


主 编 金志浩
副主编 龚 斌 金 文 陈东初
主 审 吴剑华

管壳式换热器 原理与设计

GUAN KE SHI HUAN RE QI
YUAN LI YU SHE JI

 辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

管壳式换热器 原理与设计

GUAN KE SHI

HUAN RE QI

YUAN LI YU SHE JI

责任编辑 马 骏

封面设计 李若虹

ISBN 7-5381-3448-4



9 787538 134483 >

ISBN 7-5381-3448-4

TK · 15 定价: 32.40元

管壳式换热器原理与设计

主编 金志浩

副主编 龚斌 金文 陈东初

主审 吴剑华

辽宁科学技术出版社

沈 阳

内容提要

本书介绍了管壳式换热器总体结构以及管壳式换热器的工作原理、传热计算、流体阻力计算、结构设计、强度设计计算以及制造检验要求。还介绍了管壳式换热器的计算机辅助设计技术。

本书可供相关工程技术人员在进行管壳式换热器设计、制造、检验、管理、维护、选型时参考,也可作为高等学校相关专业师生的教学参考书以及管壳式换热器设计人员培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

管壳式换热器原理与设计 / 金志浩主编. -沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001. 6

ISBN 7-5381-3448-4

I. 管… II. 金… III. ①换热器, 管壳式-原理
②换热器, 管壳式-计算机辅助设计 IV. TK172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 036164 号

出版者: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮政编码: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

发行者: 各地新华书店

开本: 787mm×1092mm 1/16

字数: 380 千字

印张: 16

插页: 1

印数: 1~1500

出版时间: 2001 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2001 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 马骏

封面设计: 李若虹

插图: 关宇、金文

版式设计: 于浪

责任校对: 王春茹

定 价: 32.40 元

前 言

换热器在石油、化工、动力、能源、轻工、食品等行业有着重要的作用，而其中的管壳式换热器应用最为广泛。随着对节能要求的越来越高，对换热器的设计提出了更高的要求，应用也更为广泛。

本书是笔者根据换热器的教学、工程设计经验，结合前人长期的工程实践与我国管壳式换热器的现行有关标准编写的。编写本书的主要目的是为广大从事管壳式换热器设计、制造、检验的工程技术人员以及大专院校相关专业的师生提供一部包括管壳式换热器传热工艺设计、结构设计、强度设计与制造检验验收于一体的具有工程应用特色的参考书。本书也可作为管壳式换热器设计人员的培训用教材和管壳式换热器课程设计用教材。

本书共八章。第一章概述，主要介绍管壳式换热器的总体结构、特点及选型；第二章管壳式换热器计算原理与传热设计，论述了管壳式换热器中的传热原理与传热设计计算；第三章管壳式换热器压力降计算，介绍了管壳式换热器的流体阻力计算；第四章、第五章、第七章以我国 GB151《管壳式换热器》为基础详述了管壳式换热器的结构设计、强度设计及设计、制造、检验中的技术要求；第六章管壳式换热器的振动与防振，介绍了管壳式换热器的振动与防振问题的机理与对策；第八章换热器 CAD 系统简介，介绍了现代设计手段在管壳式换热器设计中的应用。

本书第一章、第二章、第六章由金志浩撰写；第三章、第五章由龚斌撰写；第四章由龚斌、金志浩、陈东初、金文撰写；第七章由金志浩、陈东初、程敏撰写；第八章由金文撰写，附录由金文、龚斌、程敏撰写。包日东、王宗勇参加了部分章节的编写和校对工作。全书由金志浩统稿。吴剑华教授在本书的编著过程中提供了详细指导，并认真审阅了全书，提出了许多宝贵意见。

