

大型水电机组保护若干问题探讨

郭自刚, 陈俊, 陈佳胜, 严伟, 沈全荣

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 对大型水电机组保护的若干实际应用问题进行了探讨, 包括中性点多分支不完全引入对发电机后备保护的影响、大型水电机组的转子接地保护方案、高灵敏横差保护与转子接地保护的配合问题、机端断路器开关失灵保护与 TPY 级 CT 的配合问题、失磁保护转子电压接入方式等。通过具体分析和现场的运用实践, 针对上述问题给出了具体的建议: 宜将中性点分支电流全部引入保护装置; 失磁保护用转子电压宜采用 4~20 mA 变送器传变或者经分压器降压后接入保护装置。

关键词: 多分支发电机; 转子接地保护; 高灵敏横差保护; 断路器失灵保护; 转子电压

Discussion on some problems of large hydroelectric unit protection

GUO Zi-gang, CHEN Jun, CHEN Jia-sheng, YAN Wei, SHEN Quan-rong

(Nanjing NARI-Relays Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper discusses some practical problems of large hydroelectric unit protection, including the influence of neutral point multi-branch current incomplete lead-in on generator backup protection, the problem of generator rotor grounding protection scheme, the cooperation between generator highly sensitive transverse differential protection and rotor grounding protection, the cooperation between generator circuit breaker failure protection and TPY class current transformer, and the lead-in mode of generator loss-of-excitation protection rotor voltage. By the detailed analysis and real application, some advices are put forward to solve the above problems. Neutral branch current should be completely injected into the protection device; rotor voltage should be switched into the protection device by 4~20 mA transmitter or voltage divider.

Key words: multi-branch generator; rotor grounding protection; highly sensitive transverse differential protection; circuit breaker failure protection; rotor voltage

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)03-0148-04

0 引言

随着三峡、龙滩、小湾、构皮滩等大型水利枢纽工程的相继建设, 我国的水电开发进入了一个发展高潮, 水电机组正朝着大型、特大型机组方向发展。大型、特大型水电机组具有单位容量造价低、单位发电成本低等优点, 但机组本身价值较高, 非正常停机损失大。这样就对机组保护的灵敏度和可靠性提出了更高的要求。本文对大型水电机组保护的若干实际应用问题进行了初步探讨, 希望能引起广大同行的关注, 为今后类似工程的设计和和实施提供一定的参考。

1 中性点多分支不完全引入对发电机后备保护的影响

特大型水电机组的定子绕组分支数很多, 中性

点引出方式灵活, 有足够的空间安装多个中性点 CT, 可装设多种主保护。目前, 国内大型水电机组主保护大多采用“量化设计”, 在全面的内部短路故障仿真计算的基础上, 确定定子绕组中性点侧的引出方式、分支 CT 的数目和位置, 构成多重主保护, 确保同一种内部故障, 至少有两种主保护能够灵敏反映。

图 1 为某每相 8 个并联分支的大型水电机组多重主保护 CT 配置方案, 配置了两套不完全纵差保护和两套单元件横差保护, 可灵敏反应发电机各种相间、匝间短路和分支开焊故障。未进行“量化设计”之前, 发电机中性点第 3、6 分支电流未装设 CT, 当发电机内部故障时, 由于中性点侧分支电流未完全引入, 不能真实反映流过中性点侧的电流大小, 采用中性点侧电流的后备保护将受到影响。

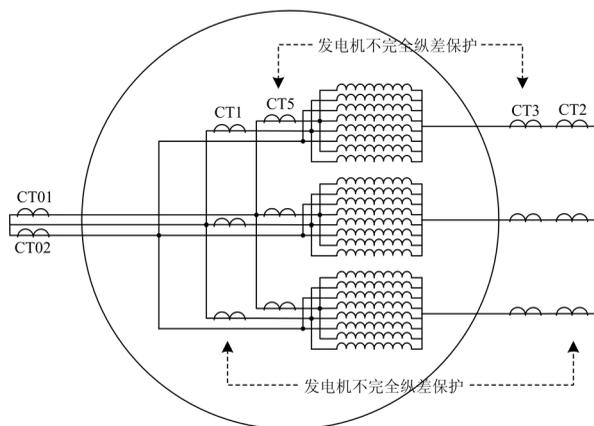


图1 大型水电机组多重主保护的CT配置

Fig.1 CT configuration of large hydroelectric unit multiple main protection

由于发电机已经装置了多重不同原理的主保护, 工频情况下的相间后备保护可改取机端 CT 电流, 并网前由多重主保护起作用, 中性点分支 CT 不完全引入的影响可不考虑。但对于发电机启停机期间的相间后备保护, 如发电机低频过流保护, 由于只能取发电机中性点电流, 而该过程为低频工况, 基于工频算法的多重主保护在此情况下可能失效, 无法取代启停机保护, 中性点分支电流不完全引入的影响不能不考虑。

