

标题(不超过20字)

松辽盆地砂岩型铀矿床的热液作用特征 ——以宝龙山地段砂岩铀矿为例

徐 茜^{1,2}, 吴仁贵¹, 余达淦¹, 饶明辉¹, 李彦林³, 高玉友³, 禹宝利³

(1. 东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室,江西 南昌 330013; 2. 江西省地质调查研究院,江西 南昌 330030;

3. 核工业二四三大队,内蒙古 赤峰 024000)

中文摘要字数为200~300字,内容包括研究目的、主要方法、结果和结论等。不出现图表、冗长的数学公式和非公知公用的符号、缩略语。

摘要:松辽盆地宝龙山地段砂岩型铀矿床的热液蚀变极为发育,常见高岭石化、碳酸盐化、黄铁矿化、赤铁矿化和水云母—绢云母化等蚀变类型,以低温热液蚀变为主,呈现多期次、脉动性特点。铀矿物与热液蚀变矿物紧密共生,表明铀成矿作用与热液活动密切相关。初步分析,基性岩浆活动是促使热液作用的动因,有利的构造条件为热液作用提供了活动空间。

关键词:热液蚀变;铀成矿;宝龙山地段

中图分类号:P619.14 文献标识码:A

文章编号:1674-3504(2011)03-201-08

文中的标题应采用阿拉伯数字三级标注
(如1 1.1 1.1.1)

关键词一般是从标题或摘要中选3~8个能反映论文主要内容的词或词组

目前研究表明,我国砂岩型铀矿的分布及形成明显受控于所形成的构造环境,表现出东西部显不同。在矿化层位上,西部以侏罗系为主,以白垩系为主;在铀成矿时间上,东部以中、晚代为主,而西部则以新生代为主;在成矿作用上,西部铀的氧化作用成矿明显,而东部铀成矿则表现出强烈的热流体作用的改造。

作为目前砂岩铀矿找矿主要盆地之一的松辽盆地,已经在通辽地区的钱家店和宝龙山地段发现了相当规模的砂岩型铀矿化,由于受东部构造域的影响,盆地中矿床的特征具有类似特点,即铀的成矿与西部地区的伊犁盆地、吐哈盆地、巴音戈壁盆地和鄂尔多斯盆地的西缘等砂岩铀矿明显不同,铀的层间氧化作用分带和元素的地球化学分带均不明显,但热流体作用明显,热液蚀变作用普遍发育,铀矿物类型普遍具热液成因特点,明显反映出深部流体及热事件作用对铀成矿的叠加影响(李细根等,2001;刘广庆等,2008;刘武生等,2004;吴仁贵等,2006;陈友良等,2007;李宏涛等,2008;李月湘等,2009;苗爱生等,2009;张振强等,2009)。

本文以宝龙山地段砂岩铀矿为例,从矿床的热

液作用入手,对盆地砂岩铀矿的特征进行研究。

1 矿床地质概况

松辽盆地的形成与演化具有复杂的地质背景,它既是大陆地壳裂陷的产物,也是大陆地壳长期拉张并有时伴随挤压构造作用发展演变的结果,盆地的演化经历了热隆张裂、拉张断陷、热降坳陷、构造反转、隆升剥蚀和差异升降等多个阶段。

矿床位于松辽盆地西南部,基底地层主要由石炭-二叠纪和中生代断陷沉积物构成,其中石炭-二叠系主要为灰岩,部分浅变质岩构成;中生代断陷主要由下白垩统构成,发育有义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组,属陆相含煤火山碎屑岩建造,其中义县组是一套富铀的中酸性火山岩-沉积建造。

盖层主要为中新生代坳陷地层,由上白垩统泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组以及新近系和第四系构成。上白垩统为一套内陆碎屑岩夹油页岩建造。姚家组是含矿层位,矿化主要产于姚家组上、下段底部的辫状河砂体沉积中。姚家组整体形成于干旱和氧化环境,为一套以红色为主间夹灰色的杂色碎屑岩建造。

矿区内地构造主要有北东向、近东西向和北西向几组断裂构造组成,其中北东向构造是区域上钱家店北东向深断裂的次一级断裂,也是切穿基底的断裂,北东向断裂与近东西向断裂的交汇控制了区内嫩江组之后的基性岩浆(玄武岩和辉绿岩)的活动(图1)。

参考文献著录格式采用“作者-出版年”制,并在正文中标注。文内的标注格式为:(1)行文只引用成果内容而未引出作者,则在其后面用圆括号标出作者姓名和出版年,之间用逗号隔开。(2)若行文时只写作者,则在作者名后加圆括号写出文献的出版年。

