

# 道路交通安全水平预测的统计模型

熊 辉<sup>1</sup> 沙云飞<sup>2</sup> 史其信<sup>2</sup>

1. 北京理工大学, 交通工程系, 北京 100081

2. 清华大学, 土木工程系, 北京 100084

**摘 要:** 为了评价和预测不同国家的道路交通安全水平, 建立通用的统计模型, 作者首先分析道路交通事故死亡率与人口规模、机动车保有量、道路里程以及人均 GNP 之间的相关关系, 根据相关性选择影响道路交通事故的因素, 并建立万车死亡率与人均 GNP 之间的函数关系。模型计算结果与校核数据对比分析表明, 所提出的模型能够较好地评价和预测一个国家或地区的道路交通安全水平。模型对交通管理者提高交通安全性的科学决策具有重要指导意义。

**关键词:** 道路交通安全; 统计模型; 预测; 人均 GNP; 万车死亡率

中图分类号: U491.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2007)01-0028-06

## A Statistical Model for the Prediction of Road Traffic Safety Level

XIONG Hui<sup>1</sup> SHA Yun-fei<sup>2</sup> SHI Qi-xin<sup>2</sup>

1. Department of Transportation Engineering,  
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

2. Department of Civil Engineering,  
Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract:** To evaluate and predict the level of road traffic safety for various countries all over the world, a general and practical model is formulated. The paper identified the relationship between traffic mortality and several other variables, such as population, vehicle, road provision, and GNP per capita, and concluded that road traffic mortality is strongly related to GNP per capita based on correlation. In the model road traffic mortality

收稿日期: 2006-03-27.

项目资助: 欧盟合作项目 (20812090\_No.3/2005\_BUT).

作者简介: 熊 辉 (1974-), 男, 河南信阳人, 北京理工大学交通工程系讲师, 工学博士。

per 10 thousand motor vehicles and GNP per capita are predictors and independent variables respectively. Comparison between the model results and statistical data shows that the model is suitable to predict the level of road traffic safety for various countries. The model is of great importance to improve traffic safety level for traffic authority's sound decision making.

Key words : Road traffic safety, statistical model, prediction, GNP per capita, mortality per 10 thousand vehicles

## 0 引 言

不断增加的道路交通事故是国际上正面临的日益严峻的安全问题之一。根据世界卫生组织 (WHO) 的统计数据, 每年全世界大约有 60 万人死于道路交通事故, 并且有 1 500 万人在道路交通事故中受伤<sup>[1]</sup>。以中国为例, 1998 年全国共发生道路交通事故 34.6 万起, 死亡人数为 7.8 万人; 而到了 2003 年, 全国共发生的道路交通事故达 66.8 万起, 死亡人数为 10.4 万人; 分别比 1998 年增长了 93.1% 和 33.3%<sup>[2]</sup>。

一个国家或地区的道路交通安全水平受到其经济发展水平、机动车保有量、人口规模、道路里程以及交通管理水平等一系列因素的影响。近半个世纪以来, 许多研究者一直在努力寻求交通安全水平的发展变化规律, 以此来预测世界各国交通安全的发展趋势并评价各国交通安全的管理水平。这些研究主要是基于对多个国家统计数据的比较分析, 然后力求得到一个普遍规律。从方法论上主要可以归结为两大类: 时间序列分析法和因素分析法<sup>[3]-[6]</sup>。

时间序列分析法是以时间为自变量, 寻求交通事故率随时间的发展变化关系。时序分析法的最大优点就是简单易行, 但由于考虑因素过于简单, 预测结果与实际常常有较大出入。因素分析法则综合考虑了影响道路交通安全的各种因素, 运用统计学的基本原理和方法对这些因素与安全水平之间的关系以及各个因素之间的交互效应进行统计分析, 然后得到预测交通安全水平的统计模型。

