

煤层气的封存与富集条件

桑树勋 范炳恒 秦 勇

(中国矿业大学, 江苏徐州 221008)

唐书恒 叶建平

(中国煤田地质总局第一勘探局, 河北邯郸 056004)

贾社屯

(潞安矿务局, 山西长治 046204)

在水文地质条件简单的地区,煤层气的封存主要取决于煤层气富集区的构造及盖层岩性。通常情况下,压性断层可使煤层甲烷增多,张性断层使其降低。但在远离张性断层面的两侧,一般形成两个对称的平行条带状构造应力高压区,使得煤层甲烷含量相对升高,成为阻止煤层甲烷进一步向断层运移的天然屏障。背斜构造的中和面以上及向斜构造的中和面以下常会出现煤层甲烷的富集。依据煤层气盖层的排驱压力、渗透率等值,盖层可分为屏蔽层、半屏蔽层和透气层,它们在不同的构造发育区,其封盖性能不同,由此可划分出9类不同的构造封盖层岩性组合类型。平顶山矿区的实例分析表明:Ⅰ类组合煤层气含气性最好,其次为Ⅱ类、Ⅳ类、Ⅴ类,其它类型含气性最差。

关键词 煤层气 封存条件 构造岩性组合 平顶山矿区

第一作者简介 桑树勋 男 31岁 副教授(工学博士) 煤层气地质学与沉积地质学

煤层含气性主要取决于:生气条件系统、储集性能系统和封存条件系统。其中,封存条件系统主要包括煤层埋深、构造特征与应力场、盖层岩性和水文条件等地质因素。前人的研究表明,煤层含气性与煤层埋深具有定量关系,直接梯度法和间接梯度法成为目前预测深部煤层含气性的主要方法^[1~3]。但由于矿区范围内地质构造和盖层岩性的变化往往造成煤层含气梯度显著差异,限制了上述含气性预测方法的应用。在查明构造特征和盖层岩性控气规律的基础上,划分构造岩性组合类型,探讨煤层气富集规律和深部煤层含气性的预测方法具有理论和现实意义。本文以华北晚古生代部分地区主要含气煤层为例,对此方法进行了尝试。水文条件的封存作用有待进一步研究。

1 地质构造与煤储层含气性

地质构造发育特征既包括构造形迹,也包括构造形迹反映出的构造应力。

1.1 断层

压性断层表现为逆断层、压性走滑断层或发生反转的正断层,断层面为密闭性,煤层气很难透过

断层面运移散失,断层面附近成为构造应力集中带,可加大煤层气压力,使煤层吸附甲烷量增多,煤层含气量相对增高。

张性断层表现为正断层、拉张走滑断层或发生反转的逆断层,断层面为开放性,往往成为煤层气运移逸散的极好通道。断层面附近由于构造应力释放而成为低压区,煤层甲烷大量解吸,并从断层面逸散,使煤层含气量急剧下降。但在远离断层面(150~250 m)的两侧一般形成两个平行断层呈对称的条带状构造应力高压区,煤层甲烷含量相对升高,成为阻止煤层甲烷进一步向断层运移的天然屏障。高压区过后仍为原压带(图1)^[4]。

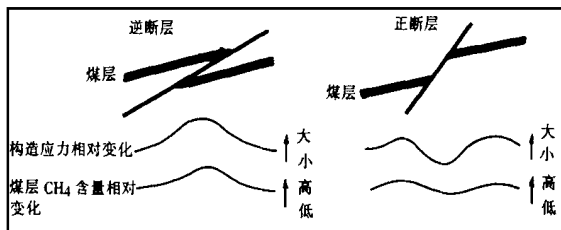


图1 断层构造与煤层含气量关系示意图

Fig. 1 Sketch map of relationship between faults and coalbed gas contents

1.2 褶皱

褶皱类型对煤层气的封存与聚集起显著的控

* 国家自然科学基金资助项目(批准号 49772131)

收稿日期: 1999 02 01

制作用(图 2)。

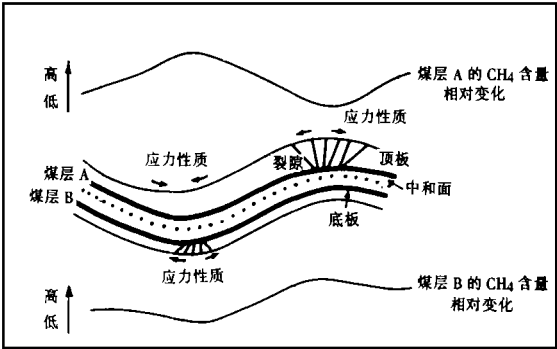


图 2 褶皱构造与煤层含气量关系示意图
Fig. 2 Sketch map showing the relationship between folds and coalbed gas contents

