

基于气体传感器技术的中高压开关柜过温监测系统

杨志淳, 乐 健, 靳 超, 刘开培

(武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 提出了一种利用气体传递过温信号的中高压开关柜过温监测系统。在对几种常用气体进行各方面性能比较的基础上, 确定了以 CO_2 作为过温信号的传递载体。在开关柜内易过温点安装 CO_2 存储装置及释放机构。当易过温点的温度超过设定值时气体释放机构动作, 释放 CO_2 气体。安装在开关柜内的传感器监测到开关柜内 CO_2 气体体积分数变化后, 进行现场和后台告警。给出了系统工作原理及气体存储装置、释放机构和检测装置的具体设计。通过实验室测试和现场试运行的结果验证了系统能够迅速准确地监测到开关柜内的过温状况。

关键词: 高压开关柜; 过温监测; 气体存储; 气体释放; CO_2 传感器

中图分类号: TM 501.7; TM 591

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)04-0116-04

0 引言

随着供电量的不断增加, 开关柜出现过温的情况越来越多, 由此引起的事故将给供电部门和用户造成巨大损失, 甚至会影响到系统的安全运行^[1-4], 其中大部分发生于高压触头处^[5-7]。

目前采用的过温监测方法主要包括常规人工巡检、附加接触式或非接触式过温监测装置的方法。人工巡检方法利用手持式红外测温仪对柜内各点温度进行检查^[8], 但由于柜内元件遮挡和人工操作不当会造成测量的不准确。非接触测温^[9-15]采用判断被测量点辐射出远红外波的波长来确定测量点的温度。接触式测温^[16-20]则通过埋设在测量点的温度传感器直接测量温度, 但其附加的电源、信号传输线等将给开关柜引入新的故障点。

本文提出了一种利用气体作为过温信号传递载体的中高压开关柜过温监测新方法。该方法在开关柜内易过温点处安装特定气体的存储装置, 当该点温度超过设定阈值后, 气体释放装置动作将存储的气体释放, 特定的传感器检测到该气体体积分数的变化后将发出告警信号。

所研制的监测系统在开关柜的高压部分无需任何电源, 无任何连接线。实验室和现场测试结果表明本系统动作可靠、性能良好。本文所提出的方法为解决中高压开关柜的过温监测问题提供了一种性价比比较高、实用性强的新途径。

1 系统总体结构及运行原理

提出基于气体传感的中高压开关柜过温监测系统的总体结构如图 1 所示。

该系统的主要组成和工作原理是: 在开关柜内

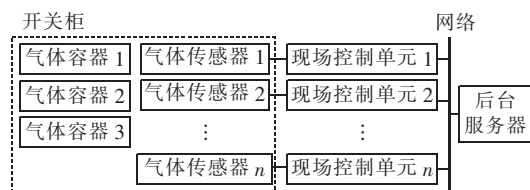


图 1 系统总体结构

Fig.1 System overall framework

易过温点安装气体存储和释放装置。正常时, 气体处于密封状态且无泄漏。当触头连接处出现过温, 气体释放装置动作, 释放出储存气体。该气体经过扩散并被安装于柜体角落的多个气体探头检测, 气体探头将气体体积分数转换为电信号输出至现场测控单元。现场测控单元经过与设置的阈值比较后发出告警信号, 该信号可现场告警提示, 也可通过网络传送至后台或远方服务器, 供运行调度人员使用。

可以看到, 在整个开关柜的高压部分, 本系统无需任何附加电源, 高低压部分直接通过气体进行信息传递, 无需任何连接线路。系统设计简洁易行。

本系统需解决的几个关键问题是气体的选择、存储和释放机构以及检测装置的设计。

2 气体存储及释放装置设计

2.1 气体的选取

本系统所应用的气体的选择原则是: 不导电、无毒、无腐蚀性、无爆燃性。存储、运输、取用方便, 价格低廉, 在正常空气中体积分数较低, 且需要有配套适用的检测传感器等。

