

中文引用格式:夏正洪,何琥,吴江,等. 飞机刹车盘动片损伤程度及更换需求智能评估算法[J]. 中国安全科学学报,2024,34(10): 88-94.

英文引用格式:XIA Zhenghong, HE Hu, WU Jiang, et al. Intelligent evaluation algorithm for damage degree and replacement need of braking moving disc[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(10): 88-94.

飞机刹车盘动片损伤程度及更换需求智能评估算法*

夏正洪¹教授,何琥¹,吴江²,陈玲³,王裕林²,康瑞¹教授

(1 中国民用航空飞行学院 空中交通管理学院,四川 广汉 618307; 2 中国民用航空飞行学院 飞机修理厂,四川 广汉 618307; 3 中国安全生产科学研究院,北京 100012)

中图分类号:X949

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.10.0016

资助项目:四川省通用航空器维修工程技术研究中心一般项目(J2023-01);中央高校基本科研项目(24CAFUC03047,24CAFUC04030,24CAFUC10187);大学生创新创业训练计划项目(202310624026)。

【摘要】 飞机刹车盘动片损伤超标将直接威胁飞行安全。为解决人工经验的刹车盘动片损伤程度评估存在检测效率低、主观性强等问题,提出一种基于图像分割的飞机刹车盘动片损伤程度及更换需求智能评估算法。首先,分析刹车盘动片损伤分类及特征信息;然后,基于 U-Net 模型语义分割刹车盘动片损伤图像数据集,构建刹车盘动片损伤区域面积占比量化分析模型和脱落区域最大径向宽度计算模型;最后,使用 Cessna525 刹车盘动片图像数据验证模型。结果表明:U-Net 模型对刹车盘动片损伤类型的图像分割效果良好,平均精确率、平均召回率、平均像素准确率与平均交并比(IoU)分别为 90.75%、91.25%、90.25%与 87.25%。刹车盘损伤程度评估结果与经验丰富的机务工程师评估结论基本一致,且评估结果客观准确、可视化程度高,证明所提算法的合理性和可行性。

【关键词】 刹车盘动片; 损伤程度; 更换需求; 智能评估; 图像分割; U-Net 模型

Intelligent evaluation algorithm for damage degree and replacement need of braking moving disc

XIA Zhenghong¹, HE Hu¹, WU Jiang², CHEN Ling³, WANG Yulin², KANG Rui¹

(1 School of Air traffic Management, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China; 2 Aircraft Repair Plant, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China; 3 China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100012, China)

Abstract: Excessive damage to aircraft braking moving discs will directly threaten flight safety. In order to solve the problems of low detection efficiency and strong subjectivity in the evaluation of damage degree of braking moving disc based on manual experience, an intelligent evaluation algorithm for damage degree and replacement need of aircraft braking moving disc based on image segmentation was proposed. Firstly, the classification and feature information of braking moving disc damage were analyzed. Then, based on the U-Net model, semantic segmentation was performed on the braking moving disc damage image dataset. A quantitative analysis model for the proportion of braking moving disc damage area and a calculation model for the maximum radial width of the fall off area were constructed. Finally, the model was validated

using image data of the braking moving disc of Cessna525. The results indicate that the U-Net model has a good image segmentation effect on the types of braking moving disc damage, with average accuracy, average recall, average pixel accuracy, and average intersection to union (IoU) of 90.75%, 91.25%, 90.25%, and 87.25%, respectively. The evaluation results of braking moving disc are basically consistent with the evaluation conclusions of experienced mechanical engineers, and the evaluation results are objective, accurate, and highly visualized, which proves the rationality and feasibility of the algorithm proposed in this paper.

