

苏里格南部地区上古生界天然气 成藏条件及勘探潜力

韩会平^{1,2}, 武春英^{2,3}, 季海琨^{2,3}, 陈鹏^{1,2}, 秦百平^{1,2}

(1.中国石油长庆油田分公司, 陕西 西安 710018; 2.低渗透油气田勘探开发国家工程实验室,
陕西 西安 710018; 3.中国石油长庆油田分公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710018)

摘要: 苏里格地区具有丰富的天然气资源, 在其北部和东部已发现大型气田, 而苏里格南部地区天然气勘探却一直未有突破。通过化验分析样品数据, 采用数理统计的方法对苏里格南部地区生烃条件、储层物性、储盖组合配置、成藏传导介质和运移运聚等地质条件进行较为深入的研究。结果表明, 苏里格南部地区上古生界具有有利的天然气成藏条件, 发育良好的广覆式煤系烃源岩、大面积近北西向至南东向展布的带状砂体、广厚的区域盖层和直接盖层, 在空间上构成了理想的生、储、盖组合; 良好的传导介质和有效的天然气近距离运聚为天然气气藏的形成提供了有利条件; 靖边—高桥、安边—吴起、定边—铁边城和盐池—姬塬地区为研究区有利的天然气勘探目标区。

关键词: 天然气 成藏条件 勘探潜力 上古生界 苏里格南部地区

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)04-0033-04

鄂尔多斯盆地为中国第2大多旋回沉积盆地, 勘探面积为 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是一个由古生代地台和中新生代内陆拗陷叠合而成的克拉通盆地^[1-5]。该盆地天然气勘探可追溯到1989年, 工业气流井——陕参1井取得突破性进展后, 发现了探明储量超过千亿立方米的榆林、靖边、大牛地和苏里格等世界级大型气田^[6]。截至2013年底, 鄂尔多斯盆地累积探明天然气地质储量超过 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 累积天然气产量为 $0.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 生产能力约为 $3 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$, 成为目前中国最大的天然气产区和重要的天然气生产基地。

苏里格南部地区位于鄂尔多斯盆地西南部, 构造单元横跨天环拗陷和伊陕斜坡中段, 西起环县, 东到延安, 北接定边—靖边以北, 南到华池, 勘探面积约为 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。勘探主要目的层系为石盒子组8段(盒8段)和山西组1段(山1段), 在山西组2段(山2段)、本溪组等层段有较好的含气显示。近几年勘探实践证明, 苏里格南部地区具有较大的天然气勘探潜力, 是提交规模储量的现实目标区。根据天然气成藏条件分析结果, 总结天然气成藏模式和分布规律, 对苏里格南部地区构造、储层和烃源岩等天然气地质条件进行评价, 以期为有利勘探目标区的寻找提供有力保障。

1 天然气成藏条件

1.1 烃源岩条件

苏里格南部地区上古生界烃源岩主要发育在滨浅海、潮坪沉积为主的海陆交互相和三角洲沉积为主的陆相沉积环境, 为一套煤系烃源岩, 发育层位主要集中在本溪组、太原组和山西组, 包括煤层、暗色泥岩。研究区煤层厚度为6~20 m, 有机碳含量为55%~75%; 暗色泥岩主要分布在石炭系和山西组, 厚度为40~120 m, 有机碳含量为2.25%~3.33%。薛会等研究认为, 不同岩性的烃变化与有机碳含量的变化一致, 煤层的烃含量高于暗色泥岩。因此, 研究区达到了中—好烃源岩标准, 并显示煤层具有较好的生烃潜力。

苏里格北部地区上古生界有机质成熟度为0.7%~2.2%, 苏里格南部地区上古生界镜质组反射率(R_o)测试值为1.2%~2.6%。 R_o 的不同区间值指示不同的有机质演化阶段^[7-8]。研究区上古生界有机质基本上处于成熟—过成熟阶段, 烃类处于生气高峰期—干气演化阶段。

对研究区盒8段、山1段和山2段、本溪组的近

收稿日期: 2014-05-06。

作者简介: 韩会平, 男, 工程师, 硕士, 从事油气地质研究工作。联系电话: (029)86592214, E-mail: hanhp_cq@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地大型岩性地层油气藏勘探开发示范工程”(2011ZX05044), 中国石油股份公司科技重大专项“鄂尔多斯盆地天然气勘探目标综合评价”(2011E-1301)。

