

泥水平衡盾构在粘土层中的掘进技术

李勇成, 张志鹏, 陈绍友

(中国石油天然气管道建设项目经理部, 北京 100101)

摘要:以广东 LNG 珠江南岸盾构中遇到的复杂地层掘进情况为例, 研究探讨了泥水平衡盾构机在粘土层中掘进问题, 参照实际情况从不同环节给出解决措施, 有效地提高了该底层下的作业速度。

关键词:泥水平衡; 盾构; 粘土层

中图分类号: U455.43; TE832 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)02-0075-02

1 概述

珠江过江管廊盾构工程是广东 LNG 项目输气干线工程的“卡脖子”工程。工程采用“四井双盾”方式穿越珠江主航道及菠萝庙水道, 两条隧道分别自南北相向穿越到达江心岛。其中主航道隧道全长 1480 m, 隧道内径 3.08 m, 采用德国海瑞克公司 (Herrenknecht) 制造的 AVND3080AH 型泥水气压平衡盾构机。

广州素有“世界地质博物馆”之称, 地质条件复杂多变, 粉砂、不同程度的风化岩、泥岩以及混合地层交错出现。在盾构始发不久, 就遇到了掘进断面上半部分为粗砂和砾砂, 而下部分为硬塑性粘土。砂层结构松散, 自稳性差, 透水性强, 极易发生超挖和欠挖而导致坍塌。而粘土层结构密实, 自稳性强, 遇水变粘, 受挤压变硬, 难以形成大块切削且易粘附在刀盘内形成泥饼, 堵塞进渣孔和刀孔, 造成刀具偏磨。这两种地层同时出现在开挖断面上, 造成施工上的多种技术参数互相矛盾, 增加了施工难度和风险。

2 盾构机刀具

AVND3080AH 型盾构机刀盘刀具布局见图 1。其中 1~4 为中心滚刀, 5~10 为双滚刀。这种刀具配置并不适合粘土、砾砂混合地层: 开孔率太小, 并且滚刀间的缝隙比较小, 容易造成堵塞, 刀具不能自转, 容易产生偏磨, 进而损坏刀体; 另外由于粘土中含砂量高, 刀孔堵塞后, 刀具在自转过程中被包裹在刀圈周围的泥砂磨损, 而且磨损速度快, 特别是刀圈的两侧, 越磨越薄, 最终导致刀具完全磨损 (见图 2)。

经过调研, 我们决定在粘土地层中掘进采用线型齿刀替换双滚刀, 这种线型齿刀自身不转动, 只能

作微小的摆动, 有效地防止了因刀具自转而产生的磨损, 又能有效的切割软土, 中心滚刀亦采用线型齿刀代替, 如图 3 所示。

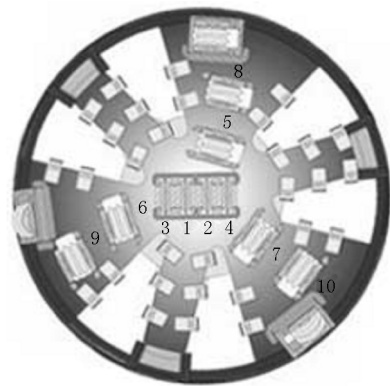
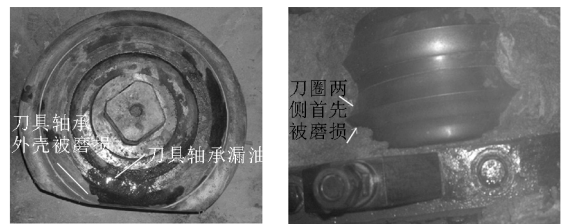


