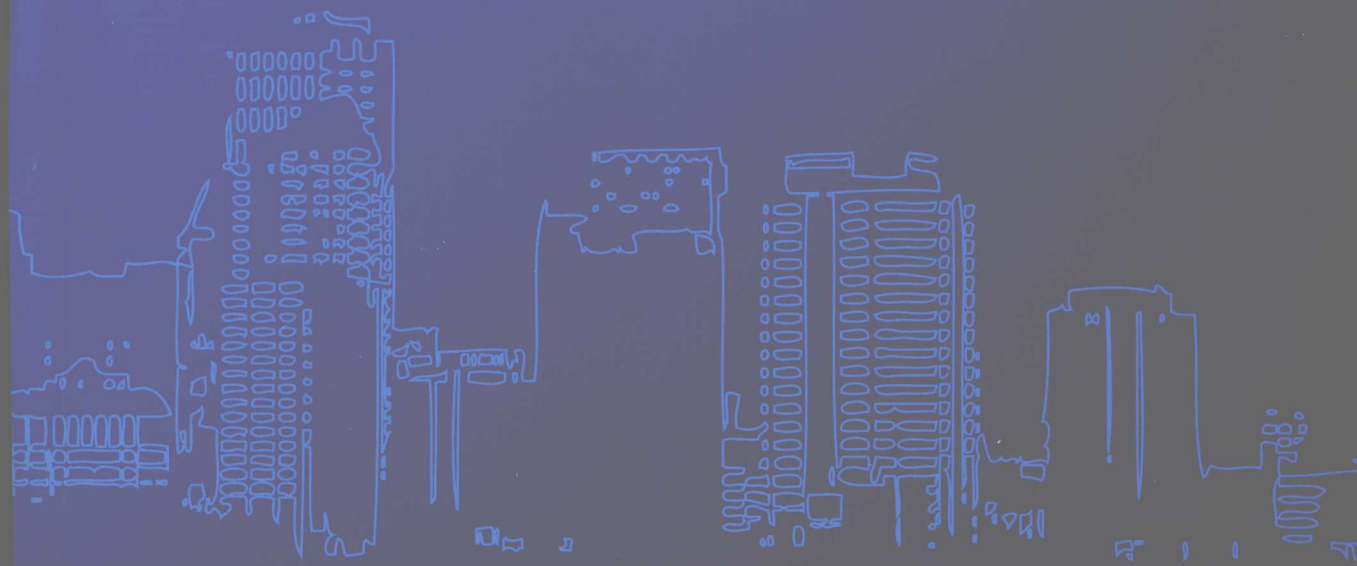


# 中央空调系统 模糊控制节能技术及应用

李玉街 蔡小兵 郭林 编著



中国建筑工业出版社

圖書 (CIP) 目錄查詢系統

中央空調系統模糊控制節能技術及應用 / 李玉街, 蔡小兵, 郭林 著. — 北京: 中國建築工業出版社, 2008

ISBN 978-7-112-10171-1

# 中央空調系統 模糊控制節能技術及應用

李玉街 蔡小兵 郭林 編著

中央空調系統

模糊控制節能技術及應用

郭林 蔡小兵 李玉街 著

中國建築工業出版社出版 (北京西城區西便門外大街 2 號)

北京郵政管理局登記證: 京字 015 號

北京市版權局登記證: 京市版字 015 號

北京印刷工業學院印刷

16 開本, 787mm×1092mm, 32 印張, 232 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定價: 22.00 元

ISBN 978-7-112-10171-1

**中國建築工業出版社**

地址: 北京西城區西便門外大街 2 號

如有印裝質量問題, 請寄本社退換

(郵政編碼 100073)

图书在版编目 (CIP) 数据

中央空调系统模糊控制节能技术及应用/李玉街, 蔡小兵,  
郭林编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008  
ISBN 978-7-112-10474-1

I. 中… II. ①李…②蔡…③郭… III. 集中空气  
调节系统-节能-模糊控制 IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 174800 号

善 读 林 霖 灵 小 蔡 街 玉 李

中央空调系统  
模糊控制节能技术及应用  
李玉街 蔡小兵 郭 林 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)  
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  
北京建筑工业印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 29 字数: 723 千字  
2009 年 1 月第一版 2009 年 1 月第一次印刷  
定价: 65.00 元

ISBN 978-7-112-10474-1  
(17398)

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)

