基于深度学习的皮带输送机纵向撕裂在线识别方法

柏　涛
平凉新安煤业有限责任公司　甘肃　平凉　744000

摘　要：针对皮带输送机纵向撕裂检测中复杂工况干扰多、细微缺陷识别难的问题，梳理工业场景下皮带图像的动态成像特性，搭建端到端深度学习识别架构，通过多尺度特征提取、特征筛选融合与轻量化改造完成模型优化，本文引入注意力机制强化微弱撕裂特征的响应权重，提升动态工况下的缺陷识别稳定性，经适配性调整后可直接部署于工业现场终端，满足皮带输送机全天候在线监测的实际需求。

关键词：皮带输送机；纵向撕裂；深度学习；特征提取；在线识别

引言：带式输送机是矿山、冶金等领域散料输送的核心设备，皮带作为承载与牵引部件，其成本占整机的40%~60%。长期受硬质物料冲击、摩擦卡滞等作用，皮带易出现纵向撕裂损伤，若未及时处置将引发输送中断、物料倾泻甚至人员伤亡等严重后果。传统接触式检测、人工巡检等方式难以适配高速动态运行的皮带监测场景，常规机器视觉方法对复杂环境的抗干扰能力偏弱，难以捕捉早期细微撕裂缺陷。依托深度学习技术构建纵向撕裂在线识别体系，可有效弥补传统检测方式的短板，为皮带输送机的安全稳定运行提供可靠技术支撑。

1 皮带纵向撕裂识别基础理论与工况特性

1.1 皮带输送机纵向撕裂损伤机理

皮带输送机在长期连续运转过程中，会持续承受各类机械载荷作用，逐步催生不同类型的结构损伤。纵向撕裂属于皮带较为特殊的结构性损伤形式，损伤形成与设备运行受力状态密切相关。输送物料过程中，硬质杂物会对皮带表面形成持续性刮擦与冲击，作用力集中在皮带局部区域，逐步割裂表层结构。皮带与托辊之间的持续摩擦会损耗表层橡胶结构，弱化整体结构强度。局部区域受到硬性挤压卡滞时，内部纤维骨架会出现逐步开裂，裂纹会沿着皮带运行方向持续延伸。各类外力长期作用叠加，会让初始微小裂纹逐步拓展为长条状纵向破损。皮带常规磨损多表现为表层均匀损耗，整体结构保持完整。横向断裂多由瞬时过载冲击引发，裂纹延展方向垂直于输送方向。表层脱胶仅为表层橡胶剥离，内部骨架结构不受破坏。各类损伤的形成方式与扩展形态存在明显区别，可作为纵向撕裂缺陷的区分依据[1]。

1.2 工业场景皮带图像成像特性

工业生产场地的作业环境复杂，皮带输送机在线图像采集工作会受到多重外界因素影响。皮带处于持续动态运转状态，每秒0.5~2帧的动态位移会让采集画面存在动态模糊，弱化图像细节信息。作业空间光源分布不均匀，现场杂光会投射在皮带表面，造成画面亮度分布不均、色彩偏移等成像问题。场地生产作业会产生悬浮粉尘，粒径分布集中在10~50μm的颗粒物漂浮在成像区域，遮挡皮带表面细节纹理。输送作业过程中，各类物料会附着、堆积在皮带表面，遮盖部分有效区域，掩盖潜在缺陷特征。各类干扰因素单独或交叉存在，会改变原始图像的信息呈现状态。采集图像普遍存在细节缺失、纹理杂乱、有效特征隐蔽等问题，对视觉识别工作形成固有阻碍，构成在线识别场景专属的图像成像缺陷。

1.3 深度学习视觉识别基础原理

深度学习视觉识别技术依托卷积神经网络完成图像信息的自主学习与判别。网络整体由多层功能结构堆叠组成，各层级结构承担专属的信息处理功能。图像输入网络后，通过层级卷积结构完成浅层细节信息的提取，涵盖边缘纹理、灰度变化、形态轮廓等基础内容。后续网络层级会对浅层信息做整合处理，实现多维度特征融合，挖掘图像内部隐藏的深层语义信息。网络通过持续的参数迭代更新，建立图像特征与缺陷状态的对应映射关系。传统识别方式依赖人工设计特征，难以适配动态场景与复杂干扰。深度学习技术可自主挖掘细微缺陷特征，自适应应对背景杂乱、细节模糊的图像状态，能够适配皮带动态运行工况下的缺陷识别需求，为纵向撕裂在线识别提供可靠的技术支撑。

2 皮带纵向撕裂特征分析与识别技术局限

2.1 纵向撕裂视觉特征体系分析

皮带纵向撕裂具备独立且完整的视觉特征体系，可从多维度完成特征拆解与规律分析。纹理形态层面，撕裂区域会打破皮带表面原有均匀纹理分布状态，形成无序、粗糙的破损纹理结构，和完整皮带的规整纹理形成明显差异。轮廓结构层面，纵向撕裂多呈现长条状线

