

黑龙江三道湾子金矿含金石英脉与围岩地球化学及地质意义

赵书跃¹ 庞雪娇² 李德胜¹

1. 黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院 黑龙江 哈尔滨 150036 ;
2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心(沈阳地质矿产研究所) 辽宁 沈阳 110034

摘 要 :三道湾子金矿位于大兴安岭燕山期成矿带东南部,为典型的石英脉型岩金矿床。通过对含金石英脉、石英脉围岩及同期火山岩地球化学特征的研究,探讨了石英脉围岩及同期火山岩的成矿地质构造背景。证据表明三道湾子岩金矿成矿母岩的地球化学成分类似埃达克岩,或有学者所称的“C 型埃达克岩”。成矿流体同成矿母岩可能同时形成于来自上地幔的玄武岩,为上地幔玄武岩底劈上侵到加厚的地壳(>50 km)底部导致下地壳基性岩部分熔融形成的,其成因并非可以用浅成低温热液作单一解释。

关键词 :三道湾子金矿 地球化学特征 C 型埃达克岩 地质构造背景 黑龙江

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.02.006

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND GEOLOGICAL IMPLICATION OF THE QUARTZ VEINS AND WALLROCKS IN THE SANDAOWANZI GOLD OREFIELD IN HEILONGJIANG PROVINCE

ZHAO Shu-yue¹, PANG Xue-jiao², LI De-sheng¹

1. Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geology Survey, Harbin 150036, China;
2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China

Abstract : Sandaowanzi gold deposit in Heilongjiang Province, located in the southeast of Yanshanian Daxinganling metallogenic belt, is a typical quartz vein deposit. Based on the study of geochemical characteristics of the ore-bearing quartz vein, surrounding rocks and corresponding volcanic rocks, the authors discuss the geological background for the mineralization. Evidences show that the ore-forming rock of the Sandaowanzi gold deposit is geochemically similar to adakite, or referred to as “C-type adakite”. It is suggested that the mineralized fluid and the parent rock be both derived from the basaltic magma of the upper mantle, when the basalt intruded upward into the thickened formation of the lower crust (>50 km) following the deep faults, causing partly melting of the mafic rocks and forming of the gold deposit. Epithermal mineralization seems not the only interpretation for the genesis of the Sandaowanzi gold deposit.

Key words : Sandaowanzi gold deposit; geochemistry; C-type adakite; tectonic setting; Heilongjiang Province

三道湾子岩金矿位于黑河市上马厂乡三道湾子村西 3.5 km。1996~1999 年黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院开展 1:5 万达音卢等 4 幅区调联测工作时发现了该含金石英脉为主的岩金矿床。经过多年的地质勘探工作,截止到 2014 年,三道湾子岩金矿已探明的储量达到大型岩金矿床。

1 成矿地质背景

研究区大地构造位置属大兴安岭早古生代陆缘增生构造带,多宝山奥陶纪岛弧型活动带东南缘,大兴安岭中段华力西、燕山期铜(钼)、铁(锡)、铅、锌、金、银成矿带东部^[1]。中生代以来主要受滨太平洋构造域构造活动影响,区内断裂构造发育,主要构造线方向有北东

收稿日期 2015-12-31 修回日期 2016-01-27 编辑 张哲

基金项目 黑龙江省矿产资源补偿费项目(编号 SD2002-29) 国土资源部矿产资源补偿费项目及后期续作项目(国土资发[2003]422 号)。

作者简介 赵书跃(1960—),男,高级工程师,从事区域地质矿产调查和地质找矿工作,通信地址 黑龙江省哈尔滨市中山路 65 号地矿大厦 507 室 E-mail://zhaoshuyue60623@163.com

向、北西向和近东西向 控制了区内岩浆活动及成矿作用。区域火山活动频繁,可划分为中—晚侏罗世塔木兰沟期和早白垩世光华期,为活动大陆边缘火山喷发环境。

2 矿床地质特征

矿区出露地层有上侏罗统塔木兰沟组 (J_3t), 下白垩统光华组(K_1gn)及全新统冲积层(Qh)。侵入岩为早侏罗世中粒二长花岗岩($\eta\gamma J_1$),呈北东向不规则岩席状产出。脉岩有辉绿玢岩($\beta\mu$)和流纹斑岩($\lambda\pi$)。

矿区构造以北西向断裂为主(图 1),含金石英脉主要充填在北西向断裂带中。断裂带中见有多条含金石英脉、金矿体和矿化蚀变带,大体平行排列,成群出现,走向 $290\sim 320^\circ$,倾向北东,倾角 $50\sim 70^\circ$ 。断裂在空间上相距不远,具左行斜列分布特征,长 $120\sim 560\text{ m}$,宽 $1\sim 10\text{ m}$,在平面上略呈反“S”型。另有多条与之平行的次级张裂隙,大致构成斜列式排列。

