

# 基于翅片散热和 ZigBee 的开关柜触头温度测控系统

段建东, 叶 兵, 张青山, 樊 华

(西安理工大学 电气工程系, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 为降低开关柜的事故发生率, 设计了开关柜触头温度测控系统。首先利用层次分析法得出开关柜散热最佳方案, 即在开关柜后面板上加装翅片热板隔离式热交换器; 然后基于翅片散热和 ZigBee, 设计了开关柜触头在线温度测控系统, 该系统包含数据采集与温度控制层、数据传输层和站控层。测试结果表明, 翅片散热器散热效果良好, 所设计的开关柜触头在线温度测控系统可实现设备状态数据的可靠快速传输和监测预警信息的可视化。

**关键词:** 无线传感器网络; 层次分析法; 翅片; 温度测控

**中图分类号:** TM 591

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.07.027

## 0 引言

在电力系统运行中, 电力设备的温度是非常重要的指标, 它关系到电力设备能否安全稳定运行<sup>[1-2]</sup>。开关柜作为电力系统重要的设备之一, 其内部触头由于设备制造、触头氧化、电弧冲击等原因, 造成电接触点的接触电阻增大, 导致温度上升。如果接头温度过高, 其会发生严重氧化, 导致设备寿命骤减<sup>[1]</sup>, 甚至是设备损毁或爆炸, 造成大规模停电事故, 严重威胁电网的安全稳定运行。光电互感器应用越来越广泛, 对于开关柜内的环境温、湿度要求更高<sup>[2]</sup>。对电气设备的温度进行实时监测, 可帮助值班人员尽早发现问题、消除隐患, 确保电力系统安全运行; 使用散热系统可减少严重事故的发生。

据调研可知, 现场应用的开关柜中, 有部分非真空开关柜上装有风扇进行散热。一般情况下, 柜内触头发热产生的热量使柜内温度比环境温度高 20℃ 以上, 如果采用风扇直接交换降温法, 从柜顶散热窗将柜内热风与柜外空气进行交换降温, 虽然可以使柜内温度降低 5℃ 左右, 但是柜内温度通常还是超过设备正常工作的环境温度范围。由此可见, 采用风扇直接换气降温法效果不佳, 影响设备正常的安全稳定运行。且目前很多开关柜都是 SF<sub>6</sub> 气体绝缘金属封闭开关柜, 而风扇散热不能用于真空或 SF<sub>6</sub> 开关柜。综上所述, 必须选用经济可行的散热方案。

另一方面, 开关柜测温和数据通信系统也十分重要。目前现场的开关柜中电力设备测温的主要手

段为人工测温<sup>[1]</sup>。人工测温主要是人工操作手持式设备进行设备的温度监测, 容易出现漏报、误报, 监测的准确度会因不同的人员操作而不同, 且无法进行长时间测量, 实时性也较差<sup>[1-3]</sup>。也有少数场合使用接触式传感器(ds18b20、铂电阻等)采集温度, 然后通过有线通信方式传输到监控中心, 但是测温系统出现故障时需要停电检修, 会降低系统的供电可靠性<sup>[4]</sup>, 所以可选择具有绝缘能力的测温传感器。温度采集系统的通信十分重要, 手持式测温设备数字化通信系统、自动测温系统如果采用有线通信的方式, 可能造成开关柜内布线冗余; 另外, 如果通信线的表面感染污秽, 可能会缩短爬电距离, 影响电力设备的绝缘距离和运行安全, 故可采用无线通信。

本文研究了一种新的基于翅片散热和 ZigBee 的开关柜触头在线温度测控系统, 可以对开关柜中的易发热触头进行在线测温, 温度过高时采用翅片散热的方式进行降温; 所有温度数据通过通信系统传输到监控主机上, 采用上位机软件进行相关处理, 并将预警信息以短信形式发送, 同时实现数据库共享和网络接入功能。最后进行了整个测控系统的硬软件开发和实验测试。

