

文章编号:1005-0523(2017)04-0001-06

横系梁对双柱式高墩桥梁抗震性能的影响

陈水生,刘 琨,桂水荣

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:采用 ETABS 建立有限元模型,对铜鼓高速上的石坪高架二桥进行抗震设计,石坪高架二桥是一座跨径为 40 m 双柱式高墩连续梁桥,分别研究了横系梁的数量、不同位置和不同刚度,对桥墩在地震荷载作用下各个主要截面处内力以及位移的影响。计算结果表明:地震作用下的双柱式高墩桥梁下部结构的内力分配与横系梁的道数有着非常紧密的关系,并且可以通过合理的设计横系梁来增加桥梁的横向刚度,进而使得下部结构内力得到合理的分配,提高桥梁的抗震性能。在墩身的 0.4,0.5,0.7 倍高度处各布置一道与墩身刚度比为 0.5~0.75 之间的横系梁,可以减小地震对高墩桥梁的破坏。

关键词:双柱式高墩;横系梁;反应谱分析;时程分析

中图分类号:U441+3 **文献标志码:**A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.04.001

桥墩在桥梁结构中的作用是将上部的荷载传递到地基基础,是非常重要的受力构件。由于双柱式桥墩达到一定的高度时,为了符合施工阶段的稳定性的要求,一般会在两根墩柱之间布置横系梁,布置横系梁以后,分配到下部结构的力会发生变化^[1-3]。

在地震作用下,弯曲破坏、弯剪破坏、剪切破坏是钢筋混凝土桥墩经常出现的破坏形式。由于上部主梁一般具有较高的抗震性能和承载能力,而抗震设计主要是面向下部结构中的桥墩,因此设计和构造方面的缺陷、施工质量的优劣等因素都将影响到桥墩的抗震性能。

兰峰^[4]基于反应谱方法得出横系梁布置在墩身 0.3,0.8 倍高度下可以有效的提高桥梁结构的抗震性能。谭慧^[5]以一座墩高为 30 m 预应力混凝土简支梁桥为实例,分析了横系梁对桥梁抗震的影响,分析表明当桥梁受到顺桥向的地震作用下,横系梁对桥梁抗震的影响是非常小的,横系梁主要影响桥梁的横向受力。孔得琛^[6]指出桥梁在地震作用下,桥墩横向受到的影响最大,因此大多数情况下桥墩的破坏都是横桥向的强度来控制。盛伟兵^[7-8]通过对薄壁墩与双柱式墩进行研究对比,得出在 40 m 以内桥墩设计中是可以采用双柱式墩的。大量的研究的都是 30 m 左右的双柱墩,而对 40 m 以上的双柱墩研究的较少,随着越来越多的高墩桥梁的出现,横系梁对高墩桥梁的抗震影响就有必要进一步研究。本文通过对横系梁的道数、位置、刚度的变化,来进一步说明横系梁对双柱式高墩桥梁抗震性能的影响。

1 动力计算模型

本文以石坪二桥为背景,石坪二桥的下部结构采用双柱式墩,双柱式墩的直径为 2.0 m 圆形,横系梁的尺寸为 1.4 m×1.6 m。墩柱高度从 1#~4# 墩依次为 19.1,40.6,41.1 m 和 36.6 m,1# 墩在墩柱 1/2 处设置横系梁,2#、3#、4# 墩分别在墩柱 1/4,2/4,3/4 处各布置一道横系梁。模型都采用梁单元建立,墩底都设置为固结,1#、4# 墩采用弹性连接与 T 梁连接,模拟板式橡胶支座;2#、3# 墩采用弹性连接中的刚性连接于 T 梁固结。有限元模型如图 1 所示。

收稿日期:2017-03-03

基金项目:国家自然科学基金(50128013, 51468018)

作者简介:陈水生(1968—),男,教授,博士,主要研究方向为桥梁结构振动与控制。

柱式墩台横系梁截面高度和宽度依次取0.8~1.0倍和0.6~0.8倍的墩柱直径或长边边长^[9]。因为此双柱式高墩桥梁的圆形墩柱直径为2 m,所以取它的横系梁的高为1.6 m,宽为1.4 m。