地表工程在石英脉中见围岩角砾,石英脉有硅质细脉及网脉穿插,石英脉两侧多见有硅化角砾岩,其空间分布特征显示为张(扭)性。

矿区矿化蚀变带较明显,自石英脉向两侧依次为含金石英脉—强硅化带—弱硅化带—黄铁矿化带—黏土化带—碳酸盐化带—绿帘石、绿泥石化带。各种蚀

变相互叠加,石英、黄铁矿、绢云母、高岭土、绿泥石、绿帘石多数相伴出现,由矿体向两侧蚀变逐渐减弱。

矿体受北西向张性断裂控制,石英脉为含金载体,次为硅化粗面安山岩。矿体形态以脉状、透镜状为主。矿床的工业类型为含金石英脉型中的石英单脉型和石英网脉及复脉带型^①。

3 矿区石英脉稀土、微量元素特征

矿区(主矿区及北大沟矿区)石英脉稀土元素、微量元素分析结果见表 1。

稀土元素总量为 $42.41\times 10^{-6}\sim 139.67\times 10^{-6}$ (图 2),轻重稀土分馏明显(LREE/HREE 在 $4.69\sim 11.57$ 之间, $La/Yb=10.55\sim 42.72$, $Y<15\times 10^{-6}$, $Yb\leq 1.33\times 10^{-6}$),为轻稀土富集型,无负 Eu 异常或有轻微的负 Eu 异常(δEu $0.70\sim 1.22$)。在微量元素蛛网图(图 3)中, Nb、Y、Ho、Er 呈负异常。

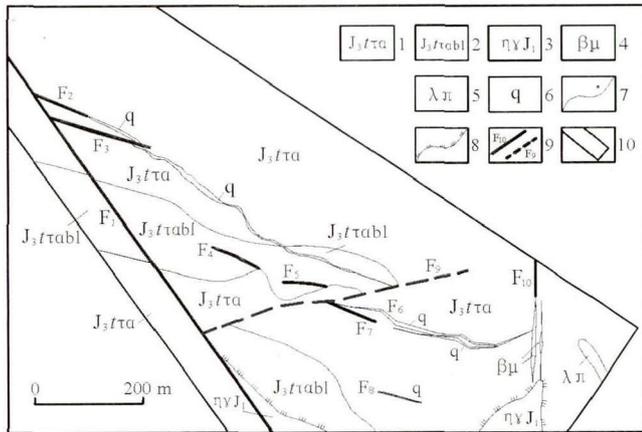


图 1 三道湾子金矿区 I、III 号矿带构造纲要图

Fig. 1 Structure map of Nos. I and III ore blocks in the Sandaowanzi gold orefield

1—塔木兰沟组粗面安山岩(trachyandesite of Tamulangou fm.) ; 2—塔木兰沟组粗面安山质火山角砾岩(trachyandesitic volcanic breccia of Tamulangou fm.) ; 3—早侏罗世二长花岗岩(Early Jurassic monzogranite) ; 4—流纹斑岩(rhyolite porphyry) ; 5—辉绿玢岩(diabase porphyrite) ; 6—石英脉(quartz vein) ; 7—地质界线(geologic boundary) ; 8—不整合界线(unconformity) ; 9—实测/推测断层及编号(surveyed/inferred fault and number) ; 10—工作区(study area)

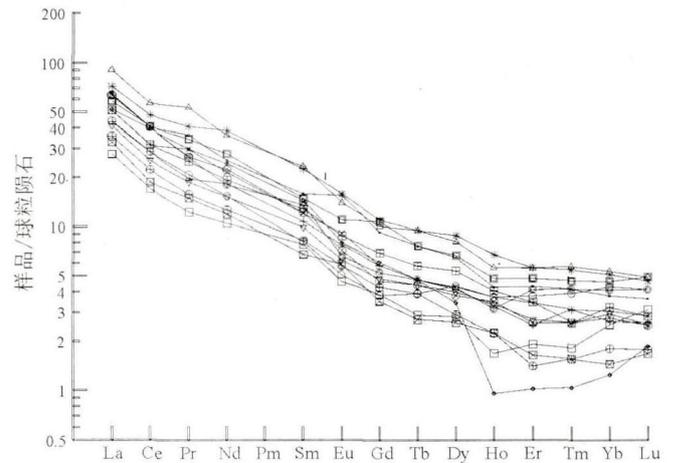


图 2 石英脉稀土元素球粒陨石标准化模式图

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of quartz vein

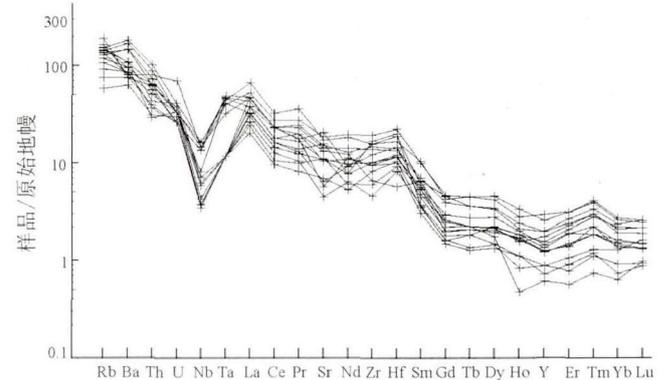


图 3 石英脉微量元素蛛网图

Fig. 3 Spider diagram of trace elements in quartz vein

①黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 黑龙江省黑河市三道湾子岩金矿普查报告. 2008.

