

黑龙江争光金矿地质地球化学研究

武子玉¹, 孙有才², 王保全²

- (1. 吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室, 长春 130026;
2. 黑龙江齐齐哈尔矿产勘查开发总院, 齐齐哈尔 110032)

[摘要]通过氢、氧、铅同位素和流体包裹体测试, 结合争光金矿床的地质、微量元素、稀土元素地球化学特征研究, 表明争光金矿为岩浆低温热液矿床。成矿物质主要来源于地层, 矿化类型为蚀变岩型和石英脉型。成矿流体为岩浆水、变质水和大气降水的混合液。 δD 值为 $-63\text{‰} \sim -85\text{‰}$, $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值为 $-0.2\text{‰} \sim -7.0\text{‰}$, 主成矿阶段温度为 $133 \sim 276^{\circ}\text{C}$ 。

[关键词]地球化学 金矿床 成因

[中图分类号] P618.51; P632 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2006)01-0038-05

争光金矿位于黑龙江省嫩江县境内, 地理坐标为: 东经 $125^{\circ}51'30'' \sim 125^{\circ}54'30''$, 北纬 $50^{\circ}11'30'' \sim 50^{\circ}13'00''$ 。距多宝山大型斑岩铜矿约 10km, 位于三矿沟—多宝山—铜山—争光北西向铜金多金属成矿带南东部。2000 年黑龙江省齐齐哈尔矿产勘查总院对卧都河幅 1:20 万化探卧 HS—24、25、29 三个异常进行了 3 级查证时, 在争光地区圈出了最具找矿远景的为 Ht—4 土壤异常, 当年经工程槽探验证发现了 6 条金矿体。截至 2003 年, 在争光地区累计发现金矿体 68 条, 预测金储量达到中型矿产地, 是近年来该矿带岩金矿床勘查的新突破。该区铜金成矿条件良好并具有潜在能力, 对该矿床进行深入细致的地质、地球化学研究具有极为重要的意义。

1 成矿地质背景

区域出露地层主要有中奥陶统铜山组、多宝山组及二叠统星火组。铜山组由一套中性、中酸性火山岩、火山沉积岩夹火山熔岩构成, 多宝山组为一套中性火山岩为主夹少量中酸性火山岩、火山沉积岩的海相火山岩系。多宝山大型斑岩铜矿、铜山铜矿等矿床赋存于中奥陶统多宝山组地层中。侵入岩分布有华力西中晚期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、斜长花岗岩、更长花岗岩; 燕山早期花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩、闪长玢岩、斜长花岗斑岩。其中多宝

山、铜山铜矿床与华力西中期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩关系极为密切。三矿沟铜铁矿床与燕山早期花岗岩、闪长岩、争光岩金矿床与燕山早期闪长岩、闪长玢岩关系极为密切。构造分布主要为三矿沟—多宝山—裸河深大断裂, 断裂带长约 35km, 宽约 20km, 断裂带由数条呈北西向断层、褶皱、韧性剪切带、片理化带组成。该构造带控制了华力西花岗闪长岩、花岗闪长斑岩及铜、钼、金矿产的分布。

2 矿床特征

2.1 矿体特征

争光金矿目前发现控制金矿体 68 条, 分为 3 个金矿带。I 号矿带(6 条矿体), III 号矿带(1 条矿体), II 号矿带, 由 61 条矿体组成, 争光金矿大部分主矿体分布在该带。矿区最具规模的矿体有 II—27、II—15、II—13 和 I—3。大部分矿体呈北北东、北东东及北东向分布, 少量呈北北西、北西西、北西向。

II—27 号矿体长度 206m, 呈北北东向脉状分布。最大水平宽度为 12m, 平均宽度 4.5m, 矿体最大延深(斜深) 130m, 一般延深在 100m 左右, 沿走向、倾斜方向有分枝复合, 膨胀收缩现象, 矿体厚度、品位变化较大。最高品位为 59.58×10^{-6} , 平均品位 4.85×10^{-6} 。矿体产状: 倾向 278° , 倾角 55° 。

