

层控铀矿床形成的机理

Р. В. Голева, Н. Г. Беляевская, Л. А. Березина 等

近年来, 由于研究水成矿床的结果, 在世界范围内对了解铀在沉积岩中富集规律性的兴趣明显地增加了。在沉积岩层中寻找层控铀矿体时, 了解矿床成因非常重要, 因为这直接影响组织普查工作。下面以新的层控铀矿化类型(其成因迄今仍在争论中)为例, 介绍有关研究铀矿体形成的特点及矿体中铀富集形式的资料。

本文所研究的矿化产于真加里东褶皱基底的大型晚期造山洼地盖层的陆源沉积岩层中。该洼地位于近南北向区域构造线和近东西向大断裂带的复合部位。洼地包括两个构造层。下层为元古代和早古生代建造, 是深度变质和变形的岩层(海相碳酸盐、似玄武岩、硅质页岩、花岗流纹岩), 这些岩层为不同年代(以晚元古代到三迭纪)的成分不同的侵入杂岩所贯穿。这是具有断块结构的拗陷基底。上层为陆相火山喷发物(酸性和基性成份)和陆源沉积物质所构成的拗陷盖层。它又由两个分层构成: 下分层为火山成因沉积层, 上分层为古生代陆源沉积层。

铀矿体产于洼地盖层上分层的陆源沉积岩中, 赋存于陆相杂色岩系中, 呈压实透镜体形状产出, 与其围岩大型湖相的细粒粉砂质泥岩围岩层理一致。透镜体由某些黑色结核构成, 局部地方这些结核相互结合在一起, 形成具有结核透镜构造的岩层。在结核体中围岩层理的延伸仍清晰可见, 并且在结核体里面层理的厚度不变。有时没有层理, 但是包围含铀结核的岩层形状在结核附近没有改变。这意味着结核形成于晚期成岩作用阶段, 此时层理已完全凝结。

铀矿化在沉积物由泥质构成的胶结物中呈

细粒(到细分散状)析出物产出。已证实, 含铀析出物是由含氧-硅酸盐的混合物构成的。混合物中鉴定出有与斜方砷铁矿和天然铅共生的铀石和沥青铀矿。

为了确定矿化成因, 采用最新的综合方法研究了围岩中铀的分布特征及其在矿石中的富集形态。尤其是在研究铀矿石饱和铀的机理时, 采用 f -放射照相方法。为此, 垂直围岩层理在矿体的上盘和下盘相同间隔采取标本。

如同放射照相结果表明, 铀在围岩中分布不均匀。铀基本上富集于岩石的细粒泥质部分——泥质层和粉砂岩及粉砂泥岩的胶结物中, 但矿物(石英、长石等)的碎屑和喷发岩的碎屑不含铀(图1)。只不过有时在喷发岩碎屑中可见到固定于副矿物中的铀, 即与喷发岩共生的铀(图1б)。

聚集在胶结物(主要成分为泥质物)中的铀分布均匀。可以看到胶结物中的铀含量与构成胶结物颗粒的大小有关; 颗粒越小, 其中铀含量越大(图1а, д, е)。在不同粒度岩石成互层的地段均能明显地见到这种铀主要赋存于细分散状物质中的现象。

矿石中铀的分布特征没有重大变化。与围岩不同, 围岩中铀含量为 $n \cdot 10^{-4}\%$, 在近矿产物和矿体的胶结物中铀的富集将增高几十倍。此时, 不仅胶结物的粘土质物, 而且细粒的碎屑物也明显富铀(图1б, в, д)。至于矿物和岩石的大个碎屑则同围岩一样不含铀。

研究垂直含矿带的铀富集和空间分布发现, 越接近矿带, 铀含量逐渐增高。根据铀在岩石中分布特征和铀主要赋存于细分散胶结物中的特点, 可得出结论: 即铀呈微小颗粒沉积物(主要同具有最细粒级的沉淀物)一块从湖

