

[近零能耗建筑]

近零能耗建筑的设计及运营实践

文/徐惠妍
ABB（中国）有限公司

提炼GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》有关能效指标的要求，概况全国主要城市和地区对推动近零能耗、超低能耗建筑的政策支持。进而，以一个工程实例阐述了近零能耗建筑的设计方案，并结合该工程实例的运营实践，对近零能耗建筑运营中需要关注的要点进行了分析总结。

近年来，我国不断提升建筑室内环境品质和建筑质量，降低建筑用能需求，提高能源利用效率，推动可再生能源在建筑中的应用。2019年，住建部发布GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》，并于2019年9月1日起正式实施。随后，全国各地纷纷出台推动近零能耗建筑、超低能耗建筑发展的相关政策。

近零能耗建筑的技术标准与各地的推广政策

1. 近零能耗建筑技术标准

GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》^[1]是国际上首次通过国家标准形式对零能耗建筑相关定义进行明确规定。该标准规定的建筑能耗水平较国家标准GB 50189—2015《公共建筑节能设计标准》和行业标准JGJ 26—2010、JGJ 134—2016、和JGJ 75—2012降低60%至75%以上。

近零能耗建筑，是指适应气候特征和场地条件，通过被动式建筑设计大幅度降低建筑供暖、空调、照明需求，通过主动技术措施大幅度提高能源设备与系统效率，充分利用可再生能源，以最小的能源消耗提供舒适室内环境。近零能耗公共建筑能效指标详见表1。

超低能耗建筑是近零能耗建筑的初级表现形式，其室内环境参数与近零能耗建筑相同，能效指标略低于近零能耗建筑。其中，建筑综合节能率

≥50%；在严寒地区和寒冷地区，建筑本体节能率≥25%。

表1 近零能耗公共建筑能效指标

建筑综合节能率		≥60%				
建筑本体性能指标	建筑本体节能率	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
		≥30%		≥20%		
	建筑气密性 (换气次数N50)	≤1.0				
可再生能源利用率		≥10%				

注：本表也适用于非住宅类居住建筑。

2. 全国各地对近零能耗建筑和超低能耗建筑的推广政策

围绕落实我国2030年前碳达峰与2060年前碳中和目标，全国各地对“十四五”期间实现绿色建筑高质量发展纷纷设立了具体目标和资金奖励政策，见表2。

近零能耗建筑的设计方案和运营实践分析

1. 项目概况

本工程项目位于夏热冬暖地区，是既有高层公共建筑，以办公为主，总建筑面积约为2万m²，地上建筑面积约1.7万m²，楼高约20层。

项目原有一台变压器额定容量800 kV·A，用电设备额定功率1 899 kW。其中，消防设备257 kW，包括消防泵房、加压送风机、排烟送风机、消防

表2 近零能耗/超低能耗建筑推广政策

地区	城市	“十四五”建筑绿色发展目标	既有建筑节能改造面积 ^{[2-3],[6-8]} /万m ²	超低能耗、近零能耗建筑面积 ^{[2-3],[6-8]} /万m ²	超低能耗建筑资金奖励 ^[9-12] (元/m ²)	超低能耗建筑单个项目最高奖励 ^[9-12] /万元
全国		到2025年,城镇新建建筑全面建成绿色建筑,建筑能源利用效率稳步提升,建筑用能结构逐步优化,建筑能耗和碳排放增长趋势得到有效控制,基本形成绿色、低碳、循环的建设发展方式,为城乡建设领域2030年前碳达峰奠定坚实基础 ^[2]	35 000	5 000		
严寒地区	北京	实现民用建筑能耗强度及碳排放强度双降。进一步强化科技创新驱动、优化调整能源结构、完善绿色建造体系、提升建筑品质、推进既有建筑能效提升、创新治理模式 ^[3]	3 000	500	200	600
夏热冬冷地区	上海	截至2022年底,上海累计落实超低能耗建筑项目127个,发展规模位居全国第一 ^[4] ;建立较为完善的推进我市超低能耗建筑的发展体系和技术路线,实现新增超低能耗建筑单位建筑面积年能耗和碳排放显著下降 ^[5]	3 000	800	300	600
夏热冬暖地区	广东省(广州市、深圳市)	以建筑节能与绿色建筑高质量发展推动城乡建设更高质量、人居环境更加优良、人民生活更有品质、温室气体更少排放,到2025年,建筑能源利用效率稳步提升,建筑能耗和碳排放增长趋势得到有效控制,绿色建筑全面建设,以装配式建筑为代表的新型建筑工业化加快发展,装配式建筑标准化水平和建造质量进一步提高,绿色建材应用形成长效机制;到2025年,城镇新建居住建筑能效水平提升30%,城镇新建公共建筑能效水平提升20% ^[6-7]	3 000	300	50,80,100,150	200,500

