

刘华南, 刘家军, 代鸿章, 等. 内蒙古新地沟金矿床中金的赋存状态研究[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 261–274.

Liu Huanan, Liu Jiajun, Dai Hongzhang, et al. Modes of occurrence of gold in the Xindigou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 2016, 43(1): 261–274(in Chinese with English abstract).

内蒙古新地沟金矿床中金的赋存状态研究

刘华南^{1,2} 刘家军^{1,2} 代鸿章^{1,2} 陶银龙^{1,2} 王 雷^{1,2} 王建锋³ 杜映东³ 范云飞³

(1. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 内蒙古自治区矿产实验研究所, 内蒙古呼和浩特 010031)

摘要:内蒙古新地沟金矿床为一典型绿岩型金矿。利用显微镜、扫描电子显微镜观察到自然金 602 粒。研究表明, 金的赋存形式主要有包体金、裂隙金、粒间金和连生金。载金矿物以黄铁矿、石英为主, 所占比例达到 95%; 其次是钾长石、绢云母、菱铁矿、褐铁矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿等。自然金的粒度主要以显微极微粒金(0.2~5 μm)、显微细粒金(10~20 μm)、显微中粒金(20~50 μm)、显微微粒金(5~10 μm)为主, 分别占 32.23%、26.91%、20.6%、16.11%; 手标本及显微镜下也能观察到显微粗粒金(50~100 μm)和巨粒金(100~200 μm), 虽然其含量仅占 4.15%, 但其面积可达 33.97%, 对于矿石品位和储量来说十分重要。电子探针和物相分析显示, 矿石中金主要以独立矿物存在, 包括大量的自然金和少量的银金矿; 通过计算表明金的平均成色为 803, 金矿物的成色和特征反映金矿形成条件为中温和中等深度。

关 键 词:新地沟; 金矿床; 赋存状态; 成色; 内蒙古

中图分类号:P618.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2016)01-0261-14

Modes of occurrence of gold in the Xindigou gold deposit, Inner Mongolia

LIU Hua-nan^{1,2}, LIU Jia-jun^{1,2}, DAI Hong-zhang^{1,2}, TAO Yin-long^{1,2},
WANG Lei^{1,2}, WANG Jian-feng³, DU Ying-dong³, FAN Yun-fei³

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China; 2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China; 3. Inner Mongolia Minerals Experiment Research Institute, Hohhot 010031, Inner Mongolia, China)

Abstract: The Xindigou gold deposit in Inner Mongolia is a typical greenstone belt gold deposit. Microscope and scanning electron microscope were used to study the modes of occurrence of gold. 602 grains of native gold were recognized, including inclusion, fissure-filling, and intergranular and interlocking gold. The gold-hosting minerals are mainly pyrite and quartz, which account for 95% of the total gold-hosting minerals, and minor K-feldspar, sericite, siderite, limonite, tetrahedrite, sphalerite, galena were also identified. On the basis of statistics, the gold granularity is mainly characterized by micro extra particulate (0.2–5 μm), micro fine

收稿日期: 2015-04-19; 改回日期: 2015-07-09

基金项目: 中国地质调查局新兴产业资源战略调查评价专项工程项目(1212011220673)。

作者简介: 刘华南, 男, 1988 年生, 硕士, 主要从事金属矿床地球化学研究; E-mail: northchina1@163.com。

通讯作者: 刘家军, 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床研究与教学工作; E-mail: liujiajun@cugb.edu.cn。

particulate (10–20 μm), microscopic medium (20–50 μm), and micro particulate (5–10 μm) grained gold, accounting for 32.23%, 26.91%, 20.6%, and 16.11%, respectively. The micro coarse-grained gold which was observed in the sample and under the microscope is relatively minor but plays an important role in the ore grade and total resource. Electron microprobe analysis and phase analysis show that gold occurs mainly as independent gold minerals. The gold minerals are mainly native gold and secondary electrum (the average fineness is 803), which indicates that gold was formed under the condition of medium temperature and depth.

Key words: Xindingou; gold ore deposit; modes of occurrence; fineness; Inner Mongolia

About the first author: LIU Hua-nan, male, born in 1988, master candidate, engages in the study of ore deposit geochemistry; E-mail: northchina1@163.com.

Fund Support: Supported by China Geological Survey Program (No. 1212011220673).

1 引言

内蒙古自治区察哈尔右翼中旗境内的新地沟金矿是一个正在开采的绿岩型金矿。许多学者对新地沟矿床地质特征、找矿模式、矿床地球化学、成矿时代、成矿作用、矿床成因等方面进行了研究^[1-7], 虽然对矿床中金的赋存状态研究以及分布规律^[8]有初步的研究, 但仍缺乏关于新地沟金矿显微金的赋存状态的系统研究, 直接影响了金的选冶技术和矿床开发。科学、合理的选矿工艺可以降低选矿成本、提高金的回收率, 而选矿工艺流程的制定需以矿石工艺矿物学的详细研究为基础, 包括金的赋存状态、金矿物和载金矿物的粒度分布特征^[9-14]。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。

2 矿区地质概况

新地沟处于华北地台北缘内蒙古台隆阴山断隆东段, 固阳—武川—察右中旗大断裂的东段南侧(图1)。矿区出露地层主要有古元古界二道凹群, 其次为震旦系什那干群, 上石炭统拴马桩组、中侏罗统大青山组和新生界第四系。古元古界二道凹群按其层位及岩性组合分三个岩组: 三岩组(Pt_1er^3)主要分布于双羊兔掌子一带, 底部为薄层石英岩、灰岩互层, 顶部为厚层灰岩; 二岩组(Pt_1er^2)仅分布在羊圈湾—前坝一带及上半沟东—双羊兔口子一线, 为一套钾质混合花岗岩, 夹角闪斜长片岩、混合花岗岩(已糜棱岩化), 并具硅化和高岭土化, 宏观

上为褪色带, 颜色为灰白色; 一岩组(Pt_1er^1)为一套绢云石英片岩、绿泥石英片岩、绢云绿泥石英片岩和绿泥片岩, 是新地沟金矿区各矿段金矿体赋存的层位。矿区构造属于区域V级构造单元即大滩—乌兰哈雅褶皱带之东段的组成部分之一。区内次级褶皱、断裂构造特别发育, 现在能明显见到的油篓沟向斜、下半沟—新地沟向斜、大汗青向斜, 均控制着矿区内二道凹群含矿层位和矿体的展布。区域最主要的构造为推覆构造, 位于含矿地层下界, 为本区规模最大, 以破碎带的形迹出现, 宽2~10 m, 破碎带内有石英岩、糜棱岩、结晶灰岩角砾及构造透镜体, 岩石均已锰染呈黑色。推覆构造上盘为二道凹群含矿层位, 下盘为侏罗系砂砾岩, 推覆构造面倾角上陡下缓呈铲形, 运动方向总体是由北东向南西推覆。矿区内岩浆活动不发育, 规模较大的岩体在矿区北1~2 km处, 为大东山岩体的南缘, 时代为印支期^①。

3 矿床地质特征及样品采集

3.1 矿床基本特征

新地沟金矿位于二道凹群地层中, 主要包括新地沟矿段、油篓沟矿段、小井沟矿段。金矿体(层)赋存于二道凹群下部岩组糜棱岩夹千糜岩及长英质糜棱岩中, 呈层状、似层状、透镜状产出, 与容矿围岩呈渐变过渡关系。矿体(层)产状与岩层产状一致, 随着岩层产状变化而变化。矿体(层)多数分布在灰黄色硅化微晶灰岩附近, 而硅化微晶灰岩多数与糜棱岩层或矿层呈断层接触。少数分布在灰绿色千糜岩或糜棱岩底板。

