

# 福州市区重要桥梁震害预测

王东升 翟桐 冯启民

(中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080) (青岛海洋大学, 青岛 266071)

**提 要** 以福州市区重要桥梁震害预测为例, 简要介绍了各类桥梁震害预测方法及其适用范围, 供国内大中城市开展防震减灾工作参考。

**关键词** 桥梁 震害预测 防震减灾

## 1 前言

“九五”期间, 中国地震局开展了“大中城市防震减灾示范研究”项目, 目的是根据各示范城市或区域特点, 在地震危险性分析、震害预测、震害评估、防震减灾规划与对策、计算机管理系统有所侧重, 做好防震减灾示范研究。福州市即为选择的示范城市之一。作者有幸参加了福州市区重要桥梁的震害预测工作, 在此愿意将若干心得体会介绍给国内同行, 供大家在其它城市开展类似工作参考。

## 2 福州市区重要桥梁概况

福州市区重要桥梁震害预测包括市区跨越闽江及乌龙江 6 座主要桥梁和 1 座互通式城市立交桥。这些桥梁基本情况见表 1。

表 1 福州市区重要桥梁基本情况

| 桥梁名称  | 建设年代 | 结构形式     | 跨径(m) | 上部结构         | 桥墩          | 基础    | 抗震设防 | 场地类型 | 现状               |
|-------|------|----------|-------|--------------|-------------|-------|------|------|------------------|
| 洪山大桥  | 1985 | T 型刚构    | 110   | 预应力混凝土桁架拱十挂梁 | 重力式混凝土桥墩    | 沉井    |      | II   | 桥面铺装局部损坏         |
| 三县州大桥 | 1999 | 独塔单索面斜拉桥 | 238   | 箱梁           | 钢筋混凝土倒 Y 形塔 | 钻孔灌注桩 | 8°   | III  | 良好               |
| 解放大桥  | 1996 | 中承式系杆拱   | 76.3  | “哑铃形”钢管混凝土拱肋 | 钢筋混凝土实体桥墩   | 钻孔灌注桩 | 8°   | II   | 良好               |
| 闽江大桥* | 1968 | T 型刚构    | 50    | 预应力混凝土悬臂梁十挂梁 | 预应力混凝土薄壁墩   | 钻孔灌注桩 |      | II   | 桥面铺装局部损坏<br>桩基损伤 |
| 鳌峰大桥  | 1993 | 连续梁桥     | 70    | 箱梁           | 重力式混凝土桥墩    | 钻孔灌注桩 | 7°   | II   | 桥面铺装局部损坏         |

王东升, 男, 1974.12 月生, 在职博士生, 助理研究员

续表1

|       |      |          |     |    |           |       |    |     |    |
|-------|------|----------|-----|----|-----------|-------|----|-----|----|
| 乌龙江大桥 | 1996 | 连续梁桥     | 110 | 箱梁 | 钢筋混凝土门式桥墩 | 钻孔灌注桩 | 7° | III | 良好 |
| 五里亭立交 | 1993 | 三层互通式立交桥 | 20  | 箱梁 | 钢筋混凝土实体墩  | 钻孔灌注桩 | 7° | II  | 良好 |

\*该桥曾于 1991 年进行了拓宽改造, 拓宽部分与旧桥相比抗震能力较高, 故本次震害预测选择原旧桥作为震害预测对象。

### 3 桥梁震害预测方法

福州市区重要桥梁的结构形式、场地条件、建设年代各不相同, 在震害预测方法选择上存在一定困难。现针对具体桥梁结构作以分述。

#### 3.1 未设防重要简支梁桥震害预测

未设防重要简支梁桥往往建设年代较早, 唐山、海城地震积累了大量的此类桥梁震害经验, 因此进行此类桥梁震害预测时, 选用经验统计法是合理的, 也是比较经济的。洪山大桥和闽江大桥为 T 型刚构桥, 其震害特点与简支梁桥有一定相似之处, 所以选择了经验统计法中的朱美珍方法<sup>[1]</sup>进行震害预测, 并利用久保庆三郎方法<sup>[2]</sup>效核, 二者预测结果基本一致。

#### 3.2 圯工砌体类桥梁震害预测

由于按现有《公路工程抗震设计规范》(JTJ004-89)设计的桥梁结构尚未经受强震考验, 经验统计法适用性受到限制, 此时对于重要桥梁应该采用分析方法进行震害预测。对于圯工砌体类桥梁结构, 由于地震破坏呈突然脆性的特点, 且受剪切变形影响较大, 非线性地震反应分析工作还很不完善。此时震害预测的权宜之计是利用规范进行抗震验算, 即规范效核法。鳌峰大桥采用该方法进行了震害预测。该桥下部结构为低配筋混凝土重力式桥墩, 计算时未考虑配筋影响, 但在倒塌判别上参考了文献[3]介绍的低配筋混凝土重力式桥墩试验研究结论。

#### 3.3 钢筋混凝土桥梁震害预测

影响钢筋混凝土桥梁震害的主要因素为结构的延性已被震害经验所证实, 利用 Push-over (推倒) 方法进行桥梁震害预测已在国外获得广泛应用<sup>[4]</sup>。该方法建立在非线性静力分析基础之上, 通过结构的非线性变形能力评价它的抗震性能, 并且可以给出结构的破损倒塌机制, 从而发现结构的抗震薄弱环节, 与通常的非线性动力分析相比, 具有计算简单、结果明确的优点。它可方便地用于评估钢筋混凝土桥墩的延性抗震能力和伸缩缝处可能最大地震相对位移。在福州市区重要桥梁震害预测中, 五里亭立交、乌龙江大桥和各大桥引桥均采用了 Push-over 方法。需补充说明的是对于三层互通式五里亭立交, 根据桥墩设计情况, 选择了共 5 联匝道桥进行 Push-over 分析, 最后震害取其综合结果。对于这种复杂结构而言还是相对粗略的。

