引文格式：张佳威,石硕,李治泓,等. 基于YOLOv11模型的铁路沿线塑料大棚自动检测技术[J]. 地理空间信息, 2026, 24(5): 135-138. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2026.05.027

基于YOLOv11模型的铁路沿线塑料大棚自动检测技术

张佳威[1,2]，石　硕[1,2]，李治泓[3]，魏域君[1,2]，田生辉[1,2]
（1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司，陕西 西安 710043；2. 中国铁建股份有限公司，北京 100855；
3. 西南交通大学，四川 成都 611756）

摘　要：铁路巡检具有范围广、类型繁杂、工作量大等特点，传统人工巡检方法存在方式单一、效率低、巡检人员安全难以保证等问题。针对铁路外部环境安全隐患排查工作面临的痛点问题，利用YOLOv11模型自动识别提取铁路沿线塑料大棚。实验结果表明，模型对塑料大棚类安全隐患具有较高的分类准确率，分类精度为0.863。在宝成线、陇海线、西延高铁、西康高铁等铁路工程沿线利用高分辨率卫星影像和无人机影像进行应用验证，模型可精准且快速地检测出塑料大棚隐患类别，并准确提取其边界和地理位置。该方法能在一定程度上提高铁路巡检效率和质量，保障铁路运行安全，为铁路安全管理工作提供有力的技术支持。

关键词：铁路外部环境；安全隐患；目标检测；YOLO模型；自动识别
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）05-0135-04

Automatic Detection Technology of Plastic Greenhouses Along Railway Lines Based on YOLOv11 Model

ZHANG Jiawei[1,2], SHI Shuo[1,2], LI Zhihong[3], WEI Yujun[1,2], TIAN Shenghui[1,2]
(1. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China;
2. China Railway Construction Corporation Limited, Beijing 100855, China;
3. Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: Railway inspection is characterized by extensive inspection areas, diverse types of inspections, and a heavy workload. Traditional manual inspection methods suffer from limitations such as single-line approaches, low efficiency, and safety risks to personnel. To address these challenges in identifying external environmental potential hazards along railway lines, we proposed an automatic detection and boundary extraction method of plastic greenhouses along railway lines based on YOLOv11 model. Experimental results demonstrate a classification accuracy of 0.863 for plastic greenhouse potential hazards. We validated the model using high-resolution satellite and UAV images along key railway projects, including the Baocheng Line, Longhai Line, Xiyan High-speed Rail, and Xikang High-speed Rail. This model effectively detects plastic greenhouse potential hazards, accurately extracts their boundaries and geographical locations, thereby enhancing inspection efficiency and quality, and ensuring railway operation safety, which can provide robust technical support for railway safety management.

Key words: railway external environment, potential safety hazard, object detection, YOLO model, automatic recognition

随着我国铁路路网规模的持续扩大与客货运需求的快速增长，列车运行密度不断提高，给铁路运营安全管控带来了严峻挑战。为保障线路安全，对铁路基础设施及其沿线环境进行高效率、高质量的周期性巡检是基本前提。然而，当前主要依赖的传统人工巡检模式存在劳动强度大、作业效率低、检测手段单一[1]，作业人员人身安全风险高，难以实现地形复杂或危险区域全覆盖等问题[2]。此外，一线巡检人员的结构性短缺与日益繁重的巡检任务之间的矛盾日益凸显。近年来遥感技术凭借其大范围、全天候、无接触的优势，在铁路勘察设计、建设、运维阶段得到了广泛应用。部分学者[3-11]将无人机系统与人工巡检相结合，不仅利用无人机自动化、大范围的数据采集优势实现了巡检效率的量级提升；还避免了传统模式下存在的检测盲区与作业安全风险。铁路巡检是低空经济的代表性应用领域，为低空经济模式的快速推广提供了关键的应用场景支撑。利用无人机进行铁路巡检，具备灵活性高、覆盖范围广、安全性强、效率突出和成本低廉等优势，为铁路设施及其沿线环境的高效巡查提供了创新技术手段[12]。针对当前铁路外部环境安全管理中的不足，本文采用卫星遥感与无人机航空摄影相结合的空天地一体化巡检技术，基于

项目来源：中国铁建股份有限公司人工智能应用场景建设资助项目（中国铁建信合-2024-49）。
第一作者简介：张佳威（1996—），硕士，工程师，从事地理信息系统与铁路数智化平台研发工作，E-mail：zjw_giser@126.com。

