

# 一起干式高压电流互感器爆炸事故原因分析

林晓宇, 陈荣柱, 龚列谦, 章 坚, 林 剑, 卢孔实

(温州电业局, 浙江 温州 325000)

**摘要:** 为了提高干式高压电流互感器在电网中运行的稳定、安全性, 笔者检查分析了某 110kV 变电所一起干式高压电流互感器爆炸事故, 判明事故原因为设备末屏线不合理的焊接结构以及生产过程中末屏铜编织线机械损伤造成的末屏接地不良。提出了干式高压电流互感器箱体设计需具有防爆功能, 改进末屏线焊接结构为压接结构等反措措施, 对干式高压电流互感器安全稳定运行具有重要意义。

**关键词:** 干式高压电流互感器; 末屏; 事故分析

中图分类号: TM412.05

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)03-0151-03

## Explosion Accident Analysis of Dry-type High Voltage Current Transformer

LIN Xiao-yu, CHEN Rong-zhu, GONG Lie-qian, ZHANG Jian, LIN Jian, LU Kong-shi

(Wenzhou Electric Power Bureau of Zhejiang Province, Wengzhou 325000, China)

**Abstract:** This paper analyzes an explosion accident of a dry-type high voltage current transformer in Hengyu 110 kV substation, and find the accident is due to improper welded structure of the end shield and mechanical damage of the braiding copper wire, which causes the end shield imperfectly earthing. Some countermeasures against the explosion accident are suggested, including that the current transformer cabinet should have explosion-proof function in design, and the welded structure of the end shield wire should be improved, etc.

**Key words:** dry-type high voltage current transformer; end shield; accident analysis

### 0 引言

近年来,干式高压电流互感器因其具有无瓷、无油(变压器油)、无气(SF<sub>6</sub>)的结构特点,以及无渗漏、维护工作量小、绝缘特性好等优良的特性,得到越来越广泛的应用。笔者针对发生在变电所一台 110kV 干式高压电流互感器爆炸事故暴露出的安全运行薄弱环节,提出了事故预防措施,将有助于干式高压电流互感器在电网中稳定、安全运行。

### 1 干式高压电流互感器结构

发生事故的干式电流互感器型号为 LRGBJ2-110 2×300/5A,2006 年 9 月生产,2007 年 6 月投运。

该型号干式高压电流互感器主要由一次绕组、二次绕组、箱体、硅橡胶伞裙等组成。一次绕组由一次导体、接线端子、刚性骨架、绝缘层、电容屏、外护套硅橡胶伞裙及地屏引出线构成。一次导体为铜绞

线,可以通过互感器顶部联接板进行串并联选择,一次导体穿过刚性骨架与接线端子连接。刚性骨架是用不导磁的钢管弯成 U 字型。绝缘层由聚四氟乙烯薄膜带缠绕而成。电容屏用金属箔铺设在绝缘层上作为极板,两者多次包绕形成同轴圆柱形电容结构,使沿径向和轴向的电场分布均匀,提高一次绕组的击穿电压和沿面放电电压。外护套及硅橡胶伞裙构成一次绕组的外绝缘。

地屏引出线与最末一层电容屏相连,用铜编织线引出并与地电位连接。二次绕组绕在环形铁心上,套装在一次绕组。箱体即是作为整个电流互感器的支撑,又嵌装二次绕组,可防止风、沙、雨、雪的侵蚀和机械损伤<sup>[1]</sup>。

### 2 事故情况简介

2007 年 12 月 29 日上午 7 点 40 分,某 110kV 变电所 1 号主变差动保护动作,跳开了 110kV 线路开关、10kV 主变开关;110kV I 段母线失电,该

收稿日期:2008-11-26; 修回日期:2009-01-17

作者简介:林晓宇(1980),男,硕士研究生,工程师,现从事变电检修管理工作。

110 kV 变电所全所失电。事故发生时,天气状况为多云,系统无任何操作。

### 2.1 爆炸事故现场检查

事故发生后,现场检查发现,110 kV 桥开关 C 相干式高压电流互感器发生爆炸,爆炸后设备状况见图 1,事故现场现象有:干式高压电流互感器箱体炸裂,10 m 外有长宽约为 15 cm×12 cm 箱体碎块,四周散落着烧黑了的聚四氟乙烯薄膜,流变下方有滴溅着硅油;干式高压电流互感器 P<sub>1</sub> 侧第 10、11 个和第 5 个硅橡胶伞裙,P<sub>2</sub> 侧第 6 个和第 18、19 个硅橡胶伞裙有炸伤爆突现象;电流互感器 P<sub>1</sub> 侧箱体与伞裙连接法兰受爆炸力挤压上升,该法兰正下方一次导体外绝缘层已经爆炸烧损至接近刚性骨架;二次绕组线圈已经松散,接线端子盒已经炸开,部分绕组二次接线从二次绝缘端子处断开;但电流互感器末屏外引接地端依然和外壳可靠连接,检查电流互感器二次外回路无异常现象;桥开关流变 A、B 两相,除 B 相因靠近 C 相受爆炸影响,二次电缆松脱之外,其他均无异常现象。

