



工业过程与设备丛书

CHUANRE

GUOCHENG YU SHEBEI

传热过程与设备

朱跃钊 廖传华 史勇春 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

工业过程与设备丛书

传热过程与设备

朱跃剑 廖传华 史勇春 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书在系统介绍传热过程机理的基础上,分别详细介绍了管式换热器、板式换热器、热管换热器、螺旋板式换热器、蒸发器与余热锅炉的工作特性、设计原理、用途及评价。

本书系统科学,通俗易懂,是一本具有实用价值的教材及技术参考书,适用于石油、化工、生物、制药、食品、医药、机械等专业的大专院校教师、研究生及高年级本科生,同时对工程技术人员、研究设计人员也会有所帮助。

图书在版编目(CIP)数据

传热过程与设备/朱跃钊,廖传华,史勇春主编. —北京:中国石化出版社,2008
(工业过程与设备丛书)
ISBN 978-7-80229-504-9

I. 传… II. ①朱…②廖…③史… III. 传热-化工过程;传热-化工设备 IV. TQ021.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第069995号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京密云红光制版公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本21.25印张395千字

2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷

定价:48.00元

序

过程工业(Process industry, 也称流程工业)是以流程性物料为处理对象, 经过一系列的化学过程, 通过改变物质的状态、结构和性质, 生产出工业产品的工业过程的总称。过程工业的涵盖面很广, 包括化学工业、石油炼制、石油化工、天然气加工、污水处理、能源工业、冶金工业、建材水泥、核能工业、生物技术工业以及医药工业等, 其产品的种类已逾上万, 它包含了每个国家的大部分重工业, 是一个国家发展生产和改善人民生活的基础。

过程工业的最大特点是原料在生产过程中经过了许多化学变化和物理变化, 因此这类生产过程又称为工业化学过程。工业化学产品的多样性导致了化学加工过程的广泛性、多样性和复杂性。虽然不同过程工业所生产产品的工艺过程各不相同, 但都具有其共性: 一般来说, 一个工业化学产品的生产或加工过程大都可以划分为原料预处理、化学反应和产品后加工三个基本环节。

原料的预处理是化学反应前的准备工作。当使用气体(或液体)原料时, 预处理包括原料气的制备、净化和配制, 要求制得的原料具有一定的组成、浓度和纯度, 尽量少含杂质(特别是有害杂质)。当使用矿物原料时, 预处理包括选矿、配矿、粉碎、筛分, 有时还需用干燥或煅烧。原料矿粉应具备一定的组成(或品位)及一定的细度, 以利于化学反应。

化学反应是工业化学过程的中心环节。为使反应进行得迅速、完全, 需要维持一定的温度、压力和流量等操作条件, 多数情况还要使用催化剂, 因此在化学反应过程中还要创造良好的传热、传质和流体流动条件, 以保证化学反应的顺利进行。

产品的后加工主要是指对产品的分离和提纯以及对未完全反应物的回收利用。最常见的分离方法有冷冻冷凝、精馏分离和结晶分离等。未完成反应物的回收利用常常采取循环作业。此外, 固体产品的造粒成型、干燥和包装也是产品后加工不可缺少的内容。

由此可以看出，按照工艺流程的要求，所有过程工业的生产过程均是“三传一反”不同形式的组合，都涉及到物料的输送、传热(加热或冷却)、热源的组织(燃烧)、反应、分离(或精制)等过程，因此，无论是从事学术研究还是生产过程与设备的操作管理等工作，都必须对相关的过程有一个全面的认识。另一方面，由于科学技术日新月异的发展，新技术、新设备、新流程的不断引进，设备逐步向大型化、单系列、自动化、智能化发展，客观上要求对相关设备的工作原理及运行过程中可能出现的故障有一个全面的了解，并能及时提出相应的防范与解决措施，避免造成经济损失甚至人员伤亡。与此同时，现代过程工业的不断发展与进步，对提高人类生活质量起着十分巨大的作用，但由于人们对生产过程机理及设备运行规律的认识不够深入，因此也带来了许多人类难以解决的问题，如工业生产带来的污染，即使投入大量的人力、物力也常常难以得到很好的解决。

