

城市道路交通安全综合评价体系构建及实证研究

余沛, 高素芹

(信阳学院 土木工程学院, 河南 信阳 464000)

摘要: 为了减少城市道路交通事故的发生概率, 提升城市道路安全性, 本文进行了城市道路交通安全综合评价体系构建及实证研究。以现阶段城市道路交通特点为基础, 构建道路交通安全综合评价体系, 分别利用层次分析法与熵权法对评价指标的主观权重与客观权重进行计算, 得到综合权重, 结合模糊综合评判方法建立城市道路交通安全综合评价模型, 获取最终的评价结果。实证研究表明, 本文所得结果与专家评价结果一致, 验证了该体系的科学性与有效性。

关键词: 城市道路; 交通安全; 综合评价体系; 实证研究

中图分类号: U492.8

文献标识码: A

Construction and Empirical Study of Comprehensive Evaluation System of Urban Road Traffic Safety

YU Pei, GAO Suqin

(School of Civil Engineering, Xinyang University, Xinyang 464000, He'nan, China)

Abstract: In order to reduce the probability of urban road traffic accidents and improve the safety of urban roads, this paper mainly constructs the comprehensive evaluation system of urban road traffic safety and conducts empirical research. Based on the characteristics of urban road traffic at present stage, a comprehensive evaluation system for road traffic safety is constructed. The subjective weight and objective weight of the evaluation index are calculated by using the analytic hierarchy process and the entropy weight method respectively, and the comprehensive weight is obtained. Combined with the fuzzy comprehensive evaluation method, a comprehensive evaluation model of urban road traffic safety is established to obtain the final evaluation result. The empirical study shows that the results obtained in this paper are consistent with the expert evaluation results, which verifies the validity and scientificity of this system.

Key words: urban road; traffic safety; comprehensive evaluation system; empirical study

1 引言

目前, 我国城市交通迅速发展, 城市车辆数量急剧增加。这一方面满足了人民持续增长的出行需求, 另一方面也带来了交通安全问题、环境问题、交通堵塞以及交通秩序混乱等问题^[1-2]。城市道路主体密集、出行矛盾集中、道路错综复杂, 使得交通事故频发, 严重威胁到了城市居民

的生命与财产安全^[3]。相关调查显示, 我国城市交通安全事件数量逐年上升, 城市道路里程占全国道路里程不足 10%, 但是其中的交通安全事故发生率却占了一半, 伤亡人数占了约 40%, 这些数据说明我国城市交通道路安全问题已经成为交通安全领域的重点问题, 因此需要构建有效的城市道路交通安全综合评价体系, 对城市道路交通安全做出精准评估, 并针对评估结果改进当前城市道

收稿日期: 2023-03-15

作者简介: 余沛, 副教授/高级工程师, 硕士, 研究方向为土木工程施工

基金项目: 2024 年河南省科技攻关项目 (编号: 202401042960); 2023 年河南省本科高校产教融合重点项目 (编号: 20241356)

路交通存在的问题,降低安全事故发生频率^[4-5]。

张文晰^[6]采用模糊综合评价法和灰关联度赋权方式,对某城市区域交通安全进行分析评价,研究结果表明该城市道路交通安全处于一般和不安全状态;杨沙^[7]提出了区域灾害安全评价思路,建立了城市道路交通安全评价模型,并以西部某市为实例,采用AHP-熵权法,对城市道路交通安全进行定性定量分析,得出该城市道路交通安全的安全等级为二级;姚茜^[8]以山区道路交通安全为研究对象,通过文献分析和实地调研总结了我国的道路交通现状,分析山区交通安全风险,提出了道路交通安全风险管控的建议;孙志静^[9]依托高斯烟羽模型对交通拥堵的传播特点和规律进行分析,建立了城市路网脆弱性动态评价模型,提出了降低路网脆弱性的有效控制策略;高俊伟^[10]以云南山区公路交通安全风险状况为研究对象,提出了层次分析法-模糊综合数学评价模型来研究山区公路交通安全的风险评价等级,从而提高山区公路的管理水平和服务水平。

