

庄丽, 冯启民, 贾婧, 2007. 改进的城市桥梁震害预测因子法研究及其应用. 震灾防御技术, 2(3): 322—328.

改进的城市桥梁震害预测因子法研究及其应用

庄丽 冯启民 贾婧

(中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100)

摘要 本文根据对青岛市 123 座桥梁的考察结果, 建立了与青岛市桥梁类型比例相当的国内 243 座桥梁的资料, 并以此为对象阐述了城市桥梁震害预测因子法的研究过程, 确定了桥梁易损性影响因素及其取值, 给出了桥梁震害预测指标计算方法和各种破坏状态的划分依据等。最后将此方法运用到青岛市地震应急指挥系统中, 对青岛市的 123 座桥梁进行了桥梁震害模拟。

关键词: 桥梁震害预测 震害因子 因子法 青岛市桥梁

引言

桥梁作为交通系统这一城市生命线工程中的重要环节, 当受到地震作用而破坏后, 对道路流量的影响往往是致命性的, 因此在交通系统的防震减灾工作中处于核心的地位。

本文给出的城市桥梁震害预测因子法是在青岛市地震应急指挥技术系统的研究开发过程中, 提出的一个重要而有意义的课题。根据前期的功能设计, 该系统要求对青岛市所有的桥梁在给定的地震影响场下的破坏情况进行模拟, 于是才有了针对此类需求、此类对象的桥梁震害预测方法的探索, 桥梁震害预测因子法也正是在这一探索过程中应运而生的。

1 桥梁震害预测因子法的提出过程

1.1 现有的桥梁震害预测方法及适用性研究

现有的桥梁震害预测方法主要有 4 种 (姜淑珍等, 2004): ①地震反应时程分析法; ②Pushover 法; ③规范校核法; ④经验统计法。第一种方法是在对桥梁结构建立力学模型后, 通过对运动方程采用直接积分以求得桥梁的地震反应, 再通过地震反应大小来确定桥梁的震害程度。这种方法对桥梁结构考虑的比较全面, 对解决桥梁结构安全性是最为有效的方法, 但该方法工作量大, 因此主要用于一些结构类型比较复杂, 桥墩高度超过 30m 的单个桥梁的震害预测分析。第二种方法是建立在非线性静力分析基础上, 通过计算结构的非线性变形能力来评价它的抗震性能, 给出结构的破损倒塌机制, 从而发现结构的抗震薄弱环节。这种方法常用于评估钢筋混凝土桥墩的延性抗震能力和伸缩缝处的可能最大地震相对位移 (王东升等, 2000)。第三种方法是采用构件强度和结构稳定性来判别桥梁的安全性。对于砖石砌体重

【收稿日期】 2007-05-21

【作者简介】 庄丽, 女, 生于 1970 年。中国海洋大学环境科学与工程学院博士研究生。主要从事城市防灾与管理方面的研究。

E-mail: zl9159@sina.com

力式桥墩采用该方法较为适宜。第四种方法不需要复杂计算就可以确定桥梁在未来地震中可能的破坏等级,使用起来经济方便,特别是当某个地区或城市有大量桥梁需要进行震害预测时非常实用(王东升等,2003)。

由于本文所要研究的对象包括青岛市七区五市所有的桥梁,不仅桥梁数目非常庞大(仅公路桥就有123座),同时桥梁种类也非常复杂。而对于上述的前3种方法仅适用于单个或少数桥梁的震害预测,因此通过桥梁震害预测方法适用性的对比分析,本文选择经验统计法,作为青岛市城市桥梁震害预测的方法。

1.2 现有的桥梁震害预测经验统计法

现有的桥梁震害预测经验统计法主要包括以下4种:

第一种方法是由日本的久保庆三郎(1984)提出的,该方法统计了遭受严重震害的30座公路桥梁的资料,考虑了地震烈度、场地条件、液化、上部结构类型、支座类型、墩台高度、桥孔数、支承宽度、基础类型、墩台材料等10个影响因素。

