

中小型泵站节能改造技术应用研究

宋 扬 周 浩

扬州水利建筑工程有限责任公司，江苏 扬州 225000

[摘要]中小型泵站在农业灌溉、城市供水以及工业循环等诸多领域均发挥着极为基础的作用，然而其能耗方面的问题却日益变得明显起来，所以节能改造便成为了提升其运行效率以及降低运营成本的一条关键途径。此项研究对中小型泵站的能耗实际状况以及节能潜在能力展开了系统的分析，着重就高效水泵与电机的选型、变频调速以及智能控制、管路系统的优化等一系列关键技术进行了深入探讨，并且还构建起了技术集成应用的模式。借助于能效监测与评估体系的搭建，该论文对节能改造所具有的经济效益与环境效益予以了评估，同时针对在推广过程当中出现的问题也提出了相应的解决对策。

[关键词]中小型泵站；节能改造；技术应用；能效评估；系统优化

DOI: 10.33142/hst.v8i11.18312 中图分类号: S277 文献标识码: A

Application Research on Energy-saving Renovation Technology for Small and Medium-sized Pump Stations

SONG Yang, ZHOU Jie

Yangzhou Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract: Small and medium-sized pump stations play a fundamental role in many fields such as agricultural irrigation, urban water supply, and industrial circulation. However, their energy consumption problems have become increasingly apparent, so energy-saving renovation has become a key way to improve their operational efficiency and reduce operating costs. This study conducted a systematic analysis of the actual energy consumption status and potential energy-saving capabilities of small and medium-sized pump stations, focusing on a series of key technologies such as the selection of high-efficiency pumps and motors, variable frequency speed regulation and intelligent control, and optimization of pipeline systems. A model for technology integration application was also constructed. With the establishment of an energy efficiency monitoring and evaluation system, this paper evaluates the economic and environmental benefits of energy-saving renovation, and proposes corresponding solutions to the problems that arise during the promotion process.

Keywords: small and medium-sized pump stations; energy-saving renovation; technology application; energy efficiency assessment; system optimization

引言

我国机电排灌事业已发展到一个新的高度，但是泵站在运行管理中暴露出不少问题。在能源日趋紧张的今天，节约能源意义重大。当前，我国中小型泵站普遍存在设备老化、技术落后以及管理粗放等许许多多的问题，这些问题就会导致能耗偏高，运行成本持续增加，这不仅制约了泵站经济效益的提升，还对环境造成额外负担。在能源日趋紧张的今天，节约能源仍有潜力可挖。

1 中小型泵站能耗现状与节能潜力分析

1.1 中小型泵站的主要能耗特征

中小型泵站的能耗主要集中在水泵以及电机系统方

面，这些设备在实际运行期间，由于设计存在不合理之处或者工况出现变化，往往处于低效的工作区间，进而致使电能浪费的情况较为严重。泵站的能耗呈现出明显的季节性波动特点，在灌溉或者供水的高峰期，负荷不断增加，使得能耗大幅度上升，而在平常时候，则有可能处于低负荷的运行状态，这种不均衡的状态进一步加剧了能源的损耗程度。除此之外，泵站的辅助设备像阀门、管道等，其存在的摩擦损失以及泄漏等问题，更是进一步放大了整体的能耗水平，导致泵站的运行效率很难达到设计所规定的标准。

1.2 能耗偏高的主要原因分析

耗能过高的缘由能够归纳为设备选型欠妥、运行控制

落后以及系统匹配失衡等诸多方面的因素。设备选型欠妥的情况表现为水泵和电机功率不相匹配，常常是依据经验或者采取保守的设计方式，如此一来便出现了大马拉小车的现象，致使设备长时间处于低负荷的状态下运行，效率极为低下。运行控制落后是因为泵站的自动化程度不高，需要依靠人工来进行调节，没办法实时地对工况变化做出响应，进而造成了能源的浪费。系统匹配失衡涉及到管路布局不够合理、水力损失过大等一系列问题，这些因素相互之间产生作用，使得泵站的整体能耗始终处于居高不下的态势。

