

化工操作工实训丛书

传热、蒸发与冷冻操作实训

潘学行 主编

薛叙明 主审



Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

化工操作工实训丛书

传热、蒸发与冷冻操作实训

潘学行 主编

薛叙明 主审



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

传热、蒸发与冷冻操作实训/潘学行主编. —北京:化学工业出版社, 2006.5

(化工操作工实训丛书)

ISBN 7-5025-8720-9

I. 传… II. 潘… III. ①传热-化工过程②蒸发-化工过程
③冻结-化工过程 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 051979 号

化工操作工实训丛书

传热、蒸发与冷冻操作实训

潘学行 主编

薛叙明 主审

责任编辑: 辛 田 李玉晖

文字编辑: 余纪军

责任校对: 周梦华

封面设计: 韩 飞

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{4}$ 字数 289 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8720-9

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着我国社会经济的迅猛发展和职业资格准入制度的不断推进,对从事石油与化工行业的生产操作人员进行职业技能培训与鉴定显得尤为重要。为尽快适应经济与行业发展需求,本着提升石油与化工行业生产操作人员的理论知识水平与实际操作技能的目的,依据《中华人民共和国工人技术等级标准》(以下简称《等级标准》)和《中华人民共和国职业技能鉴定规范(化工行业特有工种考核大纲)》(以下简称《考核大纲》)的要求,化学工业出版社组织编写了此套化工操作工实训丛书。它包括《流体输送与过滤操作实训》、《传热、蒸发与冷冻操作实训》、《传质与分离操作实训》、《化学反应器操作实训》和《化工仿真操作实训》五个分册。

本套培训教材的编写遵循了“坚持标准、结合实际,立足现状、着眼发展,突出技能、体现特色,内容精练、深浅适度”的指导思想,以《考核大纲》为准绳,参考《等级标准》,从有利于教师教学和方便工人学习出发,力求做到教材内容能适应当前化工技术的发展及现代化生产工人的技能培训要求。

本套培训教材具有如下基本特点。

(1) 作为工人技能培训用书,本套系列培训教材以化工单元操作和岗位操作技能为主线,着重介绍岗位操作必须掌握的基本知识、基本理论、操作规范和设备维护等知识;强调实践操作,力求做到理论联系实际,注重理论性与实用性的统一。

(2) 以目前在化学工业中广泛使用的成熟技术及工艺作为重点,同时对近年来在化工企业生产中采用的新标准、新技术、新工艺和新设备也有所涉及,力求体现本行业的技能发展趋势。

(3) 考虑到目前本行业工人的实际情况,由浅入深、由易到难地提出问题、分析问题和解决问题。此外,在每章节后编入适量的习题,以帮助读者巩固所学知识,检验学习效果。

本套培训教材的编写出版得到了常州工程职业技术学院有关领导和老师以

及相关化工企业工程技术人员的大力支持，常州工程职业技术学院化学工程系主任薛叙明老师对本套培训教材的出版做了大量工作，他组织了本套教材的编写班子并参与提纲的制定与审定，担任了本套培训教材的主审。在此，对上述人员的辛勤劳动表示衷心的感谢。

本套培训教材适用于石油与化工行业的生产操作人员技能培训，也可作为自学教材使用。

本书为《传热、蒸发与冷冻操作实训》分册。本书介绍的是主要体现传热规律的三种单元操作，书中对各单元操作的基本原理，典型设备的结构、操作、使用及维护等内容都做了深入浅出的说明。

本书第一章、第二章由潘学行编写，第三章由吴振宏编写。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，望读者批评指正。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第一章 传热原理与换热器	1
第一节 概述	1
一、传热在化工生产中的应用	1
二、传热的基本方式	2
三、工业上的换热方法	3
四、化工生产中的传热问题	4
第二节 热量衡算	4
一、传热量的计算	5
二、载热体用量	6
三、加热和冷却方法	7
第三节 热传导	9
一、导热基本定律——傅里叶定律	9
二、傅里叶定律的应用	11
第四节 对流传热	16
一、对流传热过程分析	16
二、对流传热基本方程——牛顿冷却定律	17
三、对流给热系数关联式	18
第五节 间壁两侧流体的换热	31
一、间壁两侧流体换热过程分析	31
二、传热基本方程式	32
三、传热平均温度差	34
四、传热系数	41
五、传热面积	46
第六节 强化传热的途径	46
一、增大传热面积	46
二、提高传热推动力	47