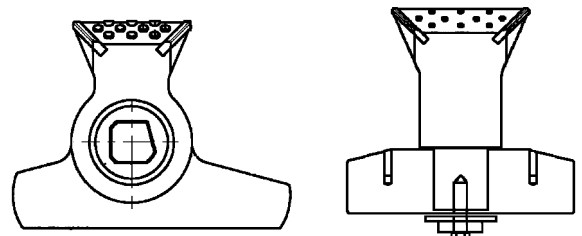
图 1 AVND3080AH 型盾构机刀盘布局示意图



滚刀发生偏磨

滚刀均匀偏磨

图 2 滚刀磨损情况



替换滚刀的线型齿刀

中心线型齿刀

图 3 线型齿刀示意图

收稿日期: 2007-12-11

作者简介: 李勇成 (1972-), 男 (满族), 河北廊坊人, 中国石油天然气管道建设项目经理部高级工程师, 工业与民用建筑专业, 从事项目管理工 作, 北京市朝阳区安立路 80 号马哥罗大厦 1808, guandaaju@163.com。

采用线型齿刀能有效切削掘进面,并且增加了刀盘的开口率,防止在刀盘中心部位形成泥饼,减少刀盘被堵的几率,能明显提高掘进速度。针对本盾构机的刀盘,对中心刀 1~4,双滚刀 5~10 都采用线型齿刀替换,保留外圈的保径滚刀。

3 泥浆喷嘴

在粘土层中掘进,要防止粘土堵塞刀孔和刀盘,则需及时地把切削下来的渣料排出,防止因排出不及时而形成泥饼,这就需要泥浆在刀盘里产生环流,以便及时有效地排出渣料。但 M606 型盾构设备没有泥浆喷嘴直接进入刀盘前面,针对这个问题,经过和海瑞克公司技术人员磋商,决定增加两路 3 in ($\varnothing 76.2$ mm) 泥浆管进入刀盘前,如图 4 所示。但经过一段时间试验,发现效果并不理想,由于管径所限,进入刀盘前的泥浆非常有限,而且进浆压力比开挖面压力只高 1~2 bar (0.1~0.2 MPa),起不到冲洗刀盘的效果,设备空间又不允许加装增压泵,因此无法根本解决问题。

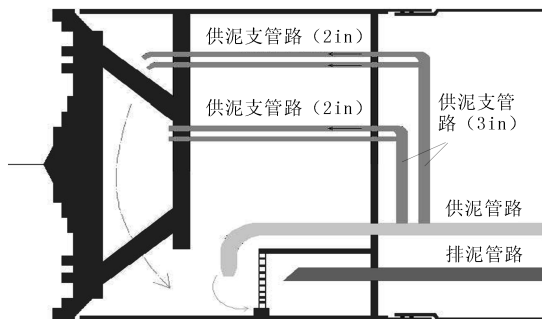


图 4 泥浆管路示意图

之后我们将原供泥管路的左右 2 个进浆喷嘴由向前方前后摆动改为向内侧前后摆动,对泥水舱形成更大搅动,有效解决了泥水舱内粘泥的排出问题,使得刀盘前与泥水舱形成压差,利于刀盘内的泥渣通过开口进入泥水舱,经过喷嘴的搅动被排浆泵抽出。

4 泥水处理系统

本设备的泥水分离系统为二级泥水处理,采用 ZX-500 型泥浆处理系统对泥水进行分离,其最大处理能力 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。处理的过程为:由排浆管排出的泥浆进入 ZX-500 型泥浆处理系统,利用震动分离筛将泥块、碎石进行首次分离,由振动筛分离出来的泥浆,进入泥水分离旋流器内,进行循环分离,分离粒径 $45 \mu\text{m}$ 以上的砂土,分离器分离出来的泥浆,进入泥浆池中进行循环使用。

