

# 北京地区山前冲洪积扇复杂地层盾构施工技术



王 珣 宁 锐

(中铁一局集团)

**摘 要:**北京地铁四号线20标盾构隧道位于永定河冲洪积扇,岩石不均匀出露,在掘进过程中遭遇水下、软硬不均岩石地层和全断面硬岩等不良地质情况,本文叙述了盾构隧道在此段的施工方法。

**关键词:**盾构 冲洪积扇 硬岩 掘进

## 0 前言

北京地铁四号线20标段位于北京市海淀区,包括颐和园至北宫门盾构区间、北宫门车站、北宫门至龙背村盾构区间,区间隧道共长3153.5m。盾构隧道位于永定河冲洪积扇古清河故道,基岩埋深相对较浅,地层比较复杂,基岩面起伏较大,岩体均一性较差,上覆人工杂填土,与昆明湖、清河及京密引水渠有水力联系。

隧道沿线下穿中央党校南校区人工湖、建筑年代久远的党校研究生楼、交通繁忙的颐和园路、中央党校北校区南大门,地下管线密集,路面交通繁忙,对盾构掘进施工要求高,施工风险相对较大。

## 1 盾构机选型

根据工程地质与水文地质条件、以及周围环境条件,选择德国海瑞克6.28复合式土压平衡盾构机。同时为穿越99m最高单轴抗压强度达到76.2MPa的中-微风化砾岩,盾构机设计破岩能力为82MPa。

设备性能主要参数见右表1。

选择的盾构机主要有如下特点:

(1) 采用面板式刀盘,可配备为全为齿刀或滚刀与齿刀结合,既可应对黏土层又可应对强度较高的砂岩和砾岩。

(2) 具有良好的防水性能,有完善的盾尾密封系统及注脂系统,可应对盾构机下穿人工湖和地下水丰

表1 盾构机主要技术性能

序号	性能参数	参数	备注
1	刀盘外径	6280mm	
2	最大推力	35923kN	
3	额定扭矩	4346N-m	
4	最大推进速度	60mm/min	
5	皮带输送机速度	400m <sup>3</sup> /h	
6	刀盘驱动型式	液压回转驱动	
7	导向监控系统	SLS-T	
8	转弯半径	300m	隧道曲线半径350m
9	总重量	430t	
10	总长	73m	
11	刀盘开口率	28%	闭式
12	主轴承寿命	10000h	
13	总功率	1034kW	

富的砂卵石及粉细砂地层。

(3) 配备了双液注浆系统,可以有效应对砂卵石地层和土石混合体地层。

(4) 具备EPB、Semi-Open及Open三种作业模式,以适应掘进地层的变化,在黏土、粉细砂、卵石地层用EPB模式,可以防止掌子面坍塌,在砂岩和砾岩地层应用Semi-Open及Open模式,可降低推力,降低能耗,提高效率。

## 2 盾构机复杂地层掘进技术

### 2.1 水下盾构隧道施工技术

中央党校人工湖最大深度2.7m,最小深度1.6m,湖底到隧道顶部的覆土厚度8m,从上到下0.5m~1.4m的粉土填土、5m厚的圆砾-砾砂、2.6m厚的粉质粘土,采用不排水掘进。

2.1.1 进入水下隧道段之前,对盾构机进行一次全面的维修保养,重点检查刀具、注浆系统,盾尾密封、油脂系统、前盾与中盾、中盾与盾尾铰接处密封的止水效果,使盾构机及配套系统的工作状态良好、防水效果良好。

2.1.2 控制好土仓压力和同步注浆压力,由于水压力的加大,土仓压力控制在0.1MPa以上,同步注浆压力控制在0.18MPa以上,注浆量控制在 $7\text{m}^3/\text{环}$ 以上,快速掘进通过,防止造成地层扰动过大,避免与上部湖水贯通。

2.1.3 掘进过程中注意观察螺旋出土口的出土情况,特别是注意观察水流情况。假如水流出现异常加大或喷涌时,应停止掘进,快速关闭盾构机螺旋输送机,停止掘进,注满盾尾油脂,撤离隧道里所有人员。及时向人工湖底回填粉质粘土、膨润土,回填厚度0.5m。然后空转刀盘,观察土压传感器稳定后开始出土,仔细观察螺旋输送机出土情况,继续掘进。

