

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.11.022

刘家峡大桥非一致激励地震反应分析

张己存

(甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 地震波在向四周传播的过程中, 不仅有时间上的变化特性, 而且在空间上也存在着明显的变化特性。针对刘家峡大桥两桥塔场地震动时程相差较大且跨径较大的情况, 为研究其在地震波有限性的传播速度、波相干性以及不同的局部场地地质等条件下对各支承点的地震激励, 利用非一致激励地震反应分析理论, 刘家峡大桥进行了多点激励地震反应分析和地震行波效应研究。结果表明: 非一致激励分析理论结果较一致激励分析理论结果更为准确, 则非一致激励分析理论是对悬索桥等索吊特殊桥梁结构进行分析的更为符合实际的地震动作用效应输入模式。

关键词: 非一致激励; 多点激励; 行波效应; 超越概率

中图分类号: U442.5+5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)11-0088-03

0 引言

由于地质条件不同导致各支承处实际地震动不同, 从而在结构地震反应分析时应输入不同的地震波, 也就是要考虑多支承不同激励, 简称多点激励或多点激励^[1-3]。如果场地土情况变化不大, 但因地震动沿纵桥向先后到达的时间差较大, 这时也要考虑各支承点输入地震波的相位差, 简称行波效应^[6-9]。本文以刘家峡大桥工程为依托, 重点针对多点激励和行波效应两方面进行非一致激励地震反应分析研究。

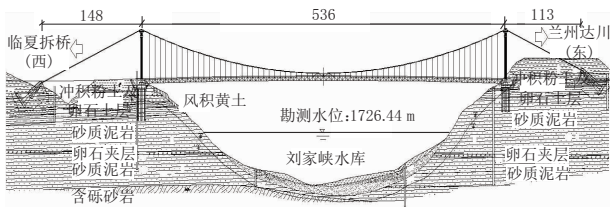


图 1 刘家峡大桥总体布置图(含地质纵断及场地参数)(单位:m)

1 非一致激励地震反应的分析内容

根据本桥工程场地地震安全性评价报告结论, 东西桥塔 2 个场地、2 个风险水平所提供的地震动时程并不相同, E1 水准条件下东塔场地提供的加速度峰值为 0.16g, 西塔场地提供的加速度峰值为 0.211g; E2 水准条件下东塔场地提供的加速度峰值为 0.312g, 西塔场地提供的加速度峰值为 0.403g。

收稿日期: 2023-01-12

作者简介: 张己存(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

多点激励地震反应分析时, 对东西桥塔两个场地的加速度时程(转为位移时程)进行分别输入, 因西塔场地的峰值较大, 行波效应分析中统一采用西塔场地的加速度时程(转为位移时程)。

具体工程场地设计地震动参数见表 1。

表 1 工程场地设计地震动参数

场地	50 a 超越概率	地震影响系数曲线(α 谱) $\alpha=\alpha_{\max}(T_g/T)^\gamma$						PGA (g)
		T_0 /s	T_g /s	α_0	α_{\max}	β_{\max}	γ	
东塔场地	10%	0.1	0.45	0.160	0.384	2.40	0.9	0.160
	2%	0.1	0.45	0.312	0.752	2.41	0.9	0.312
西塔场地	10%	0.1	0.50	0.211	0.502	2.38	0.9	0.211
	2%	0.1	0.55	0.402	0.965	2.40	0.9	0.402

注: α : 地震影响系数; α_{\max} : 地震影响系数最大值; PGA: 水平向设计地震动峰值加速度; β_{\max} : 动力放大系数最大值; γ : 衰减指数; T_g : 特征周期; T : 结构自振周期。

2 非一致激励地震反应分析方法

非一致激励结构地震运动基本方程可表示为:

$$M\ddot{Y}(t)+C\dot{Y}(t)+KY(t)=M\alpha\ddot{X}_0(t) \quad (1)$$

式中: M 为结构质量矩阵; C 为结构阻尼矩阵; K 为结构刚度矩阵; $Y(t)$ 为内部节点相对于地面的位移; $\dot{Y}(t)$ 为节点速度; $\ddot{Y}(t)$ 为节点加速度。

