

德国西 Erzgebirge 脉型铀矿床的矿化研究

在总结了前人 40 多年研究的基础上, 作者认为在西 Erzgebirge 矿田存在着三种含铀矿脉类型: (1) 梳状石英-方解石-沥青铀矿 (kku), (2) 镁碳酸盐-沥青铀矿-萤石或紫色萤石 (mgu), (3) Bi-Co-Ni (-Ag-U) (biconi), 并对各矿脉类型中典型矿物的矿物学特征作了详细描述; 阐明了上述三种矿脉类型在矿田不同脉型铀矿床的分布。值得指出的是作者在 biconi 建造中发现有自然银、自然铋和自然砷的存在。文章最后对前人所做的矿田中各矿床的沥青铀矿和交代围岩地质年代学研究工作进行了评述。

关键词 脉型铀矿床 矿石建造 地质年代学

1 矿田简介

西 Erzgebirge 矿田位于德国东南部, 矿田内分布有如下几个重要的脉型铀矿床: (1) Schneeberg, (2) Oberschlema, (3) Niederschlema-Alberoda, (4) Antonsthal, (5) Johannge-orgenstadt, (6) Tellerhäuser, (7) Crandorf (图 1)。其中 Niederschlema-Alberoda 矿床是世界上最大的脉型铀矿床之一, 已生产 73 000tU。

柏林墙倒塌后, 已发表了一系列有关该区的研究文章。在总结前人研究工作的基础上, 经过进一步工作, 认为该区脉型铀矿床中存在三种主要的含铀矿脉类型:

- (1) 梳状石英-方解石-沥青铀矿 (kku);
- (2) 镁碳酸盐-沥青铀矿-萤石或紫色萤石 (mgu);
- (3) 铋-钴-镍 (-银-铀) (biconi)。

下面分别阐述各建造的矿物组合特征。

2 脉型铀矿化的组成、结构及序列

2.1 梳状石英-方解石-沥青铀矿组合 (kku 建造)

这一组合类型反映了最早一期的矿脉填充。一般认为是原生深源成因的。从矿脉的边部到中心部位不同矿物呈对称带状展布 (图 2a), 下面依照矿物生成顺序描述如下:

(1) 石英 边部常呈玉髓状或燧石状, 向内为簇状或梳状石英, 局部见重复韵律或条带生长, 颜色变化从无色、白色至铜红棕色。红棕色在靠近沥青铀矿处更明显。

(2) 冰长石 通常以包体形式存在于石英中。

(3) 萤石 灰绿色到紫色, 靠近沥青铀矿几乎呈黑色, 通常与石英和(或)方解石共生。

(4) 针铁矿、纤铁矿 球粒状集合体。

(5) 水黑云母 球粒状, 部分与铀石伴生。

收稿日期: 1997 年 11 月 11 日

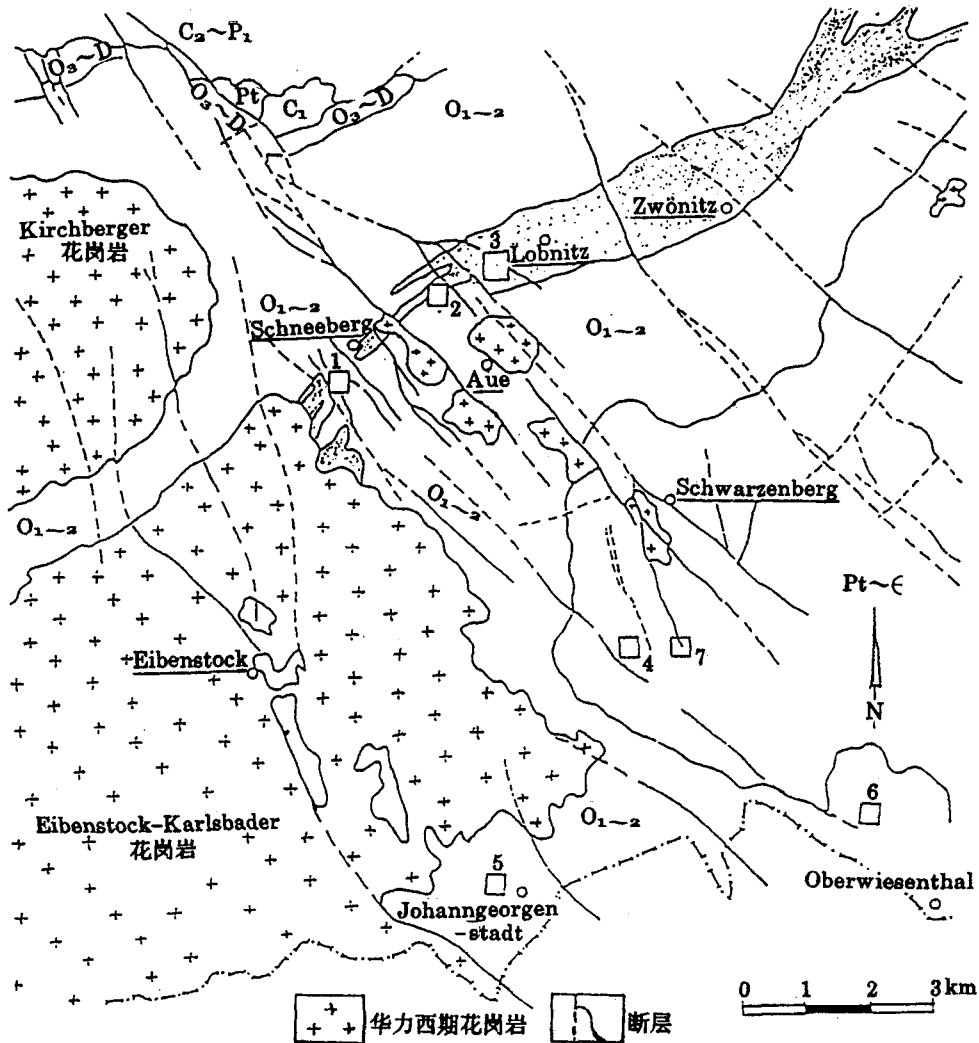


图1 西 Erzgebirge 矿田概要地质及脉型铀矿床分布图

1—Schneeberg 矿床; 2—Oberschlema 矿床; 3—Niederschlema-Alberoda 矿床; 4—Antonsthal 矿床; 5—Johanngeorgenstadt 矿床; 6—Tellerhäuser 矿床; 7—Crandorf 矿床

(6) 铀石 通常呈柱状晶形, 部分球粒状。常有大量不规则分布的微小硫化物包裹体(方铅矿、辉铋矿、黄铜矿)。在 Schlema 矿脉中, 赋存在铀石中的铀占总铀量的 5%, 使其成为仅次于沥青铀矿的重要铀矿物。

(7) 硫化物(硫铜铋铅矿、方铅矿、辉铋矿、黄铜矿、黄铁矿) 以包体形式存在于铀石和沥青铀矿中, 以及以由方铅矿在内, 而黄铜矿在外组成的“织边”形态存在于柱状铀石中。

(8) 沥青铀矿 胶状、肾状-葡萄状, 黑色, 常发亮(灰或黄褐色调是由于细浸染的硫化物所致), 有时也暗淡无光。沥青铀矿中微量元素有 Se(0.2% ~ 0.3%), Pb、As、Cu、Zn、Ti、V、Bi、Sb、Ba、Sr、Be、Co、Ag、Sn, 罕见有 Mo 和 Ni; 沥青铀矿球粒常显示放射状干缩裂纹或破碎裂隙, 沿微裂隙被石英、硫化物, 偶尔有铀石交代。

