

文章编号: 1674—8247(2022)01—0098—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.018

中兰客运专线桥梁总体设计

种博肖

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 10026)

摘 要:中兰客运专线是我国“八纵八横”高速铁路主通道之一“京兰通道”的重要组成部分。为解决中兰客运专线复杂建设环境条件导致的桥梁设计困难,并最大化实现“安全、实用、经济、美观”的设计宗旨,中兰客运专线桥梁设计以标准化简支梁为主,采用大跨桥梁为辅助的解决方案。本文介绍了湿陷性黄土地区桥梁、高烈度地震区桥梁、山地高墩区节段预制胶拼梁、大跨度简支系杆拱等重点桥梁设计特点,采用钢阻尼减隔震支座可有效延长结构的自振周期,满足地震力下结构大位移要求。

关键词:中兰客运专线;桥梁设计;钢阻尼减隔震支座;湿陷性黄土

中图分类号:U442.5 文献标志码:A

Overall Design of Bridges of Zhongwei-Lanzhou Passenger Dedicated Line

CHONG Boxiao

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 10026, China)

Abstract: Zhongwei-Lanzhou Passenger Dedicated Line is an important part of Beijing-Lanzhou Passage, one of the main passages of China's high-speed railway network of "eight north-south lines and eight east-west lines". In order to solve the difficulties in bridge design caused by the complex construction environment of Zhongwei-Lanzhou Passenger Dedicated Line, and realize the design aim of "safety, practicality, economy and beauty" to the maximum extent, the bridge design of this railway is mainly based on standardized simply supported girders, and long-span bridges are adopted as auxiliary solutions. This paper introduces the design features of key bridges such as those in collapsible loess areas, those in high-intensity earthquake areas, segmental precast bonded girders in mountain high pier areas, long-span simply supported bar arches, etc., and concludes that steel damping isolation bearings can effectively prolong the natural period of the structure, and meet the requirements of large displacement of the structure under earthquake force.

Key words: Zhongwei-Lanzhou Passenger Dedicated Line; bridge design; steel damping isolation bearings; collapsible loess

1 工程概况

中卫至兰州客运专线位于宁夏回族自治区和甘肃省境内,线路北起宁夏中卫市,向南经白银市及兰州

市,引入中川城际树屏车站,向西经兰州枢纽连通西宁市及新疆地区,是京兰客运专线的重要组成部分,是我国“一带一路”战略发展核心区域的重要交通基础。全线正线长 219.707 km,共有特大、大、中桥 104 座,

收稿日期:2021-11-22

作者简介:种博肖(1982-),男,高级工程师。

引文格式:种博肖. 中兰客运专线桥梁总体设计[J]. 高速铁路技术,2022,13(1):98-102.

CHONG Boxiao. Overall Design of Bridges of Zhongwei-Lanzhou Passenger Dedicated Line[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1): 98-102.

桥梁总长 86.861 km,桥梁长度占线路长度的 39.5%;兰州新区联络线线路长 12.902 km,共有特大、大桥 6 座,桥梁总长 6.077 km,桥梁长度占线路长度的 47.1%。

1.1 自然条件

中兰客运专线沿线所经地貌有黄河河谷阶地区、山前及山间冲洪积倾斜平原区、低中山区、黄土梁峁区及宽谷区,地层岩性种类繁多,黄土是地表主要分布地层。主要河流为黄河干流,水系由直接汇入黄河的山洪沟、黄河引水排水渠系组成的基本骨架和黄河水系组成。属中温带干旱和半干旱气候区,干燥少雨,多风沙。

全线范围内地震动峰值加速度为 0.1~0.3 g,地震烈度Ⅶ~Ⅷ,65%的桥梁位于Ⅷ度地震区。

1.2 主要技术标准

中兰客运专线主要技术标准如表 1 所示。

表 1 主要技术标准表

项目	标准
铁路等级	客运专线
正线数目	双线
设计行车速度	250 km/h
线间距	4.6 m
轨道形式	有砟轨道
设计活载	ZK 活载

2 桥梁设计特点

2.1 复杂的地质情况

中兰客运专线沿线黄土分布广泛,分布范围约占全线的 64%,主要由第四系全新统冲洪积、风洪积砂质黄土和上更新统风积、冲洪积砂质黄土组成,多为Ⅱ级(中等)~Ⅳ级(很严重)自重湿陷性场地,湿陷土层厚度为 10~35 m,局部黄土梁峁区湿陷土层厚度可达 35~50 m,为Ⅳ级(很严重)自重湿陷性场地。设计过程中从桥梁布设、桥台设置、墩台刷坡稳定性、自由桩长的确定、桩侧负摩阻力的计算深度、m 值计算原则以及桩基施工措施等方面进行了深入研究,保证桥梁结构的安全性^[1]。

