

Research on the Application of New Type Aluminum Alloy Sidewalk Guardrail in the Yellow River Bridge of Zhongwei South Station

Hui Yu

Ningxia Communications Construction Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

Abstract

The continuous improvement of the design standards of highway traffic safety facilities in China has put forward higher requirements for the protective structure and appearance modeling of bridge pavement guardrail. However, the traditional material guardrail has short service life, poor firmness and high maintenance cost, which is difficult to meet the industry standard requirements at this stage. To solve this problem, this paper taking the Yellow River Bridge of Zhongwei South Station in Ningxia, China as an example, and proposes a new type of aluminum alloy beam column sidewalk guardrail. Firstly, the shape structure of the guardrail is determined according to the actual working conditions, and then the guardrail modeling landscape design is carried out based on the local folk culture. Finally, the safety performance of the guardrail handrail, column and anchor bolt is improved through finite element simulation and numerical calculation in depth analysis. The results show that the new type of aluminum alloy sidewalk guardrail meets the requirements of structure and safety protection, and has good aesthetics, which has good reference significance for the design of the same type of bridge guardrail.

Keywords

bridge sidewalk guardrail; new aluminum alloy; simulation; safety protection; landscape design

新型铝合金人行道护栏在中卫南站黄河大桥的应用研究

余晖

宁夏交通建设股份有限公司, 中国·宁夏 银川 750000

摘要

中国公路交通安全设施设计标准的不断提升对桥梁人行道护栏防护结构和外观造型提出了更高的要求。然而,传统材质护栏使用周期短、牢固度差、后期维护成本高,难以满足现阶段行业规范需求。针对这一问题,论文以中国宁夏中卫南站黄河大桥为案例,提出了一种新型铝合金梁柱式人行道护栏,首先结合实际工况确定了护栏外形结构,然后依托当地民俗文化进行了护栏造型景观设计,最后通过有限元仿真与数值计算对护栏扶手、立柱和地脚螺栓的安全性能进行深入分析。结果表明,新型铝合金人行道护栏满足结构安全防护需求且兼具美观性,对于同类型桥梁护栏设计具有较好的借鉴意义。

关键词

桥梁人行道护栏; 新型铝合金; 仿真; 安全防护; 景观性设计

1 引言

桥梁的人行道护栏设置在桥面两侧,是规范车辆和行人交通安全的重要防护设施,同时也是美化装饰桥梁表面突出的构筑物^[1]。在长期的使用过程中,传统的桥梁护栏容易遭受外部复杂环境的影响,坚固度和耐久性降低,致使出现劣化现象,影响桥梁整体的安全性能。因此,新型材质的人行

道护栏的运用与结构优化改造设计,对于提高护栏防护质量和防护等级具有非常重要的现实意义。

目前,常见的桥梁人行道护栏主要有钢筋混凝土护栏、铁艺护栏、不锈钢护栏、铝合金护栏等。其中钢筋混凝土护栏防撞能力强、造价低,但其整体质量较大、易损坏;铁艺护栏容易加工、成本较低,但耐腐蚀性差,后期维护成本高;不锈钢护栏虽然耐腐蚀性较强、无需维护,但是制造成本高昂,表面不容易着色,颜色单一;而铝合金护栏强度高、密度低、抗腐蚀性强、全寿命周期造价较低,在工业工程中的应用日益广泛^[2]。

【作者简介】余晖(1986-),男,中国宁夏银川人,本科,工程师,现任职宁夏交通建设股份有限公司项目经理,从事工程管理工作的研究。

在此基础上,许多学者也开展了大量针对新型护栏应用研究的工作。曾捷等^[1]提出了一种以玻璃纤维筋代替常规钢筋的新型玻璃纤维筋混凝土护栏,从而增加了混凝土护栏的轻质化、耐腐蚀性;焦驰宇等^[4]提出了应用于城市桥梁的新型铝合金防撞护栏结构,并利用理论分析与数值模拟相结合的方法,证明该方案符合规范要求;徐丹等^[5]通过研究钢管式桥梁栏杆的立柱间距、立柱与扶手构件厚度、栏杆高度等各项设计参数,得出了设计参数变化对桥梁护栏结构性能的影响规律;崔学常^[6]介绍了新型纤维增强复合材料(FRP)在桥梁人行道栏杆上的应用,并通过桥梁栏杆结构的形式设计、受力计算、模型试验验证了这种材料在技术与经济上的优越性。

