



移动扫码阅读

贾秉义,晋香兰.鄂尔多斯盆地南北部侏罗系煤层含气性差异分析[J].煤炭科学技术,2019,47(4):193-198.

doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.04.032

JIA Bingyi, JIN Xianglan. Analysis of gas bearing property difference of Jurassic coal between Southern and Northern Ordos Basin[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(4): 193-198. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.04.032

鄂尔多斯盆地南北部侏罗系煤层含气性差异分析

贾秉义,晋香兰

(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710077)

摘要:为了弄清造成鄂尔多斯盆地南北部侏罗系煤层含气性差异的主要原因,以盆地内煤层含气量与含气饱和度为基础,从煤层的生气能力、构造运动、水文地质条件与煤层顶底板岩性特征等 4 个方面进行了分析研究。结果表明,侏罗系煤层在盆地北部保存完整但含气性较差、南部保存不完整但含气性较好。南部煤层热演化程度较北部高,生气强度大,盆地南部地层水矿化度较盆地北部高,地下水动力条件较弱,有利于煤层气的富集和保存,而盆地南北部主要煤层顶底板岩性主要以泥岩为主,顶底板岩性对煤层气的富集影响大致相同。综合分析认为,影响鄂尔多斯盆地南北部侏罗系煤层含气性差异的主要因素是水文地质条件、构造运动和生气能力。

关键词:煤层含气性;侏罗系;构造运动;生气能力;水文地质条件;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TD712;P618

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)04-0193-06

Analysis of gas bearing property difference of Jurassic coal between Southern and Northern Ordos Basin

JIA Bingyi, JIN Xianglan

(Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to find out the main reasons for the difference of gas bearing property of Jurassic coal seam in the northern and southern Ordos Basin, based on the gas content and gas saturation of coal seam in the basin, from the four aspects of the coal seam's gas generating capacity, tectonic movement, hydrogeological conditions and lithologic characteristics of roof and floor of coal seam, the analysis and research are carried out. The results show that Jurassic coal seam is intact in the northern part of the basin, but has poor gas content, the southern part is incomplete but has good gas content. The degree of thermal evolution of the coal seam in the south is higher than that in the north, and the gas intensity is strong, the mineralization degree of formation water in the southern part of the basin is higher than that in the northern part of the basin, and the dynamic condition of groundwater is weak, which is favorable for the enrichment and preservation of coalbed methane. The roof and floor of the main coal seam in the north and south of the basin is mainly mudstone, and the influence of them on coalbed methane is almost the same. The comprehensive analysis shows that the main factors affecting the gas-bearing difference of the Jurassic coal seam in the northern and southern Ordos Basin are hydrogeological conditions, tectonic movement and vitality.

Key words: gas bearing property; Jurassic; tectonic movement; gas generating potential; hydrogeological conditions; Ordos Basin

0 引言

鄂尔多斯盆地是一个周缘被造山带或构造活动带围限的世界级能源盆地,发育有石炭二叠系、三叠

系、侏罗系等含煤地层,其中侏罗系含煤地层在盆地内广泛分布,含煤 10~15 层,煤层总厚度 5~48 m,可采及局部可采煤层 5~8 层,单层厚度 0~9 m,累计厚度多为 5~10 m,最大超过 30 m^[1]。全盆地划

收稿日期:2018-11-15;责任编辑:王晓珍

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-002-001,2016ZX05045-002-002)

