

超大直径泥水盾构穿堤施工技术

张 林

(中交隧道工程局有限公司,北京 100088)

摘要:盾构掘进施工过程中,由于开挖破坏了地层原始应力状态,地层产生应力增量,特别是剪应力增量,引起地层移动导致不同程度的地面沉降。超大直径泥水平衡盾构掘进施工参数控制不当极易造成地面沉降差异过大,影响地面建(构)筑物安全和使用。对南京纬三路过江通道N线大直径泥水平衡盾构穿堤掘进施工进行总结,为类似大直径泥水平衡盾构穿越地面建筑物施工提供借鉴。

关键词:盾构;施工范围;掘进参数;泥浆制备;施工监测;二次注浆

中图分类号:U455.43 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)06-0080-05

Dyke-crossing Construction by Slurry Shield with Super Large Diameter/ZHANG Lin (CCCC Tunnel Engineering Bureau Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: The original stress state of the formation is destroyed in the shield tunneling construction. Formation stress increment, especially shear stress increment, will cause ground movement and result in ground settlement in different degree. If construction parameters are not in proper control in super large diameter slurry shield tunneling, too serious ground settlement will affect the safety and usage of ground construction. The summarization is made on a dyke-crossing construction project by large diameter slurry balance shield in Nanjing, which can be taken as reference to the similar construction.

Key words: shield; construction range; tunneling parameter; slurry preparation; construction monitoring; secondary grouting

0 前言

盾构掘进施工过程中,由于开挖破坏地层原始应力状态产生应力增量,特别是剪应力增量,引起地层移动导致不同程度的地面沉降。大直径泥水平衡盾构在穿越沉降敏感建筑物时,盾构掘进施工参数控制不当,极易造成地层变形,导致建筑物基础承载力下降。当地表沉降差异过大破坏建筑物基础时,将导致附加的抢险修复费用,直接影响盾构施工质量和整个盾构工程的工期和成本。本文结合南京市纬三路过江通道N线超大直径盾构隧道穿越江北长江大堤的施工,分析总结了施工参数控制要点。

1 工程概况

南京市纬三路过江通道隧道下穿长江,设计为双层双向八车道,隧道在江中采用左右线分离两管盾构。盾构施工采用直径为14.93 m泥水加压平衡式盾构机,刀盘开挖直径为15.01 m。纬三路N线盾构从江北始发,下穿长江前穿越江北长江大堤,江北长江大堤构造如图1所示。

盾构穿越江北长江大堤施工时主要受松散岩类空隙承压水影响,盾构隧道平均埋深为45.7 m。大堤范围内上覆土层主要为淤泥质土、粘土和粉细砂

层,盾构主要穿越粉细砂、砾砂、圆砾和卵石层。

2 盾构穿堤范围及沉降因素分析确定

2.1 盾构穿堤施工范围确定

盾构机刀盘到达前和盾构盾尾脱出后,地层仍受到盾构掘进影响,发生沉降;盾构埋深增加,地表影响范围增大。下穿长江大堤阶段,刀盘前端影响范围设定为20 m;盾尾通过后影响范围设定为30 m。

地表变化的发展过程可以分为5个阶段:

(1)盾构到达前,地表的变形取决于掘进过程中泥水压力和干砂量的控制,当泥水压力较大而出干砂量较少时,地表呈隆起状态;当设定泥水压力小而干砂量大时,地表呈沉降状态。

(2)盾构到达时,地表变形呈阶段性的发展,变化速率增大,是地表隆陷的峰值段。

(3)盾构通过时,一般情况地表会呈沉降变化;若注浆及时饱满,充填率超过200%时,地表会隆起。

(4)盾尾通过时,最易发生突沉,突沉量可达30 mm,若注浆及时饱满,可控制突沉,甚至上隆,但随着浆液的固结收缩而逐渐下沉。

收稿日期:2014-03-03;修回日期:2014-06-10

作者简介:张林(1973-),男(汉族),四川南充人,中交隧道工程局有限公司项目经理,工程师,土木工程专业,从事大型隧道、轨道交通及市政工程施工技术管理与科研工作,江苏省南京市鼓楼区定淮门大街海德卫城北门中交隧道局纬三路项目部(210036),672522890@qq.com。

