

化工自动化丛书

传热设备的自动调节

俞金寿 主编

化学工业出版社

81.18
408
C.2

化工自动化丛书

传热设备的自动调节

俞金寿 主编

化学工业出版社

《传热设备的自动调节》一书是《化工自动化丛书》之一，全书共分六章。第一章概述，介绍传热设备概况、特点、自动调节方案等。其余五章分别叙述换热器、蒸汽加热器、低温冷却器、加热炉、蒸发器五类传热设备的对象特性及自动调节方案分析等，并适当介绍了一些工业应用实例。

本书可供从事化工自动化和有关自动化专业工人技术人员阅读，也可供大专院校有关专业的师生参考。

上海化工学院徐文熙同志及化工自动化专业730班学生参加了本书部分编写工作。全书由兰州化学工业公司设计院化工自动控制设计中心站钱积新同志审阅。

化工自动化丛书
传热设备的自动调节
俞金寿 主编

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₃₂ 印张5³/₄ 字数122千字 印数1—7,450

1981年4月北京第1版 1981年4月北京第1次印刷

统一书号15063·3262 定价0.61元

编写说明

近年来，随着化学工业和自动化科学技术的迅速发展，化工自动化技术有了新的进展。以现代控制理论为基础的各种新型控制方法和调节系统相继成功地应用于化工生产；新型的自动控制技术工具以及电子计算机也日益广泛用于化工自动化领域。

为了总结交流我国化工生产应用自动化技术的经验，介绍新的调节理论和控制方法，提高从事化工自动化工作的工人和技术人员的理论和技术水平，促进化工自动化工作的发展，一九七五年，在炼油、化工自动控制设计业务建设会议上，决定由化工部炼油、化工自动控制设计技术中心站负责，组织有关院校、科研设计单位和工厂，编写一套《化工自动化丛书》。

《化工自动化丛书》是在普及的基础上侧重提高的一套读物，主要包括经典和现代控制理论，各类调节系统和化工单元操作控制等方面的题材。“丛书”内容力求密切反映化工应用的特点，做到理论联系实际，既阐明基本概念，作出理论分析，又叙述工程应用方法和应用实例，说明具体实施方案和现场运行经验。

35904

《化工自动化丛书》编审组成员

兰州化学工业公司设计院 (组长)

浙江大学化工自动化教研组 (组长)

兰州化学工业公司石油化工厂

上海炼油厂

北京化工学院

上海化工学院

化学工业部第三设计院

化学工业部化工设计公司

目 录

第一章 概述	1
第一节 传热过程的基本概念	1
一、化学工业中的传热问题及常用设备	1
二、常用载热体的种类及其使用温度的范围	2
三、间壁式传热设备的分类	4
四、热量传递的三种方式	5
第二节 热交换过程的两个基本方程式	8
一、热量衡算式	8
二、传热速率方程式	9
第三节 传热设备的动态特点	12
一、传热对象是分布参数元件	12
二、纯滞后及滞后(时间常数)较大	13
三、纯滞后及滞后的克服办法	14
第四节 传热设备的自动调节方案	16
第二章 换热器的自动调节	20
第一节 对象的静态特性	20
一、对象静态特性的基本方程式	21
二、对象的静态放大系数	23
三、调节阀的选型	27
第二节 对象的动态特性	29
一、对象动态特性的基本方程式	30
二、对象动态特性的经验式	32
第三节 常用的调节方案	33
一、调载热体流量的调节方案	33
二、将工艺介质分路的调节方案	36

第三章 蒸汽加热器的自动调节	40
第一节 对象特性概述	40
第二节 调节蒸汽进入流量的方案	41
一、对象特性	41
二、调节阀的选型	44
三、方案分析	45
四、串级调节系统	46
五、前馈-反馈调节系统	48
第三节 调节蒸汽加热器传热面积的方案	61
一、对象特性概述	63
二、方案的介绍	64
第四章 低温冷却器的自动调节	68
第一节 对象特性概述	68
第二节 常用的调节方案	69
一、调节冷却剂流量的方案	69
二、调节传热面积 F_m 的方案	70
三、调节汽化压力即 ΔT_m 的方案	72
四、选择性调节系统的应用	74
第三节 调节方案的应用	77
一、单参数调节系统	77
二、串级调节系统	79
三、选择性调节系统	82
第五章 加热炉的自动调节	88
第一节 对象特性	88
一、概述	88
二、对象特性	88
第二节 加热炉的单参数调节方案	89
一、干扰分析	89
二、单参数调节系统的分析	90
第三节 加热炉的串级调节系统	94