国家自然科学基金、国防科工委科研项目、核工业科学基金、核工业总公司科研项目、重点项目、重点开放实验室项目、省自然科学基金项目的稿件优先刊发。

收稿日期:2011-05-30

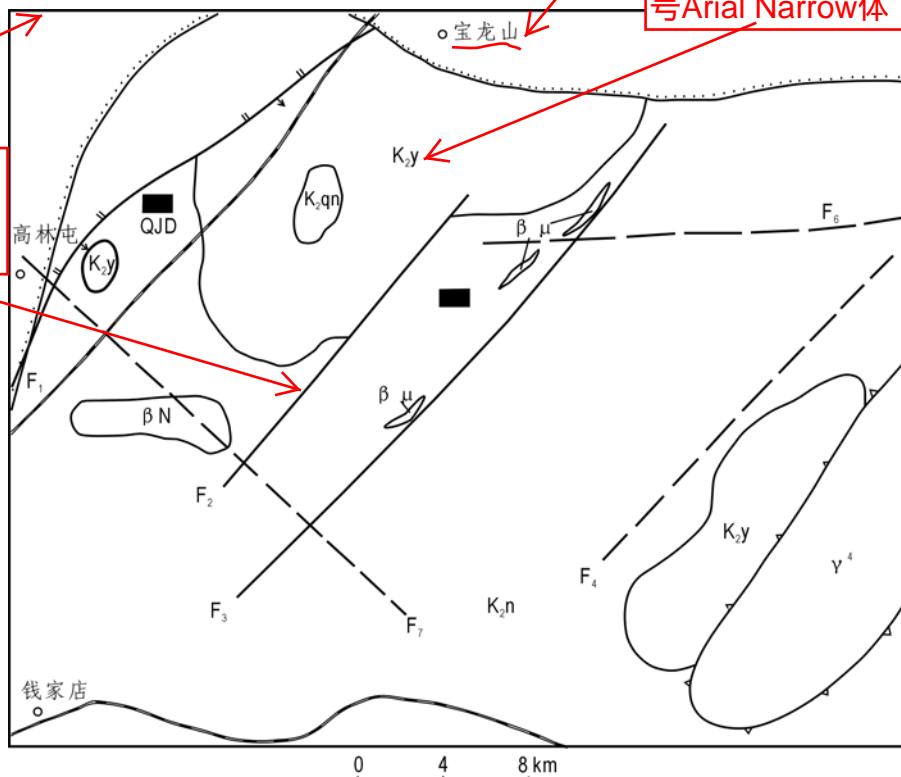
基金项目:东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室开放基金项目
“松辽盆地宝龙山地段砂岩铀矿石物质组成及矿床成因探讨”(101109)

作者简介:徐 茜(1985—),男,硕士,主要从事地质矿产评价及科研工作。E-mail:xuzhe_0825@126.com

作者简介内容:作者姓名(出生年-),性别,学位,职称,研究方向,电子邮箱。
通讯作者内容同上。

图中粗线条宽度为0.2~0.3 mm，细线条宽度为0.1~0.2mm

制图说明：矢量图用CorelDRAW或其它软件绘制时，图线条和文字字体请按要求绘制，再提供分辨率率为600的位图文件



要有中英文图题名和表题名

图1 宝龙山地段地质简图

- Fig. 1 The geological sketch map of Baolongshan section
1. 上白垩统嫩江组; 2. 上白垩统姚家组; 3. 上白垩统青山口组; 4. 辉绿岩脉; 5. 玄武岩; 6. 花岗岩;
 7. 地质界线; 8. 不整合地质界线; 9. 剥蚀界线; 10. 断裂(虚线为解释断裂); 11. 铀矿床

嫩江运动使盆地出现明显的差异性抬升,促使区内含矿层砂体接受含氧水的氧化改造。区内基底断裂的多次复活,将深部的流体作用与浅部的氧化作用融为一体,区内大规模的基性岩浆作用在矿区形成大面积的玄武岩盖和辉绿岩墙(脉),促使区内热事件的广泛发育。

2 热液蚀变类型及特征

通过系统的镜下鉴定发现,矿床的热液活动非常明显,含矿层姚家组砂体普遍发育后期热液蚀变作用,氧化砂体因蚀变作用被改造而不具典型的氧化特征,除矿化段砂体呈灰色外,其外侧砂体整体上表现出黄绿色,部分呈现紫红色和黑色细脉的系列特点。

从蚀变的类型和蚀变特点来看,姚家组砂体的蚀变具有多期次特点。蚀变类型包括高岭土化、碳酸盐化、黄铁矿化、赤铁矿化、水云母化—绢云母化等,以低温热液蚀变为主。此外,局部还可见少量闪锌矿。

2.1 高岭石化

在本区姚家组砂岩中普遍发育高岭石化,高岭石主要呈蠕虫状、叶片状、放射状或细小鳞片状(图2),存在于砂岩填隙物中。这里有几个重要现象值得提出:

首先,在局部灰色砂质砾岩中所含的红色泥砾存在灰白色褪色边,在褪色边内部发育较多鳞片状、蠕虫状高岭石(图2B)。镜下可见原来为红色钙质泥砾中有许多赤铁矿微粒,大小多在0.001~0.01mm,褪色边中已无赤铁矿,形成水云母类粘土矿物和较多的鳞片状、蠕虫状高岭石。这表明,高岭石的形成与深部油气等还原性流体的作用密切相关,推测其为断裂构造导致深部油气等还原流体上升沿姚家组砂体运移扩散使长石转变为高岭石。另据岩石常量元素分析结果,姚家组氧化带褐红色、褐黄色砂岩中 Al_2O_3 含量较灰色砂岩中低,这一特征也反映了高岭石化主要是由深部流体还原作用导致。

砂岩中所形成的高岭石现象在北方其它产铀

含油气盆地中也有发现,如鄂尔多斯盆地东胜砂岩型高岭土矿的形成,主要是由深部油气向上运移扩散过程中将红色原岩中的氧化铁胶结物还原成 Fe^{2+} ,使其褪色变白,使长石溶蚀形成高岭石(马艳萍等,2007)。

在局部可见高岭石已发生蚀变向绢云母转化

(图2C),表明岩石中流体存在增温作用,伴随高岭石所出现的水云母,表明流体具有一定的温度,显示出热流体作用的特征。部分高岭石也受到后期碳酸盐的交代(图2E),表明高岭石化可能发生于碳酸盐化之前,即流体的作用存在多期次特征。

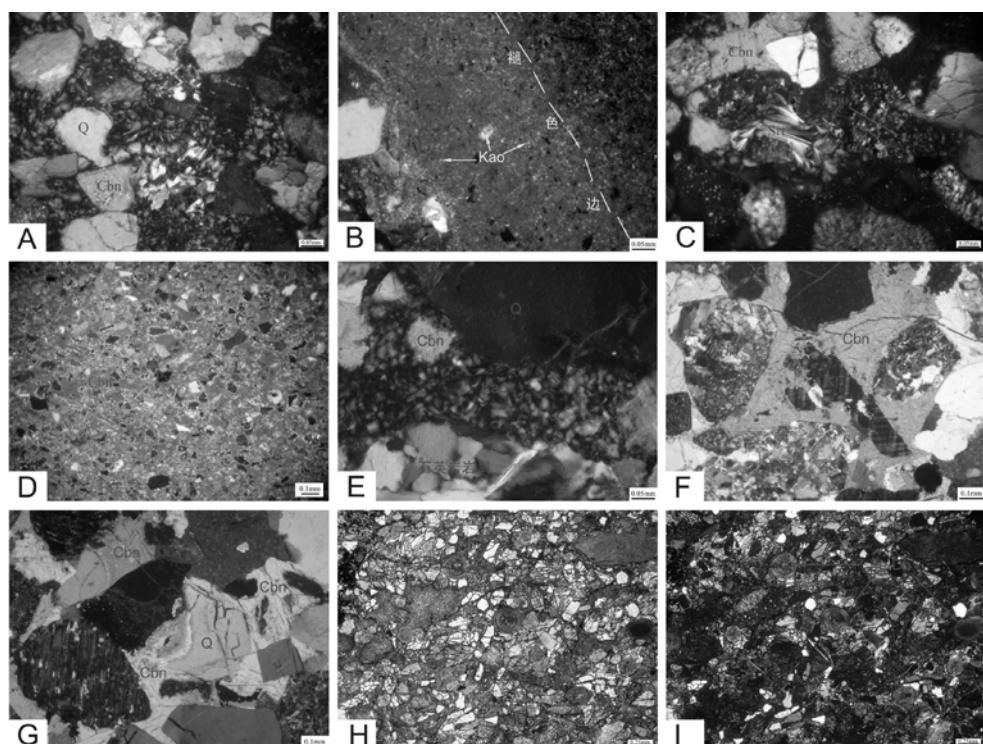


图2 高岭石化(A~C)和碳酸盐化(D~I)镜下特征

Fig. 2 Microscopic feature of kaolinization (A~C) and carbonation (D~I)

状、放射状高岭石(Kao);B. 红色泥砾的灰白色褪色边中发育的蠕虫状,鳞片状高岭石;C. 叶片状,放射状高岭石,已转变为绢云母(Srt);D. 泥晶碳酸盐(Cbn)对碎屑边缘溶蚀交代十分发育;E. 方解石交代填隙物中早期形成的高岭石;F. 碳酸盐胶结物强烈溶蚀微斜长石(Kf);G. 碳酸盐溶蚀交代石英(Q),使其呈港湾状;H, I粒状铁白云石,形似鲕粒,A~G,I为正交偏光,H为单偏光

