文章编号:1671 – 1947(2005)02 – 0118 – 09 中图分类号:P618.51 文献标识码:A

西天山阿希金矿成矿地球化学特征研究

沙德铭[1,2], 金成洙[1], 董连慧[3], 毋瑞身[2], 田昌烈[2], 贾 斌[1,2]
(1. 东北大学 资源与土木工程学院,辽宁 沈阳 110004;2. 沈阳地质矿产研究所,辽宁 沈阳 110033;
3. 新疆地质勘查局,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要:阿希金矿为 1990 年代在西天山发现的产于晚古生代陆相火山岩中的大型金矿床. 容矿围岩为下石炭统大哈拉军山组中基性—中酸性火山岩,以钙碱性为主,少量碱性系列岩石,具有富硅、钠,贫铝、钾、镁、钙成分和里特曼指数偏高的特点;岩石稀土元素含量中等,属于轻稀土富集型,分馏程度较高;容矿火山岩以 K、Rb、Ba、Th 等大离子元素富集和 Ti、Y、Yb、Sc 等亏损为特征,接近于板内过渡型玄武岩系列岩石;容矿岩、近矿蚀变岩和矿石皆富集有 Au、Ag、As、Sb、Bi 等低温组合元素,且表现出渐进富集之特点;火山岩和矿石中铅具壳幔混合源特征;含金石英脉锶同位素初始值与区内容矿火山岩、矿化有关的蚀变矿物十分接近,均小于 0.709 而大于 0.705;成矿流体属于 $K^+[Na^+]-SO_4^{2-}-[Cl^-]$ 型,具有低温(120 ~ 180℃)、低压(7.2 ~ 21.8 MPa)、低盐度(2.4% ~ 4.5%, NaCl)、富含 CO_2、N_2、O_2 等特征;流体 pH 值中等(5.7 ~ 8.8),E_h 值 – 0.88 ~ + 1.18 eV,成矿环境弱还原;金矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值 0.95‰ ~ 10.51‰,以深源火山成因硫为主;氢氧同位素值域较宽,反映流体以大气降水为主. 总之,阿希金矿具备了浅成低温热液系统金矿的基本地球化学特征,但在成矿时代和成矿背景等方面,有别于经典同类矿床.

关键词:成矿地球化学;阿希金矿;西天山

20 世纪 80 年代环太平洋带上一大批大型 – 超大型金矿床的发现,在全球形成了一股“浅成低温金矿”热,众多研究者开展了大量的、卓有成效的研究工作[1~7]. 阿希金矿是 90 年代在新疆西天山发现的产于晚古生代吐拉苏 – 也里莫墩火山岩带中的大型金矿床,其后在其外围发现了京希、伊尔曼得、恰布坎卓它等金矿床. 矿床产于下石炭统大哈拉军山组(C_1d)陆相中基性—中酸性火山岩中,经研究确定为浅成低温热液系统金矿[8~15].

阿希金矿区主要出露下石炭统大哈拉军山组陆相火山岩和下石炭统阿恰勒河组海相(火山)碎屑岩. 前者为一套中基性—中酸性火山岩,进一步划分为 3 个亚旋回 5 个岩性段,阿希金矿的容矿围岩为第 5 岩性段——上安山岩段,火山岩的形成年龄为(346 ± 9) ~ 325 Ma[9, 16]; 后者为一套海相陆源碎屑岩和火山碎屑岩,底部含有残坡积含金石英脉底砾岩. 金矿位于阿希古破火山口构造系统内,金矿体直接产于火山口缘环状、放射状断裂中[1]. 金矿形成于早石炭世,经历了长时间多阶段成矿作用过程[9,17,18]. 矿床由 4 个矿体组成,其中 I 号矿体规模最大,呈脉状,长逾 1000 m,最大斜深 450 m,最大厚度 34.63 m,含金品位中等,单脉规模已达大型. 矿石主要为石英脉型,少量蚀变岩型,角砾状、蜂窝状、梳状、网脉状、浸染状构造. 脉石矿物主要有石英、玉髓、绢云母、方解石、冰长石、伊利石、浊沸石等,矿石矿物主要有银金矿、硒银矿、黄铁矿、毒砂、白铁矿、方铅矿、深红银矿、黄铜矿等,其中主要载金矿物为石英、黄铁矿和毒砂. 围岩蚀变包括面型展布的火山自蚀变的绿泥石化和线性分布的硅化、绢云母化、碳酸盐化和黏土化,分带清楚,沿含金石英脉两侧依次为硅化带、绢英岩化带和碳酸盐化、黏土化带[9,17]. 金矿石具有高阻、高极化、高密度特征,蚀变岩呈低阻、低极化、无磁性特征[19]. 阿希金矿具有低温(120 ~ 180℃)、低压(7.2 ~ 21.8 MPa),成矿流体低盐度(2.4% ~ 4.5%, NaCl)、以大气降水为主的特点[12].

