

工业过程传热应用

〔美〕戴维·阿泽贝尔 著



中国石化出版社

72
282

工业过程传热应用

〔美〕戴维·阿泽贝尔 著

王子康 王力健 徐东军 译

陈允中 林钧富 校

2K593/25

2K593/21

中国石化出版社



(京)新登字048号

内 容 提 要

本书重点介绍各类传热设备(各类型换热器、冷却塔、蒸发器、加热炉等)的传热计算与设计,同时还涉及到这些传热设备的合理使用、结构布置等有关提高传热效率的措施。本书的特点是按传热方式不同将传热设备分为同流型、交流型、直接接触式等类型来加以讨论。编排新颖,内容充实,每章最后附有多个计算实例,为从传热理论过渡到实际应用架起一座桥梁。

本书可供化工、石油化工、电力、冶金、医药、食品等行业从事传热设备设计与使用的工程技术人员学习,也可供新参加工作的大专院校毕业生参考。

HEAT TRANSFER APPLICATIONS IN PROCESS ENGINEERING

by

David Azbel

NOYES PUBLICATIONS

1984

*

工业过程传热应用

〔美〕戴维·阿泽贝尔 著

王子康 王力健 徐东军 译

陈允中 林钧富 校

*

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168毫米 32开本 17¹/₂印张 470千字印1—5000

1992年3月北京第1版 1992年3月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-221-1/TH·031 定价:10.80元

译者前言

传热在各个工业领域中的应用相当广泛，因而便成为工程技术人员研究的主要课题。有关这方面的著作种类较多，风格不一，侧重点多放在基本理论的论述上。而对其在工业中实际应用的论述，则更多地限制在口头和短篇论文上，很难见到一本系统而又全面概括的参考书。结果是，从事该专业的现场工程技术人员发现可供自己参考的书甚少。为了解决一些实际问题，他们不得不去翻阅深奥的理论专著，且往往事倍功半。造成这种情况一方面是因为实践经验的总结需要花费宝贵而又漫长的时间去现场探索，另一方面则是要求作者在具备丰富的实践经验的同时，还要有坚实的理论知识。

本书作者戴维·阿泽贝尔 (David Azbel) 教授可以说是实用技术著作的理想作者，他先后在化工和石油化工行业的研究部门和生产部门担任过技术负责人，现为美国密苏里-罗拉大学 (University of Missouri-Rolla) 化工系教授。长期积累的经验及资料促使他想把传热理论与工业应用结合起来，更多地去解决实际问题，本书可以说是一次成功的尝试。作者在此之前已出版了《工业过程传热基础》一书，本书作为其姐妹篇，从传热理论过渡到实际应用，一出版便获得现场工程师的好评。

作者在这本书中，介绍了工业用传热设备的分类方法及用途，几种主要类型传热设备的工作原理、设备结构及特性、设计方法及计算实例、选择原则、以及提高效率的具体措施。书中涉及的传热设备如同流型换热器、直接接触式换热器、交流型换热器、蒸发器、直接受火加热炉、间接受火加热炉等都具有相当广泛的代表性。当然，具体到某种设备，可能会根据实际情况，侧重讨论其中的某几个方面。总体来说，它要解决的是现场实际问题。因此，本书对从事传热设备研究、设计、制造、使用及维

护的工程技术人员会有很大帮助，对即将或刚刚从大专院校毕业，急待熟悉现场情况的毕业生来说，也是一本极佳的参考书。

本书第1~2章由王子康翻译，第3~4章由王力健翻译，第5~6章由徐东军翻译，全书由陈允中、林钧富校订。

我们衷心感谢袁宗虞、孙家孔等其它许多同志对本书的翻译、出版所给予的关心和帮助。由于译者水平有限，敬请广大读者对翻译不当之处提出宝贵意见。

前 言

传热广泛应用于化工、食品、石油和天然气、冶金以及核工业等许多工业领域。

本书作为作者《工业过程传热基础》一书的姐妹篇，集中讨论传热的实际问题，介绍了传热的许多工业应用。“条条道路通罗马”，但道路与道路之间也常有区别，有各自的长处和短处。本书旨在讨论现场工程技术人员，特别是，比方说，想在学术环境和工业实际之间搭桥的新毕业大学生所考虑的问题。因为不打算泛泛而谈，而是要涉及相当详细的指导，作者只选择那些需要完全理解传热基本知识的工业过程加以叙述。

