

一起典型 35 kV 开关柜复合绝缘击穿 事故分析及整改措施

陈海平

(华能海南发电股份有限公司, 海南 海口 570105)

摘要: 35 kV 高压开关柜广泛应用于变电站,其可靠的工作有着至关重要的意义。针对某一 220 kV 变电站 35 kV 开关柜绝缘击穿放电事故,对事故发生,现场检查、原因分析依次进行了详细的介绍和讨论。研究表明,开关柜绝缘隔板结构设计不够完善,特定条件下的长期运行时造成的局部绝缘性能下降,是此次事故的主要原因。最后,针对事故原因提出了有效的整改措施。

关键词: 开关柜; 复合绝缘; 击穿; 放电; 整改措施

Abstract: 35 kV HV switchgear cabinet is widely used in the substations, and its reliability has a substantial significance. An insulation breakdown of 35 kV switchgear cabinet in 220 kV substation is investigated. The accident process, field inspection and primary causes are introduced and discussed respectively. The design defects of the insulating barrier in switchgear cabinet, and the reduction of the partial insulating performance are considered to be responsible for this accident. In the end, the rectification measures are proposed for preventing the occurrence of the same accident.

Key words: switchgear cabinet; composite insulation; breakdown; discharge; rectification measure

中图分类号: TM864 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2013)06-0081-03

0 引言

35 kV 高压开关柜是电力系统的重要设备之一,其运行状态对电力系统的可靠性有着重大影响。对某 220 kV 变电站 2012 年 7 月发生的一起 35 kV 高压开关柜复合绝缘缺陷导致的事故进行分析,并提出相关整改措施,为预防类似事故再次发生起到一定的作用。

1 开关柜绝缘击穿事故过程

1.1 事故经过

事故发生前,天气阴,变电站 1、2 号主变压器高、中压侧并列运行,35 kV 侧分列运行。事故发生时变电站无操作。2012 年 7 月 19 日 14 时 35 分,2 号主变压器 35 kV 侧发生 A、B 相间短路,20 ms 后发展成三相短路,在故障 822 ms 后主变压器低后备复压过流 I 段 I 时限动作跳 35 kV 分段 310 断路器(事故前 310 断路器处于热备用状态),1122 ms 后 2 号主变压器低后备复压过流 I 段 II 时限动作跳主

变压器低压侧 312 断路器,切除 3122 隔离开关处的短路故障,故障 1183 ms 后主变压器差动保护动作跳开 2 号主变压器高压侧 212 断路器、中压侧 112 断路器和低压侧 312 断路器,1293 ms 后主变压器重瓦斯保护动作,跳 212、112 和 312 断路器。事故造成 35 kV 312 开关柜损坏和 2 号主变压器停运,未造成负荷损失。

1.2 现场检查情况

对事故现场进行勘察发现事故点位于 35 kV 开关室 312 开关柜 3122 隔离开关静触头接线板处。进入 312 开关柜内详细检查发现,3122 隔离开关静触头附近的连接铜排、绝缘隔板、支柱绝缘子、部分二次接接受损。连接铜排烧出缺口,绝缘隔板表面烧损碳化严重,支柱绝缘子瓷裙炸裂损坏,开关柜内部分二次接线烧损,312 断路器和电流互感器检查未发现异常。

2 故障点的查找和故障过程的分析

2.1 故障点查找和确定

首先,对故障录波图进行分析,排除了保护误动

的可能,并将低压侧电流录波起始部分放大(见图1),可看出在一个周波(20 ms)内 A、B 相电流大小相同方向相反,可确定低压侧 A、B 相发生了相间短路,一个周波后发展成了对称的三相短路。

