

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.06.025

基于改进 YOLOv7 的电梯内电动车识别

路成龙,肖昀,孙勇,冯月贵,庆光蔚

(南京市特种设备安全监督检验研究院,江苏 南京 210002)

摘 要:针对电梯内电动车识别效率低、精度差、人工成本高的问题,提出一种改进 YOLOv7 的电梯内电动车识别算法。通过在头部网络部分引入 GAM 全局注意力机制,在颈部网络部分中将 ELAN 模块替换为重参数化的高效特征提取模块 RGN,降低资源消耗的同时提升检测精度。实验结果表明:改进后的算法模型平均精度均值 $m_{A,P}$ 达到了 89.9%,比改进前提高了 4.2 个百分点,电动车识别精确率达到了 97.9%,模型复杂度 GFlops 降为 97.4 G,在电梯内电动车识别任务中具有较高的应用价值。

关键词:电动车检测;YOLOv7;目标检测;全局注意力机制;RepGhostNeXt

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)06-0136-05

Detection of Electric Vehicles in Elevators Based on Improved YOLOv7

LU Chenglong, XIAO Yun, SUN Yong, FENG Yuegui, QING Guangwei

(Nanjing Special Equipment Safety Supervision Inspection and Research Institute, Nanjing 210002, China)

Abstract: As for the low efficiency, poor accuracy and high labor cost in identifying electric vehicles in elevators, an improved method based on You Only Look Once version 7 was proposed. Global Attention Mechanism was introduced into the head network, and ELAN module was replaced by a reparameterized efficient feature extraction module named RepGhostNeXt in backbone network, reducing resource consumption and enhancing detection accuracy. The results show that the $m_{A,P}$ of the improved model reaches 89.9%, 4.2 percentages higher than the original YOLOv7, the recognition accuracy of the electric vehicles is as high as 97.9%, and the GFlops of the model is reduced by 97.4 G, which has high application value in identifying electric vehicles in elevators.

Keywords: e-vehicles detection; YOLOv7; target recognition; GAM; RepGhostNeXt

0 引言

电梯作为常见的垂直交通工具,被广泛应用于住宅小区、办公楼、商场等人员密集场所,为人们出行带来了极大的便利。但是,电动车进入轿厢,很容易碰撞轿厢壁及层轿门从而造成轿厢损坏变形甚至层轿门脱轨,明显缩短电梯的使用寿命;特别是一旦电池失火产生的致命高温有毒烟气迅速充斥于封闭轿厢内,很容易造成乘客伤亡^[1],存在很大的安全隐患。但由于管理不到位、基础设施不完善等原因,电动车进入轿厢事件屡禁不止。

目前,电梯内电动车识别多采用视频监控和机械阻车两种方式^[2],视频监控根据图像采集位置不同分为光幕式和摄像头式。机械阻车装置通过在轿厢入口设置栏杆,这种方式简单粗暴,且阻拦轿厢入口通道容易造成人员摔倒、踩踏事故构

成额外伤害;光幕式阻车装置通过将微小音像采集单元集成于轿门光幕中,但层轿门空间狭小,光线昏暗,导致采集精度比较低;摄像头式采用轿顶智能摄像头采集轿厢内环境,通过智能算法运算进行自动识别,语音提醒并控制电梯暂停关门动作,这种方式已逐渐成为电梯内电动车识别的主流选择,但仍存在效率低、精度差、难以区分电动车和自行车的缺点^[3]。随着机器视觉和深度学习技术的不断发展,基于 YOLO 算法的改进和优化,能够在检测精度和检测速度之间取得平衡,从而有效解决电梯内电动车识别问题。路成龙等^[4]基于 YOLOv8 进行改进,提高了电梯内电动车识别精度。

综上所述,考虑到轿厢内环境复杂、检测目标遮挡问题严重容易发生误检,并且算法模型参数量大对硬件设备要求较高等问题,对以 YOLOv7 为基础算法进行改进。通过引入全局注意力机制

基金项目:国家市场监督管理总局科技计划项目(2022MK156);江苏省市场监督管理局科技计划项目(KJ2023039)

