

绿色低碳理念下的农村供水系统运行优化与能耗管理研究

张华宇

宁夏水投中源（清水河）有限公司海兴分公司 宁夏 中卫 755000

摘要：本文围绕绿色低碳理念下农村供水系统运行优化与能耗管理展开研究。分析农村供水系统构成、运行特性及与绿色低碳理念的关联，探讨影响系统能耗的关键因素。从取水、水质处理、管网、终端供水环节提出运行优化策略，构建能耗监测评估体系，阐述能源结构转型、设备能耗控制及系统维护管理路径，还涉及技术支持、管理机制完善与规划设计等保障措施，为农村供水系统低碳运行提供思路。

关键词：农村供水系统；绿色低碳；运行优化；能耗管理；节能技术

引言：农村供水系统是保障居民生活的重要基础设施，其运行状态与能源消耗、生态环境密切相关。随着绿色低碳理念的深入，传统供水系统在能耗控制与环保方面的不足逐渐显现。系统各环节运行均存在能耗优化空间，且受多种因素影响，低碳转型面临挑战。在此背景下，研究农村供水系统运行优化与能耗管理，对于降低能源消耗、减少碳排放、提升系统生态适应性具有重要意义，也是推动农村基础设施可持续发展的必然要求。

1 农村供水系统与绿色低碳理念的关联基础

1.1 农村供水系统的构成与运行特性

农村供水系统包含水源取水、水质处理、管网输送、终端供水等环节，各环节相互衔接形成闭环。水源取水依类型配设备，地表水设拦污设施，地下水用深井泵或潜水泵，性能适配水源条件^[1]。水质处理按规模配设施，小型用集成装置，大型分设沉淀、过滤和消毒空间，步骤随原水情况调整。管网由主管道、分支管及配件构成，主管道长距离输水，分支管到各户，配件用于调节和计量。终端涉及用户接入管和用水器具，影响居民用水体验。系统运行具分散性，受村庄分布和地形影响，管网呈枝状或混合状。山区管网随坡地起伏需加压，平原管网平直能耗较低。供水规模差异大，小型服务户数少、负荷波动大，大型覆盖多村落需分区平衡水压。运行模式适配规模，小型可间歇供水，大型需持续运行。系统运行与自然环境关联密切，水源水量受季节影响，雨季地表水杂质多，旱季地下水水位可能下降。温度波动影响处理效果，低温减慢消毒反应，高温加速微生物繁殖。强降雨增加处理难度，陡坡区域需调压防管道破裂。

1.2 绿色低碳理念对供水系统的核心要求

强调在系统运行中减少能源消耗，降低碳排放，推

动能源结构向清洁能源转型。优先采用太阳能、风能等可再生能源驱动供水设备，减少传统电力依赖。要求水资源利用高效化，减少输水过程中的损耗，提升循环利用水平。通过优化管网设计降低漏损，收集处理雨水、再生水用于灌溉等非饮用用途。注重系统运行的生态友好性，避免水质处理过程中产生污染，降低对周边环境的影响。选用环保型处理药剂，减少化学物质残留，处理后的污泥需妥善处理以防二次污染。倡导采用低碳材料与技术，从设施建设到日常运行全过程融入环保理念。管道选用耐腐蚀、寿命长的环保材料，设备采用节能型型号，运维中推行数字化管理减少人力与资源浪费。

1.3 影响系统能耗与低碳运行的关键因素

取水环节的设备能耗，如水泵的功率与运行效率，直接影响系统总能耗。水泵选型过大易造成能源浪费，选型过小则无法满足供水压力需求，需匹配实际工况。管网布局合理性，不合理的管径选择或管网老化会增加输水能耗与漏损。管径过大导致水流速度过慢，增加滞留时间与能耗；管径过小则阻力过大，提升水泵负荷，老化管道的破损会加剧水资源浪费。水质处理工艺的能耗差异，不同处理技术的能源需求不同，影响低碳目标实现。传统处理工艺依赖机械搅拌与加热设备，能耗较高；新型工艺结合生物处理与膜过滤技术，能源需求显著降低。运行管理水平，包括设备维护频率、运行参数调节等，对能耗控制有重要作用。定期维护可减少设备故障与效率下降，根据用水高峰调节水泵运行参数，能在保障供水的同时降低能源消耗。

