

华北残留盆地煤层气成藏动力学过程研究

——以沁水盆地和鄂尔多斯盆地东缘为例

韦重韬, 秦勇, 姜波, 傅雪海, 张志庆, 郭建

中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州, 221116

内容提要:在系统研究以沁水盆地等为代表的华北残留盆地煤层气地质特征、构造演化史、埋藏史和热史的基础上,运用数值模拟方法定量研究了其主煤层的煤层气成藏演化历程。结果表明,华北残余盆地煤层气成藏演化一般显示出微弱—活跃—散失3个阶段依次出现的总体特征;由于煤层气地质特征和构造演化史、埋藏史以及热史的差异,成藏类型可划分为演化活跃且煤层气高度聚集的活跃型、演化微弱且成藏程度较低的微弱型和两者之间的过渡型3类。其中第一、三类具有较好的含气性,即潜在的煤层气开发前景。

关键词:煤层气;成藏;残留盆地;数值模拟

晚古生代时期,华北板块在长期剥蚀夷平之后,再次接受沉积并形成含煤岩系。中、新生代期间,断续沉积的同时还受到燕山运动和喜马拉雅运动的改造,大面积连续分布的含煤岩系演变为一系残留盆地(王英民等,1998;褚庆忠,2002)。其中的一部分,如沁水盆地、两淮煤田以及鄂尔多斯盆地东缘等形成了具有勘探开发价值的含煤层气系统。本文以沁水盆地等为研究实例,在分析其地质背景和演化过程的基础上,运用数值模拟方法定量查明煤层气的生成和聚散历程,以此探讨其煤层气富集成藏的动力学过程。

1 地质背景

1.1 含煤层气系统物质特性

1.1.1 地层

沁水盆地含煤层气系统下伏盖层由寒武系、奥陶系碳酸盐岩构成,上覆盖层由二叠系中上统、三叠系、侏罗系中统碎屑岩和新近系、第四系松散沉积物构成。地层总厚度可达5000 m以上。石炭二叠纪煤系包括本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组,厚度850 m左右。主要为过渡相和陆相碎屑岩夹多层煤层,下部夹层数不等的石灰岩。与沁水盆地类似,鄂尔多斯盆地东缘同样包

括古生代下伏盖层、石炭二叠纪煤系以及中、新生代上覆盖层,地层总厚可达3500 m。岩性组合亦与前者类似(程保洲,1992;桂学智,1993)。

其他盆地,如河南平顶山、淮北宿南向斜等在地层划分、岩性组合等方面也具有总体相似的面貌,同时也存在一些细节上的差别,诸如小层段厚度、微观岩性等。

1.1.2 煤层特征

作为华北巨型聚煤盆地的产物,石炭二叠纪含煤岩系中煤层的数量可达20层以上,但能够作为煤层气开发目的层的稳定厚煤层(主煤层)通常都在2~4层之间。最常见的是太原组下部的厚煤层(沁水盆地东部为15煤层)和位于山西组中部或中上部(沁水盆地为3煤层)等。在其他盆地,由于海水进退、沉积相变等原因,主煤层的分布层位可能有所改变,如宿南向斜 G_1 煤层分布在下石盒子组的中部(程保洲,1992;韦重韬,2007a)。

主煤层厚度可达8~10 m,煤层结构简单至复杂,夹矸层数最多可达6层,可发育分岔、尖灭现象。主煤层主要为腐殖煤,以半亮型煤和半暗型煤为主。煤层的灰分和硫分变化较大,如沁水盆地上主煤层灰分在10.0%~35.0%之间,硫分在0.4%~5.0%之间。煤有机质成熟度差异悬殊,甚至在一个盆地

注:本文为国家“973”项目(编号2002CB211704)、国家“863”项目(编号2006AA06Z231)、国家自然科学基金重点项目(编号40730422)与面上项目(编号40572095)资助成果。

收稿日期:2008-05-07;改回日期:2008-08-14;责任编辑:周健。

作者简介:韦重韬,男,1963年生。教授,主要从事煤层气地质和煤田地质研究和教学工作。电话:0516-83591000;传真:0516-83591000;Email:weight@163.com。