Keywords: braking moving disc; damage degree; replacement need; intelligent evaluation; image segmentation; U-Net model

0 引言

飞机的刹车系统在起降过程中承受高温、高应力、高热冲击,致使刹车盘动片产生不同程度的裂纹、磨损、锈蚀等损伤,一旦损伤程度超出规定标准,将直接威胁飞行安全。因此,经过一定数量的起落后,就需要及时更换损伤超标的刹车盘动片。目前,受检测设备和技术的限制,机务工程师仍然以人工目视的方法来检测刹车盘动片上的裂纹、磨损和锈蚀等损伤情况,并根据经验来判定该刹车盘动片是否达到需要更换的标准。该检测方法存在以下 3 个问题:①检测效率低、检测工作负荷大;②检测标准的执行主观性强;③检测结果可信程度需提升。如果未及时发现应该更换的刹车盘动片则会影响到训练飞行安全;若频繁更换不该淘汰的刹车盘动片,则也会造成资源的浪费和运行成本的提升。因此,亟需研究更加科学、便捷、智能化程度更高的刹车盘动片损伤程度及更换需求判别方法。

刹车盘动片损伤程度检测实质是计算机视觉中的图像分割问题,即对图像进行像素级的分类。传统的图像分割算法主要有支持向量机、反向传播神经网络、K-means 聚类等,主要存在分割效果欠佳、效率较低、耗时较长等问题^[1]。随着深度学习算法的兴起,基于卷积神经网络的图像语义分割成为更行之有效的方式,主要算法有全卷积神经网络(Fully Convolutional Networks, FCN)^[2-3]、卷积编码器-解码器模型(包括 Seg-Net、U-Net^[4]和 V-Net)、多尺度分析模型等。目前,民航飞机零部件表面损伤程度检测主要集中在机身蒙皮、发动机叶片等位置,检测技术有脉冲涡流传感器^[5]、计算机视觉^[6]、电磁层析成像^[7]等。汽车刹车片^[8-9]和高铁刹车系统^[10-11]的损伤检测结果较为丰富,现有成果主要集中在刹车性能评估^[12]、刹车盘寿命预测^[13]等方面,鲜有研究飞机刹车盘动片损伤程度的检测。

鉴于此,笔者提出基于深度学习的飞机刹车盘动片损伤程度智能评估方法,分析飞机刹车盘动片损伤样本图像的特征信息,采用 U-Net 模型进行图像分割,构建刹车盘动片锈蚀面积计算模型和脱落区域最大径向宽度计算模型,评估现有刹车盘动片损伤程度及更换需求,以为定量判定刹车盘动片损伤程度及更换需求提供参考依据。

1 刹车盘动片损伤程度评估流程

1.1 损伤分类及特征信息

刹车系统是飞机制动过程中的主要手段,通过安装在飞机机轮内的刹车组件产生刹车力矩,吸收飞机着陆滑跑的动能从而使飞机减速,达到缩短滑跑距离的目的。飞机的刹车装置结构以多盘式为主,由刹车盘(动片和静片)、刹车壳体、汽缸座活络组件等组成。其中,刹车盘动片的作用是将巨大的动能转换为热能并及时耗散出去,通常会选用重量更轻、性能更好、耐高温、寿命长的碳/碳复合材料来制造。当然,刹车盘动片作为一种易损耗器件,在使用过程中会出现锈蚀、脱落的损伤情况(图 1),一旦损伤程度超出规定的标准将直接影响航空器的运行安全。

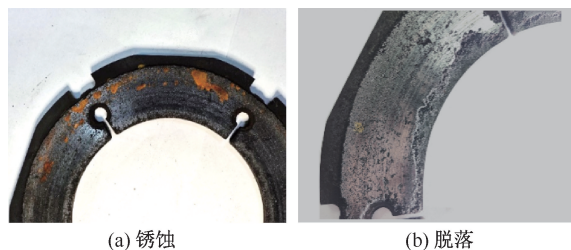


图 1 刹车盘动片损伤类别及特征信息

Fig. 1 Classification and characteristic information of braking moving disc damage

刹车盘动片表面损伤主要有锈蚀与脱落 2 类。其中,锈蚀(图 1a)是因为刹车盘动片接触到水或处

于潮湿环境中,表面发生氧化反应所导致的,其形状和分布随机性较强;脱落(图 1b)是长时间使用所造成的碎裂和温度过高所导致的,该区域通常分布在动片内外径及热膨胀槽处。

