

强电磁环境下气体密度继电器 抗干扰问题分析及改进

宋海龙¹, 顾理强²

(1. 国网宁夏电力有限公司检修公司, 宁夏 银川 750011;

2. 南京固攀自动化科技有限公司, 江苏 南京 210032)

摘 要: 针对强电磁环境下气体密度继电器接地情况存在的问题, 通过对空间干扰、接地干扰和传导干扰等方面原因进行具体分析, 提出了避免气体密度继电器故障损坏的有效改进措施。应用结果表明: 改进后气体密度继电器运行环境更为稳定, 有效降低了气体密度继电器的故障率, 为后续超/特高压工程强电磁环境下气体密度继电器接地设计、隐患治理和技术改造等方面提供参考。

关键词: 强电磁环境; 气体密度继电器; 空间干扰; 接地干扰; 传导干扰; 抗干扰措施

中图分类号: TM 867 **文献标志码:** B **文章编号:** 1672-3643(2021)01-0042-05

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2021.01.007>

Analysis and improvement of gas density relay anti-interference under the strong electromagnetic environment

SONG Hailong¹, GU Liqiang²

(1. Maintenance Company of State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd., Yinchuan Ningxia 750011, China;

2. Njkoopan Automation Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210032, China)

Abstract: Aiming at the grounding problems of gas density relay under strong electromagnetic environment, by concrete analyzing the reasons such as the space interference, the ground interference and the conduction interference, the effective improvement measures were put forward to avoid the fault of gas density relay. The application result shows that the improved gas density relay runs more stably and effectively to reduce the failure rate of the gas density relay, which provides reference for the design, hidden trouble treatment and technical transformation of the gas density relay grounding under strong electromagnetic environment for the later super or ultra high voltage project.

Keywords: strong electromagnetic environment; gas density relay; space interference; ground interference; conduction interference; anti-interference measures

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2021.01.007

收稿日期: 2020-12-20

作者简介: 宋海龙(1988), 男, 硕士, 工程师, 从事高压直流输电系统运维检修工作。

交直流变电站中 GIS 设备、罐式断路器、直流分压器和直流穿墙套管等设备普遍采用 SF₆ 气体绝缘^[1],气体密度继电器作为 SF₆ 气室压力、密度、微水等含量监测的核心元件,其运行稳定性至关重要,对监控变电站充气设备运行状况起到重要作用^[2]。随着交直流变电站电压等级不断提升,超/特高压变电站电磁环境愈加恶劣,由于强电磁侵扰对通信设备及电气元器件存在致命隐患^[3],尤其在特高压换流站中,电磁环境存在大量的交、直流电磁波和高次谐波,对换流站各类电气设备都是极大的考验^[4]。正常情况下,采取一定防干扰措施,电磁干扰对周围其他设备影响不大,一旦发生雷电冲击、操作冲击导致设备对地放电时,将引起换流站地电位大幅度提升,如果气体密度继电器接地不良或未接地,将直接导致气体密度继电器大批量击穿烧毁,经常性伴随装置死机、板卡损坏等问题^[5],导致在线监测系统产生监控盲区,无法真实反馈换流站主体设备工作状态,严重影响运维人员对设备运行状态的准确判断^[6]。为了保障 SF₆ 气体在线监测系统的可靠性和连续性,减少气体密度继电器的故障率,全方位科学合理的接地设计是保障气体密度继电器长期安全稳定运行的重要条件。

本文针对传统气体密度继电器在超/特高压交直流变电站中由于空间干扰、接地干扰和传导干扰等因素导致气体密度继电器损坏情况进行详细分析^[7],并提出相应改进措施。

1 现状及问题分析

1.1 空间干扰对气体密度继电器的影响

随着超/特高压交直流变电站的不断发展,变电站内分布着各式各样的交流场、直流场和交直流滤波器场电气设备,其电压等级高、电磁感应强及谐波干扰大,传统气体密度继电器已很难适应 500 kV 及以上电压等级的电磁环境复杂、电磁干扰性强的空间环境^[8]。

