

弹塑性连接梁在双薄壁高墩连续刚构桥中的应用

郑凯锋, 文曙东, 栗怀广

(西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘要:针对罕遇地震中弹塑性杆件塑性变形而耗能的现象,探讨了在双薄壁高墩连续刚构桥中设置弹塑性连接梁的减震方案。分别计算了是否设置弹塑性连接梁的两个桥式,比较了在大震作用下墩柱的弯矩、剪力、位移变化情况。结果显示若设置连接梁,墩柱弯矩幅值在强震中下降幅度较大,剪力有所增加而位移幅值变化不明显。

关键词: 双薄壁高墩; 弹塑性; 连续刚构桥

中图分类号: TU352.1⁺¹ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2007)04-0303-04

Application of Inelastic Beams on Double Thin-wall High Piers of Continuous Frigid Frame Bridge

ZHENG Kai-feng, WEN Shu-dong, LI Huai-guang

(School of Civil Eng., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: For the phenomena of energy dissipation of inelastic beam under severe earthquake, the shock absorption project of setting inelastic beam in double thin-wall high piers of continuous frigid frame bridge is studied. Two bridge models with or not with inelastic beam are calculated separately, and the changes of moment, shear force and displacement are compared. The result is that if setting inelastic beam, the moment declines greatly, and shear force increases a little, and the displacement's maximum is un conspicuous for the pier.

Key words: Double thin-wall high pier; Inelastic; Continuous frigid frame bridge

0 概述

中国的西南和西北地区兴建了大量采用连续刚构的桥梁,而且桥墩的高度也越来越高,有的甚至达到100多米。例如在沪蓉国道主干线的龙潭河特大桥,最大墩高达178 m,居国内梁式桥高墩之最^[1];而我国的贵州省最近也正规划建设最高桥墩高度超过200 m的超高桥梁——坝陵河特大桥^[2]。铁路桥梁中连续梁桥的高墩现象也比较常见。大陆地区有80%以上破坏性地震集中在西藏、青海、新疆、云南和四川地区。目前国内外缺乏高墩桥梁经受地震的经验,震后修复困难^[3],而合理的结构形式和成功的抗震设计可以大大地减轻甚至避免震害的产生。因此详细地分析高墩桥梁地震响应,对提出高耸结构桥梁合理的抗震设计研究是十分必要的^[4]。调查结

果表明,这些高墩桥梁多为简支梁桥、连续梁桥、刚构桥、斜拉桥、悬索桥等。本文将对高墩连续刚构桥结构进行地震响应分析,研究该类桥的地震响应特点,进行延性保护构件的深入研究,为高墩、高塔桥梁的建设、设计提供参考。

1 连接件塑性耗能效应

在地震作用下,桥梁结构每经过一个循环加载时先是结构吸收或储存能量,卸载时释放能量,但两者不相等。两者之差为结构或构件在一个循环中的“耗失能量”(耗能),也即一个滞回环内所含的面积^[5]。结构吸收的地震能量等于力与变形的乘积,即可以由力——位移曲线所包围的面积来表示。完全弹性结构的力——位移曲线呈直线,延性较大结

收稿日期:2007-05-23

作者简介:郑凯锋(1963—),男(汉族),广东普宁人,工学博士,教授,博士生导师。

构的力—位移曲线呈曲线。当吸收能量相同时，塑性结构就受到比较小的地震作用。弹性结构是以强度为抗震能力，而塑性结构是以变形(延性)为抗震能力。一个结构(构件)所消耗的地震能量多，不仅因为它承担了较大的地震力，还因为它产生并承受了较大的变形。从这个意义上来说，耗能构件是用它自身某种程度的破坏作为牺牲来维护整个结构的安全的。比如美国旧金山新海湾大桥桥塔^[6]，通过在塔柱间设置连接杆件，在大震作用下连接杆件破坏而使整个塔柱处于弹性阶段。本文通过在高墩桥双墩间设置的弹塑性连接梁，观察强震作用下通过自身的破坏牺牲来实现耗能的过程，为高墩连续刚构桥梁提供一条新的设计思路。

