

农村供水管道压力分布与优化设计研究

牛云慧

西安市临潼区泾惠灌区灌溉排水管理站 陕西 西安 710603

摘要：农村供水管道压力分布与优化设计对保障农村用水至关重要。本研究聚焦农村供水管道压力分布与优化设计。通过深入分析水力计算原理及影响压力分布的地形地貌、管网布局、用水需求、管道材质管径等因素，揭示了农村供水压力的内在规律。在此基础上，提出管网布局结合树枝状与环状、优化管径选择、合理设置增压减压设施等策略，旨在提升农村供水系统的稳定性与可靠性，保障农村居民用水需求，同时降低能耗与成本，为农村供水工程的科学规划与高效运行提供理论依据与实践指导。

关键词：农村供水管道；压力分布；优化设计；研究

引言：随着农村经济的发展和生活水平的提高，农村供水的质量与稳定性备受关注。农村供水管道作为输水的关键环节，其压力分布是否合理直接影响到供水效果。合理的压力分布能够确保各用水点得到充足且稳定的水量供应，避免水压过高造成管道损坏或水压过低导致用水困难。然而，农村地区地形复杂、用水需求多样等因素给供水管道压力分布带来诸多挑战。因此，深入研究农村供水管道压力分布规律，并在此基础上进行优化设计，对于提高农村供水系统的性能、保障农村居民用水权益、推动农村基础设施建设具有极为重要的意义。

1 农村供水系统概述

农村供水系统是保障农村居民生产生活用水的重要基础设施。它主要由水源、取水设施、输水管道、净水处理设施（根据水源水质情况而定）、配水管道以及储水设施等部分组成。水源通常包括地表水如河流、湖泊、水库，以及地下水等。取水设施负责从水源地获取原水，输水管道将原水输送至净水处理环节或直接送至储水设施。在水质较差的情况下，净水处理设施通过沉淀、过滤、消毒等工艺去除水中杂质、细菌和病毒等有害物质，以确保供水安全。配水管道则把处理后的合格水或原水分配至农村各个用户点，储水设施如高位水池或水塔可在用水低峰期储存水量，起到调节水压和水量的作用，满足高峰期用水需求，保障农村供水的连续性与稳定性^[1]。

2 农村供水管道压力分布研究

2.1 水力计算原理

农村供水管道水力计算基于流体力学基本原理。主要依据连续性方程和能量方程。连续性方程表明在稳定流状态下，管道中各断面的流量保持不变，即 $Q = A \times V$ （ Q 为流量， A 为管道横截面积， V 为流速）。能量方程

则反映了水流在管道中流动时能量的守恒与转换，考虑了管道起点和终点的压力能、动能以及势能的变化，还包括管道沿程的水头损失和局部水头损失。沿程水头损失与管道长度、管径、内壁粗糙度以及水流流速等因素有关，通常可采用达西-魏斯巴赫公式计算，局部水头损失则产生于管道的阀门、弯头、三通等管件处，通过局部阻力系数与流速水头的乘积来计算。通过精确的水力计算，可以确定不同管段的流量、流速、水头损失等关键参数，从而为分析供水管道压力分布提供重要的数据支持，以便进一步评估管道系统的运行状况并进行合理的设计与优化。

2.2 影响压力分布的因素

2.2.1 地形地貌

地形地貌对农村供水管道压力分布影响显著。地势起伏大的区域，高处水压相对较低，低处水压较高。如山区供水，高处用户可能因重力作用导致水压不足，而低处可能超压。在平坦地区压力变化相对缓和。不同地形下，管道铺设需结合地形坡度，考虑压力平衡，以保障各区域都能获得合适水压，避免因地形造成供水不均或管道损坏。

2.2.2 管道材质与管径

管道材质与管径是关键因素。材质不同，内壁粗糙度有别，粗糙度大则沿程水头损失大，影响压力分布。例如铸铁管相对粗糙，PVC管较光滑。管径大小直接关联流速与水头损失，管径小流速大，沿程水头损失增大，压力沿程下降快；管径大则流速小，压力变化较缓，合理选择材质与管径能有效调控压力分布，确保供水稳定。

2.2.3 供水流量与用水需求

供水流量与用水需求影响压力波动。供水流量稳定

且满足需求时,压力分布相对稳定。用水高峰时,若供水流量不足,前端用户用水多会使后端压力骤降;反之,低峰期用水量少,压力会升高。如农村早晚用水高峰,管网压力变化明显。因此需根据用水规律调配供水流量,或设置储水设施来平衡压力,保障各时段不同需求下的稳定供水。

