

工程传热传质学

(上册)

工程传热传质学

(上册)

王补宣 著

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书是为适应研究生培养需要所编写的专著,在总的深度和广度上都已超出国内现有高等院校传热学教科书的要求。

全书十五章,分上、下两册。上册七章,除第一章作为全书导论之外,系统地深入阐明导热理论(第二章至第四章)、辐射传热理论(第五、六章)和对流传热理论基础(第七章),注重明确的物理概念,并且严格地由过程的物理模型建立起相应的数学模型,着重启示工程应用和分析研究的基本观点和方法,尽可能以有限的篇幅提供较新的研究报告和有关的资料线索,还收编了33个专门的例题。

本书下册八章,将继续上册第七章讲解对流换热理论,有相变的传热过程、换热器的热计算、高速气流传热、传质过程和现代传热的某些个别问题。可供从事传热和涉及传热的新技术研究与工程设计人员参考,还可供高等学校师生、特别是工程热物理专业的师生作为充实传热学课程教学的参考。

工 程 传 热 传 质 学

(上 册)

王 补 宣 著

责任编辑 陈文芳

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982年8月第一版 开本: 850×1168 1/32

1982年8月第一次印刷 印张: 14 1/8

印数: 精 1—3,700 插页: 精 2

平 1—4,700 字数: 371,000

ISBN 15031·416

定价: 26.50元

布脊精装 3.20 元
定价: 平 装 2.60 元

前 言

传热是一种最常见的自然现象。几乎所有的工程领域都会遇到一些在特定条件下的传热问题，包括有传质同时发生的复杂传热问题。现代科学技术突飞猛进，象核动力的大型化、空间技术的深入发展、电子器件的微型化与密集化、环境污染的治理、低温超导、磁流体发电、红外和激光等新技术的应用等等，要求传热分析细致化和传热计算精准化。七十年代出现的能源危机，加快了对新能源开发利用的步伐，给传热传质的研究以新的推动。传热传质学的应用研究还正在渗入到农业、生物、医学、地质、气象等更为广泛的领域。与此同时，电子计算机的日益普及，计算方法和测试技术的不断改进，充实了传热传质研究的手段，使传热传质学成为当代技术科学中比较活跃的主要基础学科之一。

本书是为了适应研究生扩大培养的需要而编写，在总的深度和广度上都已远超出国内现有高等学校《传热学》教科书的要求。本书将深入地阐明传热传质学的基本理论，注重明确的物理概念，并且严格遵循过程的物理模型，建立相应的数学模型，着重启示工程应用和分析研究的基本观点和方法，根据著者三十多年来从事传热学教学和科研实践所积累的经验 and 体会，尽可能以有限的篇幅提供较新的研究报道和有关的资料线索。希望本书能对从事传热和涉及传热传质的新技术研究与工程设计人员起工作参考书的作用。根据这种编写的意图，本书取名“工程传热传质学”。

按照教育学的原则，本书采用“由浅入深，循序渐进”的编列方式，注意预留伏笔，前呼后应，相互补充。讲解力求深入浅出，顺理成章，包括指明某些尚待研究的趋向和设想，但又保持科学严谨性，而不是牵强附会。凡在通常教科书里所易见的，尽量避免简单的重复。所收编的例题，也主要限于能用来阐明较深入的典型分

析示例。本书用脚注指出所引资料的来源或介绍可以参阅的有关资料,并不想提供全部重要的参考文献。近年来,国际上公开发表的传热传质方面的文献每年已超过一万篇,可以从国际传热传质杂志(IJHMT,月刊)上找到对前一年文献的综述和主要文献的目录。