2.1.4 采用双液浆注浆,严格控制浆液的质量,采用快速凝固浆液,浆液凝固时间尽可能缩短。

### 2.2 软硬不均地层盾构施工技术

#### 2.2.1 刀盘的改进

软硬不均地质条件使盾构机刀具的配置成为一个复杂的问题。软土地段要用刮刀,而硬岩地段要用滚刀。因在软土地层滚刀基本不滚动,容易形成偏磨,要求保证小刮刀与边缘刮刀的完整性,在正面区、边缘区已有刮刀保护滚刀使滚刀减小偏磨,而在中心区域只有滚刀没有刮刀,这样就会加剧中心滚刀的偏磨,且极易形成泥饼。为减小滚刀的偏磨和泥饼的形成,在中心区域增设8把异形羊角刀具。

#### 2.2.2 掘进要点

(1) 在本段掘进,推力控制在12000kN之内,刀盘转速在 $1.0\text{r}/\text{min}$ 以上,掘进速度控制在 $15\text{mm}/\text{rpm}$ 以内,以不超过 $20\text{mm}/\text{min}$ 为宜。若掘进速度快将导致刀盘扭矩增大、油温升高而跳闸停机。

(2) 由于掘进速度较慢,容易引起围岩扰动。掘进时,必须严密监测地面沉降情况,一旦超标,及时

注浆处理。

(3) 注意观察土压仓内情况,准确判断刀具磨损情况,以便及时采取措施,防止伤及刀体与面板。

(4) 连续监测渣土温度,渣土温过高时,应对刀盘采取加水、加泡沫等降温措施。

#### 2.2.3 渣土的改良

在刀盘面板上设计有8处泡沫及膨润土注射装置,土仓的仓板上设计有搅拌翼,同时还有4个膨润土和泡沫注射口,在螺旋输送机的筒壁上有8个膨润土和泡沫注射口。

泡沫喷嘴在使用过程中,容易发生堵塞现象。为避免此种现象发生,对泡沫喷嘴采取环形保护,改变“土流”流向,保护喷嘴部位不受土体堵塞,使泡沫能够加入土体。

在软硬不匀地层掘进过程中,针对砂卵石地层及风化石灰岩地层,需要加入泡沫剂、膨润土泥浆改良土体,使渣土排出顺利,同时起到保护刀具,降低温度的作用。

### 2.3 全断面硬岩盾构施工技术

盾构掘进至颐和园-北宫门区间盾构左线第598环和第632环处发现硬岩,刀具磨损严重。现场开仓取样检测,岩体抗压强度平均值为124.4MPa,为极硬岩,石英含量高。

在硬岩段掘进时,采用敞开模式掘进,以降低推力(可减小至4500kN),加快推进速度。由于岩层裂隙节理发育,注浆量将比软土中显著增大。此时采用水泥浆,用注浆压力及注浆量两个指标来控制注浆效果,防止出现管片上浮及错台。同时,要充分利用泡沫注入系统,注入泡沫及水,润滑刀具,降低渣温,减少刀具摩擦。

### 2.4 小曲线半径盾构隧道施工技术

在北宫门至龙背村接收井区间存在一段半径350m的小半径曲线,并且位于始发段。

#### 2.4.1 曲线掘进

掘进时,首先保证盾构机良好的掘进姿态,出现偏差时勤纠偏,保证管片能够居中拼装,管片周围有足够的建筑空隙使管片能拼装成正圆。

#### 2.4.2 管片拼装

拼装前做好盾壳与管片各面的清理工作,防止杂物夹入管片之间。环面的偏差及时进行纠正,使拼装完成的管片中心线与设计轴线误差减少,管片始终能够在盾尾内居中拼装。每环管片安装结束后要及时行

