

文章编号:1000-582X(2008)02-0191-06

沥鼻峡背斜煤层气富集的水文地质控气特征

李志强¹, 鲜学福¹, 欧成华², 郭臣业¹

(1. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030;

2. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500)

摘要:通过对沥鼻峡背斜地层含水性、隔水性、地下水流向及其水化学特征的研究, 得出了该区地下水的径流特征及其水力联系, 并据此研究了该区水文地质对煤层气富集的控制规律。研究表明, 沥鼻峡背斜矿区属断块型背斜水压封闭气藏。本区浅部含水层由大气降水控制, 地下水径流活跃, 就近排泄, 对煤层气基本无影响; 中部地层含水性弱, 水流滞缓, 对煤层气具有顶底板水网络状封闭作用; 深部地层含水性弱, 水流停滞, 对煤层气具有底板水网络封闭作用; 断层大多为上部导水、下部阻水的逆断层, 上部断层水对煤层气具有压力封堵作用。此外, 岩性封闭对煤层气的富集也起到了积极的作用。

关键词:水文地质; 富集; 煤层气; 背斜; 控气

中图分类号:TD 713.2; P618.11

文献标志码:A

Character of Coalbed Methane Enrichment Controlled by Hydrological Geology in Libi Gorge Anticlines

LI Zhi-qiang¹, XIAN Xue-fu¹, OU Cheng-hua², GUO Cheng-ye¹

(1. Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources and the Environmental Disaster Control engineering; Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, P. R. China)

Abstract: The drain character and hydraulic linking are studied by analyzing the property of water-bearing and water-resisting, groundwater flowing and hydrochemistry character in Libi Gorge anticline. According this, the character of methane enrichment controlled by hydrological geology in the region is researched. It is indicated that Libi Gorge belongs to block anticline gas pool sealed by water pressure. In shallow layers, the water-bearing layers are controlled obviously by atmospheric water. The groundwater flows actively, drains nearby, but has no influence on the coalbed methane; in middle layers, the coal-bearing layers contain water weakly and the water flows slowly. The water has a roof and bottom enclosed effect on gas in water network; in deep layers, the layers contain water weakly. The groundwater stops running and has a bottom enclosed effect on gas in water network. The most of faults are pressure faults, upper of them is water guiding, lower of them resisting. They enclose the gas by pressure. In addition, it is important for thickening rock character to enclose the gas.

Key words: hydrologic geology; enrichment; coalbed methane; anticline; control gas

收稿日期:2007-09-15

基金项目:重庆市自然科学基金院士专项“重庆地区煤层气富集理论及开发关键技术的基础研究”(CSTC2005AB007); 中国博士后科学基金“煤层气热-流-固耦合渗流与超声波增产新技术基础研究”(2005037020)

作者简介:李志强(1975-),男,重庆大学博士研究生,主要研究方向为煤层气地质及瓦斯灾害防治。

鲜学福(联系人),男,中国工程院院士,重庆大学博士生导师,(E-mail)xianxf@cae.cn。

中国煤层气研究已历 20 余年,多数研究集中在中国华北地区,如山西沁水盆地、内蒙古鄂尔多斯盆地、安徽两淮煤田、河南豫西等地。近期,山西沁水盆地再次成为中国煤层气的勘探热点,这些地区的年降雨量小,含水层厚,层数少,同时地层倾角小,构造相对简单,水文控气特征主要为水压向斜控气。地下水高矿化度中心和低水位“汇水洼地”即是煤层气的高富集区,这一规律在中国华北地区较为普遍^[1-4]。国外文献报道也认为向斜盆地地下水具有天然封存煤层气的优势^[5-6],沥鼻峡地处中国水资源丰富的重庆地区,年降雨量大,含水层数多,地下水总矿化度低,多背斜,地层倾角大,构造复杂。在沥鼻峡背斜矿区,通过寻找高矿化度中心和汇水低地的方法来勘探煤层气富集区效果不好。笔者希望通过探讨沥鼻峡背斜矿区水文地质对煤层气富集的影响,能够对中国川东地区煤层气富集规律的认识有所启示。

