

# 提高双回线零序电流保护效能的措施与计算

齐齐哈尔电业局 姚长华

## 前 言

在220kV线路普遍装设高频保护的情况下,零序电流保护也是必不可少的,用它作为反应电网接地故障的主保护和后备保护。在使用单相重合闸的220kV双回线上,所配置的分电流零序电流保护,若按常规使用,将出现零序Ⅰ段(灵敏Ⅰ段和不灵敏Ⅰ段)、Ⅱ段定值很大、在双回线运行时保护范围甚短的情况。特别在双回线较短,零序互感大,220kV母线元件少,变电站又使用全星自耦变的情况下,循常规整定的零序电流保护,更难于满足有选择性地快速切除故障线路的要求。保护效果不好,不仅局限于双回线本身,同时对于毗邻搭接的线路接地保护性能,也造成较大影响,导致电网接地保护性能恶化。

为提高接地保护效能,尽可能地增大瞬时段保护范围,减轻设备损坏程度,提高重合闸成功率,有利于系统稳定。本文提出对综合重合闸中零序电流保护接线作适当的改进,将五块继电器四段式零序电流保护,改变为单回线Ⅰ、Ⅱ段、双回线Ⅰ、Ⅱ段(随运行方式改变自动切换)和零序Ⅲ段作为后备段的接地保护系统。新构成的零序保护系统,在单回线和双回线两种运行方式下,零序Ⅰ段保护范围大为增加,同时也使零序Ⅱ段保护定值降低,灵敏度提高,重合闸时间缩短,接地保护与重合闸效能将有明显提高,尤其对使用单相重合闸的平行双回线其效果更为突出。改进接线已在某220kV平行线运行使用多年,正确动作切除线路接地故障27次(两侧),没有发生不正确动作问题。

## 一、双回线零序电流保护按常规使用的效果

### (一) 零序Ⅰ、Ⅱ段常规整定原则

1. 零序电流保护不灵敏Ⅰ段和灵敏Ⅰ段通用计算公式为:

$$(1) \text{不灵敏Ⅰ段 } I'_{ODZ I} = 1.2 I_{OF \cdot Z_d} \quad (1)$$

$$(2) \text{灵敏Ⅰ段 } I_{ODZ I} = 1.3 I_{O \cdot Z_d} \quad (2)$$

式中:  $I_{OF \cdot Z_d}$ ——单回线运行,另一回线检修两侧接地,非全相过程中,两侧电势在稳定计算给出的摆角下最大零序电流;

$I_{O \cdot Z_d}$ ——单回线运行,另一回线检修两侧接地,线路末端接地短路,保护感受的最大零序电流。

有时因双回线零序互感的存在，在另一回线接地故障，一侧开关三相断开相继动作时，线路保护感受的零序电流大于本线末端接地的零序电流，因而在整定零序Ⅰ段时，需要进行验算，找出通过非故障线路的最大零序电流。

