

## 水电厂辅机系统永磁电机改造的节电效益分析

罗海林

国网四川雅安电力（集团）股份有限公司 四川雅安

**【摘要】**水电厂辅机系统作为水电站运行中的关键辅助设备，其能耗问题日益受到关注。传统异步电机在长期运行中存在效率低、维护频繁等问题，限制了系统的整体能效水平。本文以永磁电机在水电厂辅机系统的改造应用为研究对象，探讨其在节能降耗方面的实际效益。通过对比分析改造前后电机的运行效率、功率因数及能耗数据，评估永磁电机在不同工况下的节电效果，并结合具体案例进行经济性与可行性论证。永磁电机的应用可显著降低辅机系统的电能消耗，提升系统运行稳定性，具有良好的推广价值和应用前景。

**【关键词】**水电厂；辅机系统；永磁电机；节电效益；能效提升

**【收稿日期】**2025 年 3 月 9 日

**【出刊日期】**2025 年 4 月 8 日

**【DOI】**10.12208/j.jeea.20250110

### Analysis of power saving benefits from permanent magnet motor retrofit in auxiliary systems of hydropower plants

Hailin Luo

Guo Tong Sichuan Ya'an Electric Power (Group) Co., Ltd. Ya'an, Sichuan

**【Abstract】** As a key auxiliary equipment in the operation of hydropower stations, the energy consumption of the auxiliary system in hydropower plants has increasingly attracted attention. Traditional asynchronous motors have problems such as low efficiency and frequent maintenance during long-term operation, which restrict the overall energy efficiency level of the system. This paper takes the application of permanent magnet motors in the retrofit of auxiliary systems in hydropower plants as the research object to explore their practical benefits in energy conservation and consumption reduction. By comparing and analyzing the operation efficiency, power factor, and energy consumption data of the motors before and after the retrofit, the power saving effects of permanent magnet motors under different working conditions are evaluated. Additionally, economic and feasibility demonstrations are conducted combined with specific cases. The application of permanent magnet motors can significantly reduce the power consumption of auxiliary systems, improve the operational stability of the systems, and has good promotion value and application prospects.

**【Keywords】** Hydropower plant; Auxiliary system; Permanent magnet motor; Power saving benefit; Energy efficiency improvement

#### 引言

在“双碳”目标推动下，提高能源利用效率已成为电力行业发展的核心方向之一。水电厂虽属清洁能源范畴，但其内部辅机系统仍存在较大节能潜力。目前，多数辅机设备仍采用传统感应电机驱动，长期运行过程中暴露出效率偏低、能耗偏高等问题。近年来，永磁同步电机凭借高效率、高功率因数和低维护成本等优势，在多个工业领域得到广泛应用。将其引入水电厂辅机系统改造，不仅有助于提升系

统整体能效，还可为绿色低碳转型提供技术支撑。本文围绕永磁电机在水电厂辅机系统中的应用展开分析，重点探讨其节电效益，旨在为相关工程实践提供理论依据和技术参考。

#### 1 水电厂辅机系统现状与能耗问题分析

水电厂辅机系统作为保障主机组安全稳定运行的重要支撑部分，涵盖了技术供水系统、油压装置、空气压缩系统、排水系统等多个子系统，其运行效率直接影响电厂整体能耗水平<sup>[1]</sup>。目前，多数水电厂

辅机设备仍广泛采用传统的感应异步电机驱动，该类电机在低负载工况下效率下降明显，功率因数偏低，导致无功损耗增加，长期运行过程中存在能耗高、温升大、维护频率高等问题。特别是在中小型水电站中，辅机系统的电能消耗可占全厂辅助用电的30%以上，成为影响电厂能效指标的关键因素之一。传统电机控制系统较为落后，难以实现精细化调节，造成能源浪费现象普遍存在。

永磁同步电机因其高效、节能、体积小和响应快等优点，在工业节能改造中逐渐得到推广应用。与传统异步电机相比，永磁电机具有更高的功率因数和运行效率，尤其在变频调速控制下，能够根据负载变化动态调整输出功率，显著降低轻载或变载工况下的能耗损失。这一特性使其在水泵、风机等辅机设备中的应用具备显著优势。然而，在当前水电厂的实际改造过程中，受限于初期投资成本、技术适配性以及运维人员对新技术的认知程度，永磁电机在辅机系统的应用尚未全面普及，相关节能潜力仍有待深入挖掘。