研究生梁兴雨、徐敬玉、李哲、王海波等同学以及殷天舟、关宇、王文江、丛磊、杨鹏、柯学同志为本书的出版做了大量工作，一并表示深切的谢意。

限于作者水平，加之技术发展迅速，书中会有谬误或不足之处，敬请读者指正。

作者

2001年4月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 管壳式换热器的应用	1
第二节 管壳式换热器的形式与总体结构	2
一、固定管板式换热器.....	2
二、浮头式换热器.....	3
三、U形管式换热器.....	3
四、填料函式换热器.....	3
五、釜式重沸器.....	5
六、管壳式换热器的主要组合部件.....	5
七、管壳式换热器型号表示方法.....	6
第三节 管壳式换热器的选型	9
第四节 管壳式换热器设计的内容	9
一、结构设计.....	10
二、热力设计计算.....	10
三、流体阻力设计计算.....	10
四、强度、刚度、稳定性设计.....	10
五、绘图.....	11
第二章 管壳式换热器计算原理与传热设计	12
第一节 管壳式换热器传热计算原理	12
一、热传导.....	12
二、热对流.....	13
三、辐射传热.....	14
四、综合传热过程.....	16
第二节 无相变对流传热计算	20
一、管内单相流体强制对流传热计算.....	20
二、管外单相流体强制对流传热计算.....	35
三、管外单相自然对流传热计算.....	37
第三节 有相变传热	38
一、冷凝传热.....	38
二、沸腾传热.....	40

第四节 管壳式换热器的传热设计	43
一、 传热计算的步骤	44
二、 传热计算中有关原始数据的确定	44
三、 定性温度的计算	46
四、 设计热负荷的计算	47
五、 传热面积的计算	48
六、 管壳式换热器传热计算示例	51
第三章 管壳式换热器压力降计算	59
第一节 管程压力降计算	59
一、 沿程压降	59
二、 回弯压降	60
三、 局部压降	60
第二节 壳程压力降计算	61
一、 流路中无折流板	61
二、 流路中有折流板	61
三、 管壳式换热器阻力计算示例	64
第四章 管壳式换热器结构设计	65
第一节 管 板	65
一、 管板形式	65
二、 管板的结构	70
三、 管板与壳体、管箱的连接	73
第二节 管 束	75
一、 管子的排列	75
二、 管子的长度	79
三、 管束安装转角	79
四、 管子与管板的连接	81
第三节 折流板与支持板	88
一、 折流板	88
二、 支持板	93
三、 折流杆	93
第四节 冷凝器的结构	94
一、 冷凝器介质流程的选择	94
二、 冷凝器形式的确定	95
三、 冷凝器结构设计中的其他问题	95
第五节 管箱及其他结构	97
一、 管箱	97
二、 其他结构	102

第五章 管壳式换热器的强度设计	107
第一节 平盖、封头	107
一、强度计算.....	107
二、密封性能校核.....	114
第二节 筒体	116
一、内压圆筒.....	116
二、外压圆筒.....	117
第三节 钩圈式浮头	118
一、无折边球面封头的设计计算.....	118
二、浮头法兰的设计计算.....	121
三、钩圈的设计计算.....	124
第四节 管板	124
一、管板的受力分析.....	125
二、管板的设计计算.....	126
第五节 膨胀节	145
一、膨胀节设置判断.....	145
二、U形膨胀节的设计计算.....	154
第六章 管壳式换热器的振动与防振	160
第一节 管壳式换热器中的振动问题及其危害	160
一、振动的基本概念.....	160
二、管壳式换热器中的振动问题.....	161
第二节 流体激振的机理	163
一、旋涡脱离(卡曼旋涡).....	163
二、紊流抖振.....	167
三、弹性激振.....	167
四、声共振.....	168
第三节 换热管的固有频率	170
一、等跨直管的固有频率计算.....	170
二、不等跨直管的固有频率.....	174
三、U形管的固有频率.....	176
四、影响换热管固有频率的因素.....	176
第四节 管壳式换热器的防振设计与防振措施	180
一、管壳式换热器的防振设计要求.....	180
二、管壳式换热器的防振措施.....	181
三、防振设计计算.....	182
第七章 管壳式换热器设计、制造、检验中的技术要求	187
第一节 对材料的技术要求	187