2.2 碳酸盐化

碳酸盐化是本区重要的热液蚀变,在姚家组砂岩中普遍发育,分布范围较广,包括赋矿灰色砂体,氧化砂体及灰白色、浅黄绿色砂岩中。成分主要有方解石和铁白云石两种,粒度形态大小不一,主要为泥晶和亮晶两种形式。碳酸盐含量占全岩的1%~30%之间,其中姚上段发育更加强烈,碳酸盐含量约占全岩的20%~30%左右,姚下段碳酸盐分布不均匀,多数在1%~10%左右,局部含量高者可达20%左右。碳酸盐化主要特征为:碳酸盐强烈溶蚀交代早期形成的高岭石类粘土矿物及长石、石英等碎屑。

粒状铁白云石的发现是本区碳酸盐化的另一

重要现象。在局部灰色细砂岩矿石中出现粒状铁白云石,呈椭圆形、圆形、放射状或同心环状,大小在0.15~0.35 mm之间(图2)。在粒状铁白云石外部胶结物为方解石,铁白云和方解石都显示出对碎屑具有交代作用,铁白云石和方解石之间显示出相互溶蚀交代的特点。同时,岩石中还有黄铁矿与这两种碳酸盐共生,细粒霉状、显微胶状黄铁矿存在于同心环状铁白云石核部及环带内部和方解石胶结物中。

同心环状结构的出现及两种碳酸盐之间的相互溶蚀交代特征,表明碳酸盐化存在多期次叠加的特点,显示出热液作用的多期次性和脉动性的特征。

2.3 黄铁矿化

黄铁矿广泛分布于含矿层内灰色砂岩中,形态上表现为具有原生沉积成因特征的细晶分散状(图3A)和后期热液作用特征的脉状(图3B)或莓状(图3C)。局部可见到黄铁矿结核,或呈团块状的烟灰色胶黄铁矿插入赤铁矿中(图3D)。

对于草莓状黄铁矿的成因,一般认为是成岩期的产物(刘武生等,2004;吴仁贵等,2006;李月湘

等,2009;苗爱生等,2009),但这里莓状黄铁矿虽然单个呈莓状,但整体上却显示出脉状或团块状聚集的特征,同时,在石英等碎屑的空洞或裂隙内也沉淀有莓状黄铁矿,具有后期充填进入碎屑内部空洞的特征,表明莓状黄铁矿为热液蚀变作用的产物。

同时,也有大量细粒黄铁矿充填进入炭屑胞腔内,具有交代炭屑的特征。

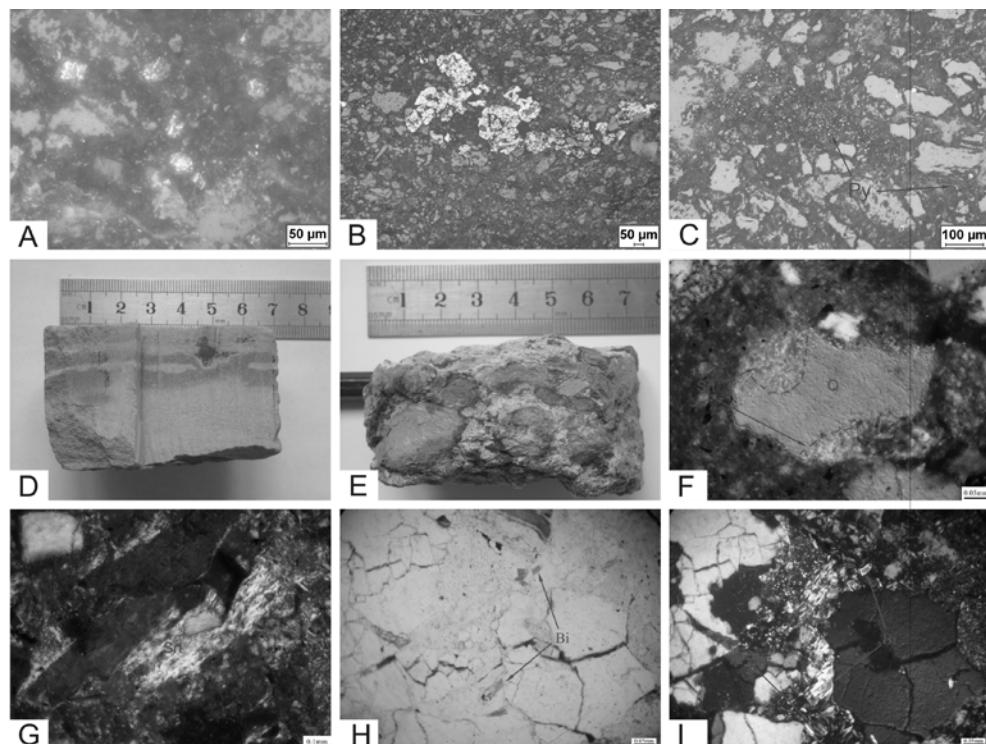


图3 黄铁矿化(A~D)、赤铁矿化(E)及绢云母化(F,G)、黑云母化(H,I)特征

3 Feature of pyritization (A~D), hematization (E), sericitization (F,G) and biotitization (H,I)

铁矿,其边缘为紫红色网脉状赤铁;B. 脉状黄铁矿(Py);C. 细粒莓状黄铁矿,整体呈脉状聚集;D. 团块状烟灰色胶黄·灰色夹浅紫红色砂砾岩中发育的浸染状赤铁矿化;F.. 绢云母(Srt)具有交代石英边缘的特征;G. 条带状绢云母化;

