



杨敏芳,孙斌,鲁静,等.准噶尔盆地深、浅层煤层气富集模式对比分析[J].煤炭学报,2019,44(S2):601-609.
doi:10.13225/j.cnki.jccs.2019.0100
YANG Minfang,SUN Bin,LU Jing et al.Comparative analysis on the enrichment patterns of deep and shallow CBM in
Junggar Basin[J].Journal of China Coal Society,2019,44(S2):601-609.doi:10.13225/j.cnki.jccs.2019.0100

移动阅读

准噶尔盆地深、浅层煤层气富集模式对比分析

杨敏芳¹ 孙斌¹ 鲁静² 田文广¹

(1.中国石油勘探开发研究院,河北廊坊 065007; 2.中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083)

摘 要:准噶尔盆地煤层气资源丰富,煤层气勘探获得了一定突破,但整体勘探程度低,深、浅层煤层气富集规律差异性大,为了探索深、浅层煤层气赋存的差异,合理地开发地下资源,通过对深、浅层煤层气的气源特征、地质条件、保存条件等方面的研究,分析了深、浅层煤层气赋存特征及成藏主控因素,建立了深、浅层煤层气成藏模式,提出了煤层气勘探方向。结果表明,浅层煤层气具有“生物气+热成因气+深部运移气”三气源补给特征,煤储层以大孔和过渡孔为主,煤层中除了吸附气外,还有大量的游离气,游离气平均占到了 36%,在褶皱构造的向斜部位和水动力滞留区富集成藏;深层煤层气具有“热成因气+深部运移气”两气源补给特征,西山窑组以游离气为主,占 60%以上,在构造高部位聚集成藏,八道湾组煤层和砂体叠置发育,都是天然气的有效储层,形成了吸附、游离共生气藏。初步认为在浅层开展煤层气吸附气勘探为主兼探游离气,深层西山窑组主要勘探煤层游离气,寻找岩性圈闭或构造圈闭,深层八道湾组开展“煤层气+砂岩气”共探共采,提高煤系资源利用率。

关键词:准噶尔盆地;气源类型;富集模式;煤层气;煤系气;立体勘探

中图分类号:P618.11 文献标志码:A 文章编号:0253-9993(2019)S2-0601-09

Comparative analysis on the enrichment patterns of deep and shallow CBM in Junggar Basin

YANG Minfang¹, SUN Bin¹, LU Jing², TIAN Wenguang¹

(1. Department of Unconventionals Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina Langfang 065007, China; 2. State Key Laboratory of Coal Resources and Safety Mining, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Coalbed methane (CBM) resources are abundant in Junggar Basin and some breakthroughs have been made in CBM exploration. However, the overall exploration level is low, besides there are great differences in the enrichment laws of deep CBM and shallow CBM. In order to find out the differences and more rational use of resources, this paper studied the source characteristics, geological conditions and preservation conditions of deep CBM and shallow CBM, analyzed the occurrence characteristics and main controlling factors of deep CBM and shallow CBM, and established the reservoir-forming model of deep CBM and shallow CBM, at last, pointed out the exploration direction. The results show that the shallow CBM has the characteristics of three gas sources replenishment, the gas sources are biogas, thermogenic gas and deep migration gas. Coal pore is dominated by macro pore and transitional pore. In addition to adsorbed gas, there is a large amount of free gas in coal seam, which accounts for 36% on average. Shallow CBM are accumulated in syncline of fold structure and hydrodynamic retention area. Deep CBM has the characteristics of two gas

收稿日期:2019-01-21 修回日期:2019-03-20 责任编辑:韩晋平

基金项目:“十三五”国家油气科技重大专项资助项目(2016ZX05041-004);国家自然科学基金资助项目(41472131,41772161)

作者简介:杨敏芳(1979—),女,河北保定人,工程师,博士。E-mail: yangmf69@petrochina.com.cn

sources replenishment. The two gases are the mogenic gas and deep migration gas. The Xishanyao Formation is dominated by free gas, accounting for more than 60% of the total, accumulated in the high part of the structure. Coal and sand of the Badaowan Formation are well developed, which are effective reservoir of natural gas, also forming an adsorption-free symbiotic gas reservoir. It is preliminarily considered that the exploration of adsorbed gas is the first, then explored the free gas in shallow strata. While in deep strata, the exploration of free gas in the Xishanyao Formation is mainly to search for lithologic traps or structural traps. The CBM and sandstone gas are explored together in the Badaowan Formation in order to improve the utilization rate of resources.

Key words: Junggar Basin; gas source type; enrichment model; CBM; coal system gas; stereoscopic exploration

我国新疆煤层气资源十分丰富,预测资源量为 9.51×10^4 亿 m^3 , 约占全国煤层气预测资源总量 (36.8×10^4 亿 m^3) 的 26%, 其中准噶尔盆地煤层气资源量最丰富,煤层含气量最高达 $15 m^3/t$ 以上,预测煤层气资源量为 3.83×10^4 亿 m^3 [1]。准噶尔盆地经过多期构造运动的改造,构造形态复杂多样,属于大型的复合叠加盆地 [2-3]。由于受到强烈挤压作用,逆冲推覆构造发育,致使准噶尔盆地煤层埋深变化很大,盆地南缘地层遭受推覆抬升,含煤地层出露地表,煤层埋深一般在 1 000 m 以浅;而盆地腹部煤层埋深相对较深为 900~5 400 m。虽然煤层埋

深差别很大,但在浅层的阜康地区和深层的白家海凸起煤层气勘探都见到良好的勘探效果,获得了工业气流。例如,2012—2013年,科林思德公司在阜康地区钻探井组 CSD01,煤储层埋深为 750 m,煤体破碎,现场解吸量在 $8 \sim 18 m^3/t$,经排采日产气量最高达 $17\,200 m^3/d$,显示出强劲的产气能力 [4]; 2005年新疆油田对深层白家海凸起彩 504 井进行压裂,压裂 2 567~2 583 m 井深段的西山窑组煤层,日产气稳定约 $7\,300 m^3$; 深层白家海凸起彩 17 井,压裂 2 811~2 828.8 m 八道湾组的煤层+砂岩段,日产气 $9\,890 m^3$ (图 1)。

