

第一章 化学工业设备

第一节 概述

在工厂里可以看到许多各种各样的设备，无论是化学工业、炼油工业、石油化工行业、冶金、轻工、核能及国防工业中都有许多各种各样的设备。虽然它们处理的物料和在生产过程中所处的位置不同，但是设备结构型式基本相似，设备制造工艺也大体相同。

化学工业设备一般是指在化工生产中用于传热、传质和化学反应等过程的容器。如各种型式各种规格的换热器、塔类设备、反应器等。机械为机器和设备的统称。设备是指以静置的作用部件为主的机械。

一、设备的分类

由于生产过程的多种需要，设备的种类繁多，用途各异。为了掌握设备的共同特点和共同规律，将它们按一定的原则进行科学的分类。

（一）按设备生产工艺过程中的作用原理分类

进行同类生产（化工）过程的设备，在设计和使用上都有相似之处。按所进行的物理化学过程来划分，可分为以下几种。

1. 反应设备：这类设备是主要用于完成介质的物理、化学反应过程的容器。大多数设备是在加温加压并有催化剂存在的情况下进行过程反应的；或在介质直接接触的情况下，伴随着换热的物理过程及化学反应过程的设备。如反应釜、反应器、分解锅、分解塔、聚合釜、高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、煤气发生炉等；

2. 换热设备：这类设备主要是用于完成介质的热量交换，热量通过分隔介质的器壁进行传导。有板式、列管式、套管式、浸入式和喷淋式等换热设备。如热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、硫化锅、消毒锅、染色器、烘缸、预热锅、蒸锅、蒸脱机、电热蒸汽发生器等；

3. 分离设备：分离设备主要是用于完成介质的流体压力平衡和气体净化等物料分离的容器。如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、分汽缸、除氧器等。

4. 储存设备：这类设备主要用于盛装生产用的原料气体、液体、液化气体等贮存物料的设备。如各种型式的储罐（球罐、贮槽、气柜等）；

注：

1. 机械：机器和设备的统称；

2. 机器：配有驱动装置并以运动的作用部件为主的机械；

3. 设备：从静置的作用部件为主的机械；

4. 在一种设备中，如同时具备两个以上的工艺作用原理时，应按工艺过程中的主要作用来划分设备的类别。

（二）按设备的形状分类

工厂中使用的设备形状很多，常见的设备的形状主要有三种类型。

1. 方形或矩形设备：由平板焊制成，制造简单，但承压能力差，故只用作小型常压贮罐。

2. 球形设备：由数块球瓣板拼接焊成。球瓣制造工艺不同于其它设备，具有一些特有的技术要求。球形设备容积都很大，盛装物料多，工作压力也比较高，技术要求比较严格。随着石油化工和化学工业的发展，需要更多贮存液态或气态物料的贮槽。因此近年来球形设备得到日益广泛的应用。

3. 圆筒形设备：是由圆柱形筒体和各种成型封头（椭圆形、半球形、碟形、锥形）所组成的立式、卧式容器。由于使用目的不同，内部结构各不相同。该形状设备制造较容易，承压能力较好，因此这类设备应用最广。

（三）按设备的设计压力分类

按设备承压性质，可将设备分为内压设备和外压设备两类。当设备内部介质压力大于外界压力时为内压设备，反之则为外压设备。

按设备的设计压力分为：

1. 超高压设备 $P \geq 100\text{MPa}$;
2. 高压设备 $10 \leq P < 100\text{MPa}$;
3. 中压设备 $1.6 \leq P < 10\text{MPa}$;
4. 低压设备 $0.1 \leq P < 1.6\text{MPa}$;
5. 常压设备 $P < 0.1\text{MPa}$;
6. 真空设备 负压。

在石油、化工装置中许多设备是在高温高压下运行的。如氨和尿素合成装置的操作压力可达 3.8MPa ，温度达 430°C 左右。在石油化工装置中也有低温低压设备。聚乙烯生产则要求 $100 \sim 300\text{MPa}$ 的超高压设备，它的设备要用整体高强度锻件制造。

（四）按设备结构材料分类

制造设备所用的材料应满足使用条件和制造工艺两方面的需要。大体上分两大类，即金属设备和非金属设备。

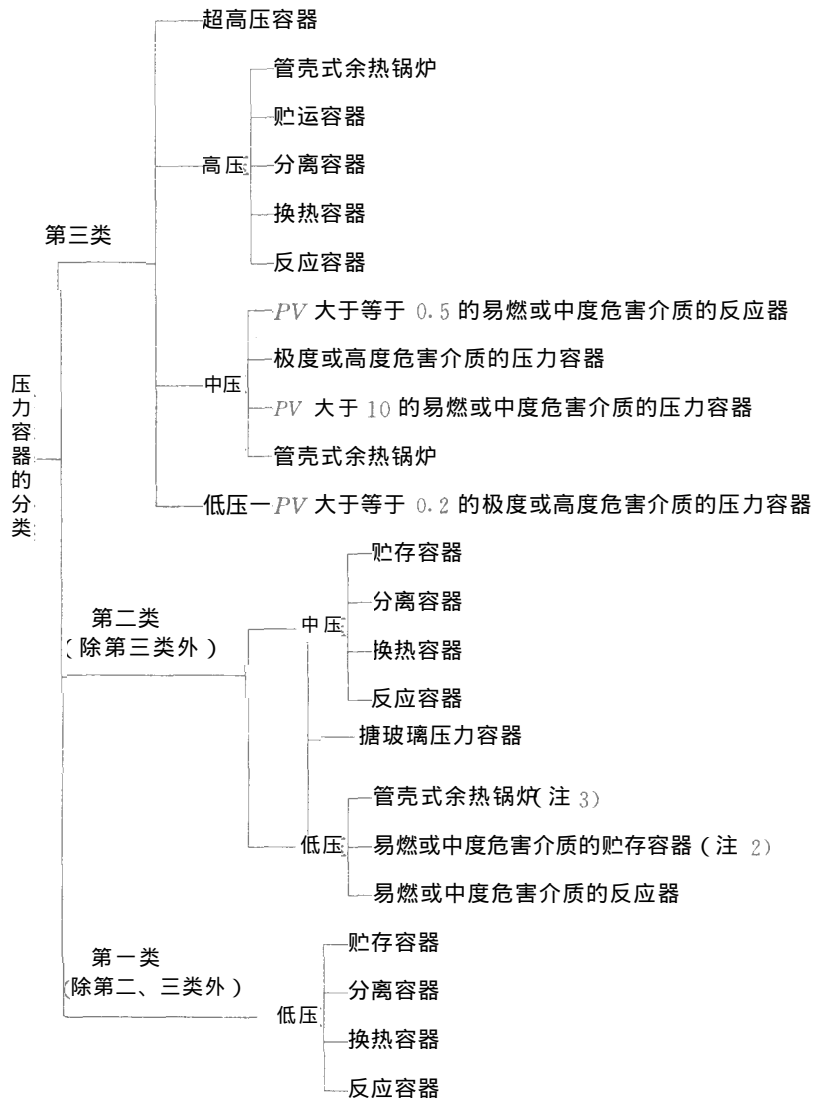
金属设备中，目前应用最多的是低碳钢和普通低合金钢。化工炼油设备大多数与一定的腐蚀介质接触，材料应具有优良的耐腐蚀性，因此在腐蚀严重或产品纯度要求严格的情况下，一般多采用不锈钢、不锈复合钢板或铝制的设备。在低温、深度冷冻的操作条件下，一般则选用铝、铝合金或铜和铜合金设备。还有用铸铁制造的设备。

