

百万千瓦级机组发电机变压器组 继电保护配置探讨

杨 莉

(广东省电力设计研究院, 广东 广州 510600)

摘要: 针对大型发电厂单机容量 1000 MW 机组的发电机变压器组的结构特点和国内外的运行经验, 对其继电保护配置中一些概念模糊的技术问题进行了调查研究。详细讨论了一些主要的保护配置特点, 如中性点引出方式不同的发电机主保护配置方案, 匝间保护的配置原则, 主变压器的分侧差动和零序差动的配置方案, 和其他保护的配置特点。简单分析了保护用电流互感器的选型问题, 并结合目前实际应用的条件对 1000 MW 机组的配置方案提出了建议。

关键词: 大型发电厂; 1000 MW 机组; 发电机变压器组; 继电保护配置

中图分类号: TM 772

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)10-0110-04

0 引言

随着电力系统规模的不断发展, 总装机容量在进一步增大, 到 2020 年将达到 9×10^6 MW, 其中西电东送达 1×10^6 MW。电力系统正朝着“大机组、超高压、大电网”的方向发展。大机组是指容量更大的主力发电机组, 也指因容量增大而结构发生变化、性能得以改进及参数变化的机组。我国的火电大机组应从 200 MW 算起, 直到目前华东上海外高桥电厂的超临界参数的 1000 MW 大机组和以后的超百万千瓦大机组, 其间已形成了相对完整的系列, 这体现了我国电力工业发展的步伐, 也适应了发展的需求。

目前, 大型发电厂基建项目中, 有相当一部分为单机容量 1000 MW 机组, 对于这种大级别机组的继电保护, 不能盲目套用 300 MW、600 MW 机组的设计, 而要根据发电机和变压器结构的特点, 配置合适的保护, 对电流互感器的性能也要有所考虑。

1 发变组继电保护的配置^[1-3]

现行的《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB 14285-93) 仅对 600 MW 及以下的发电机保护做了规定, 对于更大的机组只能参照执行, 对于二十五项反措中有关保护双重化的要求也未能充分反映, 有必要根据具体情况对某些地方进行讨论。

1.1 发电机主保护^[4-5]

发电机完全纵差保护对相间故障的灵敏度最高, 但对定子绕组匝间短路和开焊故障却无能为力, 而单元件横差保护、不完全差动保护、裂相差动保护则可以弥补其不足, 对相间短路也能很好地反应。它们组合在一起, 可以对发电机构成非常完善的主保护双重化方案。

传统的汽轮发电机出线方式和保护配置如图 1 所示。对于发电机中性点侧引出 4 个或 6 个出线端子并装设分支电流互感器(TA)(如图 2 和图 3 所示), 采用零序电流型横差保护+不完全纵差保护或裂相横差保护+不完全纵差保护的主保护配置方案将大幅提高保护方案的性能。考虑到对于发电机设计制造而言, 即使只增加 1 个引出端子, 都要在出线结构上做重大改动, 最近有科研院校在验证大型汽轮机组中性点引出方式可行性的基础上, 提出一种新的方案(见图 4), 它在中性点侧也只引出 3 个出线端子, 不同之处在于 A、B 相的 TA 可构成传统的不完全纵差保护, 通过 C 相的 TA 则构成一种新型的差动保护方案, 即 A、B、C 三相的“不完全纵差保护”的构成并不相同。

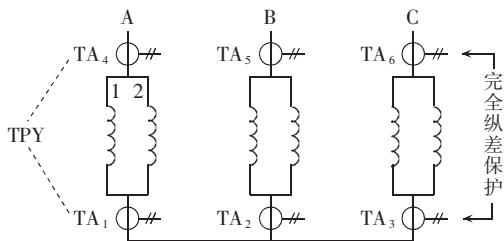


图 1 汽轮发电机传统的中性点侧引出 3 个端子装设完全纵差保护

Fig.1 Complete longitudinal differential protections are configured with three lead-out terminals at neutral point side of turbine-generator in traditional mode

