

doi: 10.12029/gc20170205

刘武生, 赵兴齐, 史清平, 张梓楠. 2017. 中国北方砂岩型铀矿成矿作用与油气关系研究[J]. 中国地质, 44(2): 279–287.

Liu Wusheng, Zhao Xingqi, Shi Qingping, Zhang Zinan. 2017. Research on relationship of oil–gas and sandstone–type uranium mineralization of northern China[J]. Geology in China, 44(2): 279–287(in Chinese with English abstract).

中国北方砂岩型铀矿成矿作用与油气关系研究

刘武生 赵兴齐 史清平 张梓楠

(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)

摘要: 油气与砂岩型铀矿的相互作用关系日益受到地质、特别是铀矿地质学者的重视, 单个能源矿产的成矿理论已日趋成熟, 但相互作用关系研究却十分薄弱, 是亟需探究和解决的关键科学问题之一。本文通过中国北方典型砂岩型铀矿与油气时空分布特征分析、镜下微观分析、化学计算, 表明油气主要通过吸附作用、还原作用、供铀作用和保铀作用促使铀的富集成矿。其中, 油气的裂解产物沥青、有机酸层对铀有强烈的吸附作用; 油气的还原作用主要是通过强还原气体(H_2 、 CH_4 、 CO 、 H_2S 等)将高价、活化的铀离子还原成四价、稳定的铀矿物; 油气与硫酸根离子相互作用生成的有机酸能够通过酸溶、萃取和金属–有机络合作用将途经围岩的部分铀富集并在成矿部位释放, 从而叠加改造铀成矿作用, 增加铀的来源; 油气逸出的强还原气体 H_2 、 CO 能使地层产生酸化, 形成高岭土化, 从而使氧化带呈弱碱性、成矿带呈弱酸性特征。砂岩型铀成矿作用与油气的关系对砂岩型铀矿含矿目的层的厘定、铀矿床定位、补充完善砂岩型铀成矿理论、“烟囱效应”指导找油气等具有重要启示意义。

关键词: 油气; 砂岩型铀矿; 分布特征; 成矿作用; 找矿启示

中图分类号: P619.14; P611

文献标志码: A

文章编号: 1000–3657(2017)02–0279–09

Research on relationship of oil–gas and sandstone–type uranium mineralization of northern China

LIU Wusheng, ZHAO Xingqi, SHI Qingping, ZHANG Zinan

(CNNC Key Laboratory of Uranium Resources Exploration and Evaluation Technology, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: Interaction between oil–gas and sandstone type uranium has aroused much interest among geologists, especially uranium geologists. In spite of rapid development of mineralization theory for single energy mines, the study of interaction is very insufficient. Therefore, this problem should be regarded as the key frontier scientific issue which deserves investigation. Based on an analysis of distribution characteristics of uranium and oil–gas, microscope testing, geochemical calculation, it can be inferred that uranium enrichment can be improved by adsorption, reduction, uranium–supply and preservation of oil–gas, in which asphalt and

收稿日期: 2016–10–5; 改回日期: 2017–04–08

基金项目: 国家科技部 973 项目(2015CB453004)、中国核工业地质局科研项目“柴达木盆地北缘铀成矿地质特征与远景评价”(201587)、中核集团龙腾二期“北方重点盆地砂岩型铀矿资源扩大与靶区优选”及国土资源部公益性行业科研专项“半干旱沉积盆地铀矿扫描技术示范区地质研究与异常解释”(201511034–3)联合资助。

作者简介: 刘武生, 男, 1977 年生, 高级工程师(研究员级), 主要从事沉积型铀矿评价与研究工作; E-mail: lws970815@126.com。

organic acid, cracked by oil-gas, can adsorb uranium strongly. For reduction of oil-gas, high valence and activated uranium ion can be reduced to +4 valence and form stable uranium minerals by more reducing gas, such as H_2 , CH_4 , CO , and H_2S . By means of acid dissolving, extraction and metallic-organic complexation, organic acid, produced by the interaction of oil-gas and SO_4^{2-} , can accumulate partial uranium nearby surrounding rocks. And then this uranium can be released in mineralization location, which can reform mineralization and increase the source of uranium. Besides, more reducing H_2 , CO , escaping from oil-gas, can cause acidification and kaolinization of the formation, which leads to the feature that the oxidation zone is slightly alkaline and the metallogenic belt is slightly acidic. Therefore, the interaction between oil-gas and uranium can be very important for the determination of uranium-bearing beds, locating of uranium deposits, developing of mineralization theory, and oil-gas exploration guided by 'chimney effect'.

Key words: oil-gas; sandstone-type uranium deposit; distribution characteristics; metallogenesis; ore-search inspiration

About the first author: LIU Wusheng, male, born in 1977, senior engineer, mainly engages in the sedimentary type uranium deposit assessment and research work, E-mail: lws970815@126.com.

Fund support: Support by National Key Basic Research Program of China (973 Program) (No. 2015CB453004), China Nuclear Industry Geological Survey Program (No. 201587), China National Nuclear Corporation Longteng Phase II Program and Public Welfare Industry Scientific Research Projects of Ministry of Land and Resources (No.201511034-3).

