

基于红外图像识别技术的光伏发电组件热斑效应智能检测系统应用研究

作者：薛辉、赵锡斌、张建军、马骁、薛山、
张荣达、薛杰、王琦、王江南

作者单位：石家庄东方热电热力工程有限公司，河北省石家庄市长安区和平东路 401 号，
050000

Application of Intelligent Detection System for Thermal Spot Effect of Photovoltaic Modules Based on Infrared Image Recognition Technology

摘要：新能源光伏场站发电组件是转化电能的主要设备，因外部因素或自身材质损耗在运行中会发生组串连接失效、二极管故障、隐裂、遮挡等影响电站发电效益的缺陷。而这类缺陷的显现方式是以热斑效应出现的，通过红外图像中色温和形状差异对热斑进行分析、处理来区分热斑产生的原因。而利用计算机信息处理技术可以提高光伏组件热斑检测效率，同时更加快速的统计、分类、汇总发电组件热斑效应对发电量影响的结果。这对电站运营中及时发现设备隐患和消除缺陷以及提升发电效益和设备安全稳定运行有着重要意义。

关键词：热斑检测 红外热图像 计算机处理技术

引言

目前多数行业的巡检业务正处于传统人工巡检方式到智能巡检方式过渡阶段，尤其近几年国家电网公司、南方电网公司、地方电网公司都在大力推进巡检智能化变革，使用无人机搭载光学、红外、激光雷达等传感器对新能源光伏、风电、输电线路等进行巡检作业，替代传统的人工巡检，以提升巡检效率。这些传统巡检作业方式实现智能化巡检方式的升级得益于无人机技术、可穿戴技术、传感器技术、无线通讯技术的发展，而几乎所有的巡检业务都具有两个基本特征，即检测目标、定位目标，以上列举的几种技术手段虽然对传统人工巡检方式进行了智能化升级，但还是处在初级阶段，无人机、可穿戴、传感装置提升了巡检数据的获取效率和数据量，获取的大量数据目前仍需人工分析，由肉眼判别光学图像中的目标物

图像识别技术研发特定目标的识别算法，提升目标检测的效率和准确度，利用地理信息系统技术研发设备 GIS 系统，提升目标定位的效率和精确度。

1. 基于无人机可见红外图像数据采集

本文主要目的是实现以无人机巡检为主要手段，以图像识别、地理信息系统以及数据可视化等技术为支撑的新能源发电组件设备热斑缺陷检测系统，该系统的数据来源主要是电站运维人员利用无人机搭载可见光与红外成像设备，于目标上空 30-45 米处通过仿地自动飞行获取发电组件可见红外两种图像数据（照片、视频以及激光点云数据等），并将该数据上传导入热斑检测系统，作为该系统自动检测和故障量化算法的基础数据。



位置描述，这就影响和文即是以解决上述问题成熟的无人机为基本类传感设备，提升新缺陷巡检的数据获取效率和数据量，同时利用计算机及红外

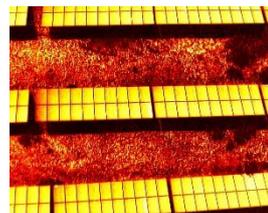


图 1 可见红外图像数据采集

2. 基于深度学习的热斑故障目标识别技术

光伏组件由于组串连接失效、二极管故障、隐裂、遮挡等故障使得光伏板局部发电效率降低而产生热量聚集，这在热红外影像上统一表现为局部的高温异常。由于故障类型的不同，从而影像中热斑的形状和温度也有所不同。为了能够对不同类型故障引起的热斑进行自动区分，从而实现对热斑发电影响的定量分析与评价，本文关键技术之一就是利用深度学习技术对热红外影像中的热斑进行识别和分类，其主要原理如图2所示。图中的关键点为深度学习模型 Faster R-CNN 在热红外识别中的改进和应用。相比于可见光影像，热红外影像缺少纹理信息而难以区分温度相似的地物，为克服该问题，本方法在识别流程中引入了基于语义图像风格网络，利用温度信息及形状信息对光板特征进行描述，实现光伏板与地面的分离，减少无关因素的干扰。

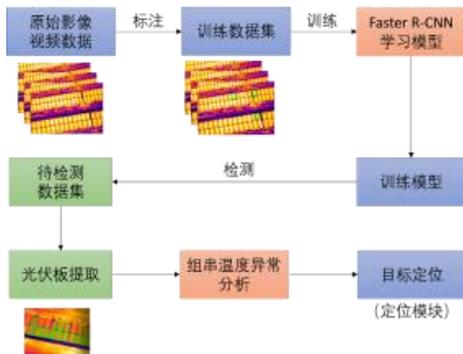


图 2 热红外异常识别方法

3. 基于深度学习的光伏板故障检测技术

相较于传统的图像识别技术（比如基于 HOG 的目标检测算法），基于改进的深度学习网络对于不同温度的影像都具有较好的适应性。如图 3 所示，由于考虑了光伏板的温度和形状两种因素，该检测算法对影像中的镜面反射情况（图中红圈）和温度近似的地面部分（图中绿圈）都具有较好的区分能力，在此基础上的目标识别算法才能更好地适应不同的场景。

