

新疆卡特巴阿苏金矿床矿体特征及 金赋存状态研究

韩继全, 杨维忠, 林泽华, 王 彬, 蒋南飞, 李 通

(新疆地质矿产勘查开发局 第一区域地质调查大队, 新疆 乌鲁木齐 830013)

摘 要: 新疆卡特巴阿苏金矿床是那拉提-红柳河金-铜-镍-铅锌-玉石-白云母成矿带内近几年发现的特大型金矿之一。在野外地质调查和室内综合整理基础上, 利用显微镜鉴定、扫描电镜观察和 X 射线能谱仪测试分析等手段和方法, 对金矿石中金的赋存状态进行了研究。结果表明, 卡特巴阿苏金矿床金矿物主要以自然金和含银自然金的形式存在, 自然金成色为 764.5‰~1 000‰; 主要载金矿物为黄铁矿, 有少量黄铜矿及脉石矿物; 金的嵌布类型有裂缝金、晶间金和相对较少的包裹金 3 种形式; 矿石中自然金均为粒度小于 40 μm 的显微粒金。

关键词: 卡特巴阿苏金矿床; 金赋存状态; 新疆

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)06-1037-08

Orebody characteristics and modes of occurrence of gold in the Katebaasu gold deposit of XinJiang

HAN Ji-quan, YANG Wei-zhong, LIN Ze-hua, WANG Bin, JIANG Nan-fei and LI Tong
(No. 1 Regional Geological Survey Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Urumqi 830013, China)

Abstract: The Katebaasu gold deposit is one of the superlarge gold deposits recently discovered in the Nalati-Hongliuhe gold-copper-nickel-lead and zinc-jade-muscovite ore-forming belt. Based on field geological survey and indoor integrated study, the authors investigated the modes of occurrence of gold in the gold ore by such means as microscope identification, scanning electron microscopy and X-ray energy spectrum analysis. The results show that gold minerals in the Katebaasu gold deposit mainly occur as native gold and silver-bearing native gold, with the fineness of the native gold being 764.5‰~1 000‰. The main gold-carrying mineral is pyrite, with a small amount of chalcopyrite and gangue minerals. The main gold mosaic forms include crack gold, intercrystalline gold and minor enclave gold. In the ore, native gold exclusively exhibits microscopic grained gold with the grain size less than 40 μm .

Key words: Katebaasu gold deposit; modes of occurrence of gold; Xinjiang

近期, 新疆地矿局第一区域地质调查大队在位于那拉提山中段发现了新疆中天山构造单元内的第一个特大型金矿床——卡特巴阿苏金矿床。该矿床的发现, 证明了新疆中天山具有大型、特大型金矿的成矿条件(杨维忠等, 2015)。目前, 众多学者对该矿

床做了大量基础地质研究工作, 在地质特征、矿床成因、含矿岩体的成岩年龄、岩石化学、元素地球化学等方面取得了较丰富的研究成果(赵树铭等, 2012; 朱志新等, 2013; 杨维忠等, 2013, 2015; 冯博等, 2014; 邢令等, 2015; 张祺等, 2015; 高永伟等, 2015),

收稿日期: 2016-03-29; 接受日期: 2016-07-19

作者简介: 韩继全(1988-)男, 土族, 地质矿产工程师, 资源勘查工程专业, E-mail: hanjiquan5201314@163.com。

但矿石中矿物组成及有用组分的赋存状态方面研究程度仍较低,尤其是金的赋存状态方面目前还是空白。有鉴于此,笔者采用显微镜鉴定、扫描电镜观察和X射线能谱仪测试分析等手段和方法对金矿石中金的赋存状态进行了深入研究。

1 区域地质特征

卡特巴阿苏金矿床位于新疆西天山西段,距新源县东南方向直线距离约30 km,地处准噶尔-哈萨克板块与塔里木板块碰撞造山带西段那拉提中天山构造带。该构造带北以那拉提北缘断裂(尼古拉耶夫线)为界与伊犁地块相邻,南以那拉提南缘断裂为界与塔里木板块相邻(朱志新等,2013)。区内出露地层主要有下元古界、石炭系和长城系。区域上侵入岩发育,从志留纪一二叠纪均有分布,主要分布于那拉提山一带,南北分别以那拉提南缘、北缘断裂为界,呈北东向条带状展布,主要以岩基、岩株状产出。岩性以花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩为主。区内断裂主要为那拉提南、北缘断裂,主要沿那拉提山一带发育,总体呈北东向,主要切割长城系、石炭系(杨维忠等,2015)。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

卡特巴阿苏金矿床位于哈萨克斯坦-准噶尔板块和塔里木-华北板块之间的那拉提-红柳河缝合带中,属那拉提-红柳河金-铜-镍-铅锌-玉石-白云母成矿带。矿区内地层出露面积小,主要以上志留统巴音布鲁克组灰岩为主(图1),有少量大理岩。前者多见于矿区南部,受岩体侵入作用影响多呈残留体产出于 $F_6 \sim F_7$ 断层之间,岩石普遍发育大理岩化,与岩体接触处发育混染岩化现象;后者出露面积很小,被二长花岗岩侵入呈小残留体产出,岩石具强硅化。

