中国煤炭行业知识服务平台（中国煤炭期刊网）
CHINA COAL INDUSTRY KNOWLEDGE SERVICE PLATFORM

推荐阅读：

综采工作面上隅角瓦斯流动活跃区形成机理研究

高瓦斯突出煤层综采工作面注水降尘技术应用研究

超大直径钻孔采空区瓦斯抽采技术研究

风速对近距离煤层采空区漏风及煤自燃影响研究

深部高瓦斯矿井大采高工作面立体抽采瓦斯技术

水力冲孔压裂卸压增透抽采瓦斯技术研究

巷道火灾时期流场及瓦斯浓度变化规律数值模拟研究

高突低渗透煤层超高压水力割缝卸压增透研究

高瓦斯综采工作面定向高位钻孔瓦斯抽采技术研究

寺河井田煤层气产能分布特征及影响因素分析

我国煤矿覆岩采动裂隙带卸压瓦斯抽采技术研究进展

基于高位定向长钻孔的上隅角瓦斯治理研究

松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及发展趋势

综采工作面煤层注水防尘优化及效果研究

我国煤层气钻井技术及装备现状与展望

高瓦斯矿井高抽巷合理布置及终巷位置确定研究

原生结构煤与构造煤孔隙结构与瓦斯扩散特性研究

不同孔间距抽采孔对深孔预裂爆破增透效果影响研究

顺层瓦斯抽采钻孔封隔一体化封孔工艺研究

煤层瓦斯赋存特征及其关键地质因素影响研究

移动扫码阅读

杨 恒,罗 宪,孙长彦.焦作马厂勘查区煤层气富集规律及主控因素研究[J].煤炭科学技术,2020,48(3):180-187. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.03.022

YANG Heng,LUO Xian,SUN Changyan.Research on law of coalbed methane enrichment and main controlling factors in Jiaozuo Machang exploration area[J].Coal Science and Technology,2020,48(3):180-187. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.03.022

焦作马厂勘查区煤层气富集规律及主控因素研究

杨 恒[1],罗 宪[2],孙长彦[1,3]

(1. 河南理工大学 资源环境学院,河南 焦作 454003;2. 河南省煤田地质局三队,河南 郑州 450016;
3. 中原经济区煤层(页岩)气河南省协同创新中心,河南 焦作 454003)

摘 要:为了查明马厂勘查区煤层气富集规律及主控因素,采用了现场调研、取样和实验室测试的方法,结合煤炭资源勘查阶段的资料,深入总结了该区二$_1$煤层含气性分布特征,系统分析了影响该区煤层含气量的内在和外在因素。结果表明:马厂勘查区实测煤层含气量 13.77~27.30 cm^3/g,平均 20.26 cm^3/g,整体呈现出由西到东、由南到北减小的趋势,西南部最高。这种分布首先受 4 种内在因素控制:①二$_1$煤镜质组含量较高,具有较强的生气能力,有利于煤层气的生成;②二$_1$煤灰分和水分含量较低,煤层吸附能力较强,有利于煤层气的赋存;③二$_1$煤层主要由微孔组成,能够为煤层气吸附提供较大的比表面积,有利于煤层气的赋存;④软煤在构造应力的作用下,煤的分子和晶体结构发生变化,孔隙度和比表面积有所增加,使得其亲甲烷能力有所增强,煤层含气量增高。然后受 2 种外在因素控制:①随着上覆基岩厚度的增加,封存能力逐渐增强,煤层含气量逐渐增大;②因断层的作用使得北部断块中二$_1$煤层与奥陶系石灰岩直接对接,形成相对导水边界,地下水的径流不可避免地带走一定量的煤层气,引起煤层含气量降低;中部断块中因凤凰岭强径流带的作用,煤层气以水流为载体进行运移,导致煤层含气量降低,但相对高于北部断块;南部断块中二$_1$煤层与二叠系弱透水岩层对接,对煤层气的保存有利,煤层含气量较高,形成马厂勘查区煤层气最有利富集区。

关键词:煤层气;富集规律;主控因素;含气量;马厂勘查区

中图分类号:P618;TE131 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2020)03-0180-08

Research on law of coalbed methane enrichment and main controlling factors in Jiaozuo Machang exploration area

YANG Heng[1],LUO Xian[2],SUN Changyan[1,3]

(1.*School of Resources and Environment,Henan Polytechnic University,Jiaozuo* 454003,*China*;2. *Third Team of Henan Provincial Coal Geology Bureau,Zhengzhou* 450016,*China*;3. *Collaborative Innovation Center of Coalbed Methane and Shale Gas for Central Plains Economic Region,Henan Province,Jiaozuo* 454003,*China*)

Abstract:The paper is devoted to explore the rules and main control factors of coalbed methane enrichment in Machang exploration area. Field research, sampling,laboratory testing, and analysis of coal exploration data were used in this study. The distribution characteristics of coal seam gas content in Machang area were summarized and the intrinsic and extrinsic factors affecting coal seam gas content were analyzed systematically.The results show that the measured coalbed methane content in the Machang exploration area is 13.77~27.30 cm^3/g, with an average of 20.26 cm^3/g. The gas content is decreasing from west to east and south to north, with the highest in the southwest.The gas content distribution is controlled by four intrinsic factors. First, Ⅱ$_1$ vitrinite group has a high content and has strong gas generating capacity, which is conducive to the formation of coalbed methane.Second, the coal ash content and moisture content of Ⅱ$_1$ are low, and the adsorption capacity of is strong, which is conducive to the occurrence of coalbed methane. Third, Ⅱ$_1$ coal seam is mainly composed of mi-

收稿日期:2019-10-28;**责任编辑**:王晓珍

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41472127);河南省自然科学基金资助项目(182300410004);河南省自然资源科研资助项目(豫财招标采购 2018-132-8)