1 引 言

油气、砂岩型铀矿同盆共存普遍存在,具有密切的空间关系和同存共荣现象,蕴含着深刻的内在联系(刘池洋等,2006)。研究表明,铀的存在,能对烃源岩生烃演化产生重大影响,它一方面能使烃源岩生油窗温度域提前,由 $300^{\circ}C$ 提前至 $250^{\circ}C$,使低熟泥质烃源岩演变为成熟泥质烃源岩;另一方面能使总生烃量增加,从而成为油、气生成的重要因素之一(刘池洋等,2013)。油气对砂岩型铀矿的作用众说纷纭,但大多集中于油气对砂岩型铀矿的还原作用(张振强等,2008;刘池洋等,2013;金若时等,2014)。本文通过中国北方典型砂岩型铀矿床分析,详细阐述了油气在砂岩型铀成矿过程中的作用。

2 油气、砂岩型铀矿时空分布特征

2.1 空间分布特征

虽然油气、砂岩型铀矿同盆共存广泛存在,但它们在空间分布上具有差异性。从含矿层位看,油气的烃源岩和储集层往往赋存于砂岩型铀矿含矿层的下部或深部;从赋存部位看,油气大都产于盆地的内部和深部,而砂岩型铀矿则产于盆地的边缘和浅部。上述这种上下叠置关系,有助于油气对砂岩型铀矿的改造作用。油气往往是通过断裂或不整合面运移到上覆或浅部砂岩型铀矿含矿目的层,并沿层内砂体向减压带横向迁移,遇到地表含氧含

铀流体或铀矿体发生后生改造作用。因此,中国的砂岩型铀矿体往往定位于断裂构造附近的上游方向(图1)。

2.2 时间分布特征

勘探实践表明,中国含油气盆地中产油气层位分布较为广泛,从寒武系—古近系均有分布;而砂岩型铀矿主要产于中国北方中、新生代地层中,成矿年龄晚于含矿主岩形成时代(刘池洋等,2006)。从形成时间上看,砂岩型铀矿与油气藏在形成时间上存在3种可能,从而形成3种不同铀成矿方式(图2)。

第一种是油气先渗出,在砂岩型铀矿含矿目的层中形成较大面积的还原性环境,增加了含矿层内的还原容量,从而有利于铀的沉淀富集。如产于塔里木盆地西北边缘的巴什布拉克矿床,含矿层为下白垩统克孜勒苏群(K₁kz),其岩性主要为棕红、褐红色含砾粗碎屑岩,还原容量极低;深部侏罗系烃源岩在白垩纪—古近纪开始排烃,含油气流体沿着渗透性较好的岩性段、不整合面和泥岩破碎带侵入到下白垩统克孜勒苏群赋矿砂砾岩中,提高了地层还原容量,为后期表生渗入成矿奠定了基础;其后接受地表含氧含铀流体的改造,形成透镜状铀矿化,铀成矿年龄为16 Ma和8.4 Ma(李盛富等,2008;刘章月等,2015)。因此,巴什布拉克铀矿化受早期油气有机质—地沥青分布范围控制(图2B)。

第二种是砂岩型铀矿主成矿期在前,油气渗入改造作用在后,将早期形成的矿体保护起来,同时

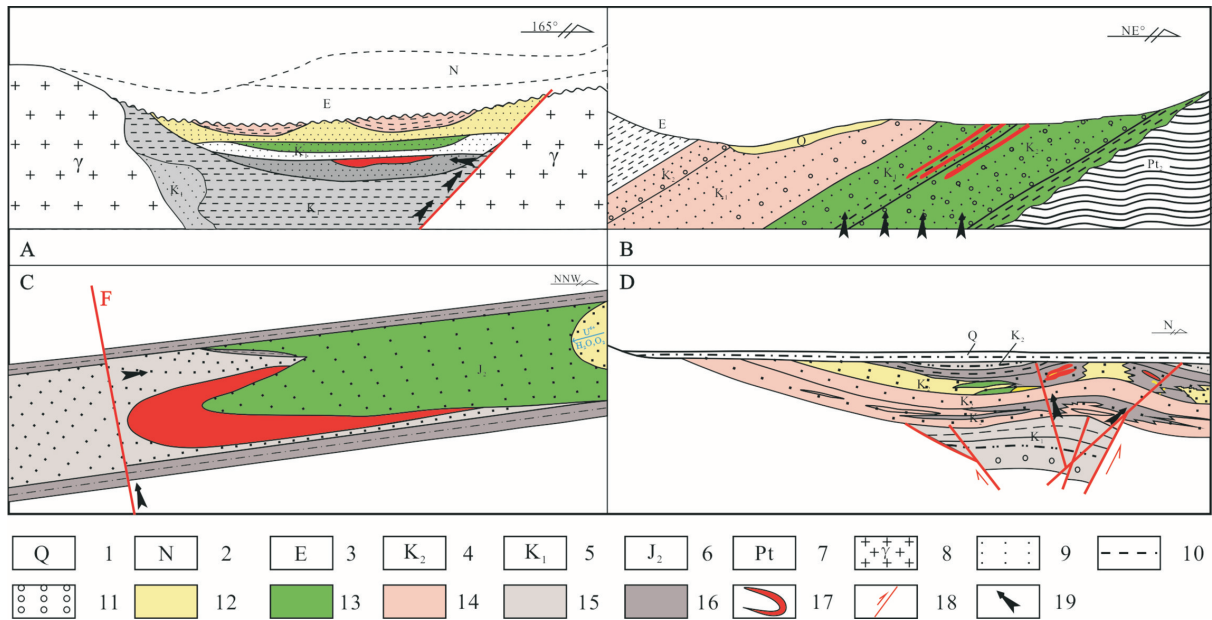


图1 与油气有关的典型砂岩型铀矿床成矿模式

A—二连盆地赛汉高毕铀矿床成矿模式;B—塔里木盆地巴什布拉克铀矿床成矿模式;C—鄂尔多斯盆地东胜铀矿床成矿模式;D—松辽盆地钱家店铀矿床成矿模式;1—第四系;2—新近系;3—古近系;4—上白垩统;5—下白垩统;6—中侏罗统;7—元古宇;8—燕山期花岗岩;9—砂岩层;10—泥岩层;11—砾岩层;12—黄色氧化带;13—灰绿色古氧化带;14—红色;15—浅灰色;16—暗灰色;17—铀矿体;18—断裂;19—油气渗出方向

Fig.1 Typical sandstone type uranium deposits metallogenic model of related to the oil-gas

