

变电站电力设备红外智能巡检、诊断与高效 预警系统的应用研究

徐丽华 张 龙

(国网新疆电力公司电力科学研究院 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 针对现阶段变电站手持式红外监测的弊端以及电力系统智能化发展的需求, 研究并开发了变电站电力设备红外智能巡检、诊断与高效预警系统。设计了红外智能巡检系统的整体软硬件结构, 构建了电力设备温度测量传感器模型, 研制出了适合变电站电力设备的红外智能巡检终端。基于智能系统网络通讯技术的研究, 提出了电力设备红外智能巡检与多系统多平台横向集成架构, 结合智能巡检策略与电力设备温度检测频率, 实现了信息系统的集成应用开发。

关键词: 变电站; 红外; 智能; 集成; 应用

Abstract: An infrared intelligent inspection, diagnosis and efficient early warning system for electrical equipment in substation is developed aiming at the disadvantages of hand-held infrared monitoring in substation and the intellectualization development requirements of power system. The integral structure of software and hardware for the infrared intelligent inspection system is designed, the model of temperature measurement sensor of electrical equipment is constructed, and the terminal of infrared intelligent inspection for electrical equipment in substation is developed. The horizontal integrated structure of multi-platform and infrared intelligent inspection of electrical equipment is put forward based on the research of network communication technology of intelligent system. The integrated application development of information system is realized combined with the intelligent inspection strategy and the temperature detection frequency of electrical equipment.

Key words: substation; infrared; intelligent; integration; application

中图分类号: TP206+.3 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)05-0005-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.05.002

0 引 言

变电站是电力系统的重要组成部分, 其运行状态的好坏直接关系到电力系统的安全和效益。随着变电站电压等级提高、运行环境愈加复杂以及变电运检要求的不断提高, 使得变电站现场设备的巡视范围和工作量变大, 而通常采用的人工巡视方式依赖巡视人员的感官和经验, 漏检和错检的情况时有发生, 给设备和电网安全运行带来各种隐患。因此, 研究开发适应现代自动化水平的变电站智能巡检系统已迫在眉睫^[1]。

长期的运行经验表明: 设备的发热现象往往预示着极其严重的故障隐患^[2-3]。红外热成像技术采用非接触式的检测手段, 能有效诊断电气设备热故障, 在电力系统中得到了广泛应用^[2-9]。传统的便

携式红外检测手段以人工手持检测为主, 巡检离散性大、周期长、效率低, 监测数据管理复杂, 无法对运行设备连续跟踪监测, 不利于及时发现设备缺陷和潜伏性故障, 已不能满足实际需要。为此, 文献[4]介绍了一种机器人辅助人工完成高压变电设备的可见光及红外巡检作业的智能巡检系统, 但其成本较高不适合大规模推广; 文献[5]提出了一种变电站电气设备红外遥视与安全预警系统, 自动循环采集变电站的红外测温与可见光图像, 但在图像配准融合以及精确性等方面有待提高; 文献[6]提出了适用于高压开关柜内电气设备的红外智能监测系统并得到成功应用。但上述文献只是从理论角度简单论证了红外与可见光成像在变电站设备监测中的应用, 对各装置的研发、在变电站中优化布点以及各信息系统的集成开发都没有做深入研究, 很难实现变电设备巡检的信息化、规范化和智能化。

对此, 研究开发了 1 套变电站电力设备红外智

基金项目: 国家自然科学基金项目(51367018)

能巡检、诊断与高效预警系统。在温度测量传感器模型研究的基础上将红外与可见光摄像头双仓巧妙构建,实现变电站设备红外测温与可见光视频实时全场景同视场智能巡检。在实时数据可靠传输的基础上,巡检策略与电网实时负荷数据联动,巡检频率自适应调整,结合抽象的诊断模型实现电力设备的自动诊断与预警。

1 红外智能巡检、诊断与高效预警系统整体结构设计

变电站红外智能巡检、诊断与高效预警系统是集红外技术、视频压缩技术、数字信息处理技术、低功耗技术、数字通讯技术、抗干扰技术以及计算机技术为一体的高新技术,主要由红外终端、网络传输、远程监控计算机、客户端、移动端和后台管理分析软件等组成,提供实时的监测监控信息传输平台、诊断平台和控制平台,为设备状态评价和检修提供可靠有力支撑,其整体系统拓扑如图 1 所示。

