

关于并网电厂涉网保护定值配合研究

安化龙, 范小涛, 陈默

(四川省电力工业调整试验所, 四川 成都 610016)

摘要: 有关整定导则对于涉网保护的定值计算及时限配合提出了要求, 但针对各个电网公司的不同运行方式, 并不是完全适用。以四川电网为例, 结合具体涉网保护配置整定, 论述了涉网保护的绝大部分较为常见的问题, 最终讨论并制定出了涉网保护整定定值和动作时间配合的解决方案。

关键词: 涉网保护; 运行方式; 保护整定; 保护时限配合; 网源协调

Abstract: The related setting guides provide the requirements for setting calculation and time coordination of grid-related protection, but according to the different operating mode of each power company, these guides are not completely applicable. Taking Sichuan power grid as example and combined with the detailed configuration and setting of grid-related protection, the most common problems of grid-related protection are proposed, and finally the solutions for setting values and actuation time coordination of grid-related protection are discussed and formulated.

Key words: grid-related protection; operating mode; protection setting; protection time coordination; power grid coordination

中图分类号: TM74 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)04-0046-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.04.012

0 引言

网源协调是指电网和并网电厂在运行和管理方面的技术协调的总称。并网电厂涉网保护配合是指和并网电厂运行相关需要和电网相关保护配合的总称, 属于网源协调技术协调的重要组成部分, 目前随着电网的日趋增大, 并网电厂对于相关保护的配置、正确选型以及定值的合理整定是非常重要的, 对于并网电厂来说, 在系统发生故障时, 快速切除相关故障使电网和电厂的损失降到最低, 从而确保设备的安全性和系统的稳定性。

1 涉网电厂相关保护定值整定及时限配合

从四川电网大型水/火电机组的运行实践出发, 对并网电厂主要的涉网保护配置整定, 进行了详细的分析, 以供电厂的相关工程技术人员借鉴。

对于涉网电厂的保护整定和配置, 目前绝大部分电厂都是参照 GB/T 14285-2006《继电保护和自动装置技术规程》、DL/T 684-2012《大型发电

机变压器继电保护整定计算导则》、【2012】352号《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》以及所在电网的技术反措来配置整定。随着大容量发电机、变压器保护根据不同厂家发展了一些新原理以及每年电网运行方式的变化, 定值计算需要相应的指导原则, 而保护定值设定除依据保护动作判据外, 在很大程度上需要结合设备现场安装、运行的实际情况做相应的调整, 故相关涉网机组保护都应随之进行相应的修改, 以满足继电保护“四性”的基本要求。而依据电网结构和继电保护配置情况, 应按相关规定进行继电保护的整定计算。当灵敏性与选择性难以兼顾时, 应首先考虑以保灵敏度为主, 防止保护拒动, 并备案报主管领导批准^[3]。

根据多年对于大型发电机变压器保护的整定计算经验, 针对目前四川省电力公司并网电厂的涉网保护提出了一些实际整定经验, 供相关工程技术人员借鉴。

2 涉网电厂的主要保护配合

2.1 主变压器/启备变压器高压侧接地后备保护整定

主变压器/启备变压器高压侧星型接线的高压侧零序过流保护:设计规范要求一般在电压等级为110 kV 及以上的变压器,在高压侧直接接地运行的变压器需装设接地故障的零序电流保护。对双绕组变压器可由两段式零序过电流保护构成,三绕组普通变压器零序过流可采用外接零序电流或自产零序电流,而对高、中压侧均直接接地的三绕组变压器,高、中压侧侧均应装设带方向的零序过电流保护^[5]。

一般对于并网电厂而言,主变压器/启备变压器高压侧零序过流保护需要和系统侧接地后备保护进行配合,对大型机组一般配置两段零序过流保护,而大部分并网电厂的主变压器/启备变压器高压侧零序过流保护由调度提供,对需要自己整定的涉网电厂机组,零序 I、II 段根据实际整定经验从保护的灵敏性、可靠性和选择性综合考虑。

零序 I 段考虑到保护的灵敏性和选择性可按照下述两种整定原则。

1) 零序 I 段:

①按最小运行方式下变压器高压侧母线单相接地短路来整定,按灵敏度为 2 来进行计算。

$$I_0 = (1 / Z_{\Sigma}) \frac{S_B}{\sqrt{3} U_{AV} n_T}$$

式中: $Z_{\Sigma} = Z_1 + Z_2 + Z_0$ (折算到 $S_B = 100$ MVA, $U_B = U_{AV}$ (平均电压) 下折算到短路点的各序阻抗的标么值之和)。