三、提高传热系数	48
第七节 热损失与节能	49
一、设备和管道的热损失与绝热	49
二、化工生产中的节能途径	52
第八节 换热器	54
一、间壁式换热器	55
二、列管换热器的型号与规格	64
三、列管换热器的选型设计	65
第九节 换热器的使用与维护	68
一、列管换热器的使用和维护	68
二、板式换热器的使用和维护	70
复习与思考	71
习题	73
本章符号说明	75

第二章 蒸发 76

第一节 概述	76
一、蒸发操作的基本概念	76
二、蒸发操作的特点	76
三、蒸发操作的分类	77
四、单效蒸发流程	78
第二节 单效蒸发的计算	79
一、水分蒸发量	79
二、加热蒸汽消耗量	80
三、蒸发器的传热面积	84
四、蒸发器中传热温度差的确定	85
第三节 多效蒸发与节能	88
一、多效蒸发原理与流程	88
二、多效蒸发的经济性及效数的限制	91
三、提高加热蒸汽经济性的其他措施	92
第四节 蒸发设备	95
一、蒸发器的型式与结构	95
二、蒸发器的辅助装置	103
第五节 蒸发器的生产能力和生产强度	104

一、蒸发器的生产能力	104
二、蒸发器的生产强度	105
第六节 蒸发器的操作和维护	106
一、蒸发器的操作	106
二、蒸发系统常见操作事故与防止	109
附1 氯碱生产中常见的故障及处理方法	110
附2 硝酸铵溶液生产操作技术	111
复习与思考	135
习题	136
本章符号说明	137

第三章 冷冻 138

第一节 概述	138
一、制冷在化工生产中的应用	138
二、制冷的的基本方法	139
第二节 压缩蒸汽制冷机	141
一、单级压缩蒸汽制冷机的工作过程	141
二、温熵图	142
三、单级压缩蒸汽制冷机的计算	143
四、多级压缩蒸汽制冷机	147
第三节 制冷剂和载冷剂	154
一、制冷剂	154
二、载冷剂	162
第四节 压缩蒸汽制冷机的主要设备	164
一、压缩机	164
二、冷凝器	173
三、节流机构	178
四、蒸发器	184
第五节 制冷压缩机的操作	188
一、操作前的准备工作	188
二、制冷压缩机的正常操作	189
三、制冷压缩机的故障及排除	195
第六节 制冷压缩机的保养与维修	201
一、制冷压缩机的保养	201

二、制冷压缩机的维修	202
附录	209
一、计量单位换算	209
二、某些气体的重要物理性质	213
三、某些液体的重要物理性质	214
四、某些固体材料的重要物理性质	215
五、空气的重要物理性质 ($p=101.3\text{kPa}$)	216
六、水的重要物理性质	217
七、水的饱和蒸汽压 ($-20\sim 100^{\circ}\text{C}$)	218
八、饱和水蒸气表 (以温度排列)	219
九、饱和水蒸气表 (以压力排列)	220
十、水的黏度 ($0\sim 100^{\circ}\text{C}$)	222
十一、液体黏度共线图和密度	223
十二、气体的黏度共线图	225
十三、气体的比热容 ($p=101.3\text{kN/m}^3$)	227
十四、液体的比热容	229
十五、液体汽化潜热共线图	231
十六、某些气体的热导率	233
十七、某些液体的热导率	234
十八、某些固体材料的热导率	234
十九、无机盐水溶液在 101.3kPa 下的沸点	236
二十、管子规格	237
二十一、列管式换热器规格 (摘录)	239
二十二、制冷剂的热力性质表	241
参考文献	250

第一章 传热原理与换热器

第一节 概 述

一、传热在化工生产中的应用

热量的传递过程，是自然界中普遍存在的一种物理现象，并且在工程技术领域中得到广泛应用。无论在能源、宇航、化工、动力、冶金、机械、建筑等工业部门，还是在农业、环境保护等部门中都会涉及到很多传热问题。传热与我们日常生活的关系也很密切。化学工业中传热过程的应用更为普遍。因为无论是生产中的化学反应过程，还是物理过程（即化工单元操作），几乎都伴有热量的传递。换热设备是石油、化工生产中应用最普遍的单元操作设备。据统计，在一般石油化工企业中，换热设备的费用占总投资的 30%~40%，在炼油厂中高达 40%~50%；换热设备的重量占设备总重量的 40%。随着世界能源供应日趋紧张，应用传热理论提高热能的综合利用率就显得尤为重要。传热在化工生产过程中的应用主要有以下几方面。

