

多种减隔震装置共同作用的斜拉桥抗震分析

王 军¹, 王 萍², 王泽银¹

(1.西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068; 2.内蒙古阿拉善盟公路运输维护中心, 内蒙古 阿拉善盟 750306)

摘 要: 宝鸡市陈仓渭河特大桥是一座位于高烈度地区的混凝土斜拉桥,通过考虑斜拉桥受力特点,采用摩擦摆球型支座加黏滞阻尼器减隔震方案,考虑桩土作用,合理构建空间有限元模型,进行了斜拉桥的抗震分析与设计。抗震分析表明,该体系减震效果显著,能够有效减小桥梁纵横向位移,改善结构受力。

关键词: 斜拉桥;黏滞阻尼器;减隔震设计

中图分类号: U442.5+5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)10-0095-04

0 引 言

对于斜拉桥等位于高烈度地区的重要桥梁,采用传统的抗震理念有时很难满足规范抗震计算要求。因此,在设计过程中通常采用在塔与梁之间增设阻尼约束装置,形成塔、梁阻尼约束体系,以有效降低地震位移反应。近年来,黏滞流体阻尼器广泛用于桥梁抗震设计中,能起到较好的耗能和减震的作用^[1]。其主要原理是以黏滞流体为阻尼介质,用于吸收、耗散外部输入装置,属于速度相关的被动型阻尼器^[2]。

1 工程概况

宝鸡市陈仓渭河特大桥位于宝鸡市陈仓区,南起现状高新大道,往北上跨滨河南、北路、渭河,然后向北下穿西宝高速,接现状陈仓中路。桥梁全长 1 007.5 m,其中主桥总长 300 m。主桥为双塔双索面预应力混凝土斜拉桥,跨径布置为 74 m+152 m+74 m,采用半漂浮体系,主梁采用“Π”型主梁断面,如图 1、图 2 所示。

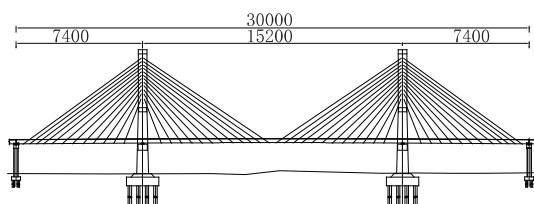


图 1 主桥总体布置图(单位:cm)

收稿日期: 2021-02-05

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51308055)

作者简介: 王军(1980—),男,博士,高级工程师,研究方向为大跨度桥梁设计及计算分析。

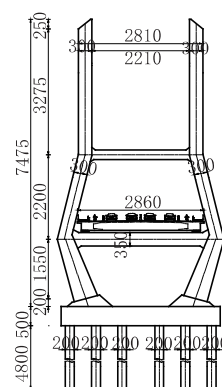


图 2 主塔断面图(单位:cm)

1.1 地质水文条件

桥址区在区域上属渭河河谷区,微地貌单元属渭河河漫滩区,河谷开阔平坦。自上而下主要地层分布为素填土、粉质黏土、中粗砂、卵石、粉质黏土、砾砂。地下水类型为潜水,受大气降水和渭河上游河流地下水补给,排泄方式为蒸发和向河流下游渗流。

1.2 主梁形式与断面布置

主梁采用边主梁(Π型)截面,梁高 2.3 m。边梁之间设横隔板,并与其形成纵横相连的梁格体系。斜拉索在边梁中心锚固于梁底。主梁宽 30.6 m,主塔位置处主梁宽 28.6 m,边主梁宽 2 m,主塔处渐变宽为 2.8 m、端横梁处渐变宽为 2.2 m。为改善主梁受力,方便设置纵向预应力,边主梁在底缘内侧设置悬臂。主梁断面布置如图 3 所示。

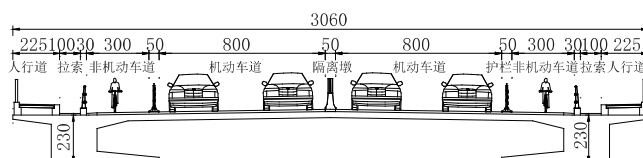


图 3 主梁横断面图(单位:cm)

2 斜拉桥抗震设计

2.1 黏滞阻尼器

在主梁和墩台之间的纵桥方向布置 4 个黏滞阻尼器,横桥方向布置 4 个黏滞阻尼器。布置位置如图 4 所示,参数见表 1。

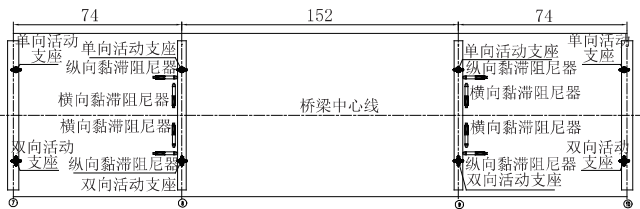


图 4 阻尼器平面布置图(单位:m)

