

黔西地区表层易漏地层钻井工程技术

迟焕鹏¹, 胡志方^{*1}, 王胜建¹, 李大勇¹, 苑坤¹, 郭军²

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 湖南省煤炭地质勘察院, 湖南 长沙 410014)

摘要:黔西地区是煤层气和页岩气重要的勘探区, 碳酸盐岩发育, 表层很容易钻遇溶洞、裂缝, 发生井漏、井垮等复杂问题, 给钻井工程带来很大挑战。根据黔西地区的地质情况和钻井工程实践, 结合周边相似地区的钻井工程经验, 分析表层碳酸盐岩地层井漏主要为溶洞性漏失和裂缝性漏失, 并伴有井垮风险。对易漏易垮的复杂情况, 提出了煤层气井和页岩气井针对性的井身结构设计, 以降低井漏风险; 并总结形成了空气钻进、清水钻进、空气潜孔锤跟管钻进、气体反循环钻进等应对黔西地区表层易漏、垮塌复杂情况的钻井工艺技术体系。最后, 介绍了黔水地1井导管段复杂情况的处理经验。本文可为黔西地区表层易漏地层的优快钻井提供技术思路和借鉴。

关键词:黔西地区; 煤层气; 页岩气; 钻井工程; 井漏; 跟管钻进; 黔水地1井

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)04-0066-07

Drilling techniques for thief zones in surface formations in Western Guizhou

CHI Huanpeng¹, HU Zhifang^{*1}, WANG Shengjian¹, LI Dayong¹, YUAN Kun¹, GUO Jun²

(1. Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

2. The Coal Geological Exploration Institute of Hunan Province, Changsha Hunan 410014, China)

Abstract: Western Guizhou is an important area for exploration of both coalbed methane and shale gas, and presents huge challenge for drilling engineering because of circulation loss induced by karst caves and fractures. Analysis of the surface geological condition and drilling practice in the area with reference to the drilling experience from nearby areas finds that circulation loss, often accompanied by wellbore collapse, is mainly caused by the caves and fractures developed in Western Guizhou. In view of circulation loss and wellbore collapse, it is proposed that the specific well structure should be designed for the coalbed methane well and the shale gas well to prevent circulation loss and wellbore collapse. The drilling technical system, including air drilling, water drilling, casing while drilling, reverse circulation, has been developed to deal with the challenges and to increase the ROP. The drilling experience from Well QSD-1 is also described. This paper can provide the technological solution and reference for drilling in Western Guizhou.

Key words: Western Guizhou; coalbed methane; shale gas; drilling engineering; circulation loss; casing while drilling; Well QSD-1

0 引言

黔西地区是贵州省煤层气和页岩气勘探的重

要地区。其中,煤层气主要集中在六盘水煤田和织纳煤田上二叠统龙潭组发育的煤层群中^[1],织金区

收稿日期:2020-10-31; 修回日期:2021-01-20 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.04.009

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“重点参数井含油气参数测试”(编号:DD20201172)、“桂中—南盘江页岩气地质调查”(编号:DD20190088)

作者简介:迟焕鹏,男,汉族,1989年生,高级工程师,油气井工程专业,博士,从事钻探工程技术、煤层气勘探开发技术研究工作,北京市海淀区北四环中路267号, chp2121@126.com。

通信作者:胡志方,男,汉族,1964年生,教授级高级工程师,勘查技术与工程专业,博士,北京市海淀区北四环中路267号, yjyzhshzf@163.com。

引用格式:迟焕鹏,胡志方,王胜建,等.黔西地区表层易漏地层钻井工程技术[J].钻探工程,2021,48(4):66-72.

CHI Huanpeng, HU Zhifang, WANG Shengjian, et al. Drilling techniques for thief zones in surface formations in Western Guizhou [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(4): 66-72.

