EnergyPlus 能耗分析软件在空调系统节能改造中的应用

刘晓男,孙 建

(中国新兴建设开发总公司一公司,北京 100071)

[摘要] 介绍了 EnergyPlus 能耗分析软件,以某公共建筑 1 000m² 演播室空调系统的节能改造为工程背景,应用该软件对室内温度进行模拟,介绍了如何建立模型模拟室内温度场,根据模拟结果分析验证节能改造方案,为施工管理提供了理论依据和技术参考。

[关键词] 空调系统; 节能; 改造; EnergyPlus

[中图分类号] TU831 [文献标识码] A [文章编号] 1002-8498(2012)S0-0398-04

Application of EnergyPlus in Energy Saving Reconstruction of Air Conditioning System

Liu Xiaonan, Sun Jian

(*The Fist Co. of China Xinxing Construction & Development General Co., Beijing* 100071, *China*)

Abstract: Based on a HVAC system energy saving of a public building with 1000 square meters studio as an engineering example, the EnergyPlus is used to simulate indoor temperature. Authors introduce how to setting up a model for the simulation of indoor temperature field. According to the simulation results authors analyze and verify energy saving construction schemes, which provided theoretical and technical reference for construction management.

Key words: air conditioning system; energy-saving; reconstruction; EnergyPlus

1 EnergyPlus 软件简介

1.1 建筑全能耗分析软件

EnergyPlus 是在美国能源部(Department of Energy,DOE)的支持下,由劳伦斯·伯克利国家实验室(Lawrence Berkeley National Laboratory,LBNL)、伊利诺斯大学(University of Illinois)、美国军队建筑工程实验室(U. S. ArmyConstruction Engineering Research Laboratory)、俄克拉荷马州立大学(Oklahoma State University)及其他单位共同开发的,是一个全新的软件[1],它不仅吸收了建筑能耗分析软件 DOE-2[2] 和 BLAST[3] 的优点,并且具备很多新的功能,被认为是用来替代 DOE-2 的新一代建筑能耗分析软件。在输入建筑的地理位置,相关的气象信息,建筑围护结构的基本信息,内部使用情况(主要包括人员、灯光、设备),暖通空调的基本形式、运行工况及冷热源信息等之后,EnergyPlus 便可以对整个建筑物进行全年的能耗模拟分析[4]。

1.2 EnergyPlus 软件特点

EnergyPlus 的主要特点有:采用集成同步的负荷/系统/设备的模拟方法;在计算负荷时,用户可以定义小于 1h 的时间步长,在系统模拟中,时间步长自动调整;采用热平衡法模拟负荷;采用 CTF 模块模拟墙体、屋顶、地板等的瞬态传热;采用三维有限差分土壤模型和简化的解析方法对土壤传热进行模拟;采用联立的传热和传质模型对墙体的传热和传湿进行模拟;采用基于人体活动量、室内温湿度等参数的热舒适模型模拟热舒适度;采用各向异性的天空模型以改进倾斜表面的天空散射强度;先进的窗户传热的计算,可以模拟包括可控的遮阳装置、可调光的电铬玻璃等;日光照明的模拟,包括室内照度的计算、眩光的模拟和控制、人工照明的减少对负荷的影响等;基于环路的可调整结构的空调系统模拟,用户可以模拟典型的系统,而无需修改源程序;源代码开放,用户可以根据自己的需要加入新的模块或功能[5]。

1.3 在暖通领域的应用

1.3.1 设计方案的比选

随着中国加入 WTO 之后,暖通空调行业也受到了来自国际的竞争。目前,在许多建筑设计中已将能耗、环境、投资额和功能指标作为合同书里的承诺项目。能耗指标在建筑方案投标中起着重要的作用,已成为暖通空调专业和其他专业设计人员的共识[6]。

EnergyPlus 能耗分析软件可以用来模拟不同建筑能耗,已逐渐开始成为暖通设计人员进行方案比选的工具。

[收稿日期] 2012-04-02

[作者简介] 刘晓男,中国新兴建设开发总公司一公司机电经理,工程师,北京市丰台区东大街 56 号 100071,电话:13911335906,E-mail:1437214907@qq.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.3.2　负荷计算与设备选型

