

河口大桥液体黏滞阻尼器参数分析

曾志刚

(甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要:河口大桥主跨360 m,为我国地震烈度8度及以上地震区域跨度最大的斜拉桥,设置液体黏滞阻尼器,对于半飘浮体系的斜拉桥是一种十分有效的消能减震装置。介绍了河口大桥液体黏滞阻尼器的设置形式,重点对比分析了两参数阻尼系数 C 和速度指数 α 不同情况下结构关键部位的变形和内力效应,并优化了液体黏滞阻尼器的相关参数。计算结果表明:通过对液体黏滞阻尼器阻尼参数的优化,可使地震作用下结构的相对位移和地震力有效降低,并使桥梁的抗震安全性提高。

关键词:Ⅷ度地震区;斜拉桥;液体黏滞阻尼器;参数优化

中图分类号: U441+.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0111-03

0 工程概况

随着社会经济的发展、科学技术的创新及各种各种行业学术理论的进步,我国的交通事业得到了快速发展。特别是近年来,我国修建了许多位于世界技术前沿的大跨特殊桥梁结构。随着结构在跨度和高度上的突破,抗震问题也成为桥梁工程理论研究和设计施工人员需要面对的重点及难点。为跨越黄河河口水库而建设的河口大桥是兰州(新城)至永靖沿黄河快速通道的重点控制性工程。大桥主桥为双塔双索面结合梁斜拉桥,主跨跨径360 m,边跨跨径177 m,主塔高99 m;两边跨各设置一个辅助墩,主桥孔跨布置为77 m+100 m+360 m+100 m+77 m,主桥全长714 m,如图1所示。为提高主桥的抗震性能并满足施工需要,主梁采用钢-混凝土结合梁。斜拉索采用空间双索面扇形布置。桥塔采用钢筋混凝土A字型塔,塔高99 m,塔柱采用弧形空透隔板连接^[1]。

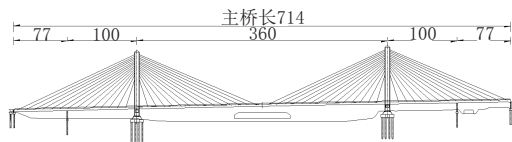


图1 河口大桥桥型布置图(单位:m)

河口大桥为目前甘肃省最大跨度的斜拉桥,也是我国8度及以上地震区最大跨度斜拉桥。对于半飘浮体系斜拉桥,设置液体黏滞阻尼器是一种十分有效的消能减震措施^[1]。在地震发生时,黏滞阻尼器

作为一种被动消能装置,通过使阻尼器两端产生相对位移,来吸收和耗散地震以及风荷载在桥梁中产生的能量,同时不会对结构产生附加内力,基于以上特点,黏滞阻尼器在国内外的的大跨度桥梁抗震控制中得到了较为广泛的应用^[2-5]。

1 河口大桥阻尼器的设置位置和参数选择

河口大桥位于高地震区,需采取适当的减隔震措施来改善桥梁结构的抗震性能。若要使结构关键部位位移有效减小,结构受力更加合理,结构碰撞的力度减小或避免二者相撞,通过计算机仿真模拟计算,需在桥塔处设置液压非线性黏滞阻尼器,所以该桥在每个桥塔处设置两个阻尼器,阻尼器设置在钢主梁和桥塔下横梁之间,具体设置如图2所示。

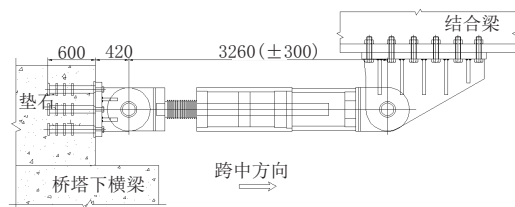


图2 河口大桥阻尼器布置(单位:mm)

黏滞阻尼器的阻尼力通常由下式确定:

$$F = CV^\alpha \quad (1)$$

式中: C 为阻尼系数,由活塞头的面积决定; V 为套筒的速度; α 为速度指数,实际工程中, $0.3 \leq \alpha \leq 0.1$,当 $\alpha=1$ 时,为线性黏滞阻尼器; $\alpha \neq 1$ 时,为非线性黏滞阻尼器,速度较小时阻尼器具有足够大的阻尼力,且随速度的增大而增大,当速度足够大时,阻尼力增加幅度变小。因此这种力-速度关系的优点在于在速度

