

# 沁水盆地过采空区煤层气水平井施工技术研究

齐治虎<sup>1,3</sup>, 张童童<sup>2</sup>, 秦红涛<sup>1,3</sup>

(1. 河南豫中地质勘查工程有限公司, 河南 郑州 450016; 2. 河南省能源钻井工程技术研究中心, 河南 郑州 450016;  
3. 河南省自然资源科技创新中心(非常规天然气开发研究), 河南 郑州 450016)

**摘要:** 为了解决山西晋城矿区煤层气的开发利用问题, 科学有效地开发和利用3号煤层采空区下部的煤层气, 降低煤层中的瓦斯含量, 以保障煤层气的高效合理利用, 为煤矿开采提供安全保障。本文对该区穿采空区煤层气水平井的施工工艺进行了研究, 提出了利用潜孔锤及空气螺杆+氮气施工的钻井工艺, 进一步优化了钻井的井身结构, 有效地解决了采空区敏感层段的坍塌、掉块、漏失等施工难题。穿采空区煤层气水平井的顺利施工, 进一步验证了该钻井技术的可行性, 对下一步煤层气的规模性开发具有重要的指导意义。

**关键词:** 煤矿采空区; 空气螺杆; 潜孔锤; 氮气施工; 水平井

**中图分类号:** TE243 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0281-05

## Research on drilling technology for coalbed methane horizontal wells through mining goafs in Qinshui Basin

QI Zhihu<sup>1,3</sup>, ZHANG Tongtong<sup>2</sup>, QIN Hongtao<sup>1,3</sup>

(1. Henan Yuzhong Geological Exploration Engineering Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450016, China;  
2. Henan Provincial Energy Drilling Engineering Technology Research Center, Zhengzhou Henan 450016, China;  
3. Natural Resources Science and Technology Innovation Center of Henan Province (Unconventional Natural Gas Development and Research), Zhengzhou Henan 450016, China)

**Abstract:** In order to further solve the development and utilization of coal bed methane in the Shanxi Jincheng mining area, coalbed methane in the lower goaf of the 3<sup>rd</sup> coal seam should be properly and effectively exploited and utilized to reduce the content of gas in the coal seam so as to ensure the efficient and rational use of coalbed methane, and provide safety guarantee for coal mining. This paper studies drilling technology for CBM horizontal wells through goafs in this area with the drilling process with DTH hammer and air PDM plus nitrogen put forward. With optimization of the well structure, the construction problems such as collapse, falling blocks and leakage in sensitive stratum in goafs were effectively solved. The smooth completion of coal-bed methane horizontal wells through goafs has verified the feasibility of the drilling technology, can provide guide for the coming large-scale development of coalbed methane.

**Key words:** mined-out areas in coal mines; air PDM; DTH hammer; drilling with nitrogen; horizontal well

## 0 引言

晋城矿区位于沁水盆地东南缘, 地形以低山丘陵为主。主要可采煤层为二叠系下部的3号煤层和石炭系下部的9号、15号煤层, 煤层总厚14.67 m, 含煤系数10.8%, 属高瓦斯矿井<sup>[1-3]</sup>。

自20世纪80年代晋煤集团进行大规模煤层气开发以来, 矿区范围内煤层气生产井、定向井已基本实现全覆盖控制, 随着煤矿工作面的推进, 部分地段已经形成采空区, 很多3号煤层气地面预抽井不得已停产、拆解, 已经严重制约了煤层气的产能。

**收稿日期:** 2021-05-31 **DOI:** 10.12143/j.ztgc.2021.S1.047

**作者简介:** 齐治虎, 男, 汉族, 1967年生, 高级工程师, 区域地质调查与找矿专业, 长期从事石油、煤层气、煤田地质勘查等工作, 河南省郑州市郑东新区商鼎路70号, qzh6707@163.com。

**引用格式:** 齐治虎, 张童童, 秦红涛. 沁水盆地过采空区煤层气水平井施工技术研究[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 281-285.

QI Zhihu, ZHANG Tongtong, QIN Hongtao. Research on drilling technology for coalbed methane horizontal wells through mining goafs in Qinshui Basin[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 281-285.

