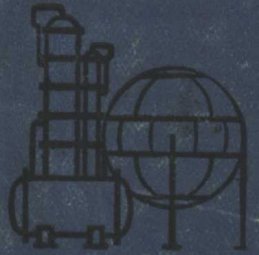


化工设备设计全书

换热器设计

化工设备设计全书编辑委员会



上海科学技术出版社

化工设备设计全书

换热器设计

主 编

化工部设备设计技术中心站 毛希瀚

编 写

| | | | |
|----------|-----|-----|---------|
| 郑州工学院 | 方维藩 | 袁果前 | 董其伍 |
| 华南工学院 | 钱颂文 | 谭盈科 | 罗运禄 林培森 |
| 上海医药设计院 | 沈含基 | 戴季煌 | |
| 成都科学技术大学 | 姚金源 | | |
| 山东化工学院 | 张石铭 | 杜培德 | 孙守璋 |
| 云南省化工设计院 | 高升荣 | | |
| 高桥化工厂 | 浦季英 | | |

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本分册汇集了目前使用较多的各类换热设备，并对其的结构设计和强度计算，分别作了较为详细的介绍。此外，还简单介绍了它们的传热机理和化工计算。

本分册可供从事化工设备设计、制造、使用等部门的技术人员，以及高等院校有关专业的师生参考。

化工设备设计全书

换 热 器 设 计

化工部设备设计技术中心站 毛希澜 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

本书由上海发行所发行 无锡县人民印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张35.25 字数840,000

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数1—6,400

ISBN 7-5325-0624-0/TQ·6

统一书号: 15119·2535 定价: 10.75元

前 言

鉴于广大化工设备设计人员的要求,在化学工业部的领导下,由化工部设备设计技术中心站组织全国近百个设计、工厂、高校、科研等单位,共同编写了一套《化工设备设计全书》,供从事化工设备专业的设计人员使用。

《化工设备设计全书》以结构、强度的设计计算为主,从基础理论、设计方法、结构分析、标准规定、计算实例等方面进行系统的阐述,并对化工原理的设计计算作了简介。在实用的前提下,尽量反映国内及国外引进的先进技术,并努力吸取当前国外新技术动向。总之,本书旨在继续搞好设备结构、强度设计的同时,结合化工过程的要求去研究改进设备的设计,提高设备的生产效率,降低设备的制造成本,与化工工艺专业人员一起实现化工单元操作的最佳化。

根据国家规定,本书采用法定计量单位。本书所有单位由上海科学技术出版社负责修改的。

本分册——《换热器设计》经华东化工学院琚定一同志、上海医药设计院竺基梅同志校审,郑州工学院方维藩同志统一全稿。

本分册各章由下列同志参加编写:第一章 方维藩;第二章 钱颂文、谭盈科、罗运禄、林培森;第三章 毛希澜;第四章 沈含基、戴季煌;第五章 姚金源;第六章 张石铭、杜培德、孙守璋;第七章 袁果前、董其伍、高升荣;第八章 浦季英。

由于化工生产发展迅速,我们掌握情况有限,本书的内容还会有不足和错误之处,热忱希望广大读者提出宝贵意见,以便再版时补充改正。

在本书编写和审校的过程中,得到了很多单位和同志的大力协助和指导,在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

1987年

化工设备设计全书编辑委员会

主任委员

洪国宝 燕山石油化学总公司设计院

副主任委员

黄力行 扬子石油化学工业公司
李肇璠 化学工业部第六设计院
姚北权 化学工业部第四设计院
琚定一 华东化工学院
寿振纲 上海医药设计院
金国森 化学工业部设备设计技术中心站

