新疆伊宁金山金矿床金的赋存状态

朱炳玉[1, 2, 3, 4], 刘家军[5], 朱亿广[5], 夏 斌[1], 马华东[1, 2, 3, 4], Steven Allutt[4]
ZHU Bing-yu[1, 2, 3, 4], LIU Jia-jun[5], ZHU Yi-guang[5],
XIA Bin[1], MA Hua-dong[1, 2, 3, 4], Steven Allutt[4]

1. 中国科学院广州地球化学研究所与南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 新疆维吾尔自治区国家 305 项目办公室, 新疆 乌鲁木齐 830000;
4. 新疆金川矿业有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000; 5. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083
1. *Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry and South China Sea Research Institute, Chinese Academy of Science, Guangzhou* 510640, *Guangdong, China;*
2. *Institute of Graduate Students of Chinese Academy of Science, Beijing* 100049, *China;*
3. *National* 305 *Project Office, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China;*
4. *Xinjiang Gold Mountain Mining Company, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China;*
5. *School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*

摘要: 新疆伊宁金山大型金矿床为一典型的浅成低温热液型金矿床。利用显微镜观察、电子探针扫描、物相分析、化学分析等综合分析技术对金矿石中金的赋存状态进行了研究。结果表明, 金主要以独立矿物相存在, 金的载体矿物主要为黄铁矿、石英和褐铁矿。金矿物以自然金为主(成色为 969.6~997.8), 含银自然金、银金矿较少。金的嵌布类型有粒间金、包裹金、裂隙金和连生金 4 种。矿石中自然金的粒度主要以显微微粒金(0.01~0.005mm)为主(约占 60%), 其次是显微极微粒金(0.005~0.0002mm)(约占 26.6%)。尽管显微中粒-细粒金数量不太多, 但它对矿石品位和储量来说是重要的。

关键词: 金山金矿床; 赋存状态; 新疆伊宁地区
中图分类号: P618.51 **文献标志码**: A **文章编号**: 1671-2552(2010)07-1049-07

Zhu B Y, Liu J J, Zhu Y G, Xia B, Ma H D, Steven A. Gold occurrence of the Jinshan gold deposit, Yining, Xinjiang, China. *Geological Bulletin of China,* 2010,29(7): 1049–1055

Abstract: The Jinshan gold deposit, occurring in the lower member of Lower Carboniferous Dahalajunshan volcanic clastic formation, is a typical epithermal and large-sized gold deposit in Yining County, Xinjiang. On the basis of detailed field geological survey and systematic laboratory study such as microscope observation, chemical analyses, mineral phase analyses, electron probe scanning, X-ray surface scanning, the occurrence of gold has been determined. The result shows the gold exists mainly as the independent mineral face; the carriers are mainly pyrite, quartz and limonite. The major gold minerals are native gold, the average fineness is from 969.6 to 997.8. The minor argentiferous native gold and electrum are also identified. Gold is embodied as intergranular, inclusion, fissure-filling, and interlocking form. The gold granularity is mainly characterized by micro particulate (0.01~0.005 mm, which accounts for 60%) and extra micro particulate (0.005~0.0002 mm, which accounts for 26.6%). Although the micro medium size and micro fine grained gold is less, however, it is significant to ore grade and total resource.

Key words: Jinshan gold deposit; occurrence; Yining area, Xinjiang

收稿日期: 2010-01-28; **修订日期**: 2010-03-01
基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40973035、40073019)、高等学校学科创新引智计划项目(编号: B07011)、教育部长江学者和创新团队发展计划项目(编号: IRT0755)资助
作者简介: 朱炳玉(1966-), 男, 在读博士, 从事矿床地质与地球化学研究。E-mail: xj305_zhu@sina.com
通讯作者: 刘家军(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 从事矿床地球化学教学和研究工作。E-mail: liujiajun@cugb.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

新疆伊宁县境内的金山金矿床是一个正在勘探的大型金矿。该矿床与其东边的阿希金矿床、恰布坎卓它金矿床等共同构成吐拉苏浅成低温热液型金矿带。目前,一些研究者对矿床地质特征[1-4]、矿化类型[4-6]、流体包裹体特征[4-6]进行了研究,认为该矿床是一个典型的浅成低温热液型金矿[1]。由于金矿石品位较低,且对金矿石中金的赋存状态尚不清楚,直接影响了金的选冶技术的选用与矿床开发。有鉴于此,笔者采用显微镜下观察、电子探针扫描、物相分析等研究方法对金矿石中金的赋存状态进行了深入研究。

