

大直径盾构刀盘改造竖井施工技术

王振飞, 何峰, 贺善宁

(中铁隧道集团北京地下直径线项目部, 北京 100045)

[摘要] 以北京地下直径线盾构的刀盘改造竖井施工为例, 针对复杂边界条件下大直径盾构刀盘改造异性结构竖井的设计及施工进行探讨, 就如何保证竖井结构安全, 同时又能合理协调盾构施工进行了实践探索, 并给出了可靠的解决措施, 取得了成功, 为类似工程提供参考借鉴。

[关键词] 大直径盾构; 改造竖井; 复杂条件

[中图分类号] U455 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)12-0103-05

1 前言

盾构机类型决定着盾构工程的成败和工程经济性, 其中地质条件是决定盾构选型最重要的边界条件^[1], 如果在施工过程中地质条件发生了较大的变化, 将严重影响盾构的施工, 同时在大直径盾构长距离掘进过程中刀盘、刀具磨损严重, 都需要对盾构刀盘刀具进行改造。

在洞内带压换刀不能满足施工需要的情况下, 就需要将盾构机停在一个合适的位置, 在刀盘所处地面位置开挖施工竖井进行刀盘、刀具改造。

2 工程概况

2.1 工程简介

北京地下直径线工程为单洞双线隧道, 其中在天宁寺至正义路区段采用泥水平衡盾构施工。

盾构机从天宁寺4#竖井始发向东施工, 在盾构掘进至DK6+718.2处时, 扭矩过大故障停机。根据带压进仓对刀盘前方掌子面地质情况及刀具磨损情况观察、分析, 认为由于隧道穿越的地层较之于原地勘察资料变化较大, 呈现为非常致密的卵石层。

为使盾构机刀具适应该工程实际地层情况, 需

要对盾构机刀盘、刀具进行改造。为提供盾构刀盘刀具的改造作业条件, 在盾构停机刀盘里程DK6+718.2处做一个净空为14.0 m×4.5 m的竖井, 在完成刀盘改造及刀具更换后, 将竖井进行回填, 盾构继续掘进。

2.2 工程地质与水文地质情况

盾构停机位置处顶部标高为42.3 m, 护城河床底部标高为38.3 m。盾构刀盘位置覆土厚度11.5 m。此处范围内地层情况依次为: 杂填土0~4 m, 砂卵石4.0~9.5, 粘土9.5~10.5 m, 卵石10.5~20 m, 砂层20~21 m, 砂卵石21~24 m, 粘土24~26 m。

该地质段主要是孔隙潜水, 水位标高为22.3~21.3 m(水位埋深为20~21 m)。含水层主要为卵石层、圆砾层及其所夹砂层。

2.3 竖井周边情况

竖井位于天宁寺二环1#匝道桥的北侧, 护城河西侧护坡, 西侧紧邻二环主路, 东侧紧靠护城河河道, 竖井施工范围内有2条中压 $\phi 300$ mm煤气管线和2条架空热力管线, 施工环境十分复杂。

竖井周边环境、施工平面见图1、图2。

[收稿日期] 2010-08-10

[作者简介] 王振飞(1977—), 男, 湖北襄樊市人, 高级工程师, 主要从事隧道及地下工程方面的施工及研究工作;

