



高职高专“十一五”规划教材

传热应用技术

CHUANRE YINGYONG JISHU

—— 薛叙明 主编 李平辉 主审 ——



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

传热应用技术

薛叙明 主编

李平辉 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本套教材是以化工过程单元操作为主线,辅以设备、电器、仪表等相关知识与操作的模块化课程教材,包括《流体输送与非均相分离技术》、《传热应用技术》和《传质分离技术》。整套教材以“过程的认识”、“装备的感知”、“操作知识的准备”、“过程操作控制与设备维护”、“安全生产”及“技术应用与知识拓展”等全新的思路组织编写,倡导“能力本位”,更加突出“实用、实际和实践”的高职特色,力求体现对学生职业素质及学习能力的培养。本书为《传热应用技术》分册,其内容包括:换热操作技术、蒸发操作技术和干燥操作技术。

本教材可作为生物与化工技术、制药技术、环保及其相关专业的高职教材,也可作为与化工及制药技术类相关专业职业学校的参考教材和职工培训教材,还可供化工及其相关专业工程应用型本科学生和其他相关工程技术人员参考阅读。

薛叙明 主编
李 林 主审

图书在版编目(CIP)数据

传热应用技术/薛叙明主编. —北京:化学工业出版社,
2008.7

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-02859-4

I. 传… II. 薛… III. 传热学-应用-高等学校:技术
学院-教材 IV. TK124

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第090520号

责任编辑:旷英姿 窦 臻

文字编辑:管景岩

责任校对:李 林

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 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张11 $\frac{3}{4}$ 字数297千字 2008年8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:20.00元

版权所有 违者必究

前 言

本套教材是化工技术类专业模块化课程教学改革产物，并在参照国内相关院校教材和工程手册的基础上编写而成的。全套书分“流体输送与非均相分离技术”、“传热应用技术”和“传质分离技术”三大模块，并以系列教材（共计3本）的形式出版。

整套教材以化工过程单元操作为主线，整合了化工设备、参数测量与控制仪表的相关知识与操作技术，以任务为导向，采用了“过程的认识”、“装备的感知”、“操作知识的准备”、“过程操作控制与设备维护”、“安全生产”及“技术应用与知识拓展”等全新的思路组织编写。教材依据高职高专人才培养目标，倡导能力本位，其教学内容的安排更注重与生产实际的结合，并将各类单元操作设备的工艺计算与安全操作等内容重点编入，更加突出了“实用、实际和实践”的高职特色。

全套教材力求强调学生能力、知识、素质培养的有机统一。以“能”做什么、“会”做什么明确了学生的能力目标；以“掌握”、“理解”、“了解”三个层次明确了学生的知识目标；并从注重学生的学习方法与创新思维的养成，情感价值观、职业操守的培养，安全节能环保意识的树立和团队合作精神的渗透等方面明确了学生的素质培养目标。

为便于教学和学生对所学内容的掌握、理解，在每个模块前设立了学习目标，每个模块后列出较多数量的习题与思考题。

整套教材中，除特别指明以外，计量单位统一使用我国的法定计量单位。物理量符号的使用是以在GB 3100~3102—93规定的基础上，尊重习惯表示方法为原则，并在每个模块开始前列有“本模块主要符号说明”以供查询。设备与材料的规格、型号尽可能采用最新标准，以利于实际应用。

本套教材可作为生物与化工技术、制药技术、环保及其相关专业的高职教材，也可作为与化工及制药技术类相关专业职业学校的参考教材和职工培训教材，还可供化工及其相关专业工程应用型本科学生和其他相关工程技术人员参考阅读。

本册内容包括以传热规律为主体的三大单元操作模块，即换热技术、蒸发技术与干燥技术。本教材由常州工程职业技术学院薛叙明老师主编，并负责模块一及附录的编写和全书的统稿工作，模块二由健雄职业技术学院刘尚莲老师编写，模块三由常州工程职业技术学院刘长春老师编写。湖南化工职业技术学院李平辉副教授担任本书的主审。常州工程职业技术学院化工原理教研室的蒋晓帆、贺新、姜春扬等老师参与了审稿。

本书在编写过程中，得到了编写学校领导和老师的大力支持与帮助，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2008年4月

目 录

模块一 传热技术

学习目标	1
主要符号说明	1
任务一 认识传热	2
一、传热在化工生产中的应用	2
二、传热的基本方式	3
三、冷、热流体的工业换热方式	4
四、典型传热技术实训装置工艺流程	5
任务二 常用换热装备的感知	8
一、换热设备的分类	8
二、常见的换热设备	8
三、管壳式换热器的标准	22
任务三 传热操作知识的准备	25
一、间壁两侧流体换热过程分析	25
二、传热基本方程式	26
三、传热基本理论	27
四、工业加热载体和冷却剂	43
五、传热基本计算	45
任务四 换热器的操作与维护	57
一、列管式换热器的使用和维护	57
二、板式换热器的使用和维护	59
三、热管换热器的使用和维护	61
四、换热器的除垢清理	61
任务五 换热器的工艺参数检测与安全控制	63
一、温度测量与变送	63
二、温度显示仪表	67
三、测温仪表的选择与安装	71
四、换热器的安全控制	72
任务六 传热技术应用及知识拓展	75
一、强化传热的途径	75
二、热损失与节能	78
三、列管式换热器的选型计算	84
习题与思考题	95

