

# 河南省煤层气钻井技术发展历程及展望

张晓昂<sup>1,3</sup>, 刘国卫<sup>2,3</sup>, 齐治虎<sup>2,3</sup>, 张留彬<sup>\*2,3</sup>, 胡向志<sup>1</sup>, 王立峰<sup>4</sup>

(1.河南省地质研究院,河南郑州450016; 2.河南豫中地质勘查工程有限公司,河南郑州450016;  
3.河南省能源钻井工程技术研究中心,河南郑州450016; 4.河南省资源环境调查二院,河南洛阳471023)

**摘要:**河南省地勘队伍自2003年开展煤层气钻井施工以来,积极开展技术创新研究,先后研发了大直径绳索取心机具、射流式扩孔掏穴器等专用器具,率先开展了煤层气参数井、水平井、采动井、穿采空井等施工技术研究和实践,形成了涵盖各类煤层气井型的钻井施工技术体系,积累了丰富的实战经验,促进了我国煤层气产业的发展。本文在总结了河南地勘单位在煤层气钻井技术方面取得的成果的基础上,结合国内煤层气开发深度逐渐增加、采空区覆盖面积逐渐增大、构造煤煤层气未实现突破等行业需求,提出了开展高效煤层气水平井钻井技术、气动定向钻井技术及构造煤开发钻井关键技术等方面研究的建议。

**关键词:**煤层气钻井;绳索取心钻具;喷射式扩孔掏穴器;水平井;定向钻井;河南省

**中图分类号:**P634; TE2 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)05-0086-08

## Development and prospect of coalbed methane drilling technology in Henan province

ZHANG Xiao'ang<sup>1,3</sup>, LIU Guowei<sup>2,3</sup>, QI Zhihu<sup>2,3</sup>, ZHANG Liubin<sup>\*2,3</sup>, HU Xiangzhi<sup>1</sup>, WANG Lifeng<sup>4</sup>

(1.Henan Institute of Geology, Zhengzhou Henan 450016, China;

2.Henan Yuzhong Geological Exploration Engineering Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450016, China;

3.Henan Provincial Energy Drilling Engineering Technology Research Center, Zhengzhou Henan 450016, China;

4.The Second Institute of Resources and Environment Investigation of Henan Province, Luoyang Henan 471023, China)

**Abstract:** Since the coalbed methane (CBM) drilling construction was carried out in 2003, the geological prospecting team of Henan province has actively carried out technological innovation research, and developed special equipment such as large diameter wireline coring equipment and jet hole-expanding tunneling device. The construction technology research and practice of CBM parameter wells, horizontal wells, mining wells and cross-mining wells have been carried out, and the drilling construction technology system covering all types of CBM wells has been formed, which has accumulated rich practical experience and promoted the development of CBM industry in China. On the basis of summarizing the achievements of Henan geological exploration units in CBM drilling technology, this paper puts forward some suggestions for technical research on horizontal well drilling technology of high-efficiency CBM, pneumatic directional drilling technology and key technologies of tectonic coal development and drilling in combination with the development needs of domestic industries such as the gradual increase of CBM development depth, the gradual increase of goaf covered area and the failure to achieve breakthrough in tectonic coal CBM.

**Key words:** coalbed methane drilling (CBM); wireline coring tool; jet hole-expanding tunneling device; horizontal well; directional drilling; Henan province

收稿日期:2022-06-08; 修回日期:2022-07-25 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.05.012

第一作者:张晓昂,男,汉族,1985年生,工程师,勘查技术与工程专业,主要从事石油、煤层气勘查开发及大直径工程井施工等工作,河南省郑州市郑东新区商鼎路70号,zhang.xiaoang@163.com。

通信作者:张留彬,男,汉族,1970年生,工程师,长期从事钻井工程技术研究和施工工作,河南省郑州市郑东新区商鼎路70号,1542569936@qq.com。

引用格式:张晓昂,刘国卫,齐治虎,等.河南省煤层气钻井技术发展历程及展望[J].钻探工程,2022,49(5):86-93.

ZHANG Xiao'ang, LIU Guowei, QI Zhihu, et al. Development and prospect of coalbed methane drilling technology in Henan province [J]. Drilling Engineering, 2022,49(5):86-93.