1 容矿火山岩岩石化学成分

阿希金矿容矿围岩为一套中基性—中酸性火山岩和次火山岩,其主要岩石类型和岩石化学成分见表 1. 岩石化学成分显示,其类型属于玄武安山岩(粗面玄武岩) – 安山岩(粗安岩) – 英安岩(粗面英安岩) – 流纹岩(图 1、2)[20,21]. 从岩石化学分析结果看,基本上以安山质 – 英安质为主,化学成分 SiO_2 为 51.38% ~ 75.61%,平均 59.19%. 与中国安山岩平均化学成分相比,具有相对富 SiO_2、Na_2O,贫 K_2O、TiO_2、Al_2O_3、CaO 和 MgO,Na_2O 含量明显高于 K_2O,全碱含量(2.05% ~ 9.71%)和里特曼指数相对偏高等特征. 其中相当部分成分点落在富碱火山岩区,后者对于大型 – 超大型金铜成矿是有利的[22].

2 容矿火山岩稀土元素地球化学特征

阿希金矿容矿围岩火山岩稀土元素含量较高,ΣREE 从

收稿日期:2003 – 06 – 25. 王力编辑.
基金项目:国家科技攻关项目(85 – 902 – 04 – 01)、(96 – 915 – 03 – 06)和国土资源大调查项目(199910200218)共同资助.

表 1　阿希金矿容矿火山岩岩石化学成分表

Table 1　The petrochemical composition of hosting volcanic rocks in Axi gold deposit

序号	样品编号	岩石名称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	灼失	总量	全碱	σ
01	880A4-1833	流纹质英安斑岩	72.38	0.13	14.30	2.06	0.10	0.06	0.12	1.20	4.10	4.60	0.10	0.04	1.10	100.34	8.70	2.58
02	890A4-1802	英安斑岩	68.51	0.50	15.62	3.23	0.24	0.06	0.57	1.36	2.02	4.93	0.16	0.07	3.43	100.7	6.95	1.89
03	890A4-945	石英霏细斑岩	75.61	0.15	11.98	1.84	0.48	0.02	0.19	0.36	3.91	4.65	0.02	0.07	0.81	100.09	8.56	2.55
04	890A3-Ⅴ-20	安山质晶屑凝灰岩	68.14	0.35	14.02	1.02	1.04	0.08	0.98	2.45	3.98	3.38	0.08	0.01	3.09	99.52	7.36	2.15
05	890A3-Ⅴ-37	杏仁状辉石安山岩	55.79	0.97	16.54	3.90	2.88	0.12	4.34	3.69	5.72	1.33	0.19	0.13	4.22	99.82	7.05	3.89
06	890A3-Ⅴ-40	杏仁状二辉安山岩	56.10	0.94	16.69	4.55	2.26	0.14	4.75	4.12	6.67	1.23	0.18	0.01	2.92	100.56	7.90	4.76
07	890A3-Ⅴ-42	杏仁状橄榄安山岩	55.15	0.94	17.02	6.10	1.00	0.10	4.31	3.86	5.95	1.42	0.17	0.02	3.26	99.30	7.37	4.47
08	890A3-Ⅴ-44	杏仁状橄榄安山岩	54.30	0.87	16.71	6.12	0.88	0.12	4.13	5.24	3.96	0.56	0.18	0	6.83	99.90	4.52	1.81
09	FⅣ-YQ1	碳酸盐化英安岩	54.51	0.14	17.40	4.95	2.88	0.08	0.43	7.66	3.50	0.38	0.20	0.14	4.36	98.63	3.88	1.31
10	FⅣ-YQ2	杏仁状安山岩	63.89	0.25	13.29	3.72	1.29	0.05	2.17	5.03	6.02	0.12	0.17	0.02	3.80	99.82	6.14	1.80
11	FⅣ-YQ3	辉石英安岩	57.91	0.42	16.16	5.78	1.42	0.08	3.86	5.93	4.40	1.47	0.22	0.21	2.30	100.16	5.87	2.31
12	FⅣ-YQ4	辉石英安岩	59.35	0.38	15.81	5.45	1.08	0.08	3.79	5.54	4.04	1.86	0.21	0.02	2.58	100.19	5.90	2.13
13	FⅡ-YQ1	安山岩	53.88	0.50	14.80	3.36	4.25	0.11	5.22	5.67	4.41	1.57	0.18	0.05	6.45	100.45	5.98	3.29
14	FⅡ辅-YQ1	角闪安山岩	68.93	0.10	13.48	1.15	1.03	0.06	0.95	2.54	3.76	4.59	0.11	0.02	3.29	100.01	8.35	2.69
15	2044-4	安山岩	52.16	0.94	17.24	2.80	4.42	0.094	5.64	8.73	1.89	0.16	0.17		5.09	99.30	2.05	0.46
16	2044-9	安山岩	52.60	0.92	17.11	3.64	4.33	0.14	3.93	10.06	2.31	0.22	0.17		4.56	99.45	2.53	0.70
17	2044-13	安山岩	52.78	0.89	14.74	3.52	2.72	0.087	3.11	10.47	3.08	0.34	0.20		5.82	100.66	3.42	1.20
18	2036-2	安山质凝灰熔岩	64.26	0.93	14.99	4.47	1.43	0.061	1.52	1.79	4.20	4.10	0.23		2.02	100.00	8.30	3.24
19	2036-5	安山质凝灰熔岩	64.08	0.91	15.12	4.26	1.62	0.052	0.58	3.60	3.46	2.86	0.25		2.92	99.35	6.32	1.89
20	2036-10	英安岩	62.83	0.52	15.20	2.47	2.62	0.083	4.41	2.95	3.62	2.34	0.12		2.47	103.22	5.96	1.79
21	2036-13	英安岩	58.18	0.51	14.93	3.24	2.87	0.080	3.80	4.34	3.57	2.71	0.12		5.58	100.02	6.28	2.59
22	49-1	英安岩	61.61	0.53	15.51	4.11	0.53	0.058	4.69	1.63	5.46	2.24	0.7		2.75	99.15	7.90	3.19
23	88	石英角闪安山玢岩	58.67	0.60	15.53	2.24	2.67	0.065	5.32	5.18	2.57	1.80	0.17		5.07	99.99	4.37	1.22
24	93	石英角闪安山玢岩	57.84	0.59	16.03	1.74	3.54	0.091	6.21	4.07	1.96	0.80	0.18		6.87	100.21	2.76	0.51
25	33-1	紫红色角砾岩	61.30	0.60	17.01	2.58	1.75	0.056	2.50	2.59	5.45	4.26	0.13		2.73	100.96	9.71	4.19
26	32-1	英安岩	56.46	0.61	14.10	4.43	1.83	0.096	4.10	5.70	3.31	0.76	0.10		6.88	98.38	4.07	1.87
平均			59.19	0.57	15.30	3.93	1.93	0.086	3.14	4.9	4.04	1.91	0.18				5.95	2.64
中国安山岩平均			56.75	0.67	18.60	3.88	3.26	0.15	3.42	6.97	3.07	2.01					5.08	1.9