两个Ⅰ段的定值，都是在单回线方式下计算的，当双回线运行时，由于分流作用，通过保护电流减少，其保护范围极其有限。

## 2. 零序电流Ⅱ段

在不考虑与相邻线路高频和纵差配合（一套保护有可能因试验、故障停运）的情况下，通用的计算公式为：

（1）单回线运行另一回线检修两侧接地方式下，与平行线以外的相邻线 $I'_{ODZ1}$ 配合

$$I_{ODZ1} = 1.1K_F I'_{ODZ1} \quad (3)$$

式中 $K_F$ ——分支系数，取正常运行和检修方式的最大值，

$I'_{ODZ1}$ ——相邻线路非全相过程中不退出工作的不灵敏Ⅰ段电流定值。

（2）双回线运行时，与另一回线对端不灵敏Ⅰ段在相继动作下配合

$$I_{ODZ1} = 1.1K_F I'_{ODZ1} \quad (4)$$

式中 $K_F$ ——分流系数，取相邻线对侧出口及线路末端接地，保护安装处侧相邻开关三相跳开时最大值。

（3）动作值躲过邻线非全相通过保护的最大零序电流

$$I_{ODZ1} = 1.2I'_{OF.Zd} \quad (5)$$

式中 $I'_{OF.Zd}$ ——双回线运行，其中一回线非全相及单回线运行，平行线以外的邻线非全相，保护感受的最大零序电流。

按上述原则计算的定值，不满足对线路末端灵敏度要求时，要采用与相邻线（包括双回线另一回线）零序电流Ⅱ段配合，这样零序电流保护切除线路故障的时间要加长。

（二）按常规使用的零序电流保护效能分析

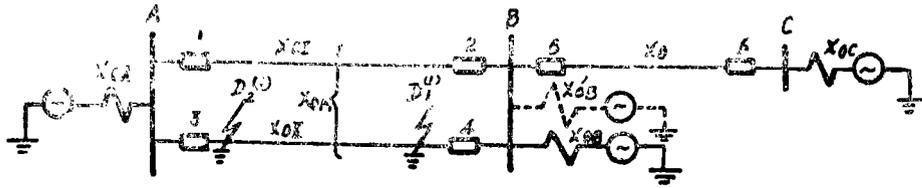
### 1. 零序电流Ⅰ段在双回线运行时保护效能

由于零序不灵敏Ⅰ段和灵敏Ⅰ段都是在单回线下整定的，比在双回线下躲线路末端取值大得多，所以在双回线运行时，其保护范围很短，在中短线路上两侧Ⅰ段没有保护范围的交叉区，有时纵续动作也不能反应全线故障（参见表2），使得零序保护瞬时快速切除故障的作用不能充分发挥。

### 2. 零序电流Ⅱ段在双回线运行时保护效能

按单回线与相邻线路相应段配合整定的零序Ⅱ段，在双回线线路末端故障时，只有一半（两回线参数相等时）电流流经保护装置，其灵敏度比按双回线配合整定的零序Ⅱ段小一倍。

在零序Ⅱ段与另一回线不灵敏Ⅰ段配合整定时，其较大分流系数，有时在被配合保护线路的某点，为简化计算一般取线路末端，而不能用对端线路出口故障的 $K_F$ ，这种情况是由于相继动作后，零序互感作用造成的。平行线一回线非全相运行时，分流系数 $K_F$ 值将更大。见图1所示的系统接线图。



$X'_{OB}$ ——B母线电源综合零序阻抗

图1 分析零序保护性能的系统接线图

线路II接地故障，保护1零序II段与保护4的零序不灵敏I段配合时的分流系数 $K_F$ ，在不同条件下，表达式如下。

(1)  $D_1$ 点接地故障

开关3未断开时，考虑双回线分流作用：

$$K_{F1} = \frac{X_{OB}}{2X_{OA} + X_{O1} + X_{OM} + 2X_{OB}} \quad (6)$$

$$\text{开关3三相断开后, } K_{F2} = \frac{X_{OB}}{X_{OA} + X_{O1} + X_{OB}} \quad (7)$$

当接地故障由 $D_1$ 点移向 $D_2$ 点，则：

$$K_F = \frac{\alpha X_{OM} + X_{OB}}{X_{O1} + X_{OA} + X_{OB}}$$

式中 $\alpha$ ——为短路点距B母线长度与线路长度之比。

(2)  $D_2$ 点接地故障

开关3未断开时，保护1流过反向零序电流。

开关3三相断开后，即相当于 $\alpha = 1$ 的情形，

$$K_{F3} = \frac{X_{OM} + X_{OB}}{X_{O1} + X_{OA} + X_{OB}} \quad (8)$$

$$(3) \text{ 线路II非全相时, } K_{F4} = \frac{X_{OM} + X_{OB} + X_{OA}}{X_{O1} + X_{OA} + X_{OB}} \quad (9)$$

显然， $K_{F4} > K_{F3} > K_{F2} > K_{F1}$ ，两线零序互感 $X_{OM}$ 愈大， $K_{F4} \sim K_{F2}$ 与 $K_{F1}$ 差值也愈大，随之保护1零序II段定值大为增加，使其对线路末端灵敏度下降，导致零序II段不能保护全线。当然在保护经方向元件控制后，可不使用 $K_{F4}$ 计算零序II段定值，但用 $K_{F3}$ （大于 $K_{F2}$ 和 $K_{F1}$ ）来计算零序II段，其值也是很大的。

