

农村自来水供水管网布局优化设计

娜孜热·艾力

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6584

[摘要] 随着我国乡村振兴战略的深入实施,农村基础设施建设水平显著提升,尤其是农村供水工程已成为改善民生、推动农村社会经济可持续发展的关键环节。本文基于农村供水特点,综合考虑地形地貌、人口分布、水源条件和经济性等因素,探讨农村自来水供水管网的优化设计思路与实践策略。通过系统分析供水管网的结构形式、设计原则与优化方法,提出了以“安全、经济、高效、可持续”为目标的布局优化模型。研究结果表明,科学的管网优化不仅能够提高供水系统的运行稳定性,还可显著降低能耗与维护成本,为农村供水工程的规划与建设提供有益参考。

[关键词] 农村供水; 自来水管网; 优化设计; 水力平衡; 可持续发展

中图分类号: TK284.7 **文献标识码:** A

Optimized design of rural tap water supply network layout

Nazi Re Aili

[Abstract] With the deepening implementation of China's rural revitalization strategy, rural infrastructure development has achieved remarkable progress. Notably, rural water supply systems have become a pivotal element in improving livelihoods and driving sustainable socio-economic development in rural areas. This study examines the optimization design of rural tap water supply networks by comprehensively considering topography, population distribution, water source availability, and economic factors. Through systematic analysis of pipeline configurations, design principles, and optimization methodologies, we propose a layout optimization model guided by the principles of "safety, economy, efficiency, and sustainability." The research demonstrates that scientific pipeline optimization not only enhances operational stability but also significantly reduces energy consumption and maintenance costs, providing valuable references for planning and constructing rural water supply projects.

[Key words] Rural water supply; Tap water pipe network; Optimization design; Hydraulic balance; Sustainable development

引言

农村供水工程是农村公共基础设施体系中的重要组成部分,关系到广大农民群众的生活质量与公共卫生安全。随着城乡一体化进程的加快,农村地区对自来水的的需求不断增长,供水系统的规模与复杂性显著提高。然而,与城市供水系统相比,农村自来水管网的建设和管理仍存在明显短板,尤其是在布局设计环节,缺乏系统规划与科学论证,导致水压分布不均、能耗偏高及漏损严重等问题。管网布局的优化不仅关系到供水系统运行的技术经济指标,也直接影响供水服务的公平性和持续性。近年来,国家大力推进农村供水保障工程,各地逐步形成“集中取水、分区供水、统一管理”的新格局,但在实践中仍需解决多源水并网运行、管网老化及地形复杂等问题。因此,研究适合农村特点的供水管网优化布局设计具有重要现实意义。本文从农村自来水系统的实际需求出发,结合工程实例与技术分析,探讨如何在有

限的资源条件下实现高效、经济、安全的管网布局,以期为今后农村供水工程设计与改造提供参考依据。

1 农村自来水供水系统的特点与设计原则

1.1 农村供水系统的基本特征

农村供水系统作为农村基础设施建设的重要组成部分,其设计与城市供水系统存在显著差异,主要体现在服务对象、地理条件和运行特征等方面。首先,农村供水服务范围广而分散,人口密度较低,用户用水点分布不均,导致供水半径较大,供水网络呈树状或分支状结构。其次,农村地形多样,包括平原、丘陵、山区及高原地区,地势起伏明显,造成水力计算复杂、压力不均的问题。水源方面,多依托地表水、小型水库或地下水,部分地区存在季节性水源短缺或水质波动较大的情况。^[1]

此外,农村用户的用水量受季节、气候和农业生产活动影响显著,如春耕灌溉、夏季生活用水高峰、冬季枯水期等,造成日

变化系数和年变化系数偏高。农村供水工程在投资与管理上也具有局限性,建设资金有限,运维体系不健全,部分地区缺乏专业技术人员,造成系统运行效率低、漏损率高。设计者在系统规划中不仅要保障供水安全与水质达标,还需综合考虑经济性、节能性及后期维护的便捷性,以实现长期稳定运行和可持续发展。

1.2 设计原则与目标定位

农村自来水管网的设计应坚持“因地制宜、经济可靠、安全高效”的基本原则。设计中要充分考虑到当地自然地理条件、居民分布、水源高程及供水规模等因素,以科学合理的方式确定管网布局与管径选择。对于具备高差条件的地区,应优先采用重力自流供水系统,减少加压泵站的使用,从而降低能耗和运行费用;对于地势较平或水源高程不足的地区,则需合理设置加压泵站或调节水池,确保供水压力稳定。