块、土城区块松河井田均已实现了煤层气勘查开发示范工程建设^[2-3]。黔西地区下石炭统打屋坝组^[4]和旧司组^[5]是贵州地区富有机质泥页岩发育层位之一,是黔西页岩气勘探的重要地层。近年来,中国地质调查局油气资源调查中心在黔西地区针对龙潭组煤系地层、打屋坝组泥页岩地层开展了相关研究工作^[6-7]。

由于黔西地区地表地下条件复杂、碳酸盐岩发育,上部地层很容易钻遇溶洞、裂缝,给钻井工程带来诸多困难,导致钻井周期长、成本高,甚至影响地质目标的实现。本文根据该地区的地质情况和所部署井的钻井工程实践,结合周边相似地区的钻井工程经验,分析了黔西地区上部碳酸盐岩地层的钻井工程难点,总结了适应性的钻井工程技术,以期为该地区复杂地层的优快钻进提供技术借鉴。

1 地质概况

黔西地区地理上主要由贵州毕节西南部地区(威宁、赫章、纳雍、织金)和六盘水地区(六枝、盘县、水城)组成^[8],从构造上,黔西地区位于上扬子地块滇东-黔中隆起东部,处于上扬子地块南缘,包括滇东-黔中隆起东部和黔西南坳陷 2 个三级构造单元,东侧为黔南坳陷,南侧为南盘江坳陷^[9]。黔西地区出露的地层主要有泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、古近系及第四系,以二叠系和三叠系分布最为广泛,表 1 为黔西地层系统简表^[10]。

黔西地区上二叠统龙潭组岩性多样,主要有泥页岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩及煤。黔西地区打屋坝组分布于盘县—水城一带,主要岩性为黑色页岩、黑色钙质泥岩夹深灰色泥质灰岩,水平纹层发育。旧司组主要位于威宁地区,为一套含泥灰岩、灰岩的暗色岩系。受构造作用的影响,打屋坝组页岩气储层位于褶皱、断裂较为发育地区,以宏观裂缝发育为主,微裂缝次之。

2 地层漏失特点

在黔西地区煤层气、页岩气勘探开发钻井过程中发生不同程度的井漏。黔西地区上部三叠系、二叠系、石炭系地层主要发育碳酸盐岩,如六盘水地区的永宁镇组下段、织金地区茅草铺组、夜郎组、长兴组等地层都有大段灰岩发育,石炭系南丹组以厚—巨厚层状灰岩为主,易因喀斯特作用而形成各类

表 1 黔西地区地层简表				
系 统		地 层 名 称		
第四系				
新近系				
古近系				
侏罗系	上	遂宁组		
	中	沙溪庙组		
	下	自流井组		
三叠系	须家河组		龙头山组	
	上	火把冲组		
		把南组		
		赖石科组		
	中	法郎组	竹杆坡组	
		杨柳井组	龚头组	边阳组
	下	关岭组	个旧组	
		永宁镇组	谷脚组	安顺组
		飞仙关组	夜郎组	紫云组
		大冶组		
二叠系	上	宣威组	长兴组	
		龙潭组	吴家坪组	领蓐组
	中	峨眉山玄武岩组		
		茅口组		
		下	栖霞组	
梁山组				
石炭系	上	马坪组		
		黄龙组		
	下	摆佐组		南丹组
		上司组		
		旧司组		打屋坝组
汤耙沟组		睦化组		
泥盆系	上	五指山组		
	中	火烘组		

岩溶地貌,溶洞、裂缝发育,部分溶洞与地表水和地下暗河相连,极易发生失返性漏失。例如黔水地 1 井在钻第四系和南丹组地层的导眼段和一开井段时发生严重漏失,主要采用清水强钻,共消耗清水超过 2 万 m³,在二开南丹组和打屋坝组共漏失钻井液和清水超过 2600 m³。

通过文献调研^[11-12]及在该地区相关钻井资料的不完全统计,地层漏失的情况如表 2 所示。通过分析,发生漏失的地层岩性以灰岩为主,浅表地层漏失主要分为溶洞性漏失和裂缝性漏失 2 类。

