

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.07.057

基于模糊多层次分析的高速公路交通 安全设施评价方法

陈永昊,熊 帅,袁国柱

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司,天津市 300074)

摘要:交通安全设施是重要的基础设施,科学合理的评价对高速公路科学养护、高效运营具有指导意义。基于此,建立针对高速公路交通安全设施系统的模糊多层次综合评价模型,并以京沪高速(天津段)2023年交通安全设施改造提升工程为依托,对模型的准确性和实用性进行验证,以期对未来高速公路的养护管理工作提供参考。

关键词: 交通工程;高速公路;交通安全设施系统;层次分析法;模糊评价

中图分类号: U491.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)07-0236-05

0 引言

随着我国高速公路建设规模的扩大及发展水平的提升,交通安全设施作为重要的基础设施,重要性与日俱增。

目前,国内外学者对于道路交通安全设施评价体系、模型、方法的研究有一定的成果^[1-3],但由于各种影响因素的制约,模糊综合评价法仍是安全设施评价最常用的方法。虽也有不少学者提出了集对分析法^[4]、灰关联分析法^[5]、BP神经网络评价模型、主成分分析法等,但这些方法的应用还不够普遍,对其适用性的研究还有待深入探讨。

基于此,本文构建了高速公路交通安全设施系统模糊多层次综合评价模型,并基于京沪高速(天津段)2023年交通安全设施改造提升实际工程,综合评估其交通安全设施系统,验证模型的准确性和实用性。

1 指标体系构建

1.1 指标体系

结合安全设施及养护方面的相关标准^[6-8],本文建立了高速公路交通安全设施系统评价指标体系,详见表1。

1.2 评价标准

为了保证评价结果清晰直观,并考虑一致性,本

表1 评价指标体系

指标体系	一级指标	二级指标
高速公路交通安全设施系统评价 O	交通标志 U ₁	标志准确率 U ₁₁
		标志视认性 U ₁₂
		标志完备率 U ₁₃
	交通标线 U ₂	标线准确率 U ₂₁
		标线视认性 U ₂₂
		标线完备率 U ₂₃
	护栏 U ₃	护栏设置准确率 U ₃₁
		护栏结构质量合格率 U ₃₂
		护栏过渡段衔接正确率 U ₃₃
		不良端头率 U ₃₄
		护栏完备率 U ₃₅
	视线诱导标 U ₄	设置间距合理性 U ₄₁
		安装正确率 U ₄₂
		视线诱导标完备率 U ₄₃
	隔离栅 U ₅	隔离栅部件良好率 U ₅₁
隔离栅完整率 U ₅₂		
防护网 U ₆	防护网位置准确率 U ₆₁	
	防护网有效率 U ₆₂	
防眩板 U ₇	材料合格率 U ₇₁	
	安装准确率 U ₇₂	
	防眩效果 U ₇₃	
	防眩板完备率 U ₇₄	
防撞垫 U ₈	防撞垫完备率 U ₈₁	
	紧急出口使用率 U ₉₁	
特殊交通安全设施 U ₉	避险车道有效率 U ₉₂	
	其他 U ₉₃	

收稿日期: 2023-07-14

作者简介: 陈永昊(1996—),男,硕士,工程师,从事路基路面工程方面的研究工作。

文设定评价指标值域为0~100,并将其划分为5个等级,具体见表2。

表2 设施系统评价标准

评价等级	评价效果	评价分值
I级	优	90~100
II级	良	80~90
III级	中	70~80
IV级	次	60~70
V级	差	0~60

本文通过数据计算定量指标,使用模糊评价用5个等级表征定性指标,得到分项设施评价标准,详见表3。

表3 分项设施评价标准

评价标准		I级	II级	III级	IV级	V级
交通标志 U_1	标志准确率 U_{11}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	标志视认性 U_{12}	优	良	中	次	差
	标志完备率 U_{13}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
交通标线 U_2	标线准确率 U_{21}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	标线视认性 U_{22}	优	良	中	次	差
	标线完备率 U_{23}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
护栏 U_3	护栏设置准确率 U_{31}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	护栏结构质量合格率 U_{32}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	护栏过渡段衔接正确率 U_{33}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	不良端头率 U_{34}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
	护栏完备率 U_{35}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
视线诱导标 U_4	设置间距合理性 U_{41}	优	良	中	次	差
	安装正确率 U_{42}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	视线诱导标完备率 U_{43}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
隔离栅 U_5	隔离栅部件良好率 U_{51}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
	隔离栅完整率 U_{52}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
防护网 U_6	防护网位置准确率 U_{61}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	防护网有效率 U_{62}	优	良	中	次	差
防眩板 U_7	材料合格率 U_{71}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	安装准确率 U_{72}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
	防眩效果 U_{73}	优	良	中	次	差
	防眩板完备率 U_{74}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
防撞垫 U_8	防撞垫完备率 U_{81}	90~100	80~90	70~80	60~70	0~60
特殊交通安全设施 U_9	紧急出口使用率 U_{91}	优	良	中	次	差
	避险车道有效率 U_{92}	85~100	75~85	60~75	40~60	0~40
	其他 U_{93}	优	良	中	次	差

