



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

建筑环境与能源应用工程专业

# 空调工程

主 编 战乃岩 王建辉

提供电子课件



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

014059415

TU831-43  
03

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

# 空调工程

主 编 战乃岩 王建辉  
 副主编 陆 海 赵嵩颖 李 广  
 刘其伟 赵 莉  
 主 审 王春青



TU831-43  
03



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



北航

C1745686

## 内 容 简 介

本书根据教学指导大纲的基本要求,并结合普通高校建筑环境与能源应用工程专业的特点编写而成。本书精简空调工程的知识点,共有12章内容,以设计思路为主线,紧密围绕空调工程的知识内容进行详细的讲解,充分体现相关专业的空调工程的知识内涵,系统介绍了空调冷(热)负荷、湿负荷的计算,确定送风状态点及送风量的计算,空调热湿处理过程及处理设备,空气净化处理过程及处理设备,空调系统的形式及运行调节,空调房间的气流组织形式及风管的水力计算,空调水系统的形式及水力计算,空调冷热源种类及选择,空调系统的测试和调节等。

本书可作为高等院校建筑环境与能源应用工程专业及其他相关专业的教学用书,也可作为从事暖通空调工程设计、施工、管理、咨询和维护岗位的工程技术人员及相关行业主管部门工作人员的学习参考用书,还可作为全国注册设备工程师执业资格考试的复习参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

空调工程/战乃岩,王建辉主编. —北京:北京大学出版社,2014.6

(21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-23912-4

I. ①空… II. ①战…②王… 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(2014)第022523号

书 名: 空调工程

著作责任者: 战乃岩 王建辉 主编

策划编辑: 卢东

责任编辑: 卢东

标准书号: ISBN 978-7-301-23912-4/TU·0391

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 21.75印张 502千字

2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

定 价: 45.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

当今,健康、能源、环境是备受人们关注的三大主题,建筑环境与能源应用工程专业与这三个主题有着密切的关系。在环保意识不断增强的今天,本专业有着重要的研究和应用前景。因此,一些建筑院校原有的建筑环境与能源应用工程专业新增设了热能工程、燃气方向,而一些原有的电力大学热能专业中又新增设了建筑环境与能源应用工程方向。由于这些研究方向学生的就业方向与建筑院校原有的建筑环境与能源应用工程专业和电力大学原有的热能专业的学生就业方向有所不同,为了迎合已有的和将来的研究方向,且适应就业需求,编者组织编写了本书。同时,也为全国暖通空调界同仁们提供一本实用的参考书。

本书以设计思路为主线,紧密围绕空调工程的知识内容进行详细讲解。指导思想为:充分体现相关专业的空调工程的知识内涵,以空调冷(热)负荷、湿负荷的计算→确定送风状态点及送风量→空气热湿处理过程及处理设备→空气净化处理过程及处理设备→空调系统的形式及运行调节→空调房间的气流组织形式及风管的水力计算→空调水系统的形式及水力计算→空调冷热源种类及选择→空调系统的测试和调节等为主线。

本书的主要特点如下。

(1) 技术新。本书站在理论前沿和工程实践的基础上讲解空气调节的理论基础知识,反映国内外空气调节技术领域的新理论、新设备、新系统等,剔除了一些陈旧的内容。

(2) 针对性强。本书根据建筑院校原有的建筑环境与能源应用工程专业中新增设的热能工程、燃气方向,电力大学原有的热能专业中新增设的建筑环境与能源应用工程方向等对专业课提出的基本要求,并结合普通高校建筑环境与能源应用工程专业的特点,将空调工程的知识点进行精简。

(3) 形式简单。在内容编排上深入浅出、图文并茂,符合学生的认知规律,并在每章后面配有习题,便于学生巩固所学内容。

全书共分12章。参加本书编写的人员有吉林建筑大学战乃岩、王建辉、陆海、赵嵩颖、李广、刘其伟、赵莉。具体编写分工为:第1章、第2章、第6章由战乃岩编写;第3章、第4章、第5章由王建辉和赵莉编写;第7章由李广编写;第8章由陆海编写;第9章由李广和陆海编写;第10章、第11章由赵嵩颖编写;第12章由刘其伟编写。全书由战乃岩统稿。

本书承蒙吉林建筑大学王春青教授详细审阅书稿,提出了许多宝贵意见,谨致诚挚的谢意。

在本书编写过程中,编者参考了许多相关的资料,在此谨向有关作者表示感谢!