(1)溶洞性漏失。该地区地表属于典型的喀斯

表2 黔西地区地层漏失情况统计

Table 2 Summary of circulation loss formation in Western Guizhou

地层名称	漏失井数/口	漏失深度/m	漏失地层岩性	漏失类型
第四系	3	<30	松散层	溶洞性、裂缝性漏失
永宁镇组	3	30~200	灰岩、灰岩破碎带	溶洞性、裂缝性漏失
茅草铺组	1		灰岩	裂缝性漏失
飞仙关组	3	98~142	灰岩、砂岩、粉砂质泥岩	裂缝性漏失
长兴组	2	500~600	灰岩	裂缝性漏失
龙潭组	3	610~892	煤层、细砂岩	渗透性漏失
南丹组	1	21~1004	灰岩	溶洞性、裂缝性漏失
打屋坝组	1	1668~2413	灰岩、泥岩、页岩	渗透性、裂缝性漏失

特地貌,喀斯特地形的形成是石灰岩地区地下水长期溶蚀的结果。表层容易发生溶洞性漏失,钻井液往往有进无出,采用堵漏浆、水泥浆、混凝土堵漏等方法成功率低,一般采用清水强钻、空气钻进、跟管钻进等钻井技术进行应对。

(2)裂缝性漏失。钻遇天然裂缝发育的灰岩地层,漏失较严重甚至产生失返性漏失。黔西地区表层钻遇较厚的灰岩,如石炭系南丹组为几百米的巨厚灰岩,天然裂缝发育,容易发生失返性漏失,堵漏难度大,处理时间长。

3 适应性钻井工艺技术

3.1 井身结构设计

黔西地区大面积出露的地层有石炭系、二叠系及三叠系地层,其中煤层气目的层为二叠系的龙潭组,埋藏深度一般在1000 m以浅的储层对煤层气的有效开采比较有利;页岩气主要勘探的目的层为石炭系打屋坝组,埋藏深度展布特征由北向南逐渐变深,一般在500~3500 m之间,其中黔水地1井打屋坝组地层深度为1248~2466 m。

3.1.1 煤层气井井身结构

根据黔西六盘水煤田煤层气井的钻探情况^[13-14],黔西地区煤层气井一般采用直井,井深在1000 m以内。在表层钻井时容易发生井漏,甚至失返。建议采用二开井身结构。

(1)一开。使用 $\Phi 311.2$ mm钻头开孔,一般可设计100~200 m,钻穿地表松散地层和地下水层,并尽量钻穿浅层可能存在的溶洞、大型裂缝等容易发生恶性漏失的地层,下入 $\Phi 244.5$ mm表层套管封隔,水泥浆返至地面,建立井口,根据地质对井控风

险的预告决定是否安装防喷器,为二开使用钻井液安全顺利钻进创造条件。

(2)二开。使用 $\Phi 215.9$ mm的钻头钻至设计井深,下入 $\Phi 139.7$ mm的生产套管完井,水泥浆返至地面。

3.1.2 页岩气井井身结构

黔西地区石炭系打屋坝组页岩气尚处于调查阶段,钻井主要为探井,井型为直井。根据黔水地1井的钻探实践,该地区页岩气井的井身结构设计如图1所示。

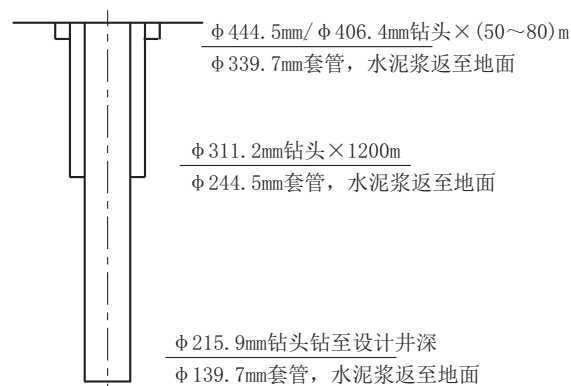


图1 黔西页岩气井建议井身结构示意图

Fig.1 Suggested shale gas well design for Western Guizhou

(1)一开。采用 $\Phi 444.5$ mm或 $\Phi 406.4$ mm钻头钻至井深50~80 m,钻穿地表溶洞、地下暗河地层,下入 $\Phi 339.7$ mm表层套管,水泥浆返至地面。

