

# 长距离输水工程中顶管工作井的选型及应用

王 香, 胡其林, 赵传志

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘要:**受地形、地质条件及道路、轻轨、房屋构筑物、河流、高压电杆等客观环境因素影响,输水工程中的地下管网建设愈发困难,然而,顶管施工方式可以解决这一难题。介绍了几种常用顶管工作井的结构型式,比较了几种工作井的适用条件及优缺点,结合重庆渝西水资源配置工程中顶管工作井的施工条件,对工作井的结构进行了选型研究,主要分析了工作井正作法与逆作法施工的基本原理与工艺流程,所取得的经验可为类似工程提供参考。

**关键词:**输水工程;工作井;结构选型;正作法;逆作法;渝西水资源配置工程

**中图分类号:**TV7;TV52;TV68;TV554+.5

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2023)03-0048-05

## Type Selection and Application of Pipe Jacking Well in Long Distance Water Conveyance Project

WANG Xiang, HU Qilin, ZHAO Chuanzhi

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** The construction of underground pipe network of water conveyance project is more and more difficult because of the influence of terrain, geological condition, road, light rail, building, river, high voltage pole and so on, however, pipe jacking method can solve this problem. This paper introduces the structure types of several common pipe-jacking working wells, compares the applicable conditions, advantages and disadvantages of several kinds of working wells. Considering the construction conditions of pipe-jacking working wells in Chongqing Yuxi Water Resources Allocation Project, in this paper, the type selection of working well is studied, and the basic principle and technological process of forward and reverse construction method of working well are analyzed, which could provide reference for similar projects.

**Key words:** water conveyance project; working well; structural type selection; forward construction method; reverse construction method; Western Chongqing Water Resources Allocation Project

### 1 概 述

顶管是借助顶推装置将管道在地下逐节顶进的非开挖施工方式。该施工方法是在顶管工作井内借助顶管设备产生顶力<sup>[1]</sup>,将掘进机从工作井内穿过周围土壤一直推到接收井内吊起,与此同时,将其紧随的管道埋设在两井之间。由于其不需要大面积开挖即能穿越房屋构筑物、高速公路、铁路等已建项目,能够减少对城市构筑物的破坏,并且在保护环境方面具有很大的优势,因此,在城市地下管道施工中有广泛的应用。但是,对于水利工程而言,顶管施工起步较晚,施工经验少,尤其是对于长距离输水管线的顶管施工。

顶管工作井是顶管的重要组成部分,其为顶

管作业提供空间并承受顶力,而且是施工现场人、材、机的主要活动场所。鉴于工作井的结构型式及施工方法种类繁多,因此,一定要根据施工现场的实际情况、管道埋深、管线形式、水文地质、周围环境及施工设备等条件合理地对工作井的结构型式进行选择。

重庆渝西水资源配置工程位于重庆市西部,通过新建长江、嘉陵江等提水工程向渝西城乡生活和工业供水。该工程由泵站、输水管隧、调蓄水库等部分组成,分为东干线、西干线、嘉陵江干线、北部片区干线以及相应的分干线及支线。工程建设内容包括:水源、加压及提水泵站、输水管(隧)线、调蓄水库等,其中包含 28 处顶管,共计顶进长度达 13.847 km,单管顶进最长距离为 912.88

收稿日期:2023-03-18

m. 阐述了对顶管工作井结构型式选择进行的研究过程。

## 2 常见顶管工作井结构型式的适用条件及优缺点

### 2.1 正作井

正作法工作井简称正作井。正作法又称大开挖法施工,为工作井的常规施工方法,采用分层放坡开挖的形式,根据开挖深度采用机械挖土施工至设计要求的高程后进行底板和护壁施工。其后背墙为正作井的重要结构,用来将主油缸顶力传递到承重工作井墙,该结构由混凝土一次性浇筑完成。

