

青藏高原智慧交通协同机制与创新路径研究 ——以西宁市为例

郭瑜^{1,2}

1. 青海师范大学经济管理学院, 青海 西宁 810016

2. 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院, 陕西 西安 710119

DOI: 10.61369/ER.2025050018

摘 要 : 西宁市作为青藏高原核心交通枢纽, 面临高海拔气候、区域枢纽功能及多民族出行需求的复合挑战。传统交通系统在设备稳定性、运维成本及通行效率方面存在显著短板, 亟需通过智慧交通实现系统化升级。研究从高原气候适配性、区域协同治理及智能决策导向三方面分析其特殊性, 提出“基础—整合—协同—生态融合”四阶段发展路径, 涵盖数字基建、资源整合与技术协同等关键环节。特色策略聚焦耐候设备研发、全生命周期运维、动态公交调度及景区接驳联动, 并构建跨域数据共享与联程票务平台。通过政策引导、产学研合作、数据安全及公众参与四大机制, 推动形成闭环治理体系。当前系统已实现智能信号灯 100% 网联联控, 智慧交通 APP 用户渗透率达 52.5%; 但在服务深度、场景覆盖与用户体验方面仍与先进城市存在差距。未来需深化高原环境参数与交通行为的耦合建模, 拓展与生态文明、文化旅游的协同机制, 完善公众反馈闭环。研究为高寒、多民族及欠发达地区智慧交通建设提供了理论支撑与实践范式。

关 键 词 : 智慧交通; 青藏高原; 高原适应性; 区域协同; 数据共享

Research on Collaborative Mechanisms and Innovative Pathways of Intelligent Transportation in the Qinghai-Tibet Plateau — A Case Study of Xining City

Guo Yu^{1,2}

1. School of Economics and Management, Qinghai Normal University, Xining, Qinghai 810016

2. Northwest Institution of Historical Environment and Economic Society Development, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119

Abstract : As a pivotal transportation hub on the Qinghai-Tibet Plateau, Xining faces complex challenges stemming from high-altitude climate conditions, its role as a regional transport hub, and diverse mobility demands of multi-ethnic populations. Traditional transportation systems exhibit significant deficiencies in equipment reliability, operational and maintenance costs, and traffic efficiency, necessitating systematic upgrades through smart transportation. This study analyzes Xining's uniqueness along three dimensions—high-altitude climate adaptability, regional collaborative governance, and intelligence-driven decision-making—and proposes a four-stage development path: “foundation, integration, collaboration, and ecological integration,” encompassing key components such as digital infrastructure, resource integration, and technological synergy. Distinctive strategies focus on the R&D of climate-resilient equipment, full-lifecycle operation and maintenance, dynamic bus scheduling, scenic-area transit linkage, and the establishment of a cross-domain data-sharing and integrated ticketing platform. A closed-loop governance system is advanced through four mechanisms: policy guidance, industry-academia-research collaboration, data security, and public participation. The system has already achieved 100% networked and coordinated control of intelligent traffic signals and a user penetration rate of 52.5%; however, gaps persist relative to advanced cities in service depth, scenario coverage, and user experience. Future efforts should deepen the coupling modeling of plateau environmental parameters and traffic behaviors, expand synergistic mechanisms with ecological civilization and cultural tourism, and refine the public feedback loop. This study offers both theoretical support and a practical paradigm for smart transportation development in high-cold, multi-ethnic, and economically underdeveloped regions.

Keywords : intelligent transportation; Qinghai-Tibet Plateau; plateau adaptability; regional collaboration; data sharing

基金项目: 青海师范大学科学研究项目“西宁市城市智慧交通建设研究”(2018sr017)。

作者简介: 郭瑜 (1981-), 男, 汉族, 河北保定人, 青海师范大学经济管理学院讲师, 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院毕业博士研究生。研究方向: 区域经济与协调发展, 生态经济与绿色转型, 计量经济分析。

