

“双碳”背景下绿色建筑技术在超大规模综合体中的应用

齐亚腾

国家会展中心（上海）有限责任公司 上海 201700

【摘要】绿色低碳发展和应对气候变化已成为全球共识，“双碳”目标凸显中国应对全球气候变化的大国担当。以场馆为代表的超大规模综合体为典型用能大户，为推动绿色建筑技术在该类建筑中的应用，实现环境效益、经济效益和社会效益多赢，本文以上海某大型场馆为例，以绿色建筑三星为评价标准，从节地、节能、节水、节材多维度剖析绿色建筑技术在超大规模综合体中的应用。运行数据表明，热电冷三联供等绿色建筑技术在超大规模综合体中具有节能实效，可大范围推广复制。

【关键词】绿色建筑三星；绿色建筑技术；超大规模综合体；应用实效

1 工程概况

本工程位于上海市西部，集展览、会议、办公、商业、五星级酒店等配套设施为一体，是目前长三角地区规模最大的综合体。主体建筑以伸展柔美的四叶幸运草为造型，是上海市地标性建筑之一。综合体总建筑面积141.39万m²，用地面积85.6万m²。主体结构分为五个区域，其中A1、B1、C1、D1、F1、F2、F3为展厅和会议部分，A0、B0、C0为办公楼，D0为酒店，E1和E2为配套商业中心，G为地下室部分。

2018年，首届中国国际进口博览会在此举办，综合体成为服务对外开放基本国策和一带一路合作倡议，服务国家商务事业发展的重要平台。曾获得“中国建筑工程鲁班奖”、“中国土木工程詹天佑奖”等市级及以上奖项16项，实用新型专利19项，发明专利

8项。

2 绿色建筑评价等级划分

综合体先后获得绿色建筑设计标识（三星）、绿色建筑

表1：关键评价指标情况

主要指标	单位	数据
容积率	%	148.36
地下建筑面积	m ²	19.08
绿地率	%	10.00
建筑总能耗	MJ/a	19852190
单位面积能耗	kWh/(m ² ·a)	56.27
节能率	%	65.00
可再生能源发电量	万kWh/a	240.90
建筑用电量	万kWh/a	6781.42
可再生能源产生发电比例	%	3.55
用水总量	m ³ /a	633519.00
建筑平均日用水量	m ³ /a	1735.67
非传统水量	m ³ /a	38972.00
非传统水源利用率	%	6.15
建筑材料总重量	t	4262493.60
可再利用可循环材料重量	t	426688.69
可再利用可循环材料利用率	%	10.01



图1：综合体鸟瞰图

运行标识（三星），是中国迄今为止规模最大的三星级绿色建筑。采用的主要绿色建筑技术包括：热电冷三联供、照明与电气技术、节水技术、非传统水源利用、高强度钢、空间优化布局、工具式模板应用、BIM 技术、智慧场馆数字化平台等。

绿色建筑评价^[1]总分为83.56，关键评价指标情况详见下表。

3 主要绿色建筑技术

3.1 节地与室外环境

主要采用合理选址、具备良好室外环境（声、光、热）、科学布局景观绿化等技术措施。

1) 合理选址。综合体位于上海市青浦区徐泾镇东北部，属于土壤氡浓度低背景区（ $\leq 5000\text{Bq/m}^3$ ），低于规范^[2]规定的 20000Bq/m^3 。经检测，环境电场强度均值为 0.25V/m 、工频磁感应强度均值为 0.0012mT ，符合限值^[3]规定，不会对敏感目标造成明显电磁辐射影响。

2) 室外环境。幕墙玻璃采用低辐射镀膜中空玻璃，结合外挑屋顶降低反射光影响。各边界声环境现状昼夜间噪声检测值均能满足规范^[4] 2类和4a标准的要求。经实地噪音、幕墙光环境检测，结合CFD风环境模拟，综合体周边声、光、热环境良好。

3) 科学布局景观绿化。采用复层绿化种植方式，灌木、乔木、草结合构成多层次植物群落。在 4.2H 外墙布局 6000m^2 垂直绿化，用于改善景观环境。综合体绿地面积 8.56m^2 ，综合绿化率为10%。