1.2 损伤程度评估标准

飞机刹车盘动片损伤程度的评估标准主要有 2 个方面(图 2): ①刹车盘动片单个侧面上锈蚀面积与磨损覆盖面积占比不超过单侧总面积的 25%。②刹车盘动片单个侧面上内衬在内径、外径及热膨胀槽处有不超过 6.4 mm 宽(从刹车内衬边缘向内)的局部碎裂脱落。

1.3 损伤程度评估步骤

根据刹车盘动片损伤程度评估标准,提出相应的检测算法,步骤如图 3 所示。

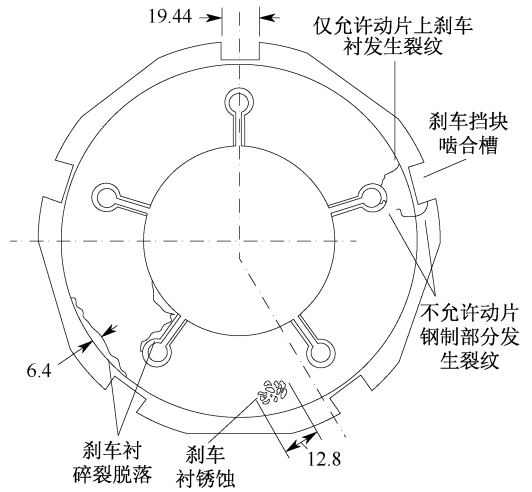


图 2 飞机刹车盘动片损伤程度评估标准
Fig. 2 Evaluation criteria for damage degree of aircraft braking moving disc

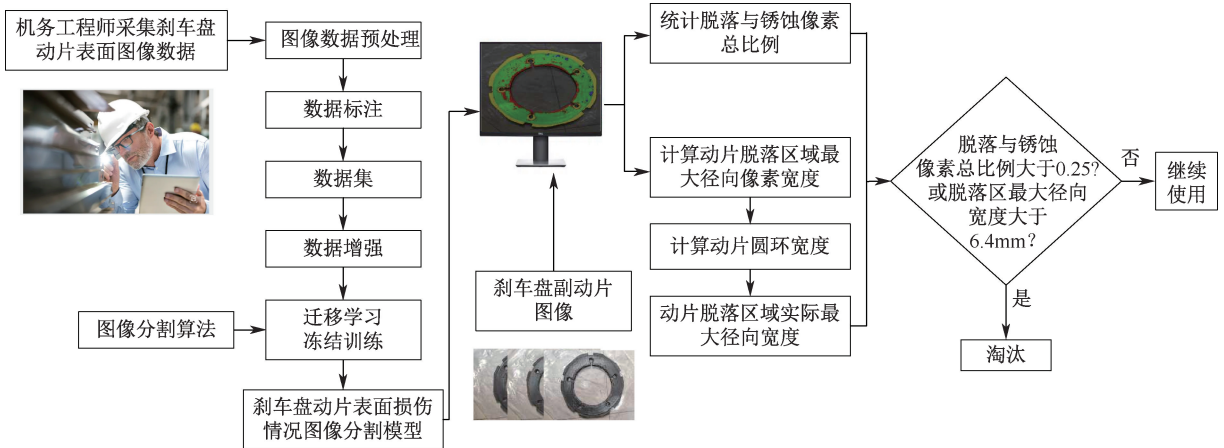


图 3 基于图像分割的刹车盘动片损伤程度评估流程
Fig. 3 Assessment process for damage degree of braking moving disc based on image segmentation

首先,采集飞机刹车盘动片表面图像数据并进行预处理。根据动片损伤情况进行分类,标注出锈蚀、脱落、碟片、钢片区域,形成损伤图像数据集。在数据增强后传入图像分割算法中进行训练,得到刹车盘动片表面损伤图像分割模型。其次,将刹车盘图像输入到该模型中,得到与输入图像尺寸相同且包含表面损伤信息的推理结果图像。通过统计输出图像中各类别所含像素点数量,进一步得到锈蚀与脱落区域面积所占比例。然后,计算刹车盘动片圆环部分像素宽度与脱落区最大径向像素长度,通过两者比例关系,得到实际脱落区最大径向宽度。最后,综合锈蚀、脱落区面积比例计算结果与脱落区最大径向宽度计算结果,判定是否淘汰该刹车盘。