50多口井的碳同位素样品统计分析,煤层和暗色泥岩干酪根的碳同位素分别为 $-33.6‰ \sim -28.6‰$ 和 $-29.3‰ \sim -26‰$ 。根据成海燕等提出的干酪根划分有机质类型标准^[7],确定研究区有机质类型为Ⅲ型干酪根,以生气为主^[9]。

通过烃源岩生烃模拟计算^[10],研究区上古生界生烃强度为 $20 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (图1),具有从北向南生烃强度增大的特征,生烃强度大于 $24 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的区块面积占整个研究区的80%以上,具有广覆式生烃的特点^[11-13]。

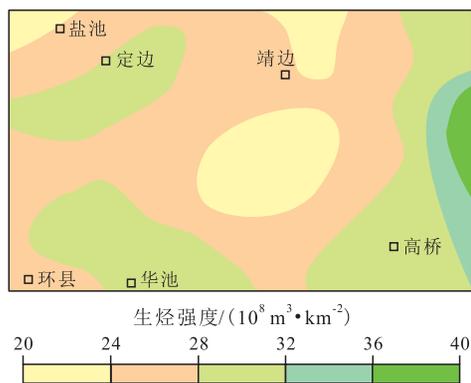


图1 苏里格南部地区上古生界生烃强度分布

1.2 储层条件

1.2.1 砂体展布特征

古地磁资料恢复的中国大陆和鄂尔多斯盆地形成和演化表明^[12],在山1段一盒8段沉积时期,由于华北板块与西伯利亚板块间的持续碰撞作用,使伊盟西段继续抬升,成为研究区主要物源之一。在构造应力作用下,北西高南东低的古地貌格局日趋明显,研究区整体处于湖岸线以下位置,发育三角洲前缘亚相沉积体系,局部具北西—南东向延展的特点,砂体整体呈北西—南东向展布,具有砂层多期叠置,砂体横向连片分布,平面展布规模大的特点^[13],为优质储层的发育奠定了良好的物质基础。

1.2.2 储层岩石学特征

受全盆地北缘地块基底岩系及其上覆泥盆系—石炭系的控制,以及由北向南的古水系的影响,研究区山1段和盒8段均发育石英砂岩、岩屑石英砂岩和岩屑砂岩储层^[8]。盒8段石英含量最高,为 $82.42\% \sim 87.45\%$,岩屑含量为 $12.53\% \sim 17.48\%$,长石含量小于 0.25% 。砂岩多以粗粒、中粗粒结构为主;分选好一次棱状,主要为岩屑溶孔、粒间溶孔、晶间孔和粒间孔。山1段石英含量为 $63.4\% \sim 94.2\%$,岩屑含量为 $5.8\% \sim 36.5\%$,长石含量小于 1.9% 。砂岩以中—粗粒结构为主;分选中等一次圆,主要为岩屑溶孔和晶间孔。由于石英砂岩化学

稳定性高、硬度大、不易被压实,且后期成岩作用相对较弱,有利于原生孔隙的保存和孔隙流体的流动,易形成较好的储层,因此高石英含量砂岩储层是高渗透率储层的关键^[14]。

1.2.3 储层物性特征

苏里格南部地区上古生界砂岩储层孔隙度为 $2\% \sim 10\%$,平均孔隙度为 6.1% ;渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔、低渗透储层。

在天然气大规模成藏期,上古生界普遍发育异常压力,源储压差达到 $20 \sim 30 \text{ MPa}$,天然气可充注进入纳米级孔喉,为大面积低孔、低渗透砂岩气藏的形成提供了强大的动力。结合测井及试气资料,建立储层物性关系,确定孔隙度为 3% ,渗透率为 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为苏里格南部地区上古生界储层物性下限,显示出储层具有良好的天然气储集条件。

1.3 盖层条件

研究区的盖层有区域性盖层和直接盖层2种。上石盒子组沉积以来,湖区沉积范围不断扩大,发育一套分布面积广、沉积厚度大、横向稳定的砂泥岩沉积,其厚度为 $105 \sim 210 \text{ m}$,占地层厚度的 86% 以上,其内部单层泥岩可连续追踪 $15 \sim 25 \text{ km}$,气体绝对渗透率为 $0.5 \times 10^{-3} \sim 0.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,饱含空气条件下的突破压力为 $1.6 \sim 2.1 \text{ MPa}$,过剩压力为 $5.2 \sim 7 \text{ MPa}$,有效阻滞了天然气向上运移,成为研究区含气层系的区域性盖层,该盖层过剩压力与物性差相匹配,使其具有双重封闭能力和更强的封盖效果。

