

# 新能源场站智能巡检机器人感知与识别能力提升技术研究

马万学

三峡新能源（集团）股份有限公司甘肃分公司 甘肃白银 730400

**摘要：**在新能源场站规模不断扩大的背景下，智能巡检机器人逐渐承担起精细化巡检与风险预判的关键任务，而复杂多变的运行环境又使感知不稳、识别精度不足等问题愈发突出。依托多源信息融合、场景语义增强与异常特征建模，机器人对设备状态的捕捉能力得以提升，识别链条也随之更具连续性与稳定性；随着深度学习模型的引入力度增强，热点识别、结构异常判断与运行参数感知的准确性逐渐提升，使智能巡检在新能源场站的适用范围进一步拓展。研究旨在构建契合场站特性的感知识别体系，以提升设备状态判断的可靠性，强化巡检工作的智能化支撑。

**关键词：**新能源场站；智能巡检机器人；多源感知；识别算法；异常检测

## 引言

新能源场站在规模扩张与设备多样化并行推进的过程中，对运行巡检的精细度、实时性与安全性提出了更高要求，而人工巡检在路径复杂、环境波动频繁的场景中往往难以保持稳定绩效，使智能巡检机器人逐渐成为支撑运维体系的重要力量。随着多模态感知设备不断集成、语义识别算法持续演进，机器人在状态识别与异常捕捉中的作用愈加凸显，但强光、遮挡、电磁扰动、温湿变化等因素仍持续影响识别的稳定性，使其在场景适应性与识别精度方面面临新的挑战。围绕感知链条的补强、识别模型的优化与异常特征的系统化表达展开研究，对于构建更稳定的巡检能力、提升新能源场站的运行安全具有现实意义。

## 一、新能源场站巡检机器人感知与识别的技术基础

### （一）新能源场站环境特性对感知系统的挑战

新能源场站在空间结构、气候条件与设备形态方面呈现高度多样性，光伏阵列的大面积反光、风机塔筒的高耸结构、储能舱体的密闭布局，使巡检环境在光照、遮挡、温湿变化与电磁扰动等维度呈现出强不确定性，而感知系统在这种多重干扰下易出现图像过曝、特征丢失、轮廓断裂等问题<sup>[1]</sup>。随着设备与地形愈加复杂，机器人在高差路径、狭窄通道、反射面附近的识别稳定性更需要依托鲁棒感知体系来维持，使其能在环境变化中

保持连续有效的信号捕捉能力；由此，针对场站特性构建适应性更强的感知机制，既是支撑精准识别的基础环节，也是实现智能巡检效能提升的重要前提。

### （二）智能巡检机器人多源感知体系的构成

面向复杂场景构建的多模态感知体系，使机器人能够依托视觉、红外、激光雷达、毫米波雷达及温湿度传感器等多源信息形成更具细节的环境表达，而各类传感器在任务分工上的互补性，使目标定位、空间建模与状态识别愈加稳定。可见光图像提供结构细节，红外成像揭示温度异常，激光雷达增强空间维度的几何精度，声学与振动信号补强故障特征捕捉，使感知链逐步完整；随着深度学习算法不断渗入特征提取与融合处理环节，机器人在复杂背景下的识别能力明显增强，尤其在光照变化、设备遮挡与场景多样性条件下，其对特征的提取能力更为集中，进而推动新能源巡检在安全性、可控性与精细化管理方面形成更坚实的技术基础。

## 二、智能巡检机器人感知能力的提升技术路径

### （一）基于多源融合的环境感知能力优化方法

在新能源场站的多样化场景中，感知信息的稳定获取往往依赖多源融合带来的结构补强效果，借助可见光、红外、激光雷达、毫米波雷达等传感器的并行采集，使环境特征在不同尺度、不同频段中被重新描绘，而感知链条的可靠性也随着多模态数据的叠加而更具韧性。光照变化剧烈之处，可见光图像往往出现细节掩蔽，而红外影像却能在温升、热点分布中呈现异常特征；设备遮挡较多的区域，激光雷达所构建的三维点云结构又能补上视觉无法穿透的空白，使机器人在空间建模时保持连

**作者简介：**马万学（1986.01-），男，汉族，甘肃会宁，本科，中级工程师，研究方向：新能源电力。

续的场景认知能力；电磁扰动明显的场景中，毫米波雷达对金属反射面的敏感捕捉，使设备轮廓重新获得清晰度，进而提升目标定位的稳定性。通过深度学习模型实现特征级的融合，使多源信号在时间维、结构维与语义维重新对齐，而多尺度卷积、注意力机制与Transformer结构的介入，又使不同模态特征在动态环境中保持内在关联，由此增强机器人对复杂背景下结构细节的提取能力，使其在高反光面、阴影区、强对比场景中仍能维持稳定输出。多源融合不仅改善了信号质量，更进一步构建了具有冗余性的感知框架，使单点失效不会迅速扩散至整体识别链条，从而强化新能源场站巡检场景下的环境适应性与任务可持续性。