A—Metallogenic model of Saihangaobi uranium deposits form the Erlian basin;B—Metallogenic model of Bashibulake uranium deposits form the Tarim basin;C—Metallogenic model of Dongsheng uranium deposits form the Ordos basin;D—Metallogenic model of Qianjiadian uranium deposits form the Songliao basin; 1—Quaternary;2—Neogene;3—Paleogene;4—Upper Cretaceous;5—Lower Cretaceous;6—Middle Jurassic;7—Proterozoic;8—Yanshannian granite;9—Sandstone formation;10—Mudstone formation;11—Conglomerate formation;12—Yellow oxidation zone;13—Sage green oxidation zone;14—red;15—Light grey;16—Dark grey;17—Uranium ore body; 18— Fracture;19—Exudation direction of oil and gas

也将早期黄色氧化带二次还原成灰绿色或蓝色,使铀矿找矿更加复杂化。如鄂尔多斯盆地东胜铀矿床矿化产于直罗组灰绿色砂岩与灰色砂岩之间的过渡带中,灰绿色砂岩是早期古层间氧化带的标志,灰绿色砂岩的成因是铀成矿后由于油气的二次还原作用形成的在砂岩碎屑颗粒表面覆盖极薄的一层针叶状绿泥石所致,二次还原作用对早期形成的古铀矿具有保矿作用(Li et al, 2007)。铀矿体受早期灰绿色古层间氧化带的控制,与后期油气改造作用密切相关,主矿体的剖面形态以卷状、板状为主,少数为透镜状(图2A、2C),有别于典型层间氧化带呈卷状的铀矿体。

第三种是砂岩型铀成矿作用与油气渗出基本同时。油气渗出一方面增加了含矿层中的还原容量,有利于砂岩型铀成矿;另一方面,阻挡了地表含氧含铀水向深部运移,在某一平衡界面,始终发育铀矿化,形成富大铀矿体。如松辽盆地南部的钱家

店铀矿床,晚白垩世中晚期嫩江期末至明水期矿区发生了强烈的嫩江反转隆升及断裂构造活动(罗毅等, 2007),在矿区的东北部形成几十平方千米的姚家组剥蚀构造天窗。深部油气逸散至姚家组砂体中,并向构造天窗减压处运移,将途经的原生红色砂岩、灰色砂岩产生还原褪色;同时,地表含氧水沿沉积韵律下部渗透性较强砂岩渗透,也向天窗减压处运移。这样,在天窗周边形成渗入渗出双叠合地球化学环境,由于运移的方向一致,但动力不一致,且渗入氧化速率大于渗出还原速率,从而形成独特的板状矿体,铀成矿年龄为(67±5)Ma、53 Ma和40 Ma(张金带等, 2010)(图2d)。

3 油气在砂岩型铀成矿中的作用

3.1 油气的吸附作用

石油一般对铀的吸附性较小,石油中铀的含量远低于沉积岩中铀的含量(石油中铀含量一般为(n×

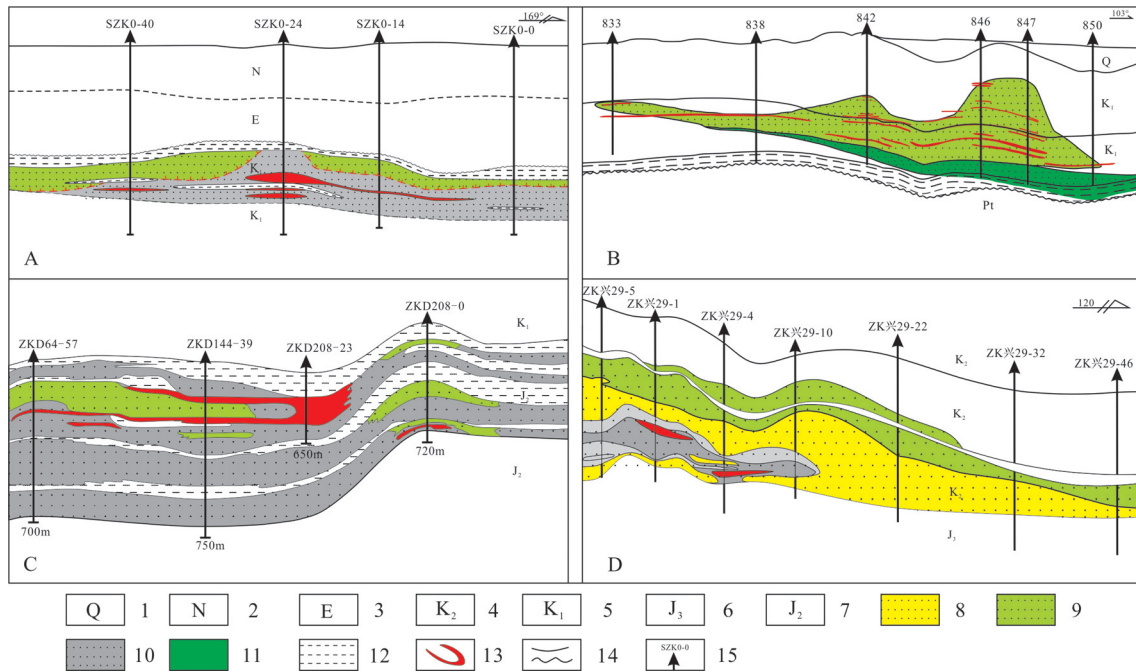


图2 典型砂岩型铀矿化与油气空间配置关系图

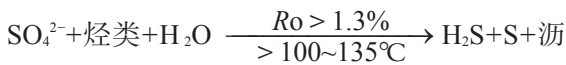
A—二连盆地赛汉高毕铀矿床; B—塔里木盆地巴什布拉克铀矿床; C—鄂尔多斯盆地东胜铀矿床; D—松辽盆地钱家店铀矿床;
 1—第四系; 2—新近系; 3—古近系; 4—上白垩统; 5—下白垩统; 6—上侏罗统; 7—中侏罗统; 8—黄色氧化砂体; 9—灰绿色古氧化砂体;
 10—灰色砂体; 11—油气藏; 12—泥岩层; 13—铀矿体; 14—岩性接触界面; 15—钻孔

Fig.2 The spatial configuration diagram of typical sandstone type uranium mineralization and oil-gas

