

基于 DEMATEL-ISM 事故路段 行车风险因素辨识模型

张文会 赵军芳 罗文文 李德才

东北林业大学，交通学院，哈尔滨 150040

摘要：为了定量分析事故路段行车风险因素，保障事故现场的安全性，集成 DEMATEL-ISM 方法对其影响因素进行辨识和分析。首先基于人-车-路（环境）及管理的系统理论，建立事故路段行车风险影响因素集，即驾驶员因素、车辆因素、道路与环境因素和管理因素，具体分为年龄、驾龄和性别等 20 个因素，然后以 Delphi 法确定各个影响因素之间的关系。集成 DEMATEL-ISM 法，建立事故路段行车风险影响因素辨识模型。通过计算可达矩阵，获得影响因素的 5 层递阶结构模型，即第一层级为驾驶员驾龄、疲劳程度和反应判断能力等 6 个因素，第二层级为驾驶里程及车辆类型等 8 个因素，第三层级为驾驶员年龄等 3 个因素。研究结果为事故路段的安全管理提供理论依据。

关键词：交通工程；事故路段；行车风险；因素辨识；层级结构模型

中图分类号：U491.3

文献标识码：A

文章编号：1672-4747 (2015) 01-0013-05

DOI:10.3969/j.issn.1672-4747.2015.01.003

Identification Model for Driving Risk Factors of Road Traffic Accident Section Based on DEMATEL-ISM

ZHANG Wen-hui ZHAO Jun-fang LUO Wen-wen LI De-cai

Traffic College, North East Forestry University,

Harbin 150040, China

Abstract: In order to analyze driving risk factors quantitatively and protect the accident scene's safety of road traffic accident section, the influence factors of the road traffic accident section were identified and analyzed by DEMATEL-ISM. First of all, the driving risk factors set, including twenty factors, such as drivers ages, driving years and genders, of the road traffic accident section was established based on the theory of people-car-road (environment). The set consisted of factors of drivers, vehicles, road and environment,

收稿日期：2014-03-12.

基金项目：中央高校基本科研业务费专项资金项目（DL12BB16）；黑龙江省哲学社会科学研究规划项目（14B015）。

作者简介：张文会（1978-），男，哈尔滨人，东北林业大学副教授，主要研究方向为交通运输安全。

and management. Then, the relationships between various factors were determined with Delphi, and the identification model for the driving risk factors was established through integrating DEMATEL-ISM. By calculating the reachable matrix, a five-layer factor hierarchical structure model was obtained. The first level of the model included six factors such as the driving experience, fatigue and reaction ability of the driver; the second level had eight factors, which included vehicle type and so on, and the third level included three factors such as the drivers' ages etc. The results provide a theoretical basis for safety management of the road traffic accident section.

Key words: Traffic engineering, traffic accident section, driving risk, factor identification, hierarchical structure model

0 引 言

发生交通事故后,事故现场一般会处于长时间的封闭状态,事故路段的交通特性也随之发生改变。现场人员、事故车辆、散落物、天气状况以及现场管理等因素都会影响事故路段的行车安全。事故路段行车风险关系到二次交通事故的发生率以及现场人员的生命财产安全,事故路段风险管理与控制越来越引起交通安全研究人员的关注。

国外学者对事故路段行车风险的研究主要以期望尽量减少事故存在的时间和空间,从交通事件快速识别以及快速反应等方面展开研究,国内学者对事故路段行车风险的研究主要有高速公路事故路段限速方案^[1],事故现场的安全性综合评价^[2],交通事件的影响范围^[3,4],并且也多见交通事件的快速检测与反应^[5,6],但国内和国外对于从根本上分析事故路段的行车风险影响因素进而保障行车安全的研究尚不多见。

本文将决策实验室分析法(DEMATEL)和解释结构模型法(ISM)相结合,在构建事故路段行车风险影响因素集的基础上,建立基于 DEMATEL-ISM 的事故路段行车风险影响因素识别模型,确定影响事故路段行车风险的关键因素。

1 事故路段行车风险影响因素集

交通事故的发生是人、车、路以及环境等多因素耦合失调的结果,对于事故路段,交通特性发生改变,

危险因素增加。为了提高事故路段的安全性,降低行车风险,有必要对事故路段的行车安全影响因素进行分析,建立事故路段行车风险影响因素集。

事故路段的安全影响因素主要有人的因素、车辆因素、道路与环境因素以及管理因素,本文根据系统完整、层次分明和简明科学的原则从这四个方向提取了 20 个因素,建立事故路段行车风险影响因素集,见表 1。

表 1 事故路段行车风险影响因素集

Tab.1 Driving risk factor set of road traffic accident section

驾驶员因素 A_1	年龄 S_1
	驾龄 S_2
	性别 S_3
	驾驶里程 S_4
	疲劳程度 S_5
	反应判断能力 S_6
车辆因素 A_2	车辆类型 S_7
	车辆性能 S_8
	车辆速度 S_9
	超载超限 S_{10}
	货车比例 S_{11}
	交通流量 S_{12}
道路与环境因素 A_3	封闭道路数 S_{13}
	事故区通车宽度 S_{14}
	事故现场位置 S_{15}
	天气状况 S_{16}
	能见度 S_{17}
管理因素 A_4	事故现场处置的规范性 S_{18}
	交通信息发布的广度和速度 S_{19}
	事故现场速度限制 S_{20}