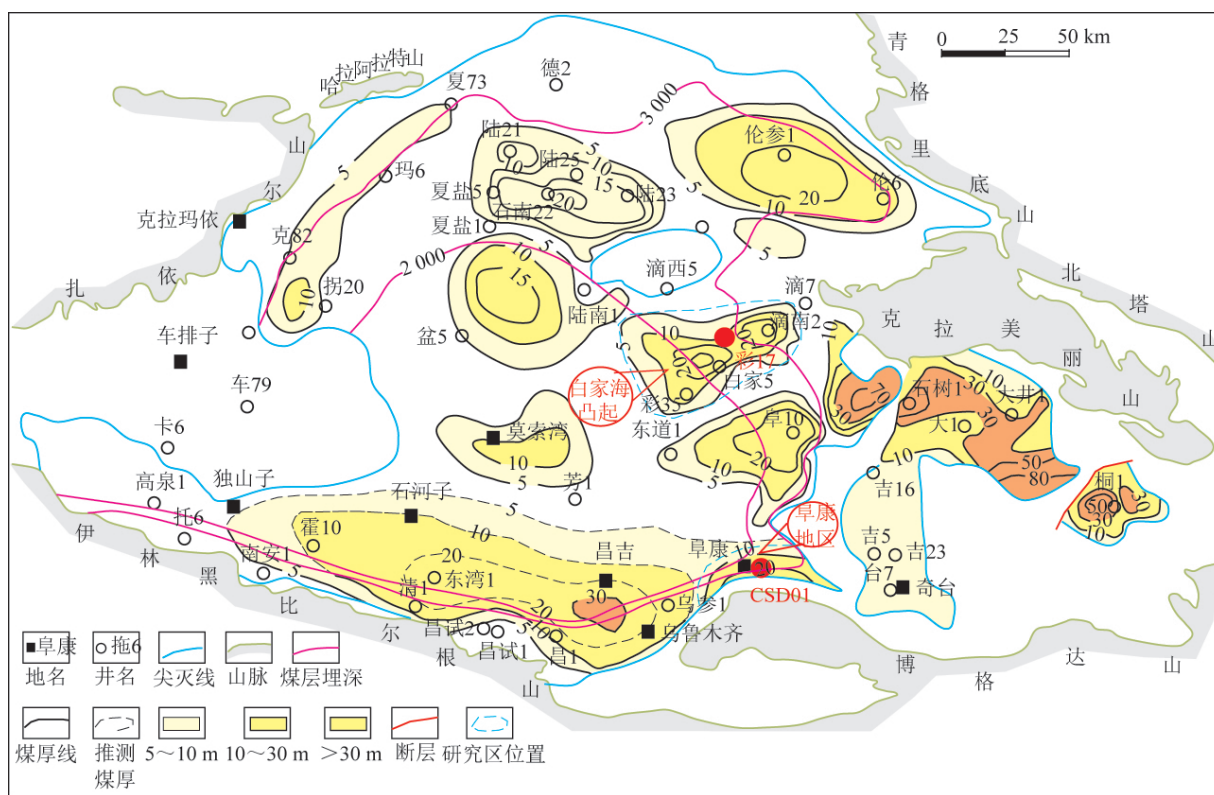


图 1 准噶尔盆地煤层气勘探有利区分布

Fig. 1 Distribution of favorable areas for CBM exploration in Junggar Basin

前人对该盆地煤层气成藏特征、主控因素、储层条件等进行研究,认为具备煤层气富集成藏的有利地质条件。然而由于该区深、浅层煤储层物性、气源、水

文地质和构造条件等存在较大差异,导致深、浅层煤层气富集规律的差异性大,其认识亟待进一步研究。笔者以准噶尔盆地浅层阜康地区和深层白家海凸起

为例, 主要从煤层气生气条件、储层条件、保存条件等方面深入研究, 对深、浅层煤层气的成藏富集模式进行对比分析, 提出煤层气的勘探方向。

1 煤层气储层特征

准噶尔盆地含煤地层为侏罗系八道湾组和西山窑组。

1.1 浅层阜康地区

阜康地区含煤地层为侏罗系西山窑组和八道湾组。八道湾组主要发育河流、沼泽相成煤环境, 煤层发育面积广, 厚度一般 10~50 m, 最厚 187 m, 煤层层数为 13~23 层, 可采层数 8~19 层^[5]。

煤岩类型以亮煤-半亮煤为主, 半暗煤次之; 煤岩显微组分以镜质组为主, 占 69.2%~92.2%; 惰质组和壳质组含量高是八道湾组煤岩的一大特征(表 1), 在雀儿沟、米泉等地煤中惰质组含量 22%~56.2%, 在水西沟煤矿壳质组含量达 25%, 有利于生油、生气。煤样镜质体反射率 R_o 为 0.45%~0.9%, 处于褐煤、长焰煤和气煤演化阶段, 随着埋藏越深, 煤岩热演化程度越高。八道湾组原煤灰分含量一般为 12.23%~20.18%, 属低-中灰煤, 煤的发热量均大于 33 MJ/kg, 属高发热煤; 西山窑组原煤灰分含量为 11.65%~21.84%, 属低-中灰煤^[6-7]。

表 1 阜康地区煤矿样品显微组分含量

Table 1 Macerals of coal mine samples in Fukang area %

剖面	层位	镜质组	惰性组	壳质组
水西沟	J ₁ b	72.0	3.0	25.0
大黄山	J ₁ b	80.0	14.0	6.0
五宫	J ₁ b	93.3	4.0	2.7
三工河	J ₁ b	76.0	22.0	2.0
米泉	J ₁ b	52.4	45.2	2.4
碱沟	J ₁ b	70.0	25.0	5.0
苇湖梁	J ₁ b	92.5	2.5	5.0
雀儿沟	J ₁ b	41.3	56.2	2.5

煤体结构以原生结构煤为主, 其次为碎裂煤, 煤层裂隙较发育, 裂隙密度多达 250 条/m, 裂隙多为开放性, 宽度最大超过 0.5 mm。准噶尔盆地埋深大于 1 500 m 的地区渗透率一般小于 $1 \times 10^{-15} \text{ m}^2$, 而南缘煤岩渗透性相比盆地其他地区较好, 存在一些渗透率较高的地区。例如, 昌试 1 井在 1 061.61~1 061.91 m 深度段测试渗透率为 $23.2 \times 10^{-15} \text{ m}^2$, 昌试 2 井在 1 015.31~1 015.56 m 深度段测试渗透率为 $20.5 \times 10^{-15} \text{ m}^2$, 阜煤 1 井 42 号主力煤层渗透率最高达 $7.3 \times 10^{-15} \text{ m}^2$, 对比美国煤层气开发最成功的圣

