

中等职业教育规划教材

HUAGONG SHENGCHAN JICHU 化工生产基础

王奇 主编

The Third Edition

第三版



化学工业出版社



CS 扫描全能王

3亿人都在用的扫描App

目 录

第一章 化工生产概论	1
第一节 化学工业与化工生产过程	1
【阅读 1-1】 新材料、新能源与化学工业	4
第二节 化工生产过程的基本组成规律	4
一、单元操作和单元反应	6
【看看想想 1-1】	6
二、化工生产过程的三个基本步骤	7
三、化工生产过程中的两种转换——物质转换与能量转换	8
【技能训练 1-1】 分析烧碱生产过程的基本组成	10
第三节 化工生产过程的有关基本概念	10
一、相和相变	13
二、过程的平衡关系和过程速率	14
三、物料计算和能量计算	15
第四节 化工生产常用的量和单位	15
一、量和单位	16
二、法定计量单位	16
三、化工生产常用的法定计量单位	18
四、法定计量单位的使用规则	18
五、常用单位的换算	20
【阅读 1-2】 纳米技术与微化工技术	21
习题	23
第二章 流体的输送	23
第一节 流体力学	23
一、流体的主要物理量	26
二、流体静力学	27
【看看想想 2-1】 看图，回答问题	29
三、流体动力学	29
【看看想想 2-2】 观察日常生活接触到的三种仪表	29
【技能训练 2-1】 压力计、液位计、流量计使用练习	35
第二节 液体输送机械	35
一、离心泵及其操作训练	40
【阅读 2-1】 屏蔽泵和磁力驱动泵——两种无泄漏的离心泵	43
【技能训练 2-2】 离心泵安装训练	44
【技能训练 2-3】 离心泵操作训练	



【技能训练 2-4】 离心泵性能曲线的测定	47
【看看想想 2-3】 观察你接触到的泵	48
二、其他类型泵	49
【技能训练 2-5】 泵的选型练习	52
第三节 气体的压缩和输送机械	53
一、往复式压缩机及操作	53
【技能训练 2-6】 往复式压缩机操作训练	60
二、离心式压缩机	67
【技能训练 2-7】 离心式压缩机操作训练	70
三、其他类型的气体输送机械	72
习题	74
第三章 非均相物系分离	79
第一节 概述	79
一、混合物的分离	79
二、均相物系和非均相物系	79
三、非均相物系的分离	80
第二节 液-固分离	80
一、沉降法液-固分离	81
二、过滤法液-固分离	82
【看看想想 3-1】 搜集过滤机技术进展的信息	88
【技能训练 3-1】 厢式压滤机的操作	89
【技能训练 3-2】 转鼓真空过滤机的操作	89
【看看想想 3-2】 观察几种生活中的液-固分离现象	90
三、离心分离法	91
四、液-固分离设备的比较	94
【阅读 3-1】 膜分离技术简介	96
第三节 气-固分离	97
一、沉降法气-固分离	97
二、过滤法气-固分离	98
三、湿法（洗涤除尘法）	98
四、静电除尘法	100
五、气-固分离设备的比较	100
习题	100
第四章 传热	104
第一节 传热有关的基本概念	104
一、传热	104
二、热现象、热量、比热容	104
三、显热和潜热	105
第二节 传热的方式与原理	106



一、传热的三种基本方式	106
【看看想想 4-1】 观察生活中的传热	112
二、工业上的换热方法	113
第三节 间壁式换热器的原理及操作	114
一、间壁式换热器传热原理	114
二、传热过程的热量衡算	115
三、传热速率方程式的计算与应用	119
【技能训练 4-1】 列管换热器传热系数的测定	125
【看看想想 4-2】 利用传热原理实现节能的几个实例	128
【看看想想 4-3】 研究换热器的几个有关问题	129
四、换热器的操作技能训练	129
【技能训练 4-2】 列管换热器结构的认识	129
【技能训练 4-3】 列管换热器操作训练	133
第四节 换热设备及其维护方法	134
一、换热器的种类和性能	134
【阅读 4-1】 板式换热器	137
二、列管换热器的规格型号和初步选型	138
三、换热器的维护与检修	140
【技能训练 4-4】 换热器的日常维护与检修	141
【阅读 4-2】 换热器的技术进展	142
第五节 设备与管路的保温	143
一、保温的意义和目的	143
二、保温的内容和技术要求	144
三、保温的施工操作和日常维护	145
【技能训练 4-5】 保温的认识、维护与保温材料的选用	146
习题	147
第五章 蒸发	151
第一节 概述	151
一、基本概念	151
二、蒸发的应用	151
三、蒸发的分类	151
第二节 单效蒸发	151
一、单效蒸发的基本原理和流程	152
二、单效蒸发的计算	152
第三节 多效蒸发	153
一、多效蒸发原理	157
二、多效蒸发流程	157
三、提高蒸发器生产强度的途径	157
【技能训练 5-1】 多效蒸发的操作	159
第四节 蒸发设备	159
	160



