

# 道路交通安全评价技术

锁 嘉

(北京交通大学交通运输学院, 北京 100044)

**摘要:** 交通安全评价能对交通系统中固有的或潜在的危险进行预测或评估, 进而为采取措施改善交通安全现状提供依据。基于交通安全评价方法、事故预测模型和道路安全审计三个方面, 有关道路交通安全评价方法和技术的优缺点及运用范围的介绍, 可为相关研究提供一定参考。

**关键词:** 安全评价; 交通事故; 事故预测模型; 安全审计

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-4786(2008)06-0080-05

## Technique of Highway Traffic Safety Evaluation

SUO Jia

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Traffic safety evaluation can predict or evaluate the inherent or potential dangerous which exist in traffic system, thus provide warranty for applying measures to improve the actuality of traffic safety. Base on three factors such as evaluation methods of traffic safety, accident prediction model and safety audit, the introduction of the merits, faults and applied range of the methods and techniques can provide some references for correlative research.

**Key words:** safety evaluation; traffic accident; accident prediction model; safety audit

### 1 引言

#### 1.1 安全评价的定义

安全评价也称危险性评价或风险评价, 是以实现系统安全为目的, 应用安全系统工程原理和工程技术方法, 对系统中固有或潜在的危险因素进行定性和定量分析, 得出系统发生危险的可能性及其后果严重程度的评价, 通过与评价标准的比较得出系统的危险程度, 提出改进措施, 以寻求最低的事故率、最少的损失和最优的安全投资<sup>[1]</sup>。

安全评价从20世纪30年代开始, 发展至今已出现了种类繁多、形式多样的评价方法。不同的分析评价方法有不同的侧重点, 因此每一种方法都有其适用范围和局限性。

#### 1.2 研究安全评价方法的意义

近几十年来, 由于汽车工业的高速发展, 车辆急剧增加, 交通流量增大, 造成车辆与道路发展比

例严重失调, 加之交通管理不善等原因, 造成交通事故频繁, 伤亡人数增加, 已成为世界性的一大公害。因此小到对一个路段或道口, 大到对整个交通系统, 都应该有相应的安全评价方法, 以达到提高交通环境的整体安全水平的目的。

### 2 交通安全评价方法研究进展

安全评价方法是进行定性、定量分析的工具。安全评价内容十分丰富, 评价目的和对象不同, 其内容和指标也不同。在进行安全评价时, 应该根据具体评价对象选择适用的评价方法。

#### 2.1 交通冲突时间<sup>[2]</sup>

交通冲突时间(time-to-collision, 即TTC), 主要运用于交叉口的安全评价, 是一种具体的、微观的交通安全评价方法。TTC的概念是由美国研究员Hayward于1971年提出来的, 其定义为: 在某个时刻t, 如果速度差保持不变, 从两辆车可能发生碰

撞时开始到碰撞结束的过程的持续时间。因此TTC的值越大，则系统越安全。

设编号为i的某辆车在t时刻与它后面的编号为i-1的车之间的冲突时间的计算式为：

$$\text{TTC}_i = \frac{X_{i-1}(t) - X_i(t) - l_i}{\dot{X}_i(t) - \dot{X}_{i-1}(t)} \quad \forall \dot{X}_i(t) > \dot{X}_{i-1}(t) \quad (1)$$

式中， $\dot{X}$ 表示速度； $X$ 表示位置； $l$ 表示车的长度。

定义TTC<sup>\*</sup>为TTC的临界值，即当TTC高于这个值时，碰撞不会发生，系统是安全的；反之，可能发生事故，也即[TTC<sup>\*</sup>, +]是TTC的安全范围。

文献[2]还提出两种新的指标TET(time exposed time-to-collision)和TIT(time integrated time-to-collision)。

TET表示所有TTC低于临界值的情况的总和，因此TET越小系统越安全。假设在一个时间段 $\infty$ 内，TTC不变化，那么：

$$\text{TET}_i^* = \sum_{t=0}^T \mathbb{1}_i(t) \cdot \infty \quad (2)$$

式中， $\mathbb{1}_i(t)=1$ ， $\forall 0 \leq \text{TTC}_i(t) \leq \text{TTC}^*$ ；否则， $\mathbb{1}_i(t)=0$ 。

