

复杂环境中的地下暗埋箱涵拉顶式施工技术与应用

李淑海, 张志勇, 王中兵

(上海广联建设发展有限公司, 上海 200438)

摘要:结合上海轨道交通2号线东延伸段工程张江高科站工程实例,详细介绍了地下暗埋箱涵拉顶式施工新技术,该技术具有可在工作面积狭小的环境条件下施工、施工对环境影响较小、导向精度高等优点,其工艺是现代顶管施工技术的一种创新和补充,是非开挖地下箱涵施工的一种新的技术手段,为复杂环境下的地下空间开发利用提出了新的解决方案。

关键词:矩形隧道;暗埋箱涵;顶拉法;导向钻进;非开挖

中图分类号:TU94 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)07-0066-04

Jacking-pulling Construction Technology for Underground Box Culvert in Complex Environment and the Application/Li Shu-hai, ZHANG Zhi-yong, WANG Zhong-bing (Shanghai Guanglian Construction Development Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

Abstract: Combined with an engineering example of Shanghai rail transit line 2, the paper introduces a new jacking-pulling technology for underground box culvert, which has advantages of convenient working in narrow area and light environmental impact with high guiding accuracy. This technology is an innovation and supplement to modern pipe jacking construction and a new technical means to underground box culvert construction by trenchless technology and provides solution to development and utilization of underground space in complex environment.

Key words: rectangular tunnel; concealed box culvert; jacking-pulling construction; pilot drilling; trenchless technology

1 工程概况

上海轨道交通2号线东延伸段工程张江高科站位于浦东新区松涛路与科苑路之间祖冲之路下,为地下二层岛式站台车站,车站主体结构位于祖冲之路南侧,共设有5个出入口,其中一号出入口位于祖冲之路北侧,因此与车站主体连接需建造穿越祖冲之路的地下通道。考虑到祖冲之路交通繁忙且地下管线众多,不具备开挖施工的条件,结合环境及人流疏散的需要以及管线搬迁难度、工期、工作井尺寸等因素,地下通道采用4.0 m×6.0 m矩形拉顶管技术施工。

一号出入口北侧为中国科学院上海药物研究所危险品仓库及篮球场,南侧为已建成的新张江高科站主体结构,由北向南通道分别穿越22万V电力管廊、18孔电信排管、 $\varnothing 500$ mm上水管、 $\varnothing 300$ mm煤气管、 $\varnothing 2400$ mm雨水管等市政管线。

始发井位于一号出入口北侧,紧靠中国科学院上海药物研究所危险品仓库及篮球场,受既有建筑物及22万V电力管廊相关保护要求的限制,始发井沿地下过街通道轴线方向净空尺寸仅6.0 m,与轴线垂直方向净空尺寸为9.5 m。

接收井位于一号出入口南侧,其北侧为 $\varnothing 2400$ mm雨水管,南侧紧贴已建成的新张江高科站主体结构地下连续墙建造,地下连续墙厚度约800 mm(内衬墙厚度400 mm),雨水管距离地下连续墙垂直距离约5.6 m。在雨水管与地下连续墙之间,距地下连续墙约3.0 m处有一排与地下连续墙平行的三轴搅拌桩(此搅拌桩为施工地下连续墙时保护雨水管而施工),桩长20 m,内插 $\varnothing 48$ mm($\delta = 3.5$ mm)、长12 m的钢管。受雨水管及既有建筑物平面位置影响,接收井沿地下过街通道轴线方向净空尺寸仅2.0 m,与轴线垂直方向净空尺寸为7.4 m。

地下过街通道内部净空尺寸3.00 m(高)×5.00 m(宽),长约23.00 m,顶部覆土深度约7.20 m。通道结构采用预制矩形钢筋混凝土管节,管节混凝土强度为C50,抗渗等级为S8,外形尺寸为4.0 m×6.0 m,管壁厚为0.5 m,单节长度为1.5 m,单节质量约35 t。

