[技术探讨]

基于ZigBee技术的变电站无线测温在线监测系统研究及应用

文/国电南瑞科技股份有限公司　赵月灵　代　莹　程秋秋　张庆伟　张春雷

随着供电负荷的迅速增加及高压电力设备的老化，厂站因设备过热而引起的火灾、爆炸事故时有发生，且危害性极大，带电设备的连接点处更为易发点，如断路器、隔离开关触头等。据国家电力安全事故通报统计，我国每年仅发生在电站的电力事故，40%是由高压电器设备过热所致。因此，对高压带电设备温度在线监测是保证厂站安全运行的重要内容。

目前厂站高压设备连接点的温度监测，大致包括以下方法：示温蜡片法、热敏电阻测温法、红外测温法。示温蜡片法是将测温蜡片贴在高压设备接头等敏感点，定期检查，根据蜡片变色程度推测温度，该方法只有在温度过高后蜡片才有反应，因此灵敏度较低且电气设备的隐蔽部位也难以观察到；热敏电阻需有导线与其连接，在裸露的带电设备上无法使用；红外测温法目前应用广泛，但该方法仅适用于测试裸露设备，对全封闭、空间狭小的高压开关柜无能为力，且需人工巡检。因此以上传统的测温方式都无法有效地解决这个问题。近年来，分布式光纤测温技术开始应用厂站设备温度监测，它能实现开关柜内敏感点的温度实时监测功能，但光纤测温法因安装难度高、光纤易折易断、成本高等缺点，未能广泛应用。

随着计算机和无线通信技术的发展，无线通信网络技术已逐渐成熟，它具有成本更低、抗干扰性好、功耗小、安装方便等优点。针对上述情况，本文提出基于ZigBee技术的变压站无线测温在线监测方案，并依据该方案研制了相应的监测装置。

基于ZigBee的厂站无线测温在线监测系统结构

基于ZigBee技术的厂站无线测温系统适用于监测各种容量、电压等级的厂站母线、连接点动力电缆的接头、开关柜内重要的采电处等关键部位，可进行“零距离”在线实时监测。该监测系统由温度传感采集单元、模数转换及无线传输单元、监测装置构成，如图1所示。

其基本原理是，利用高精度数字化温度传感器采集敏感点处的温度值，将温度值转换为数字信号传输至采集单元，采集单元将该信号转换为无线信号，并通过射频电路将温度信号以无线形式（频率为2.4 GHz）发送至开关柜外的监测装置，通过信号处理、解码后可将温度信号实时显示出来。同时，监测装置将所测到的温度与用户预先设定的参数进行比较，判断该敏感点处运行温度是否正常，若不正常则发出相应报警信号提醒管理人员。