H,I 蚀变成因的黑云母;A~C 为反光,F,G,I 为正交偏光,H 为单偏光

2.4 赤铁矿化

赤铁矿化是该区较为典型且特殊的一种蚀变作用热,对于砂岩型铀矿床中出现的赤铁矿化报道较少。本区含矿层中普遍发育浅紫红色赤铁矿化,分布范围广,大部分工业(矿化)孔中均可见,在垂向上厚度较小,主要见于矿段内,多在20~30 cm左右,个别钻孔可见有1 m左右。岩心观察发现基底义县组火山碎屑岩中局部也见网脉状的赤铁矿化,显示出热液成因特点,表明本区发育的赤铁矿化具有普遍性。

赤铁矿化在手标本中表现较为典型,主要发育

于砂砾岩中,如图3E中灰色砂砾岩中发育的浅紫红色浸染状赤铁矿化,使岩石整体上显杂色。整体上看,赤铁矿呈脉状,显示出后生热液成因的特点。此外,还见赤铁矿沿中细砂岩层理面发育,并呈条带状与灰色部分相间排列(图3D)。

镜下鉴定表明赤铁矿多呈浸染状发育于砂岩中分选较差、泥质含量较多的部位,或附着于碎屑表面,将岩石染成浅紫红色。同时,赤铁矿呈网脉状,对细粒分散状黄铁矿边缘进行改造(图3A)。

此外,在赤铁矿发育的矿石中,局部水云母—绢云母化也较发育。

2.5 水云母—绢云母化

本区水云母—绢云母化在局部地方较发育,从现有观察发现,其主要分布于氧化还原过渡带内,尤其是赤铁矿化发育的矿石中较为多见,具有交代石英等碎屑边缘的特点(图3F)。此外,在沿构造裂隙发育有油浸砂岩中可见条带状绢云母(图3G),表明油气等还原性流体作用也具有热液蚀变特点。

绢云母的出现代表岩石中流体已具有一定温度,更加印证了热液活动的存在。同时,从其它一些特征也可以反映出本区流体作用以热液活动为主。如部分岩石中碎屑黑云母已开始蚀变向绿泥石转化或者发生水化析出铁质,表明可能存在低温热液流体作用;在局部甚至存在蚀变成因的黑云母(图3),表明热液流体已具备较高温度,可能与矿区广泛分布的基性岩有关。

2.6 热液蚀变期次划分

本区热蚀变类型多样,主要有高岭石化、碳酸盐化(方解石化和铁白云石化)、黄铁矿化、赤铁矿化及水云母—绢云母化等,而各种蚀变间表现出相互叠加的特点,关系极为复杂。

(1)早期形成的高岭石被后期碳酸盐交代,表明碳酸盐化较高岭石化形成晚,而高岭石向水云母—绢云母化的转变,则表明水云母—绢云母化较高岭化更晚。因此,这三者间顺序为:高岭石化→水云母—绢云母化;高岭石化→碳酸盐化的顺序。水云母也表现为向绢云母过渡的特点。高岭石化、水云母化与碳酸盐化、绢云母化分别代表了酸性和碱性两种古流体作用,这在一定程度也反映了流体性质的复杂性和活动的多期性。

(2)具有同心环状结构的铁白云石及其外部方解石共生和相互溶蚀交代现象,清晰地显示出碳酸盐化存在多期次作用的特征。

(3)黄铁矿既有细晶分散状,又有草莓状和细脉状,这种形态上的多样性表明了成因复杂性。

(4)赤铁矿化主要表现为对沉积成岩期的细晶分散状黄铁矿进行了改造,表明其形成于成岩之后,而烟灰色团块状胶黄铁矿插入赤铁矿化发育部位则显示出黄铁化形成较赤铁矿化晚,或在赤铁矿化之后存在一期黄铁矿化作用。