因素分析法中最著名的是 Smeed 教授的研究成果, 根据 1938 年世界上 20 个发达国家的交通事故统

计数据, 于 1949 年提出了交通事故死亡人数和人口以及机动车保有量之间的统计关系<sup>[7]</sup>。在随后的几十年里, 绝大多数国家大量的统计数据表明, Smeed 公式的预测值与实际情况基本符合, 因此, 这一研究成果也得到了国际社会的广泛认可。然而, 自 20 世纪 80 年代以后, 由于世界各国的不懈努力, 交通事故有了大幅度的下降, Smeed 公式受到了不断的挑战, 研究表明, 目前, 在许多国家特别是发达国家, Smeed 公式的预测结果与实际情况已经完全不符了。

本文首先根据 17 个国家的 30 多组数据, 利用统计学的基本原理和方法系统地分析了交通安全水平的影响因素, 建立了预测和评价一个国家交通安全水平的统计模型, 并对模型的参数进行了标定。随机选择 2001 年部分国家的统计数据对模型的应用性进行了验证。

## 1 数据分析

为了保证所建立的模型具有普遍适用的效果, 随机选取了 17 个国家的 30 多组统计数据, 如表 1 所示。从经济发展水平上看, 这些国家中既有美国、日本、德国等发达国家, 也有印度、巴基斯坦、斯里兰卡等发展中国家; 从时间上来看, 一部分国家的数据为 1991 - 1992 年的统计结果, 还有一部分数据为 1989 - 1990 年的统计结果。不同年份的统计数据更能够说明本研究所得到的统计规律具有普适性。从参数的内容上看, 主要包括道路交通事故的死亡人数、人均 GNP、道路里程以及机动车保有量等。

描述交通事故及其后果的统计指标众多, 最常用

表1 道路交通事故死亡人数、人均 GNP、道路里程及机动车保有量等数据

Tab.1 Data of road traffic fatalities, GNP per capita, road length and number of vehicles

国家	年份	死亡人数/人	人均 GNP/ US\$	道路里程/ km	机动车保有量/ Veh.
日本	1991	11 105	26 960	1 115 609	59 914 623
	1992	11 457	28 750	1 124 844	61 658 144
韩国	1991	13 429	6 670	58 088	4 247 816
	1992	11 640	7 210	58 905	5 230 894
泰国	1991	6 319	1 700	54 388	2 727 509
	1992	8 184	1 910	56 903	3 122 339
加拿大	1991	3 691	19 990	849 404	15 980 000
	1992	3 485	20 270	849 404	16 194 000
美国	1991	41 462	22 600	6 257 882	188 371 935
	1992	39 235	23 790	6 277 859	190 362 228
德国	1991	7 515	20 660	636 282	33 422 786
	1992	10 643	23 360	636 400	40 250 637
荷兰	1991	1 281	18 880	104 700	5 801 000
	1992	1 285	20 830	104 831	5 914 000
西班牙	1991	6 797	12 420	331 961	15 152 132
	1992	6 014	14 140	337 139	15 875 656
英国	1991	4 568	15 480	360 047	26 429 283
	1992	4 229	17 130	362 328	26 651 740
印度	1989	50 700	370	2 962 470	3 069 694
	1990	54 058	370	2 963 300	3 663 726
印度尼西亚	1989	10 726	540	242 000	2 569 617
	1990	10 887	570	243 000	2 806 056
以色列	1989	475	10 400	13 080	947 360
	1990	427	11 460	13 199	977 328
巴基斯坦	1989	4 800	400	158 036	514 899
	1990	4 846	400	168 932	553 679
沙特阿拉伯	1989	2 647	6 270	134 491	4 754 618
	1990	2 697	6 600	139 425	4 936 822
斯里兰卡	1989	1 596	450	94 651	313 938
	1990	1 795	470	94 800	332 098
土耳其	1989	6 332	1 870	367 187	2 455 545
	1990	6 286	2 230	367 409	2 785 447
埃及	1989	4 692	710	45 062	1 475 278
	1990	4 698	660	45 944	1 512 975

注：表中数据来源于国际路联网站 <http://www.irfnet.org/en>

的有事故次数、死亡人数、受伤人数和直接经济损失等。在国际比较研究中，通常以事故死亡人数作为基础，这主要是因为各个国家对其它指标如交通事故和事故受伤等的定义不尽相同，缺乏可比性。然而，由

