

# 修订公路桥梁抗震设计规范浅见

王东升

冯启民

(中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080)

**提 要:** 探讨了公路桥梁抗震设计规范修订中的若干问题, 包括多水准多阶段的抗震设计思想、场地效应、桥梁地震反应分析、桥墩延性设计、基础抗震设计、防止落梁的有效措施和桥梁抗震加固。提出了部分当前急需解决的课题。

**关键词:** 桥梁 抗震设计 规范

## 1 前言

我国第一本公路桥梁抗震设计规范为海城、唐山地震后的 1978 年以部颁标准发行的《公路工程抗震设计规范》(试行), 该规范内容上比较侧重于抗震构造措施。在深入总结海城、唐山地震桥梁震害经验和国内外桥梁抗震科研成果的基础上, 于 1989 年正式颁布了现行的《公路工程抗震设计规范》(JTJ004-89) (以下简称 89 规范), 这部规范在很多方面都有自己鲜明的特点, 基本上与国外(主要是日本、美国、新西兰)八十年代初的桥梁抗震设计水平相当, 对我国的桥梁抗震设防起到了重要的指导作用。事实上, 这些规范也包括道路、隧道等部分抗震内容, 本文侧重于桥梁抗震部分。

近几次城市破坏地震中(1989 年 Loma prieta, 1994 年 Northridge, 1995 年日本阪神), 大量的经过抗震设计的现代桥梁遭到严重破坏, 通过震害调查发现, 这些震害严重的桥梁大都是 80 年代以前设计, 当时抗震规范基本上是“强度设计”, 缺少结构延性和结构控制概念。我国现行的 89 规范与代表桥梁抗震先进水平的美国、日本、新西兰、欧洲等国的桥梁抗震设计规范相比, 在考虑延性抗震方面明显不足。更重要的是近几年来我国公路交通建设发展迅速, 新型、大跨桥梁不断涌现, 现行规范已不大适应这些桥梁抗震设计的需要。由此有关主管部门和桥梁抗震工作者希望对《公路工程抗震设计规范》(JTJ004-89)中“桥梁抗震”部分修订, 形成独立的公路桥梁抗震设计规范。就该问题作者愿在此提出若干想法供国内同行参考、讨论和批评指正。

## 2 新规范的基本设计思想

多水准多阶段的抗震设计应是新规范的主导思想。日前代表桥梁抗震设计先进水平的欧洲、美国、日本、新西兰的桥梁抗震设计规范均采用分级设防标准, 并与之对应使用二次设计或三次设计方法, 强调基于延性抗震的能力设计和位移控制。如何在 89 规范基于强度理论的一次设计方法基础上实现多水准多阶段的抗震设计方法, 并逐步向基于性能的抗震设计方法过度成为本次规范修订需要解决的重大问题。作者认为该问题有望通过对

王东升, 男, 1974.12 出生, 工学硕士, 助理研究员

新的地震动区划图和 89 规范中重要性系数的深入探讨,在此基础上引入桥梁抗震设计类别即区分桥梁的规则性、重要性、桥址地震危险性等采取详细不同的分析方法和细部设计,并参考已经实现二次设计的国内外其它抗震规范,如中国建筑抗震设计规范(99 修订版),得到解决。但应强调的是按 89 规范设计的桥梁结构尚未经过强震的考验,因此在设防标准(指地震荷载大小)问题上应与原 89 规范适当保持一致,结构抗震能力的提高依赖于分析方法的改善和细部构造的加强,这相当于在一定程度上提高了原来的设防标准,以与我国经济发展相适应。

### 3 场地效应

地效应包括场地分类、砂土液化、岸坡稳定、软土震陷等。此次修订宜在 89 规范基础上引入一些新的科研成果,同时针对不同的桥梁结构分析要求,协调好具体桥梁抗震设计参数同地震区划图、场地地震安全性评价以及防震减灾法的关系,提供一些指导性的原则和定量要求,并就其不足部分提供必要的方法和手段。需要解决的重要问题有:近断层场地效应的评价问题以及地震动参数的给定和软土震陷评估等。

### 4 地震反应分析

新规范桥梁地震反应分析方法仍应以反应谱方法为主,在单墩模型基础上增加一联框架模型以适应连续梁(连续一刚构)桥的抗震分析要求,给出多振型的反应谱分析方法。对于 89 规范中的综合影响系数需要作进一步深入的研究,研究方法可以考虑从探讨按 89 规范设计的现有桥梁的延性系数  $\mu$  入手。另外规范在给出加速度反应谱的同时,宜以附录的形式给出位移反应谱,以用于分析延性设计和构造设计中的位移控制要求,位移反应谱支持基于位移的桥梁抗震设计方法和 Push-over 分析,更重要的是它可以实现基于性态的桥梁抗震设计,从而为规范的进一步发展奠定了基础。反应谱方面其它需要修订和考虑的部分有:长周期反应谱确定,大跨度桥梁(斜拉桥、悬索桥、系杆拱桥)的反应谱分析方法(如 CQC 法)等。

将时程反应分析技术应用到实际桥梁的抗震设计中需要对桥梁模型的建立,地震波的选择以及时程反应分析方法的适用范围和它与反应谱法的关系提出具体的规定。需要解决的主要问题在桥梁下部结构建模,如台后填土-桥台-上部结构相互作用,软土地基上桩-土-结构相互作用等,和地震波选择上。象日本桥梁抗震设计规范(1990)那样,给出一组具有代表性的加速度时程波形,同时给出地震波选择原则和数量上的要求,可能是合适的办法。