YOLOv11目标检测框架进行遥感图像智能解译，建立了铁路外部环境安全隐患的自动化遥感监测与管理体系，提升了铁路巡检的效能与可靠性，保障了行车安全，可为铁路安全管理工作提供有力的技术支持。

1 研究思路与方法

1.1 铁路外部环境隐患样本库构建

铁路两侧500 m范围内的塑料大棚、彩钢瓦、防尘网、地膜等硬、轻漂浮物常因管控不当或加固不牢造成异物侵限，影响铁路运输安全。因此，本文构建了针对塑料大棚类的铁路外部环境安全隐患数据集，包含高分辨率卫星遥感影像和无人机航摄影像两大类，卫星遥感影像分辨率优于1 m，无人机航摄影像分辨率优于0.1 m，均满足铁路沿线隐患排查动态更新的应用需求。选取多个铁路工程项目沿线不同季节、不同地点包含塑料大棚类安全隐患信息的卫星影像10 000张和无人机影像50 000张进行样本标注，并将其统一裁剪为512像素×512像素大小的RGB彩色瓦片数据集。

1.2 YOLOv11模型

以YOLO系列模型为代表的目标检测框架凭借其在速度、准确性方面的领先优势，在图像识别领域备受好评[13-14]。随着学界与工业界对YOLO模型的不断发展，YOLO模型已成为目标检测领域最先进的模型之一。Ultralytics研究团队于2024年提出YOLOv11模型[15]，以最先进的精度、速度和效率重新定义了实时目标检测。YOLOv11在架构和训练方法上进行了重大改进，成为目标检测和跟踪、实例分割、图像分类、姿态估计、定向物体检测等计算机视觉任务的最优选择。

YOLOv11总体架构包括主干网络、颈部网络和检测头3个部分。C3K2是主干网络中的重要模块，在C2F的基础上进行了改进，包括一系列卷积和反卷积层，通过残差链接和瓶颈结构来减少网络大小，以便更高效地提取特征，使模型能根据不同任务需求和应用场景选择合适的特征提取方式，增强了模型的灵活性和适应性。C2PSA是颈部网络中引入的关键模块，通过在标准C2F模块中引入点式空间注意力（PSA）块，构建了更先进的注意力机制，提高了模型对重要特征的捕捉能力。PSA块利用多头注意力机制和前馈神经网络选择性地关注输入特征中的重要部分，抑制非重要信息，对于处理复杂的图像数据非常有效[16-17]，可帮助模型更好地聚焦于目标物特征，提高检测的准确性。同时，C2PSA模块可选择性地添加残差结构，以优化梯度传播和网络训练效果，从而保持计算成本与检测精度之间的平衡。根据模型的大小，YOLOv11可分为YOLOv11n、YOLOv11s、YOLOv11m、YOLOv11l和YOLOv11x五类，在COCO数据集上的参数分别为2.6、9.4、20.1、25.3、56.9 M，算力分别为6.5、21.5、68.0、86.9、194.9 B。

基于YOLOv11模型，利用构建的卫星和无人机多源遥感影像样本库进行模型训练和优化，获得最优模型训练参数，以提高模型的检测精度和泛化能力。同时，通过预适应知识使模型能在复杂环境下快速、准确地检测各类隐患目标，降低对标注数据的依赖，弥补传统人工排查过程中存在的主观性因素多、效率较低和时效性不强的问题，全面提升铁路沿线隐患检测的智能化水平。

2 实验与结果分析

2.1 模型训练与评估指标

模型训练与验证在深度学习Pytorch 2.1框架下，采用基于GPU的加速训练，CUDA版本为11.8，操作系统为Windows11，处理器为Intel(R) Xeon(R) Gold 6530 2.10 GHz（两个处理器），显卡为NVIDIA GeForce RTX 4090，通过Miniconda3集成。按照4∶3∶3的比例将样本库划分为训练集、测试集和验证集。为实现铁路沿线外部环境安全隐患信息的智能提取，以精确率、召回率、F_1-score和置信度为精度评价指标，对模型性能进行综合评估。

2.2 实验结果分析

实验选取综合性能最优的YOLOv11x作为基线模型，训练过程曲线见图1。结果表明，模型对塑料大棚的识别准确率为0.863，召回率为0.868，说明模型的漏检率较低；在置信度为0.402时F_1-score达到最大值，为0.865。总体来说，YOLOv11模型对塑料大棚隐患类别具有较强的区分能力，能快速准确地提取铁路外部环境安全隐患信息。

