水电站水轮机发电机运行与维护分析

杨晶晶

(安徽省蚌埠闸工程管理处, 安徽 蚌埠 233000)

摘要 本文首先介绍了水电站水轮机发电机的基本概念、工作原理及其在我国能源领域的地位。其次, 详细探讨了水轮机发电机的运行过程, 包括运行参数、性能指标及其影响因素。再次, 分析了水电站水轮机发电机的维护策略, 提出了预防性维护和故障诊断方法。在此基础上, 对运行与维护进行了优化研究, 旨在提高设备运行效率和降低维护成本。最后, 总结了全文研究成果, 并对未来水电站水轮机发电机运行与维护的发展趋势进行了展望。

关键词 水电站; 水轮机发电机; 工作原理; 结构组成; 性能参数

中图分类号: TV7

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)06-0043-03

全球能源需求的不断增长和人们对环境保护的日益重视, 使得清洁能源的开发和利用成为世界范围内的热点话题。水力发电作为一种传统的清洁能源形式, 具有可再生、无污染、运行成本低等优点, 在我国能源结构中占据着重要地位。水电站的核心设备——水轮机发电机, 其运行效率和维护状况直接关系到整个电站的性能和经济效益。然而, 在实际运行过程中, 水轮机发电机面临着诸多挑战, 如设备老化、故障频发、维护成本高等问题。因此, 对水电站水轮机发电机的运行与维护进行深入分析和研究, 提出有效的优化措施, 对于提高水电站运行效率和降低维护成本具有重要意义。本文探讨水电站水轮机发电机的运行与维护问题, 旨在为我国水电站的稳定运行和可持续发展提供理论支持。

1 水电站水轮机发电机概述

1.1 水轮机发电机的工作原理

水轮机发电机是一种将水流的动能有效转化为电能的装置, 它的工作原理深刻地体现了电磁感应定律。首先, 水轮机的设计使其能够捕捉流经的水流动能并转化为机械能, 这是通过水流冲击水轮机叶片, 推动其旋转实现的。随着水轮机的转动, 通过与之直接相连的传动轴, 旋转力被传递给发电机的转子。转子是发电机的关键部件, 其中安装有导体线圈。当转子在定子内部旋转时, 其线圈会在定子的永久磁铁或电磁铁产生的磁场中切割磁力线, 根据法拉第电磁感应定律, 这个运动导致在线圈中感应出电动势, 进而产生电流。在这个过程中, 机械能被转换成电能, 这是水轮机发电机工作的核心。由于转子的旋转是连续的, 因此产生的电动势是交变的, 所以最终输出的电能是交流电。

1.2 水轮机发电机的类型及特点

根据水轮机与发电机的相对位置和轴承类型, 水

轮机发电机主要分为竖轴式和横轴式两种类型。(1) 竖轴式水轮发电机: 竖轴式水轮发电机的发电机部分位于水轮机上方, 轴承为直立式。这种类型的水轮发电机适用于水头较高、流量较大的环境, 具有输出功率率高的特点。竖轴式水轮发电机通常安装在纵深形式的厂房内。(2) 横轴式水轮发电机: 横轴式水轮发电机的发电机部分位于水轮机侧面, 轴承为水平式。这种类型的水轮发电机适用于水头较低、流量较小的环境, 结构紧凑, 占地面积小。

1.3 水轮机发电机的结构组成

水轮机发电机主要由水轮机、发电机、传动轴、轴承、冷却系统等部分组成。(1) 水轮机: 水轮机是将水流的动能转化为旋转力的装置, 根据其工作原理和结构特点, 可分为法兰西斯式、佩尔顿式、卡布兰式等类型。(2) 发电机: 发电机是水轮发电机组的核心部分, 通常采用回转磁场三相交流同步发电机。发电机主要由定子、转子、冷却系统等组成^[1]。

1.4 水轮机发电机性能参数

水轮机发电机的性能参数主要包括额定功率、额定转速、额定电压、功率因数、效率等(见表 1)。以下是一个水轮机发电机性能参数的数据表格。

表 1 水轮机发电机性能参数表

性能参数	单位	数值
额定功率	MW	700
额定转速	r/min	750
额定电压	kV	13.8
功率因数	-	0.9
效率	%	98

1.5 水轮机发电机在我国的应用

我国水力资源丰富，水电站水轮机发电机在电力系统中占有重要地位。如世界上最大的水力发电站——三峡水电站，采用34台混流式水轮机组，总装机容量达到22 500 MW。此外，我国还在不断规划和建设新的水电站，以提高清洁能源的比重。