采用“量化设计”之后, 可将上述图中的发电机中性点分支分成两组, 例如第 1、3、5、7 分支为一组装三台 CT, 第 2、4、6、8 分支为一组装三台 CT, 两组分支的中性点之间装一组高灵敏零序电流型横差保护用 CT。两分支组 CT 分别与机端 CT 构成两套不完全纵差保护, 中性点两组分支间可构成一套发电机完全裂相横差保护。这种方案, 由于发电机中性点所有分支电流全部引入保护装置, 上述后备保护可以取中性点电流和机端电流共同构成判据, 构成完善的保护方案。龙滩和小湾水电站均采用这种设计方案。

当然, 从中性点中选取哪几个分支接入不完全纵差保护, 对每一具体的发电机需要通过“量化分析计算”才能确定。除此之外, 还需统一考虑零序电流型横差保护装设几套、发电机中性点侧引出线是否方便^[1]。

总结上述分析, 我们在多分支水电机组主保护量化设计时, 需适当兼顾后备保护, 尽量将中性点所有分支的电流均引入保护装置。

2 水轮发电机的转子接地保护

励磁绕组及其相连的直流回路, 当它发生一点

绝缘损坏时(一点接地故障)并不产生严重后果; 但是若继发第二点接地故障, 则部分转子绕组被短路, 可能烧伤转子本体, 振动加剧, 甚至可能发生轴系和汽轮机磁化, 使机组修复困难、延长停机时间。《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》规定: 为了大型发电机组的安全运行, 无论水轮发电机或汽轮发电机, 在励磁回路一点接地保护动作发出信号后, 应立即转移负荷, 实现平稳停机检修^[2]。

水轮发电机历来不装设励磁回路两点接地保护, 甚至现在汽轮发电机也倾向于不装设转子两点接地保护, 因为到目前为止, 尚无完善的励磁回路两点接地保护误动情况时有发生。目前通用的励磁回路两点接地保护, 正常时不投入, 待一点接地稳定后再手动投入运行。该保护存在一个缺点是: 若发电机励磁回路一开始就发生两点(或多点)接地故障、或者在一点接地故障后紧接着发生第二点接地, 该保护将失去作用。2 次谐波式转子两点接地保护原理同样存在缺陷, 当励磁绕组两点接地或匝间短路正好没有破坏转子每极磁密曲线的对称性时, 定子侧的 2 次谐波电动势理论上为零^[3], 因此, 存在拒动的可能性。

鉴于上述原因, 大型水电机组应装设可靠的转子一点接地保护, 无需装设转子两点接地保护, 没有必要冒损坏发电机的风险让发生转子一点接地的发电机继续运行。由于特大型水电机组的造价昂贵, 对励磁绕组的绝缘检测的要求更高, 通常要求在未加励磁或静止状态下也能提供对励磁绕组的绝缘监测功能^[4], 因此保护装置需要采用外加电源注入式转子接地保护原理。注入式转子接地保护具有如下特点: (1) 不受转子绕组对地电容的影响, 不受高次谐波分量的影响, 可有效消除轴电压吸收回路的影响, 接地电阻测量精度高; (2) 保护灵敏度与转子接地位置无关, 保护无死区, 在转子绕组上任一点接地都有很高的灵敏度。

3 水轮发电机的高灵敏横差保护

为了防止在发生转子两点接地故障时, 高灵敏横差保护误动, 一般采用转子一点接地报警后给横差保护增加一个延时的措施。实际上水电机组一般不装设转子两点接地保护, 而高灵敏横差保护在大型水电机组上得到了广泛的应用。

基于以上考虑, 建议高灵敏横差保护动作延时与转子一点接地保护无关, 确保发电机内部匝间故障时高灵敏横差保护动作的灵敏性。同时高灵敏横

差保护也可兼作转子两点接地保护，一旦真的发生转子两点接地故障，可由高灵敏横差保护快速动作停机，这对保护机组安全是十分有利的。

4 水轮发电机的机端开关失灵保护

大型水电机组一般装有机端断路器，便于停机时主变带厂变运行，故有必要配置发电机机端开关失灵保护，防止由于某种原因导致保护动作后机端断路器未跳开，对故障设备造成进一步的损坏，扩大事故范围。