一、蒸发器的基本结构	160
二、蒸发器的种类和性能	161
三、蒸发装置中的辅助设备	165
【阅读 5-1】 闪蒸简介	166
习题	166
第六章 吸收	168
第一节 概述	168
一、基本概念	168
二、吸收在化工生产中的应用	168
三、吸收操作的分类	168
第二节 吸收的基本原理	169
一、汽-液相平衡关系	169
【看看想想 6-1】 观察硫酸、硝酸生产中吸收装置流程示意图	169
二、吸收过程的机理	172
三、吸收速率方程式	173
【看看想想 6-2】 观察液体分布器	175
四、吸收过程的计算	175
五、影响吸收操作的因素	177
六、解吸	178
【阅读 6-1】 吸收-解吸联合操作在二氧化碳减排试验中大显身手	179
第三节 吸收设备	179
一、填料塔	180
【看看想想 6-3】 观察几种新型填料	182
二、其他类型吸收设备	184
【阅读 6-2】 膜法气体分离简介	185
第四节 吸收的操作	186
一、填料吸收塔操作的基本要求和方法	186
二、在校内实训装置上进行的吸收操作训练	188
【技能训练 6-1】 填料塔实训装置操作训练	189
【技能训练 6-2】 填料塔几项特性的测定	190
三、填料吸收塔模拟操作训练	194
【技能训练 6-3】 填料吸收塔模拟操作	194
习题	196
第七章 蒸馏	200
第一节 概述	200
一、基本概念	200
二、蒸馏在化工生产中的应用	201
三、蒸馏操作的分类	201
第二节 蒸馏基本原理和简单蒸馏	201



一、溶液的汽-液平衡关系	201
二、 $T-x(y)$ 图和 $y-x$ 图	203
三、非理想溶液的汽-液相平衡	206
四、简单蒸馏的原理及流程	207
第三节 精馏原理与流程	209
一、精馏原理	209
二、精馏流程	211
三、精馏过程的基本计算	212
四、精馏过程的节能与强化	215
第四节 精馏设备	216
一、常用板式塔的结构	217
二、几种典型板式塔	218
【阅读 7-1】 蒸馏技术的进展	220
【技能训练 7-1】 精馏塔种类与结构的认识	221
第五节 精馏的操作	222
一、精馏操作的基本要求和方法	222
二、精馏操作技能训练	224
【技能训练 7-2】 甲醇精馏的操作	224
第六节 特殊蒸馏	227
一、水蒸气蒸馏	228
二、共沸蒸馏	228
三、萃取蒸馏	229
【阅读 7-2】 液-液萃取简介	230
习题	230
第八章 结晶	
第一节 概述	234
一、基本概念	234
二、结晶的应用	234
三、结晶和其他过程的联系	234
第二节 结晶的基本原理	234
一、溶解度与溶液的过饱和度	234
二、结晶过程	235
第三节 结晶方法和设备	238
一、结晶方法	239
二、结晶设备	239
第四节 结晶的操作	240
一、结晶操作的基本要求和方法	243
二、结晶操作训练	243
【技能训练 8-1】 氯化铵结晶的操作	244
【阅读 8-1】 液体搅拌简介	244
	245



习题	246
第九章 固体物料的处理	
第一节 固体物料的干燥	248
一、固体物料干燥概述	248
二、干燥过程的原理	248
三、干燥设备	249
【阅读 9-1】 干燥设备的技术进展	255
【阅读 9-2】 固体流态化简介	257
四、干燥的操作	258
第二节 固体物料的粉碎	259
一、粉碎基本概念	260
二、粉碎方法	260
三、粉碎设备	261
【阅读 9-3】 粉碎设备的技术进展	264
第三节 固体物料的筛分	264
一、基本概念	264
二、常用筛分设备	265
第四节 固体物料的输送	266
一、带式输送机	266
二、斗式输送机	267
三、螺旋输送机	267
四、气力输送机械	268
习题	268
第十章 单元反应简介	270
第一节 概述	270
一、基本概念	270
二、单元反应的实质和相关规律	270
三、单元反应中分子运动基本规律的应用	271
第二节 单元反应的类型	271
一、按相态划分的基本反应类型	272
二、按反应器形式分类	276
三、反应类型的认识 and 比较	278
第三节 几种典型单元反应	278
一、在槽式反应器内进行的液-固相反应——磷矿酸解	278
二、在塔式反应器内进行的气-液相反应——乙醛氧化	281
三、在固定床反应器内进行的气-固相催化反应——二氧化硫氧化	284
四、在管式反应器内进行的气相反应——烃类裂解	286
第四节 单元反应的操作	288
一、反应操作的基本要求和方	288



二、单元反应操作技能训练	289
【技能训练 10-1】 乙醛氧化反应的操作	289
习题	291
第十一章 化工生产过程的整体控制	293
第一节 生产过程启动的整体控制	293
一、工程验收	294
二、投运准备	294
三、系统开车	295
第二节 生产正常运行的整体控制	296
一、生产正常运行整体控制的要求和方法	296
二、用计算机进行生产运行整体控制	297
第三节 生产装置停车与检修的整体控制	299
一、生产装置的停车	299
二、生产装置的检修	300
第四节 生产过程整体控制技能训练	301
【技能训练 11-1】 化工生产过程的启动和运行	301
习题	303
附录	30
一、水的物理性质	30
二、液体的黏度和在 293K 时的密度	30
三、气体在常压下的黏度	30
四、常用泵的规格	30
五、比热容列线图	30
六、液体汽化潜热列线图	31
七、饱和水蒸气表 (按压力排列)	31
八、饱和水蒸气表 (按温度排列)	31
九、管板式换热器系列标准摘录 (摘自 JB/T 4714、4715—92)	32
十、无机溶液在大气压下的沸点	32
十一、某些双组分混合物在 101.3kPa (绝压) 下的汽-液平衡数据	32
十二、国内生产的部分离心机技术参数	32
主要参考文献	3



