

松辽盆地松南油页岩地质调查井绳索取心钻进技术

吴德军¹, 朱小锋², 刘树华³, 李舜丰¹

(1. 吉林省四平地质工程勘察院, 吉林 四平 136000; 2. 吉林省地质调查院, 吉林 长春 130061;
3. 吉林省地质勘探技术研究所, 吉林 长春 130103)

摘要: 松辽盆地松南油页岩地层水敏性强, 钻探施工过程中极易水化、剥落, 甚至垮塌。2018 年中国地质调查局在扶余—长春岭矿区布置了 8 口油页岩地质调查井, 岩矿心采取率、终孔直径和岩心直径、孔斜率等的要求均较高。通过采用 S95+5 绳索取心钻进工艺, 对钻孔结构、钻头选型、钻井液、钻进参数进行优化, 成功地解决了油页岩地层护壁难问题, 并且高质量地达到了工程质量要求。总结了油页岩地层绳索取心钻进关键技术。

关键词: 松辽盆地; 油页岩; 地质调查井; 绳索取心钻进

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)03-0044-05

Wire-line core drilling for Songnan oil shale survey in the Songliao Basin

WU Dejun¹, ZHU Xiaofeng², LIU Shuhua³, LI Shunfeng¹

(1. *Siping Geological Engineering Investigation Institute, Siping Jilin 136000, China;*

2. Jilin Geological Survey, Changchun Jilin 130061, China;

3. Jilin Geological Exploration Technology Institute, Changchun Jilin 130103, China)

Abstract: The Songnan oil shale formation in the Songliao Basin is highly water-sensitive, which is prone to be hydrated, spalled, and even collapsed during drilling. With use of the S95+5 wireline coring process, and optimization of the borehole structure, bit type, drilling fluid and drilling parameters, the difficulty of protection of borehole walls in oil shale formation was successfully solved, achieving engineering quality requirements. This paper summarizes the key technologies in wireline coring in oil shale formation so as to provide technical reference and guidance for the similar drilling works.

Key words: Songliao Basin; oil shale; geological survey wells; wire-line core drilling

1 工程概况

吉林省油页岩资源量丰富, 居全国第一位, 分布于白垩系、古近系地层中。2006 年以来, 吉林省油页岩资源勘探取得了重大进展。截至 2014 年, 在松辽盆地发现了 4 处超亿吨的大型油页岩矿床。吉林省扶余—长春岭矿区是油页岩资源达 453 亿 t 的大型油页岩矿床, 具有很好的开发前景^[1-2]。

2018 年, 中国地质调查局油气资源调查中心在扶余—长春岭矿区布置了 8 口地质调查井, 设计井深 440~1435 m, 主要目的是获取青山口组油页岩的品质、工业分析, 力学性质, 物理性质等评价参数,

了解调查松辽盆地南部区深部油页岩分布产状、状态、规模、厚度变化以及含油率等质量特征, 为油页岩地下原位试采靶区优选提供依据。工作区位于松辽平原中东部, 地势平缓, 总体地势东高西低, 南高北低。区内多为农田、草原。本区地貌单元均处于河流冲积平原区, 地形标高在 124~216 m 之间, 地面平坦、开阔。

2 地层概况

以吉扶地 7 井为例, 钻进地层描述见表 1。岩石可钻性 4~5 级。岩石的实测强度极限值见表 2。

收稿日期: 2019-04-26; 修回日期: 2020-01-14 DOI: 10.12143/j.tkgc.2020.03.007

作者简介: 吴德军, 男, 汉族, 1971 年生, 高级工程师, 钻探工程专业, 主要从事钻探技术与管理工, 吉林省四平市铁东区环城路 1118 号, 3441465086@qq.com。

引用格式: 吴德军, 朱小锋, 刘树华, 等. 松辽盆地松南油页岩地质调查井绳索取心钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(3): 44-48.
WU Dejun, ZHU Xiaofeng, LIU Shuhua, et al. Wire-line core drilling for Songnan oil shale survey in the Songliao Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(3): 44-48.

