

零碳物流园区交通系统规划设计与数智化运营协同优化研究

姚颖 杨俊毅

浙江数智交院科技股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v9i2.5123

[摘要] 零碳转型是当前物流园区高质量发展的核心导向,交通系统作为园区碳排放的核心源头,普遍存在规划与运营脱节、能耗管控粗放、智能化适配不足等现实问题。本文以物流园区交通系统全生命周期管控为核心切入点,梳理园区交通碳排放的核心构成与分布特征,落地适配零碳目标的交通空间规划、设施配置与人车流线设计方案。依托数智技术,搭建规划设计与运营管控的闭环协同机制,配套构建碳效评价迭代体系,破解传统园区“先规划、后运营”的线性发展弊端,为物流园区交通环节深度脱碳提供可落地的技术路径。

[关键词] 零碳物流园区; 交通系统; 规划设计; 数智化运营; 协同优化; 碳效管控

中图分类号: F540.32 **文献标识码:** A

Research on Synergistic Optimization of Planning, Design, and Digital Intelligence Operation in Zero-Carbon Logistics Park Transportation Systems

Ying Yao Junyi Yang

Zhejiang Digital Intelligence Transportation Institute Co, Ltd

[Abstract] Zero-carbon transformation is the core orientation for the high-quality development of logistics parks. As the primary source of carbon emissions in parks, transportation systems commonly face issues such as disconnect between planning and operation, crude energy consumption management, and insufficient intelligent adaptation. This paper focuses on the full lifecycle management of transportation systems in logistics parks, analyzing the key components and distribution characteristics of park transportation carbon emissions. It proposes practical solutions for transportation spatial planning, facility configuration, and pedestrian-vehicle flow line design aligned with zero-carbon goals. Leveraging digital and intelligent technologies, a closed-loop collaboration mechanism between planning and operational control is established, supplemented by a carbon efficiency evaluation iteration system. This approach addresses the linear development flaw of traditional parks—"planning first, operation later"—providing actionable technical pathways for deep decarbonization in the transportation sector of logistics parks.

[Key words] Zero-carbon logistics park; transportation system; planning and design; digital and intelligent operation; collaborative optimization; carbon efficiency management

引言

双碳战略落地推进背景下,物流领域低碳转型逐步从理念探索转向规模化落地实施。2025年12月中央经济工作会议明确深入推进重点行业节能降碳改造。物流园区承载全国超19万亿元的社会物流总费用流转规模,交通环节能耗与碳排放占比居高不下,成为制约园区零碳建设的关键短板。依托数智技术打通规划与运营全链条,实现空间布局、设施配置与智能调度、碳效管控的深度耦合,是当前物流园区零碳转型的核心突破口。

1 零碳物流园区交通系统碳排放特点

1.1 交通系统碳排放核心构成

参考《低碳智慧物流园区建设导则》界定的核算边界,物流园区交通系统碳排放集中来源于三大核心板块,各类排放源的能耗特征与降碳难度存在明显差异。园区内部短驳运输产生的碳排放占比最高,电动牵引车、堆高机、AGV等场内作业设备的持续运行能耗,构成日常基础碳排来源。园区内外衔接的干线货运车辆,进出园区过程中的怠速、缓行、启停操作,产生大量尾气排放与能源消耗。配套停车、充电、照明等交通附属设施的常态化运行能耗,同样纳入交通系统碳排核算范畴。传统园区以柴油为核心能源的交通装备体系,整体碳排放强度长期处于高位,新能源装备替代改造具备充足的降碳空间。

1.2碳排放时空分布差异化特征

传统物流园区统一化管控模式成效不佳,交通碳排放在时间与空间维度呈现不均匀分布。时间层面,早晚货运车流高峰时段,车辆扎堆入园、排队装卸、怠速等待的现象集中出现,短时碳排放密度大幅攀升,非高峰时段设备闲置、车辆空置,能耗浪费问题突出。空间层面,装卸作业区、短驳运输通道、停车场等核心区域,车辆与设备作业频次高,碳排总量远超办公区、绿化区等辅助区域。多式联运型园区的交通碳排差异更为明显,公路转运环节碳排放显著高于铁路、水运衔接环节,时空分布的不均衡性,对精细化、动态化管控提出更高要求。

2 零碳物流园区交通系统规划设计

2.1多式联运衔接设施规划

零碳物流园区的交通系统应注重摆脱传统公路运输的依赖,侧重与多式联运立体交通网络的衔接。在规划阶段充分考虑与周边铁路货场、港口码头、机场货运区的衔接条件,预留多式联运设施的接口和空间。要重点关注多式联运转运设备的电动化配置和转运场地的空间预留,为无人集卡、自动化轨道吊等智能装备的运行预留技术条件。

