

山区供水管线施工难点与技术优化措施

付兵

乌鲁木齐水业投资发展集团有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i4.20271

[摘要] 山区地形复杂、地质条件多变,供水管线施工面临诸多技术难题。本文以山区供水管线工程为研究对象,系统分析了复杂地形地貌、不良地质条件以及大高差长距离输水等核心施工难点,并针对性地提出了路由优化选线、基础处理与支护、水锤防护与压力控制以及特殊地段穿越等关键技术优化措施。结合典型工程案例,对各项技术措施的实施效果进行了对比验证,结果表明所提优化方案能够有效降低施工风险、提升工程质量、保障供水安全。研究成果可为同类山区供水管线工程的设计与施工提供参考借鉴。

[关键词] 山区供水; 管线施工; 施工难点; 技术优化; 水锤防护

中图分类号: TU990.3 文献标识码: A

Construction difficulties and technical optimization measures of water supply pipeline in mountain area

Bing Fu

Urumqi Water Investment Development Group Co., Ltd.

[Abstract] The construction of water supply pipeline faces many technical problems due to the complex terrain and changeable geological conditions in mountainous areas. Taking the water supply pipeline project in mountainous area as the research object, this paper systematically analyzes the core construction difficulties such as complex topography, bad geological conditions and long-distance water conveyance with large elevation difference, and puts forward the key technical optimization measures such as route optimization, route selection, foundation treatment and support, water hammer protection and pressure control, and special section crossing. Combined with typical engineering cases, the implementation effects of various technical measures are compared and verified. The results show that the proposed optimization scheme can effectively reduce the construction risk, improve the engineering quality and ensure the safety of water supply. The research results can provide reference for the design and construction of similar water supply pipeline projects in mountainous areas.

[Key words] mountain water supply; pipeline construction; construction difficulties; technical optimization; water hammer protection

引言

随着城镇化进程的持续推进和农村饮水安全工程的深入实施,山区供水基础设施建设需求日益迫切。然而,山区地形起伏剧烈、沟壑纵横,地质构造复杂多样,加之施工作业空间受限、材料运输困难,使得供水管线的敷设施工远比平原地区面临更多技术挑战。与此同时,山区管线普遍存在高差大、线路长、穿越地段复杂等特点,极易引发水锤冲击、管道失稳、基础沉降等工程问题,严重影响工程质量与运行安全。近年来,国内外学者和工程技术人员围绕山区管道工程开展了大量研究与实践,积累了一定经验,但针对山区供水管线施工难点的系统性分析及综合技术优化研究仍有待深入。本文立足工程实际,对山区供水管

线施工中的主要难点进行归纳梳理,提出相应的技术优化措施,并通过典型案例加以验证,以期能为山区供水工程建设提供技术支持。

1 山区供水管线施工难点分析

1.1 复杂地形地貌对管线敷设的影响

山区地形起伏剧烈,坡度变化频繁,沟谷、陡崖、山脊等地貌单元交替出现,给供水管线的敷设带来极大困难。管线路由选择受地形制约明显,往往难以取直,线路迂回绕行不仅增加了管道总长度和工程造价,也加大了水力损失。在陡坡地段,管沟开挖难度大,土石方量显著增加,且开挖后坡面稳定性差,极易引发滑坡、崩塌等地质灾害,对施工人员和设备安全构成威胁。此

外,山区道路条件差,大型施工机械进场困难,材料运输成本高,部分地段甚至只能依靠人工搬运,严重制约了施工效率和进度。复杂地形还导致管线纵坡变化频繁,局部出现反坡或过大坡度,给管道排气、排水及运行维护带来诸多不便。

1.2 地质条件与岩土特性带来的施工挑战

山区地质构造复杂,断裂带、软弱夹层、膨胀土等不良地质现象分布广泛,给管线施工带来较大风险。在岩石地段,管沟开挖需大量采用液压振动锤(免爆)破除作业,不仅施工周期长、成本高,爆破振动还可能对周边已建构物及山体稳定性造成不利影响。在软弱土层或填方地段,地基承载力不足,管道易发生不均匀沉降,导致管道接口开裂、管体变形甚至断裂。膨胀土地区土体遇水膨胀、失水收缩的特性会对管道产生周期性附加应力,加速管道损坏^[1]。此外,山区地下水赋存条件复杂,局部地段地下水位较高或存在承压水,管沟开挖过程中易发生涌水、流砂等险情,增加了施工难度和安全风险,对基坑支护和降排水措施提出了更高要求。

1.3 高差大、跨度长引发的水力与结构问题

山区供水管线沿线高差悬殊,部分工程竖向落差可达数百米,输水距离动辄数十公里,由此引发的水力与结构问题十分突出,是山区供水工程区别于平原地区工程的核心技术难点。在重力流输水管线中,管道内水压随高差增大而急剧升高,局部低点管段工作压力远超常规设计值,对管材强度等级、壁厚选取和接口密封性提出了严苛要求,若设计选型不当,极易在高压区发生爆管事故。当管线运行工况发生突变时,如阀门快速启闭、水泵机组骤然停机或管道局部破裂,极易在管道内产生强烈的水锤效应,瞬间压力波动幅度可达正常工作压力的数倍,轻则导致管道接口脱开、渗漏,重则引发管道爆裂,危及整个供水系统的安全运行,水锤防护问题在山区大高差管线中尤为突出。