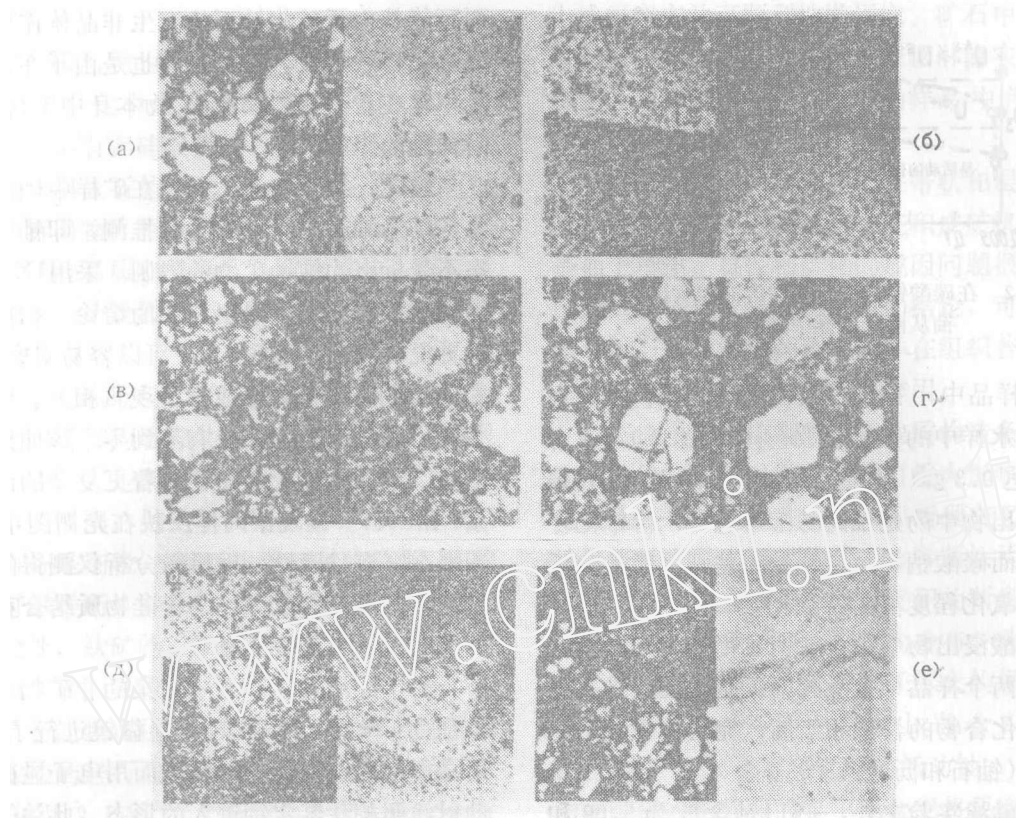


图 1 用 f-放射照相法研究铀在围岩中分布的结果
左面—薄片的显微照相；右面—带有铀裂变径迹探测的显微照相；透射光增大 120，热中子的积分流为 $3 \cdot 10^{15} \text{ H/cm}^2$ ；a, b, d—矿体上盘；r, e—矿体下盘

相盆地沉淀下来。图 1 d 最有说服力，从图中可以看到，晚期切穿裂隙已在某种程度上错动了不同粒度沉积岩石的富铀层，并且铀在破碎带内部没有痕迹。矿化岩石的裂隙和破碎造成的岩石碎屑内未富集铀也证实了此点。图 1, r 即说明这点，图中展示长石大块碎屑，具有明显裂隙，完全没有铀，与铀的岩石胶结物完全不同。铀(图 1, b)最初即为岩石碎屑所固有，而不是在后生成矿作用中或其它较晚沉积物蚀变过程中从外部渗入的。

已获得的资料排除了关于矿化是后生的或迭加的假设，也就是铀矿化是较晚于岩石中形成的假说。

尽管最近一个时期发表了许多涉及到查明铀在细分散状泥质物中产出形态的著作，但是，对这个问题仍旧研究得不够。因为有一定量的铀，有时是大量铀呈不清楚状态产出。我们估

计是吸附状态，但证明困难。

对矿石中铀的富集形式，是采用 IXA-3 A 显微分析仪和电子显微镜做淋滤实验进行研究的。在 pH 为 6.2—6.4 和室内温度条件下进行了从含铀泥岩矿样中淋滤铀的实验，用作溶剂的是 2% 的 HCl (重量为 0.7%) 溶液和 2% 的 Na_2CO_3 溶液以及蒸馏水。

