



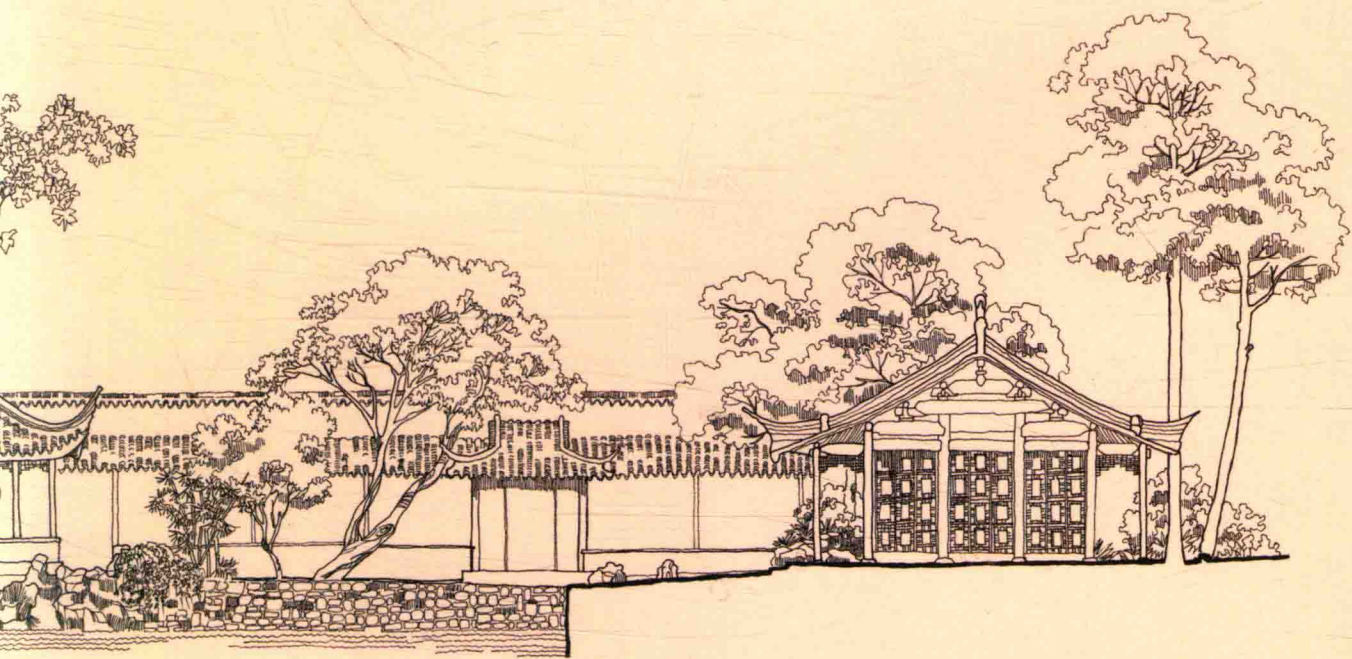
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

工程热力学

(第六版)

Engineering Thermodynamics

谭羽非 吴家正 朱 彤 编
廉乐明 主审



中国建筑工业出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校建筑环境与能源应用工程专业指导委员会规划推荐教材

工 程 热 力 学

(第六版)

谭羽非 吴家正 朱 彤 编
廉乐明 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程热力学/谭羽非等编. —6 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 1

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-18903-8

I. ①工… II. ①谭… III. ①工程热力学-高等学校-教材 IV. ①TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 313242 号

本书以教育部新制定的“高等学校工科本科工程热力学教学基本要求”为依据, 在第五版基础上进行了修订, 对各章内容作了部分调整、更新和充实, 并适当增加了例题和习题。

本书内容包括: 基本概念、气体的热力性质、热力学第一定律、理想气体的热力过程及气体压缩、热力学第二定律、热力状态参数的微分关系式、水蒸气、混合气体及湿空气、气体和蒸汽的流动、动力循环、制冷循环、化学热力学基础及溶液热力学基础共 13 章。本书一律采用国际单位制。

