

# 贵州煤层气试井解释基础参数优选

罗 政

贵州省煤田地质局实验室 贵州贵阳 550081

通讯作者:Email:568650184@qq.com

项目支持:贵州省科技重大专项资助项目(黔科合重大专项字[2014]6002号)、中国地质调查局资助项目(12120114020201-05)

引用:罗政. 贵州煤层气试井解释基础参数优选[J]. 油气井测试, 2018, 27(1): 68-72.

Cite: LUO Zheng. Optimization of basic parameters for Guizhou coalbed gas well test interpretation [J]. Well Testing, 2018, 27(1): 68-72.

**摘要** 煤层气试井解释中基础参数的取值对储层渗透率、探测半径、表皮系数和断层(裂缝)距离等的计算影响较大,取值不准确容易造成试井结果与真实储层参数之间偏差较大,不利于指导煤层气试井工程施工和煤层气井储层评价研究。以贵州煤层气参数试井工程试验和区域煤层测试资料为依据,研究黔西煤田、黔北煤田的煤质特征及煤层孔隙度,模拟不同区域煤层综合压缩系数的取值范围。结果显示,黔西煤田煤层综合压缩系数为  $6.73 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$ 、孔隙度为 4.89%;黔北煤田煤层综合压缩系数为  $3.06 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$ 、孔隙度为 5.21%,流体水黏度取值范围为 0.5~1.2 mPa·s、水地层体积系数取值为 1。通过区域试井试验和基础参数值优选,提高对储层地质评价分析的准确性,其结果可为煤层气试井解释、工程设计研究提供借鉴和参考。

**关键词** 煤层气;试井解释;基础参数;孔隙度;综合压缩系数;参数优选

中图分类号:TE353

文献标识码:B

DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.01.011

## Optimization of basic parameters for Guizhou coalbed gas well test interpretation

LUO Zheng

Laboratory of Guizhou Coal Mine Geology Administration Bureau, Guiyang, Guizhou 550081, China

**Abstract:** The values of basic parameters for coalbed gas well test interpretation have great influence on the determination of permeability, investigation radius, skin factor, and distance from fault and so on. The inaccurate values of basic parameters may cause the great deviation of well testing result from the actual formation parameters, which may bring out the inappropriate well testing operation and evaluation for coalbed gas well. In this paper, original data of well testing in Western Guizhou Coal Mine and Northern Guizhou Coal Mine were used in simulation to determine basic parameters in different regions. The results show that the average total compressibility coefficient is  $6.73 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$  for coal mines in western Guizhou and  $3.06 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$  for coal mines in northern Guizhou. The average porosity is 4.87% for Zhina Coal Mine, 4.90% for Shuicheng Panxian Coal Mine, 4.89% for Western Guizhou Coal Mine, and 5.21% for Northern Guizhou Coal Mine. The water viscosity ranges in 0.5~1.2 mPa·s and the formation volume factor of water is approximately 1. These results can provide valuable references for coalbed gas well test interpretation and engineering design.

**Keywords:** coalbed gas; well test interpretation; porosity; total compressibility coefficient; parameters optimization

煤层气试井是煤层气开发研究中重要测试项目<sup>[1-3]</sup>,煤层综合压缩系数( $C_t$ )、煤的孔隙度( $\Phi$ )、流体黏度( $\mu$ )、流体地层体积系数( $B$ )是煤层气试井解释的基础参数。陈小红<sup>[4]</sup>和陈志胜<sup>[5]</sup>等人提出了基础参数的取值对煤层渗透率、表皮系数、探测半径、断层(裂缝)距离及储层压力等有较大影响,合理的解释分析能获得可靠的解释结果,准确获取基础参数值,对测试区域煤层试井解释具有重要意义。陈志胜<sup>[5]</sup>、冯青<sup>[6]</sup>和岑明峰<sup>[7]</sup>等人认为流体

黏度对渗透率的计算有影响,综合压缩系数对表皮系数、影响半径、断层距离及裂缝半长的计算结果影响很大,流体体积系数对渗透率值的计算有一定影响,但因其变化范围很小,实际应用中对计算结果的影响不大。

