

文章编号: 1000-1301(2010)04-0103-06

陇南公路总段桥梁震害及易损性分析

杜鹏¹, 姜慧¹, 王东明²

(1. 广东省地震局, 广东 广州 510070; 2. 中国地震局应急搜救中心, 北京 100049)

摘要: 陇南公路总段所辖百余座大中小桥, 在 5.12 四川汶川特大地震中遭受了不同程度的损害。本文首先介绍了这些桥梁的震害和现场鉴定情况, 然后为验证桥梁易损性理论分析与现场科学考察所得震害等级的一致性, 在收集大量所需参数的基础上, 采用公路桥梁震害预测经验统计法, 对其中 154 座有详备资料的桥梁进行了易损性分析, 并与科考结果进行统计意义上的对比, 从较好的一致性中验证了桥梁震害预测结果。最后在公式修正和桥梁加固等方面提出了建议。

关键词: 公路桥梁; 震害; 易损性分析; 经验统计; 对比

中图分类号: P315.952.2

文献标志码: A

Seismic damage and vulnerability analysis of bridges along Longnan Highway

DU Peng¹, JIANG Hui¹, WANG Dongming²

(1. Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China; 2. National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

Abstract: There are hundreds of bridges along Longnan Highway. They have suffered damage at varying degrees in 5.12 great Wenchuan earthquake in Sichuan Province of China. This paper summarizes and introduces seismic damage character and field identification of the situation for these bridges firstly. Then in order to test the consistency of damage rating, which is got from theoretical vulnerability analysis of bridges and field research expedition respectively, on the basis of collecting the large number of parameters required, vulnerability analysis of 154 bridge group having detailed information is done by using the method of highway bridges' earthquake damage prediction. Then we make statistic compare with the bridge information of site investigation, test the results of earthquake damage prediction and propose the idea of formula modification and bridge strengthening, etc at last.

Key words: highway bridge; seismic damage; vulnerability analysis; experience statistics; compare

引言

陇南公路总段所辖桥梁工程主要分布在甘肃省文县和武都区境内, 位于龙门山断裂带北东向延伸区域。由于覆盖范围内河水系发达, 桥梁众多, 包括 G212、G316、S205、S206、S208 等多条线路上的各类型桥梁。

汶川 8.0 级特大地震严重地影响了甘肃南部, 交通等生命线基础设施破坏也较严重。震后科学考察工作首先对陇南总段桥梁概况、类型、各类桥梁的数量及分布、设计图纸等基础资料进行了收集和调查, 着重调

收稿日期: 2009-11-09; 修订日期: 2010-05-19

基金项目: 广东省科技厅项目(专题编号: 20090308, 项目编号: 00144971120309058)

作者简介: 杜鹏(1979-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事城市生命线系统地震易损性分析。E-mail: dupeng4589@126.com

查了各类桥梁在本次地震中的震害现象,包括垮塌、落梁、移位、裂缝、支撑系统破坏等详细情况和资料,对获取的资料进行了细致的分类整理,并选取典型桥梁进行了重点研究,给出了桥梁震害描述,为易损性分析研究提供了丰富、可靠的基础资料。本文选取了 154 座资料详备的桥梁进行易损性分析,其中钢筋混凝土梁桥 19 座、板桥 52 座、悬索桥 1 座、拱桥 82 座,并将分析结果与实际震害进行对比。

桥梁易损性分析方法包括经验统计法、理论计算法、综合评判法、特征类比法和专家系统法等。其中经验统计法是基于历史震害资料,从大量的记录数据中寻找出主要的致灾因素,然后通过数理统计的方法得出权值系数,也就是各影响因素轻重的量化值,最终判断出桥梁在一定地震烈度下的震害概率。换句话说,它是通过研究大量同样现象的数理统计规律,反映其客观性质,用于预测不同地震烈度下桥梁可能的破坏等级。本文选用这种方法进行桥梁易损性分析,且取得了较理想的分析结果。

