模拟分析预测
工程设计应用

栏 首 语

在建筑方案和建筑设备系统方案的论证过程中,用模拟分析的方法,预测不同季节和可能出现的各种工况下建筑环境和设备系统将出现的现象,从而使设备系统在全年各种工况下都能满足室内环境控制的要求,并都具有较高的用能效率。这是目前国际上建筑和设备系统设计领域研究发展的重要方向,也是从根本上实现新建建筑节能的基础。这种基于模拟分析的方案分析与论证环节,是提高建筑设计质量,保证建筑和设备系统具有良好性能的基础。目前国内许多重要的建筑项目都请一些著名的国际咨询公司作方案分析和咨询,其主要内容也是通过模拟分析方法对各种工况下的性能进行预测,进而实现建筑方案和设备系统的优化。因此,怎样在方案论证中使用好模拟分析这一方法,既是建筑节能需要,更是提高我国建筑设计水平,增强市场竞争能力的要求。

在这样一个背景下,国内一些设计院已经意识到掌握这一技术手段在未来设计市场竞争中的重要性,开始安排技术储备,并组织技术人员在一些重要项目中尝试这一新的方法。经过最近几年的发展,我们欣喜地看到,模拟分析与预测在一些设计院已经开始真正被用来解决实际工程问题,并且在多个方面取得有意义的成果。许多设计院已经从这样的工作中尝到甜头。模拟分析和预测不再是单纯的学术研究或者仅作为某种展示手段,她正在实实在在地作为有效的工具,帮助我们解决设计中的实际问题,使建筑环境设计实现从单工况设计上升到全工况设计、从集总参数设计发展到“场”的分布参数设计这样的飞跃。这将带动整个建筑设计,尤其是建筑环境系统设计的发展。

为了反映这一变化,本刊特地组织了部分工程设计应用成果文章,形成这一专栏。这些文章非常有代表性地反映了我国建筑设计界使用模拟分析手段辅助进行方案论证的现状。所涉及的建筑中,既有普通的公共建筑,也有大型交通枢纽、花卉中心,还有工业厂房。模拟分析所针对的问题,既有围护结构分析与负荷预测,也有冷源配置、空调系统的选择、新风量的优化以及气流场、温度场和照度的分布。这些生动的实例和出色的结果清楚地说明,模拟分析手段完全可以为广大工程设计人员所掌握,并能使建筑环境的设计水平出现质的飞跃。这些工作在我国建筑环境设计领域开了先河。我们感谢这些探索者的工作,并期待这一手段在我国建筑设计界迅速得以推广应用,并在应用中进一步提高完善。

上述成果也是国家“十一五”科技支撑计划“建筑节能”重大专项中的第一个子项目的应用成果的初步展示。“十一五”期间国家投入巨额经费全面支持建筑节能领域的研究和技术推广,在课题承担单位和工程设计人员的努力下,目前已取得了大量具有原创性和应用性的成果。本刊将配合项目主管部门,陆续以专栏等形式向读者介绍这一重大项目所取得的各项成果。

第 7 届花卉博览会 主场馆空调系统设计

北京市建筑设计研究院 林坤平[☆] 徐宏庆 周潇儒

摘要 介绍了该项目的空调系统设计,包括负荷计算方法、空调水系统设计、空调风系统设计等,并给出了相关的设计计算方法,着重介绍了空调系统的节能设计,包括温湿度独立控制、冬季冷却塔免费供冷技术等,并利用全年能耗逐时模拟软件 DeST 计算了建筑逐时负荷与节能效果。

关键词 节能 温湿度独立控制 冷却塔免费供冷

Design of air conditioning system for major venues of the 7th China Flower Exposition

By Lin Kunping★, Xu Hongqing and Zhou Xiaoru

Abstract Presents the design of the air conditioning system, including calculation of the cooling load and designs of the chilled water system and the air system. Emphasizes the design techniques for energy saving, including the independent control of temperature and humidity, and free cooling by cooling towers etc. Simulates the hourly building load for a whole year and energy saving effect with DeST software.

