 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.10003

# Construction Technology and Practice of Zero-carbon Service Area on Expressway under the Background of Energy Exchange Integration:Taking Dushupu Service Area on Hangrui Expressway as an Example

**Jinchun Jiang**

Yunnan Jiaotou New Energy Industry Development Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

**Abstract**

Against the backdrop of China's national "Dual Carbon" strategy and transportation-energy integration (hereinafter referred to as "transport-energy convergence"), highway service areas serving as core network nodes have become pivotal drivers for green transition in this integration framework. The essence of transport-energy convergence lies in achieving deep coupling between transportation and energy systems, leveraging highway infrastructure to establish an integrated energy ecosystem encompassing "energy generation, grid distribution, load management, storage solutions, and intelligent control." Zero-carbon service areas represent the most exemplary application of this concept within highway infrastructure. Drawing from the zero-carbon retrofit project at Dushupu Service Area on the Hangrui Expressway, this study focuses on core objectives of transport-energy convergence. It provides a concise analysis of comprehensive project planning, key system implementation strategies, and end-to-end management measures, highlighting the pivotal role of transport-energy integration in zero-carbon service area development. The research summarizes project outcomes and operational insights to offer reference for similar convergence projects, thereby facilitating green transformation in the transportation sector.

**Keywords**

energy integration; zero-carbon service area; expressway; construction management; integrated photovoltaic-storage-charging system

# 交能融合背景下高速公路零碳服务区建设技术与实践——以杭瑞高速公路读书铺服务区为例

蒋金春

云南交投新能源产业发展有限公司，中国 · 云南 昆明 650000

**摘　要**

在国家“双碳”战略与交通能源融合（以下简称“交能融合”）发展背景下，高速公路服务区作为路网核心节点，其绿色低碳转型是交能融合落地的关键抓手。交能融合的核心内涵是实现交通与能源系统深度耦合，依托公路基础设施构建“源–网–荷–储–智”一体化能源体系，而零碳服务区正是该理念在高速公路领域最典型的应用载体。本文以杭瑞高速公路读书铺服务区零碳改造工程为实践依托，聚焦交能融合核心目标，精简阐述工程施工总体策划、关键系统施工要点及全过程管控措施，重点突出交能融合在零碳服务区建设中的核心引领作用，总结工程实施成效与经验，为同类交能融合项目施工管理提供参考，助力交通运输行业绿色低碳转型。

**关键词**

交能融合；零碳服务区；高速公路；施工管理；光储充一体化

## 1 引言

### 1.1 研究背景与交能融合核心意义

“碳达峰、碳中和”目标推动交通运输行业向绿色低碳转型，高速公路服务区作为用电负荷集中、人员车辆密集的关键节点，传统依赖外部电网、用能结构单一的模式已无法适配发展需求。交能融合作为公路领域低碳转型的核心路径，核心是让公路基础设施实现“通车、产电、储电、管电”一体化，通过分布式能源建设、微电网调控，实现能源自给、负荷优化、碳减排落地。零碳服务区作为交能融合的具象化应用，依托“源 – 网 – 荷 – 储 – 智”架构，实现清洁能源最大化利用、碳排放近零，是推动交能融合落地的重要载体。

【作者简介】蒋金春（1994—），男，中国云南昆明人，本科，助理工程师，从事高速公路沿线充换电基础设施、路域分布式光伏开发研究。

### 1.2 研究内容与目的

本文以读书铺服务区零碳改造工程为依托，围绕交能融合“源网荷储智”协同目标，精简梳理施工管理核心内容，明确交能融合导向下零碳服务区施工的重点与管控要点，总结可复制的施工管理经验，对保障零碳服务区工程顺利实施，为同类高速公路零碳服务区、交能融合项目提供施工管理经验，助力绿色公路高质量建设。

## 2 交能融合与零碳服务区核心内涵

### 2.1 交能融合核心内涵

交能融合是指交通系统与能源系统深度耦合、相互支撑、协同运行的发展模式。在高速公路场景中，以服务区、隧道、收费站、路侧空间闲置用地为载体，建设分布式光伏、储能系统、充电设施及微电网，实现“路产绿电、电供路网、车桩互动、源荷协同”，提升能源自给率、降低碳排放、增强供电韧性，推动交通与能源双向赋能。

### 2.2 零碳服务区核心特征与系统构成

零碳服务区是交能融合的核心应用场景，以可再生能源自发自用为核心，通过“源 – 网 – 荷 – 储 – 智”一体化架构实现低碳运营，核心特征为绿电自给、负荷节能、余电可调、碳排放近零。其系统构成紧密围绕交能融合目标：“源”即分布式光伏（屋面、车棚等），提供绿电支撑；“网”即微电网与配电系统，实现能源传输调度；“荷”即服务区各类用电负荷，是能源消耗核心；“储”即电化学储能，平抑功率波动、应急保电；“智”即智慧能源管理平台，实现全系统协同管控。

