

新型 SA 级低变形门架护栏研究

李鹏程 柏大伟 张羽 王伟

江苏国强新材料科技有限公司

摘 要：针对高速公路中分带内或路侧障碍物位置安全防护能力较弱，导致失控车辆直接碰撞障碍物，或碰撞护栏后产生侧倾进而二次碰撞障碍物等问题，本研究设计一种具备高防护能力、可有效降低大型失控车辆侧倾风险的障碍物防护低变形量护栏。通过计算机模拟仿真分析与实车足尺碰撞试验验证，结果表明该护栏的安全防护性能满足规范中 SA 级（防护能量 $\geq 400\text{kJ}$ ）的要求。实践证明，该障碍物防护低变形量护栏可显著提升高速公路中分带内障碍物的防护水平，有效减少二次交通事故的发生概率。

关键词：低变形护栏；车辆最大动态外倾值；计算机模拟仿真；实车足尺碰撞试验

引言

在公路建设中，机电与交安门架立柱以及上跨公路的桥梁墩柱，通常会设置在公路中分带内，这使得公路中分带内部形成了障碍物^[1]。一旦发生失控车辆碰撞护栏后产生侧倾，或车辆直接穿越护栏碰撞桥墩与门架的事故，不仅会导致事故车辆损坏及司乘人员伤亡，还可能造成高速公路运营中断；更严重的是，可能引发桥梁、机电门架、交安门架主体垮塌的二次恶性事故，不仅经济损失巨大，还会造成恶劣的社会影响^[2]。随着交通运输业的持续发展，高速公路上的跨线桥梁、ETC 门架和标志杆数量日益增多。受道路形式、桥梁结构及周边环境的限制，许多防护对象与道路之间的安全距离过窄，这对护栏的防护能力和变形控制提出了极高要求。

一般路段所采用的波形梁钢护栏，在受碰撞后的变形量过大，无法满足门架杆件的防护需求。针对这种情况，通常会选用强度较高、碰撞后变形量较小的设施（如混凝土护栏）进行防护。但结合本项目的实际情况，若采用混凝土护栏，会导致其与一般路段波形梁护栏的频繁过渡，不仅影响施工进度，还会破坏整体的协调性和美观性^[4]。为此，本文以三波梁护栏结构为基础，提出一种适用于公路中分带障碍物防护的低变形量护栏，并依据《公路护栏安全性能评价标准》（JTG/B05 — 01 — 2013）（以下简称《标准》）的规定，运用计算机模拟仿真和实车足尺碰撞试验等技术手段，对该护栏的导向功能、缓冲功能与阻挡功能展开分析、优化与验证^[5]。

1 路侧低变形护栏重要性分析

1.1 路侧护栏的分类

1.1.1 刚性护栏

变形特性：碰撞后变形量 $\leq 10\text{cm}$ ，通过车辆爬高

转向吸能。

代表形式：混凝土护栏（F 型 /NJ 型），防护等级达 SS 级（ 520kJ ）。

缺点：乘员加速度峰值高（ $> 20\text{g}$ ），寒冷地区易积雪阻滞视线。

1.1.2 半刚性护栏

变形特性：变形 $30\sim 70\text{cm}$ ，依托梁柱屈曲与波形钢板变形耗能。

代表形式：波形梁护栏 A 级（ 160kJ ）至 SA 级（ 400kJ ）， V_{In} 值常 $> 1\text{m}$ 。

低变形护栏：

加高立柱提升抗侧倾能力；多层横梁结构（上部矩形管 + 中部矩形管 + 下部三波板）协同受力；混凝土基础强化立柱锚固，降低倾覆风险^[6]。

（3）柔性护栏

变形特性：大变形，依赖钢绞线拉应力起缓冲作用。

适应场景：景观区、低风险路段，防护等级 B-SB（ 280KJ ）。

缺点：维修成本高，诱导性差。

1.2 路侧护栏的功能主要包括以下几个方面：

（1）阻挡功能：防止失控车辆冲出道路，跌落至路侧的危险区域，同时避免车辆撞击路侧的危险障碍物^[7]。

（2）吸能功能：当车辆撞击护栏时，路侧防护护栏通过自身的变形（如梁的弯曲、端头的压溃变形、混凝土的碎裂等）来吸收碰撞能量，有效降低碰撞的剧烈程度、减缓车辆速度、减少对乘员的冲击力，从而降低事故的严重性和人员伤亡风险^[8]。

