

220KV同杆并架线的保护方式问题

黑龙江省电力局 赵希正等七人

我省220KV同杆并架线已出现数条，同杆并架线具有线路走廊占地面积少，建设速度快等优点，近年来国内外多采用这种方式将大电厂接入系统。

但是同杆并架线却给运行、检修、尤其是继电保护带来新的问题，已经引起科研、设计、运行部门的注意。继电保护出现的问题国内各系统正着手研究解决。

1. 互感的影响：

同杆并架双回线相距很近，另序互感很大，对另序电流保护灵敏度有较大的影响，加之系统中枢变电所采用全星接线的自耦变压器，另序电流保护将更难于整定，保护效果更趋劣化。

2. 跨线故障：

同杆并架双回线由于回路之间距离较近，因此双回线同时故障（称之为跨线故障）的机会是存在的。我省110KV与66KV同杆并架的双回线及10KV同杆并架双回线都发生过跨线故障。目前220KV线路采用的综合重合闸，其选相元件为接地距离方向阻抗继电器，当线路发生跨线故障时，例如甲线A相与乙线B相短路并接地时，两回线将有可能同时误感受为AB两相短路接地，使两回线三相跳闸，由于系统运行方式的限制，往往不能使用三相重合闸，即使重合也不可能成功。从而，造成双回线所联系系统的解列，甚至引起更严重的系统互解。将给国民经济带来极为严重的损失。

本文结合我省同杆并架线的建设和投运，提出双回线的第三种运行方式——双线组合全相运行方式；为此，对保护方式提出原则要求，并对有关问题进行探求性的讨论，文中提出一种保护方案及原理接线图。本文亦对各种故障情况下，整套保护的动作为进行简要分析。应当指出，本方案仅是一种可能实现的方案。由于水平有限，本文中一定有不少错误，希望指正。在编制方案过程中得到东北电管局技术改进局王梅义付总工程师指导，并与我省东部、西部电网调度局有关同志一并讨论。

一、运行方式及故障方式分析

1. 两回线同时运行，两侧分别接同一组母线运行或者经母联开关分别接两组母线运行。这是同杆并架双回线最经常出现的运行方式，称之为运行方式一。由于另序互感的影响，另序电流保护效果劣化；接地距离保护不能正确测量，为保证选择性，势必造成保护范围的缩短，影响本线的保护效果，尤其严重的是将影响与之配合关系的线路保

护的效果，进而降低了整个系统的保护效果。

2. 单回线运行，这也是同杆并架线常见的运行方式，称之为运行方式二。因此保护方式的总体设计应能适应于单回线运行，并取得较好的保护效果。

3. 双线组合全相运行方式：所谓组合全相方式是指在双回线运行发生跨线故障时部分重合不成功，或全部重合不成功，但每相至少保留一回线（从总体来看，故障前是三相六线运行，故障后为三相五线，四线或三线运行），从系统安全运行角度，应保留这种运行方式并称为组合全相运行方式。这对于电厂只经过同杆并架双回线联入系统的情况，保留这种运行方式具有特殊重要的意义。

图一划出组合全相方式的三种基本型式：

1	2	3
$A_1 \circ A_2$	$A_1 \circ A_2$	$A_1 \circ A_2$
$B_1 \circ B_2$	$B_1 \circ B_2$	$B_1 \circ B_2$
$C_1 \circ C_2$	$C_1 \circ C_2$	$C_1 \circ C_2$

组合全相方式的三种基本型式

显而易见，每回线CT二次回路中将流有比较大的另序与负序电流，这个电流对每回线的保护将有较大的影响，有可能使高频保护长期发讯，另序电流四段误动切闸，或者在相邻线故障时，另序I II段失去配合而越级切闸。应当指出：这种方式运行时间的长短将取决于手动强送成功与否、故障线路损坏的程度及线路抢修的速度。因此这种方式可能运行一定的时间。如何使保护适应于这种方式的要求，如何判别这种方式的出现，如何对原有保护采取措施，是同杆并架线保护方式必须解决的问题之一。

4. 两线（或单回线）非全相运行方式：即两回线组合后仍然构不成全相运行，系统处于非全相运行，这允许在重合闸过程中短时出现。长时间非全相运行时，保护应切除非全相线路的所有开关。

