

特大型水电机组保护配置方案的探讨

何其伟,潘仁秋,戴建民,陈俊

(南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211102)

摘要:总结了国内已投入运行的700 MW水电机组保护运行经验及其配置方案,就特大型水电机组保护典型配置方案提出了较为完善的解决方案,并对保护实施过程中应注意的几个关键技术问题进行了探讨,为今后类似工程的设计和和实施提供参考。

关键词:特大型水电机组;机组保护;配置方案

中图分类号: TM77

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2010)04-0008-04

我国幅员辽阔,江河众多,蕴藏着丰富的水力资源,这为大规模水电开发奠定了天然的基础条件。随着长江流域、澜沧江流域、金沙江流域等一批大型、特大型水电站相继建成,我国水电开发正朝着大型、特大型水电机组方向发展;据统计,到2020年我国700 MW及以上容量水轮发电机的装机数量将超150台,白鹤滩、乌东德水电站等1000 MW级水电机组也进入规划设计阶段。特大型水电机组具有单位容量造价低、单位发电成本低等诸多优点,但机组本身价值较高,非正常停机损失较大。这样就对机组保护的灵敏度和可靠性提出了更高的要求。南瑞继保公司RCS-985系列机组保护装置已经在龙滩水电站和小湾水电站700 MW机组上相继投入运行,积累了一定的工程设计和运行经验。有必要对特大型水电机组的特点、典型保护配置方案以及实施过程中的注意事项进行总结,为今后类似工程的设计和和实施提供参考。

1 特大型水电机组保护配置方案

特大型水电机组的定子绕组每相分支数较多,且中性点有足够的安装空间,中性点引出方式灵活,可以配置完善的内部故障主保护。通过“量化分析计算”可以优化设计发电机的中性点引出方式和主保护配置^[1]。

下面以小湾700 MW水电机组为例,简述特大型水电机组保护典型配置方案。

小湾水电站700 MW机组分支绕组分组和中性点引出方案为:每相8个分支绕组分成2组引出,即:1、3、5、7奇数绕组为一组,2、4、6、8偶数绕组为另一组,最终形成2个中性点分支,如图1所示。发电机内部故障的主保护配置发电机不完全差动保护I、发电机不完全差动保护II、发电机完全裂相横差保护和发电机高灵敏单元件横差保护。

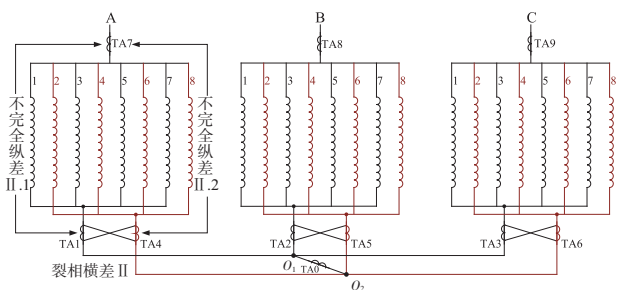


图1 小湾机组内部故障主保护及TA配置

小湾水电站机组保护功能配置如下。

(1) 发电机、励磁变电量保护功能配置

发电机不完全差动保护I(87G-A1);发电机不完全差动保护II(87G-A2);发电机单元件横差保护(60G-A);发电机裂相横差保护(87GU-A);带记忆的低电压过流保护(51/27G-A);注入式定子接地保护(64G-A);基波零序电压+三次谐波电压型定子接地保护(64G-B);注入式转子一点接地保护(64E-A);失磁保护(40G-A);定子过负荷保护(51G-A);失步保护(78G-A);定子过电压保护(59G-A);发电机过激磁保护(24G-A);转子表层负序过负荷保护(51GR-A);发电机断路器失灵保护(50GCB-A);轴电流保护(38/51G-A);励磁绕组过负荷保护(51EL-A);误上电保护(81G-A);励磁变差动保护(87ET-A);励磁变过流保护(51ET-A);励磁变过负荷保护(51ETL-A);电压互感器断线保护(95);电流互感器断线保护(96)。

(2) 主变、厂变电量保护功能配置

主变差动保护(87T-A);主变负序过流保护(51TR-A);主变过负荷保护(51T-A);主变过激磁保护(24T-A);主变零序电流保护(51TN-A);厂高变差动保护(87TS-A);厂高变速断保护(50TS-A);厂高变过流保护(51TS-A);厂高变过负荷保护(51TSR-A);电压互感器断线保护(95);电流互感器断线保护(96);主变18 kV侧单相接地。