委 员

张冠亚 兰州化学工业公司设计院
杨慧莹 化学工业部第八设计院
汪子云 化学工业部化工设计公司
卓克涛 化学工业部第一设计院
苏树明 广东省石油化工设计院

化工设备设计全书

| 分册名称 | 主要内容 |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 化工设备用钢 | 钢的冶炼; 常温机械性能和断裂韧性; 热处理和可焊性; 中、高温机械性能和组织稳定性; 腐蚀及耐腐蚀性; 碳钢和低合金高强度钢; 低温用钢; 低合金耐热钢; 不锈钢及耐热高合金钢。 |
| 化工容器设计 | 旋转薄壳与平板的基本理论及应用; 筒体和封头; 特殊形状容器; 局部应力; 开孔补强; 法兰、支座、防爆膜设计; 容器附件; 容器焊接、制造及检验; 容器保温结构。 |
| 高压容器设计 | 力学基础; 断裂力学在压力容器上的应用; 厚壁容器; 蠕变; 密封设计; 高压容器零部件设计; 高压容器的开孔与衬里; 高压容器的用材、破坏与检验。 |
| 超高压容器设计 | 超高压容器的筒体结构型式; 应力分析及强度计算; 自增强技术及其应用; 疲劳及其设计计算; 零部件设计; 超高压容器的用材、检验和安全技术。 |
| 真空设备设计 | 真空技术的理论基础; 真空获得设备; 真空测量与检漏; 真空容器及化工设备设计; 真空密封; 真空系统设计及附件。 |
| 换热器设计 | 流体流动及传热; 管壳式换热器的结构设计; 管壳式换热器元件强度和刚度计算; 螺旋板式、板式及其它换热器; 管壳式换热器的制造、检验、安装及维修。 |
| 塔设备设计 | 塔设备的化工设计; 塔盘形式及其化工计算; 塔盘结构设计; 填料塔、萃取塔设计; 受压元件的强度设计和稳定校核; 辅助装置及附件; 制造、安装及运输。 |
| 搅拌设备设计 | 搅拌过程与搅拌器; 搅拌设备的传热; 搅拌罐结构设计; 传动装置及搅拌轴; 轴封; 制造及检验。 |
| 球形容器设计 | 材料选用; 结构设计; 强度计算; 组装; 焊接; 检验。 |
| 大型贮罐设计 | 贮罐尺寸的选择; 化工贮罐的设计; 罐壁、罐底、罐顶设计; 低压贮罐设计; 贮罐附件及其选择; 消防及安全措施; 制造、焊接与检验; 贮罐对基础的要求; 贮罐搅拌器。 |
| 废热锅炉设计 | 结构设计; 热力计算; 阻力计算; 元件强度计算; 材料; 制造、安装与检验; 水处理; 运行。 |
| 干燥设备设计 | 干燥过程基础; 厢式、带式、流化床、气流、喷雾、滚筒、回转圆筒干燥器设计; 新型干燥器、组合式干燥器及其设计; 主要辅助设备设计。 |
| 除尘设备设计 | 粉尘的特性与除尘器的性能; 重力沉降室和惯性除尘器; 旋风、过滤式除尘器; 电除尘器; 湿式除尘器; 除尘系统设计; 含尘气流的测定。 |
| 铝制化工设备设计 | 材料; 设计计算; 结构; 制造与检验。 |
| 钛制化工设备设计 | 钛材的机械性能、物理性能和耐腐蚀性; 钛制设备的设计计算; 设备结构设计; 制造和检验。 |
| 硬聚氯乙烯塑料制化工设备设计 | 硬聚氯乙烯原材料及其性能; 设备设计与结构; 接管设计; 施工、安装与验收。 |
| 石墨制化工设备设计 | 不透性石墨材料及制造工艺; 不透性石墨制品设备及设计计算; 设备制造; 原材料分析及物性测定。 |
| 钢架设计 | 钢架材料及载荷; 设计原理; 梁、柱的设计; 构件连接构造及计算; 设备支架; 操作平台; 塔平台; 动载荷作用下的钢架设计; 抗震设计; 防腐和防火。 |

