

上海市建筑科学研究院莘庄综合楼 绿色建筑运行效果研究^{*}

上海市建筑科学研究院 张 颖[☆] 杨建荣 王瑞璞

摘要 介绍了获得 2010 年绿色建筑三星级设计标识、2011 年住房和城乡建设部绿色建筑创新奖二等奖的上海市建筑科学研究院莘庄综合楼的被动式设计理念和手法及建筑节能关键技术,简要分析了全年系统运行策略,并对建筑物在运行期间的实际能耗、室内环境参数和用

户满意度进行了主客观相结合的评估分析。通过性能后评估对建筑设计进行反向分析,总结了实现运行节能的核心要素。

关键词 绿色建筑 被动设计 适宜技术 运行效能 节能

Green building operation performance research of SRIBS Xinzhuan Comprehensive Building

By Zhang Ying★, Yang Jianrong and Wang Ruipu

Abstract Presents the design concept, methods and energy saving technologies of the project, which was awarded 3-star green building design certification in 2010 and the 2nd place of Green Building Innovation Award authorized by the MOHURD in 2011. Gives a brief analysis of different operating strategy during the whole year, and evaluates the building performance of actual energy consumption, indoor environment parameters and user satisfaction with the subjective and objective combination method. Based on the reverse analysis of building design by the post-performance assessment, summarizes the most essential factor to realize energy saving operation for the building.

Keywords green building, passive design, appropriate technology, operation performance, energy saving

★ Shanghai Research Institute of Building Sciences, Shanghai, China

①

1 案例概况

上海市建筑科学研究院莘庄综合楼位于上海市闵行区申富路 568 号,为莘庄科技园区的第四期开发项目,于 2010 年 5 月建成并投入使用。通过群体空间规划和景观生态环境营造,该项目和园区内先期建设的上海生态办公示范楼、生态住宅示范楼等共同营造了花园式的绿色办公研发园区(见图 1)。



图 1 建筑实景图

该项目是一栋地上 7 层、地下 1 层的办公实验综合楼,总建筑面积为 9 992 m²,其中地上部分主楼 4 573 m²,副楼 2 402 m²;地下部分 3 017 m²。主楼 1 层为大堂、报告厅、财务室等,2~7 层为办公室和小型会议室;副楼各层均为不同功能的专业实验室;地下室主要用作停车库,还包括配电房、水泵房等设备机房。

该项目于 2010 年获得绿色建筑三星级设计标

识,2011 年获住房和城乡建设部“绿色建筑创新奖”二等奖,同时也是“十一五”国家科技支撑计划课题“城镇人居环境改善与保障关键技术研究”的办公类示范工程。

2 需求分析与解决方案

从气候、地域、资源等特点分析,上海在建筑热工分区上属于夏热冬冷地区,建筑物面临着夏季隔热和冬季保温的双重挑战;在太阳能资源分布上属于资源一般的Ⅲ类地区,具备太阳能利用的潜力;在水资源分布上,尽管降水充沛,但仍属于水质性缺水城市,应合理采用水资源高效利用措施。

从建筑物内在需求属性来看,莘庄综合楼是一栋以功能实现为前提、以高效运行为目标的科技型企业自用办公楼,因此采用的绿色建筑技术路径是以被动设计策略为基础,集成成熟适宜的绿色技术,通过良好的建筑形体和围护结构设计实现需求侧降耗,进而通过设备系统优化设计和高效的运行管理,提升建筑物的运行能效。

该项目建立了“生态设计”、“系统节能”和“环境友好”三大技术体系,如图 2 所示。

3 建筑节能关键技术

除了独具特色的被动式建筑节能设计之外,该

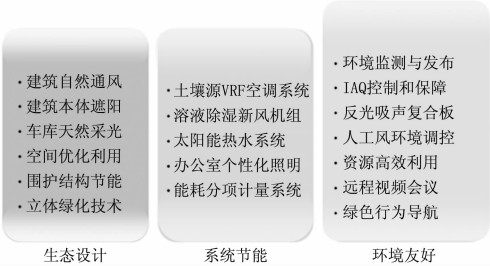


图2 绿色建筑目标和解决方案

项目在空调系统设计方面也充分考虑了不同季节、不同时段、不同用户的使用需求和控制调节策略,并采用了吊扇强化自然通风等适宜当地气候条件的低成本技术,制定并实施了与景观相生相融的天然采光解决策略,以期实现高品质办公环境营造和低能耗建筑运行的最佳平衡。下面对此分别进行介绍。

