

文章编号: 1671-6612 (2022) 03-449-06

购物中心租区空调水系统 现状分析及节能改造方案研究

冯源 沈薇

(成都基准方中建筑设计有限公司 成都 610021)

【摘要】 中央空调能耗作为能耗大户约占商业建筑总能耗40%，对空调末端运行的控制和供需反馈将直接影响到空调系统的节能运行。调查发现，大量的购物中心的租区空调系统均未接入楼宇自控系统中，由于租区空调的“失控”引起购物中心内冷热不均，水系统大流量小温差运行及空调能耗提升等问题。探讨了在租户回路的水系统上采用温差控制及能量控制两种改造方案能提升总体空调能效约3.5%~7%，且改造成本可控。

【关键词】 购物中心；空调水系统；改造
中图分类号 TU831 文献标识码 A

Current Situation Analysis of Air conditioning System in Shopping Centers' Rental Shops and Research on Energy Saving Transformation

Feng Yuan Shen Wei

(Chengdu JZFC Architectural Co., Ltd, Chengdu, 610021)

【Abstract】 As a major energy consumer, the energy of air conditioning accounts for about 40% of commercial buildings. The control of air conditioning terminal operation and supply and demand feedback will directly affect the energy-saving operation of air conditioning system. The survey found that the rental shops' air-conditioning systems are not connected to the BA system in a large number of shopping centers. Due to the "out of control" of air-conditioning in the rental shops, problems such as uneven cooling and heating, large flow and small temperature difference operation of cold water system and improvement of air-conditioning energy consumption. This paper discusses that using two transformation schemes of temperature difference control and energy control on the water system of rental shops circuit can improve the overall air conditioning energy efficiency by about 3.5% ~ 7%, and the transformation cost is controllable.

【Keywords】 Shopping Center ; Air Conditioning Water System; Transformation

作者（通讯作者）简介：冯源（1981-），男，硕士，高级工程师，E-mail: 22219491@qq.com
收稿日期：2021-11-08

0 引言

在国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》中，城乡建设碳达峰作为重要工作之一，其中要求加快提升建筑能效水平，加快推进公共建筑节能改造，逐步开展公共建筑能耗限额管理。从能耗强度和能耗总量进行双控^[1]。

根据清华大学建筑节能研究中心对于中国建

筑领域用能的核算结果，建筑运行能耗约占全社会能耗的比例约为22%。而公共建筑能耗占建筑能耗的比例约为34%^[2]，其单位面积能耗约为普通城镇住宅用电量的4倍。公共建筑单位面积能耗增长持续增长的现象是近年来越来越多使用集中空调系统的大体量购物中心，商业综合体，其单位面积能耗都在100kWh/m²以上。当前，购物中心约占公

共建筑总量约 20%，经过近 20 年的蓬勃发展，作为一种成熟的商业服务模式，已深深融入了城镇居民生活^[3]。从 2002 年至 2020 年，国内建成的各种规模的购物中心达到了 6000 多家，每年还在以 300-500 家的速度递增^[4]。

中央空调能耗作为能耗大户约占商业建筑总能耗 40%^[2]。国家及地方政府出台了多项有关建筑节能相关的法规及措施，从各个环节来规范项目设计，推广高效产品运用及指导运维。由于制冷站能耗（冷源及输配能耗）占据了整个空调系统能耗的 85%，随着机房群控技术的推广普及，更多的节能设计及管理的关注点都在提升制冷站的能效^[5]，而末端运行的控制和供需反馈将直接影响到冷源的节能运行。根据大量调查反馈，既有购物中心对于末端系统的控制设计方案及运维管理还相对粗放，导致整体空调系统的能效低，能耗高。本文将针对购物中心在租户区域的空调水系统的设计，控制及管理的问题进行研究分析，并结合实际项目提出节能改造方案。