在试井工程实践中,部分煤层气勘探区煤层测试资料滞后或缺失,给试井资料准确解释带来较大困难,尤其是煤层综合压缩系数,通过实验室测定非常困难,通常按照国内外经验值取值,容易造成试井

结果多解,影响煤层气储量评价和试验生产井的后续储层改造施工。杨新辉<sup>[8]</sup>根据实测经验,通过对现场实测数据的研究,并结合典型实测曲线分析,提出了水黏度、孔隙度、综合压缩系数、流体地层体积系数等参数的取值范围。景兴鹏等人<sup>[9]</sup>对基础参数采用实验室测定勘探区内取样得到的试验值;刘大为等人<sup>[10]</sup>对基础参数的取值是借用邻井数据,他们都是使用的固定值,而张健<sup>[11]</sup>和秦勇等人<sup>[12]</sup>提出若不考虑孔隙压缩系数随地应力或埋深的动态变化,将导致深部煤储层渗透率预测结果失真。本文以贵州煤层气试验参数井和区域煤层测试资料为依据,以煤田煤层分布和井组煤层为单元,系统分析黔西煤田、黔北煤田综合压缩系数、孔隙度、流体黏度、流体体积系数取值范围,优选适用于不同煤田的试井基础数据,为不同井田试井解释、煤层气地质储量评价和开发研究提供数据参考。

## 1 试验研究方法

研究区对黔西煤田、黔北煤田的 7 口煤层气试验参数井进行注水/压降测试,获取不同区域的 16 层煤层的试井原始资料及实测注入时间;通过现场采样对不同区域的 19 层煤层进行测试分析,获取煤质分类特征及煤层真密度、视密度,并计算煤层孔隙度。针对贵州低渗煤储层,试井中保持恒定注入流量较为困难,实测注入时间较短,为满足 GB/T 24504-2009 规定的试井探测半径为 10 m,运用现代试井数学推导方法,设置模拟注入时间( $t_m$ ),计算试井综合压缩系数,公式为:

$$C_t = \frac{Kt_m}{69.4\Phi\mu r_i^2}$$

式中: $C_t$  为综合压缩系数,  $\text{MPa}^{-1}$ ;  $K$  为渗透率,  $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;  $\mu$  为水黏度,  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ;  $\Phi$  为区域平均孔隙度, %;  $t_m$  为模拟注入时间, h;  $t_{inj}$  为实测注入时间, h;  $r_i$  为探测半径(值取 10), m。

## 2 基础参数分析

以贵州煤层气参数井试井工程试验和区域煤层测试资料为依据,研究黔西煤田、黔北煤田的煤质特征及煤层孔隙度,确定不同区域煤层综合压缩系数、孔隙度和流体水黏度的取值范围。

### 2.1 综合压缩系数

煤层气试井中综合压缩系数是水的压缩系数与

煤的孔隙压缩系数之和。水的压缩系数与温度、压力有关,其对解释结果影响非常小,主要影响因素是孔隙压缩系数。煤具有特殊割理发育孔隙,因此从实验室测定孔隙压缩系数比较困难,国内外对孔隙压缩系数尚没有统一标准,在试井解释分析中常采用经验值。北美地区综合压缩系数经验值为  $4.35 \times 10^{-4} \text{MPa}^{-1}$ (参考试井解释软件 KAPPA)<sup>[13-14]</sup>,国内煤田综合压缩系数采用经验值范围为  $1 \times 10^{-2} \sim 4 \times 10^{-2} \text{MPa}^{-1}$ 。

以贵州区域试井设计为例,常规 95 mm 孔径,选用综合压缩系数经验值( $4.0 \times 10^{-2} \text{MPa}^{-1}$ )进行计算,当渗透率  $K=0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时,注入时间为 150~200 h;当  $K=0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时,注入时间 80~90 h;当  $K=0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时,注入时间 18~20 h。黔西、黔北煤田煤层属典型低渗储层<sup>[15]</sup>,注入时间显然与实际情况不相符,不能有效指导试井工程施工,目前采用较多的煤层综合压缩系数经验值明显存在较大偏差<sup>[16]</sup>。