目 录

| | |
|------------------------------|-----|
| 第一章 概论 | 1 |
| 第一节 换热器在化学工业中的应用 | 1 |
| 第二节 传热的一般概念 | 4 |
| 第三节 换热器的分类 | 5 |
| 一、按作用原理或传热方式分类 | 5 |
| 二、按生产中使用目的分类 | 6 |
| 三、按换热器所用材料分类 | 6 |
| 四、按换热器传热面的形状和结构分类 | 6 |
| 第四节 各种换热器的特性和选型 | 6 |
| 一、各种形式换热器的特点 | 6 |
| 二、换热器的选型 | 12 |
| 第五节 换热器的材料 | 13 |
| 一、换热器用的材料 | 13 |
| 二、材料的使用规定 | 15 |
| 三、换热器的防腐蚀 | 15 |
| 第六节 近代研究成果及发展趋势 | 16 |
| 一、近代研究成果 | 16 |
| 二、发展趋势 | 23 |
| 第二章 流体流动及传热 | 26 |
| 第一节 流体流动状态 | 26 |
| 一、流动形态的分类 | 26 |
| 二、流动阻力的一般公式 | 26 |
| 第二节 传热的基本公式 | 27 |
| 一、表面型换热器的基本传热公式 | 27 |
| 二、有中间热载体的间热式换热器的基本传热公式 | 40 |
| 第三节 热传导 | 42 |
| 一、热传导方程和计算 | 42 |
| 二、不稳定热传导 | 68 |
| 第四节 对流传热 | 72 |
| 一、无相变的对流传热 | 72 |
| 二、自然对流传热 | 83 |
| 三、液体受机械搅拌时的传热系数 | 83 |
| 四、非牛顿型流体的加热与冷却 | 84 |
| 五、有相变时的传热 | 90 |
| 第五节 辐射换热 | 100 |
| 一、辐射换热的基本概念 | 100 |