由于大型水电机组的定子回路时间常数增大，当区外发生短路故障时使得定子非周期电流的衰减大大变慢，严重恶化保护用电流互感器的工作特性，导致电流互感器的铁芯严重饱和，即暂态饱和。铁芯饱和将使电流互感器传变特性变坏，而不能准确传变故障电流，需要采取措施防止暂态过程中由于电流互感器误差超过准确限值引起区外故障时差动保护误动。故大型水电机组保护用的 CT 现在都采用 TPY 级 CT。

TPY 级 CT 的准确限值规定为在指定的暂态工作循环中的峰值瞬时误差，剩磁不超过饱和磁通的 10%。在从饱和到剩磁状态的转换期间，由于磁阻、储能以及磁通变化量的不同，导致 CT 二次侧的电流值较高且持续时间较长^[5]，即俗称的“拖尾电流”。

由于失灵保护的电流判别元件应具有返回快的特点，返回时间不应大于 20 ms，所以直接采用 TPY 级 CT 的二次电流不满足要求。如果单独增加一组 P 级 CT 给失灵保护专用，势必增加一次系统的投资。目前实际应用中，一般利用微机保护在数字处理技术上的优势，将 TPY 级 CT 的二次电流进行一阶差分滤波，以此消除“拖尾电流”的影响，确保 TPY 级 CT 用于断路器失灵保护时获得良好的性能。这种做法已经在现场得到了实际验证，表明是切实可行的。

5 水轮发电机的失磁保护转子电压接入方式

大型水电机组转子额定电压较高，可达 400~500 V，强励时更高，直接将转子电压引入保护装置不安全，并且该段回路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”^[6]。

为了避免高压电缆长距离输送到发电机保护屏柜，大型机组转子接地保护宜采用单装置，就地安装在励磁系统室内。

从失磁保护的可靠性考虑，国内很多电厂均配置了失磁转子低电压判据^[7-8]，将发电机转子电压通过高压电缆引入发电机保护屏柜，大型水电机组用于失磁保护的转子电压建议采用以下两种输入方式，如图 2 所示。

(1) 经分压器降压后接入保护装置：分压器的变比一般设计为 10:1 或 15:1，分压器的电阻值不宜太大，要求比故障录波器和保护装置内的测量回路内阻低一个数量级，否则会影响测量(变比不准)，且建议分压器有多个抽头，给两套保护和故障录波器的转子电压分别取自不同的抽头。

(2) 经 4~20 mA 变送器传变后接入保护装置：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，但需要考虑变送器的转换时滞和精度问题。

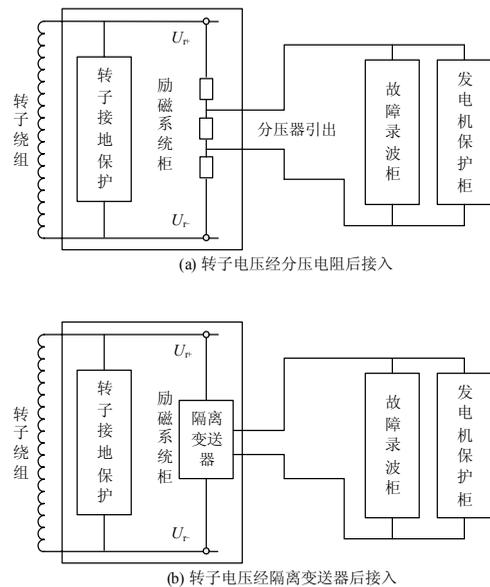


图 2 失磁保护转子电压接入方式

Fig.2 Rotor voltage access mode of loss-of-excitation protection

目前，上述两种方式在现场均已得到应用^[9]。由于采用分压器的方式不能起到完全隔离的作用，并没有从根本上改变电缆及保护屏柜的对地耐压问题，从安全性角度考虑，建议采用第二种输入方式。

广东某大型发电厂设计初期转子电压采用 15:1 分压器分压，然后分别接入发电机保护装置（失磁保护用）和故障录波器。后来在调试阶段发现，只要一投上保护屏和故障录波器屏的转子电压空气开关，保护装置和故障录波器记录的转子电压和原设计的转子电压有很大的出入。经过分析发现：由于励磁系统柜是国外厂家提供的，其所提供的分压电