## 1 利用层次分析法的温度控制方案

### 1.1 开关柜降温方案的对比分析

针对高压开关柜, 目前有 3 种降温方案。

方案 1: 加装隔热柜, 即对端子柜加装隔热柜, 柜壁黏贴隔热膜, 以隔离外界太阳光直射及其他热源。

方案 2: 加装空调, 即对端子箱柜壁加装空调。

方案 3: 加装热交换器, 即在开关柜后面板上加装翅片热板隔离式热交换器。

3 种方案的对比如表 1 所示。由表中数据进行初步分析可知, 加装热交换器的方案性价比更高。

### 1.2 开关柜最优降温方案的层次分析

为更加客观地找到 3 种方案中的最优方案, 引

收稿日期: 2013-07-29; 修回日期: 2014-05-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50707026); 陕西省重点学科建设专项资金资助项目(00X901); 陕西省教育厅服务地方产业化专项计划资助项目(2013JC24)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50707026), Special Foundation of Key Disciplines of Shaanxi Province(00X901) and Local Service Industrialization Special Plan of Education Department of Shaanxi Province(2013JC24)

表 1 3 种方法的散热效果对比  
Tab.1 Comparison of heat dissipation effect among three schemes

方案	降温效果/℃	加装成本/万元	适用对象
1	1~2	0.1	所有开关柜
2	20	2.0	空气开关柜
3	15	0.5	所有开关柜

入层次分析法 AHP (Analytic Hierarchy Process)<sup>[5]</sup> 选择方案,该方法是一种定性与定量分析结合的方法,可以分为 4 个步骤:将复杂的问题层次化,形成目标层、准则层、方案层;采用“1~9 标度法”形成判断矩阵;检验判断矩阵的一致性;通过逐层计算,得到方案层对目标层的权重,权重最大的方案即为最优方案。

针对开关柜降温方案,AHP 的具体步骤如下。

a. 建立如图 1 所示的层次模型。

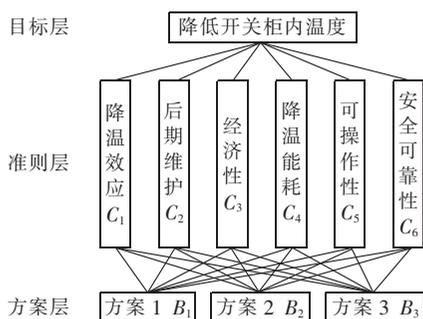


图 1 层次分析结构  
Fig.1 Structure of AHP

b. 构造判断矩阵  $A$ , 进行单层排序及一致性检验。判断矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n} (i, j = 1, 2, \dots, 6)$  应为正互反矩阵,即满足条件  $a_{ij} > 0$  且  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , 其中,  $a_{ij}$  为指标  $i$  对指标  $j$  的相对重要性指数,取值由表 2 确定。

表 2 判断矩阵标度及其含义  
Tab.2 Scales of judgment matrix and corresponding meanings

标度	含义
1	指标 $i$ 与指标 $j$ 具有同等重要性
3	指标 $i$ 比指标 $j$ 稍微重要
5	指标 $i$ 比指标 $j$ 明显重要
7	指标 $i$ 比指标 $j$ 强烈重要
9	指标 $i$ 比指标 $j$ 极端重要

根据现场运行的情况进行试验,结合专家打分,整理运行资料后得到判断矩阵为:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 7 & 8 & 8 & 7 \\ 1/5 & 1 & 3 & 5 & 5 & 1 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1/8 & 1/5 & 1 & 1 & 1/3 & 1/3 \\ 1/8 & 1/5 & 1 & 3 & 1 & 1/3 \\ 1/7 & 1 & 3 & 3 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

计算判断矩阵  $A$  的最大特征根  $\lambda_{\max} = 6.3521$ , 求出对应的特征向量并标准化后得出权值为:

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6)^T = (0.1872, 0.1925, 0.1925, 0.1932, 0.1932, 0.0414)^T$$

