

# 防阻块功能分析及焊缝强度对波形梁护栏 防护性能影响研究

王新<sup>1</sup>, 杨福宇<sup>1</sup>, 刘思源<sup>1</sup>, 邓宝<sup>1</sup>, 龚帅<sup>1</sup>, 闫书明<sup>1</sup>, 王濛<sup>2</sup>

(1. 北京华路安交通科技有限公司, 北京市 100070; 2. 中国人民解放军陆军工程大学 野战工程学院)

**摘要:**针对实际工程中应用的波形梁护栏防阻块焊接方式普遍不符合规范要求的情况,为了更好地指导防阻块及波形梁护栏的合理设计与安全应用,该文采用理论分析、计算机仿真模拟、实车足尺碰撞试验等综合技术手段,在分析防阻块功能的基础上,系统研究与验证了焊缝强度对波形梁护栏安全防护性能的影响情况,开展了防阻块焊缝强度降低前后的仿真对比,以及防阻块焊缝强度降低后的波形梁护栏碰撞试验,研究结果表明:防阻块焊缝强度对波形梁护栏的安全防护性能未造成实质性影响,为采用非高频焊接工艺的波形梁护栏防阻块的应用提供了数据支撑,有效解决了工程实际问题。

**关键词:**防阻块; 焊缝强度; 波形梁护栏; 计算机仿真; 实车足尺碰撞试验

## 1 引言

从JTG/T D81—2017《公路交通安全设施设计细则》中推荐的各防护等级波形梁护栏结构形式和高速公路实际应用情况来看,大部分都在护栏梁板与立柱之间设置了防阻块构件。同时,按照与不同形式立柱匹配应用,可将防阻块分为适用于钢管立柱的六角形防阻块、适用于方管立柱的防阻块及适用于H形立柱的防阻块共3种类型,其中,前两种类型的防阻块应用最为广泛。

当前相关规范已对波形梁护栏防阻块结构、尺寸、材料等进行了详尽、明确的规定,实际工程中也基本按照规范进行标准化操作,但通过市场调查,了解到防阻块的焊接工艺与规范规定存在一定差异,即GB/T 31439.2—2015《波形梁钢护栏第2部分:三波形梁钢护栏》中第4.4.2条要求:“防阻块可采用高频焊接成形,如果采用其他方式加工,应有试验资料保证其强度不低于高频焊接成形工艺”,而当前采用高频焊接成形的防阻块产品极少,原因是高频焊接(所谓高频焊接是指利用高频电流所产生的集肤效应和相邻效应,将钢板和其他金属材料对接起来的新型焊接工艺)工艺较复杂,对加工设备、环境、人员要求严格,且生产成本较高,故生产厂家普遍采用焊接操作更为简单、综合成本

更低及焊接质量良好的二氧化碳气体保护焊(所谓二氧化碳气体保护焊是指以二氧化碳为保护气体,进行保护焊接的方法)进行防阻块加工。同时,当前暂无相关试验检测的量化标准,厂家或检测机构不能提供二氧化碳气体保护焊强度不低于高频焊接成型工艺的试验结论或检测报告。

对于前述的两种常用防阻块结构来说,适用于钢管立柱的六角形防阻块普遍采用钢板弯曲成形工艺,焊缝位于无螺栓孔的平面上;适用于方管立柱的防阻块主要由立体钢罩和两侧翅板通过焊接方式组成。由于当前实际工程应用的波形梁护栏防阻块焊接方式普遍不符合规范要求,为了护栏设施的安全合法应用,该文采用理论分析、计算机仿真模拟和实车足尺碰撞试验等综合技术手段,在分析防阻块功能的基础上,系统研究与验证焊缝强度对护栏安全防护性能的影响,并以护栏整体结构是否满足JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》要求为判断依据,从而指导实际工程应用,保障公路运营安全。