工程位置、周边环境及管线图如图1所示。

2 工程地质条件

2.1 地基土的构成与特征

收稿日期:2010-03-03

作者简介:李淑海(1972-),男(汉族),吉林长春人,上海广联建设发展有限公司副总经理、高级工程师、一级注册建造师,探矿工程专业,硕士,从事大截面矩形顶管施工技术、大直径工程井施工技术及相关技术管理工作,上海市中原路60弄4号,shuhaili@139.com。

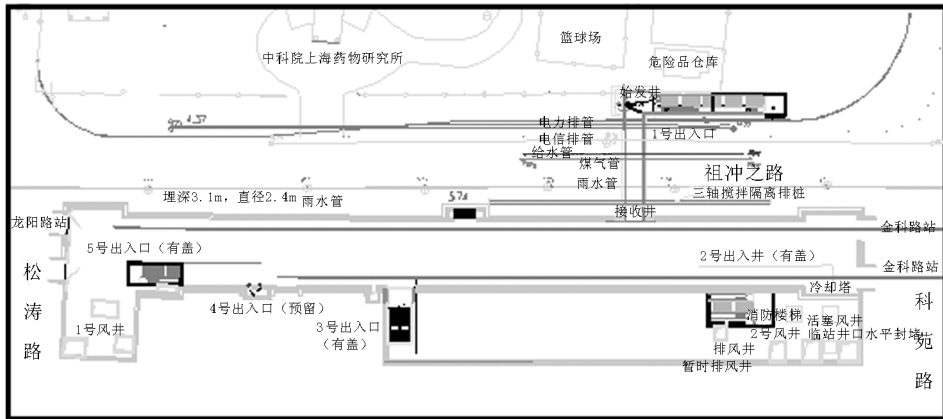


图 1 张江高科站一号出入口平面位置、周边环境及管线图

拟建场地地势平坦、地貌形态单一,属滨海平原地貌类型。始发井、接收井施工深度范围内均为第四纪松散沉积物,主要由饱和粘性土、粉性土以及砂土组成,一般具有成层分布特点。

地下过街通道基本位于第③淤泥质粉质粘土层的底部及④淤泥质粘土层顶部;始发井、接收井基坑开挖底板深度位于第④淤泥质粘土层顶部。拟建场区地层特性详见表 1 所示。

表 1 地层特性表

土层层号	土层名称	层厚/m	层底标高/m	颜色	湿度	状态	密实度	压缩性
① ₁	素填土	0.40 ~ 3.50	3.37 ~ 0.44				松散	
① ₂	浜填土	1.40 ~ 2.80	0.74 ~ -0.14	灰色				
② ₁	粉质粘土	0.90 ~ 2.50	1.54 ~ 0.27	褐黄 ~ 灰黄	饱和	可塑		中等
③	淤泥质粉质粘土	1.80 ~ 6.50	-3.74 ~ -6.22	灰色	饱和	流塑		高等
③ _T	粘质粉土	0.80 ~ 2.90	-0.84 ~ -2.42	灰色	湿		松散 ~ 稍密	中等
④	淤泥质粘土	8.40 ~ 12.70	-14.29 ~ -17.4	灰色	饱和	流塑		高等
⑤ ₁	粉质粘土	3.60 ~ 6.80	-20.33 ~ -22.40	灰色	饱和	软塑		中等
⑥	粉质粘土	1.90 ~ 5.90	-24.04 ~ -26.64	暗绿 ~ 草黄	饱和	硬塑		中等

2.2 水文地质条件

2.2.1 地下水类型

本工程地下水类型主要可分为浅部潜水和深部承压水。据区域水文资料,浅部地下水位属潜水类型,浅部土层中的潜水位埋深一般为 0.3 ~ 1.5 m,年平均地下水位埋深 0.5 ~ 0.7 m;深部第一承压含水层承压水位分布于第⑦₁层土中,其承压水位埋深在 3 ~ 11 m 之间。潜水位补给来源为大气降水及地表径流,并受降雨、潮汐、地表水的影响而变化;其排泄方式以蒸发消耗为主。承压水水位呈年周期性变化,根据水文地质报告,本次详勘阶段测得张江高科路站第⑦₁层承压水位为 6.4 m。

