

文章编号: 1674—8247(2022)03—0052—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.03.010

基于改进 YOLOv3 的铁路落石检测方法研究与实现

刘孜学 王富斌 虞 凯

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:我国山区铁路沿线边坡崩塌落石侵入铁路限界将严重危及列车运行安全,当前铁路危岩落石的自动化监测系统存在误报、漏报及时性低等缺点,各类监测系统对侵限落石的检测方法成为了制约系统性能指标的关键因素。本文收集了大量铁路真实场景下的崩塌落石样本,并选取 Faster RCNN 和 YOLOv3 算法进行了落石检测对比实验,实验表明 YOLOv3 算法与 Faster RCNN 算法检测精度相近,但检测速度更快,因此本文选取 YOLOv3 算法构建铁路边坡落石检测模型。由于 YOLOv3 算法对铁路落石群的检测准确度较低,本文采用多尺度检测以及调整网络超参数等方式对 YOLOv3 框架进行了改进,结果显示对落石群检测准确度提升效果较为明显,更能满足铁路沿线危岩落石检测的实际应用要求。

关键词:山区铁路;边坡落石;落石群;YOLOv3 算法;多尺度检测

中图分类号:U283.5 文献标志码:A

52

Research and Implementation of the Railway Rockfall Detection based on Modified YOLOv3

LIU Zixue WANG Fubin YU Kai

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The slope collapse and rockfall intrusion into the railway clearance along the railway in mountainous areas of China seriously endangers the safety of train operation. At present, the automatic monitoring system of dangerous rockfalls on railways has the disadvantages of false alarms, missing reports, and low timeliness. The detection methods of various monitoring systems for rockfall intrusion have become the key factors restricting the system performance indicators. In this paper, a large number of collapse and rockfall samples of real railway scenes are collected, and the Faster RCNN and YOLOv3 algorithms are selected for rockfall detection comparison experiments. The experiments show that the accuracy of the YOLOv3 algorithm is similar to that of the Faster RCNN algorithm, but the detection speed is faster. Therefore, the YOLOv3 algorithm is selected to build a railway slope rockfall detection model in this paper. As the accuracy of the YOLOv3 algorithm for detecting rockfall clusters is low, this paper modified the YOLOv3 framework by using multi-scale detection and adjusting network hyperparameters. The results show that the accuracy of rockfall group detection is significantly improved, which can better meet the practical application requirements of dangerous rockfall detection along the railway.

Key words: mountain railway; slope rockfall; rockfall cluster; YOLOv3 algorithm; multi-scale detection

收稿日期:2022-03-15

作者简介:刘孜学(1981-),男,高级工程师。

基金项目:2021 年四川省科技成果转移转化示范项目;中国中铁股份有限公司科研引导课题(2018-引导-79)

引文格式:刘孜学,王富斌,虞凯. 基于改进 YOLOv3 的铁路落石检测方法研究与实现[J]. 高速铁路技术,2022,13(3):52-56.

LIU Zixue, WANG Fubin, YU Kai. Research and Implementation of the Railway Rockfall Detection based on Modified YOLOv3[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3):52-56.

由于我国山区、丘陵地带居多,众多主干及战略通道都分布其中,铁路选线不可避免的需要穿越这些地带。这些地带的地质情况多数不良,使得地质灾害发生的几率大大增加,其中由地灾引发的铁路沿线山体滑坡、泥石流塌方造成的线路损毁,以及边坡崩塌落石侵入铁路限界将严重危及列车运行安全。

近年来,我国铁路建设及运营管理更加注重在科技创新的引领下推动铁路高质量发展,也对铁路安全保障提出更高层次的要求。2020年施行的国家行业标准TB 10671-2019《高速铁路安全防护设计规范》中明确提出“异物侵限系统监测对象根据需要可包括山体滑坡、泥石流、危岩落石等^[1]”。2021年12月,国家铁路局印发的《“十四五”铁路科技创新规划》中在安全保障领域将“研发高海拔恶劣地质环境条件下铁路主动安全保障与防灾救援系统”列为重点工程。