第一作者简介:路成龙(1990—),男,山东齐河人,工程师,硕士研究生,研究方向为机器视觉,luchenglong88@126.com。

和重参数化的高效特征提取模块,提升检测准确率,降低资源消耗的同时减少了模型推理过程中的计算复杂度。通过在自制的数据集上进行实验表明,改进后的 YOLOv7 算法具有更好的检测效果,能够胜任电梯内电动车识别任务。

1 改进的 YOLOv7 算法介绍

1.1 改进策略

YOLOv7 算法模型主要由主干网络 (Backbone)、颈部网络 (Neck) 和头部网络 (Head) 3 部分组成^[5]。首先主干网络对于输入的图片进行特征提取,提取到的特征信息可以被称作特征层。颈部网络加强特征提取,负责将在主干获得的 3 个有效特征层进行特征融合,结合不同尺度的特征信息。最后预测头网络结构处理融合的特

征层,进行分类预测和回归预测。目前,针对 YOLO 算法的改进主要集中于主干网络、颈部网络和头部网络 3 部分展开,包括模型轻量化、注意力机制引入、模块的替换及融合、损失函数优化等方面。

首先,针对电梯轿厢内环境光线昏暗和目标遮挡导致的图像信息丢失的问题,在头部网络中引入了一种全局注意力机制,旨在增强电梯场景中目标的显著性,以此提升检测准确率。此外,颈部网络中将 ELAN 模块替换为重参数化的高效特征提取模块 RGN,通过有效重用特征图,优化串联运算器结构,从而在降低资源消耗的同时减少了模型推理过程中的计算复杂度。改进后的 YOLOv7 算法模型网络结构如图 1 所示。

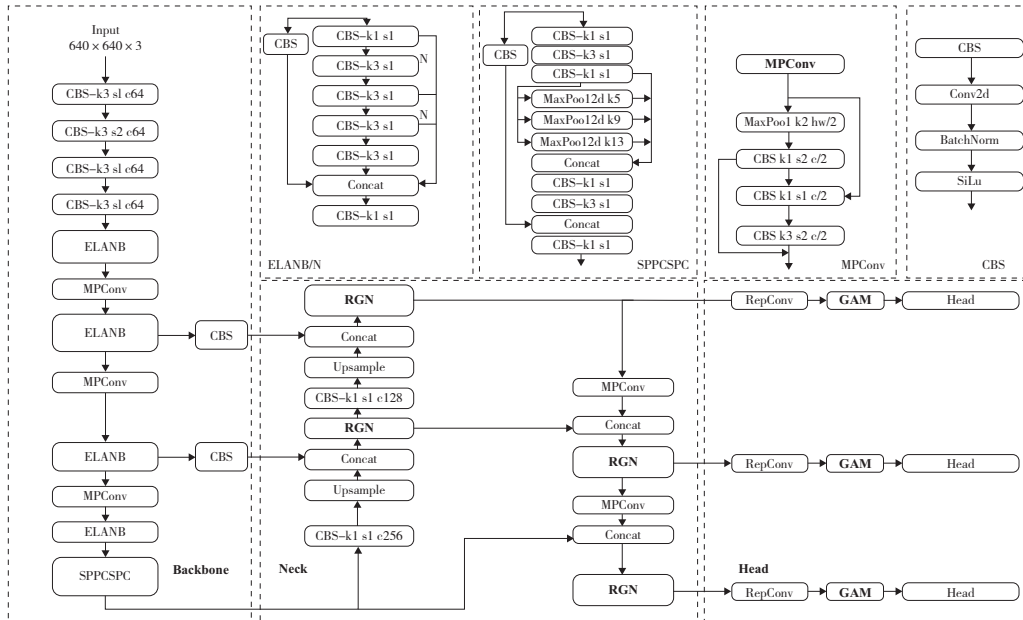


图 1 改进后的 YOLOv7 算法框架图

1.2 重参数化的高效特征提取模块

当前目标检测中,不论是 DenseNet 还是 GhostNet 均采用 Concat 操作来生成越来越多的特征图完成特性复用。尽管 Concat 操作是一种 0 参数量 (Params),0 浮点运算量 (FLOPs) 的操作,能够将数据在通道数上进行相加,但是 Concat 操作仍比加法操作效率低得多。此外,Concat 操作在硬件设备上的计算成本也不可忽视^[6]。为了提高硬件效率,减少推理过程中的计算复杂度,采用重参数化的高效特征提取模块^[7] (RepGhostNeXt, RGN) 实现特征隐式复用,通过重参数化生成和融合不同的特征图,增强了模型的全局信息表示能