此外,沿线低中山区泥石流沟多,冲沟沟谷纵坡较大,多为间歇性沟谷,冬季少雨,沟谷干涸,雨季形成山洪,产生不同程度的泥石流现象。桥下净空综合考虑总淤积高度、泥石流遇阻冲高等因素影响,对跨越泥石流的桥涵孔径适当加大,尽量 1 孔跨越,并加强沟中桥墩墩身及基础设计。

2.2 新型抗震技术措施

中兰客运专线跨越华北地震区的银川—河套地震

带、青藏地震区的六盘山—祁连山地震带和龙门山地震带,部分地区抗震设防烈度达 0.3 g 以上。为满足本线桥梁抗震设防目标,中兰客运专线高烈度区桥梁采用减隔震设计技术,通过设置新型钢阻尼减震桥梁支座,大大降低地震力作用下的结构响应,从而有效保护主体结构使其免受损伤和破坏。钢阻尼减隔震支座,通过在球型钢支座上加装软钢屈服器类型的减震樨阻尼元件,形成具有减隔震功能的球型钢支座。地震发生时,桥梁上部结构传递到墩台的部分水平力由增加在支座上的减震樨承受,通过减震樨的塑形变形吸收地震能力、延长结构的自振周期^[2]。减震樨内、外形成串联组模式,可有效满足地震力下支座大位移要求。该支座的阻尼耗能元件通过螺栓与支座本体连接,可以很方便地实现地震后更换,避免了整体更换支座带来的高昂费用^[3]。

为分析钢阻尼减隔震支座的设计参数,采用空间有限元分析软件 MIDAS,对中兰客运专线简支梁典型桥墩进行非线性时程分析。结果表明钢阻尼支座对顺桥向的减隔震效果总体优于横桥向减隔震效果,7 度地震区顺桥向平均减隔震率为 42%,横桥向平均减隔震率为 31%;8 度地震区顺桥向平均减隔震率为 56%,横桥向平均减隔震率为 39%;支座减隔震效果良好。

2.3 结构形式多样

桥梁结构设计标准化程度高,简支梁常用跨度以预制架设 32 m、24 m 梁为主。跨越河流、高速公路、重要省道或特殊条件的桥梁,为满足桥孔净空等要求,采用大跨简支梁、多跨连续梁、大跨简支系杆、T 构和门式墩等多种特殊结构形式。

靖远黄河特大桥是中兰客运专线的控制性工程,综合考虑防洪和跨越黄河的通航的要求,减小对河道行洪的影响,并考虑黄河河床历史演变规律的复杂性^[4],本桥两个水中墩存在撞船的风险。靖远黄河特大桥采用了(70+104+128+104+70) m 不等跨连续梁跨越黄河主河道,(60+60) m T 构跨越黄河快速路,此外,大桥位于黄河结冰河段,设计综合考虑了冰盖层受温度影响膨胀时产生的静压力,并在墩底至常水位+1 m 范围采用耐候钢板破冰棱。漫湾特大桥桥高约 60 m,设计为(1-56 m)+(18-64 m)节段预制胶拼简支箱梁,采用 SX64/2700 型上行式移动支架造桥机架设。部分车站咽喉区受线路条件、车站布置及地形等因素制约,采用(4×32) m、(6×32) m、(28+3×48+28) m 等道岔连续梁。

