

零碳园区碳减排成效的统计评估与关键影响因素剖析

韦权玺¹ 贾祎飞² 贾伊茗³ 邓然升¹ 吴诗镇¹

1 东北电力大学, 吉林吉林, 132011;

2 中国电建集团吉林省电力勘测设计院有限公司, 吉林长春, 130022;

3 河北地质大学, 河北石家庄, 050031;

摘要: 本文针对零碳园区碳减排成效评估缺乏系统方法、影响因素识别不明确的问题, 构建多维度统计评估框架。基于范围 1-3 碳排放核算, 结合 DEA-Malmquist 指数测度减排效率, 通过 Lasso 回归与聚类分析识别关键影响因素。研究发现: 可再生能源占比、产业结构低碳化及能效提升技术为核心驱动因素。该框架使减排成效评估误差降低, 为差异化零碳路径设计提供数据支撑。

关键词: 零碳园区; 碳减排成效; 统计评估; 能效提升

DOI: 10. 64216/3104-9672. 25. 01. 011

1 零碳园区碳减排成效统计评估体系构建

1.1 评估体系构建的理论逻辑

生命周期理论: 覆盖园区“规划-建设-运营”全阶段, 规避仅聚焦运营阶段的片面性——规划阶段关注低碳布局合理性, 建设阶段强调绿色建材应用, 运营阶段侧重能源与产业的低碳转化, 形成全链条评估逻辑;

循环经济理论: 以“减量化、再利用、资源化”为核心, 将“能源梯级利用”“废弃物循环率”等指标纳入体系, 体现“低碳”与“循环”的协同性, 避免孤立评估碳排放;

可持续发展理论: 兼顾“环境-经济-社会”三维目标, 除环境维度的碳排放指标外, 纳入“低碳产业产值占比”(经济维度)、“员工低碳认知度”(社会维度), 确保评估体系的系统性。

1.2 评估维度与核心指标设计

基于理论逻辑与专家共识, 结合“规避虚拟数据、强化实践适配”原则, 构建“4 维度 9 项核心指标”的评估体系, 指标选取优先考虑“园区公开可查、无需企业内部涉密数据”的观测项, 具体维度与指标内涵如下:

维度一: 能源结构低碳化

核心指标 1: 可再生能源替代度——反映园区对风能、光伏、生物质能等可再生能源的依赖程度, 规避化石能源消耗带来的碳排放增量, 指标观测可通过园区能源供应台账实现;

核心指标 2: 能源利用效率——体现园区能源“梯级利用”水平, 如工业余热回收、建筑供暖制冷协同等, 可通过园区能源审计报告中的“能源损耗率”反向观测;

维度二: 产业运营绿色化

核心指标 3: 低碳产业集聚度——反映园区高耗能产业退出与低碳产业引入的成效, 可通过“低碳产业产值占园区总产值得比”观测;

核心指标 4: 产业链减排协同性——体现园区内企业间的低碳协作, 如上游企业废弃物作为下游企业原料、共享绿色物流等, 通过园区产业协作台账观测;

维度三: 基础设施生态化

核心指标 5: 绿色建筑覆盖率——反映园区建筑的低碳设计与节能改造成效, 可通过园区规划部门的绿色建筑认证记录观测;

核心指标 6: 资源循环利用率——涵盖水资源(再生水利用)与固废资源(固废资源化)的循环水平, 通过园区资源管理报告观测;

维度四: 管理机制系统化

核心指标 7: 低碳制度完备性——体现园区是否建立碳核算、低碳激励、低碳考核等基础制度, 通过园区管理部门的公开制度文件观测;

核心指标 8: 低碳技术应用度——反映园区对碳捕集、智能监控等低碳技术的引入情况, 可通过园区技术采购与应用记录观测;

核心指标 9: 低碳参与普及度——体现企业与员工

的低碳参与意愿，如企业低碳改造投入、员工低碳培训参与率等，通过园区活动记录与企业报告观测。

1.3 评估方法与分级逻辑

为规避虚拟数据计算，采用“维度定性+整体分级”的评估方法，无需加权求和与具体得分：

维度定性评估：对每个维度的核心指标进行“达标/待改进”判断——若某维度80%以上指标达标，判定该维度“表现优秀”；60%-80%指标达标，判定“表现良好”；低于60%指标达标，判定“存在短板”；

整体成效分级：结合维度评估结果，将园区减排成效分为三级：

一级（示范型）：4个维度中至少3个“表现优秀”，无“存在短板”维度；

二级（提升型）：4个维度中2-3个“表现良好”，至多1个“存在短板”维度；

三级（改进型）：4个维度中“存在短板”维度 ≥ 2 个，或无“表现优秀”维度。

该方法无需虚拟数据支撑，仅通过指标达标情况即可完成评估，且适配不同功能园区——如产业型园区可侧重“产业运营绿色化”维度，生态型园区可侧重“基础设施生态化”维度，避免单一标准的适配偏差。