Keywords energy saving, independent control of temperature and humidity, free cooling by cooling tower

★ Beijing Institute of Architectural Design, Beijing, China

①

1 项目简介

中国花卉博览会是我国规模最大、档次最高的国家级花事盛会,被称为中国花卉界的“奥林匹克”。第 7 届全国花卉博览会将于 2009 年 10 月在北京顺义区举办,博览会场馆总建筑面积约 16.4 万 m²;其主场馆面积约 9.4 万 m²,1,2 层为展馆,层高 8 m,3~6 层为洽谈区,层高 4 m,博览会后将改为办公区域。图 1 为其主展馆的效果图。



图 1 花卉博览会主展馆效果图

该项目为住房和城乡建设部“双百”工程(100 项绿色建筑示范工程、100 项低能耗建筑示范工程),采用了多种节能措施,如利用建筑外遮阳、过渡季自然通风、雨水回收利用、冷却除湿的温湿度独立控制空调系统等。本文重点介绍该项目空调系统的节能设计。

2 空调系统设计

2.1 负荷计算

建筑墙体采用玻璃幕墙和内置岩棉的干挂彩色波纹钢板,中庭顶部采用半透明的膜结构。室内温湿度设计标准见表 1。

表 1 室内温湿度设计标准

	夏季		冬季	
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%
办公区域	25	50	20	≥30
展厅	26	60	20	≥30
门厅、中庭	26	60	20	≥30

笔者分别用冷负荷系数法与全年能耗模拟软件 DeST^[1] 计算了整个建筑的设计日冷负荷,图 2 为 DeST 软件模拟的模型透视图。用冷负荷系数法计算建筑物冷负荷的最大值为 11 900 kW;用 DeST 模拟计算的全年最大冷负荷约为 12 000 kW (见图 3),可见 DeST 模拟结果可与冷负荷系数法计算结果相互验证,因此制冷机的总制冷量选为 12 000 kW。

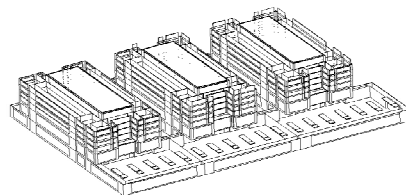


图 2 DeST 模型透视图

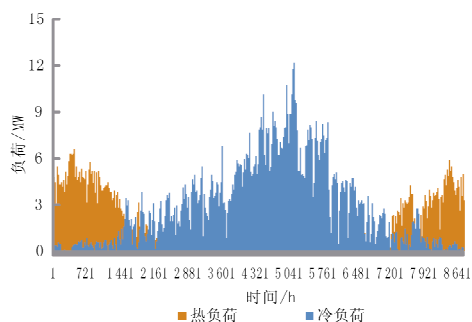


图 3 全年逐时冷热负荷

同时,统计得到展厅和办公区域的计算日冷负荷分别为 9 120 kW 和 2 880 kW,以此为依据,进行设备选型和系统计算。

①☆ 林坤平,女,1978 年 8 月生,博士,高级工程师
100045 北京市南礼士路 62 号北京市建筑设计研究院
(010) 88042595
E-mail: linkp@biad.com.cn
收稿日期:2009-03-13

2.2 空调形式

1,2 层展厅采用全空气定风量空调系统。由于建筑空间和机房位置受限,并考虑减小风机的输送能耗,展厅采用大温差送风,送风温度为 11℃。

3~6 层办公区域采用冷却除湿的温湿度独立控制空调系统^[2]。

3~6 层开敞办公室的进深超过 12 m,空调系统分区域设置,内区冬季采用冷却塔免费供冷。

2.3 系统设计

2.3.1 空调水系统

1) 冷热源设备选型

根据空调负荷计算,选择 4 台冷水机组,包括 2 台 4 220 kW 离心式冷水机组(6℃/12℃)、2 台 1 758 kW 双工况离心机组(6℃/12℃与 12℃/18℃)。2 台双工况冷水机组互为备用。冬季供暖最大热负荷为 7 700 kW,由小区北部燃气锅炉房直接供给,其热水供回水温度为 60℃/50℃。冷却塔位于室外地坪,共设 4 组,总装机容量为 3 000 m³/h,冷却水供回水温度为 32℃/37℃。冷却塔、冷却水泵与冷水机组采用一一对应设置。