一、炉子出口温度对炉膛温度的串级调节	95
二、炉子出口温度对燃料油（或气）流量的串级调节	96
三、炉子出口温度对燃料油（或气）阀后压力的 串级调节	96
四、采用压力平衡式调节阀（浮动阀）的调节	97
第四节 前馈-反馈调节系统	100
一、前馈-反馈调节系统	100
二、前馈-反馈调节系统应用实例（酚精制装置 加热炉的前馈-反馈调节系统）	102
第五节 安全联锁保护系统	111
一、以燃料气为燃料的加热炉联锁保护系统	113
二、以燃料油为燃料的加热炉联锁保护系统	115
三、实例	115
第六节 玻璃熔炉的自动调节系统	117
一、玻璃熔炉炉温的自动调节	117
二、其它有关调节系统	122
三、玻璃熔炉自动调节系统实例（蓄热式马蹄型 池炉自动调节系统）	125
第六章 蒸发器的自动调节	127
第一节 对象特性	127
一、概述	127
二、蒸发器的型式	129
三、对象特性	131
第二节 干扰分析	133
第三节 主调节回路	136
一、浓度调节	136
二、温度调节	138
三、温差调节	138
第四节 辅助调节回路	143
一、加热蒸汽的调节	143

二、蒸发器液位的调节	144
三、蒸发器真空度的调节	145
四、冷凝液排出的调节	146
第五节 各类蒸发装置的自动调节	148
一、糖厂蒸发器的自动调节系统	148
二、葡萄糖升降膜式蒸发器的自动调节系统	153
三、烧碱蒸发器的自动调节系统	166
四、番茄酱蒸发器的自动调节系统	168
第六节 汽化蒸发器的自动调节	171

第一章 概 述

第一节 传热过程的基本概念

一、化学工业中的传热问题及常用设备

在化学工业中，有很多化工单元操作，如蒸馏、干燥、蒸发、结晶等均需要根据具体的工艺要求，对物料进行加热或冷却，来维持一定的温度；对于化学反应器来讲，为了使反应能达到预定要求，更需要严格控制一定的反应温度，这也得靠冷却或加热才能实现。因此，传热过程是化工生产过程中极其重要的组成部分，传热设备的控制也就显得十分重要。

在化工生产中，冷热流体进行热量交换的形式有两大类：一类是无相变情况下的加热或冷却；另一类是有相变情况下的加热或冷却（即蒸汽冷凝给热或液体汽化吸热）。

工业上用以实现换热目的的设备称之为传热设备，其种类很多，这里仅对化工中普遍采用的间壁式换热器的传热问题加以讨论。

间壁式换热器的基本特点是冷、热流体之间以间壁隔绝，而冷热流体在间壁两边流动的过程中，热流体的热量首先传给间壁，然后由间壁再将其热量传给冷流体。

间壁式换热器的结构型式，最普遍的是列管式（图1-1），其次也有蛇管式（图1-2），夹套式（图1-3）等。而对于有汽

化过程出现的换热器，需考虑提供一定的汽化空间，对于有冷凝过程出现的换热器，例如图 1-3 所示的夹套式换热器采用蒸汽加热时，则需考虑冷凝水的排除及不凝性气体的排除装置的安设。