力和交互效率,这不仅保持了 YOLOv7 所需的高精度检测性能,还进一步降低了模型的计算复杂度和参数数量。

RGN 模块仅涉及标准卷积层和 ReLU 激活函数,在权重空间而非特征空间内进行融合,从而保证了较高的硬件效率。RGN 与 GhostNet 网络结构对比如图 2 所示。在训练阶段,RGN 摒弃了效率低下的 Concat 操作,通过加法 (Add) 操作进行信息融合,将 ReLU 置于 Add 操作之后,最后在支路添加 BN 操作。这样不仅避免了依赖额外卷积层的需要,而且使得模块满足结构重新参数化规则,加快融合和推断速度。在推理阶段,RGN 模

块仅包含 2 个分支生成的特征图相加,从而节约了内存资源。

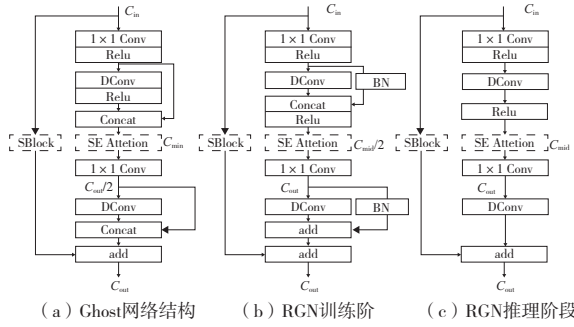


图 2 RGN 与 GhostNet 结构对比图

1.3 全局注意力机制

在电梯轿厢内目标识别场景中,目标的遮挡问题尤为显著,常出现多个目标紧密排列情况,这增加了检测任务的复杂性。尽管传统的注意力机制对于通道和空间信息的保存已有所贡献,但在增强跨维度交互方面仍存在不足。为此,在头部网络中采纳了全局注意力机制模块^[8](global attention mechanism, GAM),通过减少信息在网络中的弥散和放全局交互特征的表达,突出电动车、自行车和行人的特征,保留关键信息的同时滤除背景噪声,以便对这些狭小空间内的目标物体进行有效聚焦,从而提升检测的准确度和网络的整体性能。GAM 注意力模块的网络结构如图 3 所示。

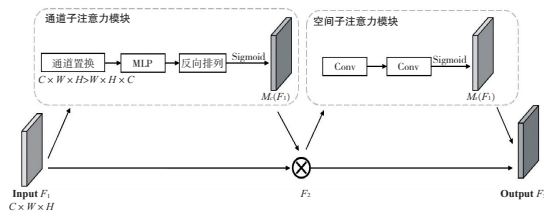


图 3 GAM 网络结构图

GAM 模块是一种全局注意力机制,融合了通道子注意力模块 M_c 和空间子注意力模块 M_s 。相比常见的 CBAM、ABN 和 TAM 注意力机制, GAM 模块具有更好的鲁棒性和深度学习性能。对于输入特征图 F_1 , M_c 模块中的通道置换模块使用三维排列保留 3 个维度上的信息,然后利用一个两层的多层感知机 (multilayer perceptron, MLP) 来放大跨维度通道-空间的信息交互能力,得到中间状态 F_2 。 M_s 模块使用两个卷积层进行空间信息融

合,将中间状态 F_2 进行校正,经激活函数 Sigmoid 得到输出状态 F_3 。中间 F_2 和输出状态 F_3 定义如式(1)一式(2)所示。

$$F_2 = M_c(F_1) \otimes F_1 \quad (1)$$

$$F_3 = M_s(F_2) \otimes F_2 \quad (2)$$

式中: M_c 为通道注意力图; M_s 为空间注意力图; $\otimes$ 为级联。

2 实验环境及评价指标

2.1 实验环境

操作系统为 Ubuntu20.04.4; CPU 为 Inter(R) i9-13900K; GPU 为 NVIDIA RTX A6000; 深度学习框架为 Pytorch 1.11.0; 编辑语言为 python 3.8; CUDA 版本为 11.3.0; 优化器为 Adam; 迭代次数 (epoch) 为 200; 训练批次 (Batch Size) 为 8。

