

在役旧桥梁组合式护栏升级改造研究

龚帅¹, 刘航², 邓宝¹, 亢寒晶¹, 王新¹, 闫书明¹

(1.北京华路安交通科技有限公司,北京市 100070;2.山东高速股份有限公司)

摘要:为提升在役旧桥梁组合式护栏的防护能力,采用计算机仿真模拟与实车足尺碰撞试验相结合的方法,对改造前原护栏结构安全防护能力进行分析,在此基础上提出3种桥梁组合式护栏升级改造方案,并利用经过碰撞试验核校的有限元仿真模型对改造方案进行了系统的安全性能评估。结果表明:3种改造方案仿真结果各项安全指标均满足JTG B05-01-2013《公路护栏安全性能评价标准》要求,其中钢结构加强改造方案达到SA防护等级要求,防护能量为400 kJ;植筋加高式改造方案与包封式改造方案均达到SS防护等级要求,防护能量为520 kJ。研究成果对于完善在役旧桥梁护栏设施和提升公路桥梁通行防护能力具有较好的借鉴意义。

关键词:桥梁;组合式护栏;改造;碰撞试验;仿真模拟

中国在役旧桥梁组合式护栏大多是按照94版公路交通安全设施设计规范(已废止,简称“94规范”)进行修建,早期由于公路交通量较小、车型较为单一,该结构护栏可以满足当时的安全运营需求,在较长一段时期为保护道路运营安全发挥了至关重要的作用,但是随着中国经济的迅猛发展,公路交通流量大幅度提升,同时运营车辆的车重、车速和复杂程度逐渐增加,这些在役旧桥梁组合式护栏已不能满足当前安全防护要求,存在一定风险隐患,有必要对其进行提升安全性研究。该文采用计算机仿真模拟和实车足尺碰撞试验相结合的技术手段,对在役旧桥梁组合式护栏防护能力进行分析,在此基础上,基于再利用提出升级改造方案,并利用经过验证的仿真模型对改造方案进行安全性能评估。

1 原护栏防护能力碰撞分析

1.1 原护栏结构

图1为在役旧桥梁组合式护栏典型结构,设计防护等级按“94规范”属于PL3级,与现行设计规范中SB级防护等级接近。该护栏总高度约为1 m,上部是由铸钢立柱和圆管横梁组成的钢结构,下部是新泽西坡面形式的钢筋混凝土基座。

1.2 有限元模型建立及试验护栏建造

根据在役旧桥梁组合式护栏典型结构,建立桥梁

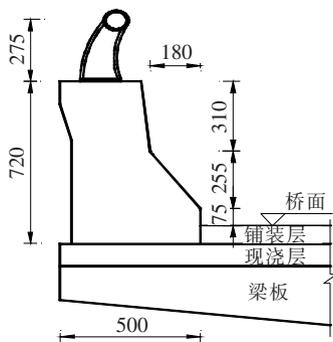


图1 在役旧桥梁组合式护栏典型结构(单位:mm)

护栏有限元模型,长度为40 m。护栏型钢部分与混凝土基座部分各采用四边形壳单元和六面体单元进行模拟,钢筋采用梁单元模拟。图2为建立的桥梁组合式护栏模型。

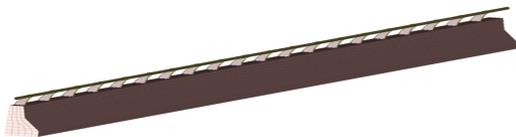


图2 有限元仿真模型

按1:1结构尺寸和设计材料型号在碰撞试验广场上建造桥梁组合式试验护栏,护栏总长为40 m,如图3所示。

1.3 仿真模拟与实车碰撞试验结果

按照四(SB)级碰撞条件中的10 t大型车(包含大



图3 试验护栏

型巴士和大型卡车)以 80 km/h 的速度,20°碰撞角,碰撞能量 280 kJ,进行车辆碰撞护栏的仿真模拟和实车碰撞试验,验证护栏实际防护能力。

图 4 为大客车以相应碰撞条件碰撞桥梁组合式护栏计算机仿真模拟与实车碰撞试验结果,碰撞过程中车身发生倾斜,最后车辆侧翻,不满足护栏对车辆碰撞防护性能的要求;通过对比两组碰撞分析结果,可以看到仿真与试验的碰撞过程车身姿态基本一致。