作者简介:杨 恒(1993—),男,河南新乡人,硕士研究生。E-mail:294268048@qq.com

通讯作者:孙长彦(1987—),男,山东临沂人,讲师,博士研究生。E-mail:schy@hpu.edu.cn

cropores, which can provide a large specific surface area for coalbed methane adsorption and is conducive to the occurrence of coalbed methane.Fourth, under the action of tectonic stress, the soft coal has a change in the molecular and crystal structure of the coal, and the porosity and specific surface area have increased, which has enhanced the affinity of the methane and increased the gas content of the coal seam.Meanwhile, the gas content distribution is controlled by two extrinsic factors. First, with the increase of overlying bedrock thickness, the storage capacity is gradually enhanced, and the gas content of coal seam is gradually increased.Second, due to the effect of faults, the Ⅱ$_1$ coal seam in the northern fault block is directly connected with Ordovician limestone, forming a relatively water-conducting boundary. The runoff of the groundwater will inevitably take a certain amount of coalbed methane, causing the gas content of the coal seam to decrease.Due to the action of the Fenghuangling strong runoff zone in the central fault block, the coalbed methane migrates with the water flow as the carrier, resulting in a decrease in the gas content of the coal seam, but relatively higher than the northern fault block. Ⅱ$_1$ coal seam in the southern fault block is connected with the Permian weakly permeable rock stratum, which is beneficial to the preservation of coalbed methane, and the gas content of the coal seam is relatively high, forming the most favorable enrichment area of coalbed methane in Machang exploration area.

Key words: coalbed methane; enrichment law; main controlling factors; air content; Machang exploration area

0　引　　言

我国煤层气资源丰富,埋深 2 000 m 以浅的煤层气资源量 36.81 万亿 m^3,居世界第 3 位[1]。根据有关资料统计,埋深 1 000~2 000 m 煤层气资源量高达 22.5×10^{12} m^3,占总量的 61.1%[2-3]。但目前国内煤层气勘探开发主要集中在埋深 1 000 m 以浅煤层[4-5],因此,研究深部煤层气富集规律及主控因素,对于寻找新的煤层气有利开发区及促进煤层气产业发展具有重要意义[6-8]。

焦作马厂勘查区的煤层气资源非常丰富,勘查区面积约 345.30 km^2,煤层含气量为 11.7~38.8 m^3/t,平均 21.9 m^3/t,煤层气资源量 724.84 亿 m^3,煤层吸附性能好、煤层含气量高,具有较好的煤层气勘探开发基础[9]。国内外学者在煤层气富集主控因素研究方面有着独特的见解。国外学者[10-14]认为,构造条件、煤阶、煤层埋深、煤层压力和水文压力等条件是影响煤层气富集的主要因素,同时国外学者还从生成条件、保存条件、物性条件、储层压力等因素对煤层气富集规律进行了研究[15-19]。国内学者主要从构造控气[20-21]、沉积控气[22]、水文地质条件控气[23-24]3 个方面进行研究,同时国内学者还对焦作矿区二$_1$煤层产出气体的运移和赋存规律[25]、二$_1$煤储层特征[26-27]、二$_1$煤层气含量[28]等进行了大量卓有成效的研究,但对于马厂勘查区的煤层气富集规律及主控因素缺乏透彻认识,对该区煤层气分布特征研究不够深入,对影响煤层气含量的主控因素没有进行细致的研究。因此,笔者在前人研究成果基础上,将焦作马厂勘查区分为北部、中部、南部 3 个断块进行煤层含气性研究,对煤层含气量的影响因素分为内在因素和外在因素进行分析,更为细致全面地对该区煤层气富集规律及主控因素进行了研究,为该区后续的煤层气勘探开发奠定基础。

1　地质背景

1.1　构造特征

焦作矿区位于华北晚古生代聚煤盆地的南部,处于华北板块板内太行构造区太行断隆的南段。马厂勘查区位于董村断层、马坊泉断层和峪河断层之间,总体为一走向北东、倾向南东,倾角 2°~14°的单斜。区内构造以断裂为主,并伴有小型宽缓褶曲。根据董村断层、凤凰岭断层、南张门断层和峪河断层的分布可将勘查区分为 3 个断块:董村断层和凤凰岭断层之间为南部断块,凤凰岭断层与南张门断层之间为中部断块,南张门断层与峪河断层之间为北部断块[29](图 1)。

1.2　地层特征

马厂勘查区为新生界全覆盖,据钻孔揭露情况,发育地层由老到新为:奥陶系中统马家沟组,石炭系上统本溪组、太原组,二叠系下统山西组、下石盒子组,二叠系上统上石盒子组,新近系和第四系。含煤地层为石炭系上统本溪组、太原组,二叠系下统山西组、下石盒子组和上统上石盒子组,含煤地层总厚 725 m,含煤 18 层,煤层平均总厚 16.04 m。其中,山西组下部的二$_1$煤层,为全区可采的较稳定煤层。

1.3　煤层特征

二$_1$煤层上距砂锅窑砂岩约 82 m,下距 L_8灰岩约 15 m,埋藏深度为 720~2 250 m,煤层厚度 0.81~10.49 m,平均 5.95 m,煤层结构简单,多为单一煤层,在墙南向斜轴部煤层明显变厚,朱营背斜轴部煤层明显变薄,煤层沿走向方向具有厚、薄相间的特点,总体趋势为西厚东薄。

