

基于 AI 的安全巡检图像识别与隐患智能分类系统开发分析

徐兴飞

哈尔滨顶益食品有限公司 黑龙江省 哈尔滨市 150066

【摘要】：面向食品加工厂锅炉间与灌装线的高噪声巡检场景，本文提出一套预处理与轻量化深度网络融合的隐患识别与智能分类方法。系统以颜色与分辨率标准化、直方图均衡化、联动高斯滤波、阈值分割与几何约束稳定前景；以 MobileNet 主干结合特征金字塔与注意力提取细粒度特征，并与基于业务阈值的浅层决策树协同，实现层级与多标签隐患判定。基于 5000 张样本训练，在 2000 张测试集上达到识别准确率 95.2%、召回率 93.8%、端到端耗时 0.5 秒每张，显著优于人工基线。实厂连续运行 1 个月，闭环发现设备故障 12 起、消防隐患 8 起、环境违规 5 起，日均核查时长由 2 小时降至约 30 分钟。结果表明，该方法在蒸汽遮挡与金属高光条件下具备良好鲁棒性，并可无缝对接安环平台实现证据留痕与处置分级。

【关键词】：安全巡检；图像识别；隐患分类；MobileNet；决策树

0 引言

工业现场巡检长期依赖人工目视与纸面记录，在快节奏作业与强干扰光环境下，易出现漏检与误判。食品加工厂的锅炉间与灌装线尤为典型，蒸汽与油渍降低对比度，金属件产生强反光，表盘刻度与指针细节难以稳定判读，阀杆位置与微弱渗漏更呈现小目标与弱纹理特征。此外，多源采集导致视角差异明显，隐患样本稀缺引发类别不平衡，传统基于规则的方法难以兼顾准确性与实时性。深度视觉在目标检测与细粒度表征方面已展现可迁移能力，为巡检智能化提供可能。基于此研究需求，本文构建面向食品加工场景的端到端图像识别与隐患分类系统，目标是在边缘算力约束下稳定解析表盘读数、阀位与渗漏征兆，并将设备状态、消防合规与环境违规等业务要素融入层级与多标签决策，提升告警的可解释性与闭环处置效率。

1 安全巡检图像识别与隐患分类的需求分析

鉴于工业现场安全巡检仍依靠人工目视与纸面记录，作业节奏快、蒸汽与炫光干扰把工作人员注意力不断消耗，效率受限，漏检与误判更易发生。结合食品加工厂的场景，锅炉间与灌装线存在表盘读数难辨与金属高光的问题，人工对照繁杂条款的稳定性也难以维系。近年来卷积网络与 Transformer 在目标检测中形成可迁移能力，叠加 OCR 与小目标增强，可把表盘指针、阀杆角度与渗漏痕迹等细粒度信号纳入机器感知，从而为构建智能识别系统提供技术抓手。该类图像数据具有多源采集与高噪声的复合特性，既有固定摄像头与手持终端的视角差异，也有蒸汽水雾与油渍引发的对比度下降与强反光，同时隐患样本稀缺造成类别不平衡。需求侧需建立与业务强绑定的隐患分类：设备状态异常联合判读压力阀表盘区间、阀杆位置与指示灯状态；介质泄漏依据法兰与接头处的湿痕与雾状羽流进行时空一致性识别；消防合规以铭牌日期、压力表指针与铅封完整性进行多模态核验，并引入层级与多标签标注来刻画严重

