

文章编号: 1001-1986(2010)01-0026-03

鄂尔多斯盆地西部侏罗系煤储层特征及有利区预测

许浩¹, 汤达祯¹, 唐书恒¹, 张文忠², 张松航¹, 陶树¹, 王烽³

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 2. 中联煤层气有限责任公司, 北京 100011;

3. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 在系统采集样品的基础上, 通过对煤样的煤质、煤岩显微组分、煤相、煤岩显微裂隙分析及孔隙度和压汞孔隙结构测试, 研究了鄂尔多斯盆地西部的煤层气储层物性特征, 并采用多层次模糊数学评价方法, 预测了煤层气资源分布的有利区。结果表明, 该区侏罗系煤储层具有较强的生气潜力和储气能力, 孔隙系统具双峰分布特点, 以微孔-小孔和大孔为主, 其中二道岭-汝箕沟地区具备“小而肥”的资源优势, 是该区煤层气勘探开发的最有利目标区。

关键词: 煤层气; 储层特征; 侏罗系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P618.11 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.01.006

Coal reservoir characteristics and prospective areas for Jurassic CBM exploitation in western Ordos basin

XU Hao¹, TANG Dazhen¹, TANG Shuhuan¹, ZHANG Wenzhong², ZHANG Songhang¹,
TAO Shu¹, WANG Feng³

(1. School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. China United Coalbed Methane Corporation, Ltd., Beijing 100011, China;

3. Petroleum Exploration and Production Research Institute of SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: On the basis of systemic sample collection, by analyzing macerals, micro-fracture, facies, quality and mercury injection test on coal samples, the authors systematically studied the physical characteristics of Jurassic coal bed methane reservoirs in western Ordos basin. And the favorable area was calculated using multi-level fuzzy evaluation method. The results show that the Jurassic coal bed methane (CBM) reservoir in western Ordos basin has great gas potential, and its pore system has bimodal distribution, and is dominated by micropores, mini pores and macropores. The Erdaoling-Rujigou region is considered as the most favorable target area for CBM development.

Key words: coalbed methane; reservoir feature; Jurassic; Ordos basin

鄂尔多斯盆地西部地跨陕西、甘肃、宁夏和内蒙古诸省区, 以天环凹陷和西缘冲断—推覆构造带为主体, 扩展区域包括渭北挠褶带和伊盟隆起的西端。区内受西缘冲断带的影响, 断裂发育, 地质条件复杂^[1-2]。虽然前人在本区做了不少煤田地质研究工作^[3-4], 但针对本区煤层气储层的系统评价^[5]还很薄弱, 不能满足优选勘探选区和经济开发的要求。因此, 查明盆地西部侏罗系煤层气储层特征, 对于全面掌握鄂尔多斯盆地煤层气资源分布规律, 合理规划开发, 实施能源西进战略有着重大意义^[6-7]。

1 煤层分布及煤岩特征

1.1 煤层分布特征

鄂尔多斯盆地西部侏罗系煤层主要分布在延安

组, 除大理河以南、吴旗以东、葫芦河以北地区无煤沉积外, 盆地北部、西部和南部均为含煤沉积, 且往西、西北和北部煤层层数增多、厚度增大(图1)。

1.2 煤岩特征

侏罗系煤岩类型除在西北角二道岭-汝箕沟和东南角安口-华亭光亮煤和半亮煤占有优势外, 其他地区主要以半暗煤和暗淡煤为主。垂向上, 在煤层上、下部, 一般暗淡煤和半暗煤占优势; 中部半亮煤和光亮煤增多。煤的显微组分以镜质组含量普遍较低, 惰质组含量较高为特点, 总体上, 由盆地周缘向盆地中心镜质组含量增加, 惰质组含量减少; 垂向上, 延安组中部煤的镜质组含量相对较高, 上部和下部的镜质组含量较低。

收稿日期: 2009-02-25

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730422); 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2009CB219604); 大型油气田及煤层气开发国家科技重大专项项目(2008ZX05034)

作者简介: 许浩(1979—), 男, 河北黄骅人, 博士, 讲师, 从事能源地质教学及研究工作。

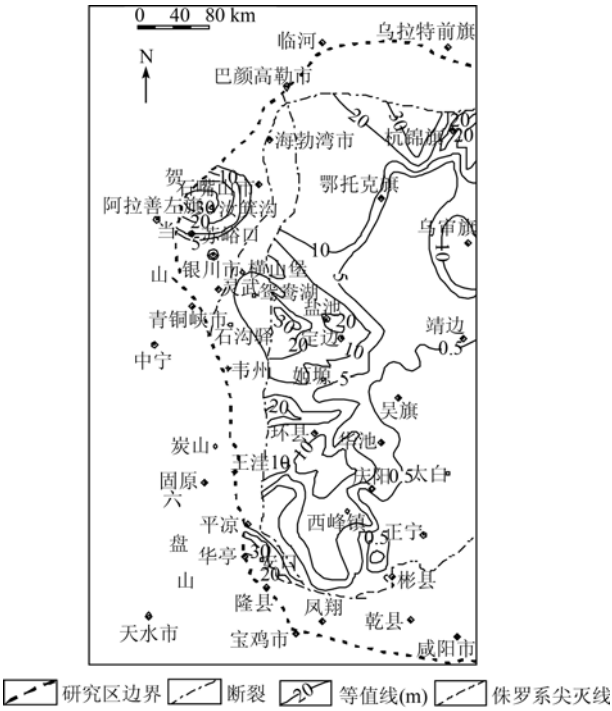


图 1 鄂尔多斯盆地西部侏罗系煤层厚度等值线图

Fig. 1 Coalbed thickness isoline map of Jurassic in the western Ordos Basin

煤相研究结果表明,研究区侏罗系煤层以干燥泥炭沼泽为主,但在汝箕沟、碳山、华亭等矿区分布有部分森林泥炭沼泽相及活水泥炭沼泽相;宁县、盐池一带为森林泥炭沼泽相。纵向上,煤层下部多为干燥泥炭沼泽相,向上渐变为过渡泥炭沼泽或活水泥炭沼泽相。

1.3 煤质特征

延安组煤中灰分产率以特低灰—低灰为主,中灰次之,富灰仅见于局部地区。受成煤环境控制,灰分在平面上呈不规则环带状分布,如在汝箕沟矿区,中间为特低灰而周围为低灰,表明该矿区在沉积时

期为一半封闭的沉积盆地。在石沟驿至马家滩一线,从西向东由中灰变为特低灰,而在沙井子、银洞子、王洼一线则由北而南从富灰依次递减为低灰。

延安组煤的变质程度普遍较低,除汝箕沟矿区由于隐伏岩体影响煤变质为无烟煤, R_{\max} 达 2.5% 以上外,其他地区 R_{\max} 均小于 0.85%。煤级整体由盆缘往盆内缓慢增高,呈带状展布。

2 煤储层孔隙系统发育特征

本次研究采用 Carlo-Erba2000 型压汞仪进行孔隙度分析。结果表明,研究区煤储层孔隙度较高,达 5.2%~20.0%。受到异常热叠加影响的汝箕沟无烟煤,孔隙度为 3.32%~13.5%。煤储层孔隙具双峰分布特点,以微孔-小孔和大孔为主,尤以微孔-小孔占优势,一般约占孔隙体积 70% 左右;大孔多变化在 18%~30% 之间;在低煤级中,中孔亦较发育,可达 10% 左右,无烟煤中孔明显不发育。孔隙结构受煤岩组成影响,M6-4 样品镜质组百分含量比 M6-5 样品高出 10%,后者则呈现大孔分布优势(表 1)。

根据进退汞曲线形态分析,汝箕沟无烟煤 M6-5 样品进汞曲线在大孔范围内上升较快,进入中孔范围曲线平缓,在孔径 10 nm 左右曲线再次变陡。压汞饱和度中值压力<10 MPa,退汞效率大于 80 %。该类曲线的煤储层孔隙分布特征为:大孔最发育,小孔较发育,中孔不发育,这种分布特征反映了一种裂隙为主的孔隙,孔隙间的连通性较好,是煤层气开发的最有利储层。同时,部分汝箕沟无烟煤样品进汞曲线呈反“S”型:在孔径>1 000 nm 时曲线呈上凸形;在孔径为 1 000~10 nm 时曲线平缓,进汞量少;进入到<10 nm 孔径时,曲线上升较快。退汞曲线与进汞曲线形态相似,基本上重合。表明该样

表 1 煤样压汞测试法孔隙分布特征
Table 1 Character of pore volume in coal

样品号	采样地点	大孔	中孔	微孔-小孔	$R_{\max}/\%$	煤岩类型
		>1 000 nm	100~1 000 nm	<100 nm		
M18	华亭矿	22.77	8.61	68.62	0.43	光亮煤
M13	灵新矿	18.56	10.79	70.65	0.5	半暗煤
M6-4	汝箕沟	28.93	2.49	68.57	2.54	半亮煤
M6-5	汝箕沟	60.33	3.61	36.06	2.77	半暗煤
M1	下沟矿	14.451	4.726	83.823	0.691	暗淡煤
M3	马蹄沟	5.579	21.715	72.706	/	暗淡煤
M4	马蹄沟	23.430	6.514	70.056	/	半亮煤
M5	王洼矿	23.844	39.428	36.728	0.558	半暗煤
M7	京盛矿	46.511	31.735	21.754	0.38	暗淡煤
M7-2	京盛矿	40.233	32.256	27.511	/	半亮煤
M8	灵新矿	22.702	42.275	35.023	0.516	半暗煤
M13	二道岭	4.058	2.606	99.336	2.681	半亮煤

品孔隙分布以小孔最发育,大孔较发育,中孔少见为特征,表明该储层较有利于煤层气的开发。

灵新煤矿煤样的进汞曲线上斜率变化较少,退汞曲线斜率小,退汞效率较低,压汞饱和度中值压力小,出现在低煤级储层。在孔隙分布特征上,其各类孔隙均较发育。与前两者相比,该储层最不利于煤层气的运移。

3 煤层甲烷吸附能力及含气性

本次研究采用 TERRATEK 公司 ISE-100 高压吸附仪进行分析。结果表明,侏罗系煤储层饱和吸附量(V_L)变化于 2.12~28.86 m^3/t 之间,其中低煤级煤数值较低,变化于 2.12~15.19 m^3/t 之间,二道岭和汝箕沟地区无烟煤 Langmuir 体积(V_L)显著高于低煤级煤,其值达 24.10 m^3/t 以上,同时具有相对较低的 Langmuir 压力(P_L)(表 2)。

4 煤储层显微裂隙发育特征及渗透性

4.1 煤储层显微裂隙发育特征

显微裂隙是沟通孔隙与宏观裂隙的桥梁,其发育程度影响储层的渗透性能^[8]。研究表明,研究区煤储层显微裂隙发育,平均裂隙密度一般达到 1~26 条/ cm^2 ,从类型上看,宽度 $>5\text{ }\mu\text{m}$ 且长度 $>10\text{ mm}$ 的显微裂隙少见;宽度 $5\text{ }\mu\text{m}$, 10 mm 长度 $>1\text{ mm}$

的显微裂隙约占 0~12.9%,裂隙密度 0~1.22 条/ cm^2 ;宽度 $<5\text{ }\mu\text{m}$ 且 $300\text{ }\mu\text{m}<\text{长度}<1\text{ mm}$ 的裂隙约占 6.8%~81.8%,裂隙密度 0.33~3.67 条/ cm^2 ;宽度 $<5\text{ }\mu\text{m}$,长度 $<300\text{ }\mu\text{m}$ 的裂隙约占 16.2%~89.1%,裂隙密度 0.11~3.1 条/ cm^2 。汝箕沟无烟煤中,宽度 $<5\text{ }\mu\text{m}$ 且 $300\text{ }\mu\text{m}<\text{长度}<1\text{ mm}$ 的裂隙相对发育;高挥发分烟煤中,宽度 $<5\text{ }\mu\text{m}$ 且长度 $<300\text{ }\mu\text{m}$ 的裂隙相对发育。低煤级煤中,裂隙密度明显高于无烟煤。裂隙发育特征主要反映了煤化作用影响,即区内低煤级煤正处在内生裂隙发育早期,而无烟煤则处在裂隙消亡阶段。

4.2 煤储层渗透性

根据煤岩样品实验室渗透率测定结果,研究区以华亭矿 M18 样为代表的低煤级煤渗透率达 $1.12\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,渗透性较好;汝箕沟无烟煤渗透率不到 $0.5\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,渗透性较差。渗透率与孔隙度关系不大,而与裂隙发育程度有关(表 3)。

5 有利区带预测

为了确立合理的目标区,笔者采用模糊评价方法,据气源、储集物性及保存条件等 3 方面 10 种因素,对该区煤层气有利区域进行了综合评价和预测。结果表明,二道岭-汝箕沟地区为煤层气开发的有利目标区。区内虽含煤面积不足 100 km^2 ,但区块含煤系数高,主采煤层单层厚度大且分布稳定,煤变质

表 2 煤储层甲烷等温吸附数据表
Table 2 Measurement data of coal adsorption capacity

样号	产地	V_L / $\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$	P_L /MPa	M_{ad} /%	A_{ad} /%	R_{max} /%
M18-1	华亭矿	9.99	1.40	12.16	3.32	0.45
M13-2	华亭矿	4.26	2.00	15.29	5.87	0.48
M1	下沟矿	8.72	3.48	3.50	14.95	0.67
M2	下沟矿	12.95	5.59	3.41	14.61	0.65
M7	京盛矿	2.12	2.83	11.20	10.25	0.41
M8	灵新矿	15.19	20.20	10.20	2.98	0.51
M8-1	灵新矿	6.73	0.63	17.90	6.07	0.49
M11	二道岭 ZK1101	24.10	1.55	0.48	9.98	2.68
M12	二道岭 ZK1202	28.86	2.20	0.56	8.14	2.61
M6-4	汝箕沟	26.20	0.47	3.62	4.75	2.54
M6-5	汝箕沟	25.38	0.51	3.14	2.25	2.48

表 3 煤储层孔隙度、渗透率实验数据表
Table 3 Measurement data of porosity and permeability in coalbed

样号	地点	渗透率 / $10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$	孔隙度 /%	裂隙密度 /条 $\cdot\text{m}^{-2}$	岩石密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
M6-5	汝箕沟	0.022	2.8	1.33	1.35
M6-9	汝箕沟	0.257	7.8	5.78	1.36
M5	王洼矿	21.50	16.0	/	1.15
M1	下沟矿	0.363	10.7	/	1.34
M18	华亭矿	1.12	5.2	9.22	1.32

(下转第 32 页)