超/特高压交直流变电站空间干扰途径主要包括变压器电磁感应、线路交变磁场和电晕放电,

处于强电磁环境中的气体密度继电器通过空气耦合、感应电磁波,使气体密度继电器自身产生一定的悬浮电位^[9]。当悬浮电位集聚能量较大时,一方面会对气体密度继电器外壳放电导致传感器损坏,另一方面当人员接触气体密度继电器时会出现感应电伤人问题^[10]。

目前,空间干扰主要采用外壳屏蔽接地,存在以下问题:

(1)当气体密度继电器未做金属屏蔽或仅采取塑料外壳保护时,气体密度继电器在强电磁环境下芯片或电路板金属管脚之间会产生电位差,轻者导致在线监测数据波动、测量不准确,重者直接导致芯片或电路板击穿损坏,无法继续测量。

(2)当气体密度继电器金属屏蔽未良好接地时,金属屏蔽外壳处同样会出现一定悬浮电位,当电位集聚到一定程度时,会导致气体密度继电器外壳屏蔽层与内部元器件放电,直接损坏在建监测传感器。

1.2 接地干扰对气体密度继电器的影响

常见电力电缆由外护层、铠装层、内护层、屏蔽层、绝缘层和线芯等结构组成。其中,铠装层起到保护电缆线芯不被外力损伤作用;屏蔽层起到限制周围电磁场干扰作用^[11]。一般情况下,电力电缆铠装层和屏蔽层需分别单独接地,常见接地形式包括单端接地和两端接地^[12]。气体在线监测网络结构如图 1 所示。

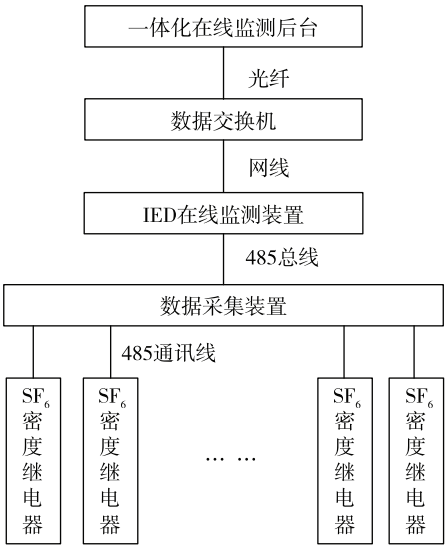


图 1 气体在线监测网络结构

由图 1 可知,每个气体密度继电器对应监测一个 SF_6 气室,若干个气体密度继电器通过 485 通讯线缆将采样数据送至数据采集装置,数据采集装置将数据打包后通过 485 总线送至 IED 在线监测装置,IED 装置将数据进行分析处理后通过网线送至数据交换机,数据交换机将数据进行光电转换等处理后再通过光纤送至一体化在线监测后台,从而实现运维人员实时监测主设备运行状态的目的。

目前,485 通讯线缆采用无铠装电缆,主要采用线缆屏蔽层接地方式^[13],存在以下问题:

(1) 当 485 通讯线缆屏蔽层采取双端接地时,由于线缆距离较长,一旦系统发生短路接地故障,两处接地点之间会产生较大电位差,从而对通讯线缆形成共模干扰,即通讯线缆线芯对屏蔽层存在的干扰,共模干扰会在通讯线缆最薄弱处进行泄放,从而损坏线缆或气体密度继电器。

(2) 当 485 通讯线缆屏蔽层采取气体密度继电器侧单端接地时,由于同时接入数据采集箱的各气体密度继电器分布比较分散,其引入数据采集箱内的各通讯线缆屏蔽层之间或对地存在不同电位差,人员在检查维护数据采集装置时存在较大安全隐患。特别是,当换流站站区或邻近线路发生雷电冲击或开关操作引起过电压时,站内地电位抬升较高,极易导致气体密度继电器对线缆屏蔽层之间发生高频压差击穿损坏问题。

