

60MW 发电机组转子一点接地故障分析与处理

姚洁

安阳钢铁集团有限责任公司, 河南 安阳 455000

DOI:10.61369/EPTSM.2026050009

摘 要： 本研究针对60MW发电机组返厂大修并网运行期间，转子接地保护装置频繁触发“转子一点接地故障”告警的问题，基于现场运行数据与设备参数开展系统性故障诊断与处理。通过拆解励磁机、逐级加电流试验等操作完成临时处置，后期再次返厂大修并层层分析，最终精准定位故障根源为首次大修工艺控制不当残留的金属导电碎屑。该类微小异物在机组运行工况下形成瞬态接地回路，进而诱发保护报警。本案例成功解决设备疑难故障，也为发电机组大修质量评估、状态检修及复杂电气故障诊断提供了宝贵的实践依据与技术参考。

关 键 词： 转子接地故障；原因分析；故障处理；在线监测；大修质量管控

Analysis and Treatment of One-Point Grounding Fault of Rotor in 60MW Generator Unit

Yao Jie

Anyang Iron and Steel Group Co., Ltd. Anyang, Henan 455000

Abstract： This study addresses the issue of frequent triggering of "rotor one-point grounding fault" alarms by the rotor grounding protection device during the grid-connected operation of a 60MW generator unit during its return for major maintenance. Based on on-site operational data and equipment parameters, a systematic fault diagnosis and treatment approach was adopted. Temporary measures were implemented through dismantling the exciter and conducting step-by-step current increase tests. Subsequent to this, the unit was returned for another round of major maintenance, and through layered analysis, the root cause of the fault was precisely identified as metal conductive debris left behind due to improper process control during the initial major maintenance. These tiny foreign objects formed a transient grounding circuit under the operating conditions of the unit, subsequently triggering protection alarms. This case successfully resolves a difficult equipment fault and provides valuable practical evidence and technical reference for the quality assessment of generator unit major maintenance, condition-based maintenance, and complex electrical fault diagnosis.

Keywords： rotor grounding fault; cause analysis; fault handling; online monitoring; overhaul quality control

引言

60MW发电机组是由山东济南发电设备厂生产的，于2011年进行投产。由于设备长期运行，按大修时间要求2024年2月份对发电机组进行了大修，当时发电机转子进行了返厂维修与保养。但是在大修调试过程中，对发电机转子进行绝缘检测时发现发电机转子绝缘在0到无穷大之间来回摆动，接地保护装置报出“转子一点接地故障”告警。于是针对这一故障进行了全方位的分析与处理，并对设备的后期相关维护以及再次大修拆解后的结果进行了总结，以减少类似故障再次发生。

一、发电机转子一点接地保护

发电机转子一点接地保护的核心在于实时监测励磁回路对地的绝缘状况，是保障发电机组安全稳定运行的关键防线之一。在正常运行工况下，发电机转子绕组及其励磁系统通过绝缘材料与

地（机座）保持隔离，整个回路对地呈现高阻态。当励磁回路发生一点接地故障时，由于未形成闭合的短路电流回路，故障点没有显著的故障电流流过，因此不会立即破坏发电机的电磁平衡或造成设备的直接热损伤，机组在短期内仍可维持运行。

然而，这一故障状态构成了严重的安全隐患，是引发更为恶

性事故的前兆。其核心风险在于，一旦励磁回路中再出现第二点接地，即发生转子两点接地故障，故障点之间将通过转子本体形成低阻抗的短路回路。此时，巨大的短路电流不仅会瞬间烧伤转子铁芯、护环等昂贵部件，还可能因局部过热导致转子绕组绝缘进一步损坏甚至熔断。更为严重的是，部分转子绕组被短接后，会导致气隙磁场的对称性遭到破坏，产生不平衡的电磁拉力，进而引发机组剧烈的机械振动，甚至导致轴系损坏或汽机磁化，最终造成不可逆的设备损毁和电网事故。

