

贵州省页岩气调查井施工工艺

宋继伟, 李 勇

(贵州省地矿局 115 地质大队, 贵州 清镇 551400)

摘要:以“贵州省页岩气资源调查评价”项目部分调查井施工过程为依托, 简要介绍了目前贵州省页岩气钻井工程和测井技术基本工艺情况, 总结页岩气钻井和测井工作中存在的问题, 可为同类工程提供借鉴。

关键词:页岩气; 调查井; 钻井; 测井; 钻井液; 气测录井

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)08-0026-05

Summary of Shale Gas Investigation Well Construction Technology in Guizhou Province/SONG Ji-wei, LI Yong
(115 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Qingzhen Guizhou 551400, China)

Abstract: Based on the part of investigation well construction process of “shale gas resource research and appraisal in Guizhou Province” project, this paper briefly introduced the basic information of shale gas drilling engineering and well logging technology and summarized the problems in shale gas drilling and logging, which could provide reference for the similar projects.

Key words: shale gas; investigation well; well drilling; well logging; drilling fluid; gas-logging

0 引言

页岩气作为一种重要的非常规天然气资源, 已经开始在全世界范围内引发新的“页岩气革命”。分析显示, 全球页岩气的资源潜力大于常规天然气, 同时, 大部分产气页岩分布范围广、厚度大, 且普遍含气, 这使得页岩气井能够长期地以稳定的速率产气, 具有开采寿命长、生产周期长的优点, 此外, 开采页岩气成本仅略高于常规气。美国是目前世界上唯一实现页岩气大规模商业性开采的国家, 在美国, 页岩气已经取代煤炭成为仅次于石油的第二大能源。国际能源署评估中国页岩气资源储量排名世界第一, 我国“十二五”期间页岩气开发目标第一项就是开展页岩气资源调查评价。

2012年9月10日, 国土资源部举行页岩气第二轮招标, 面向社会各类投资主体公开招标出让页岩气探矿权 20 个区块, 总面积为 20002 km², 分布在重庆、贵州、湖北、湖南、江西、浙江、安徽、河南 8 个省市。“贵州省页岩气资源调查评价”项目就是在此基础上形成的。本项目工作目标: 掌握贵州省含气页岩发育层位、基本地质特征和分布规律, 评价全省页岩气资源潜力, 优选出页岩气勘探开发有利区, 争取实现页岩气的工业突破, 为贵州省页岩气勘探开发总体布局提供基础依据, 为加强页岩气资源监

督管理提供基础支持。

1 调查井部署

本项目根据区域地质背景划分为 4 个工作区, 共布置调查井 27 口, 备选井 2 口, 具体分布情况为: 黔西北地区 7 口, 黔西南地区 7 口, 黔北地区 8 口, 黔南地区 5 口。

贵州省页岩气有利区埋深一般在 600 ~ 4000 m, 考虑勘查阶段及费用因素, 本批调查井设计均较浅, 井深基本集中在 600 ~ 1200 m 之间。

2 地层情况

目标层位为贵州省全境内震旦系、下古生界(下寒武统、上奥陶-下志留统)、上古生界(泥盆系、石炭系、二叠系)和中生界(三叠系)等含气页岩层系。上覆盖层根据地区不同岩类繁多, 节理、断层构造及岩溶、破碎带、软硬互层、水敏地层等情况交替复杂多变, 在如此广阔的区域上以统一严格的高标准完成所有调查井难度非常大。

3 调查井钻井和测井重点技术要求

页岩气钻井和测井相关技术规定较为精细繁杂, 以下仅列举重要的纲领要求:

收稿日期: 2013-04-26

作者简介: 宋继伟(1982-), 男(汉族), 河北河间人, 贵州省地矿局 115 地质大队探矿工程部经理、工程师, 地质工程专业, 博士, 从事钻探技术研究和施工管理工作, 贵州省清镇市, songjiwei8759@163.com。

(1)除第四系浮土层外全井段取心,要求完整段岩心采取率在 90% 以上,破碎层段岩心采取率 < 70%,完井口径 < 95 mm;

