

鄂东北缘低阶煤渗透性特征及主控因素

郭广山,柳迎红,吕玉民

(中海油研究总院 新能源研究中心,北京 100028)

摘要:为了分析低阶煤储层渗透率对煤层气勘探选区和产能建设的影响,在分析煤层气储层渗透率特征的基础上,通过煤层地应力、埋藏深度、显微组分、煤级及割理间距、煤体结构与渗透率之间相关性分析,探讨鄂尔多斯东北缘低阶煤渗透率主控因素。结果表明,该区低阶煤储层渗透率高于我国中高阶煤层气田煤储层渗透率,且主要受到煤级及割理间距和地应力的共同作用,煤级及割理间距通过煤演化过程改变煤岩力学性质控制渗透率,地应力通过影响割理的开启程度和方向控制渗透率,而埋藏深度与渗透率相关性不强。

关键词:煤层气;煤储层;渗透率;控制因素;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE37 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2017)01-0106-04

Permeability characteristics and key controlling factors of low rank coal in Northeastern Erdos Basin

GUO Guangshan, LIU Yinghong, LYU Yumin

(New Energy Research Center, CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: In order to discuss the impact of permeability of low-rank coal reservoirs on coalbed methane exploration area and productivity construction, the relationships between permeability and crustal stress, burial depth, micropetrological unit, coal rank, cleat spacing and coal structure were applied to analyze the control of permeability on the basis of coalbed methane reservoirs permeability characteristics in the northeastern margin of Ordos Basin. The results showed that the permeability in the area, higher than medium-high rank coal reservoirs permeability, was mainly controlled by coal rank, cleat spacing and crustal stress. Coal rank and cleat spacing affected permeability by changing coal mechanical property during coalification. Crustal stress influenced permeability by controlling the spacing and direction of cleat. Other parameters, such as burial depth, micropetrological unit, had insignificant influence on permeability in the area.

Key words: coalbed methane; coal reservoir; permeability; controlling factor; Erdos Basin

0 引 言

煤层是一种具有双孔隙介质的储层,特殊的储层性质不仅影响煤层气的吸附特征,而且关系着煤层渗透性。由于煤层渗透率本身各向异性和平面非均质性较强,造成影响因素十分复杂,除受自身天然裂缝的控制外,还受到地应力、埋藏深度、煤级、显微组分、割理及煤体结构等因素的控制,各个因素相互关联、相互影响。前人针对煤储层渗透率影响因素进行过系统的研究。宋岩等^[1]认为煤岩变质程度、

构造变形和地应力是控制渗透率大小的关键因素。叶建平^[2]对我国五大煤层气聚气区进行综合评价认为:地应力是影响我国煤层渗透率的主要因素,渗透率随深度的变化趋势是应力的函数。唐书恒^[3]认为煤层渗透率的影响因素十分复杂,地质构造、应力状态、煤层埋深、煤体结构、煤岩煤质特征、煤级及天然裂隙都不同程度地影响煤层渗透率。刘峻杉^[4]认为煤储层具有双重孔隙结构,割理裂隙的发育程度直接影响煤层渗透率,天然裂隙的发育密度与煤岩类型条带或分层厚度呈负相关。孟召平

收稿日期:2016-02-18;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.01.020

作者简介:郭广山(1982—),男,河北沧州人,工程师,硕士,从事非常规油气地质方面的研究工作。E-mail:guogsh2@cnooc.com.cn

引用格式:郭广山,柳迎红,吕玉民.鄂东北缘低阶煤渗透性特征及主控因素[J].洁净煤技术,2017,23(1):106-109.

GUO Guangshan, LIU Yinghong, LYU Yumin. Permeability characteristics and key controlling factors of low rank coal in Northeastern Erdos Basin [J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(1): 106-109.

