

北京某写字楼项目暖通空调高效制冷机房设计

梁军¹ 李承泳²

上海交通大学机械与动力工程学院

摘要: 对大型公共建筑能耗进行分析, 针对性地采取节能手段实现暖通空调高效制冷机房的设计、建设和运营。与传统大型公共建筑能耗相比, 通过前期节能设计, 建设过程的设备参数控制和基于 BIM 的运维软件技术应用, 解决后续建筑高成本运营和能源浪费。

关键词: 商业办公楼 绿色建筑 高效制冷机房 水蓄冷 节能控制

Design of High-Efficient Refrigeration System for HVAC of one Office Building in Beijing

LIANG Jun¹, LI Cheng-yong²

1 Beijing Kunting Asset Management Co., Ltd.

2 Shenzhen Das Intellitech Co., Ltd.

Abstract: Based on the analysis of high energy consumption of large public buildings, this paper realized the design, construction and operation of high-efficient refrigeration system of HVAC with adoption of target energy-saving measures. Compared with traditional large-scale public building energy consumption, the subsequent high cost operation of construction and energy waste could be solved by means of pro-phase energy-saving design, equipment parameter control in the construction process as well as application of operational software technology with BIM as the basis.

Keywords: commercial office building; green building, high-Efficient refrigeration room, water thermal storage, energy saving control

1 项目概况

北京某高端写字楼建设地点位于北京市东城区安定门附近。总建筑面积 8 万 m², 其中地上 5 万 m² 地下 3 万 m²。建筑高度 60.00 m 地下三层 地上十三层。地下一层为配套商业、员工厨房及餐厅、自行车库、设备用房, 局部设自行车库夹层。地下二层平时为自行车库、汽车库(包括全自动机械停车库)及设备用房。地下三层平时为汽车库(包括仓储停车)及设备用房, 首层为商业 2~13 层为办公, 其中 4 层局部设有餐厅及厨房, 6 层局部设有咖啡厅。

此写字楼项目已经成功取得美国绿色建筑委员

会(US Green Building Council)颁发的 LEED-CE 铂金级预认证, 中国绿色建筑评价三星设计认证。

2 气候特点分析及全年负荷计算

1) 气候特点分析

建筑能耗主要受到六方面因素的影响: 气候, 建筑围护结构, 建筑能源服务系统, 建筑运行维护, 人员行为模式, 室内环境状况^[1]。本项目高效制冷机房设计思路首先从分析建筑当地气候和全年运行负荷开始。

北京市属于寒冷地区, 为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥, 春、秋短

收稿日期 2016-12-9

作者简介 梁军, 1973~ 男, 本科, 工程师, 北京市东城区和平里东街 11 号航星科技园航星 5 号楼 3 层北京昆庭资产管理有限公司(100028);
E-mail: liangjun@cofco.com

促。年平均气温 10~12℃。全年湿球温差较为明显(图 1)。全年湿球温度低于 18℃小时数达到 6731 h,湿球温度超过 28℃小时数仅有 36 h。过渡季节外区适合开窗自然通风,内区适合利用自然冷源节能措施。

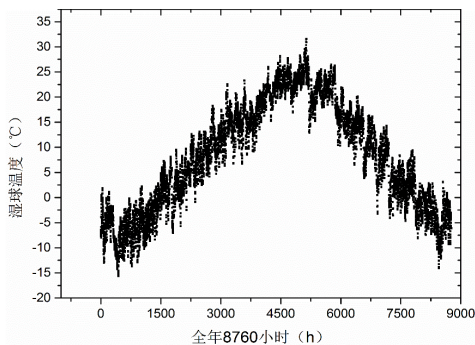


图 1 北京市全年 8760 小时湿球温度分布图

2) 全年负荷计算

利用 HDY-SMAD 空调负荷计算及分析软件对建筑物全年冷负荷进行计算分析(图 2)。每年供冷时间预计在 5 月 1 日至 9 月 30 日,全年冷负荷约为 578.5 104 kWh,典型日高峰冷负荷为 5685 kW,空调冷负荷指标约为 120.9 W/m²。全年冷负荷作为冷水机组、水泵、冷却塔选型的重要依据,通过厂家提供设备的性能曲线对其进拟合后进行全年能耗模拟选取最佳性能设备。

