

西藏高海拔乡镇集中式供水工程设计及节水改造研究

仁增拉姆 昂拉姆

西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院 西藏 拉萨 850000

【摘要】：高海拔乡镇集中式供水工程面临地形复杂、水源有限及水压不稳问题。通过优化管网布局、泵站选型及水源调度，并实施漏损检测、节水设备应用和智能调控措施，实现供水效率提升与水资源节约。改造后系统水损率和能源消耗显著降低，压力稳定性增强，储水调度和水量分配得到优化。综合效果显示，供水系统运行经济性和可持续性明显提高，为高原地区乡镇供水工程设计与节水改造提供技术支持和实践经验。

【关键词】：高海拔;集中式供水;节水改造;管网优化;水资源效率

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.072

引言

高原地区地形复杂、水源分布不均，乡镇供水工程建设和运行成本高。传统集中式供水系统在高海拔环境下容易出现水压不足、管网漏损和能源浪费问题。通过优化设计方案、改进供水设施及采用节水技术，可在保障供水安全的前提下提高系统效率，降低资源消耗。针对高海拔乡镇特点，探索供水工程设计与节水改造的结合路径，能够实现水资源的合理利用和工程运行的经济性，同时为类似地区提供可参考的工程实践经验。

1 供水系统现状与问题分析

(1) 高海拔地区供水环境特征：高海拔地区地形起伏大、气候寒冷干燥，水源分布呈不均匀状态，河流流量季节性差异明显，地下水资源开发受地质条件限制，水源保障难度大。地面水易受冰雪融水和降雨季节变化影响，导致水量波动明显。低温环境增加水管结冰风险，提升施工与维护难度，同时影响供水压力和水质稳定性。空气稀薄导致泵站运行效率下降，能源消耗增加。水质易受高原特殊土壤和矿物质影响，需采取加氯、沉淀及过滤等处理措施。系统需同时兼顾水量调节、管网抗冻、防泄漏及安全供水目标，形成技术与自然条件高度匹配的工程设计。

(2) 集中式供水系统运行问题：集中式供水系统在高海拔乡镇运行中存在压力分布不均、管网漏损率高、泵站能耗大等问题。长输管道与地形落差使水压难以保持稳定，导致末端供水不均衡。管材老化、接头密封性差及地质沉降引起管网漏损，水损率明显高于平原地区^[1]。泵站频繁启停增加机械磨损及能源消耗，同时运行调度与储水容量匹配不足，导致供水峰谷差管理困难。自动化监控和管网调控手段滞后，无法及时发现和应对异常运行状况，增加系统运行风险，制约供水效率的提升。系统可靠性与经济性亟需通过

结构优化和技术升级进行提升。

(3) 水资源利用效率现状：水资源利用效率低下表现为管网漏损率高、用水管理不精细及再利用率低。高海拔地区水资源开发受自然条件约束，水源有限，过量排放和浪费直接降低系统经济性和可持续性。缺乏分区计量和智能调控，导致峰谷水量分配不合理。节水设施普及率低，传统供水模式难以实现水量精细化管理。水处理与供水环节能源消耗大，水损与能耗双重问题加重运营压力。提升水资源利用效率需综合技术措施，包括漏损控制、智能调度及用水行为优化，以实现资源节约和工程可持续发展目标。

2 设计方案优化策略

(1) 管网布局与水压调控：高海拔乡镇供水管网布局需充分考虑地形落差、管径选择及分区供水原则。管网设计采用分区供水模式，通过重力与泵站组合实现压力梯度调控，保障末端用户水压稳定。管径选择依据流量计算及水力摩阻损失分析，兼顾施工经济性和系统长期运行效率。压力调控可通过安装压力调节阀、变频泵和分区调压设备，实现管网不同区域压力动态调整，降低管道泄漏风险。管网布设遵循主干-支干-支线三级结构，优化水流路径，减少水力损失，同时保证供水可靠性。节点位置和管材选型结合抗冻、耐压和耐腐蚀要求，提高管网运行寿命。智能监测系统与 SCADA 技术可对管网压力、流量和水质进行实时监控，及时发现异常并调整压力控制策略，实现节能与防损一体化管理，提升系统整体效率和运行稳定性。

(2) 泵站选型与运行优化：泵站设计需结合高原地理环境和负荷特性，选用高效节能泵型，满足流量调节和高压供水要求。泵站容量通过负荷预测和峰谷分析进行匹配，避免过大或过小造成能源浪费和设备过载。采用变频控制技术，实现泵站运行负荷动态调

整,优化能耗曲线。泵站布局合理化,通过分级泵站或中间增压泵站组合,解决地形高差带来的压力不足问题。泵站管路与阀门系统优化,减少局部水力损失,提高整体扬程效率^[2]。引入自动化控制系统,可实现泵组启停逻辑优化和远程运行监控,对泵站效率和能耗进行精细化管理。泵站维护策略结合设备运行状态监测,延长使用寿命并降低故障率,同时通过泵站与管网的协调运行,实现高海拔乡镇供水系统的稳定性和经济性双提升。

