

赵官煤田煤层气赋存特征及其控制因素研究

黄 兴 龙^{1,2}

(1. 山东省煤田地质规划勘察研究院, 山东 济南 250100; 2. 山东省煤田地质局页岩气(油)煤层气技术中心, 山东 济南 250100)

摘 要:基于岩浆活动对煤层气赋存的影响,为得出丰富岩浆活动对煤层气富集作用机理的控制规律,在对赵官煤田煤层气资料、构造条件、煤层灰分、顶底板岩性、煤层埋深、水文地质条件和岩浆活动分析之上,对赵官煤田煤层气赋存特征及其控制因素进行了研究。结果表明:上组煤(7 煤、10 煤)煤层气含量、含气饱和度明显大于下组煤(11 煤、13 煤);煤层气赋存影响不明显;煤层灰分与煤层含气量呈负相关;上组煤顶底板岩性致密,完整性好,利于煤层气保存,下组煤顶板受岩浆岩侵入,完整性相对较差,利于煤层气逸散;煤层含气量与煤层埋藏深度正相关,上、下组煤含气量梯度分别为 3.67、0.53 m³/(t·hm);地下水滞水区矿化度高,利于煤层气的保存;岩浆岩附近煤层中煤层气逸散严重,是导致上下煤层含气量相差较大的根本原因。

关键词:赵官煤田;煤层气;岩浆岩;控制因素

中图分类号:P618.130

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)04-0196-06

Study on occurrence characteristics and controlling factors of coalbed methane in Zhaoguan Coalfield

HUANG Xinglong^{1,2}

(1. Research Institute of Planning and Exploration, Shandong Bureau of Coal Geology, Jinan 250100, China;

2. Shale Gas (Oil) and Coalbed Methane Technology Center of Shandong Bureau of Coal Geology, Jinan 250100, China)

Abstract: Based on coal bed methane (CBM) information, tectonic condition, coal ash, lithology of the roof and floor, seam depth, hydrogeological condition and magmatic activity, this paper had a study on occurrence characteristics and controlling factors of CBM in Zhaoguan Coalfield. The results showed that the CBM content and gas saturation of upper group coal seams (No. 7 and No. 9) were obviously larger than that of lower group coal seams (No. 11 and No. 13). The geological structure of this area had no obvious influence on the occurrence of CBM. The ash content of coal seam was negatively correlated with CBM content. The top and bottom plates of the upper group coal seams had dense lithology and good integrity, which was beneficial to preservation of CBM. The roof of lower group coal seams was intruded by magmatic rock and had relatively poor integrity, which was propitious to emission of CBM. The CBM content was positively related to the buried depth of coal seam. The CBM content of upper and lower group coal seam respectively increased 3.67 m³/t and 0.53 m³/t by each hundred meters. Stagnant groundwater area had high salinity groundwater, that was favorable for the preservation of CBM. CBM in coal seam near magmatite diffused seriously. It was the basic reason of the larger difference of CBM content between the upper and lower coal seams.

Key words: Zhaoguan Coalfield; coal bed methane (CBM); magmatic rock; controlling factors

0 引 言

煤层气(瓦斯)易引发煤与瓦斯突出甚至瓦斯

爆炸,对煤矿的安全生产构成较大威胁。同时,它又是一种清洁环保能源,合理利用煤层气将对优化能源结构,提高煤矿安全具有重要意义。我国煤层气

收稿日期:2017-11-11;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.04.031

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41502151)

作者简介:黄兴龙(1980—),男,山东巨野人,高级工程师,硕士。E-mail:76296365@qq.com

引用格式: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.

