

ε 型钢阻尼减震支座在连续箱梁桥中的 减隔震应用效果分析

唐志¹, 刘军², 徐向东¹, 张小锋²

(1.贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550081; 2.株洲时代新材料科技股份有限公司)

摘要:以陕西省某(20+33+20) m 连续梁桥为工程背景建立有限元模型,分别对采用普通橡胶支座及ε型钢阻尼减震支座方案的桥梁内力、位移响应进行了计算和分析,计算结果表明:ε型钢阻尼减震支座的滞回曲线饱满,具有良好耗能减震作用,采用ε型钢阻尼减震支座可有效地减小桥梁各墩柱地震力,同时桥梁梁端位移也大大减小。

关键词:ε型钢阻尼减震支座; 连续箱梁桥; 减震性能; 有限元分析

1 引言

在山区公路中,由于地形复杂、地势高差明显,高墩大跨连续梁桥多,除了为数不多的斜拉桥应用隔震支座起到支承和耗能的作用外,减隔震支座在连续箱梁桥中应用较多。根据连续梁桥地震变形主要集中在支座位置的结构特性,且支座起到了“承上启下”的作用,选用合理的减隔震支座是确保桥梁减隔震效果的关键。连续梁桥通常采用的减隔震装置有铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座、速度锁定支座、弹塑性钢阻尼支座等。弹塑性钢阻尼支座不但具有阻尼特性稳定、阻尼比受温度影响小,阻尼比高等特性,还具有形状设计自由、加工容易、可靠性好等优点,在桥梁减震设计中得到推广应用。目前,E型和C型钢阻尼减震支座是桥梁减隔震设计中应用较多的弹塑性钢阻尼支座。但是,现行的E型或C型钢阻尼支座在安装尺寸方面偏大,在阻尼耗能方面要求高,支座材料增加,而且使得桥墩盖梁及梁底的尺寸做得很大,建筑耗材量大,相应的桥梁建设成本也变大,经济性较差。

为了解决上述问题,在E型钢阻尼支座基础上进行优化及改进,开发了一种新型ε型钢阻尼减震支座(图1),主要是对钢阻尼减震支座的阻尼元件进行了改进,将原来的C型或E型钢阻尼元件替换成ε型钢阻尼元件,使支座尺寸仅有原E型钢阻尼支座的85%

左右。改进后的支座不仅具有普通E型钢阻尼支座的优点,如滞回曲线饱满,地震时耗能大,还具有疲劳寿命长、安装尺寸小、支座重量轻等特点。目前,ε型钢弹塑性钢阻尼减震支座在中国部分公路连续箱梁桥中已经进行了示范应用。为了研究ε型钢阻尼减震支座在连续梁桥中的减震性能和应用效果,该文以某(20+33+20) m 连续梁桥为背景建立有限元模型进行分析。

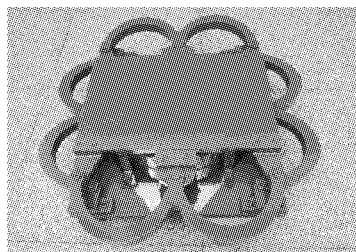


图1 ε型钢阻尼减震支座示意图

2 ε型钢阻尼减震支座力学模型

ε型钢阻尼减震支座由球形支座(或盆式支座)和ε型钢构成,其力学模型为支座的摩擦和ε型钢耗能的组合。ε型钢阻尼元件的力学分析模型可以进行简化,具体如图2所示,两边为铰支约束、中央可以进行水平运动的曲梁模型。“ε”型钢阻尼元件在水平力F作用下,通过对型钢截面受力进行分析,可知半弧形中

收稿日期:2018-08-21

基金项目:交通运输部企业创新项目(编号:1502015315802)

