

粘滞阻尼器在斜拉桥减震设计中的应用

胡庆安, 崔 刚, 刘建新

(长安大学公路学院 西安市 710064)

摘 要: 介绍了斜拉桥减震设计的思想以及粘滞阻尼器在斜拉桥减震设计中的应用, 并以一座斜拉桥为例, 在相同的地震波作用下, 对飘浮体系、弹性约束体系和加粘滞阻尼器的半漂浮体系分别进行时程分析, 比较了 3 种体系梁端及桥塔的水平位移、水平惯性力和桥塔的受力情况。研究表明: 粘滞阻尼器能够改善斜拉桥的动力特性, 不仅使得结构的位移和受力都是最小, 而且提高了斜拉桥的抗震能力和耐久性, 这种体系最能符合斜拉桥的减震设计思想。

关键词: 斜拉桥; 减震设计; 粘滞阻尼器; 时程分析

由于斜拉桥的地震惯性力主要集中在桥面系, 而地震惯性力是通过斜拉索和支座分别传递给桥塔、边墩, 再由桥塔、边墩传递给基础承受。通过大量的分析、研究表明: 在斜拉桥的主梁与桥塔连结处以及墩台顶部合理地安装减震、耗能装置, 不仅可以保证斜拉桥在地震作用下通过这些装置耗散地震能量, 更重要的是还可以改变结构的动力特性, 从而减小结构的地震响应。

斜拉桥的整体抗震性能一般从两个方面进行评价, 即内力和位移。减震设计思想是, 在地震作用下, 斜拉桥的内力和位移都是越小越好。但通常情况下这两个方面往往是相互矛盾的。要使得内力反应小, 往往要付出较大位移作为代价, 反之也一样。不同结构体系的斜拉桥, 由于梁、塔、索的结合方式不同, 体系的刚度也不同, 则桥梁的位移也不同。对于飘浮体系, 其刚度小, 周期长, 位移却很大; 对于塔梁间有弹性约束的体系, 随着弹性约束刚度增大, 体系的整体刚度增大, 周期将随之减小, 桥梁的位移也将减小, 但桥面系的水平惯性力却随着弹性约束刚度的增大而增大, 从而传递到塔柱的惯性力也增大, 因此塔底截面的应力将增大。

1 粘滞阻尼器的力学特性

粘滞阻尼器由相对的两组钢板构成, 分别是固定板和可动板, 其相互间保持微小间距, 在间隙间填充粘性体, 依靠相对移动速度产生阻尼力。介于粘性

流体的两平行面, 当面向方向产生相对运动时, 在两平行面间将产生粘性剪切应力, 对板的运动起到阻尼作用。阻尼器构造见图 1 所示。

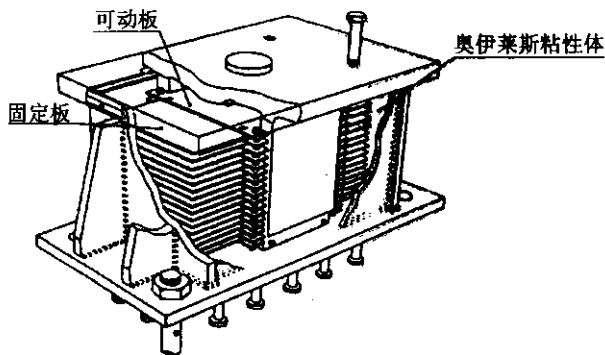


图 1 多层剪切型粘滞阻尼器

2 算例

2.1 工程背景介绍

现以某座长江大桥(设计阶段)作为依托工程, 研究其在没有减震措施、塔梁之间加弹性水平约束和加粘滞阻尼器 3 个不同模型的地震响应。

该斜拉桥主跨布置为 184 m+460 m+184 m, 主桥全长 828 m。主梁截面形式为分离式双箱梁, 主梁中心处高为 3.3 m, 梁顶全宽 25.0 m, 梁底全宽 25.6 m, 两分离式箱内缘相距 8.0 m。漂浮体系。斜拉索全桥共 152 对, 按双索面扇形布置。索塔采用 H 形, 南岸塔高 159.93 m, 北岸塔高 172.52 m, 各设 2

