

基于碳达峰、碳中和背景下的低碳园区建设研究 ——以黄山市某低碳办公园区为例

何官送

安徽省建筑设计研究总院股份有限公司

摘要：习近平总书记在党的二十大报告中明确了到2035年我国发展的总体目标，其中之一是“广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现”。在习近平生态文明思想指引下，我国将应对气候变化摆在治国理政更加突出的位置，实施积极应对气候变化的国家战略，推动经济社会发展全面绿色低碳转型。建筑行业长期以来是我国碳排放大户，《中国建筑能耗研究报告（2020）》^[1]数据显示，2020年全国建筑全过程碳排放总量为50.8亿吨，占全国碳排放比重的50.8%。建筑领域的减碳已成为我国实现碳达峰、碳中和目标的关键一环。本文案例园区基于自身条件设置多项低碳技术。实现园区年节约用电万kwh，节约燃气Nm³，减排CO₂616.82吨的减碳效果，对建筑园区低碳事业发展具有重要示范意义。

关键词：低碳园区；光储直柔；高效制冷机房；太阳能PVT热电联产

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.120

一、项目概况

本文案例位于安徽省黄山市，办公园区总建筑面积61978.9m²，其中地上建筑面积40534.5m²，主要功能为办公、酒店、商业及公寓。依据《民用建筑能耗标准》GB51161标准及项目各功能区域面积，计算项目年运行能耗为375.80万kwh，折合CO₂排放量约2643.83吨。

表1 项目主要功能及年能耗测算表

功能区	建筑面积 (m ²)	引导值指标 (kwh/ (m ² ·a))	能耗量 (10 ⁴ kwh)
办公	26784.5	70	187.5
酒店、公寓	6968.9	135	94.1
商业	6781.1	120	81.4
地库	21444.4	6	12.9
合计	61978.9	-	375.8

二、技术方案

项目以低碳办公园区为建设目标，应用技术包括：太阳能光伏发电、风光互补路灯、光储直柔系统、光伏直驱空调、高效制冷机房^[2]、太阳能PVT热电联产^[3]、能源管理平台等，项目低碳技术体系如图1所示。

（一）太阳能光伏系统应用研究

依据李丹丹等人研究成果^[4]，黄山市年累计平均辐射量为3974.2MJ/ (m²·a)，属于太阳能资源可利用区。本项目于塔楼屋面及地面车棚增设光伏系统，光伏总装机容量为251.1kWp，系统采用并网运行方式，自发自用，余电上网。年发电量参照安徽省现行地方标准

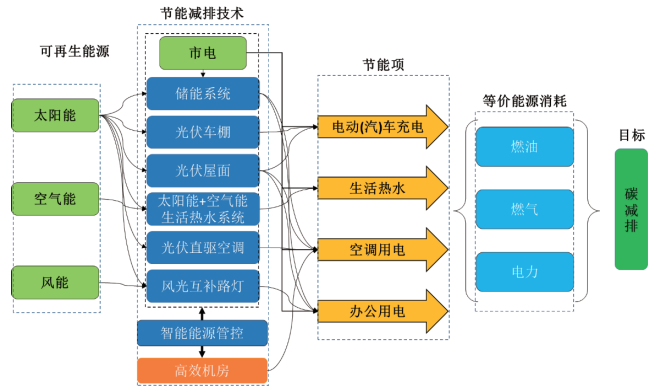


图1 总体技术路线

《太阳能光伏与建筑一体化技术导则》DB34/5006进行估算如下：

$$P_1 = (W \times I \times a \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5) / I_0$$

