



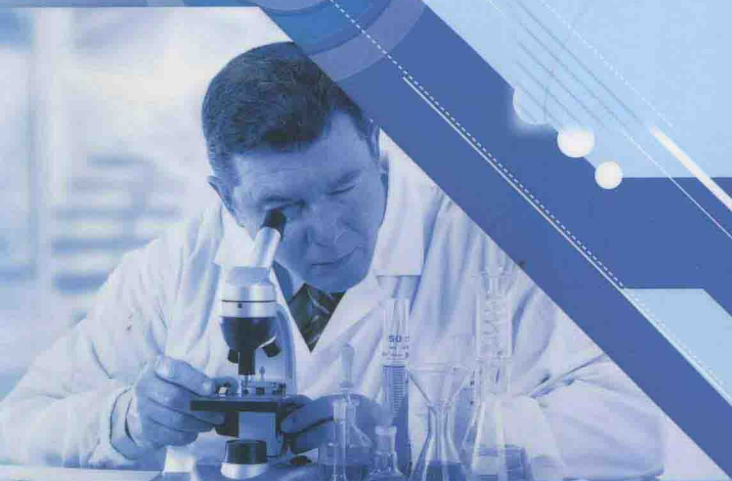
职业院校教改创新实验教材

总主编 孙焕利
副总主编 孙洪丽 于德水

HUA GONG SHE BEI YU JI QI

化工设备与机器

主 编 管来霞



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



职业院校教改创新实验教材

总 主 编 孙焕利
副总主编 孙洪丽 于德水

HUA GONG SHE BEI YU JI QI
化工设备与机器

主 编 管来霞
副主编 逯国珍 刘 鹏
赵慧萍 师海雄



北京师范大学出版集团

图书在版编目(CIP)数据

化工设备与机器 / 管来霞主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2014.2
(职业院校教改创新实验教材)
ISBN 978-7-303-15848-5

I. ①化… II. ①管… III. ①化工设备—中等专业学校—教材 ②
化工机械—中等专业学校—教材 IV. ①TQ05

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第313269号

营销中心电话 010-58802755 58800035
北师大出版社职业教育分社网 <http://zjfs.bnup.com>
电子信箱 zhijiao@bnupg.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com
北京新街口外大街19号
邮政编码: 100875

印 刷: 北京鹏润伟业印刷有限公司
经 销: 全国新华书店
开 本: 184 mm × 260 mm
印 张: 15.75
字 数: 320 千字
版 次: 2014年2月第1版
印 次: 2014年2月第1次印刷
定 价: 29.00 元

策划编辑: 庞海龙	责任编辑: 庞海龙
美术编辑: 高霞	装帧设计: 锋尚设计
责任校对: 李 菡	责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换

印制管理部电话: 010-58800825

前言

本书包括化工设备和化工机器两个模块。化工设备模块主要介绍了化工设备结构、材料、热处理、防腐和内外压力容器及压力容器附件结构等知识，教学内容按照化工专业岗位培训要求和课程目标选择，将《钢制压力容器》、《压力容器安全技术监察规程》等国家标准和行业标准渗透到书中，使抽象的条文变得通俗易懂，实现了与岗位培训的对接；化工机器模块主要介绍了传动机、输送机、粉碎机、风机、压缩机、真空泵等常用机器的结构、工作原理、特点、操作和检修等知识。

本书的编写采用模块—项目—任务的模式。每个模块下设有多个项目，每个项目下又设有多个任务，项目里有知识目标、技能目标、安全规范，任务里又设置“任务描述—实践操作—操作训练—知识链接—思考与练习—任务检测”。“任务描述”使学生的每堂课目标明确、任务突出，“实践操作”部分直接与设备的操作、维护保养等知识对接，强化学生的岗位实践技能，“操作训练”则是为了进一步训练学生的实操能力，“知识链接”将学生用到的理论知识做一介绍，以“必须”和“够用”为原则，“思考与练习”强化知识掌握程度，“任务检测”用来测试学生对所学知识的掌握程度。

