

# 输水管道穿越南水北调中线澎河渡槽方案浅析

杨书统<sup>1</sup> 朱伟君<sup>2</sup>

1. 河南省水利勘测设计研究有限公司 河南 郑州 450003

2. 中水北方勘测设计研究有限责任公司 天津 300222

**摘要:**南水北调中线总干渠全长1432km,南水北调总线总干渠跨越四大流域,需要穿越黄河干流及其他大小河流约219条,跨越铁路约44处,跨越公路约571处。南水北调总干渠为线性工程,其他工程在建设过程中不可避免会与其交叉,本文以平顶山市城区南水北调供水配套工程输水管道穿越南水北调中线工程澎河渡槽为例,在地质条件复杂,管道设计流量较大,不能开挖施工情况下,采用顶管设计方案有效解决了问题,为其他顶管穿越工程提供借鉴。

**关键词:**南水北调总干渠;澎河渡槽;输水管道;顶管

## 1 工程概况

平顶山市城区南水北调供水配套工程起点位于鲁山县张良镇贺塘村南总干渠左岸,在平顶山市河滨办事处褚庄经泵站加压后,进入白龟山水厂和九里山水厂。共铺设管道37.71km,其中主管道管道长度26.12km,采用DN2000球墨铸铁管道,支管道长度11.59km,采用K9级DN1600球墨铸铁管道。

南水北调中线总干渠澎河涵洞式渡槽位于鲁山县澎河上,上游约1.5km为澎水库。工程起点总干渠分段桩号为TS232+001,终点桩号为TS232+312,总长310m。渡槽主体结构由3孔一联的涵洞式渡槽单元组成,共长172.0m,宽25.6m,双线双槽,渡槽底板即为涵洞顶板。单槽槽身横截面净尺寸11.0×7.2m,墙身采用变厚度带拉杆的侧墙。涵洞单联过流尺寸(宽×高×孔)5.4m×4.5m×3孔,共9联27孔。其中渡槽7#~9#段软弱基础采取混凝土灌注桩处理,桩径0.6m,桩深10.1m,桩基中心间距1.9m,排距1.8m。

## 2 工程地质

场区地形地貌单元为山前冲积平原,地势平坦,高程127.40~128.20m。根据勘察区揭露的地层,该处地层主要为第四系冲洪积成因、上第三系和二叠系地层,按其时代成因、工程地质特征,共分为6个工程地质层。拟穿南水北调中线总干渠澎河渡槽沉井及管道建基面位于第⑬层、第⑮层、第⑯层,其中⑯层为中风化石英砂岩,属于坚硬岩,承载力较高,受地下水和侧向土压力影响,开挖过程中侧壁易坍塌,沉井底部易出现突涌风险,顶管在顶进过程中存在难以钻进风险。

## 3 穿越方案比选

根据澎河分水口位置及平顶山市城区南水北调供水配套工程总体布置要求,结合澎河渡槽总布置、澎河走

向、郑万高铁走向以及附近村庄分布,初拟总干渠渡槽下方穿越、明渠下方穿越两个方案进行比选。

### 3.1 渡槽下方穿越(顶管)

平顶山市城区南水北调输水管道采用DN2000钢管,经改造分水口门后从总干渠取水,沿分水口右侧挡墙布置,至浆砌石海漫处沿澎河河道向下游穿越澎河渡槽,线路总长度643m。

澎河渡槽槽段共9跨,综合考虑渡槽结构、地质条件、施工场地布置等各种因素,初拟从渡槽第3跨正中间下方穿越,总干渠桩号TS232+124处,位于澎河河道内。穿越拟采用顶管方式,埋深20.8m,位于粘土岩中,顶进管道初步采用混凝土管,管径2.6m,内穿输水管道,管径2.0m,材质为Q355C钢管。首尾两端分别设顶管工作井和接收井,结合永久检修需要,采用沉井方式施工。顶管工作井位于渡槽下游侧,距离槽渗外缘水平距离110m;接收井位于渡槽上游侧,距离渡槽槽身外院水平距离60m,顶管穿越总长度197m<sup>[1]</sup>。