1 区域构造地质特征

沥鼻峡背斜位于川东华蓥山帚状构造分支的南西部末端,背斜轴面有扭曲,走向北东,两翼地层走向 $N43^{\circ} \sim 54^{\circ} E$, 从上到下依次发育新生界第四系 (Q_4)、三叠系 (雷口坡组灰岩、须家河组砂岩、嘉陵江组灰岩、飞仙关组灰泥岩互层)、二叠系 (上统为长兴组灰岩、龙潭组泥灰岩互层,下统为茅口组灰

岩)等地层。矿区内含煤地层为二叠系上统龙潭组,含煤 8~15 层,煤层顶底板绝大部分为泥岩、粘土泥岩、砂质泥岩和铝土岩。

该区共发现断层 49 条,逆断层占 67%,落差小于 20 m 的断层占 60%。落差大于 30 m 的断层仅为 F1、F3、F5 断层,为井田边界断层。断裂总体走向以北东为主。倾向南东,横向断层仅 F38、F30 2 条。对煤层有破坏作用的有 28 条,其中 82% 为隐伏小断层。背斜区内断层以小型逆断层为主,且在背斜轴部密集发育,北西翼次之,南东翼稀疏,较大断层多为走向断层,将背斜两翼切割成断块构造。

2 区域水文地质特征

2.1 水文地质单元及周界

沥鼻峡背斜矿区南部的横向地表分水岭构成背斜两翼共同的南部水文边界,同时也是地下分水岭。嘉陵江构成背斜两翼共同的北部水文边界,水面标高 +180.2 m,是本区的最低排泄基准面。区内沿地层走向发育的 F4、F24、F2、F22、F1 等断层间断构成背斜北西翼的水文边界。南东翼沿地层走向发育的 F25、F16、F3 和其他隐伏断层间断构成矿区的南东部水文边界。背斜轴构成背斜中部分水岭,将两翼一分为二。背斜南东翼和北西翼以上述水文边界为界,形成各自独立的水文地质单元,如图 1 所示。

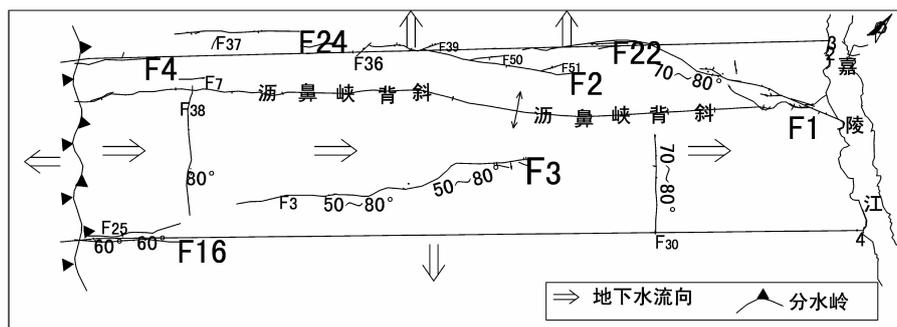


图 1 沥鼻峡背斜矿区构造/水文地质单元图

2.2 含水层、隔水层特征

本区各层含水性如图 2 所示。

2.2.1 含水层

1) 嘉陵江组岩溶裂隙含水层

嘉陵江组含水层,出露于背斜两翼,呈条带状槽谷地形。该层从下到上分为 4 段,均为石灰岩,共有泉水点 51 个,总流量 124.17 L/s,水质类型均为 $HCO_3^- - Ca^{2+} \cdot Mg^{2+}$ 型水。该层受大气降水控制明显,在地表接受补给,并以泉水的形式在嘉陵江边排泄。从岩性和水质类型分析,嘉陵江组含水层各段均是可溶性灰岩,岩溶发育,出露泉水点多,含水性强,且各层间无明显隔水层存在,水质类型相同,一

