从“狗头金”的形成与砂金矿的再生谈金的表生溶液迁移问题

王义文

（吉林省有色地质勘探公司研究所）

过去一般认为，沉积工业金矿只有砂金，它的成因由与补给来源有关的“局部因素”决定，而且均系机械沉积作用的结果[1]。但是，不同类型沉积岩的溶液沉积含金性和水圈中广泛分布着溶解的或微粒（胶体或悬浮）状态的金，这两方面事实表明，在“区域性聚集因素”作用下（与元素的地球化学性质有关，取决于沉积过程的物理—化学条件），某些沉积物可以富含金[2]。除机械作用外，化学作用、生物作用和物理化学作用对金在沉积物中的聚集，都是不可忽视的因素。

“狗头金”的形成与砂金矿的再生

砂金矿中，与绝大多数金粒有明显区别的大颗粒金叫块金[3]，俗称“狗头金”。块金的发现，往往是采金史上的重大事件。因此，它的成因不仅为地质学家所重视，也为广大采金者所关注。

澳大利亚和苏联南乌拉尔是世界上发现块金最多的两个地区。1842年在南乌拉尔塔什古塔尔干河漂砾中曾获得俄国最大的“狗头金”，重36kg。1858年在澳大利亚维多利亚和新南威尔士州发现了世界上最大的两块“狗头金”，一块命名为“快乐的生客”，重69.67 kg，一块命名为“希望者”，重68.98 kg。1906年，在该区又发现一块命名为“海神”的块金，重29.64 kg[4]。1980年澳大利亚又发现重59 kg的块金。

据黎盛斯的资料*，湖南资水中下游是我国历史上块金的著名产地。公元1世纪在益阳发现重9斤8两（4.75kg）的块金，“状类灵芝祥云”。11世纪又冲出生金数百斤，其中一块重49斤（24.5kg）。近数十年，益阳、汉寿等地发现几两、几斤重的“狗头金”也常有所闻。近一两年，我国山东、安徽、湖南、陕西、青海、吉林和黑龙江等省都相继发现较大块的“狗头金”（表1）。

近年我国若干报刊上报道的有关“狗头金”消息　　表1

采集日期和采集者	采集地点	重　量	成色	资料来源
1982，9，22，岳书臣	黑龙江省呼玛县兴隆后沟小水道	3325g		1982，10，10，《长春日报》
1983，5，23，王伯禹	陕西省南郑县武学桥	810g	>900	1983，5，30，《河南日报》
1983，6，13，陈作良等	湖南省益阳市郊区	2160.8g	>920	1983，6，30，《人民日报》
1983，6，8，陈秋园	湖南省益阳市金花潮大海塘	共3斤多（1.5kg+），最大6.5两（203g）		1983，7，9，《吉林日报》
张宪魁等	青海省柴达木东北牙沙图地区	3561g	850	1983，7，13，《吉林日报》
1983，7，12，曹锦云	湖南省益阳市郊区	1511.49g		1983，7，16，《吉林日报》
1983，7，30，马云香	山东省栖霞县享口马家瑶	812.5g	850	1983，8，11，《吉林日报》

值得指出的是，已发现的“狗头金”绝大多数产于砂矿中，而且主要是冲积砂矿，只有极少数产于原生矿。澳大利亚新南威尔士山麓发现的“狗头金”皆产于近地表的次生富集带中。真正产于原生矿石中的大块“狗头金”尚未见报道。我国个别矿床（湖南黄金洞凤形窝坑道）发现过天然金箔；湖南资水中游车峙矿区发现过“锅巴金”，从40kg重的整块矿石中选出明金4.35kg。但这仅是石英脉中稠密浸染状的明金集合体，而非“狗头金”。

资料表明，“狗头金”并不象原来所认为的是由原生矿床经机械搬运至砂矿中的，而是在矿床氧化带和砂矿中“长大”的。

* 黎盛斯：湖南金矿地质概论，1978年。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

砂金矿采矿史中常见，一个砂矿床，特别是现代河谷砂矿，历史上曾多次开采，即“过采区”若干年后又可重新开采。古代采金技术落后，回收率低，固然是其中的主要原因，但却不是唯一的因素。费连茨曾提到[5]，巴西里约州东部，1912年一砂矿含金11.6g/m³，回收品位10.85g/m³；1926年金重新开采品位上升到4.66g/m³；明纳斯热拉日州，1908～1909年一砂金矿开采品位为8.5g/m³，1926年重采时品位为4.85g/m³。这两个矿床完全排除了机械搬运新碎屑金的可能性。此外，发现重新沉积在砂矿床中的金与原来的金有明显区别。