对于大跨径桥梁, 由于受到行波效应的影响, 各支承点具有不同的地震动过程。采用时程分析法进行地震反应分析时, 可将地震动加速度时程按一定的时差输入到支承点上, 就可以考虑地震行波效应对结构地震反应的影响^[10]。

3 多点激励地震反应分析

根据前文所述的分析方法,分别计算刘家峡大桥在一致和非一致激励地震动输入两种情况下的地震反应,并对它们进行对比分析,研究非一致激励地震动输入对悬索桥地震反应的影响。两种情况下的结构反应时程如图2至图9所示。

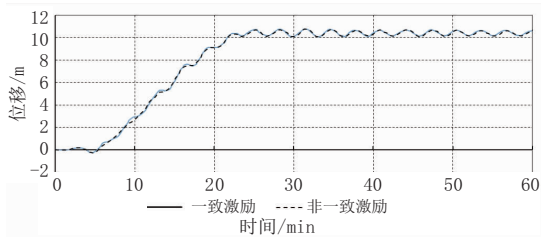


图2 10%超越概率塔顶纵向位移反应时程曲线

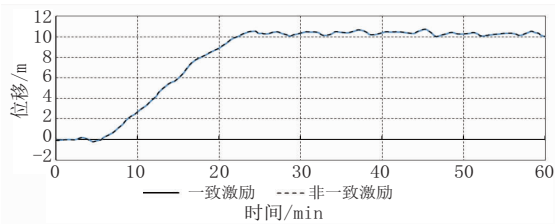


图3 10%超越概率塔顶横向位移反应时程曲线

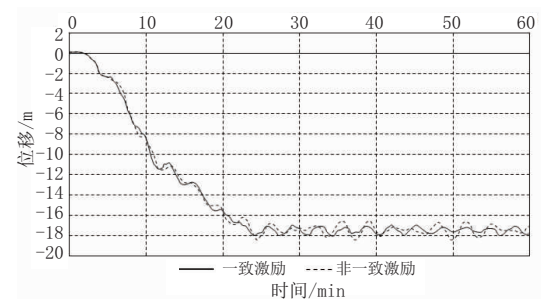


图4 2%超越概率塔顶纵向位移反应时程曲线

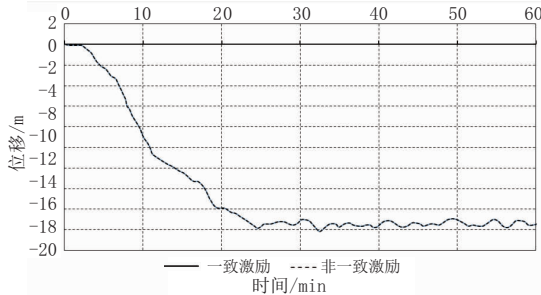


图5 2%超越概率塔顶横向位移反应时程曲线

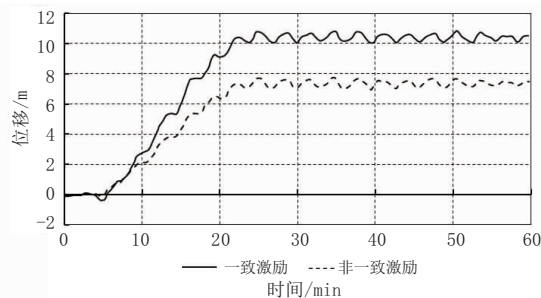


图6 10%超越概率跨中纵向位移反应时程曲线

从图2至图9可见,考虑多点激励后加劲梁跨中位移变化幅度较大,但桥塔塔顶位移变化幅度很小。

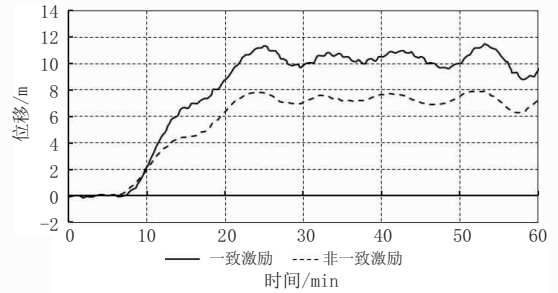


图7 10%超越概率跨中横向位移反应时程曲线

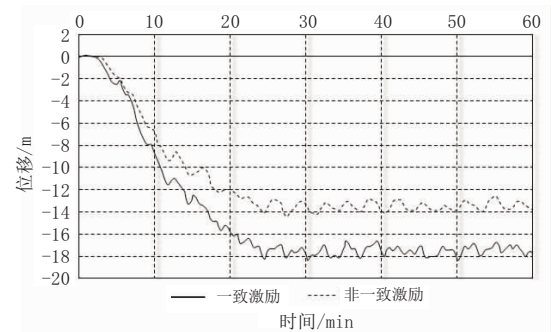


图8 2%超越概率跨中纵向位移反应时程曲线

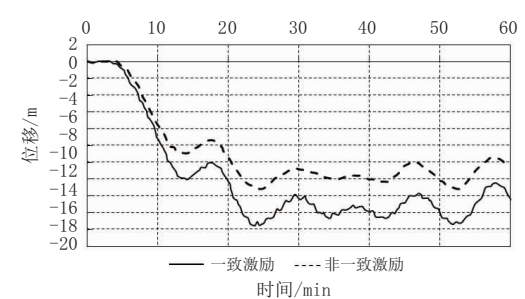


图9 2%超越概率跨中横向位移反应时程曲线

4 行波效应分析

分别计算刘家峡大桥在多点激励和考虑行波效应地震动输入情况下的地震响应,并进行对比分析,研究行波效应对悬索桥地震反应的影响。行波效应分析中地震动视波速取100、200、500、1000 m/s 4种,桥塔与梁反应峰值结构地震反应时程如图所示。