对N辆车( $i=1, 2, \dots, N$ )，总计TET<sup>\*</sup>为：

$$\text{TET}^* = \sum_{i=1}^N \text{TET}_i^* \quad (3)$$

TET的缺点是排除了TTC值大于临界值的情况；TIT则描述了连续的时间内系统的安全水平：

$$\text{TIT}^* = \sum_{i=1}^N \int_0^T [\text{TTC}^* - \text{TTC}_i(t)] dt \quad (4)$$

其中， $0 \leq \text{TTC}_i(t) \leq \text{TTC}^*$ 。

交通冲突时间与车辆制动密切相关，因此对某种TTC普遍较小的车型可以改进其制动系统来提高安全性能；或者某个地点TTC普遍较小，则可能与其地形或该段路面的摩擦力有关，从而可以针对性地采取改进措施。

## 2.2 模糊多属性决策方法<sup>[3]</sup>

采用该方法的评价流程如下：

首先，选取m个待评价指标 $A_i$ ( $i=1, 2, \dots, m$ )；

然后，建立一个n维安全矩阵 $C_j$ ( $j=1, 2, \dots, n$ )，并将每一维向量分解为 $p_j$ 个安全因子 $C_{jk}$ ；确定权重系数 $W$ 、 $W_j$ ，它们表示 $C_j$ 和 $C_{jk}$ 相关联的重要度，可由层次分析法获取；确定判断矩阵 $Y_C$ 和 $X$ ： $Y_C$ 表示

对每个 $C_{jk}$ 指标 $A_j$ 的性能等级； $X$ 表示对 $C_j$ 指标 $A_i$ 的性能等级。

模糊多属性决策方法的具体解决过程如下：

### a) 规范化模糊判断矩阵

$$Z_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2} \quad (5)$$

b) 通过分别对比规范化矩阵的最大值 $M_{\max}^{ij}$ 和最小值 $M_{\min}^{ij}$ ，获取 $A_i$ 的相对等级：

$$r_{ij} = U_{ij}(i) + U_{ij}(i)/2 \quad (6)$$

c) 定义 $A^+$ 和 $A^-$ ，分别表示可能的最好结果和最坏结果；

### d) 计算欧氏空间中的权重系数：

$$d_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^n w_j (d_{ij}^+)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad d_i^- = \left[ \sum_{j=1}^n w_j (d_{ij}^-)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

e) 得到整体安全性能指标：

$$S = d_i^+ / (d_i^+ + d_i^-) \quad (8)$$

通常S越大则系统越安全。安全是一个模糊的概念，表现为指标变化的连续性和安全等级划分的亦此亦彼性，各特征指标对安全水平的影响程度也是模糊的。因此模糊划分的评价方法适用于指标不确定性强的系统。

## 2.3 其他交通安全评价方法和技术

如今交通安全评价的运用很广泛，有不少成熟的方法和工具可以直接利用。

### 2.3.1 TrHazGIS工具<sup>[4]</sup>

TrHazGIS工具是一种运输风险分析工具。

过去在铁路运输的安全评价方法中，往往把整条路线分割成一系列的路段，通常是基于铁路网的特征和附近的人口分布来确定如何划分这些路段的，并把这些路段中的参量看作常数。然而整个铁路线路上的参量是随时变化的，这样上述的分析过程就不太准确。

对于这类问题一般可以用GIS工具来进行分析。然而商用的GIS数据库中没有交通安全评价所需的信息，如事故率、交通流、人口资料和天气条件等。因此，文献[4]介绍了一种TrHazGIS工具，它在GIS数据库中加入附加数据库，涵盖交通安全评价所需的信息，可以快速、精确地完成铁路运输的安全评价。