光伏组件热斑图像检测将红外图像中 RGB 色彩空间图像转换为 YCbCr 色彩空间模型。Y 表示亮度信息，Cb 表示蓝色偏移量，Cr 表示红色偏移量，YCbCr 色彩空间只需要计算两个色差分量 Cb、Cr 即可。而组件中产生热斑故障的电池片拥有亮度信息。光伏

组件红外热图大多呈现较高亮度，热斑故障点虽然相比同一块光伏组件的其他电池片能够表现出更高的亮度，但差异十分有限，不足以辨别热斑现象的产生。因 Cb、Cr 颜色通道所展现的信息较多，YCbCr 模型直接提取 Cb、Cr 信息，作为光伏电池编码部分的输入数据，通过对比两个颜色信息的输入数据即实现了热斑类型、等级、定量、分析等故障信息。检测系统基于上述模型建立识别算法，再结合计算机信息数据快速处理的能力，满足光伏组件热斑检测的快速和准确性。

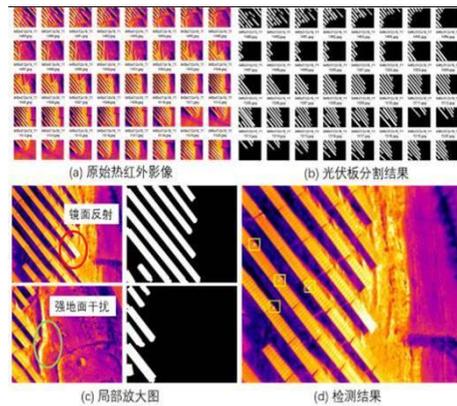


图 3 基于深度学习的热红外热斑识别

4. 热斑故障影响发电效益量化算法

在新能源电站精细化管理的背景下，电站业主尤其关注发电设备的经济效益，以往对设备的营维主要考虑安全因素，但是随着设备质量以及智能预警的长足进步，发电设备的平稳运行已经有了较高的保障，现在需要对设备进行精细化营维，主要是从设备经济效益角度出发，减除新能源电站“跑冒滴漏”影响。通过对光伏组件光伏特性和对光伏组件光学、红外数据进行分析，总结出了一套光伏组件故障影响量化算法，可以预测出设备不同类型的故障对设备发电量的影响。

例如，光伏组件热斑电量衰减=组件额定功率*热斑组件数量*5%；

光伏组件二极管故障电量衰减=组件额定功率*二极管故障组件数量*年利用小时数*30%*30%+组件额定功率*存在二极管故障的组串数量*18*年利用小时数*70%。

光伏组串整体发热异常电量衰减=组件额定功率*18*年利用小时数*30%。

汇流箱电压失配损失=问题组串压降/正常组串电压*组串功率*汇流箱内组串数量*年利用小时数*30%。

5. 应用实例

以国电投保定公司易县山地光伏电站实施该技术应用为例。电站装机容量 20MW，占地面积 1000 余亩，组件类型 JAP6-60-245/3BB，发电组件数量总计 84800 块，年发电总量 2859.67 万 KW。配备 6 人制运维班组一个。电站日常巡检要求 2 人 2MW/天，10 天完成巡检一遍。巡检内容发电组件有无污渍、遮挡、热斑、破损等。现场通过无人机携带双光影像设备 3 小时完成光伏组件可见与红外图像数据采集。采集图像数据上传光伏热斑检测系统服务器耗时 4 小时。计算机图像识别系统经过 4 小时分析处理得出检测结果报告。统计呈现电站信息、热斑类型、等级、故障点详情、数据统计、电量损耗、组件温度、形状、影响等功能数据。

检测概况表

缺陷类型	数量	功率损失 (W)	电量损耗 (kwh/年)
一般热	191	14082.60	19383.71
严重热	1	12.25	16.86
二极管	318	257507.2	354440.58
组件失	11	2695.00	3709.48
组件缺	0	0.00	0.00
组串短接	0	0.00	0.00
组串低效运行	0	0.00	0.00
总计	511	274297.1	377550.063

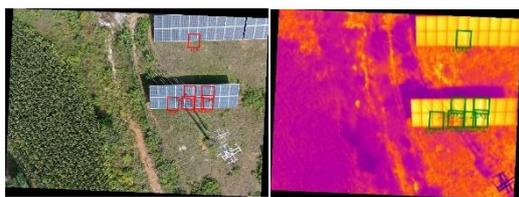


图 4 故障点详情

该电站发电设备质保期临近，以上结果由于及时、高效的反馈业主，为业主在发电设备质保期与厂商协商谈判中提供了数据依据，更为业主挽回检修损失。

6. 结论

基于红外图像识别技术的计算机智能热斑检测系统主要功能为无人机采集数据、分析问题，并以 WEB 可视化的方式展示分析结果，解决了传统巡检中所面临的人工巡检成本较高、周期较长、准确度低，甚至可能

出现人身安全隐患等问题。此外，以“故障管理系统”为总体思路的系统相较于传统的“巡检工具”而言，能够实现故障数据的 24 小时累计、量化以及预测等功能，解决传统方案“只见数据不见结论，只见细节不见全局，只见当下不见趋势”的问题，最终达到“既有数据又有结论”的目的，为新能源电站的运维管理提供更智能化的解决方案。

参 考 文 献

- [1] 牛金星, 郭朋彦. 红外成像技术及其应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2011, 32(4);
- [2] 王培珍, 郑诗程. 基于红外图像的太阳能光伏阵列故障分析[J]. 太阳能学报, 2010, 31(2);