

30307405

图解传热学

〔日〕北山直方 著

翟贵立 译

天津大学出版社

图解传热学

日 北山直方 著

翟 贵 立 译

蔡 义 汉 审校

天津大学出版社

内 容 提 要

本书是一本风格独特的传热学教材。全书共分七章，系统地论述了导热、对流换热与辐射换热三种基本传热方式的基本理论及换热器计算的基本方法。与通常所见的各种传热学教材不同，本书对传热学各种基本概念及基本原理的论述全部采用独特的图解法进行。论述简明活泼、形象直观、通俗易懂，即使是数学基础较差的读者也不难理解，因此特别适于自学。

本书可作为高等学校工科热能动力、航天航空、建筑、机械、化工、热物理等专业的教学参考书，尤其适合各类成人学校、大专、中专学生、工厂技术人员及各类自学人员学习。

图解传热学

日 北山直方 著
翟贵立 译
蔡义汉 审校

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省永清县印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本：850×1168毫米^{1/32} 印张：77/8 字数：205千字

1990年10月第一版 1990年10月第一次印刷

印数：1—1500

ISBN 7-5618-0195-5

TB·5

定价：3.75元

译者序

本书由日本大分工业高等专门学校教授北山直方所著，并由日本传热学界著名学者西川兼康教授审订和推荐出版。

全书共分七章，系统地论述了导热、对流换热与射辐射换热三种基本传热方式的基本理论及换热器计算的基本方法。与通常所见的各种传热学教材不同，本书对传热学各种基本概念及基本原理的论述全部采用独特的图解方法进行，论述简明活泼、形象直观、通俗易懂、适于自学，即使是数学基础较差的读者也不难理解。因此本书可作为高等学校工科热能动力、航天航空、建筑、机械、冶金、化工、热物理等专业的教学参考书，尤其适合各类成人学校、大专、中专学生、工厂技术人员及各类自学人员参考。

学习传热学和学习其他学科一样，牢固掌握好基本概念与基本原理是至关重要的，这一点，无论是对于中外学生都是如此。为帮助学生牢固掌握好传热学的基本概念与基本原理，国内许多教师曾作过多种成功的尝试和努力。而在这一方面，本书作者所进行的尝试与努力可谓是独辟蹊径，别具一格。这种尝试与努力对于我国的教学工作者也很有参考价值。因此，当译者见到这本风格独特的传热学教材时就立即想把它译过来介绍给我国读者。在天津大学蔡义汉先生的鼓励之下，译者于1985年终于译完了这本书，并承蔡义汉先生进行了校阅。蔡义汉先生是译者天津大学研究生时期的导师，师恩难忘。

天津大学张启先生向天津大学出版社推荐了本译著，译者谨此深致谢忱。

译者

1989年11月于重庆大学

审订者的话

热力学是研究平衡态系统的学问。与此相反，传热学则是探求物体间因存在温差而发生能量传递的规律的科学。传热学不仅在动力工程的领域内占有极重要的位置，而且在机械工程，化学工程、金属工程、环境工程、电气工程等广泛的应用领域内也是如此。特别是近来能源问题突出，传热学的重要性还在日益增加。

即使在工程学中，传热学也是一门较新的学问。日本的大学、高等专业学校系统地讲授传热学还是战后的事。现在，传热学已成了工程学中不可缺少的基础科目。正象热力学中的焓、熵等概念难于理解一样，由于传热学是以热传导与热辐射为基础，且在对流换热部分中必须涉及到流体力学的基本理论，这样就要处理大量的数学问题，因而其内容不易理解。

笔者应邀审订了这本书。本书试用大量的插图，将抽象的传热学内容饶有趣味地图解得简明、易懂，对于数学问题，也考虑了只要具备高中的数学知识就能理解，是一本颇具特色的传热学入门书。如同读者在著者的另一本专著《图解热力学学习方法》中所看到的那样，这本书也充分体现出著者应用图解法解说抽象问题的才能。笔者对此，同时也对著者在绘制说明图书时所付出的艰辛努力谨致敬意。

综上所述，可知本书是一本极其难得的书。由于使用了特别的方法与丰富的插图将抽象的传热学内容解说得简明、易懂，因而，即使是初学者也不难理解。笔者在此向高等专业学校，工业大专以及大学工学院低年级的学生，还向努力自学传热学的工程技术工作者推荐：这是一本极好的教科书兼参考书。

