

砂金矿成因：两次成矿模式

戴 问 天

(西安地质学院)

根据地壳丰度/水圈丰度比值,金在表生条件下是一种活动性元素。原生矿或含金岩石中的金粒通常太细小,在水流搬运分选过程中不能富集成矿。砂金矿形成的一个必要前期步骤是在风化壳中,在地下水氧化—还原界面附近,通过电化学作用形成粗金粒。

关键词: 金粒度; 表生活活性; 电化学作用



地质·矿床

砂金矿的成因在地质界几乎是一个没有争议的问题,通常都认为它是原生金矿或含金岩石在地表破碎、风化以后,金粒释出,经过水流的搬运、分选和重力富集而成的。但也有不少人很早就注意到砂金的次生长大现象,探讨过金在表生条件下的化学搬运问题,其中B.A. Обручев更强调了化学搬运对苏联勒拿河流域砂金矿形成的重要意义(转引自Ю.А. Билибин, 1955)。近年来国内亦有许多人在研究“狗头金”成因时考虑到了金的表生活活性,王义文(1985)并认为通过表生溶液迁移和沉淀而形成较粗的金粒,是砂矿床形成的重要前提条件。

本文提出,砂金矿形成过程是两次成矿(戴问天, 1978)的一个典型例子。第一阶段含金岩石或矿床风化,在地下水氧化—还原界面附近,主要由于电化学作用形成粗粒金;第二阶段粗粒金在剥蚀、搬运过程中发生分选,富集形成砂矿。与此相联系,本文提出用元素陆壳丰度与大陆地表水丰度比值、全地壳丰度与海水丰度比值,从整体上而

不是就每一具体环境,评估元素在表生条件下的活动性。用这种方法估计的若干成矿元素的活动性,与用А.И.Перельман(1955)“水迁移系数”估计的活动性,有相当明显的差别。

碎屑沉积物中重矿物富集的粒度条件

砂矿的形成过程就像自然界发生的重力选矿过程,其分选介质是水(少数情况下含较多的粘土等类物质,可以认为是悬浮液),对分选效果有重要影响的碎屑本身的性质,除比重外还有粒度。大多数重力选矿方法所要求的粒度,为不小于0.03~0.07mm,因而砂金生产中通常把粒径小于0.074mm者称为“漂浮金”。苏联的砂金生产经验是有代表性的,因为它是世界上仅次于南非的第二大黄金生产国,而其黄金主要采自砂矿。苏联的经验表明(О.В.Замятин等, 1975),各种选矿方法的砂金回收率都和砂金粒度有密切关系。以和自然界砂矿形成过程最近似的溜槽选矿为例,在6m浅溜槽上,当砂金粒度为0.1mm时,回收率不到30%;0.2mm时增加到约65%;0.3mm时增加到约85%;

0.4mm时增加到90%以上。而当粒度减小到0.06mm时,回收率几乎是零。

苏联砂金生产地区主要在乌拉尔山及其以东地区,各区砂金粒度几乎都以0.25~2mm的为最多,<0.25mm粒级所占的比例,除叶尼塞河南部达41.5%以外,其他地区一般都不到20%。各区砂金平均粒度最小的为0.5mm(叶尼塞河南段和阿穆尔河),最大的达1.5~1.6mm(苏联东北部和雅库特地区)。作者未能找到我国砂金粒度的系统统计资料,但从砂金生产普遍采用重力选矿方法来看,无疑应以粒度较粗、肉眼可见的“明金”为主。在许多地区,顺流而下砂金消失的主要原因显然是粒度减小,从而不能在水流分选过程中富集。实际上,在碎屑沉积物中富集的“重矿物”并不都是很重的,金红石、钛铁矿、锆石、重晶石等比重都只有4~5,金刚石只3.5,绿柱石更低到2.65~2.8,和长石、石英等普通浅色造岩矿物相去无几。不难看出,在很多情况下对于砂矿的形成,矿物化学稳定性、机械强度和碎屑粒度,比矿物的比重更为重要。

根据“Handbook of Geochemistry”(K.H.Wedepohl, 1974)提供的数据,世界各地(主要是苏联和美国)的砂岩、砾岩等粗碎屑岩,含金量变化范围很大(在0.3~2500ppb之间),地区平均值变化也较大(2.1~109ppb);粉砂岩变化范围要小得多(2.5~30ppb),地区平均值变化也较小(2.5~18ppb);页岩略与粉砂岩类似(变化范围0.66~57ppb,地区平均值1~57ppb),如果除去有机碳、硫化物造成的影响,其含金量可能比粉砂岩还稍低一些。总的说来,在细粒碎屑岩中金基本上以分散状态(波动在区域背景值上下)存在,而在粗粒碎屑岩中它可以发生富集,从而引起金含量较大的、跳跃式的变化。M.K.Horn和J.A.S.Adams(1966),还有R.S.Jones(1969)所绘的沉积岩中金的平均含量,都是较粗的碎

