

化工设备设计参考资料

# 换热器设计 (上册)

(征求意见稿)

化学工业部设备设计技术中心站



# 换热器设计 (上册)

## 目 录

第一章 概 论	1 — 1
第一节 换热器在化学工业中的应用	1 — 1
第二节 传热的一般概念	1 — 7
第三节 换热器分类	1 — 9
第四节 各种换热器的特性和选型	1 — 11
一 各种型式换热器的特点	1 — 11
1. 管式换热器	1 — 11
2. 板面式换热器	1 — 15
3. 新型材料换热器	1 — 19
4. 其他新型换热器	1 — 21
二 换热器选型	1 — 22
第五节 换热器的材料	1 — 23
一 换热器用的材料	1 — 24
1. 黑色金属及其合金	1 — 24
2. 不锈钢	1 — 25
3. 有色金属及其合金	1 — 27
4. 稀有金属材料	1 — 29
5. 非金属材料	1 — 29
二 材料的使用限制	1 — 30
1. 碳钢和合金钢的使用限制	1 — 30
2. 铸铁的使用限制	1 — 31
3. 有色金属及其合金的使用限制	1 — 31
4. 非金属材料的使用限制	1 — 31
三 材料的防腐	1 — 31
1. 防腐涂层	1 — 31

2	金属防护层	1 — 32
3	电化学保护	1 — 32
第六节	近代研究成果及发展趋势	1 — 32
一	近代研究成果	1 — 32
1	传热过程机理	1 — 33
2	设备结构的改进和创新	1 — 35
3	设计方法和计算	1 — 42
4	生产制造工艺	1 — 44
二	发展趋势	1 — 45
第二章	流体流动及传热	2 — 1
第一节	流体流动状态	2 — 1
一	流动形态的分类	2 — 1
1	分子剪应力	2 — 2
2	涡流剪应力	2 — 2
二	流动阻力的一般公式	2 — 6
1	沿程阻力公式	2 — 7
2	局部阻力公式	2 — 9
第二节	传热的基本公式	2 — 9
一	表面型换热器的基本传热公式	2 — 9
1	有效平均温差法	2 — 10
2	传热单元数法 (NTU — $\Sigma$ 法)	2 — 25
3	设计中的应用	2 — 47
4	ГОРЮЩИЙ 近似公式	2 — 49
二	有中间热载体的间热式换热器的	
1	基本传热公式	2 — 50
第三节	热传导	2 — 56
一	热传导方程和计算	2 — 56
1	热传导方程和其分(解)析解	2 — 56
2	二维(二向度)稳态热传导和数值解法	2 — 75

248-3	· 类比方法 (比拟法) ······	2-101
248-三	· 不稳定热传导 ······	2-108
248-三	· 物质的导热机理和材料的导热系数 ······	2-116
248-一/	· 固体材料的导热机理与导热系数 ······	2-116
248-2	· 气体的热传导机理和导热系数 ······	2-145
248-3	· 液体的导热机理和导热系数 ······	2-158
248-第四节	· 对流给热 ······	2-180
248-一	· 无相变的对流给热 ······	2-180
248-一/	· 管内流体的强制对流给热 ······	2-183
248-2	· 管外流体的强制对流给热 ······	2-192
248-三	· 自然对流给热 ······	2-197
248-一/	· 垂直平板或垂直管 ······	2-197
248-2	· 水平管外面 ······	2-198
248-三	· 搅拌槽内有夹套和蛇管的传热 ······	2-199
248-一/	· 搅拌槽内有夹套的加热和冷却 ······	2-199
248-2	· 搅拌槽内有蛇管的加热和冷却 ······	2-207
248-四	· 非牛顿型流体的加热与冷却 ······	2-215
248-五	· 有相变时的给热 ······	2-225
248-一/	· 冷凝给热 ······	2-225
248-2	· 沸腾给热 ······	2-230
248-第五节	· 辐射换热 ······	2-236
248-一	· 辐射换热的基本概念 ······	2-236
248-三	· 辐射换热计算 ······	2-237
248-一/	· 平行平壁间的辐射换热 ······	2-241
248-2	· 密封空间内的物体与周围壁间的 辐射换热 ······	2-242
248-3	· 对于更加复杂形状及相对位置的 物体间的辐射换热 ······	2-243
248-三	· 辐射换热的增强和削弱 ······	2-244
248-一/	· 改变换热表面的黑度 ······	2-244



