

# Research on the Invulnerability Evaluation Model of Shandong Road of Qingdao under Emergency

Bowen Zheng, Bin Yang, Fanpeng Song, Yanjie Wang, Jie Ma

School of Mathematics and Statistics, Qingdao University, Qingdao Shandong  
Email: 740732913@qq.com

Received: Jan. 14<sup>th</sup>, 2016; accepted: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2016; published: Feb. 5<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Shandong Road as one of the main roads of Qingdao, the traffic volume of this road is very huge every day. Along with the increase of traffic on the road, the frequency of the emergency also rises. The emergency, such as natural disasters, has a lot of effects on the residents' travel. In addition, the emergency can also cause great economic loss to the government. Based on the traffic time as basic index to evaluate the road invulnerability, by the road impedance under the emergency and the signal intersection delay, the essay sets up an invulnerability evaluation model of road to provide reliable decision basis for the government and a safe and effective travel guide for citizen.

## Keywords

Emergency, Road Impedance, Intersection Delay, Evaluation Model

---

# 基于突发事件的青岛市山东路抗毁性评价体系研究

郑博文, 杨彬, 宋繁鹏, 王岩杰, 马杰

青岛大学, 数学与统计学院, 山东 青岛  
Email: 740732913@qq.com

收稿日期：2016年1月14日；录用日期：2016年2月2日；发布日期：2016年2月5日

## 摘要

山东路作为青岛市城区最主要的交通干道之一，每天会有大量的居民途经于此，伴随着道路上交通量的增大，突发事件发生的频率也在不断加大，若考虑自然灾害，对居民的出行造成了不小的影响。不仅如此，突发事件对于政府也会造成很大的经济损失。本文以道路通行时间为评价道路抗毁性的基本指标，建立了突发事件下的由道路路阻和信号交叉口延误共同决定的道路抗毁性评价模型，为政府提供可靠的决策依据并为市民提供安全有效的出行指导。

## 关键词

突发事件，道路阻抗，交叉口延误，评价模型

## 1. 突发事件的定义及其分类

研究突发事件下城市路网的交通特性是抗毁性评价模型研究的基础部分。由于突发事件的突发性和偶然性，使得城市路网的交通特性相比常态下的交通特性会发生巨大的变化，从而体现出道路抗毁性能力大小。因此，了解突发事件的自身属性及其对城市路网交通特性的具体影响是进行下一步的研究的基础。

### 定义 1.1: 突发事件的广义定义[1]

广义上，突发事件可被理解为突然发生的事情：第一层的含义是事件发生、发展的速度很快，出乎意料；第二层的含义是事件难以应对，必须采取非常规方法来处理。

### 定义 1.2: 突发事件的狭义定义[1]

狭义上，突发事件就是意外地突然发生的重大或敏感事件，简言之，就是天灾人祸。前者即自然灾害，后者如恐怖事件、社会冲突、丑闻包括大量谣言等等，专家也称其为“危机”。

根据中国 2007 年 11 月 1 日起施行的《中华人民共和国突发事件应对法》的规定，突发事件，是指突然发生，造成或者可能造成严重社会危害，需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件。

### 突发事件的分类，见表 1 [2]

基于青岛市山东路的实际交通和可能发生突发事件级别情况，仅考虑第 III 级和第 IV 级突发事件级别，且将山东路早中晚出行高峰期的情况归类为第 III 级突发事件。突发事件的情况分为：雨雪天气，突发交通事故和突发大型活动三类。

## 2. 道路抗毁性的基本概念

道路的抗毁性是一种从网络的拓扑结构角度来考察网络可靠性的参数，在发生突发事件的情况下，指信号交叉口或路段在遭受到一定程度的破坏时，道路仍能完成其基本服务的能力，它衡量一条道路抗击破坏的能力大小。衡量道路抗毁性的指标一般有道路通行时间、车辆行驶速度、出行费用等，本文主要采用道路通行时间作为衡量道路抗毁性的基本指标。若在发生突发事件的情况下，道路通行时间较之前发生巨大变化，则可以说明该道路的抗毁性较差；若在发生突发事件的情况下，道路通行时间并没有发生明显变化，则可以说明该道路的抗毁性较好。