(9) 方解石 通常白色,粗粒致密亮晶或偏三角面体;常见有赤铁矿或偶尔有沥青铀矿包体形成的细微生长环带,见桔红色萤光。方解石通常构成脉体中心。

(10) 赤铁矿 细片状,分布在方解石上或为其所包裹,部分集合体见放射状结构或同心圆结构。

(11) 石膏和硬石膏 一般呈板状集合体,赋存在脉体中心,但是局部发育。

矿物学研究表明从石英至沥青铀矿的所有矿物几乎是同时结晶的,是在一个相对短暂的时间间隔内形成的。这些矿物呈现出互生的结构特征,如铀石-沥青铀矿球粒,偶尔也见石英-铀石和石英-沥青铀矿的韵律生长,这反映出相对一致的共生组合,只是在不同矿物相的沉淀高峰期略有先后。这些脉型矿物组合在各种梳状石英-方解石-沥青铀矿脉中的厚度大致相同。

沥青铀矿结晶通常但并非总是晚于铀石。两者并未显示交生的特征。因此,铀石被认为主要是略早于沥青铀矿结晶生成的。

沥青铀矿之后生成的矿物:方解石、赤铁矿、石膏和硬石膏是经历一段时间间隔后形成的。它们依次沉淀在脉体中部。只有呈韵律生长的方解石-沥青铀矿层构成过渡相,在 Oberschlema 和 Niederschlema-Alberoda 矿床的富钙围岩中尤其是如此。过渡相厚度与主矿脉厚度的相关性反映了矿物结晶期的张性运动。

梳状石英-方解石-沥青铀矿的矿脉主要产出在长英质岩石中,如夹有诸如基性岩石(角闪岩和矽卡岩)和不同成分的长英质岩石(如石英质、碳质或黄铁矿质片岩和片麻岩)的板岩和片麻岩的不均质岩套。富方解石的脉体段在含钙围岩中特别常见。

紧邻矿脉的围岩有赤铁矿化和弱绢云母化,蚀变晕通常窄于脉体宽度。

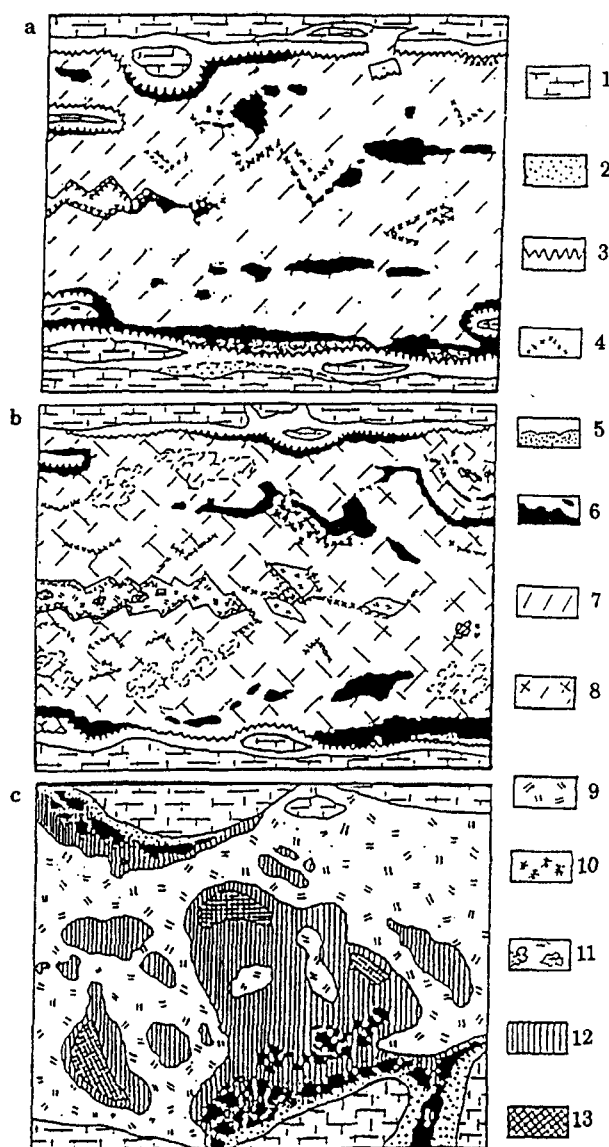


图2 各建造的典型组成和结构

a—kku 建造;b—mgu 建造;c—biconi 建造

- 1—围岩;2—燧石柱石英;3—梳状石英;4—赤铁矿;
5—萤石;6—沥青铀矿;7—方解石;8—粉红色白云石;
9—白色副铁白云石;10—硒化物;11—硫化物;12—砷
化物;13—自然砷

