

户外隔离开关机械故障的起因及预防

钟振蛟

(沈阳高压开关有限责任公司, 辽宁 沈阳 110025)

The Cause and Prevention of Outdoor Disconnectors' Mechanical Faults

ZHONG Zhen-jiao

(Shenyang High Voltage Switchgear Co. Ltd., Shenyang 110025, China)

摘要: 零部件表面锈蚀、操作不灵活和瓷绝缘子断裂是户外高压隔离开关常见的机械故障。对这些常见机械故障产生的原因进行了分析,并分别提出针对性的预防措施。

关键词: 户外隔离开关; 机械故障; 操作不灵活;
瓷绝缘子断裂; 锈蚀

中图分类号: TM564

文献标识码: A

Abstract: Corrosion of spare surface, malfunction and fracture of porcelain insulator are common mechanical faults in outdoor disconnectors. In this paper, the reasons, which caused these common mechanical faults, are analyzed, and the corresponding preventive means are proposed respectively.

Key words: outdoor disconnector; mechanical fault;
malfunction; porcelain insulator fracture;
corrosion

0 引言

在输变电设备中,高压隔离开关是用量最多的一种,通常是断路器的2~3倍,其结构虽然比断路器简单,但运行可靠性对电网的安全有着重要的影响。

户外隔离开关的运行条件恶劣,受周围环境和气候条件影响很大。长期以来,高压隔离开关的检修维护基本处于无序状态,因年久失修和某些缺陷引起的停电事故时有发生,而且呈上升趋势。20世纪90年代以后,随着我国电力系统中高压SF₆断路器的大量使用,故障率大为降低。然而,高压隔离开关故障频发的矛盾却越发突出,威胁着电网的安全运行。

根据运行的调查和统计,多年来户外隔离开关运行中反映出来的问题主要集中在导电回路过热、绝缘子断裂、操作不灵活和锈蚀4个方面^[1-2]。其中,除导电回路过热外,其余均属机械方面的故障。因此,对机械故障产生的原因进行了分析,并针对性地

提出了消除和预防的措施。

1 瓷绝缘子断裂

高压隔离开关运行中或操作时发生的瓷绝缘子断裂故障,是危害性最大的一种故障,它往往会造成母线短路而引发母线停电、变电站或发电厂停电的重大事故,甚至会损坏相邻的电器设备或伤及操作人员。大量更换绝缘子,还将造成重大经济损失。

1.1 瓷绝缘子断裂的原因分析

造成瓷绝缘子断裂的原因,除了选用不当、安装不良之外,主要是绝缘子的烧制及胶装质量不良,以及质量的分散性,使不合格品流入电力系统,给电站的安全运行带来隐患。

1.1.1 瓷绝缘子存在质量问题^[3]

瓷绝缘子存在的缺陷是造成断裂的直接原因。在处理瓷绝缘子断裂事故的现场调查中发现,瓷绝缘子存在的缺陷主要有以下几种。

(1) 断裂面中心有黄芯,这是制造中Fe₂O₃未被充分还原或还原后重新被氧化而形成的缺陷称为阴黄又称赤变或氧化发黄。这种生烧缺陷会导致瓷质结构松弛,瓷件机械和电气性能指标下降,随着时间的推移,由于环境的影响,使缺陷日趋扩大,从而加速产品的老化,缩短使用寿命。

(2) 瓷质粗糙,断面上有黑点、斑点、青边、开裂、气孔夹层等。

(3) 胶装质量不良。主要表现在:①水泥胶装不实,有间隙、空洞缺陷时,会造成应力分布不匀,操作后松动进水,冬天结冰膨胀后产生应力而损坏绝缘子;②胶装偏心造成间隙不均。间隙过小难以保证将胶合剂填满所有空隙,胶装强度低,间隙过大,胶合剂填充数量多,胶合剂本身强度比瓷体低得多,且收缩值大而使强度降低;③胶合部位瓷件缺砂、堆砂,

收稿日期: 2006-03-25; 修回日期: 2006-04-28

作者简介: 钟振蛟(1935-),男,高级工程师,从事高压开关设计、研发及工艺制造工作。

或早期产品采用压花工艺,都会影响机械强度;④胶装比偏低。胶装比为胶装深度与瓷件直径之比($i=h/d$),一般应为 $0.6 < i < 1.0$ 。绝缘子的破坏负荷与胶装比成正比关系。断裂的绝缘子有的胶装比仅为 0.3。

