

引调水工程长距离管线布设优化设计研究

郑成浩

黄河勘测规划设计研究院有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i3.6880

[摘要] 引调水工程中,长距离管线既承担跨区域稳定输水任务,又直接牵动工程投资控制、施工组织安排与后期运行安全,其布设合理与否,往往决定着工程整体效益的高低。围绕复杂地形、地质差异、交叉障碍与运维需求等现实条件,需将线路走向、埋设方式、节点配置及风险避让统筹纳入设计过程,在安全可靠的前提下兼顾经济性与可实施性。研究表明,依托多目标比选、关键区段精细化控制与全寿命周期视角开展优化,可有效提升长距离管线布设的科学性与工程适配度。

[关键词] 引调水工程;长距离管线;布设优化;线路设计;全寿命周期

中图分类号:TV68 文献标识码:A

Research on Optimal Design of Long-Distance Pipeline Layout in Water Diversion Projects

Chenghao Zheng

Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd.

[Abstract] In water transfer projects, long-distance pipelines ensure stable cross-regional supply and affect cost, construction, and operation. Their layout directly influences overall project performance. Considering complex terrain, geological differences, crossing constraints, and maintenance needs, route selection, installation methods, node setting, and risk avoidance should be integrated in design, balancing safety, economy, and feasibility. Studies show that multi-objective selection, key section control, and lifecycle-based optimization can improve layout rationality and project suitability.

[Key words] water transfer project; long-distance pipeline; layout optimization; route design; lifecycle

引言

随着区域供水联系不断增强,跨流域、跨区域调水工程加快推进,长距离输水管线所处的建设环境也愈发复杂,山地起伏、地质分异、土地利用冲突及外部设施交叉并存,使传统依赖经验判断的布设方式逐渐显出局限。线路一旦前期考虑失衡,后续施工受阻、运行能耗偏高乃至局部安全隐患累积,常会接连出现;也正因如此,如何在多重约束之间寻求更稳妥、更经济且更具持续性的设计取向,已成为引调水工程建设中不可回避的重要课题。

1 引调水工程长距离管线布设优化设计的基本内涵与制约因素

1.1 长距离管线布设优化设计的目标定位与总体原则

引调水工程中的长距离管线,并非单纯承担输水通道功能,其布设方式往往同时关联工程安全、投资强度、建设效率与后期管理水平,由此决定了优化设计必须立足综合效益,而不能停留在线路缩短或土方减少这一单一层面^[1]。对这类工程而言,更应强调的是在满足输水规模、水力条件与供水连续性的基础上,借助线路走向、埋设深度、穿越方式及节点布局的统筹安排,

实现安全性、经济性与可实施性的协调统一。也就是说,真正有价值的优化,不在于某一指标的局部最优,而在于工程整体运行更稳、施工组织更顺、后期维护更便。

由此展开,长距离管线布设设计宜坚持安全优先、因地制宜、远近结合的原则,既要尊重地形地貌和地质条件,也要兼顾施工通道、管理巡检与沿线用地协同;对短期建设成本不能孤立看待,对长期运行能耗和检修负担亦应提前纳入判断,只有把设计视角从“建成”延伸到“用好”,管线布设方案的工程价值才能真正体现出来。

1.2 影响长距离管线布设方案形成的主要因素分析

长距离管线布设之所以复杂,关键在于其受制因素并非单一,而是自然条件、工程条件与外部环境相互叠加、共同作用。地形起伏直接影响线路平纵布置,高差变化越明显,压力控制、附属构筑物设置以及施工难度往往越突出;地质条件则决定了线路稳定边界,软弱地基、滑坡隐患区、地下水活跃区若处理不当,后期变形和渗漏风险便容易积累。与此同时,道路、河流、村镇、耕地以及既有设施的交叉分布,也会对线路选择形成现实约束,使设计不得不在避让、穿越与协调之间作出更为细致的权衡。

