

空调水系统的优化 分析与案例剖析

赵亚伟 编著
马最良 主审

中国建筑工业出版社

空调水系统的优化 分析与案例剖析

赵亚伟 编著
马最良 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空调水系统的优化分析与案例剖析/赵亚伟编著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-112-17401-0

I: ①空… II. ①赵… III. ①空调水系统—最优
分析 IV. ①TB657. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 251250 号

本书着重介绍了在以往设计中人们普遍采用的冷机和水泵与水系统之间的常规组合形式的演变过程以及该常规组合形式在设计中存在的一些问题。针对这些问题, 笔者对二十多年来设计工作中的经验与教训进行了归纳和总结, 最终提出了能够减小冷机和水泵初投资和用电量的冷机和水泵与水系统之间的一种组合搭配方案, 并通过一栋面积为 6 万平方米的高层综合办公楼的具体工程设计案例对上述两种设计方案冷机和水泵的投资额和用电量进行比较。结果表明, 本书提出的冷机和水泵与水系统之间的优化设计方案是空调系统水输送领域内的一项创新技术, 也是一项先进而实用的技术, 可能成为功能与成本、节能与环保接近最佳匹配的空调水系统设计方案。在今后一段时间, 对冷机和水泵与水系统之间的优化设计具有积极的指导意义。

责任编辑: 姚荣华 张文胜

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 赵 颖

空调水系统的优化分析与案例剖析

赵亚伟 编著

马最良 主审

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

北京科地亚盟排版公司制版

环球印刷 (北京) 有限公司印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27½ 字数: 666 千字

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-17401-0
(26112)

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)

序

本书是作者长期在设计工作第一线做暖通空调设计与调试工作的总结与体会。从具体设计与运行实践中，归纳总结出关于空调水系统设计中一些新的设计思想与理念，愿与同行共享。作者历经三年多的刻苦努力、勤奋思考，将自己日积月累的空调水系统设计工作的经验、体会撰写成《空调水系统的优化分析与案例剖析》一书。这种为自己从事的平凡事业不遗余力的奋斗精神和勇于承担推动暖通空调设计发展的责任，值得我们每个设计工作者学习。

空调设计问题虽是个老问题，但始终是空调界经常研究和讨论的问题，总有新问题让我们思考与探索。对于具体的工程设计问题，有时候一时难以给出最佳方案。正像作者所言，“长期的苦思冥想，但仍然是一筹莫展，百思不得其解。”因此，暖通空调工程师应针对工程设计中的具体情况作具体分析，得出工程的具体特征和特殊性，综合考虑其具体特征和特殊性提出不同的具体设计方案，再把具体设计方案的差异量化到数据指标，从而帮助设计者确定出最优或较优方案。在设计中，多做研究性的设计工作，以避免简单地克隆同类工程设计。设计中要勤学习、勤思考、勤总结。只有这样，在设计工作中不断地爬坡，才能使暖通空调设计问题与时俱进、不断创新、不断进步。才能做到力求使工程设计做得尽善尽美。这是我有幸作为本书的第一个读者的读后感。愿以此为序。

马最良

2014年4月10日

前 言

随着建筑规模的不断扩大,空调系统变得越来越复杂,但同时也隐藏着巨大的节能潜力。冷热源及附属设备是冷热水系统的核心组成部分,它决定了系统能否保障用户的冷热量需求,是投资的主要部分,也是能源消耗的主要部分。因此,冷热源及附属设备与冷热水系统之间的优化组合设计是空调系统设计中非常重要的内容,也是整个空调系统设计过程中至关重要的环节,其设计方案的优劣直接影响到冷热源及附属设备的运行状况及效率,同时也影响着整个空调系统的能源消耗状况、空调品质和环保效果。经济性分析是大家最为关注的一个问题,正在成为中央空调系统设计中影响其质量和效率的一项重要工作,是决定方案是否选用的重要指标之一。

