

内蒙古新地沟绿岩型金矿床地球化学特征

王守光^{1,2}, 王存贤², 郑宝军^{1,2}, 沈存利^{1,2}, 徐宗培²

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要:新地沟金矿床产于新太古界色尔腾山群绿片岩系中, 属层控绿岩型金矿床。矿床流体包裹体研究表明, 矿床形成于中温(220 ~ 320 ℃)、中等深度(2.8 ~ 3.8 km), 压力降低流体发生相分离的条件下。主成矿阶段矿液属低盐度(为 1.2 ~ 3.5 Wt% NaCl)的 $\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{K}^+$ 型溶液。矿石中石英的包裹体成分比值特点及包裹体氢-氧同位素特征表明, 成矿流体具深部来源特征, 为深部原始岩浆水与天水或地下水混合来源。矿床硫同位素组成接近陨石值, 属深源硫, 矿石中黄铁矿亦具深部来源特征, 表明成矿物质来源于地壳深部或上地幔与下地壳之过渡带。上述矿床地球化学特征进一步证实该矿床属层控绿岩型金矿类型。

关键词:流体包裹体; 稳定同位素; 地球化学; 金矿床; 新地沟; 内蒙古

中图分类号: P597⁺.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-6956(2004)02-0112-06

内蒙古新地沟金矿床产于新太古界色尔腾山群绿片岩系中, 是大青山层控绿岩型金矿系列的代表性矿床之一。前人对含矿岩系(色尔腾山群绿片岩系)特征及矿床地质特征已进行了分析总结^[1], 证实矿床属层控绿岩型金矿类型, 并与国内外同类型矿床对比研究, 同时为找矿预测提供理论依据。笔者依据在新地沟金矿床工作期间所测试的样品, 对矿床流体包裹体及稳定同位素地球化学特征进行了分析研究。

1 矿床地质概况

矿区出露地层为新太古界色尔腾山群绿片岩系。赋矿岩层为色尔腾山群柳树沟岩组绿片岩类, 其岩石主要为绿泥片岩、绿泥绿帘片岩、绿泥绢云石英片岩、绢云石英片岩, 原岩应为中基性及中酸性火山岩^[1]。由于韧性-脆韧性剪切变形发育, 岩石不同程度地发生了糜棱岩化, 形成了绢云(二云、白云)糜棱片岩、阳起糜棱片岩、绢云绿泥长英质糜棱片岩。赋矿岩石为糜棱岩化绿泥绢云石英片岩、糜棱岩化绢云石英片岩。

新地沟金矿床包括新地沟金矿段和油篓沟金矿段。1) 新地沟金矿段: 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。2) 油篓沟金矿段: 矿体赋存在糜棱岩化绿泥绢云石英片岩内, 大理岩为顶板或底板。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。

矿石类型有片岩型、石英脉型、长英质糜棱岩型。矿石的主要金属矿物有自然金、黄铁矿、

收稿日期: 2004-04-13

基金项目: 中国地质调查局成矿规律和找矿方向综合研究项目(200110200018)

作者简介: 王守光(1960-), 男, 高级工程师, 博士研究生, 1983 年毕业于长春地质学院, 1990 年获中国地质大学(武汉)硕士学位, 从事区域矿产地质调查及区域成矿研究工作。

黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿和赤铁矿。自然金呈它形微细粒状嵌布于石英晶隙或褐铁矿中。自然金粒径多数小于 0.005 mm,个别可达 0.01 mm。蚀变糜棱岩型金矿石中,黄铁矿等金属矿物沿糜棱面理呈浸染状、微细脉状分布。

蚀变以褐铁矿化、硅化、黄铁矿化、绢云母化为主,次为绿泥石化、碳酸盐化、钾化等。金矿化主要与强硅化、黄铁矿化、褐铁矿化有关。硅化、黄铁矿化可划分两个阶段,早期阶段形成蚀变绢云石英片岩型金矿石,晚期形成含黄铁