我国部分采金船在未采区和旧采区生产的入选金品位没有明显不同（表2）。

采金船在新旧采区生产的入选品位对比* 表2

采区	采金船入选品位（g/m³）							
	50升间断斗	50升连续斗	100升连续斗	150升连续斗	A**	B	C	D
旧采区	0.51	0.30	0.31	0.40	0.49	0.34	0.36	0.25
未采区	0.45	0.41	0.47	0.34	0.45	0.45	0.31	0.45

* 引自刘学思等：《试论东北北部地区砂金勘探中的若干问题》，1982。

** A、B、C、D为采金船代号。

由上可见，砂金矿的再生与地表条件下金在溶液中的搬运和沉淀有关。

地表条件下金呈溶液状态迁移的证据

1.砂金的粒度一般比原生金粗。据Ю·А·毕利宾的统计[3]，砂金的粒度一般为0.25～10mm，粒径1～4mm者最常见。原生金矿床中自然金的粒度一般<0.2mm。若砂金矿中的金粒皆由机械搬运而来，则其粒度应比原生金矿细。粒度的这种“反常”情况，说明在表生条件下金的颗粒可以长大。统计资料表明，金矿氧化带中的表生金比原生金粗大。如麦卡英矿田含金黄铁矿矿床，原生矿石中的金粒都是微细金和次显微金（<0.1mm），而氧化带中90%的金为明金（>0.5mm），最大者为2.4×4mm[6]。我国江西金坪一带更新统红土中见有明金和块金，而原岩中的金皆为显微金和次显微金。

2.砂金的形状并非都呈浑圆状、树枝状、掌状、片状、棒状和钩状，也常出现纤维状和丝状。新西兰曾发现在地表或离地表不深处有大量细丝状金产出。这种细金丝无法用机械搬运的磨圆和压扁来解释。

3.在砂金颗粒的表面，经常可以见到次生凸起。伊利安的两个砂金样品中曾见到同心圆状构造和结核构造，显示胶体溶液沉积的特点。北乌拉尔的中生代砂矿中，曾发现在滚圆的铂粒上有薄的金壳，并见有铬铁矿和磁铁矿颗粒被金粒胶结的现象。

4.金矿床的废石堆中经常见有由地下水再沉淀而成的金。谢维拉盆地的一个名为“波波夫小丘”的堆积砂矿中，见有未经磨蚀的自然金晶体。这种规则的晶体，显然是在地表条件下结晶形成的。

5.在许多砂矿中曾找到过被黄铁矿和微粒金浸染的炭化树干。生长在含金砾石层和金矿废石堆上的树木往往都含金（灰烬中含Au10g/t）。旧废金矿坑的坑木亦常含金。象牙海岸的露采矿场曾发现脉金被矿坑水迁移并再沉淀的现象。

6.砂金的成色一般比山金高。苏联别列佐夫矿床山金的成色为860，砂金为970。美国加利福尼亚普鲁马斯郡的山金成色为622～883，砂金成色为800～950。

7.砂金的外表常包有一层极薄的高成色金膜。这种金膜具有多孔状和海绵状构造，其厚度与成矿时代有关，时代愈老，金膜愈厚。此外，还发现从金粒外皮向内部有呈分枝状伸入的高成色微细金脉[1]。

8.前已述及，南美的砂金矿中存在着两种不同的金。一种为一般的冲积金，另一种金粒带有黄褐或淡绿色色调，表面呈瘤状，难熔于酸并汞齐化。费连茨认为，后者是从砂矿循环水中沉淀出来的。他认为，只要具备湿热的气候条件和丰富的有机物，金呈溶液迁移是勿庸置疑的[7]。

9.氧化带的褐铁矿中有表生金存在，这是Д·С·克列依特尔研究哈萨克斯坦许多含金石英脉后得出的结论[6]。这种表生金呈极薄的膜贴在褐铁矿的圆洞中；这些圆洞中曾多次见到“绒毛状”和“烟灰状”金。А·Л·别列里亚耶夫在乌拉尔的一个金矿床中曾发现表生自然铜颗粒周围有海绵状金堆积。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

W. 林格仑曾谈及含金黄铁矿矿床氧化带下部有表生金沉积，如美国科罗拉多州的开木普标尔德矿床和澳大利亚昆士兰州的蒙特摩根矿床。西班牙里奥廷托黄铁矿矿床淋滤亚带铁矿石下面有一个“灰土层”，其中含Au40g/t，含Ag1.25kg/t。显然这些金是由上部层位迁移来的。Д·С·克列依特尔曾指出[6]，淋滤亚带是乌拉尔黄铁矿矿床上最有意义的对象。在绝大多数情况下，甚至在所有存在这一亚带的地方，矿石中金的含量要比原生矿石富好几倍甚至几十倍。氧化带中金与主要表生矿物（褐铁矿、黄钾铁矾、卤化银、自然硫、重晶石等）的共生关系，是确定表生金的直接而可靠的准则。