模块二 蒸发操作技术

学习目标	99
主要符号说明	99
任务一 认识蒸发操作	100
一、蒸发操作基本概念及其在工业中的应用	100
二、蒸发操作的特点	100
三、蒸发操作的分类	101
四、单效蒸发的流程	102
任务二 常见蒸发设备的感知	102
一、蒸发器的形式与结构	102
二、蒸发器的辅助装置	106
任务三 蒸发操作知识的准备	108
一、单效蒸发的工艺计算	108
二、蒸发器的生产能力与生产强度	114
任务四 蒸发器的操作与维护	115
一、蒸发系统日常运行操作与维护	115
二、蒸发系统常见操作事故与处理	117
任务五 蒸发技术应用与知识拓展	119
一、多效蒸发简介	119
二、多效蒸发的经济性及效数的限制	120
三、提高加热蒸汽经济性的其他措施	120
四、蒸发系统的自动控制	123
习题与思考题	126

模块三 干燥技术

学习目标	127
主要符号说明	127
任务一 认识干燥操作	128
一、干燥概述	128
二、对流干燥过程分析	130
三、干燥设备	130
任务二 干燥操作的知识准备	137
一、湿空气的性质与湿度图	137
二、干燥过程的物料衡算	144
三、干燥过程的热量衡算	148
四、干燥速率及干燥速率曲线	150
任务三 干燥操作	152
一、厢式干燥器的操作、维护与常见故障处理	152

二、沸腾床干燥器的操作、维护与常见故障处理	153
三、喷雾干燥器的操作、维护与常见故障处理	154
任务四 干燥操作的自控技术	157
一、控制的目的	157
二、干燥过程中的变量	157
三、干燥器控制实例	158
任务五 干燥操作的安全节能技术	160
一、干燥操作的安全技术与管理	160
二、干燥操作的节能途径	163
习题与思考题	164

附录

一、某些气体的重要物理性质	167
二、某些液体的重要物理性质	167
三、某些固体材料的重要物理性质	169
四、干空气的物理性质 (101.3kPa)	170
五、水的物理性质	171
六、饱和水蒸气表 (以温度顺序排列)	172
七、饱和水蒸气表 (以压力顺序排列)	173
八、某些气体或蒸气的热导率	174
九、某些液体的热导率	175
十、某些固体材料的热导率	176
十一、101.3kPa 压力下气体的比热容	177
十二、液体的比热容	178
十三、某些物质的汽化热 (蒸发热)	180
十四、无机盐水溶液在 101.3kPa 下的沸点	181
十五、管壳式热交换器系列标准 (摘录)	182

参考文献

1. 干燥技术问答	一、卷
2. 干燥技术问答	二、卷
3. 干燥技术问答	三、卷
4. 干燥技术问答	四、卷
5. 干燥技术问答	五、卷
6. 干燥技术问答	六、卷
7. 干燥技术问答	七、卷
8. 干燥技术问答	八、卷
9. 干燥技术问答	九、卷
10. 干燥技术问答	十、卷

模块一 传热技术

学习目标

知识目标

1. 掌握传热操作的基本知识、基本理论与工艺计算；掌握传热过程的操作要领、常见事故及其处理方法；掌握热电阻、热电偶等常用温度测量仪表的使用方法。
2. 理解间壁传热的热阻构成、强化传热的方法与途径、设备与管道的热损失及其保温措施；理解列管式换热器的选型方法。
3. 了解工业换热器的类型、结构、特点、操作原理及其适用范围，新型换热器的发展；了解工业上常用测温仪表的分类、结构、工作原理、适用范围及安装维护；了解换热器的自动控制方案及其选用方法。

能力目标

1. 能根据生产任务对列管换热器、套管换热器、板式换热器等常用换热器实施基本操作，能正确使用各类常见的温度测量仪表和对换热器实施自动控制，并能根据生产工艺与设备特点制定传热过程的安全操作规程。
2. 能运用传热基本理论与工程技术观点分析和解决传热操作中诸如传热效率下降、振动、工艺介质控制参数不达标等常见故障。
3. 能根据工艺过程需要正确查阅和使用一些常用的工程计算图表、手册、资料等，并进行必要的换热计算，如传热量的计算、载热体用量计算、平均传热温差计算、换热面积计算、对流传热系数与总传热系数的计算及列管换热器的选型计算。

