

# 辽东小佟家堡子金矿岩石地球化学 及成矿条件研究

刘国平

艾永富

(中国有色金属总公司北京矿产地质研究所, 北京) (北京大学地质系, 北京)

**提 要:** 辽东小佟家堡子金矿为隐伏的大型微细浸染型金矿。矿体寄主岩石以变粒岩为主, 次为大理岩、云母片岩。不同类型容矿岩石对比研究表明, 具有良好渗透性, 同时又是成矿溶液物理障和化学障的岩石是细脉浸染状矿床的最有利容矿岩石。围岩与矿石的地球化学特征综合研究反映了成矿溶液早期为氧化、偏酸性, 晚期逐渐变为还原、偏碱性。矿化元素组合、矿化过程微量元素变化特征以及成矿溶液的演化等表明该矿床为浅成低温热液成矿。

**关键词:** 小佟家堡子金矿 微细粒浸染型 岩石地球化学 成矿溶液 辽东

小佟家堡子金矿位于辽东青城子铅锌矿田东部, 1993 年由中国有色金属工业总公司所属的 103 地质队在总结金矿成矿规律后, 通过钻探发现的大型隐伏金矿床。众所周知, 辽东是我国金矿集中区之一, 且与胶东金矿集中区隔海相望。小佟家堡子金矿是该区一种新类型金矿, 为微细粒浸染型, 主要矿体顺层产出于古元古代辽河群大石桥组上部碳酸盐层与片岩层的过渡带。该矿床为隐伏矿床, 原生矿发育, 为利用岩石学和地球化学方法研究金矿床的成矿作用提供了条件。

## 1 矿床地质背景

小佟家堡子金矿的大地构造位置隶属于华北陆块辽东太古宙地体辽东裂谷带<sup>[1]</sup>, 该裂谷带是在太古宙基底上古元古代期间地壳拉张裂解—快速沉降—回返挤压收缩形成的陆间裂谷, 岩石建造为辽河群一套绿片岩相与角闪岩相的变质岩系, 具有大于  $(18 \pm 0.5)$  亿年的变质年龄。原岩恢复表明其下部为火山-沉积碎屑岩建造, 中部碳酸盐岩建造, 上部粘土岩-半粘土岩建造<sup>[2]</sup>。主要赋矿层位为碳酸盐岩建造的大石桥组上部位。该区区域构造表现了多期性和复杂性。基底构造主要为 EW 向。显生宙以来, 断裂构造成了区域构造的主要格架。岩浆岩分布广泛, 以印支期、燕山期表现强烈。该矿床产于青城子矿田东部 (图 1)。