于各个国家的面积、人口、经济发展等相差巨大，直接采用事故死亡人数的绝对数进行比较显然也是不合理的。因此，需要将交通事故死亡人数与一些相关指标如机动车保有量、人口、运行车公里、路网长

度、事故次数等发生功能关系,得到相对死亡率。为此,在本文的研究中,采用万车死亡率这个指标来反映一个国家的道路交通安全水平,分别研究其与道路总里程、机动车保有量以及人均 GNP 等参数之间的相关性。

首先分析万车死亡率与道路总里程之间的关系,将万车死亡率作为纵坐标,道路总里程作为横坐标,二者之间的分布如图 1 所示。从图 1 可以看出,一个国家的万车死亡率与其道路总里程并没有直接的相关关系,并且,统计分析表明二者之间的相关性较差。因此,可以看出,道路里程规模并不能够影响交通事故率的大小。

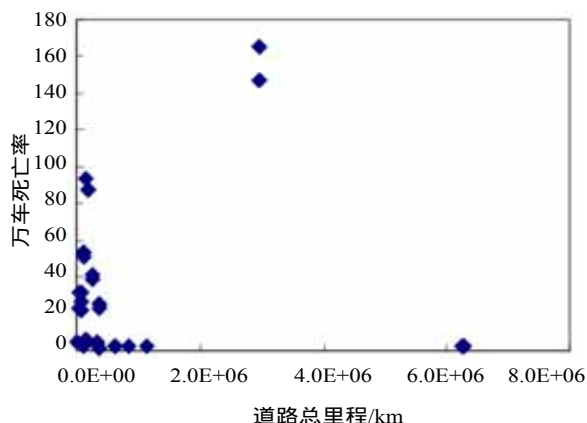


图 1 万车死亡率与道路总里程关系

Fig.1 Relationship between road traffic mortality per 10 thousand vehicles and total road length

同样对万车死亡率与机动车保有量以及人均 GNP 之间进行类似的相关性分析。统计分析结果表明,万车死亡率与机动车的保有量之间有着良好的相关关系(见图 2),同时还和这个国家的经济发展水平,即人均 GNP 有着良好的相关关系(见图 3)。由此可以说明,影响一个国家道路交通死亡率的因素不仅包括机动车保有量,还有经济发展水平,即人均 GNP。

然而,根据 Ingram & Liu 的研究结论<sup>[8]</sup>,一个国家或地区的机动车保有量直接受到其经济发展水平的影响和制约,并且,统计分析表明,机动车保有量是随着人均 GNP 的增加而增加的,这种关系可以用

函数的形式直观地表示出来。从这个角度来看,影响交通安全水平的机动车保有量和经济发展水平两个因素之间并不是平等的,而是一个因素决定于另一个因素。因此,在分析道路交通安全水平的影响因素中,可以认为经济发展水平是影响道路交通事故死亡率较为直接的原因。

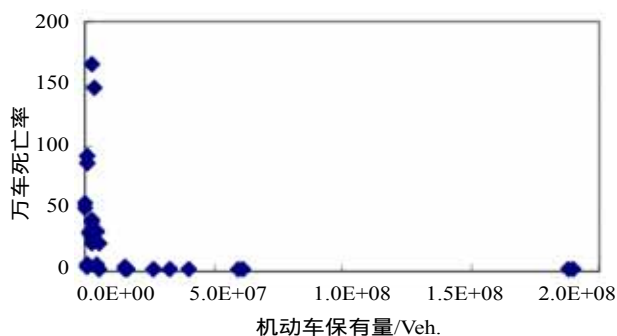


图 2 万车死亡率与机动车保有量关系

Fig.2 Relationship between road traffic mortality per 10 thousand vehicles and the total number of vehicles

