

Design of Energy Efficiency and Automatic Control  
System for Central Air Conditioning

# 中央空调节能 及自控系统设计

赵文成 编著



中国建筑工业出版社

# 中央空调节能及自控系统设计

赵文成 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

中央空调节能及自控系统设计 / 赵文成编著. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2018.8  
ISBN 978-7-112-22100-4

I. ①中… II. ①赵… III. ①集中空气调节系统 - 节能设计②集中空气调节系统 - 自动控制系统 - 系统设计 IV. ①TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 077513 号

本书配套资源免费下载流程:

中国建筑工业出版社官网 [www.cabp.com.cn](http://www.cabp.com.cn) →输入书名或征订号查询→点  
选择图书→点击配套资源即可下载。

重要提示: 下载配套资源需注册网站用户并登录。

责任编辑: 张文胜  
责任设计: 李志立  
责任校对: 刘梦然

## 中央空调节能及自控系统设计

赵文成 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)  
各地新华书店、建筑书店经销  
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版  
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 33 字数: 819 千字  
2018年8月第一版 2018年8月第一次印刷

定价: 88.00 元 (附网络下载)

ISBN 978-7-112-22100-4

(31987)

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)

# 前 言

这是一本关于中央空调系统节能设计及其自动控制设计的书，希望对您有所帮助。

目前我国建筑用能约占能源消费总量的 27.5%，随着人们生活水平的提高，根据发达国家的经验，这一比例将逐步增加到 30% 以上。在公共建筑的全年能耗中，供暖空调系统的能耗占 40% ~ 50%。

图 1 和图 2 为北京某大型医院的能耗分析图，2013 年该医院能耗中，用电耗能占总能耗费用的 86%；用水能耗占总能耗费用的 4%；热能消耗占总能耗费用的 10%；2013 年全年用电中，空调系统耗电量占总用电量的 49%。也就是说一所医院，近一半的电力都用来营造一个就医环境，而不是用来医治病患，这样的结果值得我们深思，这是必须的吗？我们将如何改变？由此我们可知，作为能耗大户，空调系统的节能任重道远。

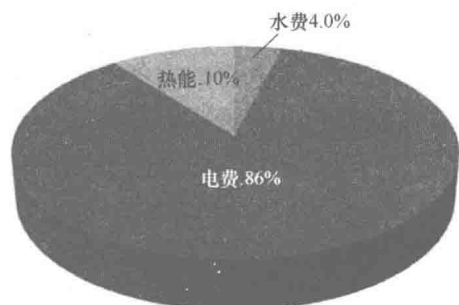


图 1 某医院能耗费用结构图

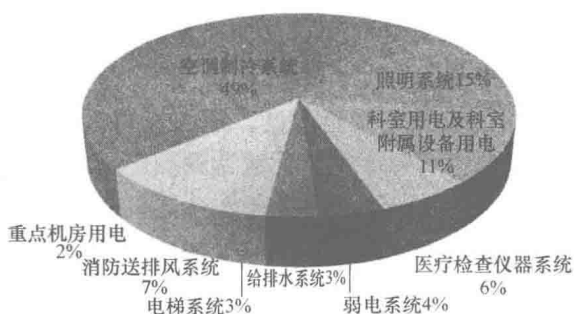


图 2 某医院各系统用电百分比结构图

国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189—2015 第 1.0.3 条规定“公共建筑节能设计应根据当地的气候条件，在保证室内环境参数条件下，改善围护结构保温隔热性能，提高建筑设备及系统的能源利用效率，利用可再生能源，降低建筑暖通空调、给排水及电气系统的能耗。”该标准第 4 章按一般规定、冷热与热源、输配系统、末端系统、监测、控制与计量给出了供暖通风与空气调节的具体要求，是工程设计人员必须遵守的。为了确保节能措施的落地实施，该标准第 1.0.5 条又规定“施工图设计文件中应说明该工程项目采取的节能措施，并宜说明其使用要求”。

我国气候跨度范围较大，共划分了严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区 5 个气候分区，每个气候分区内又划分了多个气候子区。为此，许多省市又根据当地气候特点制定了相应的地方标准。

在执行《公共建筑节能设计标准》GB 50189 的同时，住房和城乡建设部发布了国家标准《绿色建筑评价标准》GB/T 50387—2014。所谓绿色建筑就是：在全寿命期内，最大限度地节约资源（节能、节地、节水、节材）、保护环境、减少污染，为人们提供健康、适用和高效的使用空间，与自然和谐共生的建筑。该标准第 5 章对暖通空调系统提出了高于《公共建筑节能设计标准》GB 50189 的节能要求。目前，在工程设计过程中，各个地方政府对于公共建筑都提出了要达到 1 星或 2 星的要求。

在国家节能政策的鼓励下，暖通空调的节能技术不断涌现。既有建筑的节能改造、合同能源管理等项目，更是推动了节能技术的应用。本书通过对近几年工程设计中运用的节能技术进行总结，以便能够更好地进行广泛的推广应用，使更多的设计师和工程项目受益。

