

速度锁定器在大跨度钢箱网状拱桥中的减震性能分析

李龙^{1,2}, 梁长海^{1,2}, 施文杰^{1,2}

(1. 安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司, 安徽 合肥 230088; 2. 公路交通节能环保技术交通运输行业研发中心)

摘要:该文以某跨河大跨度钢箱网状拱桥为研究对象,研究速度锁定器在此类桥梁中的减震性能。首先,通过“m”法,考虑桩土作用,利用桥梁有限元软件 Midas Civil 进行动力分析,对比有无锁定器桥梁自振频率的变化;其次通过人工合成地震波,采用黏滞阻尼器 MAX-WELL 模型模拟速度锁定器的作用,通过对大跨度钢箱网状拱桥进行非线性时程分析,验证速度锁定器的减震效果。相关研究结论表明:① 速度锁定器与常规减隔震原理不同,速度锁定器是通过改变结构内力重分布的方式达到减震目的;② 速度锁定器能够有效地减小桥梁固定墩水平力,从而能适当减小固定桥墩的外观尺寸及配筋;③ 通过对比分析可得,速度锁定器在结构发生纵向位移时,减震效果良好。

关键词:大跨度网状拱桥;速度锁定器;桥梁抗震设计;有限元法;子空间迭代法;桥梁工程;动力特性

大跨度钢箱拱桥作为山区、跨河及景观要求较高的地区最为常见的一种桥型,具有很强的竞争力。为了保证梁体不发生过大的水平滑动,一般应在每一联中设置一个固定支座,其余均设计为活动支座。在地震、温度及制动力作用下会造成固定支座桥墩承受较大的水平力。如果按常规设计原则,考虑到水平力全部由固定支座桥墩承担,固定支座需要较大的刚度,体量相对也较大,不仅影响桥梁的整体景观,同时也增大了相应的工程造价。因此,速度锁定器作为一种新型的阻尼支座,使桥梁在地震、温度及制动力作用下自动锁定,此时速度锁定器相当于一个刚性连杆,使桥梁在正常情况下由1个固定支座转变为2个或更多固定支座,将水平力传递给其他桥墩,从而达到将水平纵向力有效地分散到多个桥墩的目的,使下部结构受力更为均匀,结构性能更为稳定,同时能有效降低固定桥墩的尺寸和相关配筋,降低工程造价。大跨度钢箱拱桥由于结构频率低,结构体系较柔,抗震问题更为突出。该文以某跨河钢箱网状拱桥为研究对象,探讨速度锁定器在大跨度钢箱拱桥中应用的可能。

1 工程概况

为明确速度锁定器的减震作用,以某跨河大跨度钢箱拱桥为研究对象,主桥为一跨 160 m 网状钢箱拱

桥,桥梁宽度为 25.4 m,主桥桥墩编号分别为 13#、14#,其中 13# 桥墩为活动支座,14# 桥墩为固定支座,13# 及 14# 号桥墩高度分别为 23.6、24 m。桥型布置图如图 1 所示,横断面图如图 2 所示。

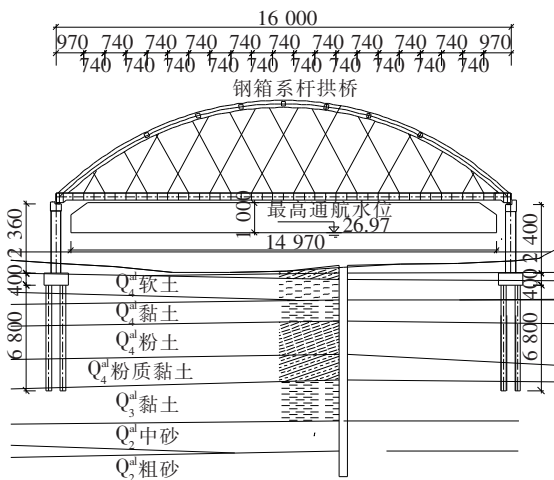


图1 某钢箱网状桥型布置图(单位:cm)

结构分析采用桥梁通用有限元软件 Midas Civil 进行模拟,荷载考虑结构自重、二期恒载、吊杆张力,并按实际位置对荷载进行施加;约束体系按桥梁实际支座位置进行设置,其中 13# 桥墩为活动支座,14# 桥墩为固定支座,速度锁定器设置在 13# 桥墩上。速度锁定器采用黏滞阻尼器模拟,下部结构考虑桩土相互