(3)水源调度与储水设计:高海拔地区水源调度需兼顾季节性变化和水量波动,储水设施容量计算结合日峰用水量、季节性水源供给以及管网输水能力,确保供水安全。储水布置分布式与集中式结合,采用多级水箱与调节池体系,实现储水缓冲与供水平衡。水源调度策略通过泵站流量控制、管网分区管理及智能调度系统,实现水量按需分配,降低管网压力波动和水损。结合水质监测,储水设施设计需保证水体更新频率和水质安全,采用合理换水周期和分层储水策略。调度系统可根据实时供水需求和水源可用性调整输水方案,优化泵站运行时段,实现能源与水资源协同节约。水源调度与储水设计紧密结合管网布局与泵站优化,实现供水系统稳定高效运行,同时最大化水资源利用率,适应高海拔地区复杂水文条件。

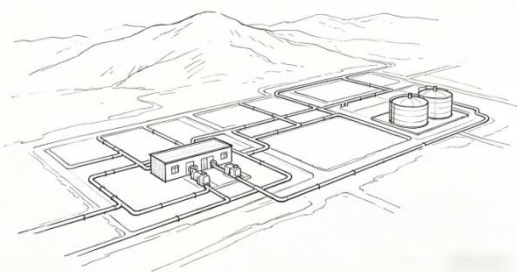


图1 山区泵站与储水罐平面布局

3 节水改造技术应用

(1)管网漏损检测与修复:高海拔乡镇供水管网漏损问题严重,主要受管材老化、接头腐蚀和地质沉降影响。管网漏损检测需采用多种手段结合的方法,包括水力模型分析、声学检测和智能压力监测。水力模型可通过管网流量和压力数据计算潜在漏点位置,辅助制定优先修复策略。声学检测技术利用管道内流动声波特征识别微小裂缝和渗漏区域,提高漏损发现精度。实时压力监控系统可对异常波动进行报警,实现漏损快速定位与修复。修复措施包括管道局部更换、接头加固及管材内衬加固技术,提高耐压和抗腐蚀能力。管网漏损检测与修复过程需结合施工便捷性和维

护周期优化,实现系统整体漏损率显著降低,同时保障水量稳定和供水可靠性,为高海拔地区节水改造提供技术支撑。

(2)节水设备与措施推广:节水设备推广涵盖供水终端设施和管网控制系统两方面。供水终端通过安装流量控制阀、节水型水表和高效水龙头,实现用水量精准控制。管网控制系统采用智能调度、分区计量和自动阀门控制,实现供水量动态匹配用户需求,减少过量供水和水力损失^[3]。结合管网运行数据,优化用水时段管理,通过削峰填谷减少水泵高负荷运行。推广措施还包括高效回收与再利用技术,如雨水调蓄和中水回用,缓解水资源压力。设备选型需兼顾高原特殊环境要求,保证低温下运行稳定性和耐久性。节水设备与措施的系统应用不仅减少水资源消耗,还降低能源成本和管网压力波动,为高海拔乡镇供水系统提供可持续、经济和技术可行的改造路径。

(3)用水行为优化与管理:用水行为优化通过智能化调控和信息反馈提高用水效率。管网分区计量结合实时数据采集,分析用水模式和峰谷差异,实现供水策略动态调整。高海拔地区居民和公共用水单位的用水需求呈现季节性波动,需通过精细化调度和分区控制优化供水时间与流量。用水管理系统通过数据分析识别异常用水点和潜在浪费环节,配合自动控制阀门和泵站调节,实现精准供水。结合管网压力和流量监控,可调整供水优先级,减少非必要水损和能源消耗。优化用水行为与管理策略不仅提高系统效率,也保障水资源合理配置,使节水措施和供水系统运行高度协调,为高海拔乡镇供水工程节能、节水和可持续发展提供科学依据。

4 改造效果评估与分析

(1)系统运行效率变化:改造后的供水系统通过管网优化、泵站调节及智能控制实现运行效率提升。管网压力分区控制和流量监测减少了局部低压和过压现象,提高水输送稳定性。泵站运行采用变频调节,实现能耗与水量匹配,降低频繁启停对设备效率的影响。智能监控系统实时采集管网流量、水压及水质数据,为动态调度提供依据,使供水系统在峰谷用水时段能够平稳运行,减少波动损失。储水设施的分布式与集中式组合调度优化,实现水量缓冲和均衡供给,降低泵站负荷波动对系统效率的影响。整体运行数据表明,改造后系统平均水力利用率显著提高,输配效率提升明显,管网压力稳定性增强,为高海拔乡镇供水系统提供持续、高效的运行基础。(2)水损与能源消耗改善:通过漏损检测与修复、管网布局优化和节

