# 华北地台区太古界含铁岩系中 铀矿床的成矿地质条件

### 赵秀德

提 要 产于华北地台区太古界含铁岩系中的铀矿床,属于铁铀型铀矿床,该类型矿床在铀矿床中 具有重要的意义。本文通过对某些矿床的观察和研究,查明铀矿床的产出与富铁矿在空间分布上 关系密切,铀矿床的形成时间稍晚于富铁矿。据沥青铀矿测得同位素年龄为1907±35Ma。铀矿床 与富铁矿床是同一地质作用的不同阶段的产物。

关键词 华北地台 太古界含铁岩系 铁铀型铀矿床 富铁矿

前寒武纪"铁铀型"铀矿床是一个具有重要意义的铀矿床类型。在我国华北地台区也有同 类型矿床产出。本文试图根据某些矿床的产出特征,对其成矿地质条件进行探讨。

### 一、区域地质背景

华北地台区广泛分布着太古界含铁岩系。多呈带状分布,其中蕴藏着极为丰富的铁矿资 源(图 1)。

含铁岩系由于遭受多次强烈的构造变形,变质和混合岩化作用,地层层序遭受到了严重的 破坏,以条带状含铁石英岩为标志的含铁岩系,多呈不连续的块体"漂浮"在花岗质混合岩或混 合片麻岩中,这些"漂浮体"产状变化很大。构造形态多为复式褶曲和"单斜"。矿田中纵、横向 断裂均十分发育,经常将条带状含铁石英岩切割成各种形状的断块。伴随变质改造作用,特别 是超变质作用,在一些大型贫铁矿中形成了具有重要经济价值的富铁矿床(图1)。

含铁岩系的变质程度,由绿片岩相到角闪岩相,个别地段达到麻粒岩相。在区域上具有明 显穹窿状递增变质带的区域动力热流变质带的特点。

### 二、铀矿床产出特征

铀矿床在空间上与条带状含铁石英岩中的富铁矿关系比较密切。下面将产在两个不同变 质岩相中的矿床地质特征简要叙述如下:



图 1 铁质石英岩分布区地质简图

• Fig. 1 Schematic map showing distribution of iron-quartzite

### (一)产于绿帘一角闪岩相带中的铀矿床

地层由下而上分为五个岩带:

(1)下部花岗质混合片麻岩带:灰白一红色花岗质混合片麻岩。具条痕状、片麻状构造。

(2)下部含铁石英岩带:为绿泥片岩、角闪片岩与条带状磁铁石英岩互层(其中有条带状磁 铁石英岩两层)。

(3)中部片岩带:为黑云钠长石榴片岩,中夹有条带状磁铁石英岩的透镜体。

(4)上部含铁石英岩带:条带状磁铁石英岩与角闪片岩互层(其中有条带状磁铁石英岩三 层)。上部为石英岩层。

(5)上部花岗质混合片麻岩带:基本特征同下花岗质混合片麻岩带。距上部含铁石英岩带 越远,其花岗状构造越明显。

变质岩类,主要为区域进化变质产物。岩石组合为斜长角闪岩,细粒钠长变粒岩,绿泥云 母石英片岩,滑石透闪片岩,石英岩等。据王守伦等<sup>(1)</sup>对角闪石、黑云母、石榴石等单矿物成 份和石榴石晶胞参数的研究,确定其变质相为绿帘角闪岩相。变质程度介于石榴石带和蓝晶 石带之间。退化变质作用,主要表现在黑云母的绿泥石化,角闪石的黑云母化,长石的绿帘石 化、绢云母化,石榴石的绿泥石化等。

铀矿体赋存于蚀变岩和假象赤铁(有少量镜铁矿)石英岩内。蚀变岩中的铀矿化主要沿着 黑云绿泥片岩、黑云石英片岩的片理和揉皱发育,呈细脉状或浸染状分布。据镜下观察,铀矿 物形成晚于石英、黑云母、绿泥石、石榴石、镁铁闪石、磁铁矿、黄铁矿。其中石英、绿泥石都有 二次出现,方解石出现最晚。产于条带状含铁石英岩中的铀矿化主要分布在挤压破碎带内及 花岗质混合片麻岩舌状侵入体与条带状铁质石英岩接触部位(图 2)。花岗质混合岩中的矿化 呈细脉状,条带状铁质石英岩中的矿化沿着石英与磁铁矿条带接触处分布,铀矿物所形成的细 脉与条带状磁铁石英岩的条带基本一致(见<自射线)照片 1)。