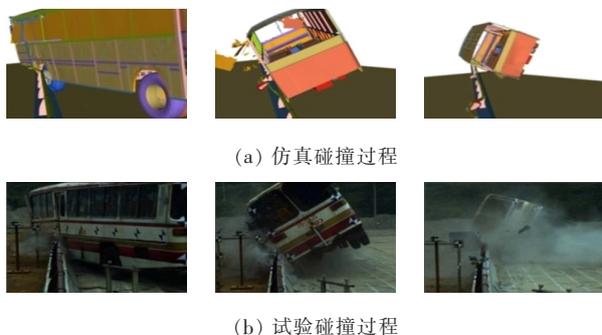


图4 大客车碰撞原护栏结构仿真与试验结果对比

图 5 为大货车以相应碰撞条件碰撞桥梁组合式护栏计算机仿真模拟与实车碰撞试验结果,车辆在碰撞过程中车身严重倾斜,上部横梁插入车体,最后发生绊阻,不满足护栏对车辆碰撞防护性能的要求;通过对比两组结果,可以看到仿真与试验的碰撞过程车身姿态十分接近。

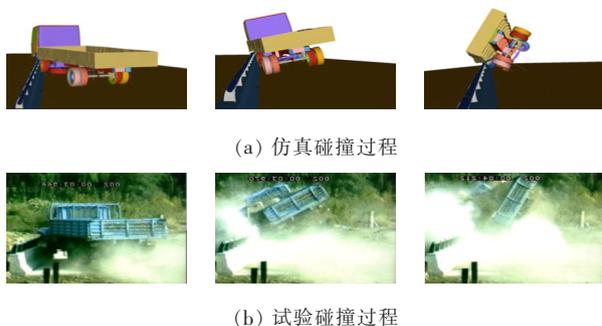


图5 大货车碰撞原护栏结构仿真与试验结果对比

通过以上碰撞分析可知,原桥梁组合式护栏达不到现行规范要求的桥梁护栏最低防护等级 SB 级要

求;通过仿真与试验结果对比,验证了计算机仿真模型的可靠性与准确性。

2 基于原护栏升级改造方案

从绿色循环利用的设计理念出发,结合安全性与施工方便性,提出 3 种改造方案。

2.1 钢结构加强改造方案

拆除原桥梁组合式护栏上部钢结构,在原护栏的混凝土墙体上方和背部植螺栓,以 H 形钢作为立柱,通过混凝土墙体背部螺栓和 L 形连接板锚固在混凝土墙体背部,通过螺栓在背部立柱上方安装防阻块,通过焊接连接防阻块与方管横梁,护栏整体有效高度为 1.3 m。钢结构加强改造方案的设计防护等级为五(SA)级(设计防护能量 400 kJ),结构如图 6 所示。

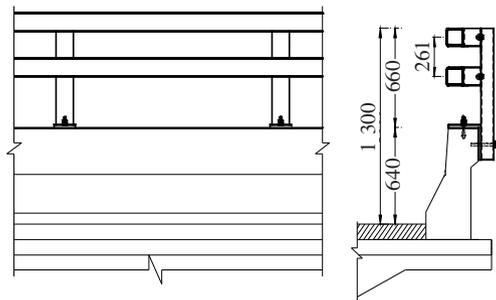


图6 钢结构加强改造方案(单位:mm)

2.2 植筋加高式改造方案

拆除桥梁组合式护栏上部钢结构,在混凝土墙体上设置混凝土加高段,加高段的竖向钢筋采用植筋方式锚固于原护栏混凝土墙体内,在加高段混凝土上方设置阻爬坎。设计加高段墙体的迎撞侧植筋采用 $\phi 16$ 钢筋,背部植筋、其他竖向钢筋以及纵向配筋均为 $\phi 12$ 钢筋,间距设计为 18 cm,钢筋全部采用三级钢筋。护栏路面以上有效高度为 1.1 m。植筋加高式改造方案的设计防护等级为六(SS)级(设计防护能量 520 kJ),结构如图 7 所示。

2.3 包封式改造方案

拆除原上部钢结构,在原混凝土墙体顶部植筋,凿开原混凝土墙体底部露出原护栏筋,与包封筋焊接,再按改造后轮廓绑筋,将原混凝土墙体迎撞面由新泽西坡面更新为规范中的加强型坡面。根据以往护栏设计经验,设计新浇筑墙体迎撞侧植筋采用 $\phi 16$ 钢筋,背部植筋、其他竖向钢筋以及纵向配筋均为 $\phi 12$ 钢筋,间距设计为 18 cm,钢筋全部采用三级钢筋。护栏路面以上有效高度为 1.1 m。包封式改造方案的设计防

