

# 功率方向元件在逆相序情况下的动作行为分析

四川宜宾供电局 陈代云

地方电网并入国家电网以后,为了保证电网的安全运行,必须加强对并网线路及地方电网主设备及其重要的继电保护装置的管理。S县地方电网(以下简称县网),与我局电网并网后,多次反映并网线路开关(县网侧)的方向过流保护拒动或误动,经我们检查后,发现县网L变电站内35kV进线“黄、绿、红”相对应二次侧A、B、C实际为逆相序,保护装置本身的接线按正相序情况为全部正确,进线电源为逆相序是引起方向过流保护装置不正确动作的根本原因。本文针对这一问题,对功率方向元件在逆相序情况下的动作行为分析如下。

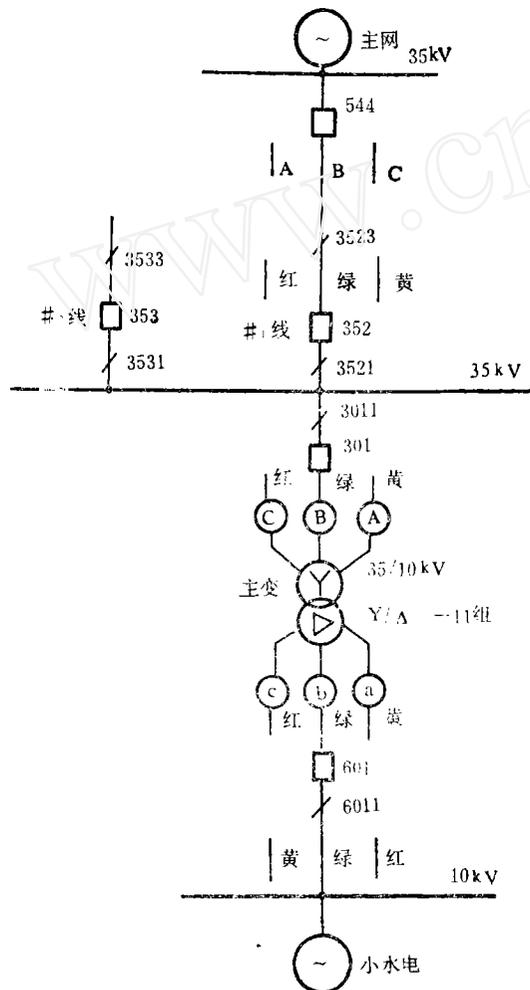


图1 S县L站电气主接线图

## 1 现场主接线情况

S县35kV L站电气主接线见图1,进入该站“黄、绿、红”相对应主变35kV侧套管A、B、C,但实质上,“黄、绿、红”相色依次对应主网侧C、B、A相为逆相序。352开关为并网线路\*1线开关。为满足小水电并网要求。在6011刀闸以后,相色标志黄、红改刷为红、黄,即10kV母线“黄、绿、红”色与系统A、B、C对应,均为正相序。进站的35kV电源为逆相序,本应采取“换位”的措施,因实施有困难,暂时保留现有情况。同时为使相色与主变套管标志相符,就变成了该站的现有情况。在本文中只讨论352开关方向过流保护(方向指向线路)的动作行为,至于电源逆相序对主变差动保护回路接线、表计测量回路接线的影响不予讨论。

## 2 正相序情况下方向元件的工作情况

方向元件的动作转矩可用下式表示:  

$$M = KI U c \cos(\phi, + \gamma) \quad (1)$$

式中： $\varphi$ ——故障相电流滞后于该相方向元件所取电压的角度（电流超前时取负角）

$\gamma$ ——继电器内角（实际为继电器电压回路阻抗角 $\gamma$ 的余角）

$\varphi_{Lm}$ ——方向元件的电流相位变化时的最大灵敏角线

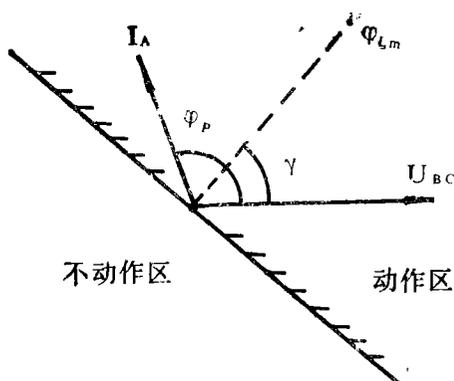


图2 A相方向元件向量图

理论分析说明，采用 $90^\circ$ 接线（ $I_A U_{BC}$ 、 $I_B U_{CA}$ 、 $I_C U_{AB}$ ）的方向元件，应选择： $\gamma = 45^\circ$ 即最大灵敏角为：

