

# 贵州岩溶地区煤层气钻井关键技术

谢国毅<sup>1</sup>, 刘 虎<sup>1,2</sup>, 毛志新<sup>3</sup>

(1. 贵州天然气能源投资股份有限公司, 贵州 贵阳 550000; 2. 六盘水能源投资开发有限公司, 贵州 六盘水 553000; 3. 山东科瑞油田服务集团股份有限公司, 山东 东营 257000)

**摘要:** 贵州省煤层气资源十分丰富, 在前期的煤层气勘探开发过程中, 出现了诸多钻井难点, 一开钻进过程中容易遇碰到溶洞, 存在井漏和井口失返现象; 地层倾角大, 可钻性差。二开钻井机械钻速低; 煤层多而薄, 机械强度低, 岩心采取率低。这些钻井难点严重制约了贵州岩溶地区煤层气勘探和开发的进程。本文通过分析贵州岩溶地区地层特征和钻井难点, 并通过多年的工程实践, 总结出了一套适合贵州岩溶地区的煤层气钻井关键技术, 包括一开空气钻井技术、二开快速钻井技术和绳索取心钻进技术等。本文的研究成果不仅适合贵州岩溶地区煤层气勘探和开发, 对其他地区的煤层气勘探和开发也有借鉴意义。

**关键词:** 岩溶地区; 薄煤层; 煤层气; 空气钻井; 快速钻井; 绳索取心钻进; 贵州

**中图分类号:** P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)05-0046-04

**Key Coalbed Methane Drilling Technology in Guizhou Karst Area/XIE Guo-yi<sup>1</sup>, LIU Hu<sup>1,2</sup>, MAO Zhi-xin<sup>3</sup>** (1. Guizhou Natural Gas Energy Investment Corporation, Guiyang Guizhou 550000, China; 2. Liupanshui Energy Investment and Development Co., Ltd., Liupanshui Guizhou 553000, China; 3. Shandong Kerui Oilfield Service Group Corporation, Dongying Shandong 257000, China)

**Abstract:** Coalbed methane resource is very abundant in Guizhou Province. In the early stage of exploration and development, there are many drilling difficulties, karst cave were often encountered in the first section drilling with leakage, circulation lost, large dip angle and poor drillability; in the second section drilling, low ROP and thin coal seams led to low core recovery rate, these difficulties seriously restricted the exploration and development process of coalbed methane in Guizhou karst area. By the analysis on the formation characteristics and drilling difficulties of Guizhou karst area and based on years' engineering practice, this paper summarizes a set of key technologies suitable for coalbed methane drilling in Guizhou karst area, including air drilling technology in the first drilling section, fast drilling technology in the second drilling section and wire-line coring technology. The research results can be suitable not only for the coalbed methane exploration and development in Guizhou karst area, but also can be reference for the coalbed methane exploration and development in other areas.

**Key words:** karst area; thin coal seam; coalbed methane; air drilling; fast drilling; wire-line core drilling; Guizhou

## 0 引言

贵州省煤层气资源十分丰富, 同样评价标准下的煤层气资源量位列全国各省区第二<sup>[1]</sup>。近年来, 贵州天然气能源投资股份有限公司、贵州省煤田地质局和中石化华东局等单位在贵州各煤层气区块开展了大量的勘探和开发工作。前期部署的煤层气井井深大多在 1200 m 以浅, 井型以直井和定向井为主, 设计普遍采用二开井身结构, 一开采用  $\Phi 311.1$  mm 的钻头, 下入  $\Phi 244.5$  mm 的表层套管; 二开采用  $\Phi 215.9$  mm 钻头, 下入  $\Phi 139.7$  mm 的生产套管。贵州地区存在着岩溶地貌发育, 地层倾角较大,

出露灰岩、砾岩和白云岩, 地层可钻性差以及煤层多而薄等地质特征, 给钻井造成很大挑战。为了推动贵州煤层气勘探开发进程, 有必要针对贵州地区地质特征, 研究提高贵州煤层气钻井速度和质量的关键技术。