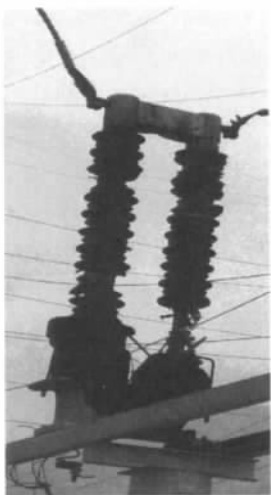


图 1 爆炸后干式高压电流互感器状况

### 2.2 电气试验检查

电气检查试验内容包括发生爆炸的 C 相电流互感器二次绕组通回路检查,A 相、B 相电流互感器绝缘电阻、介质损耗及电容量测量、局部放电测量、工频耐压试验、局部放电测量,检查试验结果为:

(1)C 相电流互感器的 5 个二次绕组均无开路现象。

(2)A 相、B 相试验内容和试验结果见表 1。

从表 1 可知,B 相的干式高压电流互感器局部放电量为 12 pC,高于厂家出厂 5 pC 的标准,但也尚小于国家标准 20 pC 要求值,其他电气试验检查项目与交接试验值相差不大,试验合格。

表 1 A、B 两相干式高压电流互感器检查试验结果

检查试验项目	介损/% (10 kV)	末屏绝缘 电阻/MΩ	交流耐压 (230 kV, 5 min)	电容 量/pC (测量 87 kV)	局放/pC
A 相	0.03	>1 000	通过	327.0	4
B 相	0.04	>1 000	通过	332.8	12
A 相交接试验	0.02	>1 000		324.7	
B 相交接试验	0.025	>1 000		329.0	

(3)C 相流变出厂试验报告和现场交接验收报告,详见表 2。

表 2 C 相干式高压电流互感器出厂试验、交接试验报告

检查试验项目	介损% (10 kV)	末屏绝缘 电阻/MΩ	交流耐压 (230 kV, 5 min)	电容 量/pC (测量 87 kV)	局放/pC	试验 日期
半成品	0.051			340	0	2006.9
出厂试验	0.035	>1 000	通过	348	0	2006.9
交接试验	0.053	>1 000		359		2006.12

### 2.3 解体检查

根据试验的检查情况,选用局部放电量相对增长较快的 B 相电流互感器和事故电流互感器进行解体检查,B 相电流互感器解体检查结果为:主绝缘的聚四氟乙烯薄膜带洁白,包扎紧密,没有松动,金属电容边沿整洁,没有放电引起的异常电蚀,尺寸无位移,地屏编制软铜绞线和端部铜片均无异常,见图 2。



图 2 B 相解体后地屏编制软铜绞线和端部铜片均无异常

发生爆炸的 C 相电流互感器解体检查结果如下:

(1)C 相干式高压电流互感器 P<sub>1</sub> 侧第 11、10 个和第 5 个硅橡胶伞裙,P<sub>2</sub> 侧第 6 个和第 18、19 个硅橡胶伞裙发生绝缘击穿,具体从第 3、4 主屏发生击穿至硅橡胶伞裙炸伤爆突,并撑破外绝缘伞裙。

(2)电流互感器 P<sub>1</sub> 侧箱体法兰正下方绝缘击穿点,绝缘损伤最为严重,解体发现该点绝缘由第 1 屏击穿至末屏,原缠绕在外侧的聚四氟乙烯薄膜带和金属箔从击穿点向两侧外翻。地屏编织软铜绞线闪弧后在硅橡胶上生成的龟裂状炭化烧伤,见图 3。