控制室和事故照明等,按一级负荷要求供电;生活泵、电梯等45 kW,按二级负荷要求供电;其余负荷属于三级负荷,包括空调冷冻机、冷水机组等642 kW,室内外照明527 kW,以及栋楼层的插座动力负荷428 kW。

本项目存在设备老旧、空调系统濒临报废、电气设备能耗高、变压器容量不足及能源管理系统落后等问题,亟需进行改造。

2. 近零能耗建筑改造设计方案

为落实绿色建筑发展政策、节约建筑能耗和提高能效水平,本工程项目设立近零能耗和近零碳建筑的建设改造目标。

(1) 近零能耗建筑改造技术措施

根据GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》,本项目采取了一些被动式和主动式技术措施,见表3。

表3 近零能耗建筑改造技术措施汇总

序号	分类	技术措施	做法
1	被动式技术措施	天然采光	外窗玻璃可见光透射比 ≥ 0.4 ,保障充足天然采光
2		自然通风	外窗设置开启面积较充分的上悬可开启扇,利于室内自然通风
3		屋顶热工性能提升	增设125 mm厚挤塑苯板,屋顶传热系统 $K \leq 0.33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
4		保温隔热的外窗系统	外窗整体更换为双银Low-E6+12A+6中空玻璃,窗框采用断桥窗框,传热系数 $K \leq 2.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,SHGC ≤ 0.35
5		保温隔热的幕墙系统	幕墙局部更换为光伏发电玻璃,窗框采用断桥窗框,传热系数 $K \leq 2.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,SHGC ≤ 0.26
6		水平外遮阳设计	设置遮阳金属穿孔板,外挑300 mm,后60 mm,与窗同宽
7		外墙涂料更新	采用纳米涂料翻新外墙,外表面太阳辐射吸收系数降低为0.5,外墙平均传热系统K约为1.5 W/(m ² K)
8	主动式技术措施	高能效多联机空调	改造成1级能效的变频多联机空调,APF ≥ 4.0 ,IPLV ≥ 8.0
9		节能灯具	室内照明更换成节能的LED灯具,优于现有节能标准
10		智慧能源管理系统	设置智慧能源管理系统,监测用电设备能耗,形成源(光伏)-网(电网)-荷(负荷)-储(储能)一体化调控模式,优化用电曲线
11		高效机电设备	因原有800 kV·A变压器容量不足,加上用电负荷新增759 kW,故更换成两台二级能效的SCB13-1 000 kV·A干式变压器
12		储能小屋	配置100 kW/200 kWh的储能小屋,平滑光伏波动性,源荷平衡吸收光伏余电,削峰填谷减少购电成本
13		充电桩	新增智能充电桩,有序充电管理
14		可再生能源利用	建筑光伏一体化BIPV,采用光伏瓦和透光率为0%、20%、40%的发电玻璃组件,敷设于屋顶、幕墙等约4 500 m ² ,首年发电量约26万kW·h

(2) 设计建筑能耗计算

根据GB/T 51350—2019《近零能耗建筑技术标准》附录A能效指标计算方法，对项目基准建筑及设计建筑进行全年能耗模拟。主要用电设备类别的能耗对比情况如图1所示。

