

柔性光学电流互感器在汽轮发电机组上的应用

姜伟民¹, 赵启明¹, 王 凯²

(1.江苏国电谏壁发电厂, 江苏 镇江 212006; 2.南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘 要: 谏壁电厂 9#机组因中性点分支导体间距过小, 无法在分支上安装常规电流互感器, 仅配置单元件横差保护应对定子匝间短路故障, 在某些故障情况下灵敏度较低。柔性光学电流互感器可安装于狭小空间, 完成发电机分支电流测量, 进而实现裂相横差保护配置。本文介绍了谏壁电厂基于柔性光学电流互感器的裂相横差保护技术方案, 提升了发电机主保护性能。本项目是光学电流互感器首次应用于大型汽轮发电机组, 具有重要示范意义。

关键词: 柔性光学电流互感器; 定子绕组匝间保护; 裂相横差保护; 单元件横差保护

0 引言

大型汽轮发电机组多采用双Y定子绕组型式, 一般情况下, 分支导体在机壳内汇流, 无法安装分支电流互感器, 也就无法实现裂相横差保护。为应对发电机定子绕组匝间短路故障, 通常在机端侧安装了匝间保护专用电压互感器, 配置了纵向零序电压匝间保护, 该保护对同相不同分支匝间短路有较高的动作灵敏度, 却不能灵敏反映同相同分支匝间短路故障, 尤其是当短路匝数较少时。除此之外, 该保护还不能反应发电机分支开焊故障^[1], 一旦发生分支开焊故障, 只能等待故障发展成匝间短路或相间故障后, 才由纵向零序电压保护或纵差保护动作停机, 大大增加机组设备损失。

对于部分定子绕组采用空冷的发电机组, 虽然两分支导体伸出机壳, 但由于分支之间间距过近或机组中性点空间有限, 也不能装设分支电流互感器, 部分机组只能装设单元件横差电流互感器, 同样存在定子匝间保护不完善的问题。

1 谏壁电厂概况

国电谏壁发电厂始建于 1959 年, 是我国自行设计、自行安装、自我完善的特大型火力发电厂, 总装机容量 3980MW。其中 9 号机组容量 330MW, 是原上海电机厂七十年代设计制造的产品, 距今已有四十余年。该机组定子绕组为双 Y 型式, 采用空冷方式, 两分支导体延伸出机壳后, 在 9 号机组空冷室内构成中性点。两分支圆管形导体间距约

20cm, 在分支中性点连线上安装了穿心式单元件横差电流互感器。如图 1 所示。



图 1 谏壁电厂 9#机组中性点引出方式

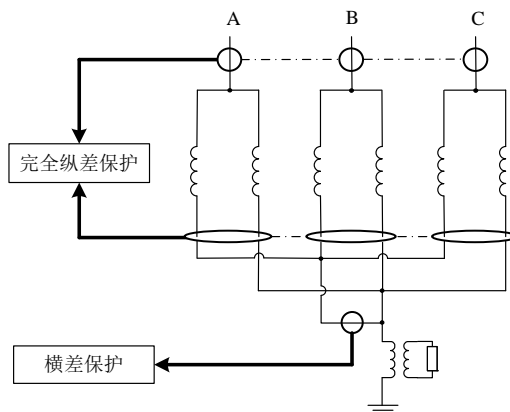


图 2 谏壁电厂 9#机组主保护配置图

9 号机组配置了完全纵差保护和单元件横差保护, 如图 2 所示。完全纵差保护仅反应相间短路故障, 不反应定子匝间短路故障。单元件横差保护仅反映不同分支零序电流之间的不平衡, 在某些匝间

短路故障时灵敏度偏低。而该机组已经运行多年，出现内部故障的概率较高，亟需采取措施完善定子绕组匝间短路保护配置，保障机组运行安全。

2 基于柔性光学电流互感器的发电机裂相横差保护

2.1 柔性光学电流互感器

光学电流互感器（Optical Current Transducer, O 电流互感器）基于 Faraday 磁光效应原理，其传感原理如图 3 所示。线偏振光通过处于磁场中的 Faraday 材料后，偏振光的偏振方向将产生与磁感应强度平行分量大小相关的旋转，通过检测旋转角度来测量产生磁场的电流大小^[2-5]。

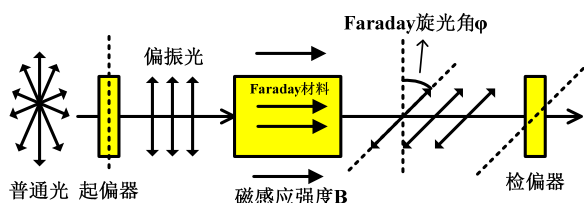


图 3 光学电流互感器原理示意图

柔性光学电流互感器将一次传感器（光纤传感环）制成光缆形式，可实现现场灵活绕制，安装和维护方便，且不受导体型式的限制，除了具有普通光学电流互感器的优势，还特别适合于电站改造、安装空间狭小、不停电安装检修等应用场合，尤其是在发电机上有很好的应用前景。