## 0 引言

河南是煤炭资源大省,也是煤层气资源大省,据2012年“河南省煤炭资源潜力评价”报告,截至2009年河南全省煤层气预测资源量 $10501.19 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[1]</sup>,河南煤田局作为以煤田勘探为主的地勘单位,总共在河南境内发现了焦作、平顶山、安阳、鹤壁、义马、郑州、永夏等18个煤田和5个含煤区,先后组织完成了299个井田的资源勘查工作,并最早于20世纪60年代开始对煤层气勘探评价技术进行研究<sup>[2]</sup>。近些年来对煤层气勘探开发工艺进行了探索和实践<sup>[3]</sup>,经过不断的技术创新研究、装备更新换代,促进了煤层气钻井业务的蓬勃发展。

## 1 煤层气钻井设备

中国煤层气开发最早在沁水盆地获得工业气流,并在国家发改委出台相关优惠政策后,于2005年开始得到了快速发展。经过多年实践,国内勘探开发深度从2000 m以浅逐渐拓展到2800 m,开发井型从直井拓展到定向井、L形井、U形对接水平井、多分支水平井等<sup>[4-9]</sup>。煤层气钻井装备也从水源钻机、工程钻机发展到车载钻机、石油钻机、模块化钻机等类型,以及相配套的空压机、泥浆脉冲和电磁波式无线随钻仪器等,满足不同煤层气钻井工艺需求<sup>[10-16]</sup>。使用的主要煤层气钻井设备及性能特点见表1。

表1 煤层气钻井设备性能参数

Table 1 Performance parameters table of coalbed methane drilling equipment

设备类型	主要型号	设备性能		主要特点	适用井型
		钩载/kN	钻深/m		
水源/工程钻机	TSJ2000-3000;GZ2000-3000	850~1200	1000~2000	转盘式钻机,结构紧凑,占地少,机械传动,平稳坚固耐用,便于拆卸运输	主要用于2000 m以浅的煤层气参数井、生产井(直井、定向井)、掏穴井施工
车载钻机	宝峨RB50;雪姆T130XD/T200XD;天和众邦CMD100;徐工XSC120	600~1200	1000~2000	全液压动力头式钻机,可实现无级调速,动力头加压,起下钻可随时开泵,利于复杂工况处理。车载式底盘,机动性强,整体搬迁运输方便	主要用于2000 m以浅的煤层气参数井、水平井、采动井、穿采空区井施工
石油钻机	ZJ20;ZJ30;ZJ40	1350~2250	1800~3200	转盘式块装钻机,机械化、自动化程度较高,性能可靠,可加装顶驱提高性能	主要用于3000 m以浅煤层气丛式井、水平井施工

注:钻深是 $\Phi 127 \text{ mm}$ 钻杆名义钻深

## 2 煤层气钻井技术发展回顾

### 2.1 煤层气参数井及绳索取心工艺<sup>[9]</sup>

煤层气参数井的目的是获取目的煤储层参数,同时也用作煤层气开发试验井,因此对煤层气参数井提出了特殊的要求:

(1)终孔一般要下入 $\Phi 139.7 \text{ mm}$ 生产套管,终孔孔径215.9 mm;

(2)岩(煤)心直径 $\leq 60 \text{ mm}$ ;

(3)为减少煤心期初过程中的气体损失量,要求从割心到提出井口时间 $< 2 \text{ min}/100 \text{ m}$ 。

鉴于以上要求,再加上煤岩脆、易碎、遇水膨胀等特性,常规的岩心钻探、石油钻探均不能满足取心

要求。为此,河南煤田局研制了煤层气参数井专用的WH-B型半合管绳索取心钻具,直接配套 $\Phi 127 \text{ mm}$ 钻杆使用,2005年在山西第一口煤层气参数井马壁MB-001井试验成功,煤层岩心直径达到68 mm,平均岩心采取率达95%,提升速度 $< 2 \text{ min}/100 \text{ m}$ ,完全满足煤层气参数井要求,效果良好。在全国煤层气参数井施工中广泛应用。

新疆地区煤层厚度和埋深大,煤层气参数井需要对煤层上部、中部、下部分段取心,为实现分段取心且减少提大钻次数,研制了取心全面钻进可变组合式钻头<sup>[17]</sup>,在不提大钻、不换钻具的情况下,实现绳索取心和全面钻进快速切换,缩短了辅助时间,提高了施工效率。2009年在新疆吐哈煤层气区块服

务取心井11口,平均岩心采取率90.9%(见表2),由于部分井煤与泥岩互层造成了岩心采取率较低。

表2 新疆吐哈煤层气井取心情况

Table 2 The coring situation of Tuha CBM well in Xinjiang

井号	进尺/m	采心长/m	岩心采取率/%
AM-1	32.7	32	97.9
AM-2	16.78	15.22	90.7
AM-3	15.58	14.43	92.6
DM-1	23.1	22.93	99.3
DM-2	9.15	7.65	83.6
DM-3	9.9	7.76	78.4
DM-4	43.57	40.08	92.0
shamei-1	41.98	37.91	90.3
shamei-2	47.68	44.67	93.7
shamei-3	21.98	16.23	73.8
shamei-7	24.99	22.48	90.0
累计	287.41	261.36	90.9

