

某 110 kV 变电站 35 kV 侧相间故障 分析及治理措施研究

方欣¹, 李晓东², 罗维斯³, 崔涛¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

2. 国网凉山供电公司, 四川 凉山 615000; 3. 国网眉山供电公司, 四川 眉山 620010)

摘要: 在中国, 35 kV 电网直接向大客户供电, 由于客户情况较复杂且相关保护措施不到位, 经常出现相间故障继而引起设备损坏。以四川电网某 110 kV 变电站 35 kV 侧 12 个月内发生的 4 次相间故障为对象, 详细分析了每次故障现象并指出了故障原因, 提出了避免故障重演的治理方案。所分析的结论对 35 kV 相间故障的防治具有重要意义。

关键词: 相间接地; 三相接地; 故障分析

中图分类号: TM63 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2019)02-0047-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.02.010

Analysis of Phase-to-phase Fault in 35 kV Side of a 110 kV Substation and Its Treatment Measures

Fang Xin¹, Li Xiaodong², Luo Weisi³, Cui Tao¹

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Liangshan Electric Power Supply Company, Liangshan 615000, Sichuan, China;

3. State Grid Meishan Electric Power Supply Company, Meishan 620010, Sichuan, China)

Abstract: In China, 35 kV power grid directly supplies to large customers, because of the complexity of the customers and the inadequate protection measures, there often occurs phase-to-phase faults which lead to the equipment damage. Taking the phase-to-phase faults which occurred in 35 kV side of a 110 kV substation in Sichuan power grid for 4 times as an object, the phenomenon of each fault is analyzed in detail, the causes of the failure are pointed out, and a treatment plan is proposed to avoid the repeated failures. The conclusion is of great importance to the prevention of 35 kV phase-to-phase faults.

Key words: phase-to-phase grounding; three-phase grounding; fault analysis

0 引言

35 kV 电网承担着直接向大用户(工业用户)供电的重任。大用户生产情况复杂并缺乏相应保护措施常引发电网故障^[1-3]。

四川电网某 110 kV 变电站 35 kV 侧在 12 个月内连续发生 4 起因用户作业引起相间击穿进而发展为三相故障, 造成严重电网损失和较大影响, 是现有 35 kV 供电系统存在安全风险的典型案例。

下面以此案例为分析对象, 仔细梳理各次故障的发展过程, 找出了引起故障的根本原因, 指出现有设备在过电压防护方面存在的缺陷, 并提出了治理措施。

1 故障情况

故障 1: 该变电站 1 号主变压器中后备保护复压过流 I 段动作, 主变压器 35 kV 侧断路器跳闸。当天该地区天气良好。

根据故障时刻 1 号主变压器保护装置后备保护录波表明, 在 03:25:56:00 时, 1 号主变压器 35 kV 侧发生 A、B 相间短路, 40 ms 后演变为 A、B、C 三相短路故障, 主变压器中压侧电流电压如图 1 所示。

故障发生后, 经检查 35 kV I 母 PT 避雷器柜内有多点放电痕迹, 35 kV I 母 PT 避雷器柜内 A 相避雷器第 1 片瓷套裙边破损严重, A、B、C 相避雷器法

兰金属部分有多处放电痕迹,避雷器内部未发生故障,如图2所示。

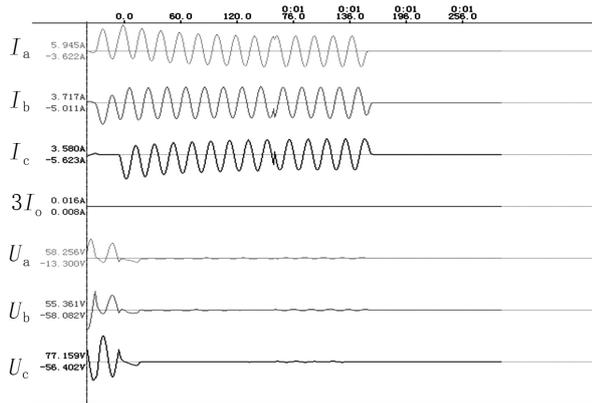


图1 第1次故障1号主变压器保护装置后备保护录波



图2 避雷器瓷套放电

经现场查勘,故障现象为相间短路,而非相对地短路,故障现象与录波情况符合。

故障2: 3个月后,该站1号主变压器301断路器跳闸,35 kV I母失电。故障时刻,变电站周边天气良好,无暴雨、雷电等恶劣天气。

根据1号主变压器跳闸时刻故障录波记录波形,在22:09:41:850时,1号主变压器35 kV侧发生A、B相间短路,15.6 ms后演变为A、B、C三相短路故障,如图3所示。