矿区内广泛发育侵入岩,地表多以NE、NNE向呈带状分布,与矿区构造线方向较一致。岩性以二长花岗岩为主,有少量花岗闪长岩、碱长花岗岩,局部见多期闪长岩岩脉,多呈岩枝状、脉状产出,走向 70° ,倾角 $50^\circ \sim 65^\circ$ 。金矿床主要赋存于碎裂岩化二长花岗岩中。

矿区断裂主要由那拉提北缘断裂以南规模较小的一组次级断裂组成,自南向北依次为 $F_4 \sim F_7$ 断裂,该组断裂走向约 260° ,倾角 $55^\circ \sim 67^\circ$ 。其中 $F_4 \sim F_6$

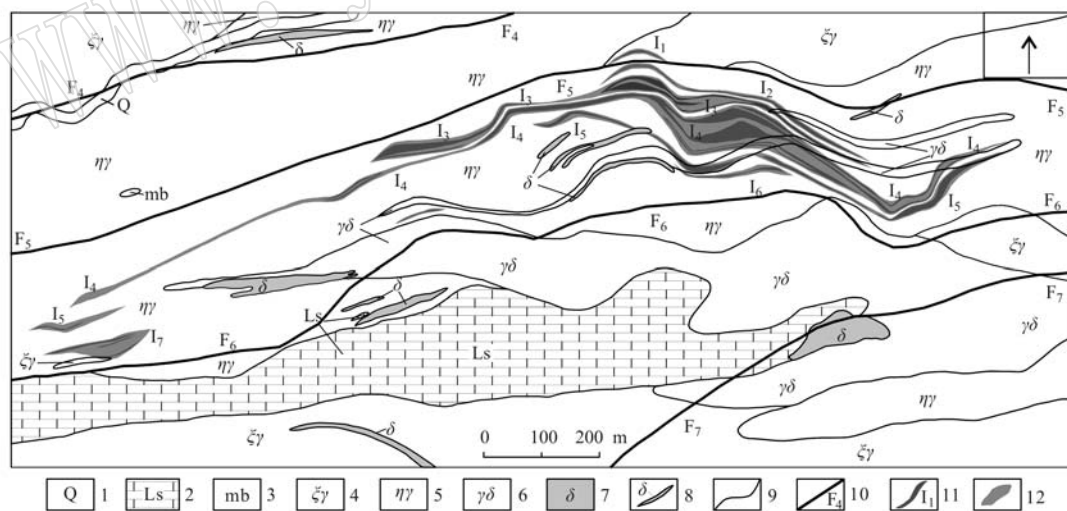


图1 新疆新源县卡特巴阿苏金矿区地质简图(据新疆地矿局第一区调大队,2014)^①

Fig. 1 Simplified geological map of the Katebaasu gold deposit, Xinyuan County, Xinjiang (from No. 1 Regional Geological Survey Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral, 2014)^①

1—第四系; 2—巴音布鲁克组灰岩; 3—巴音布鲁克组大理岩; 4—碱长花岗岩; 5—二长花岗岩; 6—花岗闪长岩; 7—闪长岩;
8—闪长岩脉; 9—地质界线; 10—断层及编号; 11—推测断层; 12—矿体及编号; 13—矿化蚀变带

1—Quaternary; 2—limestone of Bayinbuluke Formation; 3—marble of Bayinbuluke Formation; 4—alkali feldspar granite; 5—monzogranite; 6—granodiorite; 7—diorite; 8—diorite veins; 9—geological boundary; 10—fault and its serial number; 11—inferred fault; 12—orebody and its serial number; 13—mineralized alteration zone

① 新疆地矿局第一区调大队. 2014. 新疆新源县卡特巴阿苏矿区金(铜)矿床详查报告.

为矿区主要控矿断裂,尤其 $F_5 \sim F_6$ 之间金矿化蚀变带中发育的节理系统,为本区主要的导矿和储矿构造。

2.2 矿体特征

金矿体总体呈似层状、脉状或透镜状分布,矿体有分支、复合、膨胀、收缩现象,受北东向-北东东向断裂控制。矿体与围岩呈渐变过渡关系,没有明显界线,靠基本分析成果来圈定矿化体(带)和矿体。金矿区内共圈定金矿体 64 条,其中主要工业金矿体有 5 条,其金资源量达 67 751.69 kg,占工业矿体金总资源量的 89.60%,规模最大的为 $I_{4-①}$ 、 $I_{3-①}$ 号金矿体。其矿体特征如下:

$I_{4-①}$ 号矿体走向 $64^\circ \sim 135^\circ$, 倾角 $21^\circ \sim 67^\circ$, 呈似层状、不均匀板状分布。矿体长 2 000 m, 埋深 0 ~ 648 m。矿体厚度一般为 3 ~ 8 m, 最厚 38.48 m, 最薄 0.48 m, 平均厚度 5.84 m。金品位最高 199.04×10^{-6} , 平均品位为 3.38×10^{-6} 。估算 332 + 333 级金矿体工业矿石量 $1 065.48 \times 10^4$ t, 金属量 35 984.95 kg, 占提交金的工业矿体总资源量的 47.57%。

$I_{3-①}$ 号矿体走向 $70^\circ \sim 100^\circ$, 倾角 $31^\circ \sim 69^\circ$, 呈似层状、不均匀板状。矿体长 1 800 m, 埋深 0 ~ 350 m。矿体厚度一般为 2 ~ 7 m, 最厚 19.84 m, 最薄 0.37

m, 平均厚度 4.69 m。金品位最高 227.04×10^{-6} , 平均品位为 3.63×10^{-6} , 估算 332 + 333 级金矿体工业矿石量 417.90×10^4 t, 金属量 15 187.54 kg, 占提交金的工业矿体总资源量的 20.08%。

