

铜陵科学钻探 TLSJD-1 孔钻探技术

王 军¹, 满海波¹, 刘狄磊², 王 迪¹

(1. 安徽省地质矿产勘查局 321 地质队, 安徽 铜陵 244033; 2. 无锡钻探工具厂有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘要: TLSJD-1 钻孔是位于长江中下游地区的科学钻探预导孔。根据该孔的地质概况和施工要求, 正确合理地组织施工, 采取了科学有效的施工技术。针对钻孔地层自然造斜严重的问题, 在施工中多次使用螺杆马达造斜, 且使用自行研制的五单元钻具稳斜, 有效地控制了钻孔轨迹。为解决深孔大孔段泥页岩裸孔钻进孔壁不稳定的问题, 在施工用水矿化度较高的情况下, 总结了一套钻井液技术, 保障了钻探工作顺利进行。

关键词: 科学钻探; 自然造斜; 螺杆马达; 五单元钻具; 钻井液; 侧钻; 纠斜

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)03-0006-05

Drilling Technology of TLSJD-1 in Tongling Scientific Drilling/WANG Jun¹, MAN Hai-bo¹, LIU Di-lei², WANG Di¹
(1. 321 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Tongling Anhui 244033, China; 2. Wuxi Drilling Tools Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214000, China)

Abstract: TLSJD-1 is located in middle-lower Yangtze area. According to the general geology and construction requirements, proper construction organization and scientific and effective construction techniques were adopted. Deflection by screw motor was used for times in the construction to deal with the serious natural whipstocking. With self-developed 5-element drill tool to stabilize hole deviation, drilling trajectory was effectively controlled. In order to solve the instability of hole wall for open drilling of large section of mud shale in deep hole, under the condition of construction water with high salinity, a set of drilling fluid technology was summarized to ensure the smooth progress of the construction.

Key words: scientific drilling; natural deflecting; screw motor; 5-element drilling tool; drilling fluid; side tracking; hole straightening

1 项目概况

安徽省地质矿产勘查局 321 地质队于 2012 年 9 月—2014 年 7 月在铜陵舒家店地区成功完成了 TLSJD-1 钻孔的钻进工作。TLSJD-1 钻孔终孔孔深 2463.77 m, 终孔直径 96 mm, 岩心采取率 91.94%, 终孔顶角 1.2°。

TLSJD-1 钻孔属于“东部矿集区科学钻探选址预研究”课题(编号 SinoProbe-05-05)研究内容, 该研究内容包含于“深部探测技术与实验研究专项”的第五项目“中国大陆科学钻探选址与钻探实验”的第五课题, 该项目由中国地质科学院地质研究所主持、安徽省地质矿产勘查局 321 地质队、安徽省地质调查院和北京大学等单位参加共同承担。

2 区域地质及钻孔地质设计要求

2.1 地理位置与自然地理概况

TLSJD-1 孔位于舒家店, 地处铜陵市东 21

km, 新桥硫(铜、金)矿北东方向 4 km, 凤凰山铜(铁)矿北北东方向 6.5 km, 桃园硫、金矿南西 3 km 处。舒家店行政区划隶属铜陵县钟鸣镇泉栏村与顺安镇明星村管辖。该孔自然地理位置位于长江中下游南岸丘陵低山区, 区内无大的地表水体和水系。

2.2 区域地质特征

该区位于舒家店背斜轴部偏北西翼, 舒家店背斜呈北东向线状延伸, 出露较好, 轴向 50°~60°, 轴面倾向北西, 倾角 75°~85°, 枢纽略有起伏, 核部为志留系中统坟头组, 局部见高家边组出露, 两翼地层由志留系上统茅山组至三叠系下统南陵湖组组成。背斜北西翼地层倾向北西, 倾角 30°~50°, 南东翼地层呈倒伏状态, 倾向北西, 倾角 60°~85°, 局部呈直立状态。