### 3.4 大跨度桥梁震害预测

对于大跨度桥梁(系杆拱桥、斜拉桥、悬索桥)震害预测的提法是否合理目前国内尚存争论,也未见相应的震害预测方法。在日本1986年公路桥梁抗震鉴定提出的最新公路桥梁易损性分析方法<sup>[6]</sup>和美国I. G. Buckle<sup>[6]</sup>提出的桥梁地震易损性定性分析方法(类似朱美珍方法)中,上部结构因素考虑了斜拉和悬索两种形式。在解放大桥和三县州大桥震害预测中,作者提出了一种定性与定量相结合的震害预测方法<sup>[7]</sup>。在定量分析上,主要参考了这两座桥梁的抗震分析资料并补充少量计算完成,对于大跨度桥梁设计一般都要进行专门的抗震分析。

由于大跨度桥梁震害影响因素复杂,加之考虑大跨度桥梁至今为止在地震中都未曾发生严重破坏或坍塌,作者建议今后不必对大跨度桥梁进行定量分析,仅进行定性评价,除非满足下述条件之一:1)抗震设防标准偏低;2)桥梁存在明显抗震缺陷;3)业主提出特殊要求。应该说明的是此时这种震害预测的结果可能仅对于地震损失估计和地震应急有参考意义。

在以上工作基础上,作者还参考有关规范,通过引入桥梁震害预测重要性分类系数,建立了适合于某一城市或地区大量桥梁震害预测的方法及其流程,详细可参考文献[8]。

## 4 桥梁震害预测结果及讨论

福州市区重要桥梁震害预测结果见表2。

表2 福州市区重要桥梁震害预测结果

| 桥梁名称   | 地震烈度 |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|
|        | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |      |
| 洪山大桥   | 基本完好 | 轻微破坏 | 中等破坏 | 严重破坏 | 毁坏   |      |
| 三县州大桥  | 主桥   | 基本完好 | 基本完好 | 基本完好 | 基本完好 | 轻微破坏 |
|        | 引桥   | 基本完好 | 基本完好 | 基本完好 | 中等破坏 | 严重破坏 |
| 解放大桥   | 主桥   | 基本完好 | 基本完好 | 基本完好 | 轻微破坏 | 中等破坏 |
|        | 引桥   | 基本完好 | 基本完好 | 轻微破坏 | 中等破坏 | 严重破坏 |
| 闽江大桥   | 中等破坏 | 中等破坏 | 严重破坏 | 毁坏   | 毁坏   |      |
| 鳌峰大桥   | 主桥   | 基本完好 | 基本完好 | 轻微破坏 | 严重破坏 | 毁坏   |
|        | 引桥   | 基本完好 | 轻微破坏 | 中等破坏 | 严重破坏 | 毁坏   |
| 乌龙江大桥  | 主桥   | 基本完好 | 基本完好 | 基本完好 | 轻微破坏 | 严重破坏 |
|        | 引桥   | 基本完好 | 基本完好 | 轻微破坏 | 中等破坏 | 严重破坏 |
| 五里亭立交桥 | 基本完好 | 基本完好 | 轻微破坏 | 中等破坏 | 严重破坏 |      |

\*表中基本完好对既有损伤桥梁,如洪山大桥是指在指定地震烈度条件下,在现有损伤基础上发生进一步破坏的可能性很小。

震害预测表明:

(1)地震烈度为9-10度时,抗震能力弱的洪山大桥、闽江大桥和鳌峰大桥会发生严重破坏,甚至倒塌。由于这三座桥梁是出入福州市区的门户,此时福州市区对外联系几乎

处于中断,但这种情况仅是福州市区发生与阪神地震相类似的直下型强烈破坏性地震时才可能发生。从阪神地震交通系统震害经验看,上述震害预测结果与神户市对外交通几乎中断是一致的。因此,对于具有与神户市地震地质背景相近的城市,宜优先开展桥梁震害预测和抗震加固工作。

(2)引桥与主桥相比抗震能力较低,建议今后在地震区桥梁抗震设计中引桥与主桥采用同样的设防标准,否则地震时引桥的破坏同样会导致主桥丧失使用功能。

### 参 考 文 献

- [1]朱美珍.公路桥梁震害预测.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,1990
- [2]久保庆三郎.桥梁的震害预测.张尚识译.国外地震工程,1984,5:1-11
- [3]范立础.桥梁抗震,上海:同济大学出版社,1997
- [4]王东升,翟桐,郭明珠.利用Push-over方法评价桥梁的抗震安全性.世界地震工程,2000,16(2):47-51
- [5]Kawashima K.日本公路桥的抗震鉴定和加固.杨海荣,郑琦译.国外桥梁,1997,2:69-77
- [6]I.G. Buckle, S.H. Kim. A Vulnerability Assessment modal for Highway Bridges. In: Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph No. 6, Lifeline Earthquake Engineering, Proceedings of the Fourth U.S. Conference, American Society of Civil Engineers, New York, Aug. 1995: 493-500
- [7]翟桐,王东升.福州市区重要水闸、桥梁震害预测.哈尔滨:中国地震局工程力学研究所报告,2000
- [8]王东升,冯启民.桥梁震害预测方法.自然灾害学报.(已接受)
- [9]中华人民共和国交通部标准.《公路工程抗震设计规范》(JTJ004-89).北京:人民交通出版社,1990