经检查,35 kV I母PT避雷器间隔有烟雾,C相第1、2、3、4片瓷瓶炸裂,B相避雷器顶端金属部分有烧伤痕迹,B相引流排有三角形缺口,C相避雷器顶端金属部分有灼伤痕迹,如图4所示,地面有炸裂的瓷瓶碎片。

从现场故障现象来看,该次故障为相间短路,故障现象与录波情况符合。

故障3: 距第1次故障9个月后,1号主变压器中后备保护限时速断T1、T2动作出口,1号主变

器301断路器跳闸,35 kV I母失电。

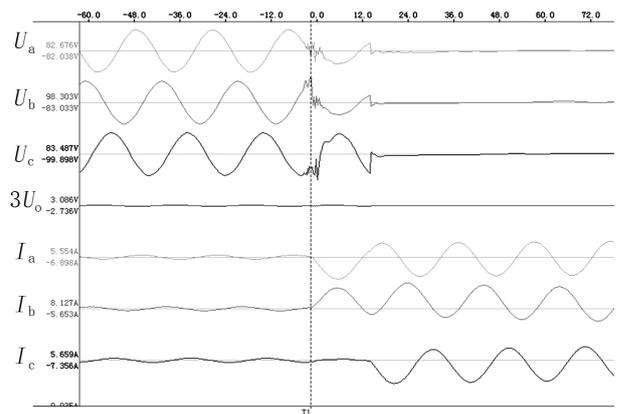


图3 第2次故障1号主变压器保护装置录波



图4 避雷器柜内放电

根据1号主变压器跳闸时刻故障录波记录波形,在11:58:43时变电站35 kV分段313断路器间隔内发生B、C相间短路故障,经过48 ms发展为A、B、C三相短路故障。录波图如图5所示。

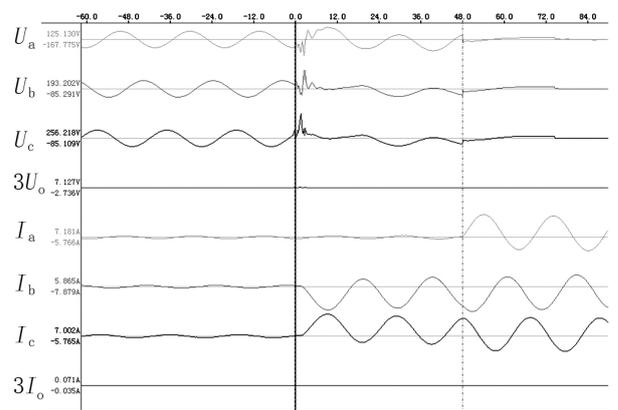


图5 第3次故障1号主变压器保护装置录波

经检查,发现35 kV分段313断路器手车下触头三相触头臂间存在相间放电痕迹,其中A相下触头触指灼伤严重,如图6所示。

经现场查勘,从现场故障现象来看,该次故障为相间短路,故障现象与录波情况符合。

故障4: 距第1次故障11个月后,1号主变压器

35 kV 后备保护装置启动,1号主变压器301断路器跳闸。

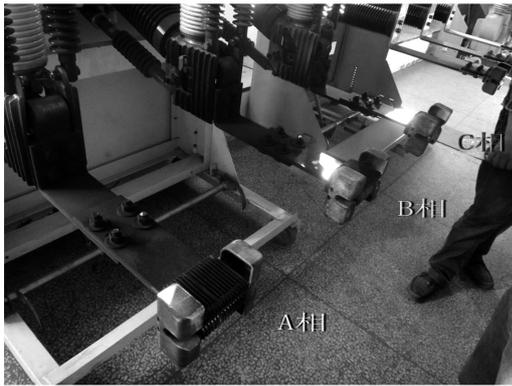


图6 35 kV 分段313断路器手车故障情况

经检查发现35 kV 分段313断路器手车上、下触头三相触头臂间存在相间放电痕迹,手车断路器本体有较大的烟熏、灼伤的痕迹,如图7所示。



图7 35 kV 分段313断路器手车烧蚀情况

根据1号主变压器跳闸时刻故障录波记录波形,21:23:43时变电站35 kV 分段313断路器间隔内,发生B、C相间短路故障,经过65.6 ms发展为A、B、C三相短路故障。