阻阻值与故障录波器和保护装置内的测量回路内阻的阻值相当, 原分压电阻相当于并联了一个与之阻值接近的电阻, 这样实际分压后的转子电压当然与原设计值相差甚远。

贵州某大型水电厂设计转子电压采用 10:1 分压器分压, 然后分别接入发电机保护装置(失磁保护用)和故障录波器。由于励磁系统柜的分压电阻阻值比故障录波器和保护装置内的测量回路内阻的阻值低一个数量级, 实际分压后的转子电压符合原设计值的要求。从可靠性角度考虑, 两套保护装置和故障录波器的转子电压分别取自不同的分压电阻抽头, 现场运行情况良好。

6 结论

大型水电机组与常规的火电机组相比, 有其自身的特点, 在机组保护配置上与火电机组也有所不同。文中对大型水电机组保护的若干问题进行了探讨, 主要有以下几点:

(1) 大型水电机组的定子绕组分支数很多, 在进行内部故障主保护定量化设计时, 需适当兼顾后备保护, 宜将中性点分支 CT 电流全部引入保护装置。

(2) 水电机组无需配置转子两点接地保护, 应该在转子一点接地保护报警后, 及时转移负荷平稳停机, 认真检查一次设备及相关回路的绝缘。为了在未加励磁或静止状态下也能提供对励磁绕组的绝缘监测功能, 建议采用外加电源注入式转子接地保护。

(3) 高灵敏横差保护动作延时宜与转子一点接地保护无关, 由高灵敏横差保护兼作转子两点接地保护功能。

(4) 鉴于大型水电机组保护用的 CT 现在都采用 TPY 级 CT, 微机保护可在软件上采取措施, 消除 TPY 级 CT “拖尾电流”对断路器失灵保护的影响。

(5) 大型水电机组失磁保护用转子电压偏高, 宜采用 4~20 mA 变送器传变或者经分压器降压后接入保护装置。为保证测量精度, 分压器的电阻值不宜太大, 要求比故障录波器和保护装置的测量回路内阻低一个数量级。

参考文献

[1] 王维俭, 桂林, 王祥珩. 主设备保护若干问题的商榷[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(23): 58-61.
WANG Wei-jian, GUI Lin, WANG Xiang-heng. Discussion on some problems existing in the main equipment protection[J]. Automation of Electric Power

Systems, 2001, 25(23): 58-61.

- [2] DL/T 684—1999大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
DL/T 684—1999 guide of calculating settings of relay protection for large generator and transformer[S]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [3] 许正亚. 发电厂继电保护整定计算及其运行技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
XU Zheng-ya. Calculating settings and operation technology of relay protection in power plant[M]. Beijing: China Water Power Press, 2009.
- [4] 王文新. 二滩电厂发电机转子一点接地保护原理探讨及改进措施[J]. 继电器, 2000, 28(7): 22-24.
WANG Wen-xin. Discussion and improvement on principle of rotor one point to earth protection for generator in ertan power station[J]. Relay, 2000, 28(7): 22-24.
- [5] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
YUAN Ji-xiu, SHENG He-le, WU Ju-ye. Application guides of protective current transformer[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [6] GB/T 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
GB/T 14285—2006 technical code for relaying protection and security automatic equipment[S]. Beijing: China Standard Press, 2006.
- [7] 殷建刚, 彭丰. 发电机失磁保护的典型配置方案[J]. 继电器, 2002, 30(3): 33-36.
YIN Jian-gang, PENG Feng. Research on the typical configure of generator loss of field protection[J]. Relay, 2002, 30(3): 33-36.
- [8] 郁涵. 发电机失磁保护中转子低电压二判据的比较[J]. 继电器, 2003, 31(9): 63-66.
YU Han. Comparison of the two criteria of rotor low voltage in the generator loss-of-field protection[J]. Relay, 2003, 31(9): 63-66.
- [9] 陈佳胜, 胡镇良, 何其伟, 等. 大型发电机转子电压二次回路设计[J]. 高电压技术, 2008, 34(11): 2506-2509.
CHEN Jia-sheng, HU Zhen-liang, HE Qi-wei, et al. Design of secondary circuit of rotor voltage for large-scale generator[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(11): 2506-2509.

收稿日期: 2010-02-09; 修回日期: 2010-04-08

作者简介:

郭自刚(1979-), 男, 硕士, 工程师, 从事电气主设备微机保护的研究和开发工作; E-mail: guozg@nari-relays.com

陈俊(1978-), 男, 硕士, 工程师, 从事电气主设备微机保护的研究和开发工作;

陈佳胜(1966-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电气主设备微机保护的研究和开发工作。