2 刹车盘动片损伤程度智能评估算法

2.1 基于图像分割的损伤区域面积量化模型

语义分割是对图像进行像素级的分类,即将每个像素都标注在对应的类别。文中构建基于 U-Net 的刹车盘图像分割模型,它是由一个编码器(下采样路径)和一个解码器(上采样路径)组成,中间是一个连接两者的“U”形结构。其中,编码器部分使用卷积层和池化层进行图像的多次下采样,逐渐减小图像的尺寸和通道数,从而提取图像特征。解码器部分通过上采样操作逐步恢复图像的分辨率,并生成图像分割结果。编码器与解码器之间的跳跃连接,可帮助解码器获取编码器中的细节信息,以改变图像分割的准确性。在网络的最后一层,使用 1×1

卷积融合不同分辨率的特征图,产生最终的分割结果,从而实现图像的像素级分类。

再分别遍历标注脱落、锈蚀的区域,统计各部分像素点总量,并计算标注脱落与锈蚀部分所有像素点与刹车盘动片全部像素点之和的比值 r ,即为刹车盘动片损伤区域面积。

$$r = \frac{\sum W_l + \sum W_x}{T} \quad (1)$$

式中: W_l 为脱落像素点; W_x 为锈蚀像素点; T 为刹车副盘动片总像素点数。

2.2 脱落区域最大径向宽度计算模型

构建刹车盘动片局部碎裂脱落区域最大径向宽度计算模型,流程如图 4 所示。首先,颜色过滤刹车盘动片图像分割结果,找出脱落区域以及刹车盘动片内外径轮廓,并使用贝塞尔曲线去逼近这些轮廓,找到脱落区域像素点到刹车盘动片内外径轮廓的最小距离方向;使用布雷森汉姆直线算法得到像素点到该方向的长度,计算出脱落区域的最大径向像素长度。然后,通过最小二乘法与高斯消元法拟合刹车盘内外径同心椭圆,得到刹车盘圆环部分像素长度。最后,两者相比即可得到刹车盘脱落区域的最大径向宽度。若大于 6.4 mm,则判定该刹车盘动片损伤超标需及时更换,反之则为不超标,可继续使用。

2.3 图像分割模型智能评估标准

为验证基于 U-Net 模型的刹车盘动片损伤区域图像分割效果,选用精确率 P 、召回率 R 、像素准确率 A 、交并比 (Intersection Over Union, IoU) 等指标来评估。