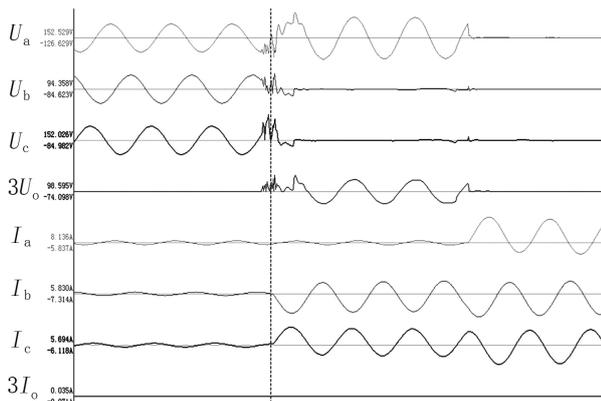


图8 第4次故障1号主变压器保护装置录波

经现场查勘,从现场故障现象来看,该次故障为相间短路,故障现象与录波情况符合。

2 故障分析

以上4次故障地点位于35 kV 侧I母避雷器柜或热备用的35 kV 分段313断路器,故障前35 kV I母出线某蓝线运行、某矾线长期处于冷备用、某马线在热备用。35 kV 某蓝线用户为锻造厂,由于该厂缺少记录装置,无法确定故障时刻该厂准确的工作程序。通过检查运行操作纸质记录,得知第4次故障发生时,该锻造车正在进行钢水的补料作业,精炼炉在运行。由此推测,4次故障均为该厂进作业时引起。

通过对故障近期录波文件的调取,发现35 kV 某蓝线常有电压、电流波动,引起录波启动如图9、图10所示。图9中,保护启动后,电压出现闪动,距保护启动612 ms,C相达到48.89 kV。在第4次故障当天21:00到发生故障前,共出现了3次电压异常波动。根据录波启动数据记载,多次出现35 kV 某蓝线异常波动。

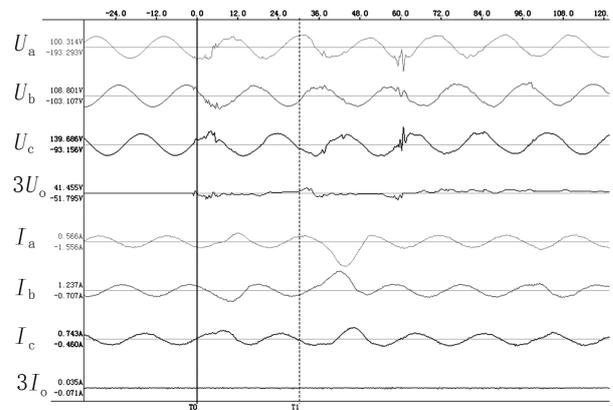


图9 第4次故障录波文件

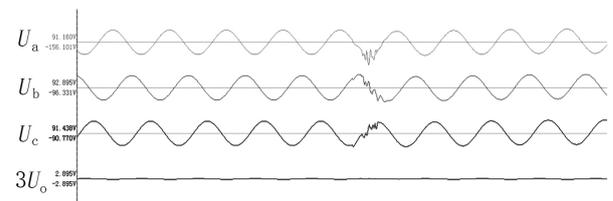


图10 第3次故障录波文件1

在第2次故障前一周内发生了多次35 kV 侧某蓝线间隔内短路,但由于蓝侧保护先切除故障。这两次故障也为相间故障,且故障前出现了较高的过电压,如图11录波。其中B相为-52 kV,C相为70 kV,BC相间已达122 kV,由于录波装置的采集频率有限,存在对波形的采集有缺失,该相间电压可能更高,影响相间绝缘水平。