L, 潜热的单位是 kJ/kg。

【例题 4-1】硫黄制硫酸生产中, 熔硫工序开车要先“化黄”, 即把粉粒状硫黄熔化为液体硫黄。硫黄的熔点是 392K。化硫黄时, 要将 418K 左右的饱和水蒸气 (压力 0.35~0.45MPa) 通入熔硫池内的蛇形加热管, 使池内的固体硫黄升温、熔化, 直至完全化成液体, 如图 4-1 所示。请回答下列问题。

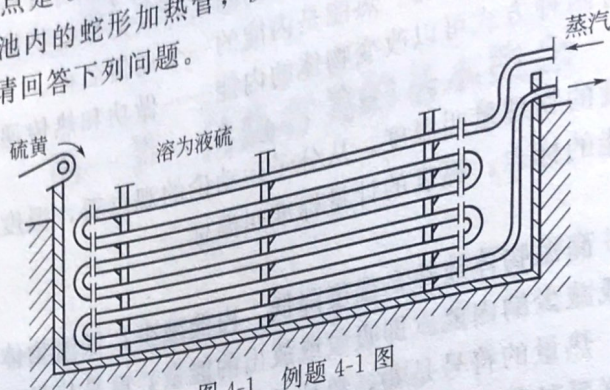


图 4-1 例题 4-1 图

(1) 这个过程有没有热传递过程现象？为什么？

解 这个过程有热传递现象，主要是：

- ① 对固体硫黄加热升温至 392K，这阶段，硫黄吸收热量，温度升高；饱和水蒸气虽然温度没有变化，但冷凝成水放出了汽化潜热，把热量传递给了硫黄；
- ② 硫黄温度升至 392K 后，从开始熔化到完全熔化。这阶段，硫黄温度虽然没有变化，但吸收了大量熔化热。饱和水蒸气继续放出汽化潜热，把热量传递给硫黄。

(2) 指出下面几种说法，是否正确？为什么？由学生独立回答。

- ① “化硫黄”的第二阶段，温度升到 392K，硫黄开始熔化，温度不再升高，直至完全熔化。这时既然没有升温，所以没有吸热。
- ② 熔硫工序正常运行时，为保持液体硫黄不凝固，水蒸气温度要经常稳定在 418K 左右。温度虽然没有升降，但水蒸气冷凝一直在放热。

第二节 传热的方式与原理

一、传热的三种基本方式

热传递就是在有温度差的情况下，能量从温度高的物体转移到温度低的物体，或者从物体的高温部分转移到低温部分的过程。像一杯热水放在空间，水的温度逐渐下降，说明水的热逐渐传递给周围的空气。那么，能量是怎样由高温区向低温区转移呢？

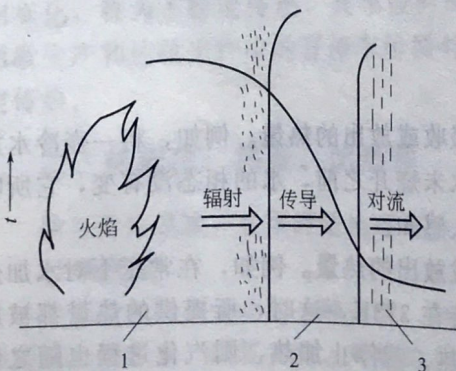


图 4-2 锅炉内传热基本方式的分析
1—炉膛（水管侧）；2—管壁；3—水管内

图 4-2 是锅炉内水管两侧热传递的示意图。从这个图中可以看到，温度高的火焰怎样把热量传递给温度低的流水。这一传热过程分为三步进行：第一步，在水管外，火焰将热量直接传给管外壁，这是辐射传热；第二步，在管壁内部，热量从较热的管外壁传递到较冷的管内壁，这是传导传热；第三步，在水管内，依靠水的流动，热量从管内



壁传递到管内的流水,使水的温度上升,这是对流传热。

传导、对流、辐射,就是传热(热传递)的三种基本方式。所有传热过程,都不外乎这三种基本方式。实际过程中,这三种方式常同时出现。下面,分别介绍这三种基本方式的传热原理。

1. 传导传热

(1) 热传导的原理 把铁条的一端插进炉内,不一会儿,铁条的另一端也随着热起来,这种现象就是热传导。这是因为物体内部存在温度差,高温区的分子、原子、电子振动得较为激烈,并与相邻的能量较低的分子、原子、电子相互碰撞,将热量以动能的方式传递过去,使低温区的分子、原子、电子振动逐渐加快,温度逐渐升高,直到高温区与低温区的温度达到均衡。在传导过程中,物体内部分子、原子、电子振动的速度发生了变化,但宏观上并未产生相对位移。