2.2.2 地下水水质

本拟建场地地下水和土对混凝土无腐蚀性;长期浸水条件下,地下水和土对钢筋混凝土结构中的钢筋无腐蚀性,干湿交替情况下,地下水和土对钢筋混凝土结构中的钢筋有弱腐蚀性;地下水对钢结构有弱腐蚀性。

3 工程特点与难点

(1) 出入口靠近中科院上海药物研究所一侧能提供的场地不能满足常规矩形顶管施工工作井的空间要求,靠近地铁车站一侧主体结构已完成,亦不能提供常规矩形顶管施工接收井。由于常规的矩形顶管技术机头设有纠偏段,始发井、接收井长度难以满足机头吊入吊出的要求,难以利用常规的矩形顶管技术施工水平通道。

(2) 出洞区域附近有 22 万 V 电力管廊,进洞区域有 Ø2400 mm 雨水管,而掘进机头出洞区加固仅有 2 排,进洞区加固仅有 1 排,需采取措施控制电力排管与雨水管沉降量。

(3) 水平通道箱涵顶面埋深约 7 m,高度 4 m,从本场地的地质报告来看,箱涵上部处于③层淤泥质粉质粘土中,下部处于④层淤泥质粘土中。施工中如何防止水平箱涵穿越土层时的“磕头”现象是一个难题;施工面涉及③灰色淤泥质粉质粘土、④灰色淤泥质粘土层,该 2 层土具流变触变性,扰动后强度迅速降低,拉顶管施工时,尽可能减少对土体的扰

动,软粘性土易粘着机头,造成堵塞;同时,应预防工作面坍塌、流砂、涌水等不良现象,特别是顶管工作面上方的③_r灰色粘质粉土。

(4)原有 $\varnothing 850$ mm 三轴搅拌桩中的 $\varnothing 48$ mm \times 3.5 mm 钢管对于水平箱涵的施工是障碍物,如何将其清理保证地下通道顺利施工是一个难题。

4 地下暗埋箱涵拉顶式施工新工艺

地下暗埋箱涵拉顶式施工新工艺是针对复杂环境下开发的一种新工艺方法。是近年来开发的一种新的施工技术,具有可在工作面积狭小的环境条件下施工、施工对环境影响较小、导向精度高等优点,

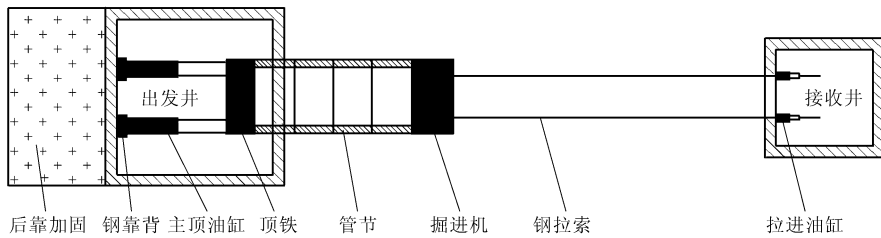


图2 地下暗埋箱涵拉顶式施工技术示意图

4.2 技术的优点

(1)工作井占地面积小,可根据场地情况灵活布置,工作井后靠加固少,可有效节约施工场地;

(2)采用土压平衡拉顶管掘进机,可保持工作面土压力平衡,可有效控制地面的隆起和下沉;

(3)通过穿心千斤顶组及附带的钢棒自锁装置的连续工作,使工作面始终保持土压力平衡,且连续推进只需克服较小的动摩擦力;

(4)拉索的存在有利于直线导向,可有效消除水平箱涵的“磕头”现象,有利于掘进机的姿态控制;

