

小型水电站运行效率提升研究

李红辉

新疆巴州新华水电开发有限公司和静哈尔莫墩电厂 新疆 库尔勒 841000

摘要: 小型水电站作为我国水电能源体系的重要组成部分,对于促进农村经济发展、优化能源结构以及推动节能减排具有重要意义。然而,当前部分小型水电站存在运行效率低下的问题,导致能源浪费、经济效益不佳。本文深入剖析了影响小型水电站运行效率的主要因素,包括设备老化、运行管理不善、水能资源利用不充分、自动化程度低等。针对这些问题,提出了一系列切实可行的提升策略,如设备更新改造、优化运行管理、提高水能利用率、推进自动化与智能化建设等。通过实际案例分析验证了这些策略的有效性,结果表明,采取针对性措施后,小型水电站的运行效率得到显著提升,发电量增加,经济效益和社会效益明显改善。本研究为小型水电站的可持续发展提供了理论支持和实践指导。

关键词: 小型水电站; 运行效率; 提升研究

DOI: 10.63887/jad.2025.1.3.19

1 引言

1.1 研究背景

在全球能源需求持续增长和环境保护意识日益增强的背景下,水电作为一种清洁、可再生的能源,受到了广泛关注。我国拥有丰富的水能资源,小型水电站在开发利用这些资源方面发挥着重要作用。小型水电站通常具有投资小、建设周期短、见效快等特点,能够为农村及偏远地区提供稳定的电力供应,促进当地经济发展。然而,随着运行时间的推移,许多小型水电站出现了运行效率下降的问题,影响了其发电能力和经济效益。

1.2 研究意义

提升小型水电站运行效率具有重要的现实意义。从能源角度而言,提高运行效率可以增加发电量,充分利用水能资源,减少能源浪费,缓解能源供需矛盾。从经济层面来看,效率提升能够降低发电成本,提高水电站的经济效益,增强其市场竞争力,为投资者带来更好的回报。从社会和环境效益方面考虑,小型水

电站运行效率的提高有助于减少对传统化石能源的依赖,降低温室气体排放,保护生态环境,同时保障农村地区的电力供应稳定,促进社会和谐发展^[1]。

2 小型水电站运行现状及效率影响因素分析

2.1 运行现状

目前,我国小型水电站数量众多,但运行状况参差不齐。部分早期建设的小型水电站由于设备陈旧、技术落后,运行效率较低。一些水电站存在发电量不足、设备故障频繁、运行管理不规范等问题,导致水能资源未能得到充分利用。此外,随着电力市场的变化和能源政策的调整,小型水电站面临着新的挑战和机遇,需要不断提升自身运行效率以适应市场需求^[2]。

2.2 影响因素

2.2.1 设备因素

设备老化: 小型水电站运行多年后,水轮机、发电机、变压器等主要设备会出现磨损、

腐蚀、老化等现象，导致设备性能下降，效率降低。例如，水轮机转轮的气蚀和磨损会使水流能量转换效率降低，发电机的绝缘老化会增加电能损耗。

设备选型不合理：在水电站建设初期，可能由于设计不当或对当地水能资源特点了解不足，导致设备选型与实际运行条件不匹配。如水轮机的额定水头、流量等参数与实际来水情况相差较大，无法在最佳工况下运行，从而影响发电效率。

2.2.2 运行管理因素

运行调度不合理：缺乏科学的运行调度方案，不能根据来水情况和电力需求及时调整机组的运行状态，导致机组在低效区运行或出现弃水现象。例如，在丰水期未能充分利用水能多发电，在枯水期又因机组运行不当导致发电量不足^[3]。

维护保养不到位：对设备的维护保养工作重视不够，缺乏定期的检查、维修和保养计划，导致设备故障不能及时发现和处理，小毛病演变成大故障，影响设备的正常运行和使用寿命，进而降低运行效率。

人员素质不高：小型水电站运行管理人员的技术水平和业务能力参差不齐，部分人员缺乏专业的培训和教育，对设备的操作和维护不熟练，无法及时发现和解决运行过程中出现的问题，影响了水电站的运行效率。

2.2.3 水能资源利用因素

引水系统水头损失大：引水渠道、压力管道等引水系统如果设计不合理或年久失修，会存在漏水、糙率增大等问题，导致水流在输送过程中水头损失增加，到达水轮机的有效水头降低，从而影响发电效率。

水库调度不科学：对于有水库调节功能的小型水电站，如果水库调度不合理，不能根据来水和用水需求合理控制水库水位，会导致水能资源的浪费。例如，在汛期未能及时腾空库容，造成弃水；在枯水期又因水库蓄水不足，