A—Saihangaoibi uranium deposits of the Erlian basin; B—Bashibulake uranium deposits of the Tarim basin; C—Dongsheng uranium deposits of the Ordos basin; D—Qianjiadian uranium deposits of the Songliao basin; 1—Quaternary; 2—Neogene; 3—Paleogene; 4—Upper Cretaceous; 5—Lower Cretaceous; 6—Upper Jurassic; 7—Middle Jurassic; 8—Yellow oxidation sandstone; 9—Grayish green oxidation sandstone; 10—Grey sandstone; 11—Oil and gas reservoirs; 12—Mudstone formation; 13—Uranium ore body; 14—Lithological contact interface; 15—Drill hole

$10^{-9} \sim n \times 10^{-7}$, 沉积岩中铀含量一般为 $n \times 10^{-6}$)。油气的吸附作用主要指油气的主要成分(烃类)在一定条件下能与砂体中的硫酸根离子相互作用,生成具有很强吸附性的沥青、有机酸。

反应方程如下(周玉琦等, 2004):



(1) 沥青的吸附作用

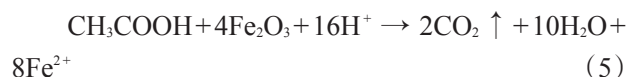
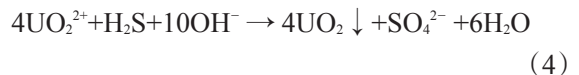
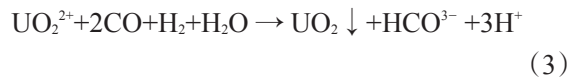
沥青是复杂的碳氢化合物与其非金属衍生物组成的混合物, 具有很大的比表面积, 能够与吸附质以分子间的作用力相互吸引。如在鄂尔多斯盆地东胜铀矿床和二连盆地的赛汉高毕铀矿床中见微粒状铀矿物呈分散状吸附于沥青的表面(图3)。

(2) 有机酸的吸附作用

有机酸是指一些具有酸性的有机化合物, 最常见的有机酸是羧酸。有机酸常呈离子状态, 能够吸附高价铀离子, 参与砂岩型铀矿成矿作用。

3.2 油气的还原作用

还原容量是评价某一砂体是否有利于铀成矿的一个很重要的指标。当断裂沟通深部储油构造时, 强还原气体($\text{H}_2, \text{CH}_4, \text{CO}, \text{H}_2\text{S}$ 等)可沿断裂向上迁移, 在其与层间含氧含铀地下水相遇时, 能直接将高价、活化的铀离子还原成四价、稳定的铀矿物(陈宏斌等, 2007)。



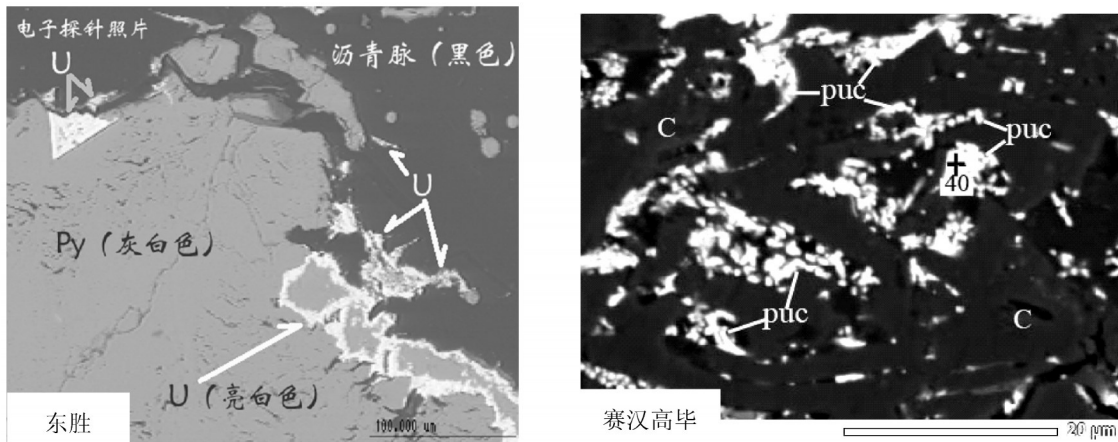


图3 铀矿床中铀矿物与沥青相伴生

puc—复成分磷钙铀矿;C—沥青;U—微粒状铀矿物;Py—草莓状黄铁矿

Fig.3 Uranium mineral associated with asphalt in the uranium deposit

puc—Complex composition of phosphorus calcium uranium deposit;C—Asphalt;U—Particles of uranium ore;Py—Framboidal pyrite



上述(1)、(3)反应中产生的氢离子能使地层产生酸化,形成高岭土化,从而在矿体上游呈现白色褪色蚀变,形成氧化带呈弱碱性、成矿带呈弱酸性特征;(2)、(5)、(6)、(7)反应中产生的二氧化碳发育碳酸盐化、白云岩化,使得发生过反应的氧化带和氧化-还原过渡带碳酸盐含量远大于未发生过反应的原生带(表1);(5)~(8)反应中形成的黄铁矿与沥青铀矿相伴生。研究表明,在弱酸性至弱碱性的介质中,黄铁矿总是先于沥青铀矿、铀石从溶液中沉淀出来,然后才是沥青铀矿和铀石的沉淀(陈祖伊等,2007)。因此,沥青铀矿、铀石围绕黄铁矿分布是一种沉淀顺序的关系(图4),并非黄铁矿中的Fe²⁺还原了溶液中的U⁶⁺。

3.3 油气携带铀提供铀源

有机酸主要是对途经围岩中的铀通过酸溶、萃取和金属-有机络合作用富集起来(欧光习等,2009)。如塔里木盆地的巴什布拉克铀矿床和二连盆地赛汉高毕铀矿床见硬沥青包裹着的铀矿物,硬沥青表面或周边未见铀矿物,说明内部铀矿物主要是油气运移过程中通过对围岩酸溶、萃取和金属-有机络合作用将铀矿物富集起来(图5)。

