

289

换热器实用技术问题

覃耘 张士科等 编译

煤炭工业出版社



换热器实用技术问题

覃 耘 张士科等 编译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书阐述了最常用的管壳式换热器的基本构造、类型、有相变和无相变发生情况下的工艺过程；换热器的优化问题、故障分析、材料选择及测试方法；高压容器及其运行、维护和故障分析；还介绍了板式换热器、螺旋板式换热器及一些特殊用途的换热器。

责任编辑：施文华

换热器实用技术问题

覃耘 张士科等 编译

*

煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平里北街21号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $12\frac{7}{8}$

字数 282 千字 印数 1—2,575

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0490-4/TD·447

书号 3267

定价 5.40元

前 言

在化工、石油、动力、精炼、制冷等各行业中，经常可以看到凝结器、冷却器、加热器、再沸腾器、汽化器和蒸发器等各种类型的换热设备，这说明换热器作为通用的工艺设备，在工业生产中有着重要的地位。随着我国工业的不断发展，对能源开发、利用和节约的要求不断提高，因而对换热器的技术要求也日益加强了，换热器的优化设计及安全运行就越来越重要。

我国目前关于换热器方面的专著不多，着眼于换热器工艺实际问题的书更属少见。为了满足我国工业对换热器技术不断增长的需要，我们编译了这本书。书中主要内容参照美国密执安大学J.P.古帕特教授所著《换热器及压力容器技术原理》一书以及其它有关资料。

本书阐述了最常用的管壳式换热器的基本构造、类型、有相变和无相变发生情况下的工艺过程；换热器的优化问题、故障分析、材料选择及测试方法；高压容器及其运行、维护和故障分析；还介绍了板式换热器、螺旋板式换热器及一些特殊用途的换热器。

由于国内一些有关的书中都详细地介绍了换热器的热力计算和机械设计，所以本书的目的着重为那些需要解决在换热器设计、运行及维护过程中遇到的实际问题的技术人员提供一些帮助。

本书的主要特点是采用了问答的方式将读者的注意力集

中到许多实际问题，针对性强，目标突出，简明扼要，包容性强，而且易于阅读。读者可以针对自己的问题对照本书查找相应的解决方法。

本书采用国际单位制。书中所涉及到的标准如不加说明均指TEMA（管式换热器厂商协会标准）。

本书既是化工、石油、火电厂、核电站、制冷、航天，采暖通风等行业技术人员的工具书，也是这些行业中的运行和检修工人的工作手册，还可供大专院校相应专业的学生作为接触实际问题的学习参考书，同时也为上述专业的教师提供了一本内容丰富的教学参考资料。

由于编译者水平有限，难免有遗漏或欠妥之处，欢迎各界指正。

参加本书编译的人员还有：俞坚（第二、三章），赵耀华（第五、六章），雷道亨（第八、九章）等。

广州建工学院的张沁芳女士对本书给予了很大帮助，在此深表感谢。

章 耘

1989年9月10日于

北京工业大学

目 录

第一章 管壳式换热器	1
第一节 总述	1
一、管壳式换热器的主要类型与组成部分	1
二、管型、管间距、冲击角及管子数	11
三、隔板及隔板窗、间距、方向	20
四、多流程换热器的应用	37
五、管板与双管板	37
六、拉杆和定距管、密封带	39
七、接管、法兰与膨胀节	40
八、填料压盖与密封圈、密封垫	43
九、排气口与疏液口	44
十、减压装置	45
十一、支撑与吊耳	46
第二节 无相变过程	48
一、通过管侧和壳侧的流动	48
二、总传热系数	52
三、对数平均温差、平均温度及管壁温度	56
四、流体的分配	70
五、计算与设计	71
六、各种几何参数和过程参数对换热器性能的影响	81
七、允许压降	96
八、液—液、液—气、气—气换热器的应用	99
九、其它几种常用的无相变换热器	101
第三节 有相变过程	106

一、凝结器	106
二、再沸腾器	144
三、蒸发器和汽化器	167
第二章 强化表面换热器	186
一、扩展表面换热器	187
二、扰流器和静态混合器	202
三、空气—肋片式冷却器	205
四、强化表面	211
五、紧凑式换热器	213
第三章 特种换热器	223
一、高温换热器	223
二、低温换热器	226
三、耐腐蚀换热器	232
第四章 板式和螺旋板式换热器	241
第一节 板式换热器	241
一、板式换热器的优点、应用范围和限制	241
二、与管壳换热器的比较	244
三、材料的使用	251
四、板式换热器的制造	254
五、流体的流动和压降	255
六、热力设计	258
七、换热板特性及NTU	258
八、板式换热器的主要问题	261
第二节 螺旋板式换热器	261
第五章 机械设计、应力和疲劳分析	266
一、机械设计	266
二、应力分析	293
三、断裂分析	303
第六章 材料选择、制造和焊接	308