用贵州区域多对试验参数探井资料,优化储层参数,计算不同煤田综合压缩系数值(见表 1),结果显示,黔西煤田煤层综合压缩系数平均值为  $6.73 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$ ,黔北煤田煤层综合压缩系数平均值为  $3.06 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$ 。

### 2.2 煤层孔隙度

煤储层的孔隙度反映了煤储层中孔隙的发育程度<sup>[17]</sup>。煤储层自身的双重孔、裂隙结构特点,与常规储气层相比,孔隙度较低,一般小于 10%。在煤层气试井中,将煤储层近似为单孔介质,其煤层孔隙度可称为割理孔隙度<sup>[18]</sup>。煤层割理孔隙度的大小与裂隙发育密切相关<sup>[19-20]</sup>,而裂隙的发育程度受煤层埋深、变质程度、煤岩类型、煤层厚度、矿物含量、煤层结构、煤体结构、古构造应力场、水文地质条件及构造变形样式等地质因素综合控制<sup>[21-22]</sup>。

试井解释分析中,孔隙度对渗透率值的计算无影响,但对表皮系数、探测半径、断层距离及裂缝半长的影响较大。据国内外有关文献[23-24]介绍,割理孔隙度一般小于 2%,在煤岩总孔隙度中占 20%左右。实验室通常采用间接法求取煤的孔隙度,分别测定煤样的真密度和视密度,间接计算煤的孔隙度(表 2)。

贵州黔西煤田、黔北煤田的实验室测试数据统计分析表明,织纳煤田焦渣特征为 2 类,为典型

无烟煤区,水城-盘县煤田焦渣特征为3~6类,为典型烟煤区,黔北煤田为无烟煤区;贵州区域黔西

煤田孔隙度均值为4.89%,黔北煤田孔隙度均值为5.21%。

表1 贵州区域煤层综合压缩系数模拟计算值

Table 1 Simulation calculated values of total compressibility for coalbed in Guizhou area

试井区域	煤层	$K/(10^{-3}\mu\text{m}^2)$	$\mu/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	$\Phi/\%$	$t_{inj}/\text{h}$	$t_m/\text{h}$	$C_1/(10^{-5}\text{MPa}^{-1})$	$C_1$ 平均值/ $(10^{-5}\text{MPa}^{-1})$		
黔西煤田	DC-1	3#	0.07	0.960	4.90	7.0	24	1.500	5.15	
		23-2#	0.13	0.840		10.0	24	4.550	10.90	
	SC-1	22#	0.08	1.140		12.0	24	2.480	4.95	
	YV-1	12#	0.57	0.930		9.3	24	16.800	43.3	
		18#	0.05	0.890		6.9	24	1.140	3.96	
		24#	0.06	0.850		9.0	24	1.870	4.98	
	HV-1	1#	0.08	1.120		9.0	24	1.890	5.04	6.73
		3#	0.12	1.110		9.0	24	2.860	7.63	
		22#	0.01	1.070		6.0	24	0.165	0.66	
		1+3#	0.11	0.850		10.0	24	3.810	9.13	
	GC-1	9#	0.09	0.820		9.0	24	2.900	7.75	
		16#	0.21	0.770		8.0	24	6.420	19.20	
27-1#		0.04	0.640	8.0	24	1.470	4.41			
XV-1		15#	0.03	0.780	11.0	24	1.170	2.55		
黔北煤田	302	C5#	0.12	1.008	5.5	24	1.810	7.90	3.06	
		C7#	0.06	1.007	6.0	24	0.989	3.95		