**Table 1.** The standard of urban traffic emergency levels  
**表 1.** 城市交通突发事件等级划分标准

事件等级	波及范围	道路损坏情况		交通特性变化		持续时间	案例
		基本设施	路网连通性	通行能力	拥堵程度		
I 级	整个城市: 影响人数 10 万	道路坍塌, 基本交通设施功能遭到严重破坏	完全破坏	车辆无法通行, 通行能力为 0	区域性大面积拥堵	10 小时	地震, 海啸, 飓风
II 级	城市部分区域: 影响人数 5~10 万	道路出现严重裂缝、沉陷, 设施遭到较严重的物理性破坏	局部破坏, 相关连通性能力暂时降为 0	区域内道路通行能力暂时降为 0	局部拥堵	5~10 小时	大范围的火灾, 危险品泄漏等
III 级	某居民小区: 影响人数 0.5~5 万	路基路面等交通设施遭到一定程度的破坏	小区内路段连通性降低	小区内通行能力有所降低	局部拥堵	1~5 小时	局部危险品, 火灾等
IV 级	个别或局部地点: 影响人数 0.5 万	对道路基本设施影响不大	相关道路路段连通性降低	相关道路通行能力有所降低	相关道路拥堵	1 小时	较小交通事故, 火灾等

### 3. 突发事件下山东路抗毁性评价模型的建立

突发事件下道路阻抗函数模型研究, 是对山东路抗毁性进行评价的前提。常态下城市路网路段阻抗函数的建立, 需要考虑路段上车辆的行程时间、运行成本以及行车安全性、舒适性和便捷性等因素。一般情况下, 研究者常以路段行程时间为参数建立路阻函数, 目的在于降低出行的时间[3]。

常态下交通分配的出行阻抗通过路阻函数来描述, 该函数一般根据交通负荷进行定义。但是, 对于扩散性的突发交通事件, 除考虑交通负荷以外, 还须考虑突发事件对交通阻抗的影响。既然事件的影响范围会随着时间推移发生扩散或转移, 则在抗毁性评价模型中应该把突发事件对道路阻抗的时变影响反映出来。因此, 本文在分析了突发事件的影响范围和扩散机理的基础上, 对城市道路的路阻模型予以了修正。

#### 3.1. 路阻函数的建立与修正

##### 3.1.1. 路阻函数

道路交通阻抗是表达车辆在道路上运行过程中所受到的阻碍程度高低或交通困难程度大小的量值。路段阻抗函数, 简称路阻函数, 就是将道路交通阻抗进行量化的数学表达式。它反映了道路上某路段的行程时间与路段饱和度之间的关系, 其精度的高低会直接影响道路网络的交通分配以及车辆的路径选择[4]。因此国内外机构和学者对其进行了深入的研究, 比较成熟的函数模型有 BPR 函数、MUL 出行时间函数、回归路阻函数等, 针对青岛市山东路的实际路况, 本文主要采用 BPR 函数[5]。

BPR 函数是美国联邦公路总局(Bureau of Public Road, BPR)提出的用来表征路段阻抗特性的函数。函数形式为:

$$t = t_0 \left[ 1 + \alpha \left( \frac{q}{C} \right)^\beta \right]$$

其中,  $t$ : 路段上的行程时间即路段阻抗(min);

$t_0$ : 路段上车辆以畅行速度行驶所需的时间(min);

$q$ : 实际路段交通流量(pcu/h);

$C$ : 实际路段通行能力(pcu/h);

$\alpha, \beta$ : 阻抗因子, 可以根据实际数据求得。

为方便数据拟合，将上述 BPR 函数左右两边变量分别取对数并转化，得：

$$\ln\left(\frac{t}{t^0}-1\right)=\ln\alpha+\beta\ln\frac{q}{C}$$

构建线性函数  $y=a+bx$ ，其中  $y=\ln\left(\frac{t}{t^0}-1\right)$ ， $x=\ln\frac{q}{C}$  为变量， $a=\ln\alpha$ ， $b=\beta$  为待定参数，利用获得的数据对函数进行拟合。再由  $a=\ln\alpha$ ， $b=\beta$ ，经转化得  $\alpha=e^a$ ， $\beta=b$ 。