屑岩高于粘土质岩石。显然,粒度对金在碎屑沉积物中的分布有不容忽视的影响。

砂金来源

长期以来一直认为砂金的主要来源是原生金矿,或品位较低、较分散而不构成矿床的含金石英脉,这种认识存在两个重要疑点:

第一个疑点是不少人已经注意到了,就是在很多区域砂金矿规模远远超过原生矿,因而砂金的“矿量”与可能的“矿源”很不成比例。苏联乌拉尔及其以东地区主要产金区,我国黑龙江、金沙江、汉江流域等都是这样。西方国家这样的例子也很多,据R.W.Boyle(1979),砂金与原生金矿量之比,有的地区竟高达20甚至30以上。如果认为砂金来源于原生金,就必须假设这些地区的原生金已大部分被剥蚀掉,甚至剥蚀殆尽,这与所观察到的区域内原生矿的特征往往不相符;而且一个地区如果剥蚀到那种程度,它的地貌和水系发育当已进入对砂矿形成不利的比较衰老的阶段。

另一个疑点则是许多人尚未注意到的,就是原生矿床和含金岩石中金的粒度普遍细小,绝大部分属于选矿上所说的“漂浮金”,还有相当数量以“次显微”(submicroscopic)状态存在,甚至存在于载体矿物(黄铁矿、毒砂等)晶格之中。苏联各主要砂金产区的平均粒度大多在0.5~1.5mm之间,如果这些数值有普遍代表性的话,那么原生金矿和含金岩石中金粒的平均粒度就比砂金至少要小一个数量级,也许两个数量级。如此细小的金粒,就是载体矿物风化破碎把它们释出以后不再进一步破碎,也不可能在水流搬运过程中发生分选富集,从而形成砂矿;它们将分散在细粒沉积物,例如粉砂和粘土中,造成这些沉积物接近陆壳平均含量的金的背景丰度。原生金矿中当然也有粒度较粗的“明金”,但所占比例很小;如果砂金仅

由这一部分金粒形成,那么为了提供哪怕一个很小型的砂金的成矿金属,所需要的原生矿的剥蚀量也将大得令人难以想像。

综上所述,砂金“矿源物质”的最重要的特点,看来并不是金的丰度,而是金的存在形式,主要是自然金的粒度。下面我们讨论自然界中粗粒金的形成问题。

表生条件下形成粗粒金的可能性

在未经表生变化的石英脉中,确曾发现过粒度较粗的“明金”,甚至金的团块,但并不普遍。自然界中绝大部分粗粒金和块金(狗头金)都发现于砂矿或残坡积物中。这启示我们,自然界中的粗粒金可能主要是在表生条件下形成的。两个人们久已注意到的现象,可以作为粗粒金表生成因的进一步佐证。

首先是矿床表生带(氧化带与次生富集带)中金的粒度普遍比原生带大。以广西东部金矿带为例,原生矿石中金主要以“显微金”形式产出,而在氧化带、次生富集带中则多为粒度 $0.36\sim 0.74\text{mm}$ 的明金(骆靖中、欧科光,1984)。

第二个人们久已注意到的现象是砂矿中金粒的次生长大现象,具体表现为:①金粒表面常有色较高的层带,某些情况下它可能是由于金粒表层银等杂质被溶失而形成的,此时它呈多孔状。但Boyle(1979)指出,不少情况下它也可以是致密的,应该是表生淀积作用的产物,相当于一个“镀金”层;②砂矿中的金粒有时为晶体,且棱角清晰完好,而原生矿中不见类似现象,这使人想起砂岩中并不罕见的自生长大的石英晶体;③砂矿中的金粒有时具环带状、同心状显微构造;④粗粒金、特别是块金表面常见小的瘤状突起。

砂金和原生矿氧化带、次生富集带中粗粒金的另一值得特点,是常常含注意的有各

种硫化物,特别是黄铁矿、方铅矿和黄铜矿的包裹体。这些包裹体通常很细小(微米级),但偶尔也有大到 0.5mm 的,此时自然金就像是硫化物表面的“电镀层”。

次生长大的金粒和有硫化物包裹体的金粒,从成因来说实际上是相同的,可能都是电化学作用的产物;其形成方式,大概与地电化学法测金中自然金在碳极上“电镀”相仿。被“电镀层”包覆的金或硫化物就相当于碳极,它们能使金淀积的主要原因是具有良好的导电性。电化学淀积模式可以解释被包覆的硫化物为什么很少是闪锌矿,它常常和方铅矿共生且数量上多于后者,但导电性差,在自然电场中很难起“电极”的作用。

