

无线测温系统在铅锌冶炼电力设备上的应用

段正华, 彭俊超, 徐安江

(云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655000)

[摘要] 为能采集关键电力设备接点的实时温度,同时需要解决有线测量温度的短板(测量回路多、安装空间有线,导致布线及维护难度较大),针对铅锌冶炼工业的特点及需求,将无线无源传感器与 Zigbee 无线通信技术相结合,并将物联网技术及移动互联网与电力自动化技术相结合,提出了智能化测温系统方案,在云南驰宏会泽冶炼分公司进行试点应用。结果表明,该无线测温系统具有结构简单可靠、扩展性好、布点灵活等特点,进一步推广应用。

[关键词] 无线测温; Zigbee; 物联网; 无线无源传感器

[中图分类号] TF812; TF813

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2021)01-0074-06

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.01.017

1 铅锌冶炼工业电气装置需求分析

铅锌冶炼工业是个庞大复杂的工业生产系统,大量使用中低压开关柜、高压电动机、发电机等电气设备。对自动化程度和连续生产的高要求,不仅对其供电可靠性越来越高,而且对冶炼工业系统内关键的配电及高压电动机设备的稳定可靠性也提出了更高的要求。电气设备在长期运行过程中,电气一次模块触点和连接等部位因老化或接触电阻过大而发热,进而导致接头异常升温甚至引发燃爆事故^[1]。变电站或配电室内开关柜等电气设备安装密集,电动机也都是各工艺段的关键设备,故此类事故可能会导致大量电气设备损坏,并引发下游大范围供电线路或重要用电设备突然停电,造成巨大的直接和间接经济损失。

近年来,传感器及物联网,设备的在线监测,及大数据分析等技术的快速发展,结合铅锌冶炼工业的特点及需求,新技术的研究与应用对解决此类问题提供了新的解决方案。

2 关键新技术的选用

针对上述提出的问题,结合温度传感器、Zigbee

无线传输、云应用及大数据分析技术现状,本文提出了多种新技术的解决方案并结合实际案例进行应用。

2.1 温度测量技术的选用

传统的测温方法包括通过热电偶、热电阻、半导体温度传感器等测温,温度传感器与测温仪之间采用金属导线传输温度信号。电气设备测温检测,由于温度传感器直接安装于高压接点/触点上,其信号传输金属导线的绝缘性能无法保证。同时,对于改造类项目实施难度较大,因此推荐采用无线测温方法进行检测。目前无线测温方法包括感应供电无线测温、CT 取电测温、电池供电无线测温方式及红外在线测温方式。红外测温需要镜头对准发热点,尘土震动对其影响较大;有源无源测温较合适,无需布线,易于安装,但有源测温需要外供电池,受电池寿命影响,需要更换;CT 取电测温安装相对复杂,受自身发热影响,误动作概率明显高于前者;表 1 详细比较了各种无线测温方法的性能。

综上,类比不同形式的无线测温方式,感应供电无线测温具有测温速度快、周期短、免维护、使用寿命长、故障率低等特点。

2.2 无线传输技术选用

无线通信是利用电磁波信号在自由空间中传播的特性进行信息交换的一种通信方式,其中应用较为广泛及具有较好发展前景的短距离无线通信方式包括: Zigbee 技术、蓝牙技术(Bluetooth)、工业无线技术(WiFi)、超宽带技术(UWB)、近场通信技术(NFC)。

[收稿日期] 2020-10-26

[作者简介] 段正华(1968-),男,云南罗平人,电气高级工程师,大学本科,主要从事供配电系统运行管理工作,现任云南驰宏锌锗股份公司电气及自动化首席工程师、相关技术总负责人、装备动力部副部长。

