

化工装置的工艺设计

第三册

〔美〕 E.E.路德维希 编著

化学工业出版社



化工装置的工艺设计

第三册

[美] E. E. 路德维希 编著

化学工业部化工设计院组织翻译

化学工业出版社

内 容 提 要

全书原文共分三卷，主要介绍化工和石油化工装置的化学工程设计计算方法。译文分为四册出版，第一册为流体流动、液体输送、机械分离、液体混合、喷射器及真空装置、泄压装置等方面内容。第二册为蒸馏、填料塔等方面内容。第三册为传热、制冷装置。第四册为压缩设备、压缩缓冲罐和驱动装置等方面内容。书中每章都插入了许多图表和例题，以帮助读者正确地理解和应用书中所述的设计方法。

本书可供石油、化学工业和其它有关工业部门的工艺设计人员、研究人员和生产技术人员阅读，也可供石油、化工高等院校师生参考。

Ernest E. Ludwig
**APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL
AND PETROCHEMICAL PLANTS**

Vol 3

Gulf Publishing Company
Houston, Texas (1965)

化工装置的工艺设计

第 三 册

化学工业部化工设计院组织翻译

化学工业出版社出版
(北京和平里七区十六号楼)

兰州新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787 × 1092¹/₁₆ 印张 16³/₄ 字数 399 千字 印数 1—26,250

1979年4月北京第1版 1979年6月甘肃第1次印刷

书号 15063·3008 定价 1.75 元

出版说明

本书是从美国海湾出版公司出版的欧内斯特 E. 路德维希编著的《化工和石油化工装置实用工艺设计》(Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants)一书译出,译本书名简作:《化工装置的工艺设计》。原书共分三卷,于1964年至1965年刊行。

这套书主要介绍化工和石油化工装置的化学工程设计计算方法,汇集资料较多,内容比较丰富,侧重实用,可供设计、生产和教学等方面的专业人员参考。

原书第一章主要介绍资本主义制度下的设计管理和工程组织形式等内容,译本中予以删除。其它章节基本上按原书译出。原书某些内容不一定适合我国实际情况,希望读者本着“洋为中用”的精神,有分析、有批判地吸收。书中若干明显的排印错误及其它已发现的技术性错误,在翻译时已予以改正。

原书第一卷的第二版于1977年刊行,译本第一册根据新版作了相应的修改。

本书第一卷由天津大学化工系化工原理教研室部分教师译成,第二卷由山东胜利石油化工总厂研究所和设计院译成,第三卷(译文分为两册)由化学工业部化工设计院译成。全部译稿最后校订整理工作均由化学工业部化工设计院担任。

目 录

第九章 传热	1
各种传热设备的专用名词	1
换热设备的型式和管子、折流板的排列详图	1
制造规范 (1); 传热计算标准 (7); 换热器壳体型式 (7); 管子 (8); 折流板 (12); 拉杆 (19); 管板 (20); 管子与管板的连接 (20)	
管板设计	22
壳体中管数的计算 (22); 常用的管子排列方式 (26)	
换热器的传热面积	26
管子的有效面积 (39); U形管换热器中管子的有效长度 (39)	
壳体和管箱上的接管	41
换热操作的类型	42
传热计算	42
热平衡 (43); 热负荷 (43); 传热面积 (44); 温度差 (44); 平均温差或对数平均温差 (46); 确定流体性质的温度——流体真平均温度 (54); 管表面的污垢 (55); 平管或光管的总传热系数 (60); 总传热系数的近似值 (66); 流体在管内强制对流时的膜系数 (66); 流体在套管换热器环隙中的强制对流 (72); 管内液体的降膜流动 (73); 流体在管外强制对流时的膜系数 (75)	
换热器设计中强制对流传热的设计步骤	83
管束外的冷凝	88
垂直管束 (88); 水平管束 (91); 德沃尔图表的使用步骤 (91); 冷凝器的设计步骤 (95)	
管内冷凝	102
水平管束 (102); 垂直管束 (102); 水平管内的冷凝 (102); 垂直管内冷凝液的过冷 (104); 垂直管外冷凝液的过冷 (104); 水平管外冷凝液的过冷 (104); 冷凝膜温的估算 (104); 管壁温度 (105); 含有不凝气的蒸气冷凝 (119)	
汽化和沸腾	135
卧式釜内的汽化, 自然循环 (135); 关于池内沸腾和泡核沸腾的热流率和临界温差的一般关系式 (136); 仅有汽化作用没有显热传入沸腾液的池内沸腾汽化计算步骤 (139); 垂直管内或水平管外泡核沸腾的自然循环(热虹吸) (142); 修正的吉尔摩算法 (143); 伴有显热传递的汽化作用的计算步骤 (145); 卧式自然循环热虹吸再沸器的计算步骤 (147); 克恩算法 (148); 立式管内汽化的自然热虹吸作用 (148); 立式热虹吸再沸器的简化设计法 (156)	
膜状沸腾	163
水平管膜式或阶梯式水淋冷却器(敞开式) (164)	
光管换热器的压力降	169
管侧 (169); 壳侧 (173)	
翅片管换热器	180

每英寸管长 16 片或 19 片翅片的低翅片管 (180); 翅片管的经济性 (180); 管尺寸 (182); 壳侧冷凝器、壳侧冷凝并伴随可凝气体冷却和流体-流体对流热交换的设计步骤 (182); 低翅片管立式冷凝器的设计 (183); 水平或垂直管外的泡核沸腾 (183); 用实验数据进行沸腾传热的设计步骤 (183)	
空气冷却的换热器	189
一般应用 (194); 优点 (195); 缺点 (195); 评价报价 (196); 设计应考虑的问题(连续操作时) (199); 用于估算的设计步骤 (200); 管侧流体温度控制 (205)	
用电子计算机设计换热器	207
参考文献	208
符号	212
第十章 制冷装置	216
制冷装置的类型 (216); 专用名词 (216); 对已知制冷温度和热负荷的制冷装置的选择 (216)	
蒸汽喷射制冷	217
结构材料 (219); 性能 (221); 制冷量 (221); 操作 (222); 公用工程 (223); 规格明细表 (225); 热水池 (228)	
吸收制冷	228
氨吸收式制冷装置 (228); 一般的优点和特征 (228); 制冷量 (230); 性能 (230); 溴化锂吸收制取冷冻水 (235)	
机械制冷	236
压缩机 (237); 冷凝器 (237); 蒸发器 (237); 排空 (238)	
操作性能	238
制冷剂 (238); 制冷系统的工作性能比较 (238); 选择制冷剂的其它因素 (242); 制冷装置的设计和选择 (245); 设计 (250); 贮槽 (253); 热回收器 (255); 吸气过热 (257); 复叠式制冷装置 (258); 复式压缩制冷装置 (258); 不同制冷装置及膨胀阀所需功率的比较 (258)	
符号	260
参考文献	260