值得重视的是,输水规模、管材性能、运行压力及维护方式同样会反向塑造布设方案。管径越大、压力越高,对转角控制、基础稳定和节点布置的要求越严格;巡检条件越复杂,越需要在线路前期就预留管理便利性。多种因素彼此牵动之下,长距离管线设计更需要建立系统判断意识,依托综合分析形成方案,而非依赖经验作出局部决定。

2 引调水工程长距离管线布设中的关键设计与技术控制要点

2.1 线路走向与纵向控制的协同设计

长距离管线布设,平面选线固然重要,纵向控制同样不可偏轻,二者若被割裂看待,线路即便表面顺直,实际运行中也可能出现局部高压、排气困难或施工开挖量失衡等问题^[2]。设计中宜依托地形走势、供水高程和沿线障碍分布,统筹处理平面转折与纵向起伏,使管线尽量顺地势、避强切,减少不必要的急弯、陡坡和深挖段,由此稳定施工组织节奏,也为后续运行创造更平缓的水力条件。对山前过渡带、冲沟密集区及高填深挖交替区,更需强化平纵联动分析,不能只求线路“看起来最短”,而应追求“建得稳、运行顺、维护便”。

在某丘陵型引水工程中,设计初期曾拟采用近直线布设方案,线路长度虽较短,但需连续穿越两处冲沟和一段高边坡,纵向高差集中,施工支护量偏大。优化时,设计团队借助地形模型重新调整线路,使管线沿缓坡自然展开,并适当增加局部绕行距离,结果土石方更趋平衡,阀井高程控制也更合理,施工期间未出现大范围边坡返工,运行后输水状态保持平稳,这类案例说明,平面与纵断协同得当,线路的综合价值往往高于单纯追求最短距离的方案。

2.2 特殊地段穿越方式与敷设结构的适应性选择

长距离管线沿线环境复杂,道路、河道、居民点及地质敏感区常常交错分布,不同区段若仍采用单一敷设方式,不仅难以适应现场条件,也容易将局部风险放大。因此,布设设计应强调分段适配理念,在一般稳定地段采用常规埋设,在交通穿越段、河道段或不良地基段结合荷载条件、施工窗口和维护要求选择套管、顶管、局部架空或加强基础等处理方式,使敷设结构与外部环境保持一致性。真正成熟的设计,不是所有地段“用一种方法做到底”,而是在统一标准下形成分区控制、差异应对的技术体系。

表1 长距离管线典型区段布设控制重点对比

区段类型	主要风险点	推荐布设方式	设计控制重点
丘陵起伏段	高差集中、边坡扰动	顺地势埋设	控制纵坡、减少深挖、稳定边坡
道路穿越段	外荷载大、施工干扰强	套管或顶管	加强防护、减少交通影响
河道穿越段	冲刷、浮托、水位波动	深埋或防护穿越	抗冲稳定、基础加固、防渗处理
软弱地基段	沉降变形、接口受力不均	加固基础或分段柔性连接	控制不均匀沉降、强化接口安全

某平原引调水项目穿越县道与灌渠交汇区时,原方案拟采用明挖回填,但受交通保通和渠道行洪要求制约,实施难度较大。

后续优化中,设计单位将道路下穿段改为顶管敷设,将临渠段管基由普通砂垫层调整为加固基础,并在转折区段增设防沉降控制措施。调整完成后,既减少了对既有交通的扰动,也使管线在高水位季节保持较好的结构稳定性。由此可见,特殊地段的设计关键,不在于技术手段是否复杂,而在于是否与场地条件、运行要求和维护需求形成精准匹配。

结合表1可以看出,不同区段对应的控制重点差异明显,只有在布设阶段就完成分类识别,后续施工与运行的稳定性才有坚实基础。

2.3 控制节点与附属设施的合理配置

长距离管线能否安全、持续、平稳运行,往往不只取决于主线本身,节点设置是否科学,同样影响深远^[3]。排气阀、排泥阀、检修阀、泄水设施以及镇墩、支墩等附属构筑物,表面看是局部配置,实则承担着调节压力、排除隐患、缩短检修时间和提升系统韧性的多重功能。设计中应依托线路高低点分布、水力变化特征和检修组织需求进行布置,高点排气、低点排泥、关键区段分段控制,这些看似基础的安排,一旦落实到位,运行状态往往更稳定,故障处理也更从容。