第二种方法是由日本土木工程学会(1997)提出的,该方法根据124座遭受地震破坏的桥梁资料,考虑了设计规范、上部结构类型、上部结构形式(曲梁桥和直梁桥)、上部结构材料、桥轴线坡度、抗落梁措施、桩高、场地条件、液化、基础持力层不均匀性、土层杂质、基础材料、基础种类、地面运动强度等15个影响因素。

第三种方法是由朱美珍(1990)提出的,该方法根据唐山、海城、通海、包头地震中100多座公路桥梁的震害情况,选择地震烈度、场地类别、地基失效程度、上部结构类型、支座形式、墩台高度、墩台材料、基础类型、桥梁长度等9个因素。

第四种方法是由Buckle提出的,该方法利用美国从1964年Alaska地震到1991年Costa Rica地震期间,11次地震中114座桥梁震害资料,选择地面运动峰值、设计规范、上部结构类型、上部结构外形、跨中铰、桥墩类型、基础类型、墩体材料、规则性、场地条件、液化程度、支座支承长度等12个影响因素。

1.3 青岛市桥梁震害预测因子法的提出

分析上述的4种桥梁震害预测经验统计法,都存在着样本群数目类型以及考虑因素的不同。经验统计法是有针对性和实效性的,要根据所研究对象的不同以及时间的推移而不断修正。在参考了上述4种经验统计法的基础上,本文通过对青岛市七区五市所有桥梁的考察,确定了桥梁易损性影响因素,并将其数值化。试图通过数值的大小来反应所确定的影响因素对桥梁最终的震害造成的影响,我们把这些数值化的影响因素称为“震害因子”,而数值的大小称为“震害因子值”。根据对青岛市123座桥梁的考察结果,建立了与青岛市桥梁类型比例相当的国内243座桥梁的资料,并以此为对象研究了各个震害因子的取值,以及桥梁震害参考指标的计算公式。根据对所有桥梁震害参考指标的综合分析,给出了桥梁处于基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌这5个状态下的震害参考指标范围,作为今后进行桥梁震害预测的依据,并最终形成了完整的青岛市桥梁震害预测因子法。

2 青岛市桥梁震害预测因子法的形成过程

2.1 震害因子与研究对象的确立

根据对青岛市桥梁实地考察的结果,筛选了与青岛市桥梁类型比例相当的国内243座遭受地震作用的桥梁为研究对象,并确定了场地基本烈度、场地土分类、地基失效、建造年代、

抗震设防、桥主跨长度、上部结构、桥墩形式、桥墩高度、桥台高度、基础类型、支座形式、桥梁类型等 13 个桥梁震害因子。这 13 个桥梁震害因子是在充分考虑了青岛市桥梁的总体状况后给出的，与上述的 4 种桥梁震害预测经验统计法比较，多考虑了建造年代、桥梁类型等震害因子。

