

基于红外热成像技术的发电机碳刷温度及其励磁电流监测的自整定系统

郑浩¹, 顾旭斌², 季学友², 潘明泽²

(1.浙江浙能嘉华发电有限公司, 浙江嘉兴 314000;

2.杭州中为电子科技有限公司, 浙江杭州 310012)

[摘要] 文章主要介绍一种基于红外热成像技术的发电机碳刷温度监测系统结合励磁电参数采集模块, 通过 I/O 端口, 利用特定软件整定数据, 通过提前设置软件参数、公式, 结合碳刷温度数据库、励磁电流数据库进行智能比对、分析, 将碳刷温度、温升趋势、励磁电流分布等情况直观地显示出来, 保障发电机良好的运行状态。

[关键词] 红外热成像; 励磁电流; 碳刷; 数据库

[中图分类号] TM312

[文献标志码] A

[文章编号] 1001-523X(2021)11-0021-03

Self Tuning System of Generator Carbon Brush Temperature and Excitation Current Monitoring Based on Infrared Thermal Imaging Technology

Zheng Hao, Gu Xu-bin, Ji Xue-you, Pan Ming-ze

[Abstract] The article mainly introduces a generator carbon brush temperature monitoring system based on infrared thermal imaging technology combined with the excitation electric parameter acquisition module, through the I/O port, using specific software to set the data, set the software parameters and formulas in advance, and combine the carbon brushes temperature database and the excitation current database are intelligently compared and analyzed, and the carbon brush temperature, temperature rise trend, and excitation current distribution are displayed intuitively to ensure the good running state of the generator.

[Keywords] infrared thermal imaging; excitation current; carbon brush; database

1 国内背景

在我国众多企业中, 电厂是最根本的经济支柱型企业。经调查研究发现, 在国内各大火电厂中发电机励磁系统故障比率约占发电机总强迫停机率的 32.6%。研究表明, 集电环—碳刷系统环火故障导致火灾事故的损失约占励磁系统事故总数的 26%, 每次事故造成的直接经济损失可达数百万元以上。集电环—碳刷系统出现故障最明显的表现即为异常温升, 国内电厂当前采用人工点、巡检的方式来预防碳刷温度过高, 即专人手持红外热成像仪进行巡检, 巡检效率低下, 能否排除隐患受到众多因素影响, 如巡检人员经验、巡检时设备状态等。本文介绍了一种利用红外热成像平面成像技术进行 365×24 h 不间断检测集电环—碳刷温度, 结合励磁电流检测模块共同显示的系统。

2 红外热像技术

自 2020 年疫情以来, 红外测温技术逐步走进大众的视野, 广泛应用于医疗行业。如便携式体温监测仪、红外体温监测系统。由于黑体辐射的现象存在, 红外热成像探测器接收空气中不同波段的反射波, 对不同电磁波中蕴含的信息进行解读分析, 即可得到物体表面温度, 根据接收电磁波的不同波段, 将 2~1000 μm 波段的电磁波辐射称为热红外线辐射, 通过对热红外敏感的电荷耦合元件对物体进行光信号与数字信号的转换, 在屏幕上显示出物体的红外热图, 能反映出物体表面的红外热图及温度分布图, 并可以实时显示物体最高温度及最低温度所在位置, 进行温度场的场均分析及薄弱环节的监测, 通过监测对场均温度进行分析得出分析报告。基于此, 红外技术在各行各业应用极为广泛。

3 集电环—碳刷系统

发电机碳刷和集电环是发电机进行正常发电和传导电流的重要部件之一, 震颤、磨损不均匀、表面油污等现象, 引起碳刷与集电环局部发热, 在碳刷与集电环滑动接触的过程中, 碳刷不断磨损升温, 尤其是碳刷还是一个逆温度特性的元

件, 当它的温度越高时, 电阻越小, 励磁电流随之越大。这个特性使碳刷极易处在一个高温的运行环境中, 在这个环境中, 碳刷运行的稳定程度直接影响到发电机的安全运行。如果温度超过设定值, 绝缘材料的性能将减弱, 加速绝缘的老化, 进而引起弧光故障。

如不能及时发现并进行人工干预处理, 会造成发电机停机甚至一次设备损坏事故。因此碳刷和集电环的运行监测也就变得尤为重要。发电机碳刷系统的温度出现变化是集电环系统发生故障最直观的征兆, 因此在保障发电机组安全运行的过程中, 对碳刷—集电环系统进行温度监测是必不可少的。