根据教学要求, 本书紧紧围绕培养学生掌握基础理论知识和工程应用能力来组织教材内容, 着重加强对基本概念及基本定律的论述, 对重点及要点内容力求讲深讲透, 工程应用部分力求与国内外能源开发与利用领域相接轨, 更接近工程实际, 对某些章节的内容适当作了一些扩充和拓宽, 一则是教师有选择的余地, 二则适应不同专业不同学时及不同层次的需要。

本书可作为建筑环境与能源应用工程专业 (即原来的建筑环境与设备工程专业)、建筑材料工程技术专业、建筑学专业以及其他非动力类工程专业的教学用书, 也可供有关工程技术人员参考。

* * *

责任编辑: 齐庆梅

责任校对: 刘 钰 党 蕾

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

工程热力学

(第六版)

谭羽非 吴家正 朱 彤 编

廉乐明 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19¼ 插页: 2 字数: 480 千字

2016 年 7 月第六版 2016 年 7 月第四十三次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-18903-8

(28100)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第六版前言

本书是普通高等教育“十二五”和“十一五”国家级规划教材，是在延续第五版教材的系统性和完整性基础上，根据教育部新制定的“高等学校工科本科工程热力学教学基本要求”，并总结了近年来教学研究和教学改革成果修订完成。

本书自 1979 年出版至今，历经第一版、第二版、第三版、第四版和第五版共 40 次印刷，发行量达 35 万余册。由于教材内容深入浅出，结合工程实际，除满足建筑环境与能源应用工程专业（原建筑环境与设备工程专业）使用外，还得到国内有关工程类专业的广泛使用。本书曾先后获得国家级教学成果奖二等奖和国家级优秀教材二等奖。

本书以宏观观点，从工程实际出发来研究物质的热力性质、能量转换的规律和方法以及有效合理利用热能的途径。本书的前半部分基础理论部分，有一定的深度和广度，力图使学生能很好地掌握热力学基本概念和基本定律的实质，并能灵活运用它们分析各种热力过程，以便在拓宽后新的专业范畴下，在能源科学利用方面打下坚实基础。本书后半部分，主要是热力学基本理论的工程应用，是联系工程实际的桥梁，有助于培养学生解决工程实际问题的分析能力。

全书共有 13 章，分为基础理论和工程应用两大部分。基础理论部分包括：第一章基本概念，重点介绍热力系统、平衡状态、状态参数、可逆过程、热力循环、热量和功等基本概念；第二章介绍理想气体与实际气体性质及气体状态方程；第三章介绍热力学第一定律及应用；第四章介绍理想气体热力过程与气体压缩；第五章介绍热力学第二定律，重点阐述热力过程的方向性与不可逆性，熵的概念及其物理意义；第六章介绍热力学一般关系式，是研究物质热力性质不可缺少的数学基础。工程应用部分包括：第七章介绍水蒸气热力性质，包括工业上水蒸气形成，水蒸气基本热力过程以及各种水蒸气图表的应用；第八章介绍混合气体和湿空气性质、湿空气热力过程及焓-湿图应用，为通风空调等课程的学习奠定理论基础，第九章介绍气体和蒸汽流动热力过程的基本规律，以及管道截面变化及外界条件的影响规律；第十章介绍动力循环的构成、特点以及提高动力循环热力性能的途径；第十一章介绍各类制冷循环、新型制冷剂性能及热工参数计算；第十二章简要介绍化学热力学基本原理；第十三章简要介绍二元溶液热力学性质。本书保持了前五版的编排方式，每章后有思考题、习题，书后附有习题答案，便于学生自学和检查。

本书一律采用国际单位制。但考虑到目前使用的仪表及参考书，仍有使用其他单位制的，因此在本书附录中列出各种单位制的换算表。

本书第六版参编人员有所变动，由于廉乐明教授年事已高，表示不参加第六版教材修订编写工作，经参编者所属的哈尔滨工业大学和同济大学商定，由哈尔滨工业大学的谭羽非教授承担本书主编工作，全书由廉乐明担任主审。