本书分为六章。

第1章介绍了传热设备的分类及应用，给出了后面进一步处理实际传热问题所必须具备的基本概念。

第2章研究了不同温度的两种流体在由间壁分隔开的空间中流动的换热器（同流型换热器）的热力、水力和机械设计。上一章中所涉及的原理和数据被用于以传热为主要功能的换热器的设计。重点放在换热设备的分析和选择。

第3章分析了直接接触式换热器，在其中冷、热流体占据同一空间，不用间壁隔开，从而使两流体处于直接的物质接触中。通常这种接触使流体之间发生传质和传热，直至达到平衡。

第4章分析了交流型换热器，其冷、热流体交替通过一个有或没有固定隔板的通道中的相同传热表面。

第5章集中讨论蒸发器的设计与选择。系统讨论了该设备的基础设计、设备的特性、以及旨在提高设备效率的设备分析。

第6章讨论燃烧及其利用，以及把燃烧的化学能转变成热能的加热炉的设计。所考虑的对象为燃烧的燃料与加工材料直接接触的加热炉；以及与加工材料分隔开的加热炉，如坩埚和膛式

炉。

作者希望本书对想要更新基本原理及标准计算方法的工程师；在一线工作的工程技术人员；以及传热专业的工科学生都会有帮助。

感谢密苏里-罗拉大学化工系主任James W Johnson教授提出的宝贵建议，以及他个人所给予的关心和帮助。

最后，我要对Sheila J. Jenkins女士在打字及其它诸多方面的帮助表示感谢。

戴维·阿泽贝尔

密苏里-罗拉大学化工系

目 录

第一章 传热设备的分类和应用	1
一、引言.....	1
二、直接接触式换热器.....	1
三、特殊类型设备.....	27
四、交流型换热器.....	29
参考文献.....	32
第二章 同流型换热器	34
一、换热器设计的一般原则.....	34
二、传热表面积的计算.....	37
三、平均温差.....	43
四、流动方式的选择.....	61
五、换热器中流体最终温度的选择.....	64
六、计算工作流体的平均温度.....	72
七、传热系数.....	74
八、最佳设计的基本因素.....	84
九、检验换热器计算.....	92
十、间歇加热和间歇冷却过程的计算.....	97
十一、压力降.....	106
十二、管壳式换热器的设计考虑.....	130
十三、管壳式换热器的计算步骤.....	164
十四、计算步骤的详细方法.....	169
十五、套管换热器.....	205
十六、扩展表面换热器.....	215
十七、短翅片管计算程序.....	218
十八、容器中的盘管.....	223
十九、平行板换热器.....	229

参考文献	244
第三章 直接接触式换热器	247
一、引言	247
二、流动类型	248
三、液体中气泡的运动	257
四、单一液滴在另一种液体中的相对运动	261
五、液滴在气体中的运动	262
六、固体颗粒在液体中的运动	266
七、直接接触式传热设备	270
八、冷却塔	280
九、冷却塔中的物料平衡和热平衡	287
十、冷却塔的设计	289
十一、喷雾冷凝器	297
十二、热和动量的传递	304
十三、界面系数	308
十四、计算喷雾温度增量	310
十五、容器直径或进口管、出口管处直径的确定 因素	312
十六、喷雾区液体负荷	314
十七、按体积系数的另一设计法	314
十八、设计指南	318
十九、设计实例	323
二十、喷淋区长度	326
二十一、直径计算	329
参考文献	333
第四章 交流型换热器	335
一、引言	335
二、气体流动和气流损失	341
三、交流型换热器的器壁损失	344

四、交流型换热器温度作用	344
五、不同类型填充物交流型换热器规格	348
六、交流型换热器的热量设计	354
七、砖块的铺设	365
八、交流型换热器的设计程序	370
九、设计	373
参考文献	391
第五章 蒸发器	393
一、引言	393
二、溶液的一些性质	396
三、蒸发器的结构与应用	402
四、溶液全沸点升高的计算	414
五、多效蒸发	423
六、多效蒸发过程的物料平衡	424
七、多效蒸发过程的热平衡	425
八、具有最小总加热面积的蒸发	428
九、蒸发器负荷的计算	430
十、各种方法的比较	445
十一、带压操作的蒸发器	446
十二、蒸发器计算方法	450
十三、蒸发器校核计算	458
参考文献	471
第六章 工业炉	474
一、引言	474
二、热利用的一般原理	475
三、燃料在炉中的燃烧	476
四、火焰的物化特性	478
五、燃料燃烧计算	480
六、固体和液体燃料的燃烧计算	482