矿化富集处通常显示着赤铁矿化的"红色蚀变"。铀的矿物为沥青铀矿,与铀矿共生的金 属矿物有:磁铁矿、赤铁矿、镜铁矿、褐铁矿,偶尔见有黄铁矿。

根据光片见到铀矿物包裹磁铁矿,并有熔蚀现象,沿着石英、磁铁矿、赤铁矿、镜铁矿颗粒 间隙分布。褐铁矿为后期氧化物。铀的次生矿物有铀黑、砂钙铀矿(?)、脂铅铀矿、钙铀云母 等。

### (二)产于绿片岩相带中的铀矿床

地层自下而上为片麻状(或条痕状)混合岩、云母石英片岩、绿泥石英片岩、厚层条带状铁 质石英岩,千枚岩类(夹有透镜状铁质石英岩),上被下元古界辽河群地层不整合覆盖。矿区内 的构造,总的呈单斜,构成矿田复向斜的东北翼。断裂有走向断层和横向断层两组,后者切割 前者。在走向断裂中沿条带状铁质石英岩下盘发育着次一级的羽状小断裂。

本区的变质岩类,主要为区域进化变质作用的产物。岩石组合含有云母石英片岩,绿泥石 英片岩,钠长千枚岩,炭质千枚岩,夹细粒角闪岩。其变质相为绿片岩相。

轴的矿化主要分布于条带状铁质石英岩下盘的绿泥石英片岩和邻接富铁矿或蚀变岩的花 岗质混合岩中。部分赋存于铁质石英岩的羽状断裂裂隙内。总的矿化呈带状,工业矿体由形 状不规则的小矿体群组成。一般矿化肉眼不易观察,仅在局部较富的部位能见到细脉状的非 .晶质沥青铀矿,脉壁有黄铁矿分布(图 3),在富集部位铀含量可达到 0.10%以上。赋存在与走 向断裂有关的羽状断裂带中的矿体(图 4),走向延长 10~20m,向深部延深 30~50m。赋存在 近富铁矿绿片岩中的铀矿体,铀含量最高可达到百分之几。铀矿物为沥青铀矿,呈细脉状或星 点状不均匀地分布在绿泥石英片岩、黑云石英片岩中,也有富集成块状的。块状矿石中见有肾 状结构的沥青铀矿充填在绿泥片岩和假像赤铁石英岩间,铀矿石中包裹有假像赤铁石英岩碎 块,黄铁矿、文石细脉穿插其中或与围岩接触的部位(图 5)。根据 D 区观察与沥青铀矿的共生 矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、赤铁矿、磁铁矿;非金属矿物有黑云母、石英、绿泥石、方解石、 文石、萤石等。铀的次生矿物有铀黑、针状桔黄色的矽钙铀矿、鳞片状的钙铀云母等。

矿物晶生大致分为三个阶段:第一阶段有石英、黑云母、磁铁矿、绿泥石等,在镜下可见沥 青铀矿沿着上述矿物裂隙呈脉状或点散状分布其中。第二阶段有黄铁矿、萤石、赤铁矿等,这 些矿物都有较完好的晶形。第三阶段有黄铁矿、沥青铀矿、方解石、文石、黄铜矿、方铅矿等。 镜下见到黄铁矿、方解石被黄铜矿熔蚀和交代(照片 3),黄铜矿被方铅矿熔蚀和包裹,黄铜矿、





### 图 4 沿羽状断裂分布的铀矿化 Fig. 4 U-mineralization along plumefaults

方铅矿、方解石、文石都沿沥青铀矿裂隙充填。在镜下也见有石英、磁铁矿、绿泥石、黄铁矿等 穿切沥青铀矿(照片4)。基于以上观察,矿物生成顺序为:石英(主期)→黑云母→绿泥石(主 期)→磁铁矿→黄铁矿(主期)→萤石→沥青铀矿→绿泥石(晚期)→黄铁矿(晚期)→石英(晚 期)→方解石→文石→黄铜矿→方铅矿。









铀矿石中含有微量的钍,一般产在花岗质混合片麻岩中铀矿石的含钍量高于产于绿片岩和条带状磁铁石英岩中的矿石。产于绿片岩和条带状磁铁石英岩中的矿石铀钍比为10~16, 产于花岗质混合片麻岩中铀矿石的铀钍比为2.8~3.2。

