

# 水利发电设备改造与性能提升策略

吕淑颖 张建超

海河水利委员会引滦工程管理局，河北省唐山市，064300；

**摘要：**水利发电设备长期运行易出现老化、效率低下等问题，改造与性能提升至关重要。通过对发电机组、控制系统等关键部件的技术升级，结合智能化监测手段，可显著提高设备可靠性与发电效率。科学制定改造策略，不仅能延长设备使用寿命，还能提升水利发电的经济性与安全性，为水利发电行业可持续发展提供有力支撑。

**关键词：**水利发电；设备改造；性能提升；策略

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.08.015

水利发电作为清洁能源的重要组成部分，在全球能源结构中占据关键地位。然而，随着运行年限增长，水利发电设备普遍面临机械磨损、技术落后等问题，导致发电效率下降、安全隐患增加。在此背景下，探索科学有效的设备改造与性能提升策略，成为保障水利发电稳定运行、推动能源行业绿色转型的迫切需求。

## 1 水利发电设备改造与性能提升的意义

水利发电设备改造与性能提升在能源领域、经济发展和环境保护等方面具有深远意义。从能源安全角度来看，随着全球对清洁能源需求的不断攀升，传统水利发电设备因技术局限和老化问题，难以保障稳定供电。通过设备改造与性能提升，可有效提高发电效率，增加清洁能源产出，降低对化石能源的依赖，优化能源供应结构，增强国家能源安全保障能力。

在经济效益层面，设备改造与性能提升能直接降低运营成本。改造后的设备运行稳定性提高，减少了故障停机时间和维修频次，降低了维护费用。同时，发电效率的提升带来发电量增加，进而提高电力销售收入。此外，改造过程中引入的先进技术和管理模式，还能带动上下游产业发展，创造更多就业机会，促进区域经济增长。如某水电站完成设备改造后，年发电量提升 20%，成本降低 15%，经济效益显著改善。

环境保护方面，水利发电设备改造与性能提升助力绿色发展。通过优化设备性能，减少水资源浪费和生态破坏，降低对周边环境的负面影响。同时，增加清洁能源供应，替代部分高污染、高能耗的传统能源，减少二氧化碳等温室气体排放，助力实现“双碳”目标。此外，设备改造过程中采用的环保技术和材料，进一步降低对生态环境的扰动，推动水利发电行业可持续发展<sup>[1]</sup>。

## 2 水利发电核心设备改造策略

### 2.1 水轮机改造

水轮机作为将水能转化为机械能的核心设备，其性能直接影响发电效率。针对老旧水轮机效率低、磨损严重的问题，可采用新型转轮设计与材料升级策略。一方面，运用计算流体动力学技术优化转轮叶片形状，降低水力损失，提升能量转换效率；例如，将传统直叶片转轮改造为扭曲型叶片，可使水能利用率提高 8%-12%。另一方面，采用抗磨蚀性能优异的复合材料或表面喷涂技术，增强转轮抗空蚀与磨损能力，延长设备使用寿命。

### 2.2 发电机改造

发电机承担着将机械能转换为电能的关键任务，其改造需聚焦效率提升与智能化升级。对于容量不足或绝缘老化的发电机，可通过增容改造和绝缘材料更新，提升发电功率与运行安全性。采用新型高导磁硅钢片和耐高温绝缘漆，既能降低铁损和铜损，又能耐受更高工作温度，提高发电机过载能力。同时，引入数字化监测系统，在发电机内部关键部位安装温度、振动传感器，实时采集运行数据并传输至控制中心，通过 AI 算法预测故障隐患，实现预防性维护。

### 2.3 变压器改造

变压器是实现电压变换与电能传输的重要枢纽，改造时需兼顾能效与可靠性。针对高能耗、低容量的老旧变压器，可更换为非晶合金铁芯变压器，其空载损耗较传统硅钢变压器降低 70%-80%，显著减少电能传输损耗。同时，对变压器的冷却系统进行升级，将自然风冷改造为强迫油循环风冷或水冷系统，提升散热效率，避免因过热导致绝缘老化。此外，加装智能监测终端，实时监测变压器油温、油色谱、局放等参数，通过物联网技术实现远程诊断与故障预警。对于绝缘性能下降的变压器，采用真空注油、更换老化密封件等措施，防止绝缘油受

