

白沙长江大桥横向抗震体系研究

何岸, 杨亚

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610036)

摘 要: 白沙长江大桥是一座塔墩梁固结的主桥长为 920 m 的双塔独柱式混合梁斜拉桥。为了研究其辅助墩和过渡墩处横桥向的合理约束体系, 分别在横向自由、横向约束、过渡墩约束及辅助墩约束 4 种约束体系下进行时程分析, 研究斜拉桥在不同横向约束体系下的地震响应特点, 针对混凝土刚性挡块和粘滞阻尼器减震体系分析不同参数对抗震性能的影响。结果表明: 采用混凝土刚性挡块对同时减小各墩的横向地震响应作用较小; 采用粘滞阻尼器体系可以有效减小各墩的横向地震响应, 以及墩梁相对位移。

关键词: 公路桥梁; 横向减震; 塔梁墩固结; 挡块; 粘滞阻尼器

中图分类号: U441+.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)07-0265-04

0 引言

随着中国交通运输业的快速发展, 大跨径斜拉桥在桥梁建设中的应用越来越多。多座大跨度斜拉桥的地震响应分析表明, 斜拉桥的抗震薄弱部位多为主塔、边墩、边墩桩基, 以及支承连接部位^[1]。在建或已建的大跨径斜拉桥中, 常见的结构体系为漂浮或半漂浮体系, 塔梁墩固结体系相对较少。对于塔梁墩固结体系斜拉桥来说, 主梁可视为在跨径内有多点弹性支承的连续刚构, 与全漂浮和半漂浮体系斜拉桥相比, 这种体系能够提高桥梁整体的横向刚度, 但同时也会使结构在横桥向的地震响应显著增大, 使边墩的横向受力极为不利^[2]。因此, 斜拉桥边墩横向抗震问题应引起关注。现以泸州市白沙长江大桥为例, 基于《公路桥梁抗震设计细则》^[3]开展边墩横向抗震体系研究。

1 工程概况与有限元模型

1.1 工程概况

白沙长江大桥位于四川省泸州市合江县境内, 是一座主桥长 920 m 的空间混合梁斜拉桥, 桥面总宽度为 30.5 m, 荷载设计采用公路 I 级。主跨 520 m, 边跨桥跨布置为 44.2+2×50+55.8(m) 和 55.8+2×50+44.2(m), 共九跨。采用塔墩梁固结的结构体系, 除中跨主梁形式采用钢箱梁外, 其余桥跨主梁均

为混凝土主梁, 主塔为独柱式双塔, 主索面呈单索面。由《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)^[4]可知, 白沙长江大桥主桥桥址处地震动峰值加速度为 0.05g, 地震基本烈度为 VI 度, 场地类型属 II 类, 反应谱特征周期为 0.35 s。主桥布置形式如图 1 所示。

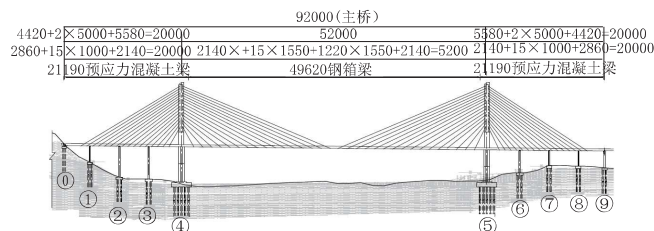


图1 主桥布置图(单位:m)

1.2 有限元模型

采用通用有限元软件 Midas Civil 建立全桥有限元模型, 除斜拉索采用桁架单元模拟其作用外, 其余主体结构均采用空间梁单元形式进行模拟。考虑恒载几何刚度对主塔、主梁和斜拉索的影响, 为模拟桩土间共同作用, 利用集中质量法将其离散为“质量-弹簧-阻尼”系统, 且以“m 法”确定等代土弹簧的刚度。结构有限元模型如图 2 所示。