2.2 实验数据集

电梯内电动车识别数据集为自建图库,采集于南京市某小区,共有 9 345 张图片,分为电动车、自行车和乘客 3 类目标,使用 labeling 工具进行标注后按 6:2:2 的比例分为训练集、验证集和测试集进行实验。数据集涵盖了电梯内不同条件下电动车的存在情形,包括且不限于电动车的不同型号、大小、放置位置和姿态以及电梯内的光照条件和拥挤程度等变量,旨在为模型训练提供全面而丰富的数据基础。

2.3 评价指标

评价改进算法在电梯内电动车识别方面的性能,选择准确率^[9]、召回率^[10]、平均精度均值^[11]和浮点运算量^[12]作为评价指标。

$$P = \frac{T_p}{T_p + F_p} \times 100\% \quad (3)$$

$$R = \frac{T_p}{T_p + F_N} \times 100\% \quad (4)$$

$$A_p = \int_0^1 P_r dR \quad (5)$$

$$m_{A,p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_p(n) \quad (6)$$

式中: P 为准确率; R 为召回率; A_p 为平均精度; $m_{A,p}$ 为平均精度均值,分 $m_{A,p} 50^{[13]}$ 和 $m_{A,p} 50 : 95^{[14]}$,前者指当 IoU 阈值等于 50% 时的 $m_{A,p}$ 值,后者指阈值在 50% 至 95% 之间的 10 个 $m_{A,p}$ 均值; T_p 为正样本被正确识别的数量; F_p 为误检的负样本数量; F_N 为即漏检的正样本数量; n 为数据集类别总数; i 为检测次数。浮点运算量 (FLOPs) 通过计算时

间复杂度,用以衡量算法的复杂度,单位为G。

3 实验分析

3.1 模块消融实验

为了验证RGN模块和GAM模块在电梯电动车识别任务中的单独及联合应用效果,消融实验结果如表1所示。“√”表示实验中采用了该方法,“—”表示实验中未采用该方法。第1组实验表示未引入改进模块,即基础算法YOLOv7的结果,第2和第3组实验表示在YOLOv7中分别引入RGN和GAM的结果,第4组实验表示在YOLOv7算法中同时引入RGN和GAM的联合结果。实验结果表明,RGN模块和GAM模块各自能够提升模型在关键性能指标 $m_{A,P}0.5$ 、 $m_{A,P}0.5:0.95$ 上的表现。特别是当这两种策略被联合采用时,模型性能表现最为卓越,具体体现为 $m_{A,P}50$ 增至89.9%, $m_{A,P}50:95$ 提升至73.8%。相对于改进前算法分别提高了4.2和10.2个百分点。

表1 消融实验结果

RGN	GAM	$m_{A,P}50/\%$	$(m_{A,P}50:95)/\%$
—	—	85.7	63.6
√	—	87.2	68.2
—	√	88.6	69.3
√	√	89.9	73.8

3.2 GAM模块消融实验

为横向验证添加GAM注意力机制的优越性,在YOLOv7基础算法中添加GAM注意力机制与添加其他主流注意力机制进行对比实验,选取ECA^[15]、CBAM^[16]、MCA^[17]、simAM^[18]、GAM 5种常用注意力机制,实验结果如表2所示。实验结果表明,添加GAM注意力机制检测精度最高,相比于原YOLOv7网络, $m_{A,P}50$ 提高了4.2个百分点,同时在不增加运算量的情况下有效提高了模型性能,验证了GAM注意力机制的优越性。

表2 GAM注意力机制消融实验

注意力机制	G_{Flops}/G	$m_{A,P}50/\%$	$(m_{A,P}50:95)/\%$
无	97.4	85.7	63.6
RGN+ECA	97.4	86.5	65.0
RGN+CBAM	97.7	86.1	63.6
RGN+simAM	97.4	86.3	63.1
RGN+MCA	97.4	87.0	67.8
RGN+GAM	97.4	89.9	73.8