作者简介:唐志,男,硕士,高级工程师.E-mail:105301248@qq.com

心处的弯矩最大,为使整个钢阻尼元件受力均匀,此处截面尺寸应设计为最大。

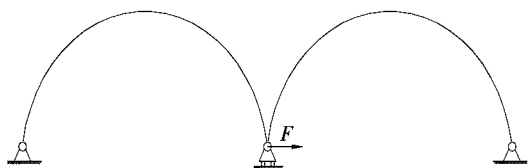


图 2 ϵ 型钢力学模型

ϵ 型钢阻尼元件为双线性力学模型参数:

$$\begin{cases} F_{\epsilon} = K_1 x & x \leq d_y \\ F_{\epsilon} = F_y + K_2 (x - d_y) & x > d_y \end{cases} \quad (1)$$

式中: F_{ϵ} 为 ϵ 型钢受到的水平力; K_1 为 ϵ 型钢的弹性刚度; F_y 为 ϵ 型钢的屈服力; x 为 ϵ 型钢发生的水平位移; d_y 为 ϵ 型钢的屈服位移; K_2 为 ϵ 型钢的屈后刚度。

球形支座(或盆式支座)的摩擦力学模型参数:

$$\begin{cases} F_z = K_s x & x \leq d_s \\ F_z = F_s & x > d_s \end{cases} \quad (2)$$

式中: F_z 为支座受到的水平力; K_s 为球形支座(或盆式支座)的刚度; F_s 为球形支座(或盆式支座)静摩擦极限强度; x 为支座发生的水平位移; d_s 为支座的静摩擦屈服位移。

ϵ 型钢阻尼减震支座的力学模型应综合考虑 ϵ 型钢的恢复力力学模型,由 ϵ 型钢的滞回耗能及支座的摩擦耗能组成。因此, ϵ 型钢阻尼减震支座的力一位移关系如图 3 所示。

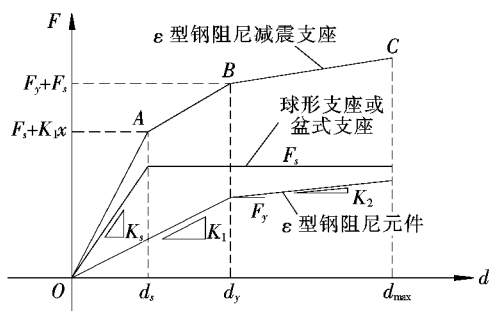


图 3 ϵ 型钢阻尼减震支座的 $F-d$ 关系图

由此可见,通过对 ϵ 型钢阻尼元件的弹性刚度(即初始刚度)及屈服力等参数进行合理设计,可以满足桥梁在不同水平地震作用下的减隔震需求。在设计地震作用下, ϵ 型钢阻尼元件处于弹性阶段,其刚度相对于非隔震支座较低,可延长桥梁自振周期,可起到隔震效果。在偶然地震作用下,通过 ϵ 型钢阻尼元件滞回耗能,发挥支座的减震效果。

3 计算模型

3.1 桥梁基本建模情况

陕西省某三跨连续梁上部结构采用跨度为(20+33+20) m 双箱双室现浇混凝土箱梁,桥宽 12.0 m,下部结构采用双柱式桥墩,1#~4# 墩柱高 32 m,5#~8# 墩柱高 18 m,桥墩直径 1.5 m,桩径 1.6 m。地震抗震设防烈度为 8 度,设计基本地震加速度值为 0.2g,设计地震分组为第一组,地震动反应谱特征周期为 0.45 s,场地类型为 II 类。桥梁有限元模型如图 4 所示,墩底按固结考虑,板式支座采用弹性连接模拟, ϵ 型钢阻尼减震支座采用 Midas/Civil 中的非线性特性值滞后系统模拟,横隔板荷载和二期恒载作为梁单元附加质量。根据抗震设计规范规定选择输入地震加速度时程曲线,设计加速度时程不得少于 3 组,计算结果取最大值。由于桥梁长度较小,采用一致性地震激励输入,计算采用 Midas/Civil 中的 3 条地震波: El Centro 南北波、Taft 东西波及 Taft 南北波。