正作法工作井具有的优点:结构施工工艺简单,强度大,刚度强,工期短;缺点:占地面积大,对周围环境影响大;使用条件:适用于土质较好、地下水位较低的普通顶管。

### 2.2 沉井

沉井法又称为沉箱凿井法,由井壁、套井(即锁口)和刃脚组成,其在地面上进行钢筋绑扎和混凝土浇筑施工<sup>[2]</sup>,待混凝土强度达到设计要求后在井内挖土使土面降低,地面上的沉井筒身利用其自重下沉,从而逐步就位的一种施工方法。沉井法按其是否淹水分为不淹水沉井和淹水沉井两种;按材料分类有木沉井、砖沉井、钢沉井、钢筋混凝土沉井和混凝土沉井等。目前较为常用的是钢筋混凝土沉井,该沉井为提高其整体结构的强度和刚度可增设圈梁或底梁及横梁。

沉井具有的优点:结构整体性好,刚度大,开挖深度大,受地质条件影响小;缺点:工期长,造价高,易对周围土体产生扰动而造成建筑物下沉、开裂等影响;使用条件:适用于埋深较深的一般黏性土及填土、淤泥和淤泥质土、粉土和砂土类地质条件。

### 2.3 逆作井

顶管逆作井的施工方法是指在地下建筑物施工时不进行放坡开挖,不搭设临时支护,但井体本身既作为挡土墙,又为施工提供支护,通过采用自上而下、开挖一层浇筑一层的方式实施。在一般地层中每层的开挖深度不超过1 m;在地质条件较差的地层中每层的开挖深度不宜超过0.5 m,随后逐层向下开挖和浇筑各层地下结构,直至底板封底。其施工顺序与常规正作法施工顺序相反。逆作井宜做成圆形且圆形工作井井环厚度不宜小于300 mm,混凝土强度等级不应低于C25。

值得注意的是:逆作井不可作为永久井使用<sup>[3]</sup>。

逆作井具有的优点:施工工艺简单、强度大、变形小、对环境的影响程度小;缺点:施工工期长,整体性较差,所适用的土质范围较小;使用条件:适用于一般黏性土及其填土、硬塑黏性土、软质岩石或风化岩石的地质条件,适用于地下管线复杂、无法进行大开挖施工的地段。

### 2.4 钢板桩井

钢板桩井一般为临时井,根据打桩的方式可分为振动法和静压法,其工作原理是利用打桩机将钢板桩打成一个闭合的形状,形成一个圆形或者矩形围堰进行支撑的工作井,通常由拉森钢板桩密扣搭接而成;施工完成后,可以将钢板桩拔除回收再次利用,拆卸前,必须将其填充到设计要求的高度<sup>[4]</sup>。

钢板桩井具有的优点:施工工艺简单,造价低,工期短;缺点:对环境的影响大,刚度较小,易产生变形,安全系数较低;使用条件:适用于埋深较浅、地下水位较低的顶管施工;适用于黏土,松散、中密的砂性土。

### 2.5 地下连续墙井

地下连续墙井是利用机械施工成槽后绑扎钢筋浇灌混凝土形成的墙体,该项施工方法将支护结构和主体结构相结合,即在施工阶段采用地下连续墙作为支护结构,在正常使用阶段地下连续墙又作为结构外墙使用以承受永久水平和竖向荷载。地下连续墙井具有较好的支撑作用,能够显著提高建筑物的稳固性,因此具有较为广泛的应用<sup>[5]</sup>。

地下连续墙井具有的优点:防渗能力强,强度与刚度大,整体性强;缺点:施工工艺复杂,造价高,对环境有污染;使用条件:适用于埋深较深的所有地质条件。

## 3 顶管工作井的选型

### 3.1 顶管工作井选型考虑的主要因素

顶管工作井的选型主要考虑以下因素:(1)地形地貌及周边环境影响:考虑每个工作井所处的地质条件和地形地貌;考虑地面构筑物、河流、道路等情况,尽量避免地质条件较差,河流、房屋等不利于工作井施工的场所。(2)工作井需承受荷载的大小:其与顶进方式、管道的材质、口径等有关,选型时需根据项目特点及相应要求考虑工作井的刚度。(3)工作井附属设施的施工:后背墙、