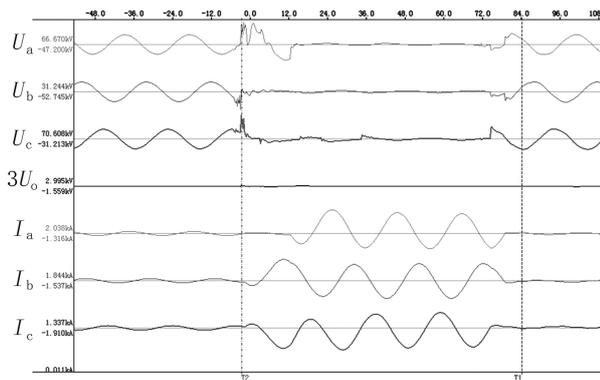


图11 第3次故障录波文件2

在第2次故障发生后,对35 kV I母柜内避雷器更换了计数器,第3、4次故障发生后对避雷器动作情况进行抄录,35 kV I母避雷器计数器动作情况见表1。

表1 避雷器计数器动作情况

抄录时间	A	B	C
初始值	42	0	12
第3次故障后	43	01	12
第4次故障后	45	01	12

35 kV I母避雷器动作,说明避雷器起到了一定的过电压保护作用,但是在避雷器动作的情况下设备仍然在损坏,且故障均为相间故障后发展为三相故障。对于部分特殊负荷,相间过电压不容忽视,据实测数据表明,相间操作过电压最大幅值可达3.7 p.u.。但避雷器仅能保护相对地,缺少相对相之间的保护。当本案例中的锻造厂开展生产时,由于负荷的特殊工作方式,多次发生35 kV侧设备相间击穿,引起设备损坏。

3 治理措施分析

1) 35 kV I母避雷器多次动作,能有效保护相-地的过电压,但是对于相-相间缺少保护措施。针对这种情况,可以采用避雷器或者阻容吸收装置来限制过电压。据了解,用户侧的电弧炉和精炼炉已安装了阻容过电压吸收器,但用户侧和变电站35 kV侧依然出现设备相间击穿,因此建议增加相间避雷器进行保护^[4]。

2) 目前,可以实现相间保护的避雷器有四元件和六元件。

四元件避雷器宜选择四柱式避雷器,而非三柱式,避雷器额定电压为51 kV,其直流参考电压、雷电冲击电流残压满足规程JB/T 10496-2005《交流

三相组合式无间隙金属氧化物避雷器》的要求^[5],具体见表2。

表2 避雷器直流参考电压、雷电冲击电流残压要求

接线方式	陡波冲击 电流残压 (峰值)/kV	雷电冲击 电流残压 (峰值)/kV	操作冲击 电流残压 (峰值)/kV	直流1 mA 参考电压 /kV
相-相	≤170	≤150	≤134	≥84
相-地	≤154	≤134	≤114	≥73

若与被保护设备A、B、C三相高压端连接的元件称为相元件,与地线连接的元件称为地元件,为保证其多次动作容量要求,其容量应满足相元件等效方波冲击耐受不低于400 A,地元件应耐受不低于1200 A等效方波冲击电流,其他试验要求满足GB/11032-2010《交流无间隙金属氧化物避雷器》的要求^[6-7]。

避雷器各元件的4/10 μs大电流冲击耐受按照等效方波后选取,相元件大电流冲击65 kA,地元件100 kA,应耐受4/10 μs大电流冲击试验6次,其他要求满足GB/11032-2010的要求。

未提及试验应满足JB/T 10496-2005和GB/T 11032-2010的要求。

六元件目前尚未有成熟产品,体积较大,若采用六元件,要求对地元件进行各元件电流分布试验,各元件平均参考电流值下的参考电压偏差不得大于参考电压规定值的±1%。

3) 增加的相间保护避雷器必须带有有效的监测装置,分别监测地元件、相元件的动作次数、泄漏电流(或阻性电流)。

4) 对避雷器各元件的动作次数及泄漏电流要定期抄录,一旦出现泄漏电流异常要及时更换,动作次数过多也需要考虑缩短周期更换。

4 结语

1) 大用户作业是引起相间电压升高的直接原因,保护缺失是导致故障扩大、设备损坏的根本原因。

2) 35 kV系统未根据用户特点在一次设备相间过电压防治上采取措施且缺少保护,是导致故障扩大直至引起一次设备损坏的原因。

3) 根据35 kV避雷器动作情况可知,避雷器实现了可靠的相对地保护。对于这类炼钢用户冲击负荷,为防治35 kV系统因相间过电压引起的故障,建议采用四元件或六元件避雷器进行防治。

参考文献

[1] 严玉婷,江健武,钟建灵,等.金属氧化物避雷器事故分析及测试方法的比较研究[J].电瓷避雷器,2011(5):63-69.

[2] 张益民,申萌,罗六寿,等.带外串联间隙线路避雷器续流切断试验探讨[J].电瓷避雷器,2012(6):91-96.

[3] 王光旭,李士庆,谢超,等.交流三相组合式氧化锌避雷器的研究[J].华北电力技术,2011(4):49-54.