当前,业内针对铁路危岩落石监测已开展了长期研究与试验^[2-3]。杨小军^[4]等采用光纤光栅振动传感技术研制的铁路沿线崩塌落石监测报警系统在重庆某铁路线进行了现场试验,监测报警系统可对冲击到铁路界限内大于4 000 J的能量(相当于80 kg落石从5 m高度落下)进行监测报警。夏洪峰^[5]提出了采用红外激光轨面扫描技术和振动波检测技术相融合的危岩落石灾害监测系统,并在宜万铁路桥隧相连防洪点开展试验应用。徐成伟^[6]等提出了一种结合雷达扫描与视频智能分析技术进行综合报警评判的铁路崩塌落石自动监测报警系统,提高了报警准确率,该系统在大(同)西(安)高速铁路进行了试点运行及试验。综上,当前对铁路危岩落石的自动化监测技术主要分为接触式与非接触式,其中接触式监测方法主要为电网和光纤光栅监测技术;非接触式则主要采用:视频图像分析、雷达、超声和红外线等监测方法及技术手段。

通过调研分析已有上道应用试验的各类铁路沿线崩塌落石监测系统,各种系统在实际应用中均存在不足,面临的挑战和问题主要归结为监测报警系统的误报、漏报及时效性,其中误报率难以降低的根本原因在于铁路沿线环境的复杂性。各类监测系统对侵限落石的检测方法成为了制约系统性能指标的关键因素。接触式监测系统在检测判断落石时可以优化降低误判率,但无法检测区分异物,不能检测落石大小等。非接触式监测系统特别是采用视频和雷达检测技术可区分异物,对落石的检测精度更高,并能获取落石大小及位置信息。

随着近年来人工智能技术的不断发展,视觉图像检测方法也得到了质的提升。徐岩^[7]等开展了基于

Faster RCNN网络模型的铁路异物侵限检测算法研究,通过对铁路异物侵限视频数据集上进行测试,该算法对于人、车及部分动物的综合检测精确度达到了97.81%。刘林芽^[8]提出基于YOLOv3算法的落石检测方法,对岩石样本进行测试,结果表明YOLOv3算法具有检测速度快、效率高等特点,但是作者未在真实铁路边坡落石场景下检测YOLOv3算法性能,距离实际工程应用还有一段距离。鉴于此,本文为满足实际工程需要,采集大量铁路落石样本,开展基于YOLOv3算法的落石检测方法研究,并根据铁路边坡落石检测特点,对YOLOv3网络架构等进行改进,以提升铁路沿线边坡落石的检测实时性和精确度。

1 数据样本

本文采用YOLOV3算法解决铁路场景下落石的检测与识别问题,因此需要大规模样本训练深度神经网络,生成落石检测模型。为了获得更好的训练结果,采集足够多的样本数据是先决条件之一。

首先采用现场实景拍摄的方式获取了大量铁路真实场景下的崩塌落石样本,同时利用网络爬虫方便快捷地获取了少量落石图片,对所有图片进行下采样处理,将分辨率调整到500×375,形成了规模为948张铁路场景下的目标数据集。然后为满足卷积神经网络的训练要求,采用图像增强的方式对样本集进行扩充,样本库规模从948张扩充为8 532张图片。图像数据增强的方式包括水平翻转、垂直翻转、旋转、加噪声、亮度调整、调整RGB通道值等方法。最后,借助labelimg软件完成了样本库的标注以及格式转换,在标注时根据落石的尺寸、分布情况将样本名称标签分为两类:落石(stone)和落石群(stones)。

2 算法比选

2.1 算法选择

目前而言,基于深度学习的图像识别算法分为2个方向。一是基于候选区域的图像识别算法,又称为两阶段(Two-stage)算法,主要以RCNN、Fast RCNN、Faster RCNN为主,以及在此基础上的改进算法。这类算法在第一阶段首先产生候选区域(Region Proposal),包含了检测目标的大致位置信息;第二阶段对产生的所有候选区域进行分类和再次位置精修。二是基于回归的图像识别算法,又称为一阶段(One-stage)算法,比较典型的算法有YOLO系列、SSD。这类检测算法不需要产生候选区域,可以通过一个阶段直接产生目标的类别概率和位置坐标值。一般情况

下,Two-stage 算法在准确度上有优势,而 One-stage 算法在速度上有优势^[9]。本文在铁路落石检测应用中,选取具有代表性的 Faster RCNN 和 YOLOv3 算法进行比选。