2.2 发电机中性点分支柔性光学电流互感器设计

对于谏壁电厂 9 号机组，光学电流互感器结构设计人员经过实地调研安装位置、安装方式、运行环境等，综合考虑各种环境因素对柔性光学电流互感器性能、稳定性和使用寿命的影响后，设计出合理的结构及安装方式。



图 4 谏壁电厂柔性光学电流互感器现场安装方案
谏壁电厂 9 号机组中性点分支导体为圆管形导

体，两分支间距约 20cm。为保证绝缘性能，柔性光学电流互感器固定结构件由环氧树脂材料制成。安装时，先将固定结构件卡装在圆管导体上，然后将传感光缆缠绕在固定结构件预留的槽内并用固定。谏壁电厂柔性光学电流互感器安装后如图 4 所示。

2.3 基于光学电流互感器的裂相横差保护

裂相横差保护引入汽轮发电机中性点双分支电流，在中性点两个分支上分别装设光学电流互感器，偏振光信号在一次电流产生的磁场中发生相位偏转后，经光缆送至光学互感器采集单元进行解析处理，得到数字量采样数据。所有的数字量采样数据上送至合并单元，由合并单元进行数据同步后送至保护装置实现裂相横差保护。保护系统的整体架构如图 5 所示。

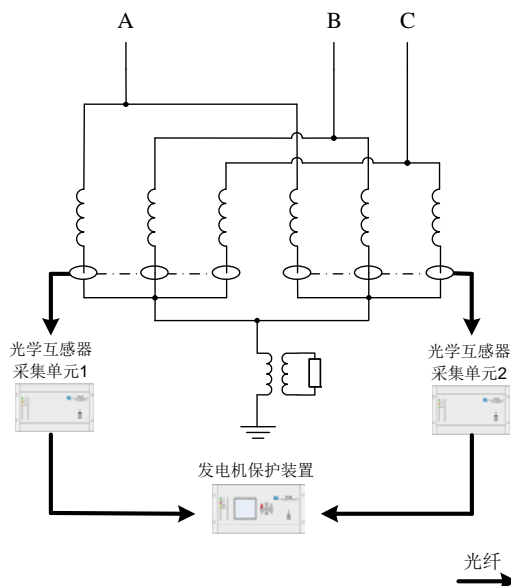


图 5 保护系统整体架构示意图

2.3 改造后定子匝间保护性能分析

裂相横差保护比较的是中性点两分支相电流的不平衡，单元件横差保护比较的是中性点两个分支零序电流的不平衡，二者均能反应定子匝间短路，但是对于特定的匝间短路故障形式，二者的灵敏度并不一致^[6]。

参考文献[7]对三峡电站 1#发电机组内部故障进行了全面的分析计算，摘取其中部分计算结果如下：对于单机空载工况下的同槽匝间故障，单元件横差保护能够灵敏动作数为 210，可能动作数 81，不能动作数 189，裂相横差保护能够灵敏动作数为 359，可能动作数 40，不能动作数 81；而对于单机空载工况下的端部匝间故障，单元件横差保护能够

灵敏动作数为 1371，可能动作数 54，不能动作数 165，裂相横差保护能够灵敏动作数为 1508，可能动作数 55，不能动作数 27。从以上数据可以看出，三峡发电机由同槽和端部交叉故障导致的匝间短路，裂相横差保护的灵敏度要优于单元件横差保护。

谏壁电厂改造后定子匝间保护方案由裂相横差保护和单元件横差保护共同组成，对于特定的匝间故障，保护的灵敏度取决于灵敏度较高的匝间保护元件，定子匝间保护的整体灵敏度得到提高。

另外，裂相横差保护和单元件横差保护有不同的保护死区，同时配置后减小了保护死区。裂相横差保护还能够反应相间故障和分支开焊故障，进一步加强和完善了原有的内部故障主保护。

2.4 光学电流互感器的传变特性及对保护的影响

与传统电磁式电流互感器相比，光学电流互感器具有优越的电流测量性能，可显著提高汽轮发电机主保护性能，具体分析如下：

(1) 提高差动保护动作速度。以往差动保护基于电磁式电流互感器，当电流互感器发生饱和时，二次电流出现畸变。电流互感器饱和严重影响差动保护的灵敏度，可能导致差动保护的误动或拒动。常见对策是在保护装置的差动保护逻辑中增加电流互感器饱和和识别判据，国内外各厂家提出了多种判别电流互感器饱和的方法，如利用利用电流互感器饱和情况下每个周期仍存在不饱和时段的特点构成饱和检测元件、利用发生故障与出现饱和的时差判别等^[8]。这些判据在保护逻辑中一直处于投入状态，增加了逻辑复杂性，延长了差动保护动作时间。谏壁电厂新配置的裂相横差保护采用光学电流互感器，结构中没有铁心，从根本上避免了饱和问题的存在。保护装置取消了电流互感器饱和判别，简化了保护逻辑，无电流互感器饱和判别时间，提高了差动保护的灵敏度。发电机内部相间故障发展很快，差动保护动作速度提高可显著减少设备损失。