本书的编写分工是：绪论、第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第八章、第

十一章和附录由谭羽非编写；第六章、第七章、第九章和第十章由朱彤编写；第十二章和第十三章由吴家正编写。全书由谭羽非统稿。

本书得到高等学校建筑环境与设备工程学科专业指导委员会的鼓励和指导，在编写过程中得到国内同行们的支持。对本书前五版主要参编者，邱信立教授、李立能教授和廉乐明教授所做出的突出贡献，表示衷心感谢，对严家骏教授多次的细致审阅和多方面的指正，谨致谢意。

限于编者学术水平及教学经验，书中难免有错误和不妥之处，竭诚希望读者及兄弟院校使用本书的师生批评指正。

第五版前言

本书自 1979 年出版至今，历经第一版、第二版、第三版和第四版共 23 次印刷，发行量近 20 万册。由于教材内容深入浅出，结合工程实际，除满足建筑环境与设备工程专业（即原供热、供燃气、通风与空调专业）使用外，还得到国内有关工程类专业及函授、电大、业余工大等有关工程类专业的广泛使用。本书曾先后两次获得国家级教学成果奖教材二等奖。

本书遵循第一次全国普通高等学校教学工作会议精神：培养 21 世纪的专业人才，适应科技进步和发展、适应改革发展和经济建设的需要，具备“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高、有创新意识”的要求。在内容编选上以《全国高等学校土建类专业培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求——建筑环境与设备工程专业》为依据，认真总结了前四轮教材的教学实践经验和存在的问题，在保证学科系统性与完整性的基础上，努力提高教材的科学性、先进性、启发性、实用性和对我国教学的适用性，满足新的拓宽专业，即“建筑环境与设备工程”专业教学的需要，同时也注意适当反映热工科技的新进展。

本书从宏观观点出发，从工程实际出发来研究物质的热力性质、能量转换的规律和方法以及有效合理利用热能的途径。

全书共分 13 章。第一章重点介绍系统、平衡、状态参数、可逆过程、循环、热量和功等基本概念。第二章介绍理想气体及其混合物的性质，并结合介绍实际气体的状态方程。第三章介绍热力学第一定律。第四章气体的热力过程与气体压缩，这两章是全书热力过程分析及计算的理论基础。第五章重点阐述热力过程的方向性与不可逆性，熵的概念及其物理意义，可用能与不可用能的概念。第六章是研究物质热力性质不可缺少的基本关系式。第七章介绍水蒸气的一般概念及各种图表的应用，它还是研究各种实际气体的理论基础。第八章介绍湿空气的性质、热力过程及图表的应用，它们是学习通风空调等课程不可缺少的理论基础。第九章、第十章及第十一章是工程热力学中联系工程实际不可缺少的基本内容。第十二章及第十三章将结合专业作一般介绍。

本书作为一本教材应有一定的系统性与完整性，对某些章节的内容略超过课程基本要求的范围，适当作一些扩充和拓宽，一则使教师有选择的余地，二则适应不同专业不同学时及不同层次的需要，这也是必要的。

本书保持了前四版的编排方式，每章后有思考题、习题及习题答案，便于学生自学和检查。

本书一律采用国际单位制。但考虑到目前使用的仪表及参考书，仍有使用其他单位制的，因此，在本书附录中列出各种单位制的换算表。

本书第五版参编人员有变动，由于李力能教授本人表示不参加第五版教材的修订编写工作，经参编者所属哈尔滨工业大学和同济大学商定，两校增派教师补充力量，由廉乐明

(哈尔滨工业大学) 承担本书主编工作。修订编写第五版教材的主导思想：考虑本书的使用对象是非动力类工程专业的特点，以热能直接利用为主、能量转换为辅，主要论述质量迁移，能量交换与物质状态或物态变化的关系，探讨提高能量有效利用及节能的基本途径等有关内容，为此，首先对第四版教材在教学实践中出现的问题进一步改进、充实和完善，对一些重要知识点讲深讲透，特别对后续联系工程实际的篇章在讲述中力求更接近实际；其二是各章在原第四版的基础上增加了例题和习题，帮助学生复习，掌握所学理论知识，联系工程实际，培养创新能力；第三是更新、扩充了本书附录中主要工质热物性图表，并采用我国学者编制的的数据。在本书第五版即将出版之前，对本书前四版主要参编之一李力能教授为本书前四版所做出的突出贡献和成绩表示衷心的感谢和崇高的敬意。

