

天津海河吉兆桥抗震设计概述

——混合耗能减隔震系统的应用

韩振勇¹ 袁涌²

(1 天津城建集团有限公司 天津市 300122 2 华中科技大学 武汉市 430074)

摘要:天津海河吉兆桥为三跨变截面连续钢-砼组合桁架桥,位于高烈度地震区,地震动峰值加速度为0.15g。针对吉兆桥的结构特点,提出了采用由铅芯隔震橡胶支座和软钢耗能阻挡装置组成的混合耗能减隔震系统进行减隔震设计的新思路,达到了提高结构抗震性能、降低工程费用的目的。本文主要介绍吉兆桥的抗震设计思想、减隔震设计方法及主要技术内容。

关键词:吉兆桥 组合桁架桥 铅芯隔震橡胶支座 软钢耗能阻挡装置 混合耗能减隔震系统

1 引言

我国是世界上多地震国家之一,具有强度大、频率高、震源浅的特点。近年来,我国地震活动较为频繁。随着城市化及经济的高速发展,对交通线的依赖越来越强,重要桥梁作为震时生命线工程的重要组成部分,其抗震性能的保障和提高显得尤为重要。

传统桥梁结构主要依靠增强自身的强度和变形能力来抵御地震作用,但1994年美国北岭地震、1995年日本阪神大地震和2008年我国5.12汶川地震中,大量结构倒塌,说明以“抗”为主要途径的传统方法存在问题。研究者开始研究通过在结构上布置减隔震装置,寻求“隔”、“减”的方法来抵御地震灾害。

对于桥梁减隔震设计,一般需要使用一种水平刚度较小的支承,如水平力分散型橡胶支座,也可使用集水平刚度小、带有较大耗能功能于一体的支承,如铅芯隔震橡胶支座、高阻尼橡胶支座等。但是,所有这些支承,在地震时都需要发生大的变位,才能发挥其功效,也就是其支承的上部结构在地震时都需要发生大的位移,才能减少地震作用,产生好的减隔震效果,这对结构设计是不利的。特别是桁架桥,由于隔震后的桥梁自振周期较长,上部结构的位移很大,容易发生桥梁碰撞。

对于类似于桁架桥的减隔震设计,理想的目

标是在有效减隔震的同时,将位移控制在较小、可控的范围内。本文根据吉兆桥的结构特点,对实现上述理想减隔震设计目标的关键技术问题进行论述与探讨。

2 工程背景

天津海河吉兆桥地处天钢柳林地区城市副中心,跨越海河,是继海河上游综合改造开发后,海河中游后五公里提升改造的第一座过河桥梁。结合周边建筑情况,吉兆桥整体设计采用欧式风格。吉兆桥主桥为三跨变截面钢-砼组合桁架桥,全长200m,跨径布置为55m+90m+55m,桥宽40m,横向共由9榀桁架组成,桁架中心间距为4.6m。吉兆桥采用的组合桁架结构形式,与钢箱组合梁桥相比,具有节省钢材及工程造价等优点。针对吉兆桥结构特点,在负弯矩区桥面板采用了新型抗拔不抗剪T型连接件,并结合部分组合技术、双重组合技术、以及优化的施工工序,有效解决了负弯矩区混凝土桥面板易开裂、中支点位置下弦杆钢板易失稳等设计难题。吉兆桥场地抗震设防烈度为7度,设计基本地震加速度值为0.15g,属于高烈度地震区。图1~图2为吉兆桥实景图。

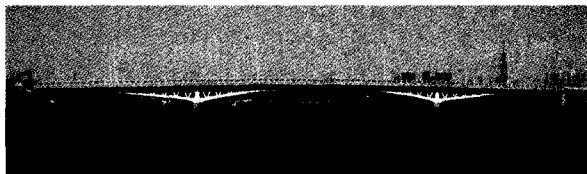


图1 吉兆桥实景图(1)

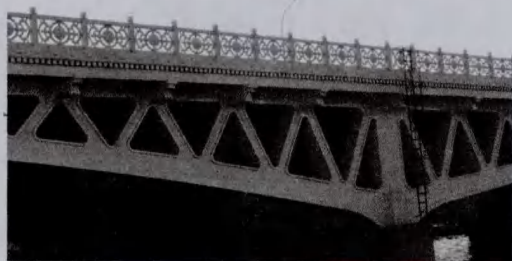


图2 吉兆桥实景图(2)

