

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

豫西地区煤层含气性分析

龙胜祥

樊生利 许化政

(中国地质大学, 北京, 100083)

(中原石油勘探局, 河南濮阳, 457001)

陈孔全 曾涛 李洁

(地质矿产部石油地质综合大队, 湖北荆州, 434100)

内容提要 煤层含气性是煤层气资源评价的重要参数。豫西地区石炭系—二叠系煤层发育, 本文依据大量的煤田地质资料和含气量测试、瓦斯涌出量等数据, 分析了含气量测试数据的可信度, 深入解剖了煤变质程度、埋深、构造、上覆连续沉积地层厚度、煤层厚度及煤层顶底板岩性等主要控制因素对煤层含气性的影响, 进而建立了煤层含气量与煤级、埋深的拟合曲线及其函数关系, 并对全区二₁煤层含气量空间分布规律进行了总结, 得出了本区煤层含气量高、煤层气勘探开发前景十分广阔的结论。

关键词 煤层气 煤层含气量 控制因素 赋存规律 豫西地区

煤层气是煤化过程中形成的仍赋存于煤层中的天然气, 是近期世界瞩目的能源开发新领域, 我国已拉开煤层气开发的序幕, 目前正在着手前期试验和选区研究^[1~6]。位于黄河以南、京广铁路以西的豫西地区是我国重要产煤基地, 石炭系—二叠系煤层发育, 煤炭资源十分丰富^[7], 开展煤层含气性分析, 对于在该区优选煤层气勘探开发区块, 具有十分重要的意义。本文依据大量的煤田地质资料和含气量测试、瓦斯涌出量等数据, 对豫西地区石炭系—二叠系煤层含气量控制因素、含气量空间分布进行了深入而全面的探讨。

1 煤层中气的赋存状态

煤层是有机质集中分布型烃源岩, 由于其有机质主要属Ⅲ型, 故煤化过程中, 大量生成天然气。这些天然气部分地通过扩散等方式运移出煤层, 而另一部分仍赋存于煤层中, 称为煤层气, 其赋存状态有3种: 游离状态、吸附状态和溶解状态。游离气以自由气体状态存在并运动于煤层的割理、外生裂隙和孔隙中, 运移的动力是压力, 其占煤层气总量的10%~20%。溶解气即是溶解于煤层水体中的气, 数量较少。吸附气是煤层气的主要赋存状态。煤层孔隙度不大, 但微孔十分发育, 内表面积大, 约100~400m²/g。内表面存在一部分指向空间且未饱和的吸引力, 吸附周围的气体分子。吸附是一种物理现象, 是可逆的, 随周围条件改变而改变, 直至达到新的平衡。压力增加, 煤的吸附能力加强, 压力降低, 则煤发生解吸现象^[8]。

煤层气开采即是利用上述吸附—解吸原理, 通过钻井排水, 降低煤层压力, 使气从内表面上解吸, 在微孔隙中发生扩散作用, 然后汇集在裂缝中并流向井筒。关于压力降低多少才使煤发生解吸, 可通过实验测定目标煤层的煤层气吸附等温线、含气量来确定。因此, 煤层含气量

注: 地质矿产部石油地质综合大队艾华国、王果寿、龚铭、熊海河参加了本文部分研究工作。

本文1997年1月收到, 10月改回, 郝梓国编辑。

是煤层气资源评价之重要参数。

豫西地区煤层含气量(传统叫煤层瓦斯)测试数据较少,测试方法主要为解吸法,其次为集气法和真空法。测定的煤层主要为二₁煤层,其次为三₉₋₁₀、四₆₋₇、六₁和一₁煤层。通过数据分析,笔者认为:①本区解吸法测试数据比较可信,原因是其数据中已包含了采样过程中气损失量,图1是平顶山矿区南部3种方法拟合曲线,可以看出,解吸法测试的含气量与埋深相关性最好,相关系数 $r=0.497$,其余两种方法结果较差。②二₁煤层数据稳定,畸型点少,故而可靠,而其它煤层数据少,数值变化大,可靠性差。

