

# 上海世博会场馆建设中的绿色科技理念应用

乐云<sup>1</sup>, 李立新<sup>2</sup>, 单明<sup>1</sup>

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2. 浙江大学 宁波理工学院, 浙江 宁波 315100)

**摘要:** 上海世博场馆的建设运用了大量“绿色建筑”的设计理念和工艺技术。简要介绍了世博轴的阳光谷、大片索膜结构和江水源/地源热泵系统, 中国馆的外观造型设计、太阳能光伏发电系统与冰蓄冷技术, 以及主题馆的垂直绿化设计。

**关键词:** 阳光谷; 索膜结构; 江水源/地源热泵; 太阳能光伏发电; 冰蓄冷技术

**DOI:** 10.3969/j.issn.1001-7348.2010.19.033

中图分类号: TU-023

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2010)19-0127-03

2010年的上海世博会, 是首届以“城市”为主题的世界博览会。本届展览会体现了“和谐城市”的精髓理念, 包括“人与自然和谐”、“人与社会和谐”以及“历史与未来和谐”。世博园区的总体规划与建筑设计立意于对城市未来的思考, 以“节地、节能、节水、减污、减排”作为五大目标, 为新世纪人类的居住、生活和工作探索崭新的模式, 为生态和谐社会的缔造和人类的可持续发展提供生动的例证。

世博会选址位于黄浦江上游, 处于陆家嘴和老外滩的南延伸段上, 卢浦大桥与南浦大桥之间的滨水区, 规划控制面积为 6.68km<sup>2</sup>。

## 1 世博轴中的绿色科技理念

世博轴是世博园区最大的单体工程, 是由地上二层和地下二层组成的半敞开式建筑。世博轴长约 1 045m, 宽约 130m, 总体占地面积约 13 万 m<sup>2</sup>, 总建筑面积约 25.1 万 m<sup>2</sup>。世博轴是园区主入口以及园内空间景观和人流交通的主轴线。世博轴的主体结构为 6 个索膜结构的“阳光谷”, 可以实现主动采光、自然通风和雨水收集功能。同时, 世博轴的空调冷热源系统采用了江水源热泵加地源热泵系统的两种新型生态节能系统, 不仅实现了空调系统的节能减排、绿色环保, 而且将空调系统很好地融入了建筑景观, 充分体现了“城市, 让生活更美好”的理念。

(1) 阳光谷结构体系是由一个个的小三角形网格组成的单层网壳, 结构的下部为竖直方向, 到上部其边缘逐步转化为环向; 阳光谷的中部与膜结构顶棚连接。巨型圆锥状的玻璃幕墙安装于阳光谷内侧, 可以使自然光透过“阳光谷”倾斜而下, 满足地下空间的采光(见图 1)。

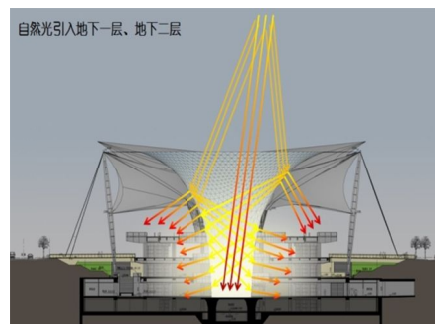


图1 阳光谷的自然采光示意

(2) 世博轴的屋顶是一个个形如云彩的巨大轻型索膜结构。该结构不仅造型自由, 而且达到了遮阳避雨、雨水收集的效果。该膜结构在屋顶采用连续张拉的结构, 包括支撑系统和膜面系统两部分(见图 2)。支撑系统由 31 根外桅杆、19 根内桅杆以及水平索和背索组成, 桅杆总重约 2 600t; 膜面系统由膜与膜面索构成, 结构总长度约 840m, 最大跨度约 97m。膜采用聚四氟乙烯(PTFE)涂层的玻璃纤维织物——SF1A 级膜材。单片膜最大展开面积约 1 780m<sup>2</sup>。在阳光的照射下, 由膜覆盖的世博轴内部

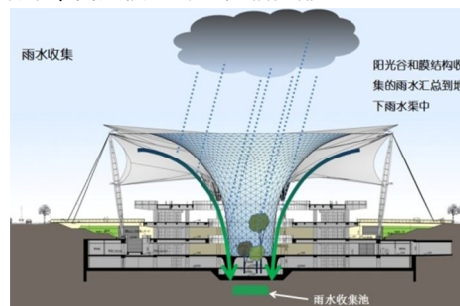


图2 索膜结构的雨水收集示意

(3) 江水源热泵和地源热泵系统是世博轴空调系统采用

收稿日期: 2010-07-28

作者简介: 乐云(1964-), 男, 湖北大悟人, 同济大学经济与管理学院教授、博士生导师, 研究方向为项目管理。

的两种新型生态节能系统形式。江水源热泵与地源热泵均属于可再生能源系统,它们的区别在于两者所利用的能量来源不同,前者利用的是江河水的未利用能量,而后者则是使用地下浅层中的未利用能量。