| | |
|--------------------|-----|
| 二、辐射换热计算 | 102 |
| 三、辐射换热的增强和削弱 | 105 |
| 第六节 传热设计 | 105 |
| 一、流动空间的选择 | 105 |
| 二、流速的选择 | 106 |
| 三、换热管的排列方式 | 108 |
| 四、传热系数的计算 | 110 |
| 五、污垢热阻 | 111 |
| 六、壁温计算 | 113 |
| 七、流动阻力的计算 | 115 |
| 八、热损失的计算 | 128 |
| 第七节 管壳式换热器传热设计示例 | 129 |
| 一、传热设计的基本步骤 | 129 |
| 二、传热设计示例 | 130 |
| 第三章 管壳式换热器的结构设计 | 143 |
| 第一节 概述 | 143 |
| 第二节 管壳式换热器形式及结构 | 143 |
| 一、固定管板式换热器 | 143 |
| 二、浮头式换热器 | 144 |
| 三、U形管式换热器 | 147 |
| 四、填料函式换热器 | 148 |
| 五、滑动管板式换热器 | 149 |
| 六、双管板换热器 | 149 |
| 七、薄管板换热器 | 153 |
| 第三节 壳体与管板、管板与法兰的连接 | 156 |
| 一、壳体与管板的连接结构 | 156 |
| 二、管板与法兰的连接 | 158 |
| 三、管子与管板连接 | 162 |
| 第四节 其它各部结构 | 166 |
| 一、膨胀节 | 166 |
| 二、管箱结构 | 169 |
| 三、壳程结构 | 173 |
| 第五节 带蒸发空间卧式换热器 | 188 |
| 第六节 套管式换热器 | 192 |
| 第四章 换热器元件强度计算 | 196 |
| 第一节 概述 | 196 |
| 第二节 筒体、封头、法兰和开孔补强 | 196 |
| 一、筒体 | 196 |
| 二、封头 | 196 |
| 三、法兰 | 202 |
| 四、开孔补强 | 202 |
| 五、钩圈 | 202 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第三节 管板计算 | 205 |
| 一、概述 | 205 |
| 二、我国三部《钢制管壳式换热器设计规定》 | 205 |
| 三、TEMA 管式换热器管板厚度计算公式 | 229 |
| 四、联邦德国 AD 规范 | 233 |
| 五、JISB8243-81 压力容器的构造 | 244 |
| 第四节 膨胀节 | 246 |
| 一、概述 | 246 |
| 二、判断是否需要膨胀节 | 247 |
| 三、膨胀节强度计算 | 248 |
| 四、计算公式比较 | 264 |
| 第五节 管子强度计算 | 266 |
| 一、承受内外压力 | 266 |
| 二、轴向力计算 | 267 |
| 三、U形管内外压力计算 | 267 |
| 第五章 螺旋板式换热器 | 269 |
| 第一节 概述 | 269 |
| 第二节 螺旋板式换热器的结构特点与结构设计 | 270 |
| 一、结构特点 | 270 |
| 二、螺旋板换热器的分类 | 272 |
| 三、结构设计 | 273 |
| 第三节 螺旋板式换热器的设计 | 278 |
| 一、螺旋通道的几何计算 | 278 |
| 二、传热工艺计算 | 279 |
| 三、螺旋板式换热器压力损失 | 291 |
| 四、螺旋板式换热器的强度与刚度计算 | 294 |
| 五、螺旋板式换热器的制造简介 | 311 |
| 第四节 应用实例 | 313 |
| 一、传热工艺计算 | 313 |
| 二、流体压力降 Δp 计算 | 317 |
| 三、螺旋板的强度、挠度计算与校核 | 319 |
| 四、螺旋板式换热器的结构尺寸 | 320 |
| 第六章 板片式换热器 | 325 |
| 第一节 板式换热器 | 325 |
| 一、结构特点 | 325 |
| 二、设计计算 | 335 |
| 三、设计举例 | 351 |
| 第二节 板翅式换热器 | 356 |
| 一、结构特点 | 356 |
| 二、设计计算 | 368 |
| 三、应用举例 | 385 |
| 第三节 伞板换热器 | 388 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 一、结构特点 | 388 |
| 二、设计计算 | 395 |
| 三、计算举例 | 400 |
| 第七章 其它换热器 | 404 |
| 第一节 蛇管式换热器 | 404 |
| 一、沉浸式蛇管换热器 | 404 |
| 二、喷淋式蛇管换热器 | 412 |
| 第二节 板壳式换热器 | 417 |
| 一、概述 | 417 |
| 二、结构形式 | 419 |
| 三、设计计算 | 429 |
| 第三节 氟塑料换热器 | 432 |
| 一、概述 | 432 |
| 二、结构形式 | 435 |
| 三、管束制造 | 439 |
| 四、设计计算 | 443 |
| 五、规格和系列 | 453 |
| 第四节 玻璃换热器 | 455 |
| 一、概述 | 455 |
| 二、玻璃换热器的种类和结构 | 457 |
| 三、玻璃换热器的应用 | 463 |
| 第五节 回转换热器 | 465 |
| 一、概述 | 465 |
| 二、多室式回转换热器 | 465 |
| 三、搅拌式换热器 | 466 |
| 四、离心式换热器 | 482 |
| 第六节 热管 | 490 |
| 一、概述 | 490 |
| 二、热管种类 | 491 |
| 三、热管的工作极限及其计算 | 493 |
| 四、热管的工作特性 | 496 |
| 五、热管在化工和机械方面的应用实例 | 497 |
| 六、热管的设计 | 501 |
| 七、热管的制造 | 511 |
| 八、陶瓷热管 | 512 |
| 第八章 管壳式换热器的制造、检验、安装与维修 | 516 |
| 第一节 制造 | 516 |
| 一、筒体 | 516 |
| 二、封头和管箱 | 516 |
| 三、管子 | 517 |
| 四、管板 | 518 |
| 五、折流板 | 523 |

| | |
|--------------------|-----|
| 六、膨胀节 | 524 |
| 七、管束的组装 | 525 |
| 八、管子与管板的连接 | 526 |
| 九、焊后热处理 | 537 |
| 十、设备组装 | 538 |
| 第二节 检验 | 539 |
| 一、水压试验方法 | 539 |
| 二、水压试验顺序和检查项目 | 541 |
| 三、接管补强圈及金属衬里板的气压试验 | 542 |
| 第三节 安装 | 542 |
| 一、安装位置 | 542 |
| 二、基础 | 543 |
| 三、地脚螺栓 | 543 |
| 四、基础质量的检查和验收 | 545 |
| 五、基础表面上铲麻面和放垫板 | 546 |
| 六、设备的运输与就位 | 547 |
| 第四节 维修 | 548 |
| 一、检查方法 | 548 |
| 二、修理 | 548 |
| 三、清洗 | 549 |

