

主客观组合赋权法导向的智慧城市道路效果评价研究

—以上海某隧道为例

游克思¹, 赵 靖², 朱陈强^{2*}, 郭越枫², 孙培翔¹

¹上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海

²上海理工大学智慧城市交通研究院, 上海

收稿日期: 2025年11月26日; 录用日期: 2026年2月2日; 发布日期: 2026年2月10日

摘要

作为智慧城市的关键组成部分,许多国家和地区都开展了智慧城市道路的建设工作,当前智慧城市道路建设陷入“重建设、轻评价”的困境,对于智慧化建设的效果缺乏证明其实际价值的科学依据。本文旨在构建一个基于主客观组合赋权法的智慧道路评价体系,以实现对建设效果的量化评估,为优化管理提供科学依据。本研究在梳理国内外智慧道路研究成果及实际需求基础上,构建智慧城市道路效果评价指标体系,同时采用基于AHP(层次分析法)和熵值法的主客观组合赋权法确定评价指标权重,并以上海某隧道为例,对其智慧化提升效果进行实证分析,验证所构建指标体系的落地性和可测性。结果表明,该隧道在智慧城市道路效果评价中得分较优,综合反映了其在智慧化管理、服务和运行方面的总体表现较好,显示出其在提供准确位置信息和丰富出行相关信息方面的有效性。研究结果可用于支持智慧城市道路能力评估,为城市道路的智能化升级提供科学依据,助力管理者优化决策。

关键词

智能交通, 智慧城市道路, 评价体系, 主客观组合赋权法

Evaluation of the Effectiveness of Urban Smart Road Based on Subjective and Objective Weighting Method

—A Case Study of Tunnel in Shanghai

Kesi You¹, Jing Zhao², Chenqiang Zhu^{2*}, Yuefeng Guo², Peixiang Sun¹

¹Shanghai Municipal Engineering Design Institute [Group] Co., Ltd., Shanghai

*通讯作者。

Abstract

As a key component of smart cities, many countries and regions have carried out the construction of smart city roads. Currently, the construction of smart city roads is trapped in the dilemma of “heavy construction, light evaluation”, and there is a lack of scientific basis to prove its actual value for the effectiveness of smart construction. This paper aims to construct a smart road evaluation system based on the combination of subjective and objective weighting methods, in order to achieve quantitative evaluation of construction effects and provide scientific basis for optimizing management. On the basis of reviewing the research results and practical needs of smart roads at home and abroad, the paper constructs an evaluation index system for the effectiveness of smart city roads. At the same time, a subjective and objective combination weighting method based on AHP (Analytic Hierarchy Process) and entropy method is used to determine the weights of evaluation indicators. Taking a tunnel in Shanghai as an example, the intelligent improvement effect is empirically analyzed to verify the practicality and measurability of the constructed index system. The results indicate that the tunnel scores well in the evaluation of smart city road effects, reflecting its overall good performance in intelligent management, service, and operation, demonstrating its effectiveness in providing accurate location information and enriching travel related information. The research results can be used to support the evaluation of road capacity in smart cities, provide scientific basis for the intelligent upgrading of urban roads, and assist managers in optimizing decision-making.

Keywords

Intelligent Transportation, Urban Smart Road, Evaluation System, Subjective and Objective Weighting Method

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化进程不断加速，智慧城市建设已作为国家战略的重要组成部分[1]。智慧道路作为智慧城市的关键组成部分，是其核心抓手之一。2025年交通运输部印发有关意见，确定了首批15项公路水路交通基础设施数字化转型升级交通强国专项试点任务，推动形成一批可复制、可推广的先进经验和典型成果。之前在交通运输部、国家铁路局等多部门发布的《加快建设交通强国五年行动计划(2023~2027年)》《交通强国建设摘要》等中也都明确提出要利用新一代信息技术推动城市基础设施智能化升级。

各国和地区都在对智慧道路建设的理论与实践开展研究。理论方面，学者重点研究了智慧道路的体系框架、建设内容及典型场景技术等。葛冬冬等[2]从智慧道路全寿命周期(设计、建造、运维、养护)角度对数字化技术的现状与应用进行了综述；刘艺等[3]在辨析中国智慧城市道路概念和特征基础上，提出了智慧城市道路的体系架构、发展路径。朱兆芳等[4]在梳理智能化改造现状基础上，对智慧道路交通的定义、等级、技术构架、建设内容等提出了建议。岑晏青等[5]则针对智慧高速公路提出了包括感知、传输、处理和应用四个层面的技术体系。同时，学者们也以交叉口[6]、全息路段[7]、入口匝道[8]等为应用场景，