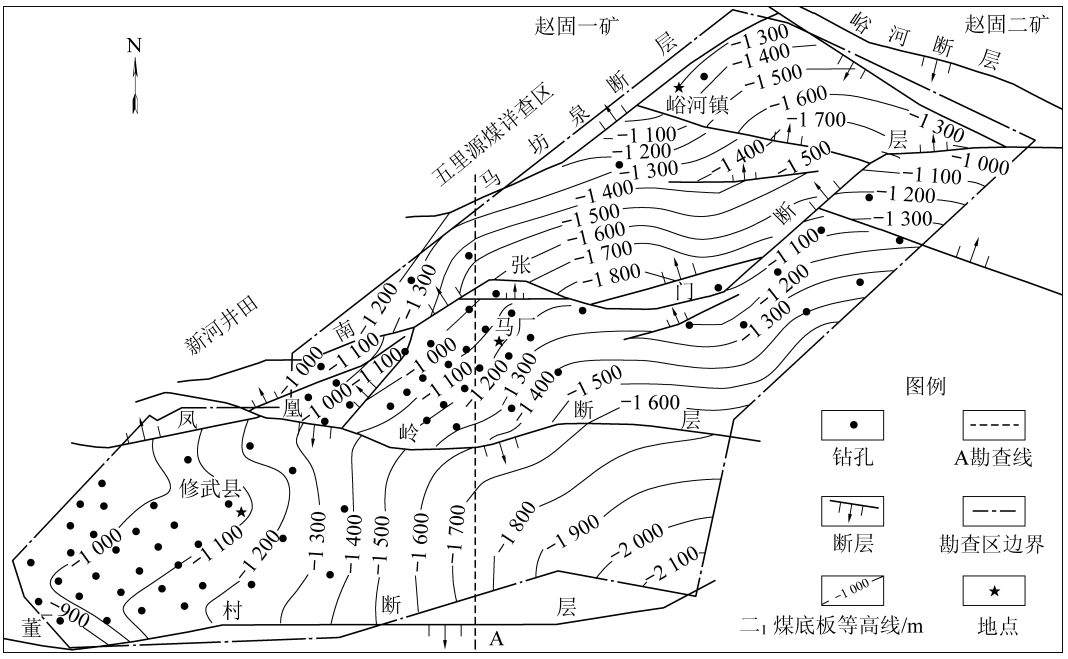


图 1　马厂勘查区构造纲要示意

Fig.1　Structure outline of Machang exploration area

2　煤层气富集规律及主控因素

2.1　含气性

马厂勘查区二$_1$煤层部分含气性统计结果(表 1)显示,煤层含气量为 13.77 ~ 27.30 cm^3/g,平均 20.26 cm^3/g;煤层气成分 CH_4 含量为 97.65% ~ 99.32%,平均 98.70%;CO_2 含量为 0.68% ~ 2.35%,平均1.28%;N_2 含量较少,为 0.07%。

表 1　马厂勘查区二$_1$煤层含气性特征

Table 1　Gas characteristics of Ⅱ$_1$ coal seam in Machang exploration area

区块	钻孔号	采样深度/m	煤层气含量/(cm^3 · g^{-1})	煤层气组分含量/%		
				CO_2	CH_4	N_2
北部	6001	1 369.78	13.77	1.46	98.47	0.07
	9201	1 355.05	16.84	1.66	98.34	—
	10801	1 417.65	15.58	1.03	98.97	—
中部	3602	1 164.16	17.97	1.08	98.92	—
	11602	1 249.30	18.81	0.68	99.32	—
	6402	1 149.45	18.82	1.26	98.74	—
南部	1603	1 147.35	27.30	2.35	97.65	—
	1604	1 174.20	23.65	1.28	98.72	—
	0801	1 077.60	26.67	0.77	99.23	—

马厂勘查区二$_1$煤层含气量普遍较高,北部断块煤层含气量 13.77 ~ 16.84 m^3/t,平均值 15.39 m^3/t;中部断块煤层含气量 17.97 ~ 18.82 m^3/t,平均值 18.53 m^3/t;南部断块煤层含气量 23.65 ~ 27.30 m^3/t,平均值 25.87 m^3/t;南部断块煤层含气量相对较高,中部断块次之,北部断块相对较低,整体上呈现由西到东、由南到北减小的趋势,勘查区西南部的含气量明显高于东北部(图 2)。

2.2　含气量控制因素

影响煤层含气量的因素可分为内在因素和外在因素。其中,内在因素包括:煤岩煤质、煤的吸附能力、煤的孔隙特征、煤体结构等;外在因素包括:煤层埋深、上覆基岩厚度、构造、水文地质条件、储层压力、储层温度等。

2.2.1　内在因素

1)煤岩煤质特征对含气量的影响。据 MC-01 井二$_1$煤层煤岩显微组分测试结果显示,二$_1$煤的有机显微组分以镜质组为主,含量为 70.8% ~ 87.5%,平均 78.03%;其次为惰质组,含量为 10.5% ~ 26.1%,平均 19.06%;无机组分以黏土矿物为主,其

次为氧化硅类;镜质组最大反射率为 3.40%～3.57%,平均值 3.46%(表 2);马厂勘查区二$_1$煤镜质组含量整体较高,对煤的生气能力有利,高镜质组煤在其热演化过程中生成大量甲烷,其强烈的吸附能力,使得气体不容易逸散,有利于煤层气的生成与赋存。