1 矿床地质特征

1.1 矿区地质

金山金矿床产于新疆吐拉苏火山断陷盆地中的吐拉苏金矿带的西北部。金矿区由伊尔曼得、京希、巴拉克、马依托背、狮子山 5 个矿段组成(图 1)[7]。矿区出露地层由老到新有新元古界青白口系开尔塔斯组第二岩性段(结晶灰岩段),上奥陶统呼独克达坂组第四岩性段(块状灰岩段 O_3h^4),下志留统尼勒克河组(S_1n^s),中志留统基夫克组(S_2j^{ls}),下石炭统大哈拉军山组第一岩性段(砂砾岩段 C_1d^1)、第二岩性段(酸性凝灰岩段 C_1d^2)、第三岩性段(下安山岩段 C_1d^3)、第四岩性段(火山碎屑岩段 C_1d^4),下石炭统阿恰勒河组第一岩性段(砂岩段 C_1a^1)及第四系沉积。矿化围岩为大哈拉军山组下角砾岩段和酸性凝灰岩段。

矿区褶皱构造不发育,仅见伊尔曼得背斜,分布在伊尔曼得北西向断裂南北两侧。矿区发育的断裂主要有 NWW 向、NW 向、NS 向、EW 向、NE 向 5 组,其中 NW 向、NS 向断裂对矿区构造格局具有控制作用。

1.2 矿体特征

在金矿区已圈出 5 个主矿体和若干分支矿体,矿体分布大都较连续。矿体总体呈似层状、透镜状,与围岩产状基本一致。矿体与围岩呈过渡关系。

伊尔曼得矿段内的主矿体东西向展布,呈地毯状。矿体长 700m,垂深 300m。矿体厚度一般为 30~40m,最厚 145m,最薄 4m,平均厚度 35m。金品位最高 15.6×10^{-6},平均 0.81×10^{-6}。矿体产状与地层产状基本一致。

京希与巴拉克矿段内的主矿体东西向展布,呈地毯状。矿体长 700m,垂深 390m。矿体最厚 180m,最薄 3m,一般厚 20~40m,平均厚度 33m。金品位最高达 46.8×10^{-6},平均 1.06×10^{-6}。矿体产状变化较大。可分为京希水饺状主矿体、京希西南-巴拉克地毯状矿体和京希东南脉状矿体 3 个主要矿体。3 个主矿体空间上相连。

马依托背矿段内的主矿体呈北东向展布。矿体呈似层状,长 507m,垂深 80m,最厚 51m,最薄 2m,一般厚 10~30m,平均厚度 18m。金品位最高 13.8×10^{-6},平均 0.98×10^{-6}。

狮子山矿段内的主矿体北东向展布,呈似层状。矿体长约 700m,垂深 200m,最厚 35m,最薄 3m,一般厚 10~20m,平均厚度 15m。金品位最高 5.84×10^{-6},平均 0.75×10^{-6}。

1.3 矿石特征

矿石矿物组成较简单,金属矿物以黄铁矿、毒砂、白铁矿、雄黄、雌黄、辉锑矿为主,少量闪锌矿、方铅矿及黄铜矿。非金属矿物以石英为主,次为重晶石、萤石、迪开石、高岭石、绢云母等。表生矿物主要为褐铁矿、黄钾铁钒和孔雀石。研究中还发现大量显微自然金、含银自然金和少量银金矿。

矿石结构主要有自形至他形粒状结构、交代残余结构、假像结构、填隙结构等。矿石构造以角砾状、细脉浸染状和网脉状构造常见,尤其是热液角砾岩发育的地段金矿(化)体越发育。

1.4 围岩蚀变

矿区围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、绿泥石化和碳酸盐化[3-4]。研究区内已知金矿体与围岩蚀变紧密伴生,并在空间上具有明显的分带性。在金矿体的中心部位,硅化、黄铁矿化蚀变最强烈,向外硅化、黄铁矿化蚀变逐渐减弱,但绿泥石化、碳酸盐化蚀变则逐渐增强。

