

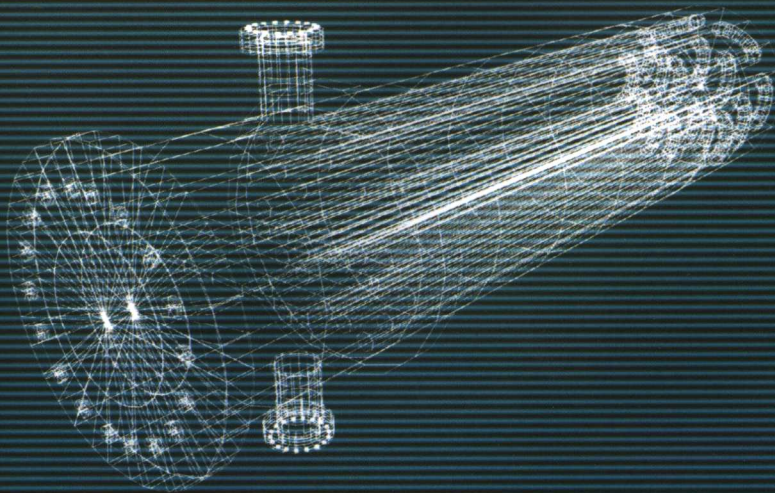
动力机械及工程热物理



国防科工委「十五」  
规划  
教材

# 传热学

●陶文铨 编著



西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·动力机械及工程热物理

# 传 热 学

陶文铨 编著

西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社  
哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

## 内容简介

本书全面、系统地论述了传热学的基本理论;对热传导、对流换热及热辐射三种传热方式,传热过程,换热器,传热学及传热量分析的理论基础、方法、相关实验研究、数学求解和计算作了详细的分析、讨论;专题介绍了国防科技中特殊的传热问题。全书共分 11 章。其内容叙述深入细致;结合文字介绍配以有实际参考价值的实验或实物照片;每章都有例题示范,章后有复习题和大量的习题;在附录中提供了很多实用的资料。

本书为高等院校相关专业本科生和硕士生的教材,也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

传热学/陶文铨编著. —西安:西北工业大学出版社,2006.12

国防科工委“十五”规划教材. 动力机械及工程热物理  
ISBN 7-5612-2026-X

I. 传… II. 陶… III. 传热学—高等学校—教材 IV. TK124

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015374 号

## 传热学

陶文铨 编著

责任编辑 王璐 雷军

责任校对 季苏平 杨丽云

西北工业大学出版社出版发行

西安市友谊西路 127 号(710072)

发行部电话:029-88493844

<http://www.nwpu.com>

陕西向阳印务有限公司印制 各地书店经销

开本:787 mm×960 mm 1/16

印张:37.5 字数:809 千字

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

印数:1~3 000 册

ISBN 7-5612-2026-X 定价:50.00 元(平装) 65.00 元(精装)

# 国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任：张华祝

副主任：王泽山 陈懋章 屠森林

编委：王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯  
乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春  
杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禡  
陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章  
贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山  
郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



# 总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就;研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。党的十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济做出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,产生和传播国防科技



新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影晌。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入 21 世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴



国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

融华祝



# 前 言

传热学是研究在温差作用下热量传递规律的科学,它在与国防科技和工程有关的学科中有着特别重要的应用。从航天器太空飞行中的辐射制冷到重返大气层时壳体的热防护,从飞行器内腔体温度的控制到航空发动机叶片的有效冷却,从军事目标的红外辐射探测到红外隐身技术,无不与传热学的理论与原理密切相关,而且常常成为影响设备功能发挥的关键过程。尽管传热学的基本规律对一般的热量传递问题与国防科技和工程中的热量传递过程都是一样的,但是国防工程领域中的许多特殊传热条件导致了在一般传热条件下不曾具有的许多特殊性,高速气流边界层中的气动加热问题就是一例。同时,国防科技和工程部门也是高新技术应用最为迅速与普遍的领域。因此,编写一本能较好地满足有关国防科技和工程各专业需要的传热学教材,以适应 21 世纪初世界范围科学技术的迅速发展和我国经济建设与国防建设的需要,就成为一个颇具挑战性的任务。本书就是在这样的背景条件下根据国防科工委“十五”教材建设规划而编撰的。