## 1 地层特征及钻井难点

**1.1 岩溶地貌发育典型, 存在井漏和井口失返现象**  
贵州地区碳酸盐岩层分布广泛, 岩溶和裂隙发育。虽然在井位部署时采用了一些地球物理探测方法来避开溶洞, 但是实际施工过程中还是经常遇见

收稿日期: 2018-01-04

作者简介: 谢国毅, 男, 汉族, 1961 年生, 高级工程师, 钻井高级主管, 主要从事煤层气钻完井技术研究工作, 贵州省贵阳市观山湖区林城西路 8 号摩根中心 A 栋 17 楼, xieguoyi@swgas.com.cn。

溶洞,造成井漏或井口失返,给钻井施工造成很大困难,甚至有些井眼因此而报废,例如大 101 井由于钻遇溶洞和地下暗河,在钻进至 285 m 后弃井。

### 1.2 地层倾角较大,可钻性差,机械钻速低

地质资料显示,与山西沁水盆地和内蒙古鄂尔多斯盆地相比,贵州岩溶地区的地层倾角较大,在钻井过程中井斜容易超标。贵州地区常见的出露地层有寒武系、奥陶系、石灰系、二叠系、三叠系、侏罗系和第四系,灰岩、砾岩和白云岩发育,地层砂岩和泥岩互层,可钻性较差。在勘探开发前期由于没有进行钻头选型和钻具组合优选,造成钻头与地层不匹配,机械钻速低。贵州地区大 203 井、比 1 井、纳 2 井和钟 1 井的平均机械钻速分别只有 3.92、2.26、3.52 和 5.17 m/h。

### 1.3 煤层多而薄,机械强度低,岩心采取率低

贵州地区煤层多而薄,例如水城县比德区块含煤 27~54 层,一般 35 层,其中可采煤层 12 层。煤层性脆、机械强度低,易垮塌掉块,造成岩心采取率难以保证。取心过程中经常出现砂泥岩和煤层互层,钻速忽快忽慢,变化频繁,造成取心时钻压难以控制,容易扰动煤心,影响岩心采取率。

## 2 一开空气钻井技术

贵州地区煤层气直井和定向井一开一般采用  $\text{O}311.1$  mm 的钻头,由于上部地层岩溶和裂隙发育,用常规泥浆钻进存在机械钻速低以及井漏或井口失返的现象,例如大 203 井和比 1 井一开机械钻速只有 0.72 和 0.83 m/h。大部分井在一开钻进过程中均存在不同程度的漏失现象。

依据贵州地区地质特征,一开钻进推荐使用空气钻井技术,一方面可以提高机械钻速,缩短钻井周期,另一方面可以避免因钻遇溶洞引起的井漏等复杂情况。空气钻井一般使用潜孔锤,采用冲击和回转的钻进方式,破碎岩石所需要的钻压小,满足一开钻进过程中防斜的钻井要求<sup>[3-6]</sup>。钻进过程中为了保证井身质量,使用塔式钻具组合,严格控制钻压,

采用轻压吊打的方式进行钻进。如果在钻进过程中遇到水层,可以采用雾化或泡沫钻进措施。通过六盘水牛场地区 3 个井台的现场试验,采用空气钻井技术,一开机械钻速可以达到 12.69 m/h。现场使用的钻具组合和钻进参数如下所示:

钻具组合:  $\text{O}311.1$  mm 空气潜孔锤 +  $\text{O}177.8$  mm 钻铤 +  $\text{O}159$  mm 钻铤 +  $\text{O}127$  mm 钻杆。

钻进参数: 钻压 10~20 kN; 转数 10~30 r/min; 气体排量 30 m<sup>3</sup>/min; 气压 0.1~0.5 MPa。

## 3 二开快速钻井技术

### 3.1 钻头优选

钻井实践表明,钻头的合理使用对提高钻进速度、降低钻井成本起着重要作用。贵州地区地层灰岩、砾岩和白云岩发育,砂泥岩互层,可钻性较差。通过牙轮钻头和 PDC 钻头性能对比(如表 1 所示),PDC 钻头具有明显优于牙轮钻头的钻进效果,而且使用螺杆动力钻具,充分发挥螺杆转速高的优点,可以取得较高机械钻速,所以贵州地区煤层气钻井优先选用 PDC 钻头。

