

准噶尔和吐哈盆地侏罗系煤层气储集特征

桑树勋¹, 秦 勇¹, 郭晓波¹, 陈玉华²

(1. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221008; 2. 枣庄矿业集团公司, 山东 枣庄 277100)

摘 要: 西北侏罗纪陆相盆地低煤级煤层气藏勘探开发近年来受到越来越多的关注, 煤层气成藏机制是该区煤层气勘探开发的重要基础工作, 而煤层气储集是煤层气成藏的关键地质过程。研究表明: 准噶尔、吐哈两个侏罗纪陆相盆地低煤级煤储层具有高孔容、高孔比表面积、高游离气储集潜力和低原位吸附气体能力的特征, 深部煤储层储集气量显著高于浅部煤储层; 浅部煤储层中基本上为吸附气, 深部煤储层中吸附气、游离气、溶解气共存, 游离气的重要性随埋深增加而增大; 构造高点和构造圈闭对深部煤层气成藏具有重大影响, 煤层气与常规气兼探与共采在理论上可行, 深部煤层气藏可能较浅部煤层气藏更具开发价值。

关 键 词: 低煤级煤; 煤层气; 储集; 侏罗系; 准噶尔盆地; 吐哈盆地

中图分类号: P618.11

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2003)03-365-08

我国西北地区以低煤级煤为主, 煤层气资源量占全国煤层气资源总量的 16% (叶建平等, 1998), 仅次于华北地区。在我国煤层气资源量排序前 10 名盆地中, 西北侏罗纪聚煤盆地有四个, 依次为吐哈盆地、准噶尔盆地、伊犁盆地和塔里木盆地, 但煤层气地质研究和开发试验程度极低。美国自 20 世纪 90 年代以来在粉河、尤因塔、拉顿等低煤级煤盆地的煤层气开发取得巨大成功, 引起我国对西北地区低煤级煤层气藏勘探开发的积极关注 (桑树勋等, 2001a; 胡宝林等, 2002)。为此, 作者近年来以吐哈盆地和准噶尔盆地为重点, 对西北地区侏罗纪盆地的煤层气地质条件开展了较为全面的研究 (桑树勋等, 2001a, 2001b)。本文报道的即是其中关于煤层气储集特征的研究成果, 希望能够抛砖引玉, 推动我国低煤级地区煤层气地质研究的发展。

1 煤储层比表面积与吸附特征

应用汞注入法和甲烷吸附体积法分别对煤储层比表面积、吸附特征进行了实验研究。压汞实验使用美国 Mecomeritics 公司 9310 型微孔结构分析仪, 注汞压力 0~207 MPa。等温吸附实验使用美国 Terra Tek 公司 IS-100 型等温吸附/解吸仪, 平衡水煤样, 实验温度 30 ℃, 实验最大初始压力 12 MPa, 甲烷气体浓度 99.999%。准噶尔盆地和吐哈盆地的侏罗纪煤储层采样点、样品特征及其压汞实验、等温吸附实验结果见表 1。

两盆地煤的比表面积变化于 5.864~13.690 m²/g 之间, 平均值为 9.130 m²/g。其中, 大孔、中孔、过渡孔和小孔的平均孔比表面积比分别为 0.1%, 2.5%, 46.9% 和 50.5%。与华北石炭—二叠系同煤级煤相比, 西北两盆地煤的总比表面积显著偏高 (约 2 倍)。其中大孔、中孔比表面积比高出数倍, 但过渡孔和小孔比表面积比相对偏低 (桑树勋等, 2001a; 胡宝林等, 2002)。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2002CB211703) 资助

第一作者简介: 桑树勋, 男, 河北唐山市人, 1967 年生, 博士, 教授, 化石能源地质, 地球化学。

表1 准噶尔、吐哈盆地侏罗纪煤储层压汞实验和等温吸附实验结果

Table 1 Test results of Hg injection and CH₄ isothermal absorption in the Jurassic coal reservoirs of Junggar and Tuha Basins