式中：P₁—光伏年发电量 (kWh)；

W—装机总量 (kWp)；

I—水平面年总辐射量 (kWh/m²)；

a—倾角修正系数 (取1.05)；

I₀—标准太阳辐射强度 (取1kWh/m²)；

η₁—光伏阵列效率 (取95%)；

η₂—温度及衰减修正系数 (取94%)；

η₃—污秽影响修正系数 (取92%)；

η₄—逆变器效率 (取96%)；

η₅—并网损耗系数 (一般在93%~96%之间，取95%)；

计算得项目光伏系统发电量为26.4万kwh。

（二）风光互补路灯应用研究

太阳能风光互补发电系统是一种风能和光能转化为电能的装置^[5]。案例园区内设置风光互补路灯6盏，路灯光源为60w的LED光源，配备120Wp太阳能光伏板，400W风力发电机以及200Ah的蓄电池，在满足自身用电同时，可为相邻路灯供电。风光互补路灯年均发电量计算如下：

（1）光伏发电量：计算方式同屋面光伏，计算得单台风光互补路灯年光伏板，年可发电量为126.21kwh；

（2）风力发电机发电量：根据中国气象局发布的风能资源评估结果，黄山市整体属于风资源可利用区，每年平均风速大于3.0m/s的有效时间约为2900小时，风力发电机叶轮为1.6m，发电机效率40%，风力发电机发电量估算如下。

$$P_2 = 0.5 \times \rho \times A \times V^3 \times \varphi \times h / 1000$$

式中： P_2 —风力发电机年发电量（kWh）；
 ρ —空气密度（ kg/m^3 ），空气取 $1.29\text{kg}/\text{m}^3$ ；
 A —风轮面积（ m^2 ）；
 V —风速（ m/s ）；
 φ —发电机效率（%）；
 h —一年发电时间（h）；
 计算单台风光互补路灯年发电量为 $40.59+126.21=166.81\text{kwh}$ 。

（三）光储直柔系统应用研究

本项目设置200kwh储能装置结合光伏系统建立“光储直柔”系统^[6]，蓄电池按照“2充2放”设计，可利用光伏余电及夜间低谷电充电，光伏采用的直流用能系统可减少逆变损失约为7%。同时，项目可部分实现谷电峰用，可降低园区用电费用。

项目光储直柔系统年节约用电量计算如下：

$$P_3 = P \times n \times \alpha \times \gamma \times T$$

式中： P_3 —直流系统年节电量（kWh）；
 P —储能容量，（kWh）；
 n —储能充放电次数（次），本文光伏充电1次，谷电充电1次；

α —冲放电深度（%），本文取90%；
 γ —逆变损失（%），本文取7%；
 T —一年运行天数（day），本文取300天；

计算储能系统年节电量为3780kwh，节约运行电费0.38万元，谷电峰用电量为5.4万kwh，依据安徽省峰谷电价差值0.6051元/kwh，计算得储能系统可减少用电费用合计3.65万元。

（四）光伏直驱空调系统应用研究

本项目于一层展示中心区域设置光伏多联机系统。系统采用光伏车棚部分组件，光伏发电直供光伏直驱空调，其减排量合并计入光伏系统减排量计算。

（五）太阳能PVT热电联产系统

太阳能PVT热电联产系统将光伏板和集热器结合起来，集热器通过媒介将产生的热量及时带走，控制了太阳电池的工作温度，提高太阳能的综合利用效率。同时，光伏发电并网可用于驱动空气源热泵系统持续供应生活热水。

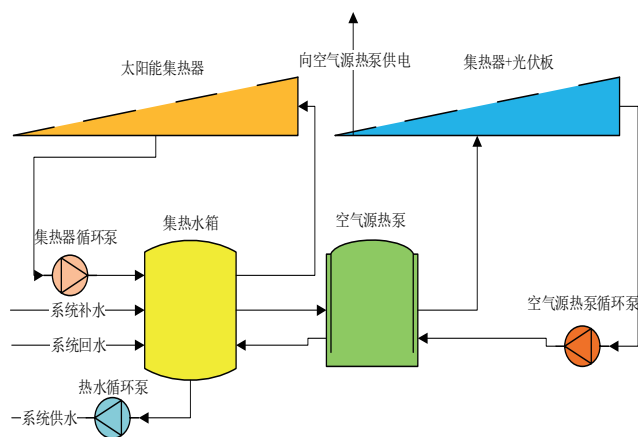


图2 太阳能PVT双耦合生活热水系统图

案例园区PVT系统由5P空气能热水器、200 m^2 光伏板、100 m^2 集热器组成。项目日热水用水量为5t/天，计算生活热水温度55 $^{\circ}\text{C}$ ，计算冷水温度5 $^{\circ}\text{C}$ 。依据《民用建筑太阳能热水系统应用技术规范》GB50364^[7]，太阳集热器供热量计算如下：