由于学识和经验有限,书中难免存在不足,恳请广大读者批评指正。

编 者

2014年3月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	3.2 空调房间热负荷的计算	34
1.1 空气调节的含义及任务	2	3.2.1 围护结构的基本耗热量	35
1.1.1 空气调节的含义	2	3.2.2 围护结构的附加耗热量	36
1.1.2 空气调节的任务	3	3.2.3 门窗缝隙渗入冷空气的耗热量	36
1.2 空调系统的组成及分类	3	3.2.4 热负荷计算例题	37
1.2.1 空调系统的组成	3	3.3 得热量与冷负荷的关系	39
1.2.2 空调系统的分类	4	3.4 空调房间冷负荷、湿负荷计算	40
1.3 空气调节技术的发展概况	5	3.4.1 冷负荷系数法计算围护结构的空调冷负荷	40
1.3.1 空气调节技术的发展历史	5	3.4.2 室内热源散热引起的冷负荷	44
1.3.2 空气调节技术的发展趋势	10	3.4.3 空调房间的湿负荷	47
习题	12	习题	49
<b>第 2 章 湿空气的物理性质和焓湿图</b> .....	13	<b>第 4 章 空气热湿处理过程及空气处理机组</b> .....	51
2.1 湿空气的成分和状态参数	14	4.1 空气调节系统中空气处理方式及设备	52
2.1.1 湿空气的成分	14	4.2 空气加热段	54
2.1.2 湿空气的状态参数	15	4.2.1 表面加热器	54
2.2 湿空气的焓湿图	17	4.2.2 电加热器	55
2.2.1 焓湿图的构成	17	4.3 空气冷却段	56
2.2.2 露点温度和湿球温度	19	4.3.1 表面式空气冷却器	56
2.3 湿空气状态参数的计算方法	20	4.3.2 喷水室	57
2.4 焓湿图的应用	21	4.4 空气加湿段	60
2.4.1 湿空气状态的确定及其他参数	21	4.4.1 等温加湿型空气加湿器	60
2.4.2 湿空气的状态变化过程	21	4.4.2 等焓加湿型空气加湿器	61
2.4.3 两种不同状态空气的混合	24	4.5 空气除湿段	62
习题	25	4.5.1 冷冻除湿	62
<b>第 3 章 空调房间负荷计算</b> .....	27	4.5.2 吸收式除湿	63
3.1 室内外空气计算参数	28	4.5.3 吸附式除湿	64
3.1.1 室外空气计算参数	28	4.5.4 其他除湿方式	65
3.1.2 室内空气计算参数	31	4.6 风机段	65
		4.6.1 风机的基本结构	65

4.6.2 风机性能及性能曲线 .....	66	<b>第6章 空气调节系统 .....</b>	<b>101</b>
4.7 其他功能段 .....	67	6.1 空调房间送风状态及送风量的确定 .....	103
习题 .....	68	6.1.1 空调房间送风状态的变化过程 .....	103
<b>第5章 空气净化处理过程及净化处理设备 .....</b>	<b>70</b>	6.1.2 夏季送风状态的确定及送风量的计算 .....	104
5.1 空气净化处理原理及设备分类 .....	71	6.1.3 冬季送风状态的确定及送风量的计算 .....	105
5.1.1 空气净化处理原理 .....	71	6.2 空调系统的新风量 .....	106
5.1.2 空气净化设备分类 .....	73	6.2.1 最小新风量的确定原则 .....	106
5.2 空气过滤器 .....	74	6.2.2 补充室内燃烧所耗的空气和局部排风量 .....	106
5.2.1 室内空气的净化标准 .....	74	6.2.3 保持正压新风量 .....	107
5.2.2 常用的空气过滤器 .....	74	6.3 全空气系统与空气-水系统的分类 .....	107
5.2.3 空气过滤器的分类 .....	76	6.3.1 全空气系统的分类 .....	107
5.2.4 空气过滤器安装位置 .....	77	6.3.2 空气-水系统的分类 .....	108
5.3 袋式除尘器 .....	77	6.4 集中式空调系统 .....	109
5.3.1 袋式除尘器的工作原理 .....	77	6.4.1 概述 .....	109
5.3.2 袋式除尘器的分类 .....	78	6.4.2 直流式系统 .....	110
5.3.3 袋式除尘器的使用 .....	80	6.4.3 一次回风式系统 .....	112
5.4 重力除尘器和惯性除尘器 .....	80	6.4.4 二次回风式系统 .....	118
5.4.1 重力除尘器 .....	80	6.4.5 集中式空调系统的划分原则和分区处理 .....	121
5.4.2 惯性除尘器 .....	81	6.5 集中空调系统的全年运行调节 .....	122
5.5 旋风除尘器 .....	82	6.5.1 室内热湿负荷变化时的运行调节 .....	122
5.5.1 旋风除尘器的工作原理 .....	82	6.5.2 室外空气状态变化时的运行调节 .....	125
5.5.2 旋风除尘器的分类 .....	84	6.6 半集中式空调系统 .....	127
5.6 湿式除尘器 .....	86	6.6.1 风机盘管空调系统 .....	127
5.6.1 湿式除尘器的除尘机理 .....	86	6.6.2 诱导器空调系统 .....	134
5.6.2 湿式除尘器的分类 .....	86	6.7 分散式空调系统 .....	136
5.6.3 湿式除尘器的应用 .....	88	6.7.1 分散式空调系统的分类 .....	136
5.7 电除尘器 .....	88	6.7.2 典型的分散式空调系统 .....	138
5.7.1 电除尘器的工作原理 .....	88	6.8 变风量空调系统 .....	141
5.7.2 电除尘器的分类 .....	89		
5.8 有害气体的吸收设备和吸附设备 .....	91		
5.8.1 有害气体的吸收设备 .....	91		
5.8.2 有害气体的吸附设备 .....	95		
习题 .....	99		