表 1 吉扶地 7 井钻进地层概况

Table 1 Description of drilling formation at the Jifudi-7 well

井深/m	地 层	岩 性 描 述
0~34.55	第四系	粉质粘土,砾砂,厚度 34.55 m
34.55~250.84	嫩江组三段	厚层状灰黑色页岩及灰白色粉砂岩,厚度 216.29 m
250.84~389.75	嫩江组二段	粉砂质页岩、油页岩段,厚度 138.91 m
389.75~492.85	嫩江组一段	灰绿色泥页岩,灰黑、黑色页岩,厚度 103.10 m
492.85~796.45	姚家组	灰紫色页岩、砂质页岩、块状页岩,棕红色块状页岩,含介形虫化石,红绿色砂质页岩,灰绿色泥质粉砂岩,总厚度 303.60 m
796.45~925.60	青山口组二段	青灰色页岩与青灰色块状页岩互层带,厚 129.15 m
925.60~1008.80	青山口组一段	灰绿色泥岩、油页岩夹纹层状泥灰岩,中含油页岩矿层,厚度 83.20 m
1008.80~1170.75	泉头组(未钻穿)	棕红、灰绿色泥岩,粉砂质泥岩,浅灰绿色泥质粉砂岩,厚度 161.95 m

表 2 岩石的实测强度极限值

Table 2 Measured maximum strength values of rocks

岩性	深度/m	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa
页岩	578.00	20.97	1.09
油页岩	584.00	18.67	0.97
页岩	588.00	23.36	1.19
泥岩	846.00	6.69	0.38
油页岩	862.00	5.68	0.34
页岩	868.00	9.46	0.49
页岩	715.00	17.97	0.93
油页岩	718.00	15.63	0.81
页岩	720.00	20.99	1.09

3 工程的主要技术要求及钻探技术难点

3.1 主要技术要求

2006—2008 年吉林省地质调查院在扶余—长春岭地区开展了油页岩矿预查、普查、详查工作,完成数百口钻井。这些油页岩钻探工程相对质量要求较低,岩心采取率 $\geq 70\%$,矿心采取率 $\geq 80\%$,岩心直径 ≤ 45 mm,孔斜要求 $\leq 2^\circ/100$ m,不要求物探测井。多数施工单位为提高钻进效率,采用 $\Phi 95/57$ mm 硬质合金肋骨钻头单管钻进, $\Phi 60$ mm($\Phi 50$ mm)钻杆提钻取心,不下套管,膨润土钻井液护壁。

本工程钻探地质调查井设计为直井,设计井深 440~1435 m,达到目标层段(青山口组一段)终孔。相比以往的项目,钻探质量要求相对高很多:第四系地层不要求取心,基岩段岩心采取率 $\geq 90\%$,矿心采取率 $\geq 95\%$;终孔孔斜 $\leq 5^\circ$;终孔直径 ≥ 95 mm,岩矿心直径 ≥ 60 mm;同步开展录井、测井及钻井评价等工作;测井结束后,全孔水泥封闭。

3.2 主要施工难点

(1)由于岩心采取率要求高,终孔直径与岩心直径大,需采用绳索取心钻进工艺,但最初几家施工单位采用绳索取心钻进工艺时,钻孔超径,导致套管

下窜等事故、钻杆折断事故频发,被迫放弃绳索取心钻进工艺。

(2)绳索取心钻进工艺无法采用钻铤加压,孔斜控制困难。

(3)泥页岩水敏性强;对钻井液固相含量和失水量控制要求高^[3-4]。

(4)钻进地层岩石抗压强度较低,易发生套管下窜事故。

4 钻孔结构优化

本工程原施工方案,深度超过 1000 m 的钻孔,钻孔结构按三开设计:一开采用 $\Phi 150$ mm 单管钻具,穿过第四系下入 $\Phi 146$ mm 套管;二开采用 S122 绳索取心钻进至 350 m,将 $\Phi 114$ mm 绳索钻杆作为套管下入;三开采用 S95+5 绳索取心钻进至终孔。此设计的缺点是油页岩地层岩石抗压强度较低,无法承受套管重力,容易发生套管事故,如采用水泥固井,成本太高,浪费严重,因此决定优化钻孔结构。优化前和优化后钻孔结构对比见图 1。