模型1:由于1#墩相对比较矮,所以1#墩只布置一道横系梁,2#、3#、4#墩加两道横系梁。1#墩在墩柱的1/2处设置系梁,其余3个相对比较高的墩柱的横系梁应该布置在墩身的0.3,0.8倍高度时能够使结构受力最合理。

模型2:由于2#、3#桥墩较高,考虑加设3道横系梁,1#墩布置一道,4#墩布置两道,三道横系梁分别布置在墩身0.3,0.5,0.7倍高度的位置,截面仍采用1.6 m×1.4 m矩形截面,如图1所示。

2 自振特性分析

桥梁结构的振动周期、振型等是反应结构动力特性的模态参数,是评估桥梁动力性能的重要依据,不同模型的周期比较如图2所示。基于对模型1、模型2进行模态分析,我们可以知道这两种桥梁结构的动力特性上的差异,表1所示的为模型1和模型2前十阶的模态。

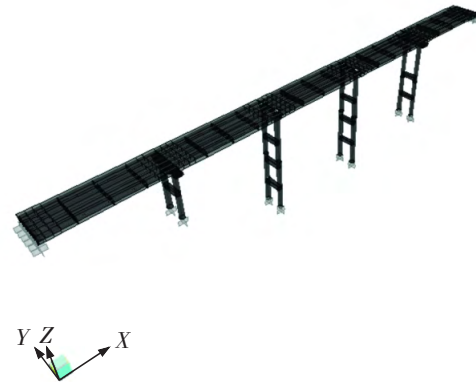


图1 有限元模型

Fig.1 Finite element model

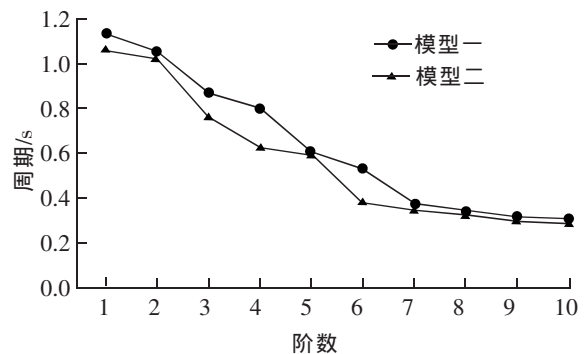


图2 结构前十阶模态周期

Fig.2 Modal period of the first ten orders of structure

表1 结构前十阶模态周期

Tab.1 Modal period of the first ten orders of structure

模态阶数	模型1		模型2	
	周期/s	振型特征	周期/s	振型特征
1	1.129 164	正对称横向弯曲	1.055 915	正对称横向弯曲
2	1.045 387	纵漂	1.017 898	纵漂
3	0.864 821	反对称横向弯曲	0.756 562	反对称横向弯曲
4	0.789 77	正对称横向弯曲	0.620 441	正对称横向弯曲
5	0.602 866	桥墩纵弯	0.588 049	桥墩纵弯
6	0.523 449	反对称横向弯曲	0.373 593	反对称横向弯曲
7	0.367 681	桥墩纵弯	0.332 891	桥墩纵弯
8	0.333 763	桥墩纵弯	0.315 216	桥墩纵弯
9	0.309 234	桥墩纵弯	0.298 262	桥墩纵弯
10	0.297 913	桥墩纵弯	0.274 038	桥墩纵弯

基于对模型1和模型2的周期及振型的比较分析,发现桥梁结构的纵向动力特性是不受横系梁的影响的,但对桥梁横向受力性能影响较大。与模型1相比,模型2的第1阶振动周期减小了7%,这是因为模型2中的横系梁道数多于模型1,所以模型2的横向刚度变大,从而使得双柱式高墩桥梁的抗震性能得到了提升。