为尽可能达到上述编写目的,在本书编写过程中作了以下努力。

## 1. 教材内容组织既具有明显国防科技应用特色,也照顾到一般专业的需要

本书内容编排上分为一般通用部分与国防传热专题部分。对于与国防科技和工程相关的教学内容,笔者分作两类处理。一类内容除了国防工程领域外在其他工程领域中也应用较广(例如射流冲击换热等),这类内容安排在通用教材部分。另一类内容则主要应用在国防工程领域中(例如气动加热等),即在专设的一章(第 11 章)中予以介绍。这些专门化较强的内容,既是一般内容的应用与深化,同时又包含了不少新的规律与知识。笔者在介绍这些内容时力图从这两方面展开阐述,以使读者能较好地掌握这些内容与通用部分的联系与区别。





## 2. 教材内容的选择在保持学科内在系统性的前提下具有较强的时代特色

进入 20 世纪末,由于微纳机电系统研究(nano/micro electro-mechanical system, NEMS, MEMS)的迅速发展,在世界范围内兴起了研究微纳米尺度范围的传热与流动问题的热潮,形成了微纳米传热学的研究方向,这是传热学发展史中具有里程碑意义的进展。虽然关于微纳米传热学的内容目前还不宜作为本科教学的主要内容,但是在相关部分适当介绍一些基本情况与特点是必需的,本书在导热问题、对流换热部分等处引入了相关的内容。此外,强化单相对流换热的纵向涡方法,也是最近 20 年中发展起来的新知识,本书中也做了相应的介绍。同时,对于传统教材中部分相对陈旧的内容则作了较大的删节,包括管内湍流换热的齐德-泰特公式、米海耶夫公式、流体横掠管束的格里森公式等。

## 3. 教材应努力培养学生的分析问题、解决问题能力

教材的功能是向学生传授知识,同时它也是培养学生分析问题、解决问题能力的载体。从人才培养的整体过程来说,培养学生的能力是更为根本的任务。本书在这方面做了以下努力:

(1)在每章的末尾都安排了关于本章内容的应用举例,其中所举的例题密切结合工程实际,需要学生应用更多的全面的知识进行分析;

(2)在教材正文与例题部分,也更为注重对如何分析较为复杂的实际问题的讲授;

(3)在每章末尾均对本章内容予以总结,以有利于自学及培养学生对基本内容的归纳能力。

## 4. 教材应积极反映我国科学技术工作者的成就与贡献

我国的科学技术工作者在传热学的基本原理以及工程应用方面进行了大量的工作,特别是在国防科技领域,我国的传热学研究者进行了卓有成效的工作。这些应该在相应的教学部分作适度的介绍,这也是使教材具有中国特色的标志之一,本书在这方面做出了积极的努力。例如,第 11 章的国防传热专题,相当多的内容取自我国学者的研究成果;同时在强化单相对流传热方面,较为仔细地介绍了由我国学者提出、目前已经逐步为世界各国接受的场协同原理;在关于自然对流流态判别的准则方面,进一步阐述了由我国学者提出的应该以  $Gr$ (格拉晓夫数)而不是  $Ra$ (瑞利数)



为依据的观点,并介绍了部分国际上认同的文献。在数值方法的介绍方面,本书没有采用目前国外教材普遍采用的对不同位置节点列出离散方程表格的方法,而是强调掌握能量平衡法的基本思想,并将其统一应用于三种边界条件情形的推导,这也多少反映了编者的研究心得。此外在习题与例题中也多次引入了我国学者研究工作的有关内容。