西川兼康

昭和56年12月

目 录

第一章 工程传热学入门	(1)
1.1 工程传热学入门.....	(1)
1.2 热量传递方式.....	(8)
第二章 热传导	(14)
2.1 热传导基本知识.....	(14)
2.2 热传导计算式.....	(26)
2.3 非定常热传导基本方程式.....	(57)
第三章 对流传热基本知识	(80)
第四章 传热过程与换热器	(88)
4.1 平壁传热计算.....	(88)
4.2 圆筒壁传热计算.....	(103)
4.3 换热器.....	(116)
4.4 肋壁传热.....	(133)
第五章 沸腾放热与凝结放热	(151)
5.1 沸腾放热.....	(151)
5.2 凝结放热.....	(160)
第六章 流体的流动和放热	(165)
6.1 流体的流动.....	(165)
6.2 边界层方程式.....	(174)
6.3 对流传热计算.....	(187)
第七章 热辐射	(210)
7.1 热辐射的基本概念.....	(210)
7.2 热辐射的物理性质.....	(213)
7.3 热辐射的工程应用.....	(219)

结束语.....(242)

第一章 工程传热学入门

1.1 工程传热学入门

学习工程传热学的意义 热量传递与生活

现在,怎样实施“节能”的问题已成为我们这一时代的重要议题,不仅是产业部门,就连人们的日常生活也同样和这个问题直接有关。通过报纸和其它宣传工具,“节能”一词成了使用最为频繁的词汇。如何把太阳能热水器等服务于家庭的生活,使现在被白白浪费的热能得到尽可能的节约,有关这些现成热能的有效利用方法问题,现已受到整个社会的高度重视。从国民经济到家庭生活,都面临着节能问题的挑战。

初步考察一下,节能问题大体上包括供热的热源问题,大量产热与长时间的蓄热问题,尽可能地减少蓄热物体散热损失的绝热保温问题,短时间内产生大量热量且能适量放热、冷却等等问题,所有这些问题从概念上说,就是产热、蓄热、放热保温及冷却问题。提出上述这些涉及人类生活及多种领域的问题,目的就是为了进一步采取有效的节能措施,以使我们丰富多彩的生活得到进一步的改善。

另一方面,建筑在社会高度文明基础上的工业界,首先必须以各种热机驱动种类繁多的各种机器。随着科学技术的进步,这些机器及其材料正在逐渐得到改进,在轻型化、小型化的同时,正在逐渐地实现高性能化,并且转速也大大提高。

但是,根据热力学第一定律,这些高效率的机器做功越多,其所需要的转变为功的热量也就越多。根据热力学第二定律,所产生

的这些热量要从高温侧向低温侧传递。在利用上述所产生的热量时，尽可能快地传输热量，或者尽可能慢地散失热量，诸如此类有关热量传递速率的问题，在热机设计时必然倍受重视。

因此，伴随着各种热机的进步，有关热量传递速率的知识及在技术上对其加以实际应用的工程学，在目前这一节能时代作为一门越来越重要的学问自然就受到高度重视（参看图1.1）。这样，

