

# 区外故障引起距离保护跳闸的故障分析

张庆霞<sup>1</sup>, 李永君<sup>2</sup>, 阚宝仓<sup>1</sup>

(1.大庆石油管理局电力总公司供电公司生产技术部,黑龙江 大庆 163453;  
2.大庆石油管理局电力总公司电力调度中心,黑龙江 大庆 163453)

**摘要:** 针对大庆局先锋变差动保护范围内发生的短路故障引起下一级110 kV变电站双回线距离保护动作的事故,从三方面动作疑点进行了分析。

**关键词:** 故障跳闸; 电动机; 功率反送; 距离保护; 故障判相

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2003)S0-0017-04

## 1 故障发生及保护装置动作疑点

2001年5月1日13:26,卧龙一次变上一级变电所先锋变2号主变110 kV侧套管与110 kV开关间发生A相接地故障,先锋2号主变差动保护动作,同时卧龙一次变电所110 kV锋龙甲、乙线接地距离I段保护均动作,开关均跳闸,重合闸动作均成功。通过故障现场反馈信息及保护动作情况分析保护装置存在以下三个疑点:

(1) 对侧先锋变2号主变110 kV侧套管与110 kV开关间的故障(差动保护范围内),属卧龙变保护区外故障,为什么卧龙变距离I段保护动作?

(2) 故障点在对侧先锋变2号主变110 kV侧,对应卧龙变为110 kV II段,为什么锋龙甲线距离I段保护方向元件会动作?

(3) 见图1,我侧系统为主变中性点不接地系统,对侧发生A相接地同时AB相间短路,为什么我侧是接地距离动作,而不是相间距离动作?

## 2 系统运行方式

先锋变主变中性点接地,110 kV I、II段并列运行。卧龙变主变中性点不接地,110 kV 锋龙甲、乙线受电;110 kV I、II段母线,1、2号主变,35 kV I、II段母线并列运行;10 kV I、II段母线分列运行。龙河变为110 kV单回线锋河乙线带1、2号主变运行,系统接线方式见图1。

## 3 事故调查

### 3.1 故障波形分析

5月1日13:26,故障发生时锋龙甲、乙线,1、2号主变均启动录波,波形分析如下:

(1) 锋龙甲、乙线电流、电压波形分析

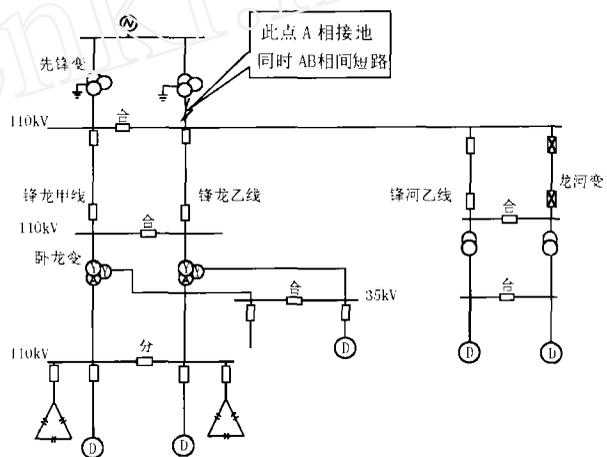


图1 系统接线及故障点图

Fig.1 System connection and fault points

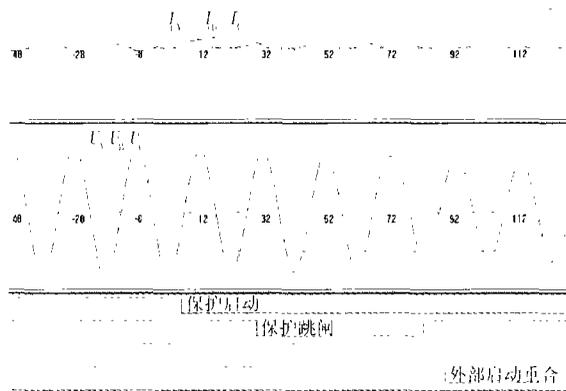


图2 锋龙乙线故障跳闸时波形

Fig.2 Waveform of feng long yi line at fault trip

锋龙乙线波形显示如图2:锋龙乙线A相电流由负荷电流0.607 A增加至2.3486 A, A相电压由正常负荷时84.037 V降为3.2319 V, B相电流由负荷电流0.606 A增加至2.0803 A, B相电压由正常负荷时84.0985 V降为82.5295 V, A、B两相间电流相位由正常负荷时的121°相角差变成192°相角差(说明A、