1 桥梁震害情况

1.1 震害简介

陇南公路总段的桥梁位于 5.12 地震Ⅷ度、Ⅸ度区,如图 1 矩形框范围。

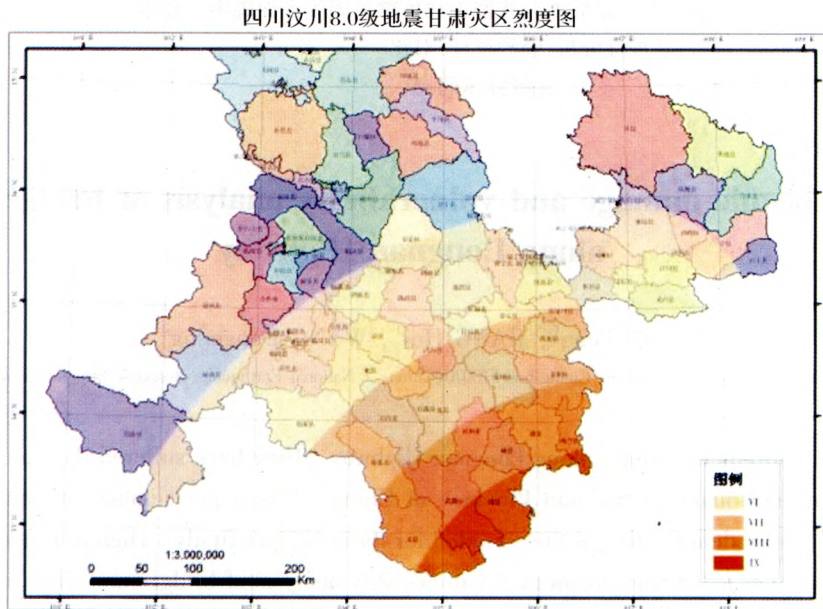


图 1 四川汶川 8.0 级地震甘肃灾区烈度图

Fig. 1 Wenchuan 8.0 earthquake intensity map in Gansu disaster area

在地震作用下,多数桥梁都发生了中等及中等以上程度的破坏。震害表现为:梁体、翼板、主拱圈、拱腹、拱肋、桥台处裂缝,缝宽为几毫米至几厘米不等;主拱圈出现空洞、变形;局部露筋、渗水现象严重;横隔板断裂;梁体、墩台表面混凝土剥落;桥面铺装、栏杆等处毁损;伸缩缝破坏;锥坡塌陷、基础移位,有些还出现了基础处砂土液化,桥墩冲刷等情况,如图 2、图 3 所示。

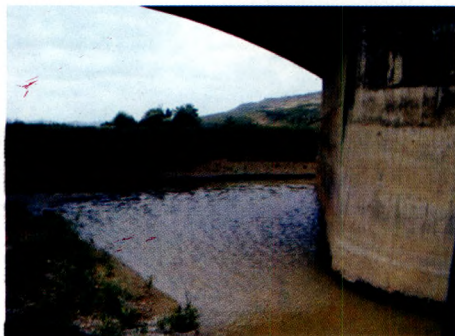


图 2 祁山大桥桥墩冲刷

Fig. 2 Pier scouring of Qishan bridge



图 3 祁山大桥河床下淤积

Fig. 3 Riverbed silt of Qishan bridge

通过对资料分析,发现以下几种情况:

(1)震前已加固的桥梁震时表现良好。如 S219 线路峡口桥于 2007 年下半年进行了粘贴钢板危桥加固,震后 2 号孔腹拱出现横向裂缝,宽 2~5 mm,仅为轻微破坏,见图 4 和图 5。

