

广东新洲金矿床地质特征和成矿流体类型*

姚德贤 曹建劲

(中山大学地质系,广州)

提 要: 新洲金矿带产于震旦系云母石英片岩的层间断裂带中。矿床中有金矿带10条,第二、三矿化阶段为金的主要矿化阶段。流体包裹体和同位素研究表明,金属矿和硫来自围岩,流体主要是变质水。矿床是产于区域变质岩系中,与岩浆热动力变质作用有关,属浅成中温变质热液矿床。

主题词: 金矿带 流体包裹体 同位素 新洲金矿

1 矿区地质概况

矿区处于丰良—佛岗纬向构造带与吴川—四会新华夏断褶带交接部位。

1.1 矿区地层

矿区出露的地层有震旦系,为一套受区域变质叠加热动力变质作用的碎屑岩建造。以 F_1 断层为界分两个岩性段:第一岩性段(Z^1)为二云母片岩、二云母石英片岩夹变质石英砂岩,是矿区最主要的容矿层;第二岩性段(Z^2)为变质粉砂岩夹二云母石英片岩并有三层大理岩夹层。震旦系具高背景金含量,据42个样品统计金含量在 $(12.3\sim 29.0)\times 10^{-9}$,浓集系数 $3.3\sim 7.5$,具矿源层特征。泥盆系桂头组为变质的细粒石英砂岩、石英粉砂岩,底部含砾砂岩,本组与震旦系为不整合接触。

1.2 矿区岩浆岩

矿区西部为广宁花岗质杂岩体($\gamma_5^{2(3)}$)的一部分,矿区东部是佛岗花岗岩体($\gamma_5^{2(3)}$)的西缘。本区岩体位于两者的交接部位,呈北东东向展布。岩性为中—粗粒斑状黑云母花岗岩。岩浆侵入和定位的热动力促使岩层中高背景金的活化迁移。

1.3 矿区构造和构造岩

矿区构造复杂,东部形成东西向复式不对称向斜构造,中西部转为南北向—北北西向的背斜构造。岩层片理化发育,受挤压而形成紧闭而密集的小褶皱和滑脱。伴随褶皱的发生发育了一系列近东西向弧形断裂,早期为一组层间压扭性断裂带,晚期转变为张扭性断裂。

从宏观和微观分析,本区经历二次以上动力变质作用,初期为塑性形变,晚期为脆性形变。在压性断裂两侧呈线形展布,出现塑性形变带,依次出现千糜岩—糜棱岩—糜棱化岩石。在张性形变期形成碎裂岩—碎裂岩化岩石。岩石在热动力变质过程中成矿元素发生活化迁移。变质粉砂岩(3件样品平均值,下同)、构造片岩(2)、碎裂岩(3) Au(10^{-6})分别为0.32、0.24、0.17, As(%)为0.07、0.05、0.02, S(%)为0.34、0.67、0.03, SiO₂(%)为75.42、64.63、61.92。

* 国家科技攻关项目和国家黄金局资助(编号:75-55-64-01)
姚德贤,男,1938年生,副教授,从事教学、科研工作。邮政编码:510275
1996-09-03收稿,1997-04-21修改回

1.4 围岩蚀变

矿区围岩蚀变较弱,但分布广泛。空间上各种蚀变互有叠加,构成不明显的蚀变分带:内带为硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化;中带以绿泥石化为主,次为绢云母化、硅化;外带以绢云母化、绿泥石化为主,硅化为次。经4个岩石、矿石硅酸盐全分析和12个样品光谱分析资料,基本组分 SiO_2 、 Fe_2O_3 、S、As、Pb、Zn、Be、Bi、Au 由外带→中带→内带含量增加,显示从围岩带出进入矿体的特点。而Cu、Co、Ni、Ga、Li、Ba 由外带向内带减少。4个样品黑云母化学分析金含量 $4.32 \times 10^{-6} \sim 18.84 \times 10^{-6}$,黑云母是本矿区的主要载金矿物,矿区广泛存在的绢云母化、绿泥石化使金从黑云母等暗色矿物中释放出来(图1)。