一、对换热器材料的技术要求.....	187
二、对有色金属的要求.....	188
三、对管板、平盖、法兰的选材要求.....	188
第二节 管壳式换热器的制造、检验要求.....	191
一、焊接接头分类.....	191
二、零部件制造要求.....	191
三、压力试验.....	195
第三节 设计图纸应提出的要求.....	196
一、管壳式换热器装配上的技术要求.....	196
二、管箱的技术要求.....	197
三、管板的技术要求.....	197
四、折流板与支持板的技术要求.....	197
第八章 换热器 CAD 系统简介.....	198
第一节 概 述.....	198
第二节 换热器工艺设计计算系统.....	199
一、系统的开发思想.....	199
二、系统的程序设计准则.....	199
三、程序框图.....	199
第三节 换热器辅助绘图系统开发.....	199
一、标准样板图库.....	201
二、零部件图库.....	210
三、图表库、局部放大图库.....	210
四、CAD 中图形数据交换技术.....	210
第四节 AutoCAD 开放性体系结构.....	212
一、定制菜单、工具条、增加命令.....	212
二、用 DCL 来设计对话框.....	213
三、二次开发举例.....	213
附 录.....	228
附录 1 常用单位制及其换算表.....	228
附录 2 干空气的热物理性质.....	230
附录 3 烟气的热物理性质.....	231
附录 4 气体的热物理性质.....	232
附录 5 干饱和水蒸气的热物理性质.....	234
附录 6 饱和水的热物理性质.....	236
附录 7 几种饱和液体的热物理性质.....	238
附录 8 常用固体材料的热物理性质.....	240

附录 9 流体污垢热阻参考数据.....	242
附录 9-1 水的污垢热阻	242
附录 9-2 工业流体的污垢热阻.....	242
附录 9-3 化工过程流体的污垢热阻.....	243
附录 9-4 石油炼制过程中液体的污垢热阻.....	243
附录 9-5 原油的污垢热阻	244
参考文献.....	245

第一章 概 述

本章主要内容:

- 管壳式换热器的总体结构与特点
- 管壳式换热器的型号与选型
- 管壳式换热器设计主要内容

第一节 管壳式换热器的应用

在各种工艺过程中,存在着各种各样的传热过程,如加热、蒸发、冷凝等。为了满足一定的工艺要求,我们需要设计专门的设备来保证这些传热过程按预定的要求进行,这些用于传热的设备就是换热器。通常我们把用于将高温流体的热量向低温流体传输的装置统称为换热器。作为一种通用的传热工艺设备,换热器在动力、化工、石油、冶金、核能、食品等各工业部门有着广泛的应用。尤其在炼油厂和化工厂中,换热器更是重要,其投资费用占总的工艺设备费用的三分之一多。

在工业上换热器的种类繁多,种类划分的方法也各有不同。如按使用目的不同可将换热器分为加热器、冷却器、冷凝器、蒸发器、再沸器等;按其作用原理不同可分为混合式换热器、蓄热式换热器、间壁式换热器等;按传热面形状不同可分为管式换热器、板面式换热器等;按材料不同可分为金属材料换热器、非金属材料换热器和复合材料换热器等。每种换热器又可根据其结构的不同分为若干种形式的换热器。

管壳式换热器是一种典型的间壁式换热器。它通过换热管的管壁进行传热。这种换热器在换热效率、设备紧凑性、单位面积的金属消耗量等方面可能不如一些新型的换热器,但这种换热器的操作弹性大、结构简单坚固、制造简便、使用材料范围广、可靠程度高等优点,是目前应用最为广泛的一种换热器。

管壳式换热器的应用极为广泛,总的来说可归纳为如下几个方面,有的是为了保证介质在稳定的温度下工作而对介质进行加热或冷却,如有机染料工业及化学工业中氯化、磺化、硝化反应中所采用的换热器;有的是为了节能和改善操作条件,以回收工艺过程中的余热为目的,如各种余热回收锅炉式换热器;有的是为了制取或回收纯净工质或将工质液化以便保存,如电厂、石油化工厂生产中的各种凝汽器、冷凝器、结晶器等;也有的是用于对工质加热或冷却以满足后续生产的要求,如石油化工中常用的再沸器、蒸馏釜、裂化器、冷却器等。由于结构上的特点,管壳式换热器可用于满足各种苛刻条件下换热要求,有的

操作压力高达 250MPa，如高压聚乙烯装置中的换热器，有的温度高达 1000℃ 以上（如某些制氯装置中的高温气体冷却器），也有的同时在高温高压下工作（如加氢裂解反应中的换热器）。