第九章 传 热

在化工和石油化工厂中，传热既是最重要的也是应用得最多的生产过程。工厂运转是否经济常常取决于热或冷（冷冻）的利用和回收的效率。供汽、供电和供冷等公用工程在生产过程中的应用，关键在于使热的转化和回收效率最高。

虽然有许多好的参考书^(4,21,33,34,37,54,59,63,70)和技术文献已经介绍了传热设计原理及设备设计方法的重要细节，但每项设计中仍然存在一些未知因素。这就是生产过程中流体生成的污垢。这种污垢的生成则完全与流体本身、操作温度、流速以及多少与传热管的表面特征及其材质有关。由于上述的未知因素、污垢系数对传热设备的设计有显著的影响，在阅读本章时应注意这个问题。虽然克恩曾提出过有关传热的新概念，从而可以提供新的计算方法，但本章介绍的仍是一般计算方法。

在介绍设计细节之前，让我们回顾一下化工厂常用设备的概况。

各种传热设备的专用名词

为了正确地作出设备设计、提出规格、评定报价和核对图纸，工艺人员懂得传热设备制造厂的专用名词是很重要的。

图 9-1 A 是由美国管式换热器制造者协会标准所提出的固定管板式、浮头式和釜式三种基本类型设备的部件名称。许多换热器可以不把所有的部件都设计出来，特定换热器的性能设计可以不需要(a)浮头及其有关部件，或(b)缓冲挡板，而是需要一个壳侧纵向隔板（图中未表示）。不管设备的型式如何，重要的是要认识图 9-1 A 中各部件和所使用的专用名词。换热器的应用和选择准则如表 9-1 所示。

换热设备的型式和管子、折流板的排列详图

换热设备的工艺设计，在一定程度上取决于生产过程中所用设备的基本形式，以及属于某一特定类型设备中的各个装配部件又是如何安装在一起的。重要的是要看到表 9-1 中所列的换热器的某些基本类型，其价格要比其它的便宜，但在设备结构材料的抗流体腐蚀、设备清洗以及将来改装作其它用途等方面又还存在一些问题。下述各项说明为设计人员提供了应考虑的各种规定。

制 造 规 范

美国机械工程师学会(ASME)的“非直接火压力容器规范”⁽¹⁰⁰⁾已被各州和大多数工业保险商所承认，作为制造耐压容器设备的基本准则。这项规范不包括胀接管板。

对于蒸汽锅炉或任何直接火加热的设备，ASME 锅炉规范均能适用，并且许多州和保险公司都要求采用此规范。

管式换热器制造者协会 (TEMA)⁽⁸⁸⁾ 为换热设备制造厂的协会，它制定了换热器基本结构的一套标准。它包括了制造优良换热器所需的全部重要规定，其中包括能适用于很多