一、材料选择	308
二、制造	315
三、焊接	324
第七章 流动引起的振动	343
一、概述	343
二、壳侧流动的影响	346
三、共振	347
四、振动的破坏性影响	348
五、管子振动现象	349
第八章 腐蚀、冲蚀、结垢和水处理	364
一、腐蚀	364
二、冲蚀	372
三、结垢	374
四、水处理	383
第九章 安装、运行、维护和修理	388
一、安装	388
二、运行	390
三、维护与修理	393

第一章 管壳式换热器

第一节 总 述

管壳式换热器的应用范围很广，适应性很强，其容许压力可以从高真空到 41.5MPa，温度可以从 -100°C 以下到 1100°C 高温。此外，它还具有容量大、结构简单、造价低廉、清洗方便等优点。在换热器向高温、高压及大容量发展的今天，历史悠久的管壳式换热器又拥有了新的优势，被广泛地用于动力、制冷、化工、石油等工业领域、甚至于航空航天技术之中。

本节主要介绍管壳式换热器的类型和结构组成，各部分名称及有关的术语，作为以后各章的基础。

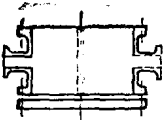
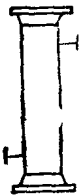
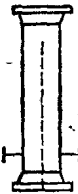
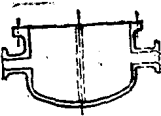
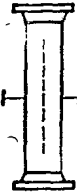
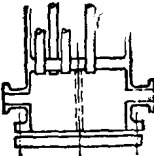
一、管壳式换热器的主要类型与组成部分

1.1 换热器的类型和规格是如何确定的？

美国的TEMA标准（管式换热器厂商协会标准）和 HEI 标准（美国换热器研究所标准）对管壳式换热器的类型、规格进行了统一的规定。下面给出按TEMA标准定义的类型。

规格是根据公称壳径和管长规定的。公称壳径指最外层壳体的最大内径；直管段的管长指相隔最远的两个管板之间的距离。在SI制和公制单位中，所有的尺寸按毫米(mm)给出。换热器的类型用一系列与结构联系起来的字母来表示，如图1-1所示。下面是几个例子：

- 1) 对开环型浮头(S)换热器，带有可拆式筒型管箱和壳

前 端 固定式管箱类型		壳 型		尾 端 封 头 类 型	
A	 筒型管箱， 带可拆式端盖	B	 单 壳 程	L	 固定式管板，类似A型固定式管箱
		F	 带纵向隔板的双壳程	M	 固定式管板，类似B型管箱
B	 封 头 型 (不可拆端盖)	G	 单 分 流 式	N	 固定式管板，类似N型管箱
		H	 双 分 流 式	P	 带外部填料函的浮头
C	 筒型管箱，一 端为可拆管板， 另一端为可拆 式端盖（只适 用于可拆管束）				