由于冷热源和冷热水系统的控制属于过程控制,是多输入、多输出、非线性、时变、时滞、强耦合和大惯性的自平衡系统,因此,自控和管理对充分发挥冷热源和冷热水系统的各项功能,并实现节能运行,真是太重要了。可惜的是目前该领域还做得很差。由于冷热源和冷热水系统的复杂性,导致多数计算机控制系统没能发挥其应有的作用,这与我国暖通空调事业和计算机应用技术的飞速发展相比,显得很失调。在能源紧缺和提倡创建节约型社会的今天,为了达到节能减排的目的,笔者根据以往人们普遍采用的冷热源与冷热水系统之间常规的设计形式中存在的一些问题,并针对这些问题和目前自控现状,对二十多年来设计工作中的成与败进行了归纳和总结,得益于一次次经受的磨砺,得到教训,增长见识,在设计理念上转变思想,在设计方法上另辟蹊径,对其研究和体会付诸于笔端,最终提出了一种能减小冷热源及附属设备初投资和用电量的冷机(锅炉或换热器,下同)和水泵与水系统之间的优化组合方案。该方案根据建筑结构形式的复杂性和空调功能区域的多样性以及末端距冷冻机房的距离远近和不同空调区域负荷特点与使用性质等因素,把整栋建筑空调空间划分成容量和阻力按照合理梯度从小到大递增的多个冷热水系统。在设计工况下每个水系统按照一机一泵制设计,并按照其规模大小、使用性质、负荷特点和使用时间长短等因素将其分别设计成负荷侧和冷源侧定流量一级泵系统、冷机定流量负荷侧变流量一级泵系统、定流量一级泵/变流量二级泵系统或冷机变流量一级泵系统,然后为其配置不同类型、不同型号、不同效率或不同调节性能的冷机—水泵组,把各个设备厂家的技术优势有机地结合起来,来提高冷热源系统的整体技术经济指标;在部分负荷工况下运行时,通过单组冷机—水泵组和与其相关的各并联水系统之间的组合搭配来满足末端负荷需求。该方案在系统原理上彻底解除了冷机—水泵组之间在运行中存在的相互耦合问题,使其与水系统之间组合搭配形式更多,提高了其部分负荷率,降低了其运行能耗,简化了其时序控制逻辑和能耗优化控制,把不同类型、不同型号、不同效率和不同调节性能的冷机—水泵组和不同形式水系统的各自特点发挥得淋漓尽致。

最后通过一栋空调面积大约为 6万 m^2 的高层综合办公楼的工程案例对上述两种设计方案的冷机和水泵的投资额和用电量进行比较,结果如下:在常规的方案中,冷机和冷冻

水泵用电量总和为 1662kW，冷机和冷冻水泵投资额总和为 426.72 万元；在本案例介绍的方案中，冷机和冷冻水泵用电量总和为 1436kW，冷机和冷冻水泵投资额总和为 371 万元。和常规的方案相比，本案例介绍的方案中冷机和冷冻水泵节省的投资额总和为 55.72 万元，占其总投资额的 15%，节省的用电量总和为 226kW，占其总用电量的 15.6%。这表明本案例介绍的优化组合方案是水输送领域内的一项创新技术，也是一项先进而实用的技术，可能成为功能与成本、节能与环保接近最佳匹配的水系统设计方案。在今后一段时间，对冷热源及附属设备和与其相对应的各水系统之间的优化设计具有积极的指导作用。

本书在编写过程中得到了马最良教授的关怀、指导和帮助。笔者在寻解获助时心存感激，在寻师问道时心怀崇敬。

本书从策划到出版倾注了建筑工业出版社姚荣华、张文胜等诸位编辑一年多的心血，他们在结构编排上提出许多合理化建议，在此也表示衷心的感谢。

我是自控“非科班”出身，对自控的理解只是一知半解，书中一些提法，包括一些名词，可能不够准确，一定存在许多不足之处，恳请读者不吝赐教，以便将来及时修订。

目 录

第 1 章 概论	1
第 2 章 空调水系统及设备	6
2.1 空调冷热水系统的基础知识	6
2.1.1 空调冷热水系统的划分原则	6
2.1.2 空调管网系统的形式	8
2.1.3 空调冷热水系统设计	10
2.1.4 管网阻抗特性曲线方程	14
2.1.5 空调水系统的定压及补水	16
2.1.6 高层建筑空调水系统的特殊问题	24
2.2 水泵	28
2.2.1 单台水泵的工作特性	28
2.2.2 多台水泵并联工作特性	35
2.2.3 多台水泵串联工作特性	39
2.2.4 水泵参数的调节方法及特征	40
2.2.5 水泵的选型原则及注意事项	42
2.3 换热器	44
2.3.1 换热器的动态特性	44
2.3.2 换热器的静态特性	45
2.3.3 换热器换热量的控制途径	49
本章参考文献	52
第 3 章 相关控制理论基础知识	53
3.1 控制器的控制规律	53
3.1.1 双位控制	54
3.1.2 比例 (P) 控制	58
3.1.3 比例积分 (PI) 控制	61
3.1.4 比例微分 (PD) 控制	64
3.1.5 比例积分微分 (PID) 控制	68
3.1.6 离散比例积分微分控制	70
3.1.7 数字 PID 改进算式	71
3.2 单回路控制系统	75
3.2.1 单回路控制系统的组成及工作原理	75
3.2.2 被控变量的选择	78
3.2.3 广义对象各环节特性对控制品质的影响	79

