

# 超高压线路简化整定计算的原则和方法

陈祥文<sup>1,2</sup>, 柳焕章<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074; 2. 华中电力调度(交易)中心, 湖北 武汉 430077)

**摘要:** 随着超高压电网的逐步强大和继电保护技术的不断进步, 简化线路后备保护的整定计算是切实可行的。提出了超高压线路后备保护的简化整定计算原则和距离保护及定时限零序保护简化整定计算的方法, 重点讨论了距离 I 段可靠系数、零序补偿系数、距离 II 段灵敏系数和距离保护躲最小负荷阻抗的计算方法。同时简单介绍了线路后备保护整定计算中选择运行方式的优化方法。采用这些原则和方法, 既保证了整定值的正确、科学和合理, 又能够提高整定计算工作的效率。

**关键词:** 继电保护; 整定计算; 输电线路; 超高压电网

## Rules and methods for simplifying setting calculation of protections of extra-high voltage transmission line

CHEN Xiang-wen<sup>1,2</sup>, LIU Huan-zhang<sup>2</sup>

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Central China Electric Power Dispatching(Dealing) Center, Wuhan 430077, China)

**Abstract:** The setting calculation of backup protections of transmission line can be simplified with the stronger function of extra-high voltage power network and advancement of relay protection technology. Some rules and methods for simplifying setting calculation of distance protection and definite-time residual current protection are proposed, especially the setting calculation methods for reliability factor of zone I distance protection, sensitive factor of zone II distance protection, minimum-load-avoiding impedance and zero-sequence current compensate coefficient. The optimized method of selecting operation mode in the process of setting calculation for transmission line backup protection is also discussed briefly. The use of these setting calculation rules and methods can enhance the performance of setting value and the efficiency of setting calculation process.

**Key words:** relay protection; setting calculation; transmission line; extra-high voltage power network

中图分类号: TM744

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)02-0011-04

## 0 引言

超高压电网的迅速发展, 出现许多平行线路、短线路以及环网, 使得超高压线路后备保护的整定计算日益繁琐和复杂, 要求“加强主保护, 简化后备保护”的呼声也越来越高。目前, 随着继电保护技术的进步、微机型保护装置的普及和通信系统的不断完善, 线路主保护的性能和可靠性大大提高, 降低了电网对线路后备保护的要求, 简化线路后备保护的整定计算是切实可行的。

## 1 后备保护的简化整定原则

### 1.1 后备保护配置的目的和意义

按照《继电保护和安全自动装置技术规程》的规定, 后备保护是主保护或断路器拒动时, 用以切除故障的保护。超高压线路保护按近后备原则配

备, 断路器拒动时, 由断路器失灵保护切除故障; 线路主保护拒动时, 由本线路后备保护切除故障。因此, 近后备保护应至少满足以下两点基本要求之一, (1) 主保护硬件故障(包括通道故障)时, 后备保护能正常工作; (2) 主保护原理上存在缺陷或灵敏度不足, 后备保护能够补充; 否则不能作为本设备或线路的后备保护。

### 1.2 后备保护整定计算的理想原则

后备保护整定计算的前提条件是主保护拒动, 主保护拒动应由故障线路的后备保护切除故障, 不应由相邻线路的后备保护切除故障。前者讲的是灵敏性, 即要求故障线路后备保护必须对线路任何位置故障有足够的灵敏度; 后者讲的是选择性, 即后备保护应该与相邻线路的后备保护配合, 不应与相邻线路的主保护配合。为了满足这两点要求, 后备保护必须按照“逐级配合”的理想原则整定。

逐级配合是指,在由保护范围和动作时间组成的两维平面上,相互配合的线路保护定值折线不相交,并留有一定的裕度空间,即保护范围和动作时间均取得配合,缺一不可。但在实际整定计算工作中,很难做到完全按照理想原则整定,常常遇到选择性与灵敏性、选择性与速动性的矛盾,整定计算工作在很多情况下就是协调这些矛盾,根据电网的实际情况作出取舍。

### 1.3 后备保护的简化整定计算原则

按照加强主保护、简化后备保护的思想,如果线路配置有独立、完善的双重主保护,我们应允许后备保护的整定计算作相应简化,简化整定计算就必定会违背理想原则,导致某些失配。对于距离保护,可按如下原则考虑:不带时延的距离Ⅰ段(包括突变量距离)将选择性放在第一位,绝对不允许发生越级跳闸;带时延的距离Ⅱ段将灵敏性放在第一位,在保证灵敏度的前提下,兼顾选择性和速动性;带时延的距离Ⅲ段将灵敏度放在第一位、选择性其次、速动性再其次。