1. 化学反应中的供热、移热 化学反应是化工生产的核心，几乎所有的化学反应都要求有一定的温度条件，例如：合成氨的操作温度为 470~520℃；氨氧化法制备硝酸过程中氨和氧的反应温度为 800℃等。为了达到适宜的反应温度，必须先对原料进行预加热，而对有明显放热的反应，为了保持最佳反应温度，又必须及时移走放出的热量；若是吸热反应，要保持反应温度，则需及时补充热量。

2. 单元操作中的供热、移热 一些单元操作过程（如蒸发、蒸馏、结晶和干燥等）往往需要输入或输出热量，才能保证操作的正常进行。如蒸馏操作中，为使塔釜内的液体不断汽化从而得到操作所必须的上升蒸汽，需要向塔釜内的液体输入热量，同时，为了使塔顶出来的蒸汽冷凝得到塔顶产品和回流液，又需要从塔顶冷凝器中移出热量。

3. 热能的综合利用和余热的回收 如典型的合成氨生产过程，合成塔出口气体的温度很高，为将反应产物与原料气加以分离必须要降温，实际生产中常利用其降温过程放出的热量加热循环气，使这部分热量得到充分回收和

利用。

对这一点特别需要强调的是，化工生产中往往要消耗大量能源来保证温度和压力等条件，对于我国这样一个人均能源资源水平较低而能源利用效率不高的现状，尽可能地降低过程中的能耗，提高能源的利用效率，不仅涉及到经济效益，而且关系到环境保护以至于国民经济可持续发展的重大问题。

4. 减少设备的热量（或冷量）的损失 为减少设备的热量（或冷量）的损失，以降低生产成本，改善劳动保护条件，往往需要对设备和管道进行保温。

化工生产过程中对传热的要求可分为两种情况：一是强化传热，如各种换热设备中的传热，要求传热速率快，传热效果好；另一种是削弱传热，如设备和管道的保温，要求传热速率慢，以减少热量（或冷量）的损失。

化工传热过程既可连续进行也可间歇进行。对于连续进行的过程，换热器中传热壁面各点温度仅随位置变化而不随时间变化，这种传热称为稳定传热，其特点是系统中能量不积累，即输入的能量等于输出的能量，传热速率（即单位时间传递的热量）为定值。对于间歇过程，换热器中各点的温度既随位置变化又随时间变化，这种传热称为不稳定传热。连续生产过程中的传热一般可看作稳定传热；间歇生产过程中的传热和连续生产过程中的开、停车阶段的传热一般属于不稳定传热。本章只讨论稳定传热过程。

二、传热的基本方式

热量传递是由于系统内部或物体内部两部分温度不同而引起的，热量总是自发地由高温传向低温。温度差是传热过程的推动力。

根据传热机理的不同，热量传递有三种基本方式：热传导、对流传热和辐射传热。传热过程可以其中的一种或几种方式同时进行。

1. 热传导 热传导简称导热，是借助物质的分子、原子或自由电子的运动将热能以动能的形式传递给相邻温度较低的分子的过程。热传导不仅发生在固体中，静止流体内的传热也属于导热。

气体、液体、固体的热传导机理各不相同。在静止流体或作层流运动的流体层中，热传导是由分子的振动或热运动来实现的；在非金属固体中，热传导是由晶格的振动来实现的；在金属固体中，热传导主要依靠自由电子的迁移来实现。因此，良好的导体也是良好的导热体。显然，热传导不能在真空中进行。

2. 对流传热 由于流体质点之间产生宏观相对位移而引起的热量传递，称为对流传热。

根据引起流体质点相对位移的原因不同，又可分为强制对流传热和自然对

流传热。若相对运动是由外力作用（如泵、风机、搅拌器等）而引起的，称为强制对流传热；若相对运动是由于流体内部各部分温度不同而产生密度的差异，使流体质点发生相对运动的，则称为自然对流传热（如水壶中烧开水的过程）。流体在发生强制对流传热时，往往伴随着自然对流传热，但一般强制对流传热的强度比自然对流传热的强度大得多。