表 1 无线测温技术性能比较

	红外测温	有源无线测温	CT 取电测温	无源无线测温
供电方式	有线供电	电池取电	CT 取电	能量收集
传输方式	有线传输	无线传输	无线传输	无线传输
测温方式	红外线	接触式	接触式	接触式
测温精度	$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
响应速度	稍慢	快	快	快
尺寸大小	稍大	较小	大	极小
安装方式	固定于柜壁	固定于发热点	固定于发热点	固定于发热点
适用	柜内裸露部位测温	母排、静触头等	固定于发热点	固定于发热点
影响因素	镜头需要调焦和对准发热点, 物距比直接响精度, 套管、柜壁等阻挡其测量, 振动、尘土影响其测量	受电池寿命和高温特性制约, 体积稍大, 关键部位不能安装, 测量间隔长	母线电流大于 50 A 时才工作, 母线电流过大时自身发热严重, 故障率高	母线电流大于 5 A 时才工作
安装维护	需要对准发热部位, 需在开关柜上钻孔, 需要在布线连接, 定期除尘、对准	无需布线和破坏结构, 需要更换电池	安装方式麻烦, 需按测点尺寸选配不同型号后期维护频繁	无需布线和破坏结构, 基本免维

蓝牙技术 (Bluetooth) 属于一种超短距离的无线传输技术, 传输距离在 10 m 范围以内, 最高传输速率约 1 Mb/s, 其有效速率约为 723 kb/s; 超宽带技术 (UWB) 传输速率一般结余 53 ~ 480 Mb/s 传输距离小于 40 m; 近场通信技术 (NFC) 适用于近距离贴近

操作。Zigbee 技术的主要特征包括: 传输速率较低; 通信距离较近; 设备功耗极低, 发射输出仅为 0 ~ 3.6 dBm; 通信组网简洁。这些主要特征使 Zigbee 通信技术传输数据稳定可靠, 同时输出的数据容量也比较大。表 2 给出了几种技术性能比较。

表 2 无线传输技术性能比较

名称	传输速率	通信距离	频段	安全性	功耗	应用场景
Bluetooth	1 Mb/s	10 m	2.4 GHz	高	20 mA	通信、汽车、IT
WiFi	11 ~ 54 Mb/s	20 ~ 200 m	2.4 GHz	低	10 ~ 50 mA	PC、PDA
Zigbee	100 kb/s	20 ~ 200 m	2.4 GHz	中	5 mA	无线传感器、仪器数据采集
UWB	53 ~ 480 Mb/s	0.2 ~ 40 m	3.1 ~ 10.6 GHz	高	10 ~ 50 mA	消防、救援
NFC	424 kb/s	20 m	13.6 GHz	极高	10 mA	手机

Zigbee 通信协议的制定是由 IEEE802.15.4 团队和 Zigbee 联盟共同完成。该通信技术的 PHY 层和 MAC 层执行 IEEE802.15.4 的标准协议, 网络层的制定由 Zigbee 联盟完成, 应用层比较开放, 允许用户按照不同的需求, 自主进行开发。

Zigbee 通信工作频段共包含 3 个, 本项目采用的无源测温传感器采用 2.4 GHz 频段, 该频段的数据传输速率最大为 250 kbps, 其分为 16 个信道, 目前为全球通用, 且免申请无需付费。为了最大化降低无线电载波通信间的相互冲突, 选用 CSMA-CA 方式 (免冲突多载波信道接入技术); 为了保证通信数据的安全, 选用密钥长度为 128 位的加密算法对数据进行加密。

Zigbee 组网拓扑结构支持 2 种方式: 星型结构

和网格对等结构^[2]。本项目采用混合型网络拓扑结构, 将 2 种拓扑结构结合使用, 形成簇树状网络结构。簇树状网络结构如图 1 所示。

一般簇树状网络分配网络地址方案为分布式地址分配, 具体为每一个父设备分配一个有限的网络地址段, 并且被分配的地址在特定网络中是唯一的。针对网络中设定好深度的节点, 由父设备分配的自区段地址数为 $C_{skip}(d)$, 计算公式为:

$$C_{skip}(d) = \begin{cases} 1 + C_m(L_M - d - 1), & \text{若 } R_m = 1 \\ \frac{1 - C_m - R_m - C_m R_m^{L_M - d - 1}}{1 - R_m} \end{cases} \quad (1)$$

式中 d —该设备在树状拓扑中的网络深度;
 C_m —由父设备管理的子设备数量的最大值;
 L_M —簇树网络设计最大深度;