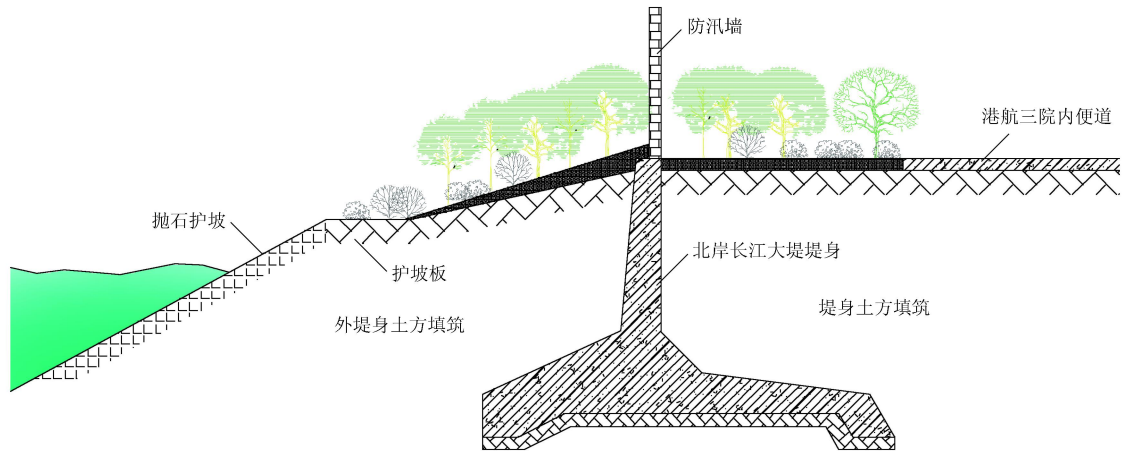


图1 江北长江大堤构造示意图

(5)盾尾通过后,地表沉降速率逐渐减缓,沉降曲线趋于稳定。后期沉降主要是土体的固结沉降和次固结沉降,一般沉降时间较长,但沉降量也相对较小。

2.2 盾构引起地表沉降因素分析

盾构掘进引起的地表沉降的因素有以下几个方面:

- (1)开挖面泥水压力不平衡引起的土体损失;
- (2)盾构蛇行纠偏引起的土体损失;
- (3)盾尾与衬砌环之间的空间未能及时充填引起的土体损失;
- (4)注浆材料固结收缩;
- (5)隧道渗漏水造成土体的排水固结;
- (6)衬砌环变形和隧道纵向沉降;
- (7)土体扰动后重新固结。

其中前3项是施工直接影响的主要因素,施工中应引起足够重视。

3 大直径泥水盾构下穿江北长江大堤技术措施

3.1 施工准备

3.1.1 盾构机整机检修

盾构下穿江北长江大堤施工影响范围前,选择较稳定地层进行停机检修,停机时地面泥浆站制备高指标优质泥浆进行泥水仓泥浆置换,并加压形成致密、稳定的长渗透带泥膜。盾构进行整机维保,更换盾构油脂。

3.1.2 泥水站优质泥浆制备

水站在穿越长江大堤前,预先在储浆池内存满1:3(质量比)制备的密度达 1.12 g/cm^3 、高粘度(苏式漏斗粘度40s以上)并经充分膨化的膨润土浆 800 m^3 以上,用来下穿时应急调浆。泥水站泥浆

制备如图2所示。



图2 膨润土浓浆制备站

3.1.3 施工工序衔接梳理

盾构下穿江堤及其影响范围共计33环,计划6d完成长江大堤及其影响范围区域的下穿,日均6环。盾构上下双层结构与盾构掘进施工同步进行。当盾构下穿长江大堤掘进施工时,需确保盾构管片运输、砂浆供应道路,确保盾构掘进施工环节工序顺畅,消除工序外等待时间,连续施工,迅速穿越长江大堤施工段。

盾构掘进前,将二次补偿注浆设备、材料运至后配套台车处以供迅速取用。通过专用频道,建立隧道内外及各工区信息化平台,并通过实时监测数据反馈指导施工。

3.2 施工技术

3.2.1 盾构机姿态调整

盾构机到达施工影响范围前,盾构就应有计划的以顺利下穿江堤为目标调整盾构姿态,对盾构机的位置和盾构隧道的测量控制点进行准确的测量,明确实际隧道中心轴线与隧道设计中心轴线的关系,进行以“小幅度,勤纠偏”为原则姿态调整。下穿掘进时,逐渐将盾构姿态调整至预计位置,进入最佳到达姿态。