·第一章·

概 论

第一节 换热器在化学工业中的应用

在工业生产中,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、炼油、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、炼油等工业生产来说,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10~20%。在石油炼厂中,换热器约占全部工艺设备投资的35~40%。

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、加热器、冷却器、冷凝器、蒸发器和再沸器等。由于使用的条件不同,换热设备又有各种各样的形式和结构。另外,在化工生产中,有时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等。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,任何化工生产工艺几乎都离不开它。

在换热设备中,应用最广泛的是管壳式换热器。目前这种换热器被当作为一种传统的标准换热器,在许多工业部门中被大量地使用。尤其在化工生产中,无论是国内还是国外,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、合成及聚合等,大都要求在高温和高压下进行,如高压聚乙烯要求操作压力高达250 MPa左右;新“德士古”制氢法要求操作温度在750~1500°C范围。在这些条件下,要进行热交换是很不容易的。尤其在有腐蚀存在的情况下,实现换热更是困难。(而管壳式结构,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。因此,能不断扩大它的使用范围。)如制氢装置中的高温气体(温度在1000°C左右,压力为10 MPa以上)的冷却器多为管壳式。加氢裂解装置中,虽然它的换热工作条件较为苛刻,温度最高达427~455°C,压力最高为24.5 MPa,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50~70%^[1]。在合成氨高压气体冷却中,工作压力大都在21.0~24.5 MPa范围内,高压气体的冷却器都采用管壳式结构。在烯烃生产装置中,通常以热裂解法来制取,裂化气的温度很高,可达800~900°C。工艺上要求对裂化气进行冷却,然后进行深冷分离。其中所用的高温高压气体冷却器,大都采用管壳式的结构。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方向发展,以降低动力消耗,减少占地面积和金属消耗。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目前最大的低温工业用铝管绕制的管壳式换热器,已在外国一家天然气液化工厂中投入运行^[2]。该换热器高约80 m,重

215 吨,管子总长度为 457 公里,每昼夜可液化天然气 1000 万 m^3 (标)。这种换热器由于使用 $\phi 6\sim 10\text{mm}$ 的小直径管,其使用压力有的已达到 20 MPa。目前单台换热器的换热面积已达到 5000~8000 m^2 。

近十余年来,另一种高效、紧凑式的新型换热设备之一,即板式换热器,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,但它在化工和石油化工生产中已推广应用。它适用的介质相当广泛,从水到高粘度的非牛顿型液体,从含有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,处理的介质多达一百余种以上。

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、紧凑式的新型换热器,即板翅式换热器得到广泛的应用。虽然首先采用这种形式的换热器,是为了满足飞机上中间冷却器的需要,但由于它具有体积小、质量轻、效率高和适应的温度范围广等突出的优点,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,主要用于生产氮气和氧气的空气分离装置中^[6],如液化器(约 -185°C 氮气和约 -174°C 空气之间的换热,使空气中的一部分被液化)、过冷器(约 -194°C 氮气和约 -177°C 的液态空气或液态氮之间进行换热)、主凝缩器(约 -178°C 的氮气凝缩,而使液态氧气化)、预冷器(空气、高纯度氧、氮和不纯氧等四种流体换热,将 3 MPa 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,用来处理碳氢化合物,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时,则需要七台,其容积要大 7~10 倍,质量大 20~30 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。其它在航空、车辆和船舶等方面亦已开始推广应用。

