

鄂尔多斯盆地东胜区直罗组含铀地层中烃类 流体特征及来源

赵兴齐, 刘武生, 史清平, 李西得, 易超, 张子龙

核工业北京地质研究院, 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室, 北京, 100029

鄂尔多斯盆地是我国典型的多能源富集盆地, 其盆地中多种能源矿产同盆共生或共存的特点越来越受到国内地质学者的关注(魏永佩等, 2004; 刘池洋等, 2005; 王毅等, 2014)。大量研究表明, 盆地中铀矿床的形成与油气关系密切, 最直观的表现就是直罗组下段局部钻孔砂体中存在明显的油浸染现象。但目前关于该区中侏罗统直罗组下段含矿砂岩中油气的成因及来源还存在争议, 不同学者研究认为, 该含矿砂体中油气主要来源于上古生界烃源岩、上三叠统延长组及中侏罗统延安组三套烃源岩中的一套或多套烃源岩生成的油气(夏毓亮等, 2005; 彭云彪等, 2007; 李子颖等, 2007)。本文在研究中, 主要依据中侏罗统直罗组下段砂岩中酸解烃组分特征、研究区烃源岩地球化学特征及生排烃史来探明直罗组铀矿砂岩中油气的成因及来源, 以期对鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿进一步勘探突破提供地质-地球化学依据。

1 区域地质背景

1.1 地质概况

鄂尔多斯盆地地处中国大陆中部, 位于华北地台的西部, 属于华北地台的一部分, 其面积约 $23 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国第二大沉积盆地。是一个沉积稳定、拗陷迁移、扭动明显的多旋回克拉通叠加盆地。盆地的形成演化经历了四个阶段: 大华北陆相沉积盆地发育阶段(T_{1-2})、晋陕陆相盆地发育阶段(T_3-J_2)、鄂尔多斯陆相沉积盆地发育阶段(J_3-K_2)、盆地边缘断陷发育阶段(E_1-Q)(杨俊杰等, 2002), 在盆地内发现的矿产主要有煤、天然气、石油、铀矿等多能源矿产, 油气和煤在平面上具有“北气南

油、满盆煤”的分布特征, 而铀矿主要分布在盆地东北部、西北缘以及南部部分地区的中侏罗统直罗组下段砂岩层中(图 1), 空间上具有下部油气、中部煤、上部铀的分布特点(刘池洋等, 2005)。盆地内自下而上主要发育了四套烃源岩, 下古生界主要处于过成熟生干气阶段的奥陶系海相腐泥型烃源岩; 上古生界主要处于高成熟—过成熟阶段的石炭—二叠系煤系烃源岩; 中生界三叠系主要发育一套深湖—半深湖相暗色泥岩为主, 其中主要处于低熟—高成熟阶段的长 7 组烃源岩为盆地中生界主要烃源岩; 下侏罗系延安组主要发育一套湖沼相煤系烃源岩, 烃源岩热演化程度低, 主要处于未熟—低成熟阶段(罗霞等, 2003)。研究表明, 盆地中不论是古生代的天然气还是中生代的油气, 都在向北部伊蒙隆起区运移。

1.2 铀矿地质特征

东胜地区铀矿化主要位于中侏罗统直罗组下部(J_2Z^1)辫状河沉积砂体中, 岩性主要为中-粗粒、中-细粒砂岩。上部灰绿色、绿色泥质粉砂岩夹泥岩为该铀矿化层的隔水顶板, 同时也可作为后期油气向上逸散的阻挡层; 下部延安组湖沼相泥岩、炭质泥岩及煤层构成了隔水底板, 这种泥-砂-泥(煤)岩性组合特征有利于夹持于其间的中侏罗统直罗组下亚段砂体形成层间氧化砂岩型铀矿化。垂向上, 铀矿化主要赋存在顶部灰绿色、绿色砂体与底部灰色砂体的过渡带内, 且靠近灰色砂体一侧(彭云彪等, 2007; 刘汉彬等, 2012)。该区砂岩型铀矿化主要形成在中—晚侏罗世以来的多个不同时期, 整体具有多期、后生成矿的特点, 其中早晚白垩世是该区最重要的铀矿化期(刘汉彬等, 2007)。