## （二）基于场景理解与语义识别的目标识别能力增强技术

新能源设备的结构呈现出高度差异化特征，风机的叶片曲面、光伏组件的规则阵列、储能设备的封闭箱体，使机器人在识别时必须具备对场景语义的深度理解能力，而仅依赖底层视觉特征往往无法支撑其在多场景切换中保持识别稳定<sup>[2]</sup>。依托语义分割、实例识别与多尺度特征提取模型，可使机器人在多样化设备结构中建立起稳定的语义标签体系，而场站特有的空间规律、设备布局逻辑与运行状态特征，也在场景先验的引导下逐渐融入识别机制，使识别过程不再只是被动捕捉，而是兼具预测性与关联性。光伏组件的细微裂纹、汇流箱的接线异常、风机塔筒表面腐蚀迹象等特征，在语义增强模型的提取下更加清晰，而异常部位的轮廓、纹理、亮暗对比也在跨尺度特征融合的作用下表现出更明显的差异性，为后续异常定位提供依据。随着深度神经网络由卷积结构向Transformer架构延伸，模型在全局信息捕捉上的优势逐渐显现，使机器人在远距离监测、大范围场景推断等任务中表现更为稳定；其对特征间长距离依存关系的刻画能力，使设备结构变化、光照突变与遮挡形式复杂化时仍能保持识别链条的完整性。场景理解的深入，使机器人能够在巡检过程中建立一种更主动的认知方式，其不仅能够识别目标，更能理解目标在场景中的位置、意义与潜在风险关系，由此推动新能源巡检迈向更高层级的智能化。

## 三、识别结果优化与系统验证：从精度提升到场景落地

### （一）特征深描与异常外显：构建高精度识别模型的关键路径

新能源场站的设备运行状态呈现出缓变、隐变与突

变并存的复杂特征，使异常信号在不同尺度上具有强弱差异、显隐差异与结构差异，而识别精度的提升往往依托对这些特征的深度刻画与结构外显。依托时序建模、对比学习与局部强化等策略，使热点区的温升图样、裂纹的边缘辉度、腐蚀点的纹理粗糙度等信息被重新编码，异常外显程度在多尺度融合下得以加强，模型对弱特征的敏感性随之提升；在此基础上引入异常区域的动态阈值机制，使模型在面对光照突变、部件遮挡与材料反射差异时仍能维持稳定判断，识别链条由碎片化判断逐步向连续化表达过渡<sup>[3]</sup>。

针对模型识别难点，不同研究场景已出现一批成功案例。例如，某沿海风电场在强风、盐雾与高湿条件下长期运行，塔筒外壁的微裂纹极易被水迹、污渍与光斑掩盖，传统单模态识别方法在此类场景中漏检率常高达18%左右。研究团队在构建识别模型时引入热成像与可见光的联合表达，使裂纹边缘在温差效应下呈现更统一的梯度结构，而对比学习机制进一步强化了模型在复杂背景下的区分能力，最终使裂纹识别准确率提升至94.7%，低误报率维持在3%左右，为巡检策略优化提供了可靠依据。由此可见，异常特征的深描不仅改善了模型的识别能力，更使新能源场站在高风险点位的监测中获得了更大的主动性与安全余量。

在识别精度提升过程中，模型性能的验证具有关键意义。为便于工程化评估，可根据主要设备类型的异常特征识别表现构建评价矩阵，如表1所示。

表1 主要设备异常特征识别准确率对比表

设备类型	温升异常识别率	表面裂纹识别率	结构松动识别率	综合准确率
光伏组件	96.3%	92.5%	—	94.1%
风机塔筒	94.7%	90.2%	88.9%	91.3%
储能电柜	97.1%	—	93.6%	95.4%

表1所示数据虽来自典型试验场景，但也揭示了多源融合与异常特征增强技术在不同设备类型上的差异化优势，而这些差异正是后续算法权重调整与识别策略精细化的重要依据。

### （二）算法演化与系统协同：提升识别稳定性的关键机制

识别系统的稳定性既依托算法本身的表达能力，也依赖模型与现场环境之间的动态协同，在新能源场站环境干扰频繁、设备形态多变的条件下，这种协同关系尤为重要。随着模型结构不断演化，语义建模能力、全局