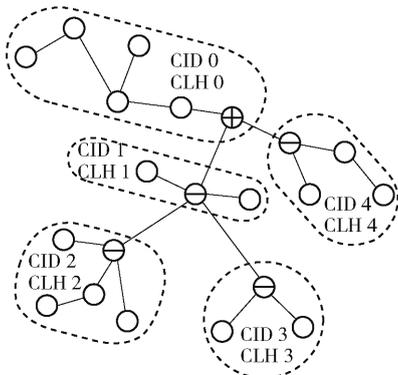


图 1 Zigbee 簇树状网络结构

R_m —路由器被父设备作为子设备的最大数。

由公式计算出的 $C_{skip}(d)$ 值,为父设备向子设备分配网络地址时的偏移值。父设备首先给网络拓扑中的第一个子簇头设备分配地址,规则为比父设备自身地址增 1,后续的子簇头设备的地址,按照以 $C_{skip}(d)$ 为间隔规则继续分配,按照这个原则为拓扑结构中所有子簇头分配地址。

2.3 移动互联网与云技术选用

传统的系统监控及运行一般以集中式或者分布式的 SCADA 系统应用为主,并在控制室内由操作员及工程师使用。随着移动互联网及智能手机的发展和运用,通过传感器监测到的关键设备的各种实时数据也可以通过无线网络传输到远方云服务器,特别是对于区域广,布线困难的区段,数据的获取将会变得更加方便和容易。传输到云服务器上的数据比起传统专门的服务器存储,成本更低,可靠性更

高,供不同用户使用更方便。通过无线网络传输到云服务器的数据,可以通过智能手机的 APP 显示出来,并通过不同的功能模块定制化实现。根据不同用户的需求和设备使用情况,可以对存储的数据按照既定算法进行数据分析,及早通过数据对比发现异常数据,并给予用户提示或者告警信息,减少及降低设备故障甚至事故的发生。

3 应用方案综述

云南驰宏会泽的铅锌冶炼厂目前每年生产约 10 万吨锌和 6 万吨铅,厂区内包含中低压配电室 50 多个,并使用 50 个以上的高压电动机,需要将厂区内的关键开关柜及高压电动机进行智能测温改造。经过技术对比,使用无线无源“温度传感器 + Zig-Bee”温度监测系统,准确的采集关键设备及设备关键部位的温度信号^[3],并通过智能网关,接入会泽冶炼分公司既有的光纤通讯网络,实现网络及数据共享,通过控制中心的无线测温监测系统,实现温度信号的实时监测,超温部位及设备精准定位,超温报警,保证关键设备寿命及生产连续性,减少及避免潜在事故的风险。并且,依靠云服务的“千里眼”系统,实现了测温信号的移动运维,不仅可以通过智能手机实时监控到关键设备的温度,并能在超温时自动发出报警信号,及时推送到具体负责人员的智能手机终端,实现高效的问题处理,极大的降低配电装置及电气设备事故风险,保证供电可靠性,生产连续性及安全生产。应用方案的基本架构如图 2 所示。