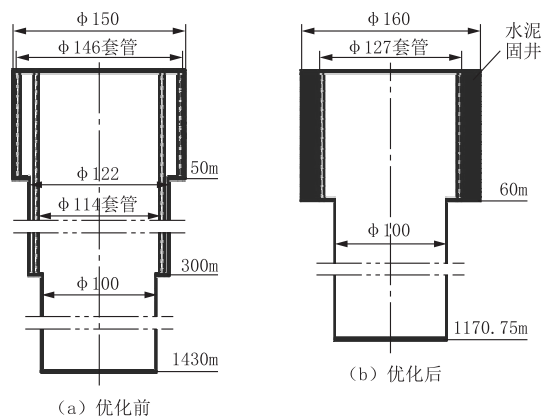


图 1 优化前和优化后钻孔结构对比

Fig.1 Comparison of borehole structures before and after optimization

为保证水泥环的强度与界面胶结良好,必须保证套管与井眼的环状间隙值在 11.1~19.1 mm 之间^[5]。开孔采用 $\varnothing 160$ mm 单管钻具,钻进至 60 m,然后下入 $\varnothing 127$ mm 套管,使用 S95+5 绳索取心钻进至终孔。

5 钻头类型选择与参数

5.1 钻头类型选择

根据对相关文献和理论数值分析工作的梳理^[6-7],油页岩地层钻进应选择尖齿复合片钻头或奇偶齿鱼脊式聚晶钻头。但在实际油页岩钻探施工工程测评中,当钻遇致密粉砂质页岩时(见图 2),尖齿复合片钻头和奇偶齿鱼脊式聚晶钻头钻进效率低,工程质量差。

表镶金刚石钻头在钻进过程中容易使岩石产生体积破碎,产生的岩粉颗粒的最大粒径约为金刚石



图 2 坚硬致密的粉砂质页岩岩心

Fig.2 Hard and dense silty shale

出刃高度的 $1/3 \sim 1/2$ 。因此表镶金刚石钻头可比孕镶金刚石钻头具有更高的钻进效率,可节约钻进时间,降低钻进成本^[8-9]。为此进行了 3 种钻头钻进试验,表 3 列出了 3 种类型钻头的钻进效果对比。

表 3 尖齿复合片钻头、奇偶齿鱼脊式聚晶钻头、天然表镶金刚石钻头钻进效率对比

Table 3 Comparison of drilling efficiency between the sharp-toothed composite bit, even and odd teeth polycrystalline bit and natural surface-set diamond bit

井号	钻进井深/ m	地层岩性	钻头类型	回次	回次进尺/ m	钻进时间/ min	钻进效率/ ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	岩心直径/ mm	岩心采取率/%	钻头估算使用寿命/m
吉扶地 7 井	309.95	致密粉砂质页岩	尖齿复合片	108	3.00	120	1.50	59.8	92.5	90
	312.95	致密粉砂质页岩	奇偶齿鱼脊式	109	3.00	110	1.64	62.2	96.8	45
	314.75	致密粉砂质页岩	奇偶齿鱼脊式	110	1.80	90	1.20	61.8	97.2	45
	315.95	致密粉砂质页岩	奇偶齿鱼脊式	111	1.20	50	1.44	62.1	97.2	45
	318.95	致密粉砂质页岩	表镶金刚石	112	3.00	45	4.00	63.8	97.8	280
	321.95	致密粉砂质页岩	表镶金刚石	113	3.00	40	4.50	63.9	98.8	280
	324.95	致密粉砂质页岩	表镶金刚石	114	3.00	45	4.00	63.8	98.6	280

