

绪 论

(1) 化学工业与过程工业、化工机械与过程机械

化工机械是指使用于化工生产的各种机械。广义的化工还包含炼油、石油化工、轻化工、农药、医药原料、涂料、橡胶、塑料、合成纤维以及各种精细化工行业，因此，化工机械是一个应用比较广泛的机械门类。

推而广之，在很多工业生产中，处理的物料是流动性物料，如气体、液体、粉体等。在生产过程中，要对原材料、中间产物进行输送，并进行一系列化学、物理过程，以改变物质的状态、结构、性质并得到最终产品。这种以流动性物料为主要处理对象、完成其生产过程的工业生产总称为过程工业。过程工业中进行的各种化学、物理过程往往在密闭状态下连续进行，几乎遍及所有现代工业生产领域，而化学工业是最传统、典型的过程工业。化肥、石油化工、生物化工、制药、农药、染料、食品、炼油、轻工、热电、核工业、公用工程、湿法冶金、环境保护等生产过程大多数是处理流动性物料，处理过程中几乎都包含改变物质的状态、结构、性质的生产过程，这些工业都属于过程工业。因此，化学工业与过程工业关系最为密切，其内涵互相包容得最多。过程工业的任何一个生产装置都需要使用多种机器、设备和管道，如各种形式的压缩机、泵、换热设备、反应设备、塔设备、干燥设备、分离设备、储罐、炉窑、管子、管件等，以完成生产过程中的各种化学反应、热交换、不同成分的分选、各种原料（包括中间产物）的传输、气体压缩、原料和产品的储存等，这些设备也是化工设备。因此，化工机械与过程机械也是关系最为密切，其内涵互相包容得最多。

(2) 化工生产与化工机械

化工生产是在一定条件下使化工原料（物料、介质）发生化学变化和物理变化，进而得到所需要的新物质（产品）的生产过程。不管其生产过程相对简单还是复杂，都需要在一定的“设备”或由设备组成的“装置”中进行，就像化学实验要在试管、烧杯等玻璃器皿中进行，或在这些器皿组成的实验装置中进行一样。例如，合成氨生产中，由天然气（或石脑油、重油）为原料经裂解等反应得到 H_2 、 CO 等混合物料，但氨（ NH_3 ）的合成需要高纯度的 H_2 ，实际生产中是经过“变换”反应，将 CO 和加入的水蒸气变成 CO_2 和 H_2 ，再经过“脱碳”，将 CO_2 分离掉。如图 0-1 所示。图 0-2 是脱碳工段的工艺流程图。

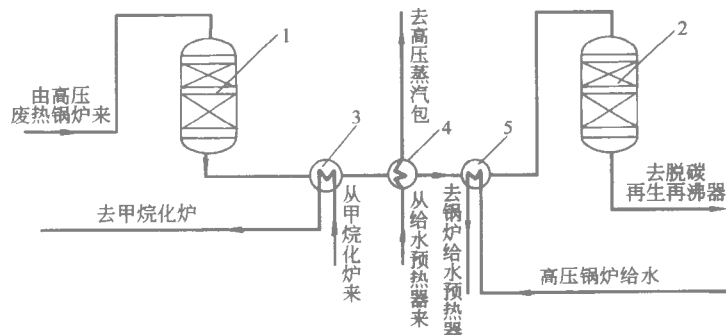


图 0-1 CO 变换工艺流程图

1—高温 CO 变换炉；2—低温 CO 变换炉；3—甲烷化炉调整加热器；4—高压 BFW 预热器；5—高压 BFW 预热器

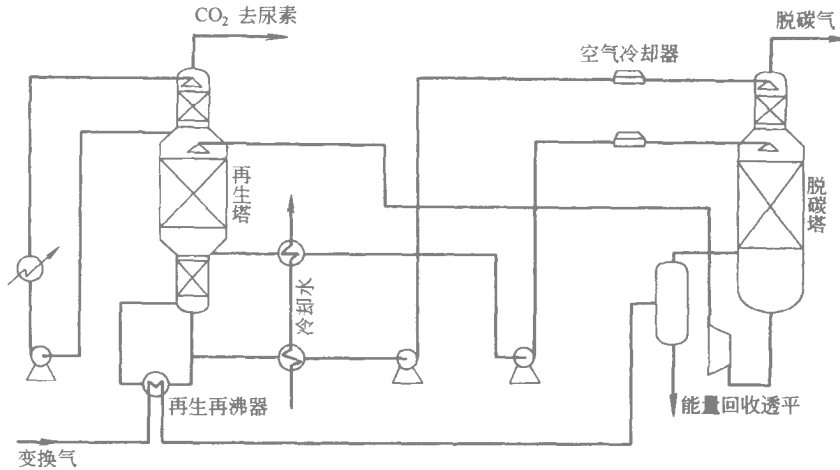


图 0-2 脱碳工艺流程图

图 0-3 是管式炉乙烷裂解制乙烯生产流程图。乙烯是重要的石油化工基础原料，主要用于生产聚乙烯、聚氯乙烯、苯乙烯、乙丙橡胶、乙醇、乙醛、环氧乙烷、乙二醇等。原料乙烷和循环乙烷经热水预热后，到裂解炉对流层，加入一定比例的稀释蒸气进一步预热，然后进入裂解炉辐射段裂解，裂解气到废热锅炉迅速冷却，再进入骤冷塔进一步冷却，其中水和重质成分冷凝成液体从塔底分出。冷却后的裂解气经离心式压缩机一、二、三段压缩，送碱洗塔除去酸性气体，再进乙炔转换塔除去乙炔，然后经压缩机四段增压后到干燥塔除去水分，接下来到乙烯/丙烯冷冻系统，烃类物质降温冷凝，分出氢气、冷凝液先分出甲烷，再

