

三峡大型水轮发电机组保护配置实现

唐云龙, 陈海龙, 沈燕华, 张鹏远, 蔡常群, 徐立明

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 简单介绍了三峡工程以及右岸机组配置及机组参数的一些情况, 以及 WFB-800 发变组继电保护装置的技术特点。针对三峡右岸大型水轮发电机组的具体情况, 介绍了 WFB-800 发变组继电保护装置在三峡右岸大型水轮发电机组保护实现上的应用, 说明了如何实现双套主保护, 双套后备保护, 双套异常运行保护的配置方案, 并论述了在实现主保护时应用的一些新技术, 同时针对三峡右岸大型水轮发电机组一些特殊保护, 较为详细地说明了所采用的实现方法。

关键词: 发变组; 继电保护; 水轮发电机组

Implementation of protection configuration for Three Gorges large hydroelectric turbine generator sets

TANG Yun-long, CHEN Hai-long, SHEN Yan-hua, ZHANG Peng-yuan, CAI Chang-qun, XU Li-ming
(XJ Group Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper introduces the large hydroelectric turbine generators sets configuration and their parameters of Three Gorges project, and the characteristic of WFB-800 relay equipment. According to the actual condition, it puts forward the application of WFB-800 for the protection of the large hydroelectric turbine generators of Three Gorges project. How to implement configuration scheme for two sets of main protection, two sets of backup protection, two sets of abnormal operation protection are introduced. The new technique applied for main protection is proposed. According to the special protection of the Three Gorges project large hydroelectric turbine generators sets, the adopted implementation methods for some special protection are explained in detail.

Key words: generator transformer set; relay protection; hydroelectric turbine generators

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)17-0005-04

0 引言

三峡工程是举世瞩目的一项大型水利水电工程, 它不仅是重要的水利枢纽而且还承担着水力发电的重要任务。三峡电站总共安装有 26 台单机容量为 70 万千瓦的水轮发电机组, 也是我国目前单机容量最大的水轮发电机组, 装机总容量达到 1 820 万千瓦。三峡电站右岸的发电机组分别是由东方电机厂、哈尔滨电机厂以及 ALSTOM 提供, 共 12 台 (15#~26#) 机组, 机组使用的保护装置是由许继电气公司研制提供的新型发电机变压器组微机保护装置 WFB-800。

1 总体方案

1.1 保护装置简介

许继 WFB-800 微机发变组保护装置是“九五”国家重大技术攻关项目研制而成的新一代微机保护装置, 它继承了 WFB-100 型保护装置的优点和成功的运行经验, 并融入先进的计算机技术和保护原理。

装置采用新型 DSP 高速处理器、实时多任务系统平台、汉字图形化人机接口、模块化软件设计、三个 CPU 并行智能处理技术等^[1]。保护判据先进可靠; 装置性能稳定, 对外接口方便通用; 保护配置方便灵活, 操作维护方便容易。

1.2 机组保护组屏方案

1.2.1 机组参数

三峡右岸发电机由三家电机厂家提供, 机组参数分别为:

东电: 单机容量 $R=777.8$ MW, 机端电压 20 kV, 功率因数 0.9, 转子电压 364 V, 转子电流 3 779 A, 定子绕组为波绕组连接, 每相并联分支数为 5, 采用自并励可控硅励磁, 中性点经配电变压器接地。

哈电: 单机容量 $R=777.8$ MW, 机端电压 20 kV, 功率因数 0.9, 转子电压 457.5 V, 转子电流 4 171.5 A, 定子绕组为波绕组连接, 每相并联分支数为 8, 采用自并励可控硅励磁, 中性点经配电变压器接地。

ALSTOM: 单机容量 $R=777.8$ MW, 机端电压 20 kV, 功率因数 0.9, 转子电压 481 V, 转子电流 3 781

A, 定子绕组为波绕组连接, 每相并联分支数为 6, 采用自并励可控硅励磁, 中性点经配电变压器接地。

1.2.2 配置原则

大型水轮发电机本身以及对于整个电力系统的重要性是不言而喻的, 国家电力公司 2002 年《“防止电力生产重大事故的二十五项重点要求” 继电保

护实施细则》中明确指出: 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, 每套保护均含完整的差动及后备保护。因此, 针对三峡右岸大型水轮发电机组保护, 结合 WFB-800 新型微机发变组保护装置的功能特点, 按照主保护、异常运行保护、后备保护完全双重化的原则进行设计和配置。

