

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2019.08.009

# 注入式定子接地保护现场试验、分析及建议

Field test, analysis and recommendations for injection stator grounding protection

朱宇聪,包明磊,李玉平,桑建斌,李明

ZHU Yucong, BAO Minglei, LI Yuping, SANG Jianbin, LI Ming

(南京国电南自电网自动化有限公司,南京 211100)

(Nanjing SAC Power Grid Automation Company Limited, Nanjing 211100, China)

**摘要:**以某电厂1008 MW汽轮发电机组的注入式定子接地保护现场试验为例,结合注入式定子接地保护原理,详细介绍了注入式定子接地保护精度影响因素、相位补偿试验、阻抗补偿试验、并联电阻补偿试验、电阻折算系数校正试验和动态模拟试验的方法,同时给出了接地零序电流定值和回路监视定值整定的建议;试验数据误差在5%以内,证明现场各项补偿试验是合理的。另外,对现场试验过程出现的20 Hz电压信号异常、20 Hz电流信号异常、相角异常和接地电阻异常等问题,给出了针对性的测量回路检查建议;对注入定子接地保护的启动失灵、启停机过程闭锁、多段相角补偿和对同期及测转速装置的影响等应用问题进行分析,给出了动作延时整定、频率闭锁、多段相角补偿时机和同期电压选取等建议。

**关键词:**发电机;注入式定子接地保护;现场试验;整定

中图分类号:TM 772

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2019)08-0038-06

**Abstract:** Taking the field test of injection stator grounding protection of a 1008 MW steam turbine generator set in a power plant as an example, combining its protection principle, methods for the influencing factors of accuracy, phase compensation test, impedance compensation test, parallel resistance compensation test, resistivity correction factor test and dynamic simulation test are introduced in detail. At the same time, suggested setting values for grounding zero-sequence current and the loop monitoring are given. The error of the test data is below 5%, which verifies the rationality of compensation tests. In addition, targeted approach for loop inspection are give for solving anomalies in 20 Hz voltage signal, 20 Hz current signal, phase angle difference and grounding resistance during the field test. Analysis on failure startup of the injection stator grounding protection, blocking during start-stop process, multi-phase angle compensation and the influence on synchronous and speed measuring device are made. And the recommendations for action delay setting, frequency blocking, timing for multi-phase angle compensation and synchronous voltage selection are made.

**Keywords:** generator; injection stator grounding protection; field test; setting

## 0 引言

定子接地是发电机常见故障之一,大型发电机组定子接地保护均采用双套配置,一般一套采用注入式定子接地保护,另一套采用基波零序电压+三次谐波电压保护定子接地保护。基波零序电压保护简单可靠,但在发电机中性点附近存在死区,三次谐波电压保护准确性不高,容易误动作且必须在机组励磁以后才起作用,难以完全满足大型机组对定子接地保护高灵敏度的要求。而注入式定子接地保护优点明显,在发电机静止状态下仍然可以起到保护作用,理论上在整个发电机定子范围内灵敏度一致,

而且能够反映接地电阻逐渐降低的接地故障。

目前,注入式定子接地保护投运时现场校正流程十分复杂,很多定值必须在现场通过试验实测<sup>[1-2]</sup>,穿芯电流互感器(TA)的工作特性随着发电机工况变化而变化<sup>[3]</sup>,导致机组投运后接地电阻的测量误差加大,因此,有必要对注入式定子接地保护现场试验方法、定值整定、调试异常问题的处理进行整理分析,以期对注入式定子接地保护的调试、检修提供参考。