$\varphi_p = -\gamma = -45^\circ$ ，这样在正方向（指向线路）各种短路情况下，方向元件在动作状态，而在反方向（指向母线）各种短路情况下，方向元件在不动作状态。以保证方向过流保护动作的选择性。

图2表示出A相方向元件工作情况的向量图， $\varphi_p$ 的角度在正常运行时，随负荷潮流及运行参数变化；在故障情况下随故障点的远近及各种不同类型的短路变化。

### 3 逆相序引起的情况变化

我们先分析正常运行状态，在正相序、逆相序两种情况下，以A相方向元件（ $I_A U_{BC}$ ）为例，对其动作行为进行分析比较。

由于负载性质大多为感性，运行中的负荷潮流大多为工作在“负感”或“发感”两个象限， $\varphi$ 角为功率因数角。图3、图4表示负荷潮流指向线路且工作在“负感”象限（送有功、送无功）的情况。图5、图6表示负荷潮流指向母线且工作在“发感”象限（受有功、受无功）的情况。比较图3、图4及图5、图6，可明显看出在逆相序情况下，方向元件的动作行为总是与正相序情况相反。

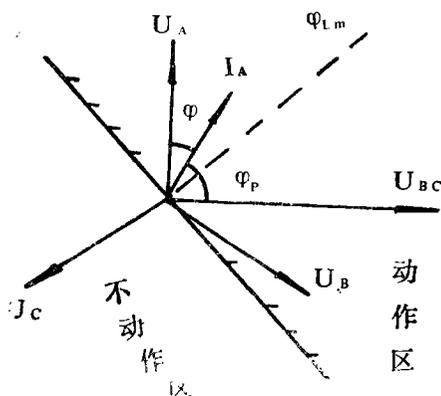


图3 正相序，“负感”象限A相方向元件向量图

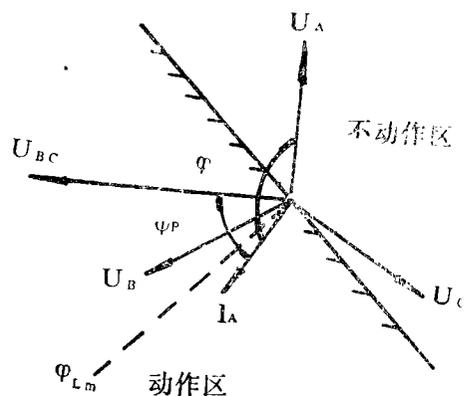


图4 逆相序，“负感”象限A相方向元件向量图

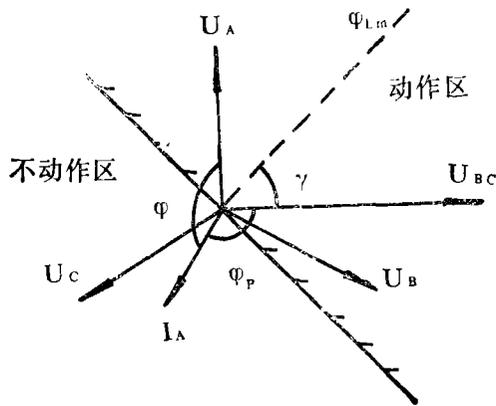


图5 正相序,“发感”象限A相方向元件向量图

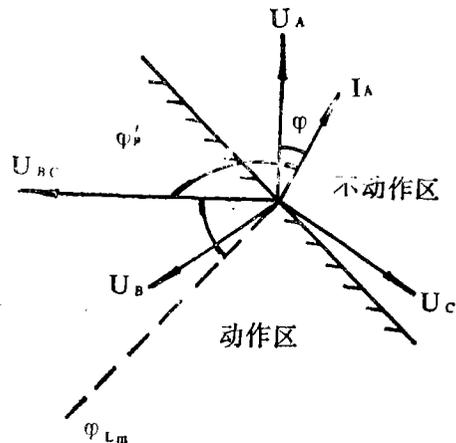


图6 逆相序,“发感”象限A相方向元件向量图

一般说来,在功率因数角 $\varphi$ 相同的情况下,逆相序较之正相序情况, $\varphi_P$ 角的数值变为 $(180^\circ - \varphi_P)$ ,且 $I_A$ 与 $U_{BC}$ 之间的超前,滞后关系相反,因此应以 $-(180^\circ - \varphi_P) = \varphi_P - 180^\circ$ 替换(1)式中的 $\varphi_P$ ,得出在逆相序情况下方向元件的动作转矩,

$$\begin{aligned} M_2 &= KIU \cos [(\varphi_P - 180^\circ) + \gamma] \\ &= KIU \cos [\varphi_P + \gamma - 180^\circ] \\ &= KIU \cos [180^\circ - (\varphi_P + \gamma)] \\ &= -KIU \cos (\varphi_P + \gamma) \end{aligned} \quad (2)$$

比较(1)、(2)式知:  $M_2 = -M$

这说明在逆相序情况下,功率方向元件的转矩总是与正相序情况下相反。为此,若改取,

$$\begin{aligned} &-I_A U_{BC} \quad (\text{电流反接}) \\ \text{或: } &I_A U_{CB} \quad (\text{电压反接}) \end{aligned}$$

来解决这一问题,即用 $(-I)$ 或 $(-U)$ 取代(2)式中的 $I$ 或 $U$ ,可得到:

$$\begin{aligned} M'_2 &= -K(-I)U \cos (\varphi_P + \gamma) \\ &= -KI(-U) \cos (\varphi_P + \gamma) \\ &= KIU \cos (\varphi_P + \gamma) \end{aligned} \quad (3)$$