1.3 传导干扰对气体密度继电器的影响

SF_6 气体密度继电器一般采用 4 芯 485 通讯线缆与数据采集装置相连,其中 2 芯负责采集在线监测数据,2 芯负责传感器供电^[14]。气体密度继电器传导干扰主要来源于 485 数据线和电源线路。气体密度继电器原理结构如图 2 所示。

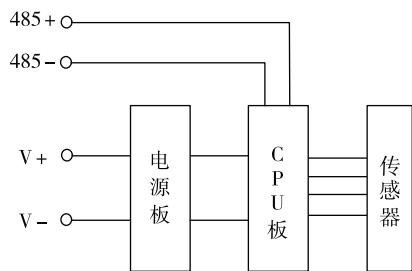


图 2 气体密度继电器原理结构

从图 2 可知,气体密度继电器主要由电源板、CPU 控制板、传感器、485 通讯线和金属外壳组成^[15]。其中,电源板为传感器提供工作电源,CPU 控制板负责 SF_6 气体压力、温度、湿度等数据采集及运算,传感器负责采集 SF_6 气室压力、温度等实时数据,485 通讯线负责提供传感器工作电源和传输 SF_6 在线监测数据,金属外壳负责气体密度继电器的保护及屏蔽作用。

目前,485 数据线和电源线路在传导干扰中主要存在以下问题:

(1) 当电源板输入端口未加装防干扰措施时,从交流 220 V 侧耦合过来的浪涌及电快速脉冲群将会通过 24 V 开关电源直接加载到电源板处,使其瞬间电压达到几千伏,侵扰到内部芯片时亦将达到几百伏,直接导致电路板击穿烧毁。

(2) 由于同根线缆的平行敷设,电源线路的传导干扰将耦合至 485 数据线,使 CPU 控制板输入端口形成浪涌干扰,导致通讯芯片的击穿损坏。

2 改进措施

2.1 传感器金属外壳屏蔽接地

针对空间干扰问题,气体密度继电器主要采用金属外壳屏蔽接地方式,同时做好外壳接地措施。利用磁场屏蔽原理^[16],使气体密度继电器内部板卡及传感器等器件免受空间磁场干扰,进一步避免了气体密度继电器的空间干扰损坏。气体密度继电器金属外壳屏蔽接地如图 3 所示。

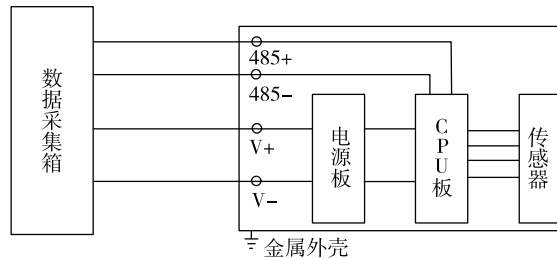


图 3 气体密度继电器金属外壳屏蔽接地

从图 3 可知,在气体密度继电器外部加装金属外壳,并采取良好屏蔽接地措施,可以避免在线监测数据波动、测量不准确、芯片或电路板击穿损坏等问题。同时,在进行二次电缆设计时,应尽量

减少线缆长度,降低线缆对地电容;在线缆施工过程中,严格按照规程要求将动力电缆、控制电缆和通讯电缆进行分层敷设,防止平行线缆之间的交叉干扰。

2.2 通讯线缆屏蔽层单端接地

针对接地干扰问题,气体密度继电器 485 通讯线缆屏蔽层采用箱体侧单端接地,起到钳制线缆屏蔽层电位作用。通讯线缆屏蔽层单端接地如图 4 所示。

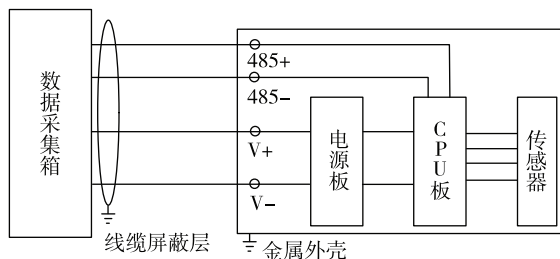


图4 通讯线缆屏蔽层单端接地

从图 4 可知,485 通讯线缆屏蔽层在数据采集箱体处进行单端接地,一方面满足各气体密度继电器通讯线缆的地电位钳制要求,限制共模干扰,不存在环流问题;另一方面保证数据采集箱内低电位环境,消除人员安全隐患。