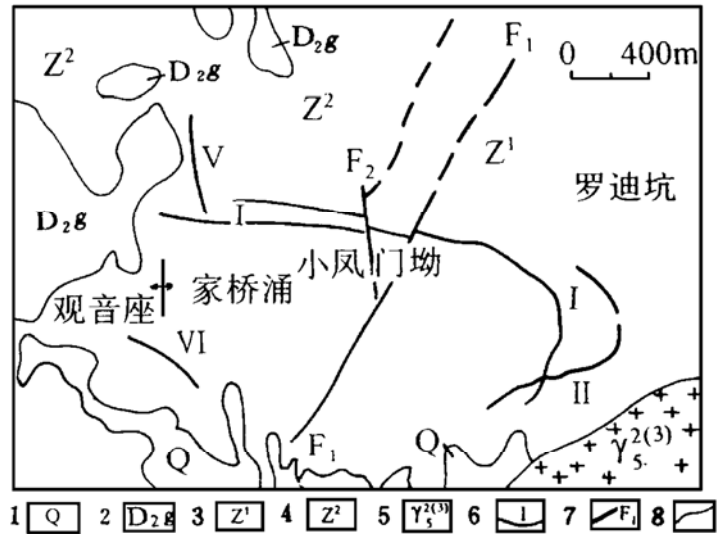


图1 新洲金矿区地质略图

(据706地质队资料修编)

1—第四纪冲洪积层;2—中泥盆统桂头组粉砂岩;3—震旦系云母石英片岩;4—变质石英砂岩;5—燕山期黑云母花岗岩;6—金矿带编号;7—断层;8—地质界线

Fig. 1. Geological sketch map of the Xinzhou gold ore deposit.

1—Quaternary alluvium-deluvium; 2—Siltstone of Middle Devonian Guitou Formation; 3—Sinian mica quartz schist; 4—Metamorphic quartz sandstone; 5—Yanshanian biotite granite; 6—Serial number of gold zone; 7—Fault; 8—Geological boundary.

2 矿体地质特征

2.1 矿体产出特征

矿床共有金矿带10条,以I、II、V号矿带为主,其中I号矿带最具工业价值。主要矿带均位于佛岗岩体西延部分的外带。产于震旦系二云母片岩、云母石英片岩、变质粉砂岩的层间断裂带中。含金矿带由一系列矿脉组成。矿脉严格受构造裂隙控制,呈似层状、脉状、透镜状雁行排列。常有膨胀收缩、分支复合、尖灭再现及弯曲现象(图2)。金品位变化系数118。与金矿化关系密切的元素是Ag、As、S,其相关系数分别为0.64、0.87、0.54。I号矿带金富集标高在190~250 m之间,相关元素Ag、As、S与Au含量基本同步。

2.2 成矿阶段和矿石类型

成矿过程可划分4个阶段:① 石英-黄铁矿阶段:形成矿体的乳白色块状石英和粗晶黄铁矿;② 自然金-石英-黄铁矿-毒砂阶段:形成灰色粒状石英、细粒黄铁矿、团块状毒砂和高成色自然金及少量银金矿;③ 自然金-石英-多金属硫化物阶段:形成烟灰色粒状石英、细粒黄铁矿及铅、锌、铜、铋硫化物、自然金;④ 石英-碳酸盐阶段:共有石英-硫化物型金矿石、硅化角砾岩型金矿石、含硫化物硅化片岩型金矿石、氧化矿石等4种矿石类型。

2.3 主要矿石矿物

(1) 自然金:占有金矿物的95%以上。原生自然金呈金黄色、深黄色、部分浅黄色。粒径以0.01~0.05 mm为主,个别达0.08~0.1 mm。表生自然金呈星点状、片状、树枝状、薄膜状。

粒径在0.08~0.2 mm之间。自然金电子探针分析(表1), Au、Ag组分出现连续变化, 说明Au与Ag固熔体的存在。还含有Ni、Cu、Co、Hg、As、Fe、S。自然金第2阶段比第3阶段Au、Fe、S含量稍高, 而Ag、Hg、As较低。自然金平均成色947。根据金赋存状态统计, 褐铁矿、黄铁矿、臭葱石、毒砂、石英的金占有率分别为18.42%、28.95%、10.53%、21.05%、21.05%。裂隙金占60.53%, 晶隙金占13.16%, 包裹金占26.31%。

(2) 毒砂: 毒砂是本矿床的特征矿物, 与金矿化关系密切, 是找金的矿物标志。毒砂有粗粒(粒度大于1 mm)自然晶和细粒(0.05~0.5 mm)他形晶两种。其含金性取决于物理性质: 自形程度低、颜色深灰、破碎强烈、粒度细者含金性好。经18个样品电子探针分析, 毒砂中平均含量(%) As 44.52, S 20.02, Fe 33.82, Bi 0.96, Sb 0.08, Co 0.06, Ni 0.02, Ag 0.02。