定条件下各层之间可以相互穿越,发生水力联系。因此,将嘉陵江组整层视为一个强含水层。

2) 飞仙关组三段岩溶裂隙含水层

飞仙关组三段,本层南东翼出露完整,分布广泛,北西翼被断层破坏,出露不全。该层为灰岩岩溶裂隙含水层,含水性强,出露泉水点 30 个,总流量 26.32 L/s,水质为 $HCO_3^- - Ca^{2+}$ 型水。泉水受大气降水控制,一般流量 0.13~10.54 L/s,雨季泉水流量猛增,暴雨后流量可达 462.16 L/s,雨后 1~2 d 恢复正常。该层地表岩溶发育处有 30 多个,并有暗河 2 条,地层深部则岩溶裂隙减少。

| 地层代号 | 厚度/m | 柱状(示意) | 含水性 |
|-------------------------------|--------|--------|-------|
| T ₂ L | 81.80 | | 含水性弱 |
| T ₂ J | 498.78 | | 含水性强 |
| T ₁ f ^a | 38.01 | | 隔水层 |
| T ₁ f ^b | 113.32 | | 含水性较强 |
| T ₁ f ^c | 197.68 | | 隔水层 |
| T ₁ f ^d | 117.29 | | 隔水层 |
| P ₂ c | 114.69 | | 含水性较强 |
| P ₂ L ⁵ | 21.13 | | 隔水层 |
| P ₂ L ⁴ | 11.44 | | 含水性弱 |
| P ₂ L ³ | 64.70 | | 隔水层 |
| P ₂ L ² | 12.26 | | 含水性弱 |
| P ₂ L ¹ | 32.01 | | 隔水层 |
| P ₁ m | >120 | | 含水性弱 |

图2 水文地质柱状图

3) 长兴组岩溶裂隙含水层

该层为石灰岩岩溶裂隙含水层, 该层在背斜轴部呈天窗零星出露, 接受大气降水弱, +180 m 标高以上岩溶发育, +180 m 以下则岩溶发育较少。该层含水性较强, 水质为 HCO₃⁻ · SO₄²⁻ · Cl⁻ · Na⁺。

4) 茅口组弱裂隙含水层 茅口组石灰岩岩溶裂隙含水层, 埋深 300 ~ 500 m。该层顶部有古岩溶遗迹, 岩芯裂隙发育, 且多被方解石脉充填。该层含水性弱, 水质类型为 Cl⁻ · Na⁺。

5) 弱裂隙含水层

三叠系下统雷口坡组(T₂L)、二叠系下统龙潭组二、四段(P₂L²、P₂L⁴)为弱岩溶裂隙含水层。

2.2.2 隔水层

飞仙关组一段、二段、四段(T₁f¹、T₁f²、T₁f⁴)、龙潭组一、三、五段(P₂L¹、P₂L³、P₂L⁵)均为泥岩隔水层。在嘉陵江组(T₁j)与飞仙关组三段(T₁f³)含水层之间为厚 38.01 m 的飞仙关组四段(T₁f⁴)泥岩隔水层。飞仙关组三段(T₁f³)与长兴组含水层之间为厚度 315 m 的飞仙关组一、二段(T₁f¹⁺²)泥灰岩隔水层。长兴组含水层与茅口组弱含水层之间为厚 114 m 的隔水层及弱含水层。井田内煤层顶底板绝大部分为泥岩, 煤层及其顶底板可视为隔水层。

2.3 地下水补、径、排流向

水文地质学认为^[7], 地下水由高水位向低水位流动, 因此可以根据水位变化来判断地下水的流向。对于同一岩层, 随着埋深的增加, 地压逐渐增大, 透水性也逐渐减弱, 导致水力梯度减小, 地下水交替渐趋迟缓。同时, 随着埋深的增加, 水中矿物质溶解度低者先沉积, 出现 HCO₃⁻ · SO₄²⁻ · Cl⁻ 的沉积序列, 即近地表为低矿化度的 HCO₃⁻ 型水, 水流活跃; 向下为中矿化度的 SO₄²⁻ 型水, 水流趋缓; 再深为高矿化度的 Cl⁻ 型水, 水流趋于停滞。因此, 通过地下水水位变化和水中离子的状况可以判断地下水的流动状况。

