



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

# 暖通空调节能运行

主 编 余晓平

提供电子课件

- 采用最新民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
- 注重暖通系统的完整性和各子系统实例的典型性



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

TU83-43  
09

· 013070913

个商署图

# 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

## 暖通空调节能运行

主 编 余晓平  
副主编 刘丽莹  
参 编 彭宣伟 孙钦荣 曾 莉



北航

C1680044

TU83-43

09



北京大學出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

018770813

## 内容简介

本书针对不同类型暖通空调系统的运行调节,结合当前建筑节能、暖通设计规范和运行管理标准,从工程系统角度分别对供暖、通风、空调、冷热源系统设备及其冷热水输配与自动化系统等方面进行了讲解,介绍了建筑运行过程中暖通空调节能调节的原理、方法和技术策略,并结合典型工程问题及案例进行了分析,还介绍了运行阶段节能调节的途径和节能管理的有关制度和措施。本书的主要内容有:绪论,供暖系统节能运行,通风系统节能运行,空调系统节能运行,冷、热源系统节能运行,空调水系统节能运行及调节阀,暖通空调系统自动化,暖通空调系统运行管理制度,以及相关习题和附录。书中内容的阐述体现了暖通空调系统理论性和运行调控实用性的恰当结合。

全书内容注重暖通系统的完整性和各子系统实例的典型性,既可以作为高等工科院校和高等职业教育院校建筑环境与能源应用工程专业,以及其他相关专业的教学用书或培训教材,也可供从事暖通空调工程设计、施工、管理、咨询和运行岗位的工程技术人员及相关行业主管部门工作人员作为参考资料阅读和使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

暖通空调节能运行/余晓平主编. —北京:北京大学出版社, 2013. 8

(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 978-7-301-23070-1

I. ①暖… II. ①余… III. ①房屋建筑设备—采暖设备—节能—高等学校—教材②房屋建筑设备—通风设备—节能—高等学校—教材③房屋建筑设备—空气调节设备—节能—高等学校—教材 IV. ①TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 198801 号

书 名: 暖通空调节能运行

著作责任者: 余晓平 主编

策划编辑: 吴 迪

责任编辑: 伍大维

标准书号: ISBN 978-7-301-23070-1/TU·0359

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: 三河市北燕印装有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 348 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 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

从社会发展看,在建筑节能领域,降低建筑使用过程中的能耗、合理高效利用能源已成为暖通空调工程应用创新与发展的重要内容,业界也日益重视暖通空调系统的运行管理,急需大量运行管理工程技术人才补充到建筑能源和设施运行管理岗位。而现有本科专业的课程设置及教材内容偏重于工程设计或设备安装造价等,对暖通系统调试和设备运行节能的知识讲授相对较少,还没有形成比较系统的暖通空调系统运行调节和系统节能管理的知识体系。本书就是针对暖通空调系统的运行管理阶段,重点在系统的运行调节与节能控制方面进行探讨,比如如何应用适宜的节能技术和方法优化系统运行,提高系统运行过程中的能源效率,降低系统的运行成本,进一步节约能源。

本书在系统介绍供暖、通风、空调、冷热源、输配系统及其自动控制系统等运行调节基本原理、基本方法或途径基础上,结合现行标准与规范的规定,介绍了系统节能运行的评价及常见问题的分析,同时收集了运行管理制度方面的实用资料,编排阐述简明易懂,实用性强。本书编者从事暖通空调教学和科研近20年,在本书编写过程中较好吸收了编者多年的教学和科研成果,希望能与大家共同探讨。

本书由重庆科技学院副教授余晓平博士担任主编,刘丽莹博士担任副主编。第1章、第4章、第5章、第6章、第8章由余晓平编写,第2章、第3章、附录和部分习题由刘丽莹编写,第7章和部分习题由彭宣伟编写,孙钦荣和曾莉为本书编写收集了大量素材,参编了部分习题。全书由余晓平统稿。在本书编写过程中,重庆科技学院建环专业的本科生梁可、陶生辉和薛林参与绘制了部分图片。本书在编写过程中参考了大量文献和部分网络资源,主要文献列于书后,但仍有部分参考资料难免遗漏,无法一一列出,在此对所有文献作者一并表示感谢。

由于编者水平所限,本书在内容取舍、章节安排和文字表达等方面可能还有许多不尽如人意之处,恳请读者批评指正,并提出宝贵建议。

编 者

2013年5月



# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 暖通空调系统概述 .....	2
1.1.1 暖通空调系统的任务与功能 .....	2
1.1.2 暖通空调系统的分类 .....	3
1.1.3 集中空调系统的组成实例 .....	4
1.2 暖通空调寿命周期管理与系统分析 .....	5
1.2.1 全寿命周期管理简介 .....	5
1.2.2 建筑工程全寿命周期分析方法 .....	6
1.2.3 暖通空调工程全寿命周期 .....	7
1.3 暖通空调节能运行技术发展 .....	7
1.3.1 变频调速与变流量技术 .....	7
1.3.2 蓄能空调技术 .....	8
1.3.3 暖通空调系统节能运行管理 .....	8
本章小结 .....	10
习题 .....	10
第 2 章 供暖系统节能运行 .....	11
2.1 供热调节分类及方法 .....	12
2.1.1 供热调节的分类 .....	12
2.1.2 供热运行调节的方法 .....	13
2.1.3 供热系统节能运行的主要问题 .....	16
2.2 供暖热源及热力站的节能运行 .....	17
2.2.1 各种供暖方式费用比较 .....	17
2.2.2 集中采暖热源的运行调节 .....	18
2.2.3 锅炉房的节能运行 .....	19
2.3 集中热水供暖系统的水力失调度与水力稳定性 .....	20