1 租区空调能耗分析及空调水系统设置现状

非街区型的室内购物中心通常都为开发商自持独立产权，不同业态的商家已租赁的方式入驻，包含的常见业态为超市、影院、百货、零售商铺、餐饮、早教、娱乐等。除去有特殊需求及营业时间与大商业差异化较大的主力店，其他租户的空调均由大商业集中提供。本文以当前市场占有率较大的几个购物中心品牌为研究样本，其营业的数量如表 1 所示，此类购物中心设计及运营管理标准化程度较高，具有代表性。

表 1 2021 年既有大型品牌购物中心个数

Table 1 The Number of Shopping Malls in 2021

购物中心品牌	个数 (个)
万达广场	375
吾悦广场	107
龙湖天街系列	60
万象城/汇	54
爱琴海购物公园	49
大悦城	21
恒隆广场	11
佳兆业广场	10

以体量为 10 万平米商业面积的购物中心为例，约 80% 的面积为空调区域，扣除采用独立冷热源的商业租户（影院、超市等）后，使用购物中心集中冷热源的租户空调面积约占 70%，约有 30% 的面积为公共区域，主要包含步行街（中庭回廊）、扶梯/电梯厅、商管办公、公共卫生间等。

通过对万达广场、吾悦广场、龙湖天街、华润万象城/汇等设计及管理标准的对比，这些购物中心标准化程度较高，空调系统设置形式也基本相似。冷源采用电制冷冷水机组，热源根据地区差异采用市政热源、自建燃气锅炉房或不设热源。租户末端空调形式根据其租区大小差异化设置，大租户采用组合式空调器或吊装式空调器设置全空气系统，新风自取。小租户设置风机盘管，由商场统一提供处理之后的新风。租户的空调交付标准有所差异，有些根据租户需求将风机盘管安装到位，有些预留水管供租户自行接驳。

根据空调负荷分析，扣除新风负荷（新风集中提供），租区可以自行设置及控制的空调负荷占比约为购物中心总空调负荷占比 50%，空调能耗占比非常显著。

在笔者对标研究了上述多个购物中心的设计标准，实地走访调查了多个正在运营中的购物中心，并与物管负责人进行沟通交流后，发现对购物中心租区空调从系统设计，安装调试以及运维管理，存在如下现状：

(1) 招商方面

受到商铺招租的压力，业主的招商部门会接受租户的空调设置要求。而租户的空调标准（通常为单位面积的冷/热负荷指标）远高于设计时采用的室内舒适度标准。

(2) 设计方面

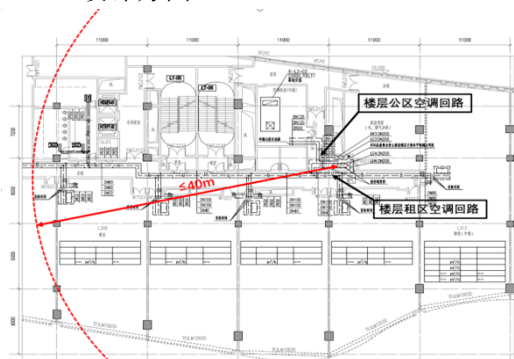


图 1 空调水平面图示意

Fig.1 Air Conditioning Water Pipe Plan

购物中心的空调水系统多采用冷热切换的两管制系统, 供回水于管地库通过水平敷设至各供回立管, 由立管在各楼层接出支干管至空调末端, 一组立管回路服务半径约为 40 米左右范围, 平面示意图参见图 1。

租区与公区的水系统合用, 无法对租区进行监控并调节, 目前设计中已很少采用。

租区与公区的水系统独立设置却未设置电动调节阀。如图 2 所示, 租区空调常见水系统接管方式有 2 种方式, 出于水环路水力平衡调节的考虑, 将公区的空调器 (及集中新风机) 系统与租区的风机盘管系统在立管或水平支管上进行区分, 在支干管上仅考虑了用于水力平衡的阀门, 对水平支管环路未进行监控并调节。

