

文章编号: 1001-1986(2009)02-0022-04

鄂尔多斯盆地乌审煤田煤层气地质特征 与勘探开发前景

唐江林, 王生维, 杨青雄, 张典坤
(中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 鄂尔多斯盆地乌审煤田是我国煤层气勘探的重要区块。为搞清该区煤层气藏富集规律, 通过气测录井和现场解吸等手段研究了该区煤层气地质特征; 通过分析不同煤层气井的含气量、煤层顶底板岩性等资料, 认为影响勘查区煤层气富集的关键因素是上覆有效盖层的厚度; 通过煤层气样的气体组分分析, 确定了甲烷风化带的大致影响范围。预测结果显示, 乌审煤田煤层气主要赋存于中、北部 3-1 煤层 800 m 以深地区, 顶底板封盖良好区域含气量可达到 $8 \text{ m}^3/\text{t}$, 具有良好的勘探开发前景。

关键词: 乌审煤田; 低煤阶; 煤层气成藏; 控制因素; 勘探开发前景
中图分类号: P618.11 **文献标识码:** A

Geological characteristics and prospects for exploration of coalbed methane in Wushen coalfield, Ordos Basin

TANG Jianglin, WANG Shengwei, YANG Qingxiong, ZHANG Diankun
(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The Wushen coalfield, Ordos Basin is one of important coalbed methane (CBM) development areas. In order to study CBM storage regularities the CBM geological characteristics in this area are studied through analyzing logging data and gas desorption data on site, and the gas content and lithological properties of coal seams in different CBM wells are analyzed. It is considered that the key factor controlling gas storage is the effective thickness of overburden layers of coal seams in exploration area. Based on gas content analysis results the scope of weathered zones is determined. The final predicted results indicated that the CBM resources are mainly distributed in the center and northern areas of Wushen coalfield and the gas content of Coal Seam 3-1 can reach up to $8 \text{ m}^3/\text{t}$ at the depth shallower than 800 m, where the industrial development potential is favorable.

Key words: Wushen coalfield; low-rank coal; CBM reservoir formation; controlling factors; prospects for exploration and development

随着鄂尔多斯盆地乌审煤田煤炭普查的完成及相邻苏里格气田的开发, 乌审煤田侏罗系煤层所蕴含的煤层气资源正逐步显露。该区的煤层气资源评价多基于煤田勘探阶段解吸资料及天然气井气测数据, 没有煤层气井数据。为了获取更准确的资料, 于 2007 年 9 月在乌审煤田进行了煤层气参数井的施工。

1 煤层气地质背景

1.1 构造

乌审煤田位于鄂尔多斯盆地北部伊陕单斜区, 基本构造形态为一向西、北西倾斜的单斜构造, 倾

向 $270^{\circ}\sim 300^{\circ}$, 倾角 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 。地层产状沿走向及倾向均有一定变化, 沿走向发育有宽缓的波状起伏, 仅勘查区北部乌审召发现一小型正断层造成 3 煤缺失, 无岩浆岩侵入。

1.2 煤系与煤层

本区含煤地层为侏罗系中下统延安组(J_{1-2y}), 为一套由河流、湖泊和沼泽相沉积交替组成的陆相煤系。延安组分上、中、下 3 个含煤段^[1]: 上段包括 2 煤组, 其中 2-2 为上段主力煤层, 平面展布以巴彦柴达木为中心, 呈南北向分布, 煤层总厚 $0.81\sim 8.15 \text{ m}$; 中段包括 3、4 煤组, 其中 3-1 煤层厚 $0.83\sim 7.56 \text{ m}$,

收稿日期: 2008-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40672099); 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA06Z232); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB202204; 2002CB211702)

作者简介: 唐江林(1981—), 男, 四川广安人, 硕士研究生, 从事煤与煤层气研究。

为全区发育的主力煤层；下段包括 5、6 煤组，煤层总厚 3.40~11.50 m,该段煤层分岔层数多，部分厚煤层仅局部可采。延安组煤层累计厚度 6.80~33.14 m，预测煤炭总资源量近 $2\,000\times 10^8\text{ t}$ 。

受沉积基底影响，本区地层倾向北西，煤层埋深沿此方向增大(图 1)，煤层厚度在乌审煤田中部和南部减小(图 2)。本区北部的主力煤层为 3-1 煤层，在乌审召镇附近 5-1、6-1 煤层厚度增大，有总厚度超过 25 m 的富煤区；本区南部主力煤层为 2-2、3-1 煤层，并且 4-1 煤层厚度向西有增大趋势(图 3、图 4)

