

# 论多层叠置独立含煤层气系统

——以贵州织金—纳雍煤田水公河向斜为例

秦勇<sup>1)</sup>,熊孟辉<sup>2)</sup>,易同生<sup>2)</sup>,杨兆彪<sup>1)</sup>,吴财芳<sup>1)</sup>

1) 中国矿业大学资源与地球科学学院,江苏徐州,221116;2) 贵州省煤田地质局,贵阳,550006

**内容提要:** 基于贵州织金—纳雍煤田水公河向斜的实测资料,采用地质分析方法,探讨了煤层气地质条件在垂向上的非均质分布规律,提出和初步论证了“多层叠置独立含煤层气系统”的学术观点。研究表明,上二叠统龙潭组单一煤层甲烷平均含量及相邻主煤层之间含气量梯度均呈波动式变化,煤层埋深—压力系数关系在垂向上分为截然不同的两套系统,层序地层格架中二级层序与含气量梯度的独立分段高度吻合。由此揭示,含煤地层地下流体在不同主煤层之间总体上缺乏交换,导致不同煤层群之间的煤层气系统相对独立。笔者等认为,龙潭组层序地层格架特点奠定了该类系统形成的物性基础,含煤地层与上覆、下伏含水层之间缺乏水力联系而构成了该类系统产生的水文地质基础,即多层叠置独立含气系统是沉积—水文—构造条件耦合控气作用的产物。笔者等也指出,在以三角洲—潮坪—潟湖沉积体系为主的多煤层含煤地层中,该类含气系统可能具有普遍意义。

**关键词:** 煤层气;层序地层;水力封闭;多层叠置;含气系统

根据煤层气吸附原理,在一个统一的储层压力系统中,煤层埋深加大或层位降低,煤储层压力随之增高,煤层含气量呈现出递增或递减(在临界饱和和深度之下)的规律(秦勇等,2005)。然而,与“吸附原理”相悖或呈“波动式”变化的现象在自然界中并不鲜见(叶建平等,1999),在多煤层或煤层群地区尤为如此(李雪雁等,2004;熊孟辉<sup>●</sup>)。原因何在?

诚然,产生这种现象的地质原因是多方面的,如煤层物理性质和物质组成(秦勇等,1999;张群等,1999;据宜文等,2005)、煤层厚度(叶建平等,1999)、含煤段沉积组合(秦勇等,2000;傅雪海等,2001;金高峰等,2001)、构造控制、水文地质条件(洪峰等,2005;叶建平等,2001;傅雪海等,2001)等。但是,煤层气保存或逸散是煤储层内在因素和外部条件综合作用的结果。内在因素是受控于煤物理性质和化学特征的吸附能势,外部条件是受控于构造、水文、沉积等因素的动力场条件,两者共同维系着煤储层压力系统动态平衡。鉴于此,煤层含气量垂向分布相悖于“吸附原理”或呈“波动式”变化的特征,暗示存在一个对煤层气成藏特征描述至关重要的客观现象,即地层垂向剖面上存在着多个含煤层气系统,各系统之间极少发生动力学联系。

笔者等基于上述认识及长期对国内煤层气地质条件考察的结果,选择贵州织金—纳雍煤田水公河向斜这一典型实例开展研究,初步提出和论证了“多层叠置独立含煤层气系统”的成因观点。

## 1 煤层气地质背景

水公河向斜位于贵州省纳雍县南部,是贵州省规划的大型煤炭生产基地,被划分为西翼的五轮山和东翼的补作两个井田,含煤面积约120km<sup>2</sup>。

区内地表出露第四系、三叠系和二叠系。下二叠统茅口组(P<sub>2</sub>m)以厚层状灰岩为主,上二叠统峨嵋山玄武岩组(P<sub>2</sub>β)与下伏茅口组呈假整合接触,含煤地层上二叠统龙潭组(P<sub>3</sub>l)与下伏峨嵋山组呈假整合接触,与上覆上二叠统长兴组(P<sub>3</sub>c)和下三叠统飞仙关组均呈连续沉积。第四系(Q)主要为坡积物或山麓堆积物,厚度一般小于10m。