富含硫化物或碳质的岩石或矿体,在地下水氧化带与还原带界面附近常可形成自然电场。这些岩石或矿体如果同时也是含金的甚或富金的(这种情况并不罕见),在电场作用下金离子就将发生迁移,淀积在近地表的负极处。在砂矿中粗粒金形成或继续长大的可能性不应排除,但粗粒金形成的主要场所,看来应该是这种易于形成自然电场的含金岩石或矿体的风化壳。在地电化学取样测金中,通电时间似乎是比电流大小更为重要的因素(徐邦梁等,1984),电流过大时金的提取量并不呈线性增加。含良导体岩石风化时形成的自然电场,是一种强度虽有限但却持续时间比较久的电场,对金离子的迁移和淀积应该是有利的。美国黄石公园和新西兰陶波火山带的温泉与地热水沉积物含金可达 ppm 数量级,而岩石含金量很低(黄石公园 $0.1\sim 1.2\text{ppb}$,陶波地热田 1ppb 或更少),水溶液含金量也很低(黄石 $0.02\sim 0.1\text{ppb}$,其中 0.1ppb 的水样以含相当数量胶体氧化硅为特征,显然受到这些物质的影响;陶波 0.04ppb 或很少),显然,对于金的富集,岩石和水溶液中金的丰度并不是决定性的因素,一种有效的活化、迁移、富集机制才是最重要的。与此类似,对于风化壳中粗粒金

的形成,“矿源”可能也并不是最重要的;只要有利于发生电化学作用,就是含金量相当于一般背景丰度的岩石也有可能为砂金提供所需要的矿质来源。

表生条件下金的活动性

与粗粒金在风化壳中电化学成因有关的一个重要问题,是如何估计表生条件下金的地球化学活动性。长期以来在苏联和在西方国家,一般都引用А.И.Перельман(1955)的“水迁移系数”,把金看成是在各种表生环境中活动性都很弱的元素。然而,许多研究和实验资料表明,表生条件下金可以和 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 CN^- 、 CNS^- 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 等多种阴离子构成稳定络合物,如 AuCl_2^- 、 AuBr_2^- 、 $\text{Au}(\text{CNS})_2^-$ 、 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$,溶解在水里。地电化学法测金的实践,也证明金矿体周围确实存在含金离子晕。

尽管在不同地质和自然地理条件下金的活动性问题可能很复杂,需要进一步探讨,但为了从整体上而不是就每一具体环境评价金在表生条件下的活动性,我以为可以用一个简单得多的办法,就是比较金在大陆地壳与在陆地地表水(以下简称淡水)中的丰度,和比较金在整个地壳与在海水中的丰度;前者是在陆表各种复杂地球化学过程中金的水溶性的一个综合反映,后者则除反映大陆风化对水圈的影响以外,还反映了海洋中发生的各种地球化学过程(其中最重要的是洋壳增生处的海水—玄武岩反应)的影响。表1列出了某些常见成矿金属和稀有金属的陆壳丰度/淡水丰度比值,表2列出了它们的全地壳丰度/海水丰度比值。比值越小,说明在表生条件下的水溶性、活动性越强。计算这些比值时,元素的陆壳丰度和全地壳丰度据J.E.Mielke(1979)汇总的数据,淡水丰度和海水丰度则据H.D.Holland(1978)汇总的资料。

按照全地壳丰度/海水丰度比值,金应

金的陆壳丰度/淡水丰度比值 表 1

量级	元 素 (n 值)
$n \times 10^2$	Sb(1~1.8), Se(2.5), Ag(2.5~8.3), As(9~10), Mo(6.6~34)
$n \times 10^3$	Hg(1~2), Au(2), Pb(3.5~4.6), Zn(1.5~14), Li(7~18), Cu(6~43), Ba(9~27), Th(9.6), U(9~100), Ni(8~280)
$n \times 10^4$	W(4.2), P(5), Rb(6~8), Cr(1.8~10), Mn(4.7~13.5), Fe(8.4~19)
$n \times 10^5$	V(1.2), Co(1.3~2.5), La(2), Ti(6.6~19)
$n \times 10^6$	Ce(1.1)