(4) 绝缘子的直线度、同轴度和平行度偏差过大,造成绝缘子安装后长期受到一个额外弯距的作用。

1.1.2 瓷绝缘子老化^[1]

由于瓷绝缘子长期受户外大气环境影响,而且还不同程度地承受力矩和高电压的作用,产生疲劳和老化,使其机械强度降低。目前还很难说明其老化的机理和规律。瓷绝缘子的使用寿命是一个有待研究的课题。

1.1.3 产品结构设计和电站布置不合理

隔离开关的支柱绝缘子所需的机械强度与接线端机械负荷有直接关系,必须要有足够的安全系数。如果支柱绝缘子的抗弯强度选低了,就会成为导致绝缘子断裂的重要因素。

隔离开关的操作绝缘子,通常只重视它的扭矩参数。如果传动部件设计不合理,操作过程中使操作绝缘子承受额外的弯矩,加上由于锈蚀而引起的操作力过大,则可能发生断裂。

布置不当也是导致绝缘子断裂的原因,如端子引线过长过重或者过短。如某工程一组隔离开关,其出线直接与悬挂式阻波器相连,由于引线过短,阻波器风摆产生的位移使隔离开关支柱绝缘子产生很大的弯矩,导致该隔离开关的同一相绝缘子几次折断。

1.1.4 安装调整不当

安装调整的质量会影响隔离开关的操作可靠性,也是影响绝缘子安全使用的重要因素。如安装后传动机构运动卡滞,操作力矩大,绝缘子受到额外的作用力;运行中安装基础移位、变形、长期失修强行操作等,均有可能引起绝缘子断裂。

有的隔离开关由于其接地静触头固定在绝缘子顶端,如果接地开关调整不当或其刀杆过长,合闸时绝缘子顶端受到额外推力后,就会造成上节绝缘子法兰处断裂。

1.2 解决瓷绝缘子断裂问题的对策

1.2.1 重视瓷绝缘子的选用

瓷绝缘子是隔离开关耐受电压和承受机械力作用的主要元件,必须重视瓷绝缘子的选用。对已选定电压等级和污秽等级的绝缘子来说,其抗弯、抗扭强度是重要数据。

设计部门应根据产品的具体工作条件,计算出隔离开关接线端所需承受的机械负荷,然后从 GB 1985-2004 国家标准推荐的“额定端子静态机械负荷”中选取合理的数值,作为产品订货技术条件向制造厂提出。制造厂根据该数值计算出绝缘子所承受的最大力矩,该力矩与所选用绝缘子的额定机械强

度对比,应有 2.5~2.75 的静态安全系数。

1.2.2 保证安装调整质量

安装调整后,要保证隔离开关操作灵活,避免绝缘子受到不应有的额外作用力。在操作和检修时,加强对绝缘子的巡视检查,看其表面是否有破损,法兰胶装处是否有开裂松动现象,以便及时发现断裂的隐患。

1.2.3 提高绝缘子制造质量

瓷绝缘子的制造质量由电瓷制造厂控制,但目前我国绝缘子出厂时按批抽样的试验方法,无法避免有一定数量质量较差的产品流向用户。唯一的办法就是提高工艺水平,降低产品质量分散性。作为用户则要选用设备条件和制造工艺及质量控制好的厂家产品,并严格出厂试验、进厂验收。一般高强瓷的分散性较小。在对支柱绝缘子进行 4 个方向施加 60% 额定机械强度的抗弯试验时,对由两节叠装成的绝缘瓷柱,进行整柱抗弯试验是很必要的。此外,在线检测运行中的绝缘子状况也是一种有效方法,可避免重大事故发生造成损失,但该方法尚有待进一步地研究和验证。

1.2.4 采用硅橡胶复合绝缘子

硅橡胶复合绝缘子是近年来新兴起的一种产品。对 126 kV 及以下的隔离开关,可以采用硅橡胶复合绝缘子代替瓷绝缘子,但对 252 kV 及以上的隔离开关,采用复合绝缘子则要慎重。

2 操作不灵活

高压隔离开关由于锈蚀、卡滞后导致操作不灵活、操作力矩增大等,出现分不开、合不上或分合不到位等操作障碍,严重时操作部件折断或绝缘子受到附加应力而折断,严重威胁电网的运行安全,甚至造成重大停电事故。电力系统的统计数字表明,高压隔离开关的操作故障约占其总故障的一半。