潮劣化，保障电能安全稳定传输。

## 2.4 调速器改造

调速器通过调节水轮机流量，实现机组转速与负荷的动态平衡，其改造重点在于提升调节精度与响应速度。将传统机械液压调速器升级为电液调速器或全数字式调速器，利用 PLC 控制技术和高精度伺服电机，实现调节指令的快速准确执行，使机组转速波动范围缩小至±0.2%以内。同时，优化调速器 PID 控制参数，引入自适应控制算法，根据电网负荷变化自动调整调节策略，提高系统稳定性。此外，为调速器加装冗余设计，配置双控制器和备用油路，在主系统故障时自动切换，避免因调速失灵导致机组飞车事故。通过改造，调速器不仅能提升机组对电网波动的适应能力，还可降低人工操作强度，保障水利发电系统安全高效运行<sup>[2]</sup>。

## 3 水利发电设备性能提升技术应用

### 3.1 智能化技术应用

智能化技术为水利发电设备性能提升提供了全新路径。在设备运行监测方面，通过部署物联网传感器，实时采集水轮机、发电机等设备的温度、振动、压力等数据，并借助 5G 网络传输至智能管理平台，利用大数据分析机器学习算法，实现设备故障的早期预警与精准诊断，减少非计划停机时间。例如，通过分析水轮机振动数据的异常波动，可提前预测轴承磨损故障，及时安排检修。此外，引入人工智能优化控制系统，根据实时水文、电网负荷等信息，自动调整水轮机导叶开度、发电机励磁参数，实现发电效率的动态优化。

### 3.2 新材料应用

新材料的应用是提升水利发电设备性能的关键。在水轮机部件制造中，采用高强度、抗腐蚀的钛合金或纳米复合材料，可显著增强转轮、导水机构等部件的耐磨性与抗空蚀能力，延长设备使用寿命。例如，钛合金转轮相较于传统碳钢转轮，抗磨蚀性能提升 3 倍以上，减少维护频次与成本。对于发电机，新型超导材料的应用可降低绕组电阻，减少铜损，大幅提高发电效率；同时，耐高温绝缘材料能提升发电机的过载能力与运行安全性。在变压器领域，非晶合金材料的铁芯可降低空载损耗，石墨烯复合材料的应用则能增强散热性能，提升设备整体能效。新材料的应用不仅改善设备性能，还推动水利发电设备向轻量化、高效化方向发展。

### 3.3 新能源融合技术

新能源融合技术助力水利发电设备性能提升与能

源结构优化。将光伏发电与水力发电相结合，通过智能调度系统，在光照充足时优先利用太阳能发电，夜间或光照不足时启动水力发电，实现能源互补，提高发电系统稳定性与能源利用率。此外，储能技术的应用为水利发电系统提供灵活调节能力，如采用抽水蓄能或锂电池储能，在电力低谷时储存多余电能，高峰时释放，缓解电网压力，提升水利发电设备的调峰能力。同时，氢能与水利发电的融合也逐渐成为发展方向，利用水电解制氢，将清洁能源转化为氢能储存，实现能源的跨时空调配，推动水利发电从单一电能输出向多能协同供应转型，提升综合能源服务能力<sup>[4]</sup>。

## 4 水利发电设备存在的问题

### 4.1 设备老化与性能下降

水利发电设备长期处于高负荷、连续运转状态，随着运行年限增加，设备老化问题日益突出。水轮机转轮长期受水流冲刷与空蚀作用，叶片出现磨损、裂纹甚至穿孔，导致水能转换效率大幅下降，部分老旧水轮机效率较初始值降低 15%-20%，发电量显著减少。发电机的绕组绝缘层因长期受热、受潮，逐渐老化剥落，存在短路风险，严重时引发设备烧毁事故；同时，轴承等转动部件磨损加剧，导致振动超标，影响机组稳定性。变压器的铁芯与绕组长期运行后，磁导率下降、电阻增大，空载损耗与负载损耗增加，造成电能传输效率降低。这些老化问题不仅降低发电效率，还大幅增加维修成本，部分老旧设备年维修费用占运营成本的 30% 以上，成为制约水利发电效益的关键因素。

### 4.2 技术落后与自动化水平低

许多水利发电站仍在使用早期研发的设备与技术，与当前先进水平存在较大差距。在控制技术方面，部分电站仍采用传统机械液压调速器与手动控制方式，调节精度低、响应速度慢，难以适应电网负荷快速变化的需求，导致机组频繁出现转速波动、功率振荡等问题。自动化监测手段缺失，依赖人工巡检获取设备运行数据，不仅效率低下，还存在数据采集不全面、误差大等问题，无法及时发现设备隐患。此外，老旧设备缺乏与现代智能管理系统的兼容性，难以实现远程监控与故障诊断，设备运维主要依靠经验判断，缺乏科学依据，导致故障处理不及时，进一步加剧设备损坏程度，严重制约水利发电的智能化、高效化发展。