构建相关智慧化技术,以实现精准感知、高效管理等应用。实践方面,各地政府和企业也积极部署智能信号灯、车路协同路侧设备、智能摄像头、传感器、5G 基站等。如美国在智慧高速的建设上通过部署智慧交通系统,实现实时交通监控、动态交通管理和紧急响应优化等功能;并大力开展 V2X 通信技术,以提高道路安全和运行效率。在欧洲,各国政府合作开展智慧交通项目,在提高能效、减少碳排放、提升交通安全和改善用户体验等方面开展了大量尝试。

尽管智慧道路建设如火如荼,但对其效果的评价仍处于初级阶段,且大多集中于智慧高速公路,对于智慧城市道路的研究则较少。杨超等[9]从建设及效益两大维度展开评价指标的设计,建设类指标、效益类指标分别侧重于表征智慧高速公路功能的建成和效果。徐胜龙等[10]综合考虑高速公路运营效果、突发事件预警效果、运行状态判断效果、成本费用情况等因素,建立了高速公路运营效果综合评价体系。陈忱等[11]将智慧公路评价指标分为机电基础设施类指标、网络接入类指标、云平台类指标和智慧应用类指标 4 类。韩丽娟等[12]则使用熵权法从安全、管理、感知几方面对智慧公路综合服务应用进行了评价。陈伟清等[13]通过粗糙集与变异系数相结合的方法,进行智慧交通的评价指标构建。

从研究成果来看,学者对智慧道路应该实现的功能和预期效果存在不同的见解,且相对于智慧道路构建的研究,对于智慧道路建成后的效果评价研究较少。同时,目前智慧道路的研究大多集中于高速公路,城市道路作为城市基础设施的重要组成部分,不仅承载着市民日常出行的需求,更在推动城市智慧化发展中发挥着不可忽视的作用。

基于此,本文对城市智慧道路评价开展研究,构建城市智慧道路综合评价指标体系,并以上海某隧道为案例进行效果评价,用于支持智慧城市道路能力评估,助力我国城市道路数字化转型提升。

2. 城市智慧道路评价的对象及方法

2.1. 智慧道路的概念和对象分析

智慧道路是指通过车联网、云计算、人工智能等新一代感知、计算、通信技术,实现对道路全面透彻、实时精准的感知与信息交互,并对发展趋势进行精准预测,以实现道路设施数字化、车路协同一体化、信息管理智能化,提高交通安全和效率。

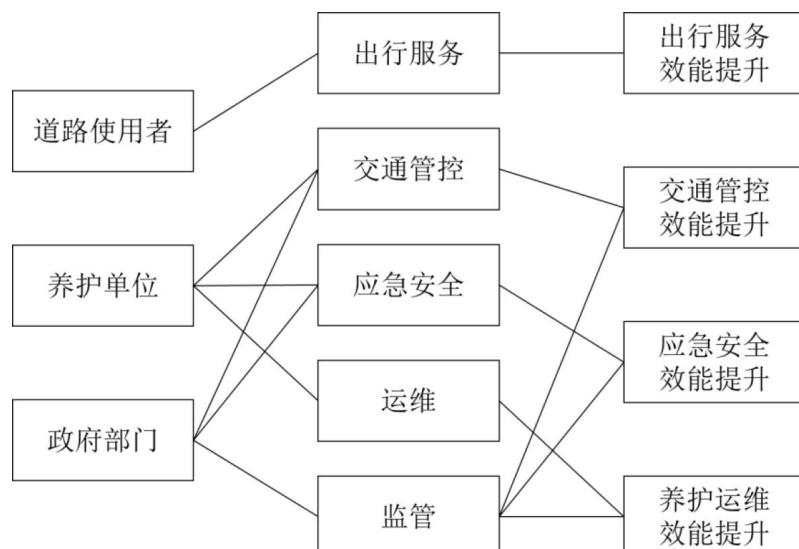


Figure 1. Service targets and their needs for smart roads

图 1. 智慧道路服务对象及其需求

本文从智慧道路服务对象的核心诉求与体验出发, 构建针对性的地下智慧道路服务效能评价框架。智慧城市地下道路服务对象可分为道路使用者、养护单位及政府部门三类。道路使用者是智慧城市道路最直接的服务对象, 主要满足其出行需求。养护单位是负责城市地下道路日常维护和保养的专业机构, 其服务内容包括机电设备、路面等运维管理、安全应急保障等。政府部门是智慧城市道路规划和管理的决策者, 包括城建、交警、城管等单位, 需满足其交通管控、应急安全、道路监管等需求。进一步凝练成图 1 所示四大需求。