2.1 操作不灵活的原因

2.1.1 活动销轴锈蚀

户外隔离开关的机械传动元件,一般采用镀锌钢制销轴配黄铜轴套的运动副。现场调查发现,受潮后黄铜轴套发生严重的脱锌腐蚀,氧化锌粉末将滑动配合的间隙堵严,增加了运动阻力或根本无法运动。

2.1.2 滚珠轴承锈蚀

隔离开关的转动绝缘子基座,大多采用滚珠轴承,而滚珠轴承在无油状态下没有防锈能力。由于没有密封措施,往往轴承又涂油不足,渗进雨水或吸入潮气便会生锈,润滑脂也容易流失或固化,导致轴承被锈死卡滞而无法转动。未经过完善化和年久失修的隔离开关,滚珠轴承锈蚀的现象相当普遍。

2.1.3 机械传动元件加工粗糙

产品的机械传动部件加工粗糙、精度低、光洁度

差、公差大,不能保证传动元件之间的精确配合,导致操作不灵活,机械特性不稳定,传动不可靠。

2.1.4 材料选用不当

隔离开关的传动部件,如传动连杆、水平连杆、垂直连杆等,一般采用水煤气管制成,强度或刚度不足,容易发生变形扭曲或破裂,造成分合闸行程变化,使得分合闸不到位。

2.1.5 二次控制回路不可靠

操动机构中的电气控制元件,如接触器、小型断路器、行程开关、辅助开关、转换开关、按钮开关、接线端子等,其中的任何一种元件质量不好,接触不可靠,均会影响隔离开关的正常操作和信号传输,进而引发其它故障。辅助开关切换不到位或接点不可靠的情况发生较多。

2.1.6 现场安装调整不够完善

传动系统没有达到最佳状态,甚至存在某些缺陷,如操作障碍及传动不灵活引起的病态运行。随着运行时间延长,情况随之恶化而成为故障。

2.2 解决操作不灵活的措施^[2]

2.2.1 销轴与轴套的改进

如上所述,户外隔离开关传动系统中的销轴与轴套,不宜采用镀锌钢销轴配黄铜轴承,推荐采用:

不锈钢销轴配不锈钢轴套或不锈钢球形轴节;

不锈钢销轴或渗锌钢销轴配无油复合润滑轴套或塑料自润滑轴套。这样,运行中不需要定期润滑,即可保持活动关节长期灵活和操作平稳可靠。

2.2.2 滚珠轴承必须密封

由上文可知,滚珠轴承在失油状态下不能防锈,只有把滚珠轴承密封后,才能防止因渗进雨水和潮气而生锈,避免润滑脂流失和固化。

滚珠轴承处必须注满润滑脂,润滑脂要选用滴点高、耐寒、耐热、机械稳定性良好的产品,如二硫化钼锂基脂或进口高级润滑脂,不可用钙基润滑脂(黄油)。

2.2.3 保证现场安装调整质量

保证产品技术性能,避免在传动不灵活和操作障碍状态下运行。折迭式隔离开关和接地开关的平衡弹簧要调整合适,使其发挥作用,以免操作力矩过大。单柱剪刀式隔离开关在合闸位置时主拐臂连杆必须到达死点位置,以防止开关不能自锁,出现自动慢分造成带负荷分闸事故。

2.2.4 二次回路选用优质电气元件

操动机构的电气元件接触不良引发的故障,偶发性强,无规律性,给运行维护带来困难。因此,电气元件应选用优质名牌产品,特别是目前国内辅助开关生产厂家很多,其中不乏假冒伪劣产品,大修时应选用原厂家的正宗产品。

2.2.5 安装后进行必要的封堵工作

导电管或其它管类部件,要将其可以渗水的孔隙封住或者设置排水孔,以免进水、积水,造成管内零部件锈蚀或冬天结冰妨碍动作。

3 锈蚀

锈蚀是我国户外隔离开关普遍存在的问题。锈蚀严重影响产品外观,降低传动部件的机械强度,影响产品的导电性能。实际上,导电回路过热、操作不灵活和绝缘子断裂都与锈蚀有直接或间接的关系。因此,锈蚀已成为隔离开关安全运行的最大隐患。