由于工程师多数都是离开学校多年，对一些基础知识如：焓、熵、对数温差等已经生疏，为了加强对节能理论的理解，本书对这些基本的理论知识进行了复习，再通过实际的工程设计案例而不是抽象的节能规范条文进行阐述，使内容更容易理解。

《建筑工程设计文件编制深度规定》中要求，暖通专业施工图“空调、制冷系统有自动监控时，宜绘制控制原理图，图中以图例绘出设备、传感器及执行器的位置；说明控制要求和必要的控制参数”。如何绘制和如何提出控制要求，便是本书要解决的问题之一。

笔者在工程设计工作中发现，空调系统的自动控制往往是暖通空调设计师的短板，在审核一些工程的暖通空调设计时发现很多设计师对空调自动控制的描述似是而非。希望本书的内容，可以对暖通空调工程师在自控应用方面有所帮助，同时也为自控工程师了解暖通空调的节能设计有所帮助。

笔者认为“空调”这两个字有两个含义，“空”是指空气处理，是对空气进行过滤、加热、冷却、加湿、除湿，而“调”是指对空气的参数进行控制。由于影响空气参数的扰量（如：室外空气温湿度、室内设备人员发热量）是不断变化的，因此，对于中央空调系统控制，通过手动是无法达到预定的精度的，对于有节能要求的系统，必须通过自动控制系统才能使冷热量的供给与冷热量需求保持一致。由此，中央空调系统节能设计和自控设计是密不可分的。如果一个空调系统没有自控设计，这个空调系统，只能说仅完成了一半，即：只完成了空气处理。另一方面，如果暖通工程师不参与控制系统的设计，而完全交给自控工程师，谁能保证这样的控制正是你所需要的呢？

因此，在空调系统控制设计过程中，不同专业的工程师从专业知识结构上还需进一步学习掌握各专业交叉的内容，暖通空调工程师需要学习电机配电、控制系统和通信网络方面的知识，弱电工程师需要学习空调系统节能设计、运行的知识。在设计过程中，暖通空调专业需要提给自控专业工艺流程图与测量控制要求，现场仪表安装处的工作参数和工艺条件，如管径、工作温度、湿度、压力、流量等，工艺系统所带的控制设备，如电动阀门的技术资料、设备的平面位置等，由自控工程师来完成自控系统设计。只有这样才能保证空调自控系统在设计上不脱节，使空调与自控能够有机地结合成一体。

在本书中，把空调系统的节能设计与自控设计放到一起来讨论，这是因为空调系统的节能是与自控系统密不可分的。没有自控的空调系统肯定是不节能的，但是有自控的空调系统也不一定节能。必须是节能的空调系统加上节能的控制逻辑才能实现真正的节能运行。

空调节能涉及的另外一个技术领域是电机及其拖动，在设计院的专业分工上这一部分既不属于暖通空调专业，也不属于电气专业和自控专业，属于“三不管”的专业，但与三个专业都有密切的关系，本书第 14.1 节中专门讨论了空调系统所用到的电机节能技术。电机及其控制实际上是暖通空调专业基础课程电工学中的内容，只不过在后来的工作分工中很少涉及，这使得设计院的暖通空调工程师对此部分完全“不认识了”，到了工程现场完全不知所措。希望本书中的章节和图片对这些同行有所帮助。

本书可供从事暖通空调专业的设计师、楼宇控制专业的设计师及相关专业的施工技术人员和系统运营管理人员参考。

本书在出版过程中得到了中国中元国际工程公司科技信息部的大力支持，在此表示感谢！本书在编写的过程中，电气专业的同事高磊和时珊珊对本书的第14章和第15章进行精心审校，并提出了宝贵建议，在此表示感谢！

许多空调设备生产企业的朋友为本书的编写提供了不少技术资料，在此一并表示感谢！

他们是：

1. 开利公司：王亚力；
2. 特灵公司：张宇、张伟；
3. 麦克维尔公司：陈琳琳；
4. 杭州源牌科技股份有限公司：张劲松；
5. 上海翱途流体科技有限公司：陈雷昕、刘光裕；
6. 爱芯环保科技（厦门）股份有限公司：钟喜生；
7. 倚世节能科技（上海）有限公司：阮红正；
8. BELIMO 公司：焦国军、杨征；
9. 妥思空调设备（苏州）有限公司：罗斯卡；
10. 广东艾科技术股份有限公司：李飞龙；
11. 欧文托普公司：李继来、郭晨；
12. 深圳市勤达富流体机电设备有限公司：张亚军；
13. 同能创达科技（北京）有限公司：郭建良；
14. 艾蒙斯特朗流体技术集团：周良；
15. 上海智全控制设备有限公司：冉龙；
16. 北京益必创楼宇科技有限公司：敖胜荣；
17. 北京长城融智科技有限公司：孙诗明。

本书将作者在工作中经常遇到的暖通空调自动控制原理图及控制要求，经整理后放到了中国建筑工业出版社服务器上，按照本书版权页中的流程，就可以下载 CAD 版的图纸，方便同行们修改使用，这样可以节省大量的工程设计时间。

目前，从暖通空调和自动控制设计的角度来讨论建筑节能问题的书籍资料不多，限于作者的水平和实践经验的局限性，书中尚有很多不完善和错误之处，恳请广大同行和读者批评指正。