当物体存在温度差时,靠大量分子、原子、电子之间的相互碰撞作用,使热量由高温物体(或物体的高温部分)传向低温物体(或物体的低温部分)的传热过程,称为热传导,或传导传热,简称导热。导热主要在固体和静止流体中进行。

(2) 物质的导热性能与热导率 把刚开的水倒进铝饭盒,因其烫手而不能用手去端;把开水倒进瓷碗,则因其不烫手而很容易端起来。这种现象说明铝比瓷的导热性能好。

再做如图 4-3 所示的实验,用熔化的石蜡将火柴固定在金属棒的一端,另一端用热源加热。金属棒有 4 根,它们分别是:铜棒、铁棒、铝棒、黄铜棒。热量经过金属棒的传导,棒的另一端的温度升高,石蜡熔化,铜棒上的火柴最先落下,其余依次为铝、黄铜、铁。这个实验表明,各种物质导热的性能是不一样的。导热性能强的物质叫热的良导体,导热性能弱的物质叫热的不良导体。

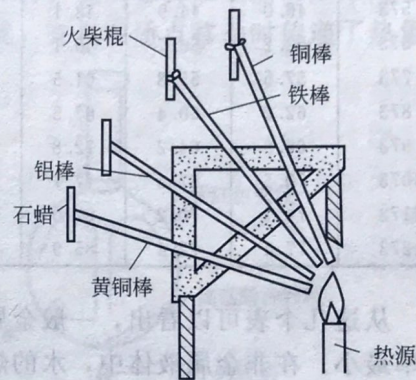


图 4-3 几种不同物质的导热性能实验

物质导热性能的好坏用热导率表示。其物理意义是:当导热面积为 1m^2 ,壁厚为 1m ,两壁面之间的温度差为 1K 时,单位时间内以导热方式所传递的热量。热导率用符号“ λ ”表示,单位为 $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K})$,或 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。热导率是物质的重要物理性质之一。热导率的数值越大,表明物质的导热能力越强。它不仅因物质的性质、结构不同而有区别,而且随温度、压力的变化而变化。固体的热导率一般随温度升高而增大,如表 4-1、表 4-2、表 4-3 所示。

表 4-1 某些固体在 $273 \sim 373\text{K}$ 时的热导率

金属材料		建筑或绝热材料		金属材料		建筑或绝热材料	
物料	$\lambda/[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	物料	$\lambda/[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	物料	$\lambda/[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	物料	$\lambda/[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
铝	204	石棉	0.15	不锈钢	17.4	保温砖	0.12~0.21
青铜	64	混凝土	1.28	铸铁	46.5~93	85%氧化镁粉	0.07
黄铜	93	绒毛毯	0.047	石墨	151	锯木屑	0.07
铜	384	松木	0.14~0.38	硬橡胶	0.12	软木片	0.047
铅	35	建筑用砖	0.7~0.8	银	412	玻璃	0.7~0.8
钢	46.5	耐火砖	1.05 ^①				

① 温度在 $1073 \sim 1373\text{K}$ 时。



表 4-2 某些液体在 293K 时的热导率

名 称	$\lambda/[W/(m \cdot K)]$	名 称	$\lambda/[W/(m \cdot K)]$	名 称	$\lambda/[W/(m \cdot K)]$	名 称	$\lambda/[W/(m \cdot K)]$
水	0.6	苯胺	0.175	甲苯	0.139	乙酸	0.175
30%氯化钙盐水	0.55	甲醇	0.212	邻二甲苯	0.142	煤油	0.151
水银	8.36	乙醇	0.172	间二甲苯	0.168	汽油	0.186(303K)
90%硫酸	0.36	甘油	0.594	对二甲苯	0.129	正庚烷	0.14
60%硫酸	0.43	丙酮	0.175	硝基苯	0.151		
苯	0.148	甲酸	0.256				

表 4-3 某些气体在大气压下热导率与温度的关系

T/K	$\lambda \times 10^3/[W/(m \cdot K)]$									
	空气	N ₂	O ₂	蒸汽	CO	CO ₂	H ₂	NH ₃	CH ₄	C ₂ H ₄
273	24.4	24.3	24.7	16.2	21.5	14.7	174.5	16.3	30.2	16.3
323	27.9	26.8	29.1	19.8	24.4	18.6	186		36.1	20.9
373	32.5	31.5	32.9	24.0		22.8	216	21.1		26.7
473	39.3	38.5	40.7	33.0		30.9	258	25.8		
573	46.0	44.9	48.1	43.4		39.1	300	30.5		
673	52.2	50.7	55.1	55.1		47.3	342	34.9		
773	57.5	55.8	61.5	68.0		54.9	384	39.2		
873	62.2	60.4	67.5	82.3		62.1	426	43.4		
973	66.5	64.2	72.8	98.0		68.9	467	47.4		
1073	70.5	67.5	77.7	115.0		75.2	510	51.2		
1173	74.1	70.2	82.0	133.1		81.0	551	54.8		
1273	77.4	72.4	85.9	152.4		86.4	593	58.3		