4 发电机碳刷在线监测系统

4.1 系统概述

集电环—碳刷系统由以下部分组成, 分别是红外热像仪、云台支架、硬盘录像机, 交换机, 计算机(分析系统主机), 云平台智能分析系统, 如图 1 所示。通过红外热像仪采集发电机碳刷表面温度及周围风温, 通过以太网传输到分析系统主

发电机碳刷红外热成像智慧分析系统

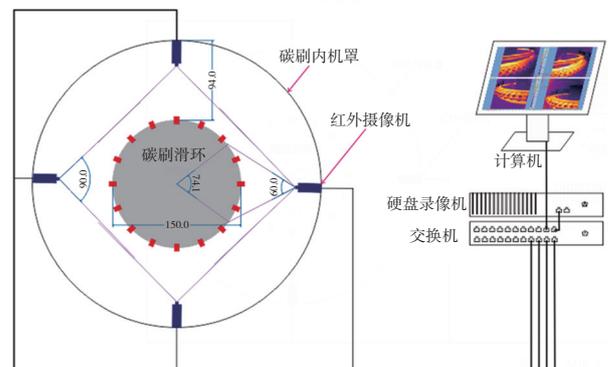


图1 监控系统及后台软件组成

机中，在屏幕上显示出红外热图，如图2所示，同时进行历史数据比对，通过预先在软件中设置的公式计算出温升比率，进行智能分析是否需要输出报警信号，将分析结果及温度数据同步传输至云平台，完成实时的数据记录。

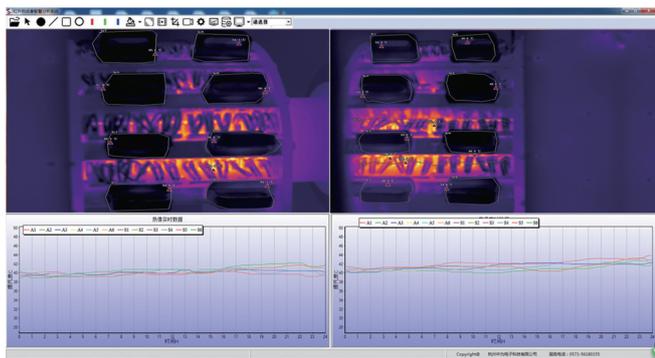


图2 红外热成像智慧分析监测系统热成像图(计算机截图)

4.2 红外热像仪

本系统中红外热像仪选用ZW-9000型号，视场角 $53^{\circ} \times 46^{\circ}$ ，测温范围可达 $-20 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，在多种复杂环境中均可满足测温要求。前端热像仪采用自动变焦技术，聚焦完成后由分光探测器进行数据处理并进行A/D转换后，通过放大电路处理后转换成标注的视频信号，通过显示终端进行显示，整体系统如图1所示。

4.3 智能控制算法优化

在控制系统设计和安装正确的前提下，影响控制性能的优劣往往由P、I、D三个参数影响，进行正确的参数设置可以大幅度提升系统的可操作性，因现场环境的复杂性，预先设置好的参数往往不能完全满足系统的最优设置，本系统进行PID智能控制算法，对系统进行自整定，根据不同对象的不同特点，应用提前设置的公式，基于大数据进行分析，得出最优参数设置，进行高精度、无超调、快响应、无振荡的综合性目标算法整定。

传统的温度阈值报警算法只能在温度超出阈值上限时进行报警，而此时事故很可能已经发生，本系统在温度阈值报警的基础上添加温升速率报警算法，即当温度线性升高且可能超出温度阈值上限时发出报警信号，通过设置温度上升速度预警值来调节系统灵敏度，提前发出预警信号，减少经济损失。

5 励磁电流监测模块

5.1 霍尔传感器

霍尔传感器是基于霍尔效应而研发出来的一种磁场传感器，遵循公式如下：

$$V_h = BI/nqd \quad (1)$$

式中： B 为磁感应强度； I 为电流； n 为电荷密度； d 为载流子的电荷量； V_h 为霍尔电压。

本系统中使用霍尔传感器来进行励磁电流的监测，监测方法如图3所示，通过再碳刷刷握上固定的霍尔传感器，可以测量通过单个碳刷的实时电流，并将数据通过无线发射至服务器主机中，测得单个碳刷电流与整体电流，确保发电机碳刷系统的运行安全。

