

基于机器视觉的化工储罐液位仪表故障识别技术

苏 尚

河南神马氯碱发展有限责任公司 河南 平顶山 467000

摘 要: 化工储罐液位仪表长期处于复杂工业工况中, 极易产生各类可视故障, 直接影响液位监测的稳定性与准确性。本文结合化工现场实际工况, 梳理液位仪表的设备结构与运行原理, 划分常见故障类型并剖析对应视觉特征, 通过适配工业场景的图像预处理手段消除环境成像干扰, 完成故障特征的提取筛选与维度优化, 搭建两类故障识别模型并优化识别流程, 形成适配化工储罐场景的仪表故障视觉识别体系, 可为工业仪表智能化故障检测提供实用技术参考。

关键词: 机器视觉; 化工储罐; 液位仪表; 故障识别; 图像预处理

引言: 化工储罐是生产存储环节的核心设备, 液位仪表的稳定运行是保障储罐安全连续作业的重要前提。复杂现场环境包含光照波动、粉尘堆积、水汽附着等多重干扰, 会加速仪表损耗, 引发结构形变、显示异常等各类问题。传统人工巡检效率偏低、主观性较强, 难以适配常态化精细化的故障检测需求。机器视觉技术凭借非接触、高效率、自动化的优势, 可有效适配工业仪表故障检测场景, 依托图像处理与智能识别实现仪表故障的精准判别, 为化工设备智能运维提供全新技术路径。

1 化工储罐液位仪表及故障特征分析

1.1 化工储罐常用液位仪表类型及结构原理

化工储罐配套液位仪表分为智能远传仪表与传统就地仪表两大类, 其中雷达液位计、差压液位计为主流远传设备, 依托传感技术实现液位数据远程传输, 无需现场视觉观测; 而现场巡检、设备校验核心依托指针式机械液位表、光电式液位仪表、磁翻板液位仪表三类就地显示仪表。机械液位表配置浮球、连杆与指针传动组件, 浮力产生的机械位移可以驱动指针转动, 以此反馈液面高度变化。光电式液位仪表搭载光学传感元件, 利用介质与空气的光学属性差异, 改变光线传播和反射路径, 形成可视液位信号。磁翻板液位仪表内置磁耦合与红白双色翻转组件, 浮力变化触发翻板组件运动, 通过板面红白色彩分区更迭直观展示液位高度^[1]。这类就地仪表机械结构精密, 长期置于温变、轻微潮湿的标准化工业环境中, 机械传动、翻转部件易产生老化异常, 形成可通过机器视觉识别的故障特征。

1.2 液位仪表典型故障类型分类

化工现场复杂环境与设备长期运行损耗, 会让液位仪表产生多种异常问题。故障可依据外在表现分为结构类故障与显示类故障。结构类故障集中于设备外部可视

部位, 包括表盘形变、表盘卡滞、外壳积污、零部件脱落等问题。显示类故障体现在液位指示功能上, 涵盖指针偏移、指针静止、磁翻板排布紊乱、色彩显示缺失、液位显示断层等现象。设备表面积尘、介质雾气附着, 还会造成显示区域模糊、刻度遮挡、画面暗沉, 干扰液位信息正常展示。机械磨损会破坏内部传动结构, 化学腐蚀会损伤外部壳体, 粉尘堆积会覆盖显示界面。不同故障会单独发作或交替出现, 彻底改变仪表正常的视觉呈现形态。

1.3 各类故障视觉特征提取分析

机器视觉识别技术依托仪表故障的视觉差异完成判定工作。结构类故障会改变仪表整体轮廓与表面纹理, 故障区域会呈现轮廓畸变、边缘残缺、纹理杂乱等视觉变化, 积污与水汽遮挡问题会改变表盘像素灰度分布, 造成画面亮度失衡、像素层次无序。显示类故障具备专属且贴合现场实际的视觉特征, 其中指针式仪表故障主要表现为指针角度偏移、固定静止、指示偏差等异常画面; 磁翻板液位仪表为红白双色机械翻转结构, 无马赛克式无序混乱排布故障, 现场常见故障视觉特征为翻板翻转不到位、半翻状态、板面色彩模糊褪色, 以及浮球卡死、磁力衰减引发的全白、全红单向显示失效问题。通过精准梳理各类故障的像素分布、轮廓形态、纹理特点, 可明确不同故障对应的专属视觉标识, 为后续图像预处理、特征筛选、AI识别模型搭建提供稳定的数据支撑, 保障液位仪表故障智能识别工作稳定开展。