2.2低碳化总体空间规划设计

园区交通空间规划要以碳排放约束为核心前置条件,重构园区整体空间布局体系^[1]。遵循“功能分区明确、运输流线短捷、人车分离安全”的核心原则,对园区作业区域进行模块化划分,将高碳排的装卸、仓储短驳作业区集中布局,与低碳排的办公、绿化、停车辅助区域物理分隔,减少跨区域无效运输动线。结合园区地形与作业需求,优化各类功能区间距,最大限度压缩场内短驳运输距离,从空间源头降低车辆与设备作业能耗。

2.3人车货分流流线优化设计

人车货混行是传统园区交通能耗高、通行效率低、安全隐患大的重要诱因,零碳园区需建立完全独立的流线体系,实现三类通行主体的物理分离,杜绝交叉干扰。搭建“主干路-次干路-支路”三级道路网络架构,主干路承担园区大宗货运通行功能,次干路衔接各作业分区,支路服务场内短途接驳与人员通行。针对不同车型优化停放与通行设计,大型货运车辆采用前进停车、前进发车模式,中型车辆采用60°斜放式停车布局,小型车辆适配灵活停车模式,提升场地利用率与通行效率,减少车辆调车、倒车产生的无效能耗与碳排放。

2.4园区低碳交通配套设施配置设计

交通配套设施的绿色化、低碳化配置需兼顾节能降耗、新能源适配与生态环保多重需求。道路建设优先选用透水混凝土、生态植草沟等绿色建材,有效截留雨季暴雨径流,降低园区排水系统的运行能耗,同时弱化路面热辐射带来的区域升温问题。道路照明全面替换为太阳能LED节能灯具,接入智能能耗管控系统,实现分时分区启停控制,杜绝无效用电消耗。新能源配套设施按高标准布局,园区充电车位中快充设备占比不低于70%,同步联动园区分布式光伏系统,优先利用清洁能源为交通装备供能。停车场区域规划光伏车棚结构,实现场地遮阳防护与光伏发电一

体化利用,提升土地与空间资源利用效率,构建自给自足的绿色用能体系。

2.5园区数智化预留适配设计

零碳园区规划阶段必须同步落实运营数智化适配设计。道路断面设计过程中,统一预留智能道闸、车牌识别摄像头、地磁传感器、5G传输设备的安装点位与管线通道,规避后期改造开挖带来的资源浪费与施工能耗。充电设施、交通管控设备预留数据接口,保障各类设备运行数据可实时采集、上传、联动调控。结合数字孪生系统建模需求,精准规划园区各区域坐标、设备点位、道路参数,搭建完整的物理空间数字底座,为后期交通仿真、智能调度、碳排模拟提供数据支撑,实现规划设计与数智运营的前置适配。

3 零碳物流园区交通系统规划设计与数智化运营协同优化策略

3.1构建规划—运营一体化协同机制

传统模式下,规划与运营两大环节信息割裂、标准脱节,导致大量规划设计优势无法转化为运营降碳成效,需建立全生命周期闭环协同机制。

规划设计阶段,引入运营管控、碳效分析、数智技术专业人员,结合园区货运流量、作业频次、车流高峰规律,优化道路布局、分区间距、设施点位等核心参数。利用数字孪生技术开展虚拟仿真预演,模拟不同车流、作业场景下的能耗与碳排水平,筛选最优规划方案,提前规避拥堵、空驶、能耗过高等问题。运营阶段,持续收集交通通行、设备能耗、碳排放、作业效率等全维度数据,复盘规划方案的适配性短板,针对设施布局不合理、流线设计冗余、充电设施供需失衡等问题,开展阶段性微调优化,形成“规划预判—运营落地—数据反馈—迭代优化”的良性循环。

3.2基于数智监测的低碳交通布局动态优化

依托全域数智感知监测体系,实现交通空间布局、设施配置的动态自适应优化,破解静态规划与动态运营的适配矛盾。通过地磁传感器、高清摄像头、RFID读写器、能耗监测终端等感知设备,实时采集园区车流速度、车流密度、设备能耗、区域碳排放等核心数据,搭建全域动态监测数据库。

