

农村道路条件安全分析与评价研究



单媛¹, 李朔², 雷定猷¹

(1. 中南大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410075; 2. 中建钢构有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 为提高农村道路安全性能, 促进农村道路交通安全发展, 集成 DEMATEL 与 ISM 法对农村道路条件安全影响因素进行分析, 构建农村道路条件影响因素多级递阶结构模型。采用多元平均法进行农村道路交通安全评价, 对评价结果进行分类。分析得到农村道路安全问题最直接和根本的影响因素, 通过算例验证评价方法可行性。分析与评价结果为减少农村道路事故发生和改善农村道路安全环境提供依据。

关键词: 农村道路条件; DEMATEL-ISM; 多级递阶结构模型; 多元平均法; 安全评价

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-7029(2017)04-0862-10

Safety analysis and evaluation of rural road conditions

SHAN Yuan¹, LI Shuo², LEI Dingyou¹

(1. School of Traffic and Transport Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;

2. China Construction Steel Structure Corp. Ltd, Shenzhen 518000, China)

Abstract: In order to improve the safety performance of rural road and promote development of rural road traffic safety, a method was proposed to analyze the influencing factors of rural road conditions based on the integration of DEMATEL and ISM, and a multi-level set-up structural model was established. The method of multivariate average was used to evaluate the rural road traffic safety, and the results was classified. The most direct and fundamental influencing factors of rural road safety can be found by analysis, and the feasibility of the evaluation method proposed is shown by an example. The research results can provide reference to reduce rural road accidents and to improve rural road safety environment.

Key words: rural road condition; DEMATEL-ISM; multi-level set-up structural model; multivariate average method; safety evaluation

根据《中华人民共和国道路交通安全法》, 道路交通事故是指车辆在道路上因过错或者意外造成的人身伤亡或者财产损失的事件。与城市道路相比, 农村道路存在着技术标准低, 监管不到位, 关注度低等一系列设计与管理方面问题, 导致农村道路交通安全问题日益突出, 道路安全状况令人堪

忧。影响农村道路交通安全的因素大致可分为人、路、车及环境这4个方面。其中, 人的因素主观性较大, 改进效果不理想; 环境因素受自然、天气影响较大, 人为不可掌控; 路和车因素最易分析与掌握, 同时也最容易通过整改来达到减少道路交通事故的目的。本文主要针对路类因素进行分析评价。

收稿日期: 2016-05-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71371193, 71501190)

通信作者: 雷定猷(1958-), 男, 湖南浏阳人, 教授, 博士, 从事交通运输运营管理及优化研究; E-mail: ding@csu.edu.cn

国内外学者针对农村道路交通安全问题进行了系统性的研究,针对路类因素从道路横断面,道路设计,道路线形,道路条件和交通量等不同角度研究对交通安全的影响^[1-6]。在道路交通安全评价方面,国外主要采用质量控制法,交通冲突法和多元回归模型等^[7-9];国内常用的评价方法有模糊综合评价法,层次分析法,灰色评价法,神经网络分析法和物元法等^[10-13];此外,也从系统论,速度一致性,交通冲突分析等角度提出了不同的道路安全评价方法^[14-16]。鉴于大多数对于道路交通安全的研究都没有考虑因素间的相互作用关系,以及各因素对于研究对象的影响程度,本文通过采用集成DEMATEL与ISM法对农村道路条件安全影响因素进行研究分析,揭示因素间相互关系,确定关键影响因素。从道路状况、线形设计、安全设施和其他等4个方面入手,分析各种道路不良条件对道路安全造成的危险及影响,确定道路条件安全影响因素,考虑因素间直接与间接的相互关系及对道路安全的影响程度,采用集成DEMATEL与ISM法,将复杂的因素关系转化为直观的具有良好层次结构关系的农村道路条件影响因素多级递阶结构模型,确定农村道路安全系统中最直接、最根本的影响因素;并在上述分析基础上,采用多元平均法进行道路安全评价,采用聚类分析法对评价结果进行分类,综合分类结果得出农村道路安全评价等级,确定农村道路安全水平。

1 指标选取

农村道路交通安全影响因素复杂繁多,道路交

通事故是人、路、车及环境等多方面因素相互作用的结果,且各种因素对农村道路交通安全的影响程度也是不同的。因此,要提高农村道路交通安全水平,对农村道路交通安全的影响因素进行系统有效的分析是必需之举。

