第27卷 第3期 石家庄铁道大学学报(自然科学版)

2014年09月 JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE) Sep. 2014

地震作用下先简支后桥面连续梁桥支座损伤分析

刘 聪

(天津市市政工程设计研究院,天津 300051)

摘要:先简支后桥面连续梁桥是我国当前大量应用的一种桥梁结构形式。现采用 Sap2000 有限元软件建立了梁桥的非线性动力模型;根据支座损伤指标,采用 IDA 方法进行梁桥支座的 损伤分析。计算结果表明,连接墩支座损伤比中间墩支座损伤要大,且场地越软弱越容易发生 支座破坏,建议对于三四类场地加大支承长度。

关键词:先简支后桥面连续;支座损伤; IDA;场地

中图分类号: U448.21 文献标志码: A 文章编号: 2095 - 0373(2014) 03 - 0008 - 05

0 引言

目前我国城市高架道路及高速公路上的桥梁结构 20~50 m 的中等跨径的先简支后连续梁式桥占有 举足轻重的地位。该种桥梁在汶川大地震中受到严重破坏,距震中较近的 213 国道和都汶高速上桥梁震 害最为典型和严重。庙子坪大桥引桥采用先简支后桥面连续的结构形式,跨度为 50 m,汶川地震中由于 梁、墩相对位移过大,引桥第 5 跨伸缩缝处墩梁相对位移大于搭接长度,造成引桥落梁^[1]。

我国现有的大约二十万座公路桥梁有相当部分位于地震多发地带,严峻的地震形势让我们有理由为 这些桥梁的抗震性能担忧。地震荷载作为一种随机荷载,具有不可预见性^[2]。针对墩高 10 m 的典型中 等跨度的桥面连续简支梁桥采用能力与需求比的方法对其支座破坏过程进行分析,从而得出支座在不同 地震强度下的破坏情况。这项工作既可服务于现有梁桥的抗震加固^[3],又可以为这类体系梁桥的抗震设 计提供必要的参考。

1 模型的建立

选取具有代表性的某座典型先简支后桥面连续梁桥进行支座损伤分析。桥型布置为 4 × 25 m + 4 × 25 m + 4 × 25 m 先简支后桥面连续,其中第二联作为分析联,对应的桥墩号为 4-8 号,其余两联作为边界 联使用 *4* 号和 8 号墩为连接墩,联与联之间的伸缩缝采用 D80 伸缩缝,采用双柱式桥墩。主梁采用小箱 梁 桥宽 16.85 m 桥型布置如图 1 所示。



图 1 典型先简支后桥面连续梁桥桥型布置图(单位: cm)

一般情况下 在建立模型时主要考虑桥梁结构的动力模型能够真实反映结构的动力特性 ,所以 ,必须

DOI: 10.13319/j. cnki. sjztddxxbzrb.2014.03.02 收稿日期: 2013 - 11 - 29 作者简介: 刘聪 男 1987 年出生 助理工程师 真实地模拟桥梁结构的刚度和质量以及阻尼的分布,也就是要真实描述各构件的几何和材料特性以及构件的边界连接条件。主梁的设计主要由运营荷载控制,地震作用下一般不发生自身震害,而抗震设计一般也希望上部结构基本保持弹性,因此,建模分析时不采用比较复杂的三维实体单元或板单元,而是采用能够反映上部结构质量分布和刚度特征的简化的梁单元模拟^[2]。

通常桥墩也可以离散为空间的梁单元,只是单元的划分要恰当,桥墩的刚度取有效刚度即桥墩截面 开裂后刚度。为了考虑板式橡胶支座和梁底或者墩顶的滑动效应^[4]板式橡胶支座用双线性模拟,*F_m*为 滑动支座水平方向的滑动临界力 *K*为支座的初始剪切刚度,如图2所示。将各单桩分为若干个单元,从 上到下前20m每1m一个单元,之后每2m一个单元,将这段桩基对应的两个水平方向弹簧加在该单元 的中心点 桩底固结。