### 2.3.2 道口安全评价的辅助手段<sup>[5]</sup>

根据美国运输部的调查，2000年美国共发生

2 895起平交道口事故，并造成306人死亡。因此了解平交道口事故潜在的原因是很重要的。

视频数据是调查平交道口事故的一个重要来源。文献[5]提出了一种获取视频数据的手段：在机车头上安装三个摄像机(一个对着前方，另外两个对着侧方)，每秒拍摄一次，然后视频数据就会以MPGE格式实时地记录在机车头里的数据收集装置中。数据收集装置和全球定位系统(GPS)连接在一起，当列车到达目的地时，记录下来的视频数据以及GPS信息(每秒采集一次)就被传送到本地的计算机服务器上。

这样可获得大量的视频数据，然后使用GPS坐标剔除无效的数据。开发一个数据库涵盖大部分道口的GPS坐标，这样就能只选择那些道口附近的视频，用这种方式可以剔除大约75%的数据。

### 3 事故预测模型

事故预测模型是基于道路的几何特征和交通情况，用历史事故数据来推测某个对象(交叉口、路段或区域)将来一定时间内(一般是1年)可能发生的事故次数、频率及其严重程度的一种数学模型。

#### 3.1 指标的选取

一般情况下，指标要针对研究对象有目的地选择，指标太少可能导致预测不准确，太多导致计算量增加。因此，在指标的选择上要遵循以下原则：直观性(使用易于理解的变量)、全面性(尽量不要有遗漏)、重要性。文献[6]详细介绍了如何选取合适的指标体系。这种指标的选择方法同样适用于安全评价和安全审计。

一般地，事故预测模型选取的指标体系包括：道路的功能等级、交通流、排水设施、交通管制类型、中央隔离带、入口控制、地形种类、车道数量、车道宽度、路肩宽度以及照明设备等。

#### 3.2 对数正态回归模型<sup>[7]</sup>

假设有n个指定类型的预测对象(例如交叉口、路段)，对应对象i定义q个安全性能指标。假设一定时期内在对象i处发生的事故数为Y<sub>i</sub>，其中i=1, 2, ..., n。用y<sub>i</sub>表示Y<sub>i</sub>的实际值，即y<sub>i</sub>=0, 1, ...。那么，事故预测值与历史值的函数关系为：

$$E(Y_i) = \mu \quad (9)$$

其中， $\mu$ 为事故期望值。

假设Y<sub>i</sub>的自然对数服从均值为 $\mu$ ，方差为 $\sigma^2$ 的正态分布，那么对数正态回归模型为：

$$\mu = e^{0 + e^{1}x_{i1} + e^{2}x_{i2} + \dots + e^{q}x_{iq}} \quad (10)$$

其中， $\mu$ 是由最小二乘法确定的线性回归系数矩阵。

注：下面的预测模型中如无特殊说明，则各变量和参数的定义均与此相同。

#### 3.3 对数线性回归模型

当对象i处发生的交通事故很少时，对服从对数正态分布的假设就不成立，这时能够很好地模拟离散事件的泊松模型和负二项式模型更适用。

##### 3.3.1 泊松模型

泊松模型的一般形式与式(10)相同，其中Y<sub>i</sub>服从均值为 $\mu$ 的泊松分布<sup>[8]</sup>。

为系数向量，可由最大似然法求出<sup>[10]</sup>：

$$L(\mu) = \prod_i (y_i! \ln \mu + \mu - \ln y_i!) \quad (11)$$

即使如此，并不能保证 $\mu$ 值与实际的系数值相等，引入P-值的定义来判断按最大似然法估算的是否正确。P-值表示，当实际系数为0，但系数估值却远大于0这种情况出现的概率。当P-值小于5%时通常认为估值正确。

##### 3.3.2 负二项式模型

当变量过度离散时，泊松模型不再适用，引入负二项式模型<sup>[9]</sup>。

负二项式模型不受方差等于均值这个条件的限制，加入一个误差项 $e^{\lambda}$ ，负二项式的事故期望值为：

$$\mu = e^{\lambda + \beta x_i} \quad (12)$$

在对象i处发生y<sub>i</sub>次事故的概率为：

$$P(y_i) = \frac{(y_i + \frac{1}{k})^y}{y! \left(\frac{1}{k}\right)^y} \cdot \left(\frac{k\mu}{1+k\mu}\right)^y \cdot \left(\frac{1}{1+k\mu}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (13)$$