对于定时限零序电流保护,仅作为接地距离保护的补充,用来切除高电阻接地故障,其最短动作时延大于距离Ⅲ段的时延。

## 2 后备保护的整定方法

### 2.1 距离Ⅰ段的整定

一般距离Ⅰ段不带时延,为保证其选择性,应合理选取可靠系数和零序补偿系数 $K$ 值。

电流、电压互感器的绝对误差对于不同长度线路的距离保护测量准确性的影响是不同的,线路长,影响小,线路短,影响大,所以可靠系数应该与线路长度有一定的函数关系,使得线路越长可靠系数越大,线路越短可靠系数越小,对于超短线路可靠系数小于或等于零,即保护停用。结合整定规程的要求,可确定一个最大可靠系数 $K_{k\max}$ (对应线路长度为无穷大),随着线路长度减小,可靠系数 $K_k$ 不断减小,我们可用反比函数描述可靠系数的变化量(减小量)与线路长度的关系,即

$$K_{k\max} - K_k = \frac{B}{l}, \text{ 其中 } l \text{ 为线路长度, } B \text{ 为常数。}$$

由此得到可靠系数计算公式

$$K_k = K_{k\max} - \frac{B}{l} = K_{k\max} \cdot \left(1 - \frac{A}{l}\right), \text{ 其中 } A \text{ 为预定义}$$

常数,表示线路长度小于或等于该值时必须停用距离Ⅰ段保护。

对突变量距离、接地距离和相间距离,可选定

不同的 $K_{k\max}$ ,得到具体计算公式如下:

突变量距离( $\Delta Z$ )的可靠系数计算公式:

$$K_k = 0.68 \times \left(1 - \frac{5}{l}\right), \text{ 计算结果如表 1。}$$

表 1 突变量距离的可靠系数

线路长度 $l$ /km	5	10	100	200	300
可靠系数	0	0.34	0.646	0.663	0.6686
缩短的公里数	5	6.6	35.4	67.4	99.4

接地距离Ⅰ段的可靠系数计算公式:

$$K_k = 0.72 \times \left(1 - \frac{5}{l}\right), \text{ 计算结果如表 2。}$$

表 2 接地距离Ⅰ段的可靠系数

线路长度 $l$ /km	5	10	100	200	300
可靠系数	0	0.36	0.684	0.702	0.708
缩短的公里数	5	6.4	31.6	59.6	87.6

相间距离Ⅰ段的可靠系数计算公式:

$$K_k = 0.82 \times \left(1 - \frac{5}{l}\right), \text{ 计算结果如表 3。}$$

表 3 相间距离Ⅰ段的可靠系数

线路长度 $l$ /km	5	10	100	200	300
可靠系数	0	0.41	0.779	0.799 5	0.806 3
缩短的公里数	5	5.9	22.1	40.1	58.1

可见表 1、2、3 中的可靠系数是基本满足整定规程要求的。

零序补偿系数 $K$ 值的计算要考虑两个问题,分述如下。

#### 1) 线路零序阻抗对 $K$ 值的影响

根据线路实测阻抗,采用公式 $K = (Z_0 - Z_1) / 3Z_1$ 计算得到 $K$ 值。 $Z_0$ 、 $Z_1$ 分别为线路零序和正序阻抗。但由于零序阻抗测量不准确,导致该计算值偏大,为了保证选择性,目前的做法是直接计算值减去一个小数,这种方法是不科学的,应该仅修改零序阻抗,对于能够准确测量的正序阻抗则保留,即采用如下计算公式: $K = (K_k \cdot Z_0 - Z_1) / 3Z_1$ ,其中 $K_k$ 为可靠系数,通常可取 0.95 或 0.9。

#### 2) 零序互感阻抗对 $K$ 值的影响

首先推导双回互感线路的情况。由整定线路电压方程 $U_\varphi = I_\varphi Z_1 + I_0(Z_0 - Z_1) + I'_0 Z_m$ 和保护测量方程 $U_\varphi = (I_\varphi + 3KI_0)Z_1$ 可以得到

$$K = \frac{Z_0 - Z_1 + \frac{I'_0}{I_0} Z_m}{3Z_1},$$

其中:  $U_\phi$ 、 $I_\phi$ 、 $I_0$  分别为整定线路的相电压、相电流和零序电流,  $I'_0$  为相邻互感线路的零序电流,  $Z_m$  为零序互感阻抗。为了保证选择性,  $K$  应取小值。选择相邻互感线路的零序电流与整定线路的零序电流反方向的情况, 即选择相邻互感线路挂检的方式。由相邻互感线路电压方程  $0 = I_0 Z_m + I'_0 Z'_0$  可以

