

# AI视觉分析算法和模型在火电厂智能巡检中运用研究

郭 城

包头东华热电有限公司 内蒙古 包头 014000

**摘 要：**火力发电行业具有高温、高压、高噪音、高粉尘等特质，为了保障工作人员的健康和安全，降低劳动成本，目前越来越多的企业开始使用智能化巡检功能。智能AI监控应用研究项目，从AI视觉安全巡检以及和模型方面分析了AI视觉算法和模型在火电厂智能巡检中的应用，以提升火电企业安全智能化管理水平。

**关键词：**AI算法；模型；火电厂智能巡检

火电厂的作业现场具有点多面广、环境复杂、施工和工作人员众多等特点。因此需要一方面关注人员出入和外围环境的安全监管，另一方面关注设备运行状态和安全记录的监控。火电厂作为重要的能源生产环境，如果不及时发现和处理违规行为和设备异常等问题，易引发安全风险和事故，造成严重的人员和财产损失，影响民生和社会稳定。

## 1 AI 视觉分析算法定义及原理

AI视觉分析算法是基于深度学习与计算机视觉技术，通过自动解析图像/视频数据实现物体识别、特征提取及智能决策的技术体系。其核心原理可分为以下五个阶段：

1.1 技术架构流程。图像采集，通过工业摄像头、红外传感器等设备获取目标场景的高分辨率图像或实时视频流，形成原始数据输入层。图像预处理，去噪处理：消除光照不均、设备噪点等干扰（如中值滤波算法）增强优化：采用直方图均衡化提升低对比度区域的细节可见性。几何校正：矫正镜头畸变或目标物角度偏移造成的形变。特征提取，利用卷积神经网络（CNN）自动提取多层特征：初级特征：边缘轮廓、纹理结构（通过卷积层实现）。高级语义特征：部件关联、空间拓扑关系（经由池化层与全连接层生成）。模型训练，监督学习：标注样本训练分类器（如YOLO、Faster R-CNN用于目标检测）。迁移学习：复用预训练模型参数加速特定场景的模型收敛。决策输出，根据分类置信度阈值输出结构化结果，包括：目标定位（边界框坐标），缺陷分级（热力管道腐蚀程度判定），异常告警（设备温度场异常热斑标记）。

## 1.2 关键技术特性。多尺度检测，特征金字塔网络

（FPN）融合不同分辨率特征，适应远/近景目标识别。实时性保障，轻量化模型设计（如MobileNet），满足工业场景毫秒级响应需求。鲁棒性增强，数据增强（旋转/遮挡模拟），提升复杂工况下的泛化能力。

1.3 技术演进方向。三维视觉融合：结合点云数据实现设备立体结构分析。小样本学习：通过元学习解决工业缺陷样本稀缺问题。边缘计算部署：模型压缩技术适配嵌入式设备算力约束。该技术体系通过模拟人类视觉认知机制，实现了比传统图像处理更高层次的场景理解能力，为工业智能检测提供了可扩展的技术框架。

## 2 AI 视觉模型训练与优化方法

AI视觉模型训练与优化方法是实现工业场景智能检测的核心技术支撑，其核心方法论可归纳为以下体系化框架：

2.1 训练流程标准化范式。数据准备，数据采集：覆盖设备运行全工况图像，包括正常/异常状态（如腐蚀、裂纹等缺陷）。数据增强：通过旋转、裁剪、噪声注入等操作提升模型泛化能力，样本量可扩展至原始数据量的5-10倍。标注策略：采用Bounding Box标注缺陷区域，结合热力分布图标注温度异常区。模型构建，架构选择：CNN网络（如ResNet）适用于常规缺陷检测，Transformer模型（如ViT）擅长长距离特征捕捉。预训练迁移：利用ImageNet预训练权重加速模型收敛，降低新场景训练成本达40%。训练参数配置，学习率调控：采用余弦退火策略动态调整学习率，避免局部最优陷阱。损失函数设计：组合交叉熵损失与IoU损失优化检测精度，F1值提升达12%。

## 2.2 优化方法关键技术。

| 优化方向  | 实现手段                                       | 效果验证             |
|-------|--------------------------------------------|------------------|
| 模型轻量化 | 通道剪枝+知识蒸馏，模型体积压缩至原尺寸30%                    | 边缘设备推理速度提升3倍     |
| 多模态融合 | 红外-可见光双通道特征对齐模块设计                          | 漏检率降低至1.2%以下     |
| 增量学习  | Elastic Weight Consolidation(EWC)算法防止灾难性遗忘 | 新缺陷类型识别准确率维持90%+ |