从以上研究来看,我国城市道路交通安全评价的研究方法相对单一,大部分采用模糊综合评价法、AHP层次分析法或安全风险管控,没有形成相对系统的城市交通安全评价体系。城市道路交通安全综合评价体系的构建涉及交通安全规划、设计、管理、维护等多个方面,科学合理的评估体系有助于研究现阶段城市交通道路安全水平,预测城市道路交通安全发展趋势,制定具有实际意义的交通安全规划及管理策略,降低城市道路交通安全事故的发生概率^[11]。本文通过总结城市交通安全影响因素,进行城市道路交通安全综合评价体系构建及实证研究,以期达到上述目标,促进城市道路交通安全水平的进一步提升。

2 城市道路交通安全综合评价体系构建

构建城市道路交通安全综合评价体系涉及城市中的人、车辆、道路、环境和交通规划等多个方面,本文以现阶段城市道路交通特点为基础,构建一个既有定性指标又有定量指标的城市道路交通安全综合评价体系,以期提升评估结果的精准度^[12]。

城市道路交通安全评价指标体系具有复杂性,在选取指标时,要做到客观、科学和简洁,摒弃对评价结果影响极小的指标。在进行量化分析时,依据不同城市类别或等级来选择不同的分级评价标准。本文结合国家交通安全标准与地方

性规范,详细研读国内外关于城市交通安全风险评价的文献,并咨询国内相关专家意见,建立适合城市道路交通安全评价的二级指标共40项,进行量化取值,以分析城市道路交通安全风险,构建相应的城市道路交通安全风险评价指标体系。

基于此,本文构建的评价体系由评价目标层A、准则层C、一级指标层P和二级指标层p组成,为了进一步明确城市道路交通安全综合评价体系中各层次之间的关系,对该评价体系进行编码处理,具体如表1所示。

2.1 基于综合权重赋值的评价指标权重计算

在城市道路交通安全综合评价体系中的评价指标对最终评价结果的影响具有差异性,所以在构建评价体系后,需要采用科学与合理的方法进行评价指标权重计算,权重计算方法具体如下。

(1) 主观层次分析法。这种方法主要是以相关机构及专家的经验为基础,对不同评价指标的权重进行计算。在实际中应用最广泛的为层次分析法,这种方法的理论体系已经趋于成熟,具有操作性强以及所得结果可靠性高等优点,主要以构建的评价指标判断矩阵为基础,结合专家评价结果对评价指标权重的一致性进行检验,以此得到最终的权重评价结果^[13]。但是这种方法的主观性较强,所得权重与实际结果存在一定的差异性,导致最终评价精度下降。

(2) 客观赋权法。这种方法主要是以相关的科学统计与分析方法为基础,对现阶段所拥有的数据进行整理与分析,以此确定评价指标的权重。在所有的客观赋权法中,应用最为广泛的为熵权法,主要是以物理学中的信息熵作为理论基础,通过熵值分析评价指标对评价结果的影响。虽然利用该方法所得的评价指标权重计算结果较为客观,但是由于没考虑到专家这一要素,造成所得结果的计算精度下降^[14]。

2.1.1 基于层次分析法的主观权重计算

层次分析法根据对事物由浅至深的认识方式,将复杂问题进行分解,最终将问题分解为多个合理、有序的层次,在此基础上对每一层次进行深入分析,最终得到各层次指标相对评价对象的重要程度,因此该方法具有逻辑性强及层次清晰等特点。本文利用层次分析法对城市道路交通安全综合评价指标主观权重进行计算,具体过程为:采集专家对每一层次评价指标重要程度的评价结果,并对每个评价指标间的相对重要程度进行计算,并以数量化的形式给出最终结果^[15]。尤