[收稿日期] 2004-05-09; **[修订日期]** 2004-09-01; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[基金项目] 中国地质调查项目(编号: 199920190116) 和吉林大学创新基金项目(编号: 403010123091) 联合资助。

[第一作者简介] 武子玉(1957 年—), 男, 1982 年毕业于原长春地质学院, 获学士学位, 副教授, 现主要从事地球探测技术研究及教学工作。

赋矿围岩大部分为蚀变闪长岩,少量为安山岩、绿泥绢云板岩。Ⅱ—13 矿体长度 195m,总体呈北北东向分布,形态为不规则脉状,最大水平宽度为 5m,平均宽度 2.4m,最高品位 14.8×10^{-6} ,平均品位 6.72×10^{-6} 。矿体大部分赋存在闪长岩内,少量赋存于绿泥绢云板岩内。Ⅱ—15 矿体长度 265m,呈北东、北东东向分布,最大水平宽度为 12m,平均宽度 3.50m,最高品位 67.3×10^{-6} ,平均品位 4.77×10^{-6} ,矿体最大延深 118m。Ⅰ—3 矿体矿体长度 446m,呈北东、北北东向分布,最大水平宽度 2m,平均宽度 1.2m,深部未有工程控制。

2.2 矿石特征

矿石类型主要为破碎带蚀变岩型,其次为含金石英细网脉型。金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、自然金、闪锌矿、褐铁矿、黝铜矿,其次为赤铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、铜兰。脉石矿物主要有石英、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石。

2.3 围岩蚀变

与矿化有关的围岩蚀变主要有硅化(石英化)、绢云母化和黄铁矿(褐铁矿)化,上述三种蚀变矿物在空间上往往相伴产出,构成黄铁绢英岩化及绢英岩化,也是本区与金成矿最密切的一种蚀变组合类型。硅化呈细脉状与黄铁矿(褐铁矿)相伴产出,绢云母化呈鳞片状分布于矿体及构造破碎带、裂隙带中,与金的成矿最为密切的黄铁矿(褐铁矿)呈团块状、细脉、星点状,往往与团块、细脉状石英相互共存。此外,还有绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、钾化等。

矿床成矿作用分为 2 个成矿期、4 个成矿阶段。岩浆期后热液成矿期:石英—黄铁矿阶段,石英—多金属硫化物阶段,方解石—石英—少硫化物阶段。表生期:氧化阶段。

3 地球化学特征

3.1 样品采样位置和分析方法

本次研究采集的岩、矿石样品均经过镜下鉴定定名。除区域地球化学样品采自全矿区外,其他研究样品采自Ⅱ号矿带的主矿体和围岩。矿体中的样品又分富矿体($>10 \times 10^{-6}$)和贫矿体($3 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$);围岩样品分为近矿蚀变围岩($>1 \times 10^{-6}$)和近矿源岩。所有样品均采自新鲜岩石,矿石

均经过镜下鉴定定名。氢氧、铅同位素样品均采自矿体。测试的黄铁矿和石英在显微镜下手工挑选,纯度均在 99% 以上。流体包裹体测温、铅同位素及稀土元素由核工业地质分析测试研究中心测试。流体包裹体测温仪器为英国产的 LINKAM THMS600 型冷热台;铅同位素采用热电离质谱法,仪器型号: MAT261;稀土元素采用 HR-ICP-MS 方法测试。氢氧同位素由中国科学院地质与地球物理研究所测试,样品经清洗、去吸附水和次生包裹体后,再采用加热爆破法从样品提取原生流体包裹体中的 H_2O 和 CO_2 。将提取的包裹体 H_2O 与 Zn 在 400℃ 条件下反应 30min 制取 H_2 ,测定 H_2O 中的 δD 值;氧同位素测定采用 BrF_3 分析法在 Finnigan MAT Delta S. 质谱仪上测定,以 SMOW 为标准,分析精度为 $\pm 0.1\text{‰}$ 。