3.4 油气的保矿作用

油气的保矿作用主要表现在早期形成的铀矿体受后期油气渗出还原影响而使氧化还原障与渗

表1 中国典型与油气有关的砂岩型铀矿床后生蚀变带中二氧化碳含量

Table 1 The carbon dioxide content of the epigenetic alteration belt from the typical sandstone type uranium deposit

铀矿床	氧化带	氧化-还原过渡带	原生带
东胜	3.0	4.8	0.8
赛汉高毕	0.5	2.2	0.2
努和廷		7.8	0.9
钱家店	11.2	2.2	0.1

入水氧化相反的方向迁移,矿体处于还原环境中,避免了再次活化迁移遭受破坏的可能,对铀矿体具有保矿作用。如东胜铀矿化区古层间氧化作用主要发育于晚侏罗世—晚白垩世,而大规模油气渗后期主要集中在始新世—渐新世,晚期油气对早期形成的铀矿体具保护作用,同时对中新世新一轮叠加氧化还原作用提供了还原容量(漆富成等,2007;刘武生等,2012)。

4 油-铀作用对找矿勘查的启示

4.1 拓宽砂岩型铀矿找矿目的层

传统的砂岩型铀矿找矿目的层要求富含有机质灰色碎屑岩建造,杂色缺少有机质的碎屑岩,由于油气的参与增加了岩体内的还原容量,同样可以成为铀矿找矿目的层,如塔里木盆地的巴什布拉克矿床和乌兹别克斯坦的萨贝尔萨依铀矿床。统计分析认为,含矿层的砂体中有机质含量一般大于0.5%,如果低于该数值,必需有油气渗出还原作用

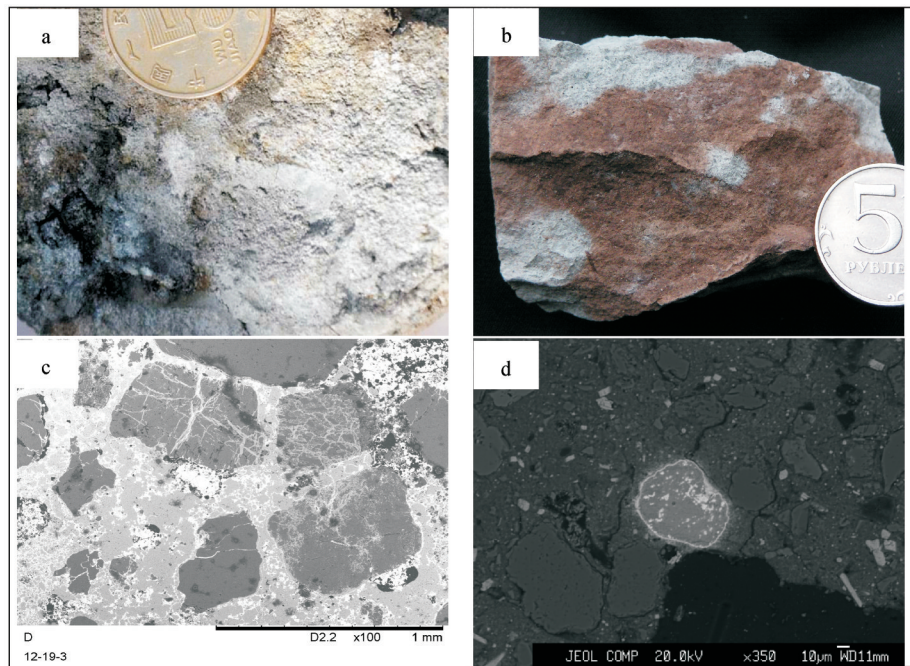


图4 铀矿床中油气的次生蚀变作用特征

a—钱家店铀矿床中含油斑铀矿石表面见灰白色高岭土化酸性褪色蚀变；b—鄂尔多斯盆地原生氧化岩石遭受油气二次还原后呈现白色高岭土化酸性褪色蚀变；c—二连盆地哈达图铀矿床中大量黄铁矿(暗灰)周边共生有沥青铀矿(亮斑)；d—鄂尔多斯盆地东胜铀矿床中矿石中心为黄铁矿(暗灰)表面及周边覆盖有沥青铀矿(亮点)

Fig. 4 Secondary alteration effect characteristics of oil-gas in the uranium deposit

a—Oil spot-bearing uranium ore surface with gray kaolin acid fading alteration in Qianjiadian uranium deposit; b—Native oxide rock after secondary reduction of oil and gas exhibiting white kaolin acid fading alteration of Ordos Basin; c—Lots of pyrite (dark gray) surrounding the associated pitchblende (sparkling spot) of Hadatu uranium deposit in the Erlian Basin; d—The ore center for pyrite ore (dark gray), surface and the surrounding rock covered with pitchblende (bright spot) of Dongsheng uranium deposit in the Ordos Basin

存在,增加砂体内的还原容量(刘武生等,2012)。

4.2 有助于砂岩型铀矿床定位

(1) 渗出还原流体蚀变定位铀矿床

油气渗出还原所形成的蚀变分带与层间氧化作用的截然不同(张金带等,2010)。典型层间氧化作用蚀变带分为褐黄色赤铁矿化、褐铁矿化带(氧化带)→氧化还原过渡带(铀矿石带)→还原带(未蚀变带)。经油气叠加改造的蚀变带为绿色蚀变带(古氧化带)→褪色蚀变带(灰白色弱氧化带)→氧化还原过渡带(铀矿石带)→还原带(未蚀变带)。其中,绿色蚀变带是油气还原氧化带形成;褪色蚀变带是油气酸化形成高岭土化或二次还原成因;铀矿石带矿体形态复杂,不呈典型的“卷”,具似层状或卷型的矿体下翼,矿石的铀品位高(大营—纳岭平均品位达0.175%、哈达图矿床平均品位达0.454%)。

