

基于钢桥翼缘板的 HA 级梁柱式钢护栏结构研究

余斌¹, 王新², 池红坤¹, 杨福宇², 刘思源², 马晴², 闫书明²

(1. 湖北棋盘洲长江公路大桥有限公司, 湖北 黄冈 435499; 2. 北京华路安交通科技有限公司, 北京市 100070)

摘要:棋盘洲长江公路大桥为特大型钢箱梁悬索桥,为了更好地保护运行车辆及桥梁主体结构安全,结合标准规范要求,需要设置安全防护性能可靠、与桥型匹配适用的 HA 级梁柱式钢护栏。该文采用理论分析和计算机仿真手段,结合实际工程条件,进行 HA 级梁柱式钢护栏上部结构和基础结构的设计与优化研究,得到最优护栏结构方案;并在试验场按 1:1 比例修建模拟钢箱梁桥翼缘板及护栏样品,采用最不利车型进行实车足尺碰撞试验,评价护栏结构方案在钢箱梁桥翼缘板上的使用效果。结果表明:基于钢箱梁桥翼缘板的梁柱式钢护栏结构安全可靠,达到 HA 级防护能力;碰撞过程中未对钢箱梁翼缘板造成不利影响,满足桥梁主体结构使用需求。所得成果可提升棋盘洲长江公路大桥的安全防护水平,为同类工程提供设计参考与技术支持。

关键词:钢箱梁;桥梁翼缘板;HA 级;梁柱式钢护栏;计算机仿真;实车足尺碰撞试验

中图分类号: U491.5

文献标志码: A

1 工程概况

棋盘洲长江公路大桥位于黄石市和黄冈市境内,主桥全长 3 328.5 m,主跨为 1 038 m 长的双塔单跨钢箱梁悬索桥,采用双向六车道高速公路标准建设,设计速度 100 km/h,跨越长江水域,如图 1 所示。该路段事故严重程度较高,若桥梁护栏防护能力不达标,极易发生车辆穿越护栏坠桥或碰撞悬索桥吊杆等恶性事故,威胁驾乘人员及桥梁主体安全。



图 1 棋盘洲长江公路大桥

根据 JTG D81—2017《公路交通安全设施设计规范》^[1]要求,结合特大型悬索桥特点,需要设置 HA 级梁柱式钢护栏。同时,桥梁翼缘板形式(混凝土箱梁翼缘板和钢箱梁翼缘板,如图 2 所示)与护栏结构设计密切相关,直接影响桥梁护栏的基础形式及结构强度。

据了解,现有 HA 级梁柱式钢护栏成果多依据混凝土桥翼缘板形式进行结构设计及安全评价^[2],并不完全适用于钢桥翼缘板设置条件,尤其是基础连接方式。现有钢桥则主要通过改变护栏基础连接方式进行工程应用,缺少设计依据,对适用于钢桥翼缘板的 HA 级梁柱式钢护栏可靠成果需求迫切。



(a) 混凝土箱梁



(b) 钢箱梁

图 2 桥梁翼缘板类型

该文依托棋盘洲长江公路大桥,结合钢箱梁翼缘板形式,采用多样化技术手段,研究提出 HA 级梁柱式钢护栏结构,包括上部结构和基础连接方式;同时,通过合理简化钢箱梁翼缘板结构,在试验场按 1:1 比例修建模拟钢箱梁桥翼缘板及护栏样品,采用最不利

收稿日期:2022-04-12(修改稿)

基金项目:湖北省交通运输厅科技项目(编号:2020-2-2-3)

作者简介:余斌,男,大学本科,高级工程师. E-mail:787345633@qq.com

车型进行实车足尺碰撞试验,评价护栏结构方案在钢桥翼缘板上的使用效果,保证研究成果与实际工程桥型匹配适用,安全防护性能可靠。

2 护栏结构设计

根据JTG/T D81—2017《公路交通安全设施设计细则》^[3]的有关规定,结合棋盘洲长江公路大桥钢箱梁翼缘板结构,考虑安全可靠、景观通透、造价合理、工艺简便等因素,采用理论计算、计算机仿真分析^[4]等手段,对HA级梁柱式钢护栏进行结构方案设计与仿真迭代优化,进而得到最优的护栏上部结构及适应钢箱梁翼缘板的基础连接方式。