根据本系统的应用目标和场合, 表 1 给出了多种气体(包括不同形态)及能产生某些气体的物质的相关性能分析结果。

根据分析结果, 气态下的 CO_2 在各方面均满足应用要求。氮气的唯一问题是正常空气中含量高,

表 1 气体性能分析结果

Tab.1 Results of gas performance analysis

气体性能	气体种类						
	CO ₂	干冰	碘蒸汽	四氯化碳	苯蒸汽	氮气	六氟化硫
毒性	无	无	强	大	强	无	无
导电性	无	无	无	无	无	无	无
腐蚀性	无	无	有	强	强	无	无
爆燃性	无	无	无	无	无	无	无
存储/运输/取用方便性	方便	不方便	不方便	不方便	不方便	方便	不方便
获取	容易	较容易	较容易	较困难	较困难	容易	较容易
价格	低	较低	一般	较高	较高	低	较高
正常空气中含量	低	低	很低	很低	很低	很高	很低
配套传感器	多	多	少	少	少	多	多

需要的气体容器体积大,或需要采用压缩存储方式,故本系统选择了 CO₂。

2.2 气体存储方式及释放方式设计

本系统中的气体存储方式指在不过温时气体的状态(气体在过温后应当成为气态)。要求存放安全可靠,不影响开关柜的正常运行。包括固体附着方式,即气体常态下附着于某固体内,依靠温度进行挥发,与电蚊香片的原理类似。压缩气体方式:气体存储于常温高压容器内,此方式存储的气体量大,与气体打火机的原理类似。化学反应方式:在过温时依靠化学反应产生大量气体,与灭火器的原理类似。常规存储方式:气体以常温、常压方式存储于容器内。

气体释放方式指过温后的气体以怎样的方式从存储装置内扩散。主要包括 3 种:自然挥发方式主要适用于固体附着方式的气体;安全阀方式类似于高压锅的原理,容器内气体压力超过一定值时,冲破压力阀,气体扩散到开关柜内;针刺方式类似于针刺破气球的原理,容器通常为弹性较好的薄膜材料,气体膨胀后,容器碰到安装好的尖刺,容器破裂后气体扩散。

由于本系统采用了 CO₂ 气体,而其固体附着能力较差。若采用化学反应方式,一般情况下有其他副产品,如水,且会随气体一起冲出,影响开关柜的安全。若对其进行过滤则过滤装置复杂且价格昂贵,故本系统只适宜选用常规和压缩气体存储方式。根据多次实验结果表明,常规存储方式已能满足本系统的要求,故本系统中 CO₂ 使用该存储方式。安全阀和针刺释放方式下,过温前后柜内气体的体积分数差异较大,有利于提高气体检测的灵敏度和可靠性,本系统选用了针刺方式。

2.3 气体存储及释放机构设计

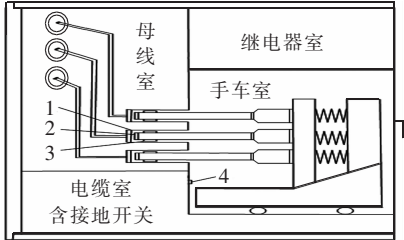
气体存储及释放机构主要包括 3 个部分:以具有高绝缘强度、高耐热性和高化学稳定性的塑胶为材料的环形外壳,起到绝缘和保护气体存储装置的作用,其本身是不密封的;伸缩膨胀、密封及弯曲性好的管状气体存储气囊;动作温度固定的双金属片

及刺针。

双金属片与被测位置具有良好的直接接触,当该点温度超出双金属片动作温度时,双金属片发生足够的形变,带动刺针刺破气囊,将 CO₂ 释放到开关柜内。

2.4 气体存储及释放机构安装示意图

气体存储及释放机构安装示意图如图 2 所示。



1 为静触头;2 为动触头;3 为气体存储及释放机构;4 为 CO₂ 传感器。

图 2 气体存储及释放机构安装示意图

Fig.2 Schematic diagram of gas storage device and gas releasing mechanism

3 气体检测及告警系统设计

3.1 气体传感器

本系统选用的 CO₂ 传感器为日本 FIGARO 公司生产的 CDM4161A。它是一种固态电化学型 CO₂ 传感器,该器件除具有体积小、寿命长、选择性和稳定性好,检测范围广,对 CO₂ 具有高度敏感性的同时还具有耐高温等特点,因而广泛应用于自动通风换气系统或 CO₂ 气体的长期监测等应用场合。

