

公共建筑空调系统能耗分析及节能改造

邹惠芬¹, 魏冉¹, 宫丽红², 职远¹, 贾雷雷¹, 管玉祥¹

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 水利部机关服务局, 北京 100053)

摘要 目的 对大型公共建筑的空调系统用能不合理现状进行改造,降低其供冷热方面的能耗,提高其经济性. 方法 对青岛市某公共建筑空调系统的实际能耗进行分析;对空调系统制冷机组及输配设备性能进行现场测试,并进行能效分析. 结果 测得制冷机组的能效比(COP)比较低,水泵效率远低于额定值. 对使用年限较长的制冷机组更换性能较高的设备,水泵等输配系统加装变频装置,并按照负荷大小合理匹配开启台数. 结论 从建筑实际能耗及测试数据出发,使用合适的节能改造技术,合理匹配负荷率,使建筑的空调系统设备匹配更为合理,从而有效降低建筑能耗.

关键词 空调系统测试;性能分析;节能改造;经济性分析

中图分类号 TU111.19⁺5

文献标志码 A

Air-Conditioning System Energy Consumption Analysis and Energy Saving Transformation in Public Building

ZOU Huifen¹, WEI Ran¹, GONG Lihong², ZHI Yuan¹, JIA Leilei¹, GUAN Yuxiang¹

(1. School of Municipal and Environment Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. The Ministry of Water Resources Authority Service, Beijing, China, 100053)

Abstract: Modify the air conditioning system of large public buildings for its unreasonable energy consume, to reduce its energy consumption for cold and hot, further to improve its efficiency. A public building air conditioning system of the actual energy consumption in Qingdao is analyzed; the field test for refrigeration units and pipeline equipment performance of air conditioning system and the analysis of energy efficiency are carried. The results suggest that COP of the refrigeration unit is low, the pump efficiency is much lower than the rated value, As for fixed number of year longer refrigeration unit replaced high performance equipment, water pumps and other distribution system equipped with frequency conversion device, and according to the reasonable matching load size open sets, Starting from the building energy consumption and actual test data, using the appropriate energy saving transformation technology, matching reasonable load rate, which makes the building air conditioning system equipment matching more reasonable, thus effectively reduce building energy consumption.

Key words: air condition system test; performance analysis; energy saving reconstruction; economic analysis

收稿日期:2017-01-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51208313)

作者简介:邹惠芬(1972—),女,教授,主要从事建筑节能和空气品质保障技术的研究.

大型公共建筑的空调(包括采暖)系统耗能量巨大,在设计时负荷选取过大,使得设备选型等初投资过高^[1],水泵、风机等运行能耗过大,造成系统能效比偏低,不能较好地随末端负荷需求变化有效地调节供冷(热)量等,因此造成了能源浪费现象.于峰等^[2]根据上海地区办公楼、商办楼、宾馆和商厦能耗,对上海公共建筑空调能耗的现状作了评价,认为上海建筑用能水平较低,用能不尽合理,提出用系统能量效率比用单位面积平均一次能耗量作为建筑节能的评价指标更为合理.郑姗姗等^[3]根据能耗现场实测数据讨论了宾馆、商场、写字楼3类建筑的用能特点,分析了大型公共建筑的节能潜力,认为综合利用各类建筑节能技术,大型公共建筑可以节能30%~50%,节能潜力巨大.笔者选取青岛某大型办公建筑进行研究,分析其空调系统的用能情况,对其用能不合理现状进行分析,并提出改进方案,提高其经济性.

1 公共建筑空调系统实际能耗

1.1 建筑概况

笔者选取位于青岛市市南区香港中路36号的超高层大型办公建筑作为测试建筑,该建筑建成于2000年,2003年年底投入使用,总建筑面积10.2万m².空调面积8.8万m²,地下室两层为车库和设备用房,地上1~3层为裙房,裙房内为购物商场,裙房外为招银大厦,裙房以上由3幢塔楼组成,塔楼1为33层办公楼,塔楼2为26层办公楼,塔楼3为26层公寓.