2.1 上部结构

HA级梁柱式钢护栏的上部结构设计内容包括高度、横梁结构及布置、立柱结构及布置、连接及拼接方式等(图3)。

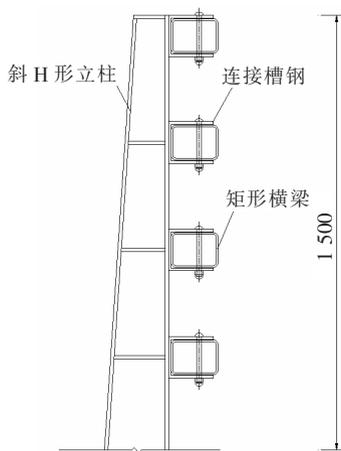


图3 HA级梁柱式钢护栏上部结构(单位:mm)

通过研究分析进行合理设计,最终确定的护栏上部结构设计如下:

(1) 护栏由立柱、横梁、连接槽钢、连接内套管及栓接构件组成。

(2) 护栏桥面以上整体有效高度为1500 mm。

(3) 横梁布置层数为4层,横梁尺寸为160 mm(宽)×120 mm(高)×6 mm(厚)×5990 mm(长)的矩形管结构。

(4) 立柱采用斜H形结构,翼板、腹板、顶板、肋板的厚度均为12 mm,抗弯性能满足要求的同时,方便安装施工,立柱间距为1600 mm。

(5) 连接槽钢尺寸为155 mm(宽)×144 mm(高)×10 mm(厚)×300 mm(长),其与立柱一体化焊接,简

化现场安装流程,横梁嵌入槽钢后通过连接螺栓固定。

(6) 横梁与横梁之间通过拼接内套管和拼接螺栓固定,拼接内套管尺寸为144 mm(宽)×100 mm(高)×10 mm(厚)×1000 mm(长)。

(7) 横梁、连接槽钢、拼接内套管上均设置长圆孔,以提高现场安装的方便性和容错性。

2.2 基础连接方式

针对钢箱梁翼缘板的基础设置条件,为保证护栏基础强度和减小翼缘板所受集中荷载的作用,采用攻丝板作为护栏上部结构和钢箱梁翼缘板之间的重要承接构件。通过研究分析进行合理设计,攻丝板上面通过8个M30的12.9级高强度螺栓来连接底板及护栏上部结构,攻丝板下面则焊接在钢箱梁桥面板上,攻丝板沿桥梁纵向设置间距为1600 mm(与立柱一致),并在基础连接外部罩上通长设置的钢路缘石(总宽500 mm、厚度8 mm),钢路缘石焊接在钢箱梁桥面板上,如图4(a)所示;攻丝板尺寸为390 mm(长)×390 mm(宽)×60 mm(厚),攻丝板上设置8个直径为30 mm的攻丝孔,攻丝孔深度为60 mm,攻丝孔位置与底板螺孔位置相对应,如图4(b)所示;底板尺寸为390 mm(长)×390 mm(宽)×16 mm(厚),底板上设置8个贯通的长圆形螺孔,方便安装,护栏立柱则焊接在底板上,如图4(c)所示。

