

广州市设计院
60周年院庆

栏 首 语

广州市设计院成立于1952年。随着经济的发展,我院暖通专业也不断发展壮大,打造了一批质量高、影响深远的建筑精品,如当时在华南地区第一个采用集中空调的剧院——友谊剧院、全国第一家五星级宾馆——白天鹅宾馆等。改革开放以来,我院暖通专业技术人员坚持技术创新、锐意进取,率先将干盘管、大温差、冷辐射空调系统、下送风空调系统、环保活动遮阳板、呼吸幕墙、能源综合利用等多项技术成功应用在“零能耗”建筑——珠江城、国内最具规模的报业印务中心——广州日报印务中心和羊城晚报印务中心、国内最高塔——广州塔、广州琶洲保利大厦、广州发展中心大厦、广州大学城国家实验室和广州体育馆等众多大型建筑中。

目前,我院暖通专业拥有教授级高级工程师2名,其他各类中高级工程师40余名;拥有实用新型专利13项,3项发明专利进入实质审查,另外多个发明专利也在申请之中。院内设有建筑环境与节能研究所,进行暖通空调关键技术的研究,多个科研项目获得政府资金支持。同时我院暖通专业积极开展产学研合作,与广州大学建立节能技术研发中心,与生产企业合作进行产品研发。

本期《暖通空调》广州市设计院60周年院庆专栏集中刊登了近期我院暖通专业在工程设计实例和设备研发及技术应用等方面的论文,希望能给读者带来启示,也欢迎业内人士批评指正。

2012年是广州市设计院成立60周年,谨将此专栏献给我院,祝广州市设计院生日快乐,再接再厉辉煌!

(广州市设计院 屈国伦)

南方地区星级酒店空调通风系统 节能改造适用型技术研究与应用集成^{*} ——广州白天鹅宾馆空调通风系统节能改造项目实施方案

广州市设计院 屈国伦[☆] 谭海阳 黄伟 陈少玲 江慧妍
白天鹅酒店集团 李晖 陈志强 邓文岳

摘要 以广州白天鹅宾馆为例,以现有能耗数据为基础,分析了南方地区既有星级酒店的用能特点,发现该酒店通风空调系统能耗最大,占常规能耗的66.9%;其中空调主机能耗所占空调通风系统总能耗的比例最大,为49.66%;其次为空调末端(空气处理机、新风处理机、风机盘管)能耗,为25.54%;第3位为水泵能耗,为14.39%。为此,有针对性地提出节能改造对策:采用高效制冷机,冷水大温差(8℃),冷水泵、冷却水泵变频,直流无刷风机盘管变风量控制,高效节能风机、空气处理机组,双工况高效水-水热泵热回收热水系统等措施和技术,逐一论证了其实现的可行性及节能效果。通过分析酒店空调通风系统各部分节能效益,获得了空调通风系统节能改造的节能目标。

关键词 南方地区 星级酒店 能耗分析 适用型节能技术 大温差供冷 变频控制 热回收 自动控制 方案

Research and application integration of applicable technology for energy efficiency reformation of air-conditioning system in star hotels in south China—Energy efficiency reformation scheme of air conditioning and ventilation system in Guangzhou White Swan Hotel

By Qu Guolun[☆], Tan Haiyang, Huang Wei, Chen Shaoling,
Jiang Huiyan, Li Hui, Chen Zhiqiang and Deng Wenyue

Abstract Taking the hotel as an example, analyses the characteristics of energy consumption in existing star hotels in south China based on the existing energy consumption data. Finds that the energy consumption of HVAC system is the largest part, accounting for about 66.9% of the total routine energy, in which the energy consumed by the chillers is the largest part, accounting for 49.66%, and followed by the air-conditioning terminal devices (AHU, PAU, FCU), 25.54% and the water pumps, 14.39%. Puts forward some countermeasures for energy efficiency reformation appropriately, including applying higher-efficiency chillers, large chilled water temperature difference (8 ℃), frequency control for chilled water and cooling water pumps, variable air volume control for fan coil units with brushless DC motors, higher-efficiency fans and air handling units, and higher-efficiency and double operating mode water-water heat pump heat recovery hot water system. Discusses feasibility and effects of these countermeasures one by one. And obtains the energy saving goal of HVAC system reformation after analysing energy-saving effects of each part in HVAC system.

