

# 山东莱州吴一村 ZK01 科学钻孔钻探施工技术

栾国栋

(山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004)

**摘要:**本文介绍了山东莱州吴一村地区科学钻孔 ZK01 孔的施工概况及所采用的关键技术。ZK01 孔终孔孔深 3266.06 m, 终孔孔径 98 mm, 采用了 HXY-9 型钻机等设备施工。针对施工中出现的超深孔施工、复杂地层施工及钻探机具配套困难等施工难点, 详细阐述了国产 HXY-9 型钻机在施工中的不足, 深孔钻杆柱的组合配套使用, 复杂地层中 LBM 为主体的双聚泥浆体系的应用以及特制 JS150/122 绳索取心钻具的应用等关键技术。

**关键词:**科学钻孔; 深孔钻进; HXY-9 型钻机; 组合钻杆; 双聚泥浆体系

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2018)04-0036-04

**Drilling Technology for Scientific Drilling ZK01 in Shandong Province/LUAN Guo-dong** (No.3 Exploring Institute of Geomineral Resources, Shandong Province, Yantai Shandong 264004, China)

**Abstract:** This paper introduces the construction situation of scientific drilling ZK01 and the key technologies adopted, HXY-9 type drilling rig and some other equipment are used and the final depth of ZK01 is 3266.06m with 98mm in diameter. According to the difficulties in super-deep hole construction, complex formation construction and drilling machines matching, the shortage of China-made HXY-9 type drilling rig and the key technologies of the combined use of deep hole drill column, the application of double polymer mud system with LBM as main component in complex formation and the application of special JS150/122wire-line coring drill are elaborated in detail.

**Key words:** scientific drilling; deep hole drilling; HXY-9 type drilling rig; sectional drill pipe; double polymer mud system

## 1 概述

ZK01 孔是山东省国土资源厅下达的 2014 年度省级地质勘查项目(鲁国土资字[2014]262 号、鲁勘字[2014]11 号)“山东省莱州市吴一村地区金矿普查”中科学钻探孔之一。主要目的是通过本次验证工作, 追索控制焦家断裂带深部金矿(化)体赋存部位及产状、规模、矿石质量等特征, 开展物探测井和科研工作。

## 2 地质概况

ZK01 孔上部主要为砂质粘土、粉砂等第四系覆盖层, 结构较松散, 下部以闪长岩、辉长岩和花岗岩为主。局部地层较为破碎, 部分孔段破碎蚀变严重, 地层情况十分复杂。

主要地层岩性见表 1。

## 3 钻孔基本情况

ZK01 孔位于莱州市东北约 27 km, 西部紧邻西由镇。北起海北嘴, 南到王贾村, 西起西由镇, 东到

表 1 ZK01 孔地层岩性预测

深度/m	地层/侵入岩	岩 性 描 述
0~40	第四系临沂组	灰白色—黄褐色砂质粘土、粉砂
40~300	栖霞序列新庄单元	碎裂状英云闪长岩、英云闪长质碎裂岩
300~974	马连庄序列栾家寨单元	蛇纹岩化辉石橄榄岩、变辉石角闪石岩、变辉长岩
974~980	马连庄序列栾家寨单元	变辉长质碎裂岩
980~2604	马连庄序列栾家寨单元	蛇纹岩化辉石橄榄岩、变辉石角闪石岩、变辉长岩
2604~2614	马连庄序列栾家寨单元	黄铁绢英岩化变辉长岩、变辉长岩质碎裂岩
2614~2636	马连庄序列栾家寨单元	变辉长岩
2636~2757	玲珑序列崔召单元	绢英岩化花岗岩, 发生高岭土化
2757~2921	玲珑序列崔召单元	绢英岩化花岗质碎裂岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩、断层泥、糜棱岩
2921~3068	玲珑序列崔召单元	黄铁绢英岩化花岗岩碎裂岩、黄铁绢英岩化花岗岩
3068~终孔	玲珑序列崔召单元	钾化、红化二长花岗岩

招贤。设计孔深 3000 m, 实际终孔孔深 3266.06 m。

收稿日期: 2018-01-12

作者简介: 栾国栋, 男, 汉族, 1966 年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事岩心钻探生产管理及技术应用工作, 山东省烟台市芝罘区机场路 271 号, ztgsld@126.com。

ZK01 孔钻探技术要求及完成情况见表 2。

表 2 ZK01 孔钻探指标完成情况

钻探指标	最大钻孔深度/m	终孔孔径/mm	岩心直径/mm	全孔岩心采取率/%
钻探设计要求	3000	φ95	φ60	φ85
钻孔实际完成	3266.06	98	63	99.61