E-mail: wangzhenfei1977@163.com

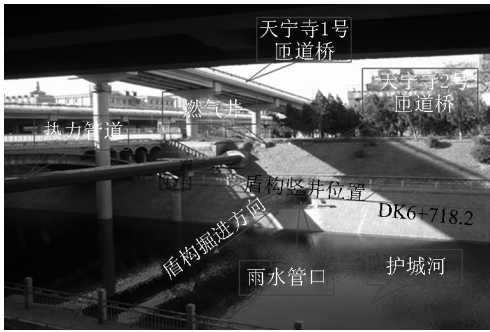


图1 竖井周边环境

Fig.1 Surrounding environment of vertical shaft

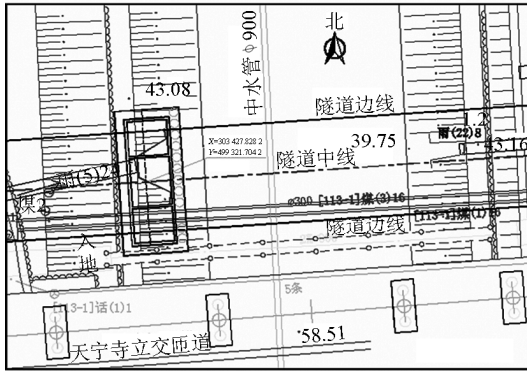


图2 竖井施工平面图

Fig.2 Construction plan drawing of vertical shaft

3 竖井设计

3.1 竖井设计考虑的边界条件

1) 根据盾构刀盘改造所需的空问要求,确定竖井的净空为 14 m × 4.5 m (长 × 宽)。

2) 竖井所处地下水位埋深为 20 ~ 21 m,考虑井位周边区域无施做降水井的条件,同时根据盾构刀盘改造要求的竖井深度为进入盾构刀盘中心以下 2 m,所以确定竖井深度为 20.5 m。

3) 根据竖井后期掘进的要求,在竖井上设置可切削的材料,所以桩体及井壁支护采用玻璃纤维筋材料^[2]。

4) 由于下部竖井为三边支护不封闭的异型结构,且需要考虑后期盾构刀盘旋转及试推的需要,竖井结构不能支撑在刀盘上,通过剪力墙及闭合角撑来稳定竖井结构。

5) 考虑后期刀盘转动及试推对竖井结构的影响。

6) 竖井回填对盾构后期继续掘进的考虑。

3.2 竖井结构设计^[3]

竖井的设计参数如表 1 所示。

表 1 支护参数表

Table 1 Support parameters

施工部位	设计支护参数
竖井周边	在竖井东侧打设 $\phi 1\ 000\ \text{mm} @ 1\ 300\ \text{mm}$ 钻孔桩 (盾构切削范围采用玻璃纤维筋), 桩长 26.5 m $\phi 25\ \text{mm}$ 格栅拱架 + 竖向拉结筋 + 钢筋网片 + 350 mm 厚 C25 喷射混凝土联合支护
上部竖井 (0 ~ 10.5 m)	在竖井井壁上每榀打设 $\phi 42\ \text{mm}, L = 2\ \text{m}$ 的注浆导管, 间距 1.0 m × 0.5 m, 梅花形布置; 在竖井顶部设置 1.3 m × 1.0 m (宽 × 高) 锁口圈梁; 在竖井 10.5 m 处设置 0.5 m × 1.0 m (宽 × 高) 环框架; 在竖井长边方向设置 2 道 300 mm 厚型钢混凝土支撑。如图 3、图 4 所示 玻璃纤维筋格栅 + 400 mm 厚 C25 喷射混凝土 + 剪力墙 + I22b 斜撑联合支护
下部竖井 (10.5 ~ 20.5 m)	在竖井内盾构非掘进区域打设 $\phi 42\ \text{mm}, L = 2\ \text{m}$ 的注浆导管, 间距 1.0 m × 0.5 m, 梅花形布置; 竖井底采用 1.0 m 厚混凝土封底, 同时进行基底注浆加固; 在竖井东侧墙设置 0.5 m 厚剪力墙, 墙内设玻璃纤维筋, 上部锚入圈梁中隔壁内, 下部锚入盾构机下 5 m 土体内; 在竖井内设置 I22b 工字钢斜撑, 间距为 0.5 m。如图 3、图 4 所示

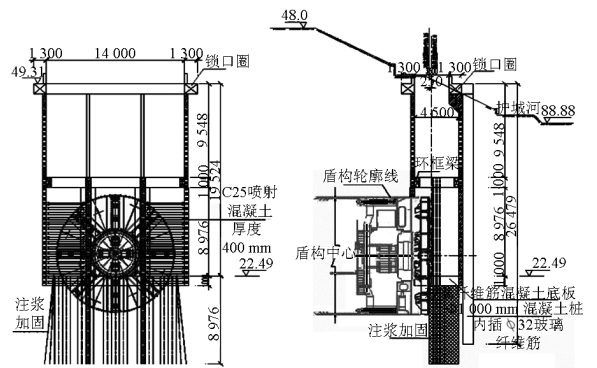


图3 竖井剖面图 (单位: mm)

Fig.3 Profile drawing of vertical shaft (unit: mm)

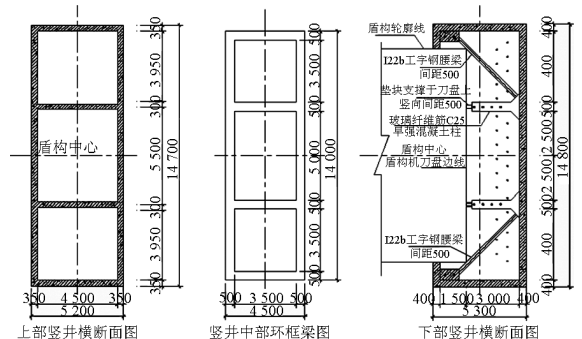


图4 竖井横断面图 (单位: mm)