6.8.1 变风量空调系统的 分类 .....	141	8.2.1 风管设计的原则 .....	170
6.8.2 变风量空调系统的 运行调节 .....	142	8.2.2 风管设计的基本任务 .....	171
习题 .....	143	8.3 风管设计计算的方法与步骤 .....	172
<b>第7章 室内气流组织</b> .....	145	8.3.1 风管水力计算方法 .....	172
7.1 对室内气流分布的要求与 性能评价 .....	146	8.3.2 风管水力计算步骤 .....	173
7.1.1 概述 .....	146	8.3.3 风管设计计算实例 .....	174
7.1.2 对温度梯度的要求 .....	146	8.4 空调系统风管内的压力分布 .....	179
7.1.3 工作区风速 .....	147	8.4.1 压力分布图绘制方法 .....	179
7.1.4 吹风感和空气分布特性 指标 .....	147	8.4.2 单风机系统的压力分布 .....	181
7.1.5 通风效率 .....	147	8.4.3 双风机系统的压力分布 .....	182
7.1.6 空气龄 .....	148	8.5 空调系统风管内的空气流速 .....	183
7.1.7 换气效率 .....	148	8.6 风管系统的安装 .....	185
7.2 送风口和回风口的类型及 应用场合 .....	149	8.6.1 通风管道的配件 .....	185
7.2.1 送风口 .....	149	8.6.2 风量调节阀的安装 .....	185
7.2.2 回风口 .....	151	8.6.3 风机与风管的连接 .....	185
7.3 空调房间的气流组织形式 .....	151	8.6.4 进、排风口的安装 .....	186
7.3.1 顶部送风系统 .....	151	习题 .....	186
7.3.2 侧送风系统 .....	153	<b>第9章 空调水系统</b> .....	188
7.3.3 置换通风系统 .....	154	9.1 空调冷、热水系统 .....	189
7.3.4 工作与环境相结合的 调节系统 .....	156	9.1.1 空调冷热水系统形式 .....	190
7.3.5 地板下送风系统 .....	156	9.1.2 空调水系统的分区及 定压 .....	196
7.4 空调区气流组织的设计计算 .....	158	9.2 空调冷却水系统 .....	200
7.4.1 侧送风的计算 .....	158	9.2.1 冷却塔 .....	200
7.4.2 散流器送风计算 .....	161	9.2.2 冷却水系统的形式 .....	203
7.4.3 喷口送风计算 .....	165	9.2.3 冷却水系统设计中的 几个问题 .....	205
习题 .....	166	9.3 空调冷凝水系统 .....	209
<b>第8章 空调风管系统设计</b> .....	168	9.4 空调冷热水系统的设计 .....	210
8.1 风管设计的基本知识 .....	169	9.4.1 循环水泵的选择 .....	210
8.1.1 风管的布置原则 .....	169	9.4.2 循环泵的流量、扬程及 水泵的选型 .....	210
8.1.2 风管材料的选择 .....	169	9.4.3 冷水机组与冷水泵之间的 连接 .....	211
8.1.3 风管断面形状选择 .....	170	9.4.4 空调水系统的补水、排气、 泄水及除污 .....	212
8.2 风管设计的原则和基本任务 .....	170	9.4.5 空调水管的坡度和 伸缩 .....	213
		9.4.6 空调水系统的附属设备 .....	213