①内蒙古沃野矿冶技术开发公司. 内蒙古自治区察哈尔右翼中旗新地沟矿区油篓沟矿段、下半沟矿段金矿生产详查报告[R]. 2009

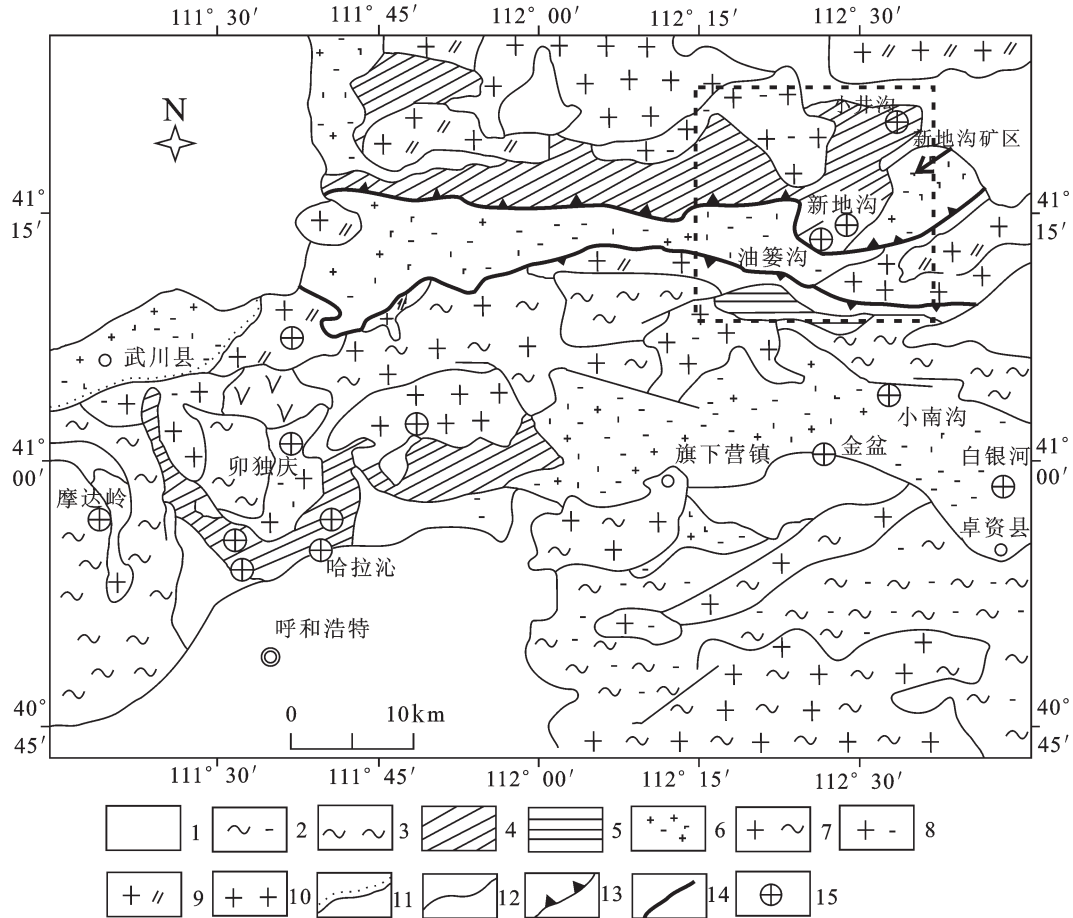


图1大青山地区新地沟金矿区域地质简图(据文献[1]修改)

1—古近—新近系、第四系;2—集宁岩群;3—乌拉山群;4—二道凹群;5—查尔泰山群;6—晚古生代—中生代地层;7—太古宙深成侵入体;8—古元古代侵入体;9—晚古生代侵入体;10—中生代侵入体;11—不整合线;12—地质界线;13—推覆构造;14—断层;15—金矿体(点)

Fig.1 Regional geological sketch map of the Xindigou gold deposit in Daqing Mountain (modified after reference [1]).

1—Quaternary, Tertiary; 2—Jining Group; 3—Wulashang Group; 4—Erdaowa Group; 5—Chaertaishang Group; 6— Paleozoic Mesozoic Formation; 7— Archean Plutonic Intrusion; 8—Paleorarchean Intrusion; 9— Late Paleozoic Intrusion; 10—Mesozoic Intrusion; 11—Unconformity; 12— Geological boundary; 13—Nappe structure ;14—Fault; 15—Gold deposit

3.2 矿体基本特征

新地沟金矿床主要包括新地沟金矿段和油篓沟金矿段。新地沟金矿段的矿化带总体规模长2.3 km,宽150 m。含矿岩石为绿泥石英片岩,底板为薄层大理岩。矿化带较连续,但成矿期后断裂较发育,使得矿体连续性受到破坏。目前控制的I号矿体产于含矿层下部,呈似层状、透镜状,随岩层同步褶皱,走向330°,倾向南西,倾角45°,地表出露长度大于270 m,厚度1.62~7.21 m,平均厚3.79 m,矿体平均品位4.49 g/t,矿石类型为片岩夹细石英脉型。II号矿体产于含矿层上部,与I号矿体平行产出,矿体地表出露长260 m,厚度0.85~6.10 m,平均厚

3.57 m,平均品位2.87 g/t,矿石类型为片岩型。油篓沟金矿段的矿体赋存在糜棱岩化绿泥绢云石英片岩内,顶板或底板为大理岩。矿体呈层状、似层状产出,与容矿围岩呈渐变过渡关系。矿层产状与岩层产状一致,形态随岩层产状变化而变化。该矿段共圈定金矿体3个,I号矿体规模最大,地表控制长743 m,走向300°,倾向北东,倾角45~50°,平均厚8.6 m,最厚24.75 m,沿倾向控制延深227 m,金最高品位6.84 g/t,矿体平均品位2.01 g/t,矿体厚度、品位均较稳定^[3]。其中小井沟为当地民采,规模小品位高。

3.3 围岩蚀变

矿体及围岩蚀变主要有绿泥石化、绿帘石化、

碳酸盐化、绢云母化、钾化、硅化、褐铁矿化、黄铁矿化等^[1],其中绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化属区域性蚀变,与金矿化关系不大;绢云母化、钾化、硅化、黄铁矿化、褐铁矿化等强烈蚀变地段,与金矿化关系密切。

3.4 矿石特征

3.4.1 矿石类型

新地沟金矿矿石类型主要有4种:矿石自然类型为糜棱岩型(包括长英质糜棱岩型、钾化长英质糜棱岩型)、千糜岩型、石英脉型及角砾岩型、黄铁矿细晶岩型,以糜棱岩型为主。糜棱岩型金品位一般1.28 g/t,最高13.44 g/t;石英脉型金品位一般3.82 g/t,最高可达25~140 g/t,蜂窝状石英可见明金;黄铁矿细晶岩型金品位一般1.98 g/t,最高可达10 g/t。其中油篓沟矿石类型以弱硅化强黄铁矿化的糜棱岩为主,品位不高,矿体变化不稳定等特点^[15]。新地沟矿石类型以硅化、黄铁矿化、钾化的糜棱岩为主,品位一般,变化稳定。小井沟矿石类型以石英脉型为主,品位极高,规模小。

3.4.2 矿石物质组成及结构

在金矿石中,除常见的金属矿物黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿、赤铁矿,笔者通过显微镜下观察和电子探针分析,发现并确认的矿物有斑铜矿、黝铜矿、钛铁矿。非金属矿物主要有石英、长石、方解石、绢云母、绿泥石、绿帘石等。

矿石结构主要有鳞片变晶、细—粗糜棱、胶状、填隙、自形、半自形、他形、包含、裂碎、乳滴状、叶片状、假象、揉皱、共结边、骸晶、交代、反应边等结构。矿石构造有纹层状、千枚状、块状、蜂窝状、眼球状、条带状、角砾浸染状、脉状、网脉状等构造。

3.5 成矿期次

通过对新地沟金矿的野外观察、地质背景、矿床特征、脉体穿切、矿石组成及矿物组合的详细研究后(如图2-a、2-b早期阶段少量黄铁矿—石英—钾长石脉为标志,产出于糜棱岩层理或片理;图2-c、图2-d为黄铁矿—石英脉切穿早期黄铁矿—石英—钾长石脉,在下文中的图4-f金与金属硫化物共同产出,第二阶段为石英—多金属硫化物,金主要产出第二阶段;图2-e、2-f为晚期石英—方解石脉切割石英—黄铁矿脉),笔者认为成矿阶段可以分为以下3个:黄铁矿—石英—钾长石阶段(I)、石英—多

金属硫化物阶段(II)、石英—方解石阶段(III)。

3.6 样品采集

本次金的分析测试选择了新地沟矿区的油篓沟矿段、下半沟北矿段、小井沟民采矿段的矿石作为测试对象,具有一定的代表性。其中样品14XDG-8-1、14XDG-8-2、14XDG-8-3、14XDG-8-5采自下半沟矿段矿石堆、14XDG-8-10、14XDG-8-13采自下半沟矿段开采面,14XDG-109-1、14XDG-109-3、14XDG-109-6采自小井沟开采面,14XDG-1690-61、13XDG-1690-1采自油篓沟矿段1690 m中段。所采样品均为糜棱岩矿石。本次分析在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室完成,仪器为JEOLJXA8800R型,加速电压20 kV,电流 2×10^{-8} A,束斑5 μm ,峰值计算时间20~60 s。采样ZAF修正法数据,分析元素和检测限见表5。

4 金的赋存状态

4.1 金的赋存特征

经研究,新地沟矿床中金的赋存形式主要以独立矿物出现,迄今为止,在显微镜及扫描电镜下已发现了602颗自然金。其产出特点及矿物学特征将在下文进行讨论。由电子探针分析结果(表1)可见:载金矿物黄铁矿的成分相对简单,且含有一定量的Au(20×10^{-6} ~ 50×10^{-6}),而其他载金矿物(银铋黝铜矿、黄铜矿)中同样检测出微量Au,均高于电子探针检测限,因此分析结果指示Au更可能是以固溶体金的形式赋存于载金矿物中^[16],尚需进一步实验验证。此外,矿区内矿石没有发现有有机碳含量,表明吸附金存在的可能性不大。