图2 桥梁有限元模型

1.3 时程波的选取

时程分析采用地震安评单位给定的该桥址处 50 年超越概率为 10%(地震重现期约为 475 年)的 3 条水平地震动时程, 图 3 为其中一条典型水平地震动时

收稿日期: 2020-12-08

作者简介: 何岸(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁工程设计工作。

程,竖向地震动时程采用 0.65 倍的水平地震动时程。根据《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01—2008)^[3]可知,当采用 3 条地震动时程计算时,应取 3 组计算结果的最大值。

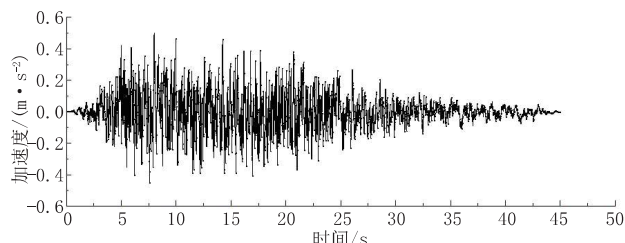


图3 典型水平地震动时程图

2 横桥向约束体系研究

白沙长江大桥边墩较多,主梁与边墩的横向约束方式会影响各桥墩的横向地震响应。现通过分析支座横向自由、支座横向约束、过渡墩支座横向约束、辅助墩支座横向自由、过渡墩支座横向自由、辅助墩支座横向约束四种墩梁横向约束方式,研究不同横向约束体系对结构横向地震响应的影响。不同约束体系下,边墩墩底横向弯矩如图4所示,墩梁横向相对位移如图5所示。

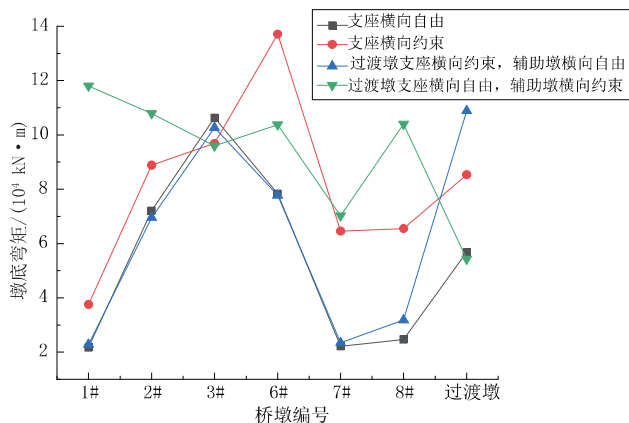


图4 不同约束体系下墩底弯矩曲线图

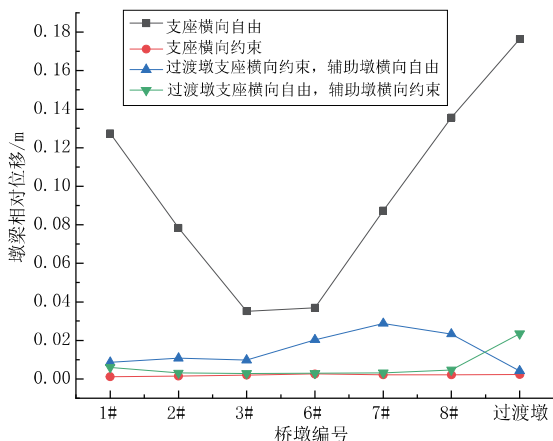


图5 不同约束体系下墩梁横向相对位移曲线图

根据图4和图5可知,不同约束体系在横桥向地震作用下,边墩内力响应和墩梁相对位移变化较明显。与边墩支座横向约束相比,当采用支座横向自由约束体系时,3#辅助墩墩底弯矩增加6.3%,其余边墩的墩底弯矩有明显的减小,其中7#墩底弯矩减小72.85%,但墩梁横向相对位移有明显增加,其中过渡墩的墩梁横向相对位移增加98.69%;当采用过渡墩支座横向约束辅助墩支座横向自由约束体系时,过渡墩墩底弯矩增加10.59%,过渡墩的墩梁相对横向位移增加了90.19%;当采用过渡墩支座横向自由辅助墩支座横向约束时,辅助墩墩底弯矩整体是增大的,其中1#辅助墩墩底弯矩增加了212.83%,对于桥梁的横向抗震是不利的。

