

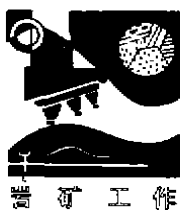
36-40

自然金个体发育的新资料

P578.11

P. A. AMOCOB

(中央有色金属与贵金属地质勘探研究所·莫斯科)

Amocob, P A
林德泰

矿物工作

矿物领域所用的个体发育术语,表示矿物单体及其集合体产生、发育和改造一系列连续现象的总体。专门阐述个体发育的矿物学分支,叫做个体发育学^[1]。从个体发育学的角度出发,矿物不仅可以看成是固定成分的天然化合物,更重要的它还是与周围介质相互作用过程中生成的、并与介质发生反应变化的物体。相互作用这一点极为重要,也就是说,矿物不仅受介质的影响而变化,而且它也作用于周围介质。从广义上讲,介质不仅应理解为成矿流体,而且还有包括造岩矿物在内的其他矿物。相应地,个体发育的思路,有助于在研究矿物单体、晶体和矿物颗粒形态及其内部结构的基础上,恢复成矿介质的状况及其演化过程,这是因为矿物形态及其内部结构这两个参数,对成矿介质变化的反应,恰恰是最敏锐的。

由于大多数金的单体非常细小,加之它的不透明性,复杂的内部构造以及极高的延展性,使得自然金的单体发育问题,成为一个难度很大的研究领域。自然金的上述特点,以及金元素很高的扩散活动性,导致内生条件下和表生带中自然金的多次搬运,这就要求采用具有高分辨率的局部研究方法。

为了研究自然金,笔者采用了一套专用方法,其基础是在扫描电子显微镜上大批量地、系统地研究自然金和与其共生的矿物。这个方法与传统方法的原则区别在于,大部分研究工作是在不制备光片或砂光片的情况下

进行的,即保留自然金的天然表面。用作研究的标本应尽可能地从未破碎的矿石上获取,以防止人为变形和破坏自然金与其他矿物的连生体。为确定连生体中矿物的相互方位,采用了劳埃法,再根据劳埃法 X 射线照片绘制连生体的投影图。天然表面经构造侵蚀后再在扫描电子显微镜下观察,这对揭示自然金单体及其集合体内部结构要素,是一种非常有方法。这时可以观察到固溶体分离结构、矿物颗粒的边界、双晶结合面和固体包裹体等。

为从石英和其他矿物中获得自然金颗粒,采用了在 450℃ 温度下与 KOH 一起熔融的方法。熔融物溶于水,固体残渣用 1:1 的 HCl 处理后,在滤纸上冲净^[2]。经过上述处理后,自然金会发生不均匀溶解,溶解深度大致是 100nm 数量级,而含硫化物(其中含有金的类质同像杂质)的矿样中则可能合成新的相。但在热碱浓集过程中,硫化物含量低的矿石,其中自然金总的形态和颗粒度变化不大^[3]。

在扫描电子显微镜下拍摄自然金的显微轮廓要素,再用能量色散光谱分析仪确定其中固体包裹体的成分。我们把电子显微镜图像输入与其相联的计算机内,再用专门的计算机程序涂色。计算机显示屏上的彩色图像拍摄到彩色底片上。

在扫描电子显微镜下研究过后,将样品转移到表面分析仪的夹持器上,并将其在垂直位置上加以固定,因为在电子显微镜下拍照之前,样品上方镀覆铜,因而不适宜做分

本文 1994 年 1 月收到,林德泰编辑。

析。在表面分析仪上记录下光谱谱线和内存储信息位置图示,后者显示出自然金表面元素的分布。在记录光谱谱线时,测试研究的深度总共只有2~3nm。为加大研究深度,与记录光谱谱线同步采用了离子侵蚀(轮廓分析)方法。根据特征光谱峰的能量位移,确定元素的化学态^[4]。