1.2 空调系统构成

该建筑空调系统有4台制冷机组,冷冻水泵、冷却水泵以及冷却塔各4台,最热的一天制冷机组全部开启,以满足室内环境舒适度的要求.其余大部分时间开启2台或者3台制冷机组.按照末端的负荷需求变化手动设置开启台数,制冷机组设备参数如表1所示,冷冻水泵与冷却水泵的设备参数如

表2、表3所示,其中冷冻水泵和冷却水泵都为定频水泵.

表1 制冷机组设备参数

Table 1 Refrigeration unit equipment nameplate			
制冷机组 编号	容量/ kW	压缩机 功率/kW	额定能效比 COP
1 [#]	3 516	576	6.10
2 [#]	3 516	576	6.10
3 [#]	2 110	380	5.55
4 [#]	1 230	268	4.59

表2 冷冻水泵设备参数

Table 2 Frozen water pump equipment nameplate			
冷冻水泵 编号	电机功率/ kW	流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	扬程/ m
1 [#]	110	650	43
2 [#]	110	650	43
3 [#]	75	400	40
4 [#]	37	187	44

表3 冷却水泵设备参数

Table 3 Cooling water pump equipment nameplate			
冷冻水泵 编号	电机功率/ kW	流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	扬程/ m
1 [#]	75	711	28
2 [#]	75	711	28
3 [#]	55	400	32
4 [#]	37	240	27

1.3 空调系统实际能耗

笔者对该建筑2015年实际能耗进行了调研,该建筑耗电主要为照明、插座、动力以及空调系统耗电,其中空调系统耗电占总耗电的32%.空调系统耗电包括制冷机组耗电,输配系统中的冷冻水泵与冷却水泵耗电以及冷却塔耗电,由于冷却塔耗电量相对较少,故忽略不计.各项耗电情况如表4所示.经计算耗电量为16.95×10⁴(kW·h)/(m²·a).

表4 2015年空调系统耗电

Table 4 Air condition power consumption in 2015	
空调系统	耗电量/10 ⁴ (kW·h)
制冷机组	102.5
输配系统	38.4
总耗电	140.9

2 空调系统能耗实测及能效分析

由表4可计算出该建筑空调系统每平方米年耗电量为16.95 kW·h,超出了《公共建筑节能设计规范》(GB50189—2015)公共建筑每平方米年耗电量平均值为^[4]15 kW·h,故笔者对此系统的制冷机组、输配系统进行测试,分析耗能大的原因。

2.1 制冷机组

2.1.1 制冷机组能耗测试

温度测试:冷冻侧及冷却侧的进出水温

度采用温度自记仪记录,记录几个周期的温度后,并选取记录的平均温度值作为实际记录温度。

流量测试:采用超声波流量计^[4-6]测量。根据该段管路管径,计算出安装距离,探头紧贴管壁安装,利用多普勒效应测出流量值^[7]。

测试期开启1[#]、2[#]、3[#]冷水机组,对应开启了1[#]、2[#]冷冻水泵,冷却侧开启了1[#]、2[#]、3[#]冷却水泵和1[#]、2[#]、3[#]冷却塔,制冷机组测试数据如表5所示。

表5 制冷机组测试数据

Table 5 Refrigeration unit test data

制冷机组	蒸发器侧			冷凝器侧		
	入口温度/℃	出口温度/℃	流量/(m ³ ·h ⁻¹)	入口温度/℃	出口温度/℃	流量/(m ³ ·h ⁻¹)
1 [#]	14.5	10.8	380	31.9	35.3	540
2 [#]	14.5	13.0	390	30.5	31.8	390
3 [#]	14.5	9.3	167	34.0	37.1	380