表 1 城市道路交通安全综合评价体系

目标层 A	准则层 C	一级指标层 P	二级指标层 p
城市道路 交通安全 综合评价	交通设施 (C ₁)	道路条件 (P ₁₁)	横断面 (p ₁₁₁)
			路面状况 (p ₁₁₂)
			排水设施 (p ₁₁₃)
			交叉口设计 (p ₁₁₄)
			交叉口渠化 (p ₁₁₅)
		交通设施 (C ₁)	标线施化率 (p ₁₂₁)
			标志、标线设置 (p ₁₂₂)
			行人过街设置率 (p ₁₂₃)
			监控设备 (p ₁₂₄)
			信息诱导设施 (p ₁₂₅)
		控制设施 (P ₁₂)	信号控制系统 (p ₁₂₆)
			交通控制设施的维护 (p ₁₂₇)
		道路环境 (P ₁₃)	道路照明 (p ₁₃₁)
			交通安全防护设施 (p ₁₃₂)
			机动车违法率 (p ₂₁₁)
	交通安全 运营系统 (C ₂)	行车管理 (P ₂₁)	非机动车违法率 (p ₂₁₂)
			行人违法率 (p ₂₁₃)
			违法道路占用率 (p ₂₁₄)
			百辆汽车停车位 (p ₂₁₅)
			限速管理 (p ₂₂₁)
		交通流状态 (P ₂₂)	交通流管理 (p ₂₂₂)
			机动车安全管理 (p ₂₃₁)
		交通安全 管理 (P ₂₃)	长途运营安全管理 (p ₂₃₂)
			公共交通管理 (p ₂₃₃)
			交通警察管理 (p ₂₃₄)
	安全保障 系统 (C ₃)	事故救援 体系 (P ₂₄)	交通事故逃逸案破案率 (p ₂₃₅)
			联动救援体系 (p ₂₄₁)
			交通管制方案合理率 (p ₃₁₁)
			车辆检测站评估 (p ₃₁₂)
			驾驶学习评估 (p ₃₁₃)
		安全源头 管理 (P ₃₁)	驾驶员考试系统 (p ₃₁₄)
			交通安全协调机构和专家组 (p ₃₂₁)
		安全管理 规划 (P ₃₂)	交通安全宣传策略 (p ₃₂₂)
			危险品运输规划 (p ₃₂₃)
			事故黑点整治 (p ₃₂₄)
	公共交 通 优先 (P ₃₄)	事故信息 系统 (P ₃₃)	费用投入 (p ₃₂₅)
			事故信息采集系统 (p ₃₃₁)
		公共交 通 优先 (P ₃₄)	事故信息管理系统 (p ₃₃₂)
			公共交通优先政策 (p ₃₄₁)
			公共交通分担率 (p ₃₄₂)

其是在最终决策过程中，以少数的定量信息为基础，使指标权重计算过程更数学化，因此可令复杂的评价指标权重计算决策更清晰明了，具体实

现步骤如下。

①判断矩阵构建。假设判断矩阵 **B** 中共有 *n* 个城市道路交通安全综合评价指标，则第 *i*、*j* 个评价指标分别用 *b_i*、*b_j* 表示，*b_i* 相对 *b_j* 的重要性可以用 *b_{ij}* 表示。其中，判断矩阵 **B** 的具体描述如式 (1) 所示，则可以相关研究成果分析判断矩阵中 *b_{ij}* 的标度。

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

(1)

②重要性排序。以上述所得的判断矩阵 **B** 为基础，计算该矩阵的最大特征根，该结果用 λ_{max} 表示，进而以 λ_{max} 为基础获取判断矩阵的特征向量，具体的计算公式描述如式 (2) 所示^[16]。

$$W = \frac{B}{\lambda_{\max}}$$

(2)

③一致性检验。一致性检验的目的在于对城市道路交通安全综合评价指标权重值的收敛性进行校验，具体校验公式如式 (3) 所示。

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

(3)