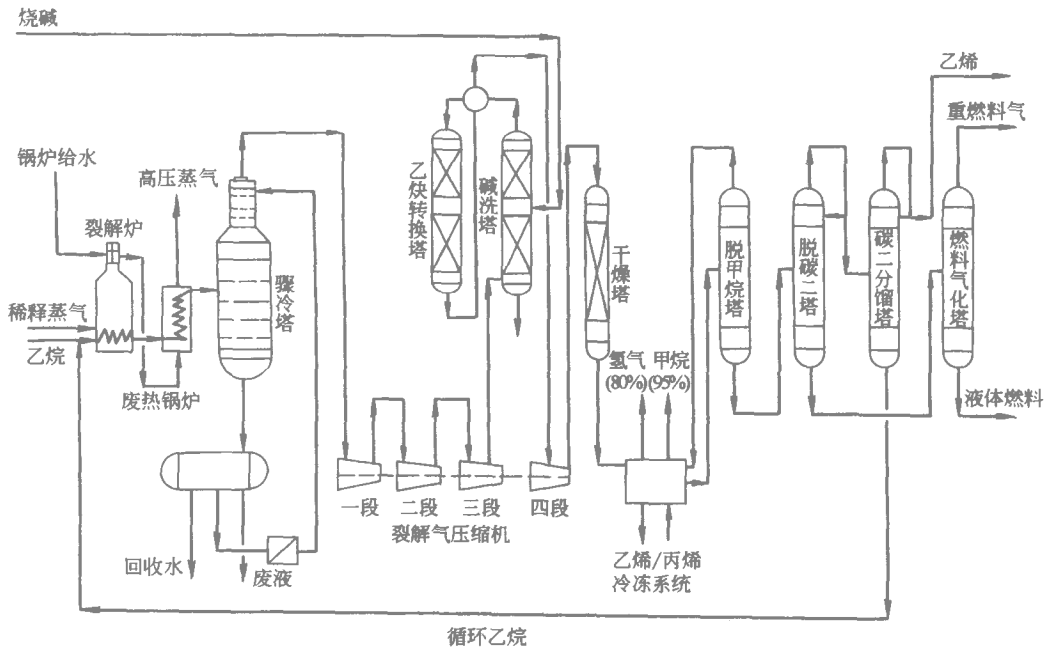


图 0-3 管式炉乙烷裂解制乙烯生产流程图

在碳二分馏塔得乙烯产品，乙烷循环使用。碳三以上成为燃料。流程中使用的机器有离心式压缩机，设备有裂解炉、废热锅炉和各种塔。所有机器、设备之间全部用管子、管件、阀门等连接。

随着工业的发展，工业生产产生的废气、废液、废渣越来越多，严重污染人类的生存环境。“三废”治理已越来越引起人们的广泛重视，已经逐步与主产品生产放到同等的重要位置。其中很多治理过程也往往是流程性的。图 0-4 是废有机氯化物中盐酸的回收流程图。整个工艺包括燃烧、急冷、吸收和除害等工序。所用的设备主要是燃烧炉、塔设备、换热设备、泵和管路阀门。

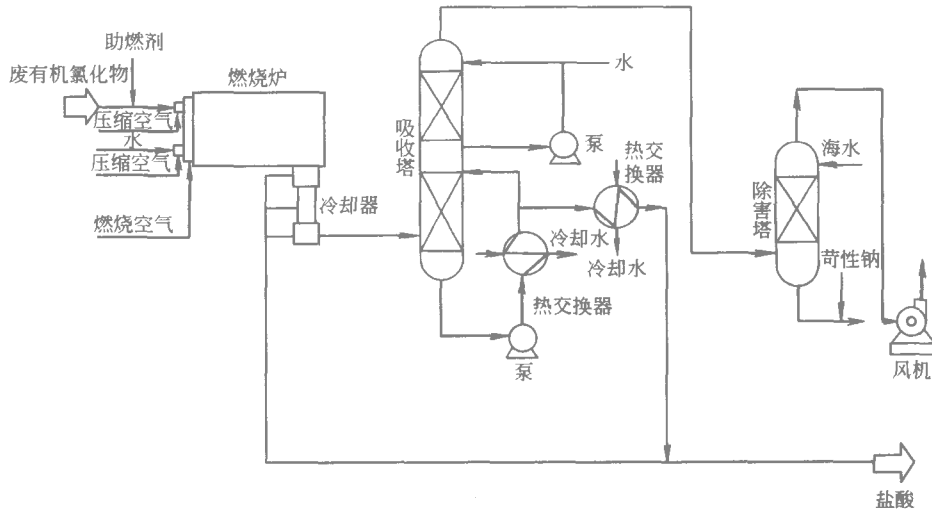


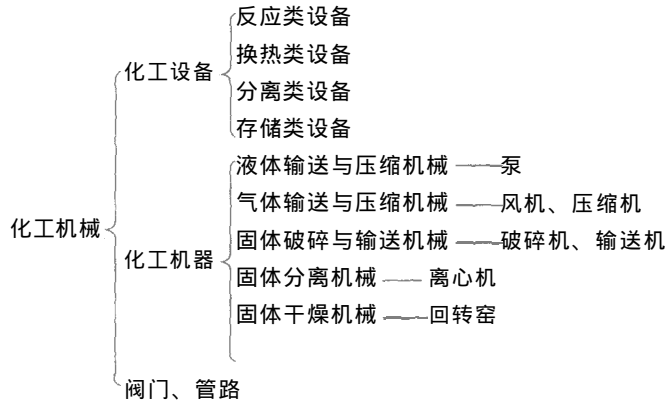
图 0-4 废有机氯化物中盐酸的回收流程图

化工机械是各种化工生产中使用的各种机械设备的统称。可见，化工生产离不开化工机械，化工机械是为化工生产服务的。现代化工生产追求安全、稳定、长周期、满负荷运行，并优化生产组合和产品结构，这就需要化工工艺和化工机械之间很好地配合，当然，还有仪表控制在内。历史经验证明，新的化工工艺过程需要有性能优良的化工机械与之配合；反之，化工机械领域新的突破，能够促使化工生产跨上新台阶，出现新飞跃。为了密切配合，确保化工生产的“安、稳、长、满、优”，工艺人员必须具有一定的化工机械方面的知识和能力。

(3) 化工机械与化工设备

在化工机械中，有一类机械依靠自身的运转进行工作，称为“运转设备”或“转动设备”（俗称动设备）；另一类机械工作时不运动，依靠特定的机械结构等条件，让物料通过机械内部“自动”完成工作任务，称为“静止设备”（俗称静设备）。为了便于化工机械的分类管理和学生的学习，通常将化工机械分为“化工设备”（即静设备）和“化工机器”（即动设备）两大部分。但是，在化工厂里，往往在需要分清是“静止的”还是“转动的”设备时，分别称为“设备”和“机器”，在不需要区分时统称“化工设备”，也就是说，非机械人员往往将“化工设备”的概念扩展为整个化工机械。因此，要注意对“设备”的特定情况下的特定含义。

