

水轮发电机定子一点接地原因分析与处理研究

刘志超

(华电西藏能源有限公司大古水电分公司, 西藏 山南 856200)

摘要 水轮发电机定子一点接地是电力系统中常见的故障类型, 其成因分析与处理对策研究具有重要的工程实践价值。研究结果表明, 该故障的发生主要源于定子绕组绝缘性能的劣化, 其影响因素可分为内部和外部两个方面: 内部因素包括制造工艺缺陷和材料老化, 外部因素则涉及运行电压波动、过载工况、机械振动以及运维不当等。针对此类故障, 本文建议采取加强运行状态监测、完善设备维护体系以及强化操作人员培训等应对措施, 以期为水轮发电机定子接地故障的预防与处理提供有益参考。

关键词 水轮发电机定子一点接地; 故障原因; 定子绝缘性能; 机器维护

中图分类号: TM61

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.040

0 引言

水轮发电机作为水能发电系统的核心设备, 其运行性能直接影响电力系统的稳定性和可靠性。定子接地故障作为常见运行障碍, 严重制约设备的正常运行。通过深入分析发现, 此类故障与设备内部构造及外部运行环境密切相关, 受多重因素综合影响, 包括电压波动、工作负荷变化、机械振动以及制造和使用过程中绝缘层损伤等。这些因素相互作用, 显著增加了定子接地故障的发生概率。深入研究并解决此类电力故障, 不仅能为电力系统稳定运行提供技术保障, 还将为电力工程领域的科研与设计工作提供参考。为此, 需要系统分析水轮发电机定子一点接地故障的成因及解决方案, 建立完善的监控维护培训体系, 以提升设备维护质量, 同时提高电力从业人员的专业操作能力。

1 水轮发电机定子一点接地概述

1.1 水轮发电机定子一点接地的定义

水力涡轮发电机静子一点接地故障是指机组运行过程中, 静子绕组与大地之间出现异常导通的电气故障现象, 该故障在电力系统中具有较高的发生率^[1]。故障的核心成因在于静子绕组绝缘材料出现破损或劣化, 导致局部导体与地电位形成通路。这种接地故障会引发电流分布失衡, 进而造成机组运行异常, 严重时可能导致设备完全损坏。更为关键的是, 静子一点接地故障可能危及整个电力系统的安全稳定运行, 并引发连锁性事故。因此, 及时准确地诊断和消除此类故障, 对于保障水力涡轮发电机组的安全稳定运行具有极其重要的意义。

1.2 水轮发电机定子一点接地的影响

水轮发电机内部发生接地故障会对发电设备和电网运行造成严重影响。当定子绕组绝缘损坏时, 电流会通过接地点泄漏, 导致严重的漏电现象, 破坏发电机的正常运行状态。在此情况下, 电气设备可能因突发的电流冲击而损坏, 严重时会造成绝缘材料烧毁和机械部件损毁, 从而增加维修和更换成本。此外, 电流失衡还会危及电网稳定性, 显著提高系统故障风险, 导致供电中断, 严重影响用户的正常生产和生活用电。同时, 定子绕组中相间电压不平衡会明显增加电力系统谐波含量, 降低供电质量。水轮发电机内部接地故障对设备安全和电网稳定构成重大威胁, 必须予以高度重视并及时处理。

1.3 水轮发电机定子一点接地的检测

水力发电机转子一点接地检测是保障发电机稳定运行的关键环节, 主要检测方法包括以下三种: 绝缘电阻率测试用于评估转子线圈对地电阻值, 判断绝缘体完整性; 绝缘介质损耗因数测量通过检测介质损耗角来鉴定绝缘状态, 该方法还能有效发现绝缘老化现象; 局部放电测定则通过电磁信号检测放电位置和强度, 以识别潜在的绝缘缺陷^[2]。这些检测方法能够及时发现转子绝缘问题, 为采取预防性维修措施提供依据, 从而避免重大故障的发生。

2 水轮发电机定子一点接地的故障原因

2.1 内部因素

水轮发电机定子发生单点接地的主要内在因素包括电压波动和过载运行。电压不稳定会导致定子

绕组绝缘层承受反复的电压冲击，最终造成绝缘性能完全失效。而过载运行则会引起定子内部温度急剧上升，致使绝缘材料因高温老化而丧失绝缘能力，从而显著增加单点接地故障的发生概率。这些内在问题不仅威胁水轮发电机的安全稳定运行，还会显著缩短设备的使用寿命。