## 1 注入式定子接地保护原理

注入式定子接地保护原理为:通过接地变压器二次负载电阻或机端电压互感器(TV)的开口三角绕组注入20 Hz低频交流信号,采集注入的20 Hz电

压信号和 20 Hz 电流信号,进行数字化处理后计算出定子对地测量电阻,监视定子绕组的对地绝缘状况,达到整定值即启动跳闸或发信报警。注入式定子接地保护等效电路如图 1 所示(图中: $U_s$  为 20 Hz 注入电源; $R_s$  为注入电源内阻; $R_2 + jX_2$  为接地变压器漏抗; $R_m + jX_m$  为接地变压器激磁阻抗; $R_n$  为接地变压器二次负载电阻; $R_{cp} + jX_{cp}$  为机端并联阻抗; $3C_\Sigma$  为发电机定子对地等效电容; $R_g$  为接地电阻; $S_g$  为发电机中性点隔离刀闸; $U_{20}$ ,  $I_{20}$  为装置测得的 20 Hz 电压、电流; $U_{20}'$ ,  $I_{20}'$  为补偿后的 20 Hz 电压、电流。图中所有量都归算到保护装置测量二次侧。

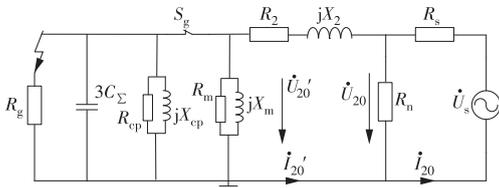


图 1 注入式定子接地保护等效电路

Fig. 1 Injection stator grounding protection equivalent circuit

分析原理图并采用计算导纳的方法得到接地电阻计算公式,见式(1)、式(2),接地电阻  $R_g$  可由  $U_{20}'$ ,  $I_{20}'$ , 漏抗  $R_2 + jX_2$  和并联电阻计算得到。

$$R_g = \frac{K_R}{\operatorname{Re}[\dot{I}_{20}'/\dot{U}_{20}']} - \frac{1}{R_{cp}} - \frac{1}{R_m}, \quad (1)$$

$$\dot{U}_{20}' = \dot{U}_{20} - \dot{I}_{20}(R_2 + jX_2), \quad (2)$$

式中: $K_R$  为电阻折算系数。

发电机注入式定子接地保护逻辑如图 2 所示,保护功能配置有接地电阻保护、零序电流保护、零序电压保护和注入回路异常判别功能。图中: $U_{50}$ ,  $I_{50}$  分别为经滤波处理后的 50 Hz 零序电压和 50 Hz 零序电流; $U_{20js}$ ,  $I_{20js}$ ,  $R_{gsetL}$ ,  $R_{gsetH}$ ,  $I_{safe}$ ,  $U_{20set}$ ,  $I_{20set}$ ,  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  为注入式定子接地保护整定值。

## 2 注入式定子接地保护精度影响因素

由以上原理可知,注入式定子接地保护需要一次设备和二次设备相配合,影响注入式定子接地保护精度的因素主要有以下几方面。

(1)  $U_{20}$ ,  $I_{20}$  的大小。理论上  $U_{20}$ ,  $I_{20}$  越大,保护装置测量值越准确,接地电阻的测量精度也就越高。为增大  $U_{20}$ ,  $I_{20}$ , 可以采取增大注入电源功率、增大  $U_s$ 、增大  $R_n$  等方法。由于一次系统中的 20 Hz 电压要求不超过 2%  $U_n$  ( $U_n$  为额定电压)<sup>[4]</sup>, 不能影响系统中电压的平衡度;发电机单相接地故障的暂态过电压要求不超过 2.6 pu (以额定相电压幅值为标么值),同时还要求  $3R_n \leq X_c$  ( $X_c$  为发电机每相对地容

