

新疆页岩气小口径地质调查井钻井技术 探索与实践

张 飞, 代振龙, 熊虎林, 杨满仓, 迪力夏提·艾海提, 李 强, 王奇峰, 樊建刚
(新疆维吾尔自治区地质局乌鲁木齐地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:新疆作为我国页岩气资源潜力巨大的区域,其复杂的地质条件(如深层、强水敏页岩等)对钻井施工工艺提出了严峻挑战。本文结合小口径地质调查井和页2井的钻井实践,系统分析了适合新疆地区的钻井技术优化方案,包括设备选型、钻头选型、防斜打直、冲洗液、堵漏和智能化监测等关键技术。通过现场实践验证,优化后的钻井工艺显著降低了复杂事故率,提高了钻进效率,为新疆页岩气经济高效开发提供了技术支撑。未来需进一步攻关低成本钻井技术和智能化钻井技术,以适应规模化开发需求。

关键词:小口径地质调查井;页岩气;防斜打直;冲洗液;堵漏

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0348-05

Exploration and practical analysis of drilling construction technology for shale gas investigation wells in Xinjiang

ZHANG Fei, DAI Zhenlong, XIONG Hulin, YANG Mancang,
Dilixiati·AIHAITI, LI Qiang, WANG Qifeng, FAN Jiangang
(Urumqi Geological Party Xinjiang Bureau of Geology, Xinjiang Urumqi 830002, China)

Abstract: Xinjiang, as a region in China with enormous potential for shale gas (and hydrocarbon) resources, presents severe challenges to drilling construction processes due to its complex geological conditions, such as deep-seated shale formations and strongly water-sensitive shale. Drawing on the drilling practices of small-diameter geological survey wells, taking Well Ye 2 as an example, this paper systematically analyzes optimized drilling technology solutions suited to this region. These solutions encompass key technologies including equipment selection, drill bit selection, deviation control and straight-hole drilling, drilling fluid management, lost circulation prevention, and intelligent monitoring. Through on-site practical verification, the optimized drilling processes have significantly reduced the rate of complex accidents and enhanced drilling efficiency, thereby providing technical support for the cost-effective and efficient development of shale gas in Xinjiang. Looking ahead, further research is needed to tackle the challenges of low-cost and intelligent drilling technologies to meet the demands of large-scale development.

Key words: small-diameter geological survey wells; shale gas; drilling technology deviation control and straight-hole; drilling fluid; lost circulation prevention

0 引言

页岩气作为一种清洁能源,在保障国家能源安全等方面具有重要作用。新疆地区页岩气的勘探

开发具有重要的战略意义,不仅因为该地区拥有丰富的页岩气资源,而且因为其在国家的能源结构中占有特殊地位。新疆地区的页岩气资源丰富,资源

收稿日期:2025-06-05;修回日期:2025-07-17 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.056

第一作者:张飞,男,汉族,1985年生,高级工程师,地质工程专业,硕士,从事钻探技术与施工管理工作,新疆乌鲁木齐市沙依巴克区西山路67号,zfcug@sina.com。

引用格式:张飞,代振龙,熊虎林,等.新疆页岩气小口径地质调查井钻井技术探索与实践[J].钻探工程,2025,52(S1):348-352.

ZHANG Fei, DAI Zhenlong, XIONG Hulin, et al. Exploration and practical analysis of drilling construction technology for shale gas investigation wells in Xinjiang[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1):348-352.

潜力巨大,塔西南塞拉因单斜带侏罗系杨叶组预测页岩气地质资源量为 759.45 亿 m³,塔东南江尕勒萨估算杨叶组页岩气地质资源量为 1053 亿 m³,这些地区的页岩气资源主要分布在多个不同的地层中,这为页岩气的勘探开发提供了多个潜在的目标层系^[1-3]。

针对新疆地区复杂多变的地质构造和地层特点^[4-6],传统的钻井施工工艺可能无法完全适应,同时需要采用适合页岩储层的冲洗液体系,以保证井壁稳定和防止地层水的侵入,还需要研发新型的钻井技术和设备,以提高钻井效率 and 安全性^[7-12]。