农村道路目前普遍存在着技术等级低,路况差,交通安全设施不完善,设计不符合规范,管理措施缺乏等问题。具体表现为“4个不够”:

1) 路面状况差,道路养护不够及时。农村道路养护主体不明确,责任不落实,机制缺乏活力,养护质量不高。很多乡镇道路由各乡镇及行政村自筹资金修建,缺少经费投入,导致道路缺少养护,损坏严重。

2) 道路线形不够流畅,线形设计不满足规范要求。如道路急转弯多,纵坡大,行车视线不良,宽路窄桥等。

3) 交通安全设施不够完善,部分设施不配套。由于农村道路建设资金实行补助政策,不足部分由地方自筹解决,一定程度上影响了安全设施建设地方配套经费的落实。尤其在欠发达地区,大多数只注重主体工程建设,而忽视了道路安全设施的设置与完善或降低设置标准,甚至一些农村道路没有任何交通安全设施,带来严重的交通安全隐患。

4) 交通组成混乱,管理不够严格。农村道路交通参与者成分混杂,没有将机动车、非机动车、行人分隔开;大小客车、货车、机动三轮车、摩托车、自行车和畜力车混行严重。

各种不当的道路条件对农村道路的交通安全影响分析见表1。

表1 不良道路条件对道路安全的影响

Table 1 Effect of adverse road conditions on road safety

不当道路条件		对道路安全造成的危险
A 道 路 状 况	A1 路面	路面材质 多为沙石,甚至泥土路面,导致道路通畅率低,事故率高
		抗滑性 影响安全行驶
		路面平整度 路面有坑槽、塌陷等,使行车阻力大,机件、轮胎磨损加快;安全性、舒适性低,易引发事故
A2 路 肩		车辙深度 车辙超过一定深度,下雨天积水,出现汽车“水漂”现象,导致车辆失控
		路肩磨损 车辆停靠时会有危险;路肩上石头、碎片会对车辆驶离道路产生危险
		路肩脱落 对驾驶车辆产生危险;限制路面排水
	边沟损坏 降低排水系统有效性;水分迁移使路基湿软下陷而导致路面破坏,威胁行车安全	

B 线 形 设 计	线形过分单调	使驾驶员疲劳、精神困倦
	直线距离过长	参照物少, 造成车辆超速和车距不足
	曲率半径较小	车速较快时, 可能发生横向翻车或滑移
	坡度不当	坡度过大, 雨雪天气车辆打滑; 坡度过小, 影响道路排水, 造成道路早期破坏
	视距不足	弯道、交叉口易形成车辆阻塞, 发生撞车危险; 平曲线、竖曲线路段易发生交通事故; 小半径平曲线路段易发生事故
	道路交错	交叉口角度不当, 影响视距、急转弯能见度
	宽路窄桥	易发生翻车坠河事故
	不良线形组合	使视线不平, 驾驶员易发生错误判断
C 安 全 设 施	边坡不当	地形限制导致边坡较陡, 易导致车辆冲出路外或坠入山沟
	夜间道路照明	公路亮化不足, 夜晚行车安全性低
	缺少安全设施	丧失预警功能, 造成驾驶员判断、操作失误, 出现超速、侵占路面等违章行为; 使车辆失控
	交通标志不当	清晰度低, 无法向驾驶员提供明确的信息; 位置不醒目, 达不到设置的目的与效果
	安全设施不配套	达不到警示效果
	路侧防护设施不足	车辆发生危险情况后无法有效控制, 易发生翻车坠山等事故
D 其 他	交通信号不当	对驾驶员造成混乱, 诱发某些类型事故
	排水设施不完善	由潮湿导致路面摩擦阻力系数下降, 产生湿滑现象, 影响行车安全; 弯道、陡坡路、交叉路口易发生滑溜事故
	交通障碍物	道路两侧树木等障碍物导致视线不良、弯道处视距过短
	修建标准低	行车安全性低, 道路抗灾性能低