针对上述问题，开展辅机系统永磁电机改造的节电效益研究，不仅有助于推动水电行业绿色低碳转型，也为后续节能技术推广提供数据支撑。通过对典型辅机设备进行电机替换，并结合实际运行数据对比分析改造前后的电能消耗、运行稳定性及维护成本，可以量化评估永磁电机在提升能效方面的实际效果。还需综合考虑系统匹配性、控制策略优化及经济回报周期等因素，为后续大规模推广应用提供科学依据和技术路径。

## 2 永磁电机技术特性及其在辅机系统中的适用性

永磁同步电机作为一种高效节能型驱动设备，近年来在工业领域得到了广泛应用。其核心优势在于转子采用稀土永磁材料制成，无需外部励磁电流即可建立稳定的磁场，从而大幅减少铜损和励磁损耗，提高整体运行效率。相比传统感应异步电机，永磁电机在额定工况下的效率可提升2%~8%，在轻载或变频调速运行状态下节能效果更为显著。该类电机具备较高的功率因数，通常可达0.95以上，有效降低电网无功功率需求，减少线路损耗，提升电能质量。这些技术特性使其在对能效和稳定性要求较高的水电厂辅机系统中展现出良好的应用潜力。

在实际运行环境中，水电厂辅机系统涉及多种负载类型，如恒定负载、周期性波动负载以及频繁启停的间歇性负载，这对驱动电机的响应速度与控制精度提出了较高要求。永磁电机配合变频器使用时，能够实现宽范围内的平滑调速，适应不同工况下的流量、压力或转矩需求，尤其适用于水泵、风机等具有平方转矩特性的负载设备。通过优化控制策略，可以实现按需供能，避免“大马拉小车”现象带来的能源浪费。由于永磁电机结构紧凑、体积小、重量轻，在空间受限的水电厂辅机设备改造中也具备较强的适配优势。

从系统集成与运维角度看，永磁电机的高可靠性及低维护特性进一步增强了其在辅机系统中的适用性。该类电机运行过程中温升较低，减少了轴承磨损和绝缘老化风险，延长了使用寿命。相较于传统电机常见的绕组故障和碳刷磨损问题，永磁电机结构简单、部件少，降低了检修频率和维护成本<sup>[2]</sup>。对于地处偏远、运行环境复杂的中小型水电站而言，这种稳定高效的驱动方式有助于提升辅机系统的整体运行安全性，并为电厂实现智能化管理提供基础支撑。因此，结合其优异的技术性能与实际应用需求，永磁电机在水电厂辅机系统的节能改造中具有广泛的推广价值。

## 3 永磁电机改造方案设计与实施路径

永磁电机在水电厂辅机系统的改造过程中，需结合原有设备运行特性、负载类型及控制方式，制定科学合理的改造方案。改造设计应从系统匹配性分析入手，重点评估原电机驱动设备的功率需求、运行工况曲线以及负载变化规律，确保所选永磁电机参数（如额定功率、转速范围、防护等级等）与实际应用相匹配。考虑到辅机系统中大量使用变频控制技术，改造时应同步优化变频器配置与控制策略，实现电机与负载之间的动态协调运行<sup>[3-7]</sup>。对于风机、水泵类设备，宜采用矢量控制或直接转矩控制方式，以提升调速精度和响应速度，充分发挥永磁电机高效节能的优势。

在实施路径方面，改造工作应遵循“试点先行、分步推进”的原则，优先选取能耗高、运行时间长、负荷波动大的关键辅机设备作为试点对象，例如技术供水泵、油压装置用电机或主轴密封供水系统。通过现场实测与仿真建模相结合的方式，验证永磁

电机在不同工况下的适应性，并对机械连接、安装空间、冷却方式等进行适配调整。施工阶段应严格把控电机安装、调试及试运行环节，确保电机与传动系统之间的联轴器对中精度、基础刚度等符合技术规范要求。还需对原有 PLC 控制系统进行必要的升级改造，使其能够兼容永磁电机的运行反馈信号，实现远程监控与故障诊断功能的有效集成。

