

文章编号:1009-9603(2022)03-0062-06

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.202104002

埋深对深部煤层气储层物性及开发效果的影响

——以鄂尔多斯盆地东南缘延川南区块为例

赵景辉

(中国石化华东油气分公司 勘探开发研究院,江苏 南京 210000)

摘要:基于鄂尔多斯盆地东南缘延川南区块室内实验数据和开发数据,研究埋深对煤层气储层物性、开发效果及煤层气富集高产的影响,提出了深部煤层气储层富集高产定量评价指标和计算公式。结果表明:埋深越大,煤层气越富集,研究区最大镜质组反射率随着埋深增加而增大,古地温随埋深增加持续升高,因此生烃能力随着埋深(古地温)增加持续增加,再加上高温热液烘烤,该区古地温明显高于正常值,利于煤层气大量生成,导致研究区CH₄含量随埋深增加而增加。埋深对煤层气井产量具有双重影响,储层渗透率随埋深增加呈负指数降低,当埋深达到1 500 m左右时,渗透率降至约为0.1 mD;但吸附时间随埋深增加而降低,即埋深越大,解吸效率越高,这是深部煤层气开发的有利因素。利用含气量、渗透率和吸附时间3个参数计算的产气指数表明,其与单井产量具有良好的相关性,能够对研究区煤层气富集高产进行有效预测;研究区产气指数随埋深先增加后降低,在埋深为1 100 m附近达到最高,为最有利开发区。

关键词:煤层气;储层物性;富集高产;开发效果;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Effect of burial depth on reservoir petrophysical properties and development performance of deep coalbed methane reservoirs: A case of Yanchuannan Block in southeastern margin of Ordos Basin

ZHAO Jinghui

(Institute of Exploration & Development, SINOPEC East China Oil & Gas Company, Nanjing City, Jiangsu Province, 210000, China)

Abstract: Based on the laboratory test and development data of Yanchuannan Block in the southeastern margin of the Ordos Basin, this paper studied the role of burial depth in the reservoir petrophysical properties, development performance, as well as the enrichment and production of coalbed methane reservoirs. The quantitative evaluation index and calculation formula were put forward for the enrichment and high-production zone of deep coalbed methane reservoirs. The results show that the deeper burial depth can lead to the more enriched coalbed methane and the greater maximum vitrinite reflectance. It indicates that the paleo-geotemperature continues to increase with the greater burial depth, resulting in the constant growth in hydrocarbon generation capacity. Coupled with the high-temperature hydrothermal baking, the paleo-geotemperature is rather higher than the normal value, leading to massive coalbed methane; thus the CH₄ content tends to be higher with the greater burial depth in the study area. Burial depth has a dual influence on the production of coalbed methane wells. On one hand, an exponential decrease is observed in the reservoir permeability with the greater burial depth, down to about 0.1 mD at 1 500 m around. On the other hand, however, the adsorption time declines with the greater burial depth, namely that the desorption efficiency grows, which is favorable for the development of deep coalbed methane reservoirs. Based on the gas content, permeability and adsorption time, the calculation formula for the gas production index is devised, and this index has a good correlation with the single well production. The enrichment and high-production zone of coalbed methane in the study area can be correctly predicted. The gas production index of the study area rises first and then drops

收稿日期:2021-05-02。

作者简介:赵景辉(1982—),男,河南平顶山人,副研究员,硕士,从事煤层气地质研究与勘探部署工作。E-mail:34609352@qq.com。

基金项目:中国石化科技部项目“延川南深层煤层气稳产技术研究”(P19019-4)和“低压煤系气藏地质工程一体化高效开发技术”(P20074-1)。

with the greater burial depth. It reaches the highest at the burial depth around 1 100 m, revealing the most favorable development zone in the study area.