## 2 矿床地质特征

小佟家堡子金矿分为 3 个矿带 (图 2)。I 号矿带产于辽河群大石桥组三段五层大理岩顶

刘国平, 男, 1964 年生, 硕士, 高级工程师, 1986 年毕业于北京大学地质系, 主要从事矿床和勘查找矿研究。邮政编码: 100012

1997-10-16 收稿, 1997-12-26 修改回

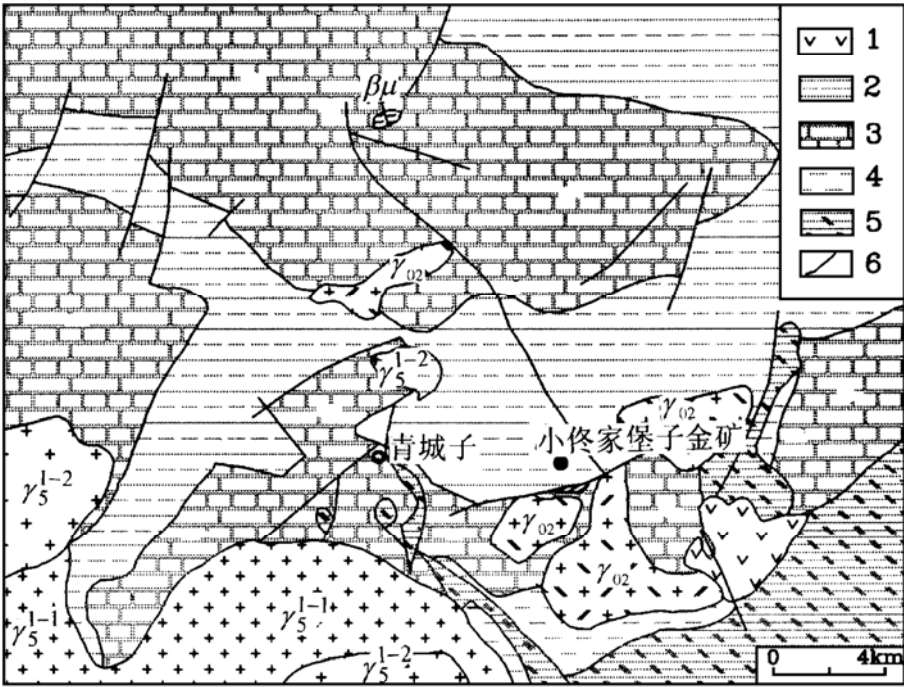


图 1 小佟家堡子金矿区域地质简图  
(据辽宁有色地质 103 队资料修编)

1—白垩纪火山岩；2—辽河群盖县组；3—辽河群大石桥组；4—辽河群浪子山组；5—元古代混合花岗岩；6—断层； $\gamma_5^{1-1}$ —印支早期花岗岩； $\gamma_5^{1-2}$ —印支晚期花岗岩； $\beta\mu$ —辉绿岩； $\gamma_{02}$ —元古代钠质花岗岩

Fig.1. Diagrammatic geological map of the Xiaotongjiapuzi gold ore district.

1—Cretaceous volcanic rock；2—Gaixian Formation of Liaohe Group；3—Dashiqiao Formation of Liaohe Group；4—Langzishan Formation of Liaohe Group；5—Proterozoic migmatitic granite；6—Fault； $\gamma_5^{1-1}$ —Early Indosinian granite； $\gamma_5^{1-2}$ —Late Indosinian granite； $\beta\mu$ —Diabase； $\gamma_{02}$ —Proterozoic sodium granite.

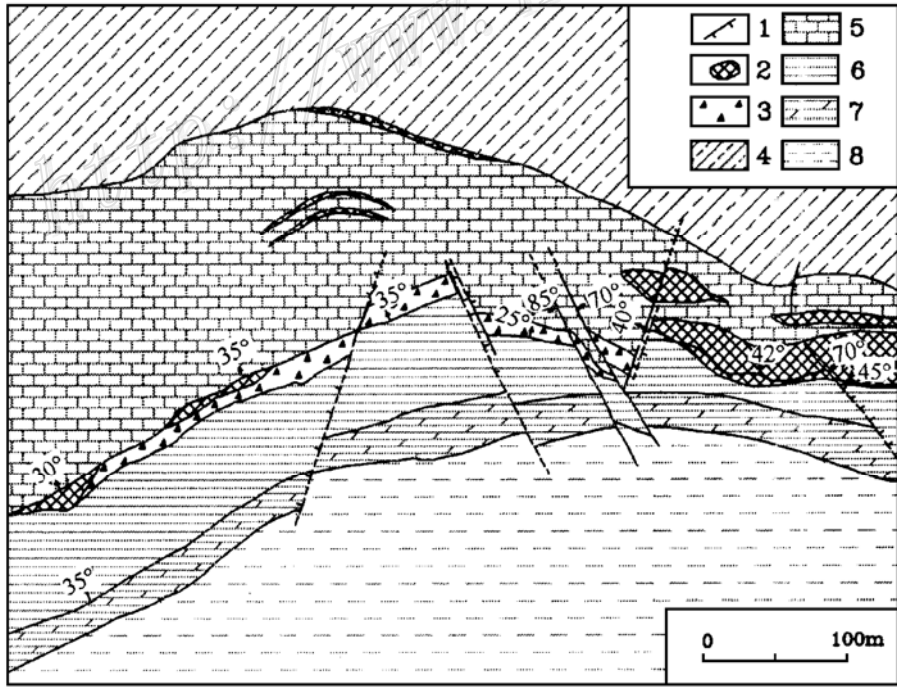


图 2 小佟家堡子金矿 104 m 中段平面地质略图  
(据辽宁有色地质 103 队资料修编)