资源丰富,埋深 2 000 m 以浅的资源量约占世界煤层气总资源的 13%,东部地区的上古生界煤层中赋存着国内 94% 的潜在可采煤层气资源(含气量 $>4 \text{ m}^3/\text{t}$)^[1-3]。赵官煤田 2007 年被安全生产部门核准为高瓦斯矿区,摸清该区煤层气含气特征和控制因素,是实现合理高效开发利用煤层气资源的必由之路。迄今不少学者对我国煤层气富集地质因素做了大量研究,宋岩等^[1-2]从构造演化、水动力条件、封闭条件和构造特征方面详细论述了我国煤层气富集的主控因素,为研究不同地质背景的含煤盆地的煤层气富集规律提供了科学依据;傅学海等^[3]认为围岩岩石类型及组合、围岩物性、煤级、构造、沉积作用、煤厚、水文地质是主要的煤层气控气因素,煤层气富集是生、储、盖、保等条件动态发展过程的有利配置;刘大锰等^[4]认为地质构造条件、煤层埋深、沉积环境、水文条件、煤层物性和岩浆活动是控制我国煤层气分布和富集的主控因素;JIANG Jinyu 等^[5]提出淮北卧龙湖煤矿中受岩浆侵入影响的煤层挥发物含量、初始甲烷扩散率和极限吸附常数较正常煤层低,镜质体反射率和孔隙度相对较高,甲烷在岩浆与煤层接触部位富集;王宇林等^[6]提出辽河盆地东部凹陷和阜新盆地王营井田由于受到岩浆活动影响,煤层煤级、煤质、物性、煤层气含量均发生改变,同时形成复合圈闭,使得煤层气富集成藏。我国中、新生代含煤盆地多数发育有岩浆活动,岩浆活动不仅会使煤层变质产生大量煤层气、被吞蚀以及物性改变,而且破坏围岩及煤层完整性,产生大量逸散通道,影响煤层气的保存。赵官煤田内发育的 3 层岩浆岩对山西组、太原组煤系地层产生一定影响。笔者以赵官煤田为例,从构造条件、煤层灰分、煤层顶底板岩性、煤层埋深、水文地质条件和岩浆活动等地质因素进行综合分析,着重阐述了岩浆活动对煤层气赋存的影响,以期丰富岩浆活动对煤层气富集作用机制的控制研究。

1 矿区地质概况

赵官煤田位于德州市齐河县赵官镇,位于黄河北煤田中西部。黄河北煤田位于华北地台山东台背斜西缘,是山东台背斜向河淮台向斜延伸的转折部位,鲁西断块鲁中块隆西北外缘。研究区范围西起 F_8 断层,东至 F_{14} 断层,南部以奥灰隐伏露头为界,北部以 F_{11} 及 F_{11-1} 断层为界,为一走向 NE,倾向 NW 的单斜构造,倾角 $5 \sim 8^\circ$,局部地段大于 10° 。矿区

发育少量次级褶曲,及规模不等的正断层,方向主要为 NE 向和 NNE 向,构造复杂程度中等(图 1)。

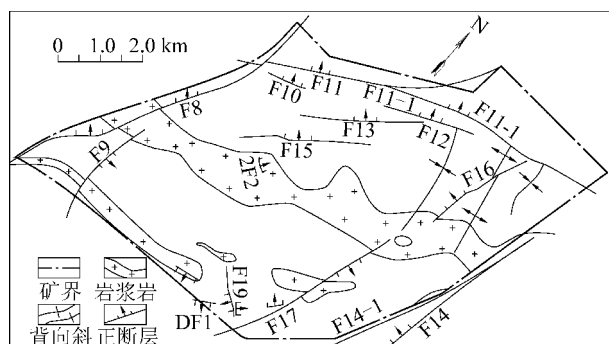


图 1 赵官煤田构造纲要

Fig.1 Structure outline of Zhao Guan Coalfield

石炭系太原组是该矿区主要含煤地层,地层厚 142.80~174.65 m,平均 163.23 m,发育石灰岩 5~6 层,由上而下依次为一、二、三、四、五、六灰,是煤层对比的重要标志。区内可采煤层为太原组 7 煤、10 煤、11 煤、13 煤,可采区内平均总厚度 5.90 m,可采含煤系数为 3.6%。7 煤、10 煤为低中~中高灰煤,11 煤为低灰~中灰煤,13 煤为低灰~中高灰煤。7 煤层为低中~高硫煤,10 煤、11 煤、13 煤层为中硫~高硫煤。