### (三)铀矿化与富铁矿的关系

在上述两个变质相四个轴矿床中都有富铁矿产出,其中三个矿床的富铁矿曾是富铁矿的 生产基地。铀矿床与富铁矿在空间上的关系列入表 1 和图 6:

矿区	铀矿化产出位置	矿化特征及矿体形态	矿物组合		
A	分布在富铁矿体上下盘	矿化多为浸染状,矿体以	沥青铀矿、赤铁矿、方解		
区	近矿绿色蚀变岩中。	不规则的小矿体群产出。	石,偶见黄铁矿。		
В	分布在富铁矿体或近混 合岩的贫铁矿的内外接触带	矿化为浸染状和细脉状, 矿体呈不同规模的扁豆体产	沥青铀矿,假像赤铁矿,偶 见黄铜矿,方铅矿;铀的次生矿 物有铀黑矽钙铀矿(?)、脂铅		
<b>区</b>	中。	出。	铀矿、钙铀云母。		
С	分布在富铁矿体 中 <sup>፠</sup> 及近宫牲矿体的龙岗质混合	富铁矿中矿化为浸染状, 未见工业矿体,混合岩中矿化	沥青铀矿、		
X	片麻岩的裂隙带中。	为细脉状。矿体受裂隙带控制 延深大于延长,呈立柱状。	黄铁矿		
D	分布在富铁矿体下盘近 矿蚀变岩中。	矿化呈脉状和浸染状,矿 体延深大于延长,呈竖扁担形。	沥青铀矿、赤铁矿、磁铁		
x			<ul><li> ず、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、萤</li><li> 石、方解石、文石。 </li></ul>		

表1 铀矿化与富铁矿空间关系

Table 1 Spacial relationships of U-mineralization and rich iron ore

※由于呈铀黑出现,尚不能确定是再生铀黑,还是原来沥青铀矿的次生产物。

从上表和图 6 可以看出,铀矿化同富铁矿及与其成因有关的蚀变岩的关系至为密切。

产于富铁矿中的沥青铀矿与富铁矿具有同样的强氧化特征,据C区4个试样的相分析结果(表2)。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> /FeO 与 U<sup>+\*</sup> / U<sup>+\*</sup> 的分子比值,分别为 9.78~23.75 和 9.9~38。这显示着 磁铁矿和沥青铀矿曾遭受过同样的强氧化作用。但有明显差异。

#### (四)铀矿床的形成时间

铀矿化由于在空间分布上与富铁矿、近富铁矿的绿色蚀变岩、贫铁矿(磁铁石英岩或假像 赤铁石英岩)以及混合岩均有一定的关系,受这些岩层岩带的后期挤压揉皱和破裂带控制,如 图 3、4 和自射线照片 1、2 所示。这说明铀矿化是在上述岩类形成后,又一次经受构造变动后 侵位的。

采自 A、C、D 矿区近富铁矿体的绿泥岩中的白云母和黑云母 (K—Ar 法) 测得同位素年龄<sup>①</sup>,分别为 1588Ma、1838Ma、2003Ma。采自花岗质混合片麻岩内脉状、团块状伟晶岩中白云母 (K—Ar 法) 测得同位素年龄<sup>③</sup>分别为: A 区下混合岩带 2030~2170Ma, A 区上混合岩带

试样号	氧化特征指数							
	TFe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	U+4	U+•	U+"/U+1	
1	43.90	58.12	4.25	13.68	0.015	0.149	9. 93	
2	45. 20	61.75	2.60	23. 75	0.00	0. 28		
3	46.05	62.63	2.90	21.60	0.011	0.118	10.73	
4	49.10	63.05	6. 45	9.78	0.001	0. 038	38.00	

### 表 2 产于富铁矿中铀矿石分析

Table 2 Analytical results of U-ore occurring in rich iron ore deposits

1588Ma, D 区坑下六中段 1868~2020Ma, 采自 D 区五中段铀矿体中的肾状沥青铀矿, 铀一铅 法测得年龄为: 1907±35Ma<sup>①</sup>从所得年龄值分析, 铀矿化的时间是在区域动力热流变质作用 高峰期后的晚期热液阶段<sup>(2)</sup>。形成时间在富铁矿床形成之后。

关于 A 区上混合岩带内团块状传晶岩中的白云母和邻接富铁矿体的绿泥岩中的白云母, 测得 K-Ar 年龄均为 1588Ma<sup>(3)</sup>,小于沥青铀矿的年龄,这可能由于 K-Ar 对热信息比 Pb 敏 感,保存性能差,在以麻峪花岗岩(锆石 U-Th-Pb 年龄为 1821Ma)<sup>②</sup>为代表的热事件中受到 了改造,使部分放射成因的 Ar 遭到丢失,或者被彻底均一化所致。