无法保证机组的正常运行。

2.2.4 自动化程度因素

自动化设备缺乏：许多小型水电站自动化程度较低，缺乏先进的自动化监测、控制和保护设备，仍然采用人工操作和监控的方式，无法实时准确地掌握机组的运行状态和水能参数，难以及时调整机组的运行工况，导致运行效率低下^[4]。

自动化系统不完善：即使部分水电站安装了自动化设备，但自动化系统可能存在功能不完善、稳定性差、与设备兼容性不好等问题，无法充分发挥自动化技术的优势，影响了水电站的运行效率和管理水平。

3 小型水电站运行效率提升策略

3.1 设备更新改造

3.1.1 主要设备更新

对老化严重、性能下降的水轮机、发电机等主要设备进行更新换代。选用新型高效的水轮机转轮和发电机，提高设备的能量转换效率。例如，采用新型的水斗式水轮机转轮，能够更好地适应高水头、小流量的运行条件，提高水能利用率；选用高效节能的发电机，降低发电过程中的电能损耗。

3.1.2 辅助设备优化

对调速器、励磁装置、冷却系统等辅助设备优化改造。采用先进的调速器，提高机组调节的灵敏度和稳定性，使机组能够快速适应负荷变化，保持在高效区运行。优化励磁装置的性能，提高发电机的电压调节精度和稳定性。改进冷却系统，提高散热效率，保证设备在适宜的温度下运行，延长设备使用寿命。

3.1.3 设备选型优化

在设备更新改造过程中，充分考虑当地的水能资源特点和实际运行需求，进行科学合理的设备选型。通过详细的水能计算和机组选型分析，选择与水电站水头、流量等参数相匹配的水轮机和发电机，确保机组在最佳工况下运行，提高发电效率。

3.2 优化运行管理

3.2.1 制定科学运行调度方案

根据水电站的来水预测、电力需求和设备性能等因素,制定科学合理的运行调度方案。在丰水期,充分利用水能资源,合理安排机组运行台数和负荷分配,尽量多发电;在枯水期,根据水库蓄水情况和来水变化,合理调整机组运行方式,保证机组稳定运行。同时,建立运行调度评估机制,定期对运行调度方案的效果进行评估和优化。

3.2.2 加强设备维护保养

建立健全设备维护保养制度,制定详细的维护保养计划,明确维护保养的内容、周期和标准。加强对设备的日常巡检、定期检修和预防性维护,及时发现和处理设备存在的隐患和故障。采用先进的检测设备和技术手段,对设备的运行状态进行实时监测和诊断,提前预测设备故障,实现设备的状态检修,减少设备停机时间,提高设备运行的可靠性和效率。

3.2.3 提高人员素质

加强对运行管理人员的培训和教育,提高其技术水平和业务能力。定期组织技术培训、安全培训和操作技能培训,使运行管理人员熟悉设备的性能、操作规程和维护保养方法。鼓励运行管理人员参加相关的职业资格考试和技术交流活动,不断更新知识结构,提高解决实际问题的能力。同时,建立合理的绩效考核机制,激励运行管理人员积极工作,提高工作效率和质量。

3.3 提高水能利用率

3.3.1 优化引水系统

对引水渠道、压力管道等引水系统进行优化改造,减少水头损失。采用防渗、防漏措施,降低渠道的渗漏水量;对渠道进行清淤、整修,减小糙率,提高水流输送效率。优化压力管道的设计和安装,减少水流在管道中的局部水头损失。定期对引水系统进行检查和维护,确保其正常运行。

3.3.2 科学水库调度

对于有水库调节功能的小型水电站,建立科学的水库调度模型,根据来水预测、用水需求和发电计划,合理控制水库水位。在汛期,提前做好防洪调度,在保证防洪安全的前提下,尽量多蓄水,为后期发电储备水源;在枯水期,根据水库蓄水情况和来水变化,合理安排发电用水,保证机组在低水头情况下也能稳定发电。同时,加强与上下游水电站的协调配合,实现水资源的优化配置和联合调度^[5]。

3.4 推进自动化与智能化建设

3.4.1 安装自动化监测与控制设备

在小型水电站安装先进的自动化监测设备,如水位传感器、流量传感器、压力传感器、温度传感器等,实时监测水位、流量、压力、温度等水能参数和设备运行参数。同时,配备自动化控制设备,如可编程逻辑控制器(PLC)、分布式控制系统(DCS)等,根据监测到的参数自动调整机组的运行状态,实现机组的自动启停、负荷调节和水位控制等功能,提高运行效率和安全性。