2 煤层气赋存特征

赵官矿区内施工的煤层气参数井和地质勘查时期煤田钻孔,其测试结果(表 1)表明研究区内上组煤(7 煤和 10 煤)和下组煤(11 煤和 13 煤)煤层气含量相差较大。7 煤总含气量为 $0.32 \sim 12.29 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $5.37 \text{ m}^3/\text{t}$,甲烷含量为 $0.23 \sim 10.55 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $4.75 \text{ m}^3/\text{t}$;10 煤总含气量为 $0.35 \sim 16.54 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $6.74 \text{ m}^3/\text{t}$;甲烷含量为 $0.12 \sim 16.29 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $5.92 \text{ m}^3/\text{t}$;11 煤总含气量为 $0.35 \sim 1.14 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $0.75 \text{ m}^3/\text{t}$;甲烷含量为 $0.11 \sim 0.42 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $0.27 \text{ m}^3/\text{t}$;13 煤层总含气量为 $0.13 \sim 3.58 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $1.29 \text{ m}^3/\text{t}$,甲烷含量为 $0.03 \sim 3.43 \text{ m}^3/\text{t}$,平均为 $0.95 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

Langmuir 体积 V_L 代表煤储层最大吸附量^[3]。7 煤、10 煤、13 煤兰氏体积均较高(表 1),说明煤储层吸附能力较大。Langmuir 压力 P_L 反映煤层解析的难易程度,下组煤 Langmuir 压力 P_L 比上组煤均大,说明下组煤煤层气越难解析。上下组煤含气饱和度均处于不饱和状态,但上组煤含气饱和度为 $3\% \sim 73\%$,一般大于 50% ,下组煤煤储层的含气饱和度普遍偏低,含气饱和度一般小于 5% 。

表 1 赵官煤田各主采煤层煤层气含量分析结果

Table1 Analysis results of CBM content in every main mining seams

煤层	总气含量 (空气干燥基) ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	瓦斯成分体积分数/%			Langmuir 体积 $V_L/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$		Langmuir 压力 储层压力/ P_L/MPa MPa		含气饱和 度/%	$R_{o,\max}/\%$
		CH_4	CO_2	N_2	空气干燥基	干燥无灰基				
7	0.32~12.29 5.37	5.47~95.68 55.20	0.58~10.03 3.92	1.05~90.70 40.87	24.81~28.22 26.21	34.93~37.40 36.11	3.26~3.51 3.34	0.49~5.52 3.00	26~73	1.74~ 3.72
10	0.35~16.54 6.74	9.86~98.58 61.80	0.40~16.66 4.30	0.40~73.48 33.91	29.46~30.57 30.02	37.12~38.17 37.65	3.04~3.40 3.22	2.16~4.20 3.18	3~59	2.17~ 2.39
11	0.35~1.14 0.75	32.82~36.98 34.90	0.47~4.23 2.35	58.79~66.70 62.75	19.09	21.94	5.92	6.30~7.00 6.65	1~4	5.74
13	0.13~3.58 1.29	0.64~76.07 32.66	0.16~16.20 6.41	18.26~96.48 60.92	25.19~29.33 26.97	32.13~40.87 36.05	4.03~4.21 4.13	6.02~7.04 6.46	1~4	4.11~ 5.18

3 影响煤层气赋存的控制因素

3.1 地质构造

赵官煤田整体为一走向 NE、倾向 NW 的单斜构造,倾角 $5^\circ \sim 8^\circ$ 。分析认为,规模较大的断层主要分布在矿区边界,矿区内部多为较小规模断层,对煤层瓦斯分布影响不大。经对各煤层含气量测试孔数据分析,位于矿区北部、西部边界主要断层对煤层瓦斯保存有利,越向深部规律越明显,且沿倾向方向,煤层含气量有增大趋势。东部断层局部为导水断层,其对煤层气保存不利。矿区内发育的向斜为轴向 NW 的倾伏,与矿区整体地层倾向一致,并且这些褶曲规模较小,对煤层气分布影响较小。

