

文章编号: 0253-9993(2006)01-0050-04

浅议我国低煤阶地区的煤层气勘探思路

刘洪林, 李景明, 王红岩, 赵庆波

(中国石油勘探开发科学研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007)

摘 要: 通过对高煤阶沁水盆地和低煤阶准噶尔、吐哈等盆地水文地质条件的分析发现, 把这种勘探思路(地层水矿化度高值区是煤层气勘探最有价值的区域之一)运用到低煤阶的煤层气勘探中却很难, 因为低煤阶一般经历了较浅的埋藏深度, 煤层热演化程度较低, 其生气量较小, 煤层气富集成藏的关键在于其生气条件。本文认为: 水文地质条件在高低煤阶煤层气富集成藏中所起的作用是不同的, 低煤阶勘探中对水文地质作用的认识要从另外一个角度来审视, 较为活跃的水动力条件是有利的, 活跃的、低矿化度的地层水有利于二次生物气的生成。

关键词: 煤层气; 水动力; 成藏

中图分类号: P624

文献标识码: A

Discussion on finding coalbed methane in low rank coal in China

LIU Hong-lin, LI Jing-ming, WANG Hong-yan, ZHAO Qing-bo

(Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang 065007, China)

Abstract: Based on the analysis of the hydrogeological condition on Qinshui Basin, Junggar Basin and Tuha Basin, it is difficult to apply this acquisition (coalbed methane area with high formation water salinity is favorable area for coalbed methane exploration) to low coal rank area, because low rank coal suffered shallower buried depth and low evolution degree and has low gas content. The quantity of gas generated is key factor for low rank coal. In the end, the author thought that formation water played a different role in low and high rank coal. In low rank coal, active formation water is a positive factor and in favor of secondary gas generation.

Key words: coal bed methane; hydraulic geology; enriching play

世界上煤层气勘探开发最为成功的国家是美国, 其资源主要赋存在中低煤阶, 而我国高、中、低3种煤阶的煤层气资源各占1/3。在中美两国煤层气勘探历程上有很大差异, 美国首先在中煤阶获得突破, 而我国首先在高煤阶获得突破。美国中高煤阶的圣胡安盆地煤层气产区主要产层为上白垩统水果地组, 供水区位于盆地北及西北边缘, 泄水区主要在盆地西部圣湖安河谷地, 煤层气富集区都位于向斜性盆地的翼部, 该区一般为地层水缓慢交替区或滞流区。对中国沁水煤层气田的研究同样也表明: 水动力封闭有利于煤层气的吸附及富集; 而交替活跃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^[1~3]。属于中高煤阶范围的大城煤层气勘探区块开启性断层较发育, 石炭—二叠系煤层邻近水交替活跃地区, 与下伏奥陶系含水层连通较好, 煤层气大量散失, 造成煤层含气量非常低。属于中高煤阶范围的鄂尔多斯东部柳林地区距供水区近, 远距泄水区, 构造上为盆地的陡坡带, 为水动力缓慢交替带, 地层水滞留, 其水动力条件与圣胡安盆地较为相似, 该地区含气量较高, 煤层气十分富集^[4,5]。上述盆地都为中高煤阶盆地, 在其水动力活跃地区的煤层气保存条件差, 煤层气资源贫乏, 在水

收稿日期: 2005-07-14

基金项目: 国家“973”煤层气基金资助项目(2002CB211705)

作者简介: 刘洪林(1973-), 男, 江苏徐州人, 博士。Tel: 010-69213733, E-mail: liuhonglin69@petrochina.com.cn

动力滞留区煤层气资源富集。然而在低煤阶的粉河盆地却不是这样, 粉河盆地是晚白垩世拉拉米运动后形成的, 在古新世时期形成主要的含煤地层尤宁堡组, 始新世时形成另一主要含煤地层瓦萨特切组, 有利的成煤环境使粉河盆地发育有巨厚煤层。在中新世早期或中期, 煤层埋深达到最大, 镜质体反射率也只有 0.3% ~ 0.4%, 远没有达到热成因气的生成阶段, 从这一阶段开始一直持续至今的区域性构造隆起, 使粉河盆地大范围向北倾斜, 奠定了现今的构造格局^[6,7]。粉河盆地目前主要产区位于盆地东部边缘, 地层水矿化度很低, 一般为 450 ~ 800 mg/L, 水动力活跃, 煤层气藏从煤层的形成直至今今都有大量的生物气的生成, 煤层气成因主要为生物成因。由此可以看出, 对于高低煤阶煤层气富集成藏其要求的水动力环境是有差别的, 那么形成这种差别的原因是什么? 这种认识会对我国煤层气勘探有什么意义? 本文将以高煤阶的沁水盆地和低煤阶的准噶尔、吐哈盆地为例来探讨这一问题。