道横系梁。北岸设 1 个过渡墩,两岸均设有辅助墩。

2.2 计算模型

斜拉桥计算模型采用脊梁模式三维空间模型。计算程序采用 ANSYS,其中桥塔和主梁用空间梁单元模拟,拉索用只能承受拉力的杆单元模拟,粘滞阻尼器用阻尼单元模拟。原设计方案是在塔柱横梁与主梁间加弹性拉索来限制主梁位移,每个塔下有 20 根限位索。作为对比方案,粘滞阻尼器分别设置在塔柱横梁与主梁之间以及桥台与梁端之间。

2.3 计算理论

3 个模型采用相同的地震激励。在考虑几何非线性情况下进行时程分析。输入地震波根据桥塔处地震动试验由人工合成(重现期 100 年超越概率 5%)。刚性基础一致地震动输入下的运动方程为:

$$Mu_S^d + Cu_S^d + Ku_S^d = -MR_S u_{bg}$$

式中: M, C, K 分别为结构体系的质量、阻尼和刚度矩阵; u_{bg} 为基础参考输入点的运动位移向量; R_S 为影响系数矩阵; u_S^d 为结构的动力位移反应。

3 计算结果分析

3.1 自振频率的比较

通过表 1 的 3 个模型的前 10 阶自振频率比较可以看出:结构体系的改变对前两阶自振频率的影响最大,而对其他几阶影响很小。飘浮体系的一阶振型为纵漂,二阶振型为主梁侧向对称弯曲;加弹性约束体系,由于增加了结构沿桥纵向的刚度,所以一阶振型为主梁一阶侧向对称弯曲,二阶振型为纵漂;加粘滞阻尼器体系由于增加了结构沿桥纵向的阻尼,所以延长了一阶振动的周期,但前两阶振型形状并没有改变,仍和飘浮体系一样。

表 1 3 个模型自振频率的比较 Hz

阶数	飘浮体系	钢索约束	阻尼器
1	0.132 6	0.323 9	0.123 5
2	0.322 6	0.342 3	0.322 7
3	0.376 1	0.376 8	0.376 1
4	0.397 2	0.397 4	0.397 3
5	0.430 8	0.431 4	0.430 8
6	0.484 8	0.495 7	0.484 7
7	0.545 9	0.545 9	0.546 1
8	0.546 1	0.546 1	0.588 8
9	0.589 0	0.5900	0.691 1
10	0.689 3	0.699 4	0.732 3

3.2 位移的比较

图 2 和图 3 分别是 3 个模型的梁端与塔顶沿桥纵向水平位移的时程曲线。由于考虑主梁的弹性变形,使得梁体两端同一时刻的位移总是不一致,且运动方向前端的水平位移总是小于末端的水平位移。由图 4 可见,不加任何约束的飘浮体系梁端单向最大水平位移分别达到了 80 cm 和 90 cm;安装拉索限位装置后,梁端单向最大水平位移分别为 40 cm 和 20 cm;而安装阻尼耗能装置后,其梁端单向最大水平位移分别只有 35 cm 和 14 cm,比安装拉索限位装置模型的最大水平位移还小。由图 5 可见,塔顶的水平位移更大,飘浮体系的塔顶最大水平位移超过了 1 m;安装拉索限位装置后,塔顶最大水平位移被降低到 40 cm;而安装阻尼耗能装置后,塔顶最大水平位移仅为 33 cm。明显可见,安装阻尼耗能装置后,无论梁端和塔顶的水平位移都是最小的。