矿长英质糜棱岩型金矿石。

2 流体包裹体地球化学特征

2.1 包裹体特征和成矿温压条件

矿床中与自然金密切共生的矿物以石英最为普遍,同时石英也是重要的载金矿物之一,因此其流体包裹体特征能够反映矿床形成时的温压条件和成矿流体的性状。主成矿阶段的石英流体包裹体特征如下(表 1):

表 1 矿床主成矿阶段包裹体特征
Table 1 Characteristics of fluid inclusions from Xindigou gold deposit

样号	成矿阶段	包裹体类型及成因	分布特点	大小(μm)	形态	气液比(%)	均一温度(Th)	盐度(Wt%)	压力及深度	其它特征
BW1 BW2 BW7	I 石英	主要为含 CO ₂ -气液型包裹体,次为气液型包裹体,有纯 CO ₂ 包裹体,不含子矿物	主要呈线状分布,属成矿期包裹体;低温包体呈一组线状分布	2~7 μm,局部较大,可达 10~15 μm	它形,不规则多边形,或浑圆形	气液型为 10~20, CO ₂ -气液型为 30~40,个别达 50	223.6~322.9℃,集中于 220~240℃及 280~320℃	2.2~2.7	85.0~115.0 Mpa	均发育有纯 CO ₂ 气体包裹体和纯 CO ₂ 液体包裹体,及富 CO ₂ 的气液三相包裹体,均一温度具多峰特点,高温包体属原生包体,低温包体属成矿阶段的产物
BW4	II 方解石	气液型	散状分布	±3 μm	负晶形	5~15	203~262℃,集中于 200~210℃及 250~270℃	1.2~3.5		石英具碎裂结构,石英中包体较少,且小,多为 3 μm 或更小,呈线状分布,均一温度 237.4℃

样品测试单位:宜昌地矿所

- (1)石英中原生包裹体个体较小,多为 5~7 μm,部分为 <3 μm,仅局部可见达 10~15 μm 的包裹体,呈它形不规则状或负晶形面型分布。
- (2)包裹体以含 CO₂-气液型三相包裹体为主,气液比为 10%~20%,一般为 30%~40%。普遍具有纯 CO₂ 液相包裹体和富气相纯 CO₂ 包裹体(气液比 60%~80%)。
- (3)包裹体中无子矿物,盐度低,为 1.2 Wt%~3.5 Wt%(NaCl),属低盐度成矿流体。
- (4)成矿温度较高,主成矿阶段均一温度为 277.5~322.9℃(即 270~320℃)及 223.4~237.4℃(即 220~240℃)。
- (5)成矿压力及深度,利用含 CO₂-气液型

- 包裹体推测的成矿压力为 85.0~115.0 Mpa,成矿深度为 2.8~3.8 km。
- 金矿床包裹体中普遍含较高的 CO₂,有纯液相和纯气相单一 CO₂ 包裹体,表明对该类矿床含金成矿流体来说,CO₂ 含量高是一个很重要的特点,也反映该类金矿成矿时流体存在相分离,即原始的 H₂O-CO₂-NaCl 流体,由于压力降低而发生相分离,形成 CO₂ 和 NaCl-H₂O 流体,金是在这种相分离的过程中沉淀出来的[2]。
- 2.2 包裹体成分、性质特征
- 表 2、3 为矿床石英包裹体成分分析数据和摩尔百分比;图 1 为石英流体包裹体成分 K⁺-

Na⁺-Ca²⁺、F⁻-Cl⁻-SO₄²⁻ 三角图。

从表 2、3 和图 1 可以看出：

(1) 气相成分：以 H₂O 为主，次为 CO₂ 及 CO。

(2) 液相成分：富含 Na⁺、K⁺ 及 Cl⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻，贫 Ca²⁺、Mg²⁺、F⁻，且大部分 Na⁺ > K⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺，Cl⁻ > HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > F⁻。

(3) 矿液类型(成矿溶液类型)：依据“库尔洛夫”水化学分类原则，主成矿阶段矿液类型属 Cl⁻-Na⁺-K⁺ 型，虽然部分样品所代表的矿液类型有所变化，但总体都富含 Cl⁻、Na⁺、K⁺。