龙潭组厚310~426m,平均344.43m;含煤35层,煤层总厚24.59~41.72m,平均33m。该组被划分为三个含煤段(图1)。下段平均厚度101.78m,主要由泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩组成,含23~35号煤层,其中33、32煤层可采。中段平均厚度129.03m,主要由细砂岩、粉砂质泥岩及泥岩组成,

注:本文为国家自然科学基金重点项目(编号40730422)和面上项目(编号40572095)的成果。

收稿日期:2007-06-22;改回日期:2007-11-16;责任编辑:章雨旭。

作者简介:秦勇,男,1957年生。博士,教授,博士生导师。主要从事煤田地质与煤层气地质研究。通讯地址:221116,中国矿业大学资源与地球科学学院;Email: yongqin@cumt.edu.cn;电话:0516-83590091。

含 12~22 号煤层,其中 20、16、14 煤层局部可采。上段平均厚度 113.62m,主要由泥岩、粉砂岩、中细粒砂岩构成,含 1~11 号煤层,其中 9、8、6<sup>-4</sup>、6<sup>-3</sup>、

6<sup>-2</sup>、5<sup>-3</sup>、5<sup>-2</sup>、3 煤层可采。该组总体上形成于海陆过渡沉积环境(徐彬彬等,2003;郝黎明,2000),下段沉积于潟湖—潮坪体系,中段—上段为受潮汐影响、以河控为主的三角洲沉积环境体系,上段主要为潮坪—潮下体系(图 1)。

水公河向斜是一个北部被断裂所切截的宽缓对称向斜构造,呈 NNW—SSE 向展布,长约 15km,平均宽度 8km;两翼狭窄且产状较陡,地层倾角 20°~40°;轴部宽缓,地层倾角一般 5°~10°(熊孟辉等,2007)。NF1 正断层构成向斜北部边界,走向 NE,倾向 SE,地层断距约 750m。向斜内发育两组分别与主向斜轴近于平行和近于垂直的小型正断层,断面倾角多为 70~80°,落差多数小于 25m;有次级褶皱发育,如坐拱背斜、张维被斜等。向斜轴部出露上三叠统飞仙关组,龙潭组煤层最大埋深 700m,一般在 300~500m 之间。构造形迹主要是燕山运动以来构造变形的结果,且主要发生在燕山期(徐彬彬等,2003)。

向斜中地下水与区外几乎没有水力联系,地表水和地下水依靠大气降雨补给。发源于向斜东北部的水公河顺向斜轴往 SE 方向流出,汇入乌江水系。飞仙关组、茅口组以灰岩为主,溶蚀裂隙发育,富水性中等至强。龙潭组风化裂隙发育程度随埋藏深度增大而减弱,富水性和透水性也相应较弱,一般属相对隔水层。钻探及钻孔抽水试验显示,断层带及附近节理多被充填,破碎带水位和钻井液消耗量几乎未见异常变化,导水性极弱。由于长兴组、峨眉山组和断层的隔水作用,龙潭组与上覆、下伏地层含水层之间基本上没有直接水力联系。

向斜内未发现中生代以来的岩浆活动。据钻孔简易地温观测资料,本区平均地温梯度 2.76℃/100m。其中,龙潭组平均地温梯度 3.63℃/100m,上覆地层为 1.62℃/100m,后者较低的地温梯度主要与地下水活动有关。