### 三、铀矿床成因讨论

#### (一)含矿岩系的原岩建造

据王守伦等(1979)研究<sup>[13]</sup>,矿区的角闪岩和斜长角闪岩通过 al 对 alk, AF'M,( Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)对 SiO<sub>2</sub>, 〈FeO 〉/MgO 对 SiO<sub>2</sub>, Ti 对 Cr 等图解,恢复原岩为深海拉斑玄武岩。黑 云变粒岩类在 A-K 图解中落入火成岩区;在 al-alk 图解中,落入安山质凝灰岩区;部分在莫 依纳图解中落入硬砂岩区。变粒岩在 A-K 图解中落入火成岩区;在 al-alk 图解中落入英安 质凝灰岩区。云母石英片岩,绿泥云母石英片岩在 A-K 图解中落入沉积岩区。这些岩石在 地层层序中组成了几个不同的火山一沉积旋回。由下而上为基性火山一沉积旋回,中酸性为 主,基性为次的火山-沉积旋回,酸性火山-沉积旋回。三者组成一个由基性到酸性演化的完 整火山-沉积系列。

原岩为一套由基性到酸性演化完整的火山沉积建造。A、B两区火山岩和火山沉积岩比较发育,C、D两区火山沉积岩和碎屑沉积岩、泥质沉积岩比较发育。

①李 璞、钟富道, 鞍本地区鞍山式铁矿地质(上册), 1983, 158~168

②陈江峰,鞍本地区鞍山式铁矿地质(上册),1983

#### (二)铀的成矿过程

铀矿化与含铁岩系的关系,无论是区域上还是具体矿床上都有着较为密切的关系。铀矿 化与含铁岩系的这种空间分布关系有着一定的内在联系,这种联系是由于铁建造中的铁质石 英岩和富含铁质的其它岩石中的亚铁在成矿过程中起着还原剂作用的结果。其过程:当含有 铀元素的溶液通过上述富含铁质的岩石时,亚铁使呈六价状态的铀的氧化物或络合物中 U<sup>+</sup> 还原为 U<sup>+</sup>,开始沉淀,形成沥青铀矿。

根据与铀矿化伴生关系密切的赤铁矿化,黄铁矿化、碳酸盐化,推测铀的析出沉淀过程可 能主要有以下三种形式:一是铀的氧化物与亚铁作用,使不稳定的六价铀还原为稳定的四价铀 析出沉淀,同时生成赤铁矿。这种反应又有两情况:

 (a). (UO<sub>2</sub>)<sup>+</sup>O + 2Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> → UO<sub>2</sub> ↓ + 3Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ↓ 磁铁矿 赤铁矿
 (b). (UO<sub>2</sub>)<sup>+</sup>O + 2FeO → UO<sub>2</sub> ↓ + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ↓ 硅酸盐 沥青铀矿 赤铁矿

中的亚铁

另一是铀的碳酸盐络合物(Na,(U<sup>++</sup>(CO<sub>3</sub>),])当溶液 CO<sub>2</sub>的分压减小时,CO<sub>2</sub>逸出与围岩中的 Ca 起作用生成方解石或文石:

 $Na_{6}[U^{4+}(CO_{3})_{5}] + 2CaO \longrightarrow UO_{2} + 3Na_{2}CO_{3} + 2CaCO_{3}$ 

第三是铀的硫酸盐〔U<sup>++</sup>(SO<sub>4</sub>),〕当遇到低价铁时,则生成沥青铀矿、黄铁矿和赤铁矿的集 合体: U<sup>++</sup>(SO<sub>4</sub>), + 5Fe<sup>2+</sup>  $\longrightarrow$  UO<sub>4</sub> + FeS<sub>4</sub> + 2Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

应当说明:铀元素在溶液中的存在形式和析出的化学反应是一个十分复杂的过程,就矿区 已知与矿化有关的共生矿物萤石和一些金属硫化物的存在可以设想,部分铀元素可能呈铀的 复杂的氟和氯的化合物或络合物形式存在。根据共生矿物关系和只有铀的四价产物是比较稳 定的特性,可以认为铀的沉淀是一个降价的还原过程。