2.3.1 供暖系统的水力失调度 .....	20
2.3.2 供暖系统的水力稳定性 .....	21
2.3.3 管网水力工况变化计算 .....	22
2.4 供热计量系统及热量计量装置 .....	26
2.4.1 采用热分配表计量的系统形式 .....	26
2.4.2 散热设备运行节能 .....	28
2.4.3 热力入口运行节能 .....	28
2.4.4 热计量方法 .....	29
2.4.5 散热器温控阀 .....	30
2.4.6 热量计量装置的选型原则 .....	31
2.4.7 热量计量装置的安装和维护 .....	31
2.5 热水供暖系统的运行节能技术 .....	31
2.5.1 分时分区分温供暖技术 .....	32
2.5.2 管网水力平衡调节技术 .....	32
2.5.3 热计量及远传收费系统 .....	32
2.5.4 太阳能辅助加热及纳米材料技术 .....	33
2.5.5 气候补偿器 .....	33
2.5.6 二级泵变频技术 .....	34
2.5.7 集中供暖系统节能运行整体解决方案 .....	35
2.5.8 供暖系统运行中的排气与定压问题 .....	36
2.6 集中供暖系统节能运行的评价指标 .....	37
本章小结 .....	42
习题 .....	42
第 3 章 通风系统节能运行 .....	44
3.1 自然通风原理与应用 .....	45
3.1.1 风压通风 .....	46
3.1.2 热压通风 .....	47

3.1.3 建筑自然通风节能的配合措施 .....	48	4.2.1 室内热负荷变化, 湿负荷不变时的运行调节 .....	71
3.2 居住建筑的热舒适通风 .....	51	4.2.2 室内热负荷、湿负荷均有变化时的运行调节 .....	71
3.2.1 夏季间歇通风方式 .....	51	4.3 变风量空调系统的运行调节 .....	73
3.2.2 夜间的通风量 .....	53	4.3.1 使用节流型末端装置进行调节 .....	74
3.2.3 通风扇的安装与运行 .....	53	4.3.2 使用旁通型末端装置进行调节 .....	74
3.2.4 居住建筑通风与湿度控制 .....	54	4.3.3 使用诱导型末端装置进行调节 .....	75
3.3 通风系统调试 .....	55	4.3.4 使用变频变风量空调系统进行调节 .....	75
3.3.1 调试前的检查 .....	55	4.4 风机盘管空调系统的运行调节 .....	76
3.3.2 通风机启动 .....	55	4.4.1 风机盘管机组负担全部室内负荷的调节方法 .....	76
3.3.3 通风系统调试中常遇问题及解决办法 .....	56	4.4.2 风机盘管负担室内渐变负荷时的调节方法 .....	77
3.4 风机及通风系统风量的测定与调整 .....	57	4.5 空调建筑运行的室内温湿度标准 .....	77
3.4.1 正确使用测量仪器 .....	57	4.5.1 室温调控技术 .....	77
3.4.2 风机性能的测定 .....	57	4.5.2 室内空气设定参数对空调系统运行负荷的影响 .....	78
3.4.3 系统风量的测定和调整 .....	57	4.6 空调送风系统节能运行 .....	79
3.5 通风系统节能运行评价 .....	58	4.6.1 空调系统新风免费供冷技术 .....	79
3.5.1 通风机的节能评价 .....	58	4.6.2 利用排风的新风预热预冷技术 .....	80
3.5.2 空调送风系统的节能运行 .....	60	4.6.3 空调风系统风量调节技术——空调风阀 .....	81
本章小结 .....	62	4.6.4 低温送风空调系统 .....	84
习题 .....	62	本章小结 .....	87
<b>第4章 空调系统节能运行</b> .....	<b>65</b>	习题 .....	<b>87</b>
4.1 室外空气参数变化时的系统调节 .....	66	<b>第5章 冷、热源系统节能运行</b> .....	<b>91</b>
4.1.1 第Ⅰ工况区域的运行调节方法 .....	67	5.1 空调冷热源形式及其能效特性简介 .....	92
4.1.2 第Ⅱ工况区的运行调节方法 .....	68	5.2 冷、热源主机运行节能 .....	94
4.1.3 第Ⅱ'工况区的运行调节方法 .....	69	5.2.1 冷源主机变容量调节方式 .....	94
4.1.4 第Ⅲ工况区的运行调节方法 .....	69	5.2.2 空调制冷主机部分负荷性能要求 .....	95
4.1.5 第Ⅳ工况区的运行调节方法 .....	70		
4.2 室内负荷变化的空调系统运行调节 .....	71		