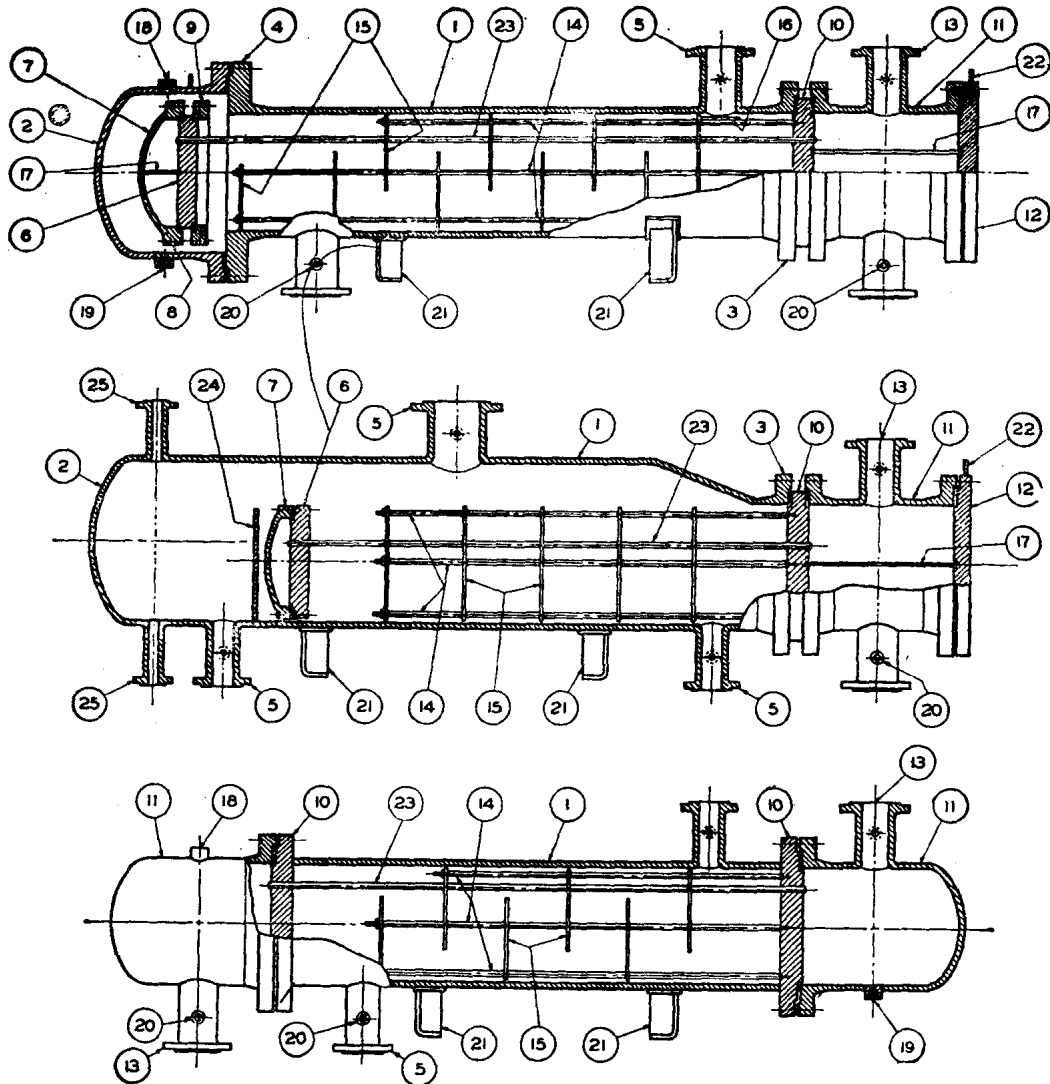


图 9-1A 换热器部件名称

1. 壳体; 2. 壳盖; 3. 管箱端壳体法兰; 4. 盖端壳体法兰; 5. 壳体接管; 6. 浮动管板;
 7. 浮头盖; 8. 浮头法兰; 9. 浮头衬托构件; 10. 固定管板; 11. 管箱或固定封头; 12.
 管箱盖板; 13. 管箱接管; 14. 拉杆和定距管; 15. 横向折流板或支持板; 16. 缓冲挡板;
 17. 分程隔板; 18. 放气接管; 19. 排液接管; 20. 仪表接管; 21. 鞍式支座; 22.
 吊环;
 23. 管子; 24. 堰板; 25. 液面计接管