该传感器将检测到的体积分数转换为电压信号输出。包括一个开关量输出:CO₂ 的体积分数高于 $1\,000 \times 10^{-6}$ 时输出高电平,低于 900×10^{-6} 时输出低电平。同时其还能提供模拟电压输出:正常新鲜空气中 CO₂ 的体积分数为约 440×10^{-6} ,对应的输出电压约为 0.44 V,输出电压最大值为 4.5 V。

3.2 现场控制单元设计

考虑到开关柜内部强电磁场工作环境及系统的需求,选择抗电磁干扰能力强的 PIC 单片机 PIC18F 作为中央处理器^[21-22]。PIC18F 集成了 10 位 AD 转换器及 IIC 接口模块,具有 32 K 的程序存储空间、1536 字节的数据存储空间及 256 字节的 EEPROM,不仅符合系统的应用需求,还可以极大简化外围电路。

现场控制单元采集气体传感器的电压信号,并与预设阈值比对,超过阈值时一方面进行现场声、光告警,另一方面向后台软件发送信息;控制气体传感器的工作状态;接收后台软件的阈值设置等命令,并根据后台软件要求提供实时监测数据。

3.3 通信及后台软件设计

现场测控单元提供了多种通信接口形式,包括 RS-232 串口、小无线收发接口、无线局域网接口、有线局域网接口等。

后台服务器软件能对现场测控单元的数据进行

收集、存储和统计分析;实时显示各开关柜的过温状态;设置各现场测控单元的动作阈值等。

4 测试结果

4.1 实验室测试结果

在实验室中按照实际开关柜的大小搭建起开关柜过温监测系统的实验系统。安装有 3 套气体存储及释放装置。由于 CO_2 较空气比重大,故在模拟开关柜下部对角安装 2 套气体传感及现场测控单元。现场测控单元的输出信号经串口连接至后台服务器。

对每一种不同的气体存储量进行了 10 次测试,对释放机构动作时模拟触头的温度、气体释放后到告警信号发出的时间以及气体释放前后柜内 CO_2 的体积分数进行了记录,各平均、最大和最小值如表 2 中所示(表中, θ 为设定温度差, t 为动作时间, V_{ml} 、 V_{m2} 分别为释放前后的体积分数(数值为 $\times 10^{-6}$), av 、 min 、 max 分别表示平均值、最小值、最大值)。

表 2 实验室测试结果
Tab.2 Results of lab test

气体 容量 / m^3	$\theta/^\circ\text{C}$			t/s			V_{ml}			V_{m2}		
	av	min	max	av	min	max	av	min	max	av	min	max
1.0	0.9	0.7	1.2	2.9	2.7	3.4	442	440	445	745	697	782
1.2	1.0	0.5	1.6	2.6	2.4	2.8	443	442	444	835	713	898
1.5	0.8	0.5	1.3	2.4	2.1	2.7	445	443	447	994	856	1070
1.7	0.7	0.6	1.2	1.9	1.8	2.3	444	441	446	1237	982	1351
2.0	0.8	0.4	1.3	1.7	1.5	1.9	446	441	447	1382	1238	1406

可以看到,在所有的实验中,气体释放机构均动作,且动作温度与设定阈值的误差小于 1°C ,验证了气体释放机构设计的有效性和可靠性。气体释放到测控单元告警的平均时间小于 3 s,说明系统具有足够的响应速度。

4.2 现场测试结果

在某变电站 35 kV 开关柜内安装了一整套本文所研制的过温监测系统,包括 6 套气体存储及释放装置,安装于三相动/静触头靠近触头连接处。在柜内下部角落安装 3 套气体检测及现场测控单元,通过无线局域网将信号传送至站内监控室的后台服务器。

