

燃气场站安全巡检中智能图像识别与隐患动态 ——分级管控研究

佛一擎

文昌中石油昆仑燃气有限公司，海南 文昌 571300

DOI: 10.61369/ETQM.12236

摘 要： 燃气场站安全巡检依赖人工经验，存在识别滞后和误判率高等问题。智能图像识别结合深度学习算法，可精准检测隐患提高巡检效率；优化目标检测模型提升实时处理能力，减少误报漏报增强复杂环境适应性。隐患动态分级管控基于智能识别构建风险评估体系，依据隐患等级与风险权重实现预警与精准管控；端边云协同优化数据传输与计算，提高系统响应速度满足实时监控需求。智能巡检系统融合硬件部署和算法优化以及数据分析，实现隐患自动识别和分级预警与安全管控，提升了燃气场站安全管理水平并且降低事故风险。

关 键 词： 燃气场站；安全巡检；智能图像识别；隐患分级；风险管控

Intelligent Image Recognition and Hidden Danger Dynamics in The Safety Inspection of Gas Station Station

—Research on Hierarchical Management and Control

Fo Yiqing

Wenchang CNPC Kunlun Gas Co., LTD., Wenchang, Hainan 571300

Abstract: The safety inspection of gas station depends on manual experience, and there are problems of identification lag and high misjudgment rate. Intelligent image recognition combined with deep learning algorithm can accurately detect hidden dangers and improve inspection efficiency; optimize the target detection model to improve real-time processing capability, reduce false alarm and enhance the adaptability of complex environment. Build a risk assessment system based on intelligent identification, realize early warning and precise control according to the hidden danger level and risk weight, and optimize data transmission and calculation jointly with the side cloud to improve the system response speed to meet the real-time monitoring requirements. The intelligent inspection system integrates hardware deployment, algorithm optimization and data analysis to realize automatic identification of hidden dangers, hierarchical early warning and safety control, which improves the safety management level of gas stations and reduces the risk of accidents.

Keywords: gas station; safety inspection; intelligent image recognition; hidden danger classification; risk management and control

燃气场站安全巡检关乎公共安全，传统人工巡检存在识别滞后和误判率高以及隐患分级不精准等问题，难以满足高效管理需求。智能图像识别结合深度学习，可精准检测燃气泄漏和设备老化以及阀门异常等隐患，从而提升巡检效率。隐患动态分级管控基于智能识别构建风险评估模型，结合环境与设备状态调整隐患等级，提高预警精准度。端边云协同优化数据处理与系统响应，增强实时监测能力。构建集图像识别和隐患评估以及分级管控于一体的智能巡检系统，将推动燃气场站安全管理向智能化和高效化发展。

一、燃气场站安全巡检智能图像识别方法

（一）燃气场站典型隐患的图像特征提取

燃气泄漏可表现为热成像中的温度异常或可见光图像中的气体扩散痕迹。设备老化通常伴随表面腐蚀和锈迹扩散与裂纹形成

等特征，可以通过纹理分析与颜色分布可以提取有效信息。阀门损坏可能出现形变和异物堵塞以及开关位置异常等特征，因此需要目标检测与关键点识别算法进行精准判断。对颜色分布和燃烧形态与亮度波动等特征进行分析可以知晓火焰是否异常，高温区域可借助红外图像进一步优化识别精度^[1]。深度学习特征提取能

力结合传统图像处理方法，可有效增强隐患识别的准确性，为后续智能巡检提供可靠数据的支撑。

（二）深度学习在燃气场站隐患识别中的应用

卷积神经网络（CNN）能够自动提取隐患特征并减少手工特征提取的误差，基于 YOLO、Faster R-CNN 等目标检测框架，可在复杂环境下精准定位隐患区域；Transformer 架构的 ViT 模型在大规模巡检图像处理中展现出较强的全局特征提取能力，提高对小目标隐患的检测效果^[2]。不同模型在检测精度和计算复杂度以及实时性方面存在差异，需结合场站巡检需求进行优化选择，隐患检测的损失函数影响模型训练效果，常用交叉熵损失函数衡量分类误差，计算方式如下：

$$L = - \sum_{i=1}^N y_i \log(\hat{y}_i)$$

其中， y_i 为真实类别， $\hat{y}_i$ 为预测概率，N 为样本数。目标检测中的边界框回归采用均方误差（MSE）计算偏差，公式如下：

$$L_{bbox} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2$$

其中，N 为样本数，即所有训练图片中的目标数量。 (x_i, y_i) 为真实目标框的中心坐标。 $(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ 为模型预测的目标框中心坐标。该损失函数衡量预测框偏移的均方误差（MSE），较大误差会被放大，促进模型调整预测框，提高检测精度，不同目标检测模型在燃气场站隐患识别中的性能对比见下表 1。