冷/热水支干管未注明冬夏季设计流量。

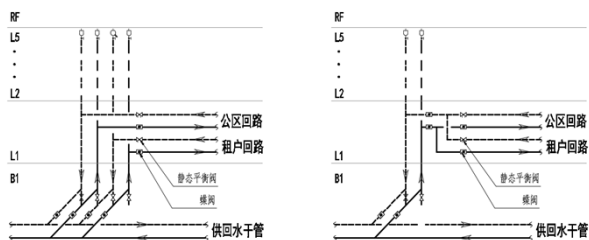


图 2 空调水管接管示意

Fig.2 Air conditioning Water Pipe Connection

(3) 调试运维管理方面

未完成水系统初次调试或调试不到位即移交物业。

冬夏季空调冷热水切换后, 物业未根据环路流量需求重新调整管路阻力特性。

租户空调计费方式都未采用能量计, 均采用面积分摊的方式。

未将租区空调末端连入购物中心的 BA 系统, 未能对租区的空调设置温度及实际温度进行监督, 无法对租区的空调进行控制。

2 租区空调水系统运行常见问题及原因分析

根据对多个购物中心的调查, 对水系统反馈的主要问题多为: 部分租户内部夏季过冷, 冬季过热现象严重, 而部分租户冬夏季均达不到设计温度, 租户冷热差异现象明显; 水系统大流量小温差运行;

空调能耗高。仔细分析, 这些问题的产生, 根据研究表面, 大多于租区的空调设计及管理有关^[6,7]。

原因 1: 租户安装及使用管理丧失, 能耗提升显著。上文提到对租区招商条件的妥协导致其空调末端配置远大于设计值, 且未接入 BA 系统, 物管无法对其空调进行监控。由于购物中心空间内夜间空调停止后的蓄热, 及商铺营业员的着装情况, 普遍会将冬夏季的设定值调到超出设计值, 比如夏季 22℃、冬季 24℃, 甚至调到极致的夏季 18℃, 冬季 30℃。这种是导致能耗提升的直接原因。

原因 2: 流量失调导致租户抢水引起的冷热不均。有利环路流量过大导致了租区过冷过热, 也将导致不利环路的欠流。故商业公区及远端商铺会因为被抢水而导致温度达不到设计值, 这也是导致购物中心内冷热不均的一个重要因素。而这个问题在夏热冬冷地区二管制冷热切换的冬季供暖更为突出, 以成都的购物中心为例, 冬季的总供热量约为夏季总供冷量的 40%~60%, 而热水供水温差大于冷水, 导致冬季干管流量仅为夏季流量的 30%左右, 而末端仍采用冷水工况的单盘管换热器, 若未进行流量调节, 会导致严重的流量失调, 冷热不均。

原因 3: 夏季室温温度下降将导致空调冷负荷下降^[8], 也会导致盘管换热能力下降支干管大流量小温差。根据对常见租区空调风机盘管及吊装空调器的换热能力的分析, 与设计室温 25℃相比, 当室温降至 23℃, 换热能力会减弱 15%~20%, 参见表 2, 3。而室内温度设定过低, 又会导致电动二通阀处于敞开或电动调节阀无法调小。将导致该租区环路的大流量小温差情况, 冷冻水输送系数 WTF_{chw} 降低, 能耗提升。

表 2 风机盘管供冷能力表

Table 2 Cooling Capacity of FCU

型号	水量	23℃/16.5℃		25℃/18℃	
		全热	显热	全热	显热
06	0.372	4.5	3.4	5.3	3.8
08	0.491	6.0	4.7	7.2	5.2
10	0.607	7.6	5.9	9.0	6.5
12	0.709	9.1	7.0	10.7	7.8
14	0.846	9.9	7.7	11.7	8.5