地震反应分析还需解决顺桥向、横桥向和竖向设计地震力组合问题。

### 5 桥墩延性设计

桥墩延性设计应强调抗剪能力要求和细部设计。抗剪能力要求是针对近几次城市破坏性地震一些桥墩因抗剪能力不足导致破坏而提出来的。需要对动力作用下桥墩的弯剪相互作用作一些深入的理论和试验研究。细部设计是桥墩发生期望的延性破坏的重要保证。新

规范宜在以下几个问题上给出明确的细部设计要求。

(1) 箍筋设置要求, 包括最小配箍率、箍筋形式, 箍筋最小间距、箍筋加密区等。

(2) 关键截面处禁止纵筋搭接, 如柱脚, 可考虑采用可靠的焊接施工技术或考虑箍筋加密规定。

(3) 高墩的纵筋跨中截断。

(4) 节点抗震设计, 如柱脚、柱顶、梁柱节点等。

桥墩延性设计还需要解决二次设计中的延性校核问题, 在规范中给出相应的分析过程及方法。是否引入基于非线性静力分析的 Push-over 方法, 值得讨论。

## 6 基础抗震设计

89 规范中没有基础抗震设计部分内容, 这是此次规范修订需要增加的。为适应大跨度桥梁(斜拉桥、悬索桥、系杆拱桥)和今后跨海大桥建设的需要, 尚需深入研究的课题有: 场地液化对桩基的影响分析及设计问题和海床土(软土或淤泥)-基础(桩基)-桥墩-海水动力相互作用。

## 7 防止落梁的有效措施

防止落梁的有效措施有增加支墩面宽度、设置纵横向和竖向拉结措施, 设置挡块等。国外桥梁抗震设计规范关于这方面的规定有趋于定量的趋势, 如拉结措施设计地震力计算, 伸缩缝处(或桥台处)邻联的相对位移的估计等。我国的新规范也应向这方面发展, 同时对于连接刚性引桥和大跨度桥梁(斜拉桥、悬索桥、系杆拱桥)的抗震构造措施更应慎重规定, 以免重蹈阪神地震中西宫港大桥的覆辙。对于大跨度长桥, 尚应研究有效的抗震措施使桥台在地震中确能分担部分地震力, 这对桥台和桥墩的抗震设计都是有利的。在防止落梁的有效措施中还必须重视支座的抗震设计, 必要时设置竖向抗震措施。

## 8 桥梁地震安全性评价和抗震加固设计

89 规范实行以前, 我国大约有 16 万座左右的公路桥梁, 这些桥梁在今后一段时间内可能会遭到强震的考验。鉴于当时抗震设计规范尚不完备, 它们的地震安全性问题急需解决。近几年国外桥梁地震安全性评价和抗震加固发展很快, 取得了相当多的成功经验和理论成果。新规范编制时宜将这些经验成果收集整理, 以正文或附录的形式给出桥梁地震安全性评价和抗震加固设计的一般原则和方法或参考文献。目的是适应将来的发展, 必要时形成新的规范。目前我国建筑部门已经有了类似的规范。

## 9 结束语

公路桥梁抗震设计规范修订是我国桥梁工程界和地震工程界的一件大事, 需要行业主管部门, 设计部门、科研部门、施工部门广大科技人员的通力合作, 协作完成。作者不揣浅陋, 特提出以下研究课题作为修订公路桥梁抗震设计规范的基础, 也以此推动我国桥梁抗震研究的发展, 希望能起到抛砖引玉的作用。

- (1) 国内外桥梁抗震设计规范的比较研究
  - (2) 公路工程基于三水准的抗震设防标准研究
  - (3) 近断层场地效应研究
  - (4) 场地液化和软土震陷对桩基的影响研究
  - (5) 台后填土-桥台-上部结构动力相互作用模型
  - (6) 软土地基上桩-土-桥墩相互作用研究
  - (7) 高墩大跨连续梁(连续-刚构)桥延性抗震设计方法研究
  - (8) 现有桥梁的延性抗震性能与综合影响系数的比较研究
  - (9) 长周期反应谱和位移反应谱研究
  - (10) 大跨度桥梁(斜拉桥、悬索桥,系杆拱桥)反应谱分析方法和随机反应分析方法研究
- (11) 曲线梁桥抗震研究
  - (12) 海床土-深基础-桥墩-海水动力相互作用研究
  - (13) 桥梁减隔震设计方法研究
  - (14) 大吨位盆式橡胶支座抗震设计研究
  - (15) 防止落梁的有效措施研究
  - (16) 国外桥梁地震安全性评价和抗震加固技术

#### 参 考 文 献

- [1] 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, 1999
- [2] 范立础. 现代化城市桥梁抗震设计若干问题. 同济大学学报, 1997, 25(2): 147-153
- [3] Housner G. W., Thiel C. C.. The Continuing Challenge: Report on the Performance of State Bridge in the Northridge Earthquake. Earthquake Spectra, 1995, 11(4): 607-636
- [4] Kawashima K., Unjoh S.. Impact of Hanshin/Awajie Earthquake on Seismic Design and Seismic Strengthening of Highway Bridges. Strural Eng. / Earthquake Eng. JSCE., 1996, 13(2): 211-240