因此，发电机转子一点接地保护的主要目的并非在故障发生的瞬间立即触发跳闸停机，而是作为一种预警机制。当检测到励磁回路对地绝缘电阻下降至设定阈值时，保护装置需迅速、准确地发出告警信号，提醒运行人员及时察觉故障的存在。这为运行维检人员争取了宝贵的处理时间，使其能够根据系统负荷情况和故障严重程度，有序地安排计划性停机检修，从而在根本上避免了两点接地故障的发生，确保了电力系统的安全性和供电的可靠性。

二、故障现象与原因分析

2024年2月，该发电机转子在完成返厂大修并恢复现场安装后，于机组盘车阶段暴露出严重的绝缘异常现象。后台监控系统检测到的转子绝缘电阻值呈现典型的动态不稳定特征，在“0”与“无穷大”之间反复摆动。结合现场工况及电气特性，技术人员初步判断故障源于转子内部存在活动性金属异物，该异物在盘车过程中受离心力与振动影响，间歇性搭接在导电杆与大轴之间，形成瞬时接地通路，从而触发“转子一点接地故障”告警。经与制造厂家联合开展失效分析，最终锁定故障机理：主要诱因是导电杆（全铜材质）内孔加工残留或整流环连接钉（铜质）螺纹配合松动所产生的微小铜屑。考虑到设备刚经历大修，拆卸、清理、回装及运输环节中的机械扰动，极易导致此类低硬度铜材产生碎屑或铁屑脱落。加之导电杆与转轴间的绝缘结构并非一体化整体，存在微观缝隙，为导电碎屑提供了迁移与驻留的空间。当这些高导电性但颗粒微小的金属屑桥接在带电部件与接地大轴之间时，便形成了不稳定的接地故障点，严重威胁机组的绝缘安全与稳定运行。

三、故障处理

1. 拆卸励磁机端盖、碳刷、卡簧，露出滑环、导电杆及其连接螺钉；拆除滑环与导电杆连接螺钉；拆除露出部分导电杆；在其缝隙中插入刮刀，未见有异物，将内部封闭的部分导电杆露出用吸尘器进行清理，也未见有异物吸出，此时检测绝缘为 $0\text{M}\Omega$ （由于场地及工具的局限性，以及生产需求故而无法进行进一步的拆解）。

2. 由于金属碎屑的位置较隐蔽，故通过对转子接地原理的分析，决定采用保护装置调试仪对导电杆进行加电流处理，此时检测绝缘仍为 $0\text{M}\Omega$ 。通过分析可能是所加电流较小，对金属碎屑影响较小，于是更换为直流弧焊机进行加流，通入40A电流，此时检测绝缘仍为 $0\text{M}\Omega$ ，继续增加电流值到60A直接进行冲击，

直流弧焊机电压表指针却瞬间来回摆动，但是此时检测绝缘仍为 $0\text{M}\Omega$ 。于是尝试调整接线方式将焊把端接导电杆负极，地线端仍接地，缓慢升高输出电流，在电流指针指向70A时，直流弧焊机电压表指针再次来回摆动，此时检测绝缘为无穷大。

3. 通过一系列的现场处理，更加确定为导电杆内部缝隙中存在较为细小的铜碎屑，经过两次较大电流的冲击后，搭接在导电杆与大轴之间的铜碎屑被烧断，不再形成接地，转子绝缘恢复正常。

4. 随后逐步将配件进行回装，每回装一步，对发电机转子进行绝缘检测，直到所有配件回装完毕后，发电机转子绝缘检测结果良好，在允许开机规定的范围内。随后，发电机投运生产。