本书从节能控制的角度出发，较系统地介绍了与中央空调系统节能控制有关的知识和技术，包括电力拖动、水泵与风机、流体的基本特性、空调冷水的制造与输送、中央空调变流量水系统、中央空调模糊控制节能技术、中央空调动态水力平衡调控技术、中央空调末端设备的节能控制、BKS系列中央空调节能控制设备和中央调节节能控制工程实施等。书中首次公开了贵州汇通华城楼宇科技有限公司多年来在中央空调节能领域内的技术创新成果，包括基于负荷预测的冷冻水系统动态控制技术、基于系统性能综合优化的冷却系统优化控制技术、基于能量分配平衡的动态水力平衡技术、基于主机效率负荷特性的群控技术、并联泵组优选技术、空调系统运行状态动态监视技术，以及工艺创新技术——中央空调系统仿真平台和传感器带压安装技术等。

本书内容具有较强的实用性和创新性，可作为从事中央空调系统控制的设计人员、操作人员、维护人员和管理人员的培训或参考资料，也可作为制冷空调专业研究生、本科生的教学参考书或专题讲座教材。

责任编辑：于莉 姚荣华

责任设计：郑秋菊

责任校对：安东 王雪竹

林永昊

中国制冷学会制冷专业委员会

中国制冷学会制冷专业委员会

中国制冷学会制冷专业委员会

2008年11月11日

# 序一

认识小兵和李工有好几年了。

记得第一次见面是在2004年4月初，在中国建筑学会的大楼里，小兵向我介绍了汇通华城公司及其产品和技术（事先当时任北京市建筑设计研究院院长的吴德绳好友打过招呼）。说实话我当时的感觉是眼睛一亮，或许他们的产品正是我们多年来一直要寻找的东西。

由于我国专业分工和体制上的原因，长期以来中央空调系统的设计基本上是为分为暖通、电气和控制几个部分，由不同专业的设计师来进行设计，在工程建设中也同样分为暖通、强电、弱电等不同的部分，由不同的工程队伍来完成施工。这样的一种分工使得一个完整的系统被割裂开来，导致实际投运的系统中往往留有許多遗憾。虽然汇通华城的产品是以节能降耗为目标而设计的，但我直观地感觉到这种被称为BKS的系列产品，其全局优化控制的思想正是整合空调各个系统的有效手段，产品强弱电集成的特点能够大大简化控制系统的设计，系统功能的标准化也有助于减少工程实施中的偏差。

2006年卸下中国建筑学会暖通专业委员会主任委员这副担子后，我倍感轻松，在几个老友相邀下，2007年与老伴一起来到了贵阳，在享受了凉爽的天气和美丽的风景后，忽然想起还有一位小友在此，于是便有了汇通华城之行。

小兵和李工的热情让我倍感亲切，对我这个老头子他们一点也不保密，产品技术标准、研发中心、空调仿真系统、远程监控中心一一给我详细介绍，来时的一些技术疑问也因此而打消了。短短几年的时间，他们的产品已经发展了六代，专利数量从8个增加到了23个，应用案例从三十几个增加到了六百多个，发展速度之快着实让人惊讶。

交谈中我隐约感觉到，他们的产品和技术在设计院的推广中遇到了不少阻力。拒绝通常是因为不了解，我于是给他们提出了写一本书的建议。

一年后李工拿着厚厚的书稿找到了我，请我为他们的新书作序，我没想到一句戏言竟当真了，这便是这篇文字的由来。

中国建筑科学研究院顾问总工  
中国制冷学会前副理事长  
中国建筑学会暖通空调专业委员会名誉理事长

吴元炜

2008年10月11日

## 序二

随着人类经济社会的发展，能源消耗和温室气体排放不断上升，使“节能减排”成了全球共同的使命和责任。

我国建筑消耗的能源占全社会消耗的总能源已接近 30%，其中，占既有建筑总面积 10%左右的公共建筑，就消耗了建筑总能耗的 20%。

我国作为一个城市化进程发展最快的国家，正在以世界上前所未有的规模和速度建造各类新建建筑，其中公共建筑也以每年数亿平方米的数量剧增，将在未来大量消耗我国宝贵而日益稀缺的能源。这种现状，使我国公共建筑节能已成为一个十分紧迫的问题。2004 年 11 月国家发改委颁布的《中国节能中长期专项规划》中，将“建筑节能”列入了十大重点工程，要求“加大建筑节能技术和产品的推广力度”。2007 年 6 月国务院颁布的《中国应对气候变化国家方案》中，也明确提出要“重点研究开发绿色建筑设计技术，建筑节能技术与设备，供热系统和空调系统节能技术和设备”。2005 年我国颁布了《公共建筑节能设计标准》，该标准的实施极大地促进了新建公共建筑的节能工作。《公共建筑节能改造标准》目前正在编写，2009 年即将实施，将会有效指导公共建筑的节能改造工作。

值得高兴的是，近年来我国建筑节能产业发展很快，各种建筑节能技术特别是中央空调节能技术得到了快速的发展。贵州汇通华城楼宇科技有限公司自主研发开发的中央空调节能模糊控制节能技术，就是其中成功有效的一项建筑节能技术，已被中国节能服务产业委员会评为“中国节能服务产业‘十一五’期间重点推广节能技术”。