中兰客运专线全线共有 3 处跨越既有铁路,其中

兰州新区联络线上跨既有中川城际铁路设计技术最复杂、施工难度最大。该桥交叉点处中川城际铁路为路堑地段,路堑边坡高约 22 m,交叉角度仅为 15° ,设计采用门式墩方案跨越^[5]。该桥基础设计为钻孔灌注摩擦桩基础,施工前结合现场地形、地貌及工程地质等情况,对桩基施工各种成孔方法进行综合比选,最终采用旋挖钻机成孔施工,具有速度快、振动小、对周边土体扰动小、施工精度高等特点,大大降低了桩基施工对既有铁路的影响。同时,由于门式墩墩柱距既有铁路较近,施工安全风险较大,为减少对营业线的干扰,门式墩墩柱采用永久钢模板现浇施工,保证了既有铁路运营安全,取得了良好效果。

2.4 施工技术措施

中兰客运专线标准跨径简支梁以预制架设为主,由于本线桥隧相连地段较长,山前短隧间的桥梁,在隧道施工不控制工期且附近有设置制梁场条件时,采用运架一体式架桥机穿越短隧道架设施工;对于长隧间的桥梁,由于长隧道按不通过运梁车设计,且施工周期长,根据桥梁长度和山区建设条件,采用预制架设方案,适当优化梁场布置,实现了桥梁建设经济性和适用性的宗旨^[6]。

常用跨度连续梁以悬臂浇筑为主,小跨度连续梁根据现场情况采用支架现浇施工。部分连续梁因跨既有铁路、高速公路净空限制,采用悬臂浇筑、转体合龙的施工方法。

3 重点特殊桥梁

3.1 漫湾特大桥一节段胶拼简支箱梁

3.1.1 结构选型

漫湾特大桥位于甘肃省兰州新区西岔镇附近,主要为跨越龚巴川而设,桥址处地形呈“U”型,桥高大于60 m 的段落长度约320 m,大于40 m 段落长度约1 km,对桥高大于40 m 段落进行了(1-56 m)+(18-64 m)简支梁方案和37-32 m 简支梁方案工程投资比较,比较结果显示大跨度简支梁方案具有一定经济优势;由于本桥桥高较高,从景观方面考虑,大跨度简支梁通透性强,景观效果好。此外,相比于混凝土湿接缝连接,节段预制胶拼梁施工周期短,避免了后浇混凝土易开裂等问题,因此漫湾特大桥设计采用大跨节段预制胶拼简支箱梁。

3.1.2 结构设计

1-64 m 节段胶拼简支箱梁计算跨度 64.0 m, 梁长 66.4 m。梁体采用单箱、单室等高预应力混凝土简支箱梁, 梁顶宽 12.2 m, 底宽 5.2 m, 梁高 5.2 m, 箱梁

横断面如图 1 所示。考虑造桥机空间尺寸要求并最大化减少梁段种类,箱梁预制段长度按不大于 5 m、段重量控制在 2 000 kN 以内。设计采用奇数分块,跨中不设接缝,对称布置,64 m 节段预制胶拼梁共分为 17 个梁段,16 个接缝,最大梁段重量为 1 710 kN^[7-8]。

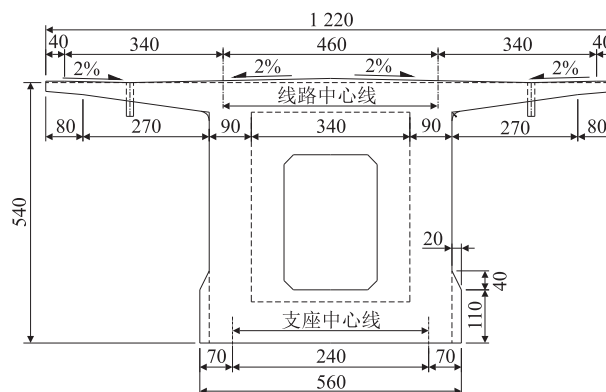


图1 64 m 节段胶拼简支箱梁横断面图(cm)

漫湾特大桥胶拼梁接缝面孔道密闭措施采用预压力孔道套管+密封圈密封方式,密封圈采用三元乙丙橡胶材料,施工方便。除在腹板布置剪力键外,并在顶板和底板布置一定数量的剪力键辅助定位措施,剪力键采用与预制梁段一次成型的复合混凝土密键,剪力键采用梯形,键顶宽 5 cm,键根部宽 15 cm,键高 5 cm。为方便胶体顺利挤出梁体,腹板剪力键在箱梁内侧设为通缝,顶、底板剪力键在顶板顶面和底板顶面设置胶体挤胶槽口,槽口宽 2 cm。