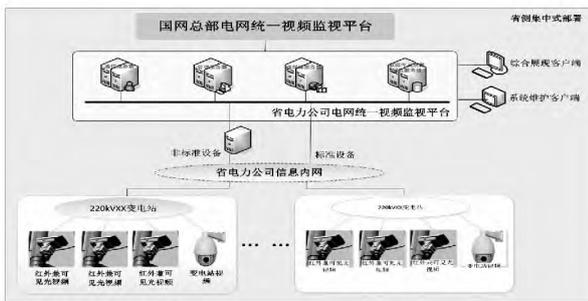


图 1 红外智能系统网络拓扑图

1.1 系统硬件结构设计

红外智能巡检、诊断与高效预警系统以高性能(双通道:红外+CCD)红外智能终端为基础,内部结构如图 2 所示,以工业微型计算机作为监测核心,结合监测软件强大的后期数据处理功能及基于 TCP/IP 的可靠网络通讯技术,构成了功能强大、操作简便、工作安全可靠的智能监测系统。在设计中充分考虑系统的兼容性、可靠性、美观性等因素,使系统更趋于人性化、智能化,能够广泛应用于实践并加以推广。

1.2 系统软件结构设计

系统软件在 Visual studio 2008 平台上,以 Visual C++ 作为主要开发编程语言,完成界面管理、文件管理、模式管理、报告管理等模块设计,提供给用

户一个良好的人机交互环境,最终实现通道管理、图像编辑、温度分析、系统安全等功能供操作人员分析使用。核心任务是编写红外热成像在线监测智能预警系统软件,实现对热像仪、云台等相关硬件的控制,使其能按照用户设定的模式工作,对采集的温度数据进行智能化的分析;若设备有潜在故障,软件能及时产生报警信号。软件主要分为七大功能模块,其整体功能结构框图如图 3 所示。结合用户的实际需求,软件还具有对历史数据进行查询、分析以及生成关于故障热像的报表等功能。

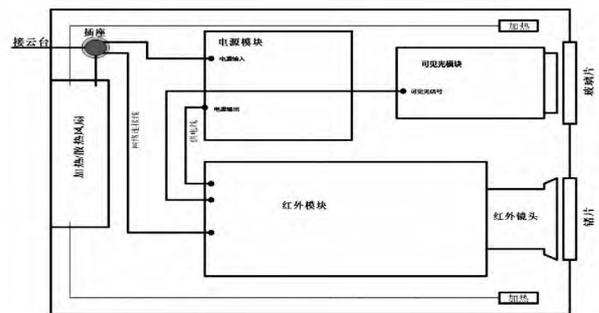


图 2 红外热成像系统内部结构图

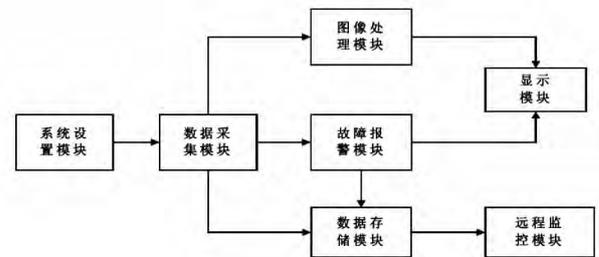


图 3 红外智能系统软件功能模块

2 电力设备温度测量传感器模型研究

对电力设备温度的准确、快速测量是红外智能巡检、诊断与高效预警系统的核心,因此,开发适合的电力设备温度测量传感器就显得至关重要。

2.1 硬件结构的设计

为保证目标设备温度变化的监测精度,采用目前性能最优的非制冷多晶硅微测辐射热计,可提供高达 0.05℃ 的温度分辨率;同时采用了超低噪声偏置等多种校正电路设计(如图 4 所示)并单独封装控制系统,以保证干扰辐射不会过多影响正常目标的辐射。