2 地震动输入

为了对典型梁桥进行抗震性能评估,从太平洋地震工程中心选取二类和三类场地波各8条,地震波 信息如表1所示。

编号	地震名称	震中距/km	震级	编号	地震名称	震中距/km	震级
II-1	New Zealand	29.0	5.8	III-1	Morgan Hill	51.7	6.2
II-2	San Fernando	24.3	6.6	III-2	Imperial Valley	22.0	6.5
II-3	Coalinga	45.5	6.4	III-3	Whittier Narrows	24.5	6.0
II-4	San Fernando	25.5	6.6	III-4	Loma Prieta	74.2	6.9
II-5	Anza	74.5	4.9	III-5	Borrego	57.8	6.5
II-6	Griva , Greece	32.8	6.1	III-6	El Alamo	124.4	6.8
II–7	Northridge	37.7	6.7	III-7	Borrego Mtn	45.1	6.9
II-8	Coalinga	38.1	6.4	III-8	Loma Prieta	24.5	6.6

表1 地震动信息

3 支座损伤指标的建立

主梁与支座间的相对位移越大,支座就越容易发生脱空,从而造成支座破坏甚至落梁。所以采用墩梁相对位移作为研究对象,考察支座在实际地震中的损伤程度。图3为联与联连接处墩梁搭接构造示意图。



图 2 滑动支座水平力和位移模型

图 3 墩梁纵向搭接构造示意图

以地震过程中墩、梁相对位移 Δ_a 作为支座的损伤指标。如图 3 所示, d₁ 为支座一侧边缘与支承钢 板边缘的距离 d₂ 为支座中心线与支承钢板边缘的距离 d₃ 为主梁边缘与支座边缘的距离, 而 d₀ 为支座能 承受的最大容许变形或者是橡胶支座与墩梁间无滑动的最大变形。

(1) 若地震过程中墩、梁相对位移 $\Delta_d \leq d_0$ 表示支座的位移小于最大容许变形并且小于橡胶支座与 墩梁间无滑动的临界变形。支座处于正常工作范围内 友座无损伤。

(2) 当主梁与桥墩产生相对运动的位移 $d_0 < \Delta_d \le d_0 + d_1$ 时,表明支座产生了滑动,震后支座可能残留较大的剪切变形,定义此时支座受轻微损伤。

(3) 当主梁与桥墩相对运动的位移 $d_0 + d_1 < \Delta_d \leq d_0 + d_2$ 时 表明支座滑动超过了支承钢板边缘 ,处 于部分脱空状态 定义此时支座为中等损伤。

(4) 当主梁与桥墩相对运动的位移 $\Delta_d > d_0 + d_2$ 时,表明支座与支承钢板间的支承面宽度小于支座 宽度的一半,如果继续产生相对位移,将对支座造成严重损伤,以致支座将处于完全脱空状态,定义此时 支座为严重损伤。

(5) 当主梁与桥墩相对运动的位移 $\Delta_d > d_0 + d_3$ 时 ,支座完全脱空。

采用的是 GYZ D400 × 99 mm^[5] 橡胶层总厚度 7.1 cm 因此橡胶支座的允许变形为 7.1 cm; 支座变 形达到 5.8 cm 时,支座与主梁之间开始滑动(不考虑横桥向挡块的影响),所以 d₀ 取 5.8 cm。其中横桥向 d₁ = 10 cm , d₂ = 30 cm , d₃ = 50 cm; 纵桥向 d₁ = 6 cm , d₂ = 26 cm , d₃ = 46 cm 。表 2 为橡胶支座损伤指 标和损伤等级关系。

	表 2 橡胶支座损伤指标和	和损伤等级关系 cm
损伤等级	横向损伤指标	纵向损伤指标
无损伤	$\Delta_d \leq 5.8$	$\Delta_d \leq 5.8$
轻微损伤	5.8 < $\Delta_d \leq 15.8$	5.8 < $\Delta_d \leq 11.8$
中等损伤	15.8 < Δ _d ≤35.8	$11.8 < \Delta_d \leq 31.8$
严重损伤	35.8 < Δ _d ≤55.8	$31.8 < \Delta_d \le 51.8$
破坏	55.8 < Δ_{d}	51.8 < Δ_d