B相电流反相),C相变化较小;故障电流持续70ms(三个半周波)开关跳开,后经3.571s重合闸动作开关重合(以上分析电流、电压值均为峰值)。

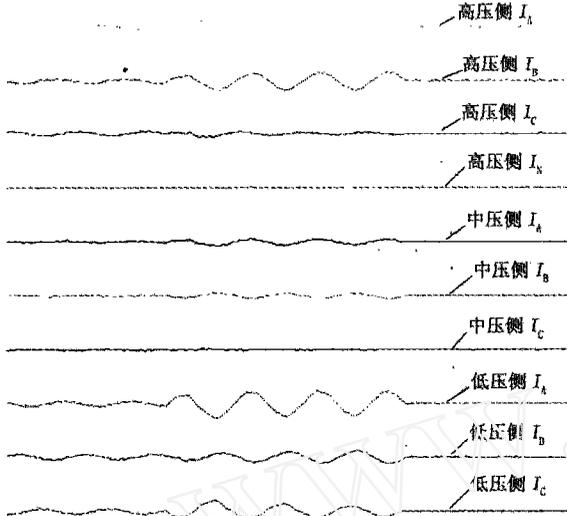


图3 1号主变三侧故障跳闸时电流波形  
Fig.3 Current waveform on three sides of main transformer at fault trip

锋龙甲线波形显示:A、B、C相电流电压波形走势及幅值与锋龙乙线完全一致,故障前后相位与锋龙乙线基本相同。

由此说明先锋变发生AB相间短路,一次短路电流为  $2.3486/\sqrt{2} \times 300/5 = 99.6A$ ,同时A相接地。

(2) 1、2号主变三侧电流波形分析

1、2号主变高、中、低三侧A、B、C三相电流波形走势完全一致,如图3所示1号主变高、中两侧在故障时A、B相电流均有增加,且相位相反,因低压侧装置内部采用角形接线,所以低压侧三相电流均有增加。

(3) 跳闸后110kV电压波形趋势分析

波形显示在开关跳闸后(见图4),110kV三相电压均存在,A相电压回升,A、B、C三相电压到重合闸重合前呈衰减趋势,由此说明卧龙一次变带的负荷中有电动机(后确认35kV卧龙一线带的龙一联低压侧带有高压电动机,卧龙变10kV线路中带有许多小功率电动机)。