1.3 节能潜力评估方法

节能潜力评估属于改造前极为关键的一个环节，其常用的方法涵盖了能效测试、模拟分析以及基准比对等多种方式。其中，能效测试是凭借现场去测量泵站的输入输出功率，进而计算出实际的运行效率，以此来识别出能耗方面的瓶颈所在；模拟分析则是借助水力模型软件，去预测在不同改造方案之下所可能达成的节能效果，从而给决策过程给予相应的数据方面的支撑；而基准比对是参照国家或者行业所规定的能效标准，来评估泵站当前的实际水平和理想值之间存在的差距，进而将节能潜力予以量化呈现。这些方法在实际应用当中，能够助力系统且全面地挖掘出泵站的节能空间，进而为后续的改造工作明确一个清晰的方向。

2 中小型泵站节能改造关键技术

2.1 高效水泵与电机选型技术

高效水泵以及电机的选型技术在节能改造方面占据着极为重要的核心地位，其最为关键之处就在于要与泵站的实际工况加以匹配，从而挑选出那些能效相对较高且可靠性较强的设备。高效水泵会采用较为先进的水力模型以及材料工艺，以此来减少内部的流动损失，进而提升自身的运行效率。而在电机选型方面，则重点要去关注功率因数以及负载特性，务必要避免出现过载或者欠载的运行情况，从而达成电能的高效转换目的^[1]。就好比选用永磁同步电机这种方式，就能够大幅度地降低空载时的损耗。这类技术在实际应用的时候，需要密切结合泵站对于流量扬程的具体需求，开展细致周到的设计工作。在整个选型的过程当中，还应当充分考虑到设备在整个生命周期之内的成本问题，要在初期投资以及长期节能收益之间做好相应的平衡工作。

2.2 变频调速与智能控制技术

变频调速以及智能控制技术能够对水泵转速加以调节，以此来与流量的变化相适配，进而避免出现阀门节流

方面的损失，最终达成降低能耗的目的。变频器会依据实时的工况信号，自行对电机频率做出调整，让泵组处于高效的运行区间当中。智能控制技术把传感器和算法相互融合起来，促使泵站可以实现自动化的运行状态，同时还能对启停策略予以优化，从而削减人为干预所产生的误差。这些技术在实际应用的过程当中，一方面提升了泵站对于各种情况的响应速度，另一方面也强化了系统的整体稳定性。

2.3 管路系统优化与水力匹配技术

管路系统优化以及水力匹配技术，其关键在于着力去削减管道方面的阻力，并且要尽力避免出现泄漏情况。通过科学合理地对管径加以设计，同时对管道的布局予以规划，并且精心挑选各类配件，以此来促使水力损失得以降低。具体的优化举措包含了选用内壁较为平滑的管道，尽可能地减少弯头的数量，并且安装那些能高效运作的阀门等，而这些做法均能够对水流的动力学性能起到良好的改善作用。水力匹配技术能够保证水泵、管路和负载三者之间实现有效的协调配合，从而防止出现气蚀或者振动之类的种种问题，进而使得整个系统的效率得到切实的提升。比如说，运用计算流体动力学展开分析，是能够精准地对管路的压降情况进行预测的，这无疑为优化设计给予了相应的指导。把这类技术综合集成起来，便给泵站实现节能目标提供了强有力的工程方面的有力支撑。

3 节能改造技术的集成应用模式

3.1 技术组合策略

制定科学的技术组合策略是集成应用的核心理念在于依据目标泵站的实际诊断状况来确定后续举措，具体而言，要弄清楚主要的能耗损失到底是源自设备运转效率低下、调节方面存在损失，还是系统本身阻力过大，之后再据此精准地挑选出一整套恰当的技术手段，将它们打包起来加以运用。比如说，针对那类设备老化情况较为严重并且负荷波动幅度很大的泵站而言，最为理想的技术组合方案或许就是“把效率较低的水泵电机替换掉，同时对变频调速控制系统做出改造，并且对局部管路予以优化”这样的组合；然而对于那种设备相对来说还比较新，但是控制手段较为落后且系统匹配程度不够理想的泵站来讲，其策略的重点大概就会集中在“增加智能控制系统，同时开展精细化的水力调试以及对局部管道进行改造”这些方面了。组合策略的制定，得遵循“先易后难、效益优先、技术协同”这原则，优先去实施那种投资回收期比较短、节能效果明显并且技术成熟度高的措施，并且要充分考量各项技术之间的接口兼容性以及协同工作的能力，防止因为技术

