水利水电工程水轮机选型优化及效率提升研究

吴明华

江西格物建筑工程有限公司，江西 赣州 341000

摘要：本文围绕水利水电工程水轮机选型优化与效率提升展开研究。深入剖析当前水轮机选型过程中存在的不足及效率提升面临的困境，从选型原则、方法优化以及影响效率的关键因素等方面展开探讨。提出基于工程实际需求与先进技术的选型优化策略，以及通过技术创新、运行管理改进等手段提升水轮机效率的路径，旨在为水利水电工程中水轮机的科学选型与高效运行提供理论支持与实践指导，促进水能资源的充分利用与水利水电工程的可持续发展。

关键词：水利水电工程；水轮机选型优化；效率提升

水利水电工程作为国家能源体系的重要组成部分，对于保障能源供应、促进经济发展和保护生态环境具有重要意义。水轮机作为水利水电工程中将水能转化为机械能进而转化为电能的核心设备，其选型的合理性与运行效率的高低直接关系到整个工程的发电效益、运行稳定性以及经济效益。然而，在实际工程中，水轮机选型往往受到多种因素制约，导致选型不合理、效率低下等问题频发。因此，开展水利水电工程水轮机选型优化及效率提升研究，对于提高水能资源利用率、降低发电成本、保障工程安全稳定运行具有重要的现实意义，也是推动水利水电工程行业技术进步与可持续发展的必然要求。

一、水利水电工程水轮机选型现状及问题

（一）选型依据单一导致适配性差

当前水利水电工程水轮机选型过程中，部分工程选型依据过于单一，主要侧重于水头和流量等基本参数，而忽视了工程所在地的地质条件、水文变化规律、电网接入要求以及未来运行维护成本等多方面因素[1]。这种单一的选型依据使得选用的水轮机与工程实际需求适配性差，难以充分发挥其性能优势。例如，在地质条件复杂的山区水电工程中，若未充分考虑地质因素对水轮机安装和运行的影响，所选水轮机可能在运行过程中因振动过大等问题导致故障频发，影响工程正常运行。

（二）选型方法缺乏科学性与系统性

现有的水轮机选型方法在一定程度上缺乏科学性与系统性，部分选型过程仅依靠经验判断或简单的对比分析，未充分运用先进的模拟计算技术和优化算法。这使得选型结果存在较大的主观性和不确定性，无法准确评估不同水轮机方案在长期运行中的综合效益。例如，在评估水轮机效率时，仅依据厂家提供的部分工况数据，而未全面考虑水轮机在整个运行范围内的效率变化情况，导致选用的水轮机在实际运行中效率达不到预期要求[2]。

（三）选型过程中对新技术应用关注不足

随着科技的不断进步，水轮机领域涌现出许多新技术、新材料和新工艺。然而，在水利水电工程水轮机选型过程中，部分工程对新技术应用的关注不足，仍习惯于选用传统类型的水轮机。这使得选用的水轮机在性能、效率、可靠性等方面难以跟上时代发展步伐，无法充分利用新技术带来的优势。例如，新型的转轮设计和制造技术能够显著提高水轮机的效率和稳定性，但由于选型过程中对其了解不够，导致这些新技术未能得到广泛应用。此外，一

些先进的监测与诊断技术，如远程监控系统、振动与噪声分析技术等，也能够在水轮机选型阶段提供重要参考，帮助工程师更好地评估水轮机的运行状态和潜在问题[3]。

二、水利水电工程水轮机选型优化策略

（一）基于多因素综合评估的选型方法

为提高水轮机选型的适配性，应采用基于多因素综合评估的选型方法。在选型过程中，全面考虑工程所在地的地质条件、水文变化规律、电网接入要求、运行维护成本以及环境影响等多方面因素。例如，对于地质条件复杂的工程，应优先选择结构紧凑、抗振性能好的水轮机类型；对于水文变化较大的工程，应选择具有较宽高效运行区的水轮机，以适应不同工况下的运行需求。通过建立多因素综合评估模型，对不同水轮机方案进行量化评估，从而选出最优方案，确保水轮机与工程实际需求高度适配。

（二）运用先进模拟计算与优化算法进行选型

利用先进的模拟计算技术和优化算法能够提高水轮机选型的科学性与准确性。通过计算机流体动力学（CFD）模拟技术，对不同水轮机方案的水力性能进行精确模拟和分析，获取水轮机在不同工况下的效率、压力分布、流场特性等详细信息。同时，结合遗传算法、粒子群算法等优化算法，对水轮机的关键参数进行优化设计，以实现水轮机效率的最大化和性能的最优化。例如，在转轮设计过程中，运用优化算法对转轮叶片的形状、角度等参数进行优化，从而提高水轮机的水力效率和运行稳定性。

