

·非主题来稿选登·

流体混合对砂岩型铀矿成矿作用的影响

金若时¹, 张成江², 冯晓曦^{1,3}, 汤超¹, 朱强¹, 李光耀¹

JIN Ruo-shi¹, ZHANG Cheng-jiang², FENG Xiao-xi^{1,3}, TANG Chao¹,
ZHU Qiang¹, LI Guang-yao¹

1. 天津地质矿产研究所, 天津 300170;

2. 成都理工大学, 四川 成都 610059;

3. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074

1. *Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China;*

2. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*

3. *Faculty of Earth Resources, China University of Geoscience, Wuhan 430074, Hubei, China*

摘要: 探讨不同类型盆地中不同来源、不同组成、不同性质的流体混合对砂岩型铀矿成矿的影响。流体混合不但改变流体的物理化学条件,更重要的是改变流体的化学组成,导致流体化学平衡的破坏,引起流体卸载成矿。不同构造背景下形成的盆地、流体特征及其对砂岩型铀矿成矿的影响不同。铀—油—煤共存盆地中,浅表层含铀氧化性流体与油气有关的有机还原性流体相互作用对铀成矿起重要的控制作用;挤压构造环境下的盆地,在形成过程中造山带流体与盆地深源流体混合对成矿的影响很大;而伸展背景下的断陷盆地或裂谷盆地,往往伴随有深部岩浆和热流体的活动,应重视热液对砂岩型铀矿的改造、叠加富集的作用。

关键词: 产铀盆地类型;流体特征;流体混合;砂岩型铀矿

中图分类号: P619.14

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2014)02/03-0354-05

Jin R S, Zhang C J, Feng X X, Tao C, Zhu Q, Li G Y. The influence of fluid mixing on the mineralization of sandstone type uranium deposits. *Geological Bulletin of China*, 2013, 33(2/3):354-358

Abstract: The influence of different sources, compositions and properties of fluid mixing in different types of basins on the sandstone type uranium deposits was discussed in this paper. Fluid mixing changes physical and chemical conditions of the fluid and, what is more important, changes the chemical composition of the fluid, leading to the destruction of fluid chemical equilibrium and causing unloading mineralization of the fluid. In basins formed in different tectonic backgrounds, the impacts of fluid characteristics on the sandstone type uranium mineralization are different. In the uranium-oil-coal coexistent basin, the interaction between the uranium-bearing oxidizing fluid in the shallow layer and the organic reducing fluids associated with oil and gas plays an important controlling role in uranium mineralization, whereas in the basin under the tectonic environment, the mixing of orogenic belt fluid and basin deep source fluid exerts great influence on mineralization. However, in the rift basin under the extension environment, there often occur deep magmatic and hydrothermal fluid activities, and hence attention should be paid to the transformation and superposition enrichment role of the thermal fluid on sandstone type uranium deposits.

Key words: types of uranium-bearing basins; fluid characteristics; fluid mixing; sandstone type uranium deposit

流体在成矿作用过程中扮演着十分重要的角色,是金属成矿物质得以活化、迁移和富集的主要介质。几乎所有矿床的形成都直接或间接地与各种流体不

同程度的参与有关,砂岩型铀矿也不例外。

砂岩型铀矿是指产于砂岩中(部分为砾岩、粉砂岩、泥岩)以外生成矿作用为主形成的铀矿床。

收稿日期: 2013-11-22; 修订日期: 2014-01-15

资助项目: 中国地质调查局项目(编号: 1212011220494)