最终确定动作电流 $I_{0.OP} = K_{obra} 3I_0 / 2$

式中:最大分支系数 K_{obra} 是指在最小运行方式下线路保护区末端发生接地时,流过保护零序电流与流过线路零序电流比。

②按照零序 I 段动作电流应与相邻线路 II 段零序过流保护配合(多条线路可分别计算)。

$$3I_{g.0} = K_{rel} \times K_{obra} \times 3I_{g.0. II} / n_{TA}$$

式中: K_{rel} 为可靠系数,取 1.1; n_{TA} 为主变压器高侧零序 TA 变比; K_{obra} 为分支系数计算方法同上; $3I_{g.0. II}$ 为与之配合的相邻线路零序过流保护 II 段电流动作值(一次值)。

灵敏度校验:灵敏度 $K_{sen} \geq 1.5$

$$K_{sen} = \frac{3I_{0.min}}{I_{g.0n_a}}$$

式中: $3I_{g.0.min}$ 为最大运行方式下对侧母线发生接地

短路时流过保护的最小短路电流; $I_{g.0}$ 为零序保护动作电流; n_a 为保护用零序 TA 变比。

最终根据两种取值的大小对应不同灵敏度下的动作值,可报批相关主管部门领导,若优先选择灵敏度,则可选择较小的保护定值,若优先考虑选择性,可选用满足灵敏度要求的前提下较大的保护定值。

动作时限可和相邻线路 II 段零序过流保护的配合时间配合,级差取 0.3 ~ 0.5 s。

2) 零序 II 段:相邻线路末段零序过电流保护配合计算,与相邻线路 III 段零序过流动作值配合。

$$3I_{g.0} = K_{rel} \times K_{obra} \times 3I_{g.0. III} / n_{TA}$$

式中: K_{obra} 为分支系数,计算同上; $3I_{g.0. III}$ 为与之配合的相邻线路零序过流保护 III 段电流动作值(一次值)。

结合四川电网实际情况,由于四川电网线路零序一般配置 3 段,在电流配合满足的前提下,考虑到主变压器、启备变压器的安全,通常建议两种整定原则。

①低灵敏度短时限:分支系数可取 1^[1],校验灵敏度满足 ≥ 1.5 后,动作时间可低于线路零序 III 段时间可不必线路最末端时限配合,动作时限可在线路零序二、三段时限之间取值。

②高灵敏度长时限,分支系数此时取最大分支系数,计算公式如零序 I 段,动作时限可和线路接地保护最长时限配合。同时校验灵敏度需满足母线故障灵敏度 ≥ 1.5 。

2.2 主变压器高压侧间隙零序保护整定

间隙保护的作用是保护中性点不接地变压器中性点绝缘是安全的,于是一般在变压器中性点对地之间安装一个击穿间隙。在变压器不接地运行时,若由于某种原因使变压器中性点对地电压升高超过设定值,间隙被击穿,产生了间隙电流。如系统发生接地故障后,当系统失去中性点直接接地,而又发生单相接地,在高压侧母线的开口 TV 将会产生很大的电压,基于此必须对中性点不接地的主变压器配置间隙零序保护。

整定经验:对于不接地主变压器的并网电厂,基于四川电网某 500 kV 变电站上网电厂出现过间隙零序过流和过压不正确动作,间隙被瞬间击穿的情况,考虑到运行实际,一般在定值整定过程中,主变

压器高压侧间隙过流和过压的出口应分开,若动作时间不能分别整定的,可联系保护设备厂家,通过更改升级软件配置时限此功能。

主变压器间隙过流根据经验,一次动作电流取100 A,间隙零序电流 $3I_{0\text{avg}}$ 的整定为

$$3I_{0\text{avg}} = 100/n_T$$

式中: n_T 为间隙零序TA的变比。

主变压器间隙零序过流动作时间按躲过暂态过电压的时限偏短,根据实际经验应躲过线路非全相时间并适当延长,可取1.3~2.0 s。

主变压器间隙过压当系统失去接地的中性点,而又发生单相接地时,此时在开口三角形电压应为 $3U_0 = 300$ V;但由于电磁性电压互感器伏安特性, $3U_0 = 200$ V,电压互感器已经趋于饱和,故考虑到饱和的原因一般取150~180 V。时限可按躲过暂态过电压来整定,取0.3 s,若部分保护厂家由于动作时限已固化为0.5 s,可按0.5 s取值。