其中,  $\alpha_j$  为准则层第  $j$  个元素  $C_j$  对目标层的权值。

取一致性指标:

$$C_1 = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.07042$$

其中,  $n$  为  $A$  的阶数。

令随机一致性比率  $C_R = C_1/R_1$  ( $R_1$  为平均随机一致性指标),  $n=6$  时取  $R_1 = 1.24$ , 得  $C_R = 0.0568 < 0.1$ , 故认为判断矩阵  $A$  具有一致性。

c. 层次总排序与一致性检验。与步骤 b 同理, 可求出准则层对各个方案的标度矩阵为:

$$A' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 5 & 3 & 7 \\ 3 & 3 & 5 & 3 & 5 & 9 \\ 5 & 7 & 9 & 7 & 9 & 3 \end{pmatrix}$$

对标度矩阵进行标准化得到标准化权重向量,结果如表 3 所示。表中,  $w_{ij} (i=1, 2, 3; j=1, 2, \dots, 6)$  为方案  $i$  对准则层第  $j$  个元素  $C_j$  的优越性的比较尺度。

表 3 矩阵权重  
Tab.3 Weight of matrix

方案	$w_{ij}$					
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
1	0.1111	0.0909	0.1250	0.3333	0.1765	0.3684
2	0.3333	0.2727	0.3125	0.2000	0.2941	0.4737
3	0.5556	0.6363	0.5625	0.4667	0.5294	0.1579

d. 方案权重计算。方案层中  $B_i (i=1, 2, 3)$  的总排序权重为  $\sum_{j=1}^6 \alpha_j w_{ij}$ , 最终计算得到各方案在目标层的组合权重  $w^{(3)} = (w_{B1}, w_{B2}, w_{B3})^T = (0.1761, 0.2901, 0.5338)^T$ 。可知, 方案 3 在所有方案中占的权重最大, 远高于方案 1 和方案 2, 因此应选方案 3, 即在开关柜后面板上加装翅片热板隔离式热交换器为最优方案。

### 1.3 开关柜的翅片散热方案<sup>[6]</sup>

翅片散热方案原理见图 2。翅片热板隔离式热交换器内部装有加热器、风扇和散热片等主要部件,

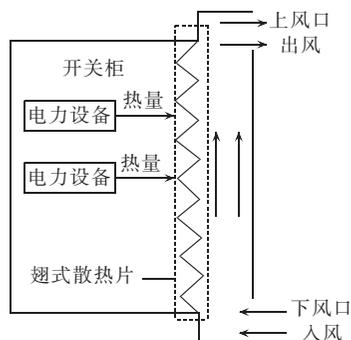


图 2 翅片散热结构

Fig.2 Heat dissipation structure of finned radiator

柜内与柜外隔绝封闭,空气不进行交换,十分适用于封闭式开关柜散热。柜内热量通过散热片传导,将室内空气热量传至散热片;柜外空气从下风口进入并通过散热片吸收热量,再从上风口出风,将热量带出,这样可以降低温升带来的气压,避免开关柜因温度过高而爆炸;柜内温度范围可设定为自动控制。综上分析,翅片散热方案是经济可行的。

## 2 开关柜触头温度在线测控系统方案

设计基于无线传感器网络和翅片散热的开关柜温度测控系统如图 3 所示,系统可以分为数据采集与温度控制层、数据传输层和站控层 3 层。

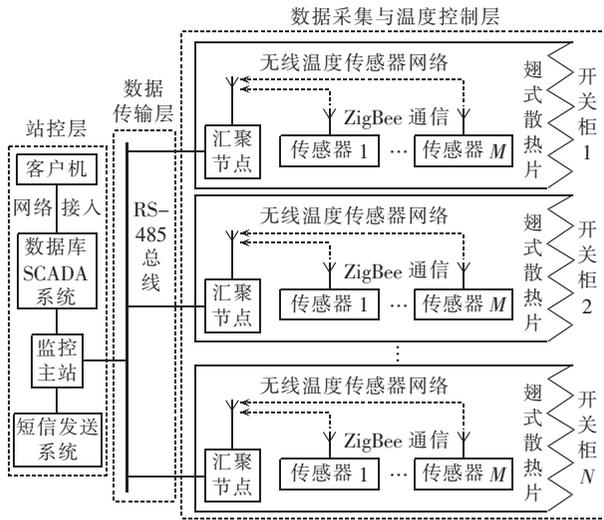


图 3 开关柜触头温度在线测控系统结构

Fig.3 Structure of online contact temperature monitoring and control system for switch cabinet