作者简介:贾秉义(1988—),男,山西朔州人,助理研究员。E-mail:jiabingyi@cctegxian.com

通讯作者:晋香兰(1976—),女,山西运城人,研究员,博士。E-mail:jinxianlan@cctegxian.com

分为15个煤田,其中石炭二叠系7个、三叠系1个、侏罗系7个^[2]。目前针对侏罗系煤层气进行勘探开发的区域主要集中在盆地南部的彬长、焦坪等地,且开发效果较盆地北部的乌审旗等地好。煤层含气性是煤层气富集的基础条件,是决定煤层气勘探开发前景的核心因素,弄清煤层含气性分布特征及其影响地质因素,对煤层气有利区块选取,开发工程部署等具有重要意义。煤层含气性与煤层的生气能力、储集能力、保存条件等密切相关。鄂尔多斯盆地侏罗系煤层变质程度整体较低,煤层吸附性能较弱,因此,造成盆地南北部煤层含气性差异的因素主要包括生气能力、构造运动、水文地质条件和顶底板岩性等地质条件。前人关于鄂尔多斯盆地侏罗系煤层气的研究主要集中在盆地的局部地区,潘新志等^[3]对神府地区煤层气勘探潜力进行了分析研究,许浩等^[4]对盆地西部煤层气储层特征和有利区块进行了预测分析。研究内容上则主要集中在煤层气的生气条件^[5]、储层特征^[6-7]、富集规律、成藏条件和特征、排采工艺制度^[8]等方面,而从盆地角度去分析讨论南北部侏罗系煤层含气性差异的研究尚未见报道。为此,笔者以煤层含气量和含气饱和度数据为基础,从生气能力、构造运动、水文地质条件、顶底板岩性等方面进行分析研究,探讨鄂尔多斯盆地南北部侏罗系煤层含气性差异的影响因素,为盆地煤层气勘探开发提供更加详实精细的理论基础。

1 煤层含气性

1.1 含气量分布特征

鄂尔多斯盆地侏罗系煤层含气性测试数据分布不均,主要集中在盆地南部彬县、焦坪、黄陵、麟游和北部的乌审旗等地。煤层含气量整体较低,空气干燥基含气量 $0.11\sim 4.33\text{ m}^3/\text{t}$,平均含气量 $1.83\text{ m}^3/\text{t}$ (表1)。平面上煤层含气性呈现南高北低的趋势;其中,黄陵矿区煤层含气量平均 $2.34\text{ m}^3/\text{t}$,焦坪矿区 $4.11\text{ m}^3/\text{t}$,杨家坪井田 $2.79\text{ m}^3/\text{t}$;北部的乌审旗含气量 $0.21\sim 1.02\text{ m}^3/\text{t}$ 。垂向上,下部煤层的含气量高于上部煤层,随煤层埋深的增大,含气量整体上略呈增加趋势,但 $1\,000\text{ m}$ 以浅,煤层含气量与埋深的正相关性较差。同一煤层在不同地区含气量差异也较大。如盆地南部普遍发育的4号煤层,在东部黄陵、焦坪等地的空气干燥基含气量为 $2.70\sim 2.93\text{ m}^3/\text{t}$;而向西部的大佛寺、杨家坪,其含气量略低,空气干燥基含气量 $1.42\sim 1.79\text{ m}^3/\text{t}$,再向深部的庆阳、宁县地区,煤层空气干燥基含气量仅 $1.68\text{ m}^3/\text{t}$ 。而

位于盆地北部的乌审旗地区煤层含气量为 $0.1\sim 6.5\text{ m}^3/\text{t}$,大部分钻孔测试资料显示煤层含气量小于 $1\text{ m}^3/\text{t}$ 。

表1 鄂尔多斯盆地侏罗系延安组煤层含气量分布

Table 1 Gas content to Yan'an formation of Jurassic in Ordos Basin

地区	煤层	含气量/($\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$)	
		空气干燥基	干燥无灰基
黄陵	2	0.54~0.90/0.72(2)	0.60~1.14/0.87(2)
	3	0.11~4.32/2.38(3)	0.17~4.97/2.75(3)
	4	2.70	4.06
杨家坪	2	0.40~0.52/0.46(2)	0.52~0.70/0.61(2)
	3	0.27~3.90/1.79(7)	0.33~4.47/2.05(7)
	4	0.48~4.33/3.53(6)	0.60~5.54/4.38(6)
大佛寺	4	0.72~1.97/1.42(4)	0.87~2.28/1.66(4)
	3	0.25~1.54/0.86(7)	0.28~1.78/1.03(7)
庆阳	4	0.21~2.32/1.68(6)	0.25~2.73/2.01(6)
	5	0.21~2.65/1.94(8)	0.25~3.17/2.34(8)
焦坪	3	4.09	4.68
	4	2.93	3.54
乌审旗	3	0.20	0.21
	5	0.91	1.02

注:表中数据 $0.54\sim 0.90/0.72(2)$ 表示最小值~最大值/平均值(样品数)。

1.2 含气饱和度

鄂尔多斯盆地不同煤层气井的含气饱和度差别较大(表2)。总体上,盆地内低煤阶煤层含气饱和度较低,饱和度 $<10\%$ 的样品占30%以上,饱和度 $<25\%$ 的样品占58%以上,饱和度 $>50\%$ 的样品较少,总体上属于欠饱和储层。