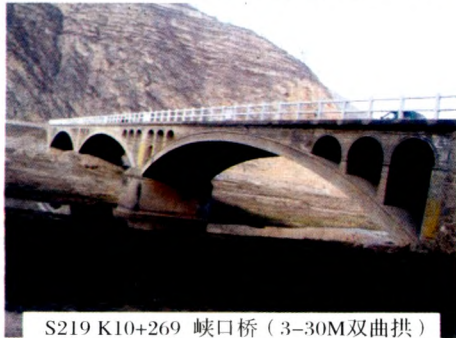


图 4 峡口桥震后外观

Fig. 4 Xiakou bridge after the earthquake



图 5 粘贴钢板加固外观

Fig. 5 Paste the plate for reinforcement

(2)震前已有损伤的桥梁震后损伤加重。如 G212 线路年家村 3 号桥,上部结构为 1×20 mT 梁桥。震前兰州岸桥台左侧竖向裂缝,缝宽 0.3 mm、缝长 1 m,重庆岸右桥台侧墙竖向裂缝 2 条,缝宽 0.2 mm,左路缘石裂缝 0.2 mm。震后兰州岸桥台左侧竖向裂缝,缝宽变为 10 mm,缝长成通缝。重庆岸桥台右侧墙竖向裂缝 2 条,缝宽 10 mm,缝长成通缝,左侧路缘石裂缝变为 5 cm,见图 6。

(3)次生灾害影响,如年家村 2 号桥,5.12 地震引发的次生灾害泥石流夹杂的巨石对第一段梁碰撞致使其损伤严重,该梁保护层脱落、主筋外露,距 1 号台 7 m 处梁底及腹板产生网状裂缝及斜裂缝,长 10 m,宽 0.5~1.0 cm,见图 7。



图 6 年家村 3 号桥桥台侧墙竖向裂缝

Fig. 6 Vertical cracks on side wall of No. 3 abutment of Nianjiacun bridge



图 7 年家村 2 号桥桥台侧墙竖向裂缝

Fig. 7 Vertical cracks on side wall of No. 2 abutment of Nianjiacun bridge

(4)本次桥梁 50% 以上是拱桥,主要分为双曲拱、石拱、坦肋拱、刚架拱几种。拱桥因为其特有的结构型式,具有良好的抗震性能。而在此次地震作用下,82 座拱桥中,有一半的拱桥发生了中等及以上的破坏,一半发生了轻微破坏。G212 线路甘家沟桥,上部结构 1×30 m 双曲拱桥,震前腹拱、拱波、拱上侧墙裂缝,震后腹拱、拱波、拱上侧墙裂缝增大,见图 8~图 11。



图 8 甘家沟桥拱上侧墙裂缝

Fig. 8 Side wall cracks of Ganjiagou arches



图 9 甘家沟桥拱上侧墙裂缝

Fig. 9 Side wall cracks of Ganjiagou arches



图10 坪泉桥震时发生严重破坏

Fig. 10 Serious damage to Pingquan bridge during earthquake



图11 拱圈严重变形的两河桥

Fig. 11 Serious distortion of Lianghe bridge's arch

(5) 建设年代久远的桥梁设计荷载偏低,出现严重梁体碳化,钢筋锈蚀,拱波渗水等问题,如图12、图13,地震中破坏严重。



图12 年代不详的老旧桥梁

Fig. 12 An old bridge the construction time of which is unknown



图13 马街桥腐蚀严重

Fig. 13 Serious corrosion to Majie bridge

总体而言,因历史的局限性,陇南公路总段的桥梁建于20世纪80年代以前的均存在设计水平低(很多桥梁采用汽-13,拖-60和汽-15,挂-80的设计荷载)、承载能力有限、运营年代久、超负荷运行的问题。这也是此次地震中陇南公路总段所辖桥梁震害较重的主要原因。

1.2 桥梁现场鉴定情况

因数目较多,故仅列出部分桥梁信息和现场鉴定情况。表1选取了位于不同线路、不同结构类型(包括简支实心板梁、空心板梁、钢筋混凝土T形梁、双曲拱桥、悬索桥等)、不同规模的17座桥梁。这些桥梁样本年代跨度较大,有上世纪60年代的,也有2000年以后年份较近的桥梁。震后科考人员逐桥进行震害调查后,给出鉴定情况。表中ID代表该桥梁编号。