3.1 被动式建筑设计

绿色建筑的第一要义是因地制宜,因此该项目充分考虑了上海地区的全年太阳运行轨迹、日照辐射量、风向、风速等关键因素,将可持续设计的技术策略与有吸引力的建筑形态有机结合,并考虑与周边建筑和景观环境的协调及对环境的贡献。

建筑形态的确定在于利用建筑自身体块的阴影效果实现夏季的遮阳,以一种更为主动的姿态来应对,而不是在建筑表皮之外叠加外遮阳构件或控制复杂的电动遮阳系统。主楼逐层进行悬挑叠加,外挑幅度按照夏至日正午太阳高度角 82° 计算确定,以使上部楼板的阴影正好可对下部楼层形成自遮阳;另一方面,随着冬季太阳高度角的降低,光线可避开楼板而直接进入室内(见图3)。



图3 南立面悬挑式自遮阳设计

在自遮阳设计的基础上,主楼南立面的建筑外窗选用了双层窗体系,并在两层窗体之间安装活动遮阳帘,实现了夏季遮阳、冬季保温、过渡季通风的多重功能。主入口朝向西北,在夏季及春秋季节存在午后西晒辐射,因此在门厅的玻璃幕墙外侧设计了钢结构网架,栽植了紫藤等攀缘植物,既创造了绿意融融的景观效果,同时也利用落叶植物的特性实现冬夏两季的遮阳调节,改善了门厅夏季室内的热环境(见图4)。



图4 门厅钢架攀缘植物遮阳

自然通风方面,主楼南向设置了错落分布的休憩露台(见图5),作为各层室外气流的导入口。外



图5 各层露台导风口

幕墙设置大量可开启窗,在过渡季可形成良好的通风效果,便于利用上海地区自然通风节能潜力,减少空调开启时间。此外,首层北侧设置了一处富有古典园林特征的照壁(见图6),作为景观小品,也兼具了冬季挡风墙的作用,有助于减少冬季西北风对大堂的冷风渗透。

天然采光方面,通过合理的设计策略为地下车库引入日光照明,其中包括地下室上方绿化带的2个采光天窗,以及车库坡道侧面的下沉式边庭(见



图6 首层小花园照壁挡风墙

图7,8)。5层的大会议室采用了反光吸声复合板,将光反射到天花板再折射至室内进深较大处,从而改善采光均匀度。通过将反光板与吸声材料结合,可同时改善会议室的声环境。



图7 采光天窗和下沉边庭



图8 地下车库实景

3.2 空调系统设计

针对上海地区夏季高温高湿的室外气象特点,主楼的空调系统设计采用了温度湿度独立处理的策略,将室内负荷和新风负荷分开处理,其中新风处理采用溶液调湿全热回收新风机组,室内负荷处理采用水源变制冷剂流量(VRF)多联空调机组。副楼由于均为各类小型实验室,使用时间和负荷特征相差很大,因此采用了分别安装房间空调器的方式。

主楼系统设计中将变制冷剂流量多联空调机组和地埋管系统相结合,室内机侧为直接蒸发式系统,室外机侧采用了封闭式地埋管水冷却系统,同时安装了调峰冷却塔。该设计兼具了 VRF 系统

的灵活性和地埋管水系统换热的高效性。一般水冷多联机组(冷却塔工况)的 IPLV 值为 3.5 左右,而该项目选用的多联机(土壤源工况)的 IPLV 值大于 4.5,可有效提高系统能效比。

