄漏，具有较高的可靠性和可维性。
- 2、 可采用常规的标准电机产品，结构比较紧凑，而且不会过多增大机组的外形尺寸，可与同类型的普通离心泵实现互换。
- 3、 维护费用低，大修周期长，使其在经费投入总量上大致与机械密封泵相当。
- 4、 几乎所有的磁力传动泵均采用“后拉出”结构，整个联轴器部件、轴承部件分别作为一个单元，拆卸时不必从管路、底座上拆出泵壳，便于检修。

磁力泵的缺点：

- 1、 效率较低。由于磁力联轴器中金属隔离套的存在，使其在旋转磁场中会产生涡流损失，从而降低了电动机的传动效率，此值可高达25%左右。只有在隔离套设计正确和制造材料选择合理的情况下，电动机传动效率才有可能达到92%~95%。另外，内磁转子在旋转时会和内腔中的液体产生摩擦，造成相应的摩擦功率损失而使效率降低。
- 2、 因为磁力泵的内外磁钢带有高强度的磁场，会对近距离的仪表设备产生干扰，另外，也不能输送含有铁磁性杂质的介质。
- 3、 输送高压液体时，隔离套的静密封处容易产生泄漏。与此同时，隔离套在高压作用下所产生的变形又会加剧密封性的破坏。

4、磁力泵的价格比同类型的机械密封离心泵高一些。

第四节 屏蔽泵

一、 屏蔽泵的工作原理

屏蔽泵的泵头和驱动电机都被密封在一个被泵送介质充满的压力容器内，此压力容器只有静密封，屏蔽泵的叶轮和电动机的转子固定在同一根轴上，利用屏蔽套将电机的转子和定子隔开，转子在被输送的介质中运转，其动力通过定子磁场传给转子。这种结构的轴不外露，取消了传统离心泵具有的旋转轴密封装置，故能做到完全无泄漏。

二、 屏蔽泵的结构

屏蔽泵的结构见图2-7。

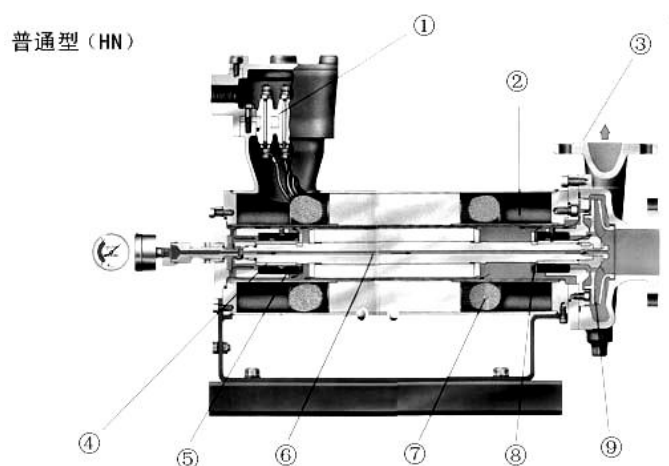


图 2-7 普通型屏蔽泵结构示意图

- ① 接线盒②干燥的定子③法兰④轴套⑤轴承⑥空心转轴（仅限于普通型）
⑦ 热继电器⑧推力板⑨叶轮

三、 屏蔽泵的特点

屏蔽泵的优点：

- 1、全封闭。结构上没有动密封，只有在泵的外壳处有静密封，因此可以做

到完全无泄漏，特别适合输送易燃、易爆、贵重液体和有毒、腐蚀性及放射性液体。

- 2、安全性高。转子和定子各有一个屏蔽套使电机转子和定子不与物料接触，即使屏蔽套破裂，也不会产生外泄漏的危险。
- 3、结构紧凑占地少。泵与电机系一整体，拆装不需找正中心。对底座和基础要求低，且日常维修工作量少，维修费用低。
- 4、转速平稳，噪声低，不需加润滑油。由于无滚动轴承和电动机风扇，故不需加润滑油，且噪声低。
- 5、使用范围广。对高温、高压、低温、高熔点等各种工况均能满足要求。

屏蔽泵的缺点：

- 1、效率较低。由于屏蔽套的存在，增加了定子和转子之间的间隙；屏蔽套中存在电涡流损失；同时转子在介质中转动，摩擦阻力也随着增加，这些都使得屏蔽电动机比普通电动机的效率要低。另外，屏蔽泵的叶轮口环间隙也较普通化工泵大，同时还需要有一部分液体向电动机提供循环冷却，降低了其容积效率，综合上述因素，屏蔽泵的机组效率一般要比相同参数的普通化工泵低 5%左右
- 2、由于屏蔽泵采用滑动轴承，且用被输送的介质来润滑，故润滑性差的介质不宜采用屏蔽泵输送。一般地适合于屏蔽泵介质的粘度为 0.1～20mPa·s。
- 3、屏蔽泵的制造成本高于相同参数的一般机械密封离心泵。

第五节 计量泵

计量泵也称定量泵或比例泵，用于输送液体介质，并且可以精确的控制输送量。通常要求计量泵的精度不超过±1%，广泛应用于水处理、电厂、化工、石油、食品及饮料、电镀、造纸、医药等行业。

计量泵一般都是容积式泵，目前常用的计量泵均为往复式容积泵，例如柱塞泵、隔膜泵等。计量泵主要由传动部分和水力部分组成。传动部分促使柱塞作往复运动，而且柱塞的行程可以精确的调节。水力部分在柱塞的作用下，吸入液体

介质、增压然后排出泵体。

一、 传动部分

计量泵的传动部分将电机轴的回转运动转化为柱塞杆的往复运动，而且具有一个调节机构，调整柱塞的行程。有很多设计都可以实现这个过程。下面介绍一种 N 形曲轴机构，如图 2-11 所示。

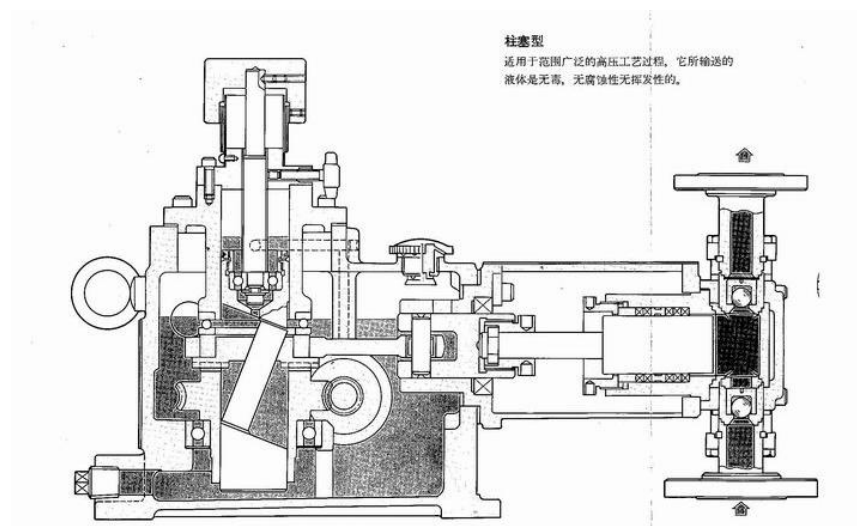


图 2-11 柱塞式计量泵

二、 隔膜式

隔膜式计量泵是借助柱塞在缸体内往复运动，使腔内油液产生脉冲力，推动隔膜来回鼓动，在阀的启闭作用下达到吸排液体的目的。由于隔膜把柱塞和液体介质隔开，可防止液体向外渗漏造成污染和损失。因此隔膜泵适用于不允许泄漏的液体介质。隔膜泵有单隔膜和双隔膜泵。双隔膜泵的安全性更高。例如输送极度易燃易爆的烷基铝使用的就是双隔膜式计量泵。

单隔膜泵的工作原理如下：隔膜将泵体内部分为隔膜腔和泵腔两个部分，并且隔膜可以左右鼓动，改变隔膜腔和泵腔体积。隔膜腔充满液压油，泵腔充满工艺液体介质。当柱塞向前运动时，隔膜腔内的液压油被压缩，由于液体接近于不可压缩，为保持隔膜腔的体积，隔膜偏向泵腔鼓动，这样泵腔内的液体介质被压缩，排出泵体，实现排液过程。当柱塞向后运动时，隔膜腔内的体积增大，内部压力迅速降低，隔膜向隔膜腔鼓动，相应的泵腔内的压力迅速降低，液体介质进入泵体，实现吸液过程。

与柱塞泵相比，隔膜增加了液压油、隔膜、配套的三阀装置（自动补油阀、安全阀、放气阀）和报警器。其中自动补油阀在液压油压力过低时，及时补入液压油；安全阀在液压油压力过高时，及时排出部分液压油；放气阀用于排放油腔内的气体，保证泵充分吸液和排液。有的隔膜泵安装报警器，它可以在隔膜破裂后及时报警停车，避免液体介质泄漏到大气。

第六节 真空泵

真空泵是用各种方法在某一封闭空间中产生、改善和维持真空的装置。真空泵通过利用机械、物理、化学或物理化学的方法对被抽容器进行抽气而使系统获得真空。随着真空应用的发展，真空泵的种类已发展了很多种，其抽速从每秒零点几升到每秒几十万、数百万升。极限真空从粗真空（ $10^5 \sim 10^3$ Pa）到 $10 \sim 12$ Pa 以上的超高真空范围。

水环真空泵如图 2-12 所示，叶轮 3 偏心地装在泵体 2 中。启动前在泵工作室灌入规定高度的水。当叶轮旋转时，由于离心力的作用，将水甩至泵体壁，形成一个旋转的水环 1。水环上部内表面与轮毂相切。在沿箭头方向旋转的叶轮的前半转中，水环的内表面逐渐与轮毂离开，因此各叶片之间由于空间逐渐扩大，压力降低而吸入气体。在后半转中，水环的内表面逐渐与轮毂接近，因此各叶片间的空气被压缩而排出。

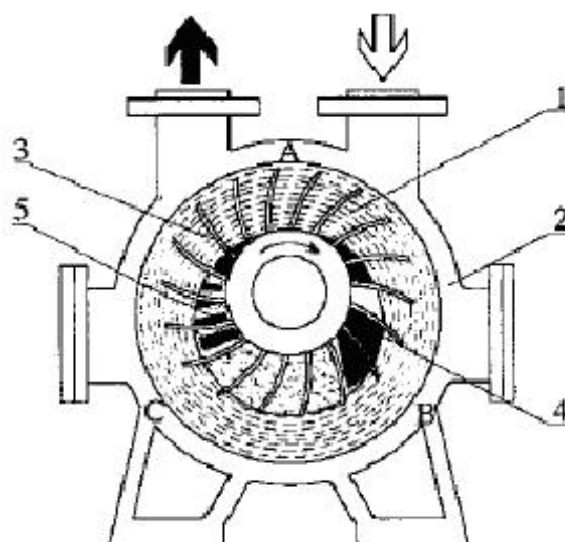


图 2-12 水环泵工作原理图

1. 水环 2. 泵体 3. 叶轮 4. 吸气口 5. 排气口

这样，叶轮每转一周，叶片与叶片间的容积改变一次。每两叶片间的水好象液体活塞一样往复运动，连续不断地抽吸气体。由于水环内表面和轮毂之间形成容积变化的空间，气体便从大镰刀形的吸气孔 4 被吸入，经过压缩后便通过小镰刀形排气孔 5 被排出。

这种泵既能输送气体，也能输送液体。只是在抽送液体时效率较低。在输送气体时，也可以作低压压缩机使用，其排出压力在 0.1~0.2MPa 左右。其排气量范围在 0.25~30m³/min 之间。真空度可达 70~80%，而在制造优良时，真空度可达 99.5%。

第七节 螺杆泵

螺杆泵的结构主要由泵壳与一个或数个螺杆所构成。

螺杆泵是利用一根或数根螺杆的相互啮合，形成的空间容积不断变化来输送液体的。根据互相啮合的螺杆数不同，通常可分为单螺杆泵、双螺杆泵、三螺杆泵和五螺杆泵等；按螺杆的轴向位置又可分为卧式和立式两种。

此外，螺杆泵有开式与闭式之分，所谓开式即高压区与低压区相互贯通，其最高排出压力小于 4MPa，由于液体回流的影响效率较低，宜用于粘滞性较大的液体。闭式螺杆泵依靠螺杆自身的啮合等关系使高压区与低压区相互隔断，因此其排出压力可较开式高，最高达 40MPa。

最简单的螺杆式泵为单螺杆泵，如图 2-13 所示，仅在一圆筒形的壳体内放置一螺杆。单螺杆泵工作时，液体就好象一具有导向的螺母，螺杆在固定位置旋转，液体向螺纹前进的相反方向上升。实际上因单螺杆泵高、低压区贯通，螺杆转一转液体不可能上升一个导程，而要在两端压差与重力作用下沿螺纹回流一段距离。两端压差大对泵工作性能不利，密度大，转速高对泵有利。

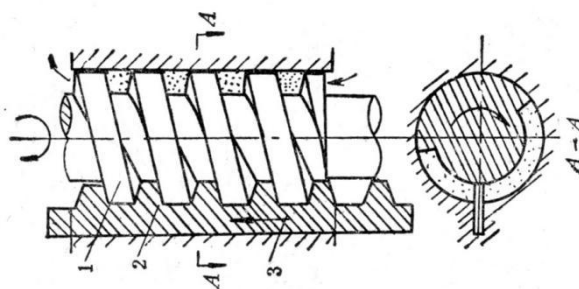


图 2-13 单螺杆泵

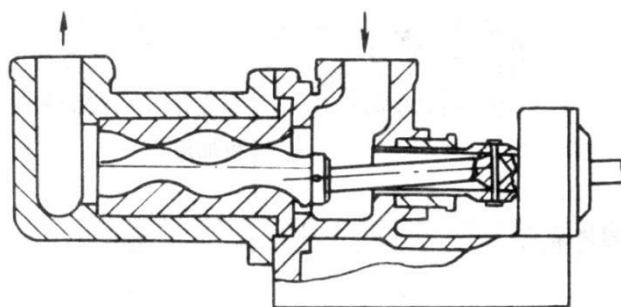


图 2-14 蛇泵

蛇泵在我国也称为单螺杆泵，但其工作原理与前述单螺杆完全不同。蛇泵结构如图 2-14 所示，它有一根蛇状的螺杆，其截面大都为圆形，一个与之相配合的橡胶或塑料缸体，该缸体置于金属圆筒中，螺杆通过万向节与主轴相连接。机器工作时，螺杆由主轴带动既作自转又作绕轴线的公转。缸体的孔截面为椭圆形，整个孔在长度方向也为螺旋形。从一个横断面上看蛇泵有两个工作腔，从纵断面看低压的进口区与高压的出口区是隔断的，所以也是闭式结构。蛇泵宜于输送糖浆等粘滞性大的液体，并允许其中含纤维等杂质。输送压力一般 $\leq 1.5\text{MPa}$ 。

为增加泵的流量，可做成双螺杆（图 2-15）、三螺杆（图 2-16）甚至五螺杆泵，其中一根为主动螺杆，其他与之啮合为从动螺杆。

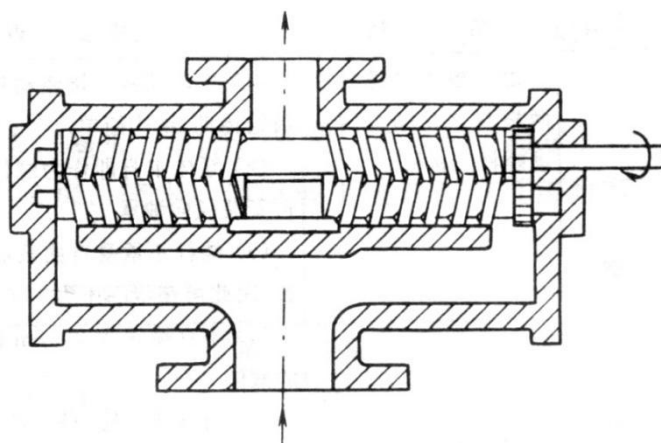


图 2-15 双螺杆泵

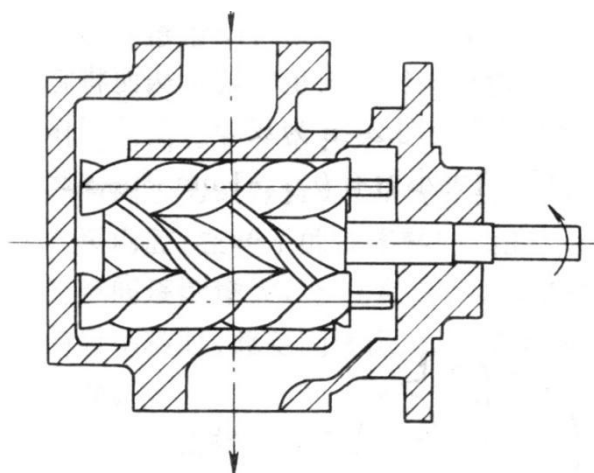


图 2-16 三螺杆泵

螺杆泵有如下特点：损失小，经济性能好。压力高而均匀，流量均匀、转速高，能与原动机直联。机组结构紧凑，传动平稳经久耐用，工作安全可靠，无噪声，效率高。它常应用于精密和可靠性要求较高的液压传动和调节系统中，可作为计量泵。但是它加工工艺复杂，成本高，不能输送含硬固体颗粒的液体。

第八节 齿轮泵

齿轮泵主要用作油泵，其主要构件为泵壳和一对相互啮合的齿轮。其工作原理是：当齿轮转动时，吸入腔内因两轮的齿互相分开，于是形成低压而将液体从吸入腔吸入低压的齿穴中，并沿壳壁推送至排出腔。排出腔内齿轮的齿相互合拢，于是形成高压而排出液体。按齿轮啮合方式，一般分为外啮合和内啮合齿轮泵。

外齿轮泵（图 2-17）泵壳中有一对啮合的齿轮，其中一个是主动齿轮，另一个是从动齿轮，由主动齿轮啮合带动旋转。齿轮与泵壳、齿轮与齿轮之间留有较小的间隙。当齿轮沿图示箭头所指方向旋转时，在轮齿逐渐脱离啮合的左侧吸液腔中，齿间密闭容积增大，形成局部真空液体在压差作用下吸入吸液室，随着齿轮旋转，液体分两路在齿轮与泵壳之间被齿轮推动前进，送到右侧排液腔，在排液腔中两齿轮逐渐啮合容积减小，齿轮间的液体被挤到排液口。

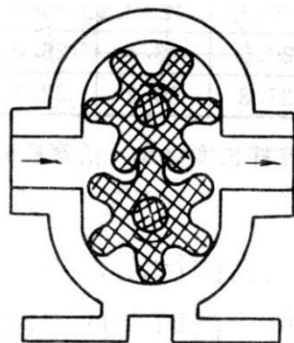


图 2-17 外齿轮泵

内齿轮泵由一内齿圈与一齿轮构成，如图 2-18 所示，一般由一月牙形的固定件分隔低压区与高压区，液体进、出口设在端盖上。内齿轮泵较外齿轮泵结构紧凑，但加工要复杂些。

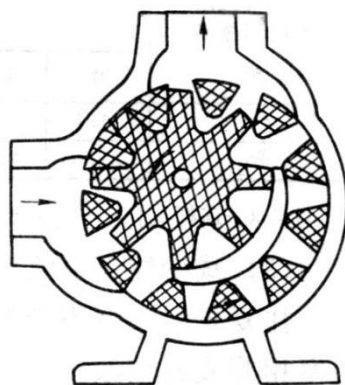


图 2-18 内齿轮泵

齿轮泵的特点是流量均匀，尺寸小而轻便，结构简单紧凑，坚固耐用，维护保养方便，流量小，压力高，用于输送粘性较大的液体，例如润滑油、燃烧油。齿轮泵不宜输送粘性低的液体(例如水，汽油等)，不宜输送含有颗粒杂质的液体(影响泵的寿命)。

第二章 压缩机

第一节 压缩机的分类与应用

在石油化工装置中广泛地使用气体压缩机来输送气体和提高气体的压力。压缩机种类繁多，按其工作原理可分为速度式和容积式两大类。如图 2-19 所示。

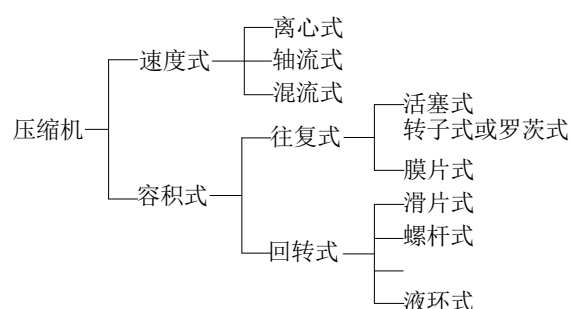


图 2-19 压缩机的分类

速度式（也称透平式）压缩机是依靠高速旋转的工作叶轮，将机械能传递给气体介质，并转化成气体的压力能。容积式压缩机依靠容积的周期性变化来实现气体的增压和输送。

根据用途进行分类，如氢气压缩机，空气压缩机，裂解气压缩机，乙烯压缩机等。按出口压力 p_d 又可分为：通风机， $p_d < 0.0142\text{MPa}$ ；鼓风机， $0.0142\text{MPa} \leq p_d < 0.245\text{MPa}$ ；压缩机， $p_d > 0.245\text{MPa}$ 。

压缩机由于在原理和结构上的差别，使得在性能特点方面各有不同，各类压缩机的适用范围如图 2-20 所示。

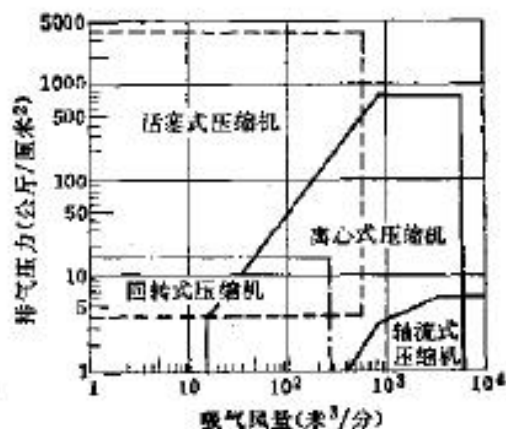


图 2-20 各类压缩机的适用范围

第二节 离心式压缩机

一、离心式压缩机的应用

采用离心式压缩机具有以下几方面优点：

- (1) 排气量大，结构紧凑，机组尺寸小，重量轻，占地面积小。
- (2) 运转平稳可靠，易损件少，连续运转时间长，机器利用率高，操作维修费用低。
- (3) 可以做到绝对无油的压缩过程，对于不允许气体带油的某些工艺过程具有重要意义。
- (4) 机器转速高，适宜采用工业汽轮机或燃汽轮机直接驱动，使生产过程中产生的蒸汽、烟气的副产品得以利用，降低产品成本。

离心式压缩机存在的缺点表现在以下几方面：

- (1) 目前还不适用于气量太小及压比过高的场合。
- (2) 气量调节的经济性较差，工作流量偏离设计流量时，效率下降幅度较大。
- (3) 离心式压缩机效率一般仍低于活塞式压缩机。

二、离心压缩机的种类

离心压缩机的种类繁多，根据其性能、结构特点，可按如下几方面进行分类，见表 2-2 所示。

表 2-2 离心式压缩机的分类

分类方法	类型名称	结构特点或用途
按照机壳数目分	单缸型	只有一个机壳
	多缸型	具有二个以上机壳
按照气体在压缩过程中的冷却次数分	单段型	气体在压缩过程中不进行冷却
	多段型	气体在压缩过程中至少冷却一次
	等温型	气体在压缩过程中每次都进行冷却
按照机壳的剖分方式分	水平剖分型	机壳被水平剖分为上下两半
	筒型	机壳为垂直剖分的圆筒

三、 离心压缩机的工作原理

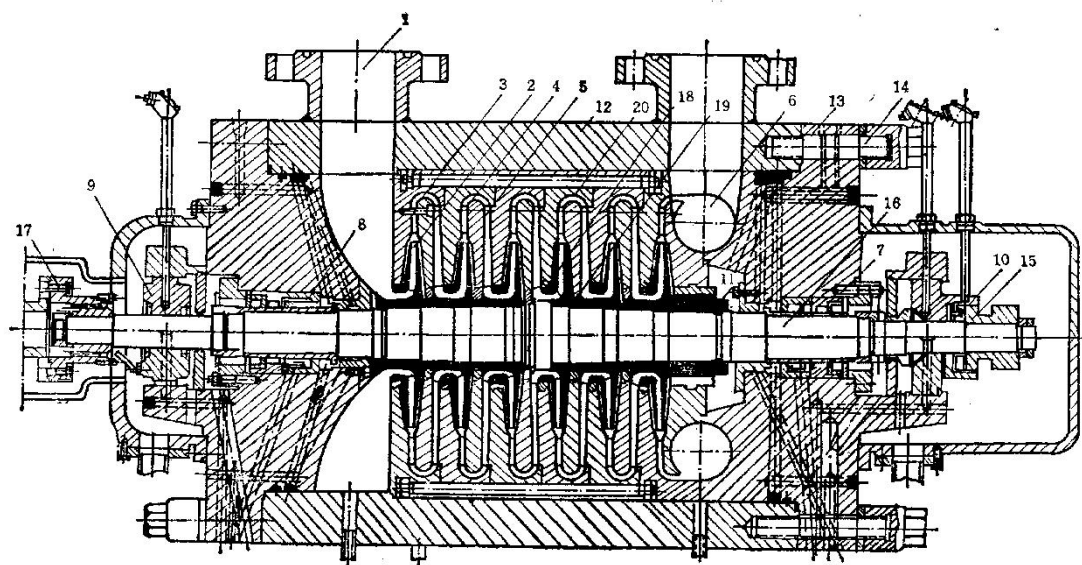
汽轮机（或电动机）带动压缩机主轴叶轮转动，在离心力作用下，气体被甩到工作轮后面的扩压器中去。而在工作轮中间形成稀薄地带，前面的气体从工作轮中间的进汽部份进入叶轮，由于工作轮不断旋转，气体能连续不断地被甩出去，从而保持了气压机中气体的连续流动。气体因离心作用增加了压力，并以很大的速度离开工作轮，气体经扩压器逐渐降低了速度，动能转变为静压能，进一步增加了压力。如果一个工作叶轮得到的压力还不够，可通过使多级叶轮串联起来工作的办法来达到对出口压力的要求。级间的串联通过弯道、回流器来实现。这就是离心式压缩机的工作原理。

离心压缩机的结构和工作原理与离心泵相似，都是依靠高速旋转的叶片推动流体流动，从而增加流体的动能和压力能。但是离心压缩机压缩的是气体介质，其介质密度小，所产生的离心力小，因而依靠离心力作功获得的能量较少。为使气体获得更多的能量以提高气体的压力，离心式压缩机都采用很高的转速。转速往往高达每分钟近万转或每分钟一万转以上。转速越高，压缩机流通内气体的流速也就越高。这些使离心压缩机的结构有其特点，设计制造要求比普通离心泵更为严格、难度更大。

四、 离心压缩机的结构

离心式压缩机本体结构由转子及定子两大部分组成，结构如图2-21所示。转子包括主轴及固定在轴上的叶轮、轴套、平衡盘、推力盘和联轴节等零部件。定子则由气缸和定位于缸体上的各种隔板以及轴承等零部件组成。在转子与定子之间需要密封气体之处还设有密封元件。有的压缩机，气体从气缸中间排出，到缸外进行冷却后，再回到气缸内继续进行压缩，有一次这样中间排出又返回的称为二段压缩，有的压缩机一缸可以有几个这样的段。下面将对离心式压缩机主要部

件的基本结构和作用进行介绍。



- 1.吸入室 2.叶轮 3.扩压器 4.弯道 5.回流器 6.蜗壳 7、8.轴端密封 9.支持轴承 10.止推轴承
11.卡环 12.机壳 13.端盖 14.螺栓 15.推力盘 16.主轴 17.联轴器 18.轮盖密封 19.隔板密封
20.隔板

图 2-21 离心式压缩机纵剖面结构图

1. 主轴

主轴是起支持旋转零件及传递扭矩作用的。转子上的各零部件都套在主轴上，随主轴高速旋转。过盈装配不仅是传递扭矩需要，还是为了防止转动部件在旋转时由于离心力的作用而松动。

2. 叶轮

叶轮又称工作轮，是压缩机转子上最主要的部件，叶轮随主轴高速旋转，对气体做功。气体在叶轮叶片的作用下，跟着叶轮作高速旋转，受旋转离心力的作用以及叶轮里的扩压流动，在流出叶轮时，气体的压力、速度和温度都得到提高。它是压缩机中唯一的做功部件。按结构形式叶轮分为开式、半开式和闭式三种。

3. 平衡盘

在多级离心式压缩机中因每级叶轮两侧的气体作用力大小不等，使转子受到一个指向低压端的合力，这个合力即称为轴向力。轴向力对于压缩机的正常运行是有害的，容易引起止推轴承损坏，使转子向一端窜动，导致动件偏移与固定元件之间失去正确的相对位置，情况严重时，转子可能与固定部件碰撞造成事故。平衡盘是利用它两边气体压力差来平衡轴向力的零件。

4. 推力盘

由于平衡盘只平衡部分轴向力，其余轴向力通过推力盘传给止推轴承上的止推块，构成力的平衡，推力盘与推力块的接触表面，应做得很光滑，在两者的间隙内要充满合适的润滑油，在正常操作下推力块不致磨损，在离心压缩机起动时，转子会向另一端窜动，为保证转子应有的正常位置，转子需要两面止推定位，其原因是压缩机起动时，各级的气体还未建立，平衡盘二侧的压差还不存在，只要气体流动，转子便会沿着与正常轴向力相反的方向窜动，因此要求转子双面止推，以防止造成事故。

5. 联轴器

由于离心压缩机具有高速回转、大功率以及运转时难免有一定振动的特点，所用的联轴器既要能够传递大扭矩，又要允许径向及轴向有少许位移，联轴器分齿型联轴器、膜片联轴器和盘膜联轴器等，目前常用的是膜片式联轴器，该联轴器具有无油润滑、无磨损、热补偿性好、自动对中性好等特点。

6. 气缸

气缸是压缩机的壳体，又称机壳。由壳身和进、排气室构成，气缸上，装有隔板、密封体、轴承体等零部件。

7. 隔板

隔板形成固定元件的气体通道，根据隔板在压缩机中所处的位置，隔板有4种类型：进气隔板、中间隔板、段间隔板和排气隔板。

8. 密封

为了减少气体通过转子与固定元件间的间隙的漏气量，需要采用密封装置。离心压缩机密封分内密封和外密封两种。内密封的作用是防止气体在级间倒流，如轮盖处的轮盖密封，隔板和转子间的隔板密封。外密封是为了减少和杜绝机器内部的气体向外泄露，或外界空气窜入机器内部而设置的，如轴端密封。

离心压缩机中密封种类很多，常用的有以下几种：

1) 迷宫密封（图 2-14）

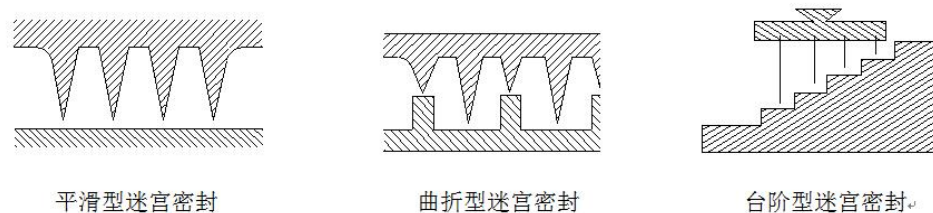


图 2-14

- ① 平滑型，轴作成光轴，密封体上车有梳齿或者镶嵌有齿片，结构简单。
- ② 曲折型，为了增加每个齿片的节流降压效果，发展了曲折型的迷宫密封，密封效果比平滑形好。
- ③ 台阶型，这种型式的密封效果也优于平滑形，常用于叶轮轮盖的密封，一般有 3~5 个密封齿。

2) 油膜密封，即浮环密封

3) 机械密封

4) 干气密封

9. 轴承

离心式压缩机有径向轴承和推力轴承。径向轴承的作用是承受转子重量和其他附加径向力，保证转子转动中心和气缸中心一致，并在一定转速下正常旋转。止推轴承的作用是承受转子的剩余轴向力，限制转子的轴向窜动，保持转子在气缸中的轴向位置。离心压缩机一般采用油膜滑动轴承，它是依靠轴颈（或止推盘）本身的旋转，把润滑油带入轴颈（或止推盘）与轴瓦之间，形成楔状油膜，受到负荷的挤压建立起油膜压力以承受载荷。轴承分为径向轴承、推力轴承。

五、 离心压缩机的喘振

当离心压缩机流量小到足够时，会在整个扩压器流道中产生严重的旋转失速，压缩机出口压力突然下降，使管网的压力比压缩机出口压力高，迫使气流倒回压缩机，一直到管网压力下降到低于压缩机出口压力时，压缩机又开始向管网供气，压缩机恢复正常工作。当管网压力又恢复到原来压力时，流量仍小于喘振流量，压缩机又产生严重的旋转失速，出口压力下降，管网中的气流又倒流回压缩机。如此周而复始，使压缩机的流量和出口压力周期性的大幅波动，引起压缩机强烈

的气流波动，这种现象就称为压缩机的喘振。一般管网容量大，喘振振幅就大，频率就低，反之，管网容量小，振幅就小、频率就高。

喘振现象通常具有如下宏观特征：

- 1、压缩机工作极不稳定
- 2、喘振有强烈的周期性气流噪声，出现气流吼叫声。
- 3、机器强烈振动，机体、轴承等振幅急剧增加。

六、 离心压缩机的工况的调节

压缩机调节的实质就是改变压缩机的工况点，所用的方法从原理上讲就是设法改变压缩机的性能曲线或者改变管网性能曲线两种。具体地说有以下几种调节方式：

- 1、排气节流调节
- 2、进气节流调节
- 3、变压缩机元件调节

第三节 活塞式压缩机

一、 活塞式压缩机的特点

活塞式压缩机属于容积式压缩机，适用于中小输气量，排气压力可从低压直至超高压，与其它类型压缩机相比，具有一系列特点：

活塞式压缩机优点：

- 1、不论流量大小，都能得到所需要的压力，排气压力范围广，最高压力可达 320MPa（工业应用），甚至 700MPa，（实验室中）
- 2、单机能力为在 500m³/min 以下的任意流量
- 3、在一般的压力范围内，对材料的要求低，多采用普通的钢铁材料
- 4、热效率较高，一般大、中型机组绝热效率可达 0.7~0.85 左右
- 5、气量调节时，排气量几乎不受排气压力变动的影晌
- 6、气体的重度和特性对压缩机的工作性能影响不大，同一台压缩机可以用于不同的气体
- 7、驱动机比较简单，大都采用电动机，一般不调速