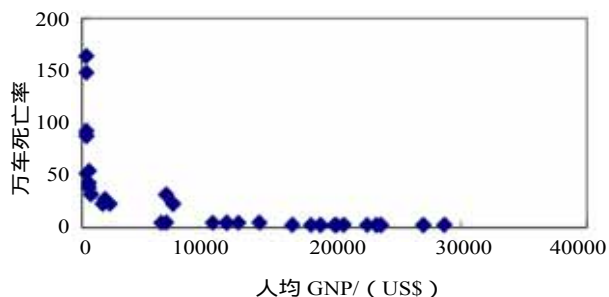


图 3 万车死亡率与人均 GNP 关系

Fig.3 Relationship between road traffic mortality per 10 thousand vehicles and GNP per capita

## 2 建立模型

### 2.1 参数标定

根据图 3 中的万车死亡率和人均 GNP 的关系,建立以下具有一般形式的评价和预测模型:

$$M_{ij} = \frac{\beta_0}{X_{ij}^{\beta_1} + \beta_2} \quad (1)$$

式中,  $M_{ij}$  表示国家  $j$  在年份  $t$  的道路交通安全水

平 (万车死亡率), 即模型中的因变量;  $X_{ij}$  表示国家  $j$  在年份  $t$  的人均 GNP (US\$), 是模型中的自变量;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  为常数, 分别表示模型中的系数。

利用统计软件, 根据表 1 中的数据可以求出模型中三个系数的值分别为:  $\beta_0 = 14\ 047.24$ ,  $\beta_1 = 0.881$ ,  $\beta_2 = -10.92$ , 得到的相关性系数  $R^2 = 0.813$ 。图 4 为统计数据与模型计算结果的对比情况, 其中曲线为计算值。

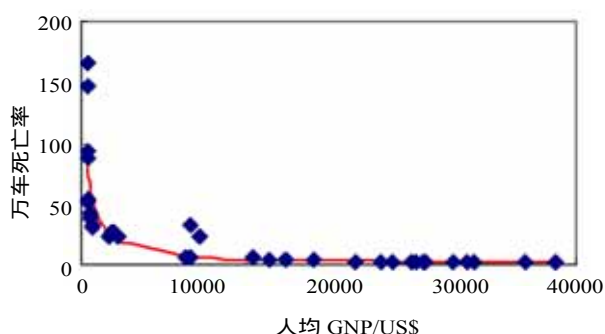


图 4 统计数据与预测模型计算值比较

Fig.4 Comparison between statistical data and calculated results with the prediction model

### 2.2 模型检验

从表 1 中可以看出, 模型的建立和标定主要是基于 1989-1992 年的统计数据, 为了检验模型的应用性, 特别是对近年来世界上交通安全变化趋势的相适性, 随机选取了 2001 年世界上一些国家的统计数据, 通过实际值与模型计算值之间误差比较分析, 检验模型的适用程度。统计数据如表 2 所示。

从计算结果可以看出, 只有部分国家的数据误差较大, 大多数国家的统计数据与模型计算的数值都较为接近, 并且, 误差在 10% 以内。表 2 中的数据验证了模型的适用性。

表 2 模型检验统计数据

Tab.2 Statistical data for model verification

国家	万车死亡 人数/人	人均 GNP/US\$	模型计算 结果/(%)	误差
加拿大	1.65	30 921	1.56	5.7
芬兰	1.75	31 566	1.53	13.7
德国	1.61	30 793	1.56	3.0
冰岛	1.34	36 108	1.36	1.4
意大利	1.81	25 904	1.82	0.7
拉脱维亚	7.65	4 749	8.15	6.3
挪威	1.20	50 414	1.01	16.8
葡萄牙	2.46	15 066	2.94	17.7
斯洛文尼亚	3.04	13 264	3.29	7.7
西班牙	2.68	20 261	2.26	16.9
瑞典	1.33	33 352	1.46	8.9
埃及	9.56	2 872	12.73	28.4
英国	1.27	32 188	1.50	16.8
加拿大	1.65	30 921	1.56	5.7

注: 表中数据主要来源于欧盟道路联合会网站 <http://www.erf.be>, 世界银行网站 <http://web.worldbank.org>, 以及欧盟统计网站 <http://epp.eurostat.cec.eu.int>。