预留洞口及基础处理等。

### 3.2 重庆渝西水资源配置项目顶管工作井选型

渝西水资源配置项目位于重庆市西部,输水管道的顶管大多采用泥水平衡法施工,施工区的地质条件多为破碎岩、灰岩、泥岩且工程量较小,因此无法采用沉井、钢板桩井、地下连续墙等结构

型式的工作井,而且这几种施工方式需要专业的施工机具和作业队伍,成本较高。结合该项目及水利工程的特点,从施工组织、成本及地质条件等方面进行分析比较,最终该项目工作井选用正作法与逆作法施工。重庆渝西水资源配置工程顶管工作井选型情况见表 1。

表 1 重庆渝西水资源配置工程顶管工作井选型表

工作井名称	井深 /m	壁厚 /mm	工作井尺寸 /m (长×宽)	双管长度 /m	工作井形式	顶管方式
齿轮厂(小桩号)顶管工作井	7.4	700	12×10	1 467.35	正作法方井	机械顶管,2-Φ2 m, 钢管
齿轮厂(中继井)顶管工作井	11.3	700	D13	1 067.4	逆作法圆井	机械顶管,2-Φ2 m, 钢管
金桂山庄顶管工作井	5.2	700	12×10	1 824.4	正作法方井	机械顶管, 2-Φ2 m, 钢管
白家村顶管工作井	7.2	700	12×10	1 104	正作法方井	机械顶管, 2-Φ2 m, 钢管
穿轻轨五号线顶管工作井	6.2	700	D16	254	逆作法圆井	机械顶管, 2-Φ2 m, 球管
穿重庆绕城高速顶管工作井	12	700	D13	235	逆作法圆井	机械顶管, 2-Φ2 m, 球管
穿渝永高速顶管工作井	5.7	700	12×5	334.8	正作法方井	机械顶管, 1-Φ1.2 m, 球管

注:  $D$  为直径,单位 m。

(1) 齿轮厂(小桩号)顶管工作井选型。齿轮厂(小桩号)顶管工作井地表覆盖层为粉质黏土,厚度约为 2.7~3 m,基岩主要为紫红色泥岩、泥质粉砂岩夹粉砂岩及少量灰岩。工作井位于齿轮厂左侧,该位置较为空旷,操作空间较大,边坡稳定性较好,最终选用正作法进行工作井施工。齿轮厂(小桩号)顶管工作井航拍图见图 1。



图 1 齿轮厂(小桩号)顶管工作井航拍图

(2) 齿轮厂(中继井)顶管工作井选型。齿轮厂中继井位于齿轮厂内部,地表为混凝土结构层,厚度约为 20 cm,其下层为粉质黏土夹碎石,厚约 2.8~3.8 m。基岩为泥岩与泥质粉砂岩,强风化

层厚约 0.9~1.5 m。由于该中继井位于齿轮厂内部,周围有房屋、厂区道路等构筑物,为减少对原有构筑物的损坏,最终选择逆作法施工。齿轮厂(中继井)顶管工作井航拍图见图 2。



图 2 齿轮厂(中继井)顶管工作井航拍图

(3) 金桂山庄顶管工作井选型。金桂山庄顶管工作井地表为粉质黏土夹碎石,基岩为泥岩与泥质粉砂岩,其地下水埋深为 3.5~6.9 m。工作井位于浅丘北侧斜坡上,地形坡度约为 10°~15°,边坡稳定性较差且顶管长度达 1 824 m(双管),顶管较长,考虑工期影响并综合考虑上述原因,该井最终采用正作法施工。