收稿日期: 2021-11-25

作者简介:曾志刚(1981—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

较大时,力趋于平稳。

本文使用数据依托为甘肃省地震局提供的地震安全性评价报告,采用分析方法为非线性时程方法,以计算机仿真模拟对组合梁斜拉桥进行地震响应分析。由式1可知,桥梁的地震响应结果取决于黏滞阻尼器的速度指数 α 和阻尼系数 C 两个参数的取值,本文通过分析以上两个参数取值不同时的结构地震响应结果,以确定一组适用于本桥的最优参数组合。

表1 液体黏滞阻尼器参数 C 和取值表

阻尼系数 C	2 000	5 000	8 000	10 000	12 000	15 000	地震水平
速度指数	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	100 a
	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	2%超越
	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	概率地震波
	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
	1	1	1	1	1	1	

注:阻尼系数 C 的单位为 $\text{kN} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-\alpha}$ 。

2 河口大桥液体黏滞阻尼器的参数分析

采用 MIDAS Civil 有限元计算程序中的黏弹性阻尼单元(Viscoelastic Damper)对阻尼单元进行模拟,比较分析桥梁关键位置的变形和内力来确定黏滞阻尼器参数的合理取值。

2.1 变形响应计算分析

图3~图6表示了塔顶和梁端纵向纵向位移峰值随阻尼参数的变化规律。

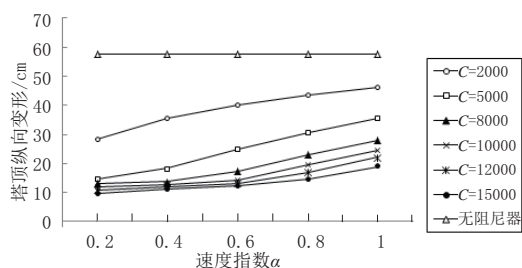


图3 塔顶纵向位移随速度指数 α 的变化规律

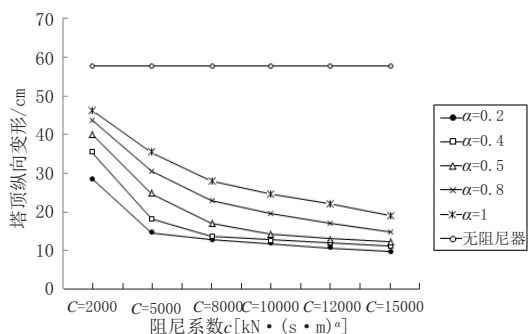


图4 塔顶纵向位移随阻尼系数 C 的变化规律

由图3~图6可知,在斜拉桥主梁和桥塔间设置黏滞阻尼器后:

(1)在纵向地震动作用下,斜拉桥塔顶纵向位移

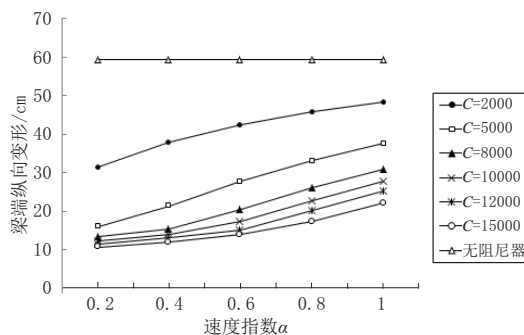


图5 梁端纵向位移随速度指数 α 的变化规律

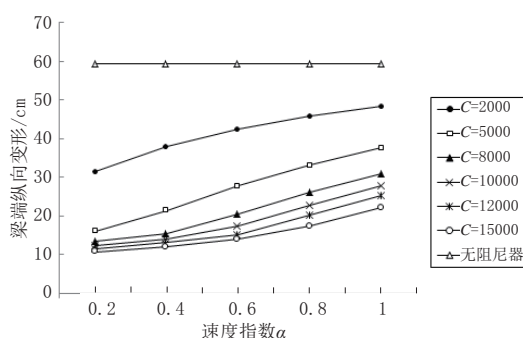


图6 梁端纵向位移随阻尼系数 C 的变化规律

与不设置阻尼器相比显著减小,梁端的纵向位移与不设置阻尼器相比也明显减小。阻尼参数取值不同时,减震效果也不同,当阻尼系数 C 分别取2 000、5 000、8 000、10 000、12 000、15 000时,塔顶纵向变形响应减小的最大百分比分别为50.7%、74.6%、77.5%、79.4%、81.3%、83%,梁端纵向变形响应减小的最大百分比分别为46.9%、72.8%、77.4%、79.3%、80.4%、81.8%。