5.2 励磁电流监测显示

在本次系统设计中，将励磁监测模块置于碳刷供电回路中，通过监测励磁回路的磁场变化得到电流数据并传输到云平台进行保存和记录，通过计算励磁电流数据，监控系统运行稳定程度和电流变化波动，如图4所示。



图3 励磁电流监测系统

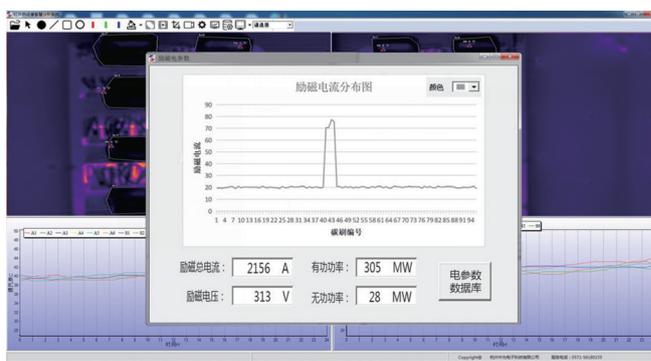


图4 励磁电流监测显示(计算机截图)

6 系统原理

本系统中，通过安置在集电环—碳刷小室中的红外热像仪实时监测碳刷的温度并传递数据至分析系统；同时安装在碳刷上的励磁电流监测模块的电流传感器测得碳刷电流，通过无线接收器将数据传递至分析系统；分析系统结合历史数据及云平台大数据将温度数据及电流数据进行综合处理，在显示器界面呈现热图像及电参数。同时对比数据库信息进行温度数据、碳刷电流、碳刷使用情况、励磁系统工作状态进行分析对比，及时预警，监测过程如图5所示。

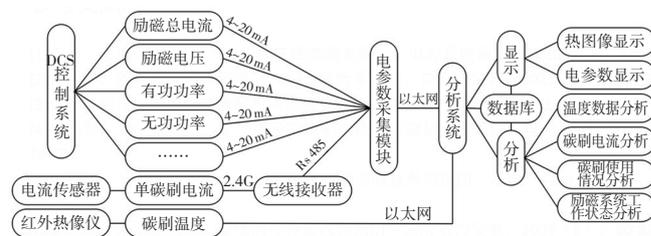


图5 发电机碳刷温度及励磁电流监测系统

7 无线测温系统

无线测温系统是一种接触式测量手段，采用热电偶、热电阻、半导体栅格感温，通过绝缘封装直接安装到开关柜内的高压触点上，利用无线通信方式实现温度信息的传输。该系统主要包括以下几种类型。

7.1 电池供电无线测温系统

传感器采用电池供电，在高温下电池封装材料极易在密闭空间发生鼓包，封装后绝缘性能可能不达标。所用电池理论计算可用时限约为5~6a，而实际应用中由于环境因素，约2~3a需更换一次，更换时需停止开关柜的运行。产品体积大，难以放置到理想测温位置点处（如动静触头），常安装于母线排上，通过算法模拟触头温度信息，测量误差大，难以直接、实时、真实监测开关柜温度信息，封装结构中存在电池，使得其测温范围有限。

7.2 CT取电无线测温系统

采用从高压侧感应取电的方式解决供电问题，受供电电源影响大。产品体积大，采用套筒的方式虽可安装于动静触头，

但影响了开关柜产品的散热能力，减少了电气间隙，降低了开关柜的绝缘性能。从本质上改变了开关柜产品的散热、绝缘和抗压指标，降低了原有设备的电压等级和安全特性。绝缘封装结构使得其难以直接监测触头温度信息，需通过算法模拟获得，测量误差大。小电流容易无法启动传感器，大电流容易磁饱和，无线传送大量数据占用频段，由于现场取电传感器数量多，容易导致通信信道阻塞，传感网瘫痪。

7.3 无线无源测温系统

该技术虽不需电源供电，但整体性能受环境影响大，温度引起无线频段偏移测温精度差，在密闭的金属柜体内把温度数据通过无线传送出来，容易受到柜内强电磁场干扰，导致温度信息数据失真或丢包，其国外产品价格昂贵，国内产品性能不完善。