(2) 有机成因黄铁矿的指示作用

油气逸出的强还原气体 H_2S 能将赤铁矿还原成

黄铁矿,其形成条件和形成机理与六价铀还原成四价铀一致(张祖还等,1984),说明有机成因黄铁矿能指示该区域具备形成砂岩型铀矿地球化学条件,且铀矿往往附着于黄铁矿外围或表面,而不是说黄铁矿作为还原剂将六价铀还原成四价铀。

(3) 油气运移通道定位铀矿床

油气的运移通道通常为断裂或构造天窗,砂岩型铀矿化往往定位于断裂的上游附近(库捷尔泰、东胜、十红滩等铀矿床)或构造天窗周边(钱家店、巴什布拉克铀矿床)。

4.3 补充完善铀成矿机理

传统砂岩型铀成矿理论认为,砂岩型铀矿中铀的来源主要来自蚀源区及含矿层本身,主要是通过地表含氧含铀水运移至成矿部位富集而成。由于油气由下而上运移过程中,通过酸溶、萃取和金属-有机络合作用将流经部分围岩中的铀富集并在成矿部位释放,从而叠加改造铀成矿作用,增加铀的

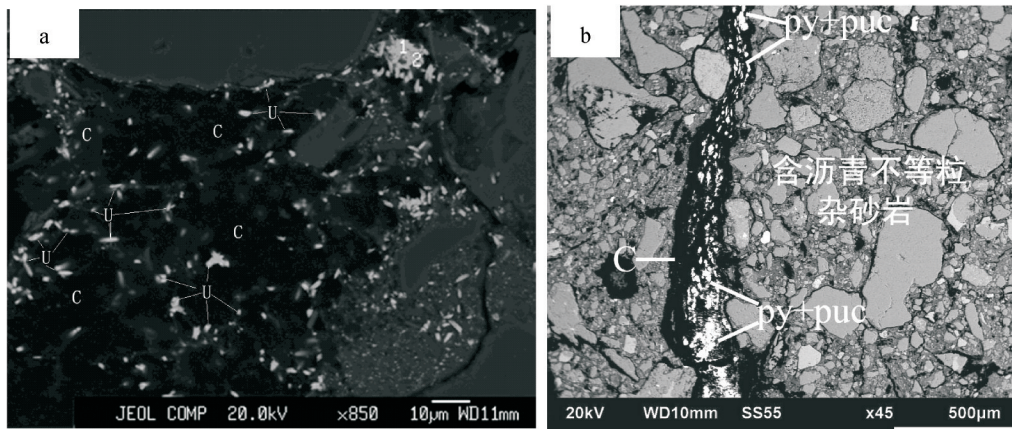


图5 铀矿床中油气与铀矿物作用证据

a—塔里木盆地巴什布拉克铀矿床;b—二连盆地赛汉高毕铀矿床;C—沥青;U—微粒状铀矿物;
Py—草莓状黄铁矿;puc—复成分磷钙铀矿

Fig. 5 Effect of evidence from uranium minerals and oil-gas in the uranium deposit

a—Bashibulake uranium deposit of Tarim Basin;b—Saihangaobi uranium deposit of Erlian Basin;C—Asphalt;U—Particles of uranium ore;
Py—Framboidal pyrite;puc—Complex composition of phosphorus calcium uranium deposit

来源。因此,在评价砂岩型铀的来源时,不仅需要
考虑蚀源区外源,含矿目的层内源,还应关注是否
有油气渗出携带的铀源。

盆地深部的油气渗出对上覆地层的次生还原
作用及其对砂岩型铀成矿的影响主要表现在三个
方面:(1)油气改造在前,铀成矿作用在后。在铀成
矿前油气渗出主要增加杂色及红色岩石的还原容
量,有利于地下水中铀的沉淀富集,形成巴什布
拉克式铀矿床(刘章月等,2015)。(2)铀成矿主作用在
前,油气叠加改造在后。在鄂尔多斯盆地北部砂
岩型铀矿的形成是潜水-层间-油气-低温热流体“叠
合复成因铀成矿”作用的产物(Li et al., 2007),揭
示了控制铀矿化的灰绿色砂岩是油气二次还原的
产物,为针叶状绿泥石引起,是古氧化带,该理论在
指导勘查部署方面发挥了重要作用。(3)油气渗出
与铀成矿作用大致同时进行。如松辽盆地钱家店
主要是由两种不同类型的地下水的双混合成矿作
用形成,即深部上升的具还原性质的弱酸性油气
油田水和沿古地表渗入的具氧化性质的弱碱性层
间氧化水运移至含矿目的层,并向“天窗构造”
排泄,相向而行,通过氧化-还原反应形成板状
“钱家店式”铀矿床(张金带等,2010)。

4.4 “烟囱效应”指导找油

在油气田的外围,由于油气的裂解作用,形成
一圈围绕油田的沥青、有机酸层;沥青、有机酸对

具有强烈吸附作用,从而呈现油田外围一圈铀含
量增高现象;同时,地下富集的铀放射性生热的积
累对提高烃源岩的成熟度有一定的作用,铀的富
集会增加有机质成熟度,加速烃源岩的热演化。
有学者认为(张景廉,2001)有机质在放射性热作
用,最终转化为油气的反映过程为:沉积物中一
般均含有水,在 α 射线的作用下,氧与有机质作
用产生 CO_2 , CO_2 又与氢作用产生甲烷,甲烷在
 α 射线轰击下发生聚合,形成各种气态和液态
的碳氢化合物。因此,利用该特性可以确定深部
油气藏及油气散失通道的分布区域(谭成仟,
2007),可以通过地表土壤氦气测量或能谱测量,
利用表现的“烟囱效应”(图6)(刘建军,2006)
进行找油。

5 结 论

(1)油、铀关系密切,具下油上铀的叠置关
系,且铀矿化往往定位于油气向上运移通道附
近,即断裂的上游、构造天窗的周边;油气的裂
解产物沥青、有机酸层对铀有强烈的吸附作用,
而石油本身铀含量较低;利用该特性表现的“烟
囱效应”,采用土壤氦气测量或能谱测量,可以
指导找油。