(3) 主变、厂变非电量保护功能配置

重瓦斯(80TH);
轻瓦斯(80TL);
压力释放(63T);
油位高低(71T);
温升(49T);
冷却系统故障(54T);
其他。

2 典型工程的保护组屏方案

小湾水电站的工程设计综合考虑了发电机机房与 500 kV 气体绝缘开关柜(GIS)楼的二次屏柜布置,最终确定了如下组屏方案。

(1)发电机、变压器电气量保护双重化配置,分别安装在 A、B 柜上,除定子接地保护外,装于 A 柜上的保护与装于 B 柜上的保护完全相同;C 柜为非电量保护和注入式定子接地辅助电源。

双重化的转子接地保护采用单装置安装在励磁系统的灭磁柜中。

(2)在每条 500 kV 电力电缆的始端(地下厂房内)和终端(地面 500 kV GIS 楼)各设置一面保护屏,每面屏上装设 2 套光纤差动保护装置。地下厂房内的 500 kV 电力电缆保护柜与发电机变压器组保护的 A、B、C 柜布置在一起,地面 500 kV GIS 楼的 500 kV 电力电缆保护柜布置在 500 kV GIS 楼的保护盘室内。

3 特大型水电机组保护设计原则

(1)按“无人值班”(少人值守)原则设计;

(2)按 GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》、国家电力公司颁发国电发[2002]589 号的《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》及国电调[2002]138 号《“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》等规程与“反措”要求为发变组单元设备配置保护;

(3)在工程设计时综合考虑继电保护装置的快速性、可靠性、灵敏性和选择性要求;

(4)按“双重化”原则为发电机、主变压器和 500 kV 高压电缆各配置两套独立的电气量保护;

(5)2 套电气量保护装置的电源、TA、TV 均各自独立,同一套电气量保护的主保护和后备保护共用一组 TA,2 套完整的电气量保护的跳闸出口分别作用于相关断路器的 2 个跳闸线圈;

(6)主变压器的非电量保护的跳闸出口同时作用于相关断路器的 2 个跳闸线圈。

4 特大型水电机组几个保护配置问题的探讨

4.1 定子接地保护

特大型水电机组的定子绕组单相对地电容与常规火电机组、低容量水电机组相比要大得多。如广西龙滩水电厂 700 MW 机组定子绕组单相对地电容为 $3.6 \mu\text{F}/\text{相}$,定子绕组单相接地故障造成的危害更为严重,而三次谐波电压型定子接地保护的灵敏度却因电容增大而相对降低,对机组安全运行不利。对于特大型水电机组,三次谐波电压型定子接地保护已难以满足保护灵敏度的要求。

为更好地保障特大型水电机组安全运行,要求采用灵敏度更高的定子接地保护原理,配置更加完善的 100%定子接地保护方案,即在发电机变压器组保护 A 柜配置低频 20 Hz 交流注入式定子接地保护,在 B 柜配置由机端零序电压加中性点三次谐波电压共同构成的 100%定子接地保护。

以小湾水电站为例,注入式定子接地保护示意图如图 2 所示^[2]。

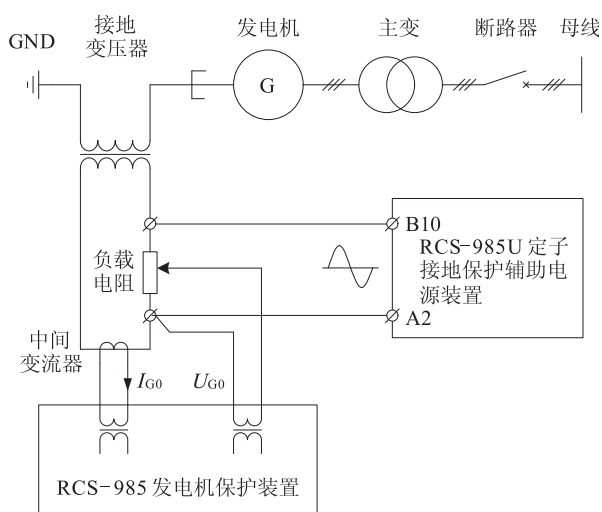


图 2 注入式定子接地保护示意图

A 套保护采用注入式定子接地保护,电压可以直接取二次负载电阻的抽取 100 V 电压,也可以直接取二次负载电阻两端电压,辅助电源装置内部经过分压电阻得到 100 V 电压。