Keywords south China area, star hotel, energy consumption analysis, applicable energy-saving technology, large temperature difference cooling, frequency control, heat recovery, automatic control, scheme

★ Guangzhou Design Institute, Guangzhou, China

①

1 南方地区既有星级酒店建筑特点分析

不同的建筑具有不同的外围环境、不同的服务水平、不同的室内状态和不同的使用功能,因此建筑节能途径有所不同。只有结合建筑特点,因地制宜地进行设计改造,才能最大限度地降低运行能耗。南方地区既有星级酒店及其空调系统具有如下特点:

1) 南方地区气候四季变化不明显,全年大部分时间需要空调,冬季供暖期较短。星级酒店在供暖期内也有部分房间(餐厅、宴会厅)需供冷。

2) 生活热水需求量较大,考虑到南方地区居住者生活习惯,冬夏季宾馆都需要提供大量生活热水。

3) 在南方地区提高围护结构的保温性能对建筑全年空调能耗降低贡献率不大,甚至建筑能耗有增加的可能;为了降低能耗,可以充分利用遮阳及自然通风。

4) 既有星级酒店由于其建筑空间布局已定,可调整的余地较小,而空调系统占用建筑空间相对

较大,特别是在改造时若采用高效设备如通风机、空调器等以降低风、水系统输送能耗时,需要增加设备的占地面积,这点在改造时需充分考虑。

5) 星级酒店房间功能多,空调系统需同时满足不同房间的冷热负荷、设计参数等的要求。

6) 涉外星级酒店室内设计参数要求较高。

7) 高级涉外星级酒店室内装修一般都比较高档,为保证室内高档装饰物品的寿命,要求室内全年都保持一定的温湿度参数。

2 广州白天鹅宾馆建筑能耗概述分析

白天鹅宾馆是我国首家中外合资五星级宾馆,总建筑面积约 100 838.2 m²,空调系统自 1983 年开始投入使用。根据业主提供的资料,笔者对白天

☆ 屈国伦,男,1961 年 3 月生,大学,教授级高级工程师,副总工程师
510620 广东省广州市天河区体育东路体
育东横街 3 号设计大厦 5 楼
(020) 87513218
E-mail: quguolun@163.com

收稿日期:2012-02-21

①修回日期:2012-03-27



鹅宾馆建筑能耗分析如下。

2.1 总能耗分析

表 1 为该酒店近 3 年来的用电能耗数据。可以看出,2008—2010 年,建筑总用电能耗在 2 000 万 kW·h 以上,但逐年降低;单位面积用电能耗从 230 kW·h/(m²·a)降低至 207 kW·h/(m²·a),降低了 10%。

	年份		
	2008	2009	2010
建筑总耗电量/(kW·h)	23 206 420	21 772 800	20 895 770
单位面积建筑耗电量/ (kW·h/(m ² ·a))	230	216	207

通过现场调研发现,自 2008 年以来,白天鹅宾馆开始加强节能管理。一是对空调系统冷水泵进行了变频改造,并根据气候变化调整冷水出水温度;二是当房间无人或者人少时,适当提高室内温度;三是采用 LED 灯替换 24 h 开启的常用照明灯。

这些节能措施使建筑能耗降低了 10%,但是节能范围局限,节能方式相对单一,如果综合其他节能措施、实施更大范围的节能,则能达到更高的建筑节能率。

2.2 分项能耗分析

为找到能源消耗的主要用户,对建筑物能耗进行了分类分项分析,结果见表 2。酒店 2010 年总能耗折合成标准煤为 5 580 t(按照等量热值换算),常规能耗、特殊能耗及其他能耗分别占 46%,39.9%和 14.1%。其中通风空调系统的能耗最大,占总能耗的 30.8%;其次为厨房能耗,占 24.6%。