负二项式模型的方差为 $\sigma^2 = \mu + k(\mu)^2$ ，其中，k为离散度参数，k>0，当k=0时，负二项式模型变为泊松模型，说明泊松模型是负二项式模型的特殊形式。因此负二项式模型的应用范围更加广泛。

为了更好地理解变量对事故频率的影响，引入弹性系数E<sup>[8]</sup>：

$$E_{x_i} = \frac{\partial \mu}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{\mu} \quad (14)$$

弹性系数用于量度指标变量(事故为变量)发生1%的变化对事故预测概率的影响。因此，它只能在连续变量中使用。例如，平均日交通量(ADT)的

弹性系数为0.58，表示(ADT)增加1%会导致事故增加0.58%。

### 3.3.3 随机影响的负二项式模型(RENB)

负二项式模型在泊松模型的基础上进行了很大的改进，但仍然有其难以避免的局限性。负二项式模型认为指标是与时间无关的独立变量。对于序列相关的变量，泊松和负二项式模型都不再适用。

而RENB考虑了时间和空间对变量的影响。在M地区(组)和T时段内，指定时间t<sub>t</sub>，对象i处的事故期望值和变量X<sub>ij</sub>的RENB模型为<sup>[9]</sup>:

$$\bar{\mu} = \mu + e^{(x_i + \mu)} \quad (15)$$

其中， $\mu$ 为随机的地点影响； $e^{\mu}$ 服从均值为1、方差为 $\mu$ 的gamma分布。

对上述的所有统计模型，需要注意的是：

- a) 对数正态回归模型更适用于事故多发地带；
- b) 对于事故较少且离散分布的地点，泊松模型简单实用，但当离散度过大时，就需要使用负二项式模型，当需要考虑时空对变量的影响时，应选用RENB；
- c) 统计模型在预测事故次数和频率方面比预测严重程度要好；
- d) 所有统计模型都难以避免的缺陷是变量的概率很难得到；
- e) 在地区之间进行事故预测时不能直接套用模型，而要加入一些地区性影响的变量。这是由于区域间的差异，包括法律的实施、驾驶员的行为习惯和生活方式等，会造成在其它变量完全相同的情况下事故频率却不同的情况。

## 3.4 逻辑模型

上述的统计模型在预测事故频率和次数方面应用广泛，但在预测事故严重程度方面却不是很理想。相反地，逻辑模型在这方面有很好的适用性。

### 3.4.1 逻辑模型(LM)<sup>[8]</sup>

严重事故的发生概率可由变量X<sub>i</sub>的线性函数确定。定义逻辑变量Y<sub>i</sub>，Y<sub>i</sub>=1表示该事故是严重事故，否则Y<sub>i</sub>=0。

P为X=(x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ..., x<sub>i</sub>, ...)时Y<sub>i</sub>=1的概率：

$$P_i = \frac{e^{(\sigma + \beta_i x_i)}}{1 + e^{(\sigma + \beta_i x_i)}} \quad (16)$$

### 3.4.2 多层次逻辑模型(MLM)<sup>[10]</sup>

MLM是对LM的改进，适用于预测每次事故参

与车辆数目或每车人数较多的情况(例如公交车事故)，事故中死亡概率的逻辑变换公式如下：

$$L(P_{ijk}) = \alpha + \sum_{m=1}^M m X_{mk} + \sum_{n=1}^N n X_{jk} + \sum_{q=1}^Q q X_{ik} + U_{jk} + U_k \quad (17)$$

其中，k为碰撞等级；j为车辆等级；i为占有者等级；P<sub>ijk</sub>为占有者i在车辆j、碰撞k中死亡的概率；X<sub>ijk</sub>、X<sub>jk</sub>、X<sub>ik</sub>分别表示占有者、车辆、碰撞特征固定影响系数； $m$ 、 $n$ 、 $q$ 表示回归系数；U<sub>jk</sub>、U<sub>k</sub>表示汽车等级随机影响和碰撞等级随机影响服从正态分布。