2.2. 智慧道路评价方法的选取

2.2.1. 层次分析法

层次分析法是美国运筹学家 A.L. Satty 提出的决策分析方法。首先, 依据研究问题的目标及各层次影响因素, 构建相应的层次分析结构模型; 其次, 采用 1 到 9 标度法对同一层次的不同影响因素进行两两比较, 以确定各个指标因素的相对权重; 之后, 进行层次单排序, 即逐一计算各层次判断矩阵的最大特征根 λ_{\max} 和特征向量 W , 此后分别求得各指标的相对权重。为提高判断矩阵的科学性与合理性, 采用一致性比率 CR 对其进行一致性检验。

2.2.2. 熵值法

熵值法作为一种客观的分析工具, 已在社会经济、科技及工程实践等多个领域广泛应用, 其优势在于能够有效降低评价过程中各因素权重的主观性影响, 确保评价结果更加客观、贴近实际。首先, 基于提供的信息数据, 构建 m 个方案 n 个评价指标的判断矩阵。其次, 采用极值法、统一平移等方法对原始数据进行标准化处理。最后, 在指标信息值、差异系数等基础上, 确定评价指标的熵值。

2.3. 智慧道路评价模型构建

2.3.1. 评价指标体系构建

结合四大需求及现有规范和文献, 并听取相关专家意见, 提出如图 2 所示的智慧地下道路评价指标体系。四大需求为智慧地下道路评价的一级指标, 根据具体场景和功能, 构建相应的二级指标, 最后提出可量化的三级指标。各级指标如下:

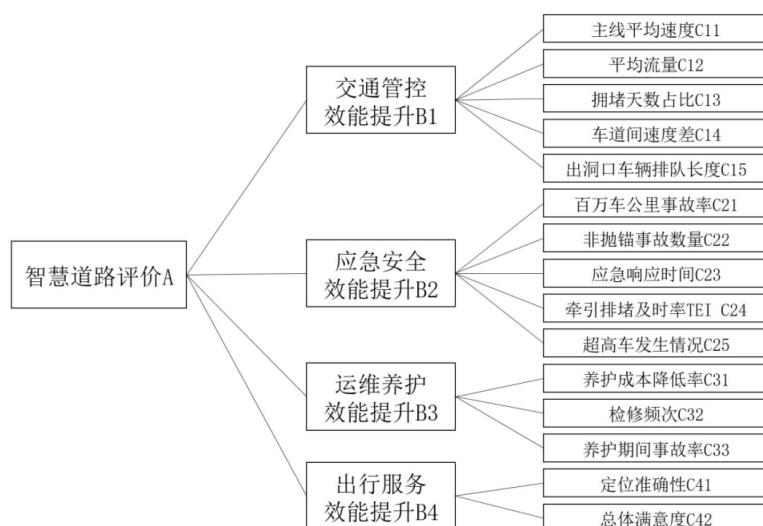


Figure 2. Schematic diagram of evaluation index system

图 2. 评价指标体系示意图

针对“交通管控效能提升”二级指标，设计了包括主线平均速度(C11)、平均流量(C12)、拥堵天数占比(C13)、车道间速度差(C14)以及出洞口车辆排队长度(C15)二级指标。这些指标主要关注交通流的顺畅度和效率。

针对“应急安全效能提升”一级指标，设置了百万车公里事故率(C21)、非抛锚事故数量(C22)、应急响应时间(C23)、牵引排堵及时率 TEI (C24)和超高车发生情况(C25)二级指标。这些指标旨在评估道路在应急情况下的安全性能和响应能力。

针对“运维养护效能提升”一级指标，提出了养护成本降低率(C31)、检修频次(C32)和养护期间事故率(C33)二级指标。这些指标主要关注道路设施的日常维护和养护效率，通过降低养护成本、合理安排检修频次和减少养护期间的事故发生，来提高道路的运维养护效能。

