

# 长距离供水管道线路选线的地形适配性设计研究

刘家伟

中工武大设计集团有限公司 湖北 武汉 430074

**摘要：**长距离供水管道选线直接影响工程安全、经济与生态效益，地形条件作为核心制约因素，其适配性设计是工程建设的关键。本文结合平原、丘陵、山地等常见地形特征，分析地形坡度、高差等因素对选线的影响机制，构建涵盖地形地貌、工程安全等维度的适配性评价体系，提出不同地形的选线设计与优化措施。研究表明，科学的地形适配性设计可有效规避不良地质风险，降低工程成本，实现工程建设与生态环境协同发展，为长距离供水管道选线工程提供理论支撑与实践参考。

**关键词：**长距离供水管道；线路选线；地形适配性设计

**引言：**随着水资源空间优化配置需求提升，长距离供水工程建设日益增多，线路选线受地形条件制约愈发突出。当前部分工程因地形适配性不足，出现管道破损、运维成本偏高、生态扰动过大等问题。地形作为选线的基础条件，直接决定管线敷设方式、施工难度及工程效益。基于此，本文聚焦长距离供水管道选线的地形适配性设计，系统分析地形影响，构建评价体系并提出针对性设计方案，解决工程实际痛点，助力长距离供水工程高质量建设。

## 1 长距离供水管道选线相关理论与地形影响分析

### 1.1 长距离供水管道选线核心要求

(1) 工程安全要求：核心是规避不良地质与地形风险，优先选择地质稳定区域，保障管道抗沉降、抗冲刷、抗地震能力，严格符合水力运行安全标准，杜绝因地形因素导致管道破损、泄漏等安全隐患，确保输水过程连续稳定。(2) 经济合理性要求：在满足安全的前提下，尽量缩短管线长度，减少地形改造、边坡开挖等工程量，优化管材选型与施工方案，降低建设阶段的投资成本，同时兼顾后期运维便捷性，控制长期运维费用，实现全生命周期成本最优化。(3) 生态环保与合规性要求：严格避让生态敏感区、基本农田、文物保护区等重点区域，符合城乡规划及相关行业规范，减少管线敷设对周边地形地貌、植被及水体的扰动，实现工程建设与生态环境协调发展。

### 1.2 长距离供水管道选线常用地形类型及特征

(1) 平原地形：地势平坦、坡度平缓，地形起伏小，管线布置难度低、施工便捷，可优先采用直线路径，但需重点关注地下水位高低、土壤承载力大小及地表建筑物、交通线路等障碍物的影响，避免管线敷设后出现沉降问题。(2) 丘陵地形：地势起伏适中、坡度

中等，存在局部陡坡与沟谷，管线选线需平衡顺直性与地形适配性，尽量沿缓坡敷设，减少挖填工程量，同时重点关注边坡稳定性，防范雨水冲刷导致的边坡坍塌风险。(3) 山地地形：地势陡峭、地形复杂，高差大，易出现滑坡、崩塌等不良地质现象，管线布置受地形限制大，施工难度高、成本高，需避开危险区域，必要时采用隧道、架空等敷设方式。(4) 河谷与洪积扇地形：地形复杂多变，受河流冲刷、泥沙淤积影响大，存在洪水淹没风险，管线选线需避开洪水淹没区及泥沙淤积严重区域，做好管道防护措施，保障管道在汛期的安全<sup>[1]</sup>。

### 1.3 地形因素对选线的核心影响机制

(1) 地形坡度对管线布置的影响：坡度过大易增加管道敷设难度，需大量开挖边坡、修建支护设施，提升施工成本；坡度过小则会影响管道排水及水力损失，易导致管内积水、泥沙淤积，需合理控制管线坡度，兼顾施工与水力运行需求。(2) 地形高差对水力运行的影响：高差过大易引发水锤现象，损坏管道及附属设施，需设置调压塔、消能阀等调压消能设施；高差过小可能导致输水动力不足，影响输水效率，需优化输水方式，保障输水压力稳定。(3) 不良地形对工程安全的影响：滑坡、崩塌、高地下水位等不良地形条件，易导致管道破损、沉降、错位，大幅增加运维风险与成本，选线时需提前勘察，避开不良地形，或采取针对性防护措施降低风险。

## 2 长距离供水管道选线地形适配性评价体系构建

### 2.1 适配性评价指标选取原则

(1) 科学性原则：指标选取严格贴合地形因素对长距离供水管道选线的实际影响，以相关行业规范、工程实践经验为核心依据，避免主观臆断，确保评价指标具有明确的物理意义和理论支撑，能够客观、准确反映