(2)二开。采用 $\Phi 311.2$ mm钻头钻至南丹组地层底部,下入 $\Phi 244.5$ mm技术套管,封隔表层涌水、漏失复杂地层,并安装好防喷器,确保目的层打屋坝组安全钻进。

(3)三开。使用 $\varnothing 215.9$ mm钻头钻至设计井深,下入 $\varnothing 139.7$ mm生产套管完井,水泥浆返至地面。

3.2 空气钻进

空气钻进是以空气为循环介质的一种钻进方式。空气钻进经历了几十年的发展,至今已经发展成为一套成熟的钻井技术,其最大优势莫过于可以有效应对复杂恶性漏失,实现安全快速钻井,尤其适应于黔西地区上部漏失地层钻进,当遇到地层出水可以转化为雾化空气或空气泡沫钻进。

空气钻进所用钻头一般可以选用常规牙轮钻头、空气潜孔锤。在条件允许的情况下,优先推荐使用空气潜孔锤。可以利用空气潜孔锤对地层岩石的高频冲击获得较高的机械钻速,同时,空气潜孔锤钻进时钻压小,可以有效实现防斜打直,尤其是对地层倾角大的高陡地层。

3.3 清水钻进

清水钻进是用清水作为钻井液进行钻进的一种钻进方法。在黔西地区,当表层钻遇溶洞、暗河或大型裂缝性地层,发生失返性漏失时,在地表水源供给充足的情况下,可以采用清水钻进顶漏快速钻过失返性漏失地层,及时下入套管注水泥封隔。

使用清水钻进要注意泥浆泵的配备,保证表层在发生严重井漏时,可以实现排量60 L/s的清水强钻。清水强钻以牺牲大量清水为代价,需要有充足的水源,在易出水地层比空气钻进更具有优势^[15]。

3.4 空气潜孔锤跟管钻进

空气潜孔锤跟管钻进是将空气钻进与跟管钻进技术相结合,钻进与下套管同步的一种钻进方法。跟管钻进至预定井深后跟管钻具从套管中提出,套管则留在井中用于稳定井壁。该技术已广泛应用于水文水井、地质钻孔、抗旱救灾、地质灾害治理、岩土钻掘等工程领域^[16]。

将该技术引入到石油天然气井浅表地层的钻进中,可以有效应用于溶洞、大型裂缝发育、易垮塌地层以及漏垮同层的钻进。该技术的基本原理是:中心钻头的花键与冲击器相连接。钻进时,冲击器使空气压缩产生能量,驱动底部的冲击钻头产生高频震动冲击,在冲击器和转盘扭矩的作用下实现对井底岩石的冲击回转钻进。套管通过管靴与钻头上部相连,通过卡槽可以实现钻进过程中钻头转动而套管基本保持不转。在不钻进时,钻头为收拢状