资料来源:序号 01~14 据新疆地矿局 1/5 万契尔格幅和配种站幅(1990)区调报告,序号 15~26 为笔者测试结果. 测试单位:沈阳地质矿产研究所实验室. 分析方法:SiO_2、灼失量用重量法,Al_2O_3、MgO、CaO、FeO 用容量法,TiO_2、Fe_2O_3、MnO、P_2O_5 由 UV3000 岛津比色计法,K_2O、Na_2O 用原子吸收分光光度计法,测试精度按 DZ0130.0-0130.13-94.

$41.59\times10^{-6}\sim135.83\times10^{-6}$, 与世界安山岩 ($\Sigma REE=25\times10^{-6}\sim341\times10^{-6}$)[10] 相比, 总量中等. 其中轻稀土含量 $29.05\times10^{-6}\sim95.37\times10^{-6}$, 重稀土含量 $12.54\times10^{-6}\sim40.46\times10^{-6}$, 属于轻稀土富集型. 轻、重稀土 L/H 值皆大于 1,且集中于 1.35~2.36 间,说明岩浆演化过程中稀土的分馏比较充分. 球粒陨石标准化后的 $(La/Sm)_N$ 值变化于 1.38~4.44 间,平均值 2.76,明显较 $(Gd/Yb)_N$ 值(变化于 1.05~1.57, 平均 1.29)为高(表 2),说明轻重稀土分馏程度的差异,即前者分馏程度远高于后者. 其稀土配分模式曲线(图 3)基本相似,轻稀土部分斜率较重稀土部分为大. 一个重要特征是 δEu 值不具一致性,在安山质岩石中表现为相对富集,而在酸性岩中则为明显亏损,总体上表现出或亏损或富集但主体呈现铕正异常(富集)之特征.

与我国重要浅成低温金矿产区的东部沿海中生代陆相火山岩相比,存在某些差别:一是本区火山岩的 ΣREE 总量要明显低于东部沿海;二是本区容矿火山岩 REE 分布曲线形态总体上不像东南沿海火山岩那样具有明显的负 Eu 异常,而是相对要复杂一些.

3　矿床微量元素组成特征

为了探讨阿希金矿成矿作用过程中微量元素的变化特征,笔者有针对性地采集了容矿火山岩、各类近矿蚀变岩以及矿石样品,进行了微量元素分析(表 3).

