

基于双重防护理念的上跨线桥中墩防护设计

吕思忠¹,王新²,郭建民¹,刘思源²,李玉鑫¹,杨福宇²

(1.山东高速股份有限公司,山东 济南 250014;2.北京华路安交通科技有限公司,北京市 100070)

摘要:该文总结分析上跨线桥中墩位置的碰撞事故类型,发现防正碰和防刮蹭是桥墩防护的两项重要需求。基于此提出了双重防护新理念及对应技术方案。第一重防护通过在桥墩外围设置混凝土护栏或船形加高构件,以防止车辆正碰桥墩;第二重防护为桥墩自体通过包裹钢板或泡沫铝板以防止车辆刮蹭桥墩。通过计算机仿真和单元试验验证桥墩防护结构方案的安全性,评估其在防正碰和防刮蹭的双重作用。结果表明:该研究提出的设计方案能有效地保护人、车、桥的安全,降低事故严重程度及损失,有助于桥墩后期维护及耐久性保障,已在实际工程中得到应用与认可。

关键词:公路安全;桥墩防护;材料耐久性;结构耐久性测试;锤击单元试验

中图分类号:U491.5

文献标志码:A

Protection Design of Middle Piers of Overpass Bridges Based on Double Protection Concept

LYU Sizhong¹, WANG Xin², GUO Jianmin¹, LIU Siyuan², LI Yuxin¹, YANG Fuyu²

(1.Shandong Hi-Speed Company Limited, Jinan, Shandong 250014, China; 2.Beijing Hualuan Traffic Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: The collision accident types of middle piers of overpass bridges were summarized and analyzed, and it was proven that anti-collision and anti-scratching were two important requirements of pier protection. Then, the new concept of double protection and corresponding technical schemes were put forward. The first protection adopted the way of setting concrete barriers or ship-shaped elevating members on the periphery of the pier to prevent vehicles from impacting the pier, and the second protection used the self-wrapped steel plate or aluminum foam plate to prevent vehicles from scratching the pier. The safety of the pier protection structure schemes was verified by computer simulation and unit test, and their roles of anti-collision and anti-scratching were evaluated. The results show that the safety of people, vehicles, and bridges can be better protected, and accident severity and damage are reduced. Therefore, the schemes are beneficial for later maintenance and durability of bridge piers and have been applied and recognized in practical engineering.

Keywords: road safety; bridge pier protection; material durability; structural durability testing; hammering unit testing

0 引言

为了缓解公路交通压力,立体交通(跨线桥)建设数量越来越多,上跨线桥墩坐落于下层公路中央分隔带的情况也愈发普遍,如图1所示。

由于中国公路建设空间较为受限,中央分隔带

内上跨线桥墩与行车道距离普遍较近,且承受双侧车流的碰撞隐患。面对交通流量的增加、运营速度的提升以及车辆大型化的发展,上跨线桥中墩位置的安全问题日渐凸显,已然成为公路交通事故的高发位置;而且,与一般路段相比,上跨线桥中墩位置一旦发生碰撞事故,不仅造成车辆损毁和人员伤亡,

收稿日期:2023-03-03

基金项目:山东省交通运输厅科技计划项目(编号:2020B24)

作者简介:吕思忠,男,硕士,研究员.E-mail:spenish222@139.com

还会威胁上跨线桥主体结构安全。



图1 上跨线桥中墩

Figure 1 Middle pier of overpass bridge

公路上跨线桥中墩位置的防护设计需要重点关注。为此,通过调查上跨线桥中墩位置的设计现状及防护效果,总结安全问题,明确安全需求,提出防护设计新理念,进而采用有限元仿真技术^[1],结合规范^[2]和标准^[3]要求,开展上跨线桥中墩防护结构与评价,得到安全可靠且切实可行的技术方案,攻克上跨线桥中墩位置面临的防护难题,以提高该区域的整体安全水平。

1 上跨线桥中墩位置安全现状分析

目前公路上跨线桥中墩位置常见处理方式包括无防护、防撞垫定向防护、低等级护栏防护3种,如图2所示。初步分析,桥墩处无防护处理,意味着没有设置有效的防护设施来消减碰撞能量及阻挡失控车辆,使车辆会直接撞击桥墩;桥墩处沿固定方向设置防撞垫,可对小型车起到一定防护作用,但无法阻挡大型车撞击桥墩;桥墩处采用低等级护栏进行纵向隔离防护设计,相对于前两种处理方式设计理念更为合理,但低等级护栏难以控制护栏变形和车体外倾,仍会撞击到桥墩。



