

# 新泽西混凝土预制护栏制备及性能研究

黄志欢<sup>1</sup>, 李倍安<sup>1</sup>, 李沅睿<sup>1</sup>, 赵子祥<sup>2</sup>

(1. 广西新祥高速公路有限公司, 南宁 530004;  
2. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 西安 710064)

**摘要:** 针对新泽西混凝土预制护栏降本提质、高效快速制备工艺与质量问题, 采用自动化生产工艺制备新泽西混凝土预制护栏, 对预制护栏设计合理性、混凝土和护栏性能进行了研究。结果表明: 设计的新泽西护栏碰撞仿真加速度和速度符合规范要求, 缓冲性能好; 掺入 15% 粉煤灰混凝土的 28 d 抗压强度达到 41.2 MPa, 满足仿真的 C30 强度等级, 达到高性能要求; 对比传统振捣棒与具有整体振动台自动化生产的护栏, 自动化生产的护栏外观光滑平整、气泡较少; 比较两种工艺下护栏尺寸, 自动化生产的护栏整体尺寸收缩更小, 尺寸偏差系数更小, 更利于护栏大规模装配使用。

**关键词:** 中央分隔带; 新泽西护栏; 振捣成型; 混凝土; 缓冲性

**中图分类号:** U417.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2026) 01-0100-06

**DOI:** 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2026.01.018

## Research on the Preparation and Performance of Prefabricated Concrete Guardrails in New Jersey

HUANG Zhihuan<sup>1</sup>, LI Bei'an<sup>1</sup>, LI Yuanrui<sup>2</sup>, ZHAO Zixiang<sup>2</sup>

(1. Guangxi Xinxiang Expressway Co., Ltd., Nanning 530004, China; 2. Key Laboratory of Road Construction Technology and Equipment of MOE, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of cost reduction and quality improvement, efficient and rapid preparation process and quality of precast New Jersey concrete guardrail, the paper adopts the automated production process to prepare precast New Jersey concrete guardrail, and researches the rationality of the design of the precast guardrail, the performance of the concrete and the guardrail. The test results show that: the acceleration and velocity of the designed New Jersey guardrail collision simulation meets the specification requirements, and the buffering performance is good; the 28d compressive strength of the concrete mixed with 15% fly ash reaches 41.2 MPa, which meets the C30 strength level required by the simulation, and achieves the high-performance requirements; comparing the traditional vibrating bar with the automated-produced guardrail with an integral vibrating table, the automated-produced guardrail has smooth appearance. Comparing the size of the guardrail under the two processes, the overall size of the guardrail produced by automation shrinks less, and the coefficient of dimensional deviation is smaller, which is more conducive to the use of large-scale assembly of the guardrail.

**Key words:** median; New Jersey guardrail; vibratory forming; concrete; cushioning

项目来源: 广西壮族自治区科学技术厅 2022 年第一批揭榜制科技项目; 高速公路大尺度高强度装配式护栏预制件关键装备研发与应用 (桂科 JB23023008)。

作者简介: 黄志欢 (1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 土木工程, 高级工程师。

收稿日期: 2024-08-28

## 0 引言

中央分隔带护栏是高速公路的重要组成部分，能有效分割对向车流的行驶空间，还能防止车辆失控后穿越对向车道，从而降低交通事故的发生概率和严重程度<sup>[1-2]</sup>。新泽西护栏由于其优良的结构特征，具有良好的阻挡功能、导向功能和缓冲功能，被广泛应用于高速公路中央分隔带。新泽西护栏采用预制混凝土工艺制造，其独特的‘凸’字形断面设计通过工厂标准化生产实现；而传统钢筋混凝土护栏依赖现场绑扎钢筋和现浇混凝土施工，不仅工期延长，还需额外投入模板、养护等成本。因此，高效且经济的生产高品质新泽西护栏成为道路建设中的一个重要方向。