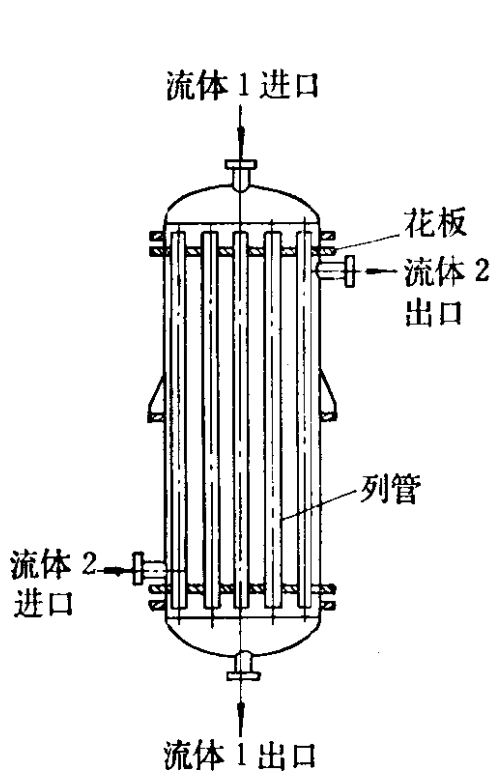


图 1-1 列管式换热器

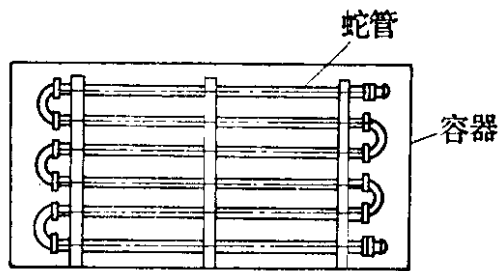


图 1-2 蛇管式换热器

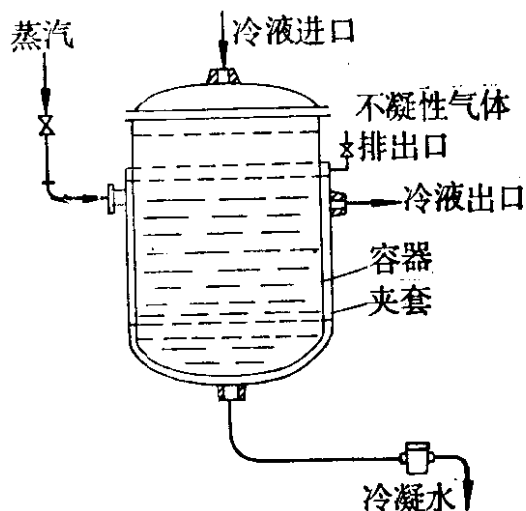


图 1-3 夹套式换热器

二、常用载热体的种类及其使用温度的范围

为了达到传热的目的，必须在一定的传热设备中，采用一定的载热体。载热体是能给出或吸收热量的工作介质，或相应地称为加热剂或冷却剂。

工业上常用的加热剂有：燃料油或燃料气的燃烧火焰，

表 1-1

载热体名称	温度范围(°C)	优点	缺点
热水	40~100	一般可利用工业上废水或冷凝水作为废热回收	加热温度不高, 传热情况也不好, 本身易冷却, 温度不易调节
饱和水蒸汽	100~180	冷凝潜热大, 热利用率高, 温度易调节	一般小于180°C, 因为当达到180°C时饱和蒸汽压相当于10大气压, 若温度太高, 压力亦高, 使设备有困难
联苯混合物	液体: 15~255 (沸点) 饱和蒸汽: 255~380	加热均匀, 热稳定性好, 温度范围广, 易于调节, 能达高温而蒸汽压力低, 对普通金属材料均不腐蚀	价昂, 易渗透软性石棉填料, 蒸汽漏出易燃烧, 但不爆炸, 会刺激人的粘膜, 因此必需注意安装通风设备
熔盐 KNO ₃ 53% NaNO ₂ 4% NaNO ₃ 7%	142~530 (熔点)	在常压下加热温度高	比热小
烟道气	≥1000	温度高	传热差, 比热小, 易局部过热
电热法	可达3000	温度可特高, 且温度范围大, 易调节	成本高
水 (自来水, 河水) (井水, 冰水)	0~80	价廉来源方便	
空气	>30	价廉, 在缺水地区尤为适宜	传热较差
冷冻盐水	0~15	用于低温冷却	
氨NH ₃	沸点 -33.4	用于冷冻	传热设备耐压
乙烯C ₂ H ₄	沸点 -103.8	用于深度冷冻	传热设备耐高压
丙烯C ₃ H ₆	沸点 -47.7	用于深度冷冻	传热设备耐高压