101-2	采用遮板法	2-245
第六节	传热设计	2-248
111-1	流动空间的选择	2-248
111-3	传热管的排列方式	2-249
111-1	1. 传热管的简介	2-249
111-2	2. 传热管在管板上的排列方式	2-252
111-3	3. 壳体内径	2-253
111-3	三 传热系数的计算	2-255
111-4	四 污垢热阻	2-271
111-1	1. 污垢的生成及影响	2-271
111-2	2. 典型的污垢热阻	2-271
111-3	3. Kern 方程	2-276
111-5	五 壁温计算	2-280
111-1	1. 计算壁温的意义	2-280
111-2	2. 计算公式	2-280
111-6	六 流动阻力的计算	2-283
111-1	1. 管程压力降	2-283
111-2	2. 壳程压力降	2-285
111-7	七 热损失的计算	2-310
第七节	管壳式换热器传热设计示例	2-312
111-1	一 传热设计的基本步骤	2-312
111-1	1. 非系列标准设备的设计步骤	2-312
111-2	2. 系列标准设备选用的设计步骤	2-313
111-3	三 传热设计示例	2-313
111-1	1. 非系列标准设备的设计	2-313
111-2	2. 系列标准设备的选用设计	2-327
第三章	管壳式换热器的结构设计	3-1
第一节	概 述	3-1
第二节	壳体与管板、管板与法兰的连接	3-1



一	壳体与管板的连接结构	3—2
二	管板与法兰的连接	3—8
第三节	管式换热器形式及结构	3—14
一	固定管板式换热器	3—14
二	浮头式换热器	3—16
三	U型管式换热器	3—20
四	填料函式换热器	3—22
五	套管式换热器	3—23
六	双管板换热器	3—26
七	薄管板换热器	3—32
八	强化结构的换热器	3—36
第四节	其它各部结构	3—43
一	管子与管板连接	3—43
二	膨胀节	3—50
三	管箱结构	3—54
四	壳程结构	3—60
第四章	换热器元件强度和刚度计算	4—1
第一节	概    述	4—1
第二节	封头与筒体	4—4
一	筒    体	4—4
二	封    头	4—7
第三节	膨胀节	4—8
一	概    述	4—8
二	计算方法	4—9
三	强度准则	4—20
四	发展趋向	4—22
第四节	法    兰	4—23
一	概    述	4—23
二	设计方面	4—23



2. 制造及安装方面.....	4 — 23
3. 操作方面.....	4 — 23
二 受力分析.....	4 — 26
三 变形协调及密封性能计算.....	4 — 36
四 应力计算和强度校核.....	4 — 44
1. 螺栓.....	4 — 44
2. 法兰.....	4 — 45
第五节 管板.....	4 — 47
一 计算方法的概述.....	4 — 47
二 弹性基础园板的微分方程及其解.....	4 — 47
三 弹性基础园板的挠度、偏转角、弯距及剪力.....	4 — 54
四 管板布置区的受力和变形.....	4 — 57
第六节 浮头式和U型管式换热器管板法兰系统.....	4 — 76
一 浮头式换热器固定管板部份的管板法兰系统.....	4 — 76
1. 确定各元件的力与变形的关系.....	4 — 95
2. 管板法兰系统的密封性能计算.....	4 — 96
3. 各受力元件的应力计算和强度校核.....	4 — 97
二 U型管式换热器管板法兰系统.....	4 — 97
三 浮头式换热器的钩圈管板球盖系统.....	4 — 100
1. 球    盖.....	4 — 102
2. 钩    圈.....	4 — 109
第七节 固定式换热器管板法兰系统.....	4 — 121
一 法    兰.....	4 — 123
二 管板与法兰的联合刚度.....	4 — 129
三 变形协调及密封性能计算.....	4 — 133
四 应力计算和强度校核.....	4 — 134
1. 确定各元件的力与变形的关系.....	4 — 137
2. 管板法兰系统的密封性能计算.....	4 — 137
3. 各受力元件的应力计算和强度校核.....	4 — 138



