

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.08.028

考虑河谷场地效应的大跨度拱桥的地震响应分析

张 东¹, 宛俊舟²

(1.山东省交通规划设计院集团有限公司,山东 济南 250101; 2.中国铁路上海局集团有限公司合肥工务段,安徽 合肥 230011)

摘 要:为研究 V 型河谷场地效应对大跨度钢管混凝土拱桥的地震响应影响,以某大跨度钢管混凝土拱桥为工程背景并简化 V 型河谷场地模型,建立河谷-拱桥有限元模型,讨论在 SV 波作用下对桥梁的地震响应影响。结果表明:由于地震荷载是均匀作用在场地,且河谷-拱桥有限元模型是轴对称模型,因此得到的拱桥主拱圈的内力和位移响应趋势是对称分布;不同地震波作用下得到的主拱圈内力和位移响应大小不同,这和拱桥拱脚与场地连接部位的地震动强度和地震波的频谱特性有关;在进行桥梁抗震设计时,SV 波作用下拱桥关键部位应重点关注。

关键词:场地效应;人工边界;地震响应;频谱特性

中图分类号:U442.5+5 文献标志码:B 文章编号:1009-7716(2023)08-0111-04

0 引 言

我国西部地区地形复杂,主要由高山、河谷、盆地、沟壑等特殊地形组成。大跨度钢管混凝土拱桥因其抗震能力强、跨度大以及经济美观等优势,常被作为跨越河谷的桥型选择。根据以往的研究,在分析此类跨河谷桥梁的地震反应时,不规则地形会对地震波的传播产生复杂影响,改变地震动的空间分布。王蕾^[1]、周国良^[2]、梅泽洪^[3]、叶丹^[4]、岳士延^[5]、白林坡^[6]、肖钦心^[7]等研究考虑场地效应对大跨连续刚构桥和钢管混凝土拱桥的地震影响,得出了不规则地形会对结构产生复杂地震影响的结论。

目前在考虑场地效应下,研究地震波对大跨度钢管混凝土拱桥的影响分析仍处于起步阶段,现有研究大部分是针对大跨度斜拉桥或刚构桥,特别是考虑 V 型河谷场地对大跨度钢管混凝土拱桥地震响应的研究成果较少。本文针对某大跨度钢管混凝土拱桥并结合河谷场地,建立河谷-拱桥有限元模型,研究 SV 波垂直入射模型底部时,对大跨度钢管混凝土拱桥的地震响应影响。

1 基本理论

研究不规则地形对地震动的影响通常是无限域问题,需要通过引用人工边界将无限域问题转变成有限域问题。关于人工边界的研究已较为成熟^[8-9],黏弹性人工边界是一种经常使用的方案^[10-12]。黏弹

性人工边界实际是通过边界节点的法向和切向添加弹簧-阻尼元件,弹簧一端固定,另一端与边界节点相连,如图 1 所示。

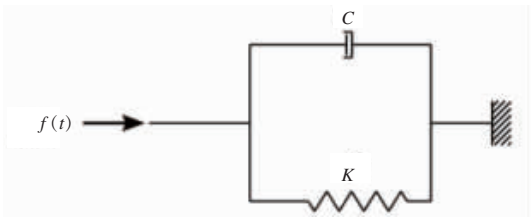


图 1 黏弹性人工边界

在有限元软件 ANSYS 中用 combin14 单元来模拟弹簧-阻尼元件。图 1 中各元件的取值如下:

$C = \rho v_p \text{ (法向)}$

$K = \alpha_n \frac{G}{r_b}$

$C = \rho v_s \text{ (切向)}$

$K = \alpha_t \frac{G}{r_b}$

其中 K 和 C 为弹簧-阻尼元件的法向和切向刚度系数; r_b 为极坐标系中人工边界的坐标, G 为剪切模量。

2 河谷-拱桥有限元模型和入射地震波

本文建立的桥梁模型以及主拱圈关节截面如图 2 和图 3 所示。桥梁为大跨度钢管混凝土拱桥,桥梁主桥长度 519 m,主跨计算跨径 490 m。主拱肋上下弦杆钢管材质为 Q355D,管内填充 C70 自密实微膨胀混凝土。简化的河谷模型宽 1 500 m,高 500 m,河谷宽度 489 m,最大深度 300 m,剪切波速 $V_s=800$ m/s。