我单位累计完成页岩气井 20 口,完成钻井进尺超过 37000 m,其中,采用小口径绳索取心钻进工艺施工 2000 m 以浅钻井 9 口,采用大口径目的层提钻取心钻进工艺施工 2000 m 以深钻井 11 口。本文以新疆北部地区页岩气和页 2 井为例,重点介绍小口径绳索取心钻进工艺施工关键技术。

1 新疆页岩气和页 2 井地层概况及施工难点

1.1 地层概况

和页 2 井是一口小口径地质调查井,位于新疆北部塔城地区和布克赛尔蒙古自治县东南部,设计控制层位为上石炭统泰勒古拉组含炭泥页岩,设计井深 2300 m,实际完钻井深 1868.6 m,达到地质目。该井位于石炭系含炭泥页岩层形成的次级背斜的顶部,其上覆的侏罗系地层较薄,约 650 m,页岩气目标层段为石炭系灰黑色含炭凝灰质泥岩、含炭粉砂质泥岩。钻遇的主要岩石为:泥岩,细、中、粗砂岩,砾岩。1000 m 以深的岩石主要为:灰黑色凝灰质泥岩,中、细、粉砂岩,灰黑色凝灰岩,灰色晶屑岩屑凝灰岩,灰黑色泥岩,灰色粉砂岩、凝灰岩,煤等。

1.2 钻探过程中的主要技术难点

(1)岩石硬度高,细、中、粗砂岩,砾岩,可钻性级别为Ⅳ—Ⅶ级。

(2)深部地层(1000 m 以深)地层严重破碎,胶结性差。

(3)和页 2 井设计井深 2300 m,地层岩性复杂,深井钻进钻具重,遇到卡钻时需强力起拔,因此要求钻塔有较大的承载力,并能提升较长的立根,从而提高起下钻速度。

(4)和页 2 井钻头外径加大,剋取岩石的面积增大,灰黑色泥岩、砂岩岩性较脆,易于破碎,因此,钻

进过程中冲洗液含砂量大,需要加强固相控制。

2 页岩气钻探施工主要关键技术

2.1 钻机选型

根据和页 2 井的地层情况、岩石物理力学性质、井深以及施工页岩气井质量要求,选用 HXY-9 型立轴钻机施工^[13],钻进中使用 Ø89 mm 绳索取心钻杆,2300 m 钻杆的总重力约 237 kN,HXY-9 型钻机的最大起重能力为 640 kN,远大于钻具自重,完全满足要求。HXY-9 型钻机的主要性能参数如表 1 所示。

表 1 HXY-9 型钻机主要性能参数

性 能 参 数		参 数 值
钻进深度/m		2000~4000
立轴输出最大扭矩/(N·m)	正转	16183
	反转	18295
钻杆直径/mm		102、89、71
钻机最大起重力/kN		640
单绳最大提升力/kN		150
钻机(配电机)外形尺寸/mm		5730×2040×3400
立轴通孔直径/mm		118
立轴转速/(r·min ⁻¹)	正转	82;119;170;234;333;215;
	反转	337;484;682;948
立轴行程/mm		1200
最大加压力/kN		340
提升速度/(m·s ⁻¹)		0.84;1.21;1.74;2.45;3.4
钻机质量/t		17

2.2 钻塔选型

深井钻进钻具重,有时还需强力起拔,要求钻塔有较大的承载力,并能提升较长的立根,以提高提钻速度。为此,选择了 HA-29/90 型钻塔,该塔承载力达 900 kN,可提升 18 m 的立根;底座面积大,适合安装 HXY-9 型这样大体积钻机,同时满足深井钻杆摆放空间较大的需求。钻塔性能参数如表 2 所示。

2.3 阶梯式金刚石取心钻头工艺

一开井段采用 Ø190 mm 复合片钻头,配单管钻具,钻进至硬岩后下入 Ø168 mm 套管并固井,该套管口径较大,可以为下部施工留足口径储备。

二开为取心井段,采用 S95 绳索取心钻具,钻进

表2 钻塔性能参数

性能参数	参数值
天车梁最大静载荷/kN	900
能适应钻孔倾角/(°)	90
天车轮数量/个	4
质量/kg	26900
钻塔名义高度/m	29
提升立根长度/m	18
底座名义规格/m	11×6.8
吊笼最大负荷/kN	0.8