2.3 通讯线缆多重防干扰措施

针对传导干扰问题,485 数据线和电源线可采取多重防干扰措施,如图 5 所示。

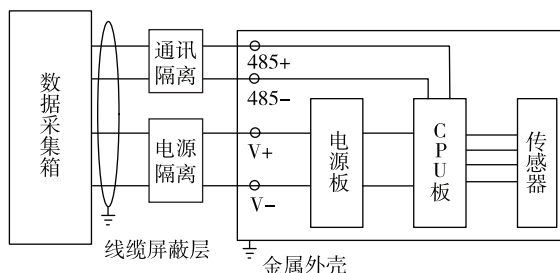


图5 通讯线缆多重防干扰

从图 5 可知,485 数据线增加通讯隔离措施,电源线增加电源隔离措施。其中,针对电源线承受传导干扰的不同特点,电源隔离措施按照防护优先级排序,包括以下五道防线:

(1)增加电磁隔离措施。在电源回路加装隔离变压器或其他电磁隔离元件,经空开接入气体密度继电器,达到电磁隔离效果。

(2)增加快速泄放电路。在电源正负线路之间增加半导体元件,当电源电压高于额定工作电压时,能够快速泄压至额定要求,起到钳制电位作用。

(3)增加能量释放电路。在正负电源线之间、电源线对地之间增加能量释放电路,起到稳定直流电压、平滑涌流和能量吸收并泄放入地的作用。

(4)增加大能量泄放元件。在正负电源线之间增加压敏电阻或其他大能量泄放元件,每次泄放电流较大。

(5)增加保险熔断措施。在电源回路串联自恢复性保险丝^[17],由于通讯线缆流过长时间环流或短时大电流导致线路发热,当线缆热量累积到一定程度时,保险丝会立即熔断,断开电源回路,使气体密度继电器免遭损坏;当线缆热量冷却到一定程度时,保险丝将自恢复使电源回路接通,气体密度继电器恢复正常运行。

因此,电源线采取五重化防干扰电源隔离措施,而 485 数据线可采取三重化防干扰通讯隔离措施,包括增加电磁隔离措施,增加快速泄放电路和增加大能量泄放元件,消除浪涌及电快速脉冲群的侵扰,全方位提升气体密度继电器传导线路的运行特性。

此外,485 通讯线缆引入 IED 在线监测装置时,IED 装置自身具备光电隔离功能;数据交换机网口及光纤口均具有电磁隔离措施,光纤通道采用 IEC61850 协议连接一体化在线监测后台,具备完备的抗干扰措施,防止气体在线监测系统出现通讯中断等问题。