2 化工储罐液位仪表视觉图像预处理技术

2.1 工业现场图像采集环境特性分析

化工储罐多布置在室外敞开区或半封闭标准化车间内部, 成像环境干扰以常态化轻微变量为主, 无重度恶劣工况干扰。自然光照会随天气、时段产生强弱波

动，强光直射易造成仪表表盘反光、画面过曝，阴雨、昏暗天气会降低画面整体通透度；生产过程中产生的轻微悬浮水汽、微量粉尘，会轻微遮挡拍摄视野、附着镜头表面；现场设备运行产生的轻微震动，易造成拍摄画面轻微抖动、成像模糊虚化。化工现场各类常态化轻微干扰会导致原始采集图像出现噪点、亮度不均、细节模糊等问题，无法直接用于精准的故障特征提取与AI故障识别，必须依托专业化预处理技术优化图像画质，消除环境干扰，还原仪表清晰成像状态^[2]。

2.2 图像降噪处理技术

工业现场图像采集过程中，光照变化、轻微水汽散射、设备微小震动会产生大量无序细碎噪点，这类噪点无固定分布规律，会覆盖仪表表盘纹理、刻度、指针、磁翻板色块等关键细节，弱化故障特征辨识度。结合化工现场成像特点，融合空域降噪与频域降噪技术开展图像优化，依托像素邻域关系修正画面异常像素，平复零散噪点，同时通过图像频谱筛选过滤高频噪声分量，剔除画面杂乱干扰信息，在保留仪表完整轮廓与细微故障特征的前提下，清理图像冗余干扰像素，提升原始图像纯净度，为后续特征提取与模型识别奠定基础。

2.3 图像增强处理技术

受现场光照不均、轻微水汽遮挡影响，原始采集图像普遍存在对比度不足、灰度层次单一、边缘细节模糊、色彩辨识度低等问题，难以清晰凸显磁翻板褪色、指针偏移、翻板半翻等细微故障特征。采用多维度图像增强技术，通过灰度变换拉伸画面动态范围，修正偏暗、偏亮的失效画面；依托直方图修正技术均衡画面灰度分布，提升表盘、指针、翻板色块、故障区域的区分度；通过图像锐化技术强化仪表边缘细节，凸显仪表轮廓、刻度边界、翻板形变与翻转异常特征，让各类细微故障的视觉特征得到充分凸显。

2.4 图像分割与ROI区域提取技术

摄像头采集的原始图像包含储罐罐体、管线、墙面、地面等大量无效背景信息，冗余背景会占用运算资源、干扰故障特征识别精度。基于像素灰度、边缘轮廓与色彩差异，采用阈值分割与边缘检测结合的算法，精准区分就地液位仪表目标区域与无效背景区域，剔除画面无关像素。同时通过ROI感兴趣区域提取技术，精准截取仪表核心显示区域，精简图像数据量，聚焦有效检测区域，彻底规避无效背景干扰，让后续故障特征提取与AI模型识别更具针对性，提升检测效率与精度。

3 液位仪表故障视觉特征提取与优选

3.1 机器视觉常用图像特征类型

机器视觉与AI智能识别技术依托多样化图像特征完成工业设备状态判别，不同特征可从多维度反映仪表运行状态，如表1所示。灰度特征是图像基础属性，依托像素明暗分布差异，直观区分仪表表盘、刻度、故障区域的成像深浅变化；纹理特征可反馈图像表面像素排布规律，均匀细腻纹理对应仪表正常状态，粗糙杂乱纹理对应表面积污、褪色、轻微腐蚀等故障状态；形状特征聚焦目标轮廓结构与形态尺度，通过边缘轨迹、轮廓完整度、位置偏移变化，识别表盘形变、部件缺损、指针卡滞偏移等结构异常；边缘特征依托像素梯度变化捕捉目标边界，精准划分表盘、指针、磁翻板色块的区域范围。多维图像特征可全方位覆盖就地液位仪表各类故障的视觉表现，为AI故障识别提供充足数据支撑^[3]。

表1 仪表图像特征及对应故障适配关系

特征类型	核心表征	适配故障类型
灰度特征	像素明暗分布差异	积污、遮挡、画面暗沉
纹理特征	像素排布规律变化	腐蚀、褪色、表面磨损
形状特征	轮廓结构与形态偏差	形变、部件脱落、指针偏移
边缘特征	目标边界梯度变化	卡滞、翻转异常、刻度模糊

3.2 不同故障类型特征提取方法

针对液位仪表不同故障的差异化视觉表现，采用针对性特征提取方式，保障故障信息提取完整、精准。对于表盘薄积污、表面轻微腐蚀、翻板褪色等表层故障，重点提取纹理与灰度特征，通过量化画面纹理粗糙程度、灰度分布均匀度、色彩饱和度，锁定表层异常状态；对于表盘形变、部件松动脱落、表盘卡滞等结构故障，以形状特征和边缘特征提取为主，拟合约表标准轮廓参数，比对实际轮廓偏差，识别结构畸变与破损问题；对于指针卡滞静止、角度偏移、磁翻板半翻、全红/全白显示失效、液位分界模糊等核心显示故障，聚焦局部区域像素排布、边缘边界与色彩特征，提取指针位置偏差、翻板色块翻转状态、刻度对应关系等关键信息。差异化提取模式可精准捕捉各类故障独有特征，规避通用算法的细节遗漏问题。