活塞式压缩机缺点：

- 1、结构复杂笨重，易损件多，占地面积大，投资较高，维修工作量大，使用周期较短，但经过努力可以达到 8000 小时以上
- 2、转速不高，机器体积大而重，单机排气量一般小于 500m³/min
- 3、机器运转中有振动
- 4、排气不连续，气流有脉动，容易引起管道振动，严重时往往因气流脉动、共振而造成管网或机件的损坏
- 5、流量调节采用补助容积或旁路阀，虽然简单、方便、可靠，但功率损失大，在部分载荷操作时效率降低
- 6、用油润滑的压缩机，气体中带油需要脱除
- 7、大型工厂采用多台压缩机组时，操作人员多或工作强度较大

二、 活塞式压缩机的种类

活塞式压缩机型式多样，大体可按以下几种方式分类

1、按排气压力分类

低压压缩机 $0.2 < P < 0.98 \text{MPa}$

中压压缩机 $0.98 \sim 9.8 \text{MPa}$

高压压缩机 $9.8 \sim 98.0 \text{MPa}$

超高压压缩机 $> 98.0 \text{MPa}$

2、按消耗功率分类

微型压缩机 $< 10 \text{KW}$

小型压缩机 $10 \sim 100 \text{KW}$

中型压缩机 $100 \sim 500 \text{KW}$

大型压缩机 $> 500 \text{KW}$

3、按排气量分类

微型压缩机 $< 1 \text{m}^3/\text{min}$

小型压缩机 $1 \sim 10 \text{M}^3/\text{min}$

中型压缩机 $10 \sim 60 \text{m}^3/\text{min}$

大型压缩机 $> 60 \text{M}^3/\text{min}$

4、按气缸中心线的相对位置分类

立式：气缸中心线与地面垂直

卧式：气缸中心线与地面平行，其中包括一般卧式、对置式和对动式（对置平衡式）

角度式：气缸中心线彼此成一定角度，其中包括 L 型、V 型、W 型、扇型和星型等

5、按活塞在气缸内作用情况分类

单作用式：气缸内仅一端进行压缩循环

双作用式：气缸内两端都进行同一级次的压缩循环

级差式：气缸内一端或两端进行两个或两个以上不同级次的压缩循环

6、按压缩机级数分类

单级压缩机：气体经一级压缩达到排气压力

两级压缩机：气体经两级压缩达到排气压力

多级压缩机：气体经三级以上达到排气压力

7、按压缩机列数分类

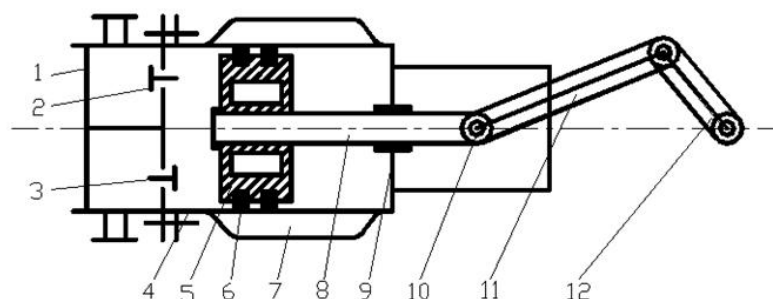
单列压缩机：气缸配置在机身一侧的一条中心线上

双列压缩机：气缸配置在机身一侧或两侧的两条中心线上

多列压缩机：气缸配置在机身一侧或两侧两条以上中心线上

三、 活塞压缩机的基本组成

活塞式压缩机系统（图 2-22）由驱动机、曲轴、连杆、十字头、活塞杆、气缸、活塞环、填料、气阀、冷却器、和油水分离器等所组成。驱动机驱动曲轴旋转，通过连杆、



1-气缸盖；2-排气阀；3-进气阀；4-气缸；5-活塞；
6-活塞环；7-冷却夹套；8-活塞杆；9-填料函；
10-十字头；11-连杆；12-曲轴

图 2-22 活塞压缩机简图

十字头和活塞杆带动活塞进行往复运动,对气体进行压缩,出口气体离开压缩机,如有级间冷却器则先进入冷却器后,再进入油水分离器进行分离和缓冲,然后再依次进入系统或下一级进行多级压缩。

四、 活塞式压缩机的主要参数

1、 排气量

活塞式压缩机的排气量,通常是指单位时间内压缩机最后一级排出的气体,换算到第一级进口状态的压力和温度时的气体容积值,排气量常用的单位为 M^3/min 或 M^3/h 。

2、 排气压力

活塞式压缩机的排气压力通常是指最终排出压缩机的气体压力,排气压力应在压缩机末级排气接管处测量,常用单位为 MPa。

3、 转速

活塞式压缩机曲轴的转速,常用 $\text{r}/\text{min}(\text{rpm})$ 表示,它是表征活塞式压缩机的主要结构参数。

4、 活塞力

活塞力为曲轴处于任意的转角时,气体力和往复惯性力的合力,它作用于活塞杆或活塞销上。活塞力已成为压缩机系列化、规格化的一个主要参数,常用单位为 t (吨)。

5、 活塞行程

活塞式压缩机在运转中,活塞从一停止点到另一停止点所走的距离,称为一个行程,常用单位为 m (米)。

6、 功率

活塞式压缩机消耗的功,一部分直接用于压缩气体,称为指示功,另一部分用于克服机械摩擦,称为摩擦功,主轴需要的总功为两者之和,称为轴功。单位时间内消耗的功称为功率,常用单位为瓦 (W) 或千瓦 (KW)。压缩机的轴功率为指示功率和摩擦功率之和。

7、 热效率

(1) 等温效率

等温效率有等温指示效率和等温轴效率之分，等温指示效率是压缩机理论等温循环指示功与实际循环指示功之比，等温轴效率系指理论等温循环指示功与轴功之比，等温轴效率也称全等温效率。

（2） 绝热效率

绝热效率也可分绝热指示效率和绝热轴效率。一般绝热效率系指绝热轴效率，它是压力压缩机的理论绝热循环功与轴功之比。

（3） 等温绝热效率

将压缩机理论循环的等温指示功与绝热循环功相比，其比值称为等温绝热效率。

（4） 比功率

五、 活塞式压缩机的主要零部件

活塞式压缩机的结构形式虽然繁多，但其主要组成 部分基本相同。一台完整的压缩机组包括两大部分。一为主机、一为辅机。主机包括机身、中体、气缸组件、传动部件、活塞组件、气阀和密封组件以及驱动机等。辅机包括润滑油系统、级间冷却系统、辅助管路系统等。下面就压缩机的主要零部件作一个简单的介绍。

1、 气缸

气缸是构成压缩容积实现气体压缩的主要部件，为了能承受气体压力，应有足够的强度，由于活塞子在其中运动，内壁承受摩擦，应有良好的内润滑及耐磨

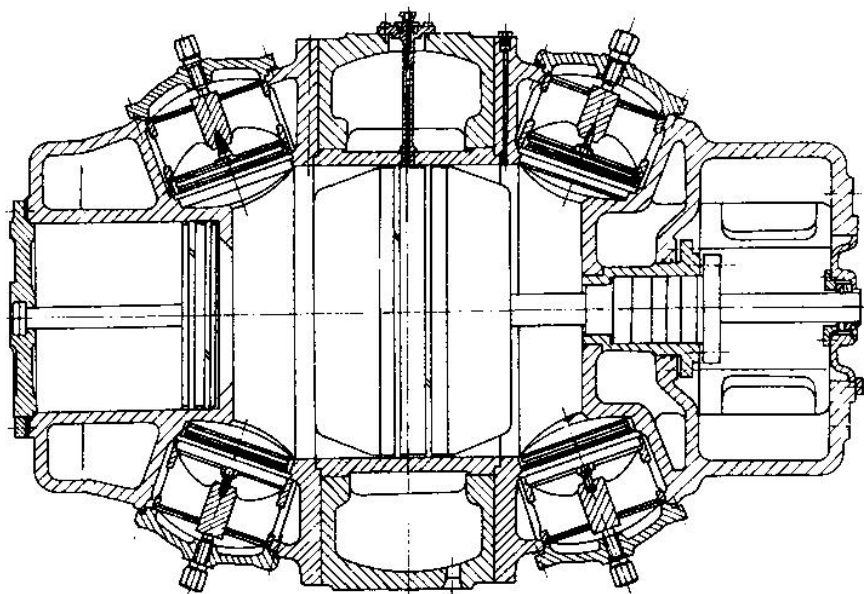


图 2--23 大型低压水冷双作用气缸

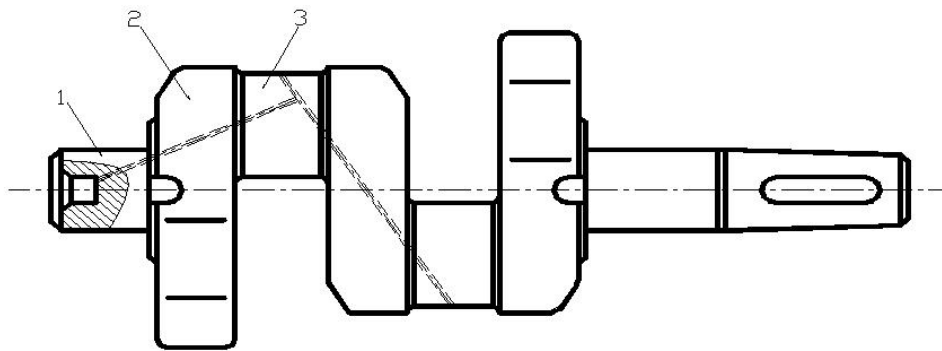
性，为了逸散气缸中进行功热转换时所产生的热量，应有良好的冷却措施。为了减少气流阻力，提高效率，吸排气阀要合理布置。总之，气缸结构复杂，材质和加工要求较高。

气缸通常采用水做冷却介质，它是由环形的体、缸盖及缸座组成。吸、排气阀配置在缸盖与缸座上，缸体有三层壁，除了构成工质容积的一层壁外，还有构成水道及气道的两层壁，缸体上设置润滑油接管，气缸轴侧设置防止泄漏的填料函，缸盖上设置调节气量装置。

气缸水隔套的作用供冷却水带走压缩过程中产生的热量，改善气缸壁的润滑条件和气阀的工作条件，并使气缸壁温度均匀减少气缸变形，

2、曲轴-连杆机构

- 1) 曲轴（图 2-24）是活塞式压缩机中重要运动部件之一，它在工作中接受驱动机一般以扭矩形式输入的动力，并把它转变为活塞的往复作用力，压缩气体而做功。曲轴至少具有三个部分，即主轴颈、曲柄和曲柄销（或称连杆轴劲）。曲柄和曲柄销构成的弯曲部分称为曲拐，根据机器的需要一根曲轴可以由一个或几个曲拐所组成。



1-主轴颈；2-曲柄；3-曲柄销

图 2-24 曲轴箱结构

- 2) 连杆（图 2-25）是连接曲轴与十字头（活塞）的部件，它将曲轴的旋转运动转换成活塞的往复运动。其一端与曲轴相连，称为连杆大头，作旋转运动；另一端与十字头销（或活塞销）相连，称为连杆小头，作往复运动；中间部分称为连杆体，作摆动。

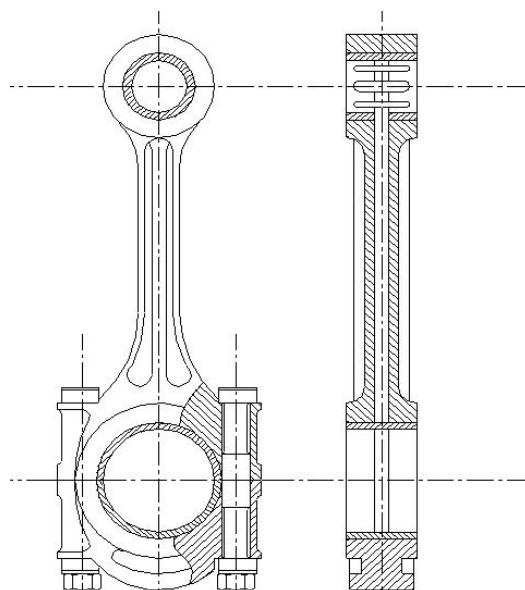


图 2-25 连杆

- 3) 十字头是连接活塞杆与连杆的部件，它在中体导轨里作往复运动，并将连杆的动力传给活塞部件，对十字头的基本要求是重量轻，耐磨，并具有足够的强度。

第四节 螺杆压缩机

由于螺杆式压缩机的结构较简单，具有体积小、重量轻、易损件少等特点，正逐步为各行业所认识，应用越来越广泛。

一、 螺杆压缩机的工作原理

从压缩方式上分螺杆式压缩机属于容积式压缩机，是通过工作容积的逐渐减少来达到气体压缩的目的。

螺杆式压缩机的工作容积是由一对相互平行放置且相互啮合的转子的齿槽与包容这一对转子的机壳所组成。在机器运转时二转子的齿互相插入对方齿槽，且随着转子的旋转插入对方齿槽的齿向排气端移动，使被对方齿所封闭的容积逐步缩小，压力逐渐提高，直至达到所要求的压力时，此齿槽方与排气口相通，实现了排气。

螺杆压缩机的工作过程（如图 2-26）：一个齿槽被与之相啮合的对方齿插入后，形成了二个被齿隔开的空间，靠近吸气端的齿槽为吸气容积，与排气端相近的为压缩气体的容积。随着压缩机的运转，插入齿槽的对方转子的齿向排气端移动，使吸气容积不断扩大，压缩气体的容积不断缩小，从而实现了在每个齿槽的吸气压缩过程，当压缩气体在齿槽中气体压力达到所要求的排气压力时，这齿槽正好与排气孔口相通，开始了排气过程。被对方转子的齿将齿槽分成的吸气容积和压缩容积的变化是周而复始的，就这样使压缩机能连续的吸气、压缩和排气。

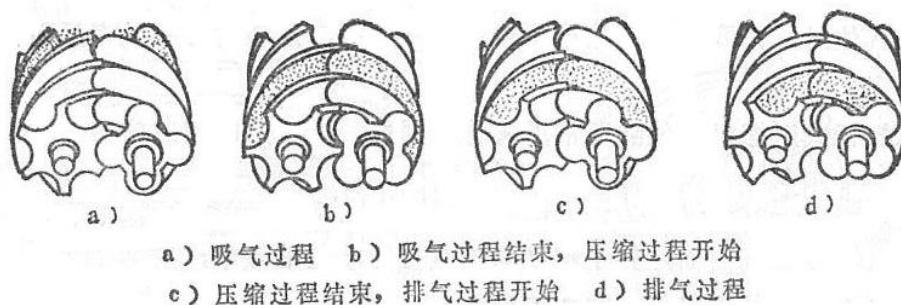


图 2-26 螺杆压缩机的工作过程

二、 螺杆压缩机的结构

螺杆式压缩机由包容在机壳中的两根互相啮合的螺旋转子、机壳和辅助设备组成。（结构如图 2-27 所示）根据转子的运行情况可分为喷油式和干式两种。

螺杆式压缩机的转子长度和直径决定压缩机的流量和排气压力。转子越长，压力越高；转子直径越大，流量越大。

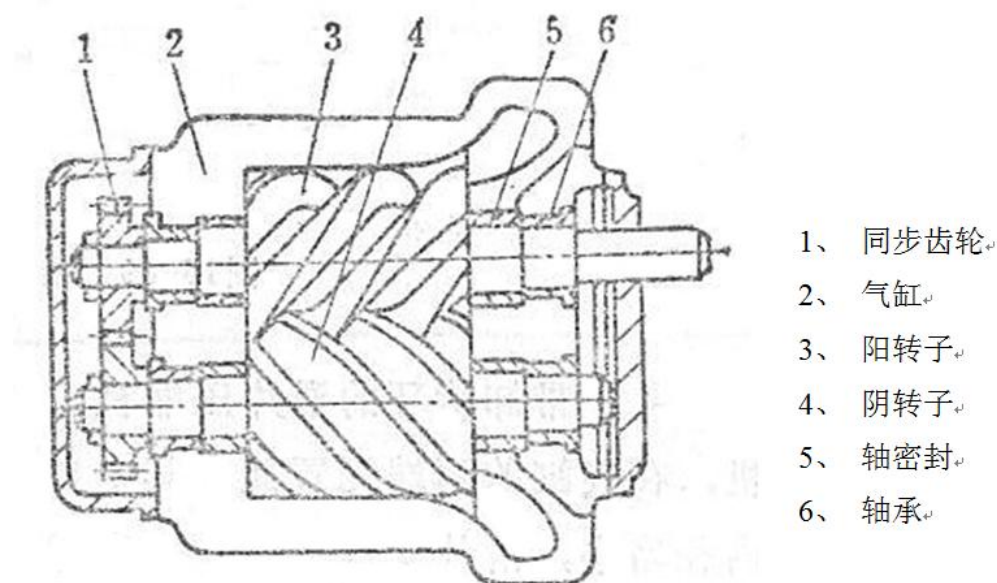
每个转子都由轴承所支承，轴承由靠近转轴端部的端盖板固定。通常用排出端的轴承来使转子定位，定位轴承抵抗轴向推力，承受径向载荷，并提供必需的轴向运行的小间隙。

喷油式螺杆压缩机经常是由主转子（阳转子）直接驱动另一转子（阴转子），结构较为简单。压缩机运行时两转子间由喷油形成的油膜润滑，减轻了转子的磨损情况。

干式螺杆压缩机为了保证两转子在啮合过程中不接触，因而在转子的一端设置了同步齿轮，主动转子通过同步齿轮带动从动转子。

螺杆式压缩机具有强制输气特点，即排气量不受排气压力的影响，其内压力比也不受转速和气体密度的影响。

螺杆式压缩机用于压缩含液气体及脏气体时更显出特有的优越性。因为阴阳螺杆齿面间实际上存在间隙，因而能耐液压冲击。在压送比较脏的气体时，齿面间的间隙被气体中的尘粒填充一部分，运转时容积效率反而能提高。



图

2-27 螺杆压缩机结构示意图

螺杆式压缩机的气缸通常用灰铸铁制造，转子用碳钢或球墨铸铁制造。

螺杆式压缩机的转子齿间容积周期性地与排气孔口连接以及气体会通过

间隙泄漏，在运转中能产生的高频噪声。另外，由于转子的齿面是空间曲面，转子精度高低直接影响压缩效率，所以对加工精度要求高，需采用复杂的加工设备。

小型的螺杆式压缩机的缸体一般做成整体式，较大型的缸体制成有水平剖分面的结构。

对于喷油式螺杆压缩机，排出的气体为油气混合物。为了得到较为纯净的气体，必须在压缩机后设置油气分离装置。

三、 螺杆压缩机的调节

对于干式螺杆压缩机多采用旁通调节。

对于喷油螺杆压缩机，小型的多采用关闭吸气阀的方式，大型的多采用滑阀调节。（如图 2-28 所示）

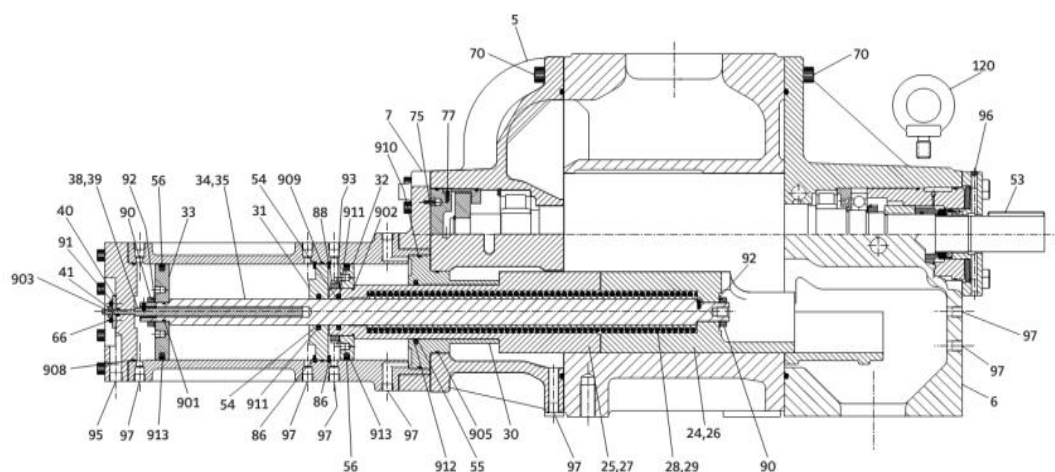


图 2-28 滑动阀卸载机构

滑阀调节装置安置在气缸排气侧的两孔交接处，借油压活塞的推动使滑阀沿与气缸轴线平行的方向左右移动，滑阀的背部靠近进气端的固定部分时为 100% 的排气量，当滑阀移向排气端，背部便脱离固定部分，使基元容积的一段继续与进气口相通，因而减小了螺杆的工作长度，降低了排气量。滑阀调节装置，在压缩机起动时，应处于最小排气量位置，从而减小起动力矩。

第三章 蒸汽轮机

汽轮机是用蒸汽做功的一种旋转式热力原动机，它的优点是功率大、效率高、结构简单、易损件少，运行安全可靠，调速方便、振动小、噪音小、防爆等，在炼油厂还可以充分利用炼油过程的余热生产蒸汽作为机泵的动力，这样可以综合利用热能。正因为这些优点，蒸汽轮机在炼油厂得到了广泛的应用。

第一节 汽轮机的种类

蒸汽轮机的种类繁多，根据其工作原理、性能、结构特点等，可按表 2-3 进行分类。

表 2-3 汽轮机分类

分类	名称	说明
按工作原理分	冲动式汽轮机	蒸汽主要在喷嘴叶栅内膨胀
	反动式汽轮机	蒸汽在静叶栅与动叶栅内膨胀
按级数分	单级汽轮机	通流部分只有一个级
	多级汽轮机	通流部分有两个以上的级
按汽轮机热力系统特征分类	凝汽式汽轮机	排汽压力低于大气压力
	抽汽背压式汽轮机	排汽压力高于大气压力，中间有抽汽
	背压式汽轮机	排汽压力高于大气压力
按用途分	电站汽轮机	用于发电
	工业汽轮机	用于带动泵、压缩机泵
	船用汽轮机	作为船舶的动力装置
按汽轮机进汽压力分	低压汽轮机	1.2~1.5MPa
	中压汽轮机	2~4 MPa
	次高压汽轮机	5~6 MPa
	高压汽轮机	6~12 MPa
	超高压汽轮机	12~14 MPa

按转速分	低速汽轮机	$n < 3000$ 转/分
	中速汽轮机	$n = 3000$ 转/分
	高速汽轮机	$n > 3000$ 转/分

第二节 汽轮机的工作原理

汽轮机的主要元件是由喷嘴（也称静叶）与动叶（也称叶片）两个部件组成。喷嘴固定在机壳或隔板上，动叶固定在轮盘上。

蒸汽通过喷嘴时，压力下降，体积膨胀形成高速汽流，推动叶轮旋转而作功。如果蒸汽在叶片中压力不再降低，也就是蒸汽在叶片通道中的流速（即相对速度）不变化，只是依靠汽流对叶片的冲击力量而推动转子转动，这类汽轮机称为冲动式，也称压力级，在工业中应用广泛。如果蒸汽在叶片中继续膨胀（简称相对速度）比进口时要大，这种汽轮机的作功不仅由于蒸汽对叶片的冲击力，而且还有由于蒸汽相对速度的变化而产生的巨大的反作用力，因此这类汽轮机称为反动式汽轮机，在炼厂中应用较少。

只有一列喷嘴和一系列动叶片组成的汽轮机叫单级汽轮机。由几个单级串联起来叫多级汽轮机。由于高压蒸汽一次降压后汽流速度极高，因而叶轮转速极高，将超过目前材料允许的强度。因此采用压力分级法，每次在喷嘴中压力降都不大，因而汽流速度也不高，高压蒸汽经多级叶轮后能量既充分得到利用而叶轮转速也不超过材料强度许可范围。这就是采用多级汽轮机的原因。

如果由于蒸汽离开每一级叶片的流速仍高，为了充分利用汽流的动能，可用导向叶片将汽流引入第二排叶片中（每一个叶轮可安装二排叶片）进一步推动转轴做功，这称为速度分级，简称速度级（又称复速级）。速度级常用于小型汽轮机，或汽轮机的第一级。

第三节 汽轮机结构

汽轮机包括汽轮机本体、调节保安装置及辅助设备三大部分。

一、蒸汽轮机本体

蒸汽轮机本体包括：静体（固定部分）——汽缸、喷嘴、隔板、汽封等；转子

（转动部分）——轴、叶轮、叶片等；轴承（支承部分）——径向轴承和止推轴承。

1、汽缸

汽缸本身是水平剖分为上下部分，上下缸又各分有前后缸。前缸因温度高用铸钢制造，后缸温度低用铸铁制造。

2、喷嘴组和隔板

在冲动式汽轮机中，蒸汽热能转变为动能的过程是在喷嘴中发生的。蒸汽流过变截面的喷嘴汽道后之后，体积膨胀，压力降低，流速增加，然后按一定的喷射角度进入动叶片中做功。

汽轮机汽缸中的隔板是由隔板外缘、喷嘴、隔板体构成的圆形板状组合件，汽缸内的一级隔板

汽轮机隔板按制造方法来分，可分为铸造隔板、焊接隔板、组合隔板三种。

3、汽封

汽轮机高压端轴封称为高压轴封，在单缸汽轮机中又称为前轴封。低压端轴封称为低压轴封，在单缸汽轮机中又称为后轴封。装在隔板汽封槽中的汽封称为隔板汽封。另外装在隔板上与围带配合防止漏汽的又称为围带汽封。不论是轴封还是隔板汽封、围带汽封，其构造及外形均大同小异，阻汽原理一致，统称为汽封。

目前广泛采用的是高低齿型的梳齿结构，如图2-29所示

轴封片直接在轴封环上车出，或将轴封片压紧在轴封环的槽道里，轴封环一般由四个或六个弧

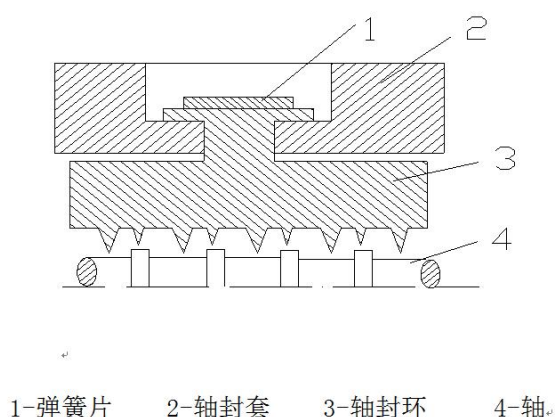


图2-29 高低齿型轴封

4、转子

汽轮机所有转动部件的组合体称为转子。它主要包括：主轴、叶轮、叶片等

部件(图2-30)。

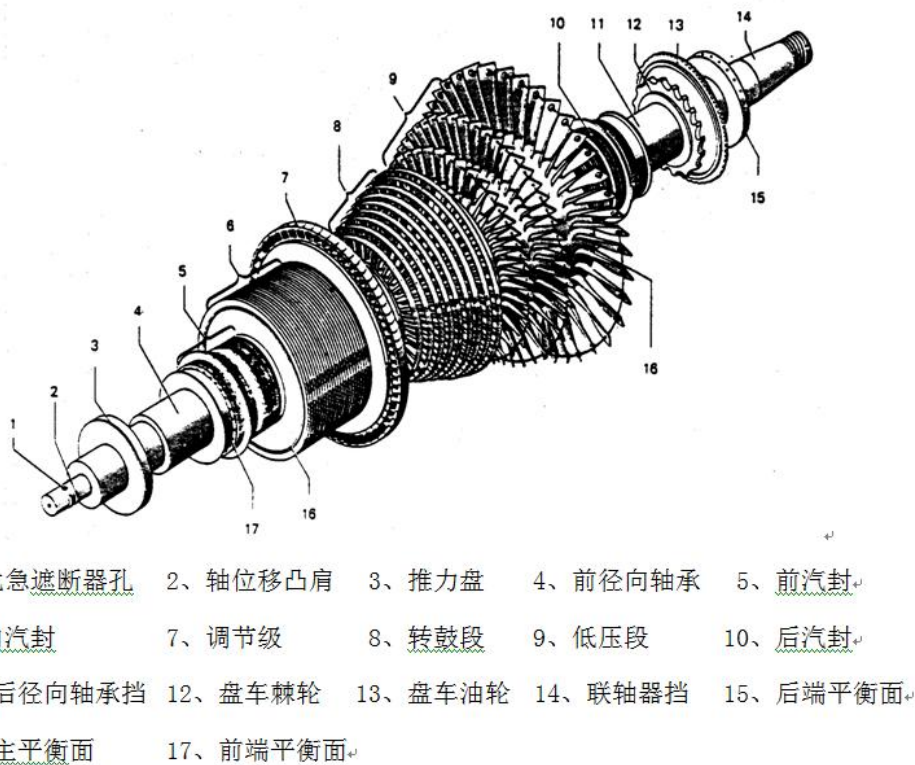


图2-30 汽轮机转子图

汽轮机转子除了受高温高压蒸汽的作用外，更主要的是由于它在高速下工作，受离心力的作用，还必须考虑振动的问题。机组主要采用的转子形式：（1）套装式转子；（2）整锻式转子；（3）组合转子；（4）焊接式转子。中小型、中等参数以下的机组的转子都采用套装式结构。

5、轴承

大多数汽轮机都采用滑动轴承。汽轮机除了有径向轴承外，还有止推轴承。因为，汽轮机在工作时，转子上产生一个由高压端推向低压端的轴向推力。因此，通常在转子前端设有推力轴承，以承受轴向推力，并对保持通流部分的轴向间隙起了定位作用。目前机组的前轴承大多数都采用径向推力联合轴承。

第四节 调速控制系统

在炼油化工行业中，汽轮机大多用作原动机驱动压缩机、机泵等，为了节约能源，汽轮机的效率都是根据在一定转速下进行设计。当转速变化很大时，会使

汽轮机严重地偏离设计工况，使效率降低。为此需要将汽轮机稳定在一定转速，汽轮机控制调速系统的目的是为了满足不同要求。它根据汽轮机的转矩和转速相应变化的关系，利用转速变化作为讯号来进行调节。当转速有一个很小的变化时，调速系统能自动地改变汽轮机的进汽量，使汽轮机的功率和负荷相适应，从而使转速不发生很大的变化。汽轮机的调速控制系统由起动装置、安全装置、保安装置、调速器、监视装置组成。

一、 起动装置

起动装置的作用是打开速关阀，起动装置由危急保安装置来的压力油，作为起动油进入起动装置，随着操纵杆的移动，滑阀也随之移动，依次接通起动油压和速关油压，将速关阀打开。

二、 安全装置

1、 速关阀

速关阀是水平安装在汽轮机汽缸的进汽管路上，由阀体、滤网和油缸等部分组成（图 2-31）。

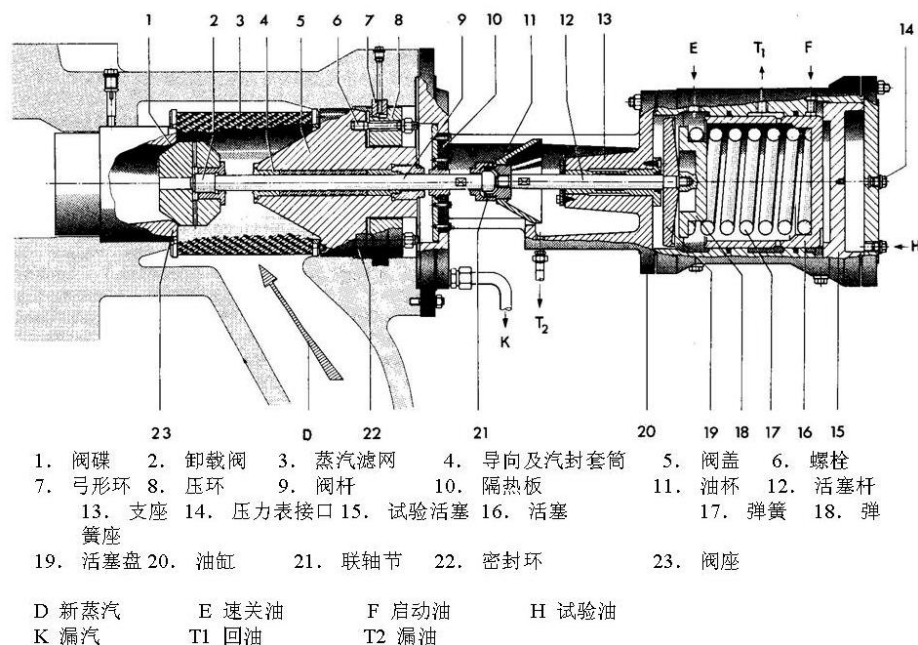


图 2-31 速关阀结构图

速关阀是新蒸汽管网和汽轮机之间的主要关闭机构，在运行中当出现事故时，它能在最短时间内切断进入汽轮机的蒸汽。

2、 保安装置

(1) 危急保安装置的作用是当汽轮机在运行中出现故障时，危急保安装置动作，将速关阀的速关油泄掉，使速关阀迅速关闭，切断汽轮机进汽。

(见图 2-32)