素质目标

1. 帮助学生逐步建立工程技术观念，培养学生追求知识、严谨治学、勇于创新的科学态度和理论联系实际的思维方式。
2. 培养学生逐步形成安全生产、节能环保的职业意识和敬业爱岗、严格遵守操作规程的职业操守。
3. 培养学生团结协作、积极进取的团队合作精神。

主要符号说明

英文字母

- b' ——管束中心线上最外层管子中心至壳体内壁的距离，m；
 c_p ——恒压比热容，J/(kg·K)；
 d ——管径，m；

- D ——换热器壳体内径，m；
 f ——校正系数；
 F ——管子排列方式对压降的校正系数；
 F_s ——壳程结垢校正系数；
 F_t ——管程结垢校正系数；

g ——重力加速度, m/s^2 ;
 Gr ——格拉斯霍夫数;
 h ——挡板间距, m ;
 h ——冷流体的焓, kJ/kg ;
 H ——热流体的焓, kJ/kg ;
 K ——总传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 l ——特征尺寸, m ;
 L ——管子的长度, m ;
 M ——摩尔质量, kg/kmol ;
 n ——管子根数;
 n_c ——横过管束中心线的管数;
 N_B ——折流挡板数;
 N_p ——管程数;
 N_s ——串联的壳程数;
 Nu ——努赛尔特数;
 p ——压力, Pa ;
 P ——因数;
 Pr ——普朗特数;
 q ——热通量, W/m^2 ;
 q_v ——流体的体积流量, m^3/s ;
 Q ——传热速率, J/s 或 W ;
 Q_L ——热损失, J/s 或 W ;
 r ——半径, m ;
 r ——汽化潜热, kJ/kg ;
 R ——因数;
 R ——热阻, K/W ;
 R' ——单位传热面积热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;
 Re ——雷诺数;

S ——传热面积, m^2 ;
 t ——相邻两管间的中心距, m ;
 t ——冷流体温度, $^{\circ}\text{C}$ 或 K ;
 Δt ——温度差;
 T ——热流体温度, $^{\circ}\text{C}$ 或 K ;
 u ——流体流速, m/s ;
 W ——流体的质量流量, kg/s ;
 y_i ——气体混合物中 i 组分的摩尔分数。

希文字母

α ——对流传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 β ——流体的体积膨胀系数, K^{-1} ;
 δ ——厚度, m ;
 Δ ——有限差值;
 θ ——时间, s ;
 λ ——热导率, $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K})$ 或 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
 λ ——摩擦系数;
 μ ——流体的黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;
 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;
 ϕ ——校正系数。

下标

c ——冷流体的;
 e ——当量的;
 h ——热流体的;
 i ——管内的;
 m ——平均的;
 o ——管外的;
 w ——壁面的。

任务一 认识传热

传热, 即热交换或热传递, 是自然界与工业过程中一种最普遍的传递过程。热力学第二定律指出, 只要有温差存在, 热量总能自发地从高温物体传向低温物体。由于温差是普遍存在的一种自然现象, 因此, 传热现象也是一种普遍存在的自然现象。无论是在能源、石油、化工、食品、船舶、矿山、机械、冶金、轻工、动力、建筑、航空等工业领域, 还是在农业、环境保护等其他部门, 都涉及很多传热问题。

一、传热在化工生产中的应用

化学工业与传热的关系尤为密切。无论是化工生产中的化学反应过程, 还是原料的预处理与产品提纯过程 (即化工单元操作), 几乎都伴有热量的传递。如为提高反应速率, 必须维持一定的温度, 故必须向系统输入或输出热量; 又如为提纯某产品采用蒸馏, 必须既输入热量又输出热量; 在干燥、蒸发等单元操作中, 同样要向系统输入或输出热量; 此外, 反应

设备、蒸气管道的保温、余热回收利用等过程均涉及传热问题。由此可见，传热过程普遍存在于化工生产中，且具有极其重要的作用。

化工生产过程中对传热的要求可分为两种情况：一种是强化传热，在传热设备中加热或冷却物料，希望以高传热速率来进行热量传递，使物料达到指定温度或回收热量，同时使传热设备紧凑，节省设备费用；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。本模块仅讨论稳定传热过程。

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。

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。导热的特点是：在传热过程中，物体内的分子或质点并不发生宏观相对位移。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。

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。对流传热仅发生在流体中。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. 辐射传热

热量以电磁波形式传递的现象称为辐射。辐射传热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。只要温度在热力学零度以上的物体，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的，而是两种或三种传热方式的组合。如化工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；再如，热量在设备保温层中的传递，以导热为主，而由保温层外表面向周围空气的散热，则是对流与辐射联合传热的结果。