(2)井斜要求:执行《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227-2010) 钻孔质量要求,直孔顶角偏斜 > 2°/100 m;

(3)井径要求:非地层破碎、垮塌井段,井径扩大率 < 15%,对可能垮塌井段,井径扩大率略为放宽,但要控制在 20% 以内;

(4)不允许钻井液加入任何含油、含荧光等能够影响页岩气评价样品分析化验结果的处理剂和添加剂;

(5)自钻穿第四系土层至完井随钻气测录井;

(6)目的层含气性现场解析,因现场实验周期较长,必要时停钻等待配合;

(7)完井后及时进行地球物理测井。

4 钻井施工

4.1 钻井设备

钻机采用 XY-44 型立轴钻机、YDX-5、YDX-1800、CS14 型全液压钻机,根据不同井深要求保证 S95 口径绳索取心钻进能力达到完钻要求,同时能满足上部孔段大口径钻进能力。

4.2 钻井工艺

根据地质设计、调查井地层情况等综合因素,确定如下钻探工艺方法。

4.2.1 钻孔结构

典型钻孔结构,依地质岩心钻探钻具口径系列,钻具与套管尺寸如表 1 所示。

表 1 调查井钻具组合及套管尺寸要求

钻具组合	钻头类型	钻头尺寸/mm	套管尺寸/mm	备注
一开	硬质合金钻头	150	146	封闭浮土层
二开	硬质合金钻头	130	127	漏水层或出水层分段固井
三开	金刚石表镶钻头	110	108	略钻少许作为过渡口径
四开	金刚石绳索取钻头	95		裸眼钻井液护壁至完钻

一开(开孔口径):以 Ø150 mm 硬质合金钻头钻穿覆土进入基岩,井深约 10 ~ 20 m(设计调查井综合井深,下同),下入比实际孔深长 0.20 m 的 Ø146 mm 套管护壁。

二开(过渡口径):以 Ø130 mm 硬质合金钻头钻进至井深 60 ~ 100 m,下入比实际孔深长 0.40 m 的 Ø127 mm 套管护壁。

三开(备用口径):以 PQ 级绳索取心钻具或

Ø110 mm 表镶金刚石单管视情况略钻少许进尺下入比实际孔深长 0.60 m 的 Ø108 mm 套管护壁。

四开(终孔口径):以 HQ 级绳索取心钻具钻进至终孔,全段取心,不下入套管。

部分设计井深较大的抽水试验井考虑增大一级口径开孔,过渡口径相应加深,确保后期能满足抽水试验要求,有更多选择余地。典型钻孔结构如图 1 所示。

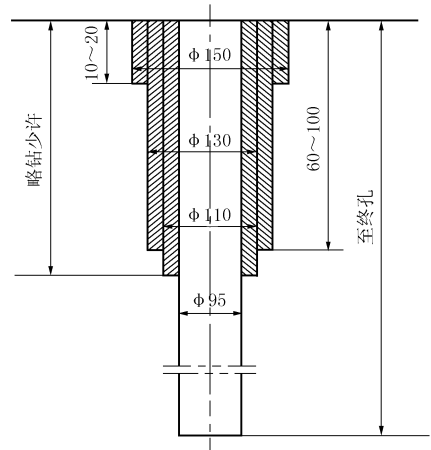


图 1 典型钻孔结构

4.2.2 钻进方法

第四系及上部不要求取心井段,可根据单井地层及钻探机具情况自由选择硬质合金钻头单管钻进、牙轮钻头全面钻进、S122 绳索取心等;需进行录井、测井要求全取心井段,采用 S95 绳索取心钻进。

4.2.3 钻井液综述

原则上全井段使用清水基钻井液钻进,其基本性能为:密度 1.02 ~ 1.07 g/cm³,粘度 20 ~ 40 s。钻井液要求低失水、低固相、低摩阻、携砂能力强、热稳定性好。不允许钻井液加入任何含油、含荧光等能够影响页岩气评价样品分析化验结果的处理剂和添加剂,做到含气层保护、环境保护、钻井安全的统一。进入目的层前 20 m,或遇超标有害气体(如 H₂S 气体)溢出孔口时,加入泥浆加重剂,提高泥浆密度,同时预备相应的封堵材料,以防止发生井喷事故或有害气体伤害施工人员。

