

大机组保护及自动装置在工程中应用的几点探讨

孙浩波

(汕尾发电厂, 广东 汕尾 516623)

摘要: 结合《继电保护和安全自动装置技术规程》、《大型发电机变压器继电保护整定导则》、《二十五项反事故措施》等技术规程、规范的要求, 以及汕尾电厂两台 600 MW 机组的工程实践, 对大机组发变组保护双重化、发电机保护、变压器保护、500 kV 升压站的系统保护、厂用电保护、厂用电源切换装置、励磁系统等自动装置的配置、整定等应用中的若干问题进行了粗浅的讨论, 供设计和运行单位参考。

关键词: 保护; 励磁; 技术规程; 反措; 双重化

Analysis of automatic equipment and protective relays of large generator and transformer in engineering application

SUN Hao-bo

(Shanwei Power Plant, Shanwei 516623, China)

Abstract: This paper combines the "Technical code for relaying protection and security automatic equipment" and the "guide of calculating setting of relay protection for large generator and transformer" and the "twenty-five measures to prevent accidents" and some technical code and practice of engineering of two 600MW generator in Shanwei Power Plant. Analysis of configuration and setting of automatic equipment and protective relays are made for transformer, generator, bus bar, the low transformer, motor and the excitation system.

Key words: protection; excitation system; technical code; measure of preventive accident; dual protective equipment

中图分类号: TM774

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)02-0079-04

0 引言

汕尾电厂#1、#2 机组电气系统简介: 发电机为 QFSN—600/2, 22 kV, 600 MW; 主变压器为 720 MVA, (525±2×2.5%) kV/22 kV; 厂高压变压器 2 台, 其中一台为 40/25-25 MVA 三相分裂绕组变压器, 一台为 32.5 MVA 双绕组变压器, (22±8×1.25%) kV/6.3 kV; 两台机组共用一台备用变压器, 40/25-25 MVA 三相分裂绕组变压器, 110±8×1.25%; 500 kV 升压站为 3/2 接线, 500 kV 出线两条; 发电机出口设开关; 每台机组 3 段 6 kV 母线; 发变机、变压器、高厂变、励磁变保护采用美国 GE 微机保护。

1 关于发变组保护双重化

自《二十五项反措》(以下简称《反措》)颁发以来, 对保护双重化的含义, 从保护生产厂家、设计部门到保护应用单位曾一度引起不少争论。例如: 《继电保护和安全自动装置技术规程》(以下

简称《技规》)规定: “对 300 MW 及以上汽轮发电机变压器组, 应装设双重快速保护, 即装设发电机纵联差动保护、变压器纵联差动保护和发电机变压器组共用纵联差动保护; 当发电机与变压器之间有断路器时, 装设双重发电机纵联差动保护”。同时《技规》2.1.11 中规定: “为了便于分别校验保护装置和提高其可靠性, 主保护和后备保护宜做到回路彼此独立”。而《反措》规定: “100 MW 及以上容量的发电机变压器组微机保护应按双重化配置(非电气量保护除外)保护。在双重化配置中的每套保护均应含完整的差动及后备保护”。从以上规定可知《技规》强调的是保护区间的双重化, 主后备保护二次回路独立, 而《反措》强调的是装置的双重化。

如果要同时满足《技规》和《反措》的要求, 即需配置两套发电机保护、两套主变保护、两套发变组保护, 且每一套保护的主保护和后备保护 CT 分开, 在保护区间双重化后的两套保护的主保护和后备保护的 CT 独立, 包括计量用 CT 后, 在机端至

少要加装 7 组 CT; 而在主变高压侧还要装设有两组 T 区保护 CT 和关口计量 CT, 这样在主变高压侧就要装设至少 10 组 CT。而现场的安装条件是难以满足保护对 CT 数量的要求。借鉴线路微机保护、国外发变组保护的集成度已经很高, 主保护与后备保护共用 CT 也有了相当长时间的运行经验, 汕尾电厂采用了保护装置的双重化, 主保护共用 CT 和 PT, 没有配置发变组大差。

《反措》中明确保护双重化配置的电气主设备有: 发电机、主变压器、启动变压器保护宜采用保护完全双重化配置。但是, 对高压厂用变压器和励磁变压器保护是否采用双重化配置, 没有明确规定。高压厂用变压器的运行时间远大于启动变压器, 其重要性也不亚于启动变压器。因此, 对高压厂用变压器保护, 也按双重化配置。

汕尾两台的 600 MW 发变组保护配置为: 电气量保护配置为 2 套完整的发电机保护、2 套完整的主变压器、2 套完整的高厂变保护, 1 套非电气量和励磁变保护, 每套保护装置均包括“主保护+后备保护”。