Key words: coalbed methane; reservoir petrophysical property; enrichment and high-production zone; development performance; Ordos Basin

中国深部煤层气资源丰富,埋深为1 000~2 000 m的深部煤层气资源量达 $22.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[1-2],占埋深2 000 m以浅煤层气资源量的75%以上。目前针对埋深对储层物性及含气量影响的研究较多,陈刚等针对鄂尔多斯盆地深部煤层气的含气量随埋深的变化规律进行了研究,认为含气量随埋深增加而先增大后减小,含气量在埋深为900~1 600 m处达到峰值^[3],申建认为该峰值是地层压力和地层温度耦合作用共同导致的^[4];李松等认为煤储层渗透率随埋深增加而降低,主要是由于储层应力状态发生了变化^[5],鞠玮等提出了以应力状态转换为主要指标的深部煤层气临界深度预测方法^[6];汪岗等研究了深部煤层孔隙压缩系数,认为孔隙压缩系数随着埋深增加而不断变化,并非恒定值,为定量评价渗透率随埋深变化提供了方法^[7]。整体来看,目前研究埋深对煤层镜质组反射率、煤层气组分、解吸效率等参数的影响较少,需要进一步深入。许多学者对深部煤层气的富集高产控制因素进行了研究,部分学者认为富集区就是煤层气开发有利区。顾娇杨等研究了鄂东缘临兴区块深部煤层气成藏富集规律,认为该区煤层气含气饱和度较高,是开发的有利区^[8];然而陆小霞等分析认为储层渗透率低、沟通含水层、压裂效果差等是沁水盆地南部1 000 m以深储层开发效果较差的主要原因^[9];陈贞龙等对延川南深部煤层气藏进行了研究认为水动力控气、物性控产^[10],明确区分了富集和高产的不同主控因素;高丽军等认为鄂东缘临兴区块深部煤层虽然含气饱和度高,但储层物性较差,导致煤层气井见气快、排水降压难、产量上升慢^[11],揭示了富集区不一定是高产区,对于富集高产区需要同时对含气量和物性进行综合评价,即煤层气富集仅仅是高产的必要条件而非充分条件。但针对深部煤层气资源潜力评价方法有待进一步完善,为此以埋深对煤层气储层物性的影响分析为基础,分别探讨了埋深对煤层气富集和高产的影响,为深部煤层气储层富集高产区定量评价提供了有效方法。

1 基本地质条件

延川南区块位于鄂尔多斯盆地东南缘,构造上处于晋西挠褶带与渭北隆起的交汇处,整体为倾向

西北的单斜构造^[12]。区内最大水平主应力方向为北东向,主要发育北东向断层和褶皱。

延川南区块主力煤层气储层为2#煤层,埋深为800~1 600 m,厚度为3.1~4.8 m,中底部发育厚度为0.1~1 m的夹矸。2#煤层含气量差异较大,为3.5~35.7 m³/t,含气量低值区主要受断层、陷落柱等影响,保存条件较差。煤层气储层渗透率一般小于0.5 mD,孔隙度一般小于6%,属于低孔、低渗透储层。2#煤层储层压力为2.8~13.2 MPa,压力系数为0.8~0.97,为欠压储层。水型以氯化钙和碳酸氢钠型为主,氯化钙型矿化度为11 400~80 450 mg/L,pH值为4.0~6.9;碳酸氢钠型矿化度为2 170~7 970 mg/L,pH值为6.9~8.3。

2 实验样品制备及方法

2.1 实验样品

实验样品均来自延川南区块参数井钻井取心,含气量、工业组分、最大镜质组反射率(R_{omax})、吸附时间等参数均采用取心样品进行测试。样品基本参数如表1所示,埋深为832.10~1 497.18 m,平均为1 027.93 m。最大镜质组反射率为1.59%~3.22%,属于中、高煤阶煤。水分含量为0.36%~3.75%,灰分含量为5.75%~35.97%,挥发分含量为8.39%~20.36%,固定碳含量为52.95%~85.19%。

2.2 实验方法

实验样品镜质组反射率测试严格按照煤的镜质体反射率显微镜测定方法^[13]进行。煤层气组分采用开始产气后的产出气进行分析化验,其操作过程严格按照煤层气的取样和组分分析方法^[14]进行。实验样品含气量严格按照煤层气含量测定方法^[15]要求进行测试;各参数井储层渗透率采用注入压降试井的方法进行测试。

3 实验结果分析

3.1 埋深对最大镜质组反射率的影响

研究区最大镜质组反射率随埋深增加而增加(图1a),表明埋深较大的区域古地温也较高。以50 m为间隔,求取埋深和对应最大镜质组反射率的平均值^[16](图1b),得到埋深和对应最大镜质组反射率

