

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

Regong  
Xue  
Jichu

# 热工学基础

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

余宁 主编

 中国建筑工业出版社  
China Architecture & Building Press

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

# 热 工 学 基 础

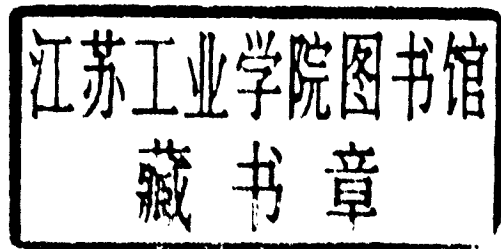
(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

余 宁 主 编

李国斌 罗义英 副主编

刘春泽 主 审



中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

热工学基础/余宁主编. —北京: 中国建筑工业出版社,  
2004

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐  
教材

ISBN 7-112-06907-6

I. 热… II. 余… III. 热工学-高等学校: 技术学  
校-教材 IV. TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 118953 号

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

## 热工学基础

(供热通风与空调工程技术专业适用)

本教材编审委员会组织编写

余宁 主编

李国斌 罗义英 副主编

刘春泽 主审

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京云浩印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 插页: 2 字数: 420 千字

2005 年 1 月第一版 2006 年 7 月第二次印刷

印数: 3001—4500 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-06907-6

TU·6153 (12861)

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) \*

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书共分二篇。第一篇工程热力学，主要讲述：热力学第一定律及第二定律的基本知识；常用工质（理想气体、水蒸气、湿空气）的热力性质、状态变化规律和基本热力过程的分析；气体和蒸汽在喷管与扩压管内的流动及绝热节流的基本知识与应用；气体压缩和制冷循环等内容。第二篇传热学，主要介绍稳态导热、非稳态导热、对流换热、辐射换热和稳定传热的基本定律及基本计算分析；介绍了换热器的类型、换热原理、基本构造及换热器的性能评价及选用计算等。

本教材突出了高等职业教育的特色，内容既具有系统性、全面性，又具有针对性、实用性。除可作为土建类高职高专学校供热通风与空调工程技术专业和建筑设备工程技术专业的教材使用外，也可作为电大、职大、函大等相同专业教学用书，并可作为从事通风空调、供热及锅炉设备工作的高等技术管理与施工人员学习的参考书。

\* \* \*

责任编辑：齐庆梅 朱首明  
责任设计：刘向阳  
责任校对：王金珠

## 本教材编审委员会名单

主任：贺俊杰

副主任：刘春泽 张健

委员：陈思仿 范柳先 孙景芝 刘玲 蔡可键

蒋志良 贾永康 王青山 余宁 白桦

杨婉 吴耀伟 王丽 马志彪 刘成毅

程广振 丁春静 胡伯书 尚久明 于英

崔吉福

## 序 言

全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会（原名高等学校土建学科教学指导委员会高等职业教育专业委员会水暖电类专业指导小组）是建设部受教育部委托，并由建设部聘任和管理的专家机构。其主要工作任务是，研究建筑设备类高职高专教育的专业发展方向、专业设置和教育教学改革，按照以能力为本位的教学指导思想，围绕职业岗位范围、知识结构、能力结构、业务规格和素质要求，组织制定并及时修订各专业培养目标、专业教育标准和专业培养方案；组织编写主干课程的教学大纲，以指导全国高职高专学校规范建筑设备类专业办学，达到专业基本标准要求；研究建筑设备类高职高专教材建设，组织教材编审工作；制定专业教育评估标准，协调配合专业教育评估工作的开展；组织开展教学研究活动，构建理论与实践紧密结合的教学内容体系，构筑“校企合作、产学研结合”的人才培养模式，为我国建设事业的健康发展提供智力支持。

在建设部人事教育司和全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，2002年以来，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会的工作取得了多项成果，编制了建筑设备类高职高专教育指导性专业目录；制定了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”等专业的教育标准、人才培养方案、主干课程教学大纲、教材编审原则，深入研究了建筑设备类专业人才培养模式。

为适应高职高专教育人才培养模式，使毕业生成为具备本专业必需的文化基础、专业理论知识和专业技能、能胜任建筑设备类专业设计、施工、监理、运行及物业设施管理的高等技术应用性人才，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会，在总结近几年高职高专教育教学改革与实践经验的基础上，通过开发新课程，整合原有课程，更新课程内容，构建了新的课程体系，并于2004年启动了“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业主干课程的教材编写工作。