收稿日期:2022-11-04
作者简介:张东(1985—),男,在职研究生,高级工程师,从事公路勘察设计工作。

场地模型四周和底部添加黏弹性人工边界,地震波沿模型底部垂直入射模型。



图2 拱桥结构有限元模型

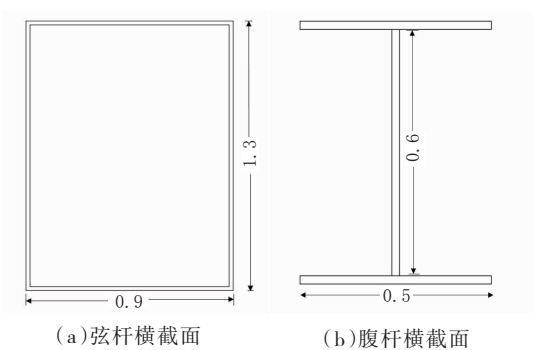


图3 拱圈主要杆件示意图(单位:m)

本桥所在场地地震烈度为6度,场地类别II,设计规范反应谱并在 PEER 地震动数据库中匹配3条频谱特性相近的地震波^[13-15],并将所选地震波按照6度罕遇地震对应的地震加速度时程曲线最大值对原始记录进行幅值调整,只按比例改变地震波记录的加速度峰值,而不改变波的形状保持原地震波的频谱特性,幅值调整为 1.25 m/s^2 。得到的3条地震波的时程图和加速度反应谱如图4、图5所示。

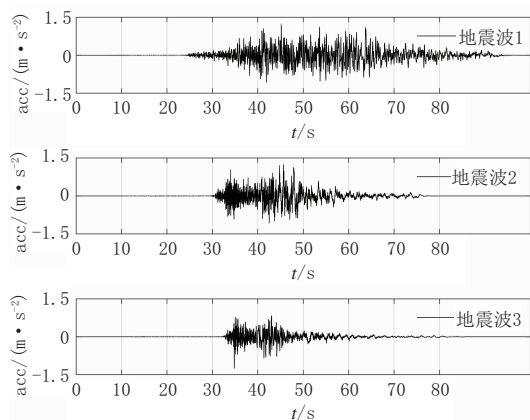


图4 地震动时程图

3 计算结果

3.1 桥梁地震反应分析

为研究跨河谷桥梁的地震响应规律,设置两种工况。

- (1)工况一:地震波垂直入射河谷-拱桥模型底部;
- (2)工况二:对大跨度桥梁进行一致地震动输入。

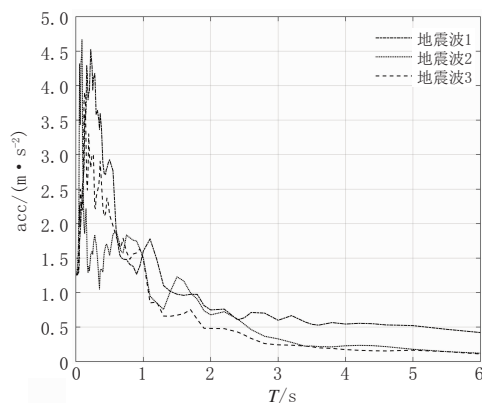
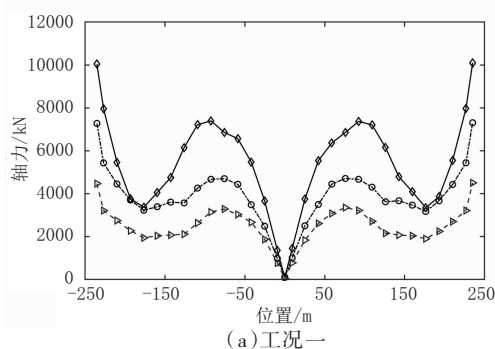
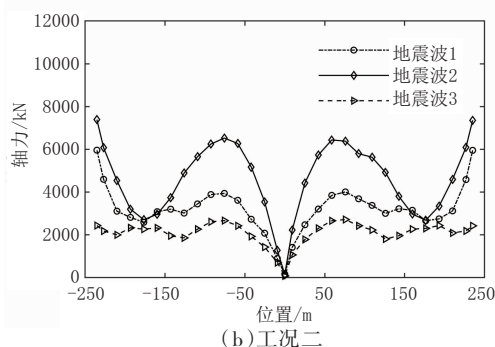


