



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

第2版

空调工程

黄翔 主编
王天富 朱颖心 主审

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高等教育建筑环境与能源应用工程系列规划教材

空调工程

第2版

主编 黄翔
参编 狄育慧 周恒涛
王泮浩 范晓伟
吴志湘 王怡
郑爱平 赵蕾
屈元 孙铁柱
主审 王天富 朱颖心



机械工业出版社

本书是建筑环境与能源应用工程专业的主干专业课程教材。全书共有11章,以空调的基本原理、空调设备、空调系统及空调应用为主线,紧密围绕空调“工程”的知识内涵,系统介绍了湿空气的焓湿学基础,空调负荷计算与送风量的确定,空气处理及设备,空调系统,空调区的气流组织和空调风管系统,空调水系统,空调系统的运行调节与测试调整,空调系统的节能、检测与监控,空调工程应用实例。

本书在技术上体现一个“新”字,充分反映国内外空调技术领域的新理论、新设备、新系统及新成果,并注重与国家现行的规范、标准、技术措施及全国勘察设计注册设备工程师执业资格考试接轨;在内容上体现一个“用”字,注重对学生基本技能的培训,为学生提供空调工程设计应用方面必备的知识;在形式上体现一个“便”字,深入浅出,图文并茂,每章后均配有思考题与习题、参考文献,并标明可供选择讲授的章节,便于自学和实践。

本书适合作为建筑环境与能源应用工程专业的教学用书,也可供暖通空调设计、制造、施工安装及运行管理人员参考,还可作为全国勘察设计注册设备工程师执业资格考试(暖通空调专业)的复习参考书和全国制冷空调继续教育教材、工程师职称考试用参考书。

本书的“电子课件”位于机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)上,免费提供给选用本书的授课教师,需要者请注册下载,或根据书末的“信息反馈表”索取。

图书在版编目(CIP)数据

空调工程/黄翔主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2013.10

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-44091-8

I. ①空… II. ①黄… III. ①空气调节设备—建筑安装—高等学校—教材 IV. ①TU831.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第221526号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘涛 责任编辑:刘涛 冯铤

版式设计:霍永明 责任校对:张薇

封面设计:路恩中 责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2014年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·31.5印张·1插页·782千字

标准书号:ISBN 978-7-111-44091-8

定价:59.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

序 一

建筑环境与设备工程（2012年更名为建筑环境与能源应用工程）专业是1998年教育部新颁布的全国普通高等学校本科专业目录，将原“供热通风与空调工程”专业和“城市燃气供应”专业进行调整、拓宽而组建的新专业。专业的调整不是简单的名称的变化，而是学科科研与技术发展，以及随着经济的发展和人民生活水平的提高，赋予了这个专业新的内涵和新的元素，创造健康、舒适、安全、方便的人居环境是21世纪本专业的重要任务。同时，节约能源、保护环境是这个专业及相关产业可持续发展的基本条件，因而它们和建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业的学科科研与技术发展总是密切相关，不可忽视。

作为一个新专业的组建及其内涵的定位，它首先是社会需求所决定，也是和社会经济状况及科学技术的发展水平相关的。我国的经济持续高速发展和大规模建设需要大批高素质的本专业人才，专业的发展和重新定位必然导致培养目标的调整和整个课程体系的改革。培养“厚基础、宽口径、富有创新能力”，能符合注册公用设备工程师执业资格并能与国际接轨的多规模的专业人才以满足需要，是本专业教学改革的目的。

机械工业出版社本着为教学服务，为国家建设事业培养专业技术人才，特别是为培养工程应用型和技术管理型人才做贡献的思想，积极探索本专业调整和过渡期的教材建设，组织有关院校具有丰富教学经验的教授、副教授主编了这套建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业系列教材。

这套系列教材的编写以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则，突出特点是既照顾学科体系的完整，保证学生有坚实的数理科学基础，又重视工程教育，加强工程实践的训练环节，培养学生正确判断和解决工程实际问题的能力，同时注重加强学生综合能力和素质的培养，以满足21世纪我国建设事业对专业人才的要求。

我深信，这套系列教材的出版，将对我国建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业人才的培养产生积极的作用，会为我国建设事业作出一定的贡献。

陈在康

2005年1月于长沙

序 二

“空气调节”是建筑环境与设备工程（建筑环境与能源应用工程）专业的一门重要专业课，目前设有该专业的院校多达百余所，所培养的学生数量也急剧增加。但可供选择的专业教材为数甚少，故本教材的出版可为本专业课程教材提供多一种选择。

空气调节技术是19世纪20年代以来，人们在为生产（满足工艺）和生活需求（舒适和健康）方面所创造和发展中吸收、综合了多种学科理论（如传热学、工程热力学、卫生学、机械和控制技术等）和实践所建立起来的一门应用科学。为此，本教材在解释学科基本原理时紧密地与这些学科相联系，从而有助于学生对专业基础理论课程的灵活运用。

随着21世纪地球环境时代的到来，人们对人类的生存、可持续发展社会的追求而对地球环境问题空前关注，因而空气调节的职责不能仅停留在对室内空间环境的关注上，必须充分注意空调技术的用能对地球环境的影响。例如，温室气体CO₂的排放、臭氧层的破坏、城市热岛效应的影响，从而要求我们对能源的有效利用、对资源的节约等意识在学科中应予以重视。本教材在气象参数和围护结构的选用依据、空调负荷的正确计算、末端设备容量的合理确定、系统方式的优化选择、冷热源设备的恰当配置等有关章节中尽量体现了这种观念。尤其是在空气热湿处理设备的内容上，着重关注了这些相关手段（如热回收设备、蒸发冷却设备等）。

本教材结合我国大量工程实践，对集中式空调装置的水系统设计作了全面介绍，这对降低空调装置的输送能耗、提高整体能效有良好的指导作用。

自我国20世纪80年代执行开放政策以来，国外大量的新产品、新系统、新技术涌入我国，通过我国技术人员的大量实践和消化吸收，极大地促进了我国技术的进步。本教材在空调系统的有关章节中对变风量系统、变冷剂流量系统、辐射供冷（热）、低温送风等技术均作了必要的阐述，从另一方面反映了教材的时代特征。