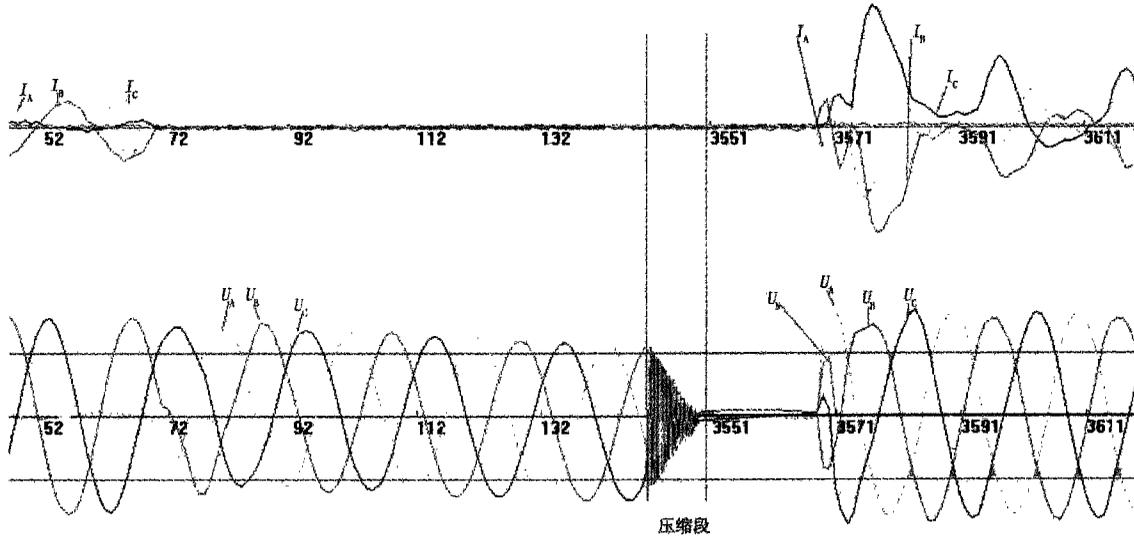


图4 跳闸后及重合时锋龙乙线电流、电压波形

Fig.4 Current and voltage waveform of feng long yi line after trip and in reclosing

(4) 故障前后功率分析

对锋龙甲、乙线波形进行故障前、后的相位、功率分析(电流在录波启动0ms时相位变化较复杂,待故障波形稳定后,前后相位对比,电流方向发生变化,这里分别取故障前、后电流、电压相位进行分析,见表1及图5、图6所示相位分析图。

表1 故障前后电流、电压相位

Tab.1 Current and voltage phase angle before and after fault

|     |       | $I_A$ | $I_B$ | $I_C$ | $U_A$ | $U_B$ | $U_C$ |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 故障前 | 幅值(值) | 0.6A  | 0.6A  | 0.6A  | 84V   | 84V   | 84V   |
|     | 相位    | 260°  | 139°  | 20°   | 101°  | 341°  | 221°  |
| 故障时 | 幅值(峰) | 2.35A | 2.08A | 0.46A | 3.23V | 82.5V | 79V   |
|     | 相位    | 279°  | 87°   | 158°  | 325°  | 250°  | 131°  |

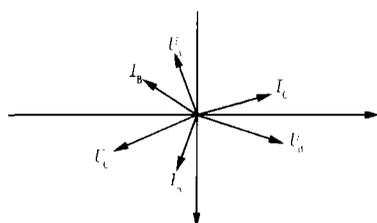


图5 故障前电流、电压相位图

Fig.5 Pre-fault current and voltage phase angle

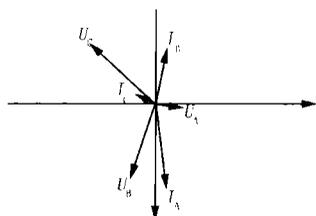


图6 故障时故障电流、电压相位图

Current and voltage phase angle at fault

由表1分别对故障前后进行相位分析,如图5、图6相位分析图,以非故障C相进行故障前后功率比较,参见如下功率计算:

$$\begin{aligned} \text{故障前: } P_{C\text{有效}} &= 0.5 * U_{C\text{峰}} * I_{C\text{峰}} \angle \Phi \\ &= 0.5 * 84 * 0.6 * [\cos(221^\circ - 20^\circ) + \\ &\quad \text{isin}(221^\circ - 20^\circ)] \\ &= 25.2(\cos 201^\circ + \text{isin} 201^\circ) = -(23.53 \\ &\quad + i9.03) = P_{\text{有功}} + Q_{\text{无功}} \end{aligned}$$

以上计算说明故障前,C相功率为受有功,受无功。

$$\begin{aligned} \text{故障后: } P_{C\text{有效}} &= 0.5 * U_{C\text{峰}} * I_{C\text{峰}} \angle \Phi \\ &= 0.5 * 79 * 0.46 * [\cos(158^\circ - 131^\circ) + \\ &\quad \text{isin}(158^\circ - 131^\circ)] \\ &= 18.17(\cos 27^\circ + \text{isin} 27^\circ) = 16.19 + i8.25 \\ &= P_{\text{有功}} + Q_{\text{无功}} \end{aligned}$$