### 3.1.2. 道路通行能力的修正

道路通行能力实质上是道路负荷性能的一种量度，通常用单位时间内驶过道路某截面的最大车辆数衡量。

对于常规情况之下的路段基本通行能力，予以修正[6]。所谓路段的基本通行能力是指在一定时段、道路、交通、控制及环境均处于理想的条件下，均匀路段能通过车辆的最大小时流率。其计算公式为：

$$C=\frac{3600}{h}$$

式中， $C$ ：单条车道的基本通行能力；

$h$ ：饱和连续流的车头时距平均值。

由公式可知，对于突发事件的情况下，对路段通行能力  $C$  的修正即为对饱和连续流的平均车头时距  $h$  的修正。当突发事件发生时，影响区域内所有车辆都是从事件发生点赶往安全区域，都想以最短时间到达目的地，因此，车道上车辆剧增，致使排队增多，进而使得车辆速度降低。在这种情况下，通过路段上某一断面的时间就会增长。不同等级、不同扩散范围的突发事件对车头时距的影响也是不同的。由于通行能力  $C$  和平均车头时距  $h$  之间呈负相关，那么  $C$  与  $h^\alpha$  之间也是负相关的。因此采用幂指数函数来表示突发事件下单条车道的基本通行能力，如下所示：

$$C_{kj}=F_j\left(\frac{3600}{h_{kj}}\right)^\alpha$$

式中， $C_{kj}$ ：第  $j$  级突发事件下第条路段上单条车道的基本通行能力；

$F_j$ ：第  $j$  级突发事件的出行综合影响因素，设为出行惩罚因子；

$h_{kj}$ ：第  $j$  级突发事件下第条路段的平均车头时距；

$\alpha$ ：待定参数。

为了便于进行参数拟合，对公式 3.12 左右两边的函数分别取对数，将其转化为对数形式，

$\ln C_{kj}=\ln F_j+\alpha\ln(3600/h_{kj})$ ， $y=\ln C_{kj}$ ， $x=\ln(3600/h_{kj})$ ，可得到形如  $y=ax+b$  的线性函数，其中  $a=\alpha$ ， $b=\ln F_j$ 。利用获得的数据对其进行拟合，即可得线性函数的表达式。再由  $a=\alpha$ ， $b=\ln F_j$ ，可以得到突发事件下的惩罚因子  $F_j$  和待定系数  $\alpha$  的值。

以山东路 - 香港中路交叉口为起点，山东路 - 抚顺路交叉口为终点，将山东路划分为起点→山东路 - 闽江路交叉口→山东路 - 江西路交叉口→山东路 - 延吉路交叉口→山东路 - 敦化路交叉口→终点共五个路段。基于对山东路实地测量的数据，见表 3，拟合出各待定参数，计算出不同等级突发事件情况下的各路段路阻值，取 3 类突发事件对山东路各路段影响的平均值，如表 2 所示。

## 3.2. 信号交叉口延误公式与修正

### 3.2.1. 信号交叉口延误公式

目前我国城市道路交叉口大多采用信号控制方式。由于信号红灯阻滞的作用使得车辆通过交叉口的

**Table 2.** Road impedances in different emergency levels of Shandong Road's sections  
**表 2.** 山东路各路段不同等级突发事件情况下的路阻值

	实际交通量(pcu/h)	实际路阻值	IV 级交通量(pcu/h)	IV 级路阻值	III 级交通量(pcu/h)	III 级路阻值
路段一	1944	34.9478	1774	35.4338	1357	37.4052
路段二	2064	38.3748	1873	38.9443	1402	41.1942
路段三	2392	111.1033	2078	113.0964	1553	120.3073
路段四	1805	31.5176	1689	31.9136	1247	33.5672
路段五	1555	70.2999	1304	71.1557	846	73.7881

实际行程时间多于车辆以正常运行的平均速度通过同一交叉口的时间。

信号交叉口延误与信号周期、配时、交通量及随机因素等有关。目前国外学者提出了很多公式来表征交叉口处的延误特性[7]。比较有代表性的有 Webster 公式、Akcelik 公式以及 HCM 延误公式等。针对青岛市山东路的实际情况, 本文主要采用 Webster 公式和 HCM 延误公式。

#### 1) Webster 公式

F. 韦伯斯特(Webster)于 1958 年提出该公式[8], 国际上经典的交通工程著作都曾引用该公式:

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-y)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left( \frac{c}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)}$$

式中,  $d$ : 进口道上每辆车的平均延误时间(s);

$c$ : 交叉口信号周期时长(s);

$\lambda$ : 交叉口的绿信比, 已知信号绿灯时长  $g$ , 得  $\lambda = \frac{g}{c}$ ;

$q$ : 实际进口道交通流量(pcu/h);

$y$ : 进口道交通流量比。已知进口道的饱和流量  $S$ , 得  $y = \frac{q}{S}$ ;

$x$ : 进口道饱和度。有  $x = \frac{q}{C} = \frac{q}{S \cdot \frac{g}{c}} = \frac{\left(\frac{q}{S}\right)}{\left(\frac{g}{C}\right)} = \frac{y}{\lambda}$ 。