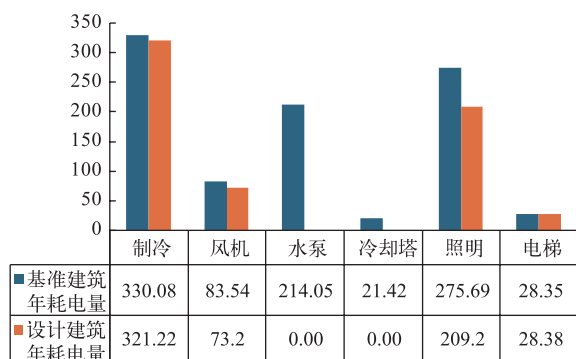


图1 主要用电设备类别的基准建筑年耗电量 and 设计建筑年耗电量对比

注：1，风机包含风机盘管、新风机等设备。
2，因改造后采用多联机空调系统，故设计建筑无水泵、冷却塔等能耗。

经汇总计算，可得出本项目基准建筑和设计建筑的年本体能耗以及年综合能耗，如图2和图3所示。可见，本项目建筑本体节能率达34%、建筑综合节能率达61%，满足表1夏热冬暖地区近零能耗公共建筑能效指标要求（建筑本体节能率 $\geq 20\%$ 、建筑综合节能率 $\geq 60\%$ ）。

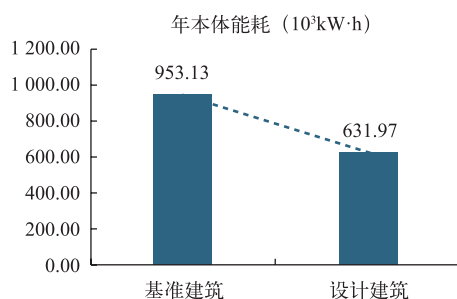


图2 基准建筑和设计建筑的年本体能耗对比

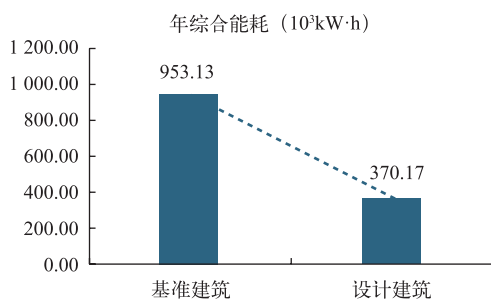


图3 基准建筑和设计建筑的年综合能耗对比

改造后的项目，年节约建筑能耗 $582.96 \times 10^3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，按照广东省电力平均 CO_2 排放因子 $0.4715 \text{ kg CO}_2/\text{kW} \cdot \text{h}$ ，年减少碳排放 274.87 t 。

3. 近零能耗建筑运营实际数据及其分析

本工程项目应用了表3列出的技术措施进行绿色低碳化改造，之后投入正常运行约一年，本项目运营的节能增效效果明显。结合智慧能源管理系统的实测数据，主要用电设备类别的能耗情况如图4所示。项目运营实际本体年耗电量为 $730.39 \times 10^3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，与基准建筑年本体能耗 $953.13 \times 10^3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 比较可得，建筑本体节能率为23%；运营实际光伏年发电量为 $279.85 \times 10^3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，则运营实际年综合能耗为 $450.54 \times 10^3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，建筑综合节能率为53%。

可见，运营实际年耗电量与设计建筑年耗电量相比，还是有差距，如图5所示。尽管在应用了表3中14项改造技术措施后，主要用电设备类别（包括制冷系统、风机系统和电梯系统）的运营实际能耗比设计建筑的能耗低，但是照明系统的运营实际能耗比设计能耗高出58%。