作者简介: 金若时(1958-),男,硕士,教授级高级工程师,从事砂岩型铀矿地质调查研究。E-mail: ruosj2003@aliyun.com

其成矿作用既有沉积成岩作用,也有后生改造作用,更多的是在沉积成岩基础上经后生改造形成的,而后生改造的流体既有地下水,也有与油、煤有关的有机流体,甚至深部热流体。

数十年来,前人对砂岩型铀矿的区域地质背景、砂岩型铀矿的矿化特征及控矿因素、成矿机理、成矿模式进行了较为深入的研究,取得了一批重要成果^{[1-6]①②③}。经典的水成铀矿理论,重点研究的是层间氧化带或潜水氧化带铀成矿作用,该理论将砂岩型铀矿的成矿简单地理解为以盆缘蚀源区富铀岩(层)体的风化作用开始,铀被地下水或地表水携带至透水性较好的砂岩层渗透运移时,沿途发生氧化作用,形成层间氧化带或潜水氧化带,在氧化还原过渡带聚集成矿。随着一些新地质现象的不断发现和研究工作的逐步深入,此成矿理论中的某些重要问题需要进一步完善或深入研讨。如当铀—油—煤—气同盆共存时,“热”的迹象、特殊的元素组合、富铀矿体主要产在灰色还原带中等现象给水成铀成矿理论提出了新的挑战。

U元素的亲氧性、变价、价态易转换性和成络性,决定了其地球化学性质非常活泼。在地质作用过程中,铀从流体中溢出富集成矿的因素很复杂,如流体的温度、压力、pH、Eh等物理化学条件的改变,甚至流体流速、流量等水动力条件的变化,都可引起铀的凝结或沉淀。导致这些变化的因素也异常复杂。近年来,成矿流体研究的主要进展之一就是,确认不同性质流体的混合导致金属凝结或沉淀是矿石形成的重要方式。本文重点探讨不同类型盆地中不同来源、组成和流体的混合对砂岩型铀矿成矿的影响。

1 流体混合成矿机制简介

在成矿流体运移过程中,只有地球化学平衡破坏才能引起矿质的卸载成矿,也只有当这种变化突发时,才能出现矿化聚集中心,造成成矿物质的巨量堆积,形成矿床。前人研究认为,流体运移过程中周围环境改变和不同来源、不同性状流体混合引起成矿流体物理化学条件的改变(温度—流体冷却、压力—流体沸腾、pH—流体中和、Eh—氧化还原)是导致地球化学平衡破坏的因素主要因素^[7-15]。如流体在运移过程中,压力的突然降低可使CO₂、H₂S、F等气体逸出,引起流体pH、Eh的突然改变,同时也导

致流体的沸腾;流体运移通道形态或运移介质的性质突变可引起流体流速、流量的变化;地下热流场的改变(如岩浆或地幔热流体的活动)也可引起流体温度的变化。另外,超临界流体在向上运移时由于温度、压力等的变化可向临界状态演化,引起流体不混溶作用的发生。所有这些因素都可导致流体化学平衡的破坏,引起卸载成矿。除此之外,不同化学组成的流体混合导致流体化学组成的改变也是引起流体化学平衡破坏的重要因素,特别是像U这种在流体中以多种络合物形式存在(在流体中,六价铀呈UO₂²⁺与SiO₄⁴⁻、PO₄³⁻、AsO₄³⁻、VO₄³⁻、SO₄²⁻、CO₃²⁻、MoO₄²⁻、SeO₃²⁻、TeO₃²⁻等络阴离子结合)的元素,流体中络阴离子的种类和浓度变化对金属元素的溶解度有很大影响。

2 产铀盆地类型与流体特征

不同类型盆地中产出的砂岩型铀矿,其地质特征和元素组合既有相似性,也有明显的差异性,这与不同类型盆地的流体性质、组成、演化等有关。

砂岩型铀矿的产出盆地根据大地构造背景可分为板内陆台和板缘或板间褶皱造山带2种;按照盆地形成和演化的动力学背景可分为挤压、伸展和走滑3种类型;按照沉积建造可分为陆相红色碎屑建造、陆相暗色含煤碎屑建造及陆相火山碎屑沉积建造;按照沉积相既有河流相和三角洲相,也有湖泊沼泽相;按照与油、煤气等矿产的关系可分为含煤型、含油气型和油煤复合型^[16]。