9.5 空调水系统的水力计算 .....	215	11.1.1 温度检测仪表 .....	251
9.5.1 空调水系统的流量 .....	215	11.1.2 测量空气相对湿度的 仪表 .....	253
9.5.2 空调水系统的流速与 管径 .....	216	11.1.3 测量风速的仪表 .....	253
9.5.3 沿程阻力和局部阻力 .....	217	11.2 空调系统的调试程序及风量的 测定与调整 .....	255
9.5.4 循环泵的流量和扬程 .....	220	11.2.1 空调系统的调试程序 ..	255
9.6 空调系统的保温 .....	222	11.2.2 风量的测定与调整 .....	259
习题 .....	224	习题 .....	262
<b>第 10 章 空调冷热源的选择 .....</b>	<b>226</b>	<b>第 12 章 空调工程应用实例 .....</b>	<b>264</b>
10.1 空调冷源种类 .....	227	12.1 商场建筑和娱乐设施的空调 工程 .....	265
10.1.1 天然冷源 .....	227	12.1.1 商场建筑空调 .....	265
10.1.2 人工冷源 .....	228	12.1.2 餐饮用房空调 .....	268
10.2 冷(热)水机组的主要性能 .....	232	12.1.3 健身及娱乐用房空调 ..	270
10.2.1 活塞式冷水机组 .....	232	12.2 旅馆和办公楼建筑的空调 工程 .....	274
10.2.2 螺杆式冷水机组 .....	234	12.2.1 旅馆建筑空调 .....	274
10.2.3 离心式冷水机组 .....	236	12.2.2 高层办公楼空调 .....	278
10.2.4 溴化锂吸收式冷水 机组 .....	236	12.3 工业建筑的空调工程 .....	281
10.2.5 冷水机组的选用 .....	237	12.3.1 计算机房空调 .....	281
10.3 热泵系统 .....	238	12.3.2 恒温恒湿房间空调 .....	284
10.3.1 空气源热泵 .....	239	12.4 净化空调工程 .....	286
10.3.2 水源热泵 .....	240	12.4.1 工业洁净室 .....	286
10.3.3 土壤源热泵 .....	241	12.4.2 医院洁净手术室 .....	287
10.4 空调能源的选择 .....	243	12.4.3 净化空调工程原理图 ..	288
10.4.1 能源种类 .....	243	习题 .....	289
10.4.2 能源的选择 .....	245	附录 A .....	290
10.5 空调冷热源的选择 .....	246	附录 B .....	302
10.5.1 空调冷热源方案选择的 原则 .....	246	附录 C .....	336
10.5.2 空调冷热源的节能 设计 .....	247	参考文献 .....	337
习题 .....	248		
<b>第 11 章 空调系统的测试与调节 .....</b>	<b>250</b>		
11.1 空调系统测试常用仪表 .....	251		



# 第1章 绪论

## 教学目标

主要讲述空气调节的定义及任务、空调系统的组成、空气调节技术的发展趋势。通过本章的学习，达到以下目标。

- (1) 掌握空气调节的定义及任务。
- (2) 掌握空气调节系统的组成。
- (3) 掌握空气调节系统的分类。
- (4) 了解空气调节技术的发展过程。
- (5) 了解空气调节技术的发展趋势。

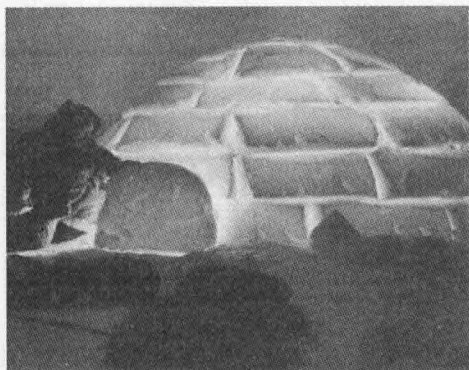
## 教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
空气调节的定义、任务	(1) 掌握空气调节的定义 (2) 掌握空气调节的任务	(1) 空气调节 (2) 空气调节任务
空气调节系统的组成、分类	(1) 掌握空气调节系统的组成 (2) 掌握空气调节系统的分类	(1) 空气调节系统组成 (2) 空气调节系统分类
空气调节技术的发展过程	了解空气调节技术的发展过程	(1) 空气调节的起源 (2) 空气调节技术的发展过程
空气调节技术的发展趋势	了解空气调节技术的发展趋势	空气调节技术的发展趋势



## 导入案例

自从人类开始在地球上生存以来，为了与自然界抗争，人们就开始使用最早的空气调节手段。例如，爱斯基摩人为了更好地适应寒冷的环境，用干雪砌成厚度达 500mm 的墙体，以便提供较好的保温性能：当室外平均温度为  $-30^{\circ}\text{C}$  时，可维持室内温度  $-5^{\circ}\text{C}$  以上。埃及人的房屋墙厚 340~450mm，屋面厚度 460mm，利用土坯的热惯性，室外日夜温差  $24^{\circ}\text{C}$ ，室内波动不到  $6^{\circ}\text{C}$ 。还有我国陕西绥德的靠崖窑和贵州布依族的石屋等。这些都是人类最早运用的空气调节措施的地方。大家可以仔细想想，在我们身边还有没有这些传统的空气调节手段？它们利用的都是什么原理？



