

10kV 高压电动机绝缘值降低原因浅析

谷志伟, 孙增勇

(兖矿集团 山西和顺天池能源有限责任公司, 山西 和顺 032700)

[摘 要] 针对高压电动机的击穿现象进行了分析, 探讨了解决的方法, 以进一步延长高压电动机的使用寿命, 使其更好地服务于煤矿生产。

[关键词] 高压电动机; 绝缘值; 降低

[中图分类号] TM32 [文献标识码] B [文章编号] 1006-6225 (2009) 06-0059-02

Cause Analysis of Insulation Value Reduction of 10kV High-voltage Electromotor

兖矿集团山西和顺天池能源有限责任公司是设计生产能力 1.2Mt/a 的现代化矿井, 主斜井使用 DX2500 型钢丝绳胶带输送机提升原煤, 配置 4 台高压电动机, 其额定电压 10kV, 额定功率 450kW。从 2006 年 11 月投产以来, 已有 3 台高压电动机因绝缘值降低而对地击穿, 造成巨大的经济损失。

1 高压电机绝缘值降低的原因

1.1 海拔高度的影响

在高压电机线圈上产生的电晕放电现象, 对绝缘产生电腐蚀、化学腐蚀作用, 加速了绝缘的老化。由气体放电的基本理论得知, 在一定的电场情况和间隙距离下, 气体间隙的起始放电电压与气体的压力有关。

就地面海拔高度的变化所引起的大气压力变化程度而言, 由于海拔高度的升高, 气压降低, 引起气体起始放电电压降低, 在相应电压下的放电程度加大。矿井主井口海拔约 1440m, 随着海拔的升高, 高压电机线圈表面的电晕起始放电现象提前, 放电程度加大。海拔的升高助长了线圈绝缘表面的电晕放电, 恶化了绝缘的老化程度。

1.2 冷热态启动次数的影响

对鼠笼式电动机在冷热状态下允许启动的次数规定为: 电动机允许在冷态下连续启动 2 次, 2 次之间应自然停机, 停机时间间隔不小于 5min。在热态下只允许启动 1 次, 热态启动后的下一次启动时间至少在停机 1h 后进行, 只有在事故处理以及启动时间不超过 2~3s 的电动机, 可多启动 1 次 (“冷态”是指电动机本身温度 60℃ 及以下; “热态”是指电动机本身温度 60℃ 以上)。对 2009 年 4 月份基本相同的运行条件下, 不同用途的高压电动

机启动次数及绝缘击穿情况进行了统计, 如表 1。

表 1 主扇风机、主水泵启动次数及绝缘击穿情况

|          | 额定电压 | 额定功率 /<br>(kW · 台 <sup>-1</sup> ) | 启动次数 /<br>(次 · 月 <sup>-1</sup> ) | 绝缘击穿<br>次数 /<br>(次 · a <sup>-1</sup> ) | 海拔<br>高度 /m |
|----------|------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-------------|
| 主扇风机电动机  | 10kV | 355                               | 1                                | 0                                      |             |
| 空压机电动机   | 10kV | 250                               | 1                                | 0                                      | 1440        |
| 主斜井胶带电动机 | 10kV | 450                               | 164                              | 1                                      |             |

由表 1 可以看出: 在相同的额定电压、相同的海拔高度等条件下, 主斜井胶带电动机的启动次数远远超过主风机、空压机的启动次数, 定子绝缘击穿的概率大大提高。

高压电机的频繁启动直接影响使用寿命。因为启动时电动机要承受大电流冲击, 绕组要承受电动机和热应力的叠加作用。由于绕组绝缘材料与铜导体膨胀系数不同, 在启动时绝缘材料与导体之间形成很大的剪切应力, 导体与绝缘材料间的固定将被破坏, 绝缘材料将分层或撕裂以至发生绝缘击穿。鼠笼式异步电动机在频繁启动时, 还容易造成鼠笼断条, 尤其是负载启动电动机, 故障概率更高。

1.3 开关同期性的影响

断路器分合闸的不同期程度, 将直接影响断路器通断电流的性能。断路器的同期性不好, 将使其触头的燃弧时间增加, 可能使触头烧损, 甚至引起断路器爆炸。电弧越不稳, 越容易产生截流, 这将会造成线路或变压器的非全相接入或切断, 特别是接入或切断高压电动机的断路器, 会造成高压电动机的单相启动和切断<sup>[1]</sup>。

用真空断路器开断空载电动机时, 因其截流能力较强, 当某一相先截断时, 将会在另两相上产生高频电流, 此高频电流过零时而被截断。当电流从峰值下降未达到自然零点时, 电弧熄灭, 电流被突