地埋管采用单 U 管,共 100 孔,在结构工程桩中间隙菱形布置,竖直地埋管孔深 70 m。地埋管换热器夏季单位井深散热量为 46 W/m,冬季单位井深取热量为 39 W/m。考虑到系统运行和管理需要,地埋管系统按每 4 孔设为一组,采用并联同程式连接,共分为 25 组,每 5 组设一套分集水器,系统共设置分水器 and 集水器各 5 台。实际运营中可根据负荷变化调节地埋管换热量,保证安全可靠运行(见图 9)。

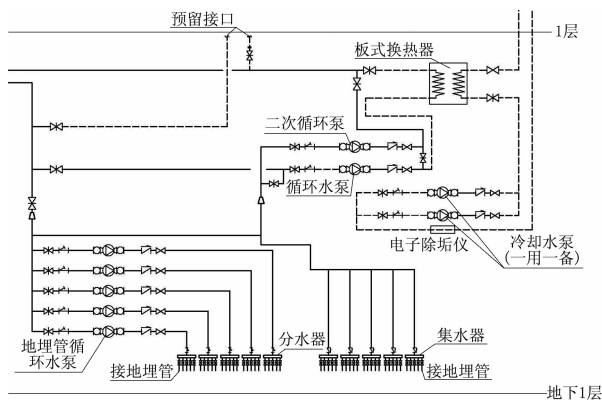


图9 空调水系统(冷却水系统部分)

主楼的新风负荷处理采用溶液调湿全热回收型新风机组,相比于传统的转轮热回收,具有节能高效、形式灵活的特点,并且可避免新风、排风之间的交叉污染,由于自带冷热源,也可在过渡季单独运行。新风从室外引入,先与排风进行全热交换,再由新风机组处理后送入室内。新风机组位于 1, 4, 7 层的空调机房内,分别向地下 1 层和 1 层、2~4 层、5~7 层提供新风。

3.3 全年控制策略

运行策略的制定需要考虑夏季和冬季不同负荷率条件下的机组启停方式,同时也要在过渡季优先使用免费冷源,从而减少空调系统开启时间。该项目采用了 2 套独立的冷热源,同时安装了吊扇等辅助自然通风的设备,为制定和优化全年运行策略提供了可能性。

3.3.1 夏季运行策略

5 月上旬至中下旬,当室外温湿度条件有利时,采用开启外窗的方式利用自然通风消除室内余热,室外静风、微风情况下或室外温湿度已超过舒

适度范围时,办公区开启吊扇,通过强化自然通风的方式增强室内对流换热的效果。

6月至9月下旬为空调季,关闭外窗并采用双层窗的遮阳设备,控制进入室内的得热量。夏季空调系统有2种运行策略:1)当空调负荷逐步增加,但未达到设计最大负荷的50%时,仅开启溶液调湿新风机组供冷,同时开启吊扇,以混合通风方式提高人员热舒适满意度;2)当空调负荷继续增加,超过设计最大负荷的50%时,溶液调湿新风机组和多联机联合供冷。

在水源多联机开启运行的时间内,通过监测冷却水供回水温度的变化,调整分集水器的开启数量,从而减少地埋管侧循环水泵的运行能耗;若监

测供水温度超过设定值,则将冷却水管路切换至冷却塔环路,以实现调峰作用。

3.3.2 冬季运行策略

11月上旬至3月上旬为空调供暖季,运行策略与夏季相似,分为低负荷和高负荷2种模式:1)当供暖负荷较低时,仅开启溶液调湿新风机组供热;2)当供暖负荷较大时,开启多联机联合供热,在水源多联机开启运行的时间内,通过监测地埋管侧供回水温度的变化,调整分集水器的开启数量,从而降低地埋管侧循环水泵的运行能耗。

4 设计室内参数及模拟能耗

暖通设计参数依据相关的国家及上海市地方标准确定,其室内设计参数如表1所示。

	温度/℃		相对湿度/%		新风量/(m³/(人·h))	人员密度/(m²/人)	设备负荷/(W/m²)
	夏	冬	夏	冬			
办公室	26	18	65	不控制	30	4	20
会议室	26	18	65	不控制	30	2.5	5
门厅	26	18	65	不控制	30	20	5

