

(原书第2版)

空调与制冷 技术手册

(美) 汪善国 著
李德英 赵秀敏 等译

**Handbook of Air Conditioning
And Refrigeration
(Section Edition)**

空调与制冷技术手册

(原书第2版)

(美) 汪善国 著
李德英 赵秀敏 等译



机械工业出版社

本书从建筑物围护结构的热湿传导、负荷计算、室内外设计条件等基础知识入手,系统地介绍了能量管理和控制系统,供热系统,热泵、热回收、燃气制冷、联产系统,制冷剂、制冷循环及制冷系统,制冷系统设备;空调系统的组成,即风机、盘管、过滤器和加湿器,组合式空调机组和独立式空调机组,蒸发冷却系统和蒸发冷却器;通风系统及管道设计方法,室内气流分布,室内空气品质,噪声控制,定风量和变风量空调系统及其控制技术,户式空调系统,整体式空调系统和除湿系统,空调蓄冷装置,系统的试运行与维护等技术。

本书内容深入浅出、通俗易懂,适用于暖通空调领域科研和工程设计人员以及大学教师和学生参考。

Handbook of Air Conditioning and Refrigeration/Wang Shan K. Copyright © 2001, 1993, by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English Language edition published by the McGraw-Hill Companies, Inc.

本书中文简体字版由麦格劳-希尔出版集团与机械工业出版社合作出版。未经出版者书面许可,不得以任何方式抄袭、复制或节录本书任何部分。

版权所有,侵权必究。

版权登记字号:图字:01-2202-5540

图书在版编目(CIP)数据

空调与制冷技术手册. 原书第2版/(美)汪善国著;李德英等译.

—北京:机械工业出版社,2006.1

书名原文:Handbook of Air Conditioning And Refrigeration (Section Edition)

ISBN 7-111-17903-X

I. 空… II. ①汪…②李… III. ①空气调节设备—技术手册②制冷工程—技术手册 IV. TB6-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第134855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:杨少彤

责任编辑:杨少彤 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英 魏俊云

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006年1月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·78.75印张·4插页·2191千字

0 001—3 000册

定价:158.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

译者的话

本书主要从建筑物围护结构的热湿传导、负荷计算、室内外设计条件等基础知识入手，系统地介绍了能量管理和控制系统，供热系统，热泵、热回收、燃气制冷和联产系统，制冷剂、制冷循环、制冷系统及制冷系统设备；介绍了空调系统的组成，即风机、盘管、过滤器和加湿器，组合式空调机组和独立式空调机组，蒸发冷却系统和蒸发冷却器；阐述了通风系统及管道设计方法，室内气流分布，室内空气品质，噪声控制，定风量和变风量空调系统及其控制技术，户式空调系统，整体式空调系统和除湿系统，空调蓄冷装置，系统的试运行与维护等技术。其特点是深入浅出、通俗易懂，适用于暖通空调领域科研和工程设计人员，以及大学教师和学生使用。

参与本书翻译工作的还有陈红兵、李滨涛、闫全英、张秋丽、任艳莉、范赞、张玉娟、白凤玲、郑树伟、续元庆、王红霞、陈欣、刘立平、鲁国丽、黄新伟、陈韵、贾力、邹德宝、邢云绯、赵国恩、李建树、任华华、康小鹏、罗文斌、祁惠峰、王昆、高雪飞、吕洁等。

由于作者水平有限，难免在翻译时有错误和不妥之处，恳请批评指正。

译者

目 录

译者的话

第1章 绪论	1
第2章 湿空气性质及焓湿图	27
第3章 建筑物围护结构的传热传湿	51
第4章 室内外空气参数的确定	101
第5章 能量管理和控制系统	143
第6章 负荷计算	203
第7章 水系统	249
第8章 供热系统、燃烧炉和锅炉	305
第9章 制冷剂、制冷循环及制冷系统	339
第10章 制冷系统的辅助设备	391
第11章 往复式、旋转式、涡旋式和螺杆式压缩机	445
第12章 热泵、热回收、燃气制冷和联产系统	499
第13章 离心式蒸汽压缩制冷系统	527
第14章 吸收式制冷系统	559
第15章 空气系统——风机、盘管、过滤器和加湿器	585
第16章 组合式空调机组和整体式空调机组	661
第17章 空气系统管道设计	687
第18章 室内气流分布	755
第19章 噪声控制	805
第20章 定风量空调系统	839
第21章 变风量空调系统	909
第22章 变风量空调系统——风机组合、系统压力和排烟控制	961
第23章 最小通风量和变风量空调系统的控制	997
第24章 室内空气品质	1029
第25章 能源管理与全球变暖	1043
第26章 空调系统的分类、选择及单独系统	1069