以上计算说明故障后,C相功率为送有功,送无功。

通过以上功率计算可知:故障前锋龙甲、乙线接受功率,为受电侧,故障后锋龙甲、乙线为向外送功率,说明故障前后功率发生翻转。

#### (5) 龙河变录得波形分析

龙河变为110kV单回线带1、2号主变运行,110kV锋河乙线无保护。故障时锋河乙线,1、2号主变均启动录波,故障时波形走势与卧龙故障波形完全一致,不同点为:①电流幅值不同;②故障持续时间不同,龙河为120ms(六个周波),原因是锋河乙线无保护,对侧主变差动保护动作将龙河故障消除,由此可以看出,微机保护比电磁型保护速断出口要快;③

龙河变锋河乙线开关没跳。

#### 3.2 保护装置调查

(1) 锋龙甲、乙线带负荷测相位分析,两回线相位正确;

(2) 用5108E试验装置对锋龙甲线保护装置进行试验,分别模拟A相接地正向故障和反向故障,AB相间短路正向故障和反向故障,距离保护动作均正确;

(3) 将故障时的电流、电压数据输入试验装置对锋龙甲线保护装置进行试验,装置动作正确,故障报文与当时故障报文完全相同。

以上调查说明保护装置没问题。

#### 3.3 故障疑点分析

(1) 距离保护区外故障,为什么卧龙变距离I段保护动作?

此次故障点在卧龙变保护区外,而距离保护I段动作主要是因为卧龙变110kV双回线锋龙甲、乙线无横差保护,距离I段保护定值整定为全限速断,故障点已在我侧距离I段的保护范围内。

(2) 故障点在110kV II段,为什么锋龙甲线距离I段保护方向元件会动作?

大庆油田电网负荷中,存在大量的异步电动机,由《电机学》知:异步电机作为电动机运行,其转速只能低于同步转速,即转子转速小于定子转速。当转子转速高于定子转速时,即作为发电机运行。结合本次事故,卧龙变系统中电动机突然断电,转子转速瞬间不变,即此时转子转速大于定子转速,电动机转化成发电机向外输送功率。短路故障发生瞬间,系统中的电动机由正常负荷时的吸取功率转化成释放功率,即卧龙变在故障时应为功率反送先锋变故障点。由于先锋变110kV I、II段母线并列运行,II段发生短路故障,I、II段电流均流向故障点,由于故障在距离保护I段的保护范围内(参见以下短路阻抗计算),锋龙、甲乙线距离均动作跳闸正确。先锋变带的龙河一次变负荷中也存在高压电动机,龙河变故障波形的分析进一步证明了此结论。

(3) 故障发生为A相接地,同时AB经过渡电阻短路,为什么是接地距离动作,而不是相间距离动作?

参见图7,在先锋变侧发生A相接地同时AB经过渡电阻短路时,在卧龙变侧(中性点不直接接地系统)只有AB短路电流,但当时故障报文为:锋龙甲线接地距离I段动作,A相故障,重合闸动作成功;锋龙乙线接地距离I段动作,A相故障,重合闸动作成功。为什么卧龙变会是接地距离动作,而相间距

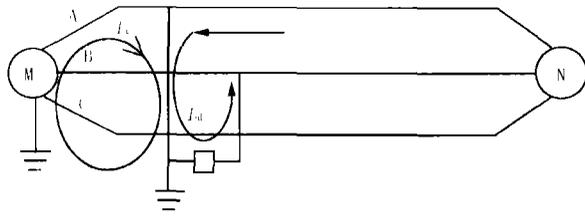


图7 先锋变侧 A 相接地同时 AB 经过渡电阻短路时系统图

Fig.7 System at A-phase grounding and  
AB-phase short-circuit through transient resistance

离保护没动?