3.3 RGN模块消融实验

为横向验证添加RGN模块的优越性,选择不同Ghostnet^[19]版本进行消融实验,实验结果如表3所示。实验结果表明,引入RGN模块后,模型在最少运算量的情况下 $m_{A,P}50$ 和 $m_{A,P}50:95$ 两个指标上均表现最佳,明显优于其他注意力模块。

表3 RGN消融实验

注意力机制	G_{Flops}/G	$m_{A,P}50/\%$	$(m_{A,P}50:95)/\%$
无	97.4	85.7	63.6
GAM+GhostNet	98.4	83.2	58.7
GAM+GhostNetV2	98.1	85.9	62.9
GAM+RGN	97.4	89.9	73.8

3.4 主流算法对比实验

为验证改进后的算法性能,与当前主流的检测模型进行比较,包括SSD^[20]、Faster R-CNN^[21]和YOLO系列,实验结果如表4所示。实验结果表明,在精确度方面,改进后的算法模型在 $m_{A,P}50$ 上超过了所有对比模型,尽管在较为严格的 $m_{A,P}50:95$ 评估中略逊YOLOv5L模型,但新模型在多个关键指标上的表现突出,凸显了其在处理复杂检测任务时的优势。此外,改进模型在召回率与精确度评估中也表现优异,分别达到85.8%和91.2%,显示了其在识别正类样本和减少误检方面的高效能力。在轻量化方面,模型复杂度 G_{Flops} 为97.4G,在所有对比模型中最低,相比YOLOv7模型低了5.8G,展示出足够的轻量化优势。

表4 与主流算法对比实验

算法	$m_{A,P}50/\%$	$(m_{A,P}50:95)/\%$	G_{Flops}/G	$R_{recall}/\%$	$P_{recision}/\%$
SSD	79.1	52.5	360.9	60.0	68.9
Faster R-CNN	82.6	57.9	369.8	64.2	75.7
YOLOv3	86.7	66.7	154.6	82.3	88.0
YOLO-R	85.7	61.9	118.9	79.1	88.9
YOLOv4	85.7	61.3	118.9	79.6	87.7
YOLOv5L	88.1	75.3	107.7	83.9	92.6
YOLOv7	85.7	63.6	103.2	81.5	87.0
Ours	89.9	73.8	97.4	85.8	91.2

各算法在乘客、自行车和电动车上的 $m_{A,P50}$ 对比结果如图 4 所示,检测效果如图 5 所示。实验结果表明,改进后的算法模型在所有类别上均表现最佳, $m_{A,P50}$ 分别达到了 99.6%、72.3% 和 97.9% 的高水平,显著超越了其他算法。综上所述,改进后的算法模型在处理电梯内电动车识别任务中具有高效、准确和轻量化的优势。