2.1.2 制冷机组能效分析

通过测试机组冷冻侧及冷却侧的进出口温度、流量及相应的电功率,进而计算机组的能效比^[8]COP。

机组制冷量^[9]Q为

$$Q = c_p m \Delta t.$$

式中:c_p为水定压比热,取4.2 kJ/(kg·℃);

m为水的质量流量,m³/h;Δt为介质进出口温度差。

机组的能效比COP为

$$COP = Q / P.$$

式中:P为电动机消耗功率,kW。

制冷机组实测COP的计算结果如表6所示。

表6 制冷机组实测能效比

Table 6 Energy efficiency ratio of refrigeration unit

制冷机组	制冷量/kW		耗功率/kW		能效比	
	额定值	实测值	额定值	实测值	额定值	实测值
1 [#]	3 516	1 640	576	383	6.10	4.28
2 [#]	3 516	683	576	163	6.10	4.19
3 [#]	2 110	1 013	380	283	5.55	3.58

由测试数据计算得,3台机组的制冷量都远小于额定值,1[#]机组的制冷量为额定制冷量的46.6%;2[#]机组的制冷量只有额定制冷量的19%;3[#]机组的制冷量为额定制冷量的48%;3台机组的制冷能效比都远小于额定值。由于使用年限较长(建筑始用于2003年),机组设备老化严重,系统蒸发器侧换热

效果较差,整体性能较低,不能及时随末端负荷的变化而有效调节。

2.2 输配系统

测试典型工况下水泵系统的流量、压力及电功率,进而计算水泵的工作效率^[10-12]。

流量测试:采用超声波流量计测量,根据该段管路管径,计算出安装距离,探头紧贴管

壁安装,利用多普勒效应测出流量值^[13].

压力测试:通过读取水泵进出口前后的压差值以及压力表各自的高度差,计算出水泵的实际扬程^[14].

电功率测试:通过使用三相四线电功率计,读取水泵的实际消耗功率.

水泵工作效率 η 为

$$\eta = \frac{KQH}{P}.$$

(3)

式中: K 取1.1; Q 为水泵流量; H 为扬程,m; P 为电动机消耗功率,kW.

计算冷冻水泵工作效率如表7所示,冷却水泵工作效率如表8所示.

表7 冷冻水泵工作效率
Table 7 Frozen water pump working efficiency

冷冻水泵	流量/(m ³ ·h ⁻¹)		扬程/m		功率/kW		效率/%	
	额定	实测	额定	实测	额定	实测	额定	实测
1 [#]	650	633	43	16	110	66.0	71	43
2 [#]	400	304	40	29	75	78.7	59	31

表8 冷却水泵工作效率
Table 8 Cooling waterpump working efficiency

冷却水泵	流量/(m ³ ·h ⁻¹)		扬程/m		功率/kW		效率/%	
	额定	实测	额定	实测	额定	实测	额定	实测
1 [#]	711	540	28	20	75	65.1	74	46
2 [#]	711	508	28	20	75	53.9	74	58
3 [#]	400	380	32	25	55	56.5	65	47

根据测试数据得,冷冻泵及冷却泵的整体运行效率较低,其中2[#]冷冻泵和3[#]冷却泵的实际功率大于额定功率,水泵处于过载运行,由于流量变化与功率变化比的三次方成正比^[15],故流量过大,使得水泵消耗功率过大,同时,当末端负荷变化较大时,水泵偏移最佳工况区较远,水泵效率较低,耗能现象较严重.

3 公共建筑空调系统改进方案及节能效果分析

3.1 制冷机组及水泵改进方案

笔者通过对原公共建筑空调系统2015年实际能耗的调研得,该建筑空调系统每平方米年耗电量超出了公共建筑每平方米年耗电量的平均值.通过能耗实测及能效分析认为,原有机组设备老化严重.故建议更换原有离心式冷水机组为磁悬浮制冷机组^[16-18].

磁悬浮制冷机组^[15]具有在低负荷率的情况下,仍然保持较高的系统性能的特点,同

时系统实行最优运行方案,即先开启1台冷水机组,由小到大调节其冷量以满足实际负荷变化要求,直至出力不够的时候,再开启1台,并且第一台冷水机组始终保持满负荷运行,而第二台随负荷变化进行调节;同时水泵系统加装变频装置,开启台数也随着流量变化而变化,保证水泵运行在最佳工况点附近,开启方式如表9所示.