根据生产过程的需要，非金属材料的设备也很多。非金属材料可作设备的衬里或独立构件。常用的非金属材料如硬聚氯乙烯、玻璃钢、不透性石墨、化工搪瓷、化工陶瓷以及耐酸砖、橡胶衬里等等。

（五）按监督管理分类

为了加强压力容器的安全技术管理和监督检查，按国家劳动部 1990 年 5 月颁发的《压力容器安全技术监察规程》，将压力容器划分为三类：

1. 根据压力 P 、压力乘容积 $P \cdot V$ （注 1），介质特性、用途以及设计、制造特点综合分类：



注 1: $P \cdot V$ 值的单位: $\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 。

注 2: 易燃介质是指与空气混合的爆炸下限小于 10%, 或爆炸上限和下限之差值大于等于 20% 的气体, 如: 一甲胺、乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、环丙烷、氢、丁烷、三甲胺、丁二烯、丁烯、丙烯、甲烷等。

注 3: 管壳式余热锅炉是指《压力容器安全技术监察规程》第 3 条所述烟道式余热锅炉之外的, 结构类似压力容器, 并按压力容器标准、规范进行设计和制造的余热锅炉。

2. 介质的毒性程度参照 GB5044 《职业性接触毒物危害程度分级》的规定, 分为四级。

(1) 极度危害 (I 级) $< 0.1 \text{mg}/\text{m}^3$;

(2) 高度危害 (II 级) $0.1 \sim 1.0 \text{mg}/\text{m}^3$;

(3) 中度危害 (III 级) $1.0 \sim 10 \text{mg}/\text{m}^3$;

(4) 轻度危害 (IV 级) $\geq 10 \text{mg}/\text{m}^3$ 。

3. 压力容器中的介质为混合物时, 应以介质的组成并按本注的毒性程度或易燃介质的划分原则, 由设计单位的工艺设计或使用单位的生产技术部门, 决定介质毒性程度或是否属于易燃介质。

第二节 塔类设备

塔类设备是化工、石油、轻工等各类工业的重要设备。它可使气（或汽）-液或液-液两

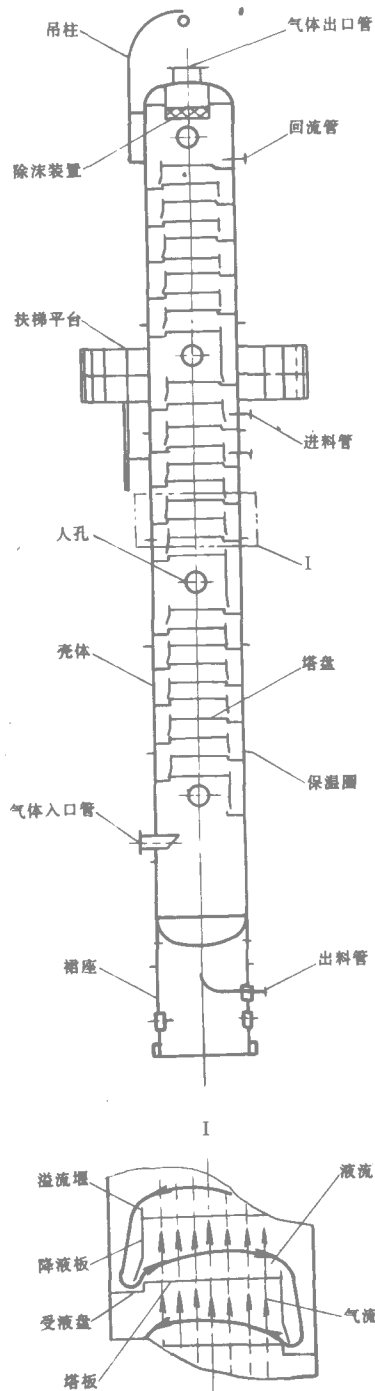


图 1-1 板式塔总体结构简图

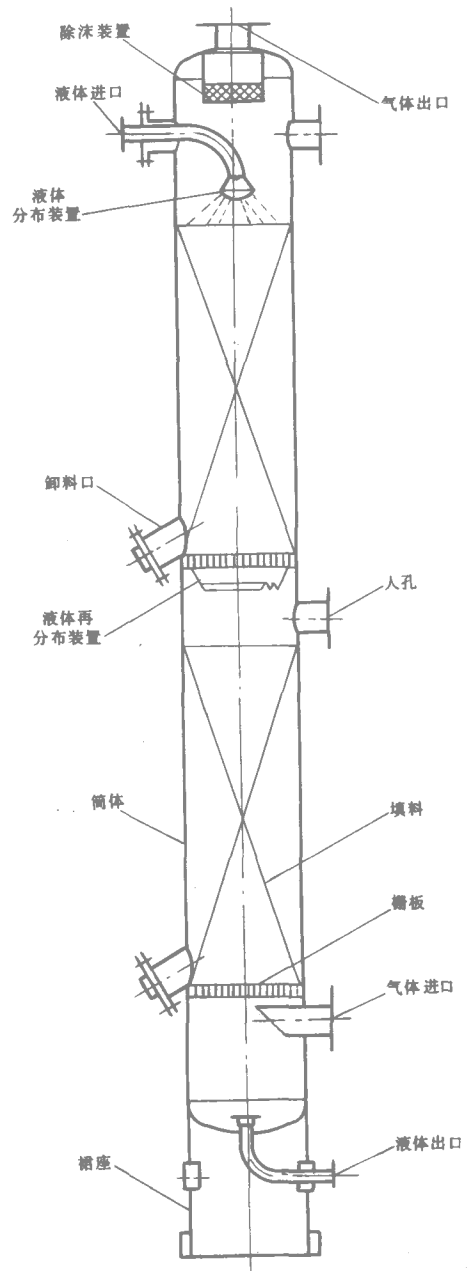


图 1-2 填料塔总体结构

相之间进行紧密接触 达到相际传质及传热的目的。在塔设备中完成单元操作 如精馏、吸收、解吸和萃取等。此外，工业气体的冷却与回收，气体的湿洁净制和干燥，以及兼有气-液两相传质和传热的增湿、减湿等。据粗略统计，炼油厂塔器所占的钢材重量约占全厂设备总重量的 25%~30%，投资约占全厂总投资的 10%~20%。

常用塔类设备种类很多，按操作压力分为加压塔、常压塔和减压塔；按单元操作分为精馏塔、吸收塔、解吸塔、萃取塔、反应塔和干燥塔；最常用的分类方法是按塔内件结构分为板式塔（见图 1-1）和填料塔（见图 1-2）两大类。还有几种装有机械运动构件的塔。