内也相差极大,如沁水盆地上主煤层镜质组最大反射率在1.0%~4.1%之间,煤级为焦煤—无烟煤。

1.1.3 主煤层储层物性

煤储层物性特征主要受煤质、煤变质程度、煤体后期改造历史等因素的影响。上述因素在不同盆地甚至同一盆地的不同部位之间均存在较大差异,因此,储层物性变化也很大。

如沁水盆地上主煤层,总孔容在 $200 \times 10^{-4} \sim 400 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{g}$ 之间,孔表面积一般在 $5000 \times 10^{-3} \sim 6500 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{g}$ 之间,孔隙类型以大孔为主,其次为过渡孔,微孔和中孔相对较少。其面割理走向为NNE,端割理走向WNW,呈斜交状。割理密度在25~177条/m之间。割理倾角较大。割理大多紧闭,割理缝中一般无或充填物,极少数见有方解石充填。煤储层镜煤条带中通常发育密度很高的内生裂隙(刘焕杰等,1998)。而其他地区主煤层的物性特征与此出入很大。

此外,主煤层一般具有较理想的盖层。除下部煤层的上覆盖层常为较致密灰岩外,其岩性以较为致密的泥质岩石为主,扩散系数在 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 数量级(韦重韬等,2007a)。

1.2 盆地形成演化特征

1.2.1 一般特征

残留盆地形状各异,规模不等,翼部通常发育次级宽缓褶皱,盆地内断裂构造发育程度不等,性质多为正断层。部分盆地如宿南向斜中发育岩浆岩。

1.2.2 残留盆地的形成和煤层埋藏史

华北板块经吕梁运动最终拼合成一个整体,晋宁期至加里东期形成了巨厚的浅海相碎屑岩及碳酸盐岩建造。中奥陶世,晋冀鲁豫上升使整个华北板块抬升,经长期剥蚀夷平后形成准平原。

华北板块从晚石炭世开始沉降,晚石炭世晚期及早二叠世早期海侵达到最大规模,早二叠世晚期,海水开始退出。形成了本溪组、太原组、山西组和下石盒子组过渡相和陆相含煤岩系。之后,海水全部退出,主要形成陆相碎屑沉积,本区聚煤期结束。

印支期内,华北板块与北部西伯利亚—蒙古板块及南部扬子板块拼合,在南北挤压应力作用下,华北地区快速沉降,形成了厚度数千米的三叠系陆相碎屑岩。煤层快速、整体埋藏,如沁水盆地沉降速度可达 $95 \text{ m}/\text{Ma}$,埋深达3000 m以上。燕山运动期间,库拉—太平洋板块向中国大陆俯冲,伴随着大规模的褶皱作用,形成了如今所见的残留盆地锥形及大部分盆内、盆缘构造和周边构造,局部还伴有岩浆

活动。在此期间,煤层的埋深早期振荡,后期开始分异,盆地翼部埋深显著减小。

在喜马拉雅期内,基本保持之前形成的构造格局,而构造应力场发生了数次重大改变。其中影响较大的是喜马拉雅中期,库拉—太平洋板块回卷,形成NW—SE向拉张应力场,在此期间,煤层埋深或保持不变,或略有升降(程保洲,1992;孙继源,1992;秦勇等,1998)。

1.3 受热史

华北残留盆地古热场经历了3个演化阶段,即煤层沉积后的正常古地热场、中生代晚期由构造—岩浆热事件引起的高异常古地热场和其后的正常古地热场。沁水盆地燕山晚期沉积盖层的古地温梯度高达 $5.5 \sim 7^\circ\text{C}/100 \text{ m}$;鄂尔多斯盆地东缘则在 $3.3 \sim 4.5^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 之间(桑树勋等,1997;秦勇等,1998;任战利等,1999,2006;朱炎铭等,2001)。其他时间内,地温梯度均在 $2.3 \sim 3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 之间。

