

基于 AHP-模糊综合评价法的济南市道路交通安全研究^{*}

车欣玉¹ 肖雯雯¹ 尹涵¹ 王莉莉²

(1. 山东建筑大学管理工程学院, 山东 济南 250101;

2. 山东建筑大学商学院, 山东 济南 250101)

摘要: 探究城市道路交通安全影响因素对降低道路危险事故风险、稳定城市发展具有重要意义。以济南市道路交通为研究对象, 基于层次分析法 (AHP) 和模糊评价法, 建立综合评价指标体系, 判断各影响因素重要程度和安全等级。结果表明: 济南市道路交通安全影响因素重要程度排名为人均道路面积 > 车流量 > 气候条件 > 人流量; 该市道路交通安全等级为“一般安全”。

关键词: 层次分析法; 模糊评价法; 济南市道路交通安全; 综合评价

0 引言

《交通强国建设纲要》明确提出, 完善交通基础设施安全技术标准规范, 持续加大基础设施安全防护投入, 提升关键基础设施安全防护能力^[1]。随着我国机动车数量持续增长, 城市道路规划与扩建加速进行, 交通事故数量迅速上升^[2]。近年来, 公路建设里程随着经济发展不断增长, 配套的基础设施建设等级和力度也在不断加强^[3]。目前, 济南市作为山东省省会城市, 人口密集, 不论是通车里程还是交通量都在逐年增长, 公路交通事故发生率呈逐年增长趋势, 公路交通安全形势较为严峻。因此, 评估公路交通安全情况并改善道路条件, 对于提升道路交通安全水平具有重要意义。

影响道路交通安全水平的因素十分复杂。蔡事廷^[4]提出, 合理设置交通标志可以有效改善交通拥堵并减少事故发生。陈昭明等^[5]构建了以 Logit 模型为基础的道路、环境、驾驶员及车辆多因素模型, 并对 4 种因素的破坏性程度进行比较。张炜^[6]在公路设计中考虑了公路路基路面、桥涵隧道、施工风险及交通安全因素, 以保证公路交通的安全性。Yoon 等^[7]研究发现, 天气、道路路面和道路照明三种因素对交通安全有较大影响。

Jun 等^[8]研究表明, 人、车、路、环境、管理是交通安全的主要影响因素, 交通环境和交通管理在一定程度上会影响驾驶人的判断和道路的安全水平。陈丽羽等^[9]研究发现, 道路安全设施是影响道路交通安全水平最直接的因素, 交通量次之, 而路面类型、车道数、天气等是最根本的影响因素。

目前, 有关济南市道路交通安全评价方法的研究主要从定性评价和定量评价两个方面入手^[10]。定性评价是根据专家的意见和经验进行评价; 定量评价则需要大量的数据, 当数据不足时, 结论与现实之间存在较大差距。当然, 这些采集到的数据仅仅只是影响因素的一部分, 还存在一些无法获取的数据, 它们会对济南市道路交通安全构成潜在影响。该问题很难通过简单的因素分析或成因归类得到解决。

层次分析法可应用于层次结构较复杂的系统, 模糊评价法是一种基于数学思想的隶属度理论方法^[11]。本文采用层次分析法结合模糊评价法的方式, 通过构建道路交通安全评价指标体系, 确定主要影响因素, 并评价济南市道路交通安全等级。

1 济南市道路交通安全影响因素分析

(1) 人为因素。济南市作为山东省省会城市

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金项目 (71973086); 教育部人文社会科学研究计划项目 (20YJC630164); 山东省自然科学基金项目 (ZR2020QG030)。

及旅游胜地，人流量较为密集，大多数人会选择自驾方式，易造成交通拥堵。

(2) 车辆因素。随着济南市经济迅速发展，车流量随之增多，与此同时，车辆老化和维护不善、部分车辆超载的情况时常发生，影响了车辆的稳定性，增加了道路交通事故的危险性。

(3) 道路因素。济南市老城区道路老旧、设计不合理、交通标志混乱，路况较差；一些地区道路狭窄、弯道多，易影响驾驶员的判断和应对能力，增加了道路交通事故风险。

(4) 环境因素。恶劣的天气条件、道路周边环境复杂、道路沿线绿化不良、环境污染、废气浓度过高等因素都会影响道路交通安全。

2 济南市道路交通安全评价指标体系构建

2.1 构建层次分析模型

本文基于以上 4 个因素，构建济南市道路交通安全层次结构模型。继续细分以上 4 个因素，考虑到济南市道路交通安全的实际情况，将其划分为人流量、车流量、人均道路面积、气候条件 4 个子因素，济南市道路交通安全层次结构模型如图 1 所示。