表 1：不同目标检测模型在燃气场站隐患识别中的性能对比

模型	参数量 (M)	计算复杂度 (GFLOPs)	推理时间 (ms)	mAP@50
YOLOv5	7.3	16.5	6.4	0.72
Faster R-CNN	41	180.2	79.6	0.76
ViT	86.6	354.1	95.2	0.78

目标检测模型各有优劣。YOLOv5 参数 7.3M，计算复杂度 16.5GFLOPs，适合实时巡检；FasterR-CNN 参数 41M，计算复杂度 180.2GFLOPs，适用于高精度检测；ViT 参数 86.6M，计算复杂度 354.1GFLOPs，适合深度分析。总的来说 YOLOv5 高效，FasterR-CNN 精准，ViT 适用于长期趋势分析，结合使用优化隐患检测体系。

（三）目标检测算法优化与实时图像分析

目标检测算法优化涉及模型轻量化、特征提取增强、实时性提升等方面^[3]。深度可分解卷积（Depthwise Separable Convolution）减少计算量，使模型适用于边缘计算设备，提高实时性，目标检测算法优化的工作流程可参考下图 1。多尺度特征融合增强小目标检测能力，特征金字塔（FPN）结构在不同层级整合信息，提高对管道泄漏、设备微小损伤的检测效果。非极大值抑制（NMS）优化目标筛选过程，减少重叠框误检，提高检测稳定性。目标检测的交并比（IoU）用于评估预测框与真实框的匹配程度，计算公式如下：

$$IoU = \frac{A_1 \cap A_2}{A_1 \cup A_2}$$

其中， A_1 和 A_2 分别表示预测框与真实框的面积。实时巡检系统需结合端边云协同计算模式，优化数据流处理，提高检测速度。

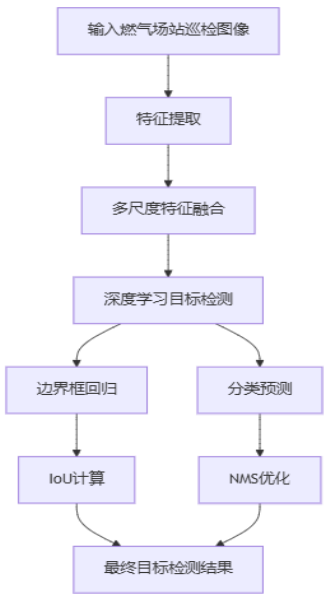


图 1：目标检测算法优化的工作流程

二、燃气场站隐患动态分级管控模型

（一）燃气场站隐患等级划分标准

燃气场站隐患的分级管理涉及风险控制与安全运营，依据隐患的严重程度、影响范围、发生概率进行分类^[4]。隐患等级分为一级（重大隐患）、二级（较大隐患）、三级（一般隐患），对燃气管网、设备、设施的安全性影响不同，需采取相应的巡检与处置措施。一级隐患通常指燃气泄漏、爆炸风险、关键设备故障，可能导致大范围事故，必须立即停运并采取应急措施。二级隐患包括局部腐蚀、管道老化、传感器异常，可能影响局部设备运行，但短时间内不会造成严重后果，需进行定期维护和风险控制。三级隐患涉及设备表面轻微损伤、标识缺失、轻度变形等，不会直接影响安全运行，但若长期未处理，可能演变为更高级别隐患。隐患的分类标准需结合燃气场站的运营情况，并基于历史数据进行动态调整，燃气场站隐患分级标准可参考下表 2。

表 2：燃气场站隐患分级标准

隐患等级	发生概率（0-1）	影响范围（0-100）	严重程度（0-100）	处置时限（小时）
一级隐患	0.7-1.0	80-100	80-100	0-2
二级隐患	0.4-0.7	50-80	50-80	2-24
三级隐患	0.1-0.4	20-50	20-50	24-72

燃气场站隐患分级决定处置时限，一级隐患（0.7-1.0），严重程度 80-100 需 0-2 小时内紧急处理；二级隐患（0.4-0.7），严重程度 50-80 处置时限 2-24 小时；三级隐患（0.1-0.4），严重程度

20–50，24–72 小时内跟踪管理。

（二）结合智能识别的隐患动态评估方法

智能识别技术结合隐患动态评估，能够提高燃气场站巡检的准确性，其模型基于隐患图像数据和传感器监测数据以及历史巡检记录，建立综合评分体系，以实现隐患等级的动态调整^[5]。风险评分的计算采用加权模型，其中主要参数包括隐患发生概率P、影响范围I、严重程度S，权重依据燃气行业安全标准设定。风险评分计算公式如下：

$$R = w_p P + w_i I + w_s S$$

其中， w_p 、 w_i 、 w_s 分别代表概率，影响范围，严重程度的权重系数，依据历史数据进行动态调整。风险评分用于隐患分级调整，例如二级隐患在连续多次检测中评分上升，可升级为一级隐患，已处置的隐患评分下降，可降级或移除，智能识别 + 动态评估整体流程见下图2。