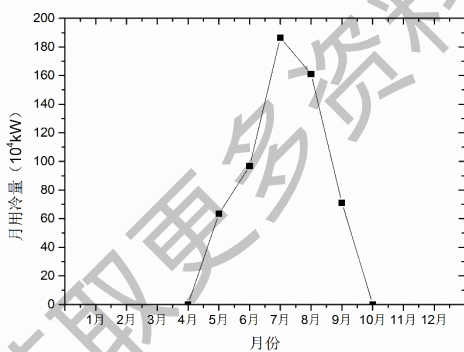


图 2 北京市全年月用冷量变化

3 高效制冷机房设计

基于全年冷负荷特性对系统冷源进行设计,采用 2 台设计工况为 600 RT 的水冷离心式冷水机组和 1 台设计工况为 277 RT 的水冷变频螺杆式冷水机,夏季用冷高峰期不足冷量由水蓄冷补充。冷水机组设计工况能效比分别为 6.032 W/W 和 5.832 W/W。冷水设计供水温度为 7/13℃,冷却水设计供回水温度为

31/37℃,冷水泵和冷却水泵均采用立式双吸泵,变频电机变频控制。冷却水侧采用冷凝器在线清洗装置,清洗装置根据冷水机组初始换热温差作为设定值,保证冷水机组冷凝器换热温差控制在良好范围内。冷却塔采用多台模块并联运行,选用塔损和风机功率综合最低塔型,并对冷却塔布置采用 FLUENT 软件对通风条件进行模拟,保障冷却塔有效进风量。

3.1 水蓄冷技术应用

系统初步设计时采用冰蓄冷系统,后期从初投资、系统效率、实用性等方面对水蓄冷和冰蓄冷进行了对比,得出水蓄冷除了体积及位置方面稍占劣势以外,其余方面均具有较大优势。本项目通过 BIM 技术对机房进行优化布置,合理减少制冷系统占用面积,在不改变蓄冷量和机房面积的前提下,综合考虑投资回收期后,应用了水蓄冷技术。

本项目水蓄冷系统采用自然分层式水蓄冷技术。在地下三层制冷机房内通过机房布置优化空间,将优化空间设置有效容积为 1450.5 m³ 的蓄冷水池,夜间谷段电价时间利用制冷系统空余的 1 台 600 RT 的水冷离心式冷水机组和 1 台 277 RT 的水冷变频螺杆式冷水机组夜间进行蓄冷,蓄冷 5.2 h 把蓄冷水池蓄满,在冷水系统制冷运行期内白天与冷水机组联合放冷运行。蓄冷温度为 4℃,放冷回水温度为 12℃,蓄放冷温差为 8℃。采用直接蓄冷间接放冷的方式进行蓄放冷。投资回收期控制在 3 年以内。

在蓄放冷过程中由于冷水和温水之间存在温差,由温差引起的导热过程,使在冷水和温水的分界面处形成了从冷水到温水的过渡层,这个过渡层即为斜温层。斜温层厚度的大小是衡量蓄冷水池冷水与温水混合度的一个重要技术指标。斜温层的厚度越小,代表水池的有效蓄冷利用率越高,损失越小,而影响斜温层厚度的影响因素除了水池结构、保温层厚度、水池空气等因素外,最重要是布水器的设计。

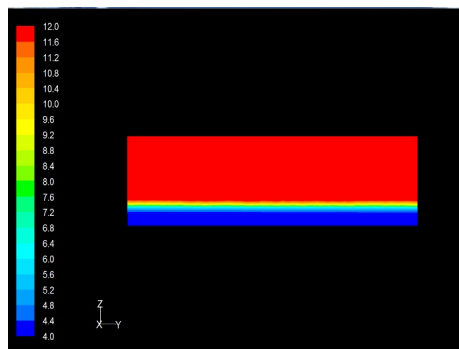


图 3 网格划分及蓄冷水池斜温层

通过对蓄冷水池的蓄、放冷斜温层进行 CFD 动态模拟(图 3)发现在蓄冷和放冷过程中都存在斜温层,斜温层在运行初始较薄,随着蓄冷或放冷的进行逐渐扩大。在层流状态下,蓄冷和放冷过程基本可逆。在整个蓄放冷过程中斜温层不断变化,基本稳定在 600 mm 以内。