## 2 常用防阻块功能分析

波形梁护栏防阻块最主要的功能之一是增加横梁与立柱之间的距离从而降低车轮在立柱位置的绊阻程度和概率。若防阻块设计不合理,车辆很容易直接碰

撞立柱,对乘员和车辆造成严重伤害。

适用于钢管立柱的六角形防阻块,其特点为结构较软,车辆碰撞后防阻块容易变形,这样就能通过波形梁板把碰撞荷载分配到更多的立柱上去,可以在材料用量较少的前提下达到较高的防护等级。该防阻块主要应用在三(A)级及以下防护等级的波形梁护栏结构中,通过六角形防阻块把波形梁护栏变成了偏柔的护栏结构,受力特征类似于柔性护栏[柔性护栏依靠缆索张力来吸收碰撞能量,三(A)级波形梁护栏主要依靠梁板的拉力来吸收碰撞能量],这也是采用六角形防阻块的护栏结构对于端部锚固依赖性较强的原因。

适用于方管立柱的防阻块,主要应用在四(SB)级及以上防护等级的波形梁护栏结构中,该防阻块结构刚度较大,其显著特点是车辆碰撞护栏时,防阻块会在碰撞荷载作用下以立柱下部连接螺栓为圆心进行转动,这样防阻块会产生一定的“抬头”动作,从而在一定程度上降低了由于碰撞荷载产生的波形梁板下移幅度,该防阻块的这种功能对于提高其防护能力具有一定的积极作用。

从防阻块的功能来看,其在发挥作用时主要是在受压阶段,而受压阶段对于焊缝强度的依赖性并不强,初步分析采用高频焊接和二氧化碳气体保护焊接工艺的防阻块成型工艺不会对护栏安全性能造成实质性影响。同时,在相关试验中发现,防阻块的焊接强度并不是越强越好,以三(A)级波形梁护栏为例,车辆碰撞护栏时,虽然设置了防阻块,但由于梁板易产生大变形的特性,车轮往往会碰撞到立柱,立柱一般会在接触车轮时产生倾覆,如果防阻块的强度很大,梁板有效高度会通过防阻块的拉力传递发生大幅度下降,从而车辆穿越波形梁护栏的概率将大大增加,而立柱发生倾覆时,防阻块在焊缝处破坏反而对于提高公路护栏的安全防护性能有利。

### 3 仿真分析防阻块焊缝强度对护栏防护性能的影响

JTG/T D81—2017《公路交通安全设施设计细则》、JTG D81—2017《公路交通安全设施设计规范》将事故严重程度分为高、中、低 3 个等级,对事故严重程度的认定更加明确与严格,四(SB)级护栏在高速公路中的应用将越来越普遍。因此,下文以规范推荐的四(SB)级三波形梁钢护栏结构为基础,采用计算机仿真方法,从不利角度出发,通过降低防阻块焊缝强度的方

式,以护栏整体安全防护性能是否满足 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》要求为验证依据,探究防阻块焊缝强度对护栏防护性能的影响情况。

焊缝长度作为影响焊接位置强度的一个重要因素,综合考虑可操作性、合理性及有效性等因素,采用减少防阻块焊缝长度的方法来降低焊缝位置的强度。四(SB)级三波形梁钢护栏防阻块立体钢罩和两侧翘板间的标准焊接长度为 13 cm,考虑到防阻块的翘板部分与三波梁板连接、立体钢罩部分则与立柱连接,其最不利情况为防阻块立体钢罩和两侧翘板间完全不焊接,但此时三波梁板将处于自由无支撑状态,护栏结构则不成立,故以此为依据,在确定防阻块焊缝长度减少数值时,应保证焊缝强度满足对梁板自体结构的支撑作用,结合以往研究设计经验,最终确定将防阻块焊缝两端长度各减少 3 cm,共计减少 6 cm(近乎减少一半焊缝长度),剩余焊接长度为 7 cm,如图 1 所示。

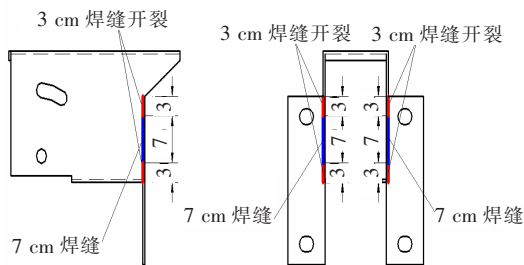


图 1 焊缝开裂的防阻块示意图(单位:cm)