据了解, 国内在建和已运行的百万千瓦级汽轮发电机组, 如邹县电厂、玉环电厂、外高桥电厂以及大亚湾核电站、岭澳核电站等, 还有调研过的一些日本的大型电厂, 其发电机中性点和出线侧均只能引出 3 个端子, 国内 3 大电机厂与外方合作的产品均是如此, 所以不可能安装横差保护、不完全差动保护和裂相差动保护, 只能采用发电机完全纵差保护作为主保护。在这方面, 应持续关注发电机中性点引出方式的新方案, 提高主保护方案的性能。

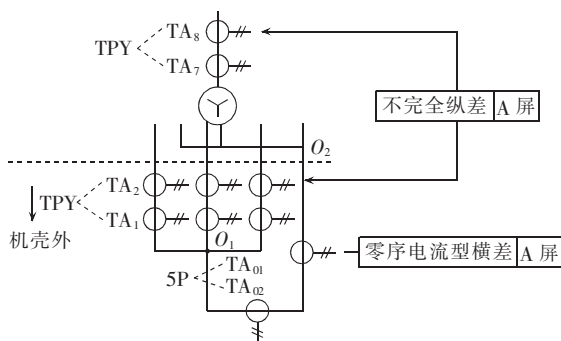


图 2 汽轮发电机中性点侧引出 4 个端子装设零序电流横差和不完全纵差保护

Fig.2 Zero-sequence current transverse differential protection and incomplete longitudinal differential protection are configured with four lead-out terminals at neutral point side of turbine-generator

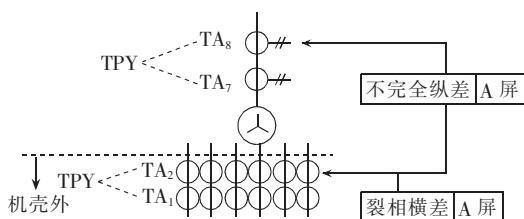


图 3 汽轮发电机中性点侧引出 6 个端子并装设裂相横差和不完全纵差保护

Fig.3 Split-phase transverse differential protection and incomplete longitudinal differential protection are configured with six lead-out terminals at neutral point side of turbine-generator

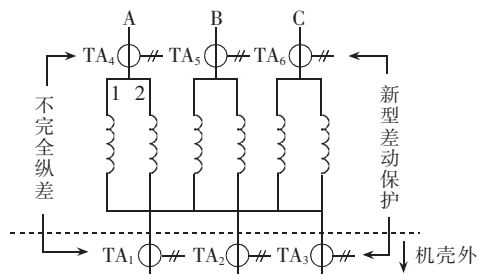


图 4 汽轮发电机新型中性点引出方式装设三相不完全纵差保护

Fig.4 Incomplete longitudinal differential protections are configured for turbine-generator in new neutral point lead-out mode

由于在保护双重化之后采用 2 套发电机差动保护和主变压器差动保护,发变组大差动保护在提高可靠性方面已没有什么作用,反而会增加误动的可能,所以建议不配置发变组大差动保护,在发电机出口有断路器时更不能再采用发变组大差动保护。

1.2 发电机匝间短路保护

据调查,国内设计院设计的工程,如玉环电厂和邹县电厂,都未取消匝间短路保护,而国外设计的工程,如外高桥电厂、大亚湾核电站、岭澳核电站以及日本的碧南电厂和常陆那柯电厂,则未装此保护,日本的技术人员认为发电机不存在匝间短路问题,法国阿尔斯通的专家在设计核电站时也认为定子线圈的布置和工艺结构方面已避免了匝间短路的可能性。

国内 3 大电机厂均承诺过其发电机不会发生匝间短路,不必装设此保护,理由是槽内上下线圈的绝缘是相对槽侧壁绝缘的 2 倍,因此发生匝间短路前应先发生定子接地故障。但在发电机端部结构复杂,既有相间绝缘又有匝间绝缘,如果端部固定不当或发生振动,可能会使绝缘逐渐磨损引起短路。目前,对百万千瓦级发电机内部结构未能有充分了解,而且发电机出口电压达到 26 kV 或 27 kV,对绕组绝缘的要求更高,因此还是有必要装设匝间短路保护。