表1 实验样品基本参数
Table1 Basic parameters of samples

样品编号	埋深/m	$R_{o,max}/\%$	水分含量/%	灰分含量/%	挥发分含量/%	固定碳含量/%
Y1	936.21	2.36	1.48	14.58	11.40	72.53
Y2	898.80	2.30	0.77	14.51	10.75	73.97
Y3	1 169.08	2.52	0.85	11.91	8.81	78.43
Y4	896.00	2.23	0.94	15.69	11.08	72.29
Y5	876.53	2.21	1.11	12.56	20.36	65.96
Y6	1 254.56	2.53	0.67	9.86	8.39	81.09
Y7	983.60	2.06	0.64	12.86	10.20	76.31
Y8	1 242.19	2.02	0.49	5.75	8.57	85.19
Y9	832.10	2.24	0.68	14.76	10.86	73.70
Y11	881.10	1.96	0.50	8.01	11.35	80.14
Y12	908.18	2.10	0.90	35.97	10.18	52.95
Y13	926.60	2.35	0.95	11.01	11.79	76.25
Y14	916.28	2.46	0.98	9.3	9.46	80.27
Y15	892.43	2.24	0.75	9.12	8.55	81.58
Y16	1 063.59	2.74	1.49	11.00	8.70	78.81
Y17	1 497.18	3.08	0.99	10.98	8.58	79.45
Y18	962.90	2.34	3.75	10.27	20.19	65.80
Y19	939.29	2.57	1.06	14.89	8.99	75.06
Y20	934.28	2.65	0.90	19.41	9.02	70.67
Y21	962.13	2.94	0.62	8.93	8.87	81.59
Y22	926.53	1.59	0.36	10.22	14.52	74.90
Y23	1 429.94	3.22	0.94	10.71	9.41	78.94
Y24	1 312.95	2.92	0.81	13.80	8.52	76.87

间的经验公式为:

$$H = 659.33R_{o,max} - 617.92 \quad 2 < R_{o,max} < 3.2 \quad (1)$$

采用BARKER等^[17]提出的地质温度计算方法计算煤层温度为:

$$T = \frac{\ln R_{o,max} + 1.68}{0.0124} \quad (2)$$

将(1)和(2)式联立可得:

$$T = \frac{1}{0.0124} \left[\ln \frac{H + 617.92}{659.33} + 1.68 \right] \quad 2 < R_{o,max} < 3.2 \quad (3)$$

根据(3)式计算得到埋深为800~1 600 m煤层气储层的古地温约为197.2~233.3 ℃,表明该区域在成煤区受到高温热液烘烤,使煤岩成熟度增加,利于煤层气大量生成。

3.2 埋深对煤层气组分的影响

研究区煤层气组分主要为CH₄, CO₂, N₂和相对较重的烃气(C₂₊),其中CH₄含量大于94%, C₂₊含量很低(小于0.1%),为干气或特干气,这表明研究区煤层气为热成因气^[18];非烃气体以CO₂为主, N₂极少,这主要是由于CO₂吸附能力较强,在煤层中保存

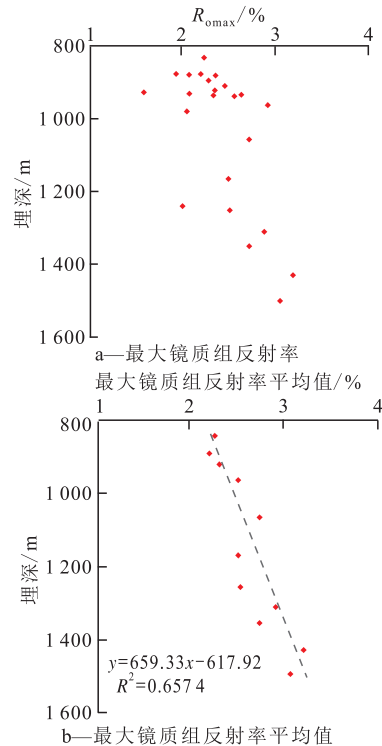


图1 埋深对最大镜质组反射率的影响

Fig.1 Effect of burial depth on maximum vitrinite reflectance

较好^[19]。由图2可知,CH₄含量随埋深增加而降低,在埋深为1 400 m时,CH₄含量降低至近94%,这主要是由于随着埋深增加,储层温度升高,煤层吸附能力降低;N₂含量随埋深增加而增加,但整体较低,最高值仍然小于0.1%;CO₂含量随埋深增加而增加,但埋深大于1 200 m后CO₂含量增加幅度极小,基本保持不变;C₂₊含量也随埋深增加而增加,但整体较低,峰值含量小于0.1%。