1 沁水盆地现今的水文地质特征

对于煤系地层来说, 不同类型的水对煤层气成藏起着不同的作用, 按沉积水的化学性质, 可把地层水进一步分为 CaCl_2 型、 NaHCO_3 型和 Na_2SO_4 型 3 类。一般 CaCl_2 型水是深层成因水, 往往位于承压区; 低矿化度的 Na_2SO_4 型水是地表补给水的标志, 处于供给区或污水区的附近; NaHCO_3 型水介于前两者之间, 位于径流区。据此, 承压水封闭区, 煤层封闭条件较好, 煤层期成藏条件有利, 但承压水区煤层埋深大于 1 000 m, 孔渗条件下降, 物性降低, 虽利于成藏, 但不利于煤层气的开发; Na_2SO_4 型水区煤层埋深较浅或侧向煤层已出露地表, 它是地表水沿露头区渗入煤层后产生水力交替的产物, 常常与甲烷风化带相对应, 煤层气成藏条件差; NaHCO_3 型水分布区煤层埋深在 250 ~ 1 000 m, 该带内煤层埋藏适中, 水力交替滞缓, 在渗入水与地层水的接触面水流相反, 产生局部滞流带, 地层水流动不畅而形成超压, 从而形成封堵型煤层气藏。沁水盆地南部煤层气田水型主要以 CaCl_2 型为主, CaCl_2 型水位于承压水封闭区, 煤层围岩封闭条件较好, 有利于沁水盆地煤层气的成藏富集。

1.1 含水层及其特点

沁水盆地自下而上存在奥陶系、石炭系—二叠系和第四系 3 套主要含水层系。含水层主要为碳酸盐岩、碎屑岩类和松散岩类含水层, 中奥陶统为区内的主要含水层, 石炭系—二叠系含水层的含水性通常较弱, 第四系松散沉积物含水层的含水性变化较大且影响范围相对局限。碳酸盐岩含水层包括寒武系—中奥陶统以及上石炭统灰岩、泥灰岩、白云岩等可溶岩类, 上石炭统含水层含水性中等。碎屑岩类含水层主要包括二叠系—三叠系的一套碎屑岩层, 二叠系山西组煤层中含有一定数量的裂隙水。松散岩类含水层组, 由第四系松散沉积物组成, 厚度变化较大, 分布于沁河及其支流。

1.2 煤系地层的含水层等势面展布

本区地下水等势面具有北高南低的总体态势。由于上述内部水文地质界线的客观存在, 使得区内地下水动力条件并不如此简单, 发育了若干个相对滞留的汇水中心。本区煤系地层含水层以太原组灰岩和山西组裂隙含水层为主, 等势面南高北低, 地下水的补给主要来自西北部地区, 大致沿高平北、屯留、沁县一线展布的 NW 向地下分水岭隐约可见, 径流方向存在两个有所差异的区域。北部偏西地段出现等势面“平台”甚至相对汇水的“洼地”。洼地具有较大的分布面积, 展布于沁源—安泽之间, 呈 NNE 向的条带状产出, 富水性较高, 但由于等势面具有局部滞留的性质而使水动力学条件显然相对较差, 有利于煤层气富集。在寺头与晋获断裂之间, 等势面显著低于东、西两侧地区, 并以大宁井田—潘庄井田为中心、以樊庄地区为斜坡地带形成了一个等势面低地。在这一低地中, 含水层显然富水但径流条件极弱, 其意义不仅在于进一步显示出寺头断裂和晋获断裂南段的高度阻水以及“低地”部位地下水滞流的特性, 更为重要的是低地位置恰好处于沁水盆地中、南部主煤层含气量最高的地带。

1.3 煤系地层的地下水地球化学场展布

沁水盆地石炭—二叠系含水层地下水主要为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{K}^+ \cdot \text{Na}^+$ 型。由盆地两翼部向轴部延伸, 石炭系被二叠系、三叠系覆盖, 处于开放、半封闭到封闭状态, 水质由 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ 型向 $\text{HCO}_3^- \cdot$

$\text{SO}_4^{2-} - \text{K}^+ \cdot \text{Na}^+$ 和 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型转化, 并以 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{K}^+ \cdot \text{Na}^+$ 型占优势. 在南部大宁 1, 2 号井田附近, 上石炭统太原组一般在接近地表露头处岩溶、裂隙发育, 以岩溶 - 裂隙水为主, 含水微弱, 水质为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型. 埋深加大, 岩溶发育程度减弱, 水类型边为 $\text{HCO}_3^- - \text{K}^+ \cdot \text{Na}^+$ 型. 太原组含水层在大宁—潘庄一带的中心地带矿化度达到 2 000 mg/L, 最高可达 2 600 mg/L, 水质类型为 CaCl_2 型矿化度高于 1 800 mg/L 的地带可扩展至樊庄以北地区. 这一地区高矿化度地下水的存在, 是本组含水层等势面在该区坡度极为平缓或存在滞留区的必然结果, 共同反映出地下水高度滞流的重要特征, 对 3 和 15 煤层中煤层气的富集和保存极为有利.