表 1 牙轮钻头和 PDC 钻头性能对比

钻头类型	牙轮钻头	PDC 钻头
破岩方式	冲击与剪切	剪切
破岩效率	较高	高
钻头寿命	短	长
地层适应性	各类地层	软—中硬均质地层
钻井参数	大钻压、低转速	小钻压、中转速
钻井方式适应性	转盘、动力钻具	转盘、动力钻具及复合钻井
定向性能	较好	最好
井眼尺寸	较大井眼	无限制
事故率	高	低
录井限制	无	有

通过大 201 井台大 201-2X2、大 201-2-X4 和大 201-4-X2、大 201-4-X4 井 4 口井的试验研究,结合贵州地区不同的地层特点,优选刀翼数量为 5、切削齿大小为 16 mm 的 PDC 钻头,取得了很好的机械钻速(如表 2 所示)。

表 2 大 201 井台钻井数据统计

序号	井号	区块	井别	钻机型号	完钻井深/ m	钻井周期/ d	完井周期/ d	一开平均机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )	平均机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )
1	大 201-2-X2	黄泥塘向斜	生产井	ZJ30	558	2.83	6.25	4.45	16.41
2	大 201-2-X4	黄泥塘向斜	生产井	ZJ30	522	7.90	9.63	12.50	6.36
3	大 201-4-X2	黄泥塘向斜	生产井	ZJ30	622	3.67	8.92	7.71	12.96
4	大 201-4-X4	黄泥塘向斜	生产井	ZJ30	935	3.92	7.21	4.00	12.38

### 3.2 钻具组合优化

贵州地区地层倾角较大,地层较硬,为了能够提高钻井速度,防斜打快,同时保证井身质量可靠且使用寿命更长,复合钻井技术得到了广泛的应用<sup>[7-8]</sup>。复合钻进技术具有如下优点:

(1)高效 PDC 钻头对付某些地层的优势明显大于牙轮钻头;

(2)螺杆钻具的质量不断提高,寿命大大加长,所以和 PDC 钻头匹配,可充分发挥 PDC 钻头的效能;

(3)在直井中可以随时纠斜,在定向井中可以实时控制轨迹,保证井身质量,提高钻进效率。

贵州地区煤层气钻井以丛式井为主,优化的复合钻进钻具组合如下:

Ø215.9 mm PDC 钻头+Ø172 mm 螺杆钻具+Ø165 mm 定向接头+Ø165 mm 无磁钻铤+Ø159 mm 钻铤+Ø127 mm 钻杆+方钻杆。

或 Ø215.9 mm PDC 钻头+Ø172 mm 螺杆钻具+Ø165 mm 定向接头+Ø165 mm 无磁钻铤+Ø127 mm 加重钻杆+Ø127 mm 钻杆+方钻杆。

### 3.3 施工工艺

(1)总结区块钻井时方位漂移规律,充分考虑地层造斜力的影响,并在实钻轨迹控制时予以考虑,如造斜力与靶方位相同,定向时减小井斜角,反之则定向时增大井斜角。

(2)定向钻进时,每个单根测量并记录井斜和方位数据一次,分析定向规律,发现全角变化率有超标迹象,及时调整定向井段的长度,应采用每根定向+复合钻进的钻进模式。

(3)稳斜段钻进每 3 个单根测单点一次,及时跟踪井眼轨迹,发现偏离轨迹迹象,及时采取措施进行调整。进行扭方位或增降斜作业时,要注意控制定向的长度,以免造成局部“狗腿”度超标,保证井眼光滑。