续表

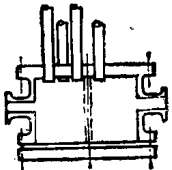
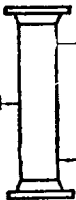
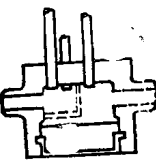
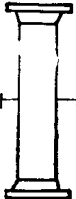
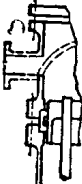
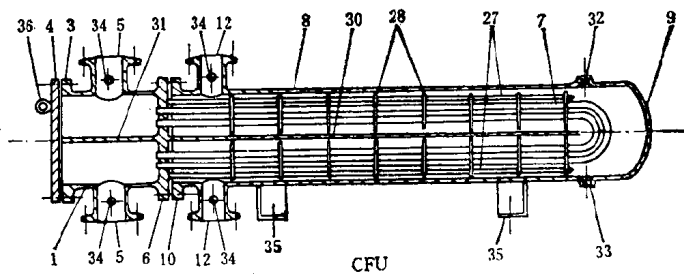
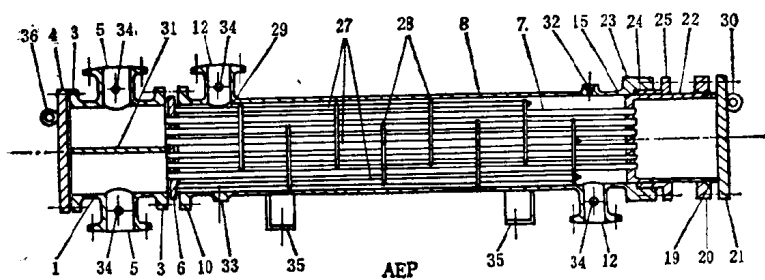
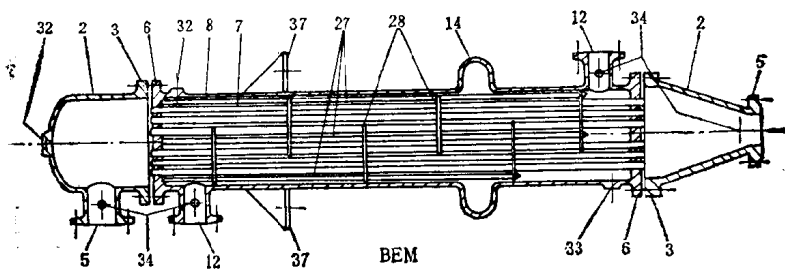
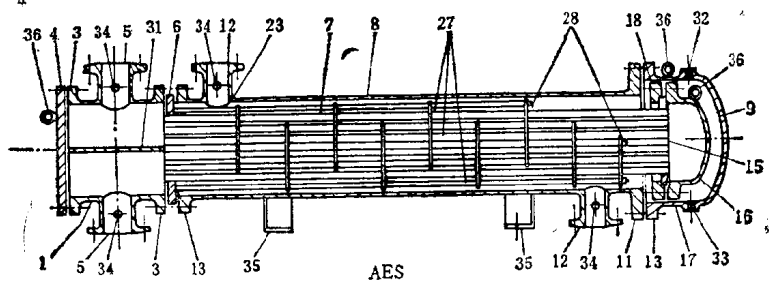
前 端 固定式管箱类型	壳 型	尾 端 封 头 类 型
 筒型管箱，一端为不可拆管板， 另一端为可拆端盖	 对分流动式	 带管板衬板的浮头
	 釜形再沸器	 拔出浮头式
 特殊高压密封端	 错流型（交叉流型）	 U型管束
		 外部密封浮头管板

图 1-1 换热器的结构、类型及符号 (1978年TEMA 标准)



盖(A), 单壳程(E), 590mm内径, 4880mm长度。规格590-4880, AES型。

2) U形管换热器(U), 带封头型管箱(B), 单壳程分流(G), 480mm内径, 2130mm长的直管段。规格480-2130, BGU型。

3) 固定管板换热器, 带可拆式筒型管箱及壳盖(A), 另一端为封头(M), 双壳程(F), 840mm内径, 2440mm管长。规格840-2440, AFM型。

上述讨论中使用了单壳程、双壳程等术语, 它们分别指流体一次或两次流过壳侧, 即从一端流入, 另一端流出; 或是从一端流入, 到达另一端后, 再返回入口端。此外, 还有多壳程的流动。管程数可以大于也可以等于壳程的数目。多程结构通常采用带连接号的两个数字表示, 第一个代表壳程, 第二个代表管程, 如单壳程和双管程的AEL型换热器可写成1-2AEL, 不过这并不是TEMA标准规定。

1.2 换热器有哪些主要组成部分?

图1-2给出了几种换热器的详细结构及各部分名称。

图 1-2 换热器的结构

1—固定式管箱(筒型); 2—固定式管箱(封头型); 3—管箱法兰;
4—管箱盖板; 5—管箱接口; 6—固定式管板; 7—换热管; 8—壳体;
9—壳盖; 10—管箱端壳体法兰; 11—壳盖端壳体法兰; 12—壳体接口;
13—壳盖法兰; 14—膨胀节; 15—浮动管板; 16—浮动封头(浮头);
17—浮头法兰; 18—浮头管板衬板; 19—对开卡环; 20—套装法兰;
21—浮头盖板(外部); 22—浮头管板箱体; 23—填料函; 24—填料;
25—填料压盖; 26—套环; 27—拉杆和定距管; 28—折流板式或支持板;
29—缓冲板; 30—纵向隔板; 31—分程隔板; 32—排气口; 33—排液口;
34—仪表接口; 35—支座; 36—吊耳; 37—支架(牛腿); 38—堰板;
39—液位计接口

1.3 管壳式结构有哪些基本类型？特点是什么？

1) 固定管板式 (图1-1C和N)：主要应用在热应力较小的设备之中；易于制造，成本低廉；虽然壳程一般限制在2以内，但管程数可以任意选用；管侧易于清洗和修理，壳侧则相反，故壳侧必须使用洁净和不结垢的流体。