2.3 主变压器/启备变压器高压侧复压过流动作时限整定

主变压器/启备变压器高压侧相间短路故障保护时限需要和系统的相间后备保护配合,主变压器高压侧相间短路故障按照大型发电机整定导则^[5]建议应与相邻出线后备保护最长动作时间配合。

根据每个电网的实际情况应有所差异,对于四川电网线路相间保护一般配置3段,在电流满足灵敏度的前提下,考虑到主变压器、启备变压器的设备运行安全考虑,可不必严格按照整定导则要求与线路相间故障最长相间保护配合(如此配置主变压器/启备变压器后备保护动作延时皆在5.5 s以上,发电机相间后备时限会在6 s左右),保护动作时限可和线路相间保护II段配合,级差取0.3~0.5 s。

2.4 发电机基波定子接地保护整定

按照常规整定原则,分下述两种情况。

如定值有高定值段和低定值段,高定值一般整定为15~25 V,因为高定值已经躲过了主变压器高、低压绕组间的相耦合电容 C_M 传递到发电机侧的零序电压,故动作时限一般取0.3~0.5 s。

低定值整定遵循以下原则:

1) 可靠躲过发电机正常运行时实测的最大基波零序不平衡电压;

2) 躲过发电机变压器组高压侧单相接地时耦合到发电机侧的最大零序电压。关于系统高压侧接地短路时,通过主变压器高、低压绕组间的相耦合电

容 C_M 传递到发电机侧的零序电压 U_{g0} 的计算如下。

分两种情况,主变压器高压侧中性点直接接地时计算方式如下所示:

$$\text{等值阻抗 } Z_{\text{con}(a)} = \frac{Z_n}{j\omega(C_{g\Sigma} + \frac{C_M}{2})Z_n + 1}$$

$$U_{g0} = E_0 \frac{Z_{\text{con}(a)}}{Z_{\text{con}(a)} + \frac{1}{j\omega \frac{C_M}{2}}}$$

主变压器高压侧中性点不接地时,计算方式为

$$Z_{\text{con}(b)} = \frac{Z_n}{j\omega C_{g\Sigma} Z_n + 1}$$

$$U_{g0} = E_0 \frac{Z_{\text{con}(b)}}{Z_{\text{con}(b)} + \frac{1}{j\omega C_M}}$$

式中: E_0 为为系统侧接地短路时产生的基波零序电动势,根据经验,可取 $E_0 = 0.6U_{Hn}/\sqrt{3}$, U_{Hn} 为主变压器高压侧母线额定线电压; $C_{g\Sigma}$ 为发电机及机端外接元件每相对地总电容; C_M 为主变压器高、低压侧绕组间的相耦合电容(由变压器出厂实验数据提供,如无提供,可按如下公式取经验值)。

$$C_M = K_{M0} \sqrt{S_n} \times 10^{-4}$$

式中: S_n 为变压器三相额定容量; K_{M0} 为系数,具体取值和变压器的 U_n 额定电压有关,具体参见图1^[5]。

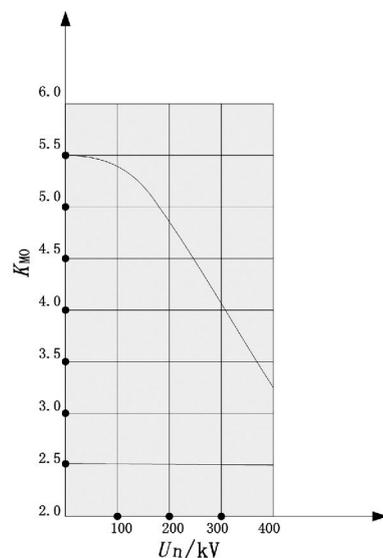


图1 系数 K_{M0} 与变压器额定电压的关系曲线

实际整定过程中,基波定子接地的动作时限可按如下两种方式整定:

1) 若主变压器设备厂家提供参数齐全,可按上

述公式进行计算。若发电机基波定子接地电压低定值大于主变压器高、低压绕组间的相耦合电容 C_M 传递到发电机侧的零序电压,则保护动作时限取 $0.3 \sim 0.5$ s。

若发电机基波定子接地电压低定值低于主变压器高压侧耦合到机端的零序电压,则延时应于主变压器高压侧接地保护配合。和上一级保护配合级差取 $0.3 \sim 0.5$ s。