塔类设备的结构，除了种类繁多的各种内件外，其余构件基本相同。由塔体、塔体支座、除沫装置、物料进出口接管、人孔和手孔、吊柱等组成。

一、板式塔

板式塔是分级接触型气（汽）液传质设备。在塔内按照一定距离装有一定数量的塔盘，气体以鼓泡或喷射的形式穿过塔盘上的液层，两相密切接触进行传质和传热。

常用板式塔类型有：泡罩塔、筛板塔、浮阀塔、舌形喷射塔以及最近发展起来的一些新型和复合型塔（如浮动喷射塔、浮舌塔、压延金属网板塔、多降液管筛板塔等）。

1. 塔盘类型：板式塔的塔盘主要分溢流式和穿流式两大类。常用的塔盘有圆泡罩塔盘、条形泡罩塔盘、隧道式塔盘、S 形塔盘、浮阀塔盘、筛孔塔盘、斜形塔盘、网孔式塔盘等。如图 1-3 所示。

2. 塔盘的结构：塔盘系由气-液接触元件（如浮阀、筛孔、泡罩等）、塔盘板、受液盘、溢流堰、降液管（或降液板）、塔盘支承件和紧固件等部分组成。塔盘按其结构特点可分为整块式和分块式两种。一般塔径为 300~900mm 时，采用整块式塔盘；当塔径 ≥ 800 mm 时，能在塔内进行装拆，可用分块式塔盘。

(1) 整块式塔盘分为定距管式塔盘、重叠式塔盘和支撑圈式塔盘。

(2) 分块式塔盘分为单流塔盘、双流塔盘、多流塔盘和 U 型塔盘。

3. 塔盘的安装：塔盘安装前应清点零件的数量，清除其表面上的油污、铁锈等，并标注序号。

浮阀式塔盘和圆泡罩塔盘安装前，在塔外应将浮阀、圆泡罩分别安装在塔盘板上，浮阀在塔盘孔内应灵活自由，没有卡涩现象；圆泡罩安装时，应调节泡罩高度，泡罩与升气管保持同心。

塔内部构件（如塔盘板、可拆的降液板、受液盘等零件）必须能通过人孔，便于装拆。各分块塔盘之间以及塔盘板和支持圈、支持板受液盘之间采用各种形式的紧固件联接。常用的塔盘紧固件有卡子、螺栓和龙门铁。

二、填料塔

在塔设备内装入填料即为填料塔。它主要由塔体、喷淋装置、填料、填料支承装置及液体分解装置、气液出口等部件组成（见图 1-4）。液体自塔顶的分布装置淋下，沿着填料表面成膜状流下，气体自塔低部进入，沿着填料间的空隙上升，互成逆流接触，促进传质过程的进行。