中国砂岩型铀矿床盆地的分布主要受印度板块—欧亚板块的碰撞和太平洋构造域的控制。西部的伊犁、塔里木、柴达木和准噶尔盆地坐落在古生代较刚性的褶皱带之上,是特提斯构造域挤压构造环境下形成的大型拗陷盆地;吐哈、德令哈等产铀盆地是山间盆地。中部的鄂尔多斯盆地是大型克拉通盆地,二连盆地是经历拉张断陷、热沉降拗陷和差异抬升3个阶段演化而形成的大型裂谷盆地;东部的松辽盆地受滨太平洋构造域的控制,是伸展背景下发育在海西期褶皱基底之上的断陷^[17-18],后期被挤压形成盆地。

不同构造背景下形成的盆地,其结构、充填物质和演化特征不同,流体特征也明显不同,对砂岩型铀矿成矿的影响也不一样。如铀—油—煤共存盆地中,浅表层含铀氧化性流体与油气有关的有机

还原性流体相互作用对铀成矿起主要控制作用;挤压构造环境下大型坳陷和山间盆地渗出流体与盆缘造山带渗入流体混合对成矿的影响很大;而伸展背景下的断陷盆地或裂谷盆地,往往伴随有深部岩浆和热流体的活动,应重视热液作用对砂岩型铀矿的改造、叠加富集作用。

3 流体混合对砂岩型铀矿的影响

不同流体的混合对铀的浸取、迁移、沉淀都有一定的影响。总体来看,目前对流体混合与铀成矿的关系重视程度不够,应加强不同类型盆地和不同来源、不同性质、不同化学组成流体的循环系统研究,在此基础上,分析、判断和确定流体的混合部位。除了重点研究造山带流体与盆地流体的混合、渗入流体与渗出流体的混合、浅表层流体与深源流体的混合外,还应重视流经不同性质岩层流体的混合对铀成矿的控制。

3.1 渗入流体与渗出流体混合对成矿的控制

目前对砂岩型铀矿床的研究大多侧重于渗入流体的成矿作用(单向成矿作用)研究,这对一些挤压背景下的盆地较为重要(如伊犁盆地),而对渗出流体与成矿的关系研究不多。随着对流体成矿机制研究的不断深入,人们发现许多矿床中,特别是伸展背景下的盆地中,渗入流体与渗出流体的混合(双向成矿作用)是成矿的主要机制之一(图1)。来自相对隆起区的含铀富氧水向盆地运移过程中,与盆地内部沿断裂带上升的性质截然不同的流体(如

热卤水、深源流体等)相遇混合,必然导致含铀地下水成分和性质的突变,引起卸载成矿。欧亚大陆许多大型一超大型砂岩型铀矿床中都发现有深部流体、热卤水参与成矿的证据。

3.2 造山带流体与盆地流体的混合对成矿的控制

在已发现的含铀盆地中,铀矿床绝大多数都定位于盆地边缘与造山带结合部位,除与特定的构造环境、地下水动力系统、铀源条件等有关外,还可能与盆山系统中流体的运移、混合有一定的联系,特别是与造山带流体与盆地流体的混合有关。加之这一部位深部构造发育,更有利于不同性质流体的交汇、混合、卸载成矿。

塔里木盆地目前已发现的铀矿床(点)主要分布于盆地边缘近造山带的部位,盆—山演化对铀成矿起着重要的控制作用^[20]。盆山形成过程中的盆地演化、山脉的抬升与剥蚀、盆山结合带的冲断变形、盆地的叠合深埋等控制铀成矿,造山带和其山前盆地是两个密不可分的统一体,造山带的隆升导致了盆地的下沉和变形,而隆升剥蚀作用(去顶作用)又为盆地提供了大量的物源;早中侏罗世构造及古气候条件有利于形成良好的产铀建造;晚侏罗世以来构造抬升期控制着铀成矿作用的发生。