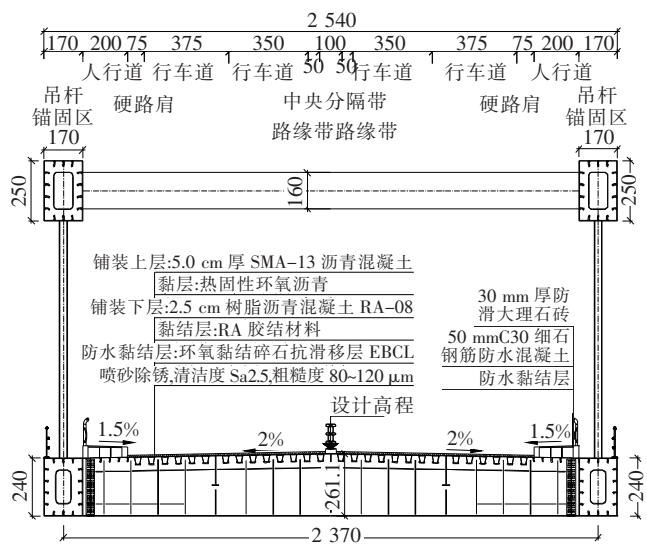


图2 桥梁标准横断面图(单位:cm)

作用,采用节点弹性连接进行模拟,土弹簧刚度系数参考 JTG D63—2007《公路桥涵地基和基础设计规范》的“m”法进行计算,具体设置步骤如下:① 根据桩长设置范围土层分布计算每层土的弹簧刚度系数;② 合理划分桩基单元,保证每层土的中间位置有相应的节点施加边界条件;③ 对应边界节点位置设置水平土弹簧。全桥共设置节点 1 854 个,单元 2 034 个。

2 地震波选取及动力特性分析

计算分析时根据 JTG/T B02—01—2008《公路桥梁抗震细则》5.1 条规定,公路桥梁可只考虑水平地震作用,直线桥可分别考虑顺桥向和横桥向地震作用,采用时程分析法时,地震波应考虑多维输入模型,并按照以顺桥向和横桥向为主。该次分析分别按 $a_x : a_y : a_z = 1 : 1 : 0.65$ 比例输入。考虑到实际桥梁未做地震安全评估报告,根据实际设计资料调查,桥梁设计基本地震加速度为 $0.05g$,桥梁抗震设防烈度为Ⅵ度,反应谱特征周期为 0.35 s ,场地类型为Ⅱ类场地,抗震设防类别为B类。根据上述参数设计的加速度反应谱,合成与其兼容的设计加速度时程进行计算,考虑到地震动的随机性,设计加速度时程不得少于3组,且应保证两组间同方向时程的相关系数绝对值小于0.1,3组人工合成设计加速度时程如图3所示。

考虑结构实际荷载质量分布,桥梁动力特性采用子空间迭代法进行分析,分析结果如表1所示。

由表1可知:桥梁自振频率相差不大,且振型分布相同,分析表明:速度锁定器的减震作用原理与一般减

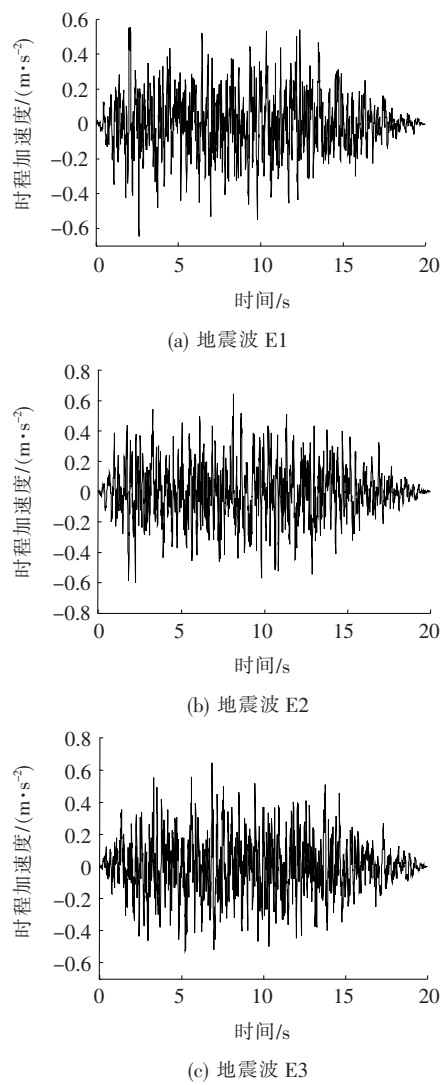


图3 设计地震波

表1 桥梁前10阶频率

模态	频率/Hz		振型描述
	无速度 锁定器	有速度 锁定器	
1	0.57	0.57	拱圈横向对称振动
2	0.58	0.71	主梁纵向振动
3	0.72	0.72	主梁横向对称振动
4	1.28	1.28	主梁竖向反对称振动
5	1.29	1.34	拱圈横向反对称振动
6	1.34	1.39	主梁竖向对称振动
7	1.39	1.62	主梁横向反对称振动
8	1.61	1.84	主梁竖向对称振动
9	1.86	2.04	主梁纵向振动
10	2.07	2.07	主墩横向振动