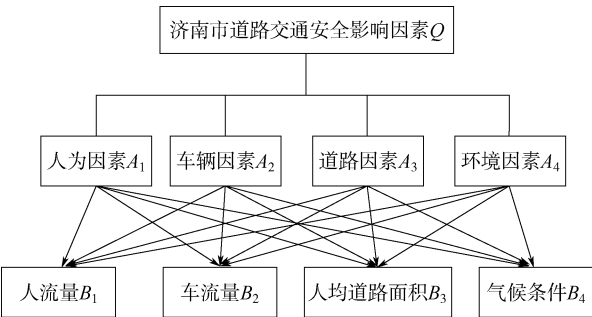


图 1 济南市道路交通安全层次结构模型

2.2 建立各要素评价矩阵

以人为因素、车辆因素、道路因素、环境因素为准则层，以人流量、车流量、人均道路面积、气候条件为指标层，构建各要素评价矩阵。通过文献总结、问卷调查及专家意见，对准则层的两

两因素进行两两对比，根据重要程度按照 1 ~ 9 赋值，成对比较标度含义见表 1。

表 1 成对比较标度含义

标度 a_{ij}	定义
1	因素 i 与因素 j 相同重要
3	因素 i 比因素 j 稍重要
5	因素 i 比因素 j 较重要
7	因素 i 比因素 j 非常重要
9	因素 i 比因素 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	介于两种判断之间的标度
倒数	因素 j 比因素 i 明显重要

根据对比结果建立准则层对目标层的对比矩阵，见表 2。

表 2 对比矩阵

A	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	1	3/5	5/3	5/2
A_2	5/3	1	7/5	7/3
A_3	3/5	5/7	1	3/2
A_4	2/5	3/7	2/3	1

基于以上方法，构造准则层与指标层的判断矩阵。指标层对准则层的人为因素、车辆因素、道路因素和环境因素的判断矩阵分别为 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 。通过上述对比，结合专家意见、问卷调查及网上文献，分别计算出人为因素、车辆因素、道路因素、环境因素的判断矩阵，见表 3 ~ 表 6。

表 3 人为因素判断矩阵

N_1	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	7/5	5/3	5/3
B_2	5/7	1	5/3	5/2
B_3	3/5	3/5	1	3/2
B_4	3/5	2/5	2/3	1

表 4 车辆因素判断矩阵

N_2	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	3/5	5/3	5/2
B_2	5/3	1	7/5	5/2
B_3	3/5	5/7	1	3/2
B_4	2/5	2/5	2/3	1

表 5 道路因素判断矩阵

N_3	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	1	5/3	7/5
B_2	1	1	5/3	5/7
B_3	3/5	3/5	1	7/5
B_4	5/7	7/5	5/7	1

表 6 环境因素判断矩阵

N_4	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	3/5	5/2	3/7
B_2	5/3	1	3/5	3/5
B_3	1	5/3	1	2/5
B_4	7/3	5/3	5/2	1

2.3 标度结果一致性检验

对上述判断矩阵构进行排序及检验，从而准确判断权重大小。

2.3.1 层次单排序及一致性检验

根据表 2，运用 Matlab 求得最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.051\ 5$ ，特征向量为 $w = (0.559\ 4, 0.682\ 3, 0.395\ 3, 0.255\ 5)^T$

(1) 计算一次性指标 CI。CI 值越接近 0，表示判断矩阵越符合逻辑；CI 值越大，表示判断矩阵的逻辑性越差。公式如下

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.051\ 5 - 4}{4 - 1} = 0.017$$

计算可得 CI 的值为 0.017，表示该判断矩阵较符合逻辑。

(2) 引入平均随机一致性指标 RI，见表 7。可根据 n 的值查找对应 RI 的值，由 $n = 4$ ，得 $RI = 0.90$ 。

表 7 平均随机一致性指标值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

(3) 计算一致性比率 CR。CR = CI/RI = 0.017/0.90 = 0.019 < 0.1，表明一致性检验通过。

同理，根据表 3 ~ 表 6，分别计算 A_i 所对应的特征向量、最大特征值及一致性比率，见表 8，并

进行一致性检验。

表 8 A_i 所对应的特征向量、最大特征值及一致性比率表

k	A_1	A_2	A_3	A_4
a_j	0.559 4	0.682 3	0.395 3	0.255 5
$\lambda_{\max}$	4.052 2	4.047 9	4.135 1	4.549 7
CI	0.0020	0.0010	0.0040	0.0070
CR	0.002 2	0.001 1	0.004 4	0.007 8

