

黔西滇东上二叠统煤孔隙发育特征及煤级对孔隙的影响

蔡佳丽¹, 汤达祯¹, 许浩¹, 陈贞龙², 赵兴龙¹

(1. 中国地质大学(北京) 能源学院 煤层气国家工程中心煤储层实验室 北京 100083;
2. 中国石油化工股份有限公司华东分公司 石油勘探开发研究院 江苏 南京 210011)

摘要:在对黔西滇东地区 34 个上二叠统龙潭组煤样进行压汞测试分析及扫描电镜观察的基础上,从孔隙度、各孔径段孔隙分布、各孔径段孔隙对孔隙度的贡献以及煤级对孔隙发育的影响 4 个方面对煤孔隙特征进行系统分析。研究表明:研究区煤孔隙度具有北低南高、东低西高的特征;煤孔隙以小微孔为主,大孔和中孔发育程度相当;随着孔隙度的增加,各孔径段孔隙贡献率的增加速率存在差异,以大孔贡献率的增加最为明显;孔隙度随煤级的增加呈“M”型波状变化,趋势变化的 3 个拐点分别对应 R_o 值的 0.8%、1.4%、2.6%。

关键词:黔西滇东;压汞测试;孔隙特征;煤级

中图分类号:P618.11;TD849

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2011)04-0088-04

黔西滇东地区在大地构造上位于上扬子地台滇东—杜北—贵州—湘西断褶构造带中段东部,晚二叠世海陆交替相和浅海相的沉积环境,使其形成巨大的聚煤盆地,经各期构造变动,成为现今众多的残留煤盆地^[1]。煤炭资源丰富,煤层气资源量达 $2.20 \times 10^{12} \sim 2.75 \times 10^{12} \text{ m}^3$,是华南地区煤层气开发的有利选区^[2]。研究区内煤种齐全,从长焰煤到无烟煤都有分布,而且不同煤级下煤孔隙特征具有明显的差异性,直接影响其中煤储层物性及煤层气的富集。因而,系统研究煤储层孔隙特征,并分析煤级对煤孔隙发育的控制是探索该地区煤储层孔隙发育程度、孔隙结构以及空间上孔隙分布特征的基础和前提。

1 实验测试

1.1 样品采集

研究煤样采集点分布在黔西滇东主要煤矿区,均来自上二叠统龙潭组煤层。采样点的选取综合

考虑了区内聚煤规律及主煤层的展布。测试分析样品共 34 个,由北至南依次是比德—三塘盆地 8 个、格目底向斜 8 个、盘关向斜 7 个、恩洪矿区 5 个以及老长矿区 6 个,见表 1。所有样品均取自井下新鲜采煤工作面,煤岩特征明显、代表性强。

1.2 测试方法

测试方法为压汞孔隙测试和扫描电子显微镜观察。压汞孔隙测试采用 9400-III 型全自动压汞仪,测试单位为华北油田勘探开发研究院;扫描电子显微镜的型号为 TESCANVEGA II LSH,测试单位为中国地质大学(北京)能源实验室。

2 结果与讨论

2.1 孔隙度分布特征

黔西滇东上二叠统煤的孔隙度变化范围为 1.4%~21.2%,平均 6.3%,整体北低南高、东低西高。织纳矿区孔隙度普遍较低,变化范围为 1.8%~

收稿日期:2011-03-11

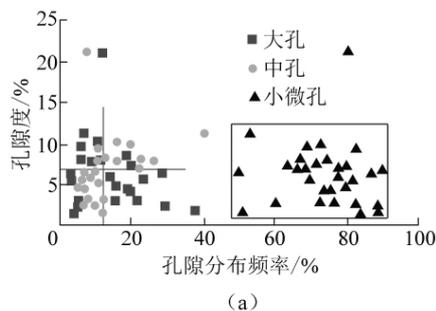
基金项目:国家自然科学基金重点项目(40730422);国家科技重大专项(2008ZX05034-001)