表9 制冷机组及水泵开启台数
Table 9 Refrigeration units and pumps opening

负荷范围/kW	制冷机组开启数/台	水泵开启情况
<420	1	
420~840	2	1台水泵变频
840~1 260	3	
1 260~1 680	4	2台水泵变频
1 680~2 100	5	
2 100~2 520	6	3台水泵变频
>2 520	7	4台水泵变频

根据2015年的负荷需求,对磁悬浮制冷机组以及变频水泵的运行时长进行计算得出,改造前冷水机组耗电102.5万kW·h,改

造后制冷机组年耗电量为46.1万kW·h,相比2015年节能56.4万kW·h.节能率达到55%;改造前供冷输配系统耗电38.4万kW·h,改造后输配系统年耗电量为23.9万kW·h,相比2015年节能14.5万kW·h.节能率达到37.76%^[19].

3.2 节能综合效果分析

该办公楼空调系统由于制冷机组设备老化,运行负荷率低,笔者建议更换新的磁悬浮制冷机组,使其在低负荷率时,仍然有较高的制冷系数.水泵效率低且输配系统存在大流量小温差的问题,笔者建议给水泵加装变频装置^[20].其综合效果见表10.

表10 空调系统节能系统分析表

Table 10 Air condition energy save analysis

改造项目	增加投入/	耗电量/10 ⁴ (kW·h)		节省运行 费/万元
	万元	改造前	改造后	
制冷机组	350.00	102.5	46.1	48.95
水泵变频	11.52	38.4	23.9	33.60
合计	364.52	140.9	70	70.9

由表10可知,经对现有的空调系统逐项问题进行分析,并针对问题整体进行改造,可以显著降低空调系统的耗能量,具有可观的节能效果并节省大量的运行费用.

4 结 论

(1)测得制冷机组的能效比COP比较低,水泵效率远低于额定值.提出对使用年限较长的制冷机组更换性能较高的设备,水泵等输配系统加装变频装置,并按照负荷大小合理匹配开启台数.

(2)空调系统设计存在换热性能差,输配系统不匹配等问题,从而引起设备选型、初投资及运行能耗都偏大,浪费现象严重,可以从建筑实测能耗及测试数据出发,使用合适的节能改造技术,合理匹配负荷率,使建筑的空调系统设备匹配更为合理,从而有效降低建筑能耗.

参考文献

[1] 吴俊峰,张秀平,张朝晖,等.中央空调系统节

能改造方案的节能量测量验证方法初探[J]. 制冷与空调,2013,10:78-83.

(WU Junfeng,ZHANG Xiuping,ZHANG Zhao-hui,et al. Discussion on measurement and verification methods of energy saving quantity for central air-conditioning system renovation project [J]. Refrigeration and air-conditioning, 2013,10:78-83.)

[2] 于峰,魏玉剑.空调系统节能改造节能量计算方法探讨[J].上海节能,2012,11:11-15.

(YU Feng,WEI Yujian. Calculating method of energy saving quantity in air conditioning system energy saving retrofit[J]. Shanghai energy conservation,2012,11:11-15.)

[3] 郑姗姗.北京工业大学逸夫图书馆空调系统诊断与节能改造[D].北京:北京工业大学,2006.

(ZHENG Shanshan. An analysis and energy saving rebuild of air conditioning system for Yifu library in Beijing university of technology [D]. Beijing: Beijing University of Technology,2006.)

[4] 赖雪梅.中央空调系统全年运行能耗分析[D].北京:北京工业大学,2007.

(LAI Xuemei. Analyse of all-year operating energy efficiency of central air conditioning system [D]. Beijing: Beijing University of Technology,2007.)

[5] GUILLERMO E,ISIDORO S H,MANULE A O. Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC system[J]. Energy and buildings,2010,42(11):2258-2267.

[6] 李初兰.中央空调系统测试诊断与节能分析[D].成都:西南交通大学,2011.

(LI Chulan. The energy saving diagnosis test and research of central air-conditioning system [D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2011.)

[7] 王长庆,龙惟定,黄治锤,等.某公共建筑空调系统的测试与诊断[J].流体机械,2003,31(3):42-46.