为满足这种需要，南京工业大学和山东省科学院等合作，联合编写了这套实践性很强的《工业过程与设备丛书》(包括《反应过程与设备》、《输送过程与设备》、《传热过程与设备》、《燃烧过程与设备》、《分离过程与设备》及《设备检修与维护》)。这套丛书涵盖了工艺过程与设备两个平台，除详细的理论阐述外，还列举了大量的工业应用实例，力求使读者对目前过程工业中涉及的相关过程及所应用的设备有一个较为全面的了解，能进一步做好自己所从事的工作。对于从事相关过程的工程设计、生产操作和企业管理人员，以及大专院校的师生，都将是十分有益的。

南京工业大学校长
中国工程院院士



前 言

传热学是一门研究由于温度不同所引起的热的传递过程的学科。它与热力学不同之处在于后者是讨论平衡状态的系统，用以预测某一系统从一种平衡状态改变到另一种平衡状态的可能性问题，但是不能预测所发生的变化到底有多快，因为在这种状态变化的过程中，系统并不是处于平衡状态。因此，这就需要由传热学来解决。由此可见，传热学不仅要阐明热能被传递的原因，而且也用以预测在特定条件下所发生热量传递的快慢，即所谓热传递的速率。

应用传热学规律来解决实际问题，不外乎两种类型：一种是力求热传递过程的强化，如为了完成一定热量的交换任务，设计出最经济（亦即设备费和操作费的总费用为最少）的传热设备；另一种是力求热传递过程的削弱，如尽可能减少不必要的热损失。

根据传递机理的不同，热的传递有三种基本方式，即传导、对流和辐射。但在实际生产过程中所遇到的传热过程很少是单一的传热基本方式，往往是几种基本方式同时出现，这就使得实际的传热过程很复杂。在流体对流传热时，往往也有对流和传导现象存在。不过，其中总有一种方式是主要的。

传热现象广泛存在于人类社会之中。从日常生活到工业交通及空间技术等方面，都要涉及到传热的问题。可以说，传热过程是所有过程发生和发展中必不可少的共性问题之一。因此，研究各种传热现象的发生过程及相关的传热设备对进一步提高工农业生产效率和国民经济水平具有重大意义。为此，南京工业大学和山东省科学院联合编写了这本《传热过程与设备》，旨在介绍有关传热过程的基本原理和各种传热设备的基本知识，以不断提高传热设备的技术水平。

本书由南京工业大学朱跃钊、廖传华和山东省科学院史勇春主编，并负责统稿。参加编写的还有南京工业大学朱廷凤、周勇军、黄振仁，山东省科学院柴本银，南京凯盛水泥工业设计研究院周玲。

本书的编写得到了南京工业大学机械与动力工程学院的大力支持，

在此深表感谢。在编写过程中参考了大量的相关资料，但书中没有一一列出，在此谨对原文作者致以衷心的感谢。中国石化出版社的白素萍为本书的顺利出版做了大量的工作，在此谨表衷心的感谢。

由于时间仓促，水平所限，错误之处难以避免，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 传热的一般概念	(1)
1.2 传热设备在过程工业中的应用	(1)
1.3 传热设备的主要类型	(2)
1.4 传热设备的选型	(2)
1.5 传热设备的材料	(4)
1.6 传热设备的腐蚀	(6)
1.7 传热设备设计的一般考虑	(7)
第2章 传热	(10)
2.1 概述	(10)
2.1.1 传热在工业生产中的应用	(10)
2.1.2 传热的基本方式	(11)
2.1.3 工业传热的方法	(11)
2.1.4 稳定传热和不稳定传热	(12)
2.2 导热	(13)
2.2.1 傅立叶定律	(13)
2.2.2 导热系数	(13)
2.2.3 单层和多层平壁导热	(15)
2.2.4 单层和多层圆筒壁导热	(17)
2.3 对流传热	(19)
2.3.1 对流传热方程式	(19)
2.3.2 对流传热系数的关联式	(20)
2.3.3 流体无相变时的对流传热系数	(22)
2.3.4 流体有相变时的对流传热系数	(25)
2.3.5 对流和辐射的联合传热	(28)
2.4 间壁两侧流体的传热	(30)
2.4.1 总传热速率方程	(30)
2.4.2 换热器的热量衡算	(31)