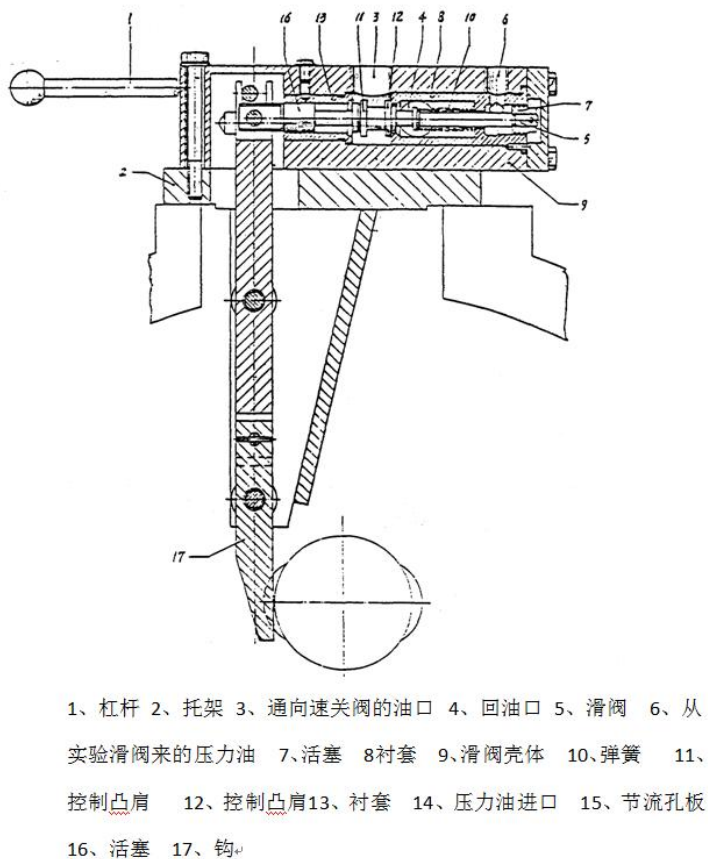
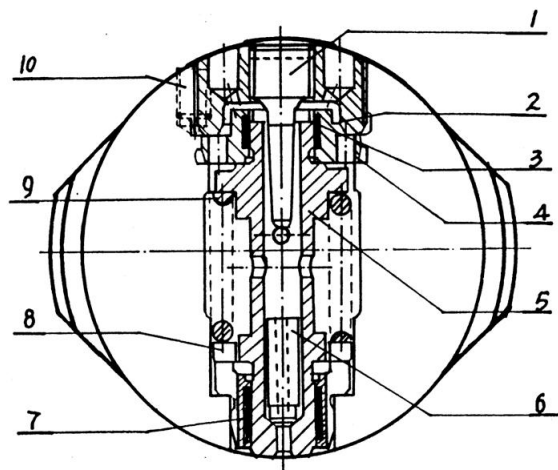


图 2-32 危急保安装置

(2) 危急遮断器的作用是当汽轮机转速超过最高连续运行转速的 9~11% 时，通过危急保安装置使汽轮机停机。危机遮断器的结构如图 2-33 所示



1、螺栓 2、螺纹套筒 3、导向片 4、导向环 5、飞锤
6、销 7、导向片 8、导向环 9、弹簧 10、螺钉。

若汽轮机转

图 2-33 危急遮断器结构

速升高到规定的动作转速时，飞锤和销的离心力克服弹簧力而使飞锤击出打在危急保安装置的拉钩上，引起速关阀关闭，汽轮机立即停机。

3、电磁阀

两位三通电磁阀装在进入保安系统的压力油管路上。它可以切断进入危急保安装置的压力油，同时引起危急保安装置动作而将速关油泄掉，最终使速关油快速关闭。

三、 错油门与油动机

油动机通过错油门将由调速器输出的二次油压信号转换成油缸活塞的行程，并通过杠杆系统操纵调节汽阀的开度，使进入汽轮机的蒸汽流量与所要求的流量或功率相适应。错油门从二次油路中得到信号，并控制作为动力的压力油进入油缸活塞的上腔或下腔。油动机与错油门的结构如图 2-34 所示。

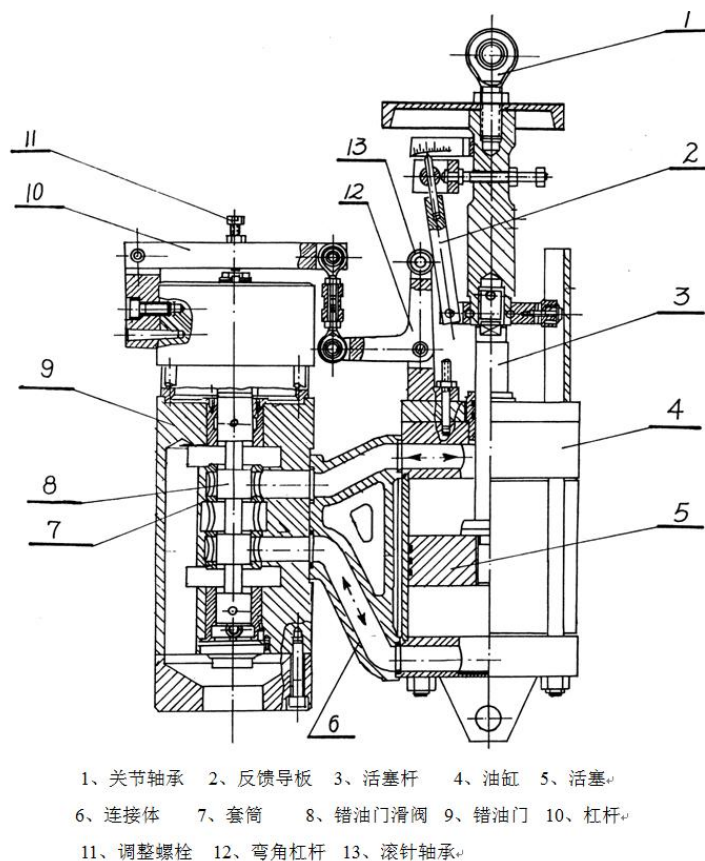


图 34 油动机结构图

四、 调速器

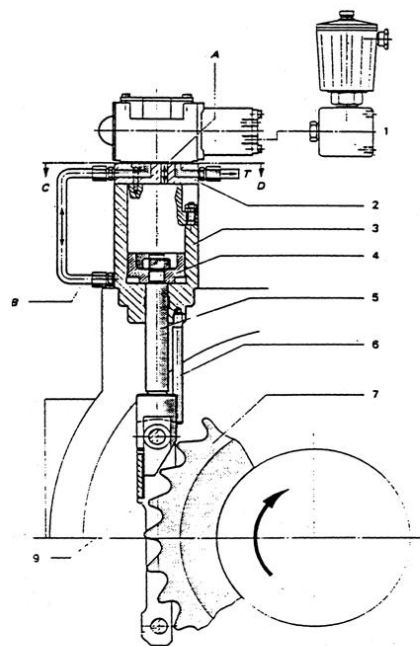
常见的调速器型式有： 双脉冲式、SRIV 型、Woodward PG-PL 型、WOODWARD505 电子调速器。

该调节系统用于驱动压缩机的汽轮机。它的主要功能是对汽轮机的转速/压缩机压力控制。对转速作无差调节。与 DCS 进行直接连接，实现中控启动和运行监控。WOODWARD505 具有网络通讯口，可以与管理实现连网。

调节系统主要构成：二个转速传感器、数字式调节器，电液转换器，错油门/油动机和调节汽阀组成。速关组合件上装有电液转换器和停机电磁阀，是保护系统的主要部份。

第五节 辅助设备

一、 冲击式盘车装置（图2-35）



冲击式盘车装置的结构及作用原理（见图 5-7-15、图 5-7-16、图 5-7-17）

- 1、电磁阀 2、连接板 3、压力油缸 4、活塞 5、拉杆
6、导向杆 7、棘轮 8、销轴 9 框架

图 2-35 冲击式盘车装置的结构

如果汽轮机热态停机汽轮机转子不再转动，在冷却的时候，经过一定的时间间隔。会出现转子弯曲，这种弯曲在立即重新起动时会产生明显的影响。由于转子偏心，通过摩擦可以引起叶片汽封或者叶片的严重损坏。此外，由于转子的不平衡就会产生过大的振动，这样可能引起轴承过早的磨损。因此在这个停车冷却阶段中需要盘车。

二、油系统设备

汽轮机必须设置油系统，为了简化系统结构往往与压缩机的油系统组合在一起，形成整个机组的统一油系统。其作用主要是供给机组各轴承润滑油，使轴颈和轴瓦之间形成油膜，以减少摩擦损失，同时带走由摩擦产生的热量和由转子传来的热量；供给动力驱动、调节系统和保安装置用油；供给油密封装置密封油以及大型机组的顶油装置用油。供油系统必须在任何情况下都能保证可靠用油，否则会引起轴瓦乌金的损坏或熔化，影响动力控制，严重时会造成设备的损坏事故。

汽轮机组的油系统是由贮油箱、油泵、油冷却器、油过滤器、安全阀、止回阀、调压阀、控制阀以及高位油箱、蓄压器、油管路等组成。

三、 抽气器

抽气器的任务是将漏入凝汽器内的空气和蒸汽中所含的不凝汽气体连续不断地抽出，保持凝汽器始终在高度真空下运行。抽气器运行状况的优劣，影响着凝汽器内真空度的大小，对机组的安全，经济运行起着重要的作用。

第四章 风机

第一节 概述

一、 风机分类及用途

按作用原理分类

透平式风机--通过旋转叶片压缩输送气体的风机。

容积式风机--用改变气体容积的方法压缩及输送气体机械。

按气流运动方向分类

离心式风机--气流轴向驶入风机叶轮后，在离心力作用下被压缩，主要沿径向流动。

轴流式风机--气流轴向驶入旋转叶片通道，由于叶片与气体相互作用，气体被压缩后，近似在圆柱型表面上沿轴线方向流动。

混流式风机--气体与主轴成某一角度的方向进入旋转叶道，近似沿锥面流动。

横流式风机--气体横贯旋转叶道，而受到叶片作用升高压力。

第二节 离心风机

一、 离心式风机的工作原理

叶轮高速旋转时产生的离心力使流体获得能量，即流体通过叶轮后，压能和动能都得到提高，从而能够被输送到高处或远处。风机叶轮装在一个螺旋形的外壳内，当叶轮旋转时，流体轴向流入，然后转90度进入叶轮流道并径向流出。叶轮连续旋转，在叶轮入口处不断形成真空，从而使流体连续不断地被泵吸入和排出离心式风机按其产生风压高低可分为，

离心式通风机（图2-36）压低于或等于17400N/平方米气体，介质基本没有受到压缩。主要用于隧道及矿井通风、锅炉送风、引风、空调通风等。



图2-36 离心式通风机风外型图

二、 风机叶片的形状及适用范围

风机叶片形状（图2-37）可分为直叶片和扭曲叶片；按叶片出口安装角可分为前向（ $\beta_2 > 90^\circ$ ），径向（ $\beta_2 = 90^\circ$ ），后向（ $\beta_2 < 90^\circ$ ）叶片3类，对应的风机成为前向、径向、后向叶轮。

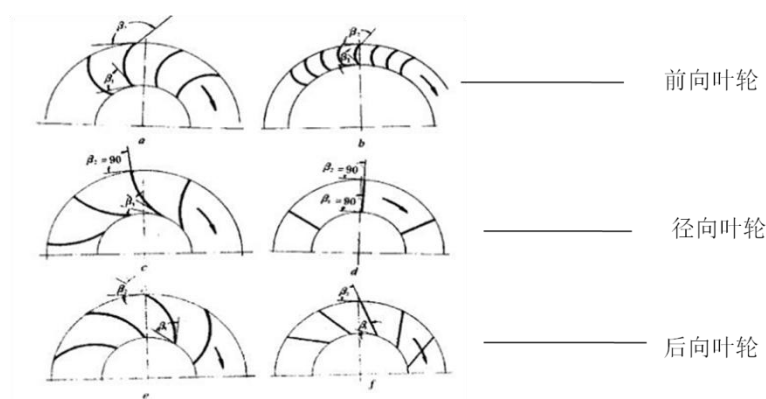


图2-37 叶片类型

三种叶片类型风机使用场合

- 1、后向叶片风机：效率高、噪声小、流量增大时动力机不易超载，因而在各种大、中型风机中得到广泛应用。它的缺点是在相同的风量、风压时，需要较大的叶轮直径或转速，另外叶片容易积尘，不适于作排尘风机。
- 2、前向叶片风机效率较低、噪声大，但在相同风压、风量时，风机尺寸小转速低。因而它用于高压通风机（ $P=7850-9810\text{Pa}$ ）以及要求风机尺寸小的场合。
- 3、径向直叶片风机的压头损失大，效率低，但形状简单、制作方便。当风机效率不作为主要考核指标时，它常被用作低压风机。

第三节 轴流风机

空气从风轮的轴向进入风轮并被做功和加速，并主要沿风轮的轴向向前流动。我们可以很明显地发现，它们有一个电机，一个风轮，一个外壳。它们最直观的特点就是风轮是螺旋桨似的。

简单地说它的工作原理，就是螺旋桨的风轮把空气直着吸进来，又直着吹出去。

一、风机常用技术术语

1、气流在某一点或某一截面上的全压等于该点截面上的静压与动压之和。而风机的全压，则定义为风机出口截面上的全压与进口截面上的全压之差，即

$$P_t = (P_{st2} + \rho_2 V_2^2 / 2) - (P_{st1} + \rho_1 V_1^2 / 2)$$

P_{st2} 为风机出口静压， ρ_2 为风机出口密度， V_2 为风机出口速度

P_{st1} 为风机进口静压， ρ_1 为风机进口密度， V_1 为风机进口速度

2、气体的动能所表征的压力称为动压，即 $P_d = \rho V^2 / 2$

3、气体的压力能所表征的压力称为静压，静压定义为全压与动压之差，

$$\text{即 } P_{st} = P_t - P_d$$

全压、静压、动压如图2-38所示。

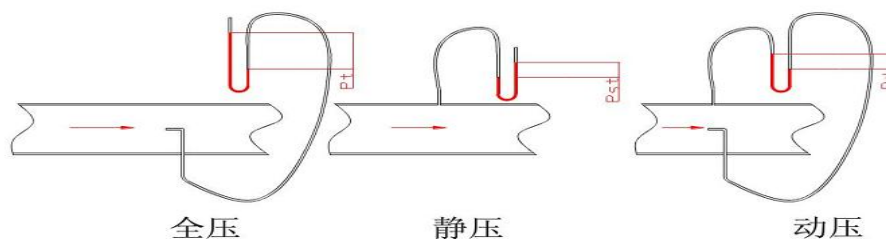


图2-38 全压、静压、动压如

二、轴流式风机的工作原理

旋转叶片的挤压推进力使流体获得能量，升高其压能和动能。风机叶轮安装在圆锥形壳体内，当叶轮旋转时，流体轴向流入，在叶片叶道内获得能量后，沿轴向流出。

轴流式风机适用于大流量、压力低，制冷系统中常用作送引风机轴流式风机

的工作原理轴流式风机风压一般在450N/平方米 4500N/平方米之间，主要用于矿井、隧道、船舰仓室的通风、工业作业场所的通风、降温，化工气体排送、引风，热电站、冶金、化工等冷却塔通风冷却。

三、 离心风机和轴流风机主要区别

- 1、离心风机改变了风管内介质的流向，而轴流风机不改变风管内介质的流向;
- 2、前者安装较复杂
- 3、前者电机与风机一般是通过轴连接的，后者电机一般在风机内;
- 4、前者常安装在空调机组进、出口处，锅炉鼓、引风机，等等。后者常安装在风管当中、或风管出口前端。

炼厂中应用的轴流风机主要在空冷器（图2-40）、循环水系统中的冷却塔风机（图2-39）、空调风机及厂房、机房的通风扇热。



图 2-39

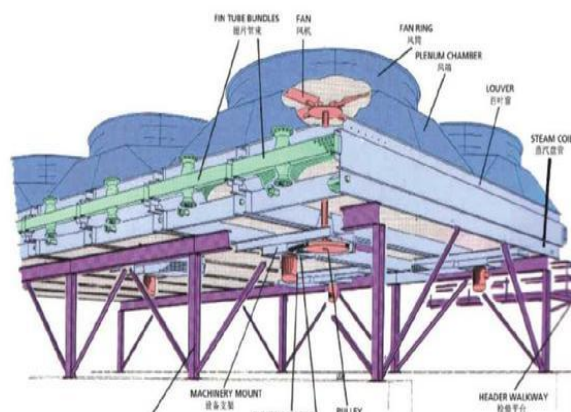


图 2-40

四、 空冷风机的风量调节

- 1、调节转速改变风量，可通过采用变频电机来实现。
- 2、改变叶片的角度，改变叶片的角度有两种。
 - ① 不停机调节是通过手轮旋转改变风机轮毂处固定叶片的偏心轴旋转，从而改变风叶角度。
 - ② 停机调节是通过重新安装风叶角度来实现。
- 3、出口调节，通过调节出口处的百叶窗开度。调节角度也分为手动和自动两种。

第五章 油气装卸设备

第一节 鹤管

鹤管是石化行业流体装卸过程中的专用设备，又称流体装卸臂（图 2-41、图 2-42、图 2-43）。它采用旋转接头与刚性管道及弯头连接起来，以实现火车、汽车槽车与栈桥储运管线之间传输液体介质的活动设备，以取代软管连接，具有很高的安全性，灵活性及寿命长等特点。



图 2-41



图 2-42

结构及特点;

鹤管主要由固定、回转、操作、平衡等机构和油管组成。其中回转机构（回转接头）是用锻钢或铝合金精心制造，内装复列球轴承，不锈钢特殊密封圈，它旋转灵活、密封性能可靠、经久耐用。平衡系统有配重、扭簧、压簧、拉簧和丝杠以及液压和气动平衡等型式，均能以很小的力进行操作。

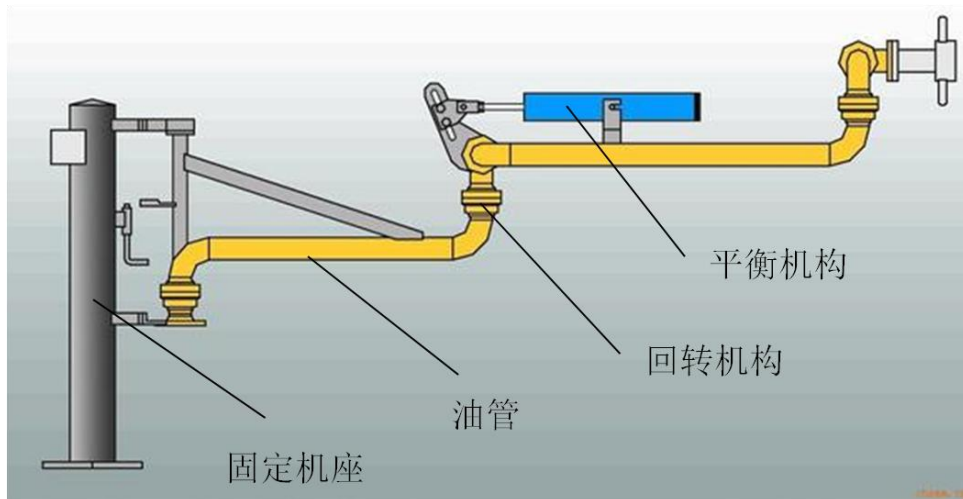


图 2-43

第二节 输油臂

输油臂（图 2-44）系统是安装在码头或浮码头上用于码头与槽船管道之间传输液相和气相介质的专用设备。



图 2-44

一、 输油臂基本组成结构

1、 立柱：立柱是支承输油臂的垂直结构件，通过立柱下端底板上的螺栓孔可以

将输油臂安装在码头或浮码头基础上。

- 2、转轴箱（附回转支承）：转轴箱为联接立柱与支承箱的部件，于立柱和支承箱之间安装回转支承，便于输油臂的灵活转动。
- 3、支承箱：按照等强度梁原理设计的一种封闭结构件，大大提高了输油臂的刚度，改善了介质管线和旋转接头的受力状况。
- 4、度，改善了介质管线和旋转接头的受力状况。
- 5、工艺管线：工艺管线由外臂管、内臂管、立柱管、旋转接头、法兰及管件组成，是介质的通道。
- 6、三维接头：位于外臂端部由三个旋转接头和弯管构成的部件，适应槽船的颠簸、摇摆和侧倾；三维接头接船法兰上安装快速连接器可以实现与槽船法兰的迅速对接，绝缘法兰安装在竖直位置，防止产生漂移电流并使船体与岸隔绝。
- 7、绳轮系统：由上绳轮、下绳轮及钢丝绳组成，实现外臂与配重之间平衡负载的传递。
- 8、驱动液压缸：输油臂配备四套液压组件，分别驱动内臂、外臂和水平旋转运动，以及驱动输油臂与槽船在紧急情况下快速脱离。液压缸可通过液压总站或与主

9、

二、 控箱联接的控制按钮箱进行操作

- 1、附件：维修平台、安全梯、可调节支腿、真空断流器等。
- 2、报警系统：当输油臂展开或转动到达一定位置，即包络范围的报警区时，由限位开关触发报警。

3、

三、 输油臂上的特殊安全装置——紧急脱离装置(ERS)

该装置是装于输油臂末端与船舶输油管道法兰接口之间的安全保护装置，输油臂紧急脱离装置（图 2-45、图 2-46）是为适应输油臂安全生产的需要而开发的，它由通断阀门装置与电液控制系统两部分构成。在油品装卸作业过程中，一旦、现场出现紧急（失火台风、过度 漂移等）情况下，该装置可以通过自动控制系统实现输油臂管道的自动关闭和脱离。它对保护环境、保障人身安全、减少事故损失起着重要作用。

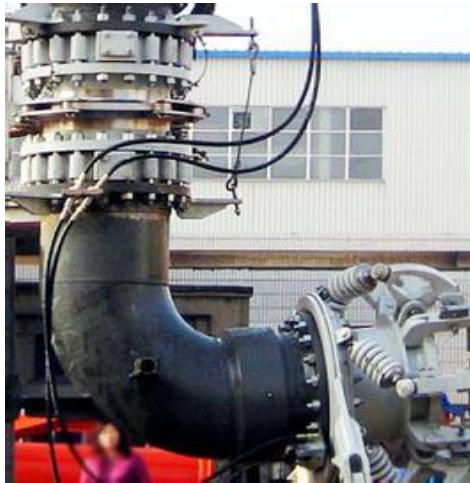


图 2-45



图 2-46

四、 输油臂关键部件——旋转接头

旋转接头（图 2-47）主密封圈由石墨填充四氟及内衬经过特殊处理的不锈钢张力弹簧组成。辅助密封防止潮气和灰尘进入滚道。

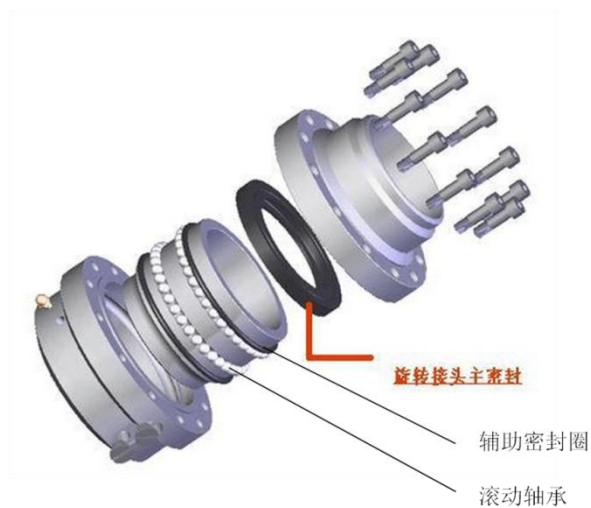


图 2-47

第六章 动力设备

第一节 液力透平

液力透平是一种能量回收装置。透平是将流体工质中蕴有的能量转换成机械能的机器，又称涡轮机。透平是英文 turbine 的音译，意为旋转物体。透平的工作条件和所用工质不同，所以它的结构型式多种多样，但基本工作原理相似。透平的最主要的部件是一个旋转元件，即转子，或称叶轮，它安装在透平轴上，具有沿圆周均匀排列的叶片。流体所具有的能量在流动中，经过喷管时转换成动能，流过叶轮时流体冲击叶片，推动叶轮转动，从而驱动透平轴旋转。透平轴直接或经传动机构带动其他机械，输出机械功。透平机械的工质可以是液体、蒸汽、燃气、空气和其他气体或混合气体。以液体为工质的透平称为液力透平。

一、 液力透平特点

在低于最小流量的小流量范围内，透平产生的能量等于 0，对于整个设备起着刹车的作用。所以在使用液力透平（图 2-48）时必定有一个自动的离合装置。

二、 液力透平运用场合

应用于石油化工加氢裂化装置、大型合成氨装置以及海水淡化装置等，是具有长远经济效益的节能装置。



图 2-48

第二节 膨胀机

一、膨胀机工作原理及分类

透平膨胀机（图 2-49）是利用工质在流道中流动时速度的变化来进行能量转换，也称速度型膨胀机。工质在透平膨胀机的通流部分中膨胀获得动能，并由工作轮轴端输出外功，因而降低了膨胀机出口工质的内能和温度。

反动式透平膨胀机：工质在工作轮中膨胀的程度称为反动度。具有一定反动度的透平膨胀机就称反动式透平膨胀机。

冲动式透平膨胀机：反动度很小甚至接近于零，工作轮基本上由喷嘴出口的气流推动而转动，并对外做功，这种透平膨胀机称为冲动式透平膨胀机。

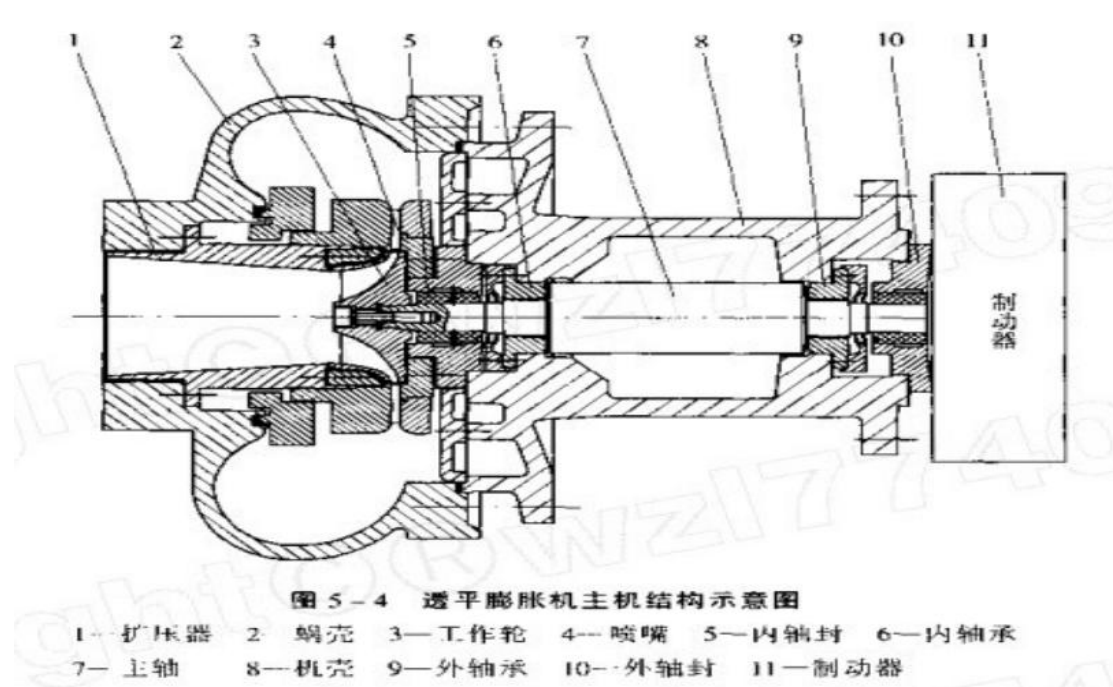


图 2-49

第三节 内燃机

内燃机，是一种动力机械，它是通过使燃料在机器内部燃烧，并将其放出的热能直接转换为动力的热力发动机。

广义上的内燃机不仅包括往复活塞式内燃机、旋转活塞式发动机和自由活塞式发动机，也包括旋转叶轮式的燃气轮机等，但通常所说的内燃机是指活塞式

内燃机。

活塞式内燃机以往复活塞式最为普遍。活塞式内燃机将燃料和空气混合，在其汽缸内燃烧，释放出的热能使气缸内产生高温高压的燃气。燃气膨胀推动活塞作功，再通过曲柄连杆机构或其他机构将机械功输出，驱动从动机械工作。常见的有柴油机和汽油机。

内燃机的工作循环（图 2-50、图 2-51）由进气、压缩、燃烧和膨胀、排气等过程组成。这些过程中只有膨胀过程是对外作功的过程，其他过程都是为更好地实现作功过程而需要的过程。按实现一个工作循环的行程数，工作循环可分为四冲程和二冲程两类。

四冲程是指在进气、压缩、做功（膨胀）和排气四个行程内完成一个工作循环，此间曲轴旋转两圈。

二冲程是指在两个行程内完成一个工作循环，此期间曲轴旋转一圈。

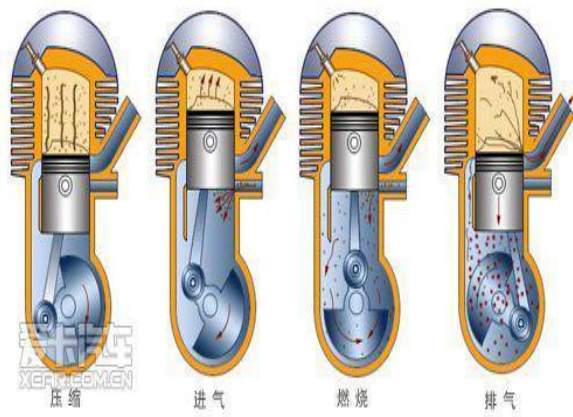


图 2-50

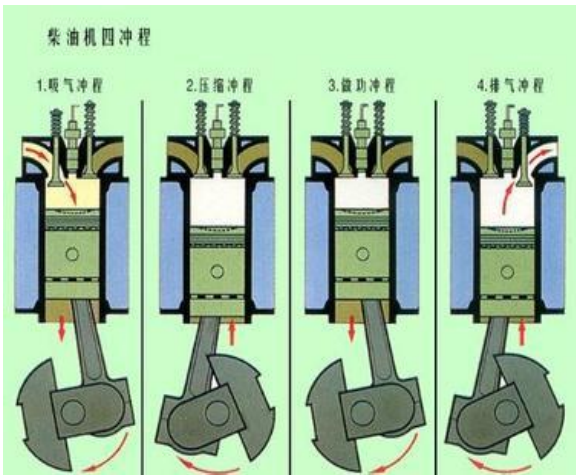


图 2-51

第七章 容器类设备

在石油化工领域，容器是指储存设备和其它各种设备的外壳。按容器所承受压力的高低又可分为常压容器和压力容器两大类，但两者之间的压力分界是人为规定的，因此在不同规范中其数值可能略有差异。

一般压力容器是指同时具备下列三个条件的容器：

1. 最高工作压力 ≥ 0.1 MPa（不包括液体静压力）；

2. 内直径 ≥ 150 mm，且容积 ≥ 25 L；

3. 介质为气体、液化气体和最高工作温度高于标准沸点（指在一个大气压下的沸点）的液体。

1、是指盛装气体或者液体，承载一定压力的密闭设备，其范围规定为最高工作压力大于或者等于0.1MPa（表压）的气体、液化气体和最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体、容积大于或者等于30L且内直径（非圆形截面指截面内边界最大几何尺寸）大于或者等于150mm的固定式容器；2、盛装公称工作压力大于或者等于0.2MPa（表压），且压力与容积的乘积大于或者等于1.0MPa·L的气体、液化气体和标准沸点等于或者低于60℃液体的气瓶。

第一节 压力容器的分类

压力容器按其所承受的工作压力，可分为低压、中压、高压及超高压容器四个等级。具体划分标准是：

低压容器—— $1 \text{ MPa} \leq P \leq 1.6 \text{ MPa}$ ；

中压容器—— $1.6 \text{ MPa} < P < 10 \text{ MPa}$ ；

高压容器—— $10 \text{ MPa} \leq P \leq 100 \text{ MPa}$ ；

超高压容器—— $P > 100 \text{ MPa}$ 。

为便于安全管理和监督检查，根据容器压力的高低、容器内介质的危害程度以及在生产过程中的重要作用，又将容器分为三类。

1. 属于下列情况之一者为Ⅰ类化工压力容器：

(1)非易燃或无毒介质的低压容器；

(2)易燃或有毒介质的低压分离容器和换热容器。

2. 属于下列情况之一者为Ⅱ类化工压力容器：

(1)中压容器；

(2)剧毒介质的低压容器；

(3)易燃或有毒介质的低压反应容器和贮运容器。

3. 属于下列情况之一者为III类化工压力容器：

(1)高压、超高压容器；

(2)剧毒介质且压力与体积的乘积 $\geq 200\text{L} \cdot \text{MPa}$ 的低压容器或剧毒介质的中压容器；

(3)易燃或有毒介质且压力与体积的乘积 $\geq 500\text{L} \cdot \text{MPa}$ 的中压反应容器或压力与体积的乘积 $\geq 5000\text{L} \cdot \text{MPa}$ 的中压贮运容器。

此外，化工压力容器按其在生产工艺中的作用原理又可分为反应容器、换热容器、分离容器、贮运容器等四种：

反应容器：主要用来进行介质的物理、化学反应的容器。如反应器、发生器、反应釜、分解塔、聚合釜、合成塔、高压釜、交换炉等；

换热容器：主要用于介质之间的热量交换的容器。如热交换器、冷却器、蒸发器、加热器、消毒锅、蒸压釜等；

分离容器：主要用来完成介质的压力平衡及气体净化、气液分离的容器。如缓冲罐、分离器、过滤器、吸收塔、洗涤器、干燥塔、集油器等；

贮运容器：主要是用来盛装气体、液体、液化气体的容器。如各种形式的贮罐、槽车等。

第二节 压力容器的主要部件

化工压力容器由于其用途各不相同，结构也不一样。但一般均具有筒体、封头、支座、法兰（包括管法兰和设备法兰），有些容器则还有人孔、手孔、夹层、视镜、液面计、内部冷却（或加热）管、搅拌器等等。此外，容器上还要安装必不可少的安全附件。图2-91为带有进料均布器的卧式容器。

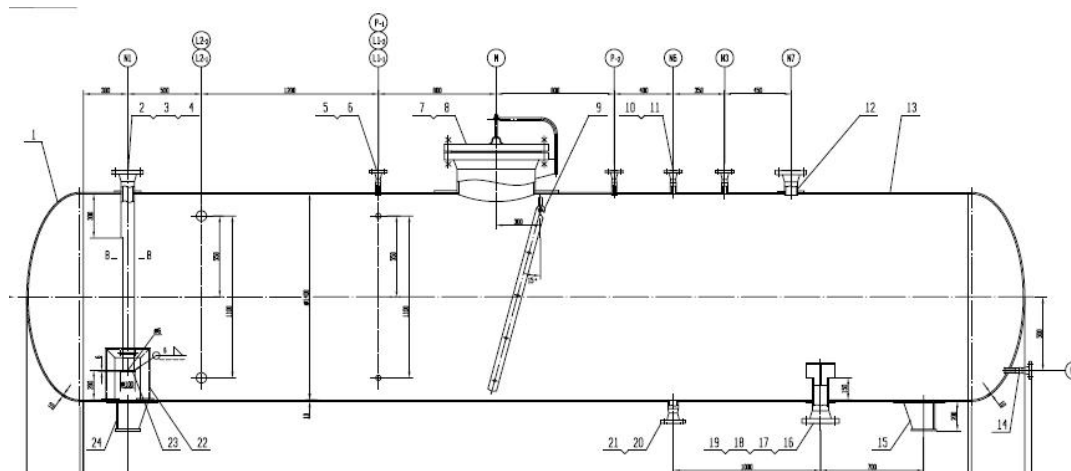


图2-91 卧式容器示意图

一、筒体

筒体是压力容器最主要的部件，是贮存物料或完成化学反应所需要的压力空间。筒体的形状一般为圆柱形，随工作压力、温度、介质等条件不同而取不同的壁厚。筒体除整体锻造式（用于高压容器）外，绝大多数都是由钢板卷焊而成。因此焊接后的温度、气密性及焊缝质量指标要求十分严格，在制造或焊接修理时均需执行相应的焊接规范和程序，并进行严格检验，不允许有任何疏忽大意，以保证筒体质量。

