

北京地区山前冲洪积扇复杂地层盾构施工技术

邹大鹏 王珣

(中铁一局集团有限公司,710054,西安//第一作者,工程师)

摘要 北京地铁4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极硬岩等不良地质情况。介绍了盾构机在该复杂地层的施工方法及施工中的注意事项。对于复杂地层的盾构施工提出了建议:施工前应详细勘察地质情况,制定合适的掘进参数;做好设备的维护保养,对刀具积极管理;对地面加强监控量测等。

关键词 盾构(隧道);施工技术;冲洪积扇;硬岩

中图分类号 U 455.43

Shield Construction Technique on the Complicated Stratum of Piedmont Alluvial-pluvial Fan in Beijing

Zou Dapeng, Wang Xun

Abstract The No. 20 contact of shielding tunnel in Beijing Metro Line 4 project is located in Yongding River piedmont alluvial-pluvial fan, where the outcrop of rock is discontinuous and uneven. According to this complicated geological condition, this paper introduces a new shield construction technique in the tunnel, and proposes some suggestions for the tunneling like a minute survey before the construction, the adoption of suitable tunneling parameters, the improvement of equipment maintenance and the strict control of the monitoring volume, etc.

Key words shield; construction technique; piedmont alluvial-pluvial fan; hard rock

First-author's address China Railway No. 1 Engineering Group Co., Ltd., 710054, Xi'an, China

北京地铁4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3 153.5 m,位于永定河冲洪积扇古清河故道。盾构机在此处需要通过基岩埋深相对较浅的地段,且所通过地层比较复杂,基岩面起伏较大,岩体均一性较差,上覆人工杂填土。地层与颐和园昆明湖、清河及京密引水渠有水力联系。盾构隧道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。该地段地下管线密集,路面交通繁忙,对盾构机掘进施工要求高,施工风险相对较大。

1 盾构机选型

根据招标文件、初步设计图册和地质勘察报告,对地质断面进行了认真分析,选用了德国海瑞克6.28复合式土压平衡盾构机。该型盾构机具有广泛的适应性和优良的可靠性,在世界上类似工程领域享有丰富的施工经验和业绩。本标段盾构区间工程地质比较复杂,同时勘察报告中显示在北龙区间还要穿越99 m的中-微风化砾岩,其最高单轴抗压强度达到76.2 MPa。为此,针对该段不良地质,与海瑞克公司的技术专家进行了若干次技术联络,确定了设备的破岩参数。用于本标段盾构机(设备编号S285)的设计破岩能力为82 MPa。其设备性能主要参数见表1。

表1 盾构机的主要参数

| 参数名称 | 参数值 |
|-----------------------------|--------|
| 刀盘外径/mm | 6 280 |
| 最大推力/kN | 35 923 |
| 额定扭矩/kN·m | 4 346 |
| 最大推进速度/(mm/min) | 60 |
| 皮带输送机能力/(m ³ /h) | 400 |
| 刀盘驱动型式 | 液压回转驱动 |
| 导向监控系统 | SLS-T |
| 转弯半径/m | 300 |
| 总重量/t | 430 |
| 总长/m | 73 |
| 刀盘开口率/% | 28(闭式) |
| 主轴承寿命/h | 10 000 |
| 总功率/kW | 1 034 |

该盾构机具有如下特点:

(1)采用面板式刀盘,可配备为全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富的砂卵石及粉细砂地层。

(3) 配备了双液注浆系统,可有效应对砂卵石地层和土石混合体地层。

(4) 具备土压平衡式(EPB)、半敞开式(Semi-Open)及敞开式(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 盾构机在软土地层的快速掘进

2.1 软土快速掘进技术

软土的快速掘进主要取决于运输组织。软土开挖可保持 60 mm/min 高速掘进,开挖的绝对时间约20 min。管片拼装的绝对时间约30 min,列车运行时间约40 min。列车运输利用管片拼装的时间进行;如果运输线路不长,可利用管片拼装的时间完成出渣、装浆和运输管片的作业。这样,掘进速度可达到1环/h,达到快速掘进的目的。

在掘进时,要保证后配套系统的运转正常。常见的故障有以下几种:

(1) 列车掉道。解决的办法是加强线路养护,及时清理管片上的泥浆,渣车转向架和车轮及时检修,保证良好的工作状态。

(2) 循环水系统故障,工作机构温度超高,导致跳闸停机。要及时清洗循环水系统,保证有效降温。

(3) 皮带故障。应加强检修,及时检查滚轮,及时更换故障滚轮,修补受损皮带,损坏严重时及时更换。

(4) 龙门吊机故障,渣土不能及时吊出。需对龙门吊及时检修,保证其工作正常。

(5) 浆车故障,浆液凝固,导致出浆不畅,搅拌受阻。超过40 min后,浆液很难搅拌,需要及时清理,缩短运输时间,或加入膨润土改良浆液性能。

2.2 地面沉降的控制

在施工前,对隧道通过地段使用地质雷达进行空洞探测,对地下空洞和松散土体进行详细的了解,确定其准确位置,对其进行预注浆加固。

在掘进过程中,加强对刀盘前方、盾尾后方、出土量异常处(过多或过少)的监控量测。对发生异常

沉降处,采用二次注浆及时处理,直至其沉降趋稳。实践证明,及时进行二次注浆可以控制绝大多数地面异常沉降。

3 盾构机在复杂地层的掘进

3.1 水下盾构隧道施工技术

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

(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、注脂系统,以及前盾与中盾、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) 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0.1 MPa以上,同步注浆压力控制在0.18 MPa以上,注浆量控制在7 m³/环以上。掘进机快速掘进通过,防止造成地层扰动过大,避免与上部湖水贯通。

(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。当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器,停止掘进,注满盾尾油脂,撤离隧道内所有人员,并及时向人工湖底回填粉质黏土、膨润土(回填厚度为0.5 m);然后空转刀盘,观察土压传感器稳定后开始出土,仔细观察螺旋输送器出土情况,继续掘进。本段掘进中未出现此异常情况。

(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。

3.2 软硬不均地层盾构施工技术

3.2.1 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。此段在始发时全部安装滚刀。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,这样就加剧了中心滚刀的偏磨,在中心区域极易形成泥饼。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。

3.2.2 掘进要点

(1) 在本段掘进,推力控制在12 000 kN之内,

刀盘转速在1.0 r/min以上，贯入度控制在15 mm/(r/min)以内；应采用较低的推进速度，以不超过20 mm/min为宜。推进速度快将导致扭矩增大、油温升高而导致跳闸停机。

(2) 由于掘进速度较慢，刀盘在同一里程反复切削地层，容易引起围岩扰动。为此，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) 注意观察渣仓内情况，准确判断刀具磨损情况，注意保护刀具，防止伤及刀箱本体及面板。

(4) 连续监测渣土温度。渣温过高时，应对刀盘采取加水、加泡沫等降温措施。

3.2.3 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。为避免此种现象发生，根据丁坝挑流的原理，对泡沫喷嘴采用环形保护，改变“水流”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、膨润土等改良土体，以保护刀具、降低温度，使渣土排出顺利。在盾构机掘进期间，要不断向工作面喷注泡沫、膨润土和冷却水，以冷却和润滑滚刀。泡沫能对滚刀起到很好的润滑作用，并能在一定程度上降低开挖的岩渣和滚刀温度，尽量减小刀具的磨损。刀盘前方的泡沫注射管很容易被开挖下来的岩屑堵塞。因此在刀具检查和更换期间，要及时检查和清通泡沫注射管路，确保泡沫系统的正常工作。

3.3 全断面硬岩盾构施工技术

盾构机掘进至颐和园——北宫门区间盾构左线第598环(K26+073.75)和第632环(K26+114.55)处发现硬岩，刀具磨损严重。经现场开仓取样，并经实验室检测，岩体抗压强度平均值为124.4 MPa，石英含量高，为极硬岩。

在硬岩掘进前，应对硬岩段地层进行加密补探，以探明全断面硬岩出现的准确位置，并选择合适的掘进模式转变时机。在硬岩掘进时，采用敞开模式掘进，由于不用克服土仓压力，推力显著减小(可减小至4 500 kN)。同时，应注意对刀具进行及时检查，对磨损超限的刀具及时更换，防止伤及刀盘。

在硬岩段，由于岩层裂隙节理发育，注浆量将比软土中显著增大。注浆时采用水泥浆，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。掘进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。

