

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.02.022

# 超深长距离顶管对接施工关键技术研究与应用

邓章铁, 杨圣虎, 吏细歌, 赵小建, 张楠, 田方, 伊宁坤  
(中建三局安装工程有限公司, 湖北 武汉 430064)

**摘要:** 武汉市大东湖核心区污水传输系统工程是目前国内一次顶进最长、埋深最深的小直径曲线岩石顶管项目。为解决该项目支隧顶管工程在超深及复合地层条件下,长距离曲线顶管无法继续顶进的问题,拟采用反顶对接施工技术。结合项目实际情况,对反顶对接方案进行了比选,从反顶工作井设计、顶力估算、顶进及纠偏、顶管机反拉、顶管施工测量等方面对顶管对接关键技术进行了分析。实际应用效果表明,顶管反顶对接施工顺利,较好地解决了工程难题。

**关键词:** 超深长距离; 顶管; 对接; 反拉; 测量纠偏

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)02-0125-08

## Research and Application of Key Technology for Super Deep and Long Distance Pipe Jacking Butt Joint Construction

DENG Zhang-tie, YANG Sheng-hu, LI Xi-ge, ZHAO Xiao-jian, ZHANG Nan,  
TIAN Fang, YI Ning-kun

(China Construction Third Engineering Bureau Installation Engineering Co. Ltd., Wuhan  
430064, China)

**Abstract:** The sewage transmission system project in the core area of Dadong Lake in Wuhan is the longest and deepest primary pipe jacking project of small-diameter curved rock in China. In order to solve the problem that the long-distance curved pipe jacking cannot continue jacking under the conditions of ultra-deep and composite stratum, the reverse butt jacking construction technology is proposed to solve it. Combined with the project practice, the reverse butt jacking schemes are compared and selected. The key technologies of pipe jacking butt joint are analyzed and selected from the aspects of anti-jacking working well design, jacking force estimation, jacking and deviation correction, pipe jacking machine reverse pulling, pipe jacking construction survey and so on. The practical application results show that the reverse jacking butt joint construction is smooth, and the engineering problems are well solved.

**Key words:** super deep and long distance; pipe jacking; butt joint; reverse pull; measurement correction

随着城市化进程的进一步加快,作为城市动脉的地下管线的需求量也在相应增加,顶管施工技术应用场景不断扩充,如何解决顶管法施工在特殊情况下必须进行顶管对接的难点,是今后需要开展研究的领域。以武汉市大东湖核心区污水传输系统支隧顶管工程<sup>[1]</sup>为例,介绍了顶管对接的施工关键

技术。

### 1 工程概况

#### 1.1 工程简介

大东湖核心区污水传输支隧工程是将经过落步嘴预处理站处理后的污水输送至主隧的一段管道系统,起于落步嘴预处理站,止于主隧4#汇流井。支

隧(见图1)采用顶管法施工,总长约1.7 km,由两根并行的F型钢筒混凝土管组成,管径为 $d1\ 650\text{ mm}$ ,净间距2.5 m,壁厚200 mm,每段管节长2.5 m。

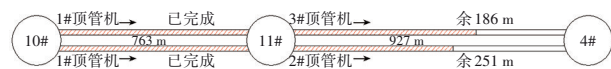


图1 支隧区段划分示意

Fig.1 Section division diagram of branch tunnel

顶管隧道全长1 690 m,分2段顶进,第一段顶管起点位于落步嘴预处理站的10#井,终点位于10#井与主隧4#井之间的11#井,长约763 m,第二段为11#至主隧4#井,长约927 m。10#井直径14.6 m,井深22.2 m,作为顶进工作坑使用,11#井直径13.2 m,井深33.7 m,同时作为工作坑和接收坑使用。10#、11#施工竖井均采用明挖施工。共计4段,平面为双曲线,曲率半径分别为600、1 080 m,纵断面坡度为0.05%。

施工现状:支隧顶管10#~11#两段顶管已全部贯通,11#~4#顶管段疫情前完成情况为:左侧(3#顶管机)段顶进741 m,余186 m;右侧(2#顶管机)段完成676 m,余251 m,由于特殊原因,2#、3#顶管机无法重新启动。

## 1.2 地质条件

隧道穿越岩层主要为中风化泥质砂岩,埋深24.6~33.28 m。根据现场出渣和取样情况(见图2)分析,2#、3#顶管机均位于15a-3中等胶结含钙泥质粉砂岩。地下水主要为上层滞水、孔隙承压水及基岩裂隙水,对顶管隧道施工影响较小。