2 关于发电机匝间保护

汕尾电厂发电机每相有两个并联分支, 但每相的并联分支在中性点没有引出端子, 无法装设单继电器式横差保护。根据《技规》规定: “50 MW 及以上发电机, 当定子绕组为星形接线, 中性点只有三个引出端子时, 根据用户和制造厂的要求, 也可装设专用的匝间短路保护”。考虑到汕尾电厂发电机存在同槽同相绕组, 因此装设了纵向基波零序过电压保护和负序功率闭锁元件组成的匝间保护。发电机匝间保护按双重化配置, 两套匝间保护 $3U_0$ 分别取自匝间保护专用 PT 的两个二次开口三角形绕组。

关于匝间保护 CT 变比的选取问题, 《大型发电机变压器继电保护整定导则》中建议的电压动作值门槛为 2~3 V, 如果匝间保护的 PT 变比为 $(U_0/\sqrt{3})/100$ V, 那么该值是表征保护动作门槛值为一相绕组的匝间短路比为 2%~3%。但很多设计选取的 PT 变比为 $(U_0/\sqrt{3})/(100/3)$, 由于 PT 变比增大, 如果仍以 2~3 V 来整定, 保护动作的门槛值则变为一相绕组的匝间短路比为 6%~9%, 保护的保护区会缩小。

3 关于转子接地保护

根据《技规》规定: “100 MW 及以上的汽轮发电机, 应装设励磁回路一点接地保护装置, 并可装设两点接地保护装置”。汕尾电厂采用的 GE 发变组保护没有转子接地保护, 转子接地保护(见图1)采用 ABB 励磁系统自带的向转子叠加 50 Hz 电源的交流电桥原理的转子一点接地保护, 该保护的動作原理是 R、CX、及转子接地阻抗组成一个电桥, 转子接地阻抗越小, 则在电压继电器动作线圈上产生的电桥的不平衡电压越大, 当该电压大于动作门槛设定值时, 转子接地保护动作。原设想再装设相同原理的一套转子接地保护或国内常用的切换采样(乒乓式)原理的转子接地保护以实现转子接地保护的双重化, 但由于正常运行时两套接地保护之间相互影响, 正常运行时也只能投入一套, 因此汕尾电厂只装设了一套发电机转子一点接地保护。同时参考 60 万 kW 及以上的大机组转子接地保护的实际情况, 在转子一点接地后动作跳闸, 因此没有配置转子两点接地保护。

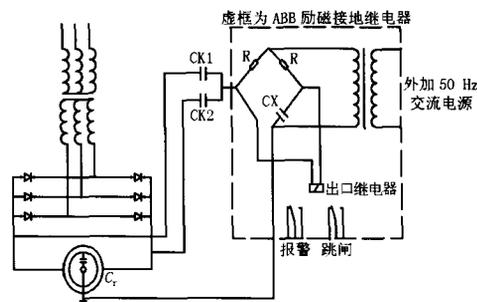


图 1 转子接地保护原理图

Fig.1 Schematic diagram of ground fault detection

4 关于厂用电切换的方式选择

汕尾电厂发电机出口装设了断路器, 机组启动时从 500 kV 系统经主变倒送电到厂用电, 无需专用的启动变。两台机组配置一台备用变作为机组检修时用的电源, 由于容量有限, 备用变带不了一台机组的所有厂用电负荷, 因此 6 kV 工作电源切至备用电源是按慢切来设计的, 即在母线低电压保护切除大部分电机负荷后投入备用电源。由于 6 kV 母线的负荷中有机组的保安电源, 如果采用快切, 对保安电源的恢复是有好处的。经过考虑备用变容量和保安电源可靠性的需要, 只对接有保安电源的 6 kV 的一段母线的备用电源的切换采用快切方式, 而其它二段 6 kV 母线段采用了慢切方式。

5 关于 CT 和保护电流回路的选型

由于 500 kV 系统和大容量发电机组的一次时间常数大, 短路电流有较大的暂态非周期电流分量, 电流互感器暂态饱和严重, 因此 500 kV 系统和大容量发电机组宜选用 TPY 级 CT, 并按外部三相短路 C-0 工作循环(暂态误差按不超过 5%)或外部线路单相重合闸 C-0-C-0 工作循环(暂态误差按不超过 10%)来校验 TPY CT 的暂态误差是否满足要求。因为 P 级 CT 对剩磁不作限制, 电流互感器在严重饱和后还可能有很大的剩磁, 剩磁在正常运行时不易消除, 在再次短路时, 将严重影响电流互感器的暂态特性, 在差动保护二次侧产生较大的差流, 易引起保护误动, 如沙角 C 厂的 500 kV #2 主变 T 区保护采用的是英国的 X 级 CT(相当于我国的 PX 级 CT, 这类电流互感器的准确限值是由一次电流为稳态对称电流时的复合误差来确定的), 在 2005 年 1 月 30 日在 500 kV 沙香线线路故障时, 引起 #2 主变 T 区保护误动引起 #2 机组全停。为此本厂在 500 kV 线路保护、T 区保护、主变差动及发电机差动保护选用了 TPY CT。