按照不同的工艺作用化工机械有如下分类：



本课程所说的化工设备概念是指广义的化工设备，化工机器一般称为运转设备。本课程的内容以静止设备为主。图 0-5 是几种典型化工设备的直观图。

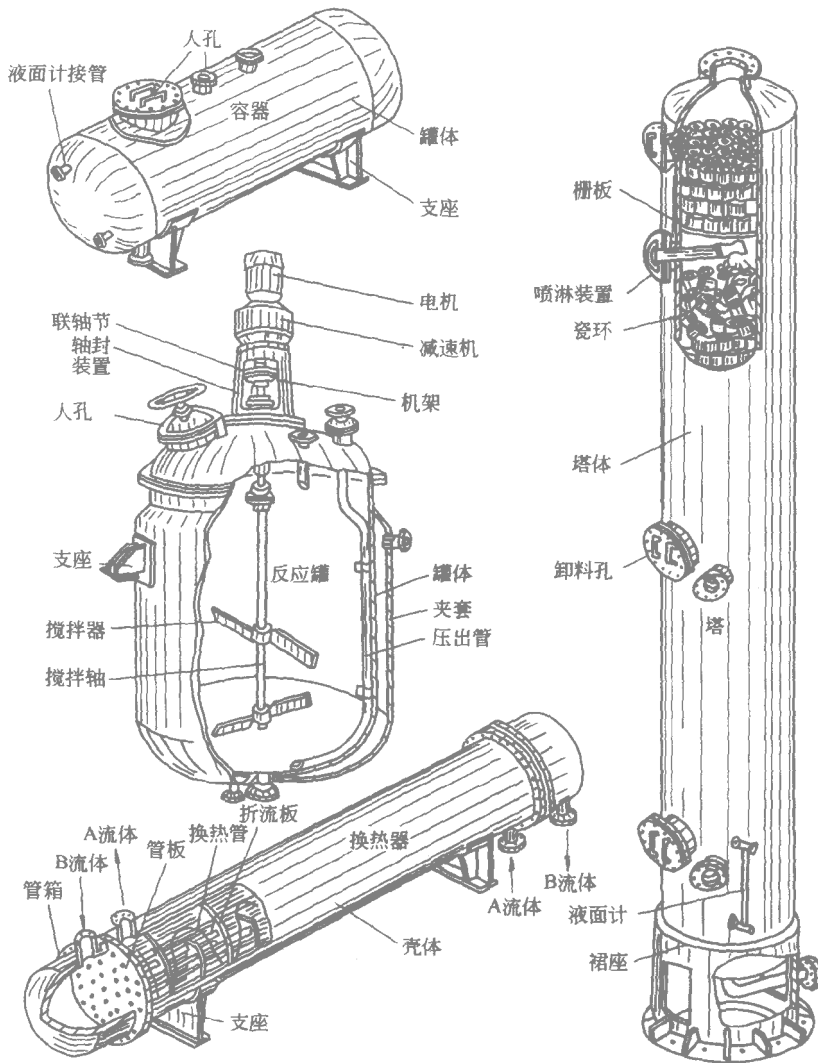


图 0-5 几种典型化工设备的直观图

(4) 化工生产操作和化工设备维护

化工操作工，包括化学反应工、分离工、聚合工、化工司机工、化工司泵工等，其等级工技术标准中，直接与化工设备有关的要求列于表 0-1。

表 0-1 化工操作工等级工技术标准中的有关内容

	初 级 工	中 级 工	高 级 工
应 知	(4) 本岗位设备、工艺管线的试压方法和耐压要求	(3) 装置主要设备的结构、用途、工作原理、设备检修质量标准及验收要求	(3) 装置易发生重大事故的产生原因和防范措施
	(5) 本岗位设备、工艺管线的开、停车安全置换知识和规定	(4) 装置主要设备、工艺管线的大修安全知识和规定	(4) 装置的全部设备的结构、性能及安装技术要求 (5) 装置的仪表、反应设备、机泵选用原则和技术要求 (6) 装置的大修、停车、置换方案和大修计划修订要求
	(8) 本岗位有关安全技术、消防、环保知识和规定	(8) 装置一般生产管理知识(全面质量管理、经济核算等)	(9) 装置的有关生产技术管理的知识(全面质量管理、经济活动分析、技术管理知识)
应 会	(3) 能及时处理本岗位事故，会紧急处理本岗位停水、电、汽、风等故障	(3) 组织处理装置多岗位事故，并能做出分析和提出防范措施	(3) 组织处理现场事故和技术分析
	(4) 会正确进行本岗位的设备清洗、防冻、试压、试漏等工作 (5) 会维护和保管本岗位设备，确保生产安全进行	(4) 组织装置大修后主要设备的质量验收和仪表检修安装后使用验收	(4) 提出装置的大修内容和改进方案
	(6) 熟练使用安全、消防急救器材	(5) 组织装置主要设备检修前的准备工作 (6) 组织装置主要设备、管线大修前后的安全检查	(5) 组织装置大修前后的安全检查和落实安全措施
		(8) 具有对初级工传授技能的能力	(8) 具有对中级工传授技能的能力
		(10) 画装置多岗位带控制点的工艺流程图，识工艺管线施工图	(10) 画压缩机组装配图、管线施工图

对于机、泵岗位的操作工(指压缩机、泵等运转设备)，还应具有相应的零配件、轴承、润滑等知识。仔细分析，等级工标准中与设备有关的约占到 50%，而且中、高级工标准中对设备方面的要求更高，表中没有列出的其他条目，大多数与化工设备间接有关。这就明确地告诉人们：化工工艺和化工设备是紧密相连的，化工生产操作的好坏是和化工设备的状态密切相关的。因而，在化工生产操作中做好设备的维护管理确实非常重要。否则，难保不出事故。如：某厂聚丙烯车间，用注射泵从储罐往外输送甲醇，随着液面的下降，卧式储罐变瘪而报废。这件事的原因是操作工在启动泵之前没有打开往罐内补氮气的阀，在运行中也没有检查罐内的压力，致使抽成负压，设备变形而报废。

很明显，该操作工缺乏设备维护意识，只是简单地考虑开泵送液这个工艺要求，而且，责任心也差，既违反操作规程，又缺少巡回检查。

在化工生产厂，设备经过检修，经检验合格交付使用后，其使用过程包括以下几点。

启动(开车)：开车前准备，开车程序。

正常运行维护。

异常情况处理：指某种异常的现象原因和处理。

停车：正常停车；紧急停车（包括紧急全面停车和紧急局部停车）；停车后保护。

另外，要特别注意特殊设备的启动、开车安全守则及注意事项以及冷天（冬季）的防冻要求等等。

在以上这些使用过程中，操作和操作维护始终是连在一起密不可分的。所以，要生产，要操作，就要了解设备、懂得设备；要操作的好，就要维护好设备。“安、稳、长、满、优”是现代化工企业追求的生产运行目标，实现这一目标的基础在于坚持优良的工艺操作和良好的设备维护。因此，学好本门课程是非常重要的。

(5) 学习化工设备机械基础课程的目标与注意事项

化工生产离不开化工机械，化工厂的工艺人员必须具有一定的化工机械知识和能力，以便更好地开展工作和与机械工作人员协调合作。

以化工类工厂中，工艺人员常见的化工机械方面的问题为主要讨论对象（化工制图等已学内容除外），不按机械专业理论体系来安排学习内容。

课程学习中，尽可能结合化工工艺实际，结合已具有的工业和机械知识，结合实习、参观与实物、模型，注意实际效果，注意实际能力的提高。

可灵活安排学习内容，不追求理论的系统完整，注意实验后的讨论，以扩展知识结构。

1 化工设备基础知识

1.1 容器的基本结构

1.1.1 化工容器的结构

化工设备广泛地应用于化工、食品、医药、石油及其相关的其他工业部门。虽然它们服务的对象、操作条件、内部结构不同，但它们都有一外壳，这一外壳称之为容器。化工容器与其他行业的容器相比较有其自身的特点：它经常在高温高压下工作，它里面的介质易燃、易爆、有毒、有害且具有腐蚀性。因而要保证化工容器能长期安全地运转，化工容器必须具备足够的强度、密封性、耐蚀性及稳定性。

