

水电厂水轮机检修策略及能量问题探讨

刘文泉

甘肃电投河西水电开发有限公司 甘肃 张掖 734000

摘要：水轮机作为水电厂的核心设备，其运行状态直接决定着水电厂的发电效率与经济效益。本文围绕水电厂水轮机展开研究。先阐述水轮机在水电厂的重要性，接着深入探讨检修策略，包括定期、状态、故障及主动检修。同时，详细分析能量问题，如能量损失、能量回收和能效监测。最后提出解决措施，从优化设计、加强运行管理、应用先进技术等方面，为提升水轮机性能与能效提供参考。

关键词：水电厂；水轮机检修策略；能量问题探讨

引言

水电作为清洁可再生能源，在能源结构中占据重要地位。水轮机作为水电厂的核心设备，其运行状况直接影响水电厂的发电效率与经济效益。科学合理的检修策略是保障水轮机稳定运行的关键，而对能量问题的深入研究则有助于提高水轮机的能量转换效率。本文旨在探讨水电厂水轮机的检修策略，并分析其能量问题，提出针对性解决措施，以促进水电厂的高效、稳定运行。

1 水轮机在水电厂中的重要性

水轮机是水电厂的核心设备，对水电厂的稳定运行和高效发电起着不可替代的重要作用。从发电原理来看，水轮机是将水能转化为机械能的关键装置，它通过水流的冲击驱动转轮旋转，进而带动发电机发电，其能量转换效率直接决定了水电厂的发电能力。若把水电厂比作一个人，水轮机就如同心脏，源源不断地为整个系统提供动力。在保障水电厂运行稳定性方面，水轮机的稳定运行是基础。一旦水轮机出现故障，如叶片损坏、轴承磨损等，不仅会导致停机，影响电力供应，还可能引发一系列连锁反应，威胁整个水电厂的设备安全。而且，水轮机的性能优劣还与水电厂的经济效益紧密相连。高效运行的水轮机能够提高水能利用率，降低发电成本，增加发电收益。相反，频繁故障、效率低下的水轮机将增加维修成本，减少发电量，损害水电厂的经济效益。因此，水轮机在水电厂的运行和发展中，占据着举足轻重的地位，是水电厂实现可持续发展的核心要素之一^[1]。

2 水电厂水轮机检修策略

2.1 定期检修

定期检修是按照预先设定的时间间隔，对水轮机进行全面检查、维护和修理的策略。通常依据设备的运行时长、累计发电量等参数，制定详细的检修计划。比

如，每隔一定时间，对水轮机的关键部件，像转轮、导水机构等进行拆解检查，更换易损部件，并对设备进行清洁、润滑等操作。这种检修方式计划性强，能有效预防因长期运行而积累的潜在故障，保障设备稳定运行。然而，其缺点也很明显，可能在设备状态良好时进行不必要的检修，造成人力、物力和时间的浪费，而且频繁检修还可能给设备带来额外损伤。

2.2 状态检修

状态检修是基于水轮机实时运行状态监测数据开展的检修策略。通过在水轮机上安装各类传感器，实时采集振动、温度、压力等参数，运用数据分析技术判断设备运行状态。一旦监测数据超出正常范围，意味着设备可能存在故障隐患，就及时安排检修。技术原理上，状态检修借助大数据分析、机器学习算法等，深度挖掘海量运行数据，不仅能识别当前故障隐患，还能预测潜在故障风险。在实际应用中，某大型水电厂采用状态检修策略后，设备非计划停机次数明显减少，发电效率大幅提升。从未来趋势看，随着物联网、人工智能技术发展，状态检修将向智能化、自动化迈进，实现更精准的故障诊断与检修决策。此策略优势是针对性强，能准确把握设备故障时机，避免过度检修，降低成本。但它对监测技术和数据分析能力要求高，前期需投入大量资金用于监测设备的安装和维护，若监测系统故障或数据不准确，可能导致误判。

2.3 故障检修

故障检修是在水轮机出现明显故障后开展的维修活动。一旦水轮机出现异常声响、振动加剧、发电量骤减等故障现象，维修人员便依据故障表现进行排查与修复。这种检修方式较为简单直接，无需提前开展复杂的监测和判断。然而，它存在显著弊端。故障发生时，往往会致使水轮机停机，进而影响电力供应，造成经济损

失。而且,故障或许已对设备造成严重损坏,不仅维修成本较高,维修时间长,甚至可能威胁整个水电厂的运行安全。

2.4 主动检修

主动检修是一种具有前瞻性的检修策略。它综合运用设备的运行历史数据、性能退化模型以及大数据分析等技术,对水轮机未来可能出现的故障进行预测,进而提前制定检修计划。通过深入剖析设备的运行规律和潜在故障模式,在故障发生前主动采取行动,比如更换即将失效的部件。主动检修能最大程度降低设备故障带来的损失,提升设备的可靠性和可用性。但这种检修策略实施难度较大,不仅需要对设备有透彻的了解和丰富的数据积累,而且对预测模型的准确性要求极高,否则可能因提前检修造成资源浪费,或者因检修不及时而引发故障^[2]。