5. 双回线运行时，一线全相运行而另一线非全相运行可能有以下两种情况：

A、两线正常运行，一线某一相（或二相）开关自动脱扣掉闸时；

B、两线运行，一回线发生单相或两相短路接地并重合闸不成功时。

上述两种情况都属于单回线故障情况，因此，不同于组合全相方式：对保护装置而言，原则上要求有选择性地切除非全相线路，保留全相线路，使系统恢复全相状态。

6. 220KV线路故障分析：

研究线路的故障情况，是设计保护方式的依据。东北主网220KV线路1959年至1975年故障情况如表一：

表一

故障类型	次 数	百 分 比
$K^{(1)}$	444	89.7%
$K^{(1 \cdot 1)}$	27	5.5%
$K^{(2)}$	8	1.6%
$K^{(3)}$	11	2.2%
断 相	5	1.0%

对于同杆并架双回线我国没有有关故障情况的统计数字。表二列出日本275KV同杆并架双回线故障情况：

表二

故 障 情 况	百 分 比
单回线单相接地	77%
单回线两相故障	6%
跨线故障（其中：	17%
同名相故障（如 AA' ）	5%
异名相故障（如 $AA'B'$ ）	2%
两相四线故障（ $AA'BB'$ ）	8%
三相六线故障	1%

以上统计数字告诉我们：单回线单相接地故障占绝大多数，总体保护方式应以加强接地保护为主要原则。同时跨线故障占有相当可观的比例，因此总体保护方式还应解决正确选择故障线的故障相，实现按相切闸方式。即使在重合闸之后再次切除故障时，亦应只切除故障相，保留健全相，以便取得组合全相方式。因此，选相元件是整组保护方式的核心问题。

二、保护方式的原则要求

整体保护方式应适应上述运行方式1.2.3.；出现运行方式4.5时，保护应有选择地切除非全相开关，保证系统保护的配合。具体分述如下：

1. 单回线运行时，要求单相故障切除单相；重合不成功时切除三相；相间故障切三相，应能实现或停用检定同期（无电压）的三相重合闸；一相开关脱扣时应保证系统另序保护的配合；单相接地故障而开关拒绝合闸时，应有选择性地切除拒合开关。

2. 双回线运行时：

A、单回线故障时，实现按相切闸，重合不成功时，切除三相（允许瞬时切除故障

相而延时切除健全相)。

B、跨线故障时，应实现按故障相切闸并重合闸；重合闸后应再次只切除故障相，如一次系统构成组合全相方式，保护不应误切健全相开关，自动实现组合全相时的保护方式。如重合闸后为两线非全相方式，应有选择性地切除双线开关。

3. 对选相元件的基本要求

选相元件应有明确的选择故障相的能力，应做到：

A、故障线非故障相选相元件可靠不误动作；

B、故障线故障相的选相元件应可靠动作并且保护效果良好。

C、双回线同名相的选相元件各不反映邻线故障，例如，甲线A相故障，乙线A'相选相元件不反应。又如发生A—B'跨线故障时，A'B相选相元件不应动作。

D、选相元件应有明确的方向性，背后经小电阻接地时不应误动作。

4. 关于重合闸方式的要求：

A、单回线运行应能实现综合重合闸方式或单相重合闸方式

B、双回线运行时实现检定两线组合两相重合闸方式，例如甲线A相与乙线B'相联络时，实现重合闸；

5. 重合闸后加速的要求：

A、单回线运行时，要求瞬时后加速；

B、双回线运行时，重合于永久性故障上，后加速应再次经选相元件切除故障相，而不切三相；

6. 整组保护必须设置双线组合全相方式的判别回路，对此回路的原则要求是：

A、两回线同侧重合闸脉冲发出后的一段时间内投入，充分发挥每回线保护的作用。

B、设置1+1+1判别回路，起动执行继电器；

C、设置2+2+2判别回路，闭锁执行继电器；

D、判别回路执行继电器动作后，说明线路处于双线组合全相方式，应给出信号并闭锁分保护，投入全保护。

E、判别回路采用手动复归方式

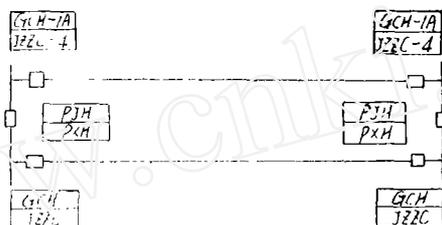
7. 关于组合全相时保护方式的要求

考虑到是极稀少的运行方式，采用简单的保护方式（例如合另序电流及合距离保护），但保护装置本身必须完善，系统保护时限配合上，为不使相邻线时限抬高，此时 Δt 可取0.3秒，并停用重合闸。