1) P 用来衡量模型正确预测为正例的比例,相对于模型预测为正例的总数量。

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

2) R 用来衡量模型正确预测为正例的比例,相对于实际的正例数量。

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

3) A 用来评估模型对于每个像素的分类准确性。

$$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (4)$$

4) IoU 用来衡量模型对每个类别的分割性能。

$$IoU = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (5)$$

式中: TN 为真阴性,表示模型正确地将负类样本分

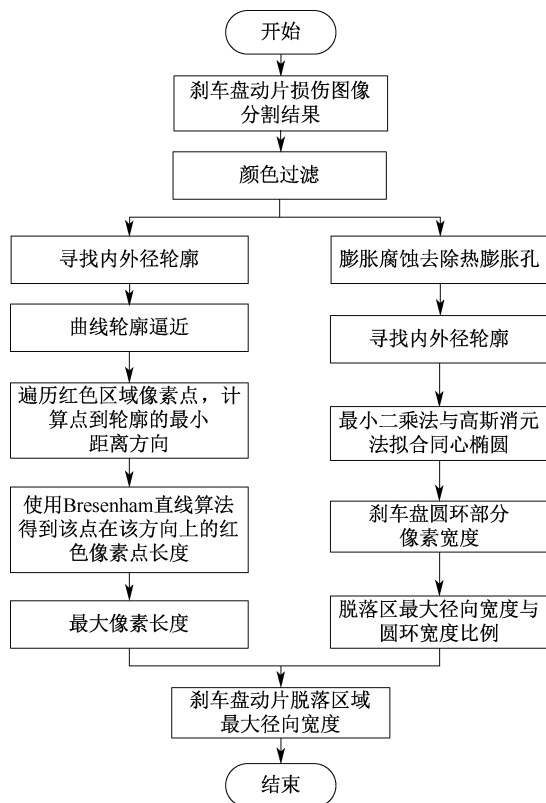


图 4 刹车盘动片脱落区域最大径向宽度计算流程

Fig. 4 Calculation process for maximum radial width of braking moving disc detachment area

类为负;TP 为真阳性,表示模型正确地将正类样本分类为正;FP 为假阳性,表示模型错误地将负类样本分类为正;FN 为假阴性,表示模型错误地将正类样本分类为负。

3 刹车盘损伤程度智能评估实例

3.1 数据集构建

以我校高教机 Cessna525 的刹车盘动片为研究对象,收集刹车盘动片图像共 330 张,分别标注其锈蚀、脱落、碟片、钢片区域,形成动片损伤数据集。其中,蓝色区域为锈蚀,标注为“xiushi”;红色区域为脱落,标注为“tuoluo”;绿色区域为正常部分,标注为“diepian”;黄色区域为钢片部分,标注为“gangpian”。再对标注好的数据集进行马赛克数据增强以及混合数据增强以扩充样本数量和提升模型的泛化能力,并将样本数据按 7 : 2 : 1 划分为训练集、验证集和测试集。

3.2 图像分割结果

图像分割采用的是 U-Net 算法,并在开源框架 Pytorch 上实现,试验所用电脑配置如下:操作系统为

64 位 Windows11,处理器是 Intel Core i7 12700 H,运行内存 16 G,独立显卡 NVIDIA GeForce RTX3070,显存 8 G。在模型训练过程中,前 100 次冻结模型的主干网络,设置 batch_size 为 8,初始学习率为 0.001。解冻训练阶段设置 batch_size 为 4,学习率调整为 0.0001,当训练到 loss 值不降反升时结束训练,得到模型的最终权重。最终得到刹车盘动片图像分割 P 、 R 、像素 A 和 IoU,见表 1。

表 1 图像分割模型评估结果

Table 1 Evaluation results of image segmentation

种类	P	R	A	IoU
钢片	0.98	0.98	0.98	0.96
碟片	0.95	0.97	0.97	0.92
脱落	0.88	0.87	0.84	0.80
锈蚀	0.82	0.83	0.82	0.81
平均值	0.907 5	0.912 5	0.902 5	0.872 5

由表 1 可知:U-Net 模型能够实现对刹车盘动片各损伤类型的准确分割,在自制数据集上的各评价指标均表现较好。其中,钢片和碟片的各评价指标均在 92% 以上,脱落和锈蚀的评价指标稍低,但均在 80% 以上。总体而言,基于 U-Net 模型的刹车盘动片损伤图像分割的平均 P 、平均 R 、平均像素 A 与平均 IoU 分别为 90.75%、91.25%、90.25% 与 87.25%,表明该模型对刹车盘动片损伤类型的图像分割效果良好。

3.3 损伤程度评估结果

基于损伤区面积量化模型与脱落区最大径向宽度计算模型,进一步处理基于 U-Net 图像分割后的刹车盘动片损伤图像,分别计算其损伤面积占比与脱落区最大径向宽度。3 种典型样本的损伤程度评估结果如图 5 所示。