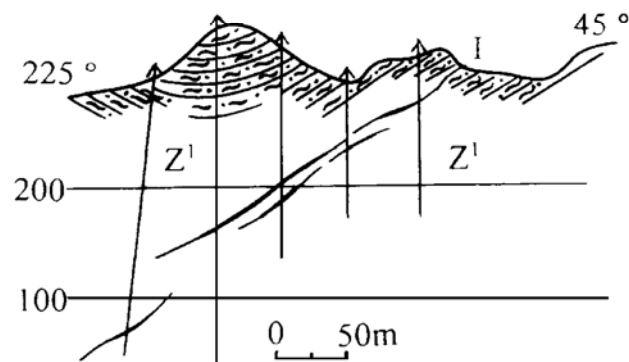


图2 1号矿带35勘探线剖面图

(据706地质队资料)

Z¹—震旦系云母石英化岩; I—1号金矿带

Fig. 2. Geological section of No. 35 exploration line in No. 1 ore belt.

Z¹—Sinian mica-quartz schist; I—No. 1 gold ore belt.

表1 自然金电子探针分析结果(%)

Table 1. Electron microprobe analyses of native gold

项目	Au	Ag	Ni	Cu	Co	Hg	As	Fe	S
第二阶段(2)	93.24	4.95	0.08	0.14	0.07	1.93	0.66	0.40	0.14
第三阶段(3)	91.88	5.29	0.08	0.14	0.07	2.29	0.68	0.20	0.09

注: 括号内为样品数; 中科院南海海洋研究所测试

(3) 黄铁矿: 黄铁矿是矿石中的主要金属矿物。不同阶段形成的黄铁矿具有不同的晶形、粒度、颜色和含金性。在黄铁矿集合体中, 含八面体、五角十二面体晶形的黄铁矿越多, 颗粒越细、颜色越深越破碎含金性越好。据对4个阶段黄铁矿的14个样品电子探针分析, 第2、3阶段黄铁矿中含Pb 2.90%~4.49%, Bi 1.44%~1.74%, 此外还含微量Ag、Zn、Ni、Cu、Co。而第1、4阶段的黄铁矿含Pb量只有0.08%~0.51%。杂质元素的加入是使黄铁矿含金性好的重要原因。

(4) 石英: 石英是最主要的脉石矿物。第1、2、3阶段的石英产生不同程度的形变和破裂、蠕虫塑性变形, 发育拉长状气液包裹体及强烈的波状消光。金矿化与第2、3阶段的石英关系密切, 其特点是自形程度差、粒度细、颜色深灰、透明度差、微裂隙发育、破碎强烈。

3 成矿流体类型

3.1 流体包裹体类型和成分

本矿床流体包裹体有4种类型:①气液相包裹体:面状分布,多在3 μm 左右,孤立分布者大于5 μm ,呈椭圆形、不规则形及负晶形,是矿化阶段的原生包裹体;②单液相包裹体,直径小于2 μm 的椭圆形次生包裹体,沿后期裂隙呈线形分布;③含 CO_2 (少数含 CH_4)包裹体,个体小于3 μm 的椭圆形和负晶形,均一温度25~31 $^{\circ}\text{C}$,存在于碳酸盐脉中,属成矿后包裹体;④含子矿物包裹体,个体大于10 μm 的不规则负晶形为主,子矿物为 NaCl 晶体。主要存在于围岩的石英中,属成矿前包裹体。包裹体成分见表2。本矿床流体以富 H_2O 、 CO_2 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 为特征。采用溶解法和冷冻法计算相应的盐度。3个围岩样平均值5.0 wt% NaCl , 3个矿样分别为7.9 wt%、13.4 wt%、28.8 wt% NaCl , 两组数值平均16.7 wt% NaCl , 成矿溶液属中等盐变。