3.2 煤层灰分

煤中灰分(无机矿物质)会影响煤岩储气性,使煤层吸附能力降低^[7-8]。矿区浅部各煤层含气量低,其变化规律也不明显,深部各煤层含气量逐渐增高,灰分产率与气含量呈现一定规律性。上组煤 7 煤和 10 煤在埋深 450m 以深地段煤层含气量与灰分产率具有很好的相关性(图 2),随着灰分的增加,煤层含气量降低趋势明显。下组煤 11 煤和 13 煤随灰分增加,煤层含气量也有降低趋势(图 3),但相关性一般。

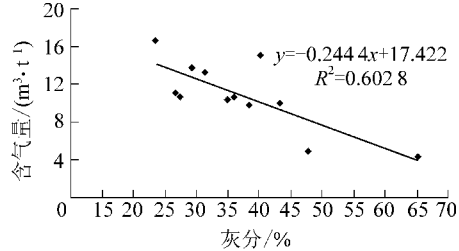


图 2 上组煤层灰分与含气量关系

Fig. 2 Relationship between ash content and CBM content of upper group coal

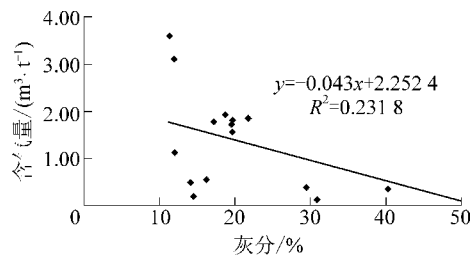


图 3 下组煤层灰分与含气量关系

Fig. 3 Relationship between ash content and CBM content of under group coal

3.3 煤层顶底板特征

煤层顶底板完整性及透气能力直接影响煤层气的保存^[9-10]。赵官煤田区上组煤 7 煤和 10 煤顶底板岩性主要为胶结致密的细碎屑岩,对煤层气的保存较为有利。赵官煤田 7 煤顶板岩性以泥岩为主,厚度一般在 0~4 m,个别地方厚度达 8.33 m;底板岩性以泥岩、粉砂岩为主,厚度一般在 1~2 m。10 煤层顶板岩性以泥岩为主,厚度一般在 4 m 以上,底板岩性为深灰色泥岩或灰色粉、细砂岩,厚度一般为 0~3 m。上组煤顶底板岩性受岩浆岩影响较小,整体对煤层气的保存较为有利,因此 7 煤和 10 煤含气量比较高。

下组煤 11 煤、13 煤相距 2.30~9.12 m,平均 6.87 m,盖层特征可按同一层煤考虑。11 煤层顶板岩性以灰色石灰岩(五灰)为主,其次为岩浆岩。五灰为含水层,有利于煤层气逸散;岩浆岩侵入对 11 煤破坏影响较大,在整个井田内呈岩床分布,且侵入厚度较大。底板岩性以泥岩为主,局部区域过渡为粉砂岩,底板泥岩厚度一般在 4 m 以上。13 煤层顶板(11 煤底板)岩性以泥岩为主,厚度一般大于 4m;13 煤底板岩性为灰色泥岩、粉砂岩,底板泥岩厚度一般在 4 m 以下。因此,虽 13 煤顶底板岩性较为致密,