(4)稳斜段中靶前应调整好轨迹,确保顺利中靶。在保证中靶的前提下,减少下部定向的次数。

## 4 绳索取心钻进技术的应用

为获取准确的煤层参数,要求煤层气井取心出心速度快,以减少煤心甲烷气体的散失,钻井规范明确要求必须采用绳索取心钻进工艺<sup>[9-10]</sup>。贵州地区煤层多而薄,取心段砂泥岩和煤层互层,因此取心

钻头一般选用 PDC 钻头。根据多年施工经验并结合贵州地区地层特点,提出了一套适合贵州地区煤层气井的绳索取心钻进技术。

### 4.1 选择合适的取心工具

绳索取心钻具组合:Ø215.9 mm 绳索取心钻头+Ø177.8 mm 绳索取心钻具+Ø127 mm 钻杆+133 mm 方钻杆。

因贵州地区煤层松软,而煤层顶底板为泥岩或砂岩,且煤层中夹部分黄铁矿层,当取心钻头与岩性不匹配时,会导致绳索取心进尺缓慢,还会导致取心采取率不高。因此选用与地层岩性相匹配的取心钻头,既有利于提高岩心采取率,也减少了起下钻、换钻头的时间,提高了机械钻速。通过对比研究,推荐采用阶梯式绳索取心 PDC 钻头。为了减少钻进过程中对岩心和煤心的扰动,选择带有单动机构和减震机构的绳索取心工具。在取煤心时易选用卡爪型的卡簧,在割取岩煤心时,爪和卡簧同时保住岩煤心,保障煤心采取率。

### 4.2 调整好泥浆性能

#### 4.2.1 保持一定的泥浆粘度

为了克服煤岩的易破碎、抗冲蚀、树心难的特点,取煤心时就对泥浆粘度提出了严格的要求。若泥浆粘度太低,则会增加泥浆对煤心的冲蚀作用,同时影响树心,最终导致煤岩被水冲掉的危险,因此在取煤心时要求泥浆有一定的粘度,一般控制在 40~45 s。

#### 4.2.2 严格控制固相含量

在取心过程中要严格控制泥浆中的固相含量。绳索取心钻具主要由取心钻头、取心内筒、取心外筒组成,其中由于内外筒之间的间隙较小,若泥浆中的固相含量过高,尤其是含有大量的岩屑时会堵塞内外筒之间的间隙,造成上提取心内筒时内外筒之间会产生很大的摩擦力,阻碍了取心内筒的顺利上提。

### 4.3 控制好钻进参数

在取心钻进中,若钻压跟不上,则会导致岩心树心困难,岩心不能及时进入内筒,延长了钻头对岩心的研磨时间,影响取心效果,最终可能造成岩心磨损严重而变细,取心爪不能卡住岩心而使岩心丢失,这对煤心采取率的影响甚为严重。一般要求取心时应尽量保持低转速不变。由于煤岩胶结差,脆而软,易破碎,容易被泥浆冲掉,因此在取心过程中泵量不能太大。在取心过程中,一般要求泵量应尽可能的小。

根据多年的绳索取心钻进经验,钻压控制在 20~30 kN、转速 40~50 r/min、泵量一般 8~12 L/s。

为了试验研究的绳索取心钻进技术的应用效果,在大 204 井进行了现场试验。大 204 井是贵州天然气能源投资股份有限公司的一口井型为直井的评价井,位于贵州省毕节市大方县羊场镇羊场村,设计井深 975.00 m,设计完钻层位为二叠系中统茅口组。本井共取心 56 筒,总进尺 51.6 m,总心长 49.29 m,平均采取率 95.5%,其中煤层进尺 5.18 m,煤心长 4.93 m,煤心采取率 95.2%。

## 5 应用实例

牛 1-7-X2 井和牛 1-6-1 井分别是贵州天然气能源投资股份有限公司部署在六盘水比德三塘向斜的 2 口开发井,设计井型均为定向井,牛 1-7-X2 井和牛 1-6-1 井的设计井深分别为 802 m 和 840 m,钻遇地层自上而下分别是第四系下三叠统永宁镇组、飞仙关组和上二叠统长兴组、龙潭组、玄武岩组,完钻原则为钻至 6 号煤层以下 60 m,采用二开井身结构,2 口井一开钻进过程中均钻遇溶洞。

