

连续刚构桥单双薄壁墩地震响应的对比分析

周勇军, 贺拴海, 宋一凡, 赵小星

(长安大学, 陕西 西安 710064)

摘 要: 单双薄壁墩是连续刚构桥墩常见的两种形式, 论文对比研究了它们对高墩大跨弯连续刚构桥动力及地震响应的影响规律。以某座桥梁工程为背景, 建立了空间有限元分析模型, 分析了墩底固结和桩土共同作用两种工况下连续刚构桥的自振特性。在此基础上, 利用线弹性的时程分析法, 对两种桥墩形式下结构的地震响应进行了对比分析。结果表明, 相同条件下采用双薄壁墩可以有效地减小主梁的弯矩响应和位移响应, 降低墩底应力, 所有这些都是以增大双薄壁墩底轴力为代价的。其研究成果可供桥梁初步设计及弹性抗震设计参考。

关键词: 单双薄壁墩; 动力性能; 线弹性; 地震响应

我国自 1990 年建成第一座连续刚构桥(广东洛溪大桥)以来, 经过 10 多年的发展, 已在世界同类桥梁中占有重要的地位, 如最大墩高为 178 m 的龙潭河特大桥(跨径组合 106+3×200+106 m)建成后将成为世界第一高墩连续刚构, 重庆石板坡长江大桥复线桥将成为世界第一跨度的连续刚构(主跨 330 m), 此外我国还是目前连续刚构桥修建最多的国家之一。连续刚构桥适合于大跨径、高墩。高墩采用柔性薄壁, 如同摆柱, 对主梁嵌固作用小, 梁的受力接近于连续梁。柔性墩需要考虑主梁纵向变形和转动的影响以及墩身偏压柱的稳定性; 墩壁较厚, 则作为刚性墩连续梁, 如同框架, 桥墩要承受较大弯矩。当然, 桥墩较矮时, 这种桥型将受到限制。

高墩大跨连续刚构桥, 在公路上一般采用双薄壁墩, 而在铁路上一般采用单薄壁墩, 双薄壁墩与单薄壁墩在动力学特性上有何异同, 尚未见有关报道。针对上述问题, 本文进行了这方面的数值试验, 通过对结果的对比分析, 得出了一些有意义的结论。

1 工程背景

某 3 跨高墩大跨径连续刚构桥跨径组成为 110+

200+110 m, 桥梁总体布置如图 1 所示。

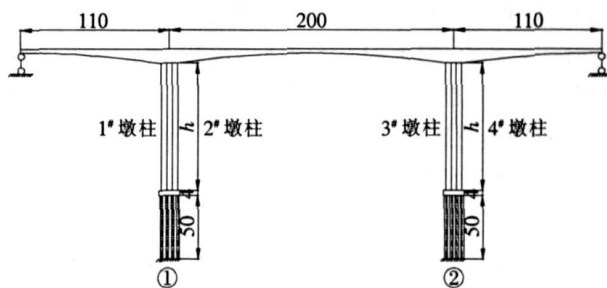


图 1 总体布置示意图(单位: m)

主梁采用单箱单室箱梁, 墩顶主梁高 11 m, 跨中主梁高 3 m, 梁高沿跨径方向按二次抛物线变化。主梁根部和跨中截面如图 2 所示。

桥墩为双薄壁式空心墩, 墩高 100 m, 墩身截面如图 3 所示, 钻孔灌注桩基础。箱梁采用 C50 混凝土, 桥墩为 C40 混凝土。II 类场地土, 地震加速度峰值为 0.1g, 提高为 0.2g 进行抗震计算。