办公区域冷水系统按温湿度独立控制空调系统的设计要求,分为两个系统(见图 4):① 将 3~6 层新风机组划为潜热处理系统,承担房间的全部湿负荷和部分显热负荷;其冷水供/回水温度为 6℃/12℃。② 将 3~6 层风机盘管划为显热处理系统,仅承担房间的部分显热负荷;其冷水一次泵的供/回水温度为 12℃/18℃。③ 展厅空调系统与风机盘管的冷水供/回水温度为 6℃/12℃。

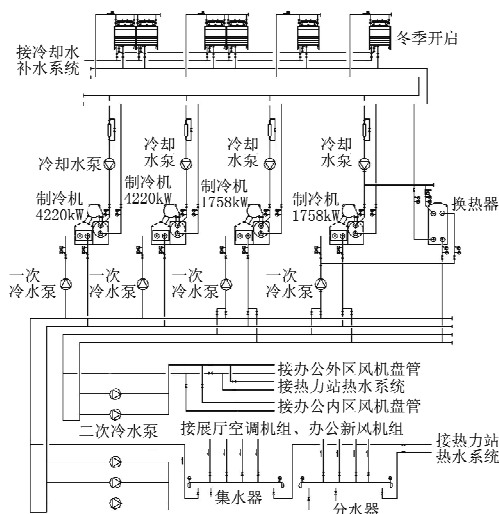


图 4 冷水系统示意图

2) 干式风机盘管选型计算

办公区域的风机盘管采用常规风机盘管,仅处理显热负荷。现有风机盘管处理冷负荷的能力一般是根据常规供回水温度 7℃/12℃检测得到的,不适用于该项目设计,必须对其值进行修正。

风机盘管冬季供热也是干工况运行,因此可用冬季供热工况的进出口温差和供热量类比得到夏季供冷的供冷量,计算公式和计算方法见文献^[3]。

表 2 为某品牌风机盘管标准工况和干式运行工况下的冷量计算值,可见实际工况的供冷量仅为标准工况的 50%。

表 2 风机盘管标准工况和干式运行工况计算冷量比较

风机盘管型号	标准工况		实际工况		备注
	风量/ (m ³ /h)	全热量/ kW	显热量/ kW	全热量/ kW	
01	475	2.9	2.0	1.4	标准工况为供回水温度 7℃/12℃,进风温度 27℃;实际工况为供水温度 14℃,进风温度 25℃
02	664	4.0	2.9	2.0	
03	877	4.5	3.3	2.4	
04	1 125	5.9	4.4	3.0	
05	1 455	7.5	5.6	3.9	

3) 冬季冷却塔免费供冷计算

冬季内区利用冷却塔供冷,可通过阀门切换使冷却水通过换热器与内区冷水换热,利用室外冷量为内区供冷。冬季冷却塔供冷的计算分以下几个步骤。

① 计算冬季内区冷负荷。

根据下式计算:

$$Q = \alpha Q_n - 0.337 I_x (t_n - t_x) \quad (1)$$

式中 Q ——冬季供冷房间冷负荷, W;

α ——保证系数,可取 0.80~1.00;

Q_n ——冬季供冷房间显热冷负荷, W;

I_x ——房间新风量, m³/h;

t_n, t_x ——冬季内区供冷房间室温和新风送风温度,℃。

冬季室内设计温度选 24℃,新风送风温度为 18℃,保证系数取 0.8,则设计供冷负荷为 460 kW。

② 计算冷却塔供冷能力,根据冷却塔的供冷特性曲线^[3]得到。

③ 计算风机盘管供冷能力,与上文干式风机盘管的计算方法相同。

④ 统计冷却塔供冷运行时间,对北京市气候典型年进行分析,可知冷却塔的使用时间约为 1 300 h。

2.3.2 空调风系统

1) 空调机组

展厅采用大温差送风,与常规的送风温度相比,送风量减小了约 1/3。因送风温度低于室内露点温度,设计中采用高诱导比的低温风口送风,避免风口结露。

2) 新风机组

选用带全热回收的新风机组,全热回收效率要求大于 60%;与常规新风处理机组相比,本系统的新风机组为了达到除湿目的,其送风温度需要适当降低。办公室的湿负荷主要来自于人员,且产湿量与人数成正比,图 5 是人均新风量与新风机组机器露点的关系。考虑到新风机组盘管的处理能力,及制冷机效率,通过经济比较,新风机组的露点温度定为 11℃,人均新风量选为 45 m³/(人·h)。