1.5 成矿期次

根据矿床的形成过程,笔者将成矿作用划分为火山-沉积初步富集期、浅成低温热液成矿期和表生氧化期。根据脉体的穿插关系、矿物共生组合、围岩蚀变等特征,又将浅成低温热液成矿期分为 4 个成矿阶段。①面状硅化黄铁矿阶段:形成大量地毯状的青灰色、黑灰色强硅化和强黄铁矿化的低品位矿体,是矿床最主要的成矿阶段。②脉状硅化、黄铁矿-毒砂化阶段:此阶段生成的石英和毒砂-黄铁矿以细脉状产出为特征,石英颗粒较第一成矿阶段生成的粗,呈犬齿状石英细脉产出,穿插于面状硅化岩之中。毒

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

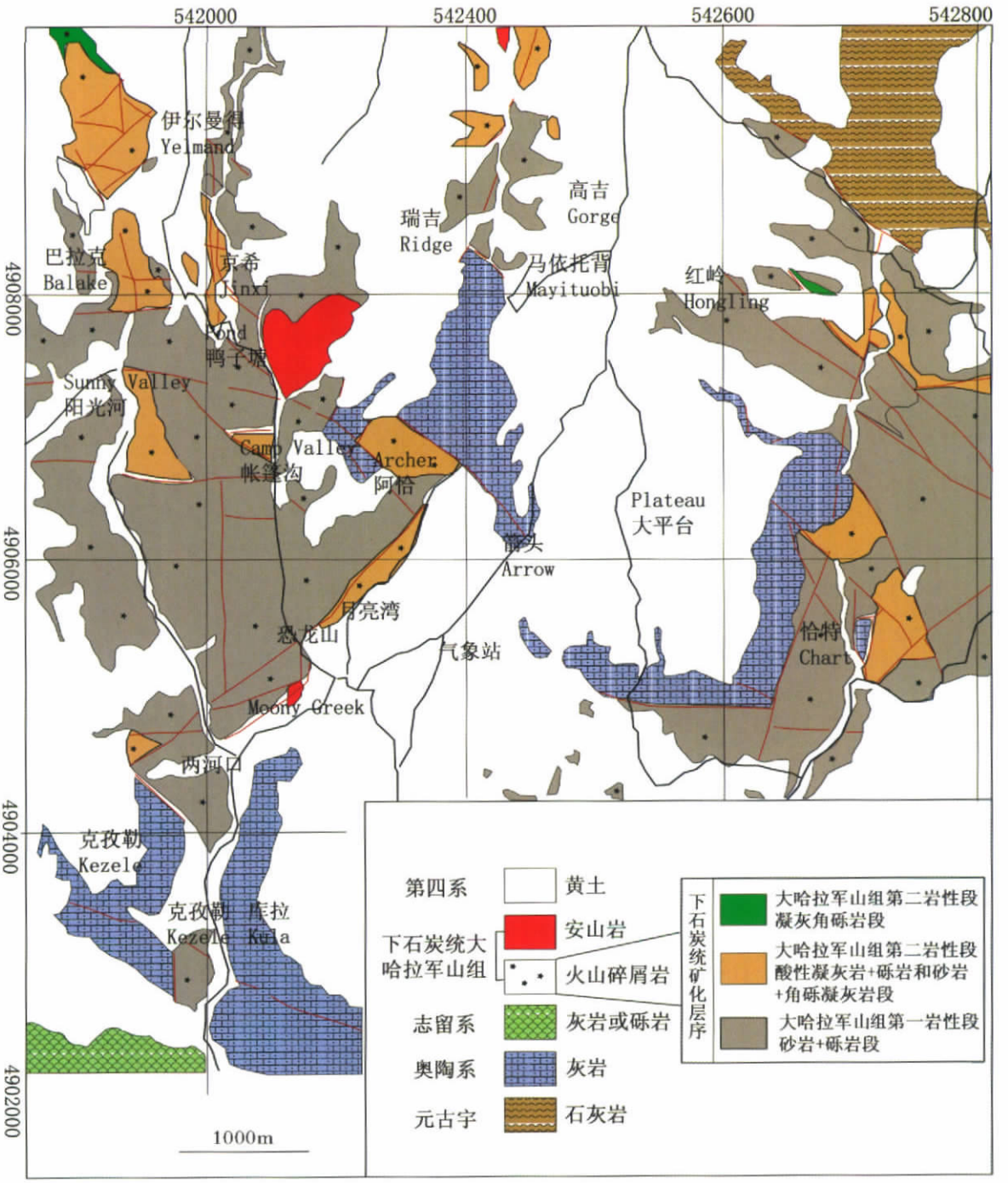


图 1　金山金矿床地质略图

Fig. 1　Sketched geologic map of the Jinshan gold deposit

砂-黄铁矿脉、石英脉宽 0.03~2.50mm,在矿石中常形成网脉状构造。③重晶石-石英阶段:此阶段生成的石英和重晶石呈细脉状产出,穿插早期形成的石英细脉。④雄黄-雌黄-萤石-方解石阶段:以雄黄、雌黄、方解石和萤石构成细脉为特征,是最晚阶段的产物。主要分布在伊尔曼得矿段南部矿体的边部。

