



石油化工设备设计选用手册



HUANRENGI

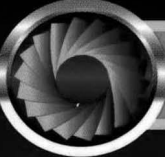
换热器

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

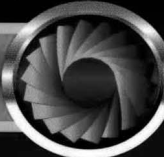
董其伍 张 垚 等编



化学工业出版社



石油化工设备设计选用手册



HUANRENGI

换 热 器

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

董其伍 张 垚 等编



化学工业出版社

由中国石化集团上海工程有限公司组织编写的《石油化工设备设计选用手册》包括：《石化设备用钢》、《承压容器》、《储存容器》、《有色金属制容器》、《搪玻璃容器》、《工业炉》、《干燥器》、《除尘器》、《反应器》、《塔器》、《换热器》和《机泵选用》，共 12 个分册。

本书为《换热器》分册，包括管壳式换热器、空气冷却器、板式换热器、螺旋板式换热器、板翅式换热器、热管换热器等类型，介绍了各种换热器的功能、结构、工艺设计与选用等内容。

本书可供从事石化设备换热器设计、研究、制造、使用的工程技术人员及研究人员参考使用，也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

换热器/中国石化集团上海工程有限公司组织编写；
董其伍等编. —北京：化学工业出版社，2008. 12
(石油化工设备设计选用手册)
ISBN 978-7-122-03800-5

I. 换… II. ①中…②董… III. 换热器-设计-技术手册 IV. TQ051.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 151200 号

责任编辑：辛 田
责任校对：顾淑云

文字编辑：陈 喆
装帧设计：张 辉

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 25¼ 字数 622 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：62.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2008-36 号

前 言

《石油化工设备设计选用手册》(以下简称《手册》)由中国石化集团上海工程有限公司组织编写。《手册》着眼于工程,强调设计、选用,目的是使工程公司、生产企业中的工艺、设备技术人员能据此设计、选用到最佳设备。本《手册》突出工程性、工艺性、实用性。

为保证《手册》的工程实用性,中国石化集团上海工程有限公司成立了编委会,确定了《手册》的编写要求,组织全国知名专家参与撰写,并由编委会负责《手册》的审稿及协调工作。

《手册》对每一类设备的作用、适用场合、分类与形式、选用要求进行阐述,主要介绍该类设备选用的工艺计算、结构设计、强度计算,以及本类设备的制造检验特殊要求,同时也涉及该类设备的标准及零部件标准(重点在于如何应用)以及相关应用软件。

本《手册》包括工艺型设备,如《换热器》、《反应器》、《塔器》、《干燥器》、《除尘器》、《工业炉》、《机泵选用》等;材料结构型设备,如《石化设备用钢》、《承压容器》、《储存容器》、《有色金属制容器》、《搪玻璃容器》等,共12个分册。

本书为《换热器》分册,包括管壳式换热器、空气冷却器、板式换热器、螺旋板式换热器、板翅式换热器、热管换热器等类型,介绍了各种换热器的功能、结构、工艺设计与选用等内容。本书可供从事石化设备换热器设计、研究、制造、使用的工程技术人员及研究人员参考使用,也可供高等院校相关专业的师生参考。

本书第1部分管壳式换热器:第1、4章由董其伍、王永庆编写;第2、3、5章由董其伍、安万辉编写;第6章由刘敏珊、赖永星编写;第7章由刘敏珊、靳遵龙编写;第8章由刘敏珊、古新编写;董其伍、刘敏珊、王永庆统稿(以上均为郑州大学)。第2部分空气冷却器由李会利(哈尔滨空调股份有限公司)编写。第3部分板式换热器由张垚(上海尔华杰机电装备制造有限公司)编写。第4部分螺旋板式换热器由裘维民(苏州化工机械厂)编写。第5部分板翅式换热器由嵇训达(杭州杭氧科技股份有限公司设计院)编写。第6部分热管换热器由梁亚明(南京工业大学)编写。全书由秦叔经统稿,叶文邦审定。

希望《手册》对读者的工作能起到促进作用,据此设计、选用到高效、节能、环保的工程设备,为我国的工程建设添砖加瓦,也深切希望读者对本《手册》不足之处提出宝贵意见,以便再版时修正。