在现场对触头加温,当温度达到设定值(75°C)时,现场测控单元发出告警信号,同时后台服务器监控界面正确指示出发生过温的开关柜。

5 结论

本文利用 CO_2 气体作为过温信号传递载体的思想,提出并实现了一种新型的中高压开关柜过温监测系统。设计实现了相应的气体存储装置,设计了基于双金属片的气体释放机构,研制实现了基于单片机和 CO_2 传感器的现场测控单元,开发了相应的后台服务器监控软件。在实验室和现场对所研制的

过温监测系统的各方面性能进行了测试和验证。结果表明:所研制的系统运行良好,动作可靠,响应速度快。验证了本文所提出的思路 and 所研制系统的正确性和有效性。同时,所应用的 CO_2 气体及其检测传感器便宜且易购,使得整个系统造价低廉,不会给环境造成污染。

参考文献:

- [1] 杜彦明,顾霓鸿. 中国电力系统配电开关设备现状及事故情况[J]. 高压电器,2001,37(3):1-5.
DU Yanming, GU Nihong. Present situation of distribution switchgear in Chinese power system and analysis of failures[J]. High Voltage Apparatus, 2001, 37(3):1-5.
- [2] 姚勇,侯勇,张兰荣. 小车式开关柜一次插头烧伤的原因及预防[J]. 小水电,1998,1(4):46-47.
- [3] 朱根良. 浅谈中压开关柜事故调查中的故障分析[J]. 高压电器,2002,38(5):62-63.
ZHU Genliang. Simple explanation of faults analysis in incident investigation of medium voltage switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2002, 38(5):62-63.
- [4] 时斌. 光纤传感器在高压设备在线测温系统中的应用[J]. 高压电压技术,2007,33(8):169-173.
SHI Bin. HV switchgear temperature on-line monitoring system with distributed optical sensor[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8):169-173.
- [5] 周冰. 10 kV 手车式高压开关柜的运行与维护[J]. 装备制造技术,2009(1):97-98.
ZHOU Bing. 10 kV used-style operation and maintenance of high voltage switchboard[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2009(1):97-98.
- [6] 陈志刚. 一起金属封闭开关柜过热原因分析[J]. 浙江电力,2008,27(1):76-78.
CHEN Zhigang. Analysis for a fault of metal-enclosed switchgear overheat[J]. Zhejiang Electric Power, 2008, 27(1):76-78.
- [7] 周喜忠. 开关柜内接头发热的原因及监测[J]. 电气开关,2009(4):6-11.
ZHOU Xizhong. The cause and monitoring of the joint heat in the switch cubicle[J]. Electric Switchgear, 2009(4):6-11.
- [8] 徐东晟,许一声. 高压开关柜触头温度在线监测的研究[J]. 高压电器,2001,37(1):54-55.
XU Dongsheng, XU Yisheng. On-line monitoring of contact temperature inside HV switchgear cabinet[J]. High Voltage Apparatus, 2001, 37(1):54-55.
- [9] 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.
GONG Xianfeng, YI Honggang, WANG Changsong, et al. Research on temperature monitoring of isolators in HV switchgear[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(1):155-158.
- [10] 杨武,王小华,荣命哲,等. 基于红外测温技术的高压电力设备温度在线监测传感器研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(9):113-117.
YANG Wu, WANG Xiaohua, RONG Mingzhe, et al. On-line temperature measurements with infrared technology on high voltage device[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(9):113-117.
- [11] 刘建胜,鄂达,张凡. 一种用于变电站高压触点温度在线监测的新方法[J]. 电力系统自动化,2004,28(4):54-57.
LIU Jiansheng, FENG Da, ZHANG Fan. A novel method for remote on-line temperature detection of substation high-voltage contacts[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(4):54-57.
- [12] 韩瑞生. 变电站中低压开关柜过热故障在线监测系统[D]. 南京:南京理工大学自动化系,2007.
HAN Ruisheng. On-line system for monitoring overheat fault of metal-clad switchgear in substation[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2007.

