

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.03.020

桥上人行桥对大跨度系杆拱桥抗震性能影响研究

周 浩

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 大跨度拱桥上设置人行桥结构新颖, 探明人行桥对下承式系杆拱桥抗震性能的影响有重要意义。以深圳市某下承式系杆拱桥为研究对象, 通过动力时程方法分析成桥阶段是否设置人行桥对全桥抗震性能的影响。研究表明: 设置人行桥降低了纵向向地震作用下桥上拱肋和吊杆的应力, 增加了横向向地震作用下桥上拱肋和吊杆的应力, 对于桩基础影响不大。

关键词: 下承式系杆拱桥; 仿真模型; 动力时程方法; 抗震分析

中图分类号: U448.22 + 5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)03-0085-03

0 引 言

系杆拱桥具有拱桥的一般特征, 又有自身的独有特点, 它是一种集拱与梁的优点与一身的桥型, 充分发挥梁受弯、拱受压的结构性能和组合作用。其受力合理、刚度大、稳定性好、造型美观、对基础沉降敏感性低, 在 150 ~ 500 m 的桥梁跨境范围内, 具有较强的竞争力。张晨等^[1]对某三跨中承式钢管混凝土拱桥进行时程分析, 得到了不同设防标准下桥梁的最不利内力及变形; 邹建豪等^[2]采用时程分析法和反应谱法对跨径 240 m 的西溪河大桥进行动力响应分析并对结果进行总结; 雷宇等^[3]对松岙大桥主桥的钢管混凝土提篮拱桥进行地震时程响应参数研究并得到结果; 方圆等^[4]以某下承式系杆拱桥为工程实例, 对采用不同支撑体系下的地震响应进行研究并推荐了合理抗震体系; 张奕增^[5]以某一钢箱系杆拱桥为工程背景, 计算分析了钢箱系杆拱桥的动力参数及地震响应; 严猛^[6]对菜园坝长江大桥进行地震反应特性研究, 发现跨度越大的桥梁地震反应分析越复杂。

许多人已经对下承式系杆拱桥进行了大量的地震反应分析, 但是并未研究主桥上有二层人行桥时在地震作用下对桥梁重要部位的影响。本文以深圳市一座下承式系杆拱桥为工程背景, 建立三维空间动力分析模型, 研究有无人行桥时在地震作用下的地震响应, 对比分析两种模型在地震作用下响应的差异, 为此类桥梁抗震设计提供借鉴。

收稿日期: 2022-04-26

作者简介: 周浩(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

1 工程概况及设防水准

1.1 工程概况

该桥旧址位于深圳市罗湖区大望路, 跨越一级水源保护区深圳水库。原桥建成于 1985 年, 受水源保护地限制, 要在有限的红线范围内完成拆除重建工作。跨径布置为 14.5 m+215 m, 主拱矢跨比为 1/5.337 5, 拱肋为提篮拱, 主桥横梁间距为 3.5 m, 吊杆间距 7 m。主桥及主拱采用 Q420qD 钢, 慢行系统采用 Q345qC 钢。主桥桥面宽 22.5 m, 桥上人行桥桥面宽 7 m。主桥立面和横断面见图 1、图 2。由于要预留远期环深圳水库二层慢行系统顺接需求, 在主桥上预留二层人行桥。

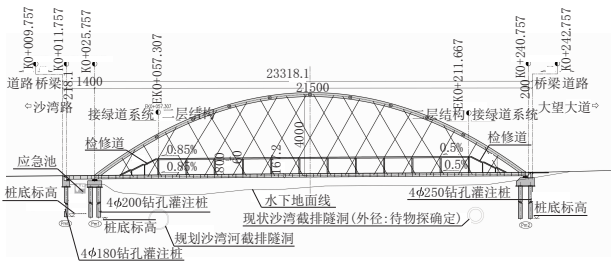


图 1 全桥立面图(单位:cm)

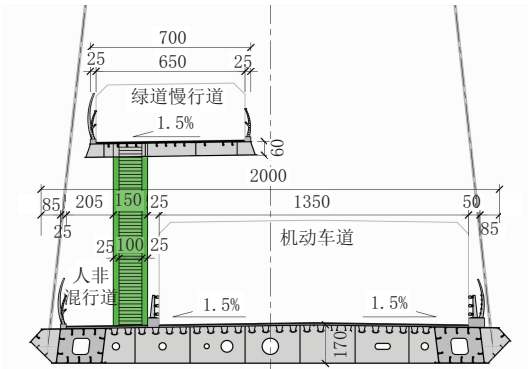


图 2 主梁横截面(单位:mm)