图5 地震动加速度反应谱

分别对工况一和工况二进行计算,得到拱桥主拱圈上弦杆关键部位的内力和位移响应如图6至图9所示。



(a) 工况一

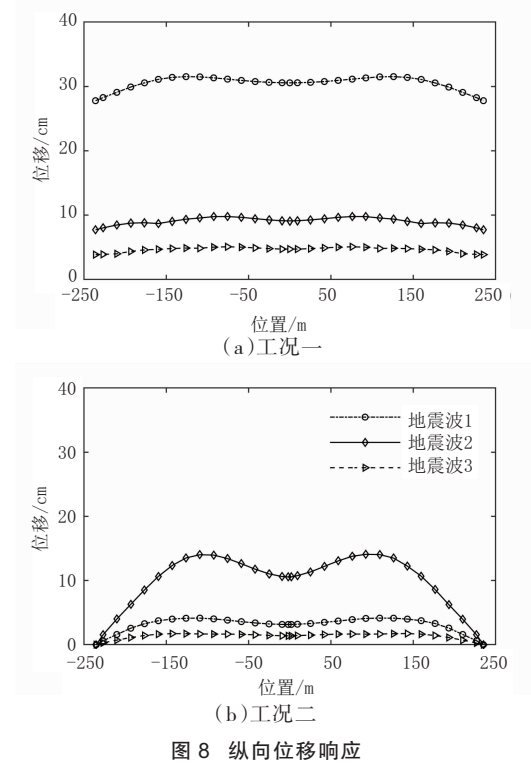
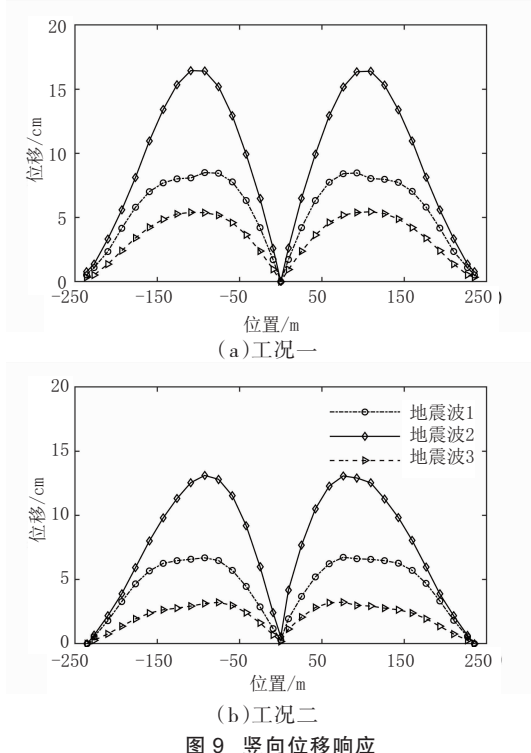
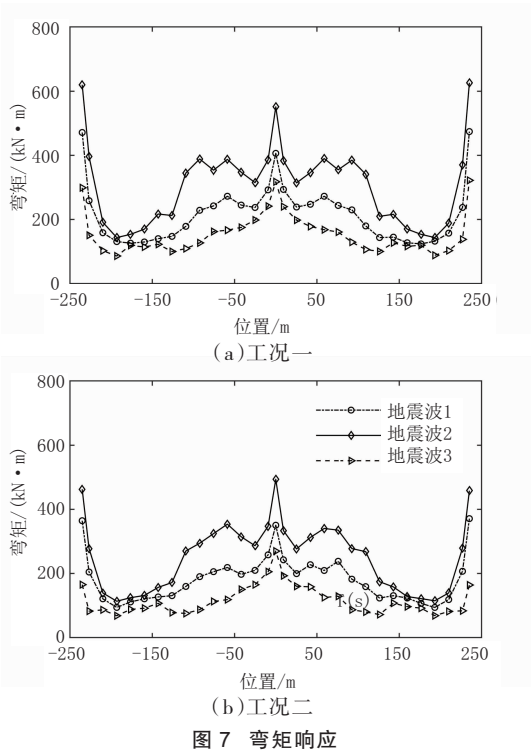


(b) 工况二

图6 轴力响应

由于本文设计所用桥梁跨度大、杆件多,整体结构较为复杂,受篇幅所限,本文只对大跨度钢管混凝土拱桥上弦杆内力和位移响应进行分析。

从图6至图9可以看出,在3条地震波作用下,大跨度钢管混凝土拱桥关键部位的内力和位移响应趋势相似,但内力和位移峰值大小不同,这与地震波的频谱特性以及大跨度拱桥与河谷连接部位的地震动强度有关。对于轴力响应,工况一和工况二都在拱脚处最大,拱顶处最小,而对于弯矩响应在拱脚和拱顶位置均较大;主拱圈上弦杆的纵向位移整体变化趋势较为平稳;对于竖向位移的变化趋势,位移峰值出现在主拱圈1/4处,拱脚和拱顶处的竖向位移响应很小。对比工况一和工况二可以发现,当考虑河谷