2.4.3	传热推动力的计算及两流体的流向分析	(31)
2.4.4	总传热系数	(36)
2.5	换热器	(39)
2.5.1	换热器的类型	(39)
2.5.2	换热器内流体流程和流速的选择	(48)
2.5.3	各种间壁式换热器的比较和传热的强化途径	(49)
第3章	管壳式换热器	(51)
3.1	概述	(51)
3.1.1	管壳式换热器的总体结构	(51)
3.1.2	管壳式换热器型号的表示方法	(55)
3.2	管壳式换热器的工艺设计	(58)
3.3	管壳式换热器的结构设计	(70)
3.3.1	换热器的外壳	(70)
3.3.2	管束	(73)
3.3.3	管板	(80)
3.3.4	膨胀节	(91)
3.3.5	其他结构	(98)
第4章	板片式换热器	(106)
4.1	板式换热器	(106)
4.1.1	结构及特点	(106)
4.1.2	设计计算	(113)
4.2	板翅式换热器	(127)
4.2.1	结构及特点	(127)
4.2.2	设计计算	(136)
4.3	伞板换热器	(155)
4.3.1	结构及特点	(155)
4.3.2	设计计算	(160)
第5章	热管和热管换热器	(165)
5.1	热管的工作原理及特性	(165)
5.1.1	热管的工作原理	(165)
5.1.2	热管的结构	(166)

5.1.3	热管的主要特性	(167)
5.2	热管的分类	(167)
5.3	热管基本理论	(170)
5.3.1	液体的表面张力及表面张力系数	(170)
5.3.2	接触角和浸润现象	(171)
5.3.3	弯曲液面两边的压力差	(171)
5.3.4	毛细升高和毛细压差	(172)
5.3.5	热管内的毛细压力差	(173)
5.3.6	流体在圆管内流动的摩擦压力损失	(175)
5.3.7	热管吸液芯中液体流动的压力降	(175)
5.3.8	吸液芯内液体流道的截面积	(175)
5.3.9	沿程长度	(176)
5.3.10	热管内蒸气流动的压力降	(176)
5.4	热管的传热机理	(178)
5.4.1	传热原理	(178)
5.4.2	热管的传热极限	(180)
5.5	热管的应用	(183)
5.5.1	温度展平	(183)
5.5.2	隔离热源和冷源	(183)
5.5.3	热流密度变换	(184)
5.5.4	温度控制	(184)
5.5.5	单向导热	(184)
5.5.6	旋转元件的传热	(184)
5.6	热管设计	(185)
5.6.1	工作液体的选择	(185)
5.6.2	工作温度	(186)
5.6.3	工质与壳体材料、管芯的相容性以及工质本身的热稳定性	(186)
5.6.4	吸液芯的选择	(188)
5.6.5	管壁材料的选择	(188)
5.6.6	设计计算	(189)
5.6.7	设计举例	(193)
5.7	热管式换热器	(196)
5.7.1	热管式换热器	(196)
5.7.2	热管换热器的设计	(205)

第6章 螺旋板式换热器	(223)
6.1 螺旋板式换热器的结构特点与结构设计	(223)
6.1.1 结构特点	(223)
6.1.2 螺旋板换热器的分类	(225)
6.1.3 结构设计	(227)
6.2 螺旋板式换热器的设计	(231)
6.2.1 螺旋通道的几何计算	(231)
6.2.2 传热工艺计算	(233)
6.2.3 螺旋板式换热器压力损失	(245)
6.2.4 螺旋板式换热器的强度和刚度计算	(249)
6.2.5 螺旋板式换热器的制造简介	(264)
第7章 蒸发与蒸发器	(269)
7.1 蒸发器的形式	(270)
7.1.1 蒸发器的结构和特点	(270)
7.1.2 蒸发器的选型	(276)
7.2 单效蒸发	(277)
7.2.1 溶液的沸点和温度差损失	(277)
7.2.2 单效蒸发的计算	(280)
7.2.3 蒸发器的生产能力和生产强度	(286)
7.3 多效蒸发	(287)
7.3.1 多效蒸发的操作流程	(288)
7.3.2 多效蒸发的计算	(290)
7.3.3 多效蒸发和单效蒸发的比较	(296)
7.3.4 多效蒸发中效数的限制及最佳效数	(297)
7.4 蒸发器的设计	(298)
7.4.1 蒸发器的设计举例	(298)
7.4.2 蒸发器的辅助装置	(302)
第8章 余热锅炉	(304)
8.1 余热锅炉的特点	(304)
8.2 余热锅炉的分类	(305)
8.2.1 烟道式余热锅炉	(306)
8.2.2 管壳式余热锅炉	(309)

