

# 高档酒店空调系统节能技术

天津市建筑设计院 赵斌<sup>☆</sup> 伍小亭 王蕾 芦岩

**摘要** 通过对高档酒店项目的系统运行特点及目前设计中存在问题的总结与分析,提出了几点节能改进措施,包括过渡季及冬季免费供冷、夏季冷凝热的利用、空调系统的管制优化以及单双盘管的优化等。从适用性、技术性、经济性等方面进一步分析了这些措施的实施产生的社会效益及经济效益,并给出了具体的设计方法。

**关键词** 表冷器 冷凝热 热回收 四管制 免费供冷 生活热水

## Energy saving technologies for air conditioning system in high grade hotels

By Zhao Bin<sup>★</sup>, Wu Xiaoting, Wang Lei and Lu Yan

**Abstract** By summarizing and analyzing the characteristics in operation and existing problems in design, proposes several energy saving improvement measures, including free cooling in winter and transition seasons, condensing heat utilization in summer, water pipe system optimization, and rational application of single and double coils. Analyses the social and economic benefit of these measures from the applicability, technical, and economic aspects, and gives some specific design methods.

**Keywords** surface air cooler, condensing heat, heating recovery, four pipe system, free cooling, domestic hot water

★ Tianjin Architecture Design Institute, Tianjin, China

①

### 0 引言

随着社会的发展和人们的生活质量不断提高,人员的流动及沟通日趋频繁,我国高档酒店的建设方兴未艾。高档酒店具有建设标准高、空调系统负荷大、空调运行时间长、能耗高(空调能耗通常占高档酒店总能耗的 40%以上)等特点。正因为如此,通过优化空调设计方案、采用空调节能技术,能减少可观的空调能耗,提高系统性价比。

### 1 高档酒店空调系统特点

1) 由于高舒适度的要求和住客对居留环境的个性化需求多采用四管制空调系统。

2) 生活热水需求量较大,且表现为全天 24 h 需要的特征。

3) 生活热水用热及空调系统全年运行而非季节性运行,能耗总量大。

4) 客房部以外的其他区域面积与空间较大、功能复杂,内区问题明显,经常在过渡季和冬季也有供冷需求。

### 2 常用生活热水热源与空调系统形式及问题

#### 2.1 常用的生活热水热源与空调系统形式

生活热水热源为燃气锅炉;空调水系统广泛采用四管制<sup>[1]</sup>;目前多采用开启制冷机或增大新风量,或两者相结合的方式实现过渡季与冬季供冷;空调末端设备设置冷热双盘管。

#### 2.2 存在的问题

目前高档酒店采用的生活热水热源形式及空调系统形式虽然从功能角度可以满足使用要求,但较少考虑能源的节约与系统优化,体现在:

1) 过渡季特别是冬季仍需开启冷水机组(压缩机工作)供冷或过分依赖增大新风量。前者未能充分利用天然冷源冷却,实现免费供冷;后者因风道占用空间而降低了使用净高。

2) 很少考虑利用空调制冷时的冷凝热作为生活热水的预热热源。如果利用冷凝热,可减少生活

①☆ 赵斌,男,1967年11月生,大学,高级工程师  
300074 天津市河西区气象台路95号天津市建筑设计院第一机电所  
(022) 23543358  
E-mail: zhaobin8888700@sohu.com  
收稿日期:2011-08-28  
一次修回:2012-02-02  
二次修回:2012-05-26

用热能源消耗,即便是像天津这样空调运行时间远比南方少的城市,节能量也相当可观。

3) 没必要采用四管制的区域也采用了四管制。酒店的一些公共区域本无必要采用四管制系统,但仍用了四管制,造成投资浪费,同时也不节能,因为相对两管制,四管制增加的设备及管道在制造过程中同样会消耗能源,增加碳排放。

4) 空调末端双盘管设置不当。设备选择时未分析使用特点,而使末端设备换热面积偏大,投资增加。

## 2.3 空调系统节能技术措施分析

### 1) 过渡季、冬季免费供冷

通常免费供冷有两种主要形式:一种是直接式免费供冷,也称焓差供冷,即利用低于室内比焓的室外新风承担内区冷负荷;另一种是借助冷却塔制取空调冷水,也称冷却水供冷。前者因需要较大尺寸的取风和排风风道,而受到建筑条件限制;后者因利用原有空调水系统管道,而更容易被采用,即不用开启冷水机组的压缩机而制取用以消除内区冷负荷的空调冷水。