参加本书编写的人员有山东省轻工工程学校管来霞、杨程菲，山东大王职业学院逯国珍、贾才兴、李瑞梅，青岛碱业股份有限公司刘鹏，潍坊科技学院赵慧萍、董琳，兰州文理学院化工学院师海雄。

由于编者水平有限，书中肯定存在不足甚至错误之处，敬请读者批评指正。

编者

2012年9月

目 录

模块 1 化工设备

项目 1 化工设备结构认识	3
任务 1 压力容器结构认识	3
任务 2 换热器结构认识	9
任务 3 反应釜结构认识	19
任务 4 认识填料塔结构	28
项目 2 化工设备材料的识别与选择	36
任务 1 化工设备材质的识别	36
任务 2 化工设备常用材料的选择	41
项目 3 化工设备用钢的热处理与防腐	46
任务 1 化工设备用钢热处理	46
任务 2 化工设备防腐	51
项目 4 内压薄壁容器认识	56
任务 1 内压薄壁容器最大压力确定	56
任务 2 控制边缘应力结构措施	62
项目 5 外压容器认识	69
任务 1 外压容器稳定性试验	69
任务 2 外压容器加强圈认识	75
项目 6 压力容器试验	80
项目 7 压力容器操作	87
项目 8 压力容器维护	93
项目 9 压力容器检验	98
项目 10 压力容器法兰拆装	104
任务 1 压力容器法兰拆装	104
任务 2 管法兰拆装	112
项目 11 容器开孔补强结构认识	117
任务 1 容器开孔补强结构认识	117

任务 2 容器常见开孔结构认识	123
项目 12 容器安全装置认识	130
项目 13 容器支座认识	138

模块 2 化工机器

项目 14 机械传动操作	147
任务 1 带传动操作	147
任务 2 链传动操作	154
任务 3 齿轮传动操作	160
项目 15 固体输送机操作	166
任务 1 带式输送机操作	166
任务 2 螺旋输送机操作	172
任务 3 刮板输送机操作	177
项目 16 固体粉碎机操作	183
任务 1 破碎机操作	183
任务 2 球磨机操作	192
任务 3 轮碾机操作	197
项目 17 风机操作	204
任务 1 离心式风机操作	204
任务 2 罗茨鼓风机操作	212
项目 18 压缩机操作	219
任务 1 活塞式压缩机操作	219
任务 2 离心式压缩机操作	226
项目 19 真空泵操作	233
任务 1 水环式真空泵操作	233
任务 2 喷射式真空泵操作	238
参考文献	244

模块 1 化工设备



知识目标

- (1) 掌握典型化工设备的结构、各部件名称及作用。
- (2) 掌握压力容器类型、定义、分类。
- (3) 掌握易燃介质概念及介质毒性程度划分等级。



技能目标

熟悉化工设备的名称、用途，并能指导生产。



安全规范

- (1) 压力容器由于密封、承压等原因，容易发生爆炸、燃烧起火等事故，因此，上岗前均应进行专业的压力容器操作培训。
- (2) 盛装易燃、易爆或有毒性介质的容器，危险性很大，应特别注意其储存、运输和使用过程中的环境影响，避免撞击、过热等，以免造成恶性事故。

任务 1 压力容器结构认识



场景描述

在日常生活中，我们经常用到或见到压力容器，如厨房做饭用的高压锅(图 1-1)。高压锅是压力容器的一种，只是它容量小，压力低，但同样配备了减压阀、防爆膜等安全附件。高压锅煮饭时，产生的水蒸气使锅内有了压力。如果安全附件检查不当，高压锅也会发生爆炸。

为了使压力容器在确保安全的前提下达到设计先进，结构合理，易于制造，使用可靠和造价经济等目的，各国都根据本国具体情况制定了有关压力容器的标准、规范和技术条件，对压力容