3 水电厂水轮机能量问题分析

3.1 能量损失

3.1.1 机械损失

机械损失主要源于水轮机运转时部件间的相互作用。在水轮机高速旋转时,轴承不仅要承受轴系的重量,还要应对因水流冲击产生的不平衡负荷。即便润滑状况良好,长期的摩擦仍会导致能量以热能形式散失。水轮机的密封结构,例如迷宫密封、空气围带密封等,其目的是防止介质泄漏。然而,紧密贴合的密封面与旋转部件之间的摩擦,会使部分机械能无谓损耗,降低了水轮机的机械传动效率。

3.1.2 水力损失

水力损失贯穿水流在水轮机过流通道的全过程。当水流进入蜗壳,由于蜗壳断面面积沿圆周方向变化,流速分布不均匀,会引发二次流和漩涡,消耗大量能量。在导叶区域,水流的绕流作用致使叶片表面压力分布不均,产生压差阻力损失。与此同时,水流在转轮内部的流动极为复杂,存在脱流、尾迹等现象,这些情况都极大地削弱了水能向机械能的有效转化,降低了水轮机的能量转换效率。

3.1.3 其他损失

其他损失包含多个方面。水轮机内部存在的间隙,像转轮与顶盖、底环之间的间隙,必然会产生泄漏,致使部分水流未经充分做功就旁流而过,从而造成能量损失。除此之外,当水中含有泥沙、漂浮物等杂质时,在高速水流的裹挟下,这些杂质会对过流部件产生冲蚀磨损,改变部件表面粗糙度以及流道形状,进一步加剧能量损耗。情况严重时,还会影响水轮机的稳定性和使用

寿命,降低水轮机的整体性能。

3.2 能量回收

3.2.1 可回收能量形式

水轮机运行过程中,存在多种可回收的能量形式。首先是水能,在水轮机的尾水部分,水流仍具有一定的动能和势能,若能回收利用这部分能量,可提高水电厂的整体发电效率。比如,对于低水头径流式水电厂,尾水的动能相对较大,回收潜力不容小觑。其次是机械能,水轮机旋转时,其转动部件储存着一定机械能,在设备启停或工况调整阶段,借助特定装置可将这部分机械能转化为电能或其他便于储存和利用的能量形式。此外,水轮机运行时因机械摩擦、水流冲击等产生的热能,虽分散且温度不高,但在对能源利用效率要求较高的场景下,通过高效热回收技术,也能将部分热能转化为可用能量。

3.2.2 回收技术与方法

回收水轮机能量的技术和方法丰富多样。在尾水能量回收上,常使用尾水能量回收装置,例如尾水涡轮,它安装于尾水管道,借助尾水的剩余能量推动涡轮旋转,从而带动发电机发电。对于机械能回收,可运用飞轮储能技术,在水轮机工况稳定时,把多余机械能存储在高速旋转的飞轮内,当系统需要能量时,再释放飞轮储存的能量。至于热能回收,能够利用热管技术,将水轮机部件产生的热量传至热交换器,加热其他工质以产生蒸汽,驱动汽轮机发电,或者用于厂区供暖等。

3.3 能效监测

3.3.1 监测指标与方法

水轮机能效监测指标丰富多元,这些指标能直观反映水轮机的运行状态和能量转换效率。功率指标是核心要素,通过测量水轮机的输出功率和输入水能功率,计算出能量转换效率,清晰展现其工作效能。流量监测同样关键,精准掌握水流过水轮机的流量,再结合水头数据,便能深入分析水能的利用状况。振动与温度也是重点监测对象,异常振动可能预示机械故障,进而导致能量损耗加剧;而温度过高则表明部件摩擦异常或冷却系统故障,这些都会对水轮机的能效产生负面影响。

3.3.2 数据应用与管理

监测数据的有效运用与管理,对提高水轮机能效有着至关重要的意义。深入剖析历史数据,能够挖掘出设备的运行规律,提前预测潜在故障,并据此安排检修工作,从而有效避免因故障引发的能效降低。例如,根据振动数据的变化趋势,便能判断出轴承的磨损状况,及时更换部件,保障设备稳定且高效地运行。在数据管理