由于粘土中的含砂量特别大,经过泥水分离设备分离后含砂量仍然达到 1% 左右,对泥浆的密度影响比较大。另外泥浆中的砂对刀具的磨损特别严重,在掘进到 100 m 的时候,旋流器就被磨穿了,内衬材料被磨损变形,直接影响旋流器的分离效果。对此我们加工改造了沉砂嘴,口径由原来的 25 mm 增加到 35 mm,以增加旋流器的分离效果。另外由于含砂量大,对旋流器的磨损也特别严重,影响泥浆的分离效果,我们调研了旋流器生产厂家,经过双方磋商后,对旋流器内衬选材进行调整,由原来的聚氨酯内衬改为新型的 KM 复合材料,并把沉砂嘴材质由原来的聚氨酯材料更换成高铝陶瓷材料,增加旋流器的抗磨性能,提高泥浆的分离效果。

采用二级处理的主要目的是控制泥浆的粘度和含砂率,控制泥浆的密度,防止过多的粘土、砂粒溶入泥浆中,降低泥浆的密度,减缓刀具的磨损程度,提高泥浆的使用周期,减少废浆的排放。

5 掘进参数的控制

切削下来的粘土与泥浆、地下水混合形成的泥团很容易糊在整个刀盘上,使滚刀无法转动,并导致推力上升、速度下降,甚至造成刀盘频繁被卡,极大的影响盾构机切削能力,降低掘进效率。因此盾构司机在操作中应注意以下问题。

(1) 在掘进过程中,一定要加强对设备参数的监测,经常切换刀盘转向,并切换泥浆喷嘴,保证泥浆对整个刀盘面都进行有效的冲洗。掘进完成后继续进行泥浆循环,借此对刀盘进行冲洗,尽量排空刀盘里的土体,并且每间隔 2~3 环,利用高压清洗管和高压水泵对刀盘面进行冲洗。

(2) 加大进排泥浆流量,泥浆进排量控制在 $380 \sim 400 \text{ m}^3/\text{h}$,以便清洗刀盘和及时将渣料排出,尽量避免刀具被粘泥糊住,发生偏磨,进而磨损刀盘。

(3) 掘进过程中,严格控制泥浆的各种性能指标,包括粘度、切力、密度和析水率等。根据多次试验,泥浆性能指标定为:密度 $1.05 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$;粘度 $35 \sim 45 \text{ s}$ (马氏漏斗粘度);30 min 滤失水量 $< 15 \text{ mL}$;屈服值 $15 \sim 25 \text{ Pa}$ 。最好使用低粘、低切、低密度、低失水的泥浆,并添加易钻 (Hydraul-EZ) 或万用王 (Insta-vis Plus) 等添加剂 (每 1 kL 添加易钻 $12 \sim 18 \text{ kg}$ 或万用王 $1.25 \sim 2.5 \text{ L}$),来抑制粘土水化,减小摩阻,降低刀盘扭矩。

(4) 掘进要密切注意出砂量的变化,掘进速度

(下转第 71 页)

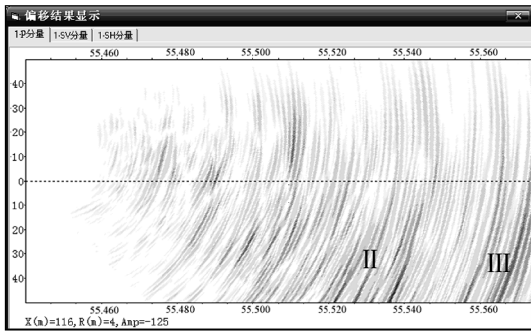


图 5 深度偏移剖面(P波)

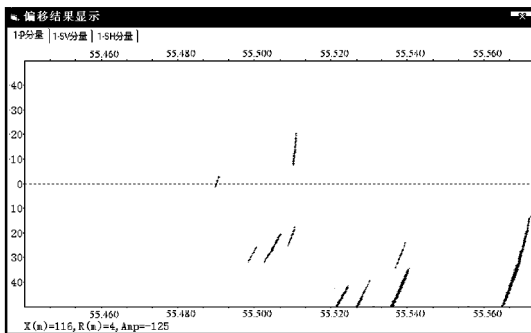


图 6 反射层分布图(P波)

