

发电机 PT 核相新方法探析与应用

纪宝平

(国家能源集团国源电力有限公司 北京西城区 100032)

摘要: 本文所介绍的一种基于发电机 PT 核相的快捷方法, 首先根据每组 PT 之间的极性和接线组别, 计算各 PT 二次电压间的有效值和相角为标准数据库, 并绘制 PT 二次电压标准相量图; 再将正常运行时和检修机组空载升压稳定至额定电压时的数据、相量图与标准数据、标准相量图对比, 确认 PT 核相是否正确。

Abstract: In this article, introduce a fast method based on generator PT core phase. Firstly, according to the polarity and wiring group between each group of PT, calculate the effective value and phase angle between the secondary voltages of each PT as a standard database. And draw PT secondary voltage standard phasor diagram library. Compare date, phasor and standards during normal operation and when the no-load voltage rise of the maintenance unit is stabilized to the rated voltage. Confirm whether the PT nuclear phase is correct.

关键词: PT 核相; 标准相量图; PT 二次电压

0. 引言

为保障发电机与待并系统两电源之间电压相位相同、相序一致, 在机组修后需进行核相试验, 避免因不同相造成发电机等一次设备损坏事故和继电保护及安全自动装置误动作事故。本文对这一方法进行分析, 并应用于 A 修后机组。

1. 研究背景

目前, 国内大容量火电机修后需进行电气整套启动试验, 电气整套启动范围包括发电机变压器组、高压侧开关、高厂变、高压厂用电、励磁系统、同期系统、相关的继电保护及控制, 仪表、厂用电快切装置等。通过试验, 检验电气设备以及系统地各项性能指标是否满足设计要求, 是否可以投入运行。

本文所介绍的机组概况如下:

发电机采用东方电机股份有限公司生产的型号为 QFSN-600-2-22B 汽轮机直接拖动的隐极式、二极、三相同步发电机, 水氢氢冷却方式, 发电机定子铁芯是用相互绝缘的扇形片叠装压紧制成, 扇形片采用高导磁低损耗的冷轧硅钢片冲制而成。

励磁采用 ABB Unifrol 5000 系统, 励磁调节器为静止可控硅, 机端自并励励磁方式。

发变组保护采用南瑞继保生产的 RCS985A 发变组电量保护装置和 RCS974G 非电量保护装置, 配置一套武汉中元华电科技公司的 ZH-3B 故障录波装置。

主变压器采用特变电工沈阳变压器集团有限公司生产的型号为 DFP-250000/500 的户外、双绕组、强油风冷单相油浸电力变压器。

高压厂用变压器采用特变电工沈阳变压器集团有限公司生产的型号为 SFF10-CY-63000/22 的户外、分裂绕组、强油风冷油浸电力变压器。

高压脱硫变压器采用保定天威集团特变电气有限公司生产的型号为 SF10-16000/22 的户外、强油风冷油浸电力变压器。

发电机定子出线采用分相封闭母线与主变、高厂变、励磁变相连, 中间不设断路器。

升压站电压等级 500kV, 采用一个半断路器接线方式。

按照以往的试验方法, 需要 500kV 高压母线停电, 再将检修机组升压合闸至被空高压母线, 然后进行 PT 核相试验, 试验操作步骤多、使用仪器多、工作地点分散、作业风险高, 即使在调度及时批复允许操作的情况下, 耗时大约 12 小时。

采用本项目介绍的方法进行核相, 前提要求 PT 一次设备、二次回路均未进行改动, 且 PT 设备已正确投运多年。此方法不仅节约修后试验时间, 机组可提前并网, 无需运行人员进行母线倒闸操作, 降低操作风险, 最重要的是, 无需向调度申请, 即可厂内自主完成试验, 且能简单、准确、快速判断 PT 二次回路的正确性。

2. 研究过程

2.1 主要技术内容

为优化发电机 PT 核相试验, 技术人员大胆创新, 首次采用对比式新方法进行 A 修后 PT 核相, 来检验 PT 二次回路的正确性。此方法是一种基于发电机 PT 核相的快捷方法, 采用理论计算各 PT 二次电压间的有效值和相角, 建立标准相量图, 并经过正常运行时电压相量图验证后, 在机组空载升压稳定至额定电压时, 测量、绘制各 PT 二次电压相量图, 与标准相量图对比, 确认 PT 核相是否正确。

