

天津地区某高层办公楼能耗模拟与节能潜力分析*

陈萨如拉, 杨洋, 孙勇, 朱丽, 王珍, 张吉强

(天津大学建筑学院, 天津 300072)

摘要: 建筑能耗中供暖空调能耗所占比例约为55%,是实现建筑节能的关键。采用DeST-c模拟了天津地区某新建高层(20层)办公楼能耗,将模拟结果与传统负荷计算结果进行了对比,同时分析了空调系统的风系统和水系统分别采用排风热回收和变流量技术后的节能潜力。对比分析表明与传统负荷计算方法相比,能耗模拟软件计算的全年累计冷热负荷值分别减少43.0%和31.0%,全年累计冷热负荷指标仅为传统负荷计算值的21.0%和26.0%。风系统采用排风热回收技术后,冷水机组总容量从1800kW降到为1500kW,全年制冷能耗节省5.3万kW·h;水系统采用变流量水系统技术后,理论上每年节省2.5万kW·h能耗。采用排风热回收和变流量两项节能措施后,空调系统总能耗降低约8%,节能效果明显。

关键词: 高层办公楼; 能耗模拟; 变流量; 排风热回收; 节能

中图分类号: TU83; TU97 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2017)09-0001-04

Energy Consumption Simulation and Energy – Saving Potential Analysis for a High – Rise Office Building in Tianjin

CHEN Sarula, YANG Yang, SUN Yong, ZHU Li, WANG Zhen, ZHANG Ji – qiang
(School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The heating and air conditioning energy consumption is the key to building energy efficiency as accounts for 50% to 60% of building energy consumption. This paper presents a numerical energy consumption for new high – rise (20 – story) office building in Tianjin with DeST – c, and the simulation results are compared with the traditional load calculation results. At the same time, the energy – saving potential analysis of air – conditioning system after using the heat recovery air system and variable flow water system is given. Compared with traditional load calculation results, the total energy consumption of simulation result reduced by 43.0% and 31.0%, and heating and cooling load indicator reduced by 26.0% and 21.0% respectively. The total capacity of chillers reduced from 1800kW to 1500kW after using heat recovery technology and related energy saving for chillers is about 53 thousand kW · h per year. After using variable flow water system, about 25 thousand kW · h energy for water pump was saved per year. Total energy consumption of air – conditioning system reduced by 8.0% after using the heat recovery air system and variable flow water system, therefore the energy saving effect is obvious.

Keywords: high – rise office building; energy consumption simulation; variable flow; exhaust air heat recovery; energy – saving

0 引言

据相关研究表明,建筑能耗中供暖空调能耗所占

比例约为55%^[1],而高层办公建筑作为公共建筑中的典型代表其供暖空调能耗更高,具备较高的节能优化潜力^[2-3]。合理确定办公楼室内温湿度、新风量以及做好水循环系统的变频控制是高层办公楼的空调系统设计中考虑的必要因素^[4],也是节能优化设计的关键。

收稿日期:2016-12-05; 修回日期:2017-01-06

* 基金项目:国家自然科学基金面上项目(51478297);高等学校学科创新引智计划(B13011);天津市应用基础与前沿技术研究计划青年项目(15JCQNJC43600)

目前,传统静态的负荷计算方法所得出的最大负荷虽小于通过软件计算所得的瞬态最大负荷值,而全年累计耗能却远大于动态负荷所得的能耗,因此,EnergyPlus、DOE-2和DeST-c等商用建筑能耗模拟软件已成为建筑系统设计、节能改造以及建筑节能标准设定的有力工具^[5]。王俊等人以合肥地区一栋典型商业综合建筑为模型,采用DeST软件对建筑节能技术进行了研究^[6]。程桃桃采用EnergyPlus软件模拟了西安市某高层办公建筑年运行空调总能耗^[7]。龙恩深运用DOE-2模拟了不同地区不同体型系数住宅建筑的全年供暖空调能耗^[8]。