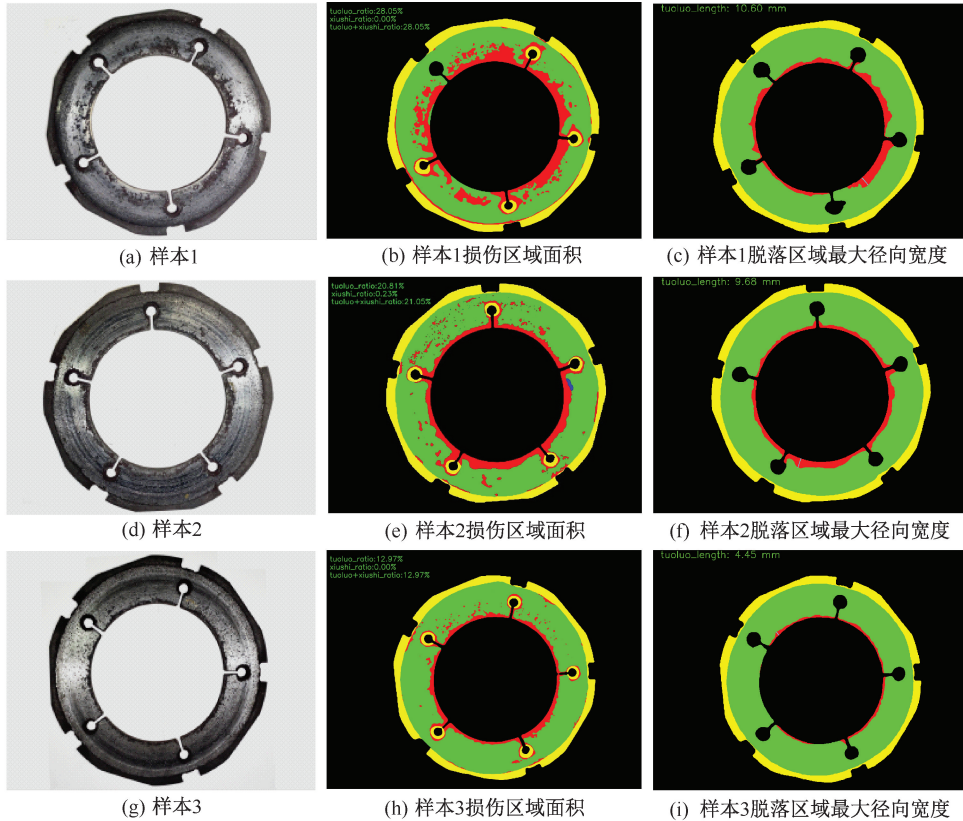


图 5 刹车盘动片损伤程度评估结果

Fig. 5 Assessment results of damage degree of braking moving disc

由图 5 可知:损伤区面积量化模型与脱落区最大径向宽度计算模型能够实现对刹车盘表面损伤面积与脱落区最大径向宽度的自动识别与测量。其中,蓝色的线段表示的是刹车盘动片脱落区最大径向宽度所在位置,图像左上角打印的信息分别是刹车盘动片损伤面积比例(含脱落比例、锈蚀比例以

及两者比例之和)与脱落区实际最大径向宽度。图 5b 显示样本 1 的损伤区域面积占比 28.05%,均为脱落,已超出规定标准(25%);图 5c 显示,脱落区最大径向宽度为 10.60 mm,同样也超过了规定的标准(6.4 mm)。因此,样本 1 已经严重威胁运行安全,应及时淘汰。图 5e 显示样本 2 的损伤区域面积

占比 21.05%,其中,脱落面积占比 20.81%,锈蚀面积占比 0.23%,总面积并未超出规定标准;图 5f 显示脱落区最大径向宽度为 9.68 mm,超过了规定的标准。因此,样本 2 也会威胁运行安全,应及时淘汰。图 5 h 显示样本 3 的损伤区域面积占比 12.97%,均为脱落,总面积并未超出规定标准;图 5i 显示脱落区最大径向宽度为 4.45 mm,也未超出规定的标准。因此,样本 3 还可继续使用,以节约训练飞行的运行成本。以上检测结果与经验丰富的机务工程师评估结论基本一致,且更加客观、可视化程度更高,证明所提算法是可行的。同时,该方法得出的评估结果所需时间较短(不超过 1 s),改变了传统依靠目视、耗时耗力的经验判断模式,实现了飞机刹车盘动片损伤程度的可量化、科学快速地评估。