除了第一章作为全书导论,最末一章扼要介绍一些比较重要的个别专题以外,本书基本上遵循传统的体系,分别讨论导热理论(第二章至第四章)、热辐射理论(第五章至第六章)和对流换热理论(第七章至第九章)。但在具体编排上,努力做到加强前后的连贯性,防止截然的割裂开来。例如,早在第三章就提出了导热积分方程近似解,第四章用以解半无限大物体的不稳定导热,这为对流换热边界层理论的讲解作了预先的准备。再例如,第七章的篇幅相对比较庞大,不仅引述了所必需的流体动力学基础,还结合不可压流体顺平板流动时的对流传热分析,着重阐述层流与湍流边界层理论,具体指明热量传递与动量传递的比拟理论、以及相似原理和量纲分析的实际意义,为后面的有关各章奠定牢固的理论基础。本书把凝固和熔化、亦即具有移动界面的固体导热与沸腾和凝结合并成第十章(“有相变时的传热”)。紧接着讨论换热器的计算(第十一章)、以及回热器与固定床和流化床的传热(第十二章)。把多孔固体的传质冷却(发散和发汗冷却)也放在第十二章里处理。高速气流与稀薄气体的传热,本可以归属于比较特殊的个别专题,却被单列成第十三章,同时介绍宇宙航行器重回大气层的传热和烧蚀过程的分析。然后集中讨论传质(第十四章),确立传热、传质、动量传递三者之间相互比拟的联系,对自然环境中的蒸发过程和工业上的加湿和减湿过程都作了适当的论述。

本书对数值解法已给予足够的重视,可是对电子计算机作为计算工具的使用,只提供参考资料,未写进专用的计算机程序。著者认为:计算机的算法语言还未统一,每种计算装置的输入设备、输出设备和子程序能力也不尽相同,受全书篇幅的限制,与其介绍计算机的程序编制方法,不如多讲点传热传质的本门知识和基本

分析方法。同样的理由,本书只引用数学知识,避免或者尽量少牵涉对整体来说尚非必要的那些比较特殊的数学内容,例如拉普拉斯变换和变分法等。传热传质学的不少方面、包括实验方法在内都能编写成为专著,本书没有打算要囊括一切地全部包罗进去。

本书坚持理论和实际结合,强调理论的发展要接受实践的检验,务求不抱成见地正确对待精确和近似的分析解、数值解、图解、模拟解、经验公式和工程图表的使用。全书统一使用国际单位制(SI制),但温度容许同时使用摄氏温度($^{\circ}\text{C}$),压力暂先沿用工程上所习惯采用的[巴]和[气压]。

本书在编写过程中,曾得到同事们和许多同行的鼓励和支持,也得到了科学出版社编辑同志的帮助和协作。试用初稿的研究生还曾提出过不少可取的意见和建议。对所有这些同志,著者愿在此一并向他们表示诚挚的谢意。编写这样一本内容广泛而又要求比较系统深入的书,缺点和谬误在所难免。恳切地希望使用本书的同志们对所发现的缺陷不吝指正,让本书能在不断修改和充实提高的过程中发挥作用,对我国现代化进程有所贡献。

王 补 宣

于清华大学热能工程系

1980年9月

目 录

前言

第一章 导论	1
§ 1-1 传热传质学的研究对象和方法	1
§ 1-2 传热的基本方式	4
§ 1-3 导热的基本定律和导热系数	8
§ 1-4 对流换热和放热系数	16
§ 1-5 热辐射的基本定律和辐射换热	21
§ 1-6 复杂传热	28
§ 1-7 单位制	31
第二章 导热理论和一维稳定导热	<u>34</u>
§ 2-1 导热微分方程	34
§ 2-2 导热过程的单值性条件	41
§ 2-3 直角坐标的一维稳定导热	43
1. $\lambda = \text{常量}$	44
2. λ 随温度改变	51
§ 2-4 圆柱坐标的一维稳定导热	53
1. 单层圆筒壁	53
2. 多层圆筒壁	57
3. 临界绝缘直径和经济绝缘厚度	60
§ 2-5 球坐标的一维稳定导热	62
§ 2-6 有内热源的一维稳定导热	65
1. 大平壁	65
2. 长圆柱和长圆筒壁	74
§ 2-7 枢轴的稳定导热	77
§ 2-8 肋壁的稳定导热	81
1. 定截面直肋	84
2. 变截面直肋和环肋	88