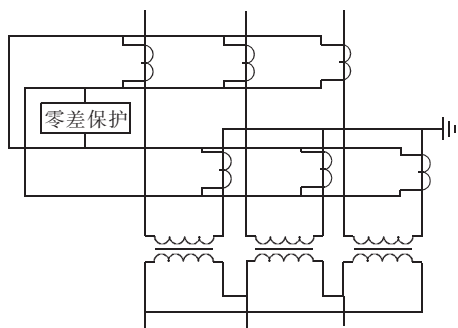
保护原理方面,如前所述,由于发电机结构方面的原因,不能装设单元件横差保护、不完全差动保护、裂相差动保护等对匝间短路有很好技术性能的保护,可使用纵向零序电压原理保护,但需关注区外故障及电压互感器(TV)断线暂态过程对保护的影响。

1.3 主变压器主保护

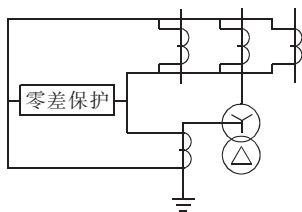
一直以来,纵差保护作为变压器的主保护,能反映变压器内部相间短路故障、高压侧单相接地短路及匝间层间短路故障,已成功地应用了多年。目前,还没有其他保护能完全取代其地位。但是,变压器纵差保护一直受励磁涌流的困惑,虽说已有很多防涌流的闭锁方案,但不能完全防止误动的发生。

对于百万千瓦级机组的主变压器,由于运输等方面的原因,预计很多工程将会选用单相变压器,其每个绕组均有 2 个引出端,这就为装设单独的分侧纵差保护创造了必要条件。每套分侧纵差保护的保护对象只是纯电路的绕组,而不是像传统变压器纵差保护那样,保护范围包含由铁芯磁路耦合的、而且在电路上不相连的若干绕组,这就从根本上避免了励磁涌流的影响。一台双绕组的变压器装设 6 套分侧纵差保护,比传统纵差保护增加了 1 倍,但对于相间短路和高压侧接地故障均有很好的保护效果,其缺点是对绕组匝间短路没有保护作用,需要和其他保护配合使用。由于发电厂中主变低压侧多为高阻接地系统,当低压绕组接地时,接地电流很小,分侧纵差很难对这种故障有所反映。

对于高压侧为 Yn 绕组的主变压器,若采用传统的纵差保护作为主保护,当单相接地短路时,相间差动保护灵敏度可能会较低。随着单相变压器的应用,相间短路的几率大为降低,接地短路的几率相对增加,有必要加强这方面的保护。零差保护在自耦变压器上已经有成功的应用,在岭澳核电的单相主变上也有使用。零差保护的接线见图 5,将 Yn 侧的三相 TA 二次侧接成零序滤过器的方式,再与中性点 TA 二次组成差动接线。当内部发生单相接地时,流经零差保护继电器的电流是故障电流的总和,而且受励磁涌流的影响也很小,因此它对于高压绕组的接地故障表现出很高的灵敏度,发生接地故障时,流经继电器的电流为很小的不平衡电流,所以零差保护是有选择性的保护,是可快速动作切除故障的主保护,它不必像中性点零序过流保护与其他保护进行繁琐的定值配合,对于主变,尤其是单相主变是很适合。



(a) 单相变压器方案



(b) 三相变压器方案

图 5 主变零差保护示意图

Fig.5 Zero-sequence differential protection of main transformer

综上所述,不论是三相变压器还是单相变压器,均需配置纵差保护作为主保护,而对于单相变压器,相间短路几乎不可能,配置零差保护和分侧纵差保护均是为了反应单相接地故障,性质相同,而零差保护所需元件较少,可优先考虑。对于三相变压器,不可能配置分侧纵差保护,在纵差保护对高压绕组单相接地灵敏度不够时可配零差保护。

1.4 发变组其他保护

1.4.1 转子接地保护

进口的保护均采用注入式原理,且无转子两点接地保护,国产保护采用乒乓原理和注入式原理,并有转子两点接地保护作为选项。根据大机组的情况和转子接地保护的现状,可以只安装转子一点接地保护,为避免突然跳闸,可动作于信号,并马上转移负荷安排停机。由于目前的转子一点接地保护对接地电阻值的测量已有相当的精确度,如注入式可达到 $1\text{ k}\Omega$,也可采用低值时报警,高值时跳闸。