2 计算模型

模型 1:三跨连续刚构桥,对称布置,墩高 100 m,墩中心距离 9 m;主梁顶板宽 18 m,主梁底板宽 9 m,跨度 108 m+180 m+108 m;根部梁高 9 m(高跨比 1/20)、跨中 3 m;最大底板厚度 120 cm,跨中、边跨端部底板厚度 30cm,顶板厚度 25 cm,腹板厚度 80 cm。桥墩为双薄壁墩,每 6 m 设置一道减震弹塑性连接梁,共设置 16 道。截面为 1.5 m×1.5 m 正方形,刚度为墩柱的 1/6,其产生的塑性铰特性和美国 FEMA-356 报告中配筋梁单元一致^[7](图 1)。

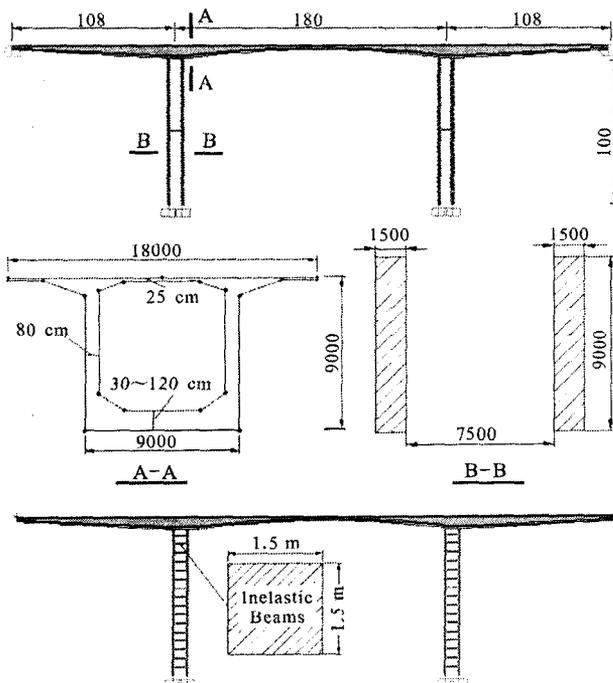


图 1 连续刚构模型

Fig. 1 Continuous Frigid Frame Bridge Model.

模型 2:按照设计习惯,在墩身中部设置一道横梁,增加桥墩稳定性能,其余参数同模型 1。

混凝土桥阻尼比为 5%,II 类场地,不考虑桩土效应,分别沿桥纵向和竖直方向输入 EL-Centro 波、兰州波。考虑罕遇地震效应,加速度峰值水平方向取为 0.3 g,竖向取 0.15 g。

桥墩横向配箍率 0.2%,其尺寸按照恒载下压应力为 6 MPa 设计,桥墩纵向抗剪承载力 18 589 kN,不使桥墩截面产生拉应力所能承受的最大弯矩为 20 250 kN·m。

由于设置连接梁使的桥梁纵向刚度变大,在温度变化作用下桥墩的弯矩、剪力都会增大。通过计算发现桥梁升温 25℃时,墩顶墩底的弯矩、剪力都远小于桥墩的承受能力(如表 1)。由计算结果还可以得到,降温 25℃对桥墩受力影响也不大。所以设置连接梁后结构产生的温度内力不大,不会影响桥梁的正常使用。

表 1 升温(25℃)时桥墩产生的弯矩、剪力

桥梁模型	弯矩/kN·m		剪力/kN	
	墩顶	墩底	墩顶	墩底
1	329	266	14	10
2	2 943	2 855	1 149	522

3 塑性铰的产生及减震效果

地震过程中混凝土弹塑性连接梁先产生裂缝,并进一步形成塑性铰耗能,而墩柱通过截面设计及配筋处于弹性阶段,图 2 为沿纵向桥向输入 EL-Centro 波时,t=16 s 时,几乎所有连接梁钢筋都屈服,产生了塑性铰。

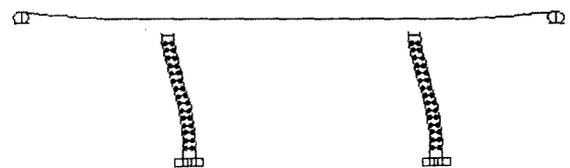


图 2 输入 EL-Centro 波时产生的塑性铰 (t=16 s)

Fig. 2 P plastic hinges when inputting EI-Centro wave at t=16 s.