松辽盆地盆山形成过程中,在盆地东南边缘构造掀斜斜坡带形成区域氧化带,在盆内反转隆升剥蚀形成的构造剥蚀氧化带天窗部位的局部还原带,形成了钱家店铀矿床;其深部有机热流体对富集成矿起了主导作用,即此矿是氧化还原过渡带内隆起

和凹陷相间地区的凹陷区,切穿基底和盖层的贯通性断裂或多组断裂构造夹持区,受断裂构造控制的油气上升还原和与辉绿岩有关的富铀热流体作用成矿。

中国含铀盆地类型较多,许多盆底受后期改造被断裂切割,应该重视盆—山形成过程中流体混合对成矿的控制作用。

3.3 含铀富氧流体与还原性油气流体混合对成矿的控制

近年来,俄罗斯、加拿大等国发现多例铀矿床(化)位于油气上方及外围,中国在二连、吐哈、鄂尔多斯、松辽、柴达木、川北等盆地都出现类似现象。许

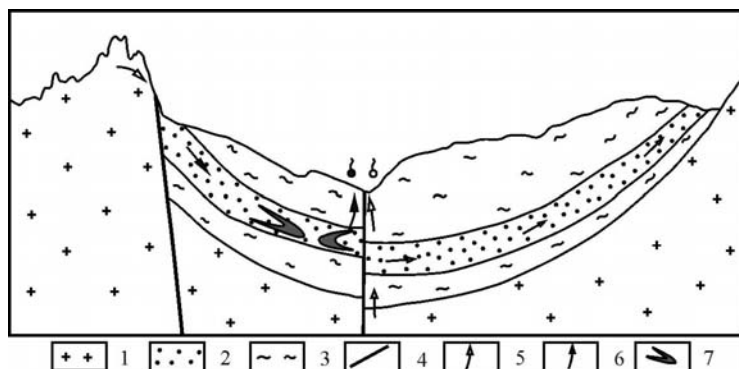
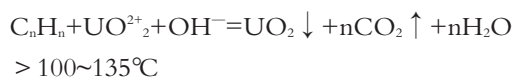


图1 渗入流体与渗出流体混合成矿示意图^[19]

Fig. 1 Schematic section showing mixed uranium metallogeny of infiltration and filtration fluids

1—花岗岩;2—砂岩;3—泥岩;4—断裂;5—渗出溶液流动方向;
6—渗入溶液流动方向;7—卷状矿体

多学者对铀、油之间的成因联系已做了较深入的探讨,并提出了以油找铀的新思路、新方法^[21-22]。这类矿床成矿的最主要因素是油气水与含U富氧地下水相互作用(混合作用、氧化—还原反应)形成氧化—还原地球化学界面,促使U还原、沉淀、富集成矿。油气对U的还原沉淀机理是:



矿体一般位于油气运移前锋受阻处与从蚀水区缓慢径流而来的富氧含铀潜水的混合部位。铀成矿除了要有充足的富氧含铀潜水和油气水中还原性气体(烃类、CO、H₂S等)沿圈闭周围的断裂、裂隙、孔隙等不断向上部及外围渗漏外,二者之间的流体联系是关键。如松辽盆地钱家店铀矿床和白兴吐铀矿床都位于贯通性深大断裂附近,沿断裂带上升的油气扩散到渗透性较好的姚家组砂岩层中,由于砂体上部泥岩隔水层的屏蔽,油气聚集于砂体的上部,并沿砂体向氧化带方向运移,形成局部还原障,使砂体发生油气还原作用,引起铀成矿。钱家店矿区烃源岩3次大规模的排烃活动与3个成矿阶段基本相吻,充分说明,富含还原性气体的流体对铀成矿具有重要的意义。因此,在找矿勘探工作中,应重视含铀地下水与油气田水相互作用的研究,注意分析烃活动阶段与铀成矿期的相关关系,注意寻找相互联系的通道及混合场所。铀—油相伴的事实充分说明,富含还原性气体的流体对铀成矿具有重要的意义。

