

辽东半岛地质演化及金矿床的成因*

倪培 徐克勤

(南京大学地球科学系, 南京)

提 要: 位于郯庐断裂以东, 北纬 42° 以南的辽东半岛地区, 由辽南和辽北地体组成。辽南地体上的早元古代辽河群是区内金的矿源层。韧性剪切带和中生代同熔型花岗岩对金矿床的形成起重要作用。金矿化受辽南地体元古代区域变质作用和中生代构造岩浆活动所控制。主要金矿类型有变质热液型、大气降水热液型和岩浆热液型三种, 它们是辽南地体地质发展与太平洋板块活动共同作用的结果。

主题词: 辽东半岛 地体 矿源层 韧性剪切带 同熔型花岗岩 金矿床类型

辽东半岛地区是我国著名的金矿产地之一, 与吉林桦甸地区、河南小秦岭地区、胶东地区、冀东地区统称为中国北部的五大金矿集中区。

作者自1987年以来, 对辽东半岛地区区域地质及成矿进行了详细、深入地调查和研究。本文试图通过作者近年来的工作, 对本区的大地构造背景、金的矿源层、韧性剪切带特征及与金矿化关系、与金矿有关的中生代花岗岩特征、金矿床的成因类型等问题, 提出一些新的、全面的认识。

1 辽东半岛地体构造与金矿床

1987年以前, 对于郯庐断裂北段复县—鞍山—沈阳—四平断裂以东, 北纬 42° 以南的辽东半岛地区的区域地质和区域成矿是作为一个整体来研究的^[1,2]。经详细地质调查和研究则表明, 辽东半岛地区实际上是由二个性质和特征明显不同的地体组成的, 即辽南地体和辽北地体(图1)。

1.1 辽南地体与辽北地体的划分

① 辽南地体与辽北地体具有明确的边界断裂, 即盖县—通远堡—桓仁—大栗子断裂;
② 辽南地体与辽北地体均以郯庐断裂北延部分, 复县—鞍山—沈阳—四平断裂作为地体的西部边界;
③ 辽南地体南部以旅大—丹东断裂^[3]作为其与胶东地体的边界;
④ 辽北地体的北部边界为沈阳—清原—桦甸断裂;
⑤ 辽南地体与辽北地体的东部边界尚待进一步工作确定, 其在中国境内止于鸭绿江断裂带。

1.2 辽南地体与辽北地体地质演化的差异

* 国家自然科学基金资助项目

第一作者: 倪培, 男, 30岁, 博士, 讲师。从事矿床学研究。邮政编码: 210008

1992-10-17 收稿, 1993-4-13 修改回

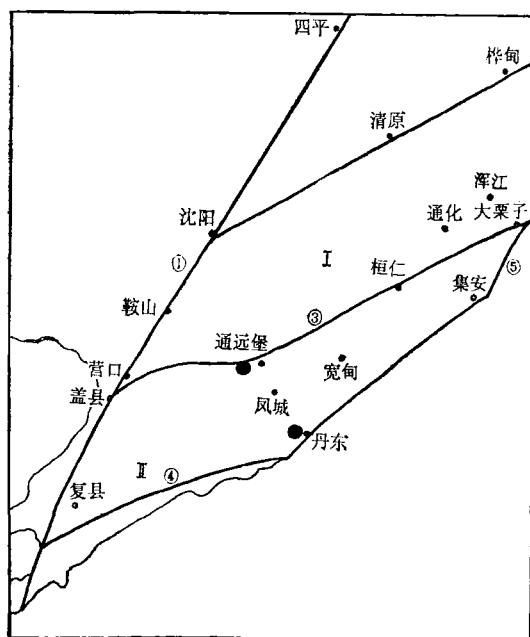


图 1 辽东半岛地体构造与金矿床分布

I—辽北地体；II—辽南地体；●—金矿集中区；自西向东为盖县—岫岩、白云、丹东金矿集中区；①—复县—四平断裂；②—沈阳—桦甸断裂；③—盖县—大栗子断裂；④—旅大—丹东断裂；⑤—鸭绿江断裂

Fig. 1. Terrane tectonics and distribution of gold deposits in Liaodong Peninsula.

I—Liaobei terrane; II—Liaonan terrane; ●—Gold concentration area, being Gaixian—Xiuyan, Baiyun and Dandong respectively from west to east; ①—Fuxian—Siping fault; ②—Shenyang—Huadian fault; ③—Gaixian—Dalizi fault; ④—Luda—Dandong fault; ⑤—Yalujiang fault.

辽南地体与辽北地体的太古代及早、中元古代具有截然不同的地质发育史(表1)。这是两地体差异演化的结果。

1.2.1 太古代地质差异: 辽南地体与辽北地体的太古代层状岩系、花岗质岩石、变质程度及矿产等方面均是截然不同的, 两者间不可简单地对比(表1)。辽南地体发育一套深变质的

表 1 辽南、辽北地体前寒武纪地质演化

Table 1. Geological evolution of Liaonan terrane and Liaobei terrane in Precambrian.