本书的编写分工是：绪论、第四章、第八章、第十一章和附录由廉乐明编写；第一章、第二章、第三章和第五章由谭羽非编写；第六章、第七章、第九章和第十章由朱彤编写；第十二章和第十三章由吴家正编写。全书由廉乐明统稿。

本书承哈尔滨工业大学严家骅教授细致审阅，得到多方面的指正，谨致谢意。

本书得到高等学校建筑环境与设备工程专业指导委员会的鼓励和指导，在编写过程中得到学校、院、系和同仁们的支持；研究生宋传亮同学为本书的成稿做了很多辅助性工作，在此表示衷心感谢。

限于编者学术水平及教学经验，书中难免有错误和不妥之处，竭诚希望读者及兄弟院校使用本书的师生批评指正。

编者

2007年1月

第四版前言

本书自 1979 年出版至今，历经第一版、第二版和第三版共十次印刷，发行量达 10 万余册。由于教材内容深入浅出，结合工程实际，除满足供热通风及空调工程专业使用外，还得到国内有关工程类专业及函授、电大、业余工大等有关专业的广泛使用。本书获国家级教学成果奖教材二等奖。

按照 1996 年 9 月供热通风空调与燃气工程专业指导委员会关于“九五”教材修订计划的安排，为贯彻第一次全国普通高等学校教学工作会议精神：培养 21 世纪的专业人才，适应科技进步和发展、适应改革发展和经济建设的需要，具备“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高”的要求，认真总结了前三轮教材的教学实践经验，努力提高教材的科学性、先进性、启发性、实用性和对我国教学的适用性，以进一步提高教材的质量。在内容编选上以建设部颁布的《高等工业学校工程热力学课程的基本要求》（本科四年制供热通风空调与燃气工程专业适用，60~70 学时）为依据，在保证学科系统性与完整性的基础上，博采众长，力争能符合新的拓宽专业，即“建筑设备与环境工程”专业教学的需要，使这一版成为迎接 21 世纪新旧交替、承上启下、推陈出新，具有一定特色的过渡性教材。

本书从宏观观点出发，从工程实际出发来研究物质的热力性质、能量转换的规律和方法以及有效合理利用热能的途径。

全书共分 13 章。第一章重点介绍系统、平衡、状态参数、可逆过程、循环、热量和功等基本概念。第二章介绍理想气体及其混合物的性质。第三章介绍热力学第一定律，第四章气体的热力过程与气体压缩，这两章是全书热力过程分析及计算的理论基础。第五章重点阐述热力过程的方向性与不可逆性，熵的概念及其物理意义，可用能与不可用能的概念。第六章是研究物质热力性质不可缺少的基本关系式，并结合介绍实际气体的状态方程。第七章介绍水蒸气的一般概念及各种图表的应用，它还是研究各种实际气体的理论基础。第八章介绍湿空气的性质、热力过程及图表的应用，它们是学习通风空调等课程不可缺少的理论基础。第九章、第十章及第十一章是工程热力学中联系工程实际不可缺少的基本内容。第十二章及第十三章将结合专业作一般介绍。

本书作为一本教材，应有一定的系统性与完整性，对某些章节的内容略超过《课程基本要求》的范围，适当作一些扩充和拓宽，一则使教师有选择的余地，二则适应不同专业不同学时及不同层次的需要，这也是必要的。

本书保持了第二版的编排方式，每章后有思考题、习题及习题答案，便于学生自学和检查。

本书一律采用国际单位制。但考虑到目前使用的仪表及参考书，仍有使用其他单位制的，因此，在本书附录中列出各种单位制的换算表。

本书前三版是由邱信立教授（同济大学）任主编，由于邱信立教授本人表示不参加第

四版教材的修订编写工作，因此，经参编者所属两校商定，主编工作由廉乐明（哈尔滨建筑大学）接替，两校再增派教师充实编写力量。修订编写第四版教材的主导思想，除了上述基本原则和要求外，主要考虑本书的使用对象是非动力类工程专业的特点，以热能直接利用为主、能量转换为辅，主要论述质量迁移，能量交换与物质状态或物态变化的关系，探讨提高能量有效利用及节能的基本途径等有关内容，为此，对第五章热力学第二定律作了重大修改，进行了重新改写，而对其他 12 章内容是在第三版教材的基础上作了部分调整、更新和充实。在本书第四版即将发行之时，对原书主编邱信立教授 20 年来为前三版教材呕心沥血所做出的突出贡献和卓越成绩表示衷心的感谢和崇高的敬意。