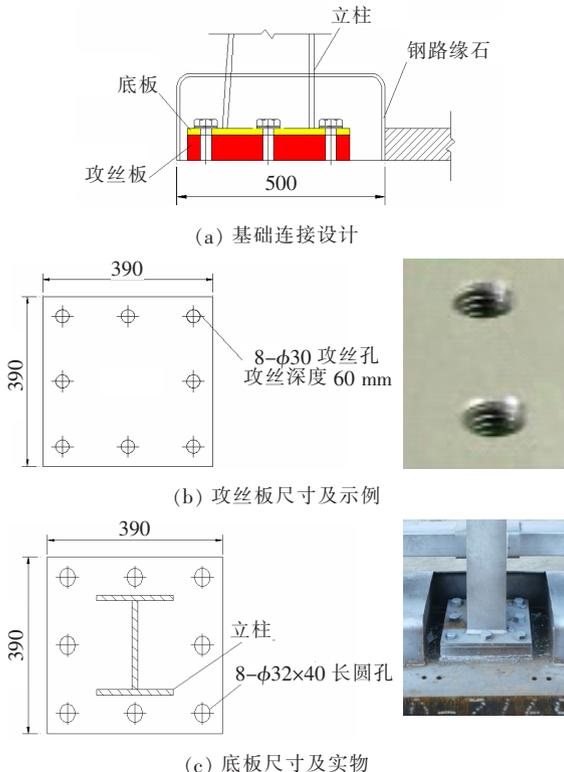


图4 基于钢箱梁翼缘板的HA级梁柱式钢护栏基础连接方式(单位:mm)

2.3 护栏整体结构

根据研究设计的护栏上部结构及基础连接方式,最终得到可适应钢箱梁翼缘板的 HA 级梁柱式钢护栏整体结构,如图 5 所示。

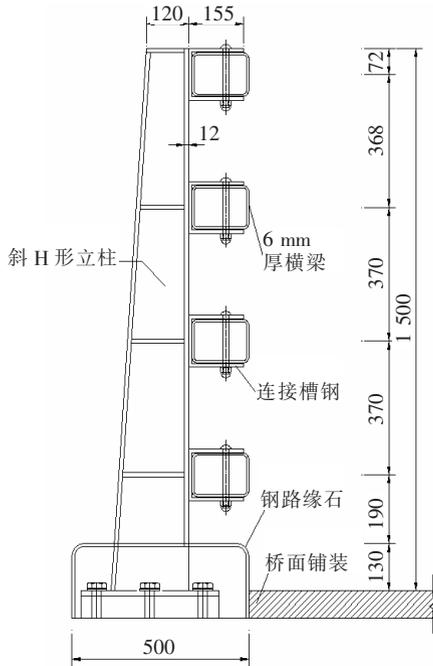


图 5 基于钢箱梁翼缘板的 HA 级梁柱式钢护栏整体结构(单位:mm)

3 护栏安全性能仿真评价

针对基于钢箱梁翼缘板的 HA 级梁柱式钢护栏结构设计形式,采用高精度计算机仿真技术^[4],按照 T/GDHS 001—2020《公路护栏安全性能仿真评价技术规程》^[5]规定评价方法和指标要求进行护栏结构安全性能仿真评价。图 6 为建立的 HA 级梁柱式钢护栏仿真模型,表 1 为 HA 级梁柱式钢护栏仿真碰撞条件。

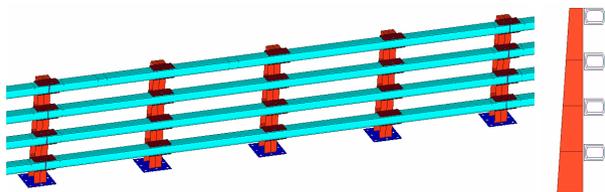


图 6 基于钢桥翼缘板的 HA 级梁柱式钢护栏仿真模型

图 7 为小型客车、特大型客车、大型货车、鞍式列车 4 种车型碰撞 HA 级梁柱式钢护栏的仿真结果。由图 7 可见,车辆碰撞过程中均没有穿越、翻越、骑跨

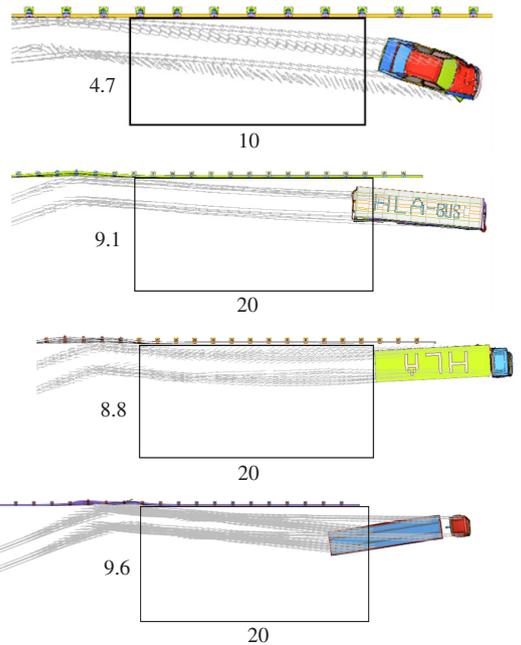
表 1 HA 级梁柱式钢护栏仿真碰撞条件

碰撞车型	车辆总质量/t	碰撞速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	碰撞角度/ $(^\circ)$
小型客车	1.5	100	20
特大型客车	25	85	20
大型货车	40	65	20
鞍式列车	55	65	20