计算结果分析 4

根据已经建立的模型和选取的地震波 通过增量动力分析(简称 IDA Increamental Dynamic Analysis) 方法^[6],分析支座的破坏。将四类场地的八条地震动记录分别调整到同一峰值加速度(PGA),然后递增 式地调整地震峰值加速度,并针对每一强度的八条地震动记录进行一次非线性动力时程分析,计算结果 取平均值。

由于该桥 4-8 号墩,墩高基本一致,所以地震响应也比较相似,尤其是 5-7 号墩的响应基本相同;只是 连接墩4号和8号墩的结果同中间墩有一定的差异。因此本文中仅列出6号和8号墩的结果进行分析, 该结果已经能够反映整个桥的最不利结果。

4.1 二类场地分析结果

通过图 4,可知 6 号墩支座纵桥向损伤: (1) 当 PGA < 0.5g 时,支座无损伤; (2) 当 0.5g ≤ PGA < 0.8g 时,支座轻微损伤;(3) 当0.8g ≤PGA 时,支座中等损伤。

8 号墩支座纵桥向损伤:(1)当 PGA < 0.4g 时支座无损伤;(2)当0.4g ≤ PGA < 0.8g 时,支座滑动, 支座轻微损伤;(3) 当0.8g ≤PGA 时,支座中等损伤。

通过图 5,可知 6 号墩支座横桥向损伤:(1) 当 PGA < 0.3g 时支座无损伤;(2) 当 0.3g ≤ PGA < 0.7g 时,支座轻微损伤;(3) 当0.7g ≤ PGA 时,支座中等损伤。



8号墩支座横桥向损伤和6号墩相同。

通过图 6,可知 6 号墩支座纵桥向损伤:(1)当 PGA < 0.3g 时,支座无损伤;(2)当 0.3g ≤ PGA < 0.4g 时,支座滑动,支座轻微损伤;(3)当 0.4g ≤ PGA < 0.6g 时,支座中等损伤;(4)当 0.6g ≤ PGA < 0.9g 时,支座严重损伤;(5)当 0.9g ≤ PGA 时,发生落梁。

8号墩支座纵桥向损伤和6号墩相同。

通过图 7 ,可知 6 号墩支座横桥向损伤: (1) 当 PGA < 0. 2g 时 ,支座无损伤; (2) 当 0. 2g \leq PGA < 0. 4g 时 ,支座轻微损伤; (3) 当 0. 4g \leq PGA < 0. 7g 时 ,支座中等损伤; (4) 当 0. 7g \leq PGA < 1. 0g 时 ,支座 严重损伤; (5) 当 1. 0g \leq PGA 时 ,发生落梁。

8号墩支座横桥向损伤和6号墩相同。



图 6 6 号墩和 8 号墩支座纵桥向损伤

图 7 6 号墩和 8 号墩支座横桥向损伤

4.3 分析结果总结

墩梁相对位移正方向和负方向数据非对称分布,体现了地震作用的随机性,但是实际情况下,正方向和负方向都有可能,因此按照两者中最大值采用。

将计算结果进行总结,得到表3。总体上随着地震动峰值加速度的增加,支座的损伤也越来越大。对 于二类场地,首先发生的是横桥向支座损伤,其次纵是桥向;对于三类场地首先发生的也是横桥向支座损 伤,其次是纵桥向;而且三类场地在 PGA 达到0.2g 时已经发生损伤,比二类场地要早,而且最后发生落梁 破坏,不过首先发生的纵桥向的落梁破坏。其中8 号支座纵桥向早于6 号支座发生损伤,其他情况下两者 趋同。

表3	桥梁各构件在不同 I	PGA 作用 ⁻	下损伤情况
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1 1/ 01/10/00

DCA	二类场地		三类场地		
PGA -	横桥向	纵桥向	横桥向	纵桥向	
0. 1g	无	无	无	无	
0. 2g	无	无	轻微	无	
0. 3g	轻微	无	轻微	轻微	
0. 4g	轻微	无	中等	中等	
0. 5g	轻微	轻微	中等	中等	
0. 6g	轻微	轻微	中等	严重	
0. 7 <i>g</i>	中等	轻微	严重	严重	
0.8g	中等	中等	严重	严重	
0. 9g	中等	中等	严重	落梁	
1.0g	中等	中等	落梁	落梁	