叶文邦

目 录

第 1 部分 管壳式换热器

第 1 章 管壳式换热器简介	3
1.1 概述	3
1.2 管壳式换热器的分类	3
1.3 换热器的选用	4
1.4 管壳式换热器的发展趋势及近代研究成果	5
1.4.1 管壳式换热器的发展趋势	5
1.4.2 纵流壳程换热器	6
1.4.3 换热网络的研究进展	6
1.4.4 换热器相关技术发展动向	7
第 2 章 管壳式换热器的系列	10
2.1 管壳式换热器的类型	10
2.1.1 固定管板式换热器概述	10
2.1.2 浮头式换热器概述	11
2.1.3 U 形管换热器概述	11
2.1.4 填料函式换热器概述	12
2.1.5 滑动管板换热器概述	12
2.1.6 双管板换热器概述	12
2.1.7 薄管板换热器概述	14
2.1.8 立式热虹吸式重沸器概述	14
2.2 固定管板式换热器 (JB/T 4715—92)	15
2.2.1 固定管板式换热器的形式	15
2.2.2 固定管板式换热器的参数系列	16
2.3 浮头式换热器和冷凝器 (JB/T 4714—92)	23
2.3.1 浮头式换热器和冷凝器的形式	23
2.3.2 浮头式换热器和冷凝器的基本参数	25
2.4 U 形管式换热器 (JB/T 4717—92)	31
2.4.1 U 形管式换热器的形式	31
2.4.2 U 形管式换热器的基本参数	31
2.5 钢制固定管板式薄管板列管换热器 (HG 21503—92)	34
2.5.1 薄管板列管换热器的形式	34
2.5.2 薄管板列管换热器的基本参数	35
2.6 立式热虹吸式重沸器 (JB/T 4716—92)	36
2.6.1 立式热虹吸式重沸器的形式	36

2.6.2 立式热虹吸式重沸器的基本参数	36
第3章 管壳式换热器结构	40
3.1 概述	40
3.2 换热管	42
3.2.1 普通换热管	42
3.2.2 高效换热管	43
3.3 管束及分程	46
3.3.1 管束支撑结构	46
3.3.2 管束分程	52
3.3.3 换热管排列形式	53
3.3.4 换热管中心距	53
3.4 管板	54
3.5 管箱	54
3.6 管板与相邻零部件的连接	55
3.6.1 壳体与管板的连接	55
3.6.2 管箱与管板的连接	56
3.6.3 管子与管板的连接	58
3.7 其他结构	60
3.7.1 膨胀节	60
3.7.2 导流筒	61
3.7.3 防冲板	63
3.7.4 防短路结构	64
3.7.5 拉杆与定距管	64
第4章 管壳式换热器工艺设计	66
4.1 换热器内阻力损失计算	66
4.1.1 换热器内阻力损失分析	66
4.1.2 直管阻力损失	66
4.1.3 换热器管程阻力损失	67
4.1.4 换热器壳程阻力损失	68
4.1.5 允许压降的选取	78
4.2 杆式支撑换热器壳程阻力损失	78
4.2.1 Phillips 石油公司计算方法	78
4.2.2 郑州大学热能工程研究中心计算方法	79
4.2.3 华南理工大学计算方法	80
4.2.4 华中科技大学计算方法	81
4.3 传热过程的基本公式	81
4.3.1 管壳式换热器传热过程	81
4.3.2 污垢热阻	82
4.4 对流换热	83

4.4.1	概述	83
4.4.2	无相变对流换热	85
4.4.3	非牛顿型流体传热	92
4.4.4	有相变传热	95
4.5	换热器壳程传热系数关联式	104
4.5.1	壳程无折流装置	104
4.5.2	折流板支撑换热器壳程传热系数关联式	104
4.5.3	盘环形折流板支撑换热器壳程传热系数关联式	105
4.5.4	杆式支撑换热器壳程传热系数关联式	108
4.6	工艺条件的选择	111
4.7	换热器工艺计算	113
4.7.1	设计计算基本步骤	113
4.7.2	相关计算与选择	115
第 5 章	管壳式换热器元件强度计算	120
5.1	管板强度计算	120
5.1.1	管板强度设计标准及规范	120
5.1.2	GB151 中管板强度计算方法	121
5.1.3	德国 AD 压力容器规范	124
5.2	膨胀节	130
5.2.1	膨胀节设置	130
5.2.2	基于 ANSYS 软件的膨胀节强度模拟	130
5.2.3	基于 ANSYS 软件的 U 形波纹管膨胀节的工程优化设计	131
5.3	基于 ANSYS 分析的换热器零部件结构优化设计	134
5.3.1	带夹套新型换热器结构特点	134
5.3.2	H 形结构应力计算	135
5.3.3	H 形换热器结构优化设计	138
5.3.4	结构疲劳强度分析	141
第 6 章	管壳式换热器流体诱导振动	143
6.1	流体流动诱导振动基本机理	143
6.1.1	漩涡脱落诱发振动	143
6.1.2	紊流抖振	145
6.1.3	流体弹性激振	146
6.1.4	声共鸣	147
6.2	传热元件的固有频率	148
6.2.1	直管的固有频率	148
6.2.2	U 形管的固有频率	151
6.2.3	固有频率的有限元分析计算及应用	154
6.3	系统的受力分析与破坏	157
6.3.1	Thorngren 破坏数	157