4.2 金的嵌布特征

在显微镜下观察到金的形态多种多样:指状(图3-b)、浑圆状(图4-a)、椭圆粒状(图4-b)、棒状(图4-c)、片状(图4-d)、树枝状(图4-f)、三角粒状、似梯形、不规则粒状等,总而言之,金的形态大都比较规则。自然金的形态尽管十分复杂,但归纳起来有3种基本的形态:粒状、片状、树枝状^[17],本区自然金的形态以粒状为主,树枝状、片状次之。自然金的产出状态如图3、4所示。图3-a为自然金产出在黄铁矿裂隙中,也有产出在黄铁矿和石英颗粒之间;图3-b为大颗粒自然金被黄铁矿包裹,小颗粒

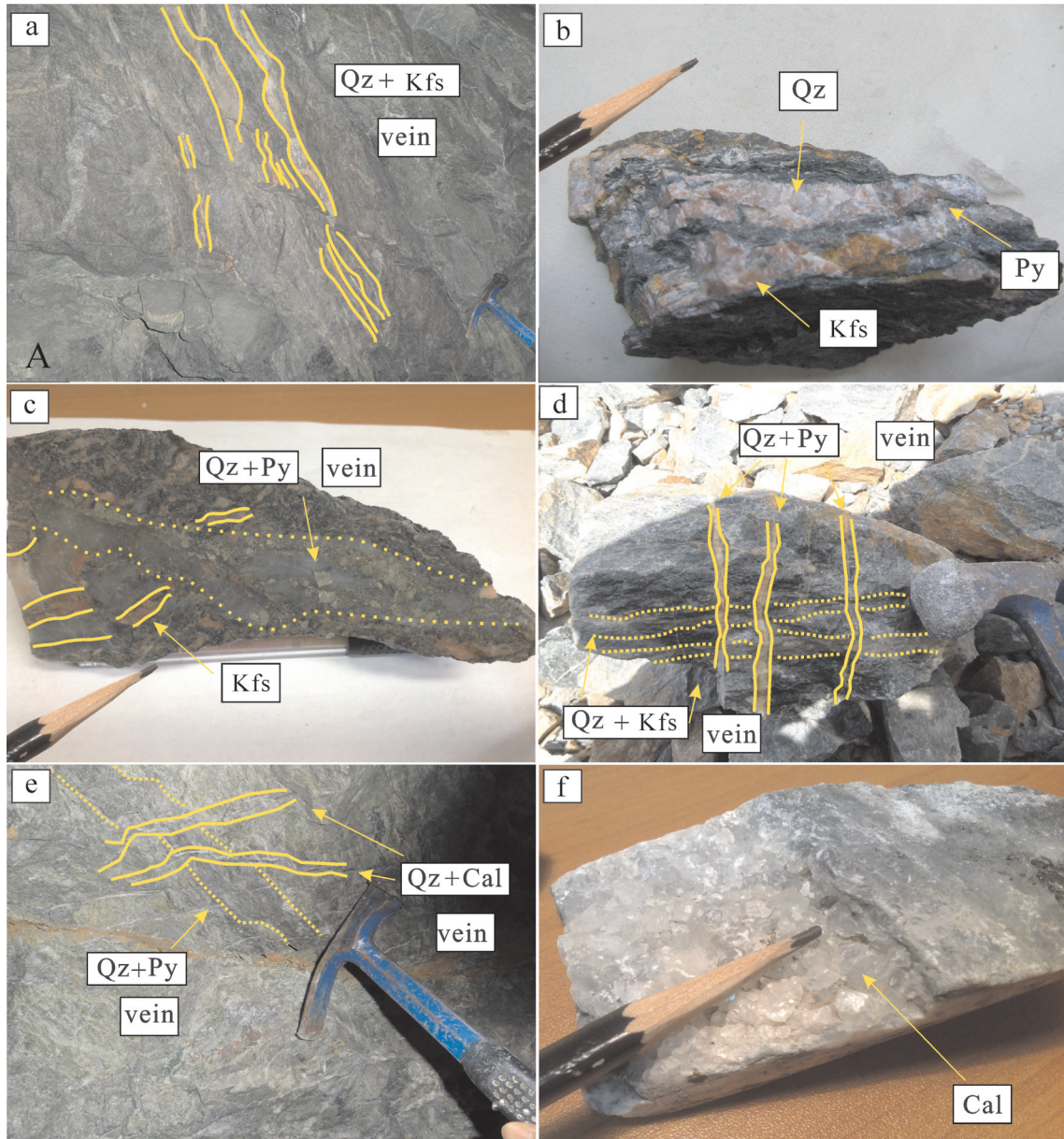


图2 新地沟金矿脉体及样品手标本特征

Kfs—钾长石;Py—黄铁矿;Qz—石英;Cal—方解石;vein—脉

Fig.2 Photos of vein features and rock specimen in the Xidigou deposit

Kfs—Potash feldspar; Py—Pyrite; Qz—Quartz; Cal—Calcite; vein—Vein

自然金产出在菱铁矿和石英颗粒之间;图3-c为方铅矿被氧化,自然金被铅钨包裹,图3-d为自然金被褐铁矿包裹;图3-e为自然金产出在两黄铁矿颗粒之间;图3-f为自然金呈金脉产出在黄铁矿裂隙中。图4-a自然金被钾长石包裹;图4-b为自然金被石英包裹;图4-c为自然金被绢云母包裹。图4-d为自然金被方铅矿包裹,方铅矿与黄铜矿共生;图4-e为自然金与黄铜矿共生,被黝铜矿包裹;图4-f

自然金与方铅矿、黄铜矿连生,整体被闪锌矿包裹。

4.3 金的粒度

矿床中的金矿物主要以显微金存在,明金很少,在石英脉矿段,含黄铁矿的石英呈蜂窝状,并可见明金^[15],指示发生了次生富集成矿作用。在显微镜下观察到的自然金,颗粒大小的变化较大,大者可达100 μm,小者仅0.5 μm。结合前人资料^[18-20],显微金的自然粒度统计结果见表2。从表2中可以