七、炉内传热.....	492
八、外传热.....	494
九、内传热.....	501
十、恒温炉中物体加热的计算.....	504
十一、炉子中气体的运动.....	510
十二、有燃烧室辐射壁的管式炉.....	513
十三、炉子设计步骤.....	514
十四、计算.....	515
参考文献.....	549

第一章 传热设备的分类和应用

一、引言

传热设备（换热器）可定义为这样一种设备，即在换热器内，热量从一种流体传给另一种流体。两种流体之间热的传递或者通过直接接触，或者通过两流体之间的间壁进行。

根据传热过程的不同方式，换热器可以分为下列三种基本类型：

- (1) 敞开式或直接接触式换热器；
- (2) 同流型换热器；
- (3) 交流型换热器。

在第一种类型的换热器中，要进行传热的两相或多相之间没有一层固定的间壁将它们分隔开。在第二种类型中，热量通过把热流体和冷流体分隔开的隔板进行传递。在第三种类型中，冷、热流体通过换热器中的同一空间，但它是交替通过，绝不会是同时。

二、直接接触式换热器

当冷流体和热流体的混合无不利影响或是因为工艺所要求时，就使用直接接触式换热器，由于没有耗资大的传热表面，这种换热器潜在的经济效益很大。为了使这种设备能够应用，必须满足下面两个条件中的一条：流体中所包含的某种物质必须发生相变，或者必须使用一种正常情况下不与主工艺流体互溶的流体。

许多型式的工艺过程采用直接接触传热。这些工艺过程可以分成以下类型：

- (1) 闪蒸器；

- (2) 直接接触冷凝器
- (3) 冷却塔;
- (4) 传热流体;
- (5) 直接加热 (风力干燥) .
- (6) 直接使用蒸汽;
- (7) 浸没燃烧。

1. 闪蒸器^[1]

最普遍地使用闪蒸可能是在结晶装置中。在该装置中, 工艺流体被输入到压力比流体的饱和蒸汽压低得多的环境中。通过冷却流体再达到饱和, 这是由一部分流体几乎瞬间蒸发而实现的。

闪蒸的采用并不限于结晶过程。在涉及污液、热敏感流体和高速流体的场合, 也应该考虑应用闪蒸。在有污液的场合, 与蒸发传热相反, 显热传递可能是保证蒸发进行的一种防结垢的方法。当接近饱和点蒸发盐溶液时, 提供足够的背压可以抑制换热器传热面上的沸腾, 从而使结垢很少, 甚至杜绝结垢。

2. 直接接触冷凝器^[2](图1.1)

这是普通型式的设备的一个明显的例子是与真空设备联用的喷淋冷凝器。由于喷淋的表面积相当大, 容易获得高效率, 这在不易冷凝物质存在时特别有价值。喷淋冷凝器中采用的冷凝流体, 包括水、有机液和盐溶液, 当使用后两种冷凝液时, 由于化学物质的成本和废水的问题, 热流体不能直接从管线或冷却塔中排出。

3. 冷却塔^[3,4](图1.2~1.7)

冷却塔广泛用于从工业过程中排除废热, 特别是排除大量热水中的热量。冷却塔的空间受到与热水相接触的冷空气流的限制。来自大气的空气被抽入塔中, 然后通常以较高的温度返回大气。

形式最简单的冷却塔由一系列喷口朝上的喷淋器组成, 四周围有百叶窗板以防水珠向四周扩散 (图1.2), 保证塔内的水平

面减少了水珠下降的平均速率，并增加了下降过程中暴露在冷空气流中的时间，从而增加了冷却塔单位面积的能力。最普通的空气冷却塔由置于填充物或填料之上、喷口向下的水喷淋器组成，填料是专门设计，以促使形成流经填料的水滴或水膜。当空气在塔内自下向上运动时，其密度减小，所以增加空气流量可以加强自然循环，并提高塔的能力。