从表 3 可以看到,阿希金矿的容矿火山岩中 Au、Ag、As、Sb、Bi 等元素含量明显高于地壳克拉克值,浓集系数分别为 59.43、22.40、11.58 和 18.33. 另外,Pb、Sn、Be 等元素亦显示一定程度的富集,表明上述元素在成岩过程中发生了明显的富集作用,从

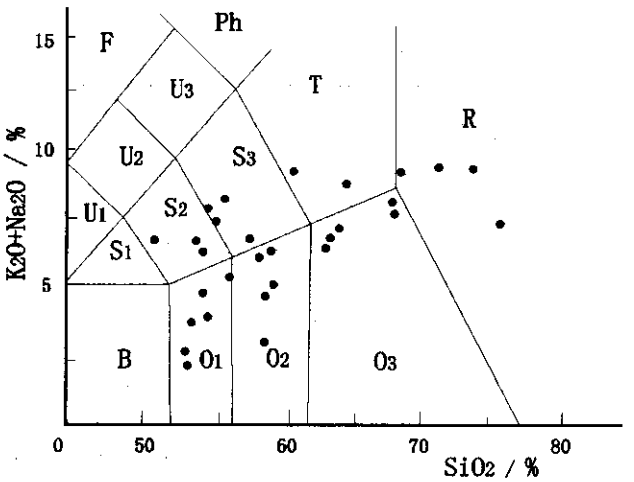

图 1 火山岩($Na_2O + K_2O$) – SiO_2 分类图解

(据 Le Bas, 1986)

Fig. 1 ($Na_2O + K_2O$) vs. SiO_2 diagram of hosting volcanic rocks in Axi gold deposit

(after Le Bas, 1986)

B—玄武岩 (basalt);O_1—玄武安山岩 (basaltic andesite);O_2—安山岩 (andesit);O_3—英安岩 (dacite);R—流纹岩 (rhyolite);S_1—粗面玄武岩 (trachybasalt);S_2—玄武粗安岩和橄榄粗安岩 (basaltic trachyandesit and mugearite);S_3—粗面安山岩 (trachyandesit);T—粗面岩和粗面英安岩 (trachyte and trachydacite);U_1—碧玄岩和碱玄岩 (bacanite and tephrite);U_2—响岩质碱玄岩 (phonolitic tephrite);U_3—碱玄质响岩 (tephritic phonolite);Ph—响岩 (phonolite);F—似长石岩 (feldsparthoid)

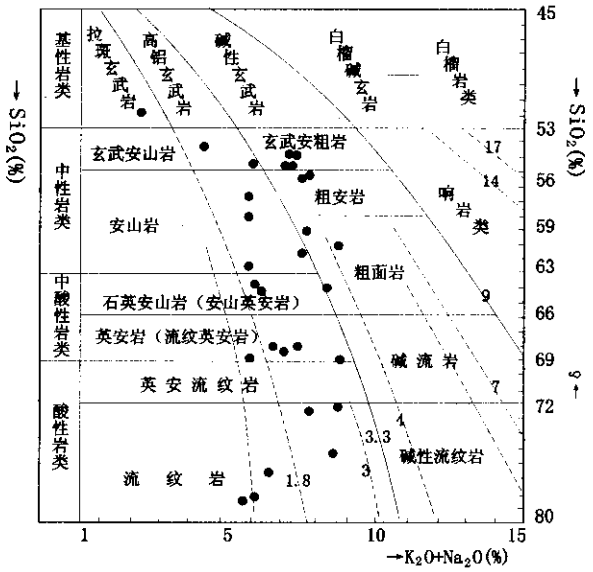

图 2 阿希金矿容矿火山岩系列组合图解

(据邱家骧,1985)

Fig. 2 Diagram showing the assemblage of the hosting volcanic rocks in Axi gold deposit

(after QIU Jia-xiang, 1985)

而说明容矿火山岩具有高的 Au、Ag、As、Sb、Bi 等元素背景场. 近矿蚀变岩中 Au、Ag、As、Sb、Bi 等元素浓集系数分别达 162.57、43.33、826.99、66.24 和 31.86,显示出蚀变作用过程中上述元素进一步富集之特点. 同时,一些在围岩中显示亏损特征的元素如 Hg、Se、Mo、Sn 等的含量也显示了相应的不同程度富集之特征. 矿石中元素的富集达到顶峰,其中 Au、As、Ag、Sb、Bi、Se 浓集克拉克值达到数十乃至数千倍. 从富集程度和过程上看,与 Au 矿化相关的伴生成矿元素为 Ag、As、Sb、Bi、Se、Mo、Hg 等,成矿元素组合与围岩具备的成矿元素背景组合基本一致. 微量元素组合及组成变化特征已充分显示了围岩、蚀变岩、矿石的许多共性特征,即某种继承性关系.

对容矿火山岩微量元素研究结果表明,不同岩性其微量元素组成是有差异的,但配分模式却十分相似(图 4),均接近于板内过渡型玄武岩系列岩石的配分模式,以 K、Rb、Ba、Th 等大离子元素的明显富集和 Ti、Y、Yb、Sc 等明显亏损为特征. 在微量元