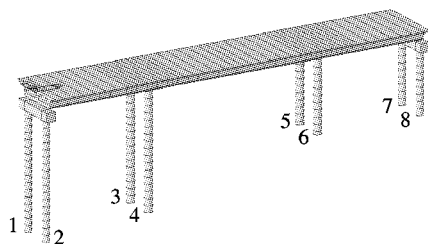


图 4 桥梁有限元模型

3.2 支座布置方案

为了对比分析,有限元模型分别采用以下两种支座方案:板式橡胶支座(方案 1)、 ϵ 型钢阻尼减震支座(方案 2)。支座布置方案和计算参数如下,由于减隔震设计需要综合考虑地震安全性、经济性和桥梁结构的构造要求等内容后不断调整方案和减隔震装置参数,这里仅给出最终确定的一组减震支座的计算参数。其中:

方案 1:选用 GYZ-600 板式橡胶支座,竖向设计承载力 273.4 t;四氟滑板式支座选用 GYZF4-400 支座,竖向设计承载力 119.5 t,支座布置情况见图 5。

方案 2:选用固定型 TJGZ-6000-300/300-GD-ei150/150 和活动型 TJGZ-6000-300/300-ZX-ei150/150,竖向设计承载力均为 600 t。固定型 ϵ 型钢阻尼器选用初始刚度为 25 000 kN/m,屈服力 200 kN,活动型 ϵ 型钢阻尼器选用初始刚度为 16 667 kN/m,屈

服力为 100 kN;边支座选用多向型活动盆式支座 JPZ-2.5-SX-I,竖向设计承载力 250 t,滑动摩擦系数为 0.01,支座布置情况见图 6。

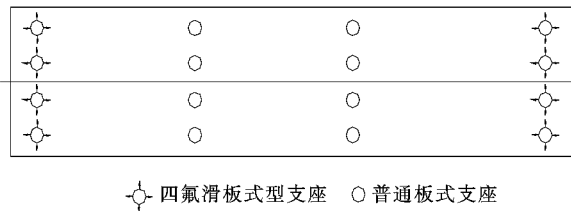


图 5 方案 1 支座布置示意图

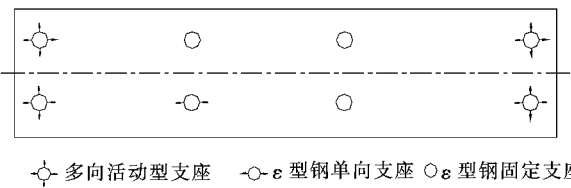


图 6 方案 2 支座布置示意图

4 计算结果分析

根据规范抗震设防目标,E2 地震作用下桥梁的动力时程响应包络值为支座及减隔震装置设计的重要依据,为了对比分析钢阻尼减震支座的减震性能和应用效果,限于篇幅,这里仅列出 E2 地震作用下桥梁结构进行地震动力时程分析结果。