3.2 节能与能源利用

主要采用分布式能源站、智能照明与电气设备、可再生能源利用、节能电梯等技术。

1) 分布式能源站。综合体为国内首个全部使用“三联供”集中供能的场馆，目前世界上仅有少数发达国家场馆使用这项技术，如德国慕尼黑国际展览中心、德国马格德堡会展中心、日本幕张国际会展中心等。根据综合体各业

态用能需求，供冷系统采用“天然气冷热电联供系统余热制冷+水蓄冷+直燃型溴机制冷+调峰电制冷”的复合能源模式，供热系统则采用“天然气冷热电联供系统余热制热+调峰直燃型溴机制热+生活热水锅炉”的组合模式。总计配备6台燃气机组（总装机容量 26.4MW ）、2只钢制蓄冷水罐（总体积 3万m^3 ），年节约标准煤 1.6万吨 ，年减少二氧化碳排放量约 4万吨 。

2) 智能照明系统。综合体为世界上第一个实现LED照明全覆盖的场馆，共使用12万套LED照明灯具。场馆最高达到了34米，是世界上最高的展厅。用280瓦LED灯具替换400瓦的金卤灯后，照度达到 $350\sim 450\text{流明}$ ，LED功能照明在世界上第一次突破了“高度”和“照度”在实际应用中的限制，而用电仅是原来金卤灯的四分之三。仅高大展厅一项，经测算，年节约用电约646万度，年节约标准煤约2580吨，年减少二氧化碳排放量约6430吨，年减少二氧化硫排放量约194吨。综合体还配备了照明远程控制系统，可以对不同区域照明实现单独灯具、分回路、分时段的控制，进一步提高了LED照明的能效。

3) 可再生能源利用。A0、B0、C0办公楼屋面均设置有总装机容量为 2.168MW 的太阳能光伏系统，全年发电量可达240万千瓦时，占建筑总用电量的3.55%。D0酒店屋面设置有太阳能光热系统，辅助泳池加热。

4) 节能电梯。设置50台超级电容电梯，在重负载向下、轻负载向上及减速时曳引电机所产生的电能，通过双向DC/DC储存于超级电容器组中，在下一工作循环优先使用^[4]。年节约约37.5万度，在模拟工况下综合节电率为25%，最高可达33%以上。超级电容节能电梯节能效果显著，为上海电梯节能提供了一种新的技术思路。

5) 高效能设备和系统。能源站余热利用设备制冷出力不低于60%，空调机组、新风机组热回收器的全热回收效率（ η ）不低于60%，空调水系统采用区域二管制、变流量、复式泵、闭式、同程（顺流式）系统，系统均采

用高效水泵、空调箱、风机等节能设备。通过对综合体实际系统和参照系统进行DeST模拟计算，对比按照现行国家和行业有关建筑节能设计标准规定的参照系统^[5]的能耗，综合体暖通空调系统全年计算能耗降低幅度达31.1%。

表2：实际系统与参照系统年空调能耗统计表

分项	实际系统 能耗 (MWh)	参照系统 能耗 (MWh)	能耗降 低幅度 (%)
冷热源能耗	37878.7	54035.5	29.9%
冷热水泵能耗	3054.7	5426	43.7%
组合式空调机组能耗	13047.8	19394.1	32.7%
新风机组能耗	943.6	1462.9	35.5%
风机盘管能耗	1211.6	1380.2	12.2%
多联机能耗	610.7	691.4	11.7%
分体式空调	90.9	103.3	12.0%
总体	56838	82493.4	31.1%

3.3 节水与水资源利用

主要采用节水器具、非传统水源利用等节水措施。

1) 节水器具。所有卫生洁具及配件符合《节水型生活用水器具》J164-2002要求，用水效率等级

不低于1级。采用零泄漏的管材、阀门和附件，避免管网的泄露。外道路、停车场地面冲洗采用节水型高压水枪。

表3：主要用水器具参数

用水器具名称	节水器具 参数及特点	节水器具 比例	用水效率 等级
水嘴	0.03 L/s、 0.055 L/s	100%	一级
大便器冲洗阀	4L	100%	一级
小便斗	2L、0.7L	100%	一级
坐便器	平均值3.5L、2.9L	100%	一级
淋浴器	0.08 L/s	100%	一级