图 1-1 厨房做饭用的高压锅

器的设计、制造、检验和使用等提出具体和必须遵守的规定。同时,世界各国均将压力容器列为重要的监检产品,由国家指定的专门机构,按照国家规定的法规和标准实施监督检查和技术检验。



任务描述

认识压力容器外形、结构;指出其各部分名称、作用、结构特点,并能熟练拆装压力容器。



实践操作

- 1)初步认识。认识压力容器的外形特点、轮廓和大致尺寸。
- 2)大致了解。了解压力容器的构成及每部分的结构。
- 3)熟悉结构。详细查看压力容器的主体结构及附件,说出每部分的名称、作用及结构特点。
- 4)拆装压力容器。查看压力容器的内部结构,熟知附件的名称、作用及特点,会拆装压力容器。



操作训练

实训车间钢瓶是常见的压力容器。拆卸钢瓶,观察其特点;说明其主体结构、各附件结构、名称、作用及特点。



知识链接

压力容器大多都是能承受一定压力且具有一定容积的密闭容器,如图 1-2 所示。为了与一般容器(常压容器)相区别,只有同时满足下列三个条件的容器,才称之为压力容器。

1)工作压力大于或者等于 0.1MPa。工作压力是指压力容器在正常工作情况下,其顶部可能达到的最高压力(表压力,不含液体静压力)。

2)内直径(非圆形截面指其最大尺寸)大于等于 0.15m,且容积大于等于 0.025m³,工作压力与容积的乘积大于或者等于 2.5MPa·L(容积是指压力容器的几何容积)。

3)盛装介质为气体、液化气体以及最高工作温度高于或者等于其标准沸点的液体。(容器内介质为最高工作温度低于其标准沸点的液体)。

压力容器的形状有圆筒形、球形和方形三种。球形容器制造困难,但同样体积可以节省钢材,通常用于容器压力和直径比较大的容器;方形容器用钢板焊成,加工简单,但承压能力差,焊接处容易开焊,常用于低压容器;圆筒形容器介于球形和方形容器之间,加工比较简单,承压能力较好,又易于安装内部构件,所以应用广泛。

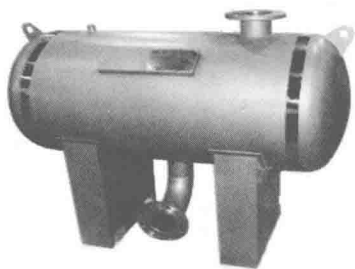


图 1-2 压力容器示意图

1. 压力容器结构

压力容器一般由筒体、封头、法兰、密封元件、人(手)孔、接管和支座等部分构成。此外,还配有安全装置、压力表、温度计及完成不同生产工艺作用的内件,如图1-3所示。

(1) 筒体

筒体是用以储存物料或完成传质、传热或化学反应所需要的工作空间,是化工设备最主要的受压元件之一。筒体一般由钢板卷焊而成,其大小由工艺要求确定。

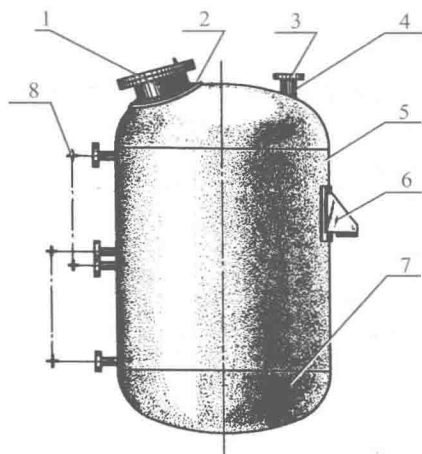


图 1-3 圆筒形压力容器结构组成

1. 人孔 2. 补强圈 3. 法兰 4. 接管 5. 筒体 6. 支座 7. 封头 8. 液面计

(2) 封头

封头与筒体一起构成设备的壳体。根据几何形状的不同,封头可分为球形、椭圆形、碟形、锥形和平盖等几种,其中最常用的是椭圆形封头。

封头一般与筒体配套使用,当筒体由钢板卷焊成型时,筒体所对应的封头,其公称直径相等,都是它们的内径。封头与筒体的连接方式有可拆连接与不可拆连接(焊接)两种。可拆连接一般采用法兰连接方式。