无论是在国内还是在国外，在石油、化工、能源、动力等行业的换热器设备中，管壳式换热器占据着主导地位。

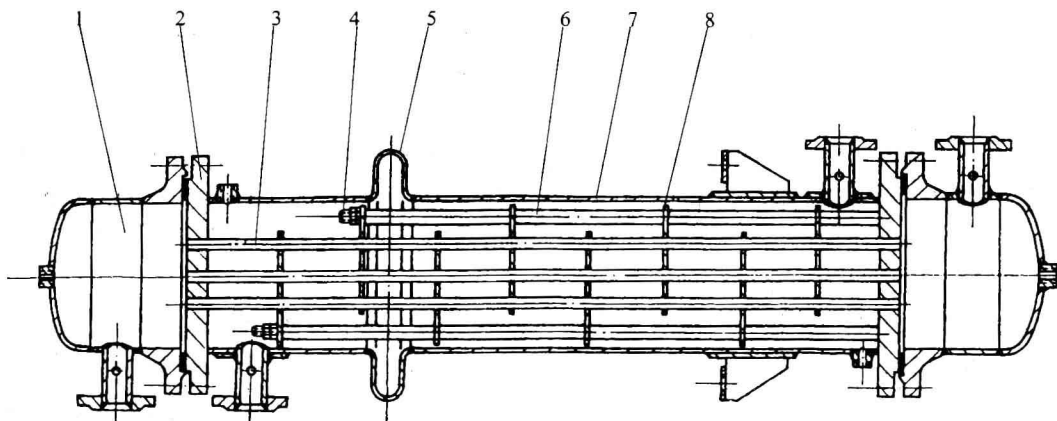
第二节 管壳式换热器的形式与总体结构

管壳式换热器的主体是由许多作为换热器元件用的换热管构成的管束、管板、壳体及管箱组成的。换热管两端与管板相连，管板与壳体及管箱相连。这样就把换热器分为两大部分空间，其中换热管内及与其相贯通的部分称为管程，而换热管外及与其相贯通的部分称为壳程。有时，为了提高介质流速，增大传热系数，要对管程或壳程进行分程就形成了不同的管程数和壳程数。管程数是指介质在换热管内沿换热管长度方向往返的次数；壳程数是指介质在壳程内沿壳体轴向往返的次数。

管壳式换热器根据其结构的不同，可分为固定管板式换热器、浮头式换热器、U 形管换热器、填料函式换热器、釜式重沸器等。

一、固定管板式换热器

固定管板式换热器主要有管箱、管板、换热管、壳体、折流板或支撑板、拉杆、定距管等组成。典型的固定管板式换热器如图 1-1 所示，固定管板式换热器的管板与壳体之间的连接采用焊接的方法相连。这种换热器结构简单，制造方便，在相同管束情况下其壳体内存积最小，另外，其管程分程也比较方便。这种换热器结构的缺点是壳程无法进行机械清



1—管箱； 2—管板； 3—换热管； 4—拉杆； 5—膨胀节；

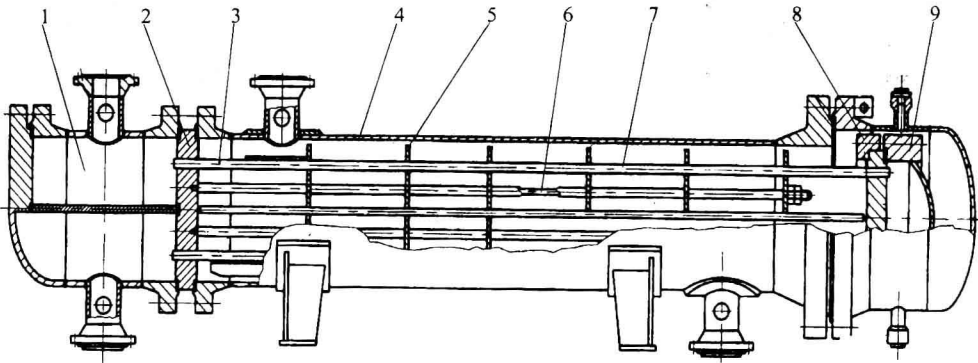
6—定距管； 7—壳体； 8—折流板或支撑板

图 1-1 固定管板式换热器

洗，壳程的检查困难，壳体与管子之间无温差补偿元件时可能产生较大的温差应力，即温差较大时须采用膨胀节或波纹管等补偿元件以减少温差应力。

二、浮头式换热器

典型的浮头式换热器结构如图 1-2 所示，主要有管箱、管板、壳体、换热管、折流板或支撑板、拉杆、定距管、钩圈、浮头盖等组成。浮头式换热器的一端管板与壳体固定；另一端管板（即浮动管板）与壳体之间没有约束，可在壳体内自由浮动，因此在管束与壳体之间不会产生温差应力。通常浮头为可拆分式结构，使管束易于抽出或插入，便于检修和清洗。其主要缺点是结构较为复杂，操作时浮头盖的密封情况难以检查。