本书的编写分工是：绪论、第四章、第八章、第十一章由廉乐明编写；第一章、第二章、第三章和第五章由李力能编写；第七章、第十章由谭羽非编写；第六章、第九章、第十二章和第十三章由吴家正编写。全书由廉乐明主编。

第四版承哈尔滨工业大学严家骝教授精心审阅，提出了许多宝贵的意见，严格把关，对提高书稿质量帮助极大，在此表示衷心感谢。

限于编者学术水平及教学经验，书中难免有错误和不妥之处，竭诚希望读者及兄弟院校使用本书的师生批评指正。

编者
1999 年 10 月

目 录

基本符号表	1
绪 论	3
第一章 基本概念	8
第一节 热力系统	8
第二节 工质的热力状态及其基本状态参数	10
第三节 平衡状态、状态公理及状态方程	13
第四节 准静态过程及可逆过程	15
第五节 热量和功量	17
第六节 热力循环	19
思考题	21
习题	21
第二章 气体的热力性质	23
第一节 理想气体与实际气体	23
第二节 理想气体比热容	26
第三节 实际气体状态方程	32
第四节 对比态定律与压缩因子图	35
思考题	37
习题	38
第三章 热力学第一定律	40
第一节 热力学能和总能	40
第二节 闭口系统能量方程	41
第三节 开口系统能量方程	45
第四节 开口系统稳态稳流能量方程	47
第五节 稳态稳流能量方程的应用	50
思考题	54
习题	55
第四章 理想气体的热力过程及气体压缩	58
第一节 热力过程分析及步骤	58
第二节 绝热过程	60
第三节 多变过程的综合分析	62
第四节 压气机的理论压缩轴功	68
第五节 活塞式压气机的余隙影响	72
第六节 多级压缩及中间冷却	73
思考题	77
习题	78

第五章 热力学第二定律	80
第一节 热力学第二定律的实质与表述	80
第二节 卡诺循环与卡诺定理	82
第三节 状态参数熵及熵方程	86
第四节 孤立系统熵增原理与做功能力损失	91
第五节 焓与焓	94
第六节 焓分析与焓方程	99
思考题	104
习题	105
第六章 热力状态参数的微分关系式	107
第一节 主要数学关系式	107
第二节 简单可压缩系统的基本关系式	108
第三节 熵、焓及热力学能的微分方程式	112
第四节 比热容的微分关系式	116
第五节 克拉贝龙方程	118
思考题	119
习题	119
第七章 水蒸气	121
第一节 水的相变及相图	121
第二节 水蒸气的定压发生过程	123
第三节 水蒸气表和焓-熵 ($h-s$) 图	126
第四节 水蒸气的基本热力过程	131
思考题	135
习题	135
第八章 混合气体及湿空气	137
第一节 混合气体的性质	137
第二节 湿空气性质	142
第三节 湿空气的焓湿图	151
第四节 湿空气的基本热力过程	154
思考题	161
习题	162
第九章 气体和蒸汽的流动	164
第一节 一维稳定绝热流动的基本方程	164
第二节 可逆绝热流动的基本特性	166
第三节 喷管计算	168
第四节 背压变化对喷管内流动的影响	178
第五节 具有摩擦的绝热流动	179
第六节 绝热节流	181
思考题	185
习题	185
第十章 动力循环	188
第一节 蒸汽动力基本循环——朗肯循环	188
第二节 回热循环与再热循环	191