#### 2) HCM (1985, 2000)延误公式

该公式由美国交通协会(TRB)提出, 分为 1985 年和 2000 年两个版本, 其中对中国影响最深的是 1985 年版, 中国学者对此进行了修正, 以适应中国国内的道路评价情况。

美国在 1985 年版的《道路通行能力手册(HCM)》中提出的信号交叉口进口车道组延误计算公式:

$$D = \frac{0.38c(1-\lambda)^2}{1-\lambda x} + 173x^2 \left[ (x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{16x}{C}} \right]$$

式中,  $D$ : 进口道上每辆车的平均延误时间(S);

$\lambda$ : 交叉口绿信比;

$c$ : 交叉口信号周期时长(S);

$x$ : 进口道饱和度;

$C$ : 进口道通行能力(pcu/h)

在 2000 年版的通行能力手册中美国交通协会(TRB)再次对该公式做出修改, 其中对信号交叉口的延误描述为:

$$D = \frac{c(1-\lambda)^2}{2[1-\lambda \cdot \min(1, x)]} + 900T \left[ (x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8kLx}{CT}} \right]$$

式中,  $T$ : 分析时段, 一般取 15 min;

$k$ : 受信号设置影响的参数;

$L$ : 受上游车辆交织运行影响的参数; 其他各符号含义同上。

### 3.2.2. 信号交叉口延误公式的修正

结合 Webster 公式和 HCM(1985)公式, 建立信号交叉口延误模型来表征突发事件下城市道路交叉口延误函数[9]:

$$x_{ij} = \frac{q_{ij}}{C_{ij}} = \frac{q_{ij}}{\left( S_{ij} \cdot \frac{g_i}{c_i} \right)} = \frac{q_{ij}}{\lambda_i S_{ij}}$$

当  $x_{ij} < 1$ ,

$$d_{ij} = \frac{c_i(1-\lambda_i)^2}{2(1-\lambda_i x_{ij})} + \frac{x_{ij}^2}{2q_{ij}(1-x_{ij})} - 0.65 \left( \frac{c_i}{q_{ij}^2} \right)^{\frac{1}{3}} x_{ij}^{(2+5\lambda_i)} = \frac{c_i \left( 1 - \frac{g_i}{c_i} \right)^2}{2 \left( 1 - \frac{g_i}{c_i} x_{ij} \right)} + \frac{x_{ij}^2}{2q_{ij}(1-x_{ij})} - 0.65 \left( \frac{c_i}{q_{ij}^2} \right)^{\frac{1}{3}} x_{ij}^{(2+5\frac{g_i}{c_i})}$$

当  $x_{ij} \geq 1$ ,

$$d_{ij} = \frac{0.425c_i(1-\lambda_i)^2}{(1-\lambda_i x_{ij})} + 18.037x_{ij}^2 \left[ (x_{ij}-1) + \sqrt{(x_{ij}-1)^2 + \frac{16x_{ij}}{C_{ij}}} \right]$$

通过实地考察, 忽略高架桥对各信号交叉口的影响, 我们得到了常规情况下山东路各信号交叉路口的信号周期、绿信比、饱和和流量、实际交通流量等交通信号参数数据, 如表 3 所示。

基于以上常规情况下的山东路交通数据, 通过交通仿真软件[10]模拟出第 III 级和第 IV 级突发事件情况下道路交通数据。将所有数据代入上述信号交叉口模型中, 通过 MATLAB 编程辅助计算得出山东路各信号交叉口常规和不同等级突发事件下车辆行驶延误时间值, 取 3 类突发事件对山东路各信号交叉口影响的平均值, 并将计算值与实测值进行对比, 如表 4 所示。

### 3.3. 突发事件下山东路抗毁性评价模型的建立与求解

计算一条道路阻抗时, 通常将这条道路分为  $n$  条路段与  $m$  个交叉口之和, 如图 1 所示。那么整条道路基本路段的总阻抗时间为  $n$  条路段的行程时间之和, 相应的道路交叉口的总延误为  $m$  个交叉口延误值之和[11]。将路段总行程时间和信号交叉口总延误作和, 就可以得到城市道路的阻抗函数。