通过以上分析可知,支座横向约束体系能有效减小墩梁横向相对位移,但是会明显增大边墩的横向地震响应,不仅对桥梁的设计和建造提出更高要求,也会降低桥梁的经济性。采用支座横向自由体系对边墩的地震内力响应是有利的,但会增大墩梁横向相对位移。因此,需要在横向自由体系基础上进行相应的横向减震措施。

3 横向减震措施分析

在边墩支座横向自由体系的基础上,分别选取横向挡块减震体系和粘滞阻尼器减震体系进行横向减震体系分析。

3.1 横向挡块减震体系

混凝土刚性挡块是目前常采用的横向限位措施^[5],现选取混凝土刚性挡块,进行参数分析。为研究挡块刚度对桥梁横向地震响应的影响,取挡块的初始间隙为0.03 m,挡块刚度分别取 0.5×10^5 kN/m、 1×10^5 kN/m、 1.5×10^5 kN/m、 2×10^5 kN/m、 2.5×10^5 kN/m和 5×10^5 kN/m,分析桥梁的横向地震响应。墩底弯矩、墩梁横向相对位移,以及挡块的横向剪力随着挡块刚度的变化如图6所示。

由图6(a)可知,随着挡块刚度的增加,边墩墩底弯矩总体上呈现先快速增大,后逐渐趋于平稳,在挡块刚度为 0.5×10^5 (kN·m⁻¹)时,墩底弯矩最小;与支座横向约束体系相比,1#、2#辅助墩横向地震响应分别增加了23.08%和38.70%。由图6(b)可知,随着挡块刚度的增加,墩梁相对位移逐渐减小,后趋于平缓,墩梁相对位移普遍大于60 mm。根据上述分析,采用混凝土刚性挡块时,边墩内力分布较为复杂,不能够同时减小,同时墩梁相对位移普遍较大。

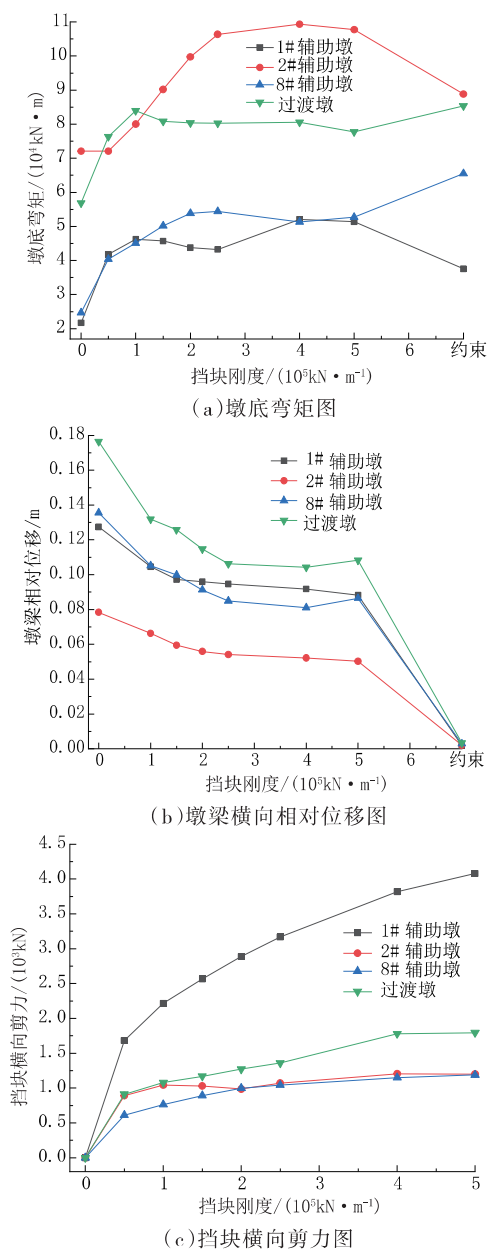


图6 不同挡块刚度对地震响应的影响曲线图

由图 6(c)可知,随着挡块刚度的增加,挡块横向剪力逐渐增大,1# 辅助墩最大剪力为 4.08×10^3 kN,极易造成挡块的损坏。可见采用混凝土刚性挡块对塔梁墩固结体系斜拉桥横向减震效果并不理想。