表 1 阻尼器参数

阻尼器 设置位置	阻尼力 /kN	阻尼系数 /kN·(s·mm ⁻¹)	阻尼指数 χ	设计行程 /mm	数量 /套
纵桥向 阻尼器	2 000	70	0.5	± 300	4
横桥向 阻尼器	3 000	130	0.5	± 300	4

2.2 隔振支座

根据摩擦摆球型支座力学特性,在 Midas Civil 软件中采用了滞后系统单元进行模拟,采用如图 5 所示的双折线弹塑性弹簧单元进行模拟。图 6 中, K_1 为屈服前水平刚度; K_2 为屈服后水平刚度; Q_y 为屈服力。对于组合式高效阻尼器,采用的是黏滞流体阻尼器,在软件中采用 Maxwell 模型模拟。

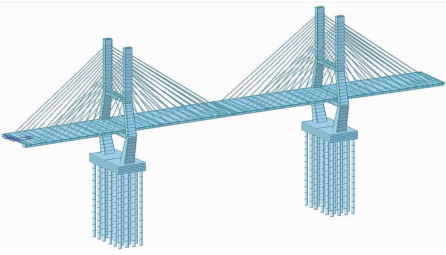


图 5 斜拉桥动力分析模型

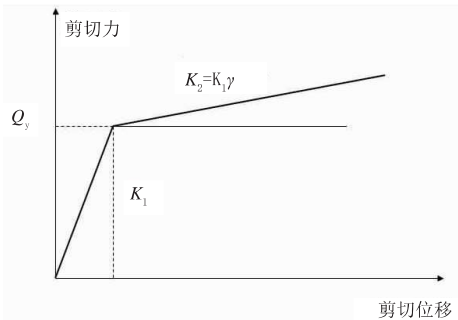


图 6 隔震支座双折线弹簧单元复力模型

3 有限元模型与动力特性分析

3.1 动力分析模型

根据桥梁结构的总体构造布置,采用大型有限

元软件 Midas Civil 2019 建立了结构动力特性和地震响应分析的三维有限元模型。将主梁、主塔、桥墩和桩模拟为考虑了剪切变形的三维弹性梁单元;将土层分层离散为文克尔弹簧,采用分层文克尔土弹簧模拟桩基础受到的土体影响,弹簧刚度依据“m 法”取值。

桥址处设计基本地震动峰值加速度为 0.20g,抗震设防烈度为 8 度。场地类别为 II 类。考虑到隔震支座的非线性对结构地震反应的影响,采用非线性时程分析的方法对结构的地震响应进行有限元动力分析。选取 50 a 超越概率为 2% 的地震时程作为 E2 地震时程。时程波图形如图 7 所示。

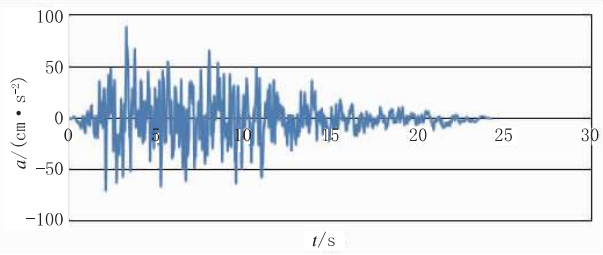


图 7 地震波时程曲线

3.2 动力特性分析

结构采用摩擦摆球型支座,设计在 E1 地震作用下支座限位装置没断开前起限位作用,结构为抗震体系,自振特性见表 2。但在 E2 地震作用下设定支座限位装置断开,释放二次位移,结构成为减隔震体系,特征分析结果见表 3。

表 2 振动频率和振动周期

振型阶次	频率/Hz	周期/s	振型描述
1	0.159 089	6.285 787	一阶横弯
2	0.193 640	5.164 234	二阶横弯
3	0.298 289	3.352 452	一阶纵飘
4	0.582 205	1.717 608	一阶竖弯
5	0.900 390	1.110 630	二阶纵飘
6	0.960 585	1.041 033	三阶横弯
7	0.960 896	1.040 695	四阶横弯
8	1.205 802	0.829 324	五阶横弯