总体来说,上述研究主要聚焦在桥梁护栏的结构参数优化设计、防撞能力分析和复合的材料应用介绍等方面,但对于铝合金材质的人行道护栏结构受力性能分析与美观性设计的研究相对较少。因此,论文以中国宁夏中卫南站黄河大桥为研究对象,对其人行道护栏采用新型铝合金梁柱式护栏设计。首先依托中卫黄河大桥工程概况,对桥梁护栏结构尺寸及所受载荷进行分析,其次结合护栏灯光与浮雕文化进行桥梁美观性设计,最后采用数值分析与有限元计算对人行道护栏关键构件进行安全性能分析。

2 工程概况简介

中卫南站黄河大桥位于中国宁夏回族自治区中卫市沙坡头区,连接着中卫黄河两岸地区,是中卫市深化全域旅游工作,促进城乡融合发展的重要配套设施。大桥桥梁总长1.409km,主线采用双向四车道和人行道公路标准布置,具有一级公路兼顾城市主干路功能,设计时速60km/h。图1、图2分别为大桥桥梁远景效果图与夜景效果图。



图1 大桥远景效果图

该桥结构新颖、景观效果较好,在兼具良好的结构受力性能的同时,也对于桥梁上提供照明的灯柱提出了更高的美学要求。因此,应用新型材料设计出安全性能高的人行道护栏,

并结合灯光进行相关的结构修改,从而增强护栏的舒适性、景观性,显得尤为重要。



图2 大桥夜景效果图

3 新型铝合金人行道护栏结构设计

3.1 护栏结构形式

新型铝合金梁柱式人行道护栏采用6063铝合金材料,主体结构由立柱、上扶手(横梁)和护栏柱组成,护栏的立柱间距2000mm,栏杆高度1100mm,横梁与立柱通过连接件进行连接,立柱与基座通过法兰底座进行连接,地脚预埋螺栓4颗,规格为M16×190。

立柱间连接着横管与竖管,竖管之间安装浮雕,同时每个立柱侧面设置立柱成型灯,使得护栏灯光集成一体化。采用Solidwork2016建模软件建立人行道护栏有限元模型,如图3所示。

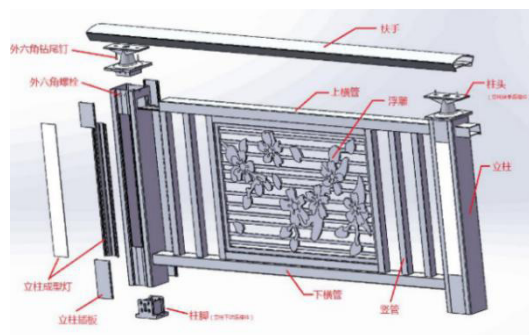


图3 新型铝合金人行道护栏有限元模型

3.2 护栏荷载设计参考依据

根据文献^[7-9]规定:作用在人行道栏杆扶手上的竖向荷载应为1.2kN/m;水平荷载2.5kN/m。两者应分别计算,立柱的柱顶推力应为扶手水平荷载集度与柱间距的乘积。论文依据此规范准则对铝合金人行道护栏安全防护能力进行分析。

3.3 新型铝合金护栏材料性能

6063铝合金分属于AL-Mg-Si合金系列,是一种具有中等强度的可热处理铝合金,该材料具有耐腐蚀、免维护、加工性能良好、易氧化着色的特点,其材料属性适用于人行道

护栏。6063 铝合金材料属性见表 1。新型铝合金人行道护栏在大桥桥梁的应用中,使用寿命长、造型更加丰富、绿色环保安装简单、回收残值高。

表 1 新型铝合金人行道护栏的材料性能参数

抗拉强度	屈服强度	伸长率	密度	热导系数
σ_b/MPa	σ_c/MPa	$\delta_n(\%)$	g/cm^3	$\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$
$\gg 205$	$\gg 170$	$\gg 9$	2.69	201