这套教材的编写坚持贯彻以全面素质为基础，以能力为本位，以实用为主导的指导思想。注意反映国内外最新技术和研究成果，突出高等职业教育的特点，并及时与我国最新技术标准和行业规范相结合，充分体现其先进性、创新性、适用性。它是我国近年来工程技术应用研究和教学工作实践的科学总结，本套教材的使用将会进一步推动建筑设备类专业的建设与发展。

“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业教材的编写工作得到了教育部、建设部相关部门的支持，在全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的领导下，聘请全国高职高专院校本专业享有盛誉、多年从事“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”专业教学、科研、设计的

副教授以上的专家担任主编和主审，同时吸收工程一线具有丰富实践经验的高级工程师及优秀青年教师参加编写。可以说，该系列教材的出版凝聚了全国各高职高专院校“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”三个专业同行的心血，也是他们多年来教学工作的结晶和精诚协作的体现。

各门教材的主编和主审在教材编写过程中认真负责，工作严谨，值此教材出版之际，全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会谨向他们致以崇高的敬意。此外，对大力支持这套教材出版的中国建筑工业出版社表示衷心的感谢，向在编写、审稿、出版过程中给予关心和帮助的单位 and 同仁致以诚挚的谢意。衷心希望“供热通风与空调工程技术”、“建筑电气工程技术”、“给水排水工程技术”这三个专业教材的面世，能够受到各高职高专院校和从事本专业工程技术人员的欢迎，能够对高职高专教学改革以及高职高专教育的发展起到积极的推动作用。

**全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会**

**建筑设备类专业指导分委员会**

2004年9月

# 前 言

热工学基础是高职高专学校供热通风与空调工程专业和建筑设备工程专业的主要技术基础课之一,是从事通风空调、供热及锅炉设备工作的高等技术管理和施工安装技术人员必须掌握的基础理论知识。其任务是通过本教材的学习,掌握有关热力学基本定律、工质的状态参数及其变化规律等基础理论知识;掌握导热、对流、热辐射换热的基本定律以及稳定传热的基本计算;理解换热器的换热原理和进行换热器的选型基本计算,为学习专业知识奠定必要的热力分析与热工计算的理论基础和基本技能。

本书是根据2004年初全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会第三次会议决定的“启动高职水暖电三个专业主干课程教材编审规划”,按照几次会议讨论制定的专业教育标准、专业培养方案和《热工学基础》课程指导性教学大纲,考虑新技术、新规范和新标准的情况来编写的。

本书约讲90学时,共分二篇。第一篇工程热力学部分48学时,主要讲述:热力学第一定律与第二定律的基本知识;常用工质(理想气体、水蒸气、湿空气)的热力性质、状态变化规律和基本热力过程的分析;气体和蒸汽在喷管与扩压管内的流动及绝热节流的基本知识与应用;气体压缩和制冷循环等内容。第二篇传热学部分42学时,主要介绍稳态导热、非稳态导热、对流换热、辐射换热和稳定传热的基本定律与基本计算分析;介绍了换热器的类型、换热原理、基本构造、换热器的性能评价与选用计算等。

本教材在符合专业教育标准和培养方案及教学大纲中要求的知识点、能力点条件下,论述上尽量删繁就简,突出专业需要与实用,力求较快地切入主题,考虑适当的深度,做到层次分明,重点突出,使知识易于学习掌握;在内容安排上与同类教材相比有较大的变动;文字上力求简练、准确、通畅,便于学习;所用名词、符号和计量单位符合技术标准规定。章节的安排尽量考虑知识主次先后的照应关系;论述上考虑适当的深度,做到层次分明,重点突出,使知识易于学习掌握。为了加深理解,培养学生分析问题、解决问题的能力以及培养学生归纳问题的能力,本书各章节都有相应的实用例题、思考题与习题和小结。

本教材由江苏广播电视大学余宁担任主编,沈阳建筑大学职业技术学院李国斌和河南平顶山工学院罗义英担任副主编,沈阳建筑大学职业技术学院刘春泽担任主审。参加编写的有:江苏广播电视大学余宁(绪论、第十一、十二、十三章)、沈阳建筑大学李国斌(第一、二、三、四章)、河南平顶山工学院罗义英(第五、六、七章)、徐州建筑职业技术学院徐红梅(第八、十四章)、徐州建筑职业技术学院陈益武(第九、十章)。