1. 填料的结构形式不断地更新改造。目前，不同形状规格的填料已有几百种。常见的填料按形状大致可分成下列几大类：

(1) 环形填料：拉西环、鲍尔环及改进的鲍尔环等。

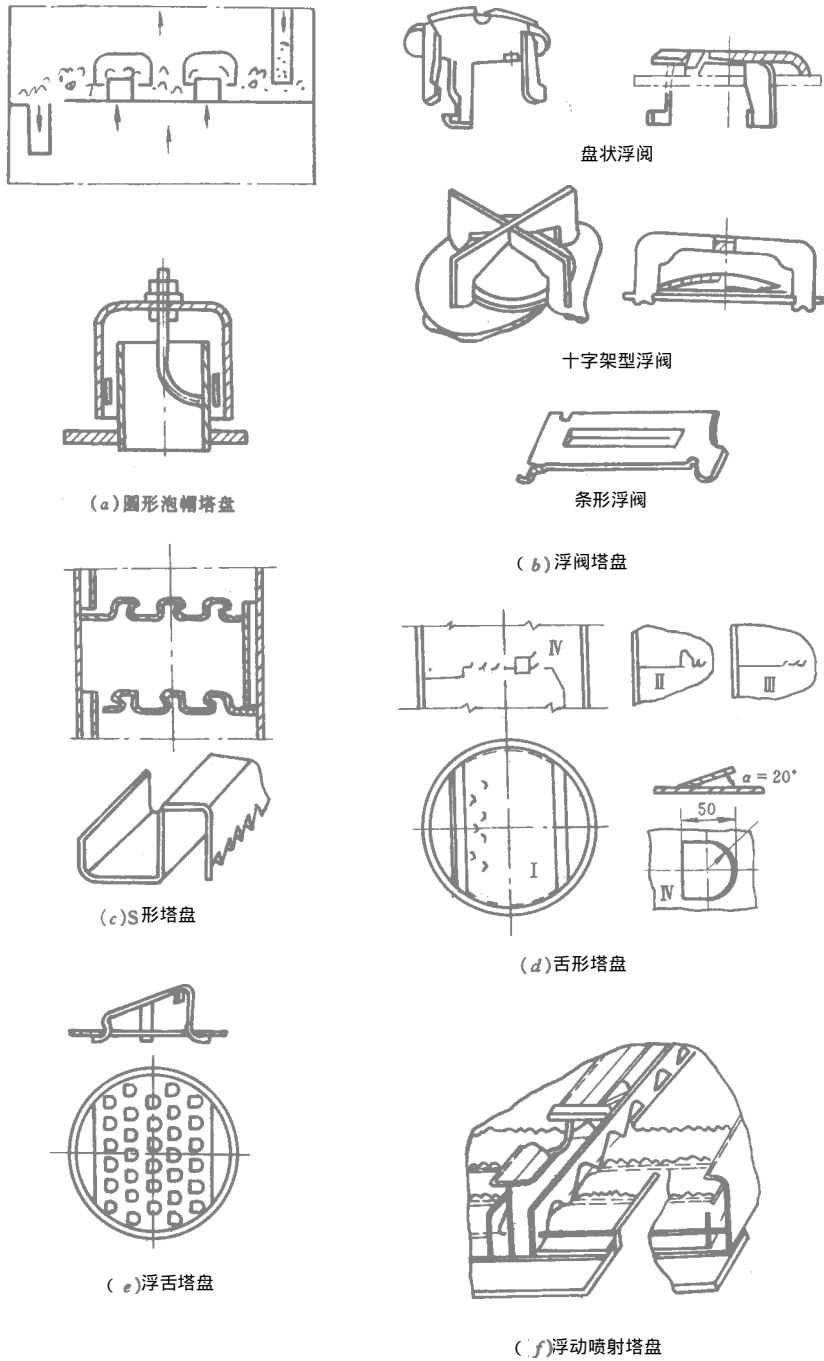


图 1-3 塔盘示意

(2) 鞍形填料：弧鞍填料、矩鞍填料、改进矩鞍填料等。

(3) 鞍环填料及其他颗粒形填料、波纹填料等。

填料安装形式分为整齐排列与乱堆两种。填料本体结构十分重要，通过对填料结构的

改进，使填料塔的性能得到改善。填料的材质有钢、不锈钢和陶瓷、塑料等。填料形式见图 1-4。

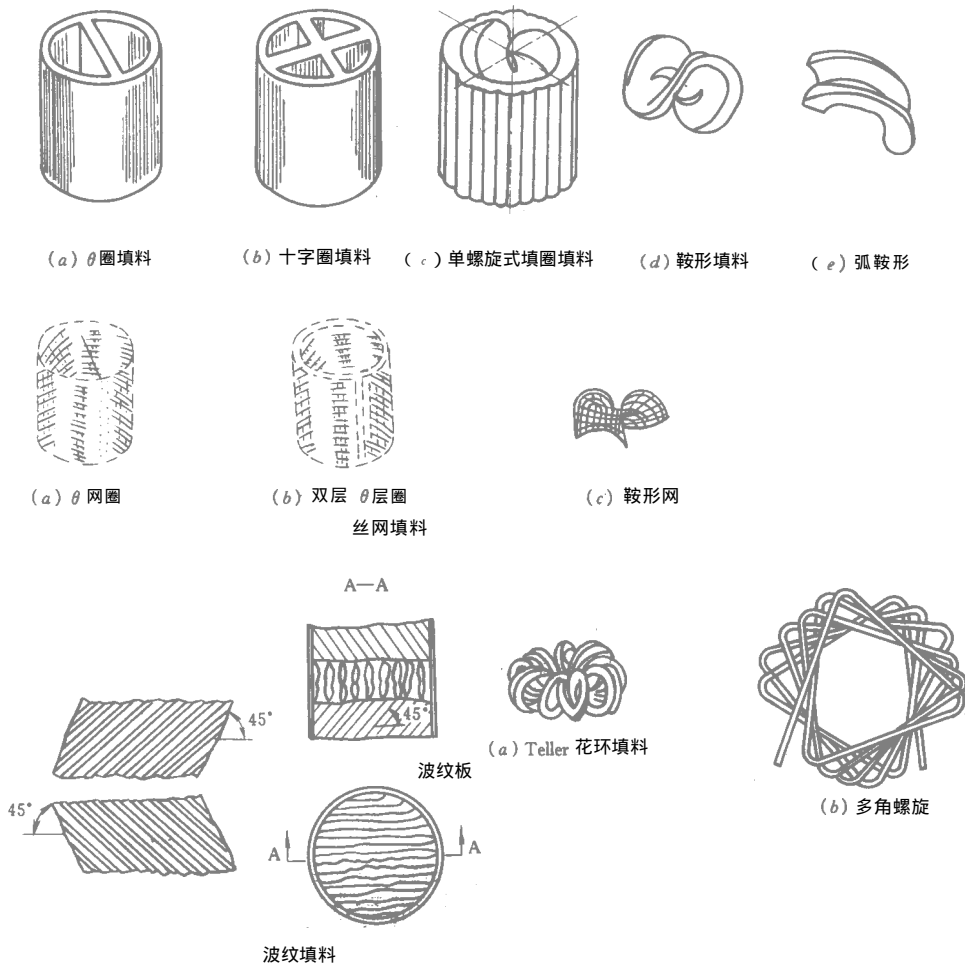


图 1-4 填料形式

第三节 换 热 设 备

换热器是用来完成各种不同传热过程的设备，它是化工、石油、动力原子能、轻工和其他许多工业部门广泛应用的一种通用工艺设备。在化工厂建设中，换热设备约占全部工艺设备投资的 11%；在现代石油炼厂中，换热设备约占全部工艺设备投资的 40% 左右。

换热器依据不同的传递机理设计。热传递有三种基本方式：传导、对流和辐射。

换热器的类型随着工业发展而扩大。在化工、石油生产中，由于用途、工作条件、载热体的特性等不同，其换热器的结构和形式各不相同。

一、换热器的分类

(一) 按作用原理或传热方式分类

1. 混合式换热器：混合式换热器（或称直接式换热器）是参与换热流体的直接接触与混合的作用来进行热量交换的。

2. 蓄热式换热器：蓄热式换热器大多用耐火砖垒砌而成。其内部用耐火砖垒砌成“火格子”或者用成形填料填充。它是让两种不同的流体先后通过同一固体填料的表面，热载体先通过，把热量蓄积在填料中，冷流体通过时将热量带走，从而实现冷、热两种流体之间的热量传递。如炼焦炉的蓄热室的多孔格子砖、空气分离装置的蓄冷器中的卵石等的表面。

3. 间壁式换热器：它是利用一种固体壁面将进行热交换的两种流体隔开，使它们通过壁面进行传热。这种形式的换热器使用最广泛。

(二) 按生产中使用目的分类

可分为冷却器、加热器、冷凝器、汽化器、或再沸器和热交换器等。

(三) 按换热器所用材料分类

一般分成金属材料和非金属材料换热器。

(四) 按换热器传热面的形状和结构分类

1. 管式换热器（通过管壁传热）：

(1) 蛇管式换热器：其传热面是由弯曲成圆柱形或平板形的蛇形管子组成。蛇形管的材料有钢管、铜管或其他有色金属管、陶质管、石墨管等。

蛇形管式换热器又可分为沉浸式和喷淋式（如图 1-5）。

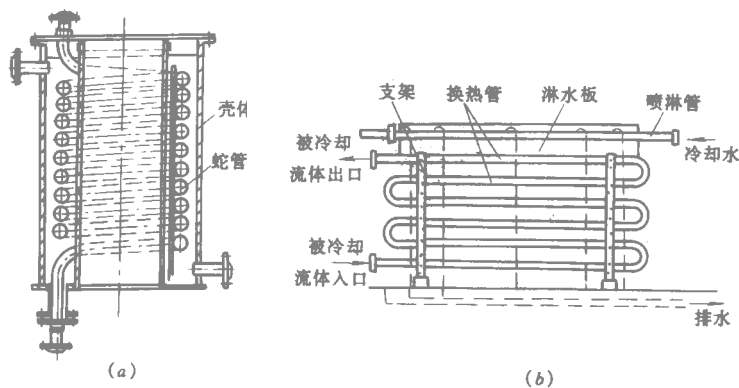


图 1-5 蛇形管式换热器

(a) 沉浸式蛇管换热器；(b) 喷淋式换热器

(2) 套管式换热器：它是由两根直径不同的管子套在一起形成一同心套筒，两端用 U 形构件将它们连接起来，并根据实际需要，排列组合而成。

2. 管壳式（列管式）换热器：管壳式换热器是将管子与管板连接，再用壳体固定。按其结构特点可分为下列几种：

(1) 固定管板式换热器：固定管板式换热器，其外面的圆筒形壳体和内部的换热管

(管束)通过两端的管板刚性地连接在一起。参与换热的两种介质,一种在管内流动(称管程),另一种介质在管外和壳体之间的空间流动(称壳程),热量通过管壁进行传递。其结构见图 1-6。