由图10至图17可见,考虑行波效应对加劲梁跨中位移的影响幅度较大,但对桥塔塔顶位移影响幅度很小。

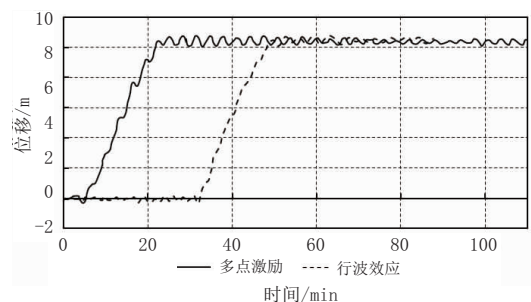


图10 10%超越概率塔顶纵向位移反应时程曲线

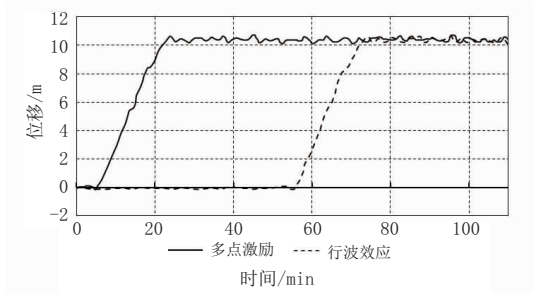


图 11 10%超越概率塔顶横向位移反应时程曲线

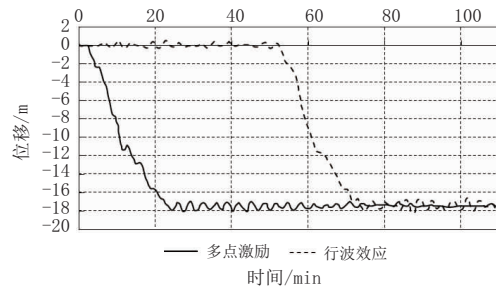


图 12 2%超越概率塔顶纵向位移反应时程曲线

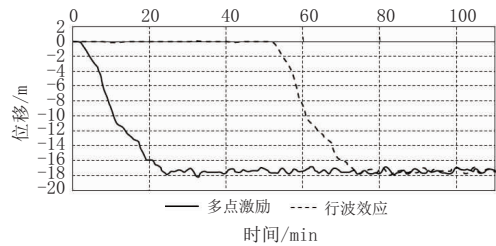


图 13 2%超越概率塔顶横向位移反应时程曲线

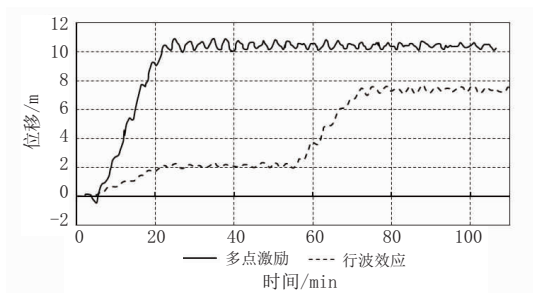


图 14 10%超越概率跨中纵向位移反应时程曲线

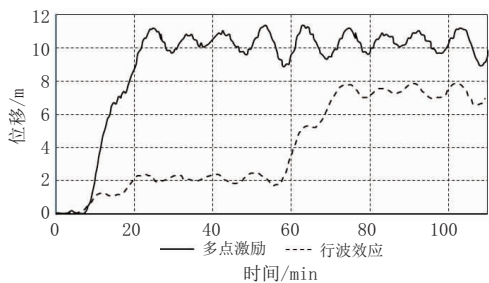


图 15 10%超越概率跨中横向位移反应时程曲线

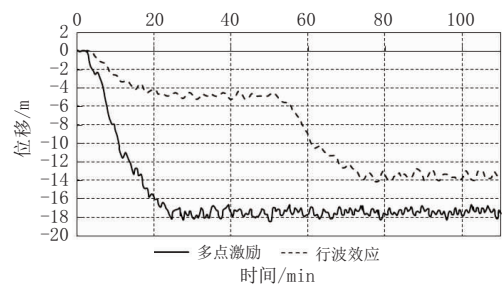


图 16 2%超越概率跨中纵向位移反应时程曲线

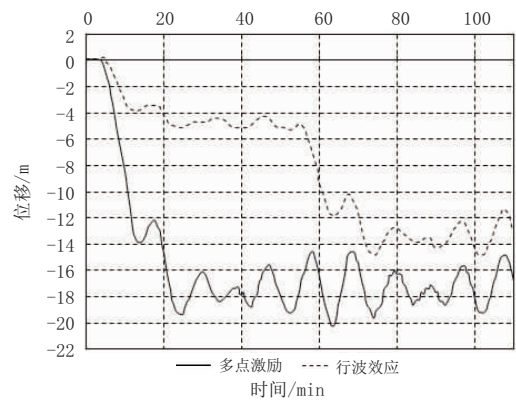


图 17 2%超越概率跨中横向位移反应时程曲线

5 结论

本文以刘家峡大桥为工程依托,针对该悬索桥两桥塔场地震动时程相差较大且跨径较大的情况,利用非一致激励地震反应分析理论,对结构多点

激励地震反应和地震行波效应进行了研究。对于塔顶,一致激励与多点激励产生位移很接近,但多点激励在跨中主梁各方向的位移要小很多,最大的要小29.8%。由此可知非一致激励分析理论结果较一直激励分析理论结果更为准确,则非一致激励分析理论是悬索桥等索吊特殊桥梁结构进行分析的更为符合实际的地震动作用效应输入模式。