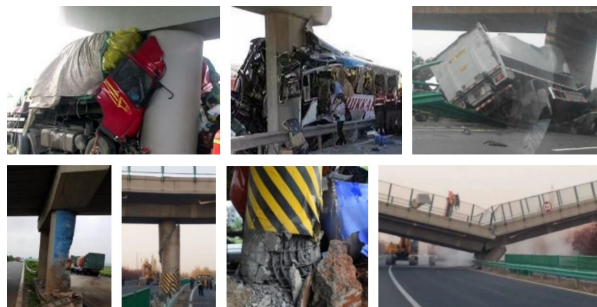
(a) 无防护 (b) 防撞垫定向防护 (c) 低等级护栏防护

图2 上跨线桥中墩位置常见防护处理方式

Figure 2 Common treatment methods of middle pier position of overpass bridge

在实际运营过程中,车辆直接撞击桥墩、跨越防撞垫或低等级护栏后撞击桥墩的恶性事故也时有发生(图3),说明上跨线桥中墩位置常见处理方式未能起到良好防护效果,进一步验证了上述分析结论。

与此同时,总结上跨线桥中墩位置的事故类型,主要包括两类:一类是车辆正碰桥墩,造成乘员舱被严重挤压变形、桥墩结构性损坏甚至桥梁结构坍塌的后果,导致严重人员伤亡及财产损失,如图3(a)所示;另一类是车辆(尤其大型车)外倾刚蹭桥墩,造成桥墩表面受损,不利于桥墩维护,影响桥墩耐久性,如图3(b)所示。



(a) 车辆正碰桥墩,导致乘员舱挤压变形及桥梁结构受损



(b) 车辆外倾碰撞桥墩,导致桥墩表面受损

图3 上跨线桥中墩位置的事故类型及结果照片

Figure 3 Accident type and result photos of middle pier of overpass bridge

因此,一些省份的交通主管部门发布规定,禁止在高速公路中央分隔带内设置桥墩。然而,这一规定无疑增加了公路主体工程设计与建设的复杂性和限制性,也带来了不利影响。这表明:上跨线桥中墩位置的安全问题十分严重且极为棘手,亟须找到有效的解决方案。

2 上跨线桥中墩安全需求与新理念

公路上跨线桥中墩位置的安全需求主要包括防正碰和防刚蹭两个方面。

(1) 防正碰。从事故情况来看,车辆正碰桥墩的情况较多。原因为:碰撞过程中,防护结构出现大变形或车体发生大侧倾,导致车辆侵入中分带空间后正碰桥墩,且事故严重程度高,对人、车、桥的伤害最为严重。因此,需要在上跨线桥中墩位置设置可靠防护结构,对中央分隔带两侧车流起到刚性阻挡和控制外倾的作用,防止车辆侵入中分带或大幅外倾正碰桥墩。

(2) 防剐蹭。从事故情况来看,上跨线桥中墩被车辆剐蹭的情况同样较多。原因为:即便实现防正碰功能,车辆(尤其大型车辆)碰撞过程中难免会有构件凸出剐蹭桥墩的情况,虽然没有正碰桥墩后果严重,但桥墩表面剐蹭受损,会影响桥墩结构耐久性,不利于桥梁主体工程维护。因此,需要在上跨线桥中墩上合适位置增设自体防护结构,降低车辆尖角剐蹭桥墩的严重程度。

综上,为了实现上跨线桥中墩位置的防正碰和防剐蹭的安全需求,提出了“双重防护理念”,第一重是桥墩外围设置防护结构,以防止车辆正碰桥墩;第二重是桥墩自体设置防护结构,以防止车辆剐蹭桥墩,如图4所示。

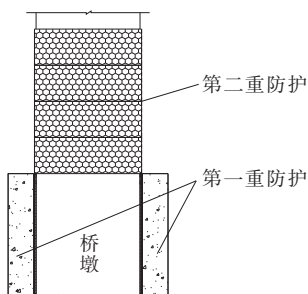


图4 双重防护理念

Figure 4 Double protection concept

上跨线桥中墩防护结构安全评价的碰撞点位置,评价标准^[3]尚未明确规定。初步分析,桥墩属于点状构筑物,车辆碰撞桥墩前方、中间、后方3个位置的严重程度有所差异,需要研究确定较不利位置作为碰撞点,以合理评价桥墩防护结构的安全性。对此,为了更好地表征车辆碰撞桥墩不同位置的后果,针对桥墩处无防护结构的设置条件,采用碰撞能量更大且车体更高的大型车作为碰撞车型,以相同速度和角度分别碰撞桥墩的前方、中间、后方3个位置。经验证,大型车碰撞墩柱中间和后方时,车体轻度剐蹭桥墩后导出,但大型车碰撞桥墩前方后发生严重绊阻,车辆正碰桥墩,严重程度最高,如图5、6所示。因此,将桥墩前方位置作为碰撞点进行桥墩防护结构的安全性分析。