金的全地壳丰度/海水丰度比值 表 2

量级	元 素 (n 值)
$n \times 10^2$	Li(1), Mo(1.2), Se(5.6), Sb(6), As(6), Rb(6.5), U(7), Au(8)
$n \times 10^3$	Hg(4.3)
$n \times 10^4$	Ag(1), P(1.9), Ba(2), Zn(2.5), Cr(4), V(5.4)
$n \times 10^5$	Ni(1.7), Cu(2.3), W(3), Pb(4.3), Co(5.8)
$n \times 10^6$	Th(5.4), Ti(6.3)
$n \times 10^7$	La(1), Fe(3), Mn(5.3), Ce(6.6)

属于易溶、从而活动性最大的元素之列,和Se、As、Sb、Rb、U相近,略小于Li和Mo,而大于Hg、Ag、Ba、V、Zn、Pb等。从陆壳丰度/淡水丰度比值来看,金的活动性与Hg、Pb、Zn相近,小于Sb、Se、Ag、As、Mo,但大于Cu、Ba、U、Ni、Co、Rb、V等。总的说来,金在地表条件下是比较易溶于水、活动性比较大的,化学迁移在金的表生地球化学中应该起相当重要的作用。这样的认识与被广泛引用的А.И.Перельман的认识有很大不同。也许,Перельман所说只适用于粗粒金,而决定表生条件下金的地球化学行为的,主要是在岩石和矿床中占绝大多数的粒度极其细微的金。

结 论

1. 对于砂矿的形成,碎屑粒度是一个

重要因素,而且可能是比矿物比重更重要的因素。在原生矿和含金岩石中,自然金绝大部分以细粒、微粒形式产出,它们如果不在表生变化过程中改造成较大颗粒,就不可能在水流搬运过程中分选富集,形成砂矿。

2. 砂金矿的形成看来分为两个阶段。第一阶段是原生矿或含金岩石风化时,在地下水氧化—还原界面附近,通过电化学作用形成粗金粒;第二阶段是这种含粗金粒的风化壳被剥蚀、搬运,在此过程中粗金粒分选、富集而成矿。

3. 如果用元素的陆壳丰度/淡水丰度比值和全地壳丰度/海水丰度比值来评估元素在表生条件下的活动性,金将不是一种惰性元素而是一种相当“活泼”的元素。也许这种评估方法适用于占地壳物质中金绝大部分份额的微粒金,而А.И.Перельман的方法适用于占一小部分份额的粗粒金;微粒金的活动性使它们得以在表生条件下发生化学迁移和淀积而形成粗粒金,后者的稳定性使它们得以在碎屑沉积物中富集。正是这两种性质的结合,造成了砂金矿。

4. 按照本文提出的砂金成因模式,砂矿规模与原生矿规模之间并无必然联系,甚至形成砂金不一定要以集水范围内存在原生金矿为前提。比原生金矿更值得注意的是富含硫化物或碳质的岩石,它们表生变化过程中在地下水氧化—还原界面附近常产生自然

电场,有利于金的化学迁移和淀积;不少情况下这些岩石同时又是含金较富的,因而有可能成为砂金较理想的矿质来源。

5. 如果本文提出的看法是正确的,那么在区域成矿研究的矿产预测中,人们大可不必为砂金与原生金规模的不相称困扰。运用到实际找矿工作中,一方面砂金并不总能用来说明原生金,另一方面在原生金不发育的地方未必就不能找到有价值的砂金矿。

参 考 文 献

- [1] 戴闻天,地质与勘探,1978,第7期.
- [2] 骆靖中等,地质与勘探,1984,第2期.
- [3] 徐邦梁等,地质与勘探,1984,第10期.
- [4] 王义文,地质与勘探,1985,第5期.
- [5] Boyle, R. W., The Geochemistry of gold and its deposits, 1979.
- [6] Holland, H. D., The Chemistry of the atmosphere and oceans, 1978.
- [7] Mielke, J. E., Composition of the Earth's crust and distribution of the elements, in «Review of reaserch on modern problems in Geochemistry», 1979.
- [8] Macdonald, E. H., Alluvial Mining—The geology, technology and economics of placers, 1983.
- [9] Tilling, R. I., et al., Econ. Geol., 1973, Vol. 68, 168—186.
- [10] Wedepohl, K. H., Handbook of Geochemistry, 1974. Vol. II, 79—Au.
- [11] Билибин, Ю. А., Основы геологии россыпей, 1955.
- [12] Замятин, О. В. и др., Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов, 1975.
- [13] Перельман, А. И., Очерки геохимии ландшафтов, 1975.