$$Q = J \eta_{cd} (1 - \eta_L) \times A_c$$

式中： Q —太阳能集热器总供热量（MJ）；
 A_c —直接系统集热器总面积（ m^2 ）；
 J_T —黄山市年累计平均辐射量为3974.2MJ/（ $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ）；

η_{cd} —集热器年平均集热效率，本项目取50%；
 η_L —管路及贮热水箱热损失率，本项目取20%；
 项目等效太阳能集热器面积300 m^2 ，则可集热量为476904MJ，燃气热值为35.54MJ/ m^3 ，则项目设置的PVT生活热水系统可降低燃气使用量为13418.80立方米。

（六）高效制冷机房

（1）全年空调负荷模拟

采用空调负荷计算及分析软件计算本项目全年8760h空调负荷，计算结果如下图。

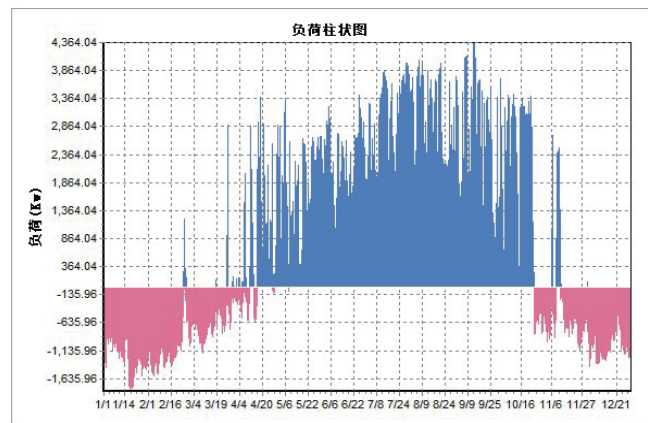


图3 全年逐时空空调负荷数据统计

空调制冷季按5月1日至11月31日考虑，全年最大冷负荷为4364kW，空调制冷季部分负荷频率分布统计见图4。

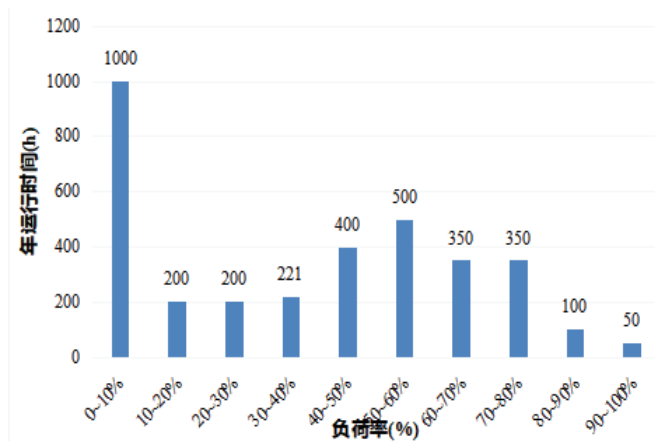


图4 空调制冷季部分负荷频率分布图

(2) 方案设计

园区的冷源系统采用高效主机房设计概念，具体措施包括：提高冷冻水温度、降低冷却供水温度、采用大温差供冷、水泵变频、冷却塔风机变频、控制设备及阀门管路阻力等多项措施，确保整个机房EER值达到5.0以上。

(3) 运行策略设计

结合部分负荷频率分布，每10%为一个部分负荷区间，拟定各变频直驱高效离心机组最低运行负荷不小于30%，输配系统及冷却塔风扇运行变频不低于额定频率的50%。

本经计算园区冷机全年运行总供冷量514.79万kWh，常规制冷机房EER为4.0，即项目水系统制冷年用电128.70万kwh，采用高效机房设计后，EER提升至5.0，计算得园区空调冷水系统年用电量可降低25.74万kwh。