3.2.2 穿堤掘进切口水压设定

切口泥水压力值根据盾构穿越保健村时盾构埋深及土层情况进行计算,压力波动控制在 ± 0.01 MPa,计算公式如下:

(1) 切口水压上限值:

$$P_{\text{上}} = P_1 + P_2 + P_3 \\ = \gamma_w h + K_0 [(\gamma - \gamma_w)h + \gamma(H - h)] + 20$$

式中: $P_{\text{上}}$ ——切口水压上限值, kPa; P_1 ——地下水压力, kPa; P_2 ——静止土压力, kPa; P_3 ——变动土压力,一般取 20 kPa; γ_w ——水的容重, kN/m³; h ——地下水位以下的隧道埋深(算至隧道中心), m; K_0 ——静止土压力系数; γ ——土的容重, kN/m³; H ——隧道埋深(算至隧道中心), m。

(2) 切口水压下限值:

$$P_{\text{下}} = P_1 + P_2' + P_3 \\ = \gamma_w h + K_a [(\gamma - \gamma_w)h + \gamma(H - h)] \\ - 2C_u K_a^{1/2} + 20$$

式中: $P_{\text{下}}$ ——切口水压下限值, kPa; P_2' ——主动土压力, kPa; K_a ——主动土压力系数; C_u ——土的粘聚力, kPa。

实际取值介于理论计算值的上下限之间,根据计算盾构下穿江堤切口水压取 0.60 ~ 0.70 MPa,穿越掘进施工时根据实际监测数据进行调整。

3.2.3 盾构掘进速度控制

盾构下穿长江大堤时,以平稳、快速通过为原则。盾构掘进速度直接影响同步注浆量,盾构掘进速度过快,会导致壁后同步注浆不充分,地层掘进速度过慢,则地层沉降难以有效控制。

根据注浆量(一般为理论注浆量的 150% ~ 250%),理论注浆量 $V = \langle \pi/4 \rangle \langle 15.022^2 - 14.52^2 \rangle \times 2 = 24.1 \text{ m}^3$,此阶段掘进注浆量一般在 170% ~ 200%)和同步注浆能力,盾构机速度取值如表 1 所示。

表 1 同步注浆与盾构掘进速度关系统计

序号	注浆速率 /(m ³ ·min ⁻¹)	掘进速度 /(mm·min ⁻¹)	掘进时间 /min	注浆量范围 /m ³	备注
1	0.5 ~ 0.8	40	50	25 ~ 40	掘进速度快,泥水分离系统压力较大;如充分填充地层间隙,需较大的注浆压力和注浆速率,对盾尾密封压力大
2	0.5 ~ 0.8	35	57	27.5 ~ 45.6	掘进速度较快,需较大的注浆压力,对盾尾密封压力较大
3	0.5 ~ 0.8	30	67	33.5 ~ 53.6	掘进速度比较适中,能够充分填充地层间隙,减少各环节衔接压力
4	0.5 ~ 0.8	25	80	40 ~ 64	掘进速度较慢,可降低注浆速率,能够保证间隙填充,但掘进时间较长地表易发生沉降

掘进过程中,掘进速度值应尽量保持恒定,减少波动,以保证切口水压稳定和送、排泥管的畅通。在调整掘进速度时,应逐步调整,避免速度突变对地层造成冲击扰动和切口水压摆动过大。

3.2.4 掘削出渣量控制

干砂量是影响地面沉降的重要因素。盾构理论掘削量为 350 m³,盾构掘进实际掘削量 V_R 可由下式计算得到:

$$V_R = (Q_1 - Q_0)t$$

式中: V_R ——实际掘削量; Q_1 ——排泥流量, m³/min; Q_0 ——送泥流量, m³/min; t ——掘削时间, min。

实际出渣量控制在理论出渣量的 97% ~ 100%,允许出现少量欠挖,使盾构切口上方土体能有微量的隆起(不超过 5 mm),以便抵消一部分土体的后期沉降量,从而使沉降量控制在最小范围内。

