

活动支座摩擦作用对高铁简支梁桥地震响应的影响

刘晓琴

(甘肃省兰州公路事业发展中心, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 选用高速铁路10×32 m简支梁桥为工程背景, 建立考虑轨道约束效应的全桥弹塑性动力分析模型, 并以桥墩侧移角、墩底截面延性率、道床板与主梁摩擦单元的屈服位移、道床板轴力、钢轨轴力为评价指标, 研究了罕遇地震作用下活动支座摩擦作用对考虑轨道约束效应的高速铁路简支梁桥地震响应的影响。结果表明: 活动支座摩擦作用对简支梁桥下部结构及轨道系统的影响较小, 均在10%之内; 随着活动支座摩擦系数的增加, 其支座位移、桥墩侧移角、墩底截面延性率均减小, 道床板与主梁摩擦单元的屈服位移、道床板轴力和轨道轴力均增加; 总体上, 活动支座摩擦作用的增加对简支梁桥下部结构地震反应有利, 对轨道系统不利。

关键词: 活动支座; 摩擦作用; 轨道约束; 简支梁桥; 地震响应

中图分类号: U442.55

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)08-0159-04

Influence of Movable Support Friction on Seismic Response of High-speed Railway Simple-supported Beam Bridge

LIU Xiaoqin

(Gansu Province Lanzhou Highway Development Center, Lanzhou 730030, China)

Abstract: Selecting a 10×32 m simple-supported girder bridge of high-speed railway as the engineering background, the full-bridge elasto-plastic dynamic analysis model considering the restraint effect of track is established. The lateral displacement angle of the pier, the ductility of the pier bottom section, the yield displacement of the friction unit between the track bed plate and the main beam, the axial force of the track bed plate and the axial force of the steel track are used as the evaluation indexes to study the influence of the friction effect of movable supports under the rare earthquakes on the seismic response of simple-supported girder bridges of high-speed railways considering the track constraint effect. The results show that the frictional effect of the movable supports on the substructure of the simple-supported girder bridge and the track system is relatively small, both within 10%. With the increase of the friction coefficient of the movable supports, the support displacement, the lateral displacement angle of the pier and the ductility of the pier bottom section all decrease, and the yield displacement of the friction unit between the track bed plate and the main beam, the axial force of the track bed plate and the axial force of the track all increase. In general, the increase in the frictional effect of the movable supports is beneficial to the seismic response of the substructure of the simple-supported girder bridge, but unfavorable to the track system.

Keywords: movable support; friction effect; track restriction; simple-supported girder bridge; seismic response

0 引言

简支梁桥是我国高速铁路最常见桥型, 其面临着严峻的震灾威胁^[1-2]。结合铁路桥梁已有的震害、高铁桥梁的结构特点和铁路抗震规范的不足, 针对铁路桥梁抗震分析时面临的轨道约束效应所进行的模拟和分析, 尚缺乏相当计算精度和工程实用的分析手段。许多学者对此展开了研究。张永亮等^[3-5]

基于多跨简支梁桥, 通过所建立的分析模型, 分析得到轨道约束对相邻墩高相差较大的简支梁桥地震反应影响显著。闫斌等^[6-7]采用非线性杆单元模拟梁轨接触, 建立了考虑轨道约束的4~32 m简支梁桥模型, 得到了增加梁缝宽度可减弱碰撞、线路纵向阻力减小可增强碰撞的结论; 另外他们还针对1座5~32 m单线有砟轨道简支梁桥, 研究了道床阻力、支座布置形式、桥墩刚度在一致激励和视波速为1 000 m/s时对结构地震反应的影响。谢旭等^[8]以高速铁路客运专线上2座减隔震设计简支梁桥为例, 研究发现轨道约束对减隔震桥梁支座地震位移及耗能都有一定