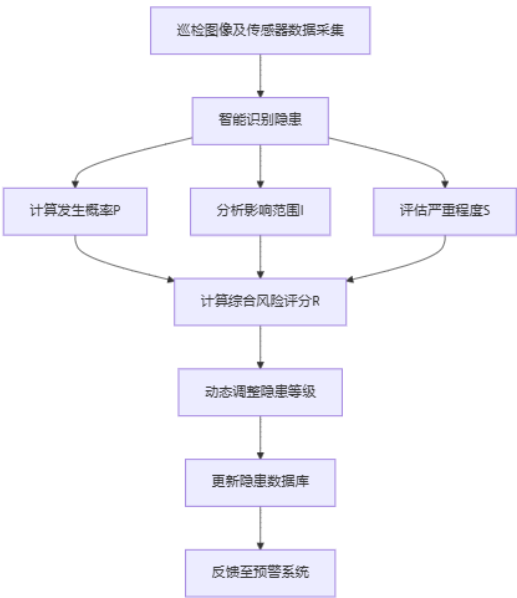


图2：智能识别 + 动态评估整体流程

（三）基于风险权重的隐患预警与处置策略

隐患预警机制基于风险权重计算结果，结合智能识别系统的分析，实现分级预警与精准处置。预警等级分为红色（高危）、黄色（中等）、蓝色（低危），不同等级对应不同的应对策略^[6]。红色预警表示隐患风险极高，例如燃气泄漏、爆炸风险、阀门严重故障，触发后系统立即报警，并联动燃气站控制中心启动紧急停运，封锁危险区域，调度应急维修团队，必要时进行人员疏散，并实时上报主管部门。黄色预警表示隐患风险较大，例如设备老化、阀门磨损、压力波动异常，系统记录隐患信息并设定整改期限，生成维修工单，安排巡检人员定期复查，若隐患持续存在且评分上升，预警级别自动升级至红色。蓝色预警表示隐患风险较低，例如轻微腐蚀和标识缺失以及轻度结构变形，系统生成巡检任务，定期复核，必要时进行维护，若多次巡检后风险评分仍在上升，则调整至黄色预警^[7]。预警机制通过智能评估模型动

态调整风险级别，结合巡检反馈形成闭环管理，确保隐患得到有效控制。

三、智能巡检系统架构与关键技术实现

（一）智能巡检系统总体架构设计

智能巡检系统架构由数据采集、边缘计算、云端分析、预警决策四个核心模块组成，结合智能图像识别、深度学习、端边云协同计算，实现燃气场站的自动化巡检。数据采集层包含固定监控摄像头和无人机巡检系统以及移动机器人等设备，实时获取场站环境与设备状态图像^[8]。边缘计算层部署于现场站点，通过高性能嵌入式设备对巡检数据进行预处理，包括目标检测、初步分类、噪声去除等操作，减少数据传输负担。云端分析层整合边缘计算结果，执行高精度隐患检测、风险评估、分级预警，结合历史数据优化识别模型，提高预测准确性。预警决策层接收风险评估结果，向维护人员推送隐患信息，并与控制中心联动，实现自动响应、工单派发、巡检任务调度等功能，确保隐患得到及时处置，智能巡检系统总体架构可参考下图3。

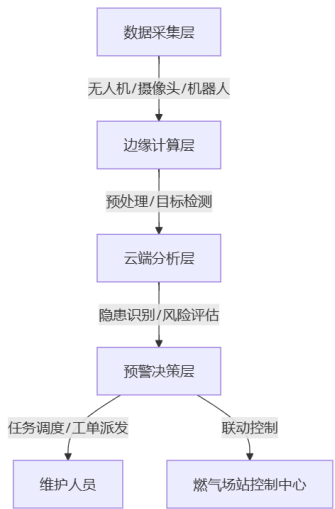


图3：智能巡检系统总体架构

（二）端边云协同的计算模式与数据处理优化

端边云协同计算模式提升数据处理效率，降低计算负荷，提高智能巡检系统的实时性。端侧设备包括摄像头、无人机、传感器等，负责数据采集，并执行基础数据预处理，如图像增强、背景去除、特征提取等，减少冗余信息^[9]。边缘计算节点部署在燃气场站内部服务器或巡检机器人上，执行本地推理，应用轻量级深度学习模型，如YOLOv5、MobileNet，进行目标检测、初步隐患筛选，减少云端计算压力。云端服务器负责大规模数据存储与深度分析，结合历史巡检记录优化隐患分类，提高模型泛化能力，生成巡检报告，为运维决策提供数据支持。数据传输采用分层存储策略，紧急隐患信息优先传输，高精度分析任务异步处理，确保系统负载均衡，提升数据利用效率，端边云计算模式的数据处理参数对比参考下表3。