2.1.1 电压不稳

在水力发电机轭铁接地故障分析过程中，必须充分重视电压稳定性问题。电压波动会直接影响电场强度分布，进而改变绝缘材料的电气性能，显著增加电击穿和局部放电风险。此外，电压不稳定还会加速绝缘材料的老化进程，导致轭铁绝缘性能下降，最终引发接地故障。由此可见，维持稳定的电压水平是确保水力发电机安全可靠运行的重要前提条件。

2.1.2 负载过大

过载运行将导致水轮发电机定子绝缘材料热负荷增加，加速绝缘材料的老化与劣化过程，从而显著增加定子绕组发生单相接地故障的概率。此外，过大的电流负载可能引发局部过热现象，加剧绝缘部件承受的机械应力和电气应力，进而促使单相接地故障提前发生。因此，实施定期监测并精确控制运行负载，对于有效预防单相接地故障具有重要的现实意义。

2.2 外部原因

水轮发电机定子发生一点接地故障的外部诱因主要包括生产制造缺陷、运行环境因素以及机械应力影响。具体而言，生产环节若存在原材料质量缺陷或工艺控制不当，将直接导致定子绝缘性能劣化。在设备运行过程中，机械磨损、振动冲击及温度波动等动态因素会持续损害定子绝缘性能。此外，环境湿度、粉尘污染及化学腐蚀等外部条件也会加速绝缘层的老化劣化进程。这些外部因素的协同作用会显著影响设备运行可靠性，因此在设备操作维护过程中必须加强巡检力度，及时发现并处理潜在隐患。

2.2.1 制造缺陷

在制造环节中，由于使用了不合格的绝缘材料或未严格执行工艺标准，导致绝缘性能不达标，最终造成定子一点接地故障的发生。

2.2.2 使用过程中损害

水轮发电机定子一点接地故障的外部诱因通常源于运行过程中的设备损伤。此类损伤主要归因于恶劣的运行环境以及维护保养不及时。在高湿度、高温及粉尘等不利环境因素作用下，发电机绝缘材料会加速老化，导致其绝缘性能显著下降。长期运行条件下，机械部件的磨损与疲劳会显著增加定子绝缘层受损的

风险。此外，过长的维护周期会延误绝缘缺陷的修复时机，从而增大接地故障发生的可能性。因此，实施定期维护与检修是预防此类故障的有效措施^[3]。

3 定子绝缘性能

3.1 定子绝缘性能的介绍

对水轮发电机定子绝缘性能进行系统评估，是确保设备安全运行的关键指标。绝缘材料需具备良好的电流阻隔能力，以保障电力系统的稳定运行。采用先进复合材料技术的水轮发电机定子绝缘材料，展现出优异的电气性能和机械强度特性。该材料需耐受高温、高压及潮湿环境，有效延缓老化进程，满足复杂工况下的长期使用要求。绝缘性能的优劣直接影响发电机的故障率和使用寿命，良好的绝缘性能可有效预防电气故障，降低停机频率，减少维护成本。通过耐压测试、介电强度测试和局部放电测试等专业检测技术，可确保绝缘材料在各种运行条件下发挥应有的保护作用。提升定子绝缘性能对于保障水轮发电机安全稳定运行具有重要价值。

3.2 影响定子绝缘性能的因素

定子绝缘性能受多重因素影响，可归纳为内因与外因两大类别。内因主要涉及线圈本体的质量状况、材料选用合理性以及制造工艺的精细程度。若线圈材料不达标或工艺存在缺陷，将直接导致绝缘性能劣化。在外因方面，环境参数与运行条件的影响尤为显著。在高湿、高温或存在化学污染物的环境中，绝缘材料会加速老化。在运行工况方面，设备长期超负荷运行或频繁启停操作会加剧绝缘损耗。此外，机械振动、电压波动以及过电压或欠电压等异常工况，均会对绝缘性能造成损害。内因与外因的协同作用，使定子绝缘系统面临严峻挑战。

3.3 如何提高定子绝缘性能

提升定子绝缘性能的主要途径涵盖材料选择优化、工艺改进及维护策略完善三个方面^[4]。在材料选择方面，应优先考虑具有优异耐温特性、机械强度及绝缘性能的材料，如聚酯薄膜和云母带等，以确保绝缘层的长期稳定性。在工艺改进方面，需精确控制各项工艺参数，重点提升涂覆和浸渍工艺水平，从而保证绝缘层的均匀性和致密性。在维护管理方面，建议建立定期检测机制，实施预防性维护，同时强化操作人员的专业培训，增强其对绝缘保护的重视程度，防止因操作失误导致的绝缘损伤。实施上述措施可有效提升水轮发电机定子的绝缘性能，延长设备使用寿命，降低故障发生率。