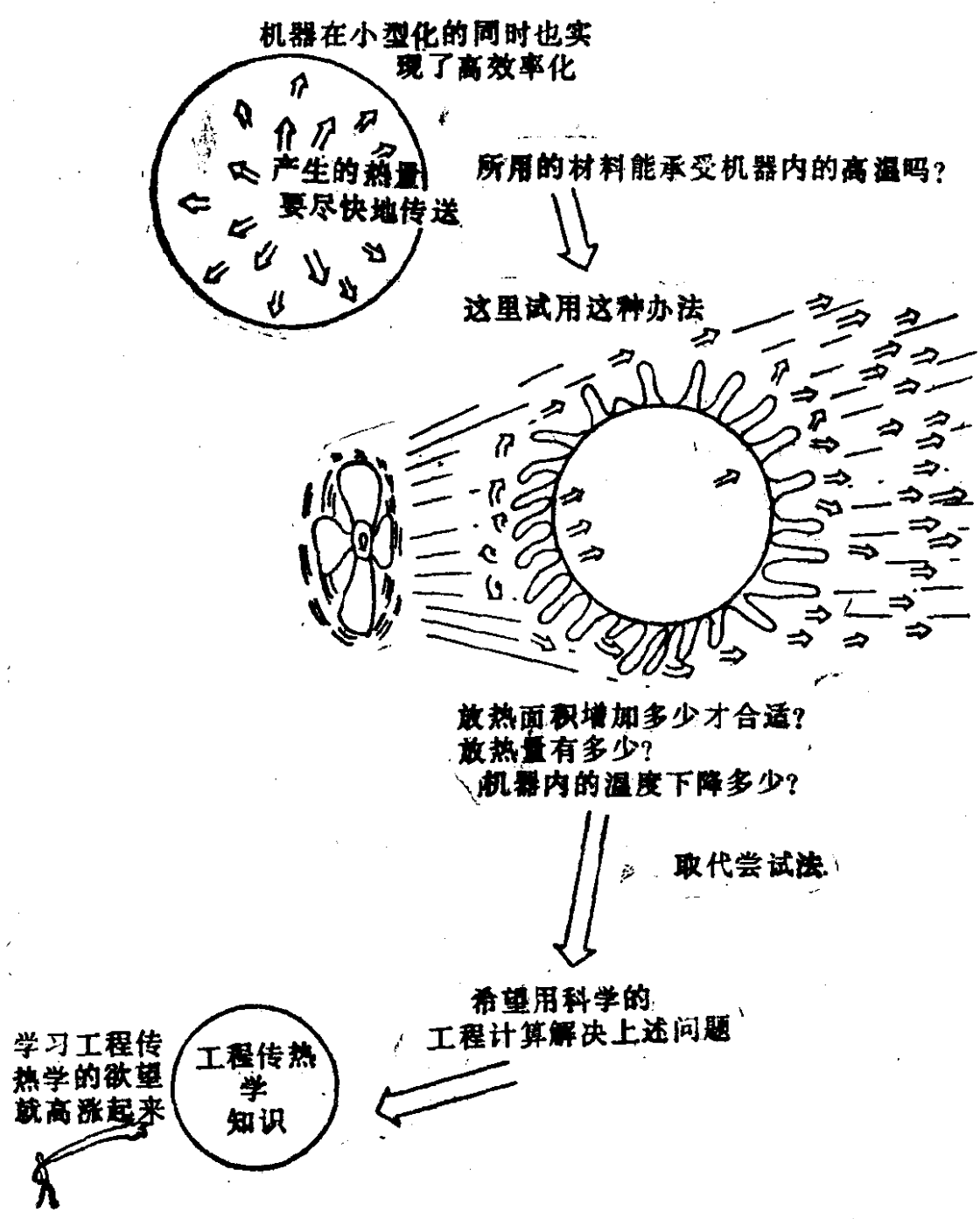


图1.1 对学习工程传热学意义的考察

从根本上说，工程传热学作为处理工程上所出现的有关热量传递速率的问题的科学，自然就顺应时代的要求而成为重要的基础工程学之一。

工程传热学与其它基础工程学科目的关系 热力学与工程传热学

工程传热学的任务，从概念上讲，就是根据从工程上常见的传热方法所总结出来的基本知识来研究热能传递的速率问题。但是，在以热能作为研究对象时，不言而喻，必须是以热力学原理作为研究的基础（参看图1.2）

