

文章编号: 0451-0712(2006)11-0106-03

中图分类号: U416.162

文献标识码: B

道路系统易损性分析

姜淑珍¹, 包 锋²

(1. 中国地震局工程力学研究所 哈尔滨市 150080; 2. 哈尔滨工业大学固泰公司 哈尔滨市 150060)

摘 要: 总结道路震害的主要因素, 着重介绍道路系统易损性分析方法。结合三亚市区道路实例进行分析。

关键词: 道路系统; 易损性分析

地震产生的剧烈地震动, 会使受灾城市的内部公路交通系统受到严重破坏, 而造成巨大的经济损失, 会导致桥梁受到严重破坏, 路面喷水冒砂、地面出现严重裂缝、街道被瓦砾阻塞。同时, 地震还可能诱发滑坡、泥石流、海啸、砂土液化等。公路交通系统一旦失去功能, 就会对人们正常生活和经济建设产生重要的影响。尤其在震后, 公路交通系统的好与坏是至关重要的。因为道路是向灾区运送紧急救援人员、物资的重要设施, 是灾区救援和修复的生命线。因此, 公路交通系统易损性分析, 成为防震减灾课题的重要内容之一。为了达到减轻地震灾害的目的, 除了加强公路工程 and 桥梁设计外, 其次就是对公

路交通系统的抗震能力, 进行易损性分析, 以适应抗震防灾的需求。

1 道路系统易损性分析

1.1 道路震害等级划分

考虑到道路路基、路面的震害, 在以往地震调查和震害评估中, 一般把道路破坏状态划分为 5 个等级, 该等级与桥梁工程设施的破坏等级相匹配。这 5 种情况基本上可以反映出路基、路面对震后交通系统的影响, 破坏等级的划分标准及平均震害指数见表 1。

表 1 道路破坏等级划分标准

破坏等级	震害描述	平均震害指数
基本完好	路基路面无损坏, 或出现少量裂缝, 对承载能力无影响, 无需修复即可正常运行。	0.10
轻微破坏	路面轻微变形, 出现不同程度的裂缝、拥包、沉陷, 一般车辆仍能运行, 稍做补强即可恢复正常。	0.30
中等破坏	路基、路面出现严重裂缝, 路面拥包、沉陷或喷水冒砂, 路肩小面积失稳、滑塌, 已影响车辆的行驶速度, 需及时修复, 方可恢复通车。	0.50
严重破坏	路基、路面严重断裂, 路面严重喷水冒砂、拥包、沉陷、路堤坍塌变形, 交通中断, 修复难度较大。	0.70
毁坏	路基、路面大范围拥包、沉陷、喷水冒砂, 路基路面断裂, 严重变形, 丧失交通功能。	1.00

1.2 道路易损性分析

我国生命线工程交通系统中的道路系统分析, 是近 20 年发展起来的。国内外的许多大地震使得城市交通系统的道路遭到严重破坏, 而在震后, 交通系统功能的丧失, 受到许多学者们的极大关注。人们从地震经验教训中领悟到道路在现代社会中的重要性, 它现已成为大中城市防震减灾研究的重要课题之一。

道路的地震震害, 通常包括桥涵破坏、路基路面开裂、滑坡; 路边建筑倒塌、路边发生火灾、交通信号破坏等。因此, 分析时应考虑地震烈度、峰值加速度、土层反应、边坡稳定、砂土液化等因素。日本的“川上英二”建议在公路震害预测时, 用每千米长公路发生多少处破坏来表示震害发生的概率; “王家新”提出的是, 根据不同的路面宽度、表层土、下层土、冲击层厚度、路基情况和地震烈度确定震害指数, 再用震害

指数之和确定破坏概率;“宋建学”、“李杰”提出,通过概率计算方法即瓦砾阻塞量来确定其破坏程度。应当指出,道路的震害预测方法和易损性分析方法很多,除了以上介绍的方法以外,目前还有许多专家学者从事这方面的工作,在这里不多赘述。

陈一平等^[2]从概率角度出发,运用模糊数学理论,借助于模糊图论,提出了对道路的模糊易损性分析方法。

它是根据震害经验,经多方案的分析比较后,确定 7 个因素作为影响道路路基路面的震害因子。各震害因子的分类情况及对应的量化值见表 2。

表 2 道路震害预测量化值					
震害因子	1	2	3	4	5
1. 基本烈度	6 度 (0.20)	7 度 (1.00)	8 度 (1.05)	9 度 (1.15)	10 度 (1.20)
2. 路基土	坚硬土 (0.90)	粘土 (1.00)	粉土细砂土 (1.10)	分期施工 (1.20)	
3. 场地类别	I 类 (0.90)	Ⅱ类 (1.00)	Ⅲ类 (1.10)	Ⅳ类 (1.30)	
4. 地基失效	无 (1.00)	轻 (1.05)	中 (1.15)	重 (1.40)	
5. 路基类型	低矮路基 (1.00)	路堤路堑 (1.10)	挖填结合 (1.30)	沿河路基 (1.35)	
6. 路基高差 H(m)	H≤1 (1.00)	1<H≤2 (1.05)	2<H≤3 (1.10)	3<H (1.40)	
7. 设防烈度	已设防 (0.90)	未设防 (1.00)	已有损坏 (1.20)		