大跨度钢管混凝土拱桥进行静力分析,并与工况一和工况二得到的桥梁拱圈上弦杆轴力和弯矩最大值进行对比,具体见表 1。

	轴力 /kN			弯矩 /(kN·m)		
	地震波 1	地震波 2	地震波 3	地震波 1	地震波 2	地震波 3
工况一	7 309	10 101	4 507	470	620	319
工况二	6 040	7 756	2 466	371	510	183
静力分析	1 379			135		

由表 1 可知,桥梁关键部位的内力响应峰值在工况一和工况二的情况下均要大于静力分析对桥梁拱圈上弦杆内力响应的影 响。这表明 3.1 节设计的地震工况能够控制构件的结构设计。

4 结 论

- (1)拱桥主拱圈内力和位移响应趋势是对称分布的,这是由于河谷-拱桥有限元模型是轴对称模型,且地震荷载对于场地的影响为均匀分布。
- (2)不同地震波作用下对桥梁地震响应影响不同,这与拱桥和场地连接部位的地震动强度以及地震波的频谱特性有关,但不同地震波作用下内力和位移响应趋势是相同的。
- (3)当考虑河谷场地效应对桥梁进行抗震设计时,拱脚、主拱圈 1/4 处以及拱顶处的抗震设计应该重点关注。

场地效应时,桥梁拱圈上弦杆的内力响应和位移响应相比一致输入情况下均有所放大,其中轴力响应放大最明显。

综合来看,在考虑场地效应情况下,地震影响主要对拱桥的拱脚、主拱圈 1/4 处及拱顶处不利。

3.2 桥梁动力反应与静力反应的比较分析

为明确 3.1 节中地震工况是否能够控制构件结构设计,考虑桥梁自重、汽车荷载以及二期铺装,对

(4)相比一致地震动输入,河谷场地效应会对桥梁的地震响应有一定的放大作用。

参考文献:

- [1] 王蕾,赵成刚,屈铁军.SV波入射下地形条件对大跨刚构桥地震响应的影响[J].地震学报,2008(3):307-314.
- [2] 周国良,李小军,李铁萍,等.SV波入射下峡谷地形对多支撑大跨桥梁地震反应影响分析[J].岩土力学,2012,33(5):1572-1578.
- [3] 梅泽洪,李小军,王玉石,等.考虑场地效应的非一致激励下桥梁地震响应特点分析[J].震灾防御技术,2017,12(3):646-654.
- [4] 叶丹,周建庭,王领,等.考虑河谷场地效应的大跨CFST拱桥地震响应分析[J].世界地震工程,2022,38(3):108-116.
- [5] 岳士廷.考虑局部场址特征的桥梁地震动响应分析[D].青岛:青岛理工大学,2012.
- [6] 白林坡.考虑土-结动力相互作用和局部场地的桥梁地震反应分析[D].青岛:青岛理工大学,2015.
- [7] 肖钦心.不规则地形条件下高墩大跨桥梁的地震反应分析[D].重庆:重庆大学,2016.
- [8] 孔戈,丁海平,金星,等.多次透射边界在ANSYS软件中的应用[J].工程抗震与加固改造,2005(2):67-70.
- [9] 廖振鹏,黄孔亮,杨柏坡,等.暂态波透射边界[J].中国科学(A辑:数学物理学天文学技术科学),1984(6):556-564.
- [10] 刘晶波,王振宇,杜修力,等.波动问题中的三维时域黏弹性人工边界[J].工程力学,2005(6):46-51.
- [11] 赵密.黏弹性人工边界及其与透射人工边界的比较研究[D].北京:北京工业大学,2004.
- [12] 高德志,毕鹏,刘艳.各国规范关于时程分析中地震波选取方法的对比[J].建筑结构,2022,52(16):67-73.
- [13] 张继文.基于性能的公路桥梁抗震评估中的地震波选择研究[D].合肥:合肥工业大学,2015.
- [14] 李伟鹏,石明强,杜思远.桥梁抗震设计中地震波的合理选取[J].交通科技,2011(4):5-7.

《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