

云蒙大桥粘滞阻尼器参数分析

苑鹏宇

北京国道通公路设计研究院股份有限公司

DOI:10.32629/bd.v3i12.2950

[摘要] 本文结合云蒙大桥自锚式悬索桥工程实例,并通过三维有限元地震时程分析,阐述自锚式悬索桥采用粘滞阻尼器进行减隔震设计,其重要指标阻尼器系数及速度指数对结构内力及位移的影响。计算结果表明阻尼系数和速度指数对本桥的影响显著,此类桥梁减隔震设计应进行详细的阻尼器参数分析,并根据分析结果选用恰当的阻尼器参数。

[关键词] 自锚式悬索桥; 时程分析; 减隔震设计; 粘滞阻尼器

粘滞阻尼器属于速度相关型减震、隔震装置,即流体粘滞阻尼器和流体弹簧阻尼器,通称粘滞阻尼器。粘滞阻尼器在地震力快速作用下,能把桥梁上部传给桥墩的力合理分配到多个桥墩上,从而改变仅有一个固定墩的受力状况,在温度、收缩与徐变等慢速作用下,则基本不传递水平力。

特别对于悬索桥、斜拉桥由于其结构基频较低,如采用隔震支座等,可能会达不到隔震效果,同时对支座的位移要求会较高。因此,大跨度悬索桥为了提高其抗震性能,更多的在支座处设置阻尼器装置。阻尼器在日常静力荷载中可以自由变形,以便释放温度等作用,而在地震力作用下又能有效的限制主梁位移,故存在抗风抗震要求的悬索桥结构中大多采用阻尼器改善结构的动力性能。

1 粘滞阻尼器的基本构造及力学模型

粘滞阻尼器的构造如下图1所示。油缸内注入有机硅为基础的粘性液体传力介质,通过油缸壁与活塞之间的间隙或导流孔,组成一种连接装置。当结构受到外荷载冲击时,活塞杆在液压缸内做往复运动,阻尼介质在液压缸的隔腔体内迅速流动,介质通过活塞孔时产生巨大的节流阻尼,这些作用产生的合力成为阻尼力。把传递给活塞的机械能转化为热能(散发),从而吸收能量,减小位移量。

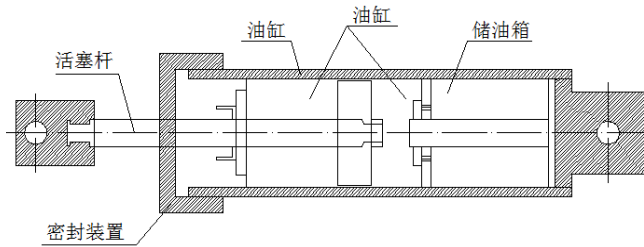


图1 粘滞阻尼器基本构造

粘滞阻尼器的力学计算模型如下所示:

$$F = kd_k = C \operatorname{sgn}(v) * |v|^\alpha$$

式中: k 为弹簧刚度; C 为阻尼器的阻尼系数; v 为阻尼器的变形速率; α 为阻尼器的变形速率指数。粘滞阻尼器在地震作用下的实际受力与变形速率呈现非线性关系。

2 工程概述及有限元模型

2.1 工程概述

云蒙大桥主桥位于潮白河河道内,跨径布置为135+165m,桥梁结构形式为独塔自锚式悬索桥。两侧各设单孔35m做为配孔,主桥全长370m,宽36.6m。索区主梁为扁平钢箱梁,两侧锚跨为预应力混凝土现浇箱梁。下部结构主塔为预应力钢筋混凝土塔身,下接承台及钻孔灌注桩基础,锚跨及与引桥连接公用墩下部为柱式墩、承台接钻孔灌注桩基础。

2.2 有限元模型

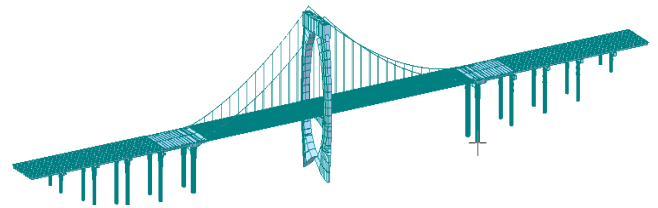


图2 云蒙大桥有限元模型

本桥计算分析采用MidasCivi1832版本建立三维有限元模型(图2)。除建立主桥部分模型外,为了考虑引桥对主桥的动力影响,同时将与主桥相邻联建立三维有限元模型。