赵文成

2018年1月30日

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 概述                | 1  |
| 1.1 暖通空调的节能方式           | 1  |
| 1.2 暖通空调的节能技术           | 1  |
| 1.3 暖通空调自控的内容           | 2  |
| 第 2 章 中央空调风、水输配系统的节能    | 3  |
| 2.1 管路的特性曲线             | 3  |
| 2.2 串联管路和并联管路的特性曲线      | 5  |
| 2.3 并联管路的总特性曲线的图解       | 6  |
| 2.4 串联管路的总特性曲线的图解       | 6  |
| 2.5 泵与风机的性能             | 6  |
| 2.5.1 泵或风机的功率           | 6  |
| 2.5.2 泵或风机的效率           | 7  |
| 2.5.3 电动机功率             | 7  |
| 2.5.4 选择电动机的功率          | 8  |
| 2.5.5 泵或风机变频调速后效率       | 9  |
| 2.6 泵与风机的性能曲线           | 9  |
| 2.6.1 泵与风机的 $H-Q$ 曲线    | 9  |
| 2.6.2 泵与风机的 $N-Q$ 曲线    | 10 |
| 2.6.3 泵与风机的 $\eta-Q$ 曲线 | 10 |
| 2.7 水泵的特性曲线的数学表达        | 10 |
| 2.8 空调水系统水泵的种类          | 11 |
| 2.8.1 卧式泵               | 11 |
| 2.8.2 立式泵               | 12 |
| 2.9 水泵的节能标准             | 12 |
| 2.10 水泵的选择              | 13 |
| 2.10.1 空调系统循环泵选型时依据的参数  | 13 |
| 2.10.2 变频水泵的选择          | 14 |
| 2.11 空调风机的种类            | 15 |
| 2.11.1 离心风机             | 15 |
| 2.11.2 EC 风机            | 16 |
| 2.11.3 防爆风机             | 16 |
| 2.12 泵与风机的相似定律          | 17 |
| 2.13 泵与风机的比例定律          | 17 |
| 2.14 比例定律的应用条件          | 18 |
| 2.15 泵或风机改变转速后特性曲线的求解   | 18 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.15.1 作图法求解                                 | 18        |
| 2.15.2 利用公式求解                                | 19        |
| 2.16 泵与风机的等效率线                               | 19        |
| 2.17 泵或风机的联合运行                               | 20        |
| 2.17.1 并联工况分析                                | 20        |
| 2.17.2 串联工况分析                                | 20        |
| 2.18 泵与风机的工况调节                               | 21        |
| 2.18.1 泵与风机的工作点                              | 21        |
| 2.18.2 泵与风机的工况调节的图解分析                        | 22        |
| 2.18.3 两台并联泵或风机中仅一台进行变速调节的问题                 | 26        |
| 2.18.4 暖通空调系统中改变泵或风机转速的方法                    | 28        |
| 2.18.5 暖通空调变频循环水泵的工作频率范围                     | 28        |
| 2.18.6 变频风机的工作频率范围                           | 29        |
| <b>第3章 空调冷冻水一次泵变流量系统的调节</b>                  | <b>30</b> |
| 3.1 控制曲线(或运行曲线)                              | 30        |
| 3.2 变频泵的压差控制                                 | 31        |
| 3.3 无压差传感器的冷冻水一次泵变流量系统的控制                    | 35        |
| 3.3.1 冷冻机房供回水总管之间恒压差的控制                      | 35        |
| 3.3.2 水泵出口恒压力控制                              | 38        |
| 3.3.3 空调系统最不利末端入口恒压差控制                       | 38        |
| 3.3.4 无传感器泵控制优点                              | 38        |
| 3.4 最优效率法全变频并联泵运行台数的调节                       | 38        |
| 3.4.1 求效率—流量曲线                               | 38        |
| 3.4.2 控制方案                                   | 39        |
| 3.4.3 控制方案节能分析                               | 39        |
| <b>第4章 中央空调制冷系统的节能设计</b>                     | <b>40</b> |
| 4.1 冷水机组的台数设置                                | 40        |
| 4.2 高压冷机的设置                                  | 40        |
| 4.3 冷冻机房的设计                                  | 40        |
| 4.3.1 水泵与冷水机组连接方式的选择                         | 41        |
| 4.3.2 电动隔断蝶阀的控制                              | 41        |
| 4.3.3 流量开关的设置                                | 42        |
| 4.4 中央空调水系统节能设计                              | 42        |
| 4.4.1 电机驱动的蒸汽压缩循环冷水机组名义制冷工况下和规定条件下的性能系数(COP) | 42        |
| 4.4.2 电机驱动的蒸汽压缩循环冷水机组综合部分负荷性能系数(IPLV)        | 43        |
| 4.4.3 电冷源综合制冷性能系数(SCOP)                      | 43        |
| 4.4.4 空调冷水系统耗电输冷比 ECR-a                      | 44        |
| 4.4.5 冷水机组能效的理论极限                            | 44        |
| 4.4.6 中央空调制冷系统节能设计应当注意的问题                    | 44        |