3. 肋的选用和设计	91
§ 2-9 L接触热阻	94
第三章 二维和三维稳定导热	98
§ 3-1 分析方法概述	98
§ 3-2 解析法	100
1. 导热系数为常量时的精确解法	100
2. 导热系数随温度改变的考虑	104
3. 近似解析法	106
§ 3-3 虚拟热源和映象法	108
§ 3-4 图解法	115
§ 3-5 数值解法	120
§ 3-6 模拟法	132
§ 3-7 导热形状因子	135
第四章 不稳定导热	139
§ 4-1 内部热阻可被忽略时的不稳定导热	139
1. 环境温度 t_f 保持常量	142
2. 环境温度 t_f 周期地变化	149
3. 环境温度 t_f 随时间线性地变动	152
§ 4-2 大平板的不稳定导热	154
§ 4-3 半无限大物体的不稳定导热	160
1. 精确解	161
2. 近似解法	169
§ 4-4 不稳定导热图表	171
1. 大平板、长圆柱和圆球	171
2. 二维和三维物体	178
3. 初始温度和边界温度不均匀时的不稳定导热	182
§ 4-5 周期性的受热和冷却	184
§ 4-6 不稳定导热的数值解法	193
§ 4-7 不稳定导热的图解法	199
§ 4-8 不稳定导热的热源解法	205
1. 瞬时作用的集中热源	205
2. 连续作用的热源	213
§ 4-9 移动热源的动坐标转换法	218

1. 平面热源	219
2. 线热源	222
3. 点热源	224
第五章 热辐射	227
§ 5-1 热辐射的物理基础	227
1. 黑辐射	230
2. 辐射率	233
3. 辐射强度	234
4. 有效辐射和净辐射热流密度	236
§ 5-2 固体和液体的热辐射性质	238
§ 5-3 气体热辐射性质	245
1. 气体的吸收系数和气层吸收率	246
2. 气体辐射的选择性	248
3. 气体辐射率图表及其应用	250
4. 射线平均行程	254
5. 容积辐射能流密度和容积辐射系数	256
§ 5-4 火焰辐射	258
§ 5-5 自然环境中的热辐射	260
第六章 辐射传热	273
§ 6-1 由透明介质隔开的固体之间的辐射换热	273
1. 组成封闭空间时, 两物体间的辐射换热	273
2. 任意位置的两表面之间的辐射换热	279
3. 多个表面组成封闭空间的辐射换热	282
4. 准灰表面	286
§ 6-2 角系数	287
1. 角系数的解析式	288
2. 角系数图表	291
3. 角系数的代数解法	294
§ 6-3 辐射传热的网络模拟法	302
§ 6-4 遮热板	307
1. 板状遮热板	307
2. 筒状遮热板	309
§ 6-5 正反射表面之间的辐射换热	311

§ 6-6	通过吸收和透射性介质的辐射换热	319
1.	通过吸收性气体的辐射换热	319
2.	通过选择性半透明固体的辐射换热	323
§ 6-7	辐射放热系数和辐射导热系数	327
§ 6-8	平衡温度	329
§ 6-9	辐射能的传递方程	334
第七章	对流传热原理	339
§ 7-1	对流换热的物理基础	339
1.	流体的性质	341
2.	流体流动的基本类型	348
3.	边界层	352
4.	热边界层	358
5.	努赛尔数 Nu	361
§ 7-2	流体运动的基本方程	363
1.	连续性方程	363
2.	动量方程	365
3.	能量方程	370
§ 7-3	不可压流体沿平板边界层层流放热的精确解法	375
1.	层流边界层方程	376
2.	流函数 ψ	379
3.	边界层厚度和壁面摩擦阻力	380
4.	热边界层能量方程和放热系数	387
§ 7-4	边界层近似分析解法	393
1.	边界层动量积分方程	393
2.	热边界层能量积分方程	398
3.	液态金属沿等温平板边界层层流时的放热	404
§ 7-5	湍流时热量传递与动量传递的比拟	406
§ 7-6	不可压流体沿平板边界层湍流时的放热	415
§ 7-7	湍流传热理论的进展	422
§ 7-8	量纲分析和相似原理	432