第三节	热电循环	195
第四节	内燃机循环	197
第五节	燃气轮机循环	201
思考题	.....	204
习题	.....	205
第十一章	制冷循环	207
第一节	空气压缩制冷循环	207
第二节	蒸气压缩制冷循环	210
第三节	蒸汽喷射制冷循环	217
第四节	吸收式制冷循环	218
第五节	热泵	219
第六节	改进的蒸气压缩制冷系统	221
第七节	气体的液化	224
思考题	.....	225
习题	.....	226
第十二章	化学热力学基础	228
第一节	燃料燃烧的基本方程	228
第二节	热力学第一定律在化学反应中的应用	231
第三节	反应热与反应热效应计算	235
第四节	热力学第二定律在化学反应中的应用	240
第五节	化学平衡及平衡常数	242
第六节	化学反应定温方程式	245
第七节	热力学第三定律	247
思考题	.....	247
习题	.....	248
第十三章	溶液热力学基础	250
第一节	溶液的一般概念	250
第二节	二元溶液的温度-浓度图和焓-浓度图	253
第三节	相律	259
思考题	.....	261
习题	.....	261
部分习题答案	.....	263
附录	.....	270
附表 1	饱和水与饱和水蒸气表 (按温度排列)	270
附表 2	饱和水与饱和水蒸气表 (按压力排列)	272
附表 3	未饱和水与过热蒸汽表	274
附表 4	在 0.1MPa 时饱和空气状态参数表	281
附表 5	压力单位换算表	283
附表 6	功、能和热量的单位换算表	284
附表 7	R134a (CF ₃ CH ₂ F) 饱和液与饱和蒸气热力性质表 (按温度排列)	284
附表 8	R134a (CF ₃ CH ₂ F) 饱和液与饱和蒸气热力性质表 (按压力排列)	285
附表 9	R134a (CF ₃ CH ₂ F) 过热蒸气表	287
附图 1	水蒸气焓熵图	插页

附图 2	湿空气焓湿图	291
附图 3	氨 (NH_3 , R717) 的 $\lg p-h$ 图	292
附图 4	氟利昂-134a ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$, R134a) 的 $\lg p-h$ 图	293
附图 5	氟利昂-22 (CHCl_2F_2 , R22) 的 $\lg p-h$ 图	294
附图 6	溴化锂水溶液 $h-\zeta$ 图	插页
参考文献	.....	295

基本符号表

1. 英文符号

a	修正分子间相互作用力的常数； 音速	h_{298}^0	千摩尔物质标准生成焓
A_n	烷	h_T^0	千摩尔物质任意温度下生成焓
an	单位质量烷	K	热能利用率
B	大气压力；比例系数	K_c	用浓度表示的化学平衡常数
b	修正分子本身体积的常数	K_p	用分压力表示的化学平衡常数
C	非平衡浓度；组分数目	L	产液率
c	流速；质量比热容；余隙百分数； 平衡浓度	l	长度
c'	容积比热容	M	分子量；千摩尔质量；马赫数
c_p	定压质量比热容	M_C	摩尔比热容
c_v	定容质量比热容	m	质量
COP	工作系数	\dot{m}	质量流量
COP_R	制冷系数	N	分子数目
COP_H	供热系数	n	分子浓度；多变指数；摩尔数
d	直径；含湿量	p	压力
E	能量；储存能	Q	热量；反应热；反应热效应
E_K	动能	q	单位质量热量
E_p	位能	R	气体常数
Ex	焓	R_0	通用气体常数
e	单位质量能量	r	汽化潜热；容积成分
e_k	单位质量动能	S	位移；熵
e_p	单位质量位能	s	单位质量熵
ex	单位质量焓	T	热力学温度；绝对温度
F	力；自由度数目；自由能	t	摄氏温度
f	截面积；单位质量自由能	U	热力学能
G	自由焓	u	单位质量热力学能
g	质量成分；单位质量自由焓	V	体积
H	真空值；焓	v	比体积（又称比容）；反应速度
H_{298}^0	标准状态下生成焓	W	膨胀功；总功
H_T^0	任意温度下的生成焓	\dot{W}	功率
h	单位质量焓	W_s	轴功
		w	单位质量膨胀功
		w_s	单位质量轴功
		w_t	单位质量技术功

x 干度;摩尔成分;摩尔浓度

z 压缩因子;高度

2. 希腊文符号

α 压力温度系数

β 容积膨胀系数;临界压力比;压力比

ϵ 压缩比;热湿比

ϵ_1 制冷系数(即 COP_R)