2 煤层含气量控制因素分析

影响和控制煤层含气量的因素很多,有气源(煤层生气量)、煤质(显微组分、变质程度、煤物理性质与结构、煤岩特征及煤孔渗条件)、环境(温度、压力、构造、顶底板岩性)等因素。总体上看,控制豫西地区石炭系一二叠系煤层含气量的主要因素有煤变质程度、埋深、构造、上覆连续沉积地层厚度、煤层厚度及煤层顶底板岩性等。现分述如下:

2.1 煤变质程度是煤层含气量变化之内因

豫西地区石炭系一二叠系煤层之变质程度差异很大[9],南部平顶山—韩梁一带主要为气煤(G)、肥煤(A)、焦煤(K)和瘦煤(JC),向中部登封、禹县及新密一带加深为瘦煤(JC)和贫煤

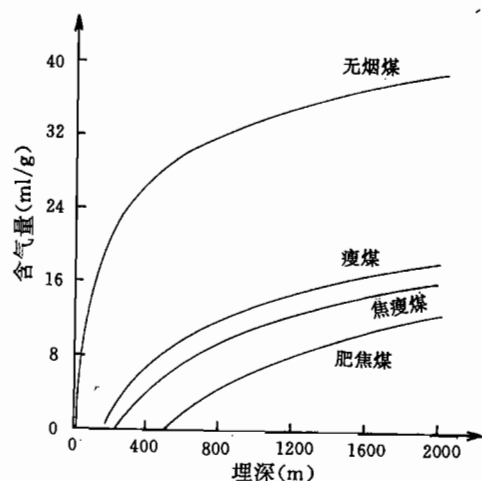


图2 豫西二₁煤层含气量和煤级与埋深关系

Fig. 2 Relations between gas content and coal metamorphic grade, depth in western Henan

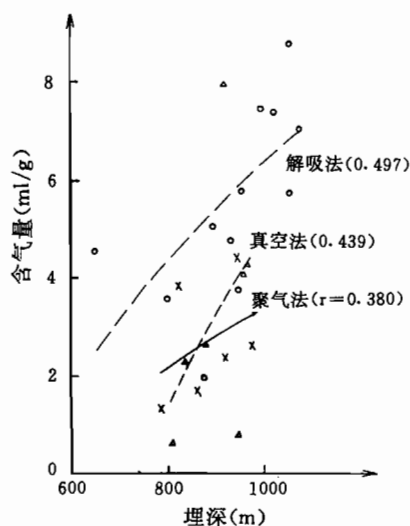


图1 平顶山矿区南部3种方法测试含气量与埋深拟合曲线

Fig. 1 Relations between gas content measured by three methods and depth in the south of Pingdingshan coal district

(T),至北部荥巩、偃龙则达到无烟煤(A)。煤变质程度不同决定了煤层含气量不同。同是二₁煤层,在平顶山矿区南部变质程度中等,为肥煤、焦煤,在埋深652~1070 m的范围内含量为0.331~10.617 ml/g可燃基;在平顶山矿区北部煤牌号为焦煤、瘦煤,在埋深约200~900 m范围内含气量为0.118~16.830 ml/g可燃基;在禹县矿区西部煤牌号以瘦煤为主,在约200~700 m埋深范围内含气量为0.2~9.90 ml/g可燃基;在荥巩矿区,煤牌号为无烟煤,在埋深43~496 m范围内,含气量为0.1~34.27 ml/g可燃基。分析发现含气量与煤变质呈正相关关系。选择其中解吸法分析数据,并剔除断层带及附近数据点,编制了不同煤级含气量与深度拟合关系图(图2)。可见,在同一深度上,随煤变质程度加大,二₁煤层含气量加大。究其原因,主要是两方面,煤变质程度愈高,生成天然气

