

汽轮发电机内油档引起轴电流报警分析及处理

吴永涛

大亚湾核电运营管理有限责任公司 广东省深圳市 518124

摘 要: 某电厂 4 号发电机自商运以后多次闪发轴电流高报警, 通过研究发电机轴电压、轴电流产生的机理及危害, 结合发电机轴电流监测原理及轴瓦结构, 分析轴电流高报警产生的可能原因, 制定轴电流报警前后检查处理措施, 模拟汽轮机端轴瓦及发电机励端轴瓦接地, 通过发电机汽端、励端轴电压及轴电流波形特征对比最终查明励端内油档密封圈绝缘异常导致轴电流高报警闪发, 通过优化内油档结构及改进绝缘板改进彻底措施解决了发电机轴电流高报警闪发的问题。

关键词: 发电机; 轴电流; 轴电压; 报警

一、引言

大型汽轮发电机组运行期间由于铁芯磁路不平衡、单极效应、静电效应、转轴磁通、静态励磁等因素影响, 不可避免的将在发电机转轴上产生轴电压, 如不采取相应的限制措施, 就会在发电机转轴上产生轴电流。随着汽轮发电机组单机容量的增大及静态励磁系统的广泛应用, 轴电压的影响越发明显^[1]。严重的轴电压以及由此产生的轴电流, 将使轴瓦的巴氏合金及转轴表面烧损^[2]。轴电流产生的原因主要有绝缘损坏引起的轴电流和电位差引起的轴电流^[3]。完全避免产生轴电压是几乎不可能的, 因此减小或消除轴电流引起的损伤, 主要手段就是限制轴电压的升高和提高轴承绝缘。一般认为, 足以引起轴电流损伤的电压在 20V 以上, 典型的轴承损伤电压在 30 ~ 100V 之间。如果把轴电压降到 10V 以下, 基本上就可以消除轴电流带来的故障。而提高轴承绝缘, 可阻断轴电流回路, 从而消除轴电流的损伤。

二、发电机轴电流监测原理

某电厂 3 号及 4 号汽轮机与发电机轴系共设置 8 组轴瓦, 其中汽轮机侧 1-6 号轴瓦与发电机汽端 7 号轴瓦采用非绝缘结构。发电机励端 8 号轴瓦采用绝缘结构, 避免轴电压通过励端形成两点接地产生轴电流, 其中上半轴承外套、励端下半轴承外套、励端油密封过渡环、励端高压油管、励端测振支撑架均有引出测量引线, 用于测量部件对地绝缘情况; 内油档及外油档未设置绝缘测量引线。发电机汽端 7 瓦处通过 5 只石墨碳刷并联接地, 将发电机汽端 7 瓦处转轴钳制在地电位, 并通过接地引线上的 CT 测量轴电流。正常运行期间发电机汽端 7 瓦处轴电压约为 0.4 ~ 1VAC, 0 ~ 3VDC,

发电机励端 8 瓦处轴电压约为 1 ~ 3VAC, 0 ~ 3VDC, 7 瓦处轴电流约为 40 ~ 70mA。当装置检测轴电流大于 0.2A 并持续 10 秒后, 触发轴电流高一段报警, 报警无自锁。当轴电流大于 2A 时立即触发轴电流高二段报警, 报警自锁, 同时将测量 CT 退出测量回路, 轴接地回路直接接地不再经过 CT, 以保护 CT 免受大电流损伤。

