

系梁对双肢薄壁高墩抗震性能影响分析

段树金, 李亚峰, 李 勇, 王 彬

(石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:双肢薄壁桥墩是连续刚构桥采用较多的桥墩形式, 超过 40 m 的高墩纵桥向抗弯刚度一般较小, 故工程设计中一般采用设置系梁的形式来降低桥墩计算高度, 改善高墩的受力特性。本文以一座典型的高墩大跨连续刚构桥双肢薄壁高墩为工程背景, 利用 ABAQUS 建立精细化有限元模型, 分析系梁纵筋配筋率、配箍率、系梁-桥墩的刚度比及系梁设置数量对高墩抗震性能的影响。研究表明: 系梁设置数量和系梁-桥墩刚度比对高墩滞回性能影响较大, 系梁配筋率、配箍率影响较小。

关键词:连续刚构桥; 双肢薄壁高墩; 系梁; 滞回性能

中图分类号:U443.22 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2018)01-0006-05

0 引言

西部开发战略的实施使得我国西南、西北山区公路和铁路的兴建正方兴日盛。由于西部地区特殊的地形地质条件, 桥梁跨越深沟峡谷或大江大河往往采用高墩大跨连续刚构桥的结构形式。西部地区的初步调查表明: 在已建成及正在设计规划中的高等级公路中, 墩高超过 40 m 的高墩桥梁占桥梁总数的 40% 以上^[1]。

目前, 对于高墩大跨桥梁的抗震设计还没有专门的规范, 都是参考《公路桥梁抗震设计细则》(JTJ/T B02-01, 2008)^[2]和《铁路工程抗震设计规范》(GB50111, 2006)^[3]进行抗震分析设计。但是, 在桥墩墩高方面, 现行规范只对墩高不超过 40 m 的桥梁作了相关的规定。高墩刚构桥结构形式复杂, 一般多采用薄壁墩, 长细比较大, 纵向刚度较小, 与中、低墩的抗震性能明显不同, 通常采用设置系梁的方式来改善其受力特性^[4]。同时既有研究表明, 系梁与墩身的刚度比、系梁的构造参数及系梁设置的数量均对双肢高墩的抗震性能具有一定的影响^[5]。

基于此, 选取一座典型高墩大跨刚构桥梁, 通过 ABAQUS 建立双肢薄壁高墩的空间精细化有限元分析模型, 采用拟静力分析方法, 分析系梁的配筋率、配箍率, 系梁-桥墩刚度比及系梁的设置数量对双肢薄壁高墩滞回性能的影响, 给出系梁合理的布置方式及抗震设计建议。

1 工程概况及有限元模型建立

本文依托某实际高墩大跨连续刚构桥。该桥全长 540 m, 其跨径布置为 75 m + 3 × 130 m + 75 m。上部结构采用单箱单室预应力箱型主梁, 箱梁全宽 12.0 m。双肢薄壁墩为实心矩形截面, 单肢截面尺寸为 1.2 m × 5.6 m, 双肢纵桥向轴距 4.8 m。全桥主梁及桥墩混凝土强度等级为 C50, 纵向受力钢筋均为 HRB235 级钢筋, 箍筋均为 HPB200 级钢筋。

首先建立全桥杆系模型, 如图 1 所示, 得到桥墩墩顶压力, 然后在 ABAQUS 中建立 2[#] 双肢薄壁高墩的精细化有限元模型, 如图 2 所示。混凝土受压应力-应变关系采用 Kent-Park 模型, 如图 3 所示, 受拉应力-应变关系采用下式^[6]

收稿日期: 2016-09-18 责任编辑: 车轩玉 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2018.01.02

作者简介: 段树金(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 桥梁与结构工程。E-mail: duanshujin@stdu.edu.cn

段树金, 李亚峰, 李勇, 等. 系梁对双肢薄壁高墩抗震性能影响分析[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2018, 31(1): 6-10.