3. 热辐射 热量以电磁波形式传递的现象，称为辐射。辐射传热就是不同物体间相互辐射和吸收能量的结果。由此可知，辐射传热不仅是能量的传递，同时还伴有能量形式的转换。辐射传热的特点是不需要任何介质作为媒介，可以在真空中进行。这是热辐射不同于其他传热方式的另一特点。只要温度在绝对零度以上的物体，都具有辐射的能力。但只有当物体温度较高时，辐射传热才能成为主要的传热方式。

实际上，传热过程往往不是以某种传热方式单独进行，而是两种或三种传热方式的组合。如生产中广泛使用的间壁式换热器中的传热，主要是以流体与管壁间的对流传热和管壁的热传导相结合的方式进行的，后面将详细介绍。

三、工业上的换热方法

在化工生产过程中，传热通常是在冷、热两种流体间进行的。实现冷、热流体间热量交换的设备统称为热量交换器，简称换热器。

在换热器中，参与换热的流体称为载热体。温度较高放出热量的流体称为热载热体，简称热流体；温度较低吸收热量的流体称为冷载热体，简称冷流体。同时，根据换热的目的不同，载热体又有其他的名称。若换热的目的是为了将冷流体加热，此时热流体称为加热剂，换热器称为加热器。若换热的目的是为了将热流体冷却（或冷凝），此时冷流体则称为冷却剂（或冷凝剂），换热器称为冷却器（或冷凝器）。常用的热载热体有饱和水蒸气、烟道气以及矿物油、高温熔盐等；而常用的冷载热体有水、空气和冷冻盐水等。

根据换热器的工作原理不同，通常可分为如下几种方法。

① 直接混合式换热 在此类换热器中，冷、热流体直接接触，相互混合进行换热。该类型换热器结构简单，设备及操作费用均较低，传热效率高，适用于两流体允许直接混合的场合，是工业上的首选换热方式。常见的这类换热器有凉水塔、喷洒式冷却塔、喷射冷凝器等。

② 间壁式换热 在此类换热器中，需要进行热量交换的冷热流体被固体壁面隔开，互不接触，热量由热流体通过壁面传给冷流体。该类换热器的特点是两流体在换热过程中不混合，适合化工生产中要求两流体进行换热时不能有混合的场合。因此，间壁式换热器应用最广泛，形式多样，各种管式和板式结构的换热器均属此类。

③ 蓄热式换热 在此类换热器中, 充填有耐火砖等固体蓄热材料。热、冷流体交替进入蓄热室, 热流体将热量贮存在蓄热体中, 然后通入冷流体吸取热量, 从而达到换热的目的。此类换热器结构简单, 可耐高温, 其缺点是设备体积庞大, 传热效率低且不能完全避免两流体的混合。常用于高温气体热量的回收或冷却, 如煤制气过程的气化炉等。在冶金行业中比较常用。

此外, 还有中间载热体式换热, 又称热媒式换热。此类换热器是将两个间壁式换热器由在其中循环的载热体(称为热媒)连接起来, 载热体在高温流体换热器中从热流体吸收热量后, 带至低温流体换热器传给冷流体。此类换热器多用于核能工业、冷冻技术及余热利用中。热管式换热器即属此类。

四、化工生产中的传热问题

由于传热是化工生产中应用很广和不可缺少的单元操作过程。因此, 对传热过程的研究具有十分重要的意义。

化工生产的传热过程主要需解决如下几个方面的问题。

① 计算载热体的用量 生产中需要加热和冷却的物料量通常是已知的, 过程中加热或冷却前后的温度差也是由工艺条件规定的, 这就是说, 工艺上要求通过加热剂与冷却剂之间交换的热量是一定的。故可根据工艺的要求来计算加热剂或冷却剂的用量。