负荷计算对暖通空调设计人员来说尤其重要。负荷计算偏大,带来能耗较大,能源浪费。EnergyPlus 能耗分析软件是一个建筑能耗逐时模拟引擎,采用基于墙体的内表面温度,而不同于一般的基于室内空气温度的反应系数的 CTF 计算方法,计算更为准确。在计算负荷时,时间步长可由用户选择,可以输出任何时段的负荷,便于找出建筑内负荷的变化规律,有助于设计者方便快捷地选择设备。

1.3.3　设备模拟与系统模拟

EnergyPlus 能耗分析软件模拟的设备包括制冷机、冷却塔、空调机组等。EnergyPlus 能耗分析软件还可以对一些常用系统进行能耗模拟,例如: 定风量空气系统和变风量空气系统、辐射式供热和供冷系统、地源热泵等。不论是对单一设备还是对整个系统的模拟,EnergyPlus 能耗分析软件均能将其简化,进行较为精确的数值模拟,并给出模拟计算结果,便于设计人员从全局高度掌控整个系统的设计。

1.3.4　空调系统节能改造的辅助工具

EnergyPlus 在施工企业应用很少,但在空调系统节能改造中,我们可以通过该软件模拟改造后的室内温度,验证节能改造方案。EnergyPlus 作为一种有效可靠的工具不但对节能分析可以起到辅助作用,也有利于我们更好的完善确定改造方案。

2　某公共建筑演播室的节能改造工程实例

2.1　案例工程的背景情况

某公共建筑自 2005 年投入使用后,其 1 000m^2 演播室在录制节目过程中一直存在室内温度高的问题,空调运行效果较差,演职人员及观众普遍感觉不舒适。特别是夏季,情况尤为严重。室内制冷效果达不到设计要求,影响了节目录制及一些大型活动的举办。1 000m^{2}演播室按演播室的分类属于大型演播室(大于 800m^2) ,最大允许使用人数为 400 人。可以用于制作大型歌舞类演出和录制各种曲艺综合类晚会,也可以实现大型报告、会议及放映电影等剧场功能。由于演播室内人员和灯光设备负荷较大,夏季和过渡季节均需要通风降温,且由于演播室使用时间不固定,因此设置独立的集中空调冷源系统,冷源为风冷(热泵) 冷热水机组。

空调供水由风冷(热泵) 冷热水机组制冷(制热) 后经位于地下室泵房内的 3 台空调循环泵加压汇合后进入分水器,经分水器分别供给 4 台组合式空调机组。1,2 号风冷(热泵) 冷热水机组和空调循环泵“一机一泵”设置,3 号和 4 号风冷(热泵) 冷热水机组因并联使用,两台机组共用一台循环泵。空调回水经集水器汇合后又回至风冷(热泵) 冷热水机组。空调水系统运行原理如图 1 所示。空调供水由分水器分出后两根空调供水干管至空调机房内再分别供给 4 台组合式空调机组,机组的回水在机房内汇至两根空调回水干管回至集水器。

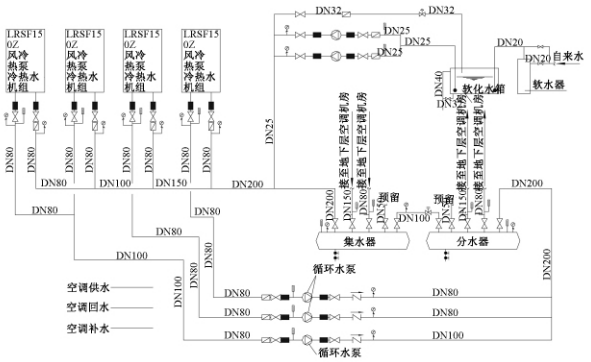


图 1　演播室空调水系统原理

演播室的气流组织形式采用上送上回的气流形式,采用这样的方式可以有效的带走大部分的灯光负荷。新风室位于建筑物一层,用于组合式空调机组的新风采集。1 000m^2 演播室的空调送回风管由地下 1 层空调机房北侧进出位于 1 层的演播室,演播室内上空天棚内设有送回风管道,并设置圆形送风筒 24 个,圆形回风筒 21 个,风口均为消声风口,避免产生噪声。空调机组排风排至一层室外建筑物东侧。演播室空调风系统平面布置如图 2 所示。