## 2.2 煤层气洞穴井及掏穴工艺

煤层气洞穴井一种作为欠平衡水平井或U形连通井的配套井<sup>[18]</sup>,另外一种为煤层气生产井的完井方式<sup>[19]</sup>。针对2种不同用途井型的要求,彭桂湘等研制了喷射式扩孔掏穴器<sup>[20]</sup>(见图1),研究制定了掏穴工艺技术措施,煤层掏穴直径达到500~800 mm,在煤层气欠平衡水平井和U形连通井组施

工中广泛应用。研究应用了煤层气井的反循环空气动力造穴方法及设备<sup>[21]</sup>,采用反循环工艺对煤储层裂隙进行扩张及清洗,并优化放喷煤层气井段周围形成洞穴,为碎裂煤、碎粒煤等煤储层改造提供了较好的方法。



图1 喷射式扩孔掏穴器

Fig.1 Shot-type hole-expander

## 2.3 煤层气水平井钻井工艺

我国煤层气水平井钻完井技术经历了多分支水平井、U形对接井技术,到现在经济适用的L形单支水平井技术<sup>[4]</sup>,河南煤田局在不同时期对多种煤层气水平井钻完井技术进行了探索和实践。2009年,研究了寄生管法煤层气欠平衡水平钻井工艺<sup>[12,22]</sup>,由2根注气管随技术套管下至着陆点,通过注气管注气实现井底欠平衡(工艺原理及井身结构见图2)。

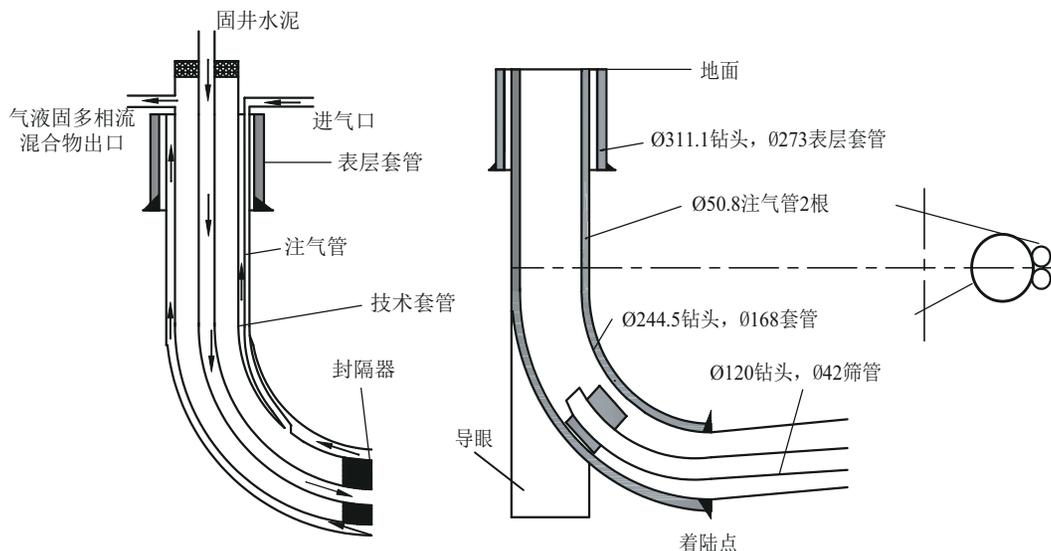


图2 寄生管欠平衡钻井工艺原理及井身结构示意图

Fig.2 Underbalanced drilling technology principle of parasitic pipe and structure diagram of cleaning body

该技术在陕西韩城象山煤矿XBSS-01井成功应用(见图3),完成了2个水平分支(长度分别为378.52、273.89 m),是国内首次将单井寄生管注气法应用到煤层气欠平衡水平井钻井施工,与常规通过连通井注气欠平衡钻井工艺相比可省去1口掏穴井,节约工程成本。



图3 2009年寄生管法欠平衡水平井施工现场

Fig.3 Construction site of underbalanced horizontal well by parasitic pipe method in 2009

2012年,在山西阳泉首次实践完成了YQ318“U”形井组<sup>[23]</sup>,全面掌握了煤层气U形套管完井施工工艺流程(直井洞穴井完井、水平井钻进连通、直