围岩蚀变有钾化、硅化、高岭土化、绿泥石化、绿帘石化和绢英岩化,矿化蚀变主要为黄铁矿化、褐铁矿化、黄钾铁矾化、黄铜矿化和孔雀石化。

2.3 矿石特征

矿体主要产于由两条断裂控制的构造蚀变带中(图 2), 矿石类型以细脉浸染型为主(图 3b、3d、3h), 有少量破碎蚀变岩型矿石(图 3e、3i)、角砾状矿石和块状金属硫化物型矿石(图 3a、3c、3g、3f)。其中角砾状矿石及少量块状金属硫化物型矿石发育于断裂带两侧, 即断裂构造最为发育、强烈处; 细脉浸染型矿石发育于构造蚀变带中心位置, 是金矿体最重要、最具代表性的矿石类型之一; 破碎蚀变岩型矿石介于角砾状、块状金属硫化物型矿石与细脉浸染型矿石之间, 岩石较为破碎, 碎裂岩化较为发育。

本文所有样品均采集自地表 40 m 以下的矿体中, 采样范围位于 19 ~ 16 勘探线间, 采样工程为钻孔, 所采样品是劈芯剩余岩芯。本次采集样品共计 180 件, 其中 $I_{4-①}$ 号矿体 110 件, 金平均值为 6.33 g/t,

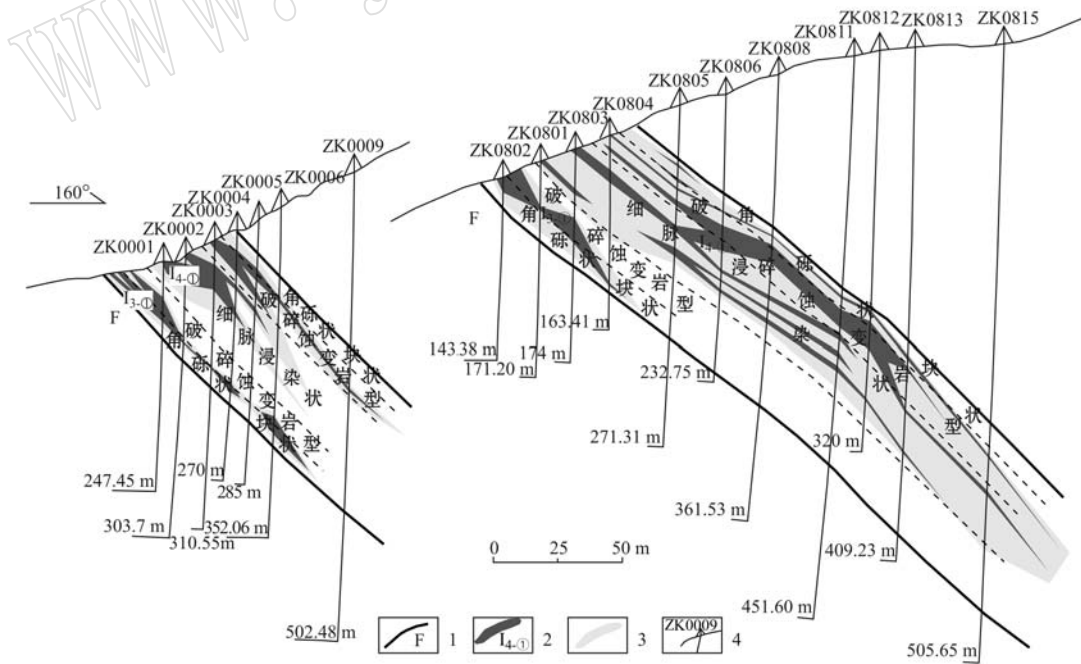


图 2 卡特巴阿苏金矿床 00、08 号勘探线剖面中矿石类型空间分布示意图

Fig. 2 Ore type spatial distribution diagram along No.00 and No.08 exploration lines in the Katebaasu gold deposit

1—断层; 2—金矿体及编号; 3—金矿化蚀变带; 4—钻孔及编号

1—fault; 2—orebody and its serial number; 3—alteration with gold mineralization; 4—drill hole and its serial number