针对“出行服务效能提升”一级指标，考虑了定位准确性(C41)和总体满意度(C42)两个二级指标。这些指标直接关联到出行者的服务体验。

2.3.2. 评价指标的选取与测量

通过对现行标准与文献的研析，确定如表 1 所示的各二级评价指标度量。

Table 1. Evaluation metric

表 1. 评价指标

指标名称	指标含义	指标来源
主线平均速度	5 min 内主线上所有车辆的平均速度	《城市交通运行状况评价规范》(GB/T33171-2016)
平均流量	单位时间内通过道路某一断面的车辆数	《城市交通运行状况评价规范》(GB/T33171-2016)
拥堵天数占比	在一定时期内，道路或路网出现拥堵的天数占总天数的比例	《道路交通运行评价指标体系》(DB12/T1237-2023)的“拥堵持续时间”转换而来
车道间速度差	相邻车道间平均行程速度的差值	《城市道路项目安全性评价标准》(DBJ50)的“相邻路段限制速度协调性评价”转换而来
出洞口车辆排队长度	某一时间段内，出洞口各个车道车辆排队长度的平均值，其中，排队长度是指出洞口的车辆排队队列从排队起点至队列末尾之间的长度	《智慧高速车路协同运行效果评价指标技术指南》(T_CITSA 64-2025)
百万车公里事故率	计算安装智慧系统的道路的每行驶百万车公里发生的事故次数	《智慧高速车路协同运行效果评价指标技术指南》(T_CITSA 64-2025)
非抛锚事故数量	在一定时间内，除抛锚外的其他交通事故发生的次数	专家调研
应急响应时间	系统识别到应急情况到相关人员作出响应所花费的时间	《城市隧道运维服务规范》(GB/T43991-2024)
牵引排堵及时率 TEI	施救员在接到指令至出车所花费时间、事故救援处置设备运送到现场所花费时间	《城市隧道运维服务规范》(GB/T43991-2024)的“牵引排堵及时率 TEI”转换而来
超高车发生情况	近 1 月系统在特定区域内超高车出现的次数	专家调研
养护成本降低率	使用系统前后养护成本降低的比例	专家调研
检修频次	月平均检修次数	《城市隧道运维服务规范》(GB/T43991-2024)
养护期间事故率	月平均养护安全事故数/天数	专家调研
定位准确性	定位系统计算得到的终端位置信息与其真实位置之间的接近程度，通常用两者之间的欧式距离表征	《基于多传感器的路侧融合感知系统技术规范》(DB31/T 1617-2025)
总体满意度	用户对所提供的出行服务的满意程度	《智慧高速车路协同运行效果评价指标技术指南》(T_CITSA 64-2025)

2.3.3. 评价指标权重确定

传统的权重确定方法主要分为主观赋权和客观赋权两大类。主观赋权方法,如层次分析法(AHP),依赖于专家的经验和判断,虽然能够体现决策者的偏好和主观评价,但容易受到个人主观性的影响。而客观赋权方法,如熵值法,主要依据数据自身的分布特性来确定权重,虽然能够减少主观判断的偏差,但可能忽视了专家的专业知识和经验。因而,本文采用如图3所示的主客观综合的方法,综合层次分析法和熵值法的组合赋权法,以期达到权重确定的科学性和合理性。计算公式为:

$$w_j^{\text{组合}} = \alpha w_j^{\text{AHP}} + (1-\alpha) w_j^{\text{entropy}} \quad (1)$$

其中, w_j^{AHP} 为 AHP 权重, w_j^{entropy} 为熵权法权重, α 为主观权重系数, 取值范围为 0 到 1。与其他文献相同[14] [15], 遵循主客观信息并重的原则, 本文选择 $\alpha = 0.5$ 。