井掏穴段填砂封井、水平井下套管、固井、水平井压裂、直井和水平井二次连通)和定向、连通、水平井固井等施工工艺。2014年,完成了一口“L”形动采区煤层气试验井SH14-L-01井,将高抽巷瓦斯技术与煤层气地面抽采技术相结合,解决出采和回采期间的瓦斯问题,实现煤炭开采前、开采中、开采后煤层气地面开采利用<sup>[13]</sup>,取得了日产气量28000 m<sup>3</sup>,在沁水地区进行了推广应用(见表2)。

2016年,利用MZJ-90Y型斜井全液压动力头钻机在山西寺河煤矿完成了SHH05-2(9)煤层气L形井(见图4),该井目的层垂深291 m,开孔井斜19°,水平段钻进2个分支,井深分别为1193.7、1107 m,水平段长分别为787.7、696.0 m,为浅埋煤层气水平井施工提供了借鉴。

2018年,完成了3组地面多分支水平井与井下瓦斯抽排钻孔对接井组,实现地面多分支井增大控制面积、井下集中抽采的目的<sup>[24]</sup>。该井组由1口井下瓦斯抽采钻孔和1口地面多分支水平井组成。施工工序为:先在煤矿巷道施工上扬一定角度的井下瓦斯孔,孔口使用钢制套管固孔,井口连接浆液分离器等井口装置,用于地面多分支水平井与井下钻孔对接;然后在地面进行多分支水平井施工,先钻进分支,最后钻进主支,主支与井下瓦斯孔对接完成之后下入玻璃钢筛管,形成稳定的供气通道,通过井下瓦斯井进行瓦斯抽采。该井型不适用于煤层结构复杂地层,容易造成分支井眼坍塌,进而影响抽采效果。表3和图5分别为其中1口SQN-0501-5井井眼实钻情况和实钻轨迹图。

表2 部分煤层气水平井施工工艺及效果

Table 2 Construction technology and effect of coalbed methane horizontal well

井号	区域	井型	完钻井深/m	水平层位	完井方式	产量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
SH14-L-01	山西沁水	L形	1271.67	煤层顶板60 m	裸眼、不压裂	28000
SHU27-H	山西沁水	U形	1294.00	3号煤层	套管、不固井、压裂	26000
CZ14-U04-01	山西沁水	U形	1066.18	3号煤层	套管、不固井、压裂	20000
SH15-L-02	山西沁水	L形	969.00	煤层顶板60 m	裸眼、不压裂	18000
CZD-U2-H	山西沁水	U形	1590.00	3号煤层	套管、不固井、压裂	未排采
XST-L-01	山西古交	L形	942.00	煤层顶板50 m	裸眼、不压裂	16000
HDL-01	山西沁水	L形	1338.50	煤层顶板60 m	裸眼、不压裂	20000
YQ-01	山西阳泉	U形	1055.00	15号煤层	套管、固井、压裂	9000
YQ-02	山西阳泉	U形	1200	15号煤层	套管、固井、压裂	11000
MB10-A8-92L-01	山西沁水	L形	1760	3号煤层	套管、固井、压裂	19000



图4 MZJ-90Y型斜井全液压动力头钻机在SHH05-2(9)井施工现场

Fig.4 MZJ-90Y full hydraulic power head drilling rig in Well SHH05-2(9) construction site

#### 2.4 煤层气穿采空区钻井工艺

沁水盆地随着3号煤层的开采,逐渐形成了大面积采空区,对下部煤层的煤层气开采造成了重要影响,2014年,对如何穿采空区钻井施工进行了技术攻关,并在晋城阳城县润城镇成功完成了该地区第一口煤层气穿采空区井——SHCK-01井,后经过不断的实践和完善形成了气动潜孔锤穿越采空区钻井工艺<sup>[25-26]</sup>,有效解决了该类型煤层气井施工技术难题,并在该区域广泛推广应用,至2019年共完成煤层气穿采空区井90余口。

表3 SQN-0501-5井井眼情况实钻情况

Table 3 Statistical table of actual drilling situation of well SQN-0501-5

井眼名称	钻井时间		实钻进尺				
	起始时间	终止时间	始深/m	终深/m	有效煤层进尺/m	纯煤层进尺/m	煤层钻遇率/%
主支	2018-11-09/14:00	2019-01-23/8:00	0	1360.48	853.80	853.80	100.00
5-1	2018-12-19/4:00	2018-12-21/16:00	570.00	940.00	370.00	356.00	96.21
5-2	2018-12-22/16:00	2018-12-29/15:00	650.00	1103.00	453.00	442.00	97.57
5-3	2018-12-29/18:00	2019-01-05/10:00	870.00	1243.00	373.00	373.00	100.00
5-4	2019-01-05/15:00	2019-01-11/18:00	950.00	1403.00	453.00	453.00	100.00
合计					2502.80	2477.80	99.00