背斜构造的两翼与轴部中和面以下表现为压应力,特别是中和面以下出现明显的应力集中,这些部位为高压区。背斜轴部中和面以上表现为拉张应力,产生大量的张性裂隙或正断层,应力快速释放,为低压区。煤层气在背斜的两翼能较好地封存,在轴部就要看煤层与中和面的关系,中和面以上煤层气逸散,中和面以下煤层气聚集。但当煤层埋深较大且顶板为厚层泥岩时,上覆地层应力使泥岩封盖层表现为塑性,拉张应力只会加大塑性变形,不会产生开放性裂隙,顶板保持良好的覆盖性能,两翼煤层中的甲烷也会向轴部运移,造成煤层的高含气性,此时中和面以上仍富集煤层甲烷,且游离气占相当大的比例。

向斜构造两翼与轴部中和面以上表现为压应力,中和面以上表现为明显的应力集中,为高压区;中和面以下表现为拉张应力,由于煤层往往埋深较大,只产生少量开放性裂隙,释放部分应力,形成相对低压区。向斜的两翼和轴部中和面以上是有利于煤层气封存和聚集的部位,特别是向斜的轴部是煤层气含量高异常区。当煤层埋深较大,顶板为厚层泥岩时,中和面以下也会出现煤层甲烷聚集。

1.3 实例

华北地区断层构造主要形成于新生代喜山运动,基本上呈张性,以正断层为主,故不利于煤层甲烷的封存,煤层甲烷含量普遍较低。华北地区太行山东麓含煤区中北段表现得最为突出,该区发育一系列阶梯状近 SN 向的正断层,主力储层含气量一般不超过 $8\text{ m}^3/\text{t}$,为华北低含气区;含煤盆地内部也有明显表现,如沁水盆地总体为高含气区,但其中的潞安矿区位于太行山西翼中段,正断层发育,

与相邻的晋城矿区相比,煤层含气性要差得多。华北地区煤层赋存的一个显著特点是煤层埋深相对较浅,基本上位于褶皱中和面以上,向斜富气、背斜贫气在全区具有普遍性,主要表现为盆地(煤田)或矿区内部煤层含气性的变化,如开滦煤田、河东煤田。上述分析可以得出结论:压性构造发育区煤层含气性优于张性构造发育区;逆断层发育区煤层含气性优于正断层发育区;向斜构造富气,背斜构造相对贫气。

2 封盖层特征与煤层含气性

煤层气主要以吸附状态存在,受地下水承压、生烃增压和构造应力的影响,在成藏过程中煤储层常出现超压现象。美国圣湖安等煤盆地目前煤储层仍保持超压状态,此时煤储层的地层压力不仅高于上覆地层(顶板),也高于下伏地层(底板),煤层的顶板和底板对煤层气的保存都起作用,一般认为顶板的作用更为显著,我们这里研究的也主要是顶板。

盖层(顶板)对煤储层气体的封闭作用有三种机制:毛细管封闭、压力封闭和烃浓度封闭。毛细管封闭和压力封闭可以阻止气体运移,烃浓度封闭主要阻止气体的扩散。盖层毛细管封闭能力的大小主要取决于排驱压力,压力封闭能力受控于渗透率,而烃浓度封闭能力与扩散系数关系密切,参考常规天然气盖层的评价指标,我们将煤储层封盖层划分为屏蔽层、半屏蔽层和透气层(表 1)。根据前

表 1 煤储层封盖层分类

Table 1 Classification for cap rocks of coal reservoirs					
类 型	P/MPa	$K/\mu\text{m}^2$	$D/\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	D/nm	裂隙发育
屏蔽层	> 1.0	$< 10^{-3}$	$< 10^{-8}$	< 25	差
半屏蔽层	$0.1\sim 1.0$	$< 10^{-2}$	$< 10^{-6}$	< 50	微
透气层	< 0.1	$> 10^{-2}$	$> 10^{-6}$	> 50	好

人对常规气不同盖层岩性物性所做的大量测试,屏蔽层的代表岩性为岩盐、泥岩、粉砂质泥岩、致密泥灰岩和灰岩,半屏蔽层的代表岩性为砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩,透气层的代表岩性为粉砂岩、砂岩和裂隙灰岩^[5,6]。