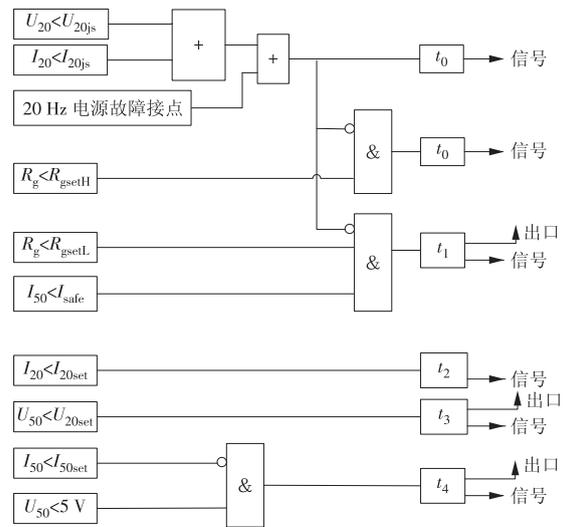


图 2 注入式定子接地保护逻辑

Fig. 2 Injection stator grounding protection logic

抗<sup>[5]</sup>);因此,在满足系统要求的前提下,需要尽量增大  $U_{20}$ ,  $I_{20}$ 。

(2) 穿芯 TA 的传变误差。电流测量回路的穿芯 TA 会引入幅值误差和相角误差,使得电压和电流相角差不准确,进而影响测量电阻值的精度。为减小因互感器传变引起的误差,现场试验时需要进行相角补偿。另外,机组增加励磁和并网后,穿芯 TA 的工作点会发生变化,导致测量电压和电流之间相角进一步发生变化,为了兼顾发电机静态和动态并网后的误差,应针对性地设置多段相角补偿值。

(3) 漏抗  $R_2 + jX_2$  和并联电阻的补偿定值准确度。现场接地变压器铭牌所示参数都是额定频率 50 Hz 下的参数,漏抗  $R_2 + jX_2$  和并联电阻不能直接通过铭牌获得,需要通过现场补偿试验测得,因此,现场各项补偿合理与否直接影响电阻测量精度。

(4) 电阻折算系数  $K_R$ 。20 Hz 电压和 20 Hz 电流测量回路的电缆阻抗未知且不能忽略,利用标称变比根据式(3)计算得到的电阻折算系数  $K_R$  只能作为参考,实际变比应在现场通过试验确定。

$$K_R = n^2 \frac{n_{TV}}{n_{TA}}, \quad (3)$$

式中: $n$  为接地变压器变比; $n_{TV}$  为负载电阻抽头变比; $n_{TA}$  为穿芯 TA 变比。

(5) 采样信号的滤波误差。采样信号中包括机组不平衡零序电压产生的 50 Hz 基波、发电机固有 150 Hz 三次谐波和 20 Hz 注入信号。在发电机机端发生对地金属接地时,基波零序电压能达到 100 V 左右,注入式信号通常只有 1 V 左右。机组加励磁后固有的三次谐波和受系统影响带来的三次谐波信号也较大,因此,提高滤波效果能有效改善保护精度。

### 3 注入式定子接地保护现场试验

以某电厂 1008 MW 汽轮发电机组的注入式定子接地保护现场试验为例,总结、分析注入式定子接地保护的现场试验。

#### 3.1 现场试验前期准备

现场试验应模拟发电机正常运行状态,保证正常运行时与定子绕组相连的电气设备,如主变压器、高压厂用变压器、励磁变压器、发电机出口断路器(GCB)开关、高压厂用变压器高压侧 TV、励磁变压器高压侧 TV、各发电机 TV、中性点 TV 等均正常连接,机组与系统断开,去除接地线。注入源和保护装置连线如图 3 所示。

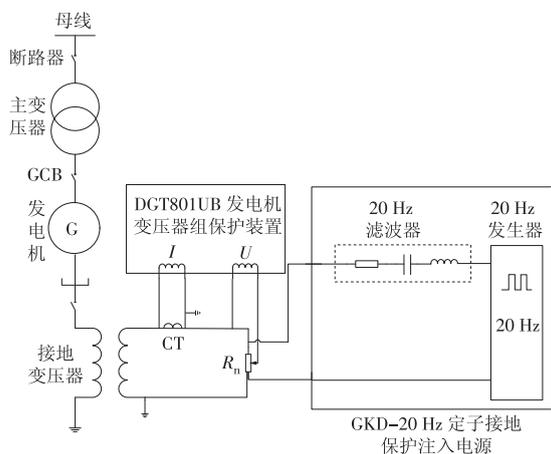


图 3 注入源和保护装置连线

Fig. 3 Injection source and protection device wiring

收集相关参数:发电机额定电压,27 kV;发电机额定功率,1008 MW;接地变压器容量,150 kV·A;接地变压器变比,27 kV/0.33 kV;接地变压器短路阻抗,8.17%,折算到二次侧为  $8.17\% \times 330 \times 330 / 150000 = 0.06 \Omega$  (一般可忽略不计);接地变压器二次负载电阻  $R_1$ ,0.60  $\Omega$ ;负载电阻抽头变比,0.6;穿芯 TA 变比,400/1;GKD-20 Hz 定子接地保护注入电源空载电压,30 V;注入电源内阻  $R_0$ ,8.74  $\Omega$ 。