(七) 其他措施

针对园区能源管控要求，设置智慧能碳管理系统，

在中控室设置1台上位机工作站，在能源中心设置4套综合控制柜及2套数据采集系统，对各部分子系统进行集中控制，分别为：水系统中央空调系统、多联机空调系统、照明动力系统、光伏供电系统以及水、天然气能耗数据采集系统等。现场设置多套就地控制柜，分别控制每套系统内设备及其附属设备的启停、调节、监控。集中能源管控系统节能范围难以准确测算，依据《国家工业节能技术应用指南与案例2020》(十三)空调节能优化管理控制系统相关条文，根据既定智能控制策略对空调机房各设备进行协调控制，预期可达到末端15~20%节能优化的目的。本项目考虑对于各能源系统集中管控，估算项目控制系统综合节能15%目标，项目基准期年用电量375.80万kwh，空调系统用电量约为整体用电40%，则本项目智慧能碳管理系统年可降低用电量22.55万kwh。

三、节能减排效果分析

黄山某低碳办公园区在主体工程已建设完成，本次采用低碳优化改造设计，合理开展可再生能源应用，设

表2 技术措施节能减排效果统计表

项目	年节能量 (10 ⁴ kwh)	天然气 (Nm ³)	年减排二氧化碳量 (t)	节能费用 (万元)	增量投资成本 (万元)	静态回收期 (年)
光伏系统	26.40	-	185.72	26.40	146.00	5.53
风光互补路灯	0.10	-	0.70	0.10	0.60	5.99
光储直柔系统	0.38	-	2.66	3.65	30.00	8.23
太阳能PVT热电联产系统	-	13418.80	29.31	5.60	47.00	8.40
高效制冷机房	25.74	-	181.08	25.74	90.00	3.50
智慧能碳管理系统	22.55	-	158.63	22.55	100.00	4.43
合计	75.17	13418.80	558.10	84.03	413.60	4.92

注：光伏空调系统投资成本及节能收益计入光伏系统计算；项目运行电价按照1.0元/kwh，燃气价格按照4.17元/kwh计算。

置多种低碳技术应用，最终实现了碳排放强度较原设计下降20%以上低碳目标，同时项目年可降低用电和燃气费用84.03万元，项目总体低碳化技术措施增量投资成本约413.60万元，静态回收期为4.92年。

四、结论

办公园区的低碳建设不仅仅依赖于多项高效低碳技术的叠加应用，更需要基于项目实际情况进行综合设计。本文以综合性商业办公园区低碳化建设为例，研究所采用低碳化改造方案。研究表明依托项目实际情况进行低碳优化设计，合理应用低碳技术，可在成本控制的前提下，大幅度降低项目运维成本，节约传统能源消耗，降低办公园区运营期碳排放量。在碳达峰、碳中和的背景下，推进低碳办公园区的建设是响应国家重大战略需求和推动建筑领域低碳可持续发展的重要技术手段。

参考文献

[1] 中国建筑能耗研究报告2020.建筑节能(中英

文), 2021.49(02): 第1-6页.

[2] 王峰, 高效制冷机房性能化设计研究. 绿色建筑, 2023.15(03): 第73-77页.

[3] 梁云, PVT热泵系统室外设计工况参数及经济性研究, 2021, 大连理工大学. 第127页.

[4] 李丹丹等, 安徽省太阳辐射能资源的时空分布特征与可利用潜力评估. 安徽农业大学学报, 2022.49(06): 第990-996页.

[5] 刘世建与贾昌昊, 风光互补路灯的工作时间及成本分析. 上海电力大学学报, 2021.37(04): 第391-394页.

[6] 吴羽柔等, 低碳背景下“光储直柔”关键技术研究现状与应用展望. 重庆建筑, 2023.22(05): 第29-31页.

[7] 中国建筑设计研究院等, 民用建筑太阳能热水系统应用技术规范, 2005, 国家质检总局.