收稿日期: 2025-03-04

作者简介: 刘晓琴(1982—), 女, 学士, 工程师, 从事桥梁工程相关方面的工作。

程度的影响。吴凌旭等^[2]基于卷积神经网络,提出了一种快速预测高速铁路无砟轨道-简支梁桥系统震致损伤的方法,为震后高速铁路系统震致损伤的快速修复提供参考。众多学者从不同角度展开了研究工作,并取得了丰硕的研究成果^[9-12]。

应当注意到,上述研究选取对象为铁路无砟或有砟轨道体系简支梁桥,通过讨论是否考虑轨道约束对结构地震反应的影响,得到了比较宏观的对于该类问题的分析方法或研究结论。支座作为连接桥梁上下部的结构构件,在地震中发挥着重要作用,然而在目前的连续梁或简支梁分析中并未考虑支座的摩擦作用^[13-14]。另外,轨道系统作为高铁桥梁的重要组成,其地震响应不可忽视。因此,本文以位于Ⅱ类场地的高速铁路10跨简支梁桥为研究对象,探讨考虑轨道约束效应的活动支座摩擦作用对高速铁路简支梁桥地震响应的影响。

1 动力分析模型

1.1 工程背景

以高速铁路某20跨32 m简支梁桥为工程背景,桥梁全长640 m。主梁截面为单箱单室,梁高3.078 m,采用C50混凝土,桥墩采用矩形实体桥墩,墩高均为16.5 m,桥墩尺寸为6.04 m×2.5 m,桩基均采用钻孔灌注桩,墩身及桩基均采用C30混凝土。桥上无砟轨道系统采用CRTSⅡ型板式无砟轨道。

1.2 有限元模型及参数取值

采用MIDAS Civil软件,建立全桥三维空间有限元模型。钢轨、轨道板、底座板主梁、桥墩、承台均采用梁单元模拟,支座按活动类型采用双线性单元模拟,采用m法^[15]计算六弹簧刚度并施加于承台底以模拟桩土作用。轨道与扣件、底座板与梁体间的摩擦均采用纵向多段线性塑性单元模拟;扣件纵向阻力、底座板与主梁间非线性弹簧刚度、剪力齿槽处刚度均参考文献[3-4,14]取值;在每个墩墩底设置非线性弹簧单元以模拟塑性铰。精细化有限元模型示意图见图1。

1.3 地震波的输入及分析方法

该桥位于8度区,设计地震加速度峰值0.2g,罕遇地震加速度峰值0.38g,工程场地类别为Ⅱ类。根据地震动三要素,选用3条与场地条件接近的实测地震波,即El-centro波、Taft波和Hachinohe波,采用Newmark- β 法进行非线性动力时程分析,结构阻尼比取5%,采用瑞利阻尼。

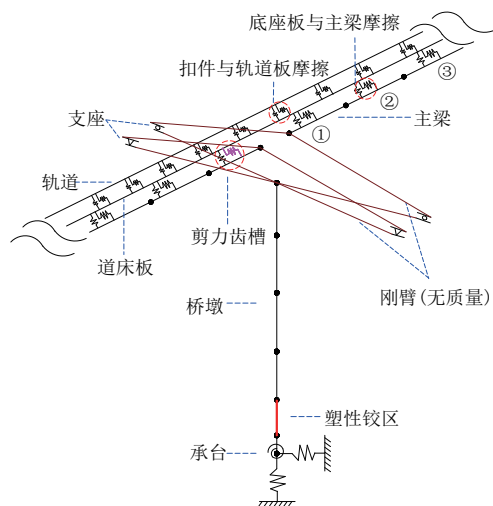


图1 精细化有限元模型示意图

2 活动支座摩擦作用对简支梁桥地震响应的影响

2.1 评价指标

为研究活动支座摩擦作用对简支梁桥地震响应的影响规律,取摩擦系数 μ 分别为0(不考虑摩擦作用)、0.02、0.05、0.10、0.15、0.20,主要考虑如下指标进行分析:

- (1)墩底截面延性率;
- (2)桥墩侧移角;
- (3)道床板轴力;
- (4)道床板与主梁摩擦单元的屈服位移;
- (5)钢轨的轴力。

为了更直观地说明影响程度,引入摩擦影响系数 β 进行评价。 β 的定义为:(不考虑摩擦系数的地震反应-考虑摩擦系数的地震反应)/不考虑摩擦系数的地震反应。

2.2 活动支座摩擦作用对简支梁桥下部结构地震反应的影响

活动支座摩擦作用对简支梁桥下部结构地震反应的影响采用桥墩侧移角和墩底截面延性率来评价。图2、图3给出了5种摩擦系数对应的简支梁桥墩侧移角和墩底截面延性率;图4、图5给出了墩顶位移时程曲线和墩底滞回曲线。

由图2、图3可知:桥墩侧移角和墩底延性率随着摩擦系数的增大而减小;不同频谱特性地震波激励下桥墩侧移角的反应有所不同,但总体趋势一致。对于桥墩侧移角而言,摩擦系数为0.2时,侧移角摩擦影响系数 β 为7%;对于墩底延性率而言,延性率摩擦影响系数 β 为9%。由此也可看出,活动支座摩

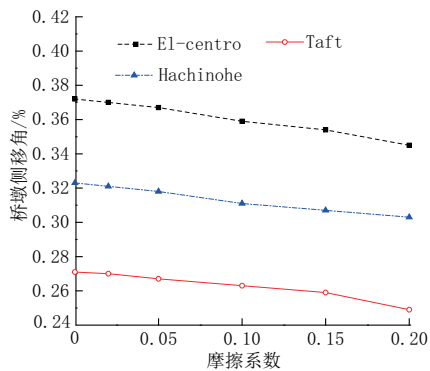


图2 桥墩侧移角-摩擦系数曲线

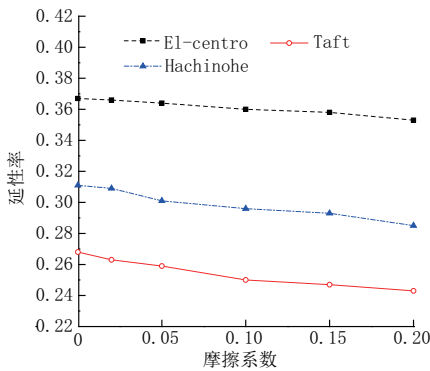


图3 延性率-摩擦系数曲线

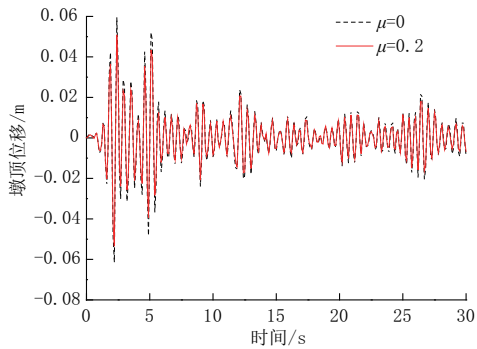


图4 位移时程曲线

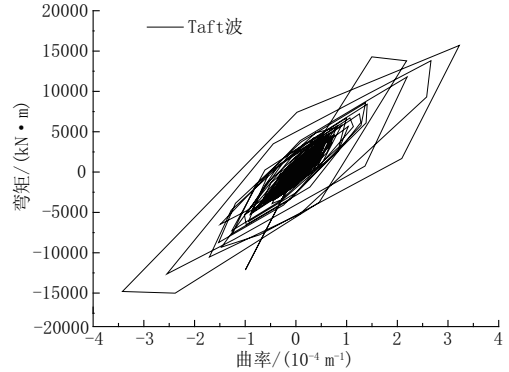


图5 墩底滞回曲线($\mu=0.1$)

