

长距离压力输水管道设计探讨

周大伟¹ 徐燕贞²

1. 金华市水利水电勘测设计院有限公司 浙江 金华 321000

2. 金华市广缘建设工程有限公司 浙江 金华 321000

摘要：本文围绕长距离压力输水管道设计展开探讨，结合相关设计规范与工程实际，分析设计基础、核心设计内容、水力安全防护及施工运维要点。重点阐述管线选线、管材选型、水力计算、水锤防护等关键环节，针对长距离、高压力的工程特性，提出科学合理的设计方案与防护措施，解决设计与施工中的核心难题，为同类工程设计提供理论参考与实践借鉴，保障输水系统长期稳定、高效、安全运行。

关键词：长距离；压力输水；管道设计

引言：随着水资源供需矛盾日益突出，长距离压力输水工程成为优化水资源配置、缓解缺水问题的重要载体，在水利工程中应用广泛。此类管道具有输送距离长、压力等级高、工况复杂等特点，设计过程中需兼顾合规性、安全性与经济性，规避地质、水锤等各类风险。基于此，本文结合相关规范与工程实践，对长距离压力输水管道设计进行系统探讨，为工程设计与施工提供支撑，助力水资源高效输送。

1 长距离压力输水管道设计基础

1.1 设计核心依据与规范

（1）相关设计规范：严格遵循《室外给水设计标准》（GB50013-2018），明确输水管道水力计算、管材选择、防腐措施等核心要求；依据《泵站设计标准》（GB50265-2022），规范泵站加压系统设计、设备选型及运行安全要求；参照《埋地塑料给水管道工程技术规程》（CJJ101—2016），落实埋地管道敷设、接口处理等技术标准，同时兼顾其他相关配套规范，确保设计合规性。（2）工程设计依据：以泵站设计参数（如扬程、功率）、输水规模（日输水量、设计流量）为核心，结合水源与用水点高程差，确定加压等级；全面考量沿线地质水文条件，规避不良地质风险，同时满足供水保证率要求，确保管道长期稳定供水，为设计提供坚实的工程实际依据。

1.2 泵站有压提水管道的核心特性

（1）水力特性：全程依赖泵站加压提供输水动力，无重力流助力，管道内压力分布不均，近端压力偏高、远端压力递减，压力值受泵站运行参数（如转速、流量调节）影响显著，需通过水力计算优化压力分布，保障输水效率。（2）工程特性：具有输送距离长、压力等级高的特点，易受地形地质起伏、外部荷载（如车辆碾

压、施工扰动）影响；对管材强度、接口密封性要求严格，需选用高强度、抗腐蚀管材；同时水锤风险突出，启停泵或流量突变时易产生水锤，需采取防护措施^[1]。

1.3 设计前提条件分析

（1）基础参数确定：输水流量根据用水需求、供水保证率确定，设计压力结合高程差、管道阻力计算得出，输送距离以水源至用水点实际勘察长度为准，泵站出口压力依据管道总阻力、末端所需压力合理确定，所有参数均需结合规范与工程实际验证。（2）沿线条件勘察：全面勘察沿线地形地貌、地质构造，明确不良地质区域并制定规避方案；查明地下水位、含水层分布，防范管道渗漏、腐蚀；排查沿线障碍物（如地下管线、建筑物），合理规划管道路由，降低施工难度与后期维护风险。

2 长距离泵站有压提水管道核心设计内容

2.1 管线选线与敷设设计

（1）选线原则：严格遵循“短路径、低损耗、易施工、保安全”核心原则，优先选择地形平坦、地质条件良好的路线，坚决避免穿越滑坡、泥石流、溶洞等地质不良地段，以及文物保护区、重要建筑物等重要障碍物，最大限度缩短输送距离，减少沿程压力损失和施工难度；同时兼顾土地利用，少占良田、保护生态环境，平衡工程建设与自然保护的关系。（2）敷设方式设计：以埋地敷设为主要方式，埋深需结合当地冰冻深度、外部荷载大小、管材强度及地下管线分布综合确定，确保管道不受冻胀破坏、不被外部荷载碾压损坏；针对岩石区、地下水位以下等特殊地段，优化敷设方案，岩石区采用爆破平整后铺垫砂垫层，地下水位以下增设抗浮措施；露天敷设仅用于特殊地形，需采取防晒、防冻、防撞击防护措施，保障管道运行安全。