4.1 桥墩受力性能分析

通过计算,得到桥梁结构位移和内力响应,限于篇幅,仅列出方案 1 中 3#、4# 中墩墩底顺桥向和横桥向弯矩时程图(图 7、8)。

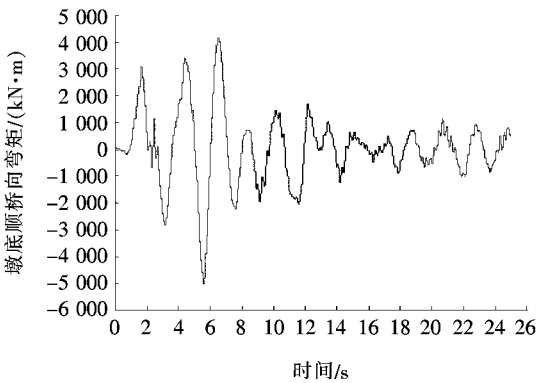


图 7 3#、4# 墩柱墩底顺桥向弯矩时程曲线

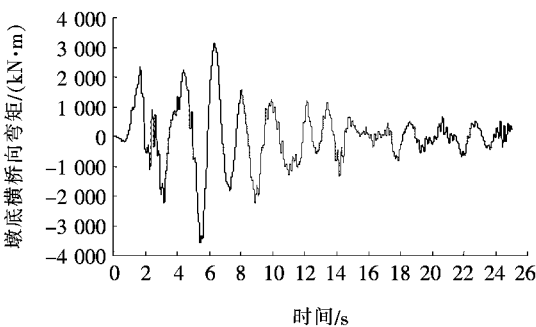


图 8 3#、4# 墩柱墩底横桥向弯矩时程曲线

由图 7、8 可知:桥梁墩柱弯矩响应随着地震加速度的衰减逐渐减小。

对方案 1 桥梁结构所有桥墩顺桥向及横桥向墩底内力的计算结果进行统计,所得计算结果均是地震荷载和恒载作用下的包络值,E2 地震作用下桥梁墩底内力最大包络值如表 1 所示。根据计算结果,桥梁梁端位移顺桥向为 153 mm。

表 1 方案 1 桥梁墩柱墩底最大内力响应

墩号	顺桥向墩底内力			横桥向墩底内力		
	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/(kN·m)
1# 墩	-2 349.97	209.33	3 083.85	-3 141.01	339.84	2 693.52
2# 墩	-2 351.43	206.49	3 101.37	-3 034.66	336.10	2 671.53
3# 墩	-4 513.16	387.40	5 346.47	-5 582.92	462.58	3 844.43
4# 墩	-4 512.37	387.40	5 346.43	-5 164.04	464.31	3 854.58
5# 墩	-4 240.01	277.41	2 819.94	-4 861.05	364.46	1 863.72
6# 墩	-4 239.61	277.40	2 819.95	-4 750.08	368.69	1 879.14
7# 墩	-2 076.58	281.12	2 612.52	-2 546.95	303.29	1 362.36
8# 墩	-2 076.78	281.09	2 612.39	-2 527.74	292.40	1 327.91

对桥梁结构所有桥墩顺桥向及横桥向墩底内力的计算结果进行统计,E2 地震作用下桥梁墩底内力最

大包络值如表 2 所示。根据计算结果,桥梁梁端位移顺桥向为 67.9 mm。

表 2 方案 2 桥梁墩柱墩底最大内力响应

墩号	顺桥向墩底内力			横桥向墩底内力		
	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/(kN·m)
1#墩	-2 347.73	112.51	1 611.38	-3 048.64	341.33	2 706.02
2#墩	-2 347.73	112.51	1 611.38	-2 938.34	337.59	2 684.07
3#墩	-4 243.88	189.96	2 611.88	-4 643.78	348.01	2 573.19
4#墩	-4 243.88	189.96	2 611.88	-4 605.38	348.01	2 573.19
5#墩	-3 968.20	285.60	2 829.88	-4 506.04	300.12	1 494.61
6#墩	-3 968.20	285.60	2 829.88	-4 468.76	300.12	1 494.61
7#墩	-2 069.19	145.95	1 294.65	-2 364.38	191.37	874.12
8#墩	-2 069.19	145.95	1 294.65	-2 294.69	180.50	839.80

由表 1、2 可知:在地震作用下,桥墩内力与结构体系的刚度和支座约束类型密切相关,桥梁采用 ϵ 型钢阻尼减震支座后,使地震作用下桥梁各墩柱内力重新分布,不但从整体上减小了桥梁各墩柱内力,而且桥墩受力更均匀。同时,采用减震支座后还大大减小了地震作用下桥梁梁端位移。

4.2 ϵ 型钢阻尼减震支座的剪力-变形曲线分析

通过对方案 2 桥梁 E2 地震作用下地震动力时程分析,可得到墩底顺桥向和横桥向支座的剪力-变形曲线,3#、4#墩柱 ϵ 型钢阻尼减震支座的剪力-变形曲线如图 9、10 所示。