全桥共采用130个索单元582个梁单元。桥墩桩基础根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTGD62007)及《潮白河大桥工程场地地震安全性评价》报告计算土弹簧刚度。

由于本桥主缆及吊杆采用索单元模拟,地震时程分析中索单元刚度考虑恩斯特修正。

2.3 地震时程波及非线性分析方法

按照“安评报告”采用50年2%超越概率水准下的水平加速度时程,拟合成加速度时程。根据《公路桥梁抗震设计细则》(JTJ/TB02-01-2008)实际工程进行抗震验算需取三条波最大值。本文限于篇幅,仅对图3所示效应最大波的分析结果进行比较分析。

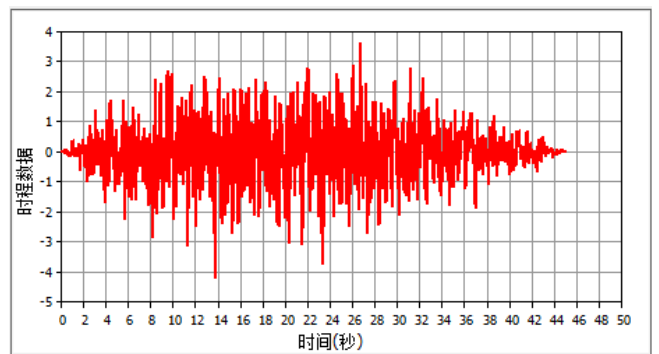


图3 地震时程波

3 阻尼参数分析

3.1 输入参数

由粘滞阻尼器的力学模型不难发现。阻尼器对结构的最终影响直接受到阻尼系数 C 和阻尼的速度指数 α 的影响。故将此作为参数分析的输入变量。

阻尼器考虑设置于主塔中横梁与主梁连接处,全桥共设置4个阻尼器,阻尼器安装示意图如图4所示。

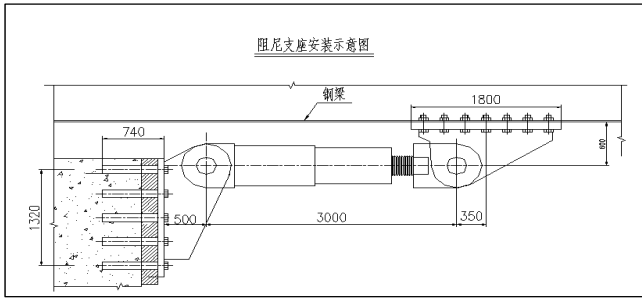


图4 阻尼器安装示意图

根据已有的工程经验, 阻尼系数C分析取值分别取: 500、1500、2500、3500、4500kN(m/s)。阻尼速度指数 α 的取值分别取: 0.2、0.3、0.4、0.5。

3.2 计算结果

本次分析考虑上述分析参数后, 共需建立20个对比模型。模型对比结果重点关注如下内容:

- (1) 控制主塔配筋的塔底弯矩及剪力(图5、图6)。(2) 控制主塔变形的塔顶纵向位移(图7)。(3) 控制加劲梁变形的加劲梁端位移(图8)。

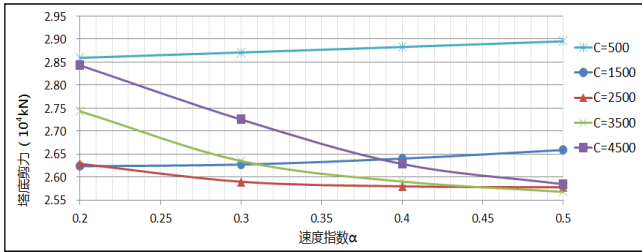


图5 塔底剪力计算结果

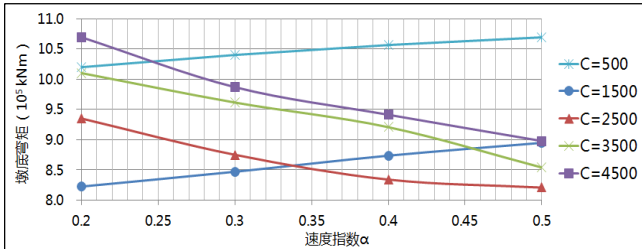


图6 塔底弯矩计算结果

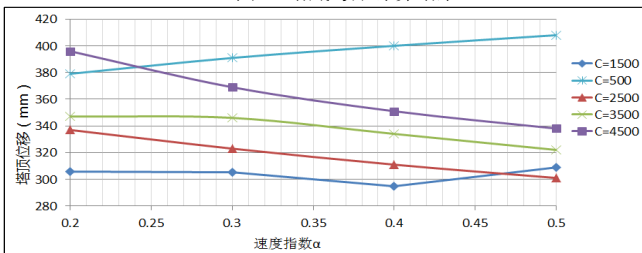


图7 塔顶位移计算结果

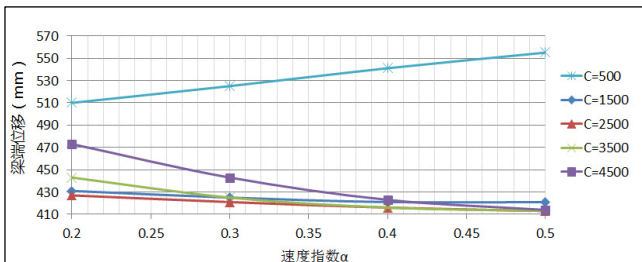


图8 加劲梁端位移计算结果

3.3 最终阻尼参数选取

根据上述计算结果不难发现, 阻尼参数的选择对计算结果的影响非常明显。

以塔底剪力为例, 阻尼系数C取500时剪力最大2.86e4kN, 随着阻尼系数的增加塔底剪力减小至2.62e4kN(C=1500), 然后随着阻尼系数的增加, 塔底剪力由2.63e4kN(C=2500)增大至2.74e4kN(C=3500)及2.84e4kN(C=4500)。

速度指数 α 在本桥的动力响应中基本呈现与阻尼系数类似的规律。

显然最优的参数选取希望达到内力及位移均较小的目标。实际工程还需要综合考虑造价、构造等因素, 最终选取比较恰当的阻尼器参数。

本桥综合上述原因阻尼系数采用2500kN(m/s), 速度指数采用0.3。

经计算E2地震作用下, 阻尼器的滞回曲线如下图9所示:

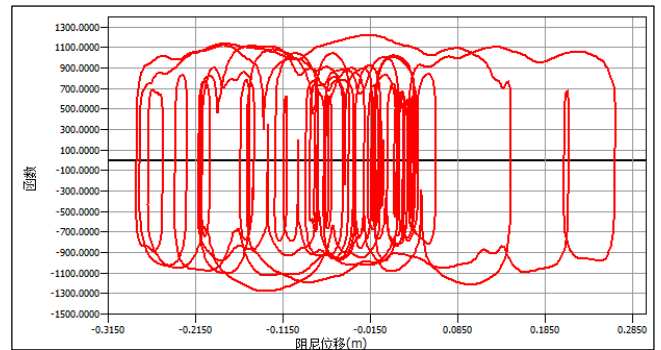


图9 E2地震阻尼器滞回曲线

本桥采用阻尼器后重要指标如下表1所示。从对比结果不难看出, 本桥采用粘滞阻尼器后, 全桥的动力性能得到很大改善, 主梁位移可降低至未采用阻尼器的58.8%, 塔顶位移降低至61.5%, 塔底剪力降低至82.2%, 塔底弯矩降低至65.7%。相对内力因素, 有效的控制加劲梁大震作用下的位移一般是此类结构中设置阻尼器的首要目的。

表1 设置阻尼器效果表(单位kNm)

	塔底剪力	塔底弯矩	塔顶位移	加劲梁端位移
无阻尼器	3.15E+04	1.29E+06	0.525	0.716
有阻尼器	2.59E+04	8.47E+05	0.323	0.421
比值	82.2%	65.7%	61.5%	58.8%

4 结论

本文通过对比不同阻尼系数及速度指数下云蒙大桥的动力响应结果, 对相关参数对本桥内力及位移的影响进行分析, 最终综合考虑内力及位移因素选取恰当的粘滞阻尼器参数。通过上述计算分析可得到如下结论:

- (1) 对于自锚式悬索桥设置粘滞阻尼器, 即可满足主梁在全年升降温荷载作用下的变形要求, 又可有效的改善整体结构地震荷载作用下的动力性能。
- (2) 粘滞阻尼器参数的选取对自锚式悬索桥的动力性能影响显著, 参数分析是确定阻尼器型号和技术指标必不可少的环节。
- (3) 参数分析中应选取足够大的输入范围, 以便得到真实可靠的规律, 从而确定最终实际项目中的设计参数。

[参考文献]

[1] 范立础. 桥梁减隔震设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
[2] 庄军生. 桥梁减震、隔震支座和装置[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
[3] 重庆交通科研设计院. 公路桥梁抗震设计细则[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.