

水轮发电机组检修后启动试验设计研究

张志安

云南电力技术有限责任公司 云南 昆明 650217

摘要: 水轮发电机组作为水电站的核心设备,其检修后启动试验的设计与实施对于确保机组的安全、稳定和高效运行具有重要意义。本文简要介绍了试验设计原则,分析了试验步骤与内容,包括试验前准备、机组充水试验、机组空载试验、机组过速试验、其他相关试验等方面,为水轮发电机组的检修后性能验证和安全评估提供了有力支持。

关键词: 水轮发电机组; 检修后; 启动试验设计

引言

水轮发电机组作为水电站的重要发电设备,其运行状态的稳定性和可靠性直接关系到水电站的发电效率和经济效益。在机组长期运行过程中,由于各种因素的影响,机组部件可能会出现磨损、老化或故障等问题,因此定期进行检修和维护是必不可少的。然而,检修后的机组能否达到预期的性能和安全标准,需要通过严格的启动试验进行验证。因此,设计一套科学、合理且高效的启动试验方案对于确保机组的安全运行具有重要意义。

1 试验设计原则

在探讨水轮发电机组检修后启动试验的设计原则时,我们需从科学性、安全性和完整性三个方面进行深入分析与阐述,以确保试验不仅科学严谨,而且安全可靠,同时能够全面准确地评估机组的整体性能。首先,科学性原则是试验设计的基石,这意味着在设计试验时,必须确保整个试验流程严格遵循科学原理和技术规范,不得有丝毫的偏差或遗漏。为了做到这一点,我们需要采用先进的测试技术和方法,如高精度传感器、数据采集与分析系统等,以精确捕捉机组在启动过程中的各项参数变化,如振动、温度、压力、转速等。这些数据的准确性和可靠性对于后续的分析评估至关重要。其次,安全性原则同样不容忽视,水轮发电机组作为大型水电站的核心设备,其启动试验涉及高压、高速、高温等危险因素,因此,试验过程中的安全防范措施必须做到万无一失。在试验前,应对所有参与试验的人员进行严格的安全培训,确保他们熟悉试验流程、掌握安全操作规程,并具备应对突发事件的能力^[1]。同时,还应为试验现场配备必要的安全设施和应急装备,如防护服、安全帽、消防器材、急救箱等,以应对可能出现的紧急情况。在试验过程中,应设立专门的安全监督小组,负责全程监控试验进展,及时发现并处理安全隐患。最后,完整性原则则要求试验设计必须覆盖机组的所有关键部

件和系统,以确保试验结果的全面性和准确性。水轮发电机组是一个复杂的系统,由多个部件和子系统组成,如转子、定子、轴承、冷却系统、控制系统等。这些部件和系统的性能直接关系到机组的整体运行效率和安全性。所以,在设计试验时,必须充分考虑机组的结构特点和运行要求,确保试验能够全面覆盖所有关键部件和系统。并且,还可以通过对试验数据的分析处理,发现机组可能存在的潜在问题,为后续的检修和维护提供有力支持。

2 试验步骤与内容

2.1 试验前准备

在进行水轮发电机组检修后启动试验之前,充分的试验前准备是至关重要的,它不仅关系到试验的顺利进行,还直接影响到试验结果的准确性和可靠性。其中,试验前的首要任务是全面检查机组检修项目的完成情况,这一步骤要求对机组在检修期间进行的所有工作进行全面梳理和审核,确保每一项检修任务都按照既定的计划和标准得到了圆满完成。检查内容应涵盖机组的机械部分、电气部分以及控制系统等关键领域,包括但不限于转子、定子、轴承、密封装置、冷却系统、励磁系统、控制系统等的检修和调试情况。对于每一项检修项目,都应查阅相应的检修记录和报告,核实检修工作的质量和效果。同时,还需关注检修过程中发现的问题和异常情况,确保这些问题已经得到妥善处理,不会对机组的后续运行构成安全隐患。而在确保机组检修项目顺利完成的基础上,接下来需要确认机组及相关设备的状态良好,这一步骤旨在通过一系列的检查和测试,确保机组在启动试验前处于最佳状态^[2]。具体而言,应对机组进行外观检查,查看是否存在损坏、变形或异物等情况;对电气设备和线路进行绝缘电阻测试,确保电气系统的安全性和可靠性;对冷却系统、润滑系统等进行功能测试,确认其运行状态正常;对控制系统进行调试和