根据试验结果,本工程选用了表镶金刚石钻头。

5.2 表镶金刚石钻头的基本参数

通过施工对比,天然表镶金刚石钻头广谱性强,在泥页岩地层中钻进效果优于其它类型钻头,能够保证岩心直径及岩心采取率,可以作为油页岩地层绳索取心钻进首选钻头。天然表镶金刚石钻头寿命长,实际使用中最长寿命达到了 632.20 m。选用的钻头基本参数见表 4。

表 4 天然表镶金刚石钻头基本参数

Table 4 Basic parameters of natural surface-set diamond bits

外径/ mm	内径/ mm	水口/ 个	水口宽度/ mm	内水槽深/ mm	胎体硬度 HRC	金刚石 粒径/ mm	出刃高度/ mm	胎块/ 个	保径聚晶/ mm
100	64	8	6	3.5	40~42	2.5~3.2	2.5	8	2×4

6 钻井液的选择

6.1 钻井液的性能要求

扶余长春岭矿区地层主要以泥页岩为主,富含大量的粘土矿物,具有强水敏性^[10]。要求钻井液具有低失水性和水敏抑制性,以减少钻井液对地层的失水,抑制泥页岩水化分散^[11]。根据绳索取心钻进工艺特点,要求钻井液具有低固相含量,良好的流变性和润滑性,且具有环保性。

6.2 钻井液配方

钻井液材料主要选用磺化沥青、聚丙烯酸钾、腐植酸钾、多功能旋挖泥浆粉等泥浆材料,配制磺化沥青体系钻井液^[12]。

钻井液配方: 1 m^3 清水 + 25 kg 磺化沥青 + 1 kg 聚丙烯酸钾 + 1 kg 多功能旋挖泥浆粉 + 10 kg 腐

植酸钾。

钻井液性能参数:密度 $1.01 \sim 1.03 \text{ g/cm}^3$, 粘度 $30 \sim 35 \text{ s}$, 失水量 $5 \sim 6 \text{ mL/30 min}$, 泥皮厚 0.2 mm , pH 值 9。

6.3 磺化沥青体系钻井液的作用机理

6.3.1 磺化沥青

磺化沥青吸附在粘土颗粒或泥页岩边缘, 形成具有一定机械强度的水化膜, 阻止自由水进入泥页岩, 抑制粘土膨胀和页岩分散, 起到稳定孔壁的作用。磺化沥青含有一些极细的胶体粒子, 能够堵塞泥皮孔隙, 减少泥皮的渗透率, 降低失水量^[13-14]。

6.3.2 聚丙烯酸钾

聚丙烯酸钾能起到防塌、包被、絮凝兼降失水作用, 能有效地对钻屑产生“包被”作用, 抑制地层造浆, 防塌效果好。钾离子能防止泥页岩的水化与剥落, 起到稳定孔壁的作用。与其他处理剂配伍性好。

6.3.3 多功能旋挖泥浆粉

多功能旋挖泥浆粉能提高钻井液粘度和抑制泥页岩膨胀。多功能旋挖泥浆粉在水中充分溶解后成半透明糊状, 在孔壁周围经过渗透和胶联形成了一层薄透明糊状保护层, 防止井漏和孔壁坍塌, 保持井径规则。

6.3.4 腐植酸钾

腐植酸钾具有降失水和稀释作用, 不仅提高了钻井液的聚结稳定性, 而且起到了降低失水量和动切力的作用。

6.4 钻井液使用效果

在实际施工中, 吉扶地 1 井、吉扶地 2 井采用的钻进工艺完全相同, 设备能力相同, 吉扶地 2 井选用低固相钻井液, 吉扶地 1 井采用磺化沥青体系钻井液, 物探测井孔径对比见表 5。