由于制造工艺及现场安装位置所限, 主变差动保护低压侧 CT 只能选取二次侧为 5 A 的变比为 25000/5 的 TPY 的 CT, 高压侧的 TPY 只能选取二次侧为 1 A 的 2000/1 A 的 TPY CT。虽然可以在二次侧加装辅助互感器解决 CT 二次额定电流不一致的问题, 但无疑会引起二次回路的复杂和影响差动保护的可靠性(二次侧辅助互感器在大的短路电流时有可能饱和)。由此要求保护具有 1 A 和 5 A 两种 CT 的交流采样模块和较高的差动平衡系数。

6 关于主变零差保护

由于汕尾电厂主变高压侧中性点为分级绝缘, 绝缘电压为 35 kV, 因此主变中性点采用固定接地方式, 考虑变压器高压绕组最常见故障为单相接地短路, 而零序差动保护的不平衡电流小, 动作整定电流小, 对单相接地短路有比相间差动保护(主要反应相间、匝间短路, 对单相接地也有一定灵敏度)更高的灵敏度, 因此在主变高压侧增设了比率制定的零序差动保护。由于在升压站 GIS 内汕尾电厂 CT 选用的是 TPY 型 CT; 由于中性点套管大小所限, 在主变本体上的中性点套管 CT 只能选用 5P 级 CT; 如果要在中性点安装 TPY 型 CT, 则只能安装在变压器本体外。经过与设计院协商, 综合考虑安装位置和投资, 零差保护最终采用了主变本体中性点套管 5P 级 CT。因此, 考虑非周期分量对两种 CT 的传变影

响, 在零差保护投入运行时先投入信号, 在积累一定的运行经验后, 确定是否投跳闸。

7 关于 500 kV 采用 T 区保护还是短引线保护的问题

汕尾电厂 500 kV 升压站主接线为二分之三接线, I 期工程为两串。汕尾电厂 500 kV 升压站在二次接入系统审查时, 确定采用串内短引线保护。但由于串内安装位置所限, 串内每个 CT 只有两个保护用 TPY 二次绕组, 因此, 每套发变组差动必须和每套短引线保护共用 CT 的二次绕组, 这样在变压器检修或变压器保护校验而变压器所在的一串开关继续运行时, 需要在二次端子排上短接变压器差动保护用的 CT 回路, 并需要投入短引线保护, 二次回路复杂, 易引起“三误”。根据《技规》中的规定:“为了便于分别校验保护装置和提高其可靠性, 主保护和后备保护宜做到回路彼此独立”。经过与设计院协商, 最终采用串外式 CT, 线路保护与 T 区保护在二次回路上分开, 变压器差动保护和 T 区保护在二次回路上分开, 保证了保护的二次回路简洁; T 区保护正常投入, 不存在 T 区保护和主变差动保护的投切操作; 计量 CT 回路不用取用和电流, 二次回路简洁。

8 电弧光原理的母线保护

《技规》中没有规定 6 kV 单母线要装设母线电流差动保护, 而且一般电厂 6 kV 母线上的负荷较多, 安装在 6 kV 开关柜内的 CT 二次绕组一般只有一个保护用二次绕组和一个计量用二次绕组, 也不便装设母线电流差动保护, 一般 6 kV 母线的短路在设计上是由所接的工作变压器或备用变压器低压侧开关的分支过流保护来动作。而这些分支过流保护的動作时间是按与下级电源系统逐级配合来确定的, 由于火力发电厂的厂用电电源分级较多, 保护在时限上逐级配合使 6 kV 厂用分支过流保护的動作时间有时可达到 1~2 s 左右, 如此长的動作时间在 6 kV 母线短路, 短路电流又比较大的情况下, 对高压厂用变压器来说是非常不利的。因此, 汕尾电厂在每个 6 kV 开关柜内装设了电弧光保护作为母线短路时的保护, 其動作原理是在每个开关柜内装设有光感应探头和光电转换器, 当有电弧光时, 光感应探头的光信号通过光电转换器转变为电信号, 电信号动作于出口继电器跳开母线的电源开关。该保护的動作时间不超过 100 ms, 可以大大缩短母线短路时的切除时间。使用该保护应注意的几个问题: 由于测量电弧光的