对墩柱从左到右进行编号,分别为 1#、2#、3#、4#墩柱。桥墩的弯矩、剪力、墩顶位移是判断地震破坏的主要因素^[8]。分别考察有无连接梁的两个模型中的 2#墩柱在分别输入 EL-Centro 波和兰州波的变形,计算结果如图 3(弯矩图、剪力图、位移图)。

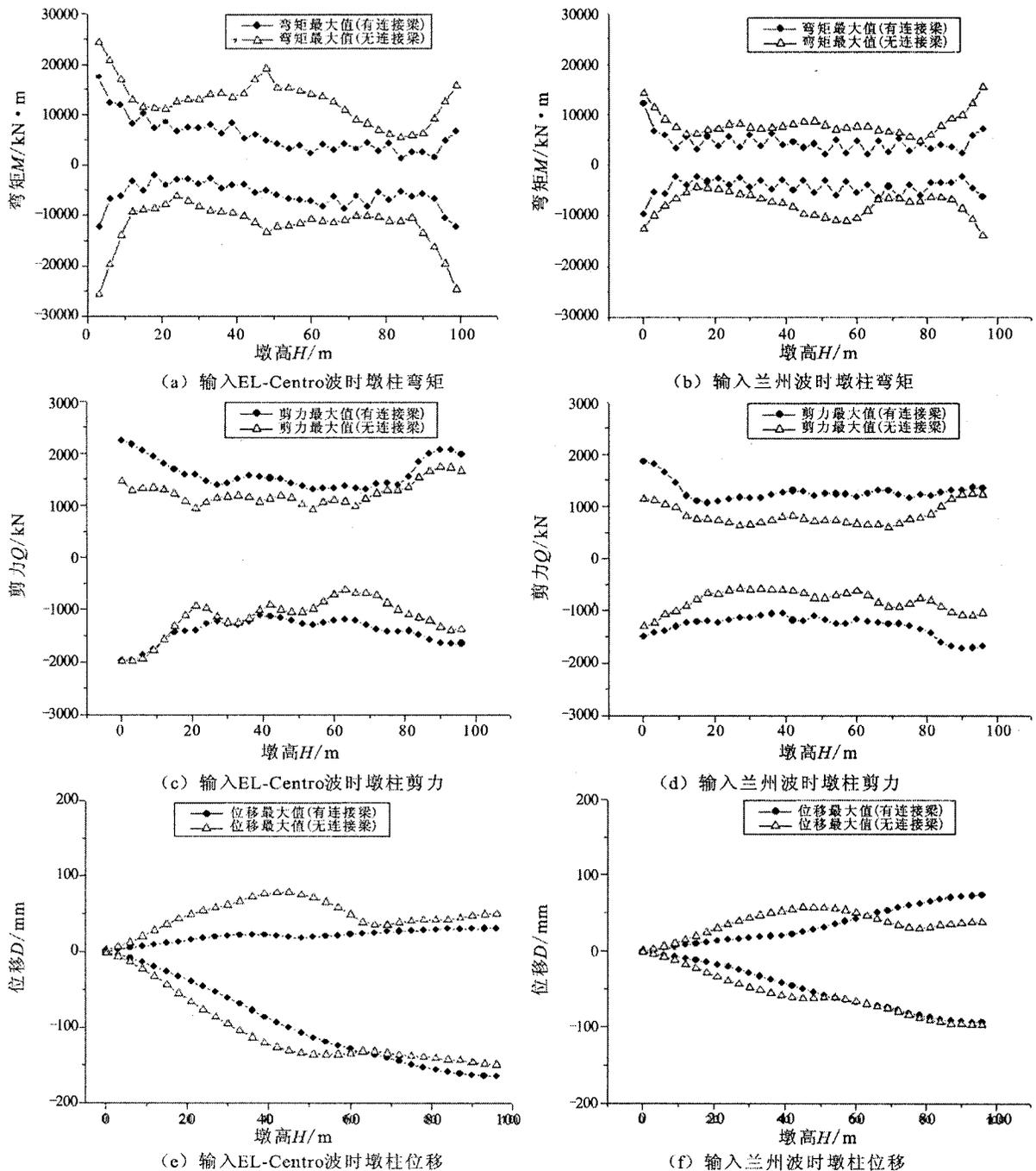


图 3 在不同地震波作用下 2#墩柱的响应

Fig. 3 The reaction of 2# pier at different seismic waves.