4 结 论

1) 采用飞机刹车盘动片损伤程度智能评估方法评估 Cessna525 刹车盘损伤程度,评估过程耗时短,且评估结果客观准确、可视化程度高。该算法可为机务工程师科学、定量地判定刹车盘动片损伤程度及更换需求提供参考依据。

2) 基于 U-Net 模型可实现对刹车盘动片损伤区域的图像分割,构建的损伤区域面积量化模型和脱落区域最大径向宽度计算模型,能够实现对刹车盘动片损伤程度及更换需求评估从“经验判定”到“数智判定”的转变,避免人为因素引起的评估误差。

3) 后续将基于所提算法开发飞机刹车盘动片损伤程度智能评估原型系统,实现对其损伤程度及更换需求的自动、高效、精准评估。

参 考 文 献

- [1] 黄涛,李华,周桂,等.实例分割方法研究综述[J].计算机科学与探索,2023,17(4):810-825.
HUANG Tao, LI Hua, ZHOU Gui, et al. Survey of research on instance segmentation methods[J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2023, 17(4): 810-825.
- [2] 张鑫,姚庆安,赵健,等.全卷积神经网络图像语义分割方法综述[J].计算机工程与应用,2022,58(8):45-57.
ZHANG Xin, YAO Qing'an, ZHAO Jian, et al. Image semantic segmentation based on fully convolutional neural network[J]. Computer Engineering and Applications, 2022, 58(8): 45-57.
- [3] LONG J, SHELHAMER E, DARRELL T. Fully convolutional networks for semantic segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2014, 39(4): 640-651.
- [4] RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation[C]. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, 2015: DOI:10.1007/978-3-319-24574-4_28.
- [5] FARMAKI S, EXARCHOS D A, TRAGAZIKIS I K, et al. A novel infrared thermography sensing approach for rapid quantitative assessment of damage in aircraft composites[J]. Sensors, 2020, 20(15): DOI:10.3390/s20154113.
- [6] 李龙浦.基于孔探数据的航空发动机叶片损伤识别研究[D].天津:中国民航大学,2020.
LI Longpu. Research on damage identification of aeroengine blades based on borescope data [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2020.
- [7] 陈为,梁晨红.基于改进 SSD 的航空发动机目标缺陷检测[J].控制工程,2021,28(12):2 329-2 335.
CHEN Wei, LIANG Chenhong. Aeroengine target defect detection based on improved SSD [J]. Control Engineering of China, 2021, 28(12): 2 329-2 335.
- [8] 张华宇,刘文贝,谢凤芹,等.脉冲涡流传感器在刹车盘表面缺陷检测中的应用[J].仪表技术与传感器,2019(1):5-8.
ZHANG Huayu, LIU Wenbei, XIE Fengqin, et al. Application of pulsed eddy current sensor in inspection of brake disc surface defects [J]. Instrument Technique and Sensor, 2019 (1):5-8.
- [9] 武照云,高梦媛,张颖旭,等.基于卷积神经网络的盘式刹车片表面缺陷检测[J].组合机床与自动化加工技术,2023(3):70-73.
WU Zhaoyun, GAO Mengyuan, ZHANG Yingxu, et al. Surface defect detection of disc brake pad based on improved convolutional neural network[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2023(3): 70-73.
- [10] 岳远里,刘泽,武建利,等.电磁层析成像技术在刹车盘缺陷检测中的应用[J].中国电机工程学报,2021,41(5):1 894-1 903.
YUE Yuanli, LIU Ze, WU Jianli, et al. Brake disk defect detection using electromagnetic tomography[J]. Proceeding of the CSEE, 2021, 41(5): 1 894-1 903.
- [11] 李岩,吴孟男,薛兴伦.应用于刹车盘复杂背景去除的改进 Grab Cut 分割算法[J].机床与液压,2022,50(5):74-79.
LI Yan, WU Mengnan, XUE Xinglun. Improved grab cut segmentation algorithm for removing the complex background of

brake disc[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2022, 50(5): 74-79.