限于编者水平,教材中难免有许多不妥或错误之处,恳请读者提出宝贵意见。



# 目 录

绪论	1
----	---

## 第一篇 工程热力学

<b>第一章 工质与热力系统</b>	5
第一节 工质及其基本状态参数	5
第二节 热力系统、热力过程和热力循环	8
第三节 系统储存能及与外界传递的能量	10
小结	14
思考题与习题	14
<b>第二章 热力学第一定律</b>	16
第一节 热力学第一定律	16
第二节 闭口系统第一定律的能量方程	16
第三节 开口系统稳定流动能量方程	18
小结	23
思考题与习题	24
<b>第三章 理想气体的热力性质及热力过程</b>	25
第一节 理想气体状态方程式	25
第二节 理想气体的比热容	28
第三节 理想混合气体	33
第四节 理想气体的热力过程	37
小结	47
思考题与习题	48
<b>第四章 热力学第二定律</b>	50
第一节 热力循环	50
第二节 热力学第二定律	51
第三节 卡诺循环与卡诺定理	52
第四节 熵	55
小结	57
思考题与习题	57
<b>第五章 水蒸气</b>	59
第一节 液体的物态变化	59
第二节 定压下水蒸气的生产过程	60
第三节 水蒸气热力性质表	63

第四节 水蒸气的焓熵图 (莫里尔图) .....	65
小结 .....	69
思考题与习题 .....	70
<b>第六章 湿空气</b> .....	<b>71</b>
第一节 湿空气的状态参数 .....	71
第二节 湿空气的焓湿图 .....	77
第三节 湿空气的热力过程 .....	81
小结 .....	87
思考题与习题 .....	88
<b>第七章 气体与蒸汽的流动与节流</b> .....	<b>89</b>
第一节 绝热稳定流动的基本方程 .....	89
第二节 喷管流动的基本规律 .....	90
第三节 气体的绝热节流 .....	95
小结 .....	97
思考题与习题 .....	98
<b>第八章 气体压缩和制冷循环</b> .....	<b>99</b>
第一节 活塞式压气机的基本原理 .....	99
第二节 压缩式制冷循环 .....	108
第三节 蒸汽喷射式制冷循环 .....	115
第四节 吸收式制冷循环 .....	116
第五节 热泵供热与制冷的循环 .....	117
小结 .....	118
思考题与习题 .....	119

## 第二篇 传 热 学

<b>第九章 稳态导热</b> .....	<b>123</b>
第一节 导热的基本概念和定律 .....	123
第二节 导热过程的数学描写 .....	128
第三节 通过平壁的稳态导热 .....	132
第四节 通过圆筒壁的稳态导热 .....	136
小结 .....	139
思考题与习题 .....	140
<b>第十章 非稳态导热</b> .....	<b>141</b>
第一节 非稳态导热的基本概念 .....	141
第二节 对流换热条件下的非稳态导热 .....	142
第三节 常热流作用下的非稳态导热 .....	148
第四节 周期性热作用下的非稳态导热 .....	149
小结 .....	153
思考题与习题 .....	153

<b>第十一章 对流换热</b> .....	154
第一节 对流换热的基本概念和影响因素 .....	154
第二节 相似理论及其在对流换热中的应用 .....	156
第三节 单相流体的对流换热 .....	160
第四节 变相流体的对流换热 .....	171
小结 .....	175
思考题与习题 .....	176
<b>第十二章 辐射换热</b> .....	178
第一节 热辐射的基本概念 .....	178
第二节 热辐射的基本定律 .....	180
第三节 两物体表面间的辐射换热计算 .....	183
第四节 气体辐射 .....	187
小结 .....	193
思考题与习题 .....	194
<b>第十三章 稳定传热</b> .....	196
第一节 复合换热 .....	196
第二节 通过平壁、圆筒壁、肋壁的传热计算 .....	197
第三节 传热的增强 .....	203
第四节 传热的减弱 .....	205
小结 .....	207
思考题与习题 .....	208
<b>第十四章 换热器</b> .....	210
第一节 换热器的换热原理、基本类型与构造 .....	210
第二节 换热器平均温差的计算 .....	215
第三节 换热器选型计算的步骤和内容 .....	219
第四节 换热器选型计算的实例 .....	223
小结 .....	227
思考题与习题 .....	227
<b>附录</b> .....	229
附表 1-1 各种单位制常用单位换算表 .....	229
附表 3-1 几种气体在理想状态下的平均定压比热容 $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$ .....	229
附表 5-1 饱和水与饱和蒸汽性质表 (按温度排列) .....	230
附表 5-2 饱和水与饱和蒸汽性质表 (按压力排列) .....	231
附表 5-3 未饱和水与过热蒸汽性质表 .....	233
附图 5-1 水蒸气焓—熵图 .....	插页
附表 6-1 0.1MPa 时的饱和空气状态参数表 .....	245
附图 6-1 湿空气焓—湿图 .....	插页
附图 8-1 氨 ( $\text{NH}_3$ , R717) 的 $\lg p-h$ 图 .....	248
附图 8-2 氟里昂 22 ( $\text{CHCl}_2\text{F}_2$ , R22) 的 $\lg p-h$ 图 .....	249