化工容器常见的结构形式如图 1-1 所示。它是一钢制圆筒形结构，主要由钢制圆筒体和两端的封头组成，并设有各种化工工艺接管（如物料进出口管、压力表接管、液面计接管等），以及为检修方便开设的人孔、手孔，和为保护容器安全而设置的安全装置（如安全阀、爆破片）等，整个容器借助支座安放在基础上。

为了便于设计，有利于成批量生产，提高质量，降低成本，我国有关部门已制定了化工容器零部件标准，例如封头、法兰、支座、人孔、手孔等都有相关的标准，设计时可直接选用。

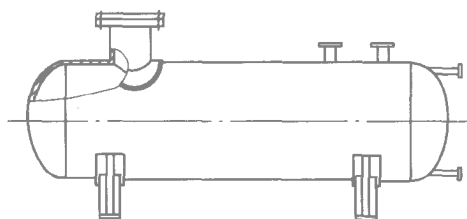


图 1-1 化工容器常见的结构形式

1.1.2 化工容器的分类

化工容器通常都是在一定的压力下工作的，因而化工容器又称之为压力容器。化工容器的种类很多，可从不同的角度加以分类。

(1) 按照压力容器在生产过程中的作用分类

按照化工生产的过程来看，一般都要在一定的设备中进行化学反应，而化学反应等过程总是需要在一定的温度和压力下进行，会存在热量的传递和交换过程，所以相应地需要各种传热设备。然后，要从反应后的混合物中分离出需要的产物，再储藏到容器中。所以，按照压力容器在生产过程中的作用原理，可将压力容器分为四种。

反应压力容器（代号为 R）。它主要用于完成介质的物理、化学反应，如反应釜、分解塔、合成塔、变换炉等。

换热压力容器（代号为 E）。它主要完成介质的热量交换，如热交换器、冷凝器、蒸发器、冷却器等。

分离类容器（代号为 S）。它主要完成介质的净化分离，如分离器、洗涤塔、过滤器、吸收塔、干燥塔等。

储存类容器（代号为 C，其中球罐的代号为 B）。它主要用于盛装生产用的原料气体、液体、液化气体等，如各种形式的储罐。

如果一种压力容器同时具备上述两种或两种以上容器的功用时，应根据其在工艺过程中的主要作用来划分。

(2) 按照容器的压力等级分类

GB 150—98 《钢制压力容器》标准中按压力容器的设计压力 (p) 将容器分为低压、中压、高压和超高压四个压力等级，划分如下：

低压容器 (代号为 L): $0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$;

中压容器 (代号为 M): $1.6 \text{ MPa} \leq p < 10 \text{ MPa}$;

高压容器 (代号为 H): $10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$;

超高压容器 (代号为 U): $p \geq 100 \text{ MPa}$ 。

(3) 按照容器的管理等级分类

为了有利于安全技术管理和监督检查，有利于安全生产和其他压力容器的安全使用，国家质量技术监督局 1999 年修订颁发的《压力容器安全技术监督规程》中，根据容器所受的压力的大小、介质的毒性和易燃易爆程度以及压力和体积乘积的大小将压力容器分为三类。

1) 第一类压力容器

除以下第二类、第三类压力容器外的所有低压容器。

2) 第二类压力容器

它包括：

除第三类容器以外的所有中压容器；

剧毒介质的低压容器；

易燃或有毒介质的低压反应器和储运器；

内径小于 1 m 的低压废热锅炉。

3) 第三类压力容器

它包括：

高压或超高压容器；

剧毒介质且工作压力 p 与容积 V 的乘积： $pV \geq 0.2 \text{ m}^3 \cdot \text{MPa}$ 的低压容器或剧毒介质的中压容器；

易燃或有毒介质且 $pV \geq 0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{MPa}$ 的中压反应器，或 $pV \geq 10 \text{ m}^3 \cdot \text{MPa}$ 的中压储运器；

中压废热锅炉或直径大于 1 m 的低压废热锅炉。

压力容器还有其他的分类方式，如按照容器的形状来分，可将容器分为球形容器、圆筒形容器和矩形容器；按照相对壁厚来分，可分为薄壁容器和厚壁容器；按照制造容器所用的材料来分又可将容器分为碳钢容器、合金钢容器、不锈钢容器和铜或铝制的容器等。

1.2 化工生产对化工设备的基本要求

化工设备在化工生产的过程起着非常重要的作用，它一方面承担了化工生产的整个过程，另一方面化工设备的革新、发展又会促进化工生产技术的发展。

化工生产的物料通常是有毒有害、易燃易爆的，如果发生了设备事故，其破坏和危害是极其严重的。为了保证化工生产能安全、正常地运转，就必须使化工设备具有足够的安全可

靠性，同时还需满足化工工艺条件和经济性的要求，这是化工生产对化工设备的基本要求。

1.2.1 安全方面的要求

化工设备在使用年限内安全可靠是化工生产对化工设备最基本的要求，要达到这一目的，就必须对化工设备有以下方面的要求。

(1) 强度

强度是指设备及其零部件抵抗外力破坏的能力。化工容器应具备足够的强度，若容器的强度不足，会引起塑性变形、断裂甚至爆破，危害化工生产及现场工人的生命安全，后果极其严重。但是，盲目地提高强度也会使设备变的笨重，浪费材料，也是不合理的。

(2) 刚度

刚度是指容器及其零部件抵抗外力作用下变形的能力。若容器在工作时，强度虽满足要求，但若在外载作用下发生较大变形，则也不能保证其正常运转。例如常压容器的壁厚，若根据强度计算的结果数值很小，在制造、运输及现场安装过程中会发生较大变形，故应根据其刚度要求来确定其壁厚。

(3) 稳定性

稳定性是指设备或零部件在外力作用下维持原有形状的能力。长细杆在受压时可能发生突然变弯，受外压的设备也可能出现突然被压瘪的问题，从而使得设备不能正常工作。故设备需要足够的稳定性，以保证不会突然发生较大变形。

(4) 耐蚀性

耐蚀性是指容器抗腐蚀的能力，它对保证化工设备能否安全运转十分重要。化工厂里的许多介质或多或少地具有一些腐蚀性，它会使整个设备或某个局部区域减薄，致使设备的使用年限减短。设备局部减薄还会引起突然的泄漏或爆破，危害更大。选择合适的耐蚀材料或采用正确的防腐措施是提高设备耐蚀性能的有效手段。