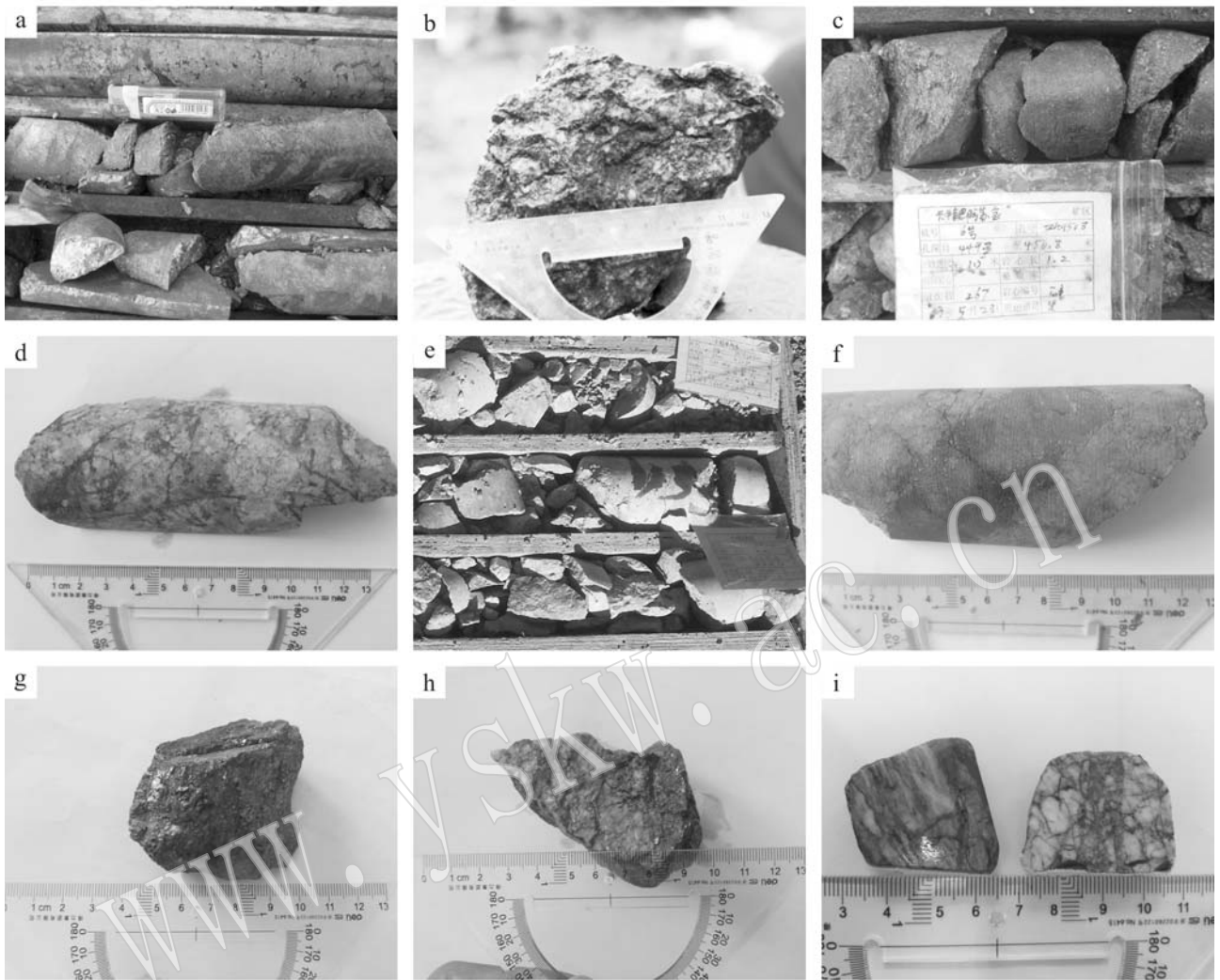


图 3 新疆卡特巴阿苏金矿床矿石标本照片

Fig. 3 Ore sample photograph of the Katebaasu gold deposit in Xinjiang

a—角砾状矿石；b、d、h—细脉浸染型矿石；c、g、f—块状金属硫化物型矿石；e、i—破碎蚀变岩型矿石

a—brecciated ore; b, d, h—veinlet disseminated ore; c, g, f—massive metal sulfide ores; e, i—shattered altered rock ore

矿体产状为 $165^{\circ}\sim 217^{\circ}\angle 21^{\circ}\sim 55^{\circ}$ ，矿石类型以细脉浸染型矿石和块状金属硫化物型矿石为主，少量破碎蚀变岩型矿石、角砾状矿石；I₃①号矿体 70 件，金平均值为 2.70 g/t，矿体产状为 $169^{\circ}\sim 205^{\circ}\angle 41^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ，矿石类型多以角砾状矿石和块状金属硫化物型矿石、破碎蚀变岩型矿石为主，少量细脉浸染型矿石。

矿石矿物主要由金属矿物和脉石矿物组成。金属硫化物主要为黄铁矿，有微量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、针硫铋铅矿、针镍矿，氧化铜矿物数量极少，仅有极少量孔雀石。其中，大多数黄铁矿呈不规则粒状集合体沿花岗岩的破裂缝充填交代，呈

自形、半自形晶粒状分布，常伴随绢云母化(图 4a)，或见黄铁矿沿石英脉分布或石英裂隙内充填黄铜矿(图 4b、4e)，有时可见黄铁矿呈碎粒状集合体分布在岩石破碎裂缝中(图 4c)，黄铁矿颗粒中碎裂纹发育，常有黄铜矿沿黄铁矿裂缝充填交代，也有金粒沿裂缝充填(图 4d)；少量黄铜矿多沿黄铁矿微裂缝或晶粒间缝隙充填交代，黄铜矿形状受缝隙形状控制(图 4g、4h)；其次沿岩石裂缝充填交代，呈微脉状、微粒状浸染分布(图 4i)。脉石矿物主要为长石、石英和绢云母，少量方解石、绿泥石和白云石，方解石与石英共生蚀变矿物为绢云母和绿泥石(图 4f)。矿石发育多种结构构造。主要的矿石结构有自形-半自形