作者简介:蔡佳丽(1987—),女,贵州贵阳人,硕士研究生,从事能源地质及煤层气方面的研究。

表1 研究区样品位置及 R_o 值

矿区	煤矿名称	样品编号	R_o /%	矿区	煤矿名称	样品编号	R_o /%
织纳矿区	青山	QS	2.64	盘关向斜	东李	DL	1.27
	良山	LS	3.14		黑皮凹子	HPW	1.23
	织河	ZH	3.31		喜乐庆	XLQ	0.87
	牛房	NF	2.51		陆中德	LZD	0.71
	复兴	FX	2.54		老屋基	LWJ	0.89
	黄家沟	HJG	1.64		山脚树	SJS	0.81
	鸿发	HF	2.03		火铺	HP	0.68
	吊水岩	DSY	3.03	恩洪矿区	河东	HD	1.22
	格目底向斜	挖碳坡	WTP		1.54	庄子山	ZZS
石丫口		SYK	1.52		久安	JA	1.38
陈家沟		CJG	1.41		合乐武	HLW	1.26
弘财		HC	1.55	小地弯	XDW	1.39	
德坞正高		DWZ	1.16	老厂矿区	大凹子	DAZ	1.37
玉舍		YS	1.89		聆兴	LX	2.04
纸厂乡探槽3		ZC-3	1.66		阿贵联办	AGL	2.32
纸厂乡探槽1		ZC-1	1.68		阿格	AG	1.65
					龙拔	LL	1.48
			吉利		JL	1.75	

9.5%, 平均4.3%, 东南至西北方向上孔隙度有增加趋势, 西北端孔隙度高。格目底向斜孔隙度普遍较高, 变化范围为2.5%~21.2%, 平均8.1%, 孔隙度沿西北向增加, ZC-1处孔隙度为研究区内最大值。盘关向斜的孔隙度为1.4%~7.9%, 平均5.4%, 区内仅高于织纳地区, 孔隙度由东到西不断减小, HP处为研究区内最小值。恩洪矿区孔隙度变化为3.5%~7.5%, 平均值为5.7%, 由东至西孔隙度增加。老厂矿区平均孔隙度为8.1%, 仅次于格目底向斜, 并且矿区中部孔隙度较低, 往东北和西南方向孔隙度出现增加的趋势, 且东北端孔隙度变化范围较陡。



2.2 各孔径段孔隙与孔隙度的关系

通过压汞测试得到各孔径段孔隙百分比分布频率与孔隙度的关系, 如图1(a)所示。随着孔隙度的增加, 大孔、中孔、小微孔的相对比例也在增加。煤中各孔径段孔隙以小微孔为主, 但随着孔隙度的增加, 大孔和中孔的百分比存在倒转。孔隙度小于7%时, 大孔所占比例仅次于小微孔; 孔隙度大于7%时, 中孔所占比例超过大孔。各孔径段孔隙贡献与孔隙度的关系如图1(b)所示。煤中孔隙度主要来自小微孔的贡献, 其次是中孔和大孔。随孔隙度的增加, 小微孔的贡献率增加最缓; 大孔贡献率斜率最大, 增加最为明显; 中孔贡献率增加量居中。

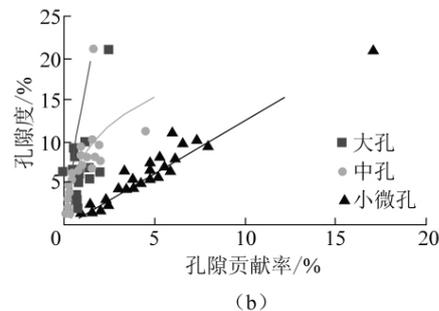


图1 各孔径段孔隙分布频率、孔隙贡献率与孔隙度的关系

2.3 各孔径段孔隙发育特征

研究区煤中孔隙以小微孔为主, 范围为49.30%~89.71%, 均值为74.49%; 其次是大孔, 范围为2.69%~37.69%, 均值为13.01%; 中孔发育最

差, 平均12.50%, 变化范围为5.25%~40.35%。各孔径段孔隙对孔隙度的贡献如图2所示。由图2可知, 格目底地区大孔含量最高, 达14.29%, 向南北2个方向均出现明显减小的趋势; 而中孔含量由北至

南增加,由织纳矿区的平均 8.37% 增加到老厂的 15.87%,该趋势仅在恩洪部分地区略有下降;微孔含量总体北高南低,织纳矿区平均 78.64%,老厂矿区平均 71.98%,在恩洪地区出现次级高峰,平均

75.6%。织纳地区大、中孔发育都较差,加之其孔隙度也最低,所以该地区的孔隙分布最差,而发育最好的是格目底向斜,且各孔径段孔隙比例分配适当,整体孔隙度也较高^[3]。