度、时效性与部件归属，便于把告警分级与闭环处置流程衔接。

2 基于AI的安全巡检图像识别系统设计

2.1 巡检图像预处理模块设计

鉴于食品加工厂锅炉间与灌装线在日常巡检图像中呈现光照不均、蒸汽与油渍造成的对比度下降以及金属反光引出的局部过曝，预处理模块被设计为把图像质量稳定在可识别区间的前置环节，并把固定摄像头与手持终端的输入差异在算法侧进行统一。模块在数据接入后完成颜色与分辨率的标准化，再把亮度通道交由直方图均衡化进行动态范围拉伸，从而把阀门阴影处的细节与表盘刻度弱纹理同步抬升，同时对高光区域进行亮度重分配以减弱金属件的炫光边缘，使后续指针、阀柄与泄漏痕迹的边缘响应更清晰。结合工位噪声特性，模块选用高斯滤波对传感器噪声与蒸汽羽流带来的高频干扰进行平滑处理，并把滤波核尺度与图像分辨率进行联动设置，以在降噪与保持细小结构之间维持可接受的权衡，由此降低在表盘字符、铅封细线与微小水迹上的误抹除概率。进一步观察发现，目标遮挡与背景杂散纹理会把后续检测与识别阶段的候选区域大幅扩张，因此模块在灰度域执行阈值分割以获得候选目标区域，借助亮度对比与色彩分量的联合门限把表盘、阀门、指示灯从复杂背景中分离，并且在连通域筛选中引入几何约束把区域形态限定在圆形或细长杆状等结构，从而削弱管线反光、支架边缘与地面水渍的干扰。面向食品加工厂的典型画面，直方图均衡化与高斯滤波的串联把低照与噪声环境下的纹理对比度抬升至可分割区间，阈值分割与候选区域筛选把表盘外圈、阀杆主体以及指示灯亮灭状态聚焦至稳定的前景掩膜，进而为后续的小目标检测、字符识别与细粒度姿态估计提供更可靠的输入，使表盘读数、阀柄角度与渗漏痕迹的判读在多源视角中保持一致性。

2.2 隐患特征提取与识别模型构建

鉴于锅炉间与灌装线隐患表征呈现细粒度、小目标与强反光并存的特性，特征提取与识别模块把卷积神经网络当作核心框架来使用，围绕表盘指针、阀柄角度以及渗漏弱纹理构建端到端识别流程。结合相同训练规约下的对比，系统把 ResNet50 与 MobileNet 在食品加工厂巡检图像上的适配性进行评估，从参数规模、推理延时以及复杂背景中的边缘敏感性进行权衡，考虑网关与手持终端的算力约束，最终选用轻量化且识别稳定的 MobileNet 作为骨干网络。见图 1（序号），模型由输入标准化、MobileNet 深度可分离卷积主干、特征金字塔融合、全局平均池化以及隐患分类头构成；其中特征金字塔把不同感受野的语义与细节进行聚合，用以覆盖表盘刻度、阀杆细长结构与雾状羽流的多尺度形态，通道与空间注意力把蒸汽遮挡与金属高光造成的伪边缘进行抑制。训练流程围绕 5000 张食品厂巡检图像标注样本展开，数据来源指向固定摄像头与手持终端，标注范畴涵盖设备状态异常、介质泄漏与消防不合规，并把小目标框的质量控制作为关键环节；数据增强采用亮度对比度扰动、随机裁剪与轻度模糊来模拟现场成像波动，采样阶段运用类别均衡策略缓解长尾分布。优化阶段选用交叉熵损失，结合动量 SGD 与余弦学习率退火来推进收敛，把过拟合风险交由早停与权重衰减共同约束。