众所周知，支配热力学的定律只有热力学第一定律和热力学

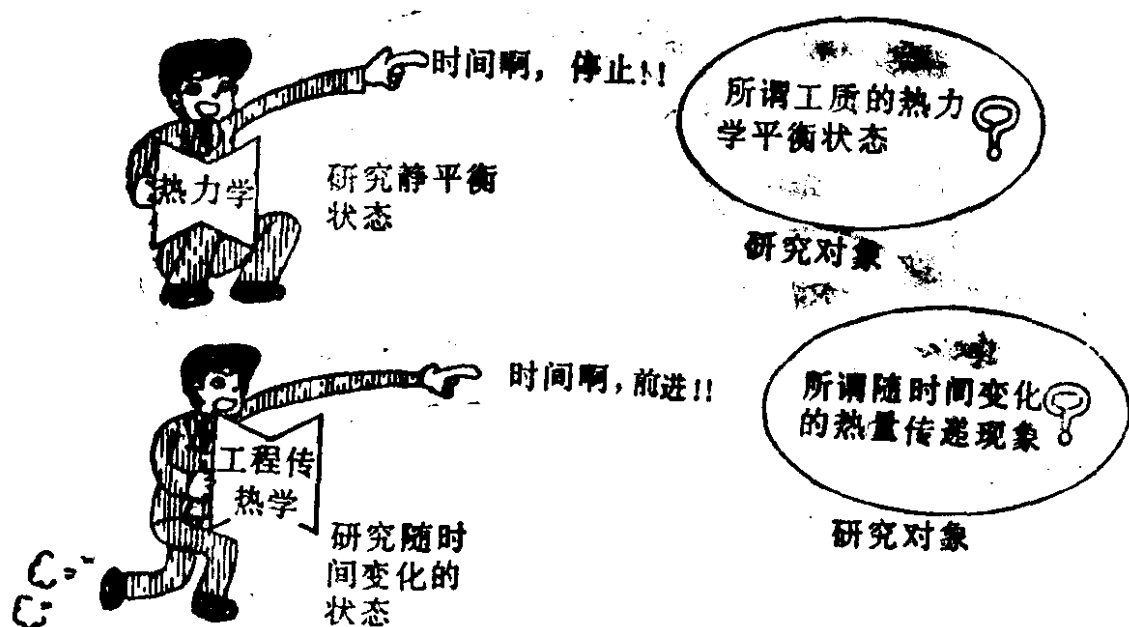


图1.2 以两种不同的角度学习与“热”有关的科学

第二定律。现将这两个定律简述如下：

热力学第一定律指出：“热量与功，同是能的一种形态，且能按一定比例互相转换。”这实质上是从热力学的角度表达的能量守恒定律。

热力学第二定律指出：“工作流体在循环做功时，其所能转变为功的热量仅是其自高温物体吸收的热量的一部分，而其余部分的热量则必然白白地放给低温物体。”这个定律显示了热量传递的方向性。（参看图1.3）

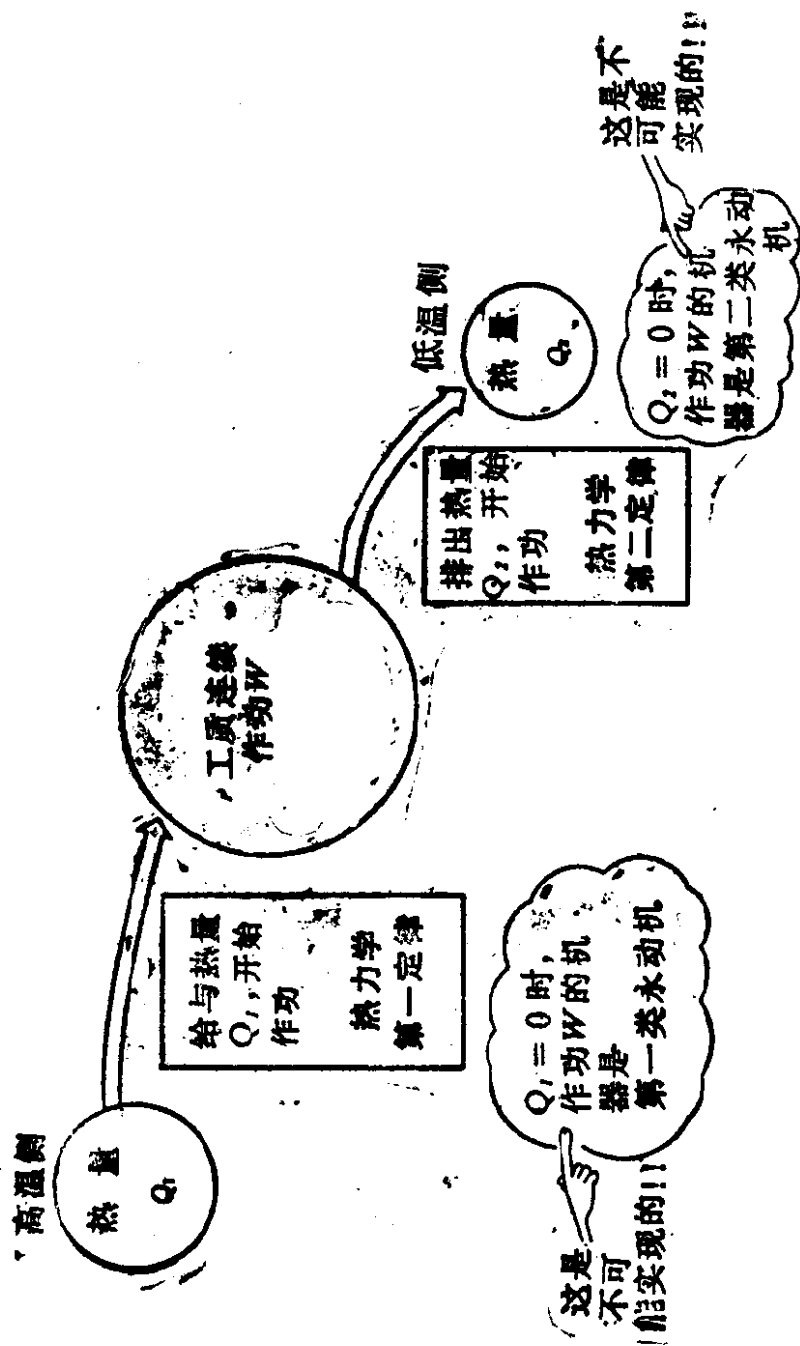


图1.3 为使“工作流体连续做功”，必须遵循热力学第一定律和热力学第二定律

由以上二大定律所构成的热力学为基础工程传热学提出了工业部门实际出现的热量传递的问题，并将其分为热传导、放热与热辐射三种基本热量传递方式，并对传递热量的数量及传递速率的大小等问题进行考察，然后再具体明确接收热量及放出热量的数量与传热过程中的温度变化情况，以满足热机设计制造中所必须满足的工程学要求。