3.4 小曲线半径盾构隧道施工技术

本标段在北宫门至龙背村接收井区间存在一段半径350 m的小半径曲线，并且位于始发段，在前缓和曲线段进洞。

3.4.1 曲线掘进

掘进时，首先保证盾构机良好的掘进姿态，推进时勤纠偏。采用油缸分组顶进，使盾构的轴线与设计轴线的偏差尽量减少，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。

3.4.2 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拧紧各个方向的螺栓。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。

4 对于复杂地层盾构施工的建议

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

(2) 刀盘的装备扭矩也与盾构选型有关。盾构装备扭矩

$$T = \alpha D^3$$

式中：

D ——盾构外径；

α ——扭矩系数，泥水盾构的 $\alpha = 9 \sim 15$ ；土压盾构的 $\alpha = 8 \sim 23$ ；本机的 α 值为17.5。

本盾构机在掘进过程中经常因为扭矩过大造成停机。因此针对北京的复杂地层，本盾构的扭矩系数可以进一步加大，以保证切削能力。

(3) 掘进之前，对地质情况进行详细的补勘是十分必要的。由于提供的地质资料孔位间隔较大，测线远离线路中心，反映的地层情况并不是太准确，因此不足以指导复杂地层的盾构施工。为此，在复杂地层掘进前，必须对盾构机通过的地层有充分的了解，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。

(4) 加强监控量测工作,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;量测结果应及时反馈,出现异常情况及时采取相应措施。

(5) 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,发生险情时按照预案及时处理,防止险情扩大。

(6) 根据复杂地层掘进的实际情况,对后配套系统的配套性进行优化。例如,本项目龙门吊起重量为 40 t,当掘进软土时可以满足要求,但当掘进至硬岩时,由于密度增大,碴车装满时造成起吊超重。因此,龙门吊设计时应留有余地。

5 结语

由于城市地铁浅埋的特点,刚好遇到山前冲洪

积扇地层岩石的不均匀出露,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,充分了解及认识所通过地层的地质情况,制定合适的掘进参数;配备坚决执行掘进指令的操作人员,做好设备的维护保养,对刀具进行积极管理;对地面加强监控量测,是可以保证盾构机顺利掘进的。

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.
- [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.
- [3] 尤显明,杨书江.短距离硬岩及上软下硬地层盾构法施工技术[J].城市轨道交通研究,2007(5):32.

(收稿日期:2008-03-25)

上海市轨道交通 8 个项目世博会前建成试运营

上海轨道交通建设指挥部昨天宣布,计划于 2010 年世博会前完成的上海轨道交通 400 km 网络中的 7 号线、8 号线二期、9 号线二期、11 号线北段、2 号线东延伸、7 号线北延伸、10 号线和 13 号线世博段等 8 个在建工程项目已全面进入施工高潮,涉及的 116 个车站已全部开工。

据介绍,截至今年 6 月底,8 个在建项目的车站封顶累计已完成 60 座,占总数的 52%,盾构掘进累计完成单线 142 km,占总数的 57%。上半年,部分新线已进入铺轨阶段,铺轨已完成单线 23 km,200 多个单项管线搬迁任务也按计划完成。下半年,包括 7 号线、8 号线二期、9 号线二期、11 号线北段工程在内的 4 个在建项目计划于年底前率先实现土建结构贯通,并将陆续进入铺轨、触网安装、车站装修施工阶段。2 号线东延伸、7 号线北延伸、10 号线、13 号线世博段等 4 个在建工程也将抓紧施工建设。

2 号线东延伸段全线位于浦东新区,由原来的 2 号线龙阳路站向东延伸至浦东国际机场,线路全长 29.6 km,共设 11 座车站,建成后将成为连接虹桥机场和浦东机场间的快速直达通道。据施工人员介绍,从虹桥机场到浦东机场的线路总长在 60 km 左右。考虑到不同路段的客流密集度不一样,建设方已在浦东的广兰路站预留了折返线路,未来运营方可以采取“分段运营”方式。即将列车分为全线运营和区间运营两种,与 1 号线的“大小交路”运营方式相似。2 号线东延伸段将于明年上半年实现结构贯通,2010 年世博会前投入试运营。

(摘自 2008 年 7 月 16 日《解放日报》,记者陶健、黄刚、董晓蕾报道)



北京地铁 5 号线