

横向抗震挡块对桥梁抗震性能的影响分析

庄鑫, 李建中, 王瑞龙

(同济大学 土木工程防灾国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 为了研究横向弹塑性挡块对梁式桥横向抗震性能的影响, 以一典型梁式桥为工程背景, 应用非线性时程方法分析比较了墩梁之间横向固结、横向无水平约束、采用弹塑性钢挡块三种约束方式下结构的地震响应。研究表明: 假设墩梁之间横向固结会导致较大的墩柱横向地震内力响应, 而假设墩梁横向无水平约束导致较大的墩梁横向相对位移, 增加落梁风险。采用弹塑性钢挡块(横桥向弹塑性约束)可以合理控制横桥向墩梁相对位移和墩柱的横向地震反应。

关键词: 梁式桥; 弹塑性钢挡块; 抗震性能; 刚度

中图分类号: U488.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)01-0014-05

在我国, 中小跨度梁式桥广泛采用板式橡胶支座, 并且在墩、台上设置混凝土横向抗震挡块防止落梁。但是国内现行的桥梁抗震规范, 包括《公路桥梁抗震设计细则》^[1]和《城市桥梁抗震设计规范》^[2]都没有对混凝土横向抗震挡块的设计和构造提出明确规定, 仅将其作为一种构造措施。汶川地震中混凝土挡块破坏是梁式桥最普遍的震害之一^[3-4]。汶川地震梁式桥的震害表明: 汶川地震区大量桥梁出现挡块破坏对于减小桥墩及基础的地震损伤是有利的, 如果挡块设计得非常强大, 地震力可能直接传递到桥墩和基础, 引起桥梁下部结构的严重损伤, 但是挡块设计得太弱, 起不到防落梁作用也是不可取的。在对汶川地震挡块破坏震害分析的基础上, 本文提出采用弹塑性钢挡块代替混凝土挡块, 利用地震作用下弹塑性挡块的弹塑性变形耗散地震能量, 在控制梁体横向位移的同时减小桥梁墩柱的横向地震力。目前国内对于桥梁结构弹塑性抗震挡块的研究并不多, 黄小国^[5]开发了一种X形弹塑性钢挡块并对其进行了试验研究; 周行人^[6]等提出了一种由钢型材制作的横向弹塑性挡块, 并对其抗震性能作了初步探索。

为了考虑横向混凝土挡块对结构地震反应的影响, 实际桥梁抗震分析中混凝土挡块的模拟有以下两种方式: (1) 假设混凝土挡块为刚体, 墩、梁间横桥向为刚性连接; (2) 假设地震作用下挡块破坏, 不考虑混凝土挡块横向水平约束。本文以一典型梁式桥为工程背景, 应用非线性时程方法分析比较了墩梁之间横向固结(假设混凝土挡块设计得足够强, 地震作用下不破坏)、不考虑横向混凝土挡块作用(假设混凝土挡块设计得比较弱, 地震作用下破坏)、墩梁间横向弹塑性约束(采用弹塑性挡块)三种工况下结构地震反应, 并对不同的弹塑性挡块参数进行了分析。

1 计算模型

1.1 工程背景及地震动输入

(1) 工程背景。本文采用广东省某高架桥的一联梁式桥作为工程背景, 并取前后两侧各一联梁式桥作为边界条件, 研究桥段为 4×28 m先简支后桥面连续梁桥, 桥段立面图如图1所示。上部结构采用钢筋混凝土装配式箱梁, 小箱梁高1.6 m, 桥面板宽3 m, 每一幅桥由5个小箱梁浇注而成, 左右两幅分开。下部结构为带盖梁的双柱式桥墩, 桥墩是边长2 m的方墩; 基础为承台式群桩基础, 桩径1.8 m。两幅桥共

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.2014.01.03

收稿日期: 2013-09-09

作者简介: 庄鑫 男 1989年出生 硕士研究生

基金项目: 国家自然科学基金项目(51278371); 国家重点基础研究发展计划(2013CB036302)

