

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

团结沟斑岩金矿床自然金的 成因矿物学研究

吴尚全

(吉林省冶金地质勘探公司研究所)

团结沟斑岩金矿床的地质特征,已有文章论述^[1],本文仅就该区自然金成因矿物学的研究成果介绍如下。

一、自然金的矿物标型

根据自然金的颗粒大小及在矿物中的赋存状态,将该区自然金大致分为三类。

第一类金为矿石及脉石矿物中的次显微金,据透射电镜研究,次显微金一般是0.2—0.05微米,呈圆球状、链状赋存在硫化矿物之中,其分布方式与寄主矿物的结晶形态有很大关系,在结核状或同心圆状的白铁矿之中,次显微金沿其边缘呈同心环状分布,少部分在晶体间隙内。部分次显微金呈立方体{100}及八面体{111}的聚形晶产出。

第二类金为较晚期沉淀的可见金,它是由次显微金在温度降低时发生归并形成,这种归并现象遵循着晶体表面自由能降低的法则,并朝着低压、低化学势的方向进行。当金粒归并到某一确定温度的最大值后停止^[2]。该类金与细粒五角十二面体黄铁矿、莓球状白铁矿及黄铁绢云岩中的微细玉髓状石英脉伴生,并构成区内最重要工业矿化。

第三类金为黄铁绢云岩化围岩中之微小石英晶洞内的柱状自然金晶簇,它是在构造环境相对稳定,含金胶体溶液长期积累结晶所致,金粒大小为2—3毫米,自然金晶形完整,为八面体或八面体与四面体的聚形,但以八面体为主,该类型金在矿区内所见不多。

二、自然金的超微细结构

该部分研究的对象是指第二和第三类型可见金,次显微金不包括在内。该区自然金粒的超微细结构是用带能谱仪的电子显微镜方法完成的,主要有:

1. 团粒结构

由许多极小的自然金单体无规则堆积在一起而形成的(照片2)。金单体呈稍微拉长的椭圆状,长0.1微米,宽0.05微米,它可能是棱角很不清楚的八面体,即金的雏晶。

金粒愈小,团粒结构表现得越清楚,而在较大的金粒之中,由于金不断再生长,这种结构往往被掩盖了。在团粒金的四周,常能发现类似蚕蛹状的单体金,它与团粒金的成因相同,只是未曾聚集而已。

金的团粒结构是含金胶体溶液,因成矿环境发生变化,金胶体负电荷得到中和而发生沉淀,当其聚集在一起时形成的。

2. 显微树枝结构

树枝金(照片3)由两部分组成,即树干和分支,两者呈90°相交,两树干之间的距离为0.5

微米, 且成等间距分布。树干上的分枝长0.25微米, 宽0.1微米左右, 其排列类似文象结构。

树枝金是在成矿作用晚期, 热水溶液中金浓度很低, 在接近地表的条件下, 定向生长的结果。它是自然金的一种初等晶体形态, 在早期形成的金晶体上, (111)面是最容易产出晶体缺陷的地方, 依附于这一积极生长中心, 在溶质供应不均匀的情况下顶形生长而成为树枝金。

现有资料认为, 在地壳深部形成的金矿床中, 缺乏显微树枝生长结构。因此, 树枝金是近地表条件下金析出体的标型特征。

由于树枝金的表面能远未达到最小, 它处于一种不平衡状态, 因此必然朝着片状金演化。

3. 显微片状结构及生长阶梯

片状结构金在该区分布十分普遍, 它呈叶片状或团扇状产出, 长宽比为2:1到1:1, 长5—10微米不等。H. B. Петровская^[3]认为, 片状金是沿(111)强烈压扁了的金晶体或是沿此晶面平行连生的晶体(照片4)。

沿片状金的长轴方向上, 总是见有相互平行一致的沟槽和突起, 两者相间出现, 宽0.2—0.5微米, H. B. Петровская^[3]将其称之为生长阶梯, 其形成机制在于, 自然金生长过程中由于受外力作用, 沿(111)面滑移产生堆积层错所造成的。该类结构亦可作为浅部生成自然金的标志。