二、封头

封头，或称端盖，按其形状有凸形封头、锥形封头和平板封头三类。

1. 凸形封头——凸形封头有半球形封头、椭圆形封头、碟形封头和无折边球面封头。

(1)半球形封头：是一个半球体，在相同压力和直径的情况下，与其它封头相比所需厚度最小，但深度大，制造比较困难，一般用于压力较高或直径较大的容器。

(2)椭圆封头：由半椭球体和圆筒体直边两部分组成，图2-92，由于椭圆曲线的曲率半径变化是连续的，所以应力分布比较均匀。椭圆封头的受力情况和制造难易程度介于半球形和碟形封头之间，因而在中、低压容器上得到广泛的应用。标准椭圆封头的长短轴之比为2:1。

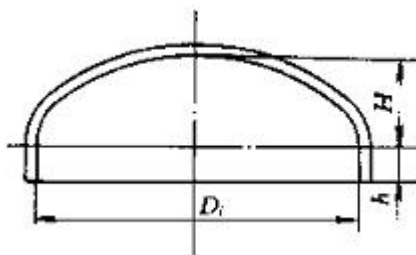


图2-92 椭圆型封头

(3)碟形封头：又称带折边的球形封头，见图2-93，它是由半径为 R_i 的部分球面，高度为 h 的圆筒体直边，以及半径为 r_i 的过渡部分(即折边)组成。因在各连接处曲率半径有突变，故存在较大的边缘应力。我国标准碟形封头的参数是：球面内半径 $R_i=0.9D_i$ ；过渡圆弧内半径 $r_i=0.17D_i$ 。

(4)无折边球形封头：是一深度较小的球面体，如图2-94所示。它结构简单，制造容易，但与筒体连接处附近存在很高的局部应力，因此只用于直径较小压力较低的容器上，而且还规定封头的球面内半径 R_i 为圆筒体内直径 $0.7\sim 1.0$ 倍。

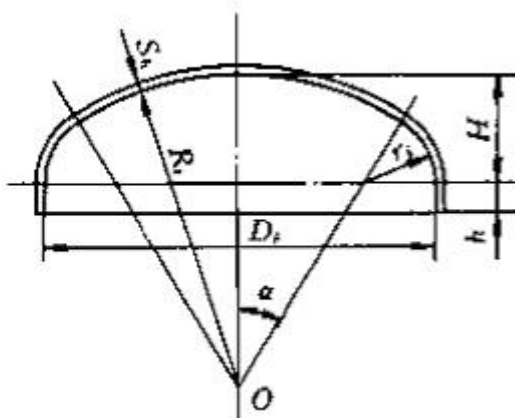


图2-93 碟形封头

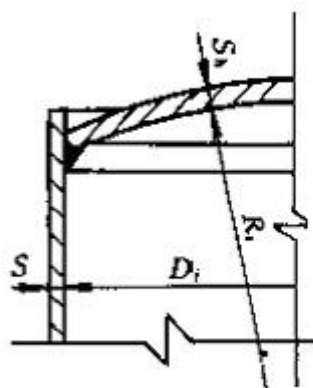


图2-94无折边球型封头

2. 锥形封头——采用锥形封头，主要是考虑工艺的特殊要求，有利于物料流动和排料等。可分为无折边锥形封头和有折边锥形封头。无折边锥形封头是一段圆锥体(见图2-95)，由于锥体与圆筒直接连接而发生形状突变，局部应力较大，仅适用于压力较低的场合，并规定锥体半顶角 $\alpha \leq 30^\circ$ 。设计压力较高时，可采用有折边锥形封头，即在锥体和筒体之间有一个圆弧的折边过渡，见图2-96，其半顶角为 $30\sim 45^\circ$ 。

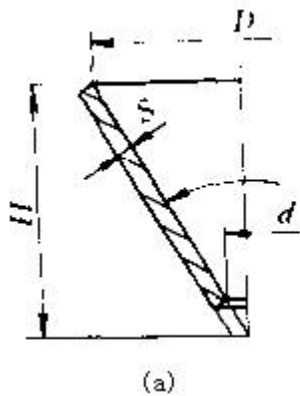


图2-95 无折边锥形封头

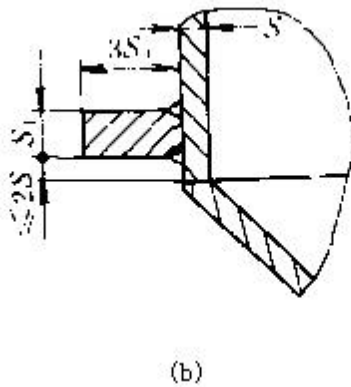


图2-96 有折边锥形封头

3. 平板封头——或称平盖，结构简单、制造方便。但在相同受压条件下，平盖比凸形封头厚得多，因此一般用于直径较小和压力较低的情况下，如人孔和手孔平盖等。低压容器中的平盖，又可分为螺栓连接的可拆卸平盖和焊接连接的不可拆卸平盖，在高压容器中，因端盖太厚，制作凸形封头较困难，当直径不太大时，亦可采用可拆卸的平盖。但随着制作水平的提高，在高压容器上已越来越多地使用半球形封头。

一般当容器组装后如果不再需要开启时（一般是指容器中无内件或虽有内件而不需要更换检修的情况），上下封头应直接和筒体焊在一起，这样做能有效地保证密封，节省材料而且减少加工制造的工作量。对于因检修和更换内件的需要而必须开启的容器，封头与筒体连接应造成可拆式的，此时在封头和筒体之间就必须有一个密封结构。

三、法兰

法兰是容器和管道连接中的重要部件。按法兰所连接的部件分为管法兰和法兰。用于管道连接的叫做管法兰，用于容器顶盖与筒体或管板与筒体连接的叫做容器法兰。

容器法兰按其本身结构形式分为：整体法兰、活套法兰、任意形式法兰。法兰通过螺栓连接并通过预紧螺栓使垫片压紧而保证密封。法兰螺栓连接是压力容器上用得最多的一种连接结构，如封头和筒体的连接，各种接管的连接，以及人孔、手孔盖的连接等。法兰螺栓连接结构虽然开启不十分方便，但因其结构简单，使用可靠，故在压力容器得到了广泛的应用。

四、容器支座

容器支座是起支承和固定容器作用的。它都是另行制作，然后焊接在容器上，随圆筒形容器的安装位置不同，有立式容器支座和卧式容器支座。常见的立式支座有悬挂式支座(或称耳式支座，见图2-97a)、支承式支座(见图2-97b)、裙式支座(见图2-97c、d、e)等。卧式容器支座有鞍式支座、圈座、支撑式支座(分别见图2-98a、b、c)等。

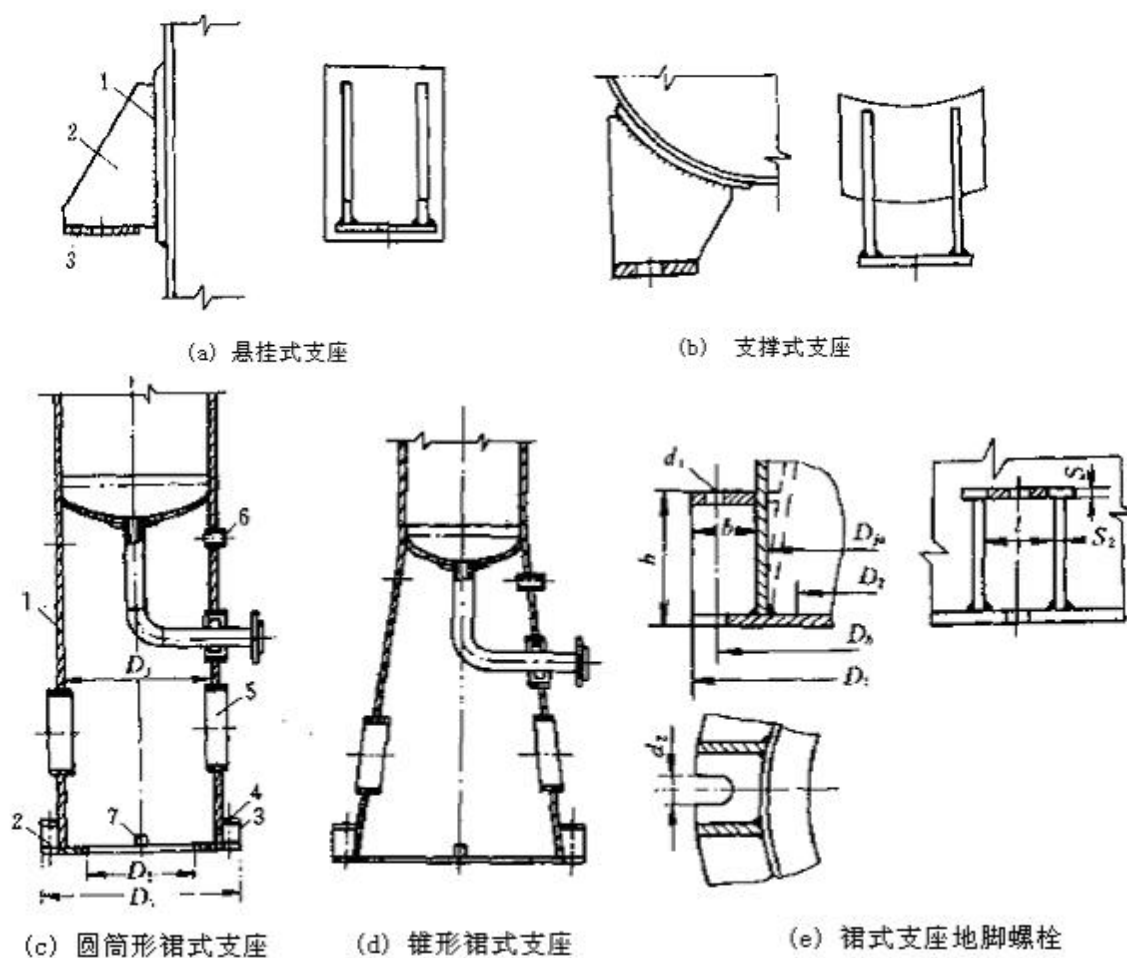


图2-97 立式容器支座

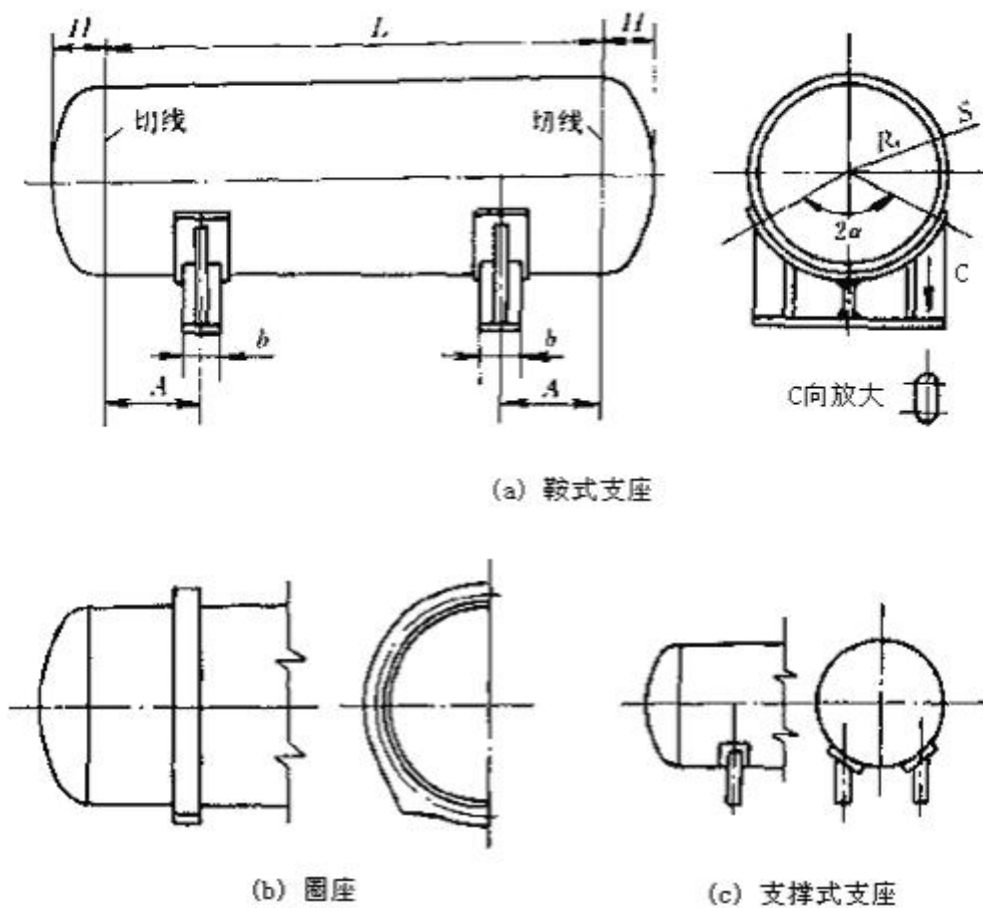


图2-98 卧式容器支座

五、压力容器安全泄压装置

为了防止压力容器由于超压而发生破裂事故，除了避免操作失误及杜绝或减少可能引起容器超压的客观因素之外，还必须在压力容器上安装安全泄压装置。

安全泄压装置是一种防止容器超压的保护装置，它具有如下性能：当容器在正常工作压力下运行时，保持严密不漏，而一旦容器内压力超过规定的数值时它就能自行将容器内气体迅速泄放，使容器内压力始终保持在最高许用压力范围之内。

安全泄压装置不仅能在超过预定压力下开启排放，从而降低容器的压力，还能起到报警的作用，即当其开启后放气时，由于气体流速较高，常常发出较大的声音，能提醒操作人员注意采取适当的措施。

压力容器的安全装置使用最广泛的有安全阀和防爆膜：

(1) 安全阀

最常用的安全阀是弹簧式安全阀(见图2-99)，它利用压缩弹簧力来平衡作用在阀瓣上的力。因此它可以通过一个调节螺母改变压缩弹簧的压缩量来校正安全阀的开启压力。这种安全阀具有结构简单，灵敏度较高，安装位置不受严格限制等优点，而且对振动的敏感性低，所以可用在移动式压力容器上。其缺点是所加的载荷会随着阀的开启而发生变化，即随着阀瓣的升高，弹簧的压缩量增大，作用在阀瓣上的力量也跟着增加，这对于安全阀的开启是不利的。另外安装在高温压力容器上的安全阀，由于长期受高温的作用，其弹簧力减少，使安全阀的正常工作受到影响。

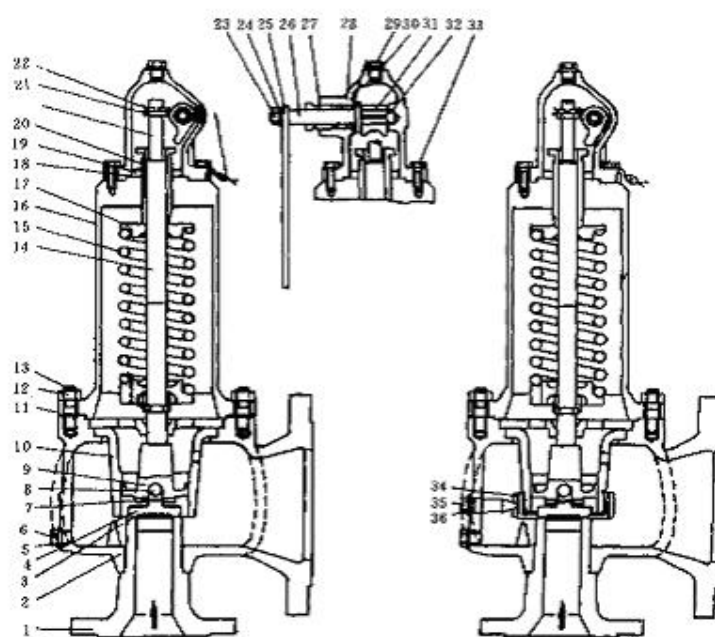


图2-99 弹簧式安全阀

杠杆式安全阀(如图2-100)不采用弹簧装置，而是利用重锤和杠杆来平衡作用在阀瓣上的力。这种安全阀有结构笨重和由于振动而产生泄漏现象等缺点，故目前较少采用。

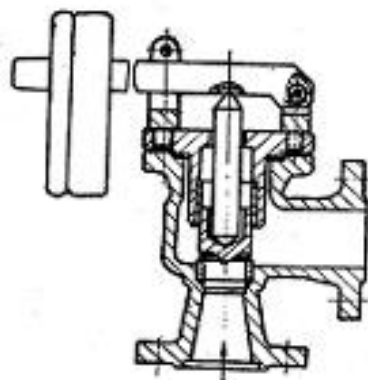


图2-100 杠杆式安全阀

脉冲式安全阀结构复杂，在化工压力容器上用得很少，一般只适用于泄放量很大的大型电站的锅炉等。

有关安全阀的结构类型等将在第6章“管道与配件”中再作介绍。

(2)防爆膜

防爆膜也称为爆破片，是一种断裂型的安全泄压装置。它是用一块很薄的金属平板通过法兰夹紧或直接用螺栓压紧在容器的短管法兰上，其结构简单，安装方便，但由于在防爆膜破裂之后，容器将被迫停止运行，所以这种安全装置只适用于在不宜装设安全阀的压力容器中使用。

(3)爆破膜

爆破膜又称为圆拱形爆破片，它的爆破元件是预先压制成圆拱形的薄片，其薄弱断面在圆周外围，它的精确度较爆破片为高，可用于高压或超高压场合。

六、容器压力试验

容器在制成以后或者修理（指涉及强度或结构方面的修理，如焊接、热处理等）完毕，都要进行压力试验，以检验容器的耐压情况和密封性，确定其是否可投入使用。

(1)液压试验

在进行液压试验时，先在容器内灌满液体，然后用试压泵加压。用水做加压介质的压力试验称为水压试验，进行水压试验的水温及环境温度，不得低于材料的无塑性转变温度，且最低不应低于5℃。

液压试验开始时，只有待容器的壁温与液体温度相同之后，才可缓慢升压，达到规定的试验压力之后，需保持10~30分钟，然后降到设计压力并至少保持30

分钟，同时，对容器整体及所有的焊缝及联接部件进行检查，以无异常响声、压力下降、油漆剥落、无渗漏现象和可见的变形为合格。

(2)气压（气密）试验

一般关于气压试验的压力，对低压容器取设计压力的1.2倍，对中压容器取设计压力的1.15倍。气压试验一般采用干燥洁净的空气、氮气或其它惰性气体，且气体温度不低于15℃。试验时应先缓慢升压至规定压力的10%，保持10分钟，同时对所有的焊缝和联接部位进行初步检查，合格后继续升压至规定压力的50%，其后按每级为规定压力的10%的级差逐级升压至试验压力，保持10~30分钟，然后降到设计压力至少保持30分钟，同时进行各项检查。

相比之下，水压试验要比气压试验危险性小得多。这是因为压缩一定容积的气体至某一压力所需要的功，要比压缩同样体积的液体至相同压力时大得多，也就是说，相同体积，相同压力的气体爆炸时所释放的能量要比液体大得多。故规定绝大多数压力容器都使用液压试验。

为了保证安全，无论是液压或气压试验，都应装两块经过检验的压力表。对气压试验的容器，应在试验前对焊缝进行100%的探伤，并全面检查容器质量。试验时，在容器内的压力超过工作压力之后，试验人员最好不要靠近容器，以免容器爆破伤人。

第八章 塔设备

在石油炼制工业中，各种塔设备占有重要的地位，塔设备的性能对于整个装置的产品质量、生产能力、能量消耗以及三废处理和环境保护等各个方面都有重大影响。

第一节 塔的分类

一、按塔设备的用途分

分馏塔——也称蒸馏塔，炼油厂中的分馏塔也叫精馏塔，其作用是将液体混合物的各种组分分离出来。如常减压装置常压塔和减压塔、加氢裂化装置主汽提塔和分馏塔等，可将原料油分割成汽油、石脑油、煤油、柴油及润滑油等产品。

吸收塔、解吸塔——通过溶剂来溶解、吸收气体的塔是吸收塔；将吸收液用加热等方法使溶解于其中的气体释放出来的叫解吸塔。例如催化裂化装置中的吸收解吸塔、加氢裂化装置燃料气脱硫塔和溶剂再生塔等。

抽提塔——通过溶剂将液体混合物中某种（些）组分有选择地溶解、萃取出来的塔叫抽提塔。

洗涤塔——用水来除去气体中无用的组分或固体尘粒，称为水洗塔，同时还有一定的冷却作用。

二、按塔设备的结构分

板式塔：如图2-52所示，塔内设有一层层相隔一定距离的塔盘，每层塔盘上液体与气体互相接触传热传质后又分开，气体继续上升到上一层塔盘，液体继续流到下一层塔盘上。依照塔盘的结构形式，板式塔可分为圆泡帽塔、槽形塔盘塔、S形塔盘塔、浮阀塔、喷射塔、筛板塔等，板式塔常用做分馏塔和抽提塔。

填料塔：如图2-53所示，内充填有各种形式的填料，液体自上而下流动，在填料表面形成许多薄膜，使自下而上的气体，在经过填料空间时与液体具有较大的接触面积，以促进传质作用。填料塔的结构比板式塔简单，而填料的形式繁多，常用的填料有：拉西环、鲍尔环、蜂窝填料、鞍形填料和丝网填料等。填料塔常用做吸收塔、解吸塔和洗涤塔。

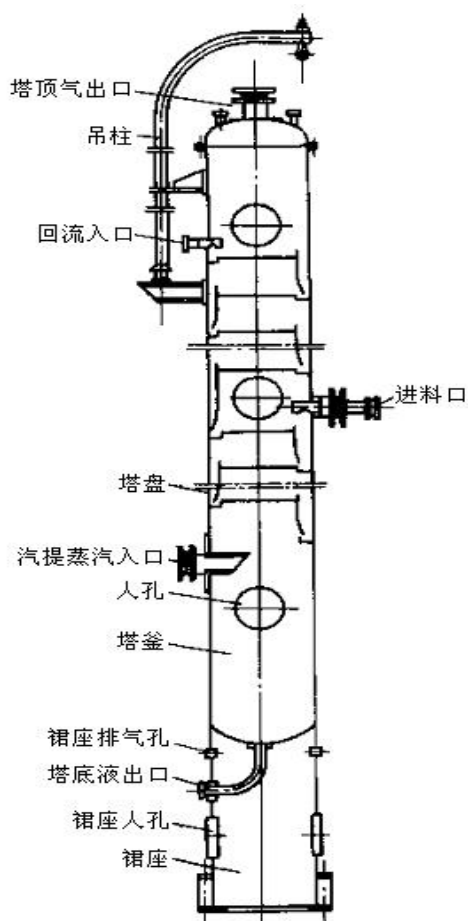


图2-51板式塔结构

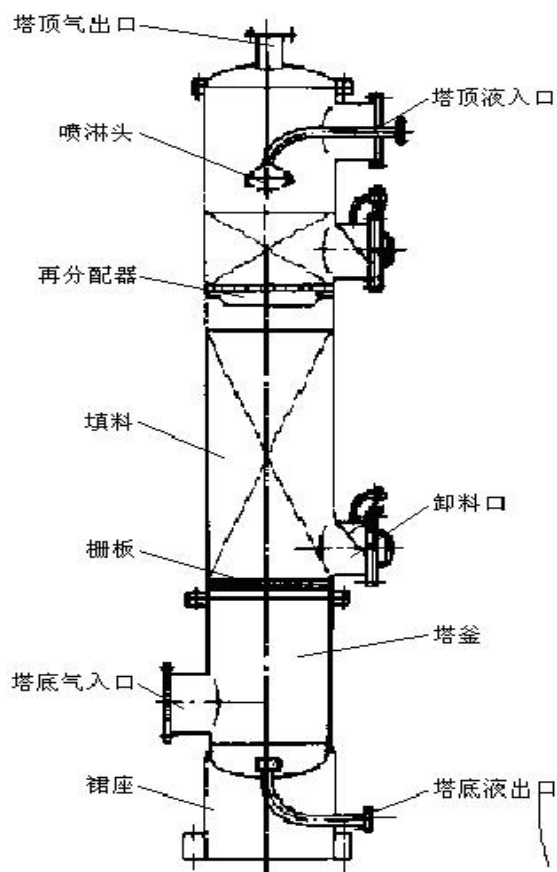


图2-52填料塔结构

第二节 板式塔

一、工作原理

炼油厂应用最广的是各种形式的板式塔，其中大部分是分馏塔，现以原油常压分馏塔为例来说明塔设备的基本工作原理。原油是由各种分子量不同的碳氢化合物组成的混合物，各组分沸点是不同的，例如汽油沸点 $<130^{\circ}\text{C}$ ，煤油沸点为 $130\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，柴油沸点为 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，蜡油沸点为 $350\sim 520^{\circ}\text{C}$ ，渣油沸点为 $>520^{\circ}\text{C}$ 。分馏塔就是利用各组分沸点不同的特性进行分馏的。

如图 2-54 所示，在加热炉中加热到 350°C 左右的原油进入常压塔后，分子量较小沸点低的汽油、煤油、柴油等组分蒸发成为油气，分子量较大沸点高的组分仍是液体。高温的油气上升经过一层层塔盘，在每层塔盘上与往下流动温度较低的液体相接触，气相中沸点较高的组分会冷凝成液体从油气中分离出来，同时塔

盘上的液体被加热，其中沸点较低的组分会被汽化，从液体中分离出来。经过每层塔盘都会有这种质量和热量的传递，于是油气越往上就变得轻组分增多，重组分减少，到塔顶部就是汽油成分，抽出后经冷凝便得到液体的汽油产品，将其中的一部分再打回到塔顶的塔盘上去，就形成了塔盘下流液体，这叫塔顶回流。下流的液体每经过一层塔盘就发生和汽相相反的变化，越往下变得重组分越多，轻组分越少，到某一层塔盘便成为煤油组分，抽出一部分经冷却便得到了煤油产品，其余的继续下沉。到更下面的某一层塔盘便成为柴油组分，塔底出来的重组分成为常压重油。从塔侧线抽出的液体组分不仅仅是产品，有时也是其它装置的原料，如减压馏分油作为催化裂化原料。塔内上升的油气一方面是由进料中的气相形成，另一方面是由塔底通入过热汽提蒸汽或把塔底部分重油经过加热釜加热汽化形成的。

对分馏塔，一般把进料口以上部分叫精馏段，用来提浓汽相中的轻组分，进料口以下部分叫提馏段，用来提浓液相中的重组分。

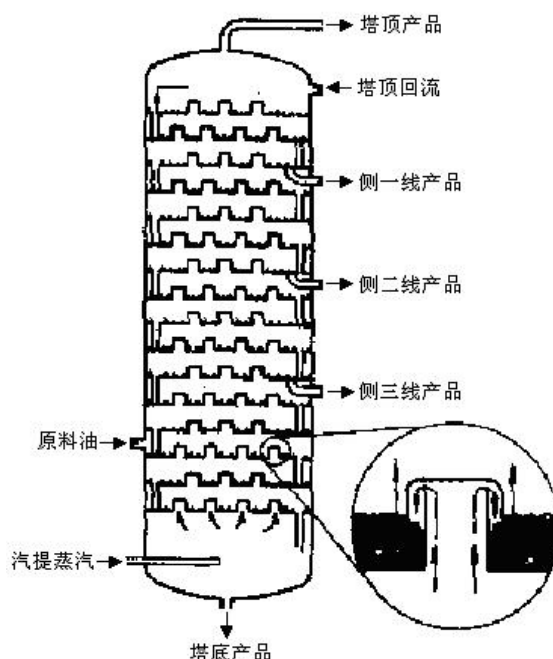


图2-54 原油常减压分馏塔操作示意图

二、塔盘

塔盘也称塔板，是塔设备的重要部件，其基本技术要求是分馏效率高，生产能力大，操作稳定，压降小和结构简单。由塔的工作原理可知，塔盘要提供汽液两相之间的接触界面，它应包括以下几个功能：(1)油气上升的通道；(2)液体下

降的降液板或降液管；(3)供气液两相充分接触的构件。

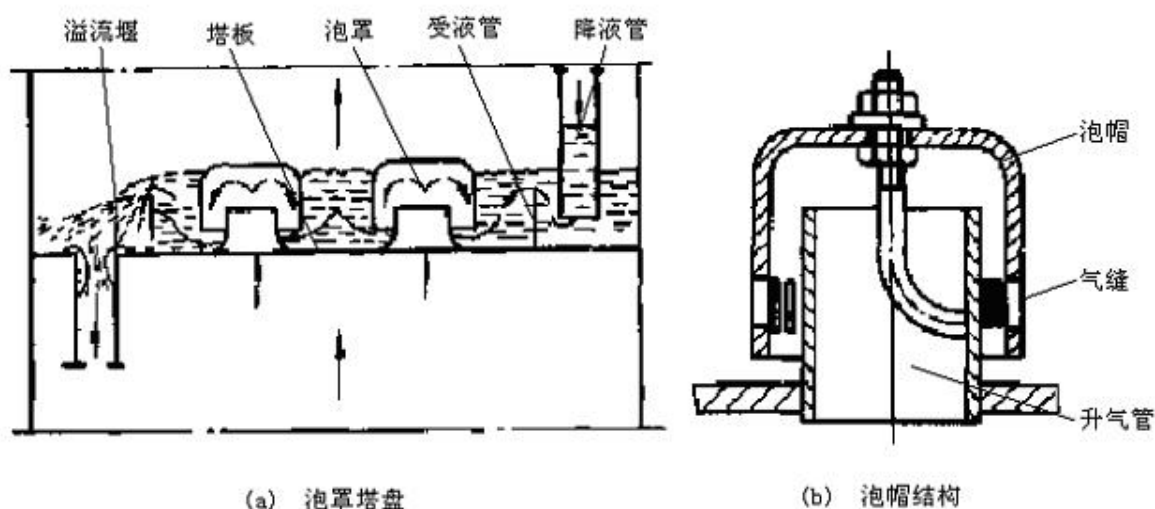


图2-55 泡罩塔盘结构

现以圆泡帽塔盘为例说明塔盘结构：图2-55表示圆泡帽塔盘的结构，在塔盘上开有许多圆孔，每孔焊一个圆管，称升气管；管上再罩一个帽子，叫泡帽；泡帽下部圆周方向开有许多矩形竖直开口，称气缝。液体从上一层塔盘的降液管流下，流经该塔盘面并由该塔盘的降液管继续流至下一层塔盘。为使塔盘上保持一定厚度的液层，使泡帽的气缝完全淹没在液层内，在降液管上部装有溢流堰。气体从升气管上升，拐弯通过升气管与泡帽的环形空间，从气缝喷散而出，形成鼓泡现象，使气液两相充分接触，进行传热与传质。一般来讲，鼓泡越细越激烈，两相接触就越好，分馏效率也就越高。

1. 目前常见的几种塔盘

(1) 舌形塔盘：如图2-56所示，舌片由钢板上冲出并按一定角度朝一个方向翘起，在塔盘上呈三角形排列。气体从舌片下的孔中吹出，与液层搅拌接触。液体流动方向与气流方向一致，故塔板上的液面落差较小，全塔盘鼓泡较均匀。气体斜喷再折而向上，所以雾沫夹带较少，气体流量可提高，塔盘上只有降液管，没有溢流堰，因此塔盘上压力降较小，塔盘金属耗量较小，制造安装方便。

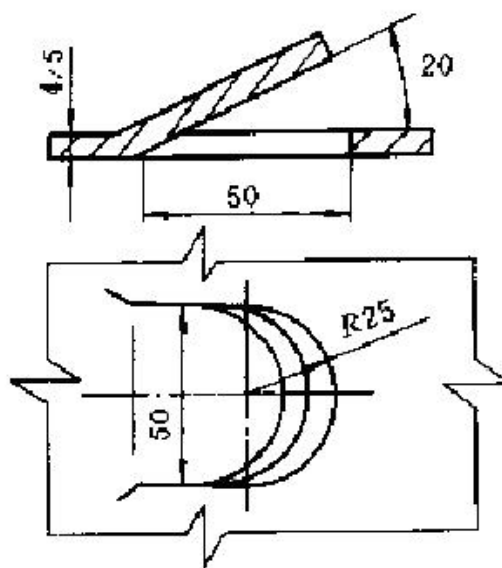


图2-56 舌形塔盘结构

(2)浮阀塔盘：它可分为两大类,一类是盘状浮阀，如图2-57所示，即浮阀呈圆盘形，塔板上开孔是圆孔，按其在塔板上固定的方法又可分为用三条支腿固定浮阀升高位置的F1型浮阀和用十字架限定升高位置的十字架型浮阀；另一类是条装状浮阀，浮阀是带支腿的长条片，塔板上开的是长条孔，长条片面上有的还开有长条孔或凹槽等，形式多样。

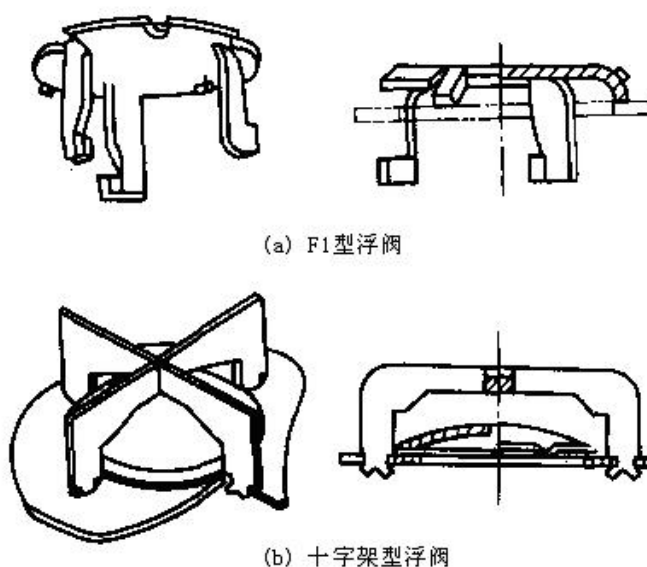


图2-57 盘状浮阀结构

目前炼油厂最广泛采用的是F1型盘状浮阀。如图2-58所示，当气体穿过圆孔上升时将阀片顶起，气体沿水平方向喷出，吹入塔盘上的液层内进行鼓泡。阀片的开度随气量的变化而变化，气体流量增大，浮阀被顶起的开度也增大，直到三