从这几个表可以看出，一般金属的热导率最大，固体非金属次之，液体较小，气体的热导率最小。在非金属材料中，水的热导率最大。

物质的热导率有重要的实际意义。化工厂选用设备材料时，就要参考各种材料的热导率。在需要传热的场合，如锅炉的水管，换热器内的换热管，要选用热导率大的材料；而在需要阻止传热的场合，如设备管路的保温层，要选用热导率小的材料。

导热在化工生产中应用很广。换热器的管壁、壳壁所进行的传热都是导热。真空耙式干燥器和滚筒干燥器，就是以传导方式加热筒壁来干燥湿物料的。橡胶工业中的硫化机，有的也以传导方式来加热。

(3) 导热速率 导热速率是指物体在单位时间内以导热的方式传递的热量。

图 4-4 单层平壁的热传导

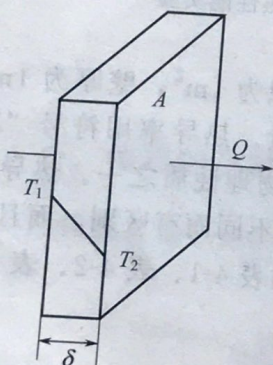


图 4-4 是一个由均匀固体物质组成的平面壁，即单层平壁，面积为 $A(m^2)$ ，热导率为 $\lambda[W/(m \cdot K)]$ ，壁厚度为 $\delta(m)$ ，壁面两侧温度为 T_1 和 T_2 。假设 $T_1 > T_2$ 热量以传导的方式沿着与壁面垂直的方向，从 T_1 平面传到 T_2 平面。实验证明，单位时间内物体以传导方式传递的热量 Q 与该固体壁的热导率 λ ，壁面积 A ，以及壁面两侧温差 $(T_1 - T_2)$ 成正比，而与壁面厚度 δ 成反比。

即：

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} A (T_1 - T_2) \quad (4-1)$$

式(4-1)称为导热速率方程式，可改写成式(4-2)：



$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\delta}{\lambda A}} = \frac{\Delta T}{R} = \frac{\text{导热的推动力}}{\text{导热阻力}} \quad (4-2)$$

从式(4-2)可以看出, 壁面两侧温度差 $T_1 - T_2$ 即 ΔT , 是导热过程的推动力; $R_{\text{导}} = \frac{\delta}{\lambda A}$ 是导热过程的阻力 (简称热阻)。如果要提高导热速率, 就要设法增大导热推动力, 减少热阻。

实际生产中的传热设备, 多数是多层平壁、单层圆筒壁或双层圆筒壁, 其导热速率的基本原理与单层平壁相同。

2. 对流传热

(1) 对流传热的原理 从图 4-5 看到: 用水壶烧水, 虽然炉火只加热壶的底部, 但最后全壶水都被烧开, 这是因为靠近壶底部的水首先得到热量, 温度升高, 受热膨胀, 密度减小, 就向上流动; 而壶上部水温较低, 密度较大, 就自动下降。由于水的上下循环流动, 将热量从流体的一部分传到另一部分, 最后将整壶水烧开, 这种现象就是对流传热。从图 4-6 的实验看, 当盛满水并放有几粒高锰酸钾的烧瓶底部受热时, 便从颗粒处生出两条紫红色条纹。这就形象地表明了流体受热后其内部质点的移动路线, 并且在质点移动时传递了热量。

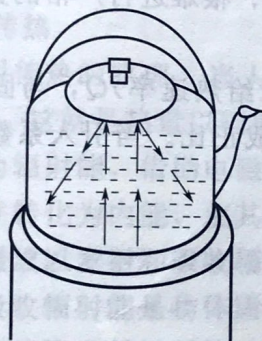


图 4-5 对流现象示意

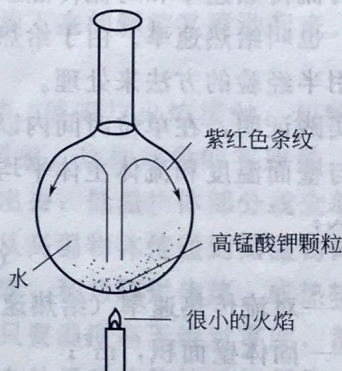


图 4-6 对流原理实验

烧瓶底部受热, 从高锰酸钾颗粒处生出两条紫红色条纹

由于流体内部质点的相对位移而将热量从流体中某一处传递至另一处的传热过程, 称为对流传热, 简称对流。对流是液体、气体传热的主要方式。对流传热可分为自然对流和强制对流。由于流体各处温度不同引起密度差别而产生的对流, 称为自然对流。像前面讲的水壶烧水的过程, 以及大气因下层受热而产生的上下循环流动等, 都是自然对流。由于受到外力的作用而产生的对流称为强制对流。像用泵把流体送到换热器, 用搅拌使反应釜内液体产生对流等, 都是强制对流。由于强制对流形成的流体流动, 能得到较好的传热效果, 故工业上的对流传热多数为强制对流。

对流传热在生产中应用相当广泛。例如, 气流干燥器、喷雾干燥器、厢式干燥器, 都是以对流为主的干燥器; 锅炉水暖系统, 主要利用对流原理将热量从锅炉传递到散热器; 换热器则充分运用对流原理实现热交换。