校验, 确保其能够准确接收和执行指令。此外, 还需检查机组与电网的连接情况, 确保在启动试验时能够顺利并网运行。通过这些检查和测试, 可以及时发现并处理机组存在的问题, 为后续的启动试验打下坚实基础。此外, 还需准备试验所需的设备和工具, 这些设备和工具的选择应根据试验的具体需求和机组的实际情况进行, 确保其能够满足试验的精度和可靠性要求。在准备设备和工具时, 还需注意对其进行校准和检验, 确保其处于良好的工作状态。

2.2 机组充水试验

机组充水试验是水轮发电机组检修后启动试验中的重要一环, 它不仅是对机组检修质量的初步检验, 也是确保机组在后续运行中安全性和稳定性的关键步骤。在正式进行机组充水试验之前, 必须进行一系列细致的检查和准备工作, 以确保试验的顺利进行和结果的准确性。在机组充水过程中, 需要实时监测各项参数, 以确保机组在充水过程中的安全性和稳定性, 监测参数应包括: 机组的水位变化, 通过水位计实时监测机组内部的水位上升情况, 确保水位在设定的安全范围内; 机组的压力变化, 特别是进出口压力的变化, 通过压力表实时监测, 确保压力稳定且不超过设计值; 机组的温度变化, 包括机组各部件的温度, 通过温度计实时监测, 防止因温度过高导致机组损坏; 机组的振动和噪音情况, 通过振动传感器和噪音计实时监测, 确保机组在充水过程中没有出现异常的振动和噪音。这些参数的实时监测不仅有助于及时发现和处理机组在充水过程中可能出现的问题, 还能为后续的试验结果分析提供重要数据支持。机组充水试验完成后, 需要对试验结果进行详细的记录和分析。记录内容应包括: 充水过程中的各项参数变化, 如水位、压力、温度、振动和噪音等; 机组在充水过程中的运行状态, 包括是否出现异常情况、是否发出报警信号等; 以及试验过程中采取的措施和发现的问题。在记录试验结果的基础上, 还需对试验结果进行深入分析, 评估机组在充水过程中的性能和稳定性, 发现潜在的问题和隐患, 并提出相应的改进措施和建议。例如, 如果发现机组在充水过程中出现了异常的振动和噪音, 就需要进一步分析原因, 可能是机组部件松动、密封不良或润滑不足等, 然后采取相应的措施进行修复和改进。

2.3 机组空载试验

启动机组进行空载运行是空载试验的第一步, 启动过程中, 应密切关注机组的启动电流、启动时间和启动过程中的振动、噪音等参数, 确保机组平稳启动, 无异

常现象发生。一旦机组成功启动并进入空载运行状态, 需保持一段时间的稳定运行, 以便充分检验机组在无负载条件下的性能。在机组空载运行期间, 需要实时监测机组空载状态下的各项参数。这些参数包括但不限于: 机组的转速, 通过转速计实时监测, 确保机组在额定转速下稳定运行; 机组的电压和电流, 通过电压表和电流表实时监测, 确保电压和电流在允许的范围内波动; 机组的功率因数, 通过功率因数表监测, 以评估机组的无功功率输出情况; 机组的振动和噪音, 通过振动传感器和噪音计实时监测, 确保机组在空载状态下无异常振动和噪音; 此外, 还需监测机组的温度参数, 如定子绕组温度、轴承温度等, 以确保机组在正常运行范围内不会过热^[3]。这些参数的实时监测有助于及时发现机组在空载运行中的问题, 为后续的分析和改进提供依据。机组空载试验完成后, 需要对试验结果进行详细的记录和分析。记录内容应包括: 空载运行期间机组的各项参数变化, 如转速、电压、电流、功率因数、振动、噪音和温度等; 机组在空载运行过程中的运行状态, 包括是否出现异常情况、是否发出报警信号等; 以及试验过程中采取的措施和发现的问题。在记录试验结果的基础上, 还需对试验结果进行深入分析。分析的重点在于评估机组在空载状态下的稳定性和性能, 如转速是否稳定、电压和电流波动是否在允许范围内、功率因数是否接近1(理想状态)、振动和噪音是否满足标准要求等。同时, 还需关注机组在空载运行中的热平衡情况, 分析机组各部件的温度分布和变化趋势, 以判断机组是否存在过热风险。如果发现机组在空载试验中存在问题或异常, 应进一步分析原因, 可能是机械部件的松动、电气系统的故障或控制系统的设置不当等, 然后采取相应的措施进行修复和改进。