山1段和盒7段一盒5段是一套滨浅湖相泥岩沉积,分布广泛,山1段厚度为 $30 \sim 50 \text{ m}$,盒7段一盒5段厚度为 $25 \sim 40 \text{ m}$,横向连续性较好。其气体绝对渗透率为 $0.038 \times 10^{-3} \sim 0.29 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,饱含空气条件下的突破压力为 11 MPa ,是气藏的直接盖层。

2 天然气成藏模式

2.1 天然气输导体系

苏里格南部地区发育的天然气输导介质主要有孔隙性砂岩和缝隙。

孔隙性砂岩 苏里格南部地区孔隙性砂岩输导介质即为相互叠置的连通砂体,是天然气运移聚集的重要输导介质之一。其主要呈近南北向条带状展布,连通性较好。山1段和盒8段均处于三角洲前缘远端沉积,与苏里格中—北部地区三角洲前缘主体部位相比,砂体厚度变薄,粒度变细,以中粗粒为主。绝大部分地区埋深为 $3400 \sim 4220 \text{ m}$,地史上最大埋深为 $3700 \sim 4500 \text{ m}$,砂岩储层埋深大, R_c

值大于2,砂岩储层成岩演化阶段处于中成岩B期,储层致密化严重,平均孔隙度为4%~10%,其中储层原生孔隙约占孔隙总量的10%,溶蚀次生孔隙约占孔隙总量的90%。苏里格南部地区上古生界天然气藏是先致密后成藏,所以局部地区相互叠置的砂体构成的输导体系形成了先纵再横的运移模式,对天然气大面积成藏有重要作用。

缝隙 通过岩心观察统计,苏里格南部地区75%取心井可见垂直缝和水平缝。层面缝常与近垂直缝共生,其中,暗色泥岩和煤层中的层面滑移缝发育,而厚层块状砂岩中的近垂直缝发育,构成“工”字形裂缝组合,与储集砂岩共同构成孔、缝耦合输导体系。在山1段和盒8段储层普遍致密的构造背景下,“工”字型裂缝有助于提高储层的渗透性;“工”字型裂缝与相互叠置的高渗透砂体相匹配,有利于天然气的聚集成藏。

2.2 天然气运移聚集

在苏里格南部地区上古生界区域地层平缓的构造背景下,区域性大断层不发育,构造作用相对稳定,储层自南向北呈长条带状展布,但由于储层物性致密化作用相对较早^[15],不同程度限制了天然气的大规模长距离侧向运移或通过断层突发式垂向运聚。根据庞雄奇等对油气成藏动力学成因与成藏作用的分类^[16-20],苏里格南部地区上古生界适合缓慢式烃势差作用成藏,即沉积盆地稳定(沉降)发育过程中缓慢式天然气成藏,其主控因素是天然气与周边介质条件的物性差异作用,天然气浮力上升、体积膨胀和毛细管输送是促使天然气运聚成藏的3种重要形式。

苏里格南部地区上古生界烃源岩大面积分布,天然气广覆式中等—强充注为天然气近距离运聚提供了必要的成藏物质,大面积分布的岩性—地层圈闭为天然气规模运聚提供了成藏空间。烃源岩与储层构成互层式、指状式、侧向式和覆盖式等多种接触方式,有利于天然气大面积充注和近距离运聚成藏(图2)。河道沉积的优质砂体储层既是天然

气运移的通道,又是天然气聚集成藏的有利场所。由于天然气近距离运聚成藏,在运聚过程中天然气散失相对较少,提高了天然气运聚效率。

3 勘探潜力

苏里格南部地区面积较大,处在高生烃强度区,储层紧邻生烃中心,且储集性能优越,圈闭条件较好。通过天然气近距离运聚与上古生界大面积储集砂体的有效结合,形成目前具有一定规模的源内气藏和近源气藏。资源评价苏里格南部地区天然气总资源量为 1.5×10^{12} m³,基本探明储量为 $3\,000 \times 10^8$ m³,探明率仅为20%,因此具有很大的勘探潜力,区内的靖边—高桥、安边—吴起、定边—铁边城、盐池—姬塬地区为今后有利勘探目标区。