表 5 吉扶地 2 井、吉扶地 1 井测井井径对比
Table 5 Comparison of caliper logging results
from Jifudi - 2 and Jifudi - 1 wells

井号	井深/m								
	50	100	150	200	250	300	350	400	440
吉扶地 2 井	123.2	112.0	122.2	119.0	117.7	161.3	135.1	156.8	131.5
吉扶地 1 井	111.9	110.6	110.8	115.4	115.4	114.0	108.2	113.3	108.7

通过施工对比, 磺化沥青体系钻井液比低固相钻井液润滑性更好, 使用磺化沥青体系钻井液钻具在孔内的摩擦阻力和扭矩更低, 降失水能力更强, 可以抑制粘土成分在钻井液中的分散, 减少了孔壁吸

水膨胀, 护壁效果好, 取出的岩心完整, 多次取出 3 m 一根的岩心。

7 钻进参数

7.1 钻进压力

扶余—长春岭矿区地层比较单一, 主要以泥页岩为主。钻压不宜过大, 一般控制在 $10 \sim 15 \text{ kN}$ 。

7.2 转速

在设备和地层条件允许的条件下, 尽可能开高转速。孔深在 800 m 以浅时转速为 $360 \sim 490 \text{ r/min}$, 孔深在 800 m 以深时转速为 $260 \sim 360 \text{ r/min}$ 。

7.3 泵量

本工程绳索取心钻头直径为 100 mm, 计算泵量应 $80 \sim 100 \text{ L/min}$ 实际钻进中, 常用泵量为 90 L/min , 适用于 S95+5 绳索取心钻进, 钻进效果良好^[15]。

8 结论与建议

(1) 由于油页岩地层的低抗压强度, 其对套管的承托能力差, 多级套管的钻孔结构容易出现套管下窜的现象。在超过 1000 m 深钻孔钻进的过程中, 开孔段使用水泥固井的钻孔结构优化方式, 尽管提高了开孔段的成本, 但保证了套管结构的稳定, 解决了油页岩地层套管不稳定的问题。

(2) 天然表镶金刚石钻头的应用, 为油页岩地层绳索取心钻进的钻头选型提供了新的依据, 克服了尖齿复合片钻头或奇偶齿鱼脊式聚晶钻头在致密粉砂质页岩地层钻进进尺速度慢、岩心采取率常常出现不足的风险。且创造了单只钻头进尺 632.20 m, 最大提钻间隔 426 m 的纪录。

(3) 磺化沥青体系钻井液适合扶余长春岭矿区泥页岩地层钻进, 抑制性强, 润滑效果好, 孔内安全, 真正做到了低成本, 易配制, 易调整, 提高了钻进效率, 降低了钻探成本。

(4) S95+5 绳索取心钻进增大了钻杆与井壁之间的环状间隙, 减小了对泥浆泵的泵压要求, 正常钻进时泵压 $2 \sim 4.5 \text{ MPa}$, 减轻了对易水化、剥落、垮塌的, 不稳定的油页岩地层孔壁的破坏, 保证了钻孔安全。

(5) 钻进泥页岩地层钻井液固相含量升高较快, 为减少钻井液排放处理, 在今后的施工中, 建议使用每小时处理 1.5 m^3 的 TGLW220×660 型除泥机,

既能保证在油页岩地层钻进过程中的对钻井液固相的处理能力以保持钻井液的性能稳定,又能节省钻探成本,而且有利于环境保护。

参考文献(References):