2　金的赋存状态

2.1　Au 元素的赋存特征

经研究,金在矿床中的赋存形式主要有 2 种。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(1)以独立矿物出现。迄今为止,笔者在反光显微镜下已发现近百颗自然金。此外,还有少量的银金矿产出。自然金的产出特点和矿物学特征将在下文讨论。

(2)以固溶体或机械混入物的形式进入载金矿物或含金矿物中。化学分析结果显示,黄铁矿、毒砂中的金含量虽然变化较大(0~500×10⁻⁶),但主要集中在 130×10⁻⁶~220×10⁻⁶ 之间。电子探针分析结果显示,金与黄铁矿中的砷含量具有明显的正相关性,说明金在黄铁矿中以固溶体形式存在[8]。Rogers①认为其中的金可能呈细的胶体颗粒的形式存在。在其他热液矿物中(如雄黄、雌黄、辉锑矿、石英、方解石)也含有少量的金(3×10⁻⁶~35×10⁻⁶),可能是以机械混入物的形式进入到这些矿物中的。

另外,笔者所在公司委托长春黄金研究院对该矿床金矿石进行了堆浸实验分析。将矿石破碎至粒度小于 0.074mm 的条件下进行溶金分析,结果(表 1)显示②,矿石中以单体裸露金为主(占 73.56%~75.86%),碳酸盐、硅酸盐中的金占 12.7%~15.86%,硫化物中的金占 6.98%~7.63%,金属氧化物中的金占 3.60%~3.81%。说明金与金属硫化物、氧化物也有一定的关系。

2.2 自然金的嵌布特征

(1)自然金的形态。在显微镜下所观察到的自然金形态多种多样:浑圆状、椭圆粒状、片状、丝状、树枝状、指状、棒状、三角粒状、不规则粒状等(图版Ⅰ)。尽管如此,自然金的形态大都比较规则。

(2)自然金的粒度。矿石中的自然金主要以显微金存在,目前尚未发现明金。在所测定的显微金颗粒中,大者可达 0.08mm,小者仅 0.0002mm。显微金的自然粒度统计结果见表 2。

从表中可以看出,显微自然金的粒度变化范围较宽,但主要以显微微粒金(0.01~0.005mm)为主,所占比例接近 60%,其次是显微极微粒金(0.005~0.0002mm),所占比例为 26.6%。

由于自然金的工艺粒度是确定选矿方法、磨矿细度的主要依据,因此笔者亦对自然金作了工艺粒度的统计(表 3 和图 2)。

由表 3 和图 2 可知,显微粗粒金的面积含量约占 36%,显微细粒金以上者接近 79%,显微微粒金以上者高达 98.92%。因此,尽管显微中粒金-显微细粒金数量不太多,但它对矿石品位和储量来说是重要的。故在理想的情况下,磨矿细度达到显微细粒金(0.02~0.01mm)时就可选出接近 79%的自然金,在磨矿细度达到显微微粒金(0.01~0.005mm)时就可选出 98%以上的自然金。

为了充分利用低品位贫矿,提高经济效益,笔者认为,在选矿工艺上应浮选与氰化、堆浸法联合使用,并注意回收其中 Ag 等伴生的有益组分。同时,在有条件的情况下,可进行细菌浸取金及其他金

表 1 金矿物的金属分布率

Table 1 The distribution rate of gold minerals in the deposit

矿石粒级为 0.074 mm 时所占的比例	单体裸露金	硫化物中金	金属氧化物中金	脉石(碳酸盐、硅酸盐)中金	合计
90%	73.56	6.98	3.6	15.86	100
95%	75.86	7.63	3.81	12.7	100

