

# 清换线 C 相故障保护动作分析

张德泉<sup>1</sup>, 张一龙<sup>2</sup>, 柳焕章<sup>1</sup>, 陈祥文<sup>1</sup>, 于文峰<sup>3</sup>

(1. 华中电力调度通信局, 湖北 武汉 430077; 2. 深圳市建筑机械动力公司, 深圳 518041;

3. 湖北电力试验研究所, 湖北 武汉 430077)

**摘要:** 1999.7.25 清换线连续二次发生 C 相瞬时接地故障, 清江侧 LZ-96 高频保护均未动作出口, RAZFE 保护切除故障时间较长。对其动作行为进行了分析。

中图分类号: TM711

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2000)10-0055-03

## 1 事故简述

1999年7月25日22:23:02, 宜昌、清江地区雷雨天气, 清换线 C 相接地故障, 78ms 换流站 5061、5063 断路器 C 相跳闸, 128ms 清江电厂侧清 5051 断路器 C 相跳闸, 经 0.8s, 两侧重合成功。

14s 后, 22:23:16 清换线 C 相再次发生故障, 65ms 葛洲坝换流站侧 5061、5063 三相跳闸。120ms 清江电厂侧清 5051 三相跳闸。因两次故障间隔只有 14s, 第二次故障时, 重合闸被闭锁, 开关直接三相跳闸。

## 2 事故前运行方式

全网 500kV 输变电设备均在运行, 葛洲坝电厂 21 台机运行, 葛洲坝—上海直流极、极 两极运行, 送华东 460MW, 清江电厂 4 台机组运行, 其中 #3、4 机出力 480MW, 通过清换线接入华中 500kV 系统, #1、2 机接入 220kV 系统。500kV 系统接线如图 1 所示。

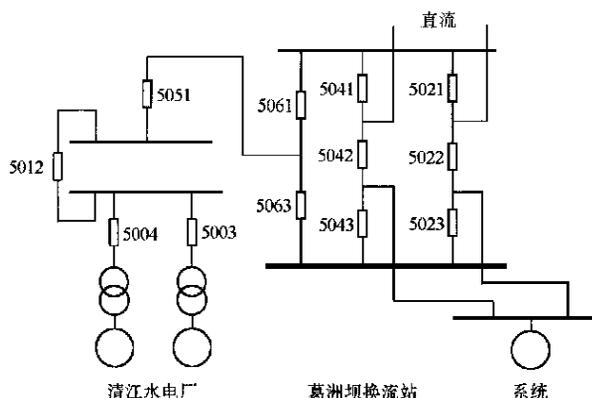


图 1 事故前系统接线图

## 3 事故分析

### 3.1 保护及载波机动作情况

葛洲坝换流站、清江电厂两侧的保护动作情况为: 换流站侧 RAZFE、LZ-96 保护动作出口; 清江侧 RAZFE 动作出口, LZ-96 未动作出口, 且无任何掉牌信号。保护动作信号如表 1 所示。

表 1 保护动作信号

保护型号	换流站	清江
RAZFE	Z <sub>1</sub> 、Z <sub>2</sub> 、U、TN	Z <sub>2</sub> 、U、TN
LZ-96	D、H、T	未动作、无信号

根据两侧载波机计数器动作记录和故障录波器接入开关量动作情况, 先后两次故障收发信情况完全一致, 如表 2 所示。

表 2 载波机收发信情况

保护型号	换流站		清江	
	TX	RX	TX	RX
RAZFE	1	0	0	1
LZ-96	1	1	1	1

综上所述, 此次事故存在二个问题

(1)、清江侧 LZ-96 在两次故障中均未动作出口, 亦无任何掉牌信号。

(2)、两次故障中, 故障切除时间过长。华中网 500kV 系统线路故障典型切除时间为 50~70ms, 超过 70ms 切除故障的事故只有两次: 一、清换线单相故障, 换流站侧 88ms 切除故障; 二、清江电厂 500kV 母线单相故障, 80ms 切除故障。

### 3.2 保护动作情况分析

事故发生后, 有关单位对保护装置的定值、回路及载波机收发信情况进行了检查测试、分析, 保护装置、载波机工作正常。

根据葛洲坝换流站、清江电厂两侧故障录波数据, 可分别计算出两侧的测量阻抗。C 相故障, 各侧保护所感受到的阻抗亦即保护装置的测量阻抗为:

$$Z = \frac{U_C}{(1+k)I_C} \quad (1)$$

换流站侧录波数据为：

$$I_C = 7026 \quad 0^\circ \text{ A}$$

$$V_C = 212.4 \quad 24.87^\circ \text{ kV}$$

换流站侧的感受阻抗为：

$$Z = \frac{U_C}{(1+k)I_C} = 15.3 \quad 24.87^\circ \\ = 13.88 + j6.34 (\quad)$$

从清江电厂的故障录波图可以看出,从故障开始到换流站侧跳闸,直至本侧跳闸,故障电压由高降低,故障电流由小变大,反映出接地电阻及换流站侧零序电流助增对清江侧距离保护测量阻抗的直接影响。清江电厂故障录波数据如表 3 所示：