条支腿下脚接触塔板为止。由于浮阀的这个特点，它的操作弹性大、雾沫夹带少、全塔盘鼓泡均匀、效率较高、压降小、结构简单、造价低等一系列优点，所以得到非常广泛的应用。



图2-58 浮阀塔盘上气液接触状况

(3)浮动喷射塔盘：这种塔盘综合了舌形单向喷射和浮阀自动调节的特点。图2-59(a)为其中的一种，塔板为百叶窗形，其条形叶片是活动的。当有气体通过时，把叶片顶开，气体向斜上方喷出，气流越大叶片的张角越大；图2-59(b)为另一种类型，舌片带有限制其升高位置的支腿，当气体通过时，将其抬起呈倾斜状态，浮动舌片的开度随气流负荷的变化而自动地调节。舌片的倾斜均为同一方向，有利于流体的流动，减少液面落差。

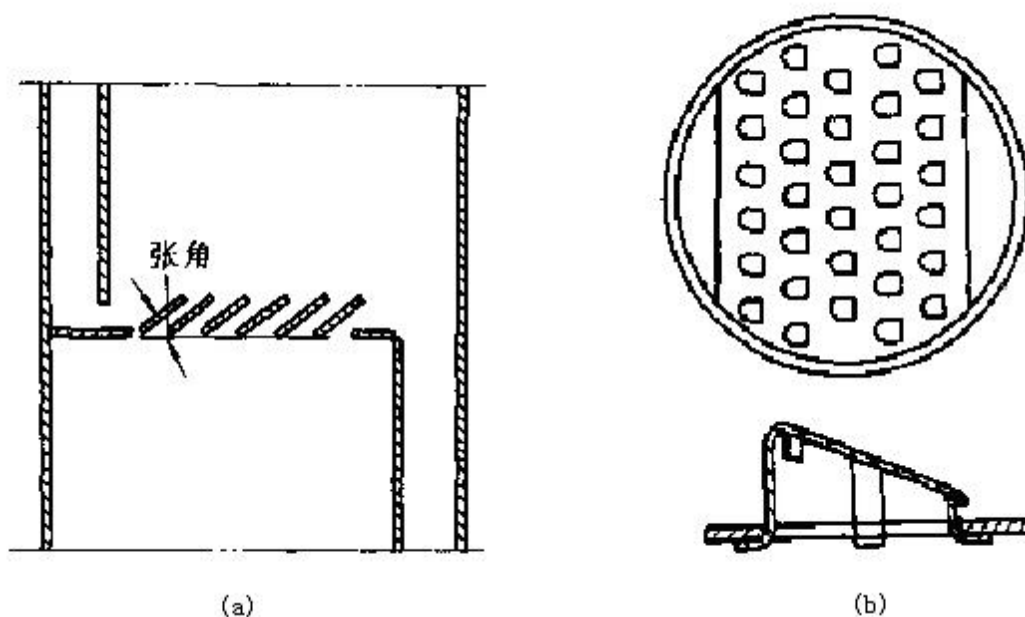


图2-59 浮动喷射塔盘

(4)筛孔塔盘：筛孔塔盘的结构很简单，就是在钢板上钻许多三角形排列的孔，孔直径为 $\phi 3-8\text{mm}$ 。气流从小孔中穿出吹入液体内鼓泡，液体则横流过塔板从降液管中流下。这种塔盘开孔率较大，生产能力也较大，气流没有拐弯，压降较小，塔板上无障碍物，液面落差较小，鼓泡可以较均匀。但它的操作弹性较小，

气流负荷变小时，容易泄漏，效率下降，且有时小孔易堵。近年来发展了大孔筛板(孔径达 $\phi 20-25\text{mm}$)、导向筛板等多种筛板塔。

(5)ADV微分浮阀塔盘：如图2-60所示，与传统F1浮阀塔盘相比，ADV浮阀塔盘从浮阀结构、降液管结构等方面进行了改进：（a）ADV微分浮阀在阀顶开小阀孔，充分利用浮阀上部的传质空间，使气体分散更加细密均匀，汽液接触更加充分；（b）局部采用带有导向作用的ADV微分浮阀，消除了塔板上的液体滞留现象，提高了汽液分布的均匀度；（c）采用鼓泡促进器使整个塔板鼓泡均匀并降低液面梯度，从而提高传质效率；（d）适当改进降液管，增加鼓泡区的面积；（e）阀腿采用新的结构设计，使浮阀安装快捷方便，操作不易转动或脱落。ADV微分浮阀塔板塔盘的雾沫夹带在中低速空塔气速下与F1型浮阀塔盘相差不多，压降也与F1型浮阀塔盘相当，目前该类型塔盘已在炼油化工行业得到广泛应用。

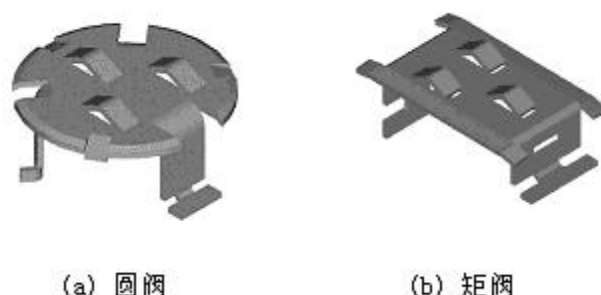


图2-60 ADV微分浮阀

2. 塔盘溢流、受液结构

塔盘除了供气体上升鼓泡用的浮阀、筛孔外，还有供液体下降流通用的溢流堰、降液管及受液盘。液体横过塔板的流动通常是靠板上的液面落差来推动的，即从受液盘进入塔板处的液面比溢流堰处的液面略高。塔板上所设置的浮阀、筛孔以及气流上升时的鼓泡，都会对液体流动产生阻力，液面落差太大，会引起塔板上鼓泡严重不匀，影响塔板效率，而降低液面落差的方法之一是将溢流分程，常用的溢流分程方式有：①单溢流型；②双溢流型；③四溢流型。

(1)单溢流型：如图2-61(a)所示，液体从塔板一端的受液盘自左向右横向流过整个塔板，在另一端从溢流堰落入塔板降液管中，液体几乎流经整个塔径的距离，流道较长，塔板效率较高，它的结构较简单，是常见的流型。

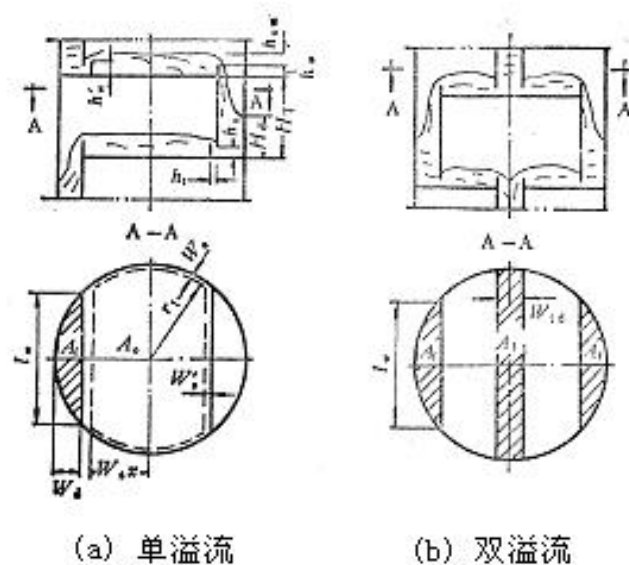


图2-61 单溢流和双溢流结构

(2)双溢流型：如图2-10(b)所示，这种流型将液体分成两半，并设有两条溢流堰，来自上一塔板的液体分别从左、右两降液管进入塔板，在该塔板上液体又由两边横向流向中间溢流堰，再进入降液管。与同样直径的单流型塔板相比，溢流堰单侧的液体流量减少一半，同时双溢流型的堰长增加，会使堰上的液体厚度响应减少，从而使液面落差下降。双流型塔板适用于大型塔和液气比大的工况场合。

(3)四溢流型：对特大塔径或液体流量特大的塔，当双流型仍不能满足降低液面落差的要求时，可采用四溢流型塔板。

溢流堰通常为带有锯齿形的垂直平板，堰长由塔盘上液体流量和溢流程数来确定，堰高决定了塔盘上液层厚度，因此关系到塔盘上的压力降和液体在塔盘上的停留时间。对于浮阀型塔板，堰长一般为塔径的60~80%（单溢流）或50~60%（双溢流），堰高一般为40~50mm。

降液管有圆管形和弓形两种，见图2-62。前者适用于液体量小和塔径小的塔，后者有更大的横截面积，因而有利于液体下流，故弓形降液管适用于大塔径或液流量大的板式塔。

降液管出口与下层塔盘的受液盘保持一定的距离，一方面要使液体顺利地流下，另一方面起到液封作用，以防止上升的气体沿降液管通过，这一高度通常为20~40 mm。

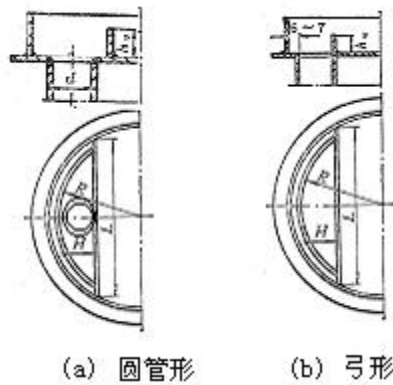


图2-62 降液管形式

三、其它部件

1.板式塔其它内件

板式塔内件除了塔盘组件外，还有进料口、塔顶破沫网、塔底防涡器等组件。

(1) 进料口

板式塔的进料有液体、气体和气液混合物。对于液体，进料口可直接设进料板，板上最好有进口堰装置，使液体能均匀地通过塔盘，并可避免由于进料泵及控制阀波动所引起的影响，图2-63为液体进料常用的可拆接管型式。对于气体，进料口可安装在塔盘间的气相空间，一般可将进料口做成斜切口形式(图2-64a)，或采用较大的管径使其流速降低，以达到使气体均匀分布的目的。图2-64b所示带泪孔喷射的气体进料口，使气体分布较均匀，常在大直径塔上采用。对于气液混合物，由于流动速度较高，对塔壁的冲蚀及振动较剧烈，同时为使气液较好的分离，故常采用带螺旋导板的切线进料口(图2-65)。

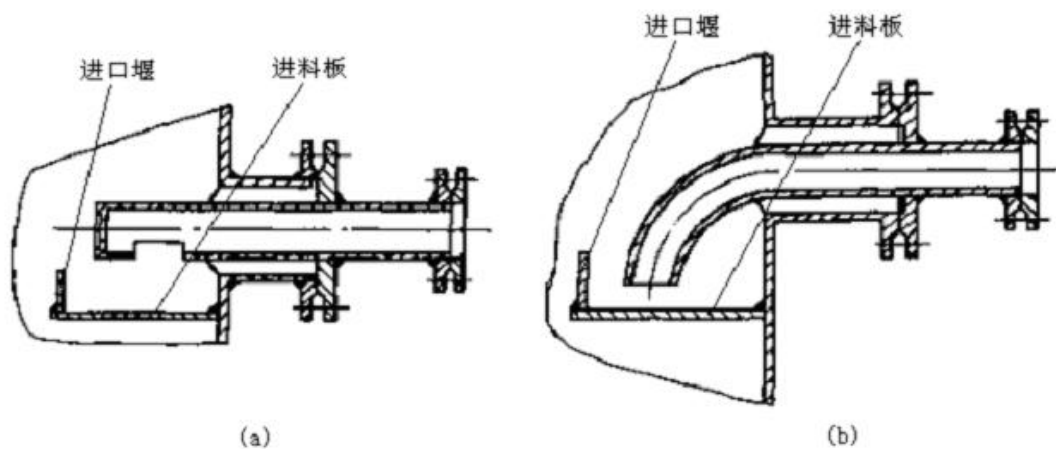


图2-63 液体进料口

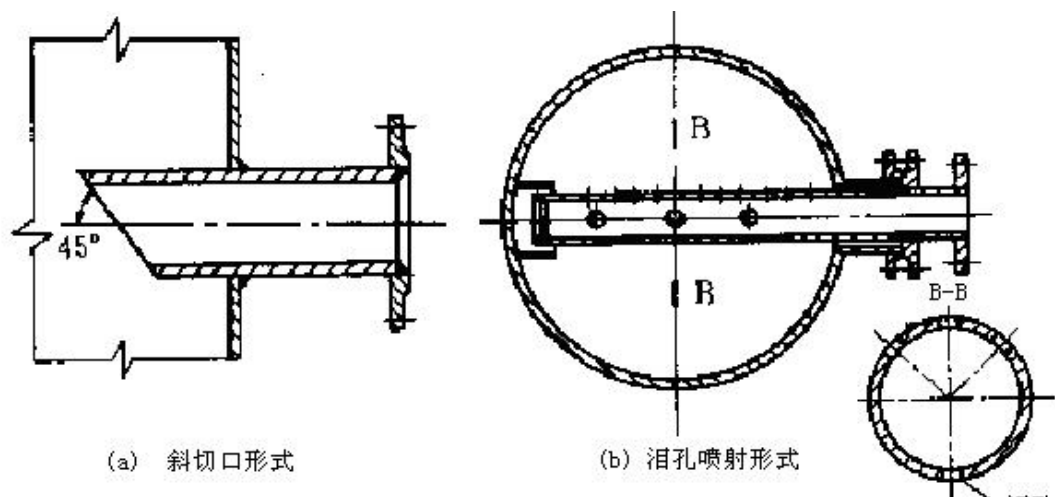


图2-64 气体进料口

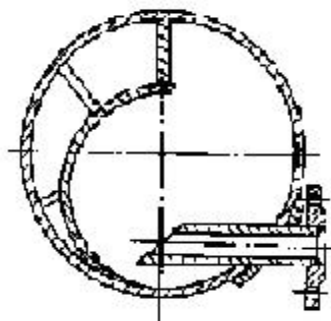


图2-65 气液混合进料口

(2) 塔顶破沫网

如图2-66，当带液滴的气体经过破沫网时，液滴附着于丝网上被分离出来，避免被上升的气体带走，从而提高塔顶馏出产品的质量。

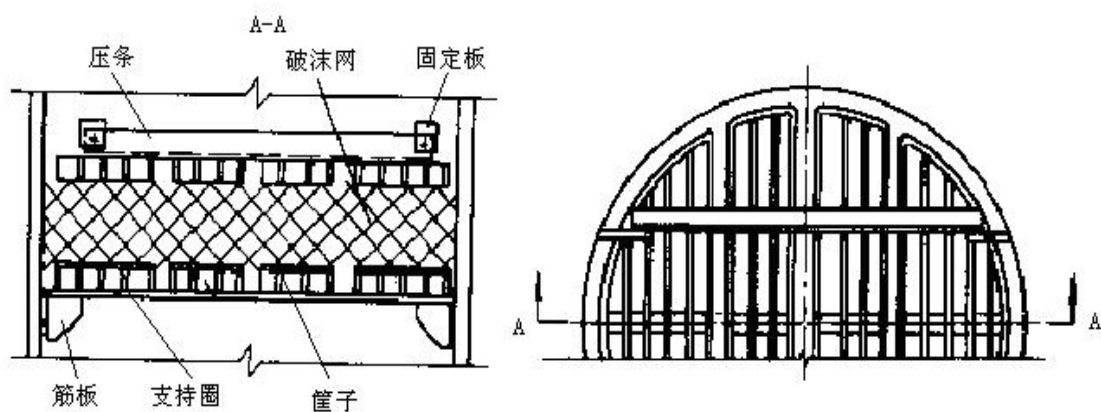
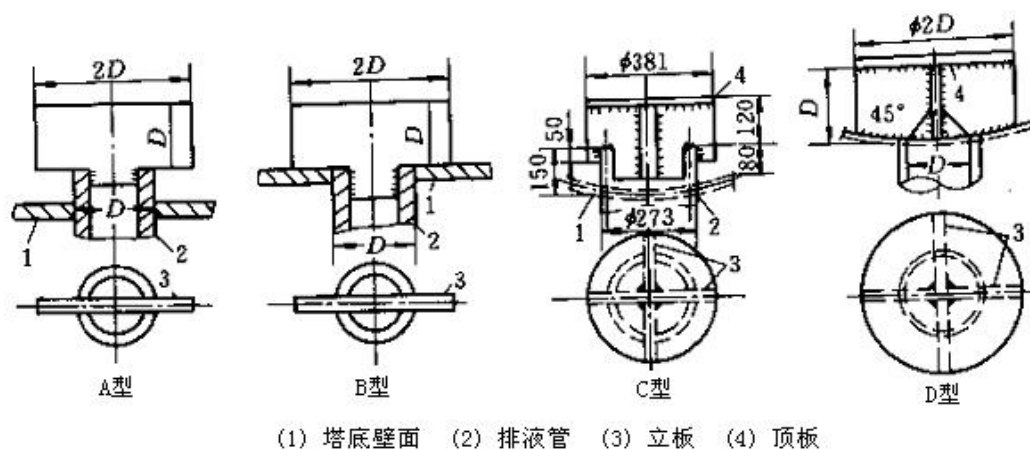


图2-66塔顶破沫网

(3) 塔底防涡器

塔底液体流出时，若带有漩涡，就会将油气带入泵内而使泵发生抽空，所以在塔底装有防涡器，其结构如图2-67所示，其中A型可防止沉淀物吸入泵内，B

型用于净物料，排液管DN>150mm者，可用C、D型。



(1) 塔底壁面 (2) 排液管 (3) 立板 (4) 顶板

图2-67 塔底防涡器

第三节 填料塔

填料塔具有结构简单、压力降小等优点。在处理容易产生泡沫的物料以及用于真空操作时，有其独特的优越性。过去，由于填料及塔内件的不完善，填料塔大多局限于处理腐蚀性介质或不宜安装塔板的小直径塔；近年来，由于填料结构的改进，新型的高效、高负荷填料的开发，既提高了塔的通过能力和分离效率，又保持了压力降小及性能稳定的特点，因此填料塔已被推广到大型气液操作中，在许多场合下代替了传统的板式塔。

一、填料

填料是填料塔气液接触的元件，正确地选择填料，对塔的经济效益有着重要的影响。自填料塔工业应用以来，填料的结构形式有了重大的改进，到目前为止，各种形式、各种规格的填料已有几百种之多。

填料可分为乱堆填料和规整填料两大类：

1. 乱堆填料

(1) 环形填料

拉西环是最早出现的填料，是一个外径和高度相等的空心圆柱体(图2-68)，可用陶瓷、金属、塑料等材料制造。这种填料结构简单，易于制造，但在随机堆砌时易在外表面间形成积液池，使池内液体滞止，成为死区，影响其通过能力及传质效率。

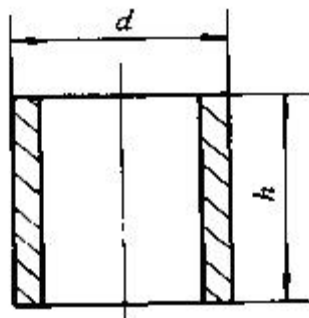


图2-68 拉西环填料

鲍尔环是目前工业上应用最为广泛的填料之一。它也是外径和高度相等的空心圆柱体(图2-69)，不同的是在圆柱侧壁上冲出上、下两层交错排列的矩形小窗，冲出的叶片一端连在环壁上，其余部分弯入环内，围聚于环心。鲍尔环一般用金属或塑料制造。装填入塔的鲍尔环，无论其方位如何，淋洒到填料上的液体，有的沿外壁流动，有的穿过小窗流向内壁，有的沿叶片流向中心。这样，液体分散度增大，填料内表面的利用率提高。弯向环心的叶片增大了气体的湍动程度，交错开窗缩小了相邻填料间的滞止死区，因此，鲍尔环的气液分布较拉西环均匀，两相接触面积增大。此外，鲍尔环在较宽的气速范围内，能保持一恒定的传质效率，特别适用于真空蒸馏的操作。

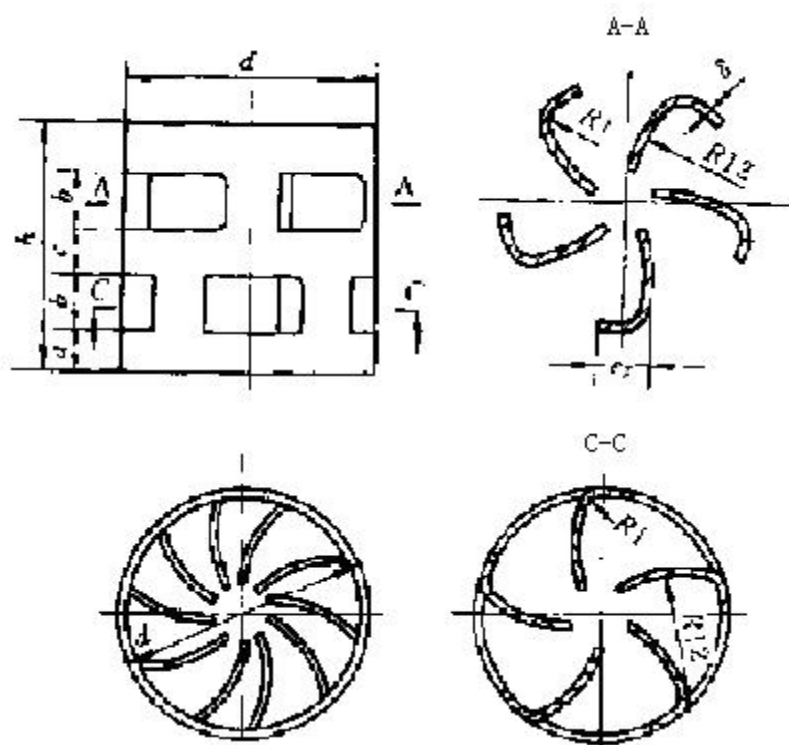


图2-69 金属鲍尔环结构

阶梯环可用金属、塑料、陶瓷制造，塑料阶梯环有两种结构：米字筋阶梯环和井字筋阶梯环，见图2-70。阶梯环的特点在于其一端具有锥形扩口。扩口的主要作用在于改善填料在塔内的堆砌状况。由于其形状不对称，使填料之间基本上为点接触，增大了相邻填料间的空隙，消除了产生积液池的条件。

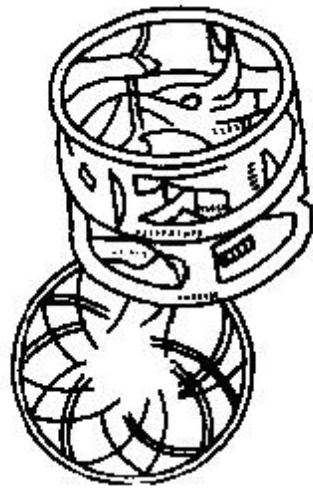


图2-70 塑料阶梯环结构

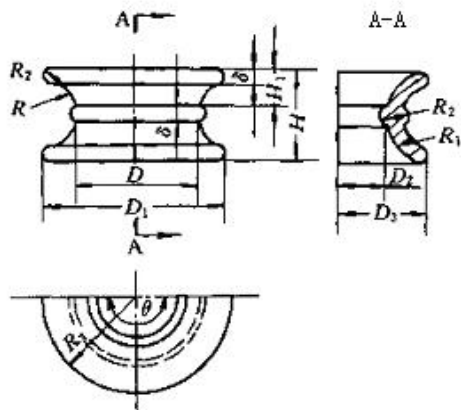


图2-71 弧鞍填料

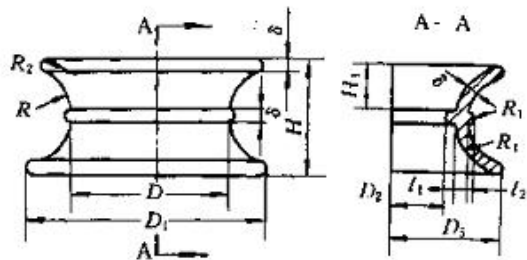
(2) 鞍形填料

弧鞍填料(图2-71)为对称开式弧状结构，一般用陶瓷制造，目前工业上已很少使用。

矩鞍填料(图2-78)一般用陶瓷或塑料制造，有效地克服了弧鞍填料重叠堆积的缺点，是目前工业上应用最广的乱堆填料之一。



(a) 陶瓷矩鞍填料



(b) 塑料矩鞍填料

图2-78 矩鞍填料结构

(3) 鞍环填料。

鞍环填料(图2-79)用薄金属板冲压而成,其特点是既保存了鞍形填料的弧形结构,又具有鲍尔环的环形结构和内弯叶片的小窗,且填料的刚度比鲍尔环高。鞍环填料能保证全部表面的有效利用,并增加流体的湍动程度,具有良好的液体再分布性能。因此,它有通过能力大、压力降低、滞液量小、容积质量轻,以及填料层结构均匀等优点,特别适用于真空蒸馏。

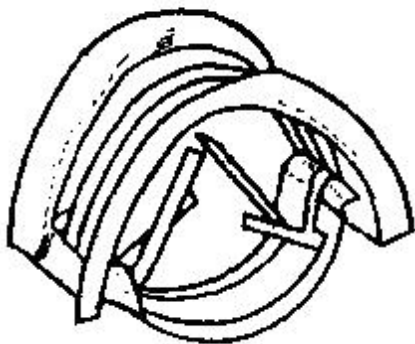


图2-79 金属鞍环填料



图2-80 波网填料

2. 规整填料

(1) 丝网波纹填料(图2-80)由若干平行直立放置的波网片组成,网片的波纹方向与塔轴线成一定的倾斜角(一般为 30° 或 45°),相邻网片的波纹倾斜方向相反。组装在一起的网片周围用带状丝圈箍住,构成一个圆柱形的填料盘。填料盘的直径略小于塔内径,填料装填入塔时,上、下两盘填料的网片方向互成 90° 。

丝网波纹填料是用丝网制成的,它质地细薄、结构紧凑、组装规整,因而空隙率及比表面积均较大,而且丝网的细密网孔对液体有毛细管作用,少量液体即可在丝网表面形成均匀的液膜,因而填料的表面润湿率很高。

操作时,液体沿丝网表面以曲折路径向下流动,并均布于填料表面。气体在两网片间的交叉通道内流动,故气、液两相在流动过程中不断地有规律地转向,从而获得较好的横向混合,这就使得在塔的水平截面上,在两网片之间的横向均匀性较好。又因上、下两盘填料互转 90° ,故每通过一盘填料,气液两相就作一次再分布,从而进一步促进了气液的均布。由于填料层内气液分布均匀,故放大效应不明显,这是波纹填料最重要的特点,也是波纹填料能用于大型填料塔的重要原因。

丝网波纹填料可用金属丝和塑料丝制成。目前使用的金属丝有不锈钢、黄铜、

磷青铜、碳钢、镍、蒙乃尔合金等；塑料丝网材料有聚丙烯、聚丙烯腈、聚四氟乙烯等。

(2) 板波纹填料。由于丝网波纹填料价格较高，容易堵塞，因此，发展了板波纹填料。它的价格较低，刚度大，且可以用金属、陶瓷及塑料等多种材料制成。其结构与波网填料结构相同，只是用波纹板代替波纹丝网。

二、液体分布装置

填料塔操作时，在任一横截面上保证气液的均匀分布十分重要。气速的均匀分布，主要取决于液体分布的均匀程度，因此液体在塔顶的初始均匀分布，是保证填料塔达到预期分离效果的重要条件。液体分布装置的典型结构有以下几种：

1. 多孔型布液装置

(1)排管式布液器(图2-81)。液体由水平管的一侧(或两侧)引入，通过支管上的小孔向填料层喷淋。

(2)环管式布液器(图2-82)。按照塔径及液体均布要求，可分别采用单环管或多环管布液器，其小孔直径为 $\Phi 3-8\text{mm}$ ，最外层环管的中心圆直径一般取塔内径的 $0.6\sim 0.85$ 。

(3)莲蓬头布液器(图2-83)。优点是结构简单，制造、安装方便；主要缺点是小孔容易堵塞，不适于处理污浊液体。操作时液体的压力必须维持在规定数值，否则喷淋半径改变，不能保证预定的分布情况。这种喷洒器一般用于塔径小于 600mm 的塔中。

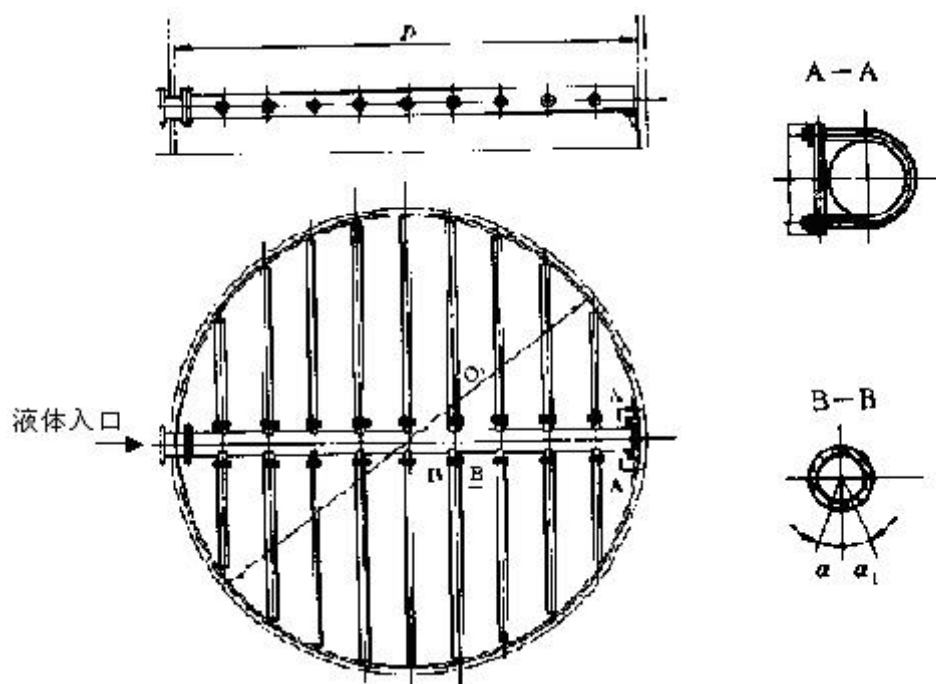


图2-81 水平引入管的排管式布液器

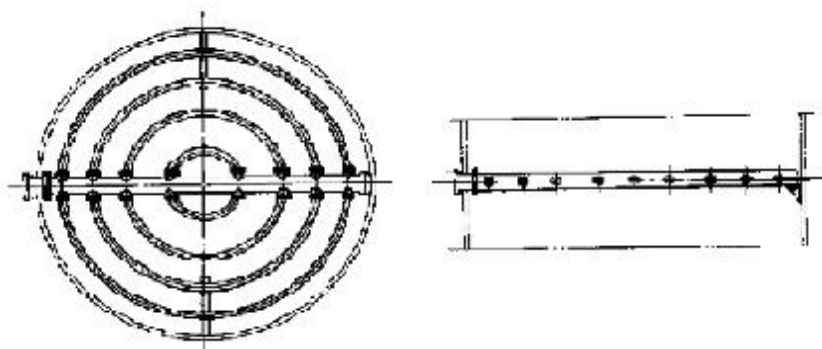


图2-82 多环管布液器

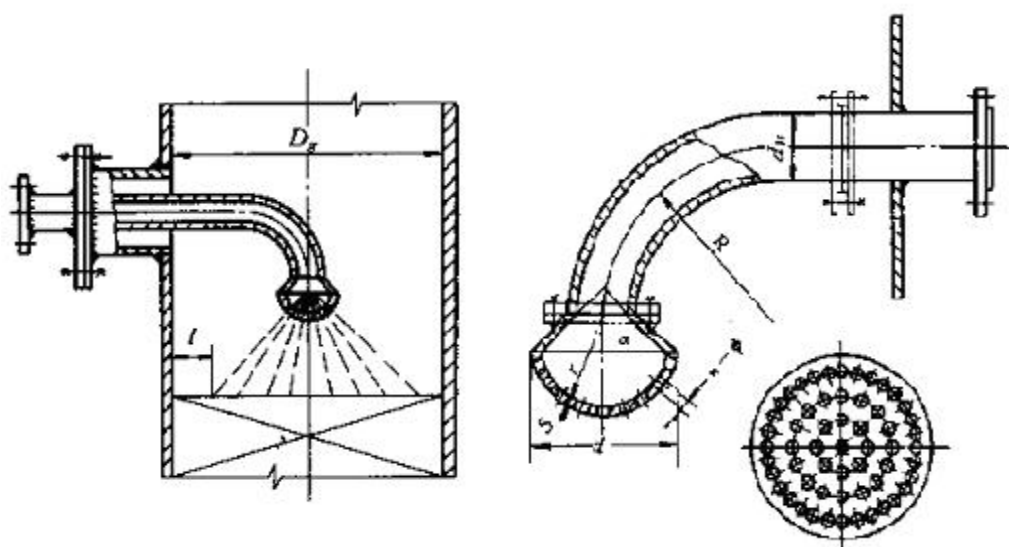


图2-83 莲蓬头布液器

2. 溢流型布液装置

溢流型布液装置是目前广泛应用的分布器，持别适用于大型填料塔。它的优点是操作弹性大、不易堵塞、操作可靠和便于分块安装等。溢流型布液器的工作原理与多孔型不同，进入布液器的液体超过堰口高度时，液体通过堰口流出，并沿着溢流管(槽)壁呈膜状流下，淋洒至填料层上。

(1)溢流盘式。溢流盘式布液器(图2-84)由底板、溢流升气管及围环等组成。为了增加溢流管的溢流量及降低安装水平度的敏感性，在每个溢流管上开有三角形缺口，同时要求管于下缘突出分布板，以防止液体偏流。溢流管可按正三角形或正方形排列，分布板上应有 $\Phi 3\text{mm}$ 的泪孔供停工时排液。溢流盘式布液器可用金属、塑料或陶瓷制造。分布盘内径约为塔内径的 $0.8\sim 0.85$ ，适用于塔径小于 1200 mm 、气液负荷较小的塔。