1—断裂；2—矿体；3—破碎带；4—辽河群盖县组云母片岩；5—辽河群大石桥组三段五层大理岩；6—辽河群大石桥组三段四层石榴石云母片岩；7—辽河群大石桥组三段四层大理岩；8—辽河群大石桥组三段四层浅粒岩

Fig.2. Geological sketch map of 104 m level of the Xiaotongjiapuzi gold ore district.

1—Fault；2—Orebody；3—Shatter zone；4—Mica schist of Gaixian Formation, Liaohe Group；5—Marble in 5th layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation, Liaohe Group；6—Garnet mica schist of 4th layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation, Liaohe Group；7—Marble in 4th layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation, Liaohe Group；8—Leucoplectite in 4th layer of 3rd Member of Dashiqiao Formation, Liaohe Group.

部,含矿岩石为硅化角砾状大理岩、硅化岩,矿体以扁豆状、似层状产出,见4条矿体,单脉长60~150 m,厚1.0~5.40 m,延伸70~150 m,品位 $3.08 \times 10^{-6} \sim 7.18 \times 10^{-6}$ 。I-1号矿带,赋存于大石桥组三段五层中部的顺层破碎带中,含矿岩石为变粒岩、硅化大理岩,见6条工业矿体,呈扁豆状,似层状产出。单脉长80~200 m,厚度0.7~5.86 m,延深达300 m,金品位为 $3.06 \times 10^{-6} \sim 6.67 \times 10^{-6}$ 。Ⅱ号为主矿带,产于大石桥组三段四层云母片岩与五层大理岩之间的Ⅱ号断裂带中,容矿岩石以变粒岩为主,次为硅化大理岩、云母片岩,见3条矿体,呈扁豆状、似层状产出,单脉长70~200 m,厚度0.96~17.29 m,延伸360 m,金矿硫化物含量低,约为3%~5%,以黄铁矿、毒砂为主,少量闪锌矿、方铅矿。矿化蚀变以细脉状、星散浸染状产出,在角砾状矿石中细小晶洞构造较发育。以微粒金为主,细粒金较少。金矿物粒度细小,粒度一般在0.001~0.01 mm。主要载金矿物为毒砂,次为黄铁矿<sup>①</sup>。

### 3 赋矿岩石特征

小佟家堡子金矿赋矿岩石以变粒岩为主,次为云母片岩、硅化岩(硅质岩。为碳酸盐岩强硅化作用所形成的蚀变岩。主要由微晶石英组成,含少量的绢云母、方解石及硫化物矿物。石英呈微粒状,多为他形粒状,粒径为小于0.01~0.3 mm)、硅化大理岩,少量煌斑岩。矿化蚀变现象常以细脉状、星散浸染状形式产出。

变粒岩处于碳酸盐岩与云母片岩的过渡部位,韵律层发育,每个韵律层由原岩为粉砂岩、砂质泥岩、泥质灰岩和灰岩组成。有的韵律层仅表现在碎屑与胶结物相对含量的变化。单个韵律层厚度以1~10 mm为主,有时达50 mm,这种间层状的变粒岩的总厚度5~20 m,其厚度和韵律层频数变化大,且韵律层中长石/石英比例变化大,在很短的距离内既见到几乎纯的钾长石碎屑韵律层,也见到全部为石英碎屑组成的韵律层,表明沉积岩相变化很大。赋矿变粒岩中黄铁矿显示多期叠加特征,至少可以分为两期,即早期星散状黄铁矿,粒度较粗,自形一半自形;晚期为他形,微细粒结构,有时伴有毒砂,肉眼呈纹层状,镜下观察黄铁矿选择性地赋存于韵律层中。