2 煤层气成藏演化史

2.1 煤层气成藏演化阶段

采用自行研制的模拟软件(韦重韬,1999)对沁水盆地、鄂尔多斯盆地东缘和宿南向斜煤层气成藏演化史进行模拟研究(韦重韬等,2007a,2007b;Wei et al., 2007)。结果表明,它们具有较为相似的发展演化过程,这一过程可分为4个阶段(图1)。

第一(初始)阶段:三叠纪末以前,基本上没有发生煤层气的演化作用。

第二(初期)阶段:早、中侏罗世,仅生成少量煤层气,各种演化作用不强烈。

第一、二阶段内,三叠纪末以前,煤有机质生气量几乎为零,煤层中气含量极低,储层压力随埋深的增加而变大,仅发生微弱的扩散散失。早、中侏罗世,煤层有机质生烃速率略有上升,气含量亦开始上升,储层压力因深埋藏而达到最大值,但随后又下降,扩散散失强度有所增加但增幅不大。盖层突破及渗流运失作用均未发生。

第三(聚散活跃)阶段:晚侏罗世—早白垩世,此阶段是整个煤层甲烷演化历史中最为活跃的阶段,煤有机质生烃速度大增,含气量急剧上升,煤层气大量生成,煤储层中聚集了大量气体,各种演化作用强烈。由于储层与盖层间高甲烷浓度梯度,扩散散失作用发育。同时,储层压力因生烃增压作用而增大,导致盖层突破和渗流散失作用的发生。