在生产中为了实现物料之间热量传递过程的一种设备，统称为换热器。它是化工、石油、石油化工、动力、原子能和其它许多工业部门广泛应用的一种通用工艺设备。对于迅速发展的化工、石油和石油化工来说，换热器尤为重要。通常，在化工厂的建设中，换热器约占总投资的11%。在石油炼厂中，换热器约占设备投资的39%。

在化工生产中为了工艺流程的需要，往往进行着各种不同的换热过程，如：加热、冷却、蒸发和冷凝等。换热器就是用来进行这些热传递过程的设备，通过这种设备，以便使热量从温度较高的流体传递给另一种温度较低的流体，以满足工艺上的需要。换热器随着使用目的的不同，可以把它分成为：热交换器（如生产本身内部两种流体之间的换热——热流体被冷却和冷流体被加热）、加热器（如用水蒸汽加热流体）、冷却器（如用冷却水来冷却流体）、冷凝器（如用冷却水将蒸汽冷凝）、蒸发器（如用水蒸汽加热使水溶液沸腾）和再沸器等。由于使用的条件不同，换热设备又有各种各样的型式和结构。另外，在化工生产中，有时把换热器作为一个单独的化工设备，有时则把它作为某一工艺设备中的组成部分，如氨合成塔中的下部热交换器，精馏塔底部的再沸器和顶部的回流冷凝器或分凝器。其它如回收排放出去的高温气体中的废热所用的废热锅炉，有时在生产中也是不可缺少的。总之，换热器在化工生产中的应用是十分广泛的，任何化工生产工艺都几乎离不开它。

在换热设备中，结构典型和使用悠久且最广泛的是管壳式换热器。目前，这种换热设备被当作一种传统的标准换热器，仍在许多工业部门中被大量地使用。尤其在化工生产中，无论是国内或国外，它在所有的换热设备中，仍占主导地位。同时，在近代的许多化工过程中，



如：裂解、合成和聚合等，大都要求在高温和高压下进行。其中如合成甲醇和高压聚乙烯等，要求操作压力高达 $1000 \sim 2500 \text{ kg/cm}^2$ ；合成氢气要求操作温度超过 $1000 \sim 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在这些条件下，要进行热交换，是十分不容易的。尤其若有腐蚀存在的情况下，实现换热更觉困难。而管壳式结构，由于它具有选材范围广，换热表面清洗较方便，适应性强，处理能力大，能承受高温和高压等特点。从而，在上述条件下，能不断扩大它的使用范围。如制氢装置中的高温气体（温度为 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上，压力为 $100 \text{ kg/cm}^2$ 以上）的冷却器多为园筒多管的结构。加氢裂解装置中，虽然它的换热工作条件较为恶劣，温度最高达 $427 \sim 455 \text{ }^\circ\text{C}$ （ $800 \sim 850 \text{ }^\circ\text{F}$ ），压力最高为 $245 \text{ kg/cm}^2$ ，工作介质中含有 $90\%$ 的氢。但所用换热器，管壳式仍占整个换热器投资的 $50 \sim 70\%$ 。在合成氨高压气体冷却中，美国一些大型合成氨工厂〔1〕，工作压力大都在 $210 \sim 245 \text{ kg/cm}^2$ 范围内，高压气体的冷却器都采用管壳式结构的换热器。由于现代化工厂的生产规模日益增大，换热设备也相应向大型化发展，以节省动力消耗，减少占地面积和降低金属消耗。管壳式结构的换热器也能满足这一要求。如一台据称是世界上最大的低温工业用的铝管绕制的管壳式换热器，已在国外一家天然气液化工厂中投入运行〔2〕。该换热器高约 $80$ 米，重 $215$ 吨，管子总长度为 $457$ 公里，每昼夜可液化天然气 $1000$ 万标准米<sup>3</sup>。这种换热器由于使用 $\varnothing 6 \sim 10 \text{ mm}$ 的小直径管，其使用压力有的已达到 $200 \text{ kg/cm}^2$ 。目前，单台换热面积已达到 $5000 \sim 8000 \text{ m}^2$ 。

