

上跨铁路既有旧桥防撞护栏更换设计研究

彭建东

(中国铁路设计集团有限公司,天津市 300142)

摘要: 随着公路、铁路行业规范及标准的不断更新,早期建造的公路上跨铁路桥防撞护栏已不满足现行交通环境下的防护需求,需要对其进行改造升级。根据现行规范及标准要求,上跨重要铁路的公路桥单层防撞护栏等级已提高至不小于HA级。为保证既有铁路的安全,必须选用耐久性较好的防护屏并在施工防撞护栏过程中考虑挂篮防护设计。因既有旧桥设计技术标准相比现有规范要求较低,在对公路上跨铁路桥防撞护栏进行更换设计时,考虑既有公路桥桥面板与防撞护栏适配性尤为重要。以天津市某上跨铁路既有旧桥防撞护栏更换设计为例,探讨现行规范实施后防撞护栏更换设计的计算方法及原则,为涉铁路外工程提供参考。

关键词: 防撞护栏;防护屏;挂篮;适配性;计算方法

中图分类号: U443.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0128-04

0 引言

进入2000年以来,国家基础设施建设蓬勃发展,早期设计建造的公路和铁路大面积开通运营。近年来,车辆通行荷载和流量发生了非常大的变化,车辆逐渐向大型化、重型化方向发展,如果护栏安全性能有所不足,很容易发生车辆碰撞护栏坠桥事故^[1]。随着我国基础设施的不断完善和人民生活水平的不断提高,对防撞护栏的安全性能也提出了更高的要求^[2]。根据原有技术规范及标准进行建造的公路桥梁防撞护栏已不满足现行交通环境下的防护需求,需要对其进行改造升级。

现行规范针对防撞护栏设计提出了基于塑性屈服线理论的设计方法^[3]。2020年,《公路铁路交叉路段技术要求》正式颁布,根据公路和铁路的功能、等级、设计速度,将公路与铁路交叉分为不同类别对应不同等级的防撞护栏^[4]。为保证铁路运营安全,铁路运营单位针对地方公路上跨既有运营铁路的防护措施也做出了严格的要求,如中国铁路北京局集团有限公司关于印发《工务系统路外单位营业线施工安全管理办法》的通知(京铁工〔2021〕75号)第三章第十一条规定:上跨铁路的公路立交桥护栏防撞

等级一般不得低于HA级,并按照相关规范设置防抛屏。随着新规范和规定的不断更新及完善,早期修建完成的桥梁防撞护栏急需进行更换升级^[5]。以天津市某上跨铁路公路桥梁防撞护栏更换设计为例,通过研究防撞护栏更换设计的计算方法、旧桥桥面板与防撞护栏适配性加固设计、施工过程中的挂篮防护设计、涉铁段防撞护栏防护设计范围,为涉铁路外工程提供参考。

1 工程概况

天津某一级公路于2004年通车,设计速度为60 km/h,桥面总宽31 m,跨越铁路地段采用25 m预制先张预应力混凝土简支空心板梁,板梁梁高1.1 m,空心板梁宽为1.2 m。桥面横坡由盖梁调整,等高度梁置于同高度的支承垫石上并在梁底放置楔形钢板。本段上跨线路为国铁Ⅰ级客货混双线铁路,处于铁路路基段区间内,为电气化铁路,采用接触网供电。

根据竣工图资料,跨越铁路地段的现状护栏为工艺护栏,采用钢立柱加阳光板的防护形式,防撞等级低,不满足现行规范及规定的要求,存在较大安全隐患,需对现状护栏进行改造升级。

2 防撞护栏形式研究

常见的防撞护栏形式有梁柱式型钢护栏、组合式护栏、混凝土护栏等^[6]。

梁柱式护栏是通过立柱和钢横梁形成护栏,立柱

收稿日期:2023-11-04

基金项目:中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(2023A0248003)