2) 对于一些较老的机组保护,发电机基波定子接地定值项仅有低定值段,并且主变压器厂家并无提供耦合电容值,在此情况下,根据四川涉网电厂整定计算经验,一般主变压器高压侧耦合到机端的零序电压电压值都小于 10 V,可按下面两种情况考虑:①定子基波零序电压定值可取 10 V,按满足灵敏度的原则考虑,保护发电机设备,时限可取 $0.3 \sim 1$ s;②定子基波零序电压定值可取 5 V,按满足选择性的原则考虑,时限和主变压器高压侧接地保护配合,大于主变压器最长接地保护一个级差,级差可取 $0.3 \sim 0.5$ s。

2.5 发电机相间短路故障的后备保护时限整定

可和主变压器高压侧相间后备保护的时限配合,时限取 $0.3 \sim 0.5$ s,并尽可能地缩短级差。特别注意对于自并励系统的发电机复压过流保护,考虑到由于励磁变压器接在发电机出口,当外部故障而主保护拒动时,正常后备保护应动作,可由于发电机出口电压降低,会造成转子电流减少,进而使定子电流减少使保护返回。为此设计了记忆过流保护,记忆故障初的电流而忽略以后的电流。记忆过流保护应为微机保护作为发电机内部短路故障和区外短路故障的后备保护,故带有低压记忆功能的发电机复压过流保护记忆时间应长于保护动作时间1个级差。

2.6 发电机失磁保护

对于失磁保护低电压判据的整定,优先采用定子阻抗判据与机端低电压判据^[4],然而对于部分较老的机组发电机失磁保护仍采用系统低电压判据,即采用主变压器高压侧母线电压做为判据,当发电机发生失磁的情况下,由于系统容量较大,如系统低电压整定不当,失磁保护系统低电压动作判据方式逻辑很难打开,故根据经验,对于主变压器高压侧电压等级 500 kV 的系统,系统低电压定值整定应不低于 490 V(一次值),对于主变压器高压侧电压

等级 220 kV 的系统,系统低电压定值整定应不低于 209 V(一次值)。

失磁保护定值整定完成后,应根据国家电网网源协调的要求,发电机的失磁保护应和励磁系统的低励限制进行配合校验。这里主要对很多电厂较为困惑的发电机失磁保护和励磁调节器的低励限制配合进行实例说明,供电厂相关工程技术人员参考。

1) 励磁调节器低励限制和发电机失磁保护配合,整定导则要求,失磁保护的阻抗判据不应先于励磁低励限制动作,由于低励限曲线坐标是整定的功率,而失磁保护一般曲线都为阻抗特性,由于将低励限制的功率特性映射到失磁保护的阻抗特性上是离散的表达式,故方便起见将失磁保护的阻抗圆坐标统一到低励限制现在的功率坐标进行配合。一般低励曲线有3种:①直线型;②圆型;③功角型^[6]。国内的失磁保护配置的定子阻抗判据一般有静稳极限阻抗圆(及滴状阻抗曲线)和异步边界阻抗圆两种。

由于静稳阻抗圆比异步阻抗圆更加灵敏,配合计算相对复杂,下面以国内某 100 MW 水机组的静稳极限阻抗圆为例,对发电机失磁保护和低励限制的配合进行浅显易懂的整定配合计算。

发电机参数:额定电压 $U_n = 13.8$ kV,额定容量 $S_n = 114.3$ MVA,纵轴同步电抗 $X_d = 0.9926$,机端 TA 变比 $6000/1 = 6000$,机端 TV 变比 13.8 kV/ $0.1 = 138$,变压器容量 $S_n = 120$ MVA,短路阻抗 13% 。

根据励磁调节器调度定值参数可得表1。

表1 调度提供的低励限制定值

		低励限制定值(标么值)				
P		0	0.25	0.5	0.75	1
Q		-0.46	-0.42	-0.38	-0.31	-0.22

由于使用的是静稳圆,对于水机组而言, $X_d \neq X_q$,静稳圆为水滴状的曲线。

2) 因为最终讨论决定失磁保护为静稳极限阻抗圆,水轮发电机组故障阻抗圆为滴状曲线,参数如下:

$$X_c = X_{con} \frac{U_n^2 n_a}{S_n n_v}$$

式中: X_{con} 为系统处于最小运行方式下(1台机组运行)发电机与系统间的联系电抗标么值(以发电机容量为基准)。

$$X_{con} = (0.07883 \frac{114.3}{100} + 0.13 \frac{114.3}{100} + 0.2069) = 0.4208$$