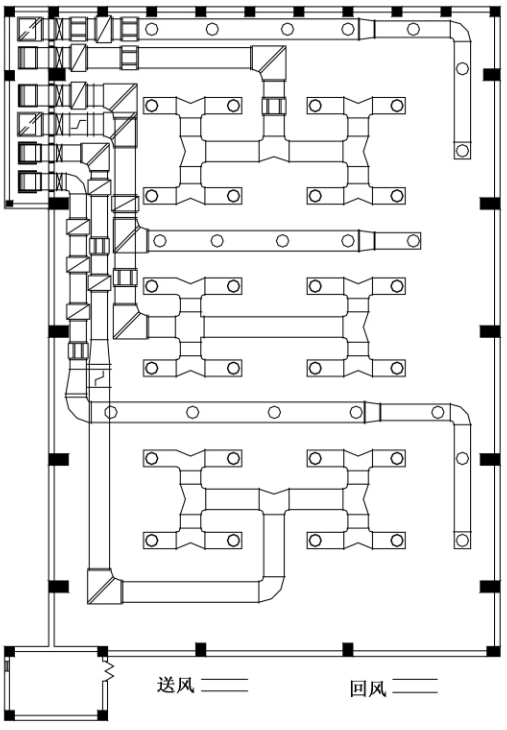


图 2　演播室空调风系统平面

系统冷热源采用 4 台 LRSF150Z 风冷(热泵) 型冷热水机组,单台额定制冷量为 151.4kW,其中 1,2 号冷热水机组单独供给 1 000m^2 演播室,3,4 号冷热水机组并联后可同时供给 1 000m^2 演播室及 300m^2 演播室。风冷(热泵) 型冷热水机组设计冷冻水供水温度为

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

7℃,回水温度为12℃,采用闭式循环。演播室空调机组采用4台组合式空调机组,机组集中设置于地下1层。其中k-1-1、k-1-2、k-1-3机组负责1 000m^{2}演播室的空调送风,k-2机组负责300m^{2}演播室的空调送风。

2.2 案例工程的节能改造方案

根据原有设计数据和检测结果数据对演播室空调出现的问题进行逐一分析并诊断。得出造成演播室空调不能满足使用需求的主要原因是实际灯光负荷偏离原有设计参数,空调系统冷源总冷量不够;冷源设备实际运行参数偏离机组铭牌参数;空调机组实际运行参数偏离机组铭牌参数,空调系统风量偏小等。根据分析出的结果针对空调冷热源、组合式空调机组、水路系统、自控系统等运行中出现问题的部位制定有针对性的改造方案。

其中对原有空调系统的4台冷热源进行更换,考虑到演播室负荷及原设备用电负荷,新更换的2台冷水机组,单台需满足制冷量及制热量均不低于350kW,单台输入功率不大于120kW,利用原有机组位置安装,相应对供回水路进行改造。

此外对组合式空调机组和空调循环泵也进行相应的改造如机组表冷器的改造、机组送回风机改造、变频技术的应用等。本文侧重点不在于此,故不详细介绍。

3 EnergyPlus对原室内温度的模拟

3.1 演播室模型的建立

1 000m^{2}演播室位于该建筑裙房部分,演播室长为43.5m,宽27.5m,层高为25.2m。

3.2 演播室围护结构情况

建筑的围护结构主要由外墙、屋面、外窗、门、地面等几部分构成。其中,围护结构的传热主要是由外墙、外窗和屋面3部分组成,但演播室由于其声学要求没有外窗。演播室围护结构的做法和其主要的热工性能参数如表1所示。

表1 演播室围护结构热工性能参数

部位	结构名称	厚度/mm	导热系数/(W/(m·K))
外墙	钢筋混凝土	340	1.74
	水泥砂浆	20	0.93
	聚苯保温板	30	0.041
外屋顶	钢筋混凝土	300	1.74
	水泥砂浆	20	0.93
	聚苯保温板	30	0.041
地面	加气混凝土	200	0.22