6.3.2	振动破坏的受力分析及临界流速	158
6.3.3	振动疲劳破坏	161
6.3.4	累积损伤理论	162
6.3.5	振动磨损	164
6.4	防振设计	164
6.4.1	防振措施	164
6.4.2	防振研究	165
第7章	管壳式换热器的结垢	169
7.1	概况	169
7.1.1	污垢对换热器的影响	169
7.1.2	污垢的分类	173
7.1.3	污垢研究现状	175
7.2	污垢的形成过程与机制	176
7.2.1	概述	176
7.2.2	污垢的形成过程	176
7.2.3	污垢的形成机制	178
7.3	污垢的形成影响因素	179
7.3.1	换热器运行参数的影响	179
7.3.2	换热器结构参数的影响	180
7.3.3	流体介质性质的影响	181
7.3.4	其他	181
7.4	防垢与除垢	181
第8章	管壳式换热器的一些研究专题	185
8.1	纵流壳程换热器流体流动和传热的数值模拟	185
8.1.1	概述	185
8.1.2	流体流动与传热数值模拟的数值实现	186
8.1.3	流体流动与传热数值模拟的程序实现	186
8.1.4	基于周期性单元流道计算模型的换热器数值模拟	188
8.1.5	基于周期性全截面计算模型的换热器数值模拟	191
8.2	管壳式换热器新结构的研究与开发	193
8.2.1	夹套式变截面导流筒折流杆换热器	193
8.2.2	新型高低温管板	193
8.2.3	夹持式异径换热管纵流壳程换热器	194
8.2.4	斜向流管壳式换热器	195
	参考文献	196

第2部分 空气冷却器

第9章	空冷器的形式和结构	203
9.1	分类	203

9.2	空冷器的基本部件	206
9.3	管束	207
9.4	风机	213
9.5	构架	218
9.6	百叶窗	219
9.7	空冷器的布置	221
9.8	空冷器的调节	223
第 10 章	空冷器的工艺设计及计算	227
10.1	空冷器的设计条件及基本参数	227
10.2	热负荷	227
10.3	传热系数与阻力计算	229
10.4	有效平均温差	245
10.5	换热面积	249
10.6	强制通风时的风机功率	249
10.7	自然通风的风筒高度	250
10.8	计算步骤和例题	251
	参考文献	260

第 3 部分 板式换热器

第 11 章	板式换热器的结构及适用范围	263
11.1	概述	263
11.2	板式换热器的整体结构	264
11.3	板式换热器的优缺点	269
11.4	流程组合	270
第 12 章	板式换热器的分类及选用	273
12.1	板式换热器的类型	273
12.2	板式换热器板片的分类与选用	274
12.3	密封垫及其材料的分类与选用	278
第 13 章	板式换热器的传热计算	281
13.1	基本传热方程式	281
13.2	压降计算	283
13.3	换热计算的一般方法	284
第 14 章	板式换热器的应用	289
14.1	工程设计的一般原则	289
14.2	设计举例	290
	参考文献	292

第 4 部分 螺旋板式换热器

第 15 章 螺旋板式换热器	295
15.1 分类与形式	295
15.2 结构设计	300
15.3 传热工艺计算	301
15.4 螺旋板式换热器压力降计算	307
15.5 螺旋板式换热器的设计	307
15.6 螺旋板式换热器的制造与检验	315
15.7 应用实例	316
参考文献	321

第 5 部分 板翅式换热器

第 16 章 板翅式换热器概述	325
16.1 发展概况	325
16.2 板翅式换热器的特点	326
16.3 板翅式换热器的应用	326
第 17 章 板翅式换热器结构特点	327
17.1 基本结构	327
17.2 翅片的选择与形式	328
17.3 翅片特性参数	329
17.4 整体结构	330
第 18 章 板翅式换热器设计计算	333
18.1 传热设计	333
18.2 给热系数确定	336
18.3 多股流传热	338
18.4 阻力计算	339
18.5 结构设计和强度计算	341
第 19 章 板翅式换热器的制造与检验	342
19.1 板翅式换热器的材料	342
19.2 板翅式换热器的制造工艺	342
19.3 检查与试验	344
19.4 板翅式换热器的修补和绝热	344
19.5 换热器的使用与存放	345
参考文献	346