据相关资料显示,其下部石炭系15号煤层瓦斯含量均高于3号煤层,平均含气量达 $24.10\text{ m}^3/\text{m}$ ,前期已经施工过穿采空区直井预抽钻井试验,产气量在 $1000\text{ m}^3/\text{d}$ 左右,抽采效果良好<sup>[4]</sup>。近年来,受场地条件、大气管控等原因的影响,钻井井场征地问题始终难于解决,15号煤层瓦斯尚未进行有效的地面预抽,为了科学有效地开发15号煤层的煤层气,迫切需要破解过采空区施工水平井的技术难题,以降低煤层的瓦斯含量,保障矿区瓦斯的高效利用。

## 1 地质概况

### 1.1 地质及构造

晋煤集团寺河矿主采煤层为3号煤层,属无烟煤,具有硬度高、瓦斯含量大、渗透率较高等特点;其构造形态与勘探阶段构造形态基本一致,以马庄背斜轴迹为主轴的褶曲构造,两侧发育次级短轴背向斜,中部主要以小规模正断层为主,影响范围较小。

矿区位于晋城市沁水县嘉峰镇附近,主要含煤地层为二叠系山西组和石炭系太原组,共含煤7~11层,其中可采煤层3层(见表1)。

表1 煤层特征

地层	煤层	煤层厚度/m	层间距/m	结构	稳定性
山西组	3	4.45~8.34	43.91~61.01	简单	稳定
		6.27			
太原组	9	0.48~2.08	51.45	简单	较稳定
		1.36			
	15	1.90~4.95	26.35~68.31	较简单	稳定
		2.55	34.88	单	

3号煤层已于2010年前开采完毕,地表可见煤矿采空区塌陷及裂缝,但规模有限。根据近年采空区直井的施工经验,已采煤层底板以上60 m至底板以下20 m,为坍塌敏感层段,是施工中的难点。

9号煤层由于煤层较薄,目前暂时还没有开采计划。

15号煤层位于石炭系下部,厚度较为稳定,在区内无大的起伏,其展布形态与3号煤层一致,平面形态稳定(见图1),含夹矸1~2层,属于中—中高灰、中高硫煤层。

根据邻井资料推算,3号煤层采空区位于斜深330~350 m之间。

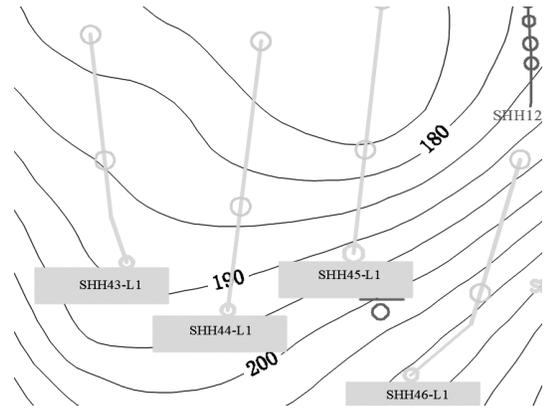


图1 15号煤层底板等高线图

### 1.2 施工中需要解决的问题

#### 1.2.1 过3号煤层采空区的氮气钻井施工问题

采空区及冒落带地质条件复杂,会造成地层失稳、坍塌、泥浆失返等现象,井内大量岩屑重复循环,无法排出,从而造成卡钻、埋钻事故。同时由于井内存在大量空隙,废弃巷道里的瓦斯会运移到空隙里,对施工人员及设备安全造成隐患。

#### 1.2.2 过3号煤层采空区的定向钻井施工问题

目前常用的定向仪器为电磁波脉冲仪器及泥浆脉冲仪器,由于钻井中面临泥浆失返的可能,无法实现信号传输,现有的钻井技术已经无法满足施工的需要,根据近年来空气螺杆钻井新技术的推广及应用,拟采用空气螺杆进行钻井施工,循环介质采用氮气。

氮气具有无色、无味、不易自燃、成本低的特点,是煤矿井下常用的防火惰性气体,完全能满足施工的需求。

#### 1.2.3 过采空区后的下套管、固井问题

采空区距着陆点垂深仅90 m左右,正常施工井斜已达 $50^\circ\sim 60^\circ$ ,二开完成后井壁的稳定、划眼、下套管、固井是进行下一步施工的关键环节,稍有不慎将前功尽弃,采用跟管钻井技术对井底岩粉进行清理是确保套管安全下入的关键一步<sup>[5]</sup>。