胡安盆地渗透率 $5 \sim 15 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ 范围来说, 阜康地区存在煤层渗透性、物性较好的有利于形成较高产量的煤层气藏甜点区。

1.2 深层白家海凸起

白家海凸起主要含煤地层为侏罗系八道湾组和西山窑组, 含煤面积为 $3 682 \text{ km}^2$, 其中八道湾组发育 1~2 层煤, 单层厚度大于 6 m, 平均厚度约 10 m, 且全区分布稳定, 富煤中心位于彩 49 井区, 呈环带状分布, 如图 2(a) 所示; 西山窑组发育 2~5 层, 煤层厚度介于 5~20 m, 平均煤厚 8.3 m, 总体呈北东向展布, 东南厚西北薄。白家海凸起整体上呈一向西南倾斜的单斜构造形态, 构造相对平缓, 发育雁行式排列的小断层^[8], 煤层埋深为 1 000~5 500 m, 如图 2(b) 所示。西山窑组煤层比八道湾组煤层埋藏浅 300~500 m。

2012 年 7 月, 新疆油田在白家海凸起钻探白家 8 井, 通过密闭取芯在西山窑组底部取得煤芯样品 2 个, 编号 BJ8-1-1 和 BJ8-2-1。对此样品进行煤岩显微组分测试, 以镜质组为主, 含量为 66.5%~67.7%, 平均含量 67.1%, 惰质组平均含量为 23.15%, 壳质组平均含量为 8.45%, 少量黏土矿物质(表 2); 镜质组最大反射率 R_o 0.84%~0.85%; 煤岩灰分产率 2.99%~5.49%, 水分 5.04%~5.07%, 挥发分为 29.30%~31.33%, 为特低灰、低水分、中高挥发性煤, 属于优质煤层气储层^[9]。

2 浅、深层煤层气气源特征

2.1 浅层煤层气气源特征

(1) 浅层阜康地区煤岩扫描电镜实验中, 发现煤体上有大量的后生气孔发育(图 3), 表明煤岩本身有气体生成。煤岩镜质组占 69.2%~92.2% 且壳质组含量也普遍较高。据煤岩热模拟实验, 显微组分成烃效率比约为类脂组: 镜质组: 惰质组 = 3: 1: 0.71, 产烃能力比约为 3.3: 1: 0.8^[10-11], 煤储层生气条件好。另外, 煤的演化程度 R_o 为 0.52%~0.75%, 达到生气门限。说明浅层能够形成大量的自身热成因气。

(2) 阜康地区近临天山山脉, 由于天山雪水的大量补给, 地表河流发育, 地下水的矿化度 $< 0.5 \text{ g/L}$, 水型为 HCO_3-Na , 具备微生物生存的条件。阜康地区甲烷碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-26.18\text{‰} \sim -75.40\text{‰}$, 阜煤 1 井 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-59.7\text{‰} \sim -46.0\text{‰}$, 戴金星^[12-13]、SCHOE-LL^[14] 和胡国艺等^[15] 把甲烷碳同位素值($\delta^{13}\text{C}_1$) 作为划分生物气和热成因气的指标, 认为生物成因气甲烷碳同位素普遍偏轻, 指出 $\delta^{13}\text{C}_1 < -55\text{‰}$ 为生物成

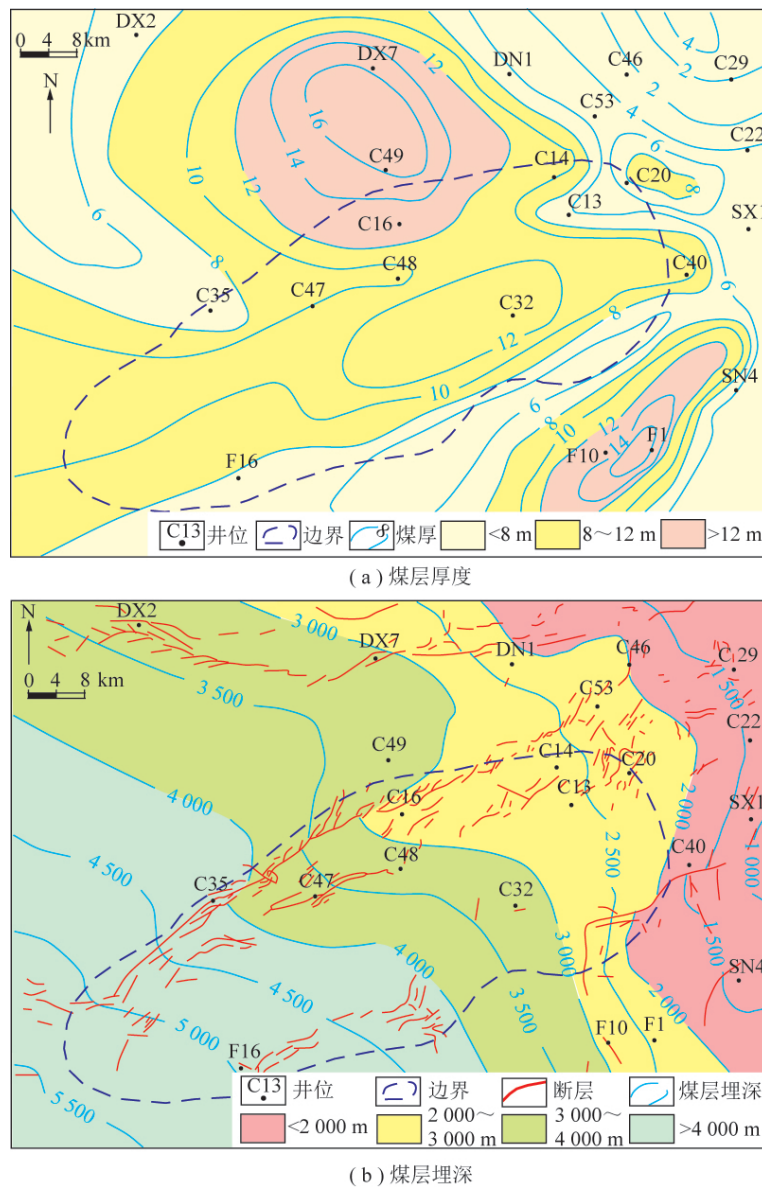


图2 白家海凸起八道湾组煤层厚度和煤层埋深分布

Fig. 2 Coal seam thickness and buried depth isoline of Badaowan Formation in Baijiahai dome