注: 均为出口静压 30Pa, 供回水温度 7/12℃的工况。

表 3 吊装空调器供冷能力表

Table 3 Cooling Capacity of AHU

型号	水量	23°C/16.5°C		25°C/18°C	
		全热	显热	全热	显热
3000 (4 排管)	0.73	12.1	11.1	15.2	12.3
3000 (6 排管)	0.92	15.2	13.0	19.4	14.6
4000 (4 排管)	1	16.7	15.0	20.9	16.7
4000 (6 排管)	1.27	21.2	17.7	26.8	19.9
5000 (4 排管)	1.33	20.5	18.6	25.8	20.7
5000 (6 排管)	1.61	26.4	22.1	33.9	25.1

注：为供回水温度 7/12°C 的工况。

3 租区水系统改造方案探讨

为解决或缓解上述租区水系统问题，并充分考虑购物中心管理难度及改造成本，在和多个物业方沟通下，可以被接受改造方案应满足以下前提条件：

- (1) 不调整计费方案。
- (2) 避免影响或尽量少影响租区的营业。
- (3) 避免或尽量少对精装区进行拆改。
- (4) 避免对原楼宇自控系统进行颠覆性改造。

根据以上要求，排除了将租户的空调末端接入 BA 进行集中控制的方案，而只能针对敷设在后场区域的空调水管路上进行改造，且改造时间应选择非空调季节，避免影响营业。根据研究分析，改造思路为租区内监测，租区外控制，具体方案如下：

(1) 对租户温度进行实时监控；通过在各个租户增设 WIFI 型无线温度传感器，每 10 分钟刷新一次室温情况，远传至监控电脑，可以读取各租户室内温度情况。设备及安装成本低，无拆改，不影响营业。

(2) 监测并自动调节租区回路支干管的水流量。

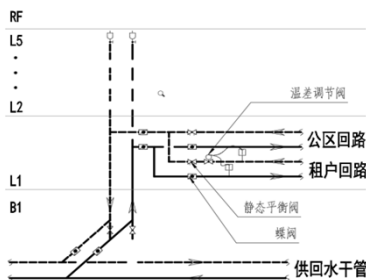


图 3 温差调节阀接管

Fig.3 Temperature Difference Regulation Valve

方案 1，温差调节方案。如图 3 所示，于租区回路的回水支干管处，设置温差调节阀。该阀门由

二通调节阀，执行器及一对温度传感器组成。通过远程或现场调试，执行器比较供回水温差实际值与温差设定值，对阀门进行比例积分调节，避免大温差小流量情况发生。并可设定冬夏季的额定流量阀位及不同的供回水温差。

方案 2：能量调节方案。如图 4 所示，于楼层租区的回水支干管处，设置能量调节阀。该阀门由二通调节阀，执行器，流量传感器及一对温度传感器组成。通过超声波流量计监测管路流量参数，温度传感器采集供回水温差参数，从而能直接监测到末端当前的实际换热量。通过远程或现场调试，执行器比较环路换热量设定值与实际值，对阀门进行比例积分调节。避免回路超流情况，并能通过温差控制避免大温差小流量情况发生。并可设定冬夏季的额定流量阀位及不同的供回水温差。

以上 2 种方案均通过 RS485 通讯方式将检测信号通过就近的网络控制器接入楼宇自控系统 (BA) 的预留接口，或对 BA 系统进行扩展补充后接入，可避免大规模的布线。

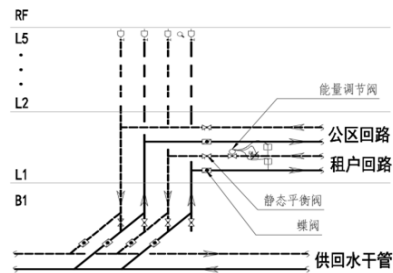


图 4 能量调节阀接管

Fig.4 Energy regulation Valve

4 实际案例改造方案投资回报测算

4.1 项目介绍

该购物中心位于成都中心城区，商业部分总建筑面积为 132000m²，地上 5 层，地下 1 层，业态包括超市、零售、集合店、餐饮、电玩、健身、早教、KTV、影院等。扣除设置独立冷热源的超市，KTV 及影院，其余业态都采用集中的大商业冷热源，空调面积为 92000m²。根据负荷计算，总冷负荷为 14200kW，总热负荷为 5400kW。