量愈大;煤变质程度增高,煤的微孔隙增加,内表面积增大,吸附能力增强。换句话说,变质程度增高导致了煤层气源更丰富和含气特征增强。

2.2 埋深是煤层含气之重要外部条件

埋深增加,引起煤层温度和压力增加,也导致煤层保存条件变好。因此,埋深对煤层含气性质起重要的积极作用。关于这一点,本区表现十分明显。

(1) 埋深增加,煤层含气量增大:煤层含气量与埋深呈正相关变化关系,这已为本区采样分析和瓦斯涌出量统计所证实。前人多用煤层海拔标高与煤层瓦斯含量和沼气相对涌出量建立变化规律,总体上是合理的,结论明显,规律性强。通过分析,笔者认为,最好是用煤层实际埋深与含气量进行拟合,这样更合理,更符合实际,因为含气量实质是与压力相关,而用埋深比用煤层标高更能代表压力。通过几种数学模型对比分析,笔者发现,含气量(q)与埋深(H)关系之较理想的数学模型为: $q=a+b\log(H)$ 。本区各煤级煤层含气量与埋深关系具体见图2所示,埋深增加,煤层含气量先快速增大,随后增幅逐渐降低,直至增幅为0。

(2) 埋深决定瓦斯风化带展布:从表1可见,随着埋深增加,瓦斯中化学成分发生改变,其中 CO_2 和 N_2 含量逐渐减少, CH_4 含量逐渐增加,直到一定深度才趋于稳定。通常可按瓦斯成分划分为 N_2 带(N_2 含量 $\geq 80\%$)、 CH_4 带(CH_4 含量 $\geq 75\%$)和介于二者之间的 CO_2+CH_4 混合带。钻探证实, N_2 带和 CO_2+CH_4 混合带分布于煤层埋深较浅地带,而 CH_4 带位于煤层深埋区。造成这种分带性的原因是煤层埋深浅,则保存条件差,大气和水向下渗透,使瓦斯风化,甲烷氧化消失而形成风化带。一般而言,瓦斯风化带包含 N_2 带和 CO_2+CH_4 带,分布在埋深0~300 m范围内,个别深于300 m,如平顶山矿区南部个别区域,四₀煤层在其埋藏标高-450 m水平以上都受到一定程度风化, CH_4 含量最高不超过69.02%,二₁煤层风化带在一、四、六矿深部扩勘区深于-350 m水平。

2.3 构造引起煤层含气量局部变化

豫西地区的构造,特别是正断层十分发育^[10,11],平面上构造特征的差异性,决定了煤层含气量分布不均衡,以平顶山矿区北部二₁煤层为例(图3),可以见到如下明显的现象:

(1) 向斜轴部含气量高,背斜轴部含气量低。东部沿灵武山向斜轴部出现高含气带,这是由于构造应力驱使煤层甲烷向向斜轴部运移,且使轴部煤体结构遭破坏易富集煤层甲烷所致,在白石山背斜轴部,构造应力作用产生张裂隙甚至正断层,使煤层甲烷逸散而形成低含气带。

(2) 褶曲幅度大,对含气量影响大,反之则小。灵武山向斜、白石山背斜幅度大,最大至330 m,控制了含气量局部变化;而高家背斜等褶曲的幅度一般小于100 m,对含气量影响小。

(3) 断层对含气量影响

很大。图3中断层全为正断层,从封堵性看,均属开启性断层。断层规模不同而开启程度各异。高开启性断层,如沟里封正断层、兴国寺正断层等,引起煤层中地下水流入,形成以断裂为中心的压降漏斗,在地下水补给不充分时,断裂附近形成低含气