4 新型铝合金人行道护栏景观设计

中卫南站黄河大桥属于跨河桥梁,深深影响着城市景观形象以及居民出行活动。对桥梁进行景观性设计,展现沿线路段的风土人文与桥梁夜景,对于桥梁与城市一体化建设非常重要。通过对护栏与灯光的集成与护栏浮雕设计,提升桥梁整体景观效果。

4.1 护栏灯光集成一体化

桥梁上的照明方式通常分为三种:栏杆式照明、常规式照明、高杆式照明。在沿着桥梁轴线方向上,按照一定的间距,在人行道两侧栏杆上距人行道顶面 0.8~1.0m 高的位置设置特制照明器的方法称为栏杆照明方式。常规式与高杆式照明一般是把照明器安装在较高的灯杆顶端,进行大范围照明。针对栏杆式照明特点,通过对护栏灯光集成一体化设计与立柱灯优化布置,达到辅助照明和美化夜景的目的。

在护栏立柱近桥面预制灯体空间,立柱灯安装在护栏灯体空间中,灯体外侧安装有灯罩、盖板,进行固定以及防尘设计。同时护栏扶手设置有灯槽,其长度为 1.2m/标准段,从而实现护栏与照明灯光一体化设计。图 4、图 5 分别为护栏立柱灯光与扶手灯光设计构造图。



图 4 护栏立柱灯光构造图

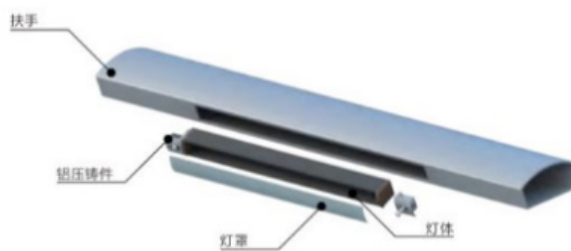
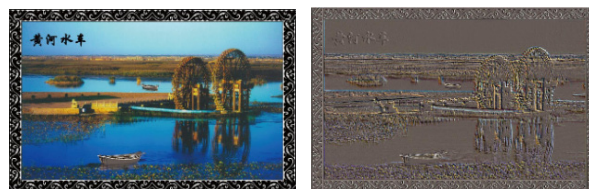


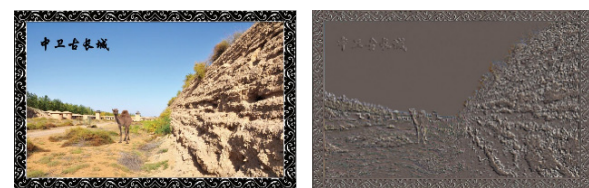
图 5 护栏扶手灯光构造图

4.2 护栏浮雕设计

新型铝合金桥梁人行道护栏浮雕设计应展现中卫黄河沿线地区的风土人情,使其造型优美,与周围的自然环境协调搭配,给行人带来美的享受。而中卫市位于中国宁夏的中西部,毗邻黄河流域,人文景观与自然景观丰富多样。其中比较有代表的是黄河水车、中卫古长城、羊皮筏子、中卫丹霞、中卫钟楼、剪纸艺术等,这些元素可以作为借鉴融入浮雕艺术中。部分浮雕图案如图 6 所示。



(a) 黄河水车实景与浮雕



(b) 中卫古长城实景与浮雕



(c) 羊皮筏子实景与浮雕

图 6 中卫景观浮雕图案

依托于新型铝合金质轻柔软、加工性能好、造型丰富等特点,浮雕材质为铝合金,其加工工艺是铸铝或者铝合金雕刻,浮雕样式采用中卫经典的“致富花”图案,其造型寓意吉祥、平安与富足,同时图案造型简单、通透,适合大规模加工生产。图 7 展示了“致富花”图案实物浮雕。



图7 “致富花”图案浮雕

5 护栏安全性能设计

为进一步探究新型铝合金人行道护栏的安全性能,运用 ANSYS 有限元软件分别对扶手、立柱、地脚螺栓等主体构件进行荷载工况的数值计算。通过文献所给出的护栏荷载设计标准与仿真结果相对比,验证护栏的安全性能。