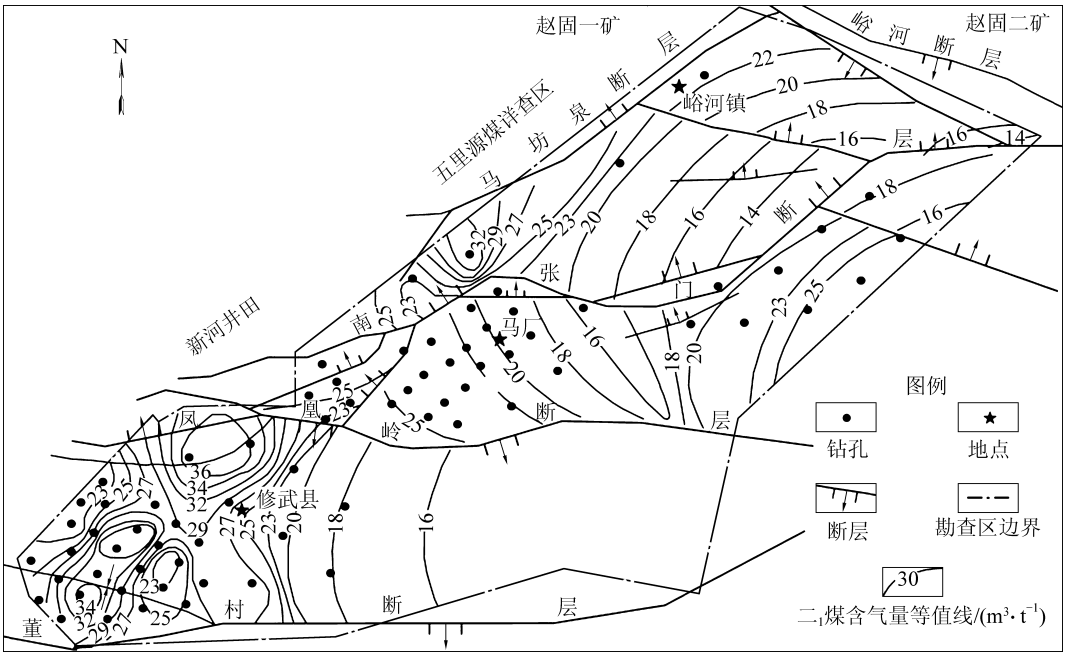


图 2　马厂勘查区二$_1$煤层含气量等值线

Fig.2　Gas content contour map of Ⅱ$_1$ coal seam in Machang exploration area

表 2　MC-01 井二$_1$煤的显微组分和镜质体反射率测定结果

Table 2　Measurement results of macerals and vitrinite reflectance of MC-01 well in Ⅱ$_1$ coal seam

样号	有机组分含量/%			无机成分含量/%				$R_{o,max}$/%	含气量/(cm^3·g^{-1})
	镜质组	惰质组	壳质组	黏土类	氧化硅	碳酸盐	其他类		
1	70.8	26.1	0	2.7	0.2	0	0.2	3.42	17.92
2	75.8	20.6	0	3.0	0.2	0	0.4	3.40	18.00
3	87.5	10.5	0	1.6	0.2	0.2	0	3.57	16.45

根据 MC-01 井煤质化验测试资料,二$_1$煤灰分 8.22%～33.03%,平均 14.53%,属低灰煤,经分选后,降灰率较高;水分 1.51%～1.82%,平均 1.62%;挥发分 6.71%～11.86%,平均 8.00%;固定碳含量为 76.98%～83.73%,平均 80.15%;二$_1$煤中碳含量 77.04%～83.58%,平均 80.05%;氢含量为 2.65%～2.74%,平均 2.70%;真密度为 1.52～1.58 g/cm^3,平均 1.55 g/cm^3;视密度为 1.39～1.49 g/cm^3,平均 1.45 g/cm^3(表 3);二$_1$煤层中灰分和水分含量与煤层含气量基本成负相关关系,当水分和灰分被煤体吸附时,难免占据一定的孔隙空间,从而减少甲烷的吸附量,该区二$_1$煤层中灰分和水分含量整体较低,表明煤层吸附能力较强,有利于煤层气的赋存。

表 3　MC-01 井二$_1$煤层煤质分析

Table 3　Coal quality analysis of MC-01 well in Ⅱ$_1$ coal seam

样号	工业分析/%				元素分析/%			焦渣特性代号	$w(S)_{t,d}$/%	真密度/(g·cm^{-3})	视密度/(g·cm^{-3})	含气量/(cm^3·g^{-1})
	M_{ad}	A_d	V_{daf}	FC_{ad}	$w(C)_{daf}$	$w(H)_{daf}$	$w(N)_{daf}$					
1	1.76	11.38	6.71	—	—	—	—	2	—	—	—	20.19
2	1.51	12.59	7.36	79.75	79.54	2.74	0	2	0.36	1.56	1.49	17.92
3	1.82	10.01	7.52	—	—	—	—	2	—	—	—	20.52
4	1.54	14.78	8.26	76.98	77.04	2.65	0	2	0.34	1.58	1.47	18.00
5	1.56	11.71	7.02	—	—	—	—	1	—	—	—	18.11
6	1.60	8.22	7.29	83.73	83.58	2.72	0	2	0.36	1.52	1.39	16.45
7	1.56	33.03	11.86	—	—	—	—	2	—	—	—	15.33

2)煤的吸附特性对含气量的影响。MC-01 井二$_1$煤层 3 个吸附样品在试验温度 30 ℃条件下进行等温吸附试验,结果表明:勘查区内煤层的平衡水基 Langmuir 体积 V_L 为 29.68~31.51 cm^3/g,平均 30.57 cm^3/g;干燥无灰基 Langmuir 体积为 38.33~41.83 cm^3/g,平均 40.18 cm^3/g;Langmuir 压力 P_L为2.01~2.33 MPa,平均 2.18 MPa;含气量为 16.45~18.00 cm^3/g,平均 17.45 cm^3/g;勘查区内煤储层具有很强的吸附能力,对甲烷吸附量大,表明煤层中具有良好的储集煤层气空间,有利于煤层气的赋存(表 4)。

表 4　马厂勘查区 MC-01 井煤样等温吸附特征

Table 4　Isothermal adsorption characteristics of coal samples from MC-01 well in Machang exploration area