作者简介:彭建东(1988—),男,硕士,工程师,主要从事桥梁设计研究工作。

的锚固要求较高,但其发生碰撞后变形较大,侧面处于镂空状态^[7]。梁柱式护栏为钢护栏,易腐蚀,后期养护维修也较为困难^[8]。组合式护栏主要指混凝土墙上设置一定高度的钢栏杆。混凝土护栏因结构刚度大、发生碰撞后变形小等显著的优越性而被应用^[9]。通过计算分析防撞护栏及桥面板适配性,设计采用 HA 级轻骨料混凝土防撞护栏加铝合金防护屏的形式对原有护栏进行更换升级。

3 防撞护栏改造设计

3.1 既有桥承载能力检算

3.1.1 全桥承载能力检算

采用 MIDAS 有限元软件建立边梁的全桥分析模型,如图 1 所示。经检算,边梁可以承受 11.8 kN/m 的附加恒载。本次设计采用轻骨料混凝土的 HA 级防撞护栏加防护屏,每延米栏杆重最高不超过 11.6 kN/m,可满足全桥承载能力要求。

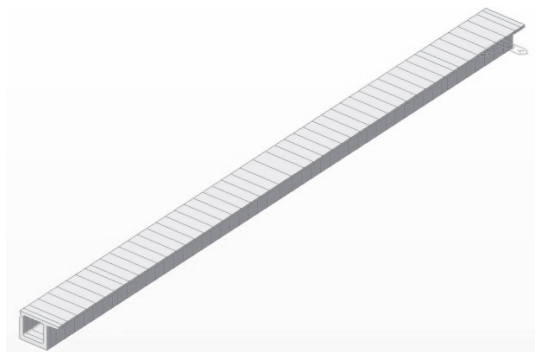


图 1 边梁全桥分析模型

3.1.2 护栏配筋验算

护栏采用 LC40 轻骨料混凝土。它是采用轻粗骨料、轻砂或普通砂、胶凝材料、外加剂和水配制而成的干表观密度不大于 1 950 kg/m³ 的混凝土。与普通 C40 混凝土相比,LC40 轻骨料混凝土具有相同的材料强度和弹性模量,但是其密度较低,在旧桥防撞护栏更换设计中具有显著优势,可推广采用。

LC40 轻骨料混凝土抗压强度为 18.4 MPa,采用 HRB400 钢筋,钢筋抗拉强度为 400 MPa。防撞护栏主筋①采用直径为 20 mm 的 HRB400 钢筋,分别采用主筋①纵向间距 100、150、200 mm 对护栏防撞能力进行验算,迎撞面沿竖向高度上共布置 9 根直径 12 mm 的钢筋②,保护层厚度为 45 mm。防撞护栏配筋方案如图 2 所示。

屈服线理论是指在车辆撞击下,允许防撞护栏进入塑性状态,通过对其破坏的形态进行研究,可使防撞护栏和桥面板材料性能得到发挥^[10]。值得注意

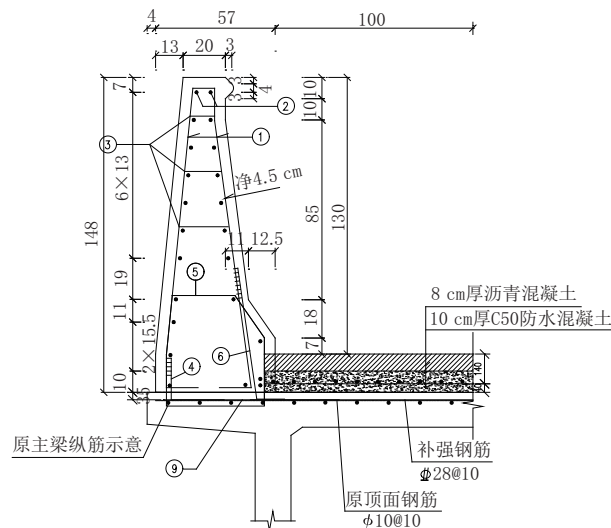


图 2 防撞护栏配筋设计(单位:cm)