3 横系梁道数的选择

3.1 反应谱分析

根据公路桥梁抗震设计细则,关于高速公路、一级公路上的中桥、小桥,桥梁抗震设防种类为B类;江西地区,地震动峰值加速度为0.05g,区划图上的特征周期为0.40s。考虑桥梁工程的场地类别为Ⅱ类场地。水平方向的设计加速度反应谱S由公路桥梁抗震设计规范5.2.1可知,反应谱拟合的有关参数如表2所示,其中 T_g 为特征周期, C_i 为抗震重要性系数, C_s 为场地系数, C_d 为阻尼调整系数, A 为水平向设计基本地震动加速度峰值。根据表2中的各个参数可以得到E1、E2反应谱,将这两个反应谱分别输入到模型1和模型2中,从而得到墩底和横系梁端的横向最大弯矩值以及墩顶横向的最大位移,结果如表3。

表2 反应谱拟合相关参数表^[10]
Tab.2 Response spectrum fitting^[10]

地震作用类别	T_g	C_i	C_s	C_d	A
E1地震	0.55	0.5	1.2	1	0.05g
E2地震	0.55	1.7	1.2	1	0.05g

表3 E1、E2地震下的弯矩和位移
Tab.3 Moment and displacement under E1, E2 earthquake

项目	E1地震墩底最大弯矩/(kN·m)	E2地震墩底最大弯矩/(kN·m)	E1地震横系梁最大弯矩/(kN·m)	E2地震横系梁最大弯矩/(kN·m)	E1地震墩顶最大位移/cm	E2地震墩顶最大位移/cm
模型1	4 548.01	18 786.74	1 997.12	8 272.35	0.713 5	2.962 8
模型2	4 207.69	17 406.18	1 831.93	7 612.22	0.597 7	2.483 4

从表3可以看出,模型一的墩底弯矩、横系梁弯矩以及墩顶的横向位移都比模型二大,所以加设三道横系梁可以有效的提高桥梁结构的抗震性能。

3.2 时程分析

采用3组地震波来进行计算,取计算结果的最大值进行验算;或者采用7组时程波应用于模型时,可以采用7组结果的平均值。同时,对时程分析结果与反应谱分析计算的结果进行对比,并且时程分析法计算的结果不应小于反应谱计算结果的80%;合理的选取输入的地震加速度时程曲线是时程分析结论合理性的根本,选取的波应该满足地震动三要素,即频谱特性、有效峰值和持续时间。选取的地震波分组和场地类别应和实际的结构场地类别尽可能相同,即二者特征周期 T_g 尽量相等;加速度有效峰值应满足有关计算。

选取3条地震波,它们分别为El Centro Site,270 Deg,Taft Lincoln School,69 Deg、天津波,对实录地震波进行峰值调整,一般峰值调整是对加速度峰值进行调整,根据场地设计峰值PGA计算加速度调整系数。在这3条波的作用下得到的墩顶位移如表4所示。

表4 时程分析下墩顶最大位移
Tab.4 Maximum displacement of pier under time-history analysis

地震波	模型1	模型2
EI波	1.508	1.348
Taft波	1.434	0.908
天津波	2.602	1.898

根据上表所得到的墩顶最大位移大于 E1 地震作用, 所以是符合《公路桥梁抗震设计细则》(JT-GTB_02_01_2008) 中 6.5.3 条规定, 并且可以知道采用 Taft 地震波较为合理, 同时对该地震波进行修正, 使其达到有效峰值加速度。由于模型二的墩顶位移小于模型一, 所以模型二的抗震性能明显好于模型一。

4 横系梁位置选择

由前面的分析可以知道此高墩桥梁设置三道横系梁可以很好的提高桥梁的抗震性能。但是要发挥出三道横系梁最大的作用是和其所处桥墩所处的位置是有着非常大的关系的。所以下面针对横系梁在不同位置进行了一系列的时程分析。时程分析所用的地震波为修正后的 Taft 波。最后将各个墩的墩底最大弯矩和横系梁端的最大弯矩以及墩顶的最大位移进行比较, 从而得到地震过程中各个关键截面的内力及位移的最大值。