样号	V_L/(cm^3·g^{-1}) 平衡水基	V_L/(cm^3·g^{-1}) 干燥无灰基	P_L/MPa	水分 M_{ad}/%	灰分 A_{ad}/%	挥发分 V_{daf}/%	固定碳 FC_{ad}/%	含气量/(cm^3·g^{-1})	含气饱和度/%	储层压力/MPa	临界解吸压力/MPa	临储比
1	29.68	38.33	2.01	1.51	12.59	7.36	79.7	17.92	67.11	11.18	1.76	0.157
2	30.52	40.40	2.20	1.54	14.78	8.26	76.9	18.00	58.97	11.19	1.76	0.157
3	31.51	41.83	2.33	1.60	8.22	7.29	83.7	16.45	52.21	11.22	1.51	0.134

3)煤的孔隙发育特征对含气量的影响。煤的孔隙性质是研究煤层气赋存状态、煤中气体(主要是甲烷)的吸附/解吸性能及其在煤层中运移的基础[30]。据 MC-01 井二$_1$煤层煤样压汞测试结果显示,马厂勘查区孔隙度为 4.29%~6.49%,平均 5.58%;总孔体积为 0.031 5~0.050 7 cm^3/g,平均 0.042 7 cm^3/g,孔隙体积百分比整体上以微孔为主,小孔次之,其次为中孔和大孔;总比表面积为 12.877~19.113 m^2/g,平均 17.328 m^2/g,孔隙比表面积百分比以微孔占绝对优势,小孔次之,其次为中孔,大孔基本不发育(表 5)。该区二$_1$煤煤样总比表面积与煤层含气量呈正相关关系,二$_1$煤层主要由微孔组成,孔径越小,为瓦斯吸附提供的比表面积越大,越有利于煤层气的赋存。

表 5　MC-01 井压汞测试煤样孔隙特征基本数据

Table 5　Basic data of pore characteristics of coal sample from MC-01 well tested by mercury injection

样号	孔隙度/%	总孔体积/(cm^3·g^{-1})	总比表面积/(m^2·g^{-1})	含气量/(cm^3·g^{-1})	体积比例/% 微孔	小孔	中孔	大孔	比表面积比例/% 微孔	小孔	中孔	大孔
1	5.60	0.043 4	18.659	18.11	45.85	24.88	22.58	6.69	88.35	11.2	0.45	0
2	6.49	0.050 7	19.113	20.52	40.04	24.06	26.43	9.47	87.73	11.71	0.55	0.01
3	4.29	0.031 5	12.877	16.45	43.49	22.22	18.10	16.83	88.91	10.85	0.24	0
4	5.93	0.045 3	18.664	20.19	44.15	22.74	8.61	24.50	88.76	10.89	0.31	0.04

4)煤体结构对含气量的影响。据马厂勘查区 62 个钻孔的 112 次的煤心含气量测定结果表明,糜棱煤含气量普遍高于碎粒煤含气量,碎裂煤含气量次之,原生结构煤含气量最少(图 3)。软煤在构造应力的作用下,煤的分子和晶体结构发生变化,孔隙度和比表面积有所增加,使得其亲甲烷能力有所增强,煤层含气量增高。由此可知,煤体结构是影响二$_1$煤层含气量的主要因素之一。

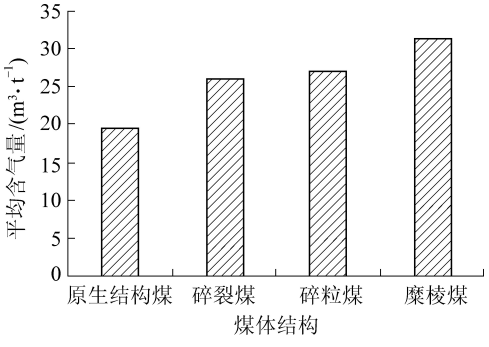


图 3　马厂勘查区煤体结构与含气量的关系

Fig.3　Relation between coal structure and gas content in Machang exploration area

2.2.2　外在因素

1)埋深对含气量影响。马厂勘查区二$_1$煤层埋深多在 1 000 m 以深,由西到东、由南到北埋深依次加大,东北部较西南部大,与含气量变化趋势相反。结合焦作煤田二$_1$煤层含气量数据进行统计,得到煤层埋深与含气量的关系(图 4)。

煤层含气量随埋深呈现先增加后减小的整体趋势,埋深在 1 000~1 200 m 时,煤层含气量最大。1 200 m以浅,含气量与埋深呈正相关关系,随着埋深的增加,含气量也随之增大;1 200 m 以深,二者具有负相关关系,这是由于自西向东埋深不断增大,但上覆基岩厚度逐渐减小,含气量随之减少。因此认为埋深不是影响马厂勘查区煤层含气量的主要控制因素。

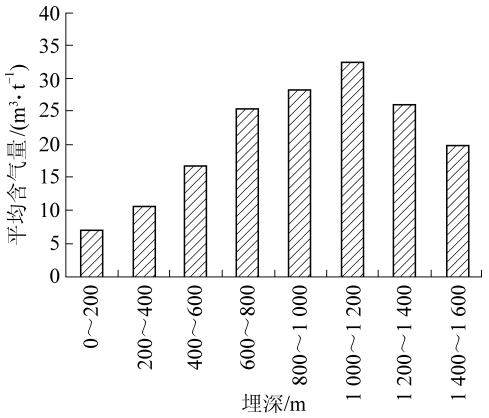


图 4　焦作煤田含气量与埋深的关系

Fig.4　Relation between gas content and burial depth in Jiaozuo coalfield

2)上覆基岩厚度对含气量影响。马厂勘查区二$_1$煤埋深多超过 1 000 m,属于深部煤层气范畴,但三叠纪末,本区受印支运动影响,地层抬升接受剥蚀作用,二$_1$煤层顶板至新生界地层基底之间的厚度反映了不整合面形成后残存的盖层厚度,即基岩厚度,也反映了二$_1$煤层含气性的有效埋藏深度。