(5)箱涵管节可采用钢筋混凝土管节和钢制管节,适用范围较广。

5 地下暗埋箱涵拉顶式施工

5.1 始发井、接收井施工

始发井基坑采用型钢水泥土搅拌墙作为基坑围护结构。型钢水泥土搅拌墙采用 $\varnothing 850 @ 600$ 水泥土搅拌桩,桩长 28 m,内插 H 型钢(700 \times 300 \times 13 \times 24),型钢为密插,长度为 28 m。支撑采用 $\varnothing 609$ mm 钢支撑。基坑保护等级为一级,基坑开挖尺寸为 7.40 m(轴线方向) \times 11.10 m,开挖深度约为 13.67 m,沿开挖深度方向设 4 道钢支撑。始发井净尺寸为 6.0 m(轴线方向) \times 9.5 m。

其工艺是现代顶管施工技术的一种创新和补充,是非开挖地下箱涵施工的一种新的技术手段。

4.1 工作原理

地下暗埋箱涵拉顶式施工技术所用的拉顶管装置主要包括出发井、千斤顶组、刀头土压平衡拉顶管掘进机、提供反力的锚固装置、标准箱涵管节以及与千斤顶相对应的钢棒组及钢棒自锁装置等,其中钢棒组贯通连接于锚固装置与穿心千斤顶组之间,穿心千斤顶组连接在机头上,机头后连接标准箱涵管节,钢棒组中的每根钢棒上有一端采用穿心千斤顶及所附带钢索自锁装置以提供动力及限位。如图 2 所示。

为满足机头吊出的要求,接收井在通道轴向方向上净空尺寸需达到 2.0 m,接收井围护结构采用钻孔灌注桩。钻孔灌注桩位于原有为保护雨水管而施工的三轴搅拌桩(为 $\varnothing 850$ mm 型)位置上。此种方法的好处一是有效地扩大了接收井的空间,利于施工;二是清除了箱涵前进中的障碍。钻孔灌注桩 $\varnothing 900 @ 1100$,桩长 25.8 m。为清除三轴隔离排桩及其内插钢管,采用郑州勘察机械厂产 QJ-250 型钻机施工钻孔灌注桩。支撑采用双拼 500 \times 300 型钢支撑。基坑尺寸 3.2 m \times 9.0 m,开挖深度为 12.65 m,沿开挖深度方向设置 4 道钢支撑。接收井净尺寸为 2.0 m(轴线方向) \times 7.4 m。

5.1.1 始发井出洞口土体加固

出洞口土体加固为紧靠基坑围护结构的一排 $\varnothing 850 @ 500$ 水泥土搅拌桩,桩长 19 m。施工过程中,为保证出洞加固的效果,将出洞口三轴搅拌桩改为“套打一孔”法施工。

5.1.2 接收井进洞口土体加固

由于受 $\varnothing 2400$ mm 雨水管的影响,进洞口仅能采用一排三轴搅拌桩进行土体加固,进洞口土体加固位于雨水管与接收井围护钻孔灌注桩之间,桩型为 $\varnothing 850 @ 600$ 三轴搅拌桩,采用“套打一孔”法施工,桩长 19 m。

5.1.3 工作井后靠加固

由于受规划用地的影响,始发井后靠加固采用紧靠基坑围护结构的3排 $\text{Ø}850@600$ 水泥土搅拌桩,桩长19 m。

5.2 地下暗埋箱涵顶拉施工

5.2.1 矩形拉顶掘进机研制

因工作井空间较小,其沿通道轴线最大有效尺寸为6.0 m。要在如此狭小的空间中,布置掘进机、后靠、千斤顶组、顶铁,在原有矩形顶管掘进机的情况下,难度相当大。为此,根据我们研发的专利技术,则能够有效地缩短掘进机的长度,使之在狭小空间中进行安装。新研制的矩形顶拉掘进机主要技术参数见表2。