样品点	层位	煤岩类型	镜质组反射率/%	平衡水含量/%	孔比表面积及其孔径分布					吸附常数		
					S_1/S_t	S_2/S_t	S_3/S_t	S_4/S_t	S_t	V_L	p_L	
准噶尔盆地	车62井	J _{1b}	微暗亮煤	0.38	6.25	0.1	0.6	45.9	53.3	10.333	5.94	0.84
	联合厂矿	J _{2x}	微镜惰煤	0.82	11.41	0.3	7.2	45.5	46.9	11.234	5.80	1.22
	西山矿	J _{2x}	微镜惰煤	0.71	12.94	0.5	7.8	45.2	46.5	10.232	7.34	1.68
	六道湾矿	J _{2x}	微镜惰煤	0.69	3.59	0.1	3.4	47.2	49.3	9.9116	17.32	1.69
	碱沟矿	J _{2x}	微镜惰煤	0.57	3.45	0.1	1.0	53.0	45.8	8.0078	16.78	2.35
	三工河矿	J _{1b}	微镜惰煤	0.54	3.63	0.1	1.3	43.9	54.7	9.1665	13.15	1.68
	西沟矿1	J _{1b}	微镜镜煤	0.59	1.93	0.1	1.2	49.5	49.3	8.5587	20.35	1.64
	西沟矿2	J _{1b}	微暗亮煤	0.83	2.05	0.0	0.5	42.8	56.7	7.5474	19.22	1.40
吐哈盆地	波尔碱矿	J _{1b}	微亮煤	0.54	6.78	0.0	0.3	45.3	54.3	8.1970	8.20	0.68
	克尔碱矿	J _{2x}	微暗亮煤	0.62	6.35	0.0	1.1	48.2	50.6	7.6409	8.04	0.52
	黑山矿	J _{2x}	微镜镜煤	0.56	13.63	0.1	1.6	47.7	50.5	7.6898	5.50	1.05
	胜精矿	J _{2x}	微暗亮煤	0.53	11.85	0.2	0.8	44.9	54.2	7.8185	8.96	1.07
	柯柯亚矿	J _{1b}	微暗亮煤	0.55	7.75	0.1	1.2	51.7	47.0	7.9384	12.17	2.28
	红星矿	J _{1b}	微惰镜煤	0.50	8.79	0.1	1.4	39.9	58.7	9.0137	9.72	1.35
	连沙1井	J _{2x}	微亮煤	0.54	10.14	0.1	0.7	68.0	31.1	5.8639	11.67	2.01
	北泉矿1	J _{1b}	微暗亮煤	0.76	7.45	0.1	6.1	44.3	49.4	7.7866	11.38	1.48
吐哈盆地	北泉矿2	J _{1b}	微暗亮煤	0.76	10.59	0.2	5.4	45.5	48.9	13.690	8.62	1.55
	北泉矿3	J _{1b}	微惰镜煤	0.56	11.61	0.0	0.2	38.5	61.3	12.444	8.14	1.00
	露天矿	J _{1b}	微镜惰煤	0.65	11.66	0.1	3.3	43.7	52.9	11.605	7.77	1.13

注: S_t , 总孔比表面积($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$); S_1/S_t , 大孔($>1000 \text{ nm}$)比表面积占总孔比表面积百分比(%); S_2/S_t , 中孔($100 \sim 1000 \text{ nm}$)比表面积占总孔比表面积百分比(%); S_3/S_t , 过渡孔($10 \sim 100 \text{ nm}$)比表面积占总孔比表面积百分比(%); S_4/S_t , 微孔($>10 \text{ nm}$)比表面积占总孔比表面积百分比(%); V_L , 兰氏体积($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$); p_L , 兰氏压力(MPa)

与中—高煤级煤相比,西北地区两盆地煤的总比表面积也显著偏高,高达1.5倍,且大、中孔比表面积比偏高1倍左右,但过渡孔、小孔比表面积比仍然偏低(桑树勋等,2001b;刘焕杰等,1998)。

两盆地煤的兰氏体积为 $5.50 \sim 20.35 \text{ m}^3/\text{t}$,平均 $11.12 \text{ m}^3/\text{t}$;兰氏压力变化于 $0.52 \sim 2.35 \text{ MPa}$ 之间,平均为 1.43 MPa ;兰氏体积与兰氏压力呈正相关(图1)。