变粒岩型矿石与变粒岩围岩对比研究表明:①矿石和围岩在韵律层发育程度、碎屑组分含量等方面并无明显区别;②在胶结物方面,围岩中碳酸盐(以白云石为主)发育,而矿石中以水云母、硅质为主,系碳酸盐被交代的结果;③矿石与围岩中黄铁矿含量也无明显区别,但两者毒砂含量有明显不同,矿石中细脉状、浸染状细小针状毒砂普遍,而围岩中少见;④在韵律层发育的矿石和围岩中纹层状硫化物也较发育,硫化物倾向于胶结物含量较多的韵律层中富集。

由围岩向矿体中心白云石大理岩的蚀变大致可分为4个带:①未明显蚀变的白云石大理岩;②细脉硅化带:石英细脉、网脉发育,同时粘土化(主要是绢云母)也较发育;③强硅化带:石英细脉、网脉非常发育,硅化交代碳酸盐也强烈,碳酸盐呈残留的角砾状、孤岛状,局部岩石表现为角砾状结构;④硅化岩带:石英细脉充填和硅化交代均十分强烈,碳酸盐几乎完全被交代,此外,局部发育高岭土化及黄铁矿-毒砂化。含金较高的矿石主要在②、③、④带内。

① 胡铁军、冯克竹等,1996,辽宁省凤城市青城子矿田小佟家堡子金银多金属矿床地质详查报告

云母片岩型矿石与近矿云母片岩对比表明：① 矿石和近矿围岩绢云母化较强，其中的石榴石变斑晶已交代蚀变为绢云母、水云母集合体，保留石榴石的假象，同时有黄铁矿化；② 两者区别是云母片岩矿石中发育含铁白云石的石英脉，其中含有黄铁矿、毒砂。

矿床中煌斑岩穿切地层，只有产于矿体中的煌斑岩含金较高，可以构成矿石。这两种煌斑岩，二者均具有较强的碳酸盐化，但煌斑岩型矿石中石英细脉较发育，其中含有黄铁矿和毒砂。

## 4 地球化学特征

### 4.1 常量元素

矿石常量元素明显富 Si，贫 Cu、Mg，这反映了硅化和脱碳酸盐化与原岩矿化的关系；此外，矿石 FeO 含量低于围岩，且  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  比值明显高于相应围岩，这是由于化学分析时硫化物形式的铁均进入了  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  分析项，因此

表明矿化过程中部分铁元素被硫化形成了硫化物相的黄铁矿、毒砂等。

### 4.2 微量元素

系统采集矿石、近矿围岩样品，具有如下特征：

(1) Au 与 As、Sb 构成重要的成矿元素组合。

(2) Cu、Pb、Zn 等矿化元素在硅化岩中含量较均一，而在正常大理岩和硅化大理岩中变化较大，并且在硅化大理岩中 Pb、Zn 含量较高，这与野外和镜下在硅化大理岩中见到细脉状和浸染状浅色闪锌矿是一致的。

(3) 硅化岩、硅化大理岩中 Mn 含量高于正常大理岩，表明矿化蚀变过程中，锰被带入。

(4) 从正常大理岩→硅化大理岩→硅化岩，Sr 含量减少，Ba 含量增加，Sr/Ba 比值从大于 1 变为小于 1。

(5) 矿石与围岩（包括变粒岩、大理岩、煌斑岩、片岩等）的 Ti、Cr、V、Co、Ni 等铁族元素，以及 Zr、Hf、Nb、Ta、Th、V 等大离子亲石元素的含量无明显差别（与同类型岩性相比）。