### 2.3 交能融合导向下施工管理特点

零碳服务区施工以交能融合协同运行为核心目标，区别于传统服务区改造，其施工管理核心特点：一是多专业交叉（土建、电气、光伏等），需保障各系统衔接适配交能融合需求；二是边运营边施工，需平衡施工与服务区正常运营；三是设备精密（光伏、储能等），需严控施工质量适配交能融合系统标准；四是需满足电网并网规范，保障交能融合系统与外部电网协同。

## 3 工程概况与施工总体策划

### 3.1 项目概况

读书铺服务区位于 G56 杭瑞高速昆明至滇西方向主干道，占地面积 537.2 亩，是云南省规模最大、功能最完善、业态最丰富的景区式服务区，本次零碳改造为原有服务区升级，核心围绕交能融合“源网荷储智”一体化目标，建设内容包括分布式光伏、电化学储能、充电桩群、配电微电网改造及智慧能源管理平台，施工全程保障服务区正常运营。

### 3.2 施工总体部署

项目以交能融合系统协同为核心，实行项目经理负责制，划分光伏、储能、充电桩等施工区域，采用分区封闭施工、科学交通导改，严控施工进度与安全。核心施工关键线路：施工准备→基础施工→各系统（光伏、储能、配电等）安装→系统联调→并网验收→竣工移交。

## 4 交能融合导向下关键工程施工要点

### 4.1 分布式光伏发电系统（“源”端施工）

分布式光伏系统作为交能融合体系中清洁能源供给核心，其施工质量直接影响发电效率与系统稳定性。针对屋顶、边坡及车棚等多场景布置形式，施工前需开展结构安全复核与荷载验算，重点对屋面承载能力进行校核，并对既有防水层进行修复与加固处理，防止渗漏隐患。边坡光伏施工应结合框格梁结构开展稳定性分析，确保不破坏原有边坡防护体系。支架安装过程中需严格控制垂直度与连接强度，采用热镀锌或铝合金材料并实施防腐处理，同时配置完整防雷接地系统。组件吊装与安装应避免隐裂与微损伤，确保接线极性正确、压接牢固。逆变器及汇流箱安装需满足通风散热条件，避免高温影响运行性能。系统安装完成后，开展单回路及整串调试，重点检测开路电压、绝缘电阻及发电曲线，确保光伏系统稳定输出并满足并网要求。

### 4.2 储能系统（“储”端施工）

储能系统承担削峰填谷与应急保电功能，其施工质量关系到系统运行安全与调度可靠性。施工阶段首先应确保钢筋混凝土基础强度、平整度及抗震性能满足设计要求，基础标高与预埋件位置需精确控制，以保障储能舱安装精度。储能舱吊装过程需制定专项吊装方案，控制起吊角度与受力状态，防止设备变形或冲击损伤。电气安装环节应严格执行接线规范，确保直流侧与交流侧接线正确、相序一致，同时完成接地系统及等电位连接，降低运行风险。消防系统施工需与储能设备同步实施，配置气体灭火或水喷淋系统，并完成联动调试，实现温控、烟感与灭火系统的协同响应。系统调试阶段应重点开展充放电性能测试、BMS 通讯验证及安全保护功能测试，确保储能系统具备稳定运行与快速响应能力。

### 4.3 充电设施与配电微电网（“荷”“网”端施工）

充电设施与配电微电网构成交能融合系统的负荷与能量传输核心，其施工需兼顾用电安全与系统协同能力。充电桩安装过程中应重点控制基础施工质量及设备垂直度，确保接地电阻满足规范要求，接线端子紧固可靠，避免运行过程中出现接触不良或发热问题。调试阶段需验证充电桩与后台系统的数据交互能力，实现充电状态实时监测与远程控制。配电系统改造需对原有回路进行优化重构，合理配置开关设备与保护装置，实现光伏、储能与负荷之间的高效耦合。微电网构建过程中应明确运行模式切换逻辑，确保并网与离网状态下系统稳定运行。施工期间严格执行停电作业审批制度及安全措施，防范误操作风险，同时通过分段送电与逐级调试方式验证系统运行可靠性，满足“源荷协同”运行要求。

### 4.4 智慧能源管理平台（“智”端施工）

智慧能源管理平台作为交能融合系统的调度核心，其施工重点在于数据采集、通信稳定及系统集成能力的实现。施工阶段需完成光伏、储能、充电及配电系统的数据采集终端安装，确保各类传感器与计量装置布设合理、数据采集精度满足要求。通信系统建设应采用有线与无线相结合方式，保障数据传输稳定性与实时性,避免因通信中断影响系统调度。平台调试阶段需重点验证能耗监测、能量调度及碳排放核算等核心功能，确保各子系统数据能够准确接入并实现统一管理。系统联调过程中需开展“源网荷储”整体协同测试，验证不同运行场景下的响应能力与调控精度，确保平台具备全局优化与智能决策能力，为零碳服务区稳定运行提供支撑。