目前螺旋板换热器在化工生产中的应用也日趋广泛。在磷酸生产流程中^[4],由于使用了这种形式的换热器,在清洗时可不停车,每次清洗只需切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^[6],用来冷却发烟硫酸。该设备为钢制,并在其表面覆盖一层酚醛树脂,使用一年后,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形式的换热器来冷却脂肪酸产品^[6],使脂肪酸从 175°C 冷却到 80°C ,冷却水的进口温度为 77°C ,出口温度为 96°C 。因为脂肪酸的温度只要比 80°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。其它可作为氨水和氯水的冷却器、锅炉的省煤器和预热器等。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预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工艺中。

六十年代后期,我国独创制成了一种新型高效式换热器,称它为伞板式换热器^[7]。它不仅具有一般板式换热器的特点,同时,还具有螺旋通道,兼有螺旋板换热器的一些特点。虽然这种形式的换热器,目前还处于进一步研究和发展中,由于它制造简便,加工过程简化,成本低廉,中小工厂也获得推广,因此已开始应用于各种生产中,如压缩机油的冷却,酸和碱等

腐蚀性介质的换热等过程。

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^[8]。近年来,瑞典、美国和日本等国均有大量生产,并出现了系列化产品。目前在化工生产中使用这种形式换热器的场合,如酒精塔的间接加热器、冷却器和冷凝器,化学药剂回收的预热器、气体冷却器和冷凝器等。由于该形式换热器的制造工艺比较复杂,焊接技术要求高,故尚待进一步完善其结构及制造工艺。

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的换热器。如玻璃、石墨和聚四氟乙烯等非金属材料以及钛、钽和锆等稀有金属材料制作的换热器,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预热等。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 Union Carbide 公司生产的石墨管壳式换热器有 30 种标准外壳,管子外表面的面积最大达到 1078 m^2 (11600 ft^2)。美国“石墨换热器设备公司”生产的石墨换热器有 100 种型号,换热面积为 $0.16 \sim 240 \text{ m}^2$ ($1\frac{3}{4} \sim 2600 \text{ ft}^2$),操作温度为 800°C ,操作压力可达 2.0 MPa (300 lb/in^2) (块式)。联邦德国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。国内石墨换热器也在推广使用,农药生产中用得较多,大连氯酸钾厂定型产品的换热面积为 400 m^2 ,葫芦岛锌厂自制产品可达 700 m^2 。聚四氟乙烯换热器于 1965 年由美国“Du Pont”公司开始应用于工业生产中。根据该公司调查,已成功地使用于冷却各种浓度的硫酸,加热腐蚀性极强的氯化物溶液和醋酸,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 长的换热器质量仅为 222 kg 它可以代替三套总质量超过 3500 kg 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 244°C ,压力为 2.1 MPa (绝对)下,生产浓度为 60% 的硝酸时,用钛制冷凝器来代替不锈钢制品,可使其使用寿命由 6 个月提高到 10 年。钽换热器的耐腐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应用于氯碱工业。

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部门。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。

七十年代以来,由于能源供应日趋紧张,而化学工业又与能源密切相关,今后如何解决能源供应问题,将直接影响着化学工业的发展。据报道,由原料能源转变为最终有效利用能的转化率目前只有 27%,能转变的损失率达 73%。这就意味着节能的潜力很大。近年来化

工技术的开发研究正日益侧重于节省能源,扩大对能源的适应范围,加强环境保护等。最近美国采用热泵循环,配合以高热流管用于精馏塔中,能够显著地降低能量消耗。日本在生产中采用了高热流管的沸腾和冷凝换热器,其传热效率比低翅片管换热器提高30%以上。它不仅可用于空气温度调节和冷冻机内,而且也可用在沸腾和冷凝传热的各种类型的换热器中。从设备角度考虑低品位能的利用正受到重视,化学工业中的低温余热占总能量消耗的80%,充分利用低品位能是提高总体热效率的关键。热泵可比较高效地利用低品位能。

从以上介绍,在化工生产中所使用的换热器种类和形式很多的,但完善的换热设备至少应满足下列几种因素:

1. 保证达到工艺所规定的换热条件;
2. 强度足够及结构可靠;
3. 便于制造、安装和检修;
4. 经济上要合理。

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,不外乎有两种类型: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,能设计出最经济(亦即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,往往同时也有传导现象存在。在辐射传热时,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。