参考文献:

- [1] 陈仁福.大跨悬索桥理论[M].成都:西南交通大学出版社,1994.
- [2] 雷俊卿,郑明珠,徐恭义.悬索桥设计[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [3] 铁道部大桥工程局桥梁科学研究所.悬索桥[M].北京:科学技术文献出版社,1996.
- [4] 王龙飞.大跨径三塔结合梁斜拉桥极限承载能力研究[D].武汉:武汉理工大学,2012.
- [5] 严国敏.韩国的永宗悬索桥[J].国外公路,1998(6):16-18.
- [6] H.Gil, C.Cho.Yongjong Grand Suspension Bridge [J]. SStructural Engineering International, 1998, 8(2):97-98.
- [7] M.Kamei, T.Maruyama, H.Tanaka. Konohana Bridge, Japan[J].Structural Engineering International, 1992, 2(1):4-6.
- [8] Choong, Ybung Cho, Seung-Woo Lee, et al. Yongjong Self-anchored Suspension Bridge[J]. Structural Engineering International, 2001, 11(1):21-23.
- [9] 钱冬生,陈仁福.大跨度悬索桥的设计与施工[M].成都:西南交通大学出版社,1999.
- [10] 李国豪.桥梁结构稳定与振动[M].北京:中国铁道出版社,1992.