3.3 演播室空调系统设计参数

根据图纸设计说明及相关规范,演播室空调系统相关设计参数:室外设计温度33.2℃,室内设计温度26℃,室外计算湿球温度26.4℃,室外平均风速1.9m/s,室外通风计算温度30℃,日平均温度28.6℃,最热月平均相对湿度78%。

3.4 模拟条件

原系统冷源总冷量为454kW,新风负荷为69.1kW;模拟周期为2009年8月10日0:00~23:00时;演播室中演职人员及观众数量为350人,人员活动时间为10:00~12:00,14:00~17:00和18:00~20:00。

录制节目使用的灯光及设备负荷使用时间如下:2 000W聚光灯40个:10:00~12:00和14:00~17:00;2 000W聚光灯20个:18:00~20:00;1 000W筒灯300个:9:00~20:00;1 200W电脑灯25个:10:00~12:00;1 200W电脑灯30个:14:00~17:00和18:00~20:00;3 000W摄像及录制设备:10:00~12:00、14:00~17:00和18:00~20:00。

夏季室外逐时温度如表2所示。

表2 夏季室外逐时温度

时刻	温度/℃	时刻	温度/℃	时刻	温度/℃
0	26.1	8	29.4	16	32.5
1	25.8	9	30.5	17	31.5
2	25.5	10	31.6	18	30.3
3	25.2	11	32.6	19	29.1
4	25.0	12	33.3	20	28.2
5	25.6	13	33.6	21	27.6
6	26.7	14	33.5	22	27.1
7	28.1	15	32.8	23	26.9

模拟基本条件:演播室所在公共建筑地处北京市,经度为116.47°,纬度为40°。

模拟夏季参数:参考设计参数,此外大气压力为99 860Pa,大气透明度为4。

3.5 改造前室内温度场模拟

EnergyPlus可以根据用户输入的有关建筑几何形状的描述,生成一个后缀为.dxf的文件。该文件可以用AUTOCAD打开,这样就可以使用户对所建模型有一个直观的认识,同时也可以使模型输入者在建模的过程中随时发现建筑模型有无失误。图3是根据演播室的建筑描述自动生成的建筑图。