注:1.标志完备率、视线诱导标完备率、隔离栅部件良好率评价按处计算,每处扣20分。

2.标线完备率按照长度(m)计算,每缺损1m扣1分,累计长度不足10m按10m计算,评定时不考虑车道数影响。

3.不良端头率、护栏完备率、安装准确率、防眩板完备率、防撞垫完备率评价按处和长度计算,长度不大于4m扣10分,大于4m扣30分。

2 基于层次分析法的指标权重计算

由于指标体系有2个指标层,并存在定性指标和定量指标,为了达到结果的公正准确,本文采用层次分析法对各级指标权重进行分配。

2.1 层次分析法

2.1.1 建立层次结构模型

结合上述指标体系建立层次结构模型,如图1所示。

2.1.2 构造判断矩阵

对比相邻的两层,建立判断矩阵,并采用 Saaty 标度方法量化本层全部因素对上一层某一因素的相对重要性,具体方法见表4。



图1 层次结构模型

表4 Saaty 标度方法

标度 a_{ij}	定义
1	i 因素比 j 因素同样重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素比 j 因素较重要
7	i 因素比 j 因素非常重要
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2, 4, 6, 8	以上判断中间状态对应的标度值
倒数	j 因素与 i 因素比较对应的标度值

最终确定的判断矩阵 A 见式(1)。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其符合以下性质:

- (1) $a_{ij} > 0$;
- (2) $a_{ji} = 1/a_{ij}$;
- (3) $a_{ii} = 1$ 。

2.1.3 层次排序及其一致性检验

一致性检验如下:

- (1) 计算各行的几何平均值, 见式(2)。

$$\bar{\omega}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

- (2) 归一化处理向量 $\bar{\omega}_i = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_n)^T$ 见式

(3)。

$$\omega_i = \frac{\bar{\omega}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i}, i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

- (3) 计算最大特征值 λ_{max} , 见式(4)。

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A\bar{\omega})_i}{n\bar{\omega}_i} \quad (4)$$

- (4) 计算矩阵一致性指标 CR, 见式(5)。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{-\sum_{i \neq \max} \lambda_i}{n-1} \quad (6)$$

式中: CI 为一致性指标; RI 为随机一致性指标, 取值见表 5。

表5 随机一致性指标 RI

维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

CR 值与矩阵一致性成反比, 当 $CR \leq 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性可以接受, 其归一化后的特征向量就是权向量; 若未通过, 则说明判断矩阵的取值应进一步改进, 需要重新构造。

2.2 指标权重

本节探讨的是基于交通安全角度下的高速公路交通安全设施的养护序列研究, 在此条件下的评价指标权重的分配见表 6。

表6 设施系统评价指标权重

指标体系	指标权重	
	一级指标	二级指标
高速公路交通安全设施系统评价	交通标志 0.162 2	标志准确率 0.717 2
		标志视认性 0.194 6
		标志完备率 0.088 0
	交通标线 0.147 7	标线准确率 0.717 2
		标线视认性 0.194 7
		标线完备率 0.088 1
护栏 0.346 2	护栏设置准确率 0.146 1	
	护栏结构质量合格率 0.165 4	
	护栏过渡段衔接正确率 0.310 2	
	不良端头率 0.294 6	
视线诱导标 0.102 9	护栏完备率 0.083 8	
	设置间距合理性 0.229 8	
	安装正确率 0.648 4	
隔离栅 0.046 6	视线诱导标完备率 0.122 1	
	隔离栅部件良好率 0.666 9	
防护网 0.047 4	隔离栅完整率 0.333 1	
	防护网位置准确率 0.500 0	
防眩板 0.052 6	防护网有效率 0.500 0	
	材料合格率 0.257 2	
	安装准确率 0.197 6	
防撞垫 0.021 3	防眩效果 0.450 9	
	防眩板完备率 0.093 7	
特殊交通安全设施 0.073 3	防撞垫完备率 1.000 0	
	紧急出口使用率 0.333 3	
	避险车道有效率 0.333 3	
	其他 0.333 3	