组合全相时合保护必须适应事故处理的要求，即手动强送于故障相时，瞬时切除故障相。合保护不应误切健全相破坏组合全相方式。如手动强送成功，应待两侧开关均合好后，手动复归组合全相判别回路，退出合保护，投入分保护，恢复运行方式1。

三、保护方式的构成

根据上述要求及简化保护的原则，考虑目前220KV线路保护基本定型，拟制了以220KV单回线保护为基础的同杆并架双回线保护方式如图2。



图二 同杆并架双回线保护配置图

1. 设置双回线按相平衡保护及双线组合全相判别回路构成的主保护盘，盘中还包括另序电流保护做为组合全相时的接地保护。设置PJH—II I II段切换式距离保护盘接为合距离方式，双回线运行时I段停用，II段做为组合全相方式相间故障保护，III段做为远后备保护。

2. 每回线设置GCH高频保护盘及JZZC综合重合闸盘。

3. 关于选相元件，

本保护方案采用按相平衡保护与接地方向阻抗继电器配合，跨线故障采用相继选相方式，一般说，接地方向阻抗继电器有三种处理方式，其一是接地方向阻抗继电器采用I II段切换方式，即第I段可整定全线的70%左右，因此，在发生跨线故障时，第I段接地方向阻抗继电器的动作区伸不到邻线，而I II段的切换时间即要考虑对侧平衡继电器相继动作，即

$$\begin{aligned}
 t &= t_{CP} + t_{\text{开关分闸}} + t_{\text{裕度}} \\
 \text{切换时间} & & & \\
 &= 0.04 + (0.05-0.07) + 0.05 \\
 &= 0.15 \text{秒}
 \end{aligned}$$

采用I II段切换方式的接地方向阻抗元件与平衡保护相配合，能取得在跨线故障时正确选相的效果，保护性能良好，缺点是接线复杂，同时重合闸后应再次起切换而且对短线路亦不适用。

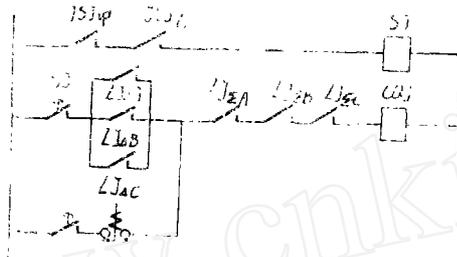
其二是阻抗继电器本身代延时，延时时间亦为0.15秒，此时，可按线路末端故障有1.5倍灵敏度整定。这种方式的优点是接线简单，适应各种长度的线路。

其三是保护在双回线运行时人为地延时投入，而在单回线运行时，将该时间短接，这种方式最大的缺点是增加了保护动作时限，因此笔者并不推荐此种方案。

接地方向阻抗继电器可采用引入15%超前相电压做为极化量，也可采用抛球5%特性，来防止背后经小电阻接地短路时误动作问题。

4. 两线组合全相判别回路由按相合电流继电器三付接点串联（构成和回路）来反

映 $1 + 1 + 1$ ，用差电流继电器构成或回路做为 $2 + 2 + 2$ 判别，并由两回线 JSJ 启动时间继电器 SJ 来动作判别回路，其接线图如图 3：



图三

图中 $LJ_{xA}LJ_{xB}LJ_{xC}$ 为 A 相、B 相、C 相合电流继电器； LJ_{AA} 、 LJ_{AB} 、 LJ_{AC} 为 A 相、B 相、C 相的差电流继电器。

CQJ 为两线全相判别回路的执行继电器，采用自保持形式。 CQJ 动作后，在综合重合闸 N_{33} 、 M_{33} 、 R_{33} 端子上闭锁分保护及停用重合闸，并投入组合全相的合电流保护。

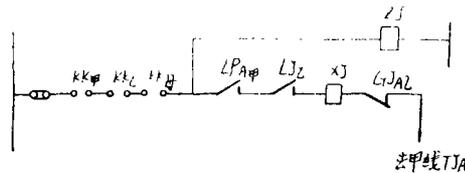
5. 组合全相时合保护方式的械成：

A、合另序电流保护组成两段式按 II III 段方式运行，经 CQJ 动作后投入运行。

B、相间距离保护 $PJH-11$ 由 CQJ 动作投入第二段。

C、组合全相方式时，重复相例如 $AB B'C'$ 所组成的全相方式，B 相为重复相）平衡保护照常投入运行，重复相故障时，由平衡保护瞬时切除故障。非重复相平衡保护自动解除。