表 3 E2 地震作用下结构弹性验算

构建	方向	阻尼器出力 /kN	弯矩设计值 /(kN·m)	弯矩能力值 /(kN·m)	安全 系数	弹性 状态
主塔	顺桥向	2 411	59 244	623 547	10.5	✓
墩身	横桥向	4 100	248 575	520 312	2.1	✓
主塔	顺桥向	—	5 262	13 554	2.6	✓
桩基	横桥向	—	6 219	13 554	2.2	✓

结构 E2 减隔震体系(限位装置断开)自振特性如图 8 至图 13 所示。

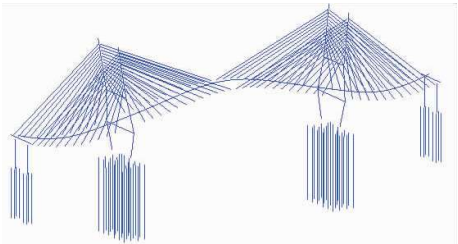


图 8 第一阶振型

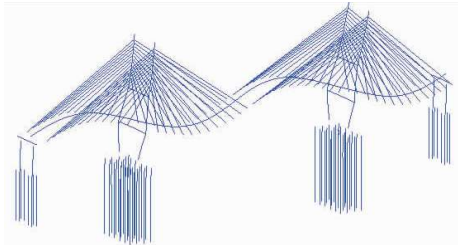


图 9 第二阶振型

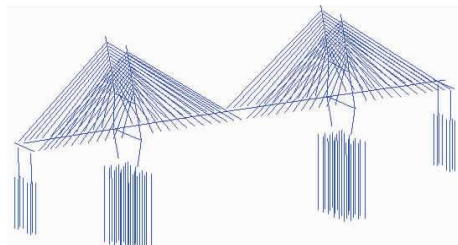


图 10 第三阶振型

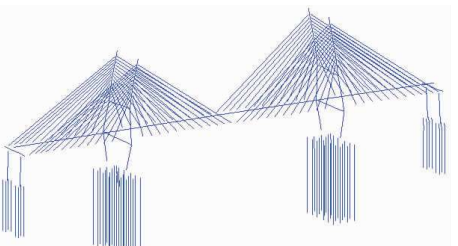


图 11 第四阶振型

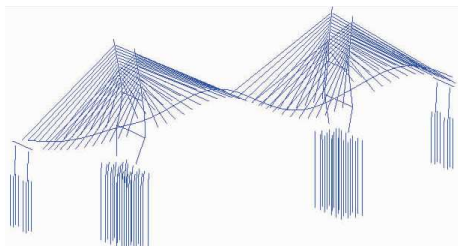


图 12 第五阶振型

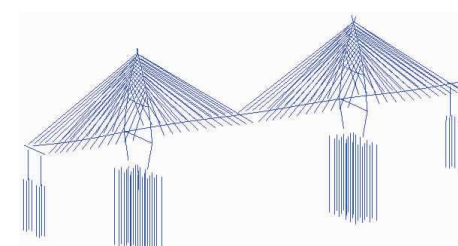


图 13 第六阶振型

4 抗震分析

4.1 主塔墩身与桩基验算

钢筋混凝土桥塔塔身与桩基在地震作用下的抗

弯强度验算,应首先将其截面划分为纤维单元。深色区域和浅色区域分别为约束核心混凝土纤维区域和非约束混凝土区域,如图 14、图 15 所示。采用实际的钢筋和混凝土应力 - 应变关系分别模拟钢筋和混凝土单元。其次,采用数值积分法逐级加变形进行截面弯矩 - 曲率分析 (考虑相应轴力), 得到截面 $M-\varphi$ (弯矩 - 曲率) 曲线,计算简图如图 16 所示。限于篇幅,本文仅列出主要构件的时程分析结果。