根据表 8 可知，CR 值均小于 0.01，说明通过一致性检验。

2.3.2 层次总排序及一致性检验

各元素综合重要度计算结果见表 9。

(1) 层次总排序。因素 B_1 对目标 Q 的组合权重 w_1 应为相应权重向量的两两乘积之和，即

$$w_1 = \sum_{j=1}^4 b_{1j} a_j = 0.241\ 8 \times 0.559\ 4 + 0.155\ 3 \times 0.682\ 3 + 0.091\ 2 \times 0.395\ 3 + 0.121\ 6 \times 0.255\ 5 = 0.308\ 3$$

类似地，可以求出因素 B_2 、 B_3 、 B_4 对目标 Q 的组合权重 w_2 、 w_3 、 w_4 。

表 9 综合重要度计算结果

一级指标	权重 a_j	二级指标	权重 b_{ij}	权重排名
人为因素 A_1	0.559 4	人流量 B_1	0.241 8	8
		车流量 B_2	0.197 0	12
		人均道路面积 B_3	0.385 3	2
		气候条件 B_4	0.288 6	6
车辆因素 A_2	0.682 3	人流量 B_1	0.155 3	14
		车流量 B_2	0.288 9	5
		人均道路面积 B_3	0.393 5	1
		气候条件 B_4	0.249 4	7
道路因素 A_3	0.395 3	人流量 B_1	0.091 2	16
		车流量 B_2	0.215 0	11
		人均道路面积 B_3	0.217 0	10
		气候条件 B_4	0.159 7	13
环境因素 A_4	0.255 5	人流量 B_1	0.121 6	15
		车流量 B_2	0.385 3	3
		人均道路面积 B_3	0.381 6	4
		气候条件 B_4	0.226 8	9

(2) 组合一致性检验。进行组合一致性检验,以确定组合权向量是否可以作为最终的决策依据。组合一致性检验可逐层进行,第三层的组合一致性指标为

$$\begin{aligned} CR &= \frac{\sum_{j=1}^4 CI_j a_j}{\sum_{j=1}^4 RI_j a_j} \\ &= \frac{0.002 \times 0.559\,4 + 0.001 \times 0.682\,3 + 0.004 \times 0.395\,3 + 0.007 \times 0.255\,5}{0.9 \times (0.559\,4 + 0.682\,3 + 0.395\,3 + 0.255\,5)} \\ &= 0.011 < 0.1 \end{aligned}$$

因此,第三层通过组合一致性检验。

通过处理数据并根据一致性指标和一致性比率公式,得到检验系数均符合,从而认定判断矩阵通过一致性检验,综合特征向量见表 10。

表 10 综合特征向量

指标层	准则层	层次单排序特征向量	层次总排序特征向量
人流量	人为因素	0.241 8	0.308 3
	车辆因素	0.155 3	
	道路因素	0.091 2	
	环境因素	0.121 6	
车流量	人为因素	0.197 0	0.490 8
	车辆因素	0.288 9	
	道路因素	0.215 0	
	环境因素	0.385 3	
人均道路面积	人为因素	0.385 3	0.665 6
	车辆因素	0.393 5	
	道路因素	0.217 0	
	环境因素	0.381 6	
气候条件	人为因素	0.288 6	0.452 7
	车辆因素	0.249 4	
	道路因素	0.159 7	
	环境因素	0.226 8	

由表 10 可知,4 项指标中,首先对济南市道路交通安全影响最大的是人均道路面积,说明目前济南市经济发展推动车流量增多,导致人均道路面积损坏率显著升高;其次是车流量和气候条件,说明济南市旅游业、娱乐活动及日常出行的日益增长直接增大了交通压力,对道路交通安全

指数有较大影响。

2.4 模糊综合评价

模糊综合评价法是基于模糊理论,利用隶属函数、模糊算子和语言变量进行安全评价的方法^[9]。在道路交通安全评价体系中,最高层记作 U_0 ,中间层记作 U_i , U_{ij} 表示第 i 个中间层因素下的第 j 个子因素,即 $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ij}\}$ 。针对济南市道路交通安全评价等级,评语集采用 $V = \{\text{非常安全}(V_1), \text{安全}(V_2), \text{一般安全}(V_3), \text{不安全}(V_4), \text{非常不安全}(V_5)\}$ 5 个评价等级,中间层因素 U_i 对道路交通安全的影响用 R_i 矩阵表示, r_{ijk} 表示第 i 个因素下的第 j 个因素相对于第 k 个评语集的隶属度。对上述每个中间层因素的子因素集 U_{ij} 分别按一级模型进行评价,再将 U_i 作为一个元素,以上一级结果作为单因素评价矩阵,再次进行评价,得到结果。

在本次济南市道路交通安全评价体系中,最高层为 Q ,中间层分别为 A 、 B ,其中 $A = (A_1, A_2, A_3, A_4)$; $B = (B_1, B_2, B_3, B_4)$