3 基于双重防护理念的设计方案

3.1 第一重防护设计方案

对于上跨线桥中墩位置来说,第一重防护主要

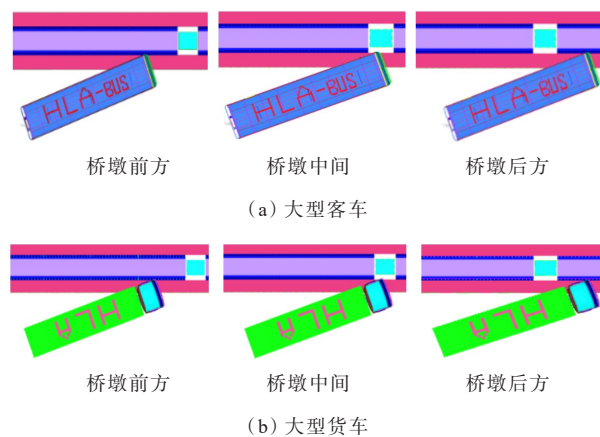


图5 车辆碰撞桥墩不同位置

Figure 5 Vehicle impacting pier at different positions

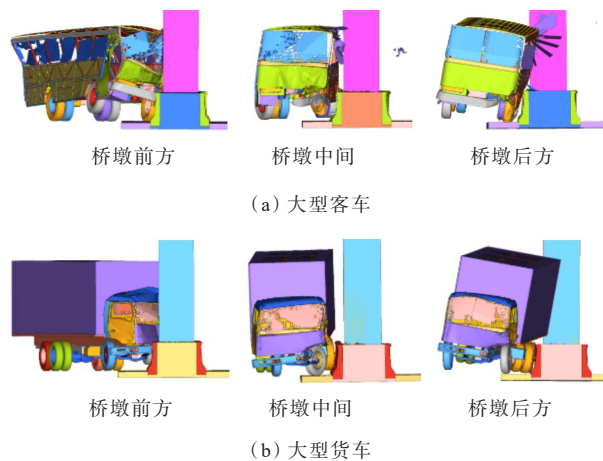


图6 车辆碰撞桥墩不同位置的仿真计算结果

Figure 6 Simulation and calculation results of vehicle impacting pier at different positions

是防止车辆正碰桥墩,需要在桥墩外围设置防护结构,设计要素有3个:① 外围防护结构应具有较大结构刚度来减小碰撞变形,避免车辆断面侵入距离过大导致正碰桥墩[图7(a)];② 外围防护结构应具有较高结构尺寸来减小外倾距离,避免车辆大幅外倾导致正碰桥墩[图7(b)];③ 外围防护结构应与标准段护栏协同设计与合理过渡,避免车辆绊阻。

通过总结相关科研成果与设计经验^[4-7],为提升桥墩防护结构刚度和强度,给出第一重防护设计的两种可行方案。

3.1.1 混凝土护栏桥墩防护结构

上跨线桥中墩位置采用混凝土围绕包封处理,为减小车辆外倾,护栏迎撞面采用直壁式设计,并且护栏高度进行了提升,以高于大型客车重心高度(1.10~1.55 m)和大型货车货箱底板高度(0.93~

1.57 m)为依据,路面以上有效高度设计为1.6 m,如图8所示。同时,为实现桥墩处混凝土护栏与中分带标

准段护栏在坡面、高度及构件的平顺衔接过渡,在包封加高直壁段两侧设计了坡面渐变段和高度过渡段。

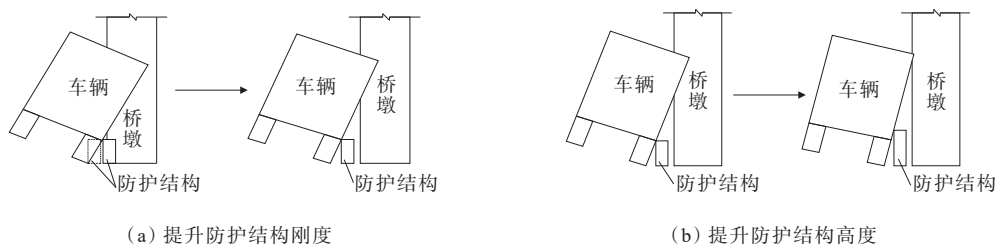


图7 提升防护结构刚度和高度,防止车辆正碰桥墩的效果示意

Figure 7 Effect of improving stiffness and height of protection structure to prevent vehicles from impacting bridge piers