（3）诱导功能：护栏表面（特别是波形梁护栏

作者简介：李鹏程（1982—），男，硕士，研究方向为公路工程。

的轮廓)和其上的轮廓标、反光膜等设施,能在夜间或低能见度条件下(如雨、雾、雪)清晰地勾勒出道路边缘线形。为驾驶员提供明确、连续的道路走向指引,从而提高行车安全性^[9]。

1.3 目前路侧护栏存在的问题:

公路建设的快速发展对公路安全防护设施提出了更高、更严的要求。其中,公路跨线桥墩数量大、形式多样。据统计,近年发生的车辆碰撞门架、桥墩事故(尤其是大型车辆引发的事故),常导致门架立柱损坏、上跨桥坍塌、交通中断,造成了较严重的社会和经济影响。桥墩防护体,尤其是重型车辆集中路段的桥墩防护体,对于降低该类事故严重程度将起到至关重要的作用。此外,门架护栏受空间条件影响,对于基础形式、动态变形有较高要求,其防护等级、动态变形允许值、防护狠心区域等亟须明确。

2 护栏设计及仿真验证

本文研究的目的在于设计一款新型 SA 级低变形护栏,借助计算机仿真技术验证护栏的安全性能,并通过实车足尺碰撞试验,确认该护栏满足《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01-2013)中 SA 级护栏的要求。

本文研究的低变形护栏立柱可跨填挖交界处与排水沟安装,可有效解决护栏端头段外展不便的问题,提高护栏的阻挡、缓冲及导向性能,从而减少事故损失与人员伤亡,提高道路安全水平。

2.1 结构设计方案

(1) 三波板中心高度 697mm,与主线保持一致,线性美观;

(2) 加高立柱,上方增设两排横梁,核心防护区立柱间距 0.5 米,采取预埋形式。立柱两侧加焊两块翼缘板,背部焊接 L 形板,以增加立柱整体抗弯能力,强化护栏整体防侧倾性能;

(3) 横梁收尾处折弯至三波板背部并与波板连接,降低护栏结构物刺入车体的风险;

(4) 横梁、方管立柱、立柱套管及横梁套管均采用 HR700F 高强钢材质;立柱法兰盘采用 Q235 材质。

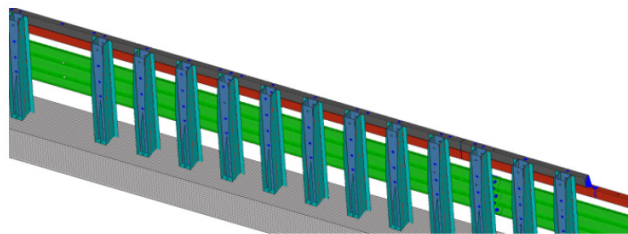


图 1 SA 级低变形护栏轴测图

2.2 技术路线

本研究的技术路线以下(图 2)方式进行:

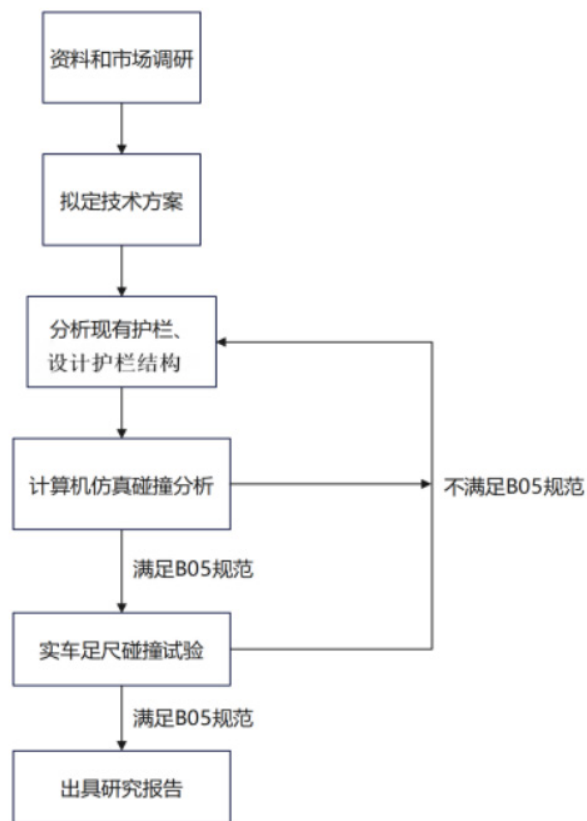


图 2 技术路线图

2.3 仿真汽车信息

根据 SA 级护栏碰撞条件,通过有限元仿真软件建立高精度计算机仿真模型(图 3),并参考《公路护栏安全性能评价标准》(JTG-B05-01-2013)规范,分别采用 1.5t 小型客车、14t 大型客车及 25t 大型货车,对护栏的安全防护性能开展分析。