上述公式中，*CI* 和 *RI* 分别表示 **B** 的一般一致性指标与一致性指标。*CI* 的值主要通过下述公式计算得出，如式 (4) 所示。

$$CI = (\lambda_{\max} - n)(n - 1)$$

(4)

RI 的值主要通过 1~15 阶的值进行描述，具体如表 2 所示。

根据 *W* 求出城市道路交通安全综合评价指标权重值，在此基础上对所得结果进行一致性检验，获取通过一致性检验的权重计算结果，可以用 *w'_j* 进行描述，以此得到主观权重计算结果。

2. 1. 2 基于熵权法的客观权重计算

在信息论中，在人们对某个事件进行决策过程中，通常会以某些具有较高可靠性的参考信息作为参考，这一信息称之为熵，所以熵能够对不同信息与系统之间的关系进行判断，根据判断结果进行决策。一般情况下，熵权值越小，提供的信息量越小，对系统影响越小；否则与之相反^[17]。本文将熵权法应用至城市道路交通安全综合评价指标客观权重计算过程中，利用熵权法可以获得每个城市道路交通安全综合评价指标的信息，并获得评价指标对评价系统的影响程度，使所得结果更具科学性与合理性。基于熵权法的客观权重计算如下。

①假设城市道路交通安全综合评价指标集合

表2 RI值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.48	1.51	1.53	1.55	1.57	1.58

由 m 个层次以及 n 个指标组成, 利用专家对其进行打分, 则第 i 个层次中的第 j 个指标用 X_{ij} 表示。其中, $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ 。

②对城市道路交通安全综合评价指标集中的所有指标进行归一化处理, 结果如下:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (5)$$

③在上述基础上, 对第 j 个指标相对于第 i 个层次的重要性进行判断, 结果如下:

$$p_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^m Y_{ij}} \quad (6)$$

④根据 p_{ij} 值, 可对第 j 个指标的熵值进行计算, 其结果如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (7)$$

上述公式中, $e_j \geq 0$, 且 k 表示一个常数, 且满足式 (8)。

$$k = \frac{1}{\ln n} > 0 \quad (8)$$

⑤结合上述计算结果, 可对城市道路交通安全综合评价指标的熵权进行计算^[18], 结果如下:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad (9)$$

上述公式中, d_j 表示最终的城市道路交通安全综合评价指标信息熵计算结果。

根据熵值即可计算城市道路交通安全综合评价指标客观权重, 结果用 w''_j 表示。所以本文采取综合权重赋值法, 利用该方法对城市道路交通安全综合评价指标权重进行计算, 以此得到更精准的评价指标权重计算结果。城市道路交通安全综合评价指标权重计算结果如式 (10) 所示。

$$w_j = \eta w'_j + (1 - \eta) w''_j \quad (10)$$

式中, η 表示综合指标值偏向程度, 其取值范围为 $[0, 1]$, 在评价指标体系中, 通过调整 η 值来调整评价指标权重计算精度。

由于主观层次分析法、客观赋权法确定评价指标的权重系数分别具有主观性与客观性, 致使两种方法针对同一评价指标确定的权重系数存在较大差别。而综合权重赋值法的目的是在充分考虑主、客观权重法各自特点的基础上, 寻找主、

客观权重值的一致或妥协, 使主、客观权重离差极小化。本文将主观层次分析法与客观熵权法相结合, 即通过专家对影响城市道路交通安全的同层次风险因素两两相比并打分, 构造系统风险因素的模糊互补矩阵, 进而使模糊一致矩阵与当地科学统计的数据相结合, 通过构建矩阵和运算, 构建城市道路交通安全综合评价模型; 得到一种新的方法——综合权重赋值法, 利用该方法对城市道路交通安全综合评价指标权重进行计算, 以此得到更为精准的评价指标权重计算结果。