其研究的主要内容如下:

(1) 通过 PT 二次三相电压相量图及变压器接线组别, 理论计算出各 PT 二次电压间的有效值和相角, 并绘制 PT 二次电压标准相量图, 建立标准数据库和标准相量图库作为基准依据。

(2) 机组 A 级检修前, 机组正常运行工况下, 实测上述 PT 二次

三相电压有效值及各 PT 二次电压间的相角, 绘制 PT 二次电压相量图。依据《电磁式电压互感器》(GB 1207-2006) 第 15.2 条“对于保护用 3P 等级电压互感器的电压误差不大于 $\pm 3\%U_n$, 相位角误差不大于 $\pm 3.5\text{crad}$ 。”要求, 实测数据、实测相量图与标准数据、标准相量图对比满足误差要求, 验证通过理论计算建立的标准数据、标准相量图是正确的, 通过计算建立的标准数据库和标准相量图库就作为今后 PT 核相的基准依据。

(3) 机组 A 修过程中, 对主变高压侧 PT、发电机出口 PT、高厂变、脱硫变分支 PT 一次设备及二次回路进行检查清扫, 各 PT 高压预防性试验合格。

(4) 机组 A 修后, 启动过程中, 经上级调度同意采用新方法进行 PT 核相。机组空载升压稳定至额定电压时, 测量各 PT 二次三相电压有效值及各 PT 二次电压间的相角, 根据实测数据绘制 PT 二次电压测试相量图, 将试验数据、试验相量图与标准数据库、标准相量图库对比, 满足《电磁式电压互感器》(GB 1207-2006) 误差要求, 确认 PT 核相正确。整个试验方案、测试方法、测试数据及 PT 核相结果都经过上级调度部门认可。

2.2 应用范围

受系统运行方式影响, 调度无法批准发电厂的升压站高压母线停电申请, 电厂又具备机组启动条件。同时, 机组在检修期间, 各位置 PT 一次设备及二次回路未进行改动, 均可用此方法进行试验。

2.3 项目方案及实施

a. 前期准备工作

a.1 搜集主变压器、发电机、高厂变、励磁变设备铭牌参数及接线组别。

主变接线组别 YN, d11

高厂变接线组别 D, yn1, yn1

脱硫变接线组别 D, yn1

a.2 搜集主变高压侧 PT、发电机出口 PT、高厂变、脱硫变分支 PT 二次回路接线图。

a.3 根据搜集的技术资料、图纸及余弦定理, 计算出各 PT 二次三相电压有效值及各 PT 二次电压间的有效值之差和角度之差。仅以发变组保护 A 套中主变高压侧 PT 与发电机出口 PT 的数据为原理分析, B 套分析原理及方法同 A 套, 其他所有 PT 分析方法及原理同上。发电机 PT 与主变高压侧 PT 二次电压理论有效值见表一。

表一: PT 二次电压理论有效值 (A 套)

| PT 电压 | UAN (V) | UBN (V) | UCN (V) | UAB (V) | UBC (V) | UCA (V) |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 发电机出口 A 套 | 60 | 60 | 60 | 103.92 | 103.92 | 103.92 |
| 主变高压侧 A 套 | 60 | 60 | 60 | 103.92 | 103.92 | 103.92 |

以发电机和主变 PT 二次核相为例。根据主变接线组别 YN, d11, 绘制相量图见图 1。

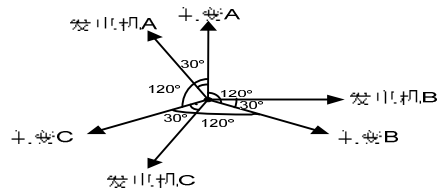


图 1: PT 二次电压标准相量图

根据上面标准相量图及表一数据,利用余弦定理($c^2=a^2+b^2-2abc\cos\alpha$, α 为 a、b 两边的夹角),计算发电机和主变 PT 二次电压两两之间的相量有效值之差和角度之差,二次电压有效值之差见表二;二次电压之间的相角差见表三;所计算数据均以主变侧电压相量为基准。