ϵ_2 供热系数(即 COP_H)

η_n 喷管效率

η_t 循环热效率

$\eta_{t.c}$ 卡诺循环热效率

$\eta_{c.t}$ 压气机定温压缩效率

$\eta_{c.s}$ 压气机绝热压缩效率

κ 比热容比(绝热指数)

μ 定温压缩系数

μ_j 焦耳-汤姆逊系数

ξ 热能利用系数;质量浓度

ρ 密度;定压预胀比

ρ_v 绝对湿度

τ 时间

φ 相对湿度;相数目;速度系数

ω 分子运动速度

λ 定容升压比

λ_v 容积效率

3. 下角标

a 有用;干空气

b 背

C 卡诺

c 临界

ch 化学

cv 控制容积

d 露点;设计时

ex 膨胀

f 流动;燃料

g 表计;气体;产生

h 高;供热

irr 不可逆

iso 孤立

l 低;损失;液体

M 摩尔

m 平均

N 标准

P 生成物

ph 物理

R 反应物

r 对比

re 可逆

s 饱和;固体;轴

sur 环境

sys 系统

v 蒸汽

w 湿

绪 论

一、能源及热能利用

1. 自然界的各类能源

用来产生各种所需有用能的物质资源称为能源，包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等可直接获取的一次能源，电力、热力、成品油等通过加工转换而获取的二次能源，以及其他新能源和可再生能源。能源是人类活动的物质基础，从某种意义上讲，人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。

我国是世界上第二位能源生产国和消费国，煤炭资源最为丰富，目前已经探明的煤炭资源储量为世界第二。根据第三次全国煤田预测资料，除台湾省外，我国垂深 2000m 以内煤炭资源总量为 55697.49 亿 t，其中探明保有资源量 10176.45 亿 t，预测资源量 45521.04 亿 t。煤炭在我国一次性能源结构中处于绝对主要位置，20 世纪 50 年代曾高达 90%。随着大庆油田、渤海油田的发现和开发，一次性能源结构才有了一定程度的改变，但煤仍然占到 70% 以上。

据国土资源部储量快报统计，我国石油资源集中分布在渤海湾、松辽、塔里木、鄂尔多斯、准噶尔、珠江口、柴达木和东海陆架八大盆地，其可采资源量 172 亿 t，占全国的 81.13%。2012 年，全国石油新增探明地质储量 15.2 亿 t，同比增长 13%，新增探明技术可采储量 2.7 亿 t，同比增长 7%，2012 年全国石油产量 2.05 亿 t，同比增长 1%。2014 年全年新增石油探明地质储量 10 亿 t。

2012 年全国天然气勘查新增探明地质储量 9612.2 亿 m³，同比增长 33%，为我国历史最高水平。新增探明技术可采储量 5008 亿 m³，同比增长 36%。2012 年全国天然气产量为 1067.6 亿 m³，同比增长 5.4%。

我国水电资源蕴藏量世界第一，技术可开发量约为 5.4 亿 kW，经济可开发量约 4 亿 kW。截至 2014 年底，中国水电装机容量 3.018 亿 kW，水电开发程度达到 40.58%。虽然地球上水力资源总量较多，但开发利用率低，我国占世界总量 16.7%，居世界之首。但是目前我国水能开发利用量约占全球水电装机总量的 1/4，低于发达国家达 60% 的平均水平，因而水力资源开发潜力很大。

我国铀矿资源勘查工作经过 30 多年的发展，在全国 23 个省（区）探明了 10 余种工业类型的铀矿床，为中国核工业的发展提供了资源保障。2014 年新增核电装机 864 万千瓦，几乎是 2013 年的两倍，近 5 年平均增长 9.59%，占全国电力装机总量的 1.1%。已形成广东、浙江、江苏三个核电基地，预计到 2020 年形成较完整的自主化核电工业体系。