2.3 钻孔设计要求

(1) 钻孔深度: 2300~2700 m。

(2) 钻孔倾角: 90°(直孔)。

收稿日期: 2014-12-08; 修回日期: 2015-01-03

基金项目: “深部探测技术与实验研究专项”之“中国大陆科学钻探选址与钻探实验”之“东部矿集区科学钻探选址预研究”课题(编号: SinoProbe-05-05)

作者简介: 王军, 男, 汉族, 1968 年生, 经理, 探矿工程专业, 从事地质岩石心钻探技术及管理工作, 安徽省铜陵市狮子山区, 30884613@qq.com。

(3)终孔直径: ≤ 75 mm。

(4)取心要求:全孔连续取心钻进,全孔岩心采取率 $\leq 85\%$ 。

(5)孔斜要求:钻孔终孔顶角 $\leq 15^\circ$ 。

3 施工组织

为能顺利完成铜陵科学钻探预导孔项目,保证项目有序、严谨、科学、合理的进行,结合项目特点,经认真缜密地分析研究,特建立专门组织机构并制定相应职能和职责。

3.1 施工队伍的组建

本项目设立项目部,由安徽省地质矿产勘查局321地质队钻探公司行政、技术等管理人员组成,负责项目的具体实施组织。项目部下设钻探工程组、技术资料组、财务组和后勤保障组,成员由专业技术人员、工人技师和技术工人组成,负责钻探工程生产、试验及组织、管理工作。专家委员会和顾问组成员由国内地质、探矿专家、钻探生产组织管理行家组成,参与各项工作指导、督促及分析总结工作。

3.2 装备配套选择

3.2.1 钻机

根据本项目的地层和岩性等具体情况,要求钻机总提升能力 ≤ 60 t,最大扭矩 $18 \sim 19$ kN·m,既要满足金刚石岩心钻探要求,又要满足大口径扩孔低转速大扭矩的要求。结合国内装备现状,选定连云港黄海机械厂生产的 HXY-9B 型钻机。

3.2.2 泥浆泵

需有足够的压力和足够的流量。根据以往大量大口径金刚石钻进经验,同时考虑到螺杆钻侧钻时需要较大流量和压力,选择衡阳探矿机械厂生产的 BW-300/16 型泥浆泵。

3.2.3 钻塔

要求井架稳固,承载能力 ≤ 75 t,同时还要求有较大高度以提升钻柱,减少提下钻时间,钻塔顶部也要有足够大的空间摆靠各种型号的钻杆和临时套管,选择张家口探矿机械厂生产的 SG-26 型钻塔。

3.2.4 钻杆

对于深孔岩心钻探而言,钻杆的性能至关重要,钻杆选择和使用不好,会造成严重的孔内事故。深孔岩心钻杆对钻杆的各项力学性能要求很高,轴向拉压载荷、扭矩、弯载、韧性、刚度等各方面都有比较苛刻的要求。综合国内各个厂家绳索取心钻杆质量

和目前国内深孔绳索取心钻探现场使用情况,选取无锡钻杆工具厂有限公司的倒勾扣系列钻杆,即配套 S95 绳索取心钻探的 CHH 钻杆和配套 S75 绳索取心钻探的 CNH 钻杆。

3.2.5 其他设备

由于钻塔较高,二层平台也较高,在二层平台安装塔顶摄像装置,方便施工人员操作。考虑到深孔提下钻次数增多,减少工人劳动量和防止钻杆拧卸过程对钻杆造成损伤,购置2台液压拧管机。为了净化泥浆,减少泥浆的浪费和保证泥浆的性能,在泥浆第一沉淀池的位置安装泥浆除砂器。

4 施工关键技术

4.1 钻前工程

根据施工场地情况及施工需要,布置好 TLSJD-1 孔现场(见图1)。



图1 TLSJD-1 孔现场

钻机承重区、钻塔四角、钻机靠近孔口端和摆放钻杆处用挖掘机挖土深 1.5 m,做 C30 混凝土基础,施工区域全部采用混凝土硬化。施工区域旁挖 10 m $\times$ 5 m $\times$ 2 m 废浆处理池。建泥浆池3个,分别为 10 、 5 、 5 m 3 ;建沉淀池2个分别为 2 、 1 m 3 ;系统设置泥浆循环系统。