注: 本文为大型盆地能源矿产资源综合调查评价项目(编号 12120114009501)资助的成果。

收稿日期: 2015-09-28; 改回日期: 2015-09-28; 责任编辑: 刘恋。

作者简介: 赵兴齐, 男, 1984 年生。博士, 工程师, 地质资源与地质工程专业。Email: zhaoxingqi_77@126.com。

2 样品采集与分析方法

本次分析的样品均来自东胜区大营、纳岭沟铀矿床中侏罗统直罗组下段砂体钻孔岩心, 为避免地表或浅层地层中生物成因 CH_4 的影响, 本次分析样品均采自 300m 之下的直罗组下段地层。酸解烃组分分析在中国石油勘探开发研究院完成, 测试仪器为 shimadzu GC-2010 型气相色谱仪, 分析项目包括甲烷(C_1)、乙烷(C_2)、丙烷(C_3)、正/异丁烷(nC_4/iC_4)及正/异戊烷(nC_5/iC_5)。铀(U)含量分析在核工业北京地质研究院分析测试研究所完成, 使用仪器为 Finnigan-MAT 公司生产的 Element 型号高分辨电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)。二氧化碳碳同位素分析在中国石油大学(北京)地球化学重点实验室完成, 采用 MAT253 稳定同位素质谱仪完成测试。

3 烃类气地球化学特征及来源

3.1 烃类气地球化学特征

石油地质中烃类气体的来源主要有三类, 生物成因气、油型气和煤型气(柳广第, 2009)。通过对前苏联、美国、德国及中国十二大含油气盆地中大量酸解烃特征组分特征进行统计分析认为, 可以利用 $\text{C}_1/\Sigma\text{C}$ 、 C_1/C_2^+ 参数判识烃类气体成因(漆富成等, 2007), 生物成因气 $\text{C}_1/\Sigma\text{C}$ 值分布在 0.99~1.0 之间、 C_1/C_2^+ 值 >100 , 其值明显高于油型气和煤型气; 油型气的 $\text{C}_1/\Sigma\text{C}$ 值主要分布在 0.70~0.98 之间, 其 C_1/C_2^+ 值分布在 2~10 之间; 煤型气的 $\text{C}_1/\Sigma\text{C}$ 值分布在 0.90~0.99 之间、 C_1/C_2^+ 值分布在 10~100 之间。根据上述特征, 建立了利用 $\text{C}_1/\Sigma\text{C}$ — C_1/C_2^+ 关系判识烃类气成因的模板图, 将研究区样品投入该图中, 其样品几乎全落入油型气范围内(图 1),