3.2 微量元素地球化学特征

区域地球化学原岩光谱分析显示(表 1),主要岩性金的平均含量除安山岩外,其他四种均具较高的含金性,远远大于同类岩石丰度的几倍—几十倍。初步推测上述岩石可作为金的矿源层(岩),为金矿的形成提供了丰富的物源。其中含金最好的为绿泥绢云板岩,平均含金达 157.3×10^{-9} 。8 种微量元素 R 型相关分析表明, Au 与 Ag、As、Pb、Zn 关系密切。相关系数为 0.81、0.76、0.69 和 0.58。表明成矿过程中,成矿元素 Au 与这些元素有相似的地球化学行为,反映出本区具备金成矿有利的地球化学条件。

表 1 争光金矿岩石微量元素分析统计结果

岩石名称	Au	Ag	As	Sb	Cu	Mo	Pb	Zn
凝灰岩(133)	41.21	0.43	45.7	1.31	116.9	1.79	73.4	313.3
闪长岩(69)	37.7	0.52	78.01	1.53	151.3	1.52	36.17	347.4
安山岩(88)	14.2	0.3	22.96	0.86	102.1		24.1	214.5
绢云板岩(8)	157.3	1.01	51.55	5.04	147.11		137.44	314.61
次安山岩(4)	145.1	0.149	10.47	0.47	147.0		32.5	80.65

$\omega(Au)/10^{-9}$,其他 $\omega_B/10^{-6}$;括号内数字为样品数。

3.3 稳定同位素地球化学特征

1) 氢氧同位素

争光金矿含金石英脉氢氧同位素测试结果(表 2)显示: $\delta^{18}O_{V-SMOW}$: $1.1\text{‰} \sim 15.6\text{‰}$,平均值为 10.1‰ 。 δD : $-63\text{‰} \sim -85\text{‰}$,按 Clayton^[1]的公式($1000 \ln \alpha = \delta^{18}O_{\text{含水矿物}} - \delta^{18}O_{\text{水}} = 3.38 \times 10^6 \cdot T^{-2} - 3.4$),计算获得的 $\delta^{18}O_{\text{水}}$: $-0.2\text{‰} \sim -7.0\text{‰}$ 。在

$\delta D - \delta^{18}O_{\text{水}}$ 图(图 1)上^[2,3],本区 6 个样品投影点落在岩浆水、变质水与大气降水之间,靠近大气水一侧^[4,5];与多宝山铜矿成矿流体相比^[6],有更多的大

气降水参与,表明成矿流体混合流体特征。成矿过程中,断裂破碎叠加,构造蚀变流体进一步活动,形成(第 II 成矿阶段)富矿体。

表 2 争光金矿稳定同位素分析结果一览表

样号	矿石原岩	Th/℃	$\delta^{18}O_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{水}}/\text{‰}$	$\delta D_{V-SMOW}/\text{‰}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
P-1	贫矿(闪长岩)*	170	7.3	-6.1	-67	17.85	15.15	36.62
P-2	蚀变岩(凝灰岩)		13.9		17.63	15.48	37.36	
P-3	富矿(绢云板岩)**	141	15.6	-0.2	-73	17.66	15.49	37.38
P-4	富矿(绢云板岩)**	159	10.1	-7.0	-85	17.95	15.36	37.02
P-5	贫矿(绢云板岩)*	176	12.1	-1.2	-63	17.71	15.49	37.39
P-6	蚀变岩(凝灰岩)	10.8			18.05	15.44	37.35	
P-7	蚀变岩(凝灰岩)		9.4			18.39	15.59	37.70
P-8	富矿(绢云板岩)**	133	14.2	-4.2	-79	17.63	15.52	37.38
P-9	富矿(凝灰熔岩)**	150	6.6	-0.56	-73	17.57	15.43	37.17
P-10	蚀变岩(凝灰岩)		1.1			17.68	15.44	37.26

(1) 氢氧同位素测试者:中国科学院地质与地球物理研究所李铁军,仪器型号:Finnigan MAT Delta S.,分析精度为 $\pm 0.1\text{‰}$,D、O 为 SMOW 标准;(2) 铅同位素测试者:核工业地质分析测试研究中心侯艳先,仪器型号:MAT261(3) 流体包裹体测温仪器:LINKAM THMS600 型冷热台,表中 Th 为实测平均值(空白为未测);(4) * 第 I 成矿阶段样品, ** 第 II 成矿阶段(主成矿阶段)样品。