时代	辽南地体	辽北地体
晚元古代 (10×10^8 a)	辽南群(Z) 细河群	
中元古代 (17×10^8 a)	永宁组 步云山群 榆树砬子组	(18×10^8 a) 珍珠门组或“大石桥组”
早元古代 (25×10^8 a)	辽河群 (集安群) 盖县组 大石桥组 高家峪组 里尔峪组	老岭群 (北辽河群) 板房沟组或“高家峪组” 新农村组或“里尔峪组” 达台山组或“浪子山组”
太古代	鞍山群 城子坦组	大峪沟组 樱桃园组 炭沟组 红透山组 片家沟组

片麻岩岩系;花岗质岩石为石英闪长岩-花岗岩系列,无紫苏花岗岩分布;典型的角闪岩相;无重要类型矿产。辽北地体有各种片麻岩、斜长角闪岩、浅粒岩、变粒岩、磁铁石英岩等岩系;花岗质岩石为TTG;有较典型的麻粒岩相产出,与紫苏花岗岩伴生;有重要的鞍山式铁矿和夹皮沟式金矿。

1.2.2 早、中元古代地质差异

辽南地体的辽河群(集安群)与辽北地体的老岭群(北辽河群),两者间既无可比性,也非上下关系(表1,表2)。

表2 早、中元古代辽南、辽北地体的差异

Table 2. The difference between Liaonan and Liaobei terrane in lower to middle Proterozoic

	辽南地体辽河群(集安群)	辽北地体老岭群(北辽河群)
地层建造	裂谷式火山-沉积建造	陆源碎屑沉积建造,夹少量火山岩夹层
火山岩种类	双模式火山岩,与大陆裂谷火山岩型式一致	酸性火山岩,特点相似于近代产于大陆边缘或岛弧中的钙碱性火山岩
与下伏太古界的关系	两者间为一套花岗质岩石,系裂谷初期地幔上涌物质同熔太古代片麻岩而形成	有典型的底砾岩存在,两者间为角度不整合
古生物特征	无中元古界常见的叠层石组合出现	有中元古界常见的叠层石组合出现
变质作用	面型的、自下而上递减的变质作用带	带状变质作用带,平行两地体间的边界断裂
同位素年龄	底部年龄 $>23.70 \times 10^8 \text{ a}^{[1]}$ 顶部年龄 $(18.60 \sim 18.97) \times 10^8 \text{ a}^{[2]}$	底部年龄 $21.1 \times 10^8 \text{ a}^{[1]}$ 顶部年龄 $(17.15 \pm 0.80) \times 10^8 \text{ a}^{[2]}$
矿产	硼矿、金矿、铅锌矿	菱镁矿、含铜硫铁矿

步云山群是辽南地体早元古代辽河群之上沉积的一套陆相山前磨拉石堆积,其分布局限,仅见于辽南地体的南部(表1)。对永宁组砂岩中海绿石K-Ar法测年,曾获 $16.6 \times 10^8 \text{ a}$ (贵阳地化所,1976),故推测其沉积于 $17.0 \times 10^8 \text{ a}$ 之前。

1.3 辽南地体与辽北地体的拼合

辽南地体与辽北地体在 $17.0 \times 10^8 \text{ a}$ 之前具有截然不同的地质发展史,而自晚元古代细河群沉积开始,及其上的震旦纪—寒武纪—中奥陶世和中石炭世—二叠纪—三叠纪等地层,无论在岩性、生物面貌和古地磁纬度等方面均较相似^[4]。故地体的拼合时代应介于 $17.0 \times 10^8 \sim 10.0 \times 10^8 \text{ a}$ 之间。结合区域地质资料,作者推测两地体拼合于 $(16.5 \pm 0.5) \times 10^8 \text{ a}$ 左右。

伴随地体的拼合,辽南地体辽河群盖县组呈推覆体形式推覆于辽北地体老岭群之上^{[2]①②},推覆方向总体由南向北;导致辽北地体发生与地体拼贴带平行的带状变质带,由拼贴带向辽北地体内,变质程度减弱^[2]。

1.4 辽南地体与金矿床

辽东半岛已知的具有重要工业意义的金矿集中区,如盖县—岫岩金矿集中区、白云金矿

① 王福润等,1988,吉林省通化南部新农村一带老岭群、集安群的划分对比,吉林地质科技情报,第3期

② 胡国伟,1989,老岭群的变形、变质史及构造演化,地矿部天津地矿所研究生论文

集中区及丹东金矿集中区均分布于辽南地体之上(图1)。其中产有著名的猫岭金矿、白云金矿、四道沟金矿和五龙金矿等。从某种意义上说,辽南地体控制了辽东半岛地区金矿床的产出。

2 矿源层与金矿床

矿源层(Source bed)的概念自C L Knight (1957)提出以来,随着层控矿床的兴起,愈来愈受到地质工作者的重视。近年来,国内外大量的研究也表明,许多重要的金矿床受矿源层控制^[11,12]。对辽东半岛地质研究揭示了辽南地体上的早元古代辽河群火山-沉积建造是区内金矿床的矿源层。

辽河群的主要岩性按地层层序自下而上为:①里尔峪组:黑云变粒岩、电气变粒岩、斜长角闪岩、电英岩、阳起变粒岩、钠长浅粒岩、镁质大理岩等;②高家峪组:石墨矽线片岩、白云质大理岩、黑云母变粒岩、斜长角闪岩等;③大石桥组:石墨透闪岩、方柱石大理岩、石墨大理岩、矽线二云片岩等;④盖县组:千枚岩、十字石片岩、矽线石片岩等。

采用大量的硅酸盐分析数据(共74件,其中59件引自辽宁地矿局1:20万区测报告,1974~1976年),通过多种形式的原岩恢复^①,确定出辽河群的原岩建造自下而上为:双模式火山岩建造(里尔峪组)→页岩建造(高家峪组)→碳酸盐建造(大石桥组)→粘土质岩建造(盖县组)。