表 2 酒店 2010 年能耗结构				
系统分类		能耗(折合成标	比例/%	小计/%
		准煤)/t		
常规能耗	通风空调系统	1 718.05	30.8	46.0
	照明系统	242.10	4.3	
	动力设备	178.61	3.2	
	室内设备	23.82	0.4	
	热水	406.93	7.3	
特殊能耗	厨房	1 371.58	24.6	39.9
	洗衣房	853.35	15.3	
其他能耗		785.54	14.1	14.1
合计		5 579.98	100	100

厨房、洗衣房等场所有能耗虽然占总建筑能耗比例大,但是由于其为满足功能要求确实耗能,节能潜力不大,因此本文只重点分析建筑总能耗中的常规能耗,并找出各分项能耗的特点。

其中,通风空调系统能耗最大,占常规能耗的 66.9%,其次为热水能耗,占 15.8%左右,照明能耗占

9.4%,动力设备能耗占 7%,室内设备能耗占 0.9%。

2.3 酒店集中空调能耗分析

根据酒店 2010 年能源审计报告,其通风空调系统总能耗为 13 979 270 kW·h,单位面积通风空调能耗为 138.63 kW·h/(m²·a),与新建节能环保宾馆饭店空调供暖系统能耗指标参考值 78 kW·h/(m²·a)^[1]相比,能耗较高。通风空调系统各组成部分用能情况见表 3。

表 3 酒店 2010 年通风空调系统能耗统计		
	用电量/(kW·h)	所占比例/%
冷水机组	6 942 447	49.66
水泵		
冷水泵	1 123 455	8.04
冷却水泵	887 807	6.35
冷却塔	125 693	0.90
末端		
空气处理机	2 454 881	17.56
新风处理机	199 360	1.43
风机盘管	915 384	6.55
分体空调	229 950	1.64
通风机	1 100 293	7.87
合计	13 979 270	100

由表 3 可以看出,空调主机能耗占通风空调系统总能耗的比例最大,为 49.66%;其次为空调末端(空气处理机、新风处理机、风机盘管)能耗,为 25.54%;第 3 位为水泵能耗,为 14.39%,这三者能耗占空调总能耗的 89.59%。因此,降低冷源系统、空调末端及水泵输送能耗是整个空调系统节能改造的主导方向和主要工作。

3 节能改造技术及措施介绍和节能效果分析

根据白天鹅宾馆的实际建筑特点,以及上述分析得出的白天鹅宾馆建筑的使用需求和能耗特点,针对建筑物内各高能耗用户,提出以下节能改造措施,并分析各个节能技术措施预期的节能效果。

3.1 冷水机组节能改造

目前酒店的装机总冷量约为 13 365 kW(3 800 rt),经现场查看,原有冷水机组的能效比为 4.16,本次改造拟采用能效比达到 6.1(即国家标准规定的一级能效比)的高效主机。因此,简化仅以主机额定能效比这一参数进行比较,采用高效主机后节能率为 31.8%,根据冷水机组能耗占空调系统总能耗的比例,折合到空调系统总节能率,则预计其对整个通风空调系统节能贡献率为15.80%左右。

此外,在白天鹅宾馆副楼空调系统中拟采用与企业合作研发的蒸发式冷凝供冷、供热、供生活热

水的空调主机,夏季供冷,提供免费生活热水(供水温度 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$);冬季则同时提供空调热水(供回水温度 $35\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ }^{\circ}\text{C}$)和生活热水(供水温度 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$),在节能的同时还可以提供部分免费生活热水,降低生活热水热源能耗。

3.2 水输送系统节能改造

3.2.1 冷水大温差

由于建筑空间的原因,本次改造所有水管均重新设计,计划采用冷水供回水大温差设计,由原来的 $7\text{ }^{\circ}\text{C}/12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 改变为 $7\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温差水系统与常规的 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温差水系统相比,暂以相同水泵扬程进行比较,相同冷量情况下,冷水泵的流量降低 37.5% ,则冷水的输送能耗可降低 37.5% 。