站控层基于 LabVIEW 的上位机软件,软件结构如图 4 所示。该软件接收数据后,采用小波算法进行数据滤波预处理,采用加权直线趋势外推法进行温度预测,采用固定门限值监测和变化率检测算法判断温度值和温升值是否符合相关的电力系统安全规定,确定设备缺陷等级,得出预警信号并发送短信给变电站值班人员,并将各项数据结果进行实时显示。同时,站控层可以将数据共享到数据库和 SCADA 系统中,通过网络接入的方式实现与客户机共享温度状态数据,采集数据响应时间限制在 5 s 以内。由于上位机采用实时显示的模式呈现数据,传统的浏览器/服务器(B/S)结构系统无法实现数据实时响应,只能进行周期轮询模式读取数

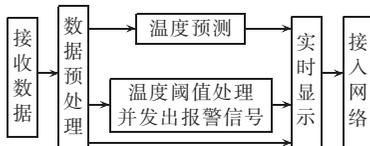


图 4 监控主机软件结构

Fig.4 Software structure of monitoring host

据,无法达到真正意义上的实时性。所以网络通信采用全双工通信,从服务器向 Web 客户端以 Socket 方式发送数据,下发指令时也以同样的方式进行,以满足组态式软件实时性要求。同时检测平台中使用用户管理系统,避免非授权人员对系统的访问,并允许按权限访问系统功能<sup>[7]</sup>。

数据传输层是 RS-485 总线网络。由于开关柜是金属材质的密闭结构,ZigBee 射频信号无法送出,故采用有线通信的方式将数据送出。RS-485 通信方式具有很强的扩展性,通信协议简单,通信距离可达 1 km 以上。

数据采集与温度控制层由多个子系统组成,每个开关柜中包含 1 个子系统,子系统由多个安装在开关柜内部的触头温度采集终端(荧光反射式光纤测温传感器)和 1 个汇聚节点组成,同时安装翅片热板隔离式热交换器对柜内温度进行控制。数据采集子网采用先进的 ZigBee 无线传感器网络技术,将 1—M 号测量终端采集到的多点温度信息传输到位于汇聚节点的网络协调器中<sup>[8]</sup>。汇聚节点中的微控制单元 MCU(Micro Control Unit)将数据传输到开关柜前面板的数码管上进行显示;参考 DLT664—2008《带电设备红外诊断应用规范》对对应设备的温度设定缺陷等级阈值<sup>[9]</sup>进行判断后通过现场的相关电路实现声光报警并开启翅片热板隔离式热交换器的控制电路,同时将数据发送到数据传输层。

## 3 基于 ZigBee 的数据采集层

如图 5 所示,数据采集子系统采用多个光纤测温传感器分别采集开关柜中易热触头的温度,通过 ZigBee 无线传感器网络将数据传输到汇聚节点上。

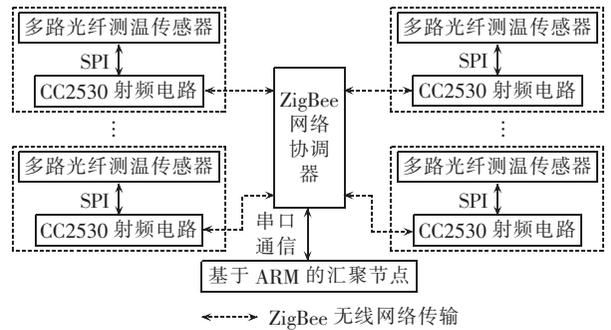


图 5 数据采集层网络

Fig.5 Network of data acquisition layer

### 3.1 ZigBee 无线通信

监测系统运行于强电磁环境中,除了常规的手段,如元器件的选择、接地与 PCB 设计、软硬件滤波处理、看门狗技术、数据校验等方式外,ZigBee 还可以采用基于空闲信道评估技术 CCA(Clear Channel Assessment)和动态信道选择技术的抗电磁干扰方