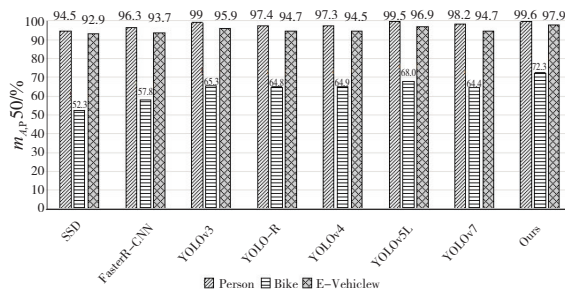


图 4 不同算法 $m_{A,P50}$ 对比图

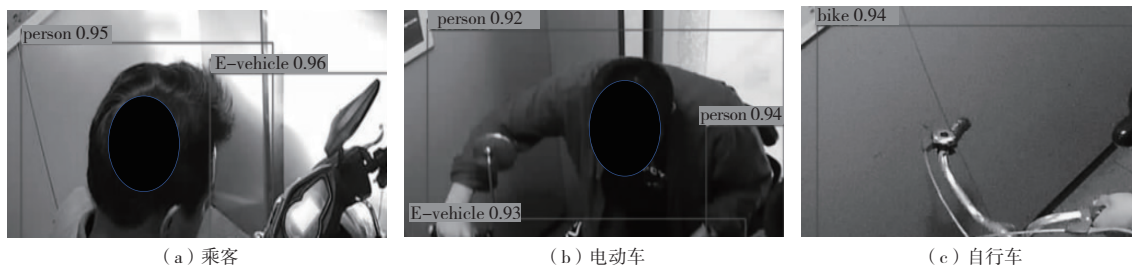


图 5 检测效果图

4 结语

本文以 YOLOv7 算法模型为基础进行了优化和改进,提出了一种新型算法以应对电梯内电动车识别任务。主要结论如下:1)头部网络中引入全局注意力机制,在未增加运算量的情况下有效提高了模型性能,提升了检测准确率;2)颈部网络中将 ELAN 模块替换为重参数化的高效特征提取模块 RGN,降低资源消耗的同时减少了模型推理过程中的计算复杂度;3)改进的算法模型 $m_{A,P50}$ 达到了 89.9%,电动车识别精确率达到了 97.9%,模型复杂度降为 97.4 G。综上,新方法在对电梯内电动车识别中具有较高的应用价值。

参考文献:

- [1] 郭琳琅,于杜周. 电梯电动车阻车系统检验方法分析[J]. 特种设备安全技术,2022(1):34-36.
- [2] 周永强,王万军,杨浩,等. 基于图像识别与信息融合的电梯智能阻车系统研究[J]. 机电工程技术,2023,52(9):141-144.
- [3] 李信芳,李艳. 浅析电梯智能阻车系统的加装属性[J]. 中国特种设备安全,2022,38(9):46-48,57.
- [4] 路成龙,冯月贵,庆光蔚. 基于改进 YOLOv8 的电梯内电动车识别方法研究[J]. 机械制造与自动化,2024,53(4):219-223,229.
- [5] 赵元龙,单玉刚,袁杰. 改进 YOLOv7 与 DeepSORT 的佩戴口罩行人跟踪[J]. 计算机工程与应用,2023,59(6):221-230.
- [6] 徐宏伟,李然,张家旭. 基于改进 YOLOv7 的湖面漂浮

物目标检测算法[J]. 现代电子技术,2024,47(1):105-110.

- [7] 孙铁强,于洪健,宋超,等. 轻量级重参数化的 PCB 缺陷检测算法[J]. 组合机床与自动化加工技术,2025(4):118-123,128.
- [8] 周平,殷勇,杨岚,等. 基于改进 YOLOv7 的荔枝叶片病害监测模型[J]. 农业工程,2025,15(4):21-27.
- [9] 杨嘉如,秦忆南,李天旭,等. 基于改进 YOLOv8s 的井下安全帽检测算法[J]. 煤矿安全,2025,56(5):221-228.
- [10] 周昶雯,宋强,张月. 基于改进 YOLOv8 的凝视雷达小目标检测算法[J]. 信号处理,2025,41(5):853-866.
- [11] 宋健,郁志宏,戚桂美,等. 基于 YOLOv8n+无人机图像的荒漠草原鼠洞检测[J]. 中国农机化学报,2025,46(5):155-161,168.
- [12] 宿景芳,杜金梦,王震洲,等. 基于改进 SSD 的螺栓缺陷检测算法[J]. 传感器与微系统,2025,44(5):129-132,137.
- [13] 江伟,张广冬,陈锦华,等. 基于改进 YOLOv5 的轻量级汽车挡风玻璃雨滴目标检测模型[J]. 汽车工程学报,2024,14(5):821-828.
- [14] 王龙春,方巍,张丽娟,等. 基于 YOLOv8s 改进的自动驾驶目标检测[J]. 液晶与显示,2025,40(5):773-784.
- [15] 张洪梅,张云飞,杨良义,等. 基于注意力机制优化的 YOLOv7 目标检测算法[J/OL]. 汽车工程学报,(2025-05-06)[2025-05-23]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1206.u.20250501.1505.002.html>.