同安置在盖梁上, 桥梁横断面如图 2 所示。上部结构与盖梁之间采用板式橡胶支座进行连接, 每片小箱梁下设置一个支座, 支座型号为 GYZ-D450 × 114。

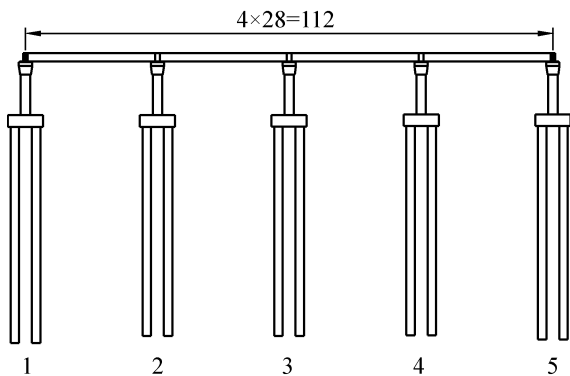


图 1 桥段立面图(单位: m)

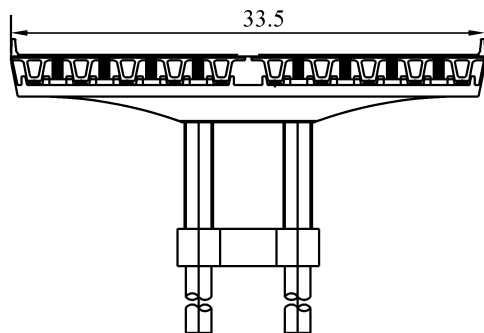
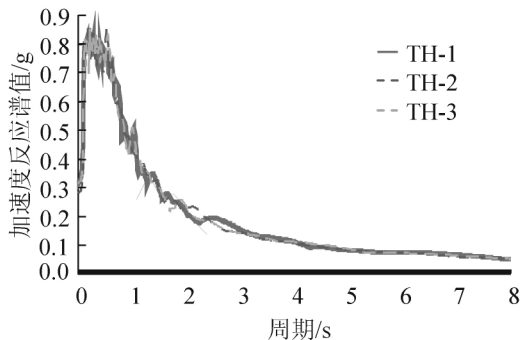
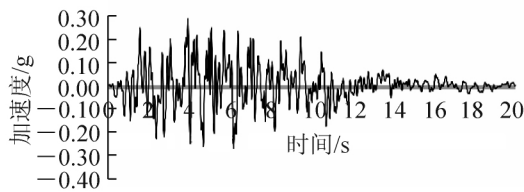


图 2 桥段横断面图(单位: m)

(2) 地震动输入。地震动输入采用 3 条桥址场地处 50 a 超越概率为 2.5% 的人工地震加速度时程, 地震反应的分析结果取 3 组反应的最大值。图 3(a) 所示为 3 条人工地震加速度时程波对应的反应谱, 图 3(b) 为其中一条典型的人工地震加速度时程曲线 TH-1。



(a) 加速度反应谱曲线



(b) 加速度时程波曲线

图 3 地震动输入

1.2 计算模型

采用三维有限元建立了结构非线性空间动力模型。主梁、桥墩及盖梁均采用梁单元模拟; 承台视为刚体, 等效为质点并赋予质量; 桩基采用 6 个方向的土弹簧进行模拟, 土弹簧刚度采用 m 法计算得到。选取研究桥段前后两侧各一联作为边界条件, 前后两联的跨径布置分别为 3 × 31 m + 28 m 与 28 m + 3 × 31 m。板式橡胶支座和弹塑性挡块的计算模型分别如下。

1.2.1 板式橡胶支座

上部结构为 5 片混凝土小箱梁浇注而成, 与盖梁之间采用板式橡胶支座进行连接, 每片小箱梁下设置一个支座, 支座型号为 GYZ-D450 × 114, 本文将上部结构与盖梁之间的 5 个板式橡胶支座并联成一个支座进行计算。由于板式橡胶支座与梁底和盖梁顶均无构造措施约束滑动, 因此需要考虑板式橡胶支座的滑动效应。