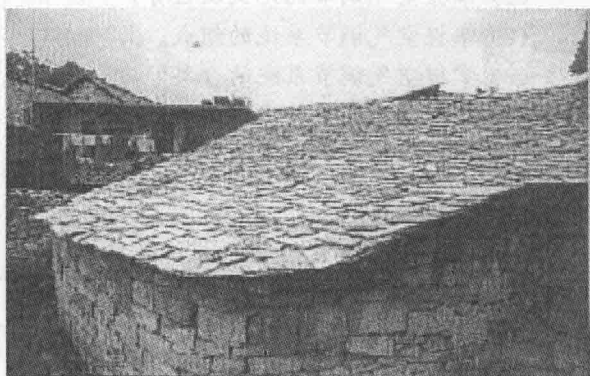
爱斯基摩人的冰屋



埃及的民居



陕西绥德的靠崖窑



贵州布依族的石屋

## 1.1 空气调节的含义及任务

### 1.1.1 空气调节的含义

空气调节是用人为的方法处理室内空气的温度、湿度、洁净度和气流速度的技术，可使某些场所获得具有一定温度和一定湿度的空气，以满足使用者及生产过程的要求和改善劳动卫生和室内气候条件。一般比较合理的流程是：先使外界空气与控制温度的水充分接触，达到相应的饱和湿度，然后将这饱和空气加热使其达到所需要的温度。当某些原始空气的温度和湿度过低时，可预先进行加热或直接通入蒸汽，以保证与水接触时能变为饱和空气。

《采暖通风与空气调节术语标准》(GB 50155—1992)将“空气调节”定义为：使房间或封闭空间的空气温度、湿度、洁净度和气流速度等参数，达到给定要求的技术。即空气调节的意义在于“使空气达到所需要的状态”，或“使空气处于正常状态”。人工调节空气

温度、相对湿度、空气流动速度及洁净度(简称“四度”),以满足人体舒适和生产工艺过程的要求。

### 1.1.2 空气调节的任务

现代空调已不仅仅是控制温度、湿度的要求了,有时还需对空气的压力、成分、气味及噪声等空间环境的品质进行全面调节和控制。可见,空气调节的任务是采用技术手段创造并保持满足一定要求的空气环境。所谓的技术手段主要是:采用换气的方法保证环境的空气新鲜程度;采用热湿交换的方法保证环境的温湿度;采用净化的方法保证空气的洁净度。

## 1.2 空调系统的组成及分类

### 1.2.1 空调系统的组成

一个典型的空调系统由空调冷热源、空气处理设备、空调风系统、空调水系统及空调自动控制和调节装置五部分组成(图 1-1)。

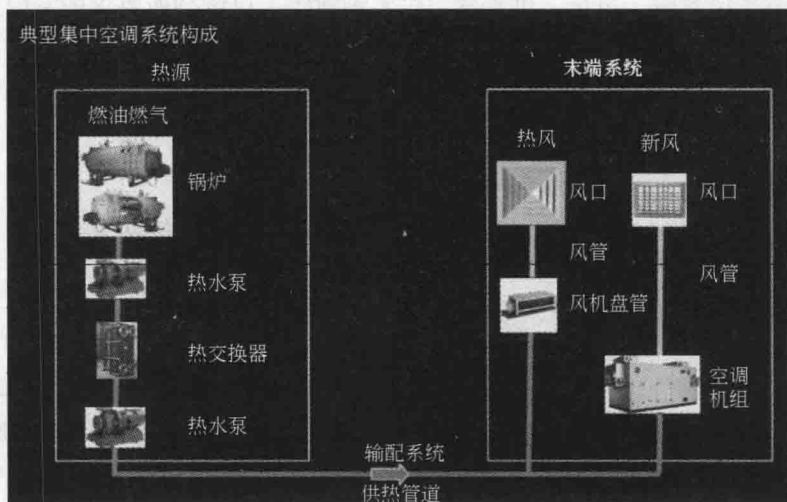


图 1-1 集中空调系统组成

#### 1. 空调冷源和热源

冷源的作用是为空气处理设备提供冷量以降低送风温度。常用的空调冷源是各类冷水机组、制冷系统的蒸发器等。热源是用来提供加热空气所需的热量。常用的空调热源有各类锅炉、电加热器、热泵型冷热水机组等。

## 2. 空气处理设备

空气处理设备将空气处理到要求的送风状态。空气处理设备可以是集中布置在机房内,也可以分散布置在建筑物各楼层。常用的空气处理设备有空气过滤器、空气加热器、空气冷却器、喷水室、空气加湿器、空气加湿器和除湿器等。