至完钻。S95金刚石绳索取心钻具配套钻杆直径为 $\varnothing 89\text{ mm}$,钻头直径为 $\varnothing 95\text{ mm}$,为减少冲洗液上返阻力,提高冲洗液携带岩粉和护壁的能力,需增大环状间隙,将金刚石钻头外径加大至 $\varnothing 108\text{ mm}$ ^[14-15]。由于地层比较硬,采用阶梯式金刚石取心钻头(见图1),机械钻速由平底式金刚石钻头的1.2 m/h提高至2.0 m/h,提高67%。



图1 阶梯式金刚石取心钻头

2.4 聚合物强封堵纳米防塌冲洗液体系

根据地层情况,上部环状间隙比较大,要求冲洗液具有较好的携砂性能,深部地层由于含有炭泥页岩、灰黑色泥岩、灰色粉砂岩、凝灰岩和煤等,地层局部井段破碎较严重(图2),胶结性差,井壁易失稳,因此采用聚合物强封堵防塌冲洗液体系^[16-18]。



图2 和页2井深部破碎岩心

2.4.1 1000 m以浅聚合物冲洗液

配方:1 m³水+0.5 kg烧碱+40~60 kg钠土+5~10 kg植物胶+10~20 kg特效防塌护壁剂SD+1~3 kg 1% PAC-141溶液+2~5 kg润滑剂

RJ。

冲洗液性能:马式漏斗黏度40~60 s,密度1.10~1.20 g/cm³,API滤失量6~10 mL,pH 8~10。

2.4.2 1000 m以深聚合物强封堵纳米防塌冲洗液体系

配方:1 m³水+0.5 kg烧碱+40~60 kg钠土+10~20 kg特效防塌护壁剂SD+10~20 kg纳米封堵剂N-SO+2~5 kg润滑剂RJ。

冲洗液性能:马式漏斗黏度35~45 s,密度1.10~1.15 g/cm³,API滤失量4~6 mL,泥皮0.2 mm,pH 8~10。

S95绳索取心钻具钻进至1868.6 m,采用聚合物强封堵防塌冲洗液体系有效地保障了施工安全,未发生卡钻、坍塌事故。取心效果见图3。

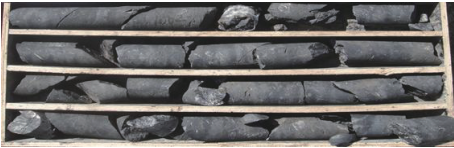


图3 使用聚合物强封堵防塌冲洗液体系取心效果

2.5 有机凝胶+水泥堵漏技术

和页2井在1000 m深部钻进过程中多处出现漏失情况,其中,以石炭系灰黑色含炭凝灰质泥岩、含炭粉砂质泥岩地层处井漏最为严重(失返)。分析认为漏失原因有两方面:(1)灰岩裂缝、溶洞发育,易于井漏;(2)钻遇的地层受断裂影响导致半充填孔隙及裂缝较多,多出现轻微渗透漏失。针对本井井漏特征及堵漏难点,现场采用凝胶+水泥双浆堵漏技术,其原理是利用凝胶隔水+水泥速干对漏失喉道进行封堵,具有堵漏强度大、堵漏成功后持久性好的特点^[19]。

2.5.1 配制堵漏液

(1)按配方“10%有机凝胶+7.5%膨润土+3%惰性颗粒材料(通道较小时可不加)”配制1号堵漏液1.5 m³,实抽1.4 m³;

(2)按配方“0.5水灰比水泥浆+3%~5%速凝剂(按水泥比例)”配制2号堵漏液,体积为1.6 m³,实抽1.5 m³;

(3)配制替浆3号浆1.8 m³,密度为1.10 g/cm³的膨润土浆1.5 m³+清水0.3 m³。

2.5.2 灌注方法

(1)光钻杆钻具下至井深1050 m;