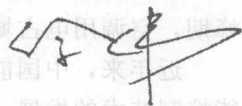
我国几十年来节能工作的经验证明，节能的根本出路在于技术进步。贵州汇通华城楼宇科技有限公司依靠自主创新，将现代模糊控制技术与计算机技术、系统集成技术、变频调速技术等相结合，成功研制出了多代 BKS 系列中央空调节能控制产品，并在全国范围内得到推广应用，推动了中央空调节能技术的进步。

现在，贵州汇通华城又编写了《中央空调系统模糊控制节能技术及应用》一书，并将自己的创新技术公诸于书中。这本书无疑是他们智慧与心血的结晶，技术理论和实践的总结，也是中央空调控制领域中有独到创见性的好书。借本书出版的机会，谨向贵州汇通华城表示衷心的祝贺和敬意。我们相信，本书的出版对中央空调模糊控制这一节能技术的推广和普及，对降低中央空调能耗，必将发挥重要的作用。

中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院院长

中国建筑学会暖通空调专业委员会理事长

中国制冷学会副理事长



2008 年 9 月 26 日

## 前言

人类在地球这个美丽的星球上繁衍生息，代代相传，依赖的是能源，能源是人类生存和社会发展必须的物质基础。随着科学技术的飞速发展，人类创造了空前的经济繁荣和物质文明，然而，这些繁荣和文明都建立在大量消耗地球资源特别是化石能源的基础上。人类过度的追求经济发展和物质享受，无疑加快了能源消耗的速度，使化石能源即将在 21 世纪消耗殆尽，而且这个进程不可逆转，对人类的生存和发展构成了严重的威胁。

地球能源的有限性，已经难以满足人口增长和经济增长所产生的能源需求，能源枯竭只是一个时间迟早的问题。新能源的开发和节约能源已成了人类共同的使命和责任。在能够取代化石能源的新能源开发出来之前，人类不得不长期面临能源短缺的困扰，因此，节约能源已成为人类一件长期的且越来越紧迫的任务。

中国建设和谐社会和小康社会需要巨大的能源支撑，而我国的能源资源储量并不丰富，因此，节约能源、保护环境已成为我国的基本国策，是保障经济社会持续快速健康发展的重大战略问题。党中央、国务院一直十分重视节能工作，提出了建设“资源节约型和环境友好型社会”的要求。胡锦涛总书记、温家宝总理多次就节约能源、资源作出重要指示。党的十六届五中全会和国家“十一五”规划纲要都明确提出了“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低 20%、主要污染物排放总量减少 10% 的约束性指标。这是贯彻落实科学发展观、构建社会主义和谐社会的重大举措，也是提高人民生活质量，维护中华民族长远利益的科学决策。

随着我国城市化和工业化进程的发展，公共建筑和工业建筑的规模和数量不断增加，建筑能耗不断上升。在各类建筑物中，中央空调系统已经成为现代化建筑技术的重要标志之一，是现代建筑创造舒适、高效的工作和生活环境不可缺少的重要基础设施。但中央空调又是建筑物中能耗最大的设备，它在给人们带来舒适的内部环境的同时，也带来了巨大的能源消耗，大大增加了建筑物的运营成本，也导致能源供需矛盾加剧。

中央空调无疑是人类的一项伟大发明，它使人类有能力为自己创造一个舒适健康的室内工作与生活环境，在炎炎夏日享受清凉。但中央空调也是现代建筑物的耗能大户，其电耗一般占整个建筑物用电负荷的 40%~60%，而且还有不断上升的趋势，给城市的供电带来了沉重的压力，已经成为一个引人关注的问题。舒适性中央空调又具有使用时间集中、季节性负荷大的特点，更加重了我国电网负荷峰谷差距的矛盾。每年夏季空调用电高峰期，空调用电占城市总用电负荷的 30%~40% 左右，华南地区竟高达 50% 以上。

近年来，中国能源的紧张使建筑节能提到了至关重要的位置，大大促进了中央空调节能控制技术的发展。贵州汇通华城楼宇科技有限公司在多年中央空调节能控制领域探索、研究、试验和实践的基础上，将现代模糊控制技术引入中央空调系统节能控制，自主研发开发出了新型的中央空调模糊控制节能产品——BKS 系列中央空调管理专家系统，实现了中央空调系统的高效节能控制，为我国建设资源节约型和环境友好型社会提供了一种先进的技术装备，同时也开创了中央空调控制技术发展的一个重要方向——智能模糊控制。

BKS 系统实现了中央空调控制技术的新突破，推动了中央空调节能事业的技术进步。其核心关键技术已向中国知识产权局申请了 23 项国内专利（已获得 20 项专利授权，其余