3.2.2 冷水、冷却水一次泵变频技术

冷水、冷却水系统采用一次泵变频技术。据有关研究表明,水泵变频后耗电量将降低 23.6% 左右^[2]。

由于白天鹅宾馆已经进行了冷水泵变频改造,故不再分析此次改造采用冷水泵变频带来的节能效果。

综上,冷水系统节能改造后预计的节能率为 37.5% ,根据冷水泵能耗占空调系统总能耗的比例,折合到空调系统总节能率,则其对整个通风空调系统节能贡献率为 3.02% 左右。冷却水系统采用水泵变频技术,预计的节能率为 23.6% ,根据冷却水泵能耗占空调系统总能耗的比例,折合到空调系统总节能率,则其对整个通风空调系统节能贡献率为 1.50% 左右。

此外,冷水系统采用全面水力平衡措施(动态压差平衡阀+电动调节阀+静态平衡阀的组合使用),与冷水大温差控制技术、冷水泵变频技术等相结合,不仅可有效解决冷水过量输配带来的能源浪费问题,还可以优化冷水和冷却水管网的设计,降低冷水和冷却水系统的输送能耗。

3.3 冷水环路分区设计改造

星级酒店房间众多且功能复杂,空调系统需同时满足不同房间的冷热负荷、设计参数等的要求。不同房间在同一时间内存在不同的冷热需求,为了防止水系统内的冷热抵消及便于系统控制,本项目拟在塔楼客房部分采用冷热水四管制,而裙楼部分则根据房间不同的需冷、需热时间段,采用分区两管制。通过将冷热负荷需求规律相似的房间划分在同

一水环路系统内,进而为节能管理提供硬件支持。

3.4 空气输送系统改造

据表 3 得知,白天鹅宾馆空调系统中空气输送能耗占其总能耗的 25.54% ,比例较高,节能潜力较大。

3.4.1 采用直流无刷风机盘管变风量控制技术

改造后所有客房均将采用直流无刷风机盘管,在降低设备噪声、提高房间热舒适性的同时,能降低风机盘管能耗。此外采用优先变风量控制策略,能减少风机盘管的空气输送能耗。相关资料表明,采用此技术可使风机盘管能耗降低 50% 左右。

根据风机盘管能耗占整个空调系统能耗比例,预计风机盘管系统改造对整个通风空调系统节能贡献率为 3.28% 。

3.4.2 采用高效节能风机及空气处理机组

本次改造风机将采用后倾机翼型风机,效率提高,这种风机较改造前的前弯式风机可节能 $15\%\sim 35\%$ 。

空气处理机组则将采用与企业合作研发的节能空气处理机组,该机组所需占地面积与常规机组相近,出口风速较低,风机静压比高,噪声低,还可降低空调风系统阻力损失,从而可以降低风机的耗功率,实现节能目的。高效风机、空气处理机组的使用可以节能 50% 左右。

3.4.3 全空气系统变频、需求化新风供应及全新风运行技术

全空气系统变频技术是采用变频自动调节风机转速,使风机转速自动适应变化,降低风机能耗。通过变频控制,风机能耗约为定风量风机能耗的 $50\%\sim 60\%$ ^[2]。

需求化新风供应模式为系统根据室内二氧化碳浓度实现变新风量运行,即需求化新风供应的控制模式。采用需求化新风供应可降低新风负荷,减少新风处理能耗。

全新风运行是指在过渡季节,当室外空气比焓低于室内设计状态点比焓时全新风运行,在不开启冷水机组、水泵的情况下,实现自然冷却效果,从而达到节能目的。

综合考虑节能空气处理机组,并应用风机变频技术,预计整个通风空调系统可节能 14.2% 。

3.5 通风系统优化

3.5.1 自然通风技术

合理应用自然通风技术,不仅节能,而且可以改善建筑风环境,提高室内空气品质和热舒适性。白天鹅宾馆大堂面对珠江,结合因地制宜设计理念,在过渡季节可以利用自然通风,实现大堂的室内热舒适性要求,从而可以减少空调开启时间,降低空调能耗。

3.5.2 客房排风系统

酒店客房排风可通过在每个客房内设置定风量阀,在屋面设置变频总排风机,从而取消卫生间排气扇。根据2010年白天鹅宾馆能源审计报告数据,取消客房卫生间排气扇每年可节电292 000 kW·h,其节能率为26.54%,根据通风设备能耗占空调通风系统总能耗的比例,折合到空调系统总节能率,预计对整个通风空调系统节能贡献率为2.09%。