这样即得到:  $M'_2 = M$

即得到与正相序情况下相同的动作效果。

以上是按正常运行情况分析得到的结论,在故障情况下,上述方法能否保证方向元件的正确工作?为此,进行以下的理论分析。

#### 4 正相序及逆相序故障情况下,方向元件的动作行为比较

为了分析各种不同类型的短路,须采用对称分量法进行数学分析。我们这里只直接引用上述分析的结论,即正方向各种类型短路时的故障向量图,列表见表1。

对表1中有关向量,简要说明于下:

#### 4.1 C、A相两相短路

4.1.1 远离保护安装点的C、A两相短路，在系统容量很大时，具有以下关系：

$$\dot{U}_B = \dot{E}_B \quad (\text{非故障相})$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{CX} + \dot{I}_C Z_X \approx \dot{E}_C$$

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AX} + \dot{I}_A Z_X \approx \dot{E}_A$$

式中： $Z_X$ 为每相短路阻抗值。

这时， $\dot{U}_{BC}$ 的大小和相位基本不变。

#### 4.1.2 保护安装点附近的C、A两相短路：

按极限情况取： $Z_X = 0$  这时：

$$\dot{U}_B = \dot{E}_B \quad (\text{非故障相})$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{CX} = -\frac{1}{2}\dot{E}_B$$

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AX} = -\frac{1}{2}\dot{E}_B$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \frac{3}{2}\dot{E}_B \quad (\text{其相位角与}\dot{E}_B\text{相同})$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = -\frac{3}{2}\dot{E}_B$$

#### 4.2 三相短路(对称短路)

$$U_A = U_B = U_C = I_X Z_X$$

三相电压的相位保持不变，其大小与短路点距保护安装点的远近有关。三相出口短路时： $Z_X = 0$ ，三相电压值降至0，这时保护装置将拒动(称为电压死区)。

#### 4.3 A相短路接地(中性点直接接地系统)

$$\text{短路点在远端时: } \dot{U}_A \approx \dot{E}_A$$

$$\text{短路点在出口时: } \dot{U}_A = 0$$

以上两种情况下，因 $\dot{U}_{BC}$ 为非故障相的线电压，它的相位不变，其幅值随故障参数略有变化。

由于线路阻抗在短路状态下呈感性，故障相电流滞后于相关的故障相电势(或电压) $0 \sim 90^\circ$ ，由此引起故障相方向元件的电流与所取电压之间的夹角 $\varphi_P$ 在一定范围内变化，表1的图中表示出 $\varphi_P$ 角的变化情况。