表2 白家8井煤岩显微组分含量定量测定成果

Table 2 Maceral percentage quantitative measurement results of well BJ8

样号	镜质组						惰质组						壳质组						矿物
	T	C1	C2	C3	C4	VD	SF	F	Mi	Ma	Scl	ID	Sp	Cu	Re	Ba	Fl	ED	
BJ8-1-1	58.8	—	6.6	—	2.3	—	4.5	7.2	3	—	1	6.2	2.5	1	—	—	—	5.9	1.0
BJ8-2-1	52.3	—	8.2	3.5	2.5	—	4	8.6	2.3	2	—	7.5	2	—	—	—	—	5.5	1.6

注: T—结构镜质体; C1—均质镜质体; C2—基质镜质体; C3—团块镜质体; C4—胶质镜质体; VD—碎屑镜质体; SF—半丝质体; F—丝质体; Mi—微粒体; Ma—粗粒体; Scl—菌类体; ID—碎屑惰质体; Sp—孢子体; Cu—角质体; Re—树脂体; Ba—藻类体; Fl—荧光体; ED—碎屑壳质体; M—矿物。

因气。由煤层气成因识别图版图4(a)可知,阜康地区煤层气以生物成因气为主,其次为次生热成因气。这表明阜康地区煤层气存在生物气补给。

(3) 准噶尔盆地南缘发育阜康断裂和妖魔山北

断裂等逆冲深大断裂,连通了深部的烃源岩和较浅部的煤层或砂岩储层,深部的烃源岩厚度为100~900 m,处于高成熟-过成熟阶段^[16-17],TOC含量为0.23%~9.13%,已进入生烃门限。南缘大部分常规

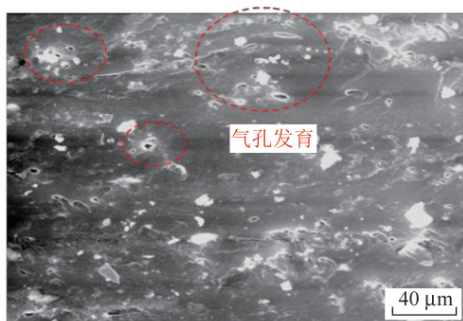


图 3 阜康地区煤岩扫描电镜

Fig. 3 Scanningelectron microscope of coal in Fukang Area

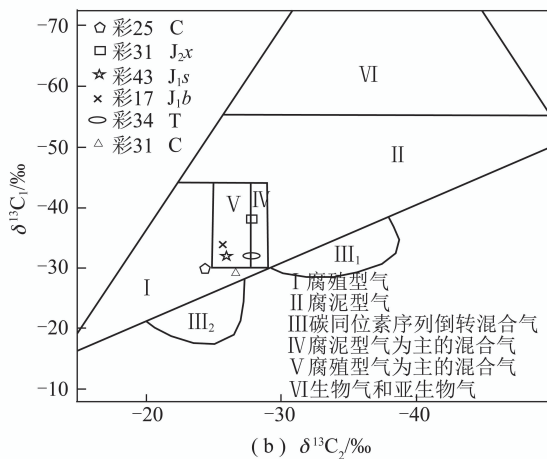
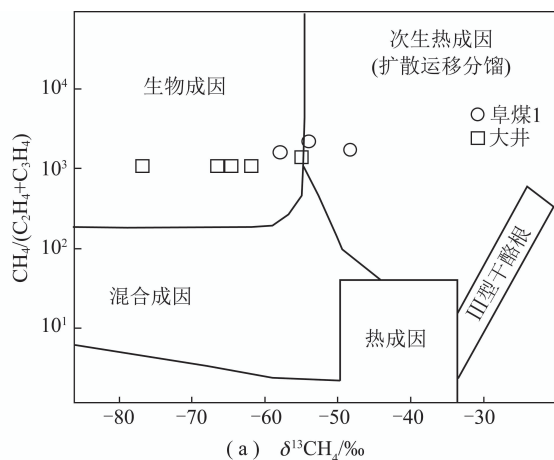


图 4 天然气成因识别图版

Fig. 4 Genesis recognition plate of natural gas

天然气为腐殖型气,因此推断深部气体沿断层通道向上运移至煤层或砂岩成藏。

综上所述,准噶尔盆地浅层煤层气具有自身热成因气、晚期生物气、深部运移气三大气源补给。

2.2 深层煤层气气源特征

(1) 深层白家海凸起侏罗系煤阶呈“喇叭状”分布规律。纵向煤岩热演化程度随埋深的增加而增大,平面煤岩热演化程度等值线呈北西向展,这一分布格局与煤层埋深等值线分布特征类似,指示煤岩热演化

受深层热变质作用控制显著^[18]。煤岩热演化程度 R_o 为 0.52%~1.05%,是长焰煤-肥煤演化阶段,达到生气门限能够生成热成因气。白家 8 井煤层气甲烷碳同位素 $\delta^{13}C_1$ 值为 -34.5‰~-35.0‰,彩 504 井和彩 17 井煤层气甲烷碳同位素值 $\delta^{13}C_1$ 为 -28.13‰~-26.13‰ $\delta^{13}C_1$ 总体偏重,以热成因气为主。

(2) 深层白家海凸起煤储层下伏地层也发育多套烃源岩,有机碳含量 TOC 为 0.61%~9.13%,具备生成烃的条件。构造上发育白家海深大断裂,沟通了石炭二叠系至侏罗白垩系地层,提供了气体运移通道。戴金星、方祖康等^[19-21]以 $\delta^{13}C_2$ 作为划分油型气和煤型气指标 $\delta^{13}C_2$ 大于 -28.8‰为煤型气 $\delta^{13}C_2$ 小于 -28.8‰为油型气(亦称腐泥型天然气)。白家海凸起天然气乙烷碳同位素为 -30.0‰~-24.2‰,总体偏重,以煤型气为主,混入一定量的二叠系原油伴生气,具有混合气特征,如图 4(b) 所示。