8.3	余热锅炉的热源	(309)
8.4	余热锅炉的热力计算	(310)
8.5	余热回收锅炉的结构与性能	(312)
8.5.1	高温(烟道)余热锅炉	(312)
8.5.2	中低温余热锅炉	(312)
8.5.3	高效(热管)余热锅炉	(317)
8.5.4	经济分析	(321)
8.6	余热锅炉的应用	(322)
8.6.1	硫酸生产系统的余热利用	(322)
8.6.2	轧钢加热炉烟气的余热利用	(323)
参考文献	(326)

第 1 章 绪 论

1.1 传热的一般概念

传热学是一门研究由于温度不同所引起的热的传递过程的学科。它与热力学不同之处在于后者是讨论平衡状态的系统，用以预测某一系统从一种平衡状态改变到另一种平衡状态的可能性问题，但是不能预测所发生的变化到底有多快，因为在这种状态变化的过程中，系统并不是处于平衡状态。因此，这就需要由传热学来解决。由此可见，传热学不仅要阐明热能被传递的原因，而且也用以预测在特定条件下所发生热量传递的快慢，即所谓热传递的速率。

应用传热学规律来解决实际问题，不外乎两种类型：一种是力求热传递过程的强化，如为了完成一定热量的交换任务，设计出最经济（亦即设备费和操作费的总费用为最少）的传热设备；另一种是力求热传递过程的削弱，如尽可能减少不必要的热损失。

根据传递机理的不同，热的传递有三种基本方式，即传导、对流和辐射。但在实际生产过程中所遇到的传热过程很少是单一的传热基本方式，往往是几种基本方式同时出现，这就使得实际的换热过程很复杂。在流体对流传热时，往往也有对流和传导现象存在。不过，其中总有一种方式是主要的。

1.2 传热设备在过程工业中的应用

凡是能实现传热过程的各种设备统称为传热设备。在任何过程工业生产中，要实现各种化学反应和各种操作过程，都有一定的温度，因此需要进行如下各种传热过程：

- (1) 反应物料的加热或冷却；
- (2) 产品的冷凝或冷却；
- (3) 反应热量的取出或供应；
- (4) 液体的蒸馏、气化或稀溶液的蒸发；
- (5) 工业余热（废热）的回收和热能的综合利用。

在任何过程工业中，传热设备总是非常重要和广泛被应用的。例如在合成氨厂中，各种传热设备约占全厂设备总台数的 40% 左右。在现代过程工业生

产中，传热设备有时还作为其他设备的一个组成部分而出现，如蒸馏塔下面的再沸器、氨合成塔中的内部换热器等。

现代过程工业中所用的各种传热设备因其功能不同，也相应地有不同的名称，如换热器、废热锅炉等。现代过程工业往往要求在相当苛刻的操作条件下进行换热过程。换热器的操作压力有超过 100MPa 的，温度则从 -270°C 起直到高达 1500°C 的情况也是常有的。所接触的产品或介质种类繁多，有许多是腐蚀性十分严重的。因此，对传热设备的设计结构和材质要求也是非常高的。随着现代过程工业生产企业的大型化，换热设备也往往十分庞大，单台换热器的传热面积有高达 $3000 \sim 8000\text{m}^2$ 的。

1.3 传热设备的主要类型

传热设备根据热量传递方法的不同，可以分为间壁式、直接接触式和蓄热式三大类。

(1) 间壁式换热器

温度不同的两种流体通过隔离流体的器壁进行热量传递，两流体之间因有器壁分开，故互不接触，这是过程工业生产经常要求的条件，也是应用最广泛的类型。

(2) 直接接触式换热器

又称混合式，冷流体和热流体在进入换热器后直接接触传递热量。这种方式对于工艺上允许两种流体可以混合的情况下是比较方便而有效的，如凉水塔、文氏管、喷射式冷凝器等。

(3) 蓄热式换热器

又称蓄热器，是一个充满热体(如格子砖)的蓄热室，热容量很大。温度不同的两种流体先后交替地通过蓄热室，高温流体将热量传给蓄热体，然后蓄热体又将这部分热量传给随后进入的低温流体，从而实现间接的传热过程。这类换热器的结构较为简单，可耐高温，常用于高温气体的冷却或废热回收，如回转式蓄热器和切换阀门式蓄热器。

现代过程工业生产中应用的传热设备，绝大多数为间壁式换热器。在间壁式换热器中，由于传热过程不同，操作条件的差异，流体性质的各种特点以及间壁材料的制造加工性能等因素，决定了传热设备的结构类型是多种多样的。