表1的结论说明，采用 $90^\circ$ 接线的方向元件，在正相序情况下及在逆相序(电流反接或电压反接)情况下，在正方向各种类型的短路状态下， $\varphi_P$ 角的最大变化范围都是：

$$-120^\circ \leq \varphi_P \leq 30^\circ$$

依据方向元件的动作转矩公式：

$$M = KIU \cos(\varphi_P + \gamma)$$

在 $\varphi_P$ 角变化的过程中：

$$\cos(\varphi_P + \gamma) = 1 \quad \text{时为最大转矩}$$

这时： $\varphi_P = -\gamma$  即为继电器最大灵敏角

	正相序	逆相序 (电流反接)	逆相序 (电压反接)
C.A 相 远 端 短 路	<p>A相 <math>-60^\circ &lt; \varphi_f &lt; 30^\circ</math> C相 <math>-120^\circ &lt; \varphi_f &lt; -30^\circ</math></p>	<p>A相 <math>-120^\circ &lt; \varphi_f &lt; -30^\circ</math> C相 <math>-60^\circ &lt; \varphi_f &lt; 30^\circ</math></p>	<p>A相 <math>-120^\circ &lt; \varphi_f &lt; -30^\circ</math> C相 <math>-60^\circ &lt; \varphi_f &lt; 30^\circ</math></p>
C.A 相 近 端 短 路	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math> C相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math></p>	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math> C相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math></p>	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math> C相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math></p>
三 相 短 路	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math> (三相相同)</p>	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math> (三相相同)</p>	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math> (三相相同)</p>
A 相 接 地 短 路	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math></p>	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math></p>	<p>A相 <math>-90^\circ &lt; \varphi_f &lt; 0^\circ</math></p>

表1 各种不同类型短路的故障向量图

$$\cos(\varphi_P + \gamma) = 0 \quad \text{时动作转矩为 } 0,$$

这时:  $\varphi_P + \gamma = 90^\circ$  或  $\varphi_P + \gamma = -90^\circ$  该两点为方向元件的两个动作边界, 据此应取:

$$-90^\circ \leq \varphi_P + \gamma \leq 90^\circ$$

方能保证:  $M \geq 0$

∴应选择继电器内角:

$$30^\circ \leq \gamma \leq 60^\circ$$

以选择:  $\gamma = 45^\circ$  的情况为最好。

在反方向无论何种类型的短路情况下, 由于故障电流方向相反, 方向元件总是工作在不动作状态。

将各相方向元件的 $90^\circ$ 接线列表于下, 见表2。

表2 采用 $90^\circ$ 接线的各相方向元件接线

相 别	正 确 结 线		逆 相 序 补 救 接 线	
	正 相 序		电 流 反 接	电 压 反 接
A	$I_A$	$U_{BC}$	$-I_A$	$U_{CB}$
B	$I_B$	$U_{CA}$	$-I_B$	$U_{AC}$
C	$I_C$	$U_{AB}$	$-I_C$	$U_{BA}$

## 5 结 论

5.1 方向元件采用 $90^\circ$ 接线, 都是指表2中所列正相序情况下的接法。各种有关的电气二次回路的设计图纸, 都是按正相序情况设计的, 一旦变电站的35kV进线电源变为逆相序, 除了方向元件不能正确工作以外, 还会对主变差动保护接线、计量回路接线等带来一系列问题。从管理标准化的要求出发, 我们反对将变电站的进线电源按逆相序引入, 一旦出现这种情况, 应在进线电源线路适当位置采取“换位”的措施。

5.2 已经投入运行的变电站, 进线电源为逆相序情况的, 在实施“换位”措施以前, 为保证方向元件的正确工作, 可按表2的方法采取补救措施, 即方向元件采用电流反接或电压反接的方式, 以保证线路方向过流保护装置能正确工作。主变差动保护、计量回路等的接线, 亦应按逆相序情况保证其正确工作。但这只能作为一种过渡性的措施, 而不能作为永久性的措施。且上述执行中的具体情况, 应在变电站的运行记录册中记录清楚, 以便加强管理, 避免差错。根本的解决办法, 仍然是实施“换位”措施, 使进线电源按正相序情况引入。