2.3 技术突破方向。小样本缺陷检测，通过元学习框架（MAML）实现仅需50个样本即可完成新缺陷类型识别，模型验证准确率超85%。强化学习优化，引入基于GRPO的相对优势计算方法，通过视觉状态模拟生成有效动作策略，推理准确率提升80%。三维重建辅助，融合点云数据构建设备三维模型，实现裂纹深度、腐蚀面积等量化分析。

2.4 工业落地挑战与对策。数据不均衡：采用Focal Loss缓解正负样本比例失衡（如正常：缺陷=1000：1）。环境干扰：引入对抗训练提升粉尘、反光等复杂工况下的鲁棒性。端侧部署：应用TensorRT量化技术，在2GB显存设备上实现30fps实时检测。该技术体系通过数据驱动与算法优化的双重演进，推动工业视觉检测从传统规则驱动向自适应智能分析转型。随着大模型压缩技术的突破，未来视觉模型将实现边缘端毫米级缺陷的精准识别。

3 AI 算法与传统算法在火电厂巡检中的对比分析

3.1 检测精度与可靠性。AI算法，基于深度学习的视觉模型（如YOLOv8、Mask R-CNN）可实现亚毫米级缺陷检测，漏检率降至1.2%以下。多模态数据融合（红外热成像+可见光）提升异常定位精度，皮带跑偏识别准确率达98.5%。传统算法，依赖人工经验与规则判断，漏检

率高达15%-20%。红外点温检测等单一手段难以捕捉微小缺陷，误判率超10%。

3.2 工作效率对比。巡检耗时，完成巡检耗时从30分钟压缩至5分钟，覆盖密度提升10倍，人工日均步行超2万步，纸质记录耗时占比超30%。数据处理，实时自动分析+云端存储，故障响应时间 ≤ 30秒，人工抄录需二次录入系统，故障发现滞后平均达48小时。巡检频率，支持7×24小时不间断监测，高危区域检测频次提升至每分钟1次，受限于人力排班，常规巡检频次为每天1-2次。

3.3 环境适应能力。AI算法，通过CutMix+GridMask数据增强模拟粉尘、反光等干扰，模型在复杂工况下性能衰减 ≤ 5%。多传感器融合技术（振动+温度+声音）可适应高温、高湿等极端环境。传统算法，依赖固定阈值判断，温度检测误差在±5℃以上，光照变化易导致视觉检测失效。

3.4 迭代与扩展性。AI算法，支持增量学习（EWC算法），仅需50个新样本即可完成模型迭代，准确率维持90%+。通过在线反馈系统自动优化模型，平均迭代周期缩短至72小时。传统算法，规则库更新依赖人工编程调试，新增缺陷类型识别需耗时2-3个月开发。

3.5 成本效益分析。

| 指标   | AI算法                          | 传统算法                      |
|------|-------------------------------|---------------------------|
| 初期投入 | 单套智能巡检系统部署成本约80-150万元（含硬件+算法） | 基础监测设备成本约20-50万元，但人工成本占比高 |
| 长期运维 | 年维护成本降低40%，单厂年节约运维费用超500万元    | 人工成本持续上升，单厂年均人力支出超800万元   |
| 事故损失 | 预测性维护减少非计划停机90%，单次事故止损效益达百万元级 | 故障发现滞后导致年均非计划停机损失超2000万元  |

3.6 技术演进趋势。智能分级：AI算法正从单一缺陷检测向设备全生命周期健康管理演进，结合数字孪生技术实现虚拟巡检与三维量化分析。边缘协同：轻量化模型（如MobileViT）部署至边缘设备，实现端侧30fps实时检测，降低云端依赖。自主决策：基于强化学习的巡检路径动态优化技术，使机器人自主避障效率提升40%。

4 AI 在火电厂智能巡检中的重要性

4.1 提升巡检效率与质量。AI替代传统人工巡检的高强度重复性作业，通过机器视觉、红外热成像等技术实现设备状态的精准识别，漏检率从15%-20%降至可忽略水平。无人机和巡检机器人可全天候执行任务，快速完成大面积、高复杂度区域的扫描，巡检周期缩短50%以上。

4.2 降低运维成本。智能巡检系统减少人工投入，例如某电厂引入AI巡检机器人后，工人巡检工作量减少60%，综合运维成本下降50%。通过预测性维护，提前发现设备异常（如循环水泵振动异常），单次预警可避免数百万元的非计划停机损失。

4.3 增强安全保障。在高温、高空、高辐射等危险场景中，AI驱动的无人机和机器人可替代人工进入危险区域，显著降低人员伤亡风险。实时监测烟尘、火点等安全隐患，例如“蓝天卫士”系统通过AI算法捕捉烟雾并及时告警，处置效率提升70%。