3 煤层气富集模式及勘探方向

3.1 浅层煤层气富集模式

(1) 阜煤 1 井是中国石油新疆油田公司在准噶尔盆地部署的第 1 口煤层气探井^[22],阜煤 1 井排采曲线如图 5 所示。由图 5 可知,在对 705~711 m 深度段的煤层进行压裂后,出现了自喷现象,煤层产气量突然上升到 1380 m³/d,排采 1 个月后,产气量出现下降趋势,最后产气量稳定在 100 m³/d。阜煤 1 井的排采曲线符合游离气产气特征,说明煤层中存在一定量的游离气。从阜康白杨河矿区的孔渗特征来看(表 3),八道湾组煤储层的孔渗特征以大孔和过渡孔为主,大孔平均占 22.9%,过渡孔平均占 41%,为游离气提供了存储空间。游离气气体方程:

$$C_y = \Phi p K S \quad (1)$$

式中 C_y 为游离气含量 m³/t; Φ 为游离气有效孔隙体积 m³/t; p 为气体压力,MPa; K 为气体压缩系数,

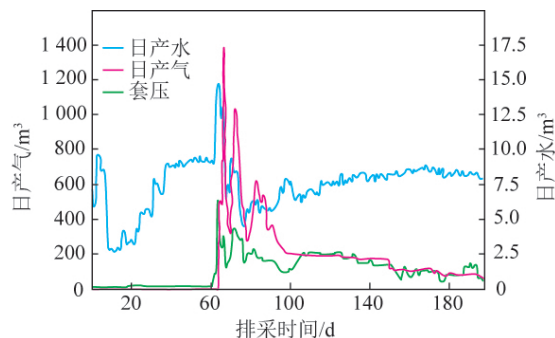


图 5 阜煤 1 井排采曲线

Fig. 5 Drainage curve of Fumei 1 Well

MPa⁻¹; S 为游离气含气饱和度, %。

表 3 阜康白杨河矿区八道湾组煤层孔隙度统计
Table 3 Statistical table of coal porosity of Badaowan Formation in Baiyanghe Mining Area, Fukang %

煤层号	大孔	中孔	过渡孔	微孔
39	28.4	11.2	38.5	21.9
40	18.9	18.0	40.6	22.5
41	26.0	13.0	43.2	17.8
42	22.5	10.7	42.6	24.3
43	25.2	18.9	39.1	16.8
44	16.6	21.3	42.4	19.8
平均值	22.9	15.5	41.0	20.5

由式(1)计算可得浅部阜康地区煤层中游离气能够占到气体总量的 26.50%~52.05%,平均 36%,游离气资源量较丰富。

(2)构造特征对煤层气的富集有一定的影响。淮南头屯河至乌鲁木齐段构造形态呈东北向展布,发

育小渠子断层、西山逆断层和头屯河向斜、桌子山背斜、郝家沟背斜、阿什里向斜。煤层含气量从西南向东北由 0.1 m³/t 升高到 5.3 m³/t,呈增高趋势,在头屯河向斜的北翼西山逆断层附近含气量最高(图 6)^[23]。褶皱构造的向斜部位利于煤层气的富集,逆断层起阻止气体逸散作用且改善了煤储层物性,利于煤层气成藏。

(3)地下水的控气特征主要为水压控气,高矿化度中心和低水位的汇水洼地是煤层气的富集区域。本文以硫磺沟水文特征为例,分析水文地质特征对煤层气富集影响。硫磺沟地区地下水沿地层倾斜由南向北向斜核部汇聚,水的矿化度由 5 719.94 mg/L 增加到 9 634 mg/L,氯离子浓度由 1 488.55 mg/L 增加到 5 719.94 mg/L,而煤层甲烷含量由 0.418 mL/g 增加到 1.459 mL/g^[24]。在弱径流区和滞留区煤层含气量较高,说明高矿化度弱径流区和水动力滞留区是煤层气富集成藏的有利区。

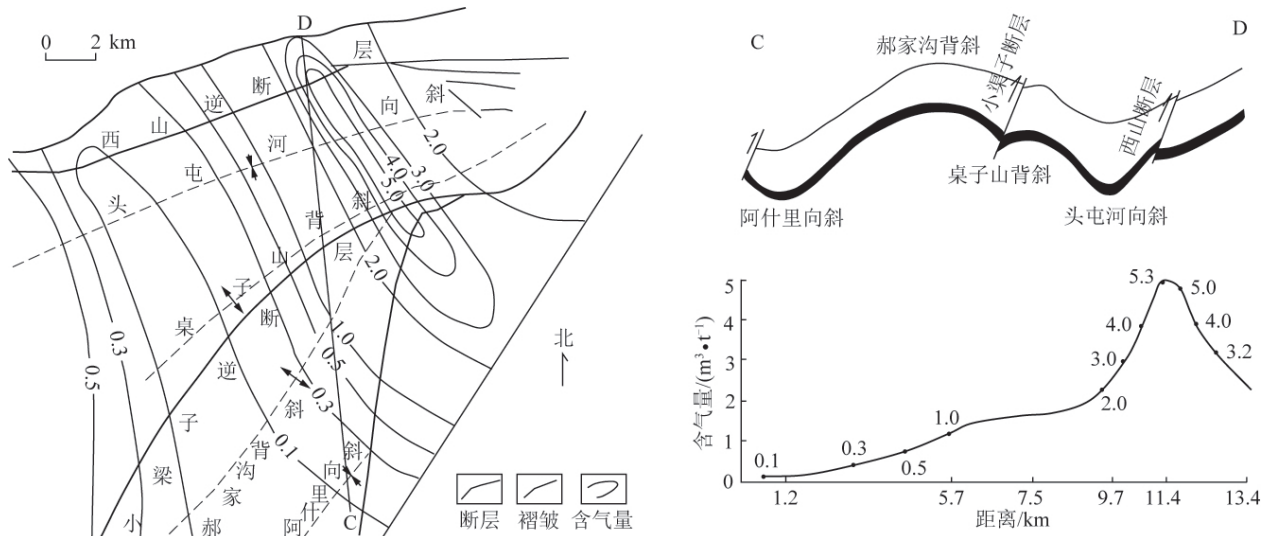


图 6 构造形态与煤层含气量的关系示意^[23]