设备的 ASME 的结构规范、机械设计程序标准、公差和尺寸。热性能设计和计算不包括在本标准内。TEMA 机械标准分为两大类⁽⁸⁸⁾：

R 类——基本上能经受生产条件要求严格的耐用设备，多应用于石油和重化学工业中。

G 类——基本上能达到一般要求的设备，其结构紧凑又较经济，可供商业和任何工业中的一般生产过程使用。

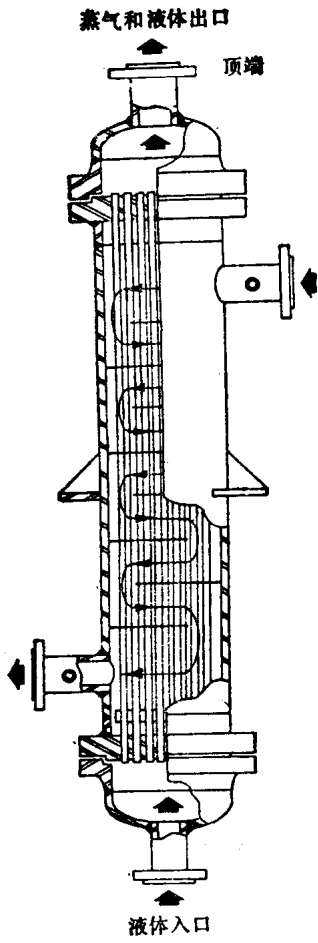


图 9-1B 固定管板单管程立式加热器或再沸器

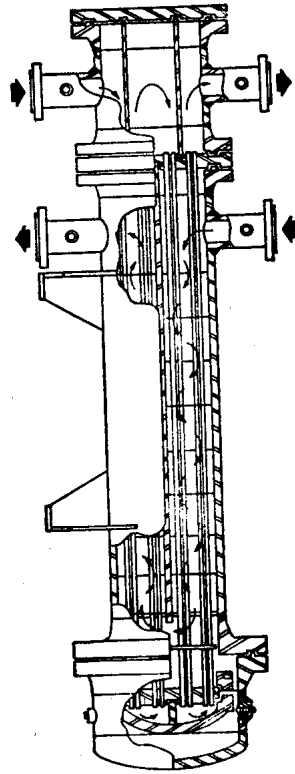


图 9-2B 对开环、四管程和双壳程、可拆卸式浮头换热器

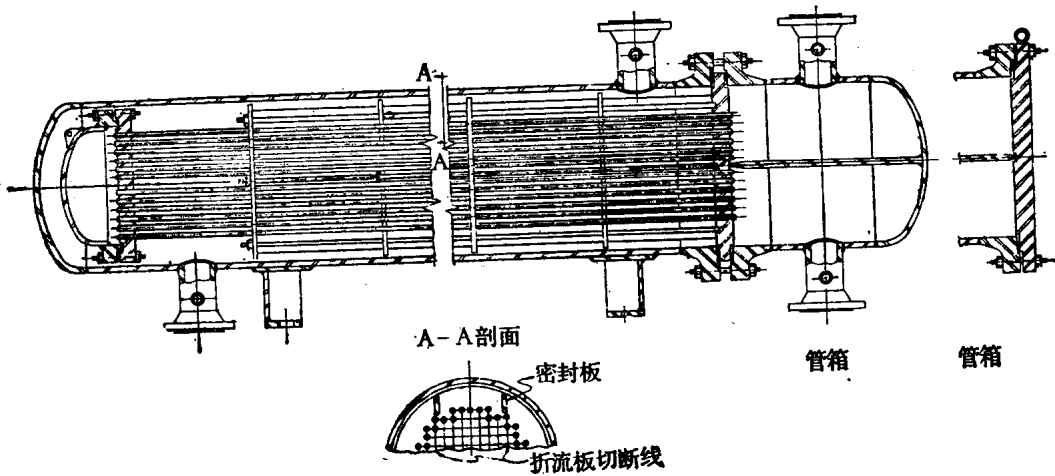


图 9-2A 可拆卸式浮头换热器

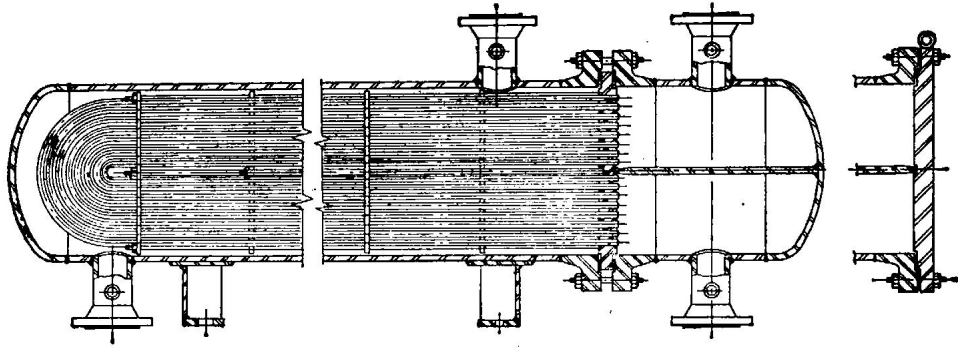


图 9-2C U型管换热器

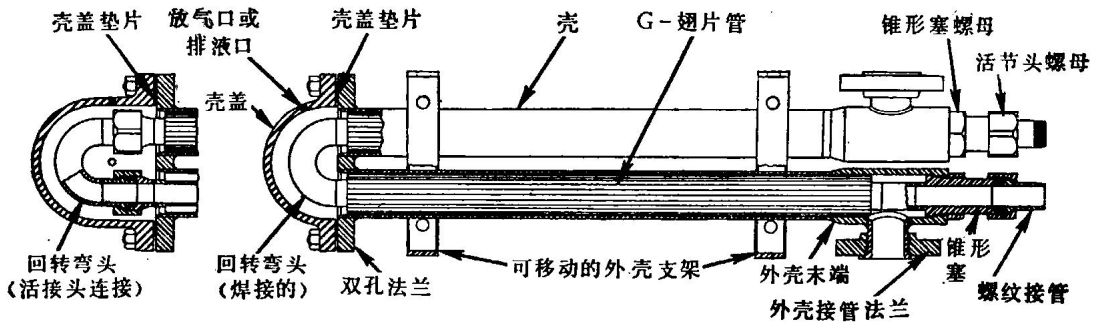


图 9-3A 纵向翅片式套管换热器

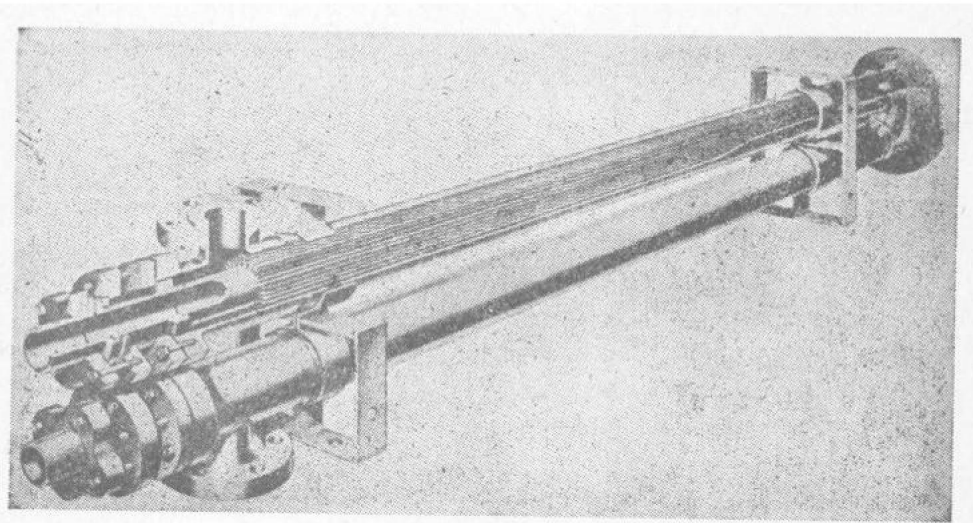


图 9-3B 翅片式套管换热器剖视图

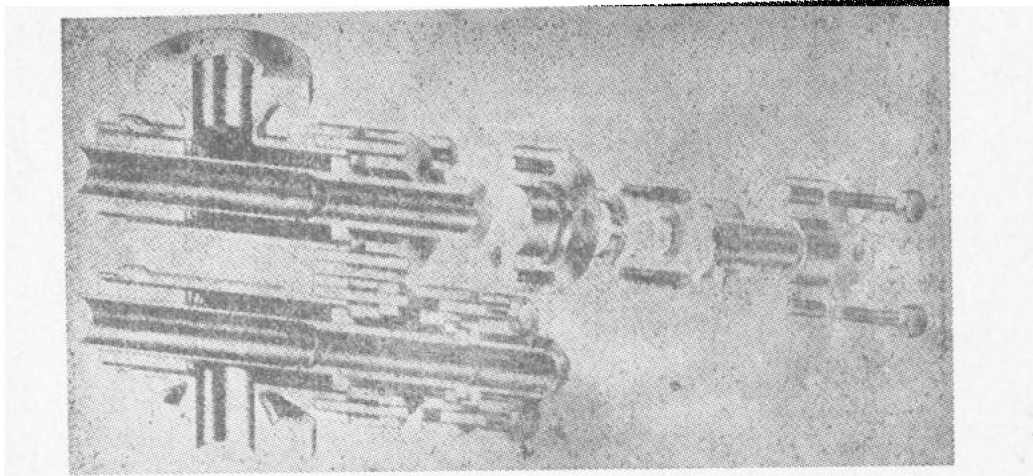


图 9-3C 标准固定端封头剖视图

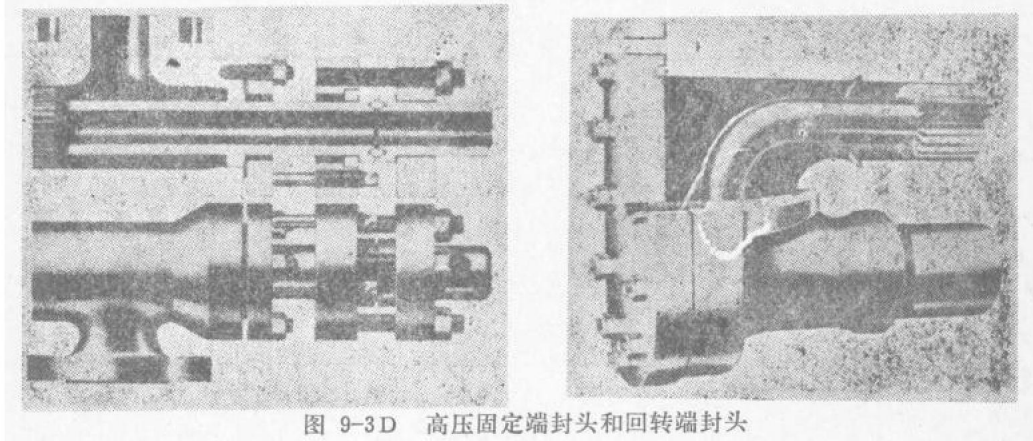


图 9-3D 高压固定端封头和回转端封头

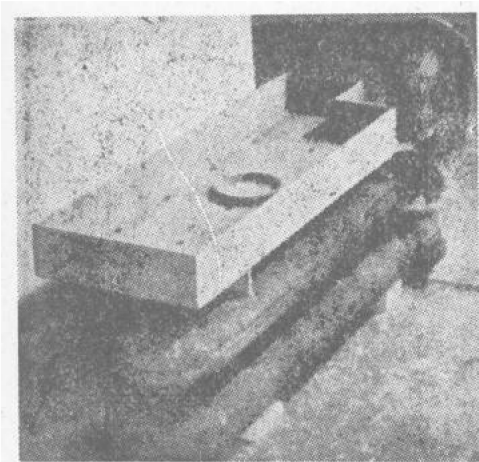


图 9-4A 铸铁部件；敞开放式盘管冷却器；盘管和分布盘

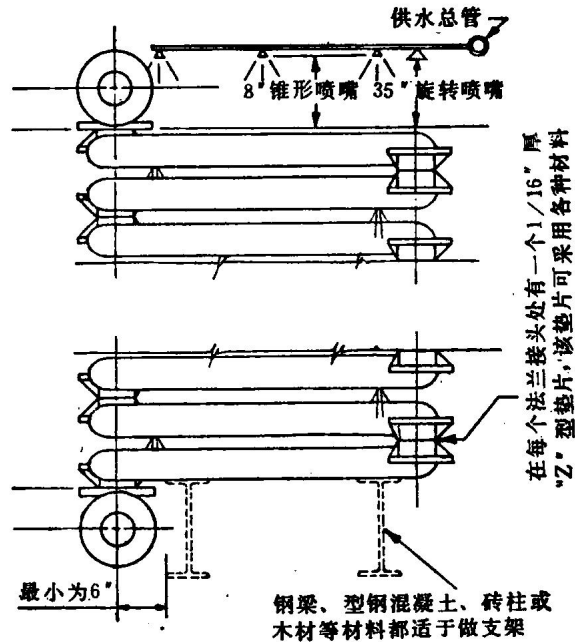


图 9-4B 正视装配图

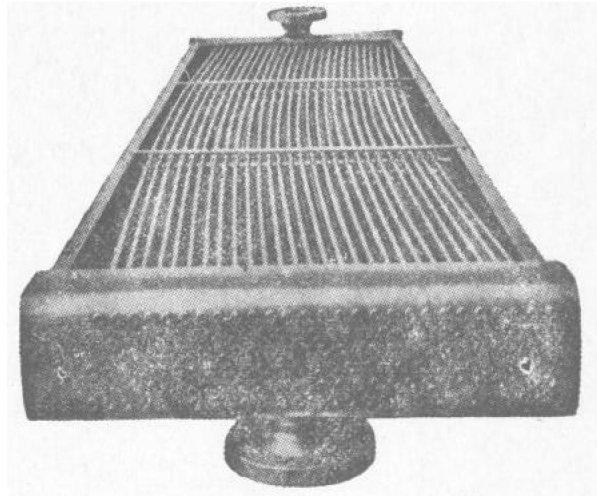


图 9-5 敞开式排管

表 9-1 换热器型式选择准则

类型名称	图号	主要特征	最适宜的用途	使用范围	钢制换热器的相对费用
固定管板式	9-1A 9-1B	两个管板都固定在外壳上	冷凝器；液-液、气-气、气-液的冷却及加热用卧式或立式换热器和再沸器	由于膨胀差的要求，最大温差约为 200°F	1.0