附图 8-3	氟里昂 134a ( $C_2H_2F_4$ , R134a) 的 $\lg p-h$ 图	250
附表 11-1	$B = 0.1013\text{MPa}$ 干空气的热物理性质	251
附表 11-2	饱和水的热物理性质	252
附表 12-1	各种不同材料的总正常辐射黑度	253
附图 12-1	热辐射角系数图	254
附表 14-1	容积式换热器技术参数	254
附表 14-2	螺旋板换热器技术参数	256
附表 14-3	板式换热器技术参数	257
附表 14-4	浮动盘管换热器技术参数	258
主要参考文献		260

# 绪 论

## 一、课程的性质与任务

《热工学基础》是高职高专供热通风与空调工程技术专业和建筑设备工程技术专业的一门主要的专业基础课，是从事本专业工作的技术人员必须掌握的基础理论知识。

本课程的主要任务是通过课程的学习，使学生掌握专业所需的工程热力学与传热学基本知识和基本定律，为学习专业知识奠定必要的热力分析与热工计算的理论基础和基本技能。通过本课程的教学，应达到下面的基本学习要求：

(1) 掌握工质气体状态参数、理想气体状态方程，并能进行气体基本热力过程的分析 and 简单计算；

(2) 掌握热力学第一定律的实质及其能量方程的应用；掌握热力学第二定律的实质和意义；

(3) 掌握卡诺循环及卡诺定律、热泵的理论基础；

(4) 了解水蒸气的热力性质及相应的图表，并能应用这些图表进行水蒸气的热力过程分析和有关计算；

(5) 了解湿空气的热力性质及相应的图表，并能应用这些图表进行湿空气的热力过程分析和有关计算；

(6) 理解气体和蒸汽的节流、气体压缩与制冷循环的基本原理及工程应用；

(7) 理解导热、对流、辐射三种基本热量传递方式的基本定律及应用；

(8) 掌握稳定导热、简单非稳定导热、对流换热、辐射换热的计算；

(9) 掌握平壁、圆筒壁、肋壁稳定传热的计算，并了解传热增强与减弱的方法与措施；

(10) 了解换热器的类型、换热原理、基本构造，掌握换热器的性能评价与选用计算等。

## 二、课程的研究对象及主要内容

本课程是由“工程热力学”和“传热学”二部分组成。

工程热力学主要是研究热能与机械能相互转换规律的一门科学。其内容主要有热力学第一定律和热力学第二定律，讲述能量（热能与机械能）转换或传递过程中的守恒、方向、条件和限度等问题；常用工质（理想气体、水蒸气、湿空气等）的热力性质、状态变化规律和基本热力过程的分析；有效利用热能的途径；气体和蒸汽在喷管与扩压管内的流动、气体和蒸汽的节流、气体压缩与制冷循环的基本知识和工程应用。

传热学是研究热量传递过程的一门科学。其内容主要有导热的基本机理、影响因素、数学描述和计算方法；对流换热的基本概念、主要影响因素分析、换热量计算实验准则方程的选用等；辐射换热的基本概念、基本规律以及两物体间辐射换热量的基本计算；增加或减弱传热的方法及其在工程上的应用；换热器的类型、换热原理、基本构造、换热器的

性能评价与选用计算等。

### 三、热能的工程利用

在日常生活和生产科研中，人类都离不开对能量的需求。能量在自然界中存在着各种形式，如机械能、热能、电能、水位能、化学能、原子能、太阳能、地热能等，其中热能是所有能量形式中使用最广泛的一种能。目前，人类能源供应的 90% 来自于热能。

人类对热能的利用，概括地说主要有热能的直接利用和热能的间接利用两种形式。前者是把热能直接当作加热的能源来利用。例如在供热通风与空调工程中，寒冷地区冬季室内的采暖就是使用产生于锅炉的热水或蒸汽，通过散热器把热量传给室内空气，来补充空气通过房屋墙壁、屋顶、地面、门、窗等围护结构的热损失，以保持或提高室内较高而又适宜的温度。热能的间接利用则是通过热机，如汽轮机、蒸汽机和内燃机等将热能转变为机械能或电能后实现的。例如，在火力发电厂，通过锅炉中燃烧的煤，放出热量，使锅炉内的水受热汽化成为高温高压的蒸汽。蒸汽通过汽轮机，推动汽轮机转轴旋转，将热能转变成机械能，汽轮机转轴带动发电机旋转，又将机械能转化成电能。