表 3 清江电厂故障录波数据

状态量	换流站跳闸前	换流站跳闸后
U(kV)	172.2 $8^\circ$	70.2 $24^\circ$
I(A)	2040	2186

换流站跳闸前,清江侧的感受阻抗为：

$$Z = \frac{U_C}{(1+k)I_C} = 42.2 \quad 8^\circ = 41.99 + j5.87 (\quad)$$

换流站跳闸后,清江侧的感受阻抗为：

$$Z = \frac{U_C}{(1+k)I_C} = 16.06 \quad 24^\circ = 14.67 + j6.53 (\quad)$$

### 3.2.1 LZ-96 保护拒动原因分析

清换线配有两套高频距离保护,ABB 生产的 LZ-96 和 RAFZE。其中 LZ-96 (5045) 采用超范围允许式 (POTT),距离 段上通道,正向起动元件采用半圆半透特性,、象限的积分角分别为  $90^\circ$  和  $130^\circ$ ,由于起动元件能可靠地躲过负荷阻抗,取消了附件 ZA91;测量元件由电阻附加元件的四边形特性与标准单相测量元件的圆特性构成。清江侧 LZ-96 的有关定值如表 4 所示,起动元件和测量元件的特性如图 2 所示。

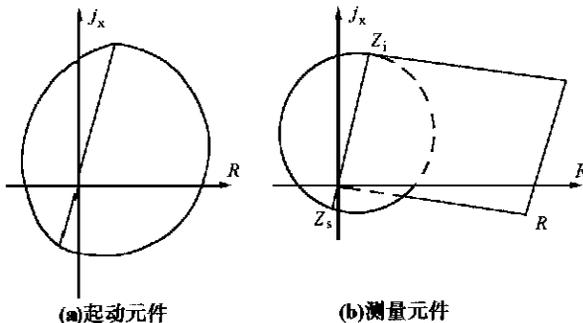


图 2 LZ-96 起动元件和测量元件的特性

根据 LZ-96 的动作特性及对应的整定值,LZ-96 起动元件一象限圆特性的动作边界方程为：

$$(R - 0.937)^2 + (X - 10.255)^2 = 13.145^2 \quad (2)$$

表 4 清江侧 LZ-96 保护有关定值

项目	清测定值
高频段 Z	15.625
正向起动	23.9
R(负荷阻抗)	250
B(反向偏移)	10%

比较故障开始至换流站侧跳闸前清江电厂的感受测量阻抗和 LZ-96 起动元件动作方程可知:当  $X = 5.87$  时,其电阻量应小于  $R = 13.43$ ,起动元件方可起动。而实际感受阻抗  $Z = 41.99 + j5.87$ ,电抗部分小于起动元件定值,电阻部分大于起动元件定值,显然起动元件不能起动。此时即使测量元件能够动作,保护亦不能出口。

对侧换流站跳闸后,流入故障接地点接地电阻的零序电流大为减少,清江侧故障电压随之降低,故障电流随之增大,其感受阻抗比换流站跳闸前相应减小,  $Z = 14.99 + j6.53$ 。根据起动元件动作边界方程(2)可知: $X = 6.53$  时,其电阻分量应小于  $R = 13.54$ ,起动元件方可起动。而实际感受阻抗电阻分量  $R = 14.67$ ,接地电阻超出起动元件的定值范围,感受阻抗落在起动元件范围以外,LZ-96 不能起动,更不能出口。

LZ-96 保护在故障过程中,接地电阻偏大,其起动元件一直不能动作,是导致 LZ-96 不能动作出口的直接原因,且两次原因相同。

清江侧 LZ-96 未动作出口,亦未起动,但两次故障过程中,清江侧 LZ-96 对应的载波机各收发信一次。原因为清江侧弱电跳闸回路虽被取消,但保留了弱电回授回路。弱电转发跳闸允许命令的逻辑为:正、反向元件均不动作,且收到对侧允许信号后,转发跳闸允许命令至对侧。实际情况为:清江侧 LZ-96 保护正、反向元件均未动作,且收到了对侧的跳闸允许信号。符合弱电转发的条件。因此清江侧 LZ-96 对应的载波机在两次故障过程中各收发信一次。