三、发电机轴电流报警检查处理

4 号发电机自商运以后多次闪发轴电流高一段报警, 报警后测量发电机汽端 7 瓦轴接地电流、7 瓦轴电压、励端 8 瓦轴电压等相关数据, 并录取发电机 7 瓦轴接地电流波形及 8 瓦各绝缘部件电压波形。根据正常运行期间和轴电流高一段报警期间测量的相关数据, 运行期间 4 号发电机轴电流幅值相对较小, 幅值小于 10mA; 对比正常运行期间同型号 3 号发电机轴电流幅值 40 ~ 60mA; 分析 4 号发电机汽端 7 瓦轴接地碳刷与转轴存在接触不良, 接触电阻较大, 导致轴接地电流较小, 轴系静电荷积累到一定程度后通过轴接地碳刷及轴系另一接地点突然释放, 产生发电机轴电流高一段报警。通过在 4 号发电机汽端 7 瓦轴接地碳刷处临时增加并联软铜辫接地, 以更好地将发电机汽端 7 瓦处转轴电位钳制在地电位, 避免静电荷聚集及突然释放。发电机汽端 7 瓦轴接地处增加软铜辫接地后直流电压迅速降为零, 轴接地电流幅值从不足 10mA 上升至 90mA 左右; 跟踪 1 个小时后轴电流幅值缓慢降至 70mA 左右。4 号发电机软铜辫安装约 10 个小时后主控多次闪发发电机轴电流高一段报警, 读取波形轴电流幅值达到 250mA 左右; 检查软铜辫与转轴贴合过于紧密, 部分软铜辫上的铜丝已经严重磨损, 存在铜丝断

裂的迹象, 鉴于该措施并未消除轴电流高报警闪发问题, 且增加了报警出现的概率, 故拆除了软铜辫。临时增加软铜辫接地期间, 发电机汽端 7 瓦处轴接地良好, 依然出现轴电流高一段报警, 报警期间轴电流波形特征显示为交流信号, 排除了汽端 7 瓦处转轴接地不良静电荷聚集后突然释放导致报警的模式。临时增加并联软铜辫接地后, 轴电流升至 70mA 左右证实 4 号发电机轴接地碳刷与转轴接触不良, 大修期间对 4 号发电机汽端 7 瓦轴接地处转轴表面进行打磨清洁, 清除转轴表面部分油污及锈迹, 启机后 4 号发电机轴电流无报警时幅值基本稳定在 60mA 左右, 与 3 号发电机运行期间轴电流幅值接近, 但 4 号发电机轴电流高一段报警闪发的现象依然存在。为查找 4 号发电机轴电流高一段报警原因, 核实轴电流高一段报警时第二接地点出现在汽轮机侧还是发电机励侧, 大修启机期间在汽轮机 4 瓦及发电机励端 8 瓦处转轴表面临时接入可调电阻, 通过调节电阻阻值分别模拟汽轮机 4 瓦和发电机励端 8 瓦处轴接地, 同时录取汽轮机 4 瓦、发电机 8 瓦处轴电压和接地电流波形, 并与 7 瓦轴电流高一段报警期间的轴电压、轴电流波形对比, 以查找分析原因。

模拟汽轮机 4 瓦处转轴接地试验时发电机处于空载运行, 汽轮机蒸汽进气量较小, 导致试验期间 4 瓦轴对地电压幅值仅为约 45mV, 4-5 瓦间对地电压幅值约为 380mV, 5 瓦处对地电压幅值约为 680mV, 且试验开始数秒内 5 瓦处对地电压幅值迅速降至 50mV 左右, 远低于正常运行期间该处轴电压幅值约 800mV, 试验条件与运行期间条件一致性较低, 试验数据无法用于原因分析。模拟发电机励端 8 瓦轴接地试验时发电机处于额定转速空载运行, 测量 8 瓦处转轴对地电压幅值 2.5V, 7 瓦处转轴对地电压幅值 10mV, 满足试验条件。试验开始前进行模拟静试验, 在发电机励端 8 瓦处转轴表面临时接入接地铜刷, 测量 7 瓦轴接地电流幅值基本无变化, 确认 8 瓦转轴摩擦可能产生静电对轴接地电流基本无影响。试验如图 1 所示, 在发电机励端 8 瓦处转轴表面临时通过 12 Ω 电阻接地并逐步降低可调电阻, 可调电阻阻值降至 3 Ω 时, 发电机 7 瓦轴接地电流幅值达 282mA, 出现轴电流高一段报警, 此时 8 瓦转轴模拟电阻电流幅值达 541mA, 8 瓦轴电压幅值从 2.5V 降低到 1.6V, 试验结束。