第 6 部分 热管换热器

第 20 章 热管和热管换热器的设计	349
--------------------------	-----

20.1	热管和热管换热器的原理和特性	349
20.2	热管和热管换热器的类型和结构	351
20.3	热管设计	358
20.4	热管换热器热力设计	368
20.5	热管和热管换热器的制造	376
20.6	热管和热管换热器的应用	379
参考文献		387

第 1 部分 管壳式换热器

第 1 章

管壳式换热器简介

1.1 概述

换热器是在具有不同温度的两种或两种以上流体之间传递热量的设备。在工业生产中，换热器的主要作用是使热量由温度较高的流体传递给温度较低的流体，使流体温度达到工艺流程规定的指标，以满足过程工艺条件的需要。换热器是化工、炼油、动力、食品、轻工、原子能、制药、航空及其他许多工业部门广泛使用的一种通用设备。在化工厂中，换热器的投资约占总投资的 10%~20%；在炼油厂中，该项投资约占总投资的 35%~40%。

目前，在换热器中，应用最多的是管壳式换热器，它是工业过程热量传递中应用最为广泛的一种换热器。虽然管壳式换热器在结构紧凑性、传热强度和单位传热面的金属消耗量方面无法与板式或板翅式等紧凑式换热器相比，但管壳式换热器适用的操作温度与压力范围较大，制造成本低，清洗方便，处理量大，工作可靠，长期以来，人们已在其设计和加工制造方面积累了丰富的经验，建立了一整套程序，人们可以容易地查找到其可靠的设计及制造标准，而且方便地使用众多材料制造，设计成各种尺寸及形式，管壳式换热器往往成为人们的首选。

近年来，由于工艺要求、能源危机和环境保护等诸多因素，传热强化技术和换热器的现代研究、设计方法获得了飞速发展，设计人员已经开发出了多种新型换热器，以满足各行各业的需求。如为了适应加氢装置的高温高压工艺条件，螺纹锁紧环换热器、 Ω 密封环换热器、金属垫圈式换热器技术获得了快速发展，并在乙烯裂解、合成氨、聚合和天然气工业中大量应用，可达到承压 35MPa、承温 700℃ 的工艺要求；为了回收石化、原子能、航天、化肥等领域使用燃气、合成气、烟气等所产生的大量余热，产生了各种结构和用途的废热锅炉；为了解决换热器日益大型化所带来的换热器尺度增大、振动破坏等问题，纵流壳程换热器获得了飞速的发展和应用；纵流壳程换热器不仅提高了传热效果，也有效地克服了由于管束振动引起的换热器破坏现象。另外，各种新结构高效换热器、高效重沸器、高效冷凝器、双壳程换热器等也大量涌现。

1.2 管壳式换热器的分类

工业换热器通常按以下诸方面来分类：结构、传热过程、传热面的紧凑程度、所用材料、流动形态、分程情况、流体的相态和传热机理等。现介绍管壳式换热器的相关分类情况。

① 按所用材料分类 一般可把换热器分成金属材料和非金属材料两类。非金属的换热器主要有陶瓷换热器、塑料换热器、石墨换热器和玻璃换热器等。

② 按传热面的特征分类 根据管壳式换热器内传热管表面的形状，可以分为螺纹管换

热器、波纹管换热器、异形管换热器、表面多孔管换热器、螺旋扁管换热器、螺旋槽管换热器、环槽管换热器、纵槽管换热器、翅管换热器、螺旋绕管式换热器、翅片管换热器、内插物换热器、锯齿管换热器等。

③ 按流体流动形式分类 根据管壳式换热器内流体流动形式可以分为单程与多程。单程即流体一次性流过换热器的全程，而多程则是流体经过两次或两次以上往返流经换热器全程。

按流体在换热器内流动的基本方式可分为并流、逆流和错流三种形式。这三种流动形式中，逆流相比其他流动方式，在同等条件下换热器的壁面的热应力最小，壁面两侧流体的传热温差最大，因而是优先选用的流动形式。