表2 JS4060型矩形顶拉掘进机主要技术参数表

技术参数		数值
结构尺寸	外包尺寸	4010 mm × 6020 mm
	前段壳体长度	1450 mm
	后段壳体长度	1350 mm
刀盘系统	转速	0 ~ 2.5 r/min
	最大扭矩	1032 kN·m
	功率	270 kW
纠偏系统	千斤顶数量	10只
	纠偏角度	2.1°
	最大推力	12000 kN
螺旋机	输送能力	42 m ³ /h × 2
	转速	0 ~ 13 r/min
拉进动力系统	油缸数量	12只
	总拉力	12000 kN
	千斤顶行程	500 mm
顶进动力系统	油缸数量	12只
	总拉力	30000 kN
	千斤顶行程	1500 mm

掘进机头前端设置8个拉点,与接收井中的拉进动力系统相连接。可通过拉进动力系统提供动力使掘进机切入土体实现掘进,同时可通过不同拉点位置的组合实现方向调节,控制掘进机前进姿态。

为有效减小前段壳体的长度,控制掘进机头掘进过程中的偏转,刀盘系统采用6个刀盘布置在同一平面上。刀盘组合进行正反转,可有效控制掘进机头的侧转,保证顶拉进姿态。为进洞时保证 $\text{Ø}2400$ mm雨水管的安全,减小刀盘切削时对土体的扰动和保证迎土面土体稳定,在掘进机前端设置长度500 mm的“帽檐”。

5.2.2 钢索铺设技术措施

5.2.2.1 钢索设计参数

根据本工程的箱涵截面形状与施工时箱涵的受力状态,钢拉索总设计数量为8根 $\text{Ø}40$ mm的高强度螺纹钢棒,主要分布在箱涵的顶部与底部,单根钢

棒的允许施工拉力值限定为1000 kN。

5.2.2.2 钢索施工要求

根据工程施工工艺要求,拉索在施工过程中还应起到控制掘进机头方向的作用,故在施工过程中对拉索的定位要求相对较高,具体要求如下。

(1)在前期SMW工法桩围护结构施工过程中,必须按拉索孔定位要求错开型钢的插入位置与控制型钢插入时的垂直度。以利于定向钻穿越时有足够空间进行钻孔与定位。型钢插入时垂直度须控制在5%以内。

(2)拉索在非开挖铺设时精度控制,导向孔水平与垂直偏差必须控制在5 cm以内。

5.2.2.3 施工设备的配备

目前,水平定向钻进技术中铺设精度的实现是通过有线或无线电磁技术进行控制,已无法达到本工程中钢索铺设的精度要求。为此,重新开发研制了HD200TL型高精度导向钻机,保证了拉索铺设精度在4 cm以内,为后续对矩形掘进机的方向精确控制奠定了基础。HD200TL型高精度导向钻机主要技术参数见表3。

表3 HD200TL型高精度导向钻机主要技术参数

技术参数	数值
外型尺寸	3600 mm × 1750 mm × 625 mm
转速	0 ~ 15 r/min
最大扭矩	30 kN·m
功率	270 kW
精度	±40 mm
最大推拉力	2000 kN
钻进行程	1500 mm

5.2.3 地表沉降控制技术措施

掘进机在前进时,要克服摩阻力与迎面土压力。迎面土压力大小与覆土深度及土层性状相关。在加接管节与顶铁时后顶油缸要收回,此时需通过止退装置防止管节后退。一般的作法是在前端基座管节两侧安装一套止退装置,将销子插入管节的吊装孔,再放进钢垫块和钢板在销座和基座的后支柱间;管节的后退力通过销子、销座、垫块传到止退装置的后支柱上;止退装置和基座焊接在一起,把管节稳住。

在运用拉顶式施工技术时,止退措施则更可靠、更简便。在需要加装管节和顶铁时,只需保持前动力系统处于负载状态即可。可以根据止退力的大小进行自动调节,从而避免了由于后退力过大使管节销孔造成损坏,对管节造成破坏,失去止退作用。

在掘进机前进过程中,对形成的建筑空隙采用

(下转第73页)