表2 贵州不同区域煤层孔隙度测试结果统计

Table 2 Result of porosity test for coalbeds in different Guizhou areas

采样区域	煤层	焦渣特征	真密度 $/(g\cdot\text{cm}^{-3})$	视密度 $/(g\cdot\text{cm}^{-3})$	孔隙度/%	
					数值	平均值
黔西煤田	毕节金源	3#	1.75	1.65	5.71	4.87
	大方二矿	26#	1.86	1.73	6.99	
	纳雍四通	6#	1.49	1.42	4.70	
	织金黑土	14#	1.78	1.65	7.30	
	威宁赫章	K1#	2.09	2.05	1.91	
	普安地瓜	19#	1.62	1.54	4.94	
	兴仁国保	25#	1.57	1.53	2.55	
	水城矿区	6#	1.50	1.46	2.67	
	盘县米田	21#	1.32	1.24	6.06	
	盘县米田	17#	1.34	1.27	5.22	
	盘县古树寨	5#	1.51	1.43	5.30	
	盘县马依	3#	1.78	1.65	7.30	
兴义安龙	C2#	1.42	1.38	2.82		
黔北煤田	金沙重源	9#	1.78	1.73	2.81	5.21
	金沙重源	15#	1.66	1.59	4.22	
	金沙新化	5#	1.66	1.56	6.02	
	金沙新化	6#	1.95	1.78	8.72	
	仁怀煤矿	12#	1.70	1.63	4.12	
	仁怀煤矿	7#	1.67	1.58	5.39	

2.3 水黏度

水的黏度与温度、压力和矿化度有关。一般来讲,压力和矿化度变化对流体的黏性没有多大影响。黏度与温度的函数关系式表明,随着温度的升高黏度值降低(图1),温度每升高1℃,黏度大约降低2%,随压强的增加而稍有增大。水黏度的取值大

小,对渗透率有较大影响,而对表皮系数、探测半径、断层距离及裂缝半长无任何影响。

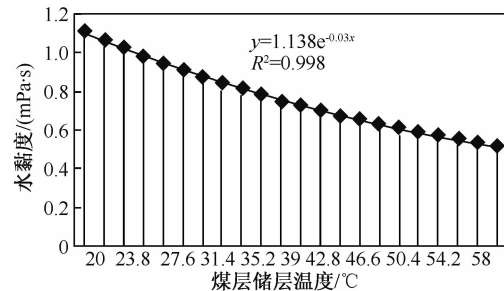


图1 水黏度与温度关系图

Fig.1 Relationship of viscosity of water and temperature

贵州盘县月亮田矿区720.65~723.53 m 储层温度为29℃,黏度值为0.93 mPa·s,相邻区域的盘县鸡场坪矿区737.83~739.97 m 储层温度为39℃,黏度值为0.76 mPa·s,黏度值相差0.17 mPa·s,相同埋深的煤储层温度梯度不完全相同,需根据实测储层温度对水黏度进行校正。贵州龙潭组煤系埋深较浅(一般不超过1500 m)<sup>[25]</sup>,温度变化范围15~60℃,不同温度下水黏度取值范围为0.5~1.2 mPa·s。

2.4 水的地层体积系数

水的地层体积系数与温度、压力有关,随着温度增高而增加,随着压力增大而减小,对于贵州煤层气井而言,由于煤层埋深较浅,温度对其影响程度较低,其值变化为0.97~1.01,在试井解释分析中,近

似取值为  $B=1$ 。

### 3 结论

(1) 区域储层试井基础参数变化较明显, 黔西、黔北煤田综合压缩系数分别为  $6.73 \times 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$  和  $3.06 \times 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$ 、孔隙度分别为 4.89% 和 5.21%; 注入流体性质与储层温度有关, 随井田横向、垂向分布储层温度变化大, 取值为水黏度  $0.5 \sim 1.2 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、水的地层体积系数为 1。

(2) 通过对煤系含气储层、注入流体物性系统分析和试井基础参数的定性研究, 模拟计算试井解释时基础参数的取值范围, 初步形成具有区域性的贵州黔西黔北煤田试井分析方法, 补充部分区域缺失的储层基础数据, 为煤层气储层评价、试井设计和工程研究提供数值参考。由于目前所能收集的试井资料和测试数据有限, 不能完全涉及煤层气储量调查勘探区和所有井组, 希望广大读者和同行同仁对分析结果进行补充和完善, 建立煤层气井田试井分析数据库, 为贵州乃至全国的煤层气试井和煤层气地质储量评价提供服务。