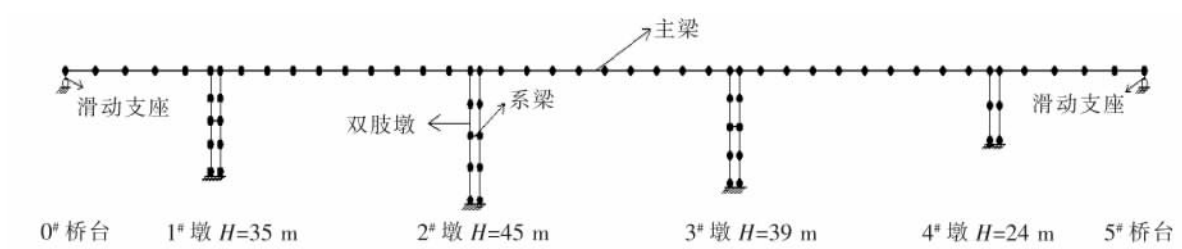


图 1 全桥杆系模型

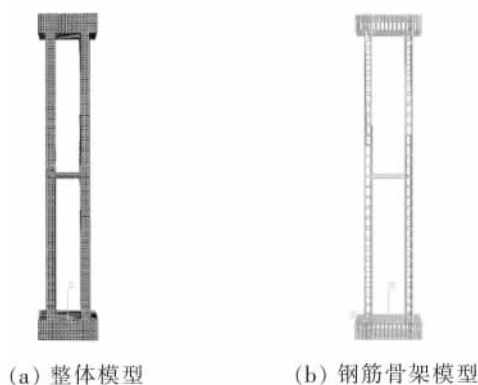


图 2 双肢薄壁高墩实体模型

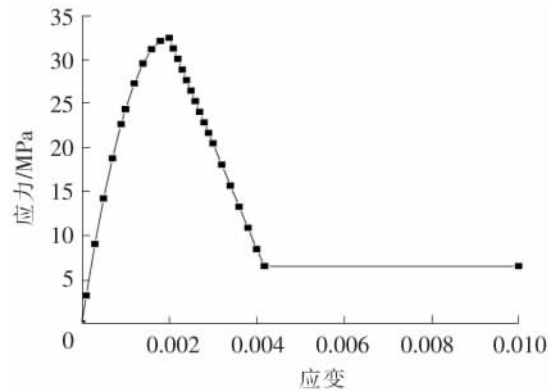


图 3 C50 混凝土受压应力-应变关系曲线

$$\begin{cases} x \leq 1 & \sigma = f_t \times [1.2 \times x - 0.2 \times x^6] \\ x > 1 & \sigma = f_t \times \left[\frac{x}{0.312 \times f_t^2 \times (x-1)^{1.7} + x} \right] \end{cases} \quad (1)$$

式中, f_t 为混凝土轴心抗拉强度标准值, $x = \epsilon / \epsilon_p$, ϵ_p 为混凝土的受拉峰值应变, 图 4 为混凝土受拉应力-应变关系曲线。钢筋受拉应力-应变关系采用理想弹塑性材料的二折线模型。混凝土采用 8 节点六面体线性减缩积分三维实体单元 (C3D8R), 钢筋采用两结点线性三维 TRUSS 单元 (T3D2)。模型中在墩顶施加变幅值低周往复水平位移荷载作拟静力分析。图 5 为墩顶纵桥向位移加载控制曲线。