[收稿日期] 2009-09-11  
[作者简介] 谷志伟 (1971-), 男, 山东潍坊人, 工程师, 现任山西和顺天池能源有限公司机电部副部长。

然中断。由于电流被突然中断,电感负载上利用剩余的电磁能量就会产生过电压。真空开关比其他介质的开关更容易发生此种过电压,尤其是真空开关在开断小电感电流时,过电压倍数会更高,在被开断的交流电流接近于零点时,开关管的触头间电弧的等效电阻急剧增加,又由于电弧和回路产生共振现象引起高频电流的开断。

真空断路器电弧实际上是在电极材料蒸发的金属蒸汽中维持的,电弧的稳定性直接取决于电流的大小对截流值的影响,实质上是由电流过零前  $dI/dt$  的不同引起。至于回路条件的影响则较小,这种截流将会引起很高的操作过电压。这是因为断路器截流后,开关断口上作用一个高频恢复电压,上升速度极快,前沿很陡。如果操作截流过电压和高频重燃过电压在同一时刻产生,将会有很大的过电压加到电动机上,对电动机绝缘产生严重危害,造成电动机的匝间绝缘击穿。

#### 1.4 操作过电压问题

一般把电力系统的过电压分成雷电过电压和内部过电压 2 大类。雷电过电压与气象条件有关,是外部原因造成的,又称为大气过电压或外部过电压。内部过电压是由电力系统内部能量的传递或转化引起的,与电力系统内部结构、各项参数、运行状态、停送电操作和是否发生事故等多种因素有关,十分复杂。不同原因引起的内部过电压,其过电压数值大小、波形、频率、延续时间长短也并不完全相同,防止的对策也有区别。一般把内部过电压又分为工频过电压、谐振过电压和操作过电压。

操作过电压是指电力系统中由于操作或事故等原因,使设备运行状态发生改变(例如停、送电时的分、合闸操作),而引起相关设备电容、电感上的电场、磁场能量相互转换,这种电场、磁场能量的相互转换可能引起振荡,从而产生过电压。如果电路中的电阻较大,能起到较好的阻尼作用,则振荡时能量消耗较快,电流电压迅速衰减进入稳态,过电压会较快消失。

在电力系统运行操作时,较容易发生操作过电压常见操作有:切、合高电压空载长线路;切、合空载变压器;切、合电容器;开断高压电动机等。

断路器灭弧能力特别强时,在电流波形瞬时值未达到零点之前,就强行将电流截断,如果分断的又是电感性负载,例如高压电动机,或者变压器、电抗器等设备,则有可能发生截流过电压。因为电流的突然变化,电感性负载设备磁路中磁通量跟着发生突变,根据电工基础中有关磁感应的理论知

识,磁通突然变化会产生很高的感应电势,从而发生过电压。由此可见,对于感性负载设备来说,如果开关设备的灭弧能力特别强,则有可能发生截流过电压。开断空载变压器和开断高压电动机都有可能出现强制灭弧(截流)过电压<sup>[2]</sup>。

电动机直接启动时的大电流在电机定子线圈和转子鼠笼条上产生很大的冲击力,会破坏绕组和造成鼠笼条断裂,引起电机故障,大电流还会产生大量的焦耳热,损伤绕组绝缘,缩短电机寿命。

交流高压电机在启动和停止时,都是由高压开关来关合和开断电路的,在关合和开断时会伴随有过电压产生,有时会达到额定电压的 5 倍以上,这样高的过电压会对电机的绝缘造成严重的危害。电机的相间短路、匝间短路、接地故障等,基本上都是由绝缘击穿引起的。

其中操作过电压往往是最容易忽视的,其实电机出现本体故障时,基本上都是从过电压造成绝缘损坏开始的。

## 2 解决问题的措施

基于前面分析的原因,提出了防止 10kV 高压电动机出现绝缘值降低而被击穿的措施。

(1) 充分利用井下、井上煤仓的缓冲作用,尽量减少电动机的启动次数。

(2) 定期对电动机启动柜内真空断路器的不同期性进行调整。

(3) 采取 R-C 阻容保护或 R-ZnO (氧化锌) 压敏电阻保护均可起到限制过电压的作用。压敏电阻虽然能起到保护作用,但对高频重燃远不如阻容保护理想。压敏电阻只能抑制过电压幅值,不能抑制高频重燃的发生,也不能缓和过电压波陡度。而电容可降低波阻抗,即抑制了截流过电压,同时缓和断口处恢复电压的陡度,电阻可抑制局部回路的高频电流消耗,使高频电压按指数衰减。因此,对于大功率电动机仍应加装 R-C 阻容保护为好。

(4) 采用金属氧化物避雷器,由于不需要串联间隙,使结构特别简单,保护特性好,且通流能力大,可以迅速释放过电压能量,因此,也可用来限制操作过电压。

## 3 实际效果

充分利用井下 1 号、2 号、3 号煤仓的缓冲作用,对主斜井胶带机的启停采取汇报制度,严格控制主斜井胶带机启动次数;每月底对电动机启动柜

(下转 68 页)