图 4 所示的力-变形关系用以描述板式橡胶支座的滑动效应, 其中 F_y 为板式橡胶支座的滑动摩擦力, 根据《公路桥梁板式橡胶支座规格系列》^[7], 支座与钢板接触时摩擦系数取 0.2, 故 $F_y = 0.2N$, 其中, N 为支座恒载反力; K_0 为板式橡胶支座初始刚度, 可参考《公路桥梁抗震设计细则》^[1] 按公式(1)进行计算。本文中支座型号为 GYZ-D450 × 114, 根据《公路桥梁板式橡胶支座规格系列》^[7] 橡胶层厚度 $\sum t = 0.082$ m, 根据公式(1)可知板式橡胶支座的并联初始刚度为 $K_0 = 11\ 637$ kN/m; K_1 为板式橡胶支座的滑动后刚度, 本文取 $K_1 = 1/10\ 000 K_0$; x_y 为板式橡胶支座滑动位移, $x_y = F_y/K_0$ 。

$$K_0 = \frac{G_d A_r}{\sum t} \quad (1)$$

式中, G_d 为板式橡胶支座的动剪切模量, 取 $1\,200\text{ kN/m}^2$; A_r 为橡胶支座的剪切面积; $\sum t$ 为橡胶层的总厚度。

1.2.2 弹塑性挡块

本文所采用的横向弹塑性挡块为 X 形弹塑性钢挡块, 图 5 所示的力-变形关系用以描述其非线性行为, 其中, F_y 为 X 形弹塑性挡块的屈服力, 可通过改变 X 形钢板的厚度及层数进行调整^[5]; x_y 为屈服位移, 本文取 $x_y = 0.02\text{ m}$; K_0 为 X 形弹塑性钢挡块的初始刚度, $K_0 = F_y/x_y$; K_1 为其屈后刚度, 本文取 $K_1 = 0.05K_0$ 。

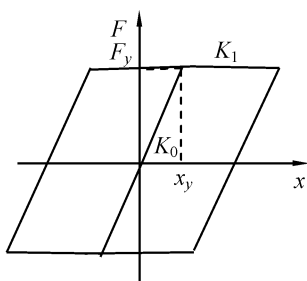


图 4 板式橡胶支座力-变形关系

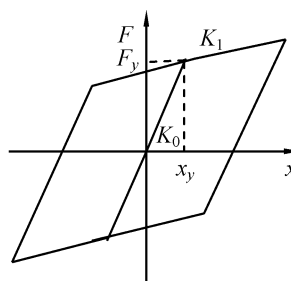


图 5 X 形弹塑性钢挡块力-变形关系

2 横向抗震挡块对桥梁横向地震反应的影响

2.1 工况设置

为研究梁式桥设置不同横向挡块对桥梁横向地震反应的影响, 进行了 3 种工况的非线性时程反应分析, 3 种工况分别为: 工况一, 不考虑橡胶支座与梁底的滑动效应, 假设梁体与桥墩间在横桥向为刚接(假设混凝土挡块为刚体); 工况二, 考虑板式橡胶支座与梁底间的滑动, 连接单元采用图 4 所示的力-变形关系, 横桥向不考虑挡块作用(假设混凝土挡块破坏); 工况三, 考虑板式橡胶支座与梁底间的滑动, 连接单元采用图 4 所示的力-变形关系, 横桥向采用 X 形弹塑性钢挡块, 连接单元采用图 5 所示的力-变形关系, 屈服力 F_y 取支座恒载反力的 10%, 屈服位移取 $x_y = 0.02\text{ m}$ 。

2.2 各工况地震响应比较

通过对上述 3 种工况进行非线性时程分析, 得到该桥梁结构的横桥向地震响应。重点列出并比较了桥梁横桥向地震作用下墩底弯矩、墩底剪力和支座位移 3 种典型地震响应值, 如图 6 所示, 桥墩编号见图 1。通过图 6(a) 和图 6(b) 发现, 墩梁之间横向设置 X 形弹塑性钢挡块(工况三)时, 地震内力响应(墩底弯矩及墩底剪力)较墩梁之间横向固结(工况一)时减小约 50%, 而仅比墩梁之间横向不考虑挡块作用(工况二)时增大约 20%。通过图 6(c) 发现, 工况三较工况二支座横向地震位移响应减小近 55%。