### 4.3 环境适应性差与维护困难

水利发电设备的运行环境复杂多变，部分设备难以

适应极端条件,导致性能下降与故障频发。在高海拔、严寒地区,设备的金属部件易发生冷脆断裂,润滑油黏度增加导致机械运转不畅;在高温、高湿度环境中,电气设备的绝缘性能加速劣化,增加短路风险。此外,河流泥沙含量高的电站,水轮机过流部件磨损速度加快,使用寿命缩短。设备维护方面,老旧设备设计结构复杂,零部件通用性差,维修时需定制专用配件,导致维修周期长、成本高。部分偏远地区电站交通不便,专业维修人员与设备运输困难,进一步加剧维护难度,设备故障停机时间延长,严重影响发电效益与电网供电稳定性<sup>[4]</sup>。

## 5 水利发电设备改造与性能提升策略

### 5.1 设备更新与技术升级

设备更新与技术升级是提升水利发电设备性能的核心路径。针对老化严重的水轮机,采用新型高效转轮替代传统磨损部件,运用 CFD 技术优化叶片形状,使水能转换效率提升 15%-20%;同时引入抗空蚀性能优异的钛合金或复合材料,延长设备使用寿命。发电机方面,更换高导磁硅钢片与耐高温绝缘材料,降低铁损和铜损,提高发电效率;升级励磁系统,采用自并励静止励磁技术,增强电压调节响应速度。变压器更新为非晶合金铁芯型号,可降低空载损耗 70%-80%,并优化冷却系统,采用强迫油循环风冷或水冷技术,提升散热能力。此外,淘汰落后的机械控制技术,引入 PLC 与数字控制系统,实现设备运行参数的精准调节,从硬件与技术层面全方位提升设备性能,降低能耗与故障率。

### 5.2 提高自动化水平与智能化管理

构建自动化与智能化管理体系是水利发电设备升级的关键方向。在自动化改造上,安装智能传感器网络,覆盖水轮机、发电机、变压器等核心设备,实时采集温度、振动、压力等运行数据,并通过工业以太网或 5G 网络传输至中央控制系统,实现设备状态的远程监测与自动报警。引入 AI 算法与机器学习模型,对海量数据进行深度分析,预测设备故障风险,制定预防性维护计划,减少非计划停机时间。例如,通过分析发电机振动频谱,提前识别轴承故障并安排检修。同时,搭建数字孪生平台,构建虚拟发电设备模型,模拟不同工况下的运行状态,优化设备控制策略,实现发电效率的动态调整。此外,开发移动端运维 APP,方便技术人员实时查

看设备数据、接收报警信息并远程参与故障诊断,推动水利发电运维模式向智能化、高效化转型。

### 5.3 增强环境适应性与优化维护策略

针对复杂运行环境,需从设备设计与维护管理两方面提升适应性。在设备制造环节,采用特殊工艺与材料增强环境耐受能力:为高海拔、严寒地区设备添加电加热装置与防冻润滑油,防止部件冷脆与机械卡顿;为高温高湿环境设备配备防潮除湿系统与耐候绝缘材料,避免电气故障。对于多泥沙河流的电站,在水轮机前加装高效沉沙池与耐磨涂层,减少过流部件磨损。在维护策略优化上,建立标准化维护流程与配件储备机制,针对老旧设备通用性差的问题,推动关键部件的国产化替代与模块化设计,缩短维修周期。利用物联网技术构建智能维护平台,整合设备运行数据、维修记录与库存信息,实现维护资源的智能调配。同时,加强与周边地区的协作,建立区域化应急维修团队,确保偏远电站设备故障时能快速响应,通过系统性措施降低环境对设备的影响,提升运维效率与发电稳定性<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

水利发电设备改造与性能提升策略的实施,显著改善了设备运行效率与安全水平,提升了清洁能源供给能力。通过技术升级与科学管理,不仅有效延长设备使用寿命,还助力能源结构优化。未来,随着数字化、智能化技术的深入应用,持续创新改造策略,深化设备性能提升方案,将为水利发电行业高质量发展注入新动能。

### 参考文献

- [1] 庄培林. 水利工程中机电设备安装管理的重点与难点分析[J]. 中国设备工程, 2025, (11): 87-89.
- [2] 杨璿璿. 水利工程机电设备运维管理优化探讨[J]. 中国设备工程, 2025, (11): 82-84.
- [3] 张发宽. 分布式光伏发电在大型水利枢纽输水渠道上的应用分析[J]. 水利水电工程设计, 2025, 44 (02): 34-37+43.
- [4] 李泽同. 水利枢纽发电洞进水口双向门机安装与试验[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50 (05): 193-194+201.
- [5] 李新军. 水利发电工程建设与管理的有效措施探讨[J]. 科技风, 2022, (07): 80-82.