|              |                                   |           |
|--------------|-----------------------------------|-----------|
| 4.4.7        | 各种标准规范对水冷离心式冷水机组 COP 及 IPLV 的限值对比 | 45        |
| 4.4.8        | 中央空调水系统节能设计具体措施                   | 46        |
| 4.5          | 冷水系统形式                            | 50        |
| 4.5.1        | 冷水冷源侧一次泵定流量系统                     | 50        |
| 4.5.2        | 冷水冷源侧二级泵(多级泵)变流量系统                | 50        |
| 4.5.3        | 一级泵定流量系统与二级泵变流量系统的结合              | 52        |
| 4.5.4        | 冷水冷源侧一次泵变流量系统                     | 53        |
| 4.6          | 超高层建筑空调水冷系统竖向分区节能设计               | 55        |
| 4.6.1        | 目前空调系统主要设备及管道的承压                  | 55        |
| 4.6.2        | 空调冷水系统分区方式                        | 56        |
| 4.6.3        | 空调热水系统分区方式                        | 56        |
| 4.7          | 冷却塔冬季供冷系统                         | 57        |
| 4.7.1        | 冷却塔制冷的基本原理                        | 58        |
| 4.7.2        | 冷却塔供冷形式                           | 58        |
| 4.7.3        | 冷却塔供冷转换温度                         | 61        |
| 4.7.4        | 冷却塔特性曲线                           | 61        |
| 4.7.5        | 冷却塔冬季供冷设计计算                       | 61        |
| 4.7.6        | 冷却塔冬季供冷控制要求                       | 63        |
| 4.7.7        | 冷却塔冬季供冷设计注意事项                     | 63        |
| <b>第 5 章</b> | <b>蓄冷空调工程设计</b>                   | <b>65</b> |
| 5.1          | 水蓄冷                               | 65        |
| 5.1.1        | 水蓄冷的冷水机组                          | 65        |
| 5.1.2        | 水的蓄冷量计算                           | 65        |
| 5.1.3        | 蓄冷水槽的形式                           | 66        |
| 5.1.4        | 采用消防水池水蓄冷                         | 66        |
| 5.1.5        | 采用水蓄冷的区域供冷                        | 68        |
| 5.1.6        | 数据中心的水蓄冷                          | 73        |
| 5.1.7        | 提高水蓄冷效率的方法                        | 73        |
| 5.2          | 冰蓄冷                               | 74        |
| 5.2.1        | 盘管式静态冰蓄冷系统                        | 75        |
| 5.2.2        | 盘管式内融冰蓄冷系统                        | 78        |
| 5.2.3        | 盘管式外融冰蓄冷系统                        | 82        |
| 5.2.4        | 盘管式冰蓄冷系统设计应注意的问题                  | 86        |
| 5.2.5        | 盘管式冰蓄冷系统设计计算                      | 87        |
| 5.2.6        | 冰片滑落式动态制冰蓄冷系统                     | 87        |
| 5.2.7        | 冰片滑落式动态冰蓄冷系统设计注意事项                | 91        |
| 5.2.8        | 冰片滑落式动态冰蓄冷系统设计计算                  | 91        |
| 5.2.9        | 机械搅拌式直接蒸发动态制冰蓄冷系统                 | 92        |
| 5.2.10       | 机械搅拌式间接动态制冰系统                     | 95        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 5.2.11 过冷水式动态制冰技术            | 96         |
| 5.2.12 流态冰蓄冷系统设计注意事项         | 99         |
| 5.2.13 流态冰蓄冷系统设计计算           | 99         |
| <b>第6章 热交换站的设计</b>           | <b>101</b> |
| 6.1 换热在暖通空调系统中的应用            | 101        |
| 6.1.1 热交换站的应用场所              | 101        |
| 6.1.2 常用的换热器的形式              | 101        |
| 6.2 换热器的选型注意事项               | 101        |
| 6.3 换热器的选型计算                 | 102        |
| 6.3.1 换热面积计算                 | 102        |
| 6.3.2 对数平均温差计算               | 102        |
| 6.3.3 对数平均温差的简化计算            | 102        |
| 6.3.4 对数平均温差的推导              | 102        |
| 6.3.5 换热器一次侧及二次侧流量的计算        | 104        |
| 6.4 锅炉房和换热机房的调节              | 105        |
| 6.5 气候补偿器原理                  | 105        |
| 6.5.1 气候补偿器的设定曲线             | 105        |
| 6.5.2 气候补偿器的功能               | 107        |
| 6.5.3 气候补偿器的应用               | 108        |
| <b>第7章 空调水系统的阀门设置</b>        | <b>109</b> |
| 7.1 空调系统各个分支阀门的设置            | 110        |
| 7.2 调节阀安装的位置                 | 110        |
| 7.3 电动调节阀                    | 111        |
| 7.3.1 空调机组加热器(表冷器)的静特性       | 111        |
| 7.3.2 电动调节阀的流量特性             | 112        |
| 7.3.3 调节阀的理想可调节范围 $R$        | 112        |
| 7.3.4 调节阀的理想流量特性             | 112        |
| 7.3.5 电动调节阀的选择               | 113        |
| 7.3.6 等百分比流量特性的调节阀           | 114        |
| 7.3.7 阀权度                    | 116        |