3 基于模糊多层次分析的综合评价

3.1 指标处理

对于定量指标,可以通过统计核查、测量计算等方法确定,进行综合评价。

对于定性指标,考虑其随意性和主观性,本文采用评价等级隶属度法进行定性指标量化,设评价指标 μ_i ,评价指标集 $U=(\text{优,良,中,次,差})$, μ_i 相对于 U 的隶属度向量为 $\vec{\gamma}_{ij}=(\gamma_{i1},\gamma_{i2},\gamma_{i3},\gamma_{i4},\gamma_{i5})$ 。设 $\vec{W}=(W_1,W_2,W_3,W_4,W_5)$, W_j 表示第 j 层评价对应的评价尺度,则定性指标的定量化值如式(7)所示。

$$R = \vec{\gamma}_{ij} \cdot \vec{W} \quad (7)$$

3.2 模型构建

3.2.1 第一阶段

假设一待评价路段 P ,则一级指标 P_i 评定值为其下属的二级指标实测值 P_{ij} 与相对应权重 C_{ij} 的乘积之和,计算表达式如式(2)所示。通过该路段每一项交通安全设施的评定值,并结合表 6 中的指标权重,可对交通安全设施系统养护决策提供针对性、具体化的建议,实现精细化养护。

$$P_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} \times P_{ij} \quad (8)$$

式中: P_i 为一级指标评定值,即交通安全设施评定值; P_{ij} 为二级评价指标的实测值; C_{ij} 为二级评价指标的权重值; n 为一级指标下属的二级指标数量。

3.2.2 第二阶段

通过待评价路段 P 的各一级指标评定值 P_i 与相对应权重 C_i 的乘积之和表征该路段交通安全设施系统的综合评价结果,计算表达式为式(9)。当多个路段进行比选时,可按照综合评定值由高到低的顺序排列,得出养护决策排序,实现精细化养护。

$$P = \sum_{i=1}^9 C_i \times P_i \quad (9)$$

式中: P 为系统综合评定值; P_i 为一级指标评价价值; C_i 为一级指标的权重值。

4 工程实例分析

本文面向京沪高速(天津段)2023 年交通安全设施改造提升实际工程,建立了针对高速公路交通安全设施系统的模糊多层次综合评价模型。通过随机选取 5 个路段(长度为 1 km)^[8]作为评价单元进行综合评价,确定相对应的养护优先级,对模型的准确性和实用性进行验证,以期为今后京沪高速(天津段)交通安全设施系统的养护工作提供参考。

设 5 个待评价路段,即决策集为 $V=\{A,B,C,D,$

$E\}$,则每个一级指标 U_i 对应的评语集为 $V_i=\{A_i,B_i,C_i,D_i,E_i\}$,相对应的二级指标 U_{ij} 对应的评语集为 $V_{ij}=\{A_{ij},B_{ij},C_{ij},D_{ij},E_{ij}\}$,其中待评价路段 A 的评价指标实测值见表 7。

表 7 待评价路段 A 的评价指标实测值

指标体系	一级指标	二级指标	指标实测值
高速公路交通安全设施系统评价 O	交通标志 U_1	标志准确率 U_{11}	92
		标志视认性 U_{12}	87
		标志完备率 U_{13}	80
	交通标线 U_2	标线准确率 U_{21}	97
		标线视认性 U_{22}	75
		标线完备率 U_{23}	73
	护栏 U_3	护栏设置准确率 U_{31}	84
		护栏结构质量合格率 U_{32}	89
		护栏过渡段衔接正确率 U_{33}	97
		不良端头率 U_{34}	80
		护栏完备率 U_{35}	70
	视线诱导标 U_4	设置间距合理性 U_{41}	93
		安装正确率 U_{42}	97
		视线诱导标完备率 U_{43}	80
	隔离栅 U_5	隔离栅部件良好率 U_{51}	90
隔离栅完整率 U_{52}		97	
防护网 U_6	防护网位置准确率 U_{61}	94	
	防护网有效率 U_{62}	90	
防眩板 U_7	材料合格率 U_{71}	100	
	安装准确率 U_{72}	90	
	防眩效果 U_{73}	86	
	防眩板完备率 U_{74}	70	
防撞垫 U_8	防撞垫完备率 U_{81}	90	
	紧急出口使用率 U_{91}	80	
特殊交通安全设施 U_9	避险车道有效率 U_{92}	100	
	其他 U_{93}	60	

4.1 第一阶段

以待评价路段 A 为例,则交通标志(一级指标)下属的二级指标实测值参考表 7,其对应的权重参考表 6,计算方法参考式(8),可得出交通标志的评定值 $A_1=89.954 2$ 。