采用非均匀性校正和盲元补偿技术保证了红外图像的温度一致性和稳定性;通过数字增益调整电

路可以在温度跨度很大的环境中自动将目标调整在合适的动态范围,并通过图像的方式显示出来;帧积分技术则通过若干帧图像的叠加和重组,将噪声剔除。

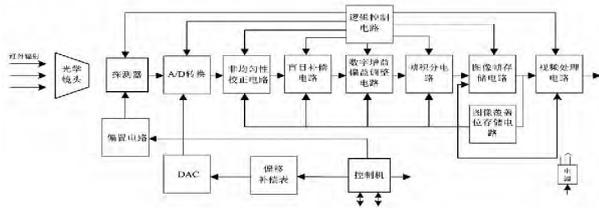


图4 温度测量过程中的校正电路模型

2.2 温度测量数据的优化算法

2.2.1 基于红外内置参考技术的温度一致性算法

基于红外内置参考源和信号增强技术^[11],可确保在复杂环境中目标红外图像的清晰度和温度测量的准确度。在系统的前端热像仪内设置红外内置参考源,可以消除热像仪内部自身辐射对测温的影响;而且通过对内部参考源的温度监视,可以实时、准确地取得外部目标的温度变化,也就是“温升”。对于电力设备来说,用“温升”来衡量设备劣化的程度,比用“温度”更加准确和可靠。

2.2.2 基于黑体标定的温差测量算法

所研究的系统采用热成像测温是通过测量目标的辐射来测量温度的。对于辐射强度的测量不能作为温度读数的唯一判定,因为辐射在传导过程中有衰减。在所研究的装置中,通过内置可控温的黑体参考源^[12],建立了测温基础坐标系,从而实现了温度的读取。标定所使用的黑体本身,其控温精度达到了0.05℃,精密温差源的精度更是达到了0.01℃,保证了测温读数的精度。

2.2.3 基于红外大气衰减模型的远距离测温校正算法

所研究的系统在满足变电站设备尺寸的观察和测温要求(MFOV)的前提下,通过对温度进行距离衰减的补偿^[13]进行大量的实验样本数据的数字化拟合,提供符合测量标准的镜头;并在系统设置中采用了“一经设置,永久可用”的方法,由厂家工程师和生产专工在安装过程中即完成相应的测温设置,以后运行中都能得到正确温度读数。

3 红外智能巡检、诊断与高效预警终端研制

3.1 红外与可见光的双腔构建

红外成像仅有目标设备的温度轮廓,难以辨识物体;加之监测目标在自然环境(如:风、气温)中移动和云台位移,采用单一红外或可见光图像识别算法,可能会导致监测目标识别率降低;因此,可在红外测温的基础上通过可见光图像辅助进行设备识别。由于双视监控器的红外和可见光摄像头不能同轴安装,本装置采用的双视监控器在有限空间内巧妙双腔构建,通过控制室计算机配合带预置位的高精度云台对镜头视场角的物理调整和图像匹配算法,实现红外和可见光图像视场同步(图5为现场图像),为目标快速识别和定位提供了基础。



图5 双视监控器中变压器的现场图像

3.2 电力设备快速准确定位技术研究

为实现变电站主要一次设备的精确定位和全站设备工作温度的实时测量,将红外终端在变电站合理布点,用尽可能少的摄像头覆盖尽可能多的设备,最大化利用资源,降低成本。每个监测点成独立体系,独立运行、互不干扰,所有前端监控点通过光纤接入电力内网,用户通过多级授权即可对整套系统进行观看和操作。在基于文献[14-16]红外图像与可见光图像互补识别技术提高目标识别率的基础上,通过监测设备360°全景热图拼接技术^[17-18],摆脱被监测对象位置的确定对云台装置的预置位参数及转角参数的依赖,使测量的温度数据能够自动与电力设备快速正确对应,识别误差精度小于2个像素点,实现了在线式红外监控系统对设备温度的高精度监测,如图6所示为变电站全景拼接图。



图6 变电站全景拼接图

3.3 电力设备自动诊断和高效预警模型研究

按照《带电设备红外诊断技术应用导则》建立了系统的分析模型作为诊断和预警判定的专家库,同时与数据采集系统集成应用,采用表面温度判断

法、相对温差判断法、同类比较法、热图谱分析法和档案分析法等多种判别方法,实现全站设备故障自动诊断、疑似发热缺陷设备自动准确而快速的定位和设备故障预警,建立设备缺陷库,为设备状态评价提供可靠的数据支撑和重要的决策依据。

3.4 高效的红外智能巡检终端数据传输技术

传统压缩技术多采用将图像流和温度数据流分开压缩和传输,其中视频数据采用普通视频信号的有损压缩传输方式;测温数据的编码、传输采用无损压缩后传输,采样的速度最高能达到 25 帧/s。所研究的系统一方面基于后台分析软件自动有效识别危险行为结果(热数据)或根据用户需求将数据上传至主站平台;另一方面采用基于哈夫曼编码^[19]、LZW 编码^[20]和 H.264 编解码算法等高效压缩传输技术进行无损数据传输,解决了传统数字测温传输占用网络带宽过高,容易引起网络堵塞的问题,实现了测温数据和视频数据高效同步压缩,提高了有效数据压缩比,提升了数据传输效率,适合变电站间距远、分布广、带宽有限、通信差的特殊环境,实现巡视数据实时可靠传输,其传输模式如下图 7 所示。