随着横系梁在承受地震作用的过程中逐渐的进入塑性, 一部分地震动能量在横系梁进入塑性的这个过程中所消耗, 使之成为一个耗能构件, 对高墩桥梁的延性提高和增强桥梁整体抗震性能是非常有利的。所以加设三道横系梁可以延长结构自振周期, 消耗地震动能量输入。从表 5 中可以看出当横系梁布置成模型 10 时对高墩桥梁整体抗震性能是有很大的提升的, 所以当三道横系梁依次布置于墩身 0.4, 0.5 和 0.7 倍高度时对全桥结构提升抗震性能最为有利。

表 5 不同位置横系梁的时程分析结果
Tab.5 Time-history analysis results of transverse beam at different positions

模型	横系梁位置	墩底最大弯矩/(kN·m)	横系梁最大弯矩/(kN·m)	墩顶最大位移/cm
1	0.1H/0.4H/0.9H	1.18×10^4	3 327.876	1.09
2	0.2H/0.5H/0.8H	1.16×10^4	2 881.798	0.949
3	0.3H/0.5H/0.7H	1.14×10^4	2 577.608	0.897
4	0.3H/0.5H/0.8H	1.16×10^4	2 710.068	0.917
5	0.3H/0.6H/0.8H	1.18×10^4	2 611.167	0.930
6	0.3H/0.5H/0.9H	1.18×10^4	2 786.495	0.949
7	0.3H/0.6H/0.9H	1.19×10^4	2 767.601	0.961
8	0.3H/0.7H/0.9H	1.20×10^4	2 988.079	1.02
9	0.4H/0.5H/0.6H	1.17×10^4	2 550.421	0.890
10	0.4H/0.5H/0.7H	1.14×10^4	2 449.015	0.893
11	0.4H/0.6H/0.8H	1.18×10^4	2 721.258	0.917
12	0.4H/0.6H/0.9H	1.19×10^4	2 760.088	0.945
13	0.4H/0.7H/0.9H	1.20×10^4	3 116.505	0.972
14	0.5H/0.6H/0.7H	1.16×10^4	2 517.502	0.919
15	0.5H/0.7H/0.9H	1.20×10^4	3 026.78	1.01

5 横系梁刚度的选择

由于内力的分配与刚度有着很大的关系, 刚度大的构件, 所分配到的内力相应的会大于刚度较小的构件。所以, 如果横系梁的刚度相对于桥墩太小, 可能会导致桥墩分配到的内力过大, 从而导致桥墩先于横系梁破坏, 在这种情况下, 横系梁没有发挥其应有的作用; 但是如果横系梁的刚度相对于墩身刚度过大, 横系梁端处分配到的内力会过大, 会导致横系梁和墩柱连接节点处出现过大的内力而导致此节点处的墩身先破坏, 修复工作非常的艰难。所以合理的选择横系梁的刚度, 可以在一般地震作用下使之控制在弹性范围内,

对下部结构内力进行有效的分配,减少桥墩墩身的弯矩,使得地震对桥梁结构的影响减小。

通过改变截面的尺寸,间接的改变截面的刚度,从而得到各个关键截面的最大内力以及位移,如表6所示。

表6 不同横系梁尺寸下的时程分析结果
Tab.6 Time-history analysis results of different transverse beam sizes

截面尺寸(高/宽)/m	墩底最大弯矩/(kN·m)	横系梁最大弯矩/(kN·m)	墩顶最大位移/cm	刚度比(横系梁/墩身)
1.2/1.2	1.21×10 ⁴	1 481.765	1.15	0.22
1.3/1.2	1.20×10 ⁴	1 733.62	1.10	0.28
1.3/1.3	1.19×10 ⁴	1 819.33	1.07	0.30
1.6/1.2	1.17×10 ⁴	2 334.709	0.920	0.52
1.6/1.3	1.16×10 ⁴	2 457.4	0.910	0.57
1.6/1.4	1.14×10 ⁴	2 577.608	0.897	0.61
1.7/1.2	1.16×10 ⁴	2 590.559	0.894	0.63
1.7/1.4	1.13×10 ⁴	2 865.874	0.877	0.73
1.8/1.2	1.15×10 ⁴	2 860.331	0.876	0.74
1.8/1.5	1.10×10 ⁴	3 330.737	0.861	0.93
1.9/1.2	1.14×10 ⁴	3 147.458	0.863	0.87
1.9/1.6	1.05×10 ⁴	3 779.738	0.843	1.17
2.0/1.2	1.13×10 ⁴	3 446.57	0.857	1.02
2.0/1.6	1.03×10 ⁴	4 069.557	0.819	1.36