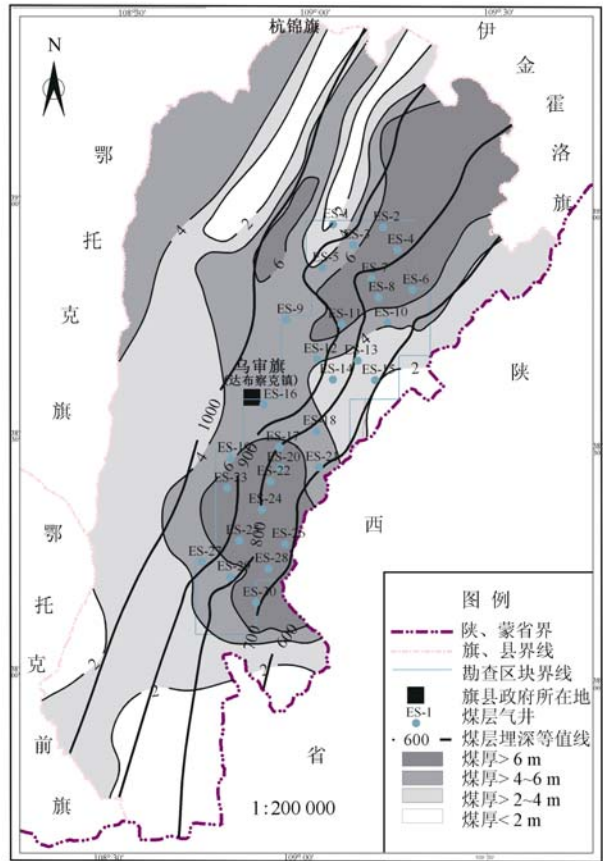


图 1 勘查区 3-1 煤层埋深与厚度等值线图

Fig. 1 Contour of buried depth and thicknesses of Coal seam 3-1 in Wushen coalfield

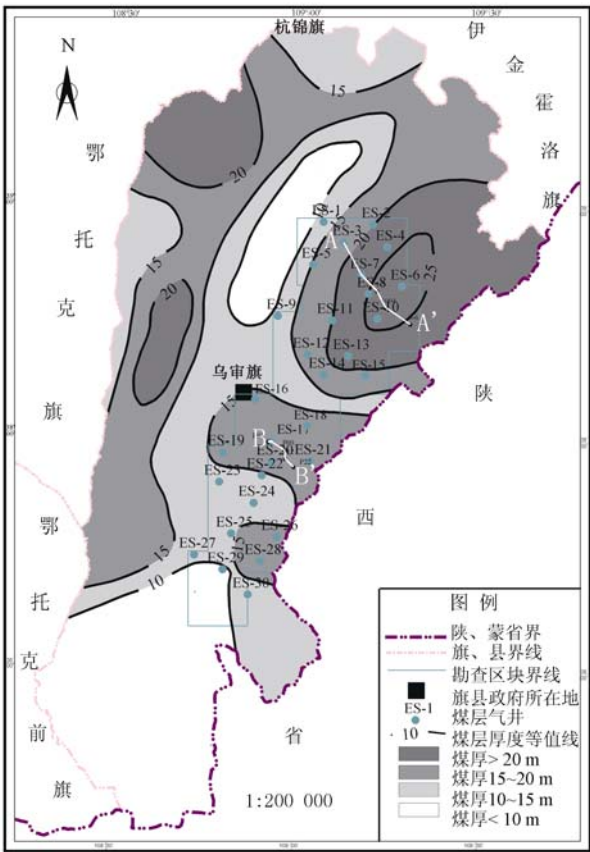


图 2 勘查区煤层总厚等值线图

Fig. 2 Contour of cumulative thicknesses of coal seams in Wushen coalfield

乌审煤田延安组煤层为低煤阶不粘-长焰煤。区内煤层 R_{\max} 变化主要受埋深控制。一般而言，800 m 以浅的煤层最大镜质组反射率 $R_{\max} < 0.73\%$ 。随煤层埋深的增加，如北部乌审召地区 4-1 煤层埋深为 809.65~816.25 m， R_{\max} 增大为 0.76%~0.81%。南部纳林河地区 2、3 煤组埋深为 753.70~800.54 m， R_{\max} 为 0.64%~0.75%。