第一章 导 论

§1-1 传热传质学的研究对象和方法

传热传质学是研究由于有温度差异所引起的能量传递过程、包括有“相变”和组分混合时伴随发生物质迁移现象的一门科学。

差异就是矛盾。当物体内部或物系之间出现温度差异，或者温度不相同的物体彼此接触时，就有了相对比较“热”和“冷”的矛盾双方，总会发生热量从温度较高地区传往温度较低地区的能量传递过程，通常称为“传热”。所传递的热量，无法直接看到，但是所产生的效应是可以被观察和测定的。在不作“功”的情况下，体积不变时的物体得到或传出热量，将引起“内能”的增减，反映为温度的升降，或者产生“相”和凝聚态的变化。自发的传热，永远使对立的冷、热双方各向自己的反面转化：原先温度比较高的，因传走热量而逐渐被冷却；原先温度比较低的，则因得到热量而逐渐被加热。这样，随着相互之间的温差缩小，传热过程的动力也就越来越小，最终将建立起温度一致的“平衡”状态。如果想维持某部分的温度高于另一部分的温度，就必须从外界不断向温度高的那部分补充传走的热量，并从温度低的那部分取走所传递的热量。

传热，当然也包括热量传递的同时，出现能的形式之间转化的更复杂的过程。例如，高速气流对固体表面的“气动加热”效应，电机电器的通电发热，电光源在白炽高温下的辐射热，化学反应总伴随着吸热、或者放热等等，所传递的热量就来源于机械能、电能、光能、化学能等其他形式的能转化为热。因此，广义的传热学可被看作是“能量传递学”。而研究热和其他形式的能之间相互转化的科学分支是“热力学”。这表明：传热过程必然要遵守热力学第一定律和热力学第二定律这两个自然规律。热力学第一定律所阐明

的,是运动不灭、能量守恒和转化的自然法则,任何传热过程决不能违背能量收支平衡的原则。热力学第二定律指出自然界的过程总是有条件进行的,传热只能从温度较高处传往温度较低处。热力学把传热量和功量(包括机械功、电功等)作为“转移能”,与位能、动能、内能的作为“储存能”明确区别开来,转移能是由过程前后储存能的改变转化来的。但是,经典热力学只限于研究“平衡态”和保持动平衡的“可逆过程”。而热量传递的过程是温度不平衡的结果,是典型的不可逆过程,必须由另一个科学分支对传热的快慢程度进行定量分析和计算,这个科学分支就是“传热学”。具体地说,如果不发生能的形式转化,单纯传热过程的外传热量是过程前后的“内能”差额;如果还有功量输出,过程的外传热量将是过程前后的内能差与功量的代数和。这种热力学分析,既不涉及传热的机理,也不管外传热量所需时间的长短。专门研究传热的规律,计算给定条件下的传热速率、亦即“热流量”¹⁾的大小,是传热学的任务。传热学和热力学一起,成为了解各种热物理现象的理论基础。

在现代工程设计中,经常遇到有关加热、冷却、蒸发、凝结、熔化、凝固、隔热保温等各种各样的实际问题。例如,热工和化工技术人员在评价锅炉、致冷机、换热器和反应器的设备大小、能力和技术经济指标时,就必须进行详尽的传热分析。一些工作在高温气氛下的部件,如燃气轮机的透平叶片和燃烧室壁能不能在设计工况下正常地长期运行,将取决于保护金属结构材料的冷却措施的性能是否可靠合适,还必须重视热应力和由此引起的形变等问题。许多新兴技术装备,如原子反应堆的堆芯、大功率火箭的喷管、紧密的电子器件、以及要求重返地面的宇宙飞行器等等,要使设计成功,都必须严密控制传热情况,维持合理的预期工作温度。