(2)当阻尼系数 C 不变时,塔顶和梁端纵向位移均随着速度指数的增大而增大。当速度指数在0.2和0.4之间时,变形响应变化趋于平缓,在速度指数后,变形响应放大趋势加快。

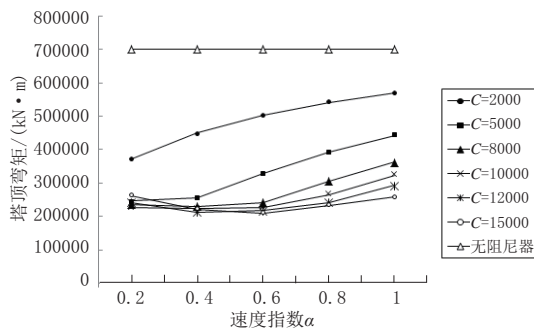
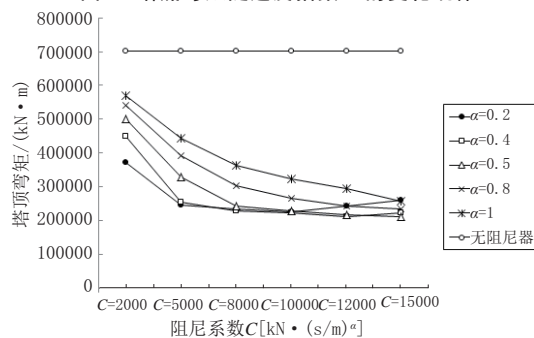
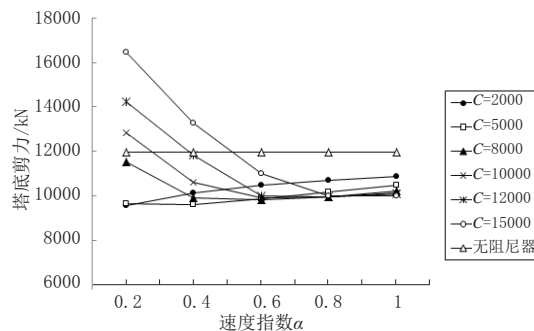
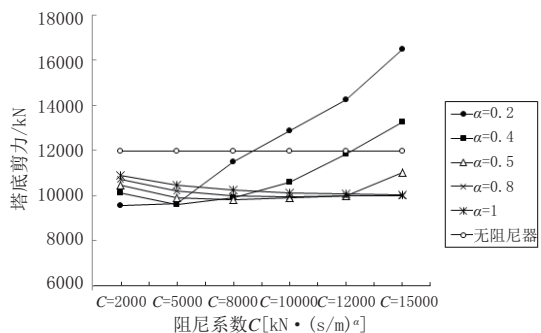
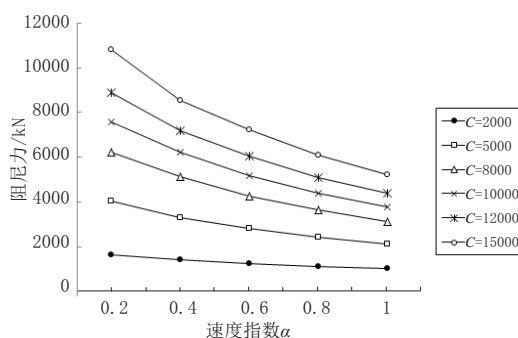
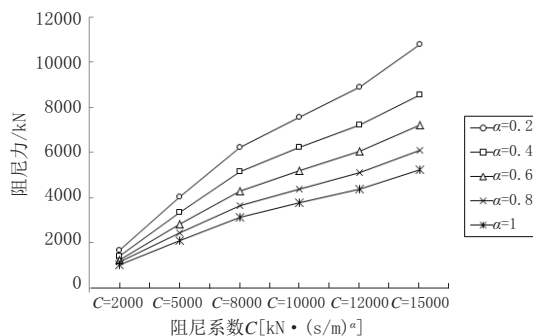
(3)当阻尼器速度指数不变时,塔顶和梁端纵向位移均随着阻尼系数 C 的增大而减小。当阻尼系数 C 在2 000和8 000之间时,变形响应衰减相对较快,在 $C=8 000$ 后,衰减趋势趋于平缓。