2) 非传统水源利用。收集B、D展厅大型屋面虹吸排放雨水，经弃流、沉淀、过滤、消毒处理后用于园区绿化浇灌、广场道路冲洗、地下车库冲洗等^[6]。在办公楼B0和酒店D0外侧绿地下方分别设置一座雨水收集池，水池总有效容积约1400m³，处理能力分别为25m³/h和75m³/h。回用雨水占系统用水量的96.34%，占综合体总用水量的6.15%。

表4：2019年非传统水源用水量实际记录表

功能	水量
	2019年水量 (m ³)
车库冲洗总表	13176
绿化灌溉总表	27276
雨水回用出水总表	40450
雨水池补水表	1480
雨水实际用水量	38972
非传统水源用水量占总用水量比例为96.34%	
雨水占总用水量比例为6.15%	

3.4 节材与材料资源利用

主要采用结构优化、高强建筑结构材料使用、可再循环材料利用等措施。

1) 结构优化。结构体系方面，采用预应力混凝土梁楼盖方案，结构自重约降低10%。结构构件方面，转换区采用轻骨料混凝土，且钢材用量集中，减小10%的竖向荷载可直接减少转换区用钢量约2000t，如果再考虑楼板钢筋和组合楼板用钢量的减小，其经济效益更加明显。

2) 高强建筑结构材料使用。混凝土结构或混合结构中400MPa级及以上受力普通钢筋用量为223230.30吨，受力普通钢筋总用量为257463.99吨，400MPa级及以上受力普通钢筋用量的比例为86.70%。

3) 可再循环材料利用。可再循环材料使用重量为426688.69t，所有建筑材料总重量为4262493.60t，可再利

用材料和可再循环材料使用重量占有所有建筑材料总重量的比例为10.01%。

3.5 室内环境

主要采用专项声学设计、可调节遮阳、室内空气检测等措施。

1) 专项声学设计。根据不同用房的使用功能、建筑体量等因素,确定合理的室内声学音质指标。采取放置吸声材料、空间吸声体,选用低噪声型设备,主要设备机房均设置于地下并采取相应隔声降噪措施等室内声学技术措施,保证综合体用房达到合适的混响时间及其频率特性指标。

2) 可调节遮阳。采用固定外遮阳+可调节内遮阳作为可控遮阳措施。外立面设置竖向固定遮阳板,可有效阻挡太阳辐射,展厅、部分走廊通道顶层、报告厅和办公室等主要功能房间内设置遮阳帘或窗帘,可有效防止太阳眩光。

3) 室内热湿环境设计。展厅等大空间采用全空气系统,有组织回风,可调节送风口,气流组织通过优化设计确保室内热湿环境参数满足设计要求。检测结果表明,A0办公楼一层展厅、三层会议厅、A1展厅3号馆和F1展厅在夏季空调期间平均温度为25.06℃、25.11℃、25.03℃、25.06℃,在冬季空调期间平均温度为22.8℃、23.1℃、23.0℃、22.86℃,满足热舒适的需求。

4) 室内空气监测。主要功能区设置有空气监测系统,可实时监测综合体空气参数,包括温度、湿度、甲醛、二氧化碳、一氧化碳、PM2.5、噪声,运营过程中可根据空气实时参数对空调设备、外门外窗等设备设施,人流量等作出调节,监测突发卫生事故的发生。设置CO2、CO的浓度监测系统,并与通风系统联动。卫生间均装设了ENA嵌入式净化器,实现杀菌、防霉、除异味、烟味等功能。