2.1 辽河群火山-沉积建造及金的始态矿源层的形成

始态矿源层是指辽河群火山-沉积建造形成时对金等成矿物质的初始富集。

辽河群底部的双模式火山岩建造(里尔峪组)见图2、图3。是典型的大陆裂谷背景下的产物,伴随火山岩建造的形成,B与Fe、Sn、Au等金属离子一道,作为火山作用产物,自地幔进入裂谷盆地,形成含硼火山岩系及火山-沉积型的硼铁矿床^[12],并使火山岩中具有较高的Sn、Au含量。火山岩中的锡含量可高达 $3.3 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$ ^[13],此外,某些火山岩样品中保留有 $6.46 \times 10^{-9} \sim 6.76 \times 10^{-9}$ 的金含量^[5],高出Taylor (1985)给出的上部地壳金含量(1.8×10^{-9})的3倍多^[13],具有提供金的能力。

火山岩中Au与B具共同来源的特征及其对区内金矿床可能的贡献,还体现在金矿床与硼矿床及含硼火山岩系的伴生关系方面:如盖县一岫岩金矿集中区附近,产有大型的后仙峪硼矿;白云金矿集中区附近,有翁泉沟大型硼矿产出;丹东金矿集中区则与含硼火山岩系相伴生。

辽河群火山岩建造之上,自高家峪组→大石桥组→盖县组,以陆源碎屑沉积为主。火山活动虽有,但已很弱。具有一个突出的特征,就是普遍出现含有石墨的各类变质岩,这是沉积地层中富含有机质的反映。作者对辽河群上部陆源碎屑建造中变质岩类所做的56件有机(碳)质测定结果表明,有机碳含量变化于0.08%~0.81%之间,证实了较高含量有机质的存在。考虑到漫长地质作用过程中有机质的巨大损失^[6],有理由认为辽河群沉积岩中有机质的含量是较高的,至少可达1%以上。因此,对这套陆源碎屑沉积岩系,尤其是上部巨厚的

① 倪培, 1991, 辽东半岛地质演化及金矿床的成因, 南京大学博士论文

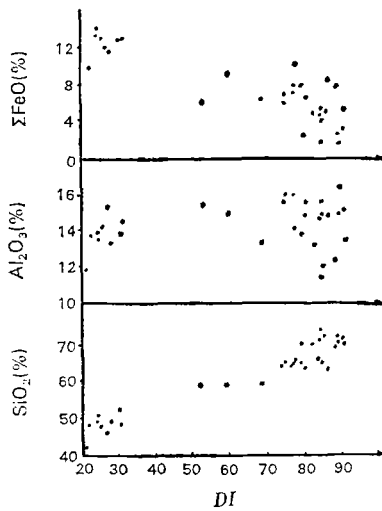


图2 里尔峪组火山岩的 ΣFeO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 与 DI 关系图

Fig. 2. Plot of ΣFeO , Al_2O_3 and SiO_2 against DI in the volcanic rock of Lieryu Formation

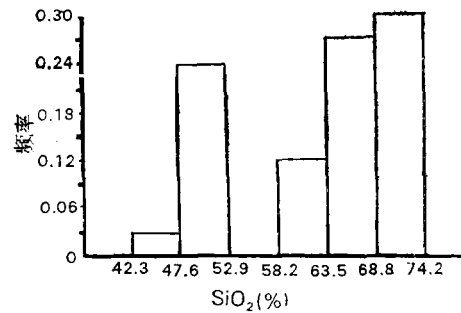


图3 里尔峪组火山岩 SiO_2 频率分布图

Fig. 3. Histogram of SiO_2 content in volcanic rocks of Lieryu Formation

盖县组粘土质—泥砂质沉积岩系, 可视为类似于较晚时期广泛出现的黑色岩系或“黑色页岩”、“含碳地层”。业已表明, 世界各地的黑色岩系中均具有较丰富的 Au、S、As 等成矿物质, 是有利的含金建造^[7,8]。

由此看来, 辽河群火山—沉积建造, 无论是其下部的双模式火山岩系, 还是上部的陆源碎屑岩系 (黑色岩系), 均具备提供金等成矿物质的能力, 是有利的含金建造, 作者称之为金的始态矿源层。

值得说明的是, 始态矿源层中的金, 在经历了元古代区域变质作用后, 大部分已转入终态矿源层或变质成矿。因而其原始金的含量实际上已无法测出。但某些火山岩样品中保留的 $6.46 \times 10^{-9} \sim 6.76 \times 10^{-9}$ 金含量、及金与硼的伴生关系, 反映了双模式火山岩建造中火山作用来源的较高金含量的存在。盖县组中普遍含有的较高金含量, 及赋存有区内绝大多数的金矿床, 使得上部“黑色岩系”中金的陆源碎屑来源得到一致公认。

2.2 辽南地体的区域变质作用及金的终态矿源层的形成

辽南地体的早元古代辽河群沉积之后, 经历了强烈的区域动热变质作用, 形成了面型的、变质程度自下而上递减的变质岩系。随后, 在地体南部不整合地堆积了步云山群磨拉石建造。辽河群的变质作用从下至上可进一步分为四种变质亚相^[1,2]: 高角闪岩相 (里尔峪组); 低角闪岩相 (高家峪组); 高绿片岩相 (大石桥组及盖县组底部); 低绿片岩相 (盖县组中、上部)。

随着区域变质作用的进行, Au 与 S、Cl、 H_2O 、 CO_2 等在变质作用过程中的活动组分一道, 自下部高变质相 (里尔峪组、高家峪组、大石桥组) 向上部低变质相 (盖县组) 转移,

● 王家枢, 1980, 黑色页岩经济意义及成因模式, 地质科技动态, 第13期, 地矿部情报所

表 3 辽南地体辽河群地层金含量
(通远堡剖面)

Table 3. Gold content of Liaohé Group in Liaonan terrane (10^{-9})