态,使整个钻头的直径略小于套管内径。目前国内外跟管钻具主要有偏心 and 同心2种,各自的钻进原理示意图如图2和图3所示。

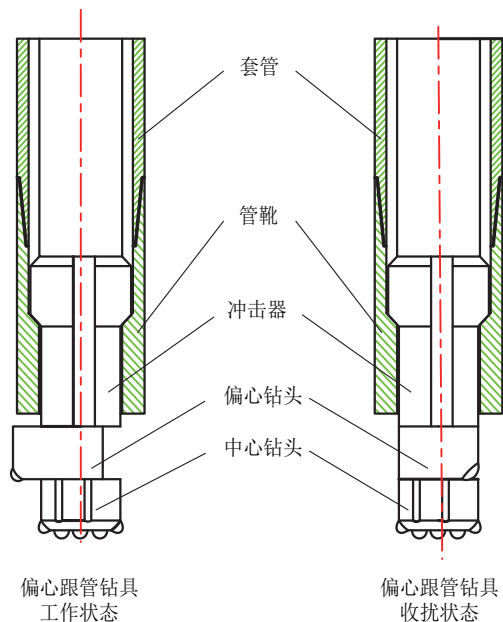


图2 偏心钻具跟管钻进原理示意

Fig.2 Schematic of casing while drilling with eccentric drilling tool

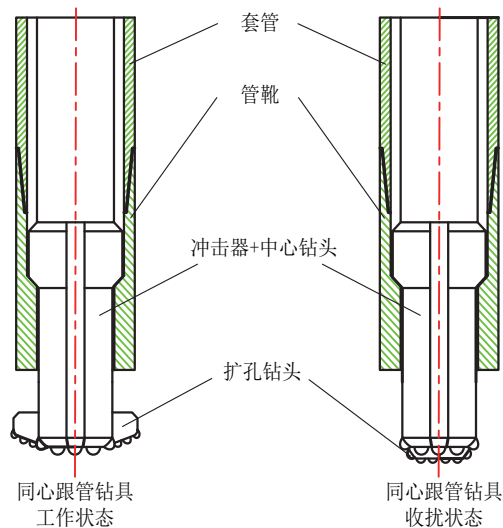


图3 同心钻具跟管钻进原理示意

Fig.3 Schematic of casing while drilling with concentric drilling tool

3.5 空气反循环钻进

黔西地区上部碳酸盐岩地层在使用常规方法钻进时,井漏严重,且伴有井垮发生,给钻井作业造

成较大的经济损失。空气反循环钻进是将气体沿着双壁钻具内外管柱的环空注入井底,冷却钻头并携带岩屑后由双壁钻具内管上返至地面的一种钻井技术^[17]。该钻井技术具有对施工区域水源依赖小、对井壁冲刷作用小、井垮风险小、能耗低、防漏效果显著等优点。

3.6 主要堵漏方法

针对井漏,除了可以通过钻井液密度控制、提高地层承压能力等预防措施外,当井漏发生时,还需要采取合理的堵漏方法来解决复杂问题。对溶洞性漏失,主要通过改变钻进方法进行处理;对裂缝性漏失,主要采取的堵漏方法有随钻堵漏、桥接堵漏、凝胶堵漏、水泥浆堵漏等。

3.6.1 随钻堵漏

对于微小孔隙或微裂缝导致的较小的漏失,漏失量一般在 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 以内,在钻入该地层前,可以向钻井液中加入随钻堵漏材料,在钻井液液柱压力与地层压力之间的压差作用下,随钻堵漏剂进入地层,封堵近井筒的漏失通道,起到防漏堵漏和提高地层承压能力的作用。

3.6.2 桥接堵漏

在钻遇漏速较快的天然裂缝或诱导裂缝漏失时,一般利用整个桥浆的多功能作用及工程措施的配合作用,使堵漏材料在漏失地层进行挂阻架桥、堵塞嵌入、拉筋、渗滤成厚泥饼填塞,加之整个体系的高粘切阻力在井下漏层通道窄小部位孔喉中吸水膨胀,从而形成具有一定强度的绵密堵塞以实现堵漏。

3.6.3 凝胶堵漏

化学凝胶具有较高的粘弹性,进入裂缝后形成段塞滞留在裂缝中,且启动压力高,不易被钻井液冲走,能够有效封堵裂缝通道。对于漏失量较大的裂缝性地层可以取得较好的堵漏效果。

3.6.4 水泥浆堵漏

由于水泥浆在稠化前呈流动状态,可以适应各种漏失通道堵漏的需要,还可以根据情况添加纤维材料。水泥浆凝固后具有较高的承压能力和抗压强度,堵漏效果较好。水泥浆堵漏应用的漏速范围广,是一种常用的堵漏方法。