## 3. 空调风系统

空调风系统包括送风系统和排风系统。送风系统的作用是将处理过的空气送到空调区域,主要由风机、送风管道和室内送风口等组成。风机是提供空气在风管内流动的动力设备。排风系统的作用是将空气从室内排出,并将排风输送到规定地点。可将排风排放至室外,也可将部分排风送至空气处理设备与新风混合后作为送风。重复使用的这一部分排风称为回风。排风系统主要由室内排风口、排风管道和风机组成。

## 4. 空调水系统

空调水系统的作用是将冷媒水(简称冷水)或是热媒水(简称热水)从冷源或热源输送至空气处理设备。空调水系统主要由水泵和水管系统组成。空调水系统分为冷(热)水系统、冷却水系统和冷凝水系统三大类。

## 5. 空调的自动控制和调节装置

由于室内外环境多种因素的影响,空调系统的冷热负荷是多变的,这就要求空调系统的工况也要随之变化。因此,空调系统应装备必要的控制和调节装置,借助它们可以(人工或自动)调节送风参数、风量、供水量、供水参数等,以维持所要求的室内空气状态。

### 1.2.2 空调系统的分类

#### 1. 按负担空调区域的介质种类分类

按负担空调区域的介质种类可分为全空气系统和空气-水系统两大类。

##### 1) 全空气系统

全空气系统是房间的冷(热)负荷全部由空气来负担的系统。

##### 2) 空气-水系统

空气-水系统是由空气和水共同承担房间冷、热负荷的系统,除了向房间内送入经处理的空气外,还在房间内设有以水作介质的末端设备对室内空气进行冷却或加热。

#### 2. 按空气调节的作用分类

按空气调节的作用分为舒适性空调和工艺性空调两大类。

##### 1) 舒适性空调

舒适性空调是应用于以人为主要的环境的空气调节设备,其作用是维护良好的室内空气状态,为人们提供适宜的工作或生活环境,以利于保证工作质量和提高工作效率、维护良好的健康水平。

##### 2) 工艺性空调

工艺性空调主要应用于工农业生产及科学实验过程,其作用是维持生产工艺过程或科

学实验要求的室内空气状态,以保证生产的正常进行和产品的质量。

空调系统按空调设备的集中程度分为集中式空调系统、半集中式空调系统和分散式空调系统。

## 1.3 空气调节技术的发展概况

### 1.3.1 空气调节技术的发展历史

1901年美国的威利斯·开利(Willis H. Carrier)博士(图1-2)在美国建立了世界上第一所空调试验研究室。1902年,开利博士为美国纽约市鲁克林的一家印刷厂设计了世界上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。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。

1906年,开利博士发明了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,如图1-3所示。

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。至今,湿空气焓湿图仍是所有空调计算的基础,它是空气调节史上一个重要的里程碑。

1922年,开利博士还发明了世界上第一台离心式冷水机组(图1-4),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,是目前常见的空气末端装置——风机盘管的前身。

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)。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。系统开始采用了集中处理空调的喷水室,装置了洁净空气的过滤设备,共包括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体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及净化空气、供热和通风的功能。因此,克勒谋被誉为“多面手工程师”和“纺织空调先驱”等称号。