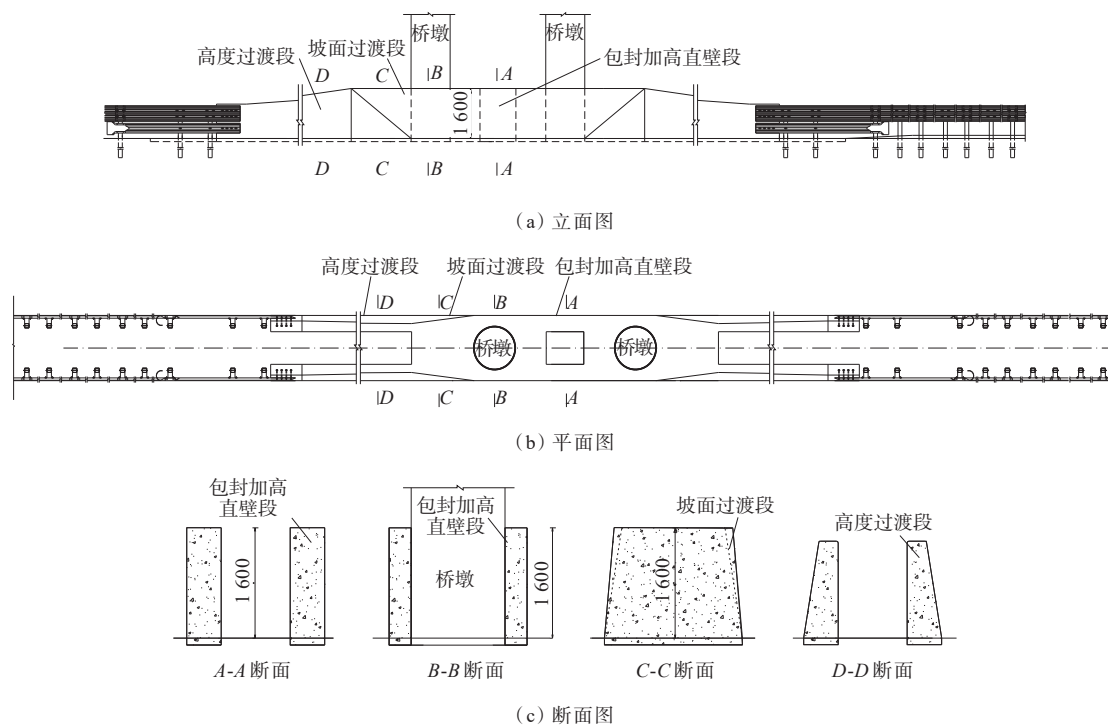


图8 混凝土护栏桥墩防护结构(单位:mm)

Figure 8 Concrete barrier pier protection structure (unit:mm)

混凝土护栏桥墩防护结构在设计防护能力为SBm级,按照技术规程^[8],结合某工程实际条件,建立桥墩和护栏的仿真模型(图9),评价安全性能。经验证,车辆碰撞后平稳驶出,小型客车乘员碰撞后加速度最大值 185.8 m/s^2 ,小于指标限值 200.0 m/s^2 ,起到对驾乘人员的缓冲作用;同时,车辆碰撞后混凝土护栏防护结构基本没有变形,测得大型车最大外倾值为 0.285 m ,按 4.2 m 车高换算,最大外倾当量值为 0.337 m ,车体外倾较小,起到防止车辆正碰桥墩的作用,如图10所示。