(2)泵入1号浆,井口有返浆后封住井口,1号浆抽完后抽100 L清水作为隔离液,接着抽2号堵漏浆,泵完2号浆后抽3号浆,替浆抽出 1.4 m^3 后泵压有上升趋势,升至 2.5 MPa ,停 2 min 后继续注浆,泵压快速升至 3.3 MPa ,停 5 min 后继续注浆,泵压快速升至 4 MPa ,此时已抽替浆 1.5 m^3 ,停泵;

(3) 10 min 后,泵压表逐渐稳定在 3 MPa 位置,井口泄压,有泥浆返出,开泵循环把钻具内残留水泥浆冲出;

(4)提钻,每提 $3\sim 5$ 根立柱回灌一次,清洗钻具,候凝。

2.5.3 堵漏效果

地表水泥样品候凝 10 min 后,已经完全固结。

下钻至井底探水泥塞,在井深 1018 m 处见水泥塞,进尺较快,返浆正常,一直扫到 1062 m ,进尺速度逐渐变慢,提钻后发现岩心,正常进尺,泵压 4 MPa ,冲洗液消耗量约为泵量的 $1/6$,同时固结破碎带,保持井壁稳定,冲洗液不消耗。

2.6 GK-15型小口径岩心钻探冲洗液固控装置研制及应用

和页2井所用钻头外径加大,剋取岩石的面积增大,加之灰黑色泥岩、砂岩岩性较脆,易于破碎,因此,钻进过程中冲洗液含砂量大。井深超过 1500 m 后,净浆的密度为 1.04 g/cm^3 ,而出口泥浆密度为 1.24 g/cm^3 左右,含砂量已大于 5% 。如果不及时对冲洗液进行除砂净化,井深时由于每回次提取岩矿

心的时间较长,容易出现岩粉沉淀导致卡钻的井内事故。

采用常规的加长循环槽、增加沉淀坑、频繁更换冲洗液等净化措施效果均不理想,因此研制了由振动筛、旋流除砂器、离心机等组成的GK-15型小口径岩心钻探冲洗液固控装置(见图4)。不定期启动该设备有效地保障了深部地层取心钻进过程中含砂量 $<0.8\%$,使用效果良好,至完钻再未出现过取心卡钻的现象。



图4 GK-15冲洗液固控装置

2.7 钻进参数随钻监测系统的应用

深井钻进要求钻机操作人员必须精力集中,全神贯注,精心操作,及时观察各种钻进数据,准确掌握和判断井内情况,并及时做出相应的处理措施。

为解决以上问题,保证钻井施工的顺利进行,在井深 1000 m 以后,联合研发了深部钻探钻进参数随钻监测系统(见图5)。



图5 钻进参数随钻监测系统主要部件

该系统将主机电流、钻压、转速、泵量、泵压、大钩载荷(提引器拉力)、大钩位置、机上余尺、井深等主要钻进数据采集并显示到一个电子屏幕上,便于操作人员及时观察,主机电流、泵压、大钩载荷等数据超过设定的安全值时,仪器的报警系统就会及时报警,提醒操作人员及时采取措施,避免事故的发生。

2.8 井斜控制

钻进过程中,严格控制井身质量,根据井斜变化情况,不断优化钻进工艺,确保井身质量达到设计要求。

本井测量井段内井斜角的变化范围为 $0.8^{\circ} \sim 1.9^{\circ}$,最大井斜角所在深度为1500.00 m,对应方位为 357° ,最大水平位移为30.54 m,所在深度为1594.00 m,最大全角变化率为 $2.40^{\circ}/25$ m,所在深度为1594.00 m。如图6所示。