Fig.4 Cross section drawing of vertical shaft (unit: mm)

3.3 盾构刀盘改造相关配套设计

为了保证盾构刀盘上方土体的安全稳定,要求从盾构停机到竖井开始施工前盾构气压仓一直处于保压状态,并随竖井开挖深度逐步梯度降压,在竖井开挖至刀盘位置压力降为零。

在竖井施工完毕后,为了减少盾构刀盘转动对竖井下方土体的扰动,主要考虑以下措施:

- 1) 对竖井底部进行基底注浆加固。
- 2) 在竖井底部盾构刀盘前方打设隔离桩,后期桩体采用玻璃纤维筋,以方便盾构掘进切削。
- 3) 在刀盘旋转前对刀盘周边接触土体进行清理,减小刀盘与土体的接触面积。

3.4 盾构试推及竖井回填

在盾构试推前,主要采取以下措施保证试推成功及减小试推对竖井结构安全的影响:

- 1) 采取在盾壳周边注入膨润土泥浆的措施减小盾壳与地层的摩阻力。
- 2) 在竖井内增加对撑,以稳定竖井井壁。
- 3) 施做竖井结构支护时,在竖井井壁与盾构机盾壳接触周边预留 30 cm 原状土缓冲层,同时在盾壳周边设置环向暗梁,以提高结构支护刚度,保证试推时竖井结构安全。
- 4) 盾构脱困后,分层拆除型钢支撑并回填竖井,待回填至刀盘顶部圈梁时,施做一层混凝土盖板,后回填。

4 竖井施工

4.1 竖井总体施工方案及流程

竖井施工分阶段进行,先进行竖井东侧外缘的围护桩施工,随后进行锁口圈及上部竖井开挖施工,在上部竖井施工完成后进行井内环框梁施工,再进行下部竖井(盾构机范围)施工及竖井封底。

竖井结构施工完成后,进行竖井基底注浆加固和竖井底刀盘前方隔离桩及剪力墙施工,随后进行盾构刀盘改造,竖井施工流程详见图 5。

4.2 竖井施工方法

4.2.1 竖井围护桩施工

考虑下部竖井开挖过程中的安全,在竖井东侧外设置 1 排钻孔桩,受现场管线影响仅能布设 9 根桩,桩径为 1.0 m,桩间距为 1.3 m,桩长为 26.5 m (进入刀盘下 3 m)。由于在河道坡面施工,需搭设钻机平台,采用冲击钻钻机进行施工。

因在河道边坡施工,同时地层条件为密实砂卵

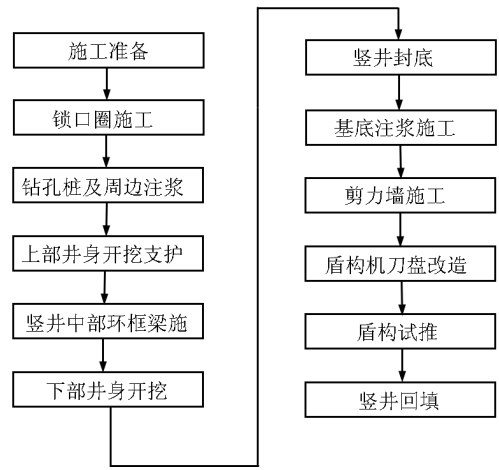


图 5 竖井施工流程图

Fig. 5 Construction flowchart of vertical shaft

石,为保证孔壁的稳定,采用泥浆护壁。玻璃纤维筋笼及钢筋笼采用现场加工制作。

4.2.2 上部竖井施工

上部竖井净空尺寸 14 m × 4.5 m,井深 10.5 m。

- 1) 锁口圈施工:锁口圈梁为 1.3 m × 1.0 m (宽 × 高),采用现浇 C30 砼。
- 2) 竖井开挖支护:人工开挖,由上而下逆作施工,分 3 个小竖井开挖,中部竖井超前南北侧竖井 1.5 ~ 2 m,碴土由人工装入吊桶,电动葫芦提升。在竖井开挖过程中,打设 $\phi 42$ mm、 $L = 2$ m 的注浆导管,间距 1.0 m × 0.5 m,梅花形布置,在受管线影响不能设置钻孔位的区域将锚杆加密。