3.2.4 操纵变量的选择	84
3.3 调节阀	84
3.3.1 二通调节阀的理想流量特性	85
3.3.2 三通调节阀的理想流量特性	86
3.3.3 调节阀的静态增益	87
3.3.4 调节阀流量特性的选择	87
3.3.5 调节阀的工作流量特性	89
3.3.6 提高调节阀最小阀权度的方法	93
3.3.7 调节阀口径的选择计算	94
3.4 复杂控制系统及应用	95
3.4.1 串级控制系统	95
3.4.2 前馈控制系统	104
3.4.3 前馈—反馈控制系统	108
3.4.4 前馈—串级控制系统	111
3.4.5 比值控制系统	112
3.4.6 分程控制系统	115
本章参考文献	116
第4章 水泵变速调节控制方法与节能比较	118
4.1 概述	118
4.2 水泵变速调节控制法的定义	121
4.3 影响水泵变速调节节能效果的因素	123
4.4 冷却水泵和冷却塔风机变速调节节能分析	124
4.4.1 影响冷却水泵变速调节节能的两个条件	124
4.4.2 冷却水系统变流量对冷机能耗的影响大于冷冻水系统	125
4.4.3 冷却水泵变速调节的外部环境好于冷冻水泵	126
4.4.4 冷却水泵和冷却塔风机的变速调节控制策略	127
4.5 冷冻水泵变速调节节能效果分析	136
4.5.1 “自然温降”控制法	137
4.5.2 温差控制法	140
4.5.3 末端阀位控制法	145
4.5.4 压差控制法	150
4.5.5 水泵变速调节节能效果分析	155
4.5.6 压差控制法与温差控制法的关系	170
4.5.7 通断控制末端流量时压差控制法和温差控制法对负荷变化的适应性是相同的	171
4.5.8 温差控制法与压差控制法的节能效果分析	173
4.5.9 连续调节与通断控制末端流量时水泵能耗分析	177
4.5.10 不同类型阀门控制末端流量时水泵变速调节对冷机能耗的影响	182
4.5.11 水泵变速调节控制法的选用原则	183
本章参考文献	184