第 27 章 空调系统的蒸发冷却系统和蒸发冷却器	1085
第 28 章 户式空调系统	1111
第 29 章 整体式空调系统 (PS) 和除湿系统	1143
第 30 章 集中式空调系统和净化系统	1177
第 31 章 蓄能空调系统	1201
第 32 章 暖通空调系统的运行测试与维护	1229
附录	1237
附录 A 术语和缩略词	1237
附录 B 焓湿图、湿空气热力特性表、IP-SI 单位换算表	1247

第 1 章

绪 论

1.1 空气调节	3	1.7.2 洁净、安静、精确和湿润的 工艺环境	13
1.2 舒适性和工艺性空调系统	3	1.7.3 能源利用和能量效率	13
1.2.1 空调系统	3	1.7.4 环境问题——CFCs 和全球 变暖	14
1.2.2 舒适性空调系统	3	1.7.5 空调或 HVAC&R 工业	15
1.2.3 工艺性空调系统	4	1.8 空调项目的开发	15
1.3 空调系统按照构造和运行特征 的分类	4	1.8.1 开发的基本步骤	15
1.3.1 单独房间空调系统	4	1.8.2 投标设计和结构设计	16
1.3.2 蒸发-冷却式空调系统	5	1.8.3 目标——一种环境友好、节能、 经济的 HVAC&R 系统	16
1.3.3 干燥剂空调系统	5	1.8.4 HVAC&R 系统的主要问题	16
1.3.4 蓄能空调系统	5	1.9 空调系统的设计	17
1.3.5 净化空调系统	5	1.9.1 工程技术责任	17
1.3.6 空间空调系统	6	1.9.2 空调与其他行业间的协调、 合作	17
1.3.7 整体式空调系统	6	1.9.3 安装、改造和更换	18
1.4 集中式水空调系统	6	1.9.4 工程质量控制	18
1.4.1 空气系统	7	1.9.5 控制系统的设计	19
1.4.2 水系统	7	1.9.6 实践经验	19
1.4.3 中央机房	7	1.9.7 新设计技术	19
1.4.4 控制系统	9	1.10 设计文件	19
1.4.5 空气、水、制冷和供热系统	10	1.10.1 图纸	20
1.5 系统使用的分类	10	1.10.2 说明书	20
1.6 发展历程	11	1.11 法规和标准	21
1.6.1 集中式空调系统	11	1.12 计算机辅助设计和 绘图 (CADD)	22
1.6.2 整体式系统	11		
1.6.3 制冷系统	12		
1.7 潜力和挑战	12		
1.7.1 提供健康、舒适的室内环境	12		

2 空调与制冷技术手册

1.12.1 CADD 的特征	22	1.12.4 所需软件	23
1.12.2 计算机辅助设计	23	参考文献	24
1.12.3 计算机辅助绘图 (CAD)	23		

1.1 空气调节

空气调节是一种可同时进行多种功能的综合工艺过程。它对空气进行调节、输送,然后再分配到空调空间。它利用集中机房或屋顶设备来供热和供冷。考虑空调区域居住者舒适性、健康性以及产品工艺要求,空气调节系统主要用来控制和维持温度、湿度、空气流动、空气洁净度、声级和空间压差在预定的范围内。

术语 HVAC&R 是供暖、通风、空调和制冷的缩写。在这个经常被用到的术语中,几种工艺的组合等同于目前对空调的定义,这是因为所有这些单独的工艺先于空调这个较完整的概念而产生,所以术语 HVAC&R 经常在工业中使用。

1.2 舒适性和工艺性空调系统

1.2.1 空调系统

一个空调系统或 HVAC&R 系统由一些部件和设备按照一定的顺序构成,用来调节空气,再将空气输送至空调空间,然后控制特定空间的室内环境参数在所需范围之内。

大多数空调系统具备以下功能:

- (1) 提供所需的冷量和热量。
- (2) 调节送风,也就是进行加热或冷却、加湿或除湿、清洁和净化、降低 HVAC&R 设备产生的噪声。
- (3) 将处理过的含有足够的新鲜空气的空气分配到空调空间。
- (4) 控制和维持室内环境参数——温度、湿度、洁净度、空气运动速度,声级,以及空调空间与周围环境之间的压差——在预定范围之内。