### 3. 相邻线路接地保护效能下降

在双回线两侧零序电流保护定值很大的情况下，相邻线路零序电流保护定值也随之增大。例如保护6零序II段，要与保护2(4)不灵敏I段配合，在双回线下，考虑汲出系数，保护6要与定值增加一倍的2(4)保护定值相配合。

$$\text{即: } I_{ODZ16} = K_K K_F 2 I'_{ODZ2}$$

保护6零序III段与保护2(4)零序II段配合时，与上述情况类同。

显而易见，按上述原则计算保护6的定值，保护效果是很差的，其零序II段很难满

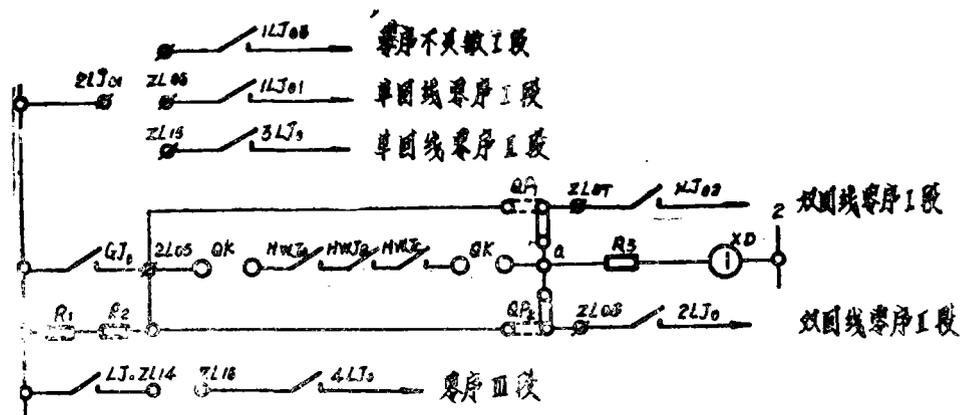
足对线路末端有足够灵敏度的要求。

上述弊病，在母线出线少，又使用全星自耦变的情况下，特别严重。即使在35kV或110kV侧对自耦变进行外补偿，其作用往往也不奏效。

另外再增设只在双回线运行投用的零序 I 段，会使接地保护性能有所改善，但若不能实现自动切换，就会增加操作的麻烦。为避免邻线接地故障相继动作的情况下，双回线时投用的零序 I 段，有可能伸出保护线路末端，造成无选择性动作，在定值计算时，要考虑另一回线故障点  $D_1$  向  $D_2$  移动，通过非故障线路保护零序电流有时会逐渐增大的情况。

## 二、双回线零序电流保护的回路改进

保护回路改进的要点，是增设由开关合闸位置继电器触点控制的双回线零序电流 I、II 段。改进接线如图 2 所示。



$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ——2 M $\Omega$ 电阻      XD——NHO40氙灯

图 2 邻线 HWJ 闭锁双回线零序保护接线图

1. 增设一套双回线零序电流 I 段  $I_{0s1}$  (简称双零 I 段, 下同), 经综合重合闸  $N_{33}$  端子切闸, 其操作正电源受本侧另一回线合闸位置继电器 HWJ 开触点控制, 三相 HWJ 开触点串联, 当本侧另一回线断路器一相或三相切闸, 将  $I_{0s1}$  闭锁。两线双零 I 段操作电源实现相互控制后, 保护定值按双回线运行躲线路末端整定, 并可能做到平行线区内外故障及双回线开关各种跳闸形态下, 保护范围都不会伸出本线以外。参见图 1 说明如下。

(1) 因保护 1 和 3 双零 I 段是按躲 B 母线故障整定的, 因而双回线下保护范围不能伸到 BC 线上;

(2) 开关 4 出口故障, 和 B 母线故障一样, 保护 1 和 3 双零 I 段不反应, 待保护 4 切闸后, 保护 1 流过反方向电流, 因设方向元件控制不会误动, 此时保护 3 I 段有可能继续动作切闸;