### 3 煤层气钻井技术展望

我国煤层气产业已经初具规模,处于上升发展期,但还存在勘探程度低、产气量爬坡期长、构造煤无适用性开发技术、沁水盆地等有利区块采空压覆区逐渐增大等问题。针对煤层气产业发展方面,秦

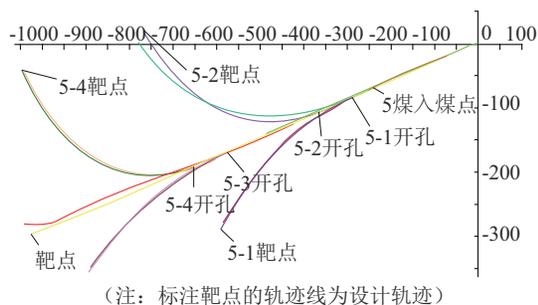


图5 SQN-0501-5井实钻井眼水平投影

Fig.5 Horizontal projection map of well SQN-0501-5

2020年,针对沁水盆地地层特点开展了沁水盆地穿采空区煤层气水平井施工技术研究和实践,采用空气螺杆+EMWD(电磁波无线随钻仪)定向穿越采空区煤层气水平井钻井技术成功在晋城寺河煤矿完成一口试验井。对该类型井施工提供了有益的参考和借鉴<sup>[27]</sup>。该井采用四开井身结构(见表4),二开钻进选用了 $\varnothing 244$  mm、弯度 $1.5^\circ$ 、扶正器直径338 mm的空气螺杆,根据实际钻进情况,基本能实现定向穿采空区钻进,空气螺杆钻进效率约为8.5 m/h(见表5),高于常规液动螺杆钻进效率。但也出现一些问题,主要是:空气螺杆造斜能力不强(见表6);钻压高、扭矩大会影响螺杆工作;空气钻进振动大,易出现电磁波无线随钻仪震脱、无信号,也易对随钻仪器造成损坏。后采用此工艺又在此区域完成了2口试验井,施工情况基本与第1口井相似。

勇等<sup>[28]</sup>提出煤系气开发概念,论证了建设煤系气大产业的可行性,并提出研究发展适用技术和出台国家政策2方面的战略建议;孙钦平等<sup>[29]</sup>认为高产老区稳产上产、低产低效老区改造、低煤阶与构造复杂区效益开发、深部及煤系天然气综合开发是未来中国煤层气产量持续增长的方向;针对构造煤,桑树勋

表4 井身结构

Table 4 Well structure

开次	钻头直径/mm	套管外径/mm	各开次钻探原则
一开	445.00	377.00	钻入稳定基岩10 m下入表层套管,水泥固井返至地面
二开	342.90	273.05	钻穿采空区底板10 m下入技术套管,水泥固井返至采空区底板
三开	241.30	193.68	钻至着陆点,下入技术套管,水泥固井返至地面
四开	171.50	139.70	钻至靶点,下入生产套管或筛管

表5 空气螺杆实钻记录

Table 5 Record table of air screw drilling

日期	起止时间	液氮注入量/m <sup>3</sup>	起止井深/m	进尺/m	风量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	钻压/kN	风压/MPa
10-27	17:07~18:04	12	330~341	11	112	15	3.0
10-31	11:00~16:30	55	341~385.2	44.2	112	25	3.0

表6 空气螺杆实钻数据表

Table 6 Air screw drilling data table

井深/m	井斜/(°)	方位/(°)	垂深/m	闭合方位/(°)	闭合距/m	“狗腿”度/[(°)·(30 m) <sup>-1</sup> ]
332.85	35.50	358.80	316.35	356.54	71.22	2.52
342.48	36.10	0.80	324.16	356.78	76.84	4.10
352.18	36.60	1.20	331.97	357.08	82.58	1.71
361.79	36.50	1.90	339.69	357.37	88.28	1.34
371.32	36.50	1.90	347.36	357.64	93.93	0.00
381.83	37.70	2.00	355.74	357.91	100.26	3.43
391.23	39.50	3.40	363.08	358.18	106.10	6.38