(5) 密封性

密封性是指设备阻止介质泄漏的能力。化工设备必须具备良好的密封性能，对于那些易燃易爆、有毒的介质，若密封性能失效，会引起污染、中毒甚至燃烧或爆炸，造成极其严重的后果，所以必须引起足够的重视。

对于运转设备，还要求具有良好的运转平稳、低振动、低噪声、易润滑等性能。

1.2.2 经济方面的要求

(1) 尽量降低设备成本

设备在进行结构设计时，在安全合理的前提下，应注意节约钢材，尤其是昂贵的不锈钢材料，以降低设备的材料成本。另外，在制造时，应优化加工工艺，采用简便、省时的加工方法，以降低设备的制造成本。只有这样，才能降低设备的总成本，取得经济效益。

(2) 操作、维修方便

化工设备上除应开设经常用的各种接管外，还应考虑维修所需的人孔、手孔；装有内件的化工设备还必须考虑装拆、检修、清洗等问题。

产品成本低，操作维修方便是设备技术经济指标中最综合、最重要的指标。只有这样，产品在市场上才有竞争力。

思 考 题

1. 化工容器的主要结构包括哪几部分？

- 2 化工容器可以分成哪几类？除了课本介绍的几种分类方式外，你还知道哪些分类方式，请举例说明。
- 3 化工生产对化工容器的基本要求有哪些？
- 4 什么是强度？什么是刚度？化工容器除了有强度要求外，为什么还要有刚度要求？

2 化工设备结构与管路

化工生产过程是在用管路连接起来的各台设备中进行的，各台设备运行的好坏直接影响生产过程，影响产量和质量，这必然涉及设备的工作原理与内部结构。

2.1 换 热 器

换热器是化工生产过程中主要的换热设备。在石油、化工生产中通常对流体加热或冷却，液体汽化或蒸气冷凝等过程都有热量交换，因而都需要换热器。换热器的种类很多，结构形式也各不相同，但它们通常都应尽量满足下列要求：应满足工艺条件所规定的要求；

应具有较高的传热效率，换热器所用的材料传热性能要好，传热面积足够且流体阻力要小；应具有足够的机械强度和刚度，整体结构可靠，节省材料。此外，还应便于制造、安装及维修。

目前，换热器的种类主要有两大类，一类是板式换热器，另一类是管式换热器。本节主要介绍最具代表性的列管式换热器。

2.1.1 列管式换热器的基本结构形式

列管式换热器主要有管箱、管板、壳体、换热管、折流板及附件等组成，如图 2-1 所示。管箱是收集或分配管程内的流体，它通过法兰或焊接与管板连接在一起；换热管通常是通过胀接或焊接与管板连接在一起，是换热器中主要的换热元件。在有的换热器中设有折流板，折流板可以使得管程内的流体改变流向，发生湍流，增强传热效果，还对换热管具有支撑作用，防止换热管发生较大挠性变形。

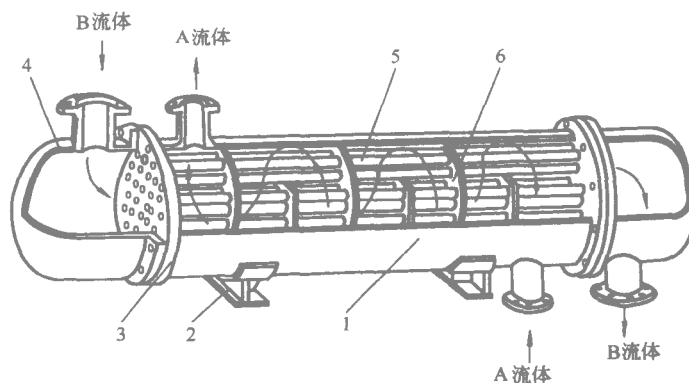


图 2-1 列管式换热器的基本结构形式

1—壳体；2—支座；3—管板；4—管箱；5—换热管；6—折流板

2.1.2 列管式换热器的主要类型

列管式换热器由管束、管板和外壳等部件组成。由于管束、管板和壳体的结构和连接方式不同，列管式换热器又可分为固定管板式、浮头式、填料函式和 U 形管式四种。

2.1.2.1 固定管板式换热器

固定管板式换热器是由换热管、管板和壳体组成，如图 2-2 所示。这类换热器的优点是结构紧凑、简单，在相同的壳径内布管数最多，单独的管子在进行更换或维修时不影响其他管子，管内清洗方便，但管外清洗较困难，因而壳程宜采用清洁不易结垢的流体。另外，两管板由管束支撑，故在列管式换热器中其管板最薄，造价也低，因而得到较为广泛的应用。但是，这种换热器在管程与壳程换热介质的温度差较大时，换热管与壳体的伸长量不同，从而会产生较大的温差应力。改进的办法之一是在壳体上设置膨胀节。温差应力产生的原因分析和降低温差应力的方法如下。

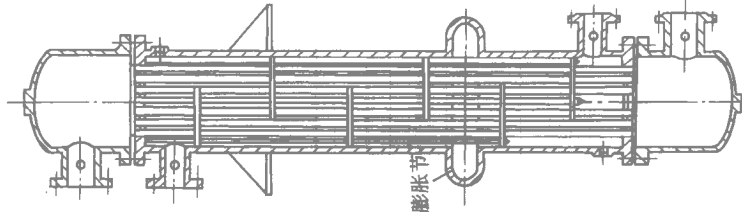


图 2-2 固定管板式换热器

(1) 温差应力的产生

如图 2-3 所示，圆筒与管子在装配时的温度都为 T_0 ，此时两者的长度都为 L ，如图 2-3

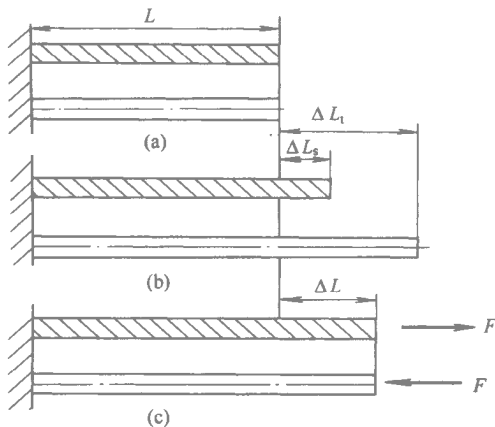


图 2-3 管子与壳体的温差应力示意图

(a) 所示。在操作时，设壳体壁内的平均温度为 T_s ，管壁内的平均温度为 T_t ，因为壳体、管内所流的介质温度不同，因而 T_s 不等于 T_t 。当 $T_t > T_s$ 时，则如图 2-3 (b) 所示，管子自由膨胀量 ΔL_t 比壳体自由膨胀量 ΔL_s 大；事实上，圆筒与管子是固定在一起的，它们的伸长量必须相等，都为 ΔL ，如图 2-3 (c) 所示。对于圆筒来说，除了自由膨胀量 ΔL_s 外，它还被拉长了 $(\Delta L - \Delta L_s)$ ，而管子却被压缩了 $(\Delta L_t - \Delta L)$ ，这说明圆筒受到拉力作用，管子受到压力作用。如果 $T_t < T_s$ 时，圆筒与管子的受力正好相反。这种由于圆筒与管子之间的温差变化不同，导致它们之间变形不协调而存在的相互之间的作用力