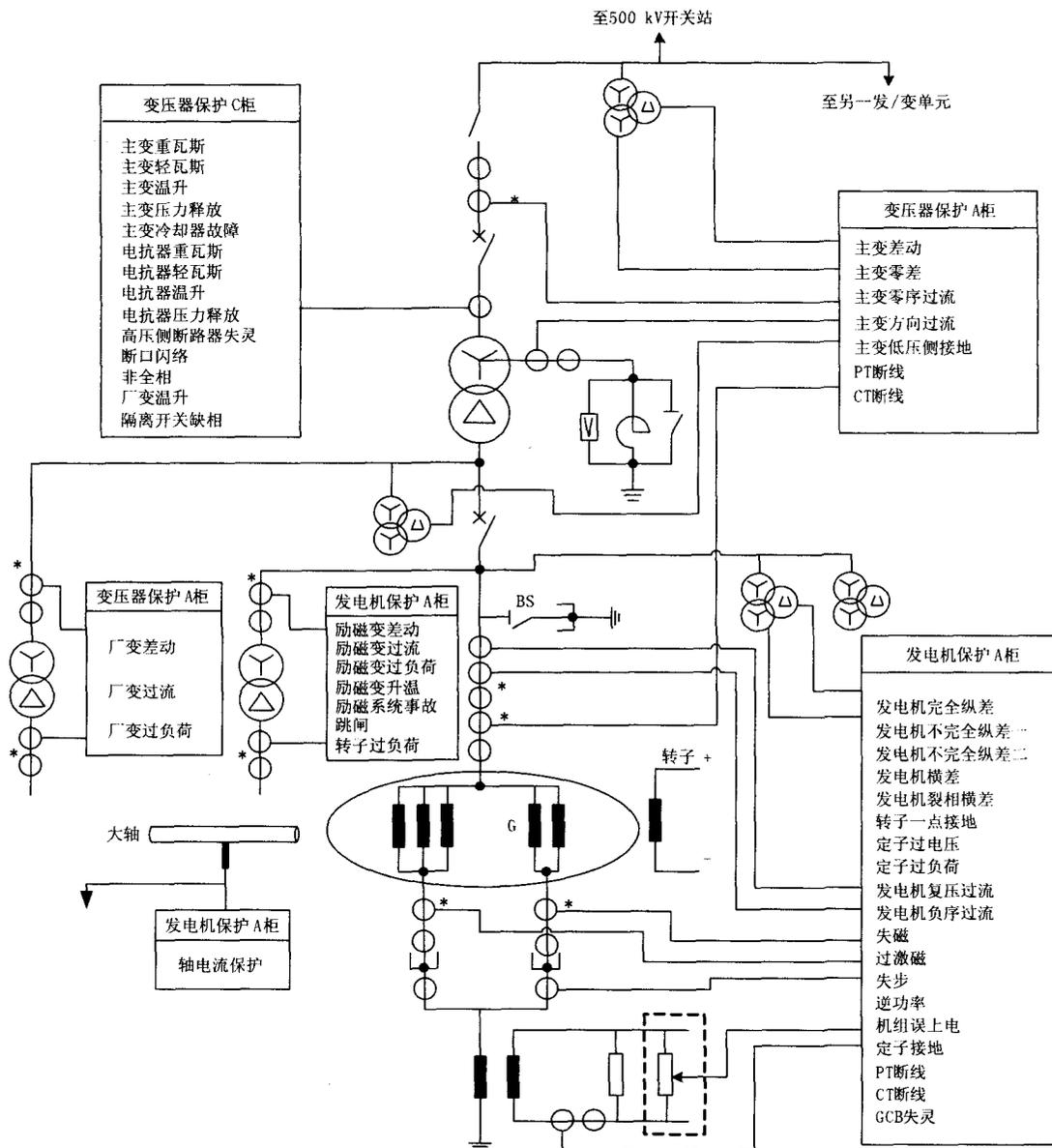


图 1 有 GCB 的机组保护配置示意图

Fig.1 The sketch map for the protection configuration

1.2.3 组屏设计和保护功能配置

三峡右岸的发变组为单元接线的形式, 其中有几台机组机端带有 GCB, 根据长江三峡工程右岸电站的发变组一次设备实际情况, 保护配置分为有

GCB 的机组和无 GCB 的机组两类。考虑到运行、维护的方便, 对于一个发变组单元设置有变压器保护 A、B 两面柜, 发电机保护 A、B 两面柜以及一面非电量保护 C 柜共五面柜。其中变压器保护 A、