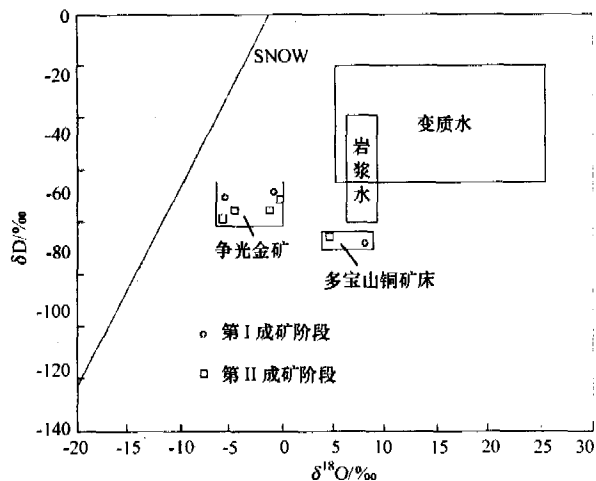


图 1 争光金矿床 $\delta D - \delta^{18}O$ 图(据 Taylor, 1974)

2) 铅同位素

本区矿石铅同位素组成(表 2)在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(图 2)中数据投影点一组介于造山带与下地壳铅演化线之间,沿造山带和地幔铅演化线分布,说明其兼具地幔铅与造山带铅的双重特征^[7,8]。另一组投绘点表明成矿物质主要来源于地幔并有不同程度的地壳物质加入,反映地壳和地幔的混合趋势,表明岩浆上升过程中对地壳围岩的同化,以及岩浆流体和地下水对基底和盖层岩石中金属物质的萃取,为混合作用提供了种种可能^[9]。

3.5 稀土元素地球化学特征

矿区岩、矿石 REE 分析结果表明(表 3):(1) 稀土总量:富矿石 ΣREE 变化在 $28.5 \times 10^{-6} \sim 66.75 \times 10^{-6}$;贫矿石 ΣREE 变化在 $84.21 \times 10^{-6} \sim$

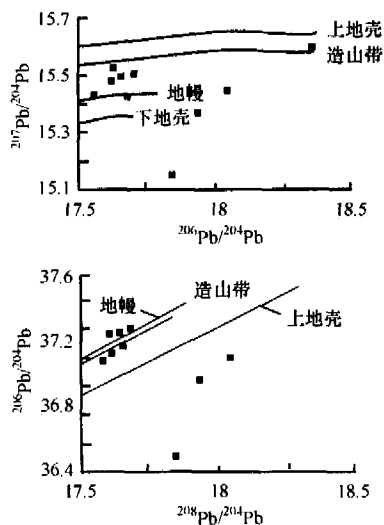


图 2 争光金矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解

116.75×10^{-6} ;蚀变岩 ΣREE 变化在 $111.3 \times 10^{-6} \sim 122.67 \times 10^{-6}$;近矿源岩稀土总量平均值为: 104.89×10^{-6} ,远矿源岩稀土总量平均值为: 178.98×10^{-6} 。从稀土总量来看,富矿石的稀土总量最低,贫矿石、蚀变岩和近矿源岩稀土总量相当,表明含矿岩与矿源岩矿物组成基本一致。(2) 铀钍异常:除 P-10 样品外,均为铀负异常,富矿石为强负异常。除远矿源岩样品外,均为铀负异常。(3) 反映轻重稀土分异的一些特征值:除远矿源岩样品 $\Sigma \text{LREE}/\Sigma \text{HREE}$ 比值 10.5 较大外,其余样品 $\Sigma \text{LREE}/\Sigma \text{HREE}$ 比值变化为 1.9 ~ 6.2,反映了贫富矿石和蚀变岩就地改造的特点。

(4) 稀土分配曲线反映的信息:稀土分布曲线均为右倾(图 3),与富集型拉斑玄武岩特征相似。轻重稀土分馏性较强,轻稀土强烈富集。多宝山组作为矿源层,其稀土元素与含矿的闪长岩相比,稀土模式相似,反映二者的形成构造环境相似。