致谢: 感谢贵州省煤田地质局及贵州省煤层气页岩气研究中心对实验室检测测试项目的大力支持。

### 参 考 文 献

- [1] 周鹏遥, 刘洪涛, 杨向同, 等. 试井资料与生产数据结合进行措施井效果评价的新方法[J]. 油气井测试, 2016, 25(5): 16-19, 23.  
ZHOU Pengyao, LIU Hongtao, YANG Xiangtong *et al.* A new method of combining well testing data with production data to evaluate the well effect [J]. Well Testing, 2016, 25(5): 16-19, 23.
- [2] 柳瑶阁, 王磊, 殷荣网, 等. 低渗透井注入/压降资料试井解释方法[J]. 油气井测试, 2014, 23(3): 1-4.  
LIU Yaoge, WANG Lei, Yin Rongwang *et al.* Well test interpretation method by injection/fall off test data for low permeability well [J]. Well Testing, 2014, 23(3): 1-4.
- [3] 叶恒, 廖新维, 赵晓亮, 等. 识别低渗油藏甜点的试井解释体系及其应用[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2014, 32(4): 79-83, 88.  
YE Heng, LIAO Xinwei, ZHAO Xiaoliang *et al.* A system approach to identify the sweep spots of the low permeability reservoirs and its application [J]. Journal of Shanxi University of Science & Technology (Science and Technology), 2014, 32(4): 79-83, 88.
- [4] 陈小红. 贵州煤层气试井工程实践分析[J]. 能源与节能, 2015, (8): 147-148.  
CHEN Xiaohong. On the practical analysis of coalbed methane trial well project in Guizhou [J]. Energy and Energy Conservation, 2015, (8): 147-148.
- [5] 陈志胜, 廉有轩. 煤层气井注入/压降试井测试中有关技术问题探讨[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(4): 23-26.  
CHEN Zhisheng, LIAN Youxuan. Discussion on technical problems for injection/fall off well test in the coalbed methane well [J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(4): 23-26.
- [6] 冯青, 王绪性, 黄子俊, 等. 注入压降试井在沁水煤层气田中的应用研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(4): 112-114.  
FENG Qing, WANG Xuxing, Huang Zijun *et al.* Application and study injection/falling off well test in Qinshui basin [J]. Coal Technology, 2016, 35(4): 112-114.
- [7] 岑明峰, 黄培, 任平, 等. 贵州金沙县安洛煤矿仁和勘查区试井曲线分析[J]. 贵州地质, 2016, 33(1): 36-43.  
CEN Mingfeng, HUANG Pei, REN Ping *et al.* Well curve analyses of Renhe exploration zone of Anluo coal mine in Jinsha, Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2016, 33(1): 36-43.
- [8] 杨新辉. 煤层气井注入/压降试井解释中参数的选取[J]. 陕西煤炭, 2011, (2): 4-6.  
YANG Xinhui. The selection of parameters in the interpretation of coal bed methane well injection / fall well test [J]. Shanxi Coal, 2011, (2): 4-6.
- [9] 景兴鹏, 宋永辉. 基于流体注入诊断法的煤层气试井技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(12): 1-6, 58.  
JING Xingpeng, SONG Yonghui. Technical research on test well of coalbed methane based on diagnostic fracture injection test method [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(12): 1-6, 58.
- [10] 刘大为, 安杰, 刘蓓蓓. 低压煤储层注入/压降试井中注入时间的探讨[J]. 中国煤层气, 2017, 14(5): 18-22.  
LIU Dawei, AN Jie, LIU Beibei. Study on injection time of injection /fall well test in low pressure coal reservoir [J]. China Coalbed Methane, 2017, 14(5): 18-22.
- [11] 张健, 汪志明. 煤层应力对裂隙渗透率的影响[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(6): 92-95.  
ZHANG Jian, WANG Zhiming. Effects of coal bed stress on fracture permeability [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(6): 92-95.
- [12] 秦勇, 申建. 论深部煤层气基本地质问题[J]. 石油学报, 2016, 37(1): 125-136.  
QIN Yong, SHEN Jian. On the fundamental issues of deep coalbed methane geology [J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(1): 125-136.
- [13] LI H, OGAWA Y, SHIMADAS. Mechanism of methane flow through sheared coals and its roal on methane recovery [J]. Fuel, 2003, 82(10): 1271-1279.
- [14] GASH B W, VOLZ R F, POTTER G *et al.* The effect of cleat orientation and confining pressure on cleat porosity, permeability and relative permeability in coal [C]. Pro-