地形与选线方案的适配程度,保障评价结果可靠可信。

(2)全面性原则:指标体系需全面覆盖地形对选线的各类影响因素,涵盖地形坡度、高差等地形本身特征,以及地质条件、生态适配性、工程安全、经济成本等关联因素,避免遗漏关键指标,确保能够全方位、多角度反映地形适配水平,为选线方案比选提供全面支撑。(3)可操作性原则:选取的评价指标需具备较强的实用性,指标数据可通过工程勘察、现场实测、资料查阅等常规方式便捷获取,计算方法简便易懂、贴合工程实际,无需复杂的专业设备和技术,适配工程现场勘察与评价工作的实际需求,便于在各类长距离供水管道选线工程中推广应用。

## 2.2 核心适配性评价指标体系

(1)地形地貌指标:作为评价体系的基础指标,主要包括坡度等级(按缓坡、中坡、陡坡分级量化)、高差范围(明确管线全程最大高差及平均高差)、地形复杂度(量化地形起伏、沟谷分布等复杂程度)、不良地形分布比例(滑坡、崩塌等不良地形占管线总长度的比例),直接反映地形本身特征对选线方案的约束与影响。(2)工程安全指标:聚焦管道工程安全核心需求,包括土壤承载力(评价管道敷设基础稳定性)、边坡稳定性(针对丘陵、山地地形,评价管线沿线边坡抗坍塌能力)、洪水影响程度(评估河谷、洪积扇地形中管线受洪水冲刷、淹没的风险)、地震烈度适配性(结合地形对应的地震烈度,评价管道抗地震能力),全方位保障管道全生命周期安全<sup>[2]</sup>。(3)经济适配指标:围绕经济合理性要求,包括地形改造工程量(边坡开挖、回填等工程量)、管线长度增量(因地形限制导致管线较最优路径的长度增加量)、施工难度系数(结合地形复杂程度量化施工难度)、运维成本增量(因地形因素导致的后期运维费用增加比例),直观体现地形对选线工程成本的影响。(4)生态与合规指标:契合生态环保与合规性要求,包括生态敏感区避让率(管线避让生态敏感区的长度占比)、基本农田占用量(管线占用基本农田的面积)、与城乡规划契合度(量化管线走向与城乡规划的符合程度),确保选线方案符合相关规范,减少对生态环境的扰动。

## 2.3 适配性评价方法与等级划分

(1)评价方法:采用层次分析法确定各评价指标的权重,结合各指标的重要程度,通过专家打分、矩阵计算等方式明确权重分配,避免指标权重失衡;同时结合模糊综合评价法,将定性指标(如地形复杂度)与定量指标(如高差范围)结合,构建地形适配性综合评价模

型,量化评价选线方案的适配水平,提升评价的科学性与准确性。(2)评价等级划分:结合工程实际需求,将地形适配性评价结果分为优秀、良好、合格、不合格四个等级,明确各等级的具体评价标准,其中优秀为地形适配性极佳,无需过多改造即可满足选线要求;良好为适配性较好,少量改造即可达标;合格为基本适配,需针对性改造;不合格为适配性极差,需重新调整选线方案,为选线方案比选提供明确依据。(3)评价流程:遵循“规范有序、高效可行”的原则,明确评价流程:首先确定评价范围(管线规划区域及周边影响区域)→系统收集地形、地质、生态、规划等相关数据→对各评价指标进行量化计算,统一指标评价标准→采用层次分析法确定各指标权重→运用综合评价模型进行整体评价→得出评价结论,针对适配性不足的环节提出针对性优化建议,指导选线方案完善<sup>[3]</sup>。

## 3 不同地形类型的长距离供水管道选线适配性设计方法

### 3.1 平原地形管道选线适配性设计

(1)选线原则:平原地形地势平缓,选线核心遵循“顺直、经济、避障”原则,优先选择地势平坦、地下水位较低、土壤承载力良好的区域,管线布置尽量保持顺直,最大限度缩短管线长度,同时严格避让地表建筑物、交通线路及现有地下管线,减少拆迁、管线改移等工程量,降低建设成本与施工干扰。(2)适配设计要点:结合平原地形特点,优先采用直埋敷设方式,兼顾施工便捷性与后期运维需求;合理控制管线埋深,避开冻土层与地下水位影响,同时控制管线坡度在适宜范围,保障管内排水顺畅、减少水力损失;针对软土地段等不良地质,采取换填、夯实等地基处理措施,优化管道接口连接方式,提升管道抗沉降能力,保障整体稳定性。(3)优化措施:引入BIM技术构建管线三维模型,模拟管线走向与周边环境的适配性,提前规避与其他地下管线、构筑物的交叉冲突;根据水力计算结果,合理设置排气、泄水设施,及时排出管内空气与积水,降低水力损失与管道腐蚀风险,同时简化后期运维流程,提升运维效率<sup>[4]</sup>。