1.2 设防水准

桥址地震烈度为Ⅶ度,场地类别主要为Ⅱ类。基本地震动峰值加速度为 $0.10g$,基本地震动加速度反应谱特征周期为 0.35 s ,区域内无活动性断裂,线位属基本稳定区。根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)的有关规定,该桥属于甲类抗震设防类别,针对结构寿命期各部分的重要性、可修性、可换性和可检性,以及地震破坏后桥梁结构修复的难易程度,该桥采用减隔震支座之后的抗震设防标准为:在 E2 地震作用下,桥梁结构不受损伤或不需要修复可继续使用,即结构基本不发生损伤,保持在弹性范围内工作。

2 有限元模型建立

采用 Midas/Civil 软件建立系杆拱桥模型,见图 3。主梁、拱肋和桩基均采用空间梁单元模拟,桥面采用板单元模拟,二期恒载仅考虑质量影响,忽略其刚度效应。拱脚处与承台固定连接,采用“m”法模拟桩基土应力,全桥 6 个支座均采用摩擦摆减隔震支座。

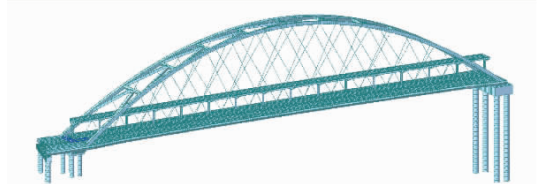


图 3 全桥有限元模型

3 地震动输入

大桥采用减隔震措施,所以仅给出 E2 地震对应的反应谱及地震波。根据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)的规定,阻尼比为 0.05 的水平加速度反应谱 S 由式(1)确定:

$$S = \begin{cases} 0.45 S_{\max} & T = 0\text{ s} \\ \eta_2 S_{\max} & 0.1\text{ s} < T \leq T_g \\ \eta_2 S_{\max} \left(\frac{T_g}{T} \right)^\gamma & T_g \leq T < 5T_g \\ [\eta_2 0.2^\gamma - \eta_1 (T - 5T_g)] S_{\max} & 5T_g < 6 \end{cases} \quad (1)$$

根据实际桥梁阻尼比 0.03 计算的反应谱见图 4。

采用规范加速度反应谱合成的人工地震波进行抗震分析,设计加速度时程不得小于 3 组,且应保证任意 2 组间同方向时程的相关系数绝对值小于 0.1 ,图 4 给出 E2 地震时程曲线。

4 全桥地震反应分析

对比纵竖向与横竖向 E2 地震作用输入下该桥钢拱肋的应力状态,可以看到在横竖向地震输入的

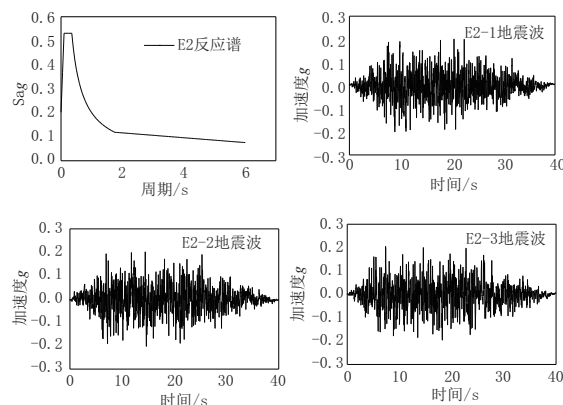


图 4 反应谱曲线和三条 E2 地震波

情况下其应力水平更高,最大应力值为 221 MPa 出现在拱脚处,纵竖向拱脚最大应力为 210 MPa 。相对于 Q420 钢材的标准应力值还有不少富裕空间。在纵竖向地震下吊杆的最大应力为 125 MPa ,横竖向吊杆的最大应力为 139 MPa 。远远小于吊杆材料的应力标准值。故在 E2 地震作用下,拱肋和吊杆均处于弹性范围,不会发生损伤。

该桥在每个桥台下布置 4 根钻孔灌注桩,根据桥台尺寸的不同,共有三种不同的桩基直径,从西边到东边分别为 180 cm 、 200 cm 和 250 cm , $\phi 180\text{ cm}$ 和 $\phi 200\text{ cm}$ 桩基高度都为 10 m , $\phi 250\text{ cm}$ 的桩基高度为 40 m 。针对 E2 地震作用下的纵竖向和横竖向输入,可以得到各个桩立柱的地震响应,找到最不利单桩后用 Xtract 对桩基强度进行验算。验算结果见表 1。

表 1 E2 地震下全桥桩基验算

输入方向	桩基直径/cm	验算轴力/kN	弯矩需求/(kN·m)	首次屈服弯矩/(kN·m)	需求比	配筋率/%
纵竖向	180	-1 470	990	8 212	8.2	1.452
	200	-13 712	4 651	14 650	3.1	1.412
	250	-16 324	4 151	35 320	8.5	1.835
横竖向	180	-1 514	1 377	8 158	5.9	1.452
	200	-10 652	5 046	16 240	3.2	1.412
	250	-13 725	12 935	32 240	2.4	1.835