第 5 章 冷却水系统设计 186

5.1 空调冷却水系统的典型图示 186

5.1.1 单元制 186

5.1.2 干管制 186

5.1.3 混合制 188

5.1.4 冷却塔供冷系统 188

5.2 冷却塔 189

5.2.1 冷却塔的类型 189

5.2.2 冷却塔选型中应注意的问题 189

5.3 加强水质管理是系统节能的关键 190

5.4 多台同型号冷却水泵同步变速调节运行时水泵工作点分析 191

本章参考文献 194

第 6 章 冷热水系统形式的演变过程以及在设计中存在的问题 195

6.1 定流量一级泵系统 195

6.1.1 定流量一级泵系统的优点 197

6.1.2 定流量一级泵系统的缺点 197

6.1.3 三通调节阀的正确选择 198

6.1.4 定流量水系统输配形式的选择 199

6.2 分阶段变流量定转速一级泵系统 199

6.2.1 影响系统流量变化的因素 200

6.2.2 部分台数冷机运行时蒸发器压降对管网系统流量变化的影响 200

6.2.3 流量过大是冷冻水泵过载的直接原因 203

6.2.4 冷冻水泵过流量有利于发挥冷机的超额冷量 204

6.2.5 预防冷冻水泵过流量和电机过载的不合理技术措施 205

6.2.6 分阶段变流量一级泵系统的缺点 206

6.3 冷机定流量负荷侧变流量一级泵系统 207

6.3.1 冷机定流量负荷侧变流量一级泵系统的工作原理 207

6.3.2 冷机定流量负荷侧变流量一级泵系统的水力工况分析 209

6.3.3 冷机定流量负荷侧变流量一级泵系统的缺点 218

6.3.4 冷机—水泵组加机时需要注意的问题 219

6.3.5 压差旁通调节阀选型时应注意的问题 219

6.4 定流量一级泵/变流量二级泵系统 221

6.4.1 冷机蒸发器不能变流量运行的原因 221

6.4.2 定流量一级泵/变流量二级泵系统组成及控制原理 222

6.4.3 定流量一级泵/变流量二级泵系统的优点 224

6.4.4 定流量一级泵/变流量二级泵系统的水力工况分析 225

6.4.5 一、二次侧之间的水量和二级泵供水量与末端需求量的不平衡对水泵节能的
影响 226

6.4.6 二次侧低温差综合症的危害、产生的原因及解决办法 228

6.4.7 多台同型号二级泵并联变速调节方案和控制方式对系统节能的影响 231

6.4.8 多台同型号二级泵工频运行水泵台数控制方案 245

6.4.9 一级泵旁通利用工频二级泵实现冷源侧定流量负荷侧变流量 247

6.4.10 定流量一级泵/变流量二级泵系统的缺点 249

6.5 冷机变流量一级泵系统 250

6.5.1 冷机变流量不会对冷机能耗造成太大影响 250

6.5.2 冷机变流量一级泵系统的组成及控制原理 251

6.5.3 冷机变流量需要解决的几个关键问题 253

6.5.4 多台同型号冷冻水泵同步变速调节运行时水泵工作点分析 255

6.5.5 冷机变流量一级泵系统的优点 257

6.5.6 冷机变流量一级泵系统的适用性 258

6.5.7 变流量冷机的两个重要参数 258

6.5.8 变流量冷机的选用原则 261

6.5.9 冷机时序控制 262

6.5.10 多台不同类型或不同型号并联冷机与多台同型号并联冷冻水泵串联运行时水泵
变速调节存在的问题 264

6.5.11 在异程式与同程式系统中末端支路流量变化的比较 268

本章参考文献 276

第7章 冷机（锅炉或换热器）—水泵组与冷热水系统之间的优化组合方案 277

7.1 冷机（锅炉或换热器）和冷热水泵“串并联”运行存在的问题 277

7.1.1 冷热源及附属设备与冷热水系统之间联合优化设计中应注意的问题 277

7.1.2 影响冷热源及附属设备与冷热水系统之间优化组合设计方案的主要因素 279

7.1.3 冷热源设备与冷热水泵“串并联”运行时存在的问题 280

7.2 冷热源及冷热水系统的全面调节与控制特点以及在控制中存在的问题 291

7.2.1 全面调节与控制特点 291

7.2.2 控制中存在的问题 293

7.3 整栋建筑空调水系统采用一机一泵制运行时水泵变速调节的特点 304

7.4 整栋建筑空调水系统采用一机多泵制运行时水泵变速调节的特点 306

7.5 冷机（锅炉或换热器）—水泵组与水系统之间的优化组合方案 307

7.6 空调冷热水系统形式选用原则 313

7.7 冷机和水泵选型偏大的处理方案 316

7.7.1 冷机和水泵选型偏大的主要原因 316

7.7.2 冷机选型偏大情况分析 317

7.7.3 水泵选型偏大情况分析 321

本章参考文献 324

第8章 某大厦冷热源及附属设备与空调水系统之间优化设计剖析 325

8.1 空调系统形式选择与水系统划分方法 325

8.2 冷机和冷冻水泵选型原则 328

8.3 冷机和冷冻水泵的投资额和用电量比较 330

8.4	电磁阀通断控制的风机盘管水系统整体水力特性介绍	336
8.5	冷机出水温度调控策略	337
8.5.1	分阶段变流量系统冷冻水温度调控策略	340
8.5.2	变流量系统冷冻水温度调控策略	341
8.6	小、中、大冷机—水泵组与小、中、大冷冻水系统之间的调控方案	344
8.6.1	冷负荷率在 3.75%~12.5% 范围内变化	345
8.6.2	冷负荷率在 12.5%~22.5% 范围内变化	349
8.6.3	冷负荷率在 22.5%~35% 范围内变化	349
8.6.4	冷负荷率在 35%~65% 范围内变化	350
8.6.5	冷负荷率在 65%~77.5% 范围内变化	355
8.6.6	冷负荷率在 77.5%~87.5% 范围内变化	356
8.6.7	冷负荷率在 87.5%~100% 范围内变化	356
8.7	空调冷却水系统设计剖析	357
8.7.1	冷却水系统形式以及冷却塔和冷却水泵选择	357
8.7.2	冷机、冷却水泵和冷却塔之间的调控方案	360
8.8	冷却塔供冷技术的应用	364
8.9	热源系统设计	365
8.9.1	热水系统与室外热源的连接与控制	365
8.9.2	热水泵与冷冻水泵的合用	366
8.10	空调冷热水系统的定压与补水	367
8.11	冷热水系统的全面水力平衡	368
8.11.1	水力稳定性好坏是决定管网系统全面水力平衡的前提和基础	369
8.11.2	水力平衡的概念和分类	376
8.11.3	要进行全面水力平衡的原因	377
8.11.4	水力失调的危害	378
8.11.5	各种水力平衡阀的工作原理、功能及特点	379
8.11.6	各种水力平衡阀与电动调节阀的组合特性	381
8.11.7	在单体建筑内的空调水系统中一般不需要设置压差控制阀	384
8.11.8	调节阀控制末端流量时需要水力平衡的必要性	384
8.11.9	PID 参数的准确整定是实现调节阀调节性能的重要保证	386
8.11.10	串联调节控制是解决系统热力失调的有效方法	386
8.12	某大厦冷热水系统全面水力平衡设计	387
8.12.1	地下层和地上一~三层管网系统静态水力平衡情况	388
8.12.2	调节阀选型中应注意的问题	388
8.12.3	四~十九层管网系统静态水力平衡情况	390
8.12.4	在风机盘管支路没有使用定流量阀或压差控制阀的原因	392
8.12.5	空调水系统设计中没有使用各种平衡阀的原因	392
8.13	每组冷机—水泵组与各水系统之间优化组合方案的主要优点	395
8.13.1	冷机—水泵组与各水系统之间组合形式多,冷机部分负荷率高	396