### 3 结束语

道路交通事故的产生受到诸多因素的影响, 但经济发展水平是影响一个国家或地区交通安全的根本因素; 通过对统计数据的相关分析, 可以得到二者之间的内在关系。

本文提出的模型具有一定的普适性, 无论是对发达国家还是对发展中国家, 无论是对一个国家早期经济不发达的阶段还是后期经济发达阶段, 其道路交通安全水平均受到经济发展阶段的影响和制约, 并且服从统一的变化规律; 利用这种规律可以对一个国家或地区的道路交通安全水平进行评价和预测。

### 参考文献

- [1] [http://www.who.int/pub/en\[EB/OL\]](http://www.who.int/pub/en[EB/OL]), Accessed in Aug. 12, 2005.
- [2] [http://www.mps.gov.cn/cenweb/portal\[EB/OL\]](http://www.mps.gov.cn/cenweb/portal[EB/OL]), Accessed in Nov. 3, 2005.
- [3] El-Sadig M. et al. Road traffic accidents in the United Arab Emirates: trends of morbidity and mortality during 1977-1998[J]. Accident Analysis & Prevention, 2002, 34: 465-476.

[4] Greibe P. Accident prediction models for urban roads [J]. Accident Analysis & Prevention, 2003, 35: 273-285.

[5] Brüde U. What is happening to the number of fatalities in roads accidents? A model for forecasts and continuous monitoring of development up to the year 2000[J]. Accident Analysis & Prevention, 1994, 27(3): 405-410.

[6] Page Y. 2000 A statistical model to compare road

mortality in OECD countries [J]. Accident Analysis & Prevention, 2001, 33: 371-385.

[7] Smeed R. Some statistical aspects of road safety research [J]. J Roy Stat Soc, Series A. 1949(112): 1-34.

[8] Ingram G. K, and Liu Z. Determinants of motorization and road provision [R]. Research Paper, World Bank, 1999.

上接第 13 页

目前只能参照国外高速铁路旅客集结情况,来估计对数正态分布模型中的参数  $\mu$  和  $\sigma$ 。估计结果为:

$$\mu = 0.316\ 359, \quad \sigma = 0.2263$$

根据前述计算方法,假定  $N_i$  为新广州站远期武广客专方向客车密集发车中的某一列客车,其出发前时刻  $t$  时的旅客集结人数就是该站旅客最高聚集人数,则:

$$K = N_{\text{定员}} \times \alpha_{\text{满载率}} \times \mu_{\text{辅助}} \times \mu_{\text{波动}} \times (1 + p_2(t) + p_3(t) + p_4(t) + \dots)$$

$$\text{式中: } p_2(t) = \int_4^{1440} \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx,$$

$$p_3(t) = \int_8^{1440} \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx$$

.....

按照武广客专方向客车密集发车 1 h、列车最小间隔 4 min 计算,则  $K$  值约为 5 000 人,也就是在该种行车组织下,新广州站武广客专方向旅客最高聚集人数为 5 000 人。

参考文献

[1] 铁道第二勘察设计院,铁道第三勘察设计院. 铁路运量与行车组织[M]. 北京:中国铁道出版社,1992.

3.2.3 效果分析

采用概率统计法计算的新广州旅客最高聚集人数符合客运专线的服务特征,已被铁路部门作为新广州站站房设计和建设的重要依据而采用。

4 结束语

概率统计法较好地考虑了始发旅客到站的概率分布以及客运站列车开行的方案,其结果在相同总客流规模条件下,接近常规铁路聚集系数法计算的下限,比较符合客运专线候车室注重速度和效率而非大而全的设计理念,对计算客运专线旅客最高聚集人数而言,不失为一种较好的方法。但对于大型站房设计来说,一种方法往往不够,计算旅客最高聚集人数的方法应多样化。希望有关主管部门对其他方法尽快组织开展全面、系统的研究,以适应我国客运专线发展的需要。另外,本文提出的概率统计法还需要在设计过程中进一步验证,在实践中进一步修改和完善。

[2] 铁道第四勘察设计院. 广州铁路枢纽新广州站修改初步设计[R]. 铁道第四勘察设计院,2006.