根据推测解释了实验结果，即主要是六价铀化合物溶于碳酸钠溶液中，在酸性溶液中既溶六价铀，也溶四价铀化合物，而在蒸馏水中只有未构成矿物晶体格架的活动铀溶解。粉末样品中的铀含量是在 X 光谱室测定的，用化学分析测定了溶液中的铀含量。

做分析的两个样品是取自矿化的矿样。预先做了离心选矿，并且从每个样品都提取了水、碳酸盐和盐酸的三种浸出物。分析结果示于图 2。根据获得的曲线资料，在含铀 8.8% 和

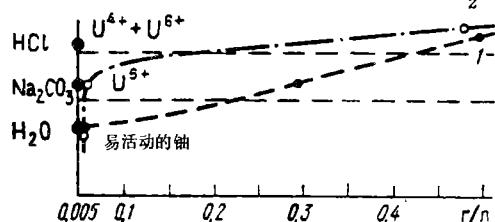


图2 在碳酸钠溶液、盐酸溶液和蒸馏水中铀从两个矿样中淋滤的曲线
1—样品1；2—样品2

8%的样品中，碳酸盐浸出物中的铀含量数实际上同水样中的铀含量数一样(样品2)，或者高些，达0.3 g/l(样品1)。由于推测，进入碳酸盐浸出物中的是铀的易溶形态和六价铀化合物，因而碳酸钠样品含铀量的差别可能是分析样品的氧化程度很高所致。

盐酸浸出物中铀含量明显增高到0.5 g/l，并且在两个样品中含量相同。这又证明矿石中四价铀化合物的含量相当高，完全符合铀矿化的组份(铀石和沥青铀矿)。

除淋滤实验之外，还以铀含量为9.09和9.29%的矿样(经过两次离心造矿)进行了鉴定。铀回收率试验结果证实，在pH值为1.04—2.80时，铀从样品中的提取率达84—100%，pH 5.75—8.03时为31.2到39%，而当pH为11.20时为85%。把这些数据与沥青铀矿和铀石中铀的稳定曲线相比较证明，样品实验在这些内生铀矿物具有最大稳定性的pH范围内有较好的溶解度(一个数量级)。这一方

面可能是由于矿化铀石的变生非晶体作用和较高水化作用所致，另一方面也是由于在矿石样品中存在着易于提取的(矿物本身中不含有的)附加铀的缘故。

因此，由于实验结果，在矿样中确定出有易活动的铀；同时证实这种推测，即铀存在形态不受析出的纯铀矿物的限制。采用IXA-3 A显微分析仪测定也得出相同的结论。扫描的结果更说明问题。在图3,a上可以容易观察到，铀和硅含量曲线在局部地方出现负相关，但是这些负值在任何地方都没有降到零。该曲线特点证实，铀和硅含量之间还有着更复杂的比值关系(图3,b)。该现象同样反映在光栅图中，但不那么富有代表性。用显微分析仪测得的数据也证实矿石成份复杂。与含硅物质结合在一起的部分铀不可能属于铀石。

为了弄清铀在矿石中富集的非矿物形态的特征，用Tesla B-513电子显微镜进行了研究。用微衍射法鉴定相的特征，而用电子显微镜自动射线照相法鉴定铀进入的形态。此法的主要优点在于能够研究标本的显微形态，同时根据还原晶体银直接观察银表面上放射性元素分布的详细情况。显微自动射线照相和微衍射方法相结合可以得到所研究放射性物体的全面特征。该显微自动射线照相法很灵敏，在适宜条件下能查明单个放射性原子。采用这种方法研究细分散矿石有成效。特别是在此种情况下，能照出相当于含铀析出物的银的细分散晶架形

