

贵州省织金、纳雍地区煤储层物性特征研究

李松¹, 汤达祯¹, 许浩¹, 杨紫²

(1. 中国地质大学(北京)煤层气国家工程中心煤储层实验室, 能源学院, 北京 100083;

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 为了探讨织金、纳雍地区煤层气的勘探开发潜力, 运用各种测试手段从孔、裂隙系统角度研究了该区煤储层物性特征, 分析了煤储层的聚气能力、渗流能力及其控制因素。研究后认为该区煤变质程度高, 煤储层吸附能力强, 对煤层气的吸附聚集较为有利; 而煤储层渗流能力低, 仅局部地区存在高渗条件, 不利于煤层气的产出; 煤储层物性特征受控于该区复杂的构造条件, 前燕山期的深成变质作用使得煤岩吸附能力增强, 渗流能力下降, 而燕山期强烈的构造运动使得断裂带附近的煤储层吸附能力和渗流能力整体增大, 改善了局部地区煤储层物性特征。研究结果表明: 织金、纳雍地区煤储层孔隙中以吸附孔为主, 吸附孔隙百分比为 50.61%~89.71%, 吸附能力较强; 而煤储层渗流孔隙百分比仅为 21.14%, 且煤岩显微裂隙密度普遍低于 100 条/9 cm², 裂隙连通性较差, 煤储层的渗透率相对较低; 强烈的构造活动产生了大量的断层, 地下的岩浆热液通过断层向上侵入, 使得局部地区煤的变质程度迅速增加, 同时产生大量的孔裂隙, 改善了断层发育区附近煤储层的孔渗条件, 后期的矿化作用充填了部分孔裂隙, 一定程度上控制了煤储层物性, 不利于后期的煤层气开发。

关键词: 高煤阶; 煤储层; 吸附孔隙; 渗流孔隙; 显微裂隙

中图分类号: P 618.11

文献标识码: A

文章编号: 1000-1964(2012)06-0951-08

Characteristics of coal reservoirs in Zhijin and Nayong regions, Guizhou province, China

LI Song¹, TANG Da-zhen¹, XU Hao¹, YANG Zi²

(1. The Coal Methane Reservoir Laboratory of National Engineering Center, School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to explore the production potential of coalbed methane (CBM) in Zhijin and Nayong regions, a set of testing methods were used to research the characteristics of coal reservoirs from the angle of pore and fracture systems, and the adsorption and seepage capacities as well as their controlling factors were analyzed in this paper. It is considered that high degree of metamorphism of coal in the study areas and high gas adsorption capacities of coal reservoir are favorable for the adsorption and accumulation of the CBM; the low seepage capacities of coal reservoir and hypertonic conditions of local area are not conducive to the output of the CBM. The physical properties of coal reservoirs are controlled by complex geological factors. The burial metamorphism in the pre-Yanshan stage has resulted in the increase of the coal adsorp-

收稿日期: 2011-04-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730422), 国家科技重大专项(2011ZX05034); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2011PY0210)

作者简介: 李松(1985—), 男, 江苏省沛县人, 博士研究生, 从事能源地质方面的研究。

E-mail: lisong8585@gmail.com Tel: 010-82322011

tion capacities and decrease of the seepage capacities; furthermore, the intense tectonic movements in the Yanshanian period have enhanced the coal adsorption capacities and improved the seepage capacities of the coal reservoirs that are near the fault zone. The results show that the pore structures of the samples in Zhijin and Nayong regions are dominated by adsorption pores, and the range of the adsorption pores is up to 50.61%—89.71%, resulting in the high adsorption capacities. In contrast, the seepage pores poorly developed with an average content of 21.14%. In addition, the density of the microfractures is generally less than 100 per 9 cm², and the connectivity between the microfractures is relatively poor, which has reduced the permeability of the coal reservoirs. Faults are well developed in the districts with intensive tectonic movements, and the intrusion of magma in faulting zones not only sped up the coal metamorphism, but also formed massive pores and fractures, which improved the porosity and permeability of coal reservoirs near the fault zone. On the contrary, the later mineralization reduced the porosity and permeability of the coal reservoirs, making it difficult for the output of the CBM.

Key words: high rank coals; coal reservoirs; adsorption pores; seepage pores; microfractures

中国煤层气开发的热点以高煤阶煤储层为主,这种煤储层含气量高,煤层气资源量大,是中国煤层气最具有开发前景的煤储层。华北沁水盆地南部高煤阶区煤层气商业性地面开发的突破,使得中国煤层气的勘探开发受到前所未有的高度重视。目前中国煤层气地面开发主要集中在中国的北部地区,地理分布极不均衡。而中国南方的贵州省织金、纳雍地区含煤资源量丰富,是贵州最大的无烟煤产区,也是我国南方潜在的高煤阶煤层气开发基地^[1-2]。近年来对该区域煤层气的勘探与开发没有取得突破性的进展,未达到大规模商业性地面开发的目的。该区域地质条件复杂及前人对该区煤层气方面的研究甚少,是造成这种现状的关键原因。对煤储层物性的研究实质就是揭示煤储层孔-裂隙系统对煤层气储集、渗流及产出的控制作用,正确认识煤储层孔裂隙结构特征,是研究煤储层孔隙性、渗流特征和煤层气可采性的重要基础。傅雪海等认为^[3],煤储层是由宏观裂隙、显微裂隙和孔隙组成的三元孔裂隙介质,孔隙是煤层气的主要储集场所,宏观裂隙是煤层气运移的通道,而显微裂隙是沟通孔隙与裂隙的桥梁;还有许多学者从煤级、煤质、煤岩组分等角度对煤吸附和渗流能力进行分析^[4-7]。煤储层物性研究是确定煤层气勘探和开发潜力的先决条件,本文通过各种测试手段来分析织金、纳雍地区高煤阶煤储层孔裂隙结构,揭示该区煤储层的聚气能力和渗流能力及其主控因素,以了解该区域煤层气的勘探开发潜力,为中国南方高煤阶煤层气理论和实践的重大突破提供依据。

1 煤层气地质背景

织金、纳雍地区位于贵州省的中西部,在构造位置上处于黔北断拱的西南端,南与黔南断陷相邻,西与六盘水断陷相接。研究区内主要发育 NE、NW、EW 及近 SN 向 4 组褶皱与断裂,其中尤以 NE 向最为发育(图 1)。在早燕山期近 EW 向最大主应力作用下,黔中隆起及其邻区发生剧烈造山运动,在研究区东部边界形成向西逆冲的区域性大断裂——遵义断裂,并伴生一系列近 NS 向褶皱及断层。自东向西的强烈挤压使得紫云-垭都断裂带发生压剪性活动,在西部边界形成一系列 NW 向褶皱及断层。随后主应力转变为 SE-NW 向,受到纳雍-瓮安断裂及紫云-垭都断裂的限制,在煤田中部形成 NE 向褶皱及断层,此时奠定了织金、纳雍地区的基本构造格局。晚燕山期及喜马拉雅期的构造活动主要表现为对早期构造的继承性发展^[8]。研究区含煤地层为上二叠统龙潭组和长兴组,以无烟煤为主,基底埋深浅,地温梯度是该区煤变质程度较高的主导因素,同时区内的活化断层是地下岩浆热流上升的通道,对煤变质作用也有一定的影响^[9]。在研究区附近马场井田北段上、下部各煤层均为焦煤,但是在张性断裂发育的相邻地段,上部为焦煤,而下部煤层却变为贫煤;盘关向斜南端梓木戛井田,西部为肥、焦煤,而相隔仅几百米的井田东部则突变为瘦、贫煤^[10]。说明黔西北地区的煤在不同程度上都受到过浅成岩浆热液的影响,织金、纳雍地区煤的变质以深成变质为区域背景,叠加了区域岩浆热液变质的影响。

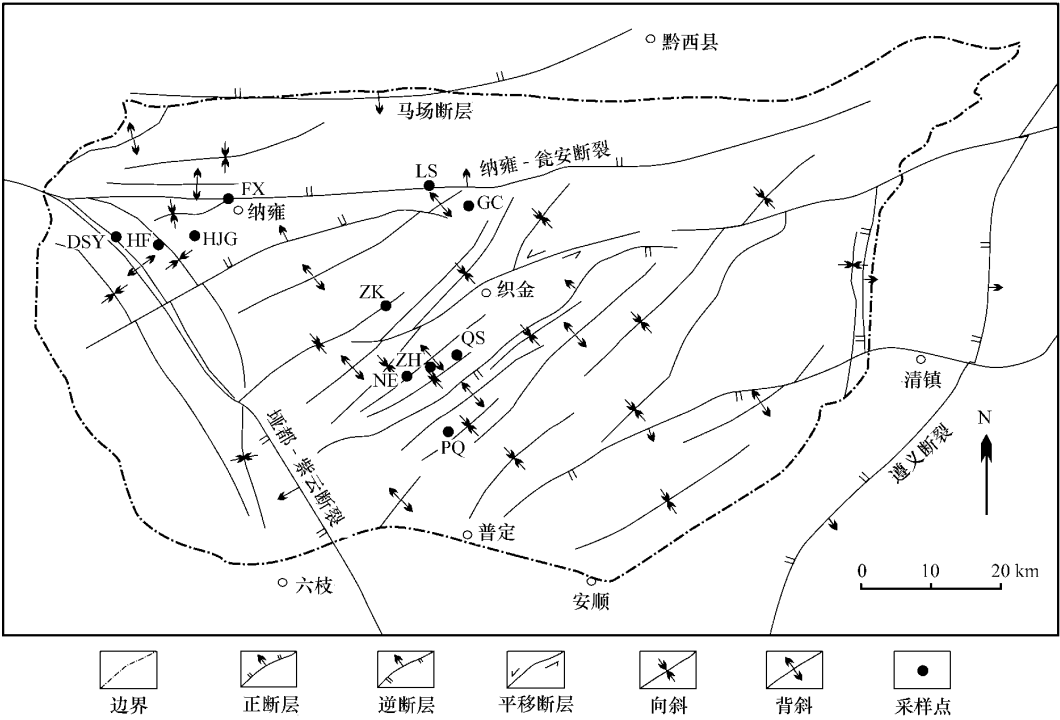


图 1 研究区构造

Fig. 1 Tectonic map of the study area

2 实验与样品

共计采集织金、纳雍地区的样品 20 块,其中 10 块分布于吊水岩煤矿(DSY)、鸿发煤矿(HF)、黄家沟煤矿(HJG)、复兴煤矿(FX)、良山煤矿(LS)、牛房煤矿(NF)、织河煤矿(ZH)、青山煤矿(QS)、光彩煤矿(GC)和普琼煤矿(PQ);另外 10 块样品包括 4 块煤样和 6 块围岩样品,均来自于钻孔 ZK808. 首先对 14 块煤岩样品进行了煤岩显微组分,镜质组反射率以及煤岩工业分析等基础性测试,然后采用光学显微镜、压汞法及低温液氮吸附法来研究煤中孔裂隙大小、形态及其结构,通过常规孔渗测试和甲烷等温吸附(平衡水煤样)实验分析了研究区煤储层的聚气能力和渗流能力,最后对煤岩样品进行了扫描电镜观察,并对 6 块围岩样品

进行了流体包裹体测试,探讨织金、纳雍地区煤储层中的矿物充填特征及古流体活动特征,进一步分析其对该区煤储层物性的影响.

3 结果与讨论

3.1 煤储层孔、裂隙结构特征

3.1.1 吸附孔隙结构特征

煤的吸附孔是指孔径小于 100 nm 的孔隙,包括小孔、微孔等孔隙空间^[11]. 液氮吸附法能够非常有效的区分吸附孔中的微孔和小孔,对研究煤储层吸附孔径结构具有一定的优势^[12]. 织金、纳雍地区煤储层的 BET 比表面和 BJH 总孔体积相对较高,吸附孔中以微孔占优(表 1),样品吸附能力较高,说明该区煤储层有很强的储气能力.

表 1 液氮吸附实验测试数据

Table 1 Data of the low-temperature Nitrogen adsorption/desorption test

样品 编号	BET 比表面/ (m ² · g ⁻¹)	BJH 总孔体积/ (mL · g ⁻¹)	平均孔 直径/nm	孔径段孔隙百分比/%		吸(脱) 曲线类型
				小孔	微孔	
DSY	0.412	0.0017	12.92	48.19	51.81	B
HF	0.239	0.0007	8.66	23.00	77.00	B
HJG	0.449	0.0008	7.46	27.34	72.66	B
FX	0.199	0.0008	11.76	25.65	74.35	B
LS	0.456	0.0016	11.91	49.37	50.63	B
NF	0.322	0.0010	8.95	17.01	82.99	B
ZH	0.542	0.0015	9.14	32.33	67.67	A
QS	0.127	0.0005	11.07	40.35	59.65	C
PQ	1.157	0.0036	12.57	58.10	41.90	A
GC	0.735	0.0034	15.31	29.00	71.00	A
平均值	0.464	0.0016	10.98	35.03	64.97	

织金、纳雍地区煤样的液氮吸/脱附曲线可划分为 A、B 和 C 这 3 种类型(图 2); 类型 A 以 PQ 为典型, 该样品 BET 比表面和 BJH 总孔体积相对较大, 吸/脱附曲线存在明显的吸附回线, 反映的吸附孔隙类型是开放型的圆筒孔和平行板状孔, 该类样品吸附能力强, 吸附孔隙之间的连通性好; 类型 B 以 LS 为典型, 该类样品吸/脱附曲线存在较为明显的吸附回线, 且曲线整体比较平缓, 具备类型 B 的煤岩样品孔隙吸附能力中等, 吸附孔隙间的连通性较好; 类型 C 以 QS 为典型, 该类样品的吸/脱附曲线基本重合, BET 比表面和 BJH 总孔体积普遍较小, 不存在吸附回线, 吸附孔隙类型主要为两端封闭的平行板状孔及尖劈形孔, 该类样品孔隙吸附能力弱, 连通性差。织金、纳雍地区煤储层吸附孔隙类型以 A、B 类为主, C 类发育较少, 研究区内主要的吸附孔隙结构是连通性较好的圆筒孔和平行板状孔, 说明该区煤储层吸附孔隙的吸附、解吸和

扩散能力较强, 对煤层气的富集和产出较为有利。

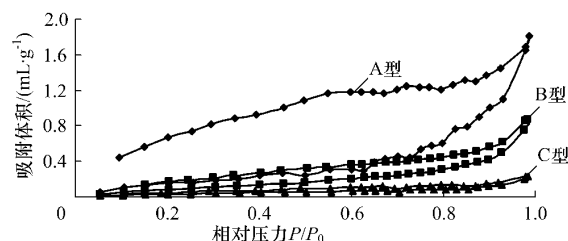


图 2 典型液氮孔隙模型

Fig. 2 Typical pores models of the low-temperature Nitrogen adsorption/desorption test

3. 1. 2 渗流孔隙结构特征

煤储层中孔径大于 100 nm 的孔隙为渗流孔隙, 主要为大孔和中孔。研究煤储层渗流孔隙采用了压汞测试方法, 织金、纳雍地区煤储层压汞测试结果表明: 该区煤岩进汞饱和度普遍较低, 平均值为 32.8%(表 2), 煤储层孔隙结构以微小孔占绝对优势, 大中孔相对不发育, 导致汞蒸汽难以进入孔隙, 这是高煤阶煤储层孔隙系统的一大特点^[13-16]。

表 2 压汞孔隙测试数据

Table 2 Data of Mercury intrusion test

样品 编号	进汞饱和度/%	退汞效率/%	排驱压力/MPa	压汞孔径段孔隙百分比/%			压汞曲线 类型
				大孔	中孔	微小孔	
DSY	21.21	35.93	2.78	6.15	10.78	83.07	C
HF	29.21	75.73	4.66	5.31	5.85	88.84	D
HJG	32.78	31.24	0.07	19.28	5.25	75.47	B
FX	38.56	38.33	0.05	21.22	5.76	73.02	B
LS	17.77	42.04	6.31	3.28	7.01	89.71	C
NF	67.62	34.59	0.07	37.69	11.70	50.61	A
ZH	34.77	41.16	3.92	6.46	13.41	80.13	C
QS	30.57	80.95	—	4.54	7.16	88.30	D
PQ	38.38	20.92	0.06	23.4	6.66	69.94	B
GC	17.16	39.04	6.31	2.69	7.85	89.46	C
平均值	32.80	43.99	2.69	13.00	8.14	78.86	

对压汞测试结果分析归类, 总结了织金、纳雍地区煤储层 4 种典型的压汞孔隙模型(图 3): 类型 A 以 NF 为代表, 特点是煤岩进汞饱和度高, 排驱压力低, 渗流孔隙之间的连通性好。类型 B 以 HJG 为代表, 煤岩进汞饱和度和退汞效率较低, 该类曲线的孔隙结构具有典型的“双峰”分布的特点, 即以微小孔占绝对优势, 大孔次之, 中孔含量最少, 这种孔径特点极易导致渗流的“瓶颈”或“不连续”问题, 从而降低煤岩孔隙的渗透性。类型 C 以 DSY 为代表, 煤岩排驱压力高, 进汞饱和度极低, 微小孔极为发育且渗流孔隙之间的连通性较差是导致进汞量较少的主要原因。类型 D 以 QS 为代表, 特点是进汞和退汞曲线近乎重合, 煤岩退汞效率较高, 反映该类样品渗流孔隙之间的连通性较好。织金、纳雍地区煤储层渗流孔隙类型中有利于煤层气产出的 A、D 类孔隙模型发育较少, 整体渗流孔隙结构非

均质性较高, 孔隙之间的连通性较差, 不利于煤层气的产出。

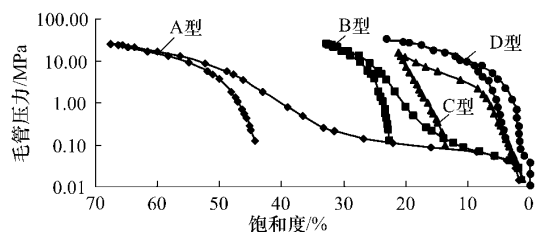


图 3 典型压汞曲线类型

Fig. 3 Typical pores models of Mercury intrusion test

3. 1. 3 显微裂隙结构特征

显微裂隙是沟通孔隙与宏观裂隙的桥梁, 其发育程度影响煤储层的渗透性能^[17-19]。显微裂隙类型采用姚艳斌的划分方案^[20], 分为 A、B、C 和 D 这 4 种类型: 类型 A(宽度 $W > 5 \mu\text{m}$ 且长度 $L > 10 \text{ mm}$); 类型 B($W > 5 \mu\text{m}$ 且 $10 \text{ mm} \geq L > 1 \text{ mm}$); 类

型 C($W<5\text{ }\mu\text{m}$ 且 $1\text{ mm}\geq L>300\text{ }\mu\text{m}$); 类型 D($W<5\text{ }\mu\text{m}$ 且 $L\leq 300\text{ }\mu\text{m}$). 织金、纳雍地区煤储层显微裂隙发育密度为 $10\sim 583\text{ 条}/9\text{ cm}^2$, 裂隙类型以 D 型裂隙为主, C 型次之, A, B 型裂隙几乎不发育 (表 3). 总体来说, 该区煤储层显微裂隙连通性差, 仅个别样品裂隙发育, 连通性较好.

表 3 煤储层显微裂隙类型统计
Table 3 Microfractures types of the coal reservoirs

样品 编号	各类裂隙密度/(条·(9 cm ²) ⁻¹)					各类裂隙所占比列/%				备注
	A 型	B 型	C 型	D 型	总计	A 型	B 型	C 型	D 型	
NF	0	2	6	7	15	0	13.3	40.0	46.7	连通性差
FX	0	4	11	18	33	0	12.1	33.3	54.6	连通性差
HJG	0	2	3	29	34	0	5.9	8.8	85.3	连通性差
HF	0	2	5	39	46	0	4.4	10.9	84.7	连通性差
PQ	0	3	8	20	31	0	9.7	25.8	64.5	连通性差
GC	2	12	15	123	152	1.3	7.9	9.9	80.9	裂隙发育, 连通性好
DSY	3	9	18	66	96	3.1	9.4	18.8	68.8	连通
LS	0	6	52	525	583	0	1.0	8.9	90.1	裂隙发育, 连通性好
ZH	0	2	25	76	103	0	1.9	24.3	73.8	连通
QS	0	1	2	7	10	0	10.0	20.0	70.0	连通性差
ZK-1	0	7	17	5	29	0	24.1	58.6	17.3	连通性差
ZK-2	0	1	10	39	50	0	2.0	20.0	78.0	连通性差
ZK-3	0	2	17	21	40	0	5.0	24.3	70.7	连通性差
ZK-4	0	2	17	26	45	0	4.4	37.8	57.8	连通性差
平均值	0	4	16	85	105	0.3	7.4	23.2	69.1	

3.2 煤储层物性特征

织金、纳雍地区为高煤阶煤储层, 以半亮煤为主, 煤岩镜质组反射率为 $1.64\%\sim 3.31\%$, 镜质组是主要的显微煤岩组分, 质量分数变化范围为 $11.1\%\sim 92.4\%$, 煤岩的固定碳含量较高, 煤储层

对甲烷吸附能力较强, 煤中灰分产率在 $6.7\%\sim 36.7\%$, 以中灰煤为主. 煤储层孔隙度范围为 $1.8\%\sim 9.5\%$, 平均 4.3% ; 煤岩渗透率除个别样品裂隙比较发育, 测得数据偏大, 其余样品渗透率普遍低于 1 mD .

表 4 煤岩样品基础数据
Table 4 Basic data of the coal samples

样品 编号	$R_o/\%$	显微组分/%				工业分析/%				孔隙度/ %	渗透率/ mD
		镜质组	惰质组	壳质组	矿物	水分	灰分	挥发分	固定碳		
HJG	1.64	77.9	20.3	0	1.8	1.2	15.2	6.8	76.7	4.6	0.118
HF	2.03	35.6	62.4	0	2.0	1.1	19.0	7.1	72.8	1.8	0.017
PQ	2.04	66.2	30.7	0	3.1	0.8	21.0	9.0	69.2	2.5	0.047
GC	2.32	67.6	24.5	0	7.9	0.9	15.9	9.9	73.3	2.6	1.29
NF	2.51	92.4	6.0	0	1.6	1.1	12.8	5.8	80.3	1.8	0.017
FX	2.54	75.0	24.6	0	0.4	1.2	11.8	6.1	81.0	3.1	12.5
QS	2.64	73.4	7.6	0	18.9	0.4	15.3	6.1	78.2	2.3	0.013
DSY	3.03	75.5	24.4	0	0.1	0.2	6.7	9.0	84.2	9.5	42.6
LS	3.14	85.3	13.9	0	0.8	0.3	11.1	6.6	82.0	6.6	3.56
ZH	3.31	88.1	10.4	0	1.5	1.2	10.2	5.0	83.5	4.7	0.53
ZK-1	2.67	79.4	15.2	0	5.4	—	—	—	—	—	—
ZK-2	2.61	91.8	6.3	0	1.9	—	—	—	—	—	—
ZK-3	1.97	42.5	45.9	0	11.6	0.7	28.3	7.6	63.4	—	—
ZK-4	1.97	11.1	84.8	0	4.1	0.6	36.7	5.4	57.4	—	—

3.2.1 煤储层吸附特征

通常用等温吸附实验的兰氏 (Langmuir) 参数来评价煤储层的吸附性能, 常用参数有兰氏体积和兰氏压力: 兰氏体积是煤层气储层的极限吸附量, 代表煤层气储层的吸附能力; 兰氏压力是实际吸附量达到极限吸附量 50% 时的压力, 代表煤层气储层吸附气体的难易程度^[21]. 等温吸附测试结果表明: 织金、纳雍地区原煤兰氏体积在 $27.17\sim 39.62$

m^3/t 之间, 平均值为 $32.72\text{ m}^3/\text{t}$; 兰氏压力也相对较高, 在 $2.08\sim 2.74\text{ MPa}$ 之间, 均值为 2.68 MPa (图 4); 煤的变质程度对煤的吸附性能具有重要的控制作用, 高煤阶煤储层的兰氏体积普遍较高, 因为随煤级增高煤中孔隙结构发生规律性变化, 其中大中孔逐渐闭合, 而微小孔逐渐增加, 大量的微小孔为甲烷气体提供了更多的吸附空间, 提高了煤的吸附能力.

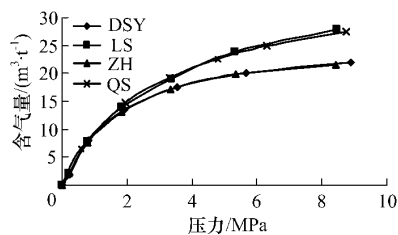


图 4 甲烷等温吸附曲线特征

Fig. 4 Characteristics of coalbed methane isotherm adsorption curves

3.2.2 煤储层孔隙度特征

织金、纳雍地区煤储层孔隙度与煤的变质程度有明显的相关关系,当煤岩 R_o 在 1.6%~3.3% 范围内变化时,孔隙度先随 R_o (1.6%~2.0%) 的增加而降低,后随 R_o (2.0%~3.3%) 的增加而升高 (图 5). 织金、纳雍地区煤的热演化经历了前燕山期和燕山期两个阶段^[22-23],前燕山期以深成变质为主, R_o 介于 1.6%~2.0%,随煤阶增高,压实程度的增大,煤中的大孔隙急剧减少,因此煤的孔隙度随 R_o 的增大而降低;燕山期以区域岩浆热变质作用为主, R_o 介于 2.0%~3.3%,强烈的构造运动使研究区抬升、褶皱,上覆地层遭受剥蚀,同时局部岩浆沿断层侵入,形成局部高地温场,使煤的演化程度增高,煤的生气量增大,这种“叠加成烃”作用形成大量的“热解气孔”,其孔径远大于深成变质作用下的气孔孔径,该阶段煤的孔隙度随 R_o 的增高呈增高. 本文对织金、纳雍地区的钻孔取样进行了包裹体均一温度分析,分析结果与研究区的煤岩热演化具有高度一致性. 测得的包裹体均一温度范围为 74~248 °C (图 6),很明显的分为两期,一期的温度范围在 74~150 °C,相当于煤层的深成变质作用,另一期温度范围为 180~248 °C,这一期温度较高,是由于后期的构造运动,使得局部地区幔源岩浆的上升和侵入,热流体被晚二叠世地层所捕获.

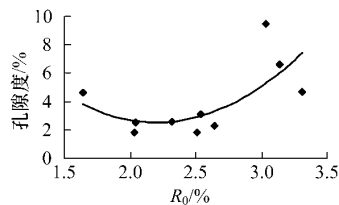
图 5 煤储层孔隙度与镜质组反射率(R_o)的关系

Fig. 5 Relationship between porosity and vitrinite reflectance of coal reservoirs

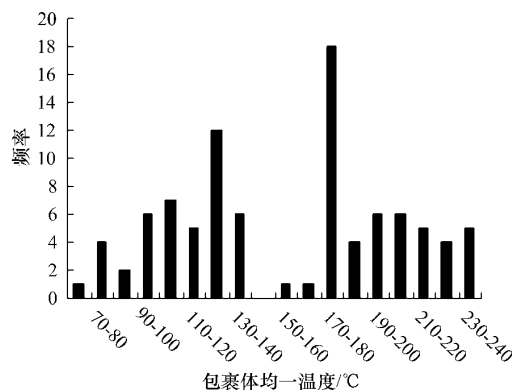


图 6 包裹体测试数据

Fig. 6 Data of inclusion testing

织金、纳雍地区的孔隙度变化范围较大,总体上受控于煤的变质程度,同时煤中矿物质含量及灰分产率与煤岩孔隙度呈现出负相关关系 (图 7). 通过对煤岩样品的扫描电镜观察,发现研究区内煤岩中的矿物充填作用明显 (图 8),在一定程度上降低了煤的孔隙度.

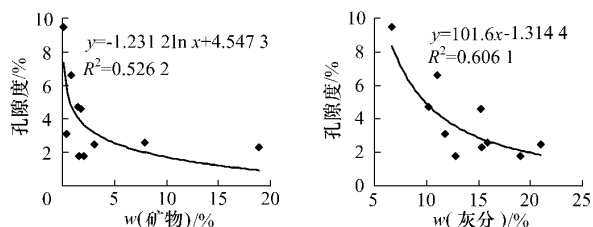


图 7 煤中矿物质含量及灰分产率与煤岩孔隙度的关系

Fig. 7 Correlations between porosity, mineral content and ash yield of coal reservoirs

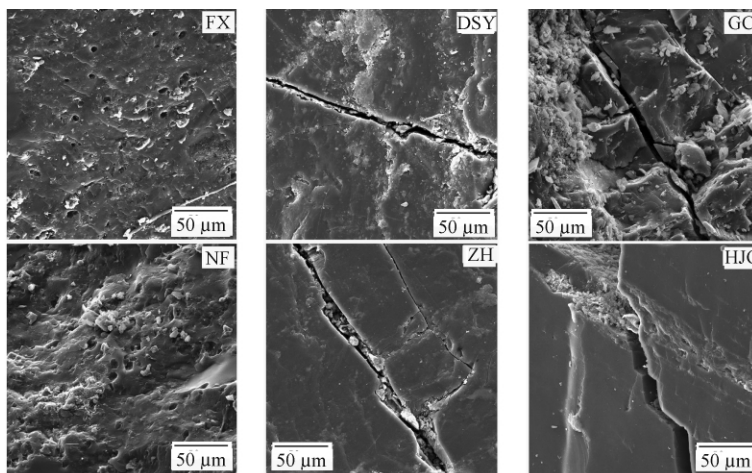


图 8 煤储层中的矿物充填

Fig. 8 Mineral filling of coal reservoirs

3.2.3 煤储层渗透率特征

织金、纳雍地区煤岩孔隙度及显微裂隙密度与样品渗透率呈现较好的正相关关系(图9), 孔隙度越大, 显微裂隙越发育, 煤岩渗透率越高。煤变质以及后期强烈的构造作用使煤储层形成了大量的孔裂隙, 孔裂隙的发育是织金、纳雍地区个别样品渗透率较高的关键因素。

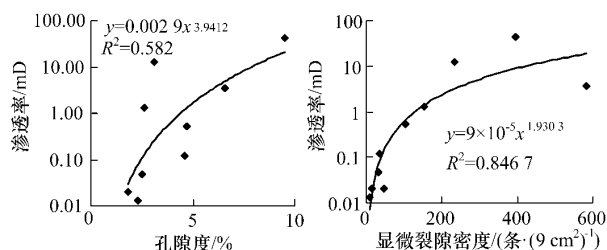


图9 煤的孔隙度及显微裂隙与渗透率的关系

Fig.9 Correlations between permeability, porosity and microfractures of coal reservoirs

受到构造演化的控制, 煤岩渗透率在平面上的分布呈现出一定的规律。在断裂区附近的煤岩样品渗透性相对较好, 研究区内渗透率超过 1 mD 的 4 个的样品均位于大断裂发育区。其中, 位于东西向的纳雍-瓮安大断裂附近的 FX、LS 和 GC 渗透率分别为 12.5、3.56、1.29 mD, 而位于紫云-水城断裂带附近的 DSY 渗透率为 42.6 mD(图1), 说明织金、纳雍地区在断层发育地区存在高渗条件。这几个煤岩样品不仅渗透率高, 而且煤的变质程度也相对较高, R_o 均大于 2.3%(表4)。说明断层附近构造作用强烈, 煤岩孔裂隙极为发育, 提高了其渗透性; 岩浆热液沿着断层上涌, 引起了在断层附近的煤层温度的增高, 从而导致了煤变质程度的增高。

综上所述, 一方面, 研究区内煤储层吸附性较强, 但煤岩渗透率低且非均质性强, 这种低渗透与高非均质性并存的储层特征对后期煤层气的开发非常不利; 另一方面, 煤储层物性受控于其所处的构造位置, 在断层发育的地区, 不仅煤变质程度高, 煤层吸附能力增强, 而且煤岩孔裂隙极为发育, 具有较好的孔渗条件, 是有利的勘探靶区。

4 结 论

1) 织金、纳雍地区的煤储层孔隙结构以吸附孔为主, 且吸附孔隙类型多为开放型的圆筒孔和平行板状孔, 煤储层吸附能力较高, 对煤层气的吸附聚集较为有利; 煤储层渗流孔隙发育相对较少, 且显微裂隙连通性差, 仅局部地区存在高渗条件, 不利于煤层气的产出。

2) 煤储层孔渗特征受控于研究区的构造作用, 前燕山期的深成变质作用使得煤岩原生孔急剧减少, 孔隙度降低; 而燕山期强烈的构造运动使得断裂带附近的煤储层变质程度增高, 并且发育了大量的孔裂隙。研究区整体上煤岩渗透率低且非均质性强, 对后期煤层气的开发不利; 但是断裂发育区煤储层物性得到了很大程度的改善, 具有较好的孔渗条件, 是有利的勘探靶区。

参考文献:

- [1] GAO Di, QIN Yong, YI Tong-sheng. CBM geology and exploring-developing stratagem in Guizhou Province, China [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009, 1(1): 882-887.
- [2] 熊孟辉, 秦 勇, 易同生, 等. 我国南方潜在的高煤级煤层气开发基地-贵州五轮山矿区煤层气地质条件浅析[J]. 中国煤层气, 2007, 4(1): 40-44.
XIONG Meng-hui, QIN Yong, YI Tong-sheng, et al. A Potential high rank coal area for CBM development base in South China-preliminary analysis on CBM geological conditions of Wulunshan coal area in Guizhou [J]. China Coalbed Methane, 2007, 4(1): 40-44.
- [3] 傅雪海, 秦 勇, 薛秀谦, 等. 煤储层孔、裂隙系统分形研究[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(3): 225-228.
FU Xue-hai, QIN Yong, XUE Xiu-qian, et al. Research on fractals of pore and fracture-structure of coal reservoirs [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(3): 225-228.
- [4] CROSDALE P J, BEAMISH B B, VALIX M. Coalbed methane sorption related to coal composition [J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 35: 147-158.
- [5] LAXMINARAYANA C, CROSDALE P J. Role of coal type and rank on methane sorption characteristics of Bowen basin, Australia coals [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40: 309-325.
- [6] 苏现波, 张丽萍, 林晓英. 煤阶对煤的吸附能力的影响[J]. 天然气工业, 2005, 25(1): 19-21.
SU Xian-bo, ZHANG Li-ping, LIN Xiao-ying. Influence of coal rank on coal adsorption capacity [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(1): 19-21.
- [7] 姚艳斌, 刘大锰. 华北重点矿区煤储层吸附特征及其影响因素[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(3): 308-314.
YAO Yan-bin, LIU Da-meng. Adsorption characteristics of coal reservoirs in North China and its influ-

- encing factors [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(3): 308-314.
- [8] 田维江. 贵州晚二叠世各煤田含煤性分析[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(4): 21-23.
- TIAN Wei-jiang. Coal-bearing property analysis of Late Permian coalfields in Guizhou province [J]. Coal Geology of China, 2008, 20(4): 21-23.
- [9] 杨兆彪, 秦 勇, 高 弟. 黔西比德三塘盆地煤层群含气系统类型及其形成机理[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(2): 215-220.
- YANG Zhao-biao, QIN Yong, GAO Di. Type and geological controls of coalbed methane-bearing system under coal seam groups from Bide-Santang basin, western Guizhou [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(2): 215-220.
- [10] 顾成亮. 滇东、黔西地区煤层气地质特征及远景评价[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(2): 106-111.
- GU Cheng-liang. Geological characteristics and prospect evaluation on coal-seam gas in east Yunnan and west Guizhou areas [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(2): 106-111.
- [11] HODOT B B. Outburst of coal and coalbed gas [M]. Beijing: China Industry Press, 1966.
- [12] 陈 萍, 唐修义. 低温氮吸附法与煤中微孔隙特征的研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(5): 552-556.
- CHEN Ping, TANG Xiu-yi. The research on the adsorption of nitrogen in low temperature and micro-pore properties in coal [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(5): 552-556.
- [13] SUUBERG E M, DEEVI S C, YUN Y. Elastic behaviour of coals studied by mercury porosimetry [J]. Fuel, 1995, 74(10): 1522-1530.
- [14] YAO Y B, LIU D M, TANG D Z, et al. Fractal characterization of seepage-pores of coals from China; an investigation on permeability of coals [J]. Computer & Geosciences, 2009, 35(6): 1159-1166.
- [15] 李 松, 毛小平, 汤达祯, 等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷煤成气资源潜力评价[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1350-1358.
- LI Song, MAO Xiao-ping, TANG Da-zhen, et al. Resource assessment of coal derived gas in the Huluhai depression, Hailar basin [J]. Geology in China, 2009, 36(6): 1350-1358.
- [16] XU H, ZHANG S H, LENG X, et al. Analysis of pore system model and physical property of coal reservoir in the Qinshui basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(Sup): 45-50.
- [17] SOLANO-ACOSTA W, MASTALERZ M, SCHIMMELMANN A. Cleats and their relation to geologic lineaments and coalbed methane potential in Pennsylvanian coals in Indiana [J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 72(3/4): 187-208.
- [18] LAUBACH S E, MARRETT R A, OLSON J E, et al. Characteristics and origins of coal cleat: a review [J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 35(1-4): 175-207.
- [19] YAO Y B, LIU D M, TANG D Z, et al. Fractal characterization of adsorption-pores of coals from North China; an investigation on the CH₄ adsorption capacity of coal [J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 73(1): 27-42.
- [20] YAO Y B, LIU D M. Microscopic characteristics of microfractures in coals; an investigation into permeability of coal [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009, 1(1): 903-910.
- [21] 张 群, 杨锡禄. 平衡水分条件下煤对甲烷的等温吸附特性研究[J]. 煤炭学报, 1999, 24(6): 566-570.
- ZHANG Qun, YANG Xi-lu. Isothermal adsorption of coals on methane under equilibrium moisture [J]. Journal of China Coal Society, 1999, 24(6): 566-570.
- [22] LAXMINARAYANA C, CROSDALE P J. Role of coal type and rank on methane sorption characteristics of Bowen basin, Australia coals [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40(4): 309-325.
- [23] KAISER W R, HAMILTON D S, SCOTT A R, et al. Geological and hydrological controls on the producibility of coalbed methane [J]. Journal of the Geological Society of London, 1994, 151: 417-420.

(责任编辑 姚志昌)