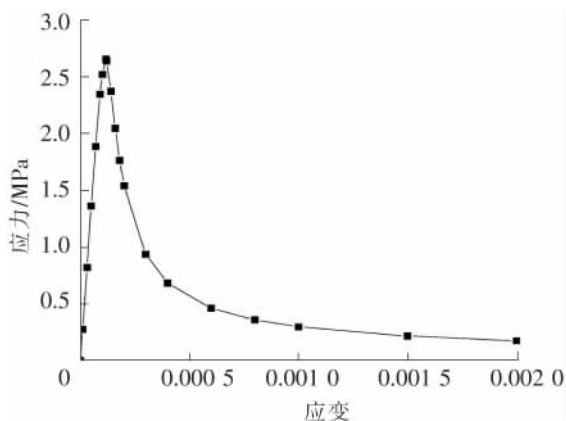


图 4 C50 混凝土受拉应力-应变关系曲线

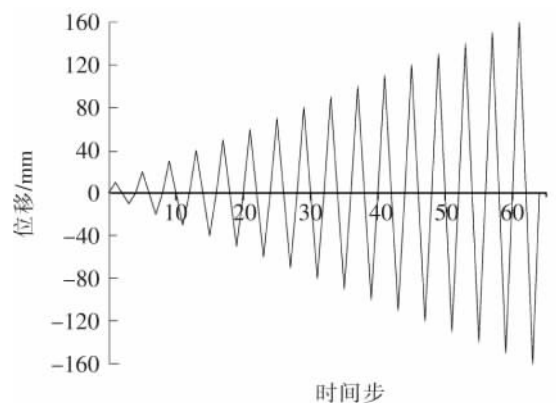


图 5 墩顶纵桥向水平位移加载曲线

2 系梁构造参数影响分析

目前, 规范对于系梁的规定并不明确, 多数设计中对系梁的截面尺寸和配筋一般都是按照经验进行设计, 而这些对桥墩抗震性能的影响还鲜有人研究。改变系梁的纵筋配筋率、配箍率和系梁-桥墩的刚度比研究其对双肢薄壁高墩的抗震性能影响。系梁-桥墩刚度比 r 如式(2)所示, 不计混凝土中纵筋配筋率、配箍率影响, 式中 E_{ch} , E_{cp} 分别为系梁、桥墩的混凝土弹性模量, I_b , I_p 分别为系梁、单肢桥墩的惯性矩, 具

体相关数值见表 1,系梁位置为高墩 1/2 处,原系梁截面为 5.6 m×0.8 m。

$$r=\frac{E_bI_b}{E_pI_p}$$

(2)

表 1 系梁构造参数

模型编号	截面高度/m	系梁-墩刚度比	配筋率/%	配箍率/%
基本模型	0.80	0.30	1.65	0.34
a	0.80	0.30	1.04	0.43
b	0.80	0.30	2.45	0.43
c	0.80	0.30	3.53	0.43
d	0.80	0.30	1.65	0.25
e	0.80	0.30	1.65	0.65
f	0.80	0.30	1.65	0.91
g	0.85	0.36	1.65	0.43
h	0.90	0.42	1.65	0.43
i	0.95	0.50	1.65	0.43
j	1.00	0.58	1.65	0.43

改变系梁构造参数,得到墩顶的力-位移曲线如图 6~图 8 所示。从图 6 与图 7 中可以得出,设置 1 道系梁时,改变系梁纵筋配筋率、配箍率,对双肢薄壁高墩的滞回特性影响并不显著。因此,提高系梁纵筋配筋率、配箍率用于抗震耗能效率较低。从图 8 中可以得出,设置 1 道系梁时,改变系梁-桥墩刚度比,当桥墩处于弹性阶段,刚度比变化对抗震耗能有较小影响,当发展到塑性阶段,刚度比为 0.36 时,墩顶位移最小,有利于保护桥梁上部结构。