5.2.3	热交换器的运行控制	96	6.2.3	设备运行台数控制	127
5.2.4	冬、夏工况的转换	96	6.3	二次泵冷冻水系统运行调节	129
5.2.5	利用热泵同时供冷供热 技术	97	6.3.1	系统组成及特点	129
5.3	冷却水系统的节能运行	99	6.3.2	冷水机组台数控制	129
5.3.1	冷却水系统的运行控制	99	6.3.3	次级泵控制	130
5.3.2	冷却塔供冷技术	100	6.3.4	初级泵和冷水机组的台数 控制	131
5.4	水源热泵系统的节能运行	101	6.4	空调水系统的调节阀	132
5.4.1	概述	101	6.4.1	调节阀的分类	132
5.4.2	水环热泵系统的节能 运行	102	6.4.2	调节阀最大压差	133
5.4.3	水源热泵空调系统的 运行评价	104	6.4.3	阀门的流量特性	133
5.5	空调蓄能技术	107	6.4.4	调节阀流通能力	137
5.5.1	空调蓄冷技术概述	107	6.4.5	空调水系统调节阀 选择	137
5.5.2	全负荷蓄冷与部分负荷 蓄冷的概念	107	本章小结		142
5.5.3	冰蓄冷系统流程配置、 运行模式及控制策略	108	习题		142
5.5.4	利用消防水池作蓄冷水池的 水蓄冷空调	111	<b>第7章 暖通空调系统自动化</b>		145
5.6	热电冷联供系统的节能评价	113	7.1	空调自动控制系统概述	146
5.6.1	概述	113	7.1.1	空调自动控制系统的设置 原则	146
5.6.2	一次能耗率	114	7.1.2	空调系统自动控制主要 内容	147
5.6.3	汽轮机供热能耗	115	7.1.3	空调系统的特性	148
5.6.4	供热和供冷综合能耗 比较	116	7.2	风机盘管的运行控制	149
本章小结		117	7.2.1	风机转速控制	149
习题		117	7.2.2	室温控制	150
<b>第6章 空调水系统节能运行及 调节阀</b>		121	7.2.3	风机温控	151
6.1	空调水泵的变频控制	122	7.3	新风机组的运行控制	152
6.1.1	水泵变频控制原理	122	7.3.1	新风空调机组控制 内容	152
6.1.2	水泵变速控制方法及其 节能效果	123	7.3.2	新风机组运行控制 策略	154
6.1.3	控制方法的可行性对比	124	7.4	全空气调节系统的节能控制	157
6.2	一次泵变流量系统的运行 调节	125	7.4.1	一次回风机组的控制 内容	157
6.2.1	设备连锁	126	7.4.2	变新风比系统	160
6.2.2	压差控制	126	7.5	变风量系统的运行控制	163
			7.5.1	变风量系统控制内容	163
			7.5.2	VAV 末端温度控制	164

7.5.3 VAV 空调机组的风量控制	165	8.3.1 巡回检查制度	186
7.5.4 变风量空调机组的送风温度控制	166	8.3.2 维护保养制度	187
7.5.5 多个 VAV 末端的关联控制	167	8.3.3 检测与修理制度	188
7.5.6 VAV 空调机组的新风、回风门控制	168	8.3.4 运行与检修记录	189
7.5.7 VAV 空调系统的联动控制	168	8.3.5 运行值班制度	190
7.6 冷热源机房系统的运行控制	168	8.3.6 设备的操作规程	190
7.6.1 冷水机组群控概述	168	8.3.7 交接班制度	191
7.6.2 冷水机组监控内容	169	8.3.8 机房管理制度	191
7.6.3 空调热源热交换器的运行控制	170	8.3.9 经济节能运行制度	192
7.6.4 空调机房冷水系统运行控制	172	8.4 暖通空调系统运行能效的综合评价	192
7.6.5 冷却塔运行监控内容	174	8.5 公共建筑空调工程能效改造	197
7.7 某工厂暖通空调自动化控制系统案例	175	8.5.1 判定原则	197
本章小结	179	8.5.2 空调工程实施能效改造的判定程序	198
习题	180	8.5.3 既有空调工程能效评价判断模型	201
<b>第 8 章 暖通空调运行管理制度</b>	<b>181</b>	8.6 空调系统节能改造案例	202
8.1 暖通空调系统运行管理概述	182	本章小结	204
8.2 运行人员的管理制度	183	习题	204
8.2.1 各级各类人员的岗位职责	183	<b>附录</b>	<b>206</b>
8.2.2 业务学习与培训制度	185	附录一 清水离心泵能效限定值及节能评价值(GB 19762—2005)(摘要)	206
8.3 暖通空调设备的运行管理制度	185	附录二 暖通空调系统运行调节及能耗记录表	211
		附录三 空调工程系统调试方案报告(参考模板)	222
		<b>参考文献</b>	<b>229</b>

# 第1章 绪论

## 教学目标

在概述暖通空调系统的分类、组成及原理的基础上，结合工程寿命周期理论，主要讲述暖通空调系统寿命周期概念和分析方法，简要介绍暖通空调系统节能运行技术的发展。通过本章的学习，达到以下目标：

- (1) 了解暖通空调系统分类、组成及特点；
- (2) 掌握暖通空调工程的寿命周期概念；
- (3) 了解当前暖通空调系统节能运行的一般技术。

## 教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
暖通空调系统	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 了解暖通空调系统分类及组成</li> <li>(2) 掌握暖通空调系统工作原理</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 暖通空调系统的组成及类型</li> <li>(2) 暖通空调系统的工作原理</li> </ol>
寿命周期分析	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 了解全寿命周期概念及分析方法</li> <li>(2) 掌握暖通空调工程寿命周期阶段的划分方法</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 全寿命周期概念</li> <li>(2) 全寿命周期分析方法</li> <li>(3) 暖通空调工程的寿命周期划分</li> </ol>
系统节能运行	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 了解暖通空调变流量运行技术</li> <li>(2) 了解蓄能空调技术</li> <li>(3) 了解节能运行管理技术</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 变流量调节</li> <li>(2) 蓄能空调</li> <li>(3) 运行管理</li> </ol>



## 基本概念

供暖、通风、空气调节，寿命周期评价，系统节能，变流量，蓄能空调，运行管理



## 引例

目前，随着经济的快速发展，我国的能源短缺甚至难以支撑经济发展速度，天然气和燃煤在冬季凸显短缺，电力在冬夏两季都比较紧张，一些地区出现拉闸断电和限电现象。建筑用能已超过全国能源消耗总量的1/4，并随着人们生活水平的提高逐步增加到1/3以上。其中，空调供暖的能耗占建筑物总能耗的比例也越来越高，在公共建筑的全年能耗中，特别是大型商场、高档旅馆酒店和写字楼等，空调制冷与供暖能耗大约占50%~60%，而且每年新增空调机组装机容量与新增发电机组装机容量基本持平。因此，暖通空调系统的节能工作日益受到重视，促使人们不断加大力度采取措施以降低供暖空调的运行能耗。