4 现场应用

黔水地1井是中国地质调查局油气资源调查中

心部署在贵州六盘水的一口页岩气大口径地质调查井^[18],设计井深2500 m,于2019年11月完钻。该井导管段设计井深30 m,设计采用 $\varnothing 444.5\text{ mm}$ 的钻头钻穿地表土层和上部易漏灰岩,下入 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 导管封隔浅部疏松易垮塌地层及地表水层。在导管段实际钻进过程中,地层垮塌、井漏严重,清水钻进至26.5 m时,发生钻具放空,钻遇大型溶洞,强钻至30.1 m时,井壁严重垮塌,导致井眼被完全填埋。

4.1 导管段复杂问题处理过程

(1)清水强钻。针对地层垮塌、井漏严重的问题,首先采取清水强钻,钻至20.1 m后,因垮塌严重下入 $\varnothing 820\text{ mm}$ 的钢管来支撑井壁、封隔垮塌地层。

(2)空气钻进和清水强钻。下入 $\varnothing 820\text{ mm}$ 的钢管后,采用空气潜孔锤钻进至23.6 m,因地层破碎、岩溶裂缝发育等因素,造成井壁垮塌、岩屑失返等各种问题,空气钻进被迫终止。转换清水强钻至30.1 m,泵压、扭矩、悬重等均急速增大,上提钻具后,井壁垮塌致井眼被完全填埋。

(3)水泥浆堵漏。首先对井眼中垮塌岩石进行捞取,发现溶洞上部地层有大面积垮塌迹象。为确保井架基础安全,采用水泥对全井段进行封堵。2次共注入水泥浆 48 m^3 ,水泥浆返至井口。候凝后进行扫塞,发生钻具放空、清水失返,水泥浆堵漏失败。

(4)空气潜孔锤跟管钻进。在以上技术均无效后,引入同心滑块跟管钻进技术,所用跟管钻具如图4所示。钻进参数为:空气流量 $140\text{ m}^3/\text{min}$,钻压20 kN,转速35 r/min,施工历时8 h,进尺13.7 m,进入基岩成功封隔浅部复杂地层后,停止跟管钻进,导管下深33.7 m,完成固井作业。成功钻穿裂隙、溶洞发育及易井垮等复杂地层,空气潜孔锤跟管钻进过程顺利,实现了钻进与地层封隔同步。



图4 黔水地1井所用跟管钻具^[18]

Fig.4 Concentric casing while drilling tool used in Well QSD-1

4.2 应用效果

黔水地 1 井导管段钻进过程中先后使用了清水强钻、空气钻进、水泥浆堵漏、空气潜孔锤跟管钻进等技术,解决了裂隙和溶洞复合型漏失难题,钻进

各工艺技术应用情况见表 3。在本井中,跟管钻进工艺保证了导眼段施工质量,节约了成本,取得了良好的应用效果。

表 3 黔水地 1 井导管段钻进各工艺技术效果对比
Table 3 Comparison of performance between various techniques for conductor drilling of Well QSD-1

井段/m	复杂问题	处理措施	处 理 效 果	消耗时间/h	结 果
0~20.1	第四系失返性漏失	堵漏	继续失返性漏失	19	失败
0~20.1		大尺寸钻头扩眼	下入 $\varnothing 820\text{ mm}\times 20\text{ m}$ 导管, 注水泥固井	35	成功封堵第四系失返性漏失地层
20~39.22	钻遇溶洞发生失返性漏失,溶洞附近发生井垮	空气潜孔锤钻进	溶洞附近发生井垮,卡钻	4	失败
20~32.01		清水强钻	清水供应不及,井垮	85	失败
20~32.01		2 次注混凝土共 48 m^3 ,封堵溶洞	扫塞过程中继续发生失返性漏失,且不见水泥	225	失败
20~33.7		跟管钻进	下入 $\varnothing 480\text{ mm}\times 33.7\text{ m}$ 导管,注水泥固井	8	成功封隔溶洞及其附近易垮地层