表二:主变 PT 与发电机 PT 之间二次电压有效值(A 套)

| 电压有效值差 | 发电机 A 相 | 发电机 B 相 | 发电机 C 相 |
|--------|---------|---------|---------|
| 主变 A 相 | 31.06V | 84.85V | 115.90V |
| 主变 B 相 | 115.90V | 31.06V | 84.85V |
| 主变 C 相 | 84.85V | 115.90V | 31.06V |

表三:主变 PT 与发电机 PT 之间二次电压相角差(A 套)

| 电压角度差 | 发电机 A 相 | 发电机 B 相 | 发电机 C 相 |
|--------|---------|---------|---------|
| 主变 A 相 | 30° | -90° | 150° |
| 主变 B 相 | 150° | 30° | -90° |
| 主变 C 相 | -90° | 150° | 30° |

备注:表格中数据以主变侧为基准,正角度为超前,负角度为滞后。

同理,可计算发变组保护 B 套两组 PT 的数据,计算发电机和厂变分支、脱硫变分支及主变和厂变分支、脱硫变分支 PT 二次电压两两之间的相量有效值之差和角度之差,建立 PT 二次电压标准数据库和 PT 二次电压标准相量图库。

b. 机组停机前, PT 二次电压参数实测

b.1 机组正常运行工况下,实测上述 PT 二次三相电压有效值和相角差(以保护 A 套数据进行分析, B 套分析原理及方法同 A 套,只以主变高压侧 PT 与发电机出口 PT 的 A 套为原理分析), PT 二次电压实测有效值记录数据如表四。

表四:机组主变 PT 与发电机 PT 二次电压实测有效值(A 套)

| PT 电压 | UAN (V) | UBN (V) | UCN (V) | UAB (V) | UBC (V) | UCA (V) |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 发电机出口 A 套 | 56.40 | 56.67 | 56.37 | 98.16 | 98.15 | 98.14 |
| 主变高压侧 A 套 | 60.10 | 60.01 | 59.93 | 104.57 | 104.34 | 104.35 |

测量发电机和主变 PT 二次电压两两之间的相量有效值之差和角度之差,二次电压有效值之差见表五;二次电压之间的相角差见表六;所有测量数据均以主变侧电压相量为基准。

表五:机组主变 PT 与发电机 PT 二次电压有效值实测值(A 套)

| 电压有效值差 | 发电机 A 相 | 发电机 B 相 | 发电机 C 相 |
|--------|---------|---------|---------|
| 主变 A 相 | 36.99V | 77.75V | 114.46V |
| 主变 B 相 | 114.45V | 37.32V | 77.43V |
| 主变 C 相 | 77.62V | 114.60V | 37.35V |

表六:机组主变 PT 与发电机 PT 之间二次电压之间相角差实测值(A 套)

| 电压角度差 | 发电机 A 相 | 发电机 B 相 | 发电机 C 相 |
|--------|---------|---------|---------|
| 主变 A 相 | 32° | -89° | 149° |
| 主变 B 相 | 149° | 33° | -88° |
| 主变 C 相 | -86° | 149° | 33° |

备注:表格中数据以主变侧为基准,正角度为超前,负角度为滞后。

根据上面机组主变 PT 与发电机 PT 二次电压实测有效值及相角差,绘制 PT 二次电压正常运行时相量图,如下图 2。

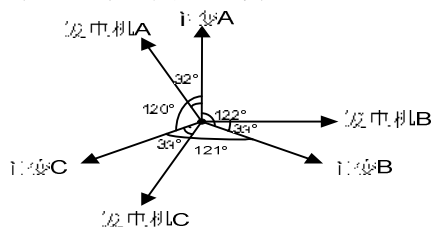


图 2: PT 二次电压实测相量图

b.2 将实测数据,实测相量图与标准数据库、标准相量图库对比,满足《电磁式电压互感器》(GB 1207-2006)第 15.2 条要求,验证通过理论计算建立的标准数据、标准相量图是正确的,通过计算建立的标准数据库和标准相量图库可以作为今后 PT 核相的基准依据。