片状金的进一步发育, 是沿着[111]晶向的不断外延生长, 形成具有层状结构的金。

4. 显微瘤状结构

该类结构一般见于风化壳或含金硫化矿床的氧化带之中。

瘤状结构金在团结沟矿区仅在个别地方见到(照片5), 单个瘤大小为1—2微米, 并且相互连成一片。瘤状结构金是自然金溶解再沉淀的结果。据B. M. 克列依捷尔(Крейтер)^[4]的意见, 在含金硫化物矿床的氧化带范围内, 自然金可溶解于 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ 之中, 团结沟的地质情况对于产生金的局部溶解是完全可能的。

5. 显微金粒结构

1) 雏晶: 在含团粒状金的石英中, 所见到的单个金晶体。

2) 骸晶: 即树枝金。

3) 立方体晶: 粒度5—10微米, 但很少见。

4) 八面体或八面体与立方体的聚形晶, 见于石英晶洞内的第三类型金(照片6)。

团结沟矿区自然金的结构形态包括了在不同地质环境及物理化学条件下金粒生长发育的全部过程, 即雏晶、树枝金、片状金、层状金一直到完整的金晶体, 因此金的成矿作用是一个十分长期的地质过程, 并一直进行到现在。

该区自然金的超显微结构较为复杂, 树枝金、片状金的大量出现以及晶洞构造的存在, 说明自然金具有近地表成因的特征。瘤状结构的出现说明外生风化作用对金的形成亦发生了一定的影响。

三、自然金的化学成分标型

一般地说, 愈是近地表成因和成矿时代愈新的矿床, 自然金的成色愈低。但团结沟矿床却具有自己的特点。据电子探针分析, 金的成色一般高于900, 对自然金所作的化学分析是金93.71%, 银5.1%。这是团结沟斑岩金矿床与一般的火山岩金矿床的重要区别之一。

除此以外还对自然金中其它杂质元素, 用原子吸收光谱作了定量分析, 其结果是: 铜0.0023%, 铅0.0065%, 锌0.075%, 铈0.0006%, 汞0.56%, 砷0.0015%。

用火花质谱法对团结沟山金及葡萄沟砂金进行了半定量分析，其结果如下：

表 1 自然金火花源质谱分析结果(ppm)

矿 物 \ 元 素	P	S	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
团结沟山金	2	100	40	4	5	4	2000	0.4	2	70	400
葡萄沟砂金	8	3	200	1	2	10	600	0.4	2	70	1

矿 物 \ 元 素	Ga	As	Mo	Pd	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb	Bi	Hg
团结沟山金	1	20	—	—	<0.9	3	20	10	600	<0.5	大量
葡萄沟砂金	0.3	0.2	<0.1	<0.1	<0.09	3	5	10	30	20	同上

注：结果为半定量值，由中国科学院长春应用化学研究所 王子树 李玉廷分析。

一般认为能够进入自然金晶格成分的元素有银、铜、铁、镍、汞、砷、锑、铋、碲、钨和铂，当其中某种元素含量很高时，就会成为一种矿物变种，如铜金矿、钯金矿等。除此以外其它元素在自然金中仅作为机械杂质或细小包体出现。

据H. B. 彼得罗夫斯卡娅的数据判断，团结沟矿区可见金含锌、铅较高，含铋及铂族元素较低，含有锡、锰，主要显示了浅成金矿床的标型特征^[5]。锑含量较低和含有大量汞又兼具中深成金矿床的某些特点。

