

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.06.010

山区高速公路路肩挡墙混凝土护栏改造设计*

李振华, 朱欢, 黄志勇, 郑锐, 陈禹戈

(贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 山区高速公路临水临崖路段路肩挡墙众多, 初期修建的混凝土护栏防护能力较低, 难以与现阶段交通安全运营需求匹配。早期路肩挡墙多为浆砌片石结构, 一般的拆除改造方式会因拔出立柱或开挖基础造成路基损坏, 还可能对挡墙稳定性造成影响。文中以 G60 沪昆(上海—昆明)高速公路贵新(贵阳—新寨)段某路肩挡墙护栏为研究对象, 结合现场条件提出改造方案, 并构建混凝土护栏—挡墙稳定性仿真分析模型对碰撞荷载作用下护栏变形和挡墙稳定性进行分析, 分析改造设计的可行性。

关键词: 交通工程; 山区高速公路; 路肩挡墙; 混凝土护栏; 改造设计

中图分类号: U491.59

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)06-0048-04

受地形条件限制, 山区高速公路上修建了大量路肩挡墙。早期挡墙防护设施采用波形护栏或矮混凝土护栏, 其防护能力难以满足现有交通量和安全运营需求, 须进行提升改造。既有路肩挡墙以浆砌片石结构为主, 由于使用时间长, 灰浆失效情况明显。规范中路肩混凝土护栏采用 L 形座椅式基础, 常规基础实施容易造成路基损坏和挡墙稳定性不足, 导致新建混凝土护栏防撞能力不足, 难以达到预期效果。

混凝土护栏为刚性护栏, 其整体断面尺寸和自质量大, 基础改造施工困难。目前对既有混凝土护栏提升改造的研究较少, 规范中对混凝土护栏墙身结构按简化的屈服线理论和强度设计理论进行验证, 未考虑其基础结构及下部构造物。王晓勇等建立车辆碰撞系统有限元模型, 对比分析了波形梁护栏、混凝土护栏和注水防撞墩的防护效果^[1]。张茜综合考虑工程造价、施工、工期等因素, 提出了高速公路旧桥防撞护栏提升设计方案和计算方法^[2]。邵永刚通过模拟实车足尺碰撞试验对公路不同高度中央分隔带混凝土护栏的防护性能进行了分析^[3]。赵庆云等提出了加大桥梁组合式混凝土护栏高度的提升改造方案^[4]。王智钊等对跨线桥中墩波形护栏改进方案进行研究, 认为将立柱加密和增设梁板相结合能减小护栏最大横向变形, 且具有较好的耗能能力^[5]。现有研究集中在混凝土护栏自身防护性能分

析方面, 而挡墙路段混凝土护栏不仅要考虑护栏自身抗碰撞能力, 还要考虑基础和下部挡墙构造物的稳定性。本文以 G60 沪昆(上海—昆明)高速公路贵新(贵阳—新寨)段某路肩挡墙混凝土护栏为例, 研究山区高速公路路肩挡墙混凝土护栏改造提升方案。

1 工程概况

沪昆高速公路贵新段为贵州省横贯东西的交通主干道, 运营通车已超过 20 年。采用早期窄路基断面形式, 整体式路基宽 21.5 m, 行车道宽 3.5 m, 硬路肩宽仅 1.5 m, 路侧护栏按 JTJ 074—94《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》设计和施工。图 1 为现场调查情况。



图 1 沪昆高速公路贵新段原挡墙上部护栏防护设施

当前沪昆高速公路贵新段交通量已接近饱和, 大型车辆比例持续增加, 事故率及单次事故严重程度日益增长。交通安全事故的积累和经验总结, 道路交通安全设施设计规范与评价指标发生变化, 不同规范对护栏防护能量的规定见图 2^[6-8]。

* 基金项目: 贵州省交通运输厅科技项目(2023-122-015)

规范	JTJ 074—1994		JTJ/T D81—2006		JTJ/T D81—2017							
防护等级	A	PL2	A	SB	C	B	A	SB	SA	SS	HB	HA
设计防护能量/kJ	93	126	160	280	40	70	160	280	400	520	640	760
防护等级调整	A	→	A									
	A	→					A					
	A	→						SB				
	PL2	→							SB			
	PL2	→								SS		
A	→									SS		