F ，叫做温差轴向力。圆筒（或管子）单位壁横截面上所受到的温差轴向力叫温差应力。

(2) 温差应力的补偿

在工程实际中，温差应力的危害是不容忽视的。如果管、壳壁受拉伸和压缩的总应力超过了材料允许的应力时，管子或壳体就会失效。管子是胀接或焊接在管板上的，如果管子所受的轴向力过大，会使管子从管板连接处拉脱。另外，温差应力过大，还会使得管板发生翘曲，破坏管板密封处的密封性。因而必须对温差应力予以适当的补偿，从而减小（或消除）温差应力的危害。常采用的措施有以下两种。

降低管束与壳体之间的膨胀差。因为管子和壳体的自由膨胀量与它们的材料和温度变化量有关，这要求在进行设计和使用换热器时，尽量使得它们的温度膨胀系数和温度变化

量相近，这样才能使得它们在操作时膨胀量相近（或相等），以减小或消除温差应力。

设置膨胀节。膨胀节是装在固定管板式换热器壳体上的容易变形的构件，由于它在轴向容易变形，所以，当管子和壳体壁温不同而产生膨胀差时，由于膨胀节的变形协调，可以大大减小温差应力。

固定管板式换热器中采用的膨胀节主要有 U 形膨胀节，平板焊接式膨胀节及 Ω 形膨胀节，如图 2-4 (a)、(b)、(c) 所示。最常用的 U 形膨胀节允许采用两个半波零件焊接而成，其波壳组成的层数可以是单层板，也可以是多层板结构。当要求更大补偿量时可用多波膨胀节，多波膨胀节可以为整体成型结构，也可以由几个单波元件组焊而成。平板焊接的膨胀节结构简单，制造方便，但它们的刚性较大，补偿能力小，不常用； Ω 形膨胀节适用于直径大，压力高的换热器。

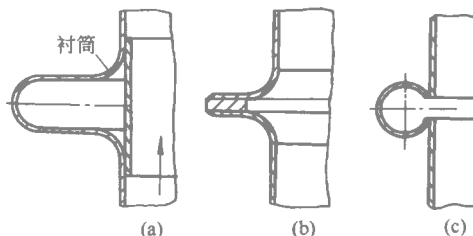


图 2-4 膨胀节的结构形式

若换热管与壳体温差过大，或壳程介质压力较大，则可以改用其他结构形式的列管式换热器来消除温差应力。例如可采用浮头式、U 形管式、填料函式换热器代替固定管板式换热器。

2.1.2.2 浮头式换热器

固定管板式换热器会有轴向温差应力的原因，是圆筒和管束在两端都用管板连接在了一起，要变形必须同时变形，管束不能自由浮动，而如图 2-5 所示的浮头式换热器就改变了这种状况。这种换热器的一端管板通过法兰用螺栓固定，另一端可在壳体内自由移动，即所谓的“浮头”。这种结构使得管子和壳体在热膨胀时可自由伸长，相互不受影响，不会产生温差应力。浮头式换热器的管束可以从一端自由抽出，便于管外的清洗。但是，它又产生了新的缺点，主要是结构较复杂，造价高，浮头处的密封要求较严，密封不严时会造成管内外的流体相互混合，流体会从高压的一边泄漏到压力低的一边，且泄漏量不大时不易觉察。

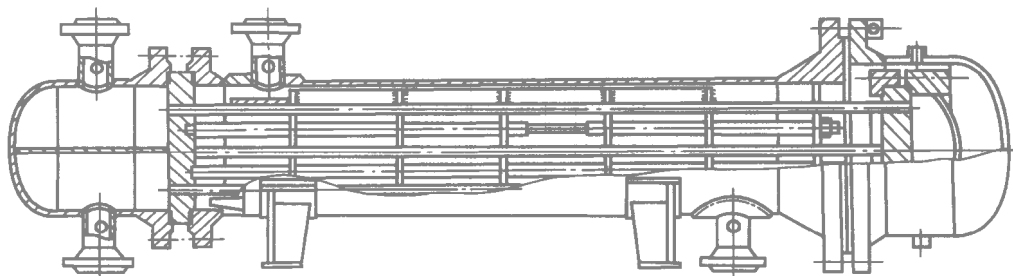


图 2-5 浮头式换热器

2.1.2.3 填料函式换热器

填料函式换热器的结构如图 2-6 所示。这种换热器的结构与浮头式换热器的结构相似，只是浮头伸到了壳外，且浮头与壳体之间采用了填料函式密封，所以，又可称为外浮头式换热器。这种换热器结构简单，加工制造方便，管束容易抽出进行检修、清洗。因而这种换热器适用于管壳温差较大，介质不清洁或腐蚀严重，需经常清洗或更换管束的场合。但是，由于受到填料密封条件的限制，不宜用在直径较大、压力较高的场合。

2.1.2.4 U形管式换热器

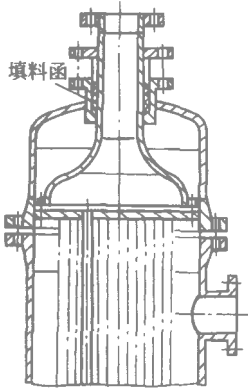


图 2-6 填料函式换热器

U形管式换热器的结构如图 2-7 所示。这种换热器只有一块管板，换热管被弯成 U 形，管子两端固定在同一块管板上，因此，管子在受热时可以自由膨胀，消除了温差应力，而且管束可以抽出来，因而管外清洗方便。由于省掉了一个管板和管箱，所以当管内压力较高时，可以节省许多材料。但由于管子被弯成 U 形，管内清洗困难，管子拆修更换不便。此外，管子弯曲时需一定的弯曲半径，使得管间距离较大，管板上布管数较少，结构不紧凑，管束中心部分存在空隙，减少了换热面积，而且管外流体容易走短路，影响传热效率。

综上所述，固定管板式换热器适用于壳程介质清洁，不易结垢，温差比较小的场合；浮头式换热器适用于管壳温差较大，介质不清洁，需经常清洗的场合；填料函式换热器适用于管壳温差较大，介质不清洁或腐蚀严重，需经常清洗或更换管束的场合，由于受到填料密封条件的限制，不宜用在直径较大、壳程压力较高的场合；U形管式换热器适用于管壳壁温差较大，管内走清洁介质的高温高压的场合。