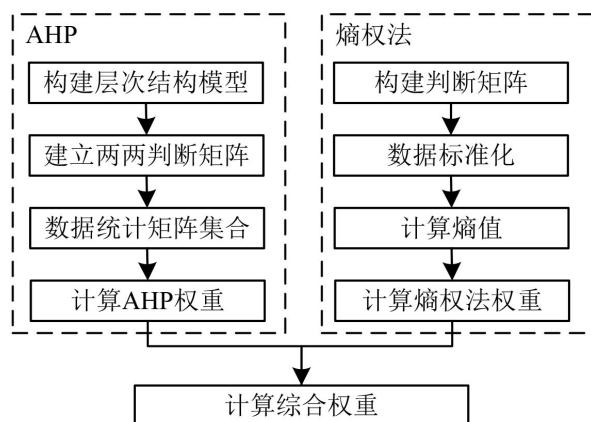


Figure 3. Schematic diagram of comprehensive weight calculation
图 3. 综合权重计算示意图

3. 上海某隧道智慧道路效果评价分析

3.1. 上海某隧道智慧道路建设情况介绍

上海某隧道是拥有双向四车道及两侧集散车道或停车带的城市主干道,沿途设有 8 对出入口匝道,贯穿中心城区北部的五个行政区。该隧道西段 2021 年 6 月通车,东段 2023 年底通车。2022 年,结合该隧道西段工程,开展了一系列地下道路运行安全提升的研究和应用工作。论文撰写期间,结合实际各模块运行效果调研,对智慧化提升效果进行评价。

3.2. 数据收集与处理

3.2.1. 指标权重确定

以具有交通运输相关学科博士学位或在行业有一定研究成果的人员为调查对象,面向高校、交运中心、运维养护等单位发放智慧城市道路评价指标调查问卷,共向 5 位高校教授及副教授、5 位交运中心高工及骨干、2 位养护企业骨干、5 位日常通勤者发放问卷,问卷详见附录。

3.2.2. 基于 AHP-熵权法的组合权重确定

层次分析法通过构建层次结构模型、判断矩阵,并进行一致性检验,最终确定各评价指标的权重。根据计算结果 $CR < 0.1$,通过一致性检验,说明具有满意的一致性,为有效矩阵。通过构建判断矩阵、数据标准化、确定评价指标熵值来得到熵权法下的指标权重。根据公式(1)得到如表 2 所示综合权重。

Table 2. Result of comprehensive weight calculation
表 2. 综合权重计算结果

	评价指标	AHP 综合权重(%)	熵权法权重(%)	AHP-熵权法综合权重(%)
交通管控效能提升 B1	主线平均速度 C11	8.14	7.43	7.79
	平均流量 C12	13.52	10.69	12.11
	拥堵天数占比 C13	8.95	6.32	7.64
	车道间速度差 C14	3.72	5.24	4.48
	出洞口车辆排队长度 C15	6.15	7.10	6.63
应急安全效能提升 B2	百万车公里事故率 C21	7.93	8.25	8.09
	非抛锚事故数量 C22	7.40	4.23	5.82
	应急响应时间 C23	7.81	7.63	7.72
	牵引排堵及时率 TEI C24	4.31	2.12	3.22
	超高车发生情况 C25	2.26	3.36	2.81
运维养护效能提升 B3	养护成本降低率 C31	2.83	2.48	2.66
	检修频次 C32	2.36	3.62	2.99
	养护期间事故率 C33	6.31	7.83	7.07
出行服务效能提升 B4	定位准确性 C41	10.07	12.39	11.23
	总体满意度 C42	8.24	11.31	9.78

4. 上海某隧道智慧道路效果评价分析

4.1. AHP-熵权法组合权重分析

4.1.1. 二级指标权重分析

二级指标权重如图 4 所示。交通管控效能提升 B1 权重超过 40%，表明在智慧城市道路效果评价中，交通管控效能被认为是最关键的因素，因为它直接影响到交通流畅性、安全性和道路使用效率。应急安全效能提升 B2 的权重约为 30%，是第二重要的指标。这强调了在智慧城市中，应急响应和安全措施的重要性，尤其是在处理突发事件和保障道路使用者安全方面。出行服务效能提升 B4 权重约为 20%，反映了提供高质量出行服务的需求，包括路线规划、信息服务等，对于提升智慧城市道路的整体效能至关重要。运维养护效能提升 B3 权重最低约为 15%。尽管相对较低，但运维养护效能仍然是智慧城市道路不可或缺的一部分，它涉及到道路维护、设施更新等，对于保持道路长期稳定运行和性能至关重要。