基于上述分析的农村道路交通安全实际情况, 遵循系统完整、科学简明和层次分明的原则, 在路类因素基础上进行重新分析并提取 4 类共 20 个因

素(S_1, S_2, \dots, S_{20})进行农村道路条件安全分析, 见图 1。

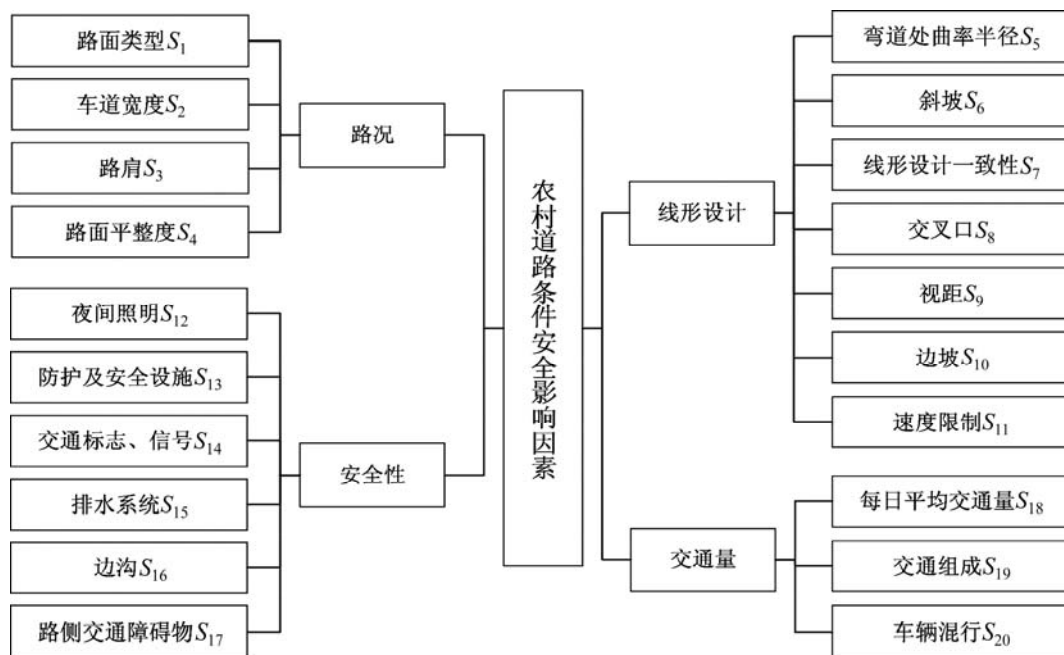


图 1 农村道路条件安全影响因素

Fig. 1 Influencing factors of rural road conditions

农村道路条件安全评价体系中指标选择遵循可用性、可测性、可靠性、可比性和合理性的选择原则。农村道路条件安全影响因素大致可分为定量与定性 2 类。定量指标如车道宽度、曲率半径、视距等在评价中直接采用其具体数值; 定性指标如安全性指标可以采取评分或转化为可量化指标的方

法参与评价, 如满足条件的道路数; 还有一些指标, 如路面类型、线形设计一致性等, 由于本身性质决定难以量化, 不考虑为评价指标。此外, 添加反映道路整体安全性的指标, 如年死亡人数、年受伤人数、事故率等。组成农村道路条件安全评价指标分类如图 2。



图 2 农村道路条件安全评价体系

Fig. 2 Rural road conditions safety evaluation system

路况指标中的路肩包括路肩宽度、路肩高度和路肩坡度 3 方面; 路面平整度量化为路面摩擦阻力系数。

线形设计指标中的斜坡包括斜坡坡长和斜坡坡度; 交叉口包括交叉口范围和交叉口处视距; 边坡代表边坡坡度。

安全性指标量化为满足条件标准的道路数。以上各指标条件标准参照《公路工程技术标准与设计规范对照手册》, 且量化过程中均采用平均值。

2 模型及方法

2.1 DEMATEL-ISM 法

DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), 即决策试验和评价实验室,

是一种用来筛选复杂的主要要素, 简化系统结构分析的过程而提出的方法论^[17]。

ISM (Interpretative Structural Modeling Method), 即解释结构模型。该方法的特点是将复杂的系统分解为若干个子系统要素, 利用人的经验知识及电子计算机软件, 构造一个多级递阶的结构模型。ISM 属于概念模型, 特别适用于变量众多, 关系复杂而结构不清晰的系统分析^[18]。

当系统的影响因素较多时, 单独运用 ISM 法要进行大量且复杂的矩阵运算, 同时还会产生矩阵运算量大、效率低的问题, 为解决这一问题并同时简化明确系统要素之间的关系, 周德群等^[19]最早提出了集成 DEMATEL-ISM 对复杂系统进行层次划分并构建系统层级结构的方法, 并详细介绍了集成的理论依据和算法。