胶接缝处涂刷环氧密封胶,涂胶采用双面涂胶,每侧涂胶厚度 1 ~ 1.5 mm。为避免预应力管道压浆液从接缝处漏出和梁体挤压时胶体进入预应力孔道造成孔道堵塞,需对接缝面预应力孔道接头采取可靠的构造处理措施,确保密封性能。

3.1.3 设计特点

(1) 64 m 节段预制胶拼梁为国内客运专线最大跨度节段预制胶拼简支箱梁。

(2) 高速铁路桥梁对结构线形要求较为严格, 漫湾特大桥节段预制胶拼梁位于 $R = 5\,000\text{ m}$ 的圆曲线和 12.4% 的纵坡上, 为保证结构线形, 采用长短线法相结合的施工工艺, 先在短线台座上预制两个梁端节段, 成品后将两个端节段吊入长线台座, 然后以两个端节段为模板匹配预制中间节段^[9]。

(3) 节段预制胶拼简支梁采用曲梁直做, 平分中矢法布置, 最大矢高为 6 cm。为实现桥面宽度与标准预制简支梁同宽, 简化桥面顺接, 并满足道砟大机养护对挡砟墙净距的要求, 设计采用优化挡砟墙宽度方式,

并通过加强配筋保证受力要求。

3.2 赵家铺特大桥—1-128 m 简支系杆拱

3.2.1 结构选型

赵家铺特大桥位于甘肃省兰州新区西岔镇附近,为跨越水秦快速公路而设。水秦快速公路规划路宽60 m,与线路夹角 47° ,为了满足道路净空要求并减少公路两侧挖方,采用1-128 m 简支系杆拱结构跨越。

3.2.2 结构设计

本桥为梁拱组合体系,由拱肋、系梁、吊杆和桥面系等组成,计算跨度128 m,系梁全长131.2 m。采用钢管混凝土拱肋,平行布置,拱肋中心间距14.3 m,哑铃型截面,拱管直径1.3 m,高3.7 m,拱轴线为二次抛物线,矢跨比1/5。系梁采用预应力混凝土简支箱梁,支点梁高3.5 m,跨中梁高3 m,顶宽15.5 m,底宽13.5 m;全桥共设17对低应力全防腐双吊杆,支座处吊杆距离支点14.4 m,其余吊杆中心间距均为6.2 m。大桥位于 $R=5\,000$ m圆曲线上,按照平分中矢法曲梁直做布置方式,采用先梁后拱的施工方法,系梁采用少支架现浇施工,拱肋在系梁上原位拼装施工^[10]。主梁横断面如图2所示。

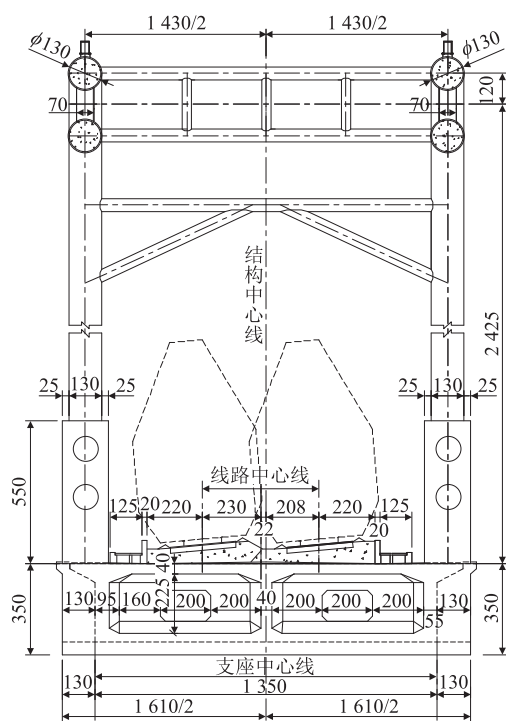


图2 128 m 系杆拱桥横断面图(cm)

3.2.3 设计特点

赵家铺特大桥的设计特点为:

(1)采用低应力全防腐双吊杆体系,减少后期更换对列车运营的影响。

(2)主桥两侧均接32 m 预制简支箱梁,合理设计

了拱脚间距和横撑高度,满足运梁车过孔空间需求。

(3)支座横向间距13.5 m,桥墩横向较宽,为减少桥墩混凝土圬工量,设计采用M型桥墩;主桥两侧相邻孔为32 m 预制简支梁,简支梁支座反力与系杆拱相差较大,设计通过在简支梁侧桥墩局部设置牛腿的方式,有效降低了桥墩纵向尺寸,进一步节省了桥墩和桩基混凝土的圬工量。

3.3 靖远黄河特大桥—(70+104+128+104+70) m 连续梁

3.3.1 结构选型

靖远黄河特大桥是中兰客运专线控制性工程,位于甘肃省靖远县长尾滩,桥高41 m,桥梁轴线的法线与黄河水流方向夹角为 9° 。桥位处河水较缓,水面宽约180 m,通航等级为V级,采用单孔双向通航,净空宽度80 m,净空高度 ≥ 8 m。桥址处地震动峰值加速度为0.34 g,场地特征周期0.55 s。为满足防洪和通航要求,最大化降低对河道行洪的影响,结合现场地形、河堤情况以及地震等因素,采用(70+104+128+104+70) m 连续梁跨越黄河主河道。

3.3.2 结构设计

主梁计算跨度为(70+104+128+104+70) m,主梁全长477.8 m,梁体设计为单箱单室、变高度、变截面结构,箱梁顶宽12.2 m,底宽6.4 m。中支点处梁高为9.6 m,次中支点处梁高为7.6 m,端支座处及跨中截面梁高为5.0 m,采用三向预应力体系。设计通过调整预应力索的布置及张拉顺序,尽量减少主梁上、下缘应力差,以减小工后徐变引起的次内力。主梁中支点横断面如图3所示。

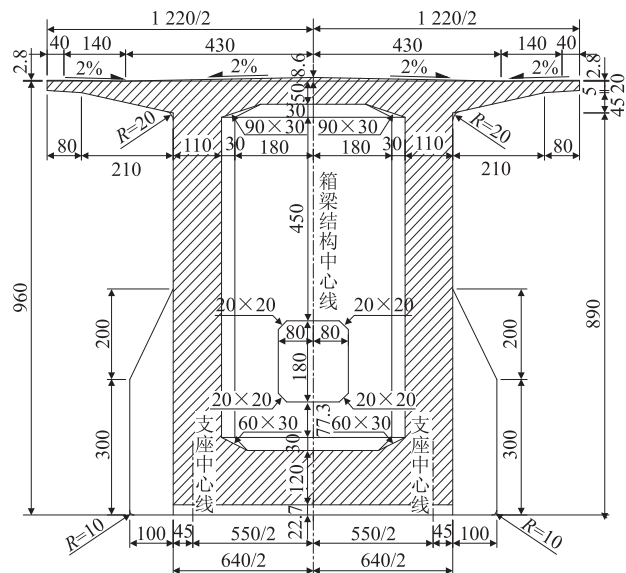


图3 中支点横断面图(cm)

3.3.3 设计特点

靖远黄河特大桥主桥位于高烈度地震区,采用多跨长联预应力混凝土连续梁结构,抗震设计采用减隔震技术措施,设置双曲面球型减隔震支座延长结构周期降低地震力效应、黏滞阻尼器控制震后位移的组合减震方案。双曲面球型减隔震支座设置剪切销,剪切销强度按1.05倍多遇地震水平剪力控制,多遇地震作用下,抗剪销未被剪坏,减隔震装置未发挥作用;设计地震和罕遇地震作用下,抗剪销受剪破坏,减隔震系统发挥作用,地震力迅速减小。大桥每墩设置2个1500 kN阻尼器,与顺桥向成 45° 设置。罕遇地震作用下,采用双曲面减隔震支座与黏滞阻尼器共同作用,与普通支座相比,固定墩弯矩从3222198 kN·m降至432493 N·m,弯矩减震率达80%;梁端位移从538 mm降至152 mm,降幅达65%。优化了固定桥墩及基础尺寸,节约了工程投资^[11-12],墩顶阻尼器现场照片如图4所示。