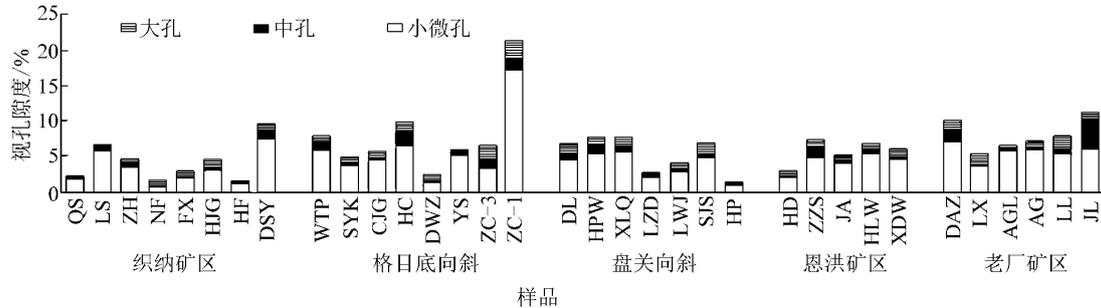


图2 各孔径段孔隙对孔隙度的贡献

2.4 煤级对孔隙度的影响

图3为煤的孔隙度、各孔径段孔隙与镜质组反射率的关系。由图3可知,研究区煤的孔隙度随煤级的增加呈“M”型的变化趋势,“M”型3个顶点分

别对应的 R_o 值为 0.8%、1.4% 和 2.6%。图4为煤中气孔的 SEM 图,由图4可知,在 R_o 小于 0.8% 的长焰煤和气煤阶段,煤的演化开始进入煤化作用中期,以 CO_2 和 H_2O 的析出为特征,随着煤化作用的