2.2 管材选型与接口设计

(1) 管材选型: 结合设计压力、输送距离、沿线地质条件, 对比钢管、球墨铸铁管、HDPE管、预应力钢筒混凝土管的适用性, 明确选型原则——优先选用抗压性强、水阻小、耐腐蚀、安装便捷且运维成本低的管材; 高压、长距离路段优先选用钢管或球墨铸铁管, 土质较好、压力适中路段可选用HDPE管, 同时注明选型注意事项, 规避管材与工况不匹配的风险。(2) 接口设计: 根据不同管材特性选择适配接口形式, 钢管采用焊接接口, 球墨铸铁管采用承插式橡胶圈接口, HDPE管采用热熔焊接接口, 法兰连接仅用于泵站进出口等需要拆卸的部位; 接口设计需适配有压提水工况, 重点强化密封性与抗压性, 采用密封性能优良的橡胶圈或焊接工艺, 减少接口渗漏和压力损失, 避免因接口问题引发安全隐患^[2]。(3) 管材防腐设计: 针对金属管材(钢管、球墨铸铁管), 设计完善的内外防腐处理方案, 内壁采用水泥砂浆衬里, 减少水流阻力并防止内壁腐蚀; 外壁采用防腐涂层, 结合阴极保护技术, 有效应对腐蚀性土壤、地下杂散电流的影响, 延长管材使用寿命, 降低后期维护成本。

2.3 水力计算与参数优化

(1) 水力计算核心内容: 重点开展沿程水头损失和局部水头损失计算, 沿程水头损失采用柯尔勃洛克-怀特公式, 根据管材内壁粗糙系数、管径、流速精准计算; 局部水头损失按沿程水头损失的10%~20%合理估算, 重点考虑阀门、弯头、三通等管件的局部阻力, 确保水力计算结果精准可靠。(2) 设计参数优化: 管径、流速按经济流速0.9~1.5m/s控制, 优化确定参数, 兼顾投资成本与运行能耗——流速过高会增加水头损失和能耗, 过低易导致管内泥沙淤积; 公称压力按最大使用压力加0.2~0.4MPa安全余量确定, 确保管道承受压力安全, 避免因压力超标损坏管道^[3]。(3) 泵站与管道的匹配性: 优化泵站出口压力、流量与管道水力特性的匹配设计, 结合管道总水头损失, 确定泵站合理扬程, 避免出现压力过高导致管道损坏、压力不足影响输水效率的情况; 可采用泵站直接串联加压方式, 实现节能运行, 降低泵站运行成本, 保障输水系统稳定高效。

3 长距离泵站有压提水管道水力安全防护设计

3.1 水锤现象分析与危害

(1) 水锤产生机理: 长距离泵站有压提水管道中, 水锤主要源于工况突变, 当泵站突然停机、阀门骤关或流量急剧调整时, 管道内水流速度瞬间发生变化, 动量转化为压力能, 引发管道内压力剧烈波动, 形成水锤效

应。其中, 停泵水锤危害最为突出, 易导致水泵反转、管道内出现负压或超压, 破坏管道与设备的受力平衡, 诱发安全隐患。(2) 水锤危害: 水锤引发的剧烈压力波动, 会直接导致管道接口渗漏、管壁破裂甚至爆管, 造成水资源浪费和工程损失; 同时会损坏泵站内水泵、阀门等核心设备, 影响输水系统正常运行, 导致供水中断; 严重时, 管道爆管或设备损坏可能引发次生安全事故, 威胁周边人员与设施安全。

3.2 水锤防护措施设计

(1) 主动防护措施: 以预防水锤产生为核心, 优化泵站运行方式, 严禁突然停机、骤关阀门, 采用缓启缓停、分级关阀的操作模式, 减缓水流速度变化; 合理设置加压泵站级数, 缩短单段管道长度, 减小水锤波传播距离, 降低水锤冲击强度, 从源头减少水锤发生概率。

(2) 被动防护措施: 配套安装专用防护设备, 形成全方位防护体系。安装缓闭式止回阀, 有效防止停泵时水流倒流导致水泵倒转; 在管道高点设置空气阀, 及时排出管道内空气、消除负压, 避免管道被负压吸扁; 安装水锤泄压阀、膨胀罐或调压塔, 快速释放超压能量、缓冲压力波动, 可采用多种设备联合防护, 显著提升水锤防护效果。(3) 水锤数值模拟: 采用KYPPIPE等专业水力计算软件, 开展水锤数值模拟计算, 模拟不同工况下的水锤压力变化过程, 验证防护措施的有效性。确保防护后管道瞬时最高压力不超过工作压力的1.3~1.5倍, 管道内无水柱分离现象, 保障管道与设备在水锤作用下的运行安全^[4]。