水设备应用,管网水损显著降低。漏损率降低使实际送水量与计量水量差距缩小,提高水资源利用率。管网压力调节与泵站负荷优化结合,实现输水能耗的有效控制,峰值时段能耗显著下降。智能监测系统对异常流量和压力波动进行即时反馈,减少潜在水损和不必要的泵站运行时间^[4]。节水设施在终端的推广进一步降低用水浪费,并通过管网流量匹配优化泵站调度,提升整体能源使用效率。数据分析显示,水损率下降幅度明显,单位输水能耗降低,系统整体节能和节水效果同步显现,为高海拔供水工程的可持续运行提供可靠技术支撑。(3)经济性与可持续性评价:改造后的系统在投资与运行成本间实现优化平衡。管网优化和节水设备投入降低长期维修及能源支出,泵站运行负荷降低减少维护频率和设备损耗。水损控制提高资源利用效率,使水量供需更精确匹配,减少无效供水及相关费用。储水调度与智能管理系统降低高峰负荷,提升设备使用寿命,减少重复投资。长期运行数据显示,综合改造成本回收周期缩短,经济效益明显增强。系统可持续性体现在节能、节水和可靠供水的协调实现,技术方案适应高原地区水文和地理条件,为乡镇集中式供水提供稳定、经济、环保的运行模式,同时为类似地区工程推广提供参考经验。

5 实施经验与工程推广

(1)设计与改造的实践经验:高海拔乡镇供水工程设计及改造经验表明,管网优化和分区供水方案对系统稳定性和效率提升具有决定性作用。管网布局需充分考虑地形落差、压力调节和水力损失,结合分级泵站和储水设施形成水量缓冲与调节机制。泵站选型需满足高原低温、高扬程的运行要求,同时通过变频控制和自动调节实现能耗最小化。节水改造中,漏损检测、管材升级及终端节水设备的系统应用,使水资源利用率显著提高。智能监控系统在运行中发挥关键作用,实现压力、流量及水质数据的实时采集与分析,为优化调度和异常处理提供依据。实践经验表明,高

原供水工程需综合考虑自然条件、运行效率与节水目标,实现工程设计与改造技术的高度融合,提高系统长期可靠性和经济性。(2)技术应用中问题及解决方法:技术应用过程中,管网老化、压力波动、泵站能耗高和水损率上升是主要问题。针对管网漏损,可采用声学检测、压力监测和局部管材加固相结合的方法,实现精准定位和高效修复。泵站能耗高的问题通过变频泵控制和负荷分级运行得到改善,减少频繁启停和不必要能耗^[5]。管网压力不均衡问题通过压力调节阀、分区供水和智能调控系统得以解决,保证末端供水稳定。水质波动问题通过储水分层设计和水源调度优化降低风险。技术应用中结合高原地理特征和能源约束的解决方法,使系统稳定性、节能性和水资源利用效率同步提升,为高海拔乡镇供水工程提供可靠的实施策略和可操作性方案。(3)对类似地区供水工程的借鉴:改造经验对类似高海拔或地形复杂地区供水工程具有重要参考价值。通过管网优化、分区供水、泵站选型及智能调控,可有效解决压力波动和水损问题。节水措施和终端设备的应用提供了水量精细化管理路径,实现资源利用效率提升。储水与水源调度方案能够应对季节性水量波动和供水不均,保障系统稳定运行。技术应用与管理经验的结合形成可推广模式,在类似地区可指导工程设计优化、运行策略改进及节水改造实施,提升供水系统经济性、可靠性和可持续性,同时为工程决策提供数据支撑和实践经验,实现资源节约与工程效率的同步提升。

6 结语

高海拔乡镇集中式供水工程设计与节水改造的系统实施显著提高了供水效率和资源利用水平。优化供水结构与智能调控技术的集成促使水损和能耗显著降低。多维度评价表明供水系统运行更稳定,经济与可持续性效益明显提升,为复杂地理条件地区工程提供有效技术支撑和实践经验参考推动高原地区供水工程整体优化发展。

参考文献:

- [1] 华敏,陈剑云,傅钦翠,钟汉华.基于动态相量法的地铁牵引整流机组谐波传递研究[J].铁道学报,2024,46(10):58-67.
- [2] 韩刚.西北高海拔灌区节水水平及潜力分析[J].地下水,2023,45(6):124-125+132.
- [3] 车璐,唐多生.高海拔水电站技术供水管道结露处理及改善[J].浙江水利科技,2021,49(5):47-51.
- [4] 陈飞,董尚荣.高寒高海拔地区集中式光伏电站的可靠建造施工方法分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(2):009-012.
- [5] 朱派辉.高海拔地区集中式光伏发电项目的经济效益与环境效益[J].产业创新研究,2024(16):32-34.