最终,该井使用空气潜孔锤跟管钻进有效解决了表层裂隙、溶洞复合型漏失和易垮塌复杂地层的钻探难题,保证了导眼段施工质量,节约了成本,取得了良好的应用效果。实践证明,空气潜孔锤跟管钻进是一种可以有效应对该类复杂地层的钻探技术。

5 结论

(1)黔西地区上部三叠系、二叠系、石炭系地层主要发育碳酸盐岩,溶洞、裂缝发育,易发生失返性漏失,类型主要为溶洞性漏失和裂隙性漏失。

(2)针对黔西地区上部易漏地层的特点和钻井工程实践,可以通过对煤层气井和页岩气井进行针对性的井身结构设计以降低复杂地层钻进难度,表层套管的下深以封隔表层严重漏失地层为主要原则。

(3)清水钻进、空气钻进、空气潜孔锤跟管钻进、空气反循环钻进等技术是应对黔西地区表层易漏地层钻井的适应性技术体系,其中空气潜孔锤跟管钻进技术是一种能够解决表层大型裂隙、溶洞型漏失和垮塌共存复杂地层快速钻进的有效技术。在实际钻井过程中,需要根据实际地质和工程情况对以上技术进行优选。

参考文献(References):

- [1] 贾彤,桑树勋,韩思杰.松河井田储层高压形成机制及对煤层气开发的影响[J].煤炭科学技术,2016,44(2):50-54.
JIA Tong, SANG Shuxun, HAN Sijie. High pressure formation mechanism of reservoir in Songhe Mine Field and its impact to coalbed methane development [J]. Coal Science and Technology, 2016,44(2):50-54.
- [2] 彭兴平,谢先平,刘晓,等.贵州织金区块多煤层合采煤层气排采制度研究[J].煤炭科学技术,2016,44(2):39-44.
PENG Xingping, XIE Xianping, LIU Xiao, et al. Study on combined coalbed methane drainage system of multi seams in Zhijin Block, Guizhou [J]. Coal Science and Technology, 2016,44(2):39-44.
- [3] 侯丁根,周效志.黔西松河井田煤层气成藏特征及资源可采性研究[J].煤炭科学技术,2016,44(2):62-67.
HOU Dinggen, ZHOU Xiaozhi. Research on reservoir forming characteristics and recoverability of CBM resources in Songhe Mine Field, West Guizhou[J]. Coal Science and Technology, 2016,44(2):62-67.
- [4] 苏慧敏,杨瑞东,程伟,等.贵州西南部下石炭统打屋坝组页岩气成藏特征与有利区分析[J].贵州大学学报(自然科学版),2017,34(3):41-46.
SU Huimin, YANG Ruidong, CHENG Wei, et al. Shale gas accumulation characteristics and advantageous area analysis of Lower Carboniferous Dawuba Formation in Southwestern Guizhou [J]. Journal of Guizhou University (Natural Science), 2017,34(3):41-46.
- [5] 陈捷,易同生,金军.黔西石炭系旧司组页岩气成藏特征及勘探开发启示[J].煤炭科学技术,2018,46(8):155-163.