梳状石英-方解石-含沥青铀矿脉在 Oberschlema 和 Tellerhäuser 矿床中典型,且为主要的矿石建造类型。在其他矿床中,其重要性次于 biconi 建造类型。发育有 kku 建造的矿床还有 Erzgebirge 西部地区的 Schneeberg 和 Johanngeorgenstadt; Erzgebirge 中部地区的 Annaberg、Marienberg 和 Niederschlag-Bärenstein 矿床以及 Vogtland 地区的 Zobes、Bergen 和 Schneckenstein 矿床。

在 Niederschlema-Alberoda 矿床的矿脉中, kku 建造中的矿物常被后期 mgu 建造中的矿物交代或在晚期矿脉中以碎屑形式存在。大型矿脉常显示两者明显的叠加。上述 kku 组成在脉体中随深度增加和靠近花岗岩接触带而减少。

2.2 镁碳酸盐-沥青铀矿-紫色萤石组合(mgu 建造)

mgu 建造在较早的文献中也被称为白云石-硒化物组合(dse)或与“Edle Braunspat 建造”相当(图2)。

在 Niederschlema-Alberoda 矿床中, mgu 建造是最重要的矿石组合,而在别的矿床中,这类建造类型只能退居附属地位或不存在。该建造中矿物特征分述如下:

(1) 白云石 mgu 建造中典型的特征是有大量白云石。白云石交代了早期 kku 建造中的方解石而显示方解石假象,此处还有胶白云石和粒状变色白云石,后者中还部分地与铁白云石共生。

(2) 沥青铀矿 kku 建造中的沥青铀矿在 mgu 的白云石脉中以残余形式存在。这种沥青铀矿集合体强烈破碎,通常角砾化,并被白云石沿解理、裂隙和缩裂纹的强烈溶蚀和交代。在极端的情况下,这种早期球状沥青铀矿仅仅其边缘部分得以保留。煤烟状沥青铀矿局部以早期沥青铀矿皮壳假象存在。

重结晶的沥青铀矿为球粒状和透镜状、条带状的团块,经常与白云石互生,抛光后有一个光滑表面,光泽暗淡并带有灰色调,其反射率低于原生的沥青铀矿。

(3) 硒化物 包括有 Pb、Cu、Ag 的硒化物。硒铅矿是该类矿物中主要矿物。

(4) 硫化物 主要为黄铜矿和方铅矿,还有斑铜矿和砷黝铜矿。

(5) 萤石、石膏、硬石膏 紫色萤石是常见矿物,与石膏、硬石膏一起分布于脉体中心部位。

一般讲, mgu 建造本身不形成独立的矿脉,一些白云质细脉或透镜体是例外情况。这类矿物组合一般以晚期矿质侵入并形成明显的叠加体系,叠加在早期的矿物组合上,特别是叠加在 kku 建造上。支持上述观点的证据还有早期建造的围岩和脉体成分在晚期建造中以角砾形式存在。

镁碳酸盐-沥青铀矿-紫色萤石建造(mgu)在 Niederschlema-Alberoda 矿床中分布最为显著。该矿床中大小不一的矿脉(厚度从几厘米到几米)中均有 mgu 发育,延伸可超过 300m。

与 kku 建造中对称带状和韵律分布所反映的相对未被扰动的结晶过程相反的,是 mgu 建造复杂的结构特征和矿物关系说明了 mgu 建造的形成过程是一个不平静和不连续的沉淀过程。

发育 mgu 建造的矿脉围岩一般是富钙或镁铁质岩石,如灰岩、砂卡岩、变辉绿岩和角闪岩。围岩蚀变类型有水云母化、赤铁矿化和(或)碳酸盐化。蚀变晕在镁铁质岩石中较宽,延伸 1~2m,局部见 5m;而在长英质岩石中,蚀变晕仅有 0.1~0.3m 宽。