图1-2 威利斯·开利博士

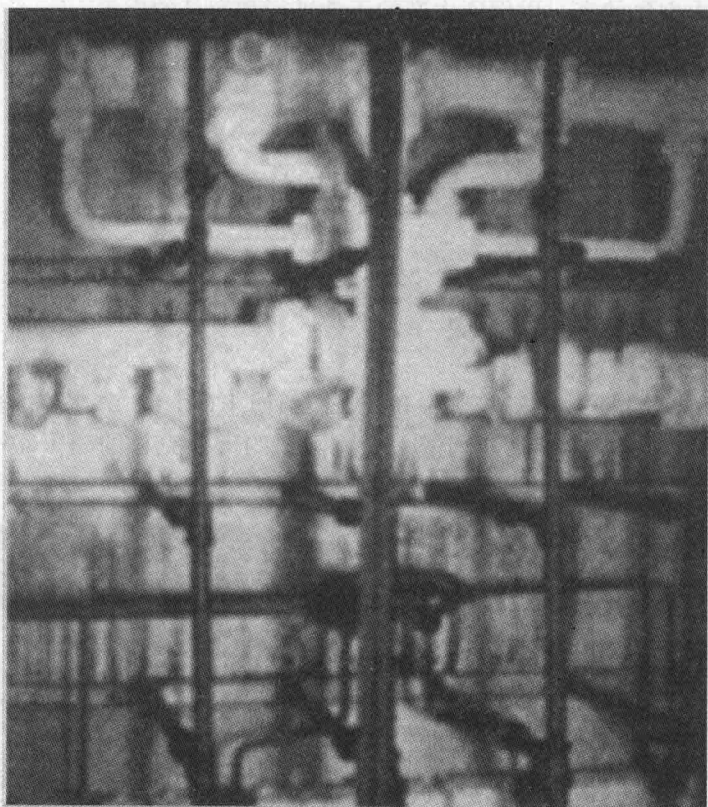


图 1-3 第一台喷淋式空气洗涤器

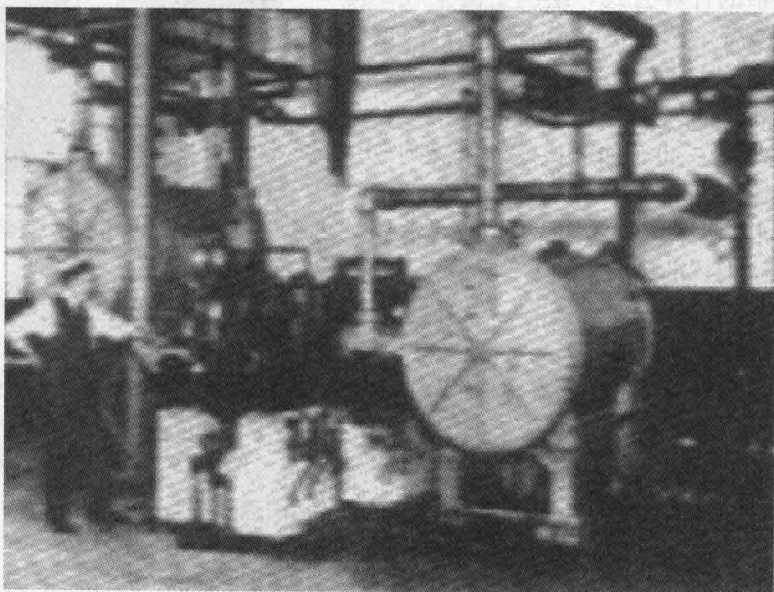


图 1-4 第一台离心式冷水机组

美国舒适性空调的发展,远远迟于工业空调。开利博士认为只是在1923年以后,舒适性空调才得到发展并迅速增长起来。第二次世界大战期间,舒适性空调首先用于电影院、剧场、大型商场等公共场所,其次用于办公室及深矿井。1930年后,由于小型制冷机的发展,舒适性空调才应用到各类商店、旅馆、餐厅及火车、大客车、轮船等交通运输工具。直到1945年后,舒适性空调才进入住宅。

1911年,第一座空调电影院在芝加哥建成,而1922年建成的纽约空调电影院是第一座真正意义上的可以调节空气各种性能的电影院。自1925—1931年,据估计美国约有400家电影院和剧场配备了舒适性空调。

舒适性空调开始于1919年,布鲁克林 Abraham & Straus 是第一家大型舒适性空调商店。1927年德克萨斯州的圣安东尼奥一幢办公楼全部实现了舒适性空调。1930年,费城一幢34层摩天大楼全部配备舒适性空调。1938年,华盛顿市府大厦配备了当时最大的空调装置(20930kW)。1935年, Hershey 巧克力厂内的办公大楼是第一幢无窗办公大楼。

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性空调。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性空调。

1929年在巴尔的摩至俄亥俄运行线上一辆火车餐厅配备了舒适性空调。1931年在纽约至华盛顿线路上的一列火车全部采用舒适性空调。1946年,美国空调列车的数量迅速增长到3500辆左右。1945以后,私人小汽车的空调也开始大规模实现。另外,自1937年起就采用活动式空调机组使飞机在起飞前降温。1975年,第一座空调旅馆(Cumberland 旅馆)在英国伦敦建成。

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,深矿井的舒适性空调已成为空调史的第一章,尤其是南非金矿的舒适性空调引起了人们的关注。1920年,南非最大的空调装置是在西部腹地金矿区。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、纺织厂、一些电影制片厂及电影院已采用了空调系统。1938年,慕尼黑美术馆采用了空调系统。在法国,1927年巴黎附近的一座医院,1932年一家电话交换局配备了空调装置。空调于1930年左右在欧洲开始出现,但大规模的发展还是在第二次世界大战以后。除北美和欧洲以外,日本是当时关注空调较多的国家,1917年一家私人住宅采用了空调,1920年一家糖果厂采用了空调,1927年一家剧院采用了空调。

在我国,空气调节的发展并不太迟,工业性空调和舒适性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。随后,几座高层建筑的大旅馆和电影院,也先后设置了全空气空调系统。当时,高层建筑装有空调装置,上海是全亚洲最领先的。但到1937年,我国遭受日本的侵略,空气调节事业被迫中断。