2.2 震害因子值的确定

将这 13 个桥梁易损性影响因素作为震害因子，表 1 给出了它们的震害因子值。

表 1 桥梁震害因子值
Table 1 The factor value of seismic hazard for bridges

(1) 场地基本烈度	VI ($A \leq 0.05g$)	1	(7) 上部结构	钢架	1
	VII ($0.05g < A \leq 0.15g$)	1.1		连续梁	1
	VIII ($0.15g < A \leq 0.30g$)	1.2		简支梁	1.3
	IX ($0.30g < A \leq 0.40g$)	1.4		悬臂梁	1.3
	X ($A > 0.40g$)	1.8		钢筋混凝土拱	1.4
(2) 场地土分类	I	0.9	(8) 桥墩形式	石拱	1.5
	II	1		石砌墩	1.2
	III	1.4		钢筋混凝土墩	1.1
	IV	1.6			
(3) 地基失效	无	1	(9) 桥墩高度	$H \leq 5m$	1
	轻	1.5		$5m < H \leq 10m$	1.1
	重	1.8		$10m < H$	1.2
(4) 建造年代	$N \leq 1970$	1.4	(10) 桥台高度	$H \leq 5m$	1
	$1970 < N \leq 1990$	1.2		$5m < H \leq 10m$	1.1
	$1990 < N \leq 2000$	1.1		$10m < H$	1.2
	$N > 2000$	1			
(5) 抗震设防	无	1.3	(11) 基础类型	扩大基础	1
	有	1		桩柱基础	1
				排架桩	1.2
(6) 桥主跨长度	$L \leq 10m$	1	(12) 支座形式	高桩承台	1.2
	$10m < L \leq 20m$	1.2		一般支座	1
	$L > 20m$	1.3		减震支座	0.9
				有防落梁措施	0.7
					摆动支座
			(13) 桥梁类型	跨海大桥	1
				大型斜拉或悬索桥	1.1
				一般桥梁	1.2

2.3 桥梁震害预测经验公式

$$A = \prod_{j=1}^N \prod_{k=1}^C W_{jk}^{X_{jk}}$$

其中， $X_{jk} = \begin{cases} 0 & \text{预测桥的} j \text{项目中无} k \text{类因素} \\ 1 & \text{预测桥的} j \text{项目中有} k \text{类因素} \end{cases}$

式中，A 为震害预测指标值；N 为震害因子数目，在这里的取值是 13；C 为每个震害因子的可取值数目，在这里是 2 到 6； W_{jk} 为震害因子值，其具体值见表 1。

2.4 破坏状态与震害预测指标值对应关系的确立

根据 2.1 节确定的研究对象、2.2 节确定的震害因子值和 2.3 节确定的桥梁震害预测公式，本文基于 VB 语言开发了一个可执行文件“因子法.exe”，将所有的 243 个样本桥梁数据输入，

同时计算桥梁震害预测指标值（如图 1 所示），并将其输入 Access 数据库的“dbbridge.mdb”中。其中桥梁震害等级的确定，可以参考图 2 所示的鉴别标准。