混凝土护栏桥墩防护结构适用于上跨线桥中墩断面两侧设置宽度大于 0.35 m 的工况,目前已在某

高速公路工程中应用,如图11所示。

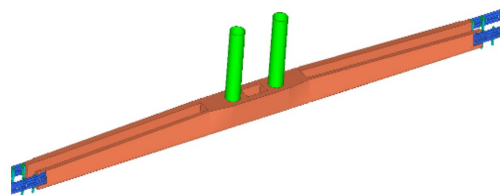


图9 混凝土护栏桥墩防护结构仿真模型

Figure 9 Simulation model of concrete barrier pier protection structure

3.1.2 船形加高构件的桥墩防护结构

上跨线桥中墩位置两侧设置常规高度的混凝土护栏,为减小车辆外倾,上部设置梁柱式加高构件或

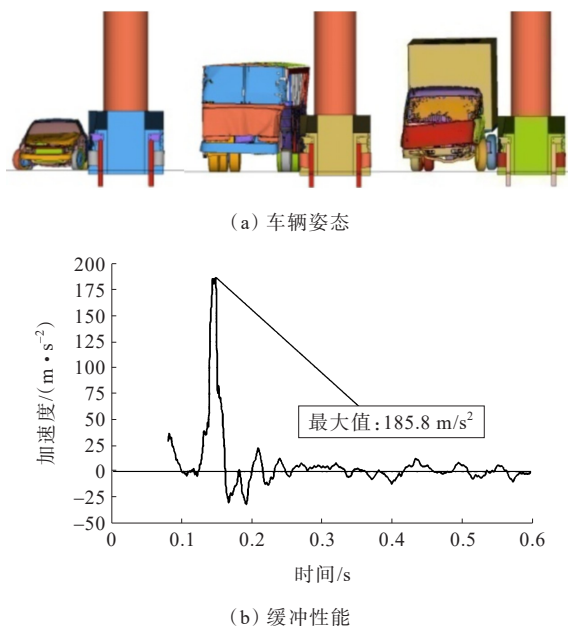


图10 混凝土护栏桥墩防护结构安全性能评价结果
Figure 10 Safety performance evaluation results of concrete barrier pier protection structure



图11 混凝土护栏桥墩防护结构应用效果
Figure 11 Application effect of concrete barrier pier protection structure

混凝土嵌固加高块,加高设计后桥墩位置防护结构整体有效高度达到1.7 m,如图12、13所示。同时,梁柱式加高构件和混凝土嵌固加高块均采用船形设计,迎行车方向的端部做弧形过渡处理,减小车轮绊阻风险。此外,当桥墩两侧设置空间足够时,可将船形加高防护结构进行一体化设计;反之,当桥墩两侧设置空间受限时,船形加高防护结构进行分开设置,采用钢板或横梁进行纵向连接过渡,沿行车方向形成连续整体。

船形梁柱式加高构件和混凝土嵌固加高块的桥墩防护结构设计防护能力分别为SAm级和SSm。按照技术规程^[8],结合某工程实际条件,建立桥墩和防护结构的仿真模型(图14),评价安全性能。

对于船形梁柱式加高构件的桥墩防护结构,车

辆碰撞后平稳驶出,小型客车乘员碰撞后加速度最大值 187.6 m/s^2 ,小于指标限值 200.0 m/s^2 ,起到对驾乘人员的缓冲作用;同时,车辆碰撞后梁柱式构件有轻微变形损坏,大型车最大外倾当量值为 0.228 m ,车体外倾较小,起到防止车辆正碰桥墩的作用,如图15所示。

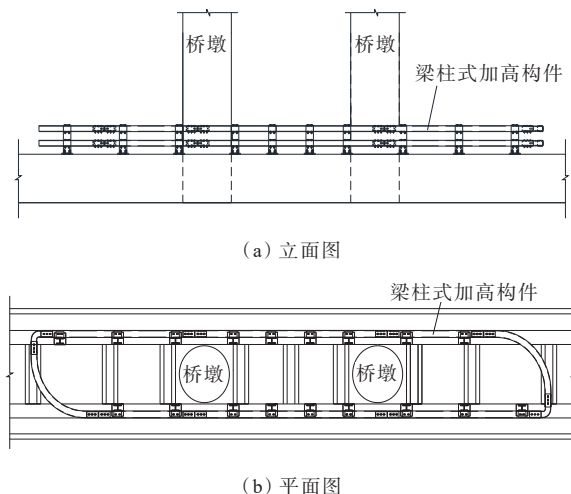


图12 船形梁柱式加高构件的桥墩防护结构
Figure 12 Pier protection structure with ship-shaped beam-column elevating components