以地源热泵系统为例(见图3),它是利用地下浅层地热资源、既可供热又可制冷的高效节能空调系统。地源热泵通过输入少量的高品位能源(如电能),实现低温位热能向高温位转移。地能可以分别在冬季作为热泵供暖的热源和夏季空调制冷的冷源,即在冬季把地能中的热量“取”出来,在提高温度后,供给室内采暖;在夏季把室内的热量取出来,传递到地能中去。与传统的热泵系统相比,地源热泵系统不但节能环保,而且运行成本大大降低。

世博轴的空调系统采用江水源和地源热泵系统,可以为世博轴约6万 $m^2$ 的建筑面积提供温度调节功能,占世博轴总占地面积的1/4,并能节约电力能耗的2/3~3/4。按上海500元/年·平方米的空调用电费用测算,每年可节约2000~2250万元。

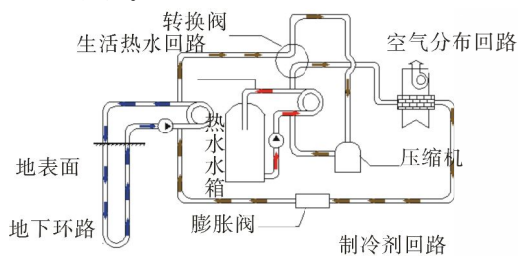


图3 地源热泵示意

## 2 中国馆中的绿色科技理念

中国馆位于世博园规划核心区,处于园区浦东区域主入口的突出位置,是世博园区“一轴四馆”永久性建筑中的制高点。由中国国家馆和中国地区馆组成,建筑用地面积7.13 $hm^2$ ,总建筑面积为16万 $m^2$ 。

(1)中国馆建筑的外观以“东方之冠”的构思主题(见图4)表达了中国文化的精神与气质。其中,中国馆的斗冠部分采用层层出挑的设计造型,可以大大减少热量进入室内,减少降温所需的消耗。国家馆采用超白透明玻璃,加大透光率,同时减少了玻璃对周边环境的反射污染;地区馆外廊为半室外玻璃廊,用被动式节能技术为地区馆提供冬季保温和夏季通风的功效。地区馆屋顶的“中国馆园”,以圆明园40景之终景“新九洲清晏”为寓意,运用生态农业景观等技术措施,有效实现了地区馆屋顶的隔热。

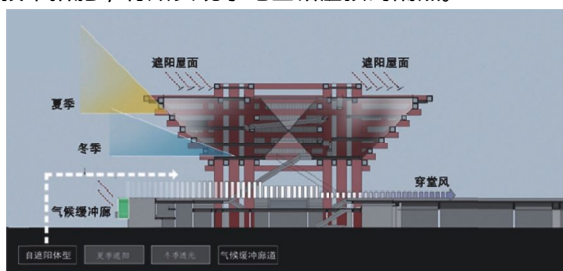


图4 中国馆示意

(2)随着国家对新能源产业的积极推进,太阳能光伏建筑

一体化的应用已成为业内关注的焦点,相关的探索也在积极进行中。结合中国馆的设计理念、建筑造型和建筑功能,设计人员将光伏组件完美融入中国馆建筑设计中,替代了原有的部分装饰屋面板和玻璃幕墙,使太阳能电池组件成为整体建筑中不可分割的建筑构件和建筑材料。这充分展示了我国的生态建筑理念和光伏建筑一体化的技术水平,是对本届世博会主题“城市,让生活更美好”的具体演绎。

中国馆太阳能电池的组件主要安排在国家馆60.6m和68m的平台上。其中,60.6m的观景平台,其四周挑檐的中央部位采用双面透光的中空双玻单晶硅组件(见图5),在充分考虑风荷载和重力荷载叠加的最恶劣情况,经过周密计算,最终选择采用钢化夹胶玻璃电池组件替代原有的观光平台水平中空玻璃幕墙。每块电池组件的最大输出功率为230w,每边88块,共352块,铺设面积约1000 $m^2$ 。安装结构按玻璃幕墙结构设置,组件表面采用隐框结构,并与观景平台平齐,四面均向中心内倾 $2^\circ$ 。该组件区域具有一定的透光性,和四角部分的水平中空玻璃幕墙共同形成60.6m的观光平台。这一设计方案不仅满足了中国馆的外观装饰和功能要求,还可以源源不断地产生绿色电能。从中国馆底部的地面仰观,缕缕阳光穿挑檐而出,照射在下部四周的中国红上,愈加增添了中国馆的恢弘气势和耀眼光彩。