与发达国家相比,我国暖通空调系统的运行管理水平差距很大,总体水平较低。加强系统节能运行管理,不仅需要技术上的革新。还需要建筑能源管理意识上的革新。可以通过引入市场化管理机制,提倡能源服务与能源审计的发展方向。例如,2003年对于政府机构的能耗调查表明,相比自行管理方式的能耗,推行物业委托管理的节能效果达到31.2%,表明引进社会上的专业机构进行管理,节能效果比较明显。

建筑能源服务公司需要一批专业化的技术队伍,具备暖通空调系统的运行调试基本知识理论和实践方法,在运行管理过程中涉及建筑设计、施工、设备材料和调试等相关专业的岗位能力。本书主要针对暖通空调系统的节能运行进行介绍。

## 1.1 暖通空调系统概述

暖通空调的主要功能包括:供暖、通风和空气调节这3个方面(Heating, Ventilating and Air Conditioning, HVAC),取这3个功能的综合简称,即为暖通空调。暖通空调系统的任务就是要向室内提供冷量或热量,并稀释室内的污染物,以保证室内具有适宜的热舒适条件和良好的空气品质。

由于控制对象与功能不同,暖通空调系统分为以下几种。

(1) 采暖(Heating): 又称供暖,是指向建筑物供给热量,保持室内一定温度。如火炕、火炉、火墙、火地等采暖方式及今天的采暖设备与系统。

(2) 通风(Ventilating): 用自然或机械的方法向某一房间或空间送入室外空气,从某一房间或空间排出空气的过程,送入的空气可以是经过处理的,也可以是不经处理的。简而言之,通风是利用室外空气(称新鲜空气或新风)来置换建筑物内的空气(简称室内空气),以改善室内空气品质。

(3) 空气调节(Air Conditioning): 指对某一房间或空间内的温度、湿度、洁净度和空气流动速度等进行调节与控制,并提供足够量的新鲜空气,空气调节简称空调。

### 1.1.1 暖通空调系统的任务与功能

图1.1表示了民用建筑与工业建筑室内环境进行控制的基本方法。在民用建筑中,如图1.1(a)中的人员、照明灯具、电器和电子设备都要向室内散出热量及湿量。人群不仅是室内的“热、湿源”,又是“污染源”,他们产生 $\text{CO}_2$ 、体味,吸烟时散发烟雾;室内的家具、装修材料、设备等也散发出各种污染物,如甲醛、甲苯,甚至放射性物质,从而导致室内空气品质恶化。夏季由于太阳辐射和室内外的温差而使房间获得热量,如果不把这些室内多余热量和湿量从室内移出,必然导致室内温度和湿度升高。冬季,建筑物将向室外传出热量或渗入冷风,如不向房间补充热量,必然导致室内温度下降。在工业建筑中,许多工艺设备散出对人体有害的气体、蒸汽、固体颗粒等污染物,为保证工作人员的身体健康,必须对这些污染物进行治理。

图1.1中室内环境控制方案如下:①设置新风系统、风机盘管系统,室内空气通过门窗缝隙渗到室外,从而稀释了污染物。用风机盘管机组(由风机和水/空气换热器—盘管组成)向房间供应冷量(当室内有冷负荷时)或供应热量(当冬季室内有热负荷时)。送入室内

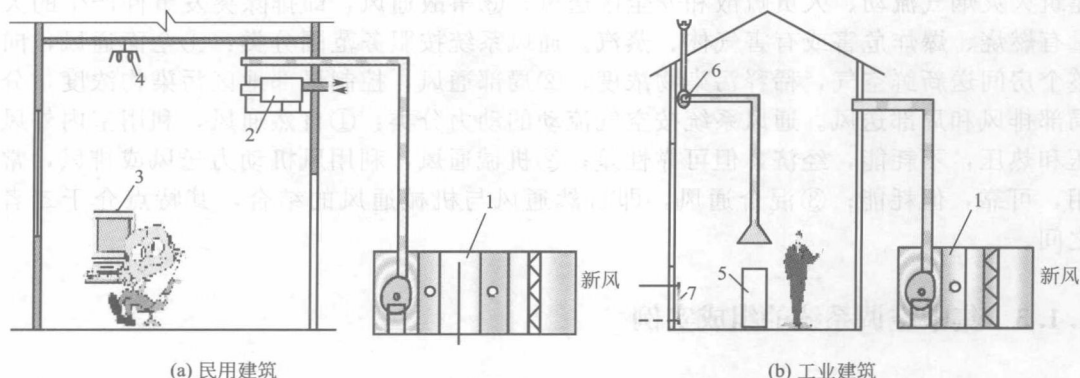


图 1.1 民用建筑和工业建筑的采暖通风和空调系统

- 1—新风的空气处理机组；2—风机盘管机组；3—电器和电子设备；  
4—照明灯具；5—工艺设备；6—排风风机及排风系统；7—散热器

的新风先经空气过滤器除去尘粒，再经冷却、去湿(夏季)或加热、加湿(冬季)处理；②设置排除污染物的排风系统、新风系统，新风可以从门、窗渗入，也可以从新风系统送入，从而使厂房内的污染物浓度达到标准或规范所允许的浓度。在寒冷地区，冬季对新风进行加热，并且在车间内设采暖系统，以保持厂房内一定的温度。车间内采暖系统和新风加热的热媒可以是热水或蒸汽。