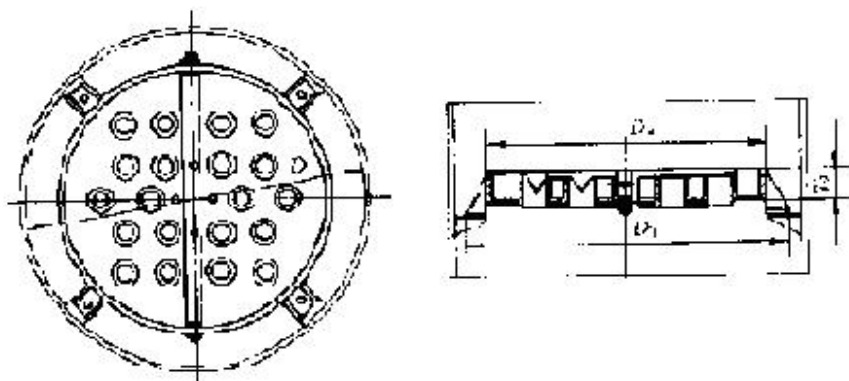


图2-84 溢流盘式布液器

(2)齿槽式。当塔径大于 3000 mm 时，因盘式分布板上的液面落差较大，影响液体的均匀分布，此时可采用齿槽式分布器(图2-85)。液体先加入顶槽，再由顶槽流入下面的分布槽内，然后再由分布槽的开口处淋洒在填料上。分布槽的开口可以是矩形或三角形，这种分布器自由截面积大，工作可靠。

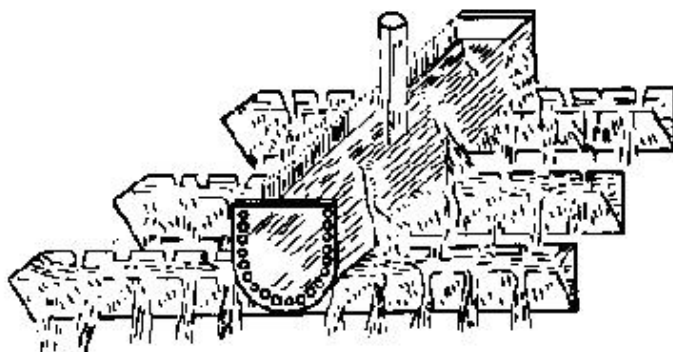


图2-85 齿槽式布液器

3. 冲击型布液装置

反射板式布液器是其中的一种，它是利用液流冲击反射板(可以是平板、凸板或锥形板)的反射飞溅作用而分布液体，如图2-86所示。最简单的结构为平板，液体顺中心管流下，冲击分散为液滴并向各方飞溅。反射板中央钻有小孔使液体得以喷射填料的中央部分。为了使飞溅更为均匀，可由几个反射板组成宝塔式喷淋器，如图2-87所示。宝塔式喷淋器的优点是喷淋的优点是喷洒半径大(可达3000 mm)，液体流量大，结构简单，不易堵塞。缺点是当改变液体流量或压头时要影响喷淋半径，因此必须在恒定条件下操作。

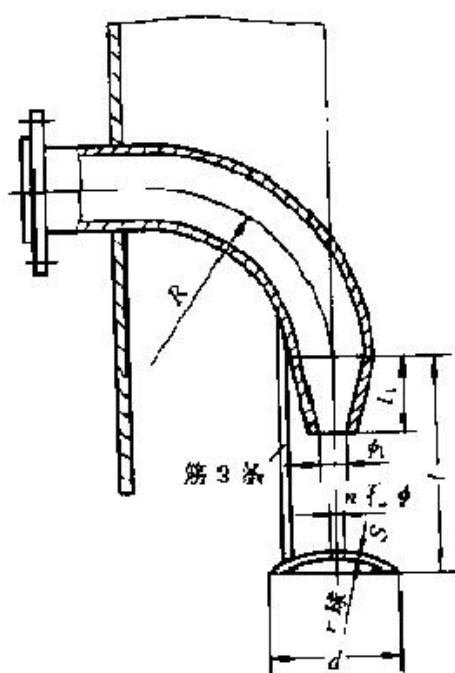


图2-86 反射板式喷淋器

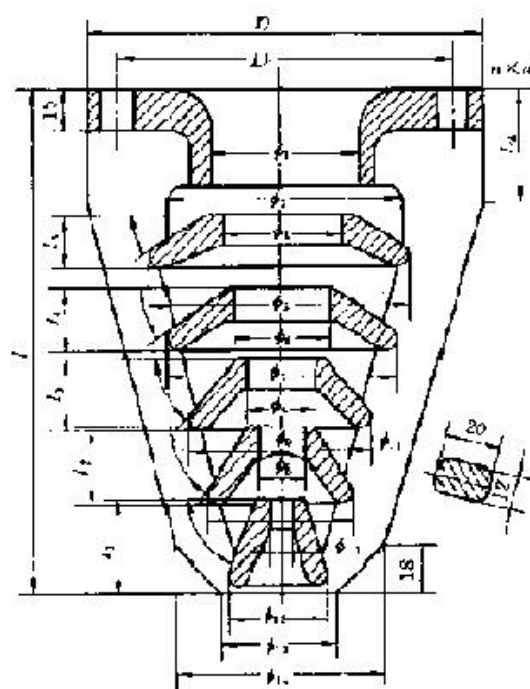


图2-87 宝塔式喷淋器

4. 液体再分布装置

液体沿填料层向下流动时，由于周边液体向下流动的阻力较小，有逐渐向塔壁方向流动的趋势，即有“壁流”倾向，使液体沿塔截面分布不均匀，降低传质效率严重时使塔中心的填料能被润湿而形成“干锥”。为了克服这种现象，须设置液体再分布器。其作用是流经一段填料层的液体进行再分布，在下一填料层高度内得到均匀喷淋。

液体再分布装置的结构形式有分配锥，如图2-88所示。它的结构简单，适用于直径小于1000 mm的塔。锥壳下端直径为0.7~0.8倍塔径。除分配锥外还有槽形液体再分布器（如图2-89所示），它是由焊在塔壁上的环形槽构成，槽上带有

3—4根管子，沿塔壁流下的液体通过管子流到塔的中央。另外还有带通孔的分配锥，如图2-90所示。图中的通孔是为了增加气体通过时的截面积，避免中心气体的流速太大。

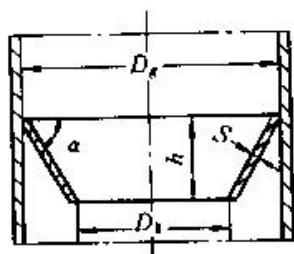


图2-88 分配锥

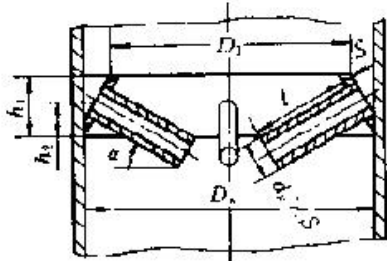


图2-89 槽型再分配器

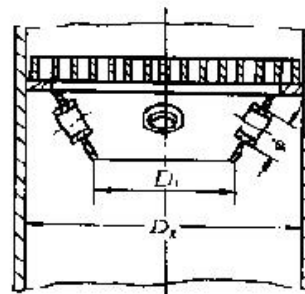


图2-90 带通孔的分配锥

第四节 塔外件

塔的外部构件主要有筒体、封头、人孔、梯子平台、裙座和保温层等。

一、筒体

一般是钢板卷焊制成，其直径随处理量及操作条件而异。炼油厂的分馏塔直径一般在1000mm至6000mm之间，最大可达10000mm以上，塔的高度主要取决于对分馏产品的要求，并与塔盘类型、塔盘间距及塔盘数有关，最高已超过100 m。减压塔承受外压，为保证壳体的稳定性，一般在筒体内部或外部沿塔高每隔一段距离设置一个加强圈，加强圈常用型钢制造，与塔体间断地焊接在一起。常用的材质为Q345R、Q245R等，对于腐蚀性介质则采用内壁堆焊不锈钢或采用不锈钢复合板。

二、封头

封头也叫头盖，一般多采用椭圆封头或蝶型封头，对于塔径较大的设备，则用分片冲压成型的球瓣组焊成球形封头。

三、人孔

为安装、检修方便，应开有人孔，人孔的尺寸一般为 $\phi 450 \sim \phi 900\text{mm}$ ，人孔的设置应与降液管和降液盘错开，人孔之间的距离约为5~6层塔盘。

四、塔壁保温层

为减少塔的热损失，用高绝热、小比重的保温材料如玻璃棉、硅酸铝、保温砖等对塔体进行保温，外面用铁皮包扎作为保护层。

五、梯子平台

梯子平台通常两者连在一起，供操作通行和检修用，其支撑有的是直接焊在塔壁上，有的则是单独设置支撑体。

第九章 换热设备

第一节 换热设备的分类及工作原理

一、换热设备的分类

将一温度高的热流体的热量传给另一温度低的冷流体的设备叫换热设备。两种温度不同的流体通过热交换,使一种流体降温而另一种流体升温,以满足生产工艺要求。

(1)按用途可分为:加热器、冷却器、冷凝器和重沸器。用于加热物料的叫加热器;用水等冷却液来冷却物料的叫冷却器;热的流体是气态,经过换热后被冷凝成液态的称为冷凝器;一种液体被加热蒸发而成为气态的叫重沸器(再沸器)。

(2)按换热方式可分为:间壁式换热器、蓄热式换热器和混合式换热器。间壁式换热器的特点是冷热两种流体之间用金属或非金属隔开,使两种流体介质在不相混合的情况下进行传热,这是用得最广泛的一种;蓄热式换热器是冷热两种流体介质依次通过,并分别与蓄热器内的固体填充物进行换热的设备;混合式换热器,其特点是冷热流体通过直接混合进行换热。

(3)按间壁结构可分为:管式换热器和板式换热器。管式换热器的传热面由管子表面构成,即冷热流体之间以管壁做间壁,如管壳式、套管式、水浸式换热器和空冷器等;板式换热器的传热面为板面,即冷热流体之间以板做间壁,如螺旋板式、平板式换热器等。

换热设备的常用材料主要是钢材,其次是铝、铜等,也有一些是用非金属材料制造的,如石墨、聚四氟乙烯等,它们大多具有耐高温或低温及耐腐蚀等特殊性能。

二、换热设备的工作原理

热量从高温物体传送给低温物体称为传热,传热方式有三种:传导、对流和辐射。在换热设备中主要是以传导和对流两种方式进行换热的,如图2-101所示,热流体(温度 T_1)先以对流传热方式将热量 Q 传到管(板)壁的一侧(温度为 T_2),再以热传导方式将热量传过管(板)壁(温度由 T_2 变成 T_3),最后管(板)壁另一侧又将热

量以对流传热方式传给冷流体(温度为 T_1)。

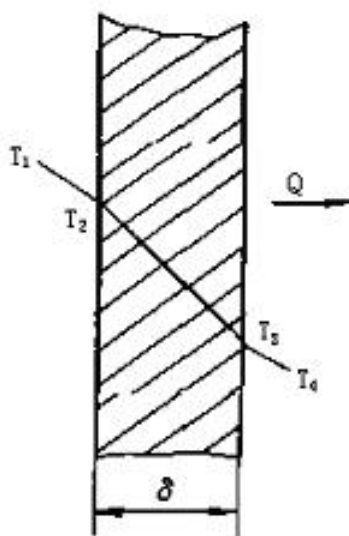


图2-101 经过管壁的传热

上述过程的换热量可表示为：

$$Q=K \cdot A \cdot (T_1-T_4)$$

式中：

Q ---热负荷，表示换热器单位小时传递的热量kW；

A ---传热表面积， m^2 ；

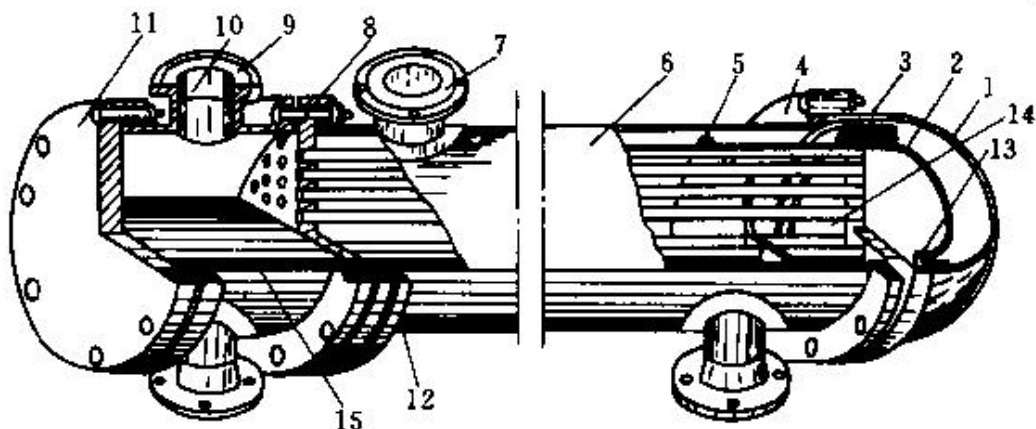
T_1-T_4 ---总传热温差， $^{\circ}C$ ；

K ---总传热系数，表示冷热流体温差为 $1^{\circ}C$ ，单位小时内穿过 $1m^2$ 的管(板)壁面积所传递的热量，它是一个与流体的性质、流速、管(板)材料、管(板)壁结垢情况及流体状态有关的量， $kW / m^2 \cdot ^{\circ}C$ 。

第二节 管壳式换热器

一、管壳式换热器的结构类型

管壳式换热器也叫列管式换热器，它是将胀接(或焊接)在管板上的管束安装于圆筒形壳体内，形成管程和壳程。见图2-102，一种流体(设为高温载体)由管程进口进入管箱，沿管束的管内流动再经过管箱由管程出口排出；另一种流体(设为低温热载体)由壳程进口进入，穿过装满管束的壳体空间经壳程出口排出，两种流体在换热器内通过管束的管壁传送热量。



1—头盖;2—浮头;3—浮头压圈;4—法兰;5—折流板;6—壳体;7—壳程进出口接管;8—固定端管板;
9—管程进出口接管;10—管箱;11—管箱盖;12、13—法兰;14—浮动端管板;15—隔板

图2-102 管壳式换热器典型结构（浮头式）

按照管壳式换热器的结构特点分为以下几种类型：

(1)固定管板式换热器：如图2-103(a)所示，两端管板均与壳体固定在一起，结构简单，造价低，但当管子与壳体温差很大时，由于各自的膨胀量不同会产生较大的热应力，甚至会破坏管子与管板的连接造成泄漏，所以它适用于冷热流体的平均温差不超过 $60^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的场合。如图2-103(b)，则是带热膨胀节的改进型固定管板式换热器，在壳体上装有波形膨胀节，可补偿部分热膨胀量，以减少由于管、壳程温差引起的热应力，但当波形膨胀节管壁较厚时，作用不明显，所以这种形式的换热器主要用于管、壳程流体温差较大、压力较低(如壳程压力小于 $0.6\sim 1.0\text{ MPa}$)的场合。由于固定管板式换热器的壳程无法进行机械清洗，所以要求壳程流体不易结垢或沉淀。

(2)浮头式换热器：如图2-103(c)所示，管束一端的管板与壳体固定在一起，另一端（浮头）可在壳体内自由滑动，这样就不受冷热流体温差限制。此外，检修时整个管束可以从壳体抽出，清洗和换管较方便，对流体也没有限制。浮头式换热器比固定管板式换热器结构复杂，而且增加了重量和造价，但由于炼油厂中换热过程大多是在较高温差和压力下进行的，故浮头式换热器被广泛应用。

(3) U形管式换热器：如图2-103(d)所示，管束的管子弯曲成U形，两端固定在同一管板上，这样管子可以自由膨胀，也可以从壳体内抽出，便于清洗，但管子内壁在U形弯头处不易清洗，管子更换困难。它主要用于管内流体压力较高，且流体清洁的场合。

图4-3 管壳式换热器的类型

(c) 浮头式

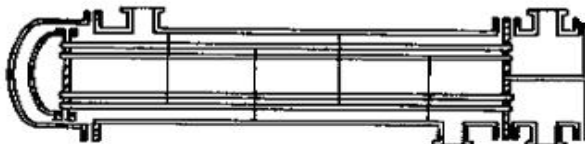


图2 103 管壳式换热器的类型

二、管壳式换热器的结构特征

1. 管子与管板

管子与管板的连接形式有三种——胀接、焊接和胀焊联合连接。胀接法工艺较简单，管子更换和修补方便，但严密性较差，适用于管、壳程压差不大的场合；当管子与管板连接紧密性有严格要求时，可采用焊接连接，由于焊接工艺简单，在换热器制造中所占比重日益增加，其缺点是产生焊接应力，管板孔与管子可能存在裂缝和间隙，易引起应力腐蚀等；对高温高压换热器可采用胀焊联合的方法，该方法不仅能提高连接强度，还可以避免应力腐蚀和间隙腐蚀，提高使用寿命，目前这种方法被广泛采用。

管子在管板上的排列方式有三角形排列和正方形排列。如图2-104所示，三角形排列可在一定的管板面积上排列最多的管数，使用较普遍，但三角形排列管外直通道太窄，无法采用机械清洗；在壳程需要进行机械清洗的场合，则采用正方形排列，若管心距取的小，换热器结构紧凑，壳程流速高，则有利于传热，但间距太小，管板强度下降，且管外清洗不便。

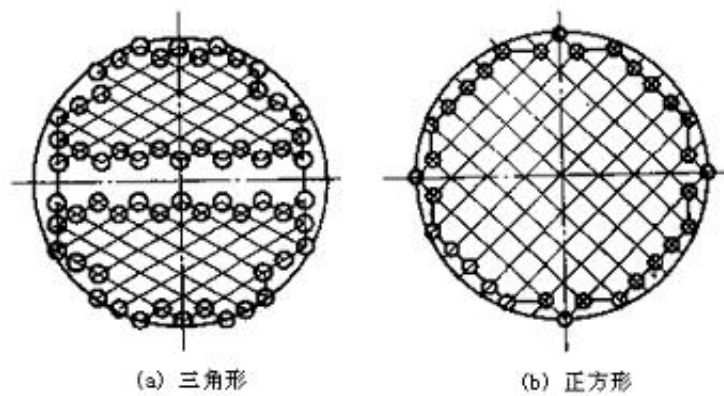


图2 104 管子排列方式

2. 管板与壳体

管板与壳体的连接与换热器的形状有关，分可拆和不可拆两大类。固定管板式换热器的管板兼做法兰，与壳程筒体采用不可拆的焊接连接（图10-5a）；浮头式、U形管式换热器的固定端管板被夹持在壳体法兰和管箱法兰之间，是可拆连接（图2-105b、c、d），因此，浮头式、U形管式换热器的管束可以抽出进行清洗和检修。各结构的密封形式可根据使用压力、温度、介质特性、气密性要求等条件决定。

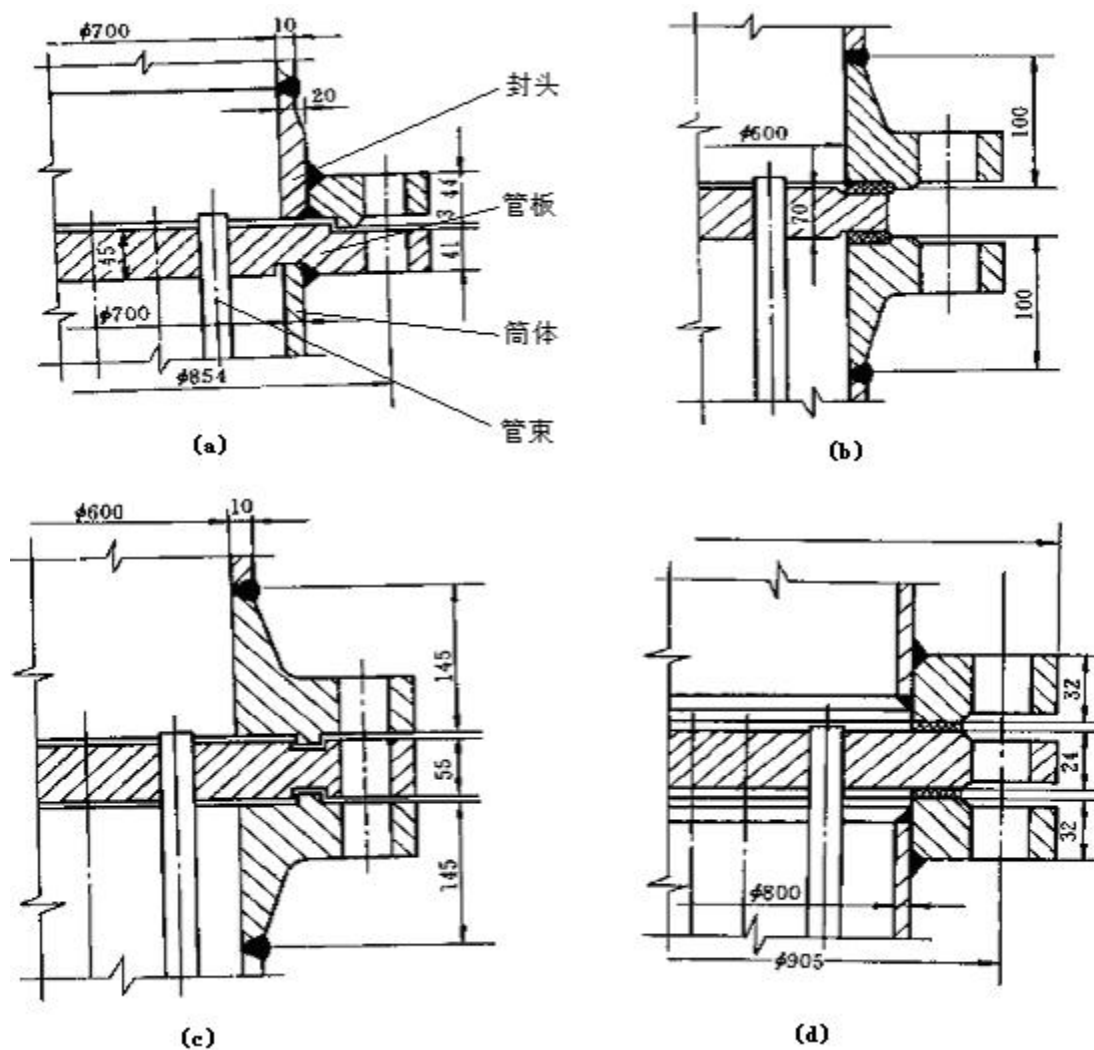


图2-105 管板与壳体连接结构

3. 管束分程

所谓管程分程，即在换热器的管箱内设置隔板，将全部管子平均分隔成若干组，使流体在管内依次往返多次，从而提高管程流体的流速，以达到改善传热效果的目的。通常把流体在管束内由管箱到另一端(如浮头)，或由另一端到管箱的流动次数叫管程数。如果管程数太多，导致平均温差会太低，反而不利于传热过程的进行，另外流体阻力也会增加，所以一般管程数为2、4、6。分程隔板的布置方法有平行布置法和T形布置法，见图2-106

	程数						
	1	2	4	6	8		
流动程序							
管箱隔板							
介质返回侧隔板							

图2-106 分程隔板的布置

4. 折流板

壳程的横截面积一般比管程的横截面积大，为增加流速，并使流体垂直于管子流过，通常在壳程设置折流板，这不仅提高了传热效果，也起到了支撑管束的作用。折流板有弓形和圆环形，以前者应用居多，折流板间距为壳体内径的0.2~1倍之间，如图2-107所示。在大直径的换热器中，如折流板的间距较大，在折流板背向流动侧并接近壳体处，往往会造成液体停滞，形成对传热不利的“死区”。为消除这一缺陷，可采用双弓形折流板。此时流体分为两股流动，当流体在折流板之间垂直于管子的流速相同时，其间距只是单弓形的一半，不仅减少了死区，还有利于防止流体诱发的振动。同理，还可采用三重弓形折流板。

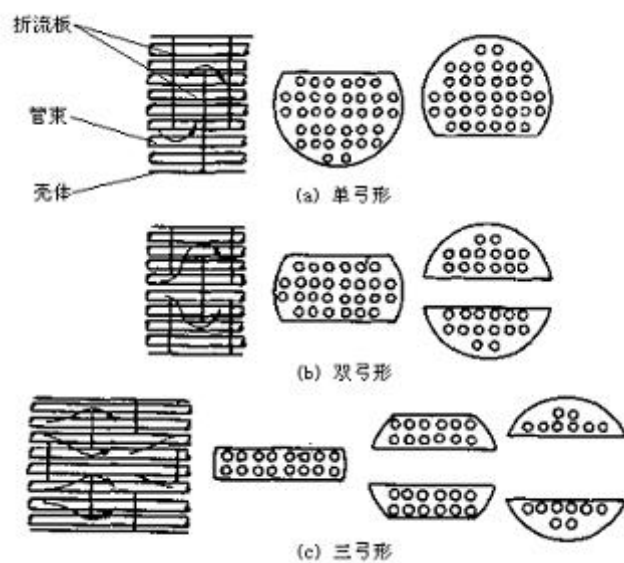


图2-107 弓形折流板

5. 浮头结构

浮头是浮头式换热器的热补偿结构，它由浮头管板、浮头端盖和两个半圆形压圈(钩圈)组成。浮头和换热器壳体分开，故管束可以自由胀缩并可抽出，由此避免了管束和壳体因温差产生的热应力。浮头处于壳程介质中，为保证管程和壳程两种介质隔离，因此要求浮头处的密封结构工作可靠。不同的浮头结构见图2-108。

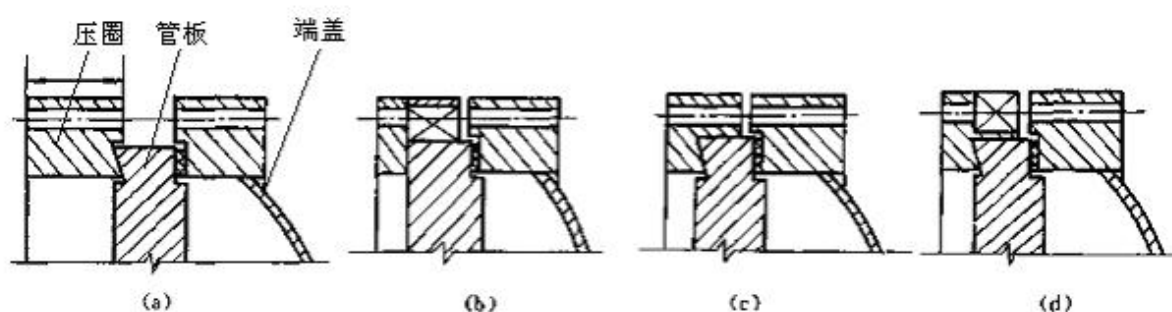


图2 -108 种浮头结构

第三节 空气冷却器

一、分类

空气冷却器又称空冷器，通常按以下几种形式进行分类：

- (1)按管束布置方式：立式、水平式、斜顶式(人字式，A形)、V形、圆环式、多边形；
- (2)按通风方式：鼓风式、引风式和自然通风式；
- (3)按冷却方式：干式空冷、湿式空冷(包括增湿型、喷雾蒸发型、湿面型)、联合型；
- (4)按防寒方式：热风内循环式、热风外循环式、蒸汽伴热式。

图2-109为最常用的鼓风式、引风式和斜顶式空冷器示意：

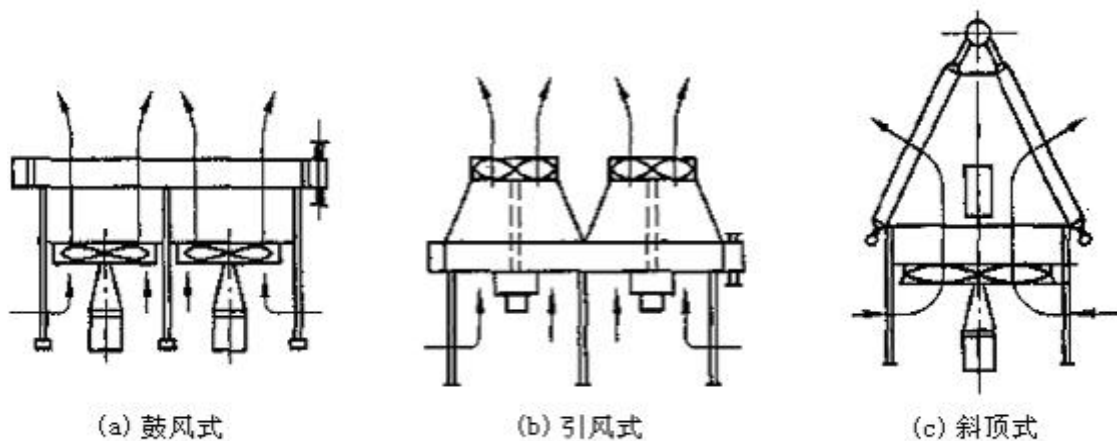


图2-109 典型空冷示意图

水平式空冷器的特点是管束为水平布置，用作冷凝器时，为防止冷凝液滞留在管内，管子有 3° 或 1° 的倾斜，管束长度不受限制，管内热流体和管外空气分布比较均匀。适用于多元组合，宜建在场地宽敞和新建的炼油厂。

斜顶式空冷器的特点是管束倾斜呈人字形放置，夹角一般为 60° ，占地面积少，为水平式的40%左右，结构紧凑。但管内介质和管外空气分布不够均匀，易形成热风再循环，而且建造成本高。它适用于干-湿联合式空冷器，用在装置改造和场地较小的场合，特别运用于汽轮机空冷凝汽器。

二、空冷器的基本结构

一台空冷器的基本结构如图2-110所示，基本部件包括：

- (1)管束：包括管箱、换热管、管束侧梁及支持梁等；
- (2)风机：包括轮毂、叶片、支架及电机等；
- (3)构架：用于支撑管束、风机、百叶窗及其附属件的钢结构；
- (4)风箱：用于导流空气的组装件；
- (5)百叶窗：包括窗叶、调节机构及百叶窗侧梁等；
- (6)附件：如蒸汽盘管、梯子、平台等。

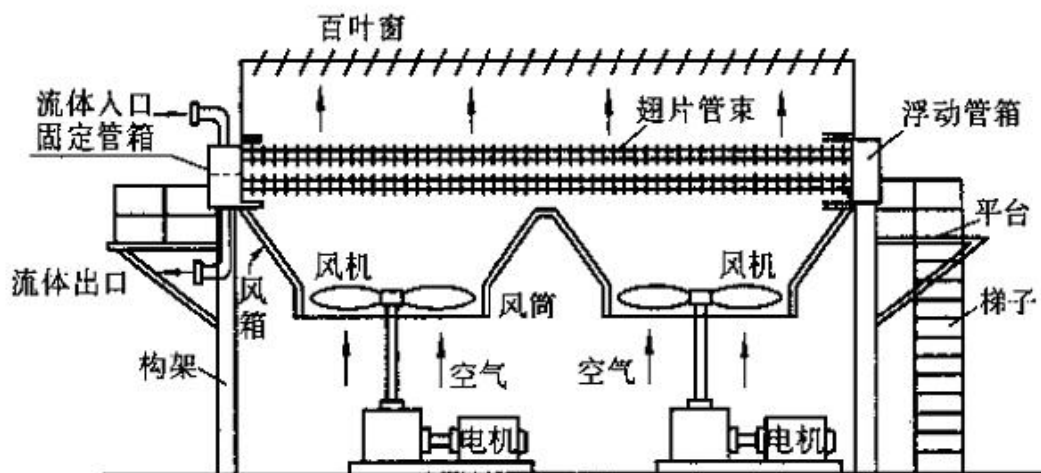


图2-110 空冷器的基本结构

三、空冷风机

风机由叶片、轮毂、支架及电机等组成，空冷器风机的示意结构见图2-111。

风机在空冷器强化传热中起着关键的作用。由于空冷器需要的风量很大，而需要的压头却不大，所以空冷器风机采用低压轴流风机，自动调角风机还有一套比较复杂的自调机构，用于风速的适应性调节。

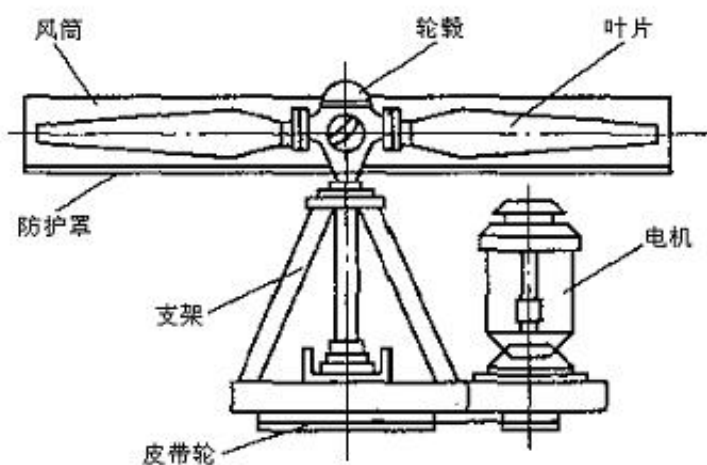


图2-111 风机结构示意图

风机已标准化，一般标准直径为2.5~9.14M，每台风机的叶片数为4~12枚，以4~6枚为居多，叶片角调节范围为0~45°，风机叶片角度有手调和自调两种。为了控制风机的噪声，风机叶梢速度不得超过60m/s。

风机驱动机构一般采用电机，动力传送方式主要是三角皮带、伞型齿轮。

第十章 管式加热炉

第一节 管式加热炉的工作原理

管式加热炉一般由三个主要部分组成：辐射室、对流室及烟囱，图2-112是一典型的圆筒炉示意图。

炉底的油气联合燃烧器(火嘴)喷出高达几米的火焰，温度高达 $1000\sim 1500^{\circ}\text{C}$ ，主要以辐射传热的方式，将大部分热量传给辐射室(又叫炉膛)炉管(也叫辐射管)内流动的油品。烟气沿着辐射室上升到对流室，温度降到 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，以对流传热的方式继续将部分热量传给对流室炉管内流动着的油品，最后温度降至 $200\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。此后烟气再经过空气预热器，把余热传给火嘴燃烧用空气，最后温度降至 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，并从烟囱排入大气。油品先进入对流管再进入辐射管，不断吸收高温烟气传给的热量，逐步升高到所需要的温度。

辐射室(炉膛)是加热炉的核心部分，从火嘴喷出的燃料(油或气)在炉膛内燃烧，需要一定的空间才能燃烧完全，同时还要保证火焰不直接扑到炉管上，以防将炉管烧坏，所以辐射室的体积较大。由于火焰温度很高(最高处可达 $1500\sim 1800^{\circ}\text{C}$ 左右)，又不允许冲刷炉管，所以热量主要以辐射方式传送。在对流室内，烟气绕过炉管流动，以对流传热方式将热量传给管内油品，烟气冲刷炉管的速度越快，传热的能力越大，所以对流室窄而高些，排满炉管，且间距要尽量小。有时为增加对流管的受热表面积，以提高传热效率，还常采用钉头管和翅片管。在对流室还可以加几排蒸汽管，以充分利用蒸汽余热，产生过热蒸汽供生产使用。烟气离开对流室时还含有不少热量，可用空气预热器进行部分热量回收，使烟气温度降到 200°C 以下，再经烟囱排出。可利用烟囱的抽力直接将烟气排入大气，也可通过鼓风机或引风机以强制方式排入大气。由于抽力受烟气温度、大气温度变化的影响，要在烟道内加挡板进行控制，以保证炉膛内最合适的负压，一般要求负压为 $2\sim 3\text{mm}$ 水柱，这样既控制了辐射室的进风量，又使火焰不向火门外扑，确保操作安全。