四、与自然金化学成分相关的物理标型

与自然金化学成分有关的一般物理标型参数也进行了测定：比重为18.41；爆裂温度为170℃ 225℃，410℃，晶胞棱长为4.078 Å ± 0.006。

Karmazin (1969) 用高纯度的金和银配制了不同成分的金银合金，并测定了它们的晶胞参数，发现在合金系列的两个端元组分中，晶胞参数值最大，而居中间组分的合金却最小，并由此归纳出金晶胞参数的计算公式^[6]：

$$y=4.08617x+4.07842(1-x)-0.0213x(1-x)\text{ \AA}$$

y-晶胞棱长

x-银的原子浓度

该区自然金中银的原子浓度按8.9866%计算，代入上式得y=4.07738 Å，与由衍射仪测定的数值基本接近，这又从另一角度证实，该区的可见自然金确实为高成色金。

用西德莱兹 X 光衍射仪测定团结沟山金的晶胞参数值见表 2。

表 2 自然金X衍射测试数据

hkl	2θ _i	修正Δθ	2θ	a	$\overline{a}$
200	44.300°	+ 0.084°	44.384°	4.07850 Å	4.0779 Å ± 0.0006
311	77.490°	+ 0.102°	77.502°	4.0773 Å	
331	110.795°	+ 0.044°	110.839°	4.0779 Å	

注：实验条件为Cu、Ni Kα，电压40KV，工作电流20mA，加硅内标。由吉林省地质科学研究所赵良超测定。

用MPV-1型显微光度计（附自动显微仪）对该区自然金的反射率和硬度进行了研究，自然金反射率平均值（4次测定）为480nm39.07%，546nm71.3%，590nm80.0%，656nm87.2%。自然金的显微硬度值从45—85公斤/毫米²变化，平均值75公斤/毫米²，众值约为75—85公斤/毫米²。以上结果表明，该区可见金为高成色金。

五、自然金包体成分的研究

除了对团结沟山金和葡萄沟的砂金样品进行包体成分分析以外，还对该区石英-硫化物成矿阶段，以及碳酸盐-硫化物成矿阶段的代表样品：玉髓状石英、方解石、铁白云石作了研究，结果见表3。

表 3 自然金等矿物包体成分分析表

组 分		分析号	81-5-15	81-4-18	81-4-17	81-5-17	81-5-15
		矿 物 含 量	自然金（山金）	玉髓状石英	方解石	铁白云石	自然金（砂金）
			%	%	%	%	%
阳离子组	K		7.3	16.6	19.5	2.95	8.4
	Na		26.1	45.2	14.2	8.0	22.4
	Ca		42.0	33.3	62.3	87.7	40.8
	Mg		24.6	4.9	4.0	1.35	28.4
阴离子组	Cl		45.1	—	20.4	22.5	40.6
	SO ₄		53.2	—	79.5	74.7	58.0
	F		1.7	—	0.1	2.8	1.4
H ₂ O(mg)			9.2	76.7	2.9	21.0	8.0
CO ₂ (10 ³ ppm)			27.5	痕	341.4	大量	5.5
Na/K + Na (%)			78	73	42	73	73
δD(‰) (SMOW)			-84.7	—	—	-94.1	-97.5
爆裂温度℃			170° 225° 410°	290°	190°	250°	310°

注：由中国科学院地球化学研究所 李本超、施继锡测试

由表3所列结果可以看出：

- 1. 阳离子组中，钾、钠含量最为重要，在自然金中钾、钠含量的和约占1/3左右，且山金和砂金的情况大致相似。在玉髓状石英中钾、钠含量的和占了62%，这可能是钾、钠难于进入石英晶格中而残留在气液包体内的缘故，但在成矿晚期的方解石中，钾、钠含量之和则有降低的趋势。
 - 2. 据B. Γ. 莫伊辛科^[2]对苏联远东地区火山岩金矿床中石英、自然金包体成分的研究认为：在成矿阶段的包体溶液中一般是钠高于钾，团结沟矿区的包体成分有与此类似的情况，这点与近矿围岩的钾质蚀变有关系。自然金与黄铁绢云岩化伴生以及玉髓状石英中有较多的冰长石沉淀，这导致了溶液中钾含量的降低。但在成矿晚期的方解石中，钾超出了钠。
 - 3. 阴离子组中Cl⁻和SO₄²⁻有重要意义，在自然金包体中氯的含量颇高，为45.1%，但到晚期成矿阶段，氯的含量大大降低，而SO₄²⁻起了较大的作用
- 由于金的氯络合物在钠溶液中比在钾溶液中溶解度高而又稳定得多，故在团结沟矿区的主要