3.6 中庭降温水幕空调系统

白天鹅宾馆1层中庭内有观赏鱼池,其循环水来自2层假山,自上而下呈瀑布状流入1层水池。为了实现最大的节能率,可以利用人造瀑布形成的水池来改善室内热环境舒适性,利用水池内的低温水冷辐射及蒸发作用,并通过增设风机加强水面气流扰动,可以在一定时间内减少空调送风量或提高空调送风温度,达到一定的节能效果。笔者利用CFD软件模拟室内温度场,结果见图1。

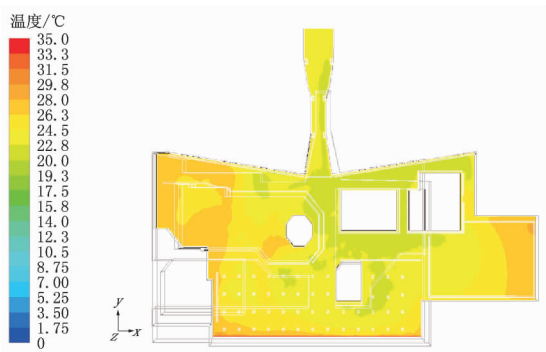


图1 1层平面人行高度处温度分布

经过计算分析,夏季设计工况下,当水温为10℃时,整个中庭区域可以减少空调送风量65 000 m³/h,中庭在整个供冷季可以节省空调机组风机运行电量13 000 kW·h。减少空调送风量带来的节能效果虽然较小,但是由于池水水面存在冷辐射,使得水池周边空间温度可以提高1~2℃而不会影响其热舒适性^[4],由此可以带来冷负荷的减少以及空调系统能耗的降低。

3.7 围护结构节能改造

白天鹅宾馆建于20世纪80年代,建筑围护结构热工参数已不能满足现行国家节能规范要求,本次改造将对围护结构进行节能改造,如将原有窗玻璃改为Low-e玻璃等,可使围护结构热工参数满足要求。同时通过设置电动窗帘,在房间无人及室外气候炎热时段关上窗帘,降低室内峰值冷负荷,也可减少一部分室内得热。

根据我国建筑节能50%目标分析,从北方至南方围护结构分担的节能率为25%~13%^[3],该节能率即为空调供暖系统及照明设备的节能率,考虑到本项目为既有建筑改造,确定围护结构改造对空调系统节能率目标为8%。

3.8 双工况高效水-水热泵热回收热水系统

根据星级酒店具有冷、热负荷及生活热水需求的特点,回收制冷主机的排热,为生活热水系统提供免费热量,可减少生活热水热源能源消耗。改造中将采用与企业合作研发的双工况高效水-水热泵热回收热水系统,用于制备酒店生活热水,在满足热回收热水60℃出水温度的同时,机组能效比并未下降。

双工况高效水-水热泵热回收热水系统由双工况高效水-水热泵热回收机组、双工况变频热回收水泵、蓄热水罐、生活热水自控系统等组成。

夏季时,系统设定为制冷热回收工况,通过回收冷凝热直接提供免费的、满足卫生要求的生活热水(60℃);冬季生活热水需求量小时,系统转换为热泵工况,热回收换热器转变为热泵环路中的冷凝器,通过与生活热水系统换热,快速提供热量,并储存在蓄热水罐中,而蒸发器提供的冷量则送至建筑物内需要供冷的房间。

经分析计算,采用双工况高效水-水热泵热回收热水系统,预计生活热水热源可降低80%左右的能耗。根据生活热水能耗占整个建筑能耗的7.3%计算,则采用该热回收系统可以减少整个建筑能耗的5.84%。

3.9 节能自控

空调系统除了需要合理设计外,还需良好的自动控制系统来保证空调系统节能运行,空调节能自动控制与监测系统的设计原则为安全可靠、节能高效,杜绝人为浪费,从科学管理上实现节能。