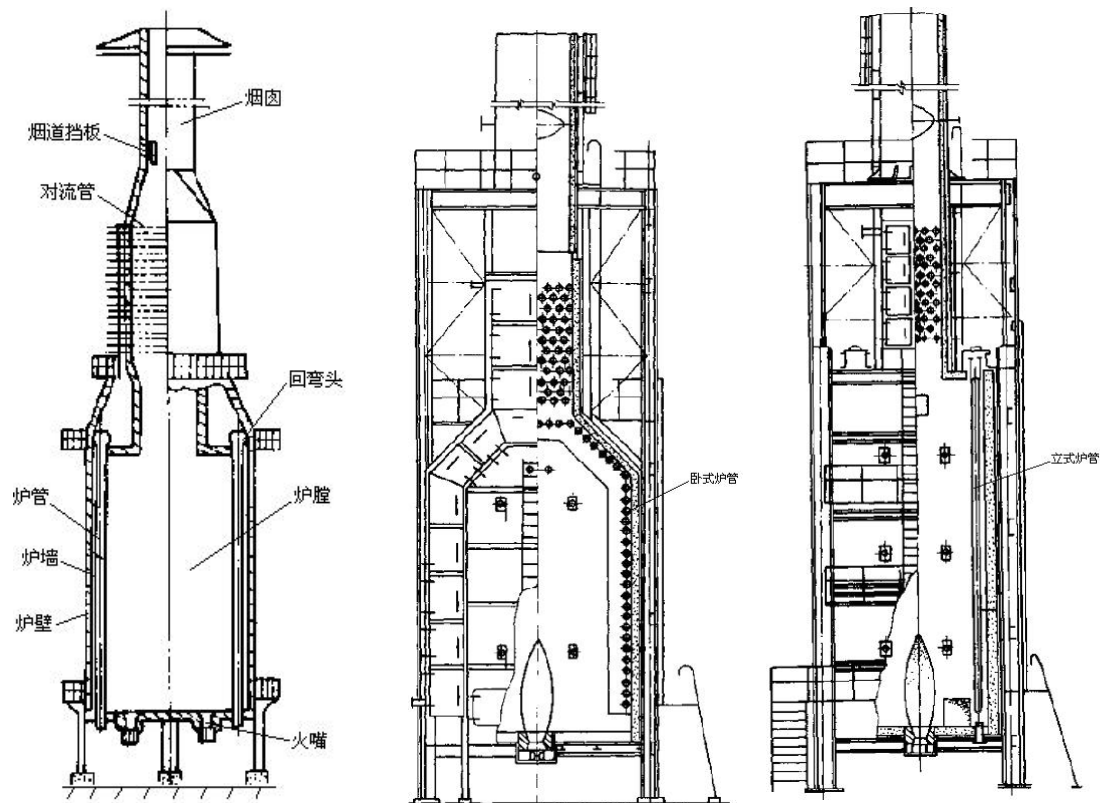


图2-112 管式加热炉结构示意图 图11-2 卧管立式炉 图11-3 立管立式炉

第二节 管式加热炉类型

炼油厂加热炉类型很多，按照管式加热炉的用途可分为纯加热炉和加热-反应炉，前者如常压炉、减压炉，原料在炉内只起到被加热的作用；后者如裂解炉、焦化炉，原料在炉内不仅被加热，同时还有足够的时间进行裂解和焦化反应。按照管式炉的结构又可分为立式炉、圆筒炉和无焰炉。

一、立式炉

立式炉炉膛为长方形箱体，炉管可水平放置或垂直放置，图11-2为卧管立式炉，图11-3为立管立式炉。卧管立式炉其辐射炉管沿炉壁横排，火焰垂直于炉管上烧，炉膛较窄，对流室置于辐射室之上，长度与辐射室相同，烟囱放在对流室顶部。这种炉的特点是炉管沿长度方向受热均匀，另外由于其辐射室高度低，故各辐射管间的受热也比较均匀。对流管较长对提高热效率比较有利，其缺点是为避免炉管发生过大的弯曲变形，要按一定间隔设置高合金炉管支架。立管立式炉的结构同卧管立式炉很相似，只是炉管改为立式，其主要优点是减少了炉管支架，

便于布置多管程，缺点是炉管沿管长受热不均匀，清扫困难。立式炉在热负荷较低时，投资高于圆筒炉，一般在热负荷较大时使用。

二、圆筒炉

圆筒炉炉膛为直立圆筒形(图11-4)，辐射管在圆筒形炉膛周围垂直地排列一周，方形对流室在炉膛上部，对流管分水平和直立设置两种。圆筒炉的特点是结构紧凑，造价较低。炉管立式排列，可采用上部吊管固定，节省了管架合金材料用量，但立式排列使得沿管长方向受热不均匀，距炉底1~5m处的管子表面热强度最高。从热负荷上看，圆筒炉通常用作中、小型加热炉，这是因为辐射管不能太长，加大炉膛直径又会使造价提高，圆筒炉的热效率偏低也使热负荷的提高受到限制。当热负荷大于2500万千卡/小时，要考虑选用立管立式炉。

三、无焰炉

无焰炉结构见图11-5，其外形和立式炉相似，主要特点是将无焰喷嘴沿炉膛侧墙均匀分布。由于无焰燃烧，炉膛体积可缩小，传热较均匀，辐射管热强度高(可达50000~60000千卡/米²·时)，传热较均匀。由于燃烧完全，过剩空气系数小，炉子热效率较高，此外还可按工艺要求来调节各处炉管的热强度。但这种无焰燃烧喷嘴目前只能烧气体燃料，另外炉墙结构也比较复杂、造价较高，国内主要用作焦化炉、高温制氢的转化炉及裂解炉等。

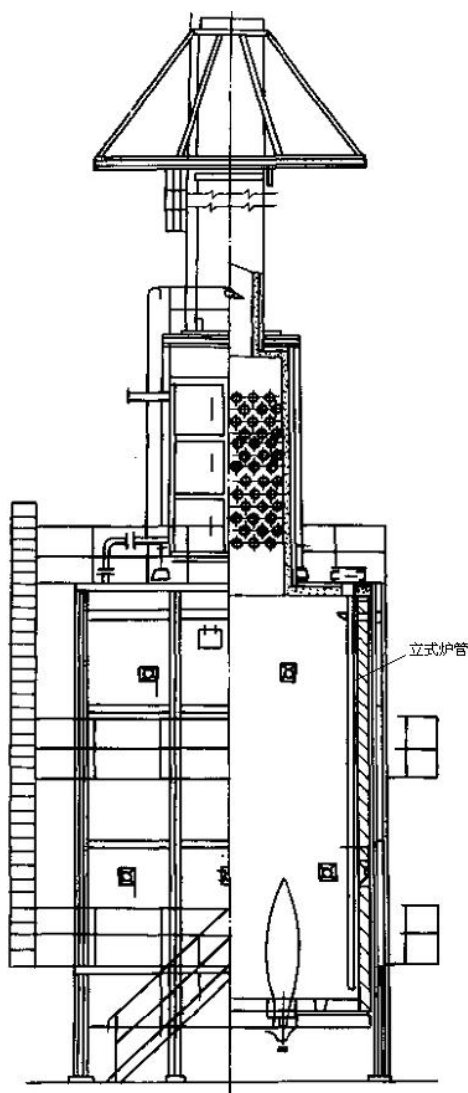


图11-4 圆筒炉

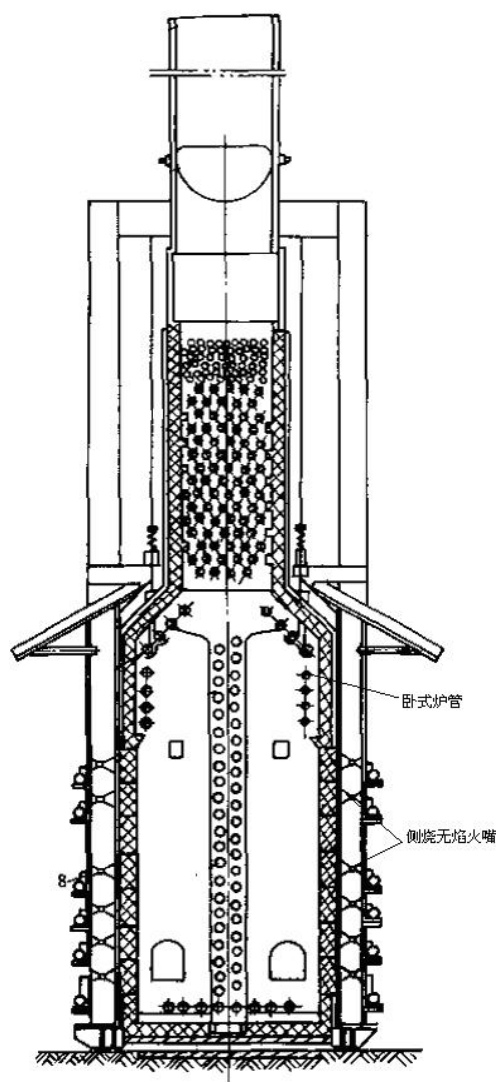


图11-5 无焰炉

第三节 管式加热炉的主要零部件

一、炉管

炉管系统包括炉管、管架和弯头。炉管担负着加热炉的传热作用，管架和弯头是支撑和连接炉管的部件。

炉管在高温和有氧化的条件下工作，长期使用的炉管有明显的蠕变现象，在局部的过热处甚至会破裂，所以炉管的材料选择要恰当。一般碳钢炉管只能用于低硫原油加热炉，若要耐高硫原油的腐蚀，常用Cr5Mo炉管，对温度高又含硫的高压加氢装置可采用18Cr-10Ni炉管，在壁温高达850~1050℃制氢转化炉和裂解炉中，则采用Cr25Ni20或HK-40铸钢管。在对流室内，为了提高管外烟气对管子

的传热效率，常采用翅片管和钉头管，如图11-6、11-7所示。翅片管是将L形齿形翅片缠绕在管外表面，焊接固定。钉头管是把 $\Phi 9 \sim \Phi 12\text{mm}$ 的钉头交错排列在管子外壁，焊接连接。

弯头是炉管的连接件，常用的有回弯头、铸造弯头和冲压弯头等，其材质有25号钢、30CrMoA、Cr5Mo、35Cr等。箱式铸钢回弯头，它同炉管胀接连接，适用于经常检查与除焦的炉管上；铸造弯头，比回弯头轻巧，它同炉管焊接连接，适用于不易结焦且可烧焦的炉子上；冲压弯头，系用炉管冲压而成，质量优于铸钢弯头。

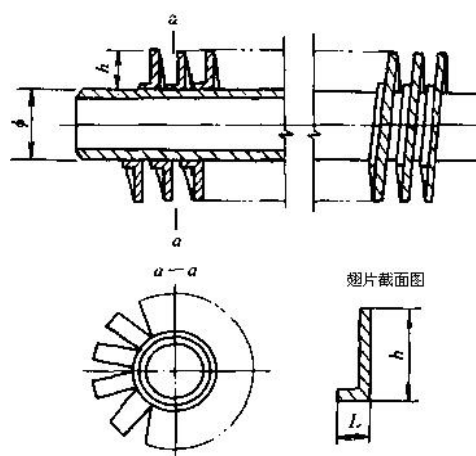


图11-6 翅片管

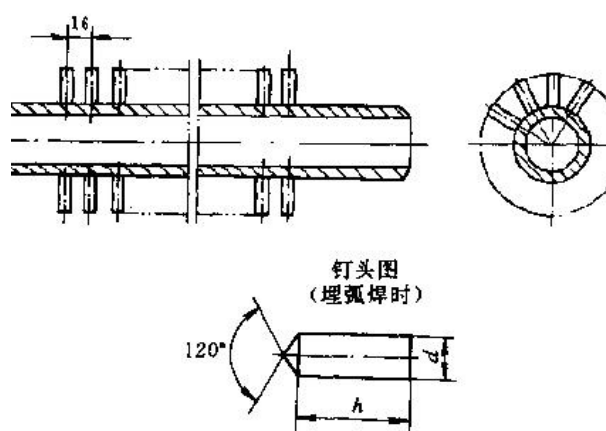


图11-7 顶头管

二、燃烧火嘴

火嘴是液体燃料和气体燃料燃烧器的俗称，是燃烧系统中的重要部件。火嘴的燃烧质量直接影响加热炉的生产能力和炉管寿命。

按照其燃烧的特点可分为火炬燃烧与无焰燃烧。所谓火炬燃烧即燃烧过程有明显的可见火焰，燃料为燃料油或炼厂气。图11-8为一燃油火嘴，一定压力的过热蒸汽以很高的速度喷出使燃料油雾化成油汽，然后从喷头小孔喷出燃烧。燃料一般为渣油，因其蒸汽与燃料是在内部混合，故称内混式高压火嘴。图11-9是用于圆筒炉和立式炉上的油气联合火嘴，可以同时烧油和瓦斯气，也可以单独烧油或瓦斯。对火炬燃烧型火嘴，调节一、二级调风器的开度，可调节和控制火焰形状及长度，一次风大时火焰较短，二次风大时火焰较长。

一次风是总的燃烧用空气中首先与燃料混合的那部分空气。

二次风是总燃烧用空气中，对一次风和燃料混合后下游的燃烧产物和未燃燃

料所提供的那部分空气。

三次风是总燃烧用空气中提供到第二段下游燃烧产物的那部分空气。

辐射附墙燃烧器是一种预混燃烧器，其火焰不喷向炉膛，而是沿着安装它的炉墙发散。

所谓无焰燃烧严格地说是短焰燃烧，它采用无焰燃烧器和气体燃料。图11-10为一种无焰燃烧器，燃料气(瓦斯)高速(300~400 m/s)通过喷嘴，空气由风门带入，在混合管中混合，通过分布室分布到燃烧孔道中去，以极高的速度在孔道中完成全部燃烧过程，因此见不到火焰。孔道温度很高，把硅墙烧至高温，形成一面温度较均匀的辐射墙，由炉墙把热量传结炉管。

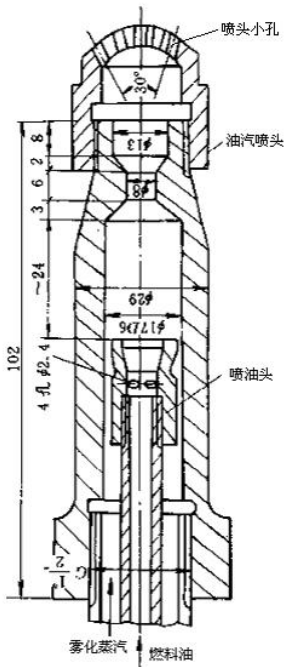


图11-8 内混式燃料油高压火嘴

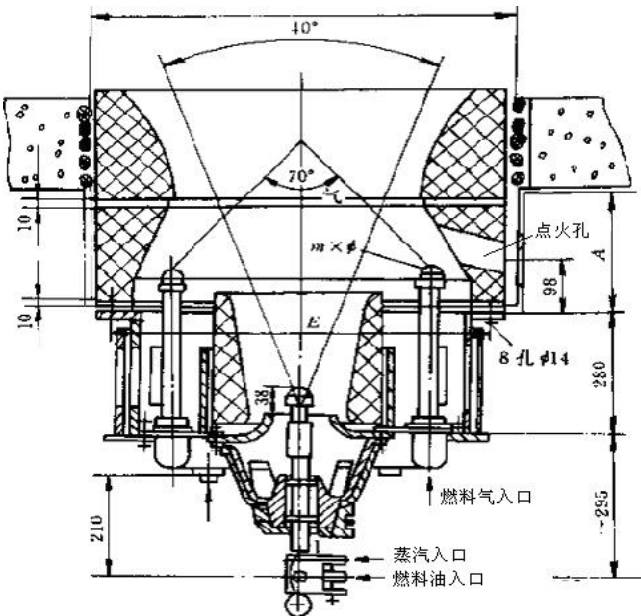


图11-9 油气联合火嘴

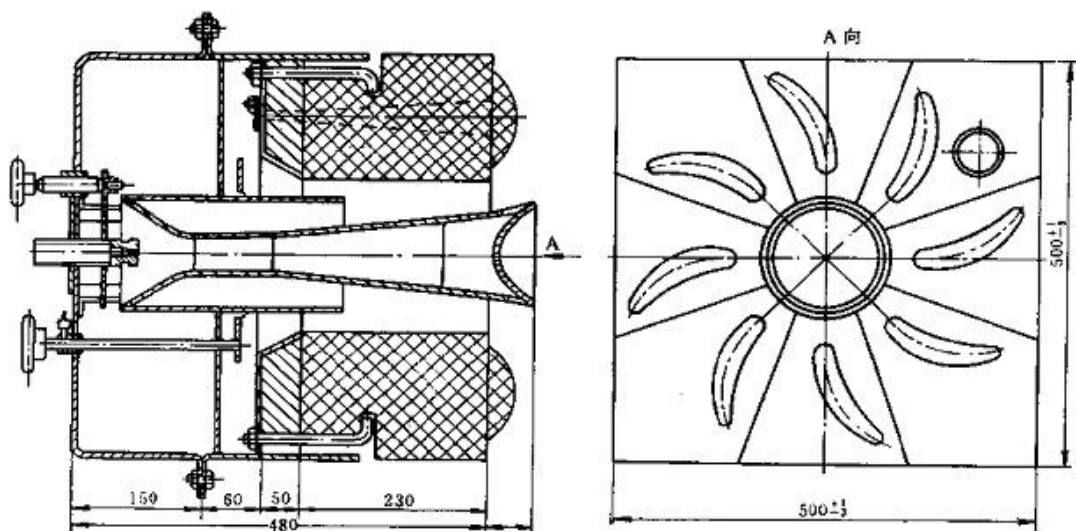


图11-10 梅花形无焰火嘴

三、炉墙系统

加热炉炉壁是由外部的保护层、中间的保温层和内部的耐火层三部分组成。

保护层用钢板制造；保温层用保温砖和红砖砌成；耐火层用轻质绝热材料做的耐火砖砌成。按照炉墙砌筑方法可分承重式炉墙和挂砖式炉墙。前者与普通建筑墙壁相似，自身承受全部重量，如有的圆筒炉就采用承重式炉墙；后者是将耐火砖砌在挂砖架上，炉墙重量由挂砖的钢架承受，如立式炉常采用挂砖式炉墙。无焰炉的辐射墙可全部由无焰燃烧器组成，或由间隔排列的无焰燃烧器与挂砖墙组成，无焰燃烧器与砖墙之间有绝热材料。

炉子各个系统的载荷主要是靠炉架支撑，所以炉架采用钢结构，以保证操作的安全可靠和经久耐用。

四、排烟系统

立式炉、圆筒炉和无焰炉的烟气在对流室是自下而上流动的，烟气受阻力小，所以烟囱较小可设于对流室上部。炉内烟气比外界空气的温度高、重度小，因此可沿着烟囱上升排入大气中。由于箱式炉的烟气在对流室是自上而下流动的，所以需有烟道和另立烟囱，并设引风机排出烟气。

烟囱的抽力大小和烟气与外界空气温度差、以及烟囱高度有关。烟气与外界空气温差越高，则烟囱的抽力就越大。为了保证烟囱有适当的抽力，烟囱的直径和高度需根据烟气量、烟气平均温度和烟气的流速等数值进行计算。

在烟囱底部加设挡板，调节挡板开度就可控制一定的抽力，保证炉膛内合适的负压。一般要求炉膛内保持负压3~5毫米水柱（-30~-50Pa），以便当打开看火门观察炉膛时，火焰不会外扑，确保操作安全。如采用强制送风，炉内负压不超过5毫米水柱时，可以不装挡板。老式的烟囱挡板多为单轴式，现多采用多轴式，多轴式挡板较单轴档板灵活好用，不易损坏变形，便于操作。

挡板调节系统分手动和气动调节两种。手动调节系统由调节机构、滑轮、转轮及烟囱挡板等部件组成。调节机构由手摇卷扬机、开关指示部件及链轮组成，通过钢线绳和链条传动，装在地面上。滑轮安装在炉体和烟囱上以固定钢丝绳及滑动用。转轮安装在烟囱挡板轴上，带动烟囱挡板开闭。另一种烟囱挡板调节系统是烟囱挡板与气动执行机构相联接，通过仪表而自动调节和开关的。

五、烟气余热回收装置

回收烟气余热的途径是利用低温介质吸收烟气的热量，如加热工艺介质、发生蒸汽或预热炉用燃烧空气。回收烟气余热可以大幅度地提高加热炉热效率，对节能有显著效果。

常用的烟气余热回收装置有空气预热器、余热锅炉等。图11-11是常见的钢管式空气预热器，钢管有扰流子钢管和热管等形式。

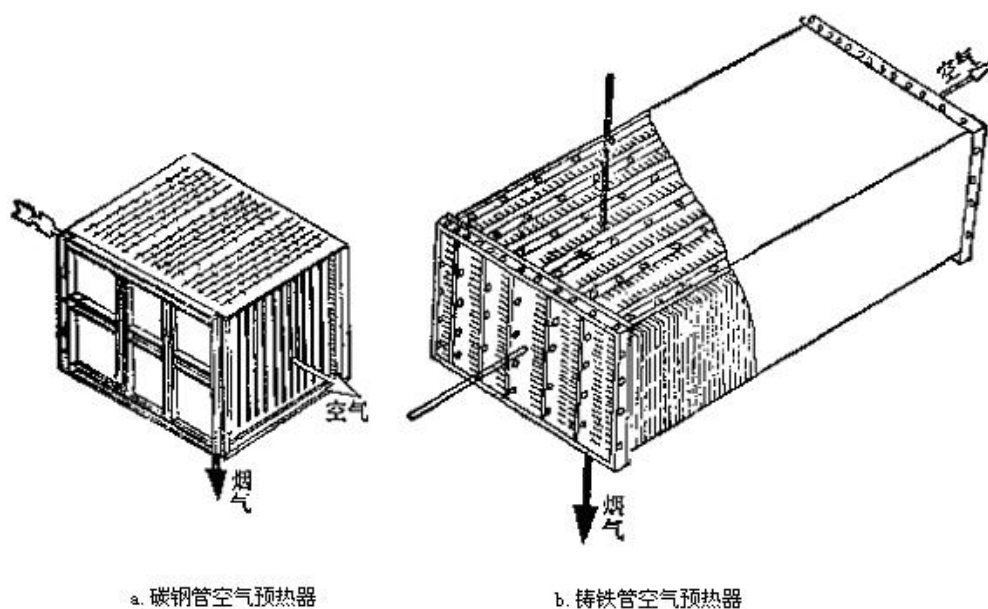


图 11-11 钢管式空气预热器

组合式空预器由扰流子段和热管段组成，两段串联，扰流子段作为组合空预

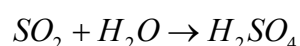
器的高温段，热管段作为组合空预器的低温段。扰流子段烟气走管外，烟气自上向下，换热管水平放置，热空气走管内。热管段采用卧式结构，烟气自上向下，空气自下向上。组合式空预器采用模块式设计。正常及最大操作工况烟气出扰流子段温度 $\leq 250^{\circ}\text{C}$ ，并要求长期(4年以上)稳定保持在 250°C 以下。当进热管前温度 $\geq 280^{\circ}\text{C}$ 时，热管要换成中温热管。为此烟气段扰流子与热管之间须有温度变送器，及时监控烟气出扰流子段温度。

第四节 管式加热炉低温露点腐蚀的机理及防治

由于节能工作的不断向前发展，要求加热炉的排烟温度越来越低，但是往往在空气预热器、余热锅炉等余热回收设备的换热面上产生强烈的低温露点腐蚀，严重的腐蚀穿孔使加热炉不能正常运行，可以说，低温露点腐蚀已成为降低加热炉排烟温度、提高热效率的主要障碍。

一、低温露点腐蚀的机理

燃料油、气中有少量的S存在，燃料后生成 SO_2 。由于燃烧室中有过量的 O_2 存在，所以又有少量的 SO_2 进一步氧化成 SO_3 。在通常的过剩空气系数条件下，全部 SO_2 中约有1~3%转化成 SO_3 ，在高温烟气中的 SO_3 气体不腐蚀金属，但当烟气温度降到 40°C 以下， SO_3 将与水蒸汽化合生成硫酸蒸汽。其反应式如下：



当硫酸蒸汽凝结到炉子尾部受热面上时就会发生低温硫酸腐蚀。与此同时，这些凝结在低温受热面上的硫酸液体，还会粘附烟气中的灰尘形成不易消除的积垢，使烟气通道不畅甚至堵塞。

二、防治措施

1. 提高空气预热器入口的空气温度

提高空气预热器入口的空气温度可以提高预热器冷端换热面的壁温，防止结露腐蚀。最常用的是采用空气再循环的方法，把已预热的空气从再循环管道引入风机入口和冷空气混合来提高温度。在开工或低负荷运行时，可增大热风的再循

环量。这种方法的缺点是风机消耗电能较多，并且由于缩小了空气和烟气之间的温差，使传热量减小，从而对提高加热炉热效率造成不利影响。较理想的方法是：利用装置的废气或低温热源通过暖风器，将冷空气预热到60~80℃后，再进入空气预热器。

2. 提高空气预热器换热面的壁温

提高空气预热器入口的空气温度可以提高预热器的换热面取温，防止腐蚀产生。另外一种方法是在管式空气预热器内将管子水平放置，使烟气在管外横流冲刷换热面，空气在管内流动。这样设计的预热器，其壁温比立管式(烟气走管内)稍高，对减少低温腐蚀有利。

3. 采用耐腐蚀材料

耐腐蚀材料分非金属和金属材料两类。管式空气预热器的低温区可采用硼硅玻璃管，或在管式空气预热器钢管外表面(烟气侧)涂上非金属防腐层，回转式空气预热器的冷端可以采用涂有搪瓷材料的换热元件。

4. 采用低氧燃烧

控制燃烧过剩空气量，能有效地减少SO₃的生成量，降低露点温度对减少低温腐蚀有利，在石油化工厂的管式加热炉中，实现低氧燃烧必须保证炉墙的严密性，并且严格控制每个燃烧器的进风量，否则极易引起机械和化学不完全燃烧，增加排烟热损失。

5. 使用低硫燃料

烟气露点温度随液体燃料或气体燃料中的含硫量或硫化物含量的增多而升高。目前炼油厂加热炉烧气体燃料的较多，瓦斯都含有相当数量的H₂S气体，如对炼厂气体燃料进行脱硫处理，则可显著降低烟气露点温度，减少低温腐蚀。

第十一章 管道及配件

在石油化工行业中，介质的输送，都是经过各种规格的管道来实施的。然而，工业上的介质是千变万化，有的温度高，有的酸性强，有的碱性强，为确保生产安全，需要使用不同材质的管道才能实现。因此，对于从事石油化工行业的人来说，有必要了解管道及其配件的基础知识。

第一节 管道分类

管道的分类很多，大致上按以下几种方法进行：

1. 根据制造材料分：

- a) 熟铁管
- b) 锻钢管
- c) 铸铁管
- d) 不锈钢管
- e) 有色金属管（如铜、铝、铅等）
- f) 塑料管
- g) 陶瓷管

2. 根据制造的方法分：

- a) 铸造管
- b) 拉制或无缝压制管
- c) 焊接管

3. 根据使用条件分：

- a) 水煤气输送管
- b) 无缝钢管
- c) 裂化用无缝钢管
- d) 锅炉用无缝钢管
- e) 高压无缝钢管
- f) 不锈、耐酸无缝管

第二节 适用范围及材质

1. 输送流体用无缝钢管

材料：10#、20#、25#、45#、20Mn、0.9Mn2V、16Mn、15MnV、A2、A3、A4、A5、A6。

2. 裂化用钢管

适用于裂化炉管及其热交换器管和管道。

材料：10#、20#、15CrMo、12CrMo、Cr5Mo、Cr2Mo、Cr9Mo、15Al3MoWTi等。

3. 锅炉用无缝钢管

适用于各种结构锅炉用的过热蒸汽管、沸水管等。

材料：10#、20#。

4. 高压无缝钢管

适用于公称压力160、220、320kgf / cm²的化工与石油行业。

材料：20#、15MnV、12MnMoV、10MoVMnT1、Cr17Mn13Mo2N等。

5. 不锈、耐酸无缝钢管

适用于具有强腐蚀性介质的管道。

材料：1Cr13、2Cr13、Cr17、Cr17Ti、Cr25Ti、Cr28、1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、Cr18Ni13Mo3Ti、1Cr21Ni15Ti、Cr23Ni18、Cr17Mn13Mo2N、Cr18Mn8Ni5N、00Cr18Ni10、0Cr18Ni10Ti、Cr18Mn10Ni5Mo2N、00Cr17Ni13Mo2、00Cr17Ni13Mo3。

6. 水煤气输送管

适用于输送水、压缩空气、煤气、乏汽、冷凝水及采暖系统的管道。

材料：10#、20#。

第三节 管道连接方式

管道连接方式有以下几种：

1. 焊接：所有压力管道尽量采用焊接，管径大于32mm且厚度在4mm以上采用电焊；管径在32mm以下，厚度在3.5mm以下采用气焊。

2. 法兰：适用于一般管径、密封性要求高的管子连接。

3. 丝扣：适用于管径小于65mm，工作压力在4bar以下的温度低于100℃的水管
4. 活接头：适用于经常拆洗的低压物料管道。
5. 其它连接：如水泥砂浆接口、快速接头等。

第四节 管配件

一、弯头

弯头用于改变流体的流动方向。见图12-1所示。

1. 根据加工方法，可以分以下几类：

- (1)无缝弯头：包括承插和对焊两种；
- (2)冲压焊接弯头；
- (3)焊制弯头（虾米弯头）。

2. 根据弯曲半径，可以分为：

- (1)长半径弯头：用于逐步改变流体流动方向（ $R=1.5Dg$ ）；
- (2)短半径弯头：用于迅速改变流体流动方向（ $R=1Dg$ ）。

3. 根据流体改变的方向，可以分为：

- (1)90° 直角弯头；
- (2)45° 弯头（135° 弯头）；
- (3)180° 弯头。

由于弯头使流体改变方向，所以流体对弯头的冲刷很大，致使管壁减薄迅速，为确保安全，在配管时，弯头壁厚应比管壁厚0.5~1mm左右。

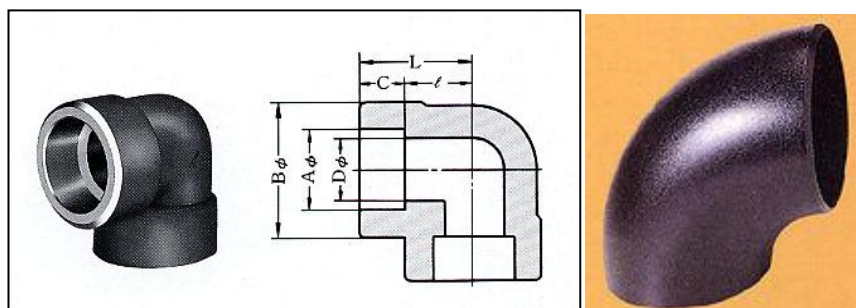


图12-1 弯头

二、大小头

大小头目的是为了连接两种不同直径之间的管子，见图12-2，可以分成以下

几类：

1. 无缝大小头：包括同心和异心两种；
2. 焊接大小头：一般应用于大口径管道；
3. 高低压大小头：适用于压力从320 kgf/cm²或220 kgf/cm²减压到压力≤25 kgf/cm²的变径管道上，两端通常用法兰连接。

大小头尺寸表示方法：大口径×小口径×壁厚，如：φ32×18×3mm。



图12-2 大小头

三、三通

分同径三通和异径三通两类。见图12-3所示。

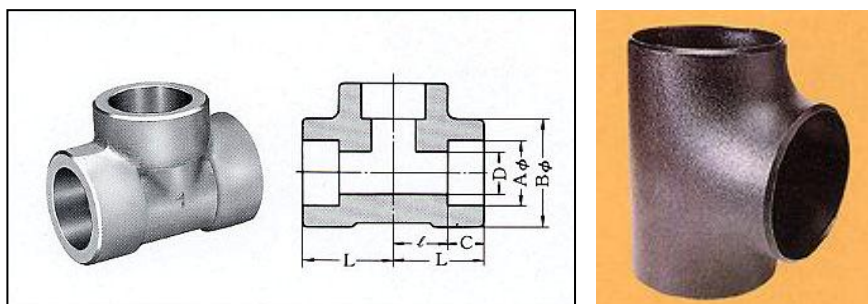


图12-3 三通

四、其它

其它配件包括管嘴、管帽、短节等。

第五节 法兰

法兰是用于容器、管道连接的重要部件，应用极为广泛。对法兰连接的基本要求是密封可靠，同时也要求结构简单，拆装方便。

一、法兰类型

法兰的类型很多，其基本形式可分四类：

(1)整体法兰：见图12-4(a)，它常用于阀门及其它管件的设计，与之一起铸造或锻造成整体。整体法兰一般都带有锥颈，以提高法兰的强度和刚度。

(2)带颈对焊法兰：见图12-4(b)，又称高颈法兰，由于锥颈的作用，可加强法兰的刚度，并可提高其承载能力，故此种法兰广泛应用于石油化工装置压力、温度较高、以及易燃易爆或有毒介质的重要场合，特别是在压力、温度交变循环条件下，应使用带颈对焊法兰。此种法兰一般用锻压工艺生产，直径较大时也可用专门轧制的法兰角钢热煨成型。

(3)平焊法兰：见图12-4 (c)、(d)、(e)，分为板式平焊法兰（甲型）、带颈平焊法兰和承插焊法兰（乙型）。

板式平焊法兰加工简便，但刚度较差，在螺栓力作用下，法兰易于变形，从而使密封面产生转角易导致泄漏，故它只适用于低压条件，且不得用于有毒、易燃易爆及较高真空度的工艺管道。带颈平焊和承插焊法兰都带有颈部，由于短颈的作用，其刚度和强度比板式平焊法兰有明显改善，故可适用于中、低压条件。在石油化工配管设计中，已用带颈平焊法兰代替板式平焊法兰，但带颈平焊和承插焊法兰系采用角焊缝连接，其强度和刚度显然不及带颈对焊法兰，尤其是抗疲劳强度较差，因此，它们不应使用于频繁、大幅度温度和压力波动的配管系统。