根据铀矿化分布在混合岩、绿色蚀变岩的断裂裂隙和揉皱带内的特点,而且矿化直接围岩含铀量均低于 0.000n%(据 25 个样品分析)的情况分析,铀矿化是在围岩形成之后,载 U 溶液 在构造动力作用下被运移到现在的部位沉淀下来,矿体的规模受铀源充足程度和容矿裂隙的 发育程度的制约。

### (三)铀的物质来源

对该类型矿床中铀的物质来源问题,在研究了铀的富集空间规律和各种地质体的关系后, 认为它同含铁岩系中富泥质岩层有关。

铀在上述岩石中的富集可能是在远离火山的沉积区,处于较稳定的地质环境,当这些富粘 土质,铁质物质沉积时,对原来海水中铀的各种盐类和络合物进行吸附和还原作用,并使其同 时沉淀下来。这种认识的可靠性,也可以从那些近火山沉积含铁建造中除了发现一些铀的点 异常外,未发现任何有意义的铀矿化而得到佐证。

#### (四)铀的可能搬式

在混合岩化作用过程中, 使富含铀的片岩产生溶融, 并使处于分散状态的铀组分分离出来。在氧逸度低的情况下, 铀不可能呈 UQ, 状态存在, 而可能呈 UCL, 、UF, 等化合物或硅酸盐、碳酸盐等络合物形式存在。这种存在形式在运移过程中随着氧逸度的增高,或者由于组分的变化, 铀可能转化为铀的盐类或高价氧化物, 以及其他形式的络合物, 在我们讨论中所涉及的矿区普遍出现的赤铁矿化, 碳酸盐化、黄铁矿化、硅化、萤石化等, 可能就是这些存在形式的反映。

### 四、结 论

(一)铀矿床形成在含铁岩系次级构造发育、混合岩化强烈、绿色蚀变岩广泛分布并有富铁 矿产出的地段内。

(二)铀矿化富集在褶皱构造的转折端,富铁矿体的近矿蚀变岩带中,以及花岗质片麻岩与 贫铁矿(铁质石英岩)的接触带内及呈舌状体的顶部(图 6)。

(三)依据矿体的空间分布特点,矿体形态,矿石矿物的共生组合,成矿年龄等,确认成矿与 区内变质作用和超变质作用相联系的晚期热液活动有关。

(四)铀的物质主要来源于富铝质的沉积岩中。

(五)矿床形成时间为 1907±35Ma;与富铁矿形成有直接关系的绿色蚀变岩形成的年龄接近。

(六)铀矿床与富铁矿床在成因上受同一地质作用控制,有着互为找矿标志的意义。

本文光薄片、放射性照像由史亚梅同志协助完成,插图由我院绘图组同志清绘,特此致谢。

#### 参考资料

〔1〕王守伦等, 鞍本地区晚太古代绿岩带及其铁矿成矿特征, 天津地质调查所所报, 1980

[2] 尹成俊, 鞍本地区鞍山群地层同位素地质年代学若干问题, 鞍本地区冶金地质会议科研论文集(上卷), 1983



照片1 沿着假象赤铁矿石英岩裂隙分 布的铀矿化 (自射线照像10天)



照片 2 绿泥石英片岩中的铀矿化 (目射线照像 7 天)



照片3 黄铜矿交代黄铁矿 (Py:黄铁矿;cha:黄铜矿) 光片 ×40



照片4 晚期黄铁矿穿插沥青铀矿 (Py:黄铁矿:;u:沥青铀矿) 光片 ×40

## GEOLOGICAL CONDITION OF U-DEPOSITS WITHIN THE IRON-BEARING ROCKS OF ARCHEAN IN THE NORTH CHINA PLATFORM

Zhao Xiude

#### Abstract

U — deposits occurring in the iron — bearing rocks of Archean in the North China Platform belong to U — Fe — Type U — deposits. They are located in the iron ore deposits in stable blocks where sub-tectonic units, hydrothermal activity and green-altered rocks are developed. Mineralization is usually in the altered rock belts near to the rich iron ore bodies or in the contact zones between granitic — migmatitic gneiss and banded Fe — quartzite. Metallogeny is related to the late hydrothermal activity during regional metamorphism and super — metamorphism. Uranium is derived from the original sedimenary rocks and concentrated to form ore during the time when the sedimentary rocks were exposed to super — metamorphism. U — ore and rich iron ore are the different—staged products of one geological process.

Age of the U-deposits is  $1907 \pm 35$  Ma aproximate to the rich iron ore which is closely related to green-altered rocks.