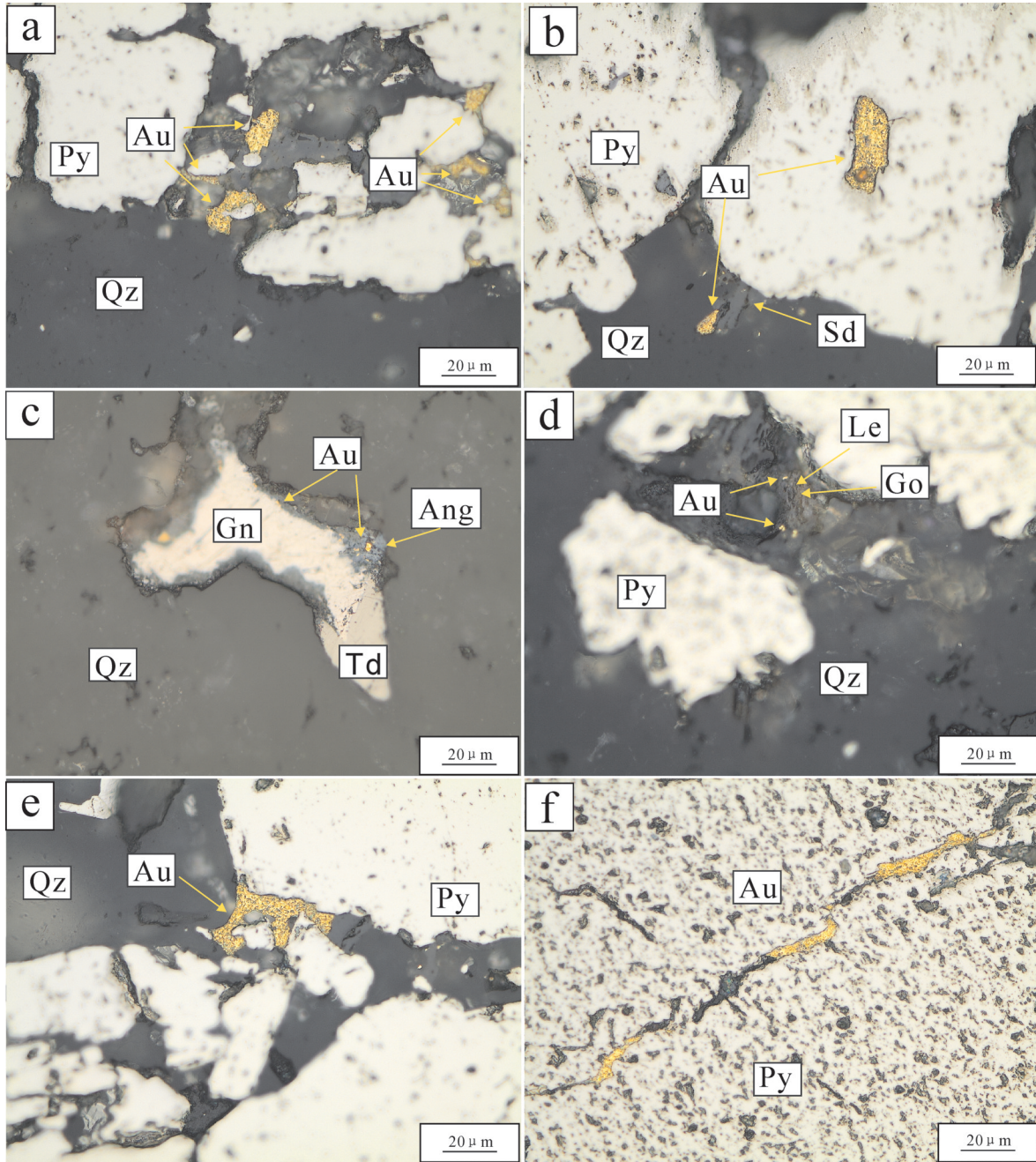


图3 新地沟金矿自然金的形态

a—为自然金产出在黄铁矿裂隙中,也有产出在黄铁矿和石英之间;b—为大颗粒自然金被黄铁矿包裹,小颗粒自然金产出在菱铁矿和石英之间;c—为方铅矿被氧化,自然金被铅矾包裹;d—为自然金被褐铁矿包裹;e—为自然金产出在两黄铁矿颗粒之间;f—为自然金呈金脉产出在黄铁矿裂隙中。Py—黄铁矿;Qz—石英;Ser—绢云母;Au—金;Sd—菱铁矿;Kfs—钾长石;Gn—方铅矿;Td—黝铜矿;Le—纤铁矿;Go—针铁矿;Ang—铅矾;

Fig.3 The shape of gold in Xidigou gold deposit

a—Gold embedded in the fissure of pyrite and between pyrite and quartz;b— Gold embedded in quartz and between sericite and quartz;c—Gold embedded in anglesite from oxidized galena;d—Gold embedded in limonite;e—Gold embedded between the two particles of pyrite;f—Gold in vein embedded in the fissure of pyritePy—Pyrite; Qz—Quartz ;Ser—Sericite; Au—Native gold; Sd—Siderite; Kfs—Potash feldspar; Gn—Galena; Td—Tetrahedrite; Le—Lepidocrocite; Go—Goethite ;Ang—Anglesite

表1 新地沟金矿部分载金矿物电子探针数据(%)

Table 1 Electron microprobe analyses of parts of auriferous minerals in the Xindigou gold deposit(%)

矿物名称	样品编号	As	Zn	S	Sb	Fe	Cu	Co	Ni	Ag	Au	Total
黄铜矿	14xdg-109-q7	0.00	0.04	34.69	0.01	29.87	33.94	0.05	0.01	0.29	0.06	98.96
银锑黝铜矿	14xdg-109-q8	2.39	3.91	23.60	23.03	0.47	29.26	0.01	0.00	16.28	0.07	99.03
黄铁矿	14xdg-8-q2-3	0.00	0.05	53.60	0.01	47.07	0.00	0.03	0.03	0.00	0.02	100.82
黄铁矿	14xdg-8-q3-2	0.00	0.03	53.73	0.02	46.52	0.00	0.08	0.03	0.00	0.02	100.43
黄铁矿	14xdg-gb8-q1	0.03	0.00	53.70	0.00	46.22	0.00	0.09	0.00	0.00	0.05	100.09

注:测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室;测试者:陈振宇。实验条件:加速电压20 kV,电流 2×10^{-8} A,束斑5 μm ,ZAF修正法,数据为0.00表示低于检测下限。

看出:

(1)显微自然金的粒度变化范围很宽,但主要以显微极微粒(5~0.2 μm)存在,其所占比例为32.23%。

(2)显微细粒金(20~10 μm)、显微中粒金(50~20 μm)含量分别26.91%、20.6%,显微粗粒金和显微巨粒金含量最少,二者之和不足5%。

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^[17-18]笔者对自然金做了工艺粒度统计(表3,图5)。

由表3可以看出,显微中粒金面积含量最高,其所占比例为47.74%,显微细粒金面积含量为14.98%,其以上者面积含量占96.74%,尽管显微巨粒金-粗粒金数量不多,但面积却占34.02%。所以它对矿石的品位和储量起着非常重要的作用。金的粒度是关系到磨矿细度和确定选别流程的重要数据^[21],故在理想的情况下,磨矿细度到显微细粒金(20~10 μm),就可以选出96.74%的自然金。为了充分利用低品位的贫矿和最大提高经济效益,笔者认为,在选矿工艺上应采用浮选与氰化及堆浸方法的同时使用,并注意对伴生Ag元素的回收,在条件允许的情况下,可以进行细菌浸取金及其他金属实验。

4.4 金矿物的产出状态

金矿物的产出状态有以下4种:

(1)包体金。金矿物被黄铁矿(图3-b)、石英(图4-b)、绢云母(图4-c)、钾长石(图4-a)、闪锌矿、褐铁矿(图4-d)、菱铁矿、铅钒(图4-c)等矿物中。但自然金的形成不一定早于这些包裹物,大多呈粒状产出。此类金共226粒,所占比例为37.5%,是金的主要存在形式之一。在图2-b中的大粒金被黄铁

矿包裹,金颗粒中有空洞发育,这些空洞结构有利于溶液渗透,为氰化溶金提供了良好的条件^[22]。

(2)粒间金。金矿物沿伴生矿物石英(图3-a)、钾长石(图3-b)、黄铁矿、菱铁矿等矿物颗粒充填。这种粒间可以是一种矿物的粒间,也可以是两种或者两种以上矿物颗粒。此类金矿物笔者共发现208粒,所占比例为34.6%。

(3)裂隙金。金矿物大多呈树枝或长条状充填在黄铁矿(图3-f)等裂隙中,此类金矿物笔者在镜下一共发现168粒,所占比例27.9%。

(4)连生金。自然金与方铅矿(图4-e)、黄铜矿(图4-d)、黝铜矿、闪锌矿(图4-f)等矿物紧密连生,它们近于同时形成。但是此类现象在显微镜下所占比例较少,不具有统计意义,自然金和方铅矿、黄铜矿、闪锌矿共生,但产出黄铁矿、闪锌矿、黝铜矿颗粒或裂隙之间,所以把连生金归纳为前面的包体金、裂隙金范畴进行统计。

新地沟矿床载金矿物主要包括黄铁矿、石英、钾长石、菱铁矿、闪锌矿、绢云母、黝铜矿、铅钒、褐铁矿等矿物。但赋存在黄铁矿裂隙、粒间、及黄铁矿内部的自然金有447粒,其比例占79%,可能是大量的黄铁矿沉淀破坏了Au的还原络合物,导致了金大量的沉淀^[23]。而赋存在石英中的金矿物为98粒,其占比例为16%。二者合计比例达95%。由此可知,黄铁矿和石英是主要的载金矿物。

4.5 金的光学性质与化学成分

在反光偏光显微镜下,自然金反射色为金黄色和亮黄色,反射率明显高于黄铁矿、方铅矿,为均质矿物,无反射多色性和内反射性质,显微硬度低。电子探针分析结果(表4)表明:自然金中Au含量为