浮头式或浮动管板式（管束可拆卸和不能拆卸）	9-1A 9-2A 9-2B	一个管板在壳内“浮动”或与壳一同“浮动”，管束能从壳中拆出或不能拆出，但后盖可拆卸，以便露出管端	卧式或立式换热器中，两端温差，高于 200°F 以上；通过污浊液体时，管内外均需进行清洗	内部垫片有造成渗漏的危险。不能用于对壳程浮动部件有腐蚀的液体。往往限于卧式设备	1.28
U形管，U管束	9-2C	只需要一个管板。管子弯成 U 形。管束可以拆卸	由于卧式或立式换热器的高温差要求在固定管设备中必须设膨胀节。清洁的作业或管侧和壳侧都易于清洗的条件下使用	弯管的制造必须精细，否则将造成机械损伤，以致有破裂的危险。管程流速不能过高，否则将磨损弯管内部。流件应不含悬浮颗粒	1.08
釜式	9-1A	与 U 形管或浮头式一样，管束可以拆卸。壳体扩大可允许沸腾和蒸气蒸发出来	在壳侧沸腾的流体，如制冷剂或生产流体的气化。当制冷剂在壳侧蒸发时，流体则在管侧冷冻或冷却	适用于卧式安装，作为其它用途时，外形较大	1.2~1.4
套管式	9-3A 9-3B 9-3C 9-3D	每根管子都有供流体流动的环形空间的壳程。经常采用外面带翅片的管子	适用于传热面积较小的地方，当用于传热面积较大的地方，则采用排管。特别适用于管内压力超过 400 磅/英寸 ² (表)	适用于翅片管。装设大量套管，往往需要的空间大，成本高	0.8~1.4
盘管式	9-4A 9-4B	盘管浸在有水的或用水喷淋的盘管箱中，是换热器的最简单型式	适用于冷凝或显热传导的热负荷相当低的地方	传热系数低，如热负荷高的话，则需要相当大的空间	0.5~0.7
敞开式排管（水冷却）	9-5	排管不需要外壳，两端有管箱，管子一般较长，水喷淋在管表面上，用膨胀和收缩的方法脱掉管外的污垢。也能在水箱中使用	适用于冷凝或显热传导的热负荷相当低的地方	传热系数低，比盘管式换热器占的空间小	0.8~1.1
敞开式排管（空气冷却）		不需要外壳，两端的管箱与水冷却设备相似	适用于冷凝，传热温度高的地方	如为自然对流循环，则传热系数低，但可用强制空气流经管子之间的方法，以提高传热系数	0.8~1.8