在管网布置方面,应根据村庄或乡镇的道路规划和建筑布局进行综合设计,主干管与支管相互衔接,形成环状或分区供水结构,既保证水力平衡,又便于检修与扩建。设计中要兼顾水质安全与水力稳定性,合理控制流速与压力分布,防止因管径过大导致滞水区形成或因压力过高引起管道爆裂。同时,需预留未来发展空间,为后续人口增长与产业发展提供扩展条件。

总体设计目标在于实现供水系统的安全、经济与可持续发展。既要满足当前用水需求,又应具备灵活的调度与扩展能力,从而保障农村居民长期获得稳定、清洁的生活用水。^[2]

1.3 布局设计应考虑的主要影响因素

农村供水管网的布局设计是系统工程,需要综合考虑多方面因素以实现科学合理的优化设计。

首先,地形条件是最直接的影响因素。在山区与丘陵地带,地形高差大,水头损失显著,若不合理分区供水,可能造成高区供水不足、低区压力过大。设计时应通过设置分区供水、调压阀、蓄水池等措施,实现压力平衡。在平原地区,地势平坦、水源稳定,可采用集中式布网方案,合理控制管网长度和分支数量,以降低能耗与漏损风险。

其次,水源条件与水质保护至关重要。设计应确保取水点水质符合生活饮用水标准,必要时设置沉淀、过滤和消毒环节。同时要考虑到水源保护区划分,防止农业污染或生活污水渗入,确保供水安全。

第三,用户分布与用水需求影响管径选择与流量分配。设计时需基于人口数量、用水类型(生活、灌溉、公共服务等)及未来增长趋势进行预测分析,合理分配供水能力。

第四,施工与维护条件也需纳入考虑范围。农村地区施工条件差异较大,部分山区道路狭窄、地质复杂,应选择便于施工和维护的材料与工艺,如采用高密度聚乙烯(HDPE)或球墨铸铁管,既耐腐蚀又易维修。

此外,信息化与智能化管理也是现代农村供水设计的重要方向。通过引入智能水表、压力监测系统和远程监控平台,可实现供水系统的实时监测与数据分析,及时发现漏损与异常,提高运行效率与管理水平。

2 农村自来水供水管网布局的结构形式与优化思路

2.1 常见管网结构形式分析

农村供水管网结构形式主要包括树状型、环状型与混合型三种类型,各具优缺点。

树状型管网结构最为简单,施工方便、造价低廉,适用于地形相对平坦、用户集中且用水量较小的村镇。然而,该结构的抗干扰能力较弱,一旦主干管或关键节点出现故障,将导致大范围停水,且系统水压分布不均,末端用户容易出现水压不足的问题。

环状型管网则通过主干管道首尾相连,形成闭合回路。其优点在于供水可靠性高,可实现多路径供水,当某一管段发生故障时,可通过其他路径继续供水,系统的稳定性和安全性显著提升。同时,环状结构能有效平衡管网水压,减少水头损失,提高运行效率。但环状管网投资较大,施工与维护成本较高,不适用于资金和地形条件受限的农村地区。

混合型管网综合了树状与环状结构的优点,主干管采用环状布局以保证系统安全,支管部分则采用放射状或树状结构,兼顾经济性与灵活性。这种分区混合布局尤其适用于地形复杂、村落分散、用户分布不均的农村地区。通过合理划分供水分区、设置调压节点与控制阀门,可在确保供水稳定的同时降低投资成本,实现安全性与经济性的平衡。

2.2 优化布局的总体思路

农村供水管网的优化布局应在保证供水安全与水质稳定的前提下,兼顾技术可行性与经济合理性,实现系统水力条件最优和运行能耗最低的目标。优化的关键在于科学确定主干线走向、分区节点布置及管径匹配关系,以形成高效、节能、可靠的供水系统。

在设计阶段,应充分利用现代信息化手段,如地理信息系统(GIS)与计算机辅助设计(CAD)技术,对区域地形、人口分布、道路走向、水源高程等进行综合分析,建立数字化地形模型,为管网布局提供数据支持。结合水力模拟与优化计算技术,可对不同管网方案进行对比仿真,分析系统在各工况下的流量分布、水头变化与压力损失,识别潜在的高能耗和低压区,从而选择综合性能最优的设计方案。^[3]

在优化过程中,应重点考虑以下几个方面:

供水半径与分区原则——合理划分供水区域,避免管网过长导致压力损失过大;

节点流量与管径匹配——依据各节点实际用水需求,确定合理的管径配置,实现流量分配均衡;

材料与经济性——结合当地地质条件与资金情况,优选耐腐蚀、施工便捷的管材;