近十余年来，一种高效、紧凑的新型换热设备之一，即所谓板式换热器，已发展成为一种重要的化工设备。虽然目前它还处于发展阶段，但在化工和石油化工中，推广应用相当迅速。它适用的介质很广泛，从水到高粘性的非牛顿型的液体，从含小直径固体颗粒的物料到含有纤维的物料，均可处理。从生产工艺上说，它可以用作液体的加热、冷却、冷凝或蒸发，单体的汽提，溶液的浓缩、聚合、脱气、混合和乳胶的干燥等。最近出现的一种新用途是气体的冷却和冷凝，如氯气的冷凝。总之，板式换热器的应用场合很广，据统计，处理的介质多达 $140$ 种以上。



近年来，由于铝及铝合金钎焊技术的发展和不断完善，促使另一种高效、紧凑的新型换热器——板翅式换热器得到广泛的应用。虽然首先采用这种型式的换热器，是为了满足飞机中间冷却器的需要，但由于它具有体积小、重量轻和效率高等突出的优点，且适应的温度范围也很广，从而在化工、石油化工和其它许多工业部门中，也得到了迅速地推广应用。在化工生产工艺中，首先主要用于生产氮气和氧气的空气分离装置中<sup>[3]</sup>，如液化器（约 $-185^{\circ}\text{C}$ 氮气和约 $-174^{\circ}\text{C}$ 空气之间的换热，使空气中的一部分被液化）、过冷器（约 $-194^{\circ}\text{C}$ 氮气和约 $-177^{\circ}\text{C}$ 的液态空气或液态氮之间进行换热）、主凝缩器（约 $-178^{\circ}\text{C}$ 的氮气凝缩，而使液态氧气化）、予冷器（空气、高纯度氧、氮和不纯氧等四种流体换热，将 $30\text{ kg/cm}^3$ 的空气冷却到液化温度）和可逆式换热器等。而可逆式换热器，目前正在取代空分装置中的蓄冷器。其次将铝制换热器用在合成肥料装置中来处理碳氢化合物，如氢气热交换器、甲烷冷凝器和换热器、氮气冷却器和液化器以及丙烷蒸发器等。后来，又将板翅式换热器用在乙烯装置中，例如用八种流体同时进行热交换的大型板翅式换热器，若使用管壳式换热器，则需要七台，其容积要大 $7\sim 10$ 倍，重量大 $20\sim 30$ 倍。近年来，板翅式换热器又成功地应用于天然气加工过程中，如进料气冷却器、部分冷凝器、底部蒸发器和压缩机的中间冷却器等。这种型式的换热器在国内较为普遍地应用于空气分离装置中。

目前螺旋板换热器在化工生产中的应用也日趋广泛。磷酸生产流程中<sup>[4]</sup>，由于使用了这种型式的换热器，使清洗时不必停车，每次清洗只需转换磷酸和水的通道即可。美国在一家工厂中装有六台螺旋板换热器<sup>[5]</sup>，用来冷却发烟硫酸。该设备为钢制，并在其表面复盖一层酚醛树脂，使用一车后，不仅没有发生堵塞，且涂层仍处于良好状态。另一家工厂选用这种型式的换热器来冷却脂肪酸产品<sup>[6]</sup>，使脂肪酸从 $175^{\circ}\text{C}$ 冷却到 $80^{\circ}\text{C}$ ，冷却水的进口温度为 $77^{\circ}\text{C}$ ，出口温度为 $96^{\circ}\text{C}$ 。因为脂肪酸的温度只要比 $80^{\circ}\text{C}$ 低几度，它就要凝固，而螺旋板换热器能够准确地控制其出口温度，这样就可防止脂肪酸在冷却过程中出现凝固的现象。其它如作为氨水和氯水的冷却器、锅炉