1) “热流量”这个名词,沿用已久,带有浓厚的“热素说”(或叫“热质说”)的烙印。错误的“热素说”曾经长期统治了物理学近两个世纪,把传热量当作一种没有重量的物质“热素”从温度较高处流往温度较低处,于是,单位时间传递的热量被叫做“热流量”。至今通用的热量的计量单位“卡”本身,也就是“热素”(calorie)音译的简称。直到上世纪中叶,才公认传热量是一种转移能,并正式建立起热力学的理论。

而对电机、变压器和轴承的连续工作,同样要防止因超温过热而损伤设备。在机械制造工艺方面,不仅热加工直接牵涉到温度分布和随时间变动速率的控制问题,象精密机床的切削速度也会引起刀具和加工件的发热,影响加工精度和刀具寿命。建筑部门,将遇到围护结构的隔热保温、以及大型混凝土结构在快速浇灌中出现热应力等技术问题。所有这些列举的传热问题,归纳起来,不外有两种类型:一类是着眼于传热速率的大小及其控制问题,或者增强传热、缩小设备尺寸或提高生产能力,或者削弱传热、避免散热损失或保持设备内部低于周围环境温度;另一类则着眼于温度分布及其控制问题。自然,要控制传热,必须按照客观规律办事,具体分析传热的情况,找出有效的控制措施。有关高温部件保护性冷却的进展,使传热与传质紧密地结合了起来,传热学逐渐引伸成为传热传质学。

象其他工程科学一样,在工程传热传质学里,也需要在解决实际问题时作出适当的假定和理想化条件。要完全确切地描写实际现象的一切方面,对工程研究来说,通常是不可能的,总要扬弃某些次要方面,作出近似化的处理。这可以运用“数量级”分析的方法,暂先忽略那些影响程度相对很小的因素,使复杂的问题基本得到解决,而又保证必要的准确性。当然,在表达这种最后解答时,一定要强调所依据的假定和近似假设的条件。物质的热力学性质和传递性质(或叫“迁移性质”),往往随温度改变,如果选定适宜的平均值,取作常量,传热速率的计算将大为简化,不会引起最终结果的明显误差。固体受热时,因体积膨胀所作的功,相对于内能的增加,总可被忽略不计。气体分子的间距虽比固体和液体的都大,除非压力太低,气体过于稀薄,分子相互碰撞的“自由径”长度比起传热分析所考虑对象的几何尺寸来,仍然小到可以看作是“连续”的介质。再例如,长期连续运行后,会使锅炉和换热器的受热面上结垢而削弱传热速率,需要在设计时引进合理的安全系数或预估垢层影响,免得运行一段时间后达不到铭牌出力。这种解决问题的简化假定和近似化,需要从事设计和运行改进的科技人员有一

定的工作经验和细致考虑问题的能力。

自然界,到处存在着温度差异,传热是一种非常普遍的自然现象。但是,传热又有它的复杂的一面,可以有不同的基本方式;传热速率并不由单一的关系式所决定,而是不同的方式分别受不同的物理定律的制约。所以,尽管人们基于对热与冷的现象本质的追究,很早就开始摸索传热的规律性,传热学单独形成一门系统的科学,却只有半个多世纪的历史。理论的基础是实践,又转过来为实践服务。随着科学技术的日新月异,特别在原子能和其他新能源的开发利用、以及宇宙航行等尖端技术方面不断出现新的传热和隔热等关键问题,促使传热学得到了愈来愈迅速的发展。近年来,电子计算机的逐步普及,计算和测试技术的继续改进,也正在丰富传热传质研究的手段,从而加速传热传质研究的进程。

在本章随后几节中,将扼要介绍传热的基本方式,给出有关的定义和最基本的概念,以便由浅入深、由简单到复杂,分章讨论不同的局部时,不会看不到全局而损害对整体的考虑。

§ 1-2 传热的基本方式

在传热文献里,通常认为传热可有三种不同的基本方式:热传导,热对流和热辐射。

“热传导”简称“导热”,是指温度不同的各部分物质仅仅由于直接接触、没有相对宏观运动时所发生的能量传递现象。导热是物质的本能。如果追根究底,那末,根据分子运动论,温度是物质热运动激烈程度的衡量,只要物体内部温度分布不均匀,不同地点微观粒子的动能就不会相等,通过气体中分子或原子的彼此碰撞、液体和不导电固体(介电质)中的弹性波作用、或者在金属中还依靠自由电子从温度较高区向较低区的扩散而引起能量的传播。