1.3 区域水文地质

根据钻孔揭露和简易水文观测，第四系潜水含水层、侏罗系承压水含水层多为降水及侧向径流渗

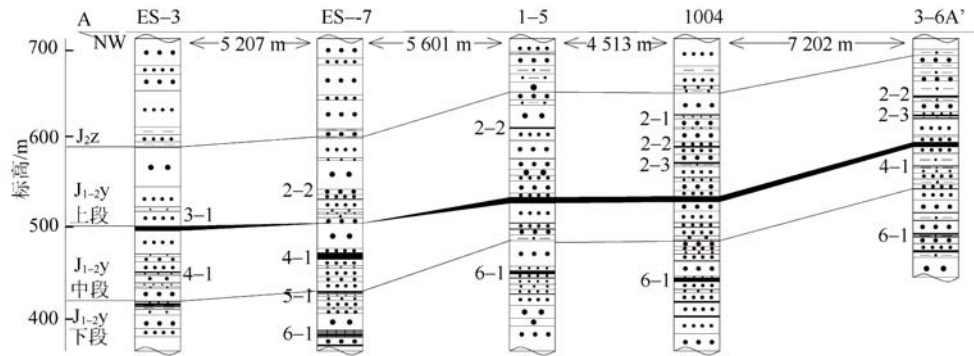


图 3 勘查区北部 A-A' 线剖面示意图

Fig. 3 Cross section A-A' in the northern area in Wuda coalfield

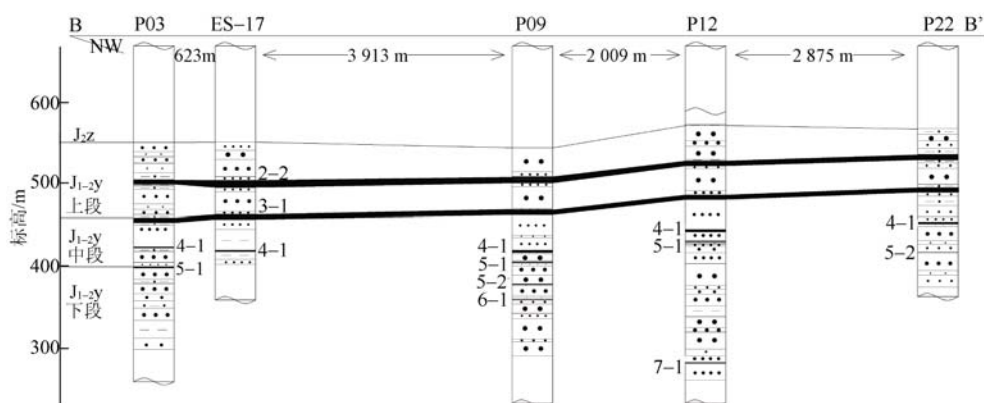


图 4 勘查区南部 B-B' 线剖面示意图

Fig. 4 Cross section B-B' in the southern area in Wushen coalfield

流补充, 水量不大。勘查区地表被第四系风积砂及松散层覆盖, 易于接受大气降水补给, 非煤系地层在上部基岩受剥蚀及风化作用, 孔隙、裂隙比较发育, 含有孔隙、裂隙潜水。随深度增加, 孔隙、裂隙减少, 煤系地层岩石致密、坚硬, 裂隙不发育, 富水性弱。煤层受走向方向流动地下水的洗刷, 在埋深较浅地区加剧了煤层气散失, 而在滞流区对煤层气起到有利的封闭作用。

2 煤层气勘探

2.1 勘探井位部署原则

乌审旗煤层气勘查区块位于内蒙鄂尔多斯市乌审旗, 面积约 2 200 km²。

设计井位时, 首先选择目标煤层埋深大于 700 m 区域, 其次选择煤层总厚较大的区域, 最后结合当地实际交通条件选定了 30 口煤层气孔位(图 1、图 2)。

2.2 勘探技术简介

参照国家标准及相关企业的煤层气施工规程标准进行了勘查区煤层气井现场作业。采用直井钻探技术, 配置粘度高、密度低清水聚合物作钻井液。针对地表及白垩系上部地层易坍塌情况, 在进入白垩系地层 15~20 m 处, 以 $\phi 244.5$ mm 套管进行一开固井。二开钻开水泥塞面后, 开始随钻气测录井。进入煤系地层后, 泥浆密度由 1.12 g/cm³ 降低至 1.06 g/cm³ 左右, 采用绳索取心技术割取岩心, 提高采取率且减小损失气量。对煤样进行了现场解吸作业, 同时制备气样做气体组分分析。完钻测井后, 全井以 $\phi 139.7$ mm 套管固井。南部部分井在完钻后进行了注入——压降试井作业。