1—管箱；2—管板；3—换热管；4—壳体；5—折流板或支撑板；6—拉杆；
7—定距管；8—钩圈；9—浮头盖

图 1-2 浮头式换热器

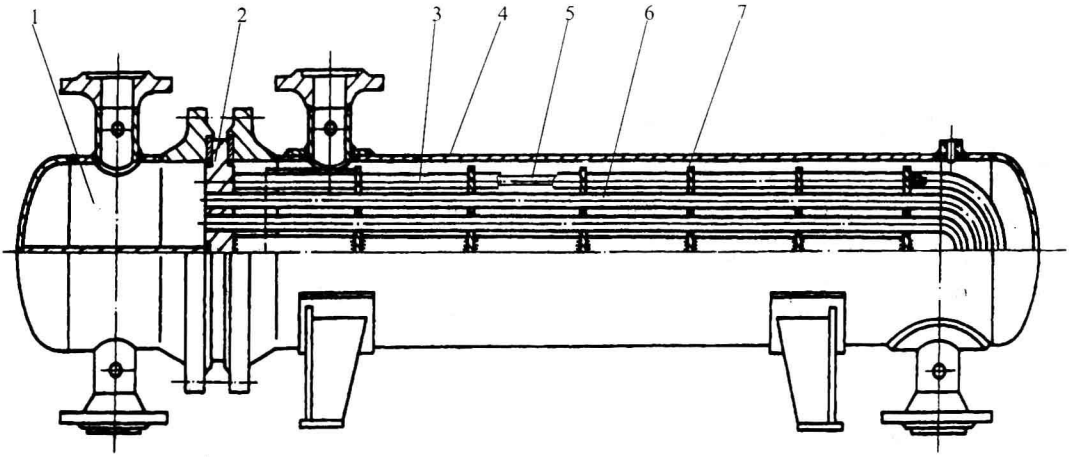
三、U 形管式换热器

U 形管式换热器因换热管为 U 形而得名，其典型结构如图 1-3 所示，主要由管箱、管板、壳体、U 形换热管、折流板、拉杆、定距管等组成。由于壳体与换热管之间不相连，在热膨胀时，彼此不受约束，故在操作中，不会因壳体与换热管之间的温差而产生温差应力。U 形管式换热器只有一块管板和一个管箱，故结构简单、造价比其他形式的换热器低。管束能从壳体中抽出，故管外清洗方便，但管内清洗因管子成 U 形而较困难。除管束外围的换热管外，其他换热管更换困难。由于 U 形管弯管部位的结构特点所致，管束固有频率通常较低，在横向流中易激起振动。

四、填料函式换热器

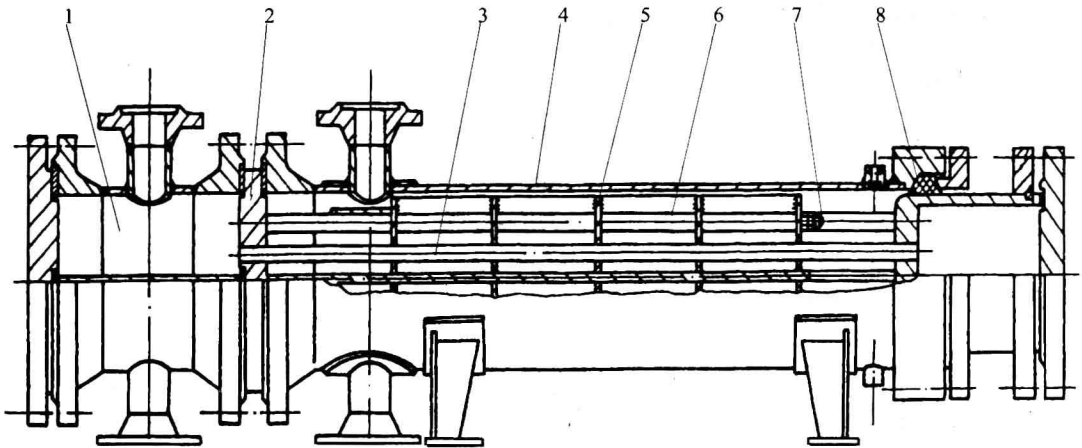
填料函式换热器是有一个可滑动的管箱的换热器，如图 1-4 所示，主要有管箱、管板、壳体、管束、折流板、拉杆、定距管、填料函等组成。填料函式换热器的结构较浮头式换热器简单、检修清洗方便；与固定管板式换热器相比，由于填料函式换热器的一侧管箱是可以滑动的，所以在管束和壳体之间基本上无温差应力。可以说，填料函式换热器既