步骤1 确定系统影响因素, 设为 S_1, S_2, \dots, S_n 。

步骤2 确定直接影响矩阵

分析不同因素间的相互影响关系和影响程度,

建立直接影响矩阵 G , $G=(g_{ij})_{n \times n}$ 。

其中, g_{ij} 表示因素 S_i 对 S_j 的直接影响程度; 若 $i=j$, $g_{ij}=0$ 。

步骤3 规范化直接影响矩阵

对直接影响矩阵 G 进行规范化处理, 得到规范化直接影响矩阵 X , $X=(x_{ij})_{n \times n}$ 。

$$X = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n g_{ij}} G \quad (1)$$

式中: $\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n g_{ij}$ 为行和的最大值。易知 $x_{ij} \in [0, 1]$,

且 $\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1$ 。

步骤4 确定综合影响矩阵

在规范化直接影响矩阵的基础上, 确定综合影响矩阵 T , $T=(t_{ij})_{n \times n}$ 。

$$T = \lim_{n \rightarrow \infty} (X + X^2 + \dots + X^n) = X(I - X)^{-1} \quad (2)$$

其中, I 为单位矩阵, 表示影响因素对自身的影响。 t_{ij} 表示因素 S_i 对因素 S_j 的综合影响度。若 $t_{ij}=0$, 表示因素 S_i 与因素 S_j 之间不存在相关关系; 若 $t_{ij} \neq 0$, 表示因素 S_i 与因素 S_j 之间存在相关关系。

综合影响矩阵 T 表示系统影响因素之间直接和间接影响程度的累加。

步骤5 确定整体影响矩阵

在综合影响矩阵 T 的基础上构建整体影响矩阵 H , $H=(h_{ij})_{n \times n}$ 。

$$H = T + I \quad (3)$$

其中, I 为单位矩阵, 表示因素对自身的影响。若 $h_{ij}=0$, 表示因素 S_i 与因素 S_j 之间不存在相互影响关系; 若 $h_{ij} \neq 0$, 表示因素 S_i 与因素 S_j 之间存在相互影响关系。

综合影响矩阵 T 只能反映出因素与因素之间的影响关系与影响程度, 并未考虑因素对自身的影响。整体影响矩阵 H 反映系统因素的整体影响关系, 包括因素间的相互影响和因素对自身的影响。

步骤6 确定可达矩阵

通过整体影响矩阵 H 可确定可达矩阵 R , $R=$

$(r_{ij})_{n \times n}$ 。

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & h_{ij} < \lambda \\ 1 & h_{ij} \geq \lambda \end{cases} \quad (4)$$

其中, λ 为阈值。设定科学、合理的阈值 λ 是确定可达矩阵的关键。阈值 λ 的设定可由专家或者决策者根据实际问题而定。设置阈值的目的是舍弃影响程度较小的影响关系, 简化系统结构, 便于系统层次结构的划分。对于值 n 较小的系统, 通常无需对系统结构进行简化, 可设置 $\lambda=0$ 。

步骤7 确定各因素的可达集与前因集

根据可达矩阵 R , 确定可达集 $R(S_i)$ 与前因集 $A(S_i)$ 。可达集 $R(S_i)$ 为因素 S_i 可以到达的因素集合, 前因集 $A(S_i)$ 为可以到达因素 S_i 的因素集合。

$$R(S_i) = \{S_j \mid S_j \in S, r_{ij} \neq 0\}, (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

$$A(S_i) = \{S_j \mid S_j \in S, r_{ji} \neq 0\}, (i=1, \dots, n) \quad (6)$$

步骤8 验证下式是否成立。若成立, 划去可达矩阵中对应的 i 行和 i 列

$$R(S_i) = R(S_i) \cap A(S_i), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

步骤9 级位划分

重复步骤7和8, 直至所有因素被划去。按照因素被划去的顺序, 构建因素的层次结构, 进而构建解释结构模型。

2.2 多元平均法

多元平均法是一种值得引起注意的多维分析方法和信息压缩方法。此方法的主要思路是根据每个指标的统计汇总, 计算出某些类别元素的平均关系。由此计算得到的指标值称为多元平均值^[20]。利用多元平均法计算各指标的综合平均值, 可以实现将多维空间指标简化成一维指标的过渡, 从而方便观察与比较。

不论对何种类别何种系统进行评价, 评价指标都不止一种, 因此在评价时需要针对不同指标进行综合性的考量。多元平均法可以达到这一要求。采用多元平均法综合考量各类影响因素得出的综合指标能够有效公正地对复杂系统进行安全评价。

