

# 大口径长距离曲线顶管对接施工技术

徐飞,王剑锋

(上海市第一市政工程有限公司,上海市 200083)

**摘要:**该文以杨高中路电力隧道工程为例,对大口径长距离深大隧道的曲线顶管对接施工的设备选型、对接施工关键技术措施和施工方法以及安全、质量方面的施工应急措施进行了探讨总结。

**关键词:**曲线顶管;对接;轴线控制;掘进机;注浆加固

**中图分类号:**U455.47 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)04-0040-04

## 0 前言

随着城市市区基础设施的不断发展,地上地下的建筑越来越密集,建筑空间越来越狭小,由此对地下工程的施工难度和技术要求也越来越高。顶管施工作为地下隧道工程的主要施工技术,隧道埋深和直径也不断向深大方向发展,顶程距离也越来越长,但由于受技术能力、工期要求、施工成本、管材强度、施工条件及顶管设备等综合因素的影响,顶程距离有一定制约。顶管对接施工技术的运用主要有两种情况:一是受地面条件限制无法在中间设置接收井,采用两台顶管掘进机进行地下顶管对接施工,实现长距离隧道的贯通;二是在顶管施工过程中,由于顶管掘进机遇到障碍物或其他原因导致无法继续掘进,经方案比选,采用另一掘进机从隧道另一端反方向进行顶管对接施工实现隧道贯通。这里以杨高中路电力隧道工程为例,对大口径长距离深大隧道的曲线顶管对接施工的关键技术措施和施工方法进行探讨总结。

## 1 概述

### 1.1 工程概况

杨高中路电力隧道工程是解决杨高中路沿线高压架空线入地的一项景观工程,全长约3 000 m,从220 kV源深变电站1#工作井起始,沿变电站围墙外侧由西向东至2#工井,穿越杨高中路到3#工井后,沿杨高中路南侧绿化带由西向东,先后通过民生路、芳甸路至9#工井,绕开“洋泾污水管理所”围墙,斜穿上海三菱机器仓库,再穿越罗山路立交至220 kV罗山路开关站10#工井。隧道采用顶管法施工,管材均为内径 $\Phi 3\ 000$ 钢承口式钢筋混凝土管。其中9#~10#顶管总长530 m,为半径1 023 m曲线顶管(见图1)。隧道

中心埋深为7.2~7.8 m。隧道穿越土层及特征见表1。顶管施工采用多刀盘土压平衡顶管掘进机推进。

### 1.2 对接方案由来

原设计顶管施工以9#作为工作井,向10#接收井顶进。在顶管施工过程中,当掘进到约283 m时,掘进机两侧先后有明显摩擦声,无法正常掘进,顶力增大速度变慢,最终掘进到298 m时,因管材承受力因素无法再行顶进。经采用电磁法物探和钻孔物探相结合的方法,结果显示在此范围内地面以下6~9 m范围有较多混凝土障碍物。经专家会分析,在隧道两侧存在不明障碍物,又由于是大口径曲线顶管,障碍物逐渐夹紧掘进机及隧道,导致摩阻力不断增大,阻碍掘进机无法掘进,并且从掘进机内人孔无法清除两侧障碍物。经从场地条件、施工安全、工程经济、工期等方面综合考虑,对“明挖清障法”与“反向顶管对接”两种方案进行比选,决定采用从10#接收井反方向顶管对接施工。

## 2 顶管设备的选择

### 2.1 掘进机的选型改装

在9#~10#顶管施工中,被阻掘进机位于距离9#井298 m的轴线处,根据地质资料及现场取芯反映,对接区位于灰色砂质粉土层和淤泥质粉质粘土层内。该土层土质不均匀,探测表明建筑垃圾较多,为确保工程质量和安全,结合施工条件及本工程的施工特点,决定10#反方向顶管对接采用经过改制的多刀盘土压平衡顶管掘进机。该掘进机的胸板上布设注浆孔,顶管过程中可以通过螺杆泵向开挖面的土舱内注入膨润土泥浆,增加被开挖土体的粘性含量和易塑性,改善开挖面的工作状态;在对接施工前可通过注浆孔对对接区进行土体补充加固;掘进机胸板上还预留了人孔,施工过程中可排除正面碰到的障碍物,且对接时施工方便,必要时可打开人孔,进行人工清障施