3.1 靖边—高桥地区

靖边—高桥地区位于研究区的东侧,勘探面积为9 000 km²,紧邻上古生界子长—宜川生烃中心,生烃强度为 $24 \times 10^8 \sim 32 \times 10^8$ m³/km²,具备充足的气源供给条件。

该区盒8段发育三角洲前缘水下分流河道沉积,其水下分流河道砂体发育,含气显示普遍存在。岩性以中—粗粒石英砂岩为主,平均孔隙度为8.8%,平均渗透率为 0.83×10^{-3} μm²,储层物性较好,有利于形成大型岩性气藏^[21]。山1段发育海相三角洲前缘水下分流河道砂体,砂体厚度为8~22 m,物性和含气性都较好。岩性以中—粗粒石英砂岩为主,具有与榆林、子洲气田相类似的成藏条件,孔隙类型以粒间孔为主,平均孔隙度为6.8%,平均渗透率为 0.79×10^{-3} μm²。

靖边—高桥地区主要勘探目的层为盒8和山1段,已有多口井获得了工业产能,山2段和本溪组含气性显示明显,并已落实一定的含气面积和预测储量。综合评价结果表明,靖边—高桥地区生烃强度较大,大型岩性—地层圈闭发育,具有良好的勘探前景,是苏里格南部地区形成千亿立方米天然气储量规模的最有利勘探目标区。

3.2 安边—吴起地区

安边—吴起地区位于靖边—高桥地区西侧,处于上古生界生烃中心附近,上古生界煤系烃源岩较发育,生烃强度为 $16 \times 10^8 \sim 24 \times 10^8$ m³/km²,气源供给条件较为充足。

该地区存在苏里格气田主力储层的向南延伸部分,具有广泛分布的岩性气藏成藏的储层条件,表现为大面积成藏和近距离运聚的典型近源成藏

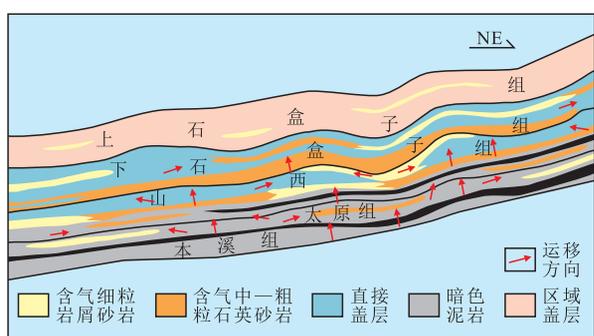


图2 苏里格南部地区上古生界天然气成藏模式

模式。从已钻井和分析测试资料得知,安边—吴起地区具有良好的储层物性条件,有利于形成规模砂岩岩性气藏;从完井试气效果来看,也显示了该区较好的含气性。因此,该区的天然气勘探潜力很大,是下一步提交规模储量的重点地区和现实目标区。

3.3 定边—铁边城地区

定边—铁边城地区位于安边—吴起地区西侧,以中粒石英砂岩储层为主,平均孔隙度为7.74%,平均渗透率为 $0.32 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,气层平均厚度为4.5 m。储层砂岩粒度偏细,气层厚度明显减薄,试气产量偏低。该区天然气具有近距离成藏的特征,其盒8段埋深为4 000m,有利于层面缝的发育,裂缝也是天然气的有效储集空间,显示出良好的勘探潜力。

3.4 盐池—姬塬地区

盐池—姬塬地区位于苏里格南部地区的西侧,横跨天环坳陷和伊陕斜坡2大构造单元,勘探面积为3 500 km²,截至2013年底,多口完钻探井钻遇高渗透储层,试气获工业气流。

盐池—姬塬地区储集砂体是苏里格气田北部三角洲沉积体系的向南延伸,水动力条件较强,三角洲前缘水下分流河道砂体发育,砂岩厚度为15~20 m,宽度为10~15 km,有利于大型砂岩岩性气藏的形成;岩性以中—粗粒石英砂岩为主,物性较好;孔隙类型以粒间孔、岩屑溶孔和晶间孔为主,面孔率相对较高,含气性较好。盐池—姬塬地区紧邻生烃中心,烃源条件较好,石英砂岩含量从北到南有升高趋势,储集条件也较好,资源基础雄厚,储量升级潜力大。