表 2 大哈拉军山组容矿火山岩稀土元素测试结果

Table 2 Rare-earth element analysis for samples of Dahalajunshan volcanic rocks

岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE	HREE	L/H	La/Sm	G/Y	ΔEu
安山岩	10.94	38.54	2.94	12.22	2.99	1.24	3.19	0.54	3.41	19.70	0.70	2.0	0.31	2.01	0.33	101.1	68.87	32.19	2.14	2.30	1.28	1.22
安山岩	9.77	15.06	2.57	10.60	2.53	1.02	2.64	0.44	2.75	15.65	0.55	1.54	0.23	1.51	0.24	67.1	41.55	25.55	1.63	2.43	1.41	1.17
安山岩	12.72	21.44	2.90	11.25	2.46	0.95	2.44	0.40	2.51	14.42	0.51	1.49	0.23	1.58	0.27	75.57	51.72	23.85	2.17	3.25	1.25	1.17
安山质凝灰熔岩	30.23	32.18	5.87	21.43	4.28	1.38	4.04	0.66	4.12	24.03	0.87	2.63	0.43	3.10	0.57	135.8	95.37	40.46	2.36	4.44	1.05	1.00
安山质凝灰熔岩	10.12	26.95	2.92	12.55	3.25	1.22	3.65	0.63	4.05	23.77	0.85	2.47	0.38	2.53	0.42	95.76	57.01	38.75	1.47	1.96	1.16	1.08
英安岩	4.78	17.47	1.65	7.61	2.17	0.45	2.53	0.43	2.77	15.78	0.54	1.48	0.21	1.30	0.19	59.36	34.13	25.23	1.35	1.38	1.57	0.59
英安岩	6.99	12.65	1.58	6.11	1.33	0.39	1.30	0.21	1.33	7.59	0.27	0.77	0.12	0.81	0.14	41.59	29.05	12.54	2.32	3.31	1.29	0.90
安山岩	7.09	11.41	1.72	6.79	1.47	0.27	1.38	0.22	1.27	6.79	0.22											
球粒陨石平均值	0.31	0.808	0.12	0.600	0.19	0.07	0.25	0.04	0.32	1.96	0.072	0.21	0.03	0.21	0.03	5.253						

资料来源:沈阳地质矿产研究所实验室. 分析方法:离子交换分离富集 – ICP 光源摄谱法,精度 0.1×10^{-6}. 球粒陨石平均值采用 W. V. Boynton(1984)推荐值,其中 Y = 1.96 据赫尔曼(1971). 含量单位:10^{-6}.

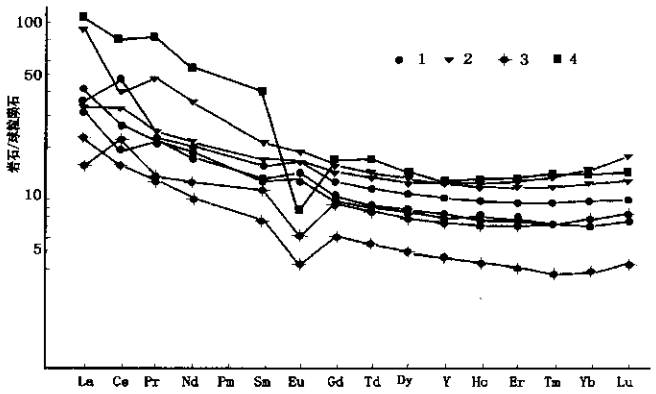

图 3　阿希金矿容矿火山岩稀土元素配分模式

Fig. 3　Chondrite-normalized REE distribution pattern of the hosting volcanic rocks in Axi gold deposit

1—安山岩 (andesite);2—安山质凝灰岩 (andesitic tuff);3—英安岩 (dacite);4—浙东南中生代陆相流纹岩[23] (Mesozoic continental rhyolite in Southeastern Zhejiang Province)

素 Condie 图解(图 5)中,早期火山岩落在火山弧区,晚期落入板内区,显示火山作用的演化过程.

4　矿床同位素地球化学

4.1　铅同位素

笔者测定了矿区内安山岩、安山玢岩(近矿围岩)的全岩铅同位素组成,同时对矿石中的黄铁矿、白铁矿等含金硫化物进行了分析测试(表 4).其结果显示:矿区铅的同位素组成 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 在 17.5269 ~ 18.6644 之间,变化范围为 3.5%;$^{207}Pb/^{204}Pb$ 在 15.1073 ~ 16.0108 之间,变化范围为 4.2%;$^{208}Pb/^{204}Pb$ 测定值在 37.3670 ~ 38.1958 之间,变化范围为 5.6%.这些比值变化范围远远大于正常铅同位素组成的变化范围.在 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 与 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 图(图 6)上,有部分数据点落在正常铅单阶段增长曲线上,另一部分放射成因铅高的数据点落在零等值线的右边,计算得到的模式年龄值与实际地质成矿年龄不符,矿石的铅属于异常铅.用数据点拟合的异常铅线与单阶段增长曲线的交点年龄为 $t_1 = 2933$ Ma,t_2 为异常铅.

本区铅同位素组成与多伊 – 扎特曼发表的地幔、造山带(岛弧带)、下地壳和上地壳的铅同位素组成特征(表 4)对比和铅同位素 $^{207}Pb/^{204}Pb - ^{206}Pb/^{204}Pb$ 构造模式图解(图 7)表明,铅同位素投影点分布比较分散,阿希矿区岩浆活动和成矿作用具有壳幔混合源特征,反映铅源的双重型.