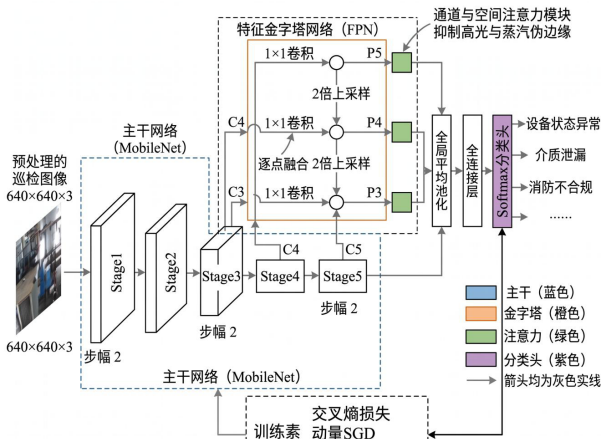


图 1 基于 MobileNet 的隐患特征提取与识别模型架构图

2.3 隐患智能分类规则与算法实现

面向食品加工厂的安全规范与巡检业务，隐患智能分类被设计为规则与模型协同的决策树框架。类别体系把隐患划分为设备故障类、消防隐患类与环境违规类，对应的判定特征由识别模块输出的压力表读数归一化值、阀柄角度、指示灯亮灭、渗漏置信度、湿痕面积比、时序持续帧数、灭火器铭牌到期天数、压力表指针所在区间与铅封完整性等构成。由此构建浅层决策树，把业务阈值固化在节点上，并把多源特征以时间窗口聚合后送入推断。设备故障类在压力偏离安全区间且阀位不在规定位置这一联合条件成立时被触发，若偏离幅度较大或异常

持续时间超过设定窗口，则被赋予等级 3，若单一指标越界或偏离轻微则标注等级 1 至 2。消防隐患类依据铭牌到期、压力表不在合格区间与铅封破损三项要素进行分裂，至少两项满足时输出该类，过期天数较长或压力偏低被进一步划入更高等级。环境违规类以渗漏置信度、湿痕面积比与羽流稳定性为核心路径，持续帧数较长且面积增长明显时划入等级 3，短时弱渗漏则给出较低等级。需重点关注的是，多标签情形在叶节点层合并，即当多个类别路径同时成立时，系统把多类标签一并输出，并把最高等级作为事件的处置优先级；在低置信边界附近，决策树保留不确定分支并把样本送交人工复核模块，以维持告警稳定性。算法实现中，节点阈值由安全规范与设备台账给出，树深控制在 4 层以内，并结合代价敏感剪枝抑制类别不平衡导致的误分配。同时把处置时限与设备关键度注入叶节点的输出，使类别、等级与处置建议在接口层被统一编码。输出结构包含类别编码、等级值与触发证据摘要，便于现场日志追溯与流程闭环对接。

3 系统性能与应用效果评估

3.1 系统性能测试与指标分析

在食品加工厂 2000 张巡检图像测试集中开展系统级评估，围绕识别准确率、召回率以及单张处理速度展开对照测试。准确率被定义为输出类别与等级同时与标注一致的比例，召回率指针对已标注隐患的检出比例，处理速度覆盖预处理、特征抽取与分类决策的端到端耗时。为形成可比基线，人工识别由 2 名具有设备管理资质的巡检员独立判读并经冲突仲裁形成最终结论，图像播放顺序与曝光参数保持与系统侧一致。测试环境选用边缘网关标准配置，批量大小设为 1，队列以到达顺序进入推理，保证调度不引入额外等待。进一步观察发现，蒸汽遮挡与高光区域会对人工判读带来更大的不稳定性，因此把样本按锅炉间与灌装线两个工位分层统计，以验证在复杂纹理与小目标密集场景下的鲁棒性。需重点关注的是，评价过程在阈值附近引入人工复核环节，把系统与标注的边界样本进行逐一核对，以降低长尾类别与极弱纹理造成的测度偏移。由此推导，系统在多源视角与成像波动条件下的综合表现可由表 1 给出，三项指标对比体现出端到端优化对巡检效率与稳定性的贡献，同时把系统输出的关键触发证据与时间窗统计一并记录，以支撑后续流程闭环与问题复盘。