Step 1: 为避免不同测量单位对结果造成的误差, 首先对指标进行标准化计算。可采用以下2种方法:

$$x_{ij}^{norm} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}} \quad (8)$$

或

$$x_{ij}^{stand} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad (9)$$

其中, x_{ij}^{norm} , 第 i 个单位对应的第 j 个指标的 norm (规范) 值; x_{ij}^{stand} , 第 i 个单位对应的第 j 个指标的 stand (标准) 值; \bar{x}_j , j 列的综合指数均值; σ_j , j 列数值的标准差; i , 目标编号; j , 指标编号。

Step 2: 对指标进行标准化计算后, 采用多元平均法对指标进行综合计算。

$$\bar{P}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x'_{ij} \quad (10)$$

其中, x'_{ij} , j 指标对应的规范(norm)值或标准(stand)值; k , 指标数量; i , 目标编号。

计算所得 \bar{P}_i 为各大类指标的综合评价价值, 也称

多元平均值。由于所有指标的初始测量值经过最大值归一化计算, 因此得到的多元平均值在 0 到 1 之间, 即 $\bar{P}_i \in [0, 1]$ 。

Step 3: 得到各类指标多元平均值后, 计算得出系统总体评价价值。

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{P}_i \quad (11)$$

其中, Q , 系统总体评价价值; P_i , 各类指标的多元平均值; n , 指标类别数; i , 指标类别编号。

3 农村道路条件安全分析与评价

3.1 基于 DEMATEL-ISM 的农村道路条件安全因素分析

由道路交通安全方面专家和实验室研究人员对图 1 中所列 20 个因素进行打分, 得到直接影响矩阵 G 为

$$G = \begin{bmatrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} \\ S_1 & 0 & 3 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ S_2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 2 & 1 & 1 \\ S_3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 2 & 2 \\ S_4 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ S_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ S_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ S_8 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ S_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ S_{10} & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ S_{11} & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 2 & 0 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 \\ S_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ S_{13} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ S_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ S_{15} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{16} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ S_{17} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ S_{18} & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ S_{19} & 0 & 2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 \\ S_{20} & 0 & 2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

其中, 因素 S_i 对因素 S_j 无直接影响时, $g_{ij}=0$; 因素 S_i 对因素 S_j 有较弱影响, $g_{ij}=1$; 因素 S_i 对因素 S_j 有

一般影响时, $g_{ij}=2$; 因素 S_i 对因素 S_j 有较强影响时, $g_{ij}=3$ 。

取阈值 $\lambda=0.15$, 得到可达矩阵 R 为

$$R = \begin{bmatrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} & S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} \\ S_1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ S_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ S_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ S_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ S_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{16} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_{17} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ S_{18} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_{19} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ S_{20} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

经过计算分析, 确定各级因素集为

$$L_1 = \{S_4, S_5, S_6, S_9, S_{10}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}, S_{18}\},$$

$$L_2 = \{S_{11}\},$$

$$L_3 = \{S_2, S_{19}, S_{20}\},$$

$$L_4 = \{S_1, S_3, S_8\},$$

$$L_5 = \{S_7\}.$$

依据分级结果构建农村道路条件影响因素多级递阶结构模型, 见图 3。

根据农村道路条件影响因素多级递阶结构模型, 能够更加清晰、分明地描述各因素间的层级关系, 通过图 3 可以看出, 这是 1 个 5 层的多级递阶系统。第 1 层因素中的 S_4 (路面平整度), S_5 (弯道处曲率半径), S_6 (斜坡), S_9 (视距), S_{10} (边坡), S_{12} (夜间照明), S_{13} (防护及安全措施), S_{14} (交通信号、标志), S_{15} (排水系统), S_{16} (边沟), S_{17} (路侧交通障碍物), S_{18} (每日平均交通量)是农村道路交通安全的直接影响因素, 也是浅层因素。不难理解, 这些因素中任意一个因素出现失误和偏差, 都可能直接导致交通事故的发生。第 2 层因素只有 S_{11} (速度限制),