4 结论

对于该项目施工阶段的风险评价,本文提出了模糊综合评价模型的解决方法,本方法给出了一个基于工程施工项目管理的质量、进度、费用、安全及环境5个主要管理目标的分析框架,并列出了具体指标,运用三标度评分法和层次分析法来确定各指标的权重。

针对评价指标难以量化的问题,采用了模糊数学的方法,使定性目标一定程度的量化,并将专家意见具体化和量化,为实现量化评价提供了有效手段。模糊综合评判法有助于排出众多指标的重要性权重,有利于排除次要因素,提高评价的有效性。除了对项目风险进行总体评价以外,项目经理在制定管理措施和资源投入时,亦可侧重于权重较

大的指标。因此使用模糊评价法进行风险评价,帮助项目管理从“经验主义”走向科学管理,对施工项目管理有很大积极意义。

参考文献:

- [1] 戴树和. 工程风险分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 李洪杰. 三标度法在群体判断和 Fuzzy 判断中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2001, (7): 87-91
- [3] 季玉国. 江海盾构隧道施工风险分析与评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6).
- [4] 崔淑杰, 柳鹏. 模糊综合评判法在国际工程投标风险评价中的应用[J]. 森林工程, 2009, (5): 79-81.
- [5] 陶履彬, 等. 工程风险分析理论与实践[M]. 上海: 同济大学出版社, 2007.
- [6] 姚敏. 模糊决策方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 1999, (11): 61-64.

(上接第65页)

点4(d点), 测量出点4(d点)到点6(b点)的距离 S , 则井筒上口在平面位置上调整的位移 L 值为:

$$L = (H/h) \cdot S$$

式中: H ——井筒深度, m; h ——测量面距井口的距离, m; S ——测量面位置处铅垂线与中心大线的距离, m。

地表操作人员用千斤顶调整井筒上口的位置, 井筒内操作人员观察, 使d点和b点重合为最佳状态。地表调整符合要求后, 将井筒上口与钻井锁口盘固定, 以免井筒内加水及壁后充填过程中发生位移。

主井壁后充填完成, 井筒内抽水后, 测量结果:

井壁底中心点偏离井口中心点位置 50 mm, 偏斜率为 0.18‰。

5 结语

主井井壁安放工程从 2009 年 12 月 28 日开始至 2010 年 1 月 8 日结束, 历时 12 天。井壁总质量 8200 t, 井筒排出泥浆体积约 10000 m³, 井壁总接长 286.5 m。法兰盘连接间隙平均为 11 mm。井筒找正偏斜率为 0.18‰, 满足规范及设计要求。

参考文献:

- [1] 翁家杰. 井巷特殊施工[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [2] 崔云龙, 等. 筒明建井手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.

(上接第69页)

注减摩浆进行填充, 施工结束后对减摩浆液进行置换, 控制地面沉降。

通过上述技术措施的保证, 箱涵拉顶进施工完成后, 管线最大沉降为 5 mm。

6 结语

运用地下暗埋箱涵拉顶式施工技术, 有效地解决了在复杂施工环境下箱涵暗挖施工, 对周边施工环境影响小; 采用土压平衡掘进原理, 有效地控制了地表的沉降与变形; 钢拉索的直线导向作用下, 掘进机导向精度高。可以相信, 随着其工艺细节的不断

改进和完善, 以及地下空间开发利用的推进, 其将在地下空间开发利用中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 葛金科, 沈水龙, 许焯霜. 现代顶管施工技术及其工程实例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 余彬泉, 陈传灿. 顶管施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [3] 孙钧, 虞兴富, 孙昊, 等. 超大型“管幕-箱涵”顶进施工变形的分析与预测[J]. 上海非开挖技术, 2006, (3).
- [4] 周海松, 李淑海. 非开挖技术在昆明呈贡昆洛路综合管沟施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(10).
- [5] 张志勇, 李淑海. 城市矩形隧道的应用与施工工艺的发展[J]. 施工技术, 2009, 38(S1).