的省煤器和予热器等。螺旋板换热器在国内首先较普遍地用在小化肥生产中半水煤气的予热器和氨合成塔下部的换热器，目前已逐步推广应用到其它化工生产中。

自六十年代后期，我国自己独创了一种新型高效换热器，称它为伞板式换热器<sup>[7]</sup>。它不仅具有一般板式换热器的特点，同时，由于它具有螺旋通道，又兼有螺旋板换热器的一些特点。虽然这种型式的换热器，目前正处于进一步研究和发展中，但已开展应用于生产上，如压缩机油的冷却，酸和碱等腐蚀性介质的换热等的过程中。

六十年代初期，板壳式换热器在欧洲开始得到了广泛地应用<sup>[8]</sup>。近年来，瑞典、美国和日本等均有大量生产，并出现了系列化产品。目前在化工生产中使用这种型式换热器的场合，如：酒精塔的间接加热器、冷却器和冷凝器，化学药剂回收的予热器、气体冷却器和冷凝器等。由于该型式换热器的制造工艺比较复杂，焊接技术要求高，故尚待继续完善其结构及制造工艺。

由于在化工生产过程中，除了遇到高温、高压、高真空和深冷等一些操作条件以外，有时还常常伴随着所处理物料的强烈腐蚀性。为了在换热过程中能妥善地解决这个问题，而提出和使用了一些新型材料换热器。这当中如玻璃、石墨和聚四氟乙烯等非金属材料以及钛、钽和锆等稀有金属制作的换热器，以达到耐热、耐压和防腐的效果。玻璃换热器应用于工业生产中，目前还刚刚开始，并已推广应用到制药工业中，其它如高纯度硫酸的蒸馏以及含有腐蚀性介质的空气予热等。石墨换热器已在许多国家中得到广泛地应用，如用来处理盐酸、硫酸、醋酸和磷酸等腐蚀性介质。此外还可用于化肥、有机合成和农药等多种工业。美国在一家工厂里安装了三台壳径为1130 mm，总换热面积为242m<sup>2</sup>的管壳式石墨换热器，用来从石油产品精制后所得到的溶液中回收硫酸。西德在使用块状石墨换热器更为广泛，同时，也制造了一种石墨板式换热器，用于两种腐蚀介质之间的换热。聚四氟乙烯换热器最初是由美国“Du Pont”公司于1965年用于工业生产中，并根据他们调查，已成功地应用于冷却各种浓度的硫酸，加热腐蚀性极强的氯化物溶液，加热醋酸，用作混合二甲苯冷却器、矿用泥



浆冷却器和加热苛性介质等。如用于硫酸厂冷却硫酸时，通过适当的循环管线，可以节省冷却水 $1/3 \sim 1/2$ ，占地面积为普通金属冷却器的20%，一台1.83 M（6呎）长的换热器重量仅为222kg（490磅），它可以代替三套总重超过3.5吨的铸铁管冷却器。国内这种换热器自1975年以来已开始应用于硫酸冷却、制药和农药等生产部门。钛、钽和锆等稀有金属换热器也开始应用于化工生产中。虽然这些稀有金属价格都很昂贵，如纯钛比不锈钢贵5倍，但由于它们具有一些优良特性，而得到了推广使用。如在温度为 $244^{\circ}\text{C}$ ，压力为21个绝对大气压下，生产浓度为60%的硝酸时，用钛制的冷凝器来代替不锈钢制的，可使其使用寿命由6个月提高到10年。钽换热器的耐蚀和耐热性能远超过钛，虽然目前这种换热器还只在少数几个国家中使用，但将来可能会得到进一步发展。国内钛换热器亦已开始用于氯碱工业。

在其它新型换热器的应用中，值得提出来的为热管。它是一种新型的传热元件，在六十年代中才开始应用于宇宙航行。但目前它的发展已日趋完善，且逐步推广应用于其它工业中，1970年西德化工机械展览会上也有该产品展出。它能利用小的表面积传递大的热量，因此它能充分体现换热器的一种优良的设计。预计热管将在化工生产中得到推广应用，如放热反应器、催化反应器、高温热解或等离子化学反应中进行等温导热或等温冷却，用来控制流程温度或炉子温度等。