3.3 埋深对储层含气性的影响

煤层气储层含气性采用含气量和临储比来表征,含气量表征含气量绝对值大小^[20],临储比表征含气饱和度大小^[21]。研究区煤层气储层含气量随埋深增加持续增加,这主要是由于随埋深增加,煤岩变质程度增加(图3a),生烃量大幅增加,因此含气量整体上增加。研究区临储比随埋深增加而降低(图3b),这表明虽然解吸压力和储层压力均随埋深增加而增加,但解吸压力增加速度小于储层压力增加速度,这主要是由于随着埋深增大,煤层气储层温度不断升高,吸附能力持续下降,导致储层压力相同增幅条件下吸附的气量持续减少,进而导致解吸压力增幅降低。

3.4 埋深对储层渗透率的影响

通过现场试井获取研究区各参数井2#煤层渗透率,研究区储层渗透率随埋深增加呈负指数降低,其经验公式为:

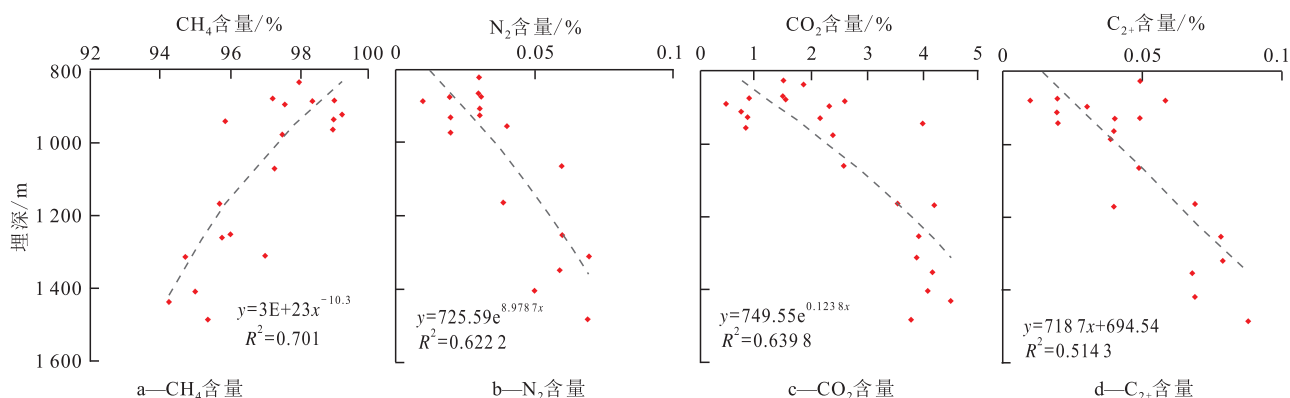


图2 埋深对煤层气组分的影响
Fig.2 Effect of burial depth on coalbed methane components

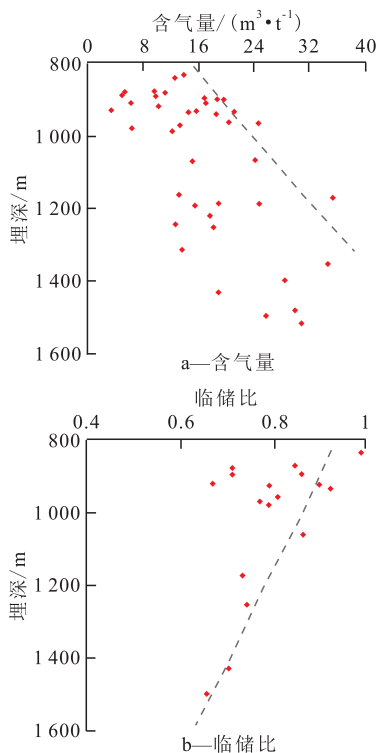


图3 埋深对煤层气储层含气性的影响
Fig.3 Effect of burial depth on gas-bearing capacity of coalbed methane reservoirs

$$H = 1923.9e^{-1.892K} \quad (4)$$

煤层埋深越大,储层渗透率越低,埋深为800 m时,储层渗透率约为0.4~0.5 mD,渗透率相对较高;而当埋深达1500 m左右时,储层渗透率降低至0.1 mD附近(图4)。这主要是由于埋深增加,储层上覆应力增加,导致煤岩承受的有效应力增加,裂缝闭合导致储层渗透率降低,因此,埋深大于1500 m储层原始渗透率较低,不利于煤层气开发。