3.1 锈蚀的原因分析

锈蚀的根本原因是产品的材料、结构设计和制造工艺特别是表面防腐涂覆等,不能适应恶劣多变的环境和气候条件。

3.1.1 金属材料材质的影响

钢铁、铜和铝及其合金是高压隔离开关应用的主要金属材料,它们的抗蚀能力不同。实践证明:钢铁部件仅靠15 μm左右厚的电镀锌层或一般的油漆涂层,根本不能长时间抵御大气腐蚀。不锈钢是指含铬量在12%以上,具有耐腐蚀性能的铁基合金。不锈钢的品种很多,不是所有的不锈钢都能防御复杂的大气腐蚀。铬、镍的含量要达到一定比例的不锈钢才会不生锈。暴露在大气中的铝合金表面会逐渐由光亮变暗、灰白、变黑,出现浅坑而粗糙不平。在我国典型环境中,各类铝合金的而蚀性顺序为:纯铝>锻铝>防锈铝>硬铝及超硬铝合金。对高压开关常用的铝-铜系高强度铝合金LY12,它们可能出现晶间腐蚀或者层状腐蚀,尤其在腐蚀性的工业大气和海洋大气中非常显著^[4],曾出现过铝合金导电臂、导电管呈片状一层一层地剥落的实例。铜在大气中易氧化,生成黑色氧化铜,在潮湿大气中生成铜绿-碱式碳酸铜,在工业大气中生成黑色硫化铜或绿色氧化铜。黄铜在潮湿大气中会发生严重的脱锌腐蚀,含铜量越高,脱锌腐蚀越严重。以往惯用的黄铜轴套,就因为脱锌腐蚀产生的粉末将活动间隙堵严而使销轴无法转动。黄铜零件如处在拉应力作用下,在大气中还易发生腐蚀性破裂^[5]。

3.1.2 零部件结构形状及加工工艺的影响

零部件结构及表面状况是影响锈蚀的一个因素。滚珠轴承由于密封不良,雨水、潮气浸入轴承内引起腐蚀;导电管和传动管内因进水和凝露而生锈。此外,零部件上面的缝隙、死角、沟坑、表面粗糙不平以及零部件相互的连接处,都是容易引起锈蚀的部位。加工过程中引起的应力及应变不均匀性,会使金属加速腐蚀。焊缝附近往往是最先锈蚀的部位。

3.1.3 金属表面涂覆的影响

通常钢铁部件大多采用油漆和电镀锌来防止锈

蚀。隔离开关运行情况表明:普通油漆工艺的保护周期太短,每年需重刷一遍。锌层在污染的工业大气中,其腐蚀达 $6\sim 15\mu\text{m}/\text{年}$ 。由于电镀锌层的厚度有限,一般多为 $18\mu\text{m}$,最多 $30\mu\text{m}$,紧固件镀层厚度通常在 $12\mu\text{m}$ 以下,因此长期直接暴露在潮湿大气中的电镀锌件,容易出现锈蚀现象^[5]。如果镀锌的前处理不良,锈蚀将更加严重。

3.1.4 两种不同金属接触的影响

在隔离开关中,两种不同金属互相接触的情况很多,如铜-铝接触,钢质镀锌紧固件与铜或铝导电件的接触等。众所周知,在腐蚀介质中,当两种不同金属(包括金属镀层)接触时,由于两种金属的电极电位差而形成原电池的作用,接触腐蚀比一般大气腐蚀更严重。

3.2 提高防腐性能的措施

我国幅员辽阔,各地气候条件不同,其中不乏高温、多雨、潮湿、盐雾或工业污染地区。隔离开关表面防腐处理,必须适应各种环境条件的影响,这给产品制造增加了难度。随着我国工业化进程的加快,工业大气污染程度加重,环境恶化加剧,而产品又要求免维护,这就为隔离开关的防腐提出了更高的要求。

根据多年的实践经验,运行部门的建议以及借鉴国外产品的防护技术,提出的户外隔离开关防护措施要求如下:

(1)选用耐腐蚀性能更好的材料。如销轴、弹簧、机构箱体、防雨罩、部分紧固件采用不锈钢材料制造;传动箱座、屏蔽环、防雨罩等采用铝或铝合金制造;机构箱体也可用覆锌钢板或热镀锌铝合金钢板制成。铝合金导电管采用耐腐蚀性能好的锻铝代替可能出现晶间及层状腐蚀的LY12。不锈钢要选用含铬 $17\%\sim 19\%$ 、含镍 $8\%\sim 10\%$ 的品种。