Fig. 6 Schematic diagram of relationship between structural morphology and Coalbed methane content^[23]

(4)从阜康地区构造特点、水文地质、煤储层特征及气源等方面分析得出:浅部阜康地区煤层中不仅有自身热成因气和生物气,还有深部运移气的补给,使得阜康地区煤层具有高含气、高饱和度的特点,以游离气或吸附气的形态存在煤储层中,在褶皱构造向斜部位及高矿化度弱径流区-水动力滞留区等有利部位富集成藏。综合分析,提出阜康地区“三气源+构造+水动力”富集模式。

3.2 深层煤层气富集模式

(1)白家海凸起白 8 井西山窑组煤层含气量实测数据为 14.73 m³/t,等温吸附实验预测含气量为

6.79 m³/t,含气饱和度高达 217%。彩 504 井 2 567~2 583 m 深度段西山窑组煤层压裂后,出现了自喷现象,抽汲 2 d 后,煤层开始产气,日产气稳定在 7 300 m³左右。彩 504 井具有游离气产气特征,说明西山窑组煤层中存在一定量的游离气。通过游离气体方程计算,西山窑组煤层中游离气能够占到 60%以上,游离气资源量很丰富。

西山窑组煤层气地质条件好,煤层上部发育湖泊相沉积环境,顶板以泥岩为主盖层条件好,构造为一向西南方向倾斜的单斜构造形态,北部发育一系列呈雁行式排列的小断层,煤层渗透性较好。气测显示普

遍活跃,气测高值主要分布在北部构造高部位。说明西山窑组的煤层气主要在地质条件优越的构造高部位聚集,除了自身烃源岩生气储存外,部分深部烃源

岩生产的气体沿断层和不整合面运移至煤层存储,形成以自生自储为主、下生上储为辅的游离气为主的煤层气系统成藏模式(图7)。

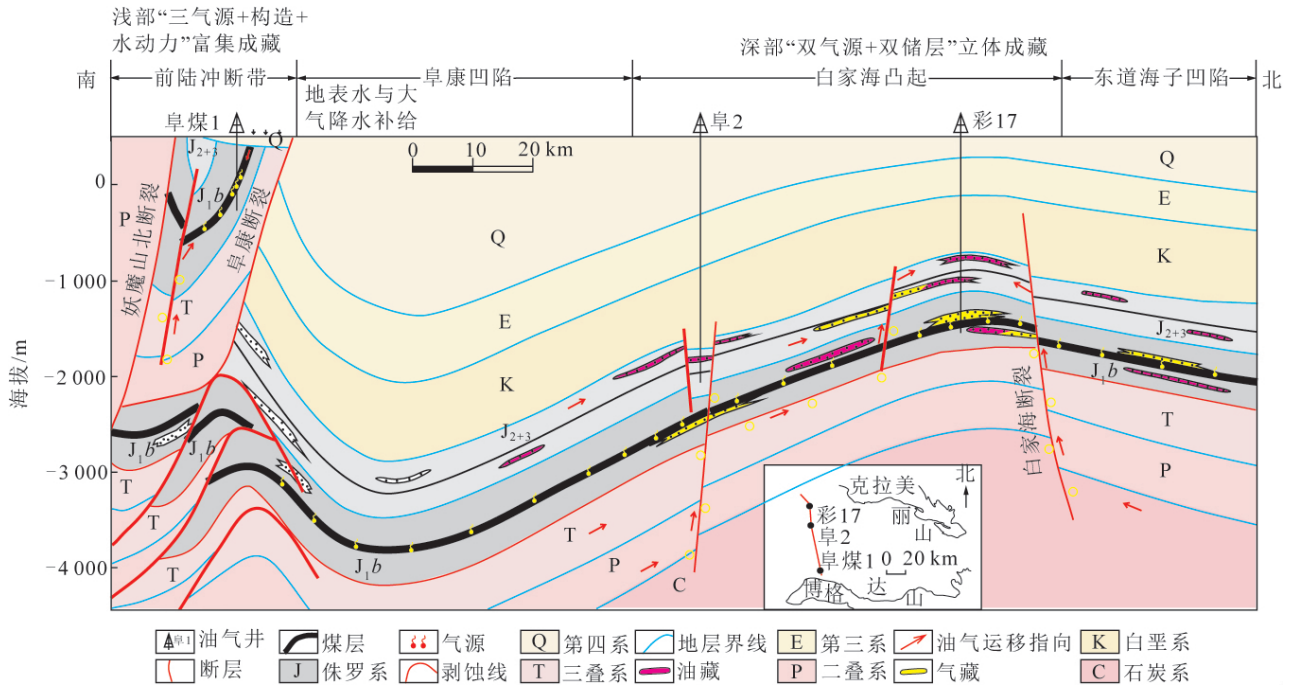


图7 准噶尔盆地深、浅层煤层气成藏模式

Fig. 7 Formation model of deep and shallow Coalbed Methane reservoirs in Junggar Basin

(2) 白家海凸起八道湾组主要发育辫状河三角洲沉积环境,煤层全区发育稳定,发育1~2层煤,煤厚2~16 m,煤层顶底板砂体也比较发育,砂体厚度20~50 m,平均厚度约为35 m,砂体展布形态受控于辫状河道的摆动。据金博等^[25]研究认为八道湾组砂岩储层以岩屑砂岩为主,成分成熟度低,分选度好,结构成熟度高,常见次生岩屑溶蚀作用,以粒内溶孔和粒间溶孔为主,为气体的存储提供了存储空间。区域性封盖层为八道湾组上部广泛发育的前三角洲泥岩,泥岩厚度5~45 m,平均厚度约20 m,有利阻止了气体向上运移,封盖性好。八道湾组煤层整体呈一向西南倾斜的单斜,埋深从东部1 000 m往西至5 500 m,近北西—南东向展布,构造相对平缓。八道湾组煤层除自身生气储存成藏外,部分气体向上或向下砂岩中短距离运移并成藏,加上深部烃源岩生成的气体沿断层运移至八道湾组煤系储层组合中成藏。据八道湾组主力煤层及顶板砂体的气测分析,气测异常明显,煤层气测异常高达80%以上,砂体气测异常在30%以上。八道湾组存在自生自储、外生内储、内生外储等多种成藏模式,煤层与顶底板砂体构成同一含气系统,形成了“双气源+双储层”共生气藏,如图7所示。