因此, 墩梁横向之间设置 X 形弹塑性钢挡块时, 对于整体结构的横桥向地震内力响应有较好的减震效果, 而对支座位移也有较好的控制。

3 弹塑性抗震挡块参数分析

前文所述结构响应分析中, X 形弹塑性钢挡块屈服力 F_y 取用支座恒载反力的 10%, 屈服位移取 $x_y = 0.02\text{ m}$ 。然而, 横向抗震挡块的横向刚度及屈服力对桥梁墩柱和基础的横向地震响应有较大影响, 同时对墩梁之间的横向相对位移也有较大影响。为研究 X 形弹塑性钢挡块的横向刚度变化对桥梁结构横向地震响应的影响, 通过调整 X 形弹塑性钢挡块中钢板的层数和厚度等参数实现钢挡块屈服力及初始刚度的改变, 用数值方法计算了以下 4 组挡块参数时桥梁横向地震响应:

- (1) 刚度 $0.5K$: $F_y = 0.05N$ (N 为支座恒载反力) $x_y = 0.02\text{ m}$ 。
- (2) 刚度 $1.0K$: $F_y = 0.10N$ (N 为支座恒载反力) $x_y = 0.02\text{ m}$ 。

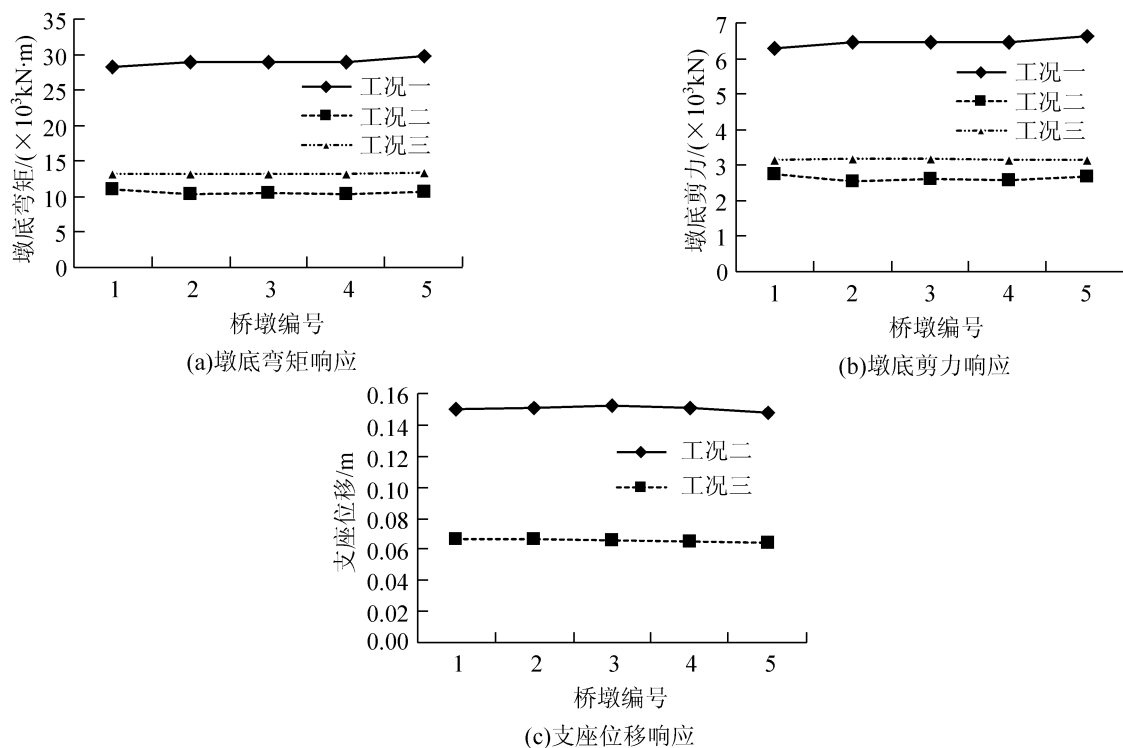


图 6 三种工况桥梁横桥向地震响应代表值

(3) 刚度 $1.5K$: $F_y = 0.15N$ (N 为支座恒载反力) $x_y = 0.02 \text{ m}$ 。

(4) 刚度 $2.0K$: $F_y = 0.20N$ (N 为支座恒载反力) $x_y = 0.02 \text{ m}$ 。

图 7 所示为横向 X 形弹塑性钢挡块采用四组不同屈服力及初始刚度等参数时, 桥梁结构横桥向非线性时程分析结果的比较。桥墩编号见图 1。图 7(a) 为 4 组参数下各桥墩墩底弯矩值, 图 7(b) 为 4 组参数下各桥墩墩底剪力值, 图 7(c) 为 4 组参数下各支座位移值, 图 7(d) 为某典型桥墩墩底弯矩及相应支座位移随 X 形弹塑性钢挡块参数改变时的变化情况。