### 3.2 明渠下方穿越(顶管)

输水管道采用DN2000钢管,经分水口门后从干渠取水,沿分水口右侧挡墙布置,至浆砌石海漫处大致沿东南方向埋设管道穿越郑万铁路至黄五常村西北侧,向东北方向垂直穿越总干渠(桩号TS231+755.79),然后沿西北方向穿越郑万铁路,线路总长度1156m。

穿越方式拟采用顶管方式,埋深31.3m,位于砂质粘土岩、泥质砂岩、中风化石英砂岩中,顶进管道初步拟采用混凝土管,管径2.6m,内套输水管道,管径2.0m,材质为Q355C钢管。首尾两端分别设顶管工作井和接收井,顶管工作井和接收井位置根据输水管道走向及邻近建筑物分布情况,均布置在总干渠左右岸护栏外60m,顶管穿越总长度250.5m。

### 3.3 穿越方案比选

从顶管位置看,渡槽下第三系砂质黏土岩埋深20.8m左右,明渠下岩石层埋深31.3m左右,渡槽下岩层埋深较浅,且穿越渡槽方案岩层为黏土岩,地层单一,顶管长度较短,顶进阻力相对较小,工作井和接收井较浅投资相对较小。穿越明确方案顶管长度较长,一次顶进最大阻力较大,需要设置更多中继间接力顶进,且需两次穿越郑万高铁,投资相对较大。综合各种因素,推荐在岩石中穿越渡槽方案(顶管,埋深20.8m)。

## 4 工程设计

### 4.1 工程总体布置

输水管道自分水口引水,经过泄槽、消力池后,由铺设在地表埋置入地下,在不影响退水闸出水的情况下,向右转向穿过水闸消力池下游侧海漫和澎河河道后,利用顶管下穿南水北调中线澎河渡槽。顶管顶进时为DN2600的钢筋混凝土管,内套DN2000输水钢管,两管之间回填自密实混凝土。

整个输水管道线路长度643m,顶管穿越渡槽段长度197m,顶管始末端分别设置工作井和接收井,其中工作井施工完毕后改造成检修通道,设置排水阀。输水钢管直径DN2000,采用Q355C,考虑输水管道通过泄槽后需要埋设在澎河的河床中穿越渡槽,在总干渠保护范围内提高管道壁厚等级,穿越段钢管壁厚采用18mm(如图1)。

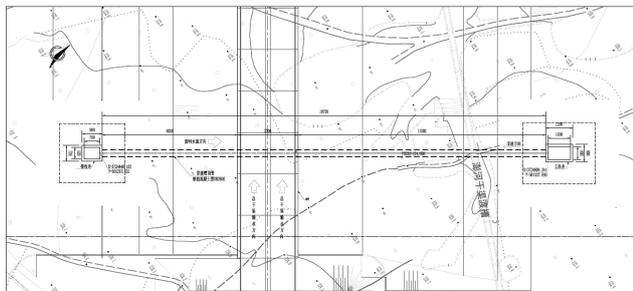


图1 输水管道穿越澎河渡槽平面布置图

### 4.2 顶进高程确定

在渡槽下方顶管时,黏土岩顶进方案顶管埋深20.8m,泥质砂岩顶进方案顶管埋深30.4m,从施工角度出发,黏土岩顶进方案埋深小,利用工作井和接收井的施工,地下水位对施工影响也较少,且投资相对较少。故选择在渡槽下从埋深较浅的黏土岩顶进方案。

### 4.3 顶管尺寸确定

由于管道埋深约20.8m,管道所受荷载较大,超过定型产品荷载限制要求,定型产品无法满足顶管结构要求,因此本工程采用定制管道。定制管道内径2600mm,壁厚235mm,管道外径3070mm,钢筋混凝土管道内径

