

高速公路隧道入口组合防撞护栏施工设计

李镇辉 刘坤

云南省交通科学研究院有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i5.16597

[摘要] 由于高速公路隧道外路基横断面进入隧道内后突然收窄以及伴随的“黑洞效应”,高速公路隧道入口段天然存在较大的安全隐患,交通事故率也一直居高不下。有效保障高速公路隧道入口行车的安全,加强主动引导固然重要,但被动防护设施依然必不可少。组合防撞护栏作为一种高效的能量吸收和导向装置,可有效降低车辆冲击力,降低车辆冲入对向车道和隧道壁风险,保护驾乘人员生命安全。本文围绕高速公路隧道入口组合防撞护栏,论述了设计原则、结构选择、材料要求以及施工工艺流程、质量控制要点和验收标准。旨在为相关工程实践提供一定参考。

[关键词] 隧道入口; 组合式护栏; 设计施工; 质量控制

中图分类号: U455 文献标识码: A

Design and Construction of Combined Anti-Collision Guardrails at Highway Tunnel Entrances

Zhenhui Li Kun Liu

Yunnan Provincial Transportation Science Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] Due to the sudden narrowing of the highway cross-section from the outside to the inside of the tunnel and the accompanying "black hole effect," highway tunnel entrance sections inherently pose significant safety hazards, resulting in consistently high traffic accident rates. Effectively ensuring safety at highway tunnel entrances relies importantly on active guidance, yet passive protective facilities remain indispensable. As an efficient energy-absorption and guidance device, the combined anti-collision guardrail can effectively reduce vehicle impact force, minimize the risk of vehicles veering into opposing lanes or colliding with tunnel walls, and protect the lives of drivers and passengers. This paper focuses on the combined anti-collision guardrail at highway tunnel entrances, discussing design principles, structural selection, material requirements, construction processes, key quality control points, and acceptance standards. The aim is to provide a reference for related engineering practices.

[Key words] Tunnel entrance; Combined guardrail; Design and construction; Quality control

引言

隧道是高速公路线路上的特殊构件,其入口处不仅明显收窄,而且形成了一个光线明暗急剧变化的区间。车辆驶入隧道时,驾驶员往往需要3-7秒的短暂适应过程,这一过程又被称为“黑洞效应”,在此期间内,很容易出现对速度和距离的误判,导致车辆失控撞击隧道洞门或侧壁,造成严重事故。设置警示标志、加强减速提示等主动防护措施固然重要,但加强隧道洞口过渡段安全防护,提升被动保护水平,依然是提高隧道入口安全的必然举措,也是高速公路安全设计的重中之重。

传统护栏结构简单、功能单一,如波形护栏、混凝土护栏等,存在一定局限性。波形护栏吸能较好,但刚性底座在面临剧烈冲击可能断裂,端头也有穿刺风险,而混凝土护栏刚性过强,对驾乘人员冲击较大。组合防撞护栏是通过整合不同材料护栏

系统,比如波形梁与混凝土组合等,目的是实现刚性防护与柔性保护相结合,最大限度降低对车辆和驾乘人员的伤害。研究组合防撞护栏的设计与施工事宜,已成为业内一项重要课题。

1 高速公路隧道入口防撞护栏类型

1.1 刚性护栏

混凝土护栏是刚性护栏的主要代表,也是当前隧道入口常用护栏形式。混凝土护栏采取“钢筋+混凝土”、“不锈钢模板+混凝土”浇筑方式,水泥标号通常 ≥ 425 ,水灰比 ≤ 0.45 ,制钢模板,厚度 $\geq 5\text{mm}$,冬季施工要对砂石料预热。混凝土护栏主要通过将车辆的动能转化为势能的方式,降低驾乘人员受到的外部冲击力,减少事故严重性。结构刚性强,是混凝土护栏的显著特点。隧道洞口常用的混凝土护栏主要有F型混凝土护栏、新泽西(梯形)混凝土护栏、加强型混凝土护栏。