3.2 输配管网低阻力设计

常规系统冷冻、冷却水泵占制冷机房总耗能的 40%~60%左右,通过选用低阻力设备(表 1)、利用建筑信息模型(Building Information Modeling)技术优化管路进行低阻力设计,技术措施包括:将水泵与冷水机组进口与水泵出口处于同一高度,从而减少弯头,采用弯曲半径为 1.5 倍直径长度弯头。降低系统压力损失,节省弯头、阀门、三通阻力,减少不必要的输送浪费^[2]。通过管路优化预计冷冻水泵机房内扬程控制在 7.5 m,冷却水泵机房内扬程控制在 12 m。

表 1 低阻力设备参数

设备名称	蒸发器阻力/kPa	冷凝器阻力/kPa	蒸发器温差/℃	冷凝器温差/℃
水冷离心式冷水机组	36.6	28.2	6	6
变频水冷螺杆式冷水机组	21.6	23.3	6	6

3.3 大温差低冷却水进水温度设计

冷水采用 6℃大温差供水系统设计,匹配管网阻力合理分配制冷系统能耗,在大幅提升水蓄冷容量的前提下,降低管路及泵体初投资。降低冷却水设计水温,进一步提升冷水机组能效。600 RT 水冷离心式冷水机组在 27℃冷却水进水温度下最高能效比高达 6.88 W/W,而 31℃下最高为 6.20 W/W,相差 10.9%,277 RT 变频螺杆式水冷冷水机组在 27℃冷却水进水温度下最高能效比高达 7.21 W/W,而 31℃下为 6.41,相差 12.5%。

3.4 中央空调节能控制系统

本项目采用 Indas EMC007 中央空调节能控制系统。采用计算机控制技术,模糊控制技术,变频调速技术和专家控制系统,实现了中央空调系统在运行中的高效节能和安全舒适。

在控制器中建立了知识库,模糊控制模型和模糊运算规则,形成智能模糊控制。通过全面采集影响空调系统运行的各种参数,按系统最优的原则,经负荷预测^[3]和智能模糊运算,得出相应的控制参数。这些控制参数被送到冷冻水子系统,冷却水子系统和冷却塔子系统,从而改变空调系统循环流体的流量和温度,

以保证整个系统在各种负荷条件下,均处于最佳工作状态,从而最终达到综合节能的目的。

3.5 基于建筑信息模型的能源监测管理系统

BIM 技术目前多应用于建筑的设计和建设阶段,很少应用于运营维护阶段。美国 NIST 研究发现,建筑运营维护贯穿于建筑全生命周期,其维护成本可能达到建筑生命周期总成本的三分之二^[5]。

Indas IBMS (Intelligent Building Management System)即智能建筑管理系统,能够将不同功能的建筑智能化子系统及相关设备进行集中管理,形成具有信息汇集,互联互通及优化管理等功能的建筑管理平台。结合 BIM 模型,物业管理能够查看能够通过 3D 的管控方式查看冷却塔、冷机冷冻泵、管路走向等。能够更加立体的呈现设备,清晰直观。能够查看设备当前状态参数并进行控制,并且能够查看当前设备的各种文档,实现对设备的运维管理和设备运维信息电子化。辅助物业管理保障建筑设备的正常运行,及时通知处理所有设备故障及突发事件。结合云计算、移动互联网、BIM 运维等最新技术,将其落实在具体的项目中^[4]。

该平台还结合建筑能源监测管理功能,可以采集项目设备的实时运行情况,对设备的故障进行报警以保障项目的售后服务质量,可以对项目耗能设备的能耗进行远程抄表、能耗统计、节能诊断、能耗分析、数据挖掘等功能,实现采集、统计、分析挖掘、专家诊断、优化反馈的一体化闭环管理系统(图 4)。



图 4 能耗公示、能耗分析、能耗对比示意图

3.6 能效测量与验证

空调系统安装完毕并验收后,将安排测量专员及自备精确仪器,于制冷季节对其所提供的空调冷水机组制冷能效指标进行测量与验证,并进行微调优化之后提交制作系统热平衡报告^[6]。

(下转 61 页)

测试仪器:室内环境质量综合测试仪 MI6401,空气温度: -20℃~+60℃,测试精度: ±0.2℃(25℃时)。相对湿度: 0~100% RH,测试精度: ±2%RH(10-90% RH)。风速: 0.05~9.99 m/s,测试精度: ±(0.05 m/s+读数的5%)。黑球温度: 10℃~120℃,测试精度: ±0.5℃(10℃~49.9℃)。