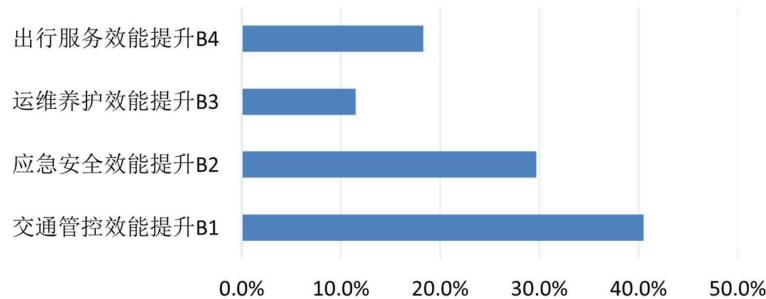


Figure 4. Diagram of secondary indicator weights
图 4. 二级指标权重示意图

4.1.2. 各三级指标的权重分析

(1) 交通管控效能提升

由图 5 可知, 平均流量 C12 是影响交通管控效能提升的最大因素, 其次是主线平均速度 C11、拥堵天数占比 C13。车道间速度差 C14 的占比则相对较小, 但仍然是重要的考量因素。这说明, 在智慧城市道路的交通管控中, 需要特别关注流量的平均分配和车辆在主线上的行驶速度, 以确保交通的顺畅和高效。同时, 减少拥堵持续时间和控制车道间的速度差异也是提升交通管控效能的关键环节。通过优化这些关键指标, 可以有效提高道路使用效率, 减少交通拥堵, 从而提升整体的交通管控水平。

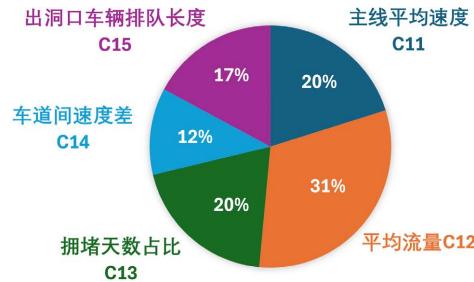


Figure 5. The weight of the third level indicators under B1
图 5. B1 下的三级指标权重

(2) 应急安全效能提升

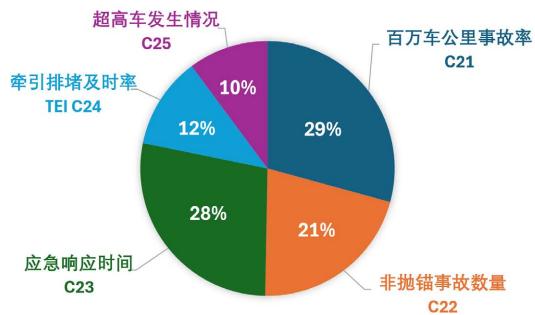


Figure 6. The weight of the third level indicators under B2
图 6. B2 下的三级指标权重

如图 6 所示, 根据权重结果, 百万车公里事故率 C21、应急响应时间 C23、非抛锚事故数量 C22 占比较高, 表明在应急安全效能中, 事故的严重性和响应时间是重要的考量因素, 也说明需要特别关注事故的频率和严重性, 以及对事故的快速响应能力, 从而有效降低安全风险。同时, 提高牵引排堵的及时性和加强对超高车辆的拦截也是提升道路安全效能的重要方面。

(3) 运维养护效能提升

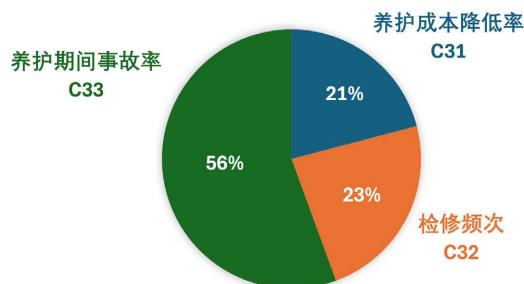


Figure 7. The weight of the third level indicators under B3
图 7. B3 下的三级指标权重

如图 7 所示, 养护期间事故率 C33 是影响整体效能提升的最大因素, 养护成本降低率 C31 与检修频次 C32 的占比相当, 表明在运维修护效能提升中, 事故率的降低是重要的考量因素, 同时, 成本的控制、定期检修在整体效能评价中也有较重要的作用。结果表明, 在智慧城市道路的养护管理中, 需要特别关注事故率的降低, 从而有效提升整体效能。同时, 成本的控制、合理安排检修频次也是提升道路养护管理效能的重要方面。