表1 新密矿区瓦斯纵向变化

Table 1 Vertical variation of gas in Xinmi coal district

孔号	采样深度 (m)	底板标高	成分分析(%)			含气量(ml/g)			瓦斯 等级
			CH_4	CO_2	N_2	CH_4	CO_2	N_2	
5002	103.9	+74.66	0.74	19.36	79.9	0.037	0.375	1.344	I
5002	105.2	+73.36	1.31	28.65	70.4	0.044	0.86	2.18	I
4901	150.3	+53.9	60.49	20.79	18.72	2.115	0.933	0.84	II
4305	203.5	+21.2	20.09	36.31	42.79	0.455	0.180	1.151	II
4804	219.20	-51.10	96.01	0.78	3.21	5.527	0.121	0.152	II
4804	218.3	-51.10	97.03	2.97	0	9.666	0.6	0.116	III
4804	220	-51.4	95.64	4.36	0	12.75	0.825	0.505	III

注:据新密矿区资料。

带,甚至引起了瓦斯风化带加深;中低开启性断层,如中部断层,易引起含气量局部降低。

2.4 上覆连续沉积地层厚度对煤层含气量有一定影响

豫西地区上石炭统太原组—上二叠统上石盒子组含煤地层沉积之后,发生了箕山运动,但活动较弱,仅在新安、宜洛、偃龙、登封等地导致地层抬升剥蚀,使上石盒子顶部剥蚀掉九煤段地层。总体上看,上覆石千峰组(P_2^3)及三叠系与上石盒子组基本上是连续沉积。从有关煤田地质图可见,本区南缘平顶山—宝丰—朝川一线和禹县云盖山一带 P_2^3 —T 地层缺乏,不利于煤层气的保存,故含气量偏低,与其煤变质程度不太相称。平顶山—韩梁矿区中北部和禹县矿区大部分上覆连续沉积地层遭剥蚀,尚存较薄的 P_2^3 —T₁,也对煤层气保存不十分有利,而以北的各矿区上覆连续沉积地层保存齐全,厚度大,对煤层气保存有利,这也是本区石炭系—二叠系煤层含气量北高南低的原因之一。

2.5 煤层厚度及煤层顶底板岩性对煤层含气量的影响

宏观上看,本区煤层及其顶底板岩层发育稳定,横向变化不大。但从微观上看,煤层厚度和煤层顶底板岩性变化较大,从而对煤层含气量局部分布有一定影响,煤层越厚,含气量越大,反之越小;顶底板为砂岩者,裂隙节理发育,易于煤层气排放和逸散,为泥岩者保存条件较好。禹县李楼井田,在砂岩顶板区域的含气量基本上比泥岩顶板区域低,就是这方面的例子。

3 豫西地区煤层气赋存规律

豫西地区含气量数据少,为了有效地研究全区主要煤层——二₁煤层的煤层气赋存规律,笔者以含气量实测数据为基础,对无数据区运用前面拟合的含气量与埋深关系曲线(图2)和二₁煤层的埋深、煤级变化规律,结合井田瓦斯数据作理论推测,编制了二₁煤层的含气量图(图4)。可看出:二₁煤层含气量 0~40 ml/g_{可燃基},一般在 2~35 ml/g_{可燃基},平面上具分区性。

3.1 北部特高含气量区

主要为偃龙、荥巩矿区,含气量一般大于 10 ml/g_{可燃基},最大实测为 27.33 ml/g_{可燃基}。两矿区南部为剥蚀区,越靠近剥蚀区含气量越低,基本上 <10 ml/g_{可燃基},最浅处甚至为 0。向北埋深加大,含气量增加,推测 2000 m 深度处约为 40 ml/g_{可燃基}。

3.2 中部高含气量区

以新密、登封、禹县矿区及宜洛矿区为主,含气量一般为 3~15 ml/g_{可燃基}。新密矿区含气量一般为 5~15 ml/g_{可燃基},最大实测为 17.62 ml/g_{可燃基}。