采用能耗模拟软件对莘庄综合楼进行全年能耗模拟,得出单位建筑面积能耗为70.9 kW·h/(m²·a),其中空调供暖能耗为52.8 kW·h/(m²·a),照明能耗为18.1 kW·h/(m²·a)。

5 实际运行室内环境、能耗及用户满意度

5.1 室内环境参数监测

5.1.1 室内热环境

莘庄综合楼项目建立了建筑室内环境实时监测和运营管理系统,对室内温度、湿度、CO₂浓度、照度等参数进行实时监测和历史数据分析,生成运行报表提供给物业管理部门。

以2013年7月15—20日作为夏季典型周,2013年2月25—28日作为冬季典型周,提取监测平台的参数进行分析。其中,夏季典型周的实时温度和相对湿度波动曲线分别见图10和图11,工作时段

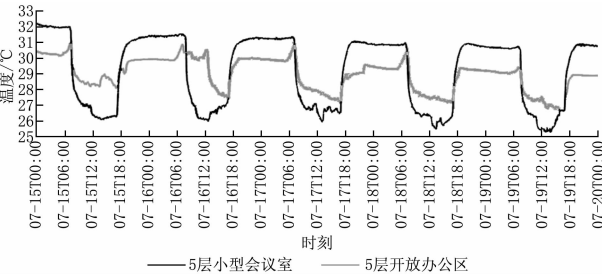


图10 夏季典型周的室内温度监测曲线

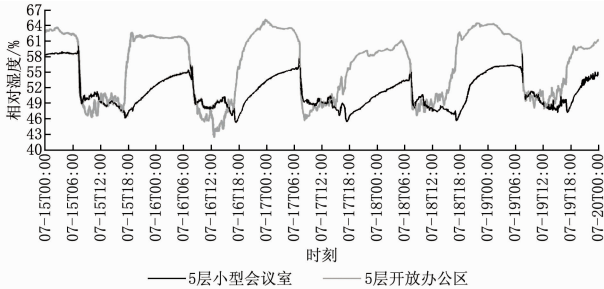


图11 夏季典型周的室内相对湿度监测曲线

在42%~55%之间,基本满足室内舒适度的要求。2个代表性监测点分别位于小型会议室和开放办公区,可以看到,与办公区相比,会议室的温度波动幅度更为明显,这体现了间歇性使用的特征。

2013年冬季至2014年春季,研究团队开展了室内环境客观参数与人员主观满意度的调查,监测点布置在开放办公室、小型办公室、会议室、半开放区域(露台)、公共空间(前台)等不同功能区,对室内温湿度和CO₂浓度进行实时监测。

对2014年2月10—14日上班时段内的温度进行分析,结果如图12所示。其中测点5布置在露台,属于室外区域,因此该测点可定义为室外监测点。

结果表明,对于长期使用的开放办公室和小型办公室(测点2,3,4,6),所有测点的平均温度均在18℃以上,满足设计标准要求。

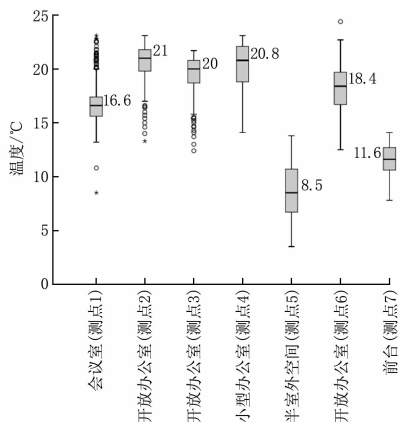


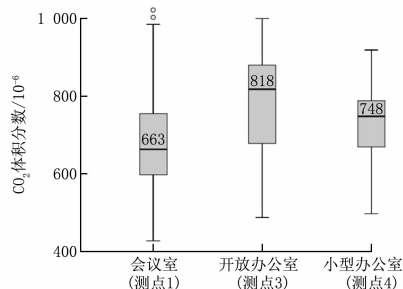
图 12 冬季典型周各测点温度统计分析

会议室(测点 1)冬季与夏季的室内温度变化相似,同样体现了其间歇性使用的特征。该会议室为部门内部使用,平均每天使用时间为 2~3 h,由于采用了 VRF 末端,可以采用灵活的控制模式,在满足使用时段室内人员热舒适的前提下,达到低能耗运行的效果。由实测数据可知,该测点在统计时段内的平均温度只有 16.6℃左右,但是在实际使用时段温度为 18.5~23.5℃,可满足室内人员的要求。