注:长春黄金研究院分析测试

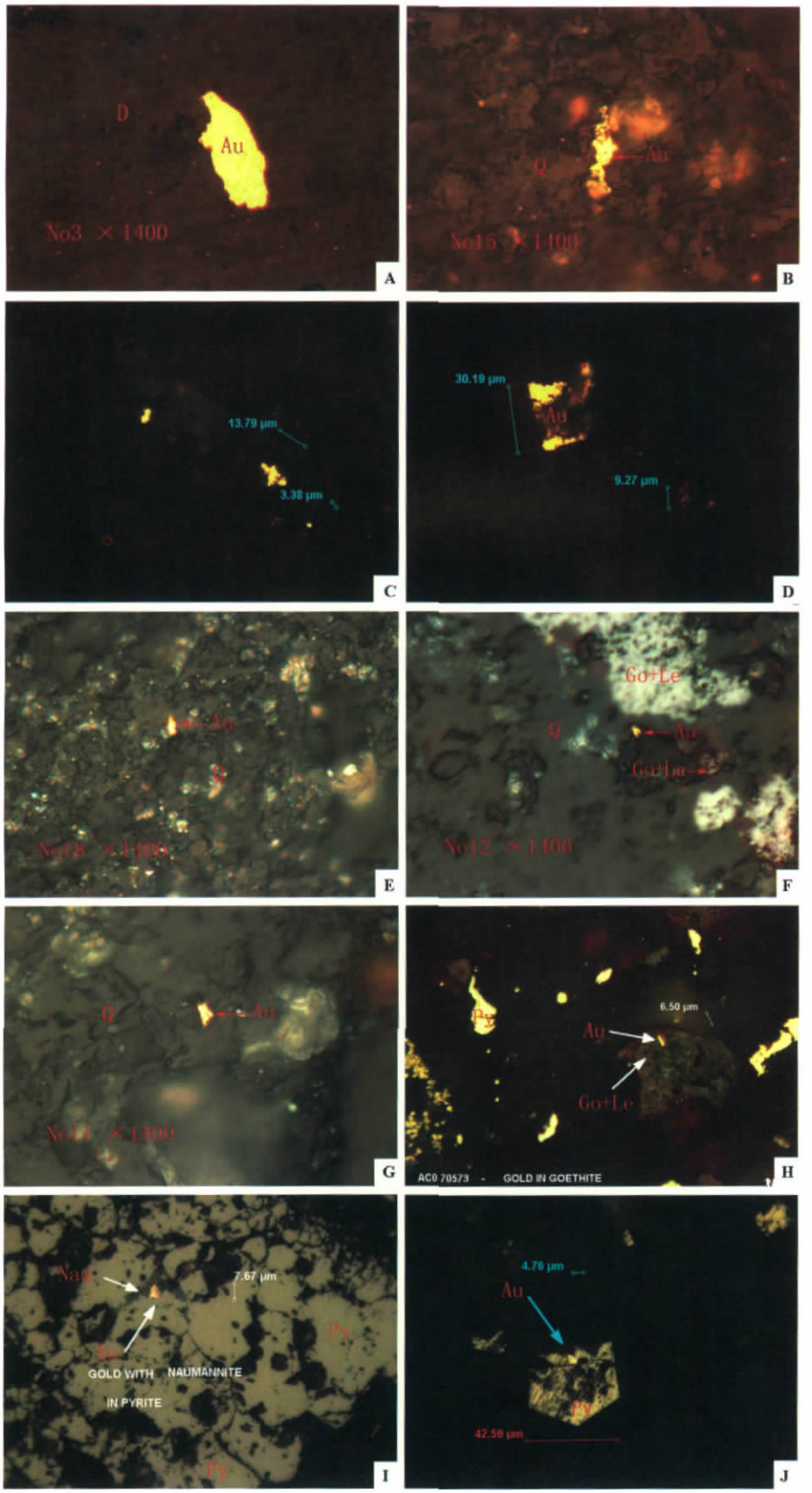
表 2 自然金的粒度和嵌布特征

Table 2 The granularity and disseminating characteristics of natural gold in the gold deposit

粒级	粒度范围/mm	平均粒径/mm	颗粒数/个	含量分布/%	累积含量/%
显微巨粒金	0.2~0.1	0.15	0	0.00	0.00
显微粗粒金	0.1~0.05	0.075	1	1.06	1.06
显微中粒金	0.05~0.02	0.035	4	4.26	5.32
显微细粒金	0.02~0.01	0.015	8	8.51	13.83
显微微粒金	0.01~0.005	0.0075	56	59.57	73.40
显微极微粒金	0.005~0.0002	0.0026	25	26.60	100.00
合计			94	100.00	