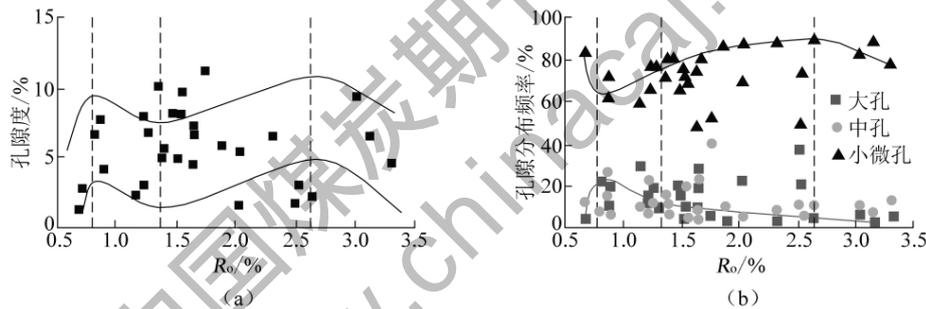


图3 煤的孔隙度、各孔径段孔隙与镜质组反射率的关系

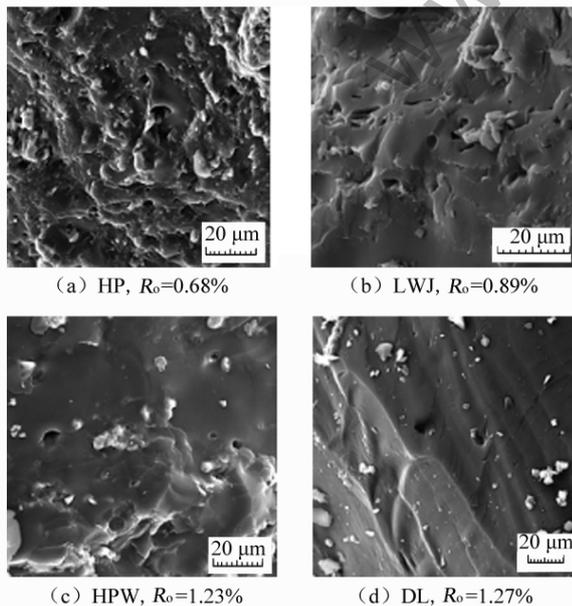


图4 煤中气孔的 SEM 图

进行析出物大量增加;同时长焰煤中气孔较发育,进入气煤阶段,气孔出现的几率最高^[4]。故煤级增加,孔隙度也在不断增加。 R_o 在 0.8% 时,接近煤化作用的第一次跃变,芳香环稠环上开始脱落脂肪族和脂肪族官能团、侧链,形成以甲烷为主的挥发物,有利于小微孔的发育,但同时开始的沥青化作用所产生的沥青质会对大、中孔造成堵塞。 R_o 介于 0.8%~1.4% 时,煤中甲烷大量逸出从而富氢的侧链和键大量缩短、减少,使煤的密度下降,加之压力作用下煤水分的不断减少,孔隙度也在减小,以原生大孔隙急剧减少为主。在 R_o 达到 1.4% 时,腐植凝胶基本完成了脱水作用,煤中水分和孔隙度都达到最小值。 R_o 介于 1.4%~2.6% 时,含氧官能团几乎脱落,此阶段煤的芳香层片迅速增大,芳香层片间平行定向性增加。由于深度变质,有机质发生缩聚反应形成大量微孔,孔径均匀,气孔可见率较低,

破裂和连通较少,故孔隙度有所增加。 R_0 为 2.6% 时接近煤化作用第 3 次跃变,在此之后煤芳环结构更加有序,芳香单元的芳香度和缩合度急剧增加,各类孔隙含量减少,因而煤孔隙度减小^[5-7]。

3 结 论

(1) 黔西滇东晚二叠世煤的孔隙度介于 1.4%~21.2%,平均 6.3%,变化范围较大,且整体具有北低南高、东低西高的展布特征。其中在格目底向斜孔隙度普遍较高,平均为 8.1%。

(2) 压汞测试结果表明,各孔径段孔隙以小微孔为主,大孔和中孔百分比在孔隙度为 7% 时发生倒转。随着孔隙度的增加,各孔径段孔隙的贡献率都有所增加,其中以大孔贡献率的增加最为明显,而小孔增加最为缓慢。

(3) 研究区煤孔隙以小微孔为主,平均为 74.49%,大孔和中孔的发育程度相当,平均值分别是 13.01%、12.50%。综合考虑各孔径段孔隙百分比及对孔隙度的贡献,研究区的孔隙结构以格目底向斜为最优。

(4) 煤级对孔隙度的影响表现为“M”型变化趋

势。孔隙度在 R_0 小于 0.8%、0.8%~1.4%、1.4%~2.6%、大于 2.6% 4 个阶段波状变化的主导因素分别是:无机物质的大量析出及气孔的出现、原生孔隙的减少、微孔的大量生成、煤芳环结构有序化。

参考文献:

- [1] 桂宝林,王朝栋.滇东、黔西地区煤层气构造特征[J].云南地质,2000,19(4):321-351.
- [2] 陈贞龙,汤达祯,许浩,等.黔西滇东地区煤层气储层孔隙系统与可采性[J].煤炭学报,2001,26(35):158-163.
- [3] 张松航,汤达祯,唐书恒,等.鄂尔多斯盆地东缘煤层气储集与产出条件[J].煤炭学报,2009,34(10):1297-1304.
- [4] 张慧.煤孔隙的成因类型及其研究[J].煤炭学报,2001,26(26):40-44.
- [5] 李增学,魏久传,刘莹,等.煤地质学[M].北京:地质出版社,2005.
- [6] E·斯塔赫.斯塔赫煤岩学教程[M].北京:煤炭工业出版社,1990.
- [7] 杨起.中国煤变质作用[M].北京:煤炭工业出版社,1996.

Coal pore characteristics of upper permian in western Guizhou and eastern Yunnan and the effect of coal rank on pore

CAI Jia-li¹, TANG Da-zhen¹, XU Hao¹, CHEN Zhen-long², ZHAO Xing-long¹

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

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development East China Company, Sinopec Nanjing 210011, China)

Abstract: On the basis of the mercury-injection tests and scanning electron microscope observations of 34 coal samples which are derived from Upper Permian Longtan Formation in western Guizhou and eastern Yunnan, the coal pore characteristics is analyzed systematically in aspects of porosity, the distribution of the pore configuration, the contribution of each kind of pore to porosity and the effect of coal rank on pore. The results show that the porosity in the study area is increasing from north to south, and from east to west; the pore with the largest proportion is micro-porous, and the proportion of macroporous and mesoporous are close; the increasing rate of contribution from each kind of pore is different with the increasing of porosity, and the increasing rate from macroporous is highest; with the increasing of coal rank, the porosity is changing with the shape of M, whose inflection points are at 0.8%, 1.4% and 2.6% of R_0 .

Key words: western Guizhou and eastern Yunnan; mercury-injection test; pore characteristics; coal rank