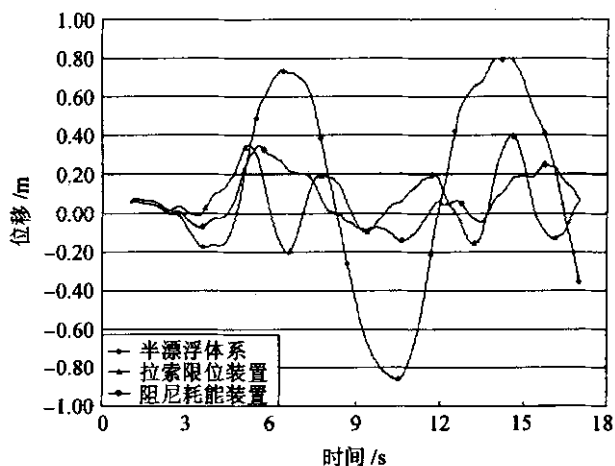


图 2 3 种模型梁端水平位移时程曲线

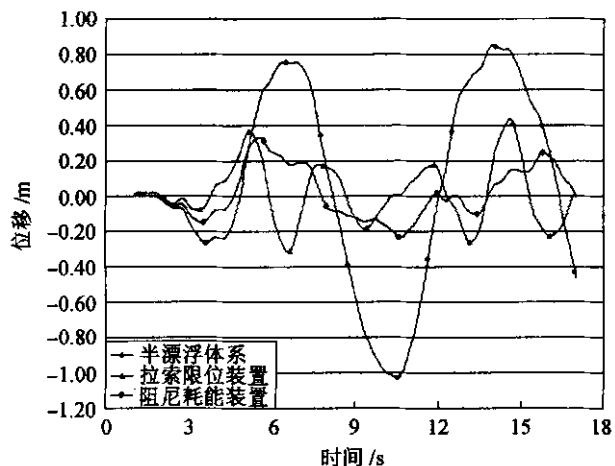


图 3 3 种模型塔顶水平位移时程曲线

由图2还可以看出:漂浮体系在15 s内运动了2个多周期;安装拉索限位装置的模型在15 s内运动了4个周期;而安装阻尼耗能装置的模型在15 s内运动了接近2个周期,这比漂浮体系的周期也要略小。使用了阻尼耗能装置的半飘浮体系运动周期最长,位移最小,这对斜拉桥的抗震是十分有利的。

3.3 桥塔应力的比较

从3个模型在梁端水平位移最大时刻的桥塔主应力云图看,漂浮体系的最大主应力发生在下横梁与塔柱交界处的塔柱变截面部位,达到13.4 MPa;最小主应力发生在中塔柱变截面部位,达到-32.0 MPa。漂浮体系的桥塔最薄弱环节位于下横梁与中塔柱交点附近,原因是桥面系的地震惯性力全部由斜拉索传递给桥塔,而此处截面忽然减小,产生应力集中,所以此处应力最大。采用拉索限位器体系的最大主应力发生在塔根附近,为10.4 MPa;最

小主应力也发生在塔根附近,为-24.0 MPa。采用拉索限位器体系的桥塔最薄弱环节位于塔根处,原因是桥面系的地震惯性力由斜拉索和拉索限位器共同传递给桥塔,而拉索限位器是通过下横梁将水平力传递给塔柱,避开了桥塔变截面,所以塔根处应力最大。而采用粘滞阻尼器体系的最大主应力发生在中横梁安装阻尼器处,只有3.97 MPa,最小主应力发生在中塔柱变截面部位,只有-17.0 MPa。由于斜拉桥在地震荷载的作用下,桥塔做周期往复运动,前2个模型桥塔的最大主应力与最小主应力在同一处或者较接近区域交替变化,容易产生疲劳破坏,见表2。采用粘滞阻尼器体系的最小主应力发生在下横梁与中塔柱交点附近,而最大主应力发生在中横梁安装阻尼器处,这样可以有效减轻桥塔的疲劳破坏,提高桥梁的耐久性和安全度。

表2 3种模型不同位置处应力比较 Pa

位置	漂浮体系		加拉索的弹性约束体系		加阻尼器的半飘浮体系	
	σ_1	σ_3	σ_1	σ_3	σ_1	σ_3
塔脚截面	8.93×10^6	-2.27×10^7	1.04×10^7	-2.40×10^7	2.85×10^5	-1.14×10^7
塔柱变截面	1.34×10^7	-3.20×10^7	2.12×10^6	-1.43×10^6	1.76×10^6	-1.70×10^7
横梁	1.49×10^6	0	4.18×10^6	0	3.97×10^6	0

3.4 水平惯性力的比较

当梁端水平位移达到最大时,拉索限位器的拉力使得一个桥塔下横梁的水平拉力达到了34 500 kN;而粘滞阻尼器分别安装在梁端以及塔梁结合处,一个桥塔下横梁的水平拉力只有3 800 kN,一个桥台处的水平力只有2 770 kN,两者加起来也只有6 570 kN,仅为前者的1/5,说明粘滞阻尼器既能消耗地震产生的能量,又能改善斜拉桥的动力特性,达到既耗能又减震的目的。