5 结论与建议

建立典型先简支后桥面连续梁桥模型,分析其在二类和三类场地不同 PGA 作用下支座的损伤,得到 以下结论:

(1) 二类场地作用下在 PGA 达到 1.0g 时,支座产生中等损伤; 而三类场地作用下 PGA 达到 1.0g ,落 梁破坏。可见三类场地相对于二类场地要更加不利。

(2) 支座横桥向损伤要大于纵桥向损伤,但是最终落梁更容易发生在顺桥向。 (下转第17页)

[2]董石麟.我国大跨度空间钢结构的发展与展望[J].空间结构 2000 6(2):3-13.

[3]姜正荣,王仕统,魏德敏.斜拉网格杂交结构设计中的若干问题[J].工程设计,2005,20(7):41-44.

[4]梁明 周岱 柳杰 等. 斜拉空间网格结构的索系张拉和预应力控制[J]. 上海交通大学学报 2005, 39(5): 769-773.

[5] 冯健, 涨耀康. 预应力斜拉网格结构的静力优化分析 [J]. 东南大学学报: 自然科学版 2003 33 (5):583-587.

Research on Optimization of Stay Cable Tension

Zhu min¹, Li Yanhe²

(1. China Railway Engineering Consulting Group Co. , Ltd , Beijing 100055 , China;

2. Institute of Structural Engineering , Zhejiang Unverisity , Hangzhou310058 , China)

Abstract: Reasonable determination of the pre-tension in cables is the key point to the success of cablestayed spatial grid structure. This paper presents a linear iterative optimization method of static equilibrium method suitable for semi-rigid structure. By analyzing and optimizing the tension in the roof cables of Lingwu Sports Center Stadium , this paper obtains the conclusion that $\{N_3\} = (1 + 0.3) N$ is the optimized pretension of the cables , and under this circumstance , the maximum vertical displacement of the structure is 1/718 of the span and the stress / strength of each rod is less than 0.8.

Key words: stadium roof; cable-stayed; pretension; optimization

(责任编辑 刘宪福)

(3)同一联内,中间墩和连接墩支座的损伤在二类场地地震波下纵桥向有一定差别,但是差别不大。 三类场地地震波作用下两者基本一致。

(4)对于一二类场地 桥梁发生落梁破坏的可能性较小,可以采用矩形支座,防止横桥向支座损伤过 大;而对于三四类场地 桥梁发生落梁破坏的可能性较大,需要设置较长的支撑长度,防止落梁破坏。

参考文献

[1]范立础 李建中. 汶川桥梁震害分析与抗震设计对策 [J]. 公路 2009(5): 122-128.

[2] 范立础. 桥梁抗震 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.

[3] 王军文 杨涛, 艾庆华. 圆柱式节段空心墩抗震加固方式研究 [J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版 2013 26(1): 1-7.

[4] 范立础 聂利英 李建中. 地震作用下板式橡胶支座滑动的动力性能分析 [J]. 中国公路学报 2003(4): 31-36.

[5]中交公路规划设计院. JT/T 4-2004 公路桥梁板式橡胶支座 [S]. 北京: 人民交通出版社 2004.

[6] Dimitrios Vamvatsikos C ,Allin Cornell. Incremental dynamic analysis [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics , 2002, 31(3): 491-514.

Bearing Damage Process Analysis of Simply-Supported Bridges with Continuous Slab-decks

Liu Cong

(Tianjin Municipal Engineering Design Institute ,Tianjin 300051 ,China)

Abstract: The simply-supported bridge with continuous slab-decks is widely used at present as a form of bridge structure. This paper establishes the nonlinear bridge dynamic model by Sap2000 finite element software. According to the bearing damage criterion, IDA analysis method is adopted for the bridge bearing damage process analysis. The calculation results show that the connection pier bearing damage is bigger than the middle pier bearing damage , and weaker is the site , more prone is the bridge to bearing damage. It is suggested that bearing length should be increased for bridge piers at Class Three or Four sites.

Key words: simply-supported bridges with continuous slab-decks; bearing damage criterion; IDA; site

(责任编辑 车轩玉)