护等级为六(SS)级(设计防护能量 520 kJ),结构如图 8 所示。

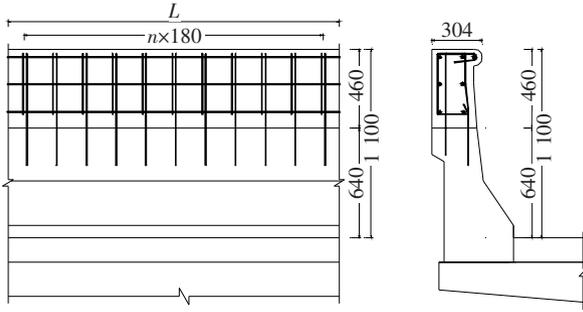


图 7 植筋加高式改造方案(单位:mm)

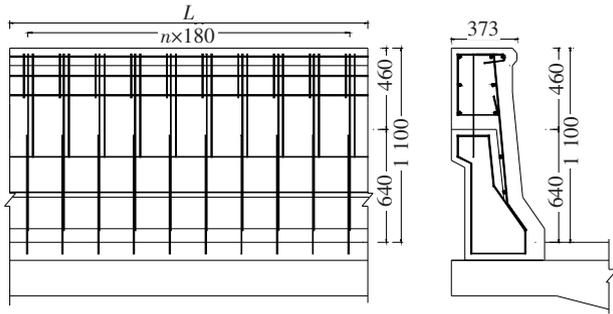


图 8 包封式改造方案(单位:mm)

3 改造方案防护能力评估

基于已验证的有限元仿真模型,按照现行评价标

准中对相应碰撞条件的规定,建立仿真模型对 3 种改造方案的防护能力进行评估。

3.1 钢结构加强改造方案评估结果

图 9 为车辆碰撞钢结构加强改造方案的仿真结果,由图 9 可见护栏能够有效防止小客车、大客车和大货车翻越和跨过护栏,并能够对车辆进行有效吸能和导正。

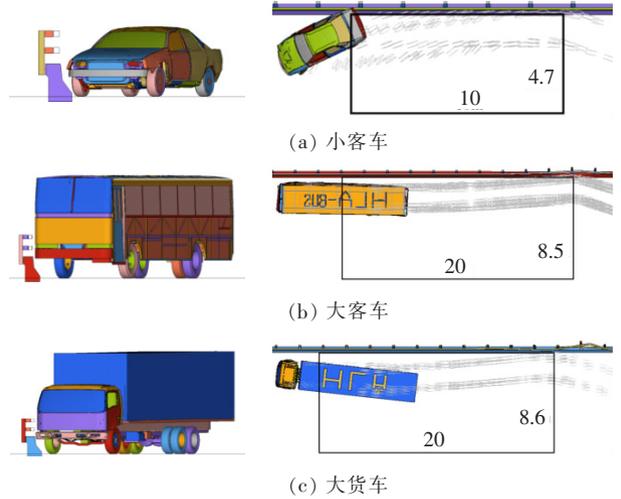


图 9 车辆碰撞钢结构加强改造方案仿真结果(单位:m)

表 1 为完整的钢结构加强改造方案的防护能力评估结果。

通过仿真模拟分析,可见 3 种车型碰撞钢结构加

表 1 钢结构加强改造方案评估结果

项目	阻挡功能		导向功能		缓冲功能			
	车辆是否穿越、翻越和骑跨试验护栏	试验护栏构件及其脱离件是否侵入车辆乘员舱	车辆碰撞后是否翻车	车辆碰撞后的轮胎是否满足导向驶出框要求	乘员碰撞速度/(m·s ⁻¹)		乘员碰撞后加速度/(m·s ⁻²)	
					纵向	横向	纵向	横向
小型客车	测试结果	否	否	满足	4.1	7.8	62.1	57.5
	是否合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
大型客车	测试结果	否	否	满足	—	—	—	—
	是否合格	合格	合格	合格	—	—	—	—
大型货车	测试结果	否	否	满足	—	—	—	—
	是否合格	合格	合格	合格	—	—	—	—