6. 按相平衡保护采用邻线同相电流起动并互相闭锁方式，直接起动分相出口继电器，并设置平衡保护投入继电器 ZJ ，如图四：



图四

图中： $LP_{A甲}$ 为甲线平衡继电器 LJ 为乙线电流继电器
 GJ_{AZ} 为乙线 A 相固定继电器。

ZJ 为平衡保护投入继电器，其作用为：

- A、解除两相接地联逃回路；
- B、解除永久性故障时跳三相的回路；
- C、解除选相元件拒动后备跳闸回路；

- d、解除相间故障跳三相回路；
- e、投入阻抗选相元件延时回路；

在单回线运行时， ZJ 失磁，自动解除上述回路，恢复220KV单回线综合重合闸方式。

7. 设置检定邻线有电流继电器 LLJ 及检定双组两相联络继电器 LQJ ，用以满足双组两相时重合闸方式。

四、各种故障情况下保护动作行为的简要分析

1. 故障类型选择：应考虑实际可能发生各种类型的故障，对于没有发生或很稀少的故障，保护装置不予考虑，例如，对于不同地点的两相同时接地故障。因此下面就在双回线运行方式下，几种常见的故障下对保护动作行为进行简要分析：

单回线单相接地

跨线故障 AB'

跨线故障 AA'

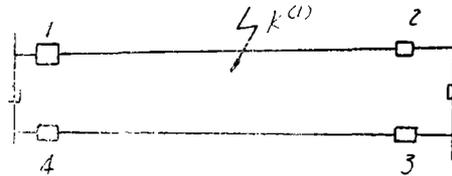
跨线故障 $AA'B'$

跨线故障 $AB A'C'$

跨线故障 $AB A'B'$

由于双回线运行，因此平衡保护投入运行， ZJ 将选相接地方向阻抗继电器投入0.15秒延时。两侧均使用单相重合闸方式。

2. 单回线单相接地：例如甲线A相：



图五

1号及2号保护均由下列保护动作切A相开关：平衡保护A相瞬时切闸

$GCH-1A$ 段 $ZKJA$ 代0.15秒延时切闸。
 I_{01}

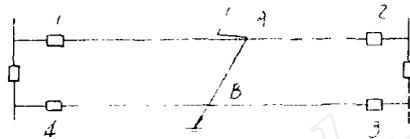
综合重合闸 GJA 动作后将乙线A相平衡保护闭锁。继之进行A相重合闸。如重合成功，则线路恢复正常运行。如重合于永久性故障上，重合闸后，相平衡保护相当于相电流瞬时全线后加速切除A相开关。由于 ZJ 拉开了永久性故障切除三相的回路，其余两相开关由另序电流三段经滑动接点切除，保证了系统保护的配合。

顺便指出的是当单回线发生两相短路接地时，由平衡保护及单回线保护经0.15秒延时动作的选相元件切除故障的两相，此时相当于乙线全相运行及甲线一相运行， $LLJZ$ 将拉开甲线重合闸放电回路，甲线仍然要进行一次重合闸。即一回线发生三相短路，

本装置在三相切开后，亦将方便地实现检定邻线有电流进行三相一次重合闸。

从上述分析可以看出，本保护方式在单回线故障情况下有满意的保护效果。

2. 跨线故障 AB'



图六

- 1号保护 } A 相平衡 瞬时切闸 A 相
 2号保护 } $GCH-1A$ ZKJ_A 代0.15秒延时切闸 A 相
 I_{OI}
 3号保护: B 相平衡保护瞬时切闸 B 相
 4号保护: $GCH-1A$ ZKJ_B 代0.15秒延时切 B 相
 I_{OI}

对于1、2保护的 B 相阻抗选相元件，由于代0.15秒延时，而 B' 相已经由3、4号平衡保护瞬时切除，因此，1、2号保护 B 相阻抗继电器将瞬时返回而不会误切除 B 相，同样道理3、4号保护不会误切 A 相。这就是相继选相的道理。故障切除后，甲线剩 BC 相，乙线剩 $A'C'$ 相，继之进行重合闸。假如重合闸有一相或者两相均不成功，此时线路处于组合全相运行方式， $JSJ_{甲}$ 、 $JSJ_{乙}$ 起动作 $1SJ$ ， I_{ZA} 、 I_{ZB} 、 I_{ZC} 动作，说明满足 $1+1+1$ 的要求， I_{AA} （或 I_{BB} ）动作，说明 A 相（或 B 相）缺一相，因此起动作 CQJ ，并自保持，同时闭锁甲线乙线分保护，投入合保护。事故处理时，本保护方式适应于手动强送的情况；如先强送侧成功，则待两侧均合好后，并检查两线都处于全相运行后，手动复归组合全相判别回路。如手动强送于故障线上，则平衡保护将以0秒瞬时加速切除全线故障，而合另序电流II段为0.3秒，不会误切健全相开关。此时，双回线将接着组合全相方式继续供电。

