长距离输水工程管线优化设计

汪彩文

湖南城市学院市政与测绘工程学院，湖南益阳，413000；

摘要：安全、经济与高效管理的实现高落差、长距离重力流供水是乡镇集中供水工程面临的重大挑战，影响着整个供水工程的建设投资与安全运营。某镇长距离输水管线工程，通过设置减压水池降低了管道水压，从而降低管道压力等级，节省管道投资。通过安全附属设施及阀门检查井的合理配置与组合，提高了管道安全运行水平，降低了管线工程管理难度。

关键词：长距离输水；管线优化设计；减压设施

DOI：10.64216/3080-1508.25.08.046

1 工程概况

某镇镇区原有自来水厂一座，其设计规模为5000m^3/d，水源为地下水，净水工艺流程为穿孔旋流反应池—斜管沉淀池—重力式无阀滤池—清水池。根据水源水量、水质、工程量与投资和运行管理复杂程度及原有的给水系统的现状，镇区采用双水源统一供水方式，即保留原有水厂的同时，新建一座水厂统一向镇区配水管道输送生活、生产和消防用水。新水厂设计规模为1.0×10^4 m^3/d，近期规模为0.5×10^4 m^3/d，水厂厂址标高介于187.00m～192.00m。水厂水源为水库，输水管道进口设计标高为307m，水厂混合井设计水面标高为197m。根据地质勘探结果表明，建设场地为原始地貌属山丘地貌，场地上覆土层为第四系粉质黏土、碎石土，下伏基岩为志留系上统砂岩，埋深约1.00～2.00m。

2 管线平面定线

根据现状测量地形图，水源地至净水厂的前端有村级公路和二级公路，管道施工安装方便，材料进场容易，输水管道的平面定线沿着水源至水厂的村级公路和二级公路敷设，沿线散布有居民村落，为防止水质污染，设计采用有压重力流双管供水，管线平面长度为12900m。输水管道沿线地形标高介于117.20m～307.00m之间，地形地势起伏较明显。

为保证施工安装顺利实施，提高管道运行安全，保证维护方便，输水管道按沿着村级公路靠山体一侧，避开临河与山谷侧陡坡。管道在进入自来水厂净水构筑物前二级公路桥穿越河道，由于河道下切较深，管线过河采用沿着公路桥以桥管的形式通过，降低施工难度的同时提高了运行与维护效果。

3 管网水力计算与分析

3.1 设计流量

从水源至水厂的输水管道的设计流量，按照水厂近期最高日平均时供水量、输水管道的漏失水量和水厂的自用水量之和进行确定，同时水厂内部设有清水池，清水池有效容积包含消防水量，因此，本次输水管道的设计流量不考虑消防补充水量。

自来水厂设计规模为1.0×10^4 m^3/d，水厂自用水量按照水厂设计规模的5%计，考虑到本输水管道属于长距离输水管道，管道所在地地形起伏很大，管道内压力较高，管道的漏失水量按照近期最高日用水量的2%计，故本次输水管道设计流量为10700m^3/d，即管道的水力计算流量为0.124 m^3/s。

3.2 管材选择

原水输水管道的好坏直接影响到输水水质、净水工艺和出水水质、水厂建设投资成本和运营管理成本，好的管材可以防止爆管，防止漏损，节约水资源，现行长距离输水工程中常用的管材主要集中在钢管、球墨铸铁管、钢筋混凝土管和PE管等管材。

钢管能耐高压，韧性好，管壁薄，重量轻，运输方便，管身长，接口少，抗震性优及漏水情况少等优点，被广泛应用于供水业中。同时其机械强度最好，可以承受高的内外压力 ，管身的可焊性方便制造各种管件、特别能适应地形复杂及要求较高的管线使用，易腐蚀是其最大缺点。

铸铁管（CIP）能承受较大工作压力（0.45～1.00MPa）、耐腐蚀、价格便宜，管内壁较光滑，因而被大量用于室外给水管上。但是它的缺点是质硬而脆、重量大、施工较困难。公称直径从DN75～DN1500，工作压力有0.45、0.75、1.00MPa等几种。综合比较给水球

墨铸铁管承压、耐腐等功能以及管材造价、开挖施工、维护等各种费用，实际建设选用管径在 DN200－DN800 其优势比较突出。

PE 管卫生条件好，不结垢，不滋生细菌；柔韧性好，抗冲击强度高，耐强震、抗扭曲；管道的海曾—威廉系数较水泥砂浆内衬和涂料内衬的球墨铸铁大，水力条件好。 连接方式主要有电热熔、热熔对接焊和热熔承插连接。管道敷设既可采用通常使用的直埋方式施工，也可采取插入管敷设（主要用于旧管道改造中的插入新管，省去大开挖）。但 PE 管机械性能不如钢管，对化学物质敏感。施工中应特别注意与热力供暖的安全距离，同时不能裸露于空气中的阳光下。