等<sup>[30]</sup>提出水平井造洞穴应力释放构造煤原位煤层气开发技术。未来,煤层气钻井技术研究应用要紧紧围绕煤层气产业发展需求,一方面针对高产老区及深部研究适用性煤层气钻井技术及装备,不断提高施工效率、降低生产成本,另一方面针对构造煤、采空区及采空压覆区创新研究钻井工艺及机具,解决“卡脖子”问题,促进煤层气产业发展。

### 3.1 煤层气钻井技术方面

#### 3.1.1 精准导向的“一趟钻”水平井钻进技术

单支L形水平井是已成为最适用的煤层气开发井型,但由于煤层薄、断层多、起伏大、易坍塌等特点,在施工中易发生水平段钻进时偏离目的煤层、起下钻及划眼时钻出新井眼、水平段钻进时坍塌卡埋钻、水平段套管下入难度大等问题,不仅影响钻进效率,而且影响成井质量。因此要研究并推广应用精准导向的“一趟钻”技术,一方面加强随钻测控技术、近钻头磁短接工具、高精度方位伽马等的研究应用,提高导向的精准度,另一方面研究合适的钻井液体系、井下动力工具、高效钻头等,提高煤层气水平井

钻井效率和质量。

#### 3.1.2 以气体为循环介质的定向钻井技术

无论煤层气采空井、采动井及穿采空区井,面临的一个问题是采空区及其上部扰动区都存在不同程度的漏失,无法采用常规泥浆循环钻进,而以空气为介质容易产生自燃,目前以氮气为介质的直井井型已在沁水盆地推广应用,但成本较高,单井经济效益较差。为提高投入产出比,实现该区域类型煤层气开发,水平井是必然的选择,但目前气动定向钻井技术还不成熟。今后要进一步加强气动定向钻井技术研究应用,包括空气螺杆、自回转气动潜孔锤等专用井底动力钻具,防震、防脱的电磁波无线随钻仪器,经济合理的惰性气体,以及配套的施工参数等。目前正在开展气动定向穿越采空区煤层气水平井钻井工艺研究,并完成了3口试验井,取得了良好效果。

#### 3.1.3 针对构造煤的水平井造洞穴技术

构造煤原位煤层气地面开发目前还没有适用技术,研究针对构造煤煤层气开发关键钻井技术也是未来发展的方向。如桑树勋等<sup>[30]</sup>借鉴煤矿采动区

应力释放煤层气地面瓦斯抽采技术和直井裸眼洞穴完井技术提出了水平井造洞穴应力释放构造煤层气开发技术,并开展了开发理论和关键技术装备的研究,取得了实质性进展,为构造煤原位煤层气开发提供了思路 and 方向。如何将构造煤储层大直径水平井成井、诱导控制造穴技术等关键技术转化为工程实践也是需要研究和关注的方向。

### 3.2 煤层气钻井设备方面

目前煤层气钻井施工主要设备有车载钻机、模块化钻机和石油 ZJ20、ZJ30、ZJ40 型等钻机。与石油钻机相比,车载钻机、模块化钻机的优点是机动性好、占用场地面积小、自带动力头利于处理复杂工况,但起下钻必须单根拆卸,造成辅助时间长,比较适用于采空井、采动井、垂深 800 m 以浅的煤层气水平井以及场地受局限的井的施工;对垂深超过 800 m 煤层气井,建议用石油系列钻机,可以缩短起下钻辅助时间。随着煤层气开发逐渐进入更深地层,为进一步提高工作效率,下一步还要加强带顶驱的石油系列钻机的配备。另外,建议钻井设备生产厂家进一步向自动化、智能化、远程操控等方向发展,降低一线工人的劳动强度,改变工作模式,优化工作环境,促进钻井产业的良好发展。

## 4 结语

河南地勘队伍是最早参与煤层气勘探开发的队伍之一,随着 2003 年以来煤层气产业化、商业化发展及需求,研制了绳索取心钻具、喷射式扩孔掏穴器等专用机具,研究实践了煤层气参数井、洞穴井、水平井、采动井、穿采空井等多种钻井工艺,获得了多项技术成果和丰富的实践经验,形成了覆盖全面煤层气开发井型的钻井技术体系,有力促进了煤层气产业的发展。展望未来,河南地勘队伍将持续关注煤层气产业的发展,积极引导促进河南地区煤层气开发利用,在煤层气水平井高效施工技术、精准导向技术、穿采空区定向钻井技术、构造煤开发适用关键钻井技术以及相关钻井设备等方面持续开展科技攻关和生产实践,助推我国煤层气产业的发展。

### 参考文献(References):

[1] 郝沁慧,张苗.“河南省煤层气资源潜力评价项目”通过终审[J].资源导刊,2013(1):31.  
HAO Qinhui, ZHANG Miao. “Henan province coalbed methane resource potential evaluation project” passed the final exami-

nation[J]. Resources Guide, 2013(1):31.