2 事故路段行车风险影响因素辨识模型

2.1 直接影响矩阵

将事故路段行车风险因素记为 $S_i(i=1,2,\dots,20)$,

见表 1。

结合行车风险影响因素, 基于 Delphi 法确定影响因素两两之间的关系, 建立直接影响矩阵 W^d , 见表 2。本次研究遴选的调查对象为交通工程领域的专家, 发出调查问卷 40 份, 收回 30 份, 专家积极系数为 75%。

表 2 直接影响矩阵

Tab.2 The influence matrix

a_{ij}	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	0	0	0	2	1	2	3	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_3	1	1	0	1	2	0	1	1	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_4	0	0	0	0	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S_5	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
S_6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
S_7	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0	2	0	1	2	0	0	0	1	0	0
S_8	2	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S_9	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	2
S_{10}	3	2	3	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
S_{11}	3	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	0	1
S_{12}	0	0	0	0	2	2	0	0	3	0	0	0	1	3	0	0	0	2	0	1
S_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	2
S_{14}	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	2	0	1
S_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	1	2	1	1
S_{16}	0	0	0	1	1	2	0	1	2	1	1	3	1	0	0	0	1	3	1	2
S_{17}	0	0	0	1	2	3	0	0	3	2	1	3	1	1	0	0	0	3	1	2
S_{18}	0	0	0	0	1	2	1	0	2	0	1	2	1	1	0	0	0	0	2	1
S_{19}	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0
S_{20}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0

表 2 中, 数字 3 表示两个因素之间强相关, 2 表示两个因素之间中等相关, 1 表示两个因素之间弱相关, 0 表示两个因素之间没有直接影响关系。

2.2 综合影响矩阵

首先将直接影响矩阵规范化, 公式为:

$$W = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} W^d \quad (1)$$

式中, $W^d (W^d=[a_{ij}]_{n \times n})$ 为直接影响矩阵; n 为系统阶数。

在此基础上计算综合影响矩阵 T 。由于 $\lim_{k \rightarrow \infty} W^k=0$,

因此:

$$T = \lim_{k \rightarrow \infty} (W + W^2 + \dots + W^k) = W(I - W)^{-1} = [t_{ij}]_{n \times n} \quad (2)$$

式中, I 为单位矩阵, 表示因素对自身的影响。

2.3 整体影响矩阵

综合影响矩阵只考虑了不同因素之间的相互关系, 并没有反应对自身的影响, 因此需要计算反应系统因素的整体影响矩阵, 计算公式为:

$$H = T + I = [h_{ij}]_{n \times n} \quad (3)$$

2.4 可达矩阵

由整体影响矩阵 H 确定可达矩阵 R 为:

$$R = [r_{ij}]_{n \times n} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & h_{ij} \geq \lambda \\ 0 & h_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (5)$$

式中, λ 为给定阈值, 可由专家或决策者根据实际问题而定, 主要目的是舍去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。根据事故路段行车安全的实际情况 ($n=20$), 取 $\lambda=0.15$ 。由

公式 (1) ~ (5) 可确定事故路段行车风险影响因素 的可达矩阵, 见表 3。

表 3 可达矩阵

Tab.3 The reachable matrix

a_{ij}	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	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_4	0	0	0	1	1	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_{10}	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_{11}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
S_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	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	1	0	0
S_{16}	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
S_{17}	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
S_{18}	0	0	0	0	1	2	1	0	2	0	1	2	1	1	0	0	0	0	2	1
S_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
S_{20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

根据可达矩阵 R , 可以确定可达集 $R(S_i)$ 与前因集 $A(S_i)$ 。其中 $R(S_i)$ 为第 S_i 行 r_{ij} 为 1 的列对应的因素集, $A(S_i)$ 为第 S_i 列 r_{ij} 为 1 的行对应的因素集。

2.5 层级辨识模型

当可达集 $R(S_i)$ 与前因集 $A(S_i)$ 满足:

$$R(S_i) \cap A(S_i) = R(S_i) \quad (6)$$

则可判定 $R(S_i)$ 为该级可达矩阵的最高因素集, 找出一级最高因素集后, 划去这些因素对应的行和列, 划分可达矩阵, 重复寻找其他级可达矩阵的最高因素集。