(4) 白家村高地顶管工作井选型。白家村高地顶管工作井地表岩层为粉质黏土夹碎石,基岩为泥岩、泥质粉砂岩,为中等透水层,边坡为岩土混合边坡,边坡上部土质稳定性较差,开挖时应加强支护,且因基坑有涌水的可能,故应加强基坑抽排水措施。鉴于工作井位置较为空旷,操作空间大,综合考虑上述原因及工期要求后决定采用正作法施工。

(5) 穿轻轨五号线顶管工作井选型。穿轻轨五号线顶管工作井位于南北大道附近,该地形平台开阔,主要为人工堆积的碎块石土、泥质粉砂岩夹砂岩。由于工作井位于轻轨五号线桥墩附近,为降低干扰,减小对轻轨的影响,缩小占地面积,减少扰动,最终决定采取逆作法进行工作井施工。

(6) 穿绕城高速公路顶管工作井选型。穿绕城高速公路顶管工作井位于重庆绕城高速公路左侧,其表层为粉质黏土夹碎石,厚度约为4.0~5.1 m,基岩为泥岩与泥质粉砂岩,工作井边坡稳定性差,强风化基岩段岩体受风化卸荷影响岩体破碎,边坡稳定性差。该段穿越重庆绕城高速公路,综合上述原因,为降低其干扰,该工作井最终采用逆作法施工。穿重庆绕城公路顶管工作井航拍图见图3。



图3 穿重庆绕城公路顶管工作井航拍图

(7) 穿渝永高速公路顶管工作井选型。穿渝永高速公路顶管工作井位于九龙坡区走马镇石桥村071乡道附近,交通便利,机械、设备、材料运输方便。该井位于渝永高速公路东南侧斜坡上,表层为人为堆积的碎块石,基岩为紫红色泥岩与泥质粉砂岩,边坡为弱风化基岩,稳定性较好。由于工程前期征迁协调耗费了大量时间,导致施工工期紧张,因此最终决定采用正作法进行工作井施工。顶管施工时,应密切关注渝永高速公路的沉

降情况,实时监测。

#### 4 工作井正作法施工

顶管工作井正作法施工工艺流程见图4。

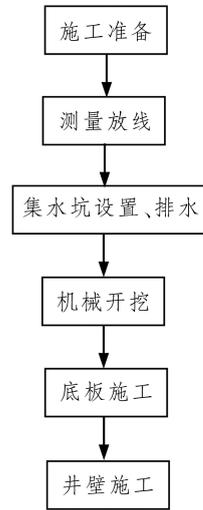


图4 顶管工作井正作法施工工艺流程图

工作井正作法施工采用分层放坡开挖的形式,根据开挖深度采用机械挖土。基坑开挖严格分层进行,均匀对称开挖,严禁超挖,基坑开挖的周边严禁堆载。石方开挖采用“自上而下、分层开挖”的原则组织实施。岩石破碎锤施工时将液压岩石破碎锤的钎杆压在岩石上并保持一定压力后开动破碎锤,利用破碎锤的冲击力将岩石破碎。对于预留保护层使用手持式风钻开挖施工,人工剥离开挖至工作井基面。

工作井施工应严格遵循边开挖、边支护的原则。为保证基坑内的施工安全,基坑采用挂网锚喷的方式进行支护,待开挖至井底设计高程后进行井壁混凝土浇筑。锚杆采用锚杆钻机造孔,待吹净孔洞粉尘后由人工安装锚杆,注浆泵注浆。混凝土喷射机分两次喷混凝土覆盖基坑,首次喷混凝土应待出渣完成后及时进行,在混凝土拌和料中掺入适当的钢纤维,并在喷混凝土前喷水湿润基坑。锚杆施工完成后,再次喷混凝土加固基坑。

#### 5 工作井逆作法施工

顶管工作井逆作法施工流程见图5。

经施工测量放线确定施工井位置后,即可进行土方开挖。第一节护壁应比下面的护壁厚100 mm,并应高出现场地面200 mm。遇有地下水时应挖集水坑,利用抽水泵将水排出井外。