读者以后将看到，工程传热学中的传热速率问题所涉及到的知识领域是极其广泛的，因此，学习必要的基础科目也相当重要。如图1.4所示，必须具有与热传导有关的应用数学、与放热有关的流体力学、与热辐射有关的物理学等范围广泛的基础工程学知识。

热管理师国家考试指导 给希望成为热管理师的人

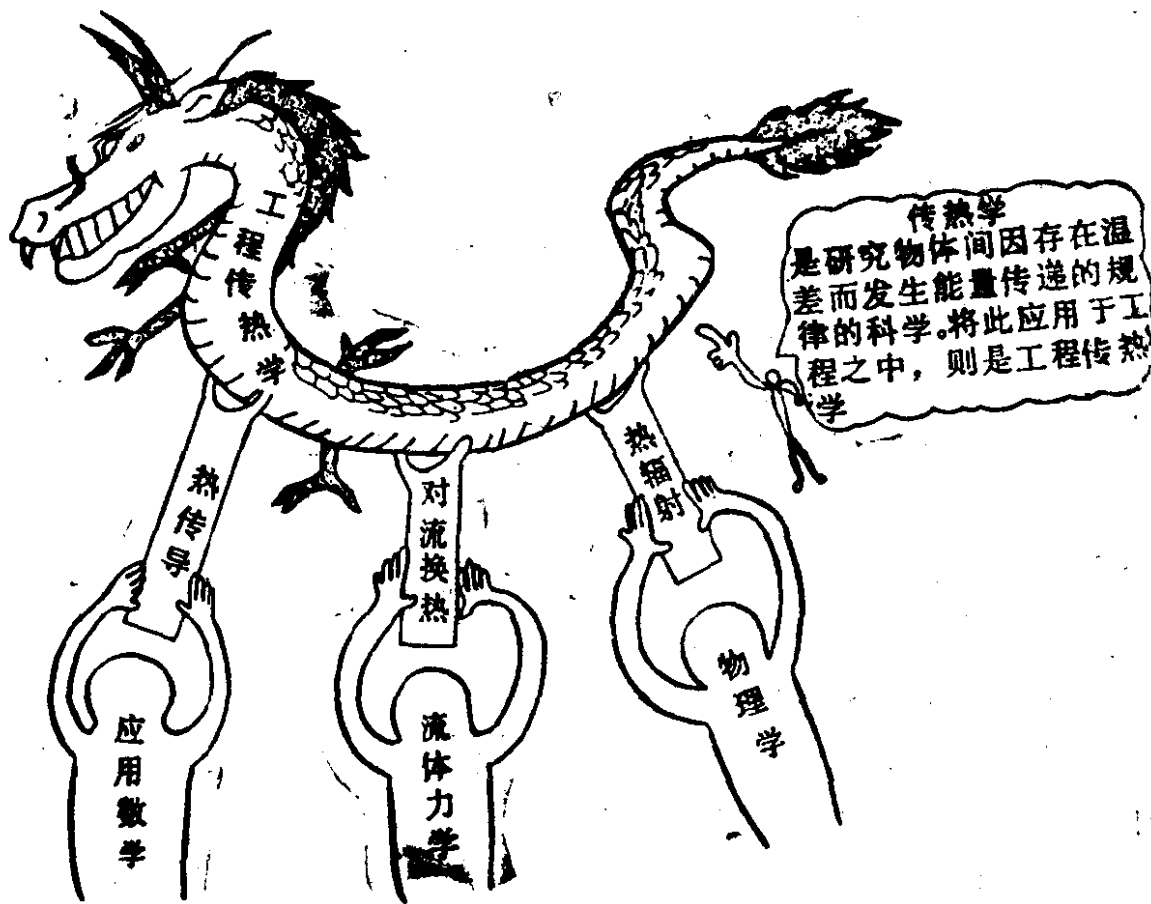


图1.4 工程传热学分别研究热量传递的三种基本方式，为此必须学习与各种传热方式有关的基础工程知识

学习工程传热学，为接受国家热能管理师资格考试创造了条件。

近年来，各企业虽然根据各自的立场强烈地关心着节能问题，但这种关心并不必然导致节能措施的推进。热能管理师这类专门技术人员不足是原因之一。下面简述一下取得热能管理师资格的方法。读者诸君！去试一试突破热能管理师国家考试大关，以成为热能管理师而在左右企业发展的热管理问题的第一线大显身手吧！