性延展形态，整体走向贴合皮带输送方向，破损边缘存在不规则断裂形态。灰度差异层面，撕裂裂缝位置会形成深浅不一的灰度区域，裂缝凹陷位置光线反射程度更低，像素灰度数值整体偏低。区域形态层面，轻度撕裂表现为1~3mm细窄线性缝隙，重度撕裂会出现区域扩张、皮层翘起、结构分离的形态。撕裂缺陷在不同延展阶段会呈现梯度化的特征变化，破损范围、边缘形态、灰度分布都会出现阶段性差异。区分各类特征变化规律，能够厘清缺陷区域与皮带正常背景纹理的判别逻辑，为视觉识别提供稳定的特征依据[2]。

2.2 在线识别工况干扰因素分析

皮带输送机全天候连续作业模式，造就复杂多变的图像识别工况环境，多重干扰条件会直接影响撕裂特征的完整表达。设备持续运转产生的动态位移，会让采集图像产生运动模糊，弱化撕裂边缘轮廓与细节纹理，造成缺陷特征辨识度下降。作业场地光源布局杂乱，自然光线与设备补光相互交错，引发画面亮度失衡、局部过曝、阴影堆积等成像问题，干扰灰度特征的正常呈现。皮带输送物料过程中，煤粉、矿料及各类杂料会附着堆积在皮带表层，直接覆盖裂缝区域，遮挡有效缺陷信息。设备机架、托辊结构、杂乱物料纹理会构成复杂背景，和撕裂线性纹理形成混淆，打乱图像整体特征分布。各类干扰条件会单独或交错作用，改变原始缺陷特征的呈现形式，增加皮带纵向撕裂精准识别的难度。

2.3 传统皮带撕裂检测技术短板分析

现阶段常用的皮带撕裂检测方式存在明显技术短板，难以适配工业现场高精度在线识别需求。接触式检测依托物理感应结构完成故障判别，依赖部件接触触发信号，结构磨损、安装偏移都会造成检测失效，无法适配高速动态运行的皮带检测场景。常规机器视觉检测依托人工设定特征参数完成识别，对复杂环境适应性偏弱，难以自主捕捉细微撕裂缺陷，面对纹理遮挡、光线变化的容错能力偏低。人工巡检依赖人员现场观察与经验判断，作业效率存在明显上限，长时间高强度作业容易出现漏检、误检问题，无法适配全天候连续监测需求。各类传统检测技术在动态适配、抗干扰能力、细微缺陷捕捉层面存在固有不足，难以满足现代皮带输送机智能化、实时化的故障监测要求。

3 纵向撕裂在线识别深度学习模型构建

3.1 识别模型总体架构设计

结合皮带输送机在线检测的作业属性与纵向撕裂缺陷的特征变化规律，搭建完整的端到端深度学习识别模型整体架构。依据图像识别的完整业务流程，对模型功能层级进行清晰划分。图像输入层级负责接收工业设备连续采集的皮带画面，完成原始图像数据的前置载入与规范化处理。特征处理层级针对原始图像信息开展基础运算，剔除图像内含的杂乱信息，规整图像基础数据形态。特征变换层级对预处理后的图像信息进行深度运算，完成基础视觉信息向高级语义特征的转化。缺陷判别层级依托学习得到的缺陷特征规律，完成图像内部状态的辨识与划分。输出反馈层级整理模型判别信息，完成识别状态的标准化输出。各功能层级依次衔接、有序运转，构建适配皮带动态在线识别场景的完整模型运行体系。分层式架构设计能够保障图像识别流程有序、高效、闭环推进[3]。

3.2 多尺度缺陷特征提取网络设计

皮带纵向撕裂缺陷存在尺度多变、形态不固定的特点，不同损伤程度的撕裂缝隙在像素尺寸、延展范围上存在较大差异。针对这类缺陷特性，搭建适配多尺寸目标识别的专属特征提取网络结构。调整卷积层级的排布方式，优化网络感受野的配置范围，让网络能够覆盖微小细裂缝隙与大范围破损区域的特征采集需求。浅层网络结构侧重采集皮带表面的细节纹理、边缘轮廓、灰度变化等基础信息，保留细微撕裂的原始特征。深层网络结构负责提炼图像内部的抽象语义信息，捕捉大面积撕裂的整体形态与结构变化。多层级特征相互补充，完成皮带纵向撕裂全维度特征的完整提取。

3.3 复杂背景特征筛选与融合机制设计

工业作业场景的复杂背景会滋生大量无效纹理与干扰特征，影响模型对缺陷目标的精准判别。搭建专属的特征筛选与融合结构，对图像内的冗余背景特征做抑制处理。依托特征权重分配逻辑，调高纵向撕裂有效特征的表征权重，强化缺陷特征在识别过程中的主导作用。降低粉尘遮挡、物料覆盖、设备背景纹理等无效信息的特征占比，削弱环境干扰因素对模型识别过程的影响。通过多维度特征融合方式，整合不同层级提取的缺陷信息，规整有效特征的分布形态。提升模型对撕裂缺陷的特征聚焦能力，强化复杂工况下缺陷识别的稳定性。