根据沥鼻峡背斜龙潭组地层钻孔水位绘制出地下水等水位线及流向矢量图, 如图 3 所示。

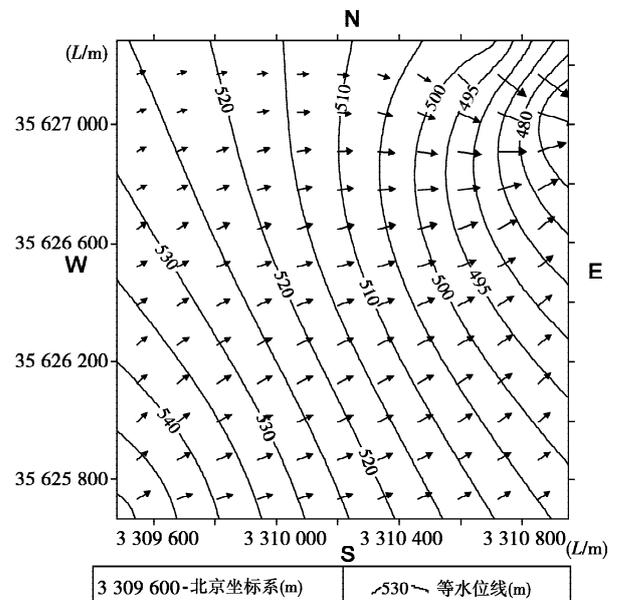


图3 龙潭组含水层等水位线及流向矢量图

从图 3 可以看出, 含水层水位从矿区南西向北东逐渐降低, 可见地下水沿着岩层走向由南西向北东流动。根据各含水层出露面积、暗河及泉水点分布分析, 在 -180 m 标高以上, 长兴组在地表露头处接受大气降水补给面积小, 仅为 0.022 km², 地形坡降缓, 水力梯度小, 水流循环缓慢。而在嘉陵江附近, 出露面积为 0.045 km², 地形坡降陡, 水力梯度较大, 地下水排泄迅速。随着埋深的增加, 在 -180 m 标高以下, 岩溶逐渐减少, 岩层透水性减弱, 水质类型转为 HCO₃⁻ · SO₄²⁻ · Cl⁻ · Na⁺, 水流趋缓; 龙潭组含水层为裂隙承压含水层, 含水性弱, 水力梯度均匀, 在 +470.13 m 标高以下, 水质类型为 SO₄²⁻ · Cl⁻ · Ca²⁺, 表明地下水流动缓慢, 处于滞缓区; 另据茅口组等水位线分析, 茅口组水位从中部向北东部降低, 由于地层埋藏较深, 透水性弱, 水质类型为

$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$, 表明水流处于停滞区。

综合分析, 长兴组(P_2c)以上含水层水流沿岩层走向从南西向北东流动, 在浅部地层露头处接受大气降水补给, 并在嘉陵江处排泄, 水流活跃。长兴组以下的龙潭组和茅口组地层埋深较大, 垂向上远离嘉陵江, 与嘉陵江水力联系微弱。横向上, 地表露头为补给区, 嘉陵江附近为排泄区, 之间为径流区, 补给区和排泄区接近, 水流径流距离短; 垂向上, 地层

深部标高 +470 ~ -180 m, 发育岩溶渐少, 水流缓慢, 为滞缓区; -180 m 标高以下水流逐渐进入停滞区。根据罗鉴银等人的研究^[8], 邻区观音峡中梁山矿区浅部含水层大气降水补给强烈, 槽谷切割深度大(500 m 以上), 泉水点分布多, 地下水仅在浅部循环, 且循环路径短, 多就近向嘉陵江排泄。