为了研究单双薄壁墩对弯连续刚构桥抗震性能的影响, 取上述 3 跨刚构桥为对象, 并假设曲率半径为 300 m, 同时采用单薄壁墩, 其尺寸为 8 m×7 m, 壁厚分别为 1.4 m 和 1.1 m, 同时结合下部计算模型, 分别考虑桩土共同作用(简称为 ssi)和墩底固结(简称为

no ssi) 两种情况。

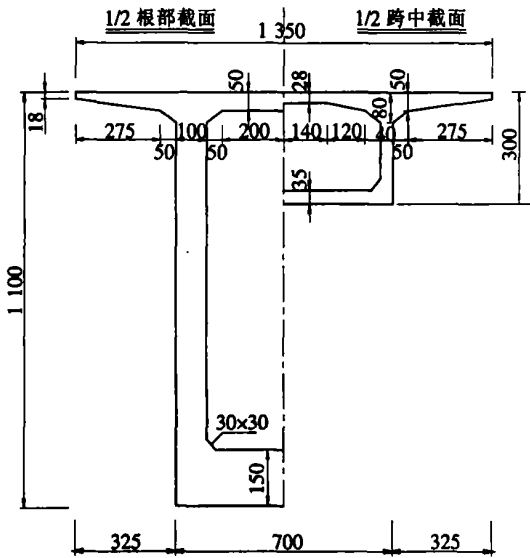


图 2 主梁截面示意图(单位: cm)

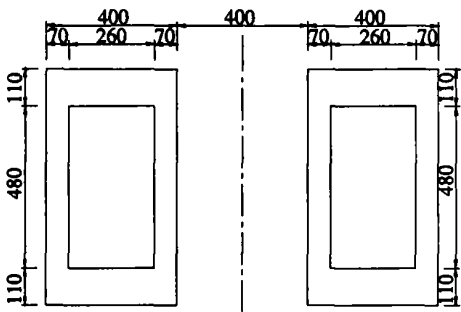


图 3 桥墩断面示意(单位: cm)

2 有限元计算

采用大型有限元通用程序 ANSYS8.1 进行计算。

其中主梁和桥墩均采用空间梁单元 Beam188, 计算时取每个施工节段平均质量和惯性矩作为该梁单元的截面特性输入。假设两边墩均限制其竖向位移和横向位移, 并限制扭转约束及横向弯曲。阻尼采用常见的 Rayleigh 阻尼, 时程分析的地震波为 Elcentro 波, 该波因波频范围较宽, 多年来被工程界作为数值计算的典型例子而加以广泛利用。

结构坐标轴规定: 顺桥向为两桥台连线的方向, 横桥向为平面内与顺桥向垂直的方向。为了讨论结构的设计参数对结构地震响应的影响, 这里假定地震波按照以上定义的顺桥向和横桥向分别输入, 并不考虑结构多点激励及相位差效应。