垂向上,不同煤层的含气饱和度差异较大,但是整体上呈现出随埋深增加含气饱和度增加的趋势。如盆地南部彬县杨家坪井田上部2号煤层含气饱和度低于10%,中部3号煤层含气饱和度最高达41.88%,下部4号煤层含气饱和度最高达58.43%;北部乌审旗上部煤层含气饱和度低于10%,下部煤层含气饱和度高于10%,尽管含气饱和度整体偏低,但也展现出含气饱和度随深度的变化趋势。不同地区不同煤层含气饱和度的差异较大,说明制约含气饱和度的因素比较复杂。除了构造、顶底板岩性、水文地质等保存条件外,作为低煤阶煤储层,具有较高比例的游离气可能也是含气饱和度偏低的重要原因^[7]。

表2 鄂尔多斯盆地侏罗系延安组煤层含气饱和度统计

Table 2 Gas saturation to Yan'an formation of Jurassic in Ordos Basin

地区	煤层	煤层埋深/m	朗格缪尔体积 $V_L/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	朗格缪尔压力 P_L/MPa	储层压力 P/MPa	含气饱和度/%
黄陵	2	394.60~414.60	13.15~13.75	3.98~3.84	2.37~2.49	10.67~17.16
	3	344.05~431.13	11.97~15.29	3.67~4.79	1.36~3.04	3.00~100
	4	355.95	16.32	4.27	2.14	49.62
杨家坪	2	789.56~850.75	10.29~11.47	4.58~5.17	7.74~8.34	<10
	3	817.47~910.56	10.55~16.01	4.47~5.57	3.97~8.48	11.10~41.88
	4	849.14~943.16	11.92~13.23	4.43~4.98	7.28~10.01	44.65~58.43
大佛寺	4	478.07~523.56	11.84~13.55	3.89~4.70	0.83~2.38	35.40~43.27
庆阳	3	1 007.48~1 157.62	12.78~15.20	4.95~5.41	9.87~11.34	<10
	4	1 049.99~1 200.12	11.56~16.09	3.94~6.08	10.29~11.76	13.42~26.44
	5	1 062.11~1 236.33	12.61~15.59	4.85~5.75	10.60~12.12	10.20~27.00
焦坪	3	510.10	16.03	5.11	4.15	56.93
	4	545.99	16.52	4.99	3.78	41.15
乌审旗	3	774.11~822.81	11.80~12.80	3.26~5.06	7.48~8.06	<10
	5	844.01~870.50	11.19~13.07	4.22~4.65	7.87~8.53	12.50

2 控气地质因素分析

2.1 生气能力

煤层的生气能力和变质程度密切相关,鄂尔多斯盆地煤层变质程度整体较低,最大镜质体反射率 $R_{o,\max}$ 测试结果大于0.8%的煤较少,主要以长焰煤、不黏煤、弱黏煤为主,整体而言,盆地南部煤层变质程度高于盆地北部,镜质体反射率大于0.7%的少量

气煤仅分布在鄂托克旗、盐池、环县和黄陵等地。受构造运动影响,盆地内不同地区煤层所经历的的热演化过程不尽相同(图 1),煤层生气条件也不相同。由于沉降中心不同,盆地主要煤层埋藏深度南部大于北部,盆地南部煤层热演化程度更高,生气强度更大。燕山运动晚期盆地遭受了不均衡抬升和剥蚀,据此恢复的延安组顶界北高南低,从另一个角度验证了盆地南北部煤层热演化过程的差异性^[9-11]。