一直以来，护栏的研究主要集中在护栏结构设计、防撞性能以及施工工艺方面。何越纪等<sup>[3]</sup>、孙胜江等<sup>[4]</sup>研究了混凝土材料性能提升对水泥制品和护栏性能的提升；谭舜等<sup>[5]</sup>对护栏立柱的截面尺寸、厚度等参数进行优化，设计了一种敞口式中间段立柱柔性护栏；郇永刚<sup>[6]</sup>仿真分析了混凝土护栏高度变化时的护栏的碰撞性能及缓冲性能等，为中央分隔带护栏的设计与工程应用提供借鉴；龚洁等<sup>[7]</sup>、Wooseok 等<sup>[8]</sup>优化护栏钢筋内部的钢筋困扎和排列方式，给出了不同要求的钢筋布置方案，提升了护栏的性能和施工效率；陈鹏等<sup>[9]</sup>、Ozcanan 等<sup>[10]</sup>基于多目标优化对新泽西护栏的尺寸对各性能的影响进行了研究，发现在其它条件不变下，大截面尺寸护栏具有更好缓冲性；吕欢<sup>[11]</sup>、周胜飞等<sup>[12]</sup>通过仿真对护栏安全性进行评价，为提升护栏的防撞性能提供了建议；陈捷<sup>[13]</sup>研究了新泽西护栏滑模成型及混凝土配比，优化的 C30 混凝土对护栏工程滑模摊铺具有较好的工艺适应性，并成功在工程中得到应用；叶桂峰<sup>[14]</sup>、罗吉庆等<sup>[15]</sup>研究了滑模施工技术在护栏工程中的现场施工，表明滑模摊铺速度控制在 1.0 ~ 1.5 m/min 之间较为合适，施工效率大大提升。

由研究现状可知，现有研究对象更多是围绕现场从设计到生产采取的一系列改进措施，从材料到工艺等也适应现场浇筑和滑模摊铺，护栏质量不易控制、易对路面造成破坏。缺乏对新泽西混凝土预制护栏自动化制备工艺和性能评估的研究，因此，

以新泽西混凝土预制护栏为研究对象，对材料、制备和性能进行研究，并测试自动化生产工序下新泽西护栏的性能，为自动化生产线生产新泽西预制护栏提供技术保障。

## 1 试验材料及方法

### 1.1 原材料

预制混凝土选用 C30 等级；普通硅酸盐 P. O 42.5 水泥，该水泥的基本性能指标见表 1；F 类二级粉煤灰；采用石灰岩碎石粗骨料，由 5~10 mm、10~20 mm 和 20~25 mm 三级配组合的 5~25 mm 级配，三种级配分别占比 10%、50%、40%。细骨料为中砂，细度模数为 2.8；减水剂采用聚羧酸高性能减水剂；试验用水为普通自来水，混凝土配比见表 2。

表 1 水泥的性能指标

Table 1 Performance indicators of cement

	细度 /(m <sup>2</sup> /kg)	凝固时间 /min		安定性	抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa	
		初凝	终凝		3 d	7 d	3 d	7 d
技术标准	≥300	≥48	≤600	≤5.0	≥4.0	≥6.5	≥22.0	≥42.5
试验值	351	182	221	0.6	5.6	8.2	28.8	53.9

表 2 混凝土的配合比

Table 2 Concrete mixing ratios

水泥	砂	粗骨料	粉煤灰	水	减水剂	水灰比
kg/m <sup>3</sup>						
320	829	1 066	56	169	3.76	0.45

### 1.2 混凝土预制护栏生产工序

在新泽西混凝土预制护栏快速生产中，需先确定混凝土配合比及性能，然后再进行规模化快速生产。按照工程 C30 混凝土设计要求和 JTG 3420—2020《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》对 C30 混凝土配合比进行设计，采用普通拌合设备进行搅拌和混凝土性能测试。根据确定的混凝土配比，按照图 1 所示的生产工序，在布料后分别采用振动棒和整体振动振捣方式，对新泽西混凝土预制护栏进行工业化生产，并检测护栏性能。

### 1.3 测试方法

混凝土试样采用边长为 150 mm 的立方体标准试件并进行标准养护，试件抗压强度采用电液式恒压载压力试验机按照 JTG 3420—2020《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》进行测试。