2.3 压力分布计算方法

常见的农村供水管道压力分布计算方法有多种。其中,哈代-克罗斯法应用较为广泛,它通过逐步迭代的方式求解管网的水力平衡方程,先假设各管段的流量初始值,依据水力计算公式算出各节点的水头,再根据连续性方程检查流量是否满足平衡条件,若不满足则修正流量,不断循环直至达到精度要求,从而确定各管段的压力分布。另外,节点压力法也是重要方法之一,它以节点压力为未知量,根据节点流量连续性方程和管段水头损失公式建立方程组求解,能直接得出各节点的压力值,进而分析整个管网的压力分布状况。这些计算方法各有优劣,在实际应用中,需综合考虑管网规模、复杂程度等因素来选择合适的方法,以便准确计算压力分布,为供水管道的设计、运行和优化提供可靠依据^[2]。

3 农村供水管道优化设计策略

3.1 管网布局优化

3.1.1 树枝状与环状管网结合

在农村供水管道的优化设计中,树枝状与环状管网结合的布局方式具有显著优势。树枝状管网结构简单、成本较低,适合在农村地形较为分散、用水需求相对较小且对供水可靠性要求不是特别高的区域部分路段使用。其管道从水源点开始,沿着供水方向逐级分支,像树枝一样延伸至各个用水点,能快速覆盖较大范围,减少初期建设成本投入。然而,树枝状管网的供水可靠性相对较弱,一旦某段管道出现故障,其下游区域的供水将会受到影响。因此,引入环状管网作为补充至关重要。环状管网将各条主要供水管道相互连接形成闭合环路,当其中某段管道发生故障时,水流可通过环状管网的其他路径继续供应,极大地提高了供水的可靠性和稳定性。在人口相对集中、用水量大且对供水连续性要求较高的村庄中心区域或重要用水区域,如学校、医院附近等,采用环状管网布局,能有效保障供水不间断。通过将树枝状与环状管网有机结合,既能发挥树枝状管网在初期建设成本低、覆盖范围广的优势,又能利用环状管网提高供水可靠性,使农村供水系统在满足用水需求的同时,保障供水的稳定性和安全性,确保农村居民能够持续稳定地获取清洁的饮用水,减少因供水故障带来

的生活不便和生产损失,整体提升农村供水质量和服务水平。

3.1.2 分区供水

农村地区范围广且用水情况复杂多样,实施分区供水可有效提升供水系统的效率和稳定性。首先,根据地形因素进行分区。地势起伏较大的区域,高处和低处水压差异明显。将其划分为不同的压力分区,采用分区加压或减压措施,确保每个区域的用户都能获得合适的水压,避免因水压过高导致管道破裂或过低影响供水效果,同时减少不必要的能量消耗。其次,按照用水需求划分。如生活用水集中的居民聚居区为一个分区,农业灌溉用水量大且集中的农田区域为另一分区。针对不同分区的用水特点和规律,在供水时间、水量分配上进行差异化管理。生活用水区保证全天稳定供水,而灌溉区则在灌溉季节加大供水量,并根据农作物生长周期灵活调整。再者,考虑水源分布状况分区。不同水源覆盖的范围分别管理,防止因水源混合引发水质问题,也便于对各水源的水量 and 水质进行独立监测与调控。通过分区供水,农村供水管道系统能够更好地适应复杂的实际情况,提高水资源利用效率,降低供水成本,保障农村居民生活用水和农业生产用水的稳定、安全与高效,有力推动农村地区的发展和生活质量的提升^[3]。

3.2 管径选择优化

3.2.1 经济流速法

经济流速法是农村供水管道管径选择优化中常用的方法。经济流速是指使供水系统年费用折算值达到最小的流速。在确定管径时,需综合考虑建设成本和运行成本。建设成本主要与管道材料、铺设长度以及管径大小相关,管径越大,材料费用和施工成本越高;而运行成本主要涉及水泵能耗,流速过快会导致水头损失增大,水泵需要消耗更多的能量来维持供水压力,电费成本随之上升。通过对不同管径下的建设成本和运行成本进行计算和分析,找到总成本最低时对应的流速,即为经济流速,进而确定合适的管径。例如,对于小型农村供水系统,如果选用过大的管径,虽然运行时水头损失小,但建设成本会大幅增加;若管径过小,虽然初期投资少,但长期运行的能耗费用将不堪重负。因此,需要精确计算经济流速,权衡利弊。在实际应用中,经济流速的确定不仅要考虑工程造价、运行费用、投资偿还年限等因素,还需考虑未来用水需求的增长趋势,预留一定的发展空间,避免短期内因用水量增加而频繁更换管道,以达到经济合理、长期稳定供水的目的,保障农村供水系统的可持续性和经济性。