一些参数能够反映空调系统的性能,如空调室内的尺寸和人数、需要控制的室内环境参数、控制的质量和效果,以及决定多种部件的类型和布置所涉及的成本。

空调系统按照它们的适用情况可分为

- (1) 舒适性空调系统。
- (2) 工艺性空调系统

1.2.2 舒适性空调系统

舒适性空调系统,向居住者提供舒适、健康的室内环境。使用舒适性空调系统的各部门如下:

1. 商业部门 写字楼、超市、百货商店、购物中心、饭店及其他。许多高层写字楼,如纽约市的世界贸易中心和芝加哥的 Sears 塔楼这样的建筑物,使用复杂的空调系统来满足多种承租者的需求。在低层的商业建筑中,空调系统用于单区或相对较小的区域空调空间。对于购物中心和饭店,空调是为吸引顾客而设置的。

2. 机构 学校、大学、学院、图书馆、博物馆、室内体育馆、电影院、剧院、音乐厅和娱乐中心。例如:最大的室内体育馆之一,路易斯安娜州新奥尔良市的 Superdome 建筑能容纳 78 000 人。

3. 住宅和酒店 旅店、汽车旅馆、公寓住宅和私人住宅。酒店和公寓住宅的许多空调系统全天 24 小时连续运行,因为这些建筑随时都可能有人住。

4. 健康医疗部门 这类部门包括医院、疗养院和康复治疗中心。医院常用特殊空气过滤器来去除一些

区域的细菌和微米级别的颗粒,比如手术室、托儿所和集中的医疗单位。冬季,普通诊所里的相对湿度通常维持在最小值 30%。

5. 交通运输工具 飞机、汽车、火车、公共汽车和游轮。乘客日益要求一种安逸、舒适的旅行环境,特别是长途旅行。现代飞机在高空飞行时,要求机舱和舱外大气之间的压差约为 5 psi。根据《商业建筑物特征》(1994),1992 年美国在总建筑面积为 678.76 亿 ft² (63.1 亿 m²) 的 4 806 000 幢商业建筑物中,供冷占 84%,供热占 91.3%。

1.2.3 工艺性空调系统

工艺性空调系统为制造业、产品储存或其他研发工艺提供所需的室内环境控制,下面列举的区域就是使用工艺性空调系统的例子。

1. 在纺织厂,天然纤维和人造纤维具有易吸湿性,在生产工艺中,湿度控制得当能增加纱线和织物的强度。许多纺织生产过程中,空气相对湿度过高对纺纱过程造成影响;另一方面,相对湿度过低又可能产生对生产工艺有害的静电。

2. 对于象集成电路这样的电子产品生产需要洁净室,因为空气中的颗粒会对产品质量产生不利影响。控制相对湿度也是防腐蚀、凝结以及消除静电所需要的。温度控制可以使材料和工具保持在稳定状况下。同时,要求工人穿着无尘工作服。例如,电子工厂中的一个 100 级洁净室所需温度为 72°F ± 2°F (22.2°C ± 1.1°C),相对湿度在 45% ± 5%,尘粒直径为 0.5 μm (1.97 × 10⁻⁵ in) 或最大不超过 100 粒/ft³ (3531 粒/m³)。

3. 在制造精密仪表、工具和设备时,需要准确控制车间温度。在 20 世纪 50 年代, Bausch 和 Lomb 就成功建造了一个温度为 68°F ± 0.1°F (20°C ± 0.56°C) 的恒温控制室来生产光栅产品。

4. 制药工业需要控制温度、湿度和空气洁净度。例如,肝萃取物所需温度为 75°F (23.9°C),相对湿度为 35%。如果温度超过 80°F (26.7°C),萃取物往往会变质。为了防止空气污染,在制药工厂的大部分区域要安装高效空气过滤器。

5. 现代冷库不仅能储存温度为 27 ~ 32°F (-2.8 ~ 0°C) 的冷藏物品和 -10 ~ -20°F (-23 ~ -29°C) 的冷冻食品,而且还可以为易腐坏食品提供 90% ~ 100% 的相对湿度控制防止食物变坏。制冷系统只能实现湿度控制,而工艺性空调系统可同时实现空间内的温度和相对湿度控制。

1.3 空调系统按照构造和运行特征的分类

空调系统按照构造和运行特征可分类如下:

1.3.1 单独房间空调系统

单独房间空调系统可以是一个整体式房间空调器,一个整体终端空调器,一个独立的室内室外分体机组或一个热泵。热泵是从热源吸取热量,向水或空气放热以达到较高的温度用于供暖。和其他系统不同,这些系统通常在每个房间使用完全独立的机体或机组。单独空调系统可划分为两类:

- 1) 房间空调器(窗式安装)。
- 2) 整体终端空调器(PTAC),通过套管穿过外墙。

工厂组装完成的房间空调器的主要部件包括:一个用于加压和输送空气的蒸发器风机,制冷时,翅片盘管中的制冷剂蒸发,在管内直接膨胀,吸收周围空气的热量,它被称为直接膨胀(DX)盘管。供暖时期,

制冷剂释放热量给空调空间,此时的空调器相当于热泵;空气过滤器除去空气中微粒;压缩机把制冷剂从一个较低的蒸发压力压缩到一个较高的冷凝压力;冷凝器可以把热的气体制冷剂液化并通过盘管和冷凝器风机放出热量;温度控制系统可感知空间气温(温度传感器),通过自动调温器启动或停止压缩机来控制它的供冷或供热能力(见第26章)。

房间空调器和房间热泵,整体终端空调器和整体终端热泵的区别在于所有的房间热泵装有四通换向阀。有时房间空调器分成两个独立的机组,一个有压缩机和冷凝器的室外冷凝机组,一个是室内空气处理器,使空气处理器在一个更有利的位置,并减小压缩机噪声对室内的影响。

单独空调系统的特征是一个房间使用一个DX盘管,这是最简单、最直接的冷却空气的方法。大多数单独系统不使用连接风管,室外空气通过一个孔口或通过一个小的空气阀门引入。单独系统通常仅用于建筑物周边区域。

1.3.2 蒸发-冷却式空调系统

蒸发-冷却式空调系统是利用液体蒸发吸热来直接或间接冷却气流。它可能是一个工厂组装的整体机组或一个现场组装的系统。当蒸发式冷却器只能提供一部分冷量时,它成为集中式水系统或整体机组系统的一个部件。

一个蒸发-冷却式系统包括一个吸收室、过滤器、送风机、直接接触或间接接触式换热器、排风扇、水喷雾器、再循环水泵和水箱。与冷藏制冷相比,蒸发-冷却式系统利用低位能,它产生低温湿润的空气,被广泛用于美国西南干旱区域(见第27章)。

1.3.3 干燥剂空调系统

干燥剂空调系统是通过干燥剂除湿来进行潜热冷却以及通过蒸发冷却或制冷冷却来进行显热冷却的系统。这样,一大部分昂贵的蒸气压缩制冷可由低廉的蒸发冷却代替。干燥剂空调系统通常是一个包括除湿、蒸发冷却、制冷和干燥剂再生的混合系统(见第29章)。

干燥剂空调系统中有两种气流:送风气流和回风气流。送风气流可以全部是室外空气或室外空气和回风空气的混合,直接送往空调区域或全封闭生产过程,或送到空气处理机组(AHU)、整体机组(PU)或终端以进行进一步处理。回风气流是使干燥剂再生的高温气流。

干燥剂空调系统包括以下部分:旋转式干燥剂除湿器、热管换热器、直接或间接蒸发式冷却器、DX盘管和蒸气压缩机组或水冷盘管和制冷机、风机、泵、过滤器、控制器和管道系统。

1.3.4 蓄能空调系统

在蓄能空调系统或简单的蓄能系统中,电力驱动的制冷压缩机在用电非高峰期运行。在电价高且用电量大的用电高峰时,用储存的冷冻水或储存的冰对建筑物供冷。蓄能系统降低HVAC&R大量的用电需求,部分或全部地把高价电能从高峰期转到非高峰期。

蓄能空调系统是一个使用冷冻水作为冷媒的集中式空调系统。除了空气、水和制冷控制系统外,还有冷冻水箱或蓄冰槽、备用循环泵,以及控制器(见第31章)。

1.3.5 净化空调系统

净化空调系统用于对微粒、温度、相对湿度、通风、噪声、振动和空间压力有严格控制要求的区域。在净化空调系统中,室内环境质量的控制直接影响了净化区域所生产产品的质量。

净化空调系统包括一个再循环空气机组和一个新风机组,两者都包括阀门、预过滤器、盘管、风机、高

效微粒过滤器 (HEPA)、管网、泵、制冷系统和相关控制器, 在新风机组中还包括加湿器 (见第 30 章)。

1.3.6 空间空调系统

空间空调系统也称为空间空气调节系统, 主要由风机盘管、水源热泵或在空调区域内、上部或附近的其他设备来完成冷却、除湿、加热和过滤。风机盘管包括一个小型风机和一个盘管。水源热泵通常包括一个风机、调节空气的翅片盘管以及制冷期间放热给水循环或供暖期间从水循环抽取热量的水盘管。单个或多个风机盘管总是用于单个空调空间, 一个小的落地式水源热泵通常用于建筑物外区的每个控制区, 较大的水源热泵利用管道可用于建筑物中心有管相连的几个房间 (内区, 见第 28 章)。