(a) 当您成为热能管理师

(1) 在指定进行热管理的工厂就任能源管理工作。因为指定进行热管理的工厂将根据政府法令所研究确定的基本准则，从接受您交付的能源管理师证书时起，就有义务必须选任您为能源管理者。

(2) 作为近年来被产业界视为最重要的推进节能工作的先驱者，其责任是掌握现场的实际用能情况，完成用能设备、节能设备的维护、改善与更新等工作。

(b) 为了成为热能管理师

(1) 如果具有一年以上实际从事合理使用燃料等工作的人，不论学历、年龄、性别如何，在参加能源管理师考试之后就可参加热管理师考试。

(2) 考试科目为：i 热管理概论与法、根据法律制定的条令；ii 热力学；iii 传热学与流体力学；iv 燃料概论和燃料试验方法，燃烧理论和燃烧计算，燃烧方法和燃烧装置；v 量测与控制；vi 用热设备等。一次考试，从i到vi的全部科目均必须合格。

SI单位制 工程传热学中所使用的单位制

本书中所使用的物理量服从国际单位制(SI)。SI基本单位量：长度为米[m]，质量为千克[kg]，时间为秒[s]，电流为安培[A]，热力学温度为开尔文[K]，发光强度为坎德拉[cd]，物质的量为摩尔[mol]。以上七个基本单位组成了工程传热学中所使用的主要物理量的SI单位，如表1.1所示。

表1.1 工程传热学中主要物理量的表示法

量的名称	符号	单位名称	工程传热学中表示的方法	
			单位符号	用基本(辅助)单位表示的方法
面积	A	平方米		m^2
容积	V	立方米		m^3
比容	v	立方米/千克		m^3/kg
密度	ρ	千克/立方米		kg/m^3
速度		米/秒		m/s
加速度		米/秒 ²		m/s^2
容积流量	$\dot{V}$	立方米/秒		m^3/s
质量流量	$\dot{V}$	千克/秒		kg/s
力	F	牛顿	N	$kg \cdot m/s^2$
力矩	M	牛顿·米	N·m	
压力	P	牛顿/米 ² 帕斯卡	N/m ² Pa	(1 Pa = 1 N/m ²)
应力	δ	帕斯卡	Pa	
表面张力	σ	牛顿/米	N/m	
粘度	η, μ	帕斯卡·秒	Pa·s, N·s/m ²	
动粘度	ν			m^2/s
功	W	焦耳	J	1 J = 1 N·m = 1 W·s
热量	Q	牛顿·米	N·m	
能	E	瓦特·秒	W·s	
潜热		千焦耳/千克	kJ/kg	m^2/s^2
比热		千焦耳/千克·开尔文	kJ/kg·K	$m^2/s^2 K$
比焓	h	千焦耳/千克	kJ/kg	
比熵	s	千焦耳/千克·开尔文	kJ/kg·K	
比内能	u	千焦耳/千克	kJ/kg	
功率		瓦特	W	$kg \cdot m^2/s^2$
热流密度	q	瓦特/米 ²	W/m ²	kg/s^2
导热系数	λ	瓦特/米·开尔文	W/m·K	$kg \cdot m/s^3 K$
放热系数	h	瓦特/米 ² ·开尔文	W/m ² ·K	$kg/s^3 K$
导温系数	a	平方米/秒		m^2/s
传热系数	k	瓦特/米 ² ·开尔文	W/m ² ·K	
热阻	R	平方米·开尔文/瓦特	$m^2 \cdot K/W$	

现将过去的工程单位与SI单位的换算列于表1.2。

表1.2 单位换算表

量	换算式	量	换算式
温度 重量(力)	$t^{\circ}\text{C}=t+273.15\text{K}$ $1\text{kgf}=9.807\text{N}$ $1\text{kgf}/\text{cm}^2=9.807\times 10^4\text{Pa}$ $1\text{bar}=1\times 10^5\text{Pa}$ $1\text{mmHg}=1.333\times 10^2\text{Pa}$ $1\text{atm}=1.013\times 10^5\text{Pa}$	比热	$1\text{kWh}=3.6\times 10^3\text{kJ}$ $1\text{PSh}=2.648\times 10^3\text{kJ}$ $1\text{kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}=4.187\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$
		功率	$1\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{s}=9.807\text{W}$ $1\text{PS}=735.5\text{W}$ $1\text{HP}=745.7\text{W}$
热量	$1\text{kcal}=4.187\text{kJ}$	传热系数	$1\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}^{\circ}\text{C}=1.163\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$
热流密度	$1\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}=1.163\text{W}/\text{m}^2$	热阻	$1\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}=0.8598\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
导热系数	$1\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}^{\circ}\text{C}=1.163\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$		
放热系数	$1\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}^{\circ}\text{C}=1.163\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$		