具备浮头式换热器的优点，又消除了固定管板式换热器的缺点。



1—管箱； 2—管板； 3—定距管； 4—壳体； 5—拉杆；
6—U形换热管； 7—折流板或支撑板

图 1-3 U 形管式换热器

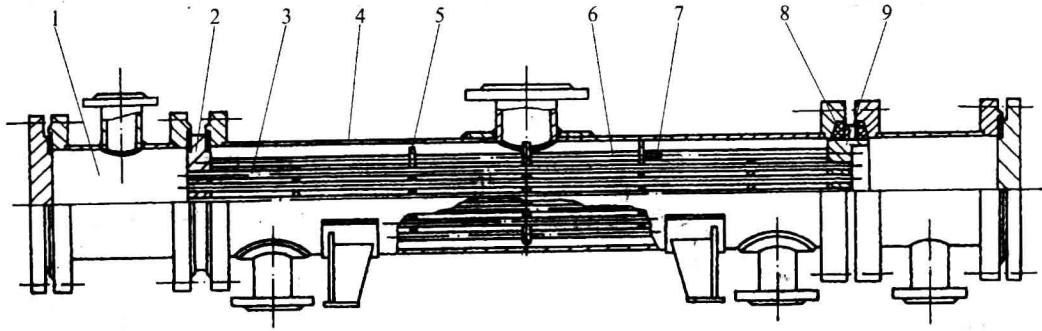


1—管箱； 2—管板； 3—换热管； 4—壳体； 5—折流板或支撑板；
6—定距管； 7—拉杆； 8—填料函

图 1-4 填料函式换热器

填料函式换热器的壳体与滑动管箱之间采用填料函来密封，考虑到填料函的密封性能的缘故，通常这种换热器不适用于大直径及壳程为易挥发、易燃、易爆、有毒介质的换热场合。

滑动管板式换热器是填料函式换热器的变形。它把填料函式换热器中的滑动管箱改进为滑动管板，而箱体部分固定，如图 1-5 所示。这种换热器的管束可以从壳体中抽出，故



1—管箱； 2—管板； 3—换热管； 4—壳体； 5—折流板或支撑板；
6—拉杆； 7—定距管； 8—填料函； 9—滑动管板

图 1-5 滑动管板式换热器

管束壳程清洗方便，但壳程介质和管程介质会通过填料函而发生串混现象。

对于不允许管程、壳程物料相混合的情况，则应采用双管板结构，如图 1-6 所示为一种常见的双管板结构。这种结构只有在管子本身发生泄漏时才会发生管、壳程物料相混。

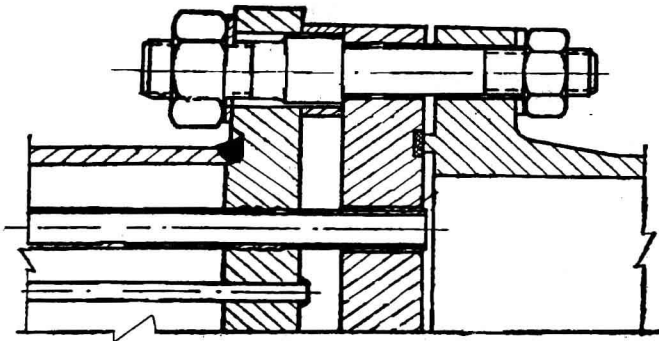


图 1-6 常见的双管板结构

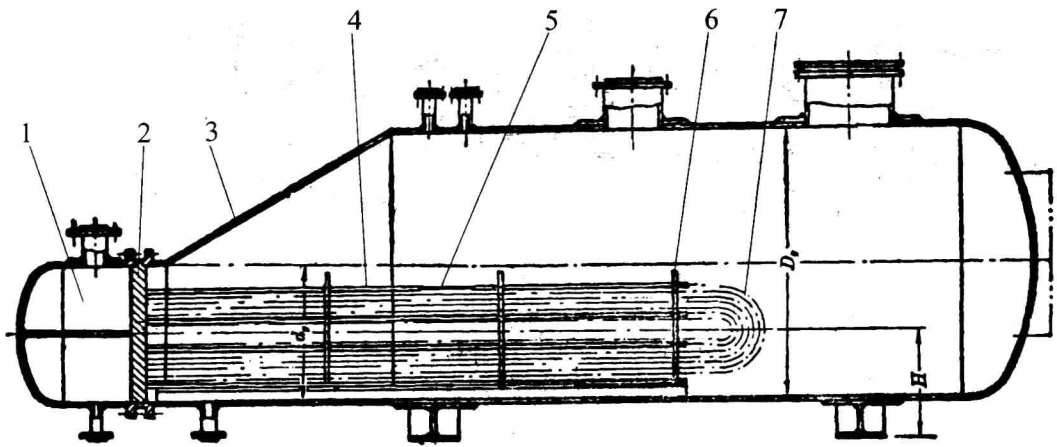
五、釜式重沸器

釜式重沸器是一种带有蒸发空间的换热器。它与前述几种换热器的主要差别，在于其壳体结构的不同。把固定管板式换热器、浮头式换热器、U形管式换热器等的壳体变成具有一定蒸发空间的筒体，即成为相应形式的重沸器。图 1-7 所示为一典型的 U 形管釜式重沸器。

六、管壳式换热器的主要组合部件

管壳式换热器的主要组合部件由三部分组成，即前端管箱、壳体和后端结构。这三部分的组合构成了换热器形式与总体结构。其中前端管箱是指有管程入口的那一侧管箱，与

之相应的另一侧管箱或结构即为后端结构。管壳式换热器主要组合部件分类与代号如表 1-1 所示。



1—管箱； 2—管板； 3—壳体； 4—定距管； 5—拉杆；
6—折流板或支撑板； 7—U形换热管

图 1-7 U形管釜式重沸器

七、管壳式换热器型号表示方法