空气调节是一门动态科学，其设计、安装、调节和运行都应随着室外气候、室内负荷、人的生活行为而变动。此外，我国幅员广阔，气候和生活方式以及经济状况均有相当的差别，空调技术的应用应符合因地制宜的原则。本教材在传授空调基本技术时，始终体现了这一思路，编者的用心是值得称道的。

本教材从实践出发，加强了对空调系统的测试调整、运行管理以及节能控制与检测的内容，这在其他教材中尚不多见。此外，还编写了各种类型空调工程的应用实例，在很大程度上可增强学生理论联系实际的能力。

本教材的出版对本专业教材建设是一大贡献，编者为此付出了辛勤的劳动，本人对编者取得的成果表示衷心的祝贺。



第2版前言

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《空调工程》第1版自2006年4月由机械工业出版社出版发行以来，先后重印了9次，发行20000余册。7年多来，全国许多高等学校和社会各界读者来信来电，对该教材既给予了充分的肯定，同时也提出了很多修改、完善的宝贵意见和建议。总结7年来第1版的使用情况，并结合读者的反馈意见，以及相关规范的更新和技术的进步，对第1版进行了修订。本次修订主要体现在以下几方面：

1. 精简章节。第1版教材共有14章，篇幅较多，不太适合有些院校现有的教学计划学时。第2版精简为11章：将第1版教材的“第4章 空调基本原理及处理过程”与“第5章 空气热湿处理及净化处理设备”合并为一章“第4章 空气处理及设备”；考虑到第1版“第10章 空调冷热源的选择”的内容在“空调冷热源工程”课程中已有专门讲授，本书不再赘述；将第1版的“第11章 空调系统的运行调节”与“第12章 空调系统的测试调整与运行管理”合并为一章，即“第9章 空调系统的运行调节与测试调整”。

2. 纠正错误。本书更正了第1版教材在使用中发现的一些编写和印刷错误（有不少错误是兄弟院校在使用过程中发现的，在此谨致谢意）。

3. 更新内容。本书更新了第1版教材中的一些落后内容，如用最新颁布的《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB 50736—2012）相关规定替换了第1版教材中所采用的《采暖通风与空气调节设计规范》（GB 50019—2003）的相关规定，重新对空调系统进行了分类；同时还删除了一些不确切和不常用的内容，如“空调区的换气次数”“典型空调系统的特征和适应性比较”及“诱导器空调系统”等；补充了一些新的内容，如“蒸发冷却空调系统”“各种空气过滤器的性能”“空气净化装置对常见空气污染物的净化效果”“常用变风量空调系统末端装置的分类和适用范围”“空调水系统的分类”“一级泵系统适用范围、设备配置和运行方式”等；并对相关章节的习题也作了适当修订与调整。本书配有新制作的PPT电子课件。

第2版的编写团队仍由第1版的各位老师组成，并在此基础上，增添了西安工程大学屈元、孙铁柱两位老师。同时也感谢西安工程大学颜苏芊老师和中原工学院范晓伟教授为本书部分章节修订所提供的资料。本书现有PPT电子课件，可从机械工业出版社获取。

由于编者的学识和经验有限，本书在修订后仍难免会有差错，敬请读者谅解，并恳请读者批评指正。

编者

2013年6月

第1版前言

随着我国国民经济的高速增长和综合国力的不断增强,暖通空调事业和其他事业一样,也获得了迅速的发展。装备有完善的暖通空调设施的现代工(农)业建筑、现代的公共建筑和各类高层民用建筑,像雨后春笋般在祖国大地上拔地而起。特别是近10多年来,国内外在暖通空调领域里涌现出大量新技术、新设备和新系统,作为全国高校建筑环境与设备工程专业的空气调节课程,理应有一本能较全面反映当前空气调节技术的新教材。同时,也为全国暖通空调界同仁提供一本实用的参考书。

受机械工业出版社“普通高等教育建筑类教学工作委员会”的委托,我们在广泛吸收国内外现有《空气调节》教材精髓的基础上,根据高校建筑环境与设备工程专业指导委员会对本专业开设的专业课提出的基本要求,并结合普通高校建筑环境与设备工程专业的特点,编写了机械工业出版社“21世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材”之一——《空调工程》。本书被教育部列为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材。”

本书在体系上以空气热湿处理和调节为主体,并加强了空气净化处理的内容。编写的指导思想是:充分体现空调“工程”的知识内涵,以空调的基本原理→空调设备→空调系统→空调应用为主线,力求使本教材具备以下三个特点:

1. 在技术上体现一个“新”字。反映国内外空气调节技术领域广为采用的新理论、新设备、新系统以及科研教学成果,剔除一些过时的内容(如国家现行规范和标准中已明确不提倡的做法等),使其具有一定的前瞻性,并与经过修改后的国家现行设计规范和施工安装规范及设计标准,如《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)等法规同步,同时力求与全国勘察设计注册设备工程师执业资格考试接轨。还特别注意采用行业标准术语,更正了一些不规范的表述和用语。引用了中国气象局气象信息中心气象资料室与清华大学建筑技术科学系合作的最新研究成果——《中国建筑热环境分析专用气象数据集》,以及参考正在组织修订中的《实用供热空调设计手册》(修订版)中的有关内容,充分体现了与时俱进的精神。

2. 在内容上体现了一个“用”字。对空气调节的基本知识和理论讲深讲透,做到深入浅出。注重对学生基本技能的培训,有目的地选择了设计、施工安装规范、标准、技术措施以及设计指南等工程设计应用方面的内容,为学生做课程设计和毕业设计提供必要的知识。使学生在学完本教材后,借助于设计工具书能够独立完成小型民用或工业建筑空调工程的设计。同时,由于本教材是系列教材之一,编写时注意与相关教材内容的衔接,对已在其他教材中详细讲述的内容,本教材不再赘述,而把篇幅主要放在本教材的重点章节上,如将空调系统分为两部分,第6章空调系统(1)主要介绍空调的三大基本系统,而第7章空调系统(2)则介绍一些最新的空调系统。