表面分析过后,用样品制成光片;在光片上进行构造侵蚀,并用电子探针测定金和杂质元素的含量。

应用上述方法可以查明一系列以往不曾知道的自然金个体生成现象。本文仅限于讨论自然金单体的产生问题。

人们不可能直接观察到自然金的产生(形成稳定的胚胎)过程,但通过研究其他矿物中自然金包裹体的方位和排布,却能够获得有关这一过程的明确概念。通过多年对前苏联和其他一些国家几十个矿床的观察表明,自然金晶核都是催化生成的。矿物对自然金晶核生成的催化影响,是以所谓活化中心的作用为基础的。活化中心具有电性,并具有一定的对称性,其作用距离大致为几十nm^[5]。自然金单体相对于主体矿物有规律的定向排列,即是催化生成晶核的一个标志。矿物学中定向排列的矿物连生体通常是取向生长的。笔者发现并研究了自然金与黄铁矿、毒砂、方铅矿、石英、方解石、辉铋矿、锆石和其他一些矿物的取向生长连生体。自然金与上述矿物取向生长连生体的一个共同特点,是自然金结构中(110)强键方向的排布平行于主体矿物结构的紧密堆积序列。在取向生长连生体中,通常可以观察到自然金单体形状的畸变现象——在自然金与主体矿物结构序列相重合的方向上伸长,或者是压偏(形成薄膜)。

催化活性并不是矿物种类中某些矿物的一种属性,尽管矿物的若干特征对金在其中的沉淀是很重要的。金呈类质同像进入矿物

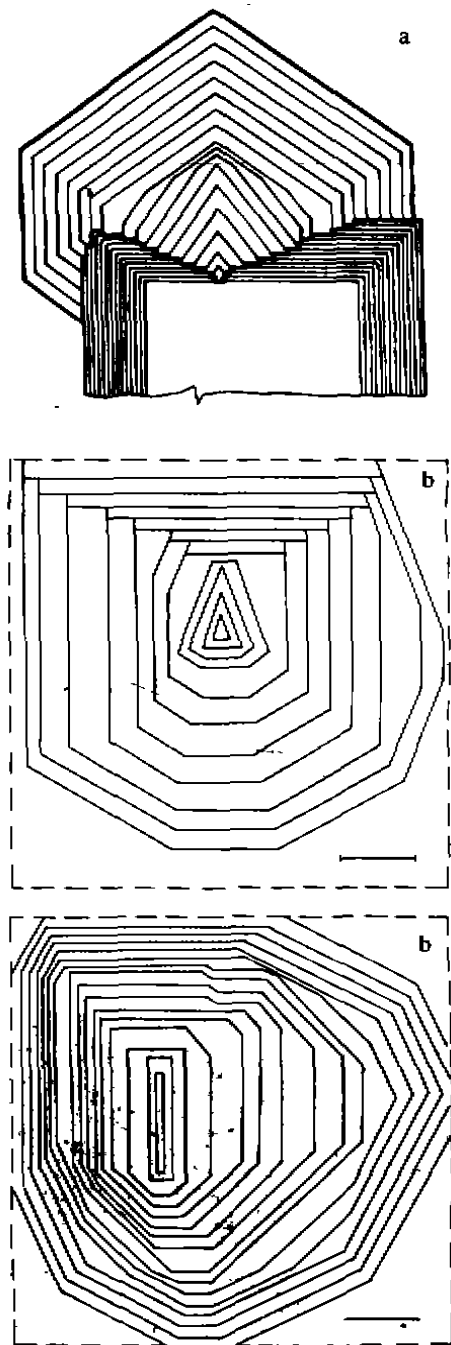


图1 自然金与黄铁矿的共同结晶

a—自然金呈包裹体产生于黄铁矿立方体的晶面,其生长速度比载体矿物要快,并逐步将黄铁矿封存(剖面);b—在风化过程中分离出黄铁矿之后,自然金上诱发的锥体的几何图形。可见自然金晶体在 $\{111\} \rightarrow \{110\} \rightarrow \{210\}$ 方向上的演化。连生定律: $(100), [1\bar{1}0]\text{Au} \parallel (001), [010]\text{Fe}_2\text{S}$