四、再次大修验证

尽管采取了前述处理措施，该发电机组在后续的运行过程中，接地保护装置仍时常报出“转子一点接地故障”告警，表明励磁回路的绝缘隐患并未彻底消除，故障风险依然存在。为确保机组的长期安全稳定运行，避免潜在的重大设备事故。经上级领导与厂家进行沟通后，最终决定于2025年2月再次对该发电机转子实施返厂大修。此次大修的核心任务是对转子内部结构进行彻底的解体检查，以精确定位故障根源。在大修过程中，检修团队与制造厂技术专家保持了密切的沟通与协作，制定了周密的拆解方案。通过对发电机转子内部所有绝缘层及导电杆的全面拆解，发现了关键性的故障证据：在导电杆表面存在多处明显的黑色烧灼痕迹。经技术专家分析研判，这些痕迹应为前期现场进行大电流加热处理时，因局部放电所遗留留下。更为重要的是，在拆解过程中还发现了多个金属碎屑，这些导电异物的存在，直接证实了此前关于“异物搭接导致绝缘失效”的故障原因分析与判断是完全正确的。基于上述发现，维修厂对受损的绝缘层及导电杆等部件进行了彻底的修复与更换。在完成设备回装后，严格按照标准规程进行了出厂试验及现场回装后的各项交接试验，包括绝缘电阻测量、直流耐压试验等，试验结果均显示合格，各项参数符合国家标准及厂家技术规范要求，目前该设备已具备开机条件，等待并网后的运行验证。

五、转子一点接地故障多维度预判与在线监测技术

转子一点接地故障具有隐蔽性、间歇性、随机性特征，传统离线检测难以捕捉动态缺陷，易导致故障反复出现。建立多维度预判体系与在线监测手段，可在故障萌芽阶段识别隐患，提升处置主动性与及时性。

（一）绝缘状态动态预判指标

转子绝缘电阻受温度、湿度、振动、离心力影响明显，正常机组绝缘应稳定大于 $0.5\text{M}\Omega$ ，且波动幅度不超过 $\pm 10\%$ 。当出现以下特征时，可判定为早期接地隐患：绝缘在 $0.1\sim 1\text{M}\Omega$ 之间频繁跳变；盘车转速上升时绝缘同步下降；停机静置后绝缘回升、开机运行后快速降低；励磁电流小幅波动伴随绝缘突变。上述指标可纳入日常巡检标准，作为早期预警阈值。

（二）在线监测装置应用

传统定期摇测绝缘效率低、数据滞后，无法真实反映运行状态。转子一点接地在线监测装置采用低频交流注入法，可实时采集绝缘电阻、接地电流、励磁电压等参数，通过通信上传后台，具备阈值告警、趋势分析、历史数据追溯功能。该装置不影响机组正常运行，灵敏度高，可捕捉微安级泄漏电流，对微小金属碎屑、绝缘局部受潮、轻微破损等早期缺陷实现有效识别。本机组二次大修前加装在线监测装置，连续72小时记录数据，清晰呈现绝缘波动规律，为返厂拆解定位提供精准依据。

（三）振动与电气量联动预判

转子内部金属异物会同时引发微弱电气不平衡与机械振动异常。将励磁电流、转子电压、轴承振动、轴振等信号接入DCS系统，建立联动判断逻辑：当振动速度超过2.8 mm/s且绝缘低于0.2 MΩ同时出现，系统发出一级预警；绝缘降至0.1 MΩ以下且持续10分钟，发出二级预警，提醒运维人员安排停机检查。该方法实现电气故障与机械状态交叉验证，降低误判率，提升预判准确性。

（四）典型故障模式库建立

收集同类型机组转子接地故障案例，建立包含故障现象、原因、处理过程、验证结果、预防措施的典型故障模式库。本机组盘车绝缘摆动、大电流冲击恢复、返厂发现铜屑与烧灼痕迹等特征已纳入模式库，为后续快速诊断提供参考。通过大数据比对，可在告警后10分钟内锁定疑似原因，大幅缩短故障排查时间。

六、大修全流程质量管控与异物防控体系

本次故障根源为首次大修工艺失控与金属异物遗留，说明传统检修管理存在明显漏洞。建立大修全流程质量管控与异物闭环防控体系，可从源头杜绝同类故障再次发生。

（一）大修前技术准备与风险交底

大修前组织厂家、检修、运行三方技术交底，明确转子拆解、清洗、检测、回装、运输等关键工序要求。编制专项作业指导书，规定导电杆内孔清理、螺纹紧固、绝缘检查、真空干燥等工艺参数。对作业人员开展专项培训与考核，重点强调金属异物防控要求，考核合格后方可上岗。