我国风能资源的理论蕴藏量为 32.26 亿 kW，可开发的装机容量就有 2.53 亿 kW，居世界首位，与可开发的水电装机容量（3.78 亿 kW）为同一量级，具有形成商业化、规模

化发展的资源潜力。“十二五”期间，中国风电产业仍将持续每年 10000MW 以上的新增装机速度。预计到 2020 年，我国风电装机将达到 2000 万 kW。

太阳能是一种清洁的、取之不尽的古老能源。太阳辐射到地球的陆地表面的能量，一年大约有 17 万亿 kW。据估算我国陆地表面每年接受的太阳辐射能约为 50×10^{18} kJ，全国各地每年接受的太阳辐射能量总计约为 $586 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$ 。

地球上的生物质资源十分丰富，分布十分广泛。据估计，地球上的绿色植物每年通过光合作用生成的生物质总量约达 1800 亿 t（干重），相当于目前世界能源消耗总量的 10 倍。地球上蕴藏的生物质约达 18000 亿 t。根据专家们计算，在中国如果全国每年能利用 50% 的农作物秸秆，40% 的畜禽排泄物，30% 的林木废弃料，开发 5% 的边际性耕地（约 550 万 hm^2 ）种植能源植物，建立 1000 个生物质能源加工厂，那么其生产能力相当于年产 5000 万 t 石油的生产能力，相当于一个大庆油田的年产量（4800 万 t）。

我国地大物博、资源丰富，但由于人口太多，人均资源占有量与阿拉伯地区、俄罗斯和美国相比，十分匮乏。此外我国的能源资源的结构、分布和数量，也并不理想，在一次能源结构中，高污染的煤炭占能源资源总量的 70% 以上，优质能源石油和天然气等则不足 30%。目前全世界的人口约计 65 亿。中国人口约为 13 亿 7 千万，占世界人口总量的 21%。人均能源占有量不足世界平均水平的一半，人均煤炭资源储量约为世界平均水平的 1/2，人均石油仅为世界平均水平的 1/10。我国的煤炭资源仅可开采 90 年，石油仅可开采 22 年。

作为人口众多的发展中国家，能源是事关我国经济社会发展的一个重要问题。目前能源资源和环境已成为我国经济发展的制约因素，必须从我国的国情出发，依靠科技进步和创新，节约与开发并重，拟定我国能源的中长期发展规划。为此，我国政府提出“节约优先，立足国内，多元发展，保护环境，科技创新，深化改革，国际合作和改善民生”八项能源发展方针，推进能源生产和利用方式变革，构建安全、稳定、经济、清洁的现代能源产业体系，这也成为我国能源科学技术人员面临的艰巨任务和挑战。

2. 热能利用方式

利用燃料热能的方式有两种：直接利用和间接利用。工业生产中的冶炼、加热、蒸煮、干燥及分馏等，日常生活中的热水供应及采暖等，都属于热能的直接利用方式。工业中热能直接利用的设备很多，如各种工业炉窑、工业锅炉、各种加热器、冷却器、蒸发器、冷凝器等，由于热能直接利用所消耗的燃料占有较大比重，所以如何提高换热设备的换热效率是当今的重要研究课题。

热能的间接利用，是将燃料热能通过各种类型的发动机（热机）及发电机，使热能转变为机械能或电能。例如蒸汽动力装置、燃气动力装置、火箭发动机、内燃机等都能实现热能的转换并获得机械能或电能。热能的间接利用，存在热能转为机械能或电能过程中的有效程度的问题。如在热力发电厂中，热能有效利用率在 25%~40%，有 60%~75% 的热能无法利用，而排放到大气或江河湖海中去，这部分无法利用的热能称为废热。再如交通运输中的汽车、火车飞机及轮船，热能的有效利用率更低。这些装置排放到大气中的废气，还带有大量有害物质，它污染了人类赖以生存的环境。因此，在国内外对节能研究与发展日益重视的情况下，如何在动力装置中提高热能的有效利用率，减少燃料的消耗量并消除污染，这不仅是我国面临的重要课题，也是世界性的学术课题。工程热力学的完善和