下面对两种冷却水供冷方式进行分析比较。  
方案1:冷水机组配置自由冷却功能;方案2:冷却水、冷水间设换热器为空调系统提供冷水。

#### ① 工作原理

方案1的原理是当冷凝器进水温度低于蒸发器出水温度(温差取 $3^{\circ}\text{C}$ ,蒸发器出水温度取 $16^{\circ}\text{C}$ )时,控制器将自动启动自由冷却功能。这时,冷凝器与蒸发器之间的两个电动阀被打开,同时关闭压缩机回路,液态制冷剂因重力作用进入蒸发器,蒸发器内的制冷剂温度与压力高于冷凝器,制冷剂在蒸发器内蒸发,进入冷凝器;制冷剂气体在冷凝器中被冷凝后因重力作用再次回到蒸发器,形成制冷循环。只要蒸发器与冷凝器水侧之间存在温差,这个制冷循环就会保持。当自由冷却不能满足负荷需要时,控制器可自动或手动切换到标准制冷工况。蒸发器与冷凝器水侧之间的温差决定制冷剂流速及自由冷却状态下的制冷量,自由冷却工况可提供标准工况下制冷量的 $10\%\sim 45\%$ 。自由冷却工况的流程简图见图1<sup>[3]</sup>。

方案2的原理是冷却水流经换热器的一次侧,空调冷水流经换热器的二次侧。冷却水温度低于

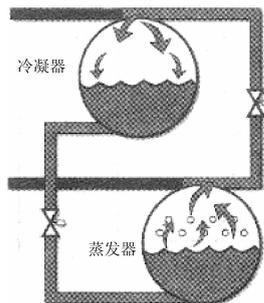


图1 自由冷却工况

空调冷水温度,冷却水系统向空调系统供冷,原理图见图2。

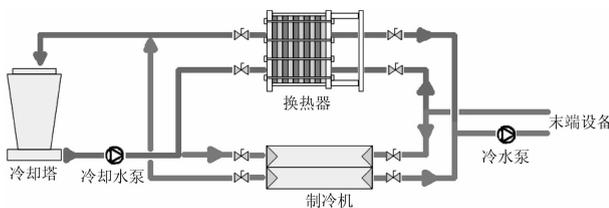


图2 设换热器的冷却水供冷原理图

#### ② 经济分析

以某常规供冷量为 $2\ 800\ \text{kW}$ 的离心冷水机组为例(自由制冷量为总冷量的 $40\%$ ),对自由冷却系统与换热器系统进行经济比较。冷却水供回水温度为 $13^{\circ}\text{C}/16^{\circ}\text{C}$ ,冷水供回水温度为 $16^{\circ}\text{C}/19^{\circ}\text{C}$ ,供冷量为 $1\ 120\ \text{kW}$ 。方案1自由冷却机组的价格比标准机组高 $30$ 万元,方案2所需的进口板式换热器及管路的价格约为 $20$ 万元。

在经济性方面方案2具有优势。

#### ③ 优缺点比较

方案1是对制冷机组本体的改进,不增加设备及管路,机房面积不增加,但对冷却水温度有上限要求;方案2需增加换热设备、管路及控制系统,管理相对复杂、占地面积有所增加。

#### ④ 适用条件

在过渡季空调负荷及机组装机冷量较大、机房面积紧张的工程中方案1比较适合,反之方案2较好。应当注意由于过渡季、冬季采用免费供冷,空调冷水温度提高,除湿能力下降,因此对湿度精度要求较高的区域不适合采用此种免费供冷方式。总之过渡季、冬季冷却水供冷系统在工程中是一种既经济又节能的制冷方式,在可能的情况下应引起足够关注。

2) 在生活热水的制备中充分利用夏季空调制冷的冷凝热

冷水机组在制冷的同时必然要排热,通常由冷却塔排向大气。如果利用此部分热能作为生活热水的预热,是既环保(减少冷却塔向环境散热和冷却塔运行噪声)又节能的方案。采用带有标准型及热回收型双冷凝器的冷水机组可实现此功能。根据热回收器回收热量的多少,可分为部分热回收和全部热回收<sup>[2]</sup>。其中,部分热回收只能回收冷水机组排放的部分热量,经热回收后的制冷剂仍是气相或气液相混合物,需进入标准冷凝器进一步冷凝,所以被加热热水温度较高,通常可达 60℃,热回收冷凝器与标准冷凝器串联设置;全部热回收基本回收了系统排入环境中的全部热量,不需要常规冷却系统运行,所以制备的热水温度较低,通常为 30~50℃,热回收冷凝器与标准冷凝器并联或串联设置。在工程案例应用中,应根据实际情况选择不同的热回收形式。全部热回收方案的控制简图见图 3<sup>[3]</sup>。