## 道桥技术

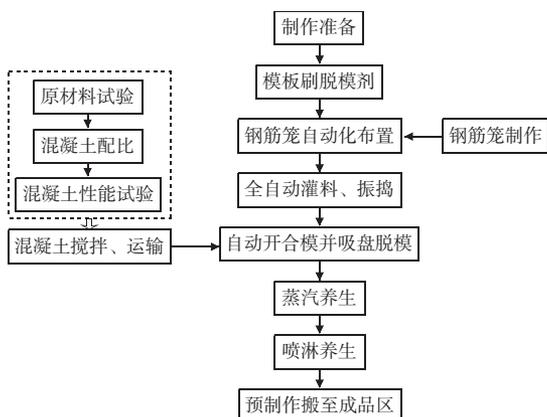


图1 新泽西混凝土预制护栏生产工序

Fig. 1 Production processes of New Jersey precast concrete guardrail

## 2 布料振动平台与振动棒振捣工作原理

## 2.1 布料振动平台工作原理

整体式布料振动平台是新泽西护栏生产线的关键技术,该平台位于护栏生产模具输送线轨道上,导轨之间设有升降架,突出特点是在该升级架平台上安装有振动电机、轮胎气囊,布料振动平台机构如图2所示。在工作中,当模具车在输送轨道上行驶至升降架的上方时,轮胎式空气弹簧被充气,体积膨胀带动升降架向上运动,将装有混凝土拌合料模具车顶起并脱离直线导轨,避免振动时与导轨接触;然后开启可调频振动电机,振动电机为平台提供激振力,利用空气弹簧自身的气体压缩性吸收激振力而带动升降架振动,从而带动升降架上的混凝土拌合料模具车进行振动,通过振动激振力的传导,模具车内的混凝土拌合料将逐步密实。并可根据实际需求,调整激振频率,使混凝土颗粒排布更均匀、更密实。振动完毕后,对轮胎气囊放气,降低高度后模具车重新回到轨道,完成拌合料的振捣。

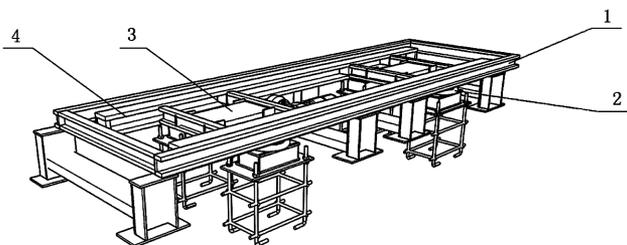


图2 布料振动平台机构

(1-小车轨道, 2-升降气囊, 3-振动电机, 4-振动升降架)

Fig. 2 Mechanism of fabric vibrating platform

## 2.2 振动棒振捣工作原理

如图3~4所示,采用插入式混凝土振动棒对带筋混凝土进行振动捣实,在振动棒内部设置电机,电动机产生的振动力通过连接杆传递到振动棒的工作头部,在电动机带动下高速转动而产生高频微幅的振动,以排除水泥中的气泡并提高密实度,振动频率最高可达到12 000次/min,在纯混凝土中振动的有效半径可达到30 cm。在护栏生产中,振动棒振捣需分层布料,严格控制振捣时间、插入深度,通常情况下每层布料混凝土的有效振动时长在1~1.5 min;在实际施工中,先对底层各侧角进行振动,使得气泡向外侧排放,然后进行内侧振动,实现振动棒二次振动排气,尽量使得气泡含量最少。振动棒振动效果的评判标准为浆料无沉降、不冒气泡、表面平整。振动中避免作用于钢筋上,否则容易造成钢筋结构损坏,也应避免与模板接触,造成损坏。

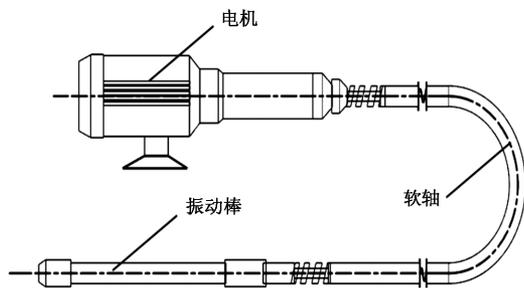


图3 振动棒

Fig. 3 Vibrator bar

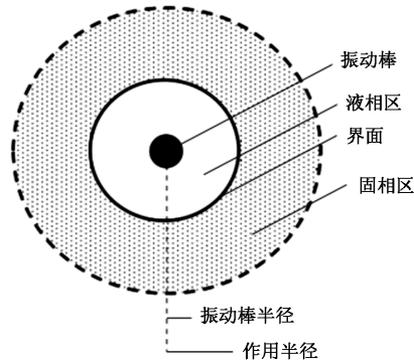


图4 振动棒振捣作用范围

Fig. 4 Vibration range of vibrator

## 3 新泽西护栏设计

## 3.1 新泽西护栏尺寸和钢筋设计

依据设计规范对护栏高度要求确定新泽西护栏外轮廓尺寸,预制混凝土护栏单体长度为4 m,取护栏高度为1 100 mm,采用C30型混凝土。护栏路面

以上高度为 1 000 mm，埋入路面深度 100 mm，单排护栏墙体宽度为 32.5 cm。新泽西护栏内部放置钢筋笼，防撞面箍筋为  $\phi 12$  mm，背部箍筋为  $\phi 10$  mm，箍筋纵向间距 200 mm，纵筋为  $\phi 10$  mm。