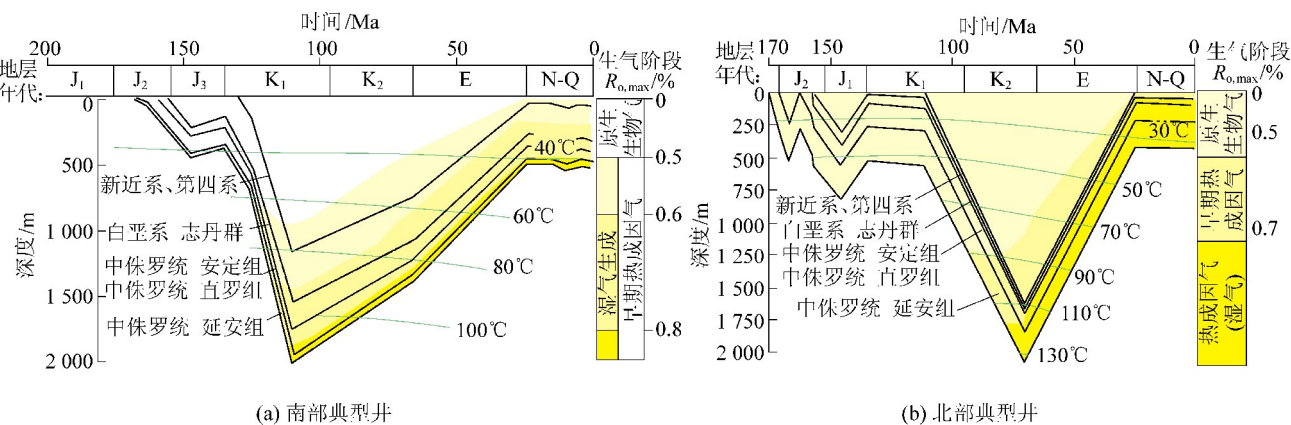


图1 鄂尔多斯盆地南部、北部典型井的埋藏史、热史与生气史叠合图

Fig. 1 Superposition of burial history, thermal history and gas history of typical wells in the Southern and Northern Ordos Basin

晚侏罗世晚期的构造运动使含煤地层遭受了不同程度的抬升和剥蚀,煤层埋藏深度变浅,此时煤化作用尚处于泥炭化阶段,主要以生物成因气为主,燕山运动第Ⅲ幕挤压向斜拗陷作用使研究区沉积了巨厚的下白垩统志丹群,巨厚的下白垩统志丹群作为盖层和保温层对煤层气的生成和保存起到了重要作用。

用。此时含煤地层达到最大埋藏深度,盆地南缘古地温最高达 130 ℃,甲烷成因以早期热成因气为主,同时含有大量湿气(图 1)。气体组分测试结果也表明早期热成因气是高挥发分烟煤(镜质体反射率 0.5%~0.8%的产物,温度为 60~105 ℃;而强热成因气阶段生成的煤层气是镜质体反射率为 0.8%~

1.0%后生成的。据此推断,盆地生成的热成因气主要是早期热成因气阶段生成的煤层气,并没有进入大量的热成因气、甚至热裂解气生成阶段。

2.2 构造运动

煤层形成过程中的构造运动对煤层的赋存和生气具有重要的控制作用,而聚煤期后的构造运动对煤层气的保存具有重要影响。鄂尔多斯盆地侏罗系含煤地层在盆地内普遍发育,含煤地层厚度 180~300 m,但煤层在盆地的发育具有明显的差异,最显著的特点是盆地中部的延安、延长、延川一带无煤层

发育。煤层在盆地内总体变化受盆地凹陷形态控制,聚煤区围绕盆地沉降中心的无煤区展布,其形态表现为残缺环带状^[12-13]。在盆地的不同部位,煤层的数量、厚度和横向变化规律具有不同的特点。在盆地南部,主要可采煤层位于含煤地层最下部,煤层埋深较深,厚度随古洼地中心的迁移而变化。在盆地北部,主要可采煤层大部分位于含煤地层上部,煤层埋深较浅,其分布范围和厚度均变化较小(图2)。