出现冲突，致使改造效果大打折扣。成功的组合策略，往往是建立在对泵站进行全面且细致的能源审计的基础之上的，这就要求工程技术人员不但要精通单项技术，还要具备系统的思维以及集成的能力。

3.2 改造实施流程

规范化的改造实施流程对于保障项目质量、控制投资风险以及实现按期投运而言极为关键，其完整流程一般涵盖多个阶段，像前期诊断评估阶段、可行性研究与方案设计阶段、施工图设计与采购阶段、现场施工与安装阶段、系统调试与性能测试阶段以及竣工验收与后期培训阶段等。在前期诊断评估阶段当中，得完成详尽的能耗测试以及细致的问题诊断工作；到了可行性研究与方案设计阶段，则需提出多种多样的技术方案，并且开展技术经济方面的比较分析，从而确定出最为优秀的方案；在施工阶段，要格外留心新旧系统的衔接以及过渡事宜，尽量把对泵站正常运行所产生的干扰降到最低限度；而在调试阶段，得借助精细的参数整定以及联合试运行的方式，让集成之后的新系统能够达成设计所规定的最佳性能状态。在整个改造实施流程当中，构建起严格的项目管理制度、清晰明确的文档记录体系以及针对各阶段成果的评审机制是十分重要的，如此便能够有效地确保改造工程可以有条不紊地向前推进，最终顺利达成预期的改造目标。

3.3 能效监测与评估体系

改造完成并不是项目最终的终点所在，构建起长期且可靠的能效监测以及后评估体系，对于去验证改造所取得的效果、察觉到在运行过程当中产生的新的问题，并且还能够为未来持续开展的改进工作给予数据方面的有力支撑，有着不容忽视的重要作用。这一体系一般是由部署在各个关键节点处的智能传感网络、负责数据采集以及传输的单元、数据中心还有能效分析管理软件平台共同组成的，其可做到对泵站的电压、电流、功率、流量、压力、水位等一系列核心参数展开实时且连续的监测活动。依据这些实时获取的数据，评估体系得要对一系列能效关键绩效指标加以计算并且予以展示，像单位提水百米耗电量、泵机组运行效率、装置能源效率等这类指标，并且还要能够支持按照日、月、年等不同周期来开展统计分析、趋势研判以及报表生成等相关工作^[2]。通过将改造前后在相同工况之下所对应的 KPI 数据进行对比的方式，便能够较为客观且量化的对节能改造实际所达成的成效做出相应的评价，与此持续不断地开展监测工作也能够促使及时发现设备性能出现衰减、控制策略发生偏离等潜在存在的各类问题，进而达成从“经验管理”迈向“数据驱动

管理”的转变。

3.4 运行维护管理优化

再先进的技术与设备，若没有科学的运行维护管理作为保障，那么其长期稳定高效的运行便难以实现。所以说，和硬件改造同步开展或者提前进行的运行维护管理优化工作，这便是巩固以及扩大节能改造成果的“软保障”。管理优化涵盖诸多方面的内容：一方面要依据新系统所具有的特点，去修订并完善运行操作规程、巡检保养制度还有应急预案；另一方面需强化对运行维护人员的专业技术培训，让他们能够熟练地掌握新设备、新系统的原理以及操作维护要点；还可以引入基于状态监测的预防性维护策略，借助监测数据来预测设备的健康状况，把“故障后维修”的模式转变为“计划性维护”，如此一来便能够减少因非计划停机而产生的损失；最后还需探索着去建立与能效指标相挂钩的绩效考核机制，从管理层面给予员工激励，促使他们主动地去关注并优化能耗。唯有将先进的技术与精益化的管理紧密融合起来，才能够确保节能效益在泵站的整个生命周期当中得以持续不断地释放出来。