2 水电站水轮机发电机运行分析

2.1 运行状态参数监测

水电站水轮机发电机的运行状态直接影响着电站的安全、稳定和经济效益。对运行状态参数的实时监测是确保水轮机发电机正常运行的关键。(1)监测参数：水轮机发电机的监测参数主要包括：转速、电压、电流、功率因数、温度、振动、压力等。通过对这些参数的监测，可以实时掌握水轮机发电机的运行状态。(2)监测方法：监测方法包括现场仪表显示、远程监控系统、故障诊断系统等。现代水电站普遍采用自动化、智能化的监测系统，实现对水轮机发电机运行状态的实时监控。

2.2 运行性能分析扩展

水轮机发电机作为水力发电站的核心设备，其运行性能的优劣直接关系到发电效率和电站的经济效益。出力分析是评估水轮机发电机性能的重要手段，它涉及水头、流量、转速等多个参数的综合考量。例如，水头的大小会影响发电机的潜在能量，流量的变化会直接影响发电量，而转速的调整则关系到发电机的输出功率。通过对这些参数的精确控制和优化，可以最大化水轮机的发电出力。效率分析则更侧重于水轮机发电机组整体的运行效率，包括其能量转换和传递的效率。高效率的水轮机发电机组不仅能够减少能源损耗，还能降低运维成本，从而提升整个电站的经济性。因此，对水轮机和发电机的设计制造质量、运行状态以及维护策略的综合分析对于确保高效率运行至关重要。调节性能分析关注的是水轮机发电机对负荷波动的响应能力。电网负荷的波动是不可避免的，而水轮机发电机组需要能够迅速而平稳地调整输出，以保证电网的稳定性。良好的调节性能能够有效减少因负荷波动带来的机械冲击和磨损，延长设备的使用寿命^[2]。

2.3 故障诊断与分析扩展

水轮机发电机在长期运行过程中难免会出现各种故障，这些故障如果不能及时诊断和处理，可能会导致发电机组的停机，甚至引发安全事故。因此，建立一套高效的故障诊断和分析体系对于电站的稳定运行是至关重要的。故障类型的细分有助于更准确地定位问题所在。机械故障通常涉及水轮机发电机组的机械

部件磨损和损坏，这可能是由于长时间运行、维护不当或材料缺陷引起的。电气故障则可能涉及电气系统的老化、短路或其他电气元件的问题，这类故障往往需要专业的电气检测设备来诊断。水力故障则与水轮机的水动力性能有关，可能是由于水流条件的变化或水轮机结构问题导致的。故障诊断方法的多样化可以提高故障检测的准确性和效率。振动分析可以通过检测设备的振动特征来发现潜在的机械问题。温度检测可以发现因摩擦过热或冷却系统故障导致的问题。电气特性测试则可以用来检测发电机的绝缘性能和电气连接状况。油液分析则可以通过分析润滑油的化学成分来预测和诊断机械故障。

2.4 运行优化策略

水电站的运行优化是一个复杂而重要的过程，它涉及水轮机和发电机的效率提升，以及整体运营管理策略的改进。(1)在水轮机运行优化方面，关键措施包括调整导叶开度以获得最佳水流状态，优化水轮机转速以减少振动和提高效率，以及改进水轮机叶片设计以适应不同的水流条件和提高能量转换效率。(2)对于发电机运行优化，重点在于调整励磁电流以保持电压稳定，提高绝缘性能以减少故障率，以及降低内部损耗以提升整体发电效率。(3)在整体运行优化层面，水电站需要考虑水库调度策略，以最大化水资源的利用效率，机组组合和负荷分配的优化，以确保在不同的市场需求和水资源条件下，电站能够以最高效的方式运行。这些优化策略的结合运用，不仅能够提升水电站的运行效率，降低维护和运营成本，还能增强电网的稳定性和可靠性。通过智能监测与诊断、预测性维护、运行参数优化、能源管理和环境适应性的技术应用，以及数据分析决策支持，水电站能够实现更加智能化和自动化的管理，从而在确保电力供应的同时，实现可持续发展^[3]。

3 水电站水轮机发电机维护策略

3.1 水电站水轮机发电机维护的基本原则

(1)预防为主：这是维护工作的首要原则。通过实施定期检查、保养和维修，可以提前发现并解决潜在的故障隐患，从而避免设备突发性故障，确保水轮机和发电机的稳定运行。(2)及时性：一旦发现设备出现异常或性能下降的迹象，应立即采取维护措施。及时性维护可以防止小问题逐渐恶化，避免造成更严重的故障和更大的经济损失。(3)规范性：维护工作必须遵循设备制造商的指导和行业规范，确保维护过程的标准化和科学化。这有助于提高维护质量，减少

