

双塔斜拉桥组合减隔震装置抗震研究

郑晓虎

(贵州大学土木工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 桥梁工程在地震中遭受了重大损失, 因此人们越来越重视桥梁抗震设计。本文以某双塔斜拉桥为工程背景, 通过组合减隔震装置的应用进行抗震分析。采用 Midas/Civil 2019 有限元软件建立桥梁空间有限元模型, 对普通支座连接、摩擦摆球形支座连接、摩擦摆球形支座 + 黏滞流体阻尼器连接三个模型进行抗震分析, 结果表明组合减隔震装置可以有效改善桥梁结构的受力情况, 几种减隔震装置可以协同作用, 能够有效提高桥梁的抗震性能。

关键词: 摩擦摆球形支座; 黏滞流体阻尼器; 组合减隔震; 时程分析

中图分类号: U442.55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0155—03

桥梁作为交通枢纽, 在地震中一旦发生破坏, 将会带来严重的生命、财产损失, 因此桥梁抗震是桥梁设计中一个重大课题。由于斜拉桥具有跨越能力强、造型美观、稳定性强等特点, 自这种桥型问世以来, 一直受到桥梁工程师的喜爱, 截止目前国内外已经修建了数百座斜拉桥。但由于斜拉桥历史较短, 经受大地震的考验较少, 仅有两座已知斜拉桥的震害资料。因此对斜拉桥抗震性能进行进一步研究具有重要意义。

目前, 通过应用减隔震装置来优化桥梁结构的抗震性能已经成为了桥梁抗震设计的有效途径, 随着大量的理论研究和工程实例, 又产生了一些新的减隔震装置, 例如黏滞流体阻尼器、铅芯橡胶支座、超高阻尼橡胶支座、摩擦摆球形支座等。在实际工程中, 往往只选用一种减隔震装置就可以取得一定的减隔震效果。各种减隔震装置的作用机理截然不同, 其发挥的作用也有很大差异, 将两种减隔震装置组合使用, 可以使它们更好地发挥作用, 从而进一步改善桥梁的抗震性能。本文以某双塔斜拉桥为工程依托, 通过引入摩擦摆球型支座和黏滞流体阻尼器, 探究组合减隔震装置对双塔斜拉桥抗震性能的影响。

1 工程背景

该桥为主跨 208m 的双塔双索面半漂浮体系斜拉桥, 跨度布置为 102+208+102 米, 桥面宽度为 33 米。主梁采用单箱双室截面, 桥塔采用门式钢桁架结构, 主梁以上桥塔高 75 米, 共设 32 对斜拉索。黏滞流体阻尼器阻尼系数 $C=130\text{kN}/(\text{mm}/\text{s})\alpha$, 阻尼指数 $\alpha=0.5$, 最大阻尼力为 3000kN, 行程为 500mm; 全桥材料配置如下表 1 所示。

表 1 斜拉桥材料配置

材料	弹性模量	泊松比 (Pa)	容重 (KN/m ³)	组成构件
C30 混凝土	3.15×10 ¹⁰	0.2	26	承台、桩基
C50 混凝土	3.45×10 ¹⁰	0.2	26	桥塔、主塔下横梁
Q345 钢材	2.06×10 ¹¹	0.3	76.98	桥塔、主梁
钢绞线	2.05×10 ¹¹	0.3	82	斜拉索

2 有限元模型建立及动力特性分析

本文采用 Midas/Civil 有限元分析软件建立全桥模型, 如图 1 所示。全桥共有 1574 个节点, 2226 个单元, 其中主梁、桥塔、墩采用空间梁单元模拟, 斜拉索采用空间桁架单元模拟, 普通支座采用弹性连接模拟, 摩擦摆球形支座和黏滞阻尼器根据其参数, 在软件中通过特定的单元进行模拟。建立三个分析模型: 模型 1, 在横系梁与主梁、辅助墩出用普通支座连接; 模型 2, 在横系梁与主梁、辅助墩出采用摩擦摆球形支座连接; 模型 3, 在模型 2 的基础上加黏滞流体阻尼器。

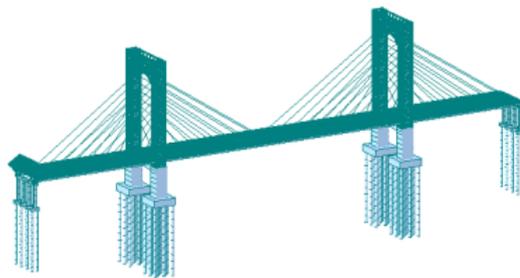


图 1 全桥有限元模型

对斜拉桥进行动力特性分析是斜拉桥抗震的分析的前提条件, 根据已经建立的桥梁动力分析模型, 利用 Midas 中的多重 RItz 向量法对该斜拉桥进行模态分析, 计算模态取 50, 并且在表 2 中给出了前 10 阶模态的振型。由下表可知加入摩擦摆球形支座和黏滞阻尼器该桥的自振频率会减小, 相应其自振周期会增大, 3 种模型的