探头相当灵敏,用一般的手电筒的光线照后均可触发,因此厂家一般配有母线电源开关过电流闭锁装置。对开关母线室有观察孔,此电流闭锁定值应大于最大一台电机启动时流过母线电源开关的总电流值,以防止电机启动的同时(电厂电机启动相对比较频繁)运行维护人员打开母线照明灯或用电筒检查母线引起的误动。另外,对采用备用投或快切的母线接线方式,电弧光保护动作后应闭锁母线的备用投或快切装置。

9 关于励磁系统的过电压保护值的选取

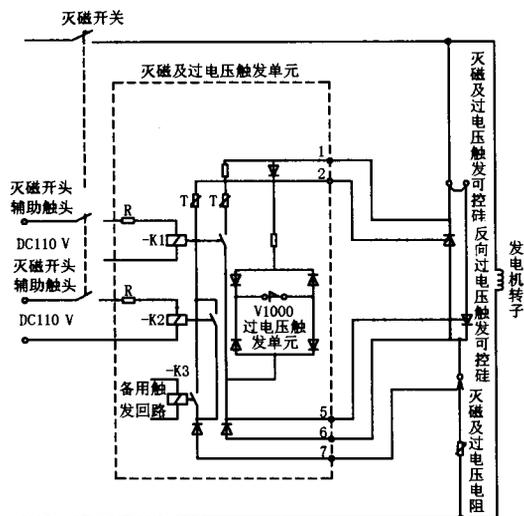


图2 灭磁和过电压原理图

Fig.2 Schematic diagram of the field overvoltage and the discharge equipment

汕尾600 MW机组励磁系统为自并励系统,励磁系统选用的是ABB公司的UNITROL 5000。该励磁系统灭磁时的原理(见图2)为:当磁场开关断开时,通过磁场开关辅助触点动作于K1和K2继电器, K1和K2的辅助触点导通后,通过V3二极管上的电压触发可控硅二极管V1, V1导通灭磁SiC电阻进行灭磁。

该励磁系统在转子发生过电压时的释能原理:当发生正向过电压时,正向过电压通过V3、V4、V7触发V1000过电压触发单元, V1000导通后,加于V8二极管的反向电压使V2可控硅导通从而接通SiC电阻进行释能以消除过电压;当发生反向过电压时,反向过电压通过V8、V6、V5触发V1000过电压触发单元, V1000导通后,加于V3二极管的反向电压使V1可控硅导通从而接通SiC电阻进行释能以消除过电压。对励磁系统灭磁电阻的选择在《大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件》中5.5条规定:在强励状态下灭磁时发电机转子过电压值不应超过4~6倍励磁额定电压值。同时规定转子过电压保护电阻的选取应使发电机转子过电压保护动作值应高于强励后灭磁和异步运行时的励磁电压值。以上规定是针对灭磁电阻和过电压电阻没有共用(国内很多励磁厂家灭磁电阻和过电压电阻分开的)的情况。但是,国外如ABB的励磁系统、英国RR公司励磁系统的灭磁和过电压保护共用一个SiC电阻,只是灭磁和过电压的触发回路不同(见图2)。此SiC电阻的阻值只能按一个原则选取,从保护发电机转子的角度来考虑按前者即稍低值来选取,取2 200 V值设定。

参考文献

- [1] 继电保护和安全自动装置技术规程[Z]. Technical Code for Relaying Protection and Security Automatic Equipment[Z].
- [2] 大型发电机变压器继电保护整定导则[Z]. Guide of Calculating Setting of Relay Protection for Large Generator and Transformer[Z].

收稿日期:2006-08-10; 修回日期:2006-11-21

作者简介:

孙浩波(1970-),男,大学本科,高级工程师,从事继电保护运行、维修、检验、工程设计审查、技术管理等工作。E-mail:ydswh_shb@163.com

(上接第75页 continued from page 75)

GAO Zong-he, TENG Xian-liang, TU Li-qun. Hierarchical AGC Mode and CPS Control Strategy for Interconnected Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(1): 78-81.

- [9] Illian H F. Conforming WECC Auto Time Error Correction to CPS1. The NAESB Inadvertent Inter Change Payback Task Force[EB/OL]. Available: <http://www.naesb.org>.

收稿日期:2006-09-04; 修回日期:2006-10-07

作者简介:

罗凯明(1978-),男,硕士,助理工程师,从事电网调度运行工作; E-mail:luo_km@ec.sp.com.cn

孙勇(1972-),男,硕士,工程师,从事电网调度运行工作;

侯勇(1976-),男,硕士,工程师,从事电网调度运行工作。