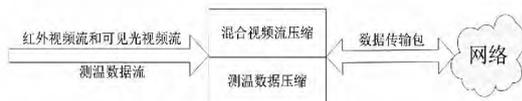


图 7 系统数据压缩的传输模式

4 红外智能系统的集成应用开发

4.1 电力设备温度检测频率技术研究

电力设备热缺陷的诊断需要考虑电力设备的电流、电压、负荷、当前环境温度等信息,实现上述数据与电力设备温度准确对应,对于诊断电力设备发热缺陷等级及种类至关重要;同时,对于设备状态、环境温度、季节等不同情况下,按照国家电网公司设备检修试验规程规定,设备红外检测的周期均不同。因此,所研究的系统基于智能巡检策略、电网实时负荷数据联动技术和快速红外巡视技术,实现巡检频率按季节、环境、电网负荷、故障发热危险程度等条件自适应调整;实现不同工况下正常和(疑似)非正常设备的区别监测;通过后台分析处理系统软件对图像进行自动分析,并允许通过网络实时查看各点温度、图像和分析结果,极大减轻了基层员工工作强度,提高了运检效率。

4.2 各系统集成应用开发

针对目前信息化系统众多、孤岛运行、重复建设等问题,系统采用与国家电网公司一致的 WebService 服务接口模式及结构化数据与国家电电网状态监测系统、PMS 系统的缺陷管理模块及电网统一视频系统等实现横向集成、资源共享。通过后台分析软件仅将辨识得到的危险行为结果上传至主站平台,实现了系统运行费用最优。同时系统具有彩信、声光报警、自由设定重点监控区域、多端监控(手机客户端、PC 客户端)等多种方式,克服了当前视频监控、在线监测装置以及运维人员巡检存在的效率和及时性低的问题;实现了全时无人值守,及时掌握电力设备的热缺陷状态,真正使得运维人员可以做到无时间、无地域限制地操控监管监控系统,提高了工作效率。

变电站电力设备红外智能巡检、诊断与高效预警系统已在工程上得到成功应用。如图 8 为某变电站主变压器高压套管接头过热图像,其套管的最高温度分别为 16.5℃、86.7℃、28.9℃;图 9 为某变电站主变高压套管将军帽发热内部发热故障,其最高温度达 60.1℃。

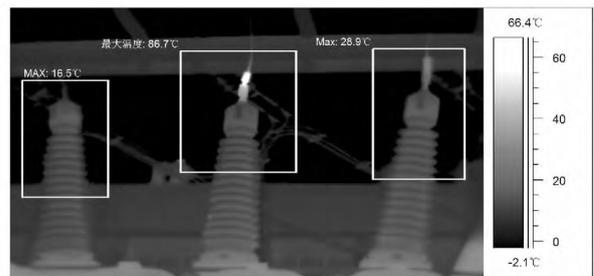


图 8 主变压器高压套管接头过热图像

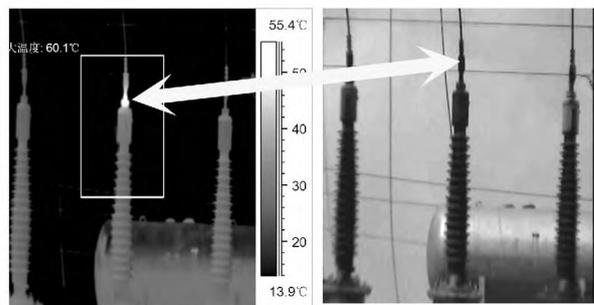


图 9 主变压器高压套管将军帽发热图像

5 结 语

研制出了“变电站电力设备红外智能巡检、诊
(下转第 18 页)

将对后续最大功率点跟踪仿真实验提供一定的参考依据。

参考文献

[1] 殷忠宁. 独立光伏发电系统最大功率跟踪及能量控制技术的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012: 1-3.

[2] 李丽芳, 江冰, 吉正洵, 等. 光伏发电系统 MPPT 控制仿真模型[J]. 计算机仿真, 2015, 32(4): 116-119.