4.2 钻孔结构及下入套管程序

结合本次施工的具体要求,既要考虑地层的复杂性及深部的未知性,又要尽可能简化钻孔结构,故而设计确定“开大打小,多留空间,遇障扩孔,套管隔离,保直为主”的原则,实际施工中按原设计要求下入了5层套管(见表1)。

4.3 钻进技术参数

TLSJD-1 孔全孔超过80%孔段使用 $\varnothing 96$ mm 绳索取心钻具钻进,其间数次封孔,使用螺杆马达造斜纠偏。在 $0 \sim 35$ m 表层孔段,使用大口径单管钻进,

表1 TLSJD-1孔实际钻孔结构和套管程序

开钻 次序	钻进直径/ mm	钻达深度/ m	套管直径/ mm	套管下深/ m	备 注
一开	200	56.02	194	56.34	水泥固井
			168	87.35	
二开	175	88.06	146	86.59	技术套管
			127	88.29	技术套管
			108	90.03	技术套管
三开	96	2463.77			

在60~79 m孔段使用 $\varnothing 175$ mm金刚石单管钻具扩孔钻进。在91~194 m和650~950 m孔段使用 $\varnothing 96$ mm绳索取心液动锤钻进。针对孔深和地层的不同,选择相应的钻进方法和钻进技术参数。

全孔段采用低固相泥浆钻进, $\varnothing 96$ mm绳索取心钻具钻进时,钻压为15~20 kN,泵量为96~115 L/min,转速为127~337 r/min。深孔钻探孔底钻压很难控制,钻孔越深,回转阻力越大,高转速也很容易引起钻杆折断,因此孔深超过2000 m转速只开到170 r/min。当使用螺杆马达造斜纠偏钻进时,泵压一般维持在4 MPa左右,最大未超过6 MPa,泵量一般控制在130~180 L/min。

使用 $\varnothing 175$ mm金刚石单管钻具钻进时钻压为3~23 kN,泵量为72~115 L/min,转速为170~337 r/min。在浅孔段钻进时,还选用多种口径的单管钻具进行扩孔钻进,钻进参数相差无几。

在部分石英细砂岩地层首次选用绳索取心液动锤进行钻进,严格控制钻进参数,取得了比较好的进尺速度,日均机械钻速为2~4 m/h,钻压为10~20 kN,泵量为115~223 L/min。

由于TLSJD-1孔地层自然造斜严重,钻压不能加大,地层以泥岩夹粉砂泥岩为主,钻进过程中阻力很大,转速也无法开到高转速,泵量在允许的情况下尽量开大泵量,清除孔内岩屑和其他杂质。

4.4 钻井液技术

4.4.1 钻进过程中地层情况

TLSJD-1钻孔全孔段大部分为泥页岩地层(岩心水湿后呈现土黄色),夹粉砂岩层(岩心水湿后呈现暗色到黑色)。泥页岩地层较软、易水化膨胀,出现缩径、掉块、坍塌等问题。地层粉砂岩含量不同,地层硬度也有较大变化(硬度在1~7之间),不同硬度的地层对泥浆性能需求也不同。在450~500 m孔段,存在松软和中空地层,在1000 m孔深左右,也存在较严重的硬块松散地层,钻井过程中容易出

现孔壁坍塌和“大肚子”的情况。

不仅地层情况复杂,对钻井液性能要求苛刻,在实际选配钻井液的过程中,也存在如下几个问题:

(1)由于配浆用水矿化度高,且地层钙镁离子含量较高,导致钻井液破乳,进而粘结孔壁或钻具,导致泵压升高或钻具卡断等问题;

(2)岩石有蚀变,若钻井液选配不能有效控制蚀变,易造成孔壁失稳掉块,导致卡钻或埋钻等问题;