在实审阶段),同时还通过 PCT 程序在国外申请了国际发明专利,这些发明专利使贵州汇通华城成为中央空调智能模糊控制技术无可争议的开创者。

目前, BKS 系统已在北京、天津、上海、重庆、广东、广西、福建、海南、浙江、江苏、江西、湖南、湖北、四川、云南、贵州、陕西、河南、河北、山东、安徽、内蒙古、澳门、新疆等二十多个省市五百多个项目中得到成功应用。其中,包括全国政协大楼、国家税务总局大楼、北京友谊宾馆、上海新锦江大酒店、深圳中兴通讯、北京松下彩管厂、广州中信广场、成都国际会展中心、石家庄白求恩国际和平医院、海口美兰机场、澳门金龙酒店、深圳盐田区、深圳南山区政府办公楼等项目。产品应用范围覆盖了旅游饭店、写字楼、大型商场、医院、工厂、机场、政府机关等各个领域的中央空调系统,系统综合节能率平均达到 29.58%。

BKS 系统先进的技术和显著的节能与环保效果,在中央空调领域产生了不容忽视的影响,受到国内外专家的广泛关注和高度评价,被业界誉为“中央空调控制领域一项革命性的技术”。同时也得到党和政府的亲切关怀与大力支持,产品不仅列入了世界银行/全球环境基金(GEF)中国节能促进项目,也列入了 2002~2006 年国务院各个部委的推广扶持项目,2007 年被中国节能服务产业委员会评为“中国节能服务产业‘十一五’期间重点推广节能技术”。

2007 年 11 月,国家标准化管理委员会《关于下达 2007 年第五批国家标准制修订计划的通知》(国标委综合[2007]100 号)中,由贵州汇通华城提出并承担编制的《中央空调水系统节能控制装置技术规范》,已作为推荐性国家标准正式列入 2007 年第五批国家标准制修订计划。该项国家标准的编制对推动我国中央空气调节节能产业逐步走上规范化、标准化的健康发展轨道具有重要而深远的意义。

党和国家领导人李岚清同志、贾庆林同志、曾培炎同志、李长春同志和薄熙来同志,在贵州省考察期间都先后视察了贵州汇通华城和产品,对 BKS 产品给予了高度评价并指示各级领导要大力支持和推广应用。

多年来的专注与执著,成就了“贵州汇通华城”在中央空气调节节能行业中的引领地位。BKS 系统无论在技术理念、性能、功能、可靠性、安全性、软硬件形态、节能效果等各个方面都领先于国内外的同行企业,其智能模糊控制理念现已成为行业内众多企业争相模仿的样板和仿制的对象;公司也成为中国节能服务产业十佳企业、中国节能服务产业知名品牌和我国首批 103 家开展创新型企业试点单位之一。

BKS 系统在创新中诞生,在创新中发展,不断推出自己的创新技术,始终领跑着我国中央空气调节节能产业(见 2007 年 4 月 2 日《科技日报》专题报道“领跑中央空气调节节能产业”)。

工欲善其事,必先利其器。采用先进的控制技术和产品是实现中央空调系统经济节能运行的根本保证, BKS 系统正是这样一种新的利器。

我们编著本书的宗旨是想将贵州汇通华城多年来在中央空气调节节能领域探索、研究、实践和创新中所做的一点工作作一个小结,将我们的创新技术与正在寻求先进的中央空气调节节能控制技术与产品的用户分享,目的是共同推进我国中央空气调节节能事业的技术进步,为我国实现“十一五”节能 20% 的宏伟目标作一点贡献。

历史的经验证明,任何新事物、尤其是新技术的推广应用,都有一个为人们所认识和接受的过程,在这个过程中离不开大家的支持与帮助, BKS 系统也是这样。 BKS 系统在



全国的推广应用过程中,得到了党和国家领导、国务院各个部委、全国各地以及贵州省、贵阳市、高新区等各级党和政府部门的亲切关怀与大力扶持,也得到了世界银行/GEF 中国节能促进中心项目办公室、中国节能协会、中国节能服务产业委员会(EMCA)以及全国各地的节能监测中心、节能协会等行业管理部门的指导、帮助与支持,更得到了业内专家、广大客户、建筑设计院的设计师、经销商和热心朋友们的充分肯定和高度评价,借此机会,谨表示我们最衷心最诚挚的谢意。

在这里,还要特别感谢中国建筑科学研究院顾问总工、中国制冷学会副理事长、中国建筑学会暖通空调专业委员会名誉理事长吴元炜教授和中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院院长、中国建筑学会暖通空调专业委员会理事长、中国制冷学会副理事长徐伟研究员,对本书编写的关注并为本书作序。

本书内容共分 10 章,编写的思路如下:

第 1 章电力拖动,主要介绍异步电动机的拖动特性、电力拖动的调速、电力拖动系统的负载与负载转矩特性等基本知识,因为除吸收式制冷机组之外,中央空调系统的制冷机组、冷冻水循环水泵、冷却水循环水泵、冷却塔风机以及末端的新风机、空气处理机等设备,都是由电动机拖动的,电动机是空调系统的动力,空调系统的节能控制主要就是降低这些电动机的能耗。了解异步电动机的工作特性对正确实施电动机节能控制是很重要的。

第 2 章水泵与风机,主要介绍水泵与风机的工作特性,中央空调水系统的循环,离不开流体输送机械——水泵和风机。水泵和风机是电动机拖动的机械,是电动机的负载,空调系统运行的过程参数与其工作状态直接相关。

第 3 章流体的基本特性,主要介绍流体的基本特性及其在管路系统中的流动现象,包括流动过程中的阻力和能量损失,流体的流动与传热等。流体是中央空调系统传递冷热量的介质,空调系统的冷冻水和冷却水都是流体,空调系统的运行状态是通过冷冻水和冷却水的运行参数反映出来的,空调系统的节能运行也是通过控制冷冻水和冷却水的运行参数来实现的。因此,了解流体的特性和流动过程是有必要的。

第 4 章空调冷水的制造与输送,主要介绍空调制冷技术基本概念、空调系统的冷源、空调冷冻水和冷却水的制造、输送及其管路等,是了解和熟悉中央空调的工作过程及制冷原理所必需的。

第 5 章中央空调变流量水系统,主要介绍定流量水系统的弊端、变流量水系统管路及流量匹配,也较详细地介绍了二次泵变流量系统和三次泵变流量系统。

第 6 章中央空调模糊控制节能技术,主要介绍中央空调系统的控制技术,包括两项创新技术——基于负荷预测的冷冻水系统动态控制技术(即预期负荷控制)和基于系统性能综合优化的冷却系统优化控制技术(即自适应模糊优化控制),但是,由于涉及专有技术保密和自主知识产权保护,因此只介绍原理,不介绍具体控制策略,敬请读者谅解。

第 7 章中央空调动态水力平衡调控技术,主要介绍水力平衡调节的常用方法,以及空调系统水输送技术领域的一项重大创新技术——基于能量分配平衡的动态水力平衡技术(即动态能量分配平衡控制),包括其控制原理、调节方法及其优点等。

第 8 章中央空调末端设备的节能控制,主要介绍空调及空气处理的基本概念、常用的空调系统以及主要末端设备的节能控制方法,较系统地介绍了空调末端设备主要运行参数的控制思路和 MSC 高效变频调速柜。

第 9 章 BKS 系列中央空调节能控制设备,主要介绍贵州汇通华城楼宇科技有限公司

研制的 BKS 系统的构成、原理、功能、特点及创新技术，包括基于主机效率负荷特性的群控技术、并联泵组优选技术、空调系统运行状态动态监视技术等，以及 BKS 系统对冰蓄冷空调的控制策略。

第 10 章中央空调节能控制工程实施，主要介绍中央空调节能控制的工程器件和中央空调节能控制设备的工程实施，其中包括工艺创新技术——中央空调系统仿真平台和传感器带压安装技术。

本书由贵州汇通华城楼宇科技有限公司总工程师、高级工程师李玉街执笔编写，由公司总经理蔡小兵和公司执行总工程师郭林审核定稿。

参与中央空调智能模糊控制节能技术与 BKS 系统研制开发并为本书编写提供素材的技术人员，有张炳文、顾见龙、郁金昌、代国斌、刘福海、郭云霞、王琪玮、龙超辉、郭晟、杨欣、罗庆保、齐光玉、任如煌、周华、汪海峰、袁立新、胡朝彬、王林、王德祥等同志，在此谨表示由衷的感谢。

由于编著者水平有限，书中疏漏与错误之处在所难免，敬请读者批评指正，在此先行致谢。

最后，需要提醒的是，本书中所公开的诸多创新技术，都是“贵州汇通华城”拥有自主知识产权的专利技术，希望能得到业内企业和人士应有的尊重和保护，我们不希望看到有专利侵权的违法犯罪行为发生。但对侵权违法者，我们必将按照有关法律追究其法律责任和经济责任。