推出  $\frac{I'_0}{I_0} = -\frac{Z_m}{Z'_0}$ , 从而可得双回互感线路的  $K$  值计算公式:

$$K = \frac{Z_0 - Z_1 - \frac{Z_m^2}{Z'_0}}{3Z_1},$$

其中:  $Z'_0$  为相邻互感线路的零序阻抗。

对多回互感线路通常只考虑一回线路挂地线检修, 未挂检的线路可能起去磁作用, 也可能助磁, 情况十分复杂。为了简化计算, 分别计算本线路与各互感线路的互感阻抗平方同互感线路零序自阻抗的比值, 然后取最大者代入双回互感线路的  $K$  值计算公式即可。

## 2.2 距离 II 段的整定

### 2.2.1 灵敏度的选择

根据简化整定原则, 距离 II 段必须保证灵敏性。同可靠系数的选取一样, 距离 II 段灵敏度与线路长度有一定函数关系, 这与整定规程的原则是相同的, 规程中采用分段函数, 但取连续函数更加合理。按照整定规程的规定, 线路越长灵敏度越小, 因此可选择反比函数来反映灵敏度与线路长度的关系, 该反比函数关系式即灵敏度计算公式为:

$$K_{lm} = \frac{A}{l} + B, \text{ 其中 } l \text{ 为线路长度, } A、B \text{ 为预定义}$$

常数。预定义常数可按各电网实际整定习惯来确定。

我们取  $A = 20$  和  $B = 1.2$  确定下限灵敏度, 可得表 4。

表 4 距离 II 段保护的下限灵敏度

Tab.4 Lower limit of sensitivity for zone II distance protection

线路长度 $l$ /km	50	100	150	200	400
下限灵敏度	1.6	1.4	1.33	1.3	1.25
超出线路全长的公里数	30	40	49.5	60	100

表 4 中的灵敏度下限基本满足整定规程的要求, 同时为兼顾选择性和速动性, 对长线路适当降

低了灵敏度要求。

另外按照近后备原则, 距离 II 段的保护范围也无需过大, 所以设置了上限灵敏度, 取  $A = 120$  和  $B = 1.5$ , 可得表 5。

表 5 距离 II 段保护的上限灵敏度

Tab.5 Upper limit of sensitivity for zone II distance protection

线路长度 $l$ /km	50	100	150	200	400
上限灵敏度	3.9	2.7	2.3	2.1	1.8
超出线路全长的公里数	145	170	195	220	320

### 2.2.2 整定计算方法

与相邻线路配合时, 允许与主保护(纵联保护)配合。即允许在相邻线路距离 I 段外至相邻线路对侧母线间故障时失配, 这种失配也符合整定规程的规定。

与相邻变压器的差动保护配合, 不与其后备保护配合。因为现在的变压器保护主备一体化, 不满足前述近后备保护的两个基本要求, 后备保护不能作为变压器的后备, 只能作母线或出线的后备。同时变压器一般配置两套差动保护和一套本体保护, 可以不考虑变压器主保护拒动时的失配问题。

如果与相邻线路纵联保护或变压器差动保护配合满足下限灵敏度要求, 则动作时间取一个时间级差。但对于接地距离 II 段, 其动作范围一般大于失灵保护, 因此其动作时间还必须与失灵保护配合。相间距离 II 段无此要求, 不考虑多断路器失灵。

如果与纵联或差动保护配合不满足下限灵敏度, 则保护范围强行按下限灵敏度整定, 动作时间与相邻线路距离 II 段时间配合, 如果因此而导致动作时间过长, 可直接按两个时间级差整定。

如果整定值灵敏度高于上限灵敏度则强行按下限灵敏度整定。

## 2.3 距离 III 段的整定

与相邻变压器差动或相邻线路距离 II 段、距离 III 段配合整定, 直到满足下限灵敏度要求, 如果不满足则直接按下限灵敏度整定。动作时延取配合整定时确定的最长时延, 同时考虑到距离 III 段一般不经振荡闭锁, 该时延必须大于最长振荡周期。