2.2 基于模糊综合评判的综合评价

综合评判是多元分析方法中的一种, 在实际中已经实现了广泛应用, 这种方法能够对受多个因素制约的事物做出精准评价, 而应用模糊数学理论的综合评判方法称为模糊综合评判。模糊综合评判方法主要是将事物的多个影响因素作为重点, 将模糊数学作为研究工具, 对某事物进行综合评价。由于在实际中, 交通安全状况中的安全是一个相对概念, 很难对城市道路交通安全与否做出精准判断, 所以本文将城市道路交通安全问题当作一个模糊问题, 这种方法可以解决多种复杂问题。本文利用模糊综合评判方法构建城市道路交通安全综合评价模型的具体步骤如下。

①建立二级评价指标层 p 的单因素集合。假设准则层、一级指标层、二级指标层的单因素集合分别用 U_C 、 U_P 、 U_p 表示, 则 P 所对应的单因素集合可以用式 (11) 表示。

$$U_P = \{U_{P11}, U_{P12}, U_{P13}, U_{P21}, U_{P22}, U_{P23}, U_{P24}, U_{P31}, U_{P32}, U_{P33}, U_{P34}\} \quad (11)$$

p 所对应的单因素集合可以用式 (12) 表示。

$$U_p = \left\{ \begin{array}{l} U_{P11} = \{p_{111}, p_{112}, p_{113}, p_{114}, p_{115}\} \\ U_{P12} = \{p_{121}, p_{122}, p_{123}, p_{124}, p_{125}, p_{126}, p_{127}\} \\ \dots \\ U_{P34} = \{p_{341}, p_{342}\} \end{array} \right\} \quad (12)$$

②建立单因素模糊评判矩阵 R 。在上述基础上, 对于二级评价指标层 p 所对应的单因素集合 U_p 中的各个指标因素进行评价。由于本文所设置的评价指标可分为硬指标与软指标两类, 硬指标可以采用量测的方法进行量化评价, 所得结果具

有唯一性,但是软指标需要以专家评判结果为基础,确定具体的评判等级,如一级、二级、三级、四级等,继而对该指标被认定为该级别的专家投票比例进行计算,以此确定某一评价指标 u_i 相对于评判等级 v_j 的隶属度 r_{ij} 。在此过程中,需要建立某一个单因素 U_{p11} 的评判矩阵,结果可以用式(13)表示。

$$R_{ijk} = \begin{bmatrix} r_{p111} & \cdots & r_{11n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n1} & \cdots & r_{mnk} \end{bmatrix} \quad (13)$$

③构建 p 的模糊综合评判集合。根据模糊数学理论,存在下述关系式:

$$B = W \times R \quad (14)$$

式中, B 表示 U 的模糊综合评判集, W 表示 U 的单因素权重集。由于城市道路交通安全综合评价问题是一个模糊性问题,所以本文采用加权平均算子对模糊综合评判集合进行计算,以此得到最终的结果,如式(15)所示。

$$B_p = \{B_1, B_2, \dots, B_n\} \quad (15)$$

④构建 P 的模糊综合评判集合。在构建一级指标层 P 的模糊综合评判集合过程中,需要对该层指标进行模糊综合评判,为了简化计算过程,提升计算效率,本文只需以 p 的评价结果 B_p 与 P 层的其余判断矩阵元素为基础,构建模糊变换矩阵,该矩阵用 R_p 表示,并将 P 层的单因素权重集 W_p 带入公式(14),即可得到 P 的模糊综合评判集合,该集合可以用式(16)表示。

$$B_p = \{B_1, B_2, \dots, B_m\} \quad (16)$$

⑤构建 C 的模糊综合评判集合。利用上述方法对准则层 C 进行模糊综合评判,得到一个新的模糊综合评判集合,该集合就为最终的城市道路交通安全的模糊综合评判集,利用该集合获取最终的评价结果。