表1 食品加工厂巡检系统性能测试结果表

评估对象	识别准确率	召回率	处理速度
系统识别	95.2%	93.8%	0.5 秒/张
人工识别	82.1%	78.5%	10 秒/张

3.2 实际场景应用效果验证

鉴于生产班次紧凑与巡检路线跨越锅炉间和灌装线的现实

情境, 本系统在宁波某食品加工厂连续运行1个月, 把识别模型部署至边缘网关并联通安环平台, 运维日志记录到设备故障12起、消防隐患8起、环境违规5起, 事件均由时间窗口内的多源特征聚合触发并进入处置闭环。进一步观察发现, 告警证据摘要把压力表区间、阀柄角度、湿痕面积比与时序持续帧数统一呈现, 使值守人员可以在班组交接时开展快速复核并安排工单。巡检效率方面, 厂区原有人工路线每日约需2 h, 启用系统后由固定摄像头完成主干采集、手持终端进行抽查补充, 单日现场核查时长压缩至约30 min, 同时把易受蒸汽和金属高光影响的工位设置为高频采样点, 从而避免重复往返。需重点关注的是, 锅炉间两名值守人员、灌装线三名线长以及安环部两名管理员在访谈中反馈, 人机协同使表盘读数和阀位判读在逆光条件下更稳定, 跨班沟通依赖告警证据而非口头描述, 误报主要来源于夜间局部强反光与极弱渗漏, 建议继续扩充该场景样本并把阈值邻域样本送入人工复核模块。消防合规路径把铭牌到期天数、指针区间与铅封状态联动输出处置时限, 线长反馈可直接按清单开展巡检并完成影像归档。由此推导, 多标

签共现时采用最高等级优先策略更契合厂内应急处置规律, 设备台账与维保计划的自动关联把工单时限、责任人和部件归属一并推送到安环平台, 使告警分级、证据留痕与闭环追踪在同一界面得以实现, 并不改变既有制度的前提下把巡检流程数字化重构。

4 结语

本文围绕食品加工厂高噪声巡检场景, 构建了含预处理、轻量化特征提取与规则协同决策的隐患识别体系, 实现多源图像下的表盘读数、阀柄角度与渗漏迹象的稳定感知, 并将层级与多标签机制与安环流程打通, 形成证据可追溯的告警闭环。实践表明, 该体系在复杂光照与蒸汽遮挡条件下具备工程可用性, 可在不改变既有制度的前提下推动巡检流程数字化。未来工作将从四方面深化: 扩充夜间强反光与极弱渗漏样本, 完善阈值邻域的人机复核与主动学习; 引入时序建模与跨摄像头时空一致性约束, 提升持续性事件识别; 开展量化与剪枝以进一步缩短边缘推理时延; 融入更丰富的多模态证据与不确定性评估, 增强告警稳定性与跨场景泛化能力。

参考文献

- [1]张晨, 高盛华, 王朔, 黄国杰. 基于计算机视觉的化工安监系统[J]. 计算机应用与软件, 2025, 42(05): 72-77+163.
- [2]荆曦, 吴建波. 基于船舶AI智能识别视频监控系统的船员安全管理研究[J]. 中国水运, 2025, (22): 34-36.
- [3]是建新, 毛善君, 陈自新, 李栋, 刘国锋, 张鹏鹏, 陈丽, 王晓. 煤矿综采工作面AI视频分析系统的设计与应用[J]. 中国煤炭,
- [4]陈方敏, 廖志坚, 孟陈. 基于低空热红外影像的城市轨道交通风险安全监护关键技术[J]. 上海国土资源, 2025, 46(02): 65-71+79.
- [5]张蕴明, 程险峰, 刘兵, 尉建兵. 一种面向轨道交通保护区安全管控的智能化巡查系统[J]. 北京测绘, 2025, 39(11): 1695-1699.
- [6]李志海, 黄思瑜, 黄雪怡, 刘雁, 钟源. 视频监控与识别技术和智能巡检机器人技术在石化领域的应用[J]. 石油炼制与化工, 2025, 56(01): 24-29.
- [7]李凌寒, 李显朕, 刘世飞, 贾振. 基于人工智能的光缆环境监测与风险预警系统研究[J]. 河南电力, 2025, (S1): 22-25.
- [8]杨洋, 马昆, 王立兵, 任予鑫, 黄艳利, 董霁红. 基于AI识别模型的智慧矿山井上/下安全预警系统构建及应用[J]. 金属矿山,
- [9]桓梓峻. 基于人工智能的化工图像识别技术与应用[J]. 热固性树脂, 2025, 40(05): 76.
- [10]孟凡腾, 秦勇, 崔京, 吴云鹏, 张紫城, 魏少伟. 铁路外部环境无人机图像未知风险检测方法[J]. 航空学报.

作者简介: 徐兴飞(1987—), 男, 汉族, 本科, 研究方向为安全工程。