

# 小口径过江顶管关键施工技术研究

吴朝

上海公路桥梁(集团)有限公司

DOI:10.18686/bd.v1i12.1146

**[摘要]** 随着顶管法施工技术的广泛应用,复杂工程环境下对顶管一次顶进距离要求越来越高。长距离顶管将导致顶力的增加和管线变形风险的加大,而小口径顶管又会进一步缩小管内的施工空间,对顶管内施工管线布置、测量系统、通风系统和中继间等施工技术提出更高的要求。本文结合绍兴城市北部区域供水保障工程,对小口径长距离钢顶管过江顶进施工中的几个关键施工技术进行了分析改进,并探讨了改进施工技术的实施效果,为同类顶管工程的设计和施工提供了参考。

**[关键词]** 钢顶管;过江顶进;施工技术

## 1 引言

城市给排水工程中,由于需要穿越生活和交通密集区域或者江河等水域,在管线铺设方面通常采用非开挖技术进行施工。顶管法是非开挖技术中一项重要的施工方法,因其较低的综合成本和对环境的影响较小,在城市给排水管道的铺设中得到广泛的应用。而受到施工环境的限制,如果无法提供更多开挖顶管工作井的空间,因此只能采取减少

顶管工作井和接收井的数量,同时也增加了顶管一次顶进的距离,即提高了对管节强度、刚度和顶力的要求,增加了顶进难度。对于过江过河的管道,由于覆土深度变化较大,长距离顶进也增加了顶管上浮隆起变形的风险,尤其对自重较小的钢管,在顶进阶段需要根据抗浮安全性验算适时在顶管内配重,同时应勤测勤纠,及时调整顶进方向。城市给水管一般为承压管,多采用钢管,随着顶管施工技术的发展,目前

钢管最大内直径可达4m,但是小口径钢管受到施工空间的限制,反而较少使用,然而其经济效益不可忽视。

传统小口径钢管施工工艺仍存在诸多问题亟待解决,本文结合绍兴城市北部区域供水保障工程,对小口径长距离过江钢管工程中施工管线布置、测量系统、通风系统和中继间系统等施工工艺进行了改进,针对其中关键工序进行了分析,并探讨了新型施工工艺的实施效果。

## 2 工程概况

绍兴城市北部区域供水保障工程袍江顶管段顶进距离为1177m,采用面板式泥水加压平衡顶管机,钢管管直线穿越曹娥江,钢管管内直径为 $\Phi 1600\text{mm}$ ,外径为 $\Phi 1636\text{mm}$ ,管节长度为8米,管节覆土深度11.57m~26.65m。主顶进系统共有6只2000kN双冲程等推力油缸,行程3200mm,总推力12000kN。袍江段过江顶管沿袍江大桥西侧自北向南顶进,由位于曹娥江北侧E2工作井始发,途径曹娥江北岸陆域段,长度为264m,穿越曹娥江南北两侧江堤,长度为563m,途径曹娥江南岸陆域段,长度为L=350m,到达曹娥江南侧E1接收井,其中2次穿越曹娥江防汛墙,如图1。

根据地质报告,本标段顶管主要在⑤层淤泥质粉质粘土中顶进,如图1,该层图特征为灰色,流塑状,高压缩性,成份以粘粒为主,含少量有机质,有机质含量 $W_u < 5\%$ ,土质均匀性较差,局部为粉质粘土或夹粉砂团块。本标段拟建场地自上而下各土层的工程地质特征如表1。

建设地点地下水受季节气候影响较大,变化幅度一般约1~2m。拟建场地地下水埋藏较浅,测得钻孔内地下水位埋深在0.60~1.40m之间,相当于黄海高程3.80~5.02m,主要为接受大气降水和地表水渗入不急的孔隙潜水类型。