#### 3.2 注入式定子接地保护现场试验过程

##### 3.2.1 注入电源检查、分压抽头检查及回路检查

检查注入电源和保护装置连线是否正确,注入电源输出信号是否正常。

注入电源检查。用万用量表取注入电源空载输出电压  $U_0$  为 26.30 V (约 30 V),短路电流为 3.01 A (约 3 A),则注入电源的内阻为 8.74  $\Omega$  (约 8  $\Omega$ ),注入电源状态正常。

分压抽头及回路检查。将外部负载接入,用万用表测得注入电源输出电压为 1.780 V,理论计算值  $U = U_0 R_1 / (R_0 + R_1) = 26.3 \times 0.60 / (0.60 + 8.74) = 1.69$  V,由此可确认注入电源正常;负载电

阻返回的电压为 0.800 V,分压抽头取 0.6,理论上保护装置采样电压应为  $0.800 \times 0.6 = 0.480$  V,分压后保护装置采样电压为 0.464 V,由此确认分压抽头正确、电压回路正常;在装置采样中查看 20 Hz 电流采样值为 3.3 mA,由此确认电流回路正常。

如果电压和电流偏小,参考 4.1 和 4.2 章节进行检查。

如果分压变比不正确,可以拆开负载电阻外部线,用万用表测量电阻值,也可以测量负载电阻抽头 20 Hz 电压比值。

##### 3.2.2 相角补偿试验

相角补偿试验的目的是补偿电流、电压测量回路的穿芯 TA 等变换器件引入的相角变换误差。试验方法:模拟正常运行状态,合上接地变压器刀闸;更改电流回路接线,将穿芯 TA 包裹在内,此时装置测量的 20 Hz 电压和 20 Hz 电流的相角差为负载电阻的电压和电流相角差,应为  $180^\circ$ 。装置显示电压超前电流  $168^\circ$ ,整定“相角补偿定值 1”为  $348^\circ$ ,装置显示补偿后相角差为  $180^\circ$ 。 $180^\circ$  相角补偿时等效电路如图 4 所示。

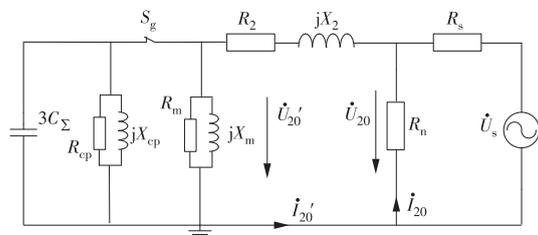


图 4  $180^\circ$  相角补偿时等效电路(更改电流回路接线)

Fig. 4 Equivalent circuit for  $180^\circ$  phase angle compensation (changing current loop wiring)

##### 3.2.3 阻抗补偿试验

阻抗补偿试验的目的是补偿 20 Hz 接地变压器漏抗  $R_2 + jX_2$ 。试验方法:投入“补偿试验状态投入”控制字,将接地变压器高压侧对地金属性短路,装置上读取测量电阻二次值为 13.80  $\Omega$ 、测量电抗二次值为 34.90  $\Omega$ ,分别设置“电阻补偿值”为 13.80  $\Omega$ 、“电抗补偿值”为 34.90  $\Omega$ ;补偿后退出“补偿试验状态投入”控制字,测量电阻一次值应该接近 0。漏阻抗补偿试验等效电路如图 5 所示。

##### 3.2.4 并联电阻补偿试验

并联电阻补偿试验目的是补偿发电机容抗对地并联电阻  $R_{cp}$  和  $R_m$ 。试验方法:相位补偿试验和阻抗补偿试验完成后,模拟真实的正常状态,装置上读取测量电阻二次值为 132.2  $\Omega$ ,设置“并联电阻补偿值”为 132  $\Omega$ 。补偿后测量电阻一次值接近最大量程 30 k $\Omega$ 。并联电阻补偿试验等效电路如图 6 所示。

