

一种基于气体传感的新型中高压开关柜 过温监测系统的研制

王春生¹, 杨志淳², 漆璇²

(1. 河南省电力公司焦作供电公司, 焦作 454150; 2. 武汉大学电气工程学院, 武汉 430072)

摘要: 笔者提出了一种利用二氧化碳气体来传递过温信号的高压开关柜过温监测系统。该系统在开关柜内易过温点安装气体存储装置, 在温度超过设定阈值时释出特定的气体。传感器检测到该气体浓度的变化后发出告警信号。该系统具有安装方便、性能可靠、成本低廉的优点, 同时不会在开关柜内引入新的故障点。笔者给出了系统工作原理及气体的存储装置、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该系统的正确性、有效性和工程实用性。

关键词: 过温监测; 气体传感器; 气体检测; 高压开关柜

中图分类号: TM591

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2011)02-0034-05

Design of a Novel Over-temperature Supervising System for the HV and MV Switch Cabinet Based on Gas Sensor

WANG Chun-sheng¹, YANG Zhi-chun², QI Xuan²

(1. Henan Province Jiaozuo Electric Power Corporation, Jiaozuo 454150, China;

2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper proposes a novel over-temperature supervising system for the HV and MV switch cabinet by carrying the over-temperature signals through CO₂. In this system, gas storage devices installed on the points likely to be over-temperature will release a certain type gas when the temperature exceeds a set threshold, an alarm signal will be sent out after the gas sensors had detected the changes in the gas concentration. The proposed system is easy installation, reliable and inexpensive, simultaneously, will not introduce the new faulty point in the switch cabinet. This paper also gives the system operation principle and the design of the gas storage device, the gas releasing mechanism and the gas detection device. The correctness, effectiveness and engineering applicability are verified through the results of the lab tests and trial operations.

Key words: over-temperature monitor; gas sensor; gas detection; HV switch cabinet

0 引言

中高压开关柜是供电部门使用最广、数量最多的设备之一。随着用户用电量的增加, 开关柜出现过温的情况越来越普遍, 给供电部门和用户造成了巨大的损失, 甚至影响到系统的安全运行^[1-3]。

目前采用的过温监测方法主要包括常规人工巡检和附加接触式或非接触式过温监测装置的方法, 人工巡检方法是利用手持式红外测温仪对柜内各点

温度进行检查, 但会出现由于柜内元件遮挡和人工操作不当造成测量的不准确。非接触测温^[4-8]是采用接收被测量点辐射出的远红外波, 通过判断远红外波长来确定测量点的温度。由于开关柜封闭性和元件集成度的提高, 该方法存在只能准确测量传感器直视范围内测量点温度的致命缺点。接触式测温则^[9-12]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。文 [11-12] 利用高分子示温蜡片中的化学试剂在设定温度下释放 CO₂ 气体来检测温度, 其化学试剂的反应温度很难设定, 温度监测精度差。

总体而言,目前中高压开关柜的过温监测系统普遍存在可靠性不高、性价比较低、实用性较差的问题。尽管出现了某些开关柜生产家在制造过程中将过温监测系统与开关柜本体进行集成的趋势,但结合其他领域的最新研究成果,利用新的思路来研制出一种可靠性高、价格低廉和实用性强的中高压开关柜的过温监测系统仍是具有重要现实意义和实用价值的。

笔者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浓度的变化后将发出告警信号。

笔者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,该系统动作可靠、性能良好。笔者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较高、实用性强的新途径。

1 系统总体结构及运行原理

笔者提出的基于气体传感的中高压开关柜过温监测系统总体结构见图 1。

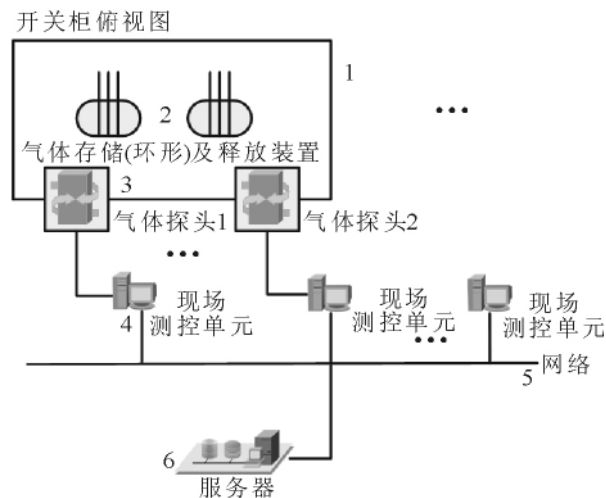


图 1 系统总体结构

Fig.1 The framework of the whole system

该系统的主要组成和工作原理是:在开关柜内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。

可看到,在整个开关柜的高压部分内,该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。其中,气体的选择、存储和释放机构以及检测装置的设计是在该系统需解决的关键问题。