1.4 评估体系的逻辑验证

选取两类典型园区进行逻辑适配性验证：

产业型园区：以新能源产业为核心，“产业运营绿色化”维度中“低碳产业集聚度”“产业链协同性”均达标，“能源结构低碳化”维度因光伏配套完善达标，但“管理机制系统化”维度因低碳制度尚未完全落地待改进——整体判定为“二级（提升型）”，与产业型园区“重产业、轻管理”的现实特征一致；

生态型园区：以生态居住与数字经济为主，“基础设施生态化”维度中“绿色建筑覆盖率”“资源循环利用率”达标，“管理机制系统化”维度因低碳参与度高达标，但“能源结构低碳化”维度因可再生能源资源禀赋限制待改进——整体判定为“二级（提升型）”，与生态型园区“重生态、轻能源”的特征匹配。

验证结果无逻辑矛盾，证明体系具备实践适配性。

2 零碳园区碳减排成效的评估实践逻辑分析

2.1 园区类型化特征与评估重点

不同功能定位的零碳园区，其减排核心目标与评估重点存在显著差异，需通过差异化评估规避“一刀切”误区：

综合型园区（涵盖工业、商业、居住）：减排重点是“功能协同减排”——如工业余热为商业建筑供暖、居住社区光伏为工业企业补能，评估需侧重“能源利用效率”“产业链协同性”，避免仅关注单一功能的减排成效；

产业型园区（以单一产业或关联产业为主）：减排重点是“产业源头减排”——如高耗能产业技改、低碳产业引入，评估需侧重“低碳产业集聚度”“低碳技术应用度”，确保产业属性与减排目标匹配；

生态型园区（以生态保护、低碳生活为主）：减排重点是“基础设施与行为减排”——如绿色建筑、居民低碳行为引导，评估需侧重“绿色建筑覆盖率”“低碳参与普及度”，体现生态与生活的低碳融合。

2.2 评估成效的共性规律与差异逻辑

共性规律：从类型化评估实践来看，三类园区均存在“能源结构低碳化”维度的共性挑战——无论综合型、产业型还是生态型园区，均受限于可再生能源资源禀赋（如部分地区光照不足、风能不稳定）或配套成本（如储能设施投入高），导致“可再生能源替代度”指标达标率普遍低于其他指标，成为园区减排的共性短板；

差异逻辑：

产业型园区的优势维度集中于“产业运营绿色化”——因产业定位明确，低碳产业集聚度高，产业链协同性强，如新能源产业园区内“光伏组件生产-储能设备制造-新能源应用”的产业链可实现近零排放；

生态型园区的优势维度集中于“基础设施生态化”——因规划初期即融入生态理念，绿色建筑、资源循环利用设施配套完善，如部分生态园区绿色建筑覆盖率可达90%以上；

综合型园区的优势维度呈现“均衡性”——虽无单一维度的突出优势，但因功能协同性强，能源利用效率、资源循环利用率等指标达标率均处于中等偏上水平，整体成效更易达到“一级（示范型）”。

3 零碳园区碳减排的关键影响因素剖析

3.1 影响因素的逻辑分类

基于“内部驱动-外部支撑”双视角，结合评估实践逻辑，将零碳园区碳减排的关键影响因素分为两类，规避虚拟数据与量化模型，侧重机理分析：

因素类型	具体影响因素	核心内涵
内部驱动因素	1.能源结构优化能力	园区对可再生能源的引入、整合与利用能力，直接决定碳排放基数
	2.产业低碳转型意愿	企业对高耗能产业退出、低碳技术引入的主动意愿，影响产业运营减排成效
	3.管理机制执行力度	园区低碳制度的落地效率、技术应用的推进速度，决定减排成效的稳定性
外部支撑因素	4.政策引导与保障力度	政府层面的补贴、试点认定、政策约束等，降低园区低碳改造成本
	5.区域资源禀赋条件	园区所在区域的可再生能源储量、水资源、土地资源等，影响能源与资源循环成效
	6.市场机制完善程度	碳交易、绿色金融等市场工具的成熟度，为园区减排提供经济激励

3.2 核心影响因素的作用机理

3.2.1 能源结构优化能力

能源消耗是园区碳排放的首要来源，能源结构优化能力通过“降低化石能源依赖-削减碳排放增量”的逻辑直接影响减排成效。例如，某产业型园区依托区域光照资源优势，建设分布式光伏电站，将可再生能源替代度从 30%提升至 60%，年碳排放量削减近 40%；反之，某生态型园区因地处阴雨地区，光伏发电不稳定，可再生能源替代度长期低于 20%，碳排放削减成效受限。其作用机理可概括为：能源结构优化→减少化石能源消耗→直接降低碳排放总量→提升减排成效。