3.6 其他创新应用技术

实施设计、施工、运营全生命周期的技术应用创新。

1) 设计阶段。首次在设计、施工阶段大范围应用BIM技

术,直接建模出图、深化设计,有效发现人眼难以发现的设计问题和节点碰撞^[7]。BIM技术应用使得深化设计周期缩短3个月,消除碰撞上千处。

2) 施工阶段。充分利用结构基层为施工提供运输和材料堆放场地,减少临时道路及场地设置,减少钢筋用量800吨、混凝土用量7000立方米,节约投资700万元。钢结构与机电安装综合吊装,有效避免机械设备二次使用^[8]。

3) 运营阶段。引入智慧场馆综合数字平台,整合楼宇自控、能耗监测、电力监测、视频监控、一键导航、客流统计、空气监测、智慧停车、智慧充电桩等十余个子系统,实现“数据可控化、业务闭环化”的运营目标。目前单日组织疏导人流可达10万人次,可24小时监测设备2万余台等,仅设备保障人员数量就可减少约10%。

4 运营实效

4.1 运营能耗

对综合体在运营期能源利用状况进行定量分析,对能源利用效率进行客观评价。2023年综合体总能耗为3.3万吨标准煤,除展厅无可参照规范外,其余功能区单位面积能耗均优于规范先进值。

表5: 各功能区单位面积能耗情况

功能分区	实际值 (kgce/m ²)	先进值 (kgce/m ²)	参考规范	结论
办公	27.18	33~37	《综合建筑合理用能指南》 (DB31/T 795-2014)	优于
商业	39.99	109~132	《大型商业建筑合理用能指南》 (DB31/T552-2017)	优于
酒店	67	55~77	《星级饭店建筑合理用能指南》 (DB31/T 551-2011)	优于
展厅	46.81	-	-	-

4.2 二氧化碳减排量

对热电冷三联供能源站开展后评估,根据测算,能源站能源消耗量为17470吨标准煤/年、二氧化碳排放量为28691吨/年,与常规分供系统(能源消耗量26393吨标准煤/年、

二氧化碳排放量69444吨标准煤/年)相比,节能量为8923吨标准煤/年,节能率为33.8%;氧化碳减排量为40753吨,二氧化碳减排率为58.7%。

5 结语

作为中国最大的绿色建筑运行三星级展馆类综合单体,成功应用多项世界首创技术,对推动中国绿色建筑领域的行业发展和进步有一定积极意义。综合体于2020年获得全国绿色建筑三星级认证,认证面积达141.39万平方米,为上海市的绿色低碳事业作出巨大贡献。本文通过对各项绿色建筑技术的应用及运行节能效果分析,及对综合体实际运营过程总能耗、单位面积能耗指标、二氧化碳排放量等关键数据进行评估,可初步认定文中绿色建筑技术在超大规模综合体中具有节能实效,可推广复制。

参考文献:

- [1] 绿色建筑评价标准: GB/T50378-2006 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [2] 民用建筑工程室内环境污染控制规范: GB50325-2020 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- [3] 电磁环境控制限值: GB8702-2014 [S]. 北京: 中国建

筑工业出版社, 2014.

- [4] 声环境质量标准: GB3096-2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

- [5] 牟耀荣, 石荣亮, 黄冀, 潘晓光. 超级电容储能装置在电梯节能中的应用[J]. 中国电梯, 2023, 34 (03): 13-16.

- [6] 公共建筑节能设计标准: GB 50189-2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

- [7] 霍治澎, 吴小强. 下沉式绿地和雨水回收中水利用相结合绿色建筑技术在延安地区的具体应用[J]. 建筑节能, 2017, 45 (12): 70-72.

- [8] 钱钧, 计晨渝. 建筑工程管理中BIM技术的应用研究[J]. 中国建设信息化, 2022 (22): 62-63.

- [9] 霍进珂, 邱凯, 张满江红, 艾鹏飞, 刘洋, 何高塬. 大型管道吊装运输技术在综合管廊中的应用[J]. 建筑技术开发, 2022, 49 (13) : 72-74.

作者简介:

齐亚腾(1990—), 女, 汉族, 中级工程师, 硕士研究生, 长期从事建筑工程工作。