表2 石英包裹体成分分布

Table 2. Compositional distribution of inclusions in quartz

样号	液相成分(10^{-6})							气相成分(10^{-9})			
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_2	CH_4	H_2	H_2O
IS ₅₋₂ ①	1.56	55.57	81.40	0.75	1.26	63.40	1.03	112.86	48.56	5.50	54354.94
PD ₄₋₁	11.95	101.39	734.55	29.17	43.95	111.66	10.55	5902.41	121.81	68.00	38865.11
IS ₁₋₃	5.03	286.57	360.05	痕	6.89	190.70	31.16	4511.48	95.50	35.50	42716.86
IS ₂₋₄	49.74	1098.17	850.03	34.42	18.26	1012.17	27.53	3778.91	188.06	128.00	28334.89
IS ₂₋₂	21.79	55.43	265.60	8.88	60.11	137.63	30.14	3229.36	127.94	101.50	46037.78

① 为成矿前,其余为成矿期;由中国有色金属工业总公司矿产地质研究院测试

3.2 成矿流体的温度和压力

对各阶段100个样品石英的气液包裹体做均一法测温结果:第1成矿阶段为330~300 $^{\circ}\text{C}$,第2成矿阶段为270~240 $^{\circ}\text{C}$,第3、4成矿阶段分别为210~180 $^{\circ}\text{C}$ 和151 $^{\circ}\text{C}$ 。主要金矿化温度在270~180 $^{\circ}\text{C}$ 之间,流体属中温热液范畴。

根据包裹体地压计(李秉伦等,1986)计算成矿压力是包裹体密度、盐度和形成温度的函数,求得压力为 $150 \times 10^5 \sim 200 \times 10^5$ Pa。根据经验公式求得矿床成矿深度在500~660 m之间,属浅成热液矿床。

3.3 成矿流体的 pH 和 Eh

采用包裹体稀释后直接测定 pH 值在5.5~6.5之间,属弱酸性流体。采用氧化还原平衡法(卢焕章,1980)求得 Eh($t=270$ $^{\circ}\text{C}$)为-0.25 eV 和($t=180$ $^{\circ}\text{C}$)-0.5 eV。表明主要成矿阶段有较强的还原性,且从早至晚还原性加强。

3.4 成矿流体的来源

对 I、II、V 号矿带和近矿围岩8个石英样品作氧同位素分析,对其包裹体作氢同位素测定。含金石英脉中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为13.4‰~15.8‰,平均值14.6‰,极差值2.4‰。围岩不含金石英透镜体中石英具较高的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,为16.5‰。流体包裹体的 δD 为-46‰~-67‰,平均-55‰,极差10.85‰。围岩流体具较高的 δD 值(-38‰)。为了探讨成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值,根据(Clayton, 1972)石英和水同位素平衡方程,取早阶段矿化温度270 $^{\circ}\text{C}$ 得到成矿流体氧同位素组成5.3‰~7.7‰,平均6.48‰。取晚阶段矿化温度180 $^{\circ}\text{C}$,得到氧同位素组成为0.2‰~

2.6‰, 平均1.38‰。将成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 δD 投影到图3。矿区热液区间大部分落在变质水范围, 少部分向雨水线偏移, 说明成矿热液是变质分泌水演化而来, 并有部分天水加入。

3.5 成矿金属和硫的来源

(1) 稀土元素分配特征: 对云母石英片岩、蚀变岩和矿石作稀土元素分析, 云母石英片岩的 ΣREE 为 250.67×10^{-6} , $\text{LREE}/\text{HREE} = 6.81$; 蚀变岩的 ΣREE 为 178.15×10^{-6} , $\text{LREE}/\text{HREE} = 9.33$; 矿石的 ΣREE 为 26.77×10^{-6} , $\text{LREE}/\text{HREE} = 8.91$ 。稀土总量从围岩→蚀变岩→矿石依次减少, 显示完整的继承性。图4是围岩、蚀变岩、矿石的球粒陨石标准化配分曲线。可以看出围岩、蚀变岩、矿石具有特征相似的球粒标准化配分曲线, 呈富轻稀土右倾型, 曲线基本平行, 说明他们的稀土来源有同源性。矿石中金来源与上述岩石具有一定的亲缘关系。

(2) 铅同位素特征: 矿石中黄铁矿铅同位素组成见表3。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的离差分别为0.402、0.121、0.419, 变化率分别为2.48%、0.78%、1.36%。说明本矿床矿石铅同位素组成不是很均一。在铅同位素分布图中, 数据多集中在克拉通地壳铅区。用单阶段模式计算的模式年龄比较分散, 在 $27.7 \times 10^6 \sim 334.7 \times 10^6$ a, 显示铅经历多阶段演化。源区特征值计算结果 μ 、 k 、 w 值均有一定程度变化。本矿床所有样品 μ 值均大于9.28, k 值大于3.90, w 值大于36, 明显反映出矿石铅是以壳源为主的壳幔混合来源^[1,2]。