#### 3.1 防阻块焊缝强度降低对护栏防护性能的影响

在标准路侧四(SB)级三波形梁钢护栏结构的基础上,通过将防阻块立体钢罩和两侧翘板单元间的节点进行调整,即在焊缝上、下两端各 3 cm 长度范围内,两单元节点设为不重合,且留 2 mm 缝隙,模拟焊缝裂开导致焊缝强度降低的效果;焊缝中间 7 cm 长度范围的单元节点采用重合设置来模拟焊接,图 2 为降低焊缝强度的防阻块及护栏整体仿真模型。

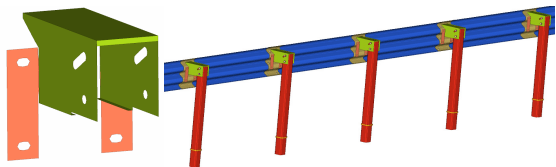


图 2 降低焊缝强度的防阻块及护栏整体仿真模型

按照四(SB)级标准碰撞条件,开展 1.5 t 小型客车以 100 km/h 碰撞速度、20°碰撞角,10 t 中型客车以 80 km/h 碰撞速度、20°碰撞角,18 t 大型货车以 60 km/h 碰撞速度、20°碰撞角,分别碰撞降低防阻块焊缝

强度的四(SB)级三波形梁钢护栏的仿真模拟分析。图 3 为 3 种车型仿真碰撞结果。

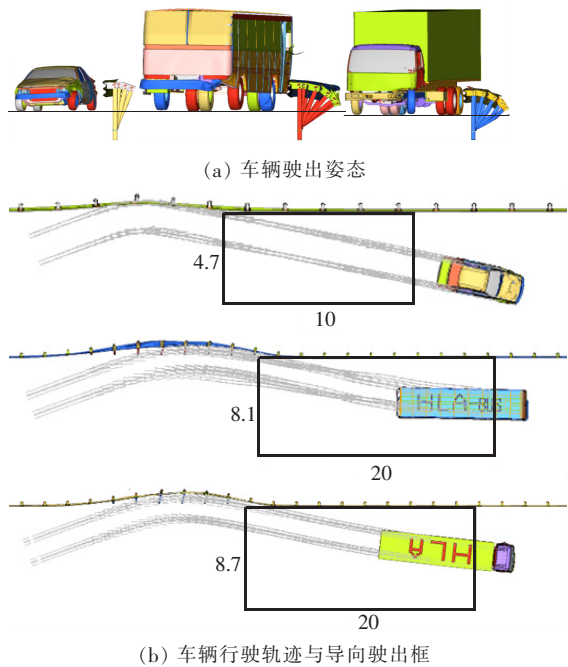


图 3 降低防阻块焊缝强度的四(SB)级三波形梁钢护栏仿真结果(单位:m)

由图 3 可知:碰撞后车辆没有穿越、翻越、骑跨护栏现象,车辆顺利驶出且恢复正常行驶姿态,满足导向

驶出框要求,阻挡和导向功能良好;同时,小型客车碰撞后纵向和横向乘员加速度分别为 84.0、73.99 m/s<sup>2</sup>,均小于 200 m/s<sup>2</sup>,纵向和横向乘员碰撞速度分别为 3.71、5.93 m/s,均小于 12 m/s,护栏的缓冲性能良好;此外,小型客车碰撞后护栏最大横向动态变形值为 0.58 m,最大横向动态位移外延值为 0.92 m;中型客车碰撞后护栏最大横向动态变形值为 1.48 m,最大横向动态位移外延值为 1.46 m,车辆最大动态外倾值为 1.84 m,最大动态外倾当量值为 1.94 m;大型货车碰撞后护栏最大横向动态变形值为 1.26 m,最大横向动态位移外延值为 1.48 m,车辆最大动态外倾值为 1.97 m、最大动态外倾当量值为 2.01 m。由此可见,四(SB)级三波形梁钢护栏防阻块焊缝强度降低后仍可达到设计防护能力的性能指标要求。