3 工程应用实例

宝成线、陇海线、西延高铁、西康高铁等铁路频繁穿越乡镇村庄，沿线居民区众多，广泛分布有彩钢房、塑料大棚、防尘网、地膜等硬轻漂浮物。因此，本文选取上述铁路工程沿线高分辨率卫星遥感影像和无人机影像，利用YOLOv11模型对沿线塑料大棚隐患信息进行自动提取，结果见图2。结果表明，对于铁路沿线形状规则、特征鲜明、覆膜完整的塑料大棚，模型的识别精确率较高；对于排列不规则、分布散落、覆膜破损的塑料大棚，特别是在卫星影像中部分

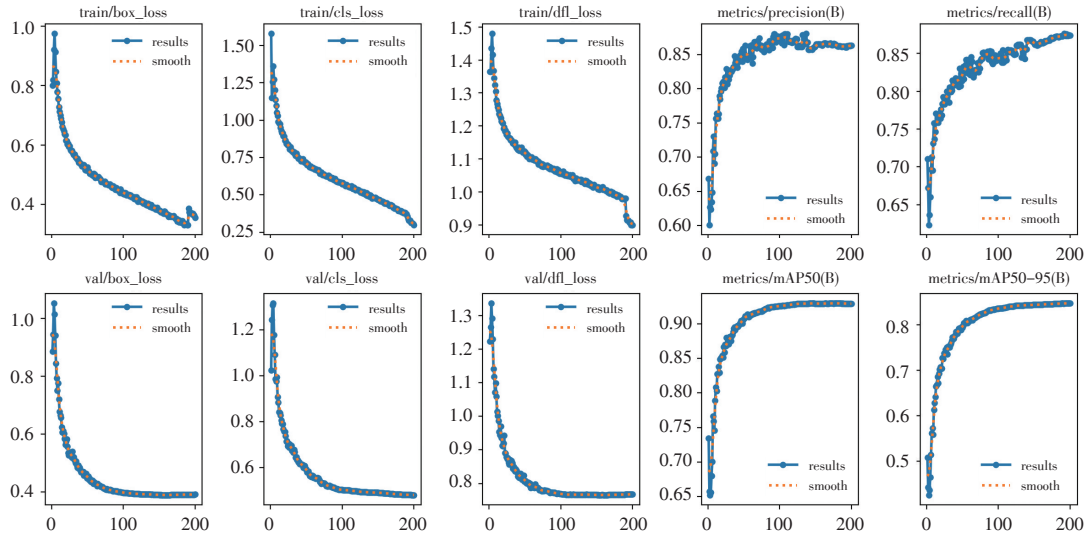
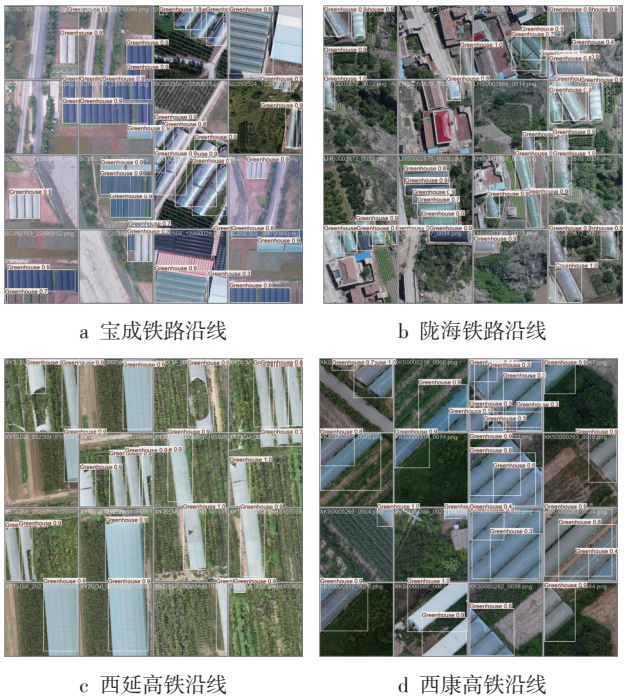