(4) 矿液成分比值：一般认为气相成分中 (H₂ + CO + CH₄)/CO₂ 反映矿液还原程度；液相成分中 Na⁺/K⁺ < 2、Na⁺/(Ca²⁺ + Mg²⁺) < 4 为深部来源，反之则为层控型或沉积型热液。本矿床 CO₂/H₂O 为 0.033 2 ~ 0.057 4；CO/CO₂ 之 mol 比为 0.157 8 ~ 0.602 2，表明矿液具弱还原性(或在还原环境中成矿)；Na⁺/K⁺ 比为 0.999 1 ~ 1.928 2，小于 2，反映矿液

中 K⁺ 相对较富，属深部来源的可能性较大；Na⁺/(Ca²⁺ + Mg²⁺) 为 2.407 2 ~ 6.370 1 接近或大于 4，亦反映矿液为深部来源；SO₄²⁻/Cl⁻ 为 0.119 3 ~ 0.713 4，表明石英结晶时矿液中 Cl⁻ 的浓度大于 SO₄²⁻。

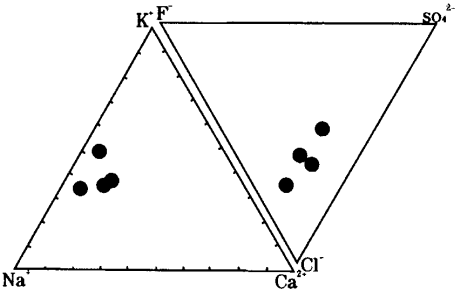


图 1 新地沟金矿床流体包裹体成分
K⁺-Na⁺-Ca²⁺、F⁻-Cl⁻-SO₄²⁻ 三角图
Fig. 1 Composition of fluid inclusions in Xindigou gold deposit

表 2 矿床石英包裹体成分分析结果

Table 2 Chemical composition of the fluid inclusions in the quartzs from Xindigou gold deposit

样号	矿物	位置	气相成分(ml/100 g 石英)							液相成分(×10 ⁻²)										矿液性质	
			H ₂ O	CO ₂	H ₂	CO	CH ₄	N ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PH	Eh(mv)		
BC ₂	石英	TC	11.77	1.59		0.16			4.698	2.769	0.503	0.168	0.906	3.859	3.020	7.551		6.33	80.52		
BC ₆	石英	钻孔	36.65	2.98		1.05			1.377	1.134	0.594	0.135	0.284	1.863	2.025	1.836		6.17	89.98		
BC ₇	石英	TC ₁₀₀	33.67	2.82		1.08			0.853	0.973	0.118	0.088	0.288	1.617	1.352	0.529		6.20	88.21		
BC ₉	石英	TC ₁₀₀	33.08	4.64		3.36			0.596	0.566	0.238	0.0298	0.292	1.340	1.043	1.252		6.03	98.27		

样品测试单位：宜昌地矿所

2.3 矿液来源

表 4 为矿床石英的氧同位素及石英包裹体水的氢同位素组成测定结果。

据石英包裹体均一或爆裂温度按 Clayton (1972) 石英—水氧同位素分馏方程式：

$$1\ 000\text{Ln}\alpha\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=3.38\times10^6/T^2-3.4$$

将石英的氧同位素换算为石英包裹体水的氧同位素值，并与 δD 一同投点于图 2。

从表 4 及图 2 可见：部分样品落于原始岩浆水范围内，表明有来自深部岩浆的矿液；部分样

品投点落入岩浆水范围附近、与天水之间，表明矿液为天水与原始岩浆水的混合，总体表明矿液以深部原始岩浆来源为主，混有天水或地下水。

3 硫、铅同位素地球化学

3.1 矿床硫同位素组成特征

矿床中金属矿物的硫同位素组成能够反映来源物质的硫同位素特征。因此，可以根据矿石硫化物的 δ³⁴S 值所获得的成矿溶液的总硫同位素组成推测矿石中硫的来源，从而探讨与金属硫化物伴生的成矿物质的来源[3]。