3.3 其他安全防护设计

(1) 压力监测设计: 在管道关键节点合理布设压力监测装置, 重点覆盖泵站出口、管道高点、输水终点及地形起伏较大路段, 实时采集管道压力数据, 实时监控压力变化趋势, 当压力出现异常波动时, 及时发出预警信号, 便于工作人员快速处置, 防范超压、负压引发的安全问题。(2) 防泄漏与抗浮设计: 制定完善的管道泄漏检测方案, 采用在线监测与定期巡检相结合的方式, 及时发现并处理管道渗漏隐患; 对地下水位以下的管道, 进行严格的抗浮验算, 根据验算结果采取加重压块、锚固等防护措施, 防止管道因地下水浮力作用发生上浮, 避免管道接口松动、破损导致渗漏。

4 长距离泵站有压提水管道施工与运维设计

4.1 施工方案设计

(1) 施工前期准备: 做好管材运输与存放管理, 运输过程中避免管材碰撞、破损, 存放时分类堆放、做好防潮防晒措施, 远离尖锐杂物; 开展管沟开挖作业,

严格按照设计坡度与深度开挖,开挖后及时清理沟底杂物,对岩石地基需铺垫厚度不小于10cm的砂垫层,缓冲管材受力,对松软地基需浇筑混凝土基础进行加固处理,确保管道敷设基础稳固,避免后期沉降。(2)核心施工工艺:重点把控管材安装、接口处理、管沟回填等关键工序,管材安装前检查外观质量,安装时精准对位、平稳下放,避免偏移;接口处理严格遵循施工规范,焊接、承插等接口需确保密封严密、牢固可靠;管沟回填分层进行,分层夯实,回填土中不得含有石块、冻土等杂物,防止回填不实导致管道受压破损,杜绝施工缺陷引发的压力损失与安全隐患^[5]。(3)特殊工况施工:针对穿越河流、铁路、公路等障碍物的路段,制定专项施工方案,穿越河流采用顶管或水下敷设工艺,避免破坏河道生态与通航安全;穿越铁路、公路采用顶管或套管保护工艺,施工过程中加强监测,严控施工偏差,确保施工安全与管道长期稳定性,减少对周边设施的影响。

4.2 施工质量控制与验收

(1)质量控制要点:严格落实质量控制措施,管材进场时进行抽样检验,核查规格、强度、防腐性能等指标,不合格管材严禁使用;加强接口施工质量控制,全程监督施工过程,及时纠正施工偏差;管道安装完成后,按规范要求水压试验,试验压力不低于设计压力的1.5倍,确保管道密封性与抗压性符合设计标准,无渗漏、无变形。(2)工程验收标准:严格按照《室外给水设计标准》《泵站设计标准》等相关规范要求,明确验收流程,分为分项工程验收、分部工程验收和竣工验收三个阶段;明确验收指标,重点核查管道敷设、接口质量、压力试验结果等核心内容,所有验收指标达标后,方可投入使用,确保工程质量符合设计要求。

4.3 运行与维护设计

(1)运行管理方案:建立泵站与管道协同运行机制,根据用水需求动态调节泵站压力、流量参数,确保

输水系统高效运行;制定定期巡检计划,安排专业人员对泵站设备、管道沿线及关键节点进行巡检,重点排查压力异常、接口渗漏等问题,做好巡检记录,及时发现并处理潜在隐患。(2)维护保养措施:定期对管材、接口及防护设备进行维护,及时更换老化、破损的部件;定期开展管道清淤作业,清除管内泥沙淤积,减少水头损失;对金属管材定期进行防腐复检与补涂处理,延长管材使用寿命,确保管道与设备长期稳定运行,降低维护成本。(3)应急处置方案:针对管道爆管、水锤冲击、泵站故障等突发情况,制定完善的应急处置流程与措施,明确应急组织机构、处置步骤与责任分工;配备应急抢修设备与物资,发生突发事故时,快速启动应急方案,及时切断水源、抢修管道、恢复泵站运行,最大限度降低事故影响,保障供水安全。

结束语

长距离压力输水管道设计是一项系统性工程,涉及设计、施工、运维多个环节,需严格遵循相关规范,结合工程实际统筹考量各类因素。本文全面分析了设计核心要点与防护措施,明确了各环节的关键要求。未来设计中,需结合技术发展优化方案,强化安全防护与运维管理,不断提升设计科学性与工程可靠性,推动长距离压力输水工程高质量发展,更好地满足水资源输送需求。

参考文献

- [1]张东栋,王瑞,张斌.山区水源项目输水管道工程设计要点分析[J].工程技术研究.2023,8(20):103-105.
- [2]王建军.供水巩固提升工程输水管道穿越汾河工程探析[J].山西水利.2023,14(10):98-102.
- [3]李朋.长距离输水管道工程规划设计要点归纳总结[J].河北水利.2023,6(7):34-38.
- [4]罗靖.惠州市东江引水一期长距离输水管道工程管材优化比选分析[J].工程技术研究.2022,7(23):251-253.
- [5]董武斌.长距离管道输水工程设计要点[J].云南水力发电.2021,31(7):85-87.