3. 在形式上体现一个“便”字。在内容的编排顺序上注重层次,重点突出,符合学生的认知规律。凡是空调基本理论中的重要计算,都编有一定数量的例题或系统综合性例题,

以帮助学生理解和掌握计算方法。在各章之后,都编有思考题与习题及参考文献,便于学生巩固所学内容。考虑到使用本教材的学校在学时的安排上不尽相同,因此,在某些章节上加注※号,表示选学和自学部分,便于任课老师和学生选择。本教材的课时安排建议为60~80学时,学校可根据实际情况取舍。

与以往的同类教材相比,本教材的主要更新内容在于:

1. 加强了湿空气的焓湿学基础部分的内容。对湿空气的状态参数进行了系统的归纳,给出了露点温度和湿球温度的多种确定方法。将传统焓湿图与欧美焓湿图进行对比分析,增加了动态焓湿图。

2. 在空调负荷计算与送风量的确定章节中,室内气象参数采用了《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)和《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005);室外气象参数采用了《中国建筑热环境分析专用气象数据集》的有关最新数据。介绍了负荷的简化算法(简约计算法和估算法),给出了空调区计算冷负荷、空调建筑计算冷负荷、空调系统计算冷负荷及空调冷源计算冷负荷的确切定义。新风量的确定也引用了最新颁布实施的《公共建筑节能设计标准》中有关新风量的规定,以及美国采暖制冷空调工程师学会(ASHRAE)关于新风量的最新计算公式。

3. 将空调原理与设备分为不同章节进行介绍。空调原理部分加强了净化处理原理的内容,将净化处理分为除尘式和除气式两种类型加以分析。同时,对各种空气处理过程的焓湿图分析进行了系统综合的介绍。空调设备部分增加了空气蒸发冷却器和空调排风热回收装置等空气热湿处理设备及驻极体静电过滤器、活性炭过滤器、光催化过滤器及空气净化器等空气净化处理设备,并配有大量设备的实物照片。

4. 将空调系统分为两大部分进行介绍。空调系统(1)主要介绍集中式、半集中式和分散式三大基本空调系统。增加了直流式空调系统和蒸发冷却空调系统,并详细介绍了组合式空气处理机组、整体式空气处理机组和单元式空调机等设备。空调系统(2)主要介绍了近年来出现的一些新型空调系统,如变风量空调系统、空气—水辐射板空调系统、变制冷剂流量多联分体式空调系统、户式集中空调系统、热泵空调系统、蓄冷(热)空调系统、低温送风空调系统、净化空调系统及温湿度独立控制空调系统。

5. 空调区的气流组织和空调风管系统章节中,依据美国ASHRAE 2003年出版的《下部送风设计指南》一书给出了空调区气流分布的分类方式。更侧重于空调区气流组织及送风系统常用的设计方法、设计参数以及设计中需要注意的问题等方面的介绍。

6. 空调水系统章节中,紧密围绕空调水系统的特点,从工程设计应用的角度,详细分析了冷(热)水系统、冷却水系统和冷凝水系统的设计方法、设计参数以及设计中需要注意的问题,同时注意与采暖水系统做法的区别。

7. 增加了空调工程应用实例。列举了高层建筑、大空间民用建筑、商业建筑、娱乐设施、工业建筑、净化空调等空调工程实例,将原理、设备、系统和工程应用有机地联系起来。

全书共分14章。参加本书编写的人员有:西安工程大学黄翔、狄育慧、吴志湘,平顶山工学院周恒涛,西安交通大学王洋浩,中原工学院范晓伟,西安建筑科技大学王怡、赵蕾,长安大学郑爱平。第1章由黄翔编写;第2章由周恒涛、黄翔编写;第3章由王洋浩、黄翔、周恒涛编写;第4章由范晓伟、黄翔编写;第5章由黄翔编写;第6章由黄翔、王怡编写;第7章由黄翔编写;第8章由黄翔、王怡编写;第9章由黄翔、狄育慧编写;第10章由郑爱平编写;第11章由赵蕾编写;第12章由狄育慧编写;第13章由范晓伟、王洋浩

编写；第14章由吴志湘编写。全书由黄翔统稿。

本书由长安大学王天富教授和清华大学朱颖心教授主审。在整个编写过程中，王天富教授对本书的编写体系、框架及具体内容等方面提出了许多宝贵的意见，并对全书进行了详细的审阅。王天富教授严谨的治学态度给编者起到了很好的表率作用，同时，他渊博的学识使编者受益匪浅。王老师对本书的关怀和对编者的悉心指导已远远超出主审的职责范围。朱颖心教授在来去奔波的旅途中挤出时间用心审阅本书，并更正了一些不适之处，提出了许多改进的建议，对编者具有极高的参考价值和指导意义。谨此向两位主审表示衷心的感谢！同济大学范存养教授在百忙中对本书也提出了许多有益的建议，同时为本书作序，对编者给予了极大的支持与鼓励。本书编写过程中还得到了我国暖通空调界许多著名专家学者——吴元炜教授、彦启森教授、陆耀庆教授级高工、李志浩教授、陈在康教授、张永铨教授、李娥飞设计大师、孙延勋教授级高工、江亿院士、殷平教授、马最良教授、李强民教授、龙惟定教授等的关怀与支持，在此一并表示衷心的感谢！