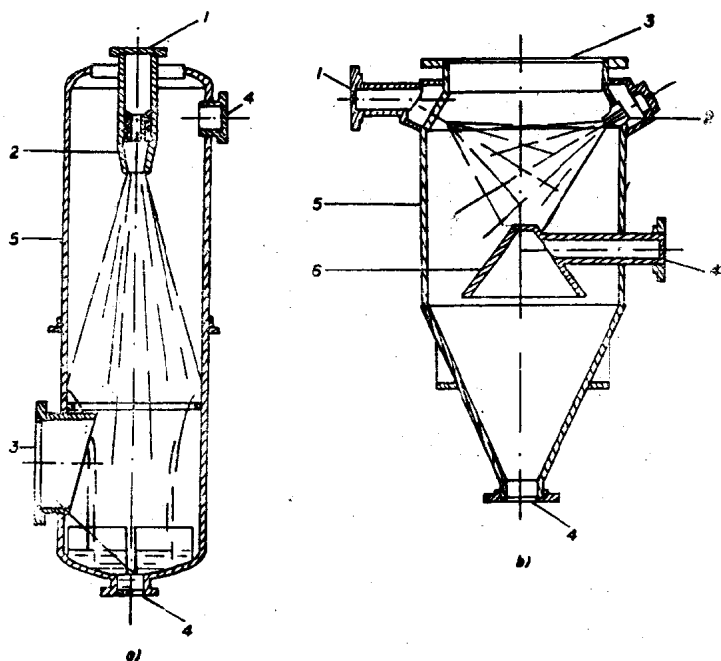


图 1.1 用于蒸汽-水的喷淋冷凝器

a) 一交流型； b) 一同流型

1—流体入口；2—喷嘴；3—人孔；4—通风口（蒸汽出口）；

5—壳壁；6—通风口盖

图1.3所示为一冷却塔，塔内热空气靠自然对流循环。在塔的入口或出口处安装一台风扇可以提高一座简单塔的能力（图1.4，1.7）。这叫做强制通风或诱导通风。在不使用中间冷

却系统的情况下，要泵送含水工艺流体经过冷却塔几乎是不可能的。很明显，如果这个过程可行，其效率是很低的。

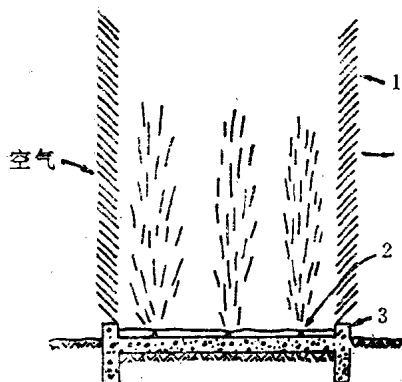


图 1.2 由百叶窗封闭喷淋池而构成的一座简单冷却塔的剖面图

(参考文献[3])

1—百叶窗板；2—喷淋嘴；3—混凝土基础

4. 传热流体^[7]

“传热流体”这一术语通常是指应用某种流体，如导热姆换热剂，或液态金属在高温而不是在蒸汽产生的高压下传热。

为了传热，两种流体可以互相直接接触。就象为了避免随高温水-蒸汽系统产生的高压而使用低挥发性流体一样，为了避免随低温水而出现的非常低的压力，也可以使用挥发性相当高的流

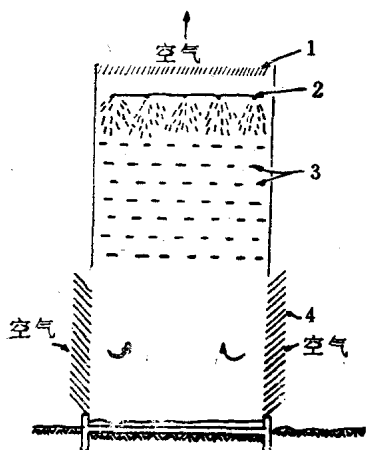


图 1.3a 以内装填料和多喷嘴喷淋增加有效水珠表面积的一座自然对流冷却塔断面图 (参考文献[3])