[12] 郑磊, 胡剑波. 基于 STAMP/STPA 的机轮刹车系统安全性分析[J]. 航空学报, 2017, 38(1): 246-256.

ZHENG Lei, HU Jianbo. Safety analysis of wheel brake system based on STAMP/STPA[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2017, 38(1): 246-256.

[13] 任金伟, 王士博, 王岩, 等. 微氧化和预沉积处理对民用飞机碳刹车盘寿命的影响[J]. 热加工工艺, 2022, 51(24): 53-56.

REN Jinwei, WANG Shibo, WANG Yan, et al. Effects of slight-oxidation & pre-deposition treatment on life of carbon brake disks in civil aircraft[J]. Hot Working Technology, 2022, 51(24): 53-56.

作者简介: 夏正洪 (1985—), 男, 四川乐山人, 硕士, 教授, 主要从事基于深度学习的航空运行安全风险评价方面的研究。E-mail: 66949827@qq.com。

2025 年《中国安全科学学报》征订启事

中国科技期刊卓越行动计划入选期刊
安全科学领域高质量科技期刊分级目录 T1 级
世界期刊影响力指数 (WJCI) Q2 区
美国化学文摘社 (CAS) 数据库收录期刊

Scopus 收录期刊
CSCD 核心期刊
中国科技核心期刊
全国中文核心期刊

学术性 权威性 应用性 信息性 国内外公开发行人
增强全民族安全科技文化意识 促进安全减灾环保科学综合发展

本刊竭诚为从事安全生产、应急管理、职业安全与卫生、防灾防损、个体防护等方面的专业人员, 为注册安全工程师、科研人员、管理干部、技工人员, 为高等院校有关师生, 为与安全科学技术有关的专家、学者以及职业安全健康中介机构的评价师等服务。刊登主要内容有:

- 1) 安全科学基础理论和学科建设探讨, 国内外安全科学进展及评述, 新学科的建设及理论。
- 2) 防尘、防毒、噪声与振动控制、辐射防护、个体防护、锅炉与压力容器、防火防爆、矿业工程、机电等安全工程与职业卫生工程方面的新见解、新理论、新成果。
- 3) 矿业、冶金、建筑、交通、石化工业、能源、航空航天工业、江河海运、公路铁路运输、军工及火炸药产业、机械、水利电力、电子信息产业、有害物质储运、保险等领域的安全与卫生工程实践的新见解、新方法、新成果。
- 4) 安全系统工程、安全人机工程、安全管理科学、安全信息科学、安全人体工程学。
- 5) 安全经济学、安全教育学、安全心理学、安全生理学、安全思维学、安全行为学、安全风险学。
- 6) 应急救援、应急管理、防灾减灾、消防安全的理论与实践研究。
- 7) 安全监察理论及实践, 安全伦理学, 安全法学, 现有安全生产、职业卫生方面的法律、法规、条例及标准研究。
- 8) 新技术应用在能量转换、交通运输、人为排放物质等领域风险辨识、风险评估、风险控制、风险后的平复等理论和实践, 风险中人的作用研究, 重大危险源的评估理论及实践。
- 9) 企业安全生产管理及企业(行业)安全与健康评价理论的探讨及实践, 企业安全文化、职业安全健康管理等。
- 10) 安全文化、安全哲学、安全史学、安全社会学的研究与实践。

《中国安全科学学报》(CN 11-2865/X; ISSN 1003-3033; CODEN ZAKXAM), 全年 12 期, 每月底出刊, 大 16 开本, 国内每册售价 40.00 元, 全年 480.00 元。

【订阅方法】下载征订回执单(见附件), 按要求填写清楚后发送至编辑部邮箱。

联系人: 秦繁华 电话: 86-10-64464783
电子信箱: csstlp@263.net 网址: www.cssjj.com.cn

【银行汇款】户名: 中国职业安全健康协会
账号: 0200006309026400165
开户行: 中国工商银行股份有限公司北京惠新支行