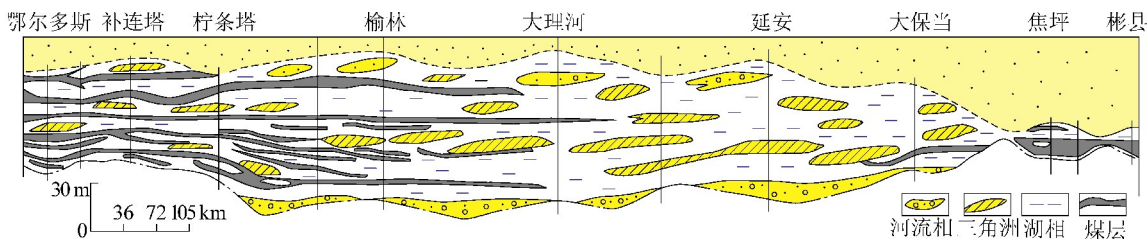


图2 鄂尔多斯盆地延安组煤层南北向沉积断面图

Fig. 2 North-south sedimentary section of Yan'an formation in Ordos Basin

中晚侏罗世,鄂尔多斯盆地遭受 W—E、NW—SE、和 NE—SW 等多向挤压应力作用,盆地周缘形成展布方向不一,构造样式不同的边界挤压构造带^[14]。盆地内部含煤地层和煤层也发生多期次不均衡抬升、褶皱等一系列变形,造成盆地南北的不均衡抬升,导致盆地南北部煤层赋存特征差异较大,北部延安组比较齐全,5个煤组保存相对完整;而盆地南部,上部地层缺失较多,大部分地区仅保存有下部的4、5煤组(图2)。

晚白垩世以来,鄂尔多斯盆地主要发生了盆地主体持续幕式、差异性整体抬升和强烈而不均匀的剥蚀等重要地质事件^[15],对鄂尔多斯盆地侏罗系煤层含气性存在一定的影响。盆地北部的乌审旗地区总体上为走向 NNE 的单斜构造,地层产状沿走向和倾向变化较小,未发现断层和明显的褶皱构造。但是成煤期后的构造运动使侏罗系煤层深成热变质作用中止,气体生成量减少,同时上部地层的风化剥蚀使已生成的煤层气大量逸散,使煤层含气量进一步降低^[7]。实测数据也显示盆地北部的乌审旗、神木一带煤层含气量较低。盆地南部的庆阳—黄陵地区整体构造平缓,呈西倾的单斜构造,局部地区小型隆起和凹陷相间排列,总体上较北部有利于煤层气的保存和开发。

2.3 水文地质条件

地下水运移对煤层气的富集主要包括水力运移逸散作用和水力封堵控气作用^[16]。通常,地下水动力条件活跃的地区,煤层气容易随着地下水的流动

而逸散,不利于煤层气的保存。地下水矿化度在一定程度上反应了地下水动力场的分布规律^[17-18]。鄂尔多斯盆地侏罗系延安组地层水的水动力分布和矿化度主要表现为在盆地周边断裂隆起和地层出露区接受大气降水或地表水的补给,水动力活跃,地层水矿化度低,一般小于 10 g/L,水型以 NaHCO_3 型为主;盆地内部构造相对稳定的承压区或滞流区,地层水矿化度与地下水的径流强弱关系密切。沿盆地边缘露头向盆地内部,地层水矿化度随地层埋藏深度的增加而升高。平面上,盆地北部杭锦旗、榆林、鄂尔多斯一带,靠近煤层露头的地方,接受大气降水或地表水的补给,地下水交替明显,地层水矿化度一般小于 10 g/L,地下水化学类型以 NaHCO_3 型为主(图3);盆地中南部天环坳陷内的盐池、定边、庆阳、西峰等地,煤层埋深较大,地下水径流缓慢,在坳陷中心形成滞流区,地层水矿化度较高,最高达 100 g/L,地下水化学类型以 CaCl_2 、 MgCl_2 型为主;盆地西南部王洼、陇县靠近地层水补给区,地下水交替相对强烈,自盆地边缘向内部,地层水矿化度变化较大,变化范围 1~40 g/L,地下水化学类型以 Na_2SO_4 型为主。整体上,盆地北部以 NaHCO_3 水型为主,南部以 Na_2SO_4 、 CaCl_2 型为主。从煤层含气性与水文地质条件的关系看,鄂尔多斯盆地煤层含气性与水文地质条件密切相关,地下水矿化度较大的地区,地下水动力条件较差,煤层含气量较高;地下水矿化度较小的地区,地下水动力条件活跃,煤层含气量较低。

图3 鄂尔多斯盆地延安组地层水矿化度及水化学分区

Fig. 3 Salinity and hydrochemical zoning of formation water in Yan'an formation, Ordos Basin