表 3 矿床石英包裹体成分分子(离子)摩尔百分数及成分比值

Table 3 Composition of the fluid inclusions in the quartzs from Xindigou gold deposit

样号	分子摩尔百分数			离子摩尔百分数								成矿 溶液类型	比值(mol)					
	H ₂ O	CO ₂	CO	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻		CO ₂ /H ₂ O	CO/CO ₂	Na ⁺ /K ⁺	Na ⁺ /(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	F ⁻ /Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻
BC ₂	93.99	5.19	0.82	46.26	46.28	4.83	2.69	16.66	38.54	17.30	27.49	Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻ -Na ⁺ -K ⁺	0.055 2	0.157 8	0.999 1	6.148 3	0.432 4	0.713 4
BC ₆	95.09	3.16	1.75	33.60	46.91	14.13	5.36	12.41	44.17	27.58	15.87	Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ -Na ⁺ -K ⁺	0.033 2	0.553 9	1.396 2	2.407 2	0.280 9	0.359 4
BC ₇	94.80	3.25	1.96	30.95	59.68	4.17	5.19	17.03	51.89	24.89	6.19	Cl ⁻ -Na ⁺ -K ⁺	0.303 4	0.602 2	1.928 2	6.370 1	0.320 1	0.119 3
BC ₉	89.07	5.11	5.82	32.46	52.27	12.64	2.63	18.35	45.67	20.41	15.57	Cl ⁻ -Na ⁺ -K ⁺	0.057 4	1.137 4	1.61 0	3.422 8	0.401 7	0.340 8

表 4 矿床石英包裹体氢、氧同位素组成

Table 4 Composition of δD and δ¹⁸O for the ore fluid inclusions in Xindigou gold deposit

样号	δD _{H₂O} ‰	δ ¹⁸ O _{H₂O} ‰	均一(或爆裂)温度(℃)	δO _{H₂O} ‰
SIH-1	-68.50	+13.26	290 ~ 320	5.927 ~ 6.985
SIH-2	-67.30	+10.78	270 ~ 330	2.662 ~ 4.838
SIH-5	-69.80	+11.68	300 爆裂法	4.729
SIH-6	-83.40	+11.63	320 爆裂法	5.365
SIH-7	-98.90	+11.12	294.10	3.953

样品测试单位:宜昌地矿所

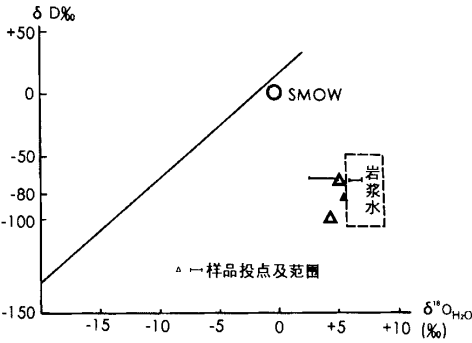


图 2 新地沟金矿床包裹体

氢氧同位素组成分布图(据张理刚,1983)

Fig. 2 Composition of δD and δ¹⁸O for ore fluid inclusions in Xindigou gold deposit

本矿床矿石中以恒有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、石英为特点,不含硫酸盐类矿物,反映成矿流体在沉积硫化物时 fO₂ 低^[3],为弱还原环境,硫为还原型硫,矿石硫化物的硫同位素组成可

以近似代表成矿流体的总的硫同位素组成 δ³⁴S_{ΣS}^[3]。

矿石硫同位素分析结果见表 5。

表 5 矿床矿石硫同位素组成

Table 5 Composition of δ³⁴S in Xindigou gold deposit

样品编号	矿物	δ ³⁴ S _{-CDT} ‰
STS ₁	黄铁矿	1.20
STS ₄	黄铁矿	4.79
STS ₅	黄铁矿	-1.60

样品测试单位:宜昌地矿所

三个黄铁矿样品,硫同位素值 δ³⁴S 为 -1.60‰ ~ +4.79‰;变化范围较小,极差为 6.39‰,分布于 δ³⁴S = 0‰ 的附近,均值为 +1.36‰,接近陨石值,表明矿石硫总体来源于地壳深部(或上地幔),属深源硫。