2600mm,壁厚260mm,外径3120mm。按工作井和接收井内各外露1m考虑,管道长度199m<sup>[2]</sup>。

## 5 顶管施工

### 5.1 顶管机头选型及施工工艺

本项目为穿明渠工程,一旦透水将产生严重后果,且顶管高程均位于地下水位以下,故本项目只宜采用具有平衡功能类型的顶管机。本工程穿越土层为砂质黏土岩,因此拟选择具有破碎功能的岩石泥水平衡顶管机,刀盘上同时安装滚刀和刮刀。

泥水平衡式顶管掘进机有以下优点:

(1) 泥水平衡顶管掘进机因为采用泥水作为平衡地层和地下水压力的介质,更适合于管线位于地下水位以下工程;

(2) 泥水平衡顶管采用泥水输送弃土,没有吊土、搬土等较易发生危险的作业,工作井内作业环境好,作业安全;

(3) 泥水平衡顶管可连续出土,大大提高了推进速度,每日可顶进20~30m。

(4) 泥水平衡顶管掘进机施工对周围土层影响小,工程竣工后地面沉降小。

### 5.2 后坐力计算及中继间设计

#### 5.2.1 后座反力计算

工作井采用沉井施工,井壁有较好整体性,将其作为整体来计算所能提供的最大反力更接近实际。根据《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》,矩形沉井在顶管力作用下,后背土体的稳定应符合下式要求:

$$P_{ik} \leq \xi (0.8E_{pk} - E_{ep,k})$$

$$\xi = (h_f - |h_f - h_p|) / h_f$$

式中:

$E_{ep,k}$ ——沉井前方主动土压力合力标准值(kN);

$E_{ep}$ ——沉井后方被动土压力合力标准值(kN);

$P_{ik}$ ——顶管力标准值(kN);

$h_p$ ——土压力合力至刀脚底的距离;

$h_f$ ——沉井刀脚底部至顶管力合力点的垂直距离;

$\xi$ ——考虑顶管力与土压力合力作用点可能不一致的折减系数。

根据上述公式,按工作井底板顶面以下0.8m刀脚深计算,在千斤顶顶力不超过25710kN的情况下,工作井后背土体是稳定的。

#### 5.2.2 中继间设计

本工程顶管长度为197.00m,若不设中继间顶进,则计算得最大顶进阻力 $F_0$ 为31723kN。根据前述计算,工作井所能提供的最大后座反力 $R$ 为25710kN,钢筋混凝土管

道所能承受的最大推力 $F_{dc}$ 为15835kN,  $F_{dc} < R < F_0$ , 工作井后背土体提供的反力不能满足最大顶进阻力的要求。由于钢筋混凝土管道运行顶力和工作井后背反力都无法满足一次顶进要求, 且本工程为穿越南水北调中线总干渠, 如发生顶进受阻情况将难以补救, 因此需要设置中继间<sup>[3]</sup>。

### 5.2.3 主千斤顶顶推距离

根据工作井所能提供顶管的最大后座反力25710kN, 钢筋混凝土管运行顶力15835kN, 遵循尽量减少设置中继间的原则, 顶管主千斤顶配10个1500kN液压油缸, 则主千斤顶的最大顶进距离 $L$ 可按下式计算:

$$L = P \cdot k / (2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot f_k)$$

式中:

$P$ ——为允许最大推力, kN;

$K$ ——工作系数, 取0.8;

$R_1$ ——管道外半径, 为1.56m;

$f_k$ ——单位面积摩擦阻力, 同前, 取20kN/m<sup>2</sup>;

计算得 $L = 82.9m$ , 取主千斤顶顶进距离 $L$ 为80m。

### 5.2.4 中继间位置

①第一级中继间配22个700kN液压油缸, 总推力15400kN, 则中继间顶进距离 $L_1$ 计算如下:

$$L_1 = \frac{(P_1 - P_0)k_1}{2\pi R_1 f_k}$$

式中:

$P_1$ ——中继间设计顶力, kN;

$P_0$ ——顶管机迎面阻力, 3326.9kN;

$k_1$ ——工作系数, 取0.6;

其余参数同上。

计算得 $L_1 = 50.5m$ , 取 $L_1$ 为48.0m, 即1#中继间设于刀盘后48.0m。

②第二级中继间配22个700kN液压油缸, 总推力15400kN, 则中继间顶进距离 $L_2$ 计算如下:

$$L_2 = \frac{P_2 k_2}{2\pi R_1 f_k}$$

式中:

$P_2$ ——中继间设计顶力, kN;

$K_2$ ——工作系数, 取0.7;

其余参数同上。

计算得 $L_2 = 74.5m$ , 取 $L_2$ 为71.0m, 即2#中继间设于1#中继间后71.0m。

### 5.2.5 中继站设置

顶管设2个中继间, 主千斤顶顶推距离为80.0m, 1#中继间安放于顶管机后48.0m处, 2#中继间设于1#中继间后71.0m, 中继间位置均未放置在渡槽正下方, 总顶进距

离为197.0m。2个中继间工作时应采用计算机联动控制。顶管贯通后, 将中继间拆除后的间体复原成管道, 并加焊内环, 涂刷防腐材料, 以满足管道运行及耐久性要求。

### 5.3 管道顶进

(1) 顶进机头, 当机头进入土体时, 开动大刀盘和进排泥泵;

(2) 机头顶进至能卸管时停止顶进, 拆开动力电缆、进排泥管、进排泥泵、控制电缆和摄像机连接线, 缩回顶进油缸。将事先准备好密封环的管节吊下, 对准后插入就位;

(3) 接上动力电缆、控制电缆、摄像机连接线、进排泥管并接通压浆管路。启动顶管掘进机、进排泥泵、压浆泵、主顶油缸, 并顶进管节;

(4) 随着管节的顶进, 不断观察机头轴线位置和各种指示仪表, 纠正管道轴线方向并根据土压力大小调整顶进速度;

(5) 当一节管节顶进结束后, 重复以上(2)~(4)操作程序, 并将后续管节与前节管节焊接, 循环顶进;

(6) 当需启用中继间时, 应自前向后依次启动。

(7) 在顶管掘进机穿越渡槽段时, 应降低顶进速度, 并使泥水仓压力保持较低值, 以确保顶管安全通过渡槽段。

本工程顶管施工最长顶进距离为197.0m, 必须采取注浆减阻措施, 以最大限度地降低顶进阻力, 从而控制顶进力。降低顶进阻力最有效的方法是进行触变泥浆注浆, 使管周外壁形成泥浆润滑套, 从而降低了顶进时的摩擦阻力。在顶进结束后, 采用水泥砂浆对泥浆套的浆液进行置换, 并将注浆孔封堵。

### 结语

对于本文中输水管道穿越南水北调总干渠澎河渡槽处, 既有总干渠渡槽建筑物, 又有郑万铁路、水库、村庄等, 穿越条件较为不利, 工程地质条件复杂。输水管道管径较大, 设计流量较大, 存在不能开挖施工情况。方案中采用顶管施工, 在粘土岩层中顶进施工, 合理设置中继间, 顶管进出口均布置在总干渠保护范围之外, 有效解决了相关困难, 为其他顶管工程有一定的借鉴作用。

### 参考文献

- [1] 申志. 大管径顶管工程重难点分析与对策[J]. 中国建筑金属结构, 2023, (05): 94-96.
- [2] 梅世安. 南水北调中线工程穿越小洪河顶管工程设计[J]. 河南水利与南水北调, 2022, (08): 43-44.
- [3] 张彬, 赵孟伟, 韩建设. 顶管技术在引江济淮涡河穿越工程的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2023, (07): 63-65.