

# 10 kV 线路断线事故的分析

熊昌荣<sup>1</sup>, 严峻<sup>2</sup>

(1 乐山电业局, 四川 乐山 614000; 2 四川电力职业技术学院, 四川 成都 610072)

**摘要:**介绍了一条 10 kV 城区线路, 由于设计不合理, 线路 T 接点在高温、高热、重负荷的情况下发生断裂。描述了故障发生前的现象以及事故抢修人员、运行人员对事故处理的情况, 并对引起故障的原因进行了综合分析, 以及为防止此类事故重复发生而应采取的措施。

**关键词:**设计; 断线; 分析; 措施

**Abstract:** The breakage of a 10 kV urban line at the T joint point in the circumstance of high temperature and heavy load is introduced because of the unreasonable design. The reasons of the breakage are analyzed and the measures are proposed to prevent this kind of breakage through the descriptions of the phenomena before the failure and the disposal of the breakage by the emergency crew and operators.

**Key words:** design; wire breakage; analysis; measure

**中图分类号:** TM755 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)06-0016-04

## 1 故障现象与经过

2006 年的中国大陆经受了 55 年来最热的夏天, 全年气温创下了 55 年来的最高纪录, 四川盆地橙色高温警报多次发出, 电力系统经历着高温、高热和高负荷的严峻考验。

2006 年 6 月 5 日 12 时 20 分, 运行中的 10 kV XX II 回 A 相导线在空中的 T 接点断裂后往下滑落, 断线点为 31 号杆至供电局支线“T”接处, 断落处刚好在一宾馆大门口, 断落在地面的高压线严重威胁着大街行人和来往车辆的安全。

高压线路在断线过程中, 由于发现及时, 处理预案及处理措施得当, 抢险行动迅速, 有效防止了行人的触电危险, 使万分危险的事故现场秩序迅速得以控制, 最终化险为夷, 确保了行人的人身安全。

事故发生后, 乐山电业局及时更改了线路接线, 并将相关电力负荷进行了调整, 宾馆十字路口的安全隐患从此消失。

## 2 事故原因分析

该 10 kV 线路建于 1998 年初, 导线型号 JKLYJ-240, 线路全长 3.30 km。由于历史原因, 设计方案

不合理。在设计建设时, 线路主干线采用在空中“T”接方式连接分配负荷, 该线路最大负荷可达 470 A, 输送容量可达 8 000 kW h 以上, 而 90% 负荷均通过“T”接点分配。连接点对地距离 15 M, 且位于城市公路的十字路口中央。

由于 T 接点悬至空中 (该连接处从线路投入运行到事故发生已运行 8 年), 由于线路检修时无专用登高设备, 检修人员就放弃了此点的检查, 为线路的安全运行埋下了隐患。

10 kV XX II 回供电网络接线图见图 1。

2006 年的 6 月, 由于高温高热负荷猛增的原因, 电力负荷攀高不下, 该线路“T”接点长期通过较大负荷电流, 承受着高温高热和严重过载的考验。从线路断线后的残骸可以看出, 线路“T”接点在强大电流作用下, 导线及导线连接金具严重发热膨胀——连接处松动——接触不良——接触面放电——温度升高——恶性循环——导线绝缘碳化开裂——导线机械强度下降——断线 (见图 2)。

A 相断裂后, 由于绝缘层的作用, 导线导电部分并未与大地接触, 而是悬于地面约 10 mm, 见图 3。

电力系统中多发故障是短路或接地, 称横向故障。同时, 还可能发生断线故障, 也称纵向故障。单相断线或两相断线是纵向故障主要表现形式, 又称为非全相运行。在电力系统中非全相运行时, 会产生零