2.2 内力响应计算分析

图7至图12分别为塔底弯矩、剪力和阻尼力响应峰值随 C 和的变化规律。

由图7~图12可以得出,在斜拉桥主梁和桥塔间设置黏滞阻尼器后:

(1)在纵向地震动作用下,斜拉桥塔底弯矩和剪力与不设置阻尼器相比均有所减少,其中弯矩减少更为明显。阻尼参数取值不同时,减震效果也不同,当阻尼系数分别取2 000、5 000、8 000、10 000、

图7 塔底弯矩随速度指数 α 的变化规律图8 塔底弯矩随阻尼系数 C 的变化规律图9 塔底剪力随速度指数 α 的变化规律图10 塔底剪力随阻尼系数 C 的变化规律图11 阻尼力随速度指数 α 的变化规律图12 阻尼力随阻尼系数 C 的变化规律

12 000、15000 时,塔底弯矩减小的最大幅度分别为 47.0%、64.9%、67.3%、68.3%、69.7%、70.0%,塔底剪力减小的最大幅度分别为 20.1%、19.7%、17.9%、17.1%、16.6%、16.4%。

(2)当阻尼系数 C 不变时,塔底弯矩基本上随着速度指数的增大而增大,在速度指数在 0.2 和 0.4 之间时,塔底弯矩变化较为平缓,在速度指数大于 0.4 后,塔底弯矩成放大趋势;当速度指数不变时,塔底弯矩随着阻尼系数 C 的增大而减小。阻尼系数 C 在 2 000 和 8 000 之间时,塔底弯矩衰减相对较快,在 $C=8\ 000$ 后,衰减趋势趋于平缓。

(3)阻尼系数 C 取值较小时,黏滞阻尼器可有效降低塔底剪力,但当阻尼系数较大时,反而对塔底的剪力产生了增大效应,这是因为当阻尼系数增大到一定值后,阻尼力的增大效率超过由于黏滞阻尼器的耗能导致的塔底剪力的减小速率,因此塔底剪力开始随着阻尼系数 C 的增大而不断增大。

(4)当阻尼系数 C 不变时,阻尼力随着速度指数的增大而减小,阻尼力的变化规律基本与速度指数成线性关系;当速度指数不变时,阻尼力随着阻尼系数 C 的增大而增加。阻尼系数 C 在 2 000 和 8 000 之间时,阻尼力增大趋势相对较快,在 $C=8\ 000$ 后,阻尼力增大趋势相对趋于平缓。

由以上分析可知,速度指数越大,结合梁关键部位的纵向变形及内力也越大,阻尼器的减震效果较差,因此速度指数不宜取较大值;阻尼系数 C 越大,结合梁关键部位的纵向变形及内力越小,阻尼器的减震效果较好,但阻尼系数过大会造成阻尼器的尺寸、吨位过大、阻尼器连接处内力过大,经济性较差。综合考虑以上因素,河口大桥阻尼器参数确定为:阻尼系数 C ,速度指数。此时,塔顶和梁端纵向位移峰值分别由原来的 57.8 cm 和 59.3 cm 降低至 13.7 cm 和 15.4 cm,减小幅度分别为 76.3%和 74.0%;塔底的弯矩和剪力响应峰值分别由原来的 700 742 kN/m