具有温差补偿的列管式换热器,带挠性构件(壳体带波纹膨胀节)和管束能自由伸缩的两种。见图 1-7。

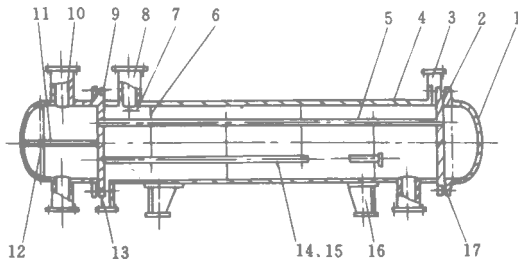


图 1-6 列管式换热器结构

1—封头；2—设备法兰；3—排气口；4—壳体；5—换热器；6—折流板或支承板；7—防冲板；8—壳程接管；9—管板；10—管程接管；11—隔板；12—管箱；13—排液口；14—定距管；15—拉杆；16—支座；17—垫片

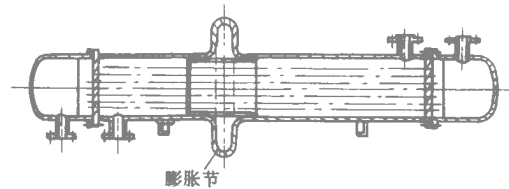


图 1-7 带波纹膨胀节的固定管板式列管换热器

(2) 管束可以自由伸缩的列管式换热器这种换热器的管束一端不与壳体刚性地连接在一起,管束和壳体互不制约,各自可以自由伸缩,从根本上消除了温差应力。经常使用的有浮头式、滑道管板式、填料函式、U形管式和双套管式。

1) 浮头式换热器:一端管板与壳体固定,而另一端的管板可以在壳体内自由浮动,见图 1-8。浮动部分的结构按不同的要求可以设计成各种形式,因管束能在设备内自由移动,还要考虑浮头部分的检修、安装和清洗方便。安装前压力试验按规范要求,压力试验的顺序见 JB1147—80《钢制列管式换热器技术条件》。分为下列三个阶段试压:

A. 管子与固定管板及浮头管板连接口检查试压;

B. 管箱和浮头盖试压;

C. 壳体和外浮头盖试压。

2) 填料函式列管换热器:填料函式列管活动管板和壳体之间以填函的形式加以密封,对于一些腐蚀严重、温差较大而经常要更换管束的冷却器应用较多。结构较浮头简单,制造方便,易于检修清洗如图 1-9 所示。

3) U形管式换热器:U形管式换热器的换热管呈“U”字形,U形管的两端固定在一

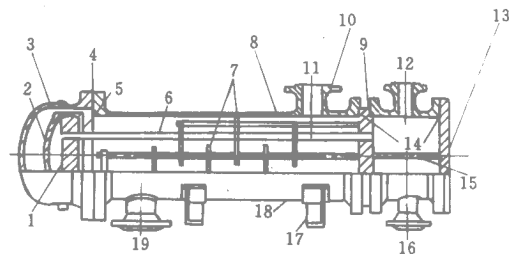


图 1-8 典型的浮头式换热器

1—浮动管板；2—浮头盖；3—壳体头盖；4、14—垫片；5—两半组成的勾圈；6—管子；7—折流板；8—系杆和定距管；9—固定管板；10—防冲板；11、16—入口；12、19—出口；13—管箱盖；15—隔板；17—支座；18—壳体

块管板上，而且这种换热器仅有一块管板，其结构如图 1-10。

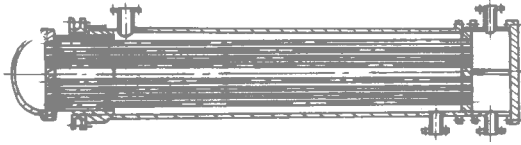


图 1-9 填料函式列管换热器

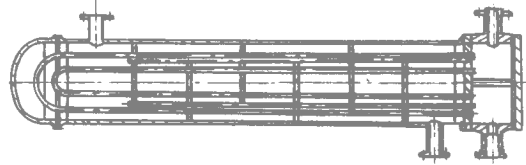


图 1-10 U 形管式换热器

为了改善管间流体流动状况，使换热器操作按照完全逆流方式进行，加大两流体温差，提高换热效果，可在管束中部、空区设置长方形箱状纵向折流板。

4) 滑动管板式列管换热器：滑动管板式的列管换热器，其中一个管板固定，另一端管板可以自由滑动。在壳体法兰、端盖法兰和滑动管板之间设有密封环，以密封三者之间的缝隙。其结构如图 1-11。

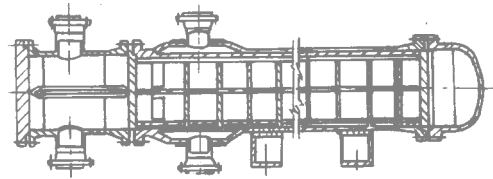


图 1-11 滑动管板式列管换热器

5) 双套管式列管换热器：双套管式列管换热器主要是由两根同心安装的不同直径的管子构成。外套管下端封闭，内管两端畅通。内管与外管分别固定在上、下两块管板上。其结构如图 1-12 所示。这种换热器适用于高温、高压的场合，多用于固定床反应器。如很多氨合成塔触媒筐中就是采用双套管式换热器来调节触媒筐中的温度。