冷冻水泵采用一次泵变频的方式。水系统采用冷热切换的两管制系统，通过 7 个立管系统将冷水输送至末端，楼层支管接立管时分成两个回路，分别为接入 BA 的公区空调器与新风机回路以及

接入租区空调末端的回路, 共有 30 个租户回路。参见图 5, 租区由商家自行安装空调, 采用风机盘管或吊装空调器。均未接入购物中心 BA 系统。

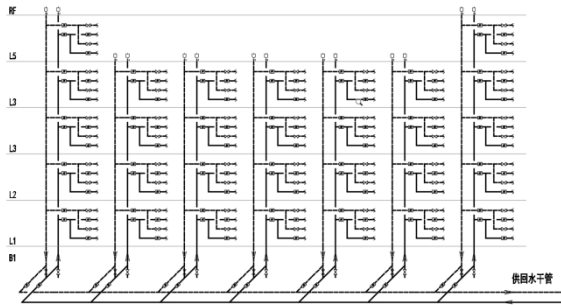


图 5 空调水系统图

Fig.5 Air Conditioning Water System

4.2 租区水系统改造方案及节能效果测算

为改善租区空调“失控”现状, 降低租区空调能耗, 拟采用上述两种方案针对租区供回支干管进行改造, 并与设计目标工况及现状运行工况进行关于投资及节能回报比较。方案及标准如表 4 所示。

表 4 改造方案表

Table 4 Transformation Plans

工况	方案说明	租区空调 设定温度 (°C)	租区供 回水温 (°C)
目标 工况		25	6/12
现状 工况	未采取措施	23	6/10.5
改造 方案 1	租户回路设置温差调节阀, 根据温差控制流量。	23	6/12
改造 方案 2	租户回路设置能量调节阀, 根据计算能量进行限流, 并根据温差控制流量	24	6/12

[8]

通过全年空调负荷模拟软件对项目进行模拟, 得到了空调全年负荷变化曲线, 参见图 6, 汇总各负荷所占的时段可以整理该购物中心全年各负荷段的时间占比。由于租区负荷变化情况与整体购物中心相近, 测算中将租区空调负荷变化的负荷段按租区空调负荷比例进行折算, 分摊到租区制冷量及冷冻水流量, 参见表 5。

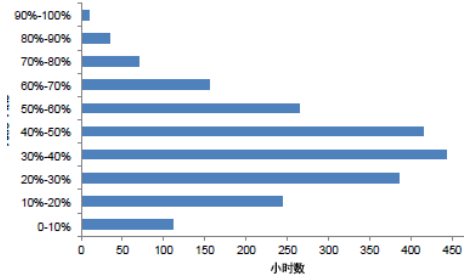
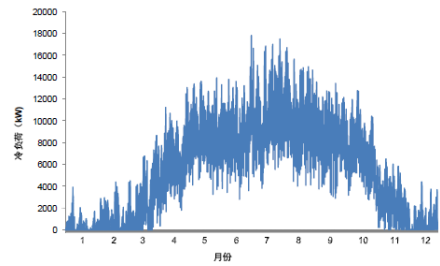


图 6 冷负荷变化及负荷段时数

Fig.6 Cold load Variation and Duration

表 5 租区制冷量及冷冻水流量

Table 5 Refrigerating Capacity and Chilled Water Flow in Rental Shops

工况	租区最大 冷负荷(kW)	制冷季年 总耗冷量 (kWh)	租区年输送 冷冻水流量 (m ³)
目标工况	7000	8904350	1275866
现状工况	7800	9921990	1895355
改造方案 1	7800	9921990	1422152
改造方案 2	7400	9413170	1348373