不允许超挖,当发现掘削量过大时,应立即检查泥水密度、粘度和切口水压,并适当调整掘进参数。

3.2.5 盾构穿堤泥浆制备

盾构下穿江堤地层上部为砾砂,下部为圆砾、卵

石。地层中粘土颗粒含量极少,自造浆能力差,且地层渗透性高,泥浆滤失量增加。

为保证盾构泥膜建立,减少滤失量,盾构所需泥浆指标为密度 1.12 ~ 1.2 g/cm³,粘度 20 ~ 25 s。

3.2.6 盾构同步注浆控制

3.2.6.1 同步注浆量

同步注浆在下穿江堤时注浆量控制在 40.8 ~ 48 m³/环(填充率 170% ~ 200%),同时根据地面沉降情况进行调节。掘进施工过程中,掘进速度应与注浆速度相一致。且同步注浆尽可能保证匀速、均匀、连续的压注,防止推进尚未结束而注浆停止的情况发生。

3.2.6.2 同步注浆压力

为确保同步注浆浆液能有效进入土体,必须保证 6 个点位注浆孔管路注出口的压力分别大于相对应各位置盾尾泥水压力。由于考虑到隧道上浮等因素,注浆量也会因此进行调节,直接导致注浆压力的调整,四个断面的注浆压力设定差值略小于理论值。

盾构穿江堤砾砂、圆砾、卵石地层时,同步注浆

压力控制在 0.4 ~ 0.6 MPa。

3.2.6.3 同步注浆配比

实验室应根据盾构穿越既有建筑物地层进行同步注浆浆液试配,确定浆液配比。盾构穿越既有建筑物同步注浆浆液设计配合比控制指标应满足:

- (1) 胶凝时间短,硬性浆液胶初凝时间 > 6 h;
- (2) 固结强度高,3 天强度可达 1.1 MPa,28 天强度达到 1.5 MPa;
- (3) 浆液坍落度为 8 ~ 12 cm;
- (4) 浆液稳定性好,泌水率 > 2.8%。

现场配合比如表 2 所示。

表 2 同步注浆与二次注浆浆液配比 /kg

序号	配比类型	水泥	粉煤灰	砂	膨润土	减水剂	水	水玻璃
1	同步注浆	60	300	1120	80	30	456	/
2	二次注浆	1000	/	/	/	/	900	500

3.2.7 二次补偿注浆技术

当盾构下穿长江大堤地层中地下水丰富时,通过管片预留注浆孔对管片背后注入双液浆,形成隔水环,减小盾构机后部的汇水面积,控制水量。

在打开注浆孔的时候必须采用预装球阀的方式进行,以确保在开孔后能立即关闭,待接好注浆管后再打开球阀,实施注浆。通过有效的管片背后注浆可达到堵水和控制管片上浮或位移,减少地层扰动。

二次补偿注浆以“注入浆液量少,多次压注”为原则。注浆压力取 0.6 ~ 0.8 MPa,浆液流量在 0.25 ~ 0.3 m³/h,使浆液能沿管片外壁均匀渗流,而不致劈裂土体。

二次注浆一般每 5 环注一次,形成有一定范围的环箍。当管片环纵缝出现渗漏,地层沉降较大时,减少二次注浆间隔,根据需要进行注浆。

3.2.8 盾构下穿长江大堤掘进参数设定

盾构穿越北岸江堤指导参数如下:推进速度 30 ~ 35 mm/min,切口水压下限 0.62 MPa,切口水压上限 0.72 MPa,同步注浆填充系数 170% ~ 200%,进泥流量 29 ~ 31 m³/min,排泥流量 33 ~ 36 m³/min,密度 1.10 ~ 1.15 g/cm³,粘度 20 ~ 25 s,推力 < 220000 kN,扭矩 < 40%。