本文选用DeST-c模拟了天津地区某新建高层办公楼的全年能耗,通过对建筑冷热负荷及湿负荷特征的分析,对空调系统进行了节能优化设计;同时,将模拟出的负荷与传统计算方法所算出的负荷进行了对比分析。最后,分析了空调系统中风系统和水系统的节能潜力,为利用建筑能耗模拟软件进行高层办公建筑空调系统节能设计提供了理论指导和借鉴。

1 建筑模型建立

1.1 高层办公楼介绍

该新建高层办公楼位于寒冷地区——天津市,建筑地上20层,整个楼标高为76.1m,总建筑面积为22 982 m²,使用空调面积为15 114 m²。

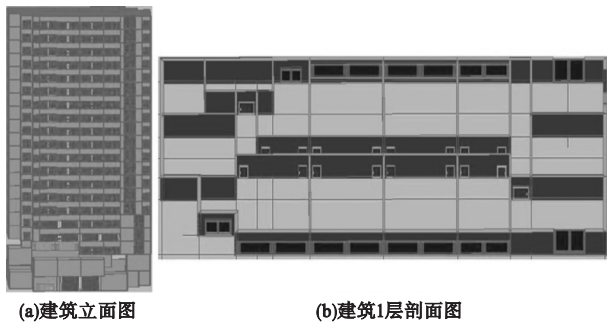


图1 建筑模型图

主要功能如下:1层由525 m²的大门厅和173 m²的小门厅、接待室、服务厅和办公室组成;2层由办公室、客户休息厅、银行组成;3层为办公室和空调机房;4层和5层包括办公用房、会议用房和档案库;6~20层各层主要为办公室,此外4层以上至20层每层都设有一间空调设备房。

1.2 模型建立

1.2.1 物理模型

建筑模型按实际尺寸和办公楼每层每个房间功能建立,忽略了电梯间等无供暖和空调要求的房间。图1(a)和图1(b)分别为该建筑的立面和1层剖面图。

1.2.2 技术参数设定

1.2.2.1 气象参数

本文所设定气象参数来源于GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》^[9],如表1所示。

1.2.2.2 围护结构性能参数设定

天津市属于热工气候分区中的寒冷地区,因此,选定围护结构热工性能时以GB 50189—2005《公共建筑节能标准》寒冷地区围护结构传热系数限值为标准^[10]。

1.2.2.3 室内设计参数

本文中天津地区办公楼的室内设计参数依据GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》设定^[10]。

1.2.2.4 空调运行时间和内扰参数设定

以办公人员工作时间为标准设定空调系统运行时间,为8:00—18:00;人员、设备、照明等内扰参数按具体房间功能相应的设定,设备、照明运行时间和发热量根据设备功率进行设置;由于是办公楼,人员活动主要以坐着办公为主,因此室内人员的活动强度设为轻度劳动。

2 天津市全年温度分布分析

图2为DeST-c能耗模拟软件给出的天津市全年逐时干球温度和逐日干球温度的分布规律。

表1 天津市气象参数

城市	夏季				冬季			
	干球温度/℃	湿球温度/℃	平均风速/(m/s)	大气压力/Pa	空气调节室外计算温度/℃	空气调节室外相对湿度/%	平均风速/(m/s)	大气压力/Pa
天津	33.9	26.8	2.2	1 005.2	-9.6	56	4.8	1 027.1

如图2(a)所示,从天津市全年逐日干球温度分布可看出35.6℃为最高温度,在7月28日出现;13.9℃为最低温度,在2月7日出现。而该两月平均温度分别为26.1℃和-1.6℃,与最高和最低温度差9.5℃和12.3℃,因此,根据平均温度设计空调系统与峰值负荷设计空调系统相比有相当大的节能空间。

如图2(b)所示,天津市室外温度低于0℃的天气共计1 585 d,其中仅38 d为低于-10℃的天气;高于25℃的天气共计1 510 d,其中高于35℃的天数仅为6 d,最低温和最高温度所占比例小,仅1%左右和低于0.4%,因此,利用传统负荷计算方式算出的峰值冷热负荷进行设计会导致空调系统能耗过度浪费。