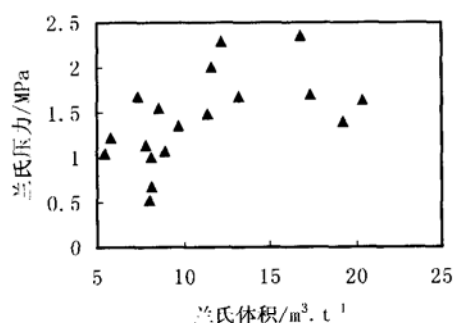


图1 准噶尔盆地和吐哈盆地煤的兰氏体积与兰氏压力的相关性

Fig. 1 Correlation between Langmuir volume and pressure in the Jurassic coals of Junggar and Tuha Basins

与华北石炭—二叠系同煤级煤储层相比,西北两盆地煤的兰氏体积偏低,但兰氏压力偏高(桑树勋等,2001a,2001b)。与中—高煤级煤相比,西北两盆地煤的兰氏体积偏低2~4倍,而兰氏压力变化较大,且两者之间没有明确的相关关系。

与中—高煤级煤相比,西北两盆地低煤级煤的吸附特征具有两个方面的特殊性:第一,孔容大,孔比表面积大,比表面积与孔容之间呈正相关关系,而中—高煤级煤的孔容相对较小但比表面积大,且孔比表面积与孔容之间呈负相关关系;第二,孔比表面积大,但原位状态下吸附气体的能力较低,而中—高煤级煤孔比

表面积与吸附气体能力之间却呈正相关关系。煤吸附能力的大小,取决于孔比表面积和吸附热的高低,比表面积越大,吸附热越高,煤的吸附能力就越强。孔比表面积的大小,又与孔径结构密切相关,在总孔容相同的条件下,较小孔径孔隙的孔容比越大,孔比表面积就会越大。因此,造成西北低煤级煤上述特殊性的原因,在于孔隙结构、孔隙成因以及孔隙有效容积影响因素的差异(秦勇,1994)。

在成因上,煤中孔隙分为原生孔隙和次生孔隙两大类型。原生孔隙包括成煤植物结构孔、显微组分间孔、大分子间孔等,前两者的孔径相对较大。次生孔隙是在煤化作用过程中生成的孔隙,主要为气孔和收缩裂隙,气孔既产生在显微组分颗粒内部,也形成于煤的大分子之间,孔径相对较小(Gregg et al, 1982)。煤化作用程度增高,压实作用增强,原生孔隙减少,次生孔隙中气孔增多,造成中-高煤级煤内大孔和中孔相对减少,而过渡孔和微孔相对增多,导致孔比表面积与孔容呈负相关关系(张新民等,1991)。低煤级煤的煤化作用和压实作用程度较弱,以大孔和中孔为主的原生孔隙相对发育,故孔比表面积与孔容呈正相关关系。同时,与华北晚古生代近海相煤比较,西北侏罗纪陆相煤的成煤环境中惰质组份含量较高,凝胶化作用相对较弱,原生的植物结构孔隙较为发育,这也是西北侏罗纪低煤级煤的孔比表面积和孔容明显高于华北石炭二叠系相同煤级煤的一个重要原因。

根据固体表面物理吸附基本理论,物质的吸附能力与比表面积呈正比(Laxminarayana et al, 1999)。然而,西北两盆地煤的吸附能力与孔比表面积呈反比,似乎与此有所不符(图 2a)。前人研究发现,干燥煤样孔比表面积和吸附能力随煤级的变化规律具有良好的一致性,符合固体表面物理吸附基本理论(Krooss et al, 2002)。也就是说,西北侏罗系煤的上述表现特征与平衡水的存在有关,平衡水含量与孔比表面积之间具有正相关趋势(图 2b)。平衡水是在一定温度和饱和湿度状态下煤吸附气态水的临界值,又称临界吸附水,煤吸附气态水的能力取决于孔比表面积以及水分子与煤分子之间的极性键力。煤吸附水后水分子大量占据煤孔隙的固体表面,导致吸附气体的能力下降。特别是煤级越低,煤分子结构中含氧官能团越为发育,与水分子之间的极性键力也就越强,煤吸附水后对气体的吸附能力更为困难,这是西北煤吸附气体能力与孔比表面积呈负相关关系的具体原因。