和下穿护栏现象,护栏构件及其脱离件没有侵入车辆乘员舱,阻挡功能良好;车辆碰撞后均平稳驶出,没有发生翻车现象,车辆轮迹满足导向驶出框要求,导向功能良好;小型客车纵向和横向的乘员碰撞速度分别为 8.5 m/s 、 7.5 m/s ,均小于 12 m/s ,纵向和横向的乘员碰撞后加速度分别为 35.6 m/s^2 、 46.2 m/s^2 ,均小于 200 m/s^2 ,缓冲性能良好。同时,对 4 种车型碰撞后护栏变形及车辆侧倾情况进行了记录,见表 2。



(a) 行驶姿态



(b) 行驶轨迹

图 7 HA 级梁柱式钢护栏安全性能仿真评价结果(单位:m)

根据上述仿真评价结果,基于钢箱梁翼缘板的 HA 级梁柱式钢护栏安全性能各项指标均满足要求,可达到 HA 级防护等级。

表2 HA级梁柱式钢护栏变形及车辆侧倾情况

车型	护栏最大 横向动态 变形量/m	护栏最大横 向动态位移 外延值/m	车辆最大 动态外倾 距离/m	车辆最大动 态外倾距离 标准值/m
小型客车	0.05	0.38	—	—
特大型客车	0.45	0.67	0.81	1.04
大型货车	0.47	0.73	0.52	0.54
鞍式列车	0.52	0.79	0.76	1.24

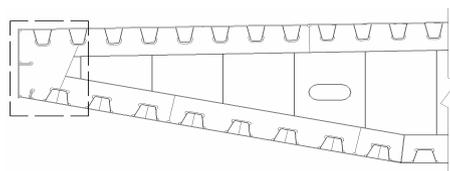
4 护栏安全性能碰撞试验评价

为了更好地保障HA级梁柱式钢护栏成果在棋盘洲长江公路大桥上的安全应用,组织开展了实车足尺碰撞试验。

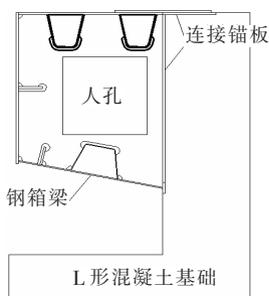
4.1 试验用模拟钢箱梁翼缘板及护栏

根据棋盘洲长江公路大桥设计文件,钢箱梁翼缘板体积庞大且截面形式多样,从碰撞试验的可操作性及工程适应性角度出发,需要合理确定等效的钢箱梁翼缘板模拟结构。

首先,遵循最不利原则,从多种钢箱梁翼缘板中选取最不利截面,选取要点为梁端结构强度最弱,如图8(a)所示;其次,根据护栏设置位置,考虑护栏受力影响范围,确定梁板横向宽度;最终,为实现基础稳定,设计L形混凝土基础和连接锚板,且在梁板上设置人孔,方便施工安装,进而得到试验用钢箱梁翼缘板等效模拟结构,如图8(b)所示。