- CHEN Jie, YI Tongsheng, JIN Jun. Accumulation characteristics and exploration development revelation on shale gas in Jiuxi Formation of Carboniferous in Qianxi [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(8):155-163.
- [6] 毕彩芹, 迟焕鹏, 单衍胜, 等. 水城矿区煤层气储层特征及压裂改造工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9):182-187.
- BI Caiqin, CHI Huanpeng, SHAN Yansheng, et al. Analysis of coalbed methane reservoir characteristics and reconstruction process in Shuicheng Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9):182-187.
- [7] 陈榕, 苑坤, 张子亚, 等. 黔西地区打屋坝组富有机质页岩地球化学特征及其意义[J]. 石油实验地质, 2019, 41(1):10-15.
- CHEN Rong, YUAN Kun, ZHANG Ziya, et al. Geochemical characteristics of organic-rich shale in the Dawuba Formation, Western Guizhou province[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2019, 41(1):10-15.
- [8] 胡加斌, 黄波, 杨涛, 等. 黔西地区与峨眉山玄武岩有关的铜矿背景分析[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2020, 35(1):85-92.
- HU Jiabin, HUANG Bo, YANG Tao, et al. Background analysis of copper deposits related to Mount Emei Basalt in Western Guizhou[J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 2020, 35(1):85-92.
- [9] 刘军, 黄波, 杨涛, 等. 贵州省黔西—黔西南地区构造与成矿浅析[J]. 四川地质学报, 2019, 39(3):364-368.
- LIU Jun, HUANG Bo, YANG Tao, et al. Simple analysis of the relationship of structure to ore-formation in the West-Southwest Guizhou Region[J]. Acta Geologica Sichuan, 2019, 39(3):364-368.
- [10] 窦新钊. 黔西地区构造演化及其对煤层气成藏的控制[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2012.
- DOU Xinzhaoh. Tectonic evolution and its control on coalbed methane reservoiring in Western Guizhou[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2012.
- [11] 易旺, 李凯, 赵凌云, 等. 黔西地区钻遇地层漏失分析及堵漏措施探讨[J]. 石油化工应用, 2019, 38(6):13-16, 35.
- YI Wang, LI Kai, ZHAO Lingyun, et al. Leakage analysis and exploration of leakage stoppage measures for drilling strata in Western Guizhou [J]. Petrochemical Industry Application, 2019, 38(6):13-16, 35.
- [12] 陈宁, 彭步涛. 贵州页岩气调查评价井钻探施工技术综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1):260-265.
- CHEN Ning, PENG Butao. The operation techniques review of shale gas survey wells drilling in Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(S1):260-265.
- [13] 易同生, 周效志, 金军. 黔西松河井田龙潭煤系煤层气-致密气成藏特征及共探共采技术[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1):212-220.
- YI Tongsheng, ZHOU Xiaozhi, JIN Jun. Reservoir formation characteristics and co-exploration and concurrent production technology of Longtan coal measure coalbed methane and tight gas in Songhe Field, Western Guizhou[J]. Coal Science and Technology, 2016, 41(1):212-220.
- [14] 迟焕鹏, 毕彩芹, 单衍胜, 等. 黔西都格井田煤层气储层特征及可采性[J]. 煤炭学报, 2018, 43(12):3447-3452.
- CHI Huanpeng, BI Caiqin, SHAN Yansheng, et al. Reservoir characteristics and recoverability of CBM resource in Duge Coalfield of Western Guizhou [J]. Coal Science and Technology, 2018, 43(12):3447-3452.
- [15] 王建龙, 冯冠雄, 刘学松, 等. 长宁页岩气超长水平段水平井钻井完井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(5):9-14.
- WANG Jianlong, FENG Guanxiong, LIU Xuesong, et al. Key technology for drilling and completion of shale gas horizontal wells with ultra-long horizontal sections in Changning Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(5):9-14.
- [16] 罗整, 温杰, 李金和, 等. 跟管钻进技术运用于气体钻井的可行性分析[J]. 石化技术, 2015, 22(5):118-119.
- LUO Zheng, WEN Jie, LI Jinhe, et al. Feasibility analysis on the technology of drilling with casing used in gas drilling[J]. Petrochemical Industry Technology, 2015, 22(5):118-119.
- [17] 崔森. 涪陵岩溶地层气体反循环钻井技术适应性分析[J]. 江汉石油职工大学学报, 2020, 33(3):27-29.
- CUI Miao. Adaptability analysis of gas reverse circulation drilling technique in Fuling karst formation[J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2020, 33(3):27-29.
- [18] 郭军, 王超技, 李岩, 等. 跟管钻进在大口径页岩气井浅部复杂地层中的应用——以黔水地1井导管段为例[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(5):22-26.
- GUO Jun, WANG Chaoji, LI Yan, et al. Application of simultaneous casing drilling to large bore shale gas well drilling in shallow complex formation: A case of conductor drilling for the Qianshuidi-1 Well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(5):22-26.

(编辑 李艺)