竖井井壁土方开挖完成后,架立钢拱架,钢拱架竖向间距 0.5 m,钢架内外侧双向梅花形布置 $\phi 20$ mm 连接筋,连接筋环向间距 1.0 m。然后挂钢筋网,喷射 C25 混凝土,厚度 350 cm。另外为保证竖井结构的稳定,竖井长边方向架设型钢支撑。

- 3) 环框梁施工:在上部竖井开挖完毕后,进行竖井中部环框梁施工,在施做竖井初期支护时预埋 $\phi 25$ mm 锚筋,将环框梁钢筋与锚筋形成一个整体,现浇 C30 商品混凝土,在环框梁达到设计强度 100%,方可进入下部竖井开挖施工。

4.2.3 下部竖井施工

下部竖井净空尺寸 14 m × 4.5 m,井深 10 m。

- 1) 竖井开挖支护:人工开挖,由上而下逆作施工,竖井分 3 个小竖井开挖,土方开挖完成后,架设玻璃纤维筋格栅采用绑扎搭接,并用扎丝绑扎牢固,喷射 C25 混凝土,厚度 400 cm。
- 2) 钢支撑架设:在南北侧设置 I22b 工字钢斜

撑,斜撑竖向间距为 0.5 m (在竖井回填时拆除)。盾构切削范围内竖井段采用玻璃纤维格栅+喷射混凝土支护,为加强南北两侧型钢斜撑支护,采取每幅玻璃纤维格栅下增加型钢圈梁与钢斜撑形成稳定的三角形闭合结构。下部竖井支撑见图 6。

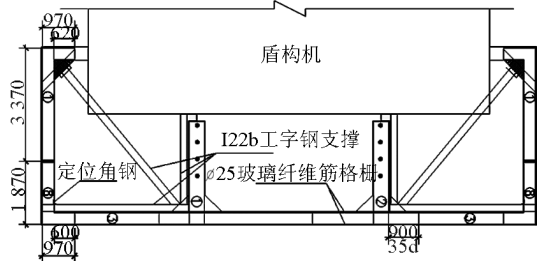


图 6 下部竖井支撑图(单位:mm)

Fig. 6 Supporting drawing of lower shaft(unit:mm)

为了保证竖井东边墙的稳定,架设钢支撑对撑,钢支撑临时支撑在盾构机刀盘上,待剪力墙回喷后拆除临时支撑。

3) 竖井封底:开挖完成后,在底板绑扎玻璃纤维筋,浇筑 C15 细石混凝土,厚度为 1.0 m。

4) 基底注浆:为保证竖井结构安全及减少刀盘转动过程中对土体的扰动,需对竖井底注浆加固。在底板浇筑时预留基底注浆钻孔的 PVC 管,采用地质钻机成孔,成孔直径为 $\phi 46$ mm 孔距为 0.8 m,钻孔深度为 9 m。采用后退式注浆。考虑竖井基底注浆扩散对刀盘的影响,所以基底注浆采用双液浆,在施工中采用双控(注浆压力和单孔注浆量)以控制注浆扩散范围,以防止浆液扩散进入刀盘区域。

5) 竖井井底隔离桩施工:减少刀盘转动对土体的扰动,在竖井井底盾构刀盘前方增设 3 排玻璃纤维筋隔离桩,桩长为 5 m (长度进入刀盘以下 1 m),桩孔横向孔距为 3 根/m,排距为 0.2 m,采用钻机成孔 $\phi 60$ mm,再人工插入 $\phi 32$ mm 玻璃纤维筋。

6) 竖井井底树根桩及剪力墙施工。竖井井底树根桩施工同隔离桩施工,同时将隔离桩玻璃纤维筋向上延伸接长锚入竖井中部的环框梁内,再回喷剪力墙,拆除支撑在刀盘上的临时支撑。

5 盾构试推配套施工

竖井施工完毕后,清理刀盘周边接触土体,旋转刀盘进行盾构改造,待刀盘改造完成后,先进行盾构空载试推,待盾构脱困后,将竖井回填。

盾构试推前,先采取措施减小盾壳与地层的摩阻力,在竖井内增加对撑。待盾构脱困后,分层拆

除型钢支撑并回填竖井,待回填至刀盘顶部圈梁时,施做一层混凝土盖板,然后将上部竖井回填至地面。

5.1 竖井内壁加撑

为减小盾构空推脱困时对竖井结构和周边环境的影响,保证施工安全。在盾构试推前,先将竖井壁两侧的斜撑换成平行于盾构的横撑,并在盾构周边东西方向增加型钢对撑。对撑采用 I22 工字钢,间距 1 000 mm。对撑西侧连接在格栅拱架结构上,东侧与 I22 工字钢围檩焊接在一起。

