



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材

传热学

Heat Transfer

第五版

陶文铨 编著

(第四版编著 杨世铭 陶文铨)

高等教育出版社

图书在版编目（CIP）数据

传热学 / 陶文铨编著. — 5 版. — 北京: 高等教育出版社, 2019.7
ISBN 978-7-04-051422-3

I. ①传… II. ①陶… III. ①传热学—高等学校—教材 IV. ①TK124

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 035012 号

传热学（第五版）
Chuanrexue

策划编辑 宋 晓 责任编辑 宋 晓 封面设计 王 鹏 版式设计 王 鹏
插图绘制 于 博 责任校对 张 薇 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

印刷 高教社（天津）印务有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 37.25
字数 680千字

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>

版次 1982 年 7 月第 1 版
2019 年 7 月第 5 版
印次 2019 年 7 月第 1 次印刷
定价 65.00元

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是在第四版的基础上总结近年来教学改革成果修订而成的。本书第四版是面向21世纪课程教材、普通高等教育“十一五”国家级规划教材和首届国家级精品课程主讲教材。

本书根据当前世界范围内科学技术的飞速发展、高等教育国际化与本土化的发展趋势，在教材内容上力争反映最新科技成就、注重学生能力的培养、提倡节约能源、拓展教材适应性，以适应我国21世纪发展的需要。全书共11章，包括导热、对流传热、辐射传热，传热过程和换热器、传质学等内容，每章有小结与应用。全书典型例题剖析深刻，习题丰富，参考文献详尽，可供读者深入学习时参考。

本书可作为高等学校能源动力类、化工与制药类、航空航天类、机械类、环境与安全类、交通运输类、武器类以及土建类等专业的教材或教学参考书，也可供其他专业选用和有关科技工作者参考。

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是在第四版的基础上修订而成的，在编写的基本思想及体例等方面与第四版基本相同，但在下列 5 个方面有所变化。

1. 对第 5、6、8、9、10 章内容做了调整，以增加教材科学原理的系统性

(1) 第 5 章标题由原来的“对流传热的理论基础”改为“对流传热的理论分析与实验研究基础”，这样更能够体现即使到现在对流传热还很大程度地依赖于实验研究的事实，在内容上将原第 6 章中关于相似原理的 6.1、6.2 节移到第 5 章作为 5.5、5.6 节。

(2) 原 9.4 节气体辐射的特点及计算中关于气体辐射及吸收特性的计算移为 8.4 节，题为“气体的辐射特性及计算”，这样第 8 章中实际物体的固体、液体及气体的辐射特性在一起讨论，体系上比较合理；9.4 节改题为“有气体参与的辐射传热的计算”。

(3) 原 10.5 节热量传递过程的控制中，关于强化对流传热的场协同原理部分移到第 6 章，设为 6.6 节，题为“强化单相对流传热的技术、机理及性能评价”，第 10 章中则从整个传热过程的角度来讨论强化问题。

2. 在相关部分适当增加了一些新的研究成果使教材更具有时代气息

这些新增的（或在第四版基础上增写的）内容主要有：

- (1) 3.6 节非傅里叶导热问题简介;
- (2) 4.5 节数值计算的稳定性、收敛性及精度;
- (3) 6.5 节微细尺度通道内的传热及纳米流体传热简介;
- (4) 9.4 节有气体参与的辐射传热的计算, 该节除了介绍气体与黑体包壁之间的辐射传热(第四版中的内容), 还增加了无限大平板间有吸收性气体存在时的计算辐射传热的网络法。

考虑到专业重点的不同及学校情况的差别, 这些部分都打了星号(*)。

此外, 在全书的有关章节中还增添了以下内容:

- (1) 在 2.1 节导热系数部分, 增加了气凝胶及各向异性的编织材料的介绍, 在附录 3 中也增加了相应的导热系数的资料;
- (2) 在 6.6 节强化传热技术的介绍部分, 将强化气体和液体传热的技术分门别类地介绍, 并纳入了更多的实例;
- (3) 在凝结传热部分引入了亲水表面与憎水表面的概念;
- (4) 在换热器形式方面增加了螺旋折流板换热器及印刷电路换热器的简介;
- (5) 在换热器热设计部分增加了 1-2 型换热器设计要避免出现温度交叉的情形;
- (6) 附录中增加了液氧、液氮、二氧化碳、液态金属铅等目前开始应用较广的传热介质的物性数据。