### 1.1.2 暖通空调系统的分类

按对建筑环境控制功能分两类：①控制热湿环境，有空调、采暖系统；②控制污染物，有通风、建筑防排烟系统。控制对象和功能互有交叉，空调也可稀释污染物，通风也可除去余热、余湿。

按承担室内热负荷、冷负荷、湿负荷的介质种类分：①全水系统——全部用水承担冷热负荷；②蒸汽系统——蒸汽供热量，如蒸汽采暖、暖风机、加热加湿空气、加热热水；③全空气系统——空气向室内提供冷热量；④空气-水系统——共同负担室内负荷，如风机盘管加新风系统；⑤冷剂系统，即机组式系统——用制冷剂与室内空气换热进行加热、冷却、减湿，如空调器、多联机系统。

按冷热处理设备的集中程度分 3 类：①集中式系统——空气集中处理，设空调机房，房间内只有空气分配装置，如全空气系统，其特点是控制管理方便，但机房占地面积大；②半集中式系统——空气处理设备布置在房间和机房，如全水、空气-水、水环热泵、变制冷剂流量系统，其特点是机房占地少，但维修不方便，噪声影响大等；③分散式系统——热湿处理设备全部分散在各房间，如空调器、电暖器，其特点是不用机房、风道，但维修管理工作量大，能效低，噪声影响大。

空调系统按用途分两类：①舒适性空调，主要以人为对象，对温湿度控制精度要求不高；②工艺性空调，主要以工艺过程为服务对象，不同工艺要求差别大。

以建筑内污染物为主要控制对象，即通风系统。通风系统按用途分类：①工业与民用建筑通风，即控制工业生产过程及人员活动产生的污染物；②建筑防排烟，即控制

建筑火灾烟气流动、人员疏散和安全区送风；③事故通风，即排除突发事件产生的大量有燃烧、爆炸危害或有害气体、蒸汽。通风系统按服务范围分类：①全面通风，向整个房间送新鲜空气，稀释污染物浓度；②局部通风，控制局部地区污染物浓度，分局部排风和局部送风。通风系统按空气流动的动力分类：①自然通风，利用室内外风压和热压，不耗能，经济，但可靠性差；②机械通风，利用风机动力送风或排风，常用，可靠，但耗能；③混合通风，即自然通风与机械通风的结合，其特点介于二者之间。

### 1.1.3 集中空调系统的组成实例

一般地，广义的集中空调系统，包括冷热源系统、输配系统和末端设备系统三部分；狭义的空调系统指冷热媒输配系统和末端设备系统两个部分。如图 1.2 所示，集中空调系统主要由冷热源机房、输配管网、空调机房、被控房间及室外环境等组成。

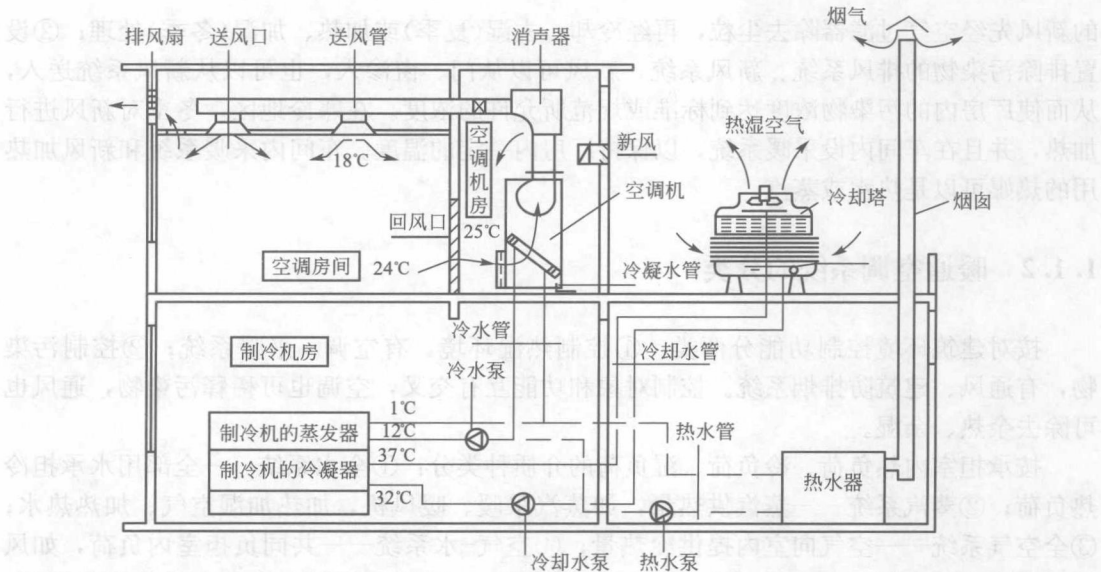


图 1.2 集中空调系统组成示意图

从系统组成看，冷热源机房包括水冷式冷水主机及冷却水循环系统、热水器及附属系统；输配系统包括空调冷热水循环系统、空调送风系统、排风系统和锅炉房排烟系统；末端设备包括空调机房的空气处理机组、房间送风口、回风口及排风口等。从关键设备看，空调冷源和热源主机是能量转换设备，空调机组和冷却塔是热质交换设备，冷却水泵、冷冻水泵、热水泵和风机等是流体输送动力设备。

供暖空调系统工作原理如图 1.3 所示。空调系统采用的是水冷式冷水机组集中制备空调冷水，通过冷水泵输配到空调末端设备，空调末端设备按空调分区设置，与空气换热后承担室内空调负荷。供暖系统包括锅炉及换热器等一、二次热源，一次泵供热水到建筑高低分区的水箱，再通过二次循环泵供热水到热用户末端散热设备。此外，冷源主机冷凝器的凝结热可以采用余热回收设备制备热水，供生活热水用户。