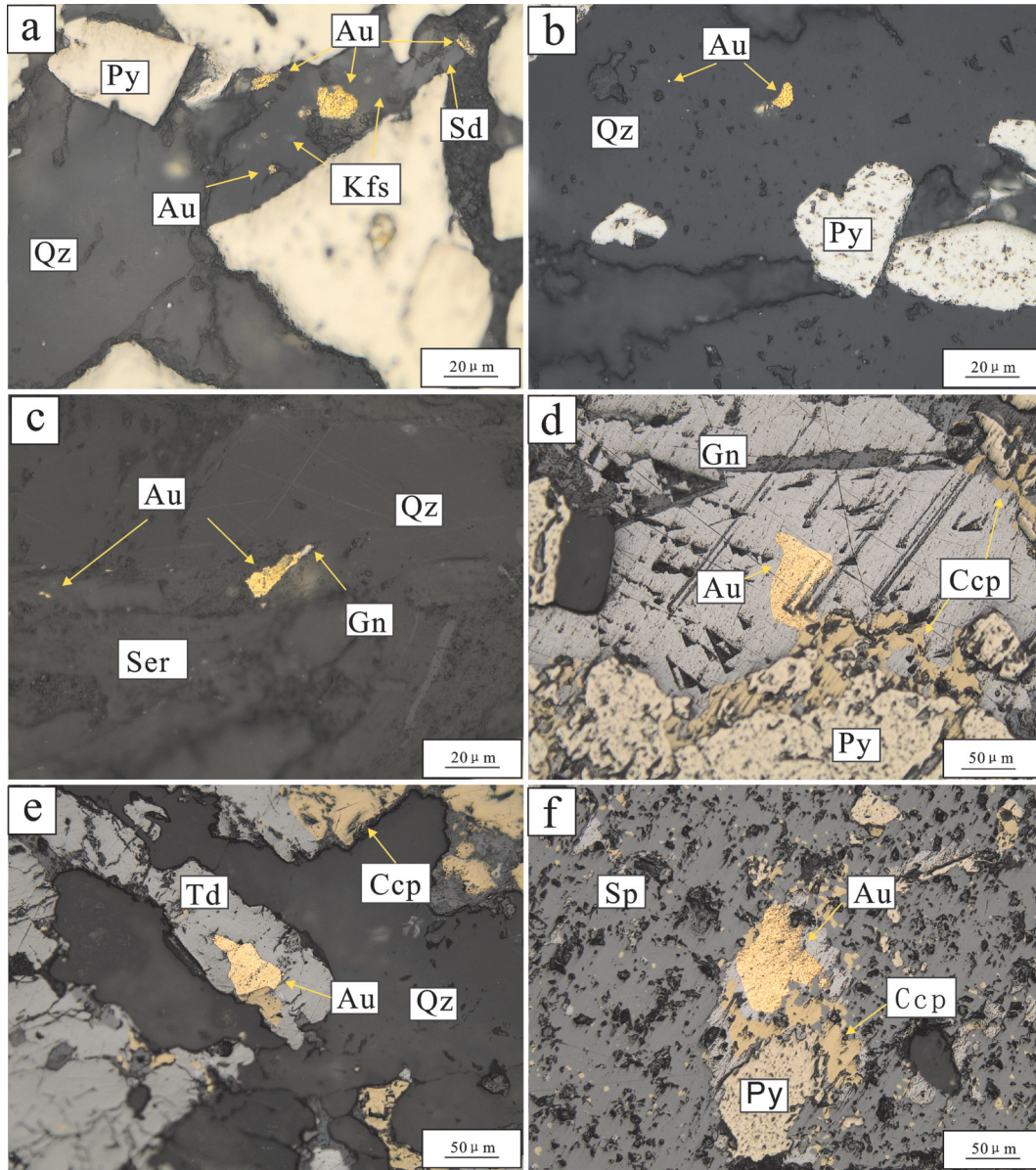


图4 新地沟金矿金的形态

a—自然金被钾长石包裹;b—为自然金被石英包裹;c—为自然金被绢云母包裹;d—为自然金被方铅矿包裹,方铅矿与黄铜矿共生;
e—为自然金与黄铜矿共生,被黝铜矿包裹;f—自然金与方铅矿、黄铜矿连生,整体被闪锌矿包裹;
Py—黄铁矿;Qz—石英;Ser—绢云母;Au—金;Kfs—钾长石;Gn—方铅矿;Td—黝铜矿;Ccp—黄铜矿;Sp—闪锌矿;Sd—菱铁矿

Fig.4 The shape of gold in the Xidigou gold deposit

a—Gold embedded in Potash feldspar; b— Gold embedded in quartz; c— Gold embedded in sericite;
d— Gold wrapped by galena associated with chalcopyrite; e— Tetrahedrite wrapping gold associated with chalcopyrite;
f—Gold associated with galena and chalcopyrite, which are wrapped by sphalerite;Py—Pyrite; Qz—Quartz; Ser—Sericite; Au—Native gold;
Kfs—Potash feldspar; Gn—Galena; Td—Tetrahedrite; Ccp—Chalcopyrite; Sp—Sphalerite; Sd—Siderite;

表2 金粒度和嵌布特征
Table 2 Granularity and disseminating characteristics of gold

粒级	粒度范围/ μm	平均粒径/ μm	颗粒数	颗粒含量分布/%	颗粒累计含量分布/%
显微巨粒金	200~100	100	1	0.16	0.16
显微粗粒金	100~50	64	24	3.99	4.15
显微中粒金	50~20	31	124	20.6	24.75
显微细粒金	20~10	13	162	26.91	1.66
显微微粒金	10~5	6	97	16.11	67.77
显微极微粒金	5~0.2	2	194	32.23	100.00
合计			602	100.00	

表3 显微金的工艺粒度统计结果
Table 3 Technical granularity and disseminating characteristics of native gold

粒级	粒度范围/ μm	平均粒径/ μm	颗粒数	面积含量 / $10^3\mu\text{m}^2$	面积含量 分布/%	面积累计 含量/%
显微巨粒金	200~100	100	1	5.100	4.55	4.55
显微粗粒金	100~50	64	24	33.058	29.47	34.02
显微中粒金	50~20	31	124	53.549	47.74	81.76
显微细粒金	20~10	13	162	16.809	14.98	96.74
显微微粒金	10~5	6	97	2.839	2.53	99.27
显微极微粒金	5~0.2	2	194	0.824	0.73	100.00
合计			602	112.179	100.00	

51.73%~93.44%, Ag含量较高,为5.9%~47.88%,并含有其他微量元素。如Fe含量为0~5.01%,S含量为0~4.92%,Hg含量为0~1.68%,Te含量为0~0.15%。Cu含量0~1.92%,Bi含量为0~0.59%。绝大多数金矿物都含Hg和Bi元素。根据金银系列矿物的六分法^[24],新地沟金矿床中的自然金属于含银自然金和银金矿系列,以自然金为主、少量银金矿。

金与各元素的相关性分析(表5)表明,Au和Ag的相关系数为-0.98,铋、汞和金的相关性为0.39、0.23,这是因为汞和铋是能够进入金的晶格中的重要杂质元素^[25],Hg含量相对较高,说明金矿物的形成温度不高^[26]。其中Fe、S、Ni、Te等元素与金呈负相关,有可能以类质同象的形式取代了金矿物中的Au、Ag。

5 讨论

自然金(包括银金矿)是我国岩金矿床中最主要的金矿物。研究金的粒度分布对于推断矿床形成条件,指导矿石选冶都有重要意义^[27]。通过新地沟金矿床中金赋存状态的详细研究。对不同赋存状

态的金矿物的颗粒大小进行统计分析(图6),可知0.2~4 μm 为粒间金和裂隙金的峰值,裂隙金的峰值为0.2~8 μm 。总体自然金的峰值为0.2~4 μm 。但三者平均粒度有差异,粒间金的平均粒度13 μm ,裂隙金的平均粒度18 μm ,包体金的平均粒度11 μm 。粒间金中粒度在20 μm 以上的有36粒,裂隙金有74粒,包体金有38粒;裂隙金粒度与包体金、粒间金粒度相比较,甚至出现金脉(图3-F)。

5.1 金粒度的指示意义

金的粒度分布是评价矿床的问题之一。另一方面每一个矿床都存在一个主要粒度范围,这一范围具有一定的成因意义。进一步根据粒度分布直方图的形态和偏度系数,可将其分成三种类型:单峰型、双峰正偏型、双峰负偏型^[27],从图5可以看出新地沟金矿床金矿物粒度分度为具有一定正双峰(高峰出现在细粒级别,低峰出现在粗粒级别),峰值范围在0.2~5 μm 和10~20 μm 。根据姚敬劬^[27]建立的金粒度与矿床类型的关系推测,该矿床应属于岩浆热液矿床、变质热液型金矿,笔者认为本区矿床成因是多阶段的,自然金粒度分布呈有一定偏斜

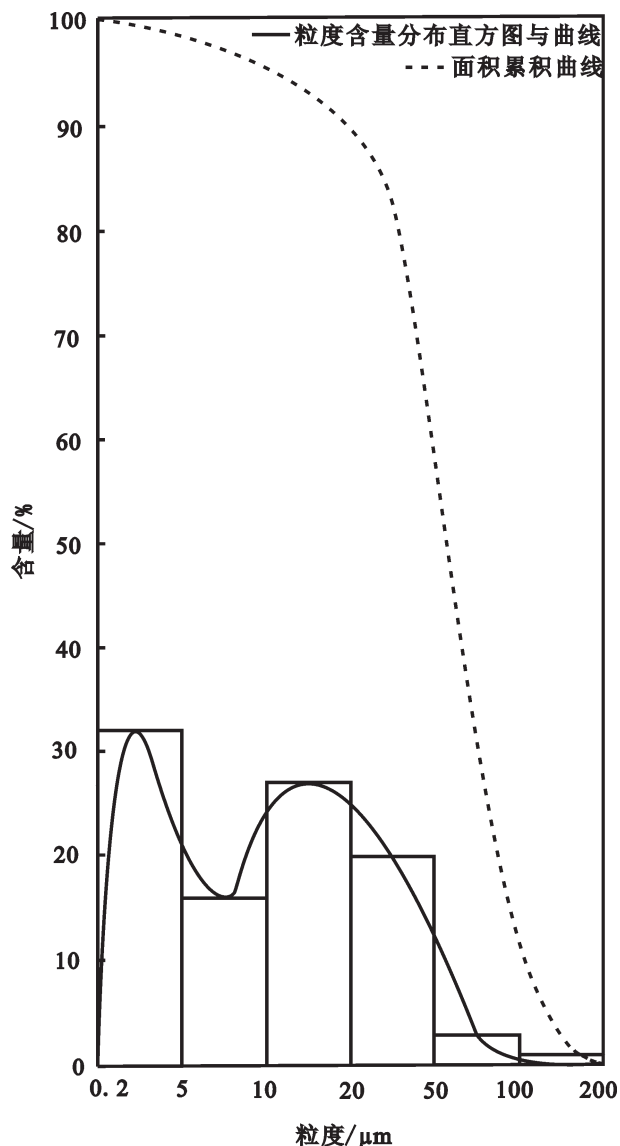


图5 显微金的粒度含量分布与面积累积曲线
Fig.5 Occurrence and distribution of the gold grains

的单峰或双峰曲线反映其形成的多阶段性^[27]。矿体内有岩脉穿插,区域内金的背景值很高,有可能在岩脉侵入矿体的时候有金矿物形成,赋矿围岩和矿石在恢复原岩显示为与中基性火山岩类似^[5],显示了岩浆热液矿床的迹象,新地沟绿岩型金矿的赋矿围岩及矿石为糜棱岩、千糜岩,新地沟金矿为变质热液型金矿,所以新地沟金矿成因是多阶段的。