2.4 含水层间水力联系

沥鼻峡含水层钻孔抽水试验结果如表 1 所示。

表 1 含水层抽水试验结果

| 地层 | $q / (L \cdot (s \cdot m)^{-1})$ | K / mD | 水质类型 | 流向 | 岩溶 |
|------------------|----------------------------------|--------------------|--|-------|------------------------------|
| 沥鼻峡 P_2c | 0.000 885 ~ 0.045 6 | 0.000 67 ~ 0.022 1 | $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ | SW-NE | -180 m 以上发育, -180 m 以下不发育 |
| 沥鼻峡 $P_2L, zk8$ | 0.000 041 2 | 0.000 044 2 | $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ | SW-NE | 裂隙充填, 溶蚀发育 |
| 沥鼻峡 $P_2L, zk19$ | 0.000 018 5 | 0.000 151 | $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$ | SW-NE | 裂隙充填, 溶蚀发育 |
| 沥鼻峡 P_1m | 0.005 1 | 0.019 6 | $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ | SW-NE | 古岩溶发育 |
| 中梁山 P_1m | 0.002 8 ~ 0.004 6 | 0.018 216 | $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ | SW-NE | 古岩溶发育 |

从表中可以看出, 各含水层抽水试验的单位钻孔涌水量 q 、层位渗透系数 K 相差 10 倍以上, 同时水质类型明显不同, 可以判定, 各含水层之间基本无明显的水力联系。

含水层间的水力联系一般由 2 种原因造成, 其一, 含水层之间的层间垂向渗滤, 主要由岩层岩性及岩层透水性决定; 其二, 含水层之间存在断层切割沟通而导水, 主要由断层性质、规模和上下盘含水性决定。本区嘉陵江组(T_2j)含水层与飞仙关组三段(T_1f^3)之间为 38.01 m 的飞仙关四段(T_1f^4)钙质泥岩、泥灰岩隔水层, 该隔水层(T_1f^4)浅部含风化裂隙水, 深部裂隙少见。 T_2j 、 T_1f^3 之间浅部可能存在渗滤水力联系, 而深部则无水力联系。飞仙关组三段含水层(T_1f^3)与长兴组(P_2c)含水层之间存在 315 m 的隔水层, 该隔水层(T_1f^{1+2})由泥岩、砂质泥岩组成, 浅部含风化裂隙水, 深部则隔水性强。由于有巨厚隔水层的阻隔, T_1f^3 与 P_2c 之间无渗滤水力联系。从地下水化学特征判断, 长兴组与龙潭组二、四段浅部之间可能仅存在弱水力联系。长兴组(P_2c)与下部茅口组(P_1m)之间由厚 141 m 的龙潭组隔水层相隔, 龙潭组一、三、五(P_2L^1 、 P_2L^3 、 P_2L^5)段为含煤段, 主要由泥岩、铝质泥岩、砂质泥岩组成, 二、四(P_2L^2 、 P_2L^4)段含弱裂隙水, 夹于一、三、五段之间, 龙潭组整体可视为隔水层。由此可见, 长兴组与茅口组之间也不存在渗滤水力联系。

同时从图 2 的等水位线图比较也可以看出, 龙潭组含水性弱, 承压, 水位较高, 茅口组含水性较弱, 承压, 水位次之, 长兴组含水性稍强, 但径流活跃, 承压小, 水位最低。龙潭组煤系与上下两个含水层水位差在 90 ~ 160 m 左右, 表明 3 个含水层一般情况

下不存在明显水力联系。

矿区内对含水层水力联系影响较大的断层有 $F1$ 、 $F3$ 、 $f12$ 、 $f15$ 、 $f9$ 等 5 条逆断层。根据回次水位和冲洗液消耗量资料判断, $F1$ 、 $f12$ 为不导水断层; $F3$ 断层在长兴组地层内导水, 其它地层内导水性弱或不导水; $f15$ 、 $f9$ 在长兴组地层内导水, 在龙潭组含煤地层内不导水。多数断层均在上部地层导水, 而在下部含煤地层内不导水或者导水性弱。