3.3 施工监测

沿盾构推进方向,在盾构穿越长江大堤影响段布置地表沉降和位移观测点,测点埋设采用浅埋标,并根据现场环境进行保护。

3.3.1 北岸长江大堤监测点布置

北岸大堤监测点平面布置见图 3,剖面布置见图 4。

3.3.2 监测频率和警戒值

根据隧道进度合理安排监测时间间隔,做到既

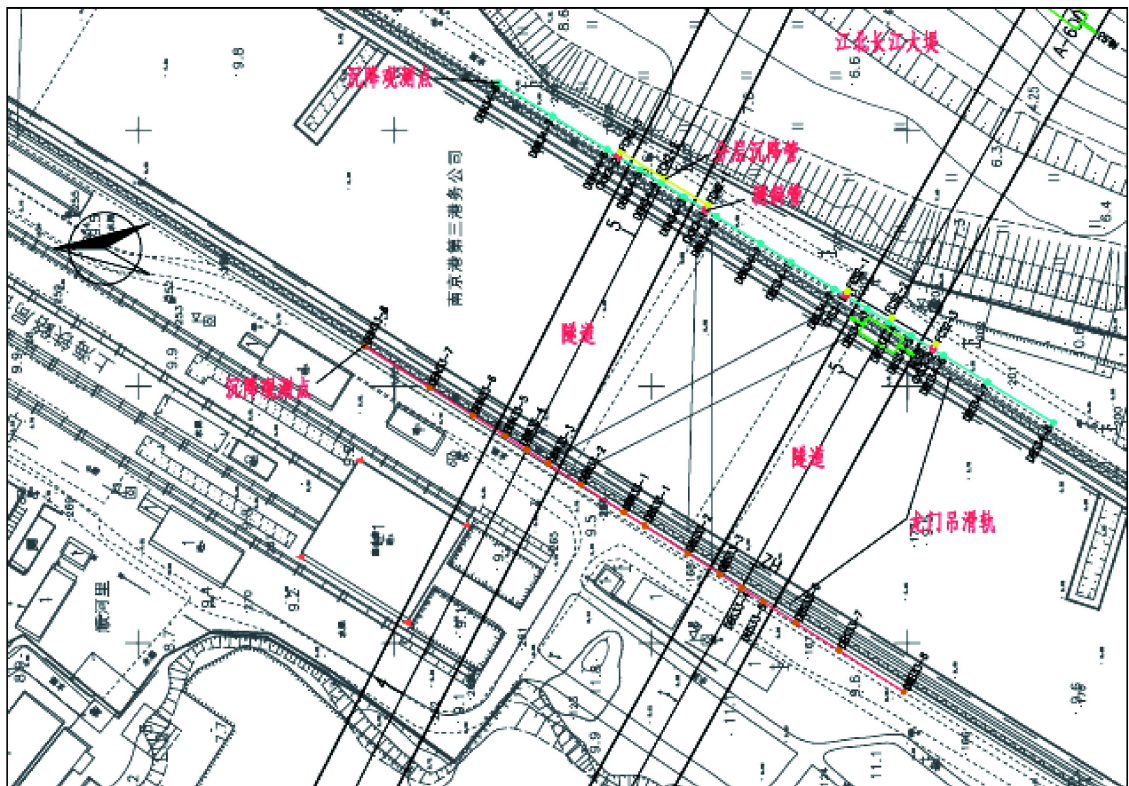


图 3 北岸大堤监测点平面布置图

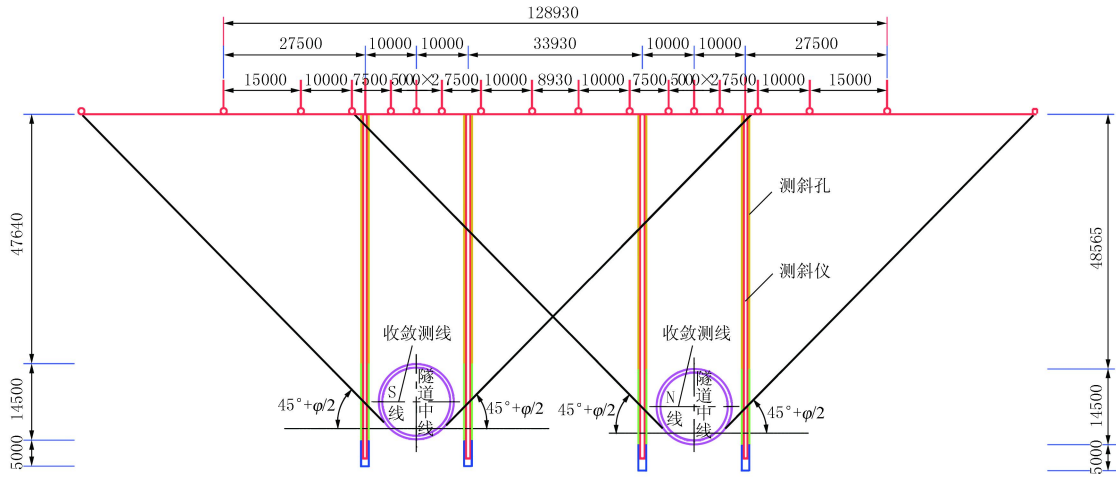


图4 北岸大堤监测点剖面布置图

经济又安全。根据以往同类工程的经验,初步监测频率如表3所示。监测频率可根据监测数据变化大小进行适当调整,有突变时,监测频率加密到每天2~3次。

表3 监测频率

序号	监测项目	监测频率
1	建房建筑物沉降监测	盾构到达前后 < 30 m: 1次/天; 盾构到达前后 < 60 m: 1次/2天; 盾构到达前后 > 60 m: 1次/周
2	长江大堤沉降监测	到达前后 > 60 m: 1次/周

盾构隧道监测项目的控制标准按照累计变形和变形速率双控指标控制,其中一项指标达到即应预警、报警,控制标准见表4。

表4 盾构隧道监测项目控制标准

序号	监测项目	累计变形 极限值/mm	变形速率或者差异沉降要求
1	建筑物沉降	150 ~ 200	结构中不同点的最大差异沉降引起的基础倾斜不应大于 1/100 ~ 1/200 (结构高度/基础平面尺寸)
2	长江大堤地表沉降	-30, +10	变形速率 3 mm/d

4 结语

由南京纬三路过江通道大直径泥水盾构下穿北岸长江大堤掘进施工的实践证明,盾构下穿对地层敏感建筑物时,确定下穿施工范围,并在盾构下穿前进行精心施工组织和充分准备,合理设定盾构掘进参数,根据地表沉降观测实时反馈指导盾构掘进参数修正并及时进行二次补偿注浆,能够大大减少地表沉降变形,节约施工成本,取得较好的技术经济指标。

参考文献:

- [1] 洪开荣. 广深港大断面特长水下盾构隧道的技术难点分析[J]. 隧道建设, 2007, 27(6): 1-3.