本书初稿承蒙西北工业大学刘松龄教授、哈尔滨工业大学谈和平教授的仔细审阅,他们对书稿提出了许多宝贵的修改意见,使本书增色不少,特此致谢。笔者研究生时期的导师、上海交通大学杨世铭教授积极鼓励笔者编写本书,并允许笔者在部分取材与文字叙述方面参照他与笔者合著的《传热学》(第三版,第四版,高等教育出版社),笔者在此向导师表示深深的敬意。西北工业大学何洪庆教授、刘松龄教授、朱惠人教授,哈尔滨工业大学谈和平教授,北京航空航天大学陶智教授,南京理工大学宣益民教授,南京航空航天大学吉洪湖教授、常海萍教授,他们或者给作者提供他们的有关大作,或者对编写内容提出有益的建议;西安交通大学热流中心传热学教学组的各位同事,特别是何雅玲教授、赵长颖教授、王秋旺教授、李增耀博士、唐桂华博士、屈治国博士和曾敏博士,对书稿内容的形成提供了有益的帮助;西北工业大学出版社给作者提供了宽松的编写条件,在稿件的进一步完善、数据与图表的精确化等方面做了大量工作,高质量地完成了书稿的编辑工作,在此一并表示衷心感谢。

编写一本既有显著专业特色又能顾及一般应用需要的传热学教材是笔者的一种尝试,诚恳欢迎读者的批评指正。

陶文铨

2006年12月于西安

# 主要符号表

## 英文字母

$a$	热扩散率, $\text{m}^2/\text{s}$
$A$	表面积, $\text{m}^2$
$A_c$	截面积, $\text{m}^2$
$b$	宽度, $\text{m}$
$c$	比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ; 光速, $\text{m}/\text{s}$
$c_f$	范宁摩擦因数
$c_p$	比定压热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
$c_1$	第一辐射常量, $\text{W} \cdot \text{m}^2$
$c_2$	第二辐射常量, $\text{m} \cdot \text{K}$
$d$	直径, $\text{m}$
$D$	扩散系数, $\text{m}^2/\text{s}$
$E$	辐射力, $\text{W}/\text{m}^2$
$E_\lambda$	光谱辐射力, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{m})$
$f$	达尔西阻力系数; 频率, $\text{Hz}$
$F$	力, $\text{N}$
$g$	重力加速度, $\text{m}/\text{s}^2$
$G$	投入辐射, $\text{W}/\text{m}^2$
$h$	对流换热表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ; 流体的比焓, $\text{J}/\text{kg}$
$H$	焓, $\text{J}$ ; 高度, $\text{m}$
$I$	电流, $\text{A}$ ; 定向辐射强度, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
$j$	传热因子
$J$	有效辐射, $\text{W}/\text{m}^2$ ; 电流密度, $\text{A}/\text{m}^2$
$k$	传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
$l$	长度, $\text{m}$
$p$	压力, $\text{Pa}$
$P$	功率, $\text{W}$ ; 周长, $\text{m}$



$q$	热流密度, $\text{W}/\text{m}^2$
$q_m$	质量流量, $\text{kg}/\text{s}$
$q_v$	体积流量, $\text{m}^3/\text{s}$
$Q$	热量, $\text{J}$
$r$	半径, $\text{m}$ ; 汽化潜热, $\text{J}/\text{kg}$
$R$	热阻, $\text{K}/\text{W}$ ; 摩尔气体常数, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ; 电阻, $\Omega$
$R_A$	面积热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
$s$	程长, $\text{m}$ ; 管间距, $\text{m}$
$S$	形状因子
$t$	摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$
$T$	热力学温度, $\text{K}$ ; 周期, $\text{s}$
$u$	比热力学能, $\text{J}/\text{kg}$ ; 速度, $\text{m}/\text{s}$
$U$	热力学能, $\text{J}$ ; 电位差, $\text{V}$
$v$	比体积, $\text{m}^3/\text{kg}$ ; 速度, $\text{m}/\text{s}$
$V$	体积, $\text{m}^3$ ; 电位, $\text{V}$
$w$	速度, $\text{m}/\text{s}$
$W$	功, $\text{J}$
$x$	笛卡儿坐标, $\text{m}$ ; 干度
$X$	角系数; 无量纲坐标
$y$	笛卡儿坐标, $\text{m}$
$z$	笛卡儿坐标, $\text{m}$

## 希腊字母

$\alpha$	体胀系数, $\text{K}^{-1}$ ; 吸收比; 衰减系数, $\text{m}^{-1}$
$\alpha(\lambda)$	光谱吸收比
$\beta$	肋化系数
$\gamma$	气液界面的表面张力, $\text{N}/\text{m}$
$\delta$	厚度, $\text{m}$
$\epsilon$	发射率; 换热器效能
$\epsilon(\lambda)$	光谱发射率
$\eta$	(动力) 黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ; 效率
$\theta$	过剩温度, $^{\circ}\text{C}$ 或 $\text{K}$ ; 平面角, $\text{rad}$