## 2 钻井施工技术

### 2.1 钻井机具使用

钻机采用美国产T130型车载钻机,型号69T;泥浆泵:3NB1000型,排量 $1000\text{ L}/\text{min}$ ;柴油机:G12V190PZL-3型,动力 $1000\text{ kW}$ ;发电机组:BF-300GF型,功率 $300\text{ kW}$ ;无线随钻:SEMWD-2000B

型;制氮车、注氮机各1台;空气螺杆:Φ197、203 mm各一套;潜孔锤12 in(1 in=25.4 mm,下同)、8 in型号各一套。

### 2.2 井身结构优化

本井采用四开井身结构,具体结构数据见图2。

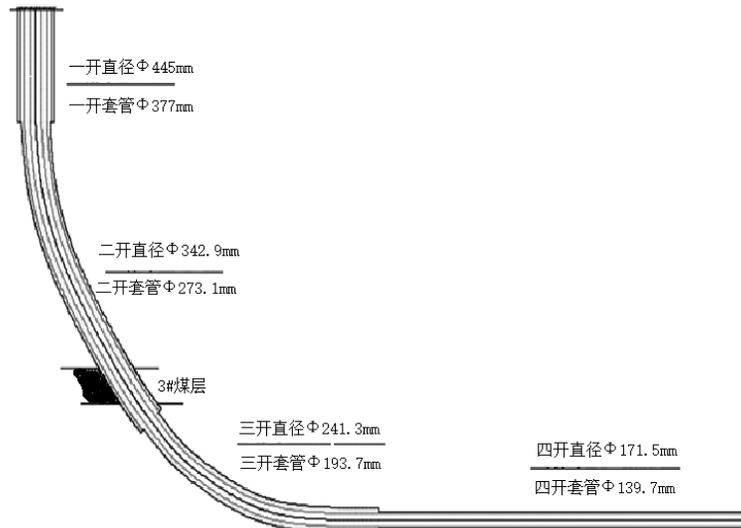


图2 四开井身结构

一开采用Φ445 mm钻头钻入稳定基岩10 m以上,下入J55、规格Φ377.7 mm表层套管,固井候凝。

二开采用Φ342.9 mm钻头钻至3#煤层底板以下5~20 m处,下入J55、规格Φ273.1 mm套管,水泥固井,候凝。若出现漏风情况,将把循环介质更换为氮气。

三开采用Φ241.3 mm钻头钻进,根据导眼井煤

层资料,实时调整钻井轨迹。以合适的井斜角着陆在15#煤层,然后下入J55、Φ193.7 mm技术套管。

四开采用Φ171.5 mm钻头钻进,进入15#煤层后沿煤层钻进至设计水平长度后完钻,下入N80、Φ139.7 mm的套管至井底5 m以内。

### 2.3 钻具组合(表2)

表2 钻具组合

序号	钻具结构	用途
1	Φ445 mm钻头+Φ203 mm钻铤×3根	一开钻进
2	Φ342.9 mm钻头+Φ216 mm液动螺杆×1.5°+Φ165 mm无磁钻铤×1根+EMWD+Φ165 mm钻铤×8根+Φ127 mm钻杆	二开直井及定向段钻进
3	Φ342.9 mm潜孔锤+Φ244 mm气动螺杆×1.5°+Φ165 mm无磁钻铤×1根+Φ165 mm钻铤×6根+Φ127 mm钻杆	二开穿采空区钻进
4	Φ241.3 mm钻头+Φ165 mm液动螺杆×1.25°+Φ165 mm无磁钻铤×1根+EMWD+Φ165 mm钻铤×3根+Φ127 mm钻杆	三开定向段钻进
5	Φ171.5 mm+Φ135 mm液动螺杆×1.25°+Φ121 mm无磁钻铤×1根+EMWD+Φ89 mm加重钻杆×2根+Φ89 mm钻杆	四开水平段钻进