## 2.4 电阻分量定值的整定

从阻抗平面上看距离保护的特性, 纵轴是衡量距离远近的电抗定值, 横轴则是反映保护耐过渡电阻能力的电阻定值。电阻定值的整定应根据保护动作特性具体分析, 但其原则是相同的——躲过最小负荷阻抗 ( $Z_{fh-\min}$ ), 即躲过最大负荷。

相间短路电阻只有弧光电阻, 其值一般不大,

可按每相 10~15 Ω、相间 20~30 Ω 确定<sup>[1]</sup>。因此相间距离保护的电阻分量不必过大,可整定为一次值 50 Ω。该电阻对应的最大负荷功率为:500 kV 线路约 4 200 MW,220 kV 线路约 800 MW。都达到自然功率的 4 倍以上,远远超过线路运行的最大负荷。线路接地故障电阻一般较大,对于 500 kV 线路最大可达每相 300 Ω,为了尽可能地反映大过渡电阻接地故障,接地距离电阻分量定值越大越好,当然其前提是躲过最小负荷阻抗。最小负荷阻抗一般可取一次值 80 Ω,对应的最大负荷功率为:500 kV 线路约 2 600 MW,220 kV 线路约 500 MW。其功率都在自然功率的两倍以上,能可靠躲过线路运行的最大负荷。500 kV 与 220 kV 线路的运行参数如表 6<sup>[1]</sup>。

表 6 输电线参数

Tab.6 Partial parameter of transmission line

线路运行 电压/kV	导线截面 /mm <sup>2</sup>	波阻抗 /Ω	自然功率 /MW
525	4×400	275	1000
230	1×400	400	130
230	2×240	300	180

当然,也可以按躲过精确计算的最小负荷阻抗

整定。计算公式为:  $Z_{f,\min} = K_k \cdot \frac{(0.95U)^2}{P_{\max}/\cos\varphi}$ , 其中

可靠系数  $K_k$  取 0.7,  $U$  为线路运行电压,  $P_{\max}$  为最大事故负荷有功功率。具体计算电阻分量定值时,应按照保护动作特性采取相应的方法。例如,对于圆特性距离继电器,可计算出线路灵敏角方向的最大整定阻抗  $Z_{zd,\max}$ , 距离 I、II、III 段定值均不能大于该值,计算公式为

$$Z_{zd,\max} = \frac{Z_{f,\min}}{\cos(\theta_{lm} - \beta)}, \text{ 其中 } \beta \text{ 为负荷功率因数角, 可取 } 30^\circ, \theta_{lm} \text{ 为线路正序阻抗角。}$$

2.5 定时限零序电流保护的整定

线路零序电流保护定位于切高电阻接地故障。

目前可能出现的最大接地电阻为:500 kV 线路 300 Ω;330 kV 线路 150 Ω;220 kV 线路 100 Ω<sup>[1]</sup>。三种情况都相当于通过故障点的电流为 1 000 A 左右,按线路两侧均匀分配并考虑一定的灵敏度,最末段零序电流可整定为 300 A。如果考虑纵续动作,后跳侧保护的灵敏度会更高。在实际整定计算中,建议使用两段零序电流保护,最末段整定 300 A,次末端整定 400~500 A。两段保护的时延相差一个时间级差,但都必须大于距离 III 段时延。这种做法避免了零序电流保护整定时的繁琐计算,同时改善

了相邻线路零序电流保护的配合关系。

反时限零序电流保护相对于定时限零序电流保护有无比的优越性,选择曲线有一定的方法和技巧。但目前在超高压电网中使用不多,不在本文中讨论。

### 3 后备保护整定计算运行方式选择方法的优化

在实际的电力系统中,运行方式是不断变化的,而保护装置的整定值相对固定,为使整定值适应电力系统中不同的运行状态,在线路后备保护整定计算过程中,必须考虑大量运行方式,耗费大量整定计算时间。为提高整定计算工作的效率,必须对运行方式的选择方法进行优化。