8.13.2	冷机—水泵组选型方法简单	397
8.13.3	有利于提高冷热源及附属设备整体技术经济指标	399
8.13.4	有利于水泵节能运行,提高系统的调节品质	402
8.13.5	消除了系统运行中存在的“空载水流”	402
8.13.6	用电流比作为冷机启停切换点既简单、经济又安全可靠	403
8.13.7	控制逻辑简单,系统运行安全可靠	408
8.13.8	优化冷机出水温度,提高冷源系统整体运行效率	409
8.13.9	有利于过渡季利用冷机的超额冷量	410
8.13.10	冷热源及附属设备和控制系统调试简单	411
8.13.11	静态水力平衡方便	412
8.13.12	水系统之间水力平衡调试简单	413
8.13.13	冷热量分配灵活	415
8.13.14	不同形式的空调水系统可组合使用	415
8.13.15	水泵变速调节采用“自然温降”控制,节能效果好	416
8.13.16	压差控制法控制效果好	416
8.13.17	不同冷机蒸发器压降之间不存在节流损失	417
8.13.18	不存在水泵并联运行时的关联损失	417
8.13.19	冷热源及附属设备全年能耗统计分析简单	417
8.13.20	各空调水系统并联运行时相互之间干扰小	418
8.14	每组冷机—水泵组与各水系统之间优化组合方案的主要缺点	418
8.14.1	冷机和水泵总体备用性较差	418
8.14.2	水泵备用会增加初投资	419
8.14.3	无法做到每台冷机—水泵组运行时间均等	419
8.14.4	不利于把冷机选型偏大降到最小值	420
8.15	优化组合方案的适应性	420
8.16	优化组合方案的应用前景	423
	本章参考文献	427

第 1 章 概 论

通常情况下,建筑依照其使用功能和服务对象的不同分为工业建筑和民用建筑两大类。工业建筑主要是指厂房和仓库,民用建筑则包括居民住宅,商业、服务业、办公、教育和科研用房以及文体场馆等多个种类。除住宅外,其他用于各类公共活动的民用建筑可统一称为公共建筑。不同功能的公共建筑,其室内人员、灯光和办公设备的密度不同,全年能源消耗总量也不同。根据公共建筑照明、设备、空调系统的电耗、用能特点,将公共建筑划分为普通公共建筑和大型公共建筑。本书研究对象为建筑面积超过 2万 m^2 且采用集中空调系统的各类星级酒店、大型商场、高级写字楼、会展中心、车站机场和体育场馆等大型公共建筑。大型公共建筑是人们工作和活动的基本场所,同时也是消耗大量能源和资源的重要项目。随着我国经济的持续发展和人民生活水平的不断提高,人们对生活和工作环境提出了更高的要求,越来越多的公共建筑设计了中央空调系统。空调系统的首要任务就是以最低的设计和运行成本为建筑使用者创造一个舒适、节能、高效、卫生、温馨和安全的室内环境。但是,空调系统给人们带来舒适生活和工作环境的同时,也带来了建筑能耗大幅度上升等一系列问题。由于公共建筑内大量使用计算机和通信设备,各种产热设备数量增多,室内人员密度相对较大以及空调系统使用时间较长,因此导致在整个空调季能耗很大,几乎占到建筑整体能耗的 $60\%\sim 70\%$ 。特别是在大型公共建筑中,集中空调系统得到了大量使用,冷冻站和空调水系统的规模相继扩大,也变得更加复杂,以其惊人的能耗日益成为公共建筑节能工作中备受关注的部分。在能源紧缺和提倡创建节能型社会的今天,空调系统节能问题不容忽视,对中央空调系统节能途径的探讨目前仍是一个热点话题,特别是如何结合公共建筑工程实际情况实现空调系统节能已成为一个非常重要的现实课题。

随着科学的不断进步,人们对工作和活动环境的舒适、能源的有效利用以及环境保护相统一的问题逐渐达成共识。空调系统节能除了与末端运行方式有关外,主要取决于冷机—水泵组和水系统之间的合理配置和正确的运行方式。空调水系统是冷机、水泵和末端的联系枢纽,它的主要能耗来自于冷机和输配设备(冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔风机等),而输送能耗占总能耗的比例随系统规模的扩大而增加。关于如何进一步提高水系统中各能耗设备的运行效率一直是业界所关注的焦点问题之一,日益受到研究、设计和运行管理者的高度重视。冷机—水泵组和水系统之间的联合优化设计,对空调品质、系统节能运行和环保效果等将产生重大的影响。冷机能耗主要取决于室内环境标准、空气处理方式及冷机的能源利用效率和调节特性。输配设备能耗主要取决于空调方式、管网结构、输配设备的效率、性能及控制方式等。空调水系统节能的主要任务是在满足空调末端负荷需求的前提下,尽量提高空调水系统在各种负荷工况下的运行效率,最大限度地降低水系统中各能耗设备的全年总体能耗水平。水泵运行控制方式不仅影响水泵自身的效率和能耗,而且对冷机的运行效率和能耗起着不容忽视的影响。冷机能耗在空调系统中占有很大份额,