4 结论

苏里格南部地区上古生界的海陆交互相及陆相煤系烃源岩广泛分布,在盆地构造热事件影响下,研究区烃源岩有机质大多数处于高成熟—过成熟热演化阶段,形成了广覆式生排烃格局,为天然气气藏的形成提供了充足的气源保障;大面积分布的陆源碎屑沉积砂体和良好的储层物性为天然气成藏提供了良好的储集空间;良好的天然气输导介质和近距离运聚成藏为天然气藏的形成提供了有利条件。成藏要素的有效配置形成了苏里格南部地区上古生界天然气气藏大面积分布的格局。

苏里格南部地区上古生界天然气成藏条件优越,天然气成藏运聚效率高,储集物性好,资源量大,探明率低,具有很大的勘探潜力,靖边—高桥、

安边—吴起、定边—铁边城及盐池—姬塬地区是今后有利的勘探目标区。

参考文献:

- [1] 杨华,席胜利,魏新善,等.鄂尔多斯多旋回叠合盆地演化与天然气富集[J].中国石油勘探,2006,11(1):17-24.
- [2] 姚涇利,赵永刚,雷卞军,等.鄂尔多斯盆地西部马家沟层序岩相古地理[J].西南石油大学学报,2008,30(1):33-37.
- [3] 魏永佩,王毅.鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较[J].石油与天然气地质,2004,25(4):385-392.
- [4] 李振铎,胡义军,谭芳.鄂尔多斯盆地上古生界深盆地研究[J].天然气工业,1993,18(3):10-15.
- [5] 尤欢增,李良.鄂北上古生界天然气成藏地质特征[J].天然气工业,2001,21(增刊):14-17.
- [6] 杨华,席胜利,魏新善,等.苏里格地区天然气勘探潜力分析[J].天然气工业,2006,26(12):45-48.
- [7] 成海燕,李安龙,龚建明.陆相烃源岩评价参数浅析[J].海洋地质动态,2008,24(2):6-10.
- [8] 韩宗元.鄂尔多斯盆地镇探1井烃源岩有机地球化学特征[J].油气地质与采收率,2012,19(5):10-14.
- [9] 戴金星,钟宁宁,刘德汉,等.中国煤成大中型气田地质基础和主控因素[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [10] 姜福杰,庞雄奇,姜振学,等.致密砂岩气藏成藏过程的物理模拟实验[J].地质论评,2007,53(6):844-849.
- [11] 杨华,付金华,刘新社,等.鄂尔多斯盆地上古生界致密气成藏条件与勘探开发[J].石油勘探与开发,2012,39(3):295-303.
- [12] 黄宝春,周桃秀,朱日祥.从古地磁研究看中国大陆形成与演化过程[J].地质前缘,2008,15(3):348-359.
- [13] 韩会平,侯云东,武春英.鄂尔多斯盆地靖边气田山西组山₂段沉积相与砂体展布[J].油气地质与采收率,2007,14(6):50-55.
- [14] 邱隆伟,周涌沂,高青松,等.大牛地气田石炭系—二叠系致密砂岩储层孔隙结构特征及其影响因素[J].油气地质与采收率,2013,20(6):15-18,22.
- [15] 陈安清,陈洪德,林良彪,等.岩性油气藏储层非均质性成因模式——以鄂尔多斯盆地榆林—米脂地区盒8段为例[J].油气地质与采收率,2010,17(3):19-23.
- [16] 庞雄奇,金之钧,姜振学,等.深盆地成藏门限及其物理模拟实验[J].天然气地球科学,2003,14(3):207-214.
- [17] Price L C. Aqueous solubility of petroleum as applied to its origin and primary migration[J].AAPG,1976,60(2):213-244.
- [18] Lom A J. The influence of solid reservoir bitumen on reservoir quality[J].AAPG,1992,76(8):1 137-1 152.
- [19] Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J].AAPG Bulletin,1990,71(1):1-12.
- [20] Bray E E, Foster W R. A process for primary migration for petroleum[J].AAPG Bulletin,1980,64(1):107-114.
- [21] 金文辉,王林琪,周文,等.苏里格气田东二区北部盒8段水体分布及主控因素[J].油气地质与采收率,2013,20(3):22-25.