表3：端边云计算模式的数据处理参数对比

计算层级	计算设备	处理内容	计算时延（ms）	计算功耗（W）	传输带宽需求（Mbps）
端侧计算	摄像头 / 无人机	数据采集、基础预处理	5-10	2-5	1-5
边缘计算	现场服务器 / 机器人	目标检测、隐患筛选	50-100	10-30	10-50
云端计算	远程服务器	高精度分析、历史数据整合	200-500	50-100	50-200

端边云计算模式协同优化巡检效率。端侧计算时延短（5-10ms）且功耗低（2-5W），适用于摄像头和无人机的数据采集与预处理；边缘计算时延适中（50-100ms）且功耗适度（10-30W），在现场服务器或机器人执行目标检测与隐患筛选，提高实时响应；云端计算时延较长（200-500ms）且功耗高（50-100W），适合深度分析和趋势预测；带宽需求端侧1-5Mbps，边缘10-50Mbps，云端50-200Mbps，数据分层处理降低网络负荷。端侧感知和边缘计算以及云端分析，三者协同提高巡检智能化水平确保燃气场站安全运行。

（三）现场部署与实时监控技术

智能巡检系统的现场部署涉及无人机巡检、固定摄像头监测、移动机器人巡逻三种模式，覆盖燃气场站不同区域的安全巡检需求。无人机巡检负责高空管道、储罐、厂区周界的隐患监测，搭载红外与可见光摄像头，实时检测燃气泄漏、高温异常、外部入侵等问题。固定摄像头部署在关键设备区域，如阀门、压力表、主控柜，持续监控设备状态，结合智能分析算法识别泄漏迹象、锈蚀变化、结构变形^[10]。移动机器人巡检适用于狭窄通

道、地下设施，搭载多模态传感器，完成复杂环境的隐患检测。实时监控系统通过无线网络将巡检数据上传至边缘计算节点，系统结合人工智能分析结果生成巡检报告，并向运维人员推送报警信息，实现远程控制与现场联动，并且提高燃气场站的巡检效率与安全性。

四、结语

燃气场站安全巡检智能化依赖高精度隐患识别与动态管控，智能图像识别提高燃气泄漏和设备老化以及阀门故障的检测精度，起到减少误报漏报的效果。隐患动态分级管控结合实时监测与历史数据，精准调整风险等级提升预警准确性；端边云协同计算优化数据处理，边缘计算提高现场响应速度，云端分析增强隐患趋势预测；无人机巡检和固定摄像监控以及机器人巡逻构建多层次巡检体系，覆盖关键区域实现精准监控。智能识别和动态评估以及风险预警融合推进巡检体系向智能并且高效方向发展，提升燃气场站安全管理能力。

参考文献

[1] 曹春生,王文昊,谢大鹏,等.基于图像识别的接触网安全巡检系统[J].铁路技术创新,2023,(06):50-54.

[2] 付海涛,刘烁,刘国庆.基于图像识别的高层建筑消防安全智能管理系统设计[J].信息与电脑(理论版),2023,35(24):168-170.

[3] 邱力军,李泽星.基于智能制造系统图像识别机器的视觉技术的研究[J].中国设备工程,2023,(22):28-30.

[4] 王桂林,康继光,向佳霓,等.基于图像识别与边缘计算的电力作业智能安监技术研究[J].电子设计工程,2023,31(22):182-186.

[5] 黄维健,范晓静,纪思鹏,等.电子巡检系统在手术室安全巡检中的应用效果研究[J].护理管理杂志,2023,23(06):485-488.

[6] 吴忧.运维安全巡检机器人平台的视觉感知系统研究[D].北京交通大学,2023.

[7] 于天振.基于废弃物处理工作现场安全巡检的机器人系统设计研究[D].扬州大学,2023.

[8] 凌雪飞,陈军.视视精细化管理对防范燃气事故的运用方法探讨[C]//中国城市燃气协会安全管理工作委员会.2021第五届燃气安全交流研讨会论文集(下册).青阳港华燃气有限公司,2023:83-87.

[9] 赵加成,臧垒垒.燃气场站扁平化管理改进的探索[C]//中国城市燃气协会安全管理工作委员会.2021第五届燃气安全交流研讨会论文集(下册).日照市天然气有限公司,2023:215-217.

[10] 张雅龙.以隐患分级划定企业事故隐患责任主体[J].劳动保护,2023,(02):49.