[3] 禹华军, 潘俊民. 光伏电池输出特性与最大功率跟踪的仿真分析[J]. 计算机仿真, 2005, 22(6): 248-252.

[4] H S H Chung, K K Tse, S Y R Hui, et al. A Novel Maximum Power Point Tracker for PV Systems [C]. Applied Power Electronics Conference and Exposition, Sixteenth Annual IEEE, 2001(1): 321-327.

(上接第 8 页)

断与高效预警系统”并实现了工程应用, 红外测温精度达到 $50 \text{ m} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, 满足《带电设备红外诊断技术应用导则》要求。该系统的建立可对各种危及变电站设备及电网安全运行的隐患进行预警, 将会大大增强高压设备故障点的全面检测能力, 完善了电力系统的故障检测系统, 从而保障变电站设备及整个电网的安全运行; 同时在很大程度上降低了生产成本及同类工作的重复劳动强度, 具有明显的经济效益和社会效益。

参考文献

[1] 杨启平, 徐丹凤, 牟雪云, 等. 智能电网背景下的电力设备监测和维护技术[J]. 上海电力学院学报, 2010, 26(6): 520-524.

[2] 姜丁尤. 高压设备红外图像自动故障识别方法与试验研究[J]. 企业技术开发, 2013, 32(7): 5-6.

[3] 井金剑, 翟春艳, 李书臣, 等. 基于红外图像识别的电气设备故障诊断[J]. 电子设计工程, 2014(12): 171-173.

[4] 宋晓明. 变电站智能巡检机器人关键技术研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.

[5] 蔺丽华. 基于红外成像的变电站设备安全预警关键技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2014.

[6] 江国威. 基于红外与可见光图像配准的电力设备检测系统研究与应用[D]. 合肥: 安徽大学, 2014.

[7] 袁辉建. 变电站电力设备红外自动巡检系统的实现[J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2013, 18(5): 40-42.

[8] 井金剑, 翟春艳, 李书臣, 等. 基于红外图像识别的电气设备故障诊断[J]. 电子设计工程, 2014(12): 171-173.

[5] 冯海峰, 马德林, 许良军. 单级式光伏并网发电系统的仿真分析[J]. 计算机仿真, 2008, 25(3): 245-250.

[6] Platon Baltas, etc. The Arizona University Photovoltaic Designer Program(ASUPVD) [Z]. Department of Electrical and Computer Engineering, Arizona State University, 1996.

[7] 茆美琴, 余世杰, 苏建徽. 带有 MPPT 功能的光伏阵列 Matlab 通用仿真模型[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1248-1251.

作者简介:

张 峥(1982), 硕士、工程师, 主要研究方向为电力系统规划及可再生能源在电网中的应用。

(收稿日期: 2016-05-24)

[9] 王方, 邱道尹, 岳艳杰, 等. 基于红外技术的变电站温差无线温度监控[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(8): 135-138.

[10] 程玉兰. 红外诊断现场实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 102-108.

[11] 吴继平. 红外内参机构[P]. 中国专利: ZL2011120064359.7, 2011-07-13.

[12] 刘鸿雁, 王一平, 袁兵, 等. 标定红外热像仪的一种新型黑体辐射源[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(5): 533-535.

[13] 王华伟. 基于红外热成像的温度场测量关键技术研究[D]. 西安: 中国科学院研究生院(西安光学精密机械研究所), 2013.

[14] 冯晓磊, 吴炜, 李智, 等. 利用梯度方向的 Hausdorff 距离配准红外和可见光图像[J]. 电视技术, 2015, 39(3): 5-10.

[15] 张家良. 红外与可见光图像配准及融合技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.

[16] 田阿灵, 赵振兵, 高强. 基于 SIFT 的电力设备红外/可见光图像配准方法[J]. 电力科学与工程, 2008, 24(2): 13-15.

[17] 朱云芳, 叶秀清, 顾伟康. 视频序列的全景图拼接技术[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(8): 1150-1155.

[18] 宋延爽. 基于网络摄像机视频流的全景图拼接技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.

[19] 薛向阳. 基于哈夫曼编码的文本文件压缩分析与研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(23): 5779-5781.

[20] 马士强, 郑常宝, 曾野, 等. 基于信号周期相似性和 LZW 编码的数据压缩方法[J]. 电测与仪表, 2014, 51(6): 95-100.

作者简介:

徐丽华(1976), 助理工程师, 研究方向为电气工程及其自动化、高电压试验技术。

(收稿日期: 2016-04-15)