(3) 在开关 3 双零 I 段保护区内故障, 保护 3 动作切闸, 切闸过程中即解除保护 1 双零 I 段的工作。

(4) 线路BC上故障,若保护3误动切闸,此时保护1已被闭锁,不会发生误动作。

平行线两侧开关均增设 $I_{0s1}$ , 两侧零序I段保护区大大伸长, 其交叉重叠区将是很大的, 在开关出口附近故障, 基本能达到对侧 $I_{0s1}$ 相继动作效果。由此可见, 设置双零I段, 既能保证选择性, 又能使保护效果大大提高。

2. 将零序II段 $2LJ_0$ 直流操作电源, 象 $I_{0s1}$ 一样实现用两线HWJ相互控制, 就变成了双回线零序II段 $I_{0s1}$  (简称双零II段, 下同)。 $I_{0s1}$ 应在双回线下与相邻线路不灵敏I段配合, 同时还需要在双回线下(另一回线两侧开关不切闸时), 与另一回线 $I_{0s1}$ 配合, 其分流系数计算点选在对侧出口, 不受双回线零序互感的影响, 由(6)式可知, 此时 $K_F$ 最小,  $I_{0s1}$ 取值当然很低。显然双零II段对线路末端灵敏度, 比按(3)~(4)两式整定的零序II段明显提高。

3. 在双回线其中一回线故障任一侧跳闸时, 跳闸相合闸位置继电器线圈被跳闸继电器触点短接, 因短路环作用, 导致HWJ返回较慢, DZ—31B/220V中间继电器开触点实测断开时间(线圈短路)为57毫秒。若开关跳闸时间是30毫秒, 在故障线开关切闸后, HWJ触点还闭合27毫秒, 不能快速断开无故障线路双零I、II段直流正电源, 在故障线路对端零序I段相继动作跳闸过程中, 有可能导致无故障线路 $I_{0s1}$ 误动跳闸。为防止这种情况发生, 用于闭锁邻线保护的HWJ, 应使用DZ—31B/110V中间继电器串联4千欧20瓦电阻, 取代220伏的中间继电器。此时HWJ短接回路电感下降, 电阻增加, 时间常数 $\frac{L}{R}$ 下降, 线圈磁场能量衰减快, 继电器返回亦快, 实测值为16毫秒。这样就可保证在故障开关尚未跳开前, 邻线双回线零序保护即已被闭锁, 并有10毫秒以上的裕度时间, 从而避免上述双回线零序保护范围超越误动问题。

4. 为监视两线开关闭锁保护用的HWJ $A.B.C$ 开触点状态, 在正电源与ZL 05端子间加两只高阻值电阻 $R_1$ 和 $R_2$ , 在a点与负电源间加一只高阻值电阻 $R_3$ 和氖灯XD。

5. 图1所示的电网中, 在线路II单相故障及单相断开的非全相状态下, 为避免分析计算保护1与背侧保护3、保护2与背侧保护4较复杂的配合关系(这样配合很难兼顾满足),  $I_{0s1}$ 和 $I_{0s1}$ 都要经零序方向元件控制, 这样对保护1和保护2就不必考虑其背侧线路II非全相时的复故障了。

6. 在线路空载充电时, 若零序电流灵敏I段 $I_{0s1}$  (简称单零I段, 下同), 对线路末端灵敏度不足, 必要时可装设切换片 $QP_1$ , 短接HWJ $A.B.C$ 开触点, 使充电线路的故障由 $I_{0s1}$ 瞬时切除。

若对侧母线无220千伏线路出线, 例如图1的A母线, 为提高单回线运行下, B侧线路保护效果, 在单回线零序电流II段 $I_{0s1}$  (简称单零II段, 下同)灵敏度不足时(某一大电源元件停运), 可装设压板 $QP_2$ , 在单回线运行时临时投用 $I_{0s1}$ , 此时 $I_{0s1}$ 与发电厂或变电站A内部元件瞬时动作保护能有选择性。