4 水轮发电机定子一点接地故障处理策略

4.1 提高监控频率

为提升水轮发电机运行可靠性,建议采取以下改进措施:首先,应增加定子状态监测频次,通过更频繁的检查及时发现潜在问题,防止故障恶化。其次,需配备先进的监测设备,实现对电压、温度、振动等关键参数的实时监控。这些高精度监测装置能够为操作人员提供准确数据,便于快速识别异常状况。此外,可引入智能监控系统,运用数据分析和机器学习算法,对历史及实时运行数据进行深度解析,实现故障预警功能。同时,必须严格执行定期全面检查和性能测试制度。通过实施上述综合措施,不仅能有效延长设备使用寿命,还能显著降低突发故障风险,确保水轮发电机安全稳定运行。加强监控密度有助于及时处理各类运行问题,真正做到防患于未然,从而全面提升发电设备的运行性能^[5]。

4.2 加强水轮发电机的维护工作

加强水轮发电机的维护工作对于预防和解决定子单点接地故障至关重要。完善的维护措施能够有效发现并修复潜在隐患,显著降低故障发生率。具体维护工作应包括:定期检测绝缘性能、紧固电气连接、保持设备清洁、检查机械部件的润滑及磨损情况等。在维护过程中,需重点关注关键部位和易损部件,如线圈绝缘体、电刷和滑环等,确保其处于良好工作状态。建立完整的维护档案,积累运行数据和维护经验,有助于故障分析和趋势预测。采用先进的维护技术和设备,如红外热成像仪、局部放电检测仪等,可显著提升维护工作的精确性和效率。通过实施这些措施,不仅能大幅提高水轮发电机的运行可靠性,还能有效减少定子单点接地故障的发生,为设备的安全稳定运行提供坚实的保障。

4.3 故障处理

水轮发电机定子发生一点接地故障时,需采用系统化、规范化的处理流程,以确保设备正常运行并延长其使用寿命。具体处理步骤如下:

第一步是进行故障诊断与定位。通过配置高灵敏度监测装置,如定子接地保护装置和绝缘监测系统,实时监控定子运行状态。当检测到接地故障信号时,立即触发报警并停机,防止故障扩大。同时采用红外热成像等无损检测技术,全面检查定子绝缘状况,准确定位故障点。

第二步是实施故障修复。确定故障位置后,首先

对定子进行清洁处理,清除积尘和潮气。针对绝缘损坏部位,根据损伤程度采取相应修复措施,如涂覆绝缘漆或更换绝缘材料。修复完成后需进行绝缘性能测试,确保修复质量达标。

第三步是进行性能验证。修复工作结束后,需开展包括绝缘电阻测试和耐压试验在内的全面检测,验证定子各项性能指标符合运行标准。

整个处理过程中应建立完善的故障档案,详细记录故障现象、处理措施及修复结果。这些数据可为后续设备维护和故障预防提供参考依据,同时为技术改进积累经验。通过规范化的处理流程,可有效解决定子接地故障问题,保障设备安全运行和电网稳定供电。该处理方法对日常维护和预防性检修工作具有重要指导意义。

5 结束语

针对水轮发电机定子一点接地故障进行系统分析后发现,故障发生主要与设备绝缘性能及运行环境密切相关。具体而言,电压波动、负载过重、机械振动以及制造或使用过程中的部件损伤等因素均可能引发此类故障。为此,提出了一套综合解决方案,包括加强运行监测、完善设备维护制度以及开展操作人员专业培训等措施。研究成果为预防水轮发电机定子一点接地故障提供了理论依据。然而,受限于样本数据不足,研究未能全面涵盖所有可能的故障影响因素,后续研究需进一步扩展分析范围。目前虽已取得初步成果,但对水轮发电机定子一点接地问题的认识仍需深化。未来,需通过获取更多的实验数据并运用现代分析技术,以提升故障预防和处理的效率与准确性。

参考文献:

- [1] 林静雯,吴晓,丁宇鹏,等.水轮发电机定子一点接地原因分析与处理[J].福建水力发电,2022(01):59-60.
- [2] 陈小龙.水轮发电机转子一点接地故障原因分析与处理[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(06):116-117.
- [3] 马忠志,刘凯兵.大型水轮发电机定子接地故障分析及处理[J].水电与新能源,2020,34(06):67-70.
- [4] 董翰宁,董锦川.水轮发电机定子一点接地短路故障原因分析与处理[J].水电站机电技术,2020,43(S1):28-30.
- [5] 邱钰德,汪金全,严子成,等.某大型水轮发电机定子一点接地故障的定位分析[J].电力设备管理,2022(S1):126-128.