第四(散失)阶段:晚白垩世至今,煤有机质停止

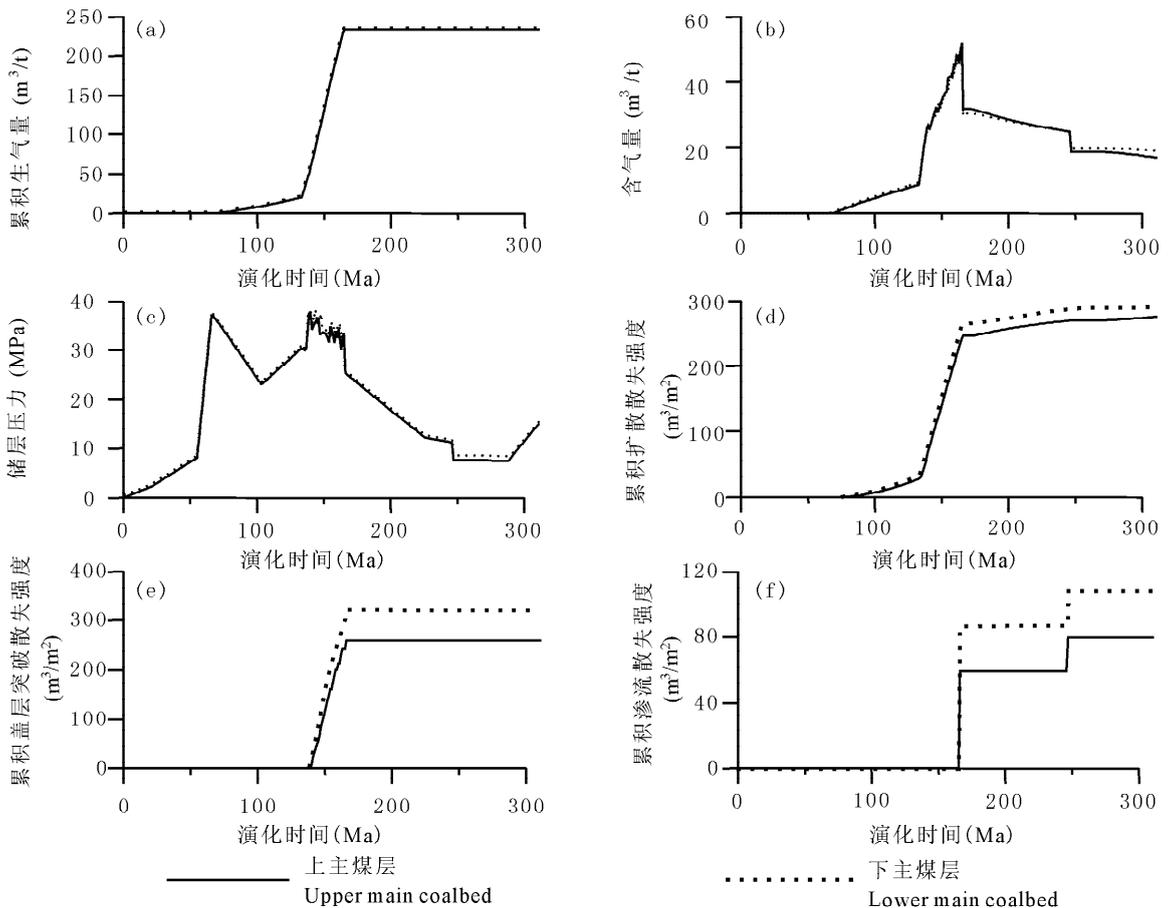


图 1 沁水盆地郑庄地区煤层气成藏史演化曲线图

Fig. 1 Coalbed methane evolution curves in Zhengzhuang, Qinshui Basin

生气,仅发生散失作用。此阶段内,含气量逐渐下降。其中在古近纪早期,因出现张性构造应力场,割理张开,又发生了一次渗流运移散失作用。

图 2 是 3 个盆地的部分演化曲线,总体相似,但也存在差异,主要表现在累积生气量、煤储层甲烷含量、储层压力及累积扩散强度的大小以及盖层突破和渗流作用的有无等方面。最终反映在现今含气量的高低之上。

2.2 煤层气成藏演化类型

根据以上论述,可将华北残留盆地煤层气演化历程划分为 3 种类型。

第一类为活跃型。煤层气聚散演化活跃,煤有机质成熟度高,在第三阶段大量生气,导致盖层突破和渗流散失作用发生,扩散散失作用亦发育,尽管如此,因第三阶段煤层气大量聚集,如果第四阶段煤层仍保持较大埋深,现今主煤层含气量一般较高。如沁水盆地南北两端和轴部(图 1b)、鄂尔多斯盆地东缘西部(图 2c)和两淮煤田等。

第二类为微弱型。煤有机质成熟度低,第三阶

段末含气量低,散失作用只有扩散且较弱,主煤层现今含气量低。如沁水盆地西北部(图 2a)、宿南向斜边缘(图 2b)等。

第三类为过渡型。即前两类的过渡。如鄂尔多斯盆地东缘大宁以东地区(图 2d)。

实际上,由于各方面因素的差异,同一盆地的不同部位完全有可能具有不同的成藏演化类型。

3 煤层气成藏条件分析

由于不同盆地以及同一盆地不同部位物质基础、构造演化以及古地热场特征不同,导致了成藏类型的差异。这些因素对煤层气富集成藏具有重要的影响。

3.1 煤层气成藏的物质基础

良好的煤层、煤质、储层物性和盖层条件是煤层气成藏的前提。此点毋庸置疑,因为足够的煤有机质成熟生气可供给成藏需要;理想的储层物性提供煤层气的赋存空间;良好的封盖条件则使煤层气得以保存。对 3 个盆地的模拟研究表明,上述因素对