3 煤层气勘探初步结果与认识

3.1 煤层气藏的封盖条件

受聚煤期沉积环境影响, 3 煤组与 6 煤组间普

遍发育粉砂岩和泥质粉砂岩, 封盖条件较好; 2、3 煤组间岩性多为中、细砂岩与泥岩、砂质泥岩互层, 因砂岩结构松散, 泥岩、砂质泥岩厚度小, 不利于煤层气保存。如中部 3-1 与 4-1 煤层间有约 20 m 厚的泥岩, 根据气测观察, 全烃含量由进入煤系地层的 0.1 % 增加到 4-1 煤层的 4 %; 南部 ES-20、ES-22 和 ES26 井中, 3-1 煤层埋深 720~770 m, 顶板为厚层灰白中、细砂岩, 煤层气含量仅 1 m³/t 左右。因此, 致密泥岩对下部煤层中游离气起到了良好的封闭作用。

3.2 煤储层物性特征

本区北部 4 煤组, 灰分 6.65 %~11.85 %, 挥发分 32.10 %~39.24 %, 水分 1.45 %~2.69 %, 属于低-低中灰煤, 这使煤层内裂隙不易被泥质等致密杂物充填。利用 Ultrapore-200A 氮孔隙仪等, 测得 4 煤组有效孔隙度为 6.5 %~16.0 %, 渗透率为 0.19~10.10 mD。4 煤组中, 镜质组为 52.5 %~65.2 %, 壳质组为 0.2 %~1.3 %, 惰质组为 26.1 %~40.2 %, 另有 4.6 %~7.5 % 矿物。等温吸附实验显示, 该煤组原煤 Langmuir 压力 P_L 为 2.91~5.60 MPa, 原煤 Langmuir 体积 V_L 为 8.07~13.29 m³/t。

本区中部 2、3 煤组, 灰分为 3.53 %~16.53 %, 挥发分为 27.95 %~38.46 %, 水分为 1.12 %~3.58 %, 属于低-低中灰煤, 测井孔隙度最大值为 4.46 %。煤显微组分中, 镜质组为 58.8 %~64.2 %, 壳质组为 0.8 %~3.4 %, 惰质组为 25.4 %~39.7 %, 另有 1.3 %~8.7 % 矿物。等温吸附实验显示, 原煤 Langmuir 压力 P_L 为 0.50~3.07 MPa, 原煤 Langmuir 体积 V_L 为 5.39~16.29 m³/t。3-1 煤层埋深 770.86~776.78 m, 原地压力梯度 1.1185 MPa/hm, 储层温度 27.7 °C。

总体而言, 本区煤层孔隙度较大、渗透率较高、生气母质百分比高, 对煤层气开发有利。同时, 也存在因孔隙度大、渗透率高所致的高游离气含量等不

利于煤层气勘探中准确获取煤层含气量的因素^[2-5]。

3.3 煤层气成分与解吸特征

尽管勘查区各煤层气井含气量变动较大,但总体呈现随煤层埋深增加而增大的趋势。

北部地区 ES-7 井中,埋深 809~816 m 的 4 煤组甲烷为 92.83 %~97.53 %,非烃气体主要为 CO₂ (0.85 %~1.61 %)及 N₂ (0.54 %~5.41 %)。由同位素质谱仪测得,甲烷碳同位素 $\delta^{13}C$ 为 -41.8 ‰~-46.8 ‰。解吸煤样的总含气量达 6.70 m³/t。需说明的是,由于煤样裂隙发育,绳索取心时,从取心至装罐一般约需 15 min,煤样气逸散量大,损失气量比较多。

中部地区 ES-17 井中,埋深 750~800 m 的 2、3 煤组甲烷为 62.77 %~89.84 %,非烃气体主要为 CO₂ (4.47 %~22.02 %)及 N₂ (2.26 %~17.29 %)。由同位素质谱仪测得,甲烷碳同位素 $\delta^{13}C$ 为 -59.2 ‰~-64.6 ‰,但上部煤层甲烷碳同位素较北部轻。解吸煤样总含气量达 5.83 m³/t。