10．某些大的砂金矿区经多年反复工作，并未发现原生金矿；而某些强烈黄铁矿化（微含金）的岩石出露区，却可以形成大型砂金矿。这两方面的事实表明，砂金的来源不一定是原生金矿，也可能是某种含金岩石。而岩石的含金性比原生金矿要差得多，金粒也很小。因此，要形成一个大砂金矿必须经过大自然“选厂”的选矿和金颗粒由小长大的过程。在这一过程中，金的溶液迁移显然起着重要作用。

11．黑色页岩中金的丰度较高。德国曼斯菲尔德含铜页岩中金和银可作伴生组分开采。许多金矿区黄铁矿化的暗色千枚岩被认为是黑色页岩的变质产物。不少作者认为，它们可能是第四纪砂金的来源地。

12．黑色页岩的含金性可能有同生和后生之争。苏联北高加索渐新世黄铁矿化粘土无疑含有表生金。在这些样品中，金在氢氧化铁里形成近于显微状的析出物，在胶状黄铁矿颗粒上形成薄膜或很细的发晶[1]。美国犹他州粘土中含金0.06g/t。

13．加利福尼亚州白垩纪的沉积物内，金和辰砂共同置换了*Aucella*介壳。南乌拉尔索纳尔河畔金矿置换了海百合茎。

14．根据O·E·兹维亚金策的资料，金在水圈的平均含量为1×10^{-9}%[2]。但海洋中矿化部分平均含金可达5mg/m³，有的高达20mg/m³。例如，澳大利亚新威尔士沿海一带海水的含金量高达250mg/m³。上述地区海水中的金可能部分以胶体或悬浮状态存在。含金地区的河流中，金的含量亦较高，黑龙江每昼夜有24kg溶解状态的金被搬入海洋。耶纳希莫河河水中含金量高达18mg/m³，每昼夜要运走1kg金[1]。

地表条件下金呈溶液状态迁移的可能方式

1.Au能与尚未共用电子对的配位体形成多样的络合物。在Au—Cl—S—Na—H_2O系统中（表3），它可以形成$AuCl_2^-$，$Au(OH)_2^-$，$HAuSO_4^0$，$HAu(SO_4)_2^0$，$AuCl_2(OH)_2^-$，

25℃时Au—Cl—S—Na—H_2O系统水溶物质生成的自由能　　表3

化学式	ΔG_f^0，298千卡/摩尔	化学式	ΔG_f^0，298千卡/摩尔
Au^+_{p-p}	42.7	Au^{3+}_{p-p}	103.6
Au^0_{p-p}	12.8	$Au(SO_3)_2^{3-}{}_{p-p}$	-230.0
$AuCl^0_{p-p}$	1.2	$AuCl^{2+}_{p-p}$	57.2
$AuCl^-_{2p-p}$	-36.1	$AuCl_2^+{}_{p-p}$	16.9
$AuOH^0_{p-p}$	-14.8	$AuCl_3^0{}_{p-p}$	-19.9
$Au(OH)_{2p-p}$	-66.0	$AuCl_4^-{}_{p-p}$	-55.6
$Au(OH)Cl^-_{p-p}$	-52.4	$Au(OH)^{2+}{}_{p-p}$	44.2
$Au(HS)_2^-{}_{p-p}$	7.9	$Au(OH)_2^+{}_{p-p}$	-15.2
$AuHS^0_{p-p}$	14.7	$Au(OH)_3^0{}_{p-p}$	-75.9
$Au_2(HS)_2S^{2-}{}_{p-p}$	26.0	$Au(OH)_4^-{}_{p-p}$	-116.5
$HAu(SO_4)_2^{0*}{}_{p-p}$	-253.9	$Au(OH)_3^{2-}{}_{p-p}$	-155.0
$Au(S_2O_3)_2^{3-}{}_{p-p}$	-242.2	$AuCl(OH)_3^-{}_{p-p}$	-103.1
$AuS_2O_3^-{}_{p-p}$	-100.0	$AuCl_2(OH)_2^-{}_{p-p}$	-88.7
$AuSO_3^-{}_{p-p}$	-94.0	$AuCl_3(OH)^-{}_{p-p}$	-73.1