然后,重点对低压侧进行了排查。打开 312 开关柜后,综合现场情况确定了故障点为 35 kV 开关室 312 开关柜 3122 隔离开关静触头接线板处。

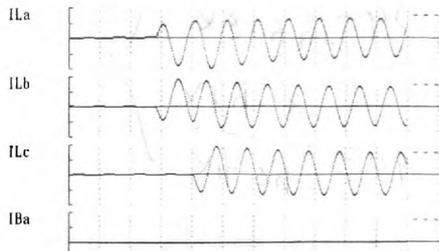


图1 低压侧电流录波图

2.2 故障发展过程的分析

该故障开关柜型号为 XGN17-40.5,为国内一家专业开关柜生产厂家,其本次事故开关柜的内部结构如图2所示。

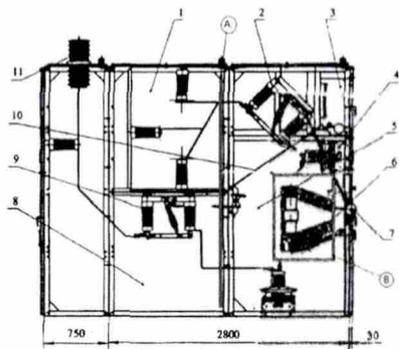


图2 35 kV 侧 312 断路器柜结构示意图

图2中 1 为主母线室;2 为上隔离开关;3 为仪表室;4 为电流互感器;5 为断路器室;6 为真空断路器;7 为手操机构;8 为电缆室;9 为下隔离开关;10 为挡板(SMC);11 为穿墙套管。

从事故现场情况看,开关柜内部烧损较为严重之处在图中 A 绝缘板上部母线贯穿位置,母线贯穿部位绝缘板板面熏黑,绝缘板绝缘性能基本丧失,事故中上隔离开关损坏,其余柜内 312 断路器和电流互感器事后检查未发现异常。

由录波图可知 A、B 相首先发生相间短路,通过现场发现 3122 隔离开关静触头接线板处烧熔和 A、B 相间绝缘板表面沿面放电碳化痕迹,可知 A、B 相间短路的起始放电通道为绝缘隔板沿面击穿部位。

A、B 相击穿短路到三相短路的发展过程如下

所述:绝缘隔板和绝缘热缩套表面在吸尘和受潮的情况下绝缘强度下降,电场作用下形成 A 相连接板裸露处 - A 相开孔处气隙 - 沿绝缘隔板表面 - B 相开孔处气隙 - B 相连接板裸露处的放电通道,导致 A、B 相击穿短路,迅速导致 B、C 相之间绝缘降低,形成三相短路,为一起典型的复合绝缘(小空气间隙和固体绝缘材料的表面)引起的设备事故。

3 故障原因分析

3.1 开关柜设计缺陷

图3为绝缘隔板正视图,故障部位内部绝缘由以下几部分组成。

- 1) 支柱绝缘子,长度 400 mm,爬电距离 960 mm;
- 2) 导电母排的周围柜体的空气间隔,最小处 330 mm;
- 3) 导电母排间的空气间隔,360 mm;
- 4) 导电母排间的绝缘隔板的沿面间隔,352 mm。

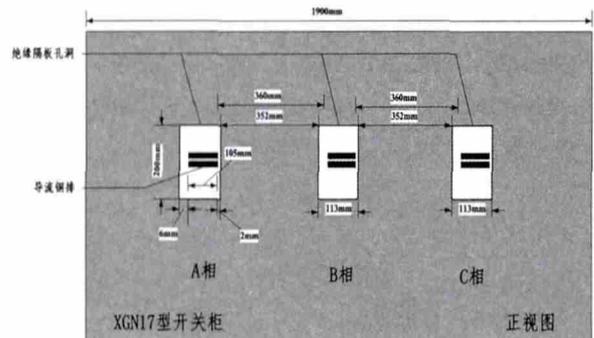


图3 绝缘隔板正视图

XGN17 型产品出厂前,全部经过 95 kV/1 min 的工频耐压试验(含极间和对地耐压试验),满足 DL/T 404-2007 中第 5.103.3 非金属隔板和活门的相关条款的试验要求;本次事故开关柜相间最小空气间距达到 360 mm,对地实测大于 330 mm,带电体至门实测大于 330 mm,满足 DL/T 404-2007 中第 5.106 对最小空气间隙的要求^[1]。

本案中 XGN17 型开关柜是采用空气绝缘方式设计,柜体结构中的 A 处绝缘板是因检修安全而设置,参照相应标准条款发现此处是绝缘最薄弱的地方,其有两点不满足要求:1) 导流铜排穿过绝缘隔板的孔洞与绝缘挡板间的空气间隙极小,靠近放电通道一侧仅为 2 mm,DL/T 404-2007《3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》要求不小于 60 mm^[1];2) 绝缘隔板相间绝缘所需的沿面爬电距离为 352 mm,DL/T 593-1996 标准要求不