2.7 热液蚀变的形成机制

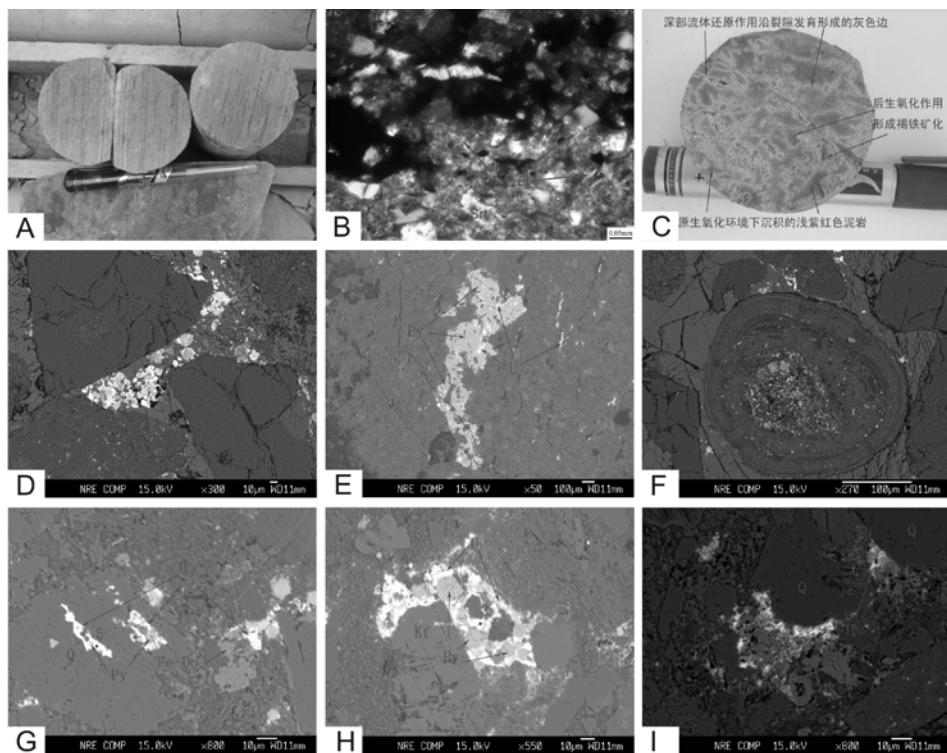
松辽盆地南部遭受了多期不同性质的断裂构

造运动,形成了多种形式的断裂反转构造(于文斌等,2008)。嫩江末期构造运动促使区内基底构造活化,与深部贯通,断裂反转构造及其伴生的裂隙、微裂隙为深部沙河子组、营城组等烃源岩所形成的油气等还原性流体向上运移提供了有利的条件。深部油气等还原性流体沿断裂上升能够为目标层提供铀成矿所需的还原介质。这一作用具有长期性、持续性,弥补了姚家组为干旱环境下的红层沉积缺乏还原剂的先天不足。在这一过程中,长石发生蚀变,形成高岭石。

成岩后大规模的基性岩浆活动,在矿区内形成了大面积的玄武岩盖和辉绿岩墙(脉),导致区内地热的增温,促使了局部大规模的流体活动,来自深部的热流体和长期活动的油气等还原性流体沿着断裂构造上升,在上升过程中,低温热液流体也可以萃取基底富铀地层中的铀,到达姚家组以后,由于上部嫩江组厚层泥岩的遮挡,从而使流体沿姚家组砂体顺层活动,这一过程中由于地层压力的下降和物理化学条件的改变,如遇到已形成的还原物质(如黄铁矿等)的作用下,铀酰络合物发生沉淀,同时伴随有热液蚀变矿物的生成。在此过程中,长石和石英发生溶解。长石中游离出来的钾进入绢云母,石英溶解出来的Si进入铀石中。碳酸铀酰络合物在形成沥青铀矿和铀石时,碳酸根离子与 Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 结合,生成方解石和铁白云石等蚀变矿物组合(聂逢君等,2010)。由于构造活动的脉动性,导致了热液活动的多期性,从而也决定了蚀变矿物的复杂性。

在断裂附近的钻孔中可见赤铁矿化与水云母化沿构造劈理面发育,两者呈脉状平行相间排列(图4A)。镜下鉴定表明,在黄绿色水云母化脉内伴有油浸现象,有棕褐色油斑,呈薄膜状,为油浸产物。油浸砂岩呈褐黄色,局部显棕褐色,其易与层间氧化带内褐黄色砂岩混淆,尤其是发育于断裂附近的松散砂岩。

水云母化脉与赤铁矿脉界限并不清晰,两者呈渐变关系,在黄绿色水云母脉中可见油浸—水云母—赤铁矿三者共同存在,赤铁矿含量较少,且细小,呈土状,多数被油浸现象掩盖。在赤铁矿化脉中赤铁矿相对较多,也发育水云母化。水云母化在整个岩石中都很普遍,水云母化已向绢云母转变,多数已转变为绢云母(图4B)。



4 沿构造劈理发育的蚀变特征(A—C),蚀变矿物与铀矿物紧密共生的背散射电子像(D—I)

res of hydrothermal alteration growing along cleavage plane(A—C), and the backscattered electron

image of uranium minerals coexistence closely with altered minerals(D—I)