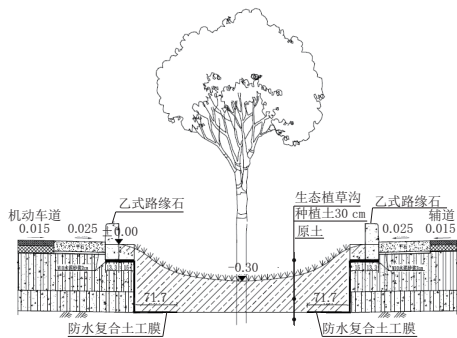


图3 生态植草沟

过量雨水溢流进入溢流式雨水口,最终排入市政雨水管道。

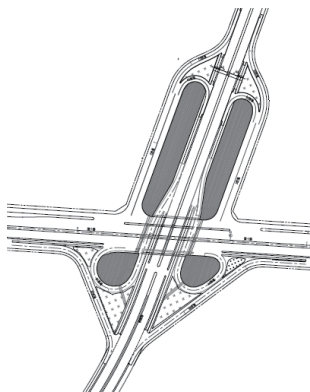


图4 生态滞留池总平面图

3.3 溢流式雨水口

酒十路 A1、B1、C1、D1、C2、D2 匝道围合区域内道路工程已按排水要求进行了场平设计,形成了下凹式绿地地形。根据场平设计,溢流式雨水口位置布置在高于地势最低处约 0.5 m 的等高线上,使绿化带

中有一定的蓄水区域,发挥地形渗蓄功能,减少地面径流量。

绿带内雨水口采用环保型溢流式雨水口(具备防堵塞功能),雨水口高度应高于周围绿地 0.15 m,在雨水口四周 0.3 m 范围内铺设卵石,防止泥沙冲进雨水口。

4 结 语

本文以酒十路互通立交排水设计为例,简要介绍了在项目在低影响开发下,根据实际地形,合理利用低影响开发技术,提升雨水综合消纳能力,减轻“热岛效应”、城市内涝和径流污染问题,还创造了宜人的生态景观。当前,“海绵城市”建设理念在全国大范围内进行试点,技术标准图集及实用技术手册等一系列技术指导文件逐步颁布,我们应积极总结经验教训,把海绵城市建设理念更广泛的应用在市政项目中,将我国打造为一个生态宜居的生态化强国。

参考文献:

[1] 陈林,曹宇,孙天星.城市滨水空间生态化再开发与利用的几点思考[J].四川建筑,2016,36(2):12-14.
[2] 刘忠昌.基于 SWMM 的某大学校园低影响开发(LID)雨水系统模拟研究[D].荆州:长江大学,2019.
[3] 李立军,周密.“海绵城市”设计理念在城市立交中的应用.广东公路交通[J].2018,44(2):40-44.
[4] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].

(上接第 113 页)

和 11 952 kN 降低至 228 954 kN/m 和 9 908 kN,减小幅度分别为 67.3%和 17.1%。

6 结 语

(1)液体黏滞阻尼器的耗能减振效果十分明显,在本桥主梁和桥塔间设置纵向液体粘滞阻尼器可有效降低结构关键部位的变形和内力。

(2)结构的减震效果取决于阻尼参数的取值,增大阻尼系数 C 或者减小速度指数均可以减小结构关键部位的变形响应和地震力。阻尼器最优的参数选择应该是满足结构较好的减震效果并尽量降低阻尼器的内力,以降低阻尼器的制造和安装成本。

(3)综合考虑阻尼系数 C 和速度指数不同取值下

结构变形和内力的减震情况,河口大桥阻尼器参数经优选确定为:阻尼系数,速度指数。

参考文献:

[1] 胡焱文.河口黄河大桥减隔震措施研究[J].城市道桥与防洪,2016(12):153-155,167.
[2] 王志强,隔震桥梁分析方法及设计理论研究[D].上海:同济大学,2000.
[3] 王志强,胡世德,范立础.东海大桥黏滞阻尼器参数研究[J].中国公路学报,2005,18(3):37-42.
[4] 陈永祁,杜义欣.液体黏滞阻尼器在结构工程中的最新进展[J].工程抗震与加固改造,2006,28(3):65-72.
[5] 蒋建军,蒋劲松.广西南宁大桥液体黏滞阻尼器设计[J].世界桥梁,2007(4):8-10,50.
[6] 韩万水,黄平明,兰燕.斜拉桥纵向设置黏滞阻尼器参数分析[J].地震工程与工程振动,2005,25(6):146-151.