3.3 故障特征筛选与维度优化

多维度特征提取后，图像数据存在大量重复、低辨识度冗余特征，易增加模型运算体量、降低故障判别精度。依托特征相关性分析与区分度阈值筛选机制，剔除重复性强、辨识度低、对故障识别无支撑的无效特征，保留稳定性强、特异性高、可精准对应各类故障的核心特征参数。同时通过主成分分析算法完成特征维度优化，精简数据维度、梳理特征排布逻辑，构建有序、高效的结构化特征数据集，有效降低模型运算压力，强化

故障特征的独特性与辨识度,为后续机器学习、深度学习模型训练提供高质量数据支撑。

4 基于机器视觉的液位仪表故障识别模型构建

4.1 故障识别模型整体架构设计

结合化工就地液位仪表故障检测需求,搭建层级化、递进式AI故障识别模型架构,整体分为数据输入、特征解析、故障推理、状态输出四大层级,各层级功能独立、衔接紧密。数据输入层级接收经过预处理、分割、特征优化后的标准化图像数据,彻底消除现场环境成像干扰;特征解析层级整合灰度、纹理、形状、边缘多维特征,完成特征数据的结构化规整;故障推理层级依托智能算法挖掘特征数据内在规律,建立图像特征与仪表故障状态的精准映射关系;状态输出层级整合判别结果,精准反馈仪表积污、卡滞、翻转异常、指针失效等各类故障。整体架构适配化工罐区标准化工况,可实现就地仪表故障的自动化、精准化智能判别^[4]。

4.2 传统机器学习故障识别模型构建

传统机器学习模型以人工筛选优化后的结构化特征数据为基础,适配化工仪表常规故障识别场景。通过整理大量就地仪表正常、故障样本图像,构建标准化特征数据集,依托SVM支持向量机、随机森林等经典机器学习算法,训练模型学习不同特征参数与故障类型的对应关系,持续迭代优化模型权重与判别阈值,提升模型对表盘积污、壳体形变、指针静止、刻度遮挡等高辨识度故障的识别精度。该模型结构简单、硬件资源占用低、运算速度快,可满足常态化基础故障检测需求,适合罐区仪表日常常态化巡检监测。

4.3 深度学习故障识别模型构建

为弥补传统机器学习对细微故障识别精度不足的短板,基于卷积神经网络(CNN)搭建深度学习故障识别模型,依托深层网络结构实现图像特征的自主提取与学习,无需人工手动设计特征规则。模型通过多层卷积、池化运算,自主挖掘磁翻板半翻、色彩褪色、轻微指针偏移、局部轻微腐蚀等低辨识度细微故障的深层语义特征,同时弱化光照、轻微水汽等环境干扰信息的影响。通过批量样本迭代训练,持续优化网络权重参数,强化

模型对细微故障、疑似故障的捕捉能力,适配化工现场成像质量波动的工况特点,大幅提升故障识别的精细化程度与鲁棒性^[6]。

4.4 模型识别流程优化设计

为适配工业现场实时检测需求,对模型原生识别流程开展全维度优化。精简图像输入、特征运算、故障判定的冗余步骤,简化数据调用逻辑,缩短算法运算链路;优化各模块数据传输方式,规范处理时序,提升图像数据流转效率;结合化工液位仪表故障高发规律,调整模型运算优先级,提升磁翻板翻转异常、指针卡滞等高频故障的识别权重,优化低辨识度细微故障的匹配逻辑。优化后的模型检测耗时大幅缩短,运行稳定性、适配性显著提升,可满足化工储罐就地仪表不间断、常态化的智能故障识别作业需求,实现与中控远传监测系统的互补适配。

结束语

整套检测体系深度贴合化工储罐复杂工况,针对现场光照波动、粉尘水汽干扰等问题完成全流程技术优化,兼顾常规故障检测效率与细微故障识别精度。通过融合图像预处理、特征优选与双模型识别技术,有效解决传统人工巡检主观性强、效率低下的痛点,弥补远传监测无法覆盖就地仪表视觉故障的短板。系统稳定性与现场适配性较强,可高效完成化工液位仪表常态化智能运维工作,助力化工储罐生产安全管控升级,也为化工行业各类工业仪表视觉故障检测的落地应用提供成熟可行的技术参考。

参考文献

- [1]郭琳,顿张静,易吉梅.LNG储罐液位、温度仪表安装技术分析[J].石油和化工设备,2023,26(1):78-80,88.
- [2]马轩,许开城,董涛涛,等.油品储罐液位计测量设计与应用研究[J].油气田地地面工程,2024,43(11):62-67.
- [3]杨力.石化装置罐区液位仪表的选择和应用[J].山西化工,2023,43(9):125-127.
- [4]路天成.LNG储罐罐表系统关键技术与质量管控实践研究[J].自动化应用,2026,67(7):153-157.