烟道气，水蒸汽，热液体(例如：水、油)，高沸点液体及其蒸汽(例如：联苯-二苯醚，也称道生油)等。工业上常用的冷却剂有空气、冷水、冰和某些低温冷却剂(例如：冷冻盐水、液氨、乙烯、丙烯)等。其使用的温度范围见表1-1。

三、间壁式传热设备的分类

传热设备的种类很多，其分类的方法亦较多，若根据传热过程中产生相变与否，可将间壁式传热设备分为四类：

(1) 传热面两侧都不起相变化的换热器。(2) 一侧进行冷凝的换热器，又可分为两类情况，一种是载热体冷凝，目的是将介质加热，如蒸汽加热器；另一类是载热体起冷却作用，把介质冷凝，如冷凝器。(3) 一侧进行汽化的换热器，也分两种情况，一种是载热体汽化，目的是将介质冷却，如氨冷器；另一种是载热体起加热作用，把介质汽化，如用热水或过热水的再沸器。(4) 两侧都起相变化的换热器，如用蒸汽加热的再沸器。

本书主要从加热或冷却的温度范围出发将间壁式传热设备分成为：换热器，蒸汽加热器，低温冷却器，管式加热炉以及蒸发器五类。蒸发器与管式加热炉显然与一般的热交换器有很大程度的不同。蒸发器应属于蒸发操作的设备，而管式加热炉应当属于热工设备。但鉴于二者从机理上来看都是以传热为主，而从调节的角度来看属于温度调节。故本书将蒸发器、管式加热炉等归于传热设备中。现将传热设备的简况列于表1-2。

在本书中主要讨论以工艺介质出口温度为被调参数的情况，并按上述分类分别加以叙述。至于其余情况也不难触类旁通，因而不再一一列述。

表 1-2

分类	温度范围	载 热 体	有 相 无 变	设备结构类型
换热器	一 般	热水、冷水、油、空气	无	列管式、蛇管式、夹套式等
蒸汽 加热器	100~180℃	饱和水蒸汽	蒸汽 冷凝 放热	与上述换热器大致相同，只是需附设蒸汽冷凝水排除器以及蒸汽中不凝性气体的排放装置
	255~380℃	道生油蒸汽		
	低温再沸器 (用于石油化工中 制冷压缩工艺)	气态乙烯 C_2H_4 (饱和温度-103.8℃) 气态丙烯 C_3H_6 (饱和温度-47.7℃)		
低温 冷却器	低温及深冷	液氨(沸点-33.4℃) 液态丙烯 (沸点-47.7℃) 液态乙烯 (沸点-103.8℃)	液 态 物 质 化 吸 热	常用氨冷器(氨蒸发器)当用液态乙烯、丙烯作为冷却剂时，有时不需要这么深的低温，就需要加压，适当提高其沸点，故该类设备必须耐一定的压力
管式 加热炉	1000℃左右	燃料油(或燃料气)与水蒸汽(或空气)以一定比例混和后喷入炉膛进行燃烧	燃 烧 放 热	方箱炉、圆筒炉等
蒸发器	蒸发器是用于含有固体的溶液浓缩的设备。其目的虽然是为了浓缩溶液，但是使用的方法也是将溶液加热，使其中的水分汽化而除去。因此蒸发器实质上是传热设备中的一个特例	一般用饱和蒸汽	在 传 热 间 壁 一 侧 是 蒸 汽 冷 凝 给 热 ， 而 另 一 侧 是 液 体 沸 腾 给 热	中央循环管式(标准式)、悬筐式、外加热式、列文式、强制循环式、薄膜式

四、热量传递的三种方式

热量的传递方向总是由高温物体传向低温物体。两物体之间的温度差是传热的推动力，温度差越大，传热速率(单

位时间内传递的热量)也就越大。

热量的传递方式有三种。

1. 热传导

由于物体分子受热振动,而将热量传给相邻分子的过程称为热传导。热传导常发生在固体,静止的流体及流速很慢的滞流层中。

物体因热传导而产生热流大小的规律,可用傅立叶定律来表达,它也可称为热传导速率式。对于稳定导热(导热量不随时间而变化),单层平壁的热传导速率式为:

$$q = - \frac{\lambda}{n} \cdot F \cdot \Delta t \quad (1-1)$$

式中 q —— 导热速率, 千卡/小时;