本书编写过程中，参考了许多教材、专著、规范、标准、措施、科技书籍、论文及国内外有关文献，引用了许多相关的资料、图表、例题和习题，同时也汇集了编者多年来教学和科研成果，尤其是及时汲取了正在组织修订的《实用供热空调设计手册》（修订版）中的部分资料。该手册的主编中国建筑西北设计研究院陆耀庆教授级高工、编者南京工业大学李志浩教授、贵州省建筑设计研究院孙延勋教授级高工、同济大学李强民教授、天津大学张永铨教授、长安大学王天富教授、西安建筑科技大学张子慧教授、华东建筑设计研究院有限公司马伟骏教授级高工、叶大法教授级高工和杨国荣教授级高工、山东省建筑设计研究院李向东高工、中国建筑西北设计研究院周敏高工、小天鹅中央空调公司蒋立军高工、宏力空调设备公司葛健民高工等无私地提供了许多有价值的资料，在此，谨向他们及有关文献的作者表示诚挚的谢意！

本书是集体智慧的结晶，特向编写组成员成功的合作表示祝贺，同时向大家表示感谢。特别要感谢西安工程大学供热、供燃气、通风及空调工程学科2003级硕士研究生张伟峰、赵丽宁和范影等同学，他们为本书做了大量的文字处理、绘制图表、整理等工作，使得本书能够如期完成。2005级硕士研究生周彤宇同学协助制作了本书的“电子课件”，为讲授该教材提供了方便。

最后，对所有关心和支持本书编写的人士表示真挚的谢意！尤其是感谢机械工业出版社及本书的责任编辑刘涛同志，为本书的出版付出了辛勤的劳动，对编者给予了极大的支持。

在本书完稿之际，编者的心情既感到欣慰又感到忐忑不安。欣慰的是经过近两年的艰苦努力，该书终于可以和广大读者见面了；忐忑不安的是由于编者的学识和经验有限，加之该课程是本专业的一门主干专业课，涉及的面广且内容较深，教材编写的难度较大。因此，书中难免存在一些错误、疏漏和不妥之处，恳请读者在使用过程中，将发现的问题和建议及时反馈给编者，以便使本书不断地得到改进和完善，编者将不胜感激！

主编联系方式：

地址：西安市金花南路19号，西安工程大学

邮编：710048

邮箱：huangx@xpu.edu.cn

编者
2005年11月

目 录

序一	
序二	
第2版前言	
第1版前言	
第1章 绪论	1
1.1 空气调节技术的发展概况	1
1.1.1 空气调节技术简史	1
1.1.2 空气调节技术的发展趋势	5
1.2 空气调节的定义及与相关学科的关系	6
1.2.1 空气调节的定义	6
1.2.2 空气调节与相关学科的关系	7
1.3 空调系统的类型及组成	7
1.3.1 空调系统的类型	7
1.3.2 空气调节系统的组成	7
1.4 空气调节的应用	8
1.4.1 空气调节技术在工艺性空调方面的应用	8
1.4.2 空气调节技术在舒适性空调方面的应用	8
1.4.3 空气调节技术在其他方面的应用	9
思考题与习题	9
参考文献	9
第2章 湿空气的焓湿学基础	10
2.1 湿空气的组成和状态参数	10
2.1.1 湿空气的组成及物理性质	10
2.1.2 湿空气的状态参数	11
2.2 湿空气的焓湿图	16
2.2.1 焓湿图的构成及绘制原理	16
2.2.2 露点温度和湿球温度	18
2.2.3 焓湿图的应用	23
2.3 湿空气状态参数的计算方法	27
2.4 其他类型的焓湿图	29
2.4.1 SI单位制($h-x$)焓湿图	29
2.4.2 动态焓湿图	32
思考题与习题	32
参考文献	34
第3章 空调负荷计算与送风量的确定	35
3.1 室内、外空气计算参数	35
3.1.1 室内空气计算参数	35
3.1.2 室外空气计算参数	40
3.2 得热量与冷负荷的关系	42
3.3 围护结构负荷计算方法	44
3.3.1 稳态计算法	45
3.3.2 采用积分变换求解围护结构负荷的不稳定计算方法	46
3.3.3 采用模拟分析软件计算法	46
3.4 空调区冷负荷的计算	47
3.4.1 冷负荷系数法计算冷负荷	47
3.4.2 谐波反应法计算冷负荷	60
3.4.3 空调总冷负荷的确定	62
3.5 空调区热负荷的计算	63
3.6 冷(热)负荷的简化算法*	65
3.6.1 简约计算法	65
3.6.2 估算法	66
3.7 空调房间送风状态的确定及送风量的计算	70
3.7.1 空调房间送风状态的变化过程	70
3.7.2 夏季送风状态的确定及送风量的计算	71
3.7.3 冬季送风状态的确定及送风量的计算	73
3.8 新风量的确定和风量平衡	74
3.8.1 单个房间空调系统最小新风量的确定	75
3.8.2 多房间空调系统最小新风量的确定	78
3.8.3 全年新风量变化时空调系统风量平衡关系	79
思考题与习题	80
参考文献	81
第4章 空气处理及设备	82