7. 双回线运行, 其中一回线单相故障被切除的非全相过程中, 非故障线路 $I_{0s1}$ 、 $I_{0s1}$ 被闭锁无误动之虑。此时因电源联系紧密, 两侧电势摆角及非全相零序电流, 比纯单回线时小, 所以非全相线路 $I_{0s1}$ 一般都能躲过非全相零序电流, 因而可经 $N_{s3}$ 端子跳闸。

双零 II 段定值都取得较低，躲不开非全相零序电流，需经  $M_{33}$  切间。

为保证相邻线路上级保护(例如保护 6 的零序 III 段)，在双回线非全相再故障，仍能 和  $I_{0d1}$  有选择性，两线单零 III 段定值，应按躲开双回线运行一回线非全相零序电 流整 定，在该方式下投  $N_{33}$  跳闸。

8. 改进后的双回线零序电流保护，在单回线运行下，仍保留了一般单回线所配备 的零序电流不灵敏 I 段 ( $I'_{0I}$  后加)、灵敏 I 段 ( $I_{0d1}$ )、零序电流 II 段 ( $I_{0d1}$ ) 及零序

后备段(图 2 中的零序 III 段)。因双零 II 段对线路末端 有较高的灵敏度，故而使用  $2LJ_0$  作为本段的测量元件， 使其能履行兼作相间故障跳 三相零序电流闭锁元件的职 能。

当双回线中一回线断路 器检修，线路由母联或旁路 开关带出，为使零序保护构 成方式与双回线方式相同， 改进图中设置切换开关 QK， 根据需要 QK 可切换三 个位置：(1) 作母联；(2) 母联带甲线；(3) 母联带 乙线。它能适应不同带出方 式及双回线断路器正常运行 方式。当双回线接于一条母 线运行，或者单回线运行，将 QK 开关置于“作母联”位

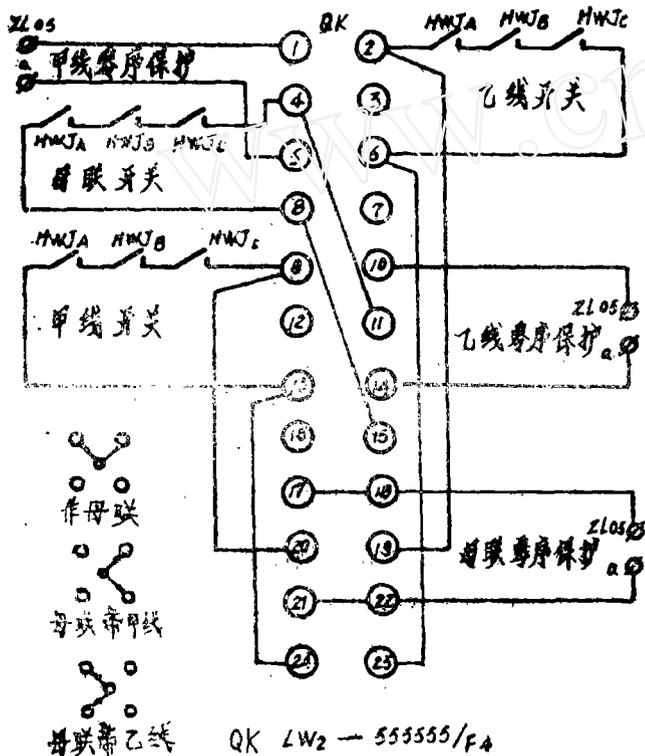


图 3 母联及双回线接入 HWJ 闭锁切换回路图

置即可。双回线零序保护闭锁切换回路接线，如图 3 所示。

### 三、改进后零序电流保护计算方法

参见图 1 的电网接线图。定值计算是对应线路使用单相和三相重合闸的情况。

#### (一) 零序电流 I 段

##### 1. 零序不灵敏 I 段和单零 I 段

在单回线下，按常规计算定值。计算非全相最大零序电流时，两侧电势摆角取稳定 计算给出的最大角度，并取停运线路两侧接地方式。躲两侧母线接地，亦应取停运线路 两侧接地方式进行计算。