## 2 煤层气地质条件垂向分布特征

该区 155 件煤样测试结果显示:龙潭组煤中镜质组油浸最大反射率为 2.59%~3.763%,属于典

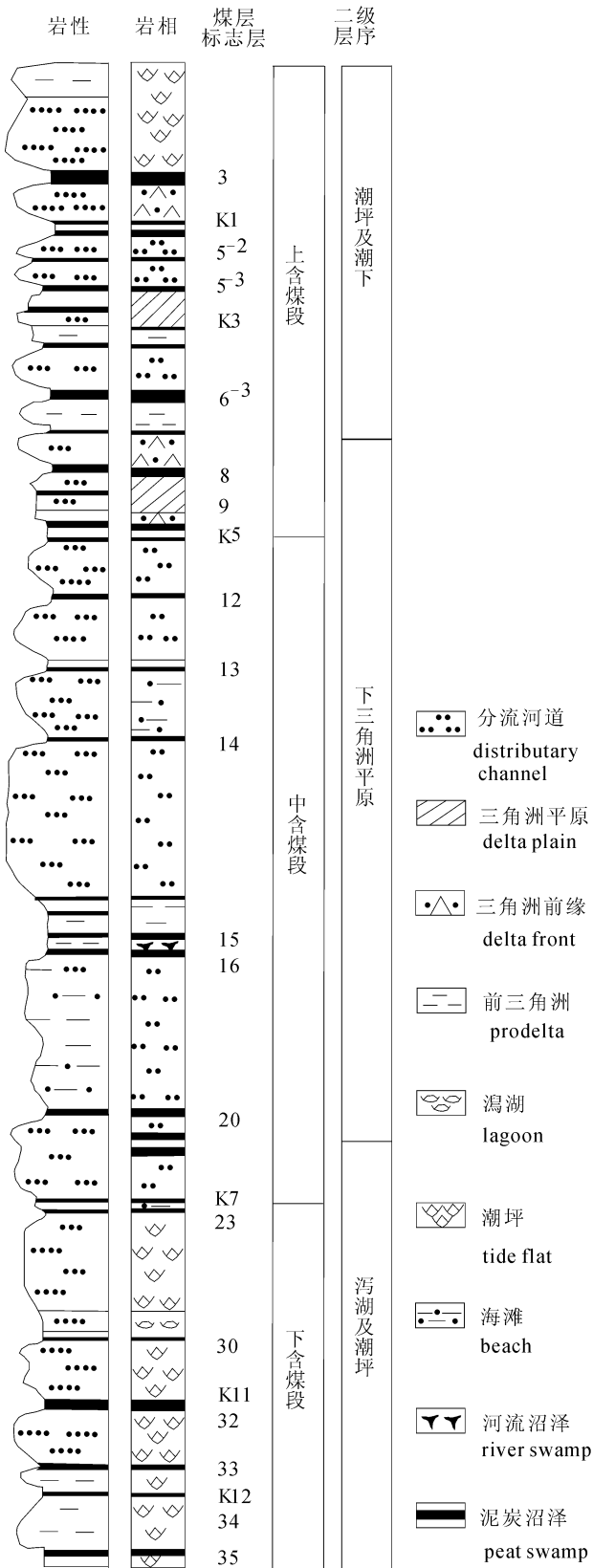


图 1 织金—纳雍煤田水公河向斜龙潭组地层柱状及沉积层序[据徐彬彬等(2003)和郝黎明(2000)资料编绘]

Fig. 1 Stratigraphic column and sedimentary sequence of the Longtan Formation in the Shuigonghe syncline, Zhijin—Nayong coal-field [drawn from the data of Xu Bingbing et al (2003) and Hao Liming (2000)]

表 1 织金—纳雍煤田水公河向斜主煤层甲烷平均含量及其梯度

Table 1 Average methane content and its gradient of major coal seams in the Shuigonghe syncline, Zhijin—Nayong coal-field

	井田	煤 层											
		3	5 <sup>-2</sup>	5 <sup>-3</sup>	6 <sup>-2</sup>	6 <sup>-3</sup>	6 <sup>-4</sup>	8	9	14	16	32	33
甲烷含量 (m <sup>3</sup> /t)	五轮山 补作	16.29 16.78	16.21 —	16.09 14.93	— 13.90	17.28 14.35	— 16.62	19.33 16.49	16.33 —	— 14.82	18.93 14.81	22.51 —	18.08 —
含量梯度 (m <sup>3</sup> /100m)	五轮山 补作	4.35 4.45	4.10 —	4.01 3.98	— 3.51	3.90 3.34	4.00 —	4.06 3.85	3.13 —	— 3.18	3.14 3.00	3.31 —	2.76 —

型的无烟煤;最大反射率平均梯度为 0.16%/100m,明显高于正常地温场背景下的反射率梯度(杨起等,1988),显示出区域岩浆热变质作用叠加的古地热场背景;主煤层原生结构总体上保存完好,单一煤层原生结构均能识别,发育两组近于正交的裂隙,微孔占有较大比例,有利于煤储层渗透性和吸附性的发育;煤层甲烷含量 6.26~32.30m<sup>3</sup>/t,平均 17.51 m<sup>3</sup>/t,平均甲烷浓度大于 95%,煤层气风化带深度在 55~60m 之间,煤层含气量高,煤层气保存条件有利。