“热对流”是指流体(气体或液体)中温度不同的各部分相互混合的宏观运动引起热量传递的现象。流体温度分布不均匀时,也将本能地产生导热。因此,热对流总和流体的导热同时发生,可以

看作是流体流动时的导热。在工程上最具实际意义的，是相对运动着的流体与所接触的固体壁面之间的热量交换过程，一般叫作“对流换热”，简称“放热”或“给热”过程。无论“放热”或“给热”都不过是一种技术名词，用来泛指流体与壁面之间温度较高的一方把热量传给了温度较低的一方。此时，流体的运动情况将主要影响对流传热的有效性。研究对流传热，总离不开流体的导热和流体动力学的基础。

“热辐射”是指物质对外发射波长 0.1—100 [微米]的“热射线”在空间传递能量的现象。波长从单色紫光的 0.38 [微米]到单色红光的 0.76 [微米]那部分热射线是人眼能分辨的可见射线，即通常所说的可见“光”；波长超过 0.76 [微米]的射线是红外线，而波长短于 0.38 [微米]的则是紫外线。习惯上，“辐射”常被用来概括电磁波的发射，电磁波所运载的能量就叫做“辐射能”，是以光速推进、依靠光(量)子传递的能量，可以更形象地把发射电磁波当作对外发射射线——“能束”。热射线运载的辐射能则称为“辐射热”。太阳向地球表面辐射热量，就是典型的热辐射过程。其实，任何物体都在连续向外发射辐射热，温度越高，不仅辐射热越强，而且辐射能量按波长分布的比重，将从红外部分更多地向可见射线部分转移。例如，工程上最常遇见的是温度低于 1500°C 的热辐射，辐射能量绝大部分集中在红外线部分，可见射线和紫外线部分所占的份额小到可被忽略不计。由于这个缘故，往往把热辐射看作是红外辐射。但是，象太阳表面温度高达 6000 [K]左右，太阳辐射热总量的 1/3 还多，集中分布在可见光部分。光的辐射可以直接观察，所以，常用光辐射来对比理解热辐射现象。当热射线穿过空间，落在固体或液体表面上，除了一部分能量将被表面反射以外，都将被表面薄层里密集分子所吸收。对于金属，这个表面薄层的厚度只有零点几 [微米]，非导体也不过零点几 [毫米]。象玻璃、石英之类的固体和多数液体对可见光具有一定的透明性，但对红外辐射同样表现为强烈的吸收性。可以认为：在一般的密实固体内部和液体中不会有辐射热的传播。气体分子的自由径较大，容许热

射线在分子之间的空隙里穿行,或者说,热辐射可以透过相当厚的气体层。

热辐射,不同于导热和热对流,是不接触的传热方式,不依赖常规物质的中间媒介作用,所以是高度真空中唯一能够传递热量的方式。两个不接触的物体表面,或者固体或液体表面与周围气体间的相互辐射和吸收,就构成“辐射换热”或“辐射传热”过程,引起净热量从温度较高的一方朝着温度较低的另一方转移。

除非存在空气夹层或者气隙,在不透明的固体内部只能由导热传递热量。对于液体和气体,各处温度不一致时,如果不是液体层和气体层非常薄、而且愈靠近上面密度愈大的情况,总会在发生导热的同时,因密度的差异出现“自然对流”。气体中,还可以有热辐射起作用。无论导热、对流换热或辐射换热,都需要有传热温差,这是它们的共同点。工程上常遇到的传热过程,往往是导热、热对流和热辐射三种方式的具体组合。例如,现代工业企业里最常见的各种换热器,就是让温度不同的两种流体(气体或液体)在器内流过时,为了防止它们之间的彼此混杂而用固体壁隔开,这样,从进口到出口,热流体传热给冷流体的结果,热流体将被冷却,而冷流体则被加热。在示意图 1-2-1 中,热流体传热给冷流体的