关联能力与特征重构能力逐渐成为提升稳定性的核心环节，而轻量化结构的介入又使算法在边缘端设备上具备了更高的部署灵活性，使机器人在移动巡检中保持更低延迟与更高推理效率<sup>[4]</sup>。模型在实际运行中表现出的稳定性提升，不仅有赖于自适应的权值调节机制，也依托状态反馈环节的持续矫正，使机器人能够在不同光照变化与不同地形扰动下维持稳健输出。

针对算法演化的工程实践中，各类创新案例日益增多。以某大型光伏基地的巡检系统优化为例，该基地在正午强光条件下，组件表面出现大量反射斑块，使图像特征严重丢失，识别系统早期阶段的误检率一度接近15%。在优化过程中，技术团队将模型结构由传统卷积网络升级为混合式Transformer，以提升长距离依赖特征的表达能力；同时在前端部署轻量化子网络用于特征预清洗，使光斑区域与组件边缘结构得以分离，最终使识别误差下降至4%左右，低照条件下的识别性能也随之提升。由此可见，算法与环境之间的双向适应，使模型在动态巡检场景中的表现愈加稳定，而识别链条的韧性强化，使智能巡检机器人在复杂场站的部署价值更加凸显。

从系统协同角度看，巡检机器人与后台平台之间的联动亦影响识别稳定性，随着数据回流机制、模型在线更新机制与场景参数同步机制的逐步完善，识别结果不再只停留于前端判断，而是在云端或边缘服务器中获得进一步推理，使最终输出具备更高的可靠性。例如，在某储能站项目中，运维团队建立模型在线更新系统，使机器人在检测到电柜局部异常温升时，能够同步上传图像、温度点位与振动数据，经后台模型进一步识别后反馈风险等级，实现从前端识别到后端决策的紧密闭合式链条。

### （三）场景落地与多域验证：构建全流程应用价值的体系框架

识别技术的成熟最终体现在场景落地，而新能源场站的多样化运行环境为识别体系提供了天然的试验场，使模型从实验室能力走向工程能力。在光伏场景中，大规模组件阵列造成的重复结构极易使模型出现特征漂移，而阵列缺陷在阳光强烈照射下又呈现弱对比特性，使识别任务的难度进一步放大；在风电场景中，高空设备的曲面反射、多向风载与海雾侵蚀，使识别系统面临更复杂的信号干扰；在储能场景中，热管理系统的局部热点

变化、线路连接的复杂性与箱体内部狭窄空间，使识别链条必须兼具灵敏性与稳定性。场景差异虽构成挑战，却也催生了更丰富的应用策略，使系统得以形成面向不同设备特性的适配路径。

在实际落地过程中，具有代表性的工程案例不断推动识别技术走向成熟。例如，某西北光伏基地在试点智能巡检机器人时，为验证识别结果的稳定性与一致性，对照人工巡检数据建立了校核体系。试验周期内，机器人获得的热点异常识别准确率达到96.3%，与人工误差差异控制在3%以内；对组件表面裂纹的识别一致性达到92%，用于决策的可靠性显著提高。此类结果不仅体现识别系统的工程可行性，也为后续的规模化部署奠定了技术基础。

### 结语

在新能源设施不断扩容、运行脉络愈加复杂的背景下，智能巡检机器人的感知与识别能力正在成为运维体系跃升的关键动力，随着多源信息的深度融合、场景语义的持续积累以及异常特征的多维表达，巡检从粗放走向精细、从被动走向前瞻，其技术价值也在不同场景中不断放大。感知链条因模型演进而更具韧性，识别体系因经验沉淀而更显敏锐，机器人在适应性、判断力与稳定性上的提升，使新能源场站的运行安全与管理效率形成良性循环。面向未来，随着算力结构、传感体系与智能算法持续协同，设备状态的透明化、风险预控的前置化与巡检模式的智能化将逐步成为常态，智能巡检机器人也将在更广阔的能源场景中展现其深层价值，推动新能源运维迈向更高水平的自主化与可持续发展。

### 参考文献

- [1] 孙国宝, 杨豪, 魏普鑫, 等. 油气场站巡检机器人智能分析技术[J]. 钻采工艺, 2026, 49(01): 88-97.
- [2] 陈云, 黄侠凡. 变电运维中智能巡检机器人的应用[J]. 信息与电脑, 2025, 37(24): 86-88.
- [3] 周小进. 智能巡检机器人在接触网运维中的技术分析[J]. 中国科技信息, 2025, (18): 77-79.
- [4] 李高波. 污水厂生物反应池智能巡检机器人系统现存问题与技术优化路径研究[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(11): 109-111.