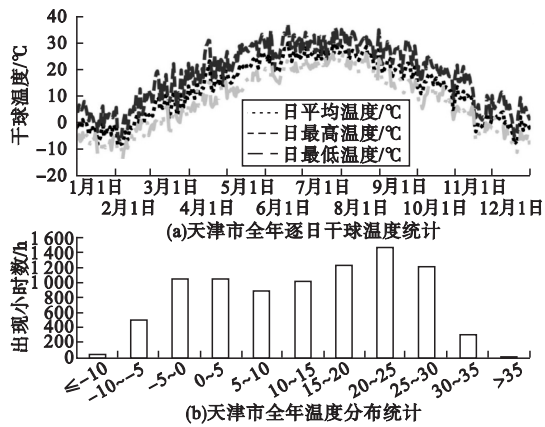


图2 天津市全年逐日温度和温度分布统计

表2 室外温度与典型房间自然室温统计表

温度分界点	≤16℃	16~22℃	22~29℃	29~35℃	>35℃
室外平均干球温度	54.7%(4 790 h)	17.4%(1 522 h)	22.8%(1 996 h)	5.1%(446 h)	0.068%(6 h)
典型房间 北面办公楼	31.5%(2 763 h)	12.7%(1 116 h)	28.5%(2 497 h)	26.5%(2 324 h)	0.7%(60 h)
自然室温 南面办公楼	31.7%(2 781 h)	13.3%(1 164 h)	27.7%(2 428 h)	26.6%(2 333 h)	0.6%(54 h)

从表2可看出在室外平均干球温度的5个温度区所占比例稳定时,室温≤16℃的比例在20%以上,因此,需适当的供暖;室温≥29℃的比例较大,在40%以上,空调制冷期较长。

3.2 建筑负荷模拟与分析

图3为该新建20层办公楼全年空调和单位面积逐时冷热负荷值。从图3中可看出2月7日8:00为热负荷最大值出现时间,热负荷值为1 838.16 kW,7月26日21:00为最大冷负荷出现时间,冷负荷值为2 068.66 kW。从11月15日始办公时间内的单位面积热负荷达到供热负荷值,开始供热;至3月14号单位面积热负荷逐渐变小或为零,停止供热;在供热期间,供热起始和结尾时有较小的冷负荷出现,总体可视为冷负荷为零。供热结束至5月1日单位面积冷负荷值均很小,可忽略不计。之后单位面积冷负荷值逐渐变大,至5月28日开始制冷;9月29日起单位面积冷负荷逐渐变小,至10月20日起单位面积冷负荷为零。

为降低建筑能耗,在冷热负荷趋于零和冷热负荷均为零的时间段内既不供热也不制冷,即春秋过渡季既不供热也不制冷。根据以上分析,春季过渡季为:3月14日—5月27日,秋季过渡季为:9月30日—11月14日;冬季空调供热时间段为11月15日—3月13日,夏季空调制冷时间段为5月28日—9月29日。

3.3 模拟与传统负荷计算对比分析

表3为通过模拟得出的和传统负荷计算所得到的最大冷热湿负荷及全年累计耗冷耗热量的对比。从表3中可看出模拟的全年累计冷热负荷值为 1.04×10^6 和 1.27×10^6 kW·h,传统负荷计算的全年累计冷热负荷值为 1.80×10^6 和 1.83×10^6 kW·h,全年累计冷热

3 建筑能耗模拟与分析

建筑物自然室温受建筑朝向和室外温度影响较大,本文选取办公楼两间南北不同朝向的典型房间,分析了对应室外温度和朝向的自然室温特征,并对比分析传统负荷计算方法所得出的办公楼负荷与动态计算所得的负荷,进而分析其节能潜力。