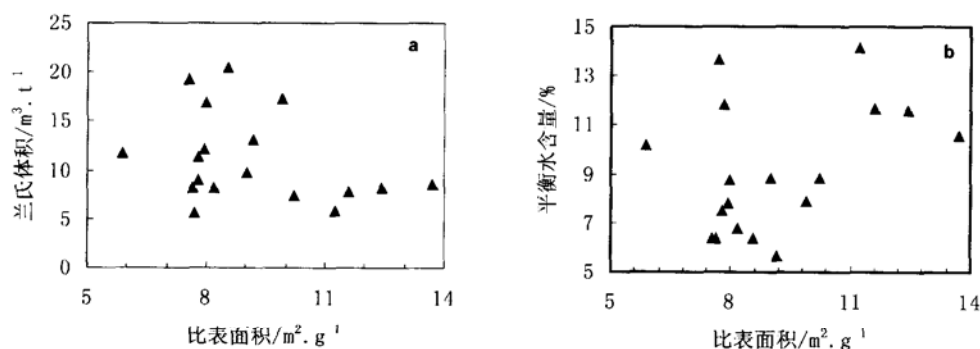


图2 西北两盆地侏罗系煤孔比表面积与兰氏体积(a)和平衡水含量(b)的相关性

Fig. 2 The correlation between the pore specific surface area, equilibrium water content(b) and Langmuir volume(a) in the Jurassic coals of Junggar and Tuha Basins, Northwest China

2 煤储层孔容与游离气储集潜力

两盆地煤的孔容变化于 $(459 \sim 1\,452) \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{g}$ 之间,平均为 $749 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{g}$ 。其中:大孔、中孔、过渡孔、小孔的平均孔容比分别为34.8%,17.5%,32.7%和15.0%;连通孔隙率为9.7%~46.7%,平均为20.0%。比重瓶法测得基质孔隙率变化于0.8%~13.6%之间,平均为6.2%。与华北地区石炭一二叠系同煤级煤储层相比,两盆地煤的总孔容一般要高1.5~2.0倍,大、中孔的孔容比偏低,过渡孔、小孔孔容比相对偏高(桑树勋等,2001b;刘焕杰等,1998)。华北石炭一二叠系煤的生物化学凝胶化作用和地球化学凝胶化作用较西北煤要强烈,这种作用对过渡孔、小孔的充填影响较对大孔、中孔更为显著,是造成两地区同煤级煤储层孔容比差异的一个原因。与中高煤级煤相比,西北煤储层孔容仍明显偏高达1.5倍以上,大、中孔孔容比偏低,过渡孔、小孔孔容比偏高,这与中高煤级煤储层煤分子结构的芳构化和基本结构单元排列的有序化、定向化有关。孔隙率是孔容的另一种表现形式,与中高煤级煤和华北石炭一二叠系同煤级煤相比,西北煤储层连通孔隙率偏高,基岩孔隙率显著偏高,多高达2倍以上。

对于煤层气储集而言,孔表面是吸附气储存的场所,孔容提供了游离气储集的空间,同时也是煤储层液态水储集的空间。若温压场一定,则煤储层对游离气的储集潜力主要与孔容和气(水)饱和度(连通孔隙中气、水相占据容积的百分比)有关。游离气储集潜力计算公式为:

$$V_{\text{游}} = p \cdot V_t \cdot S_g \cdot K_c, \quad (1)$$

式中: $V_{\text{游}}$ 为游离气储集潜力(cm^3/g); p 为储层压力(kg/cm^2); V_t 为煤储层孔容(cm^3/g); S_g 为煤储层气(水)饱和度(%); K_c 为甲烷压缩系数($(\text{kg}/\text{cm}^2)^{-1}$)。

因此,两盆地煤储层孔容明显偏高,其游离气储集潜力也相应要高。由于西北地区煤储层吸附气体能力显著偏低,煤层气中游离气的相对重要性就更为显著。关于煤层气赋存相态的定量关系,将在下面讨论。