④ 按结构特点分类 可分为固定管板式、浮头式、U形管式、填料函式、滑动管板式、双管板式、薄管板式等。

1.3 换热器的选用

换热器的种类繁多，有多种多样的结构，每种结构形式的换热器都有其自身的结构特点及其相应的工作特性。某种结构形式的换热器，在某种情况下使用效果可能是较好的，但是在另外的情况下使用却不一定很合适，甚至根本就不能使用。换热器选型将直接影响到换热器的运行及生产工艺过程的实现。因此，要使换热器能在给定的实际条件下很好地运行，必须在熟悉和掌握换热器的结构及其工作特点的基础上，并根据所给定的具体生产工艺条件，对换热器进行合理的选型。

在对换热器进行选型时，有诸多因素需要考虑，主要包括流体的性质、压力、温度、压降及其可调范围；对清洗、维修的要求；材料价格及制造成本；动力消耗费；现场安装和检修的方便程度；使用寿命和可靠性等。

若选定一台换热器使其完全满足上述全部条件几乎是不可能的。一般情况下，在满足生产工艺条件的前提下，仅考虑一个或几个相对重要的影响因素就可以进行选型了。所谓重要影响因素是相对而言的，具有不确定性，通常是由设置换热器的目的来确定。

其基本的选择标准可总结如下。

① 所选换热器必须满足工艺过程要求。流体经过换热器换热以后必须能够以要求的参数进入下个工艺过程。

② 换热器本身必须能够在所要求的工程实际环境下正常工作。换热器需要能够抗工作环境和介质的腐蚀，并且具有合理的抗结垢性能。

③ 换热器应容易维护。这就要求换热器容易清理，对于易腐蚀、强振动等破坏的元件应便于更换，换热器应满足工程实际场地的要求。

④ 换热器应尽可能地经济。选用时应综合考虑换热器的制造成本、安装费用、维护费用等，应使换热器尽可能地经济。

⑤ 选用换热器时要根据场地的限制考虑换热器的直径、长度、重量和换热管结构等。

对于使用单位来说，在对换热器进行选型时首要考虑的因素并不一定是费用，而往往是其运行参数，主要是指运行压力和温度。运行压力决定了承压部件的厚度，其对换热器的选型具有重要影响。换热器的设计温度也是一个极为重要的运行参数，它表明了换热器材料在设计温度下是否能承受操作压力和其他负荷。在较低温度和低温深冷的应用场合，对材料韧

性有严格要求,在高温的应用场合,要求材料具有较高的抗蠕变能力。当然,有些材料耐热程度很高,但这样的材料价格往往也很昂贵。综合考虑这些情况,则材料热强度最高极限不宜取得过高。

除换热器运行参数外,换热器中冷、热流体的种类和流量、热导率、黏度等物理性质以及腐蚀性、热敏性等化学性质,对换热器的选型也有很大的影响。

换热器内流体的流量决定了所需要的流通面积。由于较大的流速容易造成换热器内较大的压力降与冲击,材料增加腐蚀的可能性,在管壳式换热器壳程内还容易造成流体诱导振动。因而流量越大,需要选择具有较大流通面积的换热器,从而可以降低换热器内流体的流速。

为保证所使用换热器的可靠性与耐久性,换热器的制造材料应有适宜的使用环境下的腐蚀速率,并能承受操作压力和温度。若流体腐蚀性强,应选择由高抗腐蚀材料制成的换热器,比如可选用由石墨材料或玻璃钢等耐腐蚀材料制成的换热器。如在冷却湿氯气时,由于湿氯气的强腐蚀性,因此必须选用由聚四氟乙烯等耐腐蚀性材料制成的换热器,这样就限制了可能采用的换热器的结构范围。不过这类换热器通常不能承受高压,而且通常其容量也不能过大。

在换热器选型时,除要考虑上述的运行参数、流体性质等影响因素外,还应根据所给工艺条件、现场安装条件、各种费用的允许范围等因素,力求使换热器在整个使用寿命内最经济地运行。

对于所选择的换热器,应尽量满足以下要求:具有较高的传热效率、较低的压力降;重量轻且能承受操作压力;有可靠的使用寿命;产品品质高,操作安全可靠;所使用的材料与过程流体相容;设计计算方便,制造简单,安装容易,易于维护与维修。

在实际选型中,这些选择原则往往是相互矛盾、相互制约的。在具体选型时,我们需要抓住实际工况下最重要的影响因素或者说是所需换热器要满足的最主要目的,解决主要矛盾。有时,还需要考虑换热器的吊装、容量及存放等因素。