样号	岩性	层位	变质相	金含量 (10^{-9})	平均 含量 (10^{-9})
L 034 L 039	变质砂岩 云母片岩	盖县组 盖县组	低绿片岩相	5.1 7	6.05
L 045	大理岩	大石桥组	高绿片岩相	1	1
L 047 L 052 L 054 L 055	透闪石岩 石墨片岩 变粒岩 斜长角闪岩	高家峪组 高家峪组 高家峪组 高家峪组	低角闪岩相	1 1 1 4	1.75
L 056 L 058 L 060 L 062 L 065	斜长角闪岩 变粒岩 浅粒岩 浅粒岩 混合岩	里尔峪组 里尔峪组 里尔峪组 里尔峪组 里尔峪组	高角闪岩相	1.5 1.4 1 1 1	1.18

样品由南京大学地球科学系分析中心测定

并最终集中于绿片岩相的盖县组中。

作者对采自通远堡剖面上的辽河群各组典型岩类的测定结果证实了这种转移作用的存在。如表 3 所示,金明显地集中于上部低绿片岩相的盖县组泥砂质岩石中,而在下部的高变质相(里尔峪组、高家峪组、大石桥组)中发生转移,出现“亏损”现象。苏联学者布梁克(1975)通过对西伯利亚地台变质岩中金矿床的研究,也得出过类似的结论:金从较高的角闪岩相、绿帘角闪岩相向低绿片岩相转移,并最终富集于低绿片岩相的绿泥石—绢云母亚相中^[9]。

作者将这种由下部高变质相转移出的金等成矿物质,与上部低变质相中原有成矿物质叠加富集,最后形成的更为有利的矿源层,称为金的终态矿源层。辽南地体辽河群上部(低)绿片岩相的盖县组就是本区金的终态矿源层(表4)。由于辽河群火山—沉积建造所含成矿物

质的不均匀性,及区域地质作用的差异,终态矿源层盖县组中的金含量也是不均一的,但均较高,一般高于Taylor (1985)给出的上部地壳金平均含量(1.8×10^{-9})的3~30倍。

表 4 终态矿源层(盖县组地层)的金含量

Table 4. Gold content of final source bed (Gaixian Formation) (10^{-9})

地 区	样品数 (件)	金 含 量 (10^{-9})			资 料 来 源
		最高值	最低值	平均值	
四 道 沟	58	67	6	19.2	赵东诚(1984)、作者(1991)
白 云	53	24.7	2.1	7.2	赵玉福(1984)、作者(1991)
猫 岭	34	10.5	3	6.0	戴立军(1988)、作者(1991)
通 远 堡	24	58	5.1	47	李凤信(1982)、作者(1991)

3 韧性剪切带与金矿床

随着对金矿床的深入研究,人们发现,韧性剪切带对金矿床,尤其是前寒武纪地质体中的金矿床,有着很强的控制作用。

对辽东半岛金矿床的研究也表明,区内某些金矿床,如猫岭金矿、四道沟金矿等,实际上也是受韧性剪切带所控制的。

3.1 猫岭金矿韧性剪切带的主要特征

(1) 剪切带呈NNE向展布, 宽约100~200m, 延伸1500m左右, 倾向NW, 倾角 70° ~ 80° 。

(2) 剪切带内普遍发育了小型被动褶皱, 为褶皱轴面大致平行于剪切方向的a型褶皱。

(3) 发育有宏观的和微观的, 由石英组成的石香肠体(照片1)、石香肠发生扭曲和旋转, 糜棱流动面理Sm绕石香肠或透镜体构成典型的绕流现象。

(4) 剪切带内普遍发育了糜棱岩化、片理化带、无任何破碎角砾岩化现象。

(5) 发育有较为典型的箭鞘褶皱, 指示了本剪切带的右行平移性质(图4), 与某些石英亚颗粒指示的剪切运动方向一致(图5)。

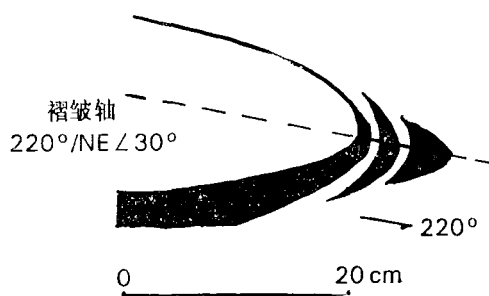


图4 韧性剪切带中的箭鞘褶皱
Fig. 4. The sheath fold in Maoling ductile shear zone.

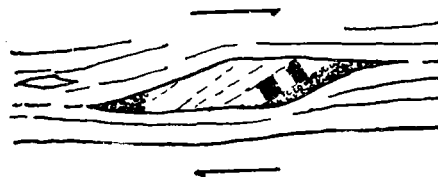


图5 石英亚颗粒指示的剪切方向
Fig. 5. Direction of shear stress indicated by a quartz subgrain in Maoling ductile shear zone.

(6) 剪切带边部发育了与强烈的剪切滑动和面理继承转化有关的席状构造。再向外, 则过渡为正常的千枚岩。由韧性剪切带→席状构造带→正常千枚岩, 三者之间是连续过渡的。

3.2 四道沟金矿的韧性剪切带特征

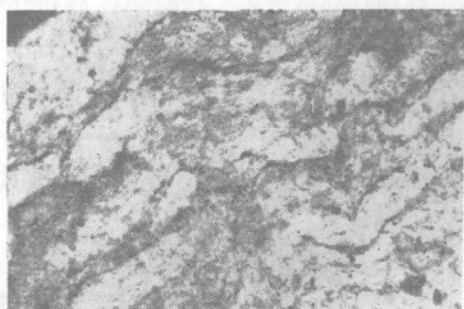
(1) 四道沟金矿区韧性剪切带大致呈NNE方向平行于鸭绿江断裂分布, 长约2~4km, 宽500~1000m, 倾向SE, 倾角 60° ~ 70° 。