$\Theta$	无量纲过余温度
$\lambda$	波长, m 或 $\mu\text{m}$ ; 导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
$\nu$	运动黏度, $\text{m}^2/\text{s}$
$\rho$	密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ ; 反射比; 电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$
$\rho(\lambda)$	光谱反射比
$\sigma$	斯忒藩-玻耳兹曼常量(黑体辐射常数), $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
$\tau$	时间, s; 透射比
$\tau_c$	时间常数, s
$\tau(\lambda)$	光谱透射比
$\Phi$	热流量, W
$\psi$	对数平均温差修正系数
$\Omega$	立体角, sr

## 特征数

$Bi$	毕渥数, $hl/\lambda$ ( $\lambda$ 为固体的导热系数)
$Eu$	欧拉数, $\Delta p/\rho v^2$
$Fo$	傅里叶数, $a\tau/l^2$
$Gr$	格拉晓夫数, $gl^3\alpha\Delta T/\nu^2$
$Ja$	雅各布数, $\frac{c_p(t_s - t_w)}{r}$
$Nu$	努塞尔数, $hl/\lambda$ ( $\lambda$ 为流体的导热系数)
$Pe$	贝克来数, $ul/a$
$Pr$	普朗特数, $\nu/a$
$Re$	雷诺数, $ul/\nu$
$Ra$	瑞利数, $gl^3\alpha\Delta T/(a\nu)$
$St$	斯坦顿数, $h/(\rho v c_p)$

# 目 录

<b>第 1 章 传热学概论</b> .....	1
1.1 传热学的研究内容及其在科学技术和工程中的应用 .....	1
1.2 热量传递的三种基本方式 .....	4
1.3 传热过程和传热系数 .....	10
1.4 传热学发展简史和研究方法 .....	14
1.5 本章小结及应用 .....	18
复习题 .....	20
习 题 .....	20
参考文献 .....	26
<b>第 2 章 稳态导热</b> .....	28
2.1 导热基本定律——傅里叶导热定律 .....	28
2.2 导热问题的数学描写 .....	33
2.3 典型一维稳态导热问题的分析解 .....	38
2.4 通过肋片的导热 .....	48
2.5 具有内热源的一维导热问题 .....	60
2.6 多维稳态导热问题的求解 .....	65
2.7 本章小结及应用 .....	70
复习题 .....	75
习 题 .....	76
参考文献 .....	90
<b>第 3 章 非稳态导热</b> .....	92
3.1 非稳态导热的基本概念 .....	92
3.2 零维问题的分析法——集总参数法 .....	96
3.3 典型一维物体非稳态导热的分析解 .....	102
3.4 半无限大物体的非稳态导热 .....	112
3.5 简单几何形状多维非稳态导热的分析解 .....	117
3.6 本章小结及应用 .....	126



复习题 .....	131
习 题 .....	131
参考文献 .....	141
<b>第 4 章 导热问题的数值解法 .....</b>	<b>143</b>
4.1 物理问题数值求解的基本思想与步骤 .....	143
4.2 内节点离散方程的建立方法 .....	145
4.3 边界节点离散方程的建立及代数方程的求解方法 .....	148
4.4 非稳态导热问题的数值解法 .....	154
4.5 本章小结及应用 .....	158
复习题 .....	165
习 题 .....	165
参考文献 .....	174
<b>第 5 章 对流换热的理论基础及其数学求解 .....</b>	<b>176</b>
5.1 对流换热概说 .....	176
5.2 对流换热问题的数学描写 .....	180
5.3 边界层型对流换热问题的数学描写 .....	184
5.4 流体外掠平板换热层流分析解及比拟理论 .....	189
5.5 本章小结及应用 .....	196
复习题 .....	200
习 题 .....	200
参考文献 .....	203
<b>第 6 章 单相对流换热的实验关联式 .....</b>	<b>204</b>
6.1 相似原理与量纲分析 .....	204
6.2 相似原理的应用 .....	211
6.3 内部强制对流换热的实验关联式 .....	216
6.4 外部强制对流换热——流体横掠单管、球体及管束——的实验关联式 .....	227
6.5 大空间与有限空间内自然对流换热的实验关联式 .....	234
6.6 射流冲击换热 .....	244
6.7 高速气流换热 .....	247
6.8 旋转表面的对流换热 .....	251
6.9 本章小结及应用 .....	255
复习题 .....	259
习 题 .....	260
参考文献 .....	271