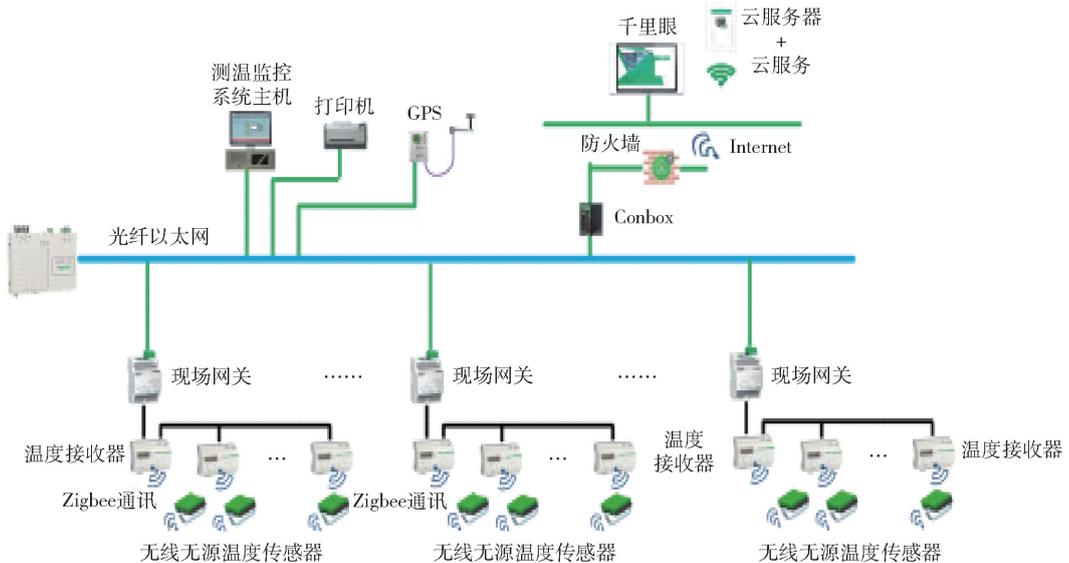


图 2 智能测温系统架构

3.1 无线无源测温:“温度传感器 + ZigBee”

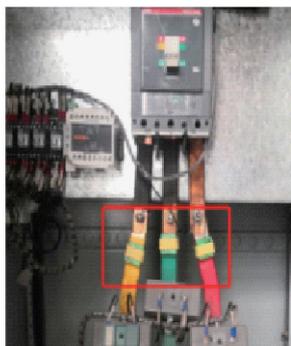
经过技术对比,选定 Easergy TH110 温度传感器^[4]。其主要性能参数如表 3 所示。

表 3 Easergy TH110 温度传感器参数表

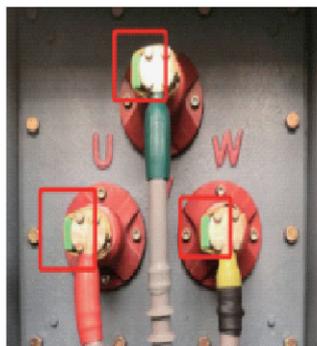
自供电	从电路中获得能量
最小激活电流	5 A
精度	+/- 1 °C
范围	-25 °C +115 °C
无线通讯	ZigBee Green Power 2,4 GHz
尺寸,重量 t	31 × 31 × 13 mm - 15 g



TH110温度传感器



安装于开关柜的TH110



用于高压电动机的TH110

图 3 TH110 外观及应用于开关柜及高压电动机

比较重要的工艺段相关配电室开关柜及高压电动机都安装了 TH110 的温度传感器,包括粉煤制备、艾萨炉电收尘、铅熔炼循环水泵房烟化炉收尘、熔化炉、余热发电站(西)、铅渣过滤干燥、10 kV 铅鼓风机房等区间。

3.2 测温系统网络架构

由于测温传感器分布区域广,数量多,测温系统架构采用以太网作为主要架构,并利用既有的视频监控网络,节省成本并极大地降低了施工难度。

(1)现场的各 TH110 温度传感器通过 Zigbee 协议无线传输到温度接收装置。

(2)温度接收装置通过 Modbus RTU 通信协议将温度信号传输到各个现场的网关。

(3)网关将协议装换为 Modbus TCP 规约,并经现场的以太网交换机,通过光纤通道传输到控制中心的工作站中。

(4)千里眼服务器也接入通信网络,将各 TH110 的测温数据上传到云平台,以供智能手机的千里眼 APP 使用。以焙烧炉硫酸子系统网络架构

Easergy TH110 自供电基于网络电流,与测量点直接接触可以确保高性能的准确的温度监测。并且,TH110 非常小巧不占用空间,便于安装调试及后期维护。

TH110 采用 ZigBee 节能型通信协议,Easergy TH110 确保有可靠和强大的通信能力,可以用来创建共享的操作解决方案。Easergy TH110 自供电基于网络电流,与测量点直接接触可以确保高性能的准确的温度监测。并且,TH110 非常小巧不占用空间,便于安装调试及后期维护。TH110 的图片及在项目应用中的场景如图 3 所示。