3 构造封盖层岩性组合类型

根据地质构造类型、封盖层类型与煤储层含气

性的关系,可划分出 9 种不同构造封盖层岩性组合类型(表 2)。I 型组合的典型地质构造为向斜和逆断层,封盖层为屏蔽层; II 型组合的典型地质构造为向斜和逆断层,封盖层为半屏蔽层; II 型组合的典型地质构造为向斜和逆断层,封盖层为透气层; IV 型组合的典型地质构造为单斜和少量断层,封盖层为屏蔽层; V 型组合的典型地质构造为单斜和少量断层,封盖层为半屏蔽层; VI 型组合的典型地质构造为单斜和少量断层背斜,封盖层为透气层; VII 型组合的典型地质构造为正断层和背斜,封盖层为屏蔽层; VIII 型组合的典型地质构造为正断层和背斜,封盖层为半屏蔽层; IX 型组合的典型地质构造为正断层和背斜,封盖层为透气层。I 型组合发育区煤层含气性最好,其次为 II 型组合、IV 型组合和 V 型组合发育区,煤层含气性最差的为 II 型组合、VI 型组合、VII 型组合、VIII 型组合和 IX 型组合发育区。

表 2 构造封盖层岩性组合类型

Table 2 Lithologic assemblage types of structural cap rocks

封盖层	压性构造发育	过渡型构造发育	张性构造发育
屏蔽层	I 型组合	IV 型组合	VII 型组合
半屏蔽层	II 型组合	V 型组合	VIII 型组合
透气层	III 型组合	VI 型组合	IX 型组合

4 平顶山矿区实例分析

矿区总体构造形态为一宽缓的复式向斜,即李口向斜。向斜轴向 NW—SE,向 NW 倾伏。两翼地层基本对称,地层走向 290°~310°,倾角 5°~20°,向向斜轴部地层倾角变缓。次一级褶皱在向斜南翼自北向南为郭庄背斜、十矿向斜、诸葛庙背斜和郝唐向斜,北翼自南向北有白石山背斜、灵武山向斜和襄郑背斜。除了边界大断层以外,区内发育的中、小断层以 NW 向为主,NNE 向断层次之,规模较大的有霍堰正断层、白石沟逆断层和锅底山正断层。

二叠系山西组的中下部煤组(以下简称二₁煤层)是平顶山矿区的主力煤储层,其顶板岩性主要为泥岩,分布在李口向斜的轴部及两翼的深部;其次为砂质泥岩和粉砂岩,在向斜北翼浅部连续分布,在向斜南翼呈三个不连续的朵状分布;砂岩盖层以条带状伸入砂质泥岩和粉砂岩分布区,分布范围非常局限。矿区总体构造呈压性,张性构造主要分布在向斜北翼浅部小型正断层发育区和南翼西部锅底山断层带。二₁煤层的构造岩性组合分区有 I 型、II 型、V 型、VII 型、VIII 型五种类型,其中 I 型最为发育,VII 型也相对发育,II 型次之,V 型、VIII 型发育范围非常局限(图 3)。