同时,研究区煤层气地质条件存在某些有意义的垂向分布特征:

第一,单一煤层甲烷平均含量随层位呈现出波动式变化,8 煤明显高于趋势线,33 煤显著低于趋势线,上段底部煤层(6 号和 8 号煤)甲烷平均含量明显异常于总体趋势,并以此为界将上、下煤层群划分为不同的甲烷平均含量分布趋势(表 1,图 2a)。

第二,相邻主煤层之间含气量梯度呈波动式变化,3~6 号、8~16 号、32~33 号三套煤层群的含气量梯度相对独立,且含气量梯度在煤层群之间显示

出“突变”的特征(表 1,图 2b)。

第三,煤层埋深—压力系数(根据等温吸附实验数据和实测含气量计算)关系以 8 煤层为界,分为上、下截然不同的两套系统。上部的 3 煤层和 5 煤层异常超压,压力系数到 8 煤层突然降低到正常压力状态(竟与正常水柱压力一致),然后至 16 煤层又重新回返至与 3~5 号煤层相似的异常超压水平(图 3)。

第四,龙潭组层序地层格架中的二级层序与传统岩性分段并不完全一致(图 1),但与含气量梯度的独立分段高度吻合,即上部潮坪—碳酸盐岩二级层序包括 1~7 煤层,中部下三角洲平原二级层序包括 8~21 煤层,下部潟湖—潮坪二级层序包括 22~35 煤层。

上述有悖于“吸附原理”和岩性分段的分布特征揭示,含煤地层地下流体(煤层气和地下水)在不同主煤层之间总体上缺乏交换,使得煤层群甚至单一煤层的压力系统及其控制下的含气性相对独立。对于煤层气成藏的这种垂向分布特征,本文称之为“多

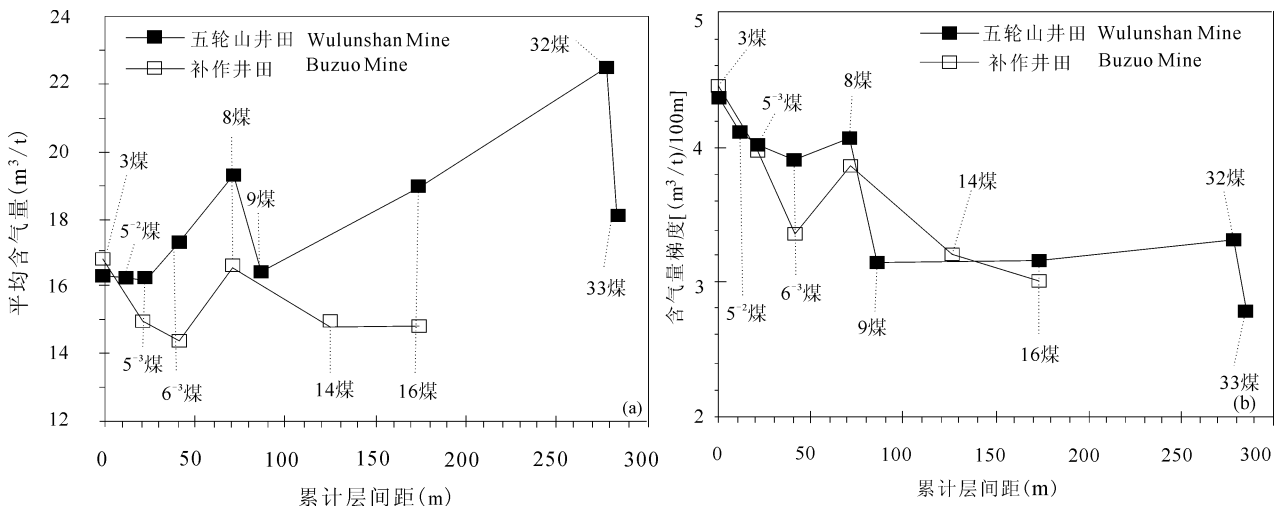


图 2 织金—纳雍煤田水公河向斜煤层含气性垂向变化曲线

Fig. 2 Plots of average methane content and its gradient to depth in major coal seams from the Shuigonghe syncline, Zhijin—Nayong coal-field