玻璃钢管（RPM）口径大，重量轻，耐压为 1.0～2.0MPa，运输安装方便，摩擦阻力小，输送能力高，耐腐蚀性好。但玻璃钢管若要增加输送压力，就要增加壁厚，增加成本；要求敷设有高的管道基础，以防止浮管及不均匀沉降引起的漏水；刚度差、承受冲击能力差，不能随较强的剪力和弯扭力，故在穿越道路、桥梁、倒虹管处和在弯头配件处仍需使用金属制品，老化是另一个必须考虑的问题。

承插式预应力钢筋混凝土管（PCP）节省钢材，价格低廉(和金属管材相比)，防腐性能好，经久耐用，不会减少水管的输水能力，能够承受比较高的压力（从 0.4～1.2MPa 不等），具有较好的抗渗性、耐久性，能就地取材，节省钢材。资金不足的情况下，应用价值大些。目前大多生产的钢筋混凝土管管径从 DN100～DN1500mm。但承插式预应力钢筋混凝土管自重大，质地硬而脆，怕碰撞，接口易渗漏，配件缺乏给日后维修增加难度，现在在埋地敷设的给水管道施工中用量正逐渐减少。

从国内外近年的使用经验来看，大口径的长距离输水管道多选用钢管和预应力刚筒混凝土管[1]，对于中小管径输水工程中球墨铸铁管和 E 管由于其较高的承压能力、良好的密封性能和水流特性，其应用范围较大[2]。根据当地货源、施工条件等选用 PE 管作为该长距离输水管材。

3.3 水力分析与管径确定

水力计算采用海曾威廉公式和柯尔勃洛克—怀特公式，局部水头损失均按照沿程水头损失的 10%计。采用可资利用水头一定，输水量为设计水量情况下进行水力计算，由此确定管径，并对管道进行水力分析。计算结果表明，DN315 管道在设计流量下，管道末端的管内压力为 36m，完全能够满足水厂供水需求。但此时管内压力高，压力最高点接近 1.5 MPa，整个输水管道的承压要求较高，水压标高超过 1.2Mpa 的管段主要从管道里程 4.9km 至 12km，此段管道设计地面标高介于 117m-282m，水力分析具体见图 1。根据输水管道水压变化情况，初步选择公称外径为 315mm，壁厚为 28.6mm，公称压力为 2.0MPa 的 SDR11 给水 PE100 聚乙烯管道。

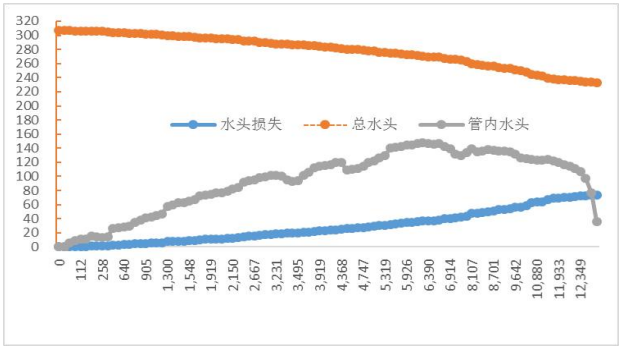

图 1 DN315PE 管水力计算过程线

3.4 管线过水能力核算与升压分析

根据所选管径规格，核算在可资利用水头一定时管道最大输水量，水力计算采用海曾威廉公式和柯尔勃洛克—怀特公式，局部水头损失均按照沿程水头损失的 10%计。计算结果表明，DN315PE 最大理论输水量 13000 m^3/d。

根据流体动力学基本原理，通过压力波传播速度、阀门关闭时间、管道参数等关键因素，采用直接水锤或间接水锤公式进行压力变化量计算，水锤事故按照最大理论输水量 13000 m^3/d，管道材质与规格为 PE315mm，壁厚为 28.6mm 进行计算。采用水力分析计算结果表明，选用 DN315PE 管，管内升压 0.31Mpa。

4 优化设计

4.1 管线优化设计

压力输水管道的公称压力应根据最大使用确定，其值应为最大使用压力加 0.2-0.4MPa 安全余量，当选用非金属管材时，安全余量可根据经验适当放大。输水管的最大使用压力应经过水锤计算确定。为提高供水的可靠性，在原有管线适当位置设置减压水池，在保证设计流量的条件下，尽量的提高供水安全性[3、4]。采取减压水池的形式减低原水管出口处的水头形式减压，按照出口处的管内自由水头为 40m，保留 10m 自由水头进行计