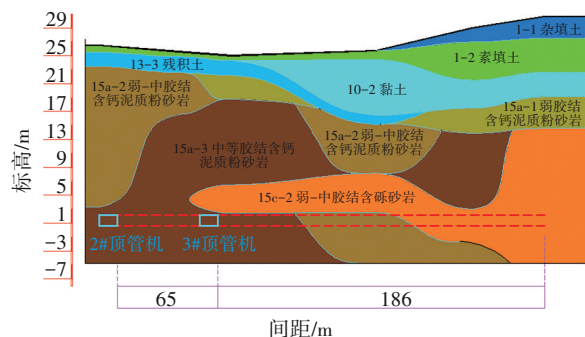


图2 支隧剩余段地质剖面

Fig.2 Geological profile of the remaining section of the branch tunnel

## 2 方案比选及施工难点分析

由于2#顶管机位于三环线匝道下方,不具备新增工作井条件,根据现场实际条件,拟定三种顶管对接方案。

### 2.1 方案1:3#机位置新增工作井

在3#机头位置前面1 m处增加12#竖井,将3#顶管机取出,以此为工作井,使用2台顶管机同时向4#井方向顶进,每段顶进长度186 m,如图3所示。完成后,使用1台直径2 600 mm的顶管机,在2#机侧进行反顶,与2#机对接,顶进长度65 m。对接后将顶管机拆解,将2#机机头从新建工作井内拖出。然后在套管内顶进 $d1\ 650\text{ mm}$ 顶管与对面管线对接。

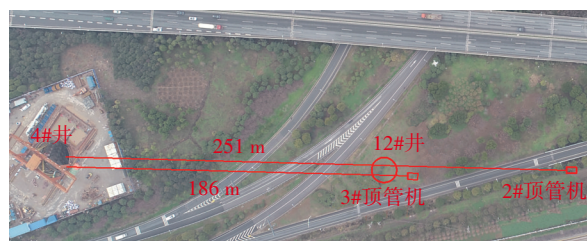


图3 方案1平面示意

Fig.3 Schematic plane of scheme 1

### 2.2 方案2:4#井前新增工作井

在距离4#井前面20 m位置增加12#竖井,以该井为工作井,采用2台顶管机完成12#~4#井段(约6 m)顶进后,再同时向11#井方向顶进,分别与2#、3#顶管机精确对接,长度分别为231、166 m。对接后,在对接部位采取加固措施,对4台顶管机进行隧道内拆解,保留机壳,并在机壳内部施工180 mm厚的内衬结构。

### 2.3 方案3:4#井作工作井反向顶管

方案3平面示意图见图4。

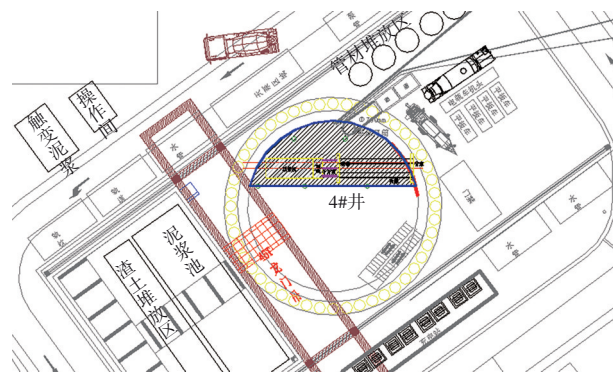


图4 方案3平面示意

Fig.4 Schematic plane of scheme 3

在4#井搭设钢结构平台作为顶管施工平台,搭设高度约15 m。向11#井方向顶进,先顶3#机段,与3#顶管机精确对接,长度186 m。平台拆除后再在

2#机段搭建同样的平台供2#机段使用,与2#顶管机精确对接,长度251 m。对接后,在对接部位采取加固措施,对4台顶管机进行隧道内拆解,保留机壳,并在机壳内部施工180 mm厚的内衬结构。

2.4 方案比选及确定

方案3与方案2类似,由于方案3在主隧4#井内搭建钢结构平台并进行顶管施工,与主隧二衬施工

存在上下交叉作业风险,且影响主隧施工进度,故方案3与方案2对比,优先选择方案2。

方案1与方案2比选见表1。从表1可以看出,方案1施工对接次数少、调整灵活,技术要求相对较低;同时还具有施工工序少、工期更短、成本更低以及不干扰其他施工段的优点,因此最优方案最终确定为方案1。