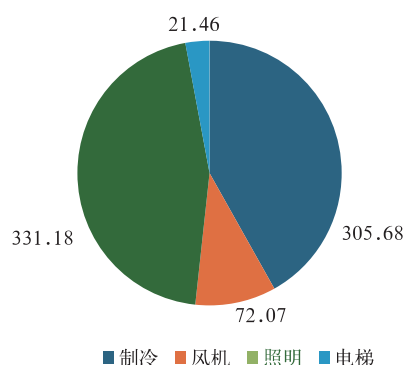


图4 主要用电设备类别的运营实际年耗电量

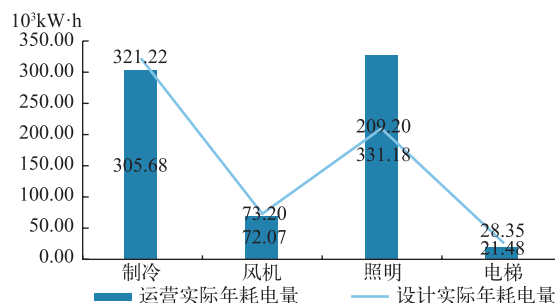


图5 主要用电设备类别的运营实际年耗电量 and 设计建筑年耗电量对比

应用智慧能源管理系统，进一步分析运行实际的照明系统耗电量，发现室内照明能耗比设计能

耗高，甚至出现在气温较低的月份（11月～次年3月）比空调制冷系统能耗高的情况；从4月开始，室外照明能耗激增，是环比的3倍。

针对照明系统能耗高的问题，可以采取如下措施：①公共区域，加装光感应探头以明暗来实现照明控制，同时加装红外探头实现人来灯亮人走灯灭；②办公区域（包括会议室），设置几种场景模式来控制照明回路；③停车场，加装光感应探头以明暗来实现照明控制；④室外照明，设置能耗上限阈值，超出预警/告警；⑤照明控制系统接入智慧能源管理系统，以便通过智慧能源管理系统自动分解能源优化目标，统一管控各照明区域的场景控制模式。

结束语

建筑领域是我国能源消耗和碳排放的主要领域之一。2024年3月，国家发展改革委、住房城乡建设部，要求加快推动建筑领域节能降碳工作，展望到2027年，超低能耗建筑实现规模化发展，既有建筑节能改造进一步推进，建筑用能结构更加优化，建成一批绿色低碳高品质建筑，建筑领域节能降碳取得显著成效。

结合工程项目的实践，在近零碳建筑、超低能耗建筑的设计和运营中需要关注如下要点：①根据不同区域的气候特征和建筑的场地条件，应用适合的被动式和主动式技术；②充分利用可再生能源，尤其是建筑光伏一体化技术；③对于主要用电设备，安装颗粒度足够细（涵盖三级）的表计，用于运营能耗监测；④建筑正式投入使用的第一个年度到第三个年度，需关注运营实测数据；不断对比、及时发现和设计建筑能耗之间的偏差，如有偏差，应进行系统调适；⑤建设智慧能源管理系统，除了监测和比对设计建筑能耗外，更重要的是形成源（光伏）-网（电网）-荷（负荷）-储（储能）一体化调控模式，从顶层能源管理角度，对建筑微电网进行能源调优，以达到甚至优于设计目标。EA

（收稿日期：2024-08-12）

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T

51350-2019近零能耗建筑技术标准[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2019.

[2] 住房和城乡建设部. 关于印发“十四五”建筑节能与绿色建筑发展计划的通知[EB/OL]. (2022-03-01)[2024-07-10]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/12/content_5678698.htm.

[3] 北京市碳达峰碳中和工作领导小组办公室. 关于印发北京市民用建筑节能降碳工作方案暨“十四五”时期民用建筑绿色发展规划的通知[EB/OL]. (2022-12-16)[2024-07-10]. http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/202302/t20230213_2915539.html.

[4] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 关于发布《上海绿色建筑发展报告（2022）》的通知. [EB/OL]. (2023-6-20) [2024-07-10]. <https://www.shanghai.gov.cn/gwk/search/content/1dee3f6e725e47b38f82d3735371bcad>.

[5] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 《上海市超低能耗建筑行动计划（2023-2025）》. [EB/OL]. (2023-10-8)[2024-07-10]. <http://zjw.sh.gov.cn/gzdt/20231214/b7d50684b3404ad78f03d53204a638f1.html>.

[6] 广东省住房和城乡建设厅. 关于印发广东省建筑节能与绿色建筑发展“十四五”规划的通知. [EB/OL]. (2023-3-29) [2024-07-10]. http://zfcxjst.gd.gov.cn/gkmlpt/content/3/3905/post_3905996.html#1422.

[7] 广东省住房和城乡建设厅. 5部门印发《广东省建筑节能增效行动计划（2023-2025）》到2025年新建公共建筑和居住建筑能效水平分别提升20%和30%. [EB/OL]. (2023-4-24)[2024-07-10]. http://zfcxjst.gd.gov.cn/gkmlpt/content/4/4170/post_4170422.html#1427.

[8] 上海市人民政府办公厅. 《上海市资源节约和循环经济发展“十四五”规划》. [EB/OL]. (2022-4-7)[2024-07-10]. <http://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20220509/a00971c96ede444ea-de8000cb9c12766.html>.