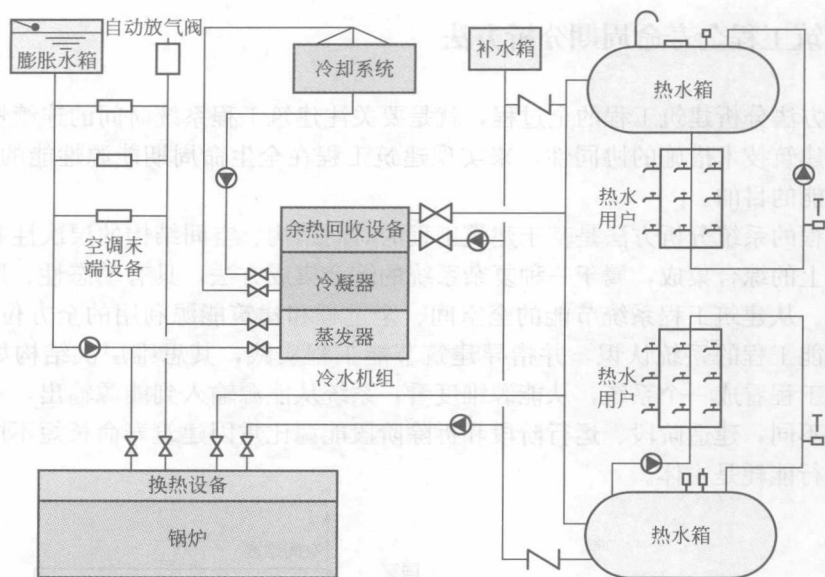


图 1.3 集中供暖空调系统原理图

暖通空调系统形式多样，根据建筑功能及分区要求，系统设备及管路布置各有不同，但其基本组成都包括了室内外环境、冷热源、输配系统、末端设备及必要的控制和调节装置等。对暖通空调系统组成及特点的认识，要结合具体的建筑环境进行分析和比较。

## 1.2 暖通空调寿命周期管理与系统分析

### 1.2.1 全寿命周期管理简介

全寿命周期管理(Life Cycle Cost, LCC)，早在 20 世纪 60 年代出现在美国军界，主要用于军队航母、激光制导导弹、先进战斗机等高科技武器的管理上。全寿命周期管理内容包括对资产、时间、费用、质量、人力资源、沟通、风险、采购的集成管理。通过组织集成将知识、信息集成，将未来运营期的信息向前集成，管理的周期由原来以项目期为主，转变为现在以运营期为主的全寿命模式，能更全面地考虑项目所面临的机遇和挑战，有利于提高项目价值。

全寿命周期管理具有宏观预测与全面控制两大特征，它考虑了从规划设计到报废的整个寿命周期，避免了短期成本行为，并从制度上保证了 LCC 方法的应用；打破了部门界限，将规划、建设、运行等不同阶段的成本统筹考虑，以企业总体效益为出发点寻求最佳方案；考虑了所有会发生费用，在合适的可用率和全部费用之间寻求平衡，找出 LCC 最小的方案。



### 1.2.2 建筑工程全寿命周期分析方法

用系统方法分析建筑工程的全过程，就是要关注建筑工程系统时间的连续性，充分考虑不同阶段建筑技术措施的协同性，来实现建筑工程在全生命周期能源性能的总体优化，达到建筑节能的目的。

建筑工程的系统分析方法是基于建筑工程的时间结构、空间结构的层次性和能源环境的影响基础上的综合集成，属于一种复杂系统的综合集成方法，具有动态性、层次性和集成性的特征。从建筑工程系统节能的全空间、全过程和建筑能源利用的全方位 3 个维度，构建建筑节能工程的系统认识，并指导建筑节能工程实践，其思维层次结构如图 1.4 所示。把建筑工程看成一个系统，从能源维度看，系统从能源输入到能源输出，不同阶段能源利用特性不同，建造阶段、运行阶段和拆除阶段能源比重因建筑寿命长短不同而异。一般而言，运行能耗是主体。