B 两面柜各完成一台主变压器和一台厂用变压器的全部电气量保护, 组成双套保护, 出口完全独立; 发电机保护 A、B 两面柜各完成一台发电机和一台励磁变的全部电气量保护, 组成双套保护, 出口完全独立; 非电量保护 C 柜完成机组全部非电量类保护。

具体的系统接线方式、保护配置以及保护功能如图 1 所示 (以机端带 GCB 为例, 并且省略了双套保护的 B 柜示意图)。

为使现场运行方便、灵活、可靠, 组屏设计有以下特点:

1) 充分考虑每套保护的独立性和互为后备的要求, 每块屏柜的交流电流和交流电压回路、直流电源回路等完全独立, 装置保护电源和非电量保护电源相互独立。

2) 屏柜上多个保护均设有投退及跳闸出口的硬压板, 当一面屏柜的回路、装置或其它出现异常, 需要退出运行时, 只需解除本柜的出口压板, 不影响机组的正常运行。

2 主保护配置及保护新原理

2.1 发电机主保护

特大型水轮发电机造价昂贵, 内部故障造成的损失巨大, 因此对主保护的配置必须细致周密。三峡右岸大型水轮发电机定子绕组并联分支数多, 发生内部故障的概率大以及故障的类型多, 应用“多回路分析法”对发电机故障进行严格的仿真计算, 进而采用了科学的配置: 发电机完全纵差, 不完全纵差, 裂相横差, 单元件横差等, 使得发电机有了完全的、多重的内部故障主保护。以定子绕组并联分支数等于 5 为例, 如图 2 所示。

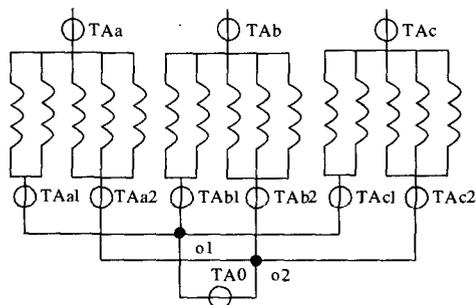


图 2 发电机主保护配置示意图

Fig.2 Sketch map for the main protection configuration

A 相: TAa 与 TAa1 以及 TAa 与 TAa2 构成了两组不完全纵差保护; TAa、TAa1 与 TAa2 构成一组完全纵差保护; TAa1 与 TAa2 构成了裂相横差保护。

对于 A 相绕组, 大体上是“两纵一横”的主保护体系。B、C 相绕组的保护同样如此。另外连接中性点 o1 与 o2 的 TA0 构成单元件横差保护。因此, 对于整个发电机定子绕组来说, 应该是“两纵两横”主保护体系。纵横交叉, 互为弥补; “两纵两横”, 冗余设计, 从而能完全保证发电机内部故障时保护安全可靠动作。

发电机纵差类保护采用三折线比率制动特性, 并设有灵敏动作区, 动作方程如下:

$$\begin{cases} I_{op} > I_{op,0} \\ I_{op} \geq I_{op,0} + S(I_{res} - I_{res,0}) \\ I_{op} \geq I_{op,0} + S(4I_e - I_{res,0}) + 0.6(I_{res} - 4I_e) \end{cases} \quad \begin{cases} (I_{res} \leq I_{res,0}) \\ (I_{res,0} < I_{res} \leq 4I_e) \\ (I_{res} > 4I_e) \end{cases} \quad (1)$$

式中: I_{op} 为差动电流, $I_{op,0}$ 为差动最小动作电流整定值, I_{res} 为制动电流, $I_{res,0}$ 为最小制动电流整定值, S 为比率制动特性的斜率。

发电机完全差动保护、发电机不完全纵差保护、发电机裂相横差保护具有相同的动作特性曲线, 如图 3 所示, 图中设置了灵敏动作区, 保证区内发生弱故障时可以可靠灵敏地动作, 区外故障造成不平衡电流较大时可靠不动作。灵敏动作区的动作时间比一般动作区略长。图 4 也是如此。

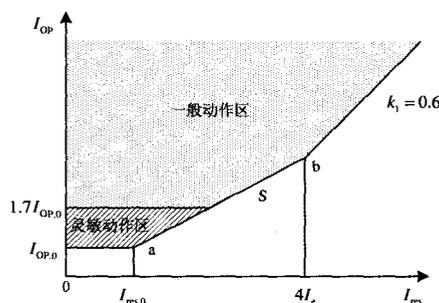


图 3 发电机差动作特性

Fig.3 Action characteristic for differential protection

对于横差类保护, 可提供无制动特性、有制动特性的两种可供选择的判据。为保证发电机正常运行以及降低保护定值和提高灵敏度, 保护中还增加了三次谐波阻波功能。同时根据工程的需要还设置了当发电机发生转子一点接地时的横差保护动作方式。