B 套保护采用基波零序电压 + 三次谐波电压型定子接地保护,电压取中性点接地变压器二次抽取 100 V 电压。

双重化的 2 套不同原理的定子接地保护装置所取不同的电压,保证了装置的可靠性。

中间变流器为穿心式电流互感器。现场安装时,用支架直接将中间 TA 固定在穿心的铜排上。中间变流器选择时,应根据发电机、接地变压器、负载电阻的参数设计其电流变比。

对中间变流器的性能要求:(1)中间变流器二次电流应与保护装置的电流输入接口相配合;(2)中间变流器的测量精度应满足一定的要求;(3)一次侧流

过最大工频电流时,中间变流器不应饱和。

需要注意的是,当发电机组采用注入式定子接地保护时,应适当提高中性点接地变压器低压侧额定电压,使得二次负载电阻值达到或超过 $1\ \Omega$,以便一次设备与注入式定子接地保护实现良好地配合,获得更为优越的保护灵敏度。

4.2 转子接地保护

特大型发电机要求在发电机静止未加励磁电压的情况下仍能实现转子绕组对地绝缘监测,因此宜采用注入式原理的转子接地保护。

小湾水电站转子接地保护采用双重化的 2 套单装置,安装在发电机励磁系统的灭磁柜中,避免了发电机转子绕组的对外引出,减小了转子绕组主回路发生故障的机率,提高了发电机运行的可靠性;2 套转子接地保护共用一个切换开关,该切换开关设置有 3 个位置:A 套/B 套/停用,通过切换开关操作保证任何时候都只能有一套转子接地保护装置投入工作低频信号发生器安装在发电机励磁柜中,避免了发电机转子绕组的对外引出,减小了转子绕组主回路发生故障的机率,提高了发电机运行的可靠性。

双套配置的转子接地保护,宜采用不同原理,一种采用乒乓原理,一种采用注入式原理,2 种不同原理之间可以相互验证,正常运行时只投入其中一套,当投入运行的转子接地保护动作报警时,可切换到另一套保护,验证第一套保护的动作为,提高绝缘检测的可信度^[3]。

4.3 失磁保护转子电压引入方式

失磁保护转子低电压判据需要引入转子电压,但转子绕组在电气上涉及的环节多,发生一点接地故障的可能性较大,特大型水电机组的励磁电压偏高,直接引入转子电压进入保护装置,存在转子过电压破坏保护装置的隐患,电缆的选型也比较困难。

此外,GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》第 6.1.2 款要求“二次回路的工作电压不宜超过 250 V,最高不应超过 500 V”。

因此,特大型水电机组的失磁保护可通过其保护原理及定值整定优化而取消“转子电压低判据”,或者转子电压通过其他方式再进入保护装置。若失磁保护需采用“转子电压低判据”,建议采用以下 2 种方式引入转子电压:

(1) 经 $4\sim 20\ \text{mA}$ 变送器传变后输入保护装置;变送器可以起到隔离的作用,且电缆选择要求较低,这是该方式的优点,但需考虑变送器的转换时滞问题。建议设计单位在励磁系统中考虑增设变送器实现供给机组保护两路独立的 $4\sim 20\ \text{mA}$ 信号输出。

(2) 经分压器降压后输入保护装置;分压器的变比一般设计为 10:1 或 15:1,分压器内阻值不宜太小,但要求比故障录波器和保护装置采样内阻要低一个数量级,否则会影响测量精度,且建议分压器有多个抽头,2 套机组保护和故障录波器的转子电压分别取自不同的抽头,相对独立。该方案的缺点在于励磁电压单极对地电压并未显著减小。

目前,上述 2 组方式在现场均已得到应用。

4.4 保护信号传输通道

(1) 每条 500 kV 电力电缆的 2 套光纤差动保护采用独立的 2 根专用光缆传输信号,实现保护信号传输通道的完全冗余,提高保护的可靠性。

(2) 发变组保护出口跳 500 kV 断路器的信号,首先接入布置在机旁的 500 kV 电缆光纤差动保护装置的远跳通道,经光信号传输后,由布置在地面 500 kV GIS 楼的 500 kV 电缆光纤差动保护装置接收并输出跳闸接点到相应的 500 kV GIS 断路器跳闸线圈回路。光纤差动保护装置具备多个光电传输通道,可以分别接入发变组电量保护动作、非电量保护动作接点,以区分是否启动断路器失灵保护。

同理:500 kV GIS 断路器失灵保护、母线保护动作等系统保护跳发电机断路器的信号也接入布置在 500 kV GIS 的光纤差动保护装置的远跳通道,经光信号传输到发电机机旁,如图 3 所示。

本方案的主要优点:由于发变组保护和 500 kV GIS 分布距离较远,通过光纤通道传输跳闸接点,回路得到了优化、接线简单、节省了电缆,避免了跳闸接点经过电缆长距离传输的各种干扰,保证了保护装置的可靠性,减少了误动。