2 易损性分析方法

根据桥梁震害程度的不同,可划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏、毁坏5个震害等级。对于数量较大的、没有抗震设防或设防水平较低的中小桥梁适合采用经验统计法^[1]

$$A_i = W_0 \prod_{j=1}^9 \prod_{k=1}^{2或3} W_{jk}^{X_{ijk}} \quad (1)$$

其中, A_i 为桥梁震害指数值, W_0 为修正权值系数值,通常选取0.85。该方法选择9个($j=1, \dots, 9$)震害因素作为影响桥梁震害的主要因素:桥址处的地震烈度、场地类别、地基失效程度(液化、沉陷、滑坡、地裂)、上部结构形式、支座类型、墩台高度、墩台类型与材料、基础类型、跨长和跨数。其中 W_{jk} 为各震害因素加权系数值。 X_{ijk} , 当第 i 座桥对于第 j 个因素不属于第 k 类时取0;当第 i 座桥对于第 j 个因素属于第 k 类时取1。其预测基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏及毁坏的取值分别为: $A \leq 1.23, 1.23 < A < 2.20, 2.20 < A < 3.38, 3.38 < A < 4.40, A \geq 4.40$ 。

表1 具有代表性的桥梁基本信息和鉴定情况
Table 1 The Representative bridges' basic information and identification

| ID | 路线 | 桥名 | 上部结构形式 | 墩台材料 | 桥梁长度/m | 建设年月 | 鉴定情况 |
|-----|------|---------|----------|------------|--------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 68 | G212 | 关头坝大桥 | 悬索桥 | 柱式墩、扩大基础 | 213.11 | 1988.09 | 兰州岸右侧索塔外侧面距桥面以上20 cm处、重庆岸右侧索塔距桥面30 cm处分别有一条水平表面裂缝,这些裂缝处钢筋保护层厚度在0.5~2 cm之间,钢筋锈蚀严重,导致混凝土松散(捶击可敲落),震后出现裂缝。包裹吊索的黄油部分脱落,兰州岸锚室第二、第三排钢索锚固端塑料纸包裹的黄油震落。 |
| 85 | G316 | 下七里半3号桥 | 空心板梁 | 重力式墩台 | 28.0 | 2001.11 | 3号板震后出现较大裂缝,露筋。0号翼墙左侧勾缝脱落3 m ² ,0号台身勾缝剥落长10 m,高0.8 m。 |
| 87 | S205 | 成州东河大桥 | 钢筋混凝土T形梁 | 双柱式墩 | 270.0 | 2001.09 | 桥面系破坏严重,其中第1、5、14道伸缩缝处混凝土开裂;栏杆系松动。 |
| 111 | S206 | 唐家湾桥 | 双曲拱桥 | 浆砌片石/U形桥台 | 13.0 | 1971.09 | 拱肋混凝土局部脱落,姚渡岸桥台勾缝脱落,栏杆系损坏严重。 |
| 115 | S208 | 泉窖儿桥 | 实心板梁 | 重力式墩台 | 6.20 | 1987.07 | 板底局部网状裂缝,铺装层大面积出现裂缝,面积20%。桥台出现倾斜。翼墙存在明显的永久变形,外倾、下沉。 |
| 117 | S219 | 蔺家河桥 | 钢筋混凝土T形梁 | 重力式墩台 | 72.42 | 1994.08 | T形梁腹板在跨中和支点附近有少量裂缝,缝宽0.5~2 mm。 |
| 126 | S306 | 燕子河桥 | 双曲拱桥 | 钢筋混凝土/U形桥台 | 175.50 | 1969.04 | 拱圈腐蚀严重,局部有裂缝,第3跨~第9跨拱波出现纵向裂缝(缝长:8、13、11、6、12、9、12 m,缝宽:1~2 mm),渗水严重,腹拱有横桥向裂缝并且渗水严重,拱脚处砂浆勾缝脱落。 |
| 129 | S307 | 杨河坝桥 | 双曲拱桥 | 浆砌片石/U形桥台 | 42.40 | 1980.12 | 左侧主拱圈裂缝较大,康县岸拱脚处出现裂缝,拱波渗水严重,桥面沉降变形严重。 |
| 132 | X481 | 黄河河桥 | 钢筋混凝土T形梁 | 双柱式墩 | 182.21 | 1993.10 | 横隔板有竖向裂缝,部分有露筋。T形梁湿,接缝开裂,渗水严重,混凝土腐蚀严重。徽县岸左侧翼墙位移达8 cm。0号桥台左侧背墙角子石一块向外位移5 cm,一块破损,5号墩剥落麻面6 m ² ,1号墩竖向裂缝长1.5 m,宽8 mm,箍筋外露9根。 |
| 140 | X482 | 小沟桥 | 石拱 | 浆砌片石/U形桥台 | 48.10 | 2006.05 | 右侧主拱圈出现裂缝,宽1~3 mm,拱脚处渗水严重。阳坝岸桥台右侧墙裂缝有扩大的趋势,左侧侧墙新出现一条长4 m,宽5 mm的裂缝。桥面出现明显横向裂缝,两侧安全带均出现纵向裂缝,宽1 cm。 |
| 147 | X484 | 朱元坝2号桥 | 空心板梁 | 浆砌片石/U形桥台 | 26.04 | 2002.11 | 0号、1号桥台均出现横向裂缝一道,缝长10.35 m,缝宽1 mm |
| 149 | Z192 | 西桥 | 钢筋混凝土肋拱 | 浆砌片石/U形桥台 | 74.24 | 1971.12 | 第2、3孔主拱圈有多道不同程度丝状裂缝,缝宽1~3 mm,多处拱肋与拱波连接处贯通裂缝,缝宽1 cm。桥墩冲刷严重,浅基外露,砂浆全部脱落,片石有松动,设置位置不合理,水流腐蚀桥墩墩体。 |
| 154 | Z193 | 嘉陵江大桥 | 钢筋混凝土双曲拱 | 浆砌片石/U形桥台 | 60.00 | 1985.03 | 浆砌桥台局部剥落,面积小于构件面积3%,拱圈麻面较多,铺装层损坏较为严重。 |