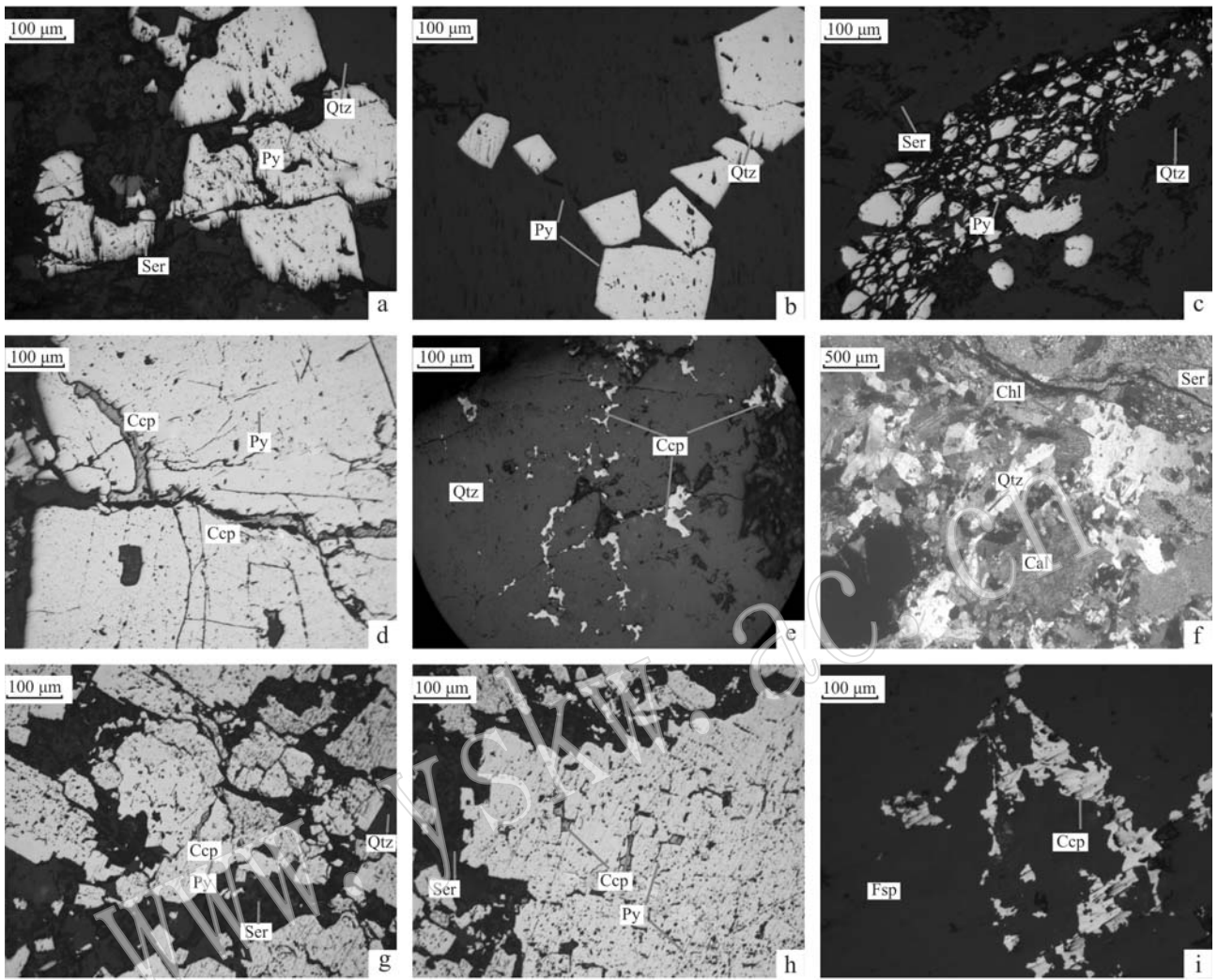


图 4 新疆卡特巴阿苏金矿床矿体中矿石矿物显微照片

Fig. 4 Ore mineral microphotograph of orebody in the Katebaasu gold deposit of Xinjiang

a—黄铁矿沿花岗岩裂缝充填交代，呈自形-半自形粒状分布，并常有绢云母伴生，反射光；b—黄铁矿呈自形-半自形粒状分布在石英脉中，反射光；c—破碎带中黄铁矿呈碎粒状分布，反射光；d—黄铁矿裂缝中充填黄铜矿，反射光；e—石英裂隙内的黄铜矿，反射光；f—方解石与石英共生蚀变矿物为绢云母和绿泥石，正交偏光；g—黄铜矿沿黄铁矿裂缝充填交代，其形状受缝隙形状控制，反射光；h—黄铜矿沿黄铁矿晶粒间缝隙充填交代，其形状受缝隙形状控制，反射光；i—黄铜矿沿岩石碎裂缝充填交代，呈浸染状分布，反射光；Cal—方解石；Ccp—黄铜矿；Chl—绿泥石；Fsp—长石；Py—黄铁矿；Qtz—石英；Ser—绢云母

a—pyrite replacing granite along cracks and distributed in euhedral-subhedral granular form, commonly associated with sericite, reflected light; b—pyrite in euhedral-subhedral granular form distributed in quartz veins, reflected light; c—pyrite exhibiting broken granular distribution in shattered zone, reflected light; d—chalcopyrite filling pyrite cracks, reflected light; e—chalcopyrite in quartz cracks, reflected light; f—sericite and chlorite as altered minerals associated with calcite and quartz, crossed nicols; g—chalcopyrite replacing and filling pyrite along cracks; its shape controlled by crack shape, reflected light; h—chalcopyrite filling and replacing pyrite along intercrystalline cracks, its shape controlled by crack shape, reflected light; i—chalcopyrite replacing and filling rocks along cracks and distributed in dissemination form, reflected light; Cal—calcite; Ccp—chalcopyrite; Chl—chlorite; Fsp—feldspar; Py—pyrite; Qtz—quartz; Ser—sericite