(2) 提高差动保护灵敏度。差动保护实际应用时，产生差动保护不平衡电流的原因很多，主要有：各侧电流互感器不同型导致的传变特性不一致；保护级电流互感器本身误差较大，包括比差和角差；故障电流中的非周期分量引起电流互感器饱和和导致的不平衡差流等^[6]。在对比率差动保护进行整定时，差动启动电流定值按躲过发电电动机额定负载时的最大不平衡电流整定，制动斜率定值的整定需躲过

区外短路故障时的最大不平衡电流。光学电流互感器测量精度可达 0.5 级，无饱和问题，能够更加真实的“传变”一次电流，差流不平衡电流相比电磁式电流互感器要小的多。因此，基于光学电流互感器的差动保护，可适当降低差动启动电流和制动斜率的整定值，以获取更高的保护灵敏度。如图 6 所示，曲线 2 和 1 分别为使用电磁式电流互感器的差动保护不平衡电流和比率制动特性曲线。曲线 4 和 3 分别为使用光学电流互感器的差动保护不平衡电流和比率制动特性曲线。

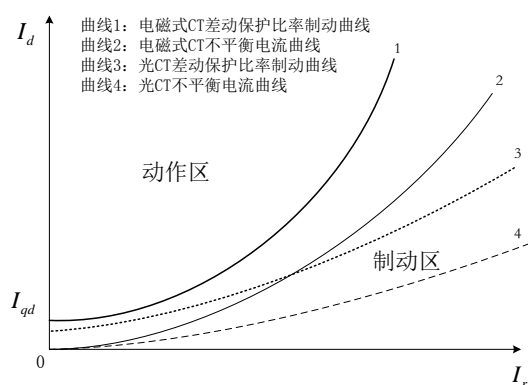


图 6 不平衡电流曲线和差动保护比率制动特性

(3) 柔性光学电流互感器还具有绝缘简单、暂态特性好、小电流测量精度高、动热稳定性好等优势。另外，柔性光学电流互感器采用全光学结构，不存在二次开路过电压等问题，安全性好。

3 现场应用情况

基于柔性光学电流互感器的裂相横差保护在现场投运以来，运行状况良好，无异常报警。由于尚未有保护启动或动作的波形，在此给出投运期间手动录波的发电机 A 相电流波形，差动不平衡电流很小，如图 7 所示。

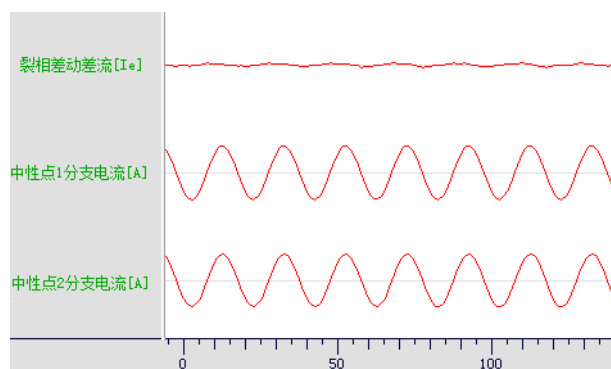


图 7 谏壁电厂裂相横差保护 A 相电流波形

4 结束语

本文介绍了谏壁电厂基于柔性光学电流互感器的发电机裂相横差保护的技术方案,显著提高了发电机主保护性能。随着国内近几年数字化变电站的大量建设,包括光学电流互感器在内的电子式互感器应用逐渐成熟,可靠性不断提高,为电子式互感器在发电机组上的应用打下了坚实的基础。本项目是光学电流互感器首次应用于大型汽轮发电机组,具有重要示范意义。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [2] Guido F, Rene D. Reciprocal reflection interferometer for a fiber-optic Faraday current sensor[J]. Applied Optics, 1994, 33(25): 6111-6122.
- [3] Blake J.N., Tantaswadi P., De Carvalho R.T.. In-Line Sagnac Interferometer Current Sensor[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1996, 11(1): 116-121.
- [4] Bohnert K, Gabus P, Nehring J, et al. Temperature and

vibration insensitive fiber-optic current sensor[J]. J. Lightwave Technol., 2002, 20(2): 267-275.

- [5] 盛珑, 高桦, 张国庆, 等. 用于微机保护的光学电流互感器的开发[J]. 继电器, 1999, 27 (3) :29-31.
- [6] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [7] 桂林, 王祥珩, 王维俭. 三峡发电机主保护灵敏性的全面分析和讨论[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(8):45-49.
- [8] 郑玉平, 沈全荣, 李力, 等. 异步法TA饱和判别的继电保护方法[P]. 中国: CN02138487.8, 2003-05-21.

作者简介:

- 姜伟民 (1968-), 男, 江苏丹阳人, 工程师, 从事发电厂电气继电保护整定与运行工作, E-mail: jbdcjwm@163.com;
- 赵启明 (1963-), 男, 江苏丹徒人, 高级工程师, 从事发电厂技术管理工作, E-mail: zhaoqm@mail.jb.cgdc.com.cn;
- 王 凯 (1983-), 男, 河南南阳人, 工程师, 从事电气主设备继电保护研究, E-mail: wangkai3@nrec.com。