1.2 热量传递方式

热量传递的三种基本方式的概念 热量是怎样传递的呢？

作为说明热量传递方式的典型例子，当将燃烧室内的火焰对水管锅炉管壁的加热用图表示出来时，就很容易弄懂高温火焰所具有的热能是经过怎样的过程传递给低温炉水的了。由图1.5就可理解从传热机理来说，传热过程是由三种基本方式、即热传导、放热与热辐射构成的。

第一章先从概念上分别对热量传递的三种基本方式进行讲述，以后各章，再按三种基本方式对传热情况逐项加以详细研究。

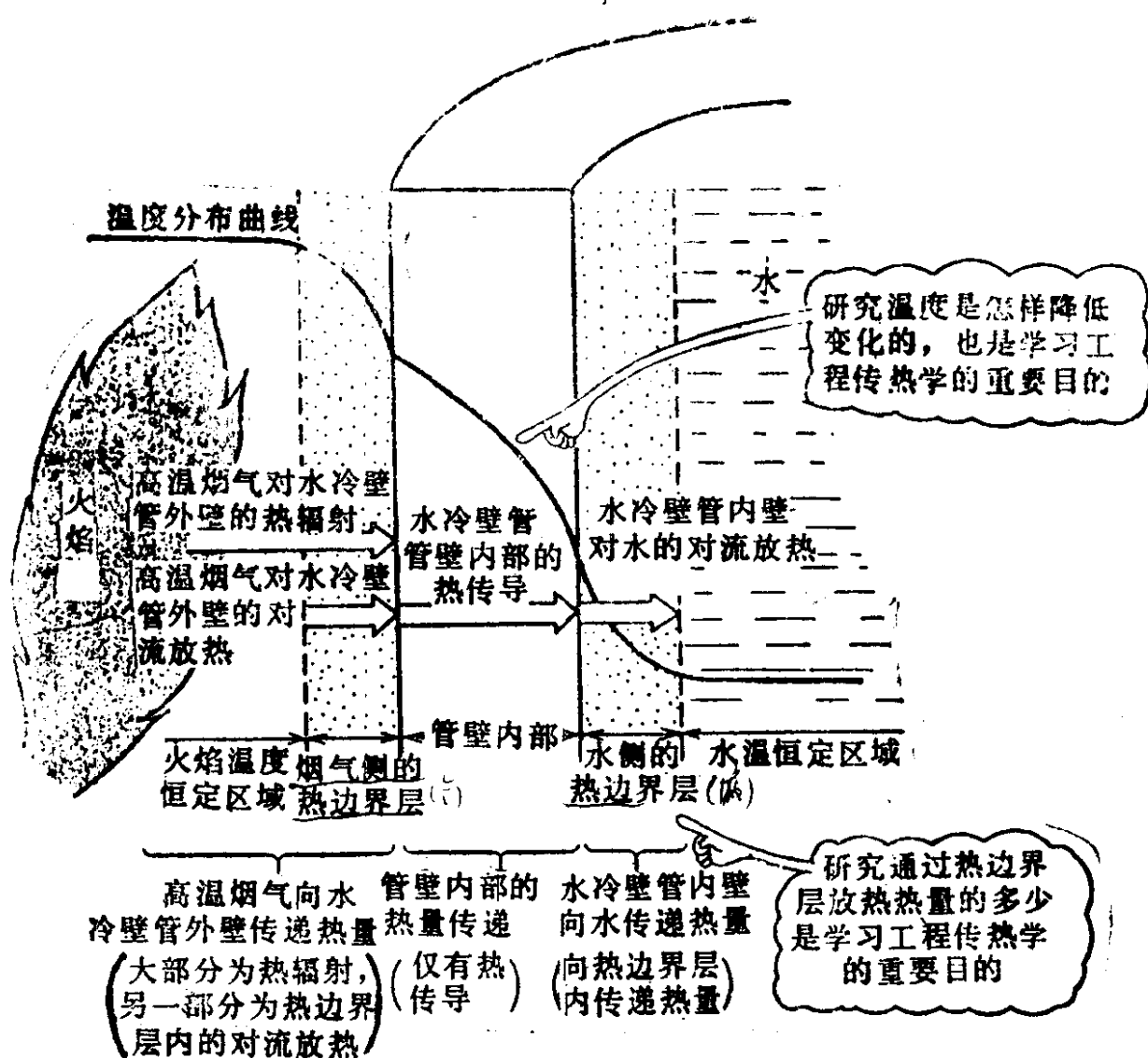


图1.5 用身边的热流问题对工程上所存在的热量传递的基本机理进行具体的研究

传热基本方式之一 热传导定义

首先对热传导进行定义。当一个物体(固体或静止的液体等)的内部有温度差存在时, 热量就在这个物体内部由高温部分向低温部分传递, 这种传热方式就是热传导。