2.4 顶底板岩性

煤层顶底板岩性及厚度对煤层气的富集具有重要影响^[19]。泥岩顶底板较砂岩顶底板对煤层气的保存更加有利。鄂尔多斯盆地延安组煤层顶板岩性为泥岩和砂岩,以泥岩为主,砂岩零星分布,有利于煤层气的保存。盆地北部乌审旗地区主要煤层底板岩性一般为泥岩,顶板岩性以泥岩为主,而砂岩顶板主要呈条带状在盆地中部零星分布。盆地南部的彬长矿区主要煤层顶底板均为泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,顶板厚度 12~20 m,底板 4~10 m,顶底板渗透性差,对煤层气的保存有利^[20]。焦坪矿区主要煤层顶板以泥岩、砂质泥岩、粉砂岩等致密岩层(泥岩型顶板)为主,中、粗砂岩等砂岩型顶板零星分布,区内所属矿井除玉华煤矿外均为高瓦斯矿井。总体而言,顶底板岩性对鄂尔多斯盆地煤层含气性差异的影响较小。

3 结 论

1)造成鄂尔多斯盆地南北部侏罗系煤层含气性差异的主要因素有煤层生气能力、构造运动、水文地质条件和顶底板岩性,其中起主要作用的是水文

地质条件、构造运动和生气能力,顶底板岩性影响较小。

2) 盆地南部地下水动力条件较弱, 地层水矿化度较高, 最高达 100 g/L , 地下水化学类型以 Na_2SO_4 、 CaCl_2 型为主, 对煤层气的保存有利; 而盆地北部地下水动力条件较强, 地层水矿化度一般小于 10 g/L , 地下水化学类型以 NaHCO_3 为主, 不利于煤层气的保存。

3) 构造运动使盆地南北部侏罗系煤层赋存特征和埋藏深度存在差异,南部煤层保存不完整,但是埋藏深度较大,热演化程度高,生气能力较北部强;北部煤层保存完整,厚度大,埋藏浅,热演化程度低,生气能力较弱。

参考文献 (References):

- [1] 张培河.低变质煤的煤层气开发潜力:以鄂尔多斯盆地侏罗系为例[J].煤田地质与勘探,2007,35(1):29-33.
ZHANG Peihe.Coalbed methane development potential of low rank coal: a case study from Ordos Basin [J].Coal Geology and Exploration,2007,35(1):29-33.
- [2] 王双明.鄂尔多斯盆地叠合演化及构造对成煤作用的控制[J].地学前缘,2017,24(2):54-63.
WANG Shuangming.Ordos Basin superposed evolution and structural controls of coal forming activities[J].Earth Science Frontiers, 2017,24(2):54-63.
- [3] 潘新志,叶建平,孙新阳,等.鄂尔多斯盆地神府地区中低阶煤层气勘探潜力分析[J].煤炭科学技术,2015,43(9):65-70.
PAN Xinzhi, YE Jianping, SUN Xinyang, *et al.* Analysis on exploration potential of mid-low rank coalbed methane in Shenfu Area of Ordos Basin [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43 (9): 65-70.
- [4] 许浩,汤达祯,唐书恒,等.鄂尔多斯盆地西部侏罗系煤储层特征及有利区预测[J].煤田地质与勘探,2010,38(1):26-32.
XU Hao, TANG Dazhen, TANG Shuheng, *et al.* Coal reservoir characteristics and prospective areas for Jurassic CBM exploitation in western Ordos basin [J]. Coal Geology and Exploration, 2010, 38 (1): 26-32.
- [5] 田文广,邵龙义,张继东,等.鄂尔多斯盆地南部侏罗系煤层气成因探究[J].中国矿业,2015,24(5):81-85.
TIAN Wenguang, SHAO Longyi, ZHANG Jidong, *et al.* Analysis of genetic type of the coalbed methane of Jurassic formation [J]. China Mining Magazine, 2015, 24 (5): 81-85.
- [6] 杨新辉.黄陇煤田煤层气储层特征[J].煤田地质与勘探,2015,43(4):41-45.
YANG Xinhui. Characteristics of CBM reservoir in Huangling - Longxian Coalfield [J]. Coal Geology and Exploration, 2015, 43 (4): 41-45.
- [7] 孙斌,孙锦粉,田文广,等.鄂尔多斯盆地乌审旗地区煤层气富集主控因素及其勘探方向[J].天然气工业,2011,31(2):34-38.
SUN Bin, SUN Fenjin, TIAN Wenguang, *et al.* Controlling factors of