如图 4 所示。

3.3 测温监测 SCADA

测温监测 SCADA 系统选用施耐德 EcoStruxure SCADA 软件,其后台监测工作站放于会冶控制中心内。监测工作站 HMI 界面设计采用简洁原则设计,按照电力一次系统结构规划整体 HMI 界面。所有区间测温传感器的历史数据都可以通过 SCADA 系统显示出来,便于用户与实时温度数据相比较。当传感器测温数据高于设定的报警值,SCADA 系统会发出报警指示给操作员,并可以定位到具体的设备及安装部位,方便工程师去现场进行查看及风险评估,消除潜在故障的风险。图 5 为传感器记录的温度数据曲线。

3.4 云平台“千里眼”系统

千里眼系统是物联网 IOT 技术的应用体现之一。图 6 为千里眼 APP 应用截图。IOT 由 IT 信息技术和 OT 运营技术深度融合,能够极大的改造电力设备,实现过程和能源的优化。本项目中,通过千里眼的应用,将会冶厂区内各安装 TH110 温度传感

器的开关柜及高压电动机关键设备的温度数据进行处理,为配电设备运行状态监视、运行维护作业管理和设备资产管理提供“互联网+”灵活应用方案。而且,千里眼可以提供报警管理,可以根据严重程度区分不同等级的报警,并通过短信通知用户,让用户在第一时间获取报警信息,并可以通过手机 APP 确

认和记录报警事件,筛选和导出报警信息,形成专门的报告,预防事故及故障的发生^[5]。除了智能手机端显示温度型号及提供报警之外,千里眼还可提供资产快查及工单派工的功能,提高用户的运维效率及智能化程度。