(3)泥页岩水化膨胀,缩径严重,而该孔套管孔段只用90 m,其他孔段全部为裸眼钻进,大孔段长时间裸孔钻进对孔壁稳定性要求非常高。

4.4.2 选配钻井液及特点

针对以上问题,在钻进过程中,配备了不同性能的泥浆,以保障钻进施工顺利进行。选配不同性能的泥浆体系大致可以分为以下几个方面。

(1)泥浆严格控制失水量(中压失水量标准:总体 ≥ 12 mL/30 min,局部控制在10 mL/30 min以内)、粘度指标(新配浆苏氏漏斗粘度 ≥ 30 s,返浆粘度 ≤ 27 s)。钻遇破碎层段时,需要同时提高泥浆粘度、密度以及静切力、动切力性能指标(土基泥浆较适合)。鉴于无固相泥浆失水量不好控制,地层未出现自造浆现象,因此,尽量不使用无固相泥浆。深度>800 m之后加润滑剂。

(2)由于该钻孔全孔段地层较为完整,除开孔26 m出现断裂带外,未有大的裂隙和破碎带,因此该孔基本采用低固相泥浆。主要辅助材料为PHP, HV-CMC, MV-CMC, FT-1, Na_2CO_3 , NaOH, 特效润滑剂,腐植酸钾,皂化油等。

(3)轻度漏失的孔段采用801堵漏剂与803堵漏剂封堵裂隙。在使用皂化油的过程中为防止皂化油破乳,提高皂化油润滑性能,减少孔内事故,现场使用OP-10乳化剂、无水乙醇等促进皂化油溶解。

(4)鉴于施工用水属于酸性水,pH值在6.5左右,而且水中钙镁离子含量较高,在调试泥浆的过程中使用NaOH提高泥浆的pH值,并对碱性泥浆的性能进行实验测试,分析测试结果后应用于现场钻进作业。

4.5 钻孔轨迹控制

4.5.1 钻孔偏斜情况

TLSJD-1孔从开孔直至1775 m的花岗岩之间地层为泥岩和泥岩夹粉砂质泥岩,岩层倾角在35°

~55°之间,软硬互层较多,层理、片理发育,深孔段地层岩石不均匀和各向异性更加明显,这些因素导致钻进过程中钻头极易偏斜,造成井眼轨迹多次偏离设计要求。

为了有效控制钻孔轨迹,从 193.82 m 开始第一次纠斜至 1246 m 最后一次纠斜共计 35 次,螺杆钻进尺 118.07 m,用时约 70 d,纠斜工作卓有成效,使得钻进施工科学有效地进行,最终在终孔孔段顺利打入靶区,保障了优异的工程质量。

4.5.2 浅孔段井眼轨迹控制

在钻进过程中,500 m 以浅的孔段造斜比较容易,主要使用 YL-65 型螺杆钻具(见图 2)。TLSJD-1 造斜纠斜过程中使用的弯外管有 4 种:0.5°、0.75°、1.0°、1.25°,依据钻孔弯曲度选择不同度数的弯外管。



图 2 YL-65 螺杆马达

浅孔段造斜螺杆钻具主要组合为:Ø95 mm 硬质合金钻头 + Ø65 mm 螺杆钻 + 1.25°弯外管 + Ø73 mm 钻杆,其部分造斜数据见表 2。

表 2 Ø65 mm 螺杆钻 1.25°弯外管的造斜数据

造斜日期	造斜孔深/ m	造斜进尺/ m	造斜前		造斜后		造斜率/ [(°)·m ⁻¹]
			顶角/ (°)	方位角/(°)	顶角/ (°)	方位角/(°)	
2012-11-17	193.82	0.93	3.7	203	3.6	212	0.108
2012-11-18	201.88	2.03	3.6	202	3.5	202	0.049
2012-11-19	212.46	2.03	3.5	191	2.8	194	0.345
2012-11-20	228.56	2.03	2.8	192	2.5	184	0.148
2012-11-22	246.97	2.43	3.1	183	3.0	181	0.041
2012-11-23	266.71	11.30	3.0	176	1.2	161	0.159