上覆基岩厚度对煤层含气量能起到控制作用,一般情况下,上覆基岩厚度越大,保存条件越好,上覆基岩厚度越薄,气体越容易散失。勘查区二$_1$煤层上覆基岩厚度 300~650 m,一般 400~500 m,厚度相对稳定,上覆基岩厚度由西到东、由南到北依次减小,东北部较西南部小(图 5),与含气量变化趋势一致。由此可见,上覆基岩厚度对煤层含气量具有广泛的影响。

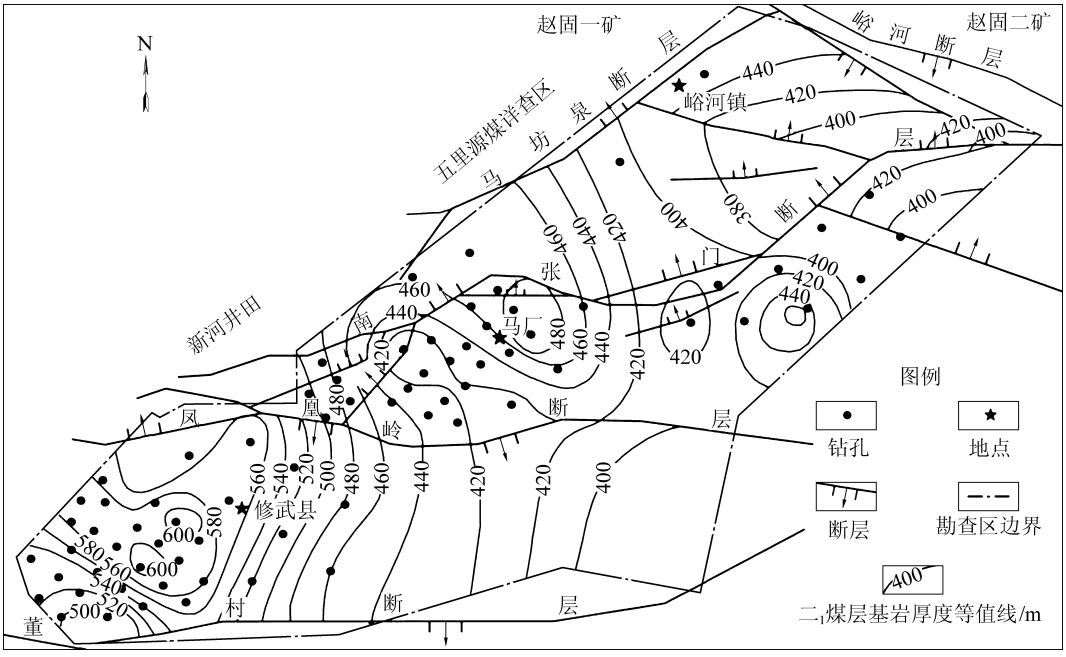


图 5　马厂勘查区二$_1$煤层上覆基岩厚度等值线

Fig.5　Contour map of overlying bedrock thickness of Ⅱ$_1$ coal seam in Machang exploration area

3)构造及其水文地质特征对含气量影响。马厂勘查区断裂构造以 NE 向断裂为主,次为 EW 向,均为高角度正断层,落差一般较大,以张性导水断层为主。在断裂构造影响下,二$_1$煤层在部分地段直接与太原组、奥陶系石灰岩含水层对接(图 6),同时断层破碎带还可沟通各含水层之间的水力联系。由于断层性质、断层导水情况及煤层对接岩性的不同,对研究区水文地质条件将产生不同的影响。

通过沿 A 勘查线做出的马厂勘查区主要断层对接关系显示(图 1、图 6),北部断块,南张门断层上升盘的二$_1$煤层与下降盘的二、三叠系弱透水岩层对接,形成相对隔水边界,而下降盘的二$_1$煤层则与上升盘的奥陶系石灰岩直接对接,则形成相对导水边界,地下水的径流不可避免地带走一定量的煤层气,且断块内断裂多为开放性正断层,不利于煤层气的保存,导致北部断块煤层含气量在全区相对较低;中部断块,凤凰岭断层属于强径流带,煤层气以水流为载体进行运移,导致煤层含气量降低,但相对高于北部断块。南部断块,区内二$_1$煤层与区外二叠系弱透水岩层对接,董村断层为一横向阻水,纵向弱导水断层,对煤层气的保存有利,同时勘查区西南部的墙南向斜轴部附近地下水流动较缓慢,划分为相对滞留区,有利于煤层气的富集,煤层含气量在全区相对较高。