3 煤储层水饱和度与溶解气储集潜力

煤储层溶解气储集潜力是甲烷溶解度、孔容和水饱和度的函数,可具体表达为:

$$V_{\text{溶}} = V_t \cdot S_w \cdot K_d, \quad (2)$$

式中: $V_{\text{溶}}$ 为溶解气储集潜力(cm^3/g); V_t 为煤储层孔容(cm^3/g); S_w 为煤储层水饱和度(%); K_d 为甲烷溶解度(体积百分数,%)。

甲烷溶解度与煤储层温度、压力和水矿化度有关。前人对甲烷溶解度进行了较多实验研究,发现甲烷溶解度与压力呈正比,随矿化度增高而降低,并随压力变化而波动(张新民等,1991)。准噶尔、吐哈盆地煤田地质钻孔和矿井水实测的煤系水矿化度变化范围为0.21~2.40 g/L。据直接顶、底板含水层矿化度推测,煤层水的矿化度约0.5 g/L。基于这一矿化度数据,参照前人关于煤层水甲烷溶解度与储层压力之间关系的实验结果(图3),就可估算出煤储层中溶解气的含量(下述)。

4 准噶尔、吐哈盆地煤层气储集特征

煤储层流体压力场特征主要取决于储层压力梯度和煤层气风化带深度。我国煤层气风化带下限深度的煤储层压力一般为0.1~0.2 MPa,西北地区煤层气风化带深度一般在200~

400 m 之间。两盆地与含煤地层有水力联系的盆缘的地下水补给条件相对较好,故其煤层气风化带下限深度的煤储层压力可取 0.2 MPa。在煤层气风化带以下,煤储层所处的水文地质背景多为承压区。根据盆地深部石油试井资料分析,煤储层压力梯度接近于静水压力梯度,在 0.98 MPa/hm 左右,一般为正常压力区(桑树勋等,2001a)。由此,可推算出不同埋深煤储层的储层压力。煤储层温度场特征主要取决于地温梯度和地表恒温带深度。两盆地恒温带深度在 30 m 左右,恒温带温度约为 15 °C;西北中生代陆相盆地现今地温梯度相对偏低,一般为 2 °C/100 m 左右(潘长春等,1992)。根据这些参数,可推算出不同埋深煤储层在原位状态下的受热温度。

煤储层温度场、压力场特征及其演化控制着煤层气储集。煤储层现今温度场和压力场决定煤储层对气体的储集潜力,有效生气阶段之后的温度场和压力场演化史影响煤储层的含气饱和度和煤储层储集气量及煤层气赋存状态是它们共同控制的结果(桑树勋等,1997)。

欠饱和煤储层是指储集气量(含气量)低于煤储层吸附能力,其原因或是有效生气阶段之后盆地发生显著抬升而导致煤储层卸压,或是储层水头高度下降而造成储层压力降低。伴随煤储层压力下降,吸附气大量转化为游离气和溶解气,并通过构造裂隙、煤层露头或弱封盖层的水循环发生逸散,游离气保存困难;如煤储层发生再次沉降,少量残存的游离气也会被煤储层再次吸附转化为吸附气。从理论上来说,欠饱和煤储层中储集气量全部为吸附气,因为只有储集气量超过最大吸附能力时才有可能出现游离气和溶解气储集。因而,其储集气量为 $V_{\text{储}} = V_{\text{吸}} \times S_{\text{gc}}$, 吸附能力($V_{\text{吸}}$)可通过 Langmuir 等温吸附方程求得,其中兰氏体积、兰氏压力可采用实测值或推测值,含气饱和度(S_{gc})往往根据相邻已知井或已知区推算。

过饱和煤储层是指储集气量高于煤储层吸附能力,形成原因或是有效生气阶段之后煤储层发生持续沉降,或是储层水头高度总体上增高,两种情况都会导致煤储层压力增高。过饱和煤储层的储集气量由吸附气、游离气和溶解气三种相态组成,即储集气量 $V_{\text{储}} = V_{\text{吸}} + V_{\text{游}} + V_{\text{溶}}$, 吸附能力($V_{\text{吸}}$)可根据 Langmuir 等温吸附方程计算,游离气储集潜力($V_{\text{游}}$)、溶解气储集潜力($V_{\text{溶}}$)的计算采用前述的公式(1)和(2)。