（三）积极引入并应用新技术进行选型

在水利水电工程水轮机选型过程中，应积极关注并引入新技术、新材料和新工艺。例如，新型的转轮材料具有更高的强度和耐磨性，能够延长水轮机的使用寿命，降低运行维护成本；先进的转轮制造工艺能够提高转轮的加工精度和表面质量，进一步提升水轮机的效率。同时，关注水轮机智能化控制技术的发展，选用具有智能监测和故障诊断功能的水轮机，实现对水轮机运行状态的实时监测和故障预警，提高水轮机的运行可靠性和安全性。通过积极应用新技术，能够使选用的水轮机在性能、效率、可靠性等方面达到更高水平[4]。

（四）结合工程全生命周期成本开展选型

水利水电工程全生命周期成本涵盖水轮机从规划选型、采购制造、安装调试、运行维护直至报废拆除的整个过程所涉及的费用。传统选型往往只关注水轮机初始采购成本，而忽视后续运行维护及更新改造等长期成本。在选型时结合全生命周期成本考量，能更全面评估不同水轮机方案经济性。例如，部分新型水轮机虽初始采购成本较高，但因其具备高效、稳定、易维护等特点，在长期运行中能大幅降低维修费用、减少停机损失、提高发电收益，综合成本反而更低。通过建立全生命周期成本评估模型，对各方案进行详细成本分析，有助于选出既满足工程性能需求，又能实现全生命周期成本最优的水轮机，提升工程整体经济效益。

三、水利水电工程水轮机效率提升路径

（一）优化水轮机设计与制造工艺

水轮机的设计与制造工艺犹如大厦之基石，对其效率有着决定性影响。在设计环节，转轮作为水轮机实现能量转换的核心部件，其叶片形状、角度和数量等参数的优化至关重要。不同水头和流量条件下，水流对转轮的作用方式各异，只有精准调整这些参数，才能让转轮在不同工况下都实现高效的水力转换[5]。例如，采用新型的转轮设计理念，引入先进的水力计算模型和数值模拟技术，对转轮内部流场进行细致分析，不断优化叶片的翼型曲线，使其在

保证水流顺畅通过的同时，最大程度地减少能量损失。如此一来，水轮机在面对复杂多变的水力条件时，都能保持较高的水力效率，将水能更充分地转化为机械能。

在制造工艺方面，转轮等关键部件的加工精度和表面质量直接影响水轮机的运行效率。微小的加工误差和粗糙的表面都会导致水流在通过时产生涡流和摩擦，从而消耗大量能量。因此，需要采用高精度的加工设备和先进的加工工艺，如五轴联动数控加工技术，确保转轮叶片的尺寸精度和形状精度达到极高水平。同时，通过精密的抛光和表面处理工艺，降低表面粗糙度，减少水流阻力。此外，先进的焊接和热处理工艺也不可或缺。高质量的焊接能够保证部件之间的连接强度和密封性，避免出现漏水等问题；合理的热处理工艺则能提高部件的强度和韧性，使其在长期运行中不易发生变形和损坏，延长水轮机的使用寿命，进而间接提升其运行效率。

（二）加强水轮机运行管理与维护

科学合理的运行管理与维护是保障水轮机高效运行的关键防线。在运行管理方面，由于水头和流量会随着季节、天气等因素不断变化，水轮机很难始终处于设计工况下运行。因此，必须根据实时监测到的水头和流量数据，合理调整水轮机的运行工况，使其始终在高效运行区内运转。例如，通过安装在水轮机各个关键部位的传感器，实时收集转速、功率、效率等运行参数，并将这些数据传输到监控中心。利用专业的数据分析软件，对数据进行实时分析和处理，一旦发现水轮机偏离高效运行区，就及时调整导叶开度和运行负荷。这样不仅能提高水轮机自身的效率，还能避免因长时间在低效区运行而导致的设备磨损加剧和能源浪费。

在维护方面，建立完善的维护制度是确保水轮机长期稳定运行的基础。定期对水轮机进行全面检修和维护，能够及时发现并处理设备存在的故障和隐患。对于转轮、导水机构等关键部件，要进行细致的检查，查看叶片是否有磨损、裂纹，导水叶是否灵活开闭等。一旦发现问题，要及时进行修复或更换。同时，对老化的密封件和轴承等易损件，要按照规定的时间间隔进行更换，防止因密封不严或轴承损坏而导致的漏水、振动等问题。通过这些维护措施，确保水轮机始终处于良好的运行状态，从而有效提高其运行效率，降低发电成本。