举例来说, 如图1.6所示, 当仅对 锅炉水管的管壁内部进行研究时, 高温侧就是直接暴露在火焰之中的管壁外表面, 低温侧则为锅炉水直接接触的管壁内表面, 因此, 管壁内外两侧存在有温差, 火焰所产出的热量就以热传导方式从管壁的高温侧通过

管壁内部向低温侧传递。

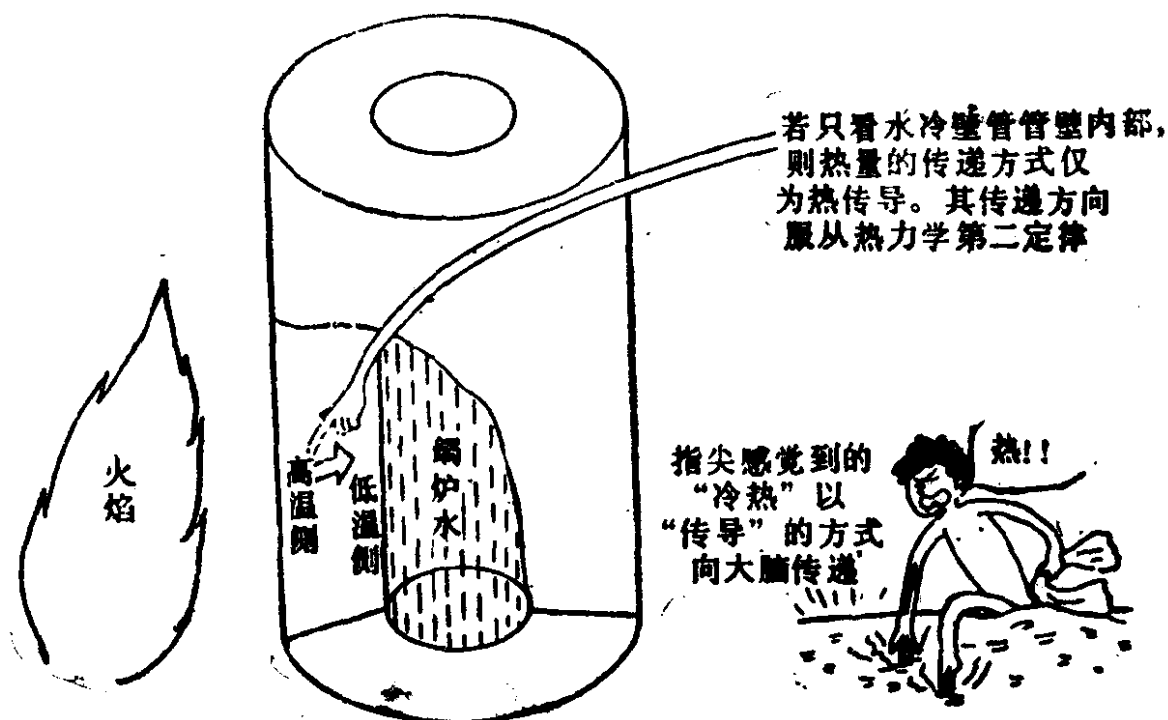


图1.6 热量在一个物体内部由高温部分向低温部分传递，这种方式就是热传导

传热基本方式之二 放热定义

下面介绍放热的概念。热传导是热量在一个物体内部的传递。而热量由气体或者液体向固体表面传递，或者热量由固体表面向气体或者液体传递（在工程传热学中，这种热量传递被作为主要的研究对象），这种传热方式就是放热。

现仍以水管锅炉作为例子进行研究。首先，高温火焰所具有的热能以放热的方式，自烟气（气体）向水管外壁面（固体）进行传递，接着在管壁内部以热传导方式进行传递，之后再以放热的方式自水管内壁面向锅炉水进行传递。这种情况下的放热，如图1.7所示，实际上必须通过在气体侧及液体侧所产生的边界层传递热量。这种放热，如后文所述，被称为对流放热或对流换热。