编著者

# 目 录

79	.....	作磁量风的风机	1.1.8
99	.....	型同的意书血中译五时风塔泵	2.9
100	.....	脚速的功克器系	1.2.3
101	.....	脚速的功克器系	1.2.3
101	.....	.....	1.2.3
<b>第 1 章 电力拖动</b>			
101	1.1 异步电动机的拖动特性	.....	1
104	1.1.1 电动机的基本结构	.....	1
	1.1.2 异步电动机的工作原理	.....	7
	1.1.3 异步电动机的等效电路	.....	10
101	1.1.4 异步电动机的功率和电磁转矩	.....	13
101	1.1.5 异步电动机的机械特性	.....	17
102	1.1.6 异步电动机的工作特性	.....	21
101	1.1.7 异步电动机的运行状态	.....	24
113	1.1.8 异步电动机的启动	.....	28
113	1.1.9 异步电动机的瞬变过程	.....	32
119	1.1.10 电力拖动系统电动机的选择	.....	33
111	1.2 电力拖动的调速技术	.....	39
120	1.2.1 电力拖动的调速需求	.....	39
121	1.2.2 电动机调速方式	.....	40
121	1.3 电力拖动系统的负载与负载转矩特性	.....	55
123	1.3.1 负载的分类	.....	55
125	1.3.2 电力拖动系统运行的稳定性与负载的关系	.....	58
121	.....	.....	.....
<b>第 2 章 水泵和风机</b>			
121	2.1 泵和风机的分类	.....	60
121	2.2 泵和风机的相似定律	.....	61
121	2.2.1 相似条件	.....	61
121	2.2.2 相似定律	.....	61
121	2.2.3 相似定律的应用	.....	62
121	2.3 泵的基本工作原理	.....	62
121	2.3.1 离心泵的结构和工作原理	.....	63
121	2.3.2 离心泵的基本工作特性	.....	65
121	2.3.3 离心泵的安装高度	.....	69
121	2.3.4 离心泵的工作点和流量调节	.....	76
121	2.3.5 多台泵的联合工作	.....	80
121	2.3.6 其他类型的泵	.....	83
121	2.4 风机的基本工作原理	.....	88
121	2.4.1 风机的基本工作原理	.....	88
121	2.4.2 风机的基本工作特性	.....	90
121	2.4.3 多台风机的联合工作	.....	94

2.4.4	风机的风量调节	97
2.5	泵和风机运行中应注意的问题	99
2.5.1	系统效应的影响	100
2.5.2	自然风压的影响	101
2.5.3	振动	102
2.5.4	噪声	104
2.5.5	磨损	104
<b>第3章 流体的基本特性</b>		
3.1	流体流动基础	105
3.1.1	流体的概念	105
3.1.2	流体静力学	105
3.1.3	流体动力学	108
3.2	管内流体流动现象	113
3.2.1	牛顿黏性定律	113
3.2.2	流体流动状态类型	115
3.2.3	流体在圆管内的速度分布	116
3.3	流体流动的阻力	120
3.3.1	管路系统	121
3.3.2	流体的流动阻力和能量损失	123
3.3.3	流体的沿程阻力	124
3.3.4	流体的局部阻力	128
3.4	流体的流动与传热	132
3.4.1	传热概述	132
3.4.2	热传导及导热系数	134
3.4.3	对流传热	137
3.4.4	对流传热系数关联式	141
3.4.5	辐射传热	149
3.4.6	稳定传热的计算	151
3.4.7	换热器	158
<b>第4章 空调冷水的制造与输送</b>		
4.1	空调冷水的制造	163
4.1.1	制冷技术基本概念	163
4.1.2	空调系统的冷源	175
4.1.3	空调冷水的制造	180
4.2	空调冷水的输送	188
4.2.1	空调水系统概述	188
4.2.2	空调水系统的管路	193
4.2.3	空调水系统的承压与分区	198
4.3	空调水系统的设计	203

4.3.1	水系统的设计依据和原则	203
4.3.2	水系统设计的主要内容	206
4.3.3	冷冻水系统的设计	208
4.3.4	冷却水系统的设计	215
<b>第5章 中央空调变流量水系统</b>		
5.1	定流量水系统的弊端	221
5.1.1	定流量水系统的主要构成	221
5.1.2	定流量水系统的运行分析	221
5.1.3	定流量水系统的弊端	222
5.2	空调变流量水系统	224
5.2.1	变流量管路系统	224
5.2.2	变流量水系统的流量匹配	229
5.3	二次泵变流量系统	232
5.3.1	定速变流量系统	233
5.3.2	变速变流量系统	235
5.3.3	二次泵的分区分水	240
5.4	三次泵变流量系统	241
5.4.1	三次泵管路系统的基本形式	241
5.4.2	使用三通阀的三次泵系统	244
5.4.3	三次泵系统的优点	245
5.5	变流量水系统的空气处理	246
5.5.1	空调水系统空气处理的重要性	246
5.5.2	空调水系统的排气设备	246
<b>第6章 中央空调模糊控制节能技术</b>		
6.1	中央空调系统的控制技术	249
6.1.1	自动控制技术基础	249
6.1.2	简单控制系统	255
6.1.3	复杂控制系统	265
6.1.4	智能控制技术	276
6.2	中央空调系统的能耗与节能	288
6.2.1	中央空调系统的能耗分析	288
6.2.2	中央空调系统的节能控制	291
6.3	中央空调冷冻水系统的节能控制	293
6.3.1	中央空调冷冻水系统的复杂性特征	293
6.3.2	冷冻水系统变流量运行的必要性	296
6.3.3	常见的冷冻水变流量控制技术	303
6.3.4	基于负荷预测的冷冻水流量动态控制技术	307
6.4	中央空调冷却水系统的节能控制	315
6.4.1	空调冷却水系统的工作原理	315