前台(测点 7)的室内温度未能满足标准要求,主要原因在于设计工况和使用工况有所偏离。设计时该区域未考虑设置前台,仅作为人员短暂逗留区域进行空调系统设计;运行时由于大堂层高达到 5 m,且送风口离前台较远,因此冬季热风无法有效送至前台区域。这也提醒设计者需要充分考虑建筑使用阶段功能变化的适用性。

5.1.2 室内 CO₂ 浓度

图 13 为各测点在上述时段内的室内 CO₂ 浓度分析图。可以看到,会议室的平均 CO₂ 体积分数

图 13 各测点 CO₂ 浓度分析

数最低,均值为 663×10^{-6} ,其原因和热环境相似,同样源于其间歇性使用的特征;开放办公室由于人员密度较大,其 CO₂ 浓度较小型办公室更高。但从整体上来看,各区域的 CO₂ 体积分数均低于

$1\,000 \times 10^{-6}$ 的要求。

5.1.3 室内光环境

图 14 给出了人工照明环境下,各测点工作面高度的照度值,图中横线代表相应功能空间国家标准

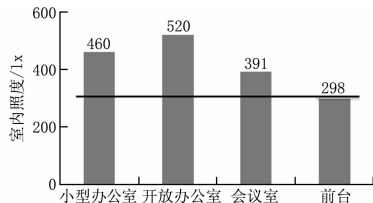


图 14 各测点工作面照度

准的要求。可以看到,前台照度实测值为 298 lx,略低于标准要求,但也在偏差 10% 的允许范围内;其余区域都达到了设计照度要求。

5.1.4 室内声环境

对各测点的噪声水平也进行了监测,数据统计结果(见图 15)表明,开放办公室和小型办公室的

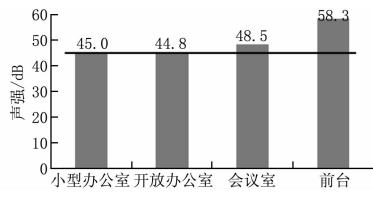


图 15 各测点噪声

室内噪声值均可达到国家标准的限值要求,会议室略有超标,前台超标情况较为严重,空调噪声、计算机噪声和人员交谈声等都是导致其噪声超标的主要原因。

5.2 实际运行能耗

莘庄综合楼消耗的能源是电力,其中主楼主要用于空调、照明、办公设备等,副楼还用于实验仪器和设备等。项目设置了建筑能耗监测平台,可实现建筑用能的逐日、逐月、逐年的总量和分项统计,并对历史数据进行存储和对比。大楼共设置了 71 个计量点,其中照明插座系统用电 22 个计量点,空调系统用电 34 个计量点,水泵、通风机、电梯系统用电 11 个计量点,特殊用电 4 个计量点。

能耗监测平台自 2010 年 9 月开始正式使用,本文以进入正常负荷之后的 2012 年 1 月 1 日至 2012 年 12 月 30 日的能耗数据为依据,进行分项拆分和分析。

2012 年全年的建筑总用电量为 601 324 kW·h,平均单位建筑面积的电量为 60.26 kW·h/(m²·a)。该数值略低于能耗模拟计算结

果,显著低于上海地区办公楼能耗调研的均值,也低于 DB31/T 550—2011《上海市机关办公楼合理用能指南》的合理用能指标要求。

将建筑能耗按照主楼和副楼分别统计,主楼(办公业态)单位面积电耗为 $50.68\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$

a),副楼为 $83.99\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。对主楼用电进行拆分统计,结果见表 2。可见,空调系统用电为 $28.28\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,占 56%;照明、插座和动力用电为 $5.39\sim 7.82\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,较为接近;电梯用电仅为 $1.93\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,占比很小。