时结构的支承作用。27m测线当工作面推过 2号测站时,观测数据急剧减小,表明位于煤壁后方 22.87m的采空区处且距煤层顶板 4.86m的顶板岩层发生垮落。观测中,当测站位于工作面前方 22m开始,即当测点位于煤壁后方 0.87m时,测线的移近量开始加剧,当移近量超过 32mm时,顶板岩层即发生垮落,表明距煤层顶板 5m左右范围内的顶板岩层在煤壁后方变形量逐步增加,垮落极限为煤壁后方 22.87m。

底板岩层测站线长分别为 20m和 26m。测点距煤层底板的垂直高度分别为 3.6m和 4.68m,当工作面推至测点位置时,钻孔中安设的测点分别位于煤壁后方 16.94m和 22.03m的采空区位置。各测线变形量见图 6。

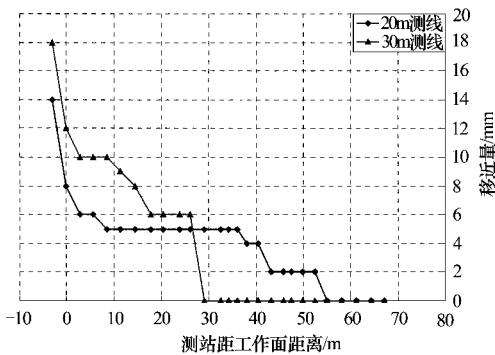


图 6 底板岩层测线变形量曲线

图 6表明距煤层底板高度为 3.6m的测点,从位于煤壁后方 14.14m开始,至测点位于煤壁后方 19.94m为止,测点处岩层的位移变化量保持快速增长趋势,但在煤壁后方 19.94m范围内没有发生垮落。距煤层底板高度为 4.68m的测点,从位于煤壁后方 19.23m开始,至测点位于煤壁后方 25.03m为止,测点处岩层位移变化量也保持了快速增长趋势,但在煤壁后方 25.03m范围内也没有发生垮落。

观测表明顶板岩层从位于工作面煤壁前方约 10m处位置变形开始加剧,进入采空区后变形量持

续增加直到部分岩层垮落。顶板岩层不同层位的岩层在工作面推进过程中的变形程度不同。距煤层顶板 2.0m左右范围内的顶板岩层垮落极限为煤壁后方 12m,距煤层顶板 5m左右范围内的顶板岩层垮落极限为煤壁后方 23m,对工作面支架的影响程度大大降低。同时,从距煤层底板 4.68m范围内的底板岩层在煤壁后方 25.03m范围内不垮落表明急斜煤层底板岩层相对于顶板岩层要稳定。

3 结论

(1) 工作面顶煤的变形破坏沿走向方向可分为变形缓慢增长阶段、变形快速增长阶段、初始破坏阶段、破坏加剧阶段及顶煤体完全垮落 5个阶段。工作面沿走向推进过程中,不同层位顶煤完全垮落时距工作面前方煤壁距离不同,从而使支架在走向方向上并非完全承受顶煤完全破坏后的整体压力,降低了支架所承受的载荷。

(2) 底板岩层相对于顶板岩层要稳定。顶板岩层一般从位于工作面煤壁前方 10m处位置变形开始加剧,进入采空区后顶板岩层不同层位的岩层在工作面推进过程中的变形破坏程度不同,但变形量均持续增加,岩层垮落由顶板下位岩层向上位岩层扩展,垮落区域位于煤壁较后方采空区内,避免了工作面开采区域围岩大范围垮落的影响。

【参考文献】

[1] 李栖凤·急倾斜煤层开采 [M]·北京:煤炭工业出版社,1984.  
[2] 冯泾若,伍丽娅,罗洪波·我国短壁工作面综采综放设备的发展和应用 [J]·煤矿开采,2004,9(1):7-9.  
[3] 陈炎光,钱鸣高·中国煤矿采场围岩控制 [M]·徐州:中国矿业大学出版社,1994.  
[4] 石平五·急倾斜大段高综采顶煤矿压显现及围岩控制 [J]·矿山压力与顶板管理,1992(4):43-47.  
[5] 石平五·急倾斜水平分段放顶煤开采岩移规律 [J]·西安科技学院学报,2001,21(4):315-318.  
[6] 来兴平,周光华,张建华·基于现场监测的破碎围岩介质垮落失稳及综合分析 [J]·煤炭学报,2008(4):67-71.

【责任编辑:林健】

(上接 60页)

内真空断路器同期性进行检查、调整;安装了 R-C阻容保护装置。采取上述措施以后,主斜井胶带机 10kV 高压电动机运行良好,故障率降低,没有再出现高压电动机定子绝缘击穿现象,使用周期大大延长。

【参考文献】

[1] 包仁平·真空断路器同期性对高压电动机的影响 [J]·白银科技,1993.  
[2] 国家电力监管委员会·电工进网作业许可考试参考教材 [M]·北京:中国财政经济出版社,2006.

【责任编辑:张银亮】