1.2 半刚性护栏

波形护栏是半刚性护栏的主要代表,又称波形梁护栏,是一种钢制防撞设施,在隧道入口处有着广泛应用。波形护栏采用3-4MM波浪形镀锌钢板与立柱组合为主要结构,主要依靠波形钢板的形变吸收车辆撞击能量,可有效引导失控车辆导回车道,可有效降低事故伤亡率。镀锌钢板因其材料特性,具有耐候性强、抗腐蚀、易维修等特点,广泛适用于急转弯、陡坡、隧道出入口等高危路段,防护等级达到SA级。隧道洞口常用的波形护栏包括双波波形护栏、三波波形护栏等。

1.3 柔性护栏

除钢制波形护栏、混凝土护栏外,目前业内还探索开发了一些柔性护栏,比如缆索护栏、旋转式护栏等。特别是旋转式护栏,采用钢制框架,配套EVA或聚乙烯共混物材质的旋转桶,表面贴有一级反光膜。通过护栏立柱上旋转桶的旋转与相互作用,吸收部分车辆撞击能量,并纠正车辆行驶方向。旋转护栏具有极强的柔韧性和回弹性,耐候性也比较好,比较适宜在隧道入口过渡段使用。

2 组合防撞护栏设计的依据与原则

2.1 设计依据与标准

组合防撞护栏设计必须严格遵循国家及行业现行标准规范,主要包括:《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81—2017)、《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05—01—2013)、《公路工程质量检验评定标准》(JTG F801—2017)、《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》(JTG D80—2006),以及其他土木工程和材料学相关技术规范。

2.2 设计原则

组合防撞护栏设计,要秉承“安全第一、经济快捷”原则,强调刚性防护、缓冲吸能、诱导交互、统筹协调、经济性与可维护性等原则。

2.2.1 安全性原则

安全是组合防撞护栏的首要原则,设计时要兼顾刚性防护与缓冲吸能,护栏防撞等级通常不低于SA级或SS级,能够有效阻挡、缓冲、导向失控车辆,防止车辆穿越、翻越或钻入护栏底部。同时,要通过材料的形变、屈服、伸缩等特性,吸收车辆碰撞能量,延长撞击曲线,减少高速撞击对车内驾乘人员的影响,并将车辆引导回预定路径。

2.2.2 诱导性与交互性原则

组合防撞护栏应该具有连续、平滑的线形,颜色醒目,通常为鲜艳颜色并粘贴有高反光膜,反映出路线的轮廓,在视觉上发挥交互与视觉诱导作用,方便驾驶员准确分辨道路边界,减少“黑洞”效应。防撞护栏设计要与隧道洞门、路基护栏、道路线形及周边环境相协调,平稳过渡,美观的同时减少安全隐患。

2.2.3 经济性与可维护性原则

在满足安全防护前提下,在材料的选择、施工方式、装置的可更换等方面要统筹考虑,兼顾经济性、施工维护的便捷性,方便后期运行维护,以减少对交通运营的影响。比如采取“工厂预

制+现场模块化安装”“结构件柔性连接可整体性更换”等方式,可有效缩短施工时间、提升维护便捷性。

3 组合防撞护栏的简要设计与施工流程

3.1 “波形梁+混凝土”组合护栏

“波形梁+混凝土”这一组合方式兼顾了刚性与半刚性结构特点,同时可使用预制装配式施工方式,效率高、工期短、防护效果好。本研究介绍一种基于预制的装配式组合防撞护栏,其材料组成和简要施工流程如下:

“波形梁+混凝土”组合一般由上部高强度波形钢结构和下部混凝土底座组成。上部钢结构,由波形横梁、套管、立柱组装而成,材料选取Q235或Q355热轧钢板,连续辊压成型,镀锌量不低于600g/m²,确保耐腐蚀性和结构强度。所有紧固件应采用高强度螺栓,并配有防松垫圈,扭矩需达到设计值。上部材料采取厂家分开生产、现场安装的方式进行。下部混凝土底座,强度等级不应低于C25,钢筋配置需根据碰撞力计算确定,确保基础的整体性和抗冲击性。由预制厂进行预制生产,底部预留嵌固槽口,护栏整体预制完毕后,送至施工现场,通过吊装方式进行底座安装。梁板预埋钢筋与护栏箍筋交错插接,并穿入纵向钢筋进行连接,预制护板底座与道路面板通过高强水泥砂浆进行坐浆,后向嵌固槽内关注UHPC,使预制护栏底座与梁板形成整体,最后施工上部立柱及横梁,通过套管及连接螺旋与底座形成整体。

3.2 “可导向防撞垫+护栏系统”组合

在护栏起始端或隧道洞口侧壁前方,设置可导向防撞垫,比如集装箱式防撞垫、泡沫铝防撞垫、蜂窝式防撞垫等,其后连接标准的波形梁护栏、混凝土护栏或旋转式护栏。这一组合的优势在于前置的防撞过渡区可通过自身压溃变形,吸收大量车辆冲击能量,后端的传统护栏系统可发挥双保险作用,最大限度保护车辆行驶安全。本研究以蜂窝式“防撞垫+旋转式”为例,本组合中,蜂窝式防撞垫、旋转式护栏钢结构采用Q235钢,旋转桶采取高弹性EVA共聚物,出厂时贴好反光警示贴,套筒采用PVC材质,传统施工工艺下的简要流程如下:

3.2.1 防撞垫施工

(1) 立柱安装: 测量放线后,采用挖埋法、钻孔法或打入法安装立柱。采用传统打孔法时,根据立柱直径确定钻孔直径和埋深,在立柱安装孔内插入防撞垫立柱,通过螺栓将立柱通过支撑架与地面进行锚固,固定稳妥后开始安装蜂窝状吸能组。

(2) 吸能组安装: 各吸能组之间采用螺栓固定,之后在两侧安装波形导向板,形成整体。再使用导轨将不同吸能组进行串联。安装时要注意立柱、吸能组之间缝隙调节,必要时通过调节防撞垫的位置及角度,调整完善后,向缝隙注入水泥,将防撞垫锚固在地面上,完成安装。

3.2.2 旋转式护栏施工

(1) 立柱、U型架: 根据设计图纸对护栏立柱位置放样,确保相对位置、埋深、标高等准确无误,与公路线形相协调,具体施工方法可采用挖埋法、钻孔法或打入法开展。U型架主要用于固

定旋转桶,采取六角螺栓将立柱下部两个U型架固定,U型架与立柱之间可以略微转动,以方便后续安装工序。

(2)上下护栏、回旋圈、旋转桶:下护栏安装,沿护栏U型槽打入螺栓与方形垫扣,利用螺栓将U形架上的U形槽固定。下护栏安装后,在立柱套上两片回旋圈,再安装回旋桶,用手拨动感到无明显阻碍即可。最后安装上护栏,方式与下护栏类似。

(3)护栏连接、封头。护栏之间的拦截采取连接架方式连接,相对柔性,一段护栏安装完成后,插入连接架,并使用螺栓固定,方便下一段护栏拼接。护栏与端头连接将端头套入护栏,再使用螺栓固定。最后,锁死所有紧固件,将端盖放在立柱上固定。

4 组合式防撞护栏的质量控制与工程验收

4.1 组合式防撞护栏的施工质量控制

(1)严把原材料关口:原材料控制是施工质量控制得到第一关,所有入场材料要严格把关,进行抽样检查,镀锌层厚度、均匀性;旋转桶强度韧性;水泥标号;标准件;其他连接件等都要检查到位。

(2)放线测量、放样精度控制:放线测量、放样是保障整个工程精准度的前提。要严格控制进度,确保立柱间距和位置准确,保证线形顺畅。

(3)基础施工控制:保障基础施工达标是确保基础承载力的根本保证。要通过加强施工流程监督检查,强化各阶段工序等方式进行覆盖式检查,混凝土强度、钢结构的配置和安装到位。确保各项指标达标。