表 2 主楼能耗分项统计结果(2012 年度)

	照明	插座	空调	动力	电梯
用电量/(kW·h)	82 995.20	120 588.60	435 729.68	111 896.70	29 814.30
单位面积电耗/(kW·h/(m ² ·a))	5.39	7.82	28.28	7.26	1.93
所占比例/%	11	15	56	14	4

5.3 用户满意度

建筑的最终目的是为人所用,实现基本的功能需求,使用户满意。为此,通过向大楼内的工作人员发放满意度调研问卷,进行人员主观满意度的调查评估。调查共收到 63 份有效问卷,统计分析后发现,无论冬季、夏季还是过渡季,大楼使用者对室内热环境、光环境、声环境、空气品质等各方面的满意度均处于较高的水平,整体满意度达到 +0.35(十表示满意、一表示不满意)。各项指标的分析结果如图 16 所示。

均达到了预期目标,实现了建筑形态服务于功能,最终为用户服务的初衷。

1) 生态建筑设计特色:根据上海本地的气候、资源特点,采用了本体遮阳、天然采光、自然通风、立体绿化等策略。其中,通过建筑本体叠合设计实现了夏季自遮阳,避免了采用外遮阳所带来的投资增量和后续维护问题;通过合理的进深控制和天窗边庭采光,改善办公区和地下室的采光效果;结合各楼层休憩露台,为自然通风打通了流通风道,强化了穿堂风效果;错落分布的屋顶绿化及攀缘植物绿化,在改善视觉环境的同时也提高了建筑物的节能效果。

2) 空调系统设计特色:空调系统方面体现了高效、灵活、便捷的特点,适应分部门办公的特性。采用热湿独立控制思路,地埋管水源 VRF 空调系统结合溶液调湿新风系统,适应当地气候特点;能耗分项计量系统既可实现各部门的分层计量,又可实现分用途计量,将收费系统和能耗诊断系统相结合。

项目在运行阶段进行了绿色建筑性能后评估研究。以 2012 年为例,项目的综合单位建筑面积能耗为 $60.26\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,其中办公主楼为 $50.68\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,优于上海地区同类型建筑,基本实现了预定的节能目标。另一方面,从实测和问卷调查结果看,建筑的室内热环境、光环境、声环境和室内空气品质等参数的实测值均达到设计要求,根据用户调研反馈,整体满意度达到了较高水准。

该项目从绿色建筑的理念策划、建筑实现、适宜技术筛选与集成等方面进行的设计和和实践,可为相近气候地区同类型建筑提供借鉴。

参考文献:

[1] 韩继红. 上海绿色建筑成果集(2005—2010)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011

[2] 杨建荣. 城镇人居环境改善与保障关键技术集成示范[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010

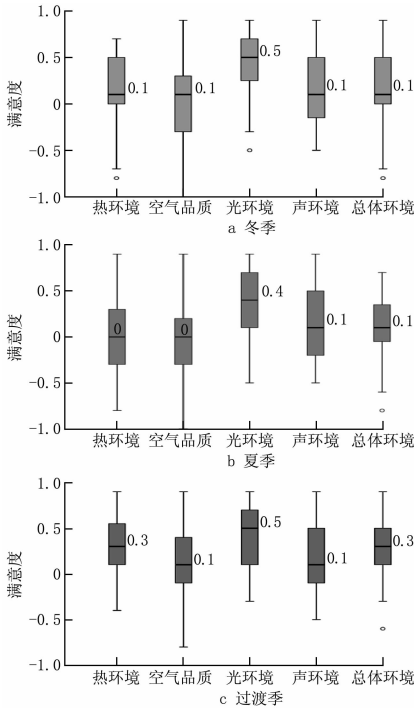


图 16 各季节用户对室内环境的满意度

6 案例分析与总结

莘庄综合楼以被动式建筑设计为特色,从绿色建筑运行节能目标出发,制定了因地制宜、经济适宜的技术体系,项目建成后经过绿色建筑性能后评估,在能耗水平、室内环境品质、员工满意度等方面