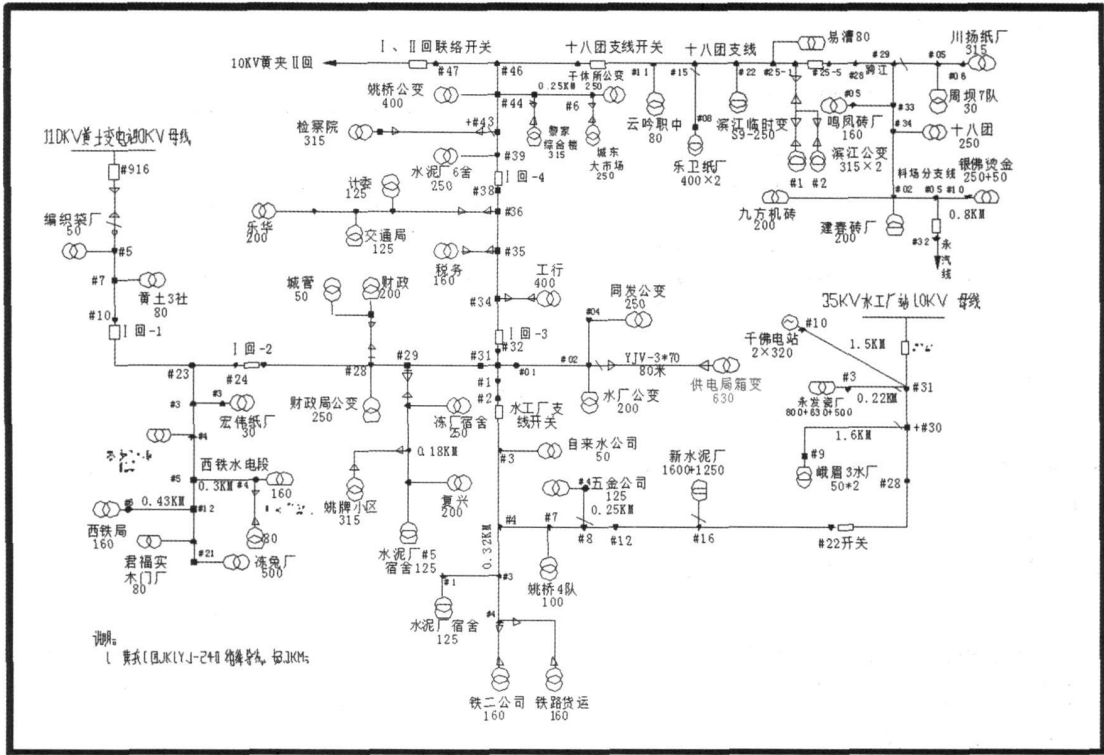


图 1 10 kV XX回线网络接线图

序和负序分量的电流,众所周知,负序电流对运行中的发电机转子有较大危害,零序电流对电力线路附近的通讯线路有较大干扰,有时还容易引起继电保护装置的误动等。如果系统中某处发生一相断线,将会引起三相线路中流通的电流不对称和三相断口两端之间的电压不对称,故称为纵向故障见图 4(a)所示。故障处线路中流通的三相不对称电流和断口两端的三相电压可以分解成各序分量如图 4(b)所示。

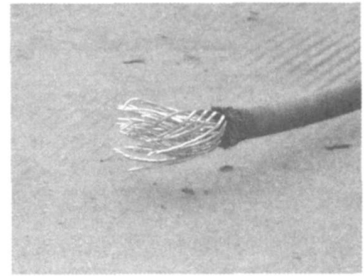


图 3 线路断裂后悬空

故障点之外电力系统其他地方的参数仍然是三相对称的,根据断线处可以作出正序、负序和零序的网络(见图 5)。

从图 5 的序网图中可列出故障点的电压平衡方程为

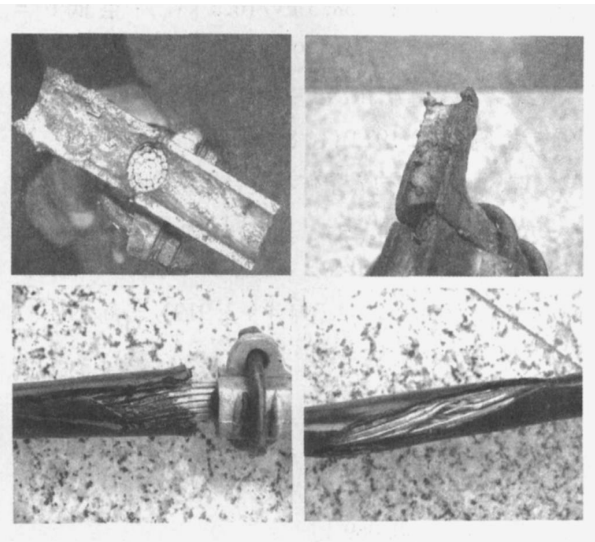
$$\left. \begin{aligned} U_{qk|0} - U_1 &= Z_1 I_1 \\ 0 - U_2 &= Z_2 I_2 \\ 0 - U_0 &= Z_0 I_0 \end{aligned} \right\}$$