- [2] 尹旅超, 李振宏, 李玉珍, 等. 日本隧道盾构新技术[M]. 上海: 华中理工大学出版社, 1997.
- [3] 黄威然, 竺维彬. 泥水盾构过江工程江底塌方风险的应对及处理[J]. 现代隧道技术, 2006, 43(2): 49-53.
- [4] 张公社. 超大直径泥水平衡式盾构机始发技术[J]. 铁道建筑技术, 2009, (8): 57-61.
- [5] 曹文宏, 中伟强, 等. 超大特长盾构法——上海长江隧道工程设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [6] 王江涛, 陈建军, 等. 南水北调中线穿黄工程泥水盾构施工技术[M]. 河南郑州: 黄河水利出版社, 2010.

国产非塔机一体的全液压动力头钻机孔深新纪录——2391.7 m

本刊讯 近日,由山东省地质探矿机械厂钻探公司使用 XDL-3000 型深孔全液压岩心钻机施工的 84ZK1 钻孔顺利终孔,终孔直径 75 mm,孔深 2391.7 m。这是目前国产非顶驱、非塔机一体的全液压动力头钻机小口径岩心钻探全国最深的使用纪录。

该孔位于山东招远栾家河矿区,地层以含斑粗中粒二长花岗岩为主,其中 1800~2200 m 孔段地层较为破碎,给施工带来较大困难。自 2013 年 9 月 6 日开孔以来,钻探公司坚持采用科学的钻探工艺施工。至 2014 年 3 月 17 日终孔,该台实际仅用了 163 天的时间就完成了近 2400 m 孔的任务,

台月效率达 440 m。

施工全程使用 GS75A 非缴粗高强度绳索取心钻杆,该型钻杆选用国内 $\varnothing 70.1 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 高强管材,配合特殊工艺加工的钻杆接头,钻杆总重小,抗拉扭强度高,不用改变普通钻具级配,钻头克取岩石面积小,进尺效率相对较高,是目前国内深孔施工最经济适用的钻杆。

新纪录的诞生证明国产全液压动力头钻机、国产不加厚非缴粗钻杆已能满足深部找矿的需求。钻探装备技术的不断创新和钻探施工队伍的精湛技艺,已成为我国钻探工程界赶超世界先进水平的关键因素。