从以上介绍，在化工生产中所使用的换热器种类和型式是很多的，但完善的换热设备至少应满足下列几个因素：

#### 1. 保证达到工艺所规定的换热条件：

为了达到这一要求，必须考虑到传热量、操作参数（如温度、压力和流量等）、流体的物理化学性质（如密度、粘度、导热系数、比热和物态等）以及流体的腐蚀性等。为了满足规定的传热量，则换热设备必需具有足够的传热面积，而传热面积的大小会影响到结构类型的选择。操作参数和流体的物理化学性质对热传递的给热系数及设备的结构均有影响。根据流体的腐蚀性，在设计中需要采用耐腐蚀的结构材料，而耐腐蚀材料在很大程度上又决定了换热器的结构和型式。

#### 2. 强度足够及结构可靠：



换热设备在机械强度和刚度上，除了需要从操作压力及温度进行设计计算外，有时还需要考虑到由于部件有温度差而引起的温差应力，以决定是否需要采用温度差的补偿装置。

### 3. 便于制造、安装和检修：

由于换热的流体可能积垢或产生沉淀，此时，换热设备常常需要进行清洗，在这种情况下，换热设备需要能够拆卸，并且要便于检修和安装，以最大限度地减少非生产的时间。对于清净的流体则可考虑用不可拆的结构。

### 4. 经济上的合理：

换热器的设计和操作必须考虑到经济上的合理性。例如对一台管壳式（列管式）的换热器言，所需传热面积的大小和管程数决定于管内流体的速度。当选用较大的流速时，则给热系数增大，传热面积可减少，即设备费用可降低；但同时由于流体以较高流速通过管内时的压力降较大，则输送流体的动力消耗较高，即增加了操作费用。这样为了确定使设备费用和操作费用之和为最少的最适宜流速（即所谓最佳化设计），往往应选择好几个流速进行设计方案的比较。同样，对于一台用水冷却的冷凝器来说，若冷却水用量较多，则冷却水出口温度可降低，传热的平均温度差就增大，这样，就可以减少传热面积，亦即降低设备费，但输送冷却水的动力费用和冷却水费用都增加，即操作费提高，故它也存在一个经济合理的冷却水用量或平均温度差的问题。对于设备的结构设计也有类似的情况，如对列管式换热器而言，当温差应力并不特别大时，在满足化工工艺要求和检修要求的情况下，既可考虑采用温度补偿装置，也允许采用刚性结构，但这时若需要增加壳体（或管子）的壁厚，以保证有足够的强度时，亦应进行经济合理性的比较，即采用设备投资为最少的方案。此外，如换热器的保温材料厚度和清洗周期等方面也都存在着一个最适宜的情况。

从以上情况可知，影响一个完善的换热器的因素是很多的，并且有些还是相互矛盾的。这就需要根据具体的使用条件来找出一个合理的方案，以便能最大限度地满足主要的因素，并适当地考虑到一些次要的因素。任何一台换热器都不可能是十全十美的，在有优点的同时



也存在着缺点，在某些情况下，若优点是主要的，而缺点是次要的，这时就可采用；否则，就不能采用了。

## 第二节 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时所需能量的多少，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。

根据热力学第二定律指出：只要有温度差存在，热量总是从高温物体自动地传向低温物体。而温度差的现象普遍地出现在自然界当中，所以热的传递是一个很普遍的自然现象。长期以来，人们在改造自然的社会实践中，对热传递过程，积累了许多丰富的经验，并从中总结出有关传热的各种规律，然后应用这些规律再进一步地去改造自然。

应用传热学规律来解决实际问题不外乎两种类型：一种类型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，能设计出最经济（亦即所花设备费和操作费的总费用为最少）的换热设备来；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。