粒状结构、它形结构、包含结构、压碎结构及交代残余结构等；矿石构造主要有脉状构造、浸染状构造、块状构造及疏松粉末状构造等。

3 金矿物特征

3.1 金赋存状态

经显微镜和扫描电镜查定，本矿石中金粒大多

数嵌布于黄铁矿中，其次与石英、绢云母、白云石、黄铜矿等矿物连生，主要有裂缝金、晶间金和包裹金 3 种嵌布形式(图 5)。

(1) 裂缝金：大多数金粒充填于黄铁矿微裂缝中(图 5b)，这些金粒大小和形状受裂缝控制，多呈薄片状，有时可见切面上的几颗金粒从同一根部延伸，呈薄片状或树枝状。

(2) 晶间金：其次金粒以微细粒状沿黄铁矿与

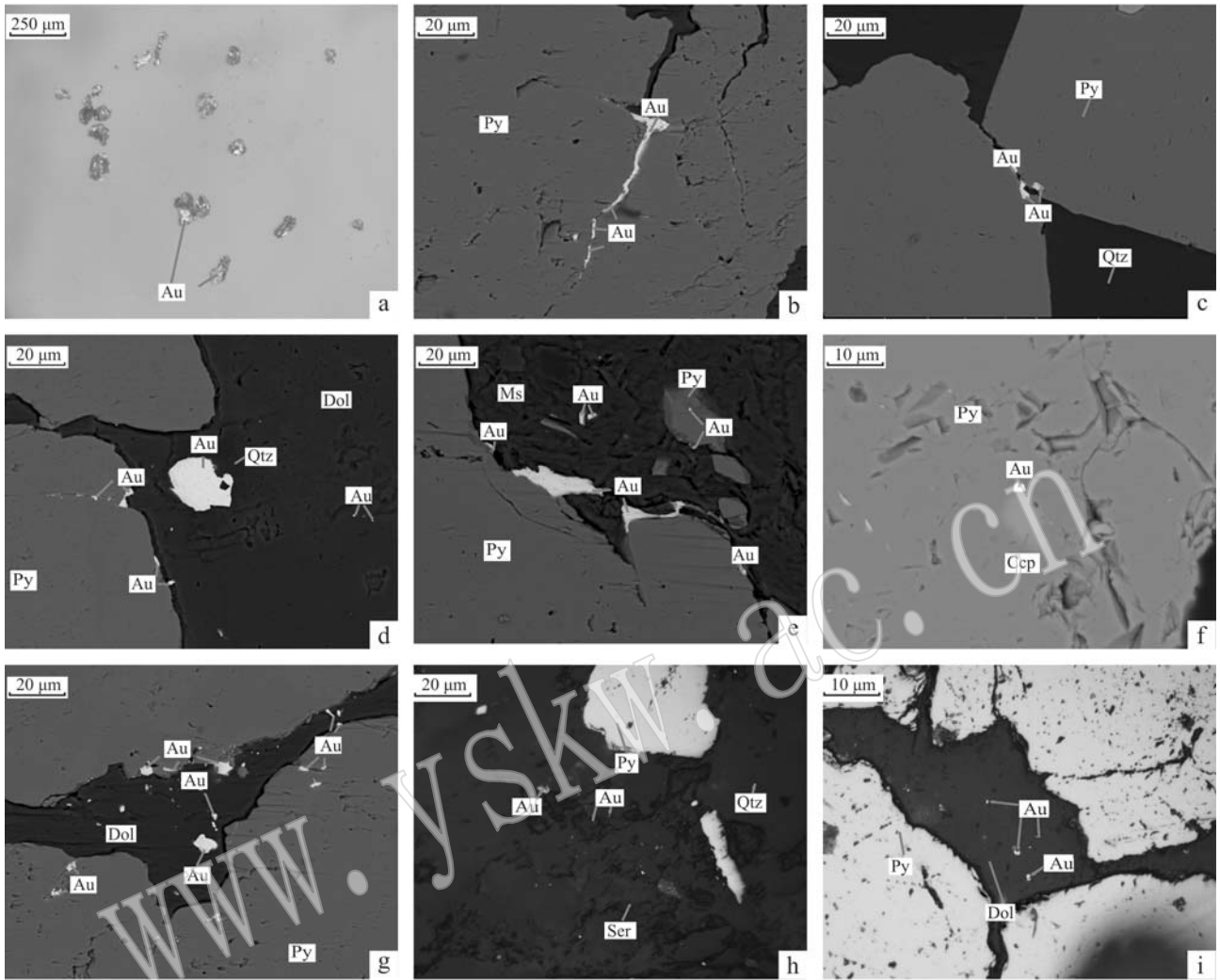


图 5 新疆卡特巴阿苏金矿床矿体中自然金的显微照片

Fig. 5 Microphotograph of native gold in orebody of the Katebaasu gold deposit in Xinjiang