通过计算可得,当横系梁截面高度为1.6~1.8 m,宽度为1.2~1.4 m时,下部结构内力的分配是比较合理的。所以,当横系梁截面的刚度与墩身刚度比为0.5~0.75之间时是非常合理的。

6 结论

1) 从动力特性分析结果可知,可以通过增加横系梁的道数来提高桥梁的横向刚度,从而提高高墩桥梁的抗震性能。随着横系梁增加至一定的数量,墩顶的位移、墩底的弯矩是逐渐递减的。

2) 通过对双柱式高墩桥梁的时程分析可知,对于墩高超过40 m的,为了提高桥梁的抗震性能可以在桥墩处架设三道横系梁,横系梁布置在墩身0.4,0.5和0.7倍的高度处是在比较合理的。

3) 当横系梁刚度与墩身刚度之比为0.5~0.75时,横系梁截面高度为1.6~1.8 m,宽度为1.2~1.4 m时,可以有效地提高双柱式高墩桥梁的抗震性能。

参考文献:

- [1] 王慧东. 桥梁墩台与基础工程[M]. 北京:人民交通出版社,2001:120-124.
- [2] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社,2001:13-15.
- [3] 李国豪. 结构稳定与振动[M]. 北京:中国铁道出版社,1992:265-272.
- [4] 兰峰,王克海. 中小跨径双柱式高墩桥梁横系梁对抗震性能的影响[J]. 公路交通科技,2011,28(5):92-97.
- [5] 谭慧. 双柱式桥墩横系梁设置对抗震性能的影响[D]. 昆明:昆明理工大学,2013:30-33.
- [6] 孔得璨. 连续梁桥高墩选型及抗震分析研究[D]. 成都:西南交通大学,2011:51-55.
- [7] 盛伟兵. 高速公路桥高墩结构形式分析研究[D]. 南昌:华东交通大学,2013:78-79.

- [8] 陈水生,盛伟兵. 基于 Midas-civil 圆形双柱式墩结构承载能力影响因素分析[J]. 公路,2013,33(3):94-98.
- [9] 中华人民共和国交通部. JTG D62-2012[S]. 北京:人民交通出版社,2012.
- [10] 中华人民共和国交通部. JTG/T B02-01-2008[S]. 北京:人民交通出版社,2008.

Effect of Transverse Beam on the Seismic Performance of High Pier Bridge with Double Column

Chen Shuisheng, Liu Jun, Gui Shuirong

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Shiping viaduct bridge is a double column pier bridge with the span of 40 m. This paper, by way of ETABS, establishes the finite element model of the seismic design for the shiping viaduct bridge on the Tonggu expressway. It studies the effects of the number, position and stiffness of transverse beams on internal force and displacement of the main section of each pier under seismic loading. The calculation results show that the internal force distribution for the bottom structure of high pier bridge with double column under earthquake has a close relationship with the number of transverse beams. Through the reasonable design of transverse beams, the stiffness of the bridge can be increased to achieve rational distribution of internal force of the bottom structure so as to improve the seismic performance of the bridge. It finds that the layout of transverse beams with pier stiffness ratio 0.5-0.75 at positions of 0.4, 0.5, 0.7 times of the pier height can reduce seismic damage of high pier bridges.

Key words: double column pier; transverse beam; response spectrum analysis; time-history analysis

(责任编辑 王建华)