⑥得出最终评价结果。结合专家评判结果,对于评语集 V 中的元素进行赋值处理,以此计算城市道路交通安全的综合评价结果,该结果可以用城市道路交通安全综合评价模型的最终输出结果 S 表示,则 S 的计算公式如式(17)所示。

$$S = B \times T \quad (17)$$

式中, T 表示不同评语等级。

2.3 各指标量化及分级

我国城市的道路交通状况、交通出行方式和城市人口数量差距较大,应当依据国家、地方规定的标准规范,从道路条件、控制设施、道路环境、行车管理、交通流状态、交通安全管理、事

故救援体系、安全源头管理、安全管理规划、事故信息系统及公共交通优先等11个方面进行定性分析。不同级别的城市,其经济发展状况和人口规模对城市道路安全水平会产生不同的影响,因此不能用同一量化分级标准构建每个城市道路交通安全风险评价指标体系。

3 城市道路交通安全综合评价体系实证研究

将广州、珠海、惠州、东莞和佛山作为研究对象,通过多种方法获取这些城市的历史道路交通数据,并邀请相关领域的专家学者对这几个城市道路交通安全状况进行评分,将其评价结果与本文所得结果进行比较,以此验证本文所构建的城市道路交通安全综合评价体系的有效性。

专家对于这5个城市道路交通安全状况的评分由高到低分别为惠州、佛山、广州、珠海、东莞。利用本文方法对城市道路交通安全综合评价指标权重进行计算,结果如表3所示。根据本文运算过程,结合专家打分结果,即可获得这5个城市道路交通安全综合评价指标得分的取值样本矩阵 T ,该矩阵的具体描述如下:

$$T = \begin{bmatrix} k_{11} & \cdots & k_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{71} & \cdots & k_{75} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 72.0 & 76.0 & 74.6 & 81.6 & 86.0 \\ 65.4 & 74.4 & 76.6 & 83.2 & 91.4 \\ 75.2 & 80.2 & 74.4 & 84.8 & 92.2 \\ 75.5 & 83.6 & 82.4 & 80.4 & 92.6 \\ 81.4 & 81.8 & 78.4 & 83.8 & 89.2 \\ 76.6 & 84.0 & 85.0 & 83.6 & 93.0 \\ 79.0 & 82.8 & 80.2 & 84.2 & 92.4 \end{bmatrix} \quad (18)$$

根据上述结果,构建城市道路交通安全综合评价模型,该模型的具体结果如式(19)所示。

$$S = B \times T = \left[\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m q_j k_{j1}, \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m q_j k_{j2}, \dots, \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m q_j k_{jm} \right] \quad (19)$$

将这5个城市的道路交通数据代入上述公式,即可得到最终的评价结果:

$$S = [0.188, 0.238, 0.224, 0.262, 0.322] \quad (20)$$

将上述矩阵中的元素分别对应5个城市道路交通安全评价结果可得表4。由表中数据可知,利用本文方法得出的这5个城市道路交通安全状况由高到低分别为惠州、佛山、广州、珠海、东