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图版 I　PlateI



A、B、C、D—氧化矿石中的自然金;E—石英与黄铁矿颗粒之间的自然金,硅化角砾岩矿石中;F—自然金嵌布在石英颗粒边部孔洞中和硅化角砾岩矿石中;G—自然金分布于石英颗粒之间;H—自然金被包裹于针铁矿与纤铁矿中;I—含银自然金与硒银矿连生,包裹在黄铁矿内,产在石英-菱铁矿脉内;J—自然金被包裹于五角十二面体黄铁矿中;Au—自然金;Py—黄铁矿;Nau—硒银矿;Q—石英;Go +Le—针铁矿和纤铁矿

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 显微金的工艺粒度统计结果

Table 3 The technical granularity and disseminating characteristics of natural gold in the gold deposit

粒级	粒度范围 /mm	平均粒径 /mm	颗粒数 /个	面积含量 /mm^2	面积含量分布 /%	累积含量 /%
显微巨粒金	0.2~0.1	0.15	0	0.00	0.00	0.00
显微粗粒金	0.1~0.05	0.075	1	5.625×10^{-3}	35.95	35.95
显微中粒金	0.05~0.02	0.035	4	4.9×10^{-3}	31.32	67.27
显微细粒金	0.02~0.01	0.015	8	1.8×10^{-3}	11.51	78.78
显微微粒金	0.01~0.005	0.0075	56	3.15×10^{-3}	20.14	98.92
显微极微粒金	0.005~0.0002	0.0026	25	1.69×10^{-4}	1.08	100.00
合 计			94	0.82		

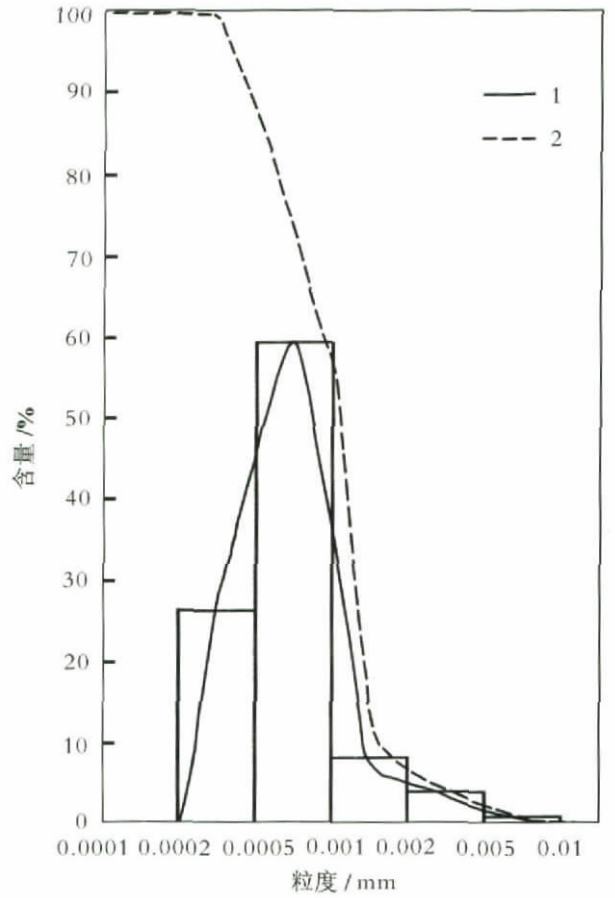


图 2 显微金的工艺粒度含量分布与累积曲线

Fig. 2 Occurrence and distribution of the gold technical grains in the gold deposit

1— 含量分布直方图与曲线;2—含量累积曲线

属的实验。

除显微金外，笔者利用高分辨透射电镜方法发现了较多的次显微金(0.0002~0.00002mm)和电子衍射级金(<0.00002mm)。可见，矿床中次显微金和电子衍射级金亦大量存在。

表 4 自然金电子探针分析结果

Table 4 Electronic microprobe analysis result of natural gold in Jinshan gold deposit

样号	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Ag/wt%	3.04	0.22	0.73	1.32	0.75	0.43
Au/wt%	96.96	99.78	99.27	98.68	99.25	99.57
成色	969.6	997.8	992.7	986.8	992.5	995.7