强改造方案,仿真结果各项指标均满足评价标准五(SA)级要求,防护能量达到 400 kJ。

3.2 植筋加高式改造方案评估结果

图 10 为车辆碰撞植筋加高式改造方案的仿真结果,由图 10 可见护栏能够有效拦截车辆,并能够对车辆进行有效吸能和导正,未出现小客车、大客车或大货

车翻越和跨过护栏的现象。

表 2 为完整的植筋加高式改造方案的防护能力评估结果。

通过仿真模拟分析,可见 3 种车型碰撞植筋加高式改造方案,仿真结果各项指标均满足评价标准六(SS)级要求,防护能量达到 520 kJ。

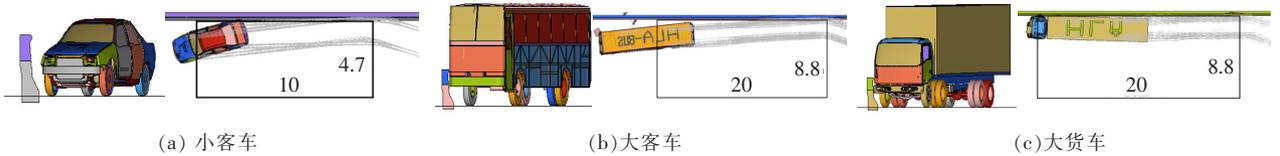


图 10 车辆碰撞植筋加高式改造方案仿真结果(单位:m)

表 2 植筋加高式改造方案评估结果

项目	阻挡功能		导向功能		缓冲功能				
	车辆是否穿越、翻越和跨试验护栏	试验护栏构件及其脱离是否侵入车辆乘员舱	车辆碰撞后是否翻车	车辆碰撞后的轮胎是否满足导向驶出框要求	乘员碰撞速度/(m·s ⁻¹)		乘员碰撞后加速度/(m·s ⁻²)		
					纵向	横向	纵向	横向	
小型客车	测试结果	否	否	否	满足	3.6	7.5	69	80
	是否合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
大型客车	测试结果	否	否	否	满足	—	—	—	—
	是否合格	合格	合格	合格	合格	—	—	—	—
大型货车	测试结果	否	否	否	满足	—	—	—	—
	是否合格	合格	合格	合格	合格	—	—	—	—

3.3 包封式改造方案评估结果

图 11 为车辆碰撞包封式改造方案的仿真结果,由图 11 可见护栏能够有效阻挡车辆,并对其进行有效缓冲和导向,未出现车辆翻越和跨过护栏现象。

表 3 为包封式改造方案的防护能力评估结果。

通过仿真模拟分析,可见 3 种车型碰撞包封式改

造方案,仿真结果各项指标均满足评价标准六(SS)级要求,防护能量达到 520 kJ。

4 结语

在役旧桥梁组合式护栏原结构达不到现行规范要

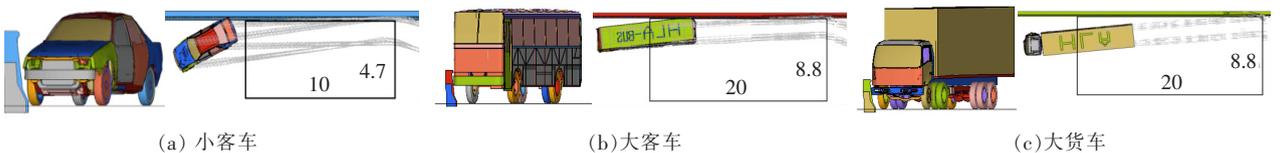


图 11 车辆碰撞包封式改造方案仿真结果(单位:m)

表 3 包封式改造方案评估结果

项目	阻挡功能		导向功能		缓冲功能				
	车辆是否穿越、翻越和跨试验护栏	试验护栏构件及其脱离是否侵入车辆乘员舱	车辆碰撞后是否翻车	车辆碰撞后的轮胎是否满足导向驶出框要求	乘员碰撞速度/(m·s ⁻¹)		乘员碰撞后加速度/(m·s ⁻²)		
					纵向	横向	纵向	横向	
小型客车	测试结果	否	否	否	满足	3.6	7.6	106	136
	是否合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
大型客车	测试结果	否	否	否	满足	—	—	—	—
	是否合格	合格	合格	合格	合格	—	—	—	—
大型货车	测试结果	否	否	否	满足	—	—	—	—
	是否合格	合格	合格	合格	合格	—	—	—	—