$$X_b = \frac{X_q U_n^2 n_a}{S_n n_v}$$

阻抗圆心: $X_c = -(X_r + |X_c|)$

阻抗圆半径 X_r : 当阻抗圆为静稳阻抗圆时, X_r 为 $0.5|X_c - X_b|$ 。取 $X_r = 38.77 \Omega$ 。

由于取标么值, 统一折算到发电机容量下得: 圆心为 $[0, -j0.1144]$, 圆半径 $R = 0.5352$ (皆由有名值转换为标么值), 圆内为动作区域, 其方程为

$$R^2 + (X + 0.1144)^2 < 0.5352^2$$

考虑 $U_{\cos} \Phi_N / I = R$, $U_{\sin} \Phi_N / I = X$, $P = UI_{\cos} \Phi_N$;

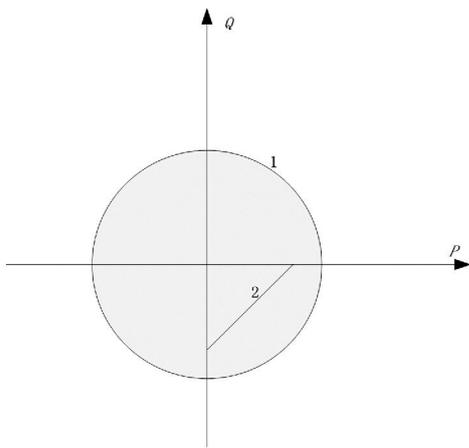
$Q = UI_{\sin} \Phi_N$ 代入上述方程得

$$P^2 + (Q + 0.4185U^2)^2 < (1.9579U^2)^2$$

考虑工程实际, 按照较为极端的情况考虑, 静稳圆应留有 10% 的储备系数, 即静稳圆圆心和半径乘以系数 0.9, 机端电压最低允许取 $0.9PU$, 代入得

$$P^2 + (Q + 0.305)^2 < (1.4273)^2$$

由于 $r^2 > a^2 + b^2$ (r 为圆心; a 为静稳圆圆心横坐标; b 为静稳圆圆心纵坐标), 故阻抗圆映射到 $P-Q$ 平面的阻抗圆内为稳定运行区, 圆外为动作区, 见图 2。



注: 1 为失磁保护曲线; 2 为低励限制曲线。

图 2 失磁保护和低励限制配合关系图

低励限制曲线位于圆内, 为失磁保护的稳定运行区, 故低励限制先于失磁保护动作。由上可见发电机低励限制与失磁保护配合的整定计算是正确的。

3 结语

与传统整定导则的整定原则相比, 基于四川电网

的涉网保护整定原则结合四川电网涉网电厂实际, 更符合设备安全运行和继电保护“四性”的要求。

目前, 基于四川电网的整定原则已在四川部分电厂的涉网保护定值整定中得到应用。

参考文献

- [1] 高春如. 大型发电机机组继电保护整定计算与运行技术(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 277 - 279.
- [2] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 136 - 138.
- [3] 国家能源局[2014]161号. 防止电力生产事故的二十五项重点要求[S].
- [4] 国家电网公司十八项电网重大反事故措施(修订版) [S].
- [5] DL/T 684 - 2012 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S].
- [6] 裘渝涛, 陈水耀, 陈俊, 等. 一种基于阻抗特性的发电机低励限制方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 116 - 118.
- [7] 郭春平, 余振, 殷修涛. 发电机低励限制与失磁保护的配合整定计算[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(28): 130 - 131.
- [8] 刘一丹, 张小易, 崔晓祥. 火电厂发电机失磁保护阻抗判据的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 235 - 240.
- [9] 陈新美, 李亚萍, 赵丽萍. 微机低励失磁保护特性曲线的两种测试方法[J]. 电力系统保护与控制, 2001, 29(6): 43 - 44.
- [10] 严伟, 陈俊, 沈全荣. 大型隐机发电机进相运行的探讨[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(2): 94 - 97.

作者简介:

安化龙(1979), 硕士, 工程师, 从事四川省电力公司电源技术中心继电保护技术管理及并网电厂的电气主设备保护整定工作;

范小涛(1965), 本科, 高级工程师, 从事四川省电力公司电源技术中心继电保护技术管理及并网电厂的技术监督管理工作, 为国家电监会首批电力安全生产标准化达标评级专家;

陈默(1975), 本科, 工程师, 从事四川省电力公司电源技术中心继电保护技术管理工作, 为海外工程及国内调试项目的调试项目经理。

(收稿日期: 2015 - 04 - 07)