4.1 空气热湿处理原理	82	5.4.4 空调机组的性能和应用	222
4.1.1 直接接触式热湿处理原理	82	思考题与习题	224
4.1.2 间接接触式(表面式)热湿处理 原理	83	参考文献	226
4.2 空气净化处理原理	84	第6章 空调系统(2)*	227
4.2.1 除尘式净化处理原理	84	6.1 变风量(VAV)空调系统	227
4.2.2 除气式净化处理原理	86	6.1.1 VAV系统的分类	227
4.3 空气的热湿处理过程	93	6.1.2 VAV末端装置(变风量箱)	228
4.3.1 喷水室的处理过程	93	6.1.3 VAV系统的组成与形式	230
4.3.2 表面式换热器的处理过程	96	6.1.4 VAV系统的特点	235
4.3.3 空气加湿器的处理过程	97	6.1.5 VAV系统设计	235
4.3.4 吸湿剂的处理过程	98	6.1.6 VAV系统与其他常用集中冷热源 舒适性空调系统比较	236
4.3.5 空气蒸发冷却器的处理过程	98	6.2 水—空气辐射板空调系统	237
4.3.6 空气处理的各种途径	99	6.2.1 辐射板的分类	237
4.4 空气热湿处理设备	101	6.2.2 水—空气辐射板空调系统的组成 与形式	240
4.4.1 空气热湿处理设备的类型	101	6.2.3 水—空气辐射板空调系统的 特点	241
4.4.2 喷水室	102	6.2.4 水—空气辐射板空调系统的 设计	242
4.4.3 表面式换热器	109	6.2.5 水—空气辐射板空调系统与 其他 HVAC 系统的能耗比较	243
4.4.4 空气加湿器	114	6.3 变制冷剂流量多联分体式空调系统	243
4.4.5 除湿机	122	6.3.1 多联机系统的分类	244
4.4.6 空气蒸发冷却器	129	6.3.2 多联机系统的特点	245
4.4.7 空调排风热回收装置	140	6.3.3 多联机系统的设计	245
4.5 空气的净化处理设备	145	6.3.4 多联机系统与常规系统比较	247
4.5.1 空气净化处理设备的类型	146	6.4 户式集中空调系统	247
4.5.2 除尘式空气净化处理设备	146	6.4.1 户式集中空调系统的类型和 特点	247
4.5.3 除气式空气净化处理设备*	154	6.4.2 户式集中空调系统常见的形式	249
思考题与习题	159	6.4.3 户式集中空调系统的设计	253
参考文献	160	6.4.4 几种常用户式集中空调机组的 比较	254
第5章 空调系统(1)	162	6.5 热泵空调系统	255
5.1 空调系统的分类	162	6.5.1 空气源热泵(ASHP)空调系统	255
5.2 全空气系统	164	6.5.2 水源热泵(WSHP)空调系统	257
5.2.1 一次回风式系统	165	6.6 蓄冷(热)空调系统	267
5.2.2 二次回风式系统	175	6.6.1 蓄冷系统的分类	267
5.2.3 直流式系统	182	6.6.2 水蓄冷空调系统	268
5.2.4 全空气系统的划分原则和 分区处理	186	6.6.3 冰蓄冷空调系统	269
5.2.5 全空气系统设计中的几个问题	189	6.6.4 蓄热空调系统	271
5.2.6 全空气系统的空气处理机组	192	6.7 低温送风空调系统	271
5.3 水—空气系统(风机盘管加新风 空调系统)	206	6.7.1 低温送风空调系统的分类	271
5.4 分散式系统	219		
5.4.1 分散式系统的分类	219		
5.4.2 常用的局部空调机组	220		
5.4.3 单元式空调机	221		

6.7.2	低温送风空调系统的构成	271	7.4.6	空调系统风管内的压力分布	340
6.7.3	低温送风空调系统的特点及 适用条件	276	7.4.7	空调系统风管内的空气流速	342
6.7.4	低温送风系统的设计	277	思考题与习题	343	
6.8	净化空调系统	278	参考文献	344	
6.8.1	净化空调系统与一般空调系统的 区别	279	第8章 空调水系统	345	
6.8.2	净化空调系统的分类比较	279	8.1 空调冷热水系统的形式	346	
6.9	温湿度独立控制空调系统	280	8.1.1 开式循环系统和闭式循环系统	346	
6.10	蒸发冷却空调系统	282	8.1.2 两管制、四管制及分区两管制水 系统	347	
6.10.1	全空气蒸发冷却空调系统	283	8.1.3 同程式与异程式系统	349	
6.10.2	水—空气蒸发冷却空调系统	289	8.1.4 定流量与变流量系统	351	
思考题与习题	293		8.1.5 一级泵系统与二级泵系统	353	
参考文献	293		8.2 空调水系统的分区及定压	357	
第7章 空调区的气流组织和空调风管 系统	295		8.2.1 空调水系统的分区	357	
7.1 空调区的气流分布方式	295		8.2.2 空调水系统的定压	360	
7.1.1 顶(上)部送风系统	295		8.3 空调冷热水系统的设计	364	
7.1.2 置换通风系统	302		8.3.1 冷热水循环泵的配置	364	
7.1.3 工位与环境相结合的调节系统	304		8.3.2 循环泵的流量、扬程及水泵的 选型	364	
7.1.4 地板下送风系统	305		8.3.3 冷水机组与冷水泵之间的连接	365	
7.2 空调送风口、回风口的类型及应用 场合	308		8.3.4 空调水系统的补水、排气、泄水 及除污	366	
7.2.1 百叶风口	308		8.3.5 空调水管的坡度和伸缩	367	
7.2.2 散流器	309		8.3.6 空调水系统的附属设备	367	
7.2.3 喷射式送风口	313		8.4 空调冷却水系统	370	
7.2.4 旋流送风口	315		8.4.1 冷却塔的设置	370	
7.2.5 射流消声风口	318		8.4.2 冷却水系统的形式	372	
7.2.6 置换通风器	319		8.4.3 冷却水系统设计中的几个问题	374	
7.2.7 TAC 送风口	320		8.5 空调水系统的水力计算	375	
7.2.8 UFAD 送风口	320		8.6 空调冷凝水系统	378	
7.2.9 回风口	321		思考题与习题	379	
7.3 空调区气流组织的计算及气流性能 评价	323		参考文献	380	
7.3.1 侧面送风的计算	323		第9章 空调系统的运行调节与测试 调整	381	
7.3.2 散流器送风的计算	326		9.1 室内热湿负荷变化时的运行调节	381	
7.3.3 喷口送风的计算	328		9.1.1 室内余热量变化、余湿量不变 时的运行调节	382	
7.3.4 空调区气流性能的评价	330		9.1.2 室内余热量、余湿量均变化时的 运行调节	384	
7.4 空调风管系统的设计	331		9.2 室外空气状态变化时的运行调节	386	
7.4.1 风管的分类	331		9.2.1 一次回风空调系统的全年运行 调节	386	
7.4.2 通风管道配件	332		9.2.2 二次回风空调系统的全年运行 调节	393	
7.4.3 风量调节阀和定风量调节器	336				
7.4.4 风机与风管的连接	338				
7.4.5 风管测定孔和检查孔	339				