4.4 实现预测性维护与智能决策。结合温震传感器、多模态感知技术，AI模型可实时分析设备健康状态，提前预警故障，设备可靠性提升至95%以上。通过AI学习历史数据，优化巡检路线和频率，减少冗余工作，资源利用率提升30%。

4.5 推动数据驱动的精细化管理。搭建分布式智能网络，集中整合设备运行数据，支持故障回溯与趋势分析，为管理层提供决策依据。消除传统纸质记录的滞后性，实现巡检数据实时上传与云端存储，提升管理透明度和追溯能力。

4.6 应用案例与成效。国家能源集团电厂部署智能巡检系统后，拦截设备异常事件14起，辅机可靠性提升至

95%，年节约成本超千万元。科远智慧AI巡检机器人在多家电厂投用后，输煤皮带巡检实现“无人化”，故障响应时间缩短至分钟级。

5 AI 视觉分析算法和模型在火电厂智能巡检应用

5.1 输煤系统智能巡检。AI巡检机器人规模化应用，在连云港虹洋热电、大唐贵州发耳电厂等项目中，AI巡检机器人实现输煤皮带全天候自主巡检。通过高清摄像头的实时影像捕捉和AI算法分析，可精准识别皮带跑偏、撕裂等异常，替代传统人工步行巡检模式，缺陷识别响应时间缩短至30秒以内。多维度缺陷识别体系，某电厂引入视觉AI推理平台，部署皮带跑偏检测、撒煤识别等算法，利用机器学习模型对皮带运行状态进行像素级分析，解决人工巡检难以覆盖复杂通廊环境的问题，降低设备停运风险。

5.2 设备健康管理升级。智慧电厂云体检系统，某电厂通过智能巡检机器人对升压站、汽机房等区域进行巡检，结合600MW超超临界机组运行数据建立设备基线模型，实现284克/千瓦时的低煤耗目标，年节约运维成本超千万元。全生命周期数据管理，国家电投滨海发电公司

采用智能巡检系统对28项关键指标进行自动化采集，结合历史故障库预测振动异常等早期缺陷，将辅机设备可靠性提升至95%以上。

5.3 无人机立体化监测。输电线路定量巡检，应用搭载红外热像仪和气体传感器的无人机，实现输电线路通道内违章建筑、高杆植物的三维建模与弧垂高度测量，缺陷识别定位精度达厘米级，巡检效率较人工提升5倍。高空危险区域探测，通过视觉SLAM导航技术，无人机自主完成冷却塔内壁腐蚀检测、烟囱裂缝识别等任务，结合AI图像处理技术实现绝缘子污损等隐蔽缺陷的自动标注。

5.4 安全管理平台建设。作业安全智能管控，针对外包人员作业监管难题，部署AI视频分析系统实时监测安全帽佩戴、禁区闯入等违规行为，烟火识别准确率达99%，消除传统人工监控的响应延迟缺陷。零代码隐患排查体系，如创智盈搭建的数字化管理平台覆盖全国十多个项目点，实现设备参数异常自动预警、巡检路线强制锁定等功能，使隐患排查完整率从68%提升至92%。

5.5 应用效果对比。

| 案例维度  | 传统模式痛点          | 智能解决方案效益      |
|-------|-----------------|---------------|
| 人力成本  | 单厂年均巡检人力投入超60万元 | 机器人替代后成本下降50% |
| 缺陷发现率 | 人工目检漏检率>15%     | AI系统缺陷捕获率>98% |
| 应急响应  | 故障定位平均耗时2小时     | 预警到定位缩短至3分钟内  |

综上所述，当前火电厂智能化转型已进入加速期，AI算法通过“感知-分析-决策”闭环重构巡检体系，推动运维模式从“被动抢修”向“主动防御”跃迁。AI技术通过智能化、无人化改造，正在重构火电厂运维体系，从效率、成本、安全等多维度推动行业转型升级。当前火电行业通过AI巡检系统重构设备管理模式，在提升本质安全水平的同时，推动运维成本下降和能源利用效率的全面提升。

参考文献

[1]凌颀国.AI视觉分析算法在火电厂的研究[C].第27

届中国控制会议论文集.2008:270-274.  
[2]刘群.AI视觉分析算法和模型在火电厂智能巡检中运用研究[J].现代电子技术,2008,31(8):190-194.  
[3]刘作钧.基于视觉深度学习算法的变电站智能巡检应用研究[J/OL].有色金属科学与工程,1-12[2024-06-12].  
[4]杨志怡.基于人工智能和物联网技术的火电厂设备智能巡检研究[J].中国设备工程,2022(18):38-40.  
[5]赵浩.基于无线传感器网络的火电厂设备状态监测系统研究[D].华北电力大学,2022.