(4) 出行服务效能提升

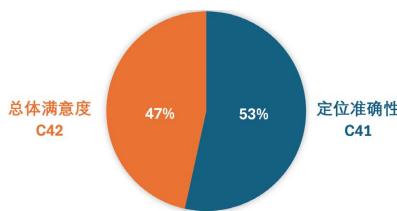


Figure 8. The weight of the third level indicators under B4

图 8. B4 下的三级指标权重

如图 8 所示, 定位准确性 C41、总体满意度 C42 均是影响出行服务效能提升较大的最大因素, 这表明在出行服务效能中, 定位的准确性和用户的满意度是重要的考量因素, 在实际运行中也需要特别关注定位系统的准确性和提升用户的出行体验, 从而有效提升出行服务的质量和效能。

4.2. 智慧城市道路效果评价结果分析

根据构建的评价指标体系, 按照指标采集方法, 邀请专家对于评价指标体系中指标进行评分, 对最终得分进行标准化处理, 得到一个 0~1 之间的得分, 评分结果如表 3 所示。

Table 3. Standardized scoring data for evaluation indicators

表 3. 评价指标标准化评分数据

评价指标	专家评分	AHP-熵权综合权重(%)	备注
C11 主线平均速度	0.9	7.79	早晚高峰时段平均行程车速
C12 平均流量	0.9	12.11	视频读取, 车道流量为 1141 veh/h, 专家打分
C13 拥堵天数占比	1	7.64	选取 2023 年 6 月份的该隧道拥堵指数 < 20%, 打分 100
C14 车道间速度差	0.8	4.48	调研得到
C15 出洞口车辆排队长度	1	6.63	高峰期出口匝道车辆排队未发生溢出, 未影响主线车辆通行
C21 百万车公里事故率	0.75	8.09	事故率 1.2, 调研得到数据, 专家评分
C22 非抛锚事故数量	0.85	5.82	115 起/年, 调研得到数据, 专家评分
C23 应急响应时间	0.9	7.72	通过评估应急救援点距隧道内最不利处的车程时间, 对隧道事故救援响应进行评价
C24 牵引排堵及时率 TEI	0.9	3.22	调研得到, 专家打分
C25 超高车发生情况	0.8	2.81	120 起/年, 专家打分得到
C31 养护成本降低率	0.8	2.66	调研得到
C32 检修频次	0.75	2.99	一周养护三次, 单向全封(周二固定上层, 周三固定下层, 周四两周上层两周下层), 专家打分得到

续表

C33 养护期间事故率	1	7.07	调研时间段内未发生
C41 定位准确性	1	11.23	实现雷视融合, 毫米级定位, 专家打分
C42 总体满意度	0.7	9.78	网上爬虫, 从高德地图、微博等平台抓取包含该隧道名的用户评论, 并调用百度情感分析 API 进行情感极性判断, 正面评论占比即为总体满意度

Table 4. Score of secondary indicators**表 4. 二级指标所占分数**

二级评价指标	二级指标得分	二级指标满分	得分率
B1 交通管控效能提升	35.76	38.65	0.93
B2 应急安全效能提升	23.11	27.66	0.84
B3 运维养护效能提升	11.44	12.72	0.90
B4 出行服务效能提升	18.08	21.01	0.86

上海某隧道的各二级指标得分情况如表 4 所示。在交通管控效能提升 B1 方面得分为 0.93, 这一得分体现了该隧道在交通管控方面的有效性, 尤其在提升交通流的顺畅度和效率方面取得了显著成绩。这些成就主要得益于其在交通监控、信号控制优化以及交通管理策略实施等方面的良好表现, 极大地提高了道路使用效率、减少了拥堵。在应急安全效能提升 B2 方面, 得分为 0.84, 反映了该隧道在应急情况下的安全性能和响应能力, 特别是在事故发生频率、事故严重性以及应急响应及时性方面的管理。尽管得分相对较高, 但仍有提升空间, 特别是在提高应急响应速度和减少事故发生方面, 可进一步加强安全措施和应急预案的执行。在运维养护效能提升 B3 方面, 得分为 0.90。这一得分显示了该隧道在道路设施的日常维护和养护效率方面表现较为优秀。尽管已采取一些措施来降低养护成本和合理安排检修频次, 但为进一步提高运维养护效能, 仍可在养护技术和管理策略上进行创新和优化。在出行服务效能提升 B4 方面, 该隧道得分为 0.86。这一得分表明该隧道在提升出行者服务体验方面取得了一定的成效, 尤其是在提高定位系统准确性和用户满意度方面的努力。然而, 为进一步提升出行服务的质量和效能, 该隧道需继续优化出行服务, 增强公众的满意度, 确保智慧道路能够提供更加便捷和可靠的出行体验。