9.3 风机盘管空调系统的运行调节*	396	11.5.1 工业洁净室	463
9.3.1 风机盘管机组的调节	396	11.5.2 医院洁净手术室	464
9.3.2 风机盘管加新风系统的全年 运行调节	397	11.5.3 净化空调工程实例	465
9.4 空调系统的测试与调整	400	参考文献	466
9.4.1 空调系统的调试程序	401	附录	467
9.4.2 风量的测量与调整	403	附录1 湿空气的密度、水蒸气压力、 含湿量和比焓	467
9.4.3 空气处理设备的测试	408	附录2 湿空气焓湿图	(见书后插页)
9.4.4 房间内空气参数的测量	410	附录3 欧美式焓湿图	(见书后插页)
思考题与习题	413	附录4 设计用室外计算参数	470
参考文献	413	附录5 外墙的构造类型	476
第10章 空调系统的节能、检测与 监控	415	附录6 屋顶的构造类型	477
10.1 空调系统的节能	415	附录7 北京地区气象条件为依据的外墙 逐时冷负荷计算温度 t_{wl}	478
10.1.1 空调能耗的评价标准	415	附录8 北京地区气象条件为依据的屋顶 逐时冷负荷计算温度 t_{wl}	479
10.1.2 空调系统全年(或季节)能耗的 确定	418	附录9 I~IV型构造的地点修正值 t_d	480
10.1.3 空调设备及系统的节能	422	附录10 单层窗玻璃的传热系数值 K_w	480
10.2 空调检测与监控	431	附录11 双层窗玻璃的传热系数值 K_w	481
10.2.1 空调检测与监控的内容、应用 原则及分类	431	附录12 玻璃窗的传热系数修正值 C_w	481
10.2.2 空调系统的检测与监控	432	附录13 玻璃窗逐时冷负荷计算温度 t_{wl}	481
10.2.3 冷、热源及空调水系统的检测与 监控	436	附录14 不同结构玻璃窗的传热系 数值 K_w	482
10.2.4 集中空调的集散控制系统*	439	附录15 玻璃窗的地点修正值 t_d	483
思考题与习题	441	附录16 夏季各纬度带的日射得热因数 最大值 $D_{j,max}$	483
参考文献	441	附录17 窗玻璃的遮阳系数值 C_s	484
第11章 空调工程应用实例*	442	附录18 窗内遮阳设施的遮阳系数值 C_i	484
11.1 高层建筑的空调工程	442	附录19 窗的有效面积系数值 C_a	484
11.1.1 高层旅馆建筑空调	442	附录20 北区(北纬27°30'以北)无内 遮阳窗玻璃冷负荷系数	485
11.1.2 高层办公楼空调	445	附录21 北区有内遮阳窗玻璃冷负荷系数	485
11.2 大空间民用建筑空调工程	448	附录22 南区(北纬27°30'以南)无内 遮阳窗玻璃冷负荷系数	486
11.2.1 影剧院空调	448	附录23 南区有内遮阳窗玻璃冷负荷系数	486
11.2.2 体育馆空调	450	附录24 有罩设备和用具显热散热冷 负荷系数	487
11.3 商业建筑和娱乐设施的空调工程	452	附录25 无罩设备和用具显热散热冷 负荷系数	487
11.3.1 商场空调	452	附录26 照明散热冷负荷系数	488
11.3.2 餐饮设施空调	454	附录27 人体显热散热冷负荷系数	488
11.3.3 健身、娱乐设施空调	456		
11.4 工业建筑的空调工程	459		
11.4.1 恒温恒湿室空调	459		
11.4.2 计算机房空调	460		
11.5 净化空调工程	463		

第 1 章

绪 论

1.1 空气调节技术的发展概况

1.1.1 空气调节技术简史

1901年,美国的威利斯·开利(Willis H. Carrier)博士在美国建立了世界上第一所空调试验研究室。1902年,美国纽约市布鲁克林的一家印刷厂在印刷过程中遇到了困难,由于温度和湿度不恒定,裁剪纸张和调色的工作都受到了影响,画面模糊。1902年7月17日开利博士为他们设计了世界公认的第一套科学空调系统。由于开利博士发明的这套科学空调系统实现了对空气湿度的控制,空调行业将这项发明视为空调业诞生的标志。开利博士是这样定义的:一套科学的空调系统必须具备四项功能,即控制温度、控制湿度、控制空气循环与通风和净化空气。空调的发明已经列入20世纪全球十大发明之一,它首次向世界证明了人类对环境温度、湿度、通风和空气品质的控制能力。空调系统在接下来的一个多世纪,使整个世界都随之冷静下来。

开利博士并不满足于自己最初发明的空调系统,他确信应该有更好的除湿方法。1902年的秋天,开利在匹兹堡车站等候火车,浓雾笼罩着车站。此时,他的脑中灵光乍现——如果依据雾形成的原理设计一种装置,就可以任意控制空气的温度!1906年,开利博士获得了“空气处理装置”的专利权。这是世界上第一台喷淋式空气洗涤器(Spray Type Air Washer),即喷水室,它可以加湿或干燥空气。这一浓雾中获得的灵感使他的空调成为完美之作,改善了温湿度控制的效果,使全年性空调系统能够满意地应用于200种以上不同类型的工厂。

1911年12月,开利博士得出了空气干球、湿球和露点温度间的关系,以及空气显热、潜热和比焓值间关系的计算公式,绘制了湿空气焓湿图。他将自己提出的“温湿度基本原理”递交给美国机械工程师协会(American Society of Mechanical Engineer, ASME),得到了工程师们的广泛认可,成为空调行业最基本的理论。这一理论被翻译成多种语言,湿空气焓湿图成为今日所有空调计算之基础,它是空气调节史上的一个重要里程碑。