勘查区内二$_1$煤层顶、底板含水层富水性较弱,地下水活动一般对煤层含气量影响不大,而断层的对接关系是影响煤层含气量的主要控制因素之一。

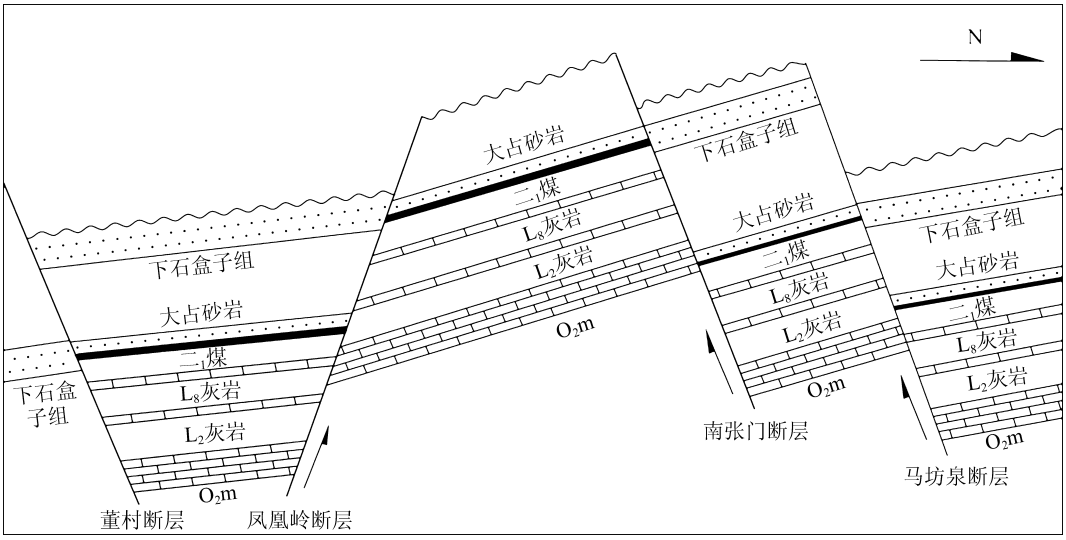


图 6　马厂勘查区主要断层对接关系示意

Fig.6　Docking relationship of major faults in Machang exploration area

4)储层压力及储层温度对含气量影响。储层压力越高,地层原始能量越高,提供的静水压力越高,越有利于煤层气的保存。储层温度越高,瓦斯活性增大,难以被煤体吸附,同时已被吸附的甲烷分子易于获得动能,从煤体表面脱逸出来,导致游离气越多,吸附气越少,含气量越低;因此,储层压力越高、温度越低越有利于煤层气的赋存。马厂勘查区二$_1$煤储层压力及储层温度相差不大,对煤层气的赋存基本没有影响,但含气饱和度和临储比较低,不利于煤层气的开发(表 4)。

3　结　　论

1)焦作马厂勘查区二$_1$煤镜质组含量较高,平均 78.03%,煤层中水分和灰分较低,二者总含量平均为 16.15%,表明二$_1$煤吸附能力较强,微孔是比表面积的主要贡献者,其所占比例高达 88%左右,二$_1$煤层内在因素总体有利于煤层气的生成与赋存;但含气饱和度和临储比较低,成为该区煤层气开发的不利因素。

2)通过煤炭资源勘查阶段的资料以及实验室测试结果分析发现:马厂勘查区北部断块平均煤层含气量 15.39 m^3/t,中部断块平均煤层含气量 18.53 m^3/t,南部断块平均煤层含气量 25.87 m^3/t,煤层含气量整体上呈现由西到东、由南到北减小的趋势;确定影响煤层含气量的外在因素是上覆基岩厚度和断层对接关系,以及该区西南部是煤层气最有利富集区。

参考文献(References):

[1] 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 occurence and enrichment patterns of coalbed methane in China[J]. Coal Science and Technology, 2014,42(6):19-24.

[2] 陈贞龙,王　烽,陈　刚,等.延川南深部煤层气富集规律及开发特征研究[J].煤炭科学技术,2018,46(6):80-84,194.
CHEN Zhenlong, WANG Feng, CHEN Gang, *et al*. Study on enrichment regularity and development characteristics of deep coalbed methane in south Yanchuan[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(6):80-84,194.

[3] 李　松,汤达祯,许　浩,等.深部煤层气储层地质研究进展[J].地学前缘,2016,23(3):10-16.
LI Song, TANG Dazhen, XU Hao, *et al*. Progress in geological researches on the deep coalbed methane reservoirs[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(3): 10-16.

[4] 接铭训.鄂尔多斯盆地东缘煤层气勘探开发前景[J].天然气工业,2010,30(6):1-6,121.
JIE Mingxun. Prospects in coalbed methane gas exploration and production in the eastern Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010,30(6):1-6,121.

[5] 陈　刚,秦　勇,李五忠,等.鄂尔多斯盆地东部深层煤层气成藏地质条件分析[J].高校地质学报,2012,18(3):465-473.
CHEN Gang, QIN Yong, LI Wuzhong, *et al*. Analysis of geological conditions of deep coalbed methane reservoiring in the eastern ordos basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2012,18(3):465-473.

[6] 陈贞龙,王　烽,陈　刚,等.延川南深部煤层气富集规律及开发特征研究[J].煤炭科学技术, 2018, 46(6):80-84,194.
CHEN Zhenlong, WANG Feng, CHEN Gang, *et al*. Study on enrichment law and development features of deep coalbed methane in South Yanchuan Field[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(6):80-84,194.

[7] 陆小霞,张　兵,吴　见,等. 柿庄北区块深部煤层气产能特征及影响因素分析[J].煤炭科学技术,2018,46(6):92-100.
LU Xiaoxia, ZHANG Bing, WU Jian, *et al*. Analysis on production features and influence factors of coalbed methane indeep section of north Shizhuang Block[J]. Coal Science and Technology, 2018,46

(6):92-100.

[8] 王运海.延川南深部煤层气井排采制度研究[J].煤炭科学技术, 2018, 46(06): 132-137.
WANG Yunhai.Study on drainage and production system of deep coalbedmethane well in South Yanchuan Block[J].Coal Science and Technology, 2018,46(6):132-137.

[9] 刘跃进.获嘉县马厂煤详查通过专家评审获煤资源量 27 亿吨[J].资源导刊,2017(12):41.
LIU Yuejin. Machang coal check in Jiaxian county, 2.7 billion tons of coal resources were obtained through expert evaluation[J]. Henan Land Resources,2017(12):41.

[10] CROSDALE P J, BEAMISH B B, VALIX M. Coalbed methane sorption related to coal composition[J]. International Journal of Coal Geology,1998,35(97):147-158.