- coalbed methane enrichment in the Wushenqi Area, Ordos Basin [J]. *Nature Gas Industry*, 2011, 31(2): 34-38.
- [8] 林柏泉, 李庆钊, 原德胜, 等. 彬长矿区低煤阶煤层气井的排采特征与井型优化[J]. *煤炭学报*, 2015, 40(1): 135-141.
- LIN Baiquan, LI Qingzhao, YUAN Desheng, *et al.* CBM production character and surface well selection in Binchang low rank coal field [J]. *Journal of China Coal Society*, 2015, 40(1): 135-141.
- [9] 马财林, 张铭记, 权海奇, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗系煤层气勘探开发潜力评价[C]//2010年全国煤层气学术研讨会论文集, 2010: 157-166.
- [10] 晋香兰, 张泓. 鄂尔多斯盆地侏罗系低煤阶煤层气系统演化[J]. *煤田地质与勘探*, 2014, 42(5): 17-24.
- JIN Xianglan, ZHANG Hong. Evolution of Jurassic low rank coal CBM system in Ordos Basin [J]. *Coal Geology and Exploration*, 2014, 42(5): 17-24.
- [11] 蔺亚兵, 宋一民, 蒋同昌, 等. 黄陇煤田永陇矿区煤层气成藏条件及主控因素研究[J]. *煤炭科学技术*, 2018, 46(3): 168-175.
- LIN Yabing, SONG Yimin, JIANG Tongchang, *et al.* Study on forming conditions and main controlling factors of CBM reservoirs in Yonglong Mining Area of Huanglong Coalfield [J]. *Coal Science and Technology*, 2018, 46(3): 168-175.
- [12] 王双明. 鄂尔多斯盆地构造演化和构造控煤作用[J]. *地质通报*, 2011, 30(4): 544-552.
- WANG Shuangming. Ordos basin tectonic evolution and structural control of coal [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(4): 544-552.
- [13] 晋香兰, 张泓. 鄂尔多斯盆地侏罗系成煤系统[J]. *煤炭学报*, 2014, 39(S1): 191-197.
- JIN Xianglan, ZHANG Hong. Jurassic coal system in the Ordos Basin [J]. *Journal of China Coal Society*, 2014, 39(S1): 191-197.
- [14] 张岳桥, 廖昌珍, 施炜, 等. 论鄂尔多斯盆地及其周缘侏罗纪变形[J]. *地学前缘*, 2007, 14(2): 182-196.
- ZHANG Yueqiao, LIAO Changzhen, SHI Wei, *et al.* On the Jurassic deformation in and around the Ordos basin, north China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(2): 182-196.
- [15] 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J]. *地质学报*, 2006, 80(5): 617-638.
- LIU Chiyang, ZHAO Hongge, GUI Xiaojun, *et al.* Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5): 617-638.
- [16] 朱亚茹, 孙蓓蕾, 曾凡桂, 等. 西山煤田古交矿区煤层气藏水文地质特征及其控气作用[J]. *煤炭学报*, 2018, 43(3): 759-769.
- ZHU Yaru, SUN Beilei, ZENG Fangui, *et al.* Hydrogeological characteristics of CBM reservoirs and their controlling effects in Gujiao Mining Area, Xishan Coalfield [J]. *Journal of China Coal Society*, 2018, 43(3): 759-769.
- [17] 楼章华, 程军蕊, 金爱民. 沉积盆地地下水动力场特征研究—以松辽盆地为例[J]. *沉积学报*, 2006, 24(2): 193-201.
- LOU Zhanghua, CHENG Junrui, JIN Aimin. Origin and evolution of the hydrodynamics in sedimentary basins—A case study of the Songliao Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(2): 193-201.
- [18] 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 ground water in coal measures on low rank coalbed methane in the south margin of Junggar basin [J]. *Coal Geology and Exploration*, 2016, 44(1): 31-37.
- [19] 黄兴龙, 赵官煤田煤层气赋存特征及其控制因素研究[J]. *煤炭科学技术*, 2018, 46(4): 196-201.
- HUANG Xinglong. Study on occurrence characteristics and controlling factors of coalbed methane in Zhaoguan Coalfield [J]. *Coal Science and Technology*, 2018, 46(4): 196-201.
- [20] 刘会彬, 胡少博, 尹润生, 等. 鄂尔多斯盆地彬长矿区煤层气赋存特征[J]. *煤田地质与勘探*, 2011, 39(4): 21-23.
- LIU Huibin, HU Shaobo, YIN Runsheng, *et al.* Occurrence features of coalbed methane of Binchang mining area in Ordos basin [J]. *Coal Geology and Exploration*, 2011, 39(4): 21-23.