| 7.3.8 调节阀的实际可调节范围 $R_r$      | 116        |
| 7.3.9 调节阀的工作流量特性             | 116        |
| 7.3.10 电动调节阀的口径计算            | 116        |
| 7.3.11 总结电动调节阀的计算选型过程        | 118        |
| 7.3.12 电动平衡一体阀               | 118        |
| 7.3.13 电动平衡一体阀用来设定变频冷水泵的最低频率 | 119        |
| 7.3.14 典型电动平衡一体阀的参数          | 120        |
| 7.3.15 动态平衡电动调节阀选型           | 121        |
| 7.3.16 电子式压力无关型电动调节阀         | 121        |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 7.3.17 能量调节阀             | 122        |
| 7.4 电动两通阀                | 124        |
| 7.4.1 电动式两通阀             | 124        |
| 7.4.2 电热式两通阀             | 124        |
| 7.4.3 电动两通球阀             | 125        |
| 7.4.4 动态平衡电动两通阀          | 125        |
| 7.5 电磁阀                  | 125        |
| 7.6 动态双温度平衡电动调节阀         | 126        |
| 7.6.1 动态双温度平衡电动调节阀控制原理   | 126        |
| 7.7 静态平衡阀                | 128        |
| 7.7.1 静态平衡阀使用注意事项        | 128        |
| 7.7.2 静态平衡阀的安装要求         | 128        |
| 7.7.3 静态平衡阀的选型           | 129        |
| 7.8 电动蝶阀                 | 130        |
| 7.8.1 电动蝶阀连接形式和自动控制方式    | 130        |
| 7.8.2 空调系统中的电动蝶阀         | 130        |
| <b>第8章 空调水系统压力及定压</b>    | <b>133</b> |
| 8.1 压力表安装位置              | 133        |
| 8.2 压力表读数的意义             | 133        |
| 8.3 空调系统各点压力表读数的关系       | 134        |
| 8.4 空调水系统的定压             | 134        |
| 8.4.1 定压点的确定             | 134        |
| 8.4.2 定压方式               | 136        |
| <b>第9章 通风空调风系统的调节控制</b>  | <b>145</b> |
| 9.1 调节风阀                 | 145        |
| 9.1.1 电动调节风阀             | 145        |
| 9.1.2 变风量末端 (VAV BOX)    | 146        |
| 9.1.3 定风量阀               | 147        |
| 9.2 变风量空调系统              | 148        |
| 9.2.1 变风量空调系统的组成         | 148        |
| 9.2.2 变风量空调系统房间温度的控制     | 149        |
| 9.2.3 变风量末端的分类           | 150        |
| 9.2.4 单风道单冷型变风量末端的调节过程   | 150        |
| 9.2.5 单风道单冷再热型变风量末端的调节过程 | 151        |
| 9.2.6 单风道冷暖型变风量末端的调节过程   | 151        |
| 9.2.7 并联风机动力型变风量末端的调节过程  | 151        |
| 9.2.8 串联风机动力型变风量末端的调节过程  | 152        |
| 9.2.9 变风量末端装置风量计算        | 153        |
| 9.2.10 变风量末端装置的选择        | 153        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 9.2.11 变风量末端装置的安装要求             | 154        |
| 9.2.12 变风量末端的应用                 | 154        |
| 9.2.13 变风量空调机组风量的控制             | 156        |
| 9.2.14 送风温度的控制                  | 163        |
| 9.2.15 新、排风量的控制                 | 164        |
| 9.3 化学实验室专用压力无关型变风量控制单叶风阀       | 164        |
| 9.4 文丘里调节阀                      | 165        |
| 9.4.1 定风量文丘里阀 (CAV)             | 166        |
| 9.4.2 变风量文丘里阀 (VAV)             | 166        |
| 9.4.3 采用文丘里阀的正负压 ICU 病房的设计      | 168        |
| 9.4.4 采用文丘里阀的化学实验室变风量通风设计       | 168        |
| 9.5 伯努利妙流智能风阀                   | 174        |
| 9.6 伯努利层流风幕排风柜                  | 176        |
| 9.6.1 伯努利层流风幕排风柜主要参数            | 176        |
| 9.6.2 采用伯努利层流风幕排风柜的化学实验室变风量通风设计 | 177        |
| 9.6.3 伯努利层流风幕排风柜的变风量控制          | 177        |
| 9.6.4 采用伯努利层流风幕排风柜变风量通风实验室案例    | 178        |
| 9.6.5 各种实验室通风方式的比较              | 179        |
| 9.7 生物实验室的暖通空调设计                | 179        |
| 9.7.1 生物安全实验室                   | 179        |
| 9.7.2 生物安全柜的排风设计                | 183        |
| 9.7.3 P2 生物安全实验室的通风空调及控制系统设计    | 183        |
| 9.7.4 静脉药物配置中心通风空调及控制系统设计       | 184        |
| 9.8 净化空调系统恒定风量的控制               | 187        |
| 9.8.1 净化空调系统恒定风量的直接控制法          | 188        |
| 9.8.2 净化空调系统恒定风量的间接控制法 1        | 188        |
| 9.8.3 净化空调系统恒定风量的间接控制法 2        | 189        |
| 9.8.4 净化空调系统恒定风量的间接控制法 3        | 189        |
| 9.9 房间压差的控制                     | 191        |
| 9.9.1 房间压差的建立                   | 192        |
| 9.9.2 房间压差的控制方法                 | 192        |
| 9.9.3 防止反流的措施                   | 196        |
| 9.9.4 气闸室 (又称缓冲间) 的设置           | 196        |
| <b>第 10 章 排风热回收</b>             | <b>198</b> |
| 10.1 排风热回收的技术经济比较               | 198        |
| 10.1.1 排风热回收的设计方法、步骤            | 198        |
| 10.1.2 排风量的计算                   | 198        |
| 10.1.3 热回收量的计算                  | 199        |
| 10.1.4 风机电耗增加量的计算               | 199        |