### 4.3 稀土元素

通过稀土型式及其它参数分析（图 3），小佟家堡子金矿稀土元素具有如下特征。

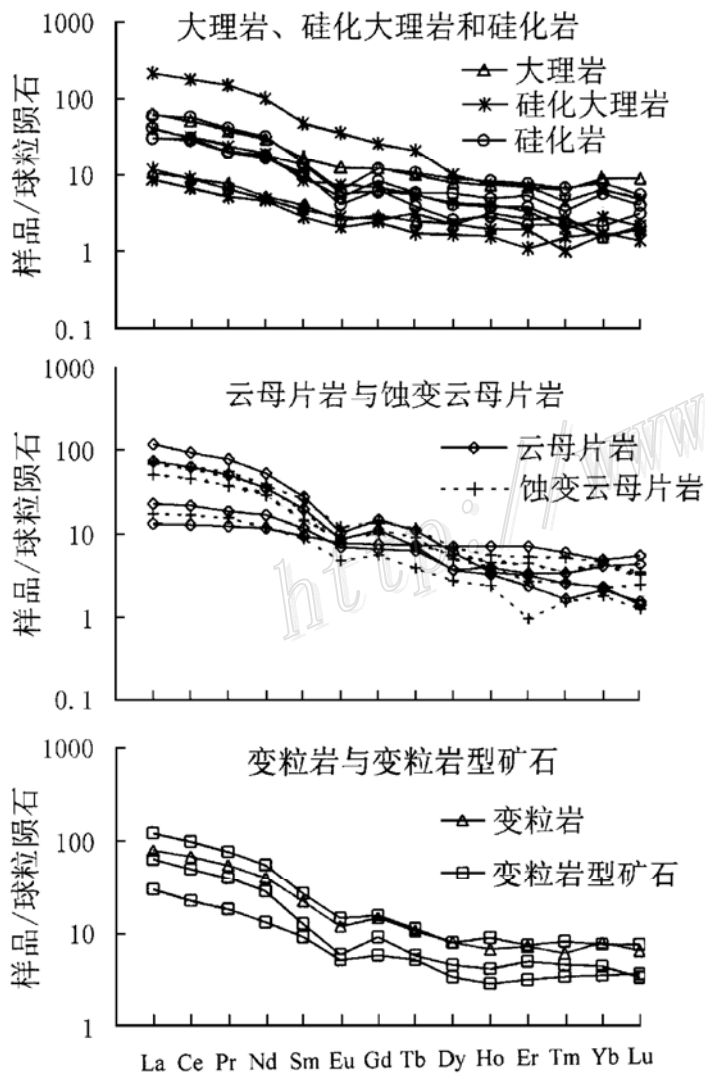


图 3 小佟家堡子金矿各种类型围岩和矿石稀土元素分布型式

Fig. 3. Chondrite-normalized REE patterns of various types of wall rocks and ores from the Xiaotongjiapuzi gold ore district.

(1) 变粒岩、云母片岩、大理岩的矿石和围岩样品稀土元素均保持了沉积岩的基本特征，如富轻稀土，普遍具有 Eu 的负异常。

(2) 变粒岩与变粒岩型矿石的稀土型式相近；近矿蚀变片岩与区域上片岩的稀土型式也很相似；相比之下，矿化蚀变的大理岩则具有明显不同的稀土特征，正常大理岩与硅化大理岩的稀土型式相似，但二者与硅化岩相比，硅化岩具有显著的 Eu 负异常。

(3) 金的矿化强度与稀土元素的总量、分布型式无明显关系。

## 5 成矿条件和找矿作用讨论

前人对微细粒金矿的成矿作用已进行过大量的研究，对矿床的成矿机制的看法也一直存在分歧。基于对地层、构造、矿床地球化学等特征的对比，作者认为小佟家堡子金矿的成矿条件和成矿方式有其特殊性，对理解微细粒浸染型金矿的形成机制有很好的启示作用。