成矿期中,金可能是在富钾、钠、氯、 CO_2 的成矿溶液中以氯钠络合物形式运移的。

4. 自然金包体中 CO_2 的含量较高,而成矿后期的铁白云石、方解石中含量更高,这与矿床的近地表成因有关系。

5. 山金与砂金气液包体中各种离子浓度的比值十分接近,说明两者之间可能存在着同源关系。

6. 山金气液包体的 δD (‰) 为 -84.7 ,说明不是典型岩浆热液,而有一些大气降水混和,而成矿后期碳酸盐的 δD 为 -94.1 ,砂金 -97.5 ,表明天水成分有了较多的增加。

六、自然金及矿床成因

团结沟矿区自然金的矿物标型以具有两重性为最大特征。

通过对自然金粒表面超微细结构的研究,以及包体成分分析和成矿温度的确定,可以认为该区自然金是在超浅成条件下,于中低温度岩浆热液过程中形成的。

但另一方面,自然金的成色和微量元素含量,以及由化学成分所决定的一系列物理标型特征,又说明该区自然金具有中深成成因的特征。

考虑到该区方铅矿的铅同位素年龄是18亿年,而斑岩体年龄为100, 102, 112.6 百万年这一重要事实,可以认为该金矿床是由元古界古老含金层,在地壳深部经变质、重熔,随着中生代的构造运动和火山活动,被重新带到地表成为含金矿化的斑岩体。

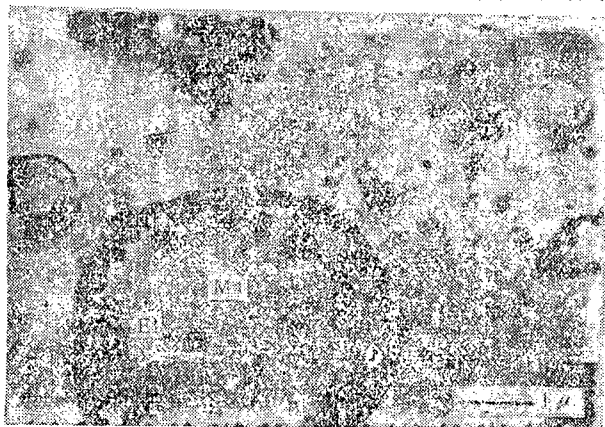
自然金所具有的中深成成因的标型特征,是继承了古老含金矿源层的结果,而自然金所具有的浅成成因标型特征,则是在以后的变质重熔过程中,受到改造的结果。