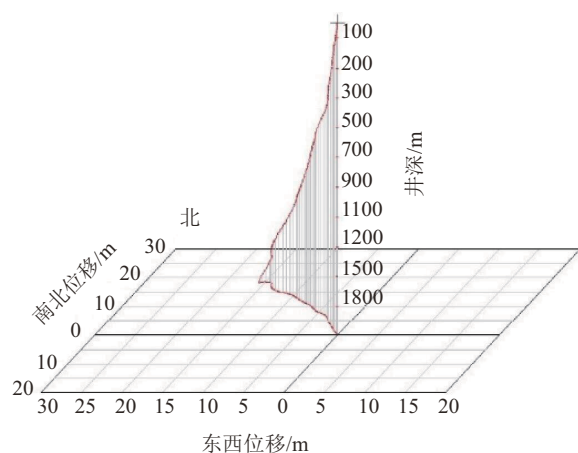


图6 和页2井井眼轨迹

3 结论

通过和页2井的钻探施工,进一步摸索和掌握了页岩气小口径地质调查井的施工工艺和深井施工技术。

(1)加大阶梯式金刚石取心钻头外径,加大绳索取心钻杆与井壁的环状间隙,钻进效率提高67%

(2)使用聚合物强封堵纳米防塌冲洗液体系是能有效解决不稳定地层坍塌、掉块等问题,加强护壁的有效技术措施,配合使用冲洗液固控装置和钻

井参数监测系统可保障钻井顺利施工。

(3)针对复杂易漏地层,采用的有机凝胶+水泥堵漏技术,能有效解决现场失返性漏失问题,保障了钻井施工安全。

参考文献:

- [1] 邹才能,赵群,丛连铸,等.中国页岩气开发进展、潜力及前景[J].天然气工业,2021,41(1):7-20.
- [2] 夏明.新疆油页岩资源现状及潜力[J].新疆地质,2020,38(4):97-101.
- [3] 杜洪凌,许江文,李岫,等.新疆油田致密砂砾岩油藏效益开发的发展与深化——地质工程一体化在玛湖地区的实践与思考[J].中国石油勘探,2018,23(2):19-30.
- [4] 杨阳,郑兴范,肖毓祥,等.中国石油中高成熟度页岩油勘探开发进展[J].中国石油勘探,2023,28(3):27-37.
- [5] 贾承造.论非常规油气对经典石油天然气地质学理论的突破及意义[J].石油勘探与开发,2017,44(1):1-11.
- [6] 邹才能,赵群,董大忠,等.页岩气基本特征、主要挑战与未来前景[J].天然气地球科学,2017,28(12):1781-1796.
- [7] 陈建国,汪伟,都伟超.渝西大安区块超深层页岩气水平井钻井提速关键技术研究[J].钻探工程,2024,51(4):154-162.
- [8] 胡文革.顺北油气田“深地工程”关键工程技术进展及发展方向[J].石油钻探技术,2024,52(2):62-69.
- [9] 龙志平,陈士奎,曹建山,等.小井眼钻井技术在页岩气井的实践与认识[J].石油机械,2023,51(4):34-42.
- [10] 王彦祺,贺庆,龙志平.渝东南地区页岩气钻完井技术主要进展及发展方向[J].油气藏评价与开发,2021,11(3):356-364.
- [11] 龙志平,王彦祺,周玉仓,等.平桥南区页岩气水平井钻井优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(12):34-37.
- [12] 杨海平.涪陵平桥与江东区页岩气水平井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2018,46(3):13-19.
- [13] 赵洪波,朱芝同,梁涛,等.页岩气基础地质调查钻井技术研究进展及展望[J].中国地质,2023,50(2):80-98.
- [14] 刘维,高德利.PDC钻头研究现状与发展趋势[J].前瞻科技,2023,2(2):168-179.
- [15] 祝效华,李瑞,刘伟吉,等.深层页岩气水平井高效破岩提速技术发展现状[J].西南石油大学学报(自然科学版),2023,45(4):1-18.
- [16] 陈毅荣,蒋志雄.适合页岩气水平井的超低摩阻水基钻井液体系研究与应用[J].化学与生物工程,2025,42(4):49-53.
- [17] 范胜,蒋官澄,易浩,等.抗高温封堵固壁防塌水基钻井液研究与应用[J].钻采工艺,2023,46(2):146-152.
- [18] 陈修平,李双贵,于洋,等.顺北油气田碳酸盐岩破碎性地层防塌钻井液技术[J].石油钻探技术,2020,48(2):12-16.
- [19] 李文哲,傅栋,王翔,等.龙马溪页岩微米防漏堵漏剂研究与应用[J].钻采工艺,2021,44(6):111-114.

(编辑 王跃伟)