引言

西宁市作为青藏高原核心交通枢纽，平均海拔2261米，年均日照时数达2700小时，冬季漫长寒冷，高海拔、强紫外线辐射及频繁冻融循环对交通基础设施构成显著制约。传统交通系统在设备稳定性、运维成本与通行效率方面面临多重挑战。截至2018年，西宁已形成覆盖公路、铁路、航空的综合交通网络，但作为“一带一路”重要节点，其区域物流枢纽、旅游集散中心与跨省交通走廊功能对交通系统的可靠性、协同性与智能化水平提出更高要求。

智慧交通系统（Intelligent Transportation Systems, ITS）作为城市数字化转型的核心载体，研究重心已从基础设施信息化转向数据驱动、智能决策与多维协同的高阶发展阶段。物联网、大数据、人工智能与5G通信等技术融合为ITS提供关键支撑^[1-2]，但现有研究多基于东部城市场景，对高原、边疆区域的适应性不足。国内实践中，深圳通过“双智”协同发展实现交通全要素优化^[3]，北京、厦门等地在智能公交站台设计方面积累经验^[4]，但高原城市智慧交通仍存在明显局限：研究对象集中于中东部地区；技术方案缺乏对高寒、低氧、强辐射环境的针对性设计；早期服务普及度有限导致用户接受度不高。

自2019年《幸福西宁·绿色交通三年行动计划》实施以来，西宁智慧交通深度融入“智慧城市”战略，构建起“统一网络、统一平台、统一数据库、多类云应用协同”的技术架构。阶段性成效包括：“i西宁”政务APP集成交通信息查询与实时路况发布功能；信号控制系统实现全市446个路口100%联网联控；“西宁智能公交”平台用户渗透率达52.5%。然而，服务深度、场景覆盖与用户体验仍需进一步优化。

一、高原交通特殊性研判

（一）高原气候对基础设施的严苛约束

西宁年均日照时间长，紫外线辐射强度为平原地区的1.5倍以上，昼夜温差显著。研究表明，海拔2000米以上区域常规电子元器件故障率提升35%^[5]，冬季设备启动延迟可达40%^[6]。冻融循环易导致传感器基座松动、摄像头支架变形，强紫外线加速线缆绝缘层老化与屏幕褪色，年均运维成本较东部城市高出20%-30%^[7]。为保障系统稳定运行，需加快建立高寒、强紫外、冻融交替环境的设备选型规范，并构建全生命周期运维体系。

（二）区域交通枢纽引发的协同治理需求

作为青藏高原核心城市和“一带一路”陆路通道的重要节点，西宁承担跨省、跨境及季节性旅游客流的集散功能，节假日期间枢纽及景区客流压力可达平日的2-3倍。当前与兰州等周边城市的交通信息系统尚未有效对接，调度策略缺乏区域统筹，难以应对大客流或极端天气引发的扰动。深圳、重庆通过建设区域交通运行指挥中心实现跨域协同调度，西宁亟需打破行政壁垒，推动青藏高原智慧交通协同治理机制。

（三）智能决策导向的发展核心

智慧交通的核心在于多源数据融合与智能决策，服务界面适配性仅是系统包容性的基础。尽管“西宁智能公交”用户渗透率达52.5%，但调研显示部分用户使用意愿仍有提升空间，主要源于操作流程复杂、信息呈现不直观、功能响应滞后等问题。未来需聚焦全息感知路网、车路协同、动态公交调度及低碳出行优化，通过算法优化与数据融合提升通行效率与环境效益，避免资源过度集中于表层文化适配。

二、发展路径阶段化设计

遵循“基础—整合—协同”的演进逻辑，结合国家政策导向与西宁市本地实践，智慧交通发展路径可划分为四个递进阶段：

（一）数字基建筑基期（2018-2020年）

以新型基础设施建设与数据采集体系构建为核心，响应2018

年中央经济工作会议关于新型基础设施的部署，西宁重点推进交通硬件升级与数据能力建设。一方面，自2015年起持续推广新能源公交车，至2023年实现城市公交车辆100%清洁化，并在主城区21条主干道建成总长52.24公里的公交专用道，强化公交路权保障；另一方面，建立公交线网监测系统，基于客流数据分析优化线路布局，控制线网重复率并扩大服务覆盖。此阶段初步形成“硬件清洁化、路权优先、数据可视化”的基础支撑架构。