与此同时,长距离山区管线沿途地形变化复杂,管道需频繁穿越沟谷、山脊等地貌,架空段和埋地段交替出现,管道同时承受温度变形产生的轴向力、自重及水重引起的弯矩以及不均匀地基变形产生的附加应力,结构受力状态十分复杂。在气温变化较大的山区,昼夜及季节温差显著,管道热胀冷缩变形量不可忽视,若伸缩补偿措施不到位,管道将承受较大的温度应力,长期作用下可能导致管道或支墩损坏。此外,架空管段在风荷载和地震作用下的动力响应问题,以及埋地管段在山体滑移、地基液化等地质灾害作用下的抗变形能力,也是山区长距离供水管线结构与施工中不可忽视的重要问题,对管道支墩、镇墩、伸缩节及抗震措施的设计与施工提出了更高要求^[2]。

2 山区供水管线施工关键技术优化措施

2.1 地形适应性管线路由优化与选线技术

针对山区地形复杂、管线选线难度大的问题,应充分借助现代测绘和信息技术手段,综合运用高分辨率遥感影像、无人机倾斜摄影航测及GIS空间分析技术,对沿线地形地貌、地质条件、土地利用现状及既有基础设施分布情况进行精细化数字建模和综合评价,在此基础上建立多目标优化选线模型,统筹考虑线路长

度、高差变化、地质风险等级、施工可行性、征地拆迁难度及工程综合造价等多项因素,通过量化评分和多方案技术经济比选,确定技术可行、经济合理的最优路由方案。在具体选线原则上,应尽量沿等高线或缓坡地带布置管线,控制管线纵坡在合理范围内,减少因坡度过大引发的施工困难和运行隐患;应主动避开断裂带、滑坡体、泥石流易发区等地质灾害高风险地段,从源头上规避重大工程风险;应优先利用已有乡村道路、林区道路或规划建设道路作为施工通道和永久巡检通道,降低材料运输难度和后期维护成本^[3]。对于因地形条件限制不可避免需要经过的陡坡、沟谷和山体穿越地段,应在选线阶段即提前规划穿越方案,预留足够的施工作业面,合理设置镇墩、支墩、检修阀门井及排气泄水设施,确保管线建成后运行安全可靠、维护管理便捷。

2.2 复杂地质条件下的基础处理与支护技术

针对山区不良地质条件对管道基础稳定性的影响,应根据不同地质类型采取有针对性的处理措施。对于软弱地基地段,可采用换填砂砾料、铺设土工格栅或注浆加固等方式提高地基承载力,必要时设置混凝土连续基础或桩基础,防止管道不均匀沉降。在膨胀土地区,应对管沟底部及两侧进行灰土或砂砾料置换处理,并做好防水隔离措施,切断膨胀土与水分的接触通道,减小土体胀缩变形对管道的影响。对于岩石地段,爆破开挖后应对沟底进行找平处理,铺设柔性垫层以保护管道免受硬质基岩的局部集中应力损伤。在地下水丰富地段,应结合水文地质条件制定合理的降排水方案,采用井点降水或集水明排等措施保证干槽施工,同时对管沟侧壁进行必要的临时支护,防止坍塌事故发生,确保施工安全和工程质量。

2.3 大落差管段的水锤防护与压力控制技术

针对山区大高差管线水锤危害突出的问题,应从系统设计和运行控制两个层面综合采取防护措施。在系统设计方面,应根据管线纵断面特征合理分区分压,通过设置减压阀、调压井或中间加压泵站将全线水压控制在合理范围内,避免局部管段长期承受过高压力。在水锤防护方面,应结合水锤计算分析结果,在关键节点处设置缓闭止回阀、空气阀、安全泄压阀及调压罐等防护设施,通过延长阀门启闭时间、吸收压力波动能量等方式削减水锤峰值压力。在管材选择上,对高压管段应优先选用球墨铸铁管、钢管等承压能力强、延展性好的管材,并严格控制接口施工质量,提高管道整体抗冲击能力。此外,还应建立完善的自动化监控系统,实时监测管道压力变化,一旦出现异常压力波动能够及时响应处置,从运行管理层面进一步保障管道安全。

2.4 特殊地段(陡坡、沟谷、隧洞)穿越施工技术

山区供水管线不可避免地需要穿越陡坡、沟谷、山体等特殊地段,针对不同穿越类型应采取相应的专项施工技术。在陡坡地段,管道敷设应采用分段锚固方式,沿坡面每隔一定距离设置混凝土镇墩,防止管道在自重和水压作用下沿坡面下滑,同时坡面应做好截排水处理,防止地表径流冲刷破坏管道基础。在沟谷穿越地段,根据沟谷宽度和水文条件可选择倒虹吸、架空管桥或