3 效果评价

(1)气体密度继电器采用金属外壳屏蔽接地措施,利用磁场屏蔽原理,使内部板卡及传感器等器件免遭空间磁场侵扰,有效解决了气体密度继电器空间干扰问题。

(2)气体密度继电器所用 485 通讯线缆屏蔽层采用箱体侧单端接地,能够有效钳制线缆屏蔽

层电位,降低线缆环流风险和共模干扰影响,保障气体密度继电器安全稳定运行。

(3)在通讯线缆增加快速泄放和能量释放电路,全面抑制冲击电压和涌流对气体密度继电器的侵扰,起到稳定直流电压、平滑涌流和快速释放能量的作用。

(4)在通讯线缆增加大能量泄放元件,与快速泄放和能量释放电路相配合,有效解决了线缆大能量释放问题,避免气体密度继电器发生大面积损坏问题。

(5)在通讯线缆增加保险熔断措施,有效解决了线缆流过长时间环流或短时大电流的过热问题,能够快速隔离传导干扰,实现气体密度继电器的防干扰和自恢复运行。

4 结 论

(1)通讯线缆增加三重化隔离措施后,能够全面抑制冲击电压和涌流对气体密度继电器的侵扰,为通讯线缆隐患治理和技术改造等方面提供参考。

(2)电源线缆增加五重化隔离措施后,能够快速释放回路能量,起到稳定直流电压和平滑涌流作用,对后续气体密度继电器设计、制造等方面起到一定的指导意义。

(3)气体密度继电器增加防干扰措施后,有效解决了线缆大能量释放和长时间过热问题,避免了气体密度继电器大面积损坏,具有较高的工程实用价值。

(4)通过对空间干扰、接地干扰和传导干扰的有效治理,极大提升了气体密度继电器的电磁运行环境,降低了设备故障率,保障了气体在线监测系统的可靠性和连续性。

参考文献

[1] 吴展锋,孙彦萍,徐庆峰,等. 特高压交流变电站 GIS 母线故障综合分析法[J]. 电工电气,2020(7):39 - 43.

[2] 黄雨婵,黄波,陈明卿,等. SF₆ 密度继电器信号检测接口装置的研发与应用[J]. 科技与创新,2020(1): 155 - 156.

[3] 沈冬远,武丹丹,马谢. 当前电磁安全面临的形势及发展建议[J]. 信息安全与通信保密,2020(2):115 - 121.

[4] 徐少波,张明程,陈强,等. 复杂电磁环境下的弱干扰信号检测算法[J]. 无线电通信技术,2020,46(4): 452 - 457.

[5] 张凤霞,于江,周化鹏,等. 电力设备对周围电磁环境影响分析方法探讨[J]. 中国无线电,2020(5):36 - 37 + 41.

[6] 杨东,刘敏. 浅析 GIS 综合在线监测系统功能完善与升级改造[J]. 水电站设计,2020,36(1):67 - 70.

[7] 高树功,沈映. 氧化锌避雷器抗相间、空间干扰带电测试研究[J]. 云南电力技术,2014,42(6):15 - 18.

[8] 陈志国. 电气工程中自控设备电磁干扰问题探讨[J]. 数字通信世界,2020(7):110 - 111.

[9] 刘航,熊浩,黄敏,等. 特高频与超声波局放检测技术在 GIS 悬浮电位缺陷诊断中的应用[J]. 电工技术,2018(21):142 - 144 + 147.

[10] 蒋坤,冯文诚,陈旭. 感应电伤人事故分析及预防[J]. 河南科技,2014(10):32.

[11] 李在友. 电力电缆的在线检测技术综述[J]. 电气开关,2011,49(3):7 - 9.

[12] 史贝娜. 屏蔽电缆屏蔽层两种接地方式对产品的影响[J]. 现代建筑电气,2018,9(6):43 - 45.

[13] 孔深,姜龙杰,李承阳,等. 二次电缆芯线 - 屏蔽层电位差参数灵敏度分析[J]. 电瓷避雷器,2019(5): 145 - 149.

[14] 敖秦. 辐射监测信息管理系统 RS - 485 总线通讯干扰问题的处理分析[J]. 科技创新导报,2020,17(2):61 - 62.

[15] 贾凤鸣,吴胜,杜鹏,等. 一种高抗干扰的远传式 SF₆ 气体密度继电器的研制[J]. 高压电器,2018,54(3):238 - 242 + 250.

[16] 罗遥,陈柏超,丁江峰. 关于气体绝缘传输线(GIL)的磁场屏蔽[J]. 电工电能新技术,2010,29(3):49 - 53.

[17] 沙占友,王晓君,唱春来. 自恢复保险丝的原理与应用[J]. 电工技术,2000(1):38 - 39.