但对于整个下组煤而言,顶底板完整性相对较差,导致下组煤发生煤层气逸散。

3.4 煤层埋深

煤层埋藏深度与煤层气含量密切相关^[11-12],随埋深增加,煤储层吸附能力增强,同时煤层气由游离态转化为吸附态,使得煤层中赋存更多煤层气。由赵官煤田煤层气含量测试资料表明,煤层气含量与埋藏深度正相关性较好,随着煤层埋藏深度的增大,煤层含气量增高趋势明显(图4、图5)。上组7煤和10煤的含气量梯度约为 $3.67 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{hm})$,下组煤11煤和13煤含气量梯度约为 $0.53 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{hm})$ 。

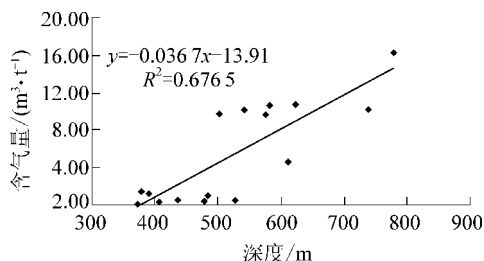


图4 上组煤煤层含气量与深度关系

Fig.4 Relationship between CBM content and depth of upper group coal

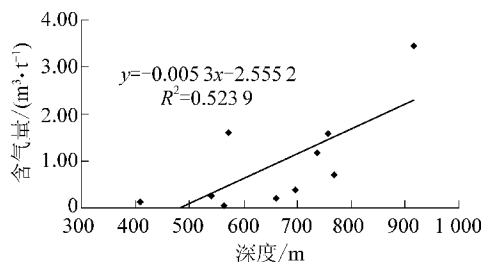


图5 下组煤煤层含气量与深度关系

Fig.5 Relationship between CBM content and depth of under group coal

3.5 水文地质条件

水文地质条件对煤层气赋存、运移影响很大^[13-14],从矿区水文地质资料得知,影响上组煤7煤和10煤的含气量的含水层主要为一灰、二灰、三灰,局部受四、五灰和下层岩浆岩含水层影响。其中,一灰为7煤顶板含水层,二灰为7煤底板、10煤顶板充水含水层,三、四、五灰和下层岩浆岩为10煤底板充水含水层。以一灰、二灰和三灰含水层漏水钻孔与上组煤含气量分布特征(图6)可知,漏水孔分布区域水动力条件活跃,不利于煤层气的保存,这与上组煤含气量分布趋势相吻合。

影响下组煤11煤、13煤含气量的含水层主要为四灰、五灰、下层岩浆岩含水层及徐灰、奥灰含水

层。其中,四灰、五灰、下层岩浆岩含水层为11煤、13煤顶板含水层,徐灰为13煤直接底板充水含水层,奥灰为13煤底板间接充水含水层。由于徐、奥灰相距较近(平均间距不足10 m)水力联系密切。下层岩浆岩和四、五灰穿插合并,相互补给。四灰、五灰、下层岩浆岩含水层及徐灰、奥灰含水层漏水钻孔在矿区分布特征与下组煤含气量分布特征(图7)可知,漏水孔分布区域内水动力条件活跃,不利于煤层气的保存,这与下组煤含气量分布趋势相吻合。

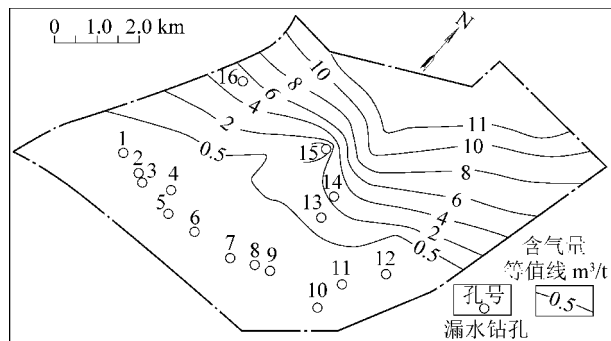


图6 一、二、三灰漏水孔与上组煤含气量关系

Fig.6 Relation graph between No.1, No.2, No.3 limestone leaking drilling and CBM content of upper group coal