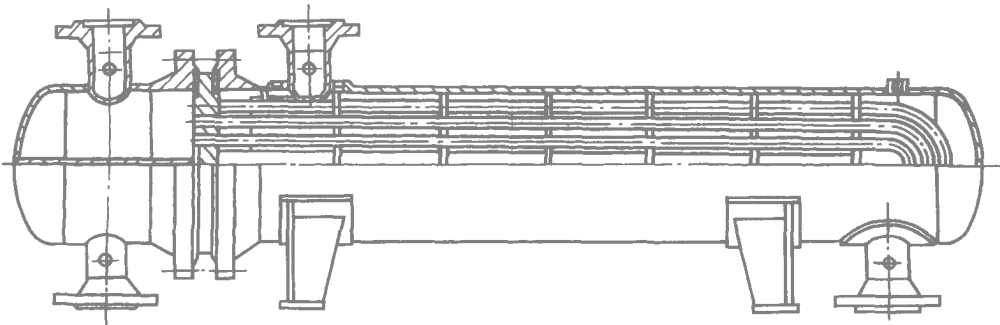


图 2-7 U形管式换热器

2.1.3 列管式换热器的结构

2.1.3.1 换热管

换热管是换热器的主要换热元件，它主要是通过管壁的内外面来进行传热的。管子的直径、长度、数量和材料是影响换热管进行传热的几个因素。管子的直径、长度和数量是由换热器的传热面积决定的，采用小直径管子，换热器单位体积内的换热面积要大一些，设备紧凑，传热系数高，但制造麻烦，管内容易结垢，清洗不便，多用于清洁的流体。大直径的管子管内清洗较方便，多用于粘性大或较污浊的流体。

换热管在管板上的排列有正六角形（或称正三角形）、正方形和同心圆三种，如图 2-8 所示。正六角形排列运用的最多，其优点是在同样的管板面积上，排管数最多，但不易清洗管子的外表面。对于需要经常清洗管外的换热器可采用正方形排列，其优点是清刷管外方便，但排管数量比正六角形要少得多。同心圆排列在靠近壳体的地方布管均匀，在小直径的换热器中排管数较多，但划线麻烦。

2.1.3.2 管子与管板的连接方式

管子与管板的连接部位如果结合不紧密，往往会在此处引起泄漏，泄漏量小时，不易被

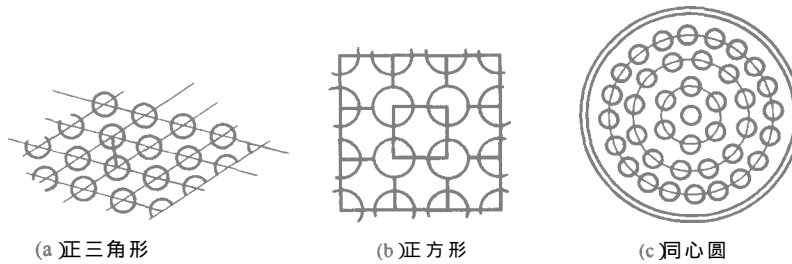


图 2-8 换热管在管板上的排列方式

发现，会造成一定的危害。因而管子与管板连接是列管式换热器制造中的关键部位。常用的有胀接、焊接和胀焊结合等方法。

(1) 胀接

胀接是利用胀管器挤压伸入管板孔中的管子的端部，使管端产生塑性变形，同时使管板产生弹性变形，这时管端直径增大，紧贴于管板孔。当取出胀管器，管板孔弹性收缩，使管板与管子间产生一定的挤压力而紧紧贴合在一起。这种方法劳动量较大，效率较低。用液压胀管和爆破胀管的方法使管子与管板牢固连接，是较新的制造技术，它具有生产效率高，劳动强度低，密封性能好等优点，现已得到广泛运用。

采用胀接时，换热管材料的硬度值一般需低于管板的硬度值，为提高连接强度和密封性，可在孔壁开槽，以便胀管后管子发生塑性变形，管壁被嵌入小槽中，如图 2-9 所示。

由于胀接主要是靠挤压来实现连接的，为防止温度过高产生蠕变，使得胀接部位松脱，其使用范围应限制在设计压力 $p \leq 4 \text{ MPa}$ ，设计温度 $t \leq 300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2) 焊接

管子与管板之间采用焊接，应用较为广泛。它连接可靠，具有良好的气密性，承压能力高，且在高温高压下也能保证连接的紧密性和抗拉脱能力。为了保证焊接质量，管板孔边上应开斜口，称为焊接坡口。由于制造和检验技术的进步，近年来焊接连接使用的越来越多。其主要缺点是管子与管孔板之间往往存在微小间隙，易形成缝隙腐蚀；当管壁和管板厚度相差很大时，由于冷却速度不同会产生热应力。

(3) 胀焊并用

单独采用胀接或焊接都有一定的局限性，当胀、焊结构不能满足要求时，可采用胀焊结合的结构形式。胀焊并用有两种形式：一种是强度胀加密封焊，另一种是强度焊加密封胀。前者是胀接承受作用力，而密封则由焊接保证。焊接高度一般为 $1 \sim 2 \text{ mm}$ ，不影响胀接强度。后者是焊接承受作用力，而胀接只消除间隙。胀焊并用这种结构形式适用于密封要求高、承受振动、有缝隙腐蚀及采用复合钢板的场合。

2.1.3.3 管板与壳体的连接

管板与换热器的连接方式与换热器的形式有关，固定管板式换热器的管板与壳体的连接采用不可拆连接，而浮头式、U形管式及填料函式换热器的管板与壳体的连接则采用可拆

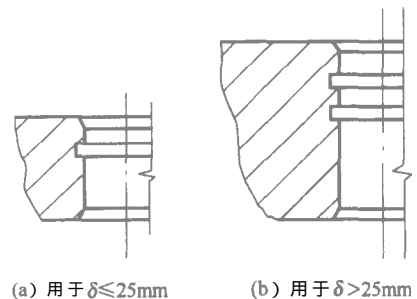


图 2-9 换热管的胀接结构

连接。

(1) 不可拆连接结构

固定管板式换热器两端管板通常直接焊在壳体上，并兼作法兰，如图 2-10 所示法兰是一种可以多次拆卸同时又起密封作用的连接构件。其中图 2-10(a) 采用的是角焊缝，壳体对中容易，施焊方便，但不易焊透，适用于壳程设计压力 $p_s \leq 1 \text{ MPa}$ 、物料危害不大的场合；图 2-10(b) 采用单面对接焊缝，焊接质量提高，但焊接时难以调整，适用于 $p_s \leq (1 \sim 4) \text{ MPa}$ 的场合；图 2-10(c) 是一种带衬环的单面对接焊，焊缝质量高，适用于 $1 \sim 4 \text{ MPa}$ 的场合。