3 自振特性分析

结构的自振特性是进行结构动力反应和抗震分析的前提。两种情况下连续刚构桥的自振特性分析结果如表 1 所示, 结构 3 个方向的一阶频率对比如图 4 所示。

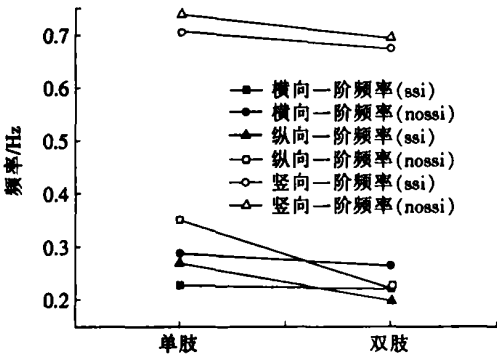


图 4 结构频率随桥墩类型的变化曲线

表 1 单双薄壁墩桥梁的自振特性对比

阶数	墩底固结				桩土共同作用(ssi)			
	单薄壁墩		双薄壁墩		单薄壁墩		双薄壁墩	
	频率/Hz	振型描述	频率/Hz	振型描述	频率/Hz	振型描述	频率/Hz	振型描述
1	0.287 8	桥墩对称横弯	0.220 7	桥墩纵弯	0.228 6	桥墩对称横弯	0.197 7	桥墩纵弯
2	0.351 0	桥墩纵弯	0.263 2	桥墩对称横弯	0.268 9	桥墩纵弯	0.220 6	桥墩对称横弯
3	0.537 1	桥墩反对称横弯	0.533 8	桥墩反对称横弯	0.477 3	桥墩反对称横弯	0.482 9	桥墩反对称横弯
4	0.739 6	主梁对称竖弯	0.695 1	主梁对称竖弯	0.707 2	主梁对称竖弯	0.676 2	主梁对称竖弯
5	1.069 9	主梁对称横弯	1.050 6	主梁对称横弯	1.015 4	主梁对称横弯	1.008 6	主梁对称横弯
6	1.171 9	主梁反对称竖弯	1.122 5	主梁反对称竖弯	1.119 4	主梁反对称竖弯	1.102 4	主梁反对称竖弯
7	1.458 7	主梁对称二阶竖弯	1.454 2	主梁对称二阶竖弯	1.427 8	主梁对称二阶竖弯	1.434 2	主梁对称二阶竖弯
8	1.930 4	主梁反对称横弯	1.757 6	双肢纵向弯曲	1.762 8	主梁反对称竖弯	1.617 4	桥墩对称纵弯
9	1.953 7	主梁反对称二阶竖弯	1.759 0	桥墩双肢反向纵弯	1.844 4	桥墩对称横弯	1.669 4	桥墩双肢反向纵弯
10	2.313 7	桥墩对称横弯	1.780 0	桥墩对称纵弯	1.925 0	主梁反对称竖弯	1.672 4	桥墩双肢同向纵弯

从表 1 和图 4 可以看出,墩底采用固结模型时,单薄壁和双薄壁的桥梁的振型序列不一致,设置单薄壁的桥梁整体一阶振型为桥墩对称横弯,二阶振型为桥墩纵弯;而设置双薄壁墩的桥梁整体一阶振型为桥墩纵弯,二阶振型为桥墩对称横弯。单薄壁墩的横向一阶频率比双薄壁的大 10%,而纵向一阶频率比双薄壁的大 40%,说明桥墩类型的改变会显著影响结构两个方向的动力特性。当考虑桩土共同作用时,单薄壁和双薄壁的设置仍然改变了桥梁结构振型的序列,虽然单双薄壁横向的一阶频率差别不大(为 4%),但双薄壁的纵向频率比单薄壁的小近 26%,说明此时设置双薄壁桥墩对横桥向的动力改善很小,但可以明显减小纵向频率。

4 地震响应分析

以跨中、主梁根部以及墩底截面的地震响应作为观测点。

4.1 顺桥向地震响应分析

顺桥向激励时,内力及位移的响应值随桥墩类型的变化规律如图 5 所示。

由图 5 可以看出:

(1) 对上部结构主梁来说,考虑墩底固结时,双薄壁的桥梁与单薄壁的桥梁相比,主梁边跨跨中、边跨根部、中跨根部、中跨跨中竖向弯矩分别减小了 68%、45%、76%、80%,扭矩的减小幅度也有 37%~54%;考虑桩土作用后,前述 4 个位置处主梁竖向弯矩减小了 35%~60%,扭矩减小了 17%~44%。

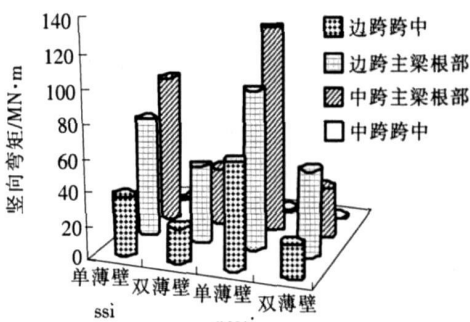
(2) 对下部结构来说,考虑墩底固结后,双薄壁的桥梁与单薄壁的桥梁相比,墩底顺桥向应力减小了 70%,墩底轴力却增加 387%。考虑桩土作用后,前者墩底纵向弯矩减小了 30%,墩底轴力却增加了 327%。