(下转第 156 页)

- [4] HAZELL P J, KISTER G, STENNETT C, et al. Normal and oblique penetration of woven CFRP laminates by a high velocity steel sphere [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2008, 39 (5): 866-874.
- [5] HAZELL P J, COWIE A, KISTER G, et al. Penetration of a woven CFRP laminate by a high velocity steel sphere impacting at velocities of up to 1 875 m/s [J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(9): 1136-1142.
- [6] LIN C F, FATT M S H. Perforation of sandwich panels with honeycomb cores by hemispherical nose projectiles [J]. Journal of Sandwich Structures & Materials, 2005, 7(2): 133-172.
- [7] TANABE Y, AOKI M, FUJII K, et al. Fracture behavior of CFRPs impacted by relatively high-velocity steel sphere [J]. International Journal of Impact Engineering, 2003, 28(6): 627-642.
- [8] LÓPEZ - PUENTE J, ZAERA R, NAVARRO C. Experimental and numerical analysis of normal and oblique ballistic impacts on thin carbon/epoxy woven laminates [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2008, 39(2): 374-387.
- [9] APPLEBY-THOMAS G J, HAZELL P J, DAHINI G. On the response of two commercially - important CFRP structures to multiple ice impacts [J]. Composite Structures, 2011, 93(10): 2619-2627.
- [10] PERNAS-SÁNCHEZ J, ARTERO-GUERRERO J A, VARAS D, et al. Experimental analysis of normal and oblique high velocity impacts on carbon/epoxy tape laminates [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2014, 60: 24-31.
- [11] STEPHEN C, SHIVAMURTHY B, MOURAD A I, et al. Experimental and finite element study on high-velocity impact resistance and energy absorption of hybrid and non-hybrid fabric reinforced polymer composites [J]. Journal of Materials Research and Technology, 2022, 18: 5406-5418.
- [12] NAYAK S, SAHOO B P, NAYAK R K, et al. Improvement of low - velocity impact and tribo - mechanical properties of unsymmetrical hybrid composites through addition of nanoclay [J]. Bulletin of Materials Science, 2024, 47(4): 237.
- [13] 马凯, 许希武, 古兴瑾. 纤维增强复合材料层板高速倾斜冲击损伤数值模拟 [J]. 复合材料学报, 2013, 30(3): 211-219.
- [14] 邓云飞, 袁家俊, 徐建新. 半球形头弹不同角度冲击下编织复合材料板的侵彻特性 [J]. 复合材料学报, 2018, 35(4): 843-849.
- [15] 古兴瑾, 许希武. 纤维增强复合材料层板高速冲击损伤数值模拟 [J]. 复合材料学报, 2012, 29(1): 150-161.
- [16] 黄峰, 黄涛, 王海雷, 等. 复合材料结构侧向高速弹丸冲击研究 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21(4): 1300-1304.
- [17] 刘鹏, 宣善勇, 周光明, 等. 碳纤维复合材料层合板高速冲击损伤研究 [J]. 航空维修与工程, 2024(12): 27-33.
- [18] 顾善群, 刘燕峰, 李军, 等. 碳纤维/环氧树脂复合材料高速冲击性能 [J]. 材料工程, 2019, 47(8): 110-117.
- [19] 邓云飞, 袁家俊, 徐建新. 刚性卵形头弹撞击角度对编织复合材料层合板侵彻特性的影响 [J]. 复合材料学报, 2018, 35(8): 2039-2045.

 收稿日期: 2023 - 10 - 17

(上接第 140 页)

- [16] 许谨辉, 王文善, 王爽, 等. 基于 DYCS-YOLOv8n 的井下无人驾驶电机车多目标检测 [J]. 工矿自动化, 2025, 51(4): 86-92, 130.
- [17] 郭纪良, 刘莉, 何建. 基于改进 YOLOv8 的无人机航拍火灾检测算法 [J]. 林业工程学报, 2025, 10(2): 111-122.
- [18] 陈君, 赵小会, 王博士, 等. 基于 YOLOv7 的垃圾检测方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(12): 1-8.
- [19] 陈学深, 梁俊, 汤存耀, 等. 基于改进 YOLOv7 模型的水田复杂环境稻株识别 [J]. 农机化研究, 2025, 47(7): 9-17.
- [20] 饶兴昌, 郑盈盈, 陆万浩, 等. 基于改进 YOLOv7 红外海上船舶检测算法 [J]. 电光与控制, 2025, 32(4): 23-30.
- [21] 杨达伟, 杨明圣, 付博. 改进 YOLOv7 的电力设备红外图像多目标检测 [J]. 红外技术, 2025, 47(3): 326-334.

 收稿日期: 2024 - 07 - 08