控制方案为:① 当有生活热水需求时,先设定进入热回收冷凝器的水温 T2,再开启与热回收冷凝器相连的水泵。② 若 T2 的测量值低于设定值,表明供热不够,则关闭与标准冷凝器相连的水泵和三通阀 V2,使冷却水不流经冷却塔,冷水机组产生的热量全部排向热回收冷凝器,从而使 T2 的测量值提高,不断接近设定值。③ 测量值高于设定值,表明供热过多,则开启与标准冷凝器相连的

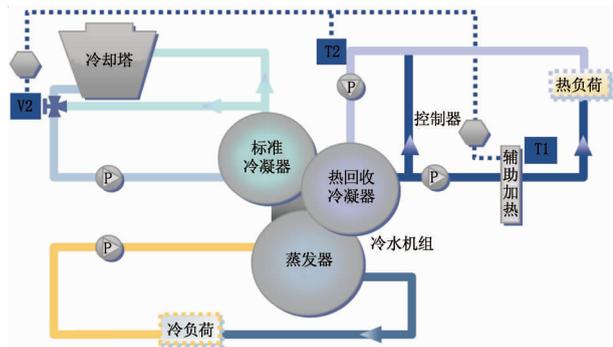


图 3 全部热回收方案的控制简图

水泵,并打开三通阀 V2,使冷却水流经冷却塔,通过调节冷却塔风机启停个数和转数及冷却水泵的流量,来改变压缩机对上述两个冷凝器的放热比例,从而使 T2 的测量值降低,不断接近设定值。④ 由于 T2 在不断变化,这就需要调节辅助加热热源的加热量,使所需的用户进水温度 T1 稳定在设定值。⑤ 若无生活热水需求时,则完全利用冷却塔散热,与热回收冷凝器相连的水泵关闭<sup>[3]</sup>。

此方案的不利因素有两点:① 由于冷水机组需设置双冷凝器,机组价格增加约 25%;② 如果要使冷凝热在实际工程中更具有使用价值,就要提高冷凝器的出水温度,但是冷却水温度的提高会降低冷水机组制冷效率。对某品牌的单冷型与热回收型离心冷水机组(额定制冷量 1 400 kW)制冷效率及初投资进行了比较,结果见表 1、2。

表 1 单冷型与热回收型离心冷水机组制冷效率比较

	蒸发器进出水温度/℃	冷凝器进出水温度/℃	制冷工况 COP	热回收工况 COP
单冷型冷水机组	12/7	32/37.0	5.41	无
热回收型冷水机组	12/7	37/42(热回收工况)	5.51	5.38

表 2 单冷型与热回收型离心机组经济性比较

	制冷机价格/(元/kW)	回收热量/(kW/kW)	热回收装置的投资回收年限/a
单冷型冷水机组	760		
热回收型冷水机组	910	1.18	1

注:1) 制冷天数为 120 d,制冷时间 24 h/d,季节负荷系数 0.8,日负荷系数 0.7,燃气价格 2.8 元/m<sup>3</sup>;

2) 如果在供冷季带热回收冷水机组总放热量与在此期间生活热水的总需热量有差异,相应的回收年限要有所改变。

由表 1、2 可知,在运行费用方面热回收工况与单冷工况相比,制备 1 kW 冷量多耗 0.005 kW 电能。但是制备 1 kW 冷量的排热量约 1.2 kW,远远高于 0.005 kW 电能所提供的热量;如果制冷排热能全部被回收利用,则当年就可回收成本。通过以上分析,热回收方案在技术上是可行的、在节能效果上是显著的。

3) 用主、副管系统及分区两管制系统代替四管制系统

主、副管系统是夏季主、副管均通冷水,冬季主、副管通热水,副管仍通冷水。动力中心内的主、副分集水器分别与相应的冷热源干管连接,在不同的季节由阀门进行转换;与末端设备相连的温控器与常规四管制空调水系统有所不同,具体控制方式为:普通四管制空调水系统的温控器设有冷、热转换开关,由客人按需要自行控制;主、副管空调水系统的温控器除设有冷、热转换开关外(与普通四管制空调水系统控制方式相同),还应有一个季节开关,根据主系统内流通空调冷水或空调热水(即流通空调冷水为夏季,流通空调热水为冬季)进行转换,使电动阀满足不同空调水系统工况下的水量调节。此