另外，承插焊法兰仅用于DN80mm以下的小口径管道上。由于它和管子的连接为单面填角焊，管端与法兰承插面之间一般留有2mm的间隙，故不应使用于具有缝隙腐蚀或强腐蚀性介质，也不适用于易燃易爆或有毒介质。

(4)松套法兰：见图12-4 (f)、(g)、(h)，有平焊环松套法兰、对焊环松套法兰和翻边松套法兰。

其特点是法兰盘和管子或设备连接不固定，而是松套在焊环或翻边上，并在焊环或翻边上设置密封面。活套法兰主要适用于有色金属(铝、铜)和不锈钢的管道或设备上，法兰盘不与介质接触，可采用普通碳钢制造，以节省贵重金属，并容易制造，便于对中安装。

图12-4 (i)为螺纹法兰，是活套法兰的一种“派生”形式，管端有锥形密封面，目前在高压管道上仍有使用。

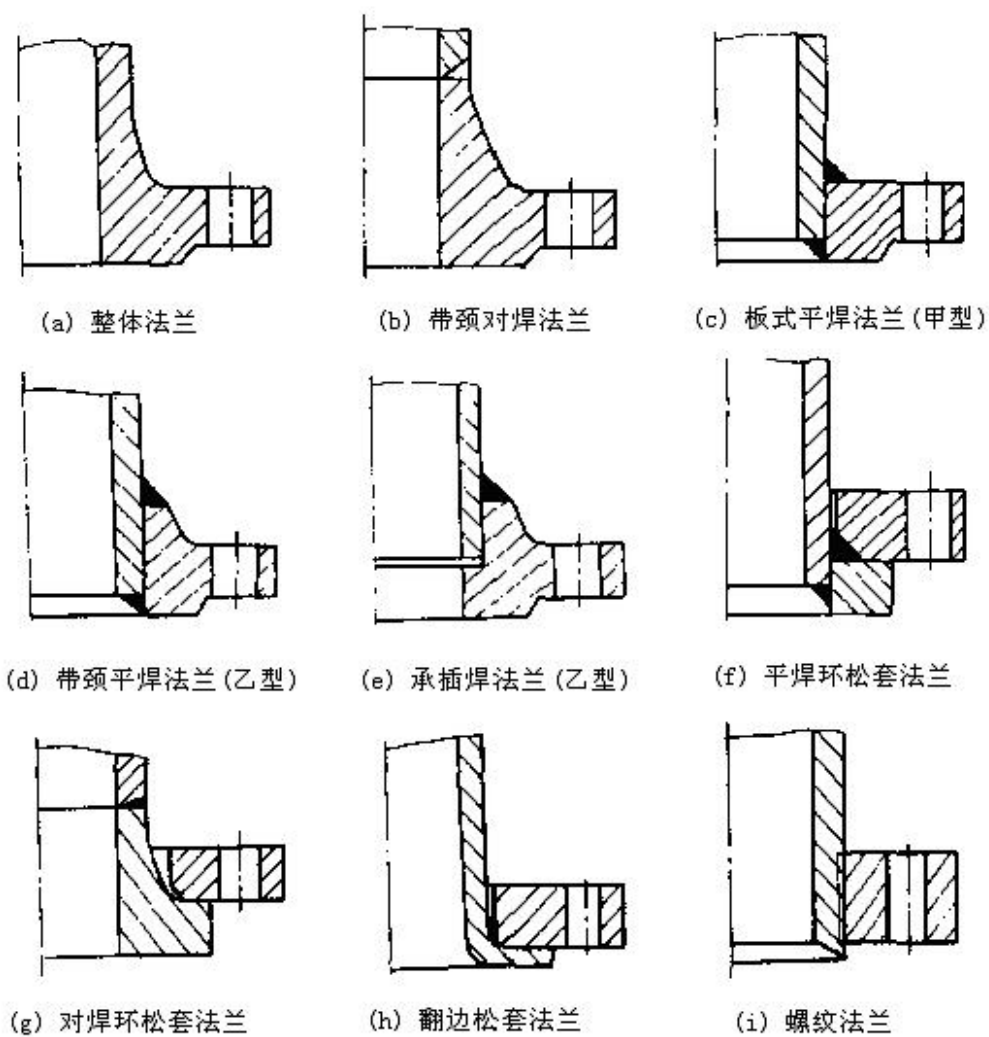


图12-4 法兰型式图

二、法兰密封面

法兰密封面主要根据管子公称直径、介质、压力、温度等条件进行选择。常用的密封面形式如图12-5所示。

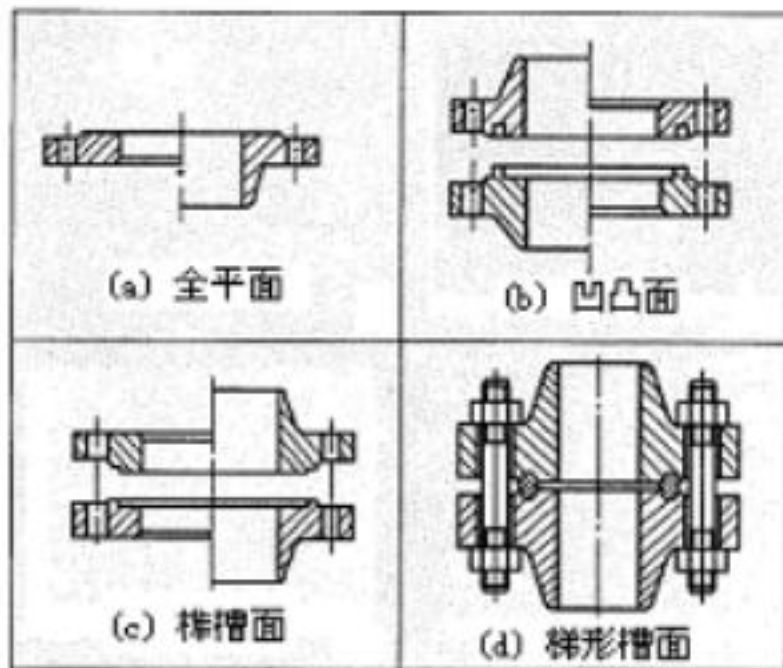


图12-5 法兰密封面型式

1. 全平面：见图12-5 (a)，垫片与法兰密封面在螺栓孔定位圆周内全部接触，因而垫片承载面积较大，所需的螺栓压紧力也较大，但法兰所受的外力矩较小。通常适用于 $P_g \leq 25 \text{ kgf/cm}^2$ 以下的压力。其所用垫片也是平垫片。

2. 凹凸面：见图12-5 (b)，它是由一个凸面和一个凹面相配合而成，垫片置于凹面中，其优点在于能钳住垫片，防止非金属软垫片被吹出，并可限制垫片横向变形，而且密封面较窄，宜于压紧垫片。另外，凹凸面也使垫片宜于对中，可用于 $PN \leq 6.4 \text{ MPa}$ 的场合。

3. 榫槽面：见图12-5 (c)，它是由一个榫面和一个槽面相配合而成，榫槽面除具有凹凸面的类似优点外，还可使垫

图 6-7 法兰密封面形式

片少受流体介质的冲刷和腐蚀，密封可靠。故常用于压力较

高及密封要求较严格的管道上。其缺点是榫面易于损坏，且垫片不易取出，故应用较少。

4. 梯形槽面：见图12-5 (d)，又称环连接面，它是利用槽的内外锥面与椭圆或八角形金属垫环形成“线”接触密封。所谓线接触密封，实际上是在螺栓力作用下，金属垫环在与法兰密封面接触处产生弹塑性交形，而形成较小宽度的密封带。由于是线密封接触，并由于槽的中心线与密封面呈 23° 角，故为保证密封所需的螺栓载荷对金属垫环而言可大大减小。但也由于是线密封，故梯形槽面和金

属垫环尺寸加工精度要求高，且表面粗糙度 Ra 不大于 $3.2\ \mu m$ 。梯形槽的另一特点是介质压力作用在金属垫环内侧，增加了垫环与密封面接触处的密封力，具有自紧作用。

梯形槽面法兰的主要优点是在处理危险介质及密封要求严格的条件下，使用安全可靠。因此，它广泛用于石油化工装置的高温、高压场合，它也可用于 $PN \geq 2.5MPa$ 的中压高温部位。

5. 锥面：法兰密封面为锥面，它与金属透镜垫环配合使用。锥面的 20° 角与透镜垫环的球面成线接触密封，并有一定的自紧作用，而且锥面与球面易于配合。锥面法兰密封安全可靠，通常用于高温、高压、密封要求严格的管道上。

三、垫片

垫片(环)的选择应根据温度、压力及介质确定，其断面形状如图6-8所示。

垫片(环)按材料组成可分为非金属、金属及非金属与金属组合三大类。

1. 非金属垫：如图12-6(a)，非金属垫材料中用得最多的是石墨、石棉橡胶、聚四氟乙烯及橡胶等。与金属垫相比，非金属垫的耐压力性能较差，但耐蚀性、柔软性较好。此外，石墨和聚四氟乙烯还分别具有良好的耐高温与耐低温性能。

2. 金属垫(环)：常用的金属垫片(环)的材料有软铝、铜、软钢、蒙乃尔合金、18-8不锈钢等。如图12-6(b~d)，其断面形状有椭圆形、八角形和透镜形等，它们主要用于中、高温和中、高压法兰连接的密封。金属垫圈绝大多数需要进行机械加工，对硬金属垫还需研磨，特别是与压紧面的配合表面，需要达到很高的尺寸精度和表面粗糙度，不允许有加工痕迹。

3. 混合型垫：除了非金属垫和金属垫外，还有一种组合式垫，如在石墨、石棉或石棉橡胶垫外包以金属薄片的金属包垫，如图12-6(e~f)，这种垫片由于密封面硬度高，泄漏率较大，只可用于低压场合。若在密封面上粘贴石墨纸，则可大大提高其密封性能。用薄钢板带与石墨带或石棉带一起绕制而成的叫缠绕式垫片，如图12-6(g~j)，包括基本型(A型)、带内环型(B型)、带外环型(C型)和带内外环型(D型)缠绕垫，其耐热性、回弹性较好，且具有多道密封作用，可用于高温中压和操作条件有波动的场合。

对垫片(环)的选择要有全面观点，要考虑操作介质的性质、操作压力和温度，以及对严密程度的要求；亦要考虑垫片性能、压紧面形式、螺栓力大小以及安装

要求等，其中操作温度与压力是影响密封的主要因素，是选择垫(环)的主要依据。

关于各种密封面的尺寸、所适用的法兰类型和公称压力，以及垫片类型可查有关法兰标准，如石化标准：SH3403—管法兰用金属环垫、SH3406—钢制管法兰、SH3407—管法兰用缠绕式垫片等。

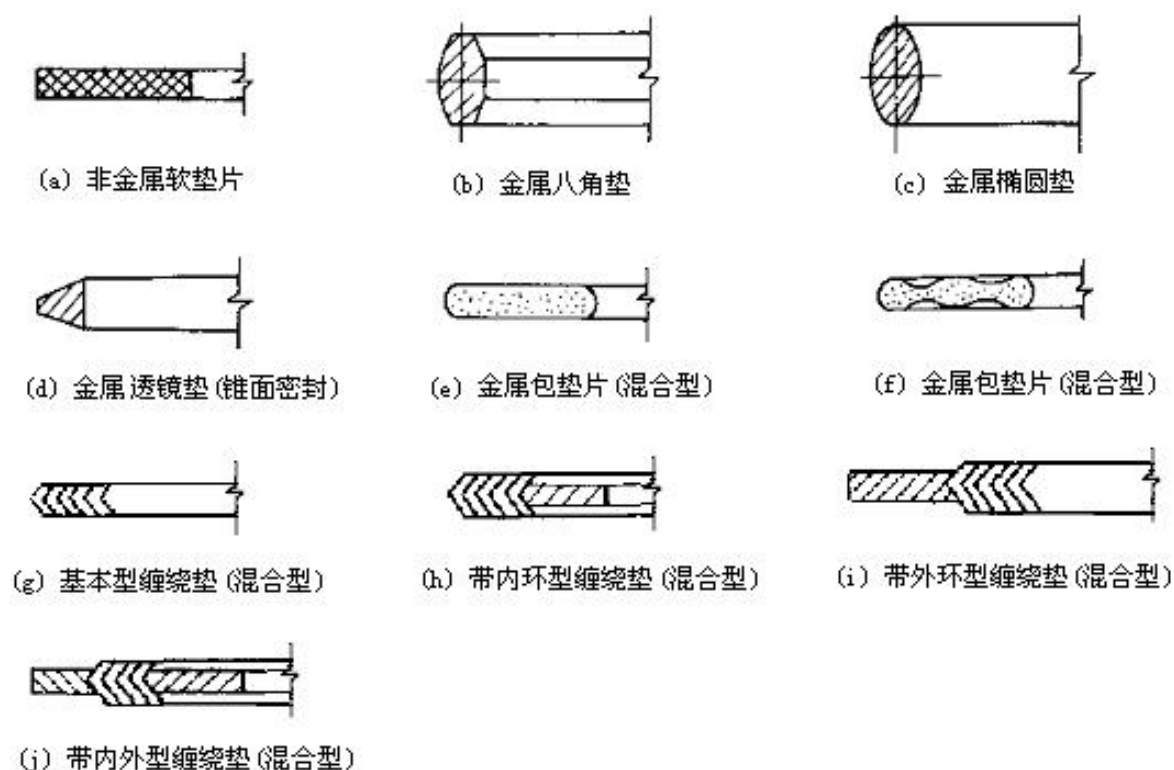


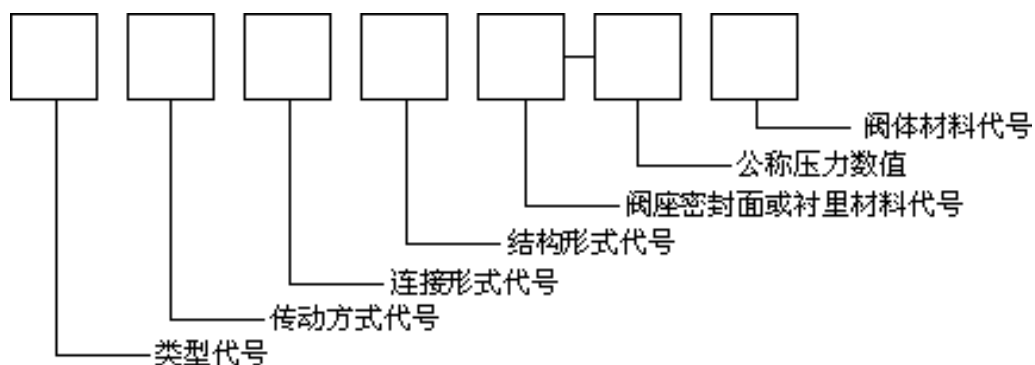
图 12-6 垫片断面型式

第六节 阀门

阀门是管道系统中的重要部件，它用于接通或截断管路中的流通介质，或者用于控制介质的流量和压力，或用于保证设备以及管路的安全。对阀门的基本要求是使用性能好、强度高、操作方便、维修简单、低噪音等。在石化厂中常常由于一个阀门发生故障造成整个机组或整个装置系统停运。

一、阀门的分类

阀门按其用途分可分为关断用阀门、调节用阀门、保护用阀门等。按结构分可分为闸阀、截止阀、节流阀、球阀、蝶阀、隔膜阀、旋塞阀、止回阀、安全阀、减压阀、疏水阀等等。

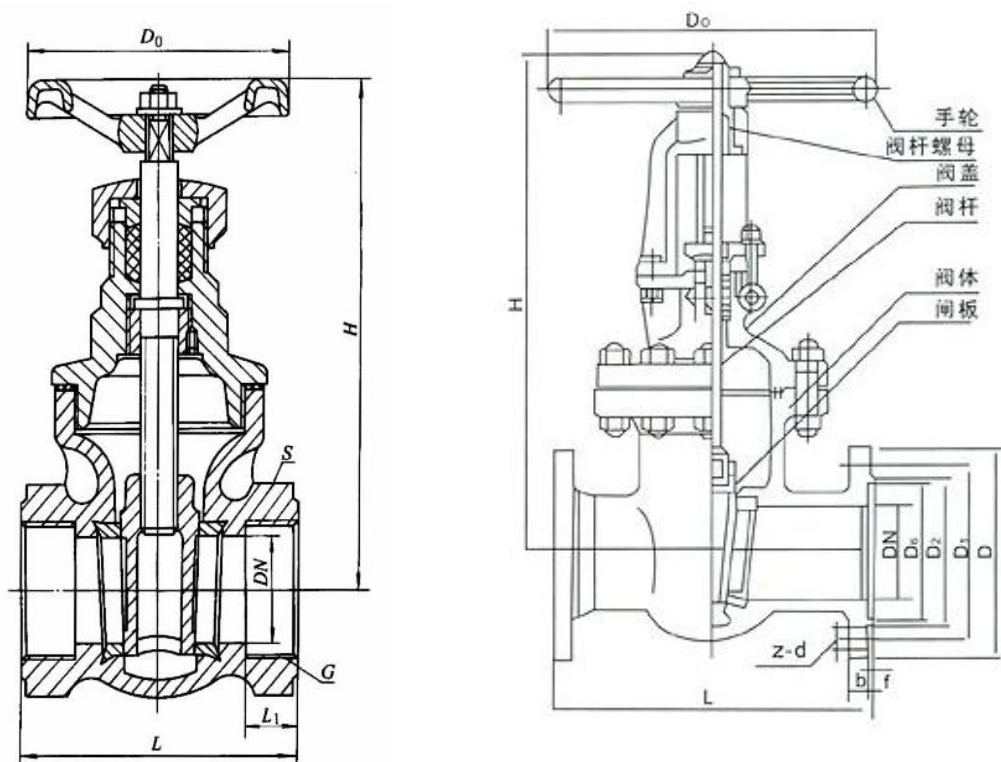


二、各种阀门结构

1. 闸阀：闸阀又叫闸板阀，见图12-7，这种阀门的阀体内有一平板叫闸板，与介质流动方向垂直，平板升起时阀即开启，根据阀杆的结构形式不同可分为明杆式和暗杆式两类。闸阀的密封性能较好，流体阻力小，开启、关闭力较小，被广泛应用于大口径的管道上。

4. *. *. * 闸阀

闸阀的通道流线设计，流通阻力小，密封采用柔性填料，密封面采用高硬度材质，密封性能好，操作轻便灵活。对于高速流动的介质，闸板在局部开启状况下可以引起闸门的振动，而振动又可能损伤闸板和阀座的密封面，而节流会使闸板遭受介质的冲蚀。因此，闸阀不适用于作为调节或节流使用，通常适用于不需要经常启闭，而且保持闸板全开或全闭的工况。



闸阀

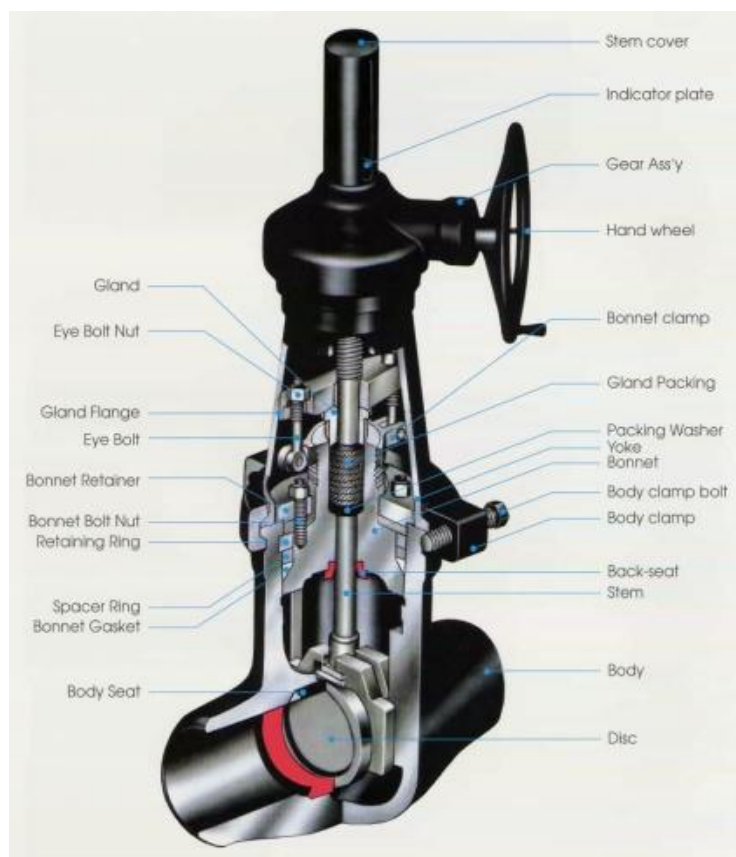


图12-7 闸阀结构图

2. 截止阀：截止阀是利用装在阀杆下面的阀盘与阀体的突缘部分相配合来控制阀的启闭，见图12-8。它的结构较简单，维护方便，截止阀也可以调节流量，应用也较广泛，但流体阻力较大。截止阀流向的原因：现在一般生产厂家，DN15-DN100口径截止阀，安装流向都是低进高出，DN100口径以上反方向安装高进低出。反方向安装原因是阀门设计要求，因截止阀密封阀瓣靠阀杆顶力，如果管道压力高，阀杆强度不够密封自然泄漏，DN100以上，PN2.5MPa以上，如果低进高出安装达不到密封要求，所以要反方向安装，反向安装对阀杆强度要求减轻，阀瓣密封成自密式，截止阀阀体上都有流向指示，按照流向指示安装就对了。

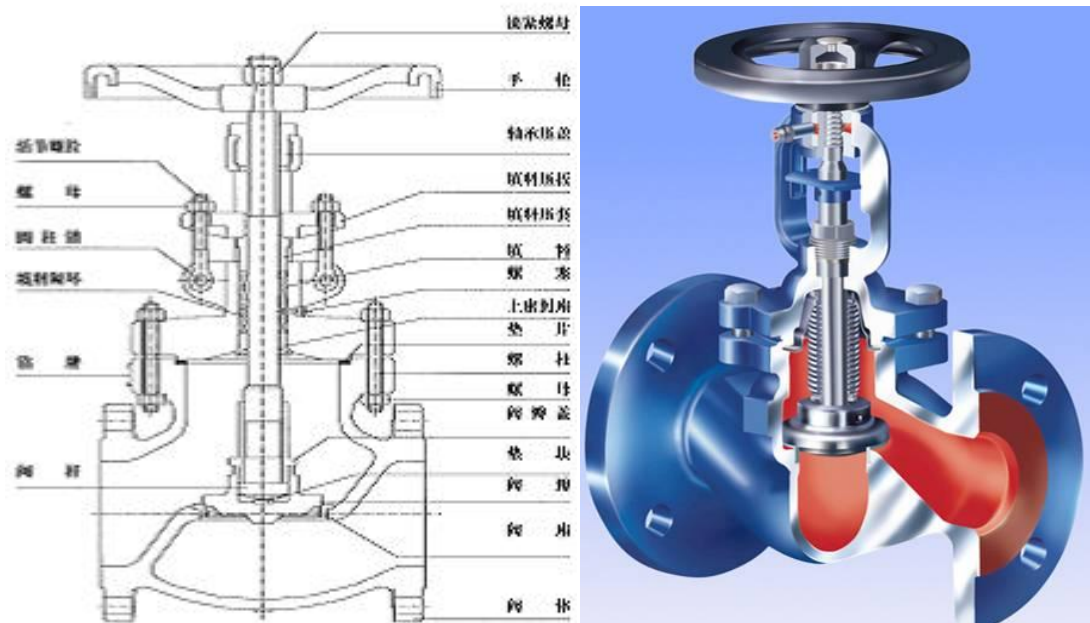


图 12-8 截止阀详细结构图

3. 球阀：球阀(见图12-9) 利用一个中间开孔的球体作阀芯，靠旋转球体来控制阀的开度和关闭。它的特点是：结构简单，体积小，零件少，重量轻，开关迅速，操作方便，流体阻力小，但制作精度要求高。由于密封及材料的限制，目前的球阀还不宜用在高温介质中。

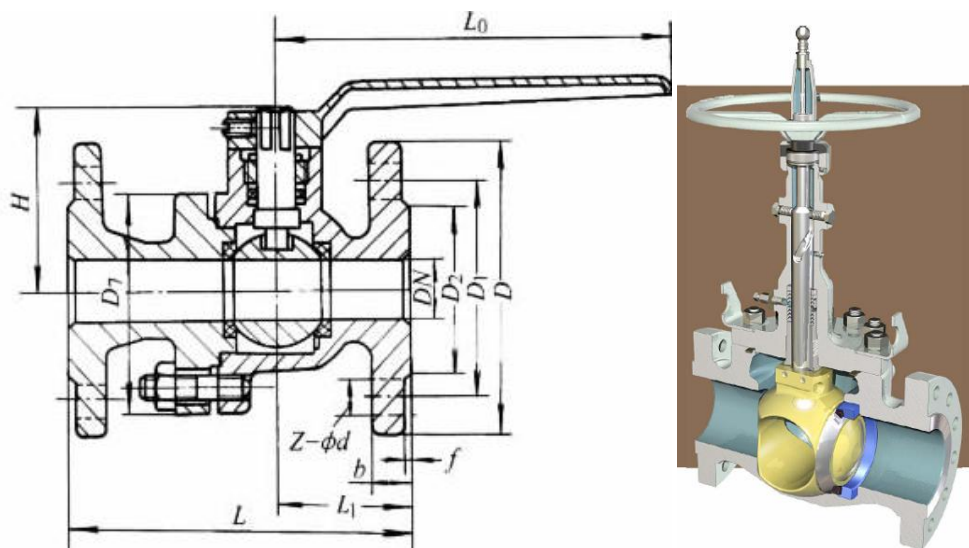


图12-9 球阀结构图

4. 蝶阀：蝶阀的开闭件为圆盘形，它依靠阀体内的一个固定轴旋转，达到接通和关断的目的，（见图12-10）。蝶阀的特点是：结构简单，外形尺寸小，重量轻，适合于较大口径管道。以往由于密封结构及材料问题，蝶阀只适用于低压，用来输送水、煤气、空气等介质，随着三偏心结构及金属密封材料的出现，

蝶阀的应用范围已得到极大的扩展。

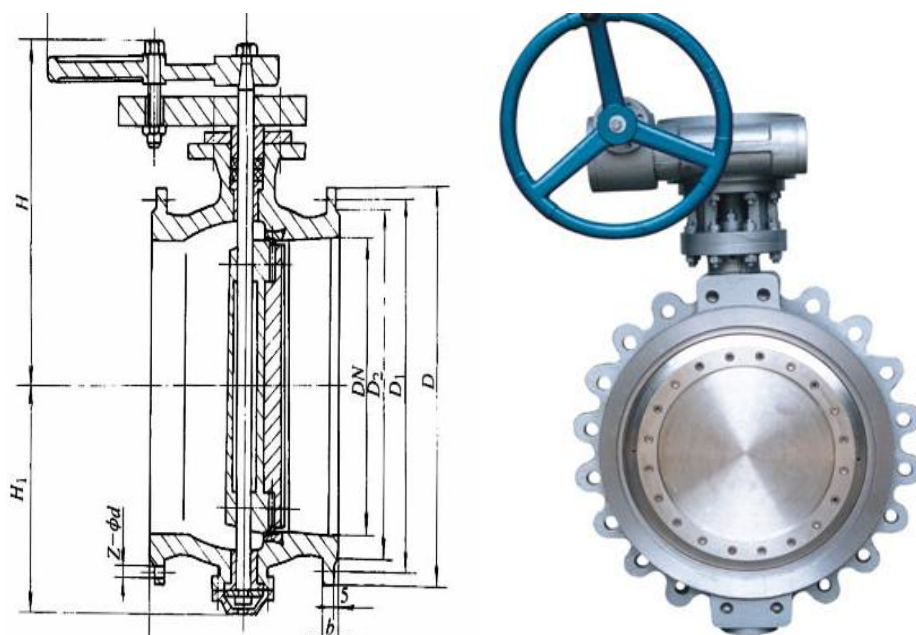


图12-10 蝶阀

5. 节流阀：节流阀也是属于截止阀的一种，由于阀瓣形状为针形或圆锥形，可以较好的调节流量或进行节流，调节压力。

6. 旋塞阀：旋塞是利用阀件内所插的中央穿孔的锥形栓塞来控制启闭的阀门。由于密封面的形式不同，又分填料旋塞，油密封式旋塞和无填料旋塞。旋塞阀结构简单，外形尺寸小，启闭迅速，操作方便，流体阻力小，便于制作成三通路或四通路阀门，可作分配换向用。但密封面易磨损，开关力较大。该种阀门不适用于输送高温、高压介质(如蒸汽)，只适用于一般低温低压流体，做开关用。

7. 隔膜阀：见图12-11，阀的启闭机构是一块橡皮隔膜，置于阀体与阀盖间，膜的中央突出的部分固着于阀杆，隔膜将阀杆与介质隔离。隔膜阀的结构特点为：结构较简单，便于检修，流体阻力小，适用于输送酸性介质和带悬浮物的介质。但橡胶膜的材质不适于温度高于 60°C 及有机溶剂和强氧化剂的介质。

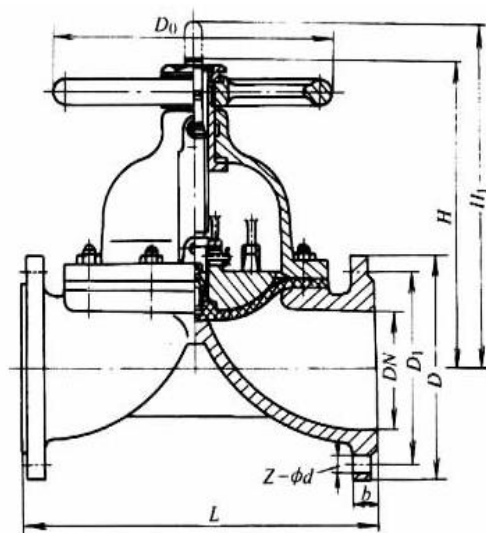


图 12-11 闸板式隔膜阀

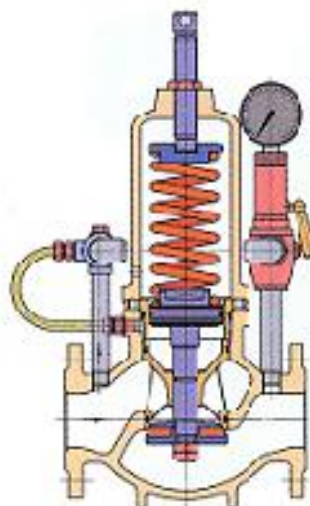
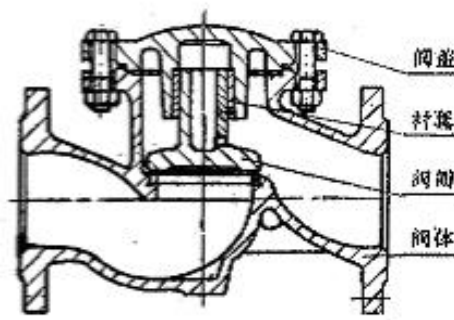
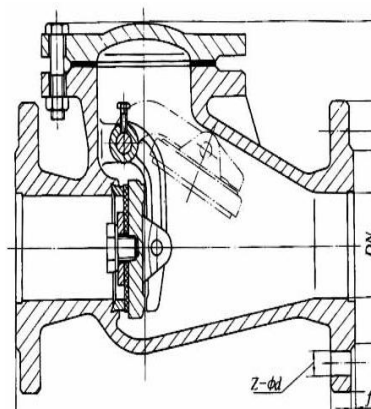


图12-12 减压阀

8. 减压阀：如图12-12所示，它的动作主要是靠膜片、弹簧、活塞等敏感元件改变阀瓣与阀座的间隙，使介质达到自动减压的目的。减压阀只适用于蒸汽、空气等清洁介质，不能用于液体的减压，更不能用于含有固体颗粒的介质。在选用时，应注意不得超过减压阀的减压范围，保证在合理情况下。减压阀使用前必须进行定压，以确定减压所需的压力。

9. 止回阀：如图12-13，它是一种自动开闭的阀门，在阀体内有一种阀盘式摇板，当介质顺流时，阀盘式摇板即升起打开；当介质倒流时，阀盘或摇板即自动关闭，故称为止回阀。由于结构的不同，止回阀又可分为旋启式和升降式两种。旋启式止回阀的阀芯是围绕密封面作旋转运动，一般应安装于水平管道上；升降式止回阀的阀瓣是垂直于阀体通道作升降运动，一般应安装在水平管道上，立式的升降式止回阀应安装在垂直管道上。止回阀一般适用于清净介质，对有固体颗粒和粘度较大的介质不宜选用。升降式止回阀的密封性能较旋启式的为好，但旋启式的流体阻力较升降式的小，通常旋启式的止回阀多用于大口径管道上。



a) 旋起式

b) 升降式

图12-13 止回阀

10. 疏水阀：它的作用是排除加热设备或蒸汽管路中的凝结水，同时阻止蒸汽泄漏。

11. 安全阀：如图12-14所示，主要用于锅炉和压力容器上。它的工作原理是，当介质压力超过规定数值时，自动开启，排除多余介质，直到压力降到一定数值后又自动关闭。安全阀主要有弹簧式和杠杆式两种。弹簧式安全阀主要依靠弹簧的作用力控制启闭，它又分封闭式和不封闭式，一般易燃、易爆或有毒介质应选用封闭式，蒸汽或惰性气体可选用不封闭式。弹簧安全阀中有的还带有扳手，扳手的作用主要是检查阀瓣的灵活程度，有时也可以用作手动来紧急开启泄压。杠杆式安全阀又叫重锤式安全阀，主要靠杠杆重锤的作用力而工作。

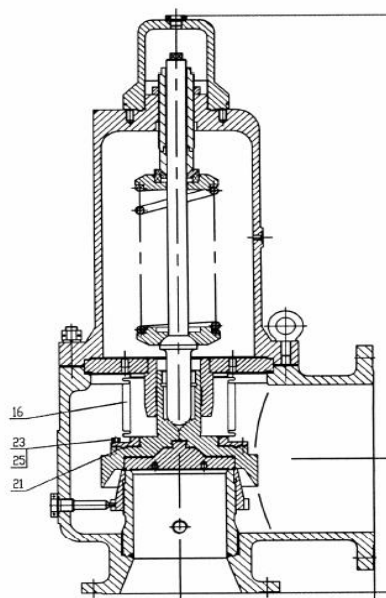


图12-14 安全阀