2.2 变压器主保护

变压器的主保护和发电机一样同等重要, 其比率差动保护的動作特性曲线, 采用多段多区域设置方

式,为了保证变压器在重负荷下发生内部轻微故障、高阻接地类故障以及在振荡中故障时差动保护的灵敏度,配置有增量差动保护来弥补常规比率差动保护反应上述类型故障灵敏度的不足。差动动作特性曲线如图 4。

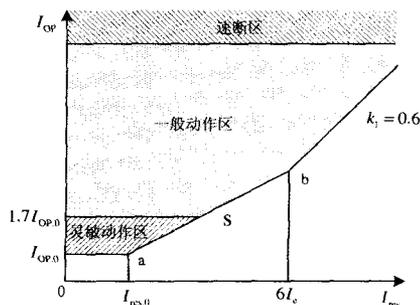


图 4 变压器比率差动动作特性

Fig.4 Action characteristic of transformer differential protection

在变压器保护中,经过多次实验以及现场运行证明,采用的先进励磁涌流识别方式能可靠地识别涌流和故障。此外,无论在变压器保护还是在发电机保护中,保护装置应用了具有自主专利的基于“虚拟制动量”CT 饱和识别技术,能快速的判别出故障的区内外类型以及可靠识别 CT 的饱和与否。对于变压器的另一主保护零差保护,应用了更为合理的制动量的选取方式,使得零差保护的动作用更灵敏更可靠,同时还具有相当强的抗 CT 饱和的能力。

3 保护在工程中遇到的新问题及解决措施

3.1 发电机定子接地保护

由于水轮发电机不同于汽轮发电机,其机端和中性点的三次谐波电压随发电机本身的结构以及运行工况的变化而改变的规律很复杂,给应用三次谐波电压量形成保护的实现带来了困难,同时保护的可靠性不是很高,所以 WFB-800 装置中采用了 20Hz 电源注入式定子接地保护。三峡右岸发电机中性点经配电变压器接地,因发电机对地电容普遍较大,从防止动态过电压以及发电机绝缘程度随运行时间的增长和发电机检修次数的增加而下降的角度来看,配电变压器二次电阻选择的比较小,仿真计算和现场实测表明 20 Hz 电源注入式定子接地保护的灵敏度不是很高。针对此情况,保护装置在实际应用中采用了一定的补偿措施,最大限度地提高了保护的灵敏度。由于三峡右岸机组参数的特点,当发生单相接地故障时反应到配电变压器二次侧 20 Hz 测量回路的接地电流就比较大,因此,测量回路使用的是大变比的电流互感器,使得进入保护装置的

电流不是很大。目前国内保护装置用保护级电流互感器很难保证在微小电流情况下的测量的精度,误差很大,尤其是相位误差,所以发电机在静止状态,空载状态以及正常运行情况下,由 20 Hz 测量回路大变比电流互感器反应到保护装置的电流就非常小,极易造成保护的不正确动作。WFB-800 装置针对这一情况,采用了高精度的保护装置用电流互感器,使小电流测量精度得到满足,并且在保护功能实现方式上采用了一定的手段,有效地解决了上述问题。

3.2 转子接地保护

三峡发电机组采用三相可控硅整流,励磁变低压侧相电压为 1 200 V,励磁系统整流以及关断整流电流时的反向冲击电压都很高,接近 3 000 V,相关回路按 5000 V 绝缘耐压要求设计。励磁电压外引时会有高电压引起的电缆绝缘问题,以及可能引起的干扰和安全隐患。为避免励磁回路高电压长距离传送,对外引的励磁回路进行先降压后外引处理,能很好地保证设备安全运行。如图 5 所示。

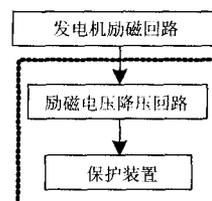


图 5 励磁回路接线示意图

Fig.5 Excitation loop connection sketch map

励磁降压回路装设在励磁柜内,降压回路将励磁电压降为原电压的 0.2 倍,实际最大电压 3000 V 时,外引最大电压不大于 600 V。机组额定运行时励磁电压为 400~500 V,外引回路电压仅 100 V 左右,有效地解决了上述问题。降压后的电压,经装置滤波后供保护使用。