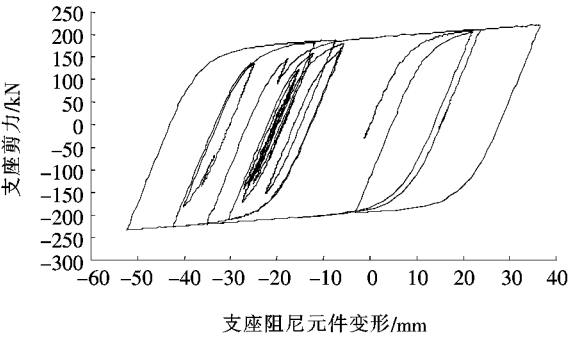


图 9 3#、4#墩柱顺桥向 ϵ 型钢支座剪力-变形曲线

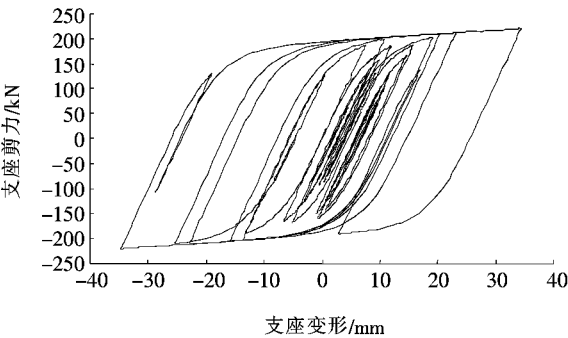


图 10 3#、4#墩柱横桥向 ϵ 型钢支座剪力-变形曲线

由图 9、10 可知: ϵ 型钢阻尼支座的剪力-变形曲线(滞回曲线)饱满,呈纺锤形(梭形),性能稳定,说明 ϵ 型钢阻尼支座具有良好的滞回耗能性能。同时,这也与 ϵ 型钢阻尼支座的阻尼元件性能试验测试结果一致。

4.3 支座隔震率分析

通常情况下对减隔震支座的减隔震效果进行分析,可以通过计算减隔震支座的隔震率参数来反映,隔震率是将采用普通支座与减隔震支座结构的响应差值与采用普通支座的结构响应的比值来表示。一般说来,隔震率计算值越大,则减隔震效果越好,反之越差。 ϵ 型钢阻尼支座隔震率见图 11。

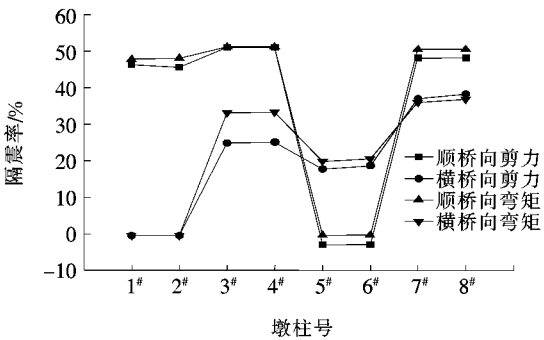


图 11 ϵ 型钢阻尼支座隔震率

由图 11 可知:采用 ϵ 型钢阻尼减震支座可以大幅减小地震作用下桥墩的内力,且对剪力和弯矩的隔震率基本相当。可见,就顺桥向剪力和弯矩来说,除固定墩 5#、6#墩柱外其他墩柱的隔震率接近 50%,对横桥向剪力和弯矩来说,除 1#、2#墩外隔震率为 20%~40%。由此可见,对该桥来说,采用 ϵ 型钢阻尼支座减小了桥梁墩柱的内力,对纵向相对较高桥墩尤为明显,体现了其良好的耗散地震能量性能,对桥梁减震作用明显。