图 2 新旧规范中护栏防护能力的变化

根据 JTJ/T D81—2017《公路交通安全设施设计细则》，该路段护栏防护能力与当前安全运营需求严重不匹配，存在较大安全隐患，须进行提质升级。

2 改造提升方案

该路段路侧为农田，路肩设置浆砌片石仰斜式挡墙，墙身高度约 8.0 m，顶宽 0.7~0.8 m，基础埋入深度约 1.5 m。原设计采用波形钢护栏，立柱基础采用紧迫器设置于挡墙内，波形护栏结构已出现老化、锈蚀等现象。

按照 JTJ/T D81—2017 的要求，应提升为 SA 级混凝土护栏，设置 L 形座椅式基础。但拆除原波形护栏后，由于开挖扰动，挡墙上部松散，灰浆失效(见图 3)，难以通过植筋或钢管桩等施作护栏基础，同时由于为运营公路，对原浆砌片石挡墙进行拆除或加固成本过高。综合分析，提出将混凝土护栏座椅尺寸沿横向增加延伸入路面结构层，并采用设置锚固钢筋的方式设置座椅式基础的改造方案(见图 4)。



图 3 拆除原护栏后挡墙顶面状况

3 改造方案可行性分析

3.1 模型构建

改造设计方案中，混凝土护栏上部结构采用 JTJ/T D81—2017 推荐的标准混凝土护栏尺寸，下部结构采用锚杆+扩大基础方式。JTJ/T D81—2017 计算体系中，对混凝土护栏采用强度屈服理论，属于静载弹性模型，理想状态下混凝土护栏不会发生位移，仅产生强度破坏。挡墙稳定性分析一般

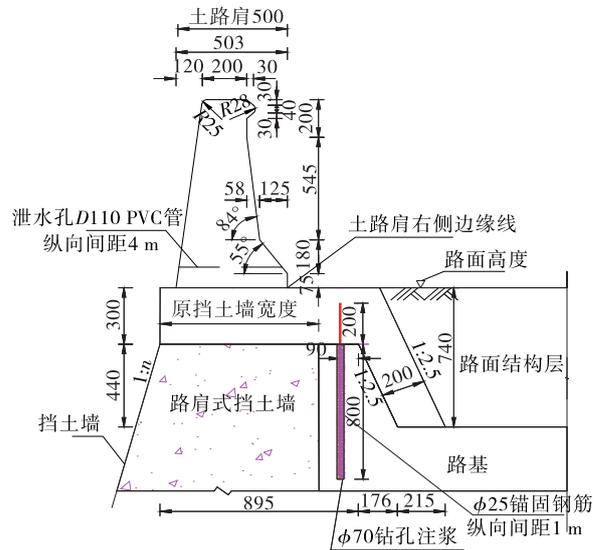


图 4 挡墙混凝土护栏改造设计方案(单位:mm)

采用摩尔-库伦模型，挡墙顶部受力后会产生位移变形，实际碰撞过程中车辆动荷载会对混凝土护栏及基础产生瞬时碰撞力，护栏产生变形并传递至基础和挡墙。由于混凝土护栏上部结构采用规范推荐尺寸，认为满足要求，重点分析受碰撞后护栏及挡墙的整体稳定性。因此，基于挡墙稳定性分析理论构建混凝土护栏—挡墙静载分析模型，对最不利状态、最大碰撞荷载作用下整体变形和稳定性进行分析。

(1) 模型尺寸。根据现场开挖情况及原设计资料选择半幅路基宽度，按仰斜式挡墙计算，尺寸拟定如下：墙高 10.0 m，基础埋深 1.5 m，顶宽 0.7 m，斜坡面为 1:0.2(见图 5)。

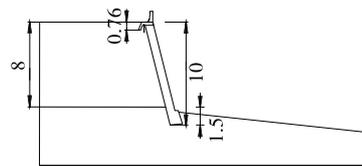


图 5 挡墙混凝土护栏模型尺寸(单位:m)

(2) 材料参数选取。原挡墙参数及路基参数参照同类型项目及原设计资料选取(见表 1)。

表 1 材料参数

构件	材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模 量/kPa	泊松 比	材料 模型
路基	普通土	2 000	50 000	0.3	摩尔-库伦
护栏	C30	2 500	25 500 000	0.2	弹性
浆砌片石	C30	2 200	500 000	0.3	弹性
锚固钢筋	Q235	2 000	30 000 000	0.3	弹性

(3) 接触条件及网格划分。模型约束为侧边固定约束(行车方向),下部土基设置底部固定约束。混凝土护栏采用嵌入式基础,凿毛挡墙顶面后采用现浇基础,基础良好,基于变形协调理论假定护栏基础、挡墙顶面为接触节点耦合,且为共享面。锚杆采用1D单元模拟,其余采用3D实体单元模拟。按混合网格对模型进行划分(见图6)。