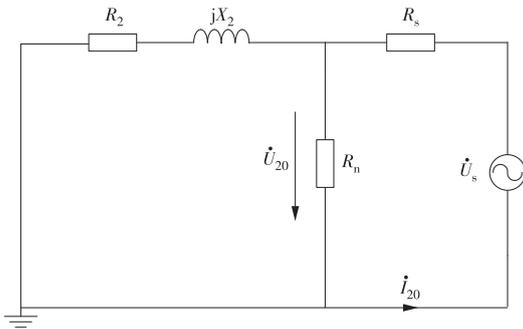


图 5 漏阻抗补偿试验等效电路(接地变压器高压侧对地短接)

Fig. 5 Leakage impedance compensation test equivalent circuit (shorting high voltage side grounding)

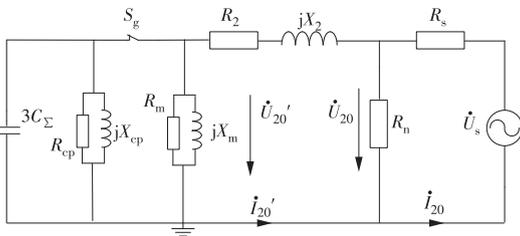


图 6 并联电阻补偿试验等效电路(合上接地变压器隔离刀闸)

Fig. 6 Parallel resistance compensation test equivalent circuit (closing grounding transformer disconnector)

### 3.2.5 电阻折算系数校正试验

电阻折算系数校正试验的目的是得到正确的电阻折算系数  $K_R$ 。首先根据式(3)估算出  $K_R$ , 预先整定“电阻折算系数定值”; 发电机静态时在接地变压器高压侧与大地之间经不同阻值的测试电阻接地, 从装置中读取测量接地电阻的一次值, 列表记录下来, 与实际电阻比较后调整  $K_R$ , 等效电路如图 7 所示。

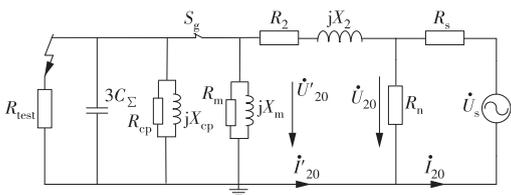


图 7 电阻折算系数测算等效电路

Fig. 7 Resistivity correction factor measurement equivalent circuit

DL/T 684—2012《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》中规定, 接地电阻可取  $1 \sim 5 \text{ k}\Omega$  [6],

所以建议选择在  $5 \text{ k}\Omega$  电阻下校准精度, 通过调整相角补偿定值和电阻折算系数  $K_R$ , 测量得到多组数据, 经过比较, 确定电阻折算系数  $K_R$  为 23.06, 试验数据见表 1。由表 1 可见, 接地电阻在  $1 \sim 20 \text{ k}\Omega$  范围内的测量误差小于 5%, 说明现场试验的各项补偿定值是合理的。

通过现场试验发现, 静态测试接地电阻测量值误差满足要求, 但发电机升压或并网后, 动态时补偿后的相角会变化(一般会变大), 角度偏离越大误差越大, 所以静态测试时将补偿角度分别增加  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ$  和减少  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ$ , 其余参数不变。重新测试几组电阻数据, 查看测量精度与补偿后相角之间的关系, 可以预知满足误差要求的条件下补偿相角最大允许偏移的范围。

为提高现场试验效率, 建议在接地变压器处找到连接注入电源电缆的备用芯, 将备用芯连接一根测试导线并夹在接地变压器的高压侧(发电机中性点), 试验过程中测试电阻只需要在注入电源处的备用芯和接地铜排之间短接(接地网要求完好)。