目前白天鹅宾馆的自动控制系统尚不完善,通过与自控专业及企业合作研发,改造中空调自控系统将作为BAS楼宇自控系统的独立子系统,由冷

(热)源群控自控子系统、风机盘管自控子系统、空气处理机自控子系统、通风设备自控子系统等系统组成。其中,冷水机组、双工况高效水-水热泵热回收机组、水泵、冷却塔、空气处理机、新风处理机、送/排风机、各种电动阀门等设备均接入自控系统中。

空调节能自控系统应具备以下主要功能:

1) 自动控制与监测。可在中央空调控制室实现对上述设备的主要参数检测、参数与动力设备状态显示、自动调节与控制、工况自动转换、设备联锁与自动保护以及中央监控和管理等。

2) 能源管理。通过采用与生产企业合作研发的能源管理控制系统,可实现冷(热)源系统、空调末端设备的节能运行,节省运营成本。如可根据气候变化,分级控制冷却塔风机转速及冷却水温度,适当提高冷水出水温度,提高主机能效比等。

3) 直流无刷风机盘管采用与生产企业合作研发的自适应变参量风机盘管控制器,可以根据室内温度自动调节风量、水量,以达到最舒适、最节能效果。自适应变参量风机盘管控制器还可实现无人侦察、开窗控制、分时段控制、远程控制等功能,减少不合理使用习惯造成的能源浪费。

4) 与酒店客服管理系统联网。空调节能自控系统可通过网关等方式与酒店客服管理系统联网。酒店客服管理系统根据客人的入住登记、入住、退房登记等信息,通过自动控制酒店客房的空调末端控制器至不同工况的运行模式,如:入住(无人)模式、未售模式、欢迎模式、正常运行模式等,实现从管理上节能的目的。

5) 空气处理机组控制编程。根据房间使用时间,为相应的空气处理机组设定各种运行模式,如餐厅、宴会厅在用餐时间运行,非用餐时间则关闭新风,只对室内空气处理以保证房间装修要求的温湿度。对于酒店大堂,在 00:00 以后适当提高室内设定温度等等。此外在空气处理机组运行时,还可以利用与生产企业合作研发的自适应变参量空气处理机组控制器自动调节风量或者水量,以实现节能。

6) 通风系统控制编程。可根据使用时间(如厨房通风系统等),或者根据二氧化碳浓度(如车库通风系统)控制风机启停。

如果空调节能自动控制与监测系统成功实施,实现从管理上节能,预计可减少约 10% 的通风空调系统能耗。

3.10 小结

采用以上节能措施或节能设备后,空调系统预期的节能率见表 4。

表 4 空调系统分项节能率

空调设备或节能措施	节能率/%
冷水机组	15.80
冷水泵	3.02
冷却水泵	1.50
风机盘管	3.28
空气处理机	14.20
通风机	2.09
围护结构节能改造	8.00
合计	47.89

若考虑自动控制系统对通风空调系统 10% 的节能贡献率,则综合节能率将达到 53.1%,节能效果明显。

4 结论

4.1 既有星级酒店节能改造前能耗较高,节能潜力较高,节能意义重大。

4.2 既有建筑的节能改造需根据建筑物特点,从能耗突出的用户入手,因势利导、因地制宜地采用适用技术,最大限度地降低实际用能数据,实现低成本高效益的节能改造目的。

4.3 既有建筑的节能改造是系统工程,需进行分类分项的能耗分析,确定主要能耗对象。星级酒店内冷水机组及风、水输送系统能耗为空调系统能耗的主要部分,通过对冷水机组和输送系统的节能改造,可以获得明显的节能效果。

4.4 通过综合应用各项节能技术,白天鹅宾馆空调系统节能改造预期节能率可以达到 53.1%,节能效果明显。

目前白天鹅宾馆正在进行节能改造,受不确定因素影响,本文提出的节能措施和节能产品可能不会完全实施或被采用,笔者将跟踪节能实施情况并总结节能设计经验。

参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2009[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009
- [2] 宋应乾,曾艺,龙惟定. 建筑能耗模拟在能源审计中的应用[J]. 暖通空调, 2011, 41(3):137-142
- [3] 公共建筑节能设计标准编委会. 公共建筑节能设计标准宣贯辅导教材[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005
- [4] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社, 2008