### 3.2 护栏设计评价

有限元模拟时，假设路面无变形并为刚性，以车辆行驶方向为  $x$  坐标，宽度方向为  $y$  坐标， $z$  方向垂直于  $xy$  平面建立碰撞系统坐标系。护栏主体采用 Solid 单元（混凝土）+ beam（钢筋）单元建立，如图 5 所示，护栏端部的连接型钢采用 Shell 单元建立，护栏整体长度 40 m，两端分别设置了锚固端与路面连接，护栏单节长度为 4 m。根据 JTG B05-01-2013《公路护栏安全性能评价标准》，选用试验碰撞条件规定车型小型轿车（1.5 t，碰撞角度  $20^\circ$ ，速度 100 km/h）进行验证。建立车辆与护栏的碰撞仿真模型，通过 LS-DYNA 进行计算。对材料进行定义、处理后进行模拟计算与结果分析，并拟合可以得到车辆在整个碰撞过程中的各方向的加速度及速度变化。由图 6 可知，汽车碰撞后的加速度沿  $x$  向和  $y$  向的都小于  $200 \text{ m/s}^2$ ；车辆速度沿  $x$  向和  $y$  向的分量均都小于  $12 \text{ m/s}$ ，均符合国标对缓冲功能要求。

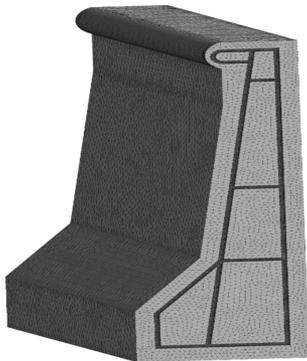
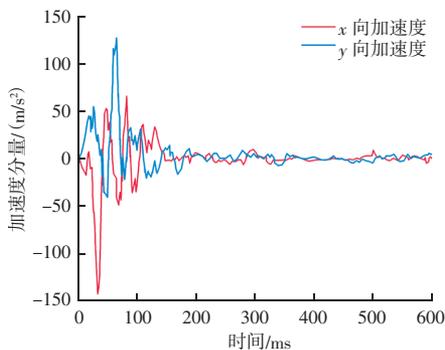
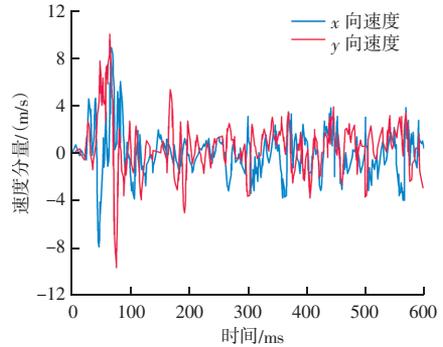


图 5 钢筋护栏模型  
Fig. 5 Guardrail and steel model



(a) 车辆加速度



(b) 车辆速度

图 6 车辆速度与加速度

Fig. 6 Vehicle speed and acceleration

## 4 混凝土预制护栏性能评价

### 4.1 混凝土力学性能

根据 CB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》对混凝土进行试件制作及养护。待试件达到规定的养护龄期后，对试件进行测试。

由图 7 可知，其 28、60 d 的抗压强度分别为 41.2、45.6 MPa，表明护栏混凝土强度满足 C30 混凝土要求，同时也满足护栏仿真中安全性评价要求的强度，验证了护栏安全性符合要求。在整体振捣平台下混凝土 60 d 强度达到 45.6 MPa，相比于传统的振动棒制备的混凝土强度更高，主要原因为气泡的排放更充分、密实度更好，宏观表现为抗压强度更大，防护性能更好。