## 3.5 人工神经网络模型(ANN)<sup>[8]</sup>(见图1)

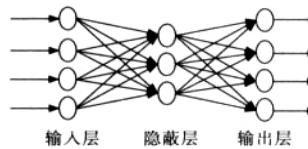


图1 人工神经网络结构模型

人工神经网络是由大量简单的基本元件神经元相互联结，模拟人的大脑神经处理信息的方式，进行信息并行处理和非线形转换的复杂网络系统。ANN具有良好的自学习、自适应、联想记忆、并行处理和非线形转换的能力，避免了复杂的数学推导，在样本缺损和参数漂移的情况下仍能保证稳定的输出。输入层输入变量值，可以是数值或二进制码，隐蔽层通过一些软件处理这些变量值，输出层是对输入数据的响应(例如输出事故频率)。一般用back-propagation规则修正输出误差，这种算法可以通过MATLAB实现。

ANN的优点：

- a) 不需要假设交通事故服从何种分布；
- b) 可以有效地利用自变量之间的联系，而不是把它们当作完全独立的变量，事实上，一个事故往往不是由一个因素而是由一系列因素造成的。

ANN的不足：

- a) 建立ANN模型的时间取决于数据样本的大小和网络结构以及建立的转移方程，因此不适于解决太复杂的问题；
- b) ANN的灵敏度分析很难用数学方法定义。

## 4 道路安全审计(RSA)

### 4.1 安全审计的定义

安全审计是一种正式的安全性能检验，它通过一个独立的(外部的)审计专家小组，对现有的或未来的道路或交叉口等进行一系列的安全性能检验，并针对发现的问题提出相应的整改措施，改进系统

的安全现状，确保对所有道路使用者的更高水平的安全等级<sup>[11]</sup>。

道路工程的任何阶段，无论是计划阶段还是工程预备、设计及建设阶段都可以进行安全审计。同时，道路安全审计还可以应用于任何工程：小至交叉口或道路的翻新，大至耗巨资的工程项目。

#### 4.2 安全审计的步骤<sup>[11]</sup>

道路安全审计的步骤：

- a) 选定要审计的工程或现有道路；
- b) 精选各学科的专家组成审计小组；
- c) 举行一次审计前的会议，回顾所有的工程信息和图纸，可能的话还要进行工程的实地考察；
- d) 在各种各样的条件下分别完成对各领域的回顾；
- e) 开始进行审计分析，并准备关于审计中发现的问题的报告；
- f) 向设计小组或工程所有者提出审计中发现的问题；
- g) 准备正式的回答，针对发现的问题提出相应的整改措施，一般典型的改进建议有：移除妨碍视线距离的障碍物、增加或调整转向车道、对加减速车道的改进、改进照明设备、放置路中隔离护栏、超高的改良、排水装置的改良、路肩和街道宽度的改进以及交叉口的改良等等；
- h) 在适当的时候将整改措施反馈到工程中。

#### 4.3 安全审计的目的和优点

道路安全审计的目的为：

- a) 最小化可预防的事故的频率和严重程度；
- b) 考虑所有的道路使用者的安全，包括易受攻击的道路使用者；
- c) 确保充分考虑缓解事故的方法，这些方法可能排除或减少已被识别的安全隐患；
- d) 最小化超出道路工程范围的消极的安全影响因素，这些因素会在路网的其它地方增加发生事故的风险。

道路安全审计的优点有：

- a) 能够帮助设计人员做出可以减少事故或降低其严重程度的道路几何设计；
- b) 能够帮助工程方减少投资，这是由于安全审计能够在工程开始建造前就识别并解决可能存在的安全问题；
- c) 使多种多样的安全利害关系结合起来。审计