综合分析, 浅部各含水层(T_1f^3 以上)之间相隔较近, 存在水力联系; 深部(P_2c 以下)各含水层含水性弱, 并有多个隔水层阻隔, 加之断层总体导水性不强, 使得 P_2c 以下各含水层之间没有明显的水力联系, 各自具有相对独立的导流系统。 P_2c 距离龙潭组顶界不可采 $K14$ 煤层较近, 仅对该层有充水影响, 对距离较远的主力煤层 $K2$ 、 $K7$ 充水影响不大。深部的弱含水 P_2L^2 、 P_2L^4 、 P_1m 也由于有多层隔水层的阻隔, 无水力联系。

3 构造和水文地质对煤层气富集的控制作用

煤层中水的存在形式主要有煤岩矿物晶间结构水、吸着水、薄膜水、毛细水和重力水^[9]。晶间结构水和煤分子结合; 吸着水和薄膜水属于煤粒表面的吸附水, 而任何变质程度的煤对水比对甲烷有较高的吸附亲和力^[10]; 毛细水存在于煤层微孔隙、微裂隙中, 煤层颗粒越细, 微裂隙宽度越窄, 水的毛细管力就越大。矿物结晶水、吸着水、薄膜水和毛细水都是非流动水, 在微渗滤作用下, 后三者煤层顶部底部或其顶底板中形成网络状的微渗滤水。重力水存在于煤层大裂隙中, 属自由水, 在重力和压力作用下处

于流动状态时,径流活跃的流动水对煤层气具有冲刷运移作用,水流排泄,则煤层气逸散,流动滞缓或停滞,则携带的煤层气在某些部位富集起来;煤层顶底板或其上的弱含水层中的非流动水通过压力传递或微渗滤水网络将煤层气封闭起来,即对煤层气具有水压封闭或者水网络封闭作用;处于逆断层中停滞的水,阻止煤层气向上运移,起到了水力封堵作用。

结合水文地质、煤层气赋存状况及构造形态分析,沥鼻峡矿区从上到下各层水文地质对煤层气有如下控制特征:

沥鼻峡背斜为不对称背斜构造,轴部煤层被隐伏小断层密集切割,赋存不稳定,可采煤层稳定分布于背斜两翼,且多被走向大中型断层切割成断块形叠瓦状构造。由于倾向上受断层的阻隔和垂向受隔水层的阻挡,浅部含水层水流在断块内沿岩层走向流动,并在区内最低侵蚀河流嘉陵江处以泉水的形式排泄。中部含水层水流滞缓,深部停滞。各含水层之间由于之间存在多层隔水层和不导水断层,各自具有相对独立的径流系统,无明显水力联系。

浅部嘉陵江组(T_1j)和飞仙关组(T_1f^3)地下水受大气降水控制明显,水流活跃,沿岩层走向从南西北向东北流动,排泄于嘉陵江,仅在浅部地层循环。由于距离煤层较远,并且有多层巨厚隔水层阻隔,对煤层气富集没有影响。

中部长兴组在地表处以小面积“天窗”接受大气降水,该层含水性强,但深部水质类型为 $HCO_3^- \cdot SO_4^{2-} \cdot Cl^- \cdot Na^+$,水流滞缓。长兴组地层距离K14煤层较近,对煤层气富集具有间接的水压封闭作用。龙潭组二、四段裂隙被充填,溶蚀小孔多,含岩溶裂隙水,水质类型为 $HCO_3^- \cdot Cl^- \cdot Na^+$ 型,水流滞缓,且含水性弱,其上下一、三、五段为泥岩隔水层。二、

四段弱含水层中的水对一、三、五段中的煤层气构成顶底板水网络状封闭作用。

深部茅口组属于弱含水层,水质为 $Cl^- \cdot Na^+$,地下水停滞,对上部龙潭组一段K2煤层气构成底板水网络状封闭作用。钻孔钻过该层时,有高压高浓度煤层气喷出,也证明该层具有良好的封闭煤层气能力。依理论推算^[11]的煤层气压力达4.48 MPa。