5.1 护栏扶手应力计算

本次新型铝合金人行道护栏的扶手截面为椭圆形空心结构,其截面长度为 162mm,高度为 64mm,上顶盖厚度为 2.5mm,扶手断面如图 8 所示。护栏扶手 6063 铝合金材料弹性模量 E 取 63.1GPa,泊松比 λ 值为 0.330。

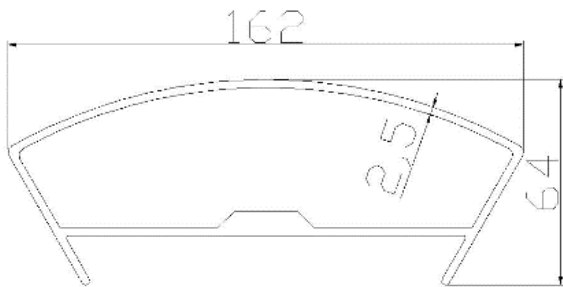


图8 扶手断面图及尺寸(单位 mm)

力学模型:由于单根扶手长度为 6m,立柱间距 2m,故可简化为三跨连续梁。对扶手建立 6m 有限元模型进行计算,在其上施加 1.2kN/m 竖向荷载,立柱处设置约束,如图 9。

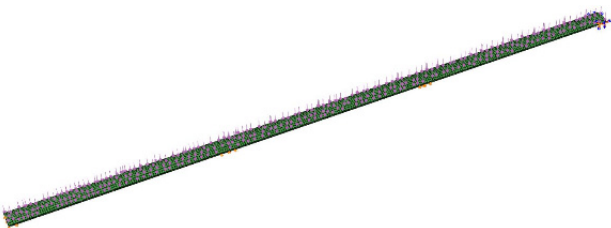


图9 扶手有限元模型

有限元分析结果:通过有限元计算得扶手最大挠度为 2.8mm (如图 10) $< L/250$ (8mm),最大应力为 73.8MPa (如图 11) < 200 MPa。结果表明扶手满足文献^[7-9]要求。