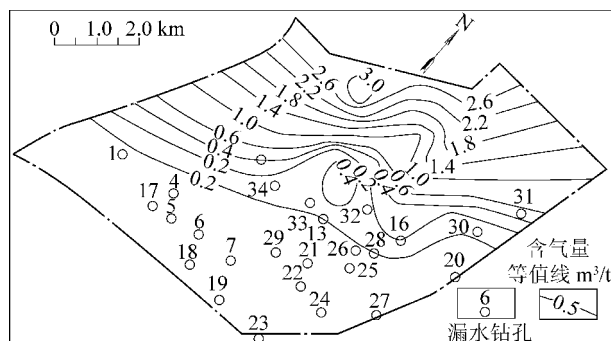


图7 下组煤含水层漏水孔与13煤煤层含气量关系

Fig.7 Relationships between leaking drilling of under group coal aquifer and CBM content of No.13 coal seam

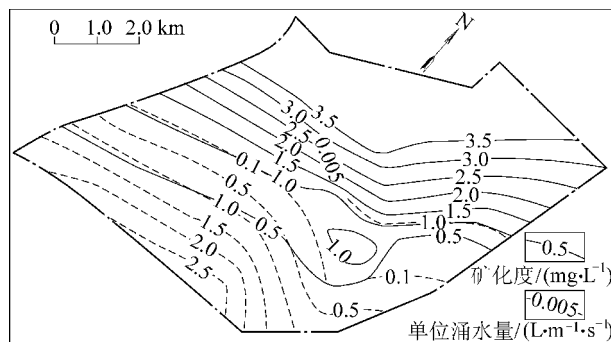


图8 奥灰矿化度和奥灰单位涌水量等值线

Fig.8 Contour of salinity and units-inflow in Ordovician limestone

另外,奥灰含水层矿化度和单位涌水量等值线图(图8)显示矿区南部单位涌水量较大,矿化度低,向北单位涌水量降低,含水层矿化度变高,含水层富水性变弱,水循环条件变差,含水层处于滞水状态,有利于煤层气的保存,与北部上下煤组含气量增加趋势吻合。

3.6 岩浆岩

赵官煤田岩浆岩在山西组、太原组煤系地层中形成三层侵入岩床,活动较强烈,对煤层、煤质均有较大的影响。研究区岩浆岩主要为花岗斑岩及花斑岩等。根据同期长清井田岩浆岩同位素测定(8 600万年)结果,推断岩浆岩侵入时期为燕山晚期的第三段(峡山阶段)。上层岩浆岩主要侵入到山西组2煤附近,除浅部被剥蚀外,广泛分布于中深部区域,由南向东北和西北增厚,钻孔揭露厚度为72.40 m。中层岩浆岩主要侵入太原组顶部5煤附近,分布于矿区中北部地区中深部,钻孔揭露最大厚度为53.86 m,向西南逐渐变薄。下层岩浆岩侵入11煤层附近,有的上冲到四灰上下,其分布范围几乎波及整个矿井,呈岩床分布,浅部薄,向深部逐渐增厚,矿区内钻孔揭露最厚点达95.37 m。

根据煤田勘探资料及三维地震资料,13煤矿区内没有钻孔直接揭露变焦或吞蚀现象,11煤广泛遭受下层岩浆岩侵入,区内多数11煤厚度变薄,焦化或全部吞蚀,从11和13煤层煤类分布规律可知,以下组煤岩浆岩侵入部位为中心,向四周煤变质阶段从天然焦(11煤)或无烟煤(13煤)向气肥煤过渡,岩浆岩侵入范围与煤变质程度变化基本一致。10煤层区内没有钻孔直接揭露变焦或吞蚀现象,但三维地震资料解释出2个岩浆岩冲断10煤层条带和6处异常区;7煤层区内有2个钻孔显示被岩浆岩吞蚀,三维地震资料显示矿区中部发育一块面积较大(约1.3 km²)的岩浆岩吞蚀区及6处异常区;从7煤和10煤层煤类分布规律可知,高变质煤主要分布在矿井中深部,这与三层岩浆岩分布范围基本一致。岩浆岩对山西组4号煤也有部分影响,分析各钻孔资料和地震反射波的波组特征,圈定了岩浆岩侵入4煤层区域1个,面积为0.14 km²。