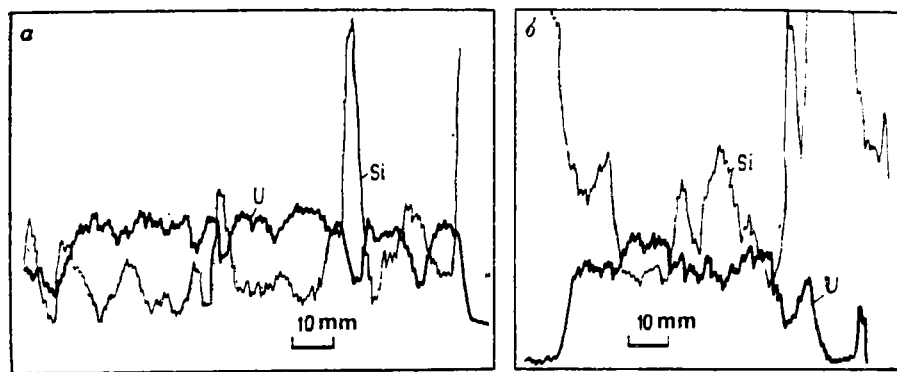


图3 用IXA-3 A显微分析仪扫描得出的铀硅析出物中铀含量的曲线
a—铀和硅含量发现负相关，但保持在明显水平上；b—铀和硅含量之间不能对比，局部发现负的相关关系

态。

晶架析出物的主要物质赋存于层状铝硅酸盐中(在该矿化中是黑云母、绿泥石和水云母)。微衍射证实有铝硅酸盐的吸附剂存在。在微衍射法鉴定出长石晶体之间的晶间内,发现有铀的点状析出物。而铀的这些点状析出物同样赋存在电子非晶质和伦琴非晶质物质中,根据显微分析获得的资料推测,该物质属于非晶质的 SiO_2 。

在铀的细分散状析出物与层状铝硅酸盐和电子非晶质状物质相共生的发育阶段,试图用微衍射法证实是否有铀矿物存在,结果不成功。因此可以证明,铀是呈吸附状态存在。由于围岩的组分是细粒,因而妨碍查明其吸附剂矿物。可以推断,并未发现全部的吸附剂。除铝硅酸盐外,钛矿物、铁的氢氧化物、磷灰石同样可能是铀的吸附剂。

最新的物理化学实验表明,具有含铀层状铝硅酸盐的岩石与钙磷酸盐不同,这样的岩石在pH值从2.1到10.7范围内既可在氧化介质中,也可在还原介质中将铀转移到碳酸盐的液相中。

与沉积物一起沉淀的被层状铝硅酸盐吸附的铀,在成岩作用中很容易转移到沉积物的液体相内。形成铀明显过饱和的溶液。从这种溶液中沉淀下来的纯铀矿物主要为铀石,其次为沥青铀矿。而另一部分铀可能呈吸附状态留下,采用电子显微镜进行显微自动射线照相可以发现它。

根据已取得的资料,可以得出层控铀矿体形成的下列机理。铀从异常过饱和的天然水中沉淀出而固定于沉积物中,在沉积物中铀吸附在层状铝硅酸盐的泥岩部分并同胶状的硅质物共生。后来层状铝硅酸盐将吸附的铀部分地送到沉积物的液体相。在液体相中吸附铀获得活动性并在颗粒间隙内移动。在形成富 SiO_2 沉积物介质的条件下,铀进入铀石组分。在晚期成岩作用阶段铀石完全结晶并构成了含有斜方砷铁矿的铀石-硅质组分的复杂结核。

一部分铀继续呈吸附状态保留下来,采用

上述研究方法可顺利地发现它。矿石中含有吸附状态铀的数量多少,可以根据淋滤实验结果判定,即从含铀8—8.8%的样品中淋滤出0.006 g/l(图2)。

获得的数据同样证明,在带状和层状湖相沉积层中矿体的形成是由于沉积成矿机理。但是如上所述,层控铀矿化的成因问题很复杂。因此,仅依据上述资料得出的结论,可能会导致对矿石成因错误的理解,并在组织普查工作中相应地过高估计层控矿作用。

整体上分析控制矿化的地质构造条件可以确认,构造运动对矿化成因有重大影响。含矿化的晚期造山洼地位于巨大深断裂交叉处。洼池基底具有复杂断块构造,这种断块构造决定了在洼地沉积盖层中有同时沉积的断裂。这些断裂本身控制着矿石透镜体的分布。此外含矿化的晚泥盆纪陆源岩层就位于厚大的早中泥盆纪歪长辉熔岩的下面。该火山岩含 $7.10^{-4}\%$ 铀,其中16%是容易迁移的活动铀。造成火山成因侵入杂岩体的早中泥盆纪将要窒息的深部岩浆源完全能够在整个晚泥盆纪期间继续生成热水溶液。看来侵蚀溶液一开始就含铀,尽管侵蚀溶液同样可以从下伏的泥盆纪火山岩中淋滤出铀,不过后一种推断可能性不大。