并得到了较多的重视。而输配设备电耗也同样重要，不应忽视，这样才有可能达到总体节能。

空调水系统中各能耗设备是按照设计工况选型的，而大部分公共建筑的空调负荷都存在着每日、每时和季节性变化的特点，在一年之中空调负荷的分布是极不均衡的，在 80% 以上负荷率的运行时间一般不超过总运行时间的 10%，在全年绝大部分时间里都是在 70% 以下负荷率运行，这就导致冷机、水泵和冷却塔风机大部分时间是在部分负荷工况下运行，这为空调系统节能运行提供了很大的空间。变频技术的发展使得变频压缩机、变频水泵和变频风机越来越多地应用到空调制冷与空调水系统和风系统当中，通过调节压缩机、水泵和风机配用的电机频率，不仅能适应部分负荷变化的需要，而且可以通过降低压缩机、水泵和风机功率来达到节能的目的。但由于变频器价格太高以及在设计工况存在能耗问题，因此这种“先耗能、后节能”的技术措施只能作为系统节能的辅助手段。

在设计工况下需要多台冷机同时供冷的大型空调水系统中，大多数设计者喜欢采用把冷机与水泵先串联然后把多组冷机—水泵组再并联或把多台冷机、多台水泵分别并联起来然后再串联的连接方式，其实这种“串并联”运行方式的节能效果并不理想。那么，在不显著增加空调管网系统初投资的情况下，如何找到冷机—水泵组与水系统之间的最优设计方案，最大限度地提高空调水系统中各能耗设备在设计工况下和在部分负荷工况下的运行效率，对空调系统节能来说具有非常重要的现实意义。空调工程是涉及面广、包含内容多、复杂多样的系统工程，同一空调工程可以有多种不同形式的水系统设计方案、多种冷机—水泵组组合搭配模式、多种冷机运行调节方式和多种水泵与冷却塔风机变速调节控制策略，它们之间的不同组合搭配方案在实际运行中将会产生不同的经济效益。本书第 8 章案例根据末端距冷冻站距离远近、建筑几何形态、空调区域功能和负荷特点等不同特征，将建筑内空调空间划归为多个规模大小互不相同的空调水系统，在设计工况下，每个水系统按照一机一泵制设计，在部分负荷工况下运行时，通过多组不同类型或不同型号的冷机—水泵组和建筑内与冷机—水泵组同数量的规模大小与对应冷机—水泵组容量相同的各水系统之间的合理组合搭配，使冷机和水泵的装机电量以及全年运行能耗与以往设计中采用多台冷机和多台水泵串联然后再并联运行或把多台冷机、多台水泵分别并联起来然后再串联运行相比是迥然不同的。在设计工况下它们的能效比和所需电功率就会有所不同；在部分负荷工况下运行时，它们的运行效率和能耗水平差别会更大。上述组合搭配方案也许是每组冷机—水泵组和各空调水系统之间安全、可靠和经济运行的优化选择方案。

本书是空调水系统优化设计的入门书籍，是把暖通空调专业知识和自控专业知识融合在一起编写的。在结构编排上遵循基础知识—专业知识—工程案例这样的“三段论”。本着由浅入深，循序渐进的原则，一步一步地逐渐深入到工程实践中去，并以“实用为主”的原则贯穿始终。本书的侧重点不是建立系统的学科理论，而是使读者能够根据建筑结构形式的复杂性和空调功能区域的多样性，及末端距冷冻机房的距离远近和不同空调区域负荷特点与使用性质等，来应对空调水系统优化设计中遇到的各种实际问题，使设计方案更加合理。

第 2、3 章主要是为初学者编写的。为了有助于后续章节的学习，介绍一些冷热水系统的基础知识及设备和相关自控理论基础知识是非常必要的。第 2 章除了涉及空调冷热水系统的划分原则、具体形式、承压、定压及补水外，着重介绍了管网阻抗特性曲线方程，

水泵工频、变频、并联和串联特性曲线方程以及水泵参数的调节方法和特征，换热器的动态特性和静态特性曲线方程以及换热器换热量的控制途径。这对后续章节内容的理解是至关重要的。但这些内容的编写广度和深度主要是从满足管网系统优化角度考虑的，远远满足不了工程设计要求。有关更详细的内容介绍请参阅相关文献。