2 气体存储及释放装置的设计

2.1 气体的选取

系统所应用气体的选择原则是: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,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见表 1。

表 1 气体性能分析结果
Tab.1 Performance analysis results of multi gas

气体种类	二氧化碳	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
正常空气中体积分数	低	低	很低	很低	很低	很高	很低
配套传感器	多	多	少	少	少	多	多

根据分析结果,气态下的二氧化碳在各方面均满足应用要求。氮气的唯一问题是正常空气中体积分数高,需要的气体容器体积大,或需要采用压缩存储方式,故系统选择了二氧化碳。

2.2 气体存储方式及释放方式设计

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;压缩气体方式为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;化学反应方式是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;常规存储方式是气体以常温、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。

由于该系统采用了二氧化碳气体,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。故该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,故系统中二氧化碳使用该存储方式。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,该系统选用了针刺方式。

2.3 气体存储及释放机构设计

所设计的气体存储及释放机构的原理样品见图 2。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。

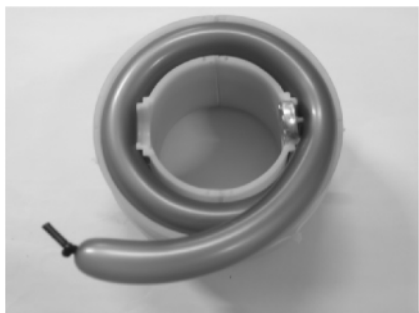


图 2 气体存储及释放装置原理图

Fig.2 The principle diagram of gas storage and releasing devices

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,将二氧化碳释放到开关柜内。此方法只能记录双金属片发生形变的温度,不能反映被测位置的实时温升状况。

当气囊破裂二氧化碳释放以后,在下次测温前,需更换气囊,重新安装以重复利用该装置持续测温。

2.4 二氧化碳释放后对环境的影响

经测定,该装置二氧化碳释放量为 0.232 L,体积分数为 90%,根据相关资料^[13],经计算得出排量为 1.6 L 的汽车每公里二氧化碳排放量为该装置二氧化碳释放量的 441 倍。换言之,如果平均每辆汽车一年的行程为 10^4 km,那么其二氧化碳排放量大致相当于 4.41×10^6 个该装置的二氧化碳释放量。因此,该装置的二氧化碳释放量对于加剧温室效应微乎其微。

3 气体检测及告警系统的设计

3.1 气体传感器

系统选用的二氧化碳传感器为日本 FIGARO 公司生产的 CDM 4161 A。它是一种固态电化学型二氧化碳传感器,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,对二氧化碳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二氧化碳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:二氧化碳体积分数高于 $1\ 000\ \mu\text{L/L}$ 时,输出高电平;低于 $900\ \mu\text{L/L}$ 时,输出低电平。同时其还能提供模拟电压输出,正常新鲜空气中二氧化碳体积分数约为 $440\ \mu\text{L/L}$,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 PIC18 F 作为中央处理器。PIC18 F 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、1 536 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,还可大大简化外围电路。

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,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。软件主界面见图 3。

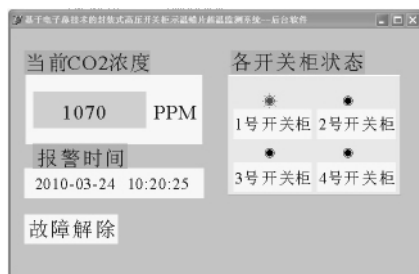


图3 服务器端软件主界面

Fig.3 Main interface of the sever-side software

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。由于二氧化碳较空气比重大,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二氧化碳体积分数进行了记录,各平均、最大和最小值见表2。

表2 实验室测试结果
Tab.2 Results of the lab tests

项目	结果
测试项目	1.0 L 1.2 L 1.5 L 1.7 L 2.0 L
是否动作	是 是 是 是 是
与设定温度差/℃	平均 0.9 1.0 0.8 0.7 0.8
	最大 1.2 1.6 1.3 1.2 1.3
	最小 0.7 0.5 0.5 0.6 0.4
动作时间/s	平均 2.9 2.6 2.4 1.9 1.7
	最大 3.4 2.8 2.7 2.3 1.9
	最小 2.7 2.4 2.1 1.8 1.5
释放前体积分数 ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	平均 442 443 445 444 446
	最大 445 444 447 446 447
	最小 440 442 443 441 441
释放后体积分数 ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	平均 745 835 994 1 237 1 382
	最大 782 898 1 070 1 351 1 406
	最小 697 713 856 982 1 238