现以化工生产中最常见的间壁换热为例,它就是同时并存着对流、传导和辐射三种方式,但辐射传热的影响一般可忽略不计。如图1-1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时,均称为给热过程,在这一过程中,它既有对流,又有传导。而热量由管壁的一侧传递到另一侧,则是固体内部的传导。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,就必须首先熟悉传导、对流和辐射三种基本过程的规律,然后再讨论如何将这规律应用到各种类型换热器的设计计算中去。

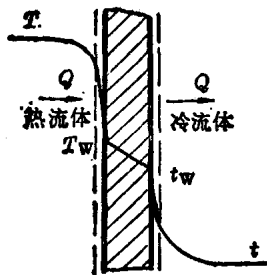


图 1-1 流体通过间壁的热交换

第三节 换热器的分类

换热器的类型随工业发展而扩大,早期的换热设备由于制造工艺和科学水平的限制,多有结构简单、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。这种换热器的特点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。它成为长期以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 公司首次制成螺旋板换热器。不久,英国 Marton Excelsior 公司用钎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,上述这些新型高效式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又获得发展,在化工生产中应用也愈加广泛。另外,在这个时期中,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。

一、按作用原理或传热方式分类

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中所用蓄冷器中的卵石等)的表面,如图 1-2 中所示。首先让热流体通过,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,使生产得以连续进行。

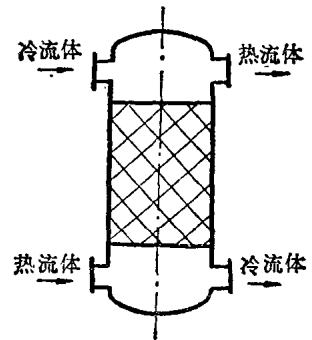


图 1-2 蓄热式换热器示意图

3. 间壁式换热器

它是利用一种固体壁面将进行热交换的两种流体隔开,使它们通过壁面进行传热。这种形式的换热器使用最广泛。

二、按生产中使用目的分类

即分成冷却器、加热器、冷凝器、汽化器(或再沸器)和换热器等。

三、按换热器所用材料分类

一般可把换热器分成金属材料和非金属材料两类。

四、按换热器传热面的形状和结构分类

它用于区分各种形式的间壁式换热器。其分类有:

1. 通过管壁传热的换热器(即“管式”)

- (1) 蛇管式换热器。
- (2) 套管式换热器。
- (3) 管壳式(列管式)换热器:这类换热器又可分为固定管板式、U形管式和浮头式等。

2. 通过板面传热的换热器(即“板面式”)

- (1) 螺旋板换热器。
- (2) 板式换热器。
- (3) 伞板式换热器。
- (4) 板翅式换热器。
- (5) 板壳式换热器。

3. 其它形式的换热器

这类换热器一般都是为了满足某些特殊要求而出现的,有些还处于发展阶段,其中比较成熟的,如回转式换热器和热管等。

第四节 各种换热器的特性和选型

由于现代化工和石油化工等生产工艺往往要求在极其广泛的条件下进行热交换,为了适应各种换热条件,换热器有多种形式。每种结构形式的换热设备都有其特点,只有熟悉和掌握这些特点,并根据生产工艺的具体情况,才能进行合理的选型和正确的设计。现对各种结构形式的换热器所具有的特点作一些分析,然后再介绍有关的选型原则。

一、各种形式换热器的特点

1. “管式”换热器

这一类型的换热器,虽然在换热效率、设备结构的紧凑性(换热器在单位体积中的传热面积 m^2/m^3)和金属消耗量(kg/m^3)等方面都不如其它新型换热器,但它具有结构坚固,操作弹性大(指流体的温度和流量等参数在一定范围内有短时间的波动,对生产不会带来太大的影响)和使用材料范围广等优点。尤其在高温、高压和大型换热器中,仍占着相当优势。

(1) 蛇管式换热器:

它是最早出现的一种结构简单和操作方便的传热设备。它本身又可分成沉浸式和喷淋式等两种。