表 3 争光金矿岩矿石稀土元素分析数据 $\omega_B/10^{-6}$

	富 矿					贫 矿		蚀 变 岩		近矿源岩	远矿源岩
岩性描述	绢云板岩	绢云板岩	绢云板岩	凝灰熔岩	闪长岩	绢云板岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰熔岩
样号	P-8	P-4	P-3	P-9	P-1	P-5	P-7	P-2	P-10	P-6	P-11
La	5.3	7.7	10.6	11.9	12.9	15.3	18.6	19.0	16.9	22.1	34.5
Ce	9.6	15.6	20.2	22.9	42.9	23.7	41.1	41.4	39.3	34.2	75.9
Pr	1.5	2.7	3.2	3.3	6.1	4.2	5.9	6.3	5.3	5.4	8.2
Nd	6.5	13.1	13.6	13.5	25.4	17.4	25.0	25.8	22.3	22.7	37.0
Sm	1.43	3.9	3.46	2.75	6.24	4.1	6.0	5.62	5.07	4.4	6.3
Eu	0.23	1.41	0.64	0.53	1.33	1.03	1.38	1.33	1.77	1.06	1.22
Gd	1.43	6.0	3.39	2.76	5.7	4.42	6.1	5.58	5.87	4.54	5.4
Tb	0.2	0.95	0.53	0.42	0.91	0.76	0.97	0.83	0.92	0.63	0.77
Dy	1.02	5.93	3.27	2.7	5.24	4.79	6.18	4.49	5.47	3.54	3.8
Ho	0.21	1.33	0.73	0.62	1.16	1.08	1.35	0.97	1.14	0.77	0.8
Er	0.52	3.9	2.24	1.87	3.59	3.36	4.25	2.94	3.22	2.38	2.23
Tm	0.07	0.51	0.31	0.28	0.59	0.5	0.65	0.45	0.43	0.36	0.33
Yb	0.43	3.24	1.96	1.87	4.06	3.1	4.5	2.94	3.22	2.44	2.23
Lu	0.06	0.48	0.27	0.28	0.58	0.47	0.69	0.46	0.4	0.37	0.3
ΣREE	28.5	66.75	64.4	65.68	116.7	84.21	122.67	118.11	111.3	104.89	178.98
ΣLREE/ΣHREE	6.2	1.9	4.02	5.0	4.28	3.5	3.9	5.26	6.1	5.9	10.5
δEu	0.48	0.88	0.55	0.59	0.67	0.76	0.70	0.72	1.0	0.79	0.68
δCe	0.76	0.76	0.77	0.8	1.05	0.65	0.84	0.83	0.9	0.68	2.3

(1) 测试单位:核工业地质分析测试研究中心,分析者:张颜辉;仪器型号:HR-ICP-MS;(2) P-11 号样品引自赵元艺^[10],1995。

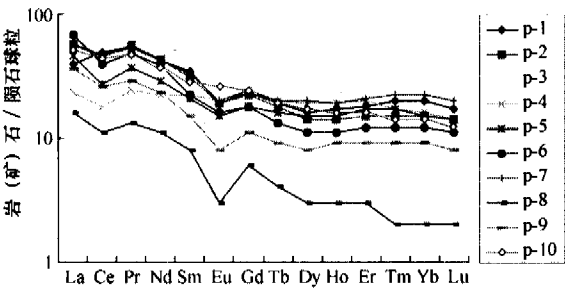


图 3 争光金矿岩石及矿石稀土元素分配模式

4 成因讨论

4.1 成矿物质来源

根据本区岩石地球化学分析,金的成矿物质主要来源于多宝山组凝灰岩、绢云绿泥板岩、安山岩和燕山早期闪长岩。该地层及岩体具较高的金丰度,并高出同类岩石的十倍~几十倍,为金矿形成提供了丰富的物源。稀土元素研究表明,含矿岩与矿源岩矿物组成基本一致,反映了矿石和蚀变围岩就地改造的特点。铅同位素表明成矿物质主要来源于上地幔及造山带并有一定程度的地壳物质加入。