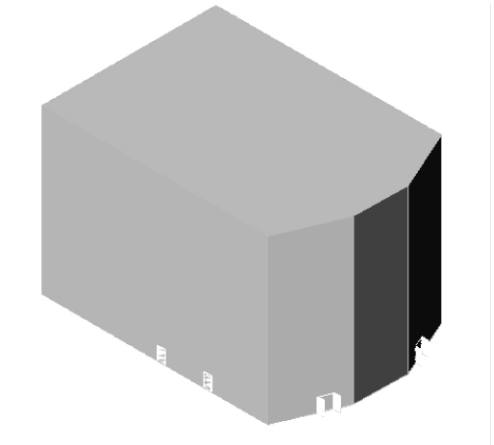


图3 演播室的建筑几何形状

室内温度场的模型如图4所示,模拟区域为人员活动区,自上至下为a,b,c层,高度分别为2,1.6和

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2m。

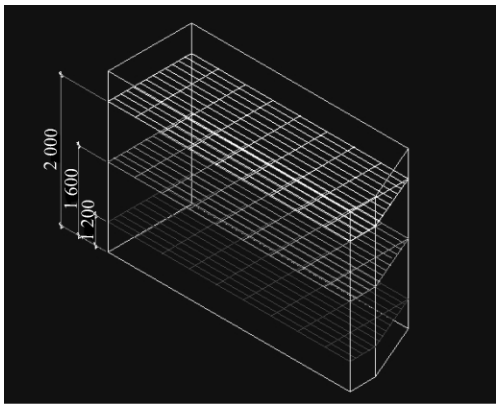


图 4　室内温度场的模型

室内温度场的分布情况如图 5 所示，按上图 4 中分为 3 层，软件数据输入时将演播室按 3 层建筑考虑模拟其每层温度情况，层间传热可以按绝热考虑。

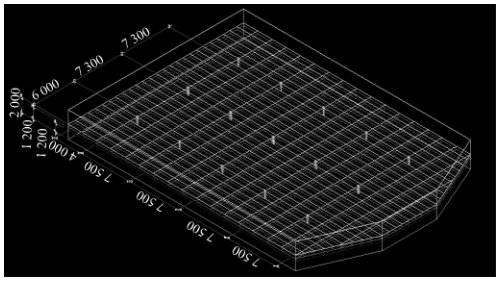


图 5　室内温度场的分布

夏季设计日演播室室内温度模拟情况如图 6 所示。从图 6 可以明显看出，在夏季设计日条件下，演播室 24h 中人员活动区域内的模拟温度均高于 32℃，最高温度可达 34.8℃。室内温度偏高，可见空调系统运行效果差。这点与现场实测情况一致，可以证明建模成立，模拟结果对分析诊断原因和确定改造方案有实际参考意义。

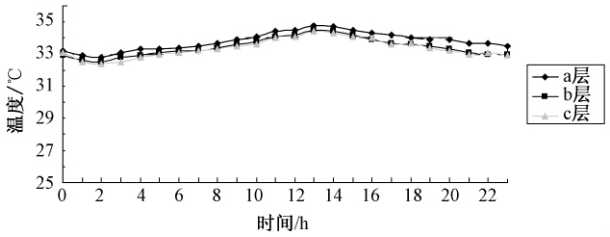


图 6　室内温度模拟

4　改造方案验证

根据改造方案，调整相关参数后使用 EnergyPlus 模拟改造后演播室夏季设计日的室内温度情况来验证改造方案。冷源总冷量调整为700kW，新风负荷为 69.1kW。模拟周期为 2009 年 8 月 10 日 0:00～23:00。其他模拟条件不变。模拟结果如图 7 所示。

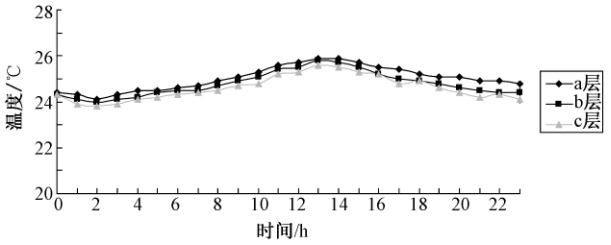


图 7　模拟改造后室内温度结果

对比改造前后的模拟结果可以明显看出对演播室的空调系统改造可以降低室内温度，满足设计要求(见图 8)。改造方案通过模拟证明是切实可行的。

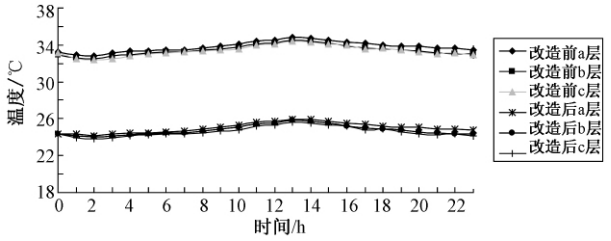


图 8　演播室改造前后模拟室内温度对比

5　结语

本文介绍了建筑全能耗分析软件中新一代的能耗模拟软件 EnergyPlus 的发展和应用，模拟了演播室在夏季设计日条件下室内人员活动区域温度场的变化情况，室内温度较高，将模拟数据对比实际检测情况，基本情况一致，证明了该模型的正确性。模拟了演播室改造后在夏季设计日条件下室内温度的情况，模拟结果证明了节能改造方案是切实可行的，为改造方案可行性验证提供了可靠的理论依据和简便的工具。

参考文献:

[1] 潘毅群，吴刚，Volker Hartkopf. 建筑全能耗分析软件 EnergyPlus 及其应用[J]. 暖通空调，2004(9):2-7.

[2] DOE-2 engineers manual (Version 2.1A)[M]. 1982.

[3] Hittle D C. Building loads analysis and system thermody namics (BLAST) users manual[M]. U S Army Construction Engineering Research Laboratory(USE-CERL). Champaign. IL，1979.

[4] Druru B Crawleya，Linda K Lawrie，Frederick C，Winkelmanne，etc. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program[J]. Energy and Buildings，2001，33(4):319-331.

[5] EnergyPlus manual. (Version 1.2.3)[M]. 2005.

[6] 龙惟定. 全球化的挑战一再论面对 WTO 的中国暖通空调业[J]. 暖通空调，2002，32(2):29-33.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net