单零 I 段在单回线运行时，经  $M_{33}$  跳闸；在双回线运行时经  $N_{33}$  跳闸，其原因在于 双回线时，单相重合过程中，两侧电势摆角比单回线时小，非全相零序电流也小，  $I_{0d1}$  定值能躲开。

## 2. 双零 I 段

(1) 双回线下躲线路末端最大零序电流

$$I_{0s1} = 1.3I_{0.zd} \quad (10)$$

式中  $I_{0.zd}$ ——双回线下对端母线故障最大零序电流。

(2) 双回线下躲一回线非全相最大零序电流

$$I_{0s1} = 1.2I_{0F.zd} \quad (11)$$

式中  $I_{0F.zd}$ ——双回线运行, 其中一回线非全相, 在稳定计算给出两侧电势摆角下, 非全相线路感受的最大零序电流。

该段由零序方向元件控制, 经  $N_{33}$  端子跳闸, 不必校验躲反方向故障性能。

## (二) 零序电流 II 段

以图 1 电网 I 号线路保护 1 为例说明。

### 1. 单零 II 段

(1) 与双回线以外的相邻线  $I'_{ODZI}$  配合, 即与保护 5 不灵敏 I 段配合, 同 (3) 式。

(2) 与双回线的另一回线对端双零 I 段相继配合。

$$I_{0d1} = 1.1K_F I'_{0s1} \quad (12)$$

式中  $K_F$ ——分支系数, 取开关 3 三相断开相继动作时, II 号线路  $D_{11}'$  和  $D_{21}'$  点故障最大值;

$I'_{0s1}$ ——保护 4 双零 I 段动作值。

(3) 双回线下躲其中一回线非全相最大零序电流, 使用 (12) 式进行计算。单回线下 BC 线路非全相保护 1 通过的零序电流, 一般都比 (12) 式计算值小, 所以后者可不必校验。

本段在双回线下经  $N_{33}$  跳闸, 单回线时经  $M_{33}$  跳闸。灵敏度取单回线运行, 线路末端故障计算。

### 2. 双零 II 段

(1) 双回线下与保护 5 不灵敏 I 段配合

$$I_{0s1} = 1.1K_F I'_{ODZI} \quad (13)$$

式中  $K_F$ ——分支系数, 开关 5 出口故障双回线运行最大值。

(2) 与双回线的另一回线对端双零 I 段配合

$$I_{0s1} = 1.1K_F I'_{0s1} \quad (14)$$

式中  $K_F$ ——分支系数, 开关 3 未断时  $D_{11}'$  点故障最大值;

$I'_{0s1}$ ——保护 4 双零 I 段动作值。

(3) 双回线下躲平行线以外的相邻线非全相(即 BC 线非全相)运行时, 流过本保护的零序电流, 参照 (5) 式计算。

(4) 本段应验算在另一回线出口、中间及末端接地短路时, 在两侧开关均未断开的情况下, 如果另一回线  $I_{0s1}$  不动作, 则本保护必须保证不动作或零序电流反向。

单回线运行, 电厂或变电站母线在无其它引出线时, 需要本段不经邻线 HWJ 继电器控制而投入跳闸时(例如保护 2 的本段), 需作如下两点校验:

- i) 本段需躲过A厂(变)主变110kV母线故障;
- ii) 本段需躲过双回线运行下, 其中一回线非全相, 无故障的另一回线路流过的零序电流。

该段由方向元件控制, 经 $M_{33}$ 端子跳闸。灵敏度取双回线运行方式, 线路末端故障计算。

### (三) 双回线以外的相邻线路保护定值计算原则

在双回线增加 $I_{0SI}$ 、 $I_{0SI}$ 后, 开关6的零序电流保护效果也将变好, 因为在双回线下整定的保护2.4, 定值下降、灵敏度提高。

#### 1. 保护6零序II段应按下述原则整定

(1) 在双回线下与保护2(4) $I_{0SI}$ 配合

$$I_{0I} = 1.1K_F I_{0SI} \quad (15)$$

式中 $K_F$ ——分支系数, 双回线运行A母线故障最大值

(2) 在单回线下与保护2(4) $I'_{0I}$ 配合

$$I_{0I} = 1.1K_F I'_{0I} \quad (16)$$

式中 $K_F$ ——分支系数, 按开关2(4)出口故障取最大值。

(3.) 躲单回线运行非全相时, BC线上通过的最大零序电流。双回线运行其中一回线非全相, BC线上通过的零序电流, 因有并联分流回路, 所以比较小不作校验。参照(5)式计算。