3.5 埋深对储层解吸扩散效率的影响

吸附时间是指通过取心测试含气量时,解吸气体体积达到总解吸气量的63.2%时所用的时间,吸附时间可以表征煤层气解吸扩散效率的快慢,吸附

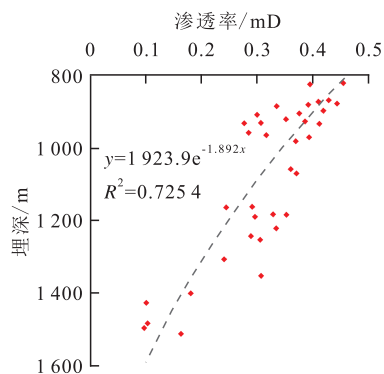


图4 埋深对煤层气储层渗透率的影响
Fig.4 Effect of burial depth on permeability of coalbed methane reservoirs

时间越长,解吸效率越低,吸附时间越短,解吸效率越高。由图5可知,整体上,吸附时间随埋深增加而降低,即埋深越大,解吸效率越高,这是深部煤层气开发的有利因素。

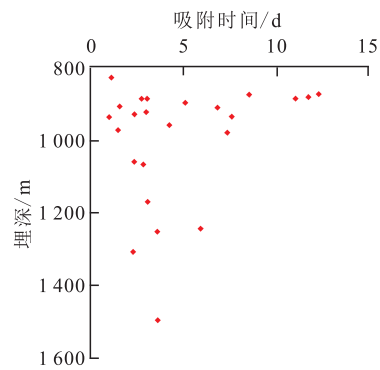


图5 埋深对吸附时间的影响
Fig.5 Relationship between burial depth and adsorption time

4 煤层气储层富集高产能力及定量评价

随着埋深增加,研究区煤层气储层最大镜质组反射率持续增加,表明古地温持续增加。煤层气组

分分析结果表明研究区煤层气为热成因气,因此生气能力随着埋深(古地温)增加持续增加,进而导致研究区含气量随埋深增加而持续增加,形成了研究区以埋深为主要控制因素的煤层气富集模式。由于含气量是煤层气井高产的资源基础,一般情况下,含气量越高产量越高,但富集并不一定能够高产,因为煤层气必须通过解吸、扩散、渗流才能够产出,研究区煤层气储层渗透率随埋深增加而降低,表明随着埋深增加,煤层气渗流能力持续下降;吸附时间随埋深增加而降低,表明埋深越大,解吸、扩散效率有升高趋势。因此,采用含气量、渗透率和吸附时间3个参数对研究区煤层气富集高产能力进行预测,定义产气指数表达式为:

$$I = \frac{KG}{t} \quad (5)$$

根据(5)式计算研究区煤层气储层产气指数,结果(图6)表明单井累积产气量随产气指数增加而增加,二者具有良好相关性。(5)式提出的产气指数能够有效地表征煤层气储层的富集高产能力,产气指数越高,单井产气量越高。研究区埋深对产气指数的影响分析结果(图7)表明,随埋深增加产气指数先增加后降低,产气指数在埋深为1100 m附近达到最高,因此埋深约为1100 m处的(图6)储层是研究区富集高产的最有利开发区。

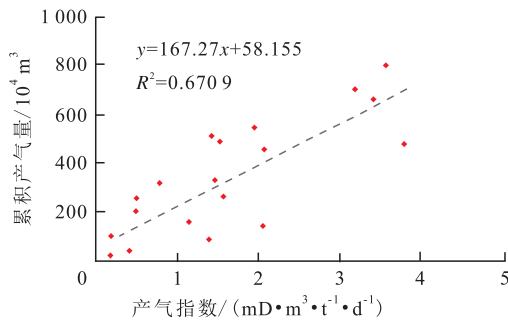


图6 产气指数与单井累积产气量关系

Fig.6 Relationship between gas production index and cumulative gas production of single well