岭澳核电一期的转子接地保护也是直流注入式原理,动作于发信。

对于转子接地保护的安装地点,由于大机组励磁电压都很高,约 $400\sim 500\text{ V}$,强励时会达 $1\text{ }000\text{ V}$ 左右,直接取出比较危险,电缆也不好选择,建议安装在励磁系统屏柜内。目前,很多励磁系统生产厂家均可提供转子接地报警和保护装置,该功能也可由励磁系统完成。

1.4.2 突加电压保护

发电机盘车时误合闸,导致机端突然加上三相电压,使发电机异步启动,将在转子中感应差频电流,产生的过电压和热效应将对转子造成损坏。曾经有电厂在开机过程中误捅同期回路端子而误合发电机断路器,使转子严重损坏,需要返厂修理。因此必须配置该保护。

1.4.3 失步保护

对于大型发变组,电抗较大,系统等值阻抗却往往较小,一旦发生系统振荡,振荡中心常位于发电机附近,对机组和厂用电产生严重影响。因此,对于百万千瓦级机组要装设失步保护。大机组多采用自并励系统,失磁可能引发失步,需要在传统失步保护基础上加强对失步预测的要求。

1.4.4 后备保护

发电机装设完善的双套主保护后,发电机出口处的后备保护可适当简化。同样, 500 kV 母线和线路均有完善的双套保护,主变高压侧的后备保护也可简化。应优先选用简单的电流、电压保护作为后备保护。岭澳核电后备保护很简单,发电机出口采用电压控制过流,主变高压侧和高厂变高压侧采用反时限过流。

1.5 励磁方式对保护的影响

目前,百万千瓦机组的励磁方式一般是静态励磁和旋转励磁,据了解,国内在建的机组中,邹县电厂和泰州电厂是静态励磁系统,外高桥电厂和玉环电厂是旋转励磁系统。随着励磁方式的不同,在保护的配置上会有一些变化。

静态励磁系统所带励磁变容量约 $10\text{ }000\text{ kV}\cdot\text{A}$,需要专门配置励磁变的差动保护和过流、过负荷等保护。由于励磁变的电源取自机端,在机端短路时不能提供足够的励磁电流,使故障电流迅速衰减,若采用定时限过流保护,可能在未达到时间延迟时电流已衰减到整定值之下,保护拒动。因此,在这种情况下要配置带电流记忆的低压过流保护,避免因电流衰减而使电流元件返回。

对于旋转励磁系统,由于采用了永磁副励磁机,不会出现上述问题。

1.6 发电机出口断路器对保护的影响

发电机出口断路器(GCB)将发变组分为发电机和主变 2 部分,使保护的跳闸矩阵发生改变。对于反映发电机内部故障的保护,如发电机差动保护、匝间短路保护等,可仅跳开 GCB,避免了 500 kV 断路器的频繁动作。

在保护配置方面,需要增加主变低压侧接地保护,用于反映 GCB 断开,主变带厂用电运行时主变低压侧至高厂变高压侧封母的接地故障。另外还需设置 GCB 失灵和非全相保护,并为发电机和主变分别设置过激磁保护。

1.7 双轴机与单轴机在保护上的不同^[6]

除了熟悉的单轴机组,有些百万千瓦级机组采用双轴形式,即 2 台小机组并联的方式,如东京电力常陆那柯电厂采用 $600\text{ MW}+400\text{ MW}$ 。启动时通过速度匹配阀使初级汽轮机和次级汽轮机同时升速,当达到额定转速的一半时通过同时合自动励磁调节器的磁场开关使初级发电机和次级发电机同步。两机升到额定转速附近后投入自动电压调节器,就可以和普通单轴机一样并网了。对于这种发电机,在

双轴半速同步时就需要投入电压继电器、低压继电器、过流继电器等进行保护。同时,由于发电机在低频时就要投入励磁,就需要安装在低频条件下能检测到短路和接地故障的保护,即启停机保护。对于单轴发电机组,由于一般在额定频率附近时才投入励磁,启停机保护可根据条件选装。

2 保护用 TA 的选型^[7-8]

继电保护所需的电流、电压等数据均来自 TA、TV 等传感器,其能否准确反映一次回路的电流电压,对保护的正确动作至关重要,特别是 TA。超高压电网和大型发电机组的一次时间都很长,以往常用的 P 级 TA 无暂态特性的要求,短路时的非周期分量容易引起 TA 饱和,影响其传变性能,保护误动的几率大为增加。