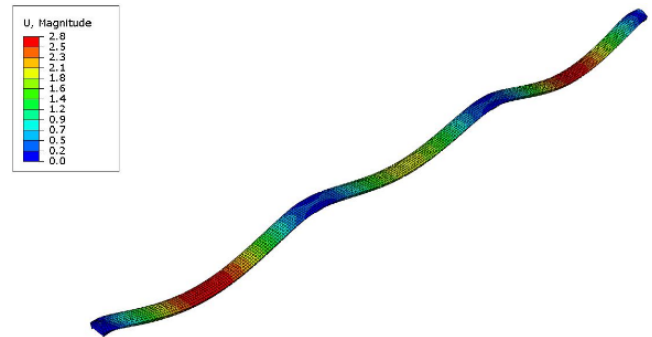


图10 扶手位移云图

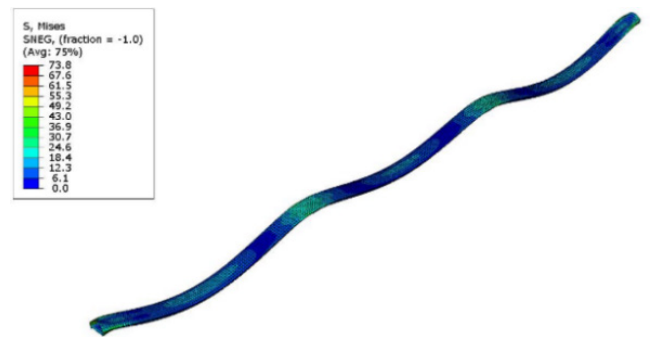


图11 扶手应力云图

5.2 护栏立柱应力计算

新型铝合金护栏立柱断面图如图 12 所示,其力学模型可简化为悬臂梁,由文献^[7-9]规范要求,立柱顶端应施加 5kN 集中荷载。

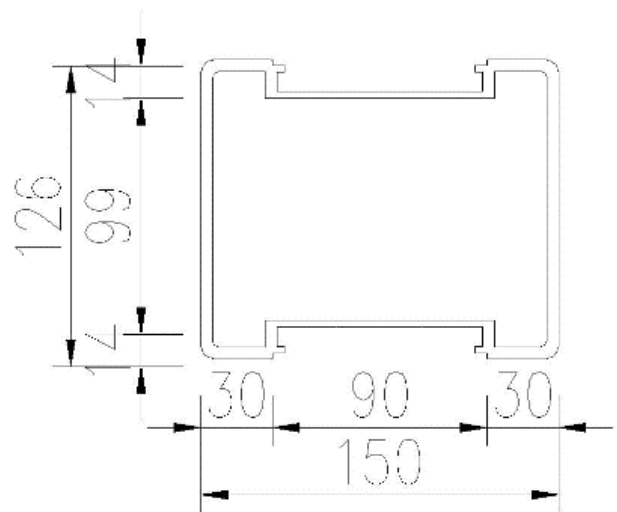


图12 立柱断面图及尺寸(单位 mm)

对立柱建立有限元模型,长度为 960mm,柱脚处设置固定约束,柱顶施加 5kN 集中力,如图 13 所示。

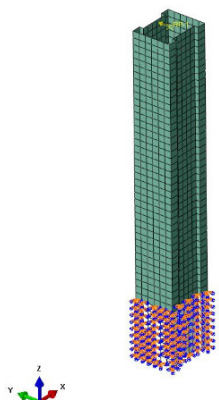


图 13 立柱有限元模型

有限元分析结果：通过有限元计算得立柱最大挠度为 2.1mm (如图 14) < L/250 (3.8mm)，最大应力为 36.7MPa (如图 15) < 200MPa。结果表明立柱满足文件要求。

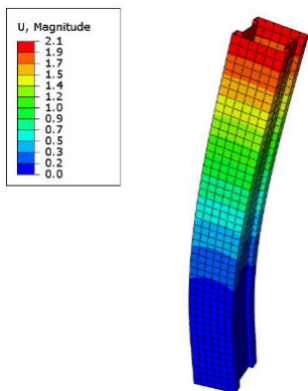


图 14 立柱位移云图

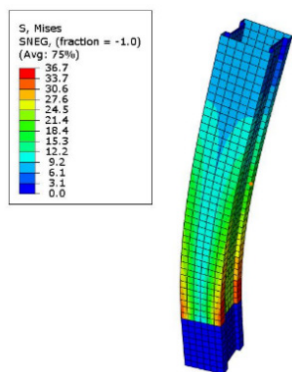


图 15 立柱应力云图

5.3 护栏地脚螺栓应力计算

根据《混凝土结构设计规范》9.7.2，将地脚螺栓近似为直锚筋受力预埋件结构，验算其总截面面积 A_s 。根据公式 1、公式 2 分别计算，取其最大值。

当有剪力、法向压力和弯矩共同作用时，应按下述两个公式计算，并取其较大的值：

$$A_s \geq \frac{V - 0.3N}{a_r a_v f_y} + \frac{M - 0.4Nz}{a_r a_v f_y z} \quad (1)$$

$$A_s \geq \frac{M - 0.4Nz}{0.4 a_r a_b f_y z} \quad (2)$$

式中： f_y 为地脚螺栓的抗拉强度设计值； V 为剪力设计值； N 为法向拉力或法向压力设计值； M 为弯矩设计值； a_r 为地脚螺栓层数的影响系数； a_v 为地脚螺栓的受剪承载力系数； a_b 为地脚螺栓弯曲变形折减系数； z 为沿剪力作用方向最外层地脚螺栓中心线之间的距离，公式中的系数 a_v 、 a_b ，应按下列公式计算：

$$a_v = (4.0 - 0.08d) \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \quad (3)$$