3. 板片式换热器：板片式换热器的传热面是由冷压成形或经焊接连接的金属板材构成的。属于这类的换热器有螺旋板式换热器、板式换热器和板翅式换热器等。

(1) 螺旋板式换热器：螺旋板式换热器是用两张平平的长条形金属薄板卷制成，如图 1-13 所示。

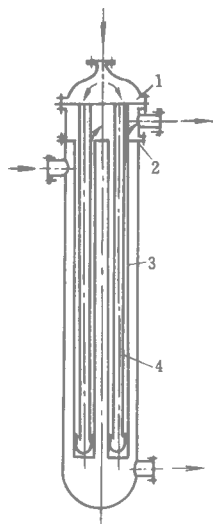


图 1-12 双套管式列管换热器

1—上管板；2—下管板；3—外管；4—内管

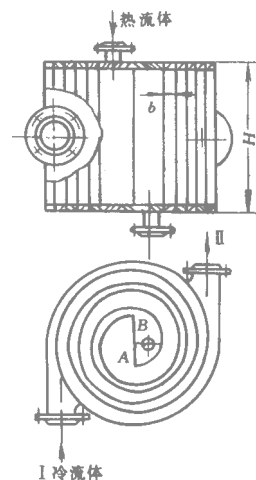


图 1-13 螺旋板式换热器

1、2—平行的金属薄板

(2) 板式换热器：板式换热器是由很多波纹或半球形突出物的传热板，按一定间隔，通过垫片压紧而成，如图 1-14 所示。

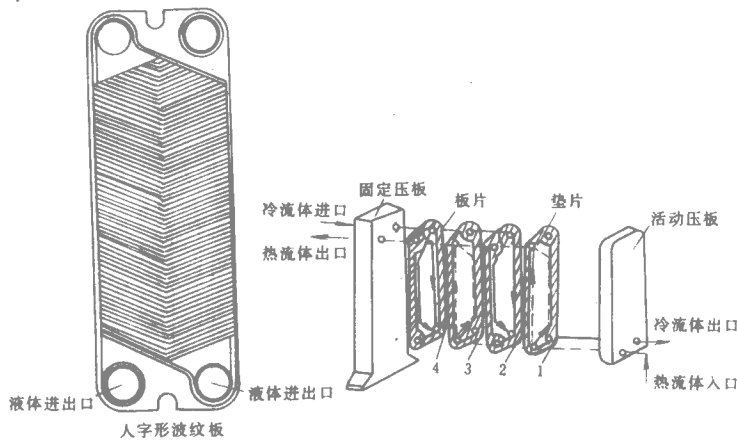


图 1-14 板式换热器

(3) 板翅式换热器：板翅式换热器主要是由平隔板、翅片、封条三部分组成如图 1-15 所示。

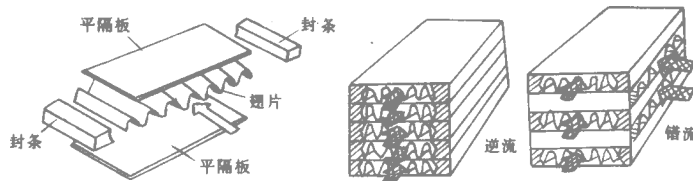


图 1-15 板翅式换热器

4. 非金属换热器：在化工生产中常常有很多具有强腐蚀性的物料，这时用普通材料制成的换热设备已不能满足需要。随着化学工业的发展，出现和发展了许多耐腐蚀的新型材料换热器（如陶瓷、玻璃、聚四氟乙烯、石墨等）。

5. 空气冷却器：空气冷却器的基本部件有：

(1) 一组或多组带翅片的管束，需要冷却或冷凝的流体在管内通过，空气在管外流动，对流进行冷却。

(2) 一个或几个轴流风机，驱使空气流动。

(3) 构架。

(4) 附件，如百叶窗、蒸汽盘管、梯子、平台等。空气冷却器基本结构见图 1-16。

空气冷却器因其结构、安装形式、冷却和通风方式不同，可分为以下不同类型：

1) 按管束布置和安装形式不同分为水平式空冷器和斜顶式空冷器。前者适用于冷却，后者适用于冷凝冷却。

2) 按冷却方式不同分为干式空冷器和湿式空冷器。全干式空冷器适用于：a. 寒冷地区或介质终端温度比夏季设计气温高 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 以上场合；b. 可用于高压介质冷却系统，不再

设后冷却器；c. 冷却依靠风机连续送风；湿式空冷器是借助于水的喷淋或雾化强化换热。

3) 按通风方式不同分为强制风（送风）空冷器和诱导通风空冷器。前者是风机安装在管束下部，用轴流风机向管束送风；后者是风机安装在管束的上部，空气自上而下流动。各种型式见图 1-17。

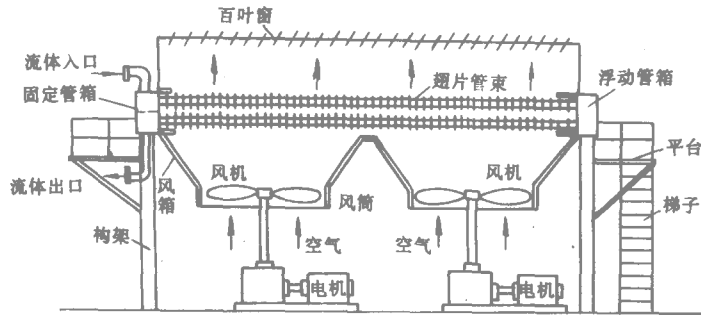


图 1-16 空气冷却器基本结构

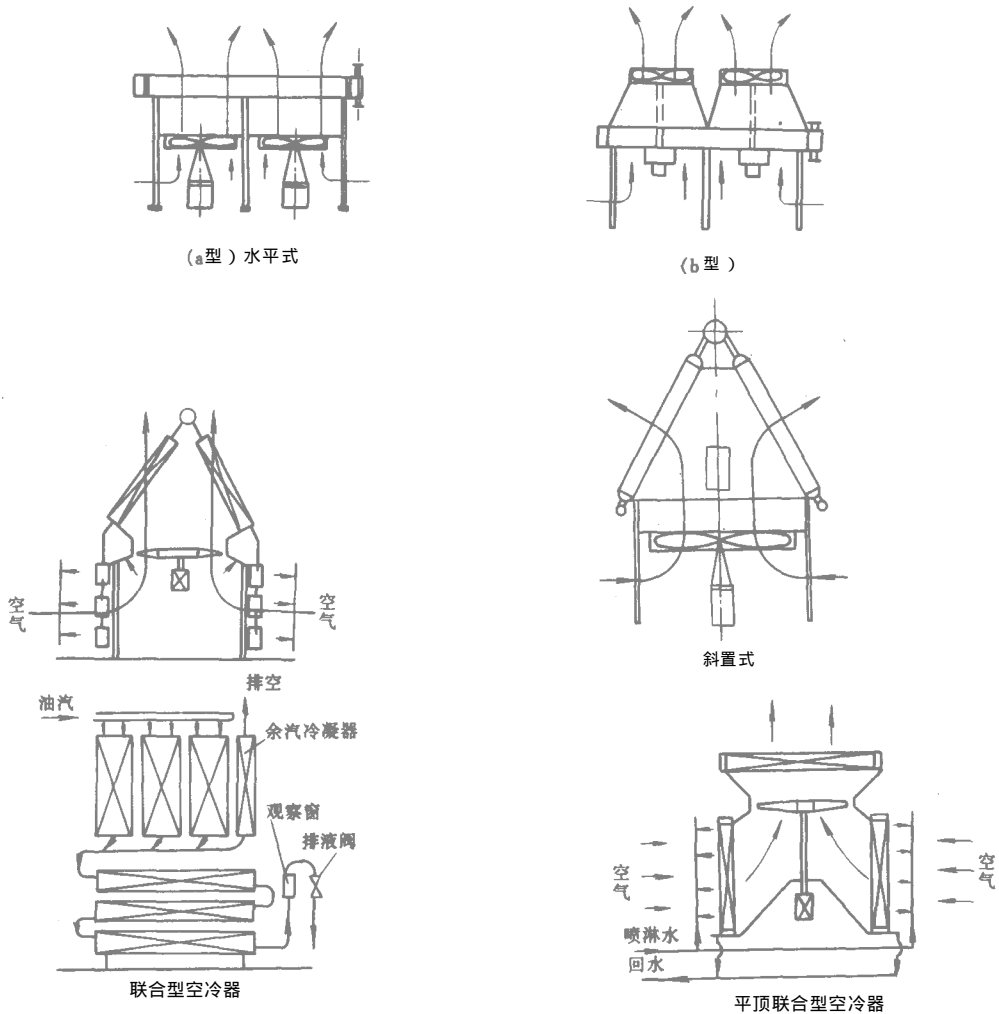


图 1-17 各式空气冷却器

第四节 化学反应设备

化学反应设备是化工厂、炼油厂、石油化工厂中主要的设备之一。反应器主要是用来完成介质的物理、化学反应，生成新的物质。反应过程的进行不仅受传热、传质过程的影响，而且还要受到介质温度、压力、浓度等一系列因素的影响。