a—金粒形态, 体视显微镜; b—金粒充填于黄铁矿微裂缝中, 金粒大小和形状受裂缝控制, 扫描电镜; c—金粒充填于黄铁矿与石英之间, 位于黄铁矿一侧, 扫描电镜; d—金粒充填于黄铁矿与石英之间的缝隙中, 也有金粒包含于石英中, 扫描电镜; e—金粒充填于黄铁矿与白云母之间颗粒间缝隙中, 位于白云母一侧, 扫描电镜; f—超微细金粒充填于黄铁矿与黄铜矿颗粒间缝隙中, 扫描电镜; g—微细-超微细金粒充填于黄铁矿与白云石之间缝隙中或包含于白云石中, 扫描电镜; h—微细-超微细金粒充填于石英与绢云母之间缝隙中, 反射光; i—微细金粒包裹于白云石细脉中, 反射光; Ccp—黄铜矿; Dol—白云石; Gold—金粒; Ms—白云母; Py—黄铁矿; Qtz—石英; Ser—绢云母
 a—gold grain shape, stereomicroscope; b—gold grains filling micro-cracks in pyrite, their size and shape controlled by cracks, SEM; c—gold grains filling the space between pyrite and quartz, on the pyrite side, SEM; d—gold grains filling cracks between pyrite and quartz or wrapped in quartz, SEM; e—gold grains filling cracks between pyrite and muscovite, on the muscovite side, SEM; f—ultra-fine gold grains filling cracks between pyrite and chalcopyrite, SEM; g—fine-ultrafine gold grains filling cracks between pyrite and dolomite or wrapped in dolomite, SEM; h—fine-ultrafine gold grains filling cracks between quartz and sericite, reflected light; i—fine gold grains wrapped in dolomite veinlets, reflected light; Ccp—chalcopyrite; Dol—dolomite; Ms—muscovite; Py—pyrite; Qtz—quartz; Ser—sericite

石英、白云母、黄铜矿、绢云母等矿物颗粒之间缝隙中充填, 呈微细粒浸染分布(图 5c~5h)。

(3) 包裹金: 极少量金粒包裹于充填黄铁矿裂缝中的白云石细脉中(图 5i)。

经分离富集各类矿物分别测定金含量, 将矿石

破碎至粒度小于 0.045 mm 的条件下进行溶金分析, 结果(表 1)显示, 矿石中可解离的游离金占 59% 左右, 仍包含于黄铁矿和黄铜矿中的金占 39% 左右, 脉石矿物中包含的金占 2%, 说明金与金属硫化物、脉石矿物也有一定的关系。

表1 金在各载体矿物中的分配(单矿物在0.045 mm 粒度下最后提纯)

Table 1 Gold distribution in the carrier minerals (single mineral final purification at 0.045 mm granularity)

矿物	矿物含量/%	矿物含 Au 量/g·t ⁻¹	金分配率/%
游离自然金	微量		58.50
黄铁矿/黄铜矿	9.260	22.5	39.31
脉石	89.477	0.13	2.19
其它	1.263	/	/
合计	100.000	5.30	100.00

分析单位: 广州有色金属研究院。

3.2 自然金的嵌布特征

本矿石中主要有用矿物为自然金和含银自然金, 金粒多呈扁平的树枝状连晶、薄片状、粒状(图3a)。据姚敬劬(1982), 金矿物按粒度大小可分为可见金(>100 μm)、显微金(100~0.2 μm)、次显微金(0.2~0.02 μm)。根据金粒嵌布粒度(切片粒度)测定结果(表2)统计, 卡特巴阿苏金矿床金矿物以显微金为主, 金矿物的嵌布粒度均小于40 μm, 其中小于5 μm 粒级数量最多, 达到35.52%。由于大多数金粒呈树枝状, 具韧性, 解离后也呈树

枝状颗粒, 切片上只能看到树枝状金粒的某个枝杈, 因而从切面上测定的金粒粒度比实际粒度偏细。

表2 金粒嵌布粒度(切片粒度)测定结果表
Table 2 Gold particle dissemination size (slice size) measurement results

粒级	粒级范围/μm	金粒粒度分布/%
显微中粒金	20~40	14.98
显微细粒金	10~20	26.36
显微微粒金	5~10	23.14
显微极微粒金	<5	35.52
合计		100.00

分析单位: 广州有色金属研究院。

3.3 自然金成色

扫描电镜能谱分析金的成分成色结果表(表3)显示, 本矿石金粒成分较简单, 除了含银之外不含其他杂质, 含金量变化为76%~100%; 矿石中金矿物赋存状态不同, 其成色差异很明显(舒斌等, 2006), 自然金成色介于764.5‰~1 000‰之间, 平均成色为873.7‰, 属于含银自然金-自然金。

表3 扫描电镜能谱分析金的成分成色结果表

Table 3 SEM energy spectrum analyses of composition and fineness of gold

自然金测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	平均
w(Ag)/%	23.55	23.11	20.53	17.69	15.47	13.03	12.58	12.42	12.01	11.37	9.71	9.67	8.8	7.06	5.07	0	12.63
w(Au)/%	76.45	76.89	79.47	82.31	84.53	86.97	87.42	87.58	87.99	88.63	90.29	90.33	91.2	92.94	94.93	100	87.37
金成色/‰	764.5	768.9	794.7	823.1	845.3	869.7	874.2	875.8	879.9	886.3	902.9	903.3	912	929.4	949.3	1 000	873.7