2.3 铋-钴-镍(-银-铀)组合(biconi 建造)

在西 Erzgebirge 矿田的大多数矿床中均发育有铋-钴-镍(-银-铀)组合,该建造代表了中温热液-低温热液成因。只发育 biconi 建造的矿脉很少见,但它与早期矿脉一起,构成了矿脉中叠加建造体系的广布部分。有关的矿物特征详述如下:

(1)自然元素 发育 biconi 建造的矿脉中发现有自然银、自然铋和自然砷。

(2)钴、镍、铁的砷化物 这类矿物有方钴矿、砷钴矿、斜方砷钴矿、斜方砷镍矿、斜方砷铁矿、红砷镍矿等。这些矿物在许多矿床中的含量已达工业品位,如 Schneeberg 和 Johanngeorgenstadt 自 15 世纪以来一直在开采银和铋。

(3)脉石矿物 与上述金属矿物共生的脉石矿物有硫酸盐和碳酸盐矿物,如:重晶石、菱铁矿、白云石和铁白云石。

(4)铀石 重结晶的铀石仅在局部存在且量较少。

(5)新生沥青铀矿 上述砷化物虽然并非总是但伴生有暗色重结晶沥青铀矿。这种沥青铀矿以 Co-Ni 砷化物边缘或皮壳产出,也有以薄的条带状和微小球粒状产出。球类集合体可与自然银和自然铋交生。

早期的煤烟状沥青铀矿局部被新生沥青铀矿交代;另一方面,砷化物常沿 kku 建造中溶蚀的沥青铀矿四周分布。

相对于早期建造而言,与 biconi 建造共生的沥青铀矿的数量相对较少。

发育 biconi 建造矿脉的围岩是不均质成分的。围岩岩性可从石英质或碳质(接触)变质片岩到角闪岩。

蚀变晕延伸很小(几厘米以上,很少达 1m),蚀变以弱硅化、赤铁矿化和(或)高岭石化为特征。

3 三种含铀矿物组合在西 Erzgebirge 矿田脉型铀矿床中的分布

三种矿物组合在本地区脉型铀矿床中的分布如表 1 所示。表中所列矿床未包括储量小于 50tU 的小型矿床。

表 1 三种矿物组合在西 Erzgebirge 矿田脉型铀矿床中的分布

矿床名称	含 铀 矿 物 组 合 类 型		
	kku	mgU	biconi
Schneeberg	× ×	×	× × ×
Oberschlema	× × ×	× ×	× ×
Niederschlema-Alberoda	× ×	× × ×	×
Antonsthal	× ×	× ×	×
Johanngeorgenstadt	× ×	×	× × ×
(Pöhla-)Tellerhäuser	× × ×	× ×	×
Crandorf	× ×	(×)	(×)

注: × × ×——主要的矿脉填充; × ×——一般的矿脉填充;
×——次要的矿脉填充; (×)——零星可见的矿脉填充。

4 矿脉之间的构造关系

矿前脉体走向一般为 SW ~ NE 向, 而 kku 和 mgu 建造的矿脉则是 NW ~ SE。mgu 建造的矿脉取向 NW ~ SE 是由于 mgu 建造的矿物结晶在 kku 建造活化基础上的结果。尚未见到上述两类脉体的互相切割。

复活的构造运动产生新的近 EW 向构造体系, 这为 biconi 建造的沉淀提供了空间。就铀赋存的空间位置而言, 脉体中含铀的区段一般局限于 EW 向脉体与早期 NW ~ SE 向含铀脉体的交切部位和所谓的混合脉体中。这两种定向不同的矿脉体系在 Schneeberg 和 Johanngeorgenstadt 矿床中典型发育。