自振频率的大小差异主要集中在前几阶，其高阶振型中频率的差距并不大。

表 2 模型动力特性

振型序号	模型 1		模型 2		模型 3	
	频率 (Hz)	振型特征	频率 (Hz)	振型特征	频率 (Hz)	振型特征
1	0.539803	纵飘	0.423414	纵飘	0.418810	纵飘
2	0.778794	辅助墩横弯	0.451511	辅助墩横弯	0.450927	辅助墩横弯
3	1.029895	主梁主塔反对称竖弯	0.478923	主梁主塔反对称竖弯	0.473071	辅助墩横弯
4	1.066566	主梁主塔对称竖弯	0.726422	主梁主塔对称竖弯	0.720293	主梁对称横弯
5	1.073553	辅助墩对称横弯	0.871921	辅助墩对称横弯	0.862943	辅助墩对称横弯
6	1.109894	整体反向纵弯	0.959410	整体反向纵弯	0.955228	整体反向纵弯
7	1.267068	主塔对称纵弯	1.040554	主塔对称纵弯	1.041390	主塔反向纵弯
8	1.267068	主塔竖弯	1.042413	主塔竖弯	1.042350	主塔反向纵弯
9	1.378486	主梁反对称竖弯	1.109788	主梁反对称竖弯	1.106265	主梁对称竖弯
10	1.405952	主塔辅助墩纵弯	1.181596	主塔辅助墩纵弯	1.162217	辅助墩纵弯

3 地震时程分析

3.1 地震波输入

地震波选用方法有类比地震波方法和人工地震波方法。本文选用软件中自带的 1940, El Centro Site, 270 Deg 波, EPA=0.2950g, EPV=0.250m/s, T_g=0.5440s, 下图给出该地震波地面加速度时程曲线图:

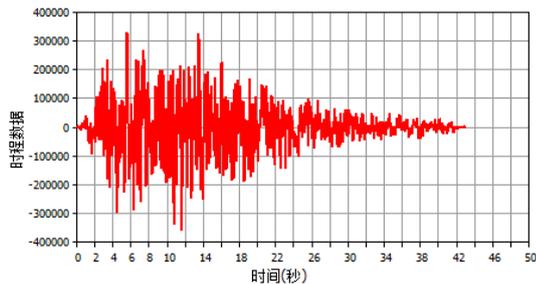


图 2 地震波

根据输入的地震波对建立的 3 个模型进行时程分析。

3.2 位移对比分析

本文选取墩顶纵向和横向位移、主梁纵向和横向位移进行对比分析。由下图可知设置擦摆球型支座和黏滞阻尼器可以显著减小该桥在地震作用下的变形。模型 1、模型 2、模型 3 的最大纵向位移分别为 40.46mm、27.45mm、12.00mm, 最大横向位移分别是 19.04mm、14.55mm、15.65mm, 设置擦摆球型支座可以使桥墩纵向位移减小至原来的 3/2, 横向位移减小至原来 3/4 左右, 组合减隔震装置可以进一步减小桥梁变形, 使桥墩纵向位移减小至原来的 1/3, 横向位移减小至原 2/3 左右。与墩顶位移相比, 设置擦摆球型支座和黏滞阻尼器对其主梁的变形有更大的改善作用。