3.2 防阻块焊缝强度降低前后的对比分析

为了更好地了解防阻块焊缝强度对护栏防护性能的影响,进一步开展了防阻块标准焊缝强度(即未缩减焊缝长度)的四(SB)级三波形梁钢护栏仿真碰撞分析,并结合防阻块标准焊缝强度和缩短焊缝长度降低焊缝强度的仿真结果,对碰撞后护栏变形长度、立柱变形数量、防阻块与波形板脱开数量、乘员碰撞速度、乘员碰撞后加速度、护栏变形值及车辆侧倾值等系列指标进行对比分析,结果见表 1。

表 1 防阻块焊缝强度降低前后对护栏防护性能影响对比

车辆类别	强度降低前后	护栏变形长度/m	立柱变形数量/根	防阻块脱开数量/处	$v_{\max}/$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$a_{\max}/$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )	$D/$ m	$W/$ m	$VI/$ m	$VI_n/$ m
小型客车	标准	15.6	5	1	6.13	78.7	0.53	0.84	—	—
	降低	15.7	5	1	5.93	84.0	0.58	0.92	—	—
中型客车	标准	23.7	10	2	—	—	1.37	1.44	1.90	2.04
	降低	29.9	11	2	—	—	1.48	1.46	1.84	1.94
大型货车	标准	24.8	9	1	—	—	1.27	1.47	1.97	2.01
	降低	25.7	9	1	—	—	1.26	1.48	1.97	2.01

注: $v_{\max}$  为乘员碰撞速度最大值; $a_{\max}$  为乘员碰撞后加速度最大值; $D$  为护栏最大横向动态变形值; $W$  为护栏最大横向动态位移外延值; $VI$  为车辆最大动态外倾值; $VI_n$  为车辆最大动态外倾当量值。

由表 1 可知:四(SB)级三波形梁钢护栏防阻块焊缝强度降低前后,立柱变形与防阻块断裂数量、缓冲指标、护栏变形及车辆侧倾等数值差异较小,对小型客车、中型客车和大型货车的防护效果基本一致,如图 4 所示,防阻块均可通过翘板变形和立体罩面连接螺栓位移导致的“抬头”现象有效吸收碰撞能量,护栏整体防护能力均可达到四(SB)级,说明降低防阻块焊缝强度对该护栏安全性能及防护表现影响不大。

4 试验验证防阻块焊缝强度降低对护栏防护性能的影响

考虑到实际工程中波形梁护栏防阻块焊接工艺不满足规范规定(采用非高频焊接工艺,且尚无数据证明其强度不低于高频焊接成形工艺)的情况较为普遍,为了给护栏的实际应用提供更加客观、可靠的判断依据,

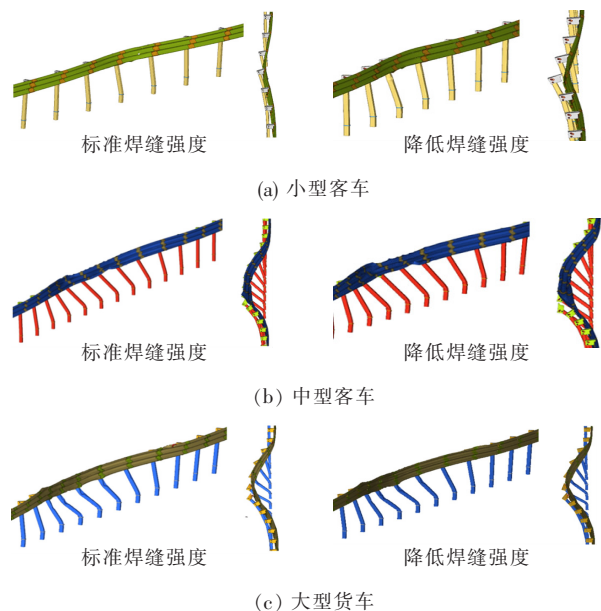


图 4 防阻块焊缝强度降低前后的护栏变形对比图

针对防阻块焊缝强度降低的护栏开展实车足尺碰撞试验。试验采用四(SB)级三波形梁钢护栏的防阻块焊缝位置上、下端各人为割开 3 cm 长的开口,剩余焊接长度为 7 cm,并使用碰撞能量及破坏性更大的中型客车作为碰撞车型。试验碰撞条件:10 t 中型客车,80 km/h 速度,20°碰撞角。