### 2.4 二开钻井

#### 2.4.1 采空区施工

与常规钻井相比,过采空区钻井最大的困难就是钻井液的漏失,不能建立正常的循环,致使地面的

定向仪器无法接收信号<sup>[6]</sup>;井内残留岩粉无法排出,沉渣多,井壁不稳定、易垮塌。

二开钻井先用水源钻进,钻井至井深78 m处,按设计开始定向钻进,在井深285 m处遇采空区出

现漏失现象,强打至366 m后起钻,更换钻具组合为空气螺杆钻进,使用螺杆规格为 $\varnothing 244$  mm,供风使用氮气,钻压控制在20 kN左右,风量140~170 m<sup>3</sup>/min。采用轻压钻进,多划眼的方式进行<sup>[7]</sup>,密切注意孔口岩粉返出情况,一旦出现岩粉减少,就要上提钻具,减轻压力,使岩粉返出井内,确保井内压力稳定,回转无阻力,岩粉返出正常。

钻进过程中要认真检查氮气管线的连接良好,运行正常,保持氮气的稳压连续供应,尤其钻至采空区,更要密切注意观察转速、钻压及氮气压力等钻进参数变化,做好预判,预防卡钻、埋钻事故。起下钻要稳,不能强拉硬提,划眼时要倒划眼,轻加压,多循环供气,尽量使井底岩粉清理干净<sup>[8-10]</sup>。

在井深376~388 m钻遇3#煤层采空区,与设计数据基本相符,钻井中出现了漏风、钻速加快现象,上提钻阻力增大。定向资料显示:井斜55.79°,位移131.32 m;在井深402 m处,钻速下降,井内沉渣增多,确认进入煤层底板,经论证钻井轨迹能满足下一步钻井施工要求,即提前结束二开钻井任务。本段共用氮气67 m<sup>3</sup>,提钻时由于井内岩粉过多,5根钻杆有阻力,经多次上下活动钻具后,全部安全提出。

#### 2.4.2 定向施工

定向段钻进,采用SEMWD-2000B型无线随钻仪,带双伽马,分别使用 $\varnothing 216$  mm液动螺杆及 $\varnothing 244$  mm空气螺杆,为了避免采空区井斜过低的问题,待方位角稳住后,使增斜略超出设计1°~2°,以防止过采空区井斜降低,满足不了着陆的需要。

螺杆适用参数:空气流量110 m<sup>3</sup>/min;输出转速80~260 r/min;最大压降2.6 MPa;最大功率310 kW;适用钻压220 kN;弯点到钻头距离1.89 m。

#### 2.4.3 水平段钻进

水平段施工采用泥浆循环钻进,使用 $\varnothing 135$  mm液动螺杆,配 $\varnothing 171.5$  mm PDC钻头进行施工。15#煤层顶板为砂质泥岩,较致密,煤层中含夹矸1~2层,岩性为砂质泥岩,煤层具层状结构,中部较松软,易坍塌。为保证氮气欠平衡施工中井眼不坍塌,尽量在15#煤层顶部或煤层夹矸附近钻进,根据伽马赋值及电信号参数及时调整施工轨迹与设计轨迹尽量一致<sup>[11]</sup>,以确保施工安全。

根据钻井进度每钻进一单根后划眼2次,以倒划眼为主,速度控制在2~4 m/min为宜,每加一单根后循环泥浆一周,及时测量泥浆性能,降低密度及

含砂量,提高泥浆粘度,增加润滑剂,以降低钻具摩阻<sup>[12-13]</sup>。

每钻进200~250 m要进行短起,大泵量循环一周,将井底岩屑床彻底清理;每钻进400~500 m起钻一趟,确保井眼轨迹圆滑无阻力。

施工中应尽量减少扭方位的次数,而且应尽早把井眼方位调整好,这样就可利用靶底宽度限制井斜方位变化范围,直接钻完水平段,否则后期的井斜方位角调整会显著加大扭方位的次数<sup>[14]</sup>。

#### 2.5 划眼及下套管

二开结束后用原钻具进行划眼,划眼时用轻压倒划眼技术,上提时速度控制在2~3 min/m,加大氮气供风量,防止岩粉堵塞;向下划眼时速度要快,减小钻井压力,防止钻出新眼<sup>[15]</sup>。待井底岩粉清理干净后,起钻顺孔,下管、固井。

二开下入套管为 $\varnothing 273.1$  mm,壁厚 $\varnothing 8.89$  mm,在井深377 m时遇阻,用氮气吹孔,供风量150~200 m<sup>3</sup>/min,再下至388 m处遇阻,压力憋到6 MPa,井口不返风。后下入 $\varnothing 127$  mm钻具进行跟管通井,增加风量至250~300 m<sup>3</sup>/min,边吹风,边通井,最终将套管下至400 m井深,基本达到预定位置。