② 计算换热器的传热面积 生产过程换热是通过换热器来进行的, 计算换热器的传热面积是传热设备设计计算的核心问题。

③ 选择或设计换热器的结构 换热器的结构形式很多, 根据一定的生产要求选择或设计一个合适的结构形式也是化工生产中经常要碰到的基本问题之一。

④ 研究强化传热的途径 所谓强化传热就是加大传热速率。研究出强化传热的途径对提高换热器的生产能力, 节约能源和环保以及提高经济效益都有着十分重要的意义。

为了解决这些工程上的实际问题, 必须掌握有关传热基本原理、基本定律和公式。

第二节 热量衡算

化工过程的传热问题可分为两类: 一类是设计型问题, 即根据生产任务和操作条件, 选定(或设计)换热器; 另一类是操作型问题, 即选择给定换热器的传热量、流体的流量或温度等操作条件, 核算换热器的生产能力。无论那类计算, 都需要进行热量衡算, 以计算传热量和载热体的流量。

一、传热量的计算

(一) 热量衡算

根据能量守恒定律, 在两种流体之间进行稳定传热时, 单位时间内热流体放出的热量 $Q_{\text{热}}$, 一定等于冷流体吸收的热量 $Q_{\text{冷}}$ 和损失于周围介质中的热量 $Q_{\text{损}}$ 两者之和, 即

$$Q_{\text{热}} = Q_{\text{冷}} + Q_{\text{损}} \quad (1-1)$$

式中 $Q_{\text{热}}$ ——热流体放出的热量, kJ/s 或 kW;

$Q_{\text{冷}}$ ——冷流体吸收的热量, kJ/s 或 kW;

$Q_{\text{损}}$ ——热损失, kJ/s 或 kW。

上式称为传热过程的热量衡算方程式。在生产中, 换热器的传热面单位时间传递的热量也称为换热器的热负荷, 表示生产任务对换热器提出的换热要求。若损失于周围介质的热量来自热流体, 则热负荷为 $Q_{\text{冷}}$; 若热损失在冷流体这一方, 则热负荷为 $Q_{\text{热}}$ 。在保温良好的换热器中, $Q_{\text{损}}$ 约为 $Q_{\text{热}}$ 的 2%~5%。热损失可以忽略不计时, 式 (1-1) 可变为

$$Q_{\text{热}} = Q_{\text{冷}} \quad (1-2)$$

(二) 传热量的计算

$Q_{\text{热}}$ 和 $Q_{\text{冷}}$ 可以根据以下三种方法, 从载热体的流量、比热容、温度变化和焓值计算。

1. 显热法 若流体在换热过程中没有相变化, 且流体的比热容可视为定值或可取为流体进、出口平均温度下的比热容时, 其传热量可按式计算

$$Q_{\text{热}} = W_{\text{热}} c_{\text{热}} (T_1 - T_2) \quad (1-3a)$$

$$Q_{\text{冷}} = W_{\text{冷}} c_{\text{冷}} (t_2 - t_1) \quad (1-3b)$$

式中 $W_{\text{热}}$ 、 $W_{\text{冷}}$ ——热、冷流体的质量流量, kg/s;

$c_{\text{热}}$ 、 $c_{\text{冷}}$ ——热、冷流体的比定压热容, kJ/(kg·K);

T_1 、 T_2 ——热流体的进、出口温度, K;

t_1 、 t_2 ——冷流体的进、出口温度, K。

注意比热容 $c_{\text{热}}$ 、 $c_{\text{冷}}$ 的求取: 一般由冷、热流体进出换热器的平均温度 $T_{\text{均}}[(T_1 + T_2)/2]$ 或 $t_{\text{均}}[(t_1 + t_2)/2]$ 查得。

2. 潜热法 若流体在换热过程中仅仅发生恒温相变, 其传热量可按式计算

$$Q_{\text{热}} = W_{\text{热}} r_{\text{热}} \quad (1-4a)$$

$$Q_{\text{冷}} = W_{\text{冷}} r_{\text{冷}} \quad (1-4b)$$

式中 $r_{\text{热}}$ 、 $r_{\text{冷}}$ ——热、冷流体的汽化潜热, kJ/kg。

3. 焓差法 由于工业换热器中流体的进、出口压力差不大, 故可近似为

恒压过程。根据热力学定律, 恒压过程热等于物系的焓差, 则有

$$Q_{\text{热}} = W_{\text{热}} (H_1 - H_2) \quad (1-5a)$$

$$Q_{\text{冷}} = W_{\text{冷}} (h_2 - h_1) \quad (1-5b)$$

式中 H_1 、 H_2 ——热流体的进、出口焓, kJ/kg ;

h_1 、 h_2 ——冷流体的进、出口焓, kJ/kg 。

焓差法计算传热量较为简便, 但仅适用于流体的焓值可查取的情况, 本教材附录中列出了空气、水及水蒸气的焓值数据, 可供读者参考。对于部分无从查取焓值的流体, 则必须采用上述别的方法来确定换热器的传热量。