3 分析结果

预测结果与实际考察结果对比如表2,该结果显示两者在统计意义上具有良好的一致性。

表2 预测结果汇总与实际结果对比

Table 2 Earthquake damage prediction results summary and compare with actual results

| 破坏状态 | 参 数 | | | |
|------|---------|----------|-------|----------|
| | 经验预测值/座 | 预测破坏比(%) | 实际值/座 | 实际破坏比(%) |
| 轻微破坏 | 52 | 33.80 | 56 | 36.40 |
| 中等破坏 | 85 | 55.20 | 75 | 48.70 |
| 严重破坏 | 17 | 11.00 | 23 | 14.90 |

4 结论和讨论

从预测结果可以看出,采用经验统计法得出的理论计算值与实际震害值部分有偏差,但大部分吻合,可见经验预测方法在一定概率范围内是可以反映实际震害情况的。但桥梁震害的影响因素繁多,例如建设年代、复杂场地条件、施工质量的好坏、使用频率和设计荷载等这些不确定因素,会导致两座结构型式相似的桥梁发生不同程度的破坏。因此经验统计法还有待完善。

目前采用的经验统计法,其加权系数值是根据唐山、海城、通海 100 座公路桥梁的震害得出的,这些样本桥梁建设年代久,而现今桥梁的设计、施工均有很大的不同,所以无论是加权系数参考值,还是用于判断五种破坏状态的临界值都应有所变动。从分析过程可以看出,桥梁的建设年代、加固维修情况、设计荷载等级等因素对于震害指数值也有一定的影响,对于公式中震害因子的选择值得思考。陇南公路总段桥梁的震害资料为该方法的改进提供了非常宝贵的参考,为深一步的研究奠定了基础。

值得注意的是,陇南公路总段的震害经验再次表明,通过慎重选址、细节设计(支座、防落梁等)^[2]、加强薄弱环节、增加辅助构件、改变结构体系、减轻恒载和加固桥墩台及基础等加固措施^[3]对其抗震性能提高有很大的帮助,不仅可以延长使用寿命,而且可以减轻震害。

参考文献:

- [1] 朱美珍. 公路桥梁震害预测的实用方法[J]. 同济大学学报, 1994, 22(3): 280-282.
- [2] 王东升, 郭 迅. 汶川大地震公路桥梁震害初步调查[J]. 地震工程与工程振动, 2009, 29(3): 93-94.
- [3] 蒙 云, 卢 波. 桥梁加固与改造[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005: 2-6.