面发育的赤铁矿与水云母脉平行相间排列;B.图4A镜下特征,部分水云母已转变为绢云母(Srt);C.细粒霉状黄
状聚集;D.团块状烟灰色胶黄铁矿;E.灰色夹浅紫红色砂砾岩中发育的浸染状赤铁矿化;F.绢云母(Srt)具有交代石英
边缘的特征;G.条带状绢云母化;H,I蚀变成因的黑云母;A—C为反光,F,G,I为正交偏光,H为单偏光

沿构造劈理面发育的油浸、赤铁矿化及水云母化共存现象带来了重要信息。油浸现象是深部油气等还原性流体沿断裂及其伴生构造裂隙上升的直接证据,与其伴生的赤铁矿化及水云母—绢云母化,表明油气等深部流体具有热流体的性质,显示出热液活动的特点。断裂的存在成为沟通深部和浅部的桥梁,图4C中可见沿泥岩裂隙中发育褪色边,这可以作为深部流体作用的直接证据,也有利的揭示出构造及其次级裂隙、微裂隙对于流体运移的重要作用。

综上所述,基性岩浆活动是促使热液作用的动因,构造为热液活动提高了先决条件,两者共同作用,相互耦合,是热液蚀变形成的关键因素。

3 热液蚀变与铀成矿的关系

热液蚀变为铀成矿作用提供了良好的地化环境,蚀变矿物可以成为铀的有效捕集剂(余达淦等,2005),而蚀变矿物与铀矿物紧密共生组合,更加表明了热液活动与铀成矿作用的紧密联系。热液本

身是铀矿质的有效载体,是成矿的介质。热液活动过程即是铀的迁移、沉淀、富集过程。

高岭石蚀变的大量发育,对吸附铀成矿具有重要作用。高岭石等粘土矿物具有很大的表面自由能和吸附能力,氧化带中随含氧含铀水在地层中渗流,孔隙中的粘土矿物即可捕获液体中的 UO_2^{2+} ,其后由于粘土矿物颗粒受表面负电荷间的相互斥力的影响,粘土颗粒发生分散和进入溶液,随层间水流动,起到对铀的迁入作用(张振强等,2008)。

伴随长石向高岭石的转变过程,将有大量的 SiO_2 溶液进入孔隙溶液中,从而为铀石的生成奠定了物质基础,这可能也是本区铀矿物类型以铀石为主的原因。因为,铀石与沥青铀矿生成条件的重要差别之一,是铀石的生成受成矿溶液中可溶性 SiO_2 含量的制约(闵茂忠等,1992)。

本区目标层姚家组在原生氧化条件下有机质含量少,下伏层位中的还原性物质如硫化氢、甲烷等还原性流体沿断层构造上升,与地下水中的 SO_4^{2-} , NO_3^- , Fe_2O_3 等发生氧化—还原反应,生成

黄铁矿等,为铀成矿带入了丰富的还原剂,从而弥补了姚家组为干旱条件下红层沉积缺乏内生还原剂的先天不足,构成铀还原沉淀的地球化学障。

铀矿物的形成过程中高岭石等的吸附作用与黄铁矿等的还原作用及多种因素共同作用,更有利于大量的铀矿物产生(李盛富等,2004)。

铀主要以碳酸铀酰离子形式迁移,受深部油气裂解与基性岩浆热液成因的CO₂渗出作用的影响(马汉峰等,2009),大量CO₂的形成溶于深部流体中形成CO₃²⁻,能够与2.期刊类(格式):碳酸铀酰离子形式,并随作者.出版年.题名[J].期刊名称,卷号(期号):起止页码.

盐化沉淀,而铀矿物也随盐化蚀变是重要的成矿

电子探针背散射电子像研究表明,铀矿物与热液期刊名称状黄铁矿及碳酸盐胶结物(方解石或白云石)等共生,构成铀矿物与蚀变矿物卷

期,用括号括住铀矿物多围绕霉状、脉状苗生长黄铁矿在铀矿沉淀过程中起止页码方面铀矿物与碳酸盐胶结物也具有紧密联系,铀矿物与黄铁矿紧密共生,但两者又多被碳酸盐胶结,构成了三者共生组合。如图4F中显微粒状铀矿物与同心环状铁白云石交替生长构成同心环状结构,黄铁矿与石英碎屑边缘强烈溶蚀交代,三者紧密共生,图4H,I中碳质点,这一系列特征有利地揭示书名(格式):作者.出版.书名[M].版次(第一版不标注).出版地:出版社:起止页码.