通过对自然金标型特征的研究,说明团结沟金矿是一个再造重熔中一低温岩浆热液的斑岩型金矿床。

本文完成后,承蒙徐国风副教授提出宝贵意见,特此致谢。

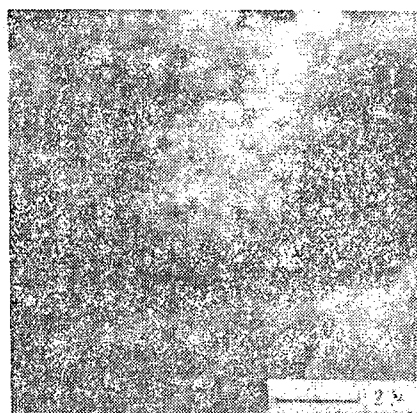
参 考 文 献

- [1] 李之彬, 1980, 团结沟金矿床的形成条件及成因类型. 中国地质科学院院报沈阳分刊, 第1卷, 第1号
- [2] Молсеевко, В. Г., 1977, Геохимия и Минералогия золота рудных районов Дальнего востока. Изд. Наука.
- [3] Петровская, Н. В., Фролова, К. Е., 1969, Опыт сравнительного исследования морфологии тонкодисперсного золота и микрорельефа поверхностных золотых выделений (По данным электронной микроскопии). Типоморфизм минералов. Изд. Наука.
- [4] 克列依捷尔, В. М. 等, 1958, 论金-碲化物矿床氧化带中金性状的. 吕文彦译, 中国工业出版社.
- [5] Петровская, Н. В., Лосева, Т. И., 1975, Рентгеноспектральное исследование распределения серы в эндогенных выделениях самородного золота. Изоморфизм в минералах. Наука.
- [6] Молсеевко, В. Г., 1977, Геохимия и минералогия золота рудных районов. Дальнего востока. Наука-Изд. Стр. 189.



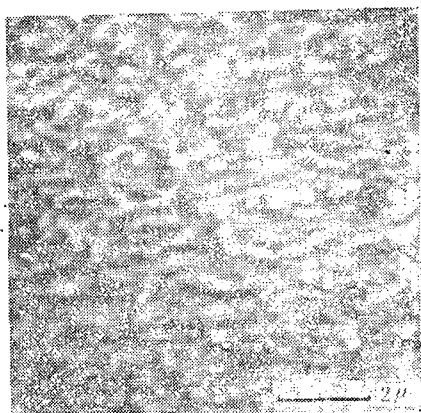
1. 次显微金呈小的圆球状、链状被包裹于白铁矿中，
或沿环带边缘分布

透射电镜，放大10000倍，团结沟80211，白铁矿，单
矿物含金16.8g/T



2. 位于玉髓状石英脉微小裂隙内的
团粒状自然金

电镜照像，放大5300倍



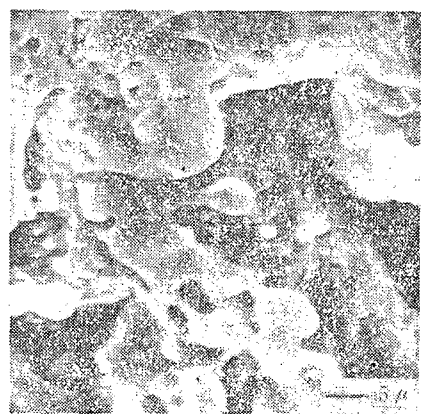
3. 自然金的显微树枝状结构

光片经HCl+HNO₃(1:1)浸蚀五分钟，电镜
照像，放大6100倍



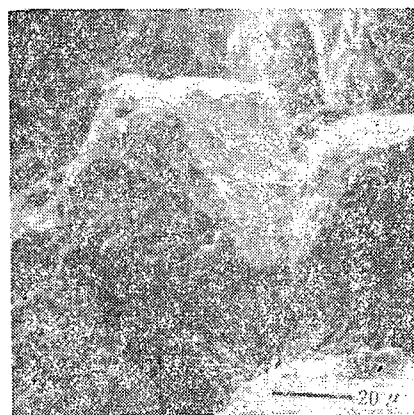
4. 片状自然金及生长阶梯

电镜照像，放大4000倍



5. 自然金的瘤状结构

电镜照像，放大1100倍



6. 自然金的八面体晶粒结构

电镜照像，放大530倍

A STUDY OF GENETIC MINERALOGY OF NATIVE GOLD IN THE TUANJIEGOU PORPHYRY GOLD DEPOSITS

Wu Shangquan

(Research Institute, Jilin Provincial Metallurgical and Geological Exploration Cooperation)

Abstract

Native gold in the Tuanjiegon mining district may be classified into three types: submicroscopic gold, visible gold and drusy gold; studies have been made mainly on the second type of gold. This paper discusses the following problems:

(1) the submicroscopic textures of gold, (2) the chemical composition and trace-element composition, (3) the general typomorphic physical peculiarities related to the chemical composition, and (4) the composition of the inclusions in the native gold. The author concludes that the native gold has both epithermal and mesothermal characteristics. Therefore this kind of gold deposit belongs to moderate-and low-temperature, paligenetic magmatic, hadrothermal porphyry-type gold deposits.