可以发现,桩基能够满足 E2 地震下的抗震需求,在横竖向地震作用下最不利的能需比是 2.4 ,小于纵竖向地震作用下最不利的能需比。说明横竖向地震作用下结构更为不利,应重点关注。

全桥采用摩擦摆支座,摩擦摆支座的设计剪断力为 $7\ 000\text{ kN}$ 。现将支座固定方向固结,分别计算 E1 地震作用下和 E2 地震作用下支座固定方向的抗力,计算结果见表 2。

表 2 支座剪力		
地震作用阶段	地震输入方向	剪力 /kN
E1	纵竖向	4 044
	横竖向	5 010
E2	纵竖向	7 975
	横竖向	9 907

可以看到在 E1 地震作用下支座的剪力并未达到 7 000 kN,摩擦摆支座的卡榫并未剪断,在 E2 地震作用下支座的剪力超过了 7 000 kN,卡榫会剪断,满足抗震设计需求

5 无人行桥地震响应分析

将主桥上人行桥删除后进行时程分析。纵竖向地震波作用下拱脚最大应力为 225.1 MPa,横竖向地震波作用下拱脚最大应力为 188.2 MPa。对比全桥拱脚最大应力,纵竖向地震作用下,无人行桥拱脚应力更大,横竖向地震作用下,有人行桥拱脚应力更大,但是最大应力相差不大,说明有无人行桥对拱肋影响不大。纵竖向地震作用下吊杆最大应力为 135.3 MPa,横竖向地震用下吊杆最大应力为 111.7 MPa,对比全桥模型,可知在纵竖向地震作用下,无人行桥吊杆应力增加,横竖向地震作用下,无人行桥吊杆应力减小。说明人行桥能够降低纵竖向地震下的内力,增加横竖向地震作用下的内力。但拱肋和吊杆都处于弹性范围内不会发生损伤。

无人行桥桩基最不利单桩内力及验算见表 3。
对比全桥模型,可以发现无人行桥桩基能需比最小为 2.2,是满足抗震需求的,相对于全桥桩基能需比最低 2.4,减小 8.3%,基本可以忽略不计。说明人行桥对于桩基截面抗震能力影响较小,有无人行桥桩基截面都是满足抗震需求的。对于该类拱桥,在其上修建人行桥应该更加关注人行桥自身的受力,对于桥梁的其他关键部位抗震性能影响较小。

表 3 E2 地震下无人行桩基验算						
输入方向	桩基直径 /cm	验算轴力 /kN	弯矩需求 / (kN·m)	首次屈服弯矩 / (kN·m)	需求比	配筋率 /%
纵竖向	180	-1 618	1 001	8 236	8.2	1.452
	200	-9 567	2 898	15 160	5.2	1.412
	250	-18 633	11 306	35 360	3.1	1.835
横竖向	180	-1 509	1 308	8 180	6.3	1.452
	200	-11 337	7 369	16 010	2.2	1.412
	250	-13 057	13 264	30 960	2.3	1.835

6 结 论

通过建立该下承式系杆拱桥全桥和无人行桥有限元模型,进行抗震分析,可以得到:
(1)在地震作用下,人行桥能够降低纵竖向地震作用下桥上关键截面的内力,增大横竖向地震作用下桥上关键截面的内力。
(2)人行桥对于桥下桩截面的抗震性能影响较小,有无人行桥桩基截面都能够满足 E2 地震下的需求。
(3)通过计算表明摩擦摆支座设计 7 000 kN 的剪断力是合理的,能够保证在 E1 地震下卡榫不剪断,在 E2 地震下卡榫能够剪断。

参考文献:

[1] 张晨,徐勋倩,陈静.三跨中承式钢管混凝土拱桥抗震性能分析[J].四川建筑科学研究,2013,39(6):185-188.

[2] 邹建豪,卫星,温宗意,等.高速铁路上承式钢管砼拱桥地震响应差异比较[J].工程抗震与加固改造,2019,41(1):89-95.

[3] 雷宇,赵雷,孟庆成,等.钢管混凝土拱桥地震响应分析的参数研究[J].公路交通科技,2008(7):54-58,64.

[4] 方圆,席进.大跨度系杆拱桥合理抗震体系研究[J].结构工程师,2015,31(5):65-70.

[5] 张奕赠.钢箱系杆拱桥动力特性及地震响应分析[D].重庆:重庆交通大学,2018.

[6] 严猛.大跨度系杆拱桥地震反应特性分析研究[D].成都:西南交通大学,2011.

《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