2.4.1 构建模糊综合评价矩阵

通过上述层次分析法,分别计算出目标层、准则层和指标层中的特征值及特征向量,再由各专家通过头脑风暴法对准则层和指标层的各个指标进行评价。由于受某些因素限制,本次研究共有 5 名专家评价,评价结果见表 11。

表 11 评价结果

评价项目	权重	评价等级				
		V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
人流量	0.308 3	0	2	1	5	0
车流量	0.490 8	2	1	0	3	1
人均道路面积	0.665 6	0	0	2	1	3
气候条件	0.452 7	2	5	0	2	3

2.4.2 评价结果分析

将准则层各子因素的权重与其对应的评价矩阵进行乘法运算,得到人为因素、车辆因素、道路因素、环境因素的评价结果,最终得出济南市道路交通安全评语集的相对隶属度 $V = (0.22,$

0.34, 0.26, 0.60, 0.51)。由该结果可知,最大隶属度为0.60。根据指标评价等级标准,判定济南市道路交通安全等级为“一般安全”。

3 结语

济南市经济快速发展,为城市交通发展带来动力的同时,也在一定程度上为城市交通安全带来压力。本文以济南市道路交通安全为研究对象,从人为、车辆、道路、环境4个方面分析安全影响因素,在文献总结、问卷调查和专家打分的基础上,基于层次分析法和模糊综合评价法构建评价指标体系,选取一、二级指标,使分析结果更加客观准确。首先构建层次分析模型,对影响因素进行排序及一致性检验,从而得出对济南市道路交通安全影响最大的因素为人均道路面积,其次是车流量、气候条件,最后是人流量;然后运用模糊综合评价法并依据问卷调查及5名专家的评价结果构建评价矩阵,计算得出济南市道路交通安全相对隶属度,最后得出该市道路交通安全等级为“一般安全”。

基于以上结论,本文提出以下管理建议:

(1) 政府及道路交通决策者可以投资兴建新的道路,以增加道路总面积,减少交通拥堵,提高交通效率和安全性。

(2) 改造和维护现有道路,确保道路质量好,减少道路交通事故发生概率。设立交通管制措施,如交通信号灯、限速标志、减速带等,以引导和控制交通流,提高道路交通的安全性。

(3) 投资建设便捷高效的公共交通系统,鼓励市民选择公共交通工具出行,降低道路拥堵和道路交通事故风险。

参考文献

[1] 新华社. 中共中央 国务院印发《交通强国建设纲要》[EB/

OL]. (2019-09-19) [2024-02-19]. http://www.scio.gov.cn/xwfb/gwyxwbgsxwfbh/wqfbh_2284/49421/49595/xgzc49601/202307/t20230704_724598.html.

- [2] 《中国公路学报》编辑部. 中国交通隧道工程学术研究综述·2022 [J]. 中国公路学报, 2022, 35 (4): 1-40.
- [3] 新华社. 中共中央 国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》[EB/OL]. (2021-02-24) [2024-01-24]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm.
- [4] 蔡事廷. 道路交通标志评价体系及设计优化 [D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [5] 陈昭明, 徐文远, 曲悠扬, 等. 基于混合 Logit 模型的高速公路交通事故严重程度分析 [J]. 交通信息与安全, 2019 (3): 42-50.
- [6] 张炜. 公路设计的交通安全因素研究 [J]. 中国公路, 2017 (1): 134-135.
- [7] YOON J, LEE S. Analysis of pedestrian traffic accident factors around the exclusive median bus lane station area: focused on TA-AS (2014—2016) data in Seoul [J]. Assoc 53, 2018, 53 (4): 123-142.
- [8] JUN Y, JOOYEON G, CHUNHO Y. Experimental variables assessment for virtual road safety audit using analytic hierarchy process [J]. Journal of Transportation Safety & Security, 2022, 26 (6): 1002-1021.
- [9] 陈丽羽, 余婷, 李星怡, 等. 基于模糊二级综合评价法的乐山市道路交通安全设施评价 [J]. 数学学习与研究, 2020 (28): 148-150.
- [10] 聂世刚, 郭力玮. 模糊层次分析法在道路交通安全评价的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41 (10): 193-195.
- [11] 刘宇. 基于 AHP-模糊综合评价的新能源建设项目安全风险评价研究 [J]. 项目管理技术, 2022, 20 (10): 123-127. **PMT**

收稿日期: 2024-06-26

作者简介:

车欣玉 (1998—), 女, 研究方向: 道路交通、区域经济、复杂网络。

肖雯雯 (1989—), 女, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 产业经济、区域经济、复杂网络。

尹涵 (1999—), 女, 研究方向: 质量管理。

王莉莉 (通信作者) (1979—), 女, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 工商管理、产业经济、区域经济。