分析单位: 广州有色金属研究院, 仪器为扫描电子显微镜 FEI Quanta650 + 双探头电制冷能谱仪 Bruker Quantax200, 测试条件: 电压 20 kV, 束斑 7 nm, 能谱计数率大于 30 K, 温度 22℃, 湿度小于 60。

4 结论

(1) 卡特巴阿苏金矿床金矿物主要以自然金和含银自然金的形式存在, 金粒多呈扁平的树枝状连晶、薄片状、粒状, 主要载金矿物为黄铁矿, 有少量黄铜矿及脉石矿物。

(2) 矿石中自然金粒度均小于40 μm, 主要为小于5 μm 的显微粒金, 约占35.52%, 自然金成色介于764.5‰~1 000‰之间, 平均成色为873.7‰。

(3) 金矿物主要以裂缝金、晶间金和相对较少的包裹金3种形式嵌布于各种载体矿物中, 赋存方式简单, 易于提取。

References

- Feng Bo, Xue Chunji, Zhao Xiaobo, *et al.* 2014. Petrology, geochemistry and zircon U-Pb isotope chronology of monzogranite of the Katbasu Au-Cu deposit, western Tianshan, Xinjiang Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(5): 187~194(in Chinese with English abstract).
- Gao Yongwei, Zhang Zhenliang, Wang Zhihua, *et al.* 2015. Geochronology of the Katabaasu gold deposit in West Tian Shan and its geological significance: Evidence from ⁴⁰Ar-³⁹Ar isotopic ages of sericite[J]. *Geology and Exploration*, 51(5): 805~815(in Chinese with English abstract).

- Shu Bin, Chen Bailin, Wu Ganguo, *et al.*. 2006. Characteristics of gold mineralization of the Jinwozi gold deposits, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 24(1): 30~32(in Chinese with English abstract).
- Xing Ling, Yang Weizhong, Zang Mei, *et al.*. 2015. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the monzonitic granite from Kateba'asu Au-Cu deposit and its geological implications in Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 33(1): 1~6(in Chinese with English abstract).
- Yang Weizhong, Xing Ling, Lin Zehua, *et al.*. 2015. The characteristics and discovery significance of Kateba'asu gold deposit in Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 33(1): 68~72(in Chinese with English abstract).
- Yang Weizhong, Xue Chunji, Zhao Xiaobo, *et al.*. 2013. The discovery of the Kateba'asu large Au-Cu deposit in Xinyuan County, western Tianshan, Xinjiang[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(10): 1 613~1 620(in Chinese with English abstract).
- Yao Jingqu. 1982. About colloidal gold[J]. *Geology and Prospecting*, 8: 30~33(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Xue Chunji, Zhao Xiaobo, *et al.*. 2015. Geology, geochemistry and metallogenic epoch of the Katebasu large-sized gold deposit, Western Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 42(3): 411~438(in Chinese with English abstract).
- Zhao Shuming, Yang Weizhong, Wang Dunke, *et al.*. 2012. Geological characteristics and origin of the Katebasu gold deposit in Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 31(Suppl.): 825~826(in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhixin, Dong Lianhui, Wang Kezhuo, *et al.*. 2013. Tectonic division and regional tectonic evolution of West Tianshan organic belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 32(2~3): 297~306(in Chinese with English abstract).
- 冯 博, 薛春纪, 赵晓波, 等. 2014. 西天山卡特巴阿苏大型金铜矿赋矿二长花岗岩岩石学、元素组成和时代[J]. *地学前缘*, 21(5): 187~194.
- 高永伟, 张振良, 王志华, 等. 2015. 西天山卡特巴阿苏金矿床成矿年代学及其地质意义——来自绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年龄证据[J]. *地质与勘探*, 51(5): 805~815.
- 舒 斌, 陈柏林, 吴淦国, 等. 2006. 金窝子金矿金的赋存状态和金矿物特征[J]. *新疆地质*, 24(1): 30~32.
- 邢 令, 杨维忠, 藏 梅, 等. 2015. 新疆卡特巴阿苏金铜矿区二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J]. *新疆地质*, 33(1): 1~6.
- 杨维忠, 邢 令, 林泽华, 等. 2015. 新疆卡特巴阿苏金矿床特征及发现意义[J]. *新疆地质*, 33(1): 68~72.
- 杨维忠, 薛春纪, 赵晓波, 等. 2013. 新疆西天山新发现新源县卡特巴阿苏大型金铜矿床[J]. *地质通报*, 32(10): 1 613~1 620.
- 姚敬劬. 1982. 关于胶体分散金[J]. *地质与勘探*, 8: 30~33.
- 张 祺, 薛春纪, 赵晓波, 等. 2015. 新疆西天山卡特巴阿苏大型金矿床地质地球化学和成岩成矿年代[J]. *中国地质*, 42(3): 187~194.
- 赵树铭, 杨维忠, 王敦科, 等. 2012. 卡特巴阿苏金矿床地质特征及成因探讨[J]. *矿床地质*, 31(增刊): 825~826.
- 朱志新, 董连慧, 王克卓, 等. 2013. 西天山造山带构造单元划分与构造演化[J]. *地质通报*, 32(2~3): 297~306.

附中文参考文献