5 沥青铀矿和交代围岩的地质年代学

表 2 列出该地区若干脉型铀矿床中沥青铀矿和蚀变围岩的地质测年数据。

Tugarinov *et al.* (1967) 和 Veličkin *et al.* (1983) 提供了大部分可靠的年龄数据。他们的样品采自 Oberschlema 和 Niederschlema-Alberoda 矿床三种铀矿石建造中。kku 建造中沥青铀矿测得的年龄数据为 280 ~ 275Ma, 这与围岩中变质绢云母 K-Ar 法测值 278 ~ 274Ma 很好吻合。

较晚期 mgu 建造 Pb 同位素方法测得年龄为 155Ma, 这一年龄支持铀源来自早期矿石建造活化再分配。

年龄数据介于 kku 与 mgu 建造之间可以用不同方法解释。这类混合年龄可能是某些成矿条件的综合结果, 如: 不同世代沥青铀矿的叠加, 铀石的形成和(或)放射性 Pb 的丢失。当然, 这些特征并非总是容易判别的。另外, mgu 建造中水云母 K-Ar 法给出 181Ma 可能是由于早期绢云母残余导致的。

表 2 各脉型铀矿床中沥青铀矿和蚀变围岩地质测年数据

Ma

矿床	含 铀 矿 物 组 合 类 型			
	kku	mgu	biconi I	biconi II
沥青铀矿				
Schneeberg	250			
沥青铀矿				
Johanngeorgenstadt	277	140		
Schneeberg		185	96	
沥青铀矿				
Johanngeorgenstadt		180	100	5
沥青铀矿				
Schlema-Alberoda	280	155	110 ~ 90	16 ~ 7
Johanngeorgenstadt		180 ~ 175		
Antosthal		160 ~ 140		
沥青铀矿	275			
绢云母	278 ~ 274	155		30
围岩中水云母		181		
Schlema-Alberoda				

注: kku、mgu、biconi 的解释见图 2。

为最终解决混合年龄问题,需要有一套具体的取样和研究计划。只有选择明确归属于某一个矿石建造的代表性样品进行分析,才有可能获得一致的分析结果并借此可靠地确定不同的铀矿化世代。

最后值得一提的是,位于 Thuringia 的 Ronneburg 地区的复成因铀矿床,据 Lange 和 Freyhoff(1991)地质测年研究表明存在两套矿物共生组合。早期组合包括:沥青铀矿、碳酸盐、绿泥石、硫化物,局部还有砷黝铜矿和铀石。这套组合被认为是早二叠纪的,相当于 kku 建造的时代。占主体地位的晚期组合包括沥青铀矿、方硫铁镍矿、白铁矿、Co-Ni 砷化物、碳酸盐和赤铁矿。U/Pb 法测年给出 120~90Ma,与西 Erzgebirge 矿田中 biconi 建造的时代相当。

温志坚摘译自对外交流资料

(核工业北京地质研究院,100029)

李子颖 校

(上接第 196 页)

非常强烈的成矿过程决定了这些矿床呈现独特的构造-岩性控矿。这种控矿作用表现为矿体倾向于定位在围岩巨厚地段。局部的岩性控矿此处几乎没有显示。

综上所述,显生宙大型和特大型铀矿床的特点为不同时期的气成-热液过程强烈发育。这些过程与长期活动的地壳构造一致,与这些断裂构造交叉部位一致,局部出现在火山构造洼地中形成的早期阶段。

大型金属矿床的定位,可能取决于地壳构造中的所谓“活动性”矿结和热柱露头的位置。看来,此地铀富集的前提是成矿的围岩专属性。其中包括岩浆杂岩。

在矿物共生组合基础上重建这些巨型矿床的内生成矿作用过程,查明成矿过程的时间和空间表现特征,是研究区域成矿作用的首要任务之一。它能使我们得以揭示不同成矿时期和不同建造类型的工业矿化和成矿准备过程的成因联系。唯如此,才能在勘探和评价内生铀矿床时确定地质-矿物学标志和准则。

邵福春摘译自《Записки Всероссийского Минералогического Общества》,(1),3~10(1995)

(石家庄市 183 信箱,050002)

蒋永一 校