(3) 法兰

法兰连接是一种可拆连接,在化工设备上应用非常普遍。法兰连接是由一对法兰、一个垫片、数个螺栓和螺母组成的。化工设备上用的标准法兰有压力容器法兰和管法兰两大类。压力容器法兰用于设备筒体与筒体、筒体与封头的连接;管法兰主要用于设备与接管或附件、管道与管道之间的连接。

(4) 人(手)孔

为了便于安装、检修或清洗设备内部的装置,在设备上需要开设人孔或手孔。

(5) 接管

化工设备上的接管分为两类:一类是物料进出口接管;另一类是各种测量仪表接管。

(6) 补强圈

在压力容器上开设人(手)孔、各种接管后,不仅器壁材料被削弱,同时由于结构连续性被破坏,孔口边缘应力值显著增加,其最大应力值往往高出正常器壁应力的数倍,为了改善开孔边缘的受力情况,保证容器的整体强度,需要采取补强措施。

(7) 支座

支座用来支撑设备的质量、固定设备的位置以及吊装时作为抓手。支座有卧式设备支座、立式设备支座和球形容器支座三大类。图 1-3 中的“6”是常用的立式设备支座——耳式支座。

2. 压力容器类型

压力容器形式多种多样,分类方法也很多。下面介绍压力容器几种常见的分类方法。

(1) 按承压性质分类

按承压性质分内压容器和外压容器。当作用于器壁内部的压力高于容器外表面所承受的压力时,这类压力容器称为内压容器;反之,称为外压容器。

内压容器按其所能承受的工作压力可分四个等级。

1) 低压: $0.1\text{MPa} \leq P < 1.6\text{MPa}$;

2) 中压: $1.6\text{MPa} \leq P < 10\text{MPa}$;

3) 高压: $10\text{MPa} \leq P < 100\text{MPa}$;

4) 超高压: $P \geq 100\text{MPa}$ 。

(2) 按结构材料分类

按结构材料划分,可分为金属材料和非金属材料。具体内容参考模块 1 的项目 2。

(3) 按容器的壁厚分类

按容器厚度可分为薄壁容器和厚壁容器,设 $k = D_o/D_i$, D_o 是容器外径, D_i 是容器内径,则:

1) 薄壁容器: $k \leq 1.2$;

2) 厚壁容器: $k > 1.2$ 。

通常情况下,高压容器都视为厚壁容器。

(4) 按工作温度分类

按照容器工作温度的高低可分为四个等级。

1) 低温容器: 设计温度 $\leq -20^\circ\text{C}$;

2) 常温容器: $-20^\circ\text{C} < \text{设计温度} \leq 200^\circ\text{C}$;

3) 中温容器: $200^\circ\text{C} < \text{设计温度} \leq 450^\circ\text{C}$;