管板也可不兼作法兰，如图 2-11 所示。

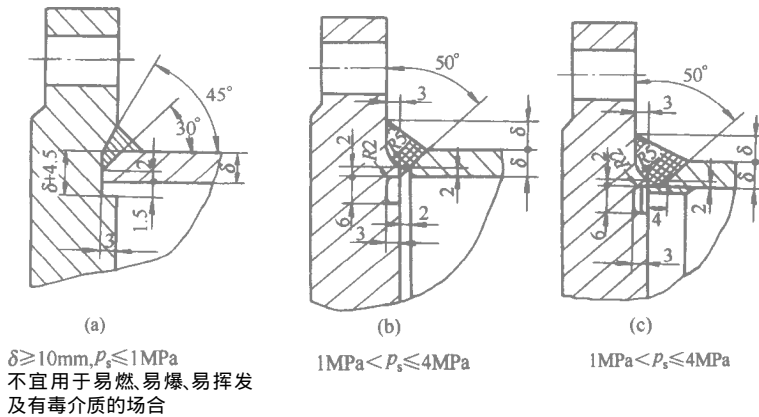


图 2-10 兼作法兰的管板与壳体的连接

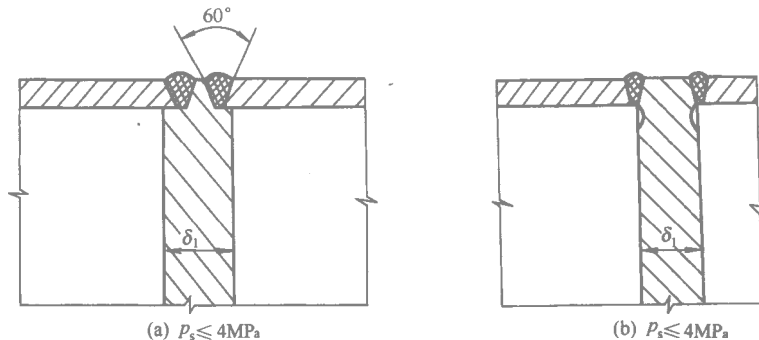


图 2-11 不兼作法兰的管板与壳体的连接

(2) 可拆连接结构

浮头式、U形管式及填料函式换热器有一块管板是刚性固定的，为了能使管束从壳体中抽出进行清洗，故将固定端管板做成可拆连接，即将管板夹于壳体法兰与管箱法兰之间，如图 2-12 所示。图 2-12(a) 当卸下管箱后就可把管板连同管束从壳体中抽出。如使用中只需经常卸下管箱，不必抽出管束，则可采用图 2-12(b)。

2.1.3.4 管箱、折流板、支持板及拉杆

管箱位于换热器的两端，其作用是使进入换热器中的流体均匀分布到各换热管中，或把管内的流体汇集一起送出。在多管程换热器中，管箱还起到分隔管程，改变流向的作用。

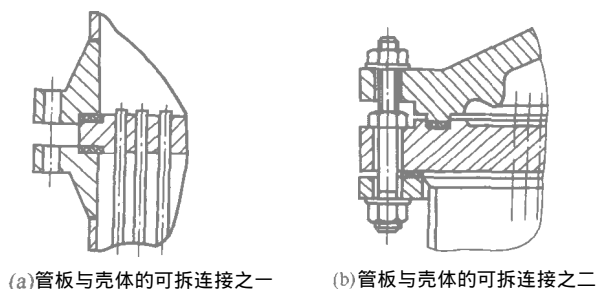


图 2-12 管板与壳体的可拆连接结构

垂直于直线方向安装的挡板叫横向折流板，它可以提高壳程内流体的流速，增加介质的湍流程度，提高传热效率；另外它还起到支撑管束的作用。

常用的弓形折流板有单弓形、双弓形和三弓形三种，各种折流板的结构形式及流体的走向见图 2-13 所示。单弓形折流板 [如图 2-13(a) 所示] 流体只经折流板的圆缺部分而垂直流过管束，结构简单，加工方便，运用较广泛。单弓形折流板一般应按等距离布置，其最小间距应不小于圆筒内径的 $1/5$ ，且不小于 50 mm ，最大间距应不大于圆筒内径，且管束两端折流板尽可能靠近进出口接管。

单弓形折流板在板间距较大时，液体绕到折流板后会在这里滞流，形成滞流死区，影响传热效果。为了消除滞流死区通常可采用双弓形和三弓形折流板 [如图 2-13(b)、(c) 所示]。

折流板既起折流作用，又起支撑作用。

当工艺要求无折流板，而管子又比较细长时，应考虑设置一定数量的支持板，防止管子产生较大变形。支持板的形状有弓形、双弓形和三弓形，形状与弓形折流板相同。

在列管式换热器中，折流板和支持板的固定是通过拉杆和定距管来实现的，如图 2-14 所示。图 2-14(a) 结构适用于换热管外径大于或等于 19 mm 的管束，此拉杆两端都带有螺纹，一端用螺纹拧入管板，折流板用定距管定位，最后一块折流板用两螺母固定。对于换热管外径小于或等于 14 mm 的管束，可采用焊接结构，如图 2-14(b) 所示。拉杆一端插入管板中焊接，每块折流板均与拉杆点焊固定。

2.1.3.5 壳程接管

壳程流体进出口，对换热器的传热效率和换热管的使用寿命都有很大影响。尤其是流体进出口速度较高或流体内夹杂有固体颗粒时，会对换热管产生剧烈冲刷。为了克服这一现象，可在入口处装有缓冲挡板和缓冲接管等。

(1) 缓冲挡板

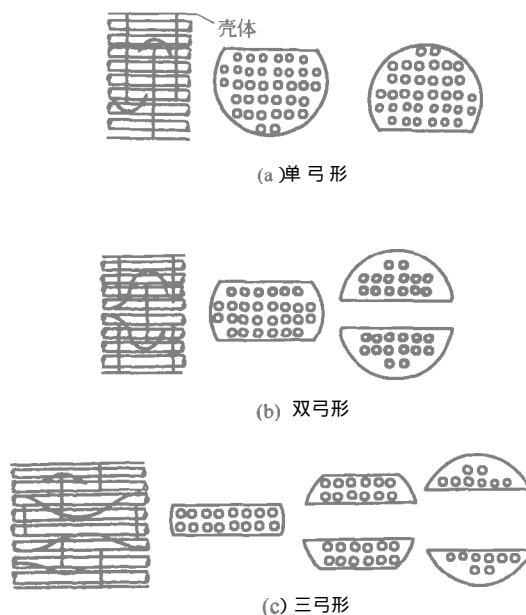


图 2-13 折流板的结构形式及流体走向