收稿日期:2006-06-10

作者简介:徐飞(1976-),男,山东郯城人,工程师,从事工程项目管理工作。

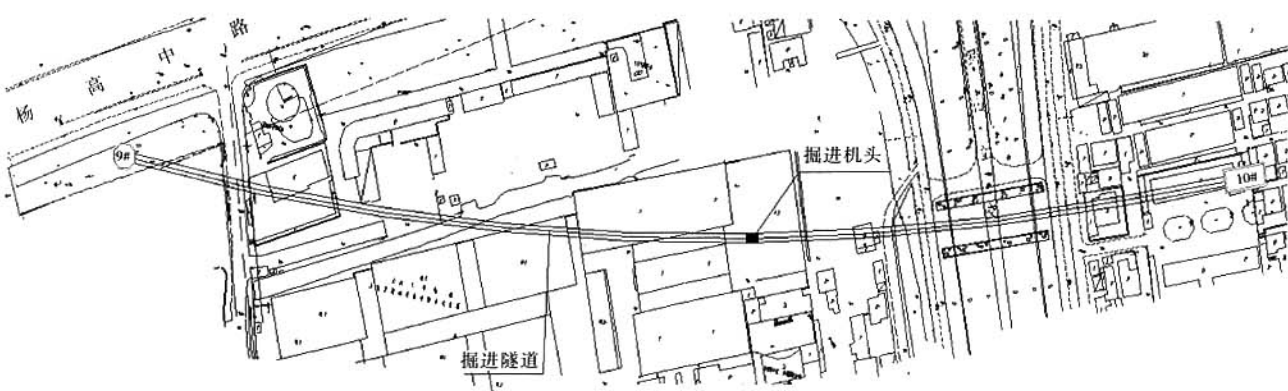


图 1 9#~10# 隧道平面示意图

表 1 地层特性表				
地层编号	地层名称	层厚(m)最小~最大	层顶标高(m)最小~最大	土层描述
①	素填土	1.50~3.20	2.86~1.10	结构松散,以灰色素填土为主,含砖石碎块及植物根茎,土质不均,松散。
②	褐黄色粘土	0.50~1.80	1.29~0.27	含氧化铁锈斑,土质向下渐变软,夹薄层粉砂,局部土质为粉质粘土。
③	灰色淤泥质粉质粘土	2.60~6.30	-4.71~-6.80	夹薄层粉砂,含贝壳及云母。
③t	灰色砂质粉土	0.80~2.10	-1.23~-4.12	夹薄层粘土,局部为粘质粉土,含石英及云母。
④	灰色淤泥质粘土	未钻穿	未钻穿	含少量粉砂,土质较匀。

工;在掘进机前端外壳增加焊接帽沿式环向钢板,有利于对接施工的安全和定位(见图 2)。

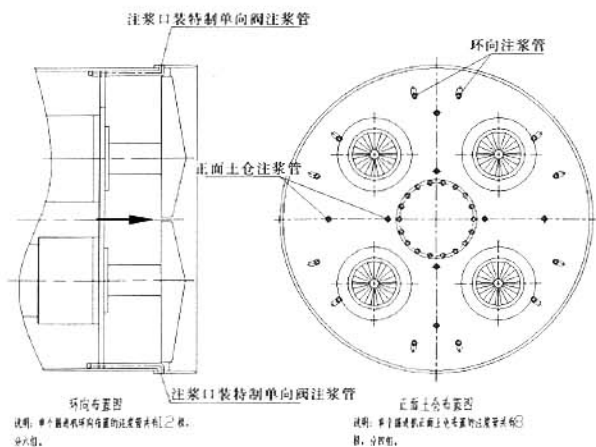


图 2 掘进结构示意图

2.2 工具管参数及纠偏结构

$\phi 3\,000$  掘进机外径  $\phi 3\,570$ , 由二段一铰组成,刀盘上焊有硬质合金刀头。该机的纠偏结构是采用 8 只带关节轴承、最大顶力为 100 t 的油缸作为执行机构。油缸在断面上的布置是以两只为一组,对称布置。每组纠偏油缸的伸出长度由伸长刻度尺可观察出来,当刻度指针指到“0”位时,表示纠偏油缸处于全部缩进状态,利用纠偏油缸的伸缩可以对掘进机顶进时出现的偏差进行纠正。