等^[5]通过煤岩力学试验研究了煤岩物理力学和煤岩全应力-应变过程中的渗透规律,认为完整煤样在全应力-应变过程中具有明显应变软化现象,煤样渗透率随着应力-应变过程发生变化,在煤岩峰值强度后的应变软化阶段煤岩渗透率达到极大值,然后急剧降低,峰后煤岩的渗透率普遍大于峰前。前人研究主要是基础室内试验机理研究或对我国高阶煤渗透率影响因素研究较多,而针对低阶煤渗透率影响因素研究较少。本文以鄂尔多斯盆地东北缘低阶煤为研究对象,依据40多口煤层气井试井测试结果,结合煤岩试验数据及探井资料分析,探讨了地应力、埋藏深度、储层压力、割理、显微组分、煤阶以及煤体结构等因素与煤储层渗透率的关系,为煤储层渗透率的预测及产能综合评价提供了理论依据。

1 地质概况

研究区位于鄂尔多斯盆地晋西挠褶带东北段,整体呈一西倾的单斜构造,煤层埋深总体呈东浅西深的分布特征。主力含煤地层为二叠系山西组和石炭系太原组。山西组发育1~5号煤,以陆相沉积背景为主;太原组发育6~10号煤,以海陆交互相沉积背景为主,其中山西组4+5号煤层和太原组的8+9号煤层是区内煤层气主要开发层位。山西组4+5号煤层厚度基本上大于5m;太原组8+9号煤层厚度较大,单层厚度一般在8m以上。煤岩变质程度整体较低,镜质体反射率为0.65%~1.00%,属于长焰煤~气煤阶段。

2 煤储层渗透性特征

据测试资料显示,鄂东北缘煤储层试井渗透率测试值主要为 $0.14 \times 10^{-9} \sim 20.13 \times 10^{-9} \text{ m}^2$,平均 $2.20 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ 。不同渗透率变化范围分布如图1所示,渗透率小于 $0.50 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ 的占45%, $0.50 \times 10^{-9} \sim 1.00 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ 的占32%, $1.00 \times 10^{-9} \sim 10.0 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ 的占18%,大于 $10.0 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ 的占5%。相对于沁水盆地和鄂东缘南段煤层气田,该区域煤储层渗透率普遍偏高^[6]。

3 煤储层渗透性主控因素

低阶煤储层渗透率影响因素十分复杂。由于低阶煤变质程度和孔隙结构不同于中高阶煤,因此渗透率影响因素不尽相同。有的地区是多因素综合作用结果,有的地区是单一因素起主导作用。概括起

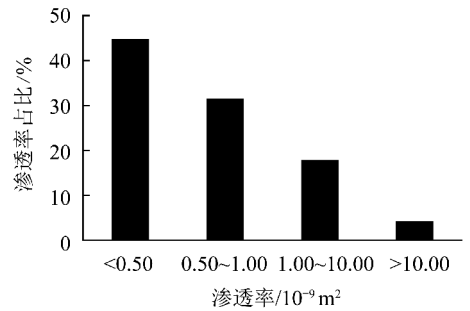


图1 不同渗透率变化范围分布

Fig. 1 Distribution of different permeability range

来,影响因素主要包括地应力、煤层埋深、煤级、割理发育程度、显微煤岩类型、煤体结构等^[7]。

3.1 地应力对煤层渗透性的控制机理

地应力通过影响煤储层孔裂隙系统来控制渗透率的变化,决定了煤层中割理密度和方向以及割理的闭合、开启程度。煤岩割理是一种可逆的破裂变形构造,应力松弛地区割理趋于开启,渗透性较好,相反,应力集中的部位割理趋于闭合,渗透性能较差,渗透率随地应力的增加呈负指数变化^[8]。

原地应力对煤层作用力主要表现在垂直方向和水平方向。据测试数据显示,鄂东北缘在埋深1500m以浅主采煤层最大水平主应力主要分布在22.53~31.20MPa,平均26.52MPa;最小水平主应力主要分布在4.98~15.77MPa,平均11.30MPa。