根据反应过程和反应器结构不同的特征，有不同的分类方法。

一、按结构形式分类

(一) 釜式反应器

这类反应器在石油、化工中的应用非常普遍，大多数情况下设有搅拌装置及传热装置。既可以用间歇（分批）也可以用于连续操作过程。既可以用单釜也可以用多釜连续操作。如丁苯橡胶、聚氯乙烯、高压聚乙烯生产中的聚合釜等反应器。

(二) 管式反应器

管式反应器是单根连续管式或由一根以上的管子平行排列构成。如高压聚乙烯的生产和石脑油的裂解的反应设备。

(三) 固定床反应器

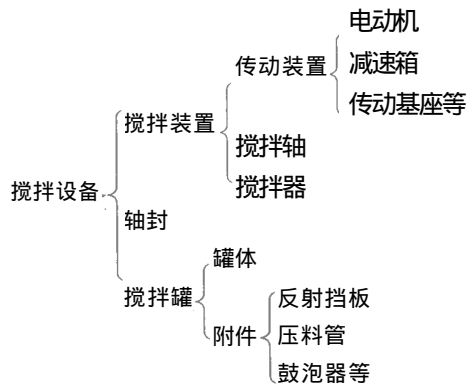
固定床反应器是指在反应器中，固体物料或触媒是静止地放置在支承板上，形成一定高度的床层，使气体和静止状态的固体物料起化学反应，或使气相在静止状态的触媒的影响下彼此起化学反应的设备。如合成氨、加氢脱硫、乙苯脱氢等反应设备。

(四) 流化床反应器

流化床反应器是参与化学反应或触媒的固体颗粒物料处于激烈地运动状态。也就是在反应器内装催化剂或参与反应的固体颗粒，反应流体从反应器底部进入，从顶部引出反应物。如丙烯氨氧化制丙烯腈、萘氧化制苯酐的反应器。

二、带搅拌装置的设备（反应釜）

搅拌设备主要由搅拌装置、轴封和搅拌罐三大部分组成。



搅拌反应器广泛用于化工、轻工和制药等行业。在石油化工生产中被用于物料混合、溶解、传热、制备悬浮液、聚合反应、制备催化剂等。如化工生产中，制造苯乙烯、高压聚乙烯、合成橡胶和油漆颜料等工业过程，都装有各种型式的搅拌设备。

搅拌反应器结构特点是搅拌罐的壳体是一个任意形状的容器，大部分是圆筒形的。如果在搅拌罐内要完成换热过程时，在容器内设置蛇管换热器，或在容器外部设置夹套，以

作为加热或冷却的换热装置。如图 1-18 所示。

带搅拌装置的容器（反应釜）的安装，由于运输条件的限制可分为整体安装和搅拌容器、搅拌装置及独立搅拌装置的支架、搅拌器及附属的电机、减速器、保护罩等的分体安装

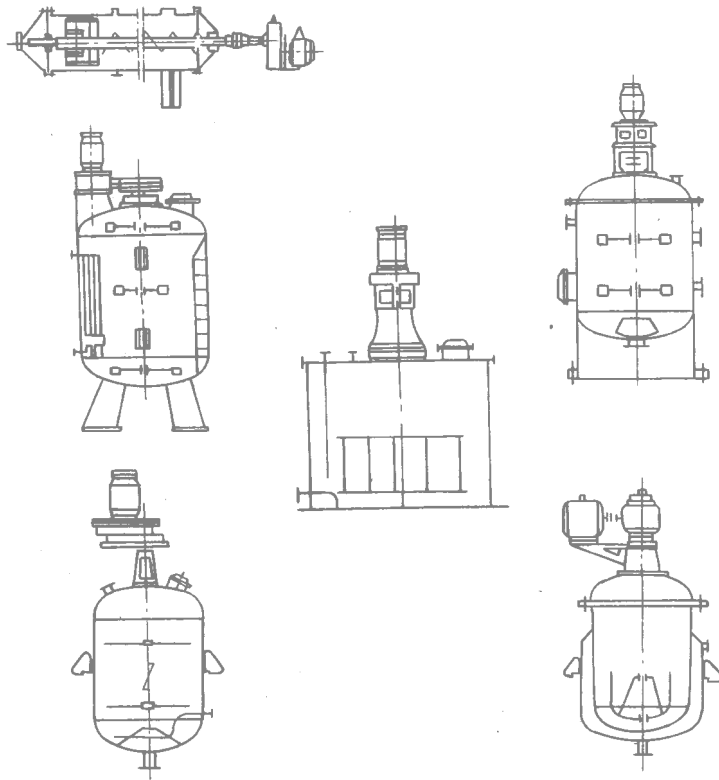


图 1-18 带搅拌器设备

三、高压反应器（高压容器）

高压容器是指承受操作压力为 $10\sim 100\text{MPa}$ 的容器。承受压力大于 100MPa 的容器称为超高压容器。

在石油化工、化工、原子能及动力等工业中许多生产过程是在高压和超高压条件下进行的。如合成氨生产工艺中的高压设备压力为 $15\sim 60\text{MPa}$ ；合成甲醇生产工艺中的高压设备压力为 20MPa ；石油加氢工业中的高压设备压力为 $8\sim 70\text{MPa}$ 等。

高压容器中承受压力的设备壳体多为厚壁圆柱形筒。在工业生产中所用高压工艺装置，有反应釜、反应器气瓶及其他高压下工作的容器（如高压分离器、高压冷凝器等）。高压反应器主要由筒体、端盖、密封装置及紧固连接件组成。如氨合成塔由内筒体和外筒体、换热器、触媒筐、配气盒等构成。主要结构见图 1-19。

（一）单层式筒体：有整体锻造式、锻焊式、铸-锻-焊式、单层卷焊式、电渣重熔式等。

（二）组合式筒体分多层式和缠绕式两种。多层式筒体包括多层包扎式、多层螺旋包扎式、多层热套式；绕带式（又分为型槽绕带式和平钢带缠绕式）、绕板式等。

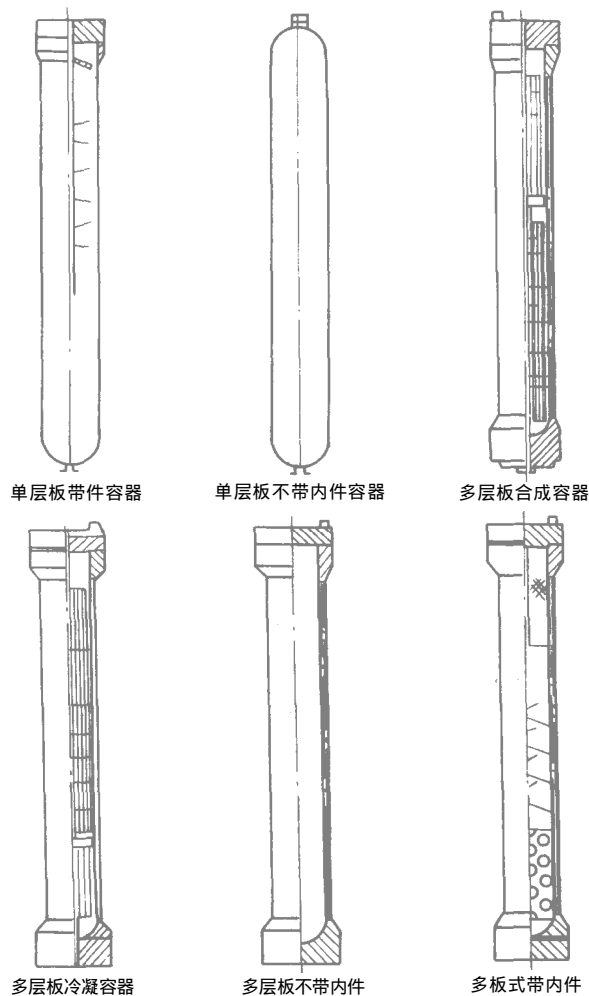


图 1-19 高压容器类示意图

高压设备安装在现行《全国统一安装工程预算定额》（以下简称“全统定额”）中以“台”为计量单位整体安装。如需抽芯检查时，其人工、机械台班费乘以系数 1.3。大型立式高压容器若分壳体与内芯安装时，其人工、机械台班费乘以系数 1.5 调整设备安装费。