的是,屈服线理论基于破坏发生在护栏范围内,不考虑桥面板发生屈服或破坏的假定^[11]。

(1) 屈服线强度计算公式^[2]

a. 碰撞发生在护栏标准段时,屈服线强度计算公式为:

$$R_w = 2 / (2L_c - L_1) (8M_b + 8M_w + M_c L_c^2 / H)$$

$$L_c = L_1 / 2 + \sqrt{(L_1 / 2)^2 + 8H(M_b + M_w) / M_c}$$

b. 碰撞发生在护栏端部或者伸缩缝处时,屈服线强度计算公式为:

$$R_w = 2 / (2L_c - L_1) (M_b + M_w + M_c L_c^2 / H)$$

$$L_c = L_1 / 2 + \sqrt{(L_1 / 2)^2 + H(M_b + M_w) / M_c}$$

式中: H 为防撞护栏有效高度,m; L_c 为护栏塑性破坏临界长度,m; L_1 为荷载分布纵向长度,m; R_w 为横向承载能力标准值,kN; M_w 为关于竖向轴的弯曲承载力矩,kN·m; M_b 为防撞护栏顶部附加弯曲承载力矩,kN·m; M_c 为关于桥梁纵轴的弯曲承载力矩,kN·m/m。

(2) 护栏配筋计算分析

由于护栏为不规则断面,为准确计算护栏竖向轴的弯曲承载力矩,将护栏断面分为上部、中部、下部三部分。为准确计算护栏纵向轴的弯曲承载力矩,将护栏断面分为 1-1、2-2、3-3 截面。护栏截面划分如图 3 所示,护栏的破坏形式如图 4 所示。

根据设计规范,HA 级防撞护栏的碰撞荷载标准值 $F_t=720$ kN,分布长度 $L_t=2.4$ m。

防撞护栏主筋①采用直径为 20 mm 的 HRB400 钢筋,分别采用 100、150、200 mm 的纵向配筋间距对其防撞能力进行验算,发生第一种、第二种破坏形式的横向荷载标准值与规范值 720 kN 对比分析结果分别如图 5、图 6 所示。

当护栏端部或者伸缩缝处发生碰撞破坏时,防撞护栏横向荷载标准值 $R_{\min}=794.62 \text{ kN}$,大于 720 kN ,满足 HA 级防撞能力要求。

3.1.3 悬臂板承载能力检算

原设计的防撞护栏为工艺护栏,采用 HA 级护栏后,汽车冲击荷载发生变化,会影响悬臂板的受力安全性。本设计采用极限状态法对桥面悬臂板进行强度验算。

边梁悬臂板顶板配筋为 $\phi 10@10$ 。经检算,汽车冲击力为控制荷载。对于 HA 级防撞护栏,受拉区最小配筋面积为 5940.1 mm^2 ,实际采用 $\phi 10@10$ (原桥)+ $\phi 28@10$ (补强),配筋面积 6942.9 mm^2 。正常使用状态下,最大裂缝宽度为 0.06 mm ,满足规范要求。

考虑到既有空心板梁顶板最小厚仅 12.5 cm ,采用打孔植筋的方式对既有桥的影响较大,推荐采用以下加强方式:凿除现有桥面距离悬臂端部约 1.5 m 范围内的沥青铺装、混凝土铺装和空心板梁顶面钢筋保护层,露出铺装层内的钢筋网片及梁体钢筋;梁体钢筋除锈后与加强钢筋双面焊接;护栏⑤号环形箍筋与既有桥顶板纵向钢筋套箍,同时将主筋①与⑤号环形箍筋绑扎牢固;浇筑桥面混凝土。

3.2 施工挂篮设计

防撞护栏施工时采用挂篮防护,挂篮设计稳定系数不小于 $2^{[12]}$,设计方案如图 7 所示。

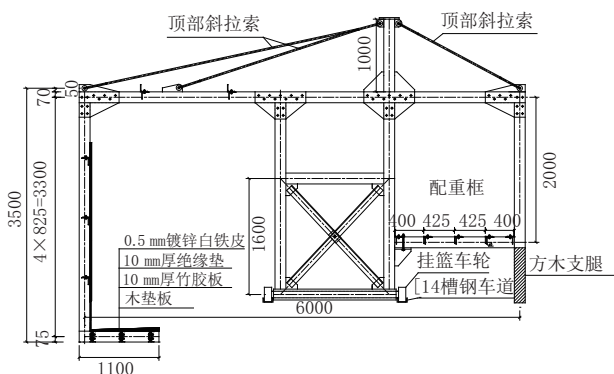


图 7 挂篮设计方案(单位:mm)