算，则减压水池的设计标高应为 276m，其水力过程线见图 2。计算结果表明：减压水池设计标高在 276m 处设计时，相比于不设减压水池时，管道的最大压力下降了 0.37Mpa。

综合上述的计算结果，在管道标高 255 米以上时候，选择管道外径为 280mm，工程压力为 1.0MPa 的 PE 管，在管道标高小于 255 米的以后各段输水管道选择公称外径为 280mm，壁厚为 25.4mm，工程压力为 1.6MPa 的 SDR11 聚乙烯管道，管道的计算内径为 254mm。

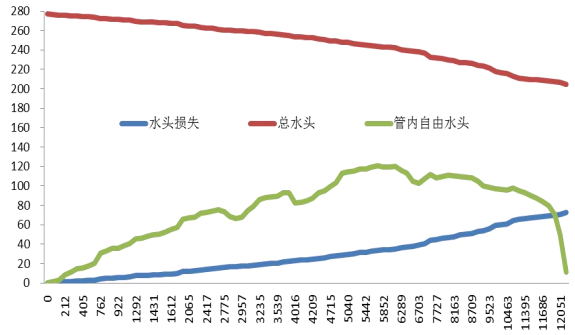

图 2 减压水池标高 276 米标高下 DN315PE 管水力计算过程线

4.2 附属设施优化设计

根据管道的平面定线和管道所在地的地形地势，为保证管道的正常运行与安全，在管道的最低点设置泄水阀，泄水阀口径同输水管，同时为防止冲刷破坏，泄水阀阀门井为钢筋混凝土形式，井筒采用 C25 浇筑。管道起伏段的隆起点和每隔 0.5-1.0 千米也设置空气阀，实现管道自动进排气、防止气穴和水锤破坏。考虑到管道检修与阀门布置，连通管设计 10 条，事故水量为设计水量的 87.7%，满足要求，设计管道预留连接管形式为三通，三通口径同设计管道规格。结合进排气、检修与排水要求，尽量将多功能结合做成统一井室形式，进一步降低工程管理难度[5]。

为防止过桥管道老化、管道冰冻、管道防腐和管道的正常运行，本次设计在管道穿越桥的地方均做保温处理。保温材料采用防火、美观的复合铝箔保温棉，既保证管道在冬季运行的保温，又保证在高温季节太阳光照射而引起的高温变形和老化等不利因素，同时防止外露的管道受有机涂料，特别是含芳香族有机物的腐蚀影响。

由于管道所在地地形地势较为复杂，管道的转弯较多，管道内的水压较高，为保证管道的正常工作，防止管件的损坏，本设计中，管道转弯原则上不出现 90° 弯头，管道的 11.25° 、22.5° 、30° 和 45° 水平转弯、垂直向上和垂直向下转弯、三通处均设置支墩。

为防止山洪冲刷影响管线的安全，管道敷设在山脚线山洪冲刷位置时，按照表 1 进行基础处理。

表 1 敷设于山洪冲刷地段的管道基础要求

序号（由下至上）	材料	厚度（mm）	规格
1	块石	300	块石厚度不小于 200mm
2	砂	300	2-5mm 粒径
3	回填土	600	含水率 19—23%的粘土
4	小块石	200	块石厚度约为 100mm
5	大块石	400	块石厚度不小于 300mm
6	回填土	200	含水率 19-23%的粘土

5 结论

从长距离输水管线可资利用水头、水力过程分析和安全供水及附属设施工程需求，通过设置减压水池、选择合理管材、合理配置与组合安全附属设施及阀门检查井等措施，大大降低了管道压力等级，提高了管道安全运行水平，降低了管线工程管理难度，通过 1 年多运行，管道运行状态良好，有力的保障了该镇的用水需求。

参考文献

[1]刘芳，刘前军，周胜昔。大口径长距离输水管线的优化设计[J]。水利科技与经济，2013,19（6）：64-66。

[2]穆朝彬。长距离输水管线设计与运行技术分析[J]。工程技术，2024,11：34-38。

[3]李朋。多目标长距离输水管道系统调压设计探讨[J]。河北水利，2021（02）：70。

[4]陈明辉、周建旭，驼峰式长距离输水管线单向调压塔水锤防护研究[J]。水电能源科学，2024，42（9）：157-161。

[5]聂楠。长距离输水管线附属设施井室优化设计[J]。中国给水排水，2023,39（10）：95-98。

作者简介：姓名：汪彩文（1981.09—），性别：男，民族：汉，籍贯：湖南省益阳市桃江县，单位名称：湖南城市学院，学历：硕士，职称：讲师，主要研究方向：水处理理论与技术。

项目基金：湖南省教育厅科学研究项目（湘教通〔2023〕361 号），电场调控碳纳米纤维光催化降解典型持久性有机污染物研究，项目编号：23C0325。