图4 阻尼器现场照片

4 结束语

中兰客运专线即将进入运营阶段,该线设计过程充分利用我国高速铁路桥梁前期研究成果,针对对湿陷性黄土地区桥梁、高烈度地震区桥梁、节段预制胶拼梁以及大跨度简支系杆拱等重点桥梁设计建造技术进行了深入研究,为类似地区的高速铁路桥梁设计、施工积累了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 种博肖. 黄土地区高速铁路桥梁设计[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(2): 42-45.
CHONG Boxiao. Design of High Speed Railway Bridges in Loess Area [J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(2): 42-45.
- [2] GB 50111-2006(2009年版), 铁路工程抗震设计规范[S].
GB 50111-2006(2009 Edition), Code for Seismic Design of Railway Engineering [S].
- [3] 李爱丽, 高日. 减震樨-活动支座应用于高铁桥梁的减震性能研究[J]. 桥梁建设, 2018, 48(1): 54-59.

- LI Aili, GAO Ri. Study of Seismic Mitigation Behavior of Shock Absorbers and Sliding Bearings Applied to High-speed Railway Bridges[J]. Bridge Construction, 2018, 48(1): 54-59.
- [4] 冯亚成. 减震樨在宝兰客专48 m简支梁桥中的设计应用[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(12): 57-62.
FENG Yacheng. Design and Application of Shock Absorber for 48 m Simple Supported Box Girder Bridge of Baoji-Lanzhou Passenger Dedicated Line[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(12): 57-62.
- [5] 张召阳, 吴亚平, 黄华南. 浸水对湿陷性黄土中桩基承载特性影响的模型试验[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(4): 17-22.
ZHANG Zhaoyang, WU Yaping, HUANG Huanan. Model Test of Water Immersion Influence on Bearing Properties of Pile Foundation in Collapsible Loess [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(4): 17-22.
- [6] 叶朝良, 梁凯芳, 王向阳. 湿陷性黄土区桩基负摩阻力统计分析及建议[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(1): 6-10.
YE Chaoliang, LIANG Kaifang, WANG Xiangyang. Statistical Analysis and Proposal on Pile Negative Friction in Collapsible Loess Areas[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018, 35(1): 6-10.
- [7] 刘保成. 高速铁路56 m节段拼装箱梁短线单独预制法施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2019(1): 78-81.
LIU Baocheng. Construction Technology Research on 56 m Section Assembled Box Girder with the Method of Short-Term Independent Prefabrication in High-Speed Railway [J]. Railway Construction Technology, 2019(1): 78-81.
- [8] 高明昌. 铁路节段预制胶接拼装简支箱梁的技术特点和优势[J]. 铁道建筑, 2015, 55(10): 60-63.
GAO Mingchang. Technical Features and Advantages of Railway Assembled Simply-Supported Box-Girder with Epoxy Resin Joints[J]. Railway Engineering, 2015, 55(10): 60-63.
- [9] 尚庆保. 铁路64 m跨双线简支箱梁节段(胶接缝)拼装施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2015(2): 14-17.
SHANG Qingbao. Railway 64 M-Span Double-Line Simply-Supported Box Girder Segment(Epoxy Joint) Assemble Construction Technology [J]. Railway Construction Technology, 2015(2): 14-17.
- [10] 沙培洲. 高速铁路大跨度简支系杆拱桥设计研究[J]. 铁道标准设计, 2012, 56(7): 60-64.
SHA Peizhou. Design Research on Simply Supported Tied-Arch Bridge with Long-Span in High Speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2012, 56(7): 60-64.
- [11] 罗振源, 闫维明, 许维炳, 等. 颗粒阻尼器对长周期桥梁结构的减震控制效果研究[J]. 振动与冲击, 2018, 37(10): 1-7.
LUO Zhenyuan, YAN Weiming, XU Weibing, et al. Seismic Control of Long-Period Bridge Structures Using Particle Dampers[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 37(10): 1-7.
- [12] 汪正兴, 柴小鹏, 马长飞. 桥梁结构阻尼减振技术研究与应用[J]. 桥梁建设, 2019, 49(S1): 7-12.
WANG Zhengxing, CHAI Xiaopeng, MA Changfei. Research of Dampers Used to Mitigate Vibrations for Bridge Structures and Their Application[J]. Bridge Construction, 2019, 49(S1): 7-12.