自然金粒度主要由形成时的物理化学条件所控制,其分布则受金的沉淀方式的影响,自然金的沉淀方式有3种:从溶液中正常结晶、交代及胶体

凝聚。一般说来,交代作用形成裂隙金、粒间金,粒度较大;而从溶液中正常结晶的金粒随结晶条件(晶核形成速度、晶粒生长速度)的变化而改变大小;胶体凝聚形成的金颗粒微细,常被硫化物包裹或泥质碳吸附^[27-28],金的3种沉淀机制的成矿作用可以造成矿床中自然金颗粒的粒度大小不等以及形态的多样化^[20]。由于新地沟金矿位于韧性剪切带上,极有利于成矿溶液的渗滤和成矿物质沿矿物裂隙沉淀。区内粒级较大的金矿物为裂隙金,且大多数呈树枝状、长棒状,指示新地沟金矿金的沉淀方式为交代的可能性大。

5.2 金的成色及成分指示意义

国内外学者研究较多的仍是金的成色问题。由于理解不同,金成色有2种表示方法: $Au/(Au + Ag) \times 1000$; $Au/(Au + Ag + \text{其他元素}) \times 1000$ 。笔者采用前者。金的成色与矿床成因类型、形成深度、变质程度、成矿时代、成矿温度、矿化阶段、成矿热液性质、载金矿物、围岩性质及风化剥蚀程度等多种因素有关^[29],根据化学成分计算金矿物的成色(表4),变化范围为518~941,平均为803。通过测试不同的载金矿物中的金,发现同一矿段石英包体金成色平均为900,高于黄铁矿包体金成色(平均为860),就整个矿区而言,赋存在石英中的金平均成色为900,同样高于赋存在黄铁矿中的金平均成色(851),这可能是金属离子相对于Si更容易以类质同象、固溶体、吸附的方式进入金矿物,从而使金的成色变低。不同嵌布方式的矿物的成色也是不一样的,本区包体金平均成色860,裂隙金平均成色为845,粒间金平均成色为748。新地沟金矿床金成色总体低于同类型的绿岩带金矿床,高于金厂峪、峪耳崖金矿成色变化范围(692~953,平均为573)^[30],而低于排山楼金矿床^[31](884~957,平均为929)、南龙王庙矿床^[32](878~969,平均为928)及福建肖板金矿床^[33](平均为930)中自然金成色。

金的成色与矿床的形成深度有关,形成深度大,成矿温度高,金的成色也高^[34]。由于新地沟金矿床中金的成色低于国内同种类型的成色,结合张振儒^[34]和聂凤莲^[35]研究认为:金矿物的成色与其成矿温度和深度呈正相关关系,Au成色为830~940的金矿床为高中温,780~860的为中温矿床,480~680的为低温矿床。新地沟金矿床的金平均成色处于

表4 金矿物的电子探针结果(%)
Table 4 Electron microprobe analyses of gold in the Xindigou gold deposit (%)

样号	金矿物	金矿物的产状	Ge	Ga	S	Bi	Te	Fe	Cu	Ni	Cr	Ag	Au	Hg	total	成色
14XDG-8-13-1	自然金	粒间金	0.02	0.15	0.00	0.48	0.04	0.00	0.00	0.04	0.04	7.96	89.72	0.71	99.15	918
14XDG-8-13-2	自然金	粒间金	0.02	0.15	0.07	0.53	0.00	0.06	0.15	0.00	0.02	7.31	90.34	0.91	99.55	925
14XDG-8-1-1	自然金	粒间金	0.00	0.12	0.03	0.44	0.07	1.46	0.00	0.01	0.21	17.06	80.22	1.60	101.21	825
14XDG-8-10-5	自然金	粒间金	0.00	0.12	0.11	0.53	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	15.96	81.62	0.99	99.53	836
14XDG-8-10-4	自然金	粒间金	0.03	0.12	0.03	0.38	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	17.81	79.98	0.77	99.30	818
14XDG-109-6-1	自然金	粒间金	0.00	0.12	0.21	0.42	0.04	0.01	1.92	0.00	0.00	13.80	82.59	0.80	99.91	857
14XDG-8-3-2	自然金	石英包体金	0.03	0.18	0.02	0.51	0.03	0.00	0.00	0.00	0.12	5.90	93.44	0.31	100.54	941
14XDG-8-5-1	自然金	石英包体金	0.00	0.06	0.00	0.47	0.04	0.46	0.00	0.00	0.00	17.20	80.20	1.62	100.06	823
14XDG-8-1-7	自然金	石英包体金	0.00	0.12	0.03	0.48	0.00	0.15	0.00	0.01	0.09	6.22	91.21	1.68	99.99	936
14XDG-8-3-1	自然金	黄铁矿包体金	0.02	0.08	0.26	0.49	0.00	0.44	0.00	0.02	0.13	14.85	83.38	0.85	100.51	848
14XDG-8-5-2	自然金	黄铁矿包体金	0.01	0.08	0.07	0.44	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	15.84	82.00	1.02	99.64	838
14XDG-1690-61	自然金	黄铁矿包体金	0.00	0.10	0.04	0.56	0.00	1.21	0.00	0.03	0.80	11.22	84.11	1.66	99.72	882
14XDG-8-10-3	自然金	钾长石包体金	0.07	0.14	0.05	0.38	0.00	0.45	0.00	0.01	0.00	15.61	81.50	1.19	99.39	839
14XDG-8-10-6	自然金	方解石包体金	0.03	0.07	0.02	0.46	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	15.38	82.74	0.97	99.75	843
14XDG-109-3-1	自然金	黝铜矿包体金	0.00	0.11	0.49	0.28	0.15	0.25	0.00	0.02	0.00	16.57	82.44	0.05	100.36	832
13XDG-1690-1	自然金	黄铁矿裂隙金	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.52	89.29	0.00	99.81	895
14XDG-8-2-1	银金矿	黄铁矿裂隙金	0.03	0.11	0.10	0.45	0.03	1.16	0.01	0.00	0.11	17.38	78.48	0.93	98.78	819
14XDG-8-2-2	银金矿	黄铁矿裂隙金	0.00	0.15	0.09	0.42	0.00	1.36	0.00	0.00	0.40	17.33	79.85	0.80	100.40	822
14XDG-8-1-5	银金矿	绢云母包体金	0.00	0.09	0.33	0.29	0.05	0.24	0.00	0.05	0.09	16.92	79.43	1.39	98.88	824
14XDG-8-13-3	银金矿	粒间金	0.02	0.08	4.92	0.32	0.04	5.01	0.00	0.02	0.09	17.06	70.86	0.51	98.92	806
14XDG-8-5-3	银金矿	粒间金	0.04	0.04	0.00	0.25	0.00	3.03	0.00	0.02	0.00	16.82	78.18	1.42	99.81	823
14XDG-109-3-1	银金矿	粒间金	0.02	0.03	0.02	0.23	0.08	0.00	0.08	0.00	0.01	44.97	54.48	0.53	100.44	548
14XDG-109-6-2	银金矿	粒间金	0.00	0.05	0.08	0.29	0.07	0.25	0.00	0.04	0.07	47.10	52.00	0.54	100.49	525
14XDG-109-1-1	银金矿	粒间金	0.00	0.03	0.24	0.38	0.13	0.25	0.00	0.00	0.12	46.64	51.73	0.54	100.07	526
14XDG-109-1-2	银金矿	粒间金	0.00	0.08	0.06	0.36	0.05	1.07	0.00	0.00	0.11	19.72	77.24	0.66	99.36	800
14XDG-109-1-4	银金矿	粒间金	0.00	0.00	0.07	0.23	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	47.88	51.41	0.50	100.20	518

注:测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室;测试者:陈振宇。实验条件:加速电压20 kV,电流 2×10^{-8} A,束斑 $5 \mu\text{m}$,ZAF修正法,数据为0.00表示低于检测下限。其中25号样品只测Au和Ag。