式<sup>[10]</sup>。另外,开关柜中需要安装的分布式测温终端节点数量较多,必须要考虑功耗和成本问题,而 ZigBee 无线通信是一种低功率、低成本、低传输速率、高可靠性的无线通信方式,可以降低系统的功耗与成本。ZigBee 的 AES128 加密技术可以提高数据传输的可靠性,即使是较低的传输速率也可以达到 250 Kbit/s,完全满足温、湿度数据的传输要求。

### 3.2 数据采集终端

荧光反射式光纤测温传感器是无源器件,适合在高压环境安装使用,其采用近红光的可见光作为测量媒介、大直径树脂光纤作为传输通道,自支撑能力很强,保证安全距离并生成整齐牢固的走线布局<sup>[11]</sup>;其对温度的响应速度较低,需要几分钟的跟进时间,这一点对电气接点温度实际为缓变的对象影响不大(电力系统接头温度突然上升很快往往是短路故障引发的,保护系统会发生作用)。由于该系统为光强调制类型,系统的光路部分自身密闭,防止了外界光的干扰。采用荧光光纤测温传感器采集温湿度信息,1 个 CC2530 芯片可连接多路测温传感器,电路结构如图 6 所示。射频单片机 CC2530 通过 I/O 口接收到多路传感器数据,打包后通过 CC2530 射频电路发送出去<sup>[12]</sup>。

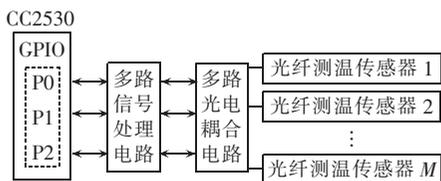


图 6 触头温度采集节点结构

Fig.6 Structure of contact temperature acquisition node

通用数据包结构如图 7 所示。每个节点的数据包可以使用 1 个结构体来实现,其中包含了数据包的头、尾,以及节点的设备类型、节点 MAC 地址和所采集的传感器数据,包头、包尾为固定值。终端节点的数据包如图 8 所示。设备类型有网络协调器(Coordinator)、路由器(Router)、终端节点(EndDevice),分别用每个设备的前 3 个大写字母表示;节点网络地址和父节点地址在系统上电后自动查询;传感器数据为 5 位。

包头	设备类型	节点地址	传感器数据	包尾
&				*

图 7 通用数据包的结构

Fig.7 Structure of general data packet

包头	设备类型	节点地址	传感器数据	包尾
&	END	16 位 MAC	W2323	*

图 8 终端节点数据包

Fig.8 Structure of EndDevice data packet

### 3.3 汇聚节点

ZigBee 网络协调器接收底层数据采集系统收集到的温度和湿度信息后,通过串口传输给 ARM 芯片。ARM 芯片接收到信息后在开关柜前面板实时显示,并设置温度阈值,如果温度过高或过低需要产生 PWM 波信号开启翅片热板隔离式热交换器。最后需要将信息打包成以太网数据包格式,通过数据传输层的工业以太网发送给上位机。汇聚节点电路结构框图如图 9 所示,程序流程图如图 10 所示。