通过比较可以发现, 当增大 X 形弹塑性钢挡块的屈服力和刚度时, 各桥墩墩底弯矩和剪力都有明显的增加, 支座位移也得到了有效的控制。尤其通过图 7(d) 所示的变化规律可以明显看出, 以刚度 $0.5K$ 为基准, 刚度每增加 1 倍, 横向墩底弯矩响应分别约增加 6%、26% 和 42%, 横向支座位移响应分别约减小 32%、38% 和 45%。横向挡块刚度从 $0.5K$ 增加到 $1.0K$ 的过程中, 桥梁横向地震内力响应增加不大, 而横向支座位移响应减小明显; 横向挡块刚度从 $1.0K$ 增加到 $2.0K$ 的过程中, 桥梁横向地震内力响应增加明显, 而横向支座位移响应减小缓慢。因此, 横向 X 形弹塑性钢挡块的屈服力取 $F_y = 0.10N$ (N 为支座恒载反力), 屈服位移取 $x_y = 0.02 \text{ m}$ 时, 桥梁结构横向地震响应最为有利。

4 结论

结合广东省某高架桥的一联先简支后桥面连续梁桥, 采用非线性时程分析方法讨论了墩梁之间横向设置 X 形弹塑性钢挡块与横向固结和横向不考虑挡块作用时桥梁结构横向地震响应的不同, 以及改变 X 形弹塑性钢挡块屈服力及初始刚度时对桥梁结构横向地震的影响, 主要结论如下:

(1) 与墩梁之间横向固结及横向不考虑挡块作用相比, 墩梁之间横向设置 X 形弹塑性钢挡块使得桥梁结构的横向地震响应更趋合理。

(2) 墩梁之间横向设置 X 形弹塑性钢挡块时, 桥梁结构的横向地震响应随挡块初始刚度和屈服力的变化有明显规律, 墩底内力响应不断增加, 支座位移响应不断减小。

(3) 通过比较发现, 墩梁之间横向设置 X 形弹塑性钢挡块屈服力取 $F_y = 0.10N$ (N 为支座恒载反力), 屈服位移取 $x_y = 0.02 \text{ m}$ 时, 桥梁结构横向地震响应最为有利。在桥梁抗震设计中, 弹塑性钢挡块屈