4.2 成矿流体来源

争光金矿含金石英脉氢氧同位素测试结果显示: $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$: 1.1‰ ~ 15.6‰, δD : -63‰ ~ -85‰, $\delta^8\text{O}_{\text{水}}$: -0.2‰ ~ -7.0‰。在 $\delta \text{D} - \delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 图上,6 个样点位于变质水、岩浆水与大气降水区间之间,偏向大气降水一侧。成矿流体为变质水、岩浆水与大气降水的混合。燕山早期侵入岩浆为成矿热动力源,闪长岩在结晶过程中会有大量水释放出来,与大部分来自大气降水及变质水混合,由于岩浆的“热机”效应,经不断的热液对流循环,使围岩中的金离子发生大规模活化、迁移,不断从地层中萃取成矿金属元素,并在构造作用控制下,在有利构造部位卸载成矿。

4.3 成矿温度

争光矿区包裹体测温资料表明,主成矿阶段为 133℃ ~ 176℃。

5 结论

1) 金矿体主要赋存于中奥陶统多宝山组安山质凝灰岩、安山岩、绿泥绢云板岩中,其次为铜山组安山质凝灰岩。该地层具较高的金丰度,并高出同

类岩石的十倍~几十倍,为金矿形成提供了物源。三矿沟-多宝山-裸河北西向深大断裂为区内一级构造,后由燕山早期北东向构造穿切,并导致燕山早期闪长岩体侵入,在大气降水参与作用下,构造蚀变促使金进一步富集。矿化以蚀变岩型为主,石英脉型次之。

2) 铅同位素和稀土元素研究表明,成矿物质主要来源于上地幔及造山带并有不同程度的地壳物质加入。含矿岩与矿源岩矿物组成基本一致,反映了矿石和蚀变围岩就地改造的特点。

3) 氢氧同位素特征显示成矿流体为岩浆水、变质水与大气降水的混合。

4) 争光金矿为岩浆热液低温矿床。成矿温度为 133℃~176℃。

[参考文献]

- [1] Clayton R N and O Neil J R. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. J. Geophys. Res., 1972, 77: 3057~3067.
- [2] Taylor H P. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydro-

thermal mineral deposits [A]. New York: Wiley Intersci. 1979. 236~277.

- [3] Taylor H P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and deposition [J]. Econ. Geol. 1974, 69: 843~880.
- [4] Bodnar R J. Revised equation and stable for determining the freezing point depression of H₂O NaCl solutions [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(3): 683~684.
- [5] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M], 西安: 陕西科学技术出版社, 1985. 267.
- [6] 赵元艺. 多宝山铜矿床成矿作用地球化学研究[J]. 西安地质学院学报, 1997, 19(1): 26~34.
- [7] 魏广庆, 李景云, 张维根. 山西省堡子湾金矿地球化学特征. [J]. 地质与勘探, 1998, (3): 38~42.
- [8] 夏庆霖, 陈永清. 鲁西龙宝山金矿地球化学特征. [J]. 地质与勘探, 2001(4): 14~17.
- [9] 丁汝福, 王京彬, 马忠美, 等. 新疆萨热阔布火山喷流沉积改造型金矿地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2001(5): 11~15.
- [10] 赵元艺. 黑龙江多宝山铜矿田稀土元素地球化学特征及多宝山铜矿床成因模式[J]. 吉林地质, 1995, 14(2): 71~78.

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF ZHENGQUANG GOLD DEPOSIT, HEILONGJIANG PROVINCE

WU Zi-yu¹, Sun You-cai², Wang Bao-quan²

(1. Key Laboratory of Geo-Exploration and Instrumentation of Education Ministry, Jilin University, Changchun 130026;

2. Qiqihar Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Heilongjiang, Qiqihar 161005)

Abstract: The Zhengguang gold deposit, occurring in Yanshanian intrusive and Carboniferous ore-bearing formations, is a low temperature hydrothermal deposit. There are altered-rock type and quartz type orebodies. Geochemical investigation reveals that the ore-forming fluids originated from the mixing of magmatic, formation and meteoritic water. The measured temperature data of fluid inclusions show that gold deposit is featured with low temperature (133℃~276℃), $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values of quartz from -0.2‰ to -7.0‰, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ values of quartz from -63‰ to -85‰.

Key words: geochemistry, gold deposit, genesis