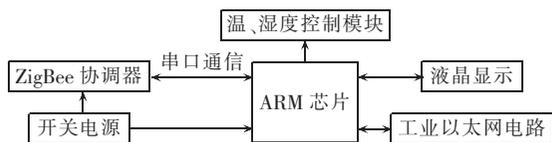


图 9 汇聚节点电路结构框图

Fig.9 Block diagram of collection node circuit

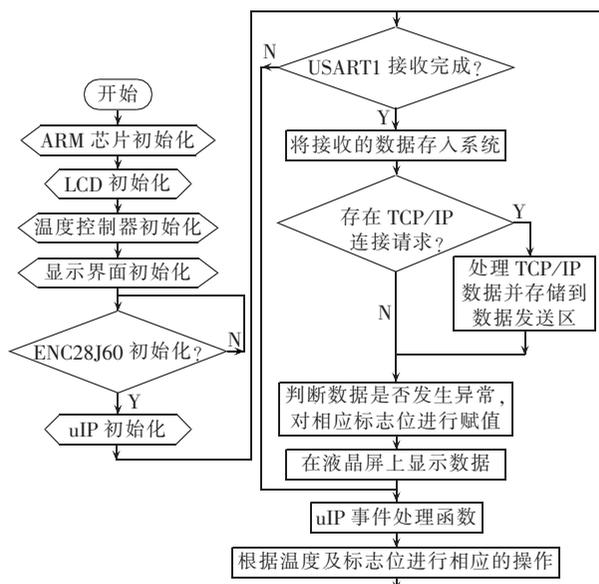


图 10 汇聚节点程序流程图

Fig.10 Flowchart of collection node program

底层的数据采集节点采集到的数据通过强电磁环境传输给汇聚节点,可能会产生部分干扰数据,所以在汇聚节点的 ARM 芯片中加入了中位平均值滤波程序,以提高数据的正确性。

## 4 开关柜触头温度测控系统的实验测试

### 4.1 数据采集与温度控制层测试

对开关柜触头温度测控系统的硬件进行测试,测试项目主要包括光纤测温传感器和 ZigBee 无线通信,相关技术指标的测试结果如表 4 所示。

测试结果显示:在开关柜环境下使用荧光反射式光纤测温传感器,可以以绝缘的方式测得触头的温度,测温范围、精度和响应时间均满足要求; ZigBee 实现多点组网的数据传输;在强电磁环境下,

表 4 硬件测试技术指标

Tab.4 Technical indicators of hardware test		
测试项目	技术指标	测试结果
光纤测温传感器	测温范围	-50~250℃
	测温精度	0.1℃
	供电电压	3.3~5 V
	响应时间	<1 s
	通信距离	0~300 m
ZigBee 无线通信	丢包率	0.5%
	误码率	10 <sup>-10</sup>
	通信延时	<30 ms

数据传输误码率可忽略不计;无线通信方式可以降低开关柜内通信线的布线冗余。

至于能耗方面,采用感应供电电源和锂离子电池互为备用的供电方式,在导线断电的情况下亦可完全满足系统的供电要求。

当监测的温度达到一级缺陷(温度高于 45℃)时,测控系统通过控制电路翅片热板隔离式热交换器投运,可以有效降低开关柜内环境温度,增强触头散热,降低爆炸事故的发生率。

#### 4.2 预测算法与上位机软件的测试

开关柜触头温度监控系统的上位机软件界面采用 LabVIEW 图形化编程实现<sup>[13]</sup>,其中包含温度在线显示界面、温度数据预测界面、数据存储与调用界面(对历史数据进行存储和调用<sup>[14]</sup>)、缺陷标准与处理方式界面,形成综合的可视化界面。

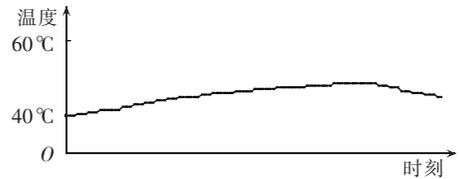
某次系统联合实验通过以太网传输的以太网数据经过滤波后进入预测程序通道,用加权直线趋势外推法进行数据预测;在底层硬件中设置每 3 s 采集一次数据,采集一段时间的数据后,将这些数据作为预测样本,预测未来相等时间段内的温度值,选取 15 s、30 s 和 60 s 作为预测样本时间,采用滚动预测的方式进行预测,相关指标分析如表 5 所示,实验结果如图 11 所示。预处理后的数据同时会进入预警处理程序通道,用固定门限值监测和变化率检测的算法可以判断温度和湿度数据的变化,并用点亮报警灯和文字提示的形式进行报警,缺陷判断与处理方式如表 6 所示。