在准噶尔、吐哈盆地,浅部多为欠饱和煤储层,含气饱和度向深部增高,逐渐变为饱和、过饱和煤储层。采用上述方法的估算结果(表 2)表明:第一,浅部煤储层(埋深 $\leq 1\ 000$ m)的储集气量较小,在 1 000 m 埋深含气量仅有 8.6 m³/t,煤层气赋存状态几乎为吸附气;第二,深部煤储层(埋深 $> 1\ 000$ m)的储集气量一般显著增高,如 1 500 m 和 2 000 m 埋深含气量(含气饱和度 50%)分别为 14.07 m³/t 和 16.47 m³/t,以吸附气和游离气为主,吸附气比例最高可占

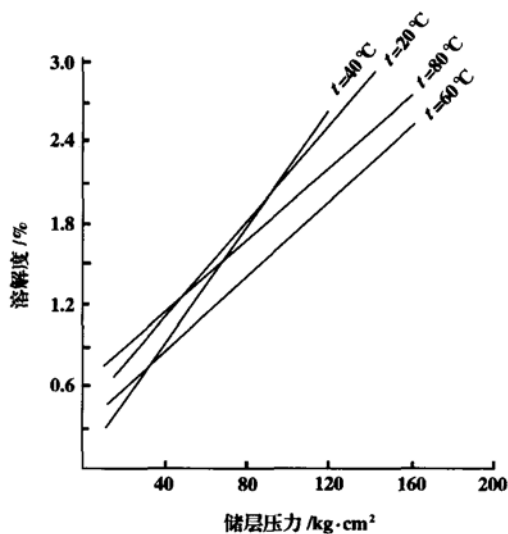


图 3 矿化度 0.5 g/L 时甲烷溶解度与温度、压力的关系(据张新民等,1991)

Fig. 3 Correlation between methane solubility reservoir temperature and pressure under 0.5g/L mineralization degree of water (after Zhang Xinmin et al, 1991)

表 2 准噶尔、吐哈盆地煤储层含气量与煤层气赋存状态推算结果

Table 2 Gas content and occurring state of coal reservoirs in Junggar and Tuha Basins

煤储层深度 /m		500	1000	1500	2000
煤储层含气饱和度 /%		60	100	>100	>100
煤储层温度 /℃		29	39	49	59
煤储层压力 / kg·cm ⁻²		22	72	122	172
甲烷压缩系数		1.04	1.05	1.07	1.09
甲烷溶解度 /%		0.4	1.6	2.2	2.7
气饱和度 0%	含气量 /cm ³ ·g ⁻¹	4.0	8.6	9.26	9.55
	吸附气 /%	100	100	98.3	97.9
	游离气 /%	0	0	0	0
	溶解气 /%	0	0	1.7	2.1
气饱和度 25%	含气量 /cm ³ ·g ⁻¹			11.66	13.01
	吸附气 /%			78.1	71.9
	游离气 /%			20.9	27.0
	溶解气 /%			1.0	1.1
气饱和度 50%	含气量 /cm ³ ·g ⁻¹			14.07	16.47
	吸附气 /%			64.7	56.8
	游离气 /%			34.7	42.6
	溶解气 /%			0.6	0.6
气饱和度 75%	含气量 /cm ³ ·g ⁻¹			16.47	19.93
	吸附气 /%			55.3	46.9
	游离气 /%			44.5	52.8
	溶解气 /%			0.2	0.3
气饱和度 100%	含气量 /cm ³ ·g ⁻¹			18.88	23.39
	吸附气 /%			48.1	40.0
	游离气 /%			51.9	60.0
	溶解气 /%			0	0

98%, 游离气最高可占 60%, 溶解气最高仅有 2% 左右; 第三, 对于深部煤储层, 在气(水)饱和度相似的条件下, 煤储层埋深增加, 游离气、溶解气的重要性相应增强, 特别是游离气的意义增大; 第四, 深部煤储层游离气储集潜力大, 是西北侏罗纪陆相盆地煤层气储集的重要特色, 在含气饱和度高的地区, 煤储层中不仅储集气量大, 而且游离气的比例甚至可能超过吸附气并在构造高点富集, 是煤层气勘探开发的重要目标(Bustin et al, 1998; Pashin et al, 1998)。受低地热梯度和深成热变质类型控制, 准噶尔、吐哈盆地在煤层气资源评价深度内煤级随深度变化总体比较缓慢, 但当煤储层埋深进一步增大时, 煤级变化对储层孔隙结构的影响会逐渐显现, 温、压场也会对孔隙结构产生一定影响。

5 结 论

研究揭示, 准噶尔、吐哈两个侏罗纪陆相盆地低煤级煤储层具有如下主要特征: 第一, 高孔隙, 高孔比表面积, 高游离气储集潜力, 但原位吸附气体的能力相对较低; 第二, 深部煤储层含气量显著高于浅部煤储层, 煤层气赋存状态在浅部煤储层中几乎为吸附气, 在深部煤储层中吸附气、游离气、溶解气达到动态平衡, 游离气的重要性随埋深加而增大; 第三, 构造高点煤储层气饱和度高, 储集气量大, 游离气、吸附气同时富集, 构造圈闭对深部煤层气成藏具有重大影响, 为煤层气与常规气兼探与共采提供了重要理论依据, 这一认识对其它地区深部煤层气资源

评价也有借鉴意义;第四,推测深部煤层气藏开发时疏水降压时间可能相对较短,生产高峰可能较早,单井气产量相对较高,深部煤层气藏可能较浅部煤层气藏更具开发价值。

参考文献:

- 胡宝林, 杨起, 刘大猛, 等. 2002. 新疆地区侏罗系中低变质煤吸附特征及煤层气资源前景. 现代地质, 16 (1): 77-82.
- 刘焕杰, 秦勇, 桑树勋, 等. 1998. 山西南部煤层气地质. 徐州: 中国矿业大学出版社, 74-105.
- 潘长春, 周中毅. 1992. 沉积盆地古地温测定方法及其应用. 广州: 广东科技出版社, 115-171.
- 秦勇. 1994. 中国高煤级煤的显微岩石学特征及结构演化. 徐州: 中国矿业大学出版社, 48-69.
- 桑树勋, 刘焕杰, 李贵中, 等. 1997. 煤层气生成与煤层气富集(I): 有效阶段生气量与煤层气富集. 煤田地质与勘探, 25 (6): 14-17.
- 桑树勋, 秦勇, 傅雪海, 等. 2001a. 陆相盆地煤层气地质——以准噶尔、吐哈盆地为例. 徐州: 中国矿业大学出版社, 62-117.
- 桑树勋, 秦勇, 范炳恒, 等. 2001b. 陆相盆地低煤级煤储层特征研究——以准噶尔、吐哈盆地为例. 中国矿业大学学报, 30 (4): 341-345.
- 叶建平, 秦勇, 林大扬, 主编. 1998. 中国煤层气资源. 徐州: 中国矿业大学出版社, 91-107.
- 张新民, 张遂安, 钟玲文, 等. 1991. 中国的煤层甲烷. 西安: 陕西科学技术出版社, 29-73.

References:

- Bustin R M, Clarkson C R. 1998. Geological controls on coalbed methane reservoir capacity and gas content. *International Journal of Coal Geology*, 38(1-2): 3-26.
- Gregg S J, Sing K S W. 1982. Adsorption, Surface Area and Porosity(2nd edition). London: Academic Press. 1-41.
- Hu Baolin, Yang Qi, Liu Dameng, et al. 2002. Adsorption and coalbed methane resources of low- and middle-rank Jurassic coals in Xinjiang, China. *Geoscience*, 16 (1): 77-82 (in Chinese with English abstract).
- Krooss B M, Bergen F van, Gensterblum Y, et al. 2002. High-pressure methane and carbon dioxide adsorption on dry and moisture-equilibrated Pennsylvanian coals. *International Journal of Coal Geology*, 51(2): 69-92.
- Laxminarayana C, Crosdale P J. 1999. Role of coal type and rank on methane sorption characteristics of Bowen Basin, Australia coals. *International Journal of Coal Geology*, 40 (4): 309-325.
- Liu Huanjie, Qin Yong, Sang Shuxun, et al. 1998. Geology of Coalbed Methane in Southern Shanxi, China. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press. 74-105 (in Chinese with English abstract).
- Pan Changchun and Zhou Zhongyi. 1992. Paleotemperature Analysis Methods and Their Application in Sedimentary Basins. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 115-171 (in Chinese).
- Pashin J C, Groshong R H Jr. 1998. Structural control of coalbed methane production in Alabama. *International Journal of Coal Geology*, 38(1-2): 89-113.
- Qin Yong. 1994. Micropetrology and Structural Evolution of High-Rank Coals in P. R. China. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press. 48-69 (in Chinese with English abstract).
- Sang Shuxun, Liu Huanjie, Li Guizhong, et al. 1997. Generation and enrichment of coalbed methane I: gas yield in effective stage and concentration of coalbed methane. *Coal Geology and Exploration*, 25(6): 14-17 (in Chinese with English abstract).
- Sang Shuxun, Qin Yong, Fu Xuehai, et al. 2001a. Geology of Coalbed Methane in the Continental Basin: A Case of Junggar and Tuha Basins. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press. 62-117 (in Chinese with English abstract).
- Sang Shuxun, Qin Yong, Fan Bingheng, et al. 2001b. Features of low rank coal reservoir in limnic basins. *J. China University of Mining and Technology*, 30(4): 341-345 (in Chinese with English abstract).
- Ye Jianping, Qin Yong and Lin Dayang. 1998. Coalbed Methane Resources of China. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press. 91-107 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xinmin, Zhan Suian, Zhong Lingwen, et al. 1991. Coalbed Methane in China. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press. 29-73 (in Chinese with English abstract).

Storing Characteristics of Jurassic Coalbed Gas in Junggar and Tuha Basins

SANG Shu-xun¹, QIN Yong¹, GUO Xiao-bo¹, CHEN Yu-hua²

(1. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

2. Zaozhuang Mining Group, Zaozhuang 277100, China)

Abstract: Coalbed gas exploration and development of the low-rank coal reservoirs in the Jurassic continental basins of Northwest China is drawing more and more attentions. The reservoir-forming mechanism is important for the exploration and development of the coalbed gas because the coalbed gas store is one of the key geological processes. The results of this study indicate that there are high pore volume, high pore specific surface area, high free gas storing potential and low gas absorption in the low-rank coal reservoirs of the Jurassic continental basins in the Junggar and Tuha Basins and the gas storage quantity in the deep coal reservoirs might be remarkably higher. The shallow coal reservoirs pools primarily absorption gas, but in the deep coal reservoirs, absorption, dissociation and dissolution gases may coexist. The structural elevation and traps might influence greatly the formation of deep coalbed gas pools. Concurrent exploration and development for both coalbed gas and normal natural gas is theoretically feasible, however, the deep coalbed gas reservoirs might be more valuable for the development.

Key words: low rank coal; coalbed gas; storage; Jurassic system; Junggar Basin; Tuha Basin

(收修改稿日期:2003-06-11)

《晶体光学》简介

由南京大学地球科学系汪相教授编著的《晶体光学》于2003年4月在南京大学出版社正式出版。本书是一部介绍偏光显微镜下晶体光学性质的教科书,可作为高等院校地质学科中矿物、岩石、矿床及地球化学等专业必修课的教材,也可以作为各种人工合成材料(如陶瓷、玻璃、铸石)光性特征研究的参考资料。

该书在南京大学地球科学系曾编著的简明教材的基础上,广泛吸收国内外同行研究中的最新成果,在思路和方法上有较大的创新,编著风格细致、严谨、明晰,并融入作者多年的教学体察和心得。该书在全面、系统地介绍了晶体光学的基本原理和偏光显微镜下鉴定矿物的技术与方法的同时,还配制了100多幅利用计算机绘制的精美插图,每章后附加了一定数量与难度的习题,俾使读者加深理解晶体光学的基本概念。书末还以附录形式列出了晶体光学词汇的中英对照及其索引,有助于读者参考和查阅。本书为16开,138千字,124页,平装。