### 3.2.6 动态模拟试验

发电机空载升压至 30% 额定电压时, 在接地变压器高压侧经  $3 \text{ k}\Omega$  和  $10 \text{ k}\Omega$  试验电阻模拟接地故障, 验证保护动作, 测量电阻误差, 检验折算系数是否合适。进行模拟接地试验时, 为防止发电机内部本身可能存在的接地与测试电阻形成定子两点接地而烧伤发电机定子, 将测试电阻绑在绝缘杆上对接地变压器高压侧进行触碰短接, 采样显示测量电阻后马上拿开电阻。动态模拟试验数据见表 2, 试验结果误差在 5% 以内, 满足精度要求。

## 3.3 注入式定子接地保护定值整定

### 3.3.1 接地零序电流定值 $I_{E.set}$ 整定

接地零序电流判据作为电阻判据的后备, 保护 80% 范围的定子绕组单相接地故障, 其反映的是流过发电机中性点接地连线上的零序电流, 可按式整定(忽略接地变压器漏抗)

$$I_{E.set} = 0.2 \times \frac{U_{E.set}}{R_n n_{TA}} = 0.2 \times \frac{330/1.732}{0.6 \times 400} = 0.16 \text{ (A)}$$

式中:  $U_{E.sec}$  为发电机机端金属性接地故障时接地变

表 1 发电机定子单相接地故障静态试验数据

Tab. 1 Static test data of generator stator single-phase ground fault

项目	试验数据								
电阻平均值/ $\text{k}\Omega$	20.67	17.05	14.26	9.91	7.72	4.97	3.01	1.20	
冷态电阻/ $\text{k}\Omega$	20.00	17.10	14.18	9.94	7.78	4.97	3.00	1.20	
误差/%	3.35	-0.29	0.53	-0.35	-0.84	-0.10	0.33	0	

压器负载电阻两端的电压。

表 2 30% 额定电压时动态试验数据

Tab. 2 Dynamic test data at 30% rated voltage

电阻平均值/kΩ	冷态电阻/kΩ	误差/%
9.91	9.85	0.56
3.01	2.97	1.35

### 3.3.2 安全电流定值 $I_{\text{safe}}$ 整定

安全电流定值  $I_{\text{safe}}$  有 2 种整定方法。

(1) 通过现场试验测得。模拟发电机机端金属性接地, 接地线串接电流表, 然后发电机零起升压, 当电流表显示接地故障电流到达安全电流一次值时, 保护装置显示的  $I_{50}$  就是  $I_{\text{safe}}$  的定值。发电机安全电流一次值取值参考文献[2]附录 C 表<sup>[6]</sup>。

(2) 根据参数进行估算。根据发电机每相对地容抗和负载电阻之间的关系, 即电容电流和负载电阻电流之间的关系, 计算出接地故障电流到达安全电流一次值时  $I_{\text{safe}}$  的值; 无法确定电容容抗时, 可粗略估计电容容抗与负载电阻(一次值)相等。

$$I_{\text{safe}} = K_{\text{rel}} \times \frac{n}{n_{\text{TA}}} \times \frac{I_{\text{safe.p}}}{\sqrt{2}},$$

式中:  $K_{\text{rel}}$  为可靠系数, 取 0.7 ~ 0.9;  $I_{\text{safe.p}}$  为安全电流一次值。

### 3.3.3 电压回路监视定值整定

取回路连接正常情况下出现的最小的 20 Hz 电压, 乘以可靠系数。此时接地变压器高压侧对地金属性短路的 20 Hz 电压为最小的 20 Hz 电压 0.218 V, 可靠系数为 0.5, 则整定电压回路监视定值为 0.109 V。

### 3.3.4 电流回路监视定值整定

取回路连接正常情况下出现的最小的 20 Hz 电流, 乘以可靠系数。正常状态下的 20 Hz 电流为最小 20 Hz 电流, 大小为 3.30 mA, 可靠系数取 0.5, 则整定电流回路监视定值为 1.65 mA。