3.4 在线识别推理机制设计

皮带输送机具备不间断、长时连续运行的作业特点，常规静态图像推理模式无法适配现场检测要求。结合设备连续运行的检测需求，搭建适配实时监测的图像推理识别机制。适配工业采集设备的帧频规律，建立连续帧图像的逐条分析逻辑。针对持续输入的图像数据流，设置轻量化推理运算流程，维持识别流程的持续性与连贯性。适配不间断采集、不间断分析的在线检测工

作模式，匹配皮带输送机长时间连续作业的监测场景，保障识别体系可以稳定适配工业现场的在线运行条件。

4 纵向撕裂识别模型结构与性能优化

4.1 网络结构轻量化优化

工业现场用于皮带监测的终端设备硬件配置普遍存在资源限制，常规深度学习模型结构复杂、参数量庞大，运行过程需要占用大量运算空间，难以直接投入现场常态化使用。针对皮带在线识别的实际设备部署条件，对原有模型整体网络结构开展系统性精简与重构。细致梳理网络内部运算逻辑，筛查各类重复运算模块与多余参数单元。删减功能重叠的卷积层级，整合结构相近的特征处理模块，清理网络内部无效计算链路。对基础卷积运算模式进行重构调整，更改特征传递与参数更新方式，压缩模型整体参数量。梳理模型推理阶段的数据处理流程，剔除多余的数据转换步骤，精简图像特征前向推理的整体架构。轻量化改造能够大幅降低模型运算资源消耗，降低硬件部署门槛。让深度学习识别模型可以适配工业终端的运行条件，满足皮带输送机长期在线监测的持续运行需求[4]。

4.2 注意力机制特征增强优化

常规图像识别网络对整张图像区域采取统一特征提取模式，没有区分有效区域与干扰区域的特征权重。皮带纵向撕裂缺陷多呈现细窄、浅淡的形态特征，早期损伤的特征表现偏弱，极易被画面中的物料纹理、设备结构纹理覆盖。引入专属注意力优化结构改造原有特征提取体系，重塑模型的特征学习逻辑。对撕裂裂缝、破损边缘等缺陷所在目标区域进行权重强化处理，提升缺陷特征在网络学习过程的响应程度。压制大面积正常皮带区域、杂乱背景区域的特征响应强度，减少无效纹理对特征学习的干扰。引导网络主动聚焦缺陷关键区域，自主挖掘隐藏在复杂画面中的微弱撕裂特征。强化模型对低对比度、细微化缺陷的捕捉能力，改善复杂工况下缺陷特征提取不充分、特征丢失等问题，提升缺陷识别的灵敏程度。

4.3 动态工况自适应识别优化

皮带输送机全程处于连续运转状态，现场作业环境随时发生变化，采集图像质量会出现不稳定波动。设备运转带来的运动拖影会造成画面模糊，场地光线变化会引发画面灰度偏移，现场杂物堆积会形成杂乱背景画面。各类图像问题都会干扰缺陷特征的正常提取，影响识别体系的稳定运行。结合皮带动态运行与工况多变的实际特点，对模型识别适配能力进行深度优化。调整模糊图像的特征提取策略，强化模糊纹理中有效缺陷信息的挖掘能力，弱化运动拖影带来的负面影响。优化模型对不同亮度画面的特征解析能力，适应光照偏移引发的图像灰度变化。完善复杂背景下的特征甄别机制，提升模型对无效杂背景的抵御能力。多维度的适应性优化可以提升模型对各类异常图像状态的兼容水平，强化整体识别体系在复杂工业场景中的稳定表现。

结束语

工业质检是散料输送设备运维的核心环节，皮带纵向撕裂在线识别技术依托深度学习架构完成端到端的缺陷判别流程，通过多尺度特征提取、特征筛选融合与轻量化改造完成模型优化，引入注意力机制强化微弱撕裂特征的响应权重，适配动态复杂工况下的识别需求。整套方案可直接部署于工业现场终端，有效破解传统检测方式在高速动态场景下的应用局限，能够适配高干扰、高动态的工矿作业环境，为皮带输送机全天候安全稳定运行筑牢技术屏障。

参考文献

[1]李斐. 皮带输送机输送带纵向撕裂保护研究[J]. 机械管理开发,2023,38(12):209-211.

[2]张胜. 带式输送机皮带纵向撕裂检测系统的设计与应用[J]. 山东煤炭科技,2022,40(6):196-198.

[3]赵杰. 矿用皮带机防纵向撕裂保护装置的设计[J]. 江西煤炭科技,2025(1):194-198.

[4]马跃. X光探测器在带式运输机皮带纵向检测中的应用[J]. 今日制造与升级,2026(4):42-44.