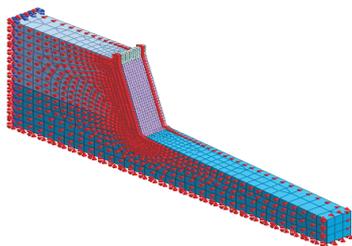


图6 模型边界条件及网格划分

(4) 荷载选取。根据JTG/T D81—2017, SA级碰撞荷载为410 kN,沿混凝土护栏纵向分布长度为2.4 m,作用位置为护栏顶面以下5 cm处。车辆碰撞过程中,碰撞力对挡墙为外力,呈扇形分布,但由于不同车型碰撞作用点及分布宽度难以界定,考虑到混凝土护栏纵向分段长且整体刚度较大,在车辆与混凝土护栏发生碰撞时,护栏位置和形状基本不发生改变^[9-10],将碰撞力等效均匀分布于节点处(见表2)。

表2 节点荷载

项目	取值	项目	取值
分布长度/m	2.4	单位节点间距/m	0.2
作用节点数/个	13	合力大小/kN	410

受自质量作用,挡墙模型荷载分布及作用位置见图7。

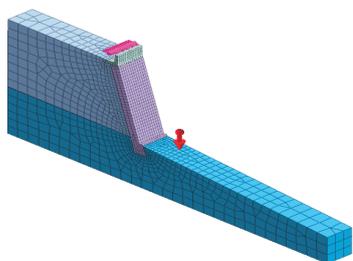


图7 挡墙模型荷载分布及作用位置

3.2 变形和稳定性分析

静载状态下混凝土护栏变形和顶面应力、锚杆应力见图8~10。由图8~10可知:静载状态下混凝土

土护栏顶部位移最大值约0.01 m,与规范假定变形状态基本相符,处于弹性变形阶段;最大应力出现在护栏与路面接触面处,约为4 026 kPa,该位置容易产生拉裂;锚杆上部受拉,最大应力约为1 011 kPa,处于有效工作状态,增强了护栏与路基的连接。

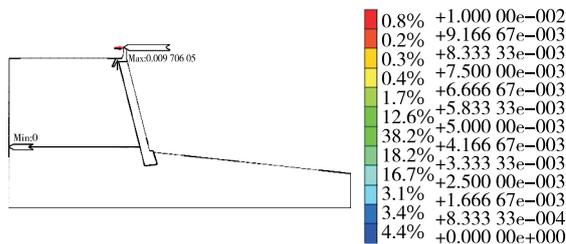


图8 静载状态下混凝土护栏水平位移(单位:m)

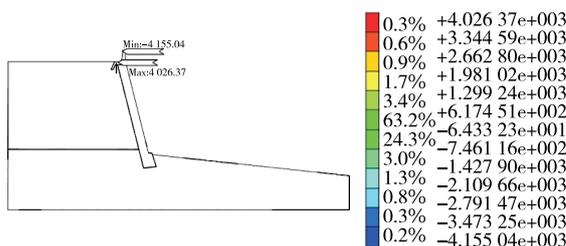


图9 静载状态下混凝土护栏顶面应力(单位:kPa)

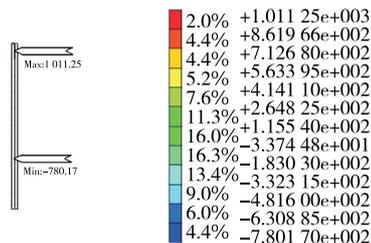


图10 锚杆应力状态(单位:kPa)

采用有限元强度折减法对外荷载作用下挡墙稳定性进行分析,挡墙变形见图11。由图11可知:在外荷载作用下,挡墙水平方向出现较大位移,混凝土护栏顶部最大位移约为1.51 m,挡墙顶面位移约为1.32 m,墙身底部基本无位移,挡墙整体稳定性系数为1.46,处于稳定状态。但受碰撞荷载作用后墙顶将发生较大变形,可能出现墙顶部分垮塌风险,运营过程中应对该段挡墙进行监测,必要时进行加固处理。

