

某水电厂发电机横差保护配置和定值整定分析研究

杜 涛

国家能源集团四川发电有限公司南桷河水电分公司 四川 成都 610000

【摘 要】：在书电厂发电机运行过程中，匝间绕组短路是最常见和最严重的故障情况之一，此类故障通常会导致电机局部磁饱和和不对称行为，从而降低转矩控制性能。随着全球水电进入电网的渗透水平显著增加，传统的差动保护不再适用。为此，为满足新电网规范的要求，保证电网侧的持续运行，需要寻找合适的解决方案来提高水电厂发电机暂态稳定性和低电压穿越故障期间的能力。为了提高水电厂发电机横差保护动作的可靠性和灵敏性，本次研究以某水电厂发电机组为例，基于该机组的内部故障分析，结合 CT 配置情况，对发电机横差保护的定值进行了整定，并用不同工况下的实测数据进行校正，以期从业人员的研究和实践提供参考和借鉴。

【关键词】：发电机；横差保护；定值整定；定值校正

1 引言

发电机是电力系统的核心，因为它将机械能转换为等效的电能，然后在各种电压下进一步分配。因此，它需要一个“原动力”来开发这种机械动力^[1]。如今，电力需求增长非常迅速，因此为了满足高能源需求并减轻环境问题的影响，各个电力行业都对利用可再生能源中的电力从经济和可用性前景方面进行了研究。在包括水力、风能、太阳能和地热资源在内的各种可行的可再生能源中，与其他可再生能源相比，水力发电因维护成本低、生产能力高、无空气污染和在世界多个地区的可用性的特点，而被广泛应用。

2 某水电厂发电机横差保护配置

随着现代生产生活对电力需求的持续增加，水电厂中发电机的单机容量也在不断增加。为了在水电厂运行过程中保持发电机更高的效率和捕获更多能量的能力，普遍采用每相多分支绕组结构。然而，这样的发电机在电网故障期间非常敏感。在发生故障时，发电机端额定电压明显下降，并且转子侧变流器(RSC)由于注入高故障电流而受到很大影响。因此，水电厂发电机在这些条件下的性能会显著影响系统稳定性。以某水电厂发电机为例，经过十年运行后，该水电厂发电机保护装置面临失效，需要基于现有横差保护装置基础上，采取新的改造方案。

发电机是电厂运行的核心，而定子绕组是发电机的核心。在实际运行过程中，发电机定子绕组内部故障多种多样，包括对称三相内部短路和不对称内部短路。其中不对称内部短路的形式也多种多样，如匝间短路(包括同一分支线圈之间的短路和同一相不同支路之间的短路)、不同相支路之间的短路、三相不对称短路和同时发生两个故障的短路等。当发电机的定子绕组发生内部故障时，电机绕组也处于不对称状

态。为了保护发电机，减轻因发电机内部故障造成的损失，发电机横差保护的快速性和可靠性至关重要。特别是在机组容量较大的情况下，采用多分支定子绕组配置是必要的，这也对发电机横差保护提出了更高的要求。以某水电厂发电机的横差保护配置为例：发电机保护装置屏内的横差保护配置构成一套不完全裂相横差保护；利用构成的单元件横差保护，提高匝间保护的保护区；利用构成的不完全纵差保护，反应发电机分支绕组匝间故障。

3 横差保护原理

发电机定子绕组的中性点通常接地以起到保护作用，一般用阻抗来限制接地故障电流。定子绝缘故障会导致系统接地故障。机械芯的严重电弧可能会烧毁故障点，并将叠片焊接在一起。在最坏的情况下，可能有必要将核心重建到需要进行重大剥离的故障处。在此背景下，横差保护提供了发电机中的过载保护、过流保护、过压保护和不平衡负载。在横差保护下，发电机三相平衡负载产生一个近似恒定的反作用场，与转子场系统同步旋转。在此情况下，任何不平衡条件都可以分解为正序、负序和零序分量。当转子发生故障时，会有一个直流电源馈送到其绕组上，从而建立一个常设磁通。当这个通量被原动机旋转时，电压调节可以通过使用一个不可控的三相整流器和一个斩波开关与一个自卸负载串联实现。

在这种方法中，斩波器被同步到电桥的六十度导通周期，以减少电压畸变。该系统简单、廉价、可靠，但在处理发电系统常见的不平衡三相负荷方面能力有限。为此，根据发电机的本征特性，利用相角控制技术、二值加权开关电阻器和变标距比斩波法实现了电压控制方法。取消了整流电路，利用双向开关，实现了基于交流电流而非直流电流的负

载过载电阻控制。在均衡或不平衡负载条件下，这种方法简单、可靠，具有从空载到满载的稳压，虽然定子绕组和励磁电容器中的注入谐波含量比以往使用整流器或电压源变换器的方法有所减少。