由表 5 可见,最大温度误差、最大相对误差、平均相对误差数值都较小,在可接受范围内;系统可预测到达温度上限的时间,达到对电力设备热缺陷故障预测的效果。由图 11 可见,开关柜触头的温度曲线有下降趋势,经分析是由于翅片热板隔离式热交换器投运一段时间后,环境温度下降、触头散热

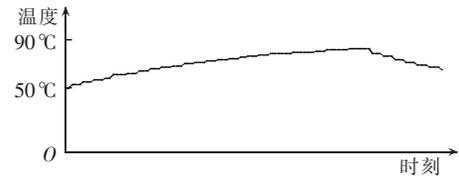
表 5 预测误差评价

Tab.5 Evaluation of prediction error

样本时间/s	最大温度误差/℃	平均相对误差/%	最大相对误差/%
15	1.1891	0.5132	2.1942
30	1.3600	0.8254	2.7200
60	3.3723	2.8717	4.6436



(a) 测点 1



(b) 测点 2

● 红灯, ○ 绿灯

图 11 测试结果显示

Fig.11 Display of testing results

表 6 缺陷判断与处理方式

Tab.6 Judgement and treatment of defect

缺陷等级	温度上限/℃	亮红灯数量	处理方式
一级缺陷	45	1	加强跟踪
二级缺陷	80	2	尽快检修
紧急缺陷	109	3	立即停运检修

能力变强所致。因此,使用翅片热板隔离式热交换器对密闭开关柜进行降温,效果符合技术指标要求。

## 5 结论

为了实现开关柜温度在线监测与控制,研究并设计了基于翅片散热和 ZigBee 的开关柜触头在线温度测控系统,并进行了实验测试,结论如下。

a. 使用翅片热板隔离式热交换器对密闭开关柜进行降温,效果良好、成本不高、安全可靠,是一种值得推广的降温方案。

b. ZigBee 无线技术的应用可以降低监测系统的布线冗余和功耗,其空闲信道评估、动态信道选择特征可以提高网络的抗电磁干扰能力,提高数据传输网络可靠性。汇聚节点的现场在线显示与报警功能可以提高巡检员的工作效率。

c. 监测软件判断温度值和温升值是否符合相关的电力系统安全规定,确定设备缺陷等级,给出预警信号并发送报警短信,同时实现数据库共享功能,促进了电力设备的状态检修的实现。

## 参考文献:

[1] 孙晓雅,李永倩,李天,等. 基于光纤光栅的开关柜温度在线监测系统[J]. 电力系统通信,2012,33(5):6-10.