3.1 自然室温模拟与分析

表2为办公楼南北朝向典型房间的自然室温与室外平均干球温度的对比统计表,共分5个不同温度区,分别为≤16℃、16~22℃、22~29℃、29~35℃和>35℃。

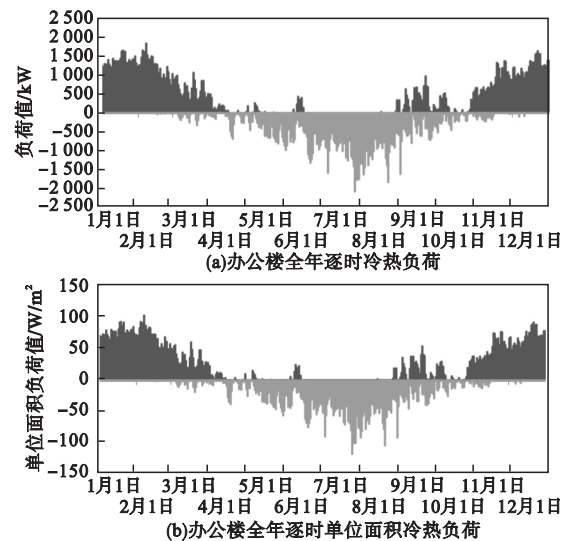


图3 办公楼全年逐时冷热负荷

负荷(耗能)模拟值少于传统负荷计算值43.0%和31.0%;全年累计冷热负荷指标模拟值与传统负荷计算值分别为0.07、0.08、0.29、0.29 kW·h/m²,模拟值仅为传统负荷计算值的21.0%和26.0%。此外模拟最大加湿量、累计加湿量和单位面积加湿量均小于传统负荷计算值,这也会大大降低空调能耗。采用模拟软件进行能耗分析,算出的负荷和能耗更符合实际办公楼负荷特征,因此在空调系统设计应该推广采用模拟软件分析方法。

4 空调系统设计与节能潜力分析

本文利用风机盘管与热回收式新风系统共同处理建筑室内总负荷,通过对不同形式风机盘管与新风机组对比分析,该办公楼选用卧式暗装普通型两排管风机盘管机组和吊顶式热回收新风机组。

表3 冷热负荷的模拟结果与传统负荷计算结果对比

统计	模拟值	计算值
全年最大热负荷/kW	1 838.2	1 508.4
全年最大冷负荷/kW	2 068.7	1 487.2
全年最大加湿量/(kg/h)	639.9	838.6
全年累计热负荷/(kW·h)	1.27×10^6	1.83×10^6
全年累计冷负荷/(kW·h)	1.04×10^6	1.80×10^6
全年累计加湿量/kg	558 896	1 013 980
建筑负荷面积指标		
全年最大热负荷指标/(W/m ²)	110.11	56.65
全年最大冷负荷指标/(W/m ²)	123.91	99.88
全年累计热负荷指标/(kW·h/m ²)	0.08	0.29
全年累计冷负荷指标/(kW·h/m ²)	0.07	0.29
全年累计加湿量指标/(kg/m ²)	33.48	67

4.1 空调系统设计

4.1.1 空调风系统设计

风机盘管加热回收式新风系统共同处理室内负荷、新风负荷和湿负荷。通过对不同形式风机盘管和新风机组对比分析,该办公楼选用卧式暗装普通型两排管风机盘管机组和吊顶式热回收新风机组。

4.1.2 空调水系统设计

该新建高层办公楼空调水系统管路为双管制闭式同程形式的变流量水循环系统。空调末端的水系统环路以风机盘管的冷冻水为主的水系统,由于每层房间大小及功能布局相近,因此所选用的风机盘管型号相同或相近,其水力阻力差距微小,同程系统有利于水平环路中每个分支环路的水力平衡。垂直方向的水系统管路,因为上下层之间的负荷差别较小,不同层之间水阻力相差不大,用同程系统不仅有益于垂直方向的水力平衡,同时方便系统在回水管顶部的排空。

4.1.3 源端设计

源端采用节能环保的地源热泵系统,所选用的地源热泵机组型号为SSD-DH8000;地源热泵地下埋管换热系统中井的深度为120 m,U型埋管为竖直并联双U形式;地埋井数量为156口,半径为150 mm,U型埋管外径为25 mm;156口井分3个并列系统,每个系统为52口井,竖直双U埋管换热器的布置形式如图4所示。

4.2 热回收技术节能潜力分析

根据对天津地区气象参数以及高层办公楼负荷特征模拟结果的统计与分析,对空调系统进行详细的设计计算与选型。根据每层楼的新风量、新风负荷及湿负荷,选出满足需求的吊顶式热回收式新风机组,其换热效率为60%。