表1 方案1和2的比选

Tab.1 Comparison between scheme 1 and 2

项 目	方案1	方案2
技术风险	2台设备同时向4#井方向顶进,精度控制要求相对较低;2#机反顶设备管径大,近1 m,便于精度纠偏与对接,且顶进距离只有65 m,便于控制	①长距离反顶姿态控制要求非常高,对接精度控制难,且要对接2次,易出现对接错台现象(特别是在砂质地层),一旦错台位置较大,将导致顶进失败;②隧内机头拆除需采取加固措施,防止渗水涌砂,因空间狭小,拆除难度大;③机头拆除后机壳内表面做内衬难度大
安全管控	拆除机头只有一次,管道为贯通状态,通风条件较密闭好	封闭空间内4次拆除机头(氧割等动火)风险高
工期/d	170	200(比方案1的井深5 m,设备拆除与内衬施工量大)
费用成本/万元	竖井1 000(深27 m),大管套小管100	竖井1 200(深32 m),4个顶管机800
对主隧影响	无影响,待主隧4#井的素混凝土回填完毕后出洞	由主隧4#井现场进出,对主隧施工有影响

2.5 施工难点分析

根据方案1,本工程为超埋深(27 m)、小直径( $d1\ 650\text{ mm}$ )顶管对接工程,测量精度要求高,一旦对接失败,将导致整个顶管工程失败,对接风险极大。

顶管埋深过大,顶管测量在信号传递时易受潮湿空气影响,顶管姿态控制精度要求高。顶管直径小,对接允许测量纠偏误差范围小,精度要求高。

3 顶管对接技术

3.1 工作井设计

12#竖井作为新增工作井,设计与10#竖井类似,支护结构采用“钻孔灌注桩+钢筋内支撑+高压旋喷桩止水帷幕”的形式,支护桩为 $\varnothing 1\ 000@1\ 200$ 钻孔灌注桩,桩长31 m,止水帷幕为 $\varnothing 800@600$ 双管旋喷桩,桩长约5 m桩底进入10-2黏土层不小于1.5 m。基坑深27 m,内径12 000 mm,五道环框梁(含冠梁)。

3.2 顶力计算

① 总顶力估算

本次反顶施工主要考虑 $\varnothing 2\ 600\text{ mm}$ 钢管的顶力,空推 $d1\ 650\text{ mm}$ 混凝土管推力较小,不予考虑。

对于顶管顶进深度范围,根据地勘报告,其土

质为弱~中胶结含钙泥质粉砂岩,土质较好,管前挖土能形成拱,拟采用先挖后顶的方法施工。根据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)阻力计算公式,顶力由工具管迎面阻力和管道摩阻力两部分组成。

其中,管道外壁与土的平均摩阻力 $f_k$ 通过试验确定,取 $5\text{ kN/m}^2$ ;顶管机的迎面阻力 $N_f$ 采用敞开式顶进方式的迎面阻力计算公式计算。

计算结果:总顶力 $F_p=2\ 742.34\text{ kN}$ 。

② 井壁允许推力计算

井体井壁为钢筋混凝土灌注桩,后背墙为钢筋混凝土,混凝土强度C35,混凝土轴心抗压强度设计值 $f_c=16.7\text{ N/mm}^2$ 。为了使分散的各个油缸推力均匀地作用在始发井的后方土体上,浇筑一堵后座墙,在后座墙与主顶油缸尾部之间垫上一块钢制后靠板,由后靠板与后座墙以及基坑后方土体这三者组成顶管的后座。后靠板采用10 cm厚钢板,尺寸为 $3.6\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ 。计算井壁允许推力 $F=21\ 042\text{ kN}$ 。

③ 后座稳定性验算

在一般情况下,顶管始发井后座所能承受的最大推力应大于顶管施工过程中的最大顶力,如果始发井后座承载力不能承受最大顶力的反作用力,则



必须以后座所能承受的最大推力为设计总顶力。

工作井后座安全稳定性验算时,后座墙尺寸取 $5\text{ m}\times 3.5\text{ m}(B\times H)$ ;土的容重 $\gamma$ 取 $20\text{ kN/m}^3$ ;被动土压力系数 $K_p$ 取 $2.78$ ;土的内聚力 $c$ 为 $0\text{ kPa}$ ;地面到后座墙顶部土体的高度 $h$ 取 $23\text{ m}$ 。计算后座能承受最大推力 $R$ 为 $24\,081.75\text{ kN}$ 。

#### ④ 主顶总顶力计算

主顶千斤顶采用2个 $200\text{ t}$ 、行程 $3.5\text{ m}$ 的千斤顶,最大负荷按 $85\%$ 计算,即可提供总推力 $3\,400\text{ kN}$ 。各油缸有其独立的油路控制系统,可根据施工需要调整千斤顶使用数量。