中国连续刚构桥的调查与分析

王会利¹, 谢常领¹, 秦泗凤², 涂可瑜¹

(1.大连理工大学 桥梁工程研究所, 辽宁 大连 116023; 2.大连大学 材料破坏力学数值试验研究中心)

摘要: 该文统计了1988—2016年间中国建成的连续刚构桥,共收集到349座。从总体上分析了其区域分布状况、建设趋势和跨径范围。以公路桥和铁路桥为主,分别分析了墩顶主梁高度和跨中主梁高度与跨径的关系,还统计了主梁、主墩等构造参数以及设计时速和混凝土标号等方面的设计指标。

关键词: 连续刚构桥; 跨高比; 构造参数

1 概述

连续刚构桥采用墩梁固结的形式,不设支座,节省了支座制造、养护和更换的费用;由于墩梁共同参与工作,与相同跨径的连续梁桥相比,跨中弯矩减小,可以进一步减小跨中梁高,减轻主梁自重;成桥状态和施工过程中受力一致无需体系转换,适合采用悬臂施工法,适用于跨越高山峡谷、深水河流;连续刚构桥结构整体性能好、抗震能力强、抗扭潜力大,桥体具有简洁明快等特点。但是,其对温度变化、混凝土收缩、徐变等比较敏感,桥墩需要考虑采用一定的防撞措施。

中国于1988年建成第一座大跨度连续刚构桥——广东洛溪大桥,近30年来,连续刚构桥在中国发展迅速。据统计,全球跨径排名前10的连续刚构桥中有5座在中国,分别是石板坡复线桥(330 m)、北盘江大桥(290 m)、虎门大桥辅航道桥(270 m)、苏通大桥辅桥(268 m)和沅江红河大桥(265 m),其中位于重庆的石板坡复线桥,主跨330 m,在同类桥梁中主跨排名第一。位于贵州省的赫章特大桥,主墩高达195 m,在同类型的桥中墩高排名亚洲第一;湖北腊八斤特大桥、龙潭河大桥主墩也分别达到了182.64、178 m。中国在连续刚构桥的设计和施工中积累了丰富的经验,具有很高的技术水平。

5 结论

通过对连续箱梁桥采用普通橡胶支座和 ϵ 型钢阻尼减震支座两种方案在地震作用下的受力性能分析,得出以下结论:

(1) 采用 ϵ 型钢阻尼减震支座方案使地震作用下桥梁各墩柱内力重新分布,减小了桥梁各墩柱内力,同时大大减小了桥梁梁端位移。

(2) ϵ 型钢阻尼减震支座的滞回曲线饱满,呈纺锤形(梭形),说明 ϵ 型钢阻尼支座具有良好的滞回耗能性能。

(3) 采用 ϵ 型钢阻尼减震支座可明显减小桥梁墩柱的内力,顺桥向隔震率接近50%,横桥向隔震率为20%~40%,说明在连续箱梁桥中采用 ϵ 型钢阻尼减

震支座的减震效果明显。

参考文献:

- [1] 陈列,胡京涛.桥梁减隔震技术[M].北京:中国铁道出版社,2014.
- [2] 刘军,宁响亮,李文斌,等.弹塑性钢阻尼元件在桥梁减震中的应用[J].铁道建筑,2012(2).
- [3] 李世珩,陈彦北,胡宇新,等.E型钢阻尼器及其在桥梁工程中的应用[J].铁道建筑,2012(1).
- [4] 郭磊,李建中,范立础.大跨度连续梁桥减隔震设计研究[J].土木工程学报,2006,39(3).
- [5] JTG/T B02-01-2008 公路桥梁抗震设计细则[S].
- [6] 刘军,律伟,张小锋,等. ϵ 型钢阻尼器滞回疲劳性能分析及试验[J].铁道建筑,2016(9).
- [7] JT/T 843-2012 公路桥梁弹塑性钢减震支座[S].

收稿日期:2018-06-16

作者简介:王会利,男,博士,副教授.E-mail:wanghuili@dlut.edu.cn