结构的限度就是这种特性之一。如果金不被矿物所吸取;如果在矿物中生长过程中金不是从溶液中作为类质同像杂质被矿物所吸取,则金的生长晶面是很拥挤的,而且结晶场中金的浓度变得异常高。这种现象可以作为杂质浓度凝缩来理解。浓度凝缩导致在主体矿物生长晶面上生成自然金包裹体晶核。通常杂质以独立相包裹体的形式排出,将加速主体矿物的生长和包裹体的封存。不过,在溶液中金总浓度很高的情况下,也可能出现这样一种关系,即金的包裹体的生长超前主体矿物,并将其封存(图1)。

矿物终止生长伴随着活化中心的“毒化”。这时,矿体内部变形对保障矿物的催化活性具有重要作用。矿体内部变形的意义由以下3个因素构成:

- (1)在断裂处分解出活化中心;
- (2)变形后,早世代生成的自然金的封闭包裹体与流体接触;早世代包裹体是晚世代自生取向生长的晶种;
- (3)在弹性变形过程中,压电矿物产生电荷,它激发新矿物相的产生。因而必须注意:金矿中分布最广的矿物石英正是一种压电矿物。



图2 素晶锆石滚圆晶体中的自然金薄膜
放大4000倍,产生定律: $(100), [110]Au \parallel (110)[001]$
 $ZrSiO_4$, 卡累利

天然放射性是激发作为金沉淀剂的矿物

催化活性的因素之一。在卡累利地区与元古代砾岩有关的一个矿点上,发现在滚圆的锆石颗粒上有一层自然金定向生长膜^[6]。这种金是由于锆石分裂出铀和钍,其结晶构造受到辐射破坏的结果而生成的(图2)。

上述晶核生成机制主要适宜于热液成矿条件。在地表和沉积作用条件下,在氧化带、风化壳和沉积盆地内,微生物作为金的沉淀剂具有重要意义。在微生物影响下生成晶核的机制,我们称之为生物催化机制。

生物催化生成晶核,可以发生在细胞之外,即生物单体或菌落周围的粘膜,以及通常带有一定电荷的细胞内。实验证明,某些细菌(如 *Bac. mesentericus niger*)能吸附溶解的金,并将其还原到金属态^[7]。因此,生物催化生成晶核有细胞内和细胞外两种方式(图3)。细胞外生物催化生成晶核的一个标志是自然金沿微生物生成完全的假像——金的微化石。

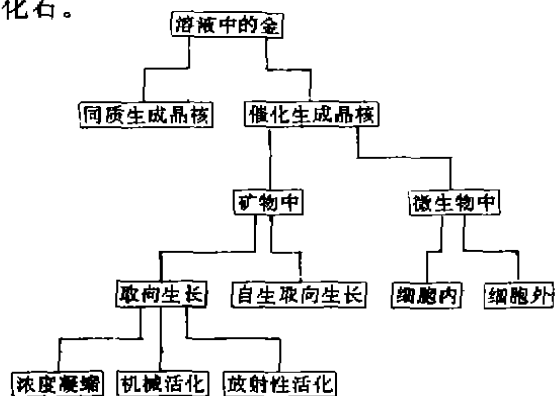


图3 自然金晶核生成机制

微生物与金和含金溶液的相互作用问题,是全世界20多年来强化研究的对象。在已发表的几十种著述中,论述了自然金被细菌或其新陈代谢产物溶解,以及细菌从胶体溶液和真溶液中沉淀金的实验研究结果。与此同时,寻找到的金的天然微化石却屈指可数^[8,9]。只是近些年(1990~1993年)在俄罗斯和独联体国家的不同地区,在不同成因、不同时代(从前寒武纪到现代)的地质体中找到了金的微化石^[10]。