3.2 矿床铅同位素组成特征

成矿流体中铅继承其源区的同位素组成,矿石的铅同位素可以作为构造环境、物质来源

的指示剂。本矿床矿石铅同位素和岩石铅同位素组成及特征值见表 6。

表 6 铅同位素组成及特征值

Table 6 Lead isotopic composition and the characteristics of lead sources in Xindigou gold deposit

矿石或岩石	样号	样品名称	同位素组成			特征参数值		
			$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ	W	Th/U
矿石	SZPb6	黄铁矿	16.503	15.254	36.650	9.054	36.560	3.919
矿石	SZPb13	方铅矿	16.571	15.252	36.683	9.050	36.443	3.894
岩石	SZPb18	二长花岗岩	17.530	15.457	37.547	9.029	36.372	3.789

样品测试单位：宜昌地矿所

3.2.1 矿石铅同位素

矿石铅同位素组成稳定， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均为 16.537， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.249， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 36.666，差值均小于 0.1。

按正常铅 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 计算的 μ 值为 9.05 ~ 9.054；按正常铅 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 计算的 W 值为 36.443 ~ 36.560。矿石的 μ 、W 值均在单一正常铅演化的 μ 、W 值范围内 ($\mu = 8.686 \sim 9.238$ ， $W = 35 \sim 41$)^[4]。据矿石的 μ 值和 W 值推测的源区中的 Th/U 值为 3.919 ~ 3.894，在单一正常铅之 Th/U (3.92 ± 0.09)^[4] 范围内。

将数据投点于卡农三角图(图 3)中，投点相对集中，均落入正常铅增长曲线范围内。

上述铅同位素组成、特征参数值及卡农三

角图(图 3)中的投点，均表明矿石具有相对稳定的铅同位素组成，矿床属铅同位素相对稳定的矿床，成矿物质具有单一深部来源特征。

对比 Doe 铅构造环境特征参数值、并将矿床铅同位素比值投点于 Doe 和 Zartman 铅构造模式图上(图 4)，可见矿石铅来源于地幔或地幔与下地壳之过渡带。这一结论与上述讨论结果相一致。

3.2.2 岩石铅同位素

矿区外围燕山期笔架山二长花岗岩体之岩石铅同位素比值与矿床矿石铅同位素有明显差别；卡农三角图(图 3)和 Doe 铅构造模式图(图 4)中的投点，虽然与矿石铅同位素落于同一类型范围内，但位置相距较远，表明亦有一定差异。

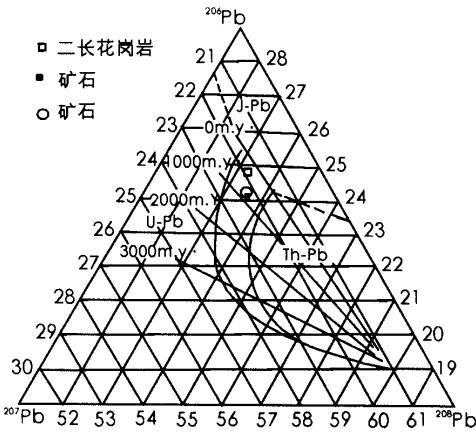


图 3 新地沟金矿床铅同位素“卡农”三角图
Fig. 3 Triangle diagram for Pb isotope of Xindigou gold deposit

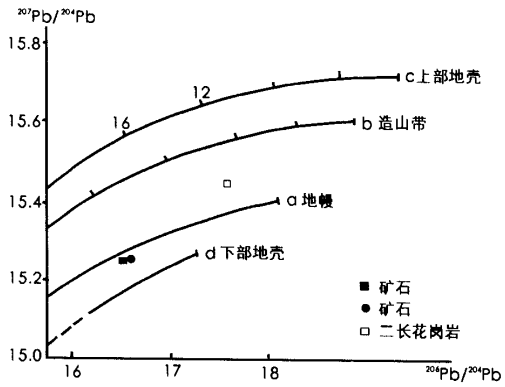


图 4 新地沟金矿床铅构造环境模式图
(据 Doe 和 Zartman, 1979)^[5]