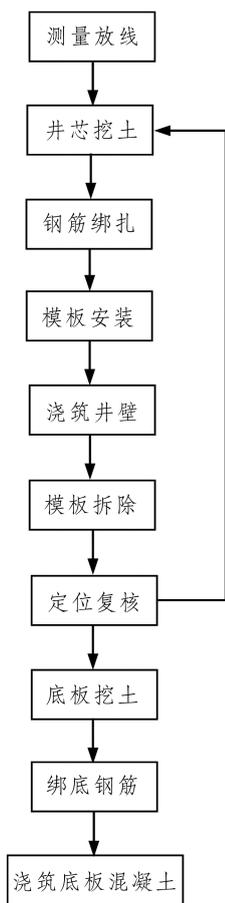


图 5 顶管工作井逆作法施工流程图

井壁钢筋的绑扎:采用预先下料、井下绑扎的施工方法,按照设计要求的配筋进行井壁竖向钢筋的绑扎及搭接。

井壁模板的安装:井壁模板由钢模拼装而成,板间用 U 形卡固定,沿模板底部打短钢筋桩加固。在第一节混凝土浇筑完成、养护 48 h 后进行第二节的挖土及护壁墙施工和钢筋绑扎,循环上述步骤,直至开挖至设计标高。

### 6 结语

随着社会发展和科学进步,顶管施工在城市

地下管线施工中的应用愈发重要,工作井作为顶管施工的重要组成部分其结构型式越来越多样化。针对长距离顶管工作井的选型,除常规的工期、造价、环境等方面的影响因素外,工作井所承受的荷载及后背墙处理两方面因素的影响更为重要。重庆渝西水资源配置工程中的顶管单管顶进最长距离为 912.88 m,其中 800~500 m 长度的顶管有 5 处,笔者主要分析了顶进长度、顶管方式、水文地质、周边建筑环境等因素对工作井选型的影响,在地质条件较好、顶进长度较长的情况下基坑采用明挖方式,而对于埋深较深且地质条件较差的情况则采用逆作法施工,可有效减少其对周围建筑物、道路、环境的影响,不仅能提高施工效率,缩短施工工期,确保通水节点的顺利实现,还可节约材料、设备的投入,节约项目成本,其能够满足安全、进度、质量、技术等各方面的要求,得到了业主、监理及总包单位的一致好评,所取得的经验可为类似工程施工提供参考,具有显著的社会效益。

### 参考文献:

[1] 给水排水工程顶管技术规程,CECS 246-2008[S].

[2] 张磊.复杂环境下逆作井与沉井施工工艺[J].云南水力发电,2017,33(6):133-138.

[3] 顶管技术规程,DBJT-15-106-2015[S].

[4] 张若愚.谈钢板桩工作井施工工艺与注意事项[J].山东水利,2021,23(4):50-52.

[5] 凌敏.建筑施工中的地下连续墙技术[J].砖瓦,2021,51(9):184-185.

### 作者简介:

王 香(1996-),女,河南信阳人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工;

胡其林(1986-),男,湖北黄冈人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工;

赵传志(1995-),男,陕西铜川人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)

## 山东莱荣铁路项目土建主体工程完工

2023 年 3 月 31 日,由中电建路桥集团总承包、水电五局参与建设的山东莱荣铁路项目 ZQSG-1 标段无砟道床全部浇筑完成,标志着项目土建主体工程施工全部完成,为该工程的验收和铁路通车奠定了坚实的基础。莱荣高铁正线长 193 千米,设计速度为 350 千米/小时。2020 年 11 月 9 日,莱荣铁路 ZQSG-1 标段开工建设,中国水电五局承担了其中 19.8 千米工程的建设任务,其施工主体内容包括 5 座特大桥的桥梁下部结构施工、4 段路基挖方和填筑施工,标段内 949 榀箱梁预制、运输、架设施工,19.8 千米无砟道床施工。

(中水五局 供稿)