4) 高温容器: 设计温度 $> 450^\circ\text{C}$ 。

(5) 按工艺用途分类

1) 反应压力容器: 主要用于完成介质的物理、化学反应。常见反应压力容器包括反应器、聚合釜、合成塔等。

2) 换热压力容器: 主要用于完成介质的热量交换。常见换热压力容器包括冷凝器、

加热器、蒸发器等。

3) 分离压力容器：主要用于完成介质的净化、分离。常见分离压力容器包括分离器、过滤器、洗涤器等。

4) 储存压力容器：主要用于完成介质的储存。常见储存压力容器包括盛装气体、液体、固体的各种储罐。

(6) 按安全技术监察规程分类

以上分类方法比较单一,《压力容器安全技术监察规程》综合考虑容器的压力等级、容积大小、介质的危害程度及在生产中的作用,把压力容器分为以下三个类别。

1) 第一类压力容器：除第二类压力容器、第三类压力容器外的所有低压容器。

2) 第二类压力容器：

① 除第三类压力容器外的所有中压力容器；

② 易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应容器和储存容器；

③ 毒性程度为极度和高度危害介质的低压容器；

④ 低压管壳式余热锅炉；

⑤ 搪玻璃压力容器。

3) 第三类压力容器：

① 毒性程度为极度和高度危害介质的中压力容器： $P \cdot V \geq 0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的低压容器， P 为设计压力， V 为容积；

② 易燃介质或毒性程度为中度危害介质且 $P \cdot V \geq 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压反应容器或 $P \cdot V \geq 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压储存容器；

③ 高压、中压管壳式余热锅炉；

④ 高压容器。

上述提到的介质毒性程度的分类，参照 GBZ230—2010《职业性接触毒物危害程度分级》的规定，按照介质毒性最高容许的浓度值划分四个等级：

a. 极度危害介质(Ⅰ级)：最高容许浓度 $< 0.1 \text{ mg/m}^3$ ，如氟、氢氟酸、光气等介质；

b. 高度危害介质(Ⅱ级)： $0.1 \text{ mg/m}^3 \leq$ 最高容许浓度 $< 1.0 \text{ mg/m}^3$ ，如氟化氢、氯、碳酰氟等介质；

c. 中度危害介质(Ⅲ级)： $1.0 \text{ mg/m}^3 \leq$ 最高容许浓度 $< 10 \text{ mg/m}^3$ ，二氧化硫、氨、一氧化碳、甲醇等介质；

d. 轻度危害介质(Ⅳ级)：最高容许浓度 $\geq 10 \text{ mg/m}^3$ ，氢氧化钠、四氟乙烯、丙酮等介质。

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或等于 20% 的气体，如甲胺、乙烷、乙烯、环氧乙烷、环氧丙烷等。

思考与练习

1. 压力容器主要包括_____、_____、_____、_____、_____和_____。

2.《压力容器安全技术监察规程》综合考虑容器的压力等级、容积大小、介质的危害程度及在生产中的作用,把压力容器分为三个类别,有_____、_____和_____。

3. 什么是压力容器?

4. 易燃介质是指_____。

5. 参照 GBZ230—2010《职业性接触毒物危害程度分级》的规定,介质毒性程度按介质毒性最高允许的浓度值划分为_____、_____、_____和_____。



任务检测

经过学习之后,填写任务测评表,如表 1-1 所示。

表 1-1 压力容器结构认识任务测评表

项 目	技术 要求	配 分	评 分 细 则	评分记录	扣 分
拆卸压力容器	(1)准备合适的拆卸工具 (2)将螺母一个一个地拧松,对称拆卸 (3)拆下的零件应按拆卸顺序整齐摆放	20	(1)工具准备不合适,扣 5 分 (2)拆卸顺序不正确,错一处扣 2 分 (3)拆卸零件摆放不整齐,扣 5 分		
观察详细结构	详细查看压力容器的外形结构,指出各部件名称、作用、结构特点	24	各部件名称等表述错误,错一处扣 4 分		
安装压力容器	(1)螺栓螺母的上紧应按对角线分次交叉均匀拧紧 (2)螺栓组的方向应当相同 (3)螺栓的紧固,应注意螺栓的拧紧力矩,避免螺栓拧断、滑丝	26	(1)螺栓螺母的上紧顺序错误,错一处扣 2 分 (2)螺栓组的方向错误,错一处扣 2 分 (3)螺栓紧固不正确,错一处扣 2 分		
安全文明操作	穿戴规范;安全操作;遵守纪律	10	(1)没有穿规定的工作服,扣 2 分 (2)没有戴安全帽,扣 2 分 (3)发生撞头、伤害到别人或自己等不安全操作,扣 4 分 (4)不服从老师安排,扣 2 分		