2.2 测试对比

本文的实验测试环境在 Ubuntu16.04 系统进行,python 版本为 3.5,所使用的处理器是 Intel(R) Xeon(R) Gold 5115 CPU,10 核 20 线程,主频 2.4 GHz,内存 32 G,显卡采用 NVIDIA Quadro P5000,显存为 16 G。

Faster RCNN 和 YOLOv3 两种算法在测试集上对目标的检测准确度和检测速度对比如表 1、表 2 所示,YOLOv3 算法对目标的平均检测准确度(mAP)为 71.14%,略低于 Faster RCNN 算法(mAP = 76.26%),但是在检测速率方面,YOLOv3 算法明显比FasterRCNN

表 1 检测准确度对比表(%)

| 项目 | Faster RCNN | YOLOv3 |
|-------------|-------------|--------|
| 落石(stone) | 75.68 | 87.36 |
| 落石群(stones) | 76.83 | 54.92 |
| mAP | 76.26 | 71.14 |

表 2 检测速率对比表

| 项目 | Faster RCNN(FPS) | YOLOv3(FPS) |
|-------------|------------------|-------------|
| 落石(stone) | 12 | 46 |
| 落石群(stones) | 7 | 39 |

算法快。综上所述,考虑到在实际工程中更看重检测系统的实时性能,因此本文选取 YOLOv3 算法检测铁路落石。但是 YOLOv3 算法对铁路落石和落石群的检测准确度较低,究其原因有三:落石数据集规模小,不能涵盖各种形状、光线、环境下的落石;数据集中的落石尺寸比较小,占像素面积小,导致难以检测到;原始 YOLOv3 算法网络结构对铁路杂乱复杂的环境难以适用。因此还需要对 YOLOv3 进行改进,提高对 stone 和 stones 的检测率。

3 落石检测

3.1 改进 YOLOv3 模型

YOLOv3 算法引入 FPN (Feature Pyramid Networks) 网络,通过上采样和融合不同层的特征,利用低层特征的高分辨率和高层特征的高语义信息,在 3 个不同尺度的特征图上检测物体。由于铁路落石在形态、尺寸、外观等方面千差万别,并考虑到背景环境变化多样,因此本文通过改进 YOLOv3 模型,原有的 3 个尺度扩展为 4 个,同时分配准确的锚点框,以此来提高落石和落石群的检测准确度,提升算法对铁路复杂环境的适应能力。本文提出的改进 YOLOv3 网络结构如图 1 所示。