## 3 关键施工技术

### 3.1 小口径钢管施工管线布置

本工程选用大刀盘泥水平衡顶管机、泥水出土方式施

表1 土层工程地质特征

层号	土层名称	顶标高 (m)	层厚 (m)	重度 $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	天然孔隙比 ( $e_0$ )	压缩模量 (MPa)	水平渗透系数 (cm/s)	承载力特征值 (kPa)
①	杂填土	4.14~10.42	0.7~9.6					
②-1	粘质粉土	-0.55~-5.61	1.2~6.9	18.6	0.833	10.30	$5.8 \times 10^{-4}$	80
②-2	砂质粉土	-2.65~-3.61	3.7~10.3	18.6	0.761	11.50	$1.8 \times 10^{-4}$	100
③	粘土	-4.86~-8.10	11.1~6.3	18.0	1.021	3.29	$7.4 \times 10^{-7}$	70
④	淤泥质粉质粘土	-8.48~-2.12	3.9~13.1	17.6	1.152	3.09	$3.0 \times 10^{-6}$	60
⑤	淤泥质粉质粘土	-14.36~-6.58	9.6~15.0	17.9	1.003	3.85		70
⑦	粉质粘土	-14.35~-6.58	9.6~15.0	17.7	1.081	3.76		80

工,根据需要管道内布置进水管、排泥管、通风管、注浆总管。每个注浆断面设置软管与总管连通,设置单向阀门。对于内直径为 $\Phi 1600\text{mm}$ 的钢管,在中继间处施工净空进一步缩小,既要考虑施工技术的合理性、可行性,也要考虑管内空间人员、设备进出的通过性、施工便利。

根据试验论证,改进传统4个注浆孔布置形式,本工程每个注浆断面布置3个注浆孔,如图2,注浆孔在现场开设。为保证形成良好的泥浆套,顶管机头后10节钢管每节管布置两组注浆孔,其余注浆孔纵向间距为8m,即每节钢管布置1组注浆孔,每组3只。管底不布置注浆孔,每个中继间处均布置注浆孔。注浆孔与钢管呈 $45^\circ$ 夹角,外覆梯形套。其余管线均匀分布在顶管两侧中下部。

考虑此项工程口径小、通过性差、顶距长,管内水平运输及人员进出难度大,故在本工程中特制了适合小口径顶管的无级变速轨道电动车(如图2)作为水平运输工具,有效降低人员的劳动强度,提高施工效率。