2 农村供水系统运行优化策略

2.1 取水环节的节能优化

根据水源水位变化合理选择取水方式，避免不必要的扬程损耗。地表水取水可随季节水位涨落调整取水口位置，水位较高时采用自流方式，水位较低时再启动

提水设备。地下水取水需监测井水位变化,水位下降时及时调整水泵安装深度,减少额外扬程消耗。优化水泵选型与组合运行,根据供水规模与输水距离选择匹配功率的水泵,多台水泵联合运行时采用大小搭配方式,适应不同时段的用水负荷。采用变频调速技术,通过传感器感知管网压力变化,自动调节水泵转速,使水泵运行工况与实际供水需求匹配。定期对取水设备进行维护保养,清理水泵叶轮附着的杂质,检查轴承润滑状态,减少机械损耗,提升运行效率。合理安排取水时间,结合区域用电峰谷特点,在用电负荷较低时段加大取水量并储存,避开用电高峰,降低运行成本与能源消耗。

2.2 水质处理工艺的低碳调整

优先采用能耗较低的处理技术,如针对水质较好的地下水采用简单过滤加消毒工艺,替代复杂的深度处理流程。结合水源水质特点简化处理步骤,原水浊度较低时可减少混凝沉淀环节,直接进入过滤工序,减少不必要的处理环节^[2]。优化药剂投加量,通过在线监测水质指标变化,实时调整混凝剂、消毒剂的投放量,通过精准控制降低药剂消耗,同时减少副产物产生。处理设备运行过程中注重工序衔接,避免前序环节处理不充分导致后序环节负荷增加。推动处理工艺与清洁能源结合,在处理设施顶部安装太阳能光伏板,利用太阳能提供处理设备动力,降低对传统能源的依赖。处理系统的电气设备选用节能型号,减少待机能耗,提升能源利用效率。

2.3 管网系统的运行优化

定期对管网进行检测与修复,采用管道泄漏探测技术定位漏损点,及时修补破损部位,减少漏损率,降低因补水造成的能耗增加。根据用水量变化动态调节管网压力,在用水高峰时段保持合理压力保障供水,在用水低谷时段适当降低压力,避免高压运行导致的能耗浪费与管网损坏。优化管网节点布局,在规划设计阶段避开障碍物,减少不必要的转弯与变径,降低水流阻力。管道铺设时保持平缓坡度,避免局部隆起或凹陷形成气囊,影响输水效率。对老旧管网进行改造,更换内壁光滑的节能型管材,减少水流摩擦损耗,提升输水效率。管网阀门选用低阻力型号,降低局部水头损失,使水流更顺畅通过。

2.4 终端供水的高效调控

推广节水型用水器具,如节水水龙头、低流量淋浴器等,通过减少出水量引导用户合理用水,减少无效用水量。用水器具安装时确保密封性能良好,避免滴漏现象造成的水资源浪费。建立终端用水监测系统,在用户水表处安装智能监测装置,实时记录用水量变化,及

时发现异常用水情况,通过排查管道泄漏或器具故障,避免水资源与能源浪费。根据用户用水规律调整供水时段,在清晨与傍晚用水高峰期保证充足压力,在夜间等用水低谷期合理降低供水压力,实现节能运行。对学校、村委会等集中用水场所,根据其作息时间制定专项供水方案,在非使用时段适当减少供水,提升能源利用效率。加强对用户的用水引导,通过宣传培养节水意识,形成合理用水的习惯。

3 农村供水系统能耗管理路径

3.1 能耗监测与评估体系构建

在系统关键环节安装能耗计量设备,针对水泵、处理设备、加压装置等主要耗能部件,分别配备计量仪表,实时采集运行过程中的能耗数据。计量设备需具备数据传输功能,将采集到的信息汇总至管理平台,形成连续完整的能耗记录。建立能耗评估指标体系,涵盖单位供水量能耗、各环节能耗占比、设备运行效率等内容,通过具体指标量化系统整体能耗水平与各部分的能耗贡献。定期对能耗数据进行分析,对比不同时段、不同工况下的能耗变化,排查能耗异常波动的原因,识别高能耗环节。结合系统运行特点,判断各环节能耗是否处于合理范围,为后续的节能改造明确方向和重点。

3.2 能源结构的低碳化转型

逐步增加太阳能、风能等清洁能源在系统运行中的占比,在取水点、处理厂等场所安装太阳能发电装置,为水泵、照明等设备提供电力,替代传统电能。风力资源丰富的区域可配套建设小型风力发电设施,补充能源供应。合理规划能源存储设施,选用适配的储能设备储存多余的清洁能源电力,解决清洁能源受天气影响供应不稳定的问题,保障系统在无清洁能源输入时仍能持续运行。根据区域能源资源特点,分析太阳能辐射强度、风力大小等因素,选择适配的清洁能源组合方式,使不同能源之间相互补充,提升能源利用效率。能源转换设备优先选用高效型号,减少能源转换过程中的损耗。