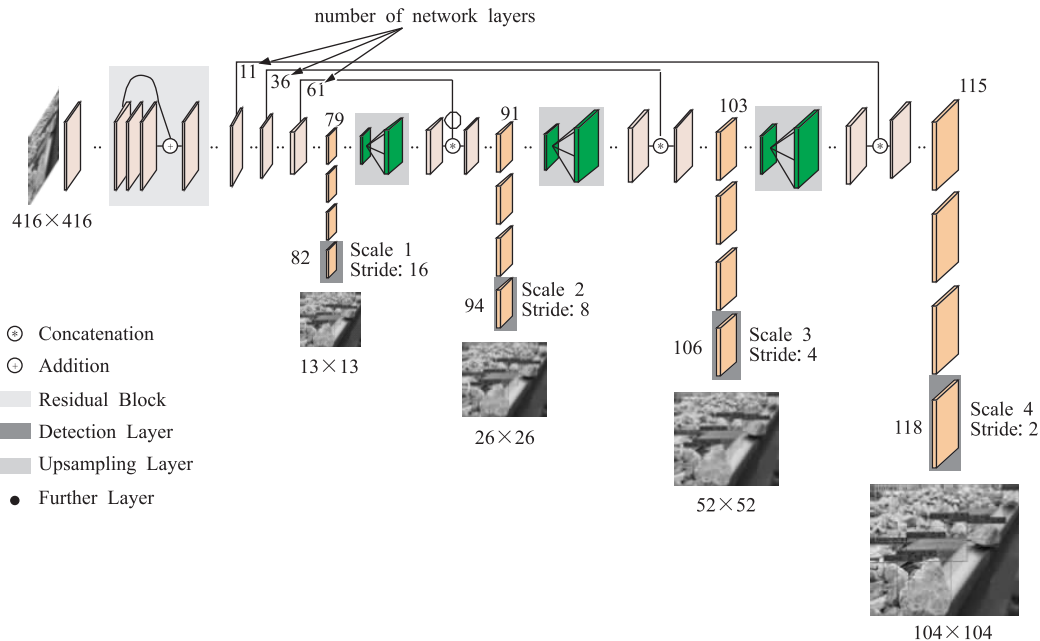


图 1 改进 YOLOv3 网络结构图

3.2 试验测试

本文对改进前后 YOLOv3 算法的各项性能指标进行对比分析。在测试之前,对落石和落石群两类样本进行了扩充。

(1) loss 曲线对比

改进前后 YOLOv3 算法的网络训练过程中损失变化曲线对比如图 2 所示,改进后 YOLOv3 算法的损失曲线收敛速度比原始 YOLOv3 快,而且更加平滑。

(2)检测准确度对比

改进前后 YOLOv3 算法的 P-R 曲线如图 3、图 4 所示,相比于原始 YOLOv3 的 P-R 曲线,改进后 YOLOv3 算法的检测准确度提升明显。

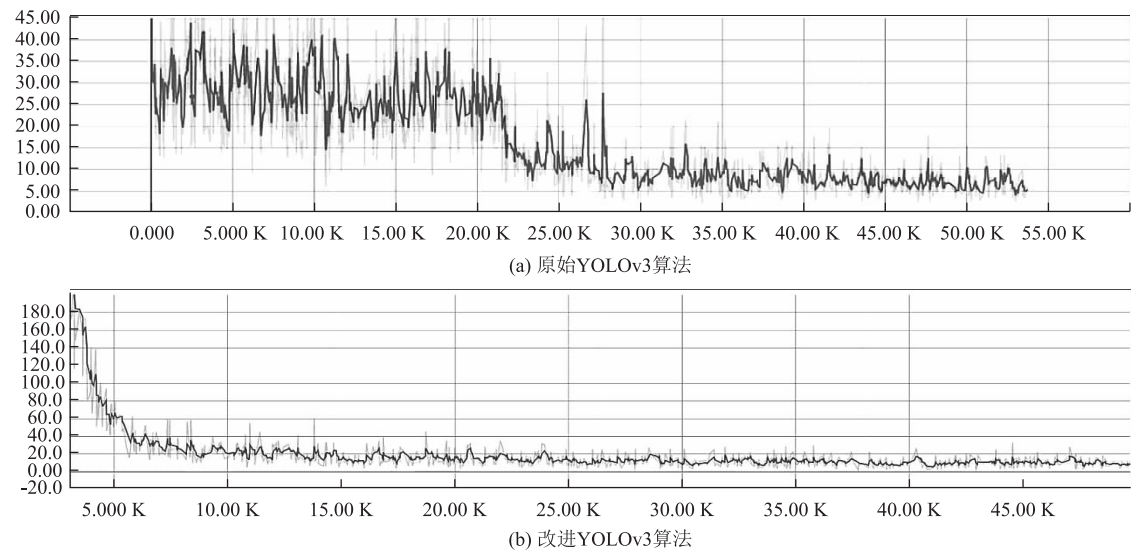


图 2 改进前后 YOLOv3 算法损失值变化曲线图

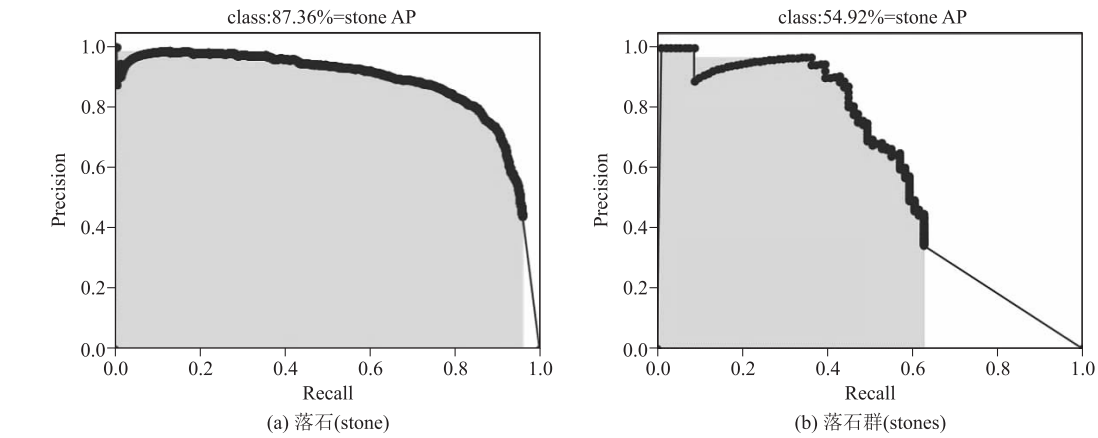