节约能源是人类当前面临的重要任务之一，对于我国任务尤为艰巨。从长远看，虽然太阳能、原子核能、地热能等可以为人类提供几乎无限的能量，但由于技术上的原因，这些所谓的新能源还不能大规模地开发利用。目前，人类特别是我国使用的能源主要是煤、石油、天然气等石化燃料。石化燃料不可再生，资源是有限的。据权威估计，以目前的开采量，世界探明的石油贮量仅可供开采 30 余年，煤可开采 160 年，天然气可开采约 60 年。所以，从技术上改造能源设备，提高能源特别是热能的利用率，减少燃料消耗是世界各国的长期战略任务。我们学习热工学与换热器课程的目的之一就是为提高热能的利用，减少热能的损失，掌握必要的基础知识。

### 四、课程与专业的关系

《热工学基础》课程是从事本专业高等技术人员必备的理论基础。在暖通工程上，其工程的目的就是要实现生产、生活中对采暖、通风、空调等的要求，而要实现这些要求就需要了解热量、冷量是如何产生、传送的，在这产生、传送过程中，传递能量的介质热力学性质发生了什么变化？传热过程有何基本规律？传热量如何计算？如何有效地增强传热量或减少热损失？空气调节的状态点又如何控制？换热设备又如何选择计算等等问题。这些暖通工程上的基本问题正是《热工学基础》课程所要研究的，它将从理论与实验、实践上提供解决这些问题的知识。

《热工学基础》课程是学习专业课重要的基础。对于供热通风与空调工程专业和建筑设备专业来说，在学习《供热工程》、《通风与空气调节》、《锅炉与锅炉房设备》、《制冷技术》、《供热系统调试与运行》和《空调系统调试与运行》等专业课程时，必然涉及工质在加热、冷却、蒸发、凝结、加湿和除湿过程中的状态变化和热、湿量的计算，遇到工质在流动压缩或膨胀过程中能量转换和状态变化的问题。并要解决专业中各种热能利用设备最基本的热工问题，如换热器的选型计算问题，有效增强热工设备的传热的问题等。因此，学习好本课程，对于专业课的热工计算和热力分析有着重要的作用，它是学习专业课的重要基础。

# 第一篇 工程热力学





# 第一章 工质与热力系统

## 第一节 工质及其基本状态参数

### 一、工质

人类在生产或日常生活中，经常需要各种形式的能量来满足不同的需求。各种形式能量的转换或转移，通常都要借助于一种携带热能的工作物质来完成，这种工作物质我们称之为工质。

工程上所遇到的工质是多种多样的。有处于气态的，也有处于液态的。气态工质具有极好的热膨胀性，因此，经常在工程中得以应用。暖通工程上经常采用的工质有空气、水蒸气、水、制冷剂。

### 二、基本状态参数

在热力设备中，能量的相互转换与转移，需要通过工质吸热或放热、膨胀或压缩等变化来完成，即能量交换的根本原因在于工质的热力状况存在差异。例如，锅炉中燃料燃烧生成的高温烟气能将锅筒中的水加热成为高温热水，就是由于高温烟气与水之间存在温度差异而完成了热量的转移；又如，汽轮机中能量的转换，也是由于高温、高压的水蒸气与外界环境的温度、压力有很大的差异而产生的。在这些过程中，工质温度、压力等物理特性的数值发生了变化，也就是说，工质的客观物理状况发生了变化。我们把工质在某瞬间表现的热力性质的总状况，称为热力状态，或简称为状态；描述工质热力状态的各物理量，称为工质的状态参数，或简称为状态参数。

工质的状态是由工质的状态参数所描述的。工质的状态发生了变化，其状态参数也相应地发生变化，状态参数是状态的函数。工质的状态发生变化时，初、终状态参数的变化值，仅与初、终状态有关，而与状态发生的途径无关。状态参数的数学特征为点函数，即

$$\int_1^2 dx = x_2 - x_1$$
$$\oint dx = 0$$

式中  $x$ ——工质的某一状态参数。

在热力学中，为了研究需要而采用的状态参数有温度 ( $T$ )、压力 ( $p$ )、比体积 ( $v$ ) 或密度 ( $\rho$ )、内能 ( $u$ )、焓 ( $h$ )、熵 ( $s$ ) 等。其中只有压力、温度、比体积可以用仪器、仪表直接或间接测量出来，且这三个参数的物理意义都比较易于理解，因此，称之为基本状态参数。其他一些状态参数只能由基本状态参数间接计算获得，因此，称之为导出状态参数。

### 三、温度

不同物体的冷热程度，可以通过相互接触进行比较。若  $A$ 、 $B$  两物体接触后，物体  $A$