隔震原理不同,并非通过改变结构的自振周期达到减震目的。进一步分析表 1 中数据,结构纵向频率变化较大,具体原因为:速度锁定器作为一种与速度(加速度)相关的锁定装置,在桥梁正常使用状态下,桥梁纵向位移速度较小,此时速度锁定器不产生纵向锁定作用,活动支座能够提供相应的位移,当特殊情况下桥梁运动速度大于速度锁定器设计值时,此时速度锁定器立即锁定,原来设置的活动支座也由于速度锁定器的锁定变为固定支座,使得结构在正常情况下由一个固定墩变为多个固定墩,将地震力分散到多个桥墩上,也正是由于速度锁定器的锁定原因,纵向刚度增大,导致纵向振动频率变化较明显。如前所述,速度锁定器通过影响结构内力重新分布的方式来达到抗震目的。

3 速度锁定器设计与减震分析

为验证速度锁定器通过影响结构内力重新分布的方式来达到抗震目的,计算分析采用黏滞阻尼器模型,合理的阻尼器参数是正确分析的关键,分析时采用较

为接近速度锁定器的黏滞阻尼器 MAXWELL 模型,模型本构关系式如下:

$$f=C_d \cdot \text{sign}(\dot{d}_d) \cdot \left|\frac{\dot{d}_d}{v_0}\right|^S=k_b d_b \tag{1}$$

经反复试算,式中消能器阻尼 $C_d=600\text{ kN}\cdot\text{s/m}$,速度 $v_0=1\text{ m/s}$,阻尼指数 $S=2$,弹簧连接刚度 $k_b=50\,000\text{ kN/m}$, d_d 为黏滞阻尼器消能器变形, d_b 为连接构件变形。

经有限元软件计算,得到桥梁在未设置及设置速度锁定器时不同位置的内力响应如表 2 所示。

根据计算结果进一步分析可知,速度锁定器能有效改变桥墩的内力分布,尤其是桥墩顺桥向剪力与顺桥向弯矩,与未安装锁定器对比可知,安装锁定器之后桥墩底部剪力最大值降低幅度为 7.62%~12.69%,桥墩底部弯矩最大值降低幅度为 0.39%~9.47%,由此说明设置速度锁定器能改善桥墩的受力作用,使桥墩底部剪力更为均匀,而对于桥墩轴力及横桥向受力则影响较小。速度锁定器出力时程最大值及最小值如表 3 所示。

表 2 3 条地震波作用下未安装与安装速度锁定器桥墩内力包络对比

墩号	位置	未安装锁定器					安装锁定器				
		轴力/ kN	顺桥向剪 力/kN	横桥向剪 力/kN	顺桥向 弯矩/ (kN·m)	横桥向 弯矩/ (kN·m)	轴力/ kN	顺桥向剪 力/kN	横桥向剪 力/kN	顺桥向 弯矩/ (kN·m)	横桥向 弯矩/ (kN·m)
13 [#]	左	19 952.89	617.43	1 291.01	12 000.65	11 612.52	19 914.07	553.40	1 290.07	10 863.75	11 600.17
	中	10 657.49	638.11	675.69	12 325.78	6 424.22	10 656.98	579.68	675.14	11 550.16	6 416.66
	右	19 793.89	658.67	1 198.64	13 014.77	11 187.91	19 784.49	608.50	1 198.21	12 282.00	11 158.62
14 [#]	左	20 119.35	474.13	1 288.43	8 067.83	11 802.74	20 032.45	432.16	1 289.58	7 497.08	11 800.55
	中	10 787.97	491.68	683.11	8 346.12	6 617.74	10 787.47	431.51	678.57	8 313.89	6 573.65
	右	19 887.26	474.13	1 209.41	8 067.83	11 556.98	19 943.17	413.97	1 198.74	7 973.14	11 466.76

表 3 速度锁定器最大及最小出力值 kN

极值	地震波		
	E1	E2	E3
最大值	384.1	379.1	502.0
最小值	-435.9	-363.6	-445.6

由表 3 可知:锁定器在地震时程荷载作用下,出力值最大值为 502.0 kN,最小值为 -445.6 kN,故该桥每个活动支座安装 2 套 300 kN 速度锁定器即可满足要求。