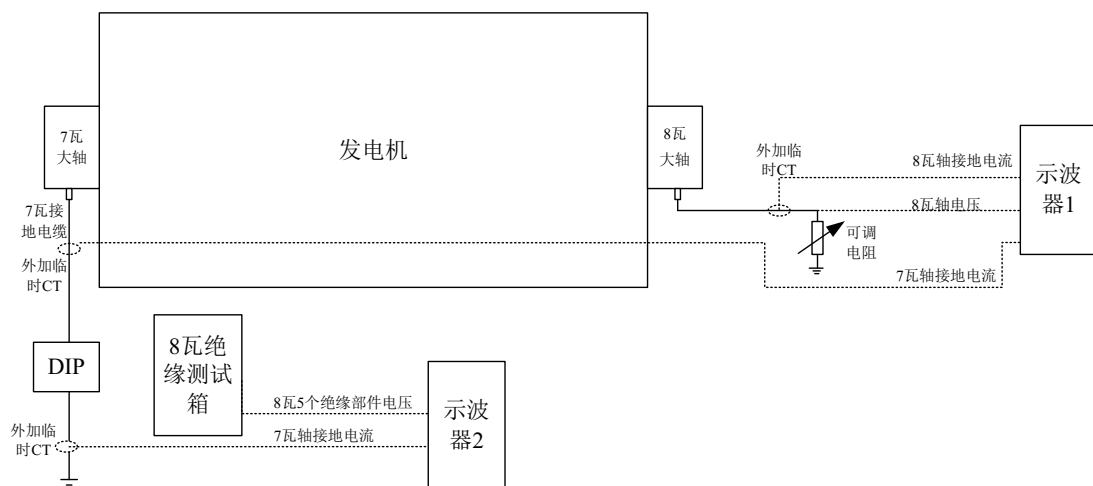


图 1 模拟 4 号发电机励端 8 瓦处轴接地试验原理图

发电机励端 8 瓦处转轴临时通过 3 Ω 电阻模拟轴接地电流波形如图 2 所示, 对比 4 号发电机轴电流高一段报警期间轴接地电流波形, 消除采样率较低的影响, 发电机励端 8 瓦转轴处模拟接地期间电流波形与运行期间发电机轴电流高一段报警期间接地电流波形特征一致, 初步确定运行期间 4 号发电机轴电流高一段报警闪发是由励端 8 瓦内部绝缘部件对地绝缘短时降低引起。



图 2 模拟发电机 8 瓦轴接地时电流波形

同时发电机励端 8 瓦处转轴通过 3Ω 电阻模拟临时接地期间, 8 瓦轴电压下降明显。说明若励端 8 瓦处某个绝缘部件对地绝缘降低引起轴电流, 其对地电压会相应降低。发电机励端 8 瓦各绝缘部件中, 内油档因处于氢气介质中没有引出绝缘测量引线进而无法监测内油档对地电压趋势, 外油档没有设计绝缘测量引线。其它绝缘部件在轴电流高报警期间对地电压基本不变, 初步排除励端上半轴承外套、励端下半轴承外套、励端油密封过渡环、励端高压油管、励端测振支撑架等部件对地绝缘短时降低触发轴电流高一段报警的模式, 基本确定运行期间 4 号发电机励端 8 瓦部件对地绝缘短时下降可能性最高的是励端内油档或外油档。为进一步查找 4 号发电机励端 8 瓦部件对地绝缘短时下降的可能原因, 第三次大修期间对励端轴瓦各部件进行详细检查。励端 8 瓦解体前, 对各部件绝缘情况进行逐一测量, 发现内油档对地绝缘为零, 其它部件对地绝缘均满足要求。在内油档与转子转轴之间插入绝缘纸测量内油档对地绝缘依然为零, 排除内油档与转轴直接接触导致绝缘为零的模式; 将内油档固定螺栓三个一组分别拆除后测量内油档对地绝缘为零。将内油档绝缘板、O 形密封圈、螺栓拆除后目视检查未见异常。测量拆下的 O 形密封圈自然状态下对地绝缘为 $G\Omega$, 测量 O 形