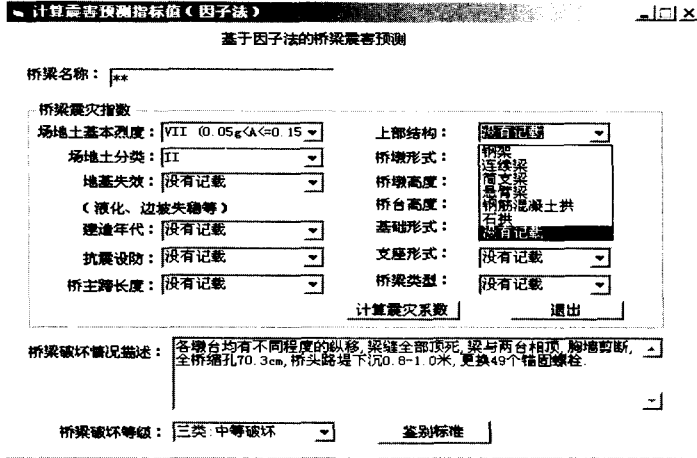


图 1 计算并输入桥梁数据

Fig. 1 Input bridges' data for calculation

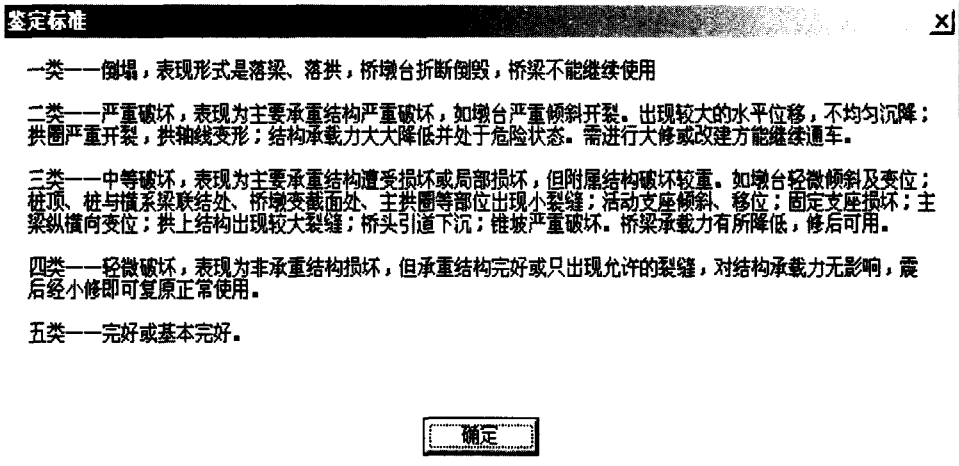


图 2 桥梁破坏等级的鉴别标准

Fig. 2 The distinguishging standard of bridge damage level

所有的参数都确定后，点击计算震灾系数，则可将所有的数据与计算结果一并输入数据库。

当完成所有 243 座桥梁的震害预测指标值计算并输入数据库后，接下来的任务就是如何根据已经划分好的破坏等级和震害预测指标值，来确定桥梁 5 个破坏状态（完好或基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏、倒塌）的震害预测指标值范围。

图 3 是所有 243 座桥梁的震害预测指数分布图。根据图例所示，最上面的一条点折线表示所有倒塌桥梁的震害预测指标分布；第二条点折线表示所有严重破坏的桥梁震害预测指标分布；第三条点折线表示所有中等破坏的桥梁震害预测指标分布；第四条点折线表示所有轻微破坏的桥梁震害预测指标分布；第五条点折线表示所有完好或基本完好的桥梁震害预测指

标分布。

从图 3 可以看出,震害预测指标值在各个破坏状态的分布上有明显的界限,由此我们定义了 5 个破坏状态的震害预测指标范围,并将所有 243 座桥梁中震害预测指标在此范围内的数目与相应破坏级别的桥梁数目作为比值,求出在这个划分范围内的准确率(如表 2 所示)。准确率的计算结果表明,表 2 中给出的震害预测指标范围的划分是合理的。