三、冷、热流体的工业换热方式

在化工生产过程中，传热通常在冷、热两种流体间进行，其具体形式不外乎加热、冷却、汽化与冷凝。在加热与冷却过程中，物料的温度发生变化而相态不变；对于汽化与冷凝，物料的温度不变而相态发生变化。凡是参与热交换的介质统称为载热体，温度较高放出热量的载热体称为热载热体或称加热剂，而温度较低吸收热量的载热体称冷载热体或称冷却剂。

传热过程必须通过一定的设备来实现，此类设备称为热交换器或称换热器。就设备内冷、热流体的换热方式而言，可分为间壁式、直接接触式和蓄热式三种类型。

1. 直接接触式换热

在此类换热器中，参与换热的冷、热流体直接接触，相互混合而换热，故又称为混合式传热。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。如热气体的水冷或热水的空气冷却，工业上首选此类换热方式。常见的这类换热器有凉水塔、喷洒式冷却塔、喷射冷凝器等。如图 1-1 所示，为各种直接接触式换热器。

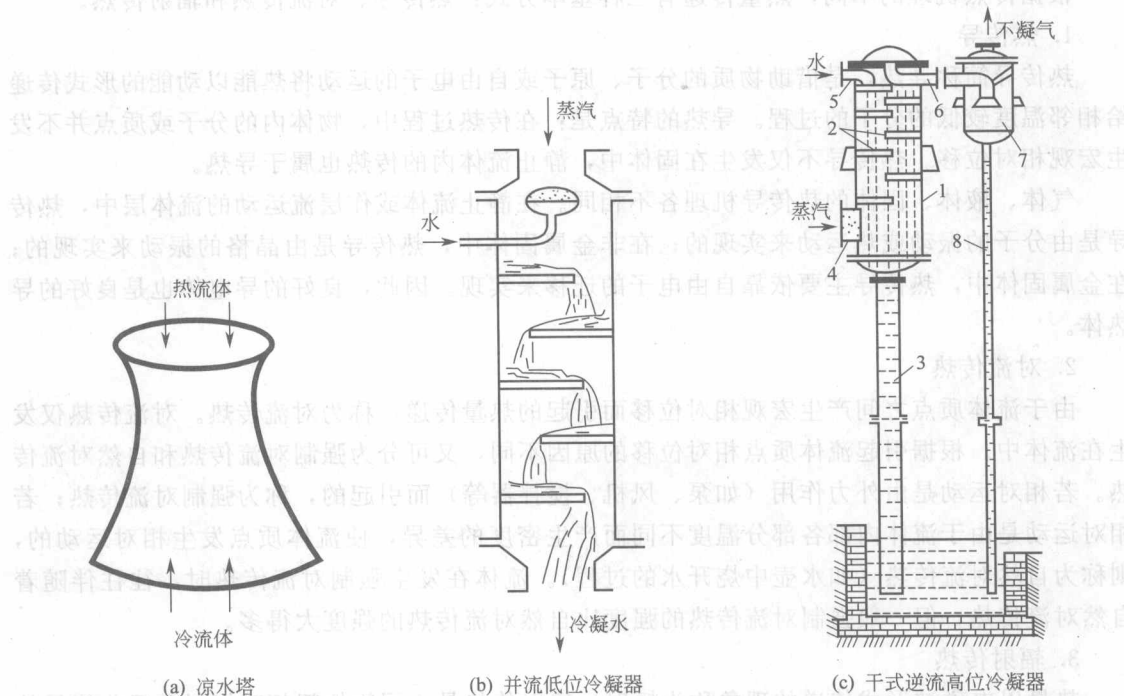


图 1-1 直接接触式换热器

1—外壳；2—淋水板；3,8—气压管；4—蒸汽进口；5—进水口；6—不凝气出口；7—分离罐

2. 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，热流体将热量储存在蓄热体中，然后通入冷流体吸取热量，从而达到换热的目的。通常在生产中采用两个并联的蓄热器交替使用，如图 1-2 所示。此类换热器结构简单，可耐高温，其缺点是