传热计算标准

“管式换热器制造者协会标准”第三版(1952)为换热器计算提出了一套推荐的设计程序和有关的数据。但是由于换热器计算需要很多数据，而这些数据又都不宜于普遍的使用，因此现在就不再列入 TEMA 标准。

换热器壳体型式

换热器壳体的型式通常都应在设备的传热计算之前确定。壳体常常是影响换热器管板和内部折流板的一个因素。图 9-6 摘要的介绍了各种壳体的一般型式，但应注意，对特殊情况还有其它型式可供采用。

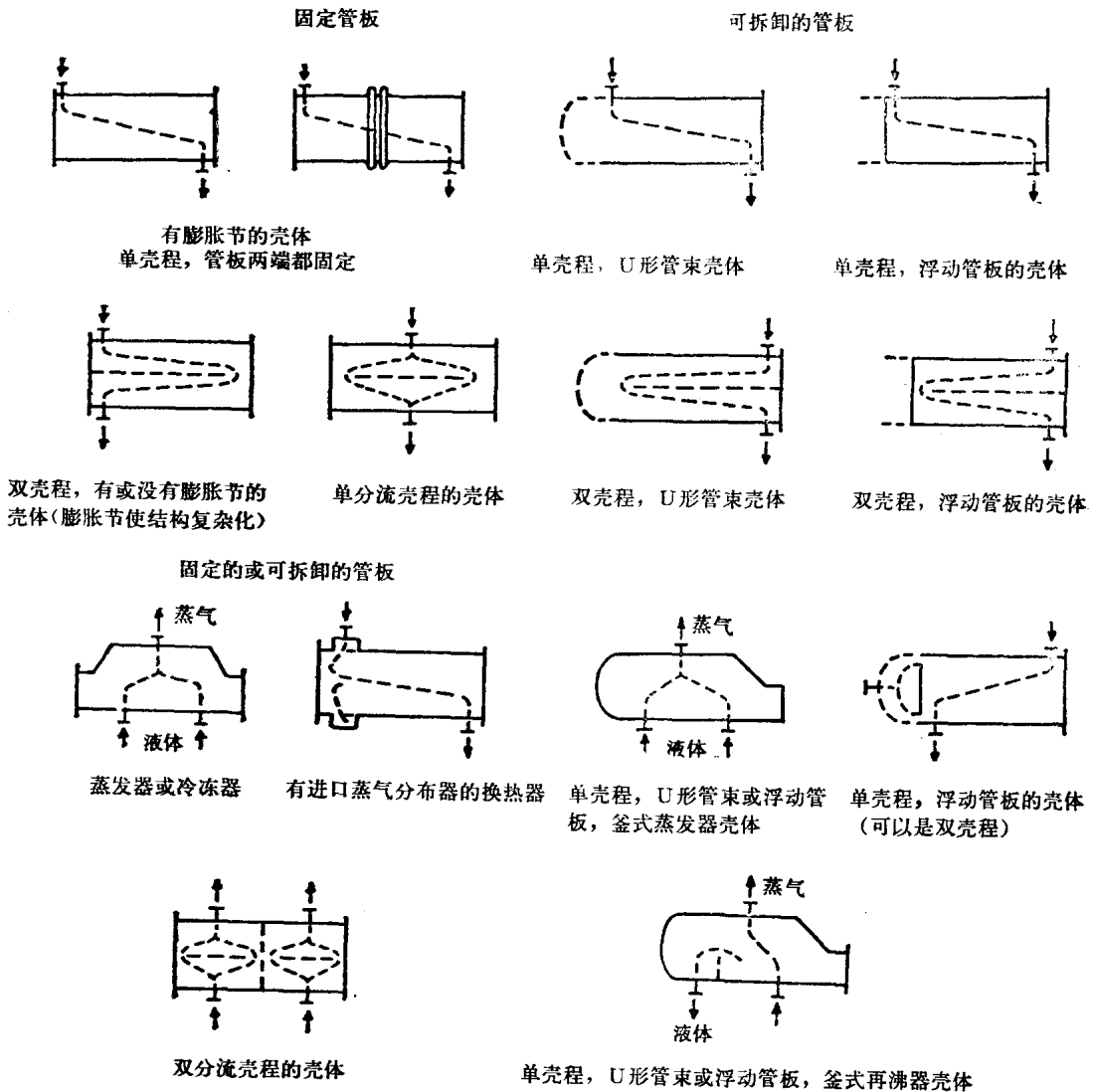


图 9-6 标准壳体型式

连接在壳体上的封头可以采用焊接或用螺栓连接，如图 9-7 所示。还有很多其它的型式可以从其它参考文献^(34,35,54)中查到。

管 箱

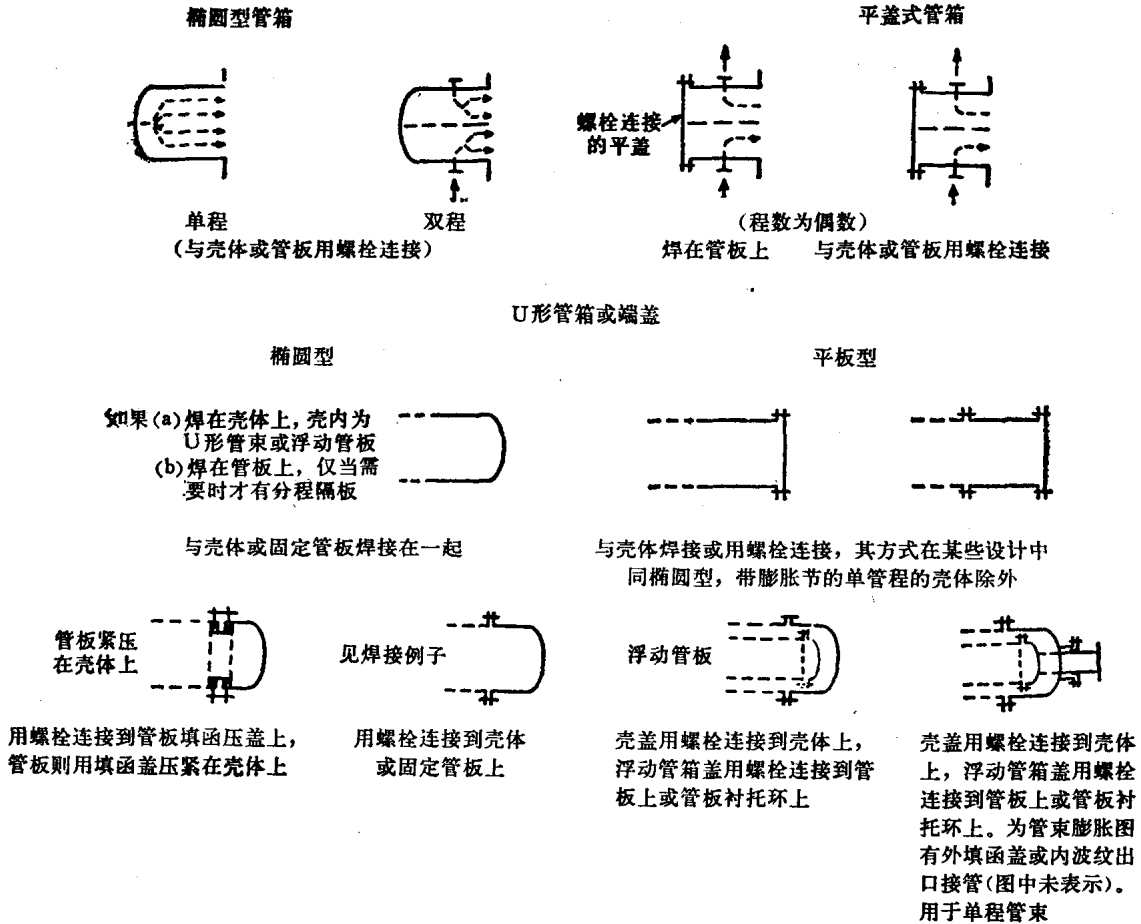


图 9-7 封头和端盖

管 子

管子的两种基本型式: (a) 平管或光管; (b) 外翅片管或内翅片管; 如图 9-8 所示。光管通常多用于换热器; 不过, 比较普通的外翅片管的优点正在进一步的被肯定。当这类管子的特点能得到充分利用时, 它们的性能就显得特别好。

光管(厚壁管或复合管)的材料范围很广, 有碳钢、碳合金钢、不锈钢、铜、黄铜及其合金、铜-镍合金、镍、蒙乃尔合金、钽、石墨、玻璃及其它特殊材料。选择合用的管材, 通常都没有什么大的问题。但是, 将管子装配到管板上和由此而产生的制造问题一同考虑时, 则管子的选择仅是整个设计的一部分。光管的机械数据和尺寸见表 9-2。

复合管(图 9-9)是一根管子套在另一根管子里面, 用拉伸或其它机械方法将外管紧密地固定在内管上。这种管子通常是在壳侧流体和管侧流体要求不同的管材的条件下使用。两种不同材料的管壁厚度不一定相同。虽然较薄的管子也有应用的, 但作为一般的规定, 内、外管的壁厚都不应低于线规 18 号。在确定内、外管的厚度时, 其材料的腐蚀速度应大致

① 为 B. W. G. 线规。

管外径	B.W.G. 线规号	壁厚 英寸	内截 面积 英寸 ²	每英尺长的 外表面积 英尺 ²	每英尺长的 内表面积 英尺 ²	每英尺长的 钢管重量 磅 ^①	管内径 英寸	惯性矩 英寸 ⁴	断面 模数 英寸 ³	迴转 半径 英寸	常数 C ^②	外径 内径	金属的横 截面积 英寸 ²