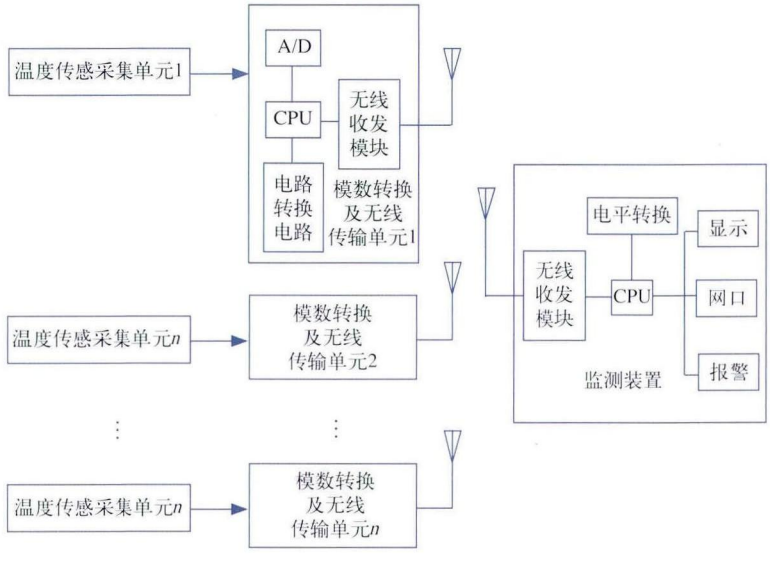

图1　基于ZigBee技术的厂站无线测温系统示意图

www.cqgs.com.cn

关键技术

针对常规的厂站设备温度监测方法的缺点，需对基于ZigBee技术的厂站无线测温系统进行深入研究。

1. 温度报警算法研究

为更全面清楚地反映某电力设备温度情况，将安装于同一设备的所有无线测温传感器定义为1个测温单元组，将相同位置且同相位的1个或2个无线测温传感器定义为1个测点组。一般的，1个测温单元组根据不同相别排布包含3个温度传感器，即每个测点组仅有1个传感器。对于需进行分合操作的设备，如隔离开关，往往在活动触头两端均需安装1个无线测温传感器，即每个测点组有2个传感器。此外，考虑到室内外不同季节温度变化，需在室内和室外分别安装一个环境温度测量点。根据电力设备的特点，对无线传感器所在位置相别以及传感器本身工作状态的分析，提出3种温度报警判据。

（1）温度越限判据

针对安装于各电力设备易发热位置处的测点均设置温度越限告警功能。每个温度测点均有设置相应的温度越限告警定值，当温度越限时则认定该设备温度过高，发出告警信号。由于判据中采用温度绝对值进行判别，因此受实际环境温度影响大。本判据采用了与环境温度呈线性函数关系的整定原则，判据为

$$T \geqslant T_{jz} + \Delta T_{zdo} \tag{1}$$

其中，T为温度实测值，T_{jz}为室内或室外环境温度基准值，ΔT_{zdo}为越限定值。该判据可根据不同环境温度下浮动变化温度定值门槛，可有效提高灵敏度。值得注意的是，如环境温度基值较高时，可能出现温度阈值过高且系统无法告警的情况，所以需考虑将环境温度基准值设置一上限值，一般以电力设备承受的温度上限为参考，取40～50°C。

（2）温度不平衡比率判据

针对处于相同安装位置不同相别的测点温度差异告警。正常情况下，相同安装位置上不同相别的温度应该接近，而出现异常情况下，如不对称故障、不对称过负荷的情况下，三相大小不同，发热情况也不同。具体判别采用最大温度相和最小温度相比值是否大于不平衡比率定值，延时报警。此外为防止误报警，增加温度越限辅助判据，判据为

$$\begin{cases} \max(T_a, T_b, T_c) \geqslant T_{zd} \\ \dfrac{\max(T_a, T_b, T_c)}{\min(T_a, T_b, T_c)} \geqslant k_{zd} \end{cases} \tag{2}$$