#### 2. 保护6零序III段整定原则

保护6零序III段, 原则上按与保护2(4)的单零II段, 在双回线下配合, 此时单零II段非全相时不退出工作。平行双回线极少在单回线方式下运行(年平均占5%以下), 若出现单回线方式, 与保护6配合的单零II段经 $M_{33}$ 跳闸, 则牺牲单回线非全相下的复故障了(复故障发生在2(4)不灵敏I段保护范围之外), 这种状况出现的几率是很少的。

### 四、双回线零序保护改进前后效能比较

计算用系统图见图4, 各元件电抗参数均算在图中, 其中 $\Sigma X_1$ 和 $\Sigma X_0$ 是B母线右侧综合正序(负序)电抗和零序电抗。图4中的元件电抗及下列诸表计算电流值, 均是以 $S_B = 100MVA$ ,  $U_B = 230kV$ 基础下的标么值。

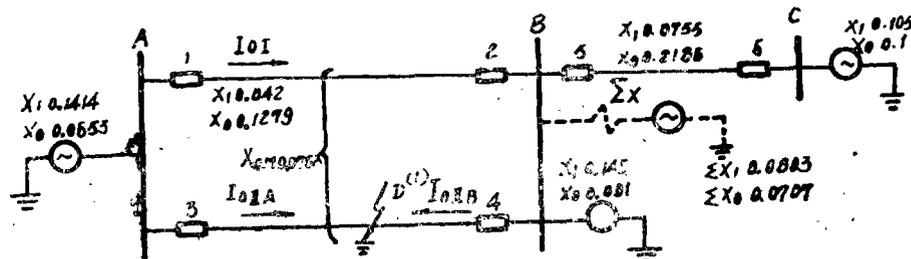


图4 计算用某220kV系统图

平行线II号线路单相接地短路时, 零序电流的计算值列于表1, 它是表2中校验双

回线运行时保护灵敏度的基础数据。单回线运行时短路电流计算结果，BC线路保护5的计算取值结果均未列出。

表1 平行线一回线单相接线零序电流计算值

计算值		故障点				
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
非故障线	I <sub>01</sub>	-0.836	-0.366	0.0372	0.43	0.944
故障线A侧	I <sub>01A</sub>	5.23	3.71	2.55	1.8	0.945
故障线B侧	I <sub>01B</sub>	0.82	1.69	2.6	3.73	5.4

故障点自A母线算起，非故障线路电流自A母线流出为正。

改进前后平行双回线零序电流保护定值及灵敏度计算结果列于表2。双回线运行时，一回线单相接地开关断开故障相的非全相中，两侧电势未摆开，当负荷电流 $I_{f1**} = 2.35$ 时（二十万千瓦机组额定电流），非全相线路 $I_{0F1**} = 0.345$ ，无故障线路 $I_{0F1**} = 0.277$ 。单回或双回线非全相，不大可能出现振荡，两侧电势摆角按稳定计算结果取值，不考虑负荷电流影响。例如：单回线一相断开取 $\delta = 120^\circ$ ，非全相零序电流 $I_{0F**} = 2.47$ ；双回线其中一回线一相断开取 $\delta = 90^\circ$ ，非全相线路 $I_{0F1} = 0.855$ ，无故障线路 $I_{0F1**} = 0.684$ 。双回线零序电流保护定值计算及表2中保护投 $M_{33}$ 或 $N_{33}$ 端子跳闸，就是依据上列数值给出的。需要说明，改进前两侧零序Ⅲ段 $I_{01} = 0.36$ ，躲不开 $\delta = 90^\circ$ 双回线非全相时，无故障线路流过的零序电流，但要保证本段对线路末端有灵敏度，其动值不宜再提高，需将动作时间1.0秒再加长，以躲过重合周期。