为保证整个挂篮行走过程的安全性,所有锚固系统均采用双螺母进行锚固^[13]。

3.3 防撞护栏公铁交叉设计范围

根据《公路铁路交叉路段技术要求》(JT/T 1311—2020),公跨铁护栏车辆来向设置长度可参见图 8 要求进行设置,去向设置长度应沿铁路安保区宽度向外延长 $20 \text{ m}^{[4]}$ 。

公路上跨铁路防撞护栏来向最小设置长度 L 按下式^[4]计算:

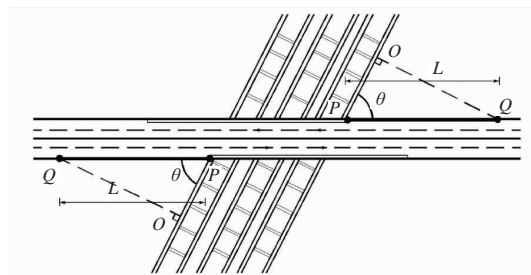


图 8 公路跨线桥护栏车辆来向设置示意^[4]

$$L = v \sqrt{2h/g} / 3.6 + v^2 / (25.92 \mu g)$$

式中: μ 为摩擦系数,一般取 0.5 ; h 跨越铁路地段桥面高度, m ; v 设计行车速度, km/h ; g 重力加速度,取 9.8 m/s^2 。

公路设计行车速度为 60 km/h ,跨越铁路地段桥面最大高度 $h=18 \text{ m}$ 。因此,公路跨线桥护栏车辆来向最小设置长度 $L_{\min}=60.3 \text{ m}$ 。

4 结 语

本文对天津某一级公路上跨铁路既有旧桥防撞护栏更换设计及计算方法进行了深入研究,得出以下结论:

(1)上跨铁路的公路桥防护应优先采用钢筋混凝土护栏形式,护栏上部防落物结构应选用耐久性良好的结构形式,如铝合金防护屏。

(2)通过对比分析防撞护栏不同钢筋主筋①纵向间距布置,采用屈服线法计算分析护栏对应的防撞能力,从旧桥桥面板强度适配性、更换护栏的经济性、安全性等多方面综合考虑,最终确定合适的主筋纵向配筋间距为 150 mm 。

(3)通过对现状旧桥桥面板受拉区进行加固以适配基于屈服线理论设计的防撞护栏,可使防撞护栏和桥面板材料性能得到充分发挥。

(4)为保证铁路安全,更换防撞护栏过程中,采用的施工挂篮应保证足够稳定,且应能对所有锚固系统进行有效锚固。

(5)公跨铁项目应结合规范要求确保防撞护栏设置范围满足铁路安全需要。

参考文献:

- [1] 龚帅,张文豪,刘航,等.既有旧桥梁组合式护栏事故分析与解决方案[J].公路工程,2020(6):243-249.
- [2] 杨敏捷.新建公路上跨高速铁路立交桥安全防护措施研究[J].铁道建筑,2012(8):35-38.
- [3] JTG/T D81—2017,公路交通安全设施设计细则[S].
- [4] JT/T 1311—2020,公路铁路交叉路段技术要求[S].
- [5] 赵庆云,卜令涛,吴军鹏,等.三横梁组合式桥梁护栏仿真与试验研究[J].公路工程,2020(10):135-141.

(下转第 149 页)