3. 跨线故障 AA' 短路接地:

双回线发生同名相故障时，平衡保护不能动作，因此1、2、3、4号保护动作情况相同，均由高频保护或另序电流I段经 ZKJ_A 代0.15秒延时切除 A 相开关，继之进行重合闸。值得指出的是：先重合于故障的线路后加速回路不应误切健全相开关。

4. 跨线故障 $AA'B'$ 短路接地

从以上分析可以知道，甲线 B 相阻抗选相元件由于代0.15秒延时，时间上解开平衡保护动作，因此不会误切甲线 B 相开关。乙线 B 相由平衡保护瞬时切除。其余同上。

5. 跨线故障 $AB A'C'$ 故障:

1、2号保护由平衡保护 B 相瞬时切除 B 相开关；3、4号保护由平衡保护瞬时切除 C 相开关。 AA' 相1、2、3、4号保护均由 $GCH-1A$ 经 ZKJ_A 代0.15秒延时切除。此时双回线将由甲线 C 相及乙线 B 相联络， LLJ 均拉开重合闸电容放电回路，因此两回线各进行一次重合闸。其他情况同上述。

6. 跨线故障 $AB A' B'$ 短路接地:

这种故障日本统计资料为 8%, 如果 $AB A' B'$ 二相回线是同时性故障, 平衡保护将不能动作, 仍然由 $GCH-1A$ 经 $ZK J_A$, $ZK J_B$ 切除 AB 相开关, 此时系统仅由 C 相联络, LQJ 动作后, 将 C 相开关切除, 并闭锁重合闸。当然 LQJ 也可以采用另外一些系统性措施, 例如切机切负荷后, 线路可进行一次重合闸。当然进行一相联络的重合闸方式必须经过系统计算后, 并且系统采取足够的技术措施方可实施。

五、结 语

1. 采用兼作选相元件的接相平衡保护, 不受另序互感的影响, 加强了接地保护, 对占故障 80% 的单回线单相接地有满意的保护效果, 改善了与之有配合关系的相邻线的另序保护效果 (如另序二段可与平衡保护相配合); 平衡保护对于大多数故障 (同各相故障除外) 可兼作重合闸瞬时后加速和手动强送时瞬时保护的功用; 即使在组合全相方式下, 重复相再发生故障时 (例如 $AA'BC$ 运行 A 相故障), 仍然可由平衡保护切除故障而继续保留组合全相运行方式。因此, 平衡保护不仅简单可靠, 而且保护性能良好, 消除接地故障功能强, 当其相继动作范围不大时, 尤其适宜做同杆并架线路的补充保护。附带指出: 对非同杆并架双回线路, 采用兼作选相元件的接相平衡保护, 在很多情况下可以取代复杂方式的线路主保护。

2. 选相元件采用 $U_{\phi} / I_{\phi} + K_3 I_0$ 结线的方向阻抗继电器, 采用 I II 段切换的方式 (或本身代延时), 切换时间为 0.15 秒, 与平衡保护配合构成所谓相继选相方式, 比较好地解决了跨线故障时正确选相问题。而且不会限制保护动作的时限, 效果较好, 是简单易行的方案。

3. 平衡保护的最大缺点是不反映同相故障, 因此当发生跨线的同名相故障时, 需由高频保护经阻抗选相元件切闸。同时对于同名相故障时, 重合闸后加速回路也需进行改进。

4. 限于国内特高频保护尚没有定型屏, 即使可用 6 套特高频保护实现接相主保护解决了跨线故障的选相问题, 但是处理后各保护问题也是一个十分复杂的问题。

5. 本方案有待于实际系统的复杂故障计算后, 保护装置经过动态模拟试验后进一步完善。

参加本文编写的有王岫霓、矫长华、胡经民、韩学斌、朱景云、郝连仲。

参 考 资 料

- | | |
|---|---------|
| (1) 有关综合重合闸的一些问题 (全国继电保护研究班资料) | 东北电业管理局 |
| (2) $JZC-3$ 综合重合闸屏说明书 | 阿城继电器厂 |
| (3) $ZC-4$ 综合重合闸说明书 | 许昌继电器厂 |
| (5) 陡薮线 220KV 同杆并架双回线路复故障计算及保护装置改进的初步意见 | 北京电力设计院 |