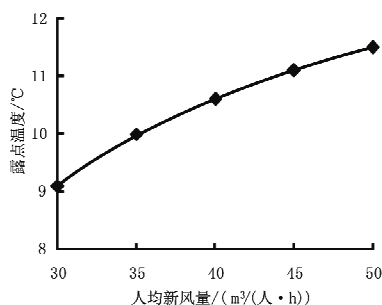


图 5 人均新风量与新风机组露点的关系

根据 DeST 计算结果,统计不同冷负荷百分比分布,见表 3。在办公室人数不变的情况下,当室内冷负荷率小于 37%时,可通过提高新风机组的送风温度扩大系统的调节范围。由表 4 和图 6 可知,随着送风温度的调整,室内相对湿度发生了变化,当冷负荷等于设计冷负荷的 28%时,室内相对湿度为 63%,当冷负荷进一步减小时,根据设计日负荷计算结果(见图 7),室外温度低于室内设计温度时,可停止供冷,采用自然通风。

表 3 全年冷负荷百分比分布

冷负荷百分比/%	20~25	25~28	28~30	30~35	35~37	37~100
时间/h	72	51	25	68	37	1 566

表 4 不同冷负荷时的送风温度和室内相对湿度

冷负荷百分比/%	送风温度/℃	室内温度/℃	室内相对湿度/%
37~100	12.00	25	50
35	13.40	25	53
30	15.50	25	60
28	16.70	25	63
25	18.00	25	68

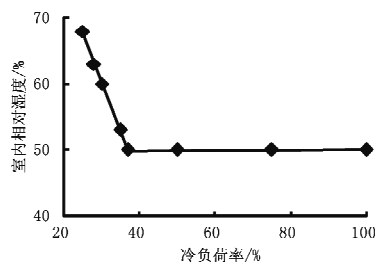


图 6 不同冷负荷率时的室内相对湿度

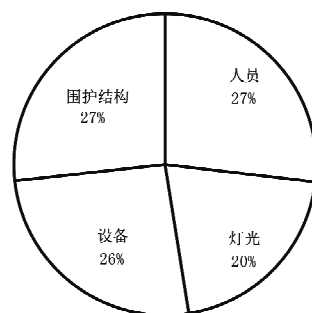


图 7 设计日室内冷负荷的分配特点

3) 低温风口的选型

由于新风机组的送风温度约为 12℃,室内的露点温度为 13.8℃,如采用常规风口可能产生结露。因此,该项目采用诱导型低温风口送风,可防止风口结露,同时又能增强新风与室内空气的混合,提高人的舒适性^[4]。低温风口的工作原理见图 8,其诱导比可选用 1:37。如图 8 所示,风口送风时形成收缩段,将室内空气诱导至喷嘴,与一次送风气流混合,并在离开喷嘴 115 mm 处混风比例为 2.35:1,使风口在喷射的全过程能保持良好的诱导效果,并能获得良好的混风效果和气流组织。