5. 总结与展望

本文针对当前智慧城市道路建设“重建设、轻评价”的困境, 在梳理国内外智慧道路研究成果及实际需求基础上, 构建智慧城市道路效果评价指标体系, 同时采用基于 AHP(层次分析法)和熵值法的主客观组合赋权法确定评价指标权重, 以上海某隧道为例, 对其智慧化提升效果进行实证分析, 验证所构建指标体系的落地性和可测性。结果表明, 该隧道在智慧城市道路效果评价中得分较优, 综合反映了其在智慧化管理、服务和运行方面的总体表现较好, 显示出其在提供准确位置信息和丰富出行相关信息方面的有效性。

受历史数据所限, 本文未能进行智慧化改造前后的纵向对比分析, 但本文所构建的体系可为未来的前后对比评价提供可比的基准框架, 未来将尝试在获得基线数据基础上, 进行智慧化改造前后的纵向对比分析。同时也将尝试将评价体系应用于更多类型的城市道路(如主干道、交叉口等), 以支持智慧城市道路能力评估, 为城市道路的智能化升级提供科学依据, 推动城市道路智慧化转型的有序进行, 促进智慧城市的建设与发展。

基金项目

上海市交通委员会科研项目(JT2024-KY-007)。

参考文献

- [1] 赵靖, 杨晓光, 章程. 交通设计技术发展与对策建议[J]. 前瞻科技, 2023, 2(3): 45-57.
- [2] 葛冬冬, 张文慧, 吕松涛, 等. 智慧道路设计建造运维中的数字化技术综述[J]. 中国公路学报, 2024, 37(12): 294-309.
- [3] 刘艺, 游克思, 孙培翔. 智慧城市道路体系架构与发展路径研究[J]. 城市交通, 2024, 22(5): 93-100.
- [4] 朱兆芳, 白子建, 刘锐晶, 等. 大城市智慧道路交通研讨[J]. 城市道桥与防洪, 2024(9): 1-7.
- [5] 岑晏青, 宋向辉, 王东柱, 等. 智慧高速公路技术体系构建[J]. 公路交通科技, 2020, 37(7): 111-121.
- [6] 赵靖, 巩凯琦, 章程. 基于仿真寻优的交叉口几何设计和信号控制协同优化模型[J]. 中国公路学报, 2025, 38(6): 295-312.
- [7] 邹娇, 赵翔. 基于车路协同的城市智慧道路关键技术框架研究[J]. 城市道桥与防洪, 2024(6): 5-8.
- [8] 章程, 赵靖, 杨晓光, 等. 城市快速路入口匝道控制研究综述[J]. 上海理工大学学报, 2023, 45(4): 332-344.
- [9] 杨超, 曹更永, 杨松, 等. 智慧高速公路评价指标体系研究[J]. 综合运输, 2023, 45(8): 47-51.
- [10] 徐胜龙, 陈谷权, 李本山, 等. 智慧高速公路运营效果评价体系设计及分析[J]. 交通世界, 2023(28): 56-59.
- [11] 陈忱, 于丽丽, 贾彦党. 智慧公路评价指标体系及评价方法研究[J]. 中国交通信息化, 2022(S1): 12-14.
- [12] 韩丽娟, 李宝成, 陈希, 等. 基于熵值法的智慧公路综合服务应用评价体系研究[J]. 青海交通科技, 2018(6): 5-7.
- [13] 陈伟清, 张学垚, 赵文超, 等. 基于粗糙集与变异系数法相结合的智慧交通评价体系研究[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(2): 191-197.
- [14] 勾茫茫, 冯雪瑶, 李建茹, 等. 基于层次分析-熵权法的乌梁素海湖泊生态系统健康评价[J]. 灌溉排水学报, 2025, 44(2): 93-100.
- [15] 李龙, 郑姝, 敖科, 等. 熵权法与层次分析法在四川盆地碳酸盐岩气藏开发效果评价中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2024, 47(2): 53-60.