其中T_a，T_b，T_c为相同位置不同相温度实测值，T_{zd}为温度越限定值，k_{zd}为不平衡比率定值。

（3）同一测点组温度比较判据

针对同一测点组中温度出现差异时进行告警。该判据主要针对需进行分合操作的设备，如隔离开关、断路器等，如果两侧温度差异较大时，则可认为该相出现差异，判据为

$$T_{i1} - T_{i2} \geqslant \Delta T_{zdi} \tag{3}$$

其中T_{i1}，T_{i2}为同一相两侧不同测点温度实测值，ΔT_{zdi}为越限定值，i为不同相别。

2. ZigBee技术

Zigbee技术是一种低功耗、低成本、近距离、低传输速率和低复杂度双向无线通信技术，完成高电位处温度信号传输功能，具有如下特点：①通信可靠：Zigbee技术在物理层抗干扰非常强的DSSS直序扩频技术，在MAC协议层采用CGMA－CA避免碰撞机制，可避免发送数据的竞争与冲突，提高了信息传输的可靠性。②低成本：在2.4 GHz免执照频段，Zigbee技术协议是免专利费的，且设备复杂度低。③自组网功能：Zigbee技术无需人工干预， 网络节点可以感知其他节点存在， 自动构成网络；在增加、删除节点或节点发生故障情况下，无需人工干预，网络能自我修复，即具有自愈功能。④低传输速率和近距离：数据传输速率为20～250 kbit／s，单点覆盖距离为50～300 m。此外，Zigbee技术协议支持星形和对等两种网络拓扑结构，星形网络在数据传输延时和功耗方面均较对等网络方式有较大优势。为了便于集中控制及维护，本系统采用星形网络结构。模数转换及无线传输单元采用Zigbee无线网络传输信号技术，旨在解决常规测温方法实时性差、受安装环境限制大、无法实现对全封闭设备等测温的难题。

3. 电流互感器自给电源

高压端温度采集及信号传输模块的可靠供电至关重要，化学电池(无论是储备电池或燃料电池)都有一定使用寿命，都无法满足长期供电的要求及不更换的要求；为了更换电池，必须停止断路器运行，还要摇出断路器手车后才能进行。触头温度测量装置的温度采集及信号传输模块是电流互感器自给供电，即在母线上安装电流互感器，从运行电流中取出感应电压，再经过整流、滤波、稳压等处理后，提供温度采集及信号传输模块所必需电源。由于母线电流从几十安到几千安，其变化范围达到100余倍，此时，几十安对应的输出电压满足要求，几千安培时对应的输出电压幅度显得太大，甚至会损坏温度采集、传输模块的电子器件。为此，必须采取特殊措施，其措施是：选用高磁导率材料制作互感器，还要精心设计电流互感器铁心截面积，使电流互感器在母线流过几十安电

图2　某厂站基于ZigBee技术的无线测温系统示意图

流时正常励磁，当母线流过几百安电流时，使铁心饱和，但输出不会过大，可以向温度采集、传输模块提供较稳定的工作电源。为了使电流互感器提供稳定的工作电源，还要进一步采取过电压防护措施及增加能量泄放电路。

测温系统设计

1. 测温点布置

根据电力系统设备特点和运行经验，选取事故易发点，包括母线铜排连接点、动力电缆连接头、主变柜、进线柜、电容柜及馈线柜等作为重点监测对象，需对监测关键点进行合理布置。

2. 温度采集单元安装工艺

根据布置的设备易发热点等重要监测部位，将温度传感器通过硅胶直接固定在需要精确监测的地方(也可通过各种固定型材固定)；无线发射盒通过硅胶和绑扎带固定在等相位的铜排上(可选择合适位置)，中间通过耐高温传输导线相连接，导线用扎带或者热缩套管固定于铜排上。

在安装时，固定胶固化后方可松开，且发射盒安装位置需选择合适位置，不可破坏原有设备的绝缘距离。

3. 测温主机系统建设

1）现场的温度监控装置采用先进的数据处理器件，负责采集、显示现场各测温点的数据，温度监控装置具有标准的通信接口，能与上位机进行通信，实现集中管理。

2）后台计算机软件采用组态软件，功能强大，使用简单、方便，可在线显示下属的所有测温点的实时数据，并通过曲线、报表等方式输出相关信息，便于管理人员进行管理、分析。

此测温系统具体配置如图2所示。

结束语

本文分析了传统测温方法存在的不足，针对目前厂站高压电力设备温度监测要求，研制了基于ZigBee技术的无线测温在线监测系统，该系统具有以下优点：①根据厂站高压电力设备关键点以及传感器安装特点，采用3种温度报警判据，可适应设备不同工况、不同环境下实时监测要求，具有灵敏度高的优点。②采用基于ZigBee无线通信传输技术，具有功耗低、通信可靠、成本低等优势，可实现全封闭设备关键点温度在线实时监测功能。③采用高压端温度采集及信号传输模块电源自给方案，不需更换电池，方便维护。该方案对设备安全运行无任何影响，**EA**

(收稿日期：2015.05.14)
(编辑：朱金凤)