续表

项 目	技 术 要 求	配 分	评 分 细 则	评 分 记 录	扣 分
操作质量	操作过程的合理性；在规定时间内完成任务	10	(1)没有清扫现场，扣 2 分 (2)操作中敲击和撬打压力容器，扣 5 分 (3)超时完成任务，扣 3 分		
实训报告	按时上交实训报告，书写认真，内容正确	10	(1)不按时上交实训报告，扣 2 分 (2)书写不认真，扣 3 分 (3)内容不正确，扣 5 分		
测评老师签字			日期	合计得分	

MISSION 2 任务 2 换热器结构认识

场景描述

在日常生活中，我们经常用暖气散热片来取暖，如图 1-4 所示。暖气散热片通过管壁或板壁将较高温度的水或蒸汽的热量传递到房间，使我们在温度适宜的环境中工作、学习。这种将热流体的部分热量传递给冷流体的设备，称为换热器。它广泛应用于炼油、化工、轻工、制药、机械、食品加工、动力以及原子能工业部门。

在生产中将低温流体加热或将高温流体冷却，将液体气化成气体或将气体冷凝成液体，都可以用换热器来实现，如图 1-5 所示。常见的换热器有加热器、冷却器、蒸发器、冷凝器等。

通常，在传统化工厂的设备投资中，换热器占总投资的 30%；在现代炼油厂中，换热器约占全部工艺设备投资的 40%以上。换热器的先进性、合理性和运转的可靠性直接影响产品的质量、数量和成本。

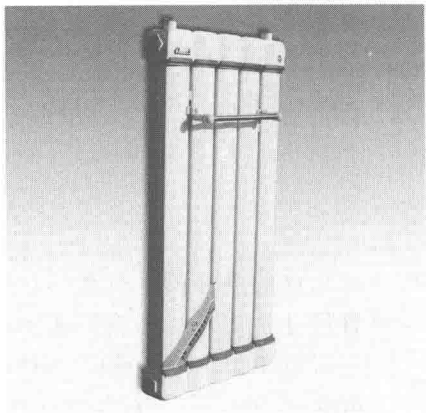


图 1-4 暖气散热片

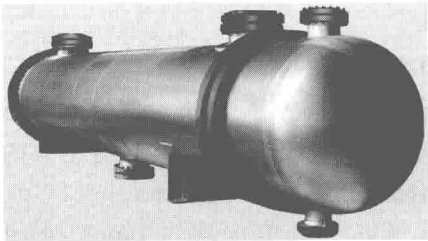


图 1-5 换热器



任务描述

认识固定管板式换热器外形、结构，指出固定管板式换热器各部分名称、用途、结构特点和各部件之间连接特点，并能熟练拆装固定管板式换热器。



实践操作

- 1) 初步认识。认识换热器的外形特点、轮廓和大致尺寸。
- 2) 大致了解。了解换热器的构成、名称和作用。
- 3) 熟悉结构。详细查看换热器各部分结构特点及连接。
- 4) 拆装换热器。查看换热器的内部结构，熟悉其附件的特点，会拆装换热器。



操作训练

实训车间固定管板式换热器，观察其外形特点，说明主体结构及各附件结构名称、作用及特点，进行拆卸。



知识链接

1. 固定管板式换热器基本结构

固定管板式换热器主要由壳体、换热管、管板、折流板、管箱、膨胀节等部件组成，如图 1-6 所示。固定管板式换热器的换热管与管板焊接或胀接在一起，壳体与管板焊接在一起，三者刚性连接，所以称为固定管板式换热器。当壳程流体与管程流体温差大时，要装设膨胀节，以减小因温度差异引起的热应力，称为带膨胀节的固定管板式换热器。