密封圈在受压状态时对地绝缘降低至 $M\Omega$ 。通过对比分析各状态下励端 8 瓦内油档对地绝缘数据, 判断 O 形密封圈回装后受压导致内油档对地绝缘低, 故正式回装时取消了 O 形密封圈, 使用厚度 3mm 的 GarLock 垫片代替 O 形密封圈, 测量内油档回装后对地绝缘提升至 $4.8M\Omega$, 满足大于 $1M\Omega$ 的程序标准。发电机励端 8 瓦外油档回装后测量对地绝缘为 $5000M\Omega$, 轴瓦进油后测量外油档对地绝缘仅为 $1M\Omega$, 维修手册标准要求大于 $1M\Omega$; 测量其它部件对地绝缘均为数百 $M\Omega$ 级别; 后在盘轴、外油档螺栓逐一拆除清洗后测量对地绝缘同样只有 $1M\Omega$ 。通过对比分析外油档各状态下对地绝缘数据, 结合大修期间油冲洗时间偏短, 分析油的清洁度偏低导致外油档对地绝缘低; 结合实践经验随着机组投运, 润滑油和密封油外流量加大, 同时循环时间增加会提高油的清洁度; 油温提升同样会使油和绝缘中含水量下降, 判断外油档对地绝缘会上升。结合发电机正常运行时轴电压约 $2.2 \sim 2.4V$, 当外油档绝缘为 $1M\Omega$ 时, 计算通过外油档形成电流约 $2\mu A$ 。轴电流正常值约 $80mA$, 外油档 $1M\Omega$ 绝缘对轴电流的贡献可以忽略。另外, 第二次大修至第三次大修期间, 共闪发轴电流高一段报警 3 次, 闪发时间均在秒级, 报警后检查机组状态均正常。第三次大修期间拆除内油档之

前测量内油档对地绝缘异常为零,可以确定第二次大修至第三次大修期间的4号发电机闪发轴电流高一段报警由励端8瓦内油档绝缘短时降低引起。大修期间通过对内油档绝缘板材质进行升级,去除O形密封圈及封圈槽,以避免O形密封圈槽内积累油污使内油档对地绝缘降低,彻底消除了引发轴电流高一段报警的因素。4号发电机第三次大修启机后未再闪发发电机轴电流高一段报警,进一步确定前期运行期间发电机轴电流高一段报警闪发原因为励端8瓦内油档绝缘短时降低。

四、结论

通过研究汽轮发电机轴电压、轴电流产生的机理及危害,结合发电机轴电流监测原理,针对4号发电机多次闪发轴电流高一段报警的现象,对比同型号发电机轴电压数据,分析可能产生轴电流高一段报警的原因,并制定相应的检查处理措施,消除发电机汽端轴接地不良的模式,通过模拟汽

轮机端轴瓦及发电机励端轴瓦接地对比波形特征,最终查明发电机励端8瓦内油档绝缘短时降低,导致发电机转子汽励两端两点接地,转子表面产生轴电流高于报警值,继而闪发轴电流高一段报警。大修期间通过优化内油档结构并改进绝缘板材质彻底解决了4号发电机轴电流高报警闪发的问题。

参考文献:

- [1] 金媛媛,刘灵君.汽轮发电机轴电压分析与安全运行[J].电机技术,2019,(04):20-23+28.
- [2] 谭世海,石胜平,熊隽迪,发电机轴电流对发电机运行的影响及其对策研究.[J].重庆电力高等专科学校学报,2013,18(2):43-45.
- [3] 冉毅.大型汽轮发电机轴电压控制技术研究[D].西安交通大学.2019.

作者简介:吴永涛(1986年3月-),男,汉,河北省衡水市,工程师,大学本科,高电压设备运维及可靠性管理