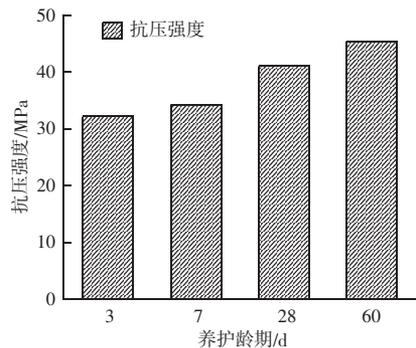


图 7 不同龄期混凝土抗压强度

Fig. 7 Compressive strength of concrete at different ages

### 4.2 护栏性能评价

成型护栏分别经过养护窑蒸汽、脱模养生 28 d，对两种成型方式的护栏从外观、护栏尺寸方面观测和测量。对整体振动平台振捣和常规的振动棒振捣

## 道桥技术

两种工艺成型的新泽西护栏,各任意选取5块总共测量十个数据护栏的尺寸进行分析。

### 4.2.1 护栏外观

振捣平台成型护栏,各部分表面光滑,颜色一致性佳,气泡孔较少;振动棒振捣成型护栏,整体外观光滑,部分有色差,部位气泡偏多,边部有掉角现象。产生这种差异的主要原因是振动振捣平台是可调节的均匀性振动,振动棒振捣通常有效半径30 cm;成型系统用振捣平台代替人工振动棒,在规律性振动下,避免了漏振、少振的因素,混合料受力比人工振捣单点受力更均匀,确保异形截面护栏混凝土中气泡的顺利排出;同时在钢筋密度比较大的位置,混凝土下料比较慢,可以加大振捣频率,确保振捣密实,最终成型护栏气泡、空隙减少,产品质地更密实、提升了外观质量。

表3 两种生产方式下新泽西护栏关键尺寸对比

Table 3 Comparison of key dimensions of New Jersey Barriers under two production methods

生产方式	高度			栏杆顶宽			护栏底宽		
	平均值/mm	标准差/mm	偏差系数/%	平均值/mm	标准差/mm	偏差系数/%	平均值/mm	标准差/mm	偏差系数/%
整体振捣	1 099.1	1.792 0	0.163 0	144.2	1.316 6	0.913 0	324.2	1.751 2	0.540 2
振动棒	1 098.6	2.458 5	0.223 8	143.3	0.002 8	1.397 6	323.0	2.260 8	0.669 3

## 5 结论

对新泽西预制护栏设计、混凝土和自动化生产技术下整体振捣和人工振动棒成型预制护栏性能进行了研究,主要结论如下:

(1) 对C30混凝土等级的新泽西护栏碰撞性能进行研究,加速度和速度满足规范要求,验证了设计和材料选用的合理性;新泽西混凝土护栏采用掺入15%粉煤灰的C30混凝土28 d抗压强度达到41.2 MPa,验证了混凝土性能合理性并达到高性能要求。

(2) 采用具有整体振捣平台和振动棒成型的新泽西预制护栏,振捣成型护栏整体外观光滑,色泽均匀,气泡较少;振动棒成型护栏整体外观光滑,部分有色差,部位气泡偏多,结果表明整体振捣较人工振动更均匀、效果更好。

(3) 振捣平台成型护栏尺寸收缩更小,新泽西护栏高度、顶宽和底宽收缩分别0.9、0.8、0.8 mm,相比较振动棒成型的新泽西预制护栏减小了35.7%、52.9%、60%,且偏差系数更小,有利于装配和提升安全性防护。

### 4.2.2 护栏尺寸

新泽西护栏在工程应用中,需要拼接装配,尺寸误差是评价其生产质量的一个重要因素。对比了两种不同生产方法下新泽西护栏关键位置尺寸的差异。由表3可知,自动化整体振捣平台成型的护栏尺寸误差明显小于传统振动棒成型的护栏。在护栏高度方面,自动化整体振捣平台及相应工序成型的护栏,其平均值与设计值的偏离度仅为0.9 mm;相比之下,传统振动棒及相应工序成型的护栏,偏离设计值1.4 mm。二者对比,标准差和偏差系数分别降低了27.1%、27.4%。此外,护栏顶宽和底宽的测量数据也呈现出相似的趋势。试验结果充分表明,自动化整体振捣平台及相应工序成型的新泽西护栏,不仅密实度均匀,还显著提升了表面均匀性,并有效减小了尺寸收缩。