为保障改造效果的可评估性和可持续性，应建立完善的数据采集与能效监测机制。改造完成后，依托电厂现有的 SCADA 系统或加装专用电能质量监测装置，实时记录电机运行电压、电流、功率、效率、功率因数等关键参数，并与改造前的历史数据进行对比分析。通过对节电量、维护成本、投资回收期等指标的综合测算，验证改造项目的经济性与可行性。针对运行中出现的问题及时优化控制逻辑或调整运行策略，进一步提升系统整体能效水平。该实施路径不仅适用于新建或扩建项目，也为现有水电厂辅机系统的节能升级提供了可复制的技术路线和工程经验。

#### 4 节电效益评估与典型案例分析

永磁电机在水电厂辅机系统中的应用，其节电效益主要体现在运行效率提升、功率因数改善以及维护成本降低等多个方面。由于永磁同步电机无需励磁电流即可建立磁场，显著减少了铜损和铁损，在额定及轻载工况下均能保持较高的运行效率。其宽范围调速能力和良好的动态响应特性，使得电机能够根据负载变化实时调整输出功率，避免了传统异步电机在非满载状态下效率骤降的问题。高功率因数的运行特性有效降低了电网侧无功功率需求，减少了线路损耗与变压器容量占用，提高了整体供电系统的利用效率。这些技术优势为辅机系统的节能降耗提供了坚实基础。

在实际工程应用中，多个水电厂已陆续开展辅机系统永磁电机改造，并取得了一定的节能成效。某中型水电站将主轴密封供水泵驱动电机更换为永磁同步电机后，结合变频控制策略优化，实现了按需供压与恒流调节，大幅减少了空载运行时间，提升了能源利用效率<sup>[8]</sup>。另一大型水电厂在技术供水系统中采用永磁电机替代原有异步电机后，不仅运行电流明显下降，功率因数稳定在 0.95 以上，还有效缓解了原系统因谐波干扰导致的保护误动问题，

进一步保障了设备运行的安全性与稳定性。类似案例表明，永磁电机改造不仅能带来直接的节电效果，还能提升系统运行质量，延长设备使用寿命，具有良好的综合效益。

从经济性和可持续发展角度看，虽然永磁电机的初期投资相对较高，但其长期运行过程中的节能收益和运维成本节约可有效缩短投资回收周期。通过对比改造前后的能耗数据、设备故障率及检修频率，可以发现永磁电机在提高能效的同时也降低了电厂辅助用电比例，优化了厂用电结构。特别是在当前电力行业持续推进节能减排的大背景下，推广永磁电机在辅机系统中的应用，不仅是实现绿色低碳运行的重要手段，也为水电企业提升经济效益和环境绩效提供了切实可行的技术路径。未来，随着控制技术的不断完善和电机制造成本的逐步下降，永磁电机在水电厂辅机系统中的应用前景将更加广阔。

#### 5 结语

永磁电机在水电厂辅机系统中的应用，有效提升了设备运行效率与能源利用水平，展现出显著的节电效益和良好的工程适用性。通过科学合理的改造方案，不仅降低了能耗和运维成本，还提高了系统的稳定性和智能化程度。实践表明，该技术路径具备较强的可推广性，对推动水电行业绿色低碳发展具有重要意义。未来应进一步优化控制策略，完善能效评估体系，拓展永磁电机在更多辅机设备中的应用范围，助力水电企业实现高质量可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 朱梓豪,周毅,罗宁生,等.水电厂电制动停机对发变组继电保护功能的影响[J].水电与新能源,2025,39(05):74-76+90.
- [2] 杨华键,王发云,何麟,等.某水电厂空气围带排气口返水原因分析与处理[J].水电站机电技术,2025,48(05):100-102+111.
- [3] 张敬华.D 水电厂水轮发电机组改造项目安全管理研究[J].现代职业安全,2025,(05):46-49.
- [4] 刘筱靓,孟繁兴.水电厂无线传感器网络应用技术探讨[J].中国设备工程,2025,(09):211-213.
- [5] 刘博,屈伟强,谭小刚,等.某水电厂来水预警联动系统研究[J].水电站机电技术,2025,48(04):107-110.

- [6] 谢建峰.水电厂安全管理工作的分析与完善[J].小水电, 2025,(02):51-54. 53.
- [7] 朱磊,况荣祥.某水电厂转速装置异常动作原因分析及措施[J].电工技术,2025,(07):251-252+257.
- [8] 吴如坤,刘小伟,殷其建.基于多类型无线传感网络的船舶辅机健康管理系统的开发[J].广东造船,2024,43(05):50-

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**