2.3 主顶进系统

10# 主顶进系统采用 6 只 2 000 kN 油缸,总

推力 12 000 kN。6 只油缸组装在油缸架内,安装后的 6 只油缸中心位置必须与设计图一致,以使顶进受力点和后座受力都保持良好状态。安装后的油缸中心误差应小于 5 mm。主顶液动力机组由两台大流量斜轴式轴向柱塞泵供油,采用大通径的电磁阀和系统管路,减小系统阻尼,6 只油缸可以单动,亦可联动。

3 对接施工关键技术措施

3.1 对接区土体加固

为了防止对接区隧道周围土体渗水,便于两个掘进机之间土仓土体的安全清除,保证对接区内部隧道结构的施工质量,对对接区一定范围的土体需进行加固,达到防水和适当强度(强度过高不利于顶管)的目的。这里采用旋喷桩工艺施工,采用 32.5 级普通硅酸盐水泥,水灰比 1.0。由于过高的水泥掺入量不利于掘进机的正常掘进施工,水泥掺入量根据土质和含水量等情况确定,这里控制在 10% 左右,加固范围为管外径向外 3.0 m,加固长度为 10 m(见图 3)。

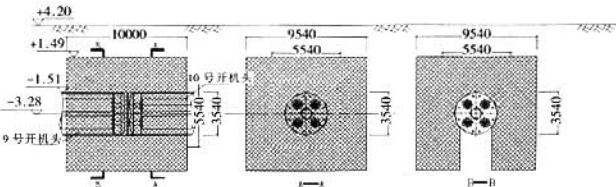


图 3 对接区域加固剖面图



### 3.2 接收井后靠土体加固及增设后靠侧墙

10#井原设计为接收井,现作为10#~9#对接顶管施工的工作井。由于10#工井SMW工法围护H型钢已经拔除,作为顶管工作井后,后靠土体没有加固且有一定的扰动,顶管顶力对后侧墙结构和外侧土体均将产生一定影响。所以必须对后靠土体采取加固措施。这里采用旋喷桩工艺,水泥掺量取40%,加固范围见图4。

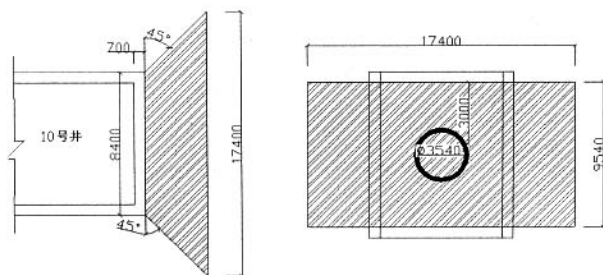


图4 后靠旋喷加固平、剖面示意图

由于原10#工井侧墙结构配筋未考虑承受顶管后座力,为了确保结构质量不受影响及顶管施工的安全进行,经与设计方协商,决定在后靠侧墙内侧再浇筑一道后靠墙体结构,墙厚600mm,高度自底板至顶管洞口向上1000mm。后浇侧墙内部配筋为:内外排竖向、横向钢筋均为 $\Phi 25$ ,所有钢筋采用植筋工艺与底板和侧墙连接,并保证锚固长度。在浇筑施工前必须对原侧墙面部进行凿毛处理,由于后浇结构不影响使用功能,作为永久结构。

### 3.3 长距离曲线对接顶管测量措施

施工过程中顶进轴线尤其是对接区的轴线控制的好坏,对接顶管的成功与否至关重要,并且对接区的施工质量和安全产生很大影响,所以在测量上从事前的方法措施,到过程中的控制把关,以及管理制度上必须做到严、细、准。

#### 3.3.1 对接区顶进轴线的微调

对于长距离曲线对接顶管施工,由于测量系统误差、施工误差等因素,隧道轴线的精确对接有一定难度,这里我们采取了轴线的微调措施,对降低轴线控制的难度,提高隧道施工的精度和质量,便于后续施工,能起很大作用。