## 参 考 文 献

- [1] 刘会学, 邵永刚. 公路护栏设计技术简析 [J]. 中国公路, 2022, 608 (4): 26-29.
- [2] 何宏荣, 朱辉, 李桂兴. 新型波形梁高强度钢护栏的安全性能研究 [J]. 现代交通技术, 2023, 20 (1): 65-69, 74.
- [3] 何越纪, 张雪松, 陈金平. 钢筋混凝土材料及结构耐久性研究综述 [J]. 粉煤灰综合利用, 2021, 35 (3): 83-87.
- [4] 孙胜江, 朱长华, 梅葵花. 玄武岩纤维复合材料梁柱式护栏防撞性能 [J]. 振动与冲击, 2019, 38 (21): 265-270.
- [5] 谭舜, 雷正保. 中央分隔带新型柔性护栏优化设计 [J]. 机械设计, 2025, 42 (5): 60-65.
- [6] 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.
- [7] 龚洁, 王学光. 成乐高速新泽西护栏优化设计 [J]. 建材与装饰, 2021, 17 (27): 147-148.
- [8] WOOSEOK K, ILKEUN L, KYEONGJIN K, et al. Evaluation of concrete barriers with novel shock absorbers subjected to impact loading [J]. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2019, 19 (3): 657-671.
- [9] 陈鹏, 雷正. 保基于拓扑优化超高性能混凝土护栏多目标稳健性设计 [J]. 机械强度, 2023, 45 (6): 1371-1379.

(下转第111页)

世界, 2022 (18): 142-144.

- [9] 郝旭东. 老化作用对沥青混合料水损害性能影响研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.
- [10] 刘卫东, 高英, 黄晓明, 等. 沥青路面现场压实细观特性分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51 (3): 99-106.
- [11] LIU Y, ZHAO X. Simulation on surface crack propagation process in steel bridge deck pavement subjected to hydrodynamic pressure on the mesoscopic scale [J]. Construction and Building Materials, 2023, 393: 132151.
- [12] 付建军, 陈成, 梁均, 等. 沿江堤路新老路基裂缝扩展微观机

理 [J]. 湖南科技大学学报 (自然科学版), 2022, 37 (3): 44-50.

- [13] 严战友, 王震, 陈嘉信, 等. 基于温度-车辆荷载作用下沥青路面细观力学响应 [J]. 北京交通大学学报, 2020, 44 (3): 118-128.
- [14] 罗旋, 李友云, 胡迪. AC-13 沥青混合料细观组分材料强度特性研究 [J]. 公路工程, 2017, 42 (4): 294-298.
- [15] 李岷. 基于集料特性的沥青混合料单轴压缩试验细观研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2017.

### (上接第 99 页)

- [9] 李建宇, 耿文林, 潘家奇, 等. 路堑高边坡稳定性分析与支护参数优化设计研究 [J]. 中外公路, 2018, 38 (5): 31-34.
- [10] 杨朝晖, 王汉斌. 基于离散元强度折减法的五孟高速公路边坡稳定性分析 [J]. 桂林理工大学学报, 2020, 40 (3): 535-541.
- [11] 彭和鹏, 李馨馨. 考虑土层软化及渗流应力耦合的边坡稳定性分析 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2022, 55 (2): 117-122.
- [12] 周东波, 梅源, 杨彤. 基于响应面法的砂质黄土路堑高边坡稳定性研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20 (7): 139-

147.

- [13] 马超. 不同降雨强度下土质边坡的稳定性分析 [J]. 水利科学与寒区工程, 2024, 7 (6): 49-52.
- [14] 吕雨桦, 梁德贤, 王莹, 等. 降雨条件下非饱和土边坡渗流-应力耦合分析 [J]. 桂林理工大学学报, 2021, 41 (2): 318-324.
- [15] 张轶非. 降雨条件下非饱和土边坡稳定性变化过程数值模拟研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2022.
- [16] 郑颖人, 赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004 (19): 3381-3388.

### (上接第 104 页)

- [10] OZCANAN S, OSMAN A. Minimization of accident severity index in concrete barrier designs using an ensemble of radial basis function metamodel-based optimization [J]. Optimization and Engineering, 2021, 22: 485-519.
- [11] 吕欢. 基于 LS-DYNA 的 SS 级装配式钢筋竖向拼插连接护栏连接性能研究 [J]. 工程技术研究, 2025, 10 (7): 48-50
- [12] 周胜飞, 姜玉印, 张莹, 等. 货车与波形防护栏碰撞仿真性能

分析 [J]. 科学技术创新, 2024 (19): 71-74.

- [13] 陈捷. 新泽西护栏滑模混凝土配合比设计和应用探索 [J]. 广东交通职业技术学院学报, 2019, 18 (1): 5-9, 13.
- [14] 叶桂峰. 高速公路路缘石滑模施工技术及其质量控制研究 [J]. 工程建设与设计, 2019 (13): 118-120, 123.
- [15] 罗吉庆, 李剑, 冯元生. 滑模施工技术在高恩高速公路路面附属工程中的应用 [J]. 路基工程, 2020 (4): 155-158.