小组的专家成员是工程外人员而且来自各个相关不同的学科(可能包括交通安全、交通工程、计划编制、几何设计、建筑、人类行为学和法律等学科)，一般由3到5人组成；由于审计小组的专家成员来自不同的学科并且与工程无关，因此他们能够全面公正地看待审计中发现的问题，并能提出客观的整改措施；

d) 在计划的方方面面考虑人类的行为。

总之，安全审计是一种提高安全性能的低成本方法，不但能够应用于道路安全方面，还可以扩展到航空和海运领域。

#### 5 结论

无论是安全评价，还是事故预测或安全审计，目标都是寻求最低的事故率、最少的事故损失和最优的安全投资。

安全评价不应仅局限在得出系统发生危险的可能性、后果严重程度和改进措施上，而应该将其与经济效益结合起来，即在安全收效与经济投入之间找到一个最佳的平衡点。然后贯彻实施这些改进措施以使安全评价的目的能够落到实处。

实现交通系统安全性能的提高，首先要选择合适的安全评价方法和工具，识别不同对象的安全指标，进而提出相应的改进措施并实施。

#### 参考文献

- [1] 肖贵平, 朱晓宁. 交通安全工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004
- [2] Michiel M·Minderhoud. Extended time- to- collision measures for road traffic safety assessment[J]. Accident Analysis and Prevention, 2001, 33 (1) : 89- 97.
- [3] Yu- Hern Chang, Chung- Hsing Yeh. A new airline safety index [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2004, 38(4) : 369- 383.
- [4] Bubbico·Roberto, Maschio·Giuseppe. Risk management of road and rail transport of hazardous materials in Sicily[J]. Loss Prevention in the Process Industries, 2006, 19(1) : 32- 38.
- [5] ZuWhan Kim. Pseudo real - time activity detection for railroad grade- crossing safety[J]. Intelligent Transportation Systems, 2004, 5 (4) : 319- 324.
- [6] Lord·Dominique. Poisson, poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle cra-

# 路网环境下高速公路 机电设备维护管理系统的研究

邹国平, 李翠

(江西赣粤高速公路股份有限公司, 江西 南昌 330025)

**摘要:** 机电系统涉及通信技术、计算机技术、供电技术、控制技术、管理科学等多个领域, 其管理技术难度较大, 同时, 系统设备分布在路网各路段沿线, 其空间的分布性也给设备管理带来了很大的困难。因此, 研究路网环境下高速公路机电设备维护管理的特点, 利用先进的信息技术, 建立基于Intranet和GIS的机电系统设备维护管理信息系统十分必要。

**关键词:** 高速公路机电设备; 维护管理; B/S模式; GIS

中图分类号: U412.366

文献标识码: A

文章编号: 1002-4786(2008)06-0085-04

## Research on Maintenance and Management System of Expressway Electromechanical Device under Circumstances of Road Network

ZOU Guo-ping, LI Cui

(Jiangxi Ganyue Expressway Co., Ltd., Nanchang 330025, China)

**Abstract:** Electromechanical system is involved with several fields like communication technology, computer technology, power supply technology as well as management science and so on, and is difficult to manage. Meanwhile, the system devices are laid along each section of road network, so the spacial layout brings about more difficulties for devices management. Therefore, it is necessary to study the character-

shes: Balancing statistical fit and theory[J]. Accident Analysis and Prevention, 2005, 37(1): 35-46.

[7] Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents Addendum[R]. Kansas City, Missouri: FHWA-RD-99-094, 2000.

[8] Chang, Li-Yen. Analysis of freeway accident frequencies: Negative binomial regression versus artificial neural network [J]. Safety Science, 2005, 43(8): 541-557.

[9] Chin, Hoong Chor, Quddus, Mohammed Abdul. Applying the random effect negative binomial model to

examine traffic accident occurrence at signalized intersections[J]. Accident Analysis and Prevention, 2003, 35(2): 253-259.

[10] Lenguerrand, E., Martin, J.L., Laumon, B. Modeling the hierarchical structure of road crash data - Application to severity analysis[J]. Accident Analysis and Prevention, 2006, 38(1): 43-53.

[11] FHWA's Office of Safety Design. Road Safety Audits Brochure[DB/OL]. <http://www.roadwaysafetyaudits.org>, 2007-09-10.

收稿日期: 2007-09-26