(a) 钢箱梁翼缘板最不利截面



(b) 钢箱梁翼缘板等效模拟结构

图8 钢箱梁翼缘板最不利截面及等效模拟结构

针对试验用钢箱梁翼缘板等效模拟结构,按照1:1比例进行加工,并在合格的碰撞试验广场上进行施工安装。

在修建的模拟钢箱梁翼缘板上焊接攻丝板和钢路缘石,再安装上加工好的HA级梁柱式钢护栏。图9为试验用模拟钢箱梁翼缘板及护栏的整体结构和试验样品。

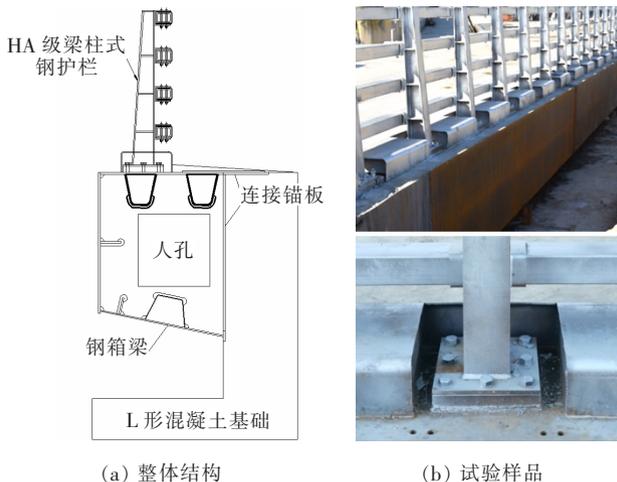


图9 试验用模拟钢箱梁翼缘板及护栏

4.2 实车足尺碰撞试验及数据分析

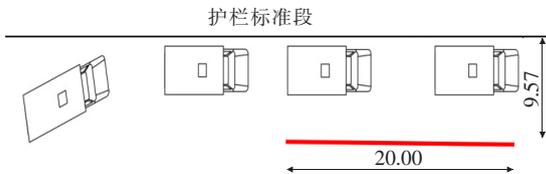
鉴于实车足尺碰撞试验费用较高,从安全、经济、合理角度出发,采用最不利车型对基于钢箱梁翼缘板的HA级梁柱式钢护栏进行安全性能评价。根据以往研究经验及大量数据分析,55t鞍式列车的碰撞能量最大、对护栏结构的破坏力最强,为最不利车型。

通过试验检测,基于钢箱梁翼缘板的HA级梁柱式钢护栏的试验碰撞条件为:鞍式列车、车辆总质量55.271t、碰撞速度65.9km/h、碰撞角度20.2°、碰撞能量1104kJ,大于设计防护能量760kJ,碰撞试验结果见图10。

由图10可见:鞍式列车碰撞护栏后平稳驶出,且恢复到正常行驶姿态,护栏具备良好的阻挡功能和导向功能,各项指标均满足JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》^[6]要求,防护能力达到HA级,结构安全可靠。同时,记录了护栏最大横向动态变形值为0.35m、最大横向动态位移外延值为0.7m,车辆最大动态外倾值为0.5m、最大动态外倾当量值为1.2m。此外,车辆碰撞后护栏仅部分立柱底板发生轻微翘曲变形,但基础连接整体可靠;钢箱梁翼缘板则整体结构完好,未带来不利影响,说明该文所述研究成果可在实际工程中安全应用。



(a) 行驶姿态



(b) 运行轨迹



(c) 护栏损坏



(d) 基础连接及钢箱梁翼缘板

图 10 试验结果(单位:m)

5 护栏实际应用情况

基于钢箱梁基础的 HA 级梁柱式钢护栏成果已在棋盘洲长江公路大桥上进行了成功应用(图 11),基础连接及上部结构的施工安装较为方便,整体效果良好,切实满足了实际工程现场的使用需求。

6 结论

基于钢箱梁基础的 HA 级梁柱式钢护栏成果兼



图 11 HA 级梁柱式钢护栏在棋盘洲长江公路大桥上的应用照片

备安全可靠、施工安装方便、造价合理、景观通透等优异性能,符合规范要求,品质高,可提高应用路段的运营安全水平,降低事故严重程度,减少人员伤亡及财产损失。同时,填补了 HA 级梁柱式钢护栏在钢箱梁桥翼缘板上合理设计与安全评价的技术空白,切实满足实际工程的迫切需求,推广应用前景广阔,对公路交通行业发展具有一定的推动作用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 裴大军,彭晓彬,龚帅,等. 缆索承重桥梁专用高等级型钢护栏研发[J]. 中外公路,2021,41(3):403—406.
- [3] 交通运输部公路科学研究院. 公路交通安全设施设计细则:JTG/T D81—2017[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [4] 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.
- [5] 北京华路安交通科技有限公司. 公路护栏安全性能仿真评价技术规程:T/GDHS 001—2020[S],2020.
- [6] 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.