- ceedings of the 1993 International Coalbed Methane Symposium, Alabama, 1993:347-359.
- [15] 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 forming characteristics and co-exploration and concurrent production technology of Longtan coal measure coalbed methane & tight gas in Songhe field, western Guizhou [J]. Journal of China Coal Society, 2016,41(1):212-220.
- [16] OSMAN M S, THWAITES N. The application of well test deconvolution to wireline formation tester pressure build and falloff data improve to improve coalbed methane reservoir characterization[C]. Paper SPE 167764 presented at SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference and Exhibition, 25-27 February, 2014, Vienna, Austria.
- [17] 丁风和,韩晓雷,哈媛媛,等. 承压井含水层孔隙度与固体骨架和水的体积压缩系数之间的关系[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2015,40(7):1248-1253.  
DING Fenghe, HAN Xiaolei, HA Yuanyuan *et al.* Relationship of porosity and volume compression coefficient of solid skeleton and water in artesian well aquifer [J]. Earth Scienc (Journal of China University of Geosciences), 2015,40(7):1248-1253.
- [18] 赵兴龙,汤达祯,许浩,等. 煤变质作用对煤储层孔隙系统发育的影响[J]. 煤炭学报, 2010,35(9):1506-1511.  
ZHAO Xinglong, TANG Dazhen, XU Hao *et al.* Effect of coal metamorphic process on pore system of coal reservoirs [J]. Journal of China Coal Society, 2010,35(9):1506-1511.
- [19] PURL R, EVANOFF J C, BRUGLER M L. Measurement of coal cleat porosity and relative permeability characteristics [C]. Paper SPE 21491 presented at SPE Gas Technology Symposium, 22-24 January, 1991, Houston, Texas.
- [20] BAHRAMI N, BYFIELD R, HOSSAIN M *et al.* Estimating cleat characteristics in reservoir simulation models of coal seam gas reservoirs using welltest analysis [C]. Paper SPE 176825 presented at SPE Asia Pacific Unconventional Resources Conference and Exhibition, 9-11 November, 2015, Brisbane, Australia.
- [21] 蔡佳丽,汤达祯,许浩,等. 黔西上二叠统煤的孔隙特征及其控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 2011,39(5):6-10,14.  
CAI Jiali, TANG Dazhen, XU Hao *et al.* Pore characteristics and controlling factors of Upper Permian coal in western Guizhou [J]. Coal Geology & Exploration, 2011,39(5):6-10,14.
- [22] BURGOYNE M W, CLEMENTS G M. A probabilistic approach to predicting coalbed methane well performance using multi-seam well test data [C]. Paper SPE 171425 presented at SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, 14-16 October, 2014, Adelaide, Australia.
- [23] 毕建军,苏现波,韩德馨,等. 煤层割理与煤级的关系[J]. 煤炭学报, 2001,26(4):346-349.  
BI Jianjun, SU Xianbo, Han Dexin *et al.* The relation between cleat frequency and coal rank [J]. Journal of China Coal Society, 2001,26(4):346-349.
- [24] 樊明珠,王树华. 煤层气勘探开发中的割理研究[J]. 煤田地质与勘探, 1997,25(1):29-32.  
FAN Mingzhu, WANG Shuhua. Study on the cleats in coalbed methane development [J]. Coal Geology & Exploration, 1997,25(1):29-32.
- [25] 郭晨,秦勇,夏玉成,等. 基于氢、氧同位素的煤层气合排井产出水源判识——以黔西地区比德-三塘盆地上二叠统为例[J]. 石油学报, 2017,38(5):493-501.  
GUO Chen, QIN Yong, XIA Yucheng *et al.* Source discrimination of produced water from CBM commingling wells based on the hydrogen and oxygen isotopes: a case study of the Upper Permian, Bide-Santang basin, western Guizhou area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2017,38(5):493-501.

编辑 刘振庆

第一作者简介:罗政,男,1983年出生,工程师,2007年毕业于贵州大学材料化学专业,主要从事岩矿测试及煤层气页岩气检测检验研究工作。电话:13310400307;Email:568650184@qq.com。地址:贵州省贵阳市观山湖区阳明大道贵州煤田地质科技中心实验室,邮政编码:550081。