3.2 黏滞阻尼器减震体系

黏滞阻尼器装置是一种速度相关型阻尼装置,其阻尼力主要取决于速度,对温度变化、较小风速和车辆等缓慢作用的荷载基本不起作用,但对地震等变化较为剧烈的动力荷载起到耗能减震作用^[6]。

黏滞阻尼器一般采用由弹簧和阻尼器串联组成的 Maxwell 模型模拟,其阻尼力-位移滞回曲线近似矩形,动力特性稳定,且不改变结构固有特性,在额定行程内不增加结构刚度,只提供附加阻尼^[7],其

阻尼力输出方程为:

$$F = CV^\alpha$$

式中: F 为阻尼力; C 为阻尼系数; V 为最大反应速度; α 为速度指数。

黏滞阻尼器选择不同的参数 C 时,对结构地震响应影响也不同,需要对阻尼器参数进行优化分析,使结构达到最优的减震效果。阻尼器参数取值对结构横向地震响应的影响如图 7 所示。

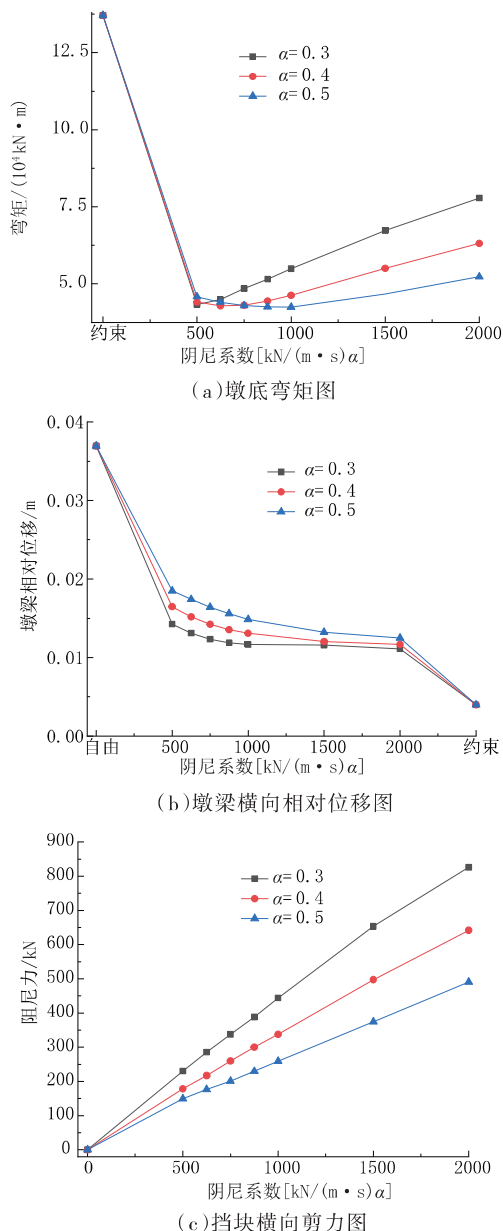


图7 阻尼器参数取值对地震响应的影响曲线图

由图 7 可知:

(1)当 $\alpha=0.3$ 时,随着 C 的增大,墩底弯矩逐渐增大,当 $\alpha=0.4$ 和 0.5 时,随着 C 的增大,墩底弯矩总体上呈现先减小后增加的趋势。

(2)当 α 一定时,随着 C 的增大,墩梁横向相对位移总体减小,当 $C > 1\,500$ [kN/(m/s)^α] 时,墩梁相对

位移变化逐渐趋于平缓,与支座横向自由体系相比,墩梁相对位移减小 50%以上。

(3)当 C 一定时,随着 α 的增大,墩底弯矩总体上呈现减小趋势,三者之间的差值随着 C 值增大逐渐增大,墩梁相对位移呈现增大趋势,三者之间的差值随着 C 值增大逐渐趋于一致。