* 据H·H·Баранова и др.，1981。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$AuSO_3^-$，$AuS_2O_3^-$，$AuCl_3^0$，$AuCl_4^-$，$Au(OH)_4^-$和$AuCl_2(OH)_2^-$等多种形式的络合物。

根据热力学数据计算的不同形式金的稳定性图解（图1）可知，在酸性条件下，金主要以金氯络合物形式存在于溶液中；而在碱性条件下，金的氢氧络合物比较稳定[8]。

此外，金离子具有很强的极化能力，自身有明显的变形性，故极易形成水合离子，从而增加了金在水溶液中的溶解度。

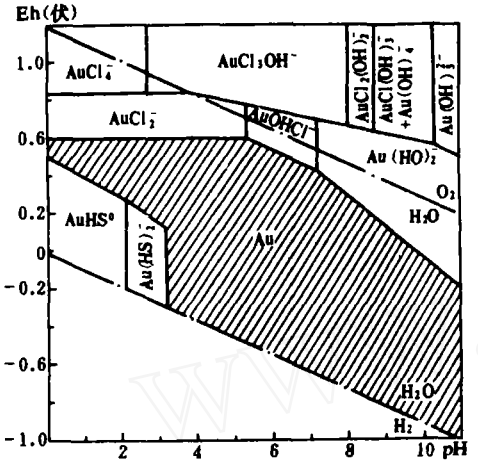

图1 不同形式金的稳定性Eh—pH图解

（据H. H. Баранова и др.，1981）

$\Sigma C_{Cl}=1$；$\Sigma C_S=10^{-1}$；$\Sigma C_{Au}=10^{-5}$克离子/千克水；温度=25℃；$P_{总}=1$个大气压

由此可见，在氧逸度较高，并富含Cl^-，Br^-，I^-，HS^-，SO_3^{2-}，$H_2S_3^{2-}$ SO_4^{2-}的水体中，即使在常温条件下，金以易溶络合物溶液状态迁移，在理论上也完全是可能的。

金在$FeCl_3$溶液和$Fe_2(SO_4)_3$溶液中的溶解度实验[9]，和含金黄铁矿矿床氧化带中金、银次生富集带的研究（图2）表明，在地表条件下，金、特别是次显微状态的金，是以氯化物和硫酸盐（硫代硫酸盐）络合物的形式进行迁移的。在金矿床氧化带中，经常见到表生金与卤化银（角银矿、碘银矿、氯碘银矿 氯溴银矿和溴化角银矿等）、黄钾铁矾、表生重晶石等共生，可为佐证。当有MnO_2等强氧化剂时，更有利于金卤化物络离子的形成。这一点艾孟斯和林格仑曾多次强调过。

内生矿床包裹体溶液和模拟溶液中金含量的测定表明，在接近天然溶液的热液系统中，金的含量可达ppm级。由此推测，在表生溶液系统中，金的浓度也相当可观。

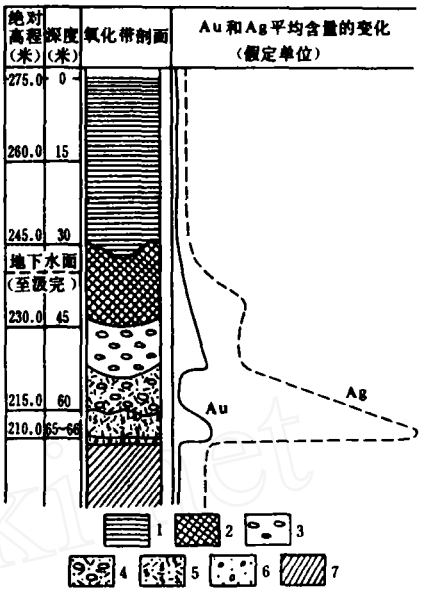

图2 麦卡英矿田氧化带中金银的分布

（据B. M. 克列依特尔）

1—粘土；2—褐铁矿；3—黄钾铁矾；4—含黄钾铁矾的石英重晶石颗粒体；5—含硫石英—重晶石颗粒体；6—黄铁矿颗粒体；7—黄铁矿矿石

2.由于原生金矿石或含金岩石中金的高度分散性，当含有极细小胶体金（<0.1μ）的硫化物溶解时，这种细小的胶体金粒有可能直接转入相应溶液中。金在胶体构造和褐铁矿中呈薄膜状存在，和在氧化带中经常可以见到团粒状金的事实，即可作为金以胶体溶液搬运的证据。