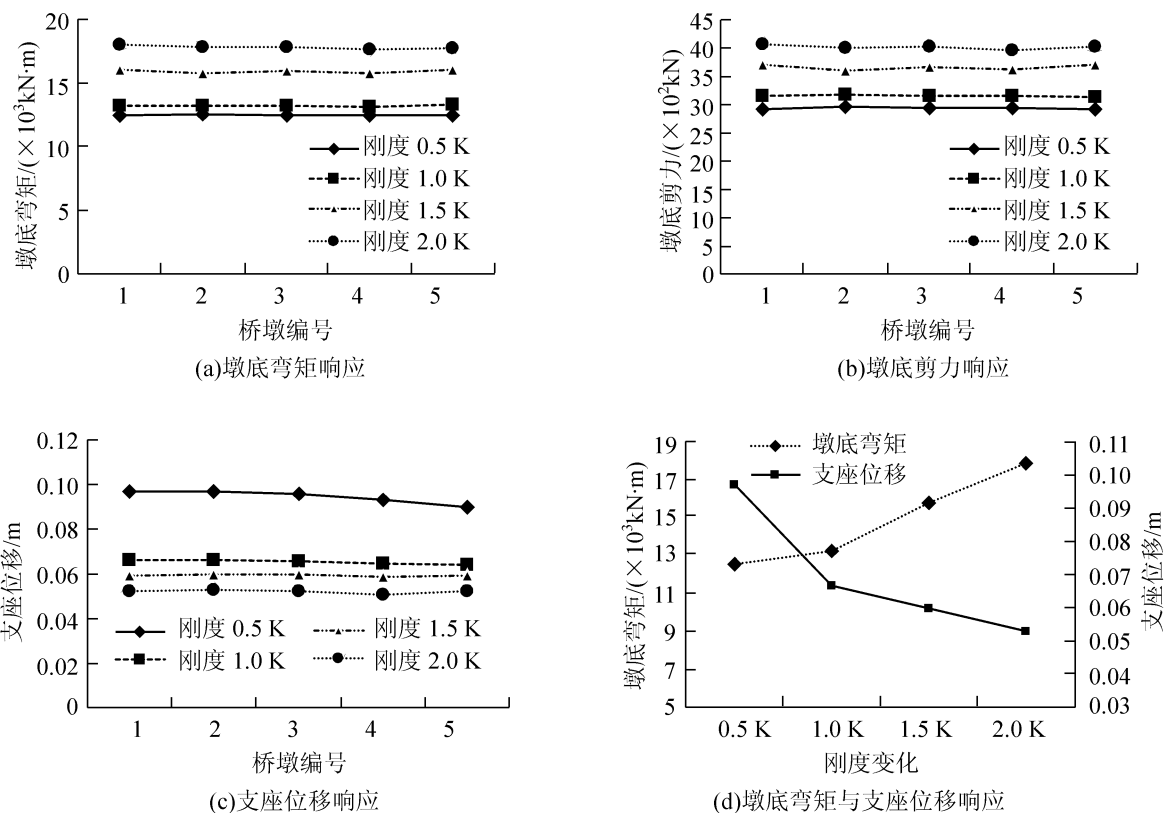


图 7 改变挡块刚度桥梁横向地震响应代表值

服力取相应位置处支座恒载反力 0.1 倍左右的范围内可以达到最好的抗震效果。

参 考 文 献

- [1] 重庆交通科研设计院. JTG/T B02-01—2008 公路桥梁抗震设计细则[S]. 北京: 人民交通出版社 2008.
- [2] 同济大学. CJJ 166—2011 城市桥梁抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社 2011.
- [3] 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.
- [4] 叶爱君, 管仲国. 桥梁抗震[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社 2011.
- [5] 黄小国. 连续梁桥防落梁装置试验和理论研究[D]. 上海: 同济大学土木工程学院 2009.
- [6] 周行人, 刘海波, 胡建华. 高烈度区高墩桥梁抗震措施研究[J]. 桥梁建设 2011(2): 42-45.
- [7] 中交公路规划设计院. JT/T 663—2006 公路桥梁板式橡胶支座规格系列[S]. 北京: 人民交通出版社 2007.

Influence Analysis of Lateral Stop Block on Bridge Seismic Performance

Zhuang Xin, Li Jianzhong, Wang Ruilong

(State Key Laboratory of Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to investigate the influence of elastic-plastic stop block on the seismic performance of girder bridge, the method of nonlinear time history is adopted to analyse the different seismic performance of bridges whose piers and beams are laterally restricted in three different ways: freely, with rigid stop block, with elastic-plastic stop block. The research shows that the beam fixed with rigid stop block in the transverse orientation would lead to comparatively strong response in the piers. While the beam with no constraints in the transverse orientation would result in large relative movement between piers and beams and increase the risk of unseating of spans. With the adoption of elastic-plastic stop block, the relative movement between piers and beams and seismic response of piers would be under reasonable control.

Key words: girder bridge; elastic-plastic steel stop block; seismic performance; stiffness

(责任编辑 刘宪福)