铀石与斜方砷铁矿共生,铀和砷的密切相关关系以及测定的这些元素的绝对含量很高等,均不是湖相沉积物的固有特点;含铀性表现很局限又很不均匀。所有这些都使含矿层与典型沉积形成物有所不同。已证实的矿体形成的沉积机理以及对控矿地质构造条件的全面分析使我们得出结论:矿化为热液沉积成因。

含铀溶液很可能有内生源,但是达到古地表后就进入湖相盆地底部。在此含铀溶液与底层天然水混合一块,以后就是按沉积规律进一步形成了含铀沉积物。因而,所研究的层状矿化应是一种新成因类型矿石——铀砷化物热液沉积类型。

综述分析铀矿床成因能更进一步确定矿床的地质前提和普查标志。在晚期造山洼地的沉积盖层中组织普查新型矿石时,除层控标志外,

必须考虑到控矿的构造因素。

从理论上讲,在洼地沉积盖层中,在盖层的全部厚度中以及洼地基底岩层中均可能发现典型的热液铀矿化(当成矿时热液未达到古地表才会出现这种情况)。在矿化地区有这类铀矿化的标志存在。

综上所述,可以得出下列主要结论。

在具有加里东褶皱基底晚期造山洼地的沉积盖层中,在层控铀矿化的细粒矿石中,综合采用最新方法还查明了,除纯铀矿物(铀石、沥青铀矿)外铀呈吸附状态存在于非晶质含硅物质和层状铝硅酸盐中。借助 f -放射照相法查明了,铀同沉积物最细粒的部分一块从湖盆底层的天然水中沉淀的机理。根据含铀结核和湖相沉积物层理的关系确定,含铀结核和铀矿化(铀石和沥青铀矿)形成于晚期成岩作用阶段。

根据全面综合分析控矿的地质构造条件、矿石的矿物地球化学特点以及矿石形成的沉积机理的资料,可以得出关于矿化是热液沉积成因的结论。所研究的层控矿化是铀石的一种新的成因类型。

在计划预测普查工作时,应考虑到有可能在晚期造山洼地的沉积盖层中发现这种类型的矿化。同样可能在沉积盖层和洼地基底处也发现典型热液铀矿体,这种矿体是由于在成矿作用时期热水溶液未达到古地表的情况下生成的。

根据提出的层控铀-砷化物矿化的成因,在组织普查这种类型铀矿体时,除了层控因素外,还必须考虑构造因素。在盖层和洼地基底寻找典型热液铀矿化时,构造标志具有重要意义。

李志丹译自《Советская Геология》

№ 2 (1983)

刘士偶校

大型砂岩铀矿床 简单模式的 初步设想

W. I. Finch

前言

毫无疑问,美国目前对砂岩型铀矿床的研究比其它任何类型矿床都更为深入。据推测,自1947年以来,至少有10,000人参加研究,并有大量文献论述有关砂岩型矿床及其沉积环境。在南北半球每个大陆发现的大型砂岩铀矿床都是真正的世界级的铀矿床。发表过许多有关砂岩铀矿床模式,因而大多数铀矿勘探者,在评价或勘查一定地区时,头脑中都有一个模式概念。在经验和主观判断相结合的广泛知识基础上,我选择含有重要或经济价值大(一般含铀大于1,000万磅,其价值大于25,000万美元)的铀矿砂岩建造中的一些主要基本特征,按照这些基本特征的逻辑成因步骤或阶段塑造一个简单实际的成因模式,而其他类型矿床也能模拟应用。我不打算提出有关砂岩铀矿的某些地质理论,而更想从事模式的研究。

模式公式

确定砂岩铀矿床形成的地质有利性,主要根据四个地质特征,即有利的前兆条件(P)、有利主岩(H)、主岩的改造(preparation)(一般有蚀变)(A)和充足的铀源(S)。如果推断有利的四个特征都出现,那么,其有利性(F)的简单公式应为:

$$F = P \cdot H \cdot A \cdot S$$

在确定有利性时,其前提应是每个因素具