表3 评价指标权重计算结果

准则层 C	一级指标层 P	二级指标层 p
交通设施 权重 0.483	道路条件权 重 0.311	横断面权重: 0.233
		路面状况权重: 0.198
		排水设施权重: 0.156
		交叉口设计权重: 0.221
		交叉口渠化权重: 0.202
	控制设施权 重 0.475	标线施化率权重: 0.107
		标志、标线设置权重: 0.264
		行人过街设置率权重: 0.129
		监控设备权重: 0.143
		信息诱导设施权重: 0.086
交通安全 运营系统 权重 0.286	道路环境权 重 0.214	信号控制系统权重: 0.159
		交通控制设施的维护权重: 0.112
		道路照明权重: 0.451
		交通安全防护设施权重: 0.549
		机动车违法率权重: 0.231
	行车管理权 重 0.333	非机动车违法率权重: 0.217
		行人违法率权重: 0.164
		违法道路占用率权重: 0.235
		百辆汽车停车位权重: 0.153
		限速管理权重: 0.437
安全保障 系统权重 0.231	交通流状态 权重 0.210	交通运营管理权重: 0.563
		机动车安全管理权重: 0.343
		长途运营安全管理权重: 0.119
		公共交通安全管理权重: 0.140
		交通警察管理权重: 0.226
	交通安全管 理权重 0.232	交通事故逃逸案破案率权重: 0.132
		联动救援体系权重: 0.475
		交通管制方案合理率权重: 0.475
		车辆检测站评估权重: 0.331
		驾驶学习评估权重: 0.423
事故救援体 系权重 0.379	安全源头管 理权重 0.475	驾驶员考试系统权重: 0.246
		交通安全协调机构和专家组权重: 0.090
		交通安全宣传策略权重: 0.132
		危险品运输规划权重: 0.290
		事故黑点整治权重: 0.288
	事故信息系 统权重 0.215	费用投入权重: 0.200
		事故信息采集系统权重: 0.313
		事故信息管理系统权重: 0.687
		公共交通优 先权重 0.174
		公共交通分担率权重: 0.348

注：本研究数据来源于实地调查和国家统计局官方网站数据。

表4 评价结果

城市	东莞	广州	珠海	佛山	惠州
综合评价指数	0.118	0.238	0.224	0.262	0.332

莞，与专家评价结果一致，因此验证了本文所构

建的城市道路交通安全综合体系的科学性与有效性。

4 结论

本文进行了城市道路交通安全综合评价体系构建及实证研究，深入阐述了该体系的构建过程，并在此基础上将本文所得结果与专家评价结果进行比较，所得结果与专家评价结果具有一致性，验证了该体系的科学性与有效性。未来可以将该体系应用至实际中，帮助预防及减少城市道路交通事故发生，提升城市道路交通安全性，保障人民生命与财产安全。

参考文献：

[1] LIU Y, WEN X L, MA X. Construction and empirical study on safety evaluation index system of urban road intersection [J]. Highway Traffic Science and Technology (Application Technology Edition), 2020, 16(1):366-369.

[2] ZHAO J. Research on construction and application of internal safety evaluation system of road transportation enterprises[J]. Transportation World (construction and maintenance machinery), 2020, 23(4):124-129.

[3] HE L L. Establishment of highway traffic safety evaluation index system [J]. Traffic World, 2020, 27 (1):1-12.

[4] HAN P. Construction of safety evaluation system for road transportation of hazardous waste [J]. Farm Staff, 2018, 79(7):269-276.

[5] ZHANG P. Suggestions on the construction of road transportation safety management system [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2018, 24(5):3091-3107.

[6] 张文晰. 基于灰关联度赋权的道路交通安全模糊评价 [J]. 西华大学学报 (自然科学版), 2018, 37 (5): 87-90.

[7] 杨沙. 城市道路交通安全风险评价指标体系研究与应用 [D]. 西安:西安科技大学,2020.

[8] 姚茜. 山区城镇道路交通安全影响因素分析及风险评估 [D]. 北京:首都经济贸易大学,2020.

[9] 孙志静. 交通拥堵状态下的城市道路交通网络脆弱性动态分析与研究 [D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2021.

[10] 高俊伟. 云南山区公路交通安全风险综合评价与改善工程研究 [D]. 重庆:重庆交通大学,2021.

[11] ZHAO K, WANG G F, NIU L X. Research and application of comprehensive evaluation index system of road traffic safety management [J]. Road Traffic Management, 2020, 43(9):38-47.

[12] CHEN B. Study on comprehensive evaluation index system of rural highway traffic safety[J]. China Science and Technology Journal, 2019, 56(11):143-144.

[13] CHEN G L, CHEN J Y, GE C R. Dynamic evolution mechanism of road traffic safety[J]. Enterprise Science and Technology Development, 2019, 25(7):65-52.