（三）改进水轮机辅助系统与配套设备

水轮机的辅助系统与配套设备如同水轮机运行的“左膀右臂”，对其效率的提升起着重要的辅助作用。冷却系统是保障水轮机正常运行的关键辅助系统之一。水轮机在运行过程中，由于机械摩擦、水流冲击等因素会产生大量热量，如果冷却效果不佳，会导致水轮机温度过高，进而影响其性能和效率。因此，需要改进冷却系统，采用新型的冷却介质和冷却方式。例如，使用导热性能更好的冷却液，或者采用循环水冷与风冷相结合的复合冷却方式，提高冷却系统的散热能力，确保水轮机在适宜的温度下运行，避免因过热导致的效率下降。

润滑系统同样不容忽视。良好的润滑能够减少水轮机各部件之间的机械磨损，降低能量损失。要确保润滑油的清洁度和润滑效果，定期对润滑油进行检测和更换，防止因润滑油污染或变质而导致的润滑不良。同时，优化润滑系统的设计，合理布置润滑油道和喷嘴，确保润滑油能够均匀地覆盖到各个需要润滑的部位。此外，合理选择和配置水轮机的配套设备也至关重要。发电机、变压器等配套设备的性能直接影响整个发电系统的效率。要根据水轮机的输出特性和电网的要求，选择与之匹配的发电机和变压器，提高整个发电系统的能量转换效率，实现水能资源的高效利用。

（四）推动水轮机智能化升级与技术创新

智能化升级和技术创新是推动水轮机效

率提升的强大引擎，引领着水轮机行业向更高水平发展。推动水轮机智能化升级，是充分利用现代信息技术提升水轮机运行管理水平的必然选择。通过在水轮机上安装大量的传感器，如温度传感器、压力传感器、振动传感器等，实时收集水轮机运行过程中的各种数据。这些数据就像水轮机的“健康档案”，能够全面反映其运行状态。利用物联网技术，将这些数据快速、准确地传输到监控中心，再借助大数据分析技术对海量数据进行深度挖掘和分析。通过建立数据模型和算法，预测水轮机的运行趋势和故障风险，提前采取维护措施，实现从“事后维修”到“预测性维护”的转变，减少停机时间，提高水轮机的运行效率和可靠性。

同时，鼓励技术创新是提升水轮机效率的核心动力。加大对水轮机技术研发的投入，吸引更多的科研人员和企业参与到水轮机性能提升、效率优化等方面的研究中来。开展新型转轮材料、新型密封技术、高效水力模型等方面的研究，不断探索新的技术和方法。例如，研发具有更高强度和耐磨性的新型转轮材料，能够进一步提高转轮的效率和寿命；开发新型的密封技术，减少水轮机的漏水损失。

结束语

水利水电工程水轮机选型优化及效率提升是一个复杂而系统的工程，对于保障水利水电工程的稳定运行、提高水能资源利用率以及促进能源可持续发展具有重要意义。当前，水轮机选型过程中存在选型依据单一、方法缺乏科学性与系统性、对新技术应用关注不足等问题，而通过基于多因素综合评估的选型方法、运用先进模拟计算与优化算法、积极引入并应用新技术等策略，能够实现水轮机选型的优化。在效率提升方面，通过优化设计与制造工艺、加强运行管理与维护、改进辅助系统与配套设备以及推动智能化升级与技术创新等路径，能够有效提高水轮机的运行效率。未来，随着科技的不断进步和水利水电工程行业的持续发展，应进一步加强对水轮机选型优化及效率提升的研究和实践，不断探索新的技术和方法，为水利水电工程的高效运行和水能资源的充分利用提供有力保障。

参考文献

[1] 胡彬，张龙生，刘海洋，等. 大变幅高水头水轮机模型试验研究[J]. 人民黄河,2024,46(S2):176-177.

[2]孙红武.水轮机设备的运行监测与评估技术研究[J].电气技术与经济,2023,(09):74-76.

[3]欧阳虹宇.小型农田水利工程建设和管理问题分析[J].建材与装饰,2019,0(29):293-294

[4]杨帆.协同治理视角下农村江河水利风景区的水环境治理研究——以广西古运河“灵渠”为例[J].皮革制作与环保科技,2021,2(4):114-118

[5]陈晓明.浅析山美水电站生态机组水轮机选型设计[J].福建水力发电,2022(1):41-43