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| 10.1.5        | 排风热回收的效率  | 199        |
| 10.2          | 排风热回收装置   | 201        |
| 10.2.1        | 转轮式   | 201        |
| 10.2.2        | 板翅式热回收换热器   | 202        |
| 10.2.3        | 热管式换热器  | 204        |
| 10.2.4        | 分离式热管   | 204        |
| 10.2.5        | 微通道分离式热管  | 205        |
| 10.2.6        | 溶液循环热回收   | 207        |
| 10.2.7        | 游泳池热泵式热回收   | 208        |
| <b>第 11 章</b> | <b>组合式空调机</b>   | <b>209</b> |
| 11.1          | 组合式空调机组主要性能要求   | 209        |
| 11.2          | 组合式空调机组的结构  | 210        |
| 11.3          | 组合式空调机组的各功能段  | 211        |
| 11.3.1        | 机组的断面风速   | 211        |
| 11.3.2        | 立式机组、吊装式机组  | 211        |
| 11.3.3        | 机组的接口   | 211        |
| 11.3.4        | 消声段   | 211        |
| 11.3.5        | 风机段   | 211        |
| 11.3.6        | 表冷加热段   | 212        |
| 11.3.7        | 加湿段   | 213        |
| 11.3.8        | 过滤段   | 213        |
| 11.3.9        | 组合式空调机组常用功能段组合  | 214        |
| <b>第 12 章</b> | <b>空气处理过程</b>   | <b>221</b> |
| 12.1          | 湿空气的状态参数  | 221        |
| 12.1.1        | 湿空气的压力 ( $B$ )  | 221        |
| 12.1.2        | 含湿量 ( $d$ )   | 221        |
| 12.1.3        | 相对湿度 ( $\varphi$ )                                    | 221        |
| 12.1.4        | 湿空气的比焓 ( $h$ )  | 222        |
| 12.2          | 湿空气的焓湿图   | 222        |
| 12.3          | 空气状态参数的测量   | 223        |
| 12.4          | 热湿比   | 224        |
| 12.5          | 空气处理过程  | 224        |
| 12.5.1        | 等湿加热、等湿冷却过程 ( $A \rightarrow C$ 、 $A \rightarrow F$ ) | 224        |
| 12.5.2        | 等焓加湿过程 ( $A \rightarrow E$ )                          | 224        |
| 12.5.3        | 等温加湿过程 ( $A \rightarrow D$ )                          | 224        |
| 12.5.4        | 等焓减湿过程 ( $A \rightarrow B$ )                          | 225        |
| 12.5.5        | 减焓减湿过程 ( $A \rightarrow G$ )                          | 225        |
| 12.5.6        | 不同状态空气的混合过程 ( $W$ 、 $N \rightarrow C$ )               | 225        |
| 12.6          | 新风预热的条件   | 226        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 12.7 空调房间的风量平衡和热量平衡 .....         | 226        |
| 12.7.1 风量平衡 .....                 | 226        |
| 12.7.2 热量平衡 .....                 | 228        |
| 12.8 新风量的确定 .....                 | 229        |
| 12.9 空气处理过程送风量的确定 .....           | 229        |
| 12.10 工程中常见的空气处理过程 .....          | 229        |
| 12.10.1 空调房间送风温差和换气次数 .....       | 229        |
| 12.10.2 风机温升 .....                | 229        |
| 12.10.3 风机温升增加的显热负荷的百分率 .....     | 230        |
| 12.10.4 恒温恒湿空调系统空气处理过程 .....      | 231        |
| 12.10.5 舒适性空调一次回风系统空气处理过程 .....   | 233        |
| 12.10.6 舒适性空调二次回风系统空气处理过程 .....   | 234        |
| 12.10.7 变风量空调系统空气处理过程 .....       | 235        |
| 12.10.8 医疗净化空调系统空气处理过程 .....      | 236        |
| 12.10.9 二次回风手术室空调净化系统空气处理过程 ..... | 240        |
| 12.10.10 直流式空调系统空气处理过程 .....      | 242        |
| 12.10.11 泳池冷凝热回收空调系统空气处理过程 .....  | 244        |
| 12.10.12 风机盘管加新风空调系统空气处理过程 .....  | 246        |
| 12.10.13 空调系统不加湿的条件 .....         | 250        |
| 12.10.14 新风集中处理系统冬季过程 .....       | 251        |
| 12.10.15 新风诱导器系统空气处理过程 .....      | 251        |
| 12.10.16 辐射板加新风空调系统空气处理过程 .....   | 254        |
| 12.10.17 排风热回收空气处理过程 .....        | 255        |
| 12.11 空调系统加湿及其控制设计 .....          | 255        |
| 12.11.1 空调系统加湿方式 .....            | 255        |
| 12.11.2 各种加湿原理及控制方法 .....         | 257        |
| 12.11.3 加湿用水源 .....               | 265        |
| 12.12 空气的净化处理及其控制设计 .....         | 266        |
| 12.12.1 空气过滤器的分类及性能 .....         | 266        |
| 12.12.2 过滤器的效率 .....              | 267        |
| 12.12.3 房间洁净度的控制 .....            | 269        |
| 12.12.4 过滤器的控制 .....              | 269        |
| 12.12.5 静电过滤器 .....               | 269        |
| <b>第 13 章 制冷机组及其节能应用 .....</b>    | <b>273</b> |
| 13.1 冷水机组的名义工况 .....              | 273        |
| 13.2 冷水机组能效等级 .....               | 274        |
| 13.3 制冷剂热力学性质图 .....              | 275        |
| 13.3.1 制冷剂的温熵 $T-s$ 图 .....       | 275        |
| 13.3.2 比焓 .....                   | 276        |