现场配备一台泥浆搅拌机,使钠膨润土粉能充分水化分散;配备发酵桶,将待加入的高分子处理剂预先分散、水化、溶解;配备泥浆密度称、马氏漏斗粘度计、打气筒失水仪和 pH 试纸以便测量泥浆性能指标;泥浆池、沉淀池、循环槽尺寸科学标准,用水泥砂浆修筑,以免混入杂物污染泥浆。根据设计和施工要求连续测量泥浆性能指标,根据测量数据加入相应

处理剂调节泥浆以保持泥浆性能基本不变;停钻时除尽沉淀池、循环槽内的沉砂以保证泥浆较小的含沙量。泥浆性能指标与最初泥浆性能指标相差较大时换浆。条件允许时可配备旋流除砂器、振动筛等。

贵州省地矿局 112 地质队在施工中使用的钻井液配方:

清水 1 m^3 + 钠土粉 50 kg + 纯碱 2 kg + 水解聚丙烯酰胺盐($\text{NH}_4 - \text{HPAN}$) 1.2 kg + 高粘羧甲基纤维素(HV - CMC) 0.5 kg + 磺化沥青防塌护壁剂 2.5 kg。

性能指标:密度 1.02 g/cm^3 , 漏斗粘度 27 ~ 32 s, 滤失量 7 mL/30 min, pH 值 8.5。

在本次调查井施工中体现出较强的适应性。

5 测井工程

5.1 综合录井

5.1.1 钻时录井(气测录井单位实施)

二开至完钻井段进行钻时录井。

钻时录井要求:

(1) 全井自二开连续测量,每 1 m 录取井深、每米纯钻时间并进行记录;钻时突然加快或取心钻进时按 1 点/0.5 m 读取数据并作记录;

(2) 随时记录钻时突变点,并及时分析成因;

(3) 经常核对钻具长度及井深,每打完一个单根和起钻前必须校对井深,井深误差 $\geq 0.1 \text{ m}$;

(4) 全井漏取钻时点数不得超过总数的 0.5%,目的层段钻时不得漏取。

5.1.2 气测录井(气测录井单位实施)

(1) 综合录井仪,三开或四开开始连续测量,每 1 m 读取全烃、 $\text{C}_1 - 5$ 组分、 CO_2 、 H_2S 数据并记录,目的层段加密至 0.5 m 测量一次。发现异常及时汇报相关技术人员。

(2) 最小检测浓度:全烃最小检测浓度 $\leq 0.02\%$; CH_4 最小检测浓度 $\leq 0.003\%$; CO_2 最小检测浓度 $\leq 0.1\%$, H_2S 最小检测浓度 $\leq 0.0002\%$ 。

5.1.3 钻井液录井

(1) 每 8 h 做一次全性能测定;每 2 h 测定一次一般性能(密度、粘度)。

(2) 发现气体显示异常时,要连续测定钻井液密度、粘度并做好记录。

5.2 含气性现场解析

由业主设计单位组织实施,含气性现场解析实验层段:目的层。

含气性现场解析实验设备:含气性现场解析仪。

含气性现场解析实验测试内容:测定岩心页岩

气含量,测量岩心体积,收集解析气体;室内补充分析页岩气组分、甲烷同位素、岩石视密度、真密度、岩矿组合、有机地化特征。

含气性现场解析实验方法及要求:参照国土资源部油气资源战略研究中心发布的页岩气实验测试技术要求。

补充要求:

(1) 地质人员要做好进入目的层预见,钻入目的层前及时通知各有关人员,提前做好各项准备工作。

(2) 尽量缩短岩心在空气中暴露时间。岩心到达地面后,出筒、丈量、拍照、装罐时间 $\leq 10 \text{ min}$,并立即开始现场解析实验。

(3) 选送样要求:根据研究需要及时进行样品采集和送样,具体工作由业主设计单位完成。

5.3 地球物理测井

二开 ~ 完钻进行综合测井。

测井项目有:自然电位、自然伽马、自然伽马能谱、深 - 浅双侧向电阻率、微电极电阻率、补偿声波、补偿中子、补偿密度、井径,共 9 项。深度比例尺为 1:200

6 钻井技术重点

6.1 水敏性地层钻井液

贵州从新元古代至中生代一直处于海洋沉积环境,沉积了大量的碳酸盐岩、砂岩、泥岩和页岩。其中震旦系陡山沱组、下寒武统牛蹄塘组、奥陶系五峰组、下志留统龙马溪组、中泥盆统罐子窑组 - 火烘组、石炭系大塘组及二叠系龙潭组等都沉积有较厚的(炭质)泥岩和页岩,是贵州页岩气重要的烃源岩,但同时也为钻井施工带来较大困难。很多地区泥页岩、炭质泥岩为典型的水敏性坍塌地层,厚度从几十米至数百米不等,遇水极易水化膨胀,造成钻孔坍塌、缩径。

以黔北地区镇远县镇页 1 井为例,该井 200 ~ 600 m 含多段炭质泥页岩层。

(1) 下寒武统杷榔组(C_1p)。井深 0 ~ 354 m,钻厚 354 m,下部为青灰色含碳页岩,上部为黄绿色板状页岩。

(2) 下寒武统变马冲组(C_1bm)。井深 354 ~ 594 m,钻厚 240 m。符合区域上“两泥夹一砂”结构。由下而上,第一段岩性为黑色板状碳质页岩夹粉砂岩条带、砂岩透镜体,厚度约 130 m;第二段岩性为黑色薄层碳质泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,夹薄层

泥岩,厚度约80 m;第三段岩性为灰黑~黑色薄层粉砂质泥岩,厚度约30 m。

施工过程中钻遇该层段时,未给予足够重视,使用常规无固相钻井液迅速穿过,结果钻至井深600 m时更换钻头,起大钻至上述炭质泥页岩层时,发现钻具钻杆有被挤夹抱死拉不起迹象,改为向下放,能慢速下降,怀疑为该层受水浸泡水化膨胀缩径,合起车开水慢转扫孔上顶,经数段这种情况后取出孔内全部钻具。更换钻头后,下钻至该层位,发现钻具根本无法下放,据扫孔钻取的岩样分析钻孔已经被缩径垮孔全部堵死。经研究决定,使用较大密度水敏抑制性泥浆重新迅速扩孔钻穿该层下入套管封隔,泥浆配方:

1 m³清水 + 100 kg 预水化钠土粉 + 1 kg HV - CMC + 20 kg LG 植物胶。

性能参数:表观粘度 26 mPa·s,失水量 9 mL/30 min, pH 值 9,密度 1.07 ~ 1.09 g/cm³。

现场使用效果良好,有效地抑制了膨胀缩径,成功穿过并将 Ø108 mm 套管下至 400 m。

6.2 钻孔级配问题

由于页岩气随钻气测录井要求必须返水(通过返出的钻井液测量携带气体的含量和成分),这无疑在很大程度上增加了施工难度。

众所周知,钻井液是钻井工程的血液,往往决定着钻井的成败,但是钻井液不是万能的,部分复杂地层就必须使用套管或其它办法封隔。贵州省是我国喀斯特发育最典型最复杂的集中区,地下水丰富且活动频繁,裂隙及岩溶极端发育,钻井过程中溶洞、钻井液漏失等情况频发,这种情形钻井液用到极致也不能保证返水,只能采取优质钻井液护孔钻穿后下套管封隔。此外上述提到的巨厚层水敏性地层以及其它完全漏失层位(基于测井要求顶漏钻进已被否定)也属于同类。