$U_{qk|0}$  为  $qk$  间断开时电源作用下  $qk$  两点间电压;  
 $Z_1, Z_2, Z_0$  分别为正序、负序、零序网络从断口  $qk$  看进去的等值阻抗(正序电压源)

本案例现场为 A 相断线,在图 4(a)中,由图可得知故障处的边界条件为

$$I_a = 0, U_b = U_c = 0$$

图 2 线路 T 接点断裂后残骸



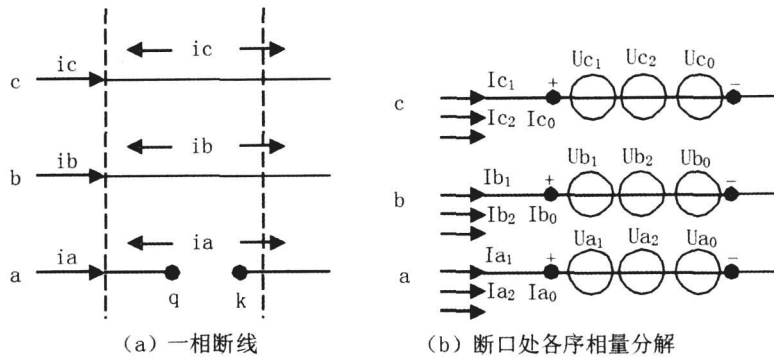


图 4 非全相运行示意图

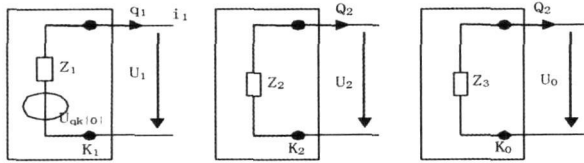


图 5 非全相运行的各序网络示意图

相应的各序分量的边界条件为

$$I_1 + I_2 + I_0 = 0, U_1 = U_2 = U_0$$

故障处电流是流过断线线路上的电流,故障处的电压是断口间的电压,即复合序网为断口间的并联。其各序电流分量为

$$I_1 = \frac{U_{qk|0|}}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}}, I_2 = -I_1 \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0}, I_0 = -I_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0}$$

按叠加原理,可把断线处看作是突然叠加一个负电流源,将断线故障分解为正常运行方式和只在故障点有一个不对称电流源的故障网络,则故障分量的计算分析就简单化了,如图 6。

由图 6 可见,故障分量的边界条件为

$$\Delta I_1 = -I_{qk|0|}, U_b = U_c = 0$$

转换为各序分量为

$$\Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_0 = -I_{qk|0|}, U_1 = U_2 = U_0$$

按此边界条件作出复合序网如图 7,求得各序故障分量的电流为

$$\Delta I_1 = -I_{qk|0|} \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_0}} \times \frac{1}{Z_1}$$

$$I_1 = \frac{1 \cdot 1}{j(5.6165 + 5.6165 \times 6.7127 / 5.6165 + 6.7127)} = -j0.127$$

$$I_2 = -\frac{6.7127}{6.7127 + 5.6165} \times (-j0.127) = j0.0691$$

$$I_0 = -\frac{5.6165}{6.7127 + 5.6165} \times (-j0.127) = j0.0579$$

$$\Delta I_2 = -I_{qk|0|} \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_0}} \times \frac{1}{Z_2}$$

$$\Delta I_0 = -I_{qk|0|} \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_0}} \times \frac{1}{Z_0}$$

如果在正序分量中加入正常运行分量后,线路上电流的各序分量就为

$$I_1 = \Delta I_1 + I_{qk|0|}, I_2 = \Delta I_2, I_0 = \Delta I_0$$

而断口各序电压分量为

$$U_1 = U_2 = U_0 = I_{qk|0|} \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_0}}$$

2006 年,该局调度中心下达对系统归算至 110 kV XX 变电站 10 kV 母线线路阻抗标么值最大运行方式为  $X_{*am} = 0.4003$ ; 最小运行方式为  $X_{*am} = 0.7907$ ;

110 kV XX 站主变压器容量为 31500 kVA, 额定电压为 110 kV/38.5 kV/10.5 kV, 高至低  $U_k = 18.00\%$ 、高至中  $U_k = 9.99\%$ 、中至低  $U_k = 6.45\%$ , 10 kV 线路导线型号 JKLYJ-240, 长度 3.3 km, 线路阻抗标么值  $X = 1.1972$ (图 8)。