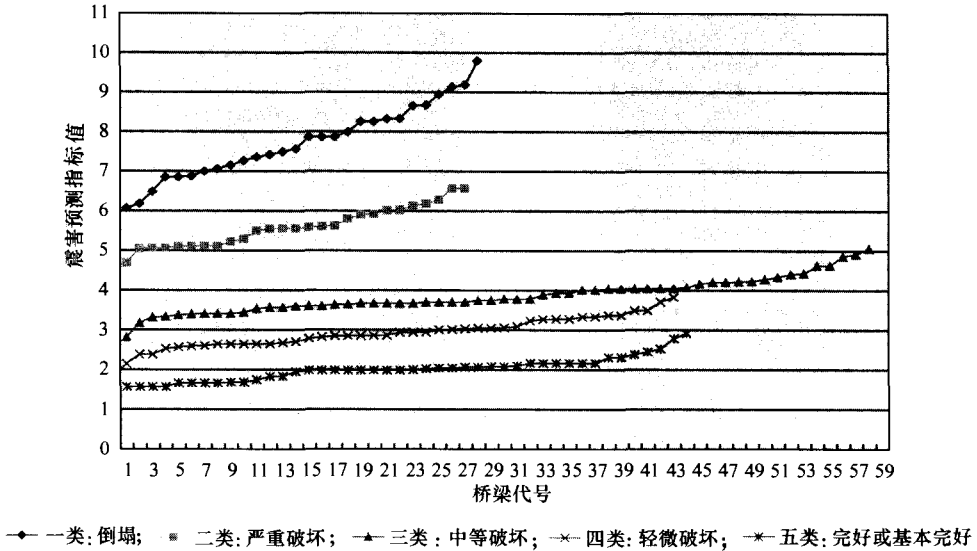


图 3 震害预测指标分布图

Fig. 3 The index distribution of seismic hazard assessment

表 2 震害预测指标的划分

Table 2 The classification of hazard index

破坏情况	桥梁数目	震害预测指标范围	在此范围内的桥梁数目	划分范围的准确率
完好或基本完好	53	1—2.5	50	94.34%
轻微破坏	52	2.5—3.4	45	86.54%
中等破坏	70	3.4—5.0	62	88.57%
严重破坏	33	5.0—6.6	31	93.94%
倒塌	35	6.6—12	31	88.57%

3 桥梁震害预测因子法在青岛市地震应急指挥技术系统中的应用

青岛市地震应急指挥技术系统,是基于 ArcGIS 平台进行开发的,其成果经验收后被评为国内领先、部分国际先进。在该系统的震害模拟子系统——交通系统这一生命线系统的震害模拟时,针对桥梁这一交通枢纽正是采用了本文所提出的桥梁震害预测因子法,其应用桥梁震害预测因子法处理青岛市桥梁数据的过程如图 4 所示。

本文在东经 119.546°、北纬 36.415°的地点模拟了一个 7 级地震,以胡聿贤先生提出的地震动传播峰值速度衰减规律为计算模型,生成了如图 5 所示的影响场。在此基础上,应用桥梁震害预测因子法计算了青岛市所有桥梁的震害预测指标,并根据表 2 所示的震害预测指标

的划分范围，确定了桥梁的破坏状态是完好或基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏还是倒塌。最后将震害预测指标和最终确定的桥梁破坏状态写入 GeoDatabase 中桥梁震害数据表的相关字段，并根据这些桥梁的破坏状态，利用 GIS 的图形功能，用不同的符号与颜色展示在地图上（如图 6 所示）。

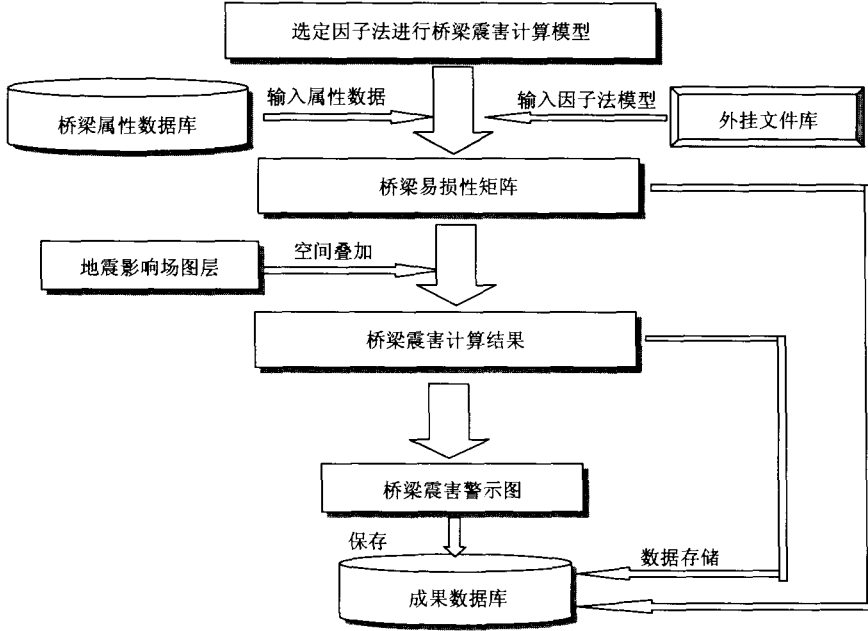


图 4 应用桥梁震害预测因子法处理青岛市桥梁数据的过程图

Fig. 4 The process to deal with the bridges' data of Qingdao city in the factor method