(3) 硫的来源: 对矿石中12个不同阶段黄铁矿的硫同位素测定结果, $\delta^{34}\text{S}$ 在10.00‰~12.14‰, 平均11.46‰, 极差2.14‰。 $\delta^{34}\text{S}$ 变化窄呈塔式分布, 矿石硫同位素属富 ^{34}S 型。围岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为8.73‰, 矿石中较高的 $\delta^{34}\text{S}$ 是受原始沉积物的控制, 并在成矿过程进一步富集 ^{34}S 。

3.6 金的迁移和沉淀

根据矿床含金石英脉形成条件, 自然金与黄铁矿、毒砂、石英共生, 流体包裹体成分揭示成矿热液为 $\text{Na}^+(\text{K}^+)-\text{Ca}^{2+}(\text{Mg}^{2+})-\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 的弱酸性溶液, 决定金在溶液中应以 $\text{Na}[\text{Au}(\text{HS})\text{Cl}]$ 络合物的形式迁移。当体系的 pH 增加或遇到还原剂时, 金络合物被还原析出自然金, 其可能的反应是: $3\text{Na}[\text{Au}(\text{HS})\text{Cl}] + 2\text{Fe}^{2+} + \text{H}_3\text{AsO}_4 = 3\text{Au} + \text{FeS}_2 + \text{FeAsS} + 3\text{NaCl} +$

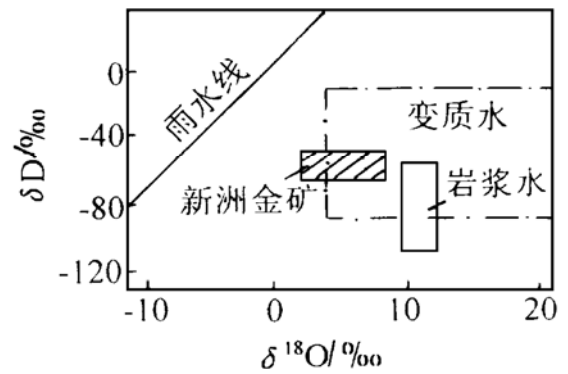


图3 新洲金矿 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 投影图
Fig. 3. $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ plot of the Xinzhou gold deposit.

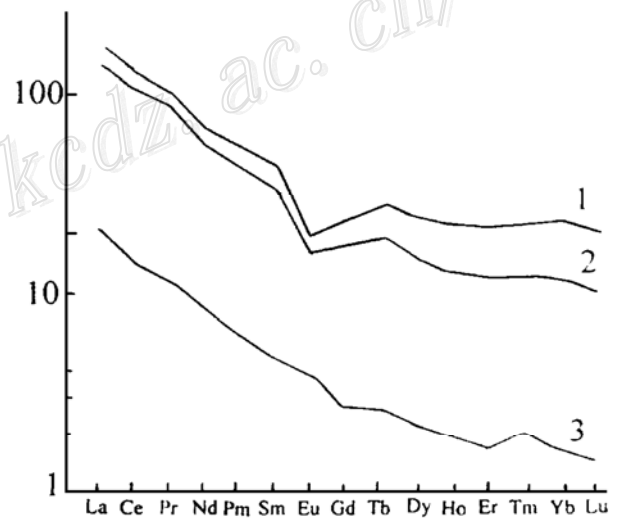


图4 稀土元素分布模式
1—云母石英片岩; 2—蚀变岩; 3—矿石
Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns.
1—Mica-quartz schist; 2—Altered rock; 3—Ore.