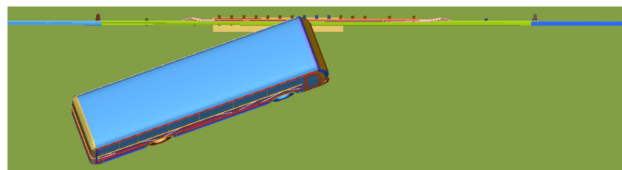


图 3 低变形护栏碰撞模型

2.4 仿真结果评估

在完成新型护栏计算机模拟仿真后,对其仿真结果展开分析。

2.4.1 导向功能分析

仿真结果表明,三辆试验车辆均可以正常导出,且满足《公路护栏安全性能评价标准》(JTG-B05-01-2013)规范中导出框范围的要求。

2.4.2 仿真结果评估

通过计算机仿真技术对 SA 级高强钢低变形护栏设计方案进行仿真分析,结果显示:该护栏在阻挡功能、缓冲功能和导向功能等方面的各项指标,均符合《公

路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)中 SA 级护栏的评价要求。

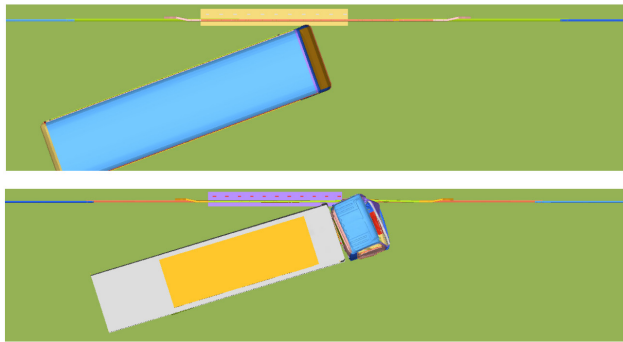


图 4 车辆导出过程

3 实车足尺碰撞试验评价分析

3.1 实车足尺碰撞试验

根据设计方案,在试验场安装 A 级景观护栏并开展实车足尺碰撞试验,依据《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)中碰撞条件,采用不同类型的试验车辆对该护栏结构进行测试。

3.2 实车碰撞试验

试验结果表明,三种试验车辆均能够正常导出,符合标准要求。

3.3 试验结果评价

小型客车在碰撞后的纵向加速度为 61.74m/s^2 ,横向加速度 55.86m/s^2 ,均小于 200m/s^2 。综上试验结果,证明该护栏方案的阻挡功能、导向功能及缓冲功能均满足评价标准要求。

4 结论

通过计算机仿真模拟和实车足尺碰撞试验方法,研究提出一种低变形门架防护护栏方案,其结构的防

撞能力达到 SA 级要求。该护栏通过高强钢材质应用与跨基础结构的低变形严格控制,适用于桥墩、门架等高危区域;其核心优势在于平衡了变形量与 SA 级防护等级,但仍有进一步降低成本的空间,并需完善场景分级标准,以提升方案普适性。

参考文献:

- [1] 成立,曹媛媛.融合绿化景观的装配式桥梁防撞护栏设计方案研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(04):190-195.
- [2] 徐伟龙,项彦茂,谢喆,孟云伟,李智鹏,刘中帅.高速公路路侧护栏改造设计研究综述[J].交通科技与管理,2024,5(18):191-194.
- [3] 袁涌升.营运高速公路路侧护栏上游端头设计研究[J].工程建设与设计,2024,(16):74-76.
- [4] 谭琳.重庆中心城区道路立体绿化景观评价及植物优化配置研究[D].重庆交通大学,2024.
- [5] 黎津.高速公路波形梁护栏端头设置问题及优化措施研究[J].交通科技与管理,2024,5(10):59-62.
- [6] 杨雷,唐祖德,陈劲宇,朱冠儒,杨永红.基于碰撞仿真的 F 型混凝土护栏路侧安全分析[J].公路交通科技,2023,40(12):208-218.
- [7] 贾宁,吴克麒,王兴超,贡金鑫,冯移冬.基于土体破坏的路侧护栏立柱水平承载力计算[J].公路交通科技,2023,40(S2):292-298+335.
- [8] 张坤.薄壁+混凝土组合式路侧半刚性护栏防护能力研究[D].重庆交通大学,2023.
- [9] 封竺汐,陈剑峰,赵雪冰,游源源,刘博伟,刘向刚,刘翔.护栏桥面一体式钢桁架人行景观天桥设计与分析[J].建筑结构,2022,52(S2):606-609.