另外,油气流体混合对铀成矿的贡献除还原作用外,可能对成矿物质也有一定的贡献。众所周知,砂岩型铀矿中除U富集外,总是富集Re、Mo、Se、V、REE(Y,La)等彼此化学性质并不相关的元素组合,有的砂岩铀矿中还富集Ge、Cu、Co、As、Bi、Ni、Pb、Tl等元素,这与石油中该类元素异常含量有密切的继承关系^[23]。

3.4 浅表层流体与深源热流体混合对成矿的控制

国内外已有研究发现,砂岩型铀矿床成矿与地幔热流体也有一定的关系^[24],如中亚楚—萨雷苏铀矿和中央克兹尔库姆铀矿省,美国科罗拉多高原和怀俄明盆地铀矿大型矿集区。中国发现的砂岩型铀矿床目前虽然还没有直接证据表明其与幔源岩浆或地幔柱活动有何直接联系,但一些矿床中有深断裂穿过层间渗透层或潜水渗透层时,往

往形成富而大的铀矿体,这是否与深源流体(当然不一定是幔源流体)有关值得深入研究。中国中东部产于受太平洋构造体制影响盆地中的铀矿床,例如松辽盆地、二连盆地、鄂尔多斯盆地和巴音戈壁盆地中的铀矿床,普遍存在对铀成矿有利的热液作用的迹象。

松辽盆地开鲁凹陷地区铀矿化区域发现了大量的新生代基性岩浆活动,表现为新近纪时期辉绿岩脉的侵入和玄武岩的喷发。这些岩浆活动与铀成矿的时空关系密切。钱家店铀矿床的成矿时代分别为67Ma和40Ma^[25],前者为成岩期铀的预富集期,后者为主成矿期,基性岩浆活动的时代与后者接近。

沥青铀矿、铀石是砂岩型铀矿最常见的铀矿物。国内外大量研究表明,这些矿物在一定的温度条件下才能形成。流体中六价U的还原凝结也需要一定的温度才能加快反应的进行,同时,持续稳定的能量供给也是形成富矿和大矿的重要条件。上述砂岩型铀矿集区较强烈的岩浆活动除为成矿提供热量外,与岩浆活动有关的深部流体也可能参与成矿(如为成矿提供矿化剂、与浅表层流体混合引起成矿物质卸载等)。

4 结 论

(1)砂岩型铀矿的成矿机制不只是限于过去传统理论所说的地下水沿缓倾地层向下淋滤的层间氧化或大气降水潜育机制,流体混合对砂岩型铀矿的形成具有重要的影响。流体混合不但改变流体的物理化学条件,引起冷却、沸腾、中和和氧化还原,更重要的是改变流体的化学组成,影响络合物的种类和浓度,导致流体化学平衡的破坏,引起卸载成矿。同时,不同来源流体的混合对成矿物质也有一定的贡献。

(2)不同构造背景下形成的盆地,由于其结构、充填物质和演化特征不同,流体特征明显不同,对砂岩型铀矿成矿的影响也不一样。铀—油—煤共存盆地中,浅表层含铀氧化性流体与油气有关的有机还原性流体相互作用,对铀成矿起主要控制作用;挤压构造环境下的山间盆地,盆山形成过程中造山带流体与盆地流体混合对成矿的影响很大;而伸展背景下的断陷盆地或裂谷盆地,往往伴随有深部岩浆和热流体的活动,应重视热液作用对砂岩型