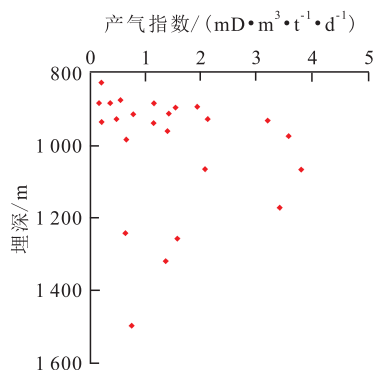


图7 产气指数与埋深关系

Fig.7 Relationship between gas production index and burial depth

5 结论

鄂尔多斯盆地东南缘延川南区块煤层气储层的最大镜质组反射率随着埋深增加而增加,表明古地温随埋深增加持续增加,再加上高温热液烘烤,利于煤层气大量生成,进而导致研究区CH₄含量随埋深增加而增加;而N₂,CO₂和C₂₊含量也均随埋深增加而增加。虽然煤层气储层含气量随着埋深增加持续增加,但临储比随埋深增加而降低,表明随着埋深增加,解吸压力增加速度小于储层压力增加速度。煤层气储层渗透率随埋深增加呈负指数降低,当埋深达1500 m左右时,储层渗透率降低至0.1 mD附近;吸附时间随埋深增加而降低,即埋深越大解吸效率越高,这是深部煤层气开发的有利因素。基于含气量、渗透率和吸附时间3个参数计算的产气指数能够有效对研究区煤层气富集高产区进行预测,产气指数与单井产气量具有良好的相关关系;随埋深增加产气指数先增加后降低,产气指数在埋深为1100 m附近达到最高,是研究区富集高产的最有利开发区。

符号解释

- G——储层含气量,m³/t;
- H——埋深,m;
- I——产气指数,(mD·m³)/(t·d);
- K——储层渗透率,mD;
- t——吸附时间,d;
- R_o——镜质组反射率,%;
- T——煤层气储层温度,℃。

参考文献

[1] 刘成林,朱杰,车长波,等.新一轮全国煤层气资源评价方法与结果[J].天然气工业,2009,29(11):130-132.
LIU Chenglin, ZHU Jie, CHE Changbo, et al. Methodologies and results of the latest assessment of coalbed methane resources in China[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(11): 130-132.

[2] 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.

[3] 陈刚,李五忠.鄂尔多斯盆地深部煤层气吸附能力的影响因素及规律[J].天然气工业,2011,31(10):47-49.
CHEN Gang, LI Wuzhong. Influencing factors and patterns of CBM adsorption capacity in the deep Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(10): 47-49.

[4] 申建.论深部煤层气成藏效应[J].煤炭学报,2011,36(9):