在保证房间正压的前提下房间排风量设为新风量的80%,空调系统采用热回收技术后,冷水机组的总容量从1 800 kW降到了1 500 kW,新风冷负荷为

630 kW。根据上述全年空调制冷时间为121 d,每天制冷10 h,热回收技术全年制冷能耗可节省5.3万kW·h。

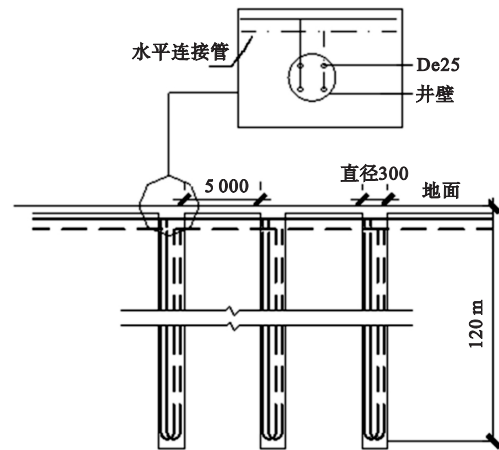


图4 垂直双U埋管剖面示意图

4.3 变流量水系统节能潜力分析

通过对水力系统的详细计算,选择适合型号的变流量水泵,假设通过调节比摩阻的大小来保证水管阻力稳定不变,计算夏季的冷冻水循环泵采用变流量与定流量所耗的功,并分析采用变流量水系统后理论上所能达到的节能潜力。

定流量水系统水泵功耗计算:

$$N = (G \times H) / 367.3 \eta$$

$$= 256 \times 26 / 367.3 \times 0.7 = 25.9 \text{ kW} \quad (1)$$

$$Q = N \times \text{天数} \times \text{小时数}$$

$$= 25.9 \times 121 \times 10 = 31\,324.2 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (2)$$

变流量水系统水泵功耗计算:

$$\mu = \text{全年平均能耗} / \text{全年最大能耗}$$

$$= 3.74 / 6.48 = 0.58 \quad (3)$$

$$Q' = Q \times \mu^3 = 31\,324.2 \times 0.58^3$$

$$= 6\,111.7 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (4)$$

式中:G为流量,kg/h;

N为水泵功率,kW;

H为扬程,m;

Q为定流量水系统水泵功耗,kW·h;

μ为负荷率;

Q'为变流量水系统水泵功耗,kW·h。

通过上述计算得出,使用变流量水系统后理论上每年节省2.5万kW·h的能耗。

5 结论

采用DeST-c对天津地区某新建高层办公楼进行了能耗模拟,并根据模拟结果进行了空调系统设计及节能潜力,结论如下:

(1)与传统负荷计算相比,采用能耗模拟软件得到的全年累计冷热负荷值分别减少(下转第10页)

表5 耗电量汇总表

Table 5 Summary of power consumption

改造前	类别	耗电量/(kJ/a)	改造后	类别	耗电量/(kJ/a)
1	螺杆式冷水机组	5.76×10^8	1	吸收式/螺杆式冷水机组	2.37×10^8
2	冷冻水泵	0.51×10^8	2	冷冻水泵/热水泵	0.70×10^8
3	冷却水泵	1.88×10^8	3	冷却水泵	1.27×10^8
4	冷却塔	0.68×10^8	4	冷却塔	0.39×10^8
5	风机盘管	0.96×10^8	5	风机盘管	0.96×10^8
6	总耗电量	9.79×10^8	6	总耗电量	5.66×10^8

参考文献:

- [1]周丽. 太阳能吸收式空调应用前景的展望[J]. 洁净与空调技术, 2015 (1): 35-36.
- [2]陈杰, 毕月虹, 刘肖, 等. 太阳能吸收式制冷技术发展现状及展望[J]. 制冷与空调, 2015, 15(6): 59-68.
- [3]徐震原, 王如竹, 夏再忠. 一种根据热源温度品位自动调节节能的溴化锂吸收式制冷循环[J]. 制冷学报, 2014, 35(1): 1-7.
- [4]万忠民, 舒水明, 胡兴华, 等. 太阳能混合吸收式制冷空调系统性能研究[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(8): 62-64.
- [5]钟永芳, 陈光明. 用于深度冷冻的自行复叠吸收式制冷循环理论研究[J]. 太阳能学报, 2002, 23(6): 786-790.
- [6]Alizadeh S. Multi-pressure absorption cycles in solar refrigeration: A technical and economical study[J]. Solar Energy, 2000, 69(1): 37-44.
- [7]Kim D S, Inrante Ferreria C A. Air-cooled Li-Br-water absorption Chillers for Solar air conditioning in extremely hot weathers[J]. Energy Conversion and Management, 2008, 50(4): 1018-1025.
- [8]陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 第2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.