表5 金物矿物中各元素相关性分析

Table 5 The correlation between the elements of gold minerals

	Au	Ag	Hg	Bi	Ga	S	Te	Fe	Ni	Cr
Au	1.00									
Ag	-0.98	1.00								
Hg	0.25	-0.29	1.00							
Bi	0.40	-0.41	0.50	1.00						
Ga	0.65	-0.65	0.20	0.69	1.00					
S	-0.13	-0.02	-0.19	-0.13	-0.04	1.00				
Te	-0.60	0.62	-0.42	-0.30	-0.32	0.06	1.00			
Fe	-0.07	-0.09	0.14	-0.09	-0.07	0.77	-0.15	1.00		
Ni	-0.08	0.04	0.13	-0.12	0.00	0.15	0.09	0.15	1.00	
Cr	0.09	-0.12	0.33	0.35	0.17	-0.01	-0.20	0.22	0.18	1.00

780~860 范围内,说明该矿床成矿条件为中温。同时自然金中明显富含 Hg,同样指示本矿区内成矿流体为中低温相。金矿物中的微量元素也可指示成因类型。浅成富含 Sb、Te、Mn,中深成富含 Bi,深成含 Ti,贯通元素为 Fe、Cu、Pb^[29]。本区电子探针数据显示金矿物富含 Bi,指示其形成深度为中深度。这与前人研究新地沟金矿形成条件是中等深度,中温也是一致的^[3]。

6 结 论

(1)新地沟金矿物以粒间金、裂隙金、包体金和连生金等形式嵌布于黄铁矿、石英、方铅矿、钾长石、绢云母、黝铜矿、菱铁矿、褐铁矿、闪锌矿等矿物中,且黄铁矿和石英与金的嵌布关系最为密切,其比例共为 95%,其中黄铁矿比例为 79%,石英为 16%。

(2)自然金的粒度主要以显微极微细粒金(0.2~5 μm)、显微微粒金(5~10 μm)、显微细粒金(10~20 μm)、显微中粒金(20~50 μm)为主,分别占 32.23%、16.11%、26.91%、20.6%,显微粗粒金(50~100 μm)和巨粒金(100~200 μm)数量较少,其含量仅占 4.15%,但面积比可达 33.97%,对于矿石品位和储量来说十分重要。

(3)新地沟金矿床矿石中存在大量金颗粒,金以显微金为主,明金极少见。金矿物以自然金为主,少许银金矿。自然金中 Au 含量为 51.73%~93.44%,Ag 含量较高,为 5.9%~47.88%,并含有其他微量元素。

(4)新地沟矿金矿物的成色变化较大(518~

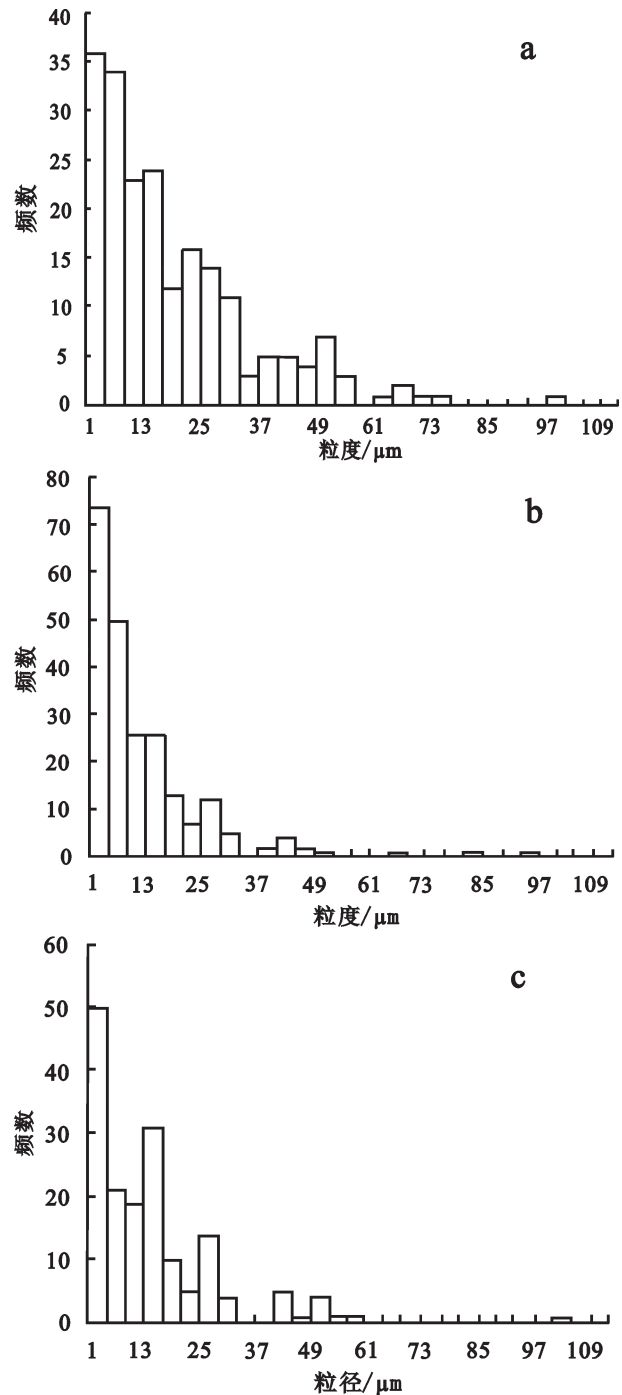


图6 新地沟金矿金矿物分类粒度分布直方图
a—裂隙金粒度分布直方图; b—包裹金粒度分布直方图; c—粒间金粒度分布直方图

Fig. 6 The histograms showing distribution of granularity of gold in different modes of occurrence

a—The histograms of distribution of granularity of fissure-filling gold; b—The histograms of distribution of granularity of inclusion gold; c—The histograms of distribution of granularity of intergranular gold

941),平均成色为803,比国内绿岩带金矿成色略低,其中载金矿物和嵌布方式对金的成色有一定影响。金矿物的成色和特征反映本区金矿应为中深度中温。这与地质地球化学研究和成矿时代所获得的矿床成因是相符合的。

致谢:野外工作得到内蒙古沃野金矿田润福矿长、廖主任等领导的大力支持;室内工作得到刘冲昊博士、翟德高博士的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] 胡凤翔, 黄占起, 李四娃, 等. 内蒙古中部地区绿岩及绿岩型金矿成矿地质特征[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(4):190-198.
Hu Fengxiang, Huang Zhanqi, Li Siwa, et al. The geological characteristics of greenstone and greenstone-type gold deposit in central Inner Mongolia[J]. Progress in Precambrian Research, 2002, 25(4): 190-198(in Chinese with English abstract).
- [2] 张振法, 吴长柱. 内蒙古地轴中段新地沟金异常区综合找矿模式[J]. 内蒙古地质, 1998, 86(1):2-24.
Zhang Zhenfa, Wu Changzhu. Synthetic prospecting model of Xindigou gold anomaly area in middle, Inner Mongolia Axis[J]. Geology of Inner Mongolia, 1998, 86(1):2-24(in Chinese with English abstract).
- [3] 王守光, 王存贤, 郑宝军, 等. 内蒙古新地沟绿岩型金矿床地球化学特征[J]. 地质调查与研究, 2004, 27(2):112-117.
Wang Shouguang, Wang Cunxian, Zheng Baojun, et al. The geochemical characteristics of Xindigou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Geological Survey and Research, 2004, 27(2):112-117 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李俊建, 周学武, 沈保丰, 等. 内蒙古中部大青山新地沟绿岩带型金矿的成矿时代[J]. 地质与勘探, 2005, 41(5):1-4.
Li Junfen, Zhou Xuewu, Shen Baofeng, et al. Metallogenic age of the Xidigou greenstone belt-type gold deposit in the Qaingshan area, central Inner Mongolia[J]. Geology and Prospecting, 2005, 41(5):1-4 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赵维宽, 徐九华, 席忠, 等. 内蒙古中部大青山新地沟-卯独庆金矿床的构造-蚀变-成矿作用[J]. 地质通报, 2008, 29(4): 575-583.
Zhao Weikuan, Xu Jiuhua, Xi Zhong, et al. Tectonic-alteration-mineralization of the Xindigou-Maoduqing gold deposits in the Daqing Mountains, Inner Mongolia, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 29(4):575- 583(in Chinese with English abstract).
- [6] 吕召恒. 内蒙古察哈尔右翼中旗新地沟金矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. 西部资源, 2012, 20(5):144-149.
Lv Zhaozheng. Geological features and genesis of the Xindigou Gold Deposit in Cahayouzuqi, Inner Mongolia[J]. Western Resources, 2012, 20(5):144- 149 (in Chinese with English abstract).
- [7] 徐国权, 张履桥, 李建伏. 内蒙古中部大青山东段二道洼岩群分布区金矿找矿方向[J]. 内蒙古地质, 2001, 98(1):12-15.
Qian Guoquan, Zhang Lvqiao, Li Jianfu. Congenial and founding ore direction to Erdaowa Group distribution area in the eastern of Daqingshan, middle in Inner Mongolia[J]. Geology of Inner Mongolia, 2001, 98(1):12-15 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杜映东, 李志华, 范云飞. 内蒙古察右中旗小西沟绿岩型金矿床金的赋存状态及分布规律[J]. 内蒙古科技与经济, 2012, 258(8): 63-64.
Du Yingdong, Li Zhihua, Fan Yunfei. Gold occurrence and distribution of the Xinxigou gold deposit in Chahayouyizhongqi, Inner Mongolia[J]. Inner Mongolia Science & Technology and Economy, 2012, 258(8):63-64 (in Chinese with English abstract).
- [9] Liipo J. Characterization of the mode of occurrence of gold in Joki-sivu pilot feed and products[J]. Minerals Engineering, 2003, 16(11):1317-1321
- [10] Connor C T, et al. The foliation of gold bearing ores—a review[J]. Minerals Engineering, 1994, 7(7):839-849.
- [11] Hausen D M. Characterizing the textural features of gold ores for optimizing gold extraction[J]. Miner. Met. Mater. Soc., 2000, 52(4):14-16.
- [12] Allan G C, Woodcock J T. A review of the flotation of native gold and electrum[J]. Minerals Engineering, 2001, 14(9):931-962
- [13] Hallbauer, D. K. , Joughin, N. C. The size distribution and morphology of gold particles in Witwatersrand reefs and their crushed products[J]. S. Afr. Inst. Min. Metall. 1973, 73: 395-405.
- [14] Zhou J Y, Cabri L J. Gold process mineralogy: objectives, techniques, and applications[J]. Miner. Met. Mater. Soc., 2004, 56(7): 49-52.
- [15] 王新亮, 胡凤翔, 苏茂荣, 等. 内蒙古大青山新地沟金矿地质特征、成矿条件及成矿规律[J]. 内蒙古地质, 2002, 105(4):1-7.
Wang Xinliang, Hu Fengxiang, Su Maorong, et al. Geological features, metallogenetic condition and regularity of Xindigou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Geology of Inner Mongolia, 2002, 105(4):1-7 (in Chinese with English abstract).
- [16] 刘家军, 毛光剑, 吴胜华, 等. 甘肃寨上金矿床成矿特征与形成机理[J]. 矿床地质, 2010, 29(1):85-100.
Liu Jiajun, Mao Guangjian, Wu Shenghua, et al. Metallogenic characteristics and formation mechanism of Zhaishang gold deposit, southern Gansu Province[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1):85-100 (in Chinese with English abstract).
- [17] 梁俊红, 刘海波, 王建国. 自然金的标型及成色特征在金矿床研究中的意义[J]. 黄金, 2000, 21(12):1-5.
Liang Junhong, Liu Haibo, Wang Jianguo, et al. The meaning of the typomorphic characteristics of native gold and its fineness feature in the researches of ore deposit[J]. Gold, 2000, 21(12):1-5(in Chinese with English abstract).
- [18] 刘家军, 郑明华. 拉尔玛层控金矿床中金的赋存状态研究[J]. 黄金, 1994, 15(11):7-12.
Liu Jiajun, Zheng Minghua. The gold occurrence of Laerma stratabound gold deposit[J]. Gold, 1994, 15(11):7-12(in Chinese with English abstract).
- [19] 朱炳玉, 刘家军, 朱亿广, 等. 新疆伊宁金山金矿床金的赋存状态[J]. 地质通报, 2010, 29(7):1049-1055.
Zhu Bingyu, Liu Jiajun, Zhu Guangyi, et al. Gold occurrence of