根据热传递过程中物理本质的不同，热的传递可以有三种基本方式，即：导热、对流和辐射。

### 1. 导热：

在同一物体或两个密切接触的不同物体内部，由于各部分的温度有差异，热量就会从高温部分向低温部分转移。如在日常生活中，加热铁棒的一端时，就可感觉到由于热的转移而使铁棒的另一端也很快地热起来。这是由于温度高处的分子振动比较激烈，温度低处的分子振动较弱，相邻分子之间通过这种振动将热量传递过去，而在传递过程中各分子之间的相对位置并不变动。故导热是指直接接触的物体各部



分能量交换的现象。在固体和液体中，能量的转移主要是依靠分子运动的弹性波的作用；固体金属则主要依靠自由电子的运动；气体则主要依靠分子与分子之间接触。

## 2. 对流：

它是流体（气体和液体）所特有的一种热传递的方式。在气体和液体中，各部分若存在温度差异，则产生密度上的差别，从而引起流动。温度高而密度小的部分上升，温度低而密度大的部分下降，这样产生的流动称为自然对流。如壶内烧水，对流使水的各部分混合，从而使温度差别逐渐消失，最后使整个壶里的水达到了沸腾的温度。故对流是指流体各部分发生相对位移而引起的热量传递。它总伴随着流体本身的导热的作用。

## 3. 辐射：

它是一种以电磁波的形式来传递能量的现象。一切物体都能以这种方式传播热量。但只有在高温条件下，辐射才能成为主要的传播方式。如在各种工业用的窑炉中，就是这样，在日常生活中，太阳光的辐射就是一个明显的例子。辐射与导热和对流方式有着本质的区别。它不仅产生能量的转移，而且还伴随着能量形式之间的转化；即从热能到辐射能，或相反地从辐射能转化为热能。

实际生产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，往往同时也有导热现象存在。在辐射传热时，往往也有对流和导热的现象存在。不过，其中总有一种方式是主要的。

现以化工生产中最常见的间壁换热为例，它就是对流、导热和辐射三种方式同时并存，而只不过辐射传热的影响一般可以忽略不计而已。如图 1—2—1 所示，若管壁的一侧为热流体，其温度为  $T$ ，另一侧为冷流体，其温度为  $t$ ，由于它们之间存在着温度差  $\Delta t = T - t$ ，所以热量就由热流体传给管壁，然后再由管壁传递给冷流体。在热流体把热量传递给固体管壁，或由固体管壁将热量传递给冷流体均称为给热过程，在这一过程中，它既有对流，又有导热等两种方式同时存在。而热量由管壁的一侧传递到另一侧，则是固体内部的导热。由此



可见，实际换热的过程往往是两种或三种基本方式的复杂的组合。为了解决它们的实际计算，就必须首先熟悉导热、给热（或称对流换热）和辐射等三种基本过程的规律，然后再讨论如何将这此规律应用到各种类型换热器的设计计算中去。