3.4.2 建立智能化管理平台

利用现代信息技术,建立小型水电站智能化管理平台。将自动化监测与控制设备采集到的数据进行集中处理和分析,通过数据挖掘和智能算法,为运行管理人员提供决策支持。例如,根据历史数据和实时监测数据,预测来水情况和发电量,优化运行调度方案;对设备运行状态进行评估和预警,提前发现设备潜在故障,指导维护保养工作。同时,智能化管理平台还可以实现远程监控和管理,方便运行管理人员随时随地掌握水电站的运行情况。

4 案例分析

4.1 案例水电站概况

某小型水电站建于 20 世纪 80 年代,装机容量为 $2 \times 800\text{kW}$,引水式电站。近年来,该水电站存在发电效率低下、设备故障频繁等

问题，年发电量较设计值下降了约 30%。

4.2 存在问题分析

设备老化：水轮机转轮气蚀严重，发电机绝缘老化，调速器和励磁装置性能下降，导致机组运行不稳定，效率降低。

运行管理不善：缺乏科学的运行调度方案，运行人员凭经验操作，机组经常在低效区运行；设备维护保养不到位，故障不能及时处理，影响发电时间。

水能资源利用不充分：引水渠道渗漏严重，糙率增大，水头损失较大；水库调度不合理，汛期弃水较多，枯水期发电用水不足。

自动化程度低：水电站未安装自动化监测与控制设备，运行参数靠人工测量，调节靠人工操作，无法及时准确掌握机组运行状态，难以实现优化运行。

4.3 提升措施实施

设备更新改造：更换了水轮机转轮和发电机，选用了新型高效的水轮机转轮和节能型发电机；对调速器和励磁装置进行了更新换代，提高了机组的调节性能和稳定性。

优化运行管理：制定了科学的运行调度方案，根据来水情况和电力需求合理安排机组运行；建立了设备维护保养制度，加强了设备的日常巡检和定期检修，采用状态检修方式，减少了设备停机时间。

提高水能利用率：对引水渠道进行了防渗处理和整修，减小了糙率，降低了水头损失；建立了水库调度模型，加强了与上下游水电站的协调配合，实现了水资源的优化配置。

推进自动化与智能化建设：安装了水位传感器、流量传感器、压力传感器等自动化监测

设备，以及 PLC 自动化控制系统，实现了机组的自动启停、负荷调节和水位控制；建立了智能化管理平台，对运行数据进行实时监测和分析，为运行管理提供了决策支持。

4.4 实施效果

经过上述提升措施的实施，该小型水电站的运行效率得到了显著提高。年发电量较改造前增加了约 40%，设备故障率明显降低，运行稳定性增强。同时，通过优化运行管理和提高水能利用率，降低了发电成本，提高了经济效益。此外，自动化与智能化建设提高了水电站的管理水平和运行安全性，减少了人工操作的工作量和误差。

结语

本文对小型水电站运行效率提升进行了深入研究，分析了影响小型水电站运行效率的主要因素，包括设备、运行管理、水能资源利用和自动化程度等方面。针对这些问题，提出了一系列切实可行的提升策略，并通过实际案例分析验证了这些策略的有效性。研究表明，通过设备更新改造、优化运行管理、提高水能利用率和推进自动化与智能化建设等措施，能够显著提升小型水电站的运行效率，增加发电量，降低发电成本，提高经济效益和社会效益。尽管本研究取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。例如，在提升策略的实施过程中，可能受到资金、技术、人员等因素的限制，部分措施难以全面落实；对于不同地区、不同类型的小型水电站，其运行效率提升的重点和难点可能存在差异，需要进一步深入研究个性化的解决方案。

参考文献

- [1] 王振，林毅鸿，余文森. 小型水电站生态流量监测系统设计[J]. 现代计算机, 2021, 27(32): 90-94
- [2] 张贺楠，罗朋，周瑞红. 小型水电站运行阶段碳排放统计核算分析——以拴驴泉水电站为例[J].

中国水能及电气化,2025(4):2-8

[3]何仕伟.绿色低碳转型背景下甘肃省小型水电站可持续发展研究[J].产业创新研究,2025(6):55-57

[4]卜祥明.小型水电站设计过程中的管理对策研究[J].价值工程,2020,39(22):82-83

[5]孙明豪,强茂山,江汉臣,康延领.西藏小型水电站开发阻碍因素[J].水利经济,2021,39(2):77-81

[6]原文林,万芳,马跃先.农村小型水电站增效扩容改造关键应用技术研究[J].中国农村水利水电,2015(10):190-193