### 3.2 丘陵地形管道选线适配性设计

(1)选线原则:充分顺应丘陵地形自然走势,核心是“避险、减挖、适配”,避开陡坡、冲沟、不稳定边坡等区域,优先选择缓坡、鞍部等地形平缓地带,在保障管线基本顺直的前提下,最大限度贴合地形,减少边坡开挖与回填工程量,降低施工难度与生态扰动。(2)适配设计要点:采用分段敷设方式,根据地形起伏调整

管线坡度与高差,避免局部坡度过大或过小;对陡坡段采取锚杆支护、喷浆防护等边坡防护措施,防止施工及运营期间边坡坍塌;选用韧性强、抗应力变化的管材与接口形式,应对地形起伏带来的管道应力集中问题,避免管道破损。(3)优化措施:针对地形高差带来的压力波动,合理设置调压阀、减压池等调压设施,缓解水锤风险,保障水力运行稳定;采用生态友好型施工工艺,减少植被砍伐与土壤扰动,施工后及时对边坡进行植被恢复,降低对丘陵地形生态环境的破坏。

### 3.3 山地地形管道选线适配性设计

(1)选线原则:山地地形复杂、高差大、不良地质多发,选线核心是“避险、高效、安全”,优先选择地形相对平缓的河谷阶地、缓坡地带,坚决避开滑坡、崩塌、泥石流等不良地质区域;在保障安全的前提下,尽量缩短管线长度,优化管线走向,降低施工难度与安全风险。(2)适配设计要点:结合山地地形特点,采用隧洞、架空与直埋相结合的敷设方式,陡坡、悬崖段优先采用隧洞或架空敷设,平缓段采用直埋敷设;针对高落差段,设置多级消能调压设施,缓解水流冲击力,避免水锤现象;加强管道固定与防护,选用高强度、耐腐蚀、抗冲击的管材,提升管道抗地质灾害能力<sup>[5]</sup>。(3)优化措施:施工前开展详细的地形地质勘察,精准预判地质灾害风险,制定针对性的防护与应急方案;引入自动化监测技术,对管线沿线边坡、管道运行状态进行实时监测,及时发现隐患并处置,保障管道长期安全稳定运行。

### 3.4 河谷与洪积扇地形管道选线适配性设计

(1)选线原则:河谷与洪积扇地形受洪水冲刷、泥沙淤积影响大,选线核心是“避洪、防冲、稳基”,坚决避开洪水淹没区、泥沙淤积严重区域及河道变迁区域,优先选择地势较高、地质条件稳定的河谷阶地,最大限度减少洪水对管道的冲刷与浸泡影响。(2)适配设

计要点:采用深埋敷设方式,确保管线埋深低于洪水冲刷深度与冻土层,避免洪水直接冲刷管道;加强管道防腐、防冲刷处理,在管道周边设置防护层与排水设施,应对洪水期的冲刷与浸泡;合理设置泄水设施,满足洪水期管内排水需求,选用抗冲击、抗腐蚀、抗泥沙磨损的管材,延长管道使用寿命。(3)优化措施:结合区域水文地质条件,精准预测洪水淹没范围、冲刷强度及泥沙淤积速度,优化管线走向与敷设深度;制定完善的洪水期应急防护方案,配备应急设备,定期开展应急演练,确保洪水期管道安全,同时建立泥沙清理机制,减少泥沙对管道的影响。

### 结束语

本文围绕长距离供水管道线路选线的地形适配性设计展开系统研究,明确了地形对选线的核心影响机制,建立了科学可行的适配性评价体系,提出了不同地形类型的适配性设计方法与优化策略。研究弥补了地形适配性设计的针对性不足问题,为工程选线提供了有效指导。后续可结合具体工程案例,进一步优化评价指标与设计方案,强化技术落地性,同时结合新型勘察技术,提升地形适配性设计的精准度,推动长距离供水工程可持续发展。

### 参考文献

- [1]陈华.城市供水系统设计与优化[J].水资源与水工程学报,2020,31(4):456-465.
- [2]吴明永,吴明亮,张锐.供水管网远程监控系统的设计与应用[J].自动化与仪表,2023,38(10):20-23.
- [3]王建国.城市供水管网的可持续发展研究[J].城市规划,2021,28(3):35-42.
- [4]赵姗姗.某长距离管道引水工程设计思路及设计难点分析[J].云南水力发电,2022,(6):38-41.
- [5]段政.长距离跨流域调水工程中输水管道设计若干问题的探讨[J].产业科技创新,2022,(2):84-87.