4 结论与建议

a. 延安组煤层展布范围广,总厚 6.80~33.14 m,特别在北部乌审召附近发育 20~30 m 的厚煤层。受沉积基底展布形态控制,侏罗系中下统延安组地层构造呈东南高、西北低,后期沉积的填平补齐作用造成勘查区东部煤层埋深浅于西部,且上覆盖层薄等特点。因此,煤层气勘探区块应以乌审旗中部、西北部地区为重点。

b. 延安组中、下部煤组形成于滨湖环境及建设性三角洲环境,砂质泥岩、泥岩互层普遍发育,致密盖层对下部煤层气起到良好封闭作用;同时,沿地层走向渗流的地下水在侧向上阻止了煤层气的逸散。因此,延安组中、下部煤组是煤层气勘探中的目标煤组^[6]。

c. 低煤阶煤内生裂隙和外生裂隙发育,以前该煤田普查勘探中该区瓦斯样检测值非常小,原因可能在于没有及时进行现场解吸实验或设备性能不达标,造成煤样气体大量散失。因此,煤样现场解吸是煤层气勘查中必不可少的环节。绳索取心技术具有取心完整、提心快速等特点,但从煤心提取到煤样装罐一般约需 15 min 时间,这在煤样含大量游离气或解吸迅速的地区将导致含气量数据偏低。

d. 初期勘查资料显示:南部 ES-20、ES-22 和 ES26 井中,3-1 煤层埋深 720~770 m,煤层气含量仅 1 m³/t 左右,且气体组分分析显示,3 井气样中

N₂ 为 85.29 %~94.36 %;中部地区 ES-17 井,埋深 760~800 m 的 2、3 煤组甲烷为 62.77 %~89.84 %,因此推断,甲烷风化带大致在 3-1 煤层埋深 800 m 线以浅^[7-8]。北部地区 ES-7 井中,埋深 809~816 m 的 4 煤组煤层气含量为 6.70 m³/t;中部地区 ES-17 井中,埋深 750~800 m 的 2、3 煤组煤层气含量为 5.83 m³/t。因此,ES-7 和 ES-17 两井具有工业开发潜力。

在本区西部,煤层埋深大于 800 m 区域,煤的镜质组反射率和煤层上覆有效厚度均增大,这将有利于煤层气的产出与保存。鉴于北部地区埋深 809~816 m 的 4 煤组解吸煤样总含气量达 6.70 m³/t,推断顶底板封盖良好的本区西部延安组中下部的 4、5、6 煤组含气量可能为 8 m³/t 左右。这里,煤层气开发潜力巨大,应扩大勘探范围,加大乌审旗西部地区煤层气勘探与开发力度^[9]。

参考文献

- [1] 秦胜利,王立发. 内蒙古乌审旗地区煤炭勘查报告[R]. 呼和浩特:内蒙古地矿局,2007.
- [2] BOREHAM C J, GOLDING S D, GLIKSON M. Factors controlling the origin of gas in Australian Bowen Basin coals[J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(1): 347-362.
- [3] GREEN M, FLANEGAN K, GILCREASE P. Characterization of a methanogenic consortium enriched from a coalbed methane well in the Powder River Basin, U.S.A [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2008, 76(1-2): 34-45.
- [4] LAXMINARAYANA C, CROSDALE P. Role of coal type and rank on methane sorption characteristics of Bowen Basin Australia [J]. *International Journal of Coal Geology*, 1999, 40(4): 309-325.
- [5] BEATON A, LANGENBERG W, PANA C. Coalbed methane resources and reservoir characteristics from the Alberta Plains, Canada[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2006, 65(1-2): 93-113.
- [6] 张培河. 低变质煤的煤层气开发潜力——以鄂尔多斯盆地侏罗系为例[J]. *煤田地质与勘探*, 2007, 35(1): 29-33.
- [7] 王生维,陈钟惠,张明,等. 煤层气地质学新进展[J]. *煤田地质与勘探*, 2002, 30(5): 20-22.
- [8] 刘洪林,李景明,李贵中,等. 浅议我国低煤阶地区煤层气的成藏特点-从甲烷风化带的角度[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(1): 125-128.
- [9] 宋岩,秦胜飞,赵孟军. 中国煤层气成藏的两大关键地质因素[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(4): 545-553.