鉴于该问题,就对更大口径的钻探提出了更高要求。目前国内固体矿床岩心钻探 Ø75 mm 是常规的终孔口径,此次页岩气勘查要求终孔直径 ≥ 95 mm。S95 和 S75 绳索取心钻具是当今小口径绳索取心钻进的主流,之前 S95 都是用于为 S75“保驾护航”。现在以 95 mm 作为终孔口径,所以合理的设计钻井结构级配,进行更大的技术口径钻探,综合采用钻井液与套管配合护孔就显得尤为重要。

前面提到的 Ø150→130→110(S122)→95 mm,结构简单、合理,在整个项目中全面推广使用效果好。其实当今钻探设备能力一般都能满足,上述口

径也属常规,因此科学的技术设计和施工的执行力度才是关键,二开、三开大口径技术井段严格按设计施工贯彻到相应层位是决定页岩气调查井钻井成功的重要因素。

以麻江县麻页 1 井为例,该井设计井深 930 m,预计该井钻遇地层自上而下依次为第四系、寒武系清虚洞组、杷郎组、变马冲组、九门冲组、牛蹄塘组、震旦系灯影组。其中设计井深 600 ~ 740 m 九门冲组为一套泥晶灰岩、砂屑灰岩,施工存在遇溶洞可能。选用设备为 HXY - 8 型钻机,钻井工程设计要求使用 S122 绳索取心钻具钻穿该层下入 Ø114 mm 绳索取心钻杆封隔。施工中现场工人因嫌大口径钻进缓慢及上部岩心非常完整,擅自于孔深仅 180 m 时过早换径至 S95,由于设计偏差,孔深 760 m 才遇该层且在 790 m 处钻到一 2 m 溶洞,此时封水泥及长距离扩孔均不现实,且工期将近,无奈之下改用 S75 终孔,虽然最终未影响测井效果,但是从总体来看这是一次不成功的钻井案例,也间接印证上述提到的问题。

6.3 二硫化钼润滑脂的使用

深孔、大口径钻进、泥浆漏失严重返水少孔内岩粉多、泥浆粘度高等因素导致的直接影响就是钻机回转阻力大开不起转速,二硫化钼润滑脂在该项目中的试用是一个亮点。

以罗甸县罗页 1 井为例,该井终孔井深 1431.25 m,使用北京天和众邦勘探技术股份有限公司生产的 CSD - 3000 型全液压钻机,设备能力非常强大。使用 S95 钻具钻深至 600 m 时,因孔内钻井液漏失严重,含砂量高,转速仅能不高于 380 r/min。请钻机厂家和钻探专家对设备及钻井液鉴定后,尝试使用二硫化钼润滑脂涂抹钻杆,效果良好,转速很快提升至 530 r/min,增幅近 40%。此法在该项目长顺县长页 1 井、麻江县麻页 1 井均采用,效果同样显著。使用结果显示,二硫化钼润滑脂不仅能有效提高转速,同时对于一般破碎地层也有较好的护壁性。该法使用简单,单井每根钻杆下井前涂抹一次即可。

7 存在的问题和不足

7.1 页岩气钻井设计井深偏差

作为评价页岩气资源潜力,优选页岩气勘探开发有利区的调查井,由于所选工作区以往一般较少或空白类似钻井资料,仅凭地质人员地表调查设计,控制性较差,部分钻井井深偏差较大,可能出现设备能力不足问题。这一点在贵州省该轮页岩气调查井

施工中体现得较为突出,近7成钻井出现增深现象且增幅较大,导致初选设备钻探能力不足后期改用小口径钻进。相信国内其它地区在页岩气目前勘查阶段均会出现类似问题,建议在选用设备时应预留1倍的钻进能力。