5.2 盾壳壁后注膨润土

通过中盾预留的注脂孔和超前钻孔以及同步注浆管压注膨润土浆,使膨润土浆液尽量充填于盾壳外侧空隙,以润滑盾壳,减小盾构推进的摩阻力。

5.3 盾构试推

试推前先转动刀盘,然后按推进油缸的位置,逐步分组梯度加力,油缸分组的原则是:底部 8 组油缸推力最大,中部 12 组油缸推力是底部油缸推力的 1/2,顶部 5 组油缸推力是底部油缸推力的 1/4,每一梯度控制在 1 000 t,使盾构逐渐挣脱地层束缚力空载脱困。

当达到最大推力盾构仍未脱困时,应立刻卸载,停 10~15 min 后再逐渐加力,达到最大推力后再卸载,如此反复几次。盾构脱困后,空载推进的前移距离为 30~50 mm。

6 竖井回填

6.1 竖井回填目的

盾构试掘进前,为防止泥浆及气体泄露,并减小地层沉降,保证竖井、周边建(构)筑物及地下管线安全,需要先将竖井回填密实,然后才能开始盾构掘进。

6.2 竖井下部型钢支撑拆除

先将竖井南北两侧的工字钢斜撑由下向上分层用气割割除,然后用风镐将竖井东侧内壁上安装的工字钢支撑从剪力墙中凿出,用气割割除。型钢拱架及支撑拆除分层高度为 1.0 m,待回填砂浆并达到初凝后才能拆除上一层。

6.3 刀盘前方竖井回填

竖井回填,在刀盘前面先用加气砖砌筑一道砖墙,砖墙厚 360 mm,用 M5 水泥砂浆砌筑。加气砖应紧贴刀盘分层砌筑,每层砌筑高度为 1.0 m。然后向砖墙和竖井壁之间的空间内填筑 M5 水泥砂

浆。水泥砂浆浇筑时添加速凝剂,以加快砂浆凝固时间。

6.4 浇筑钢筋混凝土盖板

盾构机进入竖井内 1.5 m,刀盘前方砖墙砌筑到圈梁底部后,盾构机上部砖墙到西侧井壁的空间必须先支模板,然后才能浇筑混凝土。

6.5 竖井上部回填夯实

混凝土盖板浇筑完毕后养护至 3 天设计强度,回填碴土。用电动葫芦和碴斗将碴土回填到竖井的三个空格内,边回填边夯实。一直回填至原设计的护城河护坡位置。

7 结语

竖井自开始施工以来,结构安全稳定,周边设施无异常变化,各项监测数值正常,盾构重新顺利推进穿过竖井及围护桩,截至发稿之日已累计掘进

完成 1 500 m 的改造或更换。

从自身竖井结构施工来看,施工方法及措施是可靠的,结构是安全的。在竖井施工过程中充分考虑了盾构后期推进的需要,满足盾构施工相关配套要求,工程得以顺利完成。

从竖井自身设置的条件来看,竖井的设计施工难度是很大的,如果在地面具备条件的情况下,应采取主动设置竖井或采取地表加固等手段进行盾构刀具的改造或更换。

参考文献

- [1] 张凤祥,朱合华,傅德明.盾构隧道[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 贺善宁.北京地区砂卵石地层超深地下连续墙的设计与施工[J].隧道建设,2007(4):60-64.
- [3] 王梦恕.地下工程浅埋暗挖技术通论[M].合肥:安徽教育出版社,2004.

The vertical shaft construction-technology of the cutter transformation of large-diameter shield

Wang Zhenfei, He Feng, He Shanning

(Beijing Underground Diameter Project Department, China Railway Tunnel Group, Beijing 100045, China)

[Abstract] Taking vertical shaft construction of the cutter transformation of the Beijing underground diameter shield for example, the design and construction of cutter structure transformation under complex boundary conditions for large-diameter shield shaft were discussed. Practice about how to ensure the structural safety of the shaft as well as well-coordinated shield construction was explored, and reliable solutions were provided successfully, which can provide reference for similar projects.

[Key words] large-diameter shield; transformation shaft; complex conditions