过程应由酒店管理人员完成(可以设置为远控型,在控制中心集中控制,也可以在各温控器处分散手动控制)。通过以上设置形成了完整的主、副管空调系统。客房部分为居住型房间,为满足客人的个性化需求及克服朝向不同造成的冷、热差异,应采用主、副管空调水系统;客房以外部分为公共区域,此部分弱化了个性化需求,所以四管制空调水系统意义不大。采用分区两管制系统即可满足使用要求,即:不同区域的空调水系统与主、副干管进行并联连接(外区除外),这样可满足不同区域在同一时间的不同冷、热要求,原理图见图4。在图中可看到,由于内、外区空调系统中部分末端系统取消了副管,空调水系统投资可相应减少,同时可增加使用净高,提高施工速度。在实际工程中,在方案阶段可以用等流速原则估算管道规模,以此为依据确定空调系统形式。

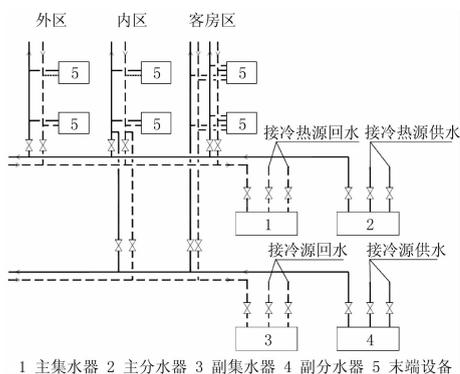


图4 主、副管空调系统原理图

4) 空调末端设备的形式:冷、热双盘管与冷、热单盘管(原理图见图5)

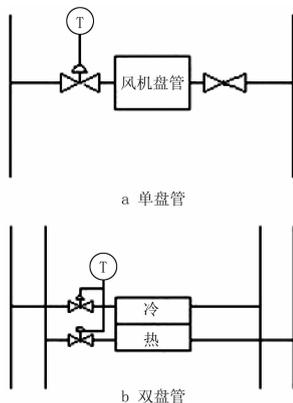


图5 单、双盘管的风机盘管水系统原理图

客房部分的风机盘管采用冷、热双盘管,其余部分的风机盘管及空调机组采用冷、热单盘管。①

客房内双盘管的风机盘管中两组盘管的排数一般为3+1排,3排的盘管为主盘管,1排的盘管为副盘管,如果房间冬季需热量较大,有可能就要采用3+2型或增大设备型号,这样末端设备体积变大、投资升高。如采用主、副管空调水系统,就可以在主季节始终对应主系统及主盘管,副盘管始终是备用,这样3+1的双盘管可满足任何季节需求。②组合式空调机组、新风机组使用时只需供冷或者供热,转换频率也不高,且舒适性空调的末端设备夏季处理空气时没有再热的需求,所以机组采用单盘管也可以满足使用要求。

### 3 案例分析

#### 3.1 工程概况

天津市某五星级酒店,总面积34 000 m<sup>2</sup>,其中客房面积18 700 m<sup>2</sup>,其余房间面积15 300 m<sup>2</sup>,客房床位数500床。空调计算总冷负荷4 020 kW,空调内区计算总冷负荷1 000 kW,空调计算总热负荷3 380 kW。选用3台1 400 kW离心冷水机组,其中1台为全热回收型。

#### 3.2 基础数据(见表3)

表3 经济比较所需基础数据

电费/(元/(kW·h))	0.81
两管制末端设备价格/(元/m <sup>2</sup> )	40
四管制末端设备价格/(元/m <sup>2</sup> )	50
两管制水系统价格/(元/m <sup>2</sup> )	9
四管制水系统价格/(元/m <sup>2</sup> )	15
板式换热器传热系数/(W/(m <sup>2</sup> ·°C))	4 000
燃气热值/(W/m <sup>3</sup> )	9 860
燃气使用费/(元/m <sup>3</sup> )	2.8
板式换热器价格/(元/m <sup>2</sup> )	2 000
1 400 kW热回收型与非热回收型离心冷水机组的差价/(万元/台)	20
生活热水夏季进水温度/°C	15
利用冷凝热时冷却水的回水温度/°C	40
冷凝热利用率	0.8
冷却塔供冷时冷水供回水温度/°C	16/19
冷却塔供冷时冷却水供回水温度/°C	13/16
冷却塔供冷时室外湿球温度/°C	≤9
内区使用时间	08:00—20:00
天津地区全年8:00—20:00	
冷却塔可供冷的时间/h	1 571
热回收型离心电制冷冷水机组 COP	单制冷 5.51
	热回收 5.38
离心电制冷冷水机组 COP	5.41
过渡季供冷时离心电制冷冷水机组 COP	9
平均负荷	酒店运行费用计算中的日平均负荷系数为0.7;季系数
节平均负荷系数为0.8;供冷期运行天数取120 d	