4 结论

以某大跨度钢箱拱桥为研究对象,通过有无设置速度锁定器,对比分析速度锁定器的减震性能,研究结论如下:

(1) 桥梁在不设置速度锁定器与设置速度锁定器两种工况下,桥梁自振频率相差不大,桥型振型分布相同,对比分析表明,速度锁定器的减震作用原理与一般减隔震原理不同,并非通过改变结构的自振周期达到减隔震的目的。

帕德玛大桥引桥粉细砂地层钻孔桩化学浆护壁成孔及桩端桩侧压浆技术

潘军^{1,2}

(1. 中铁大桥局集团有限公司, 湖北 武汉 430050; 2. 桥梁结构健康及安全国家重点实验室)

摘要:孟加拉国帕德玛大桥 Mawa 侧引桥基础为桩径 $\phi 1.2$ m 的钻孔桩, 桥址区域是典型的粉细砂地质, 且在 -27 mPWD(绝对高程, 下同)以上的区域存在地震液化带。初期荷载试桩显示: 采用传统的膨润土泥浆护壁成孔工艺, 桩的承载力无法满足设计要求。经过研究, 开发出一套采用化学泥浆护壁成孔, 并在成桩后对桩端、桩侧进行压浆的施工技术。采用该技术成孔的桩基, 经荷载试验验证, 承载力得到显著提高, 能够满足设计要求。

关键词:粉细砂地质; 地震液化带; 钻孔桩; 化学浆护壁; 桩端压浆; 桩侧压浆

1 前言

孟加拉国帕德玛大桥位于首都达卡偏西南约 40 km 处, 横跨帕德玛河(恒河), 距印度洋入海口直线距离约 150 km, 是连接 Mawa 与 Janjira 的主要交通要道。大桥 Mawa 侧引桥基础为 $\phi 1.2$ m, 长 51~84 m

的钻孔桩, 桩顶标高为: -0.1~+4.85 m, 桩底标高为 -51.0~-84.0 m。单桩最大最不利荷载组合约 19 MN。桥址区域是典型的粉细砂地质(地质勘探显示桩周极限摩阻力为 31~65 kPa 不等), 且在 -27 m 以上的区域存在地震液化带。这种地质条件下, 如果采用传统的膨润土泥浆护壁成孔工艺进行钻孔桩施工, 会因桩周存在泥皮、桩周地层受泥浆浸泡软化、桩

(2) 通过对桥墩顺桥向剪力与顺桥向弯矩, 与未安装锁定器对比分析可知设置速度锁定器能改善桥墩的受力作用, 使桥墩底部剪力更为均匀, 而对于桥墩轴力及横桥向受力则影响较小。

(3) 速度锁定器能有效改变结构的内力分布, 使活动桥墩与固定桥墩共同承受纵向力作用, 有效地改善桥墩截面内力, 从而适当减小固定桥墩的外观尺寸及配筋。

(4) 速度锁定器在结构发生纵向移动时, 能够有效地改变结构内力分布, 减震效果良好, 在有抗震要求地区可适当推广。

(5) 以文中背景桥为例, 速度锁定器在地震时程荷载作用下, 出力值最大值为 502.0 kN, 最小值为 -445.6 kN, 该桥每个活动支座安装 2 套 300 kN 速度锁定器即可达到预期效果, 满足工程需求。

- [1] 余小华, 窦胜潭. 速度锁定器在桥梁抗震中的有限元模拟[J]. 铁道标准设计, 2015(2).
- [2] 郑小龙, 樊启武, 金怡新, 等. 速度锁定支座的设计与减震性能分析[J]. 铁道工程学报, 2015(10).
- [3] 段平, 葛绪祯. 曲线连续梁桥抗震支座减震效果图分析[J]. 中外公路, 2017(4).
- [4] 王从远, 宋广君. 某近海刚构桥服役期抗震性能分析[J]. 中外公路, 2017(1).
- [5] Symans M D, Charney F A, Whittaker A S, et al. Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments[J]. Journal of Structural Engineering, 2008, 134(1): 3-21.
- [6] 王志诚. 棋盘洲长江公路大桥主桥约束体系研究[J]. 中外公路, 2018(1).
- [7] 黄民水, 王琛, 卢海林. 独塔混合梁斜拉桥阻尼器参数敏感性分析[J]. 桥梁建设, 2018(3).
- [8] 王波, 马长飞, 刘鹏飞, 等. 基于随机地震响应的斜拉桥粘滞阻尼器参数优化[J]. 桥梁建设, 2016(3).

参考文献:

收稿日期: 2020-03-29(修改稿)

作者简介: 潘军, 男, 硕士, 教授级高工, E-mail: 847691315@qq.com