3.3 深、浅层煤层气勘探方向

由于我国准噶尔盆地深、浅层煤层气赋存状态、气体来源、储层物性等存在较大差异,因此针对各自的煤层气富集成藏特点,提出了不同的煤层气勘探思路。

我国准噶尔盆地浅层煤层演化程度低,属于中低煤阶,加上周围高山雪水的补给,为生物气的生成提供有利的地质条件。浅层煤层中除了自身生成的气外,还有生物成因气和深部烃源岩产生的天然气运移到煤层的热成因气,具有多气源供给,气体在适宜的构造部分水动力滞留区富集成藏。因此要寻找气源充足、空间和构造有很好配置关系的高含气、高饱和度煤层气藏进行煤层气勘探。浅层煤层中除了吸附气外还存在大量的游离气,可采取常规天然气的选区评价与煤层气勘探评价相结合的办法,寻找盖层条件好、断层不发育的相对封闭区进行煤层气勘探。

深层西山窑组和八道湾组煤层气的存储特征也存在差异。西山窑组主要发育湖泊相沉积环境,砂体不太发育,煤层气存储状态以游离气为主,吸附气为辅,游离气含量能够达60%以上。因此,应开展先游离气后吸附气的煤层气勘探思路,按常规天然气的选区评价方法,寻找构造圈闭,优选储层物性好、盖层条件好、构造高部位进行煤层中游离气的勘探。八道湾

组发育辫状河三角洲相,煤系中的煤层和砂体都较发育,煤层和砂体在空间上配置合理,砂岩储集能力强,具备煤层气及煤系致密气协同开发的基本条件;八道湾组煤层和砂体为同一的含气系统,为游离气和吸附气互动性气藏,若仅开展煤层气的勘探,往往导致资源严重浪费,投资成本高。为了能有效节约勘探成本,提高天然气资源的整体勘探进度^[26-28],应开展“煤层气+砂岩气”立体勘探,寻找气源充足、煤系储层物性好的岩性圈闭或构造圈闭进行统筹勘探部署。

总之,针对我国深、浅层煤层气成藏特点,采用不同的勘探思路,使煤系资源最大限度地得到合理地开发利用。

4 结 论

(1) 准噶尔盆地煤层气资源丰富,深、浅层煤层气勘探也获得了一定勘探效果。深层含煤面积大,煤层气勘探程度低,需要深入研究深层煤层气富集规律,为煤层气战略选区寻找有利接替区块。

(2) 准噶尔盆地浅层阜康地区煤层气 $\delta^{13}C_1$ 为 $-26.18‰ \sim -75.40‰$,是混合成因气,此外还有深部烃源岩生产的气运移至煤层,因此浅层具有“生物气+热成因气+深部运移气”三气源补给特征,气源充足,煤层气含量高、饱和度高。煤层的孔隙以大孔和过渡孔为主,为游离气提供了存储空间,游离气平均为 36%。浅层煤层气成藏受构造和水文等地质条件控制,在褶皱构造向斜部位—水动力滞留区富集成藏。

(3) 深层白家海凸起具有自生热成因气和深部运移气双气源补给特征。西山窑组煤层中游离气占到 60% 以上,主要为热成因气,在地质条件优越的构造高部位聚集,形成以自生自储为主、下生上储为辅的游离气为主的煤层气成藏模式。八道湾组发育辫状河三角洲沉积环境,煤层和砂体都较发育,煤层与顶底板砂体构成同一含气系统,形成了“双气源+双储层”吸附、游离共生气藏。

(4) 针对深、浅层煤层气富集成藏特点,开展不同的勘探思路。浅层以煤层吸附气勘探为主兼探煤层游离气;深层西山窑组煤层以游离气为主,寻找岩性圈闭或构造圈闭,采取常规天然气的选区评价与煤层气勘探评价相结合的办法,寻找有利目标区;深层八道湾组应开展“煤层气+砂岩气”立体勘探,能够有效地节约勘探成本,提高天然气资源的整体勘探进度。

参考文献(References):

[1] 新疆煤田地质局.新疆维吾尔自治区煤层气产业现状[R].新疆

煤田地质局,2014.

- [2] 吴庆福.准噶尔盆地构造演化与找油领域[J].新疆地质,1986,4(3):1-19.
WU Qingfu.Structural evolution and prospects of Junggarbasin[J].Xinjiang Geology,1986,4(3):1-19.
- [3] 陈业全,王伟锋.准噶尔盆地构造演化与油气成藏特征[J].石油大学学报(自然科学版),2004,28(3):4-8
CHEN Yequan,WANG Weifeng.Structural evolution and pool-forming in JunggarBasin[J].Journal of the University of Petroleum(Natural Science Edition),2004,28(3):4-8.
- [4] 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.
CHEN Zhenhong,MENG Zhaoping,ZENG Liangjun.Formation mechanism and enrichment patterns of middle-low rank coal-bed methane in Southern Junggar Basin,China[J].Journal of China Coal Society,2017,42(12):3203-3211.
- [5] 彭文利,薛冽,胡斌,等.准噶尔盆地东部煤层气地质特征及有利区优选[J].非常规油气,2015,2(5):7-12.
PENG Wenli,XUE Lie,HU Bin,et al.CBM geological characteristics and favorable zone optimization in eastern junggar basin[J].Unconventional Oil and Gas,2015,2(5):7-12.
- [6] 尹淮新.新疆阜康煤矿区煤层气资源勘探前景及开发建议[J].中国煤层气,2009,6(2):16-18.
YIN Huaixin.Prospect of exploration of CBMresources in Fukang-coal mining area in Xinjiang andrecommendations on its development [J].China Coal Bedmethant,2009,6(2):16-18.
- [7] 况昊,瞿建华,王振奇,等.白家海凸起—阜北斜坡八道湾组储层特征研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2012,34(2):29-36.
KUANG Hao,QU Jianhua,WANG Zhenqi,et al.Study on reservoir characteristics in Badaowan Formation,Baijiahai uplift-FubeiSlope [J].Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition),2012,34(2):29-36.
- [8] 薛冽,彭文利,巴登其其格,等.准噶尔盆地白家海凸起煤层气成藏条件及有利区预测[A].2014年全国煤层气学术研讨会论文集[C].北京:石油出版社,2014:203-210.
- [9] 孙斌,杨敏芳,杨青,等.准噶尔盆地深部煤层气赋存状态分析[J].煤炭学报,2017,42(S1):195-202.
SUN Bin,YANG Minfang,YANG Qing,et al.Analysis on occurrence state of deep coalbed methane in Junggar basin[J].Journal of China Coal Society,2017,42(S1):195-202.
- [10] 刘德汉,张惠之,戴金星,等.煤岩显微组分的成烃实验研究与评价[J].科学通报,2000,45(4):346-352.
LIU Dehan,ZHANG Huizhi,DAI Jinxing,et al.Experimental study and evaluation of hydrocarbon formation of coal rock microcomponents[J].Scientific Briefings,2000,45(4):346-352.
- [11] 傅家谟.天然气的成因与评价[J].天然气工业,1987,7(4):7-11.
FU Jiamo.Origin of natural gas and its evaluation[J].Natural Gas Industry,1987,7(4):7-11.
- [12] 戴金星.各类烷烃气的鉴别[J].中国科学B辑:化学,1992,22(2):185-193.
DAI Jinxing.The identification of all kinds of alkane gas[J].Sci-