(3)自然金的产出状态。自然金有以下 4 种产出状态：①粒间金。自然金沿伴生矿物石英、黄铁矿、硒银矿、褐铁矿(由针铁矿、纤铁矿组成)等矿物颗粒间充填。这种粒间可以是单一矿物的粒间，也可以是 2 种或 2 种以上矿物的粒间。该类型的自然金在矿石中所占的比例超过 50%，是金的主要存在形式。②包裹金。自然金被包裹于黄铁矿、石英等矿物中。但自然金的形成，不一定早于这些包裹物。此类自然金在矿石中所占的比例超过 20%。③裂隙金及空洞边部中的金。自然金沿石英脉及蚀变围岩的裂隙分布。此类金比较常见。④连生金。自然金与黄铁矿、硒银矿等金属矿物紧密连生。此类自然金较少见。

无论自然金以何种形式产出，其载金矿物大都是石英、黄铁矿和褐铁矿。

2.3 自然金的光学性质与化学成分

自然金在反光显微镜下为均质矿物，反射色呈金黄色，无内反射现象。

对自然金进行扫描电镜能谱成分分析，结果表明，自然金中 Au 含量高(96.96%~99.78%)，Ag 含量较低(0.22%~3.04%)(表 4)，并含有其他微量元素。根据化学成分所计算的自然金的成色变化范围为 950~1000。可见自然金的成色较高。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 结　论

(1)矿石中存在众多显微自然金。自然金的形态多种多样,但大都较规则。

(2)主要载金矿物为黄铁矿、毒砂、褐铁矿、石英、硒银矿等。

(3)矿石中自然金粒度大于 0.01mm 的颗粒极少,主要为显微微粒金(0.01~0.005mm,约占 60%),显微极微粒金(0.005~0.0002mm)也占一定的比例(26.6%)。尽管显微中粒金—显微细粒金数量不太多,但它对矿石品位和储量来说是重要的。

(4)矿床中金主要以矿物相形式存在,但金与黄铁矿中砷的含量具有明显的正相关性,说明少量金在黄铁矿中可能以固溶体的形式存在。

(5)金矿物主要以裂隙金、包裹金、粒间金和连生金 4 种形式嵌布于各种载体矿物中。

致谢:在研究过程中,长春黄金研究院郑晔工程师和东北大学王成功教授提供了部分研究资料,在此表示衷心的感谢。

参考文献

[1]翟伟, 杨荣勇, 漆树基. 新疆伊宁县伊尔曼德热泉型金矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 1999, 18(1): 47−54.

[2]肖龙, 王方正. 新疆伊犁京希−伊尔曼德金矿区角砾岩特征及成因[J]. 矿物岩石, 2002, 22(2): 9−12.

[3]肖龙, 王方正, 付民禄, 等. 伊犁京希−伊尔曼德金矿床的热液蚀变及成矿流体演化特征[J]. 地质学报, 2001, 75(4): 518−526.

[4]肖龙, 王方正, Begg Graham, 等.新疆京希−伊尔曼得金矿床矿化类型: 热液蚀变及流体包裹体证据[J].矿床地质, 2002,21(1):58−64.

[5]冯娟萍, 王居里, 欧阳征健. 西天山阿希、京希−伊尔曼得金矿床矿化类型探讨——来自流体包裹体的证据[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2007, 37: 99−102.

[6]冯娟萍, 王居里. 西天山阿希、京希−伊尔曼得金矿床成矿流体包裹体研究及矿化类型探讨[J]. 西北地质, 2005, 38(1): 31−36.

[7]朱炳玉. 应用 DISCOVER 软件来指导金矿矿区勘探——以西天山伊尔曼得金矿床勘探为例[C]//新疆地质学会.第六届天山地质讨论会学术论文集.乌鲁木齐:新疆青少年出版社,2008: 838−843.

[8]刘家军,毛光剑,吴胜华,等.甘肃礼县−岷县成矿带西段寨上金矿床中自然金的发现及成因意义[J].地质通报,2010,29(1):115−123.

① Ken Rogers. 对两个硫化物精矿的电子探针分析 CSIRO 的评述报告. 罗杰·唐纳矿物学家联合咨询公司, 2003:1−2.

② 张国刚. 新疆金川矿业有限公司金山金矿金矿石堆浸试验研究报告. 长春黄金研究院, 2009:61−71.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net