同理,测量发电机和厂变分支、脱硫变分支及主变和厂变分支、脱

硫变分支 PT 二次电压两两之间的相量有效值之差和角度之差,做好记录(PT 二次电压实测数据应对 A、B 套保护分别进行测量),并与建立的 PT 核相标准数据、标准相量图对比,满足《电磁式电压互感器》(GB 1207-2006)第 15.2 条要求,验证通过理论计算建立的标准数据、标准相量图是正确的,通过计算建立的标准数据库和标准相量图库可以作为今后 PT 核相的基准依据。

c. 机组总启动 PT 核相试验

c.1 机组 A 修后,机组空载升压稳定至额定值 22kV 时,测量发电机 PT 与主变高压侧 PT 二次三相电压有效值(仅以发变组保护 A 套数据进行分析),PT 核相数据见表七。

表七:机组主变 PT 与发电机 PT 二次电压有效值(A 套核相)

| PT 电压 | UAN (V) | UBN (V) | UCN (V) | UAB (V) | UBC (V) | UCA (V) |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 发电机出口 A 套 | 57.3 | 57.6 | 57.3 | 99.4 | 99.4 | 99.4 |
| 主变高压侧 A 套 | 61.4 | 61.4 | 61.4 | 106.3 | 106.4 | 106.4 |

测量发电机 PT 和主变 PT 二次电压两两之间的相量有效值之差和角度之差,二次电压有效值之差见表八;二次电压之间的相角差见表九;所有测量数据均以主变侧电压相量为基准。

表八:机组主变 PT 与发电机 PT 二次电压有效值(A 套核相)

| 电压有效值差 | 发电机 A 相 | 发电机 B 相 | 发电机 C 相 |
|--------|---------|---------|---------|
| 主变 A 相 | 37.21V | 79.73V | 115.90V |
| 主变 B 相 | 116.25V | 37.32V | 78.74V |
| 主变 C 相 | 79.15V | 115.86V | 37.15V |

表九:机组主变 PT 与发电机 PT 之间二次电压之间相角差(A 套核相)

| 电压角度差 | 发电机 A 相 | 发电机 B 相 | 发电机 C 相 |
|--------|---------|---------|---------|
| 主变 A 相 | 30° | -89° | 150° |
| 主变 B 相 | 151° | 31° | -88° |
| 主变 C 相 | -89° | 150° | 30° |

备注:表格中数据以主变侧为基准,正角度为超前,负角度为滞后。

根据发电机 PT 和主变 PT 核相试验测试的二次电压间的有效值之差和角度之差,绘制 PT 二次电压机组启动时相量图见图 3。

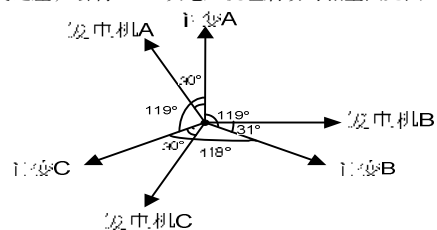


图 3: PT 二次电压相量图(核相)

同理,测量发电机和厂变分支、脱硫变分支及主变和厂变分支、脱硫变分支 PT 二次电压两两之间的相量有效值之差和角度之差,做好记录。

c.2 将 PT 核相所测数据、绘制的相量图与标准数据库、标准相量图库对比,满足《电磁式电压互感器》(GB 1207-2006)第 15.2 条要求,PT 核相正确,试验工作结束。

3. 结论

本文所介绍的 PT 核相方法可有效缩短电气总启动试验时间,降低运行人员电气倒闸操作风险,将误操作概率降为 0,进一步保障人员和机组安全。同时,节约试验时间至少 10 小时,机组可提前进行并网,按照 600MW 机组 50% 负荷进行计算,后续机组大修,每台机组可多发电量 3000MWh。

参考文献:

- [1] 《电磁式电压互感器》(GB 1207-2006)
- [2] ZH-3B 嵌入式发电机变压器组动态记录装置技术说明书及调试软件
- [3] RCS985A 发电机变压器组保护装置技术说明书及调试软件

作者简介:纪宝平(1970 年-,男,大学本科,工程师,国源电力有限公司安全环保监察中心副主任,长期从事发电企业安全生产工作)