4 主要钻探机具配套情况

ZK01 孔施工中使用的主要机械设备见表 3。

ZK01 孔施工中主要的钻具配套详见表 4。

表 3 主要机械设备

设备名称	型 号	主 要 技 术 参 数
钻机	HXY-9	钻进深度 2000~4500 m; 转速 82、119、170、234、333、215、337、484、682、948 r/min; 最大起重力 640 kN
泥浆泵	BW350	流量 300、235、155、95、52 L/min; 最大额定压力 16 MPa; 功率 30 kW
钻塔	A29-90t	塔高 29 m; 负荷 90 t; 立根 18 m
取心绞车	S4000	绳容量(φ8 mm)4000 m; 功率 11 kW
液压钳	SQ114/8	额定扭矩 8 kN·m; 应用范围 φ57~116.5 mm

表 4 主要钻杆、钻具配套

名 称	规 格	数 量	主 要 技 术 参 数
绳索取心钻杆	R-PCS	1500 m	有效长度 3 m, 钻杆体外径 114.3 mm, 内径 101.6 mm
钻杆	R-HCP-1	3000 m	有效长度 3 m, 钻杆体外径 91 mm, 内径 81 mm, 加厚内径 79.4 mm
API 钻杆	2 3/8 in	500 m	有效长度 9.1 m, 钻杆体外径 88.9 mm, 内径 38.1 mm
绳索取心钻具	JS150/122	3 套	钻具外管外径 140 mm, 内径 102 mm; 内管外径 95.6 mm, 内径 89 mm; 钻头外径 150 mm, 内径 85 mm
	JS122	5 套	钻具外管外径 114 mm, 内径 102 mm; 内管外径 95.6 mm, 内径 89 mm; 钻头外径 122 mm, 内径 85 mm
	S98	5 套	钻具外管外径 93 mm, 内径 76 mm; 内管外径 70 mm, 内径 63 mm; 钻头外径 98 mm, 内径 61.5 mm
薄壁钻铤	φ146 mm	9 m	AISI4145H 铬钼合金钢, 有效长度 3 m, 外径 146 mm, 内径 102 mm, 每米重 67.24 kg
	φ114 mm	18 m	AISI4145H 铬钼合金钢, 有效长度 3 m, 外径 114 mm, 内径 79 mm, 每米重 41.65 kg
套管	φ168 mm	50 m	钢级 N80; 外径 168.3 mm, 内径 154 mm
	φ140 mm	110 m	钢级 Q125; 外径 139.7 mm, 内径 127.3 mm
	φ114 mm	1300 m	φ114 mm 做套管使用

5 施工工艺概况

5.1 钻进方法及孔身结构

一开采用 φ175 mm 双管取心钻具钻进至 47.79 m, 下入 φ168 mm 套管 48.00 m, 水泥固井;  
二开采用 φ150/122 mm 绳索取心钻进工艺钻进至 108.22 m, 下入 φ140 mm 套管 108.50 m;  
三开采用 φ122 mm 绳索取心钻进工艺钻进至 1206.34 m, 下入 φ114 mm 钻杆 1206.60 m 当套管;  
四开采用 φ98 mm 绳索取心钻进工艺钻进至终孔 3266.06 m。ZK01 孔孔身结构如图 1 所示。

5.2 钻进参数

钻压随孔深的增加而合理减小; 受孔径、泥浆性能和钻孔弯曲度等因素影响, 转速会随钻孔深度的增加而逐渐降低, 尤其, 在钻遇复杂地层时, 转速不能过快, 一般采用 120~360 r/min; 合理控制泵量, 泵量过高会影响孔壁稳定, 泵量过低会影响冲洗液的冷却及携屑效果。详细参数见表 5。

5.3 冲洗液的使用

5.3.1 一开孔段

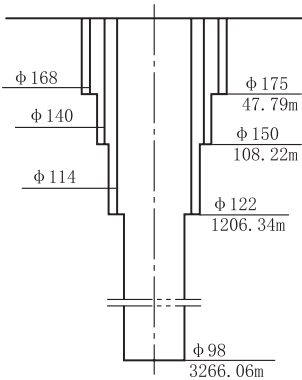


图 1 ZK01 孔孔身结构

表 5 ZK01 孔钻进参数

孔段/m	孔径/mm	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	流量/(L·min <sup>-1</sup> )	泵压/MPa
0~47.79	175	2~8	80~120	130~150	0~1
47.79~108.22	150	8~12	200~400	100~130	1~2.5
108.22~1206.34	122	15~20	250~500	90~110	2.5~5
1206.34~3266.06	98	18~25	120~350	60~90	5~10