#### ⑤ 计算结果分析

后座能承受最大推力( $24\,081.75\text{ kN}$ )>井壁允许推力( $21\,042\text{ kN}$ )>主顶千斤顶总推力( $3\,400\text{ kN}$ )>估算总顶力( $2\,742.34\text{ kN}$ ),计算结果满足要求。

### 3.3 顶管施工

本次顶管机反向顶进区间为 $12\#$ ~ $2\#$ 机头段,长度 $65\text{ m}$ ,直线段,顶进坡度设置为 $0.05\%$ 。管材为 $\varnothing 2\,600\text{ mm}\times 22\text{ mm}$ 钢管,单节长度 $2.5\text{ m}$ ,采用手掘式顶管<sup>[2-3]</sup>,钢管顶进至工具间与 $2\#$ 机头处,将 $2\#$ 机拉出,然后在钢管内空推 $d1\,650\text{ mm}$ 混凝土管与 $2\#$ 机完成管道对接<sup>[4-6]</sup>。

#### 3.3.1 工艺流程

施工工艺流程见图5。

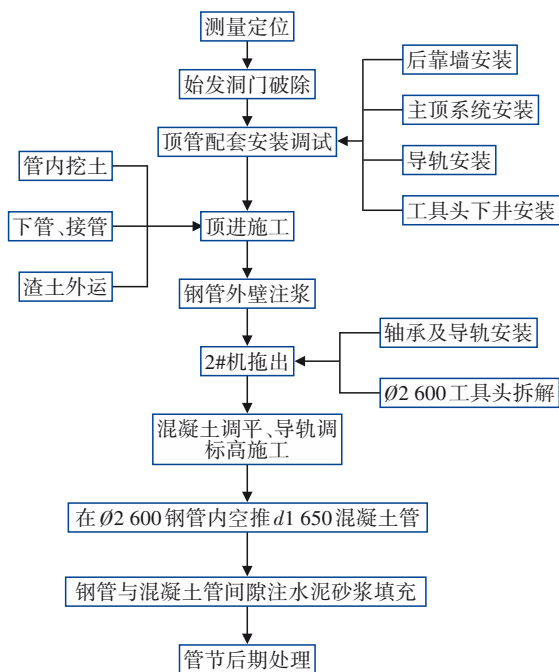


图5 施工工艺流程

Fig.5 Construction process flow chart

#### 3.3.2 主要设备安装

##### ① 后靠墙施工

后靠背采用钢筋混凝土结构进行支模板浇筑,为提高顶管反力,混凝土强度为C35,后靠背紧贴灌注桩进行浇筑,宽 $\times$ 高 $=5\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ ,厚度为 $1\text{ m}$ 。后面再垫上一块钢制的 $10\text{ cm}$ 厚后靠板,由后靠板与后靠墙以及井壁这三者组成顶管的后座。后靠板尺寸为 $3.6\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ 。

##### ② 导轨安装

采用 $60\text{ kg/m}$ 重型钢轨制作,两根钢轨中心间距 $1.3\text{ m}$ ,导轨焊接于间距 $1\text{ m}$ 的 $20\#$ 槽钢上,一起固定于现浇的C25混凝土基础上。导轨对管道的支承角为 $60^\circ$ ,导轨的高度确保管道中心对准穿墙孔中心。

##### ③ 千斤顶支架安装

千斤顶支架由 $16\#$ 槽钢加工而成,支架固定在工作井底板的预留板上。

##### ④ 主顶千斤顶安装

采用4个 $200\text{ t}$ 千斤顶,主顶油缸固定在稳固的支架上,千斤顶着力点在管轴圆心高度外壁上,对称布置,其合力的作用点在管道的中心上。每个千斤顶的安装纵向坡度与管道设计坡度一致。使用前应进行调试,要对缸体内进行多次排气,使得缸体伸缩自如,不出现爬行现象。

##### ⑤ 主顶泵站安装

主顶泵站最大压力为 $31.5\text{ MPa}$ ,安装在工作井边,靠近操作台,方便操作,可自动化控制。

##### ⑥ 顶铁与后垫铁

采用全环形顶铁,以起到分散顶力作用,使管材受力均匀。

##### ⑦ 工具间式顶管机

采取前端设置有仓门或挡板的工具间,遇地下水或地表水水量较大时,采取关闭挡板、人员迅速撤离的应急措施。

#### 3.3.3 顶进及纠偏

钢管顶进设置上坡度 $0.1\%$ ,顶进线路设置为钢管中心线对准混凝土管中心线。

##### ① 挖土顶进

顶管内采用扒渣机配合手持式风镐在前取土,管前挖土是控制管节顶进方向和高程、减少偏差的重要作业,是保证顶管质量及管上构筑物安全的关键,因此管前挖土有如下要求:

a. 管前挖土的长度。本段土质良好,挖土超越

前端30 cm。

b. 管道周围的超挖。本段顶管上部允许超挖1.5 cm,但在下面135°范围内不得超挖,一定要保持管壁与土基表面吻合。

本工程由于顶管的管段距离较短,出土采用有轨斗车运土,汽车吊吊装出井。在钢管内铺设两排间距60 cm工字钢作为斗车轨道,工字钢底下横梁间距80 cm,横梁与导轨工字钢采用螺栓连接,出土完成后便于拆卸。在12#井内布置1台卷扬机,将斗车沿轨道拉出,再利用吊车将斗车吊出井外,完成出土。随着钢管不断顶进,吊装并焊接钢管管节后,延长轨道至井口,确保与原轨道相接。

#### ② 地面沉降控制

在顶进过程中,应合理控制开挖及顶进速度,保证连续均衡施工,避免出现长时间搁置情况;严格控制出土量,防止欠挖或超挖。地面隆起的最大极限值为20 mm,地面沉降的最大极限值为10 mm。

#### ③ 方向控制和纠偏

管道顶进过程中遵循“勤测量、勤纠偏、微纠偏”的原则,控制首节管道,注意检查首节顶管的高程、中线和坡度,顶进时连续测量,高程测量使用水准仪,中线测量使用全站仪。纠偏角度应保持在10'~20',不得大于0.5°,并设置偏差警戒线。

布设在工作井后方的仪座必须避免顶进时移位和变形,须定时复测并及时调整。

纠偏方法主要为挖土校正法和千斤顶校正法<sup>[7]</sup>。

当测量发现偏差为10~20 mm时,采用超挖纠偏法,即在偏向的反侧适当超挖,在偏向侧不超挖,甚至留坎,形成阻力,施加顶力后使偏差回归。

当偏差>20 mm时,采用千斤顶纠偏法,当超挖纠偏不起作用时,用小型千斤顶顶在管端偏向的反侧内管壁上,另一端斜撑在有垫板的管前土壁上,支顶牢固后,即可施加顶力。同时配合超挖纠偏法,边顶边支,直至偏差回归。

#### ④ 钢管焊接

顶进钢管采用45°阴阳坡口焊接,对接头焊接质量进行外观检查,并对部分焊缝进行无损探伤抽样检测,检验结果形成书面记录,隧道内进行焊接作业必须保证管内通风,并在管道内配备足够的氧气袋和灭火器。焊接前,先组织工人现场试焊,确定钢管每道焊缝的焊接人数、焊接时间等参数。

### 3.3.4 钢管外壁注浆

钢管顶管完成后,为防止超挖引起的围岩沉降,进而消除对管道产生不均匀沉降的影响,采用注水泥浆方式进行间隙填充。

每隔5 m在管道同一断面开3个 $\varnothing 25$  mm注浆孔,注浆孔角度为120°,管道断面顶部设置1个,用来检验通过另外两个注浆孔是否注满。

采用1英寸(2.54 cm)注浆管通过BW250型注浆泵进行,注浆前先采用砌砖的方法对洞口进行封堵,以免注浆时产生漏浆现象,影响注浆填充效果。

注浆顺序:由通道中部向始发、到达两端进行。浆液选用水灰比为1:1的水泥浆,水泥采用P.O42.5普通硅酸盐水泥,注浆压力为0.3~0.5 MPa。

### 3.3.5 将2#机从 $\varnothing 2\ 600$ mm管道内拖拉出井

#### ① 2#机内部构件拆解

2#机剩余区段反顶完成后,安装顶管机头部轴承、导轨,然后进行2#机的拆解及反拉出井。

2#机质量为45 t,拖拉出井具有较大难度,为减轻单体质量,将2#机前后壳体分离,内部电柜、纠偏油缸等拆解后留在2#机已完成管道内,拆解下来的构件待2#机拖拉出井后再从12#井运出。

#### ② 2#机拖拉出井

准备工作完成后,将2#顶管机从 $\varnothing 2\ 600$  mm钢管内拖拉出井,并吊至地面。

具体施工流程:2#机与后方管节脱离(切割拉杆);2#机前后壳体分离及内部构件拆解;安装2#机头部滚动轴承、导轨安装;牵拉至 $\varnothing 2\ 600$  mm管道内、钢模加固;反向千斤顶+钢丝绳将顶管机拖出管道;吊装出井。