## 4 现场试验中遇到的问题和处理建议

### 4.1 20 Hz 电流信号 $I_{20}$ 偏小的原因和处理建议

(1) 电流回路断线。检查电流回路接线和穿芯 TA 接线。

(2) 接地变压器高压侧隔离刀闸未在合位。检查隔离刀闸位置。

(3) 接地变压器与发电机的电缆没有可靠连接。检查电缆连接情况。

(4) 电压信号偏低。检查电压信号。

(5) 发电机内部有断点。检查方法: 拉开接地刀闸, 将接地刀闸上端可靠接地, 用万用表在发电机

出口 TV 柜测量 TV 一次位置对地电阻值。如果对地电阻很小, 说明发电机定子绕组回路正常; 如果对地电阻很大, 说明定子绕组回路有断点。

### 4.2 20 Hz 电压信号 $U_{20}$ 偏小的原因和处理建议

(1) 注入源被短接, 电压被短路或开路。检查注入源接线盒电压回路接线。

(2) 负载电阻分压抽头接线错误。检查分压抽头接线。

(3) 注入电源等效内阻明显偏大。注入电源进行单独短路、开路检查。

### 4.3 未挂接地试验电阻, 接地电阻测量值很小

(1) 发电机被挂接地线。检查方法: 询问现场工作人员, 或拉开接地刀闸直接在接地刀闸上端测量发电机对地电阻。如果对地电阻很小, 说明有挂接地线; 如果对地电阻很大, 说明没有接地线。

(2) 水冷机组水质不合格, 当定子绕组水质不合格时, 电导率增大, 绝缘能力降低。检查水质。

### 4.4 20 Hz 电压信号和电流信号相角异常

当断开发电机对地并联阻抗, 发电机对地绝缘良好时, 由于发电机对地容抗的作用, 20 Hz 电压信号和 20 Hz 电流信号相角差应该为  $240^\circ \sim 270^\circ$ 。以下是 2 种相角异常情况及处理方法。

(1) 相角差为  $180^\circ$  左右, 原因是注入电源线把穿芯 TA 包络在内部, 此时穿芯 TA 测量的电流是负载电阻的电流, 负载电阻的电压和电流的夹角为  $180^\circ$ 。处理方法: 调整注入电源线的位置, 使穿芯 TA 测量发电机的容性电流, 相角差为  $270^\circ$  左右方为正常。

(2) 相角差为  $90^\circ$  左右, 原因是穿芯 TA 极性反接。处理方法: 在 TA 端子箱将两端接线对调, 调整 TA 极性, 相角差为  $270^\circ$  左右方为正常。

### 4.5 分压抽头选择

分压抽头选择原则是机端发生金属性接地时, 经过分压后装置测到的电压为 100 V 左右。抽头选择过大会导致发电机出口单相接地时, 进入装置的基波零序电压过大而烧坏注入电源, 抽头选择过小会导致低频分量测量不准确。电压获取一般有 2 种情况: (1) 在负载电阻直接抽取 100 V 分压; (2) 从负载电阻取全电压, 然后在注入电源分压器上进行分压。

## 5 注入式定子接地保护若干问题

### 5.1 保护动作启动失灵问题

注入式定子接地保护不受机组运行方式的影响, 在发电机静止状态下仍然可以起到保护作用。当发电机发生定子单相接地故障时, 接地电阻跳闸

段动作于跳 GCB、启动失灵和跳灭磁开关,但接地故障点没有被隔离,接地电阻仍然满足动作判据,导致保护不返回,不满足“故障切除后,启动失灵的出口返回时间应不大于 30 ms”的要求<sup>[7]</sup>。

因此,建议根据发电机的灭磁时间常数整定保护延时定值,保护逻辑设计时,接地电阻跳闸段应判接地电流大于安全电流定值(如图 2 所示),灭磁开关跳开后,发电机电压和电流迅速降低,接地电阻跳闸段可以快速返回,即可保证失灵保护的可靠性。

## 5.2 启、停机过程中闭锁问题

在抽蓄发电机或燃气发电机经静止变频器(SFC)拖动启动过程中和大型水电机组停机电制动过程中,定子绕组基波电气量的频率接近 20 Hz 或机组运行时固有的三次谐波电压频率接近 20 Hz 时,会干扰装置对 20 Hz 注入信号的测量。因此,在启、停机过程中及电制动刀闸合时,应闭锁注入式定子接地保护。