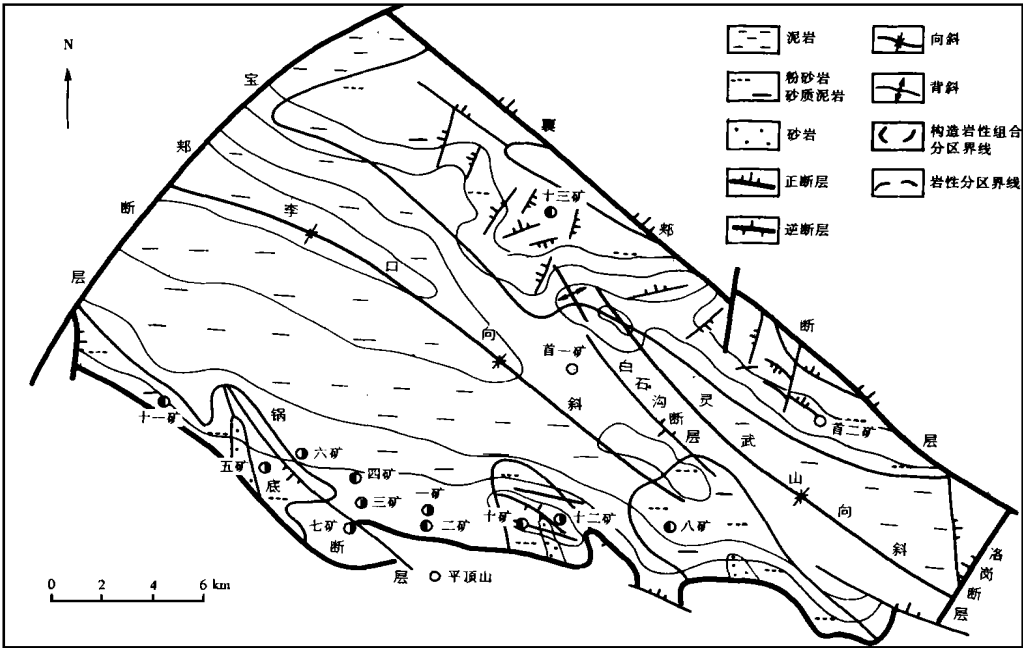


图 3 平顶山矿区二₁煤层构造封盖层岩性组合类型分区与含气性分布

Fig. 3 Zonations of strutral sealing rock lithologic assemblage types and coal-bed gas distribution of II₁ coal-bed in Pingdingshan mining area

I 型组合发育区位于李口向斜轴部,煤层含气量一般变化于 $8\sim 16\text{ m}^3/\text{t}$; II 型组合发育区位于八矿附近和十一矿深部,煤层含气量一般变化于 $4\sim 12\text{ m}^3/\text{t}$; VIII 型组合发育区位于向斜北翼浅部,煤层含气量一般小于 $8\text{ m}^3/\text{t}$ 。不同构造岩性组合分区煤层含气性变化显著,并符合上述所总结的规律。

笔者以兰氏体积(V_L)、有效阶段生气率(G_E)和深度因子(D)为定量参数,利用三元回归数学模型对平顶山矿区不同构造岩性组合类型分区的煤层含气量(G_C)和预测参数进行了回归分析,得到了不同分区的含气量预测公式

(1) I 类组合区 $G_C= 4.212- 0.006 V_L- 0.020 D+ 0.072G_E$; $R= 0.67, F= 4.74$

(2) II 类组合区 $G_C= 6.682+ 0.191 V_L- 0.200 D+ 0.028G_E$; $R= 0.44, F= 2.54$

(3) VIII 类组合区 $G_C= 6.451+ 0.097 V_L- 0.110 D+ 0.017G_E$; $R= 0.41, F= 2.62$

式中 R 为复回归系数; F 检验置信度为 0.05。与全矿区统计所得预测结果相比(直接梯度法或间

接梯度法),分区统计和预测的结果无疑减少了离散性,提高了预测效果^[7]。

参 考 文 献

1 张新民,张遂安,钟玲文,等. 中国的煤层甲烷. 西安: 陕西科学技术出版社, 1991. 93~ 95
2 李静,李小彦,杨利军,等. 煤层含气量预测方法. 煤田地质与勘探, 1998, 26(1): 31~ 33
3 桑树勋,刘焕杰,范炳恒,等. 含煤盆地煤层气资源量计算方法. 中国煤层气, 1996, (2): 106~ 109
4 王大曾. 瓦斯地质. 北京: 煤炭工业出版社, 1992. 53~ 60
5 陈荣书. 天然气地质学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 53~ 57
6 李国平,郑德文,欧阳永林,等. 天然气封盖层研究与评价. 北京: 石油工业出版社, 1996. 99~ 106
7 桑树勋,刘焕杰,李贵中. 煤层气生成与煤层气富集—I. 有效阶段生气量与煤层气富集. 煤田地质与勘探, 1997, 25(6): 14~ 17

CONDITIONS OF SEALING AND ACCUMULATION IN COAL-BED GAS

Sang Shuxun Fan Bingheng Qin Yong

(China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangshu)

Tang Shuheng Ye Jianping

(1st Exploration Branch of China Coal Geology Administration, Handan, Hebei)

Jia Shetun

(Lu'an Mine Bureau, Changzhi, Shanxi)

Abstract

In places with simple hydrogeological conditions, the sealing of coal-bed gas is mainly determined by geological structures and cap rock lithologic properties. In general, compressional fault could increase the content of coal-bed methane while tensional fault would decrease the content of coal-bed methane. Symmetric high stress zones in parallel stripped shape would usually form in two sides far off the fault, thus causing the increase of coal-bed methane content, and forming a natural curtain to block methane migration to the fault. Coal-bed methane accumulation would occur above the balancing surface of anticlines and below the balancing surface of syncline. According to their expulsive pressure and permeability, the cap rocks of coal-bed methane could be divided into shielding bed, semi-shielding bed and permeable bed, which in turn could be subdivided into 9 types of lithologic assemblages. Examples of Pingdingshan coal district show that, type-I assemblage is more favourable for coal-bed gas; type-II, type-IV and type-V assemblages are secondary; the rest are poor.

Key words coal-bed gas sealing condition structural-lithologic assemblage Pingdingshan coal district