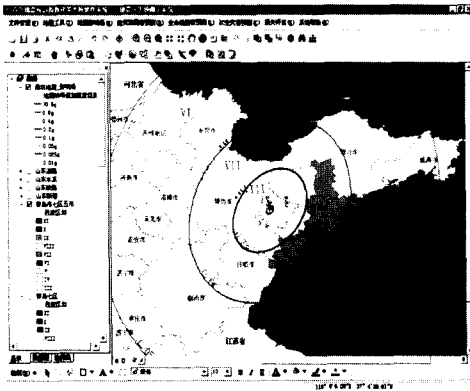


图 5 生成的地震影响场

Fig. 5 The generated earthquake effected field

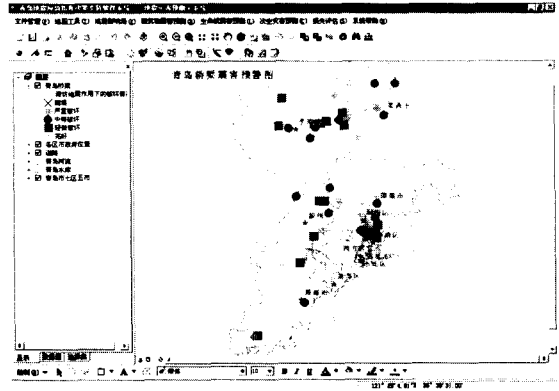


图 6 基于桥梁震害预测因子法的青岛市桥梁震害预测结果

Fig. 6 The results of bridge damage in Qingdao city — from the factor method

4 结语

本文根据对青岛市 123 座桥梁的考察结果，建立了与青岛市桥梁类型比例相当的国内 243 座桥梁的资料，并以此为对象阐述了城市桥梁震害预测因子法的研究过程，给出了桥梁易损

性影响因素、取值、桥梁震害预测指标计算方法和各种破坏状态的划分依据等。最后将此方法运用到青岛市地震应急指挥系统中,对青岛市的 123 座桥梁进行了桥梁震害模拟。

参考文献

- 姜淑珍, 林均岐, 2004. 城市桥梁震害预测方法的探讨. 世界地震工程, **20** (4): 2—8.
- 久保庆三郎, 1984. 桥梁的震害预测. 张尚识译. 国外地震工程, 5 期: 1—11.
- 日本土木工程学会, 1997. 日本公路桥的抗震鉴定和加固. 杨海荣, 郑琦译. 国外桥梁, 2 期: 69—77.
- 王东升, 翟桐, 郭明珠, 2000. 利用 Pushover 方法评价桥梁的抗震安全性. 世界地震工程, **16** (2): 3—8.
- 王东升, 朱敏等, 2003. 基于经验统计方法的桥梁震害预测辅助决策系统. 世界地震工程, **19** (3): 4—8.
- 朱美珍, 1990. 公路桥梁震害预测. 见: 林皋主编, 第三届全国地震工程会议论文集. 大连: 大连理工大学出版社.

Modified Factor Method of Seismic Risk Assessment for Urban Bridges — Theory and Application

Zhuang Li, Feng Qimin and Jia Jing

(Environment Science and Engineering College, China Ocean University, Qingdao 266100, China)

Abstract Through comparison of the existing methods of seismic risk assessment for bridges, this paper develops the factor method of seismic risk assessment for bridges, which is applicable to the bridges of Qingdao city. Taking 123 bridges in Qingdao city as the base, we collected relative information from 243 bridges in China to determine the 13 factors and the value of each factor. Our method has been utilized in the earthquake emergency responding system of Qingdao city to simulate the potential damage of 123 bridges under destructive earthquakes.

Key words: Seismic risk assessment for urban bridges; Earthquake damage factor; Multiplier method; Bridges of Qingdao city