测试方案:沿着大堂南北靠窗区域、中部区域依次间隔布置测点,测试点距地面均为 1.5 米,具体布置如图 4。

测试结果:大堂南北靠窗区域、中部区域分别测试时间约为 1.5 h,三个测试断面测试数据均约为 1000 个,三个测试断面的各测试项如表 2。

表 2 三个测试断面的各实测项结果

断面位置	平均干球	平均相对	平均风速	平均黑球	平均	平均
	温度/℃	湿度/%	/m/s	温度/℃	PMV	PPD/%
大堂北面靠窗区域	19.6	37.8	<0.05	19.9	-1	27.2
大堂中部区域	22.4	37.9	<0.05	23.0	-0.2	5.9
大堂南面靠窗区域	20.1	41.9	<0.05	20.7	-0.8	19.1

测试结果与设计的温度 20℃,相对湿度 ≥30%基本吻合,而且其他指标也满足国标 GB50736-2012《民用建筑采暖通风与空气调节设计规范》中的第 3.0.3 条

(上接 105 页)

能源测量与验证(M&V)系统所使用的水管温度传感器、流量变送器、智能电表、数据采集仪的精度要求如表 2。

表 2 能源测量与验证(M&V)精度要求

项目	精度要求
数据采集仪	16 bit 采集精度
高精度温度传感器	精度±0.05℃
流量传感器	1%精度,采用管道式电磁流量计或插入式超声波流量计
智能电表	精度:电压±0.2%,电流±0.5%,功率±0.7%,Modbus 协议通讯

4 结语

高效制冷机房系统评价通过对单位建筑面积年耗电量、全年平均制冷机房能效比和单位产冷量能源费用进行评价。

据研究对北京市 52 栋商务办公建筑除采暖外建筑年耗电量大部分在 100~150 kWh/(m²·a),平均值约为 117.2 kWh/(m²·a)^[1],而其中制冷机房能耗平均值约为 42.2 kWh/(m²·a)。通过对本项目高效制冷机房能耗进行模拟得出建筑面积制冷机房年耗电量为

的要求。且大堂中部区域满足热舒适等级 级,大堂前后靠窗区域均满足热舒适等级 级,既达到了节能效果,又满足了舒适性。由于大堂北面靠窗区域是大堂的正大门区域,不时有人进出大堂,对测试及温度略有影响。

5 结果分析

实际现场测试结果表 2 与空调机组运行参数及模型模拟的结果表 1 基本一致,证明前期的模拟选型是准确的,CFD 模拟值略微高于实测值,可能由于风机的发热及其他发热的因素导致。CFD 模拟相对湿度也略微高于实测值,可能由于室外新风进入大堂相比模型多,而室外新风的绝对含湿量较小,导致实测的相对湿度略微偏小。

参考文献

- [1] 范存养. 国外大空间建筑的空调设计[J]. 暖通空调,1996,26(4): 39-49
- [2] 孙立军. 高大空间建筑室内热环境特性数值分析[J]. 科学技术与工程,2012,12(15): 3650-3652

15.6 kWh/(m²·a),仅为样本能耗平均值 36%。全年平均制冷机房能效比为 4.55 W/W (根据 ASHRAE Journal 对北美公共建筑能效比统计评价中属于良好^[1])。单位产冷量能源费用为 0.190 元/kWhc。

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[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 何恒钊, 屈国伦, 谭海阳, 等. 广州白天鹅宾馆改造工程暖通空调系统绿色节能设计[J]. 暖通空调, 2016, 46(1): 33-37.
- [3] 程朋胜, 许晓鹏, 李信洪, 等. 一种基于负荷预测的中央空调系统群控方法及装置: 中国, 102168877 B [P]. 2013.
- [4] 程朋胜. 基于云计算的城市能源监测管理系统研究[J]. 测控技术, 2012, 31(4): 49-51.
- [5] Shen W, Hao Q, Mak H, et al. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review[J]. Advanced Engineering Informatics, 2010, 24(2): 196-207.
- [6] ASHRAE Instrumentation for monitoring central chilled-water plant efficiency: ASHRAE Guideline 22-2012[S]. Atlanta: ASHRAE, 2012