1.4 传热设备的选型

传热设备的类型很多(见表 1-1)，各种形式都有它特定的应用范围。在某

一种场合下性能很好的换热器，如果换到另一种场合，则可能传热效果和性能会有很大的改变。因此，针对具体情况正确地选择换热器的类型，是很重要和很复杂的工作。

表 1-1 传热设备的结构分类

传热设备的分类	间壁式	管壳式	列管式	固定管板式	刚性结构	用于管壳温差较小的情况(一般 $\leq 50^{\circ}\text{C}$)，管间不能清洗
					带膨胀节	有一定的温度补偿能力，壳程只能承受较低压力
				浮头式	管内外均能承受高压，可用于高温高压场合	
				U形管式	管内外均能承受高压，管内清洗及检修困难	
				填料函式	外填料函	管间容易泄漏，不宜处理易挥发、易燃易爆及压力较高的介质
			内填料函		密封性能差，只能用于压差较小的场合	
			釜式	壳体上部有个蒸发空间，用于再沸、蒸煮		
			双套管式	结构比较复杂，主要用于高温高压场合或固定床反应器中		
			套管式	能逆流操作，用于传热面较小的冷却器、冷凝器或预热器		
			蛇管式	沉浸式	用于管内流体的冷却、冷凝，或者管外流体的加热	
		喷淋式		只用于管内流体的冷却或冷凝		
		紧凑型	板式	拆洗方便，传热面能调整，主要用于黏性较大的液体间换热		
			螺旋板式	可进行严格的逆流操作，有自洁作用，可用作回收低温热能		
	板翅式		结构十分紧凑，传热效果很好，流体阻力大，主要用于制氧			
	伞板式		伞形传热板结构紧凑，拆洗方便，通道较小，易堵，要求流体干净			
	板壳式		板束类似于管束，可抽出清洗检修，压力不能太高			
	直接接触式		适用于允许换热流体之间直接接触			
蓄热式		换热过程分两段交替进行，适用于从高温炉气中回收热量的场合				

传热设备选型时需要考虑的因素是多方面的，主要的是(1)流体的性质；(2)流量及热负荷量；(3)操作温度、压力及允许压降的范围；(4)对清洗、维修的要求；(5)设备结构材料、尺寸和空间的限制；(6)价格。

流体的性质对换热器类型的选择往往会产生重大的影响，如流体的物理性质(比热、导热系数、黏度)，化学性质(如腐蚀性、热敏性)，结构情况以及是否有磨蚀颗粒等因素都对传热设备的选型有影响。例如硝酸的加热器，由于流体的强腐蚀性决定了设备的结构材料，从而很快就限制了可能采用的结构范围。如对于热敏性大的液体，能否精确控制它在加热过程中的温度和停留时间往往就成为选型的主要前提。流体的清净程度和易否结垢，有时在选型上往往也起决定性作用，如对于需要经常清洗换热面的物料就不能选用高效的板翅式或其他不可拆卸的结构。

同样，换热介质的流量、操作温度、压力等参数在选型时也很重要，例如板式换热器虽然高效紧凑，性能很好，但是由于受结构和垫片性能的限制，当压力

或温度稍高时，或者流量很大时，这种形式就不适用了。

需要注意的是，随着生产技术的进步，各种换热器的适用范围也在不断的发展。如对于高温高压的换热过程，以前主要选用结构简单的蛇管或套管换热器，但这些类型换热器流体处理量小，价格高，不能适应现代大型化装置的需要，因此随着结构材料和制造工艺的发展，列管换热器已广泛应用于高温高压的场合。

1.5 传热设备的材料

在进行传热设备设计时，对传热设备各种零、部件的材料，应根据设备的操作压力、操作温度、流体的腐蚀性能以及对材料的制造工艺性能等的要求来选取。当然，最后还要考虑材料的经济合理性。一般为了满足设备的操作压力和操作温度，即从设备强度或刚度的角度来考虑，是比较容易达到的。但对于材料的耐腐蚀性能，有时往往成为一个复杂的问题。如在这方面考虑不周到，选材不妥，不仅会影响传热设备的传用寿命，而且也大大提高设备的成本。材料的制造工艺性能则与传热设备的具体结构有密切关系。