##### a. 2#机与后方管节脱离

用气割将2#机与后方管节的拉杆刚性连接切断,使顶管机脱离管节的束缚。

##### b. 安装2#机头部滚动轴承

由于5#机头比2#机头底部低约25 cm,为避免2#顶管机牵拉时发生“栽头”现象及机头前端卡住现象,在2#机头部焊接2个滚动轴承。

##### c. 导轨安装

在钢管内铺设反拉2#机导轨,采用200 mm×200 mm方钢制作,与钢管焊接固定,间距1.2 m,设置0.1%下坡度。

具体如图6所示。

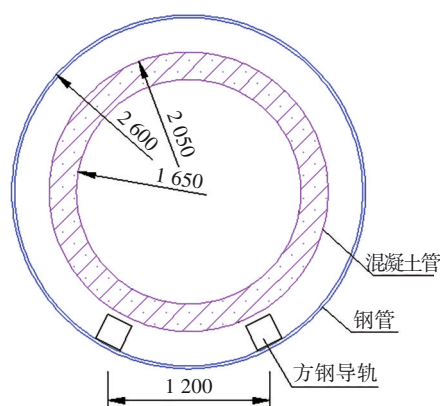


图6 钢管内导轨安装示意

Fig.6 Installation diagram of steel pipe inner guide rail

## d. 反向千斤顶安装

2#机质量约45 t,根据现场实际情况,2#机所处地层为15a-3中等胶结含钙泥质粉砂岩,前期尝试恢复顶进期间采取注浆减阻措施,根据《顶管法管道穿越工程技术规程》(DB 42/T 1343—2018)要求,采用触变泥浆时管壁单位面积平均摩阻力 $f_k$ 取值为 $10 \text{ kN/m}^2$ 。2#机长5 m,与周边土体摩擦力计算为324.99 kN。

在轨道上反拉2#机,由于前端安装有滚动轴承,反拉力更小。

在洞口安装2个200 t千斤顶,将32#B(320 mm×132 mm×11.5 mm)工字钢作为横梁焊接在千斤顶上,再利用钢丝绳将机头反拉出(见图7)。

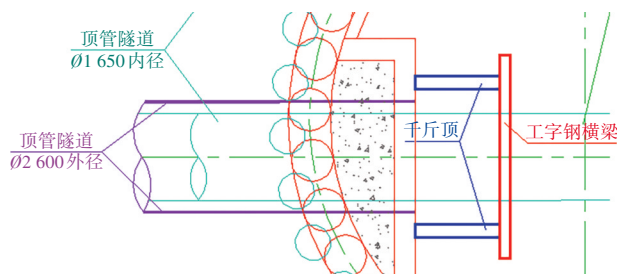


图7 反拉千斤顶示意

Fig.7 Schematic diagram of pull back jack

在2#机人孔处焊接32#B工字钢横梁,钢丝绳穿过刀盘连接两横梁进行反拉。

钢丝绳采用 $\phi 40-6 \times 37$  IWR强度为1 770 MPa的钢丝绳,最小破断拉力为903.3 kN;考虑2根钢丝绳,钢丝绳的安全系数为 $903.3 \text{ kN} \times 2 / 324.99 \text{ kN} = 5.56 > 5$ ,满足施工需求。

一般钢丝绳伸缩量为0.3%,钢丝绳总伸缩量为 $68 \times 0.3\% = 0.204 \text{ m}$ 。钢丝绳的质量为610 kg/100

m,钢丝绳长度取70 m,2根钢丝绳质量约0.85 t。

## e. 机头处岩层加固

导轨、轴承安装完成确认牢固后,使用千斤顶将2#机缓缓拉至 $\phi 2600 \text{ mm}$ 管道内。其间采用定制钢模对2#机头处裸露岩层进行支撑加固,避免围岩塌陷风险。钢模 $d2070 \text{ mm}$ ,厚6 mm,内侧采用 $L50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 等边角钢加肋,间距360 mm,分成6块进行拼装,采用螺栓连接,宽500 mm。每反拉2#机0.5 m,进行一次钢模加固。

钢模采用小推车从11#井通过原有管道运输至加固部位,先按照仰拱钢模,后对称安装拱墙。

经核算每块钢模质量约35.86 kg,为减小围岩裸露时间,拟采用2人运输、3人安装,每次钢模安装时间控制在1 h以内。作业人员进入管道前进行通风,气体监测达标后方可进入管道进行钢模安装,每个作业人员随身配备一个防毒面罩。

## f. 使用千斤顶将顶管机拉出管道

反拉过程中严格控制好千斤顶反拉速度,在导轨上横向布置 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的木枋,作为反拉机头的刹车措施,每次反拉千斤顶行程结束后,将木枋移至下一个反拉区间。