本孔段(0~47.79 m)钻进地层为松软第四系地层, 易发生漏失坍塌, 且钻进中形成的岩屑颗粒相对较大, 冲洗液要具较强的护壁、携屑能力以及较好的降失水性。

施工中采用了 LBM 泥浆体系,对第四系地层具有很好的抑制作用,形成的泥皮薄而致密,泥浆高切力的性能能够很好地起到携带岩粉、清理孔底的作用。

### 5.3.2 二一四开孔段

本孔段(47.79~3266.06 m)地层相对完整,局部破碎,部分孔段蚀变破碎严重,孔径较大,回转阻力大,因此保持孔壁稳定、减小回转阻力及携带岩屑是主要解决的问题,因此现场采用了适用于绳索取心钻进工艺的双聚泥浆体系。

冲洗液配浆及维护处理剂:聚乙烯醇(PVA)+PAC141+复合润滑剂(GLUB)+聚丙烯酰胺(PHP)。钻遇破碎地层,可合理提高聚乙烯醇用量,提高护壁效果;孔内摩擦阻力较大,电流升高时,可适当增加防塌润滑剂的用量。

## 6 采用的钻探关键技术

### 6.1 HXY-9 型钻机的现场使用

本次施工采用了 HXY-9 型钻机,HXY-9 型岩心钻机是在 HXY-8 型钻机的基础上设计开发的新型深孔岩心勘探技术装备,为目前国内施工能力最强的立轴式岩心钻机,该钻机具有结构合理、成本低廉、便于维修等特点。但在钻探施工过程中,该钻机反映出一些不足。

#### 6.1.1 钻机转速参数的设置不合理

HXY-9 型钻机主要用于深孔施工,钻机转速参数的设置应该依据孔身结构和钻具组合等因素。对于孔深>3000 m 的钻孔,终孔孔径一般 $\leq 95$  mm,配套使用的钻杆多以  $\Phi 89$  mm 为主,HXY-9 型钻机高转速接近 1000 r/min,设计过高。

#### 6.1.2 主卷扬提升能力不强

采用  $\Phi 89$  mm 钻杆钻进至 3000 m 孔深,钻杆在空气中的重力达 600 kN。忽略孔内冲洗液浮力以及孔壁摩擦力影响,上提钻具的拉力>600 kN。HXY-9 型钻机主卷扬的最大提升能力为 640 kN,可以满足正常提下钻需求,但在处理卡钻事故等孔内复杂情况时,其提升能力不能满足处理孔内事故的需要。

#### 6.1.3 配套钻塔高度低

提下钻时间长短是影响深孔钻探钻进效率的主要因素之一。本次施工配套使用的 A29-90t 型钻塔,塔高 29 m,钻柱立根长度 18 m,上提 3000 m 钻杆需 167 次,增加钻塔高度,可降低提下立根的次

数,节省提下钻时间,提高钻进效率。

### 6.2 深孔钻杆柱的配套

#### 6.2.1 薄壁钻铤的使用

为了保证钻孔的垂直度,施工前期采用了钻铤(图 2)加压,施工至 3000 m 孔深时,因钻机提升能力等问题,改为传统的钻机加压钻进。钻铤加压,钻压来自于钻铤自重,可避免钻具弯曲,保证钻孔的垂直度,使套管顺利下入设计深度。



图 2 钻铤

忽略钻具与孔壁间的摩擦力和冲洗液浮力的影响,传统的钻机加压钻进方式,整个钻柱承受压状态,减压钻进方式,整个钻柱承上部受拉、下部受压状态,传统钻具刚度不足,钻具在旋转时的离心力和弯曲力矩的共同作用下,极易在孔底产生弯曲变形,从而导致孔斜发生。

采用钻铤加压可以将钻柱的中和点控制在钻铤上,适当增加钻铤的刚度和长度,或在钻铤上部采用一段加重钻杆,可以有效地控制孔斜。

#### 6.2.2 组合钻杆柱的应用

ZK01 孔终孔孔深 3266.06 m,在孔深>3000 m 之后,综合考虑上部钻杆的抗拉强度以及钻杆自重,对钻杆柱结构进行了调整,采用了上部使用 API 石油钻杆,下部配常规绳索取心钻杆的结构,既实现了绳索取心钻进,同时也保证了钻孔的安全施工,如图 3 所示。