表 1 三道湾子岩金矿区石英脉微量、稀土元素分析结果表
Table 1 Contents of rare earth and trace elements in quartz veins of Sandaowanzi gold orefield

样品号	CM001	TC301	TC401	138TC223	128TC232	ZK12	ZK5	ZK7	ZK15	CM4	CM4	CM6	ZK18	296TC55	ICMI
La	24.4	19.6	16.7	23.8	24	13.5	10.5	22	19.3	12.4	16.4	19.3	27.1	34.2	15.6
Ce	39.6	38.7	28	39.5	39.6	21.7	16.6	39.9	31	18.2	27.9	30.8	46.8	55.2	24.8
Pr	4.95	4.06	2.84	3.61	3.54	2.14	1.67	4.66	3.41	2.03	2.66	4.06	5.57	7.27	2.54
Nd	18.2	17.4	11	12.9	16	9.06	7.51	20	13.8	8.53	13.1	15.4	27.7	25.9	10.9
Sm	3.64	3.33	1.86	3.12	2.8	1.9	1.8	3.42	2.94	1.56	2.47	2.76	5.17	5.36	2.28
Eu	1.34	0.69	0.44	0.57	0.62	0.5	0.4	0.95	0.76	0.51	0.67	0.79	1.37	1.21	0.54
Gd	2.88	1.89	1.18	1.63	1.45	1.33	1.2	3.34	2.15	1.09	1.81	1.81	3.41	3.13	1.5
Tb	0.45	0.28	0.23	0.28	0.26	0.23	0.17	0.45	0.34	0.16	0.28	0.28	0.56	0.56	0.26
Dy	2.54	1.34	1.7	1.65	1.48	1.13	1.1	2.61	2.1	1.02	1.62	1.67	3.46	3.17	1.56
Ho	0.38	0.085	0.33	0.28	0.31	0.2	0.15	0.43	0.36	0.2	0.29	0.33	0.6	0.5	0.3
Er	1.1	0.26	0.96	1.05	0.66	0.36	0.49	1.23	0.88	0.42	0.64	0.87	1.43	1.43	0.69
Tm	0.16	0.04	0.15	0.16	0.1	0.06	0.07	0.18	0.1	0.06	0.12	0.12	0.21	0.22	0.1
Yb	0.94	0.31	1.07	1.02	0.69	0.45	0.63	1.15	0.8	0.36	0.66	0.76	1.27	1.33	0.73
Lu	0.14	0.072	0.16	0.16	0.097	0.069	0.12	0.19	0.11	0.065	0.1	0.11	0.18	0.19	0.098
Y	9.55	2.96	7.52	8.49	6.0	4.28	4.27	9.63	6.99	3.51	6.11	6.52	12.4	14.2	5.86
ΣREE	110.27	91.02	74.14	98.22	97.71	56.91	46.68	100.51	85.04	49.92	74.83	85.58	137.23	153.87	67.76
LREE	92.13	83.78	60.84	83.5	86.66	48.8	38.48	90.93	71.21	43.23	63.2	73.11	113.71	129.14	56.66
HREE	18.14	7.24	13.3	14.72	11.05	8.11	8.2	19.21	13.83	6.89	11.63	12.11	23.52	22.93	11.1
LREE/	5.08	11.57	4.57	5.67	7.84	6.02	4.69	4.73	5.15	6.27	5.43	6.04	4.83	5.63	5.1
δEu	1.22	0.77	0.85	0.70	0.85	0.91	0.79	0.85	0.88	1.14	0.93	1.02	0.94	0.83	0.84
Cs	7.0	6.5	5.7	6.3	4.6	3.4	5.4	10.5	6	4.05	4.7	4.8	9.5	5	6.05
Rb	114	64	131	109	116	91.3	78.3	163	124	49.4	139	129	101	121	130
Sr	344	301	357	468	130	102	158	325	246	253	146	238	422	392	248
Ba	605	564	1360	1110	1090	632	642	556	814	470	600	806	716	1270	706
Nb	8.91	2.11	10.1	9.08	3.82	2.28	2.61	8.4	5.01	2.3	3.58	4.38	8.36	9.94	4.36
Ta	2.08	<0.5	1.74	1.37	<0.5	<0.5	<0.5	1.99	1.94	<0.5	<0.5	<0.5	1.69	1.9	<0.5
Zr	162	71.7	184	172	104	49.8	90.5	152	112	65.6	134	105	212	174	111
Hf	4.88	1.99	6.97	6.58	3.47	2.86	3.62	4.68	3.99	3.22	5.09	4.02	7.71	5.81	4.2
Th	7.64	3.72	9.74	6.91	5.9	3.46	6.13	5.83	6.03	2.94	4.8	4.08	5.34	8.4	2.76
V	78.8	28.9	85.6	113	40	29.5	38.9	126	69.3	34.4	42.3	39.2	138	65	41.9
Cr	51.7	25.3	83.4	86.5	25.8	28.4	34.1	65.6	11.7	51.2	21.7	15.0	61.5	14.2	21.9
Co	18.7	2.6	3.3	5.5	2.3	3.2	8.4	17.2	8.4	<1	<1	<1	13.9	<1	<1
Ni	34.9	7.4	8.6	6.7	7.85	7.5	14	16.8	14.1	13.0	16.1	9.0	26.4	9.7	14.9
B	14.4	10.4	18.8	26.3	9.39	7.95	5.8	11.5	9.76	10.6	15.0	8.62	23.3	7.94	4.18
Li	20.9	111	18.7	20.0	99.9	92.8	63.4	47.4	54.1	92.5	45.3	60.7	49.9	9.8	62.0
Sc	9.52	3.99	9.82	11.7	8.14	5.3	7.05	13.7	10.1	5.85	8.41	7.83	22.6	7.56	7.25
U	1.38	0.52	0.81	0.66	0.74	0.52	0.66	0.52	0.66	0.59	0.66	0.81	0.52	0.66	0.66
Pb	9.9	62.0	24.6	17.2	2700	55.3	408	22.1	42.0	40.6	29.8	33.5	55.3	18.6	39.9

数据分析:国土资源部中南矿产资源监督检测中心.资料来源:三道湾子岩金矿.含量单位: 10^{-6} .