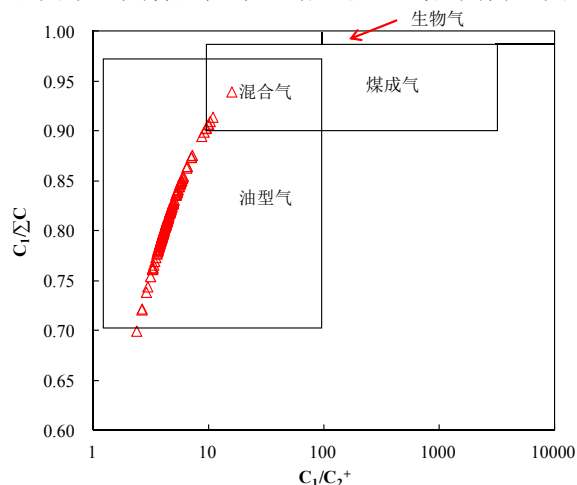


图1 地直罗组地层烃类气体 $\text{C}_1/\Sigma\text{C}$ 、 C_1/C_2^+ 成因类型

少许几个落入混合气范围。表明东胜区直罗组下段砂岩层中的烃类气主要是腐泥型母质生成的油型气, 干燥系数($\text{C}_1/\text{C}_{1-5}$)集中分布在 0.70~0.90 之间, 为典型的湿气, 表明直罗组砂岩层中的天然气主要处于低熟—高成熟的热演化阶段, 显示出原油伴生气的特征(胡安平等, 2007)。东胜区直罗组砂体中 CH_4 和 C_2^+ 含量具有: 含矿砂体 $>$ 灰色砂体 $>$ 灰绿-绿色砂体的分布特征, 表明砂岩型铀成矿与烃类气体关系密切。

纳岭沟地区直罗组烃类气的 C_2/C_3 值分布范围为 1.93~6.98, 平均为 3.31; C_2/iC_4 值分布范围较广, 分布在 17.90~91.51 之间, 其值均大于 10, 平均为 45.75 (图 2)。大营地区直罗组烃类气的 C_2/C_3 值分布范围为 2.38~4.59, 平均为 3.14; C_2/iC_4 值分布范围较广, 分布在 29.39~63.45, 其值均大于 10, 平均为 44.82。以上特征表明, 东胜地区直罗组砂岩层中烃类气体主要来源于深部热演化程度较高的早期原油裂解气和原油伴生气组成的混合气(Hill R J et al., 2003; 张敏等, 2008)(图 3)。

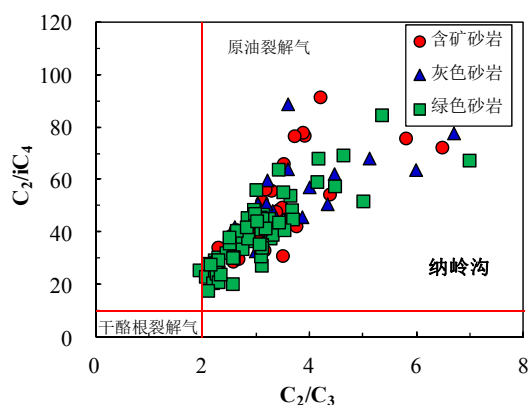


图2 利用 C_2/C_3 与 C_2/iC_4 关系判识烃类气成因类型

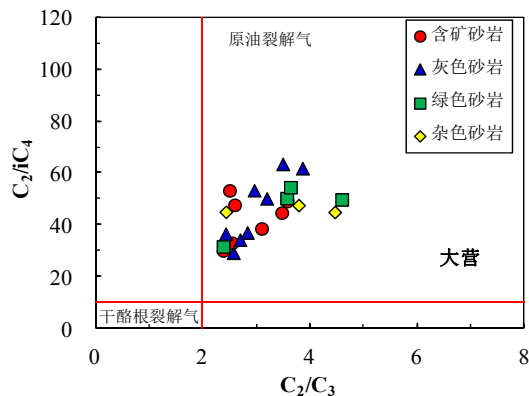


图3 利用 C_2/C_3 与 C_2/iC_4 关系判识烃类气成因类型

纳岭沟地区中侏罗统直罗组下段砂岩层中烃类气体的 $\ln(\text{C}_1/\text{C}_2)$ 值分布范围为 1.35~3.24,

$\ln(C_2/C_3)$ 分布范围为 0.66~2.35, 整体上 $\ln(C_2/C_3)$ 值的变化比 $\ln(C_1/C_2)$ 值更大, 在图中近乎垂直 (图 5), 表明该区烃类气体具有原油裂解气的特征 (Prinzhofer A et al., 1995; 王云鹏等, 2007)。大营地区直罗组下段砂岩层中烃类气体的 $\ln(C_1/C_2)$ 值分布范围较小, 其值为 1.85~2.17, $\ln(C_2/C_3)$ 分布范围为 0.87~1.52, 整体上 $\ln(C_2/C_3)$ 值的变化比 $\ln(C_1/C_2)$ 值更大, 在图中近乎垂直 (图 4), 大营地区直罗组下段烃类气体同样具有原油裂解气的特征。结合前文分析认为东胜地区含矿砂岩层中的烃类气应是原油裂解气与原油伴生气的混合气。

