

抽水蓄能机组安全稳定运行与控制研究

徐启阳 陈成 陈琳

国网新源集团有限公司富春江水力发电厂

摘要: 随着能源结构的转型,抽水蓄能机组在能源系统中的地位日益重要。本文旨在研究抽水蓄能机组安全稳定运行的关键因素,并提出相应的控制策略。文章基于大量的文献资料,通过现场调查对抽水蓄能机组的设备制造和安装质量、设备维护和检修、电站自动化水平、运行环境条件和管理水平和人员素质等关键因素进行深入分析。研究表明,确保抽水蓄能机组的安全稳定运行,需从设备制造和安装、设备维护和检修、以及管理水平与人员素质等方面入手,希望通过本文的研究,能够为相关工作的开展起到参考作用。

关键词: 抽水蓄能机组; 安全运行; 稳定器

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.07.114

引言

随着可再生能源的大规模并网,电力系统对于调峰填谷、稳定运行的需求日益增长。抽水蓄能机组作为一种成熟的储能技术,在平衡电网负荷、确保电力供应稳定性方面发挥着不可替代的作用。然而,由于其运行环境的复杂性和设备的多样性,如何确保抽水蓄能机组的安全稳定运行成了一个重要的研究课题。

一、抽水蓄能机组安全稳定运行的重要意义

(1) 保障电力系统安全:抽水蓄能机组作为电力系统的稳定器,能够平抑风电光伏等新能源的间歇性和波动性,提高电力系统的稳定性。(2) 增强应急响应能力:在电网出现紧急情况时,抽水蓄能机组可以快速启动,提供稳定的电力输出,增强电网的应急响应能力。(3) 提高能源利用效率:抽水蓄能机组在电力负荷低谷时段利用富裕电力抽水,将能量储存起来,在电力负荷高峰时段放水发电,有效缓解电力供需矛盾,提高能源利用效率。(4) 促进可再生能源发展:抽水蓄能机组可以配合可再生能源(如风能、太阳能)的开发利用,解决其波动性和不连续性问题,促进可再生能源的广泛应用。(5) 推动科技进步:抽水蓄能机组的设计、制造、安装、运行等环节涉及众多高科技领域,其安全稳定运行能够推动相关领域的科技进步^[1]。

二、抽水蓄能机组安全稳定运行的基本要求

(1) 设备可靠性:抽水蓄能机组的关键设备,如涡轮、发电机、变压器等,必须具备高可靠性和长寿命。这些设备应经过严格的设计、制造和测试,以确保其在长时间运行中不会发生故障或损坏。(2) 水电站结构稳定:抽水蓄能机组建设的水电站必须具备良好的结构稳定性,能够承受各种自然灾害和外力载荷的冲击。水电站的建设应符合相关的工程标准和规范,并进

行充分的地质勘探和工程设计,以确保其在任何情况下都能安全稳定地运行。(3) 监测与维护系统:抽水蓄能机组需要配备有效的监测与维护系统,用于实时监测设备运行状态和性能参数。通过监测系统可以及时发现故障和异常情况,并采取相应的维修措施,以保证机组的安全运行。(4) 安全管理和操作规程:抽水蓄能机组的安全运行离不开有效的安全管理和操作规程。相关的安全管理制度和操作规程应得到严格执行,并进行定期的培训和演练,以提高工作人员的安全意识和应急处置能力^[2]。(5) 环境保护与生态平衡:抽水蓄能机组的建设和运行需要充分考虑环境保护和生态平衡。在建设过程中,应尽量减少土地占用和生态破坏;在运行中,要控制水流调节对下游生态环境的影响,并统筹考虑水资源的合理利用。

三、影响安全稳定运行的主要因素

1. 设备制造和安装质量

设备制造和安装质量是影响抽水蓄能机组安全稳定运行的重要因素。优质的设备制造和正确的安装可以确保机组在运行过程中的可靠性和稳定性。制造过程中需要选择高品质的材料,采用先进的制造工艺,并严格控制生产过程,以确保设备结构牢固、功能完好。在设备安装阶段,需要按照相关标准和规范进行操作,确保设备安装稳固、连接紧密。同时,对于涉及机械部件的安装,还需要进行正确的校正和调试,以保证设备能够正常运行^[3]。

2. 设备维护和检修

设备的维护和检修是保证抽水蓄能机组安全稳定运行的关键环节。定期的维护和检修可以及时发现和处理设备的故障和问题,避免故障的扩大和损害机组的安全性。维护工作包括设备的清洁、润滑、紧固等,以保持设备的正常运行状态。检修工作则包括更换磨损部件、

修复损坏部件等，以延长设备的使用寿命。为了确保设备维护和检修的质量，需要制定科学合理的维护计划，并配备专业的维护人员。同时，还需要建立完善的维护记录和数据库，用于跟踪设备的维护情况和历史数据，以便进行故障分析和预防措施的制定。