紧各个方向的螺栓,拼好的一环管片从盾尾脱出时,用真圆器对管片进行整圆并第二次拧紧螺栓,离开盾尾5~8环后第三次复紧螺栓。

### 3 对于复杂地层盾构施工的改进建议

#### 3.1 盾构机选型

3.1.1 在盾构选型时,必须对地质情况有一个全面准确地了解,特别是岩石最大单轴抗压强度、硬岩段长度、是否水下隧道、地下水情况有充分的了解,在选型时留有余地,可以兼顾本地区其他项目施工。

3.1.2 刀盘的装备扭矩也与盾构选型有关,根据盾构装备扭矩 $T=aD^3$ ( $D$ 为盾构外径, $a$ 为扭矩系数,对泥水盾构 $a=9\sim 15$ ;土压盾构 $a=8\sim 23$ ),本机的 $a$ 值为17.5,在掘进过程中,经常因为扭矩过大造成停机,针对北京的复杂地层,扭矩系数可以进一步加大,保证切削能力。

#### 3.2 地质勘探

目前地质勘探孔位间隔较大,测线远离线路中心,反映的地层情况与实际情况偏差较大,不足以指导复杂地层盾构施工。在复杂地层掘进前,对地质情况进行详细的补勘是十分必要的。只有通过地层的充分了解,才能编制详尽的掘进技术指导书,以便指挥者下达正确的掘进指令。

#### 参考文献

- [1] 乐贵平. 浅谈北京地区地铁隧道施工用盾构机选型[J]. 现代隧道技术. 2003,40(3): 14~30
- [2] 宋克志、王梦恕. 浅谈隧道施工盾构机的选型[J]. 铁道建筑. 2004,8:39~41

(上接第223页)

### 8 结束语

1、对于在浅覆土及饱和的粉土、粉质粘土(局部砂层)中推进盾构,由于土体强度低,自稳性差,地层位移量增大,控制地表沉降难度大,而且机场管理部门要求的地表控制值非常严格,在施工过程中,通过优化盾构掘进参数,采取土压动态控制技术、二次注浆技术及深孔劈裂注浆技术,把沉降值控制在目标

### 3.3 量测监控

为保证隧道施工安全,尤其要加强空洞及松散土体处、刀盘前方、盾尾处、重大风险源的监控量测,必要时,加密量测频率,量测结果及时反馈,出现异常情况,及时采取相应措施。

### 3.4 风险预防

对水下、复杂地层、重要部位的盾构掘进,要制定相应的风险预防措施及预案,准备好抢险人员及物资,发生险情,按照预案及时处理,防止险情扩大。

### 3.5 配套设备能力

根据复杂地层掘进的实际情况,对配套设备能力应综合考虑。例如本项目龙门吊起重能力为40t,当软土地层掘进时,可以满足要求;掘进至硬岩时,由于碴土密度增大,起重能力不足。

### 4 结语

山前冲洪积扇地层是一种复杂地层,由于城市地铁浅埋的特点,刚好遭遇到岩石的不均匀出露,给隧道掘进造成很大的困难。对于复杂地层的盾构施工必须予以高度重视,在施工之前通过详勘,对地层充分了解与认识,制定合适的掘进参数与技术措施,加强监控量测,是保证盾构顺利掘进的关键。

值以内,保证了盾构安全、快速地通过。

2、由于机场停机坪的特殊性,为确保飞机滑行及停放的安全,加强施工监测,监测数据及时反馈作业面,保证了盾构通过期间停机坪的安全使用。

3、盾构隧道下穿机场停机坪施工在国内是第一次,对以后类似工程的设计与施工具有重要的参考意义。

#### 参考文献

- [1] 滕继立,葛修润:《软土地区盾构隧道施工沉降槽的特征分析》.《工业建筑》,2005.1
- [2] 陈仲颐:《土力学》,北京,清华大学出版社,1994
- [3] 竺维彬,鞠世建等著:《复合地层中的盾构施工技术》,北京,中国科学技术出版社
- [4] 叶康慨,王延民:《土压平衡盾构施工土压力的确定》.《隧道建设》,2003.05
- [5] 于宝疆.《盾构掘进地层变形分析与控制》.《市政技术》,2006.11