4. 两步法 若流体在换热过程中既有相变化又有温度变化, 则可用前两种方法联合起来求取其传热量, 称为“两步法”。例如: 饱和蒸汽冷凝后, 冷凝液出口温度低于冷凝饱和温度时, 其传热量可按下式计算

$$Q_{\text{热}} = W_{\text{热}} [r_{\text{热}} + c_{\text{热}} (T_{\text{饱}} - T_2)] \quad (1-6)$$

式中 $T_{\text{饱}}$ ——冷凝液的饱和温度, K 。

二、载热体用量

载热体用量即式 (1-3a) 中的 $W_{\text{热}}$ 和 $W_{\text{冷}}$, 其计算可根据某一载热体的流量及其状态变化, 计算出传热量后, 再利用热量衡算方程式计算另一载热体的流量。根据题目给出的条件, 选用潜热法、显热法或焓变法进行计算。

【例 1-1】 将 0.417kg/s 、 80°C 的硝基苯, 通过一换热器冷却到 40°C , 冷却水初温为 30°C , 出口温度不超过 35°C 。如热损失可以忽略, 试求该换热器的热负荷及冷却水用量。

解 (1) 从附录查得硝基苯和水的比热容分别为 $1.6\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 和 $4.19\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

由式 (1-3) 有

$$Q_{\text{热}} = W_{\text{热}} c_{\text{热}} (T_1 - T_2) = 0.417 \times 1.6 \times 10^3 \times (80 - 40) = 26.7\text{kW}$$

(2) 热损失 $Q_{\text{损}}$ 可以忽略时, 冷却水用量可以 $Q = Q_{\text{热}} = Q_{\text{冷}}$ 计算:

$$Q = W_{\text{热}} c_{\text{热}} (T_1 - T_2) = W_{\text{冷}} c_{\text{冷}} (t_2 - t_1)$$

$$26.7 \times 10^3 = W_{\text{冷}} \times 4.187 \times 10^3 (35 - 30)$$

$$W_{\text{冷}} = 1.275\text{kg/s} = 4590\text{kg/h} \approx 4.59\text{m}^3/\text{h}$$

【例 1-2】 在一套管换热器内用 0.16MPa 的饱和蒸汽加热空气, 饱和蒸汽的消耗量为 10kg/h , 冷凝后进一步冷却到 100°C , 空气流量为 420kg/h , 进、出口温度分别为 30°C 和 80°C 。空气走管程, 蒸汽走壳程。试求: (1) 热损失 $Q_{\text{损}}$; (2) 换热器的热负荷。

解 (1) 在本题中, 要求热损失, 必须先求出两流体的传热量:

① 蒸汽的放热量

对于蒸汽及冷凝水的放热量可用焓差法计算。

从附录查得 $p = 0.16 \text{ MPa}$ 的饱和蒸汽的有关参数: $T_s = 113^\circ\text{C}$, $H_1 = 2698.1 \text{ kJ/kg}$

100°C 时水的焓 $H_2 = 418.68 \text{ kJ/kg}$ 。

由式 (1-6) 有

$$Q_{\text{热}} = W_{\text{热}} (H_1 - H_2) = (10/3600) \times (2698.1 - 418.68) = 6.33 \text{ kW}$$

② 空气的吸热量

空气的进出口平均温度为 $t_{\text{均}} = (30 + 80)/2 = 55^\circ\text{C}$

从附录中查得 55°C 下空气的比热容 $c_{\text{冷}} = 1.005 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

由式 (1-3b) 有

$$Q = W_{\text{冷}} c_{\text{冷}} (t_2 - t_1) = (420/3600) \times 1.005 \times (80 - 30) = 5.86 \text{ kW}$$

故热损失为 $Q_{\text{损}} = Q_{\text{热}} - Q_{\text{冷}} = 6.33 - 5.86 = 0.47 \text{ kW}$