- [1] 刘招君,杨虎林,董清水,等.中国油页岩[M].北京:石油工业出版社,2009.
LIU Zhaojun, YANG Hulin, DONG Qingshui, et al. Oil Shale in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009.
- [2] 徐学纯,邹海峰,孙友宏.油页岩资源综合利用技术与应用[M].长春:吉林大学出版社,2016:2-3.
XU Xuechun, ZOU Haifeng, SUN Youhong. Comprehensive utilization technology and application of oil shale resources [M]. Changchun: Jilin University Press, 2016:2-3.
- [3] 孙德学,陈伟,张元清,等.沉积岩松软地层深孔绳索取心钻探技术实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):16-19.
SUN Dexue, CHEN Wei, ZHANG Yuanqing, et al. Practice of wire-line coring drilling technology for deep hole in soft sedimentary rocks [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(1):16-19.
- [4] 赵宪富,台沐礼,孙德学,等.预防油页岩地层钻进中压差卡钻的措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9):21-23.
ZHAO Xianfu, TAI Muli, SUN Dexue, et al. Measures for preventing differential pressure sticking in drilling in oil shale formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(9):21-23.
- [5] 刘治.小口径岩心钻探技术在页岩气地质调查井中的应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(9):32-37.
LIU Zhi. Application analysis on small diameter core drilling technology in shale gas geological exploration well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(9):32-37.
- [6] 张振献,刘宝昌,卢彬,等.尖齿状金刚石复合片钻头在油页岩矿区的钻进实验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(8):64-67.
ZHANG Zhenxian, LIU Baochang, LU Bin, et al. Drilling experiments of teeth-shaped PDC bit in Shenjingzi Oil Shale Mining Area of Song Liao Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(8):64-67.
- [7] 迟玉亮.奇偶齿鱼脊式聚晶钻头的设计及在油页岩地层的钻进效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(3):51-53.
CHI Yuliang. Design of even and odd teeth polycrystalline bit and the drilling effectiveness in oil shale formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(3):51-53.
- [8] 王骞,刘宝昌.表镶大颗粒人造金刚石钻头受力及水力学数值模拟研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(8):64-68.
WANG Su, LIU Baochang. Numerical simulation study on force and hydraulics of surface set large particle synthetic diamond bit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(8):64-68.
- [9] 靖向党.钻孔工程[M].北京:冶金工业出版社,1999:132-138.
JING Xiangdang. Drilling engineering [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1999:132-138.
- [10] 朱文鉴,王镇泉.油页岩性能检测及其结果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,43(S1):140-146.
ZHU Wenjian, WANG Zhenquan. Result analyzing of oil shale characteristic parameter testing [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 43 (S1):140-146.
- [11] 罗冠平.抑制性泥浆在新疆淖毛湖煤田东部勘查区中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):33-36.
LUO Guanping. Application of inhibitive drilling fluid in the eastern exploration area of Naomaohu Coalfield in Xinjiang [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):33-36.
- [12] 胡继良,陶士先.深部地质钻探钻井液体系设计因素及其分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):17-21.
HU Jiliang, TAO Shixian. Design factors of drilling fluid system for deep geological drilling and the analysis [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(4):17-21.
- [13] 李勇,陈怡,王虎,等.磺化沥青钻井液在贵州地热勘探井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):27-30.
LI Yong, CHEN Yi, WANG Hu, et al. Application of sulfonated asphalt drilling fluid in geothermal exploration well of Guizhou [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(1):27-30.
- [14] 郑力会,鄢捷年,陈勉,等.钻井液用仿磺化沥青防塌剂的性能与作用机理[J].油田化学,2005,22(2):97-100.
ZHENG Lihui, YAN Jienian, CHEN Mian, et al. Performance properties and functioning mechanisms of pseudo sulfonated asphalt as anticaving agent for water base drilling fluids [J]. Oilfield Chemistry, 2005,22(2):97-100.
- [15] 段鸿海,胡春跃.承德 M24 矿区深孔钻探钻进参数的选择分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):17-20.
DUAN Honghai, HU Chunyue. Selection analysis on drilling parameters of deep drilling in M24 mining area of Chengde [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(3):17-20.

(编辑 韩丽丽)