4 石英脉围岩及同期火山岩地球化学特征

石英脉围岩及同期火山岩常量元素分析结果见表 2 稀土、微量元素分析结果见表 3.

依据三道湾子北大沟矿区石英脉围岩及矿区所在

图幅同期岩石硅酸盐分析结果(表 2) ,在 $\text{SiO}_2-(\text{NaO}+\text{K}_2\text{O})$ 图(图 4)中进行投点,样品均落入亚碱性系列,岩石类型为玄武安山岩、安山岩、粗面岩、粗安岩和英安岩.在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图解(图 5)中,所有样品均落入钙碱

表 2 石英脉围岩及同期火山岩主量元素分析结果
Table 2 Major element contents in wallrocks of quartz veins and volcanic rocks

序号	样品号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	CD1 Gs	安山岩	62.84	0.50	16.14	2.72	2.84	0.08	0.81	2.85	4.27	3.11	0.25	3.14
2	240 Gs	安山岩	56.5	0.7	18	1.99	3.59	0.06	3.24	4.5	3.03	2.53	0.25	6.07
3	234 Gs	安山岩	57.52	0.7	17.15	3.36	3.18	0.09	3.57	6.08	3.69	2.03	0.25	2.28
4	P23Tc138Gs	英安岩	64.98	0.78	16.93	3.27	1.33	0.06	1.7	3.18	4.95	1.97	0.21	0.78
5	P23Tc143Gs	英安岩	67.37	0.65	14.29	3.2	1.89	0.05	1.46	2.44	3.13	3.84	0.23	0.71
6	M2P4TC24Gs	安山岩	67.72	0.60	16.94	3.87	2.42	0.09	2.10	0.43	4.05	3.11	0.30	2.84
7	M2P9TC1Gs	安山岩	60.50	0.55	15.65	3.70	1.70	0.09	2.50	3.13	3.51	2.55	0.25	5.02
8	M2P9TC23GsT	粗安岩	59.40	0.60	17.37	3.16	2.18	0.05	1.95	3.79	4.78	1.81	0.28	3.90
9	M2P10LT1Gs	安山岩	62.24	0.48	13.93	5.60	0.44	0.06	2.46	3.52	3.84	2.35	0.25	4.26
10	M2P10LT5Gs	安山岩	61.04	0.45	15.49	2.85	2.67	0.05	4.04	2.43	4.17	2.10	0.25	4.32
11	M2P9TC5Gs	凝灰岩	69.36	0.54	15.19	3.38	2.01	0.01	1.20	0.52	1.96	2.16	0.10	3.46
12	M2P9TC9Gs	安山岩	62.54	0.85	17.81	4.49	2.72	0.08	1.58	0.84	3.18	2.29	0.24	3.56
13	M2P9TC20Gs	火山角砾岩	60.54	0.75	18.39	6.62	0.88	0.05	0.53	3.85	4.12	2.36	0.21	2.42
14	M2P9TC28Gs	火山角砾岩	67.70	0.60	17.21	5.14	1.62	0.08	1.40	3.50	4.14	2.29	0.16	1.62
15	M2P10LT6Gs	安山岩	62.62	0.44	16.64	3.97	2.00	0.08	1.62	4.03	4.06	2.50	0.11	1.18
16	M2P10TC29Gs	凝灰岩	67.74	0.19	16.12	3.80	0.96	0.03	1.31	0.76	3.16	2.65	0.21	3.10
17	M2P10TC35Gs	凝灰岩	62.96	0.56	15.88	3.28	1.88	0.09	1.34	3.77	2.48	2.48	0.10	5.60
18	M2P10TC63Gs	安山岩	64.96	0.51	18.47	2.78	0.92	0.03	0.46	2.90	4.10	3.24	0.10	2.46
19	D1086Gs	安山岩	62.16	0.59	16.56	5.37	0.17	0.12	2.18	3.70	3.66	3.22	0.2	1.37
20	P23Tc34Gs	安山岩	61.55	0.79	16.1	3.91	2.12	0.1	1.8	3.03	3.76	3.12	0.32	2.92

据三道湾子岩金矿资料和 1:5 万新生等三幅矿调报告(2008). 序号 1~3 样品来自三道湾子北大沟, 其余来自新生等 3 幅. 1~5 来自光华组, 其余来自塔木兰沟组. 含量单位: %.

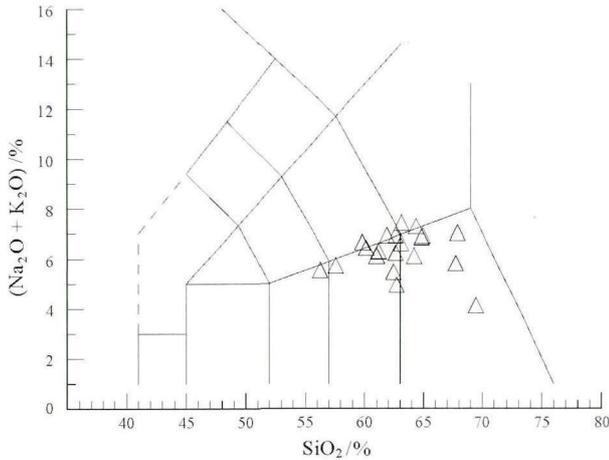


图 4 SiO₂ 和 K₂O+Na₂O 关系图解
(据 Le Bas, 1988)