[2] 中南煤田地质局 125 勘探队瓦斯试验组. 抚研 58 型集气式瓦斯采取器在生产试验过程中的改进[J]. 探工零讯, 1965(8): 11-15.  
The Methane Testing Team of the Mid-south Bureau of Coalfield Geology Geological Brigade 125. Improvement of Fuyan 58 gas collector in production test [J]. Information of Exploration Engineering, 1965(8):11-15.

[3] 苏现波,汤友谊,盛建海. 河南省煤层气开发工艺初探[J]. 焦作工学院学报, 1998(6):406-408.  
SU Xianbo, TANG Youyi, SHENG Jianhai. Exploration of coalbed methane development technology in Henan province [J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 1998(6):406-408.

[4] 叶建平,侯淦译,张守仁.“十三五”期间我国煤层气勘探开发进展及下一步勘探方向[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(3):15-22.  
YE Jianping, HOU Songyi, ZHANG Shouren. Progress of coalbed methane exploration and development in China during the 13th Five-Year Plan period and the next exploration direction [J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(3):15-22.

[5] 徐凤银,闫霞,林振盘,等. 我国煤层气高效开发关键技术研究进展与发展方向[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(3):1-14.  
XU Fengyin, YAN Xia, LIN Zhenpan, et al. Research progress and development direction of key technologies for efficient coalbed methane development in China [J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(3):1-14.

[6] 徐凤银,王勃,赵欣,等.“双碳”目标下推进中国煤层气业务高质量发展的思考与建议[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(3):9-18.  
XU Fengyin, WANG Bo, ZHAO Xin, et al. Thoughts and suggestions on promoting high quality development of China's CBM business under the goal of “double carbon” [J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(3):9-18.

[7] 王辰龙,韩金良,刘奕杉,等. 煤层气开发工程关键技术研究现状及发展趋势分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(3):247-248.  
WANG Chenlong, HAN Jinliang, LIU Yishan, et al. Research status and development trend of key technologies in coalbed methane development project [J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(3):247-248.

[8] 乔磊,高德利,代继樑,等. 煤层气水平井磁导向钻井理论与实践[J]. 钻探工程, 2021, 48(6):1-6.  
QIAO Lei, GAO Deli, DAI Jiliang, et al. Magnetic ranging theory and practices in CBM horizontal well drilling [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(6):1-6.

[9] 武程亮. 方位伽马在煤层气水平井中的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(5):69-75.  
WU Chengliang. Application of azimuth gamma in coalbed methane horizontal wells [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(5):69-75.

[10] 李云峰. 沁水盆地煤层气钻井工艺方法[J]. 中国煤田地质, 2005(6):56-57,74.  
LI Yunfeng. Drilling technology of coalbed methane in Qinshui Basin [J]. Coal Geology of China, 2005(6):56-57,74.

[11] 李云峰. 沁水盆地煤层气参数井钻井工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(9):55-57.  
LI Yunfeng. Drilling technology of coalbed methane parameter well in Qinshui Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2006, 33(9):55-57.