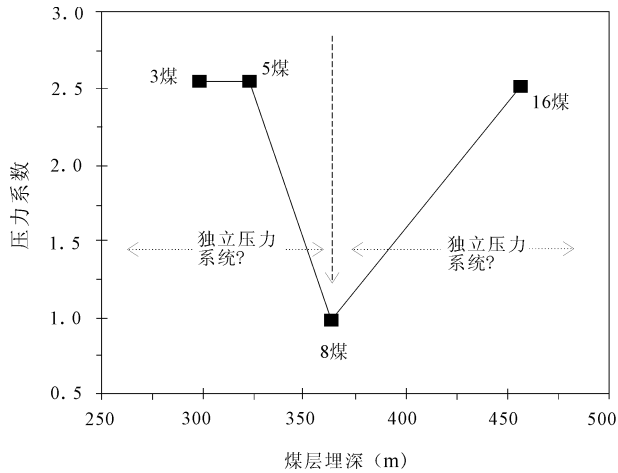


图3 织金—纳雍煤田水公河向斜 J1402 孔煤储层压力系数垂向分布曲线

Fig. 3 Plot of pressure coefficient to depth in major coal seams from the Shuigonghe syncline, Zhijin—Nayong coal-field

层叠置独立含煤层气系统”。

### 3 讨论

上述煤层气地质条件垂向分布特征显示,水公河向斜龙潭组 1~7 煤层、8~21 煤层、22~35 煤层的含气性和储层压力系统相互之间总体上没有贯通和干扰,可能分别构成三套相对独立的含煤层气系统。它们在垂向上相互叠置,表现为多层叠置的独立含气系统。这种多层叠置独立含气系统受到沉积—水文—构造条件的耦合控制,可能是多煤层地区煤层气成藏作用的重要特点之一。

#### 3.1 含煤地层的层序格架特点,限定了多层叠置独立含气系统的物性基础

龙潭组沉积期间,本区处于海陆过渡且靠近海洋的地理位置,含煤地层总体上形成于潮坪—三角洲环境(徐彬彬等,2003;郝黎明,2000)。从龙潭组底部至顶部,大致经历了潟湖—潮坪、下三角洲平原、潮坪—碳酸盐岩潮下 3 个沉积阶段,形成 3 个依次叠置的二级层序,大致对应于龙潭组的上、中、下三段。进一步分析,3 个岩性分段与 3 个二级层序的地层界限并不完全一致,上段含 1~9 煤层,中段含 10~22 煤层,下段含 23~35 煤层(图 1)。然而,在层序地层格架中,上部潮坪—碳酸盐岩阶段形成 1~7 煤层,中部下三角洲平原阶段形成 8~21 煤层,下部潟湖—潮坪阶段形成 22~35 煤层(图 1)。

无独有偶,区内 3~6 煤、8~16 煤、32~33 煤三

套煤层群的含气量梯度具有相对独立性(图 2b),其层位分布与 3 个二级层序地层格架高度吻合。龙潭组上段主要由泥岩、粉砂岩、中细粒砂岩构成,中段主要由细砂岩、粉砂质泥岩及泥岩组成但细砂岩比例较大,下段主要由泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩组成且细砂岩比例较小。由这些致密岩性构成的岩层,无疑属于相对隔水层。

基于上述,结合同一沉积环境沉积物(岩层组合)具有相似物性的合理推测,可以认为:1~9 煤层、10~22 煤层、23~35 煤层分别形成了三套相对独立的含煤层气系统,它们分别被限定在对应的二级层序地层格架内,即层序地层格架分别为其形成提供了不同的岩(煤)层物性基础。

#### 3.2 含煤地层与上覆、下伏含水层之间缺乏水力联系构成了其水文地质基础

含煤地层与上覆、下伏含水层之间缺乏水力联系,地层内部不同岩层(组合)之间水力相互封闭,这些条件构成了多层叠置独立含煤层气系统的水文地质条件基础。

在长期研究实践中,对煤层气(瓦斯),地质界总结出了一条客观规律,即“水大气小、水小气大”。换言之,地下水与煤层气之间的交换作用,使得相当一部分煤层气呈水溶或气泡形式转移到地下水中,并随地下水径流逸散。反之,若地下水滞留,则对煤层气保存具有水力封闭效应;若煤层围岩富水性程度很低,则基本上可排除地下水对煤层气富集的破坏作用。