Fig. 4 Tectonic environments distinguished with Pb isotope from Xindigou gold deposit

4 结语

矿床流体包裹体研究表明，矿床形成于中温 (220 ~ 320 ℃)、中深 (2.8 ~ 3.8 km) 压力降低

流体发生相分离 (普遍具大量纯液相或纯气相或气液相单一 CO₂ 包裹体存在可证明这一点) 的条件下。主成矿阶段矿液属低盐度 (为 1.2 ~ 3.5 Wt% NaCl)、总体富含 Cl⁻、Na⁺、K⁺ 的 Cl⁻-Na⁺-K⁺ 型溶液。矿石中石英包裹体氢-氧同

元素特征及包裹体内成矿流体之成分比值特点表明,成矿流体总体为深部原始岩浆水与天水或地下水混合来源。矿床硫、铅同位素特征总体表明成矿物质来源于地壳深部或地幔与下地壳之过渡带。矿床硫同位素组成接近陨石值,属深源硫。矿床铅同位素组成表明矿石铅亦具深部来源特征。矿床流体包裹体和硫、铅同位素地球化学特征与国内层控绿岩型金矿床特征相似^[6,7],进一步证实该矿床属层控绿岩型金矿类型。

致谢:作者在本文编写过程中得到了内蒙古自治区地质调查院总工程师、教授级高工黄占起的热情指导,在此深表谢意!

参考文献:

[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(3-4):190-198.

[2] 卢焕章. 包裹体地球化学[M]. 北京:地质出版社,1990.

[3] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 2000.

[4] 地矿部宜昌地质矿产研究所. 铅同位素地质研究的基本问题 [M]. 北京:地质出版社,1979.

[5] Doe B R, Zartman R E. Plumbotectonics[A]. Barnes H L. The Phanerozoic, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [C]. New York: John Wiley and Sons Inc, 1979.

[6] 沈保丰, 骆辉, 李双保, 等. 华北陆台太古宙绿岩带地质及成矿[M]. 北京:地质出版社, 1994.

[7] 沈保丰, 孙继源, 田永清, 等. 五台山—恒山绿岩带金矿床地质[M]. 北京:地质出版社, 1998.

The Geochemical Characteristics of Xindigou Gold Deposit, Inner Mongolia

WANG Shou-guang^{1,2}, WANG Cun-xian²,
ZHENG Bao-jun^{1,2}, SHEN Cun-li^{1,2}, XU Zong-pei²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot, Inner Mongolia 010020)

Abstract: Xindigou gold deposit occurring in the greenschist series of the Neoproterozoic Sertengshan Group, belongs to greenstone-type gold deposit in Daqing Mts., Inner Mongolia. Based on the study on the fluid-inclusion geochemistry of the ore deposit, it is suggested that the ore formed under the conditions of middle temperature (220 ~ 320 °C), middle depth (2.8 ~ 3.8 km) and the fluid phases separating with the pressure decreasing. And the ore-forming fluid belongs to the $\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{K}^+$ type with low salinity (1.2 ~ 3.5 Wt% (NaCl)), and it originally derived from the magma water mixing with meteoric water in its evolution according to the isotopes of hydrogen, oxygen ($\delta\text{D}_{\text{water}} - 67.30\text{‰}$ to -98.90‰ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{water}} 2.662\text{‰}$ to 6.985‰). And the Pb isotope and $\delta^{34}\text{S}$ of the sulfides in the ore suggest that the ore-forming substance derived from the deep part of the crust or the transitional belt between the upper mantle and lower crust.

Key words: fluid inclusion; stable isotope; geochemistry; gold deposit; Xindigou; Inner Mongolia