4 定值整定

发电机内部不对称的主要特征是气隙磁场中空间谐波很强，即使磁动势呈正弦分布，由此产生的空间谐波也较强。只计算气隙磁场的空间基本量会引起很大的误差。以某水电站凸极同步电机为例，该电机定子为 108 槽，定子绕组可连接成 6 个并联支路。对于定子单线圈或分支，如果只考虑空间基波磁场，电感的误差非常大，有时甚至是反向的。但对于相绕组，仅考虑空间基波磁场的误差并不大。其原因在于，当电流在单线圈或单支路中流动时，分数次、低次谐波非常强烈，有些甚至超过基波磁场，而当电流在相绕组中流动时，气隙磁场的基波磁化强度很大。为了提高水电站发电机定子绕组的横向差动保护可靠性，主要目标是在发电机升压变压器(GSUT)HV 侧和机组辅助变压器(UAT)LV 侧相关的严重外部固体故障下防止误跳闸、甩负荷和同步。此外，所提出的方法应当能够同时检测 UAT 低压侧的两个故障。与发电机容量和 GSUT 低压侧（发电机端子）的单线接地故障相比，故障电流非常小且接近正常负载电流由于变压器三角形连接将零序分量与网络侧隔离。因此，所提出的方法是基于对发电机定子绕组横向差动保护，采用自适应整定来提高外部故障、甩负荷和同步下的特性整定值，并降低内部高阻抗故障下的特性整定值。

根据发电机工作点，在发电机能力曲线内选择合适的设置。发电机能力曲线分为四个运行区域，其中每个区域都有不同的差分特性设置，具有差分电流的双变化率。其次，四个运行区域为正常负载运行和高阻抗内部故障区域；严重的外部故障区域；甩负荷和同步区域；励磁运行无故障区域。在上述区域中分别采用 ATP/EMTP 软件，对发电机进行电站真实动态仿真，并结合现场实测数据进行校核。结果显示，水电站单元件横差保护的整定值为 0.05I_{gn}，其 CT 变比为 500/5，对应的二次电流整定值为：

$$0.05 \times 19629 / (500 / 5) \approx 9.81A$$

考虑到发电机采用叠绕组，在转子严重偏心和励磁绕组接地故障时，可能会对发电机造成严重影响，因此采用单元件横差保护作为反应上述故障的保护，横差保护在转子绕组一点接地故障时不切换延时，此时利用横差保护动作对于保护发电机安全是有必要的。

5 定值校正

考虑到水电站发电机在实际的横差保护中，电流差异较大。特别是在单元件中，这种差异会进一步的增加。因此，对水电站发电机的横差保护整定，在参考通用导则的同时，还需要针对不同水电站的实际情况，通过不同工况下，不平衡电流值，对其进行定值校正。以本次研究中的某水电站发电机横差保护为例，为了确定定值整定是否科学和合理，需要在多种运行工况中，考虑单元件的横差不平衡电流和不完全裂相横差不平衡电流，以此进行定值校正。

为了简化校正程序，使用了文献^[2]中的标准矩阵公式。以状态空间方程的形式，建立的矩阵方程适用于三相系统的瞬态分析。由于饱和区域附近大块的运行，磁化特性是非线性的。因此，在定值校正的任何一步中，都应该根据转子和定子电流计算励磁电流。值得注意的是，系数是由选定的感应发电机的同步速度试验计算出来的，包括所选择的运行工况下的单元件横差不平衡电流和不完全裂相横差不平衡电流的变化。具体结果如表 1 所示。

表 1 不同运行工况下的横差不平衡电流单位：A

运行工况	单元件横差不平衡电流		不完全裂相横差不平衡电流
	电流峰值	基波电流有效值	
并网失磁	4.026	1.974	0.02
空载失磁	14.478	8.232	0.02
机组甩负荷	8.361	2.434	0.03
机组手动起励	11.256	6.261	0.01
机组自动起励	9.463	5.125	0.01
励磁系统故障	2.428	1.352	0.01
机组跨振动区	4.274	2.093	0.01
定子单相接地	5.139	1.157	0.03
主变高压侧接地	3.275	0.672	0.03

如表 1 所示，不同的运行工况下，所检测到的不平衡电流值很小，基本对裂相横差保护的动作性能没有影响。换句话说，在横差保护操作中继电器引起的延迟，牺牲这个小延迟并使中继从未达到的状态中解脱出来是合理可行的。

6 结论

综上所述，水电站发电机横差保护的敏捷性一直是一个非常重要的问题，即使是 0.1s 也是值得付出很大的努力来改

进它们的。本次研究中的某水电厂发电站所使用的旧的横差保护配置，使保护继电器中的故障检测成为不可能。因而，需要进行新的横差保护配置方案。通过分析和整定计算，新

的方案能够确实有效的改进该水电厂发电站的运行工况，根据本文中呈现的结果，可以看出新方法充分降低了延迟。

参考文献:

- [1] 施森森.水电站发电机差动保护误动作故障分析及应对措施[J].福建水力发电,2021(01):51-54.
- [2] 刘曦,周翰泽,孙景钊,施正钊,陈琼良.小水电站两起电气设备事故分析及预防措施[J].小水电,2021(01):88-90.