4 结论

(1)含矿砂体热液蚀变作用发育,蚀变类型多样,有高岭土化、碳酸盐化、黄铁矿化、赤铁矿化、水云母—绢云母化,以低温热液蚀变为主。

(2)各种蚀变作用互相叠加,热液活动具有多期性和脉动性特点。

(3)基性岩活动为热液蚀变的动因,构造为热流体活动的良好通道,油气活动具热流体性质,其对目的层砂体进行还原改造,为铀成矿作用发生奠定了基础。

(4)热液蚀变矿物与铀矿物构成共生组合特征,揭示了铀矿化与热液作用的密切联系,本区铀成矿作用兼具

1.参考文献选择最主要的、公开发表的、最新的文献。未公开发表的资料,应征得原作者或单位的同意,以脚注方式标示。

致谢:本文的野
业243大队松辽分队
测试工作在东华理
点实验室完成。在此
作的单位和个人表示感谢!

作者名,如果不超过三个作者,需要全部列出;超过三个作者,只需列出前三位作者,后面加“等”,中间用逗号隔开

陈友良,朱西养,张成江,等.2007.层间氧化带砂岩型铀矿稀土元素变化规律初探——以伊犁和吐鲁番-哈密盆地为例[J].地质论评,53(4):473-484.

李宏涛,吴世祥,蔡春芳,等.2008.油气相关砂岩型铀矿的形成过程:以钱家店铀矿床为例[J].地球化学,37(6):523-532.

李盛富,张蕴.2004.砂岩型铀矿床中铀矿物的形成机理[J].铀矿地质,20(2):80-84.

李细根,黄以.2001.新疆伊犁盆地南
轴矿化的关系[J].铀矿地质,17

李月湘,于金水,秦明宽,等.2009.二连盆地可地浸砂岩型铀成矿
方向[J].铀矿地质,25(6):338-343.

刘广庆,楼鲜芸,李振球.2008.热液铀矿床还原型“成矿激发因素”的特征及其找矿意义[J].东华理工大学学报:自然科学版,31(3):217-222.

刘武生,王正邦,谢佑新.2004.二连盆地可地浸砂岩型铀成矿的再认识[J].铀矿地质,20(2):65-71.

马汉峰,罗毅,李子颖,等.2009.松辽盆地南部姚家组沉积特征及铀成矿条件[J].铀矿地质,25(3):144-149.

马艳萍,刘池洋,张复新,等.2007.鄂尔多斯盆地东胜砂岩型高岭土矿特征及成因机制[J].吉林大学学报·地球科学版,37(5):929-936.

苗爱生,陆琦,刘惠芳,等.2009.鄂尔多斯砂岩型铀矿床古层间氧化带中铀石的产状和形成[J].地质科技情报,28(4):51-58.

闵茂中,张富生.1992.成因铀矿物学概论[M].北京:原子能出版社:18-74.

聂逢君,林双幸,严兆彬,等.2010.尼日尔特吉达地区砂岩中铀的热液作用[J].地球学报,31(6):819-831.

余文斌,董清水,周连永,等.2008.松辽盆地南部断裂反转构造对砂岩型铀矿成矿的作用[J].铀矿地质,24(4):195-200.

余达淦,吴仁贵,陈培荣.2005.铀资源地质学[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社:132-137.

张振强,董文明,余新民,等.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.

张振强,赵忠华,杨冰,等.2009.松辽盆地南部白兴吐地区油气后生还原对铀成矿的作用[J].铀矿地质,23(4):290-295.

1. 英文摘要及关键词一般与中文关键词内容相对应，包括题目、作者姓名和工作单位、地址邮编、摘要及关键词。

2. 写作要符合英语语法，用第三人称，时态要保持一致，用一般现在时或一般过去时

2011 年

Features of Hydrothermal Alteration of Sandstone-type Uranium in Songliao Basin

—A Case of Study in Sandstone-type Uranium Deposit of Baolongshan Section

XU Zhe^{1,2}, WU Ren-gui¹, YU Da-gan¹, RAO Ming-hui¹, LI Yan-lin³, GAO Yu-you³, YU Bao-li³

(1. Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment (Ministry of Education), East China Institute of Technology, Nanchang, JX 330013, China; 2. Jiangxi Provincial Institute of Geological Survey, Nanchang, JX 330030, China; 3. Geologic Party No. 243, CNNC, Chifeng, Inner Mongolia, 024000, China)

Abstract: The hydrothermal alterations are very common of sandstone-type uranium deposit of Baolongshan section in Songliao basin, such as kaolinization, carbonation, pyritized, hematization, hydromica -sericitization and so on. Most are low temperature and they are mutual superposition, and present the characteristics of multi-stages and pulsation. The uranium minerals coexist closely with altered minerals, and it indicates that uranium mineralization is closely related to hydrothermal process. Preliminary analysis, basic magmatism have urged the hydrothermal alteration, and favorable structural environment have offered passage for hydrothermal alteration.

Key Words: hydrothermal alteration; uranium mineralization; Baolongshan section