The Origin of Placer Gold: A Two-stage Genetic Model

Dai Wentian

Almost all gold grains occurred in gold veins or Au-rich rocks are too small to be concentrated in detrital sediments by running water sorting. In this paper the author suggests a two-stage genetic model for the origin of placer gold. At the first stage coarse gold grains were formed in the weathering zone, probably by an electrochemical process took place at the interface between the oxidizing-reducing waters. In general, in the vicinity of such environment a sulfide body, carbonaceous rock or other electron conductor (commonly being gold bearing or rich in itself) during weathering, will set up an oxidation-reduction potential gradient and cause a natural current flowing through the conductor, from its lower end to the top end by passing outside medium. This current plays an important role in migration, precipitation and accumulation of the gold. Coarse gold in large

quantity are thus supplied to form gold placers. At the second stage, the hypogene coarse gold would be sorted and concentrated during denudation and transportation to form placer deposits of gold in the same way like other heavy minerals.

The validity of the above suggested genetic model of placer gold is related to the mobility of gold under the supergenetic condition. For this reason, comparative analyses were made on gold abundance in continental crust to that in fresh water, and gold abundance in the whole earth crust to that in ocean water. The estimated values show that the gold in a hypogene environment has a larger mobility than some other elements (such as As, Mo, Hg, Pb, Zn, Cu, etc.). They are quite different from the values estimated by using Perelman's coefficient of aqueous migration. It is believed that the Perelman's results is suitable only to account for the origin of coarse gold. But the geochemical behaviour of gold under a hypogene condition is chiefly determined by an overwhelming majority of gold grains of very small size occurred in Au-bearing rocks or deposits.

苏联地质科技进步的基本方向

苏联地质部最近召开了科研、设计和生产单位领导人会议。会议讨论了科研的改革问题。苏联地质部部长 E.A. 柯兹洛夫在会上做了报告。报告引起了热烈的讨论。会议确定了地质学科技进步的主要方向:

(一) 在区域研究方面, 要提高大比例尺地质填图的质量; 加强区域深部构造研究; 在广泛应用地质、地球物理和地球化学测量, 宇航和航空地质研究, 以及超深钻探成果的基础上, 建立不同地球动力学环境的地区的典型模式。

(二) 在矿床普查方面, 要在合理综合运用地质、地球物理和地球化学方法, 以及先进技术手段的基础上, 提高工作效率; 进一步完善发现和评价矿床的直接方法; 地震勘探要全部过渡到数字记录, 扩大弹性波非爆炸源的推广范围; 广泛应用样品 (包括地球化学样品) 分析的核地球物理方法, 以便随时发现和评价远景地段; 应用电子计算机深化处理地质、地球物理和地球化学数据。

(三) 在矿床勘探方面, 要建立矿床模式, 并以此为基础优化勘探网度; 利用电子计算机拟定标准并计算矿产储量; 完善矿石质量评价方法及其选矿和加工工艺; 全面研究矿床开采的矿山地质条件。

(四) 在深部钻探方面, 要应用新型的涡轮钻机、碎岩工具和低固相冲洗液, 扩大先进钻进工艺的推广范围; 要推广加大钻井深度的工艺过程的自

动化系统。

(五) 在岩心钻探方面, 要扩大循环取心和连续取心、向高频回转钻杆上的碎岩工具施加冲击波的节能先进钻进工艺的应用范围; 推广与井中物探研究配套的无岩心钻进; 推广钻进过程的优化与自动化系统; 研制带有岩心容器的钻具、适用规格的气动与液动钻机, 以及无级调节传动的钻机。

(六) 在矿物原料研究方面, 要用效率更高的快速物理方法, 取代劳动强度大的化学分析方法; 在电子水准上开展矿物学研究; 将找矿矿物学、工艺矿物学和成因矿物学成果, 大力推广于找矿实践; 改进和研究少尾矿和无尾矿的矿物原料选矿新工艺流程。

报告指出, 矿山生产和矿床普查勘探的历史, 就是新矿床类型和新型矿物原料的发现并投入工业利用的历史。因此, 除了预测和寻找传统的金属矿床类型而外, 还要开发研究全新的矿床类型, 其代表性矿床, 在远景区的具体条件下, 是可以发现或在理论上是可能的, 其中包括: 斑岩型矿床, 不仅是铜和钼, 同时还有锡、钨、金和银等; 层控金、钨、铀和其他矿产; 与复杂分异的基性和超基性环状侵入体有关的铂族金属矿床, 以及由其生成的砂矿; 产于钨矿床和稀有金属矿床等风化壳中的矿体。

鲁宁摘译自: Разведка
и охрана недр, 1987, №9.