冷站采用电冷源综合制冷性能系数 SCOP=4.6 冷机, 冷却水泵及冷却塔的用电量进行估算, 并根据负荷占比分摊到租区的运行电费, 制冷时间段位于成都地区丰水期电价的峰平段, 期间折算电价为 0.68 元/kWh。

表 6 租区空调电费

Table 6 AC Electricity Consumption in Rental Shops

工况	冷站用电 量 (kWh)	水泵耗 电量 (kWh)	冷源总耗 电量 (kWh)	冷源 电费 (万元)
目标工况	1935728	147943	2083671	208.4
现状工况	2156954	339439	2496393	249.6
改造方案 1	2156954	184355	2341309	234.1
改造方案 2	2046341	165361	2211702	221.2

4.3 改造技术经济比较

需对 30 个租区末端空调回路增设温差调节阀或能量调节阀, 投资估算及回收期如表 7 所示。

表 7 投资回收比较

Table 7 Investment Recovery Period

工况	租区制冷 费用 (万元)	增加 电费	电费 增加 比例	投资 成本 (万元)	投资回 收期 (年)
目标工况	141.7	—			
现状工况	169.8	28.1	9.9%		
改造方案 1	159.2	17.5	6.2%	30	2.84
改造方案 2	150.4	8.7	3.1%	90	4.65

根据上述分析,通过在租户回路的支管设置温差或能量调节阀,能有效的降低空调能耗及运行费用,改造投资回收期可控,方案 1, 2 均可行。根据空调系统的 20-25 年运行寿命来测算,方案 2 节能效果更明显。

5 结论

(1) 通过对购物中心设计及运行的调查研究,受招商等因素影响,大量的既有购物中心对租区空调的管理较为粗放。据研究分析,若放任租区自行控制,购物中心整体空调能耗将提升约 10%。其中约 40%是冷冻水输送能耗,60%是冷站能耗。

(2) 设计中应将租户空调回路与公区回路独立设置,才有对租区空调水系统进行单独控制及改造的可能性。

(3) 采用 WIFI 型无线温度传感器,可以用较小的成本实现租区内的温度信号采集。

(4) 既有购物中心项目通过在租户空调水回路通过温差或能量调节,可以有效避免租区环路小温差大流量的现状,根据测算,约能降低购物中心

整体空调能耗约 3.5%-7%,并能有效缓解冷热不均问题。

(5) 对租户空调水回路的改造成本可控,无租区内施工,避免影响租区正常营业,避免购物中心内拆改费用,对既有空调系统及 BA 系统也没有影响,投资回收期与回路数量有关,回路越多,控制效果越好,但改造投资越高,应根据实际项目进行技术经济比较及投资回报计算。

(6) 这种改造方式可推广至统一管理、采用集中空调系统但未将用户纳入 BA 管理的其他公共建筑项目的空调水系统中。

参考文献:

- [1] 国务院. 国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm. 2021-10-24
- [2] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能发展研究报告(2021)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 26-41.
- [3] T/CECS 514-20187, 购物中心等级评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [4] 姜星狄. 中国购物中心市场分析报告: 2020 上半年回顾及下半年展望[R]. 中城商业研究院, 2020.
- [5] 唐兴亮. 空调系统节能运行自动控制的应用研究[J]. 制冷与空调, 2015, 29(6): 724-728.
- [6] 倪晓晨. 既有公共建筑群冷热源动力中心循环水系统运行状况分析[J]. 制冷与空调, 2019, 33(2): 128-134.
- [7] 苏千劲. 基于定冷冻水温差的空调末端设备节能控制策略研究[D]. 广州: 广州大学, 2019.
- [8] 陈秦怡. 室内温度变化对空调能耗的影响[J]. 制冷与空调, 2008, 22(3): 107-109.