(2) 剪切带中, 由厚层状砂岩→薄层状砂岩→云母石英片岩, 实际上是韧性剪切作用对盖县组泥砂质岩石(长石石英砂岩)的改造过程。随着韧性剪切作用递进增强, 岩石由原岩过渡为糜棱岩化变质砂岩, 再过渡为云母长英质糜棱岩。带中无破碎角砾岩化现象。

(3) 厚层状变质长石石英砂岩, 保留了变余砂状结构, 岩石未形成片理化, 但已表现出定向特征, 绝大部分石英呈波状消光。常在剪切带中呈透镜体状, 边部有薄层状岩石绕流分布。

(4) 薄层状变质长石石英砂岩, 是片理化的变质砂岩, 发育有较好的糜棱岩面理, 石英颗粒局部出现较多亚颗粒, 同时普遍出现波状消光和变形纹等(照片2)。

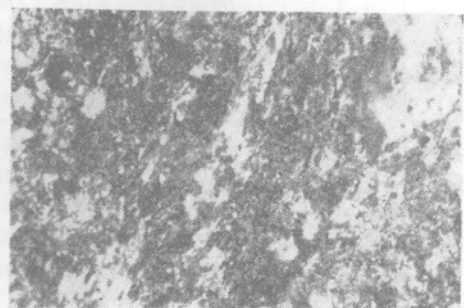
(5) 云母石英片岩带, 为典型的云母长英质糜棱岩(照片3)。变质砂岩已完全透镜化, 云母集中成条带, 糜棱面理更加发育。石英普遍发育亚颗粒、变形纹及较典型的“核幔”结构(照片4), 还见到石英残斑S型扭曲, 及“云母鱼”等现象。



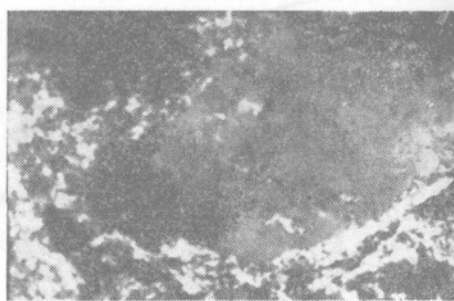
照片 1 显微石香肠
M-11° 单偏光 ×126 猫岭矿区



照片 2 薄层砂岩中石英亚颗粒
SD-12 正交偏光 ×200 四道沟矿区



照片 3 云母长英质糜棱岩
SD-3 正交偏光 ×200 四道沟矿区



照片 4 核幔结构
SD-11 正交偏光 ×200 四道沟矿区

(6) 根据剪切带中某些透镜体中的剪切面理可判断出剪切带的逆冲性质。

3.3 韧性剪切带对金矿床的控制作用

韧性剪切带对金矿化的控制作用机理, 目前尚处于探讨阶段。结合本区实际, 作者认为: 韧性剪切带的形成, 使得带内岩石粒度减小, 比表面积增大, 成为构造上的薄弱地带, 是热液的良好通道和矿质赋存空间。其不仅有利于金矿床的形成, 而且有利于金矿床的后期叠加改造。

(1) 与区域变质作用同期的韧性剪切带, 是变质热液型金矿形成的有利部位。当剪切带中不发育同期脆性构造时, 则变质热液携带金等成矿物质沿剪切带中S、C面理进行渗透、蚀变, 形成浸染型矿体, 如猫岭金矿床。反之, 则向剪切带内同期脆性构造中迁移、沉淀, 形成石英大脉型金矿体, 如夹皮沟金矿床^①。

(2) 韧性剪切带是一个构造上薄弱地带, 后期构造活动很易在此基础上继承发展。使之成为后期热液活动的良好通道, 有利于后期热液金矿床的形成, 或对原有的变质热液型的金矿床进行叠加改造, 使其更为富集, 如四道沟金矿床。

4 同熔型花岗岩与金矿床

辽东半岛金矿床与花岗岩类有密切关系, 这些岩体主要有: 丹东地区的五龙背一大堡岩

① 孙晓明, 1990, 夹皮沟太古代高级变质地体中韧性剪切带和金矿床研究, 南京大学博士论文

体、三股流岩体,猫岭地区的卧龙泉岩体、猫岭岩体,青城子地区的双芽山岩体、新岭岩体、兰花岭岩体等。岩体与围岩(变质岩或沉积岩)均呈侵入接触关系,其同位素地质年代介于1.46~2.31亿年之间,属中生代印支-燕山期花岗岩。

4.1 岩体矿物组成

(1) 各地区花岗岩体的矿物组成有一定的相似性,以黑云母花岗岩为主,其次花岗闪长岩。

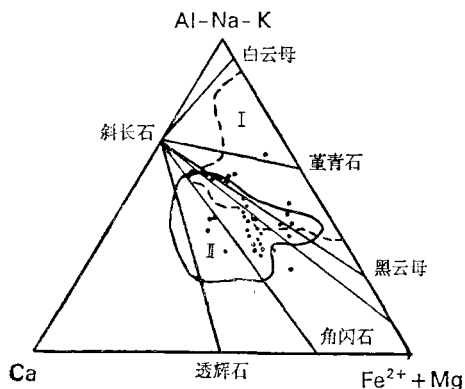


图6 中生代花岗岩的(Al-Na-K)-Ca-(Fe²⁺+Mg)图

I—华南改造型花岗岩分布区; II—华南同熔型花岗岩分布区

Fig. 6. (Al-Na-K)-Ca-(Fe²⁺+Mg) diagram of Mesozoic granite in Liaodong Peninsula. I—Distribution area of transformation type granites in South China; II—Distribution area of syntectitic type granites in South China.