由于岩浆的侵入活动,引起煤的变质程度增高,在温度和压力的作用下,使煤层二次生气。矿区各煤层含气量实测数据可知(表1)上组煤(7和10煤层)和下组煤(11和13煤层)煤层含气量相差较大,上组煤含气量偏高,下组煤含气量整体偏低。正常

情况下下组煤埋藏深度大,煤层含气量应高,但矿区内正好相反;从区域煤层沉积演化、区域构造演化特征、围岩封闭条件及区域水文地质特征分析,上述因素均不是造成上组煤和下组煤煤层含气量特征异常的主控因素。

从岩浆侵入对煤层生气、储气特征影响及矿区煤变质变化情况综合分析认为,岩浆侵入煤层方式、程度及高变质煤层的吸附特征是造成下组煤煤层含气量普遍低于上组煤的主控因素。当岩浆直接侵入煤层时,煤变质作用主要表现为岩浆热接触变质作用,这些侵入体的热能使煤层温度达1 000℃以上而发生变质,这种热影响多是局部的、多变的,地质时间上是短暂的。煤变质结果是短时间内由中低变质烟煤迅速演变为高变质煤及天然焦,并在短时间内生成大量煤层气气体,愈接近岩浆岩体的煤层,其变质及生气速度越快。在岩浆岩体与煤层接触带及附近多为高变煤和天然焦,天然焦孔隙特征以大孔为主,对气体吸附能力低,短时间内生成的大量气体由于天然焦的吸附能力低而呈现以游离态为主,吸附态为辅的状态。同时,岩浆侵入作用常常使接触带围岩和煤层完整性遭到破坏,产生破碎通道,煤层生成的大量气体伴随着岩浆本身携带的大量挥发性物质沿着破碎通道一起逸散掉。

4 结 语

赵官煤田煤层气分布受地质构造影响不明显。随着煤层灰分产率增加,上组煤煤层含气量降低趋势明显。煤层顶底板完整程度与煤层气赋存关系密切,上组煤顶底板岩性致密,完整性好,有利于煤层气保存,下组煤顶板受岩浆岩侵入,完整性相对较差,有利于煤层气逸散。煤层含气量与煤层埋藏深度正相关性较好,随着煤层埋藏深度的增大,煤层含气量增高趋势明显。地下水动力条件不活跃区,含水层处于滞水状态,矿化度高,有利于煤层气的保存。区内岩浆岩较发育,侵入下组煤及顶底板后导致煤层气主要以游离态为主,侵入时导致煤层顶底板完整性遭到严重破坏,产生破损通道,从而导致煤层气发生逸散,这是导致上下煤层含气量相差较大的根本原因。

参考文献(References):

- [1] 宋岩,苏现波,赵孟军.中国煤层气成藏地质[M].北京:科学出版社,2010:1-158.

