

煤层气

煤层气与页岩气聚集主控因素对比

姜文利^{1,2}, 赵素平³, 张金川¹, 叶欣⁴

(1. 中国地质大学(北京)能源学院海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034; 3. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院,
河北 廊坊 065007; 4. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:我国已进入煤层气产业快速发展,页岩气开发迅速起步阶段。国内外一些典型盆地均出现煤层气与页岩气混合共生的现象,研究两者共性及差异性对指导勘探开发具有重要意义。煤层气与页岩气在形成背景、气源、储集等诸多方面存在共性(两者富集成藏均受厚度、热成熟度、有机质含量和储层孔隙、微裂隙发育等因素控制)和差异性(煤层气还受构造和水文地质等条件影响明显)。在沉积环境方面,煤层主要形成于滨海或滨湖平原、三角洲平原、冲积平原及冲积扇前缘等沉积环境,而页岩则形成于快速沉积且封闭性较好的还原环境。

关键词:煤层气;页岩气;聚集主控因素;混合沉积

中图分类号: TE132

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)06-1057-04

煤层气和页岩气是世界上已进行商业开发的2种非常重要的非常规天然气资源。我国煤层气产业已经进入商业化生产阶段,页岩气也已在四川盆地及其周缘开展了大量卓有成效的勘探工作,并取得初步发现。煤层气与页岩气在气源、储集方式、富集特征、聚集主控因素等方面都有诸多共性,但也存在一定的差异。它们在诸多盆地伴生存在,研究两者的差异性以及共生沉积模式等方面对指导勘探开发有重要意义。

1 煤和(泥)页岩沉积背景异同

煤层气主要以吸附态储存于煤层中,煤层既是烃源岩又是储层,其沉积背景主要为滨海或湖泊沿岸、三角洲平原、冲积平原、冲积扇前缘等。如三角洲海岸沉积体系通常发育障壁岛—三角洲平原—上三角洲平原—冲积平原的聚煤模式,其煤层厚度、煤体空间分布及煤岩类型主要受构造条件控制下的沉积背景及泥炭沼泽的空间配置、水介质条件、植被类型和泥炭堆积持续时间的影响。

页岩气相当一部分以吸附态赋存于泥岩、高碳

泥岩、页岩及粉砂质岩类夹层中。页岩除了是烃源岩和储层,还是保存天然气的盖层。有机质含量高的黑色页岩、高碳泥岩为页岩气的生成创造了良好的条件,因此快速沉积且封闭性较好的还原环境有利于页岩的生成^[1],如海相沉积体系中的大陆斜坡、台地凹陷,陆相湖盆沉积体系中富有机质页岩发育的深湖、半深湖以及部分浅湖。由于形成页岩气藏的页岩往往都是盆地中的主力源岩或重要源岩,且呈大面积区域分布,因此页岩气藏分布面积往往与有效烃源岩面积较为统一。从构造位置上看,页岩气藏往往位于构造低部位、凹陷或盆地中心^[2]。

2 煤层气与页岩气的成因异同

煤层气和页岩气按成因可分为热成因型、生物成因型以及混合型,并且随着热演化程度的不同,生物成因和热成因气体所占比例会发生较大变化。不同成因类型的气体有其不同的富集主控因素。

热成因型煤层气是指温度超过50℃,煤化作用增强,经过去挥发份作用形成的甲烷气体。形成过程通常经历2个阶段:一是热降解作用;二是热裂解

收稿日期:2010-01-15;修回日期:2010-05-06.

基金项目:国家自然科学基金(编号:40672087;40472073)联合资助.

作者简介:姜文利(1980-),男,黑龙江绥化人,助理研究员,在读博士,主要从事石油地质、煤层气、页岩气、油气资源基础科研及战略研究.

E-mail: jwl1980@126.com.

作用。沁水盆地南部的煤层气可作为热成因型煤层气的典型代表,统计甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体偏小,在 $-26.6\text{‰} \sim -36.7\text{‰}$ 之间。热成因型页岩气根据热成熟度(R_o)可分为高热成熟度型、低热成熟度型、混合岩性型(即大套页岩与砂岩和粉砂岩夹层共同储气)3个亚类。随着 R_o 的增高,有机质生成烃形成微孔隙,当 $R_o > 1.1\%$ 的范围还能形成裂解气,提供气源的同时使页岩孔喉更加畅通。但当 $R_o > 3\%$ 的范围,有机质进入过成熟期,生气量明显减少。因此 R_o 值介于 $1.1\% \sim 3\%$ 的范围是热成因型页岩气藏的有利分布区^[3]。