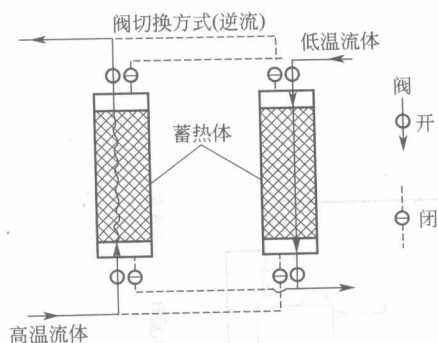


图 1-2 蓄热式换热器

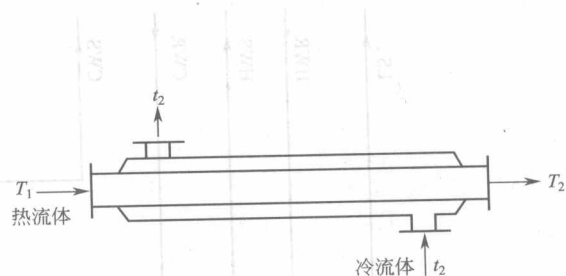


图 1-3 间壁式换热器

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。

3. 间壁式换热

在多数情况下，化工工艺上不允许冷、热流体直接接触，故直接接触式传热和蓄热式传热在工业上应用并不很多，工业上应用最多的是间壁式传热过程。这类换热器的特点是在冷、热两种流体之间用一金属壁（或石墨等导热性能好的非金属壁）隔开，以便使两种流体在不相混合的情况下进行热量传递，热量由热流体通过壁面传给冷流体。它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。如图 1-3 所示的套管式换热器及后面重点介绍的列管式换热器都是典型的间壁式换热器。

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。

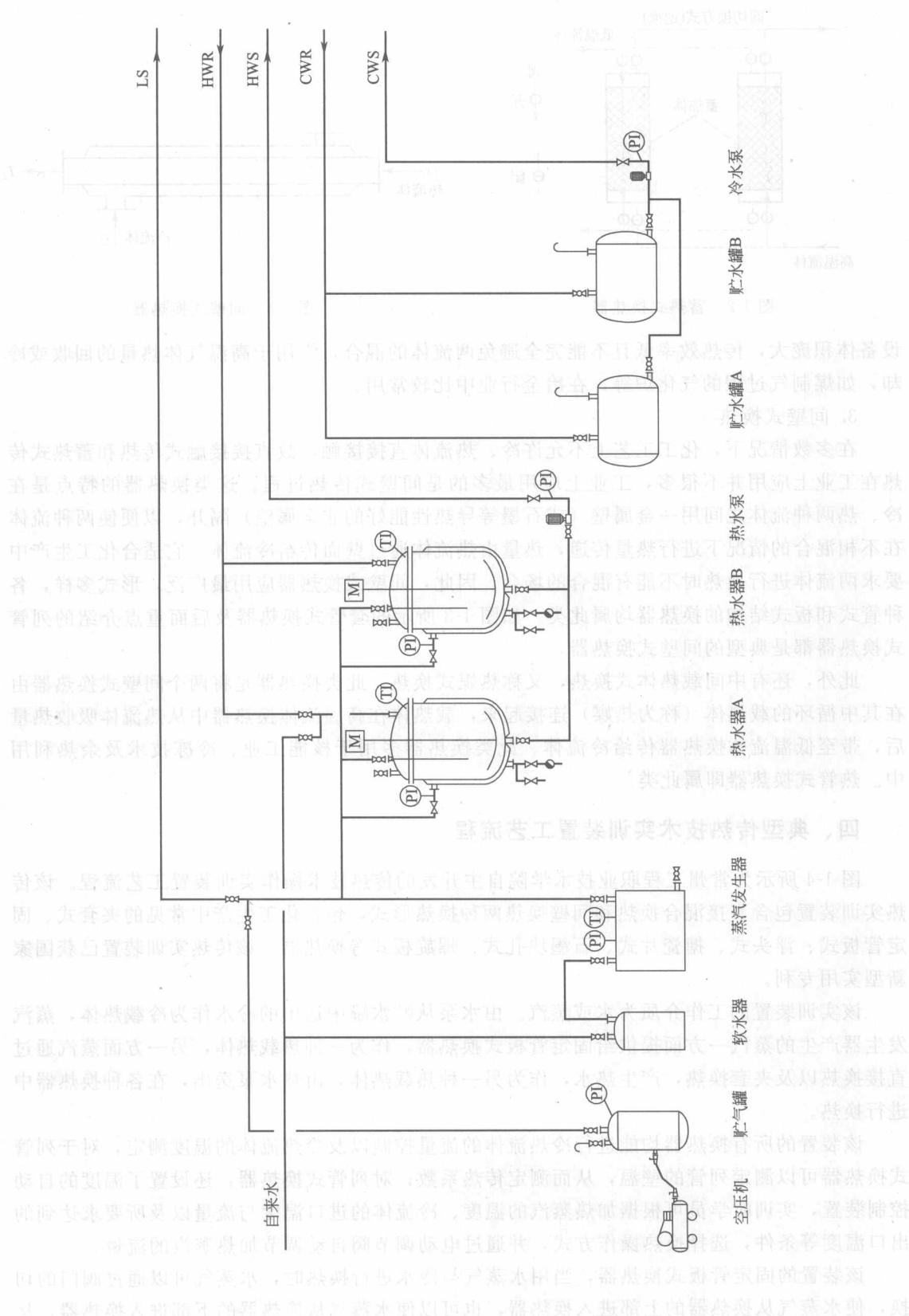
四、典型传热技术实训装置工艺流程

图 1-4 所示为常州工程职业技术学院自主开发的传热技术操作实训装置工艺流程。该传热实训装置包含直接混合换热和间壁换热两种换热形式，包含化工生产中常见的夹套式、固定管板式、浮头式、搪瓷片式、石墨块孔式、螺旋板式等换热器。该传热实训装置已获国家新型实用专利。