表 5 清江侧 RAFZE 保护有关定值

项目	Z	Z	Rb
定值	8.325	15.625	80

### 3.2.2 RAFZE 保护动作时间较长原因分析

另一套保护为 RAFZE,采用欠范围允许式 (PUTT),距离 段上通道,加速 段。起动元件与距离 段定值相同,清换线清侧 RAFZE 保护有关定

值如表5所示,其阻抗动作特性如图3所示。

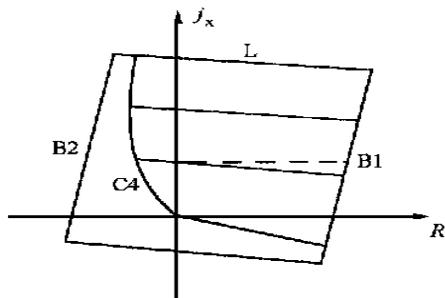


图3 RAZFE阻抗动作特性

清江电厂侧故障切除时间较长,达128ms。从故障开始至对侧换流站跳闸之前,清江侧RAZFE保护的感受阻抗  $Z = 41.78 + j5.87$ ,其欠范围高频段的定值  $X = 8.325$ ,RAZFE的电抗线  $L1$  向下倾斜  $6^\circ$ ,当感受阻抗的电阻  $R = 41.78$ 时, $X$  的动作值应为:

$$X = 8.325 - R \cdot \operatorname{tg}6^\circ = 3.93$$

而测量阻抗  $Z = 41.99 + j5.87$ ,落在动作区外,RAZFE欠范围段不能动作出口(且在换流站侧跳闸前,清江侧故障电压谐波分量较多,影响RAZFE保护的正常比相)。

清侧RAZFE保护的段阻抗定值  $X = 15.625$ ,因感受的过渡电阻较大,对应  $R = 41.99$ , $X$  的动作值:

$$X = 15.625 - R \cdot \operatorname{tg}6^\circ = 11.21$$

比较其测量阻抗  $Z = 41.99 + j5.87$ ,测量阻抗落在RAZFE保护距离段范围内。该保护为收信加速段,而故障点落在换流站侧欠范围段动作区内,换流站欠范围动作后,在发出跳闸命令的同时,将给清江侧发出跳闸允许信号。清江侧在距离段测量元件处于动作的条件下,收到对侧跳闸允许信号后,应动作出口发出跳闸命令,较换流站慢一通道延时( $t < 15\text{ms}$ )跳闸切除故障。但据故障录波图可知,清江侧并未在收到对侧跳闸允许信号立即跳

闸,而是在换流站跳闸50ms后,才跳闸将故障切除。

换流站侧跳闸后,清江侧的感受阻抗为  $Z = 14.99 + j6.53$ ,比较RAZFE定值测量阻抗落在RAZFE的动作区内。

由于谐波分量的影响,清江侧RAZFE距离段测量元件在换流站跳闸前并未真正动作,而是在等到对侧跳闸后才开始动作。而收到的跳闸允许信号具有一定的收信展宽时间(40ms),RAZFE保护段测量元件动作后,收到的对侧跳闸允许信号仍然存在,此时RAZFE收信加速段,动作出口发出跳闸命令,切除故障。从跳闸时间顺序分析,对侧跳闸后清江侧重新开始测量,20ms左右测量元件动作,加收信出口,断路器30ms左右息弧,比对侧晚50ms跳闸。导致清江侧128ms才将故障切除。

#### 4 结论

清换线连续二次发生C相瞬时接地故障,清江电厂LZ-96高频保护拒动,系接地电阻偏大所致;清江电厂切除故障长达128ms,系两侧RAZFE高频距离保护相继动作,对侧助增消除后切除故障。

阻抗元件采用四边形特性比采用圆特性具有较强的耐过渡电阻能力。

清换线线路走廊地处山区,岩石较多,故障接地电阻较大。实践证明,线路保护选择两套距离保护不能有效切除高阻接地故障。建议增设一套能反应耐过渡电阻能力较强的零序电流保护,避免因过渡电阻较大、距离保护拒动情况的再次发生。

#### 参考文献:

- [1] 蒋福林. LZ-96型距离保护装置原理与改进. 1998.

收稿日期: 2000-04-05

作者简介: 张德泉(1964-),男,硕士,高级工程师,从事继电保护工作; 张一龙(1965-),男,硕士,工程师,从事管理工作; 柳焕章(1954-),男,高级工程师,从事继电保护工作。

#### The analysis of operating performance of protective relay during single-phase fault in line Qing-Huan

ZHANG De-quan<sup>1</sup>, ZHANG Yi-long<sup>2</sup>, LIU Huan-zhang<sup>1</sup>, CHEN Xiang-wen<sup>1</sup>, YU Wen-feng<sup>3</sup>

(1. Central China Electric Power Dispatching & Communication Bureau, Wuhan, 430077, China;

2. Shenzhen Architectural Machine Power Co., Shenzhen, 518041, China;

3. Hubei Institute of Electric Test & Research, Wuhan, 430077, China)

**Abstract:** Protective relay LZ96 didn't operate and type RAZFE relay cleared fault slowly in 2 events of single-phase transient faults happened successively in transmission line from Qingjiang River Hydropower Plant to Gezhouba Commutation Station. Operating performances of protective relay LZ96 and RAZFE are analyzed in this paper.