- ence in China Series B: Chemistry, 1992, 22(2): 185-193.
- [13] 戴金星. 中国煤成大气田及气源[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 266-285.
- [14] SCHORLL M. Genetic characterization of natural gases [J]. Organic Geochemistry, 2006, 37(10): 2200-2238.
- [15] 胡国艺, 李剑, 李谨, 等. 判识天然气成因的轻烃指标探讨[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(S): 111-117.
HU Guoyi, LI Jian, LI Jin, et al. Preliminary study on the origination of natural gas by the parameters of light hydrocarbon [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 37(S): 111-117.
- [16] 龚德瑜, 蓝文芳, 向辉, 等. 准噶尔盆地东部地区天然气地化特征与成因来源[J]. 中国矿业大学学报, 2018, 48(1): 121-131.
GONG Deyu, LAN Wenfang, XIANG Hui, et al. Genetic types and origins of natural gases from the eastern Junggar basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2018, 48(1): 121-131.
- [17] 陈建平, 王绪龙, 邓春萍, 等. 准噶尔盆地烃源岩与原油地球化学特征[J]. 地质学报, 2016, 90(1): 37-67.
CHEN Jianping, WANG Xulong, DENG Chunping, et al. Geochemical features of source rocks and crude oil in the Junggar basin, northwest China [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(1): 37-67.
- [18] 陈刚, 秦勇, 胡宗全, 等. 准噶尔盆地白家海凸起深部含煤层气系统储层组合特征[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 80-86.
CHEN Gang, QIN Yong, HU Zongquan, et al. Characteristics of reservoir assemblage of deep CBM-bearing system in Baijiahai dome of Junggar Basin [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 80-86.
- [19] 戴金星. 利用轻烃鉴别煤成气和油型气[J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(5): 26-32.
DAI Jinxing. Identification of coal formed gas and oil type gas by light hydrocarbons [J]. Petroleum Exploration and Development, 1993, 20(5): 26-32.
- [20] 方祖康, 庞雄奇, 高春文. 煤型气和油型气的概念及类型划分[J]. 天然气工业, 1988, (1): 13-18.
FANG Zukang, PANG Xiongqi, GAO Chunwen. Idea of Coal-Formed gas and oil-related gas and their classification [J]. Natural Gas Industry, 1988, (1): 13-18.
- [21] 戴金星, 宋岩, 等. 鉴别煤成气的指标, 煤成气地质研[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [22] 王屿涛, 刘如, 汪飞, 等. 准噶尔盆地煤层气产业化对策[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(5): 81-88.
WANG Yutao, LIU Ru, WANG Fei, et al. Strategy of CBM Industrialization in Junggar Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20.
- [23] 晋香兰. 准噶尔盆地、河西走廊地区煤层气成藏富集规律研究及有利区块优选[R]. 西安: 中煤科工集团西安研究院有限公司, 2015.
- [24] 魏迎春, 张强, 王安民, 等. 准噶尔盆地南缘煤系水矿化度对低煤阶煤层气的影响[J]. 煤田地质与勘探, 2016, 44(1): 31-37.
WEI Yingchun, ZHANG Qiang, WANG Anmin, et al. The influence of the salinity of groundwater in coal measures on low rank coal-bed methane in the south margin of Junggarbasin [J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(1): 31-37.
- [25] 金博, 韩军, 姜淑云, 等. 储层临界物性对岩性圈闭油气成藏的意义——以准噶尔盆地东部白家海凸起侏罗系储层为例[J]. 西安石油大学学报, 2012, 27(3): 1-7.
JIN Bo, HAN Jun, JIANG Shuyun, et al. Control of critical physical properties of reservoir to the hydrocarbon accumulation in lithological traps: Taking Jurassic of Baijiahai uplift in the eastern Junggar Basin as an example [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2012, 27(3): 1-7.
- [26] 李辛子, 王运海, 姜昭琛, 等. 深部煤层气勘探开发进展与研究[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 24-31.
LI Xinzi, WANG Yunhai, JIANG Zhaochen, et al. Progress and study on exploration and production for deep coalbed methane [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 24-31.
- [27] 易同生, 高为. 六盘水煤田上二叠统煤系气成藏特征及共探共采方向[J]. 煤炭学报, 2018, 43(6): 1553-1564.
YI Tongsheng, GAO Wei. Reservoir formation characteristics as well as co-exploration and co-mining orientation of Upper Permian coal bearing gas in Liupanshui Coalfield [J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(6): 1553-1564.
- [28] 秦勇, 吴建光, 申建, 等. 煤系气合采地质技术前缘性探索[J]. 煤炭学报, 2018, 43(6): 1504-1516.
QIN Yong, WU Jianguang, SHEN Jian, et al. Frontier research of geological technology for coal measure gas joint-mining [J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(6): 1504-1516.