### 3.2 测量系统改进措施

在实际顶进中,由于土层性质变化、注浆效果等会造成顶进阻力变化,导致顶进轴线和设计轴线发生偏差。管道

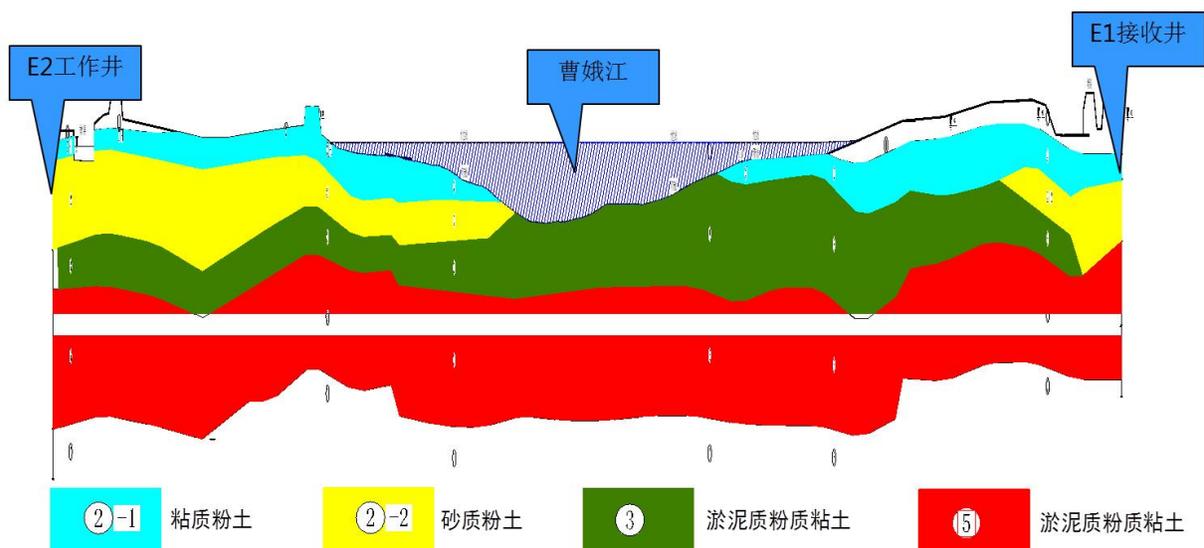


图1 管道内注浆孔布置

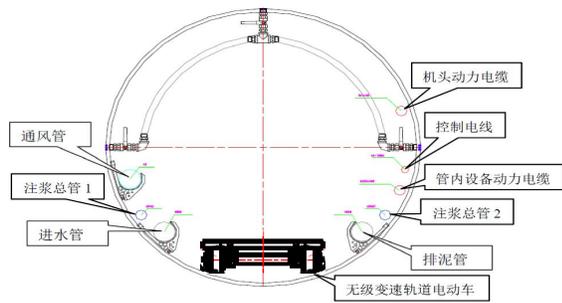


图2 管道内管线布置图

顶进测量是使顶管机沿设计轴线顶进,保证顶管机顶进方向精确度的前提和基础。

由于本工程顶管顶程长,不能从井内直接测量到机头,因此管道内必须设置转点。通常转点每200m设置一个,用型钢固定在钢管管壁上,然后用专用对中盘固定在型钢上。每次测量,均需相关人员进入管内操作测量仪器并读数记录。在小口径钢管顶管中,测量人员需携带仪器进行长距离作业,测量难度大效率低,且精度不高。因为测量频率不高,不能及时发现顶管顶进方向的偏差,严重影响顶进施工安全。

根据本工程的特点,引入全自动测量技术,该系统由自动驱动全站仪、计算机、棱镜、自动整平基座及其它辅助部件组成,如图3。利用全站仪的坐标测量功能实时控制顶管方向;利用全站仪三角高程测量功能实时控制管道标高,以保持管道的设计坡度;利用便携式电脑及软件获取实时测量数据,绘出偏差轨迹,实时显示当前里程与机头中心位置。只需人工操作全站仪进行学习测量一次之后,余下的测量过程在计算机的控制下自动运行,无需人工干预。利用撤换顶铁的间隙测量一次,约需1-3分钟,每顶进一节管可对全管测量两次。计算结果自动和设计轴线比较,并在计算机屏幕上显示机头中心相对于设计轴线的左右偏差、上下偏差的图形和数值,以及测量时的里程和时间,可以及时指导顶进方向的修正。

### 3.3 通风系统改进措施

在顶进施工过程中,随着管道不断向前延伸,由于空气不流通,管内温度会逐渐增高,空气中的氧气会逐渐稀少,管内湿度增大。另外钢管焊接时所产生的有害气体、烟雾等会滞存于管内,会给管内工作人员带来危害,甚至会造成恶性事故。

传统顶管施工通风系统采用由机头通过管道向外排风方式,但由于本工程钢管顶管口径小距离长,焊接烟雾较大,针对具体特点,考虑管内施工空间和通风管径的要求,拟采用特殊设计的通风系统。采取由外向机头送风的方式。除下管时,需断管外,焊接、顶进采用全过程送风,通风管固定在工作井侧壁及钢管内壁的侧边,要牢固固定。在中继间处采用风琴式软管,以利于风管伸缩。在施工的全过程中风管随着钢管的延伸而不断的接长,确保管道通风,满足管道内施工需求。通过改进的通风系统,保证在小口径顶管内的氧气浓度不低于20%,有毒有害气体与灰尘的浓度不大于有害于身体健康的浓度,其中 $CO \leq 30mg/m^3$ , $NO_2 \leq 50mg/m^3$ , $CO_2 \leq 0.5\%$ , $SO_2 \leq 0.0005\%$ ,工作面通风设备的噪音不超过80分贝。并且保证在地下作业点新鲜空气量不低于每人每小时 $30m^3$ ,风速大于 $0.15m/s$ ,最大风速不超过 $6m/s$ ,有利于顶进施工的安全进行