根据断线的边界条件和复合序网图 9 所示,断口电压为  $U_{qk|0|} = E'' = 1.1$ 。序网各序阻抗为

$$Z_1 = Z_2 = j(0.1 + 0.4003 + 1.1972 + 3.919) = j5.6165$$

$$Z_0 = j(0.4003 + 2.3944 + 3.919) = j6.7127$$

故障处各序电流为

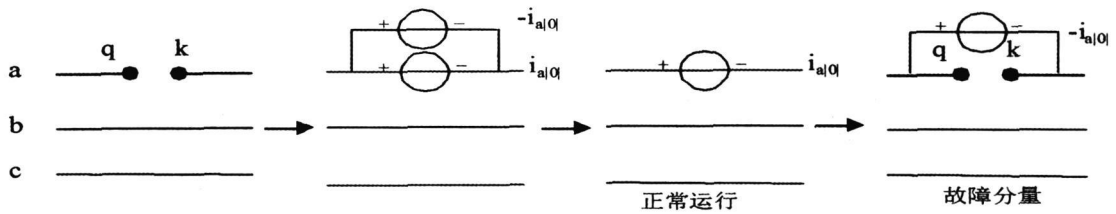


图 6 一相断线运行分析的叠加原理图

线路 b、c 相电流为

$$I_b = a^2(-j0.127) + a(j0.0691) + j0.0579 = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(-j0.127) + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(j0.0691) + j0.0579 = -0.169822 + j0.08685 = 0.19 \angle -27^\circ$$

$$I_c = a(-j0.127) + a^2(j0.0691) + j0.0579 = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(-j0.127) + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(j0.0691) + j0.0579 = -0.050142 + j0.15595 = 0.16 \angle -72^\circ$$

断口三序电压为

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 = \dot{U}_3 = -j0.0691 \times \sqrt{3} \times 6.165 = 0.3881$$

a 相断口电压为

$$\dot{U}_1 = 3\dot{U}_1 = 3 \times 0.3881 = 1.16$$

从此次断线事故,没有造成人身伤害和设备损坏,但在人口骤密的十字路口之交通要道,教训却值得深思。

### 3 防范措施

(1) 电网安全关系到社会稳定和千家万户,必须杜绝由于人员责任原因、设备问题和外部因素造成的人身、电网、设备事故,确保不发生重特大人身死亡事故、重特大电网事故和设备事故,确保不发生对社会严重影响的停电事故和人身伤亡事故,保证电网安全稳定运行,保证电力有序供应;

(2) 电网坚强是电力安全的基础,必须加强电力设施的设计管理和规范工作,严格设计程序和设计资质的审查,设计不合理、有安全隐患的图纸不与审批和施工。电网薄弱,设备老化,负载过重等对电力安全造成极大的安全隐患;

(3) 工程验收必须严格执行相关电压等级的线路或电气设备的验收规范,对有隐患的线路和设备及时发出整改通知限期整改,不符合验收规范者不得验收投运;

(4) 健全电网应急处理机制和应急措施且必须有针对性;电网必须坚持统一规划、统一调度和统一管理,坚持电网、电源、用电负荷协调发展。

针对夏季高温和重负荷等特点,对重要设备、长期重载设备以及老旧设备,应制定过载、过温运行的相关技术规定,确保输变电设备在出现过载、过温运行情况下的安全。同时,加强对输变电设备在恶劣气候和重要保电时期的特巡工作,切实做好防雷、防雨、防火、防污闪等工作。有针对性开展重载、大档距、交叉跨越线路导线弧垂和交叉跨越距离的检测和线路走廊的清理。

当前特别要加强对事故率较高的线路及线路连接点和绝缘子等设备的监督、检查,对重要线路的设计、施工和验收必须严格执行规程规范。同时,对线路的安装施工除严格施工工艺外,还应定期开展红外线测温,在年检预试时,对线路连接部分的夹具、螺栓等应进行紧固检查。