Fig. 4 The SiO₂ vs. K₂O+Na₂O diagram
(After Le Bas, 1988)

性-高钾钙碱性系列. 所有样品 SiO₂ ≥ 56.5%, MgO 在 0.46%~4.04% 之间, 平均 1.77%. 与部分文献相比, 个别 MgO 略偏高. Na₂O/K₂O 在 0.82~2.64 之间, 平均 1.51. 除样品 M₂P₁₀LT1Gs、P23Tc143Gs 之外, 所有样品

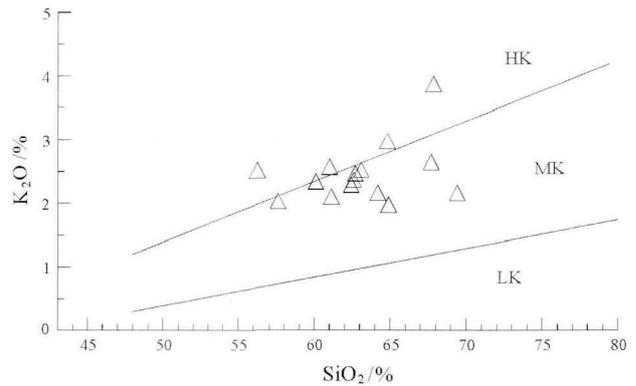


图 5 SiO₂ 和 K₂O 关系图解
(据 Le Maitre, 1988)

Fig. 5 The SiO₂ vs. K₂O diagram
(After Le Maitre, 1988)

HK—高钾(high potassium) MK—中钾(medium potassium) LK—低钾
(low potassium)

Al₂O₃ > 15.65% (≤ 18.47%), 岩石整体高 Al、高 Na. 稀土元素总量为 126.01 × 10⁻⁶ ~ 234.33 × 10⁻⁶ (图 6) 轻重稀土分馏明显 (LREE/HREE > 7, La/Yb = 15.29 ~ 39.78, Y < 19 × 10⁻⁶, Yb ≤ 2.41 × 10⁻⁶), 为轻稀土富集型. 无负 Eu 异常

表 3 三道湾子北大沟矿区光华组、塔木兰沟期火山岩微量、稀土元素分析结果表
Table 3 Contents of rare earth and trace elements in volcanic rocks of Tamulangou period and Guanghua formation in Sandaowanzi gold orefield

地区	三道湾子北大沟光华组矿体围岩			新生等三幅光华组		新生等三幅塔木兰沟组				
样品号	CD1	240TC	234TC	P23Tc138XT	P23Tc143XT	M ₂ P ₄ TC24	M ₂ P ₉ TC1	M ₂ P ₉ TC23	M ₂ P ₁₀ LT1	M ₂ P ₁₀ LT5
岩石名称	安山岩	安山岩	安山岩	英安岩	英安岩	安山岩	安山岩	粗安岩	安山岩	安山岩
La	50.9	54.3	74.0	31.1	28.9	23.7	25.0	28.3	28.3	19.5
Ce	77.0	87.3	85.6	63.1	59.8	56.8	49.5	46.5	64.0	43.2
Pr	9.29	12.1	10.0	7.10	6.86	5.16	5.32	5.34	6.05	4.62
Nd	44.2	50.5	37.6	26.8	26.4	20.5	21.1	21.1	24.1	17.2
Sm	7.54	9.15	7.27	5.2	5.15	4.10	4.02	4.15	4.67	36.6
Eu	1.87	2.37	1.81	1.24	1.21	0.96	0.90	0.94	1.12	0.83
Gd	5.47	5.71	5.11	4.6	4.56	2.65	2.75	2.87	2.84	2.23
Tb	0.85	0.91	0.76	0.63	0.63	0.39	0.42	0.49	0.51	0.40
Dy	5.65	5.75	4.72	3.54	3.69	2.44	2.48	2.66	2.42	2.05
Ho	0.95	0.97	0.80	0.67	0.68	0.45	0.48	0.55	0.43	0.42
Er	2.89	2.63	2.37	1.99	2.06	1.09	1.12	1.24	1.08	1.11
Tm	0.41	0.34	0.32	0.27	0.28	0.16	0.17	0.19	0.20	0.16
Yb	2.41	2.08	1.86	1.83	1.89	1.17	1.10	1.28	1.07	1.08
Lu	0.27	0.22	0.20	0.27	0.28	0.14	0.15	0.17	0.18	0.14
Y	18.6	19.0	15.0	20.6	20.4	9.42	11.5	12.1	10.5	9.80
ΣREE	228.3	253.33	247.42	168.94	162.79	129.13	126.01	127.88	147.47	139.34
LREE	190.80	215.72	216.28	134.54	128.32	111.22	105.84	101.73	128.24	89.01
HREE	37.5	37.61	31.14	13.8	14.07	17.91	20.17	21.55	19.23	17.34
δEu	0.85	0.93	0.86	0.77	0.75	0.84	0.79	0.80	0.88	0.83
LREE/HREE	5.09	5.74	6.95	9.75	9.12	6.21	5.25	4.72	6.67	5.13
La /Yb	21.12	26.11	39.48	16.99	15.29	20.26	22.73	22.1	26.45	18.06
Rb	72.9	58.7	40.7	43.7	67.3	67	6.5	43	51	55
Sr	1070	880	981	522	434	520	505	940	430	710
Ba	895	1080	751	525	1073	1020	735	960	790	1070
Nb				8.96	8.47					
Ta				0.73	0.67					
Zr				234	227	165	130	150	130	150
Hf				5.2	4.97	42	3.8	4.0	3.8	4.1
Th	7.58	8.51	6.44	6.1	6.6	8.8	6.8	5.2	7.3	5.0
V	96.6	151	153			110	105	110	69	120
Cr	63.8	66.6	65.1	23.8	87.3	106	78	52	121	123
Co	8.45	13.8	18.9			125	10	12	13	16
Ni	11.0	26.1	25.9			108	24	18	40	31
B						8.5	27	10	8.1	5.7
Sc				10.3	9.41	12	12	10	12	13
P				0.1	0.1	0.15	0.13	0.16	0.10	0.13
U	1.24	0.95	0.95	1.69	1.77	2	2.0	1.9	1.2	1.5
Ti				0.44	0.1	0.40	0.44	0.42	0.40	0.34
Pb	188	17	26							