由于主应力的差异性,导致煤储层渗透性的各向异性特征明显。鄂东北缘煤储层2个水平主应力比值在1.42~2.38,平均1.78,主应力方向为北东方向,造成高渗透率带沿该方向延展。

3.2 埋藏深度和煤层渗透性的耦合关系

通常煤层渗透率随着埋藏深度的增加逐渐降低。但这种负相关的变化趋势主要体现在埋藏深度、应力和渗透率三者相关耦合关系上。不同构造应力环境下渗透率与埋藏深度变化不尽相同^[9-10]。煤层埋藏深度与渗透率关系如图2所示,鄂东北缘低阶煤渗透率与埋藏深度之间的相关性比较离散,并且少数测试数据显示随着埋藏深度的增加,渗透率反而有增加的趋势,但这种变化趋势只出现在个别的测试点,分析其原因是低阶煤除了受原地应力作用外,低阶煤本身天然裂缝和煤层顶板裂隙比较发育,影响因素复杂化,造成下部煤层渗透率高于上部煤层渗透率。

3.3 煤级与割理间距和煤层渗透性的耦合关系

在煤化作用过程中,煤的组成及结构发生一系

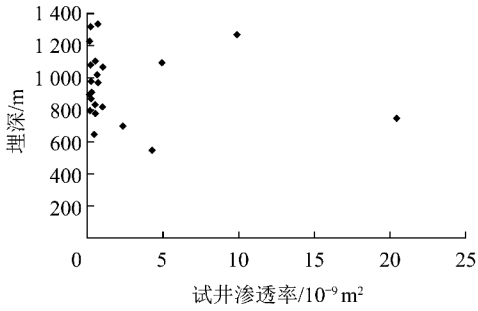


图2 煤层埋藏深度与渗透率关系

Fig. 2 Relationship between coal depth and permeability

列变化,导致煤的割理间距也表现出特有的演化规律(图3)。宁正伟等^[11]、毕建军等^[12]研究发现,割理密度从褐煤向中挥发分烟煤方向增大,随着煤级增加向无烟煤方向减小,构成一条正态分布曲线。

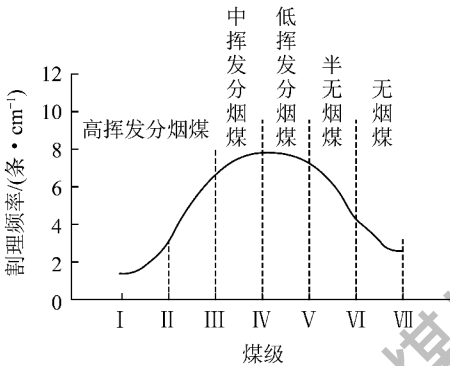


图3 煤级与割理频率的关系

Fig. 3 Relationship between coal rank and cleat frequency

鄂东北缘煤变质程度整体较低,平面上呈现由东向西镜质体反射率逐渐增加的趋势,整体上镜质体反射率主要分布在0.65%~1.00%,属于褐煤到高挥发分煤阶段,在该阶段,割理发育密度迅速增大,对割理渗透率起到关键的控制作用。镜质体反射率与渗透率的关系如图4所示,由图4可知,在褐煤至气煤演化阶段,渗透率和煤级呈现正相关关系。

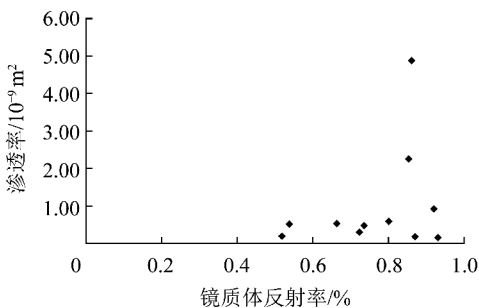


图4 镜质体反射率与渗透率的关系

Fig. 4 Relationship between vitrinite reflectance and permeability

3.4 显微煤岩类型和煤层渗透性的耦合关系

天然裂隙的发育程度是影响煤层渗透率的内部主控因素,显微煤岩类型及含量决定了煤中天然裂隙系统的发育特征。刘占勇等^[13]研究发现富镜质体的煤中割理和裂隙最为发育。煤岩测试数据见表1。由表1可知,鄂东缘煤岩显微组分以镜质组为主。镜质组含量越高,生气能力越强,煤层裂隙越发育,煤层渗透率相对较高,有利于煤层气的开发。

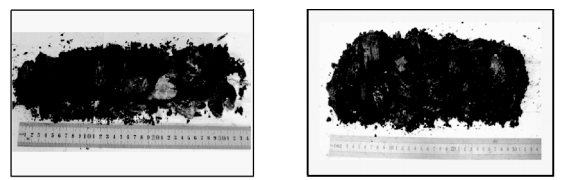
表1 鄂东缘煤层气区块显微组分测试数据统计

Table 1 Macerals data of CBM-field in eastern Erdos

区块	煤层	地层	镜质组含量/%		
			最小值	最大值	平均值
准格尔	6+9煤		35.80	57.11	46.45
保德	4+5煤	山西组	37.90	65.10	59.92
	8+9煤	太原组	35.05	69.26	50.92
河曲	4+5煤	山西组	35.40	59.50	53.20
	8+9煤	太原组	32.73	55.40	49.50
临兴东	4+5煤	山西组	32.28	80.20	56.70
	8+9煤	太原组	48.60	86.00	54.12

3.5 煤体结构对煤层渗透性的作用机理

裂隙是煤层气流动的主要通道,裂隙的发育程度是控制渗透率的关键因素。原生结构煤和碎裂煤中内、外生裂隙发育。内生裂隙发育程度与煤岩类型、煤岩成分及煤变质程度有关。外生裂隙的走向长度和高度通常比内生裂隙规模大。当煤层或分层中外生裂隙和内生裂隙同时发育时,内生裂隙被外生裂隙切穿,贯通了内生裂隙间的联系,增强了连通性和渗透性,因此碎裂煤的渗透率比原生结构煤高。碎粒煤分层层理紊乱和裂隙面之间的煤粉膜降低了裂隙之间的沟通,渗透率变差。糜棱结构煤分层内、外生裂隙完全消失,煤体呈粉末状、鳞片状,无裂隙连通,渗透率极差^[14-15]。通过对鄂东北缘主力煤层进行取心煤岩描述(图5)可知,煤体结构主要以碎裂结构煤发育为主,原生结构和碎粒结构煤次之,内、外生裂隙较发育,渗透率较高。



a) 4+5号煤岩心 b) 8+9号煤岩心

取心段深度为1 374.2~1 374.5 m 取心段深度为1 426.1~1 426.4 m

图5 鄂东北缘煤样照片

Fig. 5 Coal sample photo of northern Erdos

4 结 语

相对于沁水盆地和鄂东缘南段煤层气田,鄂尔多斯东北缘区域渗透率普遍偏高。其原因是煤储层渗透率受到外部因素和内部因素联合作用。在相似的构造背景下,低阶煤透率主要受控于煤化过程中形成的内、外生裂隙对渗透率控制作用,地应力和埋藏深度对渗透率控制作用次之。

参考文献(References):

[1] 宋岩,柳少波,琚宜文. 含气量和渗透率耦合作用对高丰度煤层气富集区的控制[J]. 石油学报,2013,34(3):417-426.
Song Yan, Liu Shaobo, Ju Yiwen. Coupling between gas content and permeability controlling enrichment zones of high abundance coal bed methane[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 34(3): 417-426.

[2] 叶建平,史保生,张春才. 中国煤储层渗透性及其主要影响因素[J]. 煤炭学报,1999,24(2):118-122.
Ye Jianping, Shi Baosheng, Zhang Chuncai. Coal reservoir permeability and its controlled factors in China[J]. Journal of China Coal Society, 1999, 24(2): 118-122.

[3] 唐书恒. 煤储层渗透性影响因素探讨[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(1): 28-31.
Tang Shuheng. Probe into the influence factors on permeability of coal reservoirs[J]. Coal Geology of China, 2001, 13(1): 28-31.

[4] 刘峻杉. 煤储层渗透性影响因素探讨[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2014,31(2):100-103.
Liu Junbin. The Influencing factors of coal reservoir permeability[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2014, 31(2): 100-103.

[5] 孟召平,王保玉,谢晓彤,等. 煤岩变形力学特征及其对渗透率的控制[J]. 煤炭学报,2012,37(8):1342-1347.
Meng Zhaoping, Wang Baoyu, Xie Xiaotong, et al. Mechanical properties of coal deformation and its influence on permeability[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(8): 1342-1347.

[6] 孙立东,赵永军. 沁水盆地煤储层渗透性影响因素研究[J]. 煤炭科学技术,2006,34(10):74-78.
Sun Lidong, Zhao Yongjun. Research on permeability in fluence factors of coal deposit layer in Qinshui basin[J]. Coal Society Technology, 2006, 34(10): 74-78.

[7] 傅雪海,秦勇,李贵中. 煤储层渗透率研究的新进展[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2001,20(6):739-743.
Fu Xuehai, Qin Yong, Li Guizhong. Advance in study of coal reservoir permeability[J]. Journal of Liaoning Technical University

(Natural Science), 2001, 20(6): 739-743.

[8] 孙立东,赵永军,崔大海,等. 鄂尔多斯东缘煤储层渗透性主控因素分析与高渗区预测[J]. 山东科技大学学报,2013,32(5):61-67.
Sun Lidong, Zhao Yongjun, Cui Dahai, et al. Prediction of higher-permeability region of coal reservoir and its key control factor in the east of Ordos basin[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology, 2013, 32(5): 61-67.

[9] 郑继荣,张俊,张苗苗. 焦作煤田煤储层渗透率控制因素及预测[J]. 煤矿安全,2012,43(10):170-173.
Zheng Jirong, Zhang Jun, Zhang Miaomiao. Controlling factor and forecasting of coal seam permeability in Jiaozuo coalfield[J]. Coal Mine Safety, 2012, 43(10): 170-173.

[10] 傅雪海,秦勇,李贵中. 沁水盆地中-南部煤储层渗透率主控因素分析[J]. 煤田地质与勘探,2001,29(3):16-19.
Fu Xuehai, Qin Yong, Li Guizhong. An analysis on the principal control factor of coal reservoir permeability in central and southern qinshui basin[J]. Coal Geology and Exploration, 2001, 29(3): 16-19.

[11] 宁正伟,陈霞. 华北石炭-二叠系煤化变质程度与煤层气储集性的关系[J]. 石油与天然气地质,1996,17(2):156-160.
Ning Zhengwei, Chen Xia. Relations between metamorphism and coal-bed gas reservoiring of carbonic-permian in North China[J]. Oil and Gas Geology, 1996, 17(2): 156-160.

[12] 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.

[13] 刘占勇,郑柏平,丁述理. 河东煤田白额勘探区煤储层渗透性及其影响因素[J]. 中国煤炭地质,2012,24(6):15-18.
Liu Zhanyong, Zheng Baiping, Ding Shuli. Coal reservoir permeability and its contributing factor in Baie exploration area, Hedong coalfield[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(6): 15-18.

[14] 汪伟英,汪亚蓉. 煤层气储层渗透率特征研究[J]. 石油天然气学报,2009,31(6):127-129.
Wang Weiyang, Wang Yarong. Research of CBM reservoir permeability[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(6): 127-129.

[15] 陶树,王延斌,汤达祯,等. 沁水盆地南部煤层孔隙-裂隙系统及其对渗透率的贡献[J]. 高校地质学报,2012,18(3):522-527.
Tao Shu, Wang Yanbin, Tang Dazhen, et al. Pore and fracture systems and their contribution to the permeability of coal reservoirs in Southern Qinshui basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(3): 522-527.