- [13] BIRTHWHISTLE D,GRAY I D. A new technique for condition monitoring of MV metal clad switch gear[J]. Trends in Distribution Switchgear,1998,10(11):10-12.
- [14] 张艳,田竟,叶逢春. 基于红外传感器的高压开关柜温度实时监测网络的研制[J]. 高压电器,2005,41(2):91-94.
ZHANG Yan,TIAN Jing,YE Fengchun. Development of temperature real-time monitoring network for high voltage switch cabinet based on IR sensor[J]. High Voltage Apparatus,2005,41(2):91-94.
- [15] 匡绍龙,朱学斌. 分布式光纤温度传感器原理及其在变电站温度监测中的应用[J]. 电力自动化设备,2004,24(9):79-81.
KUANG Shaolong,ZHU Xuebin. Principle of distributed optical fiber temperature sensor and its application in substation temperature monitoring[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(24):79-81.
- [16] KYUMA K,SHUICHI T,SAWADA T,et al. Fiber-optic instrument for temperature measurement[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics,1982,QE-18(4):676-679.
- [17] QIU F, ZAU Q,YANG X,et al. Investigation of CO₂ sensor based on nasicon synthesized by a new so gel process[J]. Sensors and Actuators,2003(B93):237-242.
- [18] 孙剑,林伟国. 基于 CO₂ 传感器的高温开关柜触头超温监测仪的研制[J]. 电子测量与仪器学报,2009,23(1):96-100.
SUN Jian,LIN Weiguo. Development of over-temperature detection apparatus for high voltage switchgear based on CO₂ sensor[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2009,23(1):96-100.
- [19] 孙剑,林伟国,陈咏梅. 高压开关柜触头超温监测方法[J]. 北京化工大学学报:自然科学版,2008,35(4):100-103.
- SUN Jian,LIN Weiguo,CHEN Yongmei. Over-temperature detection for isolated contacts in high voltage switchgear[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology:Natural Science Edition,2008,35(4):100-103.
- [20] 杨旭雷,张浩,叶剑鸿. 温度在线检测单元的设计[J]. 电力自动化设备,2002,22(9):44-45.
YANG Xulei,ZHANG Hao,YE Jianhong. Design of on-line temperature monitoring unit[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(9):44-45.
- [21] 刘和平. PIC18FXXX 单片机程序设计及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005:59-109,126-148,173-204.
- [22] 刘和平. PIC18FXXX 单片机原理及接口程序设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004:1-68,73-137,167-288.

(编辑:汪仪珍)

作者简介:

杨志淳(1987-),男,山西运城人,博士研究生,主要从事电能质量及其控制技术的研究(E-mail:yangzhichun3600@163.com);

乐健(1975-),男,湖北黄冈人,副教授,主要从事柔性输电技术与电能质量控制技术的研究(E-mail:lej01@mails.tsinghua.edu.cn);

刘开培(1962-),男,湖北荆门人,教授,博士研究生导师,主要从事电力电子技术的研究。

HV and MV switch cabinet over-temperature supervising system based on gas sensor

YANG Zhichun,LE Jian,JIN Chao,LIU Kaipei

(School of Electrical Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China)

Abstract: An over-temperature monitoring system is proposed for HV and MV switch cabinets,which transmits the over-temperature signal via gas. Based on the comparison of performance among general gases,the carbon dioxide is selected as the over-temperature signals carrier. Gas storage device and gas releasing mechanism are installed at the point likely to be over-temperature. When the temperature is higher than the set value,the gas releasing mechanism then acts to release CO₂. When gas sensor detects the change of CO₂ concentration,site and remote alarms will be issued. The operational principle of system and the designs of gas storage device,gas releasing mechanism and gas detection device are given. Both the lab test and site test show that,the system detects the over-temperature of switch cabinet quickly and accurately.

Key words: HV switch cabinet; over-temperature monitoring; gas storage; gas releasing; CO₂ sensor