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,根据需要,一批来自其他专业的技术人员,转行投身于这方面的工程设计、施工安装,以苏联技术为依托,逐步掌握空调专业技术,解决建设的急需,并开始按照苏联标注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,培养可以从事空调工程的技术人才。中国建筑科技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，我国经济取得飞速发展。经济建设和社会发展带动了空调的应用和发展，带空调的工程和项目显著增多。全国现有大、中、小型设计单位近万个，1/4 以上能做空调设计。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设备工程专业)的学校已从原来的 8 所发展到 2014 年的 117 所，如图 1-5 所示为我国设置暖通空调专业的院校(1977—2007 年)。2006 年全国开设供热、供燃气、通风及空调二级学科的学校有 44 所，其中有 24 个博士点、20 个硕士点。这些院校所培养的毕业生已成为推动空调事业发展的技术力量的主要来源。此外，研究单位也增加不少，包括大学的、设计院的、工厂的或公司的等。施工安装队也有较大发展，国外引进的代表先进水平的工程，绝大部分是国内安装队完成的，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研究委员会、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(中国制冷专业协会、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。

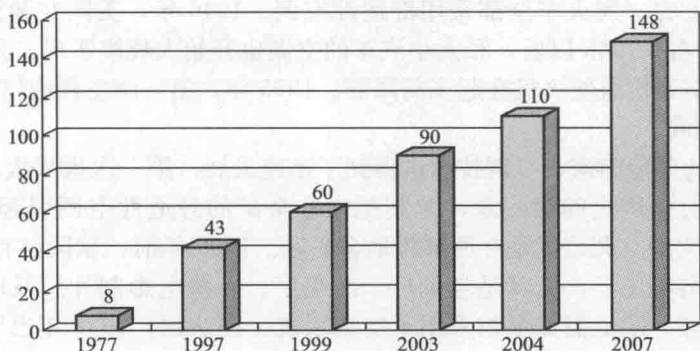


图 1-5 我国设置暖通空调专业的院校(1977—2007 年)

在技术发展方面，已掌握高精度恒温技术；可持续保持静态偏差优于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ；高精度恒湿技术，优于 $\pm 2\% \text{RH}$ ；超高性能洁净室，洁净度达到国家一级标准。此外，已经掌握各种等级的生物洁净整套技术，从而为高新技术提供了环境技术保障。为了节省高大厂房空调用能，研究并实施了高大厂房分层空调技术，已成功地应用于长江葛洲坝电站厂房空调工程中，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。为解决旅游饭店空调而发展起来的空气-水空调系统技术，均已在各类建筑物中获得了广泛应用。据中国空调制冷空调工业协会统计，1995 年我国风机盘管产量已经超过 45 万台，大大超过了空调大国美国、日本的年销售量 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用于北京、上海、广州等城市的地



铁设计模拟分析中,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,调整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,如图 1-6 所示为我国家用空调产量(1980—2007 年)。目前,我国房间空调器产量居世界第一位,海尔等空调器已走向世界,成为国际品牌。同时我国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,而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,我国推出的水系统——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——风管机形成了三足鼎立之势。

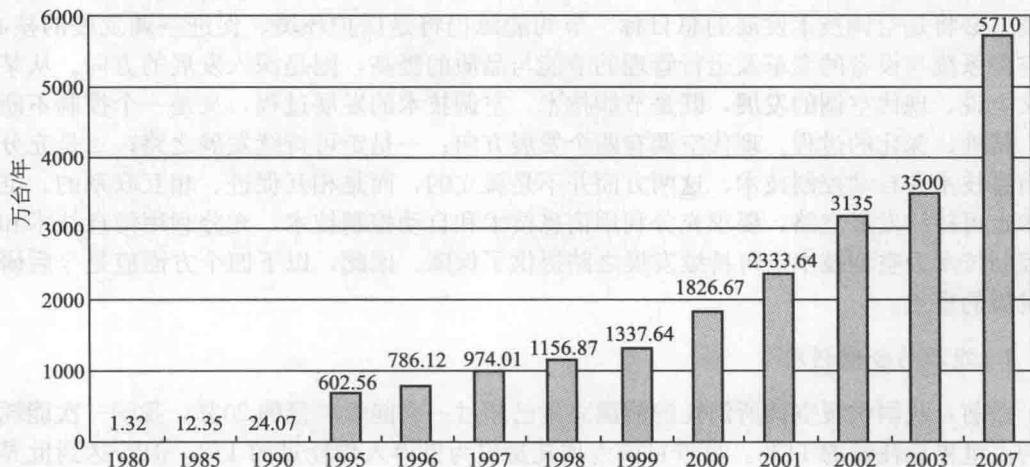


图 1-6 我国家用空调产量(1980—2007 年)

我国至今已编制了《采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《供热建筑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”,来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部检测测试中心”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,来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