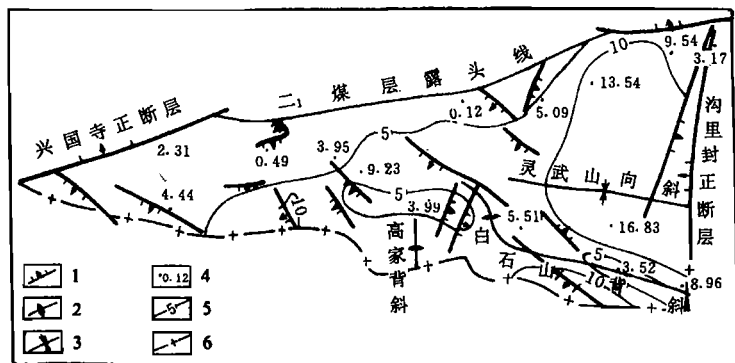


图3 平顶山矿区北部二₁煤含气量与构造关系

(据河南煤田地质公司,1984,修改)

Fig. 3 Relation between gas content of coalbed and structures in the north of Pingdingshan coal district

(Modified after Coal Field Geological Company of Henan Province, 1994)

1—正断层;2—背斜;3—向斜;4—钻井数据点;5—含气量等值线(ml/g);

6—井田边界线

1—Normal fault; 2—anticline; 3—syncline; 4—drill data point;

5—isopleth of gas content (ml/g); 6—boundary of well field

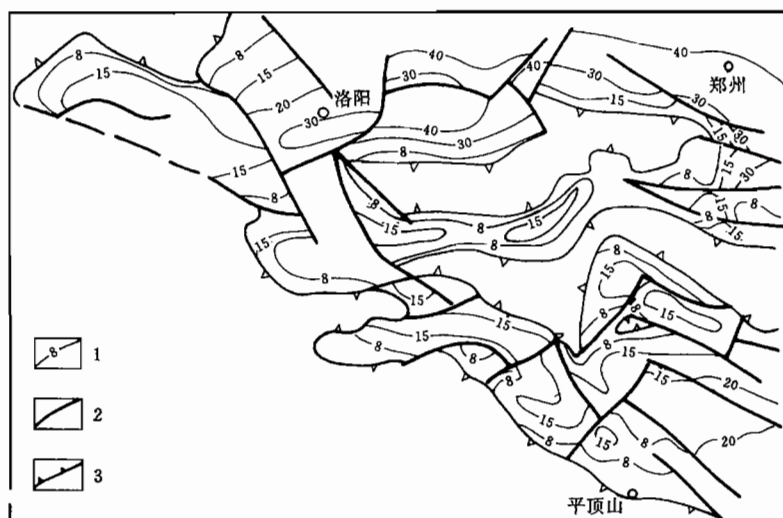
图4 豫西地区 C_{12} 煤层含气量分布图

Fig. 4 Distribution of gas content of coalbed in western Henan

1—含气量等值线(ml/g); 2—断层; 3—煤层尖灭线

1—Isopleth of gas content (ml/g); 2—fault; 3—thinning out line of coal bed

$\text{g}_{\text{可燃基}}$, 向东随埋深加大而含气量增加, 推测下牛村以东之深部达 $35 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。禹县矿区含气量一般为 $3 \sim 15 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 最大实测为 $18.26 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 南部深埋区计算其含气量高达 $20 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 而北部禹县一带向斜区最大为 $15 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。登封矿区含气量中部高, 约 $15 \sim 20 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 边部低, 一般在 $8 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 以下, 甚至 $< 1 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。宜洛矿区南白杨—马庄一带为 $15 \sim 20 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 基本上向北逐渐降低, 至 $< 1 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。宜洛矿区最高实测含气量为 $29.2 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 是局部火山岩造成无烟煤所影响。

3.3 南部中高含气量区

该区含气量一般约 $10 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 南部剥蚀区附近含量一般小于 $1 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。平顶山—韩梁矿区北部含气量较高, 一般 $6 \sim 15 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 最高实测 $16.83 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。平顶山—韩梁矿区中东部向斜深埋区含气量在 $12 \sim 15 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 之间。宝丰以北向斜区为 $12 \sim 15 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 但韩梁一带则仅 $1 \sim 3 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。临汝矿区以临汝镇至临汝县城东一线为中心, 含气量一般 $12 \sim 15 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$, 向南北两侧逐渐降低至 $< 3 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 。