该实训装置的工作介质为水或蒸汽。由水泵从贮水罐中送出的冷水作为冷载热体，蒸汽发生器产生的蒸汽一方面提供给固定管板式换热器，作为一种热载热体，另一方面蒸汽通过直接换热以及夹套换热，产生热水，作为另一种热载热体，由热水泵送出，在各种换热器中进行换热。

该装置的所有换热器均能进行冷热流体的流量控制以及冷热流体的温度测定，对于列管式换热器可以测定列管的壁温，从而测定传热系数；对列管式换热器，还设置了温度的自动控制装置，实训时学员可根据加热蒸汽的温度、冷流体的进口温度与流量以及所要求达到的出口温度等条件，选择换热操作方式，并通过电动调节阀自动调节加热蒸汽的流量。

该装置的固定管板式换热器，当用水蒸气与冷水进行换热时，水蒸气可以通过阀门的切换，使水蒸气从换热器的上部进入换热器，也可以使水蒸气从换热器的下部进入换热器，从



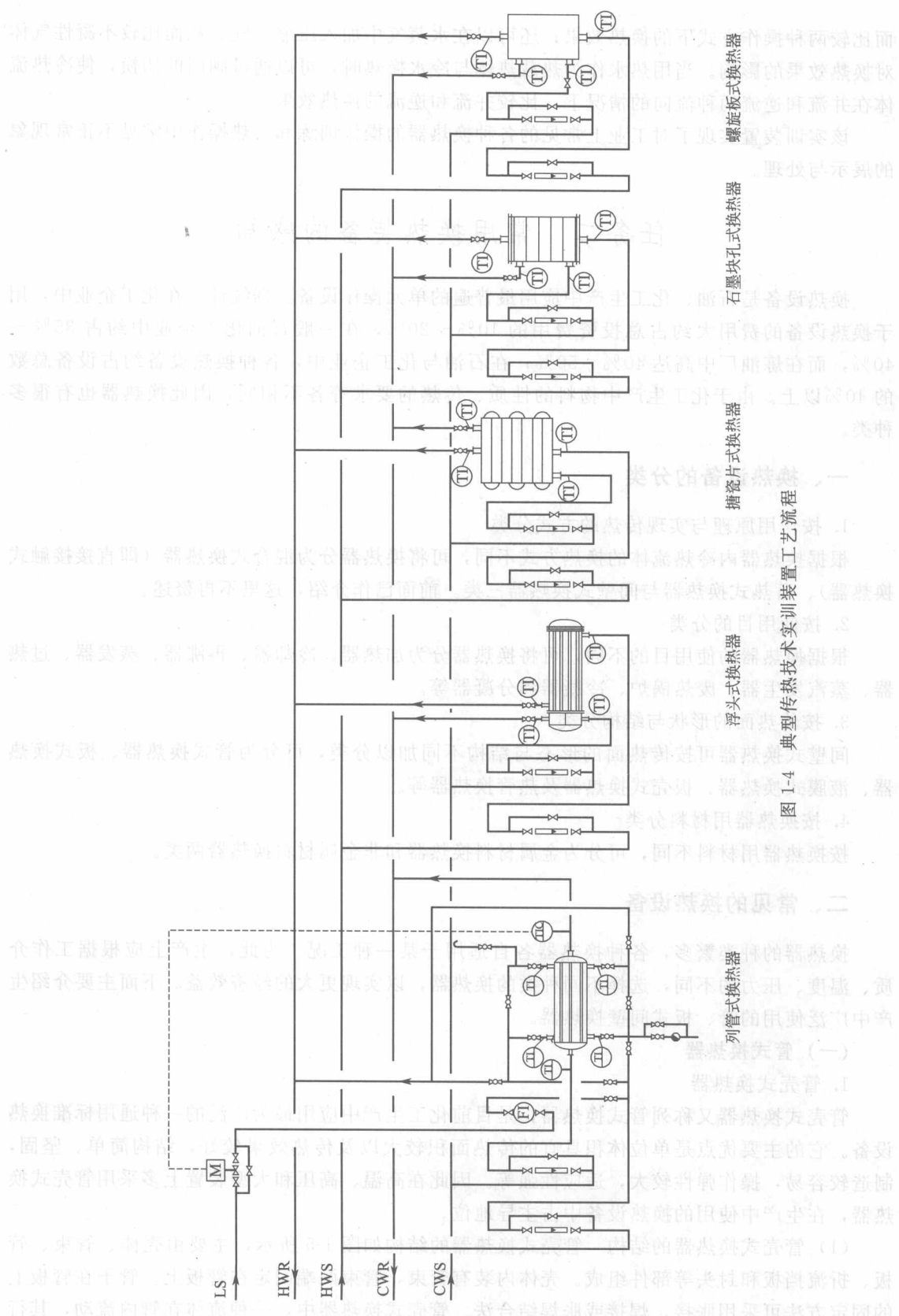


图 1-4 典型传热技术实训装置工艺流程

而比较两种操作方式下的换热效果；还可以在水蒸气中加入压缩空气，从而比较不凝性气体对换热效果的影响。当用热水作为热载热体与冷水换热时，可以通过阀门的切换，使冷热流体在并流和逆流两种流向的情况下，比较并流和逆流的换热效果。