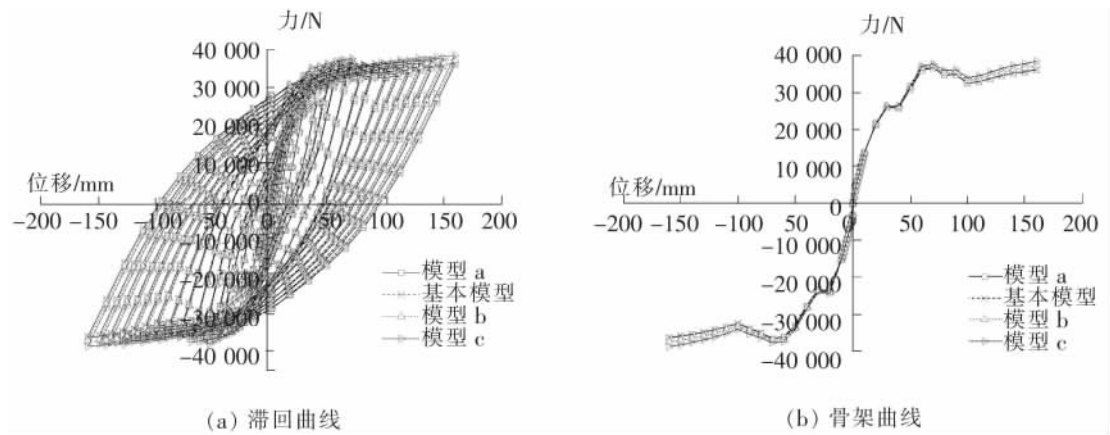


图 6 配筋率影响墩顶力-位移曲线

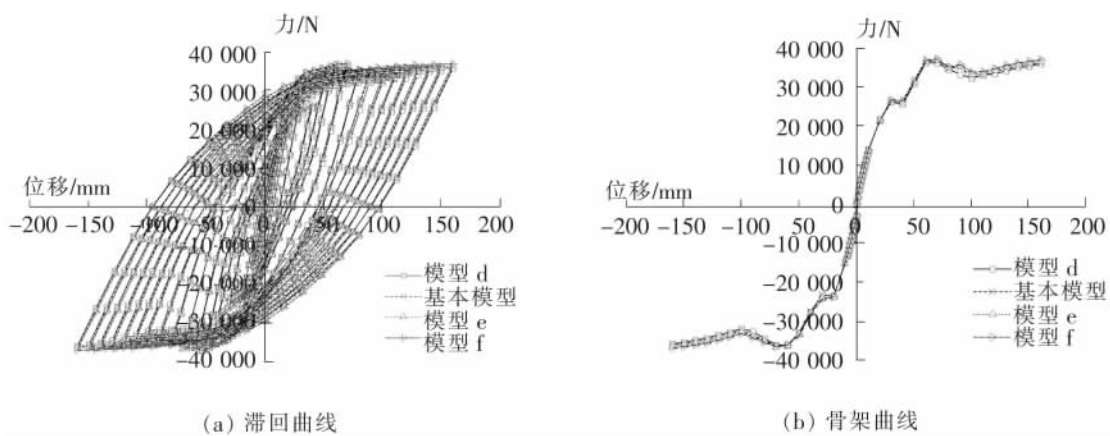


图 7 配箍率影响墩顶力-位移曲线

3 系梁数量影响分析

系梁的设置数量会影响双肢桥墩塑性铰的出铰位置、出铰数量和出铰顺序等。根据工程实际情况,双肢薄壁桥墩一般最多设置 3 道系梁。参数分析时,保持依托工程中系梁构造参数不变,系梁截面尺寸为 $5.6\text{ m} \times 0.8\text{ m}$,纵筋配筋率为 1.65% ,配箍率为 0.43% ,取系梁的数量分别为 0,1,2,3,将系梁沿墩高均匀布置,系梁间距分别为 45 m,22.5 m,15 m,11.25 m,得到桥墩墩顶力-位移曲线如图 9 所示。

当墩顶反力最大时,水平位移为 70 mm。参照文献[2]计算得到当设置 1 道系梁时,墩顶容许位移为 72 mm,计算前一滞回环消耗能量,即墩顶位移从 0 到 70 mm 的循环过程,如图 10 所示。