分析单位:三道湾子岩金矿为国土资源部中南矿产资源监督检测中心;1:5万新生等三幅调报告为北京国家地质测试中心.资料来源:三道湾子金矿资料和1:5万新生等三幅调报告(2008).含量单位:10⁻⁶.

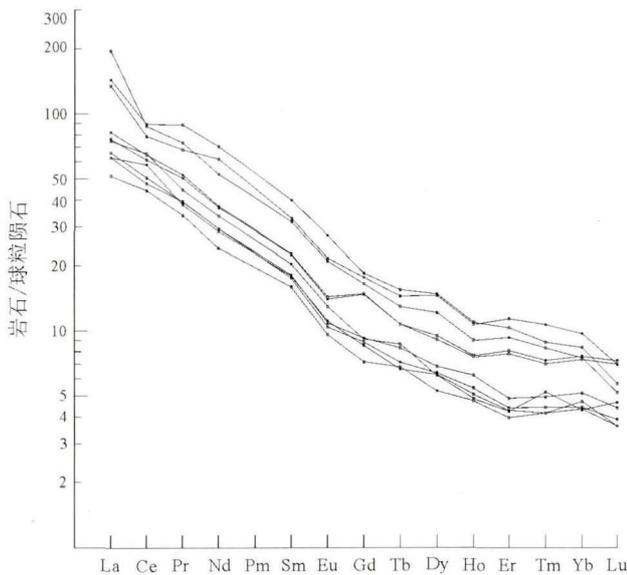


图 6 石英脉围岩及同期火山岩稀土元素球粒陨石标准化模式图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of wallrocks and volcanic rocks

或有轻微的负 Eu 异常(δEu 0.75~0.93), 显示源区未残留斜长石, 重稀土亏损与源区残留石榴子石有关。与石英脉曲线相比, 除稀土总量有变化外, 其他参数特征具相关性, 显示石英脉源于围岩岩浆。在微量元素蛛网图(图 7)中, Rb、U、Th、Ti 呈负异常。表 1 与表 3 显示, 矿体围岩 Pb 元素与石英脉也具有相关性。表 3 所列样品中 Sr 均大于 500×10^{-6} , 与正常岛弧火山岩不同, 属高 Sr 低 Y 型火山岩。

上述石英脉围岩及同期火山岩地球化学特征显示, 其岩石化学成分与埃达克岩相似。张旗等学者称之为高钾钙碱性埃达克岩, 也称“C 型埃达克岩”^[2], 认为形成于大陆内部加厚地壳的下部, 具埃达克岩特征。

埃达克岩是具有特定地球化学特征的一套中酸性

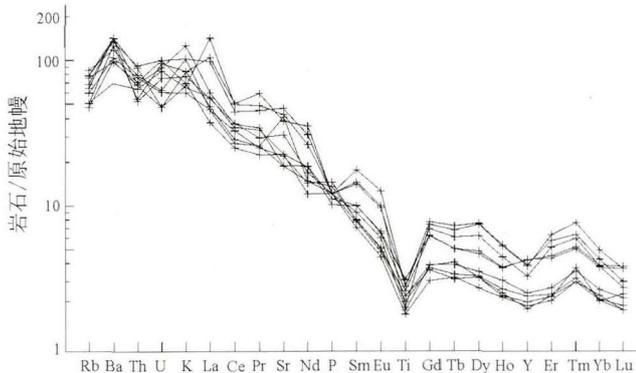


图 7 石英脉围岩及同期火山岩微量元素蛛网图

Fig. 7 Spider diagram of trace elements in wallrocks and volcanic rocks

火山岩和侵入岩组合, 其地球化学标志是 $\text{SiO}_2 \geq 56\%$, 高铝($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$), $\text{MgO} < 3$ (很少大于 6%), 贫 K、Y 和 Yb($Y \leq 18 \times 10^{-6}$, 本文 $Y \leq 19 \times 10^{-6}$; $Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$, 本文 $Yb \leq 2.41 \times 10^{-6}$), $\text{Sr} > 400 \times 10^{-6}$, LREE 富集, 无负 Eu 异常或有轻微的负 Eu 异常^[3-4]。埃达克岩的上述特征类似太古宙 TTG 岩系, 其原意是指年轻的(< 25 Ma)俯冲的 MORB 在 75~85 km 深部部分熔融形成的, 少数是底侵的玄武岩部份熔融的产物^[5-6]。但不同的学者有不同的判别标准, 如张旗统计的中国东部 C 型埃达克岩 $Y(2 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6})$, $Yb(0.51 \times 10^{-6} \sim 2.0 \times 10^{-6})$, $\text{Sr}(354 \times 10^{-6} \sim 1525 \times 10^{-6})$ ^[7]。