生物成因型煤层气可分为原生生物成因气和次生生物成因气,如美国粉河盆地褐煤中煤层气为典型的原生生物成因气,主要是通过生物地球化学作用阶段中微生物发酵而形成。进入有机质成熟阶段,低煤阶煤层甲烷的成因非常复杂,既有原生生物成因的,也有次生生物与热成因的。在该阶段,煤层中存留的生物成因气大部分属于次生生物成因气,这部分气体一般是细菌通过地层水流动进入到煤系含水层中,细菌通过生命代谢作用将煤层中的有机质以及已生成的烃类转变成甲烷和二氧化碳。生物成因型页岩气分早成型和晚成型。早成型页岩气从页岩沉积初期开始生气,页岩气与伴生地层水的绝对年龄较大;晚成型页岩气的平面形态为环状,页岩沉积形成与开始生气间隔时间很长,页岩气与伴生地层水的绝对年龄接近现今。对于生物成因型气藏,页岩 R_o 越高,TOC 越低,越不利于生物成因气的形成。

3 煤层气与页岩气赋存及富集主控因素异同

3.1 煤层气与页岩气赋存方式异同

煤层气的赋存状态随不同煤岩演化程度有较大差异。高煤级煤层气以吸附态为主;而低煤级煤层气由于具备储层游离气的客观条件,其游离气占有一定的比例,不容忽视^[4]。

页岩气主要由吸附气和游离气组成,其中吸附气和游离气大约各占 50% ^[5]。其中,吸附气主要赋存于有机质颗粒、粘土颗粒及孔隙表面,游离气赋存于基质孔隙和天然裂缝中,极少量以溶解态储存于干酪根、沥青质及石油和天然气中。

3.2 煤层气与页岩气富集主控因素异同

3.2.1 煤层气富集主控因素

煤层气的富集受多种因素控制,除了受煤岩演

化程度、煤岩微观结构等内部因素影响,还受构造和水文地质条件影响^[5]。高煤级煤层气的赋存方式主要以吸附态气体为主,气体的富集受压力控制明显。地质构造中的向斜核部常形成地层水的向心流动机制并因此形成较高的水压头,地层压力越大,越有利于煤层气的吸附和煤层气富集(图1)^[6-7]。对于低煤级煤层气而言,由于发育的孔隙结构,使其具有储集游离气的客观条件,当地层受到构造抬升或剥蚀时,地层压力降低并使其平衡被打破,气体解吸后游离到储层中的中孔或大孔中。大量研究表明,除了吸附态的气体以外,游离态的气体也不容忽视。游离气的运聚具有常规天然气特征,有利的圈闭位置也就成为了有利的富集区。

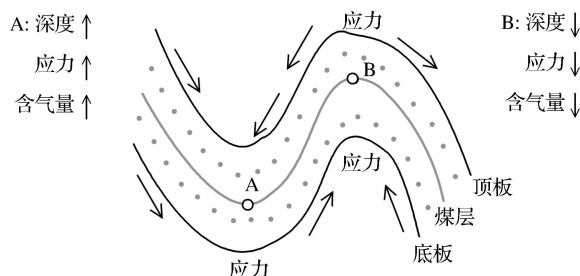


图1 向斜与煤层气富集及保存关系模式

封闭及地层水超压都有利于煤层气的吸附及富集;而强烈交替的水动力条件将打破吸附与溶解和游离气之间的平衡,使吸附气逐渐减少,影响煤层气的保存。在水文地球化学特征方面,对于高煤级煤储层来说,高水矿化度的地区一般为水力封闭或水力封堵的地区,有利于煤层气的保存;而对于低煤级地区,低矿化度地区有利于甲烷菌的生存,使得次生生物气得到有效补充,因此,低矿化度的地区则更有利于低煤级煤储层煤层气的富集成藏(图2)^[8-9]。

3.2.2 页岩气富集主控因素

控制页岩气富集程度的关键因素主要包括页岩厚度、有机质含量、热成熟度和页岩储层空间(孔隙、裂缝)等^[7]。页岩厚度越大,气藏富集程度愈高。在有效厚度大于 15 m ,有机碳含量大于 2% 以及处于生气窗演化阶段等页岩气形成基本条件的限定下,页岩厚度越大,有机质含量越多,天然气生成量与滞留量也就愈大,页岩气的丰度就越高。有机碳含量越高越有利于页岩气的富集,一般认为 $\text{TOC} \geq 2\%$ 时,页岩气才具有商业价值。有机碳既是页岩生气的物质基础,也是页岩吸附气的载体之一。在相同的地质条件及演化阶段下,页岩生烃强度、吸附气量大小及新增游离气能力与页岩中有机碳含量呈明显