**Table 3. Parameters about signal intersections of Shandong Road**  
**表 3. 山东路各信号交叉口的参数调查表**

	方向	信号周期(s)	绿信比	饱和流量(pcu/h)	通行能力(pcu/h)	实际交通量(pcu/h)
香港中路	东	150	0.40	7150	2860	2160
	西	150	0.40	7150	2860	1704
	南	150	0.40	7150	2860	672
	北	150	0.40	7150	2860	1536
闽江路	东	150	0.27	6435	1716	696
	西	150	0.27	8580	2288	480
	南	152	0.72	3952	2860	1848
	北	152	0.72	3952	2860	1944
江西路	东	153	0.33	7001	2288	1416
	西	153	0.33	1750	572	72
	南	150	0.70	3269	2288	1944
	北	150	0.70	4086	2860	2064
延吉路	东	190	0.42	4076	1716	948
	西	190	0.42	4076	1716	602
	南	190	0.53	5434	2860	2610
	北	190	0.53	5434	2860	2392
敦化路	东	190	0.47	3623	1716	589
	西	190	0.47	3623	1716	532
	南	190	0.58	4940	2860	2964
	北	190	0.58	4940	2860	1805
抚顺路	东	180	0.50	3432	1716	932
	西	180	0.50	2288	1144	568
	南	180	0.56	5148	2860	2023
	北	180	0.56	5148	2860	1555

$$F = T + D = \sum_{k=1}^n (t_k - t_0) + \sum_{i=1}^m d_i$$

式中,  $F$ : 该道路的阻抗值(s);

$T$ : 该道路上  $n$  条路段的总延误时间(s);

$D$ : 该道路上  $m$  个交叉口的总延误时间(s);

$t_0$ : 该道路上第  $k$  条路段上以 50 km/h 行使的行程时间(s);

$t_k$ : 该道路上第  $k$  条路段上的行程时间(s);

$d_i$ : 该道路上第  $i$  个交叉口的延误值(s)。

基于以上的模型解出了结合假设情况下山东路抗毁性评价模型的具体计算结果, 如表 5 所示。

在三种突发事件中, 雨雪天气对山东路的通行影响较分散, 交通事故和大型活动的发生对山东路通

**Table 4.** The comparison of delay in different emergency levels of Shandong Road's signal intersections  
**表 4.** 山东路各信号交叉口不同等级突发事件下延误对比

		常态计算值	常态实测值	绝对误差%	IV 级计算值	IV 级实测值	绝对误差%	III 级计算值	III 级实测值	绝对误差%
香港中路	东	38.7	35	9.52	39.3	36.7	6.72	41	40.2	2
	西	35.4	29.4	17.06	35.9	33.2	7.47	37	35.4	4.25
	南	29.8	32.6	9.39	29.9	26	13.11	30.2	28	7.33
	北	34.4	33	4.03	34.8	32.3	7.06	35.7	33.4	6.37
闽江路	东	45.2	42.1	6.91	45.4	44.2	2.72	46	46.7	1.62
	西	42.7	46.7	9.31	42.8	38.6	9.86	43.1	42	2.46
	南	10.9	12.3	12.87	11.3	13	15.22	12.3	10.3	16.43
	北	11.4	10	12.42	11.9	15.7	32.32	12.2	12	1.77
江西路	东	43.5	47.2	8.62	43.9	44.7	1.85	45	42.6	5.24
	西	36.2	37.8	4.54	36.2	32	11.65	36.4	38.7	6.43
	南	16.6	20.8	24.93	17.7	15.9	9.95	20.6	22.1	7.04
	北	13.6	12	12.01	14.2	18.8	32.38	15.8	17.4	10.41
延吉路	东	41.5	40.6	2.15	42	38	9.49	43.2	40.2	6.98
	西	37.4	36.9	1.23	37.6	34.8	7.48	38.2	33	13.69
	南	41	36.7	10.5	42.5	39.9	6.19	44.1	42.5	3.58
	北	38.1	39.2	2.97	39.3	37.5	4.51	42.5	44	3.6
敦化路	东	31.4	32	1.83	31.7	28	11.57	32.3	32.6	1.08
	西	30.8	29.5	4.36	31.1	27.5	11.44	31.6	28.5	9.7
	南	38.1	38.6	1.24	39.2	34.6	11.75	41.6	44	5.84
	北	26.5	24	9.56	27.1	22	18.95	28.7	26.3	8.42
抚顺路	东	30.9	28.5	7.72	31.3	29.2	6.83	32.5	34.6	6.52
	西	29.9	33.4	11.6	30.3	35.4	16.76	31.3	30	4.12
	南	29.3	26.9	8.14	30	28.1	6.45	32	34.8	8.7
	北	25.5	26.9	5.61	25.9	24.3	6.2	27	29.8	10.32