3. 增加了采用 MATLAB 求解的题目以培养学生使用工具软件的能力

考虑到工具软件的使用是国际上工程教育的一个发展趋向, 以及 MATLAB 的巨大功能, 本次从第 1 章到第 10 章都引入两、三个采用工具软件题目作为尝试。这些题目的解答文件可扫二维码查看。

4. 每章末尾增加了“兴趣阅读”, 旨在提高学生的兴趣

这是为了给学有余力的学生提供一些可供本科生进一步

阅读的资料而设置的，完全不属于教学要求，但也许能起到一些引起或增加学生学习兴趣的作用。感兴趣的学生可扫描二维码查看。

5. 纠正了部分欠妥乃至有误的内容，以提高教材的科学性及严谨性

除了一些印刷、校对方面的错误，还发现一些不妥或错误的地方。例如在第 10 章介绍换热器的设计计算方法时，第四版中将传热系数 k 及传热面积 A 看作两个独立变量，实际上从换热器设计的三个方程只能获得 kA 的乘积，无法单独获得其中一个的值，因此第五版中将 kA 的乘积作为一个变量处理，逻辑上更为合理。

本书的编写得到教育部能源动力类专业教学指导委员会的关心与指导。第五版的编写思想曾在教学指导委员会主办的教学研讨会上介绍，从收到的与会代表的建议中，作者得到不少教益；初稿完成后，高等教育出版社及教学指导委员会联合委托清华大学李志信教授和华中科技大学黄素逸教授审阅，两位教授对书稿提出了许多宝贵的修改意见，显著地提高了本书的质量；教学指导委员会主任委员何雅玲教授及两任秘书长丰镇平教授、王秋旺教授都对本书的编写给与了热心的关注，特此深表谢意。西安交通大学热流科学与工程教育部重点实验室的各位同事，特别是何茂刚教授、李增耀教授、唐桂华教授、屈治国教授、曾敏教授、冀文涛副教授、张剑飞副教授、陈磊高工，以及西安交通大学航天航空学院张虎副教授、西北工业大学材料学院苟建军副教授，对书稿内容的形成、资料的查询等提供了不少帮助；研究生和鹏、雷乐、白帆、蔡赛杰、张卓、史济伟协助编写用 MATLAB 求解的例题；本书第四版发行后，不少热心读者来信指出书稿中的印误或表述欠妥之处；高等教育出版社给作者提供了宽松的编写条件。在此一并表示衷心感谢。

当第五版初稿完成时，本书的创始人、陶文铨的恩师杨世

铭教授已经驾鹤西去，谨以《传热学》（第五版）表示对杨世铭先生的深切怀念！

诚恳欢迎各种批评、修改意见。

作 者

2018 年 8 月于西安

主要符号表

第 1 章 绪论 001

1.1 传热学的研究内容及其在科学技术和工程中的应用	002
1.2 热能传递的三种基本方式	005
1.3 传热过程和传热系数	012
*1.4 传热学的研究方法	015
本章小结与应用	017
复习题	019
习题	020
参考文献	025

第 2 章 稳态热传导的规律及计算 027

2.1 导热基本定律——傅里叶定律	028
2.2 导热问题的数学描写	034
2.3 典型一维稳态导热问题的分析解	039
2.4 通过肋片的导热	050
2.5 具有内热源的一维导热问题	062
2.6 多维稳态导热的求解	067
本章小结与应用	071
复习题	077
习题	077

第 3 章 非稳态热传导的计算 095

- 3.1 非稳态导热的基本概念 —— 096
- 3.2 零维问题的分析法——集中参数法 —— 100
- 3.3 典型一维物体非稳态导热的分析解 —— 106
- 3.4 半无限大物体的非稳态导热 —— 116
- 3.5 简单几何形状物体多维非稳态导热的分析解 —— 120
- *3.6 非傅里叶导热问题简介 —— 129
- 本章小结与应用 —— 131
- 复习题 —— 135
- 习题 —— 136
- 参考文献 —— 143

第 4 章 热传导问题的数值解法 147

- 4.1 导热问题数值求解的基本思想 —— 148
- 4.2 内节点离散方程的建立方法 —— 150
- 4.3 边界节点离散方程的建立及代数方程的求解 —— 153
- 4.4 非稳态导热问题的数值解法 —— 159
- *4.5 数值计算的稳定性、收敛性及精度 —— 162
- 本章小结与应用 —— 166
- 复习题 —— 171
- 习题 —— 172
- 参考文献 —— 180

第 5 章 对流传热的理论分析与实验研究基础 183

- 5.1 对流传热概说 —— 184
- 5.2 对流传热问题的数学描写 —— 188
- 5.3 边界层型对流传热问题的数学描写 —— 192
- 5.4 流体外掠平板传热层流分析解及比拟理论 —— 197