水公河向斜水文地质条件相对简单,含煤地层钻孔抽水流量仅 0.53~533.9 mL/s,单位涌水量 0.003171~28.07 mL/(s·m),渗透系数 0.0081~825.6 mm/d,整套地层均为相对隔水层。断层附近节理裂隙发育,但多被充填物充填,富水性和透水性较弱。上覆下三叠统飞仙关组第二段和第四段灰岩富水性中等至强,但由于第一段的隔水作用以及断层的阻水作用,与含煤地层之间基本上没有水力联系。下伏峨眉山组玄武岩为相对隔水层。水公河尽管是向斜的主要迳水通道,但由于含煤地层的富水性和透水性极其微弱,使得其影响范围有限。因此,含煤地层极弱的富水性和透水性,是研究区煤层气在较浅埋藏条件下得以高度富集的一个重要原因。

值得注意的是,含煤地层钻孔抽水流量、单位涌水量和地层渗透系数尽管总体上较低,但变化极大。这种状况,一方面表明平面上不同地段同一岩层(组合)内的气或水渗流非常困难,另一方面垂向上不同

岩层(组合)之间水力相互封闭。同时,不同煤层的富气部位在平面上并不完全叠合,尽管局部有小断层等因素的影响,但其影响程度总体上是极其微弱的,即不同煤层之间几乎不存在气—水交换作用。

进一步来说,龙潭组三角洲—潮坪—潟湖沉积体系,形成了由细粒碎屑岩构成的煤层顶底板或煤层之间的致密岩层,具有高度隔水阻气的作用,使得垂向上不同岩层(组合)之间水力相互封闭,不同煤层之间几乎不存在气—水交换作用。由此进一步推测,在以三角洲—潮坪—潟湖沉积体系为主的多煤层含煤地层中,多层叠置独立含气系统可能具有普遍意义。

## 4 结论

研究表明,水公河向斜龙潭组单一煤层甲烷平均含量随层位呈现出波动式变化,相邻主煤层之间含气量梯度波动式变化特征明显,煤层埋深—压力系数关系在垂向上分为截然不同的两套系统,层序地层格架中二级层序与含气量梯度的独立分段高度吻合。这些特征揭示,含煤地层地下流体在不同主煤层之间总体上缺乏交换,在垂向上形成了多层叠置独立含煤层气系统。

多层叠置独立含气系统是沉积—水文—构造条件耦合控气作用的产物。含煤地层的层序格架特点奠定了多层叠置独立含气系统的物性基础,每套独立含气系统分别被限定在对应的二级层序地层格架内。含煤地层与上覆、下伏含水层之间缺乏水力联系,含煤地层内部不同岩层(组合)之间产生水力封闭,构成了多层叠置含气系统的水文地质基础,也正是造成多层叠置独立含煤层气系统得以发育的水文地质原因。

研究多层叠置独立含煤层气系统在理论和实践上是有价值的。其一,可能发现一种新的“煤层气藏”类型,并从层序地层学的新角度深入揭示煤层气富集的地质原因;其二,探索煤层气在垂向上的分布富集规律,建立一种基于层序地层学原理的煤层气

富集层段科学预测方法,并为煤层气开发工程的设计和布置提供更为准确的科学依据。

## 注 释 / Notes

- ① 熊孟辉. 2006. 贵州五轮山矿区煤层气地质条件及资源潜力[硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 1~124.