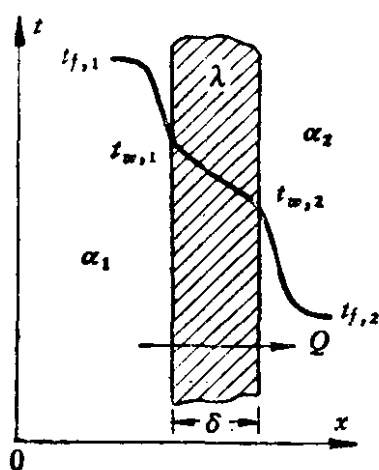


图 1-2-1 通过平壁的稳定传热

整个过程,实际上包含着三个串联的阶段:热流体与固体壁左侧表面之间的对流换热;固体壁内部的导热;固体壁右侧表面与冷流体之间的对流换热。当流体不是液体,而是气体时,壁面和气体之间既可依靠对流换热,还可以因壁面发射和吸收热射线而出现辐射换热。如果热流量 Q [瓦]¹⁾ 不随时间改变,就说换热器的操作“稳定”。

1) 采用工程单位制时,热量的计量单位为[卡]或[千卡],1[卡]=4.186[焦耳];热流量 Q 的单位是[卡/秒]或[千卡/时];1[瓦]=1[焦耳/秒]≈0.24[卡/秒]=0.86[千卡/时](详见 §1-7)。

此时,热流量 Q 也必须沿途成为常量.因为左侧传给壁的热流量 Q_1 若与右侧从壁传走的热流量 Q_2 不相等时,固体壁就会蓄积或者损失热量,表现为壁温的升降,从而改变壁和两侧流体之间的温差,不可能保持原有的热流量 Q_1 和 Q_2 稳定不变.

分析实际传热问题,不仅需要弄清楚有哪些基本方式在起作用,还应该搞明白传热过程属于“稳定”、还是“不稳定”¹⁾.工程传热问题很多属于“稳定”的类型.调节换热器的工况,改变热流体、冷流体的进口温度和流量时,或者把热处理件投入炉中加热升温,所经历的是不稳定传热过程.这种随时间变动的热现象总比稳定传热的现象要复杂得多.一种特殊的情况是环境温度重复周期性的变化,每一个周期都与前一个周期或后一个周期的发展过程完全一样时,则被称作“周期性传热”或“准稳定传热”过程.

参看图 1-2-1,经验表明:在稳定工况下,每单位时间通过平壁所传递的“热流量” Q [瓦]将正比于平壁两侧流体的温差 $(t_{f,1}-t_{f,2})$ [°C]和平壁表面积 F [米²],或

$$Q = kF(t_{f,1} - t_{f,2}), \text{ [瓦];} \quad (1-2-1)$$

式中,比例系数 k [瓦/米²·°C]²⁾叫做“传热系数,代表两侧流体温度相差 1°C 时、每单位时间每 1 [米²] 传热面积所能传递的热量.如果引进每单位面积的“热流密度”(或“热流通量”,也可叫作“热流强度”) q [瓦/米²],即

$$q = \frac{Q}{F},$$

代表每平方米传热面积所负担的热流量,则

$$q = k(t_{f,1} - t_{f,2}), \text{ [瓦/米}^2\text{]}. \quad (1-2-2)$$

换热器所需承担的总热流量 Q ,可以看作是换热器的“总热负荷”,而 q 则是“面积热负荷”.很明显,传热系数 k 越大,表明传热愈强,换热器能够承担更大的“面积热负荷”,具备更大的传热能力.

1) 我国力学界常把“稳定”和“不稳定”命名为“定常”和“不定常”.

2) 采用工程单位制时,热流密度 q 的单位是[千卡/米²·时],传热系数 k 的单位是[千卡/米²·时·°C]. 1 [瓦/米²] = 0.86 [千卡/米²·时]; 1 [瓦/米²·°C] = 0.86 [千卡/米²·时]. (见 § 1-7).