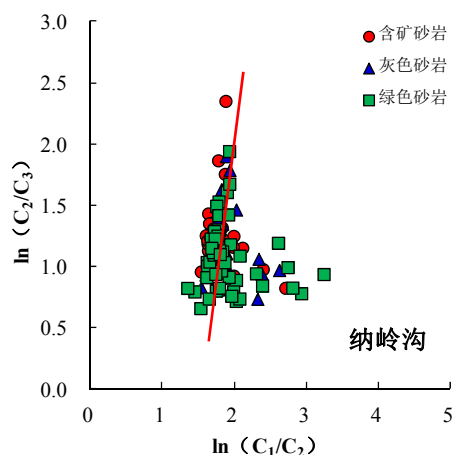


图 4 利用 $\ln(C_1/C_2)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 关系判识纳岭沟地区天然气成因

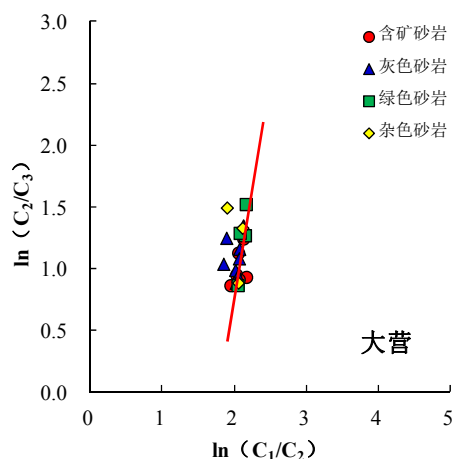


图 5 利用 $\ln(C_1/C_2)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 关系判识大营地区天然气成因

二氧化碳碳同位素 ($\delta^{13}C_{CO_2}$) 是一种鉴别有机成因和无机成因 CO_2 的有效方法, 戴金星 (1992) 指出我国有机成因二氧化碳 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值集中分布范围为 -12‰~-17‰; 无机成因二氧化碳 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值集中分布在 -3‰~-8‰。沈平等 (1991) 通过大量的

研究分析认为, 我国无机成因 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值一般大于 -7‰, 而有机质分解和细菌活动形成的有机成因二氧化碳 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值主要分布在 -20‰~-10‰^[25]。综合两位学者观点, 本文将有机与无机成因二氧化碳的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 界限值定为 -8‰, 即 $\delta^{13}C_{CO_2} \leq -8‰$ 为有机成因二氧化碳, 反之则为无机成因二氧化碳。在纳岭沟地区直罗组下段砂岩层中 20 个样品的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值分布范围较集中, 其值分布在 -18.1‰~-13.9‰ 之间, 反映气体来源的一致性, 且值均远小于无机成因 CO_2 界限值 -8‰, 表明纳岭沟地区直罗组下段砂岩层中的 CO_2 为有机成因二氧化碳, 是烃源岩生烃过程中的产物。