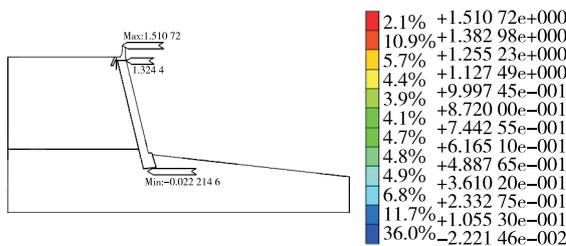


图11 外荷载作用下挡墙变形(单位:m)

4 结语

根据沪昆高速公路贵新段原挡墙混凝土护栏的实际情况,提出将混凝土护栏座椅尺寸沿横向增加延伸入路面结构层,并采用设置锚固钢筋的方式设置座椅式基础的改造设计方案。结合现场实际和 JTG/T D81—2017 中理论计算方法,以护栏撞击变形和挡墙稳定性为指标对护栏改造方案进行分析和验证。结果表明:混凝土护栏受力后位移较小,处于弹性变形阶段;护栏与路面接触位置的应力最大;挡墙整体稳定性系数为 1.46(大于 1.35),处于稳定状态。但由于护栏碰撞力传递,挡墙顶面将产生较大位移,同时由于原浆砌片石挡墙灰浆失效,较松散,施工时应注意混凝土基础开挖,对挡墙顶部进行修复和加固,并在后期运营过程中加强监测。

参考文献:

[1] 王晓勇,何江李,朱彤.基于 LS-DYNA 的车辆与临时防护设施碰撞仿真[J].交通科学与工程,2018,34(1): 61—67.

[2] 张茜.高速公路旧桥防撞护栏提升设计方案[J].公路交

(上接第 37 页)

[12] 李易润.基于视频分析技术的高速公路团雾预警系统设计[D].西安:长安大学,2018.

[13] 李晓雷.山区高速公路团雾段行车风险评估与视觉诱导研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.

[14] BROOKS J O,CRISLER M C,KLEIN N,et al.Speed choice and driving performance in simulated foggy conditions[J].Accident Analysis & Prevention,2011, 43(3):698—705.

[15] BOURDY C,CHIRON A,COTTIN C,et al.Visibility at a tunnel entrance:Effect of temporal adaptation[J]. Lighting Research & Technology,1987,19(2):35—44.

[16] BIAN Z,PIERCE R,ANDERSEN G.Eye movement patterns and driving performance [C]//Driving Assessment Conference,Transportation Research Board, 2011:503—509.

[17] FITCH G M,BARTHOLOMEW P R,HANOWSKI R J,et al.Drivers' visual behavior when using handheld

通技术,2020,36(6):120—126.

[3] 邵永刚.公路分设型中央分隔带 SA 级混凝土护栏高度变化对防护性能影响研究[J].公路,2020,65(11): 258—262.

[4] 赵庆云,张运清,孟涛,等.基于仿真分析的桥梁组合式护栏设计优化[J].中外公路,2020,40(6):145—149.

[5] 王智飏,王银辉,罗征,等.基于轿车撞击的跨线桥中墩波形护栏改进方案分析[J].公路与汽运,2021(2): 37—42.

[6] 交通部公路科学研究所.高速公路交通安全设施设计及施工技术规范:JTJ 074—94[J].北京:人民交通出版社,1994.

[7] 交通部公路科学研究院.公路交通安全设施设计细则: JTG/T D81—2006[S].北京:人民交通出版社,2006.

[8] 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.

[9] 袁旭阳.不同车型下 HA 级防撞混凝土护栏碰撞仿真分析[J].中外公路,2021,41(6):288—291.

[10] 范立波.基于碰撞过程分析的混凝土护栏结构形式研究[D].北京:北京林业大学,2019.

收稿日期:2023—02—17

and hands-free cell phones[J].Journal of Safety Research,2015,54:105—108.

[18] 宫泽龙.道路景观连续性对驾驶行为影响研究[D].长春:吉林大学,2014.

[19] 阎莹,叶飞,王晓飞,等.隧道群路段环境光照度与驾驶人瞳孔面积分析[J].华南理工大学学报(自然科学版),2016,44(12):89—96.

[20] 崔洪军,由婷婷,李霞,等.高速公路隧道入口段照明动态 阈值区间研究[J].交通信息与安全,2018, 36(3):48—55+78.

[21] 于乐美,张萌萌,王星月.基于跟驰模型的雾天安全限速模拟研究[J].科学技术与工程,2018,18(33): 224—229.

[22] 尚婷,唐伯明,段萌萌.基于驾驶员瞳孔面积变化率的公路视错觉减速标线横向宽度研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(1):111—116.

收稿日期:2022—12—07