（二）资源整合深化期（2021-2023年）

聚焦系统集成与数据驱动的精细化管理。在线网组织上，重构为“主线（快速公交）—干线（跨区线路）—支线（微循环）”三级结构，提升资源配置效率；在支付服务上，推广NFC虚拟卡及自助充值终端，初步实现“一码通乘”；在运行调度上，依托“西宁智慧公交”平台整合实时客流与车辆位置数据，动态调整发车间隔与运力投放，有效缓解潮汐通勤压力。整体呈现“线网分层化、支付统一化、调度智能化”的系统整合特征。

（三）协同创新突破期（2024-2026年）

着力推动技术跨界融合与区域服务协同。在技术层面，曹家堡机场5G-A通信示范工程采用了透波复合材料与隐藏式天线设计，实现信号全覆盖并预留车路协同接口；在服务层面，依托“i西宁”APP整合公交支付功能，持续推进“一码通乘”，并在高校、产业园区等出行需求集中区域，试点基于预约的响应式公交服务，适配分时段、差异化出行特征。该阶段体现出“技术跨界化、服务生态化、体验个性化”的创新导向。

（四）生态融合成熟期（2027年及以后）

目标是构建可持续、可扩展的智慧交通生态系统。在政策层面，推动智慧交通纳入青海省“十五五”规划，强化交通数据作为新型生产要素的配置效能；在技术层面，深化车路协同与自动驾驶技术融合，探索全息感知路网下的智能管控模式；在服务层面，推进“交通+旅游”深度融合，开发面向高原特色景区的动态线路推荐与接驳调度功能。最终实现“政策制度化、技术前瞻化、服务融合化”的成熟发展格局。

三、策略实施精准化推进

西宁市智慧交通建设需立足高海拔地理环境与区域枢纽功能，在技术适配性、服务精准化和区域协同性三个维度系统性推进，形成契合高原城市特征的发展路径。

（一）高原适应性技术创新

针对高寒、强紫外线辐射及频繁冻融循环等特殊环境条件，构建覆盖设备选型、运行维护与应急响应的全链条技术保障体系。一是设立高原智能交通设备运维站点，配备具备低温作业能力的专业团队，提升故障处置效率；二是联合科研机构开发融合短临气象预报的交通流预测模型，支持基于未来2小时天气变化的信号配时优化与公交调度调整；三是强化市级交通应急指挥中心功能，接入公安、气象、电力等多源实时数据，实现极端天气下“监测—预警—调度—处置”一体化闭环管理，增强系统韧性与可靠性。

（二）精准化出行服务优化

推动公共交通服务由广覆盖向精准供给转型。依托“i西宁”APP整合支付、实时到站、换乘推荐等核心功能，持续优化“一码通乘”体验；在城北大学区等出行需求集中且时空分布不均的区域，试点需求响应式公交，依据预订单动态生成线路，提升运力匹配效率；在塔尔寺、青海湖等重点景区部署智能接驳终端，结合节假日客流高峰特征，实施“预约—分流—接驳”联动调控机制，缓解局部拥堵。同时，在界面设计中适度融入多语言支持，兼顾本地居民与外来游客的使用需求，但避免过度强调文化符号而偏离核心功能。

（三）区域协同机制构建

西宁作为青藏高原重要的交通枢纽，具备推动区域交通协同治理的基础条件。可依托国家现有技术标准，以数据共享机制为核心支撑：一方面，牵头制定《青藏高原智慧交通数据交换与共享标准》，统一跨区域交通系统的数据格式、接口协议与安全规范；另一方面，建设“高原旅游智慧出行”服务平台，整合航空、铁路、公路等多模式交通信息，支持跨区域“一程多站”联程票务与动态调度。通过标准化数据接口，提升区域出行的便捷性、服务连续性及极端情境下的应急协同能力。