张旗^[8]等认为, 中国东部的类似埃达克岩中酸性火山岩富 $\text{Na}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=0.9 \sim 1.3)$, 本文统计为 0.82~2.64, 平均 1.51, 以高钾钙碱性系列为主, 少数落入橄榄玄粗岩系列的钙碱性系列(见图 4、5), 岩石组合为粗安岩-粗面岩-粗面安山岩-流纹岩, 且是晚侏罗世—早白垩世陆内岩浆活动的产物^[8](本文统计样品为晚侏罗世—早白垩世安山岩-粗安岩-英安岩)。笔者并不认为三道湾子岩金矿围岩及同期高 Sr 低 Yb 型火山岩一定是埃达克岩, 而是强调这种具有特定地球化学成分的火山岩, 即张旗等学者所称的“C 型埃达克岩”, 实验研究表明是由玄武岩岩石在 1.8~2.2 GPa(相当于 60~70 km)下形成, 其残留相为 $\text{Gat} + \text{Cpx} + \text{Am}$ 。这个实验结果可以解释为, 埃达克质岩石形成的先决条件是较高的压力和加厚的地壳^[8-10]。据此三道湾子岩金矿围岩及同期岩石, 推测是来自软流圈地幔的玄武岩侵入到加厚的地壳(> 50 km)底部导致下地壳基性岩部分融熔形成的^[8]。

5 成因探讨

(1) 矿体围岩成因

三道湾子金矿床为高品位大型含金石英脉型岩金矿床, 流体包裹体测温^[11]显示成矿温度为 181~267 °C。吕军等学者认为其成因为浅成低温热液含金石英脉型矿床^[11], 但对成矿作用的构造背景和成矿机理目前缺乏深入的研究。

“C 型埃达克岩”形成深度大于 50 km, 在加厚的下地壳底部, 埃达克质岩浆的形成可能也与高温高压下角闪岩相向榴辉岩相转变时角闪石的脱水作用有关^[12]。C 型埃达克岩的形成需要很高的温度(850~1150 °C)和压力(1.0~4.0 GPa), 还需要水的参加^[13]。角闪石分解产生的大量流体, 不仅有利于埃达克质岩浆的形成, 还有利于金属元素的萃取和迁移。这是否可以

理解为,含矿热液形成于成矿母岩在下地壳的部份熔融.因此,根据三道湾子岩金矿含石英脉与围岩及同期火山岩的稀土分布模式曲线与微量元素蛛网图相比较,石英脉围岩及同期火山岩应为成矿母岩.

三道湾子岩金矿硫化物含量约为 1.79%,其中黄铁矿约占 1.76%,采自 1 号和 2 号矿带的含金石英脉(矿体)氢氧稳定同位素、硫同位素样品测试结果(表 4)显示 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.1\text{‰}\sim+1.7\text{‰}$,极差 2.8‰,均值为 $+1.1\text{‰}$,分布范围集中.研究显示^[14],地球上硫同位素主要有 3 个储存库:一是幔源硫($\delta^{34}\text{S}=0\pm 3\text{‰}$)(Chaussidon and Lorand, 1990);二是海水硫,现代海水中 $\delta^{34}\text{S}\approx 20\text{‰}$,第三种是沉积物中还原硫,这种硫的同位素主要以具有较大的负值为特征(Rollinson, 1993).三道湾岩金矿硫同位素接近陨硫,具有明显的幔源硫同位素组成特点,说明矿体中硫来源于深部岩浆,也间接证明成矿母岩可能为下地壳基性岩部分熔融形成的中酸性岩浆,其成因并非可以用浅成低温热液作单一解释.

6 结论

(1) Thieblemont et al.^[15]最早探讨了埃达克岩与成矿作用的关系,他们统计了全球 43 个 Au、Ag、Cu、Mo 低温热液和斑岩矿床,发现其中的 38 个与埃达克岩有关.国内学者杨进辉等^[16]报道,胶东金矿主要与郭家岭花岗闪长岩有关,郭家岭岩体是埃达克岩,其时代与金矿成矿时代相近.三道湾子岩金矿近矿围岩及同期火山岩的地球化学特征为高 Sr 低 Y,地球化学成分类似埃达克岩,或称为“C 型埃达克岩”,表明三道湾子岩金矿成矿流体、成矿母岩及同期火山岩可能为软流圈地幔的玄武岩侵入到加厚的地壳(>50 km)底部导致下地壳基性岩部分熔融形成的^[6],其成因有独特的地质构造背景.