首先,对待对接掘进机(9#顶进)进行精确测量,确定其实际的中心坐标和隧道轴线走向,以此来为对接掘进机(10#顶进)提供顶进的目标坐标和轴线控制走向,便于两掘进机的顺利对接;其次,对于曲线对接顶管,两掘进机对接处有一定开口,对接精度和对接安全及质量有一定影响。在不影响周围环境和隧道功能前提下,与设计方协

商后,对接掘进机一定范围的轴线进行微调,使对接掘进机按待对接掘进机的实际轴线走向在对接区实现直线对接,这样更有利于保证施工精度和质量,同时更便于两掘进机的连接施工,降低安全风险系数。

#### 3.3.2 控制网的建立及测量基线的确定

一般情况下,顶管施工按照设计隧道中心轴线和工作井、接收井的洞口坐标建立地面测量控制网。为了确保控制网的精度,平面控制网设成附合导线形式。进行多次复核测量、平差后使用,精度必须符合要求。控制点设置在不易扰动、通视条件好、方便校核的地方,并加以保护。

利用地面控制网测定10#工井内仪台坐标及后视方向线,由于顶管施工过程中掘进机位置轴线测量均采用支导线形式,随着顶管顶程距离的增加,误差比较大,所以工井内基线的精度尤为重要,必须反复定期复核。

#### 3.3.3 测量控制措施

本工程9#~10#顶管对接施工采用管节 $L=2.5$ m,顶管轴线控制测量每节管节测量一次,每50m不得少于一次贯通测量,在距离对接区50m、30m、15m、5m位置时分别进行一次贯通测量,进行贯通测量必须保证地面控制网的联测。另外,对接顶管地面控制网和9#工作井的测量控制系统的测量控制点及基线定期进行复核,同时必须实行三级测量复核制度,尽可能地消除误差,确保测量精度。

### 3.4 顶管注浆施工措施

顶进施工中,减阻泥浆的运用是减少顶进阻力的主要措施。顶进时通过管节上的压浆孔,向管道外壁注入一定量的减阻泥浆,在管道外围形成一个泥浆环套,减小管节外壁和土层间的摩擦力,从而减小顶进时的顶力,泥浆套的好坏,直接关系到减阻的效果。

为了做好压浆工作,在工具管尾部环向均匀地布置4只压浆孔,用于顶进时跟踪注浆。其后每3节管节里有一节管节上有压浆孔,管节上布置4只压浆孔。除工具管及随后的3节管节外,压浆总管上每隔6m装一只三通,再用压浆软管接至压浆孔处。工具管尾部的压浆孔要及时有效地跟踪压浆,确保能形成完整有效的泥浆环套。混凝土管节上的压浆孔供补浆用,补浆的次数及压浆量根据地质和施工时的具体情况确定。

### 3.5 对接施工流程和连接措施

当顶管接近对接区直至对接施工完成,该阶段的距离控制、设备拆除、土体清除、补充注浆、

掘进机连接等施工的流程控制和连接措施的实施对工程安全和隧道质量尤为关键,须严格控制和管理。

(1)当两个顶管掘进机刃口距离达20 m左右时,必须对两个顶管掘进机的姿态和隧道中心线进行严密测量和监控,并勤测勤纠微纠,尽可能使两个掘进机保持同轴或平行;测量与推进须同时配合进行,并控制对接位置;掘进机间距由对接偏差来确定,刃口连线与掘进机轴线的夹角小于 $15^{\circ}$ ;

(2)当两掘进机刃口不断接近时,用钢筋通过机头前方胸板上注浆孔探测实际间距,将轴线偏差角度和掘进机刃口间距控制在最小值,以便于和不影响掘进机刃口间的钢板连接施工,即停止顶进;

(3)在掘进机胸板的上下左右分别割除小孔,观测土体加固和渗水情况,对事先没有加固的待对接掘进机下方,以及根据观测情况其它需要补浆的地方,通过胸板上预留注浆孔进行双液补充注浆,然后再打开胸板人孔,进一步检查土体加固和渗水情况,是否满足对接安全要求,直到确保安全要求,再进行下一步施工;