2	11	0.120	2.433	0.5236	0.4608	2.410	1.760	0.3144	0.3144	0.6660	3795	1.136	0.709
2	13	0.095	2.573	0.5236	0.4739	1.934	1.810	0.2586	0.2586	0.6744	4014	1.105	0.569
2-1/2	9	0.148	3.815	0.6540	0.5770	3.719	2.204	0.7592	0.6074	0.8332	5951	1.134	1.094

① 重量是以低碳钢的比重为 0.2833 磅/英寸³为基准的。对于其它金属则需乘以下列系数:

铝	0.35	镍-铬-铁合金	1.07
A.I.S.I. 400 系列不锈钢	0.99	海军铜	1.09
A.I.S.I. 300 系列不锈钢	1.02	镍和镍-铜合金	1.13
铝青铜	1.04	铜和铜-镍合金	1.14
铝黄铜	1.06		

② 液体流速 = $\frac{\text{每小时每根管的磅数}}{C \times \text{液体比重}}$, 英尺/秒 (60°F 水的比重 = 1)

相等, 同时在使用一个相当时期后, 管壁厚度应仍能承受操作条件下的压力和温度。

有 100 种以上的材料, 可以相互组合用来做复合管。有几种材料, 如铜、钢、铜-镍合金、铝、铅、蒙乃尔合金、镍、不锈钢、合金钢、各种黄铜等都适合于作内管或外管。用这些材料组合作成的复合管, 一般都能满足大多数生产过程的要求。如管内用水冷却的氨冷凝器, 可用钢作外管, 组合的内管可用海军铜或铜-镍合金。许多生产过程中用海水冷却的冷凝器, 可用钢作外管和铜-镍合金作内管。这些管子都能弯成 U 形管束, 而不影响传热效率。不过仍应注意, 在弯管时管内要充满砂子或以弯管用的心轴来进行煨弯。对于铜合金-钢类型的复合管, 其最小弯曲半径一般为管外径的三倍。对于弯曲度较小的管子可以采用局部加热的方法来制作, 不过这些情况在购买管子时就应该加以说明。