### 6.3 LBM 为主体的双聚泥浆体系

ZK01 孔钻进至 1700~1990 m 孔段遇蚀变带(如图 4),孔壁发生坍塌,岩粉岩屑沉积,在每次起下钻时,都需要长时间的冲孔扫孔,严重影响了钻进

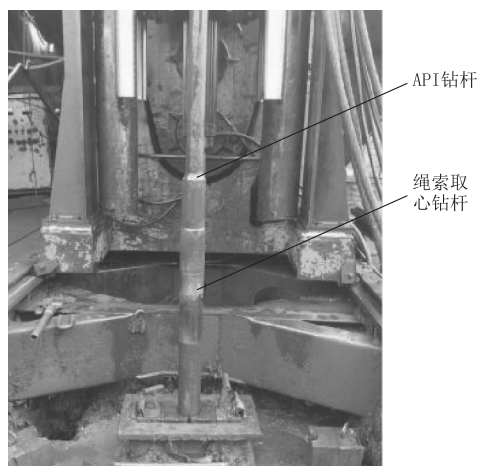


图 3 组合钻杆柱



图 4 蚀变带地层岩心

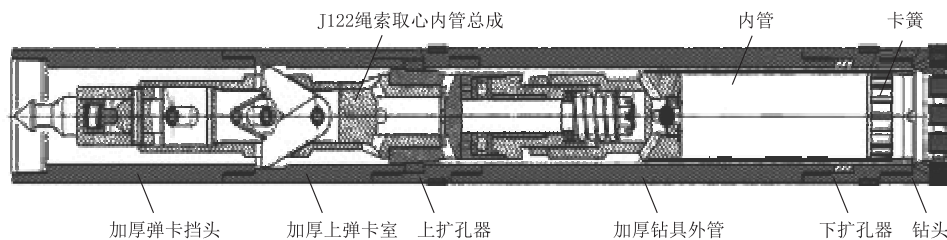


图 5 JS150/122 绳索取心钻具结构

的情况有提拉不动内管、绳索取心钢丝绳断裂等。

(1) 提拉不动内管的原因多种多样,可分为上部卡阻和下部卡阻,上部卡阻可能是钻杆内落物,内管总成内轴承碎裂挤卡造成,需要加强人员管理,规范操作,防止钻杆内落物,每回次需仔细检查内管总成;下部卡阻可能是卡簧座碎裂,钻头内台阶和卡簧座间隙调节不当,采断岩心根部过大,底部冲洗液中岩粉过多挤死内管等原因,需根据现场情况,仔细排查,谨慎操作,在钻具下入孔内前仔细检查,合理调配泥浆,每次钻进完成后可慢速钻进,避免岩心根部过大,做到预防为主。

(2) 绳索取心钢丝绳断裂是一种多见的钻探事故,虽然对钻探施工来说是一种小事故,但事故发生

效率,针对此情况,对钻井液进行了调整,采用了以 LBM 为主体的双聚泥浆体系,该泥浆体系具有较好的造壁性以及抑制性,确保了孔壁稳定。

冲洗液配方:  $1 \text{ m}^3$  水 + 35 kg LBM + 6~10 kg 铵盐 + 1~3 kg 包被剂。

冲洗液性能: 表观粘度  $18.5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ , 动切力  $5.5 \text{ Pa}$ , 滤失量  $10 \text{ mL}/30 \text{ min}$ , 泥皮薄而致密。

双聚泥浆体系具有对地层适应性强,造壁性、抑制性好及配制和维护方便等特点。

#### 6.4 JS150/122 绳索取心钻具的应用

二开孔段(47.79~108.22 m)钻进中采用了与唐山金石超硬材料有限公司联合研制的 JS150/122 绳索取心钻具(如图 5),该钻具外管外径 140 mm,壁厚达到了 19 mm,内管系统(弹卡总成、内管、卡簧、卡簧座)与 JS122 绳索取心钻具通用,配套使用  $\varnothing 150 \text{ mm}$  金刚石钻头,实现了  $\varnothing 150 \text{ mm}$  孔径绳索取心钻进,提高了钻进效率,但该钻具有过于笨重的不足。

#### 6.5 影响绳索取心成功的因素

在本次施工中辅助时间占总钻时的 53.4%,主要的辅助时间为绳索取心及提下钻的时间,每次取心失败都意味着重复多次取心,甚至是提钻取心,造成了辅助时间的增加。施工中最常见的导致取心失败

后如果处理方法不当,盲目处理,可能会诱发更大的叠加事故。选用防折破劲的优质钢丝绳,定期检查,发现问题及时更换,可避免此类事故的发生。其中,钢丝绳的断点多数在使用最频繁段,钢丝绳折断最危险的阶段是在孔深中点的长度范围内,需着重检查。孔内感觉异常时,切不可盲目处理,要仔细分析事故原因和一切可能性。

## 7 结论

(1) 施工中使用的 HXY-9 型钻机在 HXY-8 型钻机的基础上研发的新型深孔岩心装备,该钻机结构合理,成本低廉,便于维修。但在实际使用中,

(下转第 45 页)