在使用 $\varnothing 127$  mm钻杆固井时,再次发现压力增大,钻杆被岩粉堵塞,起下钻疏通后,继续固井,共注入隔离液6 m<sup>3</sup>,G级固井水泥8 t,密度1.83 g/cm<sup>3</sup>,替清水1.1 m<sup>3</sup>;候凝结束后,在370 m处探到水泥面,固井质量良好。

### 3 取得的成果

(1)采用空气螺杆进行穿采空区水平井施工是煤层气开发的新尝试,为沁水煤田3#煤层采空区下部15#煤层的高效开发利用提供了技术支撑,破解了困扰多年的技术难题。

(2)基本掌握了穿采空区使用氮气进行定向钻进的工艺技术,合理调整了钻井设备和关键技术参数,掌握了适合于本区块穿采空区水平井钻井施工的新技术。

(3)对穿采空区水平井的井身结构进行了进一步优化,满足了施工需求;达到了简单易行、适宜于施工的目的。

### 4 存在的问题

(1)空气螺杆在施工过程中,存在一定的缺陷,

钻压过高就会出现不工作现象,这与气体介质的可压缩性有很大关系,钻井效率较常规钻井效率低,进而影响造斜率及井斜、方位的调整幅度,增加钻井成本及钻井周期,施工时应提前予以考虑。

(2)水平段钻进过程中,由于钻具与井壁环空间隙较小,空气螺杆加大工作风量后,造成工作压力较大,另外气体悬浮岩屑的能力较差,易造成岩屑沉底堵塞,若不能及时排除,会造成卡钻事故。

(3)无线随钻仪器在使用过程中,受震动及冲击的影响,易出现信号失稳问题,虽做了多次模拟实验,仍然存在缺陷,还需进一步改进。

#### 参考文献:

- [1] 李称心. 煤矿采空区煤层气井钻井工艺[J]. 中国煤层气, 2019, 16(5): 3-7.
- [2] 王森. 注氮过采空区钻井技术研究[J]. 煤, 2018, 27(6): 66-68.
- [3] 李俊峰. 晋城矿区过采空区钻井抽采煤层气可行性分析[J]. 能源技术与管理, 2014, 39(3): 4-6.
- [4] 闫泊计. 沁水盆地南部煤层气水平井钻井中所遇到问题的对策研究[J]. 山西科技, 2019, 34(4): 117-120.
- [5] 孙海涛. 成庄煤矿采空区煤层气地面井抽采试验[J]. 矿业安全与环保, 2014, 41(1): 1-3, 19.
- [6] 于泽蛟, 何宜霏, 王艳峰, 等. 采空区瓦斯地面抽采应用实践[J]. 同煤科技, 2019(6): 24-26.
- [7] 李国红. 晋城矿区穿采空区煤层气井钻井技术难点及对策探讨[J]. 河南科技, 2019(14): 86-88.
- [8] 李亚辉. 过煤矿采空区地面瓦斯抽采钻井施工技术[J]. 山东煤炭科技, 2018(10): 115-117.
- [9] 曹东风. 大口径瓦斯钻孔穿越煤矿采空区钻井工艺[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(1): 55-56.
- [10] 李兵, 张永成, 王森. 穿越采空区氮气钻井工艺应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2): 35-39.
- [11] 齐治虎, 刘坤鹏, 吕国安. 山西沁水盆地3号煤层水平井施工技术探究[J]. 能源与环保, 2020, 42(5): 68-71.
- [12] 焦鹏帅. 采空区地面抽采煤层气井身结构方案优化[J]. 能源与节能, 2016(2): 97-99.
- [13] 徐培远, 王新敏, 姬玉平, 等. 一种空气正循环钻井工艺用地面防尘装置: CN201320200407.X[P]. 2013-09-11.
- [14] 李彦明. 套管钻井技术在煤矿采空区钻井中的应用[J]. 煤矿机械, 2019, 40(3): 123-125.
- [15] 李宁, 张勇, 贾建超, 等. 空气钻井在山西煤层气开发的应用[J]. 中国煤层气, 2017, 4(1): 24-27.