(2) 因为空气走管程, 所以换热器的热负荷应为空气的吸热量, 即

$$Q = Q_{\text{冷}} = 5.86 \text{ kW}$$

三、加热和冷却方法

加热和冷却是两种相反而又相辅的操作过程。如果生产中有一冷流体需要加热, 又有一热流体需要冷却, 只要两者温度变化的要求能够达到, 就应当尽可能让这两种流体进行换热, 而不必分别进行加热和冷却。这样操作既充分利用了热能, 又省去了加热和冷却用载热体及相应设备。但是当达不到两者的温度变化要求时, 就必须采用专门的加热和冷却方法。

(一) 载热体的选用原则

- ① 载热体应能满足所要求达到的温度。
- ② 载热体的温度调节应方便。
- ③ 载热体的比热容或潜热应较大。
- ④ 载热体应具有化学稳定性, 使用过程中不会分解或变质。
- ⑤ 为了操作安全起见, 载热体应无毒或毒性较小, 不易燃易爆, 对设备腐蚀性小。

⑥ 价格低廉, 来源广泛。

此外, 对于换热过程中有相变的载热体或专用载热体, 则还有比体积、黏度、热导率等物性参数的要求。

(二) 常用加热剂和加热方法

1. 饱和水蒸气加热 工业上普遍采用饱和水蒸气作为加热剂。它的主要优点是: ①可以通过调节蒸汽压力, 准确地调节温度; ②蒸汽冷凝时的膜系数很大, 换热器的传热面积可以小一些; ③蒸汽的汽化潜热很大, 且加热均匀,

在传热量一定时,所需蒸汽用量较小。

饱和水蒸气加热的主要缺点是加热温度不高,通常不超过 180°C ,相应的压力约为 1003kPa 。由饱和蒸汽温度与压力的关系可知,随着水蒸气温度的升高,饱和蒸汽的压力急剧升高,要求设备能耐高压。所以,常在加热温度低于 180°C 时采用饱和水蒸气作为加热剂。

水蒸气加热的方法可分为直接加热和间接加热两种。

直接水蒸气加热是将水蒸气直接通入冷流体中,两流体直接接触传热,传热效果好,但只适用两流体可以混合的场合。

间接加热则是由一固体壁将水蒸气和冷流体隔开,两流体通过固体壁进行传热。适合两流体不能直接混合的场合,应用最广。

用饱和水蒸气加热时,应及时排除冷凝水及饱和水蒸气中所含不凝性气体,以免降低加热效果。

2. 矿物油加热 如机油、气缸油等。它的来源容易、加热均匀、不需加压。常压下加热温度可达到 225°C (超过 250°C 易分解)。缺点是油的黏度大,且随使用时间增加而增大,膜系数逐渐减小。加热效果不如水蒸气,易着火,只能利用显热。

3. 有机载热体加热 有机载热体即联苯混合物,它是 26.5% 联苯和 73.5% 二苯醚的混合物,俗称导生。沸点高 (258°C),在 200°C 和 350°C 时的蒸气压分别是 25.3kPa 和 537kPa ,约为同温下水蒸气的 $1/60$ 和 $1/30$ 。

导生具有化学稳定性,在 380°C 以下可长期使用不变质 (370°C 可使用 $750\sim 1100$ 天)。其加热温度范围很广,用常压液体加热可达 255°C ;用饱和蒸汽加热可达 380°C 。导生的黏度比矿物油小,故传热效果较好。

导生具有可燃性,但无爆炸危险,其毒性很轻微。主要缺点是它极易渗透软性石棉填料,使用时所有管道连接处需用金属垫片的可采用焊接。

4. 熔盐加热 常用的熔盐为 $7\%\text{NaNO}_3$ 、 $40\%\text{NaNO}_2$ 和 $53\%\text{KNO}_3$ 组成的低熔点混合物。其熔点为 142°C ,当要求加热温度超过 380°C 时,可考虑选用这种载热体。它的最高加热温度达 530°C 。但比热容小,仅为 $1.3\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

5. 烟道气加热 加热温度超过 500°C 时,大多采用烟道气,温度可高达 1000°C 或更高。使用烟道气加热应防止局部过热,当用气体或液体燃料时,可采用自控系统调节和控制温度。

6. 电加热 用电加热可达较高温度,而且清洁、方便、易于控制。化工生产中常用电阻加热和电感加热。

① 电阻加热 将电阻丝绕在被加热的设备上,通电后能转变为热能,即达到加热目的。其最高加热温度可达 1100°C ,但在防火防爆的环境中使用很