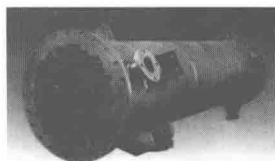
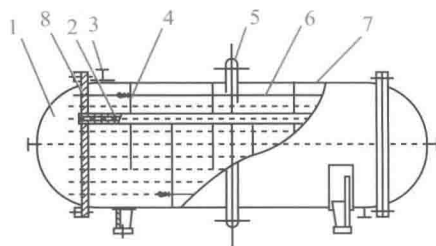


图 1-6 换热器结构

1. 管箱 2. 换热管 3. 接管 4. 折流板 5. 膨胀节 6. 定距管(拉杆) 7. 壳体 8. 管板

2. 固定管板式换热器的组成元件及其连接

(1) 换热管

换热管是固定管板式换热器的传热元件，主要通过管壁的内外面进行传热，所以换热管的形状、尺寸和材料对传热有很大的影响。换热管尺寸常用外径与壁厚表示。碳素钢、低合金钢管常用的规格有 $\phi 19 \times 2$, $\phi 25 \times 2.5$, $\phi 38 \times 2.5$ (单位均为 mm)，不锈钢管有 $\phi 25 \times 2$, $\phi 38 \times 2$ (单位均为 mm)。标准管长为 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m, 4.5m,

6.0m, 9.0m。长度和直径根据换热器的传热面积确定。一般对清洁流体用小直径管子, 而对黏性较大的或污染的流体采用大直径管子。

换热管一般是无缝钢管, 此外还有翅片管、螺旋槽管和横纹管等, 翅片管、螺旋槽管和横纹管可以加大流体湍动程度, 强化传热效果。

螺旋槽管和横纹管的结构分别如图 1-7 和图 1-8 所示。



图 1-7 螺旋槽管

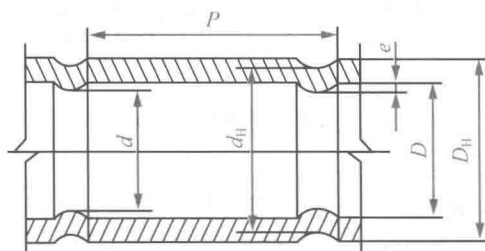


图 1-8 横纹管

翅片管如图 1-9 所示。

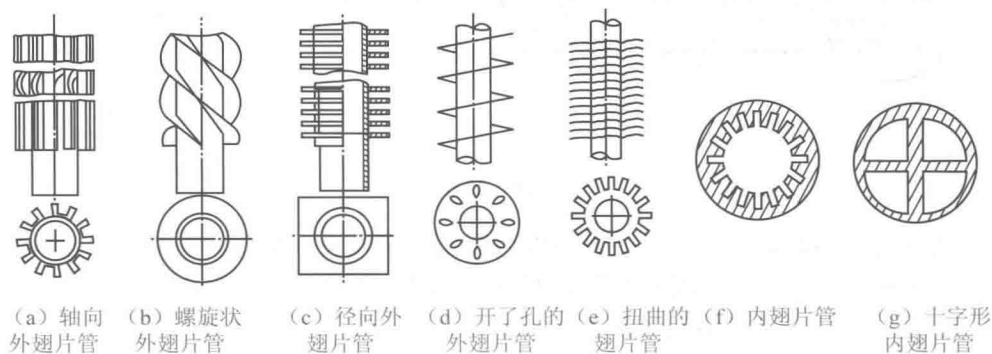


图 1-9 翅片管

换热管常用金属材料有碳素钢、不锈钢、铜和铝; 常用非金属材料有石墨、陶瓷、聚四氟乙烯等。主要根据工艺条件和介质腐蚀性来选择换热管材料。

换热管在管板上的排列如图 1-10 所示。当壳程流体清洁时, 采用正三角形排列, 管外易于清洗; 当壳程流体不洁净时, 采用正方形排列。另有同心圆排列方式, 如石油化工装置中的固定床反应器。