由图 3(a)、(b)可以看出,设置连接梁时沿整个墩身长度方向弯矩都有明显程度的减小,弯矩包络图呈哑铃形状,墩身弯矩小,墩底墩顶大。在 EL-Centro 波作用下,设置弹塑性连接梁(模型 1)2#墩顶弯矩 16 700 kN·m、墩身 1/2 处为 4 851 kN·m、墩底为 17 493 kN·m;而桥梁模型 2 中墩身响应位置弯矩分别为 28 744 kN·m、18 964 kN·m、

25 511 kN·m。模型 1 的 2#墩身三个位置弯矩减少到原有弯矩的 58.1%、25.6%、68.6%,设置弹塑性连接梁时减震效果明显。而不设连接梁时,由于墩顶主梁的约束,墩身弯矩明显凸出,墩高 40~60 m 处弯矩峰值甚至和墩顶相差无几。故而不设连接梁时,墩身需要通长配筋,墩身中间截面配筋不能削弱。

由图3(c)、(d)可以看出,无论是否设置连接梁,输入地震波时,墩柱的剪力包络图形状都是两头大中间小的哑铃形状。由于连接梁的设置使得结构刚度发生变化,墩身剪力有所增加,增加幅度不大,但均远小于桥墩所能承受的剪力值。输入 EL-Centro 波时,桥墩最大剪力为 2 380 kN,远小于墩柱截面的承载力 18 589 kN,剪力在此类高墩桥基本不起控制作用。

由图3(e)、(f)可以看出,设置连接梁时墩柱位移包络图有所缩小。无连接梁时墩柱中间部分包络线向外凸出,此规律和弯矩图一致。但墩顶的位移绝对值却变化无规律,和输入的地震波特征密切相关。

综上所述,连接梁的延性减震措施使得墩柱的弯矩明显减小,墩身位移也有减小趋势,而对墩身的剪力影响有小幅增加。

4 结语

综上所述,在高墩连续刚构双墩间设置弹塑性连接梁,在强震作用下连接梁中产生了塑性铰,可以有效减小地震响应。

(1) 在双薄壁高墩连续刚构桥中,薄壁墩间设置恰当的弹塑性连接梁,温度应力不大,不会对结构正常使用产生影响;

(2) 整个墩柱的弯矩明显减小,特别是墩身中间位置,原来弯矩包络图为中间凸出,而设置连接梁后弯矩包络图呈哑铃型;

(3) 设置连接梁后,墩柱的剪力有所增加,但增加幅度不大,也不控制该类桥的设计;

(4) 墩柱在不设连接梁时位移包络图也是中间凸出,而设置连接梁后则无凸出现象,但墩顶位移最大值变化则无规律,和输入地震波本身特征相关。

高墩地震惯性力在墩顶和墩底产生较大弯矩,设置弹塑性连接梁可有效降低地震弯矩值,深入对弹塑性连接梁的减震效能以及在该类桥梁的应用研究有实际意义。

[参考文献]

- [1] 罗玉科,冯鹏程. 龙潭河特大桥设计[J]. 桥梁建设, 2005, (2): 29-32.
- [2] 陈才琳,孙会元. 建设中的贵州坝陵河大桥[J]. 公路, 2007, (1): 6-9.
- [3] 王克海,李茜. 高墩桥梁地震响应分析[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(3): 74-76.
- [4] 周志浩,陈实,宁晓骏,等. 梁桥高墩的减震设计方法[J]. 云南交通科技, 2001, 17(4): 32-36.
- [5] 范立础,卓卫东. 桥梁延性抗震设计[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [6] Cole C McDaniel, Frieder Seible. Influence of Inelastic Tower Links on Cable-Supported Bridge Response [J]. Journal of Bridge Engineering. 2005, 10(3): 272-280.
- [7] Federal Emergency Management Agency. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings[R]. Washington, D. C; (FEMA Publication No. Fema 356), 2000.
- [8] 范立础. 桥梁抗震[M]. 北京:人民交通出版社, 1997.