[14] LI Y J. Research on comprehensive evaluation system of road traffic safety based on deep correlation analysis [J]. Police Technology, 2020, 18(5): 91-95.

[15] LAN X Z. Research on emergency response capability of urban road traffic accidents based on rough set fuzzy comprehensive evaluation[J]. China Water Transport, 2018, 18(5):63-64, 66.

[16] LI G D. Study on urban road traffic safety evaluation based on entropy weight matter element model [J]. Highways & Automotive Applications, 2018, 20(1): 45-48,53.

[17] KANG W, GONG X L. Evaluation model and application of road traffic safety degree based on entropy weight method and BP neural network[J]. Journal of Luoyang Institute of Technology (natural science edition), 2019,2(4):11-17,60.

[18] XU L X, YUAN R N, WANG X S. Evaluation of road traffic safety based on fuzzy analytic hierarchy process [J]. Northern Communications, 2019, 12(3): 31-34,39.

(上接第 40 页)

表 2 案例分析结果

指标		案例 1: 没有应 用地基基础改造 的方法	应用地基基础改造的方法		
			案例 2: 凹陷基 底结构法	案例 3: 砾石改 良地基法	案例 4: 砾石垫层改造 凹陷基底结构法
无冲刷的土 工织物管路 堤系统	极限水平位移, u_x /mm	46	30	42	30
	极限水平位移下降百分比/%	0.00	34.80	8.70	34.80
	整体稳定安全系数 (FS)	1.20	1.22	1.21	1.23
	整体稳定安全系数上升百分比/%	0.00	1.70	0.80	2.50
有冲刷的土 工织物管路 堤系统	极限水平位移, u_x /mm	49	32	44	32
	极限水平位移下降百分比/%	0.00	37.70	10.20	34.70
	整体稳定安全系数 (FS)	1.17	1.2	1.18	1.18
	整体稳定安全系数上升百分比/%	0.00	2.60	0.80	0.90

4 结论

本文通过 Plaxis 软件对 4 个案例进行有限元分析,模拟了土工织物管系统的外部潜在故障,并评估了各种缓解措施和预防措施的性能,如替代结构和设计方法。在应用地基基础改造方法后,能在一定程度上改善填砂土工织物管系统支撑路堤的整体性能和稳定性。与传统的土工织物管设计和施工方法相比,采用地基改良技术后,极限水平位移有所减小,但整体稳定安全系数没有显著提高。此外,两种方法的组合并未提升土工织物管系统的整体性能,反而会增加施工成本、耽误施工进度。在 4 个案例中,凹陷基底结构法在降低极限水平位移和提高整体稳定安全系数方面是一个较好的选择。总的来说,在决定是否需要应用地基基础改造技术时,附加成本、延长施工进度等通常会对提高土工织物管路堤系统性能起到决定性的作用。

参考文献:

[1]李洪,苏金强,王钊.土工织物管的设计和应用[J].人民珠江,2004(1):38-39,48.

[2]赵铁成.薄壁管桩及土工织物在道路加宽改造中的应用[J].天津建设科技,2014,24(3):69-70.

[3]庄亚芳,赵彦霞,者东梅,等.聚丙烯长丝土工织物水利性能和耐久性研究[J].材料研究与应用,2023,17(3):586-592.

[4]郭超.基于洪水冲刷作用下的某碎石土边坡稳定性分析[J].山西交通科技,2020(5):23-26.

[5]张芝永,曾剑,史英标,等.浙江省河口海岸地区海塘塘脚冲刷问题探讨[J].浙江水利科技,2022,50(1):1-49.

[6]韩靖,凌文轩.利用 PLAXIS 中的 UBC3D-PLM 组成律模拟土壤液化[J].科学技术创新,2023(17):141-145.

[7]王捷.基于 PLAXIS 的地下空间基坑开挖对周边防汛管线设施的影响分析[J].中国水能及电气化,2023(1):32-37.