(2)油气的还原作用主要是通过强还原气体
(H_2 、 CH_4 、 CO 、 H_2S 等)将高价、活化的铀
离子还原成四价、稳定的铀矿物。当油气先渗
出,可以增加铀矿层中的还原容量,使红色或杂
色层也有利于

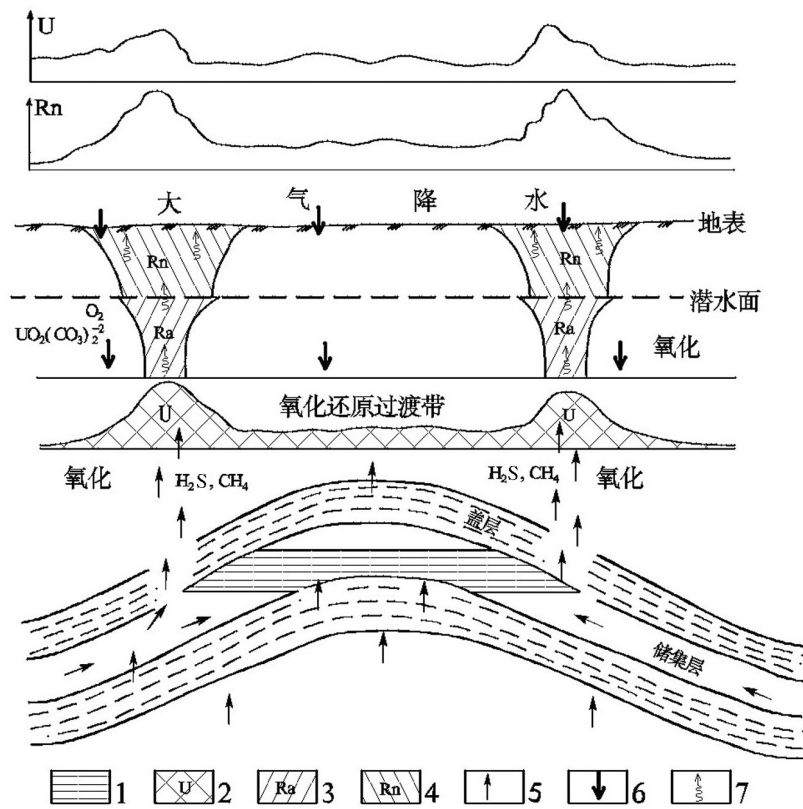


图6 油气藏放射性异常综合模式图(据刘建军等,2006,修改)

1—油气藏;2—铀富集区;3—镭富集区;4—氡富集区;5—油气运移方向;6—地表含氧含铀水运移方向;7—铀子体运移方向

Fig.6 The integrated model of radioactive anomalies above oil and gas accumulation(modified from Liu et al. 2006)

1—Oil and gas accumulation;2—Uranium rich domain;3—Radium rich domain;4—Radon rich domain;5—Migration direction of oil/gas;

6—Migration direction of oxygenic and uranic fluid media;7—Daughter activity

铀的沉淀富集,拓宽了砂岩型铀矿找矿目的层;当油气渗出改造作用在后,形成特定的油气渗出还原蚀变分带,且对早期形成的古铀矿具有保矿作用;当油气渗出与铀成矿作用基本一致时,主要在二者平衡界面发育富大板状铀矿体。

(3)油气逸出的强还原气体 H_2 、 CO 能使地层产生酸化,形成高岭土化,从而具备氧化带呈弱碱性、成矿带呈弱酸性特征;逸出的 H_2S 在弱酸性至弱碱性的介质中,黄铁矿总是先于沥青铀矿、铀石从溶液中沉淀出来,说明沥青铀矿、铀石围绕黄铁矿分布是一种沉淀顺序的关系,并非黄铁矿中的 Fe^{2+} 还原了溶液中的 U^{6+} 。

(4)油气与硫酸根离子相互作用生成的有机酸能够通过酸溶、萃取和金属-有机络合作用将途经围岩的部分铀富集并在成矿部位释放,从而叠加改造铀成矿作用,增加铀的来源,发展了砂岩型铀成矿理论。

致谢:感谢审稿专家及编辑部老师提出的建设性意见和建议。

References

- Chen Hongbin, Xu Gaozhong. 2007. Direct evidences for reduction of pitchblende by pitch in the Sawapuqi uranium deposit, Xinjiang [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 26(3): 245–248 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zuyi, Guo Qingying. 2007. Mechanism of U-reduction and concentration by sulphides at sandstone type uranium deposits[J]. Uranium Geology, 23(6): 321–334 (in Chinese with English abstract).
- Jin Ruoshi, Zhang Chengjiang, Feng Xiaoxi, Tang Chao, Zhu Qiang, Li Guangyao. 2014. The influence of fluid mixing on the mineralization of sandstone type uranium deposits[J]. Geological Bulletin of China, 33(2/3):354–358 (in Chinese with English abstract).
- Li Shengfu, Wang Cheng. 2008. Metallogenic mechanism and its prospecting guides of Bashibulake uranium deposit[J]. World