第3章是为自控“非科班”出身的暖通空调设计者编写的，简要地介绍了与空调水系统控制相关的控制算法和控制策略。为了达到通俗易懂的目的，采用了数学推导和图形描述并用的叙述方法。建筑自动化涉及庞大的知识内容，包括建筑功能、建筑机电设备、空调通风照明系统、电工电子技术、热工参数测量、自控理论、计算机硬件和软件、数字通信网络和工程管理等许多学科，在这里要做到面面俱到很不现实，只能遵循从简的原则来编写。考虑到自控工程的难点之一是控制算法和控制策略，这是暖通空调设计者最需要了解的一个关键内容，也是大多数设计者在暖通空调自控方案配合中经常出现问题的一个薄弱环节。为此本章围绕着控制器的控制规律这个中心，尽量做到用数学工具来分析调节过程的基本原理，掌握其初步知识，建立起自控系统的基本概念和理论体系，理解每个数学公式所包含的物理意义，尽量做到使读者了解自控系统的基本结构和基本问题，了解、熟悉或掌握一些主要的控制算法和策略问题。否则就会根基不稳，自控知识在设计者脑海里成了“空中楼阁”，无法做到把自控知识灵活地应用到实际工程中去。

为了便于理解、分析和比较各种形式空调水系统在实际运行中存在的优缺点以及在以往设计中人们普遍采用的冷机和水泵与水系统之间的常规组合搭配形式在实际运行中存在的不足之处，加深对第8章案例介绍的多组不同类型或不同型号冷机—水泵组和建筑内与冷机—水泵组同数量的容量大小与对应冷机—水泵组相同的各空调水系统之间优化组合方案所具有的许多优点的全面理解和认识，因地制宜地设计这种方案，提高系统整体技术经济指标，使冷热源及附属设备更加节能。第4章在一个空调水系统采用一机一泵制的基础上，分析和比较了变流量水系统中（包括冷却水系统和冷热水系统）各种水泵变速调节控制方式的节能效果，吸收了参阅过文献中的精华部分，纠正了其不足之处，在某些问题上提出了自己的意见或见解，为后续章节内容奠定了理论基础。方便读者全面了解、熟悉或掌握目前在水泵变速调节控制方面出现的最新成果，并将其应用到实际工程中去。

第5章除了介绍空调冷却水系统的典型图示等内容外，着重分析了多台同型号冷却水泵同步变速调节运行时水泵工作点变化情况。为冷机变流量一级泵系统中多台同型号冷冻水泵同步变速调节运行时水泵工作点分析打下坚实的基础。

第6章回顾了空调冷（热）水系统的演变过程与特点以及在设计中存在的问题，介绍了国内一些勇于革新的科研人员和设计者在空调水系统设计方面所进行的探索与创新。在此基础上，提出了改良后的水系统形式。主要分析了多台同型号冷冻水泵变速调节方案和控制方式对系统节能的影响。

第5章和第6章为第7章在内容上作铺垫。

第7章介绍了冷热源及附属设备与冷热水系统之间的优化组合方案。具体涉及以下内容：

（1）分析了冷热源设备与冷热水泵“串并联”运行时存在的问题。长期以来，由于大多数设计者认为这种“串并联”设计方案完美至极，无可挑剔，在理论和实践上得到大家一致认同，因此，这种设计思想在许多行业里根深蒂固，长期占据着“统治地位”，在暖

通空调行业也不例外。其实这种“串并联”设计方案由于存在冷热源及附属设备之间的相互耦合问题，应用到某一特殊空调工程上可能不够科学合理，并不能有效地发挥冷热源及附属设备的综合性能。在设计工况下，往往造成冷热源及附属设备综合能效比很低；在部分负荷工况下运行时，常造成冷热源及附属设备能源使用效率低下，节能效果不佳等问题。主要原因是冷热源及附属设备与冷热水系统之间配置不合理所致。可见，寻求冷热源及附属设备的合理选型和匹配与优化管网设计是分不开的，它是保证系统正常运行和实现节能的关键。

(2) 回顾了冷热源及冷热水系统的全面调节与控制特点以及在控制中存在的问题，通过这些工程问题的讨论可以体会到空调系统控制中存在的实际问题和难点。

(3) 为了有效地解决空调系统控制中存在的这些实际问题和难点，相应地介绍了整个建筑空调水系统采用一机一泵制或一机多泵制时冷冻水泵变速调节运行的特点。虽然这两种系统形式对工程中存在的实际问题和难点的解决处于启蒙阶段，还不够完美，在理论上存在一定的不足之处，但和理想的追求目标更接近了一步。