**Table 5.** Road impedances in different emergency levels of Shandong Road  
**表 5.** 不同等级突发事件情况下山东路的道路阻抗值

	常规	IV 级	III 级
道路阻抗参数(s)	475.9	513.4	596.3

行的影响主要集中在突发事件发生质点的周围。综合来看：当发生第 IV 级突发事件时，山东路整体道路车辆的出行时间较常态值平均增加 37.5 s，当发生第 IV 级突发事件(包括出行高峰期的情况)时，山东路整体道路车辆的出行时间较常态值平均增加 120.4 s。基于以上分析，可以看出突发事件的发生对山东路整体道路的通行影响较大，山东路的基本服务能力受到较大影响，山东路的抗毁能力有待进一步提高。



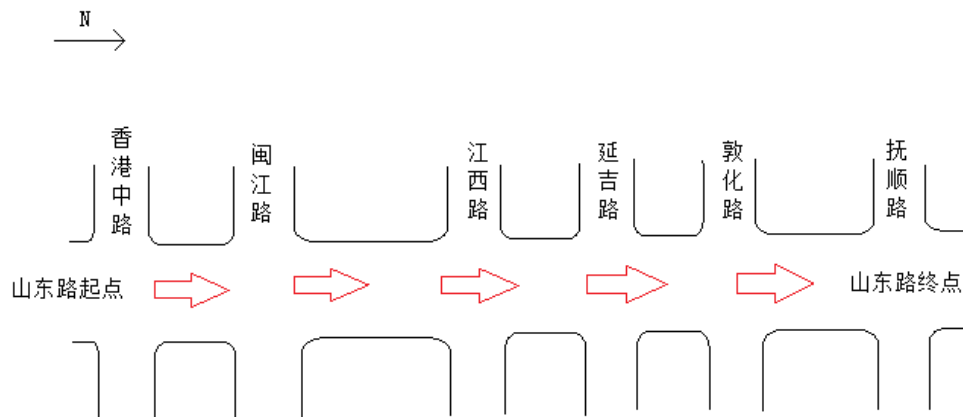


Figure 1. Shandong Road's sections and intersections

图 1. 山东路路段与交叉口

#### 4. 结束语

青岛作为著名的旅游城市，客流量大，加上城区人口多，出行强度大，因此对突发事件的道路抗毁性研究显得尤为重要。本文借鉴了以往学者的优秀的研究成果，同时结合本研究自身的特点，主要研究了青岛市的山东路，以该道路的阻抗值，即道路通行时间为评价道路抗毁性的基本指标，建立了突发事件下的由路段路阻和信号交叉口延误共同决定的道路抗毁性评价模型。对城区主要道路做出抗毁性优劣评价，为政府改建道路提供可靠的决策依据，并为市民提供安全有效的出行指导，为城市道路建设工作做出一定的贡献。

#### 致 谢

本文得到青岛大学创新项目“基于突发事件的青岛市部分道路的抗毁性研究”资助。

#### 参考文献 (References)

- [1] 郭研实. 国家公务员应对突发事件能力[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2005.
- [2] 王磊. 企业突发事件的媒体应对原则与策略[J]. 石油化工管理干部学院院报, 2010(2): 64-66.
- [3] 李旭宏. 道路交通规划[M]. 南京: 东南大学出版社, 1997: 159-160.
- [4] 王元庆, 周伟, 吕连恩. 道路阻抗函数理论与应用研究[J]. 公路交通科技, 2004(9): 82-85.
- [5] 王素欣, 王雷震, 高利, 崔小光, 陈雪梅. BPR 路阻函数的改进研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2009(3): 446-449.
- [6] 黄华华, 蔡冬军. 车头时距对道路通行能力的修正系数研究[J]. 重庆建筑, 2011(6): 1-4.
- [7] 王锐. 信号交叉口延误模型研究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2012(22): 3-7.
- [8] Webster, F.V. (1958) Traffic Signal Settings. Road Research Laboratory Technical Paper No.39, HMSO, London.
- [9] 赵雨昉, 冯雨芹, 杨忠良. 信号交叉口 Webster 法延误计算修正模型[J]. 黑龙江工程学院学报(自然科学版), 2010(2): 2-5.
- [10] 杜璇, 陆建. 突发交通事件后高速公路有效通行能力估算[J]. 公路交通科技, 2010(11): 154-158.
- [11] 仝倩. 突发事件下城市路网应急动态交通分配模型研究[D]. [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013: 44-48.