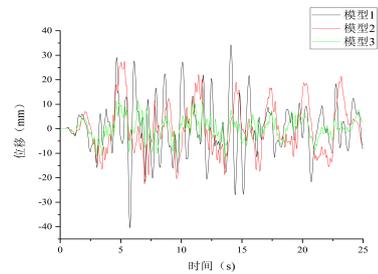


图 3 塔顶纵向位移时程曲线

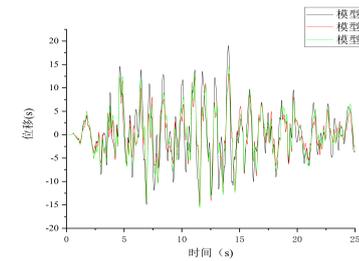


图 4 塔顶横向位移时程曲线

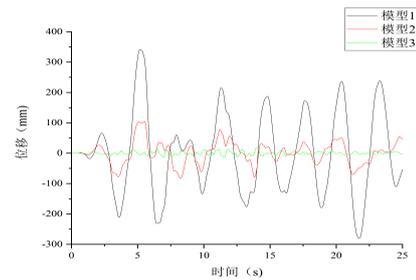


图 5 塔顶横向位移时程曲线

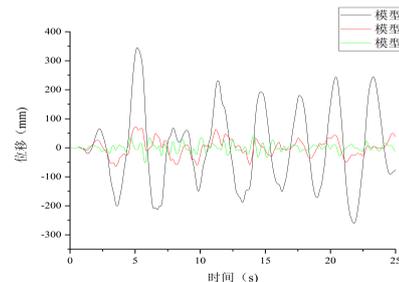


图 6 梁横向位移时程曲线

3.3 整体内力分析

选取桥梁整体的轴力、剪力、弯矩、应力作为主要考察目标, 设置减隔震装置以后其内力有显著减小, 其内力峰值如下表所示。设置组合减隔震装置以后其内力比设置单一的减隔震装置的内力改善效果更加明显, 其轴力减小 35% 左右, 剪力减小 40% 左右, 弯矩减小 50% 左右。

表 3 时程分析内力峰值

模型	轴力 (104kN)		剪力 (104kN)		弯矩 (105kN.m)		应力 (MPa)	
	横桥向	顺桥向	横桥向	顺桥向	横桥向	顺桥向	横桥向	顺桥向
模型 1	3.82	2.56	3.38	3.13	12.18	8.46	189	136
模型 2	2.36	2.48	2.11	2.45	13.00	6.30	141	152
模型 3	2.44	1.83	2.14	1.83	7.36	4.45	138	49

基于无人机的桥梁常规检测智能化研究进展

王盛, 杜斌

(贵州大学土木工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 随着桥梁总数的不断增长, 桥梁检测的市场需求越来越大, 常规的检测方法难以满足, 于是基于无人机的桥梁智能化检测手段应运而生。本文从无人机安全飞行研究与智能化检测研究两个方面进行分析总结, 该类型研究处于起步阶段, 未来必将大有所为。

关键词: 无人机; 桥梁工程; 常规检测; 智能化

中图分类号: U446.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0157—03

1 引言

据交通运输部统计从 2010 年到 2020 年十年时间里, 公路桥梁增长了 26.1 万座共计 91.28 万座^[1], 当桥梁投入运营后, 通常每 2—3 年内会经历一次常规检测, 由于我国桥梁存量巨大, 于是产生了巨大的检测需求。当下的传统检测方式工作效率低下、检测范围小、检测成本高^[2]。于是尝试引进新设备及技术来升级检测方式, 其中利用无人机搭载设备, 结合智能化技术对桥梁进行检测最为热门, 凭借无人机的机动灵活可扩大检测范围, 借助智能化检测技术可降低检测成本、提高检测效率, 满足我国对于桥梁常规检测的需求。

2 安全飞行研究

应用于桥梁检测的无人机通常需要面对复杂多变的环境, 如何保证其安全飞行成为该研究领域的基本前提, 学者们提出两种不同的防护方式, 分别是增加辅助硬件或改变飞行器结构实现物理防护、借助计算机技术实现智能避障软防护。

2.1 物理防护

在物理防护改造中, 都是利用多旋翼无人机作为改造平台, 其飞行速度适中、易定点悬停、有较大的改造空间。Takahiro 等^[3], 在无人机顶部安装三自由度的力控制器, 用以调整无人机的姿态及位置, 从而避免无

4 结语

通过设置擦摆球型支座可以有效改善斜拉桥在地震作用下的受力和变形, 在模型 2 的基础上, 在顺桥方向和横向方向附加黏滞阻尼器后, 墩顶位移、主梁位移和主梁加速度都进一步减小; 整桥的轴力、剪力、弯矩和应力同样有明显的减小, 反映出黏滞阻尼器能对该桥起到良好的控制效果, 表明擦摆球型支座和加黏滞阻尼器同时使用的组合减隔震装置可以有效改善斜拉桥抗震性能。

参考文献:

[1] 范立础. 桥梁抗震 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.

[2] 于泳波, 万振江, 刘健新. 减震技术在公路桥梁中的应用及地震反应分析 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2004, 24(2): 58—60.

[3] 阮怀圣, 何友娣. 两种减隔震支座动力参数的设计方

法及减隔震效果差异研究 [J]. 世界地震工程, 2017, 33(01): 223—229.

[4] 付君宜. 附加粘滞阻尼其结构就性能的抗震设计方法 [D]. 长安大学, 2014.

[5] 张忠伟, 关清杰, 刘严. 摩擦摆球型支座对斜拉桥抗震性能的影响 [J]. 城市道桥与防洪, 2020(09): 73—75+79+14.

[6] 敖建辉, 赵俊志. 基于 Midas Civil 的双塔斜拉桥地震响应分析 [J]. 中国公路, 2018(23): 110—111.