翅片管可以是外翅片或是内翅片, 最普通和可能最适用的还是外翅片管。常用的翅片有以下几种型式: (a) 作为主管壁的一个整体部分; (b) 用焊接或铜焊连接在管子外面; (c) 用机械方法连接在管子外面。图 9-8 列举几种不同型式的翅片。翅片不一定和它底部的连接管采用同一材料。也可用复合管作翅片管。

翅片管一般应用于管外是气体的传热设备。其它如在冷凝器和产生污垢的作业中使用翅片管时, 也证明是有好处的。翅片管换热器的总外表面积比相同管数的平管或光管换热器要大许多倍。

管子的弯曲度

表 9-3 提出了各种管子煨成 180° U 形弯管的推荐最小弯曲半径。

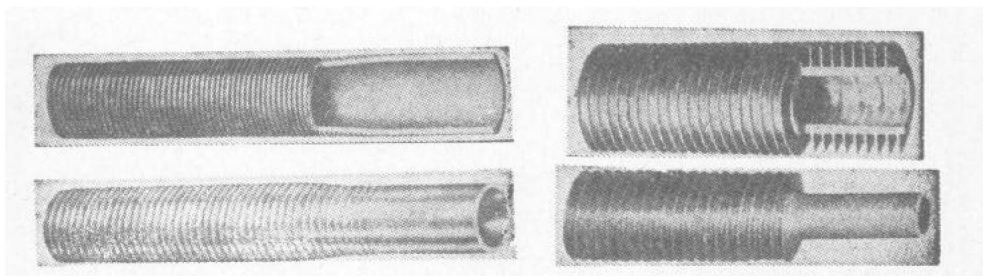


图 9-8 A 圓型翅片管

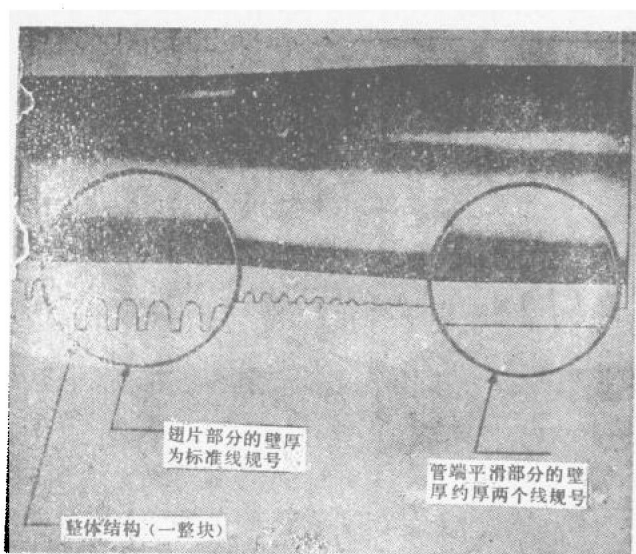


图 9-8 B 低翅片管详图

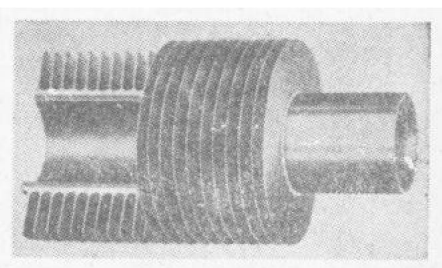


图 9-8 C 双金属高翅片管

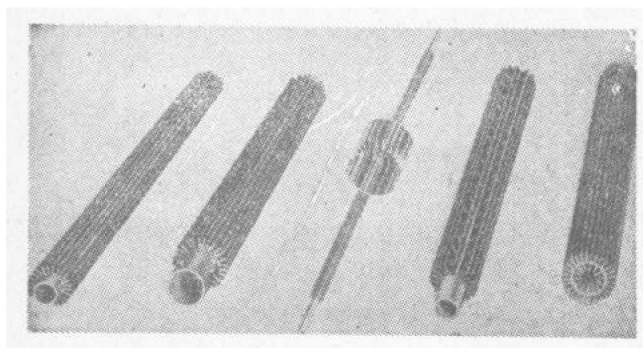


图 9-8 D 纵向翅片管

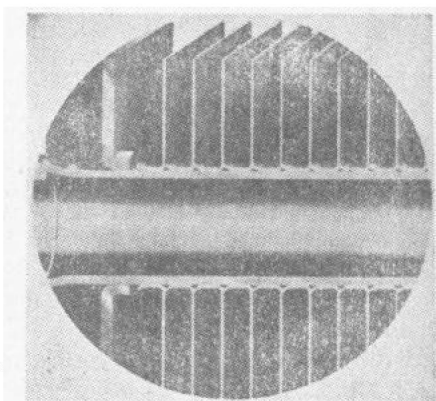


图 9-8 E 板式翅片管剖面图, 示出机械结合的管和翅片的连续接触表面

表 9-3 制造厂提出的
最小弯曲半径

管外径, 英寸	弯曲半径 英寸	中心距 英寸
所有尺寸的复 合管	三倍管外径	六倍管外 径
光管①: 5/8"	13/16"	1 5/8"
3/4"	1"	2"
1"	1 3/16"	2 3/8"

① 对于弯曲半径这样小的弯管, 根据加工条件和特定管材的不同, 弯管外侧壁厚的减薄, 相当于减薄 1 个到 2 个线规号。对于弯曲半径较大的弯管, 外侧壁厚的减薄相对地要小。TEMA 介绍了计算最小壁厚的公式

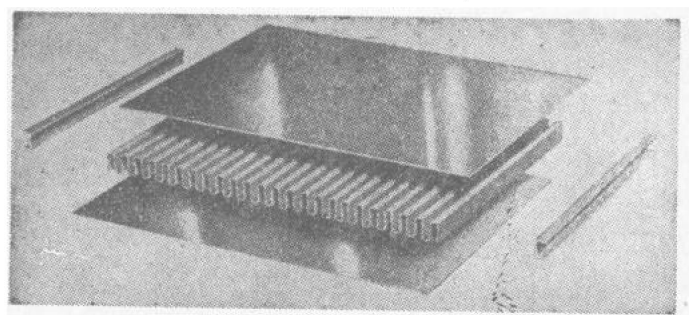


图 9-8 F 平板延伸表面用于气体低温分离装置, 铜焊表面的分解图