图4示出的是堪察加一个现代热泉沿胶体氰细菌发育的自然金的完全假像。氰细菌布满坡积物中自然金粒的表面并溶蚀自然金。细菌浸蚀坑不同于晶体缺陷的浸蚀坑,它不具备主体矿物相应晶面的对称要素,也没有发现与主体矿物结构有联系。在一些标本上,还找到了沿硅藻甲壳发育的自然金完全假像(图5)。



图4 沿胶状氰细菌发育的自然金完全假像
堪察加,阿帕彼里



图5 被自然金交代的硅藻残骸
堪察加,阿帕彼里

在哈巴罗斯克边疆区尼曼地区的砂矿中,发现了沿氰细菌菌落发育的自然金完全假像(图6)。这种菌落的规模可达2.5mm,即属于生成砂矿的粒级。在菌落的成分中,除了金的微化石——球菌、弧菌、螺旋菌之外,还

发现了诸如石英、长石和钛铁矿等他生矿物;它们通常富集于菌落的核部。在与金微化石的连生体中还发现了自生矿物(对砂矿的原始源而言),主要是螺状硫银矿、角银矿、钾长石和氯方解石($\text{CaCl}_2 \cdot \text{KCl}$)。

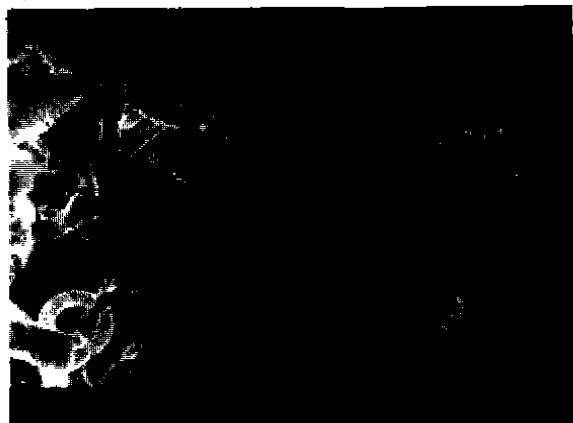


图6 沿螺状氰细菌发育的自然金完全假像,示出了被黄金石化的菌落内部结构

图7示出了乌拉尔沃龙佐夫金矿床风化壳中沿生长在残留金上的 *Pedobacterium manganicus* 发育的自然金完全假像。

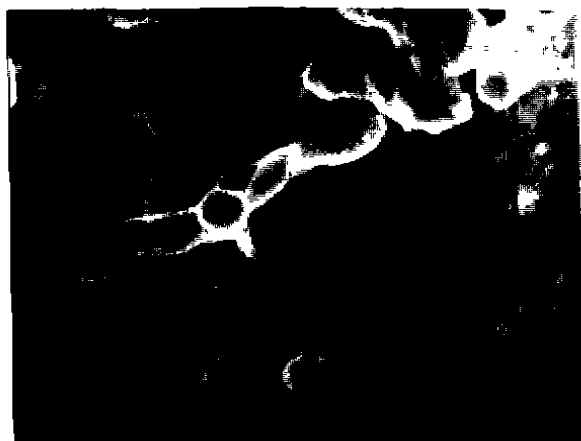


图7 沿 *Pedobacterium manganicus* 发育的自然金完全假像

取自沃龙佐夫矿床风化壳残留的自然金

我们还在卡累利元古代的变沉积岩;俄罗斯地台北部的泥盆纪砾岩;沃龙佐夫矿床的角砾状碳酸盐矿石;阿塞拜疆的阿格斯塔夫砂矿;以及雅库特、乌拉尔和提曼等地区的淤积层中,也发现了金的微化石。