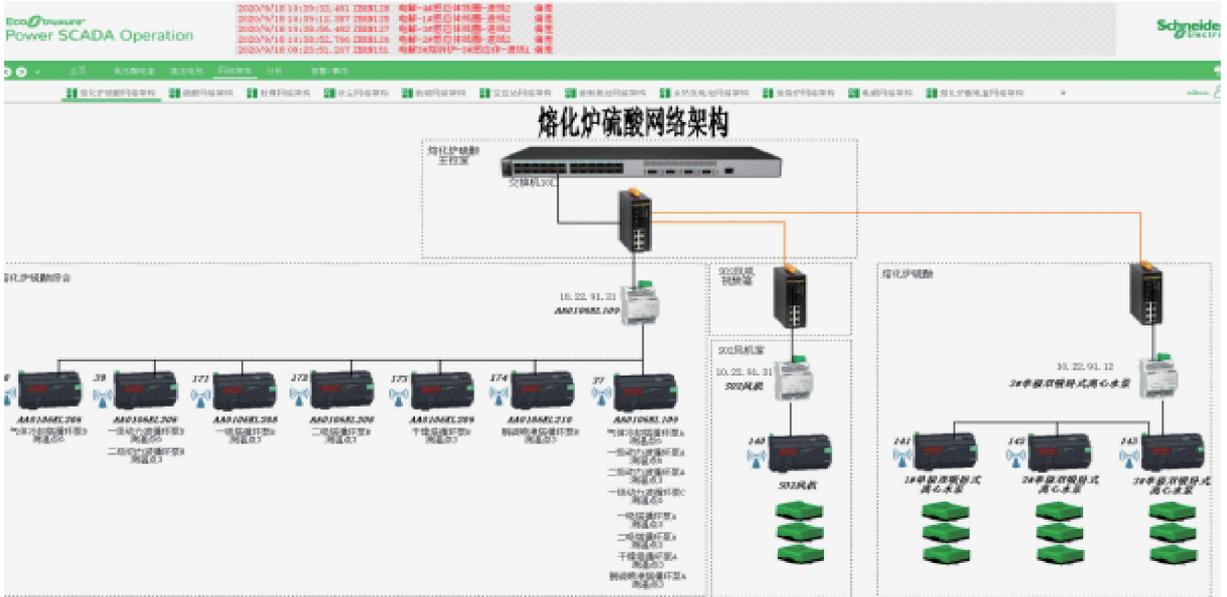


图4 焙烧炉硫酸子系统网络架构

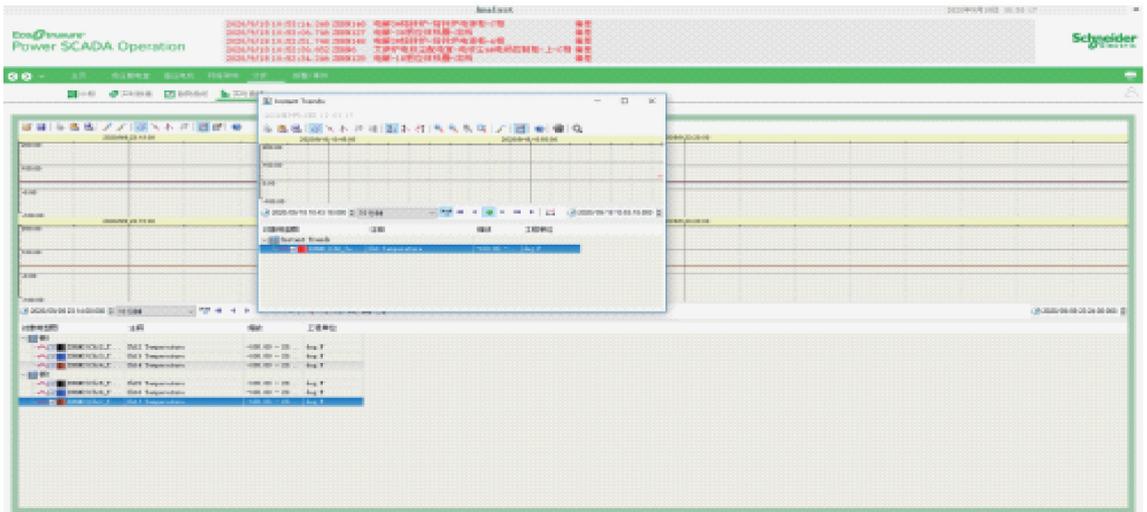


图5 温度历史数据曲线

4 结语

无线测温系统在云南驰宏会泽铅锌冶炼厂的首次智能化测温改造及应用,配套管理系统及千里眼

APP 提供温度异常告警、实时设备温度采集、周期性温度监测及报表、设备状态评估等功能,能减少及避免重大因温度导致故障的发生。系统运用效果良好,大量减少了运维及管理人员的工作量,提高了检



图6 千里眼 APP 应用截图

修操作的精准度。在项目执行过程中,因停电时间有限,改造工作复杂,仍有部分设备未能实现温度实时监测,需要进一步优化测温系统的施工方法,提高安装效率。其次,随着技术的发展和传感器的应用,从不同角度获得关键设备及系统的数据,更客观地进行设备及系统监测,作为下步研究工作方向之一。而且,智能化、万物互联等新技术的应用,会对运维人员的能力及习惯提出更高的要求,智能化系统需要进一步提高用户的实际体验,开发更多更贴近用户的功能,比如资产管理、工单处理、故障排

除等,得到更多的应用。

[参考文献]

- [1] 刘朝霞. 高压开关柜无线测温系统设计[J]. 电力安全技术, 2015, 17(7): 40-42.
- [2] 田增国, 刘晶晶, 张召贤. 组网技术与网络管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [3] 巩宪锋, 衣红钢, 王长松, 等. 高压开关柜隔离触头温度监测研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(1): 155-158.
- [4] Q/GDW 166.1-2010, 国家电网公司输变电工程初步设计内容深度规定[S].

Wireless Temperature Measurement System Application on Electrical Equipment in Pb&Zn Mining Industry

DUAN Zheng-hua, PENG Jun-chao, XU An-jian

Abstract: In order collect the real time temperature of key electrical equipment, and also we need to solve the shortcomings of wired temperature measurement (many measuring circuits and wired installation space, which makes wiring and maintenance difficult), according to mining industry characteristic and demand, applying both wireless passive sensor and Zigbee wireless communication technology, the smart temperature measurement system solution is proposed and applied in Huize Yunnan Chihong Zn & Ge Co. Ltd. The result shows that the proposed wireless temperature measurement system is easy to be structured, be expanded, be configured.

Key words: wireless temperature measurement; Zigbee; IOT; Wireless passive sensor