7.2 国内页岩气测井技术进步

目前国内页岩气研究和开发尚处于起步阶段,测井基本是借用石油天然气测井技术。无论选区还是后续工作钻井阶段,在各个不同环节,测井技术和测井解释作为高效、快速的地球物理探测和分析手段,可以为地质家和开发工程师提供丰富的评价指标。但是由于页岩气在岩性,尤其是成藏机制上的特殊性,常规油气勘探采用的测井评价方法难以完全适应,因此要针对页岩气地层特点开发新的解释技术。在新的页岩气钻井中,尽可能多采用ECS测井、成像测井等特殊测井技术,对于页岩气的勘探和开发都是极为重要的。在普查和选区阶段,由于钻井数量有限,测井资料的研究和应用还非常稀少。但是作为一项在各阶段都能起到重要辅助作用的技术,建议加强和支持这方面的研究,以便将来能更好的为勘探和开发服务。同时,就目前贵州省页岩气调查井气测录井现场情况来看,测井技术人员水平普遍偏低。所以,加强对页岩气测井技术的研究和人员的培养应该是我国页岩气未来发展的一项重要内容。

7.3 页岩气勘查规范亟待完善

7.3.1 页岩气钻井主体口径问题

贵州此轮开展的页岩气资源潜力评价调查井,有别于以往使用石油设备,均采用地矿、煤田、冶金系统的小口径绳索取心钻进。虽然最初根据设计要求终孔口径 ≥ 95 mm,但据施工结果来看,有几口井因超深或孔内复杂情况等因素改用S75钻进至终孔,也均能满足岩心量以及测井、物探要求,因此建议在以后页岩气调查井设计及规范编写中考虑此点。

7.3.2 页岩气钻井水文观测

简易水文观测是钻井的重要组成部分,但是本次贵州省页岩气调查井较大一部分钻孔都布置了单孔抽水试验,常规单孔抽水试验一般是使用经验公式及试算法求影响半径,测定的渗透系数精度较差。在水文地质勘查的初步阶段,单孔抽水也常用来了解和对比不同地段含水层的透水性和富水性。上述内容对于该阶段页岩气勘查似乎没有太多的针对性,今后施工中是否继续实施有待商榷。

相对于抽水试验来说,能否取到井内特定层位的原状水样更重要。取原状水样的方法应该在今后

的工作中进行相关试验研究。

7.3.3 各种规范有待健全

上面列举的2个技术问题仅是目前我国页岩气勘查技术规范需要完善的一个小缩影。应该说自我国开始页岩气工作以来,相应理论研究也同时在进展,已经形成了部分规范性文件,但是页岩气测井技术、钻井技术等规范规程的总结仍需随着页岩气工程勘查和开发的进程逐步确立。

7.4 页岩气调查井钻井安全隐患

本次贵州省页岩气调查井钻井施工均为地矿、有色、冶金系统单位,很多单位都是首次接触该项工作,区别于以往的石油系统单位有较完善的安全管理体系和井控设备,地勘单位一般在气体施工安全管理体系方面本身尚不成熟,同时市面上成品的适用于小口径绳索取心钻探的井控防喷设备也较缺乏,因此很多单位匆忙上阵,连基本的防毒、防喷设施都缺乏。

随着施工的进行部分单位配备了防毒面罩,也自行设计加工了效果良好的简易井口防喷器。

但是上述这些仍相对简陋,难以满足更安全规范的页岩气勘查工作。

8 结语

(1) 钻井液与套管合理配合使用保证钻井液能返浆,是页岩气随钻气测录井的关键;

(2) 二硫化钼润滑脂对于深孔、大扭矩钻井有良好的润滑减阻和护壁作用,建议推广使用;

(3) 页岩气资源潜力评价选区阶段布置调查井设计井深控制性一般较弱,设备选型时应留够充足余地;

(4) 虽然我国页岩气的研究进度非常迅速,有些区域已经达到试开发的阶段,但是我国在页岩气测井技术及页岩气相关规范规程方面仍相对滞后,这应该也作为今后工作的重点。

参考文献:

- [1] 贵州省页岩气资源调查评价项目设计书[Z].贵州省国土资源厅,2012.
- [2] 蒋国盛,王荣璟.页岩气勘探开发关键技术综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):3-8.
- [3] 中国页岩气资源量世界第一[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):70.
- [4] 杨晓奇.地质勘探金刚石岩心钻探中浅孔主体口径探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(11):1-3.
- [5] 贵州将成为我国页岩气主力产区[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):39.