经过计算可得影响因素 S_2 、 S_5 、 S_6 、 S_9 、 S_{14} 和 S_{18} 满足公式 (6)。因此, 第一级因素集为:

$$L_1 = \{S_2, S_5, S_6, S_9, S_{14}, S_{18}\}$$

划去可达矩阵中因素 S_2 、 S_5 、 S_6 、 S_9 、 S_{14} 和 S_{18} 对应的行和列, 依次计算分析可得:

$$L_2 = \{S_4, S_7, S_8, S_{12}, S_{13}, S_{15}, S_{19}, S_{20}\}$$

$$L_3 = \{S_1, S_{16}, S_{17}\}$$

$$L_4 = \{S_{10}, S_{11}\}$$

$$L_5 = \{S_3\}$$

因此, 事故路段行车风险因素多级递阶结构模型见图 1。

分析图 1 可知, 第 1 层级为驾驶员驾龄、疲劳程度、反应判断能力、车辆速度、事故区通车宽度以及事故现场处置的规范性, 这六个因素两两之间相互影响相互制约, 是影响事故路段行车风险的最直接因素; 第 2 层级为驾驶里程、车辆类型、车辆性能、交通流量、封闭车道数、事故现场位置、交通信息发布的广度和速度以及事故现场速度限制, 这八个因素对第一层级因素有直接影响, 是影响事故路段行车风险的潜在因素; 第 3 层级为驾驶员年龄、事故现场天气状况以及能见度, 这三个因素直接影响第二层级因素并且通过第二层级因素影响第一层级因素; 第 4 层级为车辆超载超限和货车比例, 这两个因素对第三层级因素有直接影响并且通过第三层级因素对第一和第二层级因素产生影响; 第 5 层级为驾驶员性别, 该因素是影响事故路段行车风险的最底层因素。

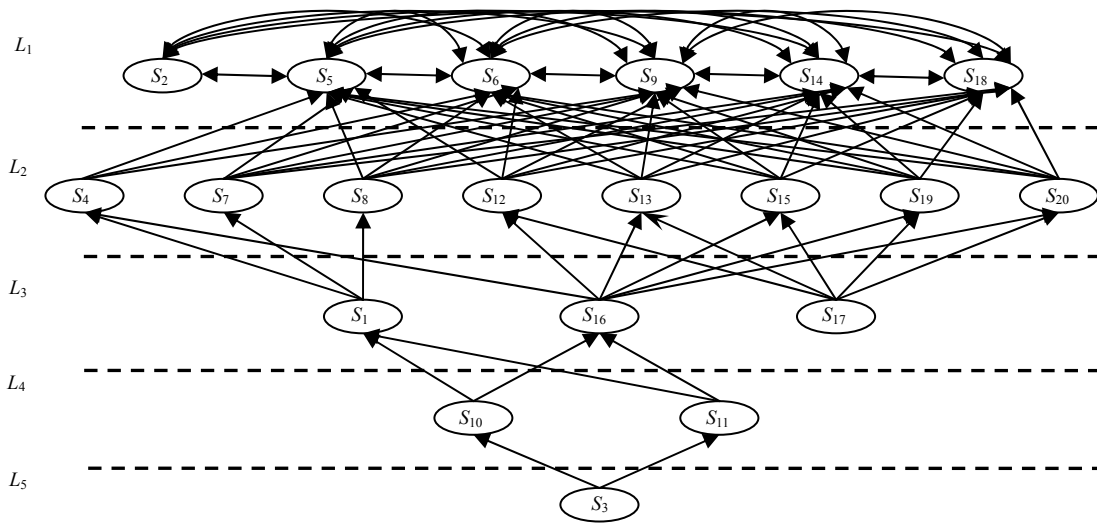


图 1 事故路段行车风险因素多级递阶结构模型

Fig.1 The multilevel hierarchical structure for driving risk of traffic accident section

3 结 论

发生交通事故后，事故现场在人员、车辆、道路和环境以及管理等因素的耦合作用下，车辆通过时具有一定的行车风险。本文从人-车-路（环境）及管理的系统理论出发，分析并提取影响事故路段行车风险的 20 个因素，构建事故路段行车风险影响因素集。基于 Deiphi 法确定各个因素之间的相互关系，采用

DEMATEL-ISM 法建立事故路段行车风险影响因素辨识模型。研究表明，影响事故路段行车风险的最直接因素为驾驶员驾龄、疲劳程度、反应判断能力、车辆速度、事故区通车宽度以及事故现场处置的规范性。该研究结果与结合事故路段的实际情况进行影响因素理论分析的结果基本相符，为进一步研究事故路段风险管理和控制、提高事故路段行车安全提供了理论依据。

参考文献

- [1] 张文会，许洪国. 高速公路交通事故现场路段限速方案[J]. 吉林大学学报, 2012, 42 (2) : 316-320.
- [2] 张文会，邓红星，王宪彬，何永明. 交通事故现场安全性综合评价[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10 (3) : 105-109.
- [3] 姬杨蓓蓓，张小宁，孙立军. 基于元胞传输模型的交通事件消散建模[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27 (3) : 442-445.
- [4] 曹志远，郭忠印，张起森，查旭东. 高速公路重大交通事故时空影响范围研究[J]. 交通科学与工程, 2011, 1 (4) : 55-58.
- [5] 樊小红，荆便顺. 基于遗传算法的交通事件检测[J]. 长安大学学报, 2005, 25 (4) : 70-72.
- [6] 王宏义. 基于视频图像的交通事件检测系统研究与开发[J]. 公路与汽车, 2007, (3) : 57-60.

(中文编辑：刘娉婷)