经实车足尺碰撞试验验证,碰撞后中型客车平稳驶出并恢复到正常行驶姿态,没有穿越、翻越和骑跨护栏现象,护栏的阻挡和导向功能良好,各项指标均符合 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》要求。由此可见,防阻块焊缝强度降低的四(SB)级三波

形梁钢护栏仍可对中型客车进行有效防护,达到四(SB)级防护能力,虽然碰撞区防阻块焊缝位置少部分发生彻底断裂(即与立柱连接的防阻块立体钢罩和与波形梁板连接的防阻块翘板完全脱离),但从翘板变形和立体罩面连接螺栓位移导致的“抬头”现象来看,防阻块吸收了部分碰撞能量,且对保持护栏有效高度起到积极作用,进一步验证了前述理论分析的正确性。

## 5 结语

通过对防阻块的功能进行分析,可知规范给出的常用防阻块结构形式较为合理,同时通过防阻块焊缝强度的仿真碰撞分析和实车足尺碰撞试验验证,得到防阻块焊缝强度对护栏的安全性能未造成实质性影响,为采用非高频焊接工艺的波形梁护栏防阻块的应用提供了数据支撑,可更好地指导防阻块及波形梁护栏的合理设计与安全应用,有效解决工程实际问题。

## 参考文献:

- [1] JTG/T D81—2017 公路交通安全设施设计细则[S].
- [2] GB/T 31439.2—2015 波形梁钢护栏第 2 部分:三波形梁钢护栏[S].
- [3] 闫书明.有限元仿真方法评价护栏安全性能的可行性[J].振动与冲击,2011(1).
- [4] JTG B05—01—2013 公路护栏安全性能评价标准[S].
- [5] 余长春,马彦婷,刘珍琳,等.新型 A 级波形梁护栏结构研究[J].公路交通科技(应用技术版),2015(6).
- [6] JTG D81—2017 公路交通安全设施设计规范[S].

## 投稿须知

1. 征稿范围:国内外公路概况;国外公路考察见闻;公路路线设计;路基路面工程;桥梁与隧道工程;材料试验与应用;交通工程与管理;公路景观与环保等。

2. 稿件要求:① 请提供 word 文档。文稿以 6 000 字左右为佳;② 投寄本刊的稿件,直接发至 E-mail: zhongwaigonglu@vip.163.com(本刊唯一投稿邮箱),本刊审稿周期 1~2 个月。若被采用,本刊将 E-mail 通知作者。3 个月未收到通知,作者可另行处理。请勿一稿多投,否则后果自负;③ 题目应简洁明晰,字数不能多于 20 个中文字;④ 作者单位必须注明邮政编码。第一作者须注明出生年、性别、学历、职称、研究方向、电子信箱和联系电话;⑤ 摘要、关键词。摘要请务必按“研究目的、方法、结果、结论”四要素写。关键词:3~8 个;⑥ 基金项目必须写明基金项目名称和编号;⑦ 图表。图表要与文中相对应,(示例:\*\*\*如表 1 所示)。图表要有图名和表名。除照片外,其余图均需提供 excel 或 origin 或 cad 源文件。表格采用三线表。所有图、表中的字体为小 5 号或 6 号;⑧ 文后必须要有参考文献。参考文献参考格式如下:[1]期刊:作者姓名(列三位,等(姓在前,名在后)).文章题目[J].刊名,出版年份(期);[2]专著:作者姓名(列三位,等).专著名称[M].版本(第一版不标注).出版地:出版单位,出版年;[3]论文集:作者姓名(列三位,等).题名[C].论文集名,出版年;[4]学位论文:作者姓名.题名[D].单位[硕士(博士)学位论文],年份;[5]专利:专利申请者姓名(列三位,等).题名:国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期];[6]技术标准:标准代号 标准名称[S].

《中外公路》编辑部