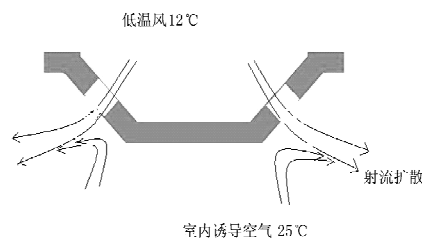


图 8 低温风口的工作原理

图 9 为 3~6 层空调平面图,低温新风口与风机盘管单独布置。空调水管按外区和内区分区域布置,内区风机盘管全年供冷,外区风机盘管冬季供热、夏季供冷。

3 空调系统节能计算

3.1 夏季制冷机节能计算

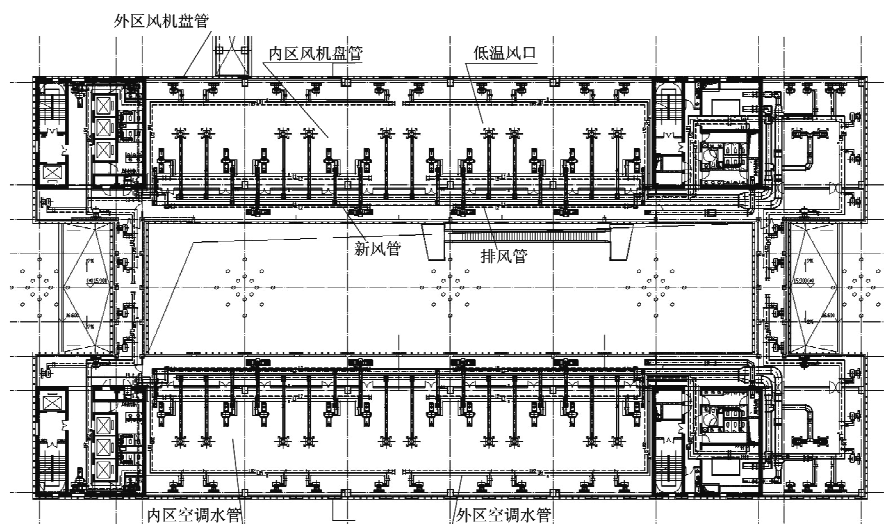


图 9 3~6 层空调平面图

根据某离心式低温和高温冷水机组的 COP 测试数据,在 100% 负荷时,高温制冷机的 COP 比低温制冷机高 41%,部分负荷时差值更大。为了比较现有方案的节能效果,给出了无温湿度独立控制时的制冷机和水泵的选型方案。对两种方案下的能耗进行逐时统计和计算,现有方案办公区域制冷机的年运行耗电量降低了 7.9 万 kWh,年运行能耗减小了 16.4%。

3.2 冬季冷却塔供冷节能计算

冬季采用冷却塔供冷,设计供冷负荷为 460 kW。根据 DeST 计算的冬季内区逐时冷负荷,冷却塔供冷获得了 44.3 万 kWh 冷量,经统计计算制冷机耗电量减少了 9 万 kWh,即年减少运行能耗 4.5%。

3.3 过渡季自然通风节能计算

过渡季采用自然通风供冷,根据 DeST 计算的过渡季逐时冷负荷,节省了 116 万 kWh 冷量,相当于制冷机耗电量减少了 35 万 kWh,即年减少运行能耗 17.5%。

通过对整个制冷系统进行全年能耗累加计算,可得到现有方案相对于传统方案的节能率为 22%,见图 10。

3.4 整个建筑节能计算

经过详细计算,与采用传统方案的“基准建筑”(满足现行节能设计规范^[5]的参考建筑)相比较,采用自然采光、自然通风等多种节能措施后该项目的节能率为 11%,见图 11。

4 结语

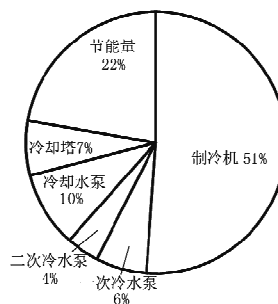


图 10 制冷系统节能量统计

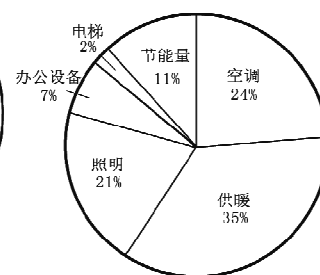


图 11 建筑全年节能量统计

本文介绍了第 7 届全国花卉博览会主场馆的空调系统设计,着重介绍了应用的节能设计方法,并利用全年能耗逐时模拟软件 DeST 计算了建筑逐时负荷与节能效果。结果显示,办公区域制冷机的节能率为 16.4%;整个制冷系统的节能率为 22%;整个建筑的空调、照明等累计节能率为 11%。

参考文献:

- [1] 谢晓娜,宋芳婷,燕达,等. 建筑环境设计模拟分析软件 DeST 第 2 讲 建筑动态热过程模型[J]. 暖通空调,2004,34(8):35-47
- [2] 刘晓华,江亿,等. 温湿度独立控制空调系统[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [3] 孙敏生,诸群飞,万水娥,等. 冷却塔供冷关键问题分析[J]. 暖通空调,2008,38(增刊)
- [4] 马晓钧,徐宏庆,李丹,等. 办公室低温送风空调系统数值计算分析[C]//2006 年暖通空调年会论文集,2006
- [5] 北京市建筑设计研究院. DBJ 10579—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:北京市建筑设计标准化办公室,2005