[12] 曹东风. 宝峨 RB50 型车载钻机施工工艺探讨[J]. 中国煤炭地

- 质, 2009, 21(7):69-70, 85.  
CAO Dongfeng. Probe into Bauer RB50 truck-mounted drilling rig operational techniques[J]. Coal Geology of China, 2009, 21(7):69-70, 85.
- [13] 王新敏, 王立峰, 张晓昂, 等. CMD100型车载钻机在煤层气“L”型井施工中的应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流会论文集. 北京:地质出版社, 2015:573-576.  
WANG Xinmin, WANG Lifeng, ZHANG Xiaoang, et al. Application of CMD100 on-board drilling rig in CBM ‘L’ well construction[C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Eighteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2015:573-576.
- [14] 杜森森, 师敏, 赵远, 等. SDC-2500型煤层气车载钻机桅杆支架的模态分析[J]. 钻探工程, 2022, 49(2):51-57.  
DU Yaosen, SHI Min, ZHAO Yuan, et al. Modal analysis of the mast support frame of SDC-2500 coal bed methane truck-mounted rig[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(2):51-57.
- [15] 张卫东, 魏韦. 煤层气水平井开发技术现状及发展趋势[J]. 中国煤层气, 2008, 5(4):19-22.  
ZHANG Weidong, WEI Wei. Status of coalbed methane horizontal well technology and trend of development [J]. China Coalbed Methane, 2008, 5(4):19-22.
- [16] 李云峰, 耿建国, 袁志坚. 陕北浅层石油定向井钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2003(S1):264-265, 269.  
LI Yunfeng, GENG Jianguo, YUAN Zhijian. Drilling technology of shallow oil directional well in Northern Shaanxi[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2003(S1):264-265, 269.
- [17] 张晓昂, 郝登峰, 王立峰, 等. 一种取心全面钻进可变组合式钻头:CN209339851U[P]. 2019-09-03.  
ZHANG Xiaoang, HAO Dengfeng, WANG Lifeng, et al. A variable combination bit for coring comprehensive drilling: CN209339851U[P]. 2019-09-03.
- [18] 袁志坚. 煤层气掏穴井钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(7):20-21, 24.  
YUAN Zhijian. Drilling technology of coalbed methane tunneling well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(7):20-21, 24.
- [19] 熊德华, 王珊珊. 煤层气井空气造穴工艺的理论与实践[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(10):26-27, 61.  
XIONG Dehua, WANG Shanshan. Practice and understanding of air cavitation technology in coalbed methane well[J]. Coal Geology of China, 2010, 22(10):26-27, 61.
- [20] 彭桂湘, 李云峰, 阎冠欣, 等. 喷射式扩孔掏穴器:CN200620032323.X[P]. 2007-09-05.  
PENG Guixiang, LI Yunfeng, YAN Guanxin, et al. Shot-type hole-expander: CN200620032323.X[P]. 2007-09-05.
- [21] 何新安, 李宏伟, 雷华友, 等. 煤层气井的反循环空气动力造穴方法及设备:CN200910172558.7[P]. 2010-05-19.  
HE Xinan, LI Hongwei, LEI Huayou, et al. Reverse circulation aerodynamic cavitation method and equipment for coalbed methane well: CN200910172558.7[P]. 2010-05-19.
- [22] 徐培远, 姬玉平, 王新敏, 等. 煤层气欠平衡水平井钻井工艺研究[R]. 郑州:河南豫中地质勘察工程公司, 2013.  
XU Peiyuan, JI Yuping, WANG Xinmin, et al. Study on drilling technology of coalbed methane underbalanced horizontal well[R]. Zhengzhou: Henan Yuzhong Geological Survey Engineering Company, 2013.
- [23] 张晓昂, 刘卫娟. 煤层气U型井套管完井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1):287-288.  
ZHANG Xiaoang, LIU Weijuan. Construction technology of casing completion in U-type coalbed methane well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(S1):287-288.
- [24] 徐培远, 张晓昂. 煤矿瓦斯预抽采地面水平井与井下连通技术探讨[J]. 中国煤炭地质, 2019, 31(8):69-71.  
XU Peiyuan, ZHANG Xiaoang. Discussion on connection technology between horizontal well and underground in coal mine gas pre-extraction[J]. Coal Geology of China, 2019, 31(8):69-71.
- [25] 齐治虎, 曹伟, 张晓昂, 等. 空气钻井在穿采空区煤层气井中的应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流会论文集. 北京:地质出版社, 2015:570-572.  
QI Zhihu, CAO Wei, ZHANG Xiaoang, et al. Application of air drilling in coalbed methane well through goaf [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Eighteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2015:570-572.
- [26] 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.  
LI Bing, ZHANG Yongcheng, WANG Sen. Application of nitrogen drilling process in goaf of coal mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2):35-39.
- [27] 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):293-297.  
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):293-297.
- [28] 秦勇, 申建, 史锐. 中国煤系气大产业建设战略价值与战略选择[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1):371-387.  
QIN Yong, SHEN Jian, SHI Rui. Strategic value and choice on large CMG industry in China[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(1):371-387.
- [29] 孙钦平, 赵群, 姜馨淳, 等. 新形势下中国煤层气勘探开发前景与对策思考[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1):65-76.  
SUN Qinpings, ZHAO Qun, JIANG Xinchun, et al. Prospects and strategies of CBM exploration and development in China under the new situation [J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(1):65-76.
- [30] 桑树勋, 周效志, 刘世奇, 等. 应力释放构造煤层气开发理论与关键技术研究进展[J]. 煤炭学报, 2020, 45(7):2531-2543.  
SANG Shuxun, ZHOU Xiaozhi, LIU Shiqi, et al. Research advances in theory and technology of the stress release applied extraction of coalbed methane from tectonically deformed coals [J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7):2531-2543.

(编辑 李艺)