4 节能改造效果

4.1 节能效果评价指标

一套科学且较为完备的节能效果评价指标体系，能够充当衡量改造是否成功的标尺。该体系一般涵盖直接效果指标、效率提升指标以及运行质量指标这三个类别。其中，直接效果指标最为直观的呈现方式便是节电量以及节电率，只需对改造前后的同期且处于相同工况条件下的用电量加以对比，便能够获取到这些数据。效率提升指标包含了诸如水泵机组效率提升的百分点、装置效率提升的百分点等，这能够反映出在能量转换以及利用环节所取得的改进情况。而运行质量指标，则着重于改造所带来的附加价值方面，像是系统压力波动范围有所缩减、设备故障率出现下降、自动化水平得以提升的程度等^[3]。这些指标需要综合起来运用，一方面要留意直接的能源节约状况，另一方面也要意识到系统可靠性以及运行质量改善之后所产生的间接效益以及长期的价值。

4.2 经济效益分析

经济效益乃是推动节能改造的最为直接的一股动力。在对之展开分析的时候，往往会采用全生命周期成本评价法。这种方法既需要去计算初始改造投资的具体数额，同时也要对改造之后所产生的各项成本节约情况加以核算，像因为电费有所减少、维修费用得以降低以及设备使用寿命变得更为延长等因素所带来的长期运行成本方面的节约都得算进去。静态投资回收期算是一个较为常用的简易

指标，不过要是碰上那些投资额度较大且周期相对较长的项目，那就得去计算动态投资回收期、净现值或者内部收益率等一系列指标了。通常来讲，一个设计较为良好的集成化节能改造项目，它的静态投资回收期往往能够在三至六年这样的时间跨度之内。在回收期之后，每年所产生的运行费用节约情况将会形成持续不断的现金流，进而给泵站运营单位带来源源不断的可观经济收益。除此之外，节约下来的电力容量还有可能为泵站争取到相应的政策性补贴或者让它能够参与到需求侧响应市场当中去，从而创造出额外的经济价值。

4.3 环境效益分析

节能改造所产生的环境效益主要体现在两个方面，其一是直接对污染物加以减排，其二是间接实现资源节约。具体来讲，每节约一度电，也就意味着发电侧会相应减少一定数量的标准煤消耗，与此还会同步减少二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物以及粉尘等一系列污染物的排放^[4]。通常的做法是把泵站所节约的总电量按照一定比例折算成标准煤以及二氧化碳减排量，以此来量化其环境贡献。在当今这个应对气候变化已经成为全球共识的时代背景下，这样的环境正效益让泵站节能改造项目在获取政策支持以及社会认可方面变得更加容易，同时也是践行绿色发展理念的一项具体行动。

5 结束语

本研究全面且细致地探讨了中小型泵站节能改造技术的实际应用情况。先是深入分析了当前的能耗状况，接

着仔细梳理了其中的关键技术要点，然后精心构建起相应的集成模式，并且还对改造后的效果展开了评估。如此一来，便给相关行业提供了很有价值的参考依据。节能改造这一举措，一方面能够有效地降低能耗以及成本支出，另一方面也有助于推动环境朝着可持续发展的方向前进，这无疑很好地体现了工程实践层面和社会责任层面的有机结合。在未来开展的研究当中，应当把目光更多地聚焦在新技术融合以及标准化建设这两个方面，以此来进一步推动泵站节能朝着更为纵深的层次不断发展。简而言之，集成化改造可以说是中小型泵站实现转型升级必须要走的一条路，这就需要各方多主体协同发力，一同去积极推动这项工作向前迈进。

【参考文献】

- [1]唐钧.中小型泵站水利工程建设安全生产管理[J].水上安全,2023(10):88-90.
- [2]丁芳.中小型泵站运行质量的要点探析[J].产品可靠性报告,2025(7):106-107.
- [3]柏亭鑫.中小型泵站冬季施工的关键保温技术探究[J].全面腐蚀控制,2024,38(10):109-112.
- [4]蔡文涛.中小型提水泵站工程改造方案优选[J].水上安全,2024(6):40-42.

作者简介：宋扬（1979.9—），男，毕业院校：南京工程学院，所学专业：工程管理，当前就职单位：扬州水利工程有限责任公司，职务：工程管理人员，职称级别：工程师。