表 5 流速变化统计

单位:m/s

监测点 编号	与隧道 距离 /m	P=1%			P =2%			P =5%		
		施工前	施工期间	流速变化值	施工前	施工期间	流速变化值	施工前	施工期间	流速变化值
1#	0	1.15	1.38	0.234	1.11	1.35	0.243	1.03	1.28	0.250
2#	25	1.13	1.20	0.065	1.09	1.16	0.069	1.01	1.09	0.073
3#	50	1.07	1.13	0.052	1.03	1.09	0.053	0.96	1.01	0.057
4#	75	1.02	1.02	0.003	0.98	0.98	0.003	0.91	0.91	0.005
5#	100	1.03	1.03	-0.004	0.99	0.98	-0.005	0.91	0.91	-0.003
6#	125	1.14	1.14	0.006	1.09	1.09	0.005	1.00	1.01	0.005
7#	150	1.18	1.17	-0.009	1.13	1.12	-0.010	1.04	1.03	-0.010
8#	175	1.14	1.13	-0.006	1.09	1.08	-0.006	1.00	1.00	-0.006
9#	200	1.17	1.17	0.005	1.12	1.12	0.005	1.03	1.03	0.004
10#	300	1.15	1.15	-0.003	1.10	1.10	-0.003	1.02	1.02	-0.003
11#	400	1.16	1.16	-0.002	1.11	1.11	-0.002	1.04	1.04	-0.002
12#	500	1.18	1.18	-0.001	1.13	1.13	-0.002	1.05	1.04	-0.001
13#	600	1.20	1.20	-0.001	1.15	1.15	-0.001	1.06	1.06	-0.001
14#	700	1.22	1.21	-0.001	1.17	1.17	-0.001	1.09	1.08	-0.002
15#	800	1.14	1.14	-0.001	1.09	1.09	-0.001	1.01	1.01	-0.002
16#	900	1.13	1.13	-0.001	1.08	1.08	-0.001	1.00	1.00	-0.001
17#	1 000	1.15	1.15	-0.001	1.11	1.10	-0.001	1.02	1.02	-0.001

(2)通过 MIKE21 模型计算分析可知,膜袋砂造成的上游水位壅高影响有限,河道流场变化主要局限于隧道附近,流速有所增大,流向变化较小。总体来说,施工期间工程河段整体流态较为平顺,因此河底铺设膜袋砂对秦淮新河行洪安全影响较小。

(3)本次宁芜铁路隧道下穿秦淮新河段主体工程安排在非汛期实施(首年 10 月一次年 4 月底),工期安排较为紧张,应充分做好人力、物力等各项保障措施,保证各施工节点衔接有序,确保河底铺设的膜袋砂在汛期来临之前拆除完毕,以免妨碍行洪。

参考文献:

[1] 张利,孟晓路.基于 MIKE21 FM 模型的跨河桥梁壅水影响研究[J].中国防汛抗旱,2018(4):44-47.

[2] 张健,王霞,任锦亮,等.浅谈 MIKE21 模型在桥梁防洪评价补偿方案中的应用[J].水利技术监督,2019(6):64-69,222.

[3] 刘顺萍,果有娜,丁志宏.MIKE21 FM 中的涉水建筑物不同概化方法效果分析[J].海河水利,2018(6):46-48.

[4] 刘雪聪,耿鹏程,曹立,等.MIKE21 模拟跨河桥梁对河势的影响[J].人民黄河,2020(增刊 1):24-25,29.

[5] GB 50201—2014,防洪标准[S].

[6] 张志林,贾艾晨.基于 MIKE21 FM 模型的河道流场图绘制[J].东北水利水电,2016,34(10):35-37,70.

(上接第 131 页)

[6] 付晓鹏,马晴,廖贵星,等.桥梁梁柱式型钢护栏结构优化研究[J].桥梁建设,2020(增刊 1):44-50.

[7] 王英,杜明峰,张大伟.基于屈服线理论的组合式防撞护栏设计方法[J].城市道桥与防洪,2020(3):98-99.

[8] 孙胜江,朱长华,梅葵花.玄武岩纤维复合材料梁-柱式护栏防撞性能[J].振动与冲击,2019(21):265-270.

[9] 焦宇,亢寒晶,龚帅,等.GFRP 筋混凝土护栏设计与安全性能分析[J].城市道桥与防洪,2019(1):176-180.

[10] 杨志杰.桥梁护栏与基础桥面板的匹配性防撞设计[J].城市道桥与防洪,2022(6):93-99.

[11] 宗志荣.基于新规范的桥梁防撞护栏设计[J].城市道桥与防洪,2020(6):94-97.

[12] 黄宗根.某上跨铁路立交桥防撞护栏维修加固设计[J].城市道桥与防洪,2018(4):162-165.

[13] 杨维威.大吨位宽幅长节段后支点菱形挂篮同步行走施工技术[J].铁道建筑技术,2019(5):60-63.