6.4.2	空调冷却水系统变流量运行的必要性	317
6.4.3	变负荷工况下冷却水系统的优化控制	323
6.4.4	空调冷却水系统自适应模糊优化控制技术	327
6.5	变流量工况下的安全保护技术	331
6.5.1	关于流量的安全保护	331
6.5.2	关于温度的安全保护	332
6.5.3	关于压差的安全保护	333
<b>第7章 中央空调动态水力平衡调控技术</b>		
7.1	水力平衡与平衡阀	335
7.1.1	水力平衡的基本概念	335
7.1.2	水力不平衡现象分析	337
7.1.3	平衡阀的特性	339
7.2	水力平衡调节的常用方法	342
7.2.1	定流量系统的水力平衡	342
7.2.2	变流量系统的水力平衡	342
7.2.3	现有水力平衡方法存在的问题	343
7.3	基于能量分配平衡的动态水力平衡技术	344
7.3.1	基于能量分配平衡的动态水力平衡控制原理	344
7.3.2	基于能量分配平衡的动态水力调节方法	346
7.3.3	基于能量分配平衡的动态水力调节的优点	349
<b>第8章 中央空调末端设备的节能控制</b>		
8.1	空调与空气处理	350
8.1.1	空调的概念	350
8.1.2	空气处理	351
8.2	空调系统的分类和构成	362
8.2.1	空调系统的分类	362
8.2.2	一次回风集中式系统	365
8.2.3	风机盘管加独立新风系统	368
8.3	空调末端设备的节能控制	372
8.3.1	新风机的节能控制	372
8.3.2	空气处理机的节能控制	378
8.3.3	变风量空调系统的控制	385
8.4	末端设备的控制柜	393
8.4.1	MSC 高效变频调速柜的构成	393
8.4.2	MSC 高效变频调速柜的功能	393
<b>第9章 BKS 系列中央空调节能控制设备</b>		
9.1	BKS 系统的构成及原理	396



9.1.1	BKS系统的构成	396
9.1.2	BKS系统的工作原理	399
9.2	BKS系统的主要功能	401
9.2.1	BKS系统的主要功能	401
9.2.2	BKS系统的技术特点	407
9.3	BKS系统的创新技术	408
9.3.1	基于能量输出与需求相匹配的模糊预测控制算法	408
9.3.2	基于系统性能综合优化的自适应模糊优化控制算法	409
9.3.3	基于能量分配平衡的动态水力平衡控制技术	409
9.3.4	基于主机效率负荷特性的群控技术	409
9.3.5	基于输送能耗最低的泵组优选技术	413
9.3.6	空调系统运行状态的动态监视技术	414
9.4	BKS系统对冰蓄冷空调的控制	416
9.4.1	蓄冷空调系统	416
9.4.2	冰蓄冷空调系统的构成	418
9.4.3	冰蓄冷空调系统的运行模式	421
9.4.4	BKS对冰蓄冷空调系统的控制策略	423
<b>第10章 中央空调节能控制工程实施</b>		
10.1	中央空调节能控制的工程器件	426
10.1.1	中央空调系统的运行参数监测	426
10.1.2	传感器的种类与特性	427
10.1.3	空调系统中常用的传感器	431
10.2	中央空调节能控制设备的工程实施	438
10.2.1	中央空调节能设备的仿真调试与检测	438
10.2.2	中央空调节能设备的现场安装与调试	439
10.2.3	中央空调系统节能效果的测试	444
参考文献		447

# 第 1 章 电力拖动

## 1.1 异步电动机的拖动特性

电力拖动是以电能为动力、以电动机为原动机拖动机械做功的一种作业方式，电力拖动又称电动机拖动、电气拖动或电力传动等。电动机是拖动系统中重要的执行元件，也是整个系统的重要组成部分。

我国电动机拖动系统消耗的电能多达全国总量的 2/3，所用电动机 90% 是交流异步电动机，其中拖动风机、泵类的电动机容量约有 1.5 亿千瓦，耗电量约占全国总量的 35%；拖动轧钢机、矿井提升机、磨机、交通运输机械、机床等生产设备的电动机容量约 3 亿千瓦，耗电量约占全国总量的 30%。电动机是我国用电量最大的终端用电设备，也是需求侧管理的一个重点终端设备。