1. 型号表示方法

管壳式换热器的型号按如下表示：

$$XYZDN - \frac{Pt}{Ps} - A - \frac{LN}{d} B - \frac{Nt}{Ns} C$$

其中： X——前端管箱形式代号（如表 1-1 所示）；

Y——壳体形式代号（如表 1-1 所示）；

Z——后端结构形式代号（如表 1-1 所示）；

DN——换热器公称直径，以 mm 为单位的壳体圆筒公称直径数值。对卷制圆筒，为其内直径；对钢管制圆筒，指钢管外直径；对釜式重沸器，用分数表示，分子为管箱内径，分母为壳体圆筒内径；

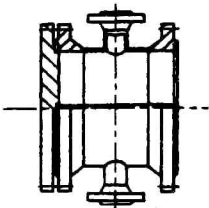
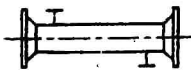
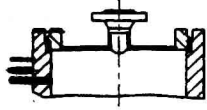
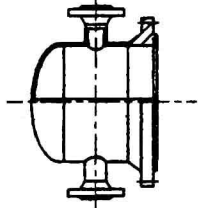
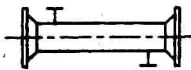
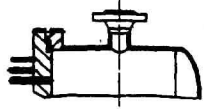
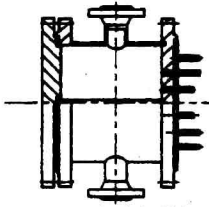
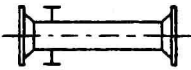
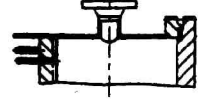
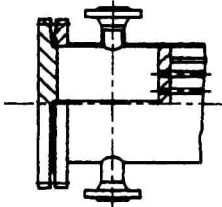
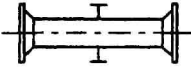
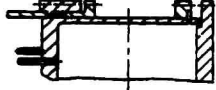
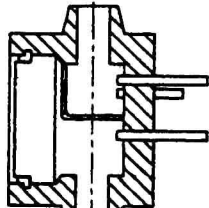
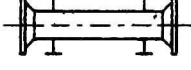
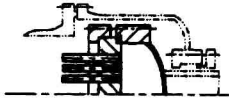
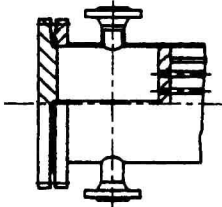
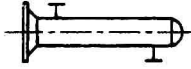
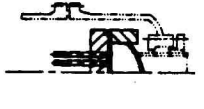
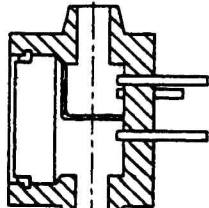