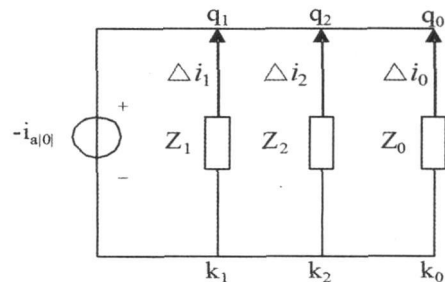


图 7 一相断线故障分量的复合序网

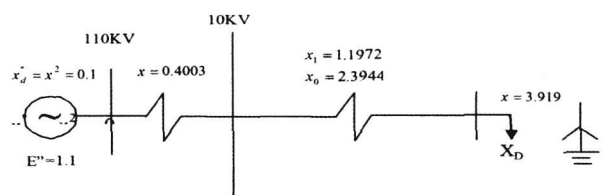


图 8 系统阻抗图

(下转第 66 页)

控制吸收塔 pH 值高于 5, 在喷淋量的保证下, 保证脱硫效率。

### 4 脱硫系统特殊运行方式效果检查

采取以上措施后, 于 2008 年 6 月 28 日实现了首台机组正式恢复发电。进入烟囱的净烟气温度的控制在 50℃ 以下, 净烟气烟道凝结水量增加, 烟囱下凝结水量较小, 凝结水 pH 值大于 2。环境保护指标满足要求。具体指标如表 2。

表 2 脱硫系统特殊运行方式下的实际参数

序号	参数名称	实际参数
1	原烟气含尘量 /mg/m <sup>3</sup>	≤ 200
2	浆液 pH 值	5.1~5.6
3	浆液密度 /kg/L	1.10~1.20
4	吸收塔浆液高度 /m	14.5~16.5
5	原烟气温度 /℃	130~150
6	烟气换热器出口温度 /℃	48~51
7	烟囱入口烟气温度 /℃	46~49
8	烟气凝结水 pH 值	2.2~2.8
9	净烟气 SO <sub>2</sub> 浓度 /mg/m <sup>3</sup>	≤ 1000
10	脱硫效率 /%	≥ 95
11	净烟气颗粒物浓度 /mg/m <sup>3</sup>	≤ 50

2008 年 10 月 8 日完成了 FGD 通过 4×50 MW 机组烟囱排放, 满足了冬季机组发电的需要, 同时为 330 MW 机组烟囱的修复创造了条件。在脱硫系统采用特殊运行方式三个月后, 对受损烟囱内部进行腐蚀等检查, 未见特别的异常现象。

2009 年 5 月, 受损烟囱修复, 脱硫系统恢复正常运行方式, 至此, 机组彻底恢复。

### 5 结 论

巴蜀江油发电厂 240 m 烟囱地震受损后, 经过计算和调研论证, 根据湿法脱硫工艺原理, 采取脱硫特殊运行方式成功解决了通过受损烟囱的临时排烟问题。受损烟囱未见明显腐蚀和新增裂纹。在不影响机组发电的情况下, 为受损烟囱修复创造了条件。在整个过程中, 烟气中 SO<sub>2</sub> 排放量达到国家环保相关要求。为巴蜀江油发电厂及全川灾后恢复生产重建家园作出了应有的贡献。

(收稿日期: 2009-08-12)

(上接第 19 页)

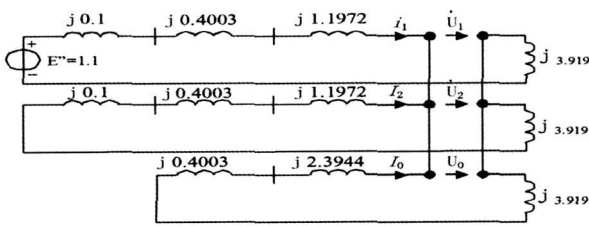


图 9 复合序网

### 4 总 结

近几年来, 随着城市的发展及沿海企业和高耗能企业在内地的投入加大, 使电力负荷几创新高, 而气温突变, 高温高热又将导致电力负荷继续攀高。电力线路及电力设施在严重过载情况下, 将造成导线发热

和机械强度的降低, 导线的连接处在过热情况下接触面产生膨胀引起金具螺栓松动, 严重时就会造成断线、倒杆甚至人身伤亡事故, 该 10 kV XX II 回 31 号杆断线事故就是一个典型案例。因此, 电力线路在设计时应考虑城市的发展和电力负荷的增长裕度及线路的过载能力。同时, 线路设计时尽可能避免空中 T 接, 避免检修不便留下死角而埋下事故隐患。在调度运行方面应该根据实际情况, 结合系统的运行方式, 分别采取措施合理分配负荷, 以达到预期的目的。

### 参考资料

[1] 张伟. 电力系统分析 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.

(收稿日期: 2009-10-15)