2) U形管式 (图1-1D)：多用于釜式蒸发器或吸入式加热器等高温高压设备，每根管均可自由膨胀以克服热应力；壳侧进出口接管远离管束的U形弯头，可以减少振动和冲蚀；管束可拆卸清洗，但若要清洗内侧管子，必须先拆除外围的管子。

3) 浮头式 (图1-1D、S、T和W)：也有数种类型，各自特点如下：

(1) 套环式：主要用于温度低于 190°C 和压力小于2070 kPa的蒸汽、水、润滑油等，多为成本较低的可拆卸管束型换热器所采用。浮动式管板上的密封环将管侧与壳侧的流体隔开，管侧泄漏的流体经过泄流口导到换热器外部而不会引起两种流体的混合。壳体与最大容许管束直径 (OTL) 之间的间隙比固定式管板型和U形管型都大。

(2) 内浮头式：广泛应用于石油工业。管子之间的膨胀差靠尾部的浮动管板来克服。

(3) 外密封浮头式 (填函式)：在化学工业中应用极为广泛，多用于可拆管束结构。壳侧的压力和温度可以达到4137 kPa和 316°C (管侧没有限制)，壳侧流体靠填料函中的密封环来隔离。这类换热器的壳体与OTL间隙最大。

(4) 拔出浮头式：与内浮头式相似，只是浮头直接用螺栓固定在浮动管板上，修理和维护方便。壳体与OTL间隙很大，故加装密封带来减少壳侧流体的旁路流。

在浮头式换热器中，常常会发生因浮动管板倾斜而引起的泄漏问题。

表1-1概括了基本的管壳式换热器的其它特性。

1.4 各类管箱有什么特点？

管箱指换热器前端管侧流体进入换热器处的空间。有三种基本类型（图1-1）：

1) 筒型（图1-1A、C和N）：管箱可与壳体做成一体或用螺栓固定在壳体上。管箱带有端盖，可直接清管子而不必拆除管路系统。

2) 封头型（图1-1B）：用螺栓固定在壳上，设有可拆端盖，处理管子时，管箱必须拆下，故往往要拆除管路连接系统，不过，这种类型的制造成本比上一种要低得多。

3) 耐高压管箱（图1-1D）：专门用来承受高压的，管箱壁和管板通常锻压而成。

1.5 由什么因素决定管箱类型的选择？

1) 易于清洗、检查和更换。

2) 管路系统尽可能合理布置以便检查换热管时不必拆开管路。

3) 压力、温度和冲蚀情况。

4) 成本。

1.6 各类壳体的用途是什么？

图1-1中给出了各种壳型并以E、F、G、H、J、K、X等字母标明。下面分别对各个类型进行介绍，壳侧流体的流动路径将在图1-37中介绍，各种类型的相互比较也在第二节中给出。

1) E型：单壳程，壳侧流体进、出口分别位于壳体两端，易制造，用途最广，只有当E型不能满足需要时才选用

表 1-1 主要管壳式换热器的特性

设计型式选择	固定管板式	U形管式	套环浮头式	内浮头式	外密封浮头式	拔出浮头式
尾端类型	L、M或N	U	W	S	P	T
相对成本 ^①	B	A	C	E	D	E
克服膨胀差	壳体上的膨胀节	各管自由膨胀	浮头	浮头	浮头	浮头
可拆式管束	可用	可用	可用	可用	可用	可用
管束更换	不可	可以	可以	可以	可以	可以
单根管子更换	可以	仅最外层可以 ^②	可以	可以	可以	可以
管子内、外侧化学清洗	可以	可以	可以	可以	可以	可以
管内侧机械清洗	可以	需特殊工具	可以	可以	可以	可以
管外部机械清洗	不可	不可	不可	不可	不可	不可
三角形布置	不可	可以	可以	可以	可以	可以
正方形布置	不可	可以	可以	可以	可以	可以

续表

设计型式选择	固定管板式	U形管式	环套浮头式	内浮头式	外密封浮头式	拔出浮头式
水力喷射清洗:						
管 内	可 以	需特殊工具	可 以	可 以	可 以	可 以
管 外	不 可 以	可 以	可 以	可 以	可 以	可 以
使用双管板	可 以	可 以	不 可 以	不 可 以	可 以	可 以
管 程 数	无限制	任意偶数	限制在 1 或 2 管程	无限制 ^③	无限制	无限制 ^③

① 相对成本: A 最低, E 最高;

② U 型管束可采用的管子固定方式允许拆除管束更换最内部的管子;

③ 对于奇数管程, 浮头式需要加装密封节或膨胀节。