结合监测数据开展常态化分析,针对不同季节、不同时段作业特征,灵活调整交通管控策略与空间使用模式。电商促销、货运旺季等业务高峰期,通过模块化空间调整,临时扩充装卸作业区域与停车缓冲空间,避免车辆长时间怠速排队产生大量碳排放^[2]。业务淡季则收缩作业空间,关停闲置区域交通设备能耗,提升资源集约利用水平。依托数据复盘高频拥堵路段、高碳排区域的形成原因,针对性优化道路通行规则、设备布局与功能分区,持续压缩无效运输距离与设备空转时长,逐步降低园区交通系统整体碳排强度。

3.3数智化调度赋能低碳交通高效运营

依托四层架构智慧物流交通管理平台(如表1所示),整合感知、传输、建模、应用全链条能力,落地车辆预约入园、智能

排队、路径优化、能耗调控等精细化运营功能,全方位降低交通环节碳排放。

表1 智慧物流交通管理平台架构

平台架构层级	核心硬件配置	核心功能	降碳赋能效果
感知层	地磁传感器、北斗定位终端、	实时采集车流、车速、设	实现碳排放源头精准监测,
	智能摄像头、能耗传感器	备能耗、碳排放数据	杜绝粗放管控
网络层	5G 传输模块、物联网网关	低时延传输全 域感知数据	保障调度指令实时落地, 减少管控滞后能耗
平台层	数字孪生建模系统、大数据分 析模块	虚拟园区映射、数据研 判、方案仿真	提前预判碳排放风险,优化 调度方案
应用层	智能调度系统、碳排放监测系统、 预约入园系统	车流调度、路径优化、碳 效调控	平均降低车辆空驶里程 30%以上

表2 二级碳效协同评价体系

一级指标	二级核心指标	指标核算标准
规划适配	流线冗余率、设施适配率、绿化覆盖率	核算规划布局对低碳运营的适配程度
运营效能	车辆空驶率、设备空载率、通行效率	量化数智运营的节能增效成果
降碳成效	单位产值碳排放强度、新能源车辆占比、 清洁能源消费占比	衡量园区交通环节碳减排实际效果
技术适配	数智设备覆盖率、数据联通率、系统响应 时延	评估数智化技术的部署深度 与运行效能

推行车辆预约入园机制。平台根据园区作业承载力,为货运车辆匹配精准入园时间窗口,实现车流削峰填谷,大幅减少车辆怠速等待产生的碳排放^[3]。普洛斯“福佑大脑”的落地实践可以印证,智能化调度模式能够实现订单空驶里程的大幅压降。平台依托实时路况、作业点位分布数据,为入园车辆规划最优通行路径,引导车辆优先选择低碳路段通行,同时将非主干道行驶限速控制在20km/h以内,有效降低车辆行驶能耗。针对场内AGV、电

动叉车等作业设备,通过智能算法动态分配作业任务,规避设备空转、重复作业等问题,提升设备作业效率与能源利用率。

3.4搭建碳效协同评价与优化迭代体系

构建适配规划-运营协同模式的碳效评价体系,可实现园区交通零碳建设的标准化、常态化迭代升级。本文选取多维度核心指标,搭建二级碳效协同评价体系(如表2所示)。

依托评价体系开展定期的常态化核算分析,精准定位园区交通系统在空间规划、设施配置、智能调度、能源利用等环节的短板问题,形成针对性优化方案。通过评价结果反向倒逼规划优化与运营升级,实现“评价-分析-优化-落地”的闭环迭代,持续提升园区交通系统零碳建设质量^[4]。

4 结束语

零碳物流园区交通系统建设,核心在于实现规划设计与数智化运营的深度协同。交通系统超70%的碳排放由前期规划布局决定,后期数智化运营则是挖掘降碳潜力、盘活规划优势的关键手段。本文立足行业痛点,打破分段式建设运营的传统思维,构建全生命周期协同优化体系,从空间规划、设施适配、数智调度到碳效迭代,形成一套可落地、可复制的交通零碳转型路径。未来可结合自动驾驶、氢能利用等新兴技术,持续优化协同模式,进一步提升物流园区交通环节低碳化、数智化发展水平。

[参考文献]

[1]张益聪.新时期物流园区规划建设与运营发展研究——以某钢材城项目为例[J].铁路采购与物流,2026,21(2):21-24.
[2]李甲富,刘智涵,冯克林.基于绿色理念的物流园区储运空间布局优化设计研究[J].中国储运,2026,(1):184-185.
[3]申嘉慧,赵玉帛.物流园区高质量运营路径探索[J].物流工程与管理,2025,47(3):23-26.
[4]陈明雅.物流园区数字化转型模式及评价体系研究[D].东南大学,2024.

作者简介:

姚颖(1988—),女,汉族,浙江省金华市兰溪人,本科,高级工程师,研究方向:交通建筑与物流园区规划设计。