3. 电站自动化水平

电站的自动化水平对抽水蓄能机组的安全稳定运行具有重要影响。自动化系统可以实现对机组的监测、控制和调度，提高运行的效率和可靠性。通过自动化系统，可以实时监测机组的各项参数，及时发现异常情况并采取相应的措施。自动化系统还可以实现机组运行参数的精确调整和优化，以提高机组的运行效率。

此外，自动化系统还能够实现对机组的远程控制和监视，使管理人员能够及时了解机组的运行状态，从而做出相应的决策和调度^[4]。

4. 运行环境条件

抽水蓄能机组的运行环境条件是影响机组安全稳定运行的另一个重要因素。水文条件、地质条件、气候条件等环境因素都会对机组的性能和可靠性产生影响。

在设计和建设阶段，需要充分考虑实际运行环境的特点，并采取相应的技术措施来适应环境需求。例如，在水文条件复杂的地区，需要进行合理的水资源调度和管理；在地质条件复杂的地区，需要加强地质勘察和支护工程。同时，还需要根据不同的气候条件，采取相应的防护和维护措施，确保机组在恶劣的气候条件下依然能够安全稳定地运行。

5. 管理水平和人员素质

电站的管理水平和人员素质对于抽水蓄能机组的安全稳定运行起着至关重要的作用。科学合理的管理制度和规范的操作流程可以提高机组的管理效率和安全性。良好的管理水平包括完善的运行管理制度、健全的安全生产管理体系以及科学的风险评估和应急预案。通过规范的管理，可以有效地预防事故的发生，加强对设备运行和维护的监督和管理。此外，培养和选拔具备专业知识和技能的人员也是确保抽水蓄能机组安全稳定运行的关键。员工应接受相关培训，熟悉设备的操作和维护方法，并具备快速应对突发情况的能力。

四、抽水蓄能机组的控制技术

1. 速度控制技术

速度控制技术是抽水蓄能机组中最基本的控制方法之一。通过调整机组的转速来控制输出功率和水泵的供

水流量。当电网需求增加时，控制系统将增加机组的转速，使水泵提供更大的流量；当电网需求降低时，控制系统则降低机组的转速，减少供水流量。这种控制方法可以快速响应电网负荷变化，保持机组和电网的平衡。

2. 压力控制技术

压力控制技术主要用于调整抽水蓄能机组的出水压力。通过监测水库或水池的水位和出水管道的压力，控制系统可以自动调整机组的供水流量，以维持恒定的出水压力。这种控制方法对于实现电网频率和电压稳定非常重要，能够有效防止电网负载波动引起的电力不稳定^[5]。

3. 调速控制技术

调速控制技术是一种更精确的控制方法，通过调整水轮机的叶片角度来实现对机组输出功率的控制。当电网需求增加时，控制系统可以增大叶片角度，提高水轮机的输出功率；当电网需求降低时，控制系统则减小叶片角度，降低输出功率。这种控制方法可以使机组在不同负荷下保持高效运行，同时还可以实现快速响应和平稳调节。

4. 频率响应控制技术

频率响应控制技术是抽水蓄能机组在电网频率发生突变时的一种控制策略。当电网频率降低时，控制系统可以立即启动机组，并将其连接到电网上，向电网注入额外的功率，以提高电网频率；当电网频率升高时，控制系统则停止机组的运行，避免过量注入电网。这种控制方法可以有效维持电网频率稳定，提高电网的可靠性和稳定性。

5. 储能与放能协调控制技术

储能与放能协调控制技术是针对抽水蓄能机组在储能和放能过程中的协调控制。通过分析电网负荷预测、水库水位和电力市场情况等因素，并结合机组运行特性，控制系统可以优化协调机组的储能和放能策略，以实现最大化的经济效益和能源利用效率。

五、抽水蓄能机组安全稳定运行的保障措施

1. 加强设备日常维护和保养

(1) 定期进行设备巡检和检修：制定科学合理的维护计划，包括定期对设备进行巡检、检修和维护。通过及时发现和处理设备的故障和问题，可以避免故障扩大并减少机组的停运时间。(2) 清洁和润滑设备：定期清洗设备表面、清理积灰和沉淀物，以保持设备的清洁和正常运行。同时，定期对设备的润滑部位进行润滑维护，以减少摩擦和磨损，延长设备的使用寿命。

(3) 检查和更换磨损部件: 定期检查设备的磨损部件, 如密封件、轴承等, 及时发现并更换磨损严重的部件, 以确保设备的正常运行和安全性。(4) 定期进行性能测试: 定期进行抽水蓄能机组的性能测试, 包括转速、功率输出等方面的检测。通过对机组性能的监测和评估, 可以及时发现设备的异常情况, 并采取相应的措施进行修复和调整。