同理,可得到 $A_2=90.602 2$ 、 $A_3=86.507 5$ 、 $A_4=94.032 8$ 、 $A_5=92.331 8$ 、 $A_6=92.000 0$ 、 $A_7=90.196 5$ 、 $A_8=90.000 0$ 、 $A_9=80.000 0$ 。结合表 6,可得出待评价路段 A 每一项交通安全设施的评价等级和排序结果,详见表 8。

由表 8 可以看出,待评价路段 A 的交通标线、视线诱导标、隔离栅、防护网、防眩板和防撞垫的评价等级均为优,说明技术状况好,仅需日常养护即可。

表 8 待评价路段 A 的评价结果

一级指标	评价等级	排序结果
交通标志	良	7
交通标线	优	4
护栏	良	8
视线诱导标	优	1
隔离栅	优	2
防护网	优	3
防眩板	优	5
防撞垫	优	6
特殊交通安全设施	中	9

而特殊交通安全设施评价等级为中,说明技术性能以及建设、完备水平仍显不足,难以满足目前的安全需求,亟待改造提升。交通标志和护栏的评价等级为良,说明已出现一定程度的缺损。同时,护栏权重最高,为 0.346 2;交通标志次之,为 0.162 2,也能够一定程度反向印证实测值的合理性。因此,应当对交通标志和护栏优先进行养护维修。

4.2 第二阶段

结合上文各项交通安全设施评定值,其对应的权重参考表 6,计算方法参考式(9),可得出待评价路段 A 的交通安全设施系统综合评定值 $A=88.773 4$ 。

以此类推得到另外 4 条待评价路段的交通安全设施系统综合评定值分别为 $B=91.543 2$ 、 $C=83.494 7$ 、 $D=76.115 9$ 、 $E=90.156 1$ 。结合表 6,可得出待评价路段的交通安全设施系统综合评价等级和排序结果,详见表 9。

表 9 待评价路段的综合评价结果

待评价路段	评价等级	排序结果
A	良	3
B	优	1
C	良	4
D	中	5
E	优	2

表 9 准确直观地反映了待评价路段的安全状况,并得出养护优先级为 B、E、A、C、D,对交通安全设施系统养护管理决策提供了参考,实现精细化养护。

综上所述,本文构建的模型通过层次分析法计算出科学合理的指标权重,符合真实情况。同时采用模糊多层次综合评价法,分两个阶段整合评价过程,实现对交通安全设施系统技术状况的整体把握,客观全面地进行综合评价,由细节到整体地提供养护决策建议,为精细化养护提供途径。因此,模型具有有效性和可靠性。

5 结 论

(1)构建高速公路交通安全设施系统评价指标体系,完善了现有体系,并划分了评价标准。

(2)采用层次分析法分配了交通安全设施系统评价指标的权重值,符合真实的状态,弥补了现有规范标准的空白。并采用模糊多层次综合评价法进行了系统综合评价,方法简单实用,易于推广。

(3)以京沪高速(天津段)2023 年交通安全设施系统评价指标实测数据为例进行建模计算,验证了该方法具有较好的准确性和实用性,为未来的高速公路养护运营提供了新的思路。

参考文献:

[1] Koons R E. The new Manual on Uniform Traffic Control Devices[J]. Washington,DC:Institute of Transportation Engineers,2010.
 [2] 陆建,郭延永.基于集对分析的高速公路交通安全设施评价[J].武汉理工大学学报,2014(11):71-76.
 [3] 吴瑶,俞灏.基于属性识别的高速公路交通安全设施系统评价[J].东南大学学报(自然科学版),2013(6):1305-1311.
 [4] 吴瑶,陆建,郭延永.基于集对分析的高速公路交通安全设施评价[J].武汉理工大学学报,2014(11):71-76.
 [5] 余冬翠.城市快速路交通安全设施系统评价研究[D].南京:南京林业大学,2017.
 [6] JTG H10—2009,公路养护技术规范[S].
 [7] GB 5768—2009,道路交通标志标线[S].
 [8] JTG 5210—2018,公路技术状况评定标准[S].

(上接第 235 页)

[7] 刘大鹏,王婧.路基回弹模量对路面结构层受力的影响分析[J].路基工程,2008,136(1):123-124.
 [8] 孙培.基于沥青混合料内部结构参数的路面表面特性研究[D].西安:

长安大学,2018.
 [9] 刘俐.城市新建道路工程既有地下管道保护方案[J].城市道桥与防洪,2021(12):125-128.