## 参 考 文 献 / References

- 傅雪海, 秦勇. 2001. 我国煤储层盖层的成因类型、时空分布及控气特征. 中国煤田地质, 13(2): 26~29.
- 傅雪海, 秦勇, 王文峰, 焦思红. 2001. 沁水盆地中—南部水文地质控气特征. 中国煤田地质, 13(1): 31~34.
- 郝黎明. 2000. 克拉通盆地含煤岩系高分辨率层序地层学研究——以贵州西部上二叠统为例[博士学位论文]. 北京: 中国矿业大学北京校区, 1~132.
- 洪峰, 宋岩, 陈振宏, 赵孟军, 柳少波, 秦胜飞, 傅国友. 2005. 煤层气散失过程与地质模型探讨. 科学通报, 50(B10): 121~125.
- 金高峰, 龚绍礼. 2001. 层序地层与煤层气关系探讨. 中国煤田地质, 13(2): 29~31.
- 据宜文, 姜波, 侯泉林, 王桂梁, 方爱民. 2005. 华北南部构造煤纳米级孔隙结构演化特征及作用机理. 地质学报, 79(2): 269~285.
- 李雪雁, 吴亮, 陈俊亮. 2004. 平顶山矿区煤层气资源量预测浅探. 中州煤炭, (1): 17~18.
- 秦勇, 傅雪海, 叶建平, 林大扬, 唐书恒, 李贵中. 1999. 中国煤储层岩石物理因素控气特征及机理. 中国矿业大学学报, 28(1): 14~19.
- 秦勇, 傅雪海, 岳巍, 林大扬, 叶建平, 焦思红. 2000. 沉积体系与煤层气储盖特征之关系探讨. 古地理学报, 2(1): 77~84.
- 秦勇, 宋全友, 傅雪海. 2005. 煤层气与常规油气共采可行性探讨——深部煤储层平衡水条件下的吸附效应. 天然气地球科学, 16(4): 492~497.
- 熊孟辉, 秦勇, 易同生, 李香臣, 吴财芳. 2007. 贵州五轮山矿区煤层气地质条件浅析. 中国煤层气, 4(1): 40~44.
- 徐彬彬, 何明德. 2003. 贵州煤田地质. 徐州: 中国矿业大学出版社, 163~198.
- 杨起, 潘治贵, 翁成敏. 1988. 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, 60~77.
- 叶建平, 秦勇, 林大扬. 1999. 中国煤层气资源. 徐州: 中国矿业大学出版社, 126~189.
- 叶建平, 武强, 王子和. 2001. 水文地质条件对煤层气赋存的控制作用. 煤炭学报, 26(5): 459~462.
- 张群, 杨锡禄. 1999. 平衡水条件下煤对甲烷的等温吸附特性研究. 煤炭学报, 24(6): 566~570.

# On Unattached Multiple Superposed Coalbed—Methane System: in a Case of the Shuigonghe Syncline, Zhijin—Nayong Coalfield, Guizhou

QIN Yong<sup>1)</sup>, XIONG Menghui<sup>2)</sup>, YI Tongsheng<sup>2)</sup>, YANG Zhaobiao<sup>1)</sup>, WU Caifang<sup>1)</sup>

1) *Institute of Mineral Resources and Geoscience, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu, 221116;*

2) *Guizhou Bureau of Coal Geology, Guiyang, , 561000*

**Abstract:** Using the method of geological analysis and taking the Shuigonghe syncline, Zhijin—Nayong Coalfield, as a case, the nonlinear occurrence of the geological conditions of the coalbed methane (CBM) in vertical section was discussed based on the measured data, and the academic viewpoint “unattached multiple superposed CBM-bearing system” was suggested and demonstrated preliminarily. It was shown that the mean CBM content of single Upper Permian coal seam and the content gradient between backfence seams are various in undulation, there is two sets of the distinct system in the correlation of the coal seam depth to the reservoir pressure coefficient, and the secondary sequences in the stratigraphic frame is highly consistent with single sectioning of the CBM gradient. These imply that the exchange of the undersurface liquid in the coal-bearing strata is generally absent among various coal seams, which might results in relative independency of the CBM systems among various coal seam groups. It was considered that the characteristics of the coal-bearing strata sequence might supply a physical property base for the unattached multiple superposed CBM-bearing system and the lack of the hydraulic connection of the coal-bearing strata to the superposed and underlied aquifers might supply a hydrogeological base for the formation of the systems, that is to say, the unattached multiple superposed CBM-bearing system is jointly controlled by sedimentary, hydrogeological and structural conditions. It was also emphasized that the system might occur widely in the multi-coal-seam strata formed in delta—tideflat—lagoon environments.

**key words:** coalbed methane; sequence stratigraphy; hydraulic seeling; multiple superposed; CBM-bearing system