3H₂O。此外,环境温度下降、压力降低引起络合物稳定性下降而解体,也是金沉淀的重要原因。

表 3 铅同位素组成特征

Table 3. Characteristics of lead isotope composition

样号	测定矿物	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	单阶段模式年龄(10 ⁶ a)	源区特征值		
						μ	k	w
IS ₆₋₅	黄铁矿	18.085	15.401	38.177	209.4	9.284	3.900	36.211
V ₁₋₂	黄铁矿	18.178	15.560	38.387	380.0	9.409	3.950	37.168
V ₁₋₃₂	黄铁矿	18.048	15.522	38.274	334.7	9.350	3.969	37.122
V ₂₋₁	黄铁矿	18.487	15.612	38.662	125.9	9.479	3.916	36.539
V ₃₋₂₇	黄铁矿	18.477	15.530	38.696	27.7	9.320	3.920	36.175

注:桂林有色矿产地质研究所同位素室测试

综上所述,新洲金矿的成矿流体是变质水和部分天水的混合热液。成矿金属和硫来自震旦系矿源层。燕山期岩浆活动的热动力是成矿的动力。矿床是产于区域变质岩系中与岩浆热动力变质作用有关的中温变质热液矿床。矿源层—变质体—岩浆活动—有利构造是成矿的必要条件。

参 考 文 献

- 1 陈好寿. 铅同位素地质研究的基本问题. 北京:地质出版社, 1979, 1~235
- 2 G 福尔. 同位素地质学原理. 潘曙兰等译. 北京:科学出版社, 1983, 156~210

GEOLOGY AND ORE-FORMING FLUID TYPES OF THE XINZHOU GOLD DEPOSIT, GUANGDONG PROVINCE

Yao Dexian and Cao Jianjing

(Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Key words: gold ore belt, fluid inclusion, isotope, Xinzhou gold deposit

Abstract

Located at the connection between the Fengliang-Fogang latitudinal tectonic belt and the Wuchuan-Sihui Neocathaysian faulted fold belt, the Xinzhou medium-size gold deposit lies in the outer zone of the westward extension of the Fogang porphyritic biotite granite, and occurs in the interlayer faulted zones among Sinian two-mica schist, two-mica quartz schist and metamorphosed siltstone. The Sinian strata contain gold $12.3 \times 10^{-9} \sim 29.0 \times 10^{-9}$ with enrichment coefficients 3.3~7.4, thus showing character of the source bed. The thermodynamic force produced by magmatic intrusion and emplacement as well as metamorphism and wall rock alteration resulted in the migration and enrichment of gold in strata to form the

(下转接第288页 to be continued on p. 288)

- 56 Babcock R S. Computational models of metasomatic processes. *Lithos.*, 1973, 6: 279~290
- 57 Grant J A. The isocon diagram—A simple solution to Gresens equation for metasomatic alteration. *Econ. Geol.*, 1986, 81: 1976~1982
- 58 Maclean W H, Kranodiotis P. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration; Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Econ. Geol.*, 1987, 82: 951~962
- 59 Maclean W H. Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita*, 1990, 25: 44~49
- 60 Maclean W H, Barrett T J. Lithogeochemical methods using immobile element. *Journal of Exploration Geochemistry*, 1993, 48: 109~133
- 61 Barrett T J. Mass changes in hydrothermal alteration zones associated with VMS deposits of the Noranda area. *Explor. Mining Geol.*, 1994, 3: 131~160

~~~~~  
 (上接259页 continued from p. 259)

ore deposit. The ore deposit consists of 10 gold ore zones, with No. 1 ore zone being economically most valuable. The second and the third ore-forming stages are major gold mineralization stages. Native gold occurs in the forms of trapped gold, crystal crack gold and fissure gold, whose average fineness of gold is 947. The correlation coefficients of Au with Ag, As and S are 0.64, 0.87 and 0.54 respectively. Fluid inclusion and isotopic studies show that ore-forming temperatures are 270 °C~180 °C, pressures are  $(150\sim 200) \times 10^5$  Pa, pH=5.5~6.5, and Eh=-0.25~-0.5 eV. The fluids are enriched in H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and have average salinity of 16.7 wt% NaCl. REE distribution patterns of wall rocks, altered rocks and ores are of similar LREE enrichment type, with the REE sources having the cognate nature. Lead isotopes show character of crustal anomalous lead.  $\delta^{34}\text{S}$  values are of rich <sup>34</sup>S type in the range of 10.00‰~12.14‰ and -46‰~-67‰ respectively. Studies show that ore-forming metals and sulfur were derived from wall rocks, whereas fluids were mainly mixtures of metamorphic water and meteoric water. The thermodynamic force of magmatic activity constituted the dynamic force for mineralization. The ore deposit is a mesothermal meta-hydrothermal deposit related to magmatic thermodynamic metamorphism in regional metamorphic rocks. The source bed, the metamorphic body, magmatic activity and favorable structure make up indispensable prerequisites for mineralization.