从表2可看到,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3s,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35kV开关柜内安装了一整套文

中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2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。气体存储及释放装置的现场安装情况见图4。



图4 气体存储及释放装置的现场安装

Fig.4 In-field installation of the storage and releasing devices

在现场对触头加热,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 结语

笔者基于利用二氧化碳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二氧化碳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。验证了笔者所提出的思路和所研制系统的正确性和有效性。同时,文中所应用的二氧化碳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。

笔者的设计思想为实现开关柜过温状态监测提供了一种可靠有效的新途径,所研制的过温监测系统具有重要的实用价值和市场推广前景。

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,2001,7(3):1-5.

DU Yan-ming, GU Ni-hong. Present situation of distribution

- switchgear in chinese power system and analysis of failures [J]. High Voltage Apparatus, 2001, 7(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.
YAO Yong, HOU Yong, ZHANG Lan-rong. Cause and prevention of electric burn of torley-type switchgear primary plug [J]. Small Hydro Power, 1998, 1(4): 46-47.
- [3] 施国庆. 手车式开关柜插头接触不良引起火灾事故[J]. 高压电器, 1991, 27(12): 23-24.
SHI Guo-qing. Fires caused by poor contact of handcart-type switchgear plug[J]. High Voltage Apparatus, 1991, 27(12): 23-24.
- [4] 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 Xian-feng, YI Hong-gang, WANG Chang-song, et al. Research on temperature monitoring of isolators in HV switchgear[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(1): 155-158.
- [5] 刘建胜, 鄧 达, 张 凡. 一种用于变电站高压触头温度在线监测的新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 54-57.
LIU Jian-sheng, FENG Da, ZHANG Fan. A novel method for remote on-line temperature detection of substation high-voltage contacts[J]. Automation of Electric Power System, 2004, 28(4): 54-57.
- [6] 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, 2007.
HAN Rui-sheng. On-line system for monitoring overheat fault of metal-clad switchgear in substation[J]. Nanjing: Journal of Nanjing University of Technology, 2007.
- [7] WHISTLE D B, GRAY I D. A new technique for condition monitoring of MV metal clad switchgear[J]. Trends in Distribution Switchgear, 1998, 10(11): 10-12.
- [8] 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 Feng-chun. 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.
- [9] KYUMA K, TAI S, SAWADA T. Fiber-optic instrument for temperature measurement[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1982, 30(4): 522-525.
- [10] QIU F, ZAU Q, YANG X. Investigation of CO₂ sensor based on NASICON synthesized by a new so-gel process[J]. Sensors and Actuators, 2003(B93): 237-242.
- [11] 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 Wei-guo. 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.
- [12] 孙 剑, 林伟国, 陈咏梅. 高压开关柜触点超温监测方法[J]. 北京化工大学学报, 2008, 35(4): 3-6.
SUN Jian, LIN Wei-guo, CHEN Yong-mei. Over-temperature detection for isolated contacts in high voltage switchgear[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2008, 35(4): 3-6.
- [13] 王 伟, 靖苏铜. 轻型汽车二氧化碳排放与控制措施的探讨[J]. 汽车节能, 2009(4): 32-35.
WANG Wei, JING Su-tong. Light vehicle carbon dioxide emissions and research of control measures[J]. Marine Energy Saving, 2009(4): 32-35.

王春生(1975—), 男, 工程师, 主要从事配电网管理工作。

(上接第 33 页)

- [6] 甄建军, 翟 文, 迟华亭. NDI 型聚氨酯弹性体的合成与其耐热性能研究[J]. 工程塑料应用, 2006, 34(11): 61-63.
ZHEN Jian-jun, ZHAI Wen, CHI Hua-ting. Synthesis and studies on heat-resistance of polyurethane elastomers based on NDI[J]. Engineering Plastics Application, 2006, 34(11): 61-63.
- [7] 山西化工研究所. 聚氨酯弹性体手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
Shanxi Institute of Chemical Industry. Polyurethane elastomer manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [8] 李春胜, 黄德彬. 机械工程材料手册(下册)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- LI Chun-sheng, HUANG De-bin. Mechanical engineering materials handbook[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2007.
- [9] 黄艾香, 周天孝. 有限元理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
HUANG Ai-xiang, ZHOU Tian-xiao. Finite element theory and methods[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- 刘 彬(1976—), 男, 工程师, 主要从事电子式互感器设计工作。
- 黄德祥(1945—), 男, 高级工程师, 主要从事高电压电子式互感器研究。