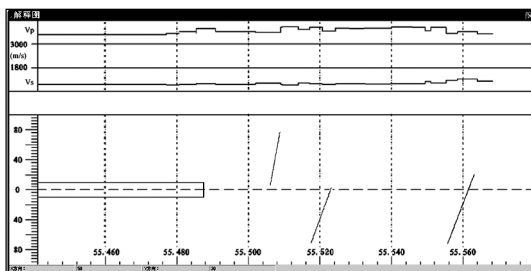


图 7 综合解译俯视图

比较大,其影响带比较宽。

经过开挖验证,ZK55 + 520 ~ 540 整个施工段内岩体完整性稍差,并且 ZK55 + 558 为 F3 断层,断层

(上接第 76 页)

要根据出砂量的变化来调整,防止出现超挖和欠挖。如果开挖方量超过盾构机掘进过程中实际应开挖量,就会出现超挖,引起地层沉降;相反,如果开挖方量少于盾构机掘进过程中实际应开挖的量,就会出现欠挖,将会引起刀盘堵塞或地层隆起。因此,只有控制好出砂量,才能避免超挖和欠挖。

(5)当发现刀盘扭矩和推力增加、掘进速度下降明显时,应停止掘进用泥浆或高压水清洗刀盘。采取以上措施仍无法解决问题时,立即停止掘进,进舱检查刀盘的情况,如堵塞十分严重时,应采取人工

带宽度约 20 m,与预报结果十分吻合。

4 结论

由于隧道超预报施工特点和超前探测施工环境的不同,利用 Kirchhoff 深度偏移可以解译出结构面在洞轴线的出现位置,对于延续性好的不良地质体的预报精度较高,是一种较好的处理技术。但是受反射波法超前探测施工方法和环境的限制,同时由于地质体本身的复杂性,要准确确定地质体类型还需要配以其他物探方法相互印证,以进一步提高地质预报的预报精度。

参考文献:

- [1] 牛建军. 地震波隧道施工地质超前探查系统研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [2] Bleistein N. On the imaging of reflectors in the earth[J]. Geophysics 1987, 52: 931 - 942.
- [3] Stolt RH. Migration by Fourier transform[J]. Geophysics, 1978, 43(1): 23 - 48
- [4] Gazdag J. Wave equation migration with the phase - shift method [J]. Geophysics, 1978, 43: 1342 - 1351.
- [5] Stoffa P L, Fokkema J T, De Luna Freire R M, Kessinger WP. Split - step Fourier migration [J]. Geophysics, 1990, 55(4): 410 - 421.
- [6] Ristow D, Ruhl T. Fourier finite - difference migration [J]. Geophysics, 1994, 59(12): 1882 - 1893.
- [7] 邱东玲, 杨桂朋, 周辉. 补偿吸收衰减的地质雷达数据叠前偏移方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 154 - 163.
- [8] Gilles Bellefleur, Christof Muller, David Snyder, and Larry Matthews. Downhole seismic imaging of a massive sulfide orebody with mode - converted waves, Halfmile Lake, New Brunswick, Canada [J]. Geophysics, 2004, 69(2): 318 - 329.
- [9] 柳楣, 马国东, 王文常. 叠前深度偏移技术[J]. 中国煤田地质, 1998, 10(1): 53 - 55.
- [10] 周辉, 韩波, 邱东玲, 裴建新, 王兆磊. 地质雷达资料的偏移速度分析和叠前偏移[J], 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(2): 249 - 256.

方式进行清理,之后才能继续掘进。

6 结语

通过对盾构机进行改造并在掘进中采取相应的技术措施之后,掘进速率有了明显提升,最终平稳渡过了粘土层和砂层与粘土层的复合地层,目前广东 LNG 珠江盾构隧道已经完成管路安装并投入使用。

参考文献:

- [1] 张凤祥, 傅德明, 杨国祥, 等. 盾构隧道施工手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.