(2) 给热过程 在化工生产中, 对流传热通常指流体和它直接接触的固体壁面相互之间的热量传递过程, 如图 4-7 所示, 冷、热两种流体通过一层隔壁进行传热, 热量从热流体传至隔壁, 再从隔壁传至冷流体, 这种传热过程也叫给热过程。



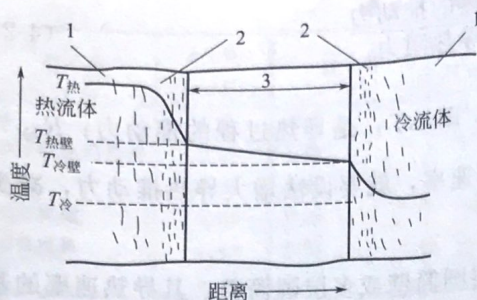


图 4-7 流体在壁面两侧流动及温度分布情况
1—湍流主体；2—层流内层；3—固体壁面

在流体流动过程中，靠壁面处会产生一个边界层，如图 4-7 所示，叫层流内层。层流内层的流体处于滞流（层流）状态。边界层以外的主体流体，其流动常处于湍流状态，称为湍流主体。湍流主体中的分子出现剧烈的扰动并产生相对位移，热传递以对流方式进行，传热速率高，温度下降很小，温度曲线接近水平线。靠壁面的层流内层，流体流动是作平行的直线运动，热传递以传导的方式进行。由于流体的热导率要比金属低得多，所以层流内层内传热速率很低，温度下降

很大，温度曲线的变化很大。热量传至金属固体壁，仍以传导方式进行，由于金属热导率较高，温度下降不大，温度曲线变化平缓。

由以上分析可以看出，给热过程包括边界层外的对流和边界层内以及固体壁的导热两种方式的传热过程，给热过程的阻力主要在层流内层。如果要强化对流传热，就要设法降低阻力，加大湍流程度，减小层流内层的厚度。

(3) 对流传热速率和对流传热膜系数 对流传热速率是指在单位时间内以对流方式所传递的热量，也叫给热速率。由于给热是个较复杂的综合过程，很难进行严格的数学计算，目前工程上用半经验的方法来处理。

大量实践证明，在单位时间内以对流方式传递的热量（给热速率） Q ，与固体壁面积 A 成正比，与壁面温度和流体主体平均温度之差 $T_{\text{冷壁}} - T_{\text{冷}}$ 成正比。当引入系数 α 后，就得出以下公式：

$$Q = \alpha A (T_{\text{冷壁}} - T_{\text{冷}}) \quad (4-3)$$

式中 Q ——对流传热速率（给热速率），J/s 或 W；

A ——固体壁面积， m^2 ；

α ——对流传热膜系数（或给热系数）， $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K})$ 或 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；

$T_{\text{冷}}$ ——冷流体主体平均温度，K；

$T_{\text{冷壁}}$ ——冷流体一侧壁温，K。

式(4-3)称为对流传热速率方程式。

当流体主体温度高于壁温时，式(4-3)也可改写成：

$$Q = \frac{T_{\text{热}} - T_{\text{热壁}}}{\frac{1}{\alpha A}} = \frac{\Delta T}{R} \quad (4-4)$$

式中 ΔT ——给热过程的推动力；

$T_{\text{热}}$ ——热流体主体平均温度，K；

$T_{\text{热壁}}$ ——热流体一侧壁温，K；

$\frac{1}{\alpha A}$ ——即 R ，给热过程的热阻。

对流传热膜系数（给热系数） α 是一个重要的比例系数，只要提高 α 值，就能提高对流传热的速率。在实际生产中，强化传热的重要手段之一就是设法提高 α 的值。提高 α 值的最有效方法是加大湍流程度，减小层流内层厚度。提高流体的流速，可以起到加大湍流的作用。



【例题 4-2】 用对流传热原理分析以下两个生产中的问题。

① 图 4-8(a) 是夹套换热器的示意图，试分析其换热情况，并用箭头标出器内液体的流动方向。

② 沉降器的作用是固-液分离，如图 4-8(b) 所示。当所处理的悬浮液温度高于外界气温时，就要求沉降器的外壁有良好的保温措施，这是为什么？

解 ① 如图 4-8(a) 所示，蒸汽在夹套内放热，首先将靠近器壁的液体加热。这部分液体受热，温度升高，密度减小，向上流动；器内中间的液体则向下流动，形成如图箭头所示的自然对流传热，从而使换热器内液体温度均匀。由于流体传热膜系数较小，为了提高传热效率，常在器内装上搅拌器，以使器内液体处于强制对流状态，强化传热效果。