牛 1-7-X2 井使用本文研究的一开空气钻井技术和二开快速钻井技术。一开采用空气钻进方式,塔式钻具组合,二开采用优选的 5 刀翼 PDC 钻头,复合钻进方式,取得了很好的钻进效果,该井的钻具组合如下。

一开钻具组合为:  $\varnothing 311.1$  mm 空气潜孔锤 +  $\varnothing 178$  mm 钻铤 +  $\varnothing 127$  mm 钻杆 + 方钻杆。

二开钻具组合为:  $\varnothing 215.9$  mm PDC 钻头 +  $\varnothing 172$  mm 螺杆 +  $\varnothing 165$  mm 定向接头 +  $\varnothing 159$  mm 无磁钻铤 +  $\varnothing 159$  mm 钻铤 +  $\varnothing 127$  mm 钻杆 + 方钻杆。

实践表明,一开采用空气钻进,较牛 1-6-1 井机械钻速提高了 60%,缩短一开周期 58.7%;通过二开快速钻井技术,全井平均机械钻速达到 18.28 m/h,较牛 1-6-1 井提高了 53.35%,完钻周期 6 d,较牛 1-6-1 井缩短了 62.5%。通过优化,二开可以采取 PDC 钻头 + 螺杆钻具复合钻具“一趟钻”的方式完成钻进,既减少了起下钻次数,缩短了钻井

周期,又有效地防止了频繁起下钻对井壁松软地层的扰动,降低了煤层段垮塌的风险,提高了井身质量,为后续固井、射孔、压裂作业提供了好的条件。

## 6 结语

(1) 贵州岩溶地区一开钻进适合采用空气钻井技术,可以解决钻遇上部岩溶和裂隙发育地层的井漏和失返问题,提高钻井效率并保证钻井质量。

(2) 贵州岩溶地区二开快速钻进推荐使用 PDC 钻头 + 螺杆钻具的复合钻进技术,可以提高机械钻速,降低钻井成本。

(3) 贵州地区煤层多而薄,取心段砂泥岩和煤层互层,因此取心钻头一般选用阶梯式超前 PDC 钻头,绳索取心钻进参数宜选用小钻压、低转速和低排量,以保证岩心采取率。

(4) 为了进一步降低贵州岩溶地区的钻井成本,建议进行井身结构优化设计,考虑采用二开下入  $\varnothing 127$  mm 生产套管的井身结构,并从钻井、压裂和排采等方面分别论证其可行性。

## 参考文献:

- [1] 高第,秦勇,易同生.论贵州煤层气地质特点与勘探开发战略[J].中国煤炭地质,2009,21(3):20-23.
- [2] 包贵全.煤层气钻井工程中几个重点技术问题的探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(12):4-8.
- [3] 姬玉平.川南筠连岩溶发育区块煤层气钻井施工工艺[J].中国煤炭地质,2012,24(5):69-70.
- [4] 莫日和,郭本广,孟尚志,等.空气钻井技术在柳林煤层气井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2):35-38.
- [5] 刘强.沁南郑庄区块煤层气空气钻井井壁稳定性研究及工艺设计[D].江苏徐州:中国矿业大学(徐州),2017:1-10.
- [6] 贺晓强,姬永涛,郭文祥,等.空气潜孔锤技术在韩城煤层气井施工中的应用[J].中国煤层气,2014,11(5):36-38.
- [7] 毛志新.保德区块煤层气丛式井快速钻井技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2):12-14.
- [8] 毛志新,谢相军,汤建江,等.白杨河矿区煤层气丛式井钻井难点及对策研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(12):37-40.
- [9] 秦伟,赵庆彬,张迪,等.煤层气绳索取心工艺技术常见问题及处理方法探索[J].中国石油和化工标准与质量,2013,(1):71-73.
- [10] 黄洪春,王玺,郑毅,等.煤层气绳索取心技术研究与应[J].钻采工艺,2001,24(3):80-83.