#### 3.1 运行方式的选择方法

通常整定计算采用的运行方式组合法一般为:以电网基本运行方式为基础,考虑整定线路相邻元件的轮断。采用该方法时,选择电网基本运行方式非常重要,往往为了保证整定值的适应性,选择过多的基本运行方式而产生大量的运行方式组合,增加整定计算的工作量。我们采用的方法如下:(1)确定电网基本运行方式,一般可选择电网正常运行的最大方式和最小方式;(2)在电网基本运行方式的基础上,根据计算目的,确定整定线路和配合线路两端邻近发电厂或变电站的运行方式,厂(站)的运行方式已预先定义,一般为该厂(站)正常运行和检修时的最大方式和最小方式;(3)考虑整定线路相邻元件的轮断,确定用于整定计算的运行方式组合。可以看出,该方法的关键在于如何确定邻近厂(站),即确定哪些厂(站)的运行方式变化对整定计算结果影响较大,而降低了对确定电网基本运行方式的要求。能够大大减少运行方式组合的数量,同时也提高了整定计算结果的准确性和适应性。

#### 3.2 邻近厂(站)的确定方法

判断厂(站)与电网中某母线间电气联系的强弱,当电气联系较强时,即厂(站)运行方式变化时母线自阻抗的变化幅度较大,则认为厂(站)是该母线的邻近厂(站)。因元件轮断会改变某些母线与厂(站)的邻近关系,在运行方式组合时,往往先进行元件轮断,然后确定整定线路和配合线路两端的邻近厂(站)。

- Technology, 2005, 36(1): 79-81.
- [3] 刘辉, 潘永旗, 屈静. 浅析高频保护命令载波通道传输时间的影响[J]. 继电器, 2002, 30(10): 81-82.  
LIU Hui, PAN Yong-qi, QU Jing. Analysis in Effects to High Frequency Protection Command Transmission Time in Carrier Wave Channel[J]. Relay, 2002, 30(10): 81-82.
- [4] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.  
ZHANG Bao-hui, YIN Xiang-gen. Power System Protective Relaying [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [5] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.  
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of Power System Protective Relaying [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [6] 王维俭. 电力系统继电保护基本原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.  
WANG Wei-jian. Basic Principle of Power System Protective Relaying [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992.
- [7] 朱石声. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
ZHU Sheng-shi. Principle and Technology of High Voltage Power Network Protective Relaying [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [8] 王梅义, 等. 超高压电网继电保护运行技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.  
WANG Mei-yi, et al. Operation Technology of Ultra High Voltage Power Network Protective Relaying [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1984.
- [9] 贺家李, 葛耀中. 超高压输电线路故障分析与继电保护[M]. 北京: 科学出版社, 1987.  
HE Jia-li, GE Yao-zhong. Fault Analysis and Protective Relaying for Ultra High Voltage Transmission Line [M]. Beijing: Science Press, 1987.
- [10] 关根志. 高电压工程基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.  
GUAN Gen-zhi. High Voltage Engineering Fundamentals [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [11] 周泽存. 高电压技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.  
ZHOU Ze-cun. High Voltage Technology [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1988.
- [12] 施围. 电力系统过电压计算[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.  
SHI Wei. Calculation for Electric Power System Overvoltage [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1988.
- [13] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.  
XIE Guang-run. Power System Overvoltage [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.

收稿日期: 2006-08-20; 修回日期: 2006-12-06

作者简介:

黄景光(1968-), 男, 副教授, 主要从事信号分析和电力系统继电保护研究; E-mail: huangjingguang@xinhuanet.com

胡汉梅(1965-), 女, 副教授, 主要从事电力系统绝缘与过电压研究;

蒋秀洁(1972-), 女, 讲师, 主要从事电力系统规划及自动化研究。

(上接第 14 页 continued from page 14)

## 4 结论

为适应电网快速发展的需要, 华中电网 500 kV 系统的线路保护整定计算从 2001 年开始使用自动整定计算程序, 该程序基本上采用简化的整定计算原则和方法, 极大地提高了整定计算工作的效率, 大大降低了因新设备投产导致大范围修改定值的可能性, 同时也保证了整定计算结果的科学性、合理性, 从未出现任何由于简化整定计算引起的电网事故。

## 参考文献

- [1] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.  
WANG Mei-yi. The Utility of Power System Network Relay Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.  
State Electric Power Dispatching and Communication Center. Power System Relay Protection Rules Collection, Second Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [3] 崔家佩, 孟庆炎, 等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.  
CUI Jia-pei, MENG Qing-yan, et al. Setting of Power System Relay Protection and Security Stability Device[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1993.

收稿日期: 2006-07-20; 修回日期: 2006-09-11

作者简介:

陈祥文(1973-), 男, 工程师, 研究方向为继电保护整定计算; E-mail: xiangwchen@163.com

柳焕章(1954-), 男, 高级工程师, 研究方向为继电保护运行管理和整定计算。