的正相关关系。对于热成因型气藏,随着页岩有机质 R_o 的增高,含气量将会逐渐增大。对于生物成因型气藏,页岩 R_o 越高,TOC 越低,越不利于生物气的形成。孔隙和微裂隙的发育程度对页岩气的富集也有较大影响。由于页岩储层致密且非均质性强,孔隙度和渗透率非常低,因此孔隙和微裂隙成为储集页岩气的主要空间,这一点与煤层气相似。

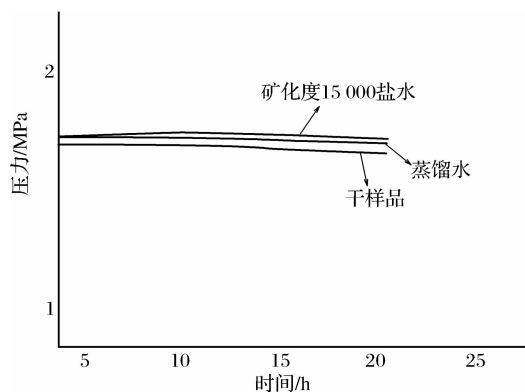


图2 地层水矿化度模拟实验压力—

时间曲线(据廊坊分院,2006)

褐煤吸附量低,压力变化不明显;矿化度越高吸附量越低,含气量越小;地质历史时期,矿化度不断增大,含气饱和度增大,气体散失速度增大

3.3 煤层气与页岩气混合共生聚集模式

我国一些典型盆地有煤层气和页岩气共生的特征。如鄂尔多斯盆地、沁水盆地等一些地区出现煤层气与页岩气共生的现象^[10]。在岩性上,煤层与页岩层混合沉积,在煤层段和页岩段均有很好的气显示。

4 结论

(1)煤层气和页岩气的沉积环境存在差异,煤沉积环境主要有滨海或湖泊沿岸、三角洲平原、冲积平原、冲积扇前缘等,页岩气通常沉积在海相沉积体系中的大陆斜坡、台地凹陷以及陆相湖盆沉积体系中的深湖、半深湖和部分浅湖地区。

(2)煤层气和页岩气在成因上均可分为热成因型、生物成因型以及混合型。高煤级煤层气几乎都是热成因气,低煤级煤层气有很大一部分气体为生物成因气。热成因型页岩气的有利分布区为 R_o 值介于 1.1%~3% 的范围,对于生物成因型页岩气, R_o 值越高,TOC 值越低,越不利于生物气的形成。

(3)构造对煤层气与页岩气的控气作用差异明显。对于以吸附气体为主的高煤级煤层气,向斜核部具有较高的地层压力而使煤层气富集;对于低煤级煤层气,由于游离气的存在使其除了受压力控制,

游离气的部分还具有常规天然气的富集规律。页岩气成藏受构造活动限制不明显。

(4)水文地质条件对煤层气的保存具有重要影响。高矿化度地下水有利于高煤级煤层气保存,而对低煤级煤层气的保存不利。水文地质条件对热成因型页岩气藏影响甚微,对生物成因型影响较大。

参考文献:

- [1] Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Yuan Mingsheng, *et al.* Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 51-58. [张金川, 金之钧, 袁明生, 等. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 51-58.]
- [2] Zhang Jinchuan, Xue Hui, Zhang Deming, *et al.* Reservoiring mechanism of shale gas[J]. Geoscience, 2003, 17(4): 466. [张金川, 薛会, 张德明, 等. 页岩气及其成藏机理[J]. 现代地质, 2003, 17(4): 466.]
- [3] Li Denghua, Li Jianzhong, Wang Shejiao, *et al.* Analysis of controls on gas shale reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 22-26. [李登华, 李建忠, 王社教, 等. 页岩气藏形成条件分析[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 22-26.]
- [4] Zhao Qun, Wang Hongyan, Li Jingming, *et al.* Forming differences between high and low coal rank coalbed methane reservoirs[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 129-133. [赵群, 王红岩, 李景明, 等. 我国高低煤阶煤层气成藏的差异性[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(1): 129-133.]
- [5] Li Xinjing, Lü Zonggang, Dong Dazhong, *et al.* Geologic controls on accumulation of shale gas in north America[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 27-39. [李新景, 吕宗刚, 董大忠, 等. 北美页岩气资源形成的地质条件[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 27-39.]
- [6] Li Guizhong, Wang Hongyan, Wu Lixin, *et al.* Theory of syncline-controlled coalbed methane[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(1): 26-28. [李贵中, 王红岩, 吴立新, 等. 煤层气向斜控气论[J]. 天然气工业, 2005, 25(1): 26-28.]
- [7] Liu Honglin, Li Jingming, Wang Hongyan, *et al.* Different effects of hydrodynamic conditions on coalbed gas accumulation. [J]. 天然气工业, 2006, 26(3): 35-37. [刘洪林, 李景明, 王红岩, 等. 水动力对煤层气成藏的差异性研究[J]. 天然气工业, 2006, 26(3): 35-37.]
- [8] Chen Gengsheng, Dong Dazhong, Wang Shiqian, *et al.* A preliminary study on accumulation mechanism and enrichment pattern of shale gas[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 17-21. [陈更生, 董大忠, 王世谦, 等. 页岩气藏形成机理与富集规律初探[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 17-21.]
- [9] Wang Hongyan, Liu Honglin, Liu Huaqing, *et al.* The technique and application of coalbed methane reservoir physical simulation[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4): 349-351. [王红岩, 刘洪林, 刘怀庆, 等. 煤层气成藏模拟技术及应用[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 349-351.]
- [10] Qin Yong, Song Quanyou, Fu Xuehai. Discussion on reliability

for co-mining the coalbed gas and normal petroleum and natural gas; Absorptive effect of deep coal reservoir under condition of balanced water[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16

(4):492-498. [秦勇, 宋全友, 傅雪海. 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[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(4):492-498.]

Comparison of Controlled Factors for Coalbed Methane and Shale Gas Accumulation

JIANG Wen-li^{1,2}, ZHAO Su-ping³, ZHANG Jin-chuan¹, YE Xin⁴

(1. *School of Energy Resources, Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100034, China;*

2. *Strategic Research Center of Oil & Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100083, China;*

3. *Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang 065007, China;*

4. *Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)*

Abstract: It is rapid development of CBM in China, in contrast shale gas is starting. It is important to elucidate the common and difference between CBM and shale gas, because of similar aspects of gas sources, migration, preservation and accumulation between them. There is mixing of CBM and shale gas in some basins. The accumulation of both gases is constrained by reservoir thickness, thermal maturity, organic matter content, and reservoir pore and micro-fracture. The CBM is also affected by structure and hydrogeology. By contrast of depositional conditions, the coal was mainly formed in the seashore, delta plain, alluvial plain and front of alluvial fan, while the shale was quickly deposited in the reductive environment.

Key words: Coalbed methane; Shale gas; Hydrocarbon accumulation; Mixed sedimentation.

(上接第 1056 页)

Mercury Concentration in Coalbed Methane in South of Qinshui Basin

HAN Zhong-xi¹, YAN Qi-tuan¹, LI Jian¹, GE Shou-guo¹, GOU Yan-xia²

(1. *Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang 065007, China;*

2. *Department of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)*

Abstract: With increasing demand of natural gas in our country, coalbed methane as a kind of new energy sources is becoming more and more important. But it should be paid attention on mercury concentration in natural gas. According to hypothesis of mercury origin in natural gas, mercury concentration in coalbed methane in the south of Qinshui basin would be high. To test it, we use the ultra mercury detector of UT 3000 made in Germany Mercury Instruments to detect mercury concentration in 7 coalbed methane wells and a LNG plant. The result showed that there was very low concentration of mercury in coalbed methane, less than 10ng/m³. So, it is safety for exploiting and developing coalbed methane. We did the experiment of coal flour thermally absorbed and released mercury to explain this phenomenon. The result showed that coal flour absorbed mercury when heating temperature is below 100℃; in contrast the coal flour released mercury when the temperature is more than 120℃. So the balance of absorbing and releasing mercury for coal flour is among 100℃ and 120℃. In the south of Qinshui basin, the burial depth of coal bed is relatively shallow, and the geo-temperature is generally less than 56℃. In the condition of low geo-temperature, mercury was strongly absorbed by organic matter in coal measure, resulting in the low mercury concentration in coalbed methane.

Key words: Coalbed methane; Mercury; Qinshui basin; Geo-temperature.