(4)拆除掘进机内部的各种机电设备及线路等;

(5)最后,掘进机胸板割除和刃口连接施工须同时进行。整个胸板按“井”形分块,先割除下方胸板,并及时将提前备好的钢板将刃口焊接连接,先点焊定位,再满焊封死;依次由下部向两侧、上部进行连接,最后封死顶部,胸板两侧须对称进行,每块连接钢板间须满焊,以达到防水效果。

### 3.6 对接区内部结构浇注措施

根据电力隧道要求,为保证后续电缆敷设施工和整个隧道的完整性,需在对接区的掘进机外壳内部按原隧道的内径尺寸浇注混凝土结构,措施如下:

(1)依据隧道原有内径尺寸,以及管节配筋进行钢筋绑扎施工。按要求固定好预埋铁件。

(2)将整个管节分三次浇注(见图5),依次进行第一次、第二次施工,采用常规混凝土浇注方法进行混凝土振捣浇注施工,注意保证振捣质量;

(3)进行第三次模板施工,顶部预留浇筑孔,加工储气泡、混凝土投料斗简易设备,利用空气压缩机将混凝土用软管压送入模内,有效保证混凝土浇注的密实度(见图6)。

## 4 施工应急预案

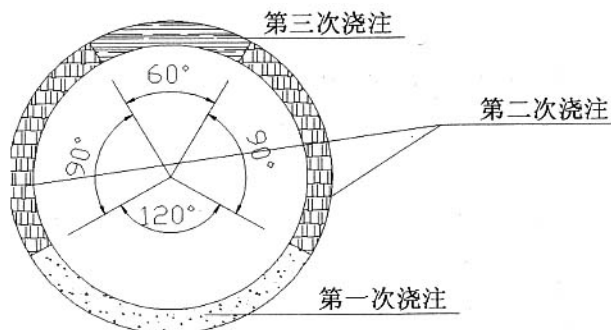


图5 对接区管节现浇分节示意图

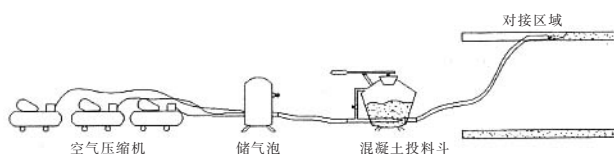


图6 混凝土浇注示意图

### 4.1 气压清障应急预案

根据物探情况,为解决掘进机正面遇障碍物时能及时、安全、顺利地继续顶进施工,预先加工气压仓设备一套,便于清障施工。气压仓加工完毕后,要经过验收合格方可使用。气压管节放置在10#井内备用,一旦顶管碰到障碍物,即进行气压启动,排除障碍物。

顶管遇障碍物时,关闭气压仓门,通压缩空气,使管道内保持一定气压,平衡机头前土体水土压力。施工操作人员通过气压仓过度,进入管道内,打开掘进机操作门,首先把土仓内泥土挖掉,完全暴露障碍物并清理。如土体有松动、渗水现象,操作人员立即撤退管道,再进行气仓加压一定时间后继续进行处理,直至完全处理掉。

### 4.2 应急注浆措施

为确保安全,在使用气压前,在掘进机前端先进行注浆加固土体。

(1)通过压密注浆,对工具管周边土体进行填充固结,要求有效控制范围和注浆量,提高可靠性,以期达到:减少土体渗透系数,达到防渗隔水作用;增加土体强度,提高稳定性。

(2)掘进机内注浆,为进一步提高土体的牢固度和密实度,从掘进机操作门内,安插水平注浆管进行注浆,进一步填充土体空隙。

### 4.3 设备材料应急准备

(1)为应付顶管时的特殊情况,必须准备足够的易损零部件,使施工中的故障修理时间缩短到最短,确保施工顺利进行;

(2)为防止对接施工时接缝处的渗漏水情况得到及时封堵,提前做好聚氨酯、双快水泥、注浆设备等堵漏所需的材料设备等,确保工程安全。

# 武汉新区四新地区 10# 地块吹填砂场平工程简介

和礼红

(武汉市政工程设计研究院有限责任公司,湖北武汉 430015)