### 3.4 中继间系统改进措施

管道的总顶力按照下式估算:① $F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F$

其中, $F_0$ 为总顶力标准值(kN), $D_1$ 为管道外径(m), $L$ 为管道设计顶进长度(m), $f_k$ 为管道外壁与土的平均摩阻力(kN/m<sup>2</sup>),取 $3.5kN/m^2$ ,顶管机的迎面阻力(kN)。

② $N_F = \pi D^2 \gamma_s H_s / 4$ 。其中, $D$ 为顶管机外径(m), $\gamma_s$ 为土的重度(kN/m<sup>3</sup>),取 $18.0kN/m^3$ , $H_s$ 为覆盖土层厚度(m)。

因此本工程总顶力约为21888~22276kN,远大于主顶千斤顶最大允许顶力12000kN,所以顶进过程中需要选用中继间。由于顶进距离长,中继间密封圈磨损相当厉害,要求保证钢管焊接质量。必须加强对中继间等薄弱环节的密封处理,以便解决好钢管的密封防水问题,以确保钢管内的施工作业安全。

根据工程实际情况,中继间采用二段一铰可伸缩的套

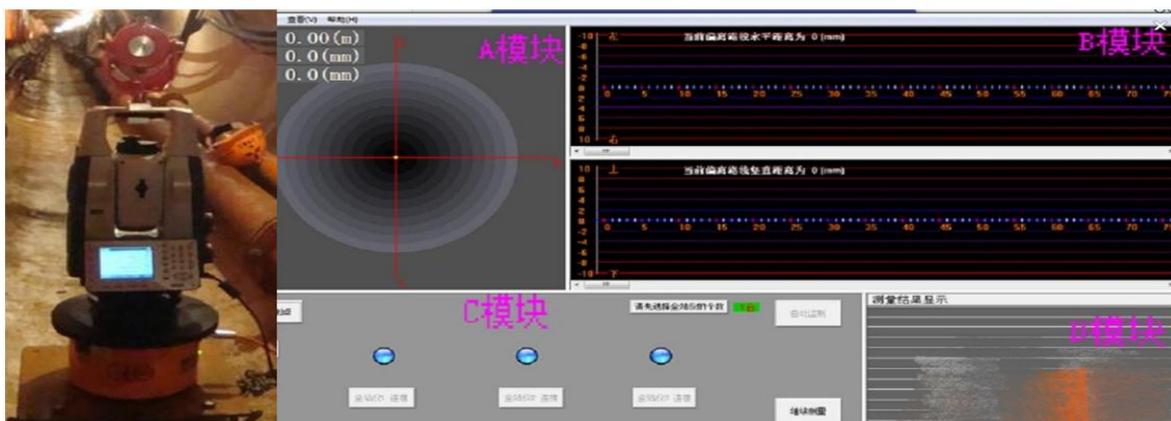
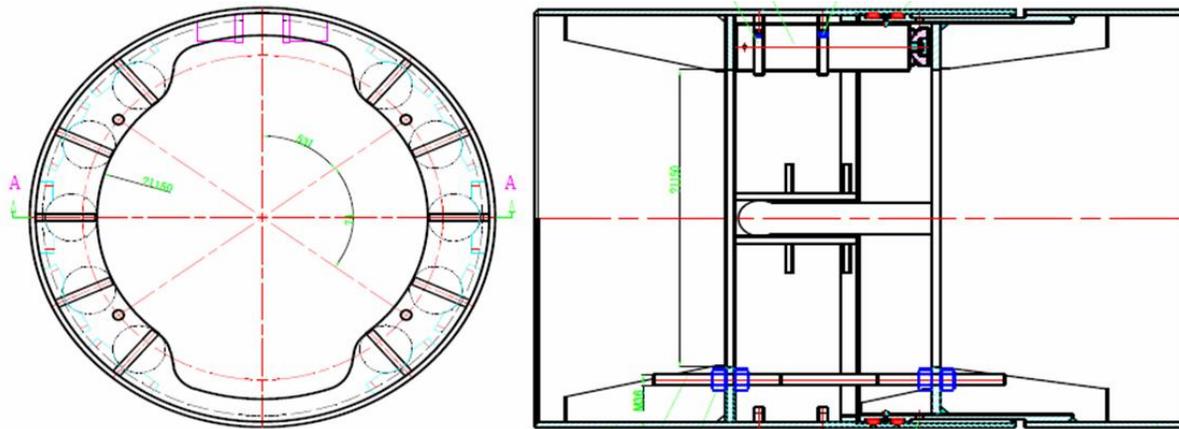