- 1 599-1 600.
SHEN Jian.CBM-reservoiring effect in deep strata[J].Journal of China Coal Society,2011,36(9):1 599-1 600.
- [5] 李松,汤达祯,许浩,等.深部煤层气储层地质研究进展[J].地学前缘,2016,23(3):10-16.
LI Song,TANG Dazhen,XU Hao,et al.Progress in geological researches on the deep coalbed methane reservoirs[J].Earth Science Frontiers,2016,23(3):10-16.
- [6] 鞠玮,姜波,秦勇,等.滇东恩洪区块地应力分布及深部煤层气临界深度预测[J].煤炭科学技术,2020,48(2):194-200.
JU Wei,JIANG Bo,QIN Yong,et al.Distribution of in-situ stress and prediction of critical depth for deep coalbed methane in En-hong Block of eastern Yunnan region[J].Coal Science and Technology,2020,48(2):194-200.
- [7] 汪岗,秦勇,申建,等.基于变孔隙压缩系数的深部低阶煤层渗透率实验[J].石油学报,2014,35(3):462-468.
WANG Gang,QIN Yong,SHEN Jian,et al.Experimental studies of deep low-rank coal reservoirs' permeability based on variable pore compressibility[J].Acta Petrolei Sinica,2014,35(3):462-468.
- [8] 顾娇杨,张兵,郭明强.临兴区块深部煤层气富集规律与勘探开发前景[J].煤炭学报,2016,41(1):72-79.
GU Jiaoyang,ZHANG Bing,GUO Mingqiang.Deep coalbed methane enrichment rules and its exploration and development prospect in Linxing block[J].Journal of China Coal Society,2016,41(1):72-79.
- [9] 陆小霞,张兵,吴见,等.柿庄北区块深部煤层气产能特征及影响因素分析[J].煤炭科学技术,2018,46(6):92-100.
LU Xiaoxia,ZHANG Bing,WU Jian,et al.Analysis on production features and influence factors of coalbed methane in deep section of north Shizhuang Block[J].Coal Science and Technology,2018,46(6):92-100.
- [10] 陈贞龙,郭涛,李鑫,等.延川南煤层气田深部煤层气成藏规律与开发技术[J].煤炭科学技术,2019,47(9):112-118.
CHEN Zhenlong,GUO Tao,LI Xin,et al.Enrichment law and development technology of deep coalbed methane in South Yanchuan Coalbed Methane Field[J].Coal Science and Technology,2019,47(9):112-118.
- [11] 高丽军,谢英刚,潘新志,等.临兴深部煤层气含气性及开发地质模式分析[J].煤炭学报,2018,43(6):1 634-1 640.
GAO Lijun,XIE Yinggang,PAN Xinzhi,et al.Gas analysis of deep coalbed methane and its geological model for development in Linxing Block[J].Journal of China Coal Society,2018,43(6):1 634-1 640.
- [12] 吴聿元,陈贞龙.延川南深部煤层气勘探开发面临的挑战和对策[J].油气藏评价与开发,2020,10(4):1-11.
WU Yuyuan,CHEN Zhenlong.Challenges and countermeasures for exploration and development of deep CBM of South Yanchuan[J].Reservoir Evaluation and Development,2020,10(4):1-11.
- [13] 肖文钊,张秀仪,叶道敏.煤的镜质体反射率显微镜测定方法:GB/T 6948—2008[S].西安:煤炭科学研究总院西安研究院,2009.
XIAO Wenzhao,ZHANG Xiuyi,YE Daomin.Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite in coal:GB/T 6948—2008[S].Xi'an:Xi'an Research Institute of China Coal Research Institute,2009.
- [14] 丁安全,陈磊,李小越,等.煤层气的取样和组分分析方法:NB/T 10020—2015[S].南京:中国石油化工股份有限公司华东分公司,2015.
DING Anquan,CHE Lei,LI Xiaoyue,et al.Method of sampling and component analysis on coalbed methane:NB/T 10020—2015[S].Nanjing:East China Branch,China Petroleum & Chemical Corporation 2015.
- [15] 李小彦,张遂安,宋孝忠,等.煤层气含量测定方法:GB/T 19559—2008[S].西安:煤炭科学研究总院西安研究院,2009.
LI Xiaoyan,ZHANG Suian,SONG Xiaozhong,et al.Method of determining coalbed gas content:GB/T 19559—2008[S].Xi'an:Xi'an Research Institute of China Coal Research Institute,2009.
- [16] 陈万峰,张旗,张成火,等.镜质体、海相镜质体和镜质体反射率及其研究实例[J].大地构造与成矿学,2017,41(2):412-419.
CHEN Wanfeng,ZHANG Qi,ZHANG Chenghuo,et al.Marine vitrinite:vitrinite reflectance as an indicator of concealed pluton[J].Geotectonica et Metallogenia,2017,41(2):412-419.
- [17] BARKER C E,PAWLEWICZ M J.Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures.A comparison of methods[J].American Chemical Society,1994,570(14):216-229.
- [18] 宋岩,柳少波,洪峰,等.中国煤层气地球化学特征及成因[J].石油学报,2012,33(增刊1):99-106.
SONG Yan,LIU Shaobo,HONG Feng,et al.Geochemical characteristics and genesis of coalbed methane in China[J].Acta Petrolei Sinica,2012,33(Supplement1):99-106.
- [19] 梁李,傅雪海,田忠斌,等.高煤级储层煤层气成分及碳同位素特征[J].中国科技论文,2017,12(9):1 064-1 069.
LIANG Li,FU Xuehai,TIAN Zhongbin,et al.Components and isotope characteristics of coalbed methane in high-rank coal reservoirs[J].China Sciencepaper,2017,12(9):1 064-1 069.
- [20] 王镜惠,梅明华,梁正中,等.沁水盆地南部高煤阶煤层气高产产区定量评价[J].油气藏评价与开发,2019,9(4):68-72.
WANG Jinghui,MEI Minghua,LIANG Zhengzhong,et al.Quantitative evaluation of high production areas of CBM with high coal rank in southern Qinshui Basin[J].Reservoir Evaluation and Development,2019,9(4):68-72.
- [21] 赵欣,姜波,张尚锬,等.鄂尔多斯盆地东缘三区块煤层气井产能主控因素及开发策略[J].石油学报,2017,38(11):1 310-1 319.
ZHAO Xin,JIANG Bo,ZHANG Shangkun,et al.Main controlling factors of productivity and development strategy of CBM wells in Block3 on the eastern margin of Ordos Basin[J].Acta Petrolei Sinica,2017,38(11):1 310-1 319.