3.2 直罗组铀矿床中烃类气体来源探讨

研究区直罗组下段地层中包裹体油与三叠系油砂具有很好的亲缘关系 (图 6)。包裹体油的正构烷烃中, Pr/Ph 值分布范围为 1.01~1.29, 伽马蜡烷含量低 (伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷=0.07~0.22), 这些特征表明烃类流体成烃母质主要形成于弱还原—弱氧化的半深湖—深湖的还原沉积环境。Pr/nC₁₇ 值分布范围为 0.41~0.56, Ph/nC₁₈ 值分布范围为 0.57~1.21, 奇偶优势 (OEP) 值为 0.90~1.10, C_{29} 甾烷 20S/(20R+20S)、 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 、 $C_{31}\alpha\beta$ 藿烷 22S/(22S+22R)、 $C_{32}\alpha\beta$ 藿烷 22S/(22S+22R) 比值都达到了平衡值, 其成熟度参数特征表明烃类流体主要处于成熟的热演化阶段。 C_{21}^-/C_{22}^+ 值为 0.54~2.12, 甾烷系列化合物中 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷相对含量呈近“V”型分布 (图 7), 且 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷 $C_{27} > C_{29}$, 表明烃类流体的生源输入主要为低等水生生物 (林潼, 2008)。延长组烃源岩在早白垩世 (133Ma) 开始进入生烃门限, 早白垩世末期 (110Ma) 达到生油高峰, 后期持续生烃, 到渐新世 (46Ma) 部分烃源岩达到高成熟生凝析油气阶段, 这与东胜直罗组砂岩型铀矿的主成矿期 (149~80Ma) 时间大致吻合 (刘汉彬, 2007)。直罗组下段含矿砂岩层中烃类流体的特征与上三叠统延长组烃源岩地球化学特征相似, 而明显区别于石炭—二叠系高成熟—过成熟煤系烃源岩和延安组未熟—低熟的煤系烃源岩。因此, 研究区直罗组下段砂岩层中烃类流体主要来源于上三叠统延长组湖相烃源岩, 主要为有机成因的油型气, 是早期原油在后期随地层地温升高而形成的原油裂解气与原油伴生气的混合气。

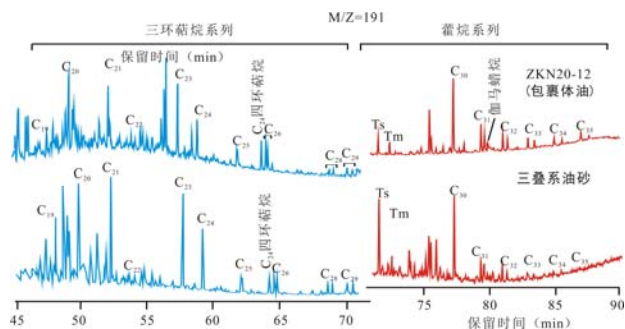


图6 直罗组下段铀矿砂岩层中包裹体油与三叠系油砂
M/Z=191 质量色谱图

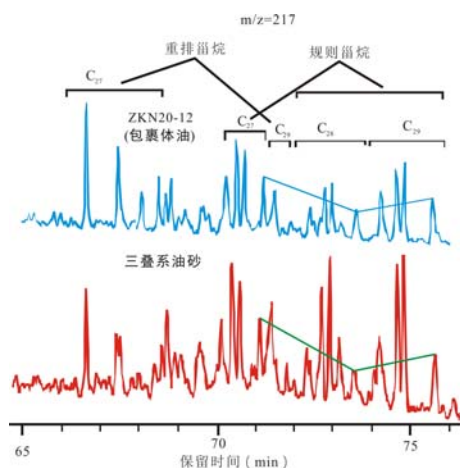


图7 直罗组下段铀矿砂岩层中包裹体油与三叠系油砂
M/Z=217 质量色谱图

4 结论

(1) 东胜砂岩型铀矿床中酸解烃气体组分中主要以 CH_4 为主, 其 CH_4 及 C_2^+ 含量具有从含矿砂体、灰色砂体、灰绿-绿色砂体逐渐变小的分布特征, 利用相关特征参数分析认为, 该烃类气为有机成因的油型气, 主要处于成熟-高成熟阶段, 为典型的湿气。因此直罗组下段含铀地层中的烃类气是早期原油裂解气与原油伴生气组成的混合气。