擦作用对简支梁桥下部结构的地震反应影响相对较小,在10%范围之内。

由图4可知,摩擦系数为0.2时,墩顶位移相对不考虑摩擦作用时小,这也证明了桥墩侧移角随着摩擦系数增大而减小的规律。从桥墩墩底的延性率及

滞回曲线可以看出,简支梁桥墩底塑性铰区均已达到开裂曲率,开始耗散能量,而未进入屈服阶段。

2.3 活动支座摩擦作用对轨道系统地震反应的影响

活动支座摩擦作用对轨道系统地震反应的影响采用道床板与主梁摩擦单元的屈服位移、道床板轴力和轨道轴力来评价。

在简支梁上,道床板与梁体间的相互作用采用等效弹簧单元模拟,并参考文献[3,14]。所建立的模型中,考虑摩擦作用时采用的弹簧间距为8 m,因此对于32 m简支梁,每跨道床板与主梁连接为4个等效弹簧单元,模拟扣件的弹簧间距取0.65 m。取值及计算方法不再赘述。

图6至图9给出了考虑不同摩擦系数的道床板与主梁摩擦单元屈服位移、道床板轴力、扣件屈服位移、轨道轴力(图6中①、②、③分别与图1精细化有限元模型相对应,代表3个摩擦单元)。

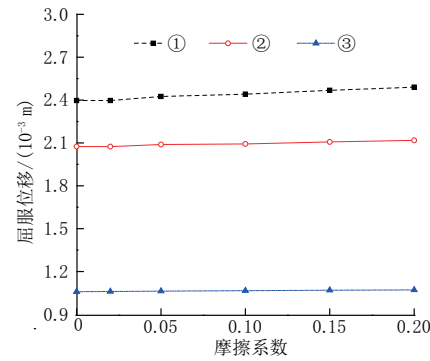


图6 道床板与主梁摩擦单元屈服位移

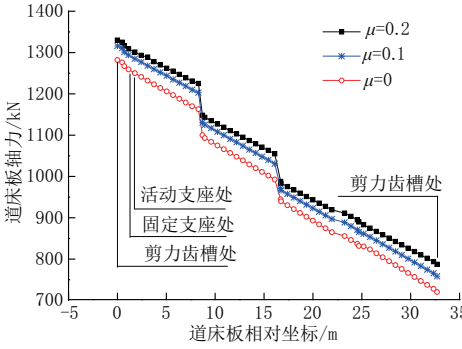


图7 道床板轴力

由图6可见,与图1精细化有限元模型相对应的①、②、③这3个摩擦单元中,靠近活动支座的摩擦单元①屈服位移最大,而③屈服位移最小;由于摩擦单元的屈服力一致,因此摩擦单元①耗能相对较多,即近活动支座侧滑动层耗能强于远侧,且发现随着活动支座摩擦系数的增大,道床板与主梁摩擦单元的屈服位移也在增大。