有一处山区输水工程在试运行阶段曾出现局部流态波动,经复核发现并非主线选线失误,而是高点排气节点间距偏大,导致气体积聚影响输水连续性。后期设计修正中,结合纵断变化补设复合式排气装置,并对低洼段泄水设施位置进行优化,系统恢复后,管内压力波动明显减弱,巡检效率也同步提升。这个案例提示出一个常被忽视的问题——节点设计不是主线设计的附属部分,而应被视为长距离管线完整布设体系中的关键构成,节点配得准,主线运行才更有保障。

3 引调水工程长距离管线布设的综合优化路径与设计提升策略

3.1 基于多目标协调的线路比选与方案优化机制构建

长距离管线布设的优化设计,实质上并不是单一技术参数的修正,而是安全、经济、施工、生态与管理等多重目标之间的协调过程。若仅以线路长度或一次性投资作为判断依据,方案往往容易停留在局部合理层面,难以回应工程全局需求;更为稳妥的做法,在于依托综合比选机制,将地形适应性、地质稳定性、交叉障碍数量、施工组织难度、后期巡检便利度及运行能耗等内容纳入统一评价框架,由此形成从前期调查到方案深化的连续判断链条。

在这一过程中,线路比选不宜停留于平面走向对比,而应同步关注纵向控制、节点适配与风险规避效果,使方案评价由“可建”进一步走向“宜建”“好管”。随着工程管理理念不断更新,全寿命周期视角的重要性愈发凸显,设计阶段若能提前考虑维护成本、检修条件和系统韧性,所形成的方案往往更具持续性,也更能体现引调水工程公共基础设施的长期价值。

3.2 面向工程实施与运维管理的动态优化设计方向

长距离管线布设一经进入实施阶段,设计工作的价值并未结束,相反,真正决定方案成熟度的,常常是其对现场变化的适

应能力^[4]。勘察资料与实际地层之间存在差异，沿线障碍条件也可能因建设时序而发生变化，这就要求设计方案具备适度弹性，关键区段能够在不改变总体思路的前提下进行局部调整，借助动态优化保持线路安全边界与实施效率的统一。

随着数字化技术不断融入水利建设，借助地理信息系统、三维地形建模和运行监测数据开展协同设计，已成为提升布设精度的重要方向。设计、施工、运维之间若能形成信息联动，管线布设便不再是一次性成果，而是可持续完善的系统工程。由此带来的积极变化也十分明显——风险识别更靠前，运行管理更精细，工程后期改造与扩容也更具基础，这种由静态设计走向动态优化的转变，正是引调水工程长距离管线高质量建设的重要体现。

4 结语

长距离管线布设的优劣，关乎的并不只是工程形态本身，更关乎引调水工程能否在复杂空间中实现安全输水、稳定运行与长久受益。设计越趋精细，工程越具韧性；统筹越为充分，后期隐患越易前置化解。随着建设理念不断提升，管线布设已不再是

单纯的路径安排，而是资源配置、风险控制与系统管理能力的集中体现，唯有将适应性、协调性与前瞻性真正落到设计深处，引调水工程的综合效能方能持续释放。

[参考文献]

- [1]李国宁,白云峰,李利荣,等.远距离引调水工程管线及建筑物BIM正向设计[J].水利技术监督,2026,(04):25-29.
- [2]李臻,张维蓉,刘宇.长距离调水有压输水系统初期经济运行模式研究[J].水利规划与设计,2023,(05):10-12+40.
- [3]李琦.基于地基岩土力学构造条件的灌区输水工程管线布设[J].山西水利,2023,(11):50-51+55.
- [4]徐琼.南水北调西部调水工程安阳河段项目分析[J].河南水利与南水北调,2022,51(10):39-40.

作者简介：

郑成浩(1994--),男,汉族,河南省洛阳市人,大专,助理工程师,水利水电建筑工程专业,研究方向：引调水工程、设计现场问题处理。