(4)立柱和各类配件:立柱要使用激光测量仪等进行检测,垂直度、横向的偏差应小于 $\pm 5\text{mm}/\text{m}$,顶面高程偏差应在规定范围内。各类螺栓使用扭矩扳手,对扭矩进行控制,两步紧固,并做好标记,防止漏拧。

(5)线形最终检验:安装完成后,应站在车行方向不同距离进行目测,或拉线检查,确保无肉眼可见的凹凸和波折。

4.2 组合式防撞栏的竣工验收

施工完成后,应按照《公路工程质量检验评定标准》(JTG F801—2017)、《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》(JTG D80—2006)以及相关设计、招标投标文件进行验收,主要验收和检查项目包括:

(1)基本要求:护栏的安装位置、结构形式、防撞等级、端头处理等是否符合设计要求。

(2)实测项目:护栏板中心高度:允许偏差 $\pm 5\text{mm}$;立柱中距:允许偏差 $\pm 5\text{mm}$;立柱垂直度:允许偏差 $\pm 5\text{mm}/\text{m}$;横梁中心高度:允许偏差 $\pm 5\text{mm}$;护栏顺直度:允许偏差 $\pm 5\text{mm}/\text{m}$ 外观鉴定:混凝土基础表面平整,无裂缝;护栏线形顺畅,色泽均匀,

无污染、无破损、无掉漆。焊接处平整,无焊渣;套管的外观颜色应均匀一致,内外壁应平整、均匀;旋转桶的外观颜色应均匀一致,边缘圆滑、无毛刺、无飞边;各部件外观尺寸是否符合标准要求,有无偏差、螺栓孔能否完全对中。

5 结语

高速公路隧道入口设置组合防撞护栏是业内发展的重要趋势。本文介绍了“波形梁+混凝土”“可导向防撞垫+护栏系统”两种组合式防撞护栏的基本设计和施工要点,相对传统的单一护栏,组合防撞护栏的设计和施工,程序更加复杂,对工程质量要求也更高。要坚持“安全第一、经济快捷”原则,科学进行选材、结合实际进行规范设计,高标准组织现场施工,严格进行质量验收。要严格遵守技术规范,把控每一个施工细节,全力打造安全可靠的生命防护线,为人民群众安全出行保驾护航。未来,随着新材料、新工艺的不断发展,隧道入口防护设计施工,将向着更安全、更智能、更环保的方向迈进。

[课题来源]

云南省交通科学研究院有限公司,项目名称:高速公路全路段迎交通流护栏端头安全防护技术研究(项目编号:JKYZLX—2022—03)。

[参考文献]

[1]中华人民共和国交通运输部.JTG D81—2017公路交通安全设施设计规范[S].北京:人民交通出版社,2017.

[2]中华人民共和国交通运输部.JTG B05—01—2013公路护栏安全性能评价标准[S].北京:人民交通出版社,2013.

[3]张海恬,张静.高速公路提速改造工程交通安全设施的设计分析[J].福建交通科技,2019,(05):153—155.

[4]刘会学,王建军.高速公路隧道入口安全防护技术研究综述[J].中外公路,2021,41(4):300—304.

[5]刘敬红,雷齐箴,白彩霞,等.高速公路隧道入口组合防撞护栏施工方案技术[C]//中国公路学会养护与管理分会,重庆高速公路集团有限公司,招商局重庆交通科研设计院有限公司.中国公路学会养护与管理分会第十三届学术年会论文集.深圳市正道公路工程有限公司,2024:356—360.

作者简介:

李镇辉(1990—),男,白族,云南鹤庆人,职称:硕士研究生,工程师,单位:云南省交通科学研究院有限公司,研究方向:交通安全设施工程技术、材料研究与应用。

刘坤(1996—),男,汉族,湖南益阳人,职称:硕士研究生,工程师,单位:云南省交通科学研究院有限公司,主要研究方向:交通安全设施工程技术、材料研究与应用。