该实训装置实现了对工业上常见的各种换热器的操作训练和换热操作中常见不正常现象的展示与处理。

任务二 常用换热装备的感知

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，在化工企业中，用于换热设备的费用大约占总投资费用的 10%~20%，在一般石油化工企业中约占 35%~40%，而在炼油厂中高达 40%~50%；在石油与化工企业中，各种换热设备约占设备总数的 40% 以上。由于化工生产中物料的性质、传热的要求等各不相同，因此换热器也有很多种类。

一、换热设备的分类

1. 按作用原理与实现传热的方式分类

根据换热器内冷热流体的换热方式不同，可将换热器分为混合式换热器（即直接接触式换热器）、蓄热式换热器与间壁式换热器三类。前面已作介绍，这里不再赘述。

2. 按使用目的分类

根据换热器的使用目的不同，可将换热器分为加热器、冷却器、再沸器、蒸发器、过热器、蒸汽发生器、废热锅炉、冷凝器和分凝器等。

3. 按传热面的形状与结构分类

间壁式换热器可按传热面的形态与结构不同加以分类，可分为管式换热器、板式换热器、液膜式换热器、板壳式换热器及热管换热器等。

4. 按换热器用材料分类

按换热器用材料不同，可分为金属材料换热器和非金属材料换热器两类。

二、常见的换热设备

换热器的种类繁多，各种换热器各自适用于某一种工况。为此，生产上应根据工作介质、温度、压力的不同，选择不同种类的换热器，以实现更大的经济效益。下面主要介绍生产中广泛使用的管、板式间壁换热器。

（一）管式换热器

1. 管壳式换热器

管壳式换热器又称列管式换热器，是目前化工生产中应用最为广泛的一种通用标准换热设备。它的主要优点是单位体积具有的传热面积较大以及传热效果较好，结构简单、坚固，制造较容易，操作弹性较大，适应性强等。因此在高温、高压和大型装置上多采用管壳式换热器，在生产中使用的换热设备中占主导地位。

（1）管壳式换热器的结构 管壳式换热器的结构如图 1-5 所示，主要由壳体、管束、管板、折流挡板和封头等部件组成。壳体内装有管束，管束两端固定在管板上。管子在管板上的固定方法可采用胀接、焊接或胀焊结合法。管壳式换热器中，一种流体在管内流动，其行

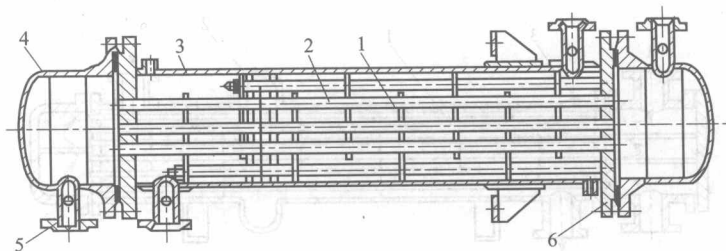


图 1-5 管壳式换热器
1—折流挡板；2—管束；3—壳体；4—封头；5—接管；6—管板

程称为管程；另一种流体在管外流动，其行程称为壳程。管束的壁面即为传热面。

在管壳式换热器中，通常在其壳体内均安装一定数量与管束相互垂直的折流挡板，以防止流体短路，迫使流体按规定路径多次错流通过管束，增加流体流速，增大流体的湍动程度。折流挡板的形式较多，如图 1-6 所示，其中以圆缺形（弓形）挡板最为常用。