一般传热设备用的材料，可分为金属材料和非金属材料，而金属材料又可分为黑色金属和有色金属。

1 黑色金属及其合金

(1) 碳钢 价格低，强度较高，在碱性介质环境中比较稳定，却很容易被酸腐蚀，在无耐腐蚀性要求的环境中应用是合理的。碳钢按除氧的程度又可分为沸腾钢、半镇静钢和镇静钢等，其中：

沸腾钢：容易产生偏析，有焊接裂纹产生的可能性；

镇静钢：由于加工工艺性能良好，焊接性能好，被广泛地用作为传热设备的各种零部件的材料。

(2) 低合金钢 在碳钢中加入少量的 Cr、Mo 等元素，以增加高温时的强度，并作为耐腐蚀钢在高温高压的氢介质环境中使用。机械性能和组织均有足够的稳定性，无热脆现象，冷加工性和焊接性良好。

2 不锈钢

(1) 马氏体不锈钢 对铁离子、亚硫酸气体、硫化氢和环烷酸等均有耐腐蚀性，但对染料水溶液、混合气体等的耐腐蚀性低。由于含碳较高，故强度和硬度较高，而耐腐蚀和耐热性则稍有降低。马氏体组织由于热处理有淬硬性，焊接时由于热影响产生变形应力容易开裂。

(2) 铁素体不锈钢 对氧化性酸，尤其是硝酸，有很好的耐腐蚀性。在碱性溶液、无氯盐水、苯和洗涤剂中也都有良好的耐腐蚀性，切削性良好。但厚板焊

接容易脆裂，且焊后有晶间腐蚀的倾向，不宜用于厚度较大或低温使用的部件。

(3) 奥氏体不锈钢 有稳定的奥氏体组织，具有良好的耐腐蚀性和冷加工性能。

(4) 耐热钢 按用途分为抗氧化钢、热强钢及汽阀钢；按组织分为铁素体钢、马氏体钢；按加工方法分为热轧、锻制及热处理。

(5) 低温用钢 按规定适用于设计温度 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 的钢。

3 有色金属及其合金

(1) 铜及铜合金 铜具有很高的导热性、导电性、塑性好。其强度随温度升高而降低，在温度较低时，铜的强度反而升高，低温冲击韧性好，故在深冷低温设备中应用较多，并广泛用作传热设备。铜在不浓的硫酸或亚硫酸中耐腐蚀。在稀的和中等浓度的盐酸、乙酸、氢氟酸和其他非氧化性酸中有较高的稳定性。铜在苛性碱中，由于形成保护膜而相当稳定。铜在许多气体中被腐蚀。

铜镍合金在国外广泛地用作传热管，作为高温高压管壳式换热器所选用的材料。

铜和铜合金在国外也作为板式换热器中板片的材质。

(2) 铝及铝合金 铝在大气中容易生成透明和致密的氧化覆盖膜，故铝在水、大气、中性溶液和弱酸性溶液中稳定性都很高。铝的耐腐蚀性与纯度有关，纯度越高，耐腐蚀性越强。铝的导热性和导电性均好，富有压延性，加工性能好。

铝和铝合金在板翅式换热器制造中用得很多，有时也可用于板式换热器中作为板片的材料。螺旋板换热器根据使用条件也可用铝合金材料制造。热管所用的管子也可采用铝作为材料。

(3) 镍及镍合金 镍的物理机械性能很好，强度高，塑性好。镍在所有碱类中都特别耐腐蚀，这是由于它能在碱液中生成黑色的氧化物保护膜。镍对氯气或盐酸也耐腐蚀，但耐氧化性酸、氧化酸式盐较差。镍在许多有机酸中耐腐蚀。

镍合金被推荐使用在高温高压的传热设备中。

(4) 复合钢板 具有强度高和耐腐蚀性好的性能，对昂贵的耐腐蚀性材料消耗少，较经济。覆层板材的厚度通常为 $2\sim 3\text{mm}$ ，占总厚度的10%或20%。一般复合钢板以低碳钢作母材，复合18-8型不锈钢，此外有蒙乃尔、海军黄铜(复合铝板)和钛等。不锈钢复合钢板和碳钢一样能够冷加工与热加工，可是对加热温度和焊接方法要特别注意。

4 稀有金属材料

为了解决一些特殊条件下传热设备的材质问题，在传热设备的制造中，已开始采用某些稀有金属，如钛、钽和锆及其合金。这些材料通常以薄板、薄壁管和