(3)对比 C 相和 B 相电流互感器相应位置,绝缘击穿最为严重的地方即为地屏线端部铜片与末屏连接处。解体时,没有在一次绕组 U 字型骨架上发



图3 编织铜绞线闪弧后在硅橡胶上生成龟裂状炭化

现地屏线端部铜片,而是在从现场回收的爆炸残留物中找到。该铜片从铜片中部的焊接点对半烧熔,且也已不存在铜片与地屏编织软铜绞线焊接点。

(4)仔细观察互感器电容屏各绝缘层,特别是底部的末屏位置,没有发现互感器有内部受潮现象。

### 3 事故原因分析判断

根据上述的检查结果,可对此次干式高压电流互感器做出推断如下:

(1)天气为多云,无雷暴现象,且系统无任何操作,110 kV I段母线避雷器无动作记录,排除爆炸事故由过电压引起的可能性。

(2)事故时电流互感器处于热备用状态,设备并无一次电流通过,设备二次外回路并无异常,电流互感器末屏接地引出线与地电位可靠连接,排除事故由接线错误或施工不当引起的可能性。

(3)从地屏端部铜片对半烧熔现象,以及图3地屏编织软铜绞线闪弧后在硅橡胶上生成的龟裂状炭化烧伤,说明地屏端部铜片附近是整个爆炸事故的起始闪弧位置。

(4)电流互感器 $P_1$ 侧第10、11个和第5个硅橡胶伞裙, $P_2$ 侧第6个和第18、19个硅橡胶伞裙均从第3、4主屏开始向外绝缘爆突,并撑破硅橡胶伞裙,其原因是末屏端部绝缘击穿,造成一次绕组对箱体外壳放电,生成很大能量,向两侧挤压缠绕在外侧的聚四氟乙烯薄膜带,引起外侧的聚四氟乙烯薄膜带向两侧外翻,并推动第3、4主屏向两侧移动,在相对应的硅橡胶伞裙位置,造成位移变形,场强畸变,引起绝缘击穿。末屏端部位于 $P_1$ 侧法兰正下方,流变箱体内,该点第1主屏与末屏绝缘击穿后,对流变箱体直接放电,生成巨大能量,在箱体内形成巨大压力,是造成该电流互感器爆炸的直接原因。

(5)仔细检查地屏端部铜片和铜编织线结构,认为该产品地屏线存在两点缺陷,见图2,而此缺陷均可能会引发相应位置放电量逐渐增加,绝缘损伤,产

生火花放电而导致绝缘击穿:末屏在引出时,制造厂为防止主绝缘密封不良铜编织线撕成网状,此网状的铜编织线易在生产挤压过程断线,发生局部断裂;末屏引出线与铜箔焊接采用锡焊结构,在锡焊过程中,易造成表面不平整或形成虚焊,另外锡熔点低(锡熔点为 $232\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),温度过高时锡熔化,引线与铜箔脱开也会造成末屏开路。

### 4 防范措施

(1)互感器厂家在制造过程中工艺缺陷是该次事故的直接原因,此事故发生后,需督促厂家对生产过程中工艺不易控制的环节进行相应改进,从生产人员、材料选择以及工艺选用上加强管理。末屏引出线与铜箔的焊接结构需要改进,建议可以采用表面更为光滑的压接结构,消除工艺缺陷。铜编织线宜选用更为坚韧的材料或结构,并加强生产过程监测。

(2)干式高压电流互感器向来被认为无油、无瓷、无气的结构特点,而具有防火、防暴的优点,但从此次事故暴露出,干式电流互感器箱体防爆的性能仍为该类产品事故预防的空白点。箱体内密集二次线圈,二次接线端子,末屏引出线通道,并非无产生高压绝缘击穿的可能。而箱体没有压力释放通道,绝缘击穿后生成巨大能量的释放存在爆炸的威胁。建议需重新审查该类设备防爆性能,有必要在箱体上设计压力释放方式。

(3)对已在网内运行的同型号、同批次产品干式高压电流互感器进行普查,试验测量电流互感器的介损和电容量,对介损有偏大或电容量与出厂偏差达5%需重点查明原因,逐个排除隐患,并加强设备的远红外测温,必要时加强干式电流互感器末屏电流监测。

### 5 结语

干式高压电流互感器作为一种新型的高压电流互感器在维护工作量和电气性能等方面均具有独特的优点,该次事故反映出干式高压电流互感器作为新设备暴露出的工艺环节上疏漏,此事故属于设备制造缺陷,并非原理缺陷。接受该次教训,通过工艺的改进,将更有利于干式高压电力互感器在电网系统更为广泛应用。

### 参考文献:

- [1] 唐绍予. 干式高压电流互感器的特征及关键生产工艺 [J]. 高压电器, 2006, 42(3): 223-224.