图1　模型训练过程曲线

塑料大棚纹理不清晰、光谱特征不明显，模型识别精确率有所降低，表现为检测框范围有误、置信度降低、漏检率升高等。总体来看，模型可从不同环境、不同分辨率、不同数据类型的遥感影像中精准快速识别塑料大棚隐患类别，即使是存在破损、形状不规则的塑料大棚，模型仍能准确提取其边界和位置，且预测置信度较高。



a 宝成铁路沿线　　b 陇海铁路沿线

c 西延高铁沿线　　d 西康高铁沿线

图2　塑料大棚隐患识别结果

在工程应用过程中，将训练后的YOLOv11模型以API接口形式进行封装，业务系统通过调用封装好的API接口，实现待检测影像中塑料大棚隐患的自动识别提取。选取单幅卫星影像和无人机影像分别测试模型在实际应用中的检测效率，结果表明，单幅无人机影像（10~30 MB）通常检测用时为3~5 s，单幅卫星影像的数据量较大（200~300 MB），检测用时为10~15 s。综合来看，模型在不同计算资源的终端应用设备上均具有较好的推理性能，能以较少的计算资源提供较高的检测精度，展现出轻量化和高效性的特点。

后续可进一步针对隐患类别进行编码，以铁路中线矢量数据、高精度正射影像等多源数据为底图采集隐患多维度属性信息，对隐患进行分层组织管理，建立数据库并与铁路局既有隐患数据库进行融合，形成全面的隐患台账数据，并制作隐患台账表与建档图册，为铁路外部环境隐患排查和风险评估工作提供数据支撑[18]。

4　结　语

本文针对铁路外部环境安全隐患排查工作面临的人力成本高、作业效率低等问题，构建了基于深度学习的YOLOv11目标检测模型，用以自动检测识别铁路沿线塑料大棚类安全隐患。通过宝成线、陇海线、西延高铁、西康高铁等铁路工程沿线的高分辨率卫星影像和无人机影像进行应用验证，得出结论如下：

1）YOLOv11模型对塑料大棚具有较高的识别精度，能快速准确地检测出该类安全隐患信息。

2）模型在检测破损、形状不规则的塑料大棚时，仍能提取其准确的边界和位置，且预测置信度较高，具有较强的鲁棒性。

3）基于深度学习的YOLOv11模型可用于铁路外部环境安全隐患排查工作，有效提升检测精度和作业效率，为铁路沿线智能化巡检提供了先进的技术方案。

由于多源遥感影像数据集的体量约束以及分布不均衡性，本文中安全隐患种类与精度受到了一定限制。针对数据集特征的不规则性，未来将开展结合语

义特征的识别方法研究，设计更加完善的目标检测模型，实现全要素类别的铁路外部环境安全隐患提取，提高隐患信息识别的准确性。

参考文献

[1] 宋国策,周文明,甘俊,等. 高速铁路外部环境安全隐患时空变化遥感监测[J]. 铁道勘察,2023,49(4):42-47

[2] 任经春,王先明,杨森. 高速铁路外部环境安全隐患智能监测技术研究:以江苏省为例[J]. 城市建设理论研究(电子版),2023(20):154-156

[3] 秦勇,张紫城,杨怀志,等. 轨道交通基础设施自主无人机智能巡检技术现状与发展趋势[J]. 铁路通信信号工程技术,2025,22(2):1-10

[4] 黄少雄,兰建雄,谭勇,等. 基于无人机视频的公路桥梁边坡异常检测[J]. 地理空间信息,2024,22(1):78-81

[5] 杨雅洁,尹高飞,汤承玉,等. 基于云平台的成昆铁路西昌段大棚精准快速识别与侵限风险评估[J]. 时空信息学报,2024,31(5):573-584

[6] 秦勇,邵长虹,杨怀志,等. 京沪高铁基础设施无人机智能巡检系统关键技术[J]. 中国铁路,2024(4):15-21

[7] 孟凡腾,秦勇,崔京,等. 铁路外部环境无人机图像未知风险检测方法[J]. 航空学报,2025,46(11):231-245

[8] 郑佳怡,冯楠,田超. 基于空天地遥感技术的铁路外部环境安全隐患监测与管理研究[J]. 科技创新与应用,2024,14(22):141-144

[9] 杨移超. 铁路外部环境安全隐患变化卫星监测技术[J]. 中国铁路,2023(10):151-157

[10] 赵振洋,彭雪辉,刘峙哲,等. 卫星遥感智能监测技术在沪昆高铁外部环境管理中的应用[J]. 铁道勘察,2024,50(4):47-52

[11] 陈平. 基于无人机图像的铁路周边环境隐患智能分析方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2023