2.4 机组过速试验

机组过速试验通常在水轮发电机组完成检修、空载试验和带负载试验后, 且所有系统均确认运行正常的情况下进行。试验前, 需确保机组的超速保护装置(如超速脱扣装置、过速限制器等)已经过校验并处于良好工作状态。同时, 试验前应制定详细的试验方案, 明确试验的目的、步骤、预期结果以及安全防范措施。试验过程中, 应由经验丰富的专业人员操作, 并配备必要的监测设备和安全防护措施。试验开始时, 首先需将机组负荷逐渐卸载至零, 确保机组处于空载状态。然后, 通过调整调速系统或控制系统, 缓慢增加机组的转速, 直至达到预定的过速试验转速。这一过程中, 需密切关注机组的转速变化、振动情况、噪音水平以及各轴承和密封

装置的运行状态。另外,利用转速计、振动传感器、噪音计等监测设备,实时记录并分析机组在超速状态下的各项参数,特别是要关注机组转速超过额定转速后的响应时间、超速保护装置的触发情况以及机组在超速状态下的稳定性。在机组达到预定的超速试验转速后,应维持一段时间的稳定运行,以便充分检验机组在超速状态下的性能和安全性。期间,应继续监测并记录机组的各项参数,特别是超速保护装置的可靠性和准确性,一旦超速保护装置触发,机组应能够迅速、平稳地减速并停机。此时,需检查超速保护装置的動作情况,确认其是否按照设计要求正确工作,并评估其对机组安全的保护作用。试验结束后,需对试验结果进行详细的分析和总结。分析内容包括机组在超速状态下的稳定性、超速保护装置的可靠性和准确性、以及机组在超速停机过程中的响应时间和停机平稳性。并且,还需检查机组在试验过程中是否出现异常情况,如异常振动、噪音、过热等,并分析其原因。对于试验中发现的任何问题或不足,应及时采取措施进行修复和改进,以确保机组在后续运行中的安全性和稳定性。

2.5 其他相关试验

在水轮发电机组的检修后启动试验中,除了之前提到的充水试验、空载试验和超速试验外,还有一系列其他相关试验同样至关重要,它们共同构成了机组全面性能评估和安全验证的完整体系。这些试验包括自动开停机试验、发电机短路升流试验、发电机升压试验以及机组带负荷及甩负荷试验等,每一项试验都针对机组的不同功能和性能进行检验,以确保机组在实际运行中的可靠性和稳定性。(1)自动开停机试验是验证机组自动控制系统性能的关键试验,在试验中,通过模拟各种启动和停机条件,检验机组自动控制系统能否准确、迅速地响应指令,完成机组的启动和停机过程^[4]。这一试验不仅考验了控制系统的逻辑判断和执行能力,还检验了机组各部件在自动控制系统作用下的协调性和稳定性。通过自动开停机试验,可以及时发现并修复控制系统中的潜在问题,提高机组的自动化水平和运行效率。(2)发

电机短路升流试验则是为了检验发电机在短路条件下的电流承受能力,在试验中将发电机出口短路,通过调整励磁系统,逐渐增加发电机的电流,直至达到预定的短路电流值。这一过程中,需密切关注发电机的温度、振动等参数变化,确保发电机在短路条件下不会过热或损坏。发电机短路升流试验有助于评估发电机的电流承受能力和热稳定性,为机组在实际运行中的安全运行提供重要依据。(3)机组带负荷及甩负荷试验则是检验机组在实际运行中的带负荷能力和负荷响应速度的关键试验。在带负荷试验中,通过逐渐增加机组的负荷,检验机组在不同负荷下的运行稳定性和效率。而在甩负荷试验中,则通过突然减少或切除机组的负荷,检验机组在负荷突变情况下的响应速度和稳定性。这两项试验共同评估了机组在实际运行中的动态性能和负荷适应能力,为机组在电网中的稳定运行提供重要保障。

结语

综上所述,通过研究,我们为水电站的技术人员提供了一套完整、系统的水轮发电机组检修后启动试验方案。该方案不仅可以帮助技术人员更好地掌握机组的运行状态,提高水电站的运行效率和安全性,还可以为水电站的安全管理和维护提供有益参考。希望该研究成果能够在实际应用中发挥积极作用,为水电站的安全运行和可持续发展做出贡献。未来,随着技术的不断进步和机组性能的提升,启动试验方案也需要不断进行优化和完善,以适应新的运行环境和需求。

参考文献

- [1]王建波.水轮发电机组检修后启动试验探索及思考[J].建设者,2020(06):1.
- [2]李海东.水轮发电机组开机前的检查及启动注意事项[J].科学与技术,2021(29):3.
- [3]姜春,姜建勋.水轮发电机组常见故障及维护措施研究[J].价值工程,2020,39(2):254-256.
- [4]杨毅.水轮发电机组常见检修工艺研究[J].《基层建设》,2020(25):1-2.