|               |                             |            |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 13.3.3        | 制冷剂的压焓 $\lg p-h$ 图          | 276        |
| 13.4          | 蒸汽压缩式制冷的理论循环                | 276        |
| 13.4.1        | 单级压缩制冷系统                    | 276        |
| 13.4.2        | 单级压缩蒸气制冷循环压缩比               | 277        |
| 13.4.3        | 多级压缩制冷系统                    | 277        |
| 13.4.4        | 常用两级压缩制冷系统形式                | 278        |
| 13.4.5        | 复叠式制冷系统                     | 281        |
| 13.4.6        | 复叠式制冷在空调系统中的应用              | 282        |
| 13.4.7        | 跨临界制冷循环 ( $\text{CO}_2$ 热泵) | 283        |
| 13.5          | 冷却水温度、冷水温度变化对制冷量的影响         | 284        |
| 13.5.1        | 对单级压缩制冷系统的影响                | 284        |
| 13.5.2        | 对双级压缩制冷系统的影响                | 286        |
| 13.6          | 常用蒸汽压缩式空调冷水机组的分类及节能应用       | 288        |
| 13.6.1        | 离心式压缩机冷水机组                  | 288        |
| 13.6.2        | 螺杆式压缩机冷水机组                  | 292        |
| 13.6.3        | 涡旋式冷水机组                     | 293        |
| 13.7          | 冷水机组负荷的运行调节                 | 294        |
| 13.7.1        | 容积式压缩机的负荷调节                 | 294        |
| 13.7.2        | 离心式冷水机组的负荷调节                | 294        |
| 13.8          | 中央空调制冷系统的节能设计               | 295        |
| 13.8.1        | 中央空调制冷系统的变频设计               | 295        |
| 13.8.2        | 冷却水最优进水温度控制                 | 296        |
| 13.8.3        | 采用离心式水冷水机组的自然冷却             | 296        |
| 13.8.4        | 采用冷凝热回收冷水机组                 | 296        |
| 13.8.5        | 冷水机组热回收加热生活热水系统设计           | 300        |
| 13.8.6        | 冷凝器在线清洗系统设计                 | 300        |
| 13.8.7        | 微泡排气除污装置的应用设计               | 303        |
| 13.8.8        | 热泵                          | 304        |
| <b>第 14 章</b> | <b>电机及电机拖动</b>              | <b>312</b> |
| 14.1          | 电机                          | 312        |
| 14.1.1        | 三相异步电动机                     | 312        |
| 14.1.2        | 单相异步电机                      | 317        |
| 14.1.3        | 直流无刷电机                      | 318        |
| 14.1.4        | 永磁同步交流电机                    | 320        |
| 14.1.5        | 高压电机                        | 323        |
| 14.1.6        | 变频电机                        | 323        |
| 14.2          | 三相笼式异步电机的启动                 | 324        |
| 14.2.1        | 三相笼式异步电机的直接启动               | 324        |
| 14.2.2        | 三相笼式异步电机降压启动                | 325        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 14.3 常用低压电器 .....              | 327        |
| 14.3.1 热继电器 .....              | 327        |
| 14.3.2 接触器 .....               | 327        |
| 14.3.3 中间继电器 .....             | 328        |
| 14.3.4 低压断路器 .....             | 328        |
| 14.3.5 按钮开关 .....              | 328        |
| 14.3.6 转换开关 .....              | 329        |
| 14.3.7 限位开关 .....              | 329        |
| 14.3.8 电机综合保护开关 .....          | 329        |
| 14.4 电动机的基本电气控制电路 .....        | 330        |
| 14.4.1 电动机的控制过程 .....          | 331        |
| 14.4.2 电动机的控制信号反馈 .....        | 331        |
| 14.5 单相异步电动机的正反转的控制 .....      | 331        |
| 14.5.1 电动蝶阀的控制原理 .....         | 331        |
| 14.5.2 电动蝶阀的内部电路 .....         | 332        |
| 14.6 风机盘管的配电 .....             | 332        |
| 14.7 一个温控器控制两台风机盘 .....        | 333        |
| 14.8 变频器 .....                 | 333        |
| 14.8.1 变频器的节能作用 .....          | 333        |
| 14.8.2 变频器的安装位置 .....          | 334        |
| 14.8.3 变频器的类别 .....            | 334        |
| 14.8.4 变频器的额定数据 .....          | 335        |
| 14.8.5 四象限变频器 .....            | 336        |
| <b>第 15 章 暖通空调自动控制基础 .....</b> | <b>337</b> |
| 15.1 常用传感器 .....               | 337        |
| 15.1.1 温度传感器 .....             | 337        |
| 15.1.2 防冻开关 .....              | 338        |
| 15.1.3 湿度传感器 .....             | 338        |
| 15.1.4 压力传感器 .....             | 338        |
| 15.1.5 压差开关 .....              | 338        |
| 15.1.6 空气压差计、微压差变送器 .....      | 339        |
| 15.1.7 门窗磁开关 .....             | 340        |
| 15.1.8 液位传感器 .....             | 340        |
| 15.1.9 液位开关 .....              | 341        |
| 15.1.10 空气质量传感器 .....          | 341        |
| 15.1.11 流量计 .....              | 342        |
| 15.1.12 热量表 .....              | 344        |
| 15.1.13 风速的测量 .....            | 348        |
| 15.1.14 风量在线测量 .....           | 349        |