由图7可知,活动支座摩擦系数越大,道床板的轴力越大,且从近活动支座侧到远离活动支座侧,道

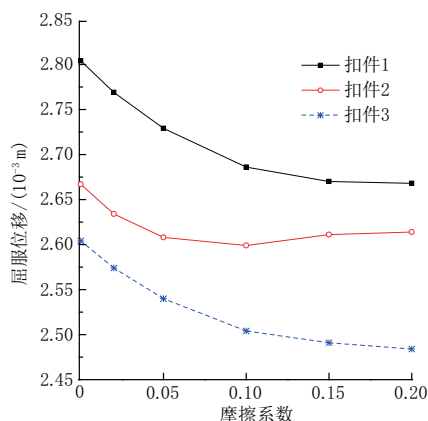


图8 扣件屈服位移

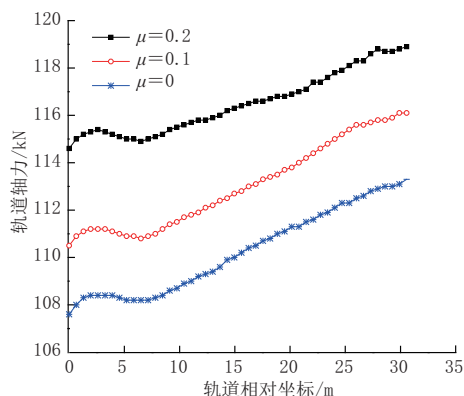


图9 轨道轴力

床板轴力呈现递减的趋势;图7曲线出现“台阶”是该处布置摩擦单元的结果。

由图8可知,随着摩擦系数的改变,扣件的屈服位移并无一定的变化规律。

由图9可知,轨道轴力随着摩擦系数的增加而增加,从近活动支座侧到远离活动支座侧,轨道轴力大致呈现增加的趋势。

从评价摩擦系数对轨道系统地震反应的影响指标来看,摩擦影响系数 β 同样均在10%之内。

3 结 语

(1)活动支座摩擦作用对考虑轨道约束效应的简支梁桥下部结构及轨道系统的影响相对较小,摩擦影响系数 β 均保持在10%之内。

(2)无论是否考虑活动支座摩擦作用,在相邻剪

力齿槽之间,从近活动支座侧至远离活动支座侧,道床板轴力减小,钢轨轴力增大。

(3)活动支座摩擦作用对简支梁桥地震响应的影响规律为:活动支座摩擦作用会减弱支座地震位移;随着摩擦系数增加,滑动层摩擦耗能增加;地震作用下,摩擦力引起道床板与轨道轴力增加,桥墩墩底延性率及墩顶侧移角减小。总体上,活动支座摩擦作用的增加对简支梁桥下部结构地震反应有利,对轨道系统不利,过大的轴向力可能导致轨道系统发生变形。

参考文献:

- [1] 江辉,王岚,陈良江,等.高烈度区铁路简支梁桥双曲面球型减隔震支座的适应性[J].铁道建筑,2024,64(12):56-62.
- [2] 吴凌旭,蒋丽忠,钟天璇,等.基于深度学习的高速铁路简支梁桥震致损伤预测[J].地震工程与工程振动,2024,44(5):26-36.
- [3] 张永亮,陈兴冲.轨道约束对简支梁桥弹塑性地震反应的影响[J].西北地震学报,2012,34(2):121-125.
- [4] 张永亮,陈兴冲,李子奇.轨道约束系统对高速铁路多跨简支梁桥地震反应的影响[J].世界地震工程,2010,26(4):6-12.
- [5] 张永亮,王春阳,刘正楠,等.高速铁路多跨简支梁桥纵向地震力分布规律[J].铁道工程学报,2022,39(7):55-60.
- [6] 闫斌,戴公连,栗森.考虑轨道约束的高速铁路简支梁碰撞效应研究[J].桥梁建设,2014,44(6):24-28.
- [7] 闫斌,戴公连,徐庆元.行波效应下铁路简支梁桥梁轨系统地震响应[J].振动工程学报,2013,26(3):357-362.
- [8] 谢旭,王炎,陈列.轨道约束对铁路减隔震桥梁地震响应的影响[J].铁道学报,2012,34(6):75-82.
- [9] 蒋丽忠,钟不凡,张云泰,等.基于遗传算法的CRTSⅡ型无砟轨道简支梁桥纵向抗震简化模型[J].中南大学学报(自然科学版),2023,54(11):4424-4435.
- [10] 董俊,曾永平,冷丹.九度地震区高速铁路简支梁合理减隔震体系分析[J].哈尔滨工业大学学报,2023,55(11):115-124;134.
- [11] 战家旺,苗慧磊,王昱杰,等.基于简化模型的铁路简支梁桥横向振动分析方法[J].铁道学报,2023,45(9):178-184.
- [12] 谢铠泽,李粮余,徐浩,等.重载铁路简支梁桥墩纵向水平刚度限值[J].铁道工程学报,2023,40(4):24-30.
- [13] 王常峰,朱春林,陈兴冲.活动支座摩擦作用对连续梁桥弹塑性地震反应的影响[J].公路交通科技,2013,30(5):67-73.
- [14] 高建强,张永亮,陈兴冲,等.无砟轨道系统对铁路减隔震桥梁地震响应的影响[J].世界地震工程,2017,33(1):202-208.
- [15] JTG D63—2007,公路桥涵地基与基础设计规范[S].