(2) 似斑状结构普遍发育,斑晶多由钾长石组成,少部分为斜长石及其它矿物。

(3) 钾长石以微斜长石为主,斜长石均为更长石—中长石,有的发育环带构造。

(4) 副矿物种类相似,以磷灰石、榍石、锆石、褐帘石及金属矿物为常见。

4.2 岩体的岩石化学特征

(1) 在(Al-Na-K)-Ca-(Fe²⁺+Mg)三角相图上(图6),花岗岩的岩石化学成分投影点绝大部分落在华南同熔型花岗岩范围内,少数落在其附近区域。

(2) AN/KC ($Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO)$ 原子数),在几乎所有的花岗岩中 AN/KC 值均小于1,个别样品大于1,但均小于1.2,其变化范围与华南同熔型花岗岩相似。

(3) DI (分异指数)在各花岗岩体中的变化范围介于59.01~87.67之间,绝大部分岩体的 $DI < 84$; $Fe_2O_3 + FeO + MgO$ 含量变化范围为1.91%~9.42%,平均可达4.90%,反映出本区与金矿有关花岗岩的分异程度较低。这和华南同熔型花岗岩分异程度普遍小于改造型花岗岩的特征是一致的。

4.3 岩体的氧同位素特征

辽东半岛与金矿床有关的中生代花岗岩,氧同位素($\delta^{18}O$)变化范围集中在7.30%~10.42%之间,与华南同熔型花岗岩一致,个别岩体 $\delta^{18}O$ 可达11.14%(猫岭岩体),落在华南改造型花岗岩区间。

4.4 岩体的黑云母成分特征

本区中生代花岗岩的黑云母成分具有如下特征:大多数岩体中黑云母属于Mg-黑云母,具有较高的 MF 值($Mg/(Mg + Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn)$), MF 值介于0.48~0.53之间,八面体中的Mg离子数为2.376~2.694,与华南同熔型花岗岩一致;少数岩体,如猫岭岩体中黑云母属Fe-黑云母, MF 较低(0.28),八面体中Mg离子数为1.348,与华南改造型花岗岩类似。

4.5 岩体的稀土元素特征

本区中生代花岗岩的稀土配分均同于或类似于华南同熔型花岗岩。这些岩体稀土配分呈

右倾的平滑曲线,没有明显的钕亏损 $\delta\text{Eu} > 0.66$,变化于 $0.66 \sim 0.88$ 之间, LREE/HREE 达 $6.13 \sim 9.71$ 。

花岗岩研究表明,辽东半岛地区与金矿有关的中生代花岗岩岩石成分与华南同熔型花岗岩比较类似。这一结论与徐克勤(1988~1990、1992)近年来对与金矿有关的花岗岩类的研究所得出的结论是一致的^①。

对于花岗岩与金矿床成因之间的关系,不同时期地质学家有不同的认识^[14,15]。作者认为同熔型花岗岩对金矿床的形成至少具有两方面的作用:①热源,形成一个由花岗岩体向外的温度梯度,促使岩体及围岩中的硫、二氧化碳和水等活动组分与成矿物质一道向有利的构造部位及合适的温压条件处迁移成矿;②同熔型花岗岩体本身富含 Cl^- 、 S^{2-} 等易与金呈络合物形式迁移的离子,可以促进金的迁移,利于成矿。

本区研究揭示矿区(附近)存在较典型的中生代同熔型花岗岩的金矿床,大都经历了强烈的中生代成矿作用,如五龙金矿床、四道沟金矿床、白云金矿床等。反之,则中生代成矿作用十分微弱或不存在,如猫岭金矿床。

5 辽东半岛金矿床的主要成因类型

辽东半岛金矿床受辽南地体辽河群控制,均产于辽河群盖县组及中生代同熔型花岗岩的(内)外接触带中。金矿床的主要成因类型有元古代变质热液型、中生代大气降水热液型及中生代同熔型花岗岩浆热液型三类。

5.1 变质热液型金矿床

在元古代大规模的区域变质作用过程中,变质热液携带 Au 、 S 、 H_2O 、 CO_2 等活动组分,自辽河群下部高变质相(里尔峪组、高家峪组、大石桥组)向上部低变质相(盖县组)转移的同时,向同变质期的韧性剪切带中迁移。一方面在盖县组中形成终态矿源层;另一方面,于韧性剪切带中合适的物理化学条件下(低绿片岩相的盖县组中),形成变质热液型的金矿床,如猫岭金矿床(表5)。

5.2 大气降水热液型金矿床

中生代构造-岩浆活动,促使大气降水对流循环,并进而产生大气降水热液,淋滤出辽南地体金的终态矿源层(盖县组)中的 Au 、 Fe 、 S 、 As 等成矿物质,向有利构造部位——盖县组层间断裂迁移、交代,形成大气降水热液型的金矿床,如白云金矿床(表5)。

5.3 岩浆热液型金矿床

中生代同熔型花岗岩形成过程中,一方面汲取区内的辽河群变质岩,尤其是终态矿源层盖县组中的金等成矿物质。另一方面,也从深部带入了部分成矿物质。在岩浆热液作用下,于有利的构造部位——花岗岩体(内)外接触带的断裂构造中,沉淀出岩浆热液型金矿床,如五龙金矿床(表5)。