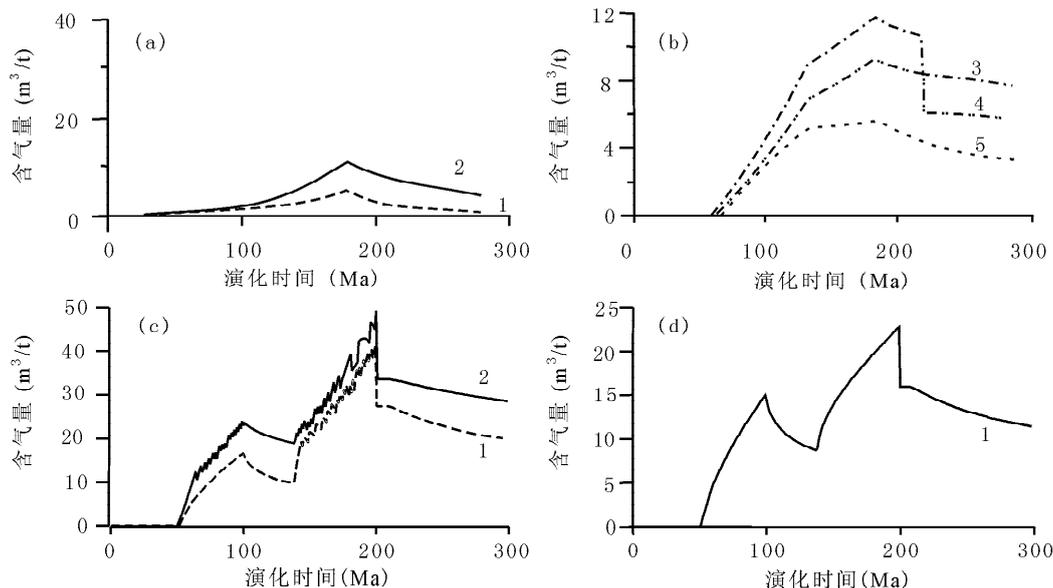


图2 不同含气量演化曲线图

Fig. 2 Gas evolution curves in various regions

(a)—沁水盆地沁源北;(b)—淮北宿南向斜;(c)—鄂尔多斯盆地东缘永和东;(d)—鄂尔多斯盆地东缘大宁东;

1—上主煤层;2—下主煤层;3—10号煤层;4—8号煤层;5—7号煤层

(a)—North Qinyuan in Qinshui Basin; (b)—Sunan syncline in Huaibei; (c) and (d)—west Yonghe and east Daning in eastern edge of Ordos Basin; 1—upper main coalbed; 2—lower main coalbed; 3—No. 10 coalbed; 4—No. 8 coalbed; 5—No. 7 coalbed

煤层气成藏具有非常重要的控制作用。

3.2 构造演化对成藏具有根本性的控制作用

首先,构造运动控制了煤系地层的形成和特征,奠定了含煤层气系统形成的物质基础;其次,构造运动控制残留盆地的形成,使得含煤层气系统得以保存;第三,构造运动控制了煤层埋藏过程,同时进一步影响到煤层受热史,乃至煤有机质成熟生烃史;第四,构造直接或间接影响各种煤层气散失作用的发育程度。

3.3 古地热场演化对成藏具有重要控制作用

对3个盆地煤层气地质古地热史和演化史模拟研究成果表明,在较低古地温条件下,煤层气生成数量少,总体演化过程较为和缓。在整个演化过程中,主煤层的最高含气量一般较低(通常小于 $20 \text{ m}^3/\text{t}$),散失作用以扩散为主,发生盖层突破和渗流散失作用可能性较小。现今含气量一般低于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$,此时发生第二类成藏作用。

当在较高古地温的情况下,煤有机质快速成熟,大量生烃,常常出现超压现象,地质演化过程变得异常活跃。最大含气量可达 $40 \text{ m}^3/\text{t}$,除扩散散失外,一般会发生盖层突破和渗流等快速、大量的散失作用。尽管大量散失,由于大量煤层气的先期聚集,除露头区外,现今含气量仍常在 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 以上。此时发生第

一类成藏作用。

显然,这类成藏作用与部分第三类成藏作用所形成的含煤层气系统具有相对更好的含气性,亦即具有较好的煤层气开发潜势。

4 结论

华北残留盆地煤层气地质特征,包括含煤岩系、煤层、煤质、煤储层物性、盖层、构造演化史、埋藏史和古地热场演化史等方面具有总体相似性。这种相似性导致煤层气地质演化史在总体上具有演化微弱—活跃—散失的总体特征。虽然总体面貌相似,但差异仍然存在,一是不同残留盆地煤层气地质特征存在着细节上的差异;二是构造演化差异引起的埋藏分异,导致煤层受热史和有机质成熟度的差异,以及高异常古地热场的强弱等。正是这种差异,使得各个含煤层气系统之间和系统内部不同部位煤层气地质演化历程均不同程度地存在差异性。根据这种差异,可将煤层气成藏演化过程分为活跃型、微弱型和过渡型3类。第一、三类具有较好的煤层气开发潜势。

参考文献

程保洲. 1992. 山西晚古生代沉降环境与聚煤规律. 太原: 山西科学技术出版社, 1~242.