4.2　硫同位素

阿希金矿含金矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值变化范围为 0.95‰ ~ 10.51‰,平均 4.93‰,峰值域为 4‰ ~ 6‰(表 5),说明其所代表矿石硫同位素组成特征属于"重硫型".$\delta^{34}S$ 值主体集中在不大的正值,没有负值出现,说明成矿作用过程中硫的来源可能比较单一,以深源火山成因硫为主.同时 $\delta^{34}S$ 值域较窄,说明环境相对稳定.与中生代东部沿海地区陆相火山岩区金矿相比较(紫金山金矿 $\delta^{34}S$ 值 – 9.01‰ ~ 2.35‰[20],平均 – 2.80‰;团结沟金矿 $\delta^{34}S$ 值 – 0.7‰ ~ – 12.5‰,平均 – 5.06‰[22]),$\delta^{34}S$ 值域的变化范围都不大,但后者主要集中在负值区,反映出在硫组成及来

表 3　阿希金矿微量元素特征表

Table 3　The micro element composition of Axi gold deposit

元素	样品数量			微量元素平均值			浓集克拉克值			区域背景浓集		地壳
	围岩	蚀变岩	矿石	围岩	蚀变岩	矿石	围岩	蚀变岩	矿石	蚀变岩	矿石	丰度
Au	20	15	16	0.208	0.57	5.68	59.43	162.6	1621	2.74	27.29	0.004
Ag	20	15	16	1.68	3.25	10.20	22.40	43.33	135.9	1.95	6.07	0.075
Cu	20	15	16	41.88	37.8	27.69	0.66	0.6	0.44	0.9	0.66	63
Pb	20	15	16	21.34	28.77	35.60	1.79	2.40	2.97	1.35	1.67	12
Zn	20	15	16	65.06	62.36	27.05	0.69	0.66	0.29	0.96	0.42	94
As	20	15	16	35.30	1488	4273	19.61	827	2374	42.16	67.25	1.8
Sb	20	15	16	7.18	41.07	140.8	11.58	66.24	227.2	5.72	19.61	0.62
Bi	20	15	16	0.08	0.14	0.20	18.33	31.86	46.51	1.74	2.58	0.004
Hg	20	15	16	0.04	0.16	0.23	0.49	1.77	2.60	3.63	5.33	0.089
Se	20	15	16	0.03	0.23	1.28	0.38	3.12	17.11	8.17	44.83	0.075
Mo	20	15	16	0.47	3.04	24.75	0.36	2.34	19.05	6.46	52.66	1.3
Sn	20	15	16	1.96	3.83	2.28	1.15	2.25	1.34	1.95	1.16	1.7
Be	9	3	4	1.38	1.25	1.34	1.06	0.96	1.03	0.91	0.97	1.3
Ba	9	3	4	107	98	298.9	0.27	0.25	0.77	0.92	2.79	390
Co	11	12	12	24.32	22.4	25.02	0.97	0.90	1.00	0.92	1.03	25
Ni	11	12	12	74.7	57.25	66.72	0.84	0.64	0.75	0.77	0.89	89

测试单位:沈阳地质矿产研究所.分析方法:Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Co、Ni 用原子吸收分光光度法,As、Sb、Bi、Hg、Se 用原子萤光法,Mo、Sn、Be、Ba 用发射光谱法测定,分析精度按 DZ0130.1 – 0130.13 – 94 规范.微量元素地壳丰度值据黎彤(1970).含量单位:10^{-6}.

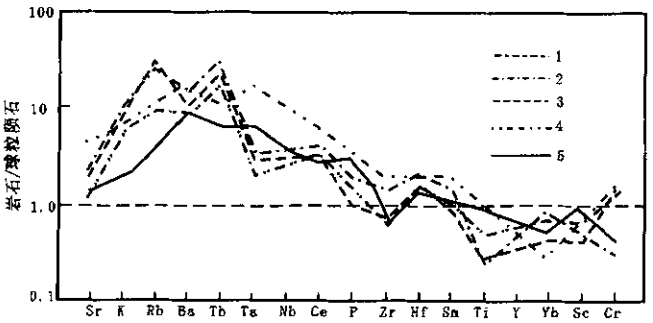

图 4 火山岩微量元素配分图

(据 Pearce, 1986)

Fig. 4 Microelement pattern of the hosting volcanic rocks (after Pearce, 1986)

1—玄武岩 (basalt);2—安山岩 (andesite);3—安山玢岩 (andesitic porphyrite);4—板内区碱性玄武岩 (intraplate alkaline basalt);5—板内区过渡型玄武岩(intraplate transitional basalt)