（二）拆解阶段异物防控

拆解区域铺设防静电胶皮，工具定置摆放，实行“工具出入

双清点”制度。拆下的螺栓、垫片、接线柱等零件分类装袋标识，防止丢失或遗漏。转子绕组、导电杆、滑环等关键部件用防尘套包裹，避免粉尘、金属屑进入内部空腔。严禁使用钢丝刷、锉刀等易产生碎屑的工具直接清理绝缘部件。

（三）清洗与检测标准化

采用无水乙醇擦拭+高压氮气吹扫工艺清理导电杆内孔、绕组端部、绝缘缝隙，吹扫压力控制在0.4~0.6 MPa，避免损伤绝缘。清洗后用强光手电与内窥镜检查，确认无异物、无变色、无破损。绝缘检测执行“三测原则”：静置测、加温测、模拟振动测，确保数据真实可靠。

（四）回装与紧固工艺控制

回装时使用扭矩扳手，按厂家规定力矩紧固连接钉、导电杆螺栓，并做好防松标记。绝缘垫片、套管等部件严格核对型号，禁止随意代用。回装过程每完成一个工位，立即进行一次绝缘检测，合格后方可进入下一工序，避免隐蔽缺陷遗留。

（五）运输与现场回装防护

转子返厂运输采用专用支架，固定牢固，避免颠簸、碰撞造成内部部件松动或异物脱落。运输前后分别检测绝缘，记录数据对比。现场回装前再次进行吹扫检查，确认无新增异物。回装后完成空载、短路、绝缘耐压等试验，全部合格方可并网。

（六）大修质量验收与追溯

建立大修质量档案，详细记录各工序操作、参数、检测结果、责任人，实现全过程可追溯。验收实行班组自检、技术专责复检、总工程师三级验收，重点核查绝缘数据、异物防控记录、试验报告。未通过验收严禁投运，倒逼工艺执行到位，保障大修质量。

七、总结

本次60MW发电机组转子一点接地故障，由首次大修遗留金属导电碎屑间歇性搭接导电杆与大轴引发。现场采用大电流冲击实现应急处置，快速恢复机组运行；二次大修结合**多维度故障预判**与**大修全流程质量管控**，从根源消除隐患。新增的在线监测、联动预警、异物防控体系，有效提升故障早期识别能力与检修质量，为同类型机组故障诊断、检修及预防提供工程实践参考。未来应将标准化大修管控与在线监测常态化，持续提升发电机组安全稳定运行水平。

参考文献

- [1] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础 [M]. 2版. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [2] 苗世华, 廖泽友, 等. 发电机转子接地保护现场应用中的问题探讨 [J]. 电力系统自动化, 1999, 23(18): 47-49.
- [3] 陈刚, 尹项根, 张哲, 等. 发电机转子绕组一点接地保护行为分析 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 88-91.
- [4] 毛锦庆, 屠黎明. 电力设备继电保护技术手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [5] 陈世省, 孙月琴. 水轮发电机转子一点接地故障的查找与处理 [J]. 大电机技术, 2008(3): 43-45.
- [6] 张征平, 黄顺涛, 赵永玺. 大型发电机转子故障分析与诊断 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [7] 吴晓博, 马锁明, 刘志远, 等. 发电机转子一点接地故障定位方法研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 133-137.
- [8] 吴长青. 发电机转子一点接地的原因分析和处理方法 [J]. 电世界, 2021(6): 32-34.
- [9] 刘刚. 水轮发电机转子一点接地故障的查找与处理 [J]. 水利水电技术, 2023, 54(9): 288-291.
- [10] 李金忠, 刘宏亮, 张书琦, 等. 1080MW 汽轮发电机转子内部短路故障分析 [J]. 电气技术, 2026(1): 78-82.
- [11] 王健. 汽轮发电机转子接地故障在线监测技术研究 [J]. 电力工程技术, 2024, 43(2): 112-116.
- [12] 周明. 火力发电机组大修金属异物防控管理实践 [J]. 中国设备工程, 2025(1): 189-190.