因操作不当导致的设备损伤。(4)经济性:在保证设备正常运行和不影响设备性能的前提下,应合理规划和控制维护成本。这包括选择性价比高的维护材料和备件,以及采用高效的维护方法,以实现维护成本的最优化^[4]。

3.2 维护内容

水轮机发电机的维护内容主要包括以下几个方面:

1. 日常维护。日常维护主要包括:(1)清洁:保持设备表面清洁,防止灰尘和杂物进入设备内部。(2)润滑:定期加注润滑油,保证运动部件的润滑。(3)紧固:检查并紧固设备的螺栓、螺母等连接部件。(4)检查:对设备的关键部件进行外观检查,发现异常及时处理。

2. 定期维护。定期维护是根据设备运行时间或运行周期进行的维护工作(见表2)。

表2 水轮机发电机定期维护周期表

维护项目	周期	备注
主轴轴承润滑	1年/次	根据实际情况调整润滑周期
机组解体检修	3~5年/次	根据设备运行状况调整
定子绕组检查	5年/次	检查绝缘状态和紧固情况
转子回路检查	5年/次	检查绝缘状态和接触情况
水轮机叶片检查	1年/次	检查叶片磨损和损坏情况
冷却系统检查	1年/次	检查冷却效果和漏水情况

3.3 维护方法

维护方法包括:(1)视觉检查:通过目视观察设备外观,发现异常情况。(2)仪器检测:使用专业仪器对设备的性能参数进行检测,如振动、温度、绝缘等。(3)故障诊断:通过故障诊断系统对设备进行实时监测,发现并分析故障原因。(4)润滑保养:定期对设备的运动部件进行润滑,减少磨损,延长设备寿命。

3.4 维护管理

维护管理是保证维护工作顺利进行的关键环节。

(1)维护计划:制定详细的维护计划,包括维护内容、周期、责任人等。(2)维护记录:记录维护的时间、内容、发现的问题及处理措施,为设备管理提供依据。

(3)维护人员培训:定期对维护人员进行培训,提高维护技能和责任心。(4)备品备件管理:合理储备备

品备件,确保设备故障能及时更换^[5]。

4 水电站水轮机发电机运行与维护优化

水电站水轮机发电机运行与维护优化是提升水电站发电效率与稳定性的关键措施。在运行方面,优化策略主要着眼于提高水轮机的运行效率和响应速度,确保其在各种工况下都能稳定、高效地发电。这包括优化水轮机的调节系统,使其能够根据实时水情和电力需求进行快速调整,以及优化发电机的励磁系统,提高其电压和频率的稳定性。在维护方面,优化策略则侧重于预防性和状态检修的结合。通过定期检查和状态监测,及时发现水轮机和发电机的潜在问题,避免故障的发生。同时,采用先进的故障诊断技术,对已经出现的问题进行准确定位和快速修复,减少停机时间和维修成本。此外,水电站水轮机发电机运行与维护优化还需要注重人员培训和技术更新。通过培训提高运行和维护人员的技能水平,使其能够更好地应对各种复杂情况。同时,关注新技术、新设备的发展动态,及时引进和应用,提升水电站的技术水平和运行效率。

5 结束语

在对水电站水轮机发电机的运行与维护进行深入分析后,我们认识到其稳定运行对于水电站乃至整个电力系统的重要性。为确保水轮机的持续高效发电,必须实施科学、规范的维护策略,及时发现并解决潜在问题。同时,加强运行监控,预防突发故障,保障水电站安全稳定运行。未来,随着技术的不断创新与发展,我们应积极探索更加智能化、自动化的运行维护模式,提高水电站水轮机发电机的管理效率和发电效益,为电力系统的可靠供电做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 张华,李明,王刚.水电站水轮机发电机运行维护技术研究[J].水电能源科学,2018,36(02):45-48.
- [2] 刘强,陈晓东,赵立伟.水轮机发电机运行优化策略及其应用[J].中国农村水利水电,2019(07):60-63.
- [3] 孙建华,郭宇,王瑞.水电站水轮机发电机维护策略探讨[J].电力设备,2017(12):102-105.
- [4] 赵志宇,杨华,张磊.基于大数据的水轮机发电机故障诊断与维护优化[J].电力系统自动化,2016,40(15):85-89.
- [5] 李晓东,王振宇,张强.水电站人员培训与运行维护优化研究[J].电力科学与工程,2015,30(06):120-123.