### 5.1 容矿岩石和构造条件

小佟家堡子金矿的一个显著特征就是矿体顺层产出，主矿体产于云母片岩层与碳酸盐岩层过渡部位的变粒岩中，这种变粒岩层在区域上总体厚度不大，并且本身厚度变化较大，有的地区缺失此岩层。这种岩性条件至少有两方面的作用：一方面，这种变粒岩夹层有利于构造发育，在矿床范围内，变粒岩与上盘碳酸盐岩，下盘片岩之间经常为断裂接触，断裂中石墨化显著，有强烈的蚀变现象。并且，变粒岩的韵律层发育有利于形成层间错动，其中的石墨化片理也证明了这一点。成矿作用的定位首先取决于断裂构造——成矿流体迁移、释放的通道。显然，这种岩性和岩石组合以及后期的构造作用使云母片岩与碳酸盐岩之间的变粒岩夹层成为矿化带形成的有利条件。另一方面，浸染状矿床的形成与脉状矿床不同之处可能仅仅在于成矿溶液能够渗透含矿岩的规模和程度。以往对浸染状矿床容矿岩石的解释，大多注重其较优越的孔渗透，然而却忽略了容矿岩石内部的不均匀性（如层纹状、条带状构造等）。从前述岩性特征看，变粒岩型矿石中，纹层状矿化的赋矿韵律层倾向在胶结物较多的层沉淀富集，这些胶结物均蚀变为绢云母和微晶石英。硅化大理岩类矿石中最高的金品位主要出现在角砾状和密集网脉状硅化大理岩中，而不是出现在硅化最强的硅化岩中，前者具有微裂隙充填和交代浸染两类矿化，而硅化岩仅以浸染状矿化为主，其原因可能是角砾状和密集网脉状硅化大理岩中是由孔渗性、物理和化学性质明显不同的两部分组成。此外，从矿床中矿石类型数量看，以变粒岩型矿石为主，次为硅化大理岩，云母片岩类矿石不多，即在都与成矿流体通道相邻时，变粒岩最有利于成矿，显然，具有良好孔渗性，同时又具有使成矿溶液淀积的化学障和物理障特性的岩石，是形成细脉浸染状矿床的有利成矿围岩。变粒岩便是这种岩石的代表。

### 5.2 成矿流体的特征与形成

矿石与围岩的微量元素对比表明，矿化过程中既没有 Cr、V、Co、Ni 等铁族元素的强烈带入带出，也没有 Th、V、Zr、Hf、Nb、Ta、REE 等大离子亲石元素的明显带入带出，说明该矿床具有低温成矿的特征。

对比围岩和矿石的主要元素特征，反映成矿过程经历了强烈的硅化和去碳酸盐化，通过镜下对蚀变的研究也证明了这一点。这表明成矿溶液为酸性，Radtke 等介绍过卡林型金矿的

早期酸性淋滤带,认为这种酸性溶液来自深处沸腾放出  $H_2S$  经氧化形成硫酸而产生<sup>[4]</sup>。在白云岩硅化时,局部伴有绢云母化,而在片岩和煌斑岩中主要是绢云母化,在含铁硅酸盐矿物绢云母化时,铁呈铁的氧化状态析出。Hofstra 等的研究认为活性铁对金矿形成有重要意义<sup>[5]</sup>,李忠等则强调容矿岩石中活性铁的含量高低对金沉淀富集的作用<sup>[3]</sup>。从小佟家堡子金矿容矿岩石的含铁量和铁的物相状态变化看,除容矿岩石原来含有的活性铁外,早期蚀变也能形成活性铁(如硅酸盐矿物被交代蚀变时析出磁铁矿或针铁矿),因此,在考虑活性铁对金沉淀富集作用时,不仅要考虑原岩本身的活性铁,还要注意早期热液蚀变形成的活性铁。同时,早期蚀变形成活性铁也反映了早期成矿流体的氧化性特征。