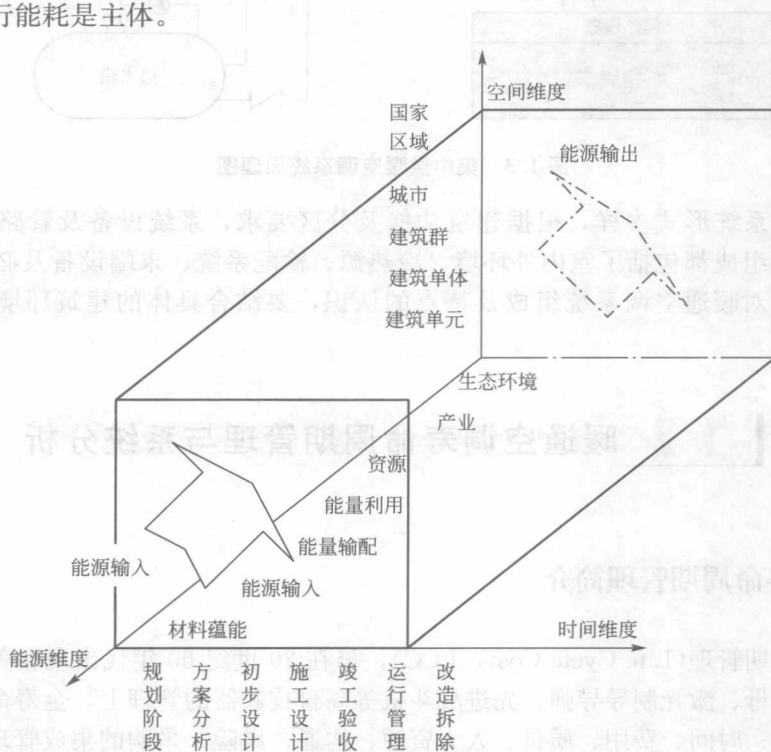


图 1.4 建筑工程系统节能的思维模型

从时间维度看，从规划设计到改造拆除可分为 7 个阶段，其中建筑环境营造和设备节能运行是建筑系统节能的主体，在时间和空间上交叉作用，能量流动和利用关系错综复杂，要求对建筑室内环境调控的认识和实践必须采用综合的分析方法。从空间维度看，建筑单体是建筑工程系统节能的载体。对单体建筑而言，在整个建筑能源工程的系统优化中，对于外围护结构的优化应优先于空调或采暖系统的优化，这样可以用最低的成本达到最优的结果。将建筑节能与暖通空调工程作为一个整体分析，就要发挥出整体大于部分之和的功效，充分认识建筑系统内部各要素之间的相关性，考虑建筑系统各个



要素对能耗的相互影响。比如,增大窗的面积就会减少墙的面积,这样就会对供暖、空调、通风及照明能耗等都产生影响。

### 1.2.3 暖通空调工程全寿命周期

暖通空调工程全寿命周期是指从项目构思开始到设备系统报废(或项目结束)的全过程。在全寿命周期中,暖通工程项目经历前期规划设计、安装调试、运行管理、改造更新及报废处置5个阶段。这些不同阶段构成了系统全寿命周期过程,具有时间发展的单向性,前期的发展状况对后期相连或不直接相连的过程都有影响,如图1.5所示。这就要求暖通工程要从源头重视,在规划设计阶段要求暖通工程师与规划师、建筑师配合,并具有大系统的工程观念,为建成建筑室内环境营造创造良好的先天环境。

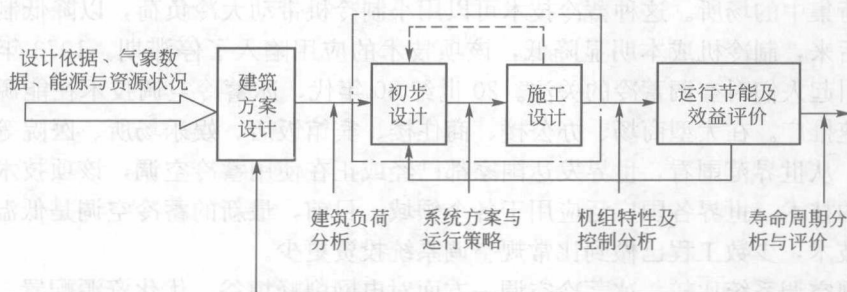


图 1.5 新建项目暖通空调系统设计的一般流程

暖通空调工程的寿命周期评价就是将具体项目置于全生命周期的环境下,系统考虑建筑工程全过程价值分享的多主体性和工程本身的多目标性,从全寿命周期的角度实现建筑暖通空调技术实施的总体优化,将规划设计、建设、使用等视作一个连续的整体,尤其要重视占寿命周期主体的建筑运行阶段暖通空调系统的节能运行技术。

## 1.3 暖通空调节能运行技术发展

### 1.3.1 变频调速与变流量技术

提高暖通空调系统运行的全年或季年性能效率,越来越受到人们的重视。暖通系统一方面朝小型化方向发展,另一方面变水量(VWV)、变风量(VAV)和变制冷剂流量(VRV)系统的研究与应用,也大大促进了暖通空调技术的发展。与设备调速技术相结合的变流量技术,可以大大提高空调系统与设备的能源利用率。流体输配系统中泵与风机的变频调节技术是工程中普遍采用的一项节能措施。

集中空调系统中水泵风机用电量占系统总用电量30%~40%,但设计满负荷运行时间约占总运行时间的6%~8%,甚至更低。由于水泵实际工作点往往不能处于效率最高点,即使流量减小了,实际用电量也减少不多,水泵的能耗很大,约占空调系统总能耗量的

15%~20%。如采用流量较小的泵并联运行,台数调节,保证单台设备在高效区运行,这样也能实现变流量运行,节能效果较好。同样,如果送风面积大或房间多,设计时可变风量系统分为两个或数个系统,以使控制更灵活,调节更方便,而采用变频调速装置调节流量可收到良好的节能效果。

### 1.3.2 蓄能空调技术

蓄能空调技术就是利用夜间电网低谷时的电力来制冷或制热,把冷量或热能储存起来,在白天电力高峰用电紧张时释放冷量或热能,满足建筑物空调冷源或热水需要。空调蓄能以蓄冷为主,通常包括水蓄冷和冰蓄冷两种方式。

水蓄冷空调大约出现在1930年,最初用于影剧院、教堂、乳品加工厂等短时间使用降温、负荷集中的场所。这种蓄冷技术可以用小制冷机带动大冷负荷,以降低制冷系统的初投资。后来,制冷机成本明显降低,该项技术的应用陷入了停滞期。1973年的能源危机,再次引起人们对空调蓄冷的关注。20世纪80年代,冰蓄冷空调技术在能源紧缺的发达国家迅速推广。在大型商场、办公楼、商住楼、宾馆饭店、娱乐场所、医院等场所应用效果显著。从世界范围看,世界发达国家都已经或正在使用蓄冷空调,该项技术在世界上属于成熟的技术,世界各国广泛应用于各个领域。目前,最新的蓄冷空调是低温、大温差供冷送风技术,少数工程已做到比常规空调系统投资更少。