让我们先看看 11 型微机距离保护在故障处理程序逻辑中是如何进行故障相判别的。微机距离保护在选相问题上采用相别软件切换原理,既能进行接地故障选相又能相间故障选相。而在选相上微机保护又有许多方式,最简单易行的是相电流差突变量选相方式,即在系统发生故障时利用两相电流差的突变量的幅值特点来区分各种类型故障。此次故障发生在我侧反映的是 AB 短路电流,距离保护程序进入故障相判别程序,通过计算和比较三种相电流差突变量,AB 两相电流差突变量绝对值最大,程序进入相间短路故障处理程序,结合故障波形提供的数据做如下计算:

AB 相间距离保护判据:

$$\begin{aligned} Z &= U_{\Delta} / I_{\Delta} = U_{AB} / I_{AB} \approx U_B / 2I_B \\ &= (83.15\cos 107^\circ + i83.15\sin 107^\circ) / \\ &\quad (4.64\cos 311^\circ + i4.64\sin 311^\circ) \\ &= 17.92(\cos 107^\circ + i\sin 107^\circ)(\cos 311^\circ - \\ &\quad i\sin 311^\circ) \\ &= 17.92\cos 156^\circ + i17.92\sin 156^\circ = 17.92 \angle 156^\circ \end{aligned}$$

卧龙变相间距离保护定值分别为:

$$XX1 = 1.5 \quad XX2 = 2.3 \quad XX3 = 9.3$$

计算结果与定值比较可知,短路阻抗远远没有达到距离相间保护动作值。那么,程序进入振荡闭锁程序对六种阻抗进行计算,由故障波形分析,对侧 A 相接地时, A 相电压为峰值 3.2 伏,对 A 相接地阻抗进行计算

A 相接地距离保护判据:

$$\begin{aligned} U_{\text{相}} / (I_{\text{相}} + K_X * 3I_0) &= U_A / I_A = \\ 3.2 \angle 183^\circ / 2.55 \angle 145^\circ &= 1.25 \angle 38^\circ \end{aligned}$$

卧龙变接地距离保护定值分别为:

$$XD1 = 1.2 \quad XD2 = 1.84 \quad XD3 = 7.44$$

计算结果与定值比较可知,短路阻抗在接地距离保护动作定值临界范围内。

由以上分析可知:故障时卧龙变侧虽反映的是相间短路电流,但 A 相接地距离保护动作条件达到,相间距离动作条件未达到,接地距离保护动作正确。

#### 4 结论与措施

通过以上分析可知:

(1) 本次区外故障,卧龙变锋龙甲、乙双回线距离保护动作主要因系统中电机功率反送造成,因卧龙变投产时厂家无成熟的微机横差保护装置,锋龙甲、乙线采用距离 I 段保护全限速断的整定方式。卧龙变锋龙甲、乙线 I 段接地距离保护动作正确,且微机保护比常规电磁型保护动作速度快,可快速切除系统故障,有利于保证系统的暂态稳定性。

(2) 故障录波数据为此次故障分析提供了强有力的证据,故障录波器的维护与管理工应得到进一步的重视。

(3) 此次故障卧龙变瞬时全所失电,为避免此次事故的再次发生,应考虑 110 kV 双回线增设横差保护装置。

#### 参考文献:

- [1] 周鄂,徐德溢,濮开贵.电机学[M].北京:水利电力出版社,1988
- [2] 刘万顺.电力系统故障分析[M].北京:中国电力出版社,1998
- [3] 杨新民,杨隽琳.电力系统微机保护培训教程[M].北京:中国电力出版社,2000

#### 作者简介:

张庆霞(1972-),女,本科,工程师,从事继电保护工作;  
李永君(1964-),男,本科,从事电力工作;  
闻宝仑(1969-),男,本科,从事电力工作。

#### Fault analysis of distance protection's trip due to external fault

ZHANG Qing-xia<sup>1</sup>, LI Yong-jun<sup>2</sup>, WEN bao-lun<sup>1</sup>

(1. Power Supply Company, the Oil Administer Bureau, Daqing 163453, China;

2. Electric Power Dispatching Center, the Oil Administer Bureau, Daqing 163453, China)

**Abstract:** The short-circuit fault within differential protection range in Xianfeng substation, caused maloperating accident of distanced protection on double circuits of lower level 110 kV substation. To the accident, the paper analyzes the questionable operating conditions from three points.

**Key words:** fault trip; electric motor; inverse power output; distance protection; fault phase discrimination