它通过影响第 1 层因素而间接影响农村道路的交通安全情况。第 3 层因素有 S_2 (车道宽度), S_{19} (交通组成), S_{20} (车辆混行)。第 2 层和第 3 层因素是中层因素, 起到承上启下的作用, 通过影响表层因素对道路安全造成影响。第 4 层因素为 S_1 (路面类型), S_3 (路肩), S_8 (交叉口)。第 5 层因素是 S_7 (线形设计一致性)。这两层是深层因素, 通过不同的方式对浅层和中层因素产生直接或间接的影响。同时, 第 2, 3, 4 和 5 层因素之间是相互影响、相互制约的关系, 是农村道路交通安全的间接影响因素。

3.2 基于多元平均法的农村道路安全评价实例验证

运用多元平均法在某区域进行实际数据验证。评价数据来源于 2014-10 在该地区的实地调查与勘测, 年死亡人数、年受伤人数、事故率等指标数据来源于该地区当年《统计年鉴》, 其中指标条件标准参照《公路工程技术标准与设计规范对照手册》。

将该区域中划分为共 10 个地区。首先对每个

具体的农村道路安全评价指标进行无量纲化处理, 这里采取公式(9)的方法对指标进行标准化计算。接着按照公式(10)计算处理得到每类指标的综合评价价值, 记 {路况, 线形设计, 安全性, 交通量} = { $\bar{P}_1, \bar{P}_2, \bar{P}_3, \bar{P}_4$ }, 最后遵循公式(11)得到农村道路安全评价综合指数 Q 列于表 2。

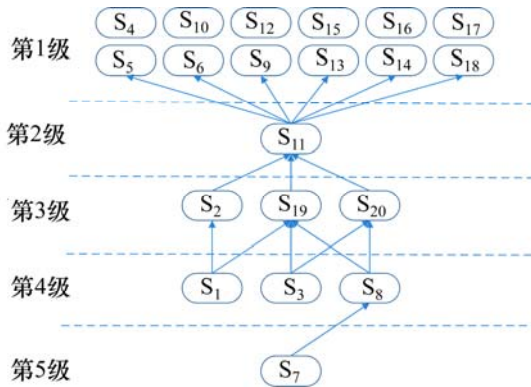


图 3 农村道路条件影响因素多级递阶结构模型

Fig. 3 Multi-level set-up structural model on influencing factors of rural road conditions

表 2 某地区道路安全评价价值

Table 2 Indicators of assessment of road safety in a certain area

地区	路况指数 \bar{P}_1	线形设计指数 \bar{P}_2	安全性指数 \bar{P}_3	交通量指数 \bar{P}_4	综合指数 Q
1	0.732	0.526	0.867	0.706	0.708
2	0.309	0.533	0.277	0.425	0.386
3	0.287	0.460	0.392	0.554	0.423
4	0.191	0.584	0.291	0.392	0.365
5	0.375	0.286	0.570	0.488	0.430
6	0.297	0.427	0.072	0.369	0.291
7	0.123	0.601	0.172	0.279	0.294
8	0.216	0.388	0.401	0.482	0.372
9	0.282	0.524	0.411	0.650	0.467
10	0.243	0.695	0.331	0.439	0.422

依照表 2 的内容对 10 个地区的道路安全评价等级进行分组。分组标准采取均匀分布, 即将道路安全等级在[0,1]区间内均匀的分成 3 部分: [0,0.333]为低级安全水平; [0.333, 0.667]为中级安全水平; [0.667, 1]为高级安全水平。

3.2.1 直接分类

根据表 2 中得到的各地区综合指数, 按照高、中、低级安全水平进行分类, 得到结果如表 3 所示。

表 3 某地区道路安全水平分类

道路安全评价综合指数区间	道路安全水平	地区编号
[0, 0.333)	低	6,7
[0.333, 0.667)	中	2, 3, 4, 5, 8, 9, 10
[0.667, 1)	高	1

3.2.2 聚类分析法分类

1) 最近邻法

根据表 3 结果对 10 个地区进行聚类分析, 采用最近邻法。最近邻法是一种基于距离的分类方法, 其在分类领域具有很重要的应用价值^[21]。样本间距离采用欧式距离, 类间距离为最短距离, 对 10 个样本指标进行聚类分析, 得到这 10 个地区的谱系聚类图如图 4 所示。