2 低煤阶典型盆地的水文地质特征

2.1 准噶尔盆地南缘水动力环境与煤层气的二次富集

准噶尔盆地主要聚煤作用发生在早—中侏罗世, 该套含煤地层中包含有数十层煤, 煤层累计总厚达几十米至百米以上. 准噶尔盆地早—中侏罗世含煤地层形成于中生代挤压应力强烈期与松弛期交替阶段, 古地理类型为大型内陆拗陷盆地, 沉积时盆地四周为山系围绕, 盆地其底面南低北高, 凹陷中心位于昌吉—玛纳斯一带, 南边的依连哈比尔尕山、博格达山, 西边的扎依尔山, 东边的克拉美丽山均处于隆升状态, 一直是盆地沉积的主要物源供给区. 盆地与围山的相对高差较小, 从而出现盆地边缘地带冲积相发育, 长期内盆腹有稳定水体存在, 湖泊沉积发育. 盆地边部含煤性好, 煤层较多, 一般稳定性较差, 煤层发育于八道湾组和西山窑组, 而三工河组基本不含煤, 为湖侵期产物.

准噶尔盆地煤系地层含水层主要孔隙 - 裂隙型含水层, 作为煤岩孔隙度一般都很低, 但是割理和裂缝大大增加其有效孔隙度和渗透率, 裂隙组就构成了地下水运动的通道系统, 准噶尔盆地南缘一些地区煤矿吸附气的天然气同位素资料表明, 准噶尔盆地的一些甲烷气是生物成因的. 构造应力场的数值模拟研究和地震资料表明, 再准南缘存在复杂构造与大型断块或破裂, 局部地区的断裂裂缝发育, 它们对地下水流系统非常重要, 断裂对地下水流的影响就是控制生物成因下限深度的因素之一.

喜山期的构造运动以及更新世冰川的前进和后退造成的逐次加载和卸载可能会影响裂缝系统和其中的流体. 一般认为淮南地区的超压条件会因背斜、基底断裂引起的渗透率增大带的垂向渗漏而散失. 在产气区内, 冰川融水可能提供比较淡的水流入由裂缝组成的通道系统. 这种地下水的灌注对形成能维持甲烷生成所必需的水文地质条件很重要. 在准噶尔盆地南部边缘一带, 矿化度为 450 ~ 900 mg/L, 一般随埋深增加具有增加的趋势, 其变化形式和天然气组分的变化形式极为相似. 来自盆地较深部位的高盐卤水与来自露头比较淡的水相混, 形成了很陡的含盐量梯度, 该区南部的气具有较大比例的乙烷和丙烷. 盆地深部的热成因使煤层气向上倾方向运移, 并且和南部边缘一带生成的生物气相混合是造成这种变化形式的原因. 矿化度条件使适合微生物生存的环境局限于盆地较浅部位, 所以可以确定生物成因气的下限为 1 000 m. 八道湾组和西山窑组含煤段靠近周缘山系接受大气降水补给, 在露头附近, 特别是边缘相带形成较强径流, 向盆内沿煤储层下倾方向径流逐渐减弱, 形成缓流, 由于补给区地势显著高于盆内, 推测在 1 000 m 左右开始形成超压. 向下缓流的地下水不仅阻止了煤层气的向上逸散, 同时把浅部生物煤层气带到超压区, 导致生物煤层气聚集成藏.

2.2 吐哈盆地沙尔湖煤田水文地质特征与煤层气的散失

沙尔湖凹陷位于吐哈盆地东南部, 是被塔克泉隆起和南湖隆起分割成一个独立的凹陷, 面积 900 km². 在石炭 - 二叠系火山岩上沉积了一套中侏罗统含煤系地层, 侏罗系西山窑组是煤层气主要勘探目的层, 中生代以来构造运动微弱, 褶皱断层不发育. 沙尔湖自下而上主要包括上古生界二叠系下统阿其克布拉克组 (P_{1aq})、中生界侏罗系中统西山窑组 (J_{2x})、头屯河组 (J_{2t})、新生界上第三系 (N) 和第四系 (Q). 含煤地层为侏罗系中统西山窑组. 吐哈盆地沙尔湖地区煤系地层含水层主要为裂隙 - 孔隙型含水层, 水质类型主要为 $\text{MgCl}_2 - \text{CaCl}_2$ 型, 地层水总矿化度为 16 000 ~ 20 000 mg/L, 平均矿化度达 10 930 mg/L, 具有高矿化度的特点, 如果套用高煤阶中取得的认识, 根据高矿化度对应着好的保存条件