各保护厂家为发变组差动保护采取各种防止 TA 饱和引起误动的措施,如利用 TA 饱和前的短暂时间进行计算判别、采用速饱和特性、开发各种制动特性、相位比较等,在二次回路采用较大截面的二次导线以减小二次负荷,选用较大的额定一次电流和额定容量,在整定时提高比率制动特性的斜率等方法。这些措施有些缺乏实际故障的考验,有些是以降低保护的速动性和灵敏度为代价的。要保证保护的可靠性,不能完全依赖保护原理和计算上的改进,更不能盲目提高整定值,最根本的办法还是提高互感器的性能。对于大型发电机变压器组,其保护用各侧 TA,包括发电机出口和中性点侧、主变高压侧,都建议选用 TPY 级。对于参与主变差动保护的高厂变高压侧 TA,由于区内故障时无故障电流流过,而区外故障时高厂变差动保护也是动作于全停,主变差动保护即使误动,其跳闸范围也是对的,因此当高厂变套管装不下 TPY 级 TA 时,也可降低要求,安装 P 级 TA。

由于逆功率保护的整定值都很小,约为 0.5%,为保证功率测量的准确性,有些工程的逆功率保护用电流取自测量级 TA,这一点值得借鉴。

3 结论

大机组的继电保护非常重要,如何确保大型发

电机和变压器的安全,是需努力研究的课题。在今后的工程设计中应对发电机、变压器、电流互感器的电磁特性和故障过程进行深入研究。只有对被保护对象的特性有了全面的了解,才能设计出最优化的保护配置方案。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 2 版,北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 国家电力公司. “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[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [3] 国家技术监督局. GB14285-93 继电保护和自动装置技术规程[S]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [4] 高波. 山东电网 300~600 MW 汽轮发电机故障分析与反措[C]// 大型学术报告会议论文集. 北京:中国电机工程学会/电工技术学会大电机专委会,1999:260-263.
GAO Bo. Fault analysis and countermeasure for 300~600 MW turbo-generators in Shandong power network[C]// Proceeding of Large Learned Report. Beijing:Large Electric Machine Special Committee of CSEE and CES,1999:260-263.
- [5] 桂林. 大型汽轮发电机新型中性点引出方式的研究[J]. 电力系统自动化,2006,30(1):56-59.
GUI Lin. Study on new leading-out mode of neutral points of large-sized turbo-generator[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(1):56-59.
- [6] 张全斌. 1000 MW 等级大容量汽轮发电机组的配置[J]. 浙江电力,2003(5):34-36.
ZHANG Quan-bin. Configuration of 1000 MW grade large capacity turbogenerator[J]. Zhejiang Electric Power,2003(5):34-36.
- [7] 王维俭,桂林,毕大强. 大型发电机-变压器组继电保护的探讨[J]. 中国电力,2001,34(1):39-43,88.
WANG Wei-jian, GUI Lin, BI Da-qiang. Discussion on relay protection for large power generator-transformer unit[J]. Electric Power,2001,34(1):39-43,88.
- [8] 浦南桢,翟学锋,袁宇波,等. P 级 TA 饱和对数字式比率制动特性差动保护的影响[J]. 电力自动化设备,2003,23(4):76-80.
PU Nan-zhen, ZHAI Xue-feng, YUAN Yu-bo, et al. Impaction of P-type CT saturation on digital ratio-restrained differential protection [J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(4):76-80.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

杨 莉(1963-),女,湖北蕲春人,工程师,从事火力发电厂电气设计工作。

Discussion on protection configuration of 1000 MW generator-transformer unit

YANG Li

(Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510600, China)

Abstract: Based on the structural feature and operational experience of 1000 MW generator-transformer unit, some unclear technological concepts of protection configuration are investigated. Main configuration features of some protections are discussed in detail, such as the main protection configuration scheme of generator with different neutral point leadout modes, the principle of inter-turn protection configuration, configuration schemes of branch differential protection and zero-sequence differential protection for the main transformer, and so on. The selection of current transformer used in protection is analyzed simply, and the configuration scheme of 1000 MW unit according to present practical application condition are suggested.

Key words: large power plant; 1000 MW generator-transformer unit; protection configuration