3 减隔震设计

3.1 铅芯隔震橡胶支座

铅芯隔震橡胶支座,是在普通叠层橡胶支座中插入铅芯,以改善橡胶支座阻尼性能,目前,已较多应用于桥梁减隔震设计中,尤其是国家行业标准《公路桥梁铅芯隔震橡胶支座》(JT/T 822-2011)的颁布,为其大规模推广提供了契机。

铅芯隔震橡胶支座的水平刚度较小,可以使地震位移反应集中在支座上,通过延长结构的基本周期,避开地震能量集中的范围,从而降低结构的地震力;同时,可将地震力均匀地分散到各个桥墩,避免了地震力集中作用在某一个桥墩上。宏观表现为:地震时,支座发生大的变位,其所支承的桥梁上部结构绝对位移较大,可能造成设计上的困难,甚至导致桥梁碰撞或落梁。目前,铅芯隔震橡胶支座有单铅芯隔震橡胶支座及多铅芯隔震橡胶支座等多种产品,国内支座厂家产品的静力特性(耐久性、温度稳定性、竖向承载能力等)、动力特性(刚度及阻尼、大变形能力及动力参数)均较良好且稳定。

3.2 软钢耗能阻挡装置

软钢耗能阻挡装置(如图3所示)为位移型耗能装置,可通过软钢腹板的剪切变形,实现在小变形条件下,耗散大量能量的目的。其特征如下:(1)在正常使用条件下,可保证梁体自由移动,不产生附加内力。(2)对地震产生的梁的快速变形,能迅速耗能,减小梁的加速度和位移。(3)与粘滞流体阻尼器不同,对速度无要求。(4)可承受多次反复地震作用。(5)造价低,安装简便,易更换,可靠性佳,是混凝土抗震挡块的理想替代品。目前,该装置在日本等地震多发国家已经得到了广泛应用。

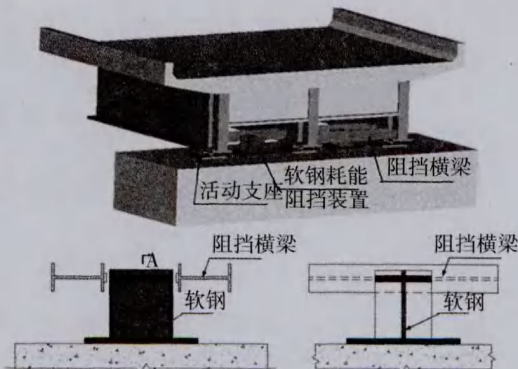


图3 软钢耗能阻挡装置

目前,国内软钢产品主要有屈服点为160MPa和225MPa的两种产品,屈强比均小于80%,伸长率接近60%,延性非常好。

设计研究阶段,为了避免软钢耗能阻挡装置腹板过早发生破坏,分别将腹板做成了正方形、镜片型、两边凹型和两边凹并加固型等四种形态;针对其材料特殊的特点,进行了专门的焊接工艺评定,并对其安装形式进行了研究。其中,采用两边凹并加固型腹板的软钢耗能阻挡装置的滞回曲线比较饱满,其典型力学实验曲线如图4所示。

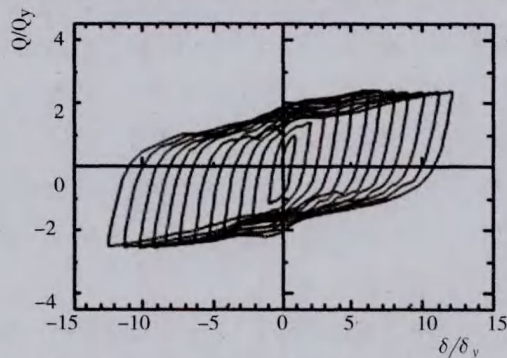


图4 软钢耗能阻挡装置典型力学实验曲线

3.3 混合耗能减隔震系统

吉兆桥采用的混合耗能减隔震系统,由铅芯隔震橡胶支座和软钢耗能阻挡装置组成,如图5所示。

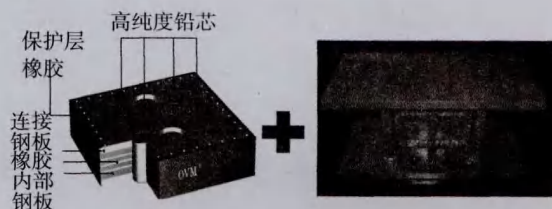


图5 混合耗能减隔震系统

混合耗能减隔震系统的减隔震设计思想为：铅芯隔震橡胶支座与软钢耗能阻挡装置的间隙之间由隔震支座发挥作用，当上部结构触及软钢耗能阻挡装置时，由软钢的耗能作用来减小上部结构的地震位移响应。减隔震系统的模拟采用三折线弹簧单元恢复力模型，如图6所示。