[11] SCOTT A R.Hydrogeologis factors affecting gas content distribution in coal beds[J].International Journal of Coal Geology,2002,50(2): 363-387.

[12] FITZGERALD J E,SUDIBANDRIYO M,PAN Z,*et al*.Modeling the adsorption of pure gases on coals with the SLD model[J].Carbon, 2003,41(12):2203-2216.

[13] ALEXEEV A D,ULYANOVA E V,STARIKOV G P,*et al*.Latent methane in fossil coals[J].Fuel,2004,83(10):1407-1411.

[14] PASHIN J C,MCINTYRE-REDDON M R,MANN S D,*et al*.Relationships between water and gas chemistry in mature coalbed methane reservoirs of the Black Warrior Basin[J].International Journal of Coal Geology,2013,126(2):92-105.

[15] LI H,OGAWA Y.Pore structure of sheared coals and related coalbed methane[J].Environmental and Geology,2001,40(11/12): 1455-1461.

[16] MAZUMDAR B K,MUKHERJCE S N,BANERJCE B,*et al*. Origin and assessment of methane gassiness of coalbeds vis-à-vis coal metamorphism[J].Journal of Mines,Metals & Fuels,1997,45(11/12): 390-399.

[17] PIEDAD SANCHEZ N,IZART A,MARINEZ I, *et al*. Paleothermicity in the Central Asturian Coal Basin, North Spain[J]. International Journal of Coal Geology, 2004, 58(4):205-229.

[18] RYAN B,GENTZIS T.Controls on methane adsorption capacity of lower cretaceous coals from northeastern British Columbia, Canada: Part 1—Geology, Rank Variation, and Adsorption Isotherms [J].Energy Sources,2003,25(12):1137-1153.

[19] SACHSENHOFER R F,PRIVALOV V A,ZHYKALYAK M V,*et al*. The Donets Basin (Ukraine/Russia): coalification and thermal history[J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 49(1):33-55.

[20] 魏书宏,韩少明.沁水煤田南部煤层气构造控气特征研究[J].煤田地质与勘探,2003,31(3):30-31.
WEI Shuhong, HAN Shaoming. study of characteristics of structure-controlled coalbed gas in southern Qinshui Coalfield [J]. Coal Geology & Exploration,2003,31 (3):30-31.

[21] 宋　岩,赵孟军,柳少波,等.构造演化对煤层气富集程度的影响[J].科学通报,2005,50(S1):1-5.
SONG Yan,ZHAO Mengjun,LIU Shaobo,*et al*. Influence of tectonic evolution on the degree of coalbed methane enrichment[J]. Science Bulletin,2005,50(S1):1-5.

[22] 任海英.沁水煤田晋城矿区煤层的沉积环境与煤层气[J].煤矿现代化,2004(6):18-19.
REN Haiying. Sedimentary environment and coalbed methane of coal seam in jincheng mining area of qinshui coalfield[J]. Coal Mine Modernization,2004(6):18-19.

[23] 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 Zihe. Controlled characteristics of hydrogeological conditions on the coalbed methane migration and accumulation[J]. Journal of China Coal Society,2001,26 (5):459-462.

[24] 刘大锰,王颖晋,蔡益栋.低阶煤层气富集主控地质因素与成藏模式分析[J].煤炭科学技术,2018,46(6):1-8.
LIU Dameng,WANG Yingjin,CAI Yidong.Analysis of main geological controls on coalbed methane enrichment andaccumulation patterns in low rank coals[J]. Coal Science and Technology, 2018,46(6): 1-8.

[25] 田俊伟.太行山构造演化对焦作矿区瓦斯赋存的控制研究[J].煤炭科学技术,2015, 43(7):127-130,73.
TIAN Junwei. Study on the control of taihang mountain tectonic evolution on gas occurrence in Jiaozuo mining area[J]. Coal Science and Technology, 2015,43(7):127-130,73.

[26] 宋志敏,孟召平.焦作矿区山西组二$_1$煤层含气量的控制因素探讨[J].中国矿业大学学报,2002,31(2):179-181.
SONG Zhimin,MENG Zhaoping.Discussion on geological controlling factors of coalbed methane content in Jiaozuo mining area [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(2):179-181.

[27] 孟召平,彭苏萍,白清昭,等.焦作矿区二$_1$煤储层特征评价[J].中国矿业大学报,1998,27(2):53-57.
MENG Zhaoping, PENG Suping, BAI Qingzhao, *et al*. Characteristic evaluation of Ⅱ$_1$ coal reservoir in Jiaozuo mining area [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1998, 27(2):53-57.

[28] 员三强,田张丽.河南焦作矿区二$_1$煤储层特征及煤层气资源潜力评价[J].中国煤田地质,2005,17(6):13-16.
YUN Sanqiang, TIAN Zhangli. Characteristics of Ⅱ$_1$ coal reservoir and evaluation of coalbed methane resource potential in Jiaozuo mining area, Henan province[J]. Coal Geology of China, 2005,17(6):13-16.

[29] 付江伟,傅雪海,胡　晓,等.焦作矿区煤层气开发的水文地质条件分析[J].中国矿业,2011,20(4):105-110.
FU Jiangwei,FU Xuehai,HU Xiao,*et al*. Analysis of hydrogeological conditions for coalbed methane development in Jiaozuo mining area [J]. China Mining Magazine, 2011, 20 (4): 105-110.

[30] 曹新款,朱炎铭,王道华,等.郑庄区块煤层气赋存特征及控气地质因素[J].煤田地质与勘探,2011,39(1): 16-19,23.
CAO Xinkuan,ZHU Yanming, WANG Daohua,*et al*. Occurrence characteristics of coalbed methane in Zhengzhuang block and geological factors for gas control[J]. Coal Geology & Exploration, 2011,39(1):16-19,23.