λ —— 导热系数, 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$ 。它是物性的函数。其物理意义为: 当温度梯度为 $1^{\circ}\text{C}/\text{米}$, 导热面积为 1米^2 情况下, 单位时间内传递的热量。 λ 的值越大, 说明该物质的导热能力越强。

一般来说有 $\lambda_{\text{固}} > \lambda_{\text{液}} > \lambda_{\text{气}}$;

F —— 垂直于热流方向平壁的面积, 米 2 ;

n —— 单层平壁的厚度, 米;

Δt —— 平壁两侧壁面上的温度差, $^{\circ}\text{C}$ 。

方程式中等号右边的负号, 表示热流方向与温度降低的方向相同。

2. 对流给热

由于流体各部分质点发生相对位移而引起热量交换, 称为对流给热。对流给热常发生在流体内以及流体与固体壁面之间的传热中。由对流给热所引起的热量传递的大小, 可用牛顿冷却定律(也称为对流给热速率方程式)表达。

对于冷流体与壁面之间的传热速率：

$$q = \alpha F (t_w - t) \quad (1-2)$$

同理，热流体对壁面之传热速率：

$$q = \alpha F (T - t_w) \quad (1-3)$$

以上两式中

q ——传热速率，千卡/小时；

F ——与热流体（或冷流体）相接触的壁面积，米²；

t_w ——壁面的温度，℃；

t ——冷流体的温度，℃；

T ——热流体的温度，℃；

α ——对流给热系数，千卡/米²·小时·℃。

α 是对流给热强度的标志。 α 的物理意义是单位时间，单位传热面积，温差为1℃时所能传递的热量。

影响 α 的因素很多，它与流体的种类，流体的性质，流体的运动状况，流体对流的情况（自然对流或强制对流）等因素有关。一般讲来，蒸汽冷凝给热系数较大，液体的给热系数较小，而气体的给热系数最小。因此，在蒸汽加热器中必须注意蒸汽冷凝水与蒸汽中不凝性气体的排除问题。

3. 热辐射

热能以电磁波（辐射能）的形式向空间发射，到达另一物体被部分吸收后又转变为热能，这类现象称为热辐射。因此，热辐射在热量的传递过程中，伴有能量形式的转化。即热能转化为辐射能，辐射能又转化成热能，只要有温度就有辐射能，即它能发生在温度高于绝对零度（-273℃）的所有场合。热源温度越高，热辐射的影响就越显著，而在低温时可以忽略。

前面叙述了热量传递的三种方式的主要机理，在此必须

指出的是：在实际进行的传热过程中，很少是以一种传热方式单独进行的，而是由两种或三种方式综合而成的。例如：在化工厂中常用的间壁式热交换器，一般温度不太高，这时候就可将热辐射的影响加以忽略，则传热过程就是对流和热传导的组合。而在管式加热炉的辐射室中，由于温度很高，这时就以热辐射为主，辐射室的有效传热量，大致为全炉总的热负荷的70~80%，但在管式加热炉的对流室中，传热方式却又以对流给热为主，总之在管式加热炉中其传热过程是传导，对流及热辐射的组合。

第二节 热交换过程的两个基本方程式

热交换过程工艺计算的两个基本方程式是热量衡算式与传热速率方程式。它们也是构成换热器静态特性的两个基本方程式。

一、热量衡算式

根据流体在传热过程中发生相变与否，可分为两种情况。

1. 流体在传热过程中发生相的变化（如冷凝或汽化），且该流体温度不变，则

$$q = G \cdot r \quad (1-4)$$

式中 q —— 传热速率，千卡/小时；

G —— 流体发生相变的量（冷凝量或汽化量），公斤/小时；

r —— 流体的相变热（冷凝热或汽化热），千卡/公斤。

2. 流体在传热过程中无相的变化，则

$$q = G_A \cdot c_{pA} \cdot \Delta t_A \quad (1-5)$$

式中 G_A —— 流体 A 的重量流量，公斤/小时；