将2#机缓慢拉出,2#机进洞前,在洞口延伸导轨并安装其下部支撑结构,作为顶管机接收托架,以免发生顶管机“栽头”现象。

## g. 2#机吊装上井

拖拉出管道,成功在2#井井口接收后,使用150 t汽车吊将其吊装上井。

3.3.6 在 $\phi 2600 \text{ mm}$ 管道内空推 $d1650 \text{ mm}$ 混凝土管

采用反拉机头导轨,顶进前复核导轨标高及平整度,确保能与原管道完美对接。前期反拉机头设置导轨时采取0.1%下坡度,空推混凝土管时为0.1%上坡度,便于轨道调整。 $d1650 \text{ mm}$ 管道空推至对接处时应加强对两节管进行防水接缝处理,保证接缝的防水性能完好。

## 3.3.7 管节缝隙注浆填充

## ① 缝隙封堵

在注浆填充 $\phi 2600 \text{ mm}$ 和 $d1650 \text{ mm}$ 管道缝隙之前,先采用砌砖的方法对洞口进行封堵,以免注浆时产生漏浆现象,影响注浆填充效果。

## ② 注水泥砂浆

通过 $d1650 \text{ mm}$ 钢筋混凝土管预留的注浆孔,接1英寸(2.54 cm)注浆管通过BW250型注浆泵



向 $\varnothing 2\ 600\text{ mm}$ 和 $d1\ 650\text{ mm}$ 管节的间隙压注水泥砂浆,经过计算,水泥砂浆用量约 $500\text{ m}^3$ ,考虑到浆液流失以及管节吸水,水泥浆实际注入量应大于 $500\text{ m}^3$ 。

### 3.4 顶管施工测量

反顶过程中应严格进行顶管施工测量<sup>[8-9]</sup>,除使用自动导向测量系统实时测量外,还应安排专业测量人员每天对顶进轴线进行复测,正常顶进时,每顶进 $2\text{ m}$ 应进行一次人工复测,并将实时测量数据反馈至机头操作手处,确保轴线偏差控制在极小范围,并做到随偏随纠,且纠偏量不宜过大,以免土体出现较大扰动及管节间出现张角。

#### ① 平面控制

为确保 $\varnothing 2\ 600\text{ mm}$ 钢管与2#机机头完美对接,利用空导点和地面导线点建立平面控制网,井上坐标点向井下传递采用联系三角形方式,井下控制顶进方向的基准点用钢架埋设程固定点,采用全站仪跟踪观测机头平面偏差方向。

为减小2#机头定位误差,先精准测量11#~12#井已贯通的左幅顶管线路,由于两条顶管线路净距 $2.5\text{ m}$ 且线路相同,在左幅线路上对应2#机位置确定一个点位,由该点位向2#机方向打锚杆,探出2#机位置坐标,再利用该点位测出2#机精确位置。

#### ② 高程控制

对井上已知点高程进行复测,确定点位正确后将地面高程引至井下时,可用钢尺垂直悬挂,下系线锤至标准拉力,然后地面、井下两台水准仪同时观测,在井下布设2~3个高程控制点。

#### ③ 顶进轴线偏差控制要求

高程为 $+30\text{ mm}$ 、 $-50\text{ mm}$ ;水平为 $\pm 50\text{ mm}$ 。

## 4 常见问题及解决措施

### 4.1 通风

进管之前需要进行气体检测和通风,采用压入强制性通风措施,用风机通过管道向竖井、工具间压风。

在工作井地面上设置一台轴流风机,用 $\text{DN}300$ 的不锈钢管送至井底,不锈钢管采用槽钢附着在工作井环框梁上。在竖井内设置一台鼓风机,沿顶管侧壁铺设 $\text{DN}100\text{ PVC}$ 管送风至工具间。每个人孔的供气量不应小于 $25\sim 30\text{ m}^3/\text{h}$ ,且通风空气质量应满足环保要求。

井底钢管焊接产生烟雾,将风机调成负压进行焊接烟雾抽排。在井底配置气体检测仪,实时检测井底作业面的氧气及有害气体浓度,若气体检测不达标,不可进行后续施工。井下配置足够数量的防毒面罩、呼吸器、灭火器、对讲机、安全绳索等应急物资。

### 4.2 岩层较硬导致人工工效低

由于围岩强度过大,人工用手持式风镐取土工效低<sup>[10]</sup>,将扒渣机挖斗改装成破碎锤在掌子面破碎,然后将破碎锤换为挖斗进行扒渣取土,利用扒渣机输送系统装车,吊装出井。