图 3 原始 YOLOv3 的 P-R 曲线图

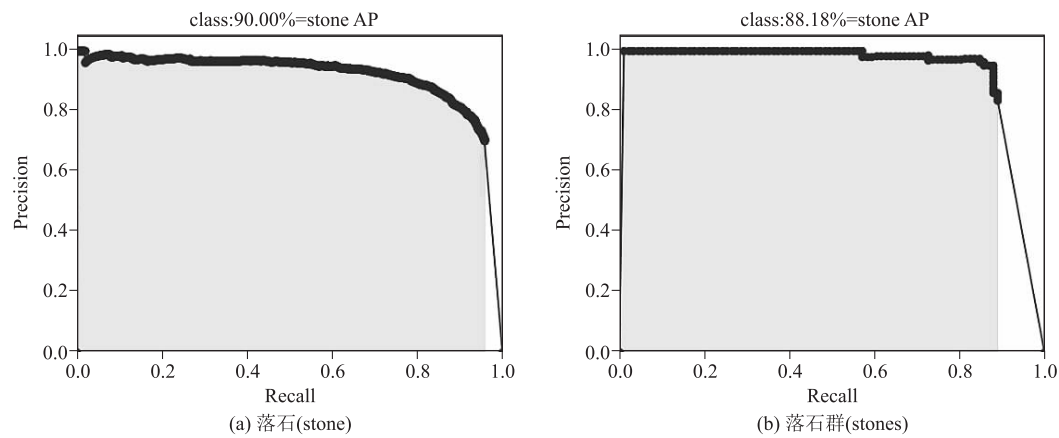


图 4 改进后 YOLOv3 算法损失值变化曲线图

原始 YOLOv3 和改进 YOLOv3 两种算法在测试集 上对落石和落石群的检测准确度对比如表 3 所示。原

始 YOLOv3 算法的平均检测准确度 (mAP) 为 71.14%,改进 YOLOv3 算法的平均检测准确度 (mAP)提升为 89.09%,效果明显。

(3)实际场景检测结果

本文将算法用于实际场景中检测,检测结果较为准确,如图 5 所示。

表 3 检测准确度对比表(%)

| 项目 | YOLOv3 | 改进 YOLOv3 |
|--------------|--------|-----------|
| 落石 (stone) | 87.36 | 90 |
| 落石群 (stones) | 54.92 | 88.18 |
| mAP | 71.14 | 89.09 |