本区内断层多为压性逆断层,在断层上部,上下盘均为含水层时,断层导水;在断层下部,上下盘以隔水层和弱含水层居多,断层导水微弱或不导水,如沥鼻峡背斜f31、f15、f9断层在长兴组地层内导水,f15、f9断层在龙潭组内导水性弱。煤层气在沿着断层向上逸散的过程中,在断层下部受断层压应力影响明显。在断层上部,则受到了断层水的水压封堵。在断层内,断层水对煤层气的保存起了一定的封闭作用。

4 沥鼻峡矿区煤层气地质特征

沥鼻峡矿区含煤地层为龙潭组,含煤15层,从下到上为K1~K15,主力煤层为K2、K7煤层,煤质以贫、瘦煤为主。各主采煤层平均煤层气含量 $12.20 \sim 13.15 m^3/t$,压力 $1.23 \sim 1.50 MPa$ 。根据对主力煤层K2含气量的分析,垂向上含气量遵循随埋深增大而增大的规律,横向上,含气量分布可分为3个区,同标高水平比较,4-5勘探线之间,含气量较大,15-8勘探线间,含气量次之,背斜南东翼中部,即5-15勘探线间,含气量小于前两者。含气量等值线基本平行于K2底板等高线,如图4所示。对照图3的龙潭组等水位线图和含气量等值线图可以发现,水力梯度均匀,含气量展布均匀。除去顶板的起伏外,两者的展布关系可能与龙潭组中顶板网络状微渗滤水整体对煤层气的封闭有关。

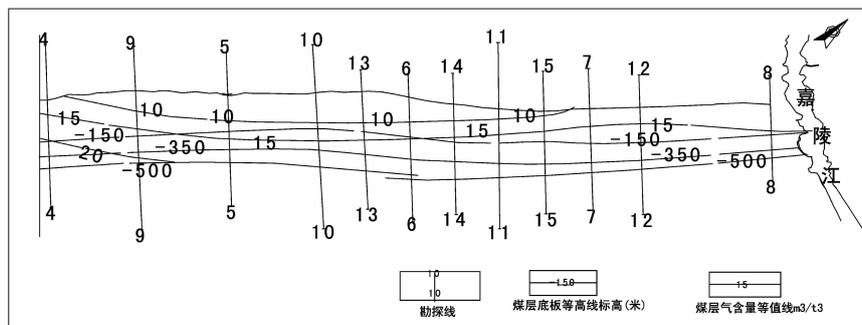


图4 K2煤层含气量分布图

另据对K2煤层的含气质量的研究发现,垂向上,-160 m以上甲烷浓度小于80%,为煤层气风化带,-160 m标高以下为甲烷带;横向上,背斜南东翼的15-8勘探线间,甲烷浓度在90%~95%;4-5勘

探线的轴部含气质量较好,甲烷浓度在91%~94%。5-15勘探线间含气质量偏低,甲烷浓度在82%~88%。背斜北西翼甲烷浓度在80%~83%,含气质量较南东翼低。分析认为,断层将背斜两翼

切割成断块构造。背斜北西翼地层倾角陡,含气量和含气质量均劣于南东翼。倾向断层 F38、F30 将背斜南东翼切割成 3 个分区(如图 1 所示),3 个区内地下水以水力封堵、水力封闭、顶底板水网络等形式对各断块内的煤层气进行分段控制,加上致密的泥岩顶底板的封闭,使煤层气含量等值线以平行于煤层底板等高线的方式分布,并在各自的区内有不同的含气量和含气质量分布。

总体来看,本区煤层气在水力封闭、压性断层和低透气性顶底板封闭下富集。沥鼻峡背斜煤层气富集方式属于背斜断块型水压封闭气藏。

5 几点认识

1) 沥鼻峡背斜多走向断层,将地层切割成断块构造,地层含水层、隔水层数多,且相间分布,各含水层之间浅部水力联系明显,深部水力联系弱,形成相对独立的水力系统,地下水对煤层气富集进行分段、分块控制,这在重庆地区具有典型代表性。