保护6零序Ⅱ段定值计算

$$\text{由(15)式 } I'_{01**} = 1.1 \times 2 \times \frac{0.0707}{0.3186} \times 1.06 = 0.517$$

$$\text{由(16)式 } I''_{01**} = 1.1 \times \frac{0.0707}{0.3186} \times 2.96 = 0.72$$

参照(5)式 单回线运行非全相最大 $I_{0F**} = 2.47$

$$I'''_{01**} = 1.2 \times \frac{0.0707}{0.3186} \times 2.47 = 0.65$$

取： $I_{0.1**} = 0.72$   $t_{1.0} = 0.5$ 秒

保护末端（B母线） $D^{(1)}$   $I_{0.1**} = 1.01$

$$K_{1.0} = \frac{1.01}{0.72} = 1.4 \text{ 能可靠保护全线。}$$

由改进前后零序保护效能比较可以得出如下结论：

1. 双回线两侧零序灵敏Ⅰ段：改进前，双回线下两侧保护范围之和为线路全长的75%，无交叉区；改进后，双回线下两侧保护范围，分别为线路全长的80%和86%，保护范围交叉区占线路全长的66%，瞬时保护范围扩展很大。

2. 线路接地故障切除时间，改进前不小于1.0秒，改进后为0.5秒，利于系统稳定

表2 平行线零序电流 I、II 段改进前后保护效果比较

保 护	改 进 前 后	序 号	项 目		动作值	动作时间 (s)	跳闸端子	可靠保护 线路 %	定值计算条件
			段 别	数 据					
A 侧 保 护	改 进 前	1	I'0I	2.96	0	N	双回23	单回线躲非全相最大 $I_0=2.47$	
		2	I0I	2.6	0	单回M 双回N	双回28	单回线躲线路末端 $I_0=2.0$	
		3	I0I	1.03	0.5	单回M 双回N	双回75	双回线躲一回非全相 $I_0=0.855$	
		4	I0II	0.36	1.0	M	双回100	双回线相继与④I0I 配合	
	(3) 改 进 后	5	I'0I	2.96	0	N	双回23	同1	
		6	I0dI	2.6	0	单回M 双回N	双回28	同2	
		7	II0sI	1.21	0	N	双回80	双回线躲线路末端 $I_0=0.931$	
		8	I0dII	1.03	0.5	单回M 双回N	单回100	同3	
		9	I0sII	0.39	0.5	M	双回100	双回线下与⑤I'0I 配合	
B 侧 保 护	改 进 前	10	I'0I	2.96	0	N	双回24	同1	
		11	I0I	2.2	0	单回M 双回N	双回47	单回线躲线路末端 $I_0=1.69$	
		12	I0I	1.03	0.5	单回M 双回N	双回73	同3	
		13	I0II	0.36	1.0	M	双回100	双回线相继与③I0I 配合	
	(4) 改 进 后	14	I'0I	2.96	0	N	双回24	同1	
		15	I0dI	2.2	0	单回M 双回N	双回47	同11	
		16	I0sI	1.06	0	N	双回86	双回线躲线路末端 $I_0=0.815$	
		17	I0dII	1.03	0.5	单回M 双回N	单回100	同3	
		18	I0sII	0.54	0.5	M	双回100	双回线能保护全线	

和降低重合闸时间。

3. 改进的双回线零序保护相互闭锁回路是自动控制的, 简单易行, 适用于双回线及断路器由母联带出的各种运行方式。

4. 提高双回线运行时接地保护效能, 不降低单回线运行时的零序电流保护效能。双回线以外的相邻线路保护效果也明显变好, 0.5秒的零序电流II段能保护全线。

5. 零序电流保护不依从于线路高频、纵差、横差及平衡保护, 而能达到逐段单独配合计算定值, 使零序保护自成体系, 不受其它保护停投影响。

参考文献

《高压电网继电保护运行技术》 王梅义等 电力工业出版社 1981年