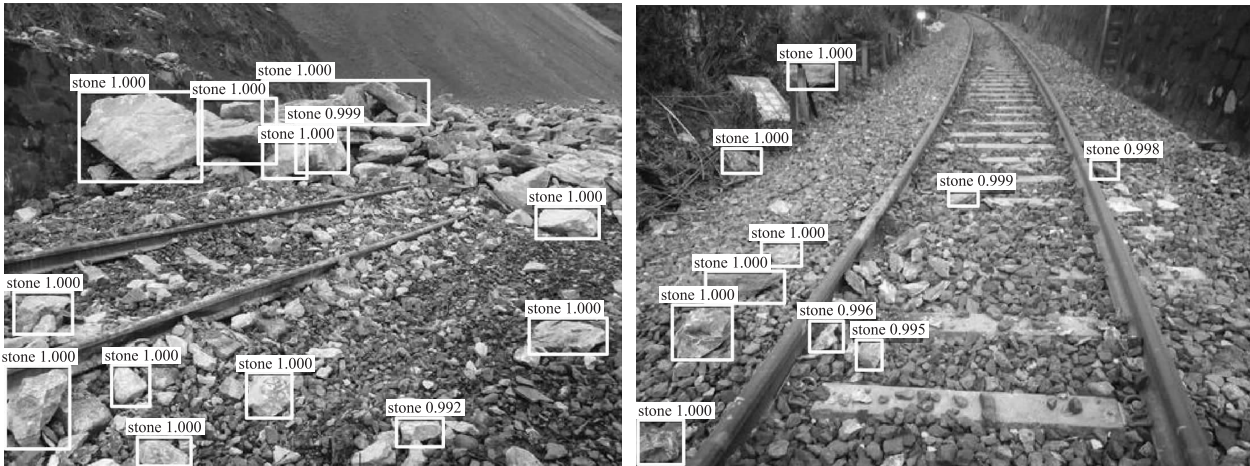


图 5 铁路落石检测结果图

4 结论

为满足铁路落石检测的实际工程需要,收集了 8 532张铁路真实场景下的崩塌落石样本,并对深度学习目标检测算法进行了深入研究与训练测试。本文首先选取 Faster RCNN 和 YOLOv3 算法进行了平行对比实验,实验结果显示 YOLOv3 算法较 Faster RCNN 算法检测精度相似,但是检测速度更快,更能满足铁路沿线危岩落石检测的实际应用要求,因此本文选取 YOLOv3 算法进行铁路落石检测研究。但是 YOLOv3 算法对落石群 (stones) 的检测准确度较低,因此本文提出一种基于 YOLOv3 框架的铁路落石实时检测改进算法,以 YOLOv3 为基础网络结构,通过增加多尺度检测,利用更多的图片信息等方法来改进检测效果。通过对改进前后 YOLOv3 算法在测试集上的检测准确度进行对比,改进 YOLOv3 算法的平均检测准确度由原来的 71.14% 提升为 89.09%。综上所述,本文提出的基于改进 YOLOv3 算法的铁路落石检测方法在将来实际工程中具有较大的应用潜能。

参考文献:

[1] TB 10671-2019 高速铁路安全防护设计规范[S]
TB 10671-2019 Code for Design of Safety Protection for High-speed Railway [S]
[2] 陈跃,王富斌,刘孜学,等. 山区铁路隧道洞口危岩落石监测系

统方案研究[J]. 通信与信息技术, 2022(1): 74-75.
CHEN Yi, WANG Fubin, LIU Zixue, et al. Research on Monitoring System of Dangerous Rock Fall at Railway Tunnel Entrance in Dangerous Mountainous Area [J]. Communication & Information Technology, 2022(1): 74-75.
[3] 杨岗,王富斌,刘孜学,等. 基于智能视频分析的轨道交通异物入侵检测方法研究[J]. 长江信息通信, 2021, 34(12): 8-11.
YANG Gang, WANG Fubin, LIU Zixue, et al. Research on Foreign Body Intrusion Detection Method in Rail Transit Based on Intelligent Video Analysis [J]. Changjiang Information & Communications, 2021, 34(12): 8-11.
[4] 杨小军,兰先锋,王士杰,等. 基于光纤技术的铁路沿线崩塌落石监测报警系统研究[J]. 中国铁路, 2012(10): 57-60.
YANG Xiaojun, LAN Xianfeng, WANG Shijie, et al. Based on Optical Fiber Technology Collapse Rockfalls Along the Railway Monitoring Alarm System Research [J]. Chinese Railways, 2012(10): 57-60.
[5] 夏洪峰. 宜万铁路危岩落石监测预警系统[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(2): 119-121.
XIA Hongfeng. Rockfall Disaster Detecting and Alerting System for Yiwang Railway [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2013, 31(2): 119-121.
[6] 徐成伟,张德强,张昊,等. 基于雷达与视频分析技术的铁路崩塌落石自动监测报警系统设计与实现[J]. 铁路计算机应用, 2017, 26(11): 22-27.
XU Chengwei, ZHANG Deqiang, ZHANG Hao, et al. Automatic Monitoring and Alarming System for Railway Fallen Rocks Based on Radar and Video Analysis Technology [J]. Railway Computer Application, 2017, 26(11): 22-27.