#### 3.3 经济比较

##### 3.3.1 冷凝热的利用

### 3.3.1.1 初投资的增加

制冷机增加 20 万元,附属设备(水箱、水泵、控制部件等)增加 10 万元,总计增加 30 万元。

### 3.3.1.2 运行费用

1) 供冷季生活热水的用水功能区为客房、洗衣房、员工休息室、健身房、厨房、游泳池等,平均小时用水量为  $4.27 \text{ m}^3$ <sup>[4]</sup>。

2) 热回收型冷水机组全年运行时间为  $120 \text{ d} \times 24 \text{ h/d} = 2880 \text{ h}$ 。

3) 供冷季热回收型冷水机组可提供的冷凝热:  $1400 \text{ kW} \times 1.2 \times 0.8 \times 2880 \text{ h} \times 0.8 \times 0.7 = 2167 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 。

4) 供冷季生活热水可利用的冷凝热:  $4.27 \text{ m}^3 \times 1.16 \times (40 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C}) \times 2880 \text{ h} = 357 \text{ MW} \cdot \text{h} < 2167 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 。

因为供冷季生活热水可利用的冷凝热小于机组的放热量,在实际运行中可适当提高热回收型冷水机组的冷水出水温度,从而提高冷水机组的制冷效率。

5) 供冷季减少的生活热水燃气费:  $357 \text{ MW} \div 9860 \text{ W/m}^3 \times 2.8 \text{ 元/m}^3 = 10.1 \text{ 万元}$ 。

6) 供冷季冷水机组增加的电费:  $(1400 \text{ kW} \div 5.38 - 1400 \text{ kW} \div 5.51) \times 2880 \text{ h} \times 357 \text{ MW} \div 2167 \text{ MW} \times 0.81 \text{ 元/(kW} \cdot \text{h)} = 0.3 \text{ 万元}$ 。

7) 总计减少费用:  $10.1 \text{ 万元} - 0.3 \text{ 万元} = 9.8 \text{ 万元}$ 。

### 3.3.2 管制的优化

管制的优化使得初投资减少:  $15300 \text{ m}^2 \times (15 \text{ 元/m}^2 - 9 \text{ 元/m}^2) = 9.2 \text{ 万元}$ 。

### 3.3.3 客房部分以外的末端设备采用单盘管

客房部分以外的末端设备采用单盘管使得初投资减少:  $15300 \text{ m}^2 \times (50 \text{ 元/m}^2 - 40 \text{ 元/m}^2) = 15.3 \text{ 万元}$ 。

### 3.3.4 冷却塔供冷

### 1) 初投资增加

板式换热器:  $1000 \text{ kW} \div (4 \text{ kW/(m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}) \times 3 \text{ }^\circ\text{C} \times 2000 \text{ 元/m}^2 = 16.7 \text{ 万元}$ 。

### 2) 运行费用

冷水机组电费减少:  $1000 \text{ kW} \div 9 \times 1571 \text{ h} \times 0.7 \times 0.8 \times 0.81 \text{ 元/(kW} \cdot \text{h)} = 7.9 \text{ 万元}$ 。

### 3.3.5 总计

初投资及运行费用变化汇总见表 4,投资回收期约为 1.5 a,经济效益明显。

	冷凝热的利用	空调系统管制的优化	单双盘管的优化	冷却塔供冷的使用	总计
初投资	30	-9.2	-15.3	16.7	22.2
年运行费用	-9.8			-7.9	-17.7

### 3.4 年运行期节能量

通过以上计算可知,燃气耗量减少  $36206 \text{ m}^3$ ; 电力消耗减少  $97751 \text{ kW} \cdot \text{h} - 2919 \text{ kW} \cdot \text{h} = 94832 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,节能效果明显。

## 4 结语

高档酒店是较复杂的公共建筑项目,需要解决的问题较多,解决的方案也较多,通过对冷凝热的利用、空调系统管制的优化、单双盘管的优化、冷却塔供冷的使用等措施的分析,可知这些措施在技术上是可行的,经济效益是明显的。由此可见空调冷、热源及空调系统在设计及使用中有很大的节能潜力。

### 参考文献:

- [1] 电子工业部第十设计院. 空气调节设计手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995: 212
- [2] 陈耀辉. 全热回收风冷热泵机组在酒店中的应用[J]. 给水排水, 2008, 34(7): 77-80
- [3] 中国建筑标准设计研究院. 全国民用建筑工程设计技术措施节能专篇 暖通空调·动力[M]. 北京: 中国计划出版社, 2007: 123-124, 148
- [4] 上海市城乡建设和交通委员会. GB50015—2003 建筑给水排水设计规范[(2009年版)] [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010: 92-95, 100