(2)改善零部件的结构形状。从防锈角度考虑,隔离开关零部件的结构形状,应该尽可能设计成不利于雨水、潮气、粉尘及其它污染物侵入、吸附、滞留、堆积。采取的措施一是“堵”,如滚珠轴承密封好,堵住雨水潮气及有害物入侵;二是“疏”,即不使雨水或有害物长期积存,能方便排出。此外,零件表面光洁度高,其防锈能力也高。

(3)零件选材及表面处理要考虑防止接触腐蚀。有关资料表明,下列金属接触偶会发生严重的接触腐蚀,不宜在户外潮湿的场合下使用:铜、黄铜、青铜——钢镀锌钝化、铝、铝氧化、铝镀锌钝化;铜镀锌、铜镀镍——钢镀锌钝化;铜镀银——钢镀锌钝化、铝、铝氧化;铝镀铜——铝、铝镀锌钝化;不锈钢、钢镀铬——钢镀锌钝化、铝。

(4)铝合金表面处理问题。随着户外隔离开关向高电压发展和要求轻型化,导电部件及结构件越来

越多的采用铝合金材料,因此对铝合金的防腐蚀问题更加引起关注。铝合金在大气中虽能自然形成一层氧化膜,但膜层薄而疏松多孔,为非晶态、不均匀也不连续的膜层,不能作为可靠的防护膜层,因此必须进行氧化处理。氧化处理分化学氧化和电化学氧化(阳极氧化)两种。化学氧化处理获得的氧化膜厚度一般为 $0.3\sim 4\mu\text{m}$,质软,耐磨耐蚀性差,但它有较好的吸附能力,表面再涂漆可有效地提高耐腐蚀性。对铝合金铸件可以采用化学氧化、钝化后涂漆处理。阳极氧化的膜层一般在 $5\sim 20\mu\text{m}$ 之间,硬度较高,达 $400\sim 600\text{HV}$,有较高的耐磨性,但由于合金成份夹杂或金属化合物不能被氧化或被溶解,从而使氧化膜不连续或产生空隙,使氧化膜耐蚀性在降低。因此,一般必须进行封闭处理——水封闭或重铬酸盐封闭。对铝合金型材可以采用阳极氧化再封闭处理的工艺。

(5)根据不同部件选择不同的表面防护处理:

钢铁底座及其它不精密的大中型钢铁部件以及绝缘子法兰,采用热镀锌处理;普通钢板制成的机构箱体,表面喷锌或喷铝,最后覆盖油漆进行封闭处理;

小型钢铁制件可采用渗锌处理,M10以上紧固件应采用热镀锌处理;较大的弹簧采用磷化后浸沥青漆或喷丙烯酸氨酯黑漆处理;紧跟国外防腐技术的发展,把先进的防护技术推广应用到隔离开关上。

4 结语

由于户外隔离开关运行条件恶劣,要做到经久耐用,不出现绝缘子断裂、操作失灵和锈蚀等常见故障,而且达到免维护的要求是比较困难的。国家电力公司要求对年代久远、设备老化严重、不满足规定要求的隔离开关,要逐步进行完善化改造。

无论是新老企业,都要把高压SF₆断路器的设计、制造、质量管理的理念应用到隔离开关产品上,吸取教训,充分了解隔离开关运行中的问题和产生的原因。完善产品结构、选用优质材料以及提高制造工艺水平,使所生产的隔离开关达到性能可靠、质量优良、经久耐用和满足免维护、少维护的要求。

参考文献:

- [1] 崔景春. 电力系统72.5~550kV高压隔离开关运行分析[J]. 高压开关行业通讯, 2004(3): 39-46.
- [2] 钟振蛟. 户外高压隔离开关常见故障的原因分析及应对措施[J]. 电气世界, 2005(5): 4-9, 60.
- [3] 钟振蛟. GW4-220型隔离开关绝缘子断裂的原因及对策[J]. 高压电器, 1999, 35(1): 50-51.
- [4] 马腾, 王振尧, 韩薇. 铝和铝合金的大气腐蚀[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(3): 155-160.
- [5] 谢代之. 高压隔离开关的腐蚀与防护[J]. 高压开关行业通讯, 2004(12): 30-35.