此外,某些矿床则是上述典型矿床类型的叠加。如四道沟金矿床则是元古代变质热液型和中生代大气降水热液型矿床的叠加^②。

① 徐克勤,1989,与金矿有关花岗岩类的地质地球化学特征,第四届全国矿床会议报告

② 倪培,1991,辽东半岛地质演化及金矿床的成因,南京大学博士论文

表 5 辽东半岛主要的金矿类型

Table 5. Three main types of gold deposits in Liaodong Peninsula

地质特征	变质热液型	大气降水热液型	岩浆热液型
矿体赋存	元古代辽河群盖县组	元古代辽河群盖县组	同熔型花岗岩外接触带片麻岩中
矿脉产状	与韧性剪切带平行一致, 矿脉与剪切带内岩层具有相同的变形特征	与层间断裂带平行一致, 矿脉可切穿岩层层理或变质片理	受片麻岩中 NNE、NW向断裂控制, 矿脉明显切穿岩层
矿化类型	细脉浸染型	细脉浸染型、石英脉型	石英大脉型
矿石矿物	较简单, 主要为毒砂, 另有少量磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等	简单, 以黄铁矿为主, 其次为磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等	复杂, 主要有黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然金、银金矿、自然铋、辉铋矿等
围岩蚀变	面型蚀变, 基本上无分带性, 硅化、绢云母化、毒砂化、绿泥石化、碳酸盐化	具一定分带性, 硅化、钾长石化、绢云母化、碳酸盐化	有分带性, 主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化
微量元素	从围岩→蚀变岩→矿体, 微量元素种类、含量及配分型式特征一致	从围岩→蚀变岩→矿体, 微量元素种类, 含量及配分型式特征一致	矿体与围岩的微量元素含量及配分型式存在较大的差异
稀土元素	矿石与盖县组 Σ REE 及稀土配分一致	矿石与盖县组及稀土配分一致, Σ REE 一致或较低	矿石与伴生脉岩及同熔型花岗岩稀土配分一致, 与片麻岩明显不同
金的成色(‰)	712~942, 多数<850, 为银金矿	692~905, 多数<850, 为银金矿	753~931, 多数>850, 为自然金
金与有机碳	相关系数为+0.85, 高度正相关	相关系数为+0.08, 无相关关系	未测
石英包裹体特征	成矿温度: 250~350℃ 液相成分: Na>K, Cl>F, 富 HCO 气相成分: CO>CO ₂ , 含 CH 盐度: 6.5%~8.50%	150~275℃ K>Na, Cl>F, SO 含量高 CO>CO ₂ , CH 很少 4.00%~7.00%	240~380℃, 165~230℃ Na≥K, Cl≈F CO>CO ₂ , CH 很少 2.5%~4.5%
$\delta^{18}\text{O}_\text{Q}$ $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ δD $\delta^{34}\text{S}$	12.93‰ 6.04‰ -79‰ 6.28‰~10.5‰	13.59‰ 1.88‰ -82‰ 13.1‰~16.7‰, -8.5%~5.32%	10.87‰ 5.57‰ -45‰ 1.2‰~....., 5‰
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	16.327~16.238 15.451~15.51 35.974~36.190 单阶段正常铅, 模式年龄 (15.3~15.4)×10 ⁸ a	17.471~18.371 15.518~15.631 37.089~38.231 异常铅	17.32~17.793① 15.381~15.860① 38.168~39.521① 异常铅
成矿流体	变质热液	大气降水热液	同熔型花岗岩岩浆热液

续表

地质特征	变质热液型	大气降水热液型	岩浆热液型
成矿时代	元古代	中生代	中生代
矿区实例	猫岭金矿床	白云金矿床	五龙金矿床

① 据任洪茂等(1988)和李兆龙等(1987)资料综合

6 辽东半岛的金矿床是辽南地体地质发展与太平洋板块活动共同作用的结果

6.1 辽东半岛金的中生代成矿作用的重要性

辽东半岛金的成矿作用可分为二种:一种发生在地体拼合之前,是随辽南地体区域变质作用发生的成矿作用;另一种发生在地体拼合之后,由中生代构造-岩浆活动导致的成矿作用。

值得指出的是,占本区储量绝大部分的、具有巨大工业意义的金矿床,均经历了强烈的中生代成矿作用,如五龙、四道沟、白云等金矿床。而仅由区域变质作用形成的矿床,如猫岭金矿床,一般品位较贫、且储量及工业意义远不及前者。反映出中生代成矿作用对本区金矿床形成的重要意义。

事实上,中生代构造-岩浆活动所导致的各种成矿作用,对中国东部,尤其是北东部的辽东地区、胶东地区、桦甸地区、冀东地区及小秦岭地区金矿床的形成均具普遍意义。

6.2 中生代金的成矿作用与太平洋板块活动

环太平洋板块活动起始时间,目前多认为是在古生代与中生代的转化时期。从已知的中国北东部金矿化集中区的金矿化年龄来看,多集中于印支-燕山期,在成矿时代上与太平洋板块俯冲伊始年龄吻合。环太平洋带显示的NNE向构造-岩浆活动带,与中国北部主要金矿集中区呈NE—NNE向分布的深部构造,在空间分布上也是一致的。因此,中国东部中生代金的成矿作用是太平洋板块向中国大陆俯冲的结果。

6.3 辽东半岛金矿床是辽南地体地质发展与太平洋板块活动共同作用的结果

由辽南地体元古代区域变质导致的成矿作用,和由太平洋板块俯冲产生的中生代构造-岩浆活动导致的成矿作用,形成了辽东半岛丰富的金矿床。其中大多数金矿床是中生代成矿作用或其叠加改造的产物。值得注意的是,中生代构造-岩浆活动,尽管可能提供少量的成矿物质,但更重要的是起活化转移成矿物质的作用。因此,中国(北)东部的不同地块(体),由于其独特的地质演化,尽管同样经历了中生代构造-岩浆作用,但在金矿床矿化程度、赋矿层位及矿体规模等方面存在较大差别。辽东半岛金矿床则是辽南地体地质演化与太平洋板块共同作用的结果。

本文在成文过程中,曾得到辽宁地矿局及所属区调队、五队、七队,吉林地矿局及所属科研所、第四地调所,五龙金矿、四道沟金矿和白云金矿及其地测科等单位支持,宋叔和、陈毓川、翟裕生、兰玉琦、毕振纲、栾世伟、姚凤良、杨树峰、郭令智、刘英俊、胡受奚等教授给予了帮助,在此一并致谢!