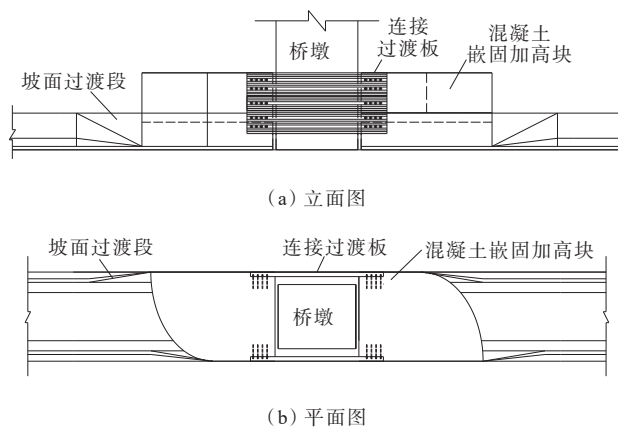


图13 船形混凝土加高块的桥墩防护结构
Figure 13 Pier protection structure with ship-shaped concrete elevating block

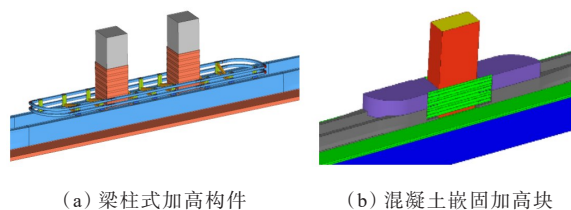


图14 船形加高构件的桥墩防护结构仿真模型
Figure 14 Simulation model of pier protection structure with ship-shaped elevating component

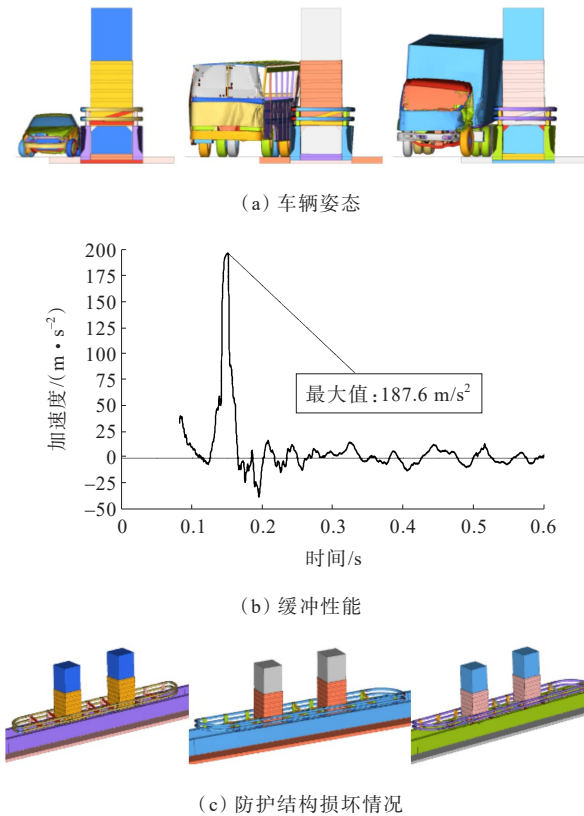


图 15 船形梁柱式加高构件的桥墩防护结构安全性能评价结果

Figure 15 Safety performance evaluation results of pier protection structure with ship-shaped beam-column elevating components

对于船形混凝土加高块的桥墩防护结构,车辆碰撞后平稳驶出,小型客车乘员碰撞后加速度最大值 55.3 m/s^2 ,小于指标限值 200.0 m/s^2 ,起到对驾乘人员的缓冲作用;同时,车辆碰撞后防护结构基本没有变形,混凝土加高块轻微损坏,大型车最大外倾当量值为 0.23 m ,车体外倾较小,起到防止车辆正碰桥墩的作用,如图 16 所示。

船形加高构件的桥墩防护结构适用于上跨线桥中墩断面两侧设置宽度不小于 0.1 m 的工况,可解决宽度受限位置的防护问题。目前,船形混凝土加高块的桥墩防护结构已经应用在某高速公路的上跨线桥中墩位置,如图 17 所示。

3.2 第二重防护设计方案

对于上跨线桥中墩位置来说,第二重防护主要防止车辆刮蹭桥墩,需要在桥墩上包裹自体防护结构^[9-10]。设计要素有两点:①自体防护结构设计高度要合理,过高浪费材料,过低影响防护效果,可将防护车型中最高尺寸作为设计依据,以 SS 级为例,自体