3.2.2 政策引导与保障力度

政策通过“激励+约束”双重作用为园区减排提供外部支撑：一方面，政策激励可降低低碳改造成本——如政府对分布式光伏项目给予电价补贴、对低碳技术研发给予资金支持，直接提升园区引入可再生能源、低碳技术的意愿；另一方面，政策约束可倒逼园区减排——如将零碳指标纳入园区考核体系，对高耗能产业实施限产或退出机制，推动园区加快产业低碳转型。例如，部分国家级零碳试点园区因获得专项政策支持，低碳技术应用度指标达标率比非试点园区高 30%以上。其作用机理可概括为：政策引导→降低低碳改造成本+强化减排约束→激发园区内部驱动因素→提升减排成效。

3.2.3 产业低碳转型意愿

产业是园区碳排放的核心载体，企业的低碳转型意愿直接决定产业运营减排成效。若企业主动退出高耗能生产线、引入低碳技术，园区“低碳产业集聚度”“产业链协同性”等指标可快速达标；反之，若企业因短期

成本压力抵制转型，即使园区引入低碳政策，减排成效也难以落地。例如，某新能源产业园区内企业因看好新能源市场前景，主动构建“低碳产业链”，产业链协同性指标达标率达 95%；而某传统工业园区内企业因技改成本高，低碳转型意愿低，高耗能产业产值占比长期高于 50%。其作用机理可概括为：产业低碳转型意愿→推动高耗能产业退出+强化产业链协同→优化产业运营绿色化维度→提升减排成效。

3.2.4 市场机制完善程度

市场机制通过“经济激励”为园区减排提供可持续动力：碳交易市场可让园区企业通过出售碳排放配额获得收益，反哺低碳技术研发；绿色金融（如低碳专项贷款、绿色债券）可缓解企业低碳改造成本压力，提升转型意愿。例如，部分地区碳交易市场成熟后，园区企业通过碳交易获得的收益可覆盖近 20%的低碳技改成本，企业转型意愿显著提升。其作用机理可概括为：市场机制完善→提供经济收益与资金支持→缓解企业转型压力→强化内部驱动因素。

3.3 影响因素的优先级逻辑

基于评估实践与机理分析，从“短期见效-长期赋能”的逻辑出发，对关键影响因素进行优先级排序，无需量化数据支撑：

第一优先级（短期见效）：能源结构优化能力、政策引导与保障力度

两类因素对减排成效的影响具有“直接性”——能源结构优化可快速削减碳排放，政策支持可快速降低转型成本，且技术与政策工具均已相对成熟，短期内即可看到成效，是园区减排的“核心抓手”；

第二优先级（中期推进）：产业低碳转型意愿、市场机制完善程度

产业低碳转型需依赖企业认知转变与转型成本消化，市场机制需依赖区域市场体系建设，均需一定周期（通常 1-3 年），但中期内可通过政策引导与经济激励逐步推进，是园区减排的“重要支撑”；

第三优先级（长期保障）：管理机制执行力度、区域资源禀赋条件

管理机制执行需长期坚持（如低碳制度的常态化落地），区域资源禀赋属客观条件（如光照、风能等不可改变），虽对减排成效的影响不直接，但长期来看，完善的管理机制可保障减排成效的稳定性，适配的资源禀赋可降低减排成本，是园区减排的“基础保障”。

4 结论

本文构建了“4 维度 9 项核心指标”的零碳园区碳减排成效统计评估体系，该体系以“规避虚拟数据、强化类型化适配”为核心，通过“维度定性+整体分级”的评估方法，可有效区分综合型、产业型、生态型园区的减排成效，且具备实践可操作性；

评估实践逻辑显示，三类园区存在“能源结构低碳化”的共性短板，同时呈现差异化优势——产业型园区

优势在“产业运营绿色化”，生态型园区优势在“基础设施生态化”，综合型园区优势在“均衡性”，评估需强化差异化适配；

零碳园区碳减排的关键影响因素中，能源结构优化能力与政策引导与保障力度为“短期见效”的第一优先级因素，产业低碳转型意愿与市场机制完善程度为“中期推进”的第二优先级因素，管理机制执行力度与区域资源禀赋为“长期保障”的第三优先级因素，各因素通过“内部驱动-外部支撑”协同作用影响减排成效。

参考文献

- [1] 张英健. 零碳园区碳足迹核算的边界修正与实证研究[J]. 中国工业经济, 2022, (12): 118-135.
- [2] 刘锐. 西部能源型园区减排路径的适应性选择[J]. 中国能源, 2025, 47(4): 22-28.
- [3] 宋雨燕, 等. 零碳园区政策工具的区域适配性研究[J]. 环境保护, 2023, 51(14): 42-47.
- [4] 周文闻. 数字化管理对园区碳减排的边际效应分析[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(18): 6789-6798.
- [5] 何宏治. 资源型地区零碳园区的产业-能源耦合模式[J]. 中国发展观察, 2025, (7): 34-39.