采用粘滞阻尼器与拉索限位器相比,还有一个很重要的优势:就是拉索只能单方向限位,而粘滞阻尼器可设计成任意方向运动,它不仅仅对于纵向地震,对于平面内任意方向的振动都能起到耗能减震的作用。所以粘滞阻尼器对于斜拉桥来说是一种非常有效的减震方法。

4 结论

(1)粘滞阻尼器可以在大大减小斜拉桥主梁水平位移的同时,又可减小桥塔的主应力,达到同时减小位移与受力的目的。

(2)相对拉索限位器而言,安装粘滞阻尼器可以改善斜拉桥的动力特性,延长斜拉桥纵向振动的周期。

(3)粘滞阻尼器与拉索限位器相比,前者结构的水平惯性力远小于后者,仅为它的1/5。

(4)采用粘滞阻尼器时,在水平地震作用下,可以避免桥塔的最大主应力和最小主应力在同一区域内交替变化,这样就减轻了桥塔的疲劳破坏。

(5)由于考虑主梁的弹性变形,使得梁体两端同一时刻的位移总是不一致的,导致梁端向外的位移总是小于向内的位移。在安装伸缩装置和阻尼器时,应充分注意这种梁端运动的不对称性。

参考文献:

[1] 叶爱君,胡世德,范立础.斜拉桥抗震结构体系研究[J].桥梁建设,2002,(4).
[2] 李建中,袁万城.斜拉桥减震、耗能体系非线性纵向地震反应分析[J].中国公路学报,1998,(1).
[3] 刘万峰,刘健新,胡兆同.斜拉桥拉索粘性剪切型的试验研究[J].西安公路交通大学学报,2000,(7).

文章编号:0451-0712(2006)08-0080-04

中图分类号:U445.557

文献标识码:B

千斤顶法沉放淮河大桥主墩首节钢套筒

廖正根, 李桂华

(中港二航局四公司 阜阳市 241009)

摘 要: 淮河大桥主墩首节钢套筒重 150 t,在现场分片拼装后,采用千斤顶起吊下放,取得了圆满成功,其起吊下水技术有独到之处,本文对沉放方法和注意事项进行了重点介绍。

关键词: 淮河大桥;主墩;首节钢套筒;沉放

1 工程概况

淮河大桥主桥为 59 m+100 m+59 m 预应力混凝土连续箱梁,上部结构为双幅单箱单室箱形截面。主墩采用 16 根直径为 1.8 m 长为 70 m 的钻孔灌注桩基础,主墩墩身截面为 4.0 m×7.0 m 的箱形空心墩身,两幅桥采用一个整体承台。

主桥主墩承台为左右幅整体式钢筋混凝土结构,承台平面形状为菱形,承台尺寸为 28 m×12 m×5 m。承台顶标高为+13.1 m。

2 承台施工总体思路

根据工程特点及施工环境,本工程按以下思路组织施工。

(1)先利用钢护筒承重,搭设平台进行桩基施工,之后安装套筒进行承台施工。

(2)由于受到通航条件的限制,水上起重仅能依靠 30 t 的起重船,故钢套筒采用分片加工,现场拼装成节,分节下水的施工工艺。其中首节钢套筒重约 150 t,其起吊沉放入水是本工程的一个难点。

收稿日期:2006-01-12

[4] 范立础.桥梁抗震[M].上海:同济大学出版社,1997.

[5] 张耀宏,顾金钧.使用粘性阻尼器的桥梁抗震设计[J].国外桥梁,1997,(4).

[6] JTJ 004-89,公路工程施工技术规范[S].

Application of Viscous Damper to Aseismic Design of Cable-Stayed Bridge

HU Qing-an, CUI Gang, LIU Jian-xin

(Highway College, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The aseismic design of cable-stayed bridge and the applying of the viscous dampers to the aseismic design of cable-stayed bridge are introduced. And based on an example, under same seismic excitation, time-history analysis is used to the floating system, elastic restriction system and the half-floating system with the viscous dampers, and the horizontal displacement, the inertial force and the stress of the bridge tower of three systems are compared. The researches show that the viscous dampers can mend the dynamical characteristic of cable-stayed bridge system, by this it can not only minimize both the displacement and stress of this system, but also improve the aseismic capability and wear of the bridge, so this kind of system can accord with the idea of the aseismic design most.

Key words: cable-stayed bridge; aseismic design; viscous damper; time-history analysis