## 5 施工质量安全管控与验收

围绕交能融合系统长期稳定运行目标，构建覆盖施工全过程的质量与安全一体化管控体系，将材料控制、过程控制与验收控制有机衔接。在材料管理方面，严格执行进场验收制度，对光伏组件、逆变器、储能电池、开关设备及电缆等关键设备开展外观检查、性能抽检及合格证核验，确保设备参数符合设计要求与国家标准。在施工过程中，强化隐蔽工程质量管控，对电缆敷设、接地网铺设、预埋件安装等关键工序实行全过程旁站与分阶段验收，重点开展绝缘电阻测试、接地电阻测试及耐压试验，确保电气系统安全可靠。在系统调试与验收阶段，按照“单体调试—分系统调试—联合调试”的顺序开展测试工作，重点验证光伏出力特性、储能充放电性能及微电网协同运行能力。最终阶段配合电网公司完成并网检测与验收，确保保护定值、通讯协议及运行模式符合接入规范要求，并同步完成竣工资料整理与移交工作，确保交能融合系统安全、规范、高效投运。

## 6 工程实施成效与交能融合价值体现

### 6.1 施工管理成效

项目如期完成施工，实现零安全事故、工程质量一次性验收合格，施工与服务区运营互不干扰，各系统衔接顺畅，满足交能融合协同运行要求。

### 6.2 交能融合核心价值

一是能源效益：绿电自给率大幅提升，“光伏 + 储能 + 微电网”模式增强供电韧性，降低对外部电网依赖；二是低碳效益：每年能产生约 258 万千瓦时清洁能源，减少碳排放量 2096 吨。践行双碳战略；三是经济效益：降低电费与运维成本，实现资产增值；四是社会效益：提升充电服务能力，树立交能融合示范标杆。

## 7 施工难点与改进建议

### 7.1 主要施工难点

聚焦交能融合施工需求，核心难点：边运营边施工管控压力大；多专业交叉协调难度高，需保障各系统适配交能融合要求；边坡光伏施工需兼顾边坡稳定性与光伏板眩光，既要确保边坡结构安全、防止坍塌，又要合理控制光伏板安装角度，避免眩光影响高速公路通行安全；车棚光伏需兼顾车棚使用功能与光伏板最佳发电倾角，在保障车辆停放便捷性、车棚结构承载安全的前提下，优化光伏板安装角度以最大化提升发电效率；发电并网验收标准严苛，需严格契合电网并网规范，保障交能融合系统与外部电网协同稳定运行；光伏与储能深度融合及精准配储难度突出，光伏发电受光照、天气影响存在随机性、波动性，精准匹配储能容量、充放电时序，既要适配光伏发电节律，又要满足交能融合“源荷协同”及应急保电需求，施工中需同步兼顾设备安装精度、系统调试适配性，确保配储精准度与融合协同性。

### 7.2 改进建议

针对上述交能融合导向下的施工难点，结合读书铺服务区工程实践，提出针对性精简改进建议，一是优化边运营边施工管控，划分施工与通行区域，实行错峰作业、专人值守，降低对服务区运营的干扰；二是强化多专业协同，建立总包统筹机制，明确施工时序与接口标准，保障各系统适配交能融合需求；三是边坡光伏施工前开展地质评估，制定专项支护方案，采用低眩光组件并优化安装角度及安装方向，兼顾边坡安全与通行防护；四是车棚光伏采用可调节支架，在保障使用功能的前提下，精准调整角度以提升发电效率；五是提前对接电网公司，明确并网标准，加强施工自检与预验收，确保一次性通过并网验收；六是精准配储破解光储融合难题，施工前测算光伏出力与负荷需求，确定储能参数，严控设备安装精度，强化系统联动调试；七是完善难点工序专项方案，加强材料与隐蔽工程验收，总结标准化工法，提升交能融合系统长期运行可靠性。

## 8 结语

交能融合是高速公路零碳服务区建设的核心引领，零碳服务区是交能融合在公路领域的重要实践载体。本文结合读书铺服务区工程实践，明确交能融合导向下零碳服务区施工核心要点与管控方法，验证了“源 – 网 – 荷 – 储 – 智”一体化架构的可行性。工程实践表明，通过科学策划、精准管控，可实现交能融合系统高效落地，兼顾质量、安全与进度，其施工经验可为同类交能融合项目提供参考，助力交通运输行业绿色低碳转型与双碳目标实现。

## 参考文献

[1] 陈书雪，张浩然，李梦真。交能融合应用场景与技术体系研究 [J]. 综合智慧能源，2025，47 (02)：1-8.

[2] 廖凯，向悦萍，何致远。交通能源融合发展的典型场景、关键问题与发展建议 [J]. 长沙理工大学学报 (自然科学版)，2025，22 (01)：56-64.

[3] 张力，王鹏，刘畅。交能融合背景下的高速公路光储充一体化发展路线展望 [J]. 南方能源建设，2024，11 (03)：35-42.

[4] 付豪，龙妍。高速公路交能融合标准体系研究 [J]. 中国标准化，2025 (04)：56-61.

[5] 交通运输部。交通领域碳达峰实施方案 [Z].2022.