图3 管道自动测量装置布置及系统显示图



(a)横剖面图 (b)纵剖面图

图4 中继间装置示意图

筒承插式钢结构件,由前体(长度为1200mm)、后体(长度为745mm)、千斤顶、动力油泵站、止水密封圈五个部分组成,如图4。每只中继间有10只油缸,每只千斤顶的推力为500kN,直径175mm,行程为300mm,中继间采用计算机联动控制。

在铰接处内侧设置二道D2型顶管密封圈,在铰接处壳体之间设置鸟形顶管密封圈(h=26mm),确保顶进时不漏浆,并设置16只M10\*1直通油杯压注油脂,以减少顶进时密封圈的磨损。

根据上述总推力估算,每个顶程均需要设置中继间。中继间数量计算公式如下:

$$n = \pi D_{fk} (L+50) / 0.7F_{\text{中}} - 1$$

其中, $F_{\text{中}}$ 为中继间允许顶力(kN)。根据计算,本次顶进需设置5组中继间。

#### 4 总结

本文结绍兴城市北部区域供水保障工程袍江顶管段,研究了小口径长距离钢顶管过江顶进施工工艺,对传统顶管施工工艺进行了改进,并对实施效果进行了分析,得到以下结论:

(1) 在小口径长距离钢顶管中通过改进传统施工工艺,优化管线布设,并研制了无级变速轨道电动车,在保证施工效率和施工质量的前提下,解决了小口径顶管内的施工作

业空间有限问题;

(2) 通过在小口径长距离钢顶管中引入自动测量系统,减少了测量工作的人力需求,提高了测量精度和频率,解决了小口径顶管内人工测量进出不便和低效的问题;

(3) 通过改进传统顶管施工通风系统由机头通过管道向外排风方式为向机头送风方式,解决了小口径长距离钢顶管内施工环境达到规范要求,确保了顶进施工的安全。

(4) 针对长距离顶进薄弱环节的密封防水问题,中继间采用二段一铰可伸缩的套筒承插式钢结构件,在铰接处内侧设置二道D2型顶管密封圈,确保顶进时不漏浆并减少了顶进时密封圈的磨损。

上述施工工艺的改进经在实际工程中应用,取得了良好的效果,能够为今后类似顶管工程的施工提供有价值的参考。

#### 参考文献:

[1]李建文.顶管施工技术在市政工程中的应用[J].工程建设与设计,2018,(04):02.

[2]孙钰,杨家昕.顶管施工技术在市政工程中的优势分析[J].建材与装饰,2017,(50):9-10.

[3]孙红伟,卢集富.长距离小口径引水管顶管施工技术[J].低温建筑技术,2016,38(11):119-121.