四、保障体系系统化构建

为确保特色发展策略的系统推进，需构建由政策引导、技术支撑、安全保障与公众参与构成的协同支撑体系，形成可闭环、可持续的治理机制。

（一）强化政策与资金保障

设立年度专项资金，纳入市级财政预算并建立动态调整机

制；制定《西宁市智慧交通发展行动计划》，明确阶段性任务目标与量化评估指标，突出高原环境适配性与跨域协同性；将智慧交通建设成效纳入区县高质量发展考核体系，以强化责任落实。

（二）夯实人才与技术支持

依托青海大学交通工程学科优势，设立高原智慧交通研究院，每年定向培养50名兼具信息技术与交通工程背景的复合型人才，构建“学科—人才—产业”三位一体的创新平台；联合华为、海信等企业及省内科研机构共建高原智慧交通联合实验室，攻关耐候设备研发、高原交通流建模、边缘计算等关键技术攻关，推动产学研用深度融合。

（三）筑牢数据安全防线

制定《西宁市智慧交通数据安全规范》，明确数据采集、传输、存储与使用的全生命周期管理要求；建立用户信息脱敏处理机制，部署7×24小时网络安全监测中心，对关键系统实施动态审计与风险预警；强化数据加密与访问控制，确保智能决策过程的可靠性与可控性，防范数据泄露与滥用风险。

（四）健全公众参与机制

完善“i西宁”APP意见反馈通道，设置“智慧出行建议箱”收集用户需求；每季度开展“智慧出行体验周”活动，邀请市民参与新功能测试与场景验证；建立年度满意度调查制度，将公众对服务效率、界面友好度及响应速度等维度的评价作为系统迭代优化的核心依据，形成“建设—反馈—改进”的闭环。

五、研究总结与前景展望

西宁智慧交通已由专项建设迈向系统化融合，形成政策引导、技术适配与服务优化协同推进的路径。在应对高海拔气候、区域枢纽功能及多民族出行需求等挑战下，其探索形成的高原设备标准、跨域数据共享机制与精准出行服务体系，为高寒、多民族、欠发达地区提供了实践范式。当前，智能信号灯100%联网联控，“西宁智能公交”用户渗透率达52.5%，但服务深度、场景覆盖与用户体验仍需优化。

未来应深化高原环境参数与交通行为的耦合建模，推动智慧交通与生态文明、文化旅游深度融合，开发低碳出行解决方案；健全数据安全与公众参与机制，通过“建设—反馈—改进”闭环持续提升适配性与满意度。上述路径有助于高原城市实现高质量发展与系统韧性的统一，为特殊地理区域智慧交通建设提供理论与实践参考。

参考文献

- [1]李遥,秦朝倩,敬冉.5G无线通信技术在智慧城市交通管理中的应用与性能优化[J].智慧中国,2023,(09):60-62.
- [2]Luo X, Zheng G. An Urban Intelligent Transportation Model Based Deep Learning Algorithm [C]. 2023 International Conference on Intelligent Management and Software Engineering (IMSE), 2023: 202 - 205.
- [3]陈旋.浅析深圳双智应用实践——以坪山网联项目为例[J].交通与运输,2024,37(S1):180-183.
- [4]Sun Y, Cao S. Exploring the Reshaping of Urban Transportation Layout Through Intelligent Network of Urban Transportation Under the Innovation of Internet of Things Technology [J]. International Journal of High Speed Electronics and Systems, 2025: 2540888(1-19).
- [5]Zeng Q, Yang Z, Wang X, et al. Research Progress on Radiation Damage Mechanism of SiC MOSFETs Under Various Irradiation Conditions [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2024, 71(3): 1718 - 1727.
- [6]Patterson R L, Hammoud A, Dickman J E, et al. ELECTRICAL DEVICES AND CIRCUITS FOR LOW TEMPERATURE SPACE APPLICATIONS [R]. NASA Technical Report, 2003.
- [7]李洪伟,常锦河.我国智慧交通建设发展的影响因素及对策研究[J].中外企业家,2016,(27):1-2.
- [8]袁晨阳,金纬.国内外智慧交通发展的经验借鉴[J].物流工程与管理,2017,39(01):83-84.