铀矿的改造、叠加富集作用。

致谢:在成文过程中天津地质调查中心司马献章教授级高工对文章的编写、修改提出诸多宝贵意见和建议,在此表示由衷的感谢。

参考文献

- [1]陈戴生,王瑞英,李胜祥.伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式[J].铀矿地质,1997,13(6):327-335.
- [2]韩效忠,张宇龙,姚春玲,等.鄂尔多斯盆地东北部砂岩型铀成矿模式研究[J].矿床地质,2008,27(3):415-422.
- [3]李子颖,陈安平,方锡珩,等.鄂尔多斯盆地东北部砂岩型铀成矿机理和叠合成矿模式[J].矿床地质,2006,25(增刊):245-248.
- [4]李子颖,方锡珩,陈安平,等.鄂尔多斯盆地东北部砂岩型铀矿叠合成矿模式[J].铀矿地质,2009,25(2):65-70.
- [5]吴伯林,黄志章,李秀珍,等.吐哈盆地西南缘古流体地质作用与砂岩型铀矿成矿作用初探[J].铀矿地质,2003,19(6):326-332.
- [6]张成江.铀成矿流体地球化学界面[J].四川地质学报,2005,25(2):86-91.
- [7]章邦桐.论成矿物理—地球化学垒的形成、类型及其地质找矿意义[J].南京大学学报(地球科学),1991,4:330-336.
- [8]关广岳.界面成矿地球化学——兼论矿床空间分布规律[C]//全国第四届矿物岩石地球科学学术讨论会论文摘要汇编.北京:地震出版社,1991:386-387.
- [9]华仁民.流体在金属矿床形成过程中的作用和意义——水—岩反应研究进展系列述评[J].南京大学学报,1993,5(3):351-360.
- [10]张德会.关于成矿流体地球化学研究几个问题[J].地质地球化学,1997,12(3):49-57.
- [11]张德会.流体的混合和沸腾在热液成矿中的意义[J].地球科学进展,1997,12(6):546-552.
- [12]倪师军,张成江,腾彦国.成矿流体地球化学界面——概念的由来及发展[J].地质地球化学,2001,29(3):19-21.
- [13]腾彦国,倪师军,张成江.成矿流体地球化学界面——应用实例研究[J].地质地球化学,2001,29(3):26-31.
- [14]张成江,倪师军,腾彦国.成矿流体地球化学界面——组成及标志[J].地质地球化学,2001,29(3):22-25.
- [15]张成江.铀成矿流体地球化学界面[J].四川地质学报,2005,25(2):86-91.
- [16]陈肇博,赵凤民.可地浸型铀矿床的形成模式和在中国的找矿前景[J].国外铀金地质,2002,19(3):127-133.
- [17]张金带,徐高中,林锦荣,等.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,2010,37(5):1434-1449.
- [18]赵忠华,张振强,于文斌,等.松辽盆地南部砂岩型铀矿成矿主控因素及找矿方向[J].世界核地质科学,2012,29(4):199-226.
- [19]李巨初,陈友良,张成江.铀矿地质与勘查简明教程[M].北京:地质出版社,2011:1-250.
- [20]王果,华仁民,秦立峰.中、新生代陆相沉积盆地砂岩型铀矿床流体作用研究[J].高校地质学报,2000,6(3):437-445.
- [21]李怀渊,张守鹏,李海明.铀—油相伴性探讨[J].地质论评,2000,46(4):355-361.
- [22]张如良,丁万烈.努和廷式铀矿床地质特征及其油气水与铀成矿作用探讨[J].铀矿地质,1994,10(5):257-266.
- [23]杜乐天,欧光习.盆地形成及成矿与地幔流体间的成因联系[J].地学前缘,2007,14(2):215-224.
- [24]仇宝聚.铀矿大型矿集区与成矿作用[J].铀矿地质,2001,17(1):5-17.
- [25]罗毅,马汉峰,夏毓亮,等.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,2007,23(4):193-199.
- ①别列里曼 А И.水成铀矿床.熊福清,孙西田,狄永强,等译.核工业西北地质局203研究所(内部资料).1995.
- ②马克西莫娃 М Ф,什玛廖维奇普 Е М.层间渗入成矿作用.夏同庆,潘乃礼译.核工业西北地质局203研究所(内部资料).1996.
- ③安库季诺夫 Е.层间氧化带型铀矿床预测和普查中的放射性水文地质工作.夏同庆,熊福清,孙西山译.核工业西北地质局地质处,核工业203研究所(内部资料).1996.