4.5.3 深孔段井眼轨迹控制

在钻进过程中,500 m 以深的孔段造斜主要使用 YL-73 型螺杆钻具。相对于浅孔段的造斜工作,深孔段造斜要困难得多,千米以深的造斜成功率更低,意想不到的各种原因都可能导致造斜失败,有时不得不反复用水泥封闭重新造斜,重复了很多工作量。

深孔段螺杆钻具组合为:Ø95 mm 金刚石钻头 + Ø73 mm 螺杆钻 + 1.0°弯外管 + Ø73 mm 钻杆,其造斜数据见表 3。

表 3 Ø73 mm 螺杆钻 1.0°弯外管的造斜数据

造斜日期	造斜孔深/ m	造斜进尺/ m	造斜前		造斜后		造斜率/ [(°)·m ⁻¹]
			顶角/(°)	方位角/(°)	顶角/(°)	方位角/(°)	
2012-12-17—2012-12-20	464.00	3.30	2.7	165	2.7	167	0.000
2012-12-21	467.30	3.05	2.7	167	2.7	171	0.000
2013-01-01			无进尺水泥封孔				
2013-01-10	463.00	0.48	万向轴断				
2013-01-11—2013-01-12	463.48	1.80	万向轴断,后扫孔,又回老孔				
2013-01-13—2013-01-14	472.80	0.40	销子断				
2013-01-15—2013-01-16	473.20	3.10	1.8	152	1.8	152	0.000
2013-01-18	501.03	0.30	无进尺螺杆钻损坏				
2013-01-19	501.33	1.40	螺杆钻定向接头处断				
2013-02-22—2013-02-24	656.00	16.50	4.3	148	2.8	136	0.091
2013-02-26—2013-02-27	672.50	6.04	2.8	136	0.0	102	0.464
2013-03-31—2013-04-03	1132.29	10.55	6.0	185	4.2	123	0.171
2013-04-04—2013-04-05	1142.84	2.10	4.2	123	3.8	113	0.190
2013-05-30—2013-06-09	1230.00	16.00	4.5	120	1.0	352	0.219

TLSJD-1 孔最大的一次重复工作量是钻进至 1373 m 时顶角已达 7.4°,根据钻孔轨迹计算已偏出靶区,造斜时螺杆钻掉入孔内,几经处理无效后只得水泥封闭。鉴于深孔造斜的难度,重新选取的造斜点位置在 1230 m,顶角 3.5°,共封闭 232 m,加上水泥浮浆超过了 240 m。经过几轮造斜和稳斜,顶角降至 0°,纠斜成功。

TLSJD-1 孔的数次造斜作业过程中,最大造斜侧钻孔深为 1230 m,最大造斜角度变化为 5°,最长造斜段为 16.5 m,这些数据都刷新了安徽省地质矿产勘查局 321 地质队定向钻进的纪录。

4.5.4 五单元钻具

在造斜纠偏钻进作业以后,需要稳斜钻进。TLSJD-1 孔数次稳斜钻进效果不太理想,受地层倾

角影响,稳斜孔段经常发生钻孔偏斜的情况。为了控制稳斜孔段的钻孔轨迹,在钻井现场进行反复试验,根据钻杆柱的受力节点和钻杆螺纹连接处的节点规律,试验摸索出一套稳斜效果非常优良的五单元钻具。

五单元钻具是由钻头、扩孔器、外管、钻杆等组成,钻头外径为 95 mm,S95 系列钻具,CHH 钻杆,其主要功能是稳斜,用于造斜钻进后的稳斜孔段。对

于 TLSJD-1 孔地层倾角超过 30°的孔段,上下两个扩孔器稳斜的施工方法不能很好地扶正钻头,在现场反复试验各种方法,发现在外管上部增添 4 个扩孔器作为扶正器,使用 2 根 3 m 钻杆连接各扶正器,取得了很好的稳斜效果。扶正器的数量总共为 5 个,以扶正器为节点,每一段为一单元,故称之五单元钻具(见图 3)。