2) 该区大气降水充沛,地形高差大,因而近地表及浅部地层岩溶发育,地下水在浅部循环活跃,并就近排泄,煤层无露头且埋深大时,水对煤层气运移无洗刷作用。中下部地层含水性弱,地下水以顶底板水网络形式对煤层气进行封闭。

3) 区域内背斜轴部小断层密集,两翼分布少数大中型走向断层,多为导水性弱的压性断层。断层内的重力水以压力形式在断块边界对煤层气进行封堵。

4) 区内含煤地层中泥质岩占主要成分, P_2L^1 、 P_2L^3 和 P_2L^5 含煤层段,煤层顶底板大部分为致密的泥岩、泥质灰岩。其间分布的 P_2L^2 和 P_2L^4 段弱含水层在泥质盖层的基础上进一步以网络状微渗滤水对煤层气进行封闭。主力煤层气 K2、K7 深埋于含煤地层底部,位于上述盖层之下,保存条件较好。

5) 由于有良好的盖层、构造和水文条件的封闭,使得本区煤层气压力大,含量高,煤层气富集程度好。

参考文献:

- [1] SU X B, LIN X Y, LIU S B, et al. Geology of coalbed methane reservoirs in the southeast qinshui basin of china[J]. International Journal of Coal Geology, 2005, 62: 197-210.
- [2] CHI W. Hydrogeological control on the coalbed methane in qinshui basin [J]. Petroleum Geology and Development, 1998, 25 (3): 15-18.
- [3] 唐书恒,马彩霞,袁焕章. 华北地区石炭二叠系煤储层水文地质条件[J]. 天然气工业, 2003, 5(1): 32-36.
TANG SHU-HENG, MA CAI-XIA, YUAN HUAN-ZHANG. Hydrogeological conditions of carboniferous-permian coal reservoirs in north China[J]. Natural Gas Industry, 2003, 5(1): 32-36.
- [4] QIN Y, FU X, JIAO S. Key geological controls to formation of coalbed methane reservoirs in southern qinshui basin of China; II. modern tectonic stress field and burial depth of coal reservoir [C] // Proceedings of the 2001 International Coalbed Methane Symposium. Birmingham: US Environmental Protection Agency, 2001: 363-366.
- [5] SCOTT A R. Hydrogeologic factors affecting gas content distribution in coal beds [J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 50: 384-385.
- [6] AYERS J R, W B. Coalbed gas systems, resources, and production and a review of contrasting cases from the san juan and powder river basins [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 2002, 86: 1853-1890.
- [7] 庞渭舟,刘维周. 煤矿水文地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986: 150-157.
- [8] 罗鉴银,傅瓦利. 岩溶地区开凿隧道对地下水循环系统的破坏——以重庆市中梁山为例[J]. 西南农业大学学报, 2005, 27(4): 432-435.
LUO JIANYIN, FU WALI. Destruction caused by tunneling works to the circulatory system of underground water in karst areas—a case study of the Zhongliang Mountains in Chongqing[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2005, 27(4): 432-435.
- [9] 池卫国. 柳林煤层气勘探开发试验区水文地质研究[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(3): 36-37.
CHI WEI-GUO. Hydrogeology of exploration and development pilot area for coalbed methane in Liulin[J]. Coal Geology & Exploration, 1998, 26(3): 36-37.
- [10] 切耳诺夫 О И, 罗赞采夫 Е С. 瓦斯突出危险煤层井田的准备[M]. 宋世钊, 于不凡, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1980: 209-210.
- [11] 许江, 鲜学福. 煤层中瓦斯压力的理论计算方法[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2003, 23(10): 15-17.
XU JIANG, XIAN XUE-FU. Theoretic computing methods about the gas pressure in coal seam [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2003, 23 (10): 15-17.

(编辑 张 莘)