- [2] 宋 岩,张新民,柳少波.中国煤层气地质与开发基础理论[M].北京:科学出版社,2012:1-526.
- [3] 傅雪海,秦 勇,韦重韬.煤层气地质学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007:1-200.
- [4] 刘大锰,李俊乾.我国煤层气分布赋存主控地质因素与富集模式[J].煤炭科学技术,2014,42(6):19-24.
LIU Dameng, LI Junqian. Main Geological controls on distribution and occurrence and enrichment patterns of coalbed methane in China[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6):
- [5] JIANG Jinyu, CHEN Yuanping, WANG Lei, *et al.* Effect of magma intrusion on the occurrence of coal gas in the Wolonghu Coalfield [J]. Mining Science and Technology (China), 2011, 21(5): 734-741.
- [6] 王宇林,郭 强,赵忠英,等.裂隙盆地岩浆活动对煤层气的富集作用:以辽河、阜新盆地为例[J].天然气工业,2009,29(7):119-122.
WANG Yulin, GUO Qiang, ZHAO Zhongying, *et al.* Effects of magma ion on the enrichment of coalbed gas in rifted-basins in East China: examples from the Fuxin and Liaohe Basins [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(7):119-122.
- [7] 陈平中,薄冬梅,赵永军.煤储层储集性能主控因素分析[J].石油天然气学报,2010,32(1):13-21.
CHEN Pingzhong, BO Dongmei, ZHAO Yongjun. Analysis on the major control factors of coal-bed reservoir property [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(1):13-21.
- [8] 侯海海.柴达木盆地北缘侏罗系煤储层物性特征与综合评价[D].北京:中国矿业大学(北京),2015:31-32.
- [9] 孙粉锦,王 勃,李梦溪,等.沁水盆地南部煤层气富集高产主控地质因素[J].石油学报,2016,35(6):1070-1078.
SUN Fenjin, WANG Bo, LI Mengxi, *et al.* Major geological factors controlling the enrichment and high yield of coalbed methane in the southern Qinshui Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 35(6): 1070-1078.
- [10] 欧阳永林,孙 斌,王 勃,等.煤层气封闭体系及其与煤层气富集的关系[J].天然气工业,2016,36(10):19-27.
OUYANG Yonglin, SUN Bin, WANG Bo, *et al.* CBM sealing system and its relationship with CBM enrichment [J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(10):19-27.
- [11] 彭金宁,傅雪海.铁法矿区煤层气保存条件研究[J].天然气工业,2006,26(12):65-67.
PENG Jinning, FU Xuehai. Study on preservation conditions of coalbed methane in Tiefa Mining Area [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(12):65-67.
- [12] 许启鲁,黄文辉,唐书恒,等.深部中-高煤级煤储层空隙结构与吸附性[J].现代地质,2016,30(2):413-419.
XU Qilu, HUANG Wenhui, TANG Shuheng, *et al.* Pore structure and adsorption of deep medium-high rank coal reservoirs [J]. Geoscience, 2016, 30(2):413-419.
- [13] 卢军灵,李淑畅.寺河矿区煤层气藏富集主控地质因素研究[J].中州煤炭,2015(11):118-121.
LU Junling, LI Shuchang. Study on enrichment controlling geological factors of CBM reservoir in Sihe Mine [J]. Zhongzhou Coal, 2015(11):118-121.
- [14] 叶建平,武 强,王子和.水文地质条件对煤层气赋存的控制作用[J].煤炭学报,2001,26(5):459-462.
YE Jianping, WU Qiang, WANG Zihé. Controlled characteristics of hydrogeological conditions on the coalbed methane migration and accumulation [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(5): 459-462.

(上接第176页)

- agaleriv [J]. Doklady Akademii Nauk Sssr, 1962, 147(5): 1157.
- [81] DEGTYAREV K E, KUZNETSOV N V. New findings of the early Paleozoic Pale-oceanic rocks in the northern margin of the Karaganda coal bearing basin [J]. Doklady Akademii Nauk, 1996, 346(4): 505-510.
- [82] LYONS P C, RICE C L. Paleoenvironmental and tectonic controls in coal-forming basins in the United States [M]. Chicago: The Geological Society of America, Inc, 1986, 19(4): 105-173.
- [83] 中国煤炭地质总局.中国聚煤作用系统分析[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001.
- [84] 武汉地质学院煤田教研室.煤田地质学[M].北京:地质出版社,1985.
- [85] 张厚福.油气运移研究论文集[M].东营:石油大学出版社,1993.
- [86] 唐修义.对煤层气资源开发的几点认识[J].矿井地质,1996,16(2):1-5.
TANG Xiuyi. Some opinions on the exploitation of coal bed gas [J]. Mine Geology, 1996, 16(2):1-5.