空间空调系统通常在空调空间只有短的送风管, 除了大的中心区水源热泵外, 一般没有回风管。空调空间再循环空气的所需压降通常等于或低于 $0.6 \text{ inH}_2\text{O}$ (150Pa)。与整体式或集中式水空调系统相比, 空间空调系统可节省大部分用于输送回风和再循环空气的能量。空间空调系统通常使用独立的室外通风系统, 以向空调空间的业主提供室外新鲜空气。

空间空调系统通常有较高的噪声并且空调空间内部需要定期维护。

1.3.7 整体式空调系统

简单地说, 整体式空调系统可称为整体式空调系统或整体系统, 这些系统或者是一个单独整体式机组或者是两个分体机组。一个单独整体机组包含风机、过滤器、DX 盘管、压缩机、冷凝器和其他附属设备。在分体式系统中, 室内空气处理器由控制器和包括风机、过滤器和 DX 盘管的空气处理系统组成; 室外冷凝机组是一个制冷系统, 由压缩机和冷凝器组成。屋顶整体系统应用最广 (见第 29 章)。

整体式空调系统可用于单个或多个房间。安装送风管用于分配处理后的空气, DX 盘管用于冷却被调空气。热泵系统中还有其他一些部件保证系统正常运行, 例如集中式系统在制冷期间放热, 供暖期间用来供暖。有时增加踢脚板加热器或单元加热器作为整体机组的一部分, 向建筑外区提供所需热量。

使用大型整体机组的整体式空调系统实质上就是集中式系统, 这是因为有集中的空气分配管网或集中的排热系统。与集中式空调系统中所用冷冻水相比, 整体式空调系统的特征是使用工厂组装完成的整体机组作为主要设备, 例如冷却用的 DX 盘管。现代大型屋顶整体机组有许多复杂部件和控制器, 它们在许多应用中与集中式空调系统有类似的功能。

1.4 集中式水空调系统

集中式水空调系统也称作集中式空调系统。在一个集中式空调系统中, 空气由充满冷冻水或热水的盘管来冷却和加热, 冷冻水和热水来自于集中冷却或供暖机房。该系统主要应用于多区的大面积建筑物或者独立建筑物。

水的热容比空气大, 下面就是这两种媒介在 68°F (20°C) 时物理性质的比较。

	空气	水
比热容/($\text{Btu}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})$)	0.243	1.0
密度/(在 68°F , (lb/ft^3))	0.075	62.4
流体的热容/[在 68°F , $\text{Btu}/(\text{ft}^3\cdot^\circ\text{F})$]	0.018	62.4

每立方米水的热容比空气大 3466 倍。在一个大型的空调工程中,从中央机房向远距离风机室中的空气处理机组输送热量和冷量,使用水比使用调节后的空气更高效。但是,附加的水系统降低了制冷系统的蒸发温度,这样对中、小型工程来说更复杂而且昂贵。

图 1-1 是芝加哥 NBC 高层写字楼的集中式空调系统。集中式空调系统包括一个空气系统,一个水系统,一个集中供热/制冷机房以及一个控制系统。

1.4.1 空气系统

空气系统有时被称为空气处理系统。空气系统的功能是调节、输送、分配处理后的空气、再循环空气、室外新鲜空气和排放空气,按照室内需要控制室内环境。空气系统的主要组成是空气处理机组、送/回风管、风机驱动箱、空间散流装置和排气系统。

空气处理机组(AHU)通常包括送风机、过滤器、冷却盘管、加热盘管、混合箱和其他附属设备,它是空气系统的主要设备。一个 AHU 调节室外和再循环空气,把调节处理后的空气送到空调空间,并通过风管和空间散流装置从空间抽出回风。

风机驱动的变风量箱,经常简称为风机驱动箱,使用一个带或不带加热盘管的小型风机,它从天花板静压箱引出回风,与来自空气处理机组的调节处理后的空气相混合,再把混合空气输送到被调节空间。

空间散流装置包括装于吊顶的条形散流器,它们的功能是按照要求均匀分配被调节空气至整个空间。回风通过许多分散的回风口进入天花板静压箱。

排气系统有排风机和风道,可排除厕所、机械间和电气室的废气。

芝加哥 NBC 是一个 37 层的高层复杂办公建筑,建于 20 世纪 80 年代末期。其总空调面积约为 900 000ft² (83 600m²),其中 256 840ft² (23 870m²)为 NBC 工作室和其他部门使用,位于上层的 626 670ft² (58 240m²)作为办公出租,在低层的 NBC 工作室和其他部门使用专用的空调系统。