5.5 相似原理与量纲分析 —— 205

5.6 相似原理的应用 —— 211

本章小结与应用 —— 215

复习题 —— 221

习题 —— 222

参考文献 —— 225

第6章 单相对流传热的实验关联式 229

6.1 内部强制对流传热的实验关联式 —— 230

6.2 外部强制对流传热——流体横掠单管、球及管束的实验关联式 —— 240

6.3 射流冲击传热的实验关联式 —— 246

6.4 大空间与有限空间内自然对流传热的实验关联式 —— 249

*6.5 微细尺度通道内的流动与传热及纳米流体传热简介 —— 261

6.6 强化单相对流传热的技术、机理及性能评价 —— 264

本章小结与应用 —— 270

复习题 —— 276

习题 —— 276

参考文献 —— 285

第7章 相变对流传热的计算 289

7.1 凝结传热的模式 —— 290

7.2 膜状凝结分析解及计算关联式 —— 292

7.3 膜状凝结的影响因素及其传热强化 —— 298

7.4 沸腾传热的模式 —— 303

7.5 大容器沸腾传热的实验关联式 —— 308

7.6 沸腾传热的影响因素及其强化 —— 315

7.7 热管简介 —— 319

本章小结与应用 —— 324

复习题 —— 326

习题 —— 327

第 8 章 热辐射基本定律和物体的辐射特性 337

- 8.1 热辐射现象的基本概念 —— 338
- 8.2 黑体热辐射的基本定律 —— 342
- 8.3 固体和液体的辐射特性 —— 351
- 8.4 气体的辐射特性及计算 —— 357
- 8.5 实际物体对辐射能的吸收与辐射的关系 —— 365
- 8.6 太阳与环境辐射 —— 371
- 本章小结与应用 —— 375
- 复习题 —— 378
- 习题 —— 379
- 参考文献 —— 384

第 9 章 辐射传热的计算 387

- 9.1 辐射传热的角系数 —— 388
- 9.2 两表面封闭系统的辐射传热 —— 396
- 9.3 多表面系统的辐射传热 —— 402
- *9.4 有气体参与的辐射传热的计算 —— 410
- 9.5 辐射传热的控制（强化与削弱）—— 414
- 9.6 综合传热问题分析 —— 419
- 本章小结与应用 —— 423
- 复习题 —— 430
- 习题 —— 430
- 参考文献 —— 441

第 10 章 传热过程分析与换热器的热计算 443

- 10.1 传热过程的分析和计算 —— 444
- 10.2 换热器的类型 —— 450
- 10.3 换热器中传热过程平均温差的计算 —— 459

10.4	间壁式换热器的热设计	468
10.5	热量传递过程的控制(强化与削弱)	479
	本章小结与应用	486
	复习题	492
	习题	493
	参考文献	509

第11章 传质学简介 513

11.1	质扩散与斐克定律	514
11.2	对流传质及表面传质系数	519
	本章小结与应用	522
	复习题	524
	习题	524
	参考文献	526

附录 529

附录1	常用单位换算表	529
附录2	金属材料的密度、比热容和导热系数	530
附录3	保温、建筑及其他材料的密度和导热系数	532
附录4	几种保温、耐火材料的导热系数与温度的关系	535
附录5	大气压力($p = 1.013\ 25 \times 10^5\ \text{Pa}$)下干空气的热物理性质	536
附录6	大气压力($p = 1.013\ 25 \times 10^5\ \text{Pa}$)下标准烟气的热物理性质	537
附录7	大气压力($p = 1.013\ 25 \times 10^5\ \text{Pa}$)下过热水蒸气的热物理性质	537
附录8	大气压力($p = 1.013\ 25 \times 10^5\ \text{Pa}$)下二氧化碳、氢气、氧气、氮气、氦气的热物理性质	538
附录9	饱和水的热物理性质	542
附录10	干饱和水蒸气的热物理性质	544
附录11	几种饱和液体的热物理性质	546
附录12	几种液体的体胀系数	549
附录13	液态金属的热物理性质	550
附录14	第一类贝塞尔(Bessel)函数选摘	551

附录 15 误差函数选摘 —— 552

附录 16 长圆柱的非稳态导热线算图 —— 553

附录 17 球的非稳态导热线算图 —— 555

附录 18 污垢热阻参考值 —— 557

附录 19 大气压力 ($p = 1.013\ 25 \times 10^5\ \text{Pa}$) 下二元气体混合物的扩散系数 —— 559

参考文献 —— 560

主题索引 563