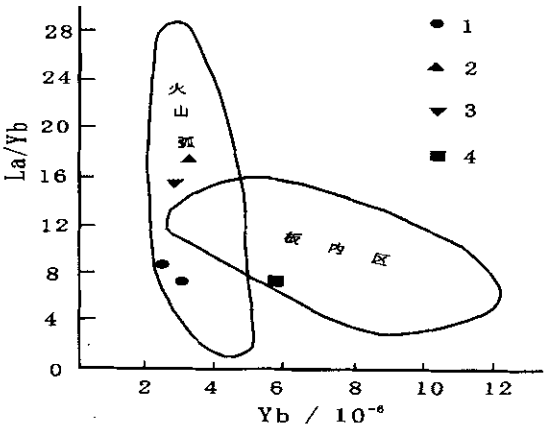

图 5 火山岩构造环境判别图

(据 Condie, 1986)

Fig. 5 Diagram of tectonic settings of volcanic rocks (after Condie, 1986)

1—第 2 岩性段(Member 2);2—第 3 岩性段(Member 3);3—第 4 岩性段(Member 4);4—第 5 岩性段(Member 5)

源等方面是存在一定差别的.

4.3 氢氧同位素

阿希金矿氢氧同位素测试结果列入表 6,可见,其 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值变化范围为 $-9‰ \sim -2‰$, δD_{H_2O} 值为 $-59‰ \sim -115‰$. 其氢氧同位素组成特点与中国东部沿海陆相火山岩区乃至全球陆相火山岩区浅成低温金矿相似,基本处于同一值域范围,显示成矿流体主要来自大气降水[24~26].

4.4 铷锶同位素

阿希金矿区铷锶同位素测定结果[13] (表 7) 显示,阿希金矿不同阶段含金石英脉锶同位素平均含量略有差别,$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值相差不大,$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 初始比值十分接近,均为 0.706,反映出不同成矿阶段的内有联系. 含金石英脉锶同位素初始值与区内容矿火山岩、矿化有关蚀变矿物十分接近,均小于 0.709 而大于 0.705,变化范围仅为 4‰. 结合矿石中黄铁矿硫同位素显示的

表 4 阿希金矿区铅同位素测试结果

Table 4 The lead-isotope composition of Axi gold deposit

岩(矿)石名称	样品号	测定对象	采样位置	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
安山岩	2106	全岩	伊尔曼得	17.9885	15.4943	37.7437
	2116	全岩	巴拉克	18.6244	15.5994	38.7579
	2183-4	钾长石	琼卓路萨依	19.2801	15.7356	39.1958
	2183-6	钾长石	琼卓路萨依	18.6532	15.1073	37.7814
	2034-9	全岩	阿希东	18.2993	15.5555	37.9256
	2034-6	全岩	阿希东	18.6414	15.6603	38.4802
	64	钾长石	阿希西	17.5269	15.3564	38.2235
	73	钾长石	阿希西	18.3143	15.5987	38.1843
	平均			18.4160	15.5134	38.2866
安山玢岩	29-3	钾长石	阿希	18.5004	15.6510	38.3882
	108	钾长石	阿希	18.6644	15.4987	38.4678
	平均			18.5824	15.5749	38.4280
金矿石	9-3	黄铁矿	阿希	18.3402	15.5260	38.1348
	8-4	白铁矿	阿希	17.9939	15.3450	37.3670
	平均			18.1686	15.4355	37.7509
地幔*				18.10	15.42	37.70
造山带(岛弧区)*				18.66	15.62	38.83
下地壳*				17.27	15.29	38.57
上地壳*				19.33	15.73	39.08

测试单位:沈阳地质矿产研究所. 用 VG-354 质谱仪测定,分析精度 ±3‰. *根据 B. R. Doe, R. E. Zartman, 1979.

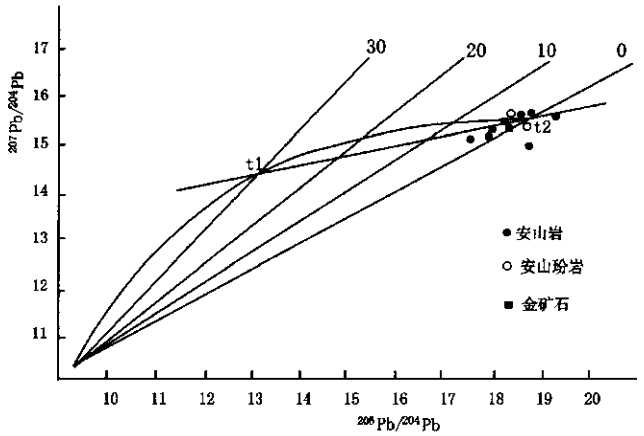

图 6　阿希金矿两阶段铅演化模式

Fig. 6　Two-stage model for lead-isotope of Axi gold deposit

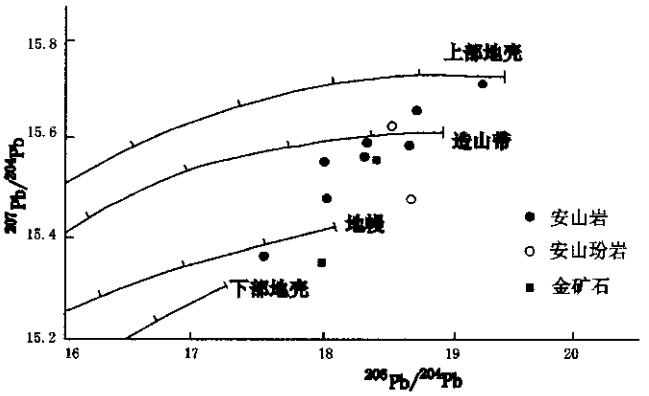

图 7　阿希金矿铅同位素组成图解

Fig. 7　The lead-isotope composition of Axi gold deposit

表 5　阿希金矿硫同位素组成表

Table 5　The sulfur isotopic composition of Axi gold deposit

序号	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
$\delta^{34}S/‰$	5.41	6.38	2.89	6.08	5.10	8.10	4.01	10.51	4.3	4.033	2.68	3.72	0.95