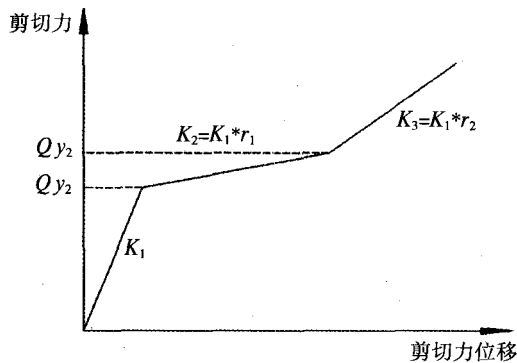


图6 三折线弹簧单元恢复力模型

其中， K_1 ：铅芯隔震橡胶支座屈服前刚度；
 K_2 ：铅芯隔震橡胶支座屈服后刚度；
 K_3 ：位移增大至阻挡装置发挥作用后，铅芯隔震橡胶支座与软钢耗能阻挡装置的组合刚度。

吉兆桥在国内首次用软钢耗能阻挡装置取代

(上接第4页)

柳州东方工程橡胶制品有限公司总工程师资道铭在《低温对铅芯隔震橡胶支座性能及桥梁隔震效果影响探讨》报告中，介绍了低温环境对铅芯隔震橡胶支座所用材料及成品的性能影响。以及由于产品低温情况下性能的变化，对于桥梁隔震效果影响的分析。为低温环境下桥梁的减隔震提供了技术支持。

印尼泗水工程大学Priyo Suprobo教授的《印度尼西亚桥梁健康检测系统发展》，阐述印度尼西亚结构健康监测系统的发展，尤其是在桥梁结构方面，随着印度尼西亚多数岛屿连接在一起，经济发展将推动统一建设，而桥梁成为一个重要的纽带。介绍了新开发的成本低、功率低、易于维护、具有无线性的传感器。

东南大学国家预应力工程技术研究中心蔡建国博士的《新型可展结构的形态分析与运动过程研

究》，针对可展结构的共性问题及关键技术，采用理论分析、数值模拟、物理模型实验相结合的研究手段，对多种新型可展结构的几何构成、运动过程以及受力性能进行了深入的研究。

4 结语

天津海河吉兆桥工程首次用软钢耗能阻挡装置取代普通的混凝土挡块，形成了混合耗能减隔震系统，充分发挥了铅芯隔震橡胶支座及软钢耗能阻挡装置的优势，实现了有效减隔震的同时，地震位移较小、可控的目标。其中，软钢耗能阻挡装置具有造价低、安全性能好、可承受反复地震作用、便于更换、性能可靠等优点，可有效避免落梁及碰撞，是刚性抗震混凝土挡块的理想替代品，具有广泛的推广应用价值。尽管当前我国对软钢耗能阻挡装置的应用远不及日本普遍，相信不久的将来一定会得到应有的重视与发展，这正是本文的目的所在。

参考文献

- [1] 范立础, 王志强. 桥梁减隔震设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001

究》，针对可展结构的共性问题及关键技术，采用理论分析、数值模拟、物理模型实验相结合的研究手段，对多种新型可展结构的几何构成、运动过程以及受力性能进行了深入的研究。

江苏省交通科学研究院股份有限公司副总工程师、教授级高工张建东的《桥梁抗震加固新技术》，结合本人在日本期间的工作经验，介绍桥梁抗震加固工程应用事例，如：水下桥墩横向预应力延性加固，缓冲阻尼材料的减隔震应用，桥墩预应力连接抗震加固等。介绍阪神大地震灾后应急处置和抗震加固工法事例。为我国高烈度地震地区桥梁抗震加固技术发展和应用提供参考。

在主题报告会和自由论坛上，与会代表积极提问，各抒己见，展开了深入的讨论与交流，会议圆满成功，成果丰硕。