3.M. H. 阿尔波夫曾证明，1～2至100μ的金粒，能长时间呈悬浮状态存在于水体中。因此，对金的这种介于机械搬运与胶体搬运之间的搬运形式也不能忽视。实际上，澳大利亚某些海域的海水中金的丰度较高，就与悬浮状态的金有密切关系。

4.1900年，伦格维茨首次发现，与腐烂植物相混的金会溶解。金的细菌浸出选矿法就是利用某些腐植酸和细菌对金的溶解作用，目前国外正在进行深入的试验研究工作[7]。据估计，在湿热气候条件下，金的表生生物迁移作用将大大增强。

金络合物的稳定性与氧化还原条件有密切关

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系。亚铁离子、低价锰、硫化氢、二氧化硫、碳和有机化合物，皆可使金的络离子很快还原而沉淀下来。在地表条件下，由于氧化还原条件的多变性，金的溶解和沉淀将频繁交替地出现。以Au^{195}为示踪剂进行的实验表明，有机碳、氢氧化铁、硫化物（特别是黄铁矿）、层状硅酸盐等对金都有明显的吸附作用。砂矿床中上述还原剂聚集的地段，往往是富金地段。

研究金的表生溶液迁移作用之意义

在表生条件下，金以溶液状态迁移和沉淀的过程，是金的表生地球化学循环的重要组成部分。研究这一课题不仅有重要的理论意义，而且对找矿工作也有一定的价值。

1.目前流行的关于金在表生条件下只能以机械搬运方式迁移的理论，是建立在传统的砂矿采矿经验基础上的。这一理论忽视了表生条件下金可以呈溶液迁移的可能性，因而不能正确地解释诸如沉积岩之溶液沉积含金性、氧化带中金的次生富集、金的层控特征等一系列重要问题。因此，研究金的表生溶液迁移作用，有助于对砂矿形成机制的理解，有助于对原生金矿、特别是金的沉积矿源层形成机制的理解。

2.机械搬运作用在砂矿形成过程中无疑具有重要意义，但是，单纯的机械搬运作用不一定能形成大型砂金矿床。正如Ю.П.伊文森所指出的："具有工业价值的砂金矿是那些在大陆长期深度风化过程中预先受到氧化和次生富集作用的金矿床破坏而成的。"南非维特瓦特斯兰德变质金铀砾岩矿床和苏联勒拿含金区某些大型砂金矿的成因，都说明了这一点[10]。通过表生溶液迁移和沉淀而形成较粗粒金是砂矿床形成的重要前提条件。

3.某些大砂金矿可借助于含金岩石和含金黄铁矿层的表生富集作用（包括表生条件下金粒的长大作用）而形成。在这样一些地区，不能简单地运用由砂矿寻找原生矿的传统模式，而需深入进行调查研究。当然，原生金矿发育的地区、一般都有较丰富的砂金矿床。

4.表生条件下金呈溶液迁移和沉淀的特性，对正确理解砂金矿的形成机理和富集规律具有重要意义。在一定条件下，砂金矿具有再生能力。因此，应注意对"过采区"的评价。

5.研究金的表生地球化学特性，对更有效地利用地球化学方法，特别是水化学方法，寻找原生金矿床也具有重要意义。水系的金异常不仅可以指示原生金异常区，而且可以作为寻找砂金矿的直接标志。

本文是在长春地质学院胡伦积教授指导下完成的，我所朱奉三、蒋图治两位副所长审阅了全文，在此一并致谢。

参 考 文 献

[1] Ивенсен, Ю.П.: Сб. Геохимия, Петрография и минералогия осадочных образований. АН СССР, 1963

[2] Легедза, В.Я.: Сб. Генетические особенности и общие закономерности развития золотой минерализации Дальнего Востока. М.: Наука, 1966, С.55～65

[3] 毕利宾，Ю.А.：《砂矿地质学原理》，北京，科学出版社，1964年，第388～420页

[4] 别捷赫琴，А.Г.：《矿物学教程（上册）》，北京，地质出版社，1959年，第142～152页

[5] 斯米尔诺夫，С.С.：《硫化矿床氧化带》，北京，地质出版社，1956年

[6] 克列依特尔，В.М.等：《论金—硫化物矿床氧化带中金的性状》，北京，中国工业出版社，1962年

[7] 吉林冶金研究所等：《金的选矿》，北京，冶金工业出版社，1978年

[8] Баранова, Н.Н. и др.: Геохимия, 1981, № 7, с. 989～1002

[9] Миллер, А.Д. и др.: Геохимия, 1974, № 3

[10] Pretorius, D.A.: 维特瓦特斯兰德金铀矿床的特征，《层控矿床和层状矿床》，第七卷，北京，地质出版社，1981年，第21～63页

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net