### 第三节 换热器的分类

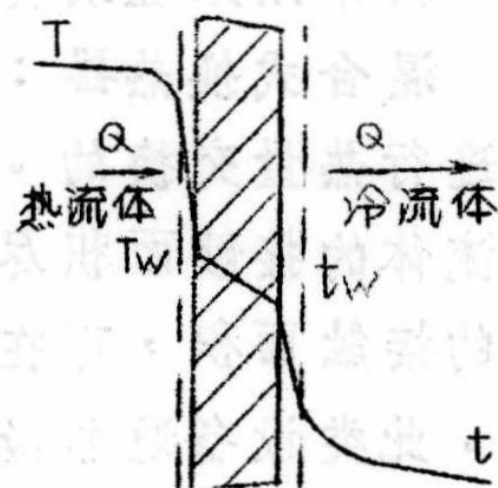


图 1-2-1 流体通过间壁的热交换

换热器为许多工业部门所广泛应用的通用工艺设备，其中对化工生产来说，换热器尤为重要。换热器的类型随工业发展而发展，早期的换热设备由于制造工艺和科学水平的限制，多为结构简单、换热面积小和体积较大等特征，如夹套式和蛇管式等。后来由于制造工艺的发展，提出了一种管壳式或称列管式的换热器。这种换热器最突出的特点就是单位体积设备所能提供的换热面积要大得多，传热效果也好。它成为长期来在化工生产中所使用的典型的换热设备。本世纪二十年代，开始出现板式换热器并应用于食品工业。三十年代初，瑞典 Rosenblad 公司首批制成螺旋板式换热器。不久英国 Marton Excelsior 公司用浸沾软焊法生产了铜及其合金材料制的板翅式换热器，用于航空发动机的散热器。后来，于 1939 年瑞典制造出第一台板壳式换热器，并使用于纸浆厂。四十年代中，板翅式换热器开始用于化工和天然气液化等方面；同时板式换热器亦引入化工生产中。另外，新型材料换热器亦开始得到注意。但由于在制造工艺和满足化工生产要求方面，上述这些新型高效换热器还存在一定的问题，以致影响它们进一步发展。六十年代左右，由于制造工艺上得到进一步完善，这些类型的换热器重新获得发展，同时在化工生产中应用也愈加广泛。另外，在这期间又相继出现了一些其它新型换热器，如聚四氟乙烯换热器和热管等，使换热器的种类更加多样化。

在化工生产中，由于用途、工作条件和载热体的特性等的不同，



对换热器提出了不同的要求，出现了各种不同形式和结构的换热器。为了便于对它进行分析研究，可将换热器按下列方式进行分类：

1. 按作用原理或传热方式的不同，可将换热器分成三大类：

(1) 混合式换热器：它是利用两种换热流体的直接接触与混合的作用来进行热量交换的。混合式换热器操作的一个主要因素，就是要使两种流体的接触面积尽可能大，以促进它们之间的热量交换。为了获得大的接触面积，可在设备中放置搁栅或填料，有时也可把液体喷成细滴。此类设备通常做成塔状。

(2) 蓄热式换热器：它是让两种温度不同的流体先后通过同一种固体填料（如在炼焦炉下方的蓄热室中放置的多孔性格子砖和在制氧装置所用的蓄冷器中的波纹铝带等）的表面，如图 1—3—1 中所示。首先让热流体在通过时把热量蓄积在填料中，然后当冷流体再通过时将热量带走，这样在填料被加热和被冷却的过程中，进行着热流体和冷流体之间的热量传递。在使用这种换热器时，不可避免地会使两种流体有少量混合，且必然是成对地使用，即当一个通入热流体时，另一个则通入冷流体，并靠自动阀进行交替切换，使生产得以连续地进行。

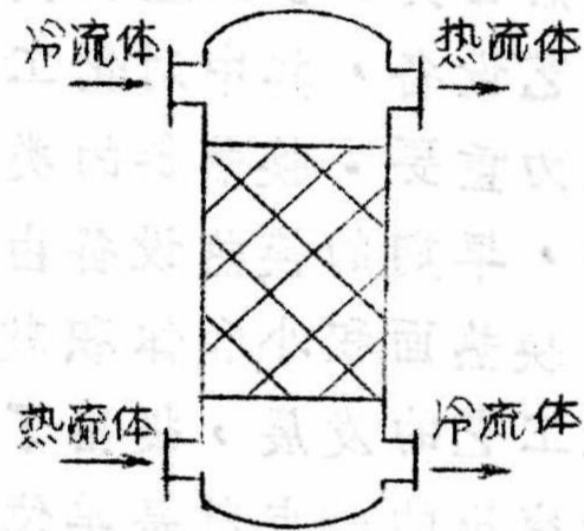


图 1—3—1 蓄热式换热器示意图

(3) 间壁式换热器：它是利用一种固体的壁面将进行热交换的两种流体隔开，这样使它们之间通过壁面来进行传热。这种形式的换热器使用最广泛。

2. 按在生产中使用目的的不同，可把换热器分成下列几种，即：冷却器、加热器、冷凝器和汽化器（或再沸器）等。

3. 按换热器本身所用的材料不同，一般可把换热器分成金属材料和非金属材料的两种。

4. 按换热器本身传热面的形状和结构的不同来分类。它用于区