(4)当 C 一定时,阻尼力随 α 的增大而减小;当

α 一定时,阻尼力随 C 的增大而增大。

通过以上分析,结合边墩墩底弯矩和墩梁相对横向位移,单个阻尼器的设计参数取阻尼系数 $C=1\,000\text{ [kN/(m/s)}^{\alpha}\text{]}$,速度指数 $\alpha=0.4$ 时为较优选择。

3.3 黏滞阻尼器减震效果

横向自由体系、横向约束体系与横向黏滞阻尼器体系的主要横向地震响应如表 1 所列。

表 1 黏滞阻尼器减震效果一览表

位置	横向自由体系		横向约束体系		黏滞阻尼器体系	
	墩梁相对位移 / m	墩底弯矩 / kN·m	墩梁相对位移 / m	墩底弯矩 / kN·m	墩梁相对位移 / m	墩底弯矩 / kN·m
1# 辅助墩	0.127 4	21 719.94	0.001 9	37 553.42	0.013 2	18 986.19
2# 辅助墩	0.078 4	72 080.24	0.002 1	88 822.27	0.006 1	46 635.75
3# 辅助墩	0.035 1	106 303.50	0.002 9	96 868.43	0.009 2	57 982.56
左塔	—	416 086.10	—	317 410.20	—	315 520.20
右塔	—	450 568.80	—	499 087.30	—	371 809.50
6# 辅助墩	0.036 9	78 342.79	0.004 0	137 100.80	0.013 1	46 288.05
7# 辅助墩	0.087 3	22 170.51	0.002 9	64 553.37	0.011 6	21 930.95
8# 辅助墩	0.135 6	24 666.21	0.002 9	65 499.19	0.016 6	20 910.78
过渡墩	0.176 4	56 838.75	0.003 4	85 347.48	0.020 6	29 968.54

由表 1 可知,与墩梁横向约束体系相比,辅助墩墩底弯矩减小了 40%以上,其中 8# 辅助墩墩底弯矩减小了 68%,过渡墩墩底弯矩减小了 65%;左塔墩底弯矩减小了 1%左右。出现这种原因可能在于,塔墩梁固结体系,主塔与主墩的横向刚度通常远远大于边墩的横向刚度,因此绝大部分地震响应由主墩承担,边墩所分担的横向地震响应相对较小,因此边墩与主梁之间的横向约束对主塔和主墩的影响相对较小,而对边墩影响较大。采用黏滞阻尼器约束体系,墩梁横向相对位移最大值为 0.0132 m,易于满足。

4 结 论

(1)对于塔梁墩固结体系斜拉桥,边墩处不同的横向约束体系,结构所产生的横向地震响应有较大差别;对于过渡墩和辅助墩横向约束体系,均会增大相应的辅助墩或过渡墩的地震响应内力,对结构的横向抗震不利。

(2)对于过渡墩,以及辅助墩处的横向自由体系,虽然主塔及辅助墩的内力响应有所降低,但是墩梁具有较大的横向位移,因而对桥梁的伸缩装置具有

更高的要求。

(3)对于白沙长江大桥,在墩梁横向自由体系的基础上,横向采用混凝土刚性挡块限位措施,并不是一种理想的横向减震措施。

(4)采用黏滞阻尼器横向减震体系,可以有效地减小边墩和主墩底部横向地震响应内力,同时墩梁横向相对位移也可以明显减小,所以推荐白沙长江大桥在辅助墩和过渡墩横向采用黏滞阻尼器减震体系。

参考文献:

[1] 范立础.桥梁抗震[M].上海:同济大学出版社,1997.
[2] 杨喜文,张文华,李建中.大跨度斜拉桥横向减震研究[J].地震工程与工程振动,2012,32(1):86-92.
[3] JTG / T_B02-01—2008,公路桥梁抗震设计细则[S].
[4] GB 18306—2015,中国地震动参数区划图[S].
[5] 何雄君,张晶,范诚,等.兰州西固黄河大桥横向抗震体系研究[J].桥梁建设,2018.
[6] 岳诚东.基于粘滞阻尼器的大跨铁路斜拉桥横向减震研究[J].兰州交通大学学报,2013,32(1):10-14.
[7] 刘鑫,王小松,但莎琦.阿志河悬索桥塔梁纵向连接方式与参数分析[J].铁道建筑,2018.