(3) 对主梁位移来说,考虑墩底固结后,双薄壁桥梁的位移比单薄壁的减小了 30%。考虑桩土作用后,前者主梁的最大切向位移是后者的 0.8 倍。

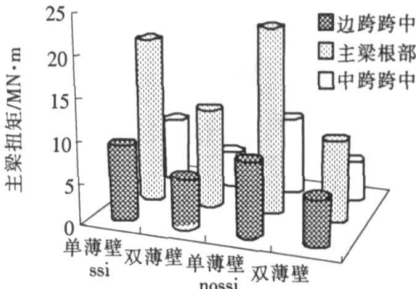
(4) 采用了双薄壁墩可使结构的频率降低,有效地减小主梁的弯矩、扭矩和位移响应峰值,降低了墩底应力,所有这些都是以增大双薄壁墩底轴力为代价的。

4.2 横桥向地震响应分析

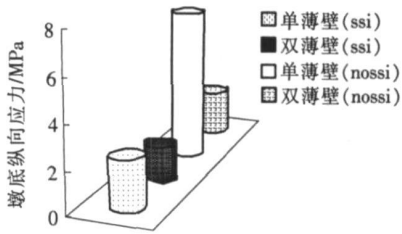
横桥向激励时,内力及位移的响应值随桥墩类型的变化规律如图 6 所示。



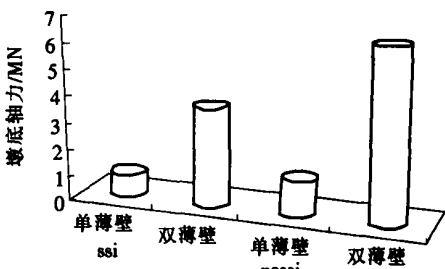
(a) 主梁竖向弯矩随桥墩类型变化图



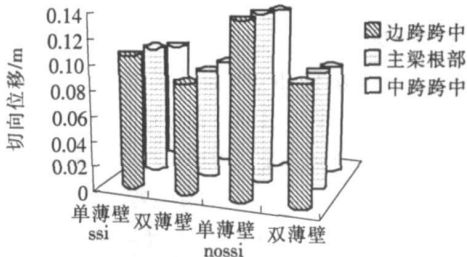
(b) 主梁扭矩随桥墩类型变化图



(c) 墩底纵向应力随桥墩类型变化图

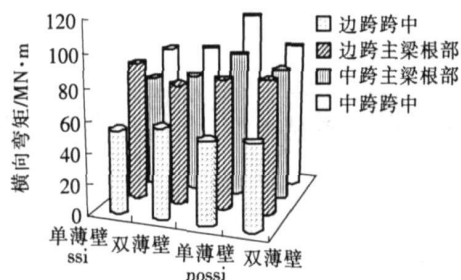


(d) 墩底轴力随桥墩类型变化图

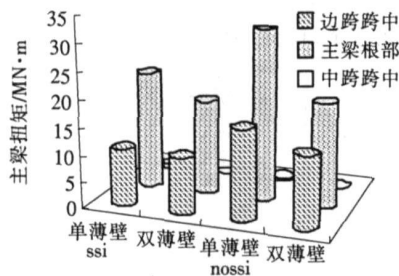


(e) 主梁切向位移随桥墩类型变化图

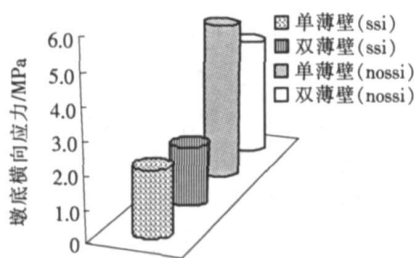
图 5 顺桥向地震波作用下结构的内力及位移响应



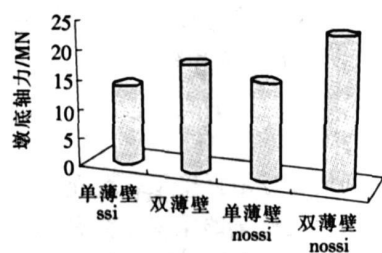
(a) 主梁横向弯矩随桥墩类型变化图



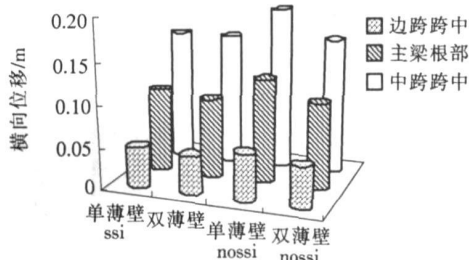
(b) 主梁扭矩随桥墩类型变化图



(c) 墩底横向应力随桥墩类型变化图



(d) 墩底轴力随桥墩类型变化图



(e) 主梁横向位移随桥墩类型变化图

由上述图形可以看出:

(1) 对上部结构来说,考虑墩底固结后,双薄壁的桥梁与单薄壁的桥梁主梁横向弯矩变化形式不同,前者与后者相比,边跨跨中和边跨主梁根部分别增加了4%和2%,中跨主梁根部和中跨跨中分别减小了8%和16%,主梁的扭矩减小了20%~80%。考虑桩土作用后,双薄壁的桥梁与单薄壁的桥梁相比,边跨跨中、中跨主梁根部和中跨跨中分别增加了7%、6%和3%,边跨主梁根部弯矩减小了13%,主梁的扭矩减小了30%~80%。

(2) 对下部结构来说,考虑墩底固结后,双薄壁的桥梁与单薄壁的桥梁相比,墩底横向应力减小了23%,墩底轴力增加了50%。考虑桩土作用后,前者的墩底横向应力减小了10%,墩底轴力增加了34%。

(3) 考虑墩底固结后,双薄壁墩的主梁横向位移是单薄壁墩的0.2倍,考虑桩土作用后,设置双薄壁墩时主梁最大横向位移仅是单薄壁的0.4倍。

(4) 采用了双薄壁墩可使结构的频率降低,有效地减小了主梁的弯矩响应和位移响应,降低了墩底应力,所有这些亦都是以增大双薄壁墩底轴力为代价的。

5 结论

(1) 设置双薄壁桥墩的连续刚构桥与单薄壁墩的连续刚构相比,结构体系更柔,可明显减小纵向频率,但对横桥向的动力改善很小。

(2) 采用双薄壁墩桥梁与单薄壁墩桥梁相比,可有效地减小主梁的弯矩响应和位移响应,降低墩底弯矩,所有这些都是以增大双薄壁墩底轴力为代价的。

(3) 对软弱地基上的连续刚构桥,是否考虑桩土作用结果差别显著,应按实际情况作适当处理。

参考文献:

- [1] 周军生,楼庄鸿.大跨径预应力混凝土连续刚构桥的现状和发展趋势[J].中国公路学报,2000(1).
- [2] 罗玉科,冯鹏程.龙潭河特大桥设计[J].桥梁建设,2005(2).
- [3] 黄海东,向中富,刘志辉,等.重庆石板坡大桥施工控制方案研究[J].重庆交通学院学报,2005(6).
- [4] 徐君兰,顾安邦.连续刚构桥主墩刚度合理性的探讨[J].公路交通科技,2005(2).
- [5] 余钱华,胡世德,范立础.具有高墩桥梁结构的被动控制研究[J].长沙交通学院学报,2001(1).
- [6] 范立础.桥梁抗震[M].上海:同济大学出版社,1996.

图6 横桥向地震波下结构的内力及位移响应