道路的震害程度可以用震害度(以震害指数为基础变量的模糊集)来表示,根据震害经验,并从便于进行分析计算出发,设震害度为一正态分布的曲线,即:

$$\mu_i(ind)=e^{-\frac{(ind-\overline{ind}_i)^2}{2\sigma_i^2}}$$

(1)

表 4 三亚市区主干线道路基本情况

序号	道路名称	起	止	长度/m	宽度/m	面积/m ²	路面结构
1	凤凰路	天然气公司	榆亚路	11 521	25	288 025	混凝土
2	三亚河东路	金鸡岭街	三亚大桥	5 059	24	121 416	沥青
3	临春河路	榕根桥	榆亚路	2 300	16	36 800	沥青水泥
4	解放路	三亚大桥	海角大酒店	4 973	25	124 325	沥青
5	友谊街	解放路	三亚湾路	660	15	9 900	沥青
6	三亚湾路	光明街	凤凰镇	17 800	20	356 000	混凝土
7	三亚河西路	吉祥街	三亚大桥	3 350	19	63 650	沥青
8	金鸡岭街	三亚湾路	凤凰路	2 545	25	63 625	混凝土
9	新风街	三亚湾路	凤凰路	1 559	24	37 416	沥青水泥
10	榆亚路	解放路	琼州煤气站	7 900	24	189 600	沥青

式中: \overline{ind}_i 为第 i 条道路平均震害指数,可由该道路各震害因子的量化值式(2)计算。

$$\overline{ind}_i=0.2\times\left[\sum_{j=1}^7X_{ij}\right]-0.1$$

(2)

如果计算的 $\overline{ind}>0.6$,则取 $\overline{ind}=0.6$ 。式中 X_{ij} 为第 i 条道路第 j 个震害因素所对应的量化值由表 2 查得。各烈度下震害离散系数 σ 值是通过历史地震大量的震害及抗震经验所总结出来的。推荐各烈度下的 σ 值见表 3。

表 3 各烈度下震害离散系数σ推荐值	
烈度	离散系数推荐值(σ)
6 度	0.10
7 度	0.20
8 度	0.20
9 度	0.30
10 度	0.35

由此,用总体模型可求得各烈度时或指定地震动强度时的震害度,并进一步求出路基路面相应地震作用下发生各破坏等级时的破坏可能性。

2 应用实例:三亚市区道路易损性分析

三亚市位于海南省最南端,交通方便,海陆空四通八达,市区道路基本联网,构成一个整体框架。市区有一条国道——凤凰路,长 12 km。道路主干线以三亚湾路、解放路、三亚河东西路、临春河路、凤凰路、金鸡岭街、新风街和榆亚路等为中心形成环路,主干道连接国道向外辐射。截止到 2003 年底,三亚市区主要桥梁有 8 座,主干道长约 70 km,面积为 150 万 m²;次干道长约 8 km,面积为 7 万 m²。三亚市区桥梁、道路的基本情况和易损性分析结果见表 4、表 5。

表 5 三亚市区主干线道路易损性分析结果

编号	道路名称	烈度				
		6 度	7 度	8 度	9 度	10 度
1	凤凰路	基本完好	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
2	三亚河东路	基本完好	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
3	临春河路	基本完好	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
4	解放路	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
5	友谊街	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
6	三亚湾路	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
7	三亚河西路	基本完好	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
8	金鸡岭街	基本完好	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
9	新风街	基本完好	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏
10	榆亚路	基本完好	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏

3 结语

本文作者曾经参加了中国地震局“九五”、“十五”重点项目：“大中城市防震减灾示范研究”，曾完成过厦门、福州、漳州、泉州、天津、合肥、泰安、广州、大庆等十几个城市工作区内的交通系统易损性分析、震害预测和国家自然科学基金等工作。基于这些年来的研究成果，在吸取国内外现有震害预测方法优点的基础上，又进行了改进和完善。在道路易损性分析时，从概率的角度出发，运用模糊数学理论。从精确角度上看，此方法还缺乏相应的结构破坏机理的研究，这也是在以后的研究当中要探索的问题。

参考文献：

[1] 赵成刚,等. 生命线地震工程[M]. 北京：地震出版

社,1994

[2] 陈一平,等. 公路交通系统震害预测计算机辅助系统 DPLH 简介[J]. 建筑科学, 1994,6(4).
[3] 宋建学,等. 震后城市交通系统连通性模拟[J]. 自然灾害学报,1996,5(1).
[4] 黄龙生,等. 道路交通系统的震害预测[J]. 自然灾害学报,1996,5(1).
[5] 黄龙生,姜淑珍. 公路桥区域性震害预测[J]. 地震工程与工程震动,1995,15(4).
[6] 柳春光,姜淑珍. 泰安市交通系统震害预测[R]. 哈尔滨：中国地震局工程力学研究所,2001.
[7] 姜淑珍,等. 广州市交通系统震害预测[R]. 哈尔滨：中国地震局工程力学研究所,2003.
[8] JTJ 004—89,公路工程抗震设计规范[S]

Vulnerability Analysis of Road System

JIANG Shu-zhen¹, BAO-Feng²

(Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China;
2. GUTAI Company, Harbin Institute of Technology, Harbin 150060, China)

Abstract: The main factors of road seismic damage are summed up, and the vulnerability analysis method of road system is introduced especially. Finally, The analysis is carried out with the roads in Sanya City.

Key words: road system; vulnerability analysis