小于 770 mm^[2]。

3.2 综合原因分析

通过以上分析认为,该公司生产的 XGN17 - 40.5 产品仅 A 处的绝缘隔板不满足规程规定,尽管存在设计隐患,但仍通过了出厂试验和现场验收试验,为什么 A 处绝缘板在运行 3 年后形成沿绝缘板表面击穿的现象,可从以下方面分析。

1) A 处绝缘板的布置与三相母线相垂直,虽然不增加相间绝缘的绝缘介质,但在特定条件下,如高海拔、表面积尘、空气湿度过大、凝露等影响下,可能会导致绝缘板表面绝缘性能的下降,相当于降低了相间或相对地的空气绝缘距离。

2) 当出现上述特定的情况时,绝缘板可等效为一个接近于地电位或高阻接地的状态,此时相间电压会全部施加于导体与绝缘板间很小的空气间隙,导致场强相对集中,可能引发局部放电,长期对周围的设备元件电离腐蚀,尤其是长期对有机绝缘件表面产生电晕,使绝缘件老化、绝缘性能迅速下降,积累到一定程度使绝缘件击穿,发生闪络。

综上所述,由于 XGN17 型产品绝缘隔板结构设计不完善,特定条件下的长期运行中因表面凝露、积污和局部放电,使开关柜局部绝缘性能下降,最终绝缘击穿导致本次事故的发生。

4 整改措施

1) 排查开关柜内部导体穿过绝缘隔板的情况,参照 DL/T 404 - 2007 《3.6 kV ~ 40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》关于相间组合绝缘的要

(上接第 74 页)

[11] H. Illias, G. Chen, P. L. Lewin. Modeling of Partial Discharge Activity in Spherical Cavities Within a Dielectric Material [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2011, 27(1): 38 - 45.

[12] Hazlee Illias, George Chen. Partial Discharge Behavior within a Spherical Cavity in a Solid Dielectric Material as a Function of Frequency and Amplitude of the Applied Voltage [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2011, 18(2): 432 - 443.

[13] H. A. Illias, G. Chen. Partial Discharge within a Spherical Cavity in a Dielectric Material as a Function of Cavity Size and Material Temperature [J]. IET Science,

求(10 kV 设备应不小于 30 mm, 40.5 kV 设备应不小于 60 mm),对绝缘隔板开孔尺寸进行整改。

2) 加强开关柜的运行维护,定期对开关室通风及除湿设备进行检查,特别是在雨季和雷雨气象情况下对室内设备除湿效果的监测和检查,确保开关室的通风及除湿设备运行正常。

3) 目前执行的《基建工程项目验收作业标准》对开关柜内穿孔部分的复合绝缘空气间隙无具体的验收要求,仅以通过绝缘试验为验收依据,在验收中未能发现厂家的设计隐患,建议在《基建工程项目验收作业标准》增加对开关柜内复合绝缘空气间隙的验收要求。

5 结束语

通过对这起典型的 35 kV 开关柜复合绝缘事故原因的分析,可认识到: XGN17 型开关柜的设计仍需厂家继续完善并提高产品质量;运行单位在验收环节有必要增加对开关柜内复合绝缘空气间隙的要求;运行单位加强管理与维护工作,做好整改措施,避免再次发生同样的事故。

参考文献

[1] DL/T 404 - 2007 3.6 kV ~ 40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备[S].

[2] DL/T 593 - 1996 高压开关设备的共用订货技术导则[S].

(收稿日期: 2013 - 09 - 27)

Measurement and Technology, 2012, 6(2): 52 - 62.

[14] L. H. Germer. Electrical Breakdown between Close Electrodes in Air [J]. Journal of Applied Physics, 1959, 30(1): 46 - 51.

[15] 李华春,章鹿华,周作春. 应用有限元方法优化应力锥设计[J]. 高电压技术, 2005, 31(11): 55 - 58.

[16] 阎照文. 工程电磁分析技术与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[17] 张榴晨. 有限元法在电磁计算中的应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.

[18] 刘子玉、王惠明. 电力电缆结构设计原理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.

(收稿日期: 2013 - 08 - 12)