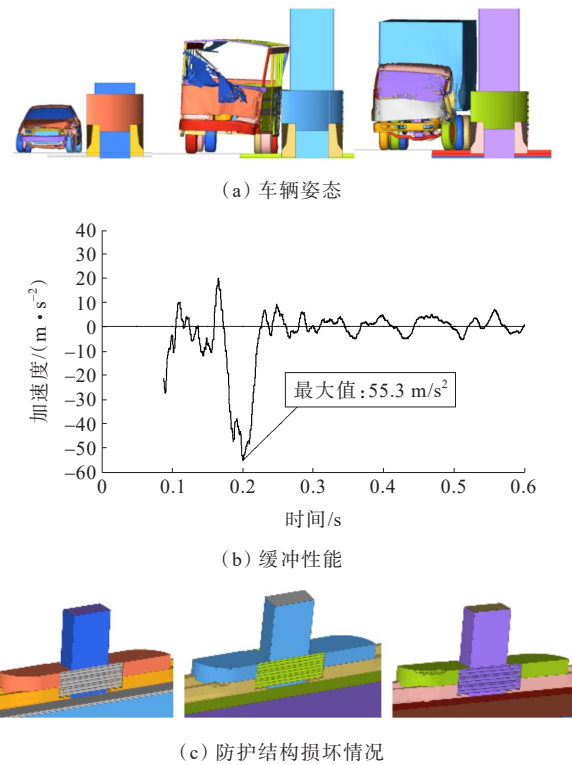


图 16 船形混凝土加高块的桥墩防护结构安全性能评价结果

Figure 16 Safety performance evaluation results of pier protection structure with ship-shaped concrete elevating block

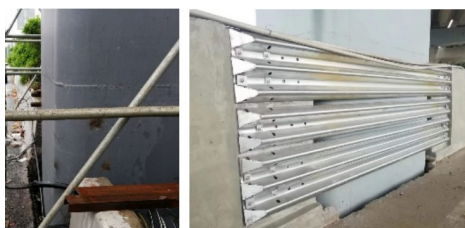


图 17 船形混凝土加高块的桥墩防护结构应用效果

Figure 17 Application effect of pier protection structure with ship-shaped concrete elevating block

防护结构的高度在 3.5 m 左右为宜;②自体防护结构材料宜具备高刚度、轻质、优异的耐候耐久性及良好的阻燃性能。

基于此,一些设计中采用一定厚度的钢板来包裹桥墩,形成一道防护屏障,钢板间焊接固定,并进行防腐处理,实际应用效果如图 18(a)所示。同时,随着泡沫铝新材料的快速发展,因其具备优越的刚度、轻质、耐候、阻燃及环保等特性^[10],一些设计采用一定厚度的泡沫铝材料来包裹桥墩,起到防刮蹭功能,泡沫铝通过钢带和铆钉固定在桥墩上,无须防腐处理,实际应用效果如图 18(b)所示。



(a) 钢板包裹桥墩



(b) 泡沫铝包裹桥墩

图 18 第二重防护设计方案

Figure 18 Second protection design scheme

为了考察第二重防护结构的功效,以泡沫铝板为例,通过简化材料开展锤击单元试验。工况 1:锤击无泡沫铝防护的瓷砖;工况 2:锤击有泡沫铝防护的瓷砖。如图 19 所示。经验证,没有泡沫铝板防护的瓷砖直接碎裂,有泡沫铝板防护的瓷砖则没有碎裂。

由图 19 可知:第二重防护设计在保护桥墩防刮蹭方面起到了积极作用,减轻桥墩受损程度,更有利于桥墩后期维护,保证桥墩的耐久性。

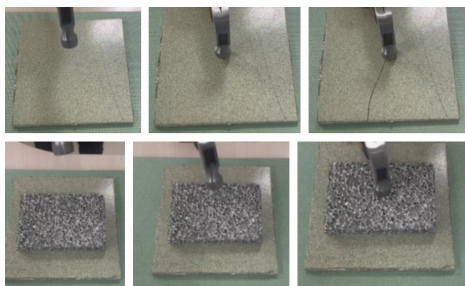


图 19 锤击单元试验

Figure 19 Hammering unit test

4 桥墩双重防护设计方案的工程应用

对于上跨线桥中墩位置的双重防护,可将前面给出的第一重防护可行方案和第二重防护可行方案进行多样化组合设计,以满足防正碰和防刮蹭的双重需求。

目前,实际工程中以上跨线桥中墩双重防护为例,开展了一些组合设计与应用,如第一重混凝土护

栏和第二重泡沫铝组合防护、第一重船形加高构件和第二重钢板组合防护,应用效果如图 20 所示。



(a) 第一重混凝土护栏和第二重泡沫铝组合防护



(b) 第一重船形加高构件和第二重钢板组合防护

图 20 上跨线桥中墩双重防护设计的工程应用

Figure 20 Engineering application of double protection design of middle pier of overpass bridge