1922年,开利博士还发明了世界上第一台离心式冷水机组,如今该压缩机陈列于华盛顿国立博物馆。1937年,开利博士又发明了空气—水系统的诱导器装置,是目前常见的空调末端装置——风机盘管的前身。个人拥有超过80项发明专利的开利博士,以其一生在空调科技方面的卓越成就,被誉为“空调之父”,他的名字更被列入美国国家伟大发明家纪念馆,与爱迪生、贝尔、因特异、伊斯曼等杰出发明家齐名,备受世人景仰。由

于开利博士对人类文明的突出贡献，他被美国“时代”杂志评为20世纪最有影响力的100位名人之一。

另外，与开利博士同时期还有一位对空调发展史产生一定影响的人物，他就是美国的多面手工程师克勒谋（Stuart W. Cramer）。创造和发明总是“需要”的产物。19世纪后半叶，随着先进国家纺织工业的发展，空气调节接受了巨大的挑战，其中加湿和清洁处理成为了主要的任务。1904年，身为纺织工程师的克勒谋负责设计和安装了美国南部约1/3纺织厂的空调系统。系统中开始采用了集中处理空气的喷水室，装置了洁净空气的过滤设备，共包括了60项专利，都达到了能够调节空气的温度、湿度和能够使空气具有一定的流动速度及洁净程度的要求。为了描述他所做的工作，克勒谋先生于1906年5月在一次美国棉业协会（American Cotton Manufacturers Association, ACMA）的会议上正式提出了“空气调节”（Air Conditioning）术语，从而为空气调节命名。他对空气调节的定义是：应包括具有蒸发冷却效果的加湿以及净化空气、供热和通风功能。因此，克勒谋先生被誉为“多面手工程师”和“纺织空调先驱”等。

美国舒适空调的发展，远远迟于工业空调。开利博士认为只是在1923年以后，空调才真正成了一件大事！舒适空调才得到发展，并从1930年起迅速增长（此阶段，主要销售了首批房间空调器）。在第二次世界大战期间，舒适空调首先用于电影院、剧场、大型商店等公共场所，其次用于办公室以及深矿井。1930年后，由于小型制冷机的发展以及可靠性的提高，舒适空调才扩大到各类商店、旅馆、餐厅以及交通运输工具，如火车、大客车、轮船等。舒适空调在1945年后才进入住宅。

第一座空调电影院建在芝加哥（1911年），随后两座建在洛杉矶和纽约（1922年）。纽约空调电影院是第一座真正可以调节空气各种性能的电影院。自1925年开始，到1931年，估计美国约有400家电影院和剧场配备了舒适空调。这是空调首次大规模的试验。

大型商店的舒适空调开始于1919年，第一家是布鲁克林 Abraham & Straus 商店。1927年得克萨斯州的圣安东尼奥有一幢办公大楼全部实现了舒适空调。1930年，费城一幢34层摩天大楼全部配备舒适空调。1938年，华盛顿市府大厦配备了当时最大的空调装置（20930kW）。Hershey 巧克力厂内的办公大楼是第一幢无窗办公大楼，建于1935年。

旅馆和餐厅也是空调首批常用客户。早在1920年，就有一座教堂配备了舒适空调。1936年在圣路易斯，1938年在弗吉尼亚，有一些小教堂也配备了舒适空调。

1929年在巴尔的摩—俄亥俄运行线上一辆火车餐车配备了舒适空调。1931年在纽约—华盛顿线路上有一列火车全部实现舒适空调。美国空调列车的数量迅速增长，1946年已增至1.3万辆。从1937年起，美国的公共汽车和大客车也开始采用空调。1946年空调大客车共计有3500辆左右。只是在1945年以后，人们才大规模地实现私人小汽车的空调。另外，从1937年起就采用活动式空调机组使飞机在起飞前降温。

第二次世界大战期间，除美国之外的其他国家，空调技术也得到了迅速发展。第一次世界大战后，深矿井的舒适空调已成为空调史的一章，尤其是南非金矿的舒适空调引起人们的关注。1920年，有一座2000m的深矿井采用一套700马力（1马力=735.499W）的装置进行降温。南非最大的空调装置是在西部腹地金矿区，1975年空调功率为86000kW，在工作面上配有150多台冷却器。在英国，第一座空调旅馆是伦敦的Cumberland旅馆。1900年前，德国已有几套空调装置。1927~1928年，各类工厂尤其是卷烟厂和纺织厂，一些电影制片

厂及电影院已采用了空调。1938年,慕尼黑美术馆实现了空调。在法国,1927年巴黎附近的一座医院,1932年一家电话交换局实现了空调。空调于1930年左右在欧洲开始出现,但大规模地发展还是在第二次世界大战以后。除北美和欧洲之外,日本在当时是关注空调较多的国家,1917年一家私人住宅实现了空调,1920年一家糖果厂实现了空调,1927年一家剧场实现了空调。

在我国,空气调节的发展并不太迟。工业空调和舒适空调几乎是同时起步的。20世纪30年代,曾有过一个高峰时期。1931年,首先在上海的许多纺织厂安装了带喷水室的空调系统,其冷源为深水井。随后,几座高层建筑的大旅馆和几家所谓“首轮”电影院,先后设置了全空气式空调系统。有一家电影院和一家银行,还安装了离心式制冷机。当时,高层建筑装有空调装置,上海是居全亚洲之冠的。但到1937年,我国不幸遭受日本军国主义的侵略,空气调节事业的发展被迫中断。