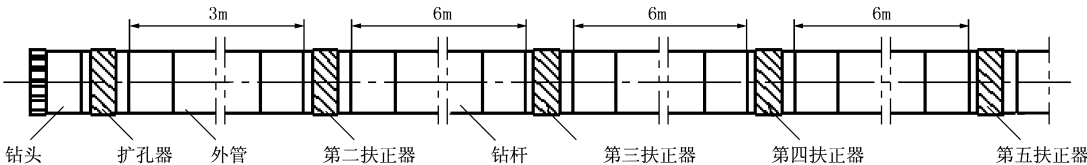


图 3 五单元钻具结构

在孔深 500.33 ~ 1407.55 m 时使用绳索取心液动冲击器和研制的五单元钻具配合使用,在易偏斜地层使用,一定程度范围内控制了钻孔弯曲程度。每钻进 25 m 进行一次测斜作业,部分测斜数据见表 4。

表 4 使用五单元钻具孔段孔斜

深度/m	顶角/(°)	方位角/(°)	深度/m	顶角/(°)	方位角/(°)
1250	0.9	353	1350	1.2	310
1275	1.1	343	1375	1.0	308
1300	1.3	329	1400	1.0	303
1325	1.1	317			

从上述数据可以看出,在稳斜直孔段内,五单元钻具可以有效防止钻孔偏斜,但在已斜地层中效果不理想。另外在实际使用过程中,五单元钻具保斜效果受钻具外管尺寸影响较大,特别是在软地层中,使用超过 3 m 长的外管,钻具过长,钻进时容易变形,导致保斜效果不佳。

5 结语

(1)随着浅表矿产可采储量的枯竭,深部探矿已势在必行,TLSJD-1 钻孔顺利完工,积累了大量深孔钻探技术和数据,对今后铜陵地区复杂地层的钻探工作提供了宝贵的经验。

(2)TLSJD-1 钻孔各项指标均满足地质设计要求,为中国地质科学院研究铜陵矿集区深部成矿的关键地质问题,预测铜陵矿集区深部找矿有利靶区提供了详尽的资料。

(3)TLSJD-1 钻孔施工过程中,经过数次造斜

纠偏钻进作业,这在造斜次数、顶角变化角度和造斜深度上都刷新了安徽省地质矿产勘查局 321 地质队定向钻进的纪录,使得安徽省地质矿产勘查局 321 地质队定向钻进技术水平迈上一个新台阶。

(4)为了控制稳斜孔段的钻孔轨迹,在钻孔现场进行反复试验,根据钻杆柱的受力节点和钻杆螺纹连接处的节点规律,试验摸索出一套稳斜效果非常优良的五单元钻具,该钻具可推广应用于地层倾角较大的地层保斜钻进。

(5)针对深孔大孔段泥页岩裸孔钻进孔壁不稳定的问题,在施工用水矿化度较高的情况下,总结了一套钻井液技术,保障了钻探工作顺利进行,对于今后深孔泥页岩地层钻进工作具有很好的借鉴意义。

参考文献:

[1] 臧世权,汪传武,张波,等. 榆横矿区赵石畔井田勘探钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):17-19.

[2] 乌效鸣,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.

[3] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.

[4] 吴翔,等. 定向钻进原理与应用[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2006.

[5] 庞惠龙,等. 铜陵东部矿集区科学钻探预导孔 TLSJD-1 钻探工程[R]. 安徽铜陵:安徽省地质矿产勘查局 321 地质队.

[6] 张金昌,刘秀美. 13000 m 科学超深井钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):1-6.

[7] 张伟. 科学深孔复杂地层钻进技术难题与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):7-12.

[8] 朱永宜,王稳石. 中国陆相白垩纪科学钻探松科一井(北井)钻探工程技术配套[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):388-392.