的这一认识, 则该地区含气量应该较高, 煤层气吸附饱和度接近 100%。实际测定结果却发现含气量大大低于预测, 含气量平均小于 $1 \text{ m}^3/\text{t}$, 而在相同煤阶类型的美国粉河盆地和澳大利亚苏拉特盆地类似煤阶煤层含气量一般在 $3 \sim 6 \text{ m}^3/\text{t}$ 。分析其原因, 吐哈盆地沙尔湖煤田低煤阶褐煤在地质历史时期, 由于蒸发量大于补给量, 矿化度不断增大。矿化度高造成吸附能力降低, 造成地层压力梯度降低, 储层压力低, 气体大量解吸散失, 而且在较高的矿化度地层水中产甲烷菌无法大量繁殖, 无二次生物气补充, 所以煤层含气量普遍较低。

3 水化学特征对煤层气吸附影响的模拟试验及其结果

为了研究低煤阶褐煤在不同矿化度水的条件下对煤层气的吸附能力, 本文利用不同矿化度的水型饱和盐水和蒸馏水进行模拟。如图 1 所示, 当地层压力达到 1.7 MPa 时含气量达到 $2 \text{ m}^3/\text{t}$ 。由图 1 可以看出, 随着实验时间的推移, 3 种介质条件下的压力曲线都呈减小的趋势, 矿化度越高, 随着压力降低量越小, 地层压力梯度降低越快, 储层压力越低, 造成吸附能力降低, 含气饱和度增大, 气体大量解吸散失。对于低煤阶的褐煤, 在地质演化过程中, 伴随着矿化度的不断增大, 造成吸附能力降低, 导致地层压力降低, 气体大量解吸散失。

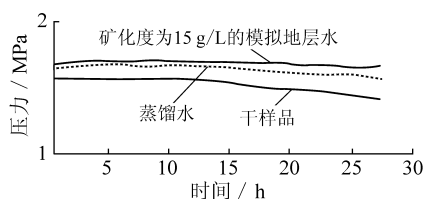


图1 地层水矿化度对吸附量影响的时间与压力曲线
Fig.1 Time-pressure curves of adsorption capacity of difference salinity

4 结 论

(1) 对于中高煤阶煤田其热演化程度高, 气源充足, 煤层气能否富集成藏其关键性的因素是煤层气的保存, 而地层水滞留区和高矿化度区就代表着一种比较有利的煤层气保存条件。

(2) 对于低煤阶煤田, 其早期生物成因气形成时代相对较远, 其生气量相对较少, 含气性很差, 但地层水活跃有产甲烷菌进入到煤层中时, 由于其降解作用生成了大量的次生生物气补充煤层气气藏, 所以太高的地层水矿化度会影响甲烷菌的繁殖速度, 在低煤阶煤层气富集成藏中, 低矿化度的地层水是比较有利的水文地质条件。

(3) 我国西部地区整体降雨量小, 补给量小, 蒸发量大, 矿化度增大, 潜水面下降, 储层压力降低, 气体大量散失, 不利于煤层气勘探。但是天山南北盆地边缘由于雪融水的持续补给, 地层水的矿化度得到一定程度的稀释而降低, 有利于二次生物气的生成。在我国东北地区, 特别是在海拉尔盆地和二连等含煤盆地群, 该地区煤阶较低, 煤层埋藏较浅, 该地区在降雨充沛, 水动力较为活跃, 地层水矿化度较低, 煤系地层产甲烷菌大量繁殖, 二次生物气生成量较大, 煤层含气性较高, 形成在煤层气在浅部的富集成藏, 在该地区施工的煤田地质钻孔多次发生井口冒气现象, 该地区将是我国低煤阶最有希望率先突破的地区。

(4) 要在低煤阶含煤盆地的煤层气勘探有所突破, 就必须把低煤阶煤层二次生物成因气作为勘探的突破点, 加强盆地的水动力因素和煤层气的二次运移和圈闭条件的研究。

参考文献:

- [1] 武汉地质学院. 煤田地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1981. 2~3.
- [2] 韩德馨, 杨 起. 中国煤田地质学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984. 387~407.
- [3] 张建博, 王红岩, 赵庆波, 等. 中国煤层气地质 [M]. 北京: 地质出版社, 2000. 15~30.
- [4] 中国煤田地质总局. 中国煤层气资源 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999. 26~87.
- [5] 王红岩, 刘洪林, 李景明, 等. 煤层气富集规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005. 26~87.
- [6] 钱 凯, 赵庆波, 王泽成, 等. 煤层甲烷勘探开发理论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 48~52.
- [7] 张彦平. 国外煤层甲烷开发技术译文集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 20~80.