3.3 隔离开关非全相保护

三峡左岸电厂运行中曾出现过主变高压侧出线隔离刀闸未能可靠接触引起非全相运行问题,因此特增设该保护。该保护作为起机并网时因隔离刀闸未可靠接触引起非全相运行的保护。保护采用断路器三相触点的合闸位置相“与”后,以及零序和负序电流形成隔离开关非全相保护的主判据,能很好地解决这一问题。该保护只在断路器并网合闸后一小段时间内担任保护,并网正常运行时退出该保护。

(下转第 11 页 continued on page 11)

的电压 u_{f1} , 计算出接地阻抗 $R_2 = \frac{R_1(u_f - u_{f1})}{u_{f1}}$,

当 R_2 小于设定值时, 动作于跳闸或报警。

谐波注入法抗干扰能力强, 不受变频器输出谐波影响, 可以适用于各种类型的变频器回路, 还具有在线监测的功能, 实时监测变频器、电缆、电动机的绝缘状态。

3.3 变频器电源侧保护

现在的高压变频器主流产品是多电平变频器, 输入侧设置有移相变压器, 移相变压器有多个次级绕组, 不能装设差动保护, 只能装设速断保护。《电力工程电气设计手册》告诉我们变压器电流速断保护动作电流的整定值, 按躲过外部短路时流过保护的最大短路电流或躲过变压器励磁涌流, 取两计算结果中的较大值。灵敏度校验公式是:

$$K_{lm} = \frac{I_{d.min}^{(2)}}{I_{dz}} \approx 2$$

式中: $I_{d.min}^{(2)}$ 为最小运行方式下保护安装处两相短路时, 流过电流互感器的电流值。

对于变压器—变频器—电动机组, 不存在与下级保护的配合问题, 电流速断保护理论上应该保护整个变压器和变压器与变频器的连接电缆, 动作电流整定值只需躲过变压器励磁涌流, 其值大于 3~5 倍额定电流。

速断保护灵敏度校验应该取变压器次级绕组出口处两相短路电流计算。但是由于移相变压有多个次级绕组的特殊结构, 次级绕组容量小, 阻抗大, 二次侧短路时, 短路电流小, 实际灵敏度校验值一般小于 1, 即速断保护一般不能保护变压器次级绕组的全部, 次级绕组末端短路靠过流保护动作。

(上接第 8 页 continued from page 8)

4 结论

本文在介绍了 WFB-800 装置功能的基础上, 根据三峡右岸电站的具体情况, 得出如下结论:

(1) 在三峡右岸发电机组上实现了主保护、异常运行保护、后备保护的三重化配置方案, 设计简洁可靠, 运行维护方便。

(2) 主保护的配置科学合理, 应用了现今保护的许多新原理以及一些具有自主专利的新技术, 能使得主设备的运行更可靠。

(3) 解决了实际工程中遇到的一些新情况。

4 结论

高压变频器在电厂中应用目前已逐步推广, 技术人员在积极采用这一先进的节能设备同时, 一定要同时关注由于变频器应用而带来的厂用电各方面的影响, 关注随着带来的保护配置和整定问题, 使高压变频器在电厂中安全可靠的运行, 发挥其巨大的节能和调节特性。

参考文献

- [1] DL/T 5153-2002. 火力发电厂厂用电设计技术规定[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
DL/T 5153-2002. Technical Rule for Designing Auxiliary Power System of Fossil Fuel Power Plants[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [2] 电力工程电气设计手册 2[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
Electrical Design Manual for Electric Project[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1991.
- [3] DL/T 770-2001. 微机变压器保护装置通用技术条件[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
DL/T 770-2001. General Specifications for Microprocessor-based Transformer Protection Equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

收稿日期: 2007-03-29; 修回日期: 2007-04-17

作者简介:

张超(1981-), 男, 助理工程师, 从事火力发电厂、变电所电气系统设计; E-mail: zhangchao-fd@csepd.com

张艳艳(1980-), 女, 助理工程师, 从事火力发电厂、变电所电气系统设计;

黄生睿(1965-), 男, 教授级高级工程师, 从事火力发电厂、变电所电气系统设计。

参考文献

- [1] WFB-801 技术说明书[Z]. 2005.
Technology Instruction Book of WFB-801[Z]. 2005.

收稿日期: 2007-04-26; 修回日期: 2007-05-24

作者简介:

唐云龙(1976-), 男, 硕士, 从事主设备保护的研发工作; E-mail: yunlongt@xjgc.com

陈海龙(1975-), 男, 本科, 从事主设备保护的研发工作;

沈燕华(1978-), 男, 本科, 从事主设备保护的研发工作。