关于金微化石的分布及生物成因金的作用,我们的资料与国外的资料不尽一致,其主要原因是,我们所研究的金粒没有预先制成光片。研究自然金的传统方法是从制备光片或砂光片着手,这样,生物成因标志便会消失,或是难以鉴别,因为细胞的大小接近于光学显微镜的分辨极限。漏掉生物成因标志的另一个原因是,金很容易扩散,在加热和动力作用下易发生重结晶,而砂矿中的金粒则被磨损或磨圆。

同时也要警惕对深度化学侵蚀所揭示出的自然金结构作出错误的生物成因描述。例如在文献[9]中,金粒在 950℃ 下与 KOH 一起熔融,并用 16% 浓度的硝酸冲洗。这样做的结果,在阿拉斯加的砂金和取自中国二叠纪石英脉的黄金中,得到了由小球粒和细线构成的网状构造,据 Дж. Уоттерсон 意见,这是沿 *Pedobacterium manganicus* 发育的假像。同时他还认为,在 950℃ 温度下,熔融只能除去石英,因为金的熔融温度为 1064℃。而实际上,正如前述,金在 450℃ 时已相当活跃。

有关自然金的生长和结晶后的改造,作者将另有文章讨论。

综合上述,有必要强调的是,根据我们掌握的资料,在天然溶液中,金的浓度通常达不到均匀(自发)生成所必须的水准,因此金的沉淀发生在矿物或生物催化剂的作用之下。研究生物成因金和与其伴生矿物堆积的古岩相环境,可以为寻找大型层控金矿提供新的标志。对于金的沉淀来说,无论是矿物界还是生物界,催化活性并不是个别种属的属性。由于变异,微生物出现非同寻常的嗜金性(“亲金性”),因此可以相信,确定诱发因素,将来有可能从海水中用节能的生物技术提取金。

笔者感谢 Т. П. Поляковая, А. М. Дружинин 和 Ю. М. Шепотьев 提供了标本;特别要感谢俄罗斯卫生部器官移植和人造器官研究所的 С. Л. Васин 提供了文中所附的电子显微镜照片。

参考文献

- 1 Григорьев Д. П., Жабин А. Г. Онтогения минералов. Москва. Изд. Наука. 1975. 337.
- 2 Амосов Р. А., Серебряный Б. Л., Васин С. Л. и др. Пироцелочное вскрытие руд благородных металлов. X V Черниговское совещание по химии, анализу и технологии платиновых металлов. Тез. докладов. Москва, 1993. 148.
- 3 Амосов Р. А., Козырев Н. А. Способ приготовления препаратов для растровой электронной микроскопии из рыхлых материалов с тонкодисперсным золотом. Авт. свид. СССР № 1563379, 1990.
- 4 Амосов Р. А., Иванов В. Ш., Щегольков Ю. В. Основные аспекты приложения электронной оже-спектроскопии в минералогии. Докл. советских геологов к X V Межд. Геол. Конгрессу.
- 5 Дистлер Г. И. Реальное строение, активность и дальное действие кристаллических поверхностей. Рост кристаллов. Москва. Изд. Наука. 1980. 191-200.
- 6 Амосов Р. А., Любанов А. С., Чувпина Н. Г. Эпитаксия самородного золота на цирконе-пример природного радиационного активирования кристаллических поверхностей. Докл. АН СССР, 1991, 320(2), 425-427.
- 7 Коробушкина Е. Д., Коробушкин И. М. Воздействие золота с бактериями и образование “нового” золота. Докл. АН СССР, 1986, 287(4), 978-980.
- 8 Hallbauer D. K. The plant origin of the Witwatersrand “Carbon”. Mineral Science and Engineering, V. T, 111-131.
- 9 Watterson J. R. Preliminary evidence for the involvement of budding bacteria in the origin of Alaskan placer gold. Geology, 1991, 30. 315-318.
- 10 Амосов Р. А., Васин С. Л. Золотые микрофоссы. Руды и металлы. 1992, (4).

New Data on Ontogenesis of Native Gold

R. A. Amosov