层面,构建完备的数据库,对各类监测数据进行分类储存,以此确保数据完整、可追溯,为后续的数据分析和设备维护筑牢根基。

4 解决水轮机能量问题的措施

4.1 优化水轮机设计

4.1.1 改进过流部件设计

过流部件是水轮机能量转换的关键部位,改进其设计对提升能量效率至关重要。在蜗壳设计方面,运用先进的水力计算软件进行模拟优化,让蜗壳的断面形状和尺寸更契合水流运动规律,有效减少水流进入时的撞击与漩涡,降低水力损失。就导叶而言,通过优化叶片型线,能更精准地引导水流,增强水流对转轮的作用力,从而提高水能利用效率。转轮作为核心部件,可采用新型翼型设计,优化叶片表面的压力分布,减少脱流和尾迹现象,进一步增强转轮对水能的捕获和转换能力。

4.1.2 提高密封性能

良好的密封性能对有效减少能量泄漏、提升水轮机能量利用效率至关重要。在水轮机轴封处,采用新型密封材料与结构,例如使用高性能石墨复合密封材料,并结合先进的密封结构设计,以此增强密封的可靠性与稳定性,降低因轴封泄漏造成的能量损失。针对水轮机内部的间隙密封,通过严格把控制造工艺和安装精度,缩小间隙尺寸,减少泄漏量。同时,配备智能密封监测系统,实时监控密封状态,一旦察觉密封性能降低,即刻进行调整或更换,保障水轮机始终维持良好的密封状态,让水流在过流通道中充分做功,避免能量无端损耗。

4.2 加强运行管理

4.2.1 优化运行方式

优化运行方式对于显著提升水轮机能量利用效率效果显著。首先,参考水电厂的实际负荷需求,再结合水轮机的特性曲线,科学合理地调整水轮机的运行台数与单机负荷。在负荷较低的情况下,可以暂停部分水轮机的运行,使正在运行的水轮机维持在高效工作区域,防止因低负荷运行而造成效率下降。其次,精确把控水轮机的导叶开度和转速,依据实时的水头和流量变化,借助自动化控制系统,实现导叶开度和转速的最佳匹配,保证水轮机在各种工况下都能高效运转。

4.2.2 加强设备维护

定期且高质量的设备维护是确保水轮机稳定高效运行的关键。在日常维护工作中,需强化对水轮机各部件的巡检,运用听声音、摸温度、看外观等方法,及时察觉设备的异常状况,像异常振动、温度过高、声音异常等问题。还要定期对水轮机展开全面检查,其中包括拆

解关键部件,进行清洗、检测与修复。比如,定期查看转轮叶片的磨损程度,一旦发现磨损严重的叶片,及时修复或更换,以此保证叶片的表面光滑度和形状精度,进而减少水力损失,维持水轮机的良好运行状态。

4.3 应用先进技术

4.3.1 智能监测与诊断技术

智能监测与诊断技术是确保水轮机高效运行的得力助手。在水轮机的关键部位安装各类传感器,包括振动传感器、温度传感器、压力传感器等,实时收集设备运行数据。借助物联网技术,这些数据被传输到数据分析平台,运用大数据分析、人工智能算法等先进技术进行深度剖析。例如,运用机器学习算法分析振动数据,构建设备正常运行模型,一旦实际数据与模型出现偏差,就能迅速且精准地诊断出潜在故障,如轴承磨损、叶片裂纹等问题。与传统监测方式相比,该技术可实现 24 小时不间断监测,提前察觉隐患,有效防止突发故障引发的停机损失,保障水轮机稳定运行,提升能量转换效率。

4.3.2 能量管理系统

能量管理系统整合了水轮机运行的各类数据,实现对水轮机能量的精细化管控。它能够实时采集水轮机的功率、流量、水头、效率等关键参数,运用优化算法,依据电网负荷需求以及水情变化,为水轮机制定出最优运行方案。此外,该系统还能实时分析水轮机的能量损耗,精准定位能量损失较大的环节,并给出具有针对性的改进建议,从而有效提升水轮机的能量利用效率,保障水轮机在不同工况下都能高效稳定运行^[3]。

结束语

综上所述,水轮机作为水电厂核心设备,其稳定运行与能量高效利用至关重要。合理运用定期、状态、故障及主动检修策略,能有效保障水轮机性能。深入剖析能量损失、回收与能效监测问题,结合优化设计、运行管理以及先进技术应用等措施,可显著提升水轮机能量转换效率。随着技术不断进步,持续探索和创新检修策略与能量优化方法,将助力水电厂朝着高效、绿色、可持续方向迈进,在清洁能源领域发挥更大作用。

参考文献

- [1]陈顺永.水轮发电机组状态监测与故障诊断方法[J].甘肃科技,2023(22). 27-28
- [2]赵清江,王义安,于广年.改善依兰通航水流条件方案试验研究[J].东北水利水电,2023(10). 66-68
- [3]王文忠.丰海水电站水轮机运行振动及异常噪声原因分析与处理[J].华电技术,2023(7).79-84