$$a_b = 0.6 + 0.25 \frac{t}{d} \quad (4)$$

式中： f_c 为地脚螺栓的抗压强度设计值； d 为地脚螺栓直径； t 为锚板厚度。

论文选用的地脚螺栓为 8.8 级普通螺栓，其抗拉强度设计值 f_y 为 400MPa；抗压强度设计值 f_c 为 30MPa；剪力设计值为 V 为 5kN；护栏所受来自扶手的法向压力，法向压力设计值 N 取值 2.4kN；护栏受到人群推力，弯矩设计 M 值取值 5.5kN·m；本地脚螺栓不设锚板，即 $t=0$ ；螺栓直径 d 为 16mm；地脚螺栓层数的影响系数 a_r 取值 1.0；弯曲变形折减系数 a_b ，根据公式公式 4 计算得 $a_b = 0.6$ ；地脚螺栓的受剪承载力系数 a_v 根据公式公式 3 计算得：

$$a_v = (4.0 - 0.08 \times 16) \times \sqrt{\frac{30}{400}} = 0.74 > 0.7$$

取值为 0.7；沿剪力作用方向最外层地脚螺栓中心线之间的距离 z ，其取值为 54mm。

将以上参数代入公式 1、公式 2 分别计算总截面面积 A_s 得：

$$A_s \geq \frac{5 - 0.3 \times 2.4}{1 \times 0.7 \times 400} + \frac{5.5 - 0.4 \times 2.4 \times 54}{1.3 \times 1.0 \times 1.6 \times 400 \times 54} = 338.6 \text{mm}^2$$

$$A_s \geq \frac{5.5 - 0.4 \times 2.4 \times 54}{0.4 \times 1.0 \times 1.6 \times 400 \times 54} = 750.9 \text{mm}^2$$

取其较大者 750.9mm²。

新型铝合金人行道护栏地脚螺栓为 4 颗 M16 螺栓，计算得：

$$A_s = 4 \times 3.14 \times 82 = 803.84 \text{mm}^2 > 750.9 \text{mm}^2$$

结果表明所设计的地脚螺栓截面面积大于规范要求的截面面积，地脚螺栓满足安全性能要求。

通过对新型铝合金人行道护栏的扶手、立柱和地脚螺栓

三个主要构件进行应力计算,验证其防护结构符合护栏荷载设计标准,从而确保了新型铝合金护栏安全可靠。

6 结语

论文主要研究了新型铝合金材料在桥梁人行道护栏中的应用,结合桥梁的实际工况,探讨了新型铝合金护栏结构性能、景观性能和安全防护性能,论文主要结论如下:

第一,在结构方面,新型铝合金护栏无焊点、结构简单轻巧、安装便捷,满足桥梁构件“耐腐蚀性强”“结构质量轻”及“施工简单”设计要求。

第二,在造型方面,新型铝合金护栏结合中卫黄河大桥区域特色,采用护栏灯光集成一体化设计和浮雕设计,提高了出行人员安全舒适性,造型丰富彰显了桥梁现代美感。

第三,在安全防护方面,经过对护栏扶手、立柱和地脚螺栓进行数值计算,这三个桥梁主要构件均具有可靠的安全性能,满足中卫南站黄河大桥人行道护栏的安全防护标准。

参考文献

[1] 高爽,孙光,高天水.浅谈桥面附属设施设计[J].价值工程,2012,

31(34):68-69.

[2] 刘宁华,李文芳,杜军.6063铝合金着色钛锆转化膜结构和耐蚀性能的研究[J].表面技术,2010,39(5):45-47+94.

[3] 曾捷,高建雨,龚帅,等.玻璃纤维钢筋混凝土桥梁护栏性能分析[J].广东公路交通,2019,45(5):116-119+123.

[4] 焦驰宇,朱格西,龙佩恒,等.城市桥梁新型铝合金防撞护栏安全性[J].科学技术与工程,2019,19(30):310-316.

[5] 徐丹,林建茂.钢管式桥梁栏杆结构性能及设计参数研究[J].盐城工学院学报(自然科学版),2020,33(3):57-61.

[6] 崔学常,张锡祥,巫祖烈.FRP桥梁人行道栏杆工程应用效果研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(3):22-26+46.

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市桥梁设计规范CJJ11-2011[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.

[8] 张其林,季俊,杨联萍,等.《铝合金结构设计规范》的若干重要概念和研究依据[J].建筑结构学报,2009,30(5):1-12.

[9] 中华人民共和国建设部.GB 50010-2002 混凝土结构设计规范[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.