1—气流限制器；2—喷水系统；
3—填料层；4—百叶窗板

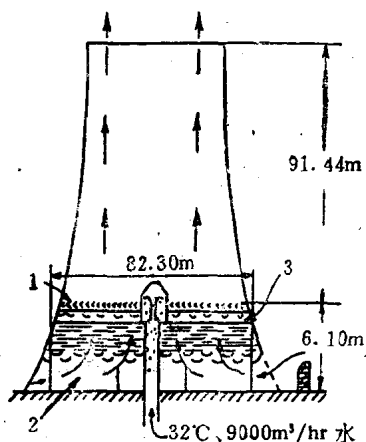


图 1.3b 放有栅格填料的自然通风式冷却塔

1—喷淋限制器；2—控制错流的折流板；
3—板状喷淋分布器

体。例如，如果象丁烷一类的易挥发有机流体与含水盐溶液直接

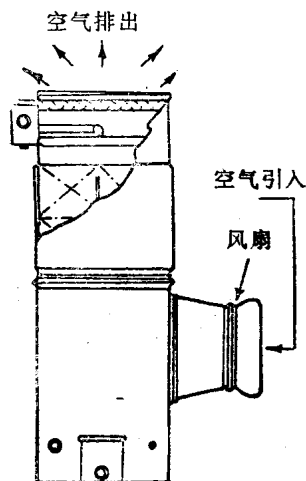


图 1.4 强制引风对流塔
(参考文献[5])

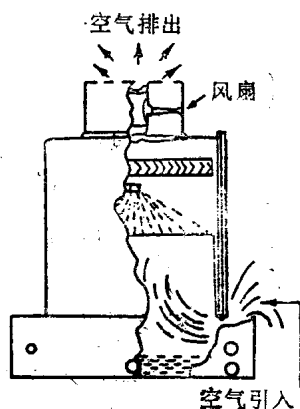


图 1.5 诱导通风对流塔
(参考文献[5])

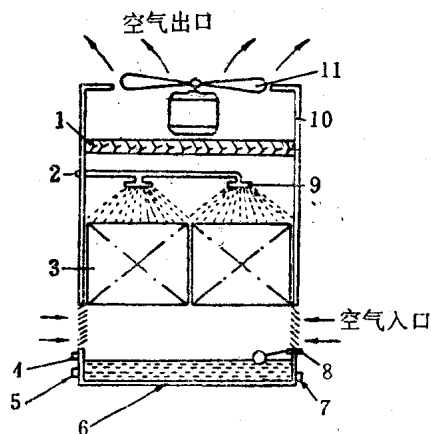


图 1.6 一座典型的机械引风冷却塔示意图 (参考文献[5])

1—气流限制器；2—入水口；3—填料；4—溢流口；5—出水口；

6—罐或池；7—放水口；8—浮阀；9—水分系统；

10—外罩或壳体；11—风扇

接触并搅拌，在有机流体蒸发后便可得到大量晶体。其主要过程既简单又有效；然而，回收和重新使用有机流体可能有大量问题。因此，尽管可能得到高的传热率，这一工艺仅仅在特殊环境条件下在经济上可行。

5. 直接加热（风力干燥）^{〔8〕}

热空气在许多化学加工过程中广泛用作传热流体，例如用于一些干燥过程。其技术之一是通过直接接触，用热空气来干燥固体颗粒。供燃烧用的充足的空气与过剩空气一起，鼓入一个炉子内以产生400~500℃的出口气体。潮湿的固体颗粒然后自上而下与这些气体接触，并送至某个分离设备。空气在大气压下快速冷却，而固体颗粒这时并未破碎。只要有任何剩余水从固体颗粒表面蒸发，颗粒的温度就不可能高过100℃。尽管这一技术对过程控制的要求很高，许多年来一直延用。这种技术除特定计划的使用之外，在诸如从炉子废气中回收热的时候也可以考虑采用。

6. 直接蒸汽喷射

在一些应用中，可以通过直接使用蒸汽来提供加热。以这种方式使用蒸汽，没有冷凝液回收。冷凝液的价值取决于它的热焓和所处理物质的含水量。水及其软化的价值很少足于与回收冷凝液的设备的安装开支相平衡。冷凝液的热值数倍于水值。尽管从全部过程蒸汽中，而不仅仅是从冷凝液中，回收热能通常有更大的价值，但是，在有效的蒸汽喷射中，只将冷凝液的一部分热值直接传递给过程。

7. 浸没燃烧^{〔9〕}（图1.7）

浸没燃烧包括火焰与它的热气体、或与所要加热的流体之间的直接接触。这种情况下的流体几乎肯定是要蒸发的。在初始投资中，燃气设备更便宜，然而，通常燃料更昂贵。操作费用较高，但若这项技术用于高热负荷，这种高热负荷构成了整个工艺热负荷的较大部分，甚或是主要部分，那么主锅炉房可大大缩小。

在化学加工工业中，直接接触传热也是某些设备的单元过程