- the Jinshan gold deposit in Yining, Xinjiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29 (7):1049-1055(in Chinese with English abstract).
- [20] 杨隆勃, 刘家军, 王建平, 等. 陕西略阳铼厂沟金矿床金的赋存状态研究[J]. 现代地质, 2013, 27(2):303-313.
Yang Longbo, Liu Jiajun, Wang Jianping, et al. Study of occurrence of native gold in the Huachanggou gold deposit, Shanxi Province, China [J]. Geoscience, 2013, 27(2):303-313 (in Chinese with English abstract).
- [21] 梁冬云, 李玉燕. 变质岩型金矿金的赋存状态及对选矿工艺的影响[J]. 广东有色金属学报, 1995, 5(1):1-7.
Liang Dongyun, Li Yuyan. Study on the occurrence state of gold in a metamorphosed rock-type gold mine and its influence on the gold extraction process[J]. Journal of Guangdong Non-ferrous metals, 1995, 5(1):1-7 (in Chinese with English abstract).
- [22] 胡海祥, 牛桂强, 刘洪澜, 等. 焦家金矿主矿区金矿石的赋存特征[J]. 岩矿测试, 2013, 32(6):931-937.
Hu Haixiang, Niu Guiqiang, Liu Honglan, et al. The occurrence characteristics of gold in the Jiaojia gold deposit[J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32 (6):931-937(in Chinese with English abstract).
- [23] 李强, 杨富全, 柴凤梅, 等. 新疆准噶尔北缘阿克希克铁金矿流体包裹体研究[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 1897-1913.
Li Qiang, Yang Fuquan, Chai Fengmei, et al. Study on fluid inclusions of the Akexike Fe-Au deposit in northern Junggar, Xinjiang[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 1897-1913(in Chinese with English abstract)
- [24] 潘兆橹. 结晶学与矿物学[M]. 北京:地质出版社, 1994:23-25.
Pan Zhaolu. Crystallography and Minerology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994:23-25(in Chinese).
- [25] 吴尚全. 自然金化学成分的不均一性及其中杂质元素的研究[J]. 地质论评, 1985, 31(3):253-260.
Wu Shangquan. Heterogeneity of the chemical composition of native gold and its impurities[J]. Geological Review, 1985, 31(3): 253-260(in Chinese with English abstract).
- [26] 杨忠琴. 黔东南从江翁浪金矿床矿物特征及金的赋存状态研究[D]. 贵州大学, 2008.
Yang Zhongqin. The occurrence of gold and the mineral characteristics in the Wenglang gold deposit, Qiandongnancongjia[D]. Guizhou University, 2008(in Chinese with English abstract).
- [27] 姚敬劬. 我国岩金矿床中自然金粒度分布的某些特征及意义[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1991, 21(3):152-154.
Yao Jingqu. The significance and distribution of some of the characteristics of natural gold in the particle size in rock gold deposits, China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1991, 21 (3):152-154(in Chinese with English abstract).
- [28] 张江华, 王葵颖, 赵阿宁, 等. 小秦岭金矿区水系沉积物重金属特征研究[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 602-611.
Zhang Jianghua, Wang Kuiying, Zhao Aning, et al. Heavy metal characteristics of stream sediments in the Xiaoqinling gold ore district[J]. Geology in China, 2013, 40(2): 602-611(in Chinese with English abstract).
- [29] 孟繁聪, 孙岱生, 寸珪. 胶东金矿金成色及其指示意义[J]. 黄金地质, 1998, 4(4):31-33.
Meng Fancong, Sun Daisheng, Cun Gui. The fineness of native gold and its indicative significance in Jiaodong Gold mines[J]. Gold Geology, 1998, 4 (4):31-33(in Chinese with English abstract).
- [30] 廖香俊, 范国传. 金厂峪、峪耳崖金矿自然金的标型特征及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(2):170-178.
Liao Xiangjun, Fan Guochuan. Typomorphic characteristics of native gold from the Jinchangyu and Yuerya gold deposits and their significance[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 1995, 14 (2):170-178(in Chinese with English abstract).
- [31] 曲亚军, 高殿生. 排山楼金矿床地质特征及金质来源[J]. 辽宁地质, 1990, 12(4):304-313.
Qu Yajun, Gao Diansheng. Genesis and geological characteristics of gold deposits at Paishanlou in west Liao Ning[J]. Liao Ning Geology, 1990, 12(4):304-313(in Chinese with English abstract).
- [32] 沈保丰, 骆辉. 华北陆台太古宙绿岩带金矿的成矿特征[J]. 华北地质矿产杂志, 1994, 9(1):87-96.
Shen Baofeng, Luo Hui. The metallogenetic characteristics of gold deposits of the archean greenstone belts in North China Platform[J]. Jour. Geol. & Min. Res. North China, 1994, 9(1):87-96(in Chinese with English abstract).
- [33] 陈柏林, 吴淦国, 赵荣文, 等. 福建尤溪肖板金矿床金的赋存状态及金矿物特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(2):62-68.
Chen Bolin, Wu Ganguo, Zhao Rongwen, et al. Mode of occurrence of gold and characteristics of gold minerals in Xiaoban gold deposit, Youxi County, Fujian Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1999, 18(2):62-68(in Chinese with English abstract).
- [34] 张振儒, 杨思学. 金的成色研究[J]. 地质与勘探, 1986, 22(11): 36-37.
Zhang Zhengru, Yang Sixue. Study of the gold fineness[J]. Geology and Prospecting, 1986, 22(11):36-37(in Chinese with English abstract).
- [35] 聂凤莲, 赵天心, 张蜀冀. 冀东一些金矿床金矿物特征及金成色地质意义[J]. 黄金地质, 2003, 9(1):48-51.
Nie Fenglian, Zhao Tianxin, Zhang Suji. Character of gold mineral and geological significance of gold fineness of some gold deposits in eastern Hebei[J]. Gold Geology, 2003, 9(1):48-51(in Chinese with English abstract).