3.2.2 优化算法

随着技术的发展,管网优化设计模型在农村供水管道管径选择中发挥着重要作用。遗传算法是其中一种,它模拟生物进化过程,将管径的各种可能取值作为个体,通过选择、交叉和变异等操作,不断迭代寻找最优解。首先,随机生成一组管径取值的初始群体,计算每个个体对应的供水系统的性能指标,如成本、水力条件等。然后,根据适应度函数选择优秀个体进行交叉操作,产生新的子代个体,同时对子代个体进行一定概率的变异操作,增加解的多样性。粒子群优化算法也是常用的方法之一,它将管径看作粒子在解空间中的位置,每个粒子具有速度和位置信息,粒子根据自身和群体的历史最优位置来调整速度和位置,朝着最优管径组合的方向搜索。通过不断更新粒子的速度和位置,逐步找到使供水系统性能最优的管径组合^[4]。这些优化算法能够考虑更多复杂的因素和约束条件,如地形起伏导致的水头损失变化、不同时段的水需求差异、管道的耐久性,相比传统方法更全面、精准地确定管径,有效降低供水系统的建设和运行成本,提高供水效率和可靠性,满足农村居民日益增长的水需求,为农村供水工程的科学规划和高效运行提供有力支持。

3.3 增压与减压设施优化设置

3.3.1 增压设施的选型与配置

在农村供水系统中,增压设施的选型与配置至关重要。首先,应根据供水区域的地形高差、用水需求以及管网布局等因素确定增压设施的位置。对于地势较高且用水量相对集中的区域,如山区的村庄聚居地,可在靠近用水区域的合适位置设置增压泵站。在选型方面,常见的增压泵有离心泵、柱塞泵和变频泵等。离心泵流量较大、效率较高,适用于用水量相对稳定且较大的区域;柱塞泵则适用于高压力需求的小型供水区域,其输出压力较高;变频泵能够根据管网压力变化自动调整转速,实现恒压供水,节能效果显著,适合用水需求波动较大的区域。例如,一个有一定规模的农村社区,白天用水量大且相对稳定,可选用离心泵,并配备合适功率的电机,同时安装压力传感器与变频控制系统,实现根据管网压力自动调节泵的运行状态,既能满足高峰用水需求,又能避免能源浪费,确保稳定的供水压力,提升供水可靠性,保障居民生活和农业生产的正常用水。

3.3.2 减压设施的合理应用与调节

减压设施对于农村供水系统中水压过高的区域必不可少。在靠近水源或增压泵站的地段、地势较低的区域以及多层建筑的底层用户处,水压常常超出正常范围,这就需要合理设置减压设施。常见的减压设施包括减压阀、减压孔板和节流阀等。减压阀能够精确控制出口压力,稳定性好,适用于对压力要求较为严格的场合;减压孔板结构简单、成本低,通过改变水流过孔的阻力来降低压力;节流阀则通过调节阀门开度来控制水流和压力。例如,在农村多层建筑的入户管前安装减压阀,可将过高的压力降低到合适范围,保证用户用水器具的安全和正常使用。在调节方面,应根据不同时段的用水需求和管网压力变化,对减压设施进行定期检测和调整。在用水低谷期,管网压力升高,可能需要适当调小减压设施的开度;而在用水高峰期,压力下降,则可能需要适当增大开度,以维持稳定的供水压力,减少因水压过高导致的管道损坏、漏水以及用水器具故障等问题,提高供水系统的安全性和稳定性^[5]。

结束语

本研究深入剖析农村供水管道压力分布。通过对水力计算原理、影响因素的探讨,明确了农村供水复杂性与独特性。管网布局优化、管径合理选择以及增压减压设施科学设置等策略,有助于提升农村供水系统性能。这不仅能保障农村居民稳定用水,还能提高水资源利用率,降低运维成本。未来,随着技术发展与农村需求变化,仍需持续关注并进一步完善供水管道设计,推动农村供水事业迈向新高度。

参考文献

- [1]潘栋.自来水管道工程施工的因素与优化策略分析[J].陕西水利,2022(1):204-206.
- [2]刘杨.城市供水管道工程施工质量管理策略研究[J].中国设备工程,2020(23):204-205.
- [3]赵蕾,王锦.基于城市供水管网分区供水技术分析[J].水上安全,2024,(02):85-87.
- [4]祁妙怡,张永丽.遗传算法实现农村树状供水管网的优化设计[J].水利科技与经济,2013,19(05):25-27.
- [5]牛晓勇.浅析农村供水管道中的减压措施[J].农业科技与信息,2020,(16):98-99.