对于出租的办公层,在第 21 层安装了 4 台空气处理机组。室外空气与再循环空气相混合后直接进入空气处理机组,如图 1-2 所示。制冷期间混合空气经过滤器过滤,然后在冷却盘管中冷却和除湿,然后,处理过的空气通过送风机、立管和送风管送往各层,最后通过风机驱动箱和条形散流器送往空调空间。

1.4.2 水系统

水系统包括冷冻水系统和热水系统、冷冻水泵和热水泵、冷却水系统和冷却水泵。水系统的功能是:(1)把冷冻水和热水从机房输送到空气处理机组、风机盘管机组和风机驱动箱;(2)从冷却水塔、水井或其它水源输送冷却水到中央机房的冷凝器。

在图 1-1 和 1-2 中,冷冻水在三个离心式制冷机中被冷却,然后送到装于第 21 层的各个空气处理机组的冷却盘管中。在吸收了流过盘管的气流的热量后,离开盘管的冷冻水的温度升高,然后冷冻水通过冷冻水泵返回到离心式制冷机中再次冷却。

冷却水在冷却塔中冷却后,它流回三级离心式制冷机的冷凝器中。在吸收了冷凝器中制冷剂的冷凝热后,冷却水的温度又上升,此后冷却水通过冷却水泵打回到冷却塔中。

1.4.3 中央机房

中央机房的制冷系统通常是整体式制冷机。制冷机使冷冻水温度降低,并在集中式空调系统中充当冷源,锅炉房包括锅炉及其附属设备,是供暖系统的热源。在锅炉中,水被加热成热水或蒸汽。