## 5.3 多段相角补偿问题

发电机机端发生金属性接地故障,穿芯 TA 测得的故障电流为几百 A,本文所述工程的单相接地故障最大电流为 317 A,所以穿芯 TA 变比为 400/1;但正常情况下 20 Hz 电流仅为 3.30 mA,相当于 TA 二次额定值的 0.33%。可见,对于 20 Hz 的信号,穿芯 TA 工作在其传变特性的起始段,传变误差呈非线性的特点<sup>[3]</sup>。

静态时,穿芯 TA 流过的电流只有 20 Hz 电流;机组加励磁和并网后,穿芯 TA 流过的电流包括 20 Hz 电流、由机组不平衡零序电压产生的 50 Hz 电流和由三谐波零序电压产生的 150 Hz 电流。部分电厂为了限制 GCB 的操作过电压,并网开关两侧各并联一个大电容器,随着 GCB 的合上和断开,机端和中性点的三次谐波零序电压再次发生变化,穿芯 TA 流过的 150 Hz 电流也发生变化。因此,相对于静态时,并网后穿芯 TA 的工作点发生变化,相位偏差也相应发生变化。

基于以上分析,静态、动态并网前和并网后需要设置多段相角补偿定值,以适应静止和动态时 20 Hz 相角差别较大的场合。

建议进行相角补偿时以保护机组长时间运行状态为原则。目前有“相角补偿定值 1”和“相角补偿定值 2”,“相角补偿定值 1”可在机组静态时整定,“相角补偿定值 2”(机端电压超过 80% 额定电压或并网后投入)可在机组并网后整定。机组从静态到并网的过程中,相角在不断变化且时间较短,该过程保护监测接地有偏差,但保护仍能正常动作。

## 5.4 对同期装置和测转速装置的影响

同期装置用电压测频时,如果同期装置取单相电压且不滤波,频率受到 20 Hz 信号干扰,进行同期时断路器可能合不上。20 Hz 注入电压为零序电压,不会影响系统线电压,建议同期电压取线电压。

## 6 结束语

本文介绍了注入式定子接地保护原理,以某厂 1008 MW 汽轮发电机组为例,详细总结了现场调试方法和定值整定方法,提出了使用电缆备用芯以提高调试效率的方法。针对现场调试过程中出现的电压、电流信号异常和接地电阻异常问题,应检查注入电源是否正常,测量回路接线是否紧固,发电机组内部是否有断点和穿芯 TA 是否安装正确。最后结合若干现场应用问题,阐述了电阻跳闸段保护应依据发电机的时间常数整定延时定值,并经安全电流闭锁;为防止机组电气量干扰导致保护误动作,应在机组电气量频率为 20 Hz 附近时闭锁保护,并且保护经电制动刀闸位置闭锁;两段相角补偿应在静态和并网后分别整定;机组的同期电压应取线电压。文中所得结论可为注入式定子接地保护的调试、检修和研发改进提供参考。

## 参考文献:

- [1]张琦雪,席康庆,陈佳胜,等.大型发电机注入式定子接地保护的现场应用及分析[J].电力系统自动化,2007,31(11):103-107.
- [2]刘亚东,王增平,苏毅,等.注入式定子接地保护的现场试验、整定和分析[J].电力自动化设备,2012,32(10):150-154.
- [3]陈佳胜,张琦雪,陈俊.基于分段相角补偿的注入式定子接地保护方法[J].现代电力,2014,31(1):79-84.
- [4]发电机变压器组保护装置通用技术条件:DL/T 671—2010[S].
- [5]王维俭.发电机变压器继电保护应用[M].2版.北京:中国电力出版社,2005.
- [6]大型发电机变压器继电保护整定计算导则:DL/T 684—2012[S].
- [7]继电保护和安全自动装置技术规程:GB/T 14285—2006[S].

(本文责编:刘芳)

## 作者简介:

朱宇聪(1991—),男,江西鹰潭人,助理工程师,从事继电保护研究与开发工作(E-mail:yucong-zhu@sac-china.com)。