(2) 气源对比研究表明, 东胜区中侏罗统直罗组下段砂体中的烃类气主要来源于上三叠统延长组深湖—半深湖相腐泥型烃源岩, 而下古生界石炭-二叠系高—过成熟阶段煤系烃源岩及中侏罗统延安组未熟—低熟阶段煤系烃源岩对直罗组下段砂体中烃类气体的贡献不大。

参 考 文 献 / References

- 常象春, 王明镇, 郭海花. 2006. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产共存特征及其相关性. 石油实验地质, 28(6): 507~510.
- 胡安平, 李剑, 张文正, 李志生, 侯路, 刘全有. 2007. 鄂尔多斯盆地上、下古生界和中生界天然气地球化学特征及成因类型对比. 中国科学 D 辑(地球科学), 37(增刊 II): 157~166.
- 李宏涛, 蔡春芳, 罗晓容, 李开开. 2007. 鄂尔多斯北部直罗组中烃类包裹体地球化学特征及来源分析. 沉积学报, 25(3): 467~473.
- 李子颖, 方锡珩, 陈安平, 欧光习, 肖建新, 孙晔, 刘池洋, 王毅. 2007. 鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿目标层灰绿色砂岩成因. 中国科学 D 辑(地球科学), 37(增刊 I): 139~146.
- 林潼, 罗静兰, 刘小洪, 张三. 2008. 东胜地区直罗组砂岩型铀矿包裹体特征与铀矿成因研究. 石油学报, 28(5): 72~78.
- 刘池洋. 2005. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展. 北京: 科学出版社, 17~25.
- 刘汉彬, 李子颖, 秦明宽, 孙晔, 韩娟, 金贵善, 李军杰. 2012. 鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿地球化学研究进展. 地学前缘(中国地质大学(北京)), 9(3): 139~146.
- 刘汉彬, 夏毓亮, 田时丰. 2007. 东胜地区砂岩型铀矿成矿年代学及成矿源研究. 铀矿地质, 23(1): 23~29.
- 柳广第. 2009. 石油地质学(第 3 版). 北京: 石油工业出版社.
- 罗霞, 李剑, 胡国艺, 伍大茂, 李志生, 张英, 姚建军. 2003. 鄂尔多斯盆地侏罗系煤生、排油能力实验及其形成煤成油可能性探讨. 石油实验地质, 25(1): 76~80.
- 彭云彪, 陈安平, 方锡珩, 欧光习, 解启来. 2007. 东胜砂岩型铀矿床中烃类流体与成矿关系研究. 地球化学, 36(3): 267~274.
- 漆富成, 秦明宽, 刘武生, 肖树青, 王志明, 邹顺根, 黄净白. 2007. 鄂尔多斯盆地直罗组赋铀沉积相与油气蚀变带的时空配置. 铀矿地质, 23(2): 66~70.
- 王毅, 杨伟利, 邓军, 吴柏林, 李子颖, 王明镇. 2014. 多种能源矿产同盆共存富集成矿(藏)体系与协同勘探—以鄂尔多斯盆地为例. 地质学报, 88(5): 815~824.
- 王云鹏, 田静. 2007. 原油裂解气的形成、鉴别与运移研究综述. 天然气地球科学, 18(2): 235~244.
- 魏永佩, 王毅. 2004. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较. 石油与天然气地质, 25(4): 385~393.
- 夏毓亮, 刘汉彬. 2005. 鄂尔多斯盆地东胜地区直罗组砂体铀的预富集与铀成矿. 世界核地质科学, 22(4): 187~191.
- 杨俊杰. 2002. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律. 北京: 石油工业出版社, 156~161.
- 张敏, 黄光辉, 胡国艺, 赵红静, 李瑾, 朱翠山, 肖中尧. 2008. 原油裂解气和干酪根裂解气的地球化学研究(I)—模拟实验和产物分析. 中国科学(D 辑: 地球科学), 38(增刊 II): 1~8.