<b>第 7 章 相变对流换热</b> .....	275
7.1 凝结换热的模式 .....	275
7.2 膜状凝结分析解及计算关联式 .....	277
7.3 膜状凝结的影响因素及其换热强化 .....	284
7.4 沸腾换热的模式 .....	288
7.5 大容器沸腾换热的实验关联式 .....	293
7.6 沸腾换热的影响因素及其强化 .....	300
7.7 热管简介 .....	303
7.8 本章小结及应用 .....	306
复习题 .....	308
习 题 .....	309
参考文献 .....	317
<b>第 8 章 热辐射基本定律和辐射特性</b> .....	320
8.1 热辐射现象的基本概念 .....	320
8.2 黑体热辐射的基本定律 .....	324
8.3 固体和液体的辐射特性 .....	332
8.4 实际物体吸收与辐射的关系 .....	337
8.5 太阳与环境辐射 .....	344
8.6 本章小结及应用 .....	347
复习题 .....	351
习 题 .....	351
参考文献 .....	356
<b>第 9 章 辐射换热的计算</b> .....	357
9.1 辐射换热的角系数 .....	357
9.2 两表面封闭系统的辐射换热 .....	366
9.3 多表面系统的辐射换热 .....	372
9.4 气体辐射的特点及计算 .....	380
9.5 辐射换热的控制(强化与削弱) .....	389
9.6 综合传热问题分析 .....	393
9.7 本章小结及应用 .....	396
复习题 .....	400
习 题 .....	401
参考文献 .....	414
<b>第 10 章 传热过程分析与换热器的热计算</b> .....	415
10.1 传热过程的分析和计算 .....	415





10.2 换热器的类型 .....	421
10.3 换热器中冷热流体平均温差的计算 .....	426
10.4 间壁式换热器的热设计 .....	435
10.5 热量传递过程的控制(强化与削弱) .....	446
10.6 本章小结及应用 .....	455
复习题 .....	460
习 题 .....	461
参考文献 .....	480
<b>第 11 章 国防科技传热专题</b> .....	<b>483</b>
11.1 航天器中的一些特殊传热问题 .....	483
11.2 航天器的热控制技术 .....	488
11.3 空间辐射制冷器 .....	493
11.4 烧蚀过程中的传热传质问题 .....	498
11.5 火箭发动机推力室冷却技术简介 .....	502
11.6 再生冷却的传热计算 .....	508
11.7 航空发动机叶片冷却技术概述 .....	512
11.8 航空发动机叶片的气膜冷却 .....	521
11.9 红外探测技术中的传热问题 .....	526
11.10 本章小结及应用 .....	534
复习题 .....	535
习 题 .....	535
参考文献 .....	537
<b>附录</b> .....	<b>542</b>
附录 1 常用单位换算表 .....	542
附录 2 金属材料的密度、比定压热容和导热系数 .....	543
附录 3 保温、建筑及其他材料的密度和导热系数 .....	544
附录 4 几种保温、耐火材料的导热系数与温度的关系 .....	546
附录 5 大气压力( $p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下干空气的热物理性质 .....	546
附录 6 大气压力( $p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下标准烟气的热物理性质 .....	548
附录 7 大气压力( $p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下过热水蒸气的热物理性质 .....	548
附录 8 大气压力( $p=1.013\ 25\times 10^5$ Pa)下二氧化碳、氢气、氧气的热物理性质 .....	549
附录 9 饱和水的热物理性质 .....	551
附录 10 干饱和水蒸气的热物理性质 .....	552
附录 11 几种饱和液体的热物理性质 .....	553
附录 12 几种液体的体积膨胀系数 .....	555