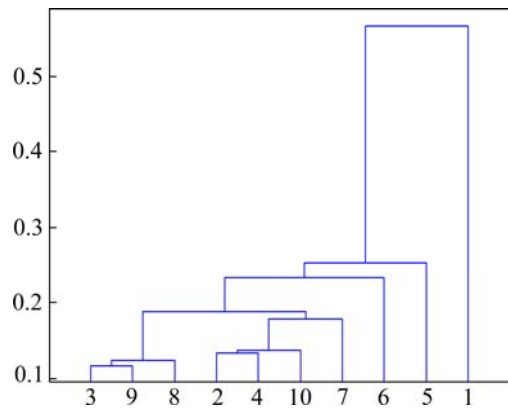


图 4 某地区欧式距离谱系聚类图

Fig. 4 Dendrogram based on euclidean distance in a certain area

分类结果表明, 若将聚类结果分为 3 类, 则 1 号地区是一类, 5 号地区是一类, 其他地区是一类。

2) K 均值聚类

如果对表 2 得到的综合指数做 k 均值聚类分析, 将聚类结果分为 3 类的话, 则 1 号是一类; 3 号, 5 号, 8 号, 9 号地区是一类; 其他地区是一类。将以上 3 种方法得到的结果综合统计在表 4

中。可以看到不同分类方法对道路安全水平分类产生的差异性结果,也可以得到重复性结果。

表4 不同分类方法下地区评价等级统计表

Table 4 Statistical table of regional evaluation level under various classification methods

道路安全评价等级	直接分类	最近邻法聚类	K均值聚类	重合地区编号
低	6, 7	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10	2, 4, 6, 7, 10	6, 7
中	2, 3, 4, 5, 8, 9, 10	5	3, 5, 8, 9	5
高	1	1	1	1

结果表明,通过不同的分类方法得到的安全评价等级均为高的是1号地区;评价等级均为中的是5号地区;评价等级均为低的是6号地区和7号地区;其他地区的安全评价等级随分类方法的不同而有所变化。即可以将1号地区的道路安全等级判定为“高”,道路安全性良好,要继续保持;5号地区的道路安全等级为“中”,道路安全性一般,应针对主要难点加强整治与养护;6号与7号地区的道路安全等级为“低”,道路安全性较差,安全隐患较多,急需全方位排查与治理道路安全隐患,以提高整体道路安全性。以上结果与实地考察时得到的结果基本一致,这说明综合各种分类方法得到的道路安全等级结果较为准确,有较强的参考价值。

4 结论

1) 集成 DEMATEL 与 ISM 法考虑道路条件安全影响因素间直接和间接的影响关系,将影响因素区分为浅层因素,中层因素和深层因素。分析结果表明,影响农村道路安全的道路条件中,路面平整度,弯道处曲率半径,斜坡,视距,边坡,夜间照明,防护及安全设施,交通信号、标志,排水系统,边坡,路侧交通障碍物是浅层因素,也是直接影响因素,在进行道路防护和管理时对于这些部分应该加大改善力度,从根本上提高道路安全性能。研究结果可以为农村道路交通安全评价与管理提供理论依据。

2) 采用多元平均统计法对农村道路交通安全进行评价。在对各指标标准化处理的基础上得到总

体评价值,并选取不同分类方法进行分类。考察结果发现,分类结果随分类方法的选取产生差异,因此,针对评价对象选择科学有效的分类方法是进行安全评价的关键,也是未来研究的重点。同时可以考虑综合不同种分类方法得到重复性结果来判定道路安全等级,此方法可获得较为准确的结论,但需要大量统计数据作为评价基础,建议在数据易采集或完备地区进行。

3) 将 DEMATEL 与 ISM 法相结合分析农村道路安全条件影响因素,能够深入挖掘导致农村道路事故发生的的关键因素和这些因素之间的相互影响关系与层次关系,找出避免农村道路事故发生的的关键问题,有针对性地提出改善农村道路安全情况的措施方案。多元平均法打开了农村道路安全评价的新思路,是一种新方法的理论探索与应用,与聚类分析法相结合能够合理准确地对农村道路安全水平进行评价。研究结果为改善农村道路安全环境、评价农村道路交通安全水平、优化交通组织与管理提供依据。

参考文献:

- [1] Ruediger Lamm, Basil Psarianos, Theodor Mailaender. Highway design and traffic safety engineering handbook [M]. R R Donnelley & Sons Company, 1999.
- [2] Hassan Y, Sayed T, Taberero V. Establishing practical approach for design consistency evaluation[J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(4): 295-302.
- [3] Agarwal P K, Jain V, Bhawsar U. Development of A hierarchical structure to identify critical maintenance components affecting road safety[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 104(3): 292-301.
- [4] Gibreel G M, Easa S M, Hassan Y, et al. State of the art of highway geometric design consistency[J]. Journal of Transportation Engineering, 1999, 125(4): 305-313.
- [5] 邹健. 浅论道路线形设计对交通安全的影响及改善措施[J]. 公路, 2002(6): 42-47.
ZOU Jian. Discussion on the influence of road alignment design on traffic safety and the improvement measures[J]. Highway, 2002(6): 42-47.
- [6] 李荣彪, 邓毅萍, 柴干. 农村道路条件对交通安全的影响分析[J]. 公路与汽运, 2015(3): 69-72.
LI Rongbiao, DENG Yiping, CHAI Gan. Analysis of the

- impact of rural road conditions on traffic safety[J]. *Highways & Automotive Applications*, 2015(3): 69–72.
- [7] Rune E. Assessing the validity of road safety evaluation studies by analysing causal chains[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2003, 35(5): 741–748.
- [8] Hadi M A, Aruldas J, Chow L F, et al. Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression[J]. *Transportation Research Record*, 1995, 1500(1500): 169–177.
- [9] Rangel T, Vassallo J M. Modeling the effect of contractual incentives on road safety performance[J]. *Transport Policy*, 2015, 40: 17–23.
- [10] 王涛, 陈峻. 基于模糊综合评价法的城市道路交通安全评价研究[J]. *交通信息与安全*, 2011(4): 99–103.
WANG Tao, CHEN Jun. Urban traffic road safety evaluation based on fuzzy mathematic method[J]. *Journal of Transportation Information and Safety*, 2011(4): 99–103.
- [11] 周彬, 秦玉娟. 基于层次分析法的道路交通安全评估模型[J]. *信息技术*, 2011(10): 218–221.
ZHOU Bin, QIN Yujuan. Model of road safety assessment based on AHP[J]. *Information Technology*, 2011(10): 218–221.
- [12] 王艺颖, 郝丽, 贾燕红, 等. 道路交通安全灰色评价方法[J]. *汽车实用技术*, 2014(3): 31–35.
WANG Yiyong, HAO Li, JIA Yanhong, et al. Road safety evaluation based on gray theory[J]. *Automobile Applied Technology*, 2014(3): 31–35.
- [13] 李相勇, 田澎, 蒋葛夫. 道路交通安全综合评价的人工神经网络方法[J]. *西南交通大学学报*, 2006, 41(4): 496–500.
LI Xiangyong, TIAN Peng, JIANG Gefu. Comprehensive evaluation approach of road traffic safety based on artificial neural network[J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2006, 41(4): 496–500.
- [14] Abbas K A. Traffic safety assessment and development of predictive models for accidents on rural roads in Egypt[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2004, 36(2): 149–163.
- [15] Ancello G, Carta M, Fadda P. A decision support system for road safety analysis[J]. *Transportation Research Procedia*, 2015(5): 201–210.
- [16] Esposito T, Mauro R, Russo F, et al. Speed prediction models for sustainable road safety management[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2011, 20(20): 568–576.
- [17] 张英芝, 吴茂坤, 申桂香, 等. 基于 DEMATEL/ISM 的组合机床故障相关性分析[J]. *工业工程*, 2014(3): 92–96.
ZHANG Yingzhi, WU Maokun, SHEN Guixiang, et al. An analysis of failure correlation of assemble machine tool based on DEMATEL/ISM[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2014(3): 92–96.
- [18] 李乃文, 徐梦虹, 牛莉霞. 基于 ISM 和 AHP 法的矿工习惯性违章行为影响因素研究[J]. *中国安全科学学报*, 2012(8): 22–28.
LI Naiwen, XU Menghong, NIU Lixia. Study on factors influencing miners' habitual violation behavior based on ISM and AHP[J]. *China Safety Science Journal*, 2012(8): 22–28.
- [19] 周德群, 章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J]. *管理科学学报*, 2008, 11(2): 20–26.
ZHOU Dequn, ZHANG Ling. Research on hierarchical division of complex systems with integrated DEMATEL/ISM[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2008, 11(2): 20–26.
- [20] Glinskiy V V, Serga L K, Khvan M S. Environmental safety of the region: New approach to assessment[J]. *Procedia Cirp*, 2015: 30–34.
- [21] 崔彩霞. 智慧分类方法[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 147–150.
CUI Caixia. *Intelligent classification method*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2009: 147–150.