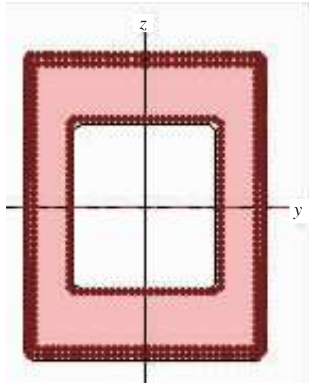


图 14 主塔墩身截面

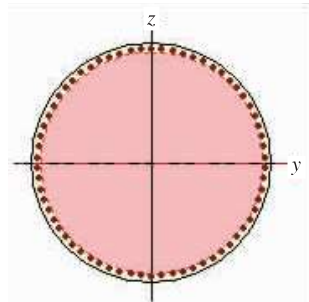


图 15 主塔 2 m 桩基截面

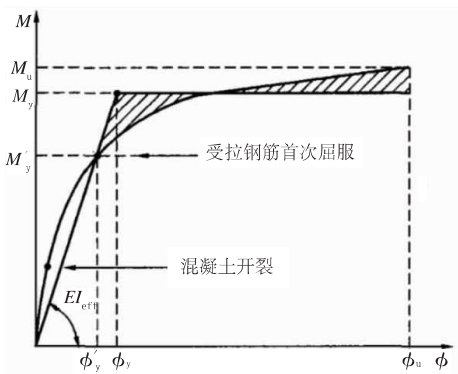


图 16 等效屈服曲率

在 E2 地震工况下,支座限位装置断开起到了隔震和减震的作用,结构抗震性能进行验算见表 3。从表 3 中数据可知,各墩墩底、桩顶截面均处在完全弹性阶段。液体黏滞阻尼器通过活塞与容器间的相对运动提供阻尼力,达到减震的目的。其对地震引起的结构变形却能迅速耗能,而且能减少结构加速度和位移^[3-5]。图 17、图 18 反映出阻尼器滞回曲线饱满,耗能效果较好。

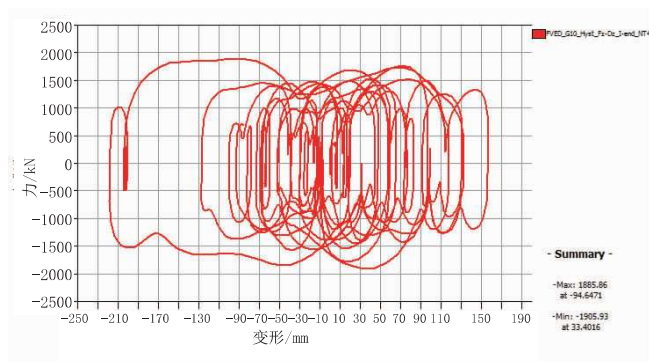


图 17 顺桥向阻尼器滞回曲线

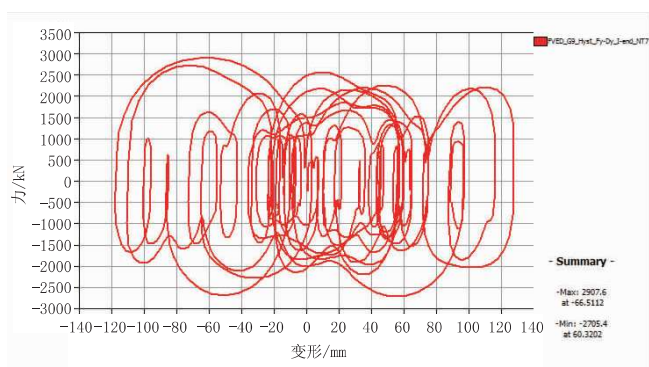


图 18 横桥向阻尼器滞回曲线

4.2 支座验算

支座的水平抗剪力设计值按竖向承载力的 10% 考虑。采用摩擦摆球型支座,在 E2 地震作用下达到一定力后,支座水平限位断开,释放支座二次位移。

由 E2 地震响应结果可知,在限位装置断开后,支座纵横向最大位移为 245 mm 和 186 mm;支座纵横向阻尼位移均为 ± 400 mm,满足位移需求。

5 结 语

本文通过考虑斜拉桥受力特点,采用摩擦摆球型支座加黏滞阻尼器减隔震方案,考虑桩土作用,合理构建空间有限元模型,进行了斜拉桥的抗震分析与设计。主要结论有:

(1)采用多种减隔震装置方案,能进一步减小塔梁的纵横向相对位移和结构内力。

(2)黏滞阻尼器滞回曲线线性合理饱满,减震耗能明显。E2 地震作用下,结构处于完全弹性状态,多种减隔震装置效果明显。

参考文献:

- [1] CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].
- [2] JT/T 926—2014,桥梁用黏滞流体阻尼器[S].
- [3] 姜冲虎,李德建.大跨度连续梁桥 SSAB 与 FVD 组合应用减隔震技术研究[J].铁道科学与工程学报,2013(6):28-32.
- [4] 聂利英,李建中,胡世德,等.任意荷载作用下液体粘滞阻尼器在桥梁工程中减震作用探讨[J].计算力学学报,2007,24(2):197-202.
- [5] 姜冲虎,杨博闻,李德建,等.独塔斜拉桥抗震分析及其合理约束体系研究[J].铁道科学与工程学报,2014(6):10-11.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com