## 5 结论

顶管施工技术随着城市地下管线需求增加而迅速发展。武汉市大东湖核心区污水传输系统工程是全国首条正式开建的城市污水处理深隧工程,其支隧工程于2020年11月26日全线贯通,在长距离曲线顶管工程中具有很好的代表性,所采用的顶管对接技术有效降低了顶管对接的风险,成功解决了顶管对接质量控制的难题,为解决顶管卡涩问题提供了一种思路。

然而,在未来顶管对接还需要解决以下问题:

①受长距离顶管小空间条件限制,如何提高硬岩地层的掘进效率;②研制更具有环境适应性(如空气湿度等)的测量仪器;③高水头富含水地层条件下顶管对接处防水处理。

## 参考文献:

- [1] 周学锋,李永峰,刘凡,等. 武汉大东湖排水深隧长距离双孔曲线顶管施工[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 51-57.  
ZHOU Xuefeng, LI Yongfeng, LIU Fan, et al. Construction of long distance double-hole curved pipe jacking in Wuhan Dadong Lake deep drainage tunnel [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 51-57 (in Chinese).
- [2] 伊铁男,商红艳. 手掘式顶管在市政排水工程中的应用[J]. 城市建设, 2010(23): 449-450.  
YI Tienan, SHANG Hongyan. Application of hand dug pipe jacking in municipal drainage engineering [J]. Urban Construction, 2010(23): 449-450 (in Chinese).
- [3] 娄艳华,许校铭. 浅谈手掘式顶管施工注意事项[J]. 科技致富向导, 2015(3): 217.  
LOU Yanhua, XU Xiaoming. Discussion on matters

- needing attention in hand dug pipe jacking construction [J]. Guide of Sci-tech Magazine, 2015 (3): 217 (in Chinese).
- [4] 董泽龙, 徐刚, 徐飞. 顶管施工地下对接施工工法 [J]. 中国市政工程, 2008(5):66-68.  
DONG Zelong, XU Gang, XU Fei. Construction method of underground butt joint in pipe jacking construction [J]. China Municipal Engineering, 2008(5):66-68(in Chinese).
- [5] 徐辉, 郁进峰, 严国仙, 等. 顶管地下对接工艺及过程控制 [J]. 建筑施工, 2008, 30(1):47-49.  
XU Hui, YU Jinfeng, YAN Guoxian, *et al.* Butt-joint technology and process control-over underground pipe jacking [J]. Building Construction, 2008, 30 (1): 47-49(in Chinese).
- [6] 徐飞, 王剑锋. 大口径长距离曲线顶管对接施工技术 [J]. 城市道桥与防洪, 2006(4):40-44.  
XU Fei, WANG Jianfeng. Butting construction technology of large-aperture long-distance curve jacking pipe [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2006 (4):40-44(in Chinese).
- [7] 王瑞杰, 段文贵, 饶才强, 等. 手掘式顶管施工轴线偏差测量及纠偏对策 [J]. 建筑技术, 2016, 47(7): 642-644.  
WANG Ruijie, DUAN Wengui, RAO Caiqiang, *et al.* Measurement and correction measures for axial deviation in manual pipe jacking construction [J]. Architectural Technology, 2016, 47(7): 642-644(in Chinese).
- [8] 李侠. 深基坑顶管测量控制技术研究 [J]. 装饰装修天地, 2015(7):138.  
LI Xia. Research on the measurement and control technology of pipe jacking in deep foundation pit [J]. Decoration Refurbishment Centre, 2015 (7) : 138 (in Chinese).
- [9] 关伟. 小口径长距离越江钢顶管测量分析 [J]. 中国标准化, 2018(10):103-104.  
GUAN Wei. Measurement and analysis of small diameter long distance river crossing steel pipe jacking [J]. China Standardization, 2018 (10) : 103-104 (in Chinese).
- [10] 王瑞杰, 马晨祥, 方程, 等. 提高手掘式顶管管前坚硬岩体凿挖施工效率的一种方法 [J]. 资源环境与工程, 2016, 30(6):971-974.  
WANG Ruijie, MA Chenxiang, FANG Cheng, *et al.* A method of improving the construction efficiency of the rock cutting excavation by hand-dug pipe jacking [J]. Resources Environment & Engineering, 2016, 30 (6) : 971-974(in Chinese).
- 
- 作者简介: 邓章铁(1981- ), 男, 湖南张家界人, 硕士, 高级工程师, 主要从事项目管理及施工技术工作。  
E-mail: 250689619@qq.com  
收稿日期: 2021-07-10  
修回日期: 2021-09-07

(编辑: 衣春敏)

大力推进水利薄弱环节建设,  
提高防灾减灾能力