施工与维护便利性——充分考虑施工可达性、检修空间及后期维护需求。

通过科学规划与仿真验证,可实现管网的水力平衡与经济最优,构建安全、高效、节能的农村供水系统,为农村供水工程的可持续运行提供坚实基础。

3 管网优化设计的关键技术与实现路径

3.1 水力计算与仿真分析技术

水力计算是管网设计的基础工作, 直接关系到系统运行的稳定性与经济性。传统人工计算方法已无法满足复杂地形下的精确设计需求, 现阶段多采用计算机仿真与优化算法。常用方法包括哈迪-克罗斯法、节点水头迭代法与遗传算法优化模型。通过建立供水系统数学模型, 模拟不同工况下的流量与水压变化, 识别系统瓶颈节点, 为后续优化提供依据。水力仿真还能预测在用水高峰或突发停泵等情况下系统的动态响应, 确保设计方案的安全裕度。^[4]

3.2 地理信息系统(GIS)在布局优化中的应用

GIS技术在管网规划设计中具有直观、精准和数据可视化等优势。设计人员可借助GIS实现地形高程分析、水源与用户空间分布模拟及管线路径自动优化。通过叠加地理、人口与道路数据, 系统可生成多种设计方案供比较选择。GIS还能实现供水管网的动态管理, 为后期运行维护提供基础数据支持。在实践中, GIS与水力模拟系统结合使用, 可实现设计—校核—优化的一体化流程, 大幅提升设计效率与精度。

3.3 节能与安全设计技术

农村供水系统通常电力资源有限, 节能设计尤为关键。应尽量利用地形高差实现重力自流供水, 减少水泵启停次数与能耗。对于地势起伏较大的地区, 可采用分级加压或设调蓄池方式平衡压力。安全性方面, 设计需考虑防冻、防污染与防渗漏措施。管材应选用耐腐蚀、高强度的PE或PVC材料, 关键节点应设置排气阀与泄水阀以防气阻与爆管。管网末端宜设计循环流动或自动冲洗系统, 防止水质老化与细菌滋生。^[5]

4 农村供水管网优化设计的实践与管理建议

4.1 优化设计的实践案例分析

在某省丘陵地区的农村供水改造工程中, 设计团队采用混合型管网布局, 通过GIS系统分析地形数据后, 确定以村级水厂为中心、主干环状分布、支线放射布局的方案。该设计有效缩短供水半径, 降低水头损失约18%, 管网末端压力稳定在0.25MPa以上。项目运行后, 漏损率下降30%, 电耗降低15%, 显著提升供水稳定性。实践表明, 科学的管网布局能显著改善供水质量与经济性。

4.2 后期管理与智能监测体系建设

管网布局优化只是工程建设的起点, 后期运行管理同样重要。应建立完善的管网监测与维护机制, 利用物联网(IoT)技术实现流量、水压与水质的实时监控, 及时发现漏损与异常。可通过在线数据分析与智能预警系统进行运行优化与故障预测, 减少人工巡检成本。此外, 应加强对运维人员的技术培训, 建立标准化管理制度, 确保供水系统的长期稳定运行。^[6]

5 结语

农村自来水供水管网布局优化是实现农村供水安全与可持续发展的关键环节。科学的设计不仅能提高供水系统的运行效率, 还能有效降低能耗与维护成本, 促进城乡供水服务均等化。从研究与实践看, 优化设计应坚持因地制宜原则, 充分利用现代信息技术与智能化手段, 实现从规划、设计到运维的全过程管理。未来, 应进一步加强数据化、智能化和生态化的融合, 构建安全、节能、高效的农村供水体系。随着数字乡村与智慧水务建设的推进, 农村自来水管网的设计将更加精细化、智能化, 为乡村振兴和人民生活品质提升提供坚实的水资源保障。

[参考文献]

[1] 韩崔燕, 邱嘉平, 柏莉, 等. 面向爆管发现与定位的供水管网测压点布局[J]. 给水排水, 2023, 59(S2): 814-820.

[2] 颜妍. 基于改进鲸鱼优化算法的供水管网优化研究[D]. 济南大学, 2023.

[3] 赵文轩. 基于进化算法的供水管网水压监测点优化布置研究[D]. 昆明理工大学, 2023.

[4] 蒋海砖, 戴成毅. 外水测算技术在供水管网漏水检测中的应用[J]. 城市勘测, 2023, (06): 178-182.

[5] 曹铖. 市政供水管网施工中HDPE管的焊接技术探究[J]. 新城镇科技, 2023, 32(24): 193-195.

[6] 廖剑锋. 某城镇供水工程管网布设分析[J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(12): 15-16.

作者简介:

娜孜热·艾力(1992—), 女, 维吾尔族, 新疆乌鲁木齐, 本科, 职称: 水利工程师, 身份证号: 650103199206210625, 研究方向: 系统分析供水管网的结构形式、设计原则与优化方法, 提出了以“安全、经济、高效、可持续”为目标的布局优化模型, 降低能耗与维护成本, 为农村供水工程的规划与建设提供有益参考。