**摘 要:**该文介绍了武汉新区四新地区 10# 地块吹填砂场平工程的工程背景及地质条件,并从场平竖向设计、围埝设计、覆土填筑三方面介绍了该工程的吹填设计。

**关键词:**吹填砂场平;竖向设计;围埝设计;覆土填筑;武汉市

**中图分类号:**U445.55 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)04-0044-03

## 1 工程背景

武汉市 2003 年《政府工作报告》中提出“加大汉阳地区的开发建设力度,努力实现武汉三镇均衡(协调)发展”的战略。2003 年 12 月市长办公会和市委常委会通过的“汉阳新城建设规划”中提出“统一规划,分步实施”和“交通先行,加大投入”的汉阳新城建设原则,并明确近期将启动汉阳新城建设,汉阳新城的骨架道路现正逐步形成,各地块的场平被纳入重点建设项目之列。

本次设计的 10# 地块位于四新南路以南,三环线以北,梅子路以西,四新中路以东,总面积为 73.2 hm<sup>2</sup>。

## 2 工程地质条件

吹填区域大部分为农田和鱼塘,局部地段分布有居民点和灌溉明渠,整个地形较平坦,无现状路面。场地范围地貌单元属湖泊堆积平原;地质岩性构成主要为第四纪全新统湖积淤泥及淤质粘性土、中更新统老粘性土层,上覆部分人工填土层及

一般粘性土层等。拟建工程场地未发现地下管线和埋藏物。

拟建工程场地位于筲箕湖~黄龙山倒转背斜南侧,该背斜在长江以西轴线呈北西西向,以东呈近东西向,长约 60 km,宽 2~6 km,核部为志留系,在汉阳蔡家岭一带被白垩—下第三系覆盖,两翼由泥盆系——二叠系组成。北翼正常,倾向北,倾角 30°~75°;南翼倒转,长江以东倾向北,倾角 30°~70°;以西倾向北东,倾角 62°。受肖家咀—石头咀断层、舵落口断层、沌口断层、中南水泥制品厂断层破坏,使背斜不连续。

场地地下水主要为上层滞水。上层滞水主要赋存于场地地势较低地段上部人工填土及耕土中,主要接受大气降水、灌溉用水入渗补给,鱼塘及藕塘分布地段与地表水水力联系密切,呈互补关系。水位、水量与地形及季节关系密切,并受人类活动影响明显,一般有限,对工程影响不大,静止地下水埋深为地面下 0.25~1.56 m,水位为黄海高程 16.00 m~19.54 m。

场平范围内在地表 1 m 厚的人工填土下,广泛分布有 10 m 余厚的淤泥和淤泥质粘土层。

## 3 吹填设计

严格控制和管理。对曲线顶管可视实际情况对轴线微调,局部直线顶进,以降低风险提高可靠性;

(4)目前顶管对接施工多为后期措施并使用常规掘进机,设备割除和拆卸工作量大,尤其对大口径掘进机,设备和材料浪费很大。以后可针对对接施工采取改进措施,特制掘进机外壳并组装内部设备,以节省设备成本和利于快速施工;

(5)为防止接缝处渗水,确保施工安全,对接区采用了预先加固,范围大并占用地面空间,同时对顶管施工有一定影响。针对对接区加固,可努力结合设备改进加工和注浆工艺对方案进行优化,将进一步节约成本和提高社会效益。

收稿日期:2006-06-10

作者简介:和礼红(1974-),男,湖北人,博士,工程师,从事地基处理、基坑支护等岩土工程方面的设计和研究工作。

## 5 结论

(1)顶管对接施工技术可实现长距离顶程隧道,减少工井数量。由于节省了管线房屋拆迁、工井建造、土地占用及对交通的影响等,所以对缩短工期、节省资源和投资、提高社会效益等有一定优势;

(2)顶管对接施工,必须对对接区土体加固、对接封堵及内部混凝土浇注等采取一定的辅助技术措施以保证隧道的安全 and 质量;

(3)顶管对接施工的测量精度对施工安全、隧道质量甚至功能影响很大,施工中必须优化措施,