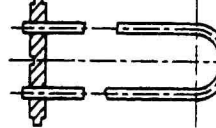
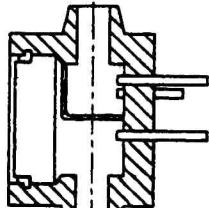
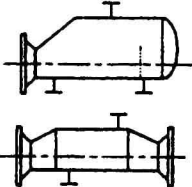
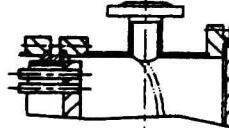
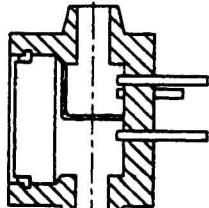
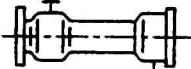
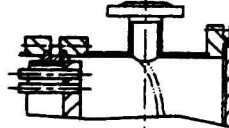
P_t 、 P_s ——分别是以 MPa 为单位的管程、壳程设计压力值，当管、壳程压力相等时只写 P_t 即可；

A——公称换热面积。是指以 m^2 为单位的经圆整后的计算换热面积值。计算面积是指以换热管外径为基准，扣除伸入管板内的换热管长度后，计算得到的管束外表面积。对于 U 形管式换热器，一般不包括 U 形弯管段的面积；

LN ——以 m 为单位的换热器公称长度。换热管为直管时，取直管长度为换热器公称长度；为 U 形管时，取 U 形管直管段的长度为换热器的公称长度；

D——以 mm 为单位的换热管外径值；

表 1-1 换热器主要组合部件分数与代号

前端管箱形式	壳体形式	后端结构形式
<p>A</p>  <p>平盖管箱</p>	<p>E</p>  <p>单程壳体</p>	<p>L</p>  <p>与A相似的固定管板结构</p>
<p>B</p>  <p>封头管箱</p>	<p>Q</p>  <p>单进单出冷凝器壳体</p>	<p>M</p>  <p>与B相似的固定管板结构</p>
<p>C</p>  <p>用于可拆管束与管板制成一体的管箱</p>	<p>F</p>  <p>具有纵向隔板的双程壳体</p>	<p>N</p>  <p>与C相似的固定管板结构</p>
<p>N</p>  <p>与管板制成一体的固定管板管箱</p>	<p>G</p>  <p>分流</p>	<p>P</p>  <p>料函式浮头</p>
<p>D</p>  <p>特殊高压管箱</p>	<p>H</p>  <p>双分流</p>	<p>S</p>  <p>圈式浮头</p>
<p>N</p>  <p>与管板制成一体的固定管板管箱</p>	<p>I</p>  <p>U形管式换热器</p>	<p>T</p>  <p>可抽式浮头</p>
<p>D</p>  <p>特殊高压管箱</p>	<p>J</p>  <p>无隔板分流(或冷凝器壳体)</p>	<p>U</p>  <p>U形管束</p>
<p>D</p>  <p>特殊高压管箱</p>	<p>K</p>  <p>釜式重沸器</p>	<p>W</p>  <p>带套环填料函式浮头</p>
<p>D</p>  <p>特殊高压管箱</p>	<p>O</p>  <p>外导流</p>	<p>W</p>  <p>带套环填料函式浮头</p>