[4] 李广军.三相组合式MOA在高功率电弧炉供电系统中的应用[J].电瓷避雷器,2002(4):47-48.

[5] 全国避雷器标准化技术委员会.交流三相组合式无间隙金属氧化物避雷器:JB/T 10496-2005[S].北京:中国标准出版社,2005.

[6] 闫中华.提高MOA阀片4/10大电流冲击耐受能力的研究[J].电瓷避雷器,2000(1):42-46.

[7] 全国避雷器标准化技术委员会.交流无间隙金属氧化物避雷器:GB 11032-2010[S].北京:中国标准出版社,2010.

作者简介:

方欣(1987),硕士,主要从事高电压试验技术、过电压和接地方面的研究工作。(收稿日期:2018-10-18)

(上接第9页)

表3 不同温度控制目标下的各补偿方法情况

单位:万元

控制目标 温度/℃	弃风 率/%	全风电 利润	供热供暖	风电利润	供热成本	供热补偿			用户 原成本	用户 新成本	用户 补偿
						S1	S2	S3			
20	6.0	252.4	1 237.8	180.6	68.0	145.6	36.5	41.5	152.3	164.8	12.5
21	4.5	261.4	1 340.8	183.7	78.3	149.9	39.1	44.5	157.8	170.4	12.6
22	3.2	270.4	1 457.4	186.0	83.3	154.9	42.7	48.5	163.2	176.0	12.8
23	2.2	279.5	1 579.2	187.9	88.5	159.8	46.4	52.7	168.7	181.7	13.0
24	1.4	288.5	1 709.0	189.4	94.1	164.7	50.4	57.2	174.1	187.2	13.1

表4 不同补偿方法效率指数对比

控制目标 温度/℃	S1	S2	S3	S3比S1 提高/%	S3比S2 提高/%
20	0.56	0.62	0.37	33.7	40.5
21	0.59	0.59	0.35	41.6	40.1
22	0.61	0.59	0.33	45.4	43.0
23	0.63	0.59	0.32	48.7	45.1
24	0.64	0.58	0.31	51.8	47.1

参考文献

[1] 舒印彪,张智刚,郭剑波,等.新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J].中国电机工程学报,2017,37(1):1-8.

[2] 范高锋,张楠,梁志锋,等.我国“三北”地区弃风弃光原因分析[J].华北电力技术,2016(12):55-59.

[3] 李明,胡殿刚,周有学.基于“两个替代”战略的甘肃新能源就地消纳模式研究与实践[J].电网技术,2016,40(10):2991-2997.

[4] 孙玲玲.空调负荷聚合建模及其在电力系统中的应用[D].南京:东南大学,2017.

[5] 王恺文,朱全胜,吕泉,等.计及非常规调峰的省级电网调峰形势评估[J].电网技术,2018,42(7):2168-2177.

[6] 葛晓琳,金言,夏澍,等.面向调峰调频需求的风水火电协调优化调度[J/OL].电网技术.https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2018.2042.

[7] 覃琴,郭强,周勤勇,等.国网“十三五”规划电网面临的安全稳定问题及对策[J].中国电力,2015,48(1):25-32.

[8] 孙伟卿,谈一鸣,曾平良,等.考虑电能替代的全球负荷变化趋势分析[J].电网技术,2019,43(2):678-686.

[9] 丁继为.楼宇柔性负荷建模及其调峰组合优化策略研究[D].南京:东南大学,2016.

[10] 李娟,周红莲,周二彪,等.计及风速电锅炉等电采暖负荷相关性的配电网可靠性评估[J].电力自动化设备,2018,38(10):26-31.

[11] 黄亚峰,朱玉杰,穆钢,等.基于温度预报的户用电采暖负荷可调节能力评估[J].电网技术,2018,42(8):2487-2493.

[12] 刘兆霆,袁铁江,李国军,等.新能源电采暖资源与环境价值分析[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(4):177-183.

[14] 李兆坚,江亿,燕达.住宅间歇供暖模拟分析[J].暖通空调,2005,35(8):110-113.

[15] 崔永军,刘兆霆,李渝,等.新能源电采暖电力负荷建模[J].电器与能效管理技术,2016(18):61-66.

[16] 舒畅,钟海旺,夏清.兼顾效率与公平的用电市场竞争机制研究[J].电网技术,2014,38(3):681-686.

作者简介:

樊国伟(1976),本科、高级工程师,研究方向为电力系统调度与新设备管理。

(收稿日期:2019-02-05)