3.3 设备运行的能耗控制

制定设备运行维护规程,明确各类设备的检查周期与内容,定期检查设备运行状态,查看电机温度、振动情况、润滑程度等,及时更换老化部件,避免因设备故障导致运行阻力增加能耗上升^[3]。优化设备运行参数,根据供水负荷变化调整水泵转速,依据处理水量调节风机风量,使设备在高效区间运行。对于长期运行的设备,采用间歇停机方式让设备得到休整,减少持续运行造成的能耗累积。建立设备台账,详细记录设备型号、安装时间、能耗数据与维护情况,通过分析台账信息掌握设

备能耗变化规律，为设备更新换代提供参考，优先淘汰能耗超标设备。

3.4 系统维护的节能化管理

采用节能型维护设备与材料，选择低功耗的管道清洗机、便携式检修工具，使用可降解的管道清洗剂，减少维护过程中的能源消耗与环境影响。合理安排维护周期，根据设备使用频率、管网老化速度等因素制定维护计划，避免过度维护造成的人力物力浪费，也防止维护不足导致系统性能下降。在管网清洗、设备检修等维护作业中，优化作业流程，提前规划作业时间与步骤，缩短系统停机维护时长，降低对系统正常运行的影响与能耗增加。维护过程中注重对节能部件的保护，如清洗过滤设备时避免损坏节能型滤网，确保维护后设备仍能保持高效运行状态。

4 农村供水系统低碳运行的保障措施

4.1 技术应用与升级支持

加强低碳节能技术的研发与推广，聚焦农村供水系统的特点，开发适用于小型化、分散式场景的节能设备与工艺，为不同规模的供水系统提供适宜的技术方案。针对取水、处理、输水等各环节的能耗痛点，定向研发针对性技术，如低扬程高效水泵、节能型水质净化装置等。建立技术服务体系，依托专业技术人员组建服务团队，为系统运营方提供上门指导，帮助其掌握节能优化方法，解决技术应用中的实际问题。通过现场示范、案例讲解等方式，提升运营方对新技术的接受度与应用能力。推动现有系统的技术升级，对运行年限较长的高能耗设备与工艺进行全面排查，制定分阶段改造计划，优先更换能耗超标的水泵、电机等核心设备，对处理工艺进行优化调整，减少不必要的能耗环节。技术升级过程中注重与原有系统的兼容性，降低改造难度与成本，逐步提升系统整体的低碳运行水平。

4.2 运行管理机制的完善

建立专门的节能管理团队，团队成员涵盖技术、操作、维护等专业人员，明确各自职责分工，负责系统能耗日常监测、节能方案制定与实施、效果评估等工作。团队定期召开能耗分析会议，及时发现运行中的节能潜力点。制定低碳运行管理制度，细化各岗位的节能职责，将能耗控制指标分解到具体岗位与个人，纳入绩效

考核体系，通过奖惩机制激发员工的节能积极性。制度中明确设备操作规范、能耗数据记录要求、节能措施执行标准等，确保各项管理要求落到实处。加强操作人员培训，根据不同岗位需求设计培训内容，重点提升其对节能设备与技术的应用能力，规范操作流程，避免因操作不当导致的能耗增加。培训形式结合理论讲解与实操演练，定期组织技能考核，确保操作人员能熟练掌握节能运行技巧。

4.3 系统规划与布局的低碳化设计

在供水系统规划阶段融入绿色低碳理念，开展详细的前期调研，结合村庄分布密度、人口规模、地形特点等因素，优化水源选择与管网走向。优先选择就近水源减少输水距离，管网路径避开复杂地形降低施工与运行能耗。根据用水需求分布合理划分供水区域，实现分区精准供水。采用模块化设计，根据当前用水规模确定初始建设规模，预留未来扩展接口，使系统具备随需求增长逐步扩展的能力，避免一次性过度建设或后期重复建设造成的能源与资源浪费。模块组件采用标准化设计，便于生产、运输与安装，减少建设过程中的能耗。注重与周边生态环境的协调，系统选址避开生态敏感区域，设施建设采用环保型材料，管网铺设减少对地表植被的破坏，运行过程中妥善处理废水、废渣，采用生态友好的处理方式，减少系统建设与运行对生态的干扰，维持生态系统的完整性。

结束语

农村供水系统的绿色低碳运行是一项系统性工作，需兼顾运行效率与能耗控制。通过优化取水、处理、管网、终端供水各环节，完善能耗管理路径，辅以技术、管理、规划等保障措施，可显著提升系统的低碳水平。这不仅能降低运行成本，还能推动乡村生态环境改善，为乡村可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]李晓飞.农村给水及污水管网建设与优化研究[J].生态与资源,2025(2):41-43.
- [2]黄翔.农村饮水工程中的管网设计与优化布局[J].奥秘,2025(10):232-234.
- [3]罗素华.农村供水系统优化设计与可持续发展策略研究[J].水上安全,2024(17):96-98.