序号 01 ~ 08 系笔者等采集,测试单位为中国地质科学院矿床地质研究所,质谱计型号 MAT 251EM,分析精度 ±2‰;其余为新疆地勘局试验测试中心资料. 测定矿物均为黄铁矿.

表 6　阿希金矿矿石氢氧同位素组成表

Table 6　The H-O isotopic composition of Axi gold deposit

矿床	样品号	测定	δD_{H_2O}	$\delta^{18}O$	$\delta^{18}O_{H_2O}$
阿希金矿	SAI5	石英	-59.504	5.938	-9.552
	SAI6-3	石英	-62.653	8.984	-6.506
	SAI8-3	石英	-106.264	12.158	-3.332
	SAI1-2	石英	-79.488	8.561	-6.929
	SAI6-7	石英	-113.568	13.196	-2.294
		石英	-103.888	11.611	-3.869
	901T6-04	石英	-81.001	8.062	-7.428
	901T6-06	石英	-101.4	13.08	-2.250
	901T6-03	石英	-115.2	12.24	-3.250
		石英	-109.8	12.43	-3.060
紫金山金矿[7]			-98 ~ -66		-6.3 ~ +3.6
团结沟金矿[8]			-115 ~ -85		-4.4 ~ +0.4

测试单位:中国地质科学院矿床地质研究所. 质谱计型号:MAT251EM. 分析方法:$\delta^{18}O_Q$ 为 BrFs 法,δD_Q 包体中 H 用爆裂法取水,锌法制氢. 分析精度:δD_{H_2O} 为 ±0.2‰,$\delta^{18}O_Q$ 为 ±2‰. $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值按克莱顿(1972)公式计算.

深源特点,可以推断,阿希金矿成矿的矿质主要来源于区内火山岩和次火山岩,成矿作用无疑与区内火山岩系具有密切的成因联系.

5　流体包裹体成分

据笔者研究结果[12],阿希金矿包裹体细小,多数在 2 ~ 5 μm,多呈纯液相,气液两相少见. 包裹体成分以富水为特征,达到 71.25% ~ 97.57%,流体浓度很低. 流体属于 $K^+[Na^+]-SO_4^{2-}[Cl^-]$ 型,总体上以 $K^+ > Na^+$(K^+/Na^+ 比值大于 2),$SO_4^{2-} > Cl^-$(SO_4^{2-}/Cl^- 比值 3 ~ 20),贫 Ca^{2+}、Mg^{2+}[$Na^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ 比值为 10 ~ 60],富含 CO_2 以及还原性气体(CO、CH_4、H_2)含量较高为特征. 碱金属离子的大量存在,有利于 SiO_2 的大量溶解、迁移. SO_4^{2-} 含量高,对形成黄铁矿等主要载金矿物有利. CO_2 含量高反映了成矿流体受大气降水的影响程度加大. O_2、N_2 等气体的普遍存在也说明大气降水的参与.

包裹体测试结果还显示,阿希金矿成矿作用具有低温(120 ~ 180℃)、低压(7.2 ~ 21.8 MPa)、成矿深度浅(400 ~ 500 m),成矿流体低盐度(平均 3.26%,NaCl)、酸碱度中等(5.7 ~ 8.8)、氧化还原电位低(E_h 值 -0.88 ~ -1.88 eV)等特点[12].

6　讨论与结论

6.1　成矿地质背景

如前所述,阿希金矿容矿火山岩以钙碱性系列为主,少量碱性系列岩石,故许多研究者认为,阿希金矿形成于与板块俯冲作用有关的岛弧环境. 笔者认为,在确定阿希金矿成矿背景时,除了火山岩自身地球化学特征外,还要结合同期火山岩分布格局和其他综合因素.

首先应该指出,下石炭统大哈拉军山组火山岩不只分布在吐拉苏 - 也里莫墩火山岩带内,而是以伊犁裂谷带为中心展布的,北以科古尔琴山南坡断裂为界,向南不越过那拉提断裂,总体限定在二断裂为界的向西张开的"楔形"区域内,且以伊犁裂谷为中心南北横向呈时空对称分布[8,10].

表 7 阿希金矿区锶同位素测试结果

Table 7 The strontium isotope composition of Axi gold deposit

测试对象	样品数	$Sr/10^{-6}$		$^{87}Sