

陈振宏,孟召平,曾良君. 准噶尔东南缘中低煤阶煤层气富集规律及成藏模式[J]. 煤炭学报, 2017, 42(12): 3203–3211. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0019

CHEN Zhenhong, MENG Zhaoping, ZENG Liangjun. Formation mechanism and enrichment patterns of middle-low rank coalbed methane in Southern Junggar Basin, China[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(12): 3203–3211. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0019

## 准噶尔东南缘中低煤阶煤层气富集规律及成藏模式

陈振宏<sup>1,2</sup>, 孟召平<sup>1</sup>, 曾良君<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

**摘要:**准噶尔盆地东南缘煤层气资源丰富但勘探程度相对较低,富集成藏机制和主控因素认识不足,制约了勘探实践。基于对准东南地区煤层气地质条件的精细解剖,揭示了研究区煤层气富集特征及成藏机制。研究发现,淮南煤系主要发育在天山山前断褶带,受构造控制明显,东西向断层和背斜密集;煤层层数多且与砂岩叠置发育;煤岩孔径较大,孔隙连通性好,煤层含气量总体上呈现西高东低的特点。在此基础上,建立了准东南地区主要发育急倾斜煤层构造—水力封堵型混合气富集成藏模式,认为“相对的高压的封闭区是煤层气富集和成藏的有利部位”。故在煤层气勘探中应优选埋深适中的“相对构造高点”和平缓的地表水与地下水稳定过渡带,并建议对阜康—大黄山有利目标区开展立体勘探实践。

**关键词:**准噶尔盆地;低煤阶;成藏机制;构造高点;立体勘探

**中图分类号:**P618.11      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-9993(2017)12-3203-09

## Formation mechanism and enrichment patterns of middle-low rank coalbed methane in Southern Junggar Basin, China

CHEN Zhenhong<sup>1,2</sup>, MENG Zhaoping<sup>1</sup>, ZENG Liangjun<sup>2</sup>

(1. College of Geosciences and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; 2. Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Langfang 065007, China)

**Abstract:** The abundant coalbed methane exploration in the southeast margin of Junggar basin has not made a greater breakthrough for its complicated geological structure and reservoir formation mechanism. Therefore, its accumulation mechanism and main controlling factors become the most critical constraint issues for CBM exploration. On the basis of the fine dissection about geological conditions of the coalbed methane here, the characteristics of coalbed methane accumulation and the reservoir formation mechanism were revealed. The authors found that the coal seams controlled by complicated geological structure, with east-west fault and anticline, were mainly developed in the Tianshan piedmont fault fold belt. And the coal seams and sandstone were superposed. Also the high porosity of coal has good pore connectivity. As a whole, the gas content is generally high in the West and low in the East. Therefore this paper established a mixed gas source enrichment model of the structure-hydraulic plugging type in the steeply inclined coal seam. And it is concluded that the sealing zone with relatively high pressure is the favorable area for coalbed methane accumulation. So the relatively high point of the structure and the transitional zone between surface water and groundwater should be optimized in the exploration of coalbed methane. Therefore, the authors suggest to carry out stereoscopic exploration in the Fukang-Mount Huangshan favorable target area.

收稿日期:2017-01-05      修回日期:2017-10-26      责任编辑:韩晋平

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05041-001)

作者简介:陈振宏(1979—),男,湖南桃源人,高级工程师,博士。E-mail:chenzhenhong@petrochina.com.cn

**Key words:** Junggar Basin; low-rank; reservoir formation mechanism; high point of the structure; stereoscopic exploration

第4轮油气资源评价结果显示,我国低煤阶煤层气资源量达 $10.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,占全国煤层气总资源量的34.5%,主要分布在西部的早中侏罗世含煤盆地,以及东北的早白垩世—古近系含煤盆地。准噶尔盆地是我国重要的低煤阶煤层气盆地。不少学者对该盆地煤层气资源潜力、成藏特征、主控因素、储层条件等进行过一定的研究,认为具备煤层气富集成藏的有利地质条件<sup>[1-5]</sup>。“十二五”以来,准噶尔盆地东南缘陆续开展煤层气勘探及开发先导试验,包括乌鲁木齐河东(乌参1,2井)、阜康白杨河井组、大黄山(阜煤1井)、呼图壁雀儿沟(昌试1,2井)和科林思德阜康西部矿区大井组等煤层气井近百口,其中SCD01井日产气 $1.72 \text{ 万 m}^3$ ,取得重大突破。然而,该区煤储层空间展布、煤储层物性、地下水活动性分布等异常复杂,导致煤层气富集规律认识亟待进一步研究。笔者在梳理国内外低阶煤盆地煤层气地质特征的基础上,针对准东南地区煤层气地质发育特点,深入探讨了气藏的富集主控因素,并进行了勘探有利区评价。

## 1 基础地质背景

### 1.1 构造地质背景

准噶尔盆地东南缘西起乌苏四棵树,东至老君庙,南接博格达山,北经至卡拉麦里山南麓,面积约 $30\,000 \text{ km}^2$ ,构造上属于北天山山前拗陷及东部隆起,经历了早二叠世裂谷、中晚二叠世前陆盆地,三叠纪至白垩纪复合类前陆盆地和第三纪以来的类前陆盆地4个阶段。特别是喜马拉雅运动使山前强烈褶皱并伴生一系列大型逆冲断裂,发育压扭性构造。淮南由南向北发育3排背斜带,即山前推举带、霍-玛-吐背斜带、呼图壁-安集海-西湖背斜带,充分展示了造山带隆升、前陆地层承受挤压的构造背景<sup>[6-7]</sup>,总体呈现“南北分带,东西分段和上下分层”<sup>[8]</sup>特征。准东地区构造相对简单,地层较为平缓,煤层构造变形较弱。

淮南与煤层气勘探紧密相关的背斜构造主要有齐谷、昌吉、喀拉扎、头屯河、阜康和南阜康背斜等,普遍呈现北陡(倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ )南缓( $40^\circ \sim 50^\circ$ )的形态。西部含煤地层构造较东部简单,多种类型的背斜构造为煤层气的相对高点富集提供了一定的有利条件,在区域尺度上比较有利于煤层气富集。

### 1.2 煤系沉积演化

淮南地区在早—中侏罗世发育两期主要的含煤

建造,为下侏罗统八道湾组和中侏罗统西山窑组。在煤系沉积时,依连哈比尔尕山是主要的物源区。在东西方向上,受湖盆大小、地形坡度的差异影响,不同沉积旋回形成的含煤地层厚度和煤层分布范围存在一定差异。在煤系垂向组合上,煤层和砂岩叠置发育,仅西山窑组下段就可见4套煤层,均以砂岩或粉砂岩为顶底板。由于多期沉积短旋回的出现,该区煤系呈现含煤层系纵向叠置的特点(图1)有利于煤层气开发层位优选,开展煤系综合勘探。

## 2 煤层气基本地质特征

### 2.1 煤层发育特征

准东地区煤层埋深较浅,一般浅于 $800 \text{ m}$ ,煤层产状较平缓。淮南地区煤层埋深一般 $400 \sim 1\,200 \text{ m}$ ,自盆地南缘向盆内迅速变深(图2);地层产状较陡,倾角在乌鲁木齐以西为 $15^\circ \sim 25^\circ$ ,在米泉—阜康—大黄山一带可超过 $45^\circ$ 。

在早侏罗世,煤系沉积主要集中在东部大黄山、阜康和吉木萨尔一带,形成了厚层的八道湾组煤层。八道湾组富煤带位于阜康—水西沟一带,东部较厚,西部较薄,自下而上煤层厚度变薄。其展布方向与博格达复背斜弧形构造带伸展方向一致。可采煤层共3~15层,可采厚度为 $45 \sim 66 \text{ m}$ ,含煤系数为 $9\% \sim 11\%$ 。煤层以层状或似层状产出,少数为透镜状,沿走向和倾向变化明显。

白杨河西矿区部分煤层因自燃严重,在地表形成了一条近东西向的烧变岩带,火烧岩从地表煤层向深倾斜,深度达 $250 \sim 550 \text{ m}$ 。

在中侏罗世,区内聚煤作用加强,富煤带向西迁移,出现在阜康、乌鲁木齐和玛纳斯等地区,主要发育西山窑组煤层(图3)。淮南区块西山窑组主要赋存在四工河以西地区,其沉积中心位于玛纳斯—乌鲁木齐一带,聚煤中心则位于乌鲁木齐一带,含煤层数达50层之多,煤层总厚可达 $75.0 \sim 187.2 \text{ m}$ 。可采煤层共10~22层,含煤系数为 $4\% \sim 18\%$ 。准东分布着沙帐、大井、将军庙、梧桐窝子4个富煤区。

### 2.2 煤岩煤质及储层物性

准东地区煤中镜质组反射率较低,一般 $<0.5\%$ ,仅达褐煤阶段,深部少量达到长焰煤。淮南地区镜质组反射率相对较高,一般在 $0.5\% \sim 0.8\%$ ,以长焰煤、气煤为主,深部可达肥煤。镜质组反射率由盆缘向内增大,平面上淮南昌吉—阜康一带煤岩演化程度

界	系	统	群	组	段	代号	岩性柱状 1:1000	分 层 厚 度/m	平均 厚 度/m	累 厚/m	岩性描述	化石	备注								
中生代	白垩系	下统	吐鲁番群	麻拉扎组	上统	J <sub>3</sub> k		0 ~ 138	65.0	65	两套灰绿色层与两套条带层间互沉积,除底部砾岩外,主要为大套泥岩夹粉细砂岩,与下伏地层为不整合接触	Cypridea unicoloca, 等	未见顶								
							J <sub>3</sub> q		150 ~ 350	200.0	265	棕红色砂质泥岩夹薄层红褐色、灰黄色砂岩和泥灰质砂岩。与下伏地层呈整合接触	Darwinula— Metacypris Zone								
							侏罗系	中统	头屯河组	J <sub>2</sub> t		500 ~ 560	550.0	815	本组大致可分为四段,自上而下岩性特征为:紫褐色、灰色泥岩与薄层砂岩互层;褐色、褐灰色砾状砂岩、灰色砂岩与棕褐色泥岩互层;暗褐、棕红、灰色泥岩中夹薄层砂岩透镜体;棕红色泥岩夹厚层砂岩,岩性不稳定,与下伏地层呈局部不整合接触	Darwinula— Metacypris— Pseudocardinia— Sibiriconcha Zone					
											西山	J <sub>2</sub> x		0 ~ 280	73.2	888.2	主要由灰至深灰色砂质泥岩、泥岩、砂岩组成,夹有不稳定薄煤层及中粒砂岩,煤层分布面积小,与不同相沉积过渡。底部常发育中粒砂岩与其下分界,本层厚度变化大,0~280m,平均73.2m,玛纳斯红沟一带为最厚区	Coniopteris, Phoenicopsis及 Ferganoconcha等			
														20 ~ 170	70.2	958.4	主要由灰、深灰色泥岩、砂岩组成,夹有不稳定煤层及炭质泥岩,局部有沙粒岩沉积,底部多以中粒砂岩分界。本层发育厚度差别较大,以玛纳斯红沟一带最厚达170余米,水西沟一带较薄仅30米左右				
														42 ~ 77.6	60.8	1019.2	主要由灰色泥岩、砂岩组成,夹有煤层或炭质泥岩,煤层地板常发育厚度不等的中粒砂岩。底部巨厚细砂岩与下伏层位分界				
														39 ~ 120	52.2	1071.4	岩性一般由灰、深灰色砂岩、泥岩组成,局部相复为砂砾岩层,碱子沟一带发育砖红色沉积。夹干煤层、炭质泥岩,煤层变薄及尖灭明显。本层植物化石丰富				
											密组	J <sub>2</sub> x		18 ~ 191	113.8	1185.2	主要含煤段之一,岩性以灰白色砂岩、灰色泥岩及砂质泥岩、煤层组成,煤层大多基本稳定,但分叉、歼灭及厚度变化比较明显,一般说,乌鲁木齐至白杨河一带煤分层多,煤累厚大。地层厚度变化大,18~191m,平均113.8m,郝家沟一带最薄,含煤仅一层,玛纳斯红沟厚度大,煤层层数多,可达几十层。本层底部岩性变化较大,大多地区为砂岩,而玛纳斯红沟附近发育扇沉积,巨厚的砾岩及砂砾岩与下伏层位分界				
													三工河组	J <sub>1</sub> s			68.3	1253.5	暗红色泥岩夹薄层细砂岩	Coniopteris sp., Tutuella cf.chachlovi等	
																	100.0	1353.5	黑色炭质泥岩、灰绿色泥岩与灰绿色中粒砂岩互层。炭质泥岩不稳定,在不大的距离内即发生相变		
																	100.0	1453.5	灰色、灰绿色泥岩夹厚层状砂岩透镜体		
																	153.0	1606.5	上部为厚层砂岩透镜体与灰绿色泥岩互层,下部为灰绿色、暗红色泥岩与厚层含云母长石中砂岩互层,底部有一层砾状砂岩可与八道湾组分界		
							八道湾组	J <sub>1</sub> b		31 ~ 110			58.2	1664.7	底部为灰白色中粒砂岩及相复砂质泥岩,中上部以灰色砂质泥岩、泥岩为主。煤层不稳定,单层厚0~20m,乌鲁木齐至白杨河一带煤层厚,而西部不发育煤层。煤层呈透镜体分布	Ferganoconcha, Sibiriconcha等					
										10 ~ 65	36.2	1700.9	灰色、灰绿色砂质泥岩、泥岩及灰白色粉砂岩互层,淘结构清楚,夹薄煤层,不稳定。局部地区底部为较厚砂砾岩层								
										13 ~ 49	36.9	1737.8	岩性以泥岩、砂质泥岩、煤层为主,局部相复为灰白色中粒砂岩、细粒砂岩、泥岩中植物化石丰富								
										9 ~ 87	40.1	1777.9	底部普遍发育以后层细砂岩,自西而东渐薄,局部相变为泥岩或砂质泥岩。中上部灰色、灰白色泥岩、粉砂岩为主,含煤层,区域内分叉或尖灭,局部夹炭质泥岩								
										13 ~ 77	39.6	1817.5	灰色、灰绿色砂质泥岩、泥岩,夹炭质泥岩薄层,局部夹有砂砾岩层。含植物化石及方解石脉								
										20 ~ 93	50.0	1867.5	深灰色砂质泥岩、泥岩为主,底部为一层中粒-细粒砂岩,含煤层,煤层稳定性较好。区域内相复较为明显,底部常出现冲积扇体。植物化石比较丰富								
										19 ~ 74	54.0	1921.5	岩性以灰色、灰绿色及灰白色中粒砂岩、泥岩、砂质泥岩为主,局部夹炭质泥岩。本段沉积东厚西薄。底部常发育中粒砂岩,在东部发育含砾砂岩								
										13 ~ 241	87.6	2009.1	岩性以灰色、深灰色细砂岩,粉砂岩,砂质泥岩,泥岩为主,含煤层1~2层,稳定性差,多发育于乌鲁木齐附近,煤层向东变薄至尖灭。底部为中粒砂岩至砂砾岩与下伏层位断层至不整合接触。相旋淘结构清楚,但厚度变化较大,呈现自西向东渐薄趋势								
三叠系	中上统	小果沟群	J <sub>2-3</sub> xy					上部灰绿、黄绿色泥岩,细砂岩;下部主要为灰绿色细砂岩,中砂岩,粗砂岩与泥岩互层,底部是一层砾岩与下伏地层呈整合接触。柱状未见底	Aralrisporites, Colpocloppis 等	未见底											

图 1 淮南地区含煤地层剖面示意

Fig. 1 Sketch map of coal strata in the southern margin of Junggar

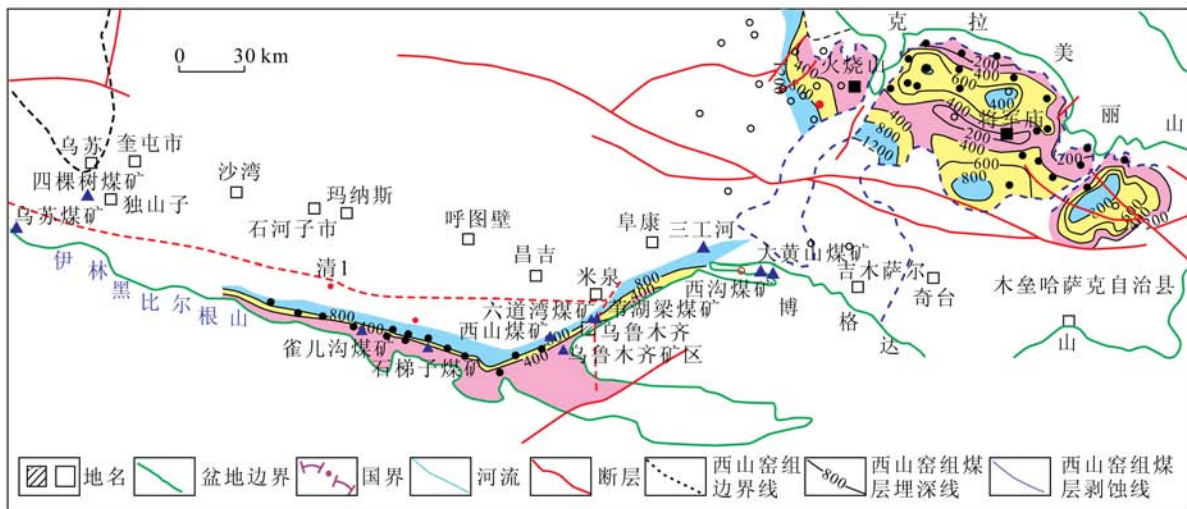


图2 准东南地区西山窑组煤层埋深等值线

Fig. 2 Contour map of buried depth of Xishanyao Formation in the southeast of Junggar Basin

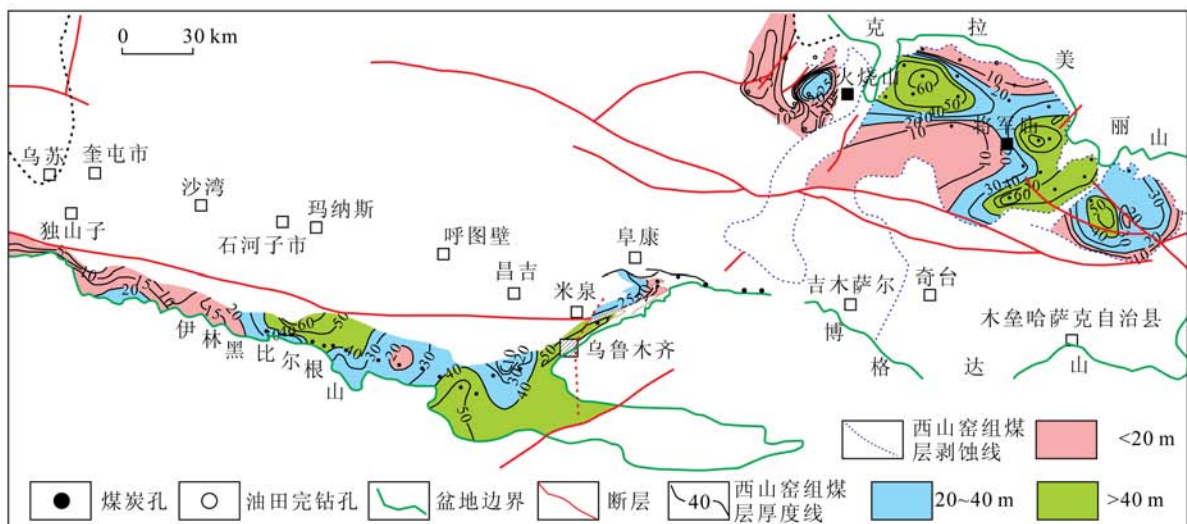


图3 准东南地区西山窑组煤层厚度

Fig. 3 Contour map of coal thickness of Xishanyao Formation in the southeast of Junggar Basin

较高。

实验测试显示,准东地区煤中镜质组含量 13.75% ~ 54.1%,惰性组含量 25.47% ~ 61.77%,壳质组含量 1.27% ~ 28.65%。丝炭化组分含量极高,反映成煤泥炭沼泽覆水较浅,为氧化、半氧化环境。

同时,淮南地区煤岩以镜质组为主导,平均含量在 70% 以上,壳质组含量总体偏低,仅在 5% 左右,在一定程度上制约了低阶煤的生气能力。测试煤样显示,八道湾组煤层镜质组含量高于西山窑组,反映古泥炭沼泽处于覆水相对较深的环境。东部煤岩的镜质组含量较西部要高,水分含量也相对较低,在一定程度上利于甲烷的吸附和富集。此外,淮南地区煤岩的灰分含量不高,普遍低于 10%。

淮南  $J_1b$  以大孔(28.39%)和过渡孔(38.49%)

为主; $J_2x$  以过渡孔(36.90%)和中孔(19.75%)为主。准东地区西山窑组煤层孔隙度 4.33% ~ 27.46%,平均 15.38%;大孔和中孔平均 54.56%,小—微孔占 45.45%,以中孔、大孔为主,其次是小—微孔。

统计测试结果显示,准东西山窑组煤层渗透率变化较大,在  $0.05 \times 10^{-15} \sim 8.67 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ,非均质性明显。准南昌吉地区煤层孔隙度 0.2% ~ 16.4%,平均 8.4%;渗透率在  $0.22 \times 10^{-15} \sim 23.2 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ,平均  $11.0 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ;硫磺沟矿区煤层平均孔隙度 7.10%,平均渗透率  $2.12 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ;乌鲁木齐矿区煤层平均渗透率  $6.38 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ,阜康矿区煤层平均渗透率  $0.32 \times 10^{-15} \sim 13.83 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ 。煤层物性总体上较好,但存在较强的非均质性。

同时,等温吸附测试结果显示,准东南地区煤



岩吸附能力总体上较低。淮南地区煤岩朗格缪尔体积一般大于  $10 \text{ m}^3/\text{t}$ , 最高超过  $20 \text{ m}^3/\text{t}$ , 二准东地区煤岩朗格缪尔体积一般不超过  $10 \text{ m}^3/\text{t}$  (表 1,

图 4)。在淮南地区, 由西到东煤层吸附能力逐渐增强, 纵向上八道湾组煤层吸附能力强于西山窑组。

表 1 准噶尔盆地南缘煤储层等温吸附测试结果

Table 1 Test of isothermal adsorption of coal reservoirs at the southern margin of Junggar Basin

地区 (煤层)	层位	平衡水分 $M_c/\%$	试验温 度/ $^{\circ}\text{C}$	灰分 $A_{ad}/\%$	水分 $M_{ad}/\%$	Langmuir 体积 $V_L/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$			Langmuir 压 力 $P_L/\text{MPa}$
						平衡水分基	空气干燥基	干燥无灰基	
乌东矿 45 煤 碱沟矿		13.65	24.17	2.36	4.02	17.34	20.10	21.45	3.69
		26.66	25.00	14.55	2.24	18.83	25.77	30.85	4.58
41	$J_2x$	7.34	21.00	12.54	4.00		18.18	21.57	3.78
		10.46	24.00	2.27	3.89		24.76	26.36	3.80
乌参 1 井	45	8.21	28.00	3.85	3.11		22.90	24.58	3.67
	41						28.68	31.07	2.46
阜参 1 井	42						32.34	33.99	2.40
	44						25.84	27.57	1.78
	$J_1b$	12.29	20.15	8.89	1.25	22.10	25.23	28.05	3.41
阜康 A2 煤		8.14	36.00	4.23	1.79	19.96	21.75	23.12	3.17
阜康 A4 煤		17.97	38.00	8.10	2.16	17.69	21.61	24.03	2.92

表 2 准噶尔盆地东缘西山窑组等温吸附试验结果

Table 2 Test of isothermal adsorption of Xishanyao formation coal reservoirs at the southern margin of Junggar Basin

样品	空气干燥基 $V_L/$	干燥无灰基 $V_L/$	$P_L/\text{MPa}$
	$(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	$(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	
北山煤窑	9.12	10.52	8.38
五彩湾	11.20	13.11	15.29
老君庙	6.83	7.96	6.15
大井	8.00	9.50	7.10
沙煤 1 井	1.76	2.25	2.53

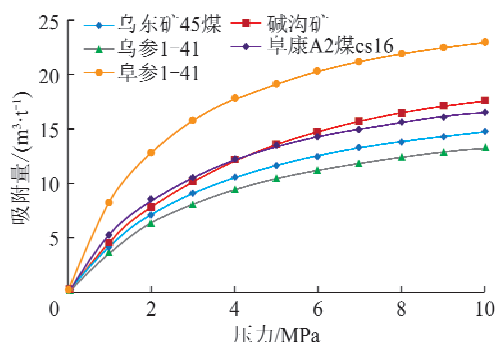


图 4 准噶尔盆地东南缘主要煤层的等温吸附曲线

Fig. 4 Isothermal adsorption curves of main coal seams at the southeast margin of Junggar Basin

### 2.3 水文地质及保存条件

准东地区地层基本为弱含水层, 地下水化学属  $\text{NaSO}_4\text{-NaCl}$  类型, 矿化度  $875.4 \sim 16\ 326.9 \text{ mg/L}$ 。

其中, 乌苏、玛纳斯河—呼图壁、阜康和后峡水文地质单元的域矿化度较低<sup>[9-11]</sup>, 适合产甲烷菌生存和产气。其他水文地质单元受构造组合形态、地表水径流补给以及地下水流程的影响, 矿化度相对较高, 基本不具备生物气生成和补充的条件。

在盆地东缘, 含煤地层热演化程度低, 含煤地层长期遭受剥蚀, 区域封盖性较差。大井地区侏罗系西山窑组以上几乎没有地层覆盖, 煤层埋藏极浅, 煤层气保存条件差。

对准噶尔盆地南缘的侏罗系西山窑组和八道湾组两个含煤组的 2~3 层厚度最大的主要煤层的顶底板岩性按粗碎屑岩(砾岩、粗砂岩、中砂岩等)、细碎屑岩(粉砂岩、泥岩、页岩及其互层)进行统计发现, 全区顶底板细碎屑岩均占 62% 以上, 吉木萨尔水西沟最高达 91%; 底板细碎屑岩均占 70% 以上, 乌鲁木齐河—四工河最高达到 100%, 从以上结果可以看出, 各区煤层顶板和底板岩性均以细碎屑岩为主, 因此单从岩性角度来讲, 对煤层气的保存比较有利。

## 3 煤层气富集规律及主控因素分析

### 3.1 煤层气成因

盆地南缘煤层气  $\delta^{13}\text{C}_1$  为  $-41.9\% \sim -64.6\%$ , 甲烷碳同位素组成偏轻, 显示成因多样, 既有生物成因、也有热成因, 并且甲烷碳同位素组成显示部分气源具有运移分馏的特点<sup>[12-15]</sup>。因此, 判断深部气也可能运移至浅部, 并被煤层再次吸附而富集。同时, 淮南

地区受天山雪水补给,地层含水性较好,地下水为 $\text{NaHCO}_3$ 类型,矿化度 $100 \sim 400 \text{ mg/L}$ ,有利于产甲烷菌的繁盛和生物气的生成。清水河901孔侏罗系常规天然气甲烷碳同位素组成为 $-52.1\text{‰}$ ,氢同位素组成为 $-233\text{‰}$ ,典型的干气( $C_1/C_{1-5}$ 为0.999),显示出生物成因气的特点<sup>[16]</sup>。

### 3.2 富集规律

平面上,准东地区煤层含气量很低,一般 $<1 \text{ m}^3/\text{t}$ ,以氮气为主。淮南乌鲁木齐河西、河东及阜康地区大黄山煤矿、西沟煤矿等地,煤层含气量较高,一般在 $2 \sim 10 \text{ m}^3/\text{t}$ ,局部地段高达 $10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{t}$ (表3)。纵向上,八道湾组煤层含气性好于西山窑组煤层;同一煤层,深部煤层含气量高于浅部煤层;深度越大,煤层甲烷体积分数越高。

表3 准噶尔盆地南缘煤层气含量

Table 3 Test of gas content of coal reservoirs at the southern margin of Junggar Basin

井号/地区	层位	煤层	含气量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	备注
煤田勘探孔1		A5	0.37	霍尔果斯
煤田勘探孔2		B5	0.63 ~ 1.30/0.91	河以西
昌试1		5-7	3.39 ~ 4.87/3.69	霍尔果斯河
昌试2	$J_2x$	7-8	4.97 ~ 5.09/5.06	一三屯河
煤勘-头屯河			2.78 ~ 3.22	三屯河—
煤勘-老君庙			2.43 ~ 4.61	乌鲁木齐河
LHG-06-03			0.85 ~ 2.70	
		41	4.96 ~ 8.08/6.45	
乌参1		43	8.94 ~ 14.80/12.22	
		45	5.68 ~ 8.63/7.13	
FK01		A2	10.24 ~ 11.49/11.02	
FK08		A2	10.03 ~ 11.43/10.70	
		A1	6.64	乌鲁木齐河
		A2	9.34 ~ 14.07/11.49	—四工河
FK13		A3	5.06	
	$J_1b$	A6	7.99 ~ 8.76/8.38	
		A7	5.44 ~ 6.39/5.80	
		A8	5.23 ~ 7.66/6.71	
FK16		A2	8.11 ~ 15.36/12.15	
		A4	13.32 ~ 13.73/13.53	
		41	3.79 ~ 10.96/7.79	
阜参1		42	6.54 ~ 12.86/10.49	四工河—
		44	5.45 ~ 11.66/9.97	大黄山
阜煤1		41	10.71 ~ 11.06/10.89	
		42	10.68 ~ 11.35/11.02	
沙煤1			$<1$	纱帐
大井	$J_2x$		$<1$	大井(道拓)

淮南地区在埋深350 m井段,气测全烃值明显上

升,在420 m处又上升一个台阶(图5),甲烷体积分数达到80%以上,指示甲烷风化带深度在420 m左右。总体上,煤层埋藏深度增加,煤层含气性变好,甲烷体积分数增高。

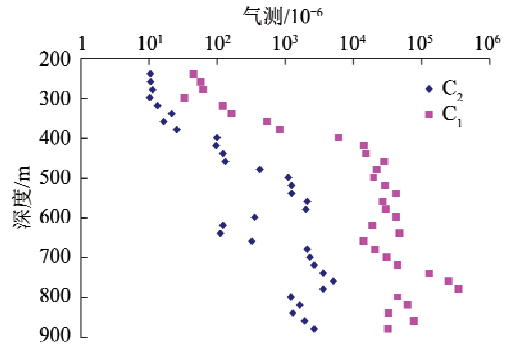


图5 准噶尔盆地东南缘阜煤1井气测与埋深关系

Fig. 5 Relationship between gas logging and buried depth of Fumei-1 well in the southeast margin of Junggar Basin

### 3.3 主控因素分析

(1) 逆冲推覆构造是控制本区煤层气富集分布的重要因素。逆冲推覆构造发育,使下伏地层推覆至煤层之上,从而使瓦斯得到有利保存。压性断层(包括逆断层、压性走滑断层或发生反转的正断层)断层面为密闭性,保存条件较好,煤层含气量高。特别是喜马拉雅运动导致了天山的强烈挤压、扭动,加剧了博格达推覆构造,乌鲁木齐—大黄山一带的不同矿区内发育了一系列平行于近走向的逆冲,逆冲推覆断层对煤层气的赋存起到良好的封闭作用。

(2) 随着变质程度增高,含气量总体呈增大趋势。乌鲁木齐—大黄山一带,煤层含气量平均 $9.02 \sim 10.01 \text{ m}^3/\text{t}$ ,与煤阶达到肥煤、焦煤阶段称正相关关系。

(3) 水动力封堵是煤层气富集成藏的有利条件。在一些煤层露头区,大气降水或河流沿着煤层露头进入煤层,一方面水中携带的细菌在煤的变质作用中产生气体,或与其他有机质发生新陈代谢,补充气源;另一方面,地下水携带煤层中气体使之向深部运移,导致在滞流区煤层气的聚集。

## 4 煤层气富集成藏模式

综上所述,准噶尔盆地东南缘煤层气富集成藏受构造背景与水动力条件控制明显。一方面,中二叠统与侏罗系烃源岩产生的天然气沿着断层等裂缝向上运移,可能会有气体运移到煤层而被吸附成藏。这种气体来源的多样性为气藏聚集提供了条件,也使得气藏中的游离气含量进一步增加。受此影响,构造高点将是气体优先富集的场所。这一现象在彩南地区

504 井可见,其在 2 567 ~ 2 583 m 井段的煤层试气,日产气 7 300 m<sup>3</sup>,关井 2 a 后,采用液氮助排,产气又可达 6 000 m<sup>3</sup>,展示了游离气汇聚富集的特点。这种游离气的聚集模式开拓了深部煤层气的勘探开发基础。另一方面,淮南煤系赋存于第 1 排基底断裂和厚皮构造带上受构造部位和封闭条件的影响明显。淮南地区尽管该区地层倾角大,但构造格局相对稳定,地层封闭性较好;煤层厚度大,孔裂隙系统发育;同时

水力封堵条件较好,在弱滞留区形成煤层气的富集。同时,上部煤层可见火烧作用,深部热成因气沿断裂补充,加上地层水的补给,易于产甲烷菌的富集和生成,产生次生物气,可能对该区形成非常好的气源补给。通常在地层封闭性好、地层压力高的地方含气量相对较大。

总体上,属于急倾斜煤层构造—水力封堵型混合气富集成藏模式(图 6)。

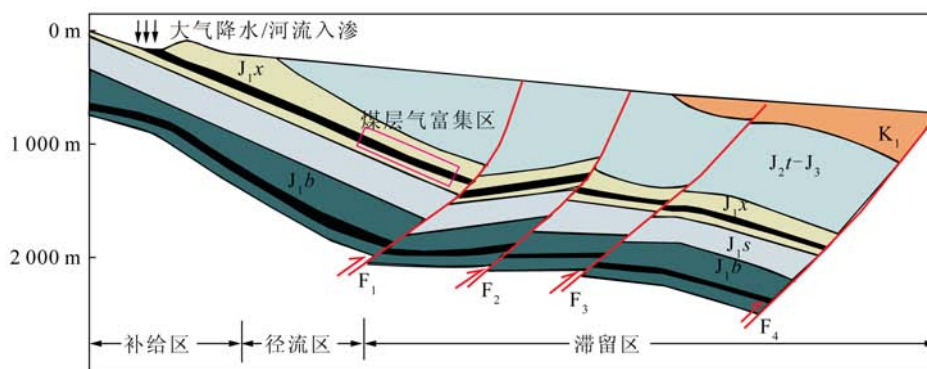


图 6 急倾斜煤层构造—水动力封堵型煤层气富集成藏模式

Fig. 6 Coalbed methane accumulation pattern of sealing property by structure and hydrodynamic water in steeply inclined seams

以头屯河至乌鲁木齐河段为例,构造控气样式为叠瓦式逆冲构造与其间的背、向斜组合形式,在叠瓦式逆冲最前端,其含气量最大。叠瓦式逆冲断层越往前,其构造压性应力越强,使得煤层气吸附能力越强,含气量最大处为西山断层附近。该逆断层以韧性变形为主,两端地层封性闭好,地层压力大,下部的气体向上部运移,在相对构造高点出形成气体富集。总体来看,相对的高压的封闭区是煤层气富集和成藏的有力部位。

## 5 有利区块预测评价及勘探建议

结合研究区煤层赋存特征、煤储层特征、含气性特征、保存条件等方面(表 4),筛选出 3 类 7 个主要影响因素作为评价指标。其中保存条件主要包括构造复杂程度;资源条件包括煤层厚度、煤层气含量;储层条件主要包括煤层倾角、煤储层吸附性能、渗透率和含气饱和度。采用多层次模糊数学对研究区的煤层气地质条件进行了综合评价。

表 4 准噶尔盆地东南缘各区块煤储层参数结果

Table 4 Results of coal reservoir parameters in the southeast margin of Junggar Basin

地层	区块	地质条件		资源条件		储层条件		
		构造复杂程度	煤层倾角/(°)	煤厚/m	含气量/(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	V <sub>L</sub> /(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	渗透率/10 <sup>-15</sup> m <sup>2</sup>	饱和度/%
西山窑	Y <sub>1</sub>	简单	23.00	95.16	6.36	18.74	2.12	48.60
	Y <sub>2</sub>	中等	45.00	133.81	9.44	21.49	6.38	75.44
	Y <sub>3</sub>	中等	74.00	112.78	5.67	25.77	8.45	34.75
	Y <sub>4</sub>	复杂	55.00	42.36	4.48	21.49	0.08	30.39
八道湾	W <sub>1</sub>	简单	23.00	20.49	4.88	13.80	9.63	67.09
	W <sub>2</sub>	中等	45.00	23.86	5.36	11.40	4.18	82.41
	W <sub>3</sub>	复杂	55.00	43.66	11.21	25.23	3.01	86.47
	W <sub>4</sub>	中等	32.00	44.80	9.01	25.90	3.86	54.88
	W <sub>5</sub>	中等	31.65	39.88	9.88	28.95	3.87	59.58

优选出阜康—大黄山有利目标区(图 7)。阜康—大黄山有利区主力煤层为八道湾组,煤层总厚 60 ~ 70 m,埋深一般 400 ~ 1 200 m,煤层产状较陡。煤层镜质

组含量高,一般 70% ~ 80%,R<sub>o</sub>:0.60% ~ 0.75%,以气煤为主。多气源补给使得煤层含气量较高,7 ~ 11 m<sup>3</sup>/t。阜康有利区面积 300 km<sup>2</sup>,煤层气资源量 800 亿 m<sup>3</sup>。



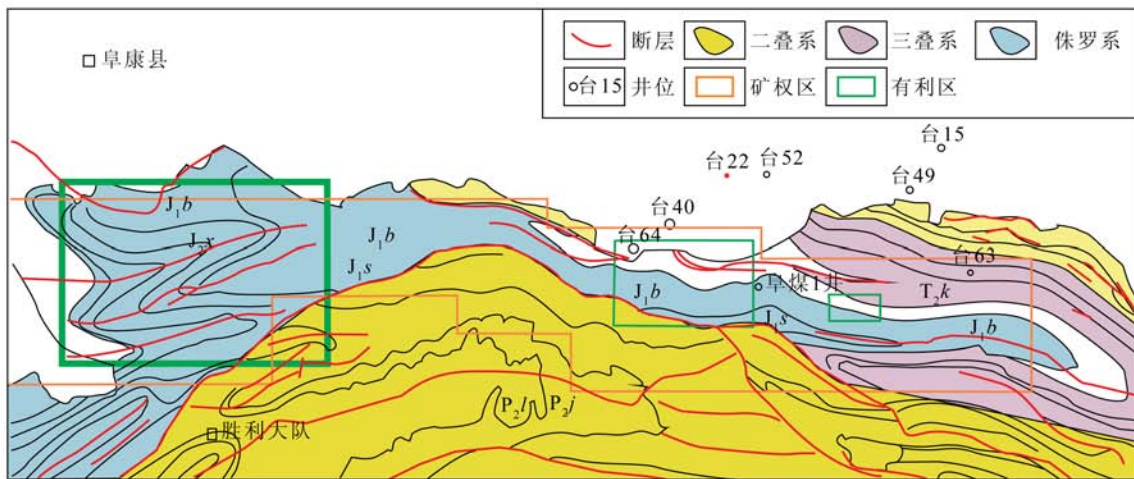


图7 阜康—大黄山有利区块分布

Fig. 7 Favorable block distribution in the Fukang-Dahuangshan Mount

由于该区含煤层系呈现纵向叠置的特点,煤岩裂隙中的游离气与其顶、底板砂岩石中的游离气处于相同(相近)温压系统中,纵向叠置、横向分布连续,具备游离气与吸附气共采地质条件,建议采取垂向上立体综合勘探开发模式。勘探重点从高含气厚煤带拓展到深部煤系地层,不仅在垂向上拓展勘探空间,也明显提升资源丰度,还大大拓展勘探深度下限。

## 6 结 论

(1) 淮东南地区煤系受构造控制明显。煤层含气量总体上西高东低,但受区域构造变形影响明显,煤岩孔径相对较大,部分地区在几百纳米左右,孔隙连通性较好。

(2) 淮东南地区主要发育急倾斜煤层构造—水力封堵型混合气富集成藏模式。相对的高压的封闭区是煤层气富集和成藏的有利部位。应注意优选埋深适中的“甜点区”,注意寻找地表水与地下水的稳定过渡带,规避断层,在向斜两翼、背斜和单斜地层中寻找高产区。

(3) 阜康—大黄山有利目标区资源、储层和保存条件有利,可优先开发。

(4) 淮东南地区煤系呈高角度多层叠置,多套煤层均气显良好,建议实行分段多层统一开发。应考虑“顺煤层钻井”,并针对煤系统一勘探评价,开展立体勘探实践。

## 参考文献 (References):

- [1] 桑树勋,秦勇,傅雪海,等. 陆相盆地煤层气地质——以准噶尔、吐哈盆地为例[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2001:1-183.
- [2] 蔚远江. 准噶尔盆地低煤级煤储层及煤层气成藏初步研究[D]. 北京:中国地质大学,2002:6-11.

WEI Yuanjiang. Reservoir and formation study of low-rank coal bed methane in Junggar basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2002: 6-11.

- [3] 崔思华,刘洪林,王勃,等. 准噶尔盆地低煤级煤层气成藏地质特征[J]. 现代地质, 2007, 21(4): 720-724.  
CUI Sihua, LIU Honglin, WANG Bo, et al. Trapping characteristics of coalbed methane in low-rank coal of Zhungar Basin[J]. Modern geology, 2007, 21(4): 720-724.
- [4] 蔚远江,汪永华,杨起. 准噶尔盆地低煤阶煤储集层吸附特征及煤层气开发潜力[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 410-416.  
WEI Yuanjiang, WANG Yonghua, YANG Qi. Adsorption characteristics of low rank coal reservoir and CBM development potential, Junggar basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 410-416.
- [5] 孙钦平,孙斌,孙粉锦,等. 准噶尔盆地东南部低煤阶煤层气煤层气富集条件及主控因素[J]. 高校地质学报, 2012, 18(3): 460-464.  
SUN Qinqing, SUN Bin, SUN Fenjin, et al. Accumulation and geological controls of low-rank coalbed methane in Junggar basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(3): 460-464.
- [6] 杨起,刘大锰,黄文辉,等. 中国西北煤层气地质与资源综合评价[M]. 北京:地质出版社, 2005: 1-303.
- [7] 支东明,薛冽,王峙涛,等. 准噶尔盆地煤层气资源及勘探潜力[M]. 北京:石油工业出版社, 2013: 1-167.
- [8] 陈书平,漆家福,于福生,等. 准噶尔盆地南缘构造变形特征及其主控因素[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 151-157.  
CHEN Shuping, QI Jiafu, YU Fusheng, et al. Deformation characteristics in the southern of the Junggar basin and their controlling factors[J]. Geological Journal, 2007, 81(2): 151-157.
- [9] 申建,杜磊,秦勇,等. 深部低阶煤三相态含气量建模及勘探启示——以准噶尔盆地侏罗纪煤层为例[J]. 天然气工业, 2015, 35(3): 30-35.  
SHEN Jian, DU Lei, QIN Yong, et al. Modeling of three-phase gas content and exploration implications of deep low-rank coal-Taking Jurassic coal seam in Junggar basin as an example [J]. Natu-



- ral Gas Industry, 2015, 35(3):30-35.
- [10] 孙粉锦, 李五忠, 叶建平, 等. 煤层气勘探开发技术新进展[M]. 北京:石油工业出版社, 2012:1-468.
- [11] 赵庆波, 孙粉锦, 李五忠. 煤层气勘探开发地质理论与实践[M]. 北京:石油工业出版社, 2011:1-337.
- [12] SCOTT A R, KAISER W R, AYERS W B. Thermogenic and secondary biogenic gases, San Juan Basin, Colorado and New Mexico; Implications for coalbed gas producibility [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(8):1186-1209.
- [13] FLORES R M. Coalbed methane: From hazard to resource[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 35:3-26.
- [14] AYERS W B. Coalbed gas systems, resources, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86:1853-1890.
- [15] DEISMAN N, GENTZIS T, CHALATUMYK R J. Unconventional geomechanical testing on coalbed reservoir well design: The Alberta Foothills and Plains[J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 75:15-26.
- [16] FAIZ M, MURPHY A, LIDSTROM U, et al. Geochemical and microbiological evidence for degradation of heavy hydrocarbons in Australian CBM reservoirs[A]. Proceedings of the Thirty Fourth International Geological Congress[C]. Brisbane, Australia, 2012.