参 考 文 献

- 1 张秋生等. 辽东半岛早期地壳与矿床. 北京: 地质出版社, 1988. 240~254, 332~358, 509~518
- 2 姜春潮等. 辽吉东部前寒武纪地质. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1987. 38~59, 256~296
- 3 贾东等. 鲁东联合地体的形成及构造演化. 南京大学学报(地球科学), 1990, (1): 34~42
- 4 高荣繁等. 中朝地块东北部前晚古生代板块运动的古地磁研究. 中国北方板块构造文集(第2期). 北京: 地质出版社, 1987, 264~274
- 5 王孔海等. 辽南地区变质岩和花岗岩含金性及其与成矿关系. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集(辽南地区). 北京: 地质出版社, 1988. 1~44
- 6 付家谟等. 碳酸盐分散有机质的基本存在形式、演化特征与碳酸盐地质油气评价. 地球化学, 1984, (1): 1~9
- 7 Буряк В А. 含碳岩层中的金矿化. 张维根译. 地质地球化学. 1988, (9): 85~92
- 8 Иванкин Л Ф. 黑色页岩层中金的沉淀特征. 李耀华译. 地质地球化学, 1988, (5): 9~13
- 9 Буряк В А. 变质-热液型金矿. 王义文译. 地质地球化学, 1975, (11): 14~17
- 10 徐克勤等. 与金矿有关花岗岩类的岩石地球化学特征. 桂林冶金地质学院学报, 1992, 12(1): 1~11
- 11 Keays P R. Archaean gold deposits and their source rocks: The upper mantle connection, Gold'82, A. Balkema/Rotterdam, 1984, 17~51
- 12 Goodwin A W. Archaean greenstone belt and gold mineralization, Superior Province, Canada, Gold'82, Balkema/Rotterdam, 1984, 53~70
- 13 Taylor S R et al. The continental crust: its composition and evolution—a examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, 1985
- 14 William Harvey Emmons. Gold deposits of the world. McGraw-Hill Book Company, 1937
- 15 Boyle R W. The geology, geochemistry and origin of the gold deposits of the Yellowknife district. Geol. Surv. Can., 1961, Mem. 310: 193

GEOLOGICAL EVOLUTION OF LIAODONG PENINSULA AND GENESIS OF GOLD DEPOSITS

Ni Pei and Xu Keqin

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu Province)

Abstract

The Liaodong Peninsula in Northeast China can be divided by the Gaixian-Tongyuanpu-Huanren-Dalizi fault into two terranes, the Liaonan terrane and the Liaobei terrane, which amalgamated between 10.0×10^8 a and 17.0×10^8 a. The Liaohe Group and the Laoling Group are Proterozoic sedimentary formations which developed in Liaonan and Liaobei terranes respectively. Gold deposits are closely related to Liaohe Group in Liaonan terrane. Consisting of bimodal volcanic rock series in the lower part and in "black shale" of the upper part, Liaohe Group is a typical rift-type volcanic-sedimentary formation and the primary source bed of gold. The regional metamorphism resulted in

the transportation of gold from high-grade metamorphic facies at the lower part to low-grade metamorphic facies in the upper part, thus forming the final richer source bed in the Gaixian Formation (primarily "black shale" formation). The gold content of the final source bed is usually 3~30 times higher than that of the upper crust (1.8×10^{-3}) proposed by Taylor (1985). The ore-control structures were recognized as ductile shear zones by some typical characteristics such as sheath folds, mylonite and subgrains of quartz. These ductile shear zones formed simultaneously with regional metamorphism. According to such features as petrology, mineralogy, rock chemistry, REE patterns and stable isotope composition, Mesozoic granites ($1.46 \times 10^8 \sim 2.31 \times 10^9$ a) related to the gold deposits in this region are identical with or similar to the syntaxis type granite of South China proposed by Xu Kebin. The formation of gold was commonly controlled by Proterozoic regional metamorphism and Mesozoic tectono-magmatic process. It is recognized that gold deposits belong to three main types, i.e., the metamorphic hydrothermal type, the meteoric hydrothermal type and the magmatic hydrothermal type.

The Mesozoic gold-forming process is very important in Liaodong Peninsula and exists widely in East China. It resulted from the subduction of the Pacific Plate to the Chinese Continental Plate. The gold deposits in Liaodong Peninsula were formed jointly by the geological evolution of the Liaonan terrane and the influence of Pacific Plate subduction.

《矿床地质》刊登广告启事

《矿床地质》自创刊以来,受到国内外广大读者的关注和欢迎。在领导、有关专家和广大地质工作者的热情支持下,刊物越办越好。在首届科技期刊评比中,受到国家科委等三单位、中国科协、地质矿产部和北京市的奖励。

为适应改革开放的需要,经北京市工商行政管理局批准(京西工商广字317号),即日起刊登以下方面广告:

1. 各种金属、非金属矿产品、矿产深加工、矿产品综合利用的信息;
2. 矿山机械、探矿设备、野外普查与勘探所需的新方法、新技术和新产品;
3. 配合普查与勘探找矿的各种岩矿测试手段、测试技术和测试方法;
4. 有关科研的新成果、新技术、新动向;
5. 科技、特别是地质科技出版信息;
6. 科技信息咨询、科技成果转让;
7. 外商来华招商新闻。

本刊广告经营方式灵活,收费低廉合理,热忱欢迎来人来函联系业务。

《矿床地质》编辑部