2. 建立完善的应急预案

(1) 风险评估和演练: 进行全面的风险评估, 识别潜在的风险和可能发生的事件, 制定相应的应急预案。定期组织演练, 以检验应急响应程序的有效性和人员的应急反应能力。(2) 紧急联系信息: 建立一个紧急联系信息清单, 包括关键人员、相关部门、供应商和合作伙伴的联系方式。确保在发生紧急情况时可以及时与相关方进行沟通和协调。(3) 安全检查和监测系统: 建立健全的安全检查和监测系统, 监测设备的运行状态和环境条件。及时发现并处理异常情况, 防止事故的发生和进一步扩大。(4) 应急设备和备件储备: 建立足够的应急设备和备件储备, 包括电源、工具、备用部件等。确保在紧急情况下可以迅速采取措施修复设备, 恢复运行。(5) 协调与合作: 与相关部门、机构和组织建立良好的协调与合作关系。在紧急情况下, 能够迅速调动资源和支援, 共同应对突发事件。

3. 提高电站自动化水平

(1) 自动化监测与控制系统: 引入先进的自动化监测与控制系统, 对抽水蓄能机组进行实时监测和控制。通过传感器和数据采集设备, 实时获取机组运行状态、温度、压力等参数, 并利用控制算法进行自动调节和优化, 以确保机组在安全范围内稳定运行。(2) 远程监控与运维管理: 建立远程监控与运维管理系统, 实现对抽水蓄能机组的远程监控和运维管理。运维人员可以通过远程终端接收机组运行数据、报警信息和故障诊断结果, 及时采取必要的措施, 远程调整参数, 减少人员上岗和干预操作, 提高运维效率和机组的可靠性。

(3) 智能诊断与预测分析: 应用人工智能和大数据技术, 开发智能诊断与预测分析模型。通过对历史数据进行分析 and 建模, 实现对机组故障风险、性能变化和维护需求的预测, 提前采取相应的措施, 避免突发故障和减少停机时间。(4) 自动化报警与故障处理: 建立自动化报警与故障处理系统, 通过设定合理的报警阈值和规则, 实现对机组异常情况的自动检测和报警。一旦发生

故障或异常, 系统会自动触发相应的故障处理流程, 并向相关人员发送报警信息, 以便及时采取应急措施, 确保机组安全稳定运行^[6]。

4. 提升人员培训和技能

(1) 培训课程和计划: 制定全面的培训课程和计划, 包括操作技能、安全意识、紧急处理和维护知识等方面。培训内容应涵盖抽水蓄能机组的工作原理、操作流程、安全规范和应急预案等, 以提高员工对机组的认知和理解。(2) 培训方法和工具: 采用多种培训方法和工具, 如实地演练、模拟仿真、虚拟现实等, 以提供更真实和实践的培训体验。(3) 专业资质认证: 鼓励和支持员工参加相关的专业资质认证考试。通过参与认证考试, 可以进一步提升员工的专业水平和技能, 确保其具备操作机组和处理紧急情况的能力。(4) 培训评估与反馈: 定期进行培训评估和反馈, 以检验培训效果并及时调整培训计划。通过考试、实操等方式对员工的培训成果进行评估, 同时收集员工的意见和建议, 不断改进培训内容和方法, 提高培训的针对性和有效性。

结束语

总的来说, 抽水蓄能机组的安全稳定运行对整个电力系统的稳定性具有重要影响。为了确保机组的良好运行, 需要从多个维度进行控制和管理, 包括设备制造和安装、设备维护和检修、电站自动化水平的提升、运行环境条件的改善以及管理水平和人员素质的提升。此外, 未来的研究还应继续关注新技术在抽水蓄能机组中的应用以及智能化、自动化的监控和管理系统的研发。

参考文献

- [1] 胡匡清. 可变速抽水蓄能机组频率调节动态特性分析[D]. 西北农林科技大学, 2022.
- [2] 张飞, 潘伟峰, 江献玉, 孙尔军. 基于反时限方法的抽水蓄能机组振动保护模型[J]. 机械工程学报, 2020, 56(18): 188-196.
- [3] 顾娟. 抽水蓄能机组振动信号降噪与趋势预测方法研究[D]. 华中科技大学, 2020.
- [4] 侯进蛟. 抽水蓄能机组开机策略多目标优化与广义预测控制研究[D]. 华中科技大学, 2020.
- [5] 冯陈. 抽水蓄能机组系统辨识与复杂工况下控制规律研究[D]. 华中科技大学, 2020.
- [6] 郭佳伟, 孙海明, 刘军威, 张起. 抽水蓄能机组抽水调相工况转抽水工况流程优化[J]. 内蒙古电力技术, 2019, 37(06): 73-75.