与常规空调系统比较,冰蓄冷空调一方面对电网削峰填谷,优化资源配置,减少电力电站投资,对保护生态环境有良好的社会效益。另一方面,对采用冰蓄冷空调的业主而言,还有以下优点:减免电力增容费用;减少制冷主机的装机容量;减少相应的配电设备投资;节省大量的运行费用;停电时还可以作为应急冷源继续供冷。商业用电一般集中在9:00~23:00。若按高峰用电负荷建设发电设备与供电电网,那么在低谷时段,相当一部分发电设备与输电设备不能充分发挥作用,折算到每千瓦时的平均供电成本也要上升。如果按平均用电负荷建设发电厂输配电网,那么在高峰时段,用电负荷就会超过供电能力,必须采取拉闸停电,强制削减用电负荷。而采用了蓄冷空调之后,高峰时段制冷机不制冷或少制冷,即可平衡用电负荷,保证供电。如果单纯为了满足高峰用电负荷需要,就必须兴建更多的新电厂。在空调的社会普及率相当高后,如果采用蓄冷空调技术,就可有效地把空调用电的约40%的负荷转移到低谷时段,进而就可少建或缓建新电厂,从而提高了现有发电设备与输配电网的利用率与效率,改善了电力建设的投资效益。

### 1.3.3 暖通空调系统节能运行管理

#### 1. 空调系统经济运行和管理制度

主要包括以下几个方面。

- (1) 定期检查和改善围护结构、设备、水和空气输送系统的保温性能。
- (2) 在满足生产工艺和舒适性的条件下,合理降低建筑物空调的温、湿度标准,适当增大送回风温差和供回水温差。
- (3) 在保证最小新风量的前提下,合理控制和正确利用室外新风量。

- (4) 定期检查和维修水、空气输送系统,减少系统的泄漏。
- (5) 定期维修、校核自动控制装置及监测计量仪表。
- (6) 加强对空调水系统的水质管理。
- (7) 建立系统运行管理、维护、检修等规章制度。
- (8) 建立系统运行日志和设备的技术档案。
- (9) 管理和操作人员要经过培训,考核合格后才能上岗。
- (10) 主管部门定期派专人检查有关规章制度的执行情况。

## 2. 控制合理的运行参数

### 1) 室内温、湿度控制

从节能角度出发来确定室内温、湿度标准是暖通运行节能的重要因素。在保证生产工艺与人体健康的条件下,夏季室温每提高 $1^{\circ}\text{C}$ ,约可减少冷负荷 $11.2\%$ 。在夏季如将室内空气湿度由 $60\%$ 提高到 $70\%$ ,则可节约能量 $17\%$ 左右。据资料测算,仅将夏季室温提高 $1^{\circ}\text{C}$ ,就可使空调工程投资总额降低约 $6\%$ ,运行费用减小 $8\%$ 左右。美国国家标准局认为将夏季室温从 $24^{\circ}\text{C}$ 提高 $26.7^{\circ}\text{C}$ ,可节能 $15\%$ 。

### 2) 合理控制新风标准

新风负荷一般占空调总负荷的 $20\%\sim 40\%$ ,对新风标准值高低的取舍与节能关系重大。引进新风主要是为了满足人员的卫生需求及部分工艺空调所需维持的室内外压差,而新风量的多少直接影响空调系统负荷,进而影响空调系统的风机、冷水泵、压缩机、冷却水泵、冷却塔风扇的耗电。大型酒店、宾馆的公共场所,商场、餐厅、多功能厅及大型会议厅等,需要送入的新风量较大,应以室内空气中二氧化碳含量来控制新风量。在整个系统的实际运行中室外空气温、湿度随季节而变化,新风负荷也随之变化。因此,及时调整好新风与回风的比例就可以实现运行节能。例如,日本某商场在周一到周五将新风减少 $50\%$ ,总冷负荷就减少了 $30\%$ 。

### 3) 控制冷冻水的供、回水温差

一般空调水系统的输配用电,在夏季供冷期间约占整个建筑动力用电的 $12\%\sim 24\%$ 。目前设计中供回水温差一般均取 $5^{\circ}\text{C}$ ,实际运行中大流量、小温差现象普遍存在,夏季冷冻水系统供回水温差较好的为 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ ,较差的只有 $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ ,造成实际水流量比需要的水量大,使水系统电耗大大增加。

### 4) 冷却水系统节能运行调节

冷却水入口温度应在符合冷水主机特性及室外气温、湿球温度的限制下尽可能地降低,以节约冷水主机的耗电。实测表明,冷却水入口温度每降低 $1^{\circ}\text{C}$ ,可节电 $1.5\%\sim 2.0\%$ 。在较低的冷却水温时冷水主机耗电降低,但冷却水塔耗电升高,两者耗电之和存在一个最佳运转效率点。要达到最优化控制,冷却水设定温度应随室外气温、湿球温度而变。减少冷却水循环量,可以降低冷却水泵耗电量。冷却水塔应与冷水主机的运转一起考虑,才能使系统整体效率提高。若能配合冷水主机与冷却水塔选择较大温差的设计,水流量即可降低,从而减少冷却水泵的初装费用和运转费用。在大多数的设计中,一台冷水主机搭配一台冷却水塔,且水塔启停与冷水主机联动。由于大、中系统冷水主机台数偏多,使得冷却水塔台数也多,不易管理及维护,且无法随着空调负荷及室外气温条件变动而调整水塔风机耗电量。风机的数量可随处理水量的增大而增加。当水处理量大于 $300\text{m}^3/\text{h}$ 以