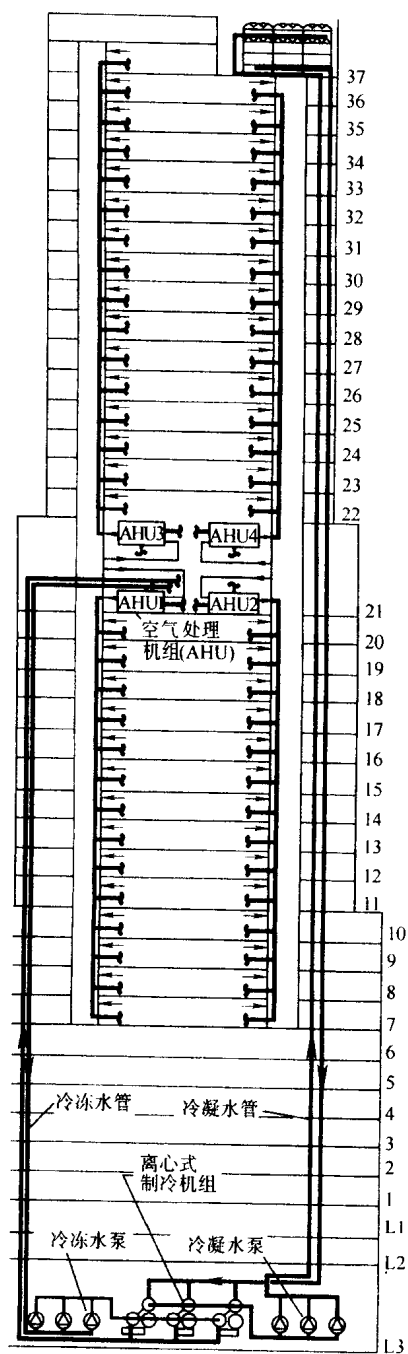


图 1-1 NBC 建筑中的集中式空调系统图

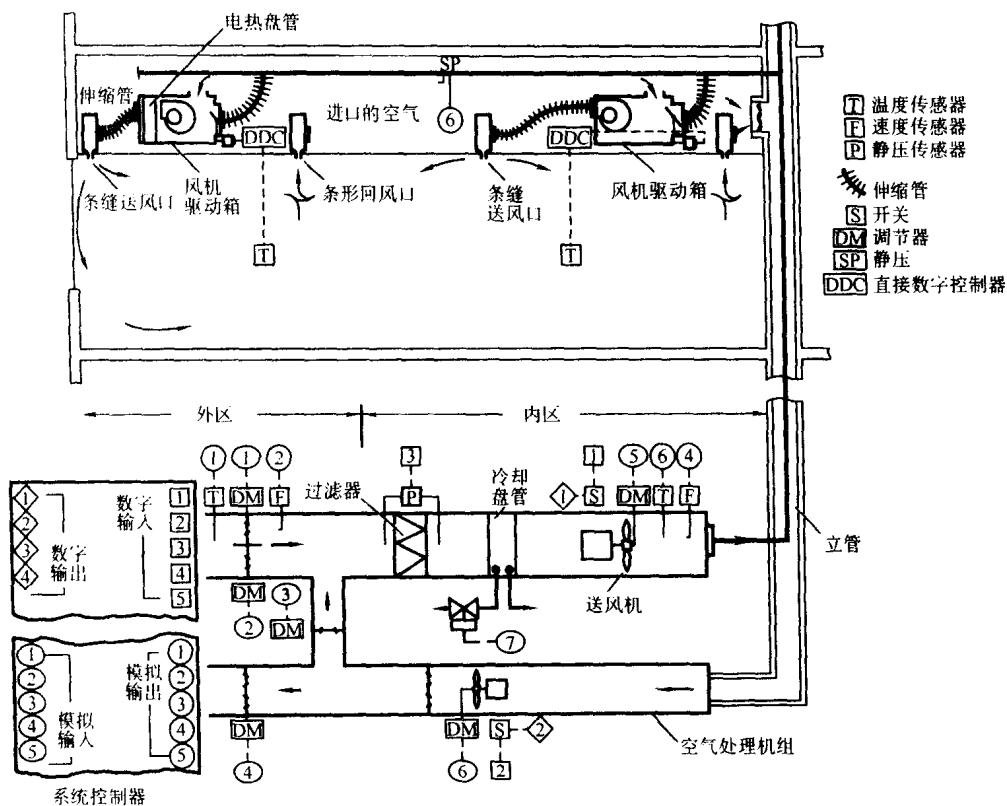


图 1-2 NBC 建筑中典型层的空气系统原理图

NBC 建筑中，在地下室装有 3 台三级离心式制冷机，三个冷却塔设在建筑物屋顶。当制冷剂蒸发时，冷冻水在蒸发器中冷却到 $58 \sim 42^{\circ}\text{F}$ ($14.4 \sim 5.6^{\circ}\text{C}$)。然后制冷剂在离心式压缩机中被压缩到冷凝压力，在冷凝器中被冷凝成液体，再经节流到蒸发器中准备蒸发。

NBC 建筑中的中央机房中没有锅炉，为了补偿建筑外区的热损失，由进入的热空气和风机驱动箱中的电热盘管来提供热能。

1.4.4 控制系统

现代空调的空气和水系统以及中央机房的控制系统包括电子传感器、可对数字和模拟输入信号等进行连续分析和计算的微处理器和控制模块，使用与微处理器兼容的数字信号的控制系统被称为直接数字控制（DDC）系统，控制模块的输出信号可以通过大型建筑物的气动调节器和小型工程的电动调节器调节风阀、阀门和继电器。

NBC 建筑中，HVAC&R 系统由基于微处理器的 DDC 系统进行监控，DDC 控制器调整空气处理机组和终

端设备,通过接口模块与中央运行站保持联系。如果发生了紧急情况,防火系统会检测到警报,中央运行站向业主发出紧急命令,使 HVAC&R 系统在烟气控制方式下运行,并开启水喷淋系统。

1.4.5 空气、水、制冷和供暖系统

空气、水、制冷、供暖和控制系统是空调系统或 HVAC&R 系统的子系统。空气系统经常被称为二级系统,供暖和制冷系统有时被称为一级系统。

集中式空调系统和空间空调系统都有空气、水、制冷、供暖和控制系统。空间空调系统中的水系统可以是一个冷冻水或热水系统,也可能是一个集中式水系统,制冷期间从冷凝器吸热或供暖期间向蒸发器提供热量。

整体式系统,主要包括空气、制冷和控制系统,供暖系统通常为空气系统中的一部分,有时一个独立的踢脚板热水供暖系统用于建筑外区。

蒸发-冷却式系统一般包括一个空气系统、一个水系统和一个控制系统。一个独立的供暖系统常用于冬季供暖。

在一个单独的房间空调系统中,空气和制冷系统与它们各自的控制系统装于室内或室外空间,供暖系统通常是房间空调器中送风室的一部分,它也可以是 PTAC 系统中一个集中热水供暖系统。

空调系统或 HVAC&R 系统是最先通过它们的子系统和主要部件来进行描述和分析的,例如空气、水、供暖、供冷/(制冷)和控制系统。空调系统的分类、系统的运行特征和系统的选择必须把整个系统考虑在内。