(4) 通过对二十多年来设计工作中的成与败进行归纳和总结，提出了一种能减小冷热源及附属设备初投资和用电量的冷机（锅炉或换热器，下同）和水泵与水系统之间的优化组合方案。该方案根据建筑结构形式的复杂性和空调功能区域的多样性以及末端距冷冻机房的距离远近和不同空调区域负荷特点与使用性质等因素，把整栋建筑空调空间划分成容量和阻力按照合理梯度从小到大递增的多个空调水系统。在设计工况下，每个空调水系统按照一机一泵制设计，并按照其规模、使用性质、负荷特点和使用时间等因素，将每个空调水系统分别设计成负荷侧和冷源侧定流量一级泵系统、冷机定流量负荷侧变流量一级泵系统、定流量一级泵/变流量二级泵系统或冷机变流量一级泵系统，同时为它们配置不同类型、不同型号、不同效率或不同调节性能的冷机—水泵组；在部分负荷工况下运行时，通过单组冷机—水泵组和与其相关的各并联空调水系统之间的组合搭配来满足末端部分负荷需求。该方案从系统原理上彻底解除了多组冷机—水泵组之间并联运行关系，使冷机—水泵组之间在运行中不再存在相互耦合问题，克服了多组冷机—水泵组并联运行时冷机和水泵选型受限以及运行模式单一的缺点。在设计工况下，该优化组合方案把各个设备厂家的技术优势有机地结合起来，以提高冷源系统的整体技术经济指标，即提高冷机 COP 的冷量加权平均值和水泵效率的流量加权平均值，减小冷冻水泵扬程的流量加权平均值，相应减小冷源及附属设备的用电量和电气设备的安装容量。在非设计工况下，该优化组合方案使冷机—水泵组与水系统之间组合搭配形式更多，有利于冷机—水泵组之间负荷优化分配，提高它们的部分负荷率，使其均能工作在单机最佳工况区域内，降低其运行能耗，简化其时序控制逻辑和能耗优化控制。该优化组合方案把不同类型、不同型号、不同效率和不同调节性能的冷机—水泵组和不同形式水系统的各自特点发挥得淋漓尽致，系统节能效果更好。

(5) 最后得出了空调冷热水系统形式选用原则。指出，空调水系统从负荷侧和冷源侧定流量一级泵系统、分阶段变流量定转速一级泵系统、冷机定流量负荷侧变流量一级泵系统、定流量一级泵/变流量二级泵系统、冷机变流量一级泵系统到不同类型或不同型号冷机—水泵组和建筑内与冷机—水泵组同数量的、规模大小与对应冷机—水泵组容量相同的各水系统之间的优化组合方案的演变过程，是从一级泵不节能、负荷侧二级泵节能、一级

泵节能到冷机和水泵全程节能的发展过程，也是系统配置和控制要求从简单到复杂、再回归简单的发展过程。

第8章从工程实施的角度出发，根据工程项目的具体情况，遵循具体问题具体分析，有的放矢的原则，通过具体工程案例较系统地介绍了在设计工况下不同类型或不同型号三组冷机—水泵组和与其相对应的空调水系统之间遵循一个水系统按照一机一泵制设计以及在部分负荷工况下运行时空调制冷系统和空调水系统之间采用单组冷机—水泵组和与其相互关联的各并联水系统之间的优化组合方案的设计过程以及对设计中遇到的关键问题所采用的分析方法和节能措施，具体细节问题这里不再一一介绍。该优化组合方案优点很多，具体如下：①冷机—水泵组与各水系统之间组合形式多，冷机部分负荷率高；②冷机—水泵组选型方法简单；③有利于提高冷热源及附属设备整体技术经济指标；④有利于水泵节能运行，提高系统的调节品质；⑤消除了系统运行中存在的“空载水流”；⑥用电流比作为冷机启停切换点既简单、经济又安全可靠；⑦控制逻辑简单，系统运行安全可靠；⑧优化冷机出水温度，提高冷源系统整体运行效率；⑨有利于过渡季利用冷机的超额冷量；⑩冷热源及附属设备和控制系统调试简单；⑪静态水力平衡方便；⑫水系统之间水力平衡调试简单；⑬冷热量分配灵活；⑭不同形式的空调水系统可组合使用；⑮水泵变速调节采用“自然温降”控制节能效果好；⑯压差控制法控制效果好；⑰不同冷机蒸发器压降之间不存在节流损失；⑱不存在水泵并联运行时的关联损失；⑲冷热源及附属设备全年能耗统计分析简单；⑳各空调水系统并联运行时相互之间干扰小。除上述主要优点外，它还有其他一些优点，该章对其进行了详细分析，在这里不再总结。通过对第8章的阅读，可以初步了解这种优化组合方案的设计全貌，深刻理解上述优点，并且能够灵活地运用到实际工程中去。数据分析表明该优化组合方案可能成为功能与成本、节能与环保接近最佳匹配的空调冷（热）水系统设计方案。

在阅读本书时，如果您对某一方面的内容感兴趣，可以进一步研读每章最后列出的相关文献。