张旗等学者^[17]认为,中国东部地壳加厚事件至少

表 4 三道湾子金矿氢氧硫稳定同位素分析结果一览表
Table 4 Stable isotopic analysis result of hydrogen, oxygen and sulfur of Sandaowanzi gold deposit

样品号	$T_p/^\circ\text{C}$	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}}/\text{‰}$	样品号	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CST}}/\text{‰}$
TZ11	181	-110	-2.3	-15.3	TZ1	-1.1
TZ12	232	-107	-2.0	-11.9	TZ2	0.5
TZ13	206	-97	-1.8	-13.1	TZ3	1.0
TZ14	262	-86	-0.2	-12.0	TZ4	0.8
TZ15	264	-94	-1.8	-10.1	TZ5	-0.8
TZ16		-103	-2.2		TZ6	-0.2
TZ17		-95	-0.7		TZ7	0.0
TZ18	201	-85	-1.5	-13.1	TZ8	-0.3
TZ19	267	-89	-1.7	-9.9	TZ9	-0.5
TZ20	262	-92	-1.9	-10.3	TZ10	1.7

据三道湾子岩金矿普查报告.测试单位:国土资源部矿产资源研究所.表中 T_p 为实测平均值.样品 TZ11~TZ20 测定对象为石英,样品 TZ1~TZ10 测定对象为黄铁矿.

发生在中晚侏罗世之前.由于埃达克岩从下地壳大量熔出,使含石榴石的角闪岩/麻粒岩的成分变得更加基性,下地壳密度增加甚至超过地幔橄榄岩的密度,从而导致拆沉作用,随之地壳减薄,中国东部高原可能在晚白垩世前后发生塌陷消失.而笔者也认为^[10],大兴安岭北部的中酸性岩浆活动应形成于晚二叠世-晚侏罗世(或早白垩世早期)的碰撞造山,板块运动的机理为欧亚板块相对南移,古太平洋和库拉板块向北移动的左行剪切作用,这是否也可以证实三道湾子岩金矿成矿母岩及同期火山岩形成于碰撞造山后加厚的地壳.

(2)大兴安岭北部砂金矿产资源丰富,近年来岩金地质找矿虽有突破,但成效不明显.三道湾子岩金矿的发现有其偶然性.笔者利用三道湾子岩金矿现有地质资料,对其成矿地质背景和成矿机理作浅显的探讨,以期对大兴安岭北部地区开展系统的类埃达克岩——中酸性岩浆岩研究,开拓岩金地质找矿的新思路.

(下转第 175 页 / Continued on Page 175)

程进行有效组织、管理与协调。明确各级政府、矿山企业的责任、权利及义务。

(5) 加强土地复垦制度管理、理论研究和技術方法创新。逐步建立科学合理、切实可行的矿业用地制度。治理废弃矿山时要因地制宜, 因矿施治, 矿山植被恢复与土地复垦、水土流失治理、物种多样化和发展生态农业有机结合。

参考文献:

[1] 郭长林. 黑龙江省矿山地质环境综合评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4): 47—52.

[2] 周爱国, 周建伟, 梁合诚, 等编. 地质环境评价[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2008.

[3] 曹树刚, 武晓敏, 刘敏. 重庆市矿山地质环境评价方法探讨[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2007, 26(2): 1—4.

[4] 鲁明星, 孙金华, 吴班. 基于 GIS 的唐山市区环境地质模糊评价分析[J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(3): 34—36.

[5] 孔志召, 董双发, 姜雪, 等. 基于层次分析法的矿山环境评价——以阜新矿集区为例[J]. 世界地质, 2012, 31(2): 420—425.

[6] 徐友宁. 中国西北地区矿山环境地质问题调查与评价[M]. 北京: 地质出版社, 2006.

[7] 王海庆, 陈玲, 玲珑. 莱西地区矿山地质环境评价[J]. 资源与产业, 2011, 13(3): 73—76.

(上接第 136 页 / Continued from Page 136)

参考文献:

[1] 韩振新, 徐衍强, 郑庆道, 等. 黑龙江省重要金属和非金属矿产的成矿系列及其演化[M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2004: 18—20.

[2] 张旗, 王焰, 王元龙, 等. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探: 埃达克岩 Sr、Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 505—511.

[3] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere[J]. Nature, 1990, 347(18): 662—665.

[4] Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons[J]. J Geophys Res, 1990, 95(B13): 21503—21521.

[5] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. Nature, 1993, 362: 662—665.

[6] 张旗, 许继峰, 王焰, 等. 埃达克岩的多样性[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 959—965.

[7] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造—成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 236—244.

[8] 张旗, 钱青, 王二七, 等. 燕山晚期的中国东部高原埃达克岩的启示[J]. 地质科学, 2001, 36(2): 248—255.

[9] Peacock S M, Rushmer T, Thompson A B. Partial melts of subducting oceanic crust[J]. Earth Planet Sci, 1994, 121: 227—244.

[10] 赵书跃, 韩彦东, 朱春艳, 等. 大兴安岭火山喷发带北段中性、中酸

性火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地质力学学报, 2004, 10(3): 276—287.

[11] 吕军, 王建民, 岳帮江, 等. 三道湾子金矿床流体包裹体及稳定同位素地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2004, 41(7): 33—37.

[12] Rapp R P, Xiao L, Shimizu N. Experimental constraints on the origin of potassium-rich adakites in eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(3): 293—302.

[13] Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: Implications for continental growth and crust-mantle recycling[J]. Petrol, 1995, 36: 891—931.

[14] 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: 16.

[15] Thieblemont D, Stein G, Leacuyerr J-L. Gisements epithermaux et porphyriques: la connexion adakite[J]. Earth Planet Sci, 1997, 325: 103—109.

[16] 杨进辉, 朱美妃, 刘伟, 等. 胶东地区郭家岭花岗岩闪长岩的地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 692—700.

[17] 张旗, 王焰, 刘伟, 等. 埃达克岩的特征及其意义[J]. 地质通报, 2002, 21(7): 431—435.