第五节 化工容器及设备的检验

为了保证设备产品的质量，必须对设备进行严格的检验。压力容器制造质量管理（包括现场组装的设备）都必须遵照国家有关劳动部门颁发规程规定执行。

压力容器受压部分的焊缝分为 A、B、C、D 四类，如图 1-20 所示。

对于设计温度高于 -20°C 的钢制焊接单层压力容器、多层包扎压力容器及热套压力容器的制造、检验与验收都应符合本规定外，还应符合图样要求。

设备检验的方法有机械法、物理法和化学法等。

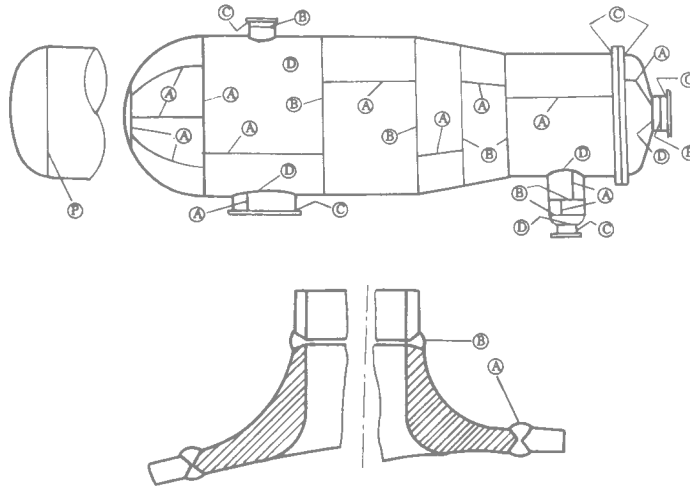


图 1-20 压力容器受压部分的焊接分类

设备质量的检查，又分为有损检查法和无损检查法。现在常用的有磁力探伤法、超声波探伤法、射线探伤等无损检验法以及煤油试验、液压试验、气压试验和气密试验等。

现行定额按设备理论容积以“台”为计量单位，计算设备试验费用。

现场分段、分片设备组装后的压力试验，应在热处理及焊缝探伤检验合格后进行。

一、压力试验和气密试验

设备的压力试验和气密试验是指在安装现场进行的试验。

1. 对在制造厂已作过耐压试验且有完整的证明文件的设备，安装前可不作耐压试验。但对于法兰连接的设备及列管换热器等，在运输过程中容易引起泄漏者，应在设计压力下用气压或液压检测其严密性。

2. 对于现场组装的设备应在无损检验后，进行压力试验。

(一) 液压试验

1. 试验液体一般采用水，特殊要求时也可采用不会导致发生危险的其他液体。试验时的温度应低于液体的闪点或沸点。

2. 奥氏体不锈钢容器用水进行液压试验后应将水渍去除干净。当无法达到这一要求时，应控制水中的氯离子含量不超过 25×10^{-6} 。

3. 试验温度：碳素钢、16MnR 和正火 15MnR 钢制容器液压试验时，液体温度不得低于 5°C ；其他低合金钢容器，液压试验时液体温度不得低于 15°C ；其他钢种制作的容器液压试验温度按图纸规定。

4. 试验压力的确定：

(1) 设备试验压力按设计图纸要求确定。

(2) 内压力容器试验压力 P_1 按下式确定：

$$P_1 = \begin{cases} 1.25P \frac{[\delta]}{[\sigma]} \\ P + 0.1 \end{cases}$$

取两者中的较大值。

式中 P ——设计压力, MPa;

$[\delta]$ ——试验温度下材料的许用应力, MPa;

$[\sigma]$ ——设计温度下材料的许用应力, MPa;

当 $[\delta] / [\sigma]$ 的比值大于 1.8 时, 按 1.8 计算。

(3) 外压容器和真空容器按内压容器进行液压试验, 试验压力 P_t 按下式确定。

$$P_t = 1.25P$$

式中 P ——设计外压力, MPa。

(4) 直立容器卧置进行液压试验时, 试验压力应为立置时的试验压力加液柱静压力。

(5) 试验方法:

1) 试验时容器顶部应设排气口, 充液时应将容器内的空气排净。试验过程中, 应保持容器表面干燥。

2) 试验时压力缓慢上升, 达到规定试验压力后, 保持时间一般不少于 30min。然后将压力降到规定试验压力的 80%, 并保持足够的时间对所有焊缝和连接部位进行检查。

3) 对于夹套容器, 先进行内筒液压试验, 合格后再焊夹套, 然后作夹套的液压试验。

4) 液压试验完毕后, 应将液体排净并用压缩空气将内部吹干。

(二) 气压试验

1. 气压试验应有安全措施。试验所用气体应为干燥、洁净的空气、氮气或者其他惰性气体。

2. 试验压力: 内压设备的试验压力 P_t 按下式确定。

$$P_t = \begin{cases} 1.15P \frac{[\delta]}{[\sigma]} \\ P + 0.1 \end{cases}$$

取两者中的较大值。

式中 P ——设计压力, MPa;

$[\delta]$ ——试验温度下材料的许用应力, MPa;

$[\sigma]$ ——设计温度下材料的许用应力, MPa。

当 $[\delta] / [\sigma]$ 的比值大于 1.8 时, 按 1.8 计算。

外压容器和真空容器按内压容器进行液压试验, 试验压力 P_t 按下式确定。

$$P_t = 1.15P$$

式中 P ——设计外压力, MPa。

3. 试验温度

(1) 碳素钢和低合金钢制作的容器, 气压试验时介质温度不得低于 15℃;

(2) 其他钢种制作的容器气压试验温度按图纸规定。

4. 试压方法: 气体试验时压力应缓慢上升, 升至规定压力的 10% 且不超过 0.05MPa 时, 保压 5min, 然后对所有焊缝和连接部位进行初次泄漏检查, 合格后再继续缓慢升至规定试验压力的 50%, 然后按每级为规定试验压力的 10% 的级差逐级增至规定的试验压力。保压 10min 将压力降到规定试验压力的 87%, 并保持足够长的时间后再次进行泄漏检