(下转第 80 页)

通提供了保障。

因此,施工便道的桥涵、路基支挡等结构物宜采用简易、装配式结构,既可缩减施工便道的建设周期,为正线施工赢得宝贵时间,又便于快速抢通、快速恢复交通。

3 结束语

本文以某超大规模铁路施工便道为例,在统筹分析了铁路建设、运营、维护及沿线经济发展等各项需求的基础上,明确了铁路施工便道的功能定位,并从全生命周期总结出施工便道的总体建设原则。研究认为铁路施工便道应坚持:(1)建设为主,适度兼顾地方以及统筹规划,永临结合;(2)充分利用既有道路,减少工程规模,做到标准适度,工程合理;(3)降低物流成本,便于快速施工和保通。本文所提出的便道施工原则不仅可大幅缩减工程规模,降低工程投资,降低生态环境影响,还可整合资源,为沿线社会经济发展做出贡献,对发挥铁路施工便道的综合效益具有很好的指导意义,对其他工程项目建设也具有较高的参考价值。

参考文献:

[1] 王国荣. 铁路隧道施工大临便道费用分析[J]. 价值工程,2014, 33(15):122-123.
WANG Guorong. Cost Analysis of Large Temporary Sidewalk in Railway Tunnel Construction[J]. Value Engineering,2014, 33(15): 122-123.

[2] 吕凤智. 山区铁路工程施工运输便道设置方案探讨[J]. 铁路工程技术与经济,2016, 31(6):30-34.
LV Fengzhi. Discussion on Setting Scheme of Service Road for Railway Engineering Construction in Mountain Area[J]. Railway

Engineering Technology and Economy, 2016, 31(6):30-34.

[3] 尚国龙. 铁路工程建设运输便道设计方法探讨[J]. 铁路工程造价管理,2013, 28(1):33-36.
SHANG Guolong. Discussion on the Design Method of Transportation Road in Railway Engineering Construction [J]. Railway Engineering Technology and Economy,2013, 28(1):33-36.

[4] 杨学鹏. 浅谈施工便道在长大铁路线路施工管理中的作用[J]. 技术与市场,2019, 26(6):222-223.
YANG Xuepeng. Discussion on the Role of Construction Road in the Construction Management of Railway Line [J]. Technology and Market,2019,26(6):222-223.

[5] 邹建豪,兰永强. 铁路临时工程对西部区域扶贫工作影响初探[J]. 四川建筑,2019, 39(1):64-66.
ZOU Jianhao, Lan Yongqiang. Preliminary Study on the Influence of Railway Temporary Project on Poverty Alleviation in Western Region [J]. Sichuan Architecture,2019, 39(1):64-66.

[6] 杨锐锋,张建强. 铁路工程临时用地土地复垦研究[J]. 铁道工程学报,2009(4):57-61.
YANG Ruifeng, ZHANG Jianqiang. Research on the Reclamation Technology for the Land Temporarily Used for Railway Construction [J]. Journal of Railway Engineering Society,2009(4):57-61.

[7] 许益国. 浅谈高原山区铁路施工便道设计原则与建设要点[J]. 铁路工程技术与经济, 2020, 35(1): 29-32.
XU Yiguo. Discussion on the Design Principle and Construction Key Points of Railway Construction Road in Plateau Mountainous Areas [J]. Railway Engineering Technology and Economy, 2020, 35(1): 29-32.

[8] 中铁二院工程集团有限责任公司. 川藏铁路雅安至林芝段施工道路专题研究报告[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2019.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Special Research Report on Construction Road from Ya'an to Linzhi in Sichuan-Tibet Railway[R]. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2019.

(上接第56页)

[7] 徐岩,陶慧青,虎丽丽. 基于Faster R-CNN网络模型的铁路异物入侵检测算法研究[J]. 铁道学报, 2020, 42(5): 91-98.
XU Yan, TAO Huiqing, HU Lili. Railway Foreign Body Intrusion Detection Based on Faster R-CNN Network Model[J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(5): 91-98.

[8] 刘林芽,吴送英,左志远,等. 基于YOLOv3算法的山区铁路边坡落石检测方法研究[J]. 计算机科学, 2021, 48(S2): 290-294.

LIU Linya, WU Songying, ZUO Zhiyuan, et al. Research on Rockfall Detection Method of Mountain Railway Slope Based on YOLOv3 Algorithm[J]. Computer Science, 2021, 48(S2): 290-294.

[9] 范丽,苏兵,王洪元. 基于YOLOv3模型的实时行人检测改进算法[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2019, 42(4): 709-717.
FAN Li, SU Bing, WANG Hongyuan. Improved Real-time Pedestrian Detection Algorithm Based on YOLOv3 [J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition), 2019, 42(4): 709-717.