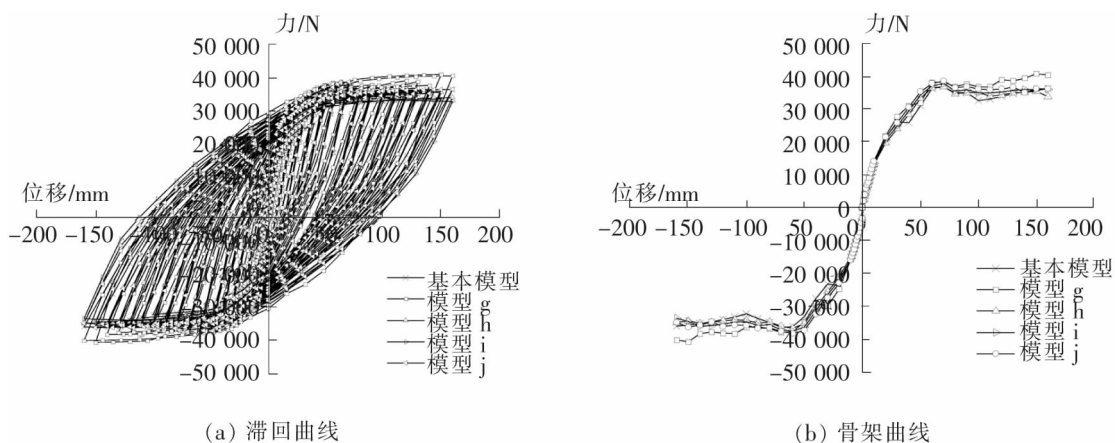


图 8 刚度比影响墩顶力-位移曲线

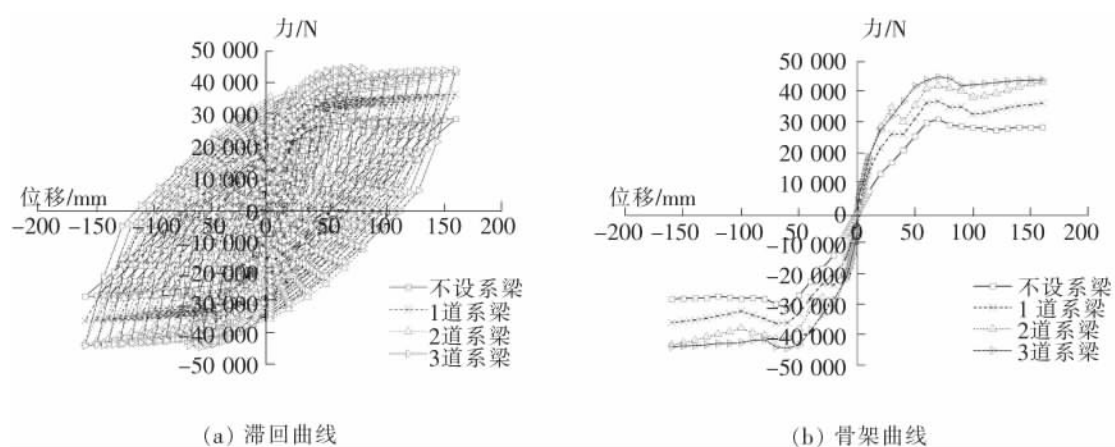


图 9 系梁设置道数影响墩顶力-位移曲线

从图 9 和图 10 中得到,双肢薄壁高墩是否设置系梁以及系梁的数量对桥墩滞回特性影响较大。系梁数量设置越多、间距越小时,墩顶位移越小,滞回曲线发展越饱满,越有利于抗震耗能。另外,随着系梁设置数量增加,耗能增加比率下降。

4 结论

(1) 连续刚构桥双肢薄壁高墩系梁设置与否以及设置数量对桥墩滞回性能有较大影响。系梁数量设置越多时,墩顶水平位移越小,滞回曲线发展越饱满,越有利于

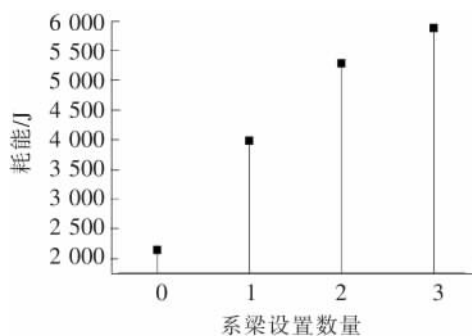


图 10 系梁设置数量耗能对比

抗震耗能;但随着系梁设置数量增加,耗能增加比率下降。

(2) 系梁构造参数对桥墩耗能影响较小,影响效果从大到小为系梁-桥墩刚度比、系梁配筋率、系梁配箍率。建议抗震设计中选用系梁-桥墩刚度比为 0.30~0.42 之间,系梁选用构造配筋率、构造配箍率即可。

(3) 鉴于以上两条,建议在满足稳定与施工稳定的条件下优先选用增加系梁数量的方法来提高桥墩耗能能力。

参 考 文 献

- [1] 梁智垚,李建中.桥梁高墩合理计算模型探讨[J].地震工程与工程振动,2007,27(2):91-98.
- [2] 中华人民共和国交通运输部.JTG/T B02-01—2008 公路桥梁抗震设计细则[S].人民交通出版社,2008.
- [3] 中华人民共和国国家标准.GB50111—2006 铁路工程抗震设计规范[S].北京:中国计划出版社出版,2006.
- [4] 沈星,叶爱君,王晓伟.柔性横系梁双柱墩的抗震行为分析[J].同济大学学报:自然科学版,2013,41(3):342-347.
- [5] 兰峰,王克海.中小跨径双柱式高墩柱桥梁横系梁对抗震性能的影响[J].公路交通科技,2011,28(5):92-98.
- [6] 中华人民共和国国家标准.GB50010—2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

Analysis of Influence of Tie Beam on Seismic Performance of Double Leg Thin-walled High Piers

Duan Shujin, Li Yafeng, Li Yong, Wang Bin

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The double leg thin-walled pier is a common bridge pier form of continuous rigid frame bridge. The longitudinal stiffness of the high pier with a height more than 40 m is generally weak. In the design, the tie beam is usually used to reduce the calculated height of the bridge piers, and improve the stress characteristics of high pier. In this paper, the engineering background is the double leg thin-walled high piers of a typical high pier and long span continuous rigid frame bridge. A refined finite element model of the double leg thin-walled high piers is established in ABAQUS, and the influence of the reinforcement ratio, hoop reinforcement ratio of the tie beam, the stiffness ratio of the tie beam-bridge piers and the number of the tie beam on the seismic performance of high piers is analyzed. The results show that the number of the tie beam and the stiffness ratio of the tie beam-bridge pier have greater influence on the hysteretic performance of the high pier than the reinforcement ratio and hoop reinforcement ratio of the tie beam.

Key words: continuous rigid frame bridge; the double-leg thin-walled high pier; tie beam; hysteretic performance