电力拖动系统是由电动机、传递机构和工作机械等装置组成的机电系统，见图 1-1。



图 1-1 电力拖动系统构成示意图

电力拖动的任务就是使电动机实现由电能向机械能的转换，完成工作机械启动、运转、调速、制动工艺作业的要求，因此，电动机是电力拖动系统的中心环节。

按供电制式的不同，可分为直流电力拖动和交流电力拖动两种，其中交流电力拖动应用最广泛。

### 1.1.1 电动机的基本结构

#### 1. 电动机的结构

一般电动机的基本结构主要由两大基本部分组成：固定部分称为定子，旋转部分称为转子。定子与转子之间是空气隙。

##### (1) 定子部分

定子的作用是用来产生旋转磁场和作电动机的机械支撑。电动机的定子由定子铁心、定子绕组和外壳三部分组成。

##### 1) 定子铁心

定子铁心是三相电动机的磁路部分，是定子的导磁部分，由 0.35~0.5mm 厚、导磁性能很好的、表面涂有绝缘漆的薄硅钢片叠压而成，如图 1-2 所示。由于硅钢片较薄而且片与片之间是绝

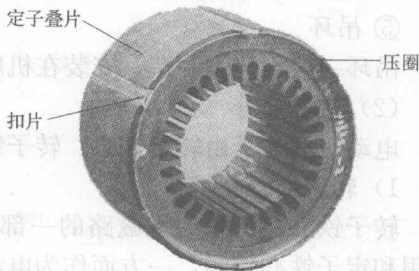


图 1-2 电动机的定子铁心

缘的，所以减少了由于交变磁通通过而引起的铁心涡流损耗。铁心内圆有均匀分布的槽口，用来嵌放定子绕组。

2) 定子绕组

定子绕组是三相电动机的电路部分，是定子的导电部分。

三相电动机有三相绕组，通入三相对称电流时，就会产生旋转磁场。三相绕组由三个彼此独立的绕组组成，且每个绕组又由若干线圈连接而成。每个绕组即为一相，每个绕组在空间相差  $120^\circ$  电角度。线圈由绝缘铜导线或绝缘铝导线绕制。中、小型三相电动机多

采用圆漆包线，大、中型三相电动机的定子线圈则用较大截面的绝缘扁铜线或扁铝线绕制后，再按一定规律嵌入定子铁心槽内。定子三相绕组的六个出线端都引至接线盒上，首端分别标为  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$ ，末端分别标为  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$ 。这六个出线端在接线盒里的排列如图 1-3 所示，可以接成星形或三角形。

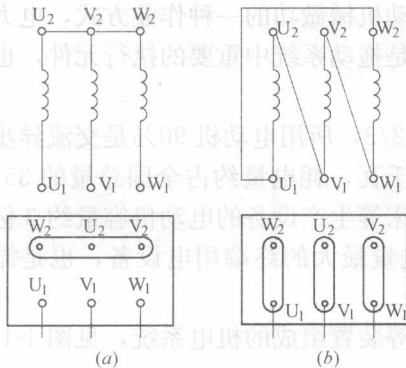


图 1-3 定子绕组的连接方式  
(a) 星形连接；(b) 三角形连接

3) 外壳

外壳包括机座、端盖、轴承盖、接线盒及吊环等部件。

① 机座

机座是定子的支撑部分，由铸铁或铸钢浇铸成型，具有较强的机械强度和刚度，它是三相电动机机械结构的重要组成部分。它的作用是保护和固定三相电动机的定子铁心及绕组。通常，机座的外表要求散热性能好。电动机运行时，因内部损耗而发生的热量通过铁心传递给机座，再由机座表面散发到周围空气中。为了增加散热面积，一般电动机在机座外表面设计为散热片状。

② 端盖

端盖，包括前端盖和后端盖，由铸铁或铸钢浇铸成型，它的作用是把转子固定在定子内腔中心，使转子能够在定子中均匀地旋转。

③ 轴承盖

轴承盖也是由铸铁或铸钢浇铸成型，它的作用是固定转子，使转子不能轴向移动，同时还有存放润滑油和保护轴承的作用。

④ 接线盒

接线盒一般用铸铁浇铸，其作用是保护和固定绕组的引出线端子。

⑤ 吊环

吊环一般用铸钢制造，安装在机座的上端，用来起吊、搬运三相电动机。

(2) 转子部分

电动机的转子由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

1) 转子铁心

转子铁心也是电动机磁路的一部分，由 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成，套在转轴上，作用和定子铁心相同，一方面作为电动机磁路的一部分，另一方面用来安放转子绕组。

2) 转子绕组