SUN Xiaoya,LI Yongqian,LI Tian,et al. Design of the switchgear

- temperature on-line monitoring system based on optical fiber grating[J]. Telecommunication for Electric Power System,2012,33(5):6-10.
- [2] LENNART B,LEIF L. Monitoring of primary circuit temperatures and break condition in a substation[R]. Zurich,Sweden:ABB Ltd..
- [3] 吴晓文,舒乃秋,李洪涛,等. 基于光纤光栅的气体绝缘开关母线温度在线监测系统[J]. 电力自动化设备,2013,33(4):155-160. WU Xiaowen,SHU Naiqiu,LI Hongtao,et al. Online temperature monitoring system based on FBG for GIS bus[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(4):155-160.
- [4] ORRELL P. Practical guide on temperature measurement in the power generation industry[J]. Environmental Engineering,1996,9(1):28-30.
- [5] 刘从发,罗日成,雷春燕,等. 基于 AHP 灰色定权聚类的电力变压器状态评估[J]. 电力自动化设备,2013,33(6):104-107,133. LIU Congfa,LUO Richeng,LEI Chunyan,et al. Power transformer condition assessment based on AHP grey fixed-weight clustering[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(6):104-107,133.
- [6] 厉春元,郑艳妮,刘吉普,等. 翅片热板散热器的传热研究[J]. 机械设计与制造,2007(7):112-114. LI Chunyuan,ZHENG Yanni,LIU Jipu,et al. Heat transfer research of fins flat plates heat pipe exchanger[J]. Machinery Design & Manufacture,2007(7):112-114.
- [7] 黄新波. 变电设备在线监测与故障诊断[M]. 北京:中国电力出版社,2012:335.
- [8] 王财宝,盛戈峰,曾奕,等. 基于 ZigBee 技术的导线接头温度集群监测[J]. 电力自动化设备,2009,29(11):45-49. WANG Caibao,SHENG Gehao,ZENG Yi,et al. Cluster monitoring system of transmission line joint temperatures based on ZigBee technology[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(11):45-49.
- [9] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T664—2008 带电设备红外诊断应用规范[S]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [10] BETTA G,CAPRIGLIONE D,FERRIGNO L,et al. Measurement apparatus electromagnetic susceptibility to ZigBee transmitters [C]//Instrumentation and Measurement Technology Conference. Sorrento,Italy:IEEE,2006:487-492.
- [11] 贾丹平,伞宏力,范玮琪,等. 基于光纤测温法的电流互感器[J]. 电工技术学报,2008,23(10):47-52. JIA Danping,SAN Hongli,FAN Weiqi,et al. Current transformer based on optical fiber thermometry[J]. Transactions of China Electrical Society,2008,23(10):47-52.
- [12] 黄新波,方寿贤,王霄宽,等. 基于物联网的智能高压开关柜设计[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):147-151. HUANG Xinbo,FANG Shouxian,WANG Xiaokuan,et al. High voltage switchgear cabinet based on IoT technology[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(2):147-151.
- [13] 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. WANG Fang,QU Daojin,YUE Yanjie,et al. Wireless thermoelectric temperature monitoring of substation based on infrared technology[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(8):135-138.
- [14] 罗佑坤,夏慧恒,钟卫良,等. 基于虚拟仪表的网络化电缆温度实时监测装置[J]. 电力系统保护与控制,2009,15(37):107-109,116. LUO Youkun,XIA Huiheng,ZHONG Weiliang,et al. A network real-time temperature monitoring device based on the virtual instrument[J]. Power System Protection and Control,2009,15(37):107-109,116.

#### 作者简介:



段建东

段建东(1973-),男,湖南武冈人,教授,博士,主要从事电力系统分析、保护、新能源方面的研究(E-mail:duanjdd@xaut.edu.cn);

叶兵(1990-),男,湖北郧西人,硕士研究生,主要研究方向为电力设备状态监测与故障诊断(E-mail:421849817@qq.com);

张青山(1989-),男,湖北郧西人,硕士研究生,通讯作者,主要研究方向为电力设备状态监测与故障诊断(E-mail:xautzqs@126.com)。

## Online contact temperature monitoring and control system based on finned radiator and ZigBee for switch cabinet

DUAN Jiandong, YE Bing, ZHANG Qingshan, FAN Hua

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** In order to reduce the fault rate of switch cabinet, an online contact temperature monitoring and control system is designed. AHP (Analytic Hierarchy Process) is applied to get the best heat dissipation scheme of switch cabinet, i.e. a finned radiator installed on the rear panel of switch cabinet, and an online contact temperature monitoring and control system based on finned radiator and ZigBee is designed, including the data acquisition and temperature control layer, the data transmission layer and the station control layer. Testing results show that, the heat dissipation effect of finned radiator is excellent and the designed system realizes the fast and reliable transfer of equipment status data and the visual display of monitoring and alarm information.

**Key words:** wireless sensor network; analytic hierarchy process; finned radiator; temperature monitoring and control