在空气、水和制冷系统中,空气系统调节空气,控制并维持所需的室内环境,它与业主和生产工艺有着直接的联系,这就是为什么空调系统的运行特征本质上是以空气系统为代表的原因。

1.5 系统使用的分类

根据 1995 年美国能源部/能源信息管理部门 (DOE/EIA) 所做的调查,1995 年商业建筑的总建筑面积为 5 877.2 万 ft^2 (546.2 万 m^2),1993 年家庭总数为 9 660 万 (其中 7 410 万家庭使用空调),建筑面积 (百万平方英尺) 及使用各种类型空调系统的家庭数量统计如下:

	百万 ft^2	建筑面积 百分数	百万 家庭数	家庭 百分率 (%)
单独房间系统	12 494	22	33.1	45
蒸发-冷却系统	2 451	4		
空间调节系统 (估计)		(8)		
整体式系统 (包括气源热泵和干燥式系统)	26 628	48	41.0	55
集中式空调系统 (包括蓄热和净化系统)	13 586	24		
其他	949	2		

大部分建筑面积可能被包含在一个或多个空调系统中,建筑面积有被重复计算的可能性,列于 DOE/EIA 出版物中的原始数据已被修改,8%的空间系统包括一部分集中式空调系统和一部分整体式空调系统。1993

年使用空调系统的美国家庭中，整体式系统是主要空调系统形式。

1.6 发展历程

空调系统的发展过程可简要概括如下：

1.6.1 集中式空调系统

作为使用风机和盘管的供暖系统的一部分，美国最初由麦肯金（Mckin）、梅德（Mead）和怀特（White）设计的最早的冰系统于1880年安装于纽约市的迈帝森广场花园，该系统由座位下的孔口输送空气。在19世纪90年代，纽约市一名首席顾问工程师阿子弗莱德·R·沃尔夫（Alfred R. Wolf）在卡呢吉大厅的供暖和通风系统的室外空气入口处使用冰。19世纪90年代的另一个集中式冰系统由纽约布番卢冶炼公司安装于芝加哥的Audionrium旅馆。早期的集中式供暖通风系统使用蒸汽机驱动的风机，室外空气和回风的混合空气排放到室内，在该室的上部空间，管道盘管用蒸汽来加热混合空气，在底部有一个带阀门的旁通管，用来按要求混合被调空气和旁通空气。

被誉为“空调之父”的开利（Willis H. Carrier）第一次系统地发展了空调。在1902年，开利发现了温度和湿度之间的关系，并知道如何去控制它们。在1904年，他发明了空气净化器，在一个室内安装几排喷淋管用于加湿和净化空气，通过控制送风的露点来实现温度和湿度的调节，此种控制方法现在仍然应用于许多工业领域，比如平版印刷厂和纺织厂。

第一个空调办公室可能是拉肯管理建筑，由瑞特（Frank L. Wright）于1906年设计完成，风管处理从屋顶吸入或排出的空气，瑞特特别设计了制冷机房，从这里可把10℃冷却水分配到空气处理系统的冷却空气的盘管中。

美国Capitol于1929年开始使用空调系统。夏天，调节后的空气从头顶上方送入，并维持75°F（23.9℃）的温度，40%的相对湿度；冬天，维持80°F（26.7℃）的温度，50%的相对湿度。送风量由压力调节器控制，防止空调区产生冷风抽风感。

第一座全空气空调办公建筑可能是圣安东尼奥州的米兰大楼，它于1928年由乔治·威里斯（George Willis）设计，该空调系统包括专用于低层的中央机房和用于高层的许多小型机组。

1937年，开利（Carrier）开发了用于多层建筑的管路诱导系统，再循环空气由高速排放气流通过加热式冷却盘管引入，该系统只能为居住者提供有限量的室外新鲜空气。

变风量系统（VAV）会随着负荷的减少，减少送风量，而不像定风量系统中那样改变送风温度，由于其能耗低，这些系统于20世纪50年代早期被引入，并在1973年的能源危机之后得到了广泛认可。随着空调技术不断地发展，VAV系统在美国今天的新高层办公建筑中得到广泛使用。

20世纪60年代后期，由于空间空调技术的迅猛发展，净化空调系统发展为安装有高效空气过滤器的复杂的系统。集中式空调系统将为高层建筑、大型商业综合建筑和精密制造领域提供一个控制更加准确、健康、安全的室内环境。

1.6.2 整体式系统

由弗雷基德（Frigidaire）开发的第一台房间冷却器安装于1928年或1929年，由开利（Carrier）工程公司开发的“柜式空调”于1931年5月首次安装，第一台整体式房间空调器于1930年由通用电气开发。这是一