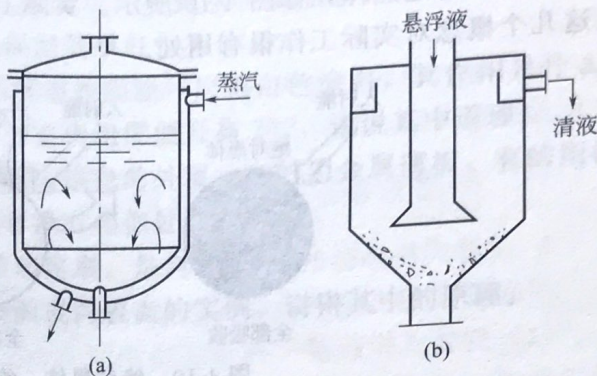


图 4-8 例题 4-2 图

② 由学生独立解此题。

提示：沉降器操作最怕发生“返混”现象，即将沉淀下来的颗粒又搅动起来。

3. 辐射传热

(1) 辐射传热的原理 当人站在火炉旁打开炉门时，虽未与火焰接触，却感到有一股“热气”逼人，这就是热量以辐射方式“射”到人体的现象。这种现象的实质是，高温物体将内能转化为辐射能，借助电磁波以辐射线的形式发射出去；低温物体部分或全部地吸收这种辐射能，并转化为内能，使其温度上升，热量就这样从高温物体传递到低温物体。

借助电磁波以发射和吸收辐射线的形式进行的热传递，称为辐射传热，或热辐射。

发射和吸收辐射能是物体固有的特性。各种物体，只要温度高于绝对零度，都会不断地借助电磁波向外界发射辐射能，同时，又不断地吸收来自外界其他物体的辐射能。

辐射传热具有以下三个特点。

① 辐射传热不需要任何介质做媒介。导热、对流传热都必须靠冷热物体直接接触或通过中间介质来传递热量，而辐射传热则不依靠任何媒介或接触，而是通过自身发射的辐射线来传递热量，这种辐射线能通过真空传递出去。如太阳的能量传至地球，就是借助电磁波发射强大的辐射线，穿过接近真空的辽阔太空，而射到地面。

② 辐射传热过程伴随着两次能量转化。第一次是物体的内能转化为辐射能发射出去；第二次是这种辐射能射至另一物体表面被吸收，又转化为内能。

③ 辐射传热不是单方面的能量传递，而是物体之间相互交换的结果。当两种物体存在温度差时，高温物体和低温物体都在不断地发射和吸收辐射能，但高温物体发射给低温物体的能量大于低温物体发射给高温物体的能量，因此，总的结果是高温物体把能量传给了低温物体。

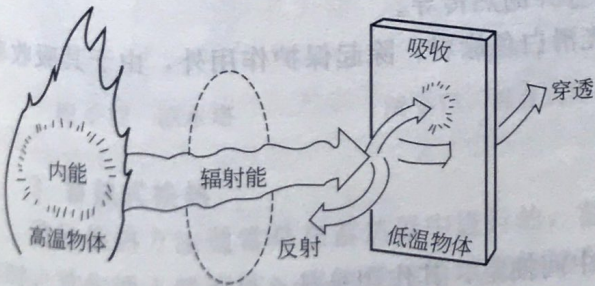


图 4-9 辐射能投射到物体表面的示意

(2) 物体对辐射线的吸收与辐射能力 当辐射能投射到物体表面时，投射的总能量可分为三部分：一部分被物体吸收，



一部分被物体反射,另一部分透过物体,见图4-9。能吸收全部辐射能的物体,称为绝对黑体,或黑体;能反射全部辐射能的物体,称为绝对白体,或白体,镜体;能全部透过辐射能的物体,称为透热体,如图4-10所示。实际上绝对的黑体、白体、透热体并不存在,但建立这几个概念对实际工作很有用处。

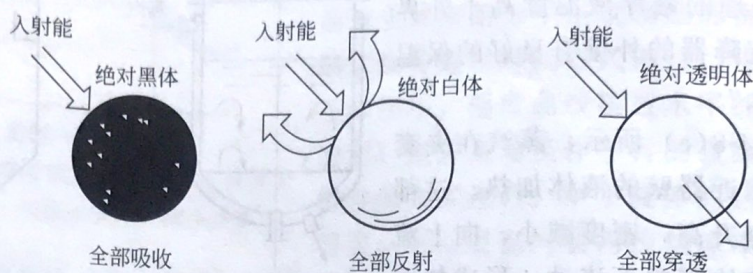


图4-10 绝对黑体、绝对白体与绝对透明体

表示物体吸收与辐射能力的数值称为吸收率,或黑度。吸收率大的物体叫良吸收体,吸收率小的物体叫不良吸收体。例如,纯黑的煤,以及没有光泽的黑漆表面吸收率很大,近似为黑体,是良吸收体。银色涂料表面,吸收率很小,是不良吸收体。吸收能力强的物体,其辐射能力也强。物体对辐射线吸收与辐射的能力,除了和物体的种类有关外,还和以下两种因素有关。

① 物体表面越黑暗、粗糙,其吸收与辐射能力越强;反之,白色、光滑的物体表面,吸收与辐射的能力很弱。太阳能热水器的表面涂成黑色,为的是尽可能地吸收太阳辐射的能量。化工厂设备和管路的保温层外常加一层银白色的有光泽的金属薄板,其作用不仅是为加固、美观,更重要的是,这层薄板表面吸收能力最小,反射能力最大,可以更有效地阻止设备内部与外界的辐射传热。

② 物体温度越高,吸收与辐射的能力越大。化工生产中,在常温和低温的场合,热辐射不作为主要的传热方式;而在高温场合,热辐射乃是主要的传热方式。例如,炼油厂的加热炉,炉膛温度高达 800°C 左右,热辐射作为主要的传热方式。大多数管式加热炉,辐射室的热负荷约占全炉总热负荷的 $70\%\sim 80\%$ 。因此,在高温的生产岗位操作时,更要深刻了解热辐射规律在生产上的作用。