经过国家电网人工智能联合实验室检测，无线测温产品多数不达标。无线测温方式均存在抗电磁干扰能力差，在密闭金属封闭空间状态下尤显突出。测温速度慢、测温精度差、温度数据传输丢失和错误率高（约为30%）等问题，总体难以满足安全可靠的要求。总的来说，在选用感温系统不要因小失大，温度传感器运行一段时间不能沦为摆设，更不应该变成新的故障点，增加后续运维成本，降低运维效率。否则，就失去原本配置测温设备的目的。

8 红外热成像系统优势

8.1 全天24h监控

对比人工点、巡检，发电机碳刷在线测温系统可以实现全天24h精准测温，避免人工点、巡检的空窗期，减轻了巡检人员的工作量，解决了人工点巡检过程中因人因素导致测温数据不精准等问题。

8.2 全方位的温度监控

对比传统红外线测温，发电机碳刷在线测温系统可以实现全方位多角度的温度监控，红外热像能全面覆盖被监测设备，克服了红外线测温只能监测少量测温点的难题，而且红外热像设备安装简单、远离被测设备，比之红外线测温更加安全可靠。

8.3 重要目标重点监控

发电机碳刷在线监测系统可以对碳刷-集电环系统重要目标的温度情况进行重点监控，预先使用系统软件内置的多边形区域测温工具将重要目标框选出来，区域内最高点温数值及位置直接实时显示在屏幕上，配合框选区域的最高温度曲线，直观清晰地监控碳刷温度，以实现重要目标重点监控的目的。

8.4 区域测温的独立性

发电机碳刷在线监测系统对碳刷-集电环系统重要目标监控的独立性，使用系统软件所配置的点、线、多边形测温工具所框选的测温区域都是相互独立的，同时可分别对区域内温度的阈值、温升速率阈值等参数进行精准设置，区域间的

参数设置互不影响，任意区域内温度、温升速率达到其区域设置的阈值都能触发高温报警。安全、可靠、独立地监测碳刷实时温度。

8.5 多重告警规则

发电机碳刷在线监测系统内置多重告警规则融合而成的高温报警模块。智能分析判断可能发生的报警情况，温度阈值报警，即当目标区域温度达到设定报警阈值时进行报警信号输出；温升速率阈值报警，即当目标区域在一个时间段内的温升达到一定阈值时进行报警；温升趋势预警，即配合温升速率预警，提前预判报警情况，对比之前1h的温升数据，智能预判1h后碳刷温度，发出预警信号。多重告警规则配合使用，智能监测碳刷系统。

8.6 温度数据库

数据可以传输至DCS系统，配合励磁电流、有功功率、无功功率等参数进行分析调控；通过横纵向对比判断碳刷的使用情况确定更换时间等；开放式的数据接口可供第三方进行调用，集团内部数据共享，扩大数据规模，用数据创造价值。

8.7 月度报告

发电机碳刷在线监测系统读取数据库内文件，每月按时生成月度报告、每年自动生成本年度温度数据报告，可直接通过第三方接口进行数据导出，月度报告涵盖每月6天最高温度时的红外热图、框选区域每天的最高温度数据和历史温度曲线，方便用户直观查阅、分析，每次发生报警时自动生成报警记录，为后期分析故障原因提供理论依据。

9 结束语

发电机运行时只靠人工点、巡检监测碳刷的温度、运行状态，这种巡检方式具有极大的不稳定性和随机性，难以及时发现存在的隐患问题，发电机组可能长时间“带病”运行。发电机碳刷在线监测系统利用红外热像原理，配合系统软件多次升级，完善多重告警规则，365×24h不间断监测碳刷温度、运行状态，为发电机组安全运行提供有力的保障。

参考文献

- [1] 王杰. 集电环-碳刷红外热成像在线监测系统[J]. 电力系统装备, 2020(1): 140-141.
- [2] 陈朝晖. 碳刷温度与励磁电参数综合分析系统[J]. 自动化仪表, 2021(1): 33-36.
- [3] 牛野. 同步发电机励磁碳刷电流监测系统[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016.
- [4] 魏燕军. 发电机碳刷故障分析及在碳刷电流线监测技术运用[J]. 电力技术, 2015(11): 74-77.
- [5] 高劲松. 葛洲坝电站发电机励磁系统在线监测技术初探[J]. 水电站自动化, 2014(5): 44-46.
- [6] 陈碧辉. 发电机组滑环温度的红外在线监测[J]. 云南水力发电, 2006(8): 80-82.