[12] 李治泓,朱庆,廖成,等. 基于多源遥感的铁路外部环境隐患监测方法综述[J]. 航天返回与遥感,2024,45(1):15-28

[13] 余添添,吴松,唐芝青,等. 利用铁塔视频图像和改进YOLOv5的违规施工监测[J]. 地理空间信息,2024,22(4):45-48

[14] 翟晓成,丁攀,苟晓锋,等. 基于AI的路面病害自动识别系统研发与应用[J]. 地理空间信息,2024,22(9):84-88

[15] Khanam R, Hussain M. YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements[J]. arxiv preprint arxiv:2410.17725,2024

[16] 刘琦,杨小华,陈柏行,等. 基于Transformer的成都市地物分类技术[J]. 地理空间信息,2023,21(12):51-53

[17] Dosovitskiy A, Beyer L, Kolesnikov A, et al. An Image Is Worth 16×16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale[J]. arxiv preprint arxiv:2010.11929,2020

[18] 袁敦磊,徐天涛,王廷昌,等. 铁路基础设施空天地一体化智能巡检解决方案研究[J]. 中国铁路,2025(2):144-158

（上接第134页）

本文方法减少了外业重复测绘和经济成本支出，为其他相关项目和数字城市建设提供了参考；但在等高线修饰方面不可避免地存在一定的人工处理工作，后续将针对等高线与其他地形要素（水系、房屋等）存在的图形冲突情况进行分析，研究如何进一步提高等高线修饰处理的策略。

参考文献

[1] 李玮玮,帅向华,刘建坡,等. 基于Matlab分割彩色等高线地形图[J]. 地理空间信息,2021,19(8):80-82

[2] 范亚浩,吴晟,张长胜,等. 改进约束D-TIN的等高线陡坡区域识别[J]. 测绘科学,2017,42(11):14-19

[3] 叶青,倪峰,余红举. 智慧城市中空间基准与坐标转换的应用与探索[J]. 地理空间信息,2018,16(1):24-26

[4] 钱荣荣,赵沛冉,李杰. 地形级实景三维地理场景局部快速绘制方法[J]. 地理空间信息,2024,22(10):79-82

[5] 冯义楷,杨龙,付延光,等. 山东省沿海高程/深度基准转换模型及其精度评估[J]. 海洋科学进展,2023,41(3):488-497

[6] 冯国正,曹磊,马耀昌,等. EGM 2008模型的无验潮测深技术[J]. 测绘科学,2018,43(1):26-30

[7] 成兵,张熙,石鑫,等. 复杂地形多源数据融合GNSS高程转换及实时服务[J]. 测绘科学,2023,48(3):111-119

[8] 李月华,孙超. DEM高程基准转换方法及应用[J]. 北京测绘,2021,35(2):217-221

[9] 张锡越,任政兆,朱照荣,等. DEM数据坐标转换和成果质量的检查方法[J]. 北京测绘,2024,38(5):758-762

[10] 郝志伟,李成名,殷勇,等. 一种基于Fréchet距离的断裂等高线内插算法[J]. 测绘通报,2019(1):65-68

[11] 李元復,孙群,温伯威,等. 基于空间拓扑条件控制的等高线化简方法[J]. 地球信息科学学报,2024,26(7):1659-1671

[12] 程璐,郭庆胜,费立凡,等. 利用点重要性序列的等高线间接综合[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2024,49(5):856-867

[13] 王荣. 面向等高线自动综合的多尺度空间相似关系度量方法[D]. 兰州:兰州交通大学,2022

[14] 胡耀锋,林鸿,张鹏程. 等高线自动内插关键算法[J]. 测绘科学,2016,41(8):24-27

[15] 于广婷,刘同文,王琦,等. 基于空间变异修正普通克里金的矿区复杂地形高精度建模[J]. 测绘通报,2022(11):106-111

[16] 郭天良,宋强功,郭淑文,等. CNN-GRU模型在克里金插值中的应用[J]. 石油地球物理勘探,2025,60(1):185-192

[17] 王晔. DEM检查方法应用探讨[J]. 测绘与空间地理信息,2017,40(3):111-113