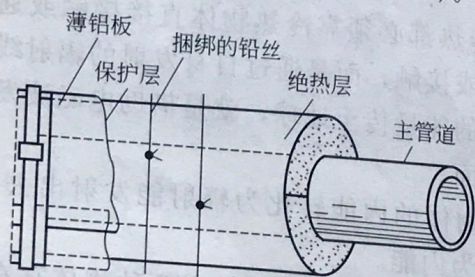


图4-11 例题4-3图

【例题4-3】如图4-11所示,保温的内层为绝热层,外层为保护层,(采用银白色金属薄板或用玻璃布外边刷白色涂料)。试分析它们都运用了哪些传热原理?

解 保温综合运用了以下几种传热方式。绝热层,选用 λ 值小的保温材料,有效地阻止了内部与外界的热传导。

保护层,外部用银白色金属薄板或涂上光滑白色涂料,除起保护作用外,由于其吸收率很小,能有效地阻止内部热量的辐射与吸收。

【看看想想4-1】观察生活中的传热观察以下现象。

1. 仔细观察暖水瓶,特别注意:

- ① 瓶胆的结构,瓶胆由两层玻璃构成,中间抽空,其作用是什么?
- ② 瓶胆表面有一层银色镀膜,其作用是什么?



③ 瓶塞的材质，为什么用这种材质？

说说其中道理，暖水瓶保温运用了几种传热方式？

2. 向暖水瓶中灌水有两种方法：第一种，灌满水，直到水接触瓶塞；第二种，不灌特别满，顶部留出部分没有水的空间。那种方法保温效果好？为什么？

3. 中国北方工厂、学校、住宅的暖气及其管道表面涂一层银白色涂料，其作用是什么？若用一种银色薄膜紧贴在暖气及其管路上，不久室内温度便升高 2°C ，说说其中道理。

再看看本节教材中讲的化工设备保温外层有一银色的外罩，有的用金属薄板，有的用银色、光滑的专用塑料膜，以上两种现象的原理有没有相似处？

4. 中国东北地区房屋的窗户都安装两层玻璃窗扇，是何道理？

5. 举出两个生产、生活中使用银白色外表面或内表面的实例，讲讲其中的原理。

二、工业上的换热方法

在工业生产中，由于换热的目的和工艺条件不同，换热方法有多种。按其原理和设备类型，常用的换热方法有以下三种。

1. 直接混合式换热

直接混合式换热即冷、热流体直接接触，在混合过程中传热。像凉水塔（如图 4-12 所示）、喷洒式冷却塔、混合式冷凝器（如图 4-13 所示）等，都属于这种类型。它们的结构简单，传热效果好，但只适用于两股流体允许直接接触的场合，适用范围很小。

2. 间壁式换热

冷、热两种流体被固体壁面隔开，传热时，热量从高温流体传给壁面，壁面再传给冷流体，这种换热方式称为间壁式换热。这种方法适用于冷、热两股流体不允许直接接触的场合。化工生产中，冷热两股流体多数不能直接接触，因此间壁式换热是化工生产中应用最广泛的换热方法。用这种方法换热的设备称为间壁式换热器。

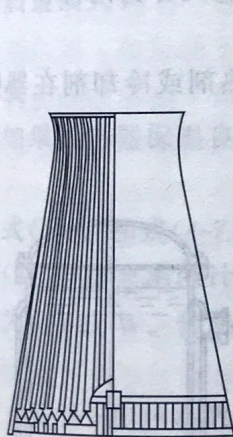


图 4-12 凉水塔

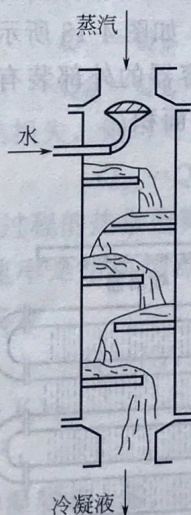


图 4-13 混合式冷凝器

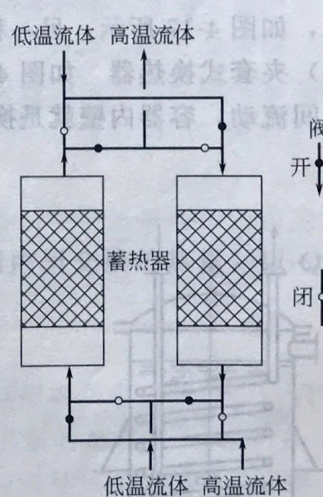


图 4-14 蓄热式裂解炉

3. 蓄热式换热

这种换热方法通常是在蓄热器中进行的，蓄热器内装有耐火砖或专门制作的蓄热体。操作时，首先通入热流体，将热量传给填充物储存；然后改通冷流体，填充物将所储存的热量释放出来传给冷流体，冷流体温度升高，从而达到冷热流体换热的目的见图 4-14。这种方



中等职业教育规划教材

HUAGONG SHENGCHAN JICHU 化工生产基础



定价：46.00元



CS 扫描全能王
3亿人都在用的扫描App