此方案在龙滩水电站、小湾水电站、构皮滩水电站等特大型机组保护中得到了广泛应用。

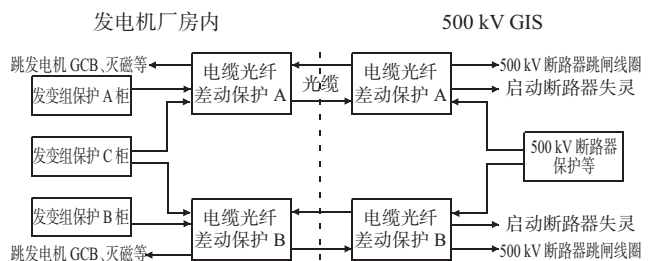


图 3 保护信号传输示意

5 结束语

(1) 对反应发变组的各种内部故障及异常运行的保护均采用“双重化”配置。

(2) 为加强内部故障时保护装置的灵敏度,在发电机一次 TA 具备条件时,配置多套发电机不完全差动保护、发电机完全裂相横差保护以及发电机

高灵敏单元横差保护,强化主保护配置。

(3)与保护配合相关回路(包括光纤通道)按“双重化”配置,且“双重化”配置的保护装置及其相关回路应完全独立。

(4)发电机定子接地、转子接地保护按“双重化”配置,且两套保护原理不同,其中一套采用注入式原理,以满足未加励磁或静止状态下对定子、转子的绝缘监测功能要求。

(5)转子接地保护宜采用单装置,就地安装在励磁系统室,失磁保护用转子电压宜经变送器隔离传变或经分压器降压后接入发电机保护装置。

随着一批特大型水电站的建设发展,水电机组的单机最大容量也不断刷新。这就需要我们充分了解特大型水电机组的工艺结构、性能参数及其运行技术特点,通过不断总结工程设计和机组运行过程的实践经验,为特大型水电机组配置更为科学、更为完善、更为可靠的机组保护,以确保机组及电网的长

期安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 王维俭,王祥珩.大型发电机变压器内部故障分析与继电保护[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 南京南瑞继保电气有限公司.RCS-985注入式定子转子接地保护技术使用说明书[S].2007.
- [3] 陈俊,王光,严伟,等.关于发电机转子接地保护几个问题的探讨[J].电力系统自动化,2008,32(1):90-92.

作者简介:

何其伟(1976-),男,江苏南京人,工程师,长期从事电厂的电气设计工作;

潘仁秋(1972-),男,江苏南京人,工程师,长期从事电厂的电气设计工作;

戴建民(1968-),男,江苏南京人,助理工程师,长期从事电厂的电气设计工作;

陈俊(1978-),男,江苏南京人,高级工程师,从事电气主设备微机保护的研究和开发工作。

Discussion on the Unit Protection Configuration Scheme of Giant Hydropower Generators

HE Qi-wei, PAN Ren-qiu, DAI Jian-min, CHEN Jun

(Nanjing NARI-Relays Electric Power Co.,Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: This paper concludes the protection operating experiences and configuration schemes of the 700MW hydropower generators in domestic operation. A comparatively perfect typical configuration scheme for the protection of giant hydropower generators is proposed. Furthermore, several key technical issues should be considered during protection implementation are discussed for further design and implementation as references.

Key words: giant hydropower generators; unit protection; configuration scheme

(上接第7页)

- [7] 潘军军,尹项根,张哲.关于两种微机保护软硬件配置问题的探讨[J].继电器,2006,34(7):78-82.
- [8] 黄海悦,缪欣,权宪军,等.基于元件化和可编程逻辑构建的继电保护平台[J].继电器,2006,34(14):11-14.
- [9] IEC 61131-1. Programmable Controllers, Part 1: General Information[S]. 1992.
- [10] IEC 61131-3. Programmable Controllers, Part 3: Programming Languages[S]. 2003.
- [11] IEC 61131-8. Programmable Controllers, Part 8: Guidelines for

the Application and Implementation of Programming Languages[S]. 2000.

- [12] LBROSSE J J.嵌入式实时操作系统 $\mu C/OS-II$ (第2版)[M].邵贝贝译.北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [13] 刘益青,高伟聪,房同忠.VxWorks在电力系统测控保护装置中应用[J].电力自动化设备,2009,29(2):149-152.

作者简介:

仲伟(1978-),男,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护;

李亚锋(1978-),女,本科,主要研究方向为电力系统自动装置。

The Design of the Software and Hardware Platform for Medium-low Voltage Relay Protection

ZHONG Wei, LI Ya-feng

(Wiscom System Co.,Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to reduce the time of the development for medium-low voltage relay protection, and improve the reliability and the technology, this paper proposes a new hardware platform DSP&ARM. On the basis of the hardware platform and RTOS, a schematic programming software platform is developed. The software and hardware architecture and design of the platform for protective relay are discussed in detail.

Key words: relay; schematic programming; platform;