(WANG Changqing, LONG Weiding, HUANG Zhichui, et al. Test and diagnosing air-conditioning system in some public building [J]. Fluid machinery, 20, 31(3): 42-46.)

[8] KENZO Y, FUMLO Y, YUKOWAD A. Comfort air-conditioning control for building energy-saving [J]. Industrial society electronics, 2012, 26(3): 1737-1742.

[9] CLAUDE A R. Indoor environment quality in building and its impact on outdoor environment [J]. Energy and buildings, 2011, 4(33): 183-191.

- [10] 何雪冰,刘宪英.中央空调节能有关问题的探讨[J].重庆建筑大学学报,1999,21(4):40-44.
(HE Xuebing, LIU Xianying. Study on energy efficiency of central air conditioning system [J]. Journal of Chongqing jianzhu university, 1999, 21(4): 40-44.)
- [11] MARIJA T, HENSEN L M. Overview of HVAC system simulation [J]. Automation in construction, 2010, 19(2): 93-99.
- [12] IQBAL I, ALHOMOND M S. Parametric analysis of alternative energy conservation measure in an office building in hot and humid climate [J]. Building and environment, 2012, 42(5): 66-71.
- [13] 沈世平.某中央空调系统节能改造及能耗分析[D].重庆:重庆大学,2011.
(SHEN Shiping. The energy-saving transformation and consumption analysis of a central air-conditioning system [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.)
- [14] 侯志毅.既有建筑供热、空调系统循环水泵节能改造潜力研究[D].天津:天津大学,2013.
(HOU Zhiyi. Energy efficiency evaluation based on heating, air conditioning system circulating pump transformation [D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.)
- [15] BJARNE W O. The philosophy behind EN 1525: indoor environment criteria for design and calculation of energy performance of building [J]. Energy and buildings, 2014, 5(39): 740-749.
- [16] MATHEWS E H, BOTH A C P, ARNDT D C, et al. HVAC control strategies to enhance comfort and minimize energy usage [J]. Energy & building, 2013, 2(24): 853-863.
- [17] 马原良.东华大学4号学院楼燃气空调系统节能改造可行性研究及优化设计研究[D].上海:东华大学,2008.
(MA Yuanliang. Institute of donghua university No. 4 building gas air conditioning system energy saving transformation feasibility study and optimization design research [D]. Shanghai: Donghua University, 2008.)
- [18] BRUHNS H, STEADMAN P. A database for modeling energy use in the nondomestic building stock of england and walse [J]. Applied energy, 2010, 66: 277-297.
- [19] 邓杰文,王笑吟.招银大厦项目测试改造[R].青岛:青岛中建能源管理有限公司,2016.
(DENG Jiewen, WANG Xiaoyin. The project test reform of Zhaoyin building [R]. Qingdao: Building Energy Management Limited Company in Qingdao, 2016.)
- [20] 吴薇.上海某公共建筑空调系统节能改造实践与研究[D].上海:同济大学,2007.
(WU Wei. Shanghai public building air-conditioning system energy saving transformation practice and research [D]. Shanghai: Tongji University, 2007.)

我校学报自然科学版首次入选 CSCD 数据库

近日,中国科学院文献情报中心完成了中国科学引文数据库(CSCD)2017-2018年来源期刊遴选工作,我校学报自然版实现历史性突破,首次入选。这对我校学报自然科学版的广大读者、作者来说,无疑都是一个喜讯。至此,《沈阳建筑大学学报(自然科学版)》已被国内三大期刊检索机构(另两个机构为“中文核心期刊要目总览(北大核心)”和“中国科技期刊引证报告(核心版)”)全部收录。我刊将从更高、更广泛的视野,交流与建筑科学领域相关的高技术研究成果,与业界人士一起,共同促进土木建筑工程学科的发展。

我校学报自然版的入选,是在学校的统筹部署下,在学报全体工作人员长期努力下取得的成绩,是我校一流大学和一流学科建设显著成效的重要组成部分,学报编辑部将以此为动力,继续加强编校质量,为广大师生和学者做好学术成果的传播服务。