出版社, 1990.

- [9]赵荣义, 范存养, 薛殿华, 等. 空气调节[M]. 第4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [10]张维微, 朱钊钊, 将金柱, 等. 新型CPC热管式真空管集热器设计与性能分析[J]. 热力发电, 2009, 38(7): 119-123.
- [11]GB50364—2005, 民用建筑太阳能热水系统应用技术规范[S].
- [12]GB50015—2009, 建筑给排水设计规范[S].
- [13]曾海平. 太阳能吸收式空调系统在别墅中的应用[J]. 节能技术, 2009, 27(5): 448-450.
- [14]魏立峰, 李忠, 郑瑞澄, 等. 某高校图书馆太阳能空调系统设计分析[J]. 建筑热能通风空调, 2010, 29(1): 87-91.

作者简介: 周秋丽(1991), 女, 安徽宿州人, 硕士研究生, 主要从事太阳能吸收式空调、喷射制冷方向的研究(956283868@qq.com)。

指导教师: 宣永梅(1977), 女, 安徽天长人, 博士, 教授(xymhb@sohu.com)。

(上接第4页)

43.0%和31.0%, 模拟所得出的全年累计能耗仅为传统负荷计算值的21.0%和26.0%。

(2) 空调系统的风系统采用热回收技术后, 冷水机组总容量从1 800 kW 降到为1 500 kW, 全年制冷能耗节省5.3万kW·h; 与定流量水系统相比应用变流量水系统后, 水泵功耗由31 324.2 kW·h 减少为6 111.7 kW·h, 理论上每年制冷期冷冻水泵能节省约2.5万kW·h的能耗。

(3) 采用排风热回收和变流量两项节能措施后, 空调系统总能耗降低约8%, 节能效果明显。

参考文献:

- [1]赵东来, 胡春雨, 柏德胜, 等. 我国建筑节能技术现状与发展趋势[J]. 建筑节能, 2015 (3): 116-121.
- [2]龙惟定, 马素贞. 能源审计: 公建节能监管的重要环节——解读《国家机关办公建筑和大型公共建筑能源审计导则》[J]. 建设科技, 2008, (9): 16-19.
- [3]黄涛, 王永红, 李娜, 等. 办公建筑中吊顶辐射空调系统夏季工况性能测试研究[J]. 建筑节能, 2016, 44(10): 5-7.

- [4]高磊. 办公楼中央空调系统的节能分析[J]. 建筑节能, 2012 (8): 14-16.
- [5]朱丹丹, 燕达, 王闯, 等. 建筑能耗模拟软件对比: DeST, EnergyPlus and DOE-2[J]. 建筑科学, 2012, 28(S2): 213-222.
- [6]王俊. 基于DeST合肥市某商业综合建筑能耗模拟及节能技术的研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2015.
- [7]程桃桃. 基于EnergyPlus平台的办公建筑动态能耗模拟分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- [8]龙恩深, 马校飞, 范亚明, 等. DOE-2在住宅建筑能耗分析中存在的问题探讨[J]. 暖通空调, 2005, 35(5): 102-106.
- [9]GB50736—2012, 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].
- [10]GB50189—2005, 公共建筑节能设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 319.

作者简介: 陈萨如拉(1989), 女, 内蒙古人, 博士研究生(在读), 主要研究方向为可再生能源技术与建筑集成研究(15522670223@163.com)。

通讯作者: 朱丽(1977), 女, 安徽亳州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事低碳城镇能源规划与关键技术和低碳建筑设计与关键技术集成研究(zly_tj@163.com)。