- Nuclear Geoscience, 25(3): 143–150 (in Chinese with English abstract).
- Li Ziyang, Fang Xiheng, Chen Aaping, Ou Guangxi, Xiao Xinjian, Sun Ye, Liu Chiyang, Wang Yi. 2007. Origin of gray–green sandstone in ore bed of sandstone type Uranium deposit in north Ordos Basin[J]. Science in China (Series D): Earth Science, 50(Supp.2): 165–173.
- Liu Chiyang, Mao Guangzhou, Qiu Xinwei, Wu Bolin, Zhao Hongge, Wang Jianqiang. 2013. Organic–inorganic energy minerals interactions and the accumulation and mineralization in the same sedimentary basins[J]. Chinese Journal of Nature Progress, 35(1): 47–55 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chiyang, Zhao Hongge, Tan Chengqian, Wang Jianqiang. 2006. Occurrences of multiple energy mineral deposits and mineralization reservoiring system in the basin[J]. Oil & Gas Geology, 27(2): 131–141 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianjun, Li Huanyuan, Chen Guosheng. 2006. To prospect for ISL–amenable sandstone–type uranium deposit by using the association of uranium with oil[J]. Uranium Geology, 22(1): 29–37 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wusheng, Jia Licheng, Liu Hongxu. 2012. The potential evaluation of sandstone type uranium resources in China[J]. Uranium Geology, 28(6): 349–354 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhangyue, Qin Mingkuan, Cai Genqing, Liu Hongxu, Geng Yingying. 2015. Organic geochemical characteristics and its control on uranium mineralization of Bashibulake area in xinjiang[J]. Earth Science Frontiers, 22(4): 212–222 (in Chinese with English abstract).
- Luo Yi, Ma Hanfeng, Xia Yuliang, Zhang Zegui. 2007. Geologic characteristics and metallogenic model of Qianjiandian uranium deposit in Songliao basin[J]. Uranium Geology, 23(4): 193–199 (in Chinese with English abstract).
- Ou Guangxi, Guo Qingying, Zhang Jianfeng. 2009. The Relationship of Hydrocarbon–bearing Fluid and Juvenile Fluid and Sandstone–type Uranium Mineralization in the North Ordos Basin[C]. Chinese Geophysical, 761–762 (in Chinese with English abstract).
- Qi Fucheng, Qin Mingkuan, Liu Wusheng, Xiao Shuqing, Wang Zhiming, Zou Shungen, Huang Jingbai. 2007. Time space configuration of uranium mineralization, sedimentary facies and oil & gas induced alteration zone in Zhiluo formation, Ordos basin[J]. Uranium Geology, 23(2): 66–70 (in Chinese with English abstract).
- Tan Chengqian, Liu Chiyang, Zhao Junlong, Zhang Rongrong. Feature of high natural gamma anomaly and its geological implication of the typical area in Ordos basin[J]. Science in China(Series D: Earth Science), 2007, 37 (S1):147–156(in Chinese).
- Zhang Jindai, Xu Gaozhong, Lin Jinrong, Peng Yunbiao, Wang Guo. 2010. The implication of six kinds of new sandstone–type uranium deposits to uranium resources potential in North China[J]. Geology in China, 37(5): 1434–1449 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinglian. On the Inorganic Cause of Oil[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- Zhang Zhenqiang, Dong Wenming, She Xinmin, Jing Jianan. 2008. Primary studies on the role of oil gas in sandstone type uranium mineralization of Yaojia Formation in south Songliao basin[J]. Uranium Geology, 24(1): 43–47 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zuhuan, Zhao Yiyang, Zhang Xintong. 1984. Uranium Geochemistry[M]. Beijing: Atomic Energy Press (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yuqi, Yi Ronglong, Shu Wenpei. 2004. Oil and Gas Resources in China[M]. China University of Geosciences Press(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈宏斌, 徐高中. 2007. 新疆萨瓦甫齐铀矿床沥青还原沥青铀矿的直接证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 26(3): 245–248.
- 陈祖伊, 郭庆银. 2007. 砂岩型铀矿床硫化物还原富集铀的机制[J]. 铀矿地质, 23(6): 321–334.
- 金若时, 张成江, 冯晓曦, 汤超, 朱强, 李光耀. 2014. 流体混合对砂岩型铀矿成矿作用的影响[J]. 地质通报, 33(2/3): 354–358.
- 李盛富, 王成. 2008. 巴什布拉克铀矿床形成机理及其找矿标志[J]. 世界核地质科学, 25(3): 143–150.
- 刘池洋, 赵红格, 谭成仟, 王建强. 2006. 多种能源矿产赋存与盆地成藏(矿)系统[J]. 石油与天然气地质, 27(2): 131–141.
- 刘池洋, 毛光周, 邱欣卫, 吴柏林, 赵红格, 王建强. 2013. 有机–无机能源矿产相互作用及其共存成藏(矿)[J]. 自然杂志, 35(1): 47–55.
- 刘建军, 李怀渊, 陈国胜. 2006. 利用铀油关系寻找可地浸砂岩型铀矿[J]. 铀矿地质, 22(1): 29–37.
- 刘武生, 贾立城, 刘红旭. 2012. 全国砂岩型铀矿资源潜力评价[J]. 铀矿地质, 28(6): 349–354.
- 刘章月, 秦明宽, 蔡根庆, 刘红旭, 耿英英. 2015. 新疆巴什布拉克地区有机地球化学特征及其对铀成矿的控制[J]. 地学前缘, 22(4): 212–222.
- 罗毅, 马汉峰, 夏毓亮, 张泽贵. 2007. 松辽盆地钱家店铀矿床成矿作用特征及成矿模式[J]. 铀矿地质, 23(4): 193–199.
- 欧光习, 张敏, 张建锋. 2009. 鄂尔多斯盆地北部含烃流体–深源流体与砂岩型铀矿化关系[C]. 中国地球物理, 761–762.
- 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[J]. 铀矿地质, 23(2): 65–70.
- 谭成仟, 刘池洋, 赵军龙, 张蓉蓉. 鄂尔多斯盆地典型地区放射性异常特征及其地质意义[J]. 中国科学 D辑: 地球科学, 2007, 37(增刊): 147–156.
- 张金带, 徐高中, 林锦荣, 彭云彪, 王果. 2010. 中国北方6种新的砂岩型铀矿对铀资源潜力的提示[J]. 中国地质, 37(5): 1434–1449.
- 张景廉. 2001. 论石油的无机成因[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 张振强, 董文明, 余新民, 景建安. 2008. 浅析油气对松辽盆地南部姚家组砂岩型铀矿成矿的作用[J]. 铀矿地质, 24(1): 43–47.
- 张祖述, 赵懿英, 章新桐. 1984. 铀地球化学[M]. 北京: 原子能出版社.
- 周玉琦, 易荣龙, 舒文培. 2004. 中国石油与天然气资源[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.