在68m平台处,采用单晶硅太阳能电池组件替代了原有的屋面装饰板。组件区域的整体分布和屋面玻璃幕墙格调一致,采用了1200块180Wp和64块90Wp黑色边框的单晶硅组件,铺设面积约2000 $m^2$ 。组件的安装倾角原则上与建筑结构坡度一致,采用水平布置,四面均向中心内倾 $2^\circ$ ,整个太阳能组件黑色区域与69m层的红色九宫格图案交相辉映,为雄伟恢弘的中国馆增添了传统文化的色彩。

中国馆屋面、外墙面铺装新型太阳能光电池,装机容量为0.4mW,年发电量30万 $kW\cdot h$ ,相当于少用107t标准煤,可减少 $CO_2$ 排放量285t;在节约能源、保护环境的同时,可以提供强大的能源支持,使中国馆普通照明用电基本实现自给。



图5 中国馆中的太阳能组件安装施工

(3)冰蓄冷是中国馆运用的又一项先进技术。其原理是在夜间电网低谷时间,利用低价电制冰蓄冷,将冷量储存起来;白天用电高峰时融冰,与冷冻机组共同供冷,将所蓄冰冷量释放,满足空调高峰负荷需要。利用该项技术,

可以使建筑能耗比传统模式降低 25% 以上。目前, 中国馆白天 1/2 空调使用的冷量都由这种技术提供。在能源和环保日益重要的今天, 冰蓄冷技术将成为我国电力移峰填谷、提高电网用电负荷率、改善电力投资综合效益及保护环境的重要手段。

### 3 主题馆中的绿色科技理念

主题馆位于世博轴西侧, 是世博会的永久性场馆之一, 占地面积约 11.5hm<sup>2</sup>, 总建筑面积约 129 000m<sup>2</sup>, 其中地上 8 万 m<sup>2</sup>, 地下 4.9 万 m<sup>2</sup>, 建筑高度约 27.7m。主题馆在世博会期间承担演绎、展示主题的重任, 着重反映当今世界快速城市化和城市人口迅速增长的背景下, 地球、城市、人类 3 个有机系统之间的关联和互动状态, 揭示如何创造更美好的城市和更美好的生活。

在我国的城市化进程中, 社会的生态意识和环境意识逐渐增强, 园林绿化在城市环境中起着日益重要的作用。在目前城市用地紧张的现实情况下, 要提高城市的绿化覆盖率、增加城市绿量、改善城市的环境质量, 不仅需要平面绿化, 而且需要绿化向垂直方向发展, 这是现代城市绿化的必然趋势, 也是建筑节能环保新的探索方向。

一般来说, 垂直绿化指的是, 为了充分利用空间, 增加绿化覆盖率, 改善居住环境, 在墙壁、阳台、窗台、屋顶、棚架等处栽种攀岩植物。这可以增加城市家庭绿化面积, 改善不良环境。

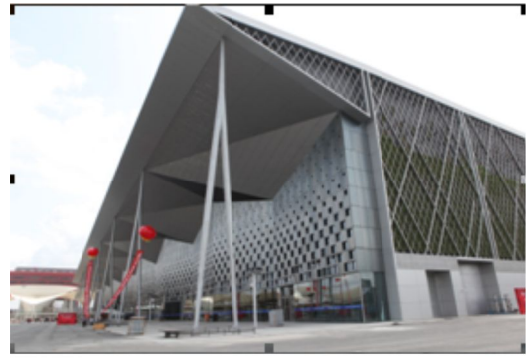


图 6 主题馆的生态绿墙

在主题馆东西两侧的外墙上设计了一层约 5 000m<sup>2</sup> 的立体生态绿化墙面, 是目前世界最大的生态墙。在夏季, 生态墙可阻隔热辐射、降低室内温度; 在冬季, 它帮助墙面吸收太阳的辐射热量, 同时起到保温层的作用, 使建筑物周围的风速降低, 延长外墙的使用寿命(见图 6)。

### 4 结语

上海世博会的举办是我国建筑行业实现节能减排、发展绿色科技的一次契机。世博场馆的建设不仅展现了新型建筑节能技术的实践应用, 而且让“绿色建筑”的理念深入人心, 将为我国建设低碳社会提供有力的参考, 起到巨大的推动作用。

(责任编辑: 胡俊健)

## Application of Green Technological Philosophy in Construction of Stadiums in Shanghai EXPO

Le Yun<sup>1</sup>, Li Lixin<sup>2</sup>, Shan Ming<sup>1</sup>

(1. Economics and Management School, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

**Abstract:** Much of design philosophy and technology about green architecture are used in construction of stadiums in Shanghai EXPO, and it introduces the Sun Valley, cable-membrane structure, river water-source heat pump system and ground-source heat pump system of Expo Boulevard, the solar energy PV power generation system and ice chilling technology of China Pavilion, as well as design of vertical planting in Theme Pavilions in this paper.

**Key Words:** Sun Valley; Cable-Membrane Structure; River Water-Source Heat Pump System and Ground-Source Heat Pump System; Solar Energy PV Power Generation System; Ice Chilling Technology