小佟家堡子金矿中砷的主要矿物为毒砂,目前矿床中尚未发现雄黄、雌黄等,金与毒砂、黄铁矿紧密共生,矿石中还发现有磁黄铁矿、磁铁矿。此外,同种类型的围岩与矿石(包括变粒岩、煌斑岩、片岩等)的含 Fe 总量变化不大,主要是矿化过程中发生的铁的硫化作用,即铁氧化物变为黄铁矿和毒砂,碳酸盐中铁在早期硅酸盐绢云母、水云母化过程中呈铁氧化物析出,然后变为硫化物形式的铁。因此说明硫化物阶段成矿溶液为还原性。硅化岩的稀土元素分布型式中呈明显的 Eu 负异常,而稀土总量、轻、重稀土的分异程度与正常大理岩、一般硅化大理岩均无明显差异,表明在强烈硅化过程中,部分  $Eu^{3+}$  被还原成  $Eu^{2+}$  带出,也证明了成矿溶液还原性特征。在各类型矿石中普遍发育晚期含铁白云石或/和含铁白云石+石英的细脉,有的具矿化,有的无矿化,总之,表明成矿溶液向偏碱性方向演化。这与卡林型金矿成矿溶液早期为氧化、偏碱性,成矿过程中向晚期还原、偏碱性演化是一致的。

综上所述,通过对小佟家堡子金矿的矿化元素组合、矿化过程微量元素变化特征,以及成矿溶液的演化等研究,表明该矿床为产于中高级变质岩中的浅成低温热液矿床。

## 参 考 文 献

- 1 陈荣度. 一个早元古代裂谷盆地——辽东裂谷. 辽宁地质, 1984, (2): 125~133.
- 2 张秋生等. 辽东半岛早期地壳与矿床. 北京: 地质出版社, 1988, 218~257.
- 3 李忠, 刘铁兵. 贵州烂泥沟金矿成矿条件——岩石地球化学研究. 矿床地质, 1995, 14 (1): 51~57.
- 4 Radtke A S. Geology of the Carlin gold deposit, Nevada. U. S. Geological Survey Professional Paper 1267.
- 5 Hofstra A H. et al. Genesis of sediment-hosted disseminated gold deposits by fluid mixing and sulfidization; chemical-reaction-path modeling of ore-depositional processes documented in the Jerritt Canyon district, Nevada. Geology, 1991, 19: 36~40.



# PETROLOGICAL GEOCHEMISTRY AND ORE-FORMING CONDITIONS OF THE XIAOTONGJIAPUZI GOLD DEPOSIT IN EASTERN LIAONING

Liu Guoping

(*Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012*)

Ai Yongfu

(*Department of Geology, Peking University, Beijing 100871*)

**Key words:** Xiaotongjiapuzi gold deposit, disseminated type, petrological geochemistry, ore-forming solution, eastern Liaoning

## Abstract

Located in eastern Liaoning Province, the Xiaotongjiapuzi deposit is a large concealed disseminated gold deposit discovered by the No. 103 Geological Party of China National Non-ferrous Metals Industry Corporation through drilling in 1993. The orebodies, occurring in lens or bed-like shape, are strictly confined to the intermediate zone between mica schist and marble of Early Proterozoic Liaohe Group, hosted mainly by fine-grained granulite and subordinately by marble, mica schist and lamprophyre. The gold deposit has low sulfides (about 2~5wt%), and gold is mainly concentrated in arsenopyrite. Wall alterations include sericitization, silicification, ankeritization and carbonatization. There is no obvious difference in contents of such trace elements as Cr, V, Co, Ni, Th, Zr, Hg, Nb, Ta and REE between auriferous rocks and wall rocks. Comparative studies on host rocks show that the rocks with good permeability and chemical and physical barriers to ore-forming solution are favorable for the formation of disseminated gold deposits. Petrological and geochemical studies suggest that the ore-forming solution changed from oxidizing and acid in the early stage into reducing and alkaline in the late stage. Based on associations of mineralizing elements, changes between auriferous rocks and wall rocks, and evolution of ore-forming solution, it is concluded that the gold deposit is an epithermal one.