3.4 西部中高含气量区

主要包括陕澠—义马、新安等矿区, 含气量在 $5 \sim 15 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 之间, 新安矿区在洛阳附近埋深大, 可能为无烟煤, 推测含气量在 $30 \text{ ml/g}_{\text{可燃基}}$ 左右。

4 结语

豫西地区煤层含气量普遍高, 在本区进行煤层气勘探开发与利用具有雄厚的资源基础, 前景十分广阔。但是, 由于煤层含气性控制因素多, 变化复杂, 具有明显分区分带性, 因此在进行本区煤层气勘探开发选区研究和方案决策时, 应充分考虑煤层含气性时空变化, 结合煤层气可

采性及经济地理条件进行综合分析和评价。一般地,从含气性的角度看,应选择在含气量 ≥ 8 ml/g_{可燃基}的地区之中的高乃至超高含气区带中,优选勘探开发区。

参 考 文 献

- 1 地质矿产部华北石油地质局.煤层气译文集.郑州:河南科学技术出版社,1990.1~593页.
- 2 王洪林,徐嘉谋,叶建平等.平顶山矿区二₁煤储层主要特征及其开发潜力.煤层气开发与利用国际会议文集(A).1995.133~143页.
- 3 张群众.中国煤层气开发前景展望.煤层气开发与利用国际会议文集(A).1995.6~8页.
- 4 赵韩梯.中国煤层气资源及投资环境.煤层气开发与利用国际会议文集(A).1995.390~396页.
- 5 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,1991.29~69页.
- 6 Michelle N. Lamberson and R. marc Bustin. Coalbed methane characteristics of Gates Formation coals, northeastern british columbia; effect of maceral composition. AAPG, 1993, 77(12): 2062~2076.
- 7 郭熙年,唐仲林,李万程等.河南省晚古生代聚煤规律.武汉:中国地质大学出版社,1991.1~293页.
- 8 钟玲文.煤的吸附能力与其煤化程度和煤岩组成间的关系.煤田地质与勘探.1990,(2):29~35.
- 9 杨起,潘治贵,翁成敏等.华北石炭、二叠纪煤变质特征与地质因素探讨.北京:地质出版社,1988.1~84页.
- 10 郭抗衡.豫西基础地质研究现状及新的设想(摘要).地质学术报告会论文汇编,1982.1~20页.
- 11 赵苏启.登封—新密煤田滑动构造的水文地质特征.煤田地质与勘探,1993,(1):53~54.

Analysis on the Gas Content of Coalbeds in Western Henan

Long Shengxiang

Fan Shengli, Xu Huazheng

(China University of Geosciences, Beijing, 100083) (Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang, Henan, 457001)

Chen Kongquan, Zeng Tao and Li Jie

(Comprehensive Research Institute of Petroleum Geology, MGMR, Jingzhou, Hubei, 434100)

Abstract

The gas content of the coalbed is one of important parameters for assessing coalbed methane resources. There is rich coal in the Carbonaceous—Permian of western Henan. Based on the coal geology, gas content measurements, gas emission and other data, this paper analyzes the reliability of gas content measurement and the influences of the ranks of coal metamorphism, coal burial depth, structure, thickness of overlying continuous deposits, thickness of coal and lithologic characters of the hanging wall and footwall of the coalbed on the gas content of the coalbed. Then the curves fitting the relationships of the gas content with the rank of coal metamorphism and depth as well as their functional relationships are established and the characteristics of the spatial distribution of the gas content of a coalbed are summarized. Finally, the authors conclude that the gas content of the coalbed is high and the prospects of exploiting coalbed methane are very bright.

Key words: coalbed methane; gas content of coalbed; controlling factor; western Henan

作 者 简 介

龙胜祥,男,1959年生。1982年1月毕业于原成都地质学院石油系,1996年在中国地质大学获博士学位。从事盆地分析、资源评价方面的研究。通讯地址:100083,北京学院路29号中国地质大学能源地质系。