5 结语

综上所述,公路上跨线桥墩位置的主要事故类型为车辆正面撞击桥墩和车辆侧面刮蹭桥墩。造成这些事故的主要原因是桥墩外围防护设施的高度和强度不足,容易导致车辆正面撞击桥墩,而桥墩本身缺乏保护套,车辆外倾时容易直接刮蹭到桥墩。因此,防止车辆正面撞击和侧面刮蹭是上跨线桥墩防护设计的两个重要需求,必须采取双重防护措施。

通过总结设计要素和安全分析,本文提出了多种可行的防护方案。第一重防护可以在桥墩外围设置高直壁式混凝土护栏,或在常规混凝土护栏上设置船形加高构件,以有效防止车辆正面撞击桥墩,降低人员伤亡,桥墩严重受损,甚至坍塌的恶性事故概率;第二重防护可以在桥墩上包裹钢板或泡沫铝板,以防止车辆刮蹭桥墩,提升桥墩的耐久性,利于后期维护。

此外,第一重防护和第二重防护的不同方案可以进行多样化组合设计,具体结合实际需求进行选取。针对公路上跨线桥墩位置的安全问题,建议管养单位高度重视,以更好地保障公路的运营安全。

参考文献:

References:

- [1] 闫书明.有限元仿真方法评价护栏安全性能的可行性[J].振动与冲击,2011,30(1):152-156.
YAN Shuming. Feasibility analysis of barrier safety evaluation with finite element simulation method[J]. Journal of Vibration and Shock,2011,30(1):152-156.
- [2] 交通运输部公路科学研究院.公路交通安全设施设计规范:JTG D81—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. Design specifications for highway safety facilities: JTG D81—2017[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd.,2017.
- [3] 北京深华达交通工程检测有限公司.公路护栏安全性能评价标准:JTG B05-01—2013[S].北京:人民交通出版社,2013.
Beijing SHD Traffic Engineering Inspection Co., Ltd.. Standard for safety performance evaluation of highway barriers: JTG B05-01—2013[S]. Beijing: China Communications Press,2013.
- [4] 魏琨,龚帅,杨福宇,等.高速公路桥墩安全防护设计研究[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(6):32-35.
WEI Kun,GONG Shuai,YANG Fuyu,et al.Study on safety protection design of expressway pier[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Application Technology Edition),2019,15(6):32-35.
- [5] 田芳,文鹏兵,贾宁.高速公路中分带桥墩安全防护问题的探讨[J].交通工程,2021,21(2):62-67.
TIAN Fang, WEN Pengbing, JIA Ning. Discussion on safety protection of piers in median strip of expressway[J]. Journal of Transportation Engineering,2021,21(2):62-67.
- [6] 刘明虎,张门哲,亢寒晶,等.桥梁嵌固式基础中央分隔带钢护栏安全性分析[J].中外公路,2019,39(3):291-296.
LIU Minghu, ZHANG Menzhe, KANG Hanjing, et al. Safety analysis of the steel barrier in bridge's central divider of the embedded foundation[J]. Journal of China & Foreign Highway,2019,39(3):291-296.
- [7] 余斌,王新,池红坤,等.基于钢桥翼缘板的HA级梁柱式钢护栏结构研究[J].中外公路,2022,42(5):252-256.
YU Bin,WANG Xin,CHI Hongkun,et al.Research on HA-level beam-column steel barrier structure based on steel bridge flange plate[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(5):252-256.
- [8] 广东省公路学会.公路护栏安全性能仿真评价技术规程:T/GDHS 001—2020[S].广州:广东省公路学会,2020.
Guangdong Province Highway Society. Specifications for safety performance simulation evaluation of highway barriers: T/GDHS 001—2020[S]. Guangzhou: Guangdong Province Highway Society,2020.
- [9] 韩艳,范东振,刘山.外包钢板对钢筋混凝土桥墩撞击性能影响的试验研究[J].振动与冲击,2017,36(23):175-180.
HAN Yan,FAN Dongzhen,LIU Shan. Tests for effect of encased steel plate on anti-impact performance of a RC pier[J]. Journal of Vibration and Shock,2017,36(23):175-180.
- [10] 姚广春.泡沫铝材料[M].北京:科学出版社,2013.
YAO Guangchun. Aluminum foams[M]. Beijing: Science Press,2013.