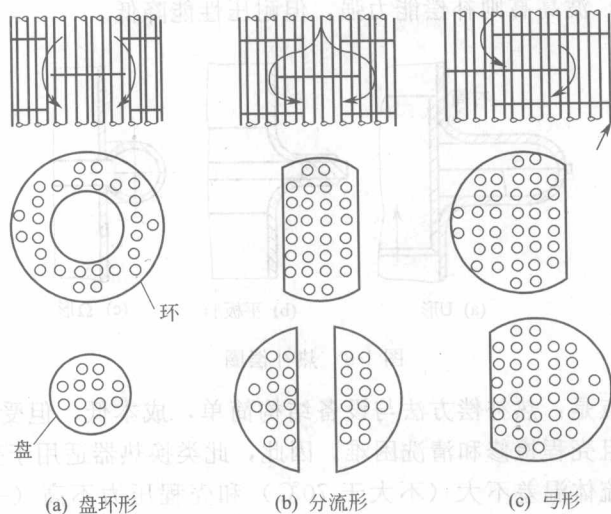


图 1-6 折流挡板的形式

(2) 管壳式换热器的热补偿装置 管壳式换热器操作时，由于冷热流体温度不同，使壳体和管束受热程度不同，其膨胀程度也不同，若冷热流体温差较大（ 50°C 以上），就可能由于热应力而引起设备变形，或使管子弯曲，从管板上松脱，甚至造成管子破裂或设备毁坏。因此必须从结构上考虑这种热膨胀的影响，采取各种补偿的办法，消除或减小热应力。常见的温差补偿措施有：补偿圈补偿、浮头补偿和 U 形管补偿等。由此，列管式换热器也可分为以下三种形式。

① 固定管板式换热器——补偿圈补偿 此类换热器的结构特点是两端管板和壳体连接成一体，管束两端固定在两管板上。当换热器的壳体与传热管壁之间的温差大于 50°C 时，则需加补偿圈（也称膨胀节）。图 1-7 为具有补偿圈的固定板式换热器，即在外壳的适当部位焊上一个补偿圈，当外壳和管束热膨胀不同时，补偿圈发生弹性变形（拉伸或压缩），以适应外壳和管束不同的热膨胀程度。

补偿圈的形式较多，一般有 U 形补偿圈（亦称波形补偿圈）、 Ω 形补偿圈、平板补偿

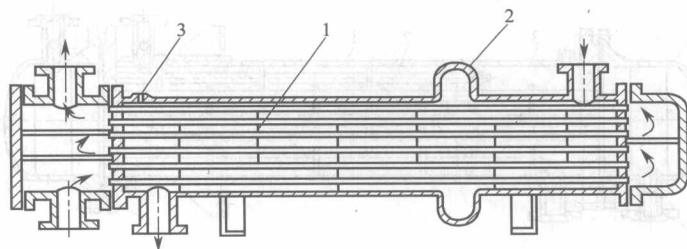


图 1-7 具有补偿圈的固定管板式换热器

1—挡板；2—补偿圈；3—放气嘴

圈，见图 1-8，其中波形补偿圈使用得最为普遍。为了减少壳程中的流体阻力，避免流体走旁路，减少膨胀节的磨损，在膨胀节内侧常加一衬筒，在衬筒迎着来流的一端与壳体焊接，另一端自由伸缩。一般平板式膨胀节挠性差，只适用于直径小、应力不大的场合。波形膨胀节的每一个波形的补偿能力与使用压力、材料及波高与波长等因素有关，波高低则补偿能力较差，但耐压性能好，波高高则补偿能力强，但耐压性能降低。

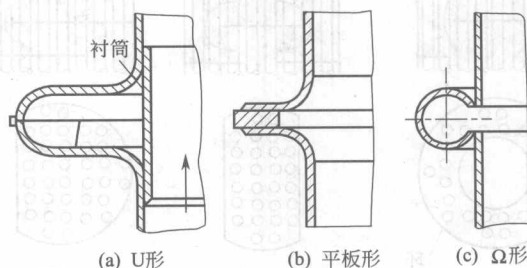


图 1-8 热补偿圈

此类换热器的特点是：热补偿方法与设备结构简单，成本低，但受膨胀节强度的限制，壳程压力不能太高，且壳程检修和清洗困难。因此，此类换热器适用于壳程流体清洁且不结垢和不具腐蚀性，两流体温差不大（不大于 70°C ）和壳程压力不高（一般不高于 600kPa ）的场合。

② 浮头式换热器——浮头补偿 浮头式换热器的结构如图 1-9 所示。其两端管板之一不与壳体固定连接，可以在壳体内沿轴向自由伸缩，该端称为浮头。此类换热器的优点是，当壳体与管束因温度不同而引起热膨胀时，管束连同浮头可在壳体内沿轴向自由伸缩，不会产生温差应力；且管束可以从壳内抽出，便于管内和管间的清洗。其缺点是结

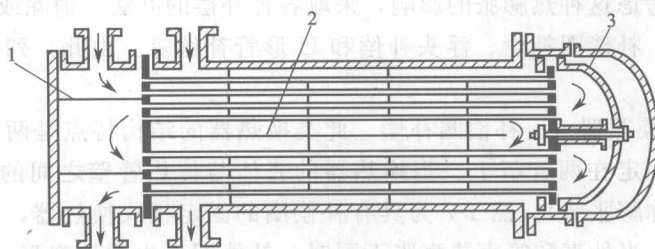


图 1-9 浮头式换热器

1—管程隔板；2—壳程隔板；3—浮头