新中国成立后,我国人民奋起直追。20世纪50年代初,从事空调专业的技术人员极少,一批来自其他专业的技术人员根据需要,转行投身于这方面的工程设计、施工安装,以前苏联技术为依托,逐步掌握空调专业技术,解决建设的急需,并开始按照前苏联标准制作空调系统设备和配件。1952年,我国高等学校开始创办“供热供煤气及通风”专业[最早设立该专业的学校有哈尔滨工业大学、清华大学、同济大学、西安冶金建筑学院(现西安建筑科技大学)、天津大学、太原工学院(现太原理工大学)、重庆建筑工程学院(现重庆大学)、湖南大学,号称暖通专业老八校],培养可以从事空调工作的技术人才。中国建筑科学研究院开始设置空调技术研究室(现发展为空气调节研究所),有专门的研究人员从事空调方面的研究开发工作。空调作为一门技术开始形成和向前发展。纵观空调在我国的应用和发展,改革开放前的30年属于基础时期。

改革开放30多年来,我国经济飞速发展。经济建设和社会发展带动了空调的应用和发展,带空调的工程项目显著增多。全国现有大、中、小型设计单位近万个,1/4以上能作空调设计。高等院校中有供热、通风及空调工程专业(现调整成为建筑环境与能源应用工程专业)的学校已从原来的八所发展到2012年的177所。2012年全国开设供热、供燃气、通风及空调工程二级学科的学校有87所,其中有18个博士培养单位、69个硕士培养单位。这些院校所培养的毕业生已成为推动空调事业发展的主要技术力量。研究单位也增加不少,包括大学的、设计院的、工厂或公司的等。中国建筑科学研究院空气调节研究所和合肥通用机械研究所具有专门从事空调方面研究的人员和良好的研究条件。施工安装队伍也有较大发展,体现在技术普及面较广。国外引进的代表先进水平的工程,绝大部分是国内安装单位完成的,可以达到严格的验收要求。国内既有全国性的学术团体(中国制冷学会空调热泵专业委员会、中国建筑学会暖通空调专业委员会、中国电子学会洁净技术学会等),又有行业协会(中国制冷空调工业协会、中国家用电器协会、中国安装协会等)和全国暖通空调技术信息网、冷暖通风设备信息网等,并通过它们组织全国性的专业活动。

在技术发展方面,已掌握的高精度恒温可连续保持静态偏差优于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$;高精度恒湿,优于 $\pm 2\% \text{RH}$;超高性能洁净室,洁净度达到国标1级标准;已经掌握各种等级的生物洁净整套技术,从而为高新技术发展提供了环境技术保障。为了节省高大厂房空调用能,研究并实施的高大厂房分层空调技术,成功地应用于长江葛洲坝电站厂房空调工程,取得了设计冷负荷比传统全空气空调时减少46%的显著效果。解决旅游饭店空调发展起来的水一

空气式空调系统技术, 均已在各类建筑中获得了广泛应用。据中国制冷空调工业协会统计, 1995 年我国风机盘管产量已超过 45 万台, 大大超过了空调大国美国、日本的年销量 30 万台左右的水平。我国已研究出谐波反应法和冷负荷系数法两种新的空调冷负荷计算方法, 大大方便了工程设计计算。自行开发的计算机空调控制技术已产品化生产, 为配合调试而研制成功的以计算机技术为核心的空调系统仿真装置在功能及技术性能上达到了国际先进水平。热环境、特别是地下热环境模拟分析技术已成功地用于北京、上海、广州等城市的地铁设计模拟分析, 为工程提供了有力的技术分析手段。完成了全国 270 个气象台站的建筑热环境分析专用气象数据集的编制工作, 整理出暖通空调设计用室外气象参数。开发出具有我国自主知识产权的建筑环境模拟软件——DeST。为建筑节能工作的开展做出了应有的贡献。

在空调设备方面, 我国已成为仅次于美、日两国, 位居世界第三的制冷空调设备生产国。目前, 我国房间空调器产量居世界第一位, 海尔等房间空调器已走向世界, 成为国际品牌。同时也是世界上最大的冷水机组市场, 其中吸收式冷(热)水机组产量居世界第二位, 其中 352kW 以上机组的产量, 中国跃居第一位。在我国, 风机盘管和空气处理机组的产量仅低于房间空调器, 位于其他空调设备产量之上。由于这两种产品与国际同类产品性能和质量相差不远, 因此国内绝大多数工程中使用的这两种产品都是国产的。在户式集中空调方面, 我国推出水系统—热泵冷热水系统, 与日本的制冷剂系统——VRV 及美国的空气系统——风管机形成三足鼎立之势。

我国至今已编制了《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》和《公共建筑节能设计标准》等国家标准, 以及《供热通风空调制冷设计技术措施》(《HVAC 暖通空调设计指南》)、《民用建筑暖通空调设计技术措施》和《全国民用建筑工程设计技术措施(暖通空调·动力)》等技术措施, 用以指导设计和施工。编制了《房间空气调节器》《组合式空调机组》和《房间风机盘管空调器》等产品标准, 用以规范工业产品质量。建立了“全国制冷标准技术委员会”和“全国暖通空调及净化设备标准化技术委员会”, 主持空调设备标准方面的技术审查工作。

国家相关部门建立的“国家空调设备质量监督检验测试中心”和“国家家用电器质量监督检验测试中心”等检测中心, 从事房间空调器、组合式空调机组、风机盘管等工业产品的质量检测, 以推动空调产品的质量提高。

业内专家相继编写出版了《空气调节设计手册》《实用供热空调设计手册》《实用制冷与空调工程手册》《空调与制冷技术手册》和《纺织空调除尘手册》等设计及技术手册, 编制了《建筑工程设计软件包暖通空调应用软件》等工程设计软件产品, 为普遍提高行业技术水平提供了高水平的参考资料和先进工具。

高等学校编写了《空气调节》《暖通空调》和《纺织厂空气调节》等空调类教材, 并将该课程列为暖通空调专业的主要专业课程之一, 为培养空调方面的专业技术人才奠定了基础。

此外, 我国相关企业和工程技术人员已经掌握了转轮式除湿机, 包括转轮式、静止板式、热管式、闭路盘管式在内的各种空气—空气热回收设备的生产和设计使用技术。

国家实行了全国勘察设计注册公用设备工程师执业资格制度, 并进行了注册公用设备工程师(暖通空调专业)执业资格考试。