- 桂学智. 1993. 河东煤田晚古生代聚煤规律与煤炭资源评价. 太原: 山西科学技术出版社, 19~32.
- 刘焕杰, 秦勇, 桑树勋. 1998. 山西南部煤层气地质. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1~151.
- 秦勇, 宋党育. 1998. 山西南部煤化作用及其古地热系统. 北京: 地质出版社, 1~90.
- 任战利, 赵重远, 陈刚, 等. 1999. 沁水盆地中生代晚期构造热事件. 石油与天然气地质, 20 (1): 46~48.
- 任战利, 张盛, 高胜利, 等. 2006. 鄂尔多斯盆地热演化程度异常分区及形成时期探讨. 地质学报, 80 (5): 674~684.
- 桑树勋, 秦勇, 宋党育, 等. 1997. 煤系脉体包裹体地球化学特征. 中国矿业大学学报, 26 (4): 4~7.
- 孙继源. 1992. 华北地区板内构造及其演化特征初探. 地质科技情报, 11(1): 4~13.
- 王英民, 钱奕中, 邓林. 1998. 残余盆地成藏动力学过程研究方法. 成都理工学院学报, 25 (3): 385~392.
- 韦重韬. 1999. 煤层甲烷地质演化史数值模拟. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1~133.
- 韦重韬, 姜波, 傅雪海, 等. 2007a. 宿南向斜煤层气地质演化史数值模拟研究. 石油学报, 28 (1): 54~57.
- 韦重韬, 张志庆, 郭建, 李佳奇. 2007b. 河东煤田中南部煤层气成藏史模拟研究. 见: 雷群, 李景明, 赵庆波主编. 煤层气勘探开发理论与实践. 北京: 石油工业出版社, 84~89.
- 褚庆忠. 2002. 残余盆地构造发育的研究意义、现状及思路. 西安石油学院学报(自然科学版), 17 (1): 1~10.
- 朱炎铭, 秦勇, 张有生, 等. 2001. 黄骅坳陷裂变径迹分析与古生代烃源岩受热演化. 煤炭学报, 26 (2): 113~116.
- Wei C T, Qin Y, Wang G X, et al. 2007. Simulation study on evolution of coalbed methane reservoir in Qinshui basin, China. International Journal of Coal Geology, 72 (1): 53~69.

Dynamic Accumulation Process of Coalbed Methane in Residual Basins of North China——A Case Study of the Qinshui Basin and the Eastern Margin of Ordos Basin

WEI Chongtao, QIN Yong, JIANG Bo, FU Xuehai, ZHANG Zhiqing, GUO Jian

School of Resource & Geoscience, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu, 221116

Abstract

Geological tectonic features, burial and geothermal evolution history of Qinshui Basin and other basins, as the representations of north China residual basins, have been studied. Forming process of coalbed methane reservoirs in main coal seams has been studied by using numerical simulation. The results indicate that reservoir forming of residual basins in North China generally experienced three stages: weak—active—dissipating. Based on the variations of coalbed methane geological features, tectonic, burial and geothermal evolution history, the coalbed methane reservoir formation can be classified as following: (1) active type, which evolves actively and coalbed methane concentrates in high level; (2) weak type, which evolves weakly and coalbed methane barely concentrates and (3) medium type. The first and the third type have more preferable coalbed methane bearing feature, that is, the potential of exploitation.

Key words: coalbed methane; reservoir formation; residual basin; numerical simulation