1.4 管壳式换热器的发展趋势及近代研究成果

1.4.1 管壳式换热器的发展趋势

管壳式换热器是在石油化工行业中应用最广泛的换热器。纵然各种板式换热器的竞争力不断上升,管壳式换热器依然在换热器市场中占主导地位。目前各国为提高这类换热器性能进行的研究主要是强化传热,提高对苛刻的工艺条件和各类腐蚀介质适应性材料的开发以及向着高温、高压、大型化方向发展所作的结构改进。

强化传热的主要途径有提高传热系数、扩大传热面积和增大传热温差等方式,其中提高传热系数是强化传热的重点,主要是通过强化管程传热和壳程传热两个方面得以实现。目前,管壳式换热器强化传热方法主要有:采用改变传热元件本身的表面形状及其表面处理方法,以获得粗糙的表面和扩展表面;用添加内插物的方法以增加流体本身的绕流;将传热管的内外表面轧制成各种不同的表面形状,使管内外流体同时产生湍流并达到同时扩大管内外有效传热面积的目的,提高传热管的传热性能;将传热管表面制成多孔状,使气泡核心的数量大幅度增加,从而提高总传热系数并可增加其抗污垢能力;改变管束支撑形式以获得良好

的流动分布,充分利用传热面积等。

1.4.2 纵流壳程换热器

纵流壳程换热器作为新型的管壳式换热器,采用新型的壳程结构,使壳程流体由传统的横向流动改变为纵向流动,可广泛用于强化壳程传热的热力过程,为化工、炼油、动力、冶金、轻工等领域提供了高效节能的换代新产品。

自美国 Phillips 石油公司对具有壳程纵向流的折流杆换热器的结构 and 应用进行研究以来,纵流壳程换热器得到国内外的关注,出现了很多具有壳程纵向流特点的新型管壳式换热器,以折流杆换热器为典型代表的纵流壳程换热器得到广泛的研究与应用。

经过工业实际应用证明,新型纵流壳程换热器系列产品,与现行管壳式换热器相比,具有以下突出优点。

- ① 强化壳程传热,总传热系数得以大幅提高。
- ② 大大减小壳侧流体流动阻力降,降低了动力消耗。
- ③ 改善壳侧传热综合性能。
- ④ 较大程度地减轻了设备重量,节省了制造成本。
- ⑤ 防止了流体诱导振动,换热器安全性提高。
- ⑥ 减少污垢的沉积,耐腐蚀,使用寿命长。

纵流壳程换热器结构简单、制造方便,与一般换热器制作条件相同,无需增加其他工装和设备,具有极为广阔的推广应用前景,随着该类型换热器的进一步推广应用,必将为我国国民经济建设带来巨大的经济和社会效益。目前,国内的许多研究机构,如郑州大学热能工程研究中心、华南理工大学、华中科技大学等,已在纵流壳程换热器的研究与开发方面,以及其设计、制造与应用等方面积累了许多的经验。

1.4.3 换热网络的研究进展

在实际应用中,由于工艺的需要,经常要使用多台换热器,因此将换热器作为一个网络进行研究与分析就显得比较重要了。在对换热网络进行研究的过程中,不仅要考虑单台的效率问题,而且还要考虑整个网络的物流匹配、动力分配等问题。对换热网络进行综合优化的目标是构造一个能满足热、冷物流初、终温要求,具有最少公用工程用量和最少换热器台数的换热网络。若把公用工程用量作为操作费用,把换热器作为投资费用,则换热网络最优合成问题可以描述为构造一个能满足物流初、终温要求,使网络具有最少投资费用和操作费用的换热网络。

对换热网络的研究,到目前为止主要包括以下几方面:换热网络的最优合成、换热网络的弹性及可操作性分析与设计、换热网络的结构调优、过程流程模拟等。而采用的方法,概括起来可以分为:夹点技术法、数学规划法、热力学分析法、遗传算法、人工智能技术。其中夹点技术是发展相对成熟的技术,它是以热力学为基础,从宏观的角度分析过程系统中能量沿温度的分布,从中发现制约系统用能的瓶颈。这种方法是由 Linnhoff 在 1978 年提出的,指出了换热网络中的温度夹点问题,以及夹点限制了换热网络可能达到的最大热回收。1982~1983 年间, Linnhoff 比较系统地论述了用于换热网络综合的夹点技术,并推广于整个过程系统的能量分析与调优,并在 1993 年又对夹点技术作了全面的总结性评述。