|               |                                       |            |
|---------------|---------------------------------------|------------|
| 15.2          | 测量仪表的量程和精度 .....                      | 353        |
| 15.3          | 执行器 .....                             | 353        |
| 15.3.1        | 阀门的电动执行器 .....                        | 353        |
| 15.3.2        | 电加热器和电热式加湿器的功率输出控制 .....              | 359        |
| 15.4          | 控制器 .....                             | 360        |
| 15.4.1        | 控制器的工作过程 .....                        | 360        |
| 15.4.2        | 可编程控制器 (PLC) .....                    | 360        |
| 15.4.3        | 直接数字控制器 (DDC) .....                   | 360        |
| 15.5          | 控制器调节特性 .....                         | 362        |
| 15.5.1        | 比例 (P) 调节的特性 .....                    | 362        |
| 15.5.2        | 比例积分 (PI) 调节特性 .....                  | 363        |
| 15.5.3        | 比例微分 (PD) 调节的特性 .....                 | 364        |
| 15.5.4        | 比例积分微分调节 (PID) 的特性 .....              | 365        |
| 15.6          | 如何更好地理解 PID 调节 .....                  | 365        |
| 15.7          | 自动控制基本原理 .....                        | 366        |
| 15.7.1        | 单回路闭环控制 .....                         | 366        |
| 15.7.2        | 多回路闭环控制 .....                         | 367        |
| <b>第 16 章</b> | <b>空调冷热源系统的控制 .....</b>               | <b>369</b> |
| 16.1          | 冷水机组的群控 .....                         | 370        |
| 16.1.1        | 冷水机组运行台数的控制 .....                     | 370        |
| 16.1.2        | 设备自动切换、连锁控制 .....                     | 372        |
| 16.1.3        | 群控系统监控的设备运行参数 .....                   | 372        |
| 16.2          | 一次泵定流量、冬季冷却塔供冷制冷系统控制原理图 .....         | 373        |
| 16.2.1        | 项目概况 .....                            | 373        |
| 16.2.2        | 控制要求 .....                            | 376        |
| 16.3          | 一次泵变流量、冷凝热回收制冷系统控制原理图 .....           | 377        |
| 16.3.1        | 项目概况 .....                            | 377        |
| 16.3.2        | 控制要求 .....                            | 377        |
| 16.4          | 二级泵变流量、冬季冷却塔供冷制冷系统控制原理图 .....         | 381        |
| 16.4.1        | 项目概况 .....                            | 381        |
| 16.4.2        | 控制要求 .....                            | 381        |
| 16.5          | 一级泵变流量、水蓄冷、冬季冷却塔供冷、主机热回收制冷系统原理图 ..... | 384        |
| 16.5.1        | 项目概况 .....                            | 384        |
| 16.5.2        | 控制要求 .....                            | 385        |
| 16.6          | 动态制冰 (冰片滑落式) 蓄冷、冬季冷却塔供冷系统控制原理图 .....  | 389        |
| 16.6.1        | 项目概况 .....                            | 389        |
| 16.6.2        | 控制要求 .....                            | 390        |
| 16.7          | 冰球封装式冰蓄冷主机并联系统控制原理图 .....             | 394        |
| 16.7.1        | 项目概况 .....                            | 394        |