沟底埋管等方式,其中倒虹吸适用于水流较大的常年性河沟,管桥适用于跨度较大的干沟或季节性沟谷,施工时应重点做好基础防冲刷保护和管道伸缩补偿设计^[4]。在需要穿越山体的地段,可采用隧洞或顶管方式,隧洞施工应根据围岩级别选择合理的开挖支护方案,做好超前地质预报和初期支护,确保施工安全;顶管施工则适用于覆土较浅、地质条件相对均匀的地段,施工中应严格控制顶进轴线偏差,保证管道线形质量满足设计要求。

3 工程实践与综合效益评价

3.1 典型山区供水管线工程案例分析

以乌鲁木齐楼庄子供水工程为例,该工程依托自治区水利厅头屯河流域管理局新建楼庄子水库,将头屯河楼庄子水库作为乌鲁木齐市第三地表水水源地,旨在实现“高水高用、低水低用”的供水目标,重点解决城市西侧高海拔区域的供水问题,缓解供水高峰期用水紧张矛盾。工程主要由1.8km原水管线、20万吨/日净水厂、87.5km供水管线及两座调蓄水池管理站组成,供水管线线路长、沿线地形起伏显著,山区施工条件复杂。自2023年投运至今工程运行稳定,供水保障能力显著提升,为乌鲁木齐市城市供水安全提供了有力支撑。

3.2 技术优化措施的实施效果与对比验证

通过对该工程施工过程及运行数据的系统整理与分析,各项技术优化措施的实施效果得到了较好验证。在选线优化方面,借助无人机航测和GIS多方案比选,最终确定的路由方案较初始方案缩短管线长度约2.8km,有效规避了2处地质灾害高风险地段,降低了工程整体风险。在基础处理方面,对软弱地基路段实施换填加固后,管道沉降监测数据显示各测点累计沉降量均控制在设计允许范围内,未出现不均匀沉降引发的管道损坏问题。在水锤防护方面,通过合理设置减压阀和防水锤型排气阀、减压孔板等设备,水锤压力峰值较未采取措施的理论计算值降低约40%,管道运行压力稳定,投运以来未发生因水锤导致的管道爆管事故。在特殊地段穿越方面,沟谷倒虹吸和陡坡镇墩施工质量经检测均满足规范要求,工程运行期间各穿越段管道状态良好,整体工程质量达到预期目标。

3.3 山区供水管线施工技术的推广应用前景

随着国家对农村饮水安全和山区基础设施建设投入的持续加大,山区供水管线工程的建设规模将进一步扩大,本文所提出的各项技术优化措施具有较好的推广应用价值。一方面,无人机

航测、GIS选线优化等数字化技术手段已日趋成熟,成本不断降低,在山区工程中的普及应用条件已基本具备,能够有效提升选线决策的科学性和效率。另一方面,随着新型管材、智能监控设备及自动化控制系统的不断发展,山区供水管线的水锤防护和压力管理手段将更加丰富和精准,工程运行安全保障水平将持续提升^[5]。此外,本文总结的复杂地质条件基础处理和特殊地段穿越技术,不仅适用于供水管线工程,对山区燃气、热力等其他市政管线工程同样具有一定的参考借鉴意义,技术成果的适用范围和推广价值较为广泛。

4 结论

本文针对山区供水管线施工面临的主要难点,从地形地貌、地质条件和水力结构三个维度进行了系统分析,并提出了涵盖选线优化、基础处理、水锤防护及特殊地段穿越的综合技术优化措施。通过乌鲁木齐楼庄子供水工程的实践案例验证,各项措施均取得了良好效果,有效降低了施工风险,保障了工程质量和供水安全。研究表明,山区供水管线施工应坚持因地制宜的原则,将数字化勘察手段与成熟工程技术有机结合,从规划选线阶段即着手规避风险,并在施工全过程中动态优化技术方案。本文研究成果可为同类山区供水工程提供技术参考,但受限于案例数量和地域差异,部分结论尚需在更广泛的工程实践中进一步检验和完善。

[参考文献]

- [1]程文俊.山区农村供水工程取水井设计优化研究——以祁门县农村供水工程为例[J].农村科学实验,2025(1):90-92.
- [2]牛帅.浅谈某山区供水工程设计[J].供水技术,2024,18(6):45-48.
- [3]白永洁,闫明池.黄土山区饮水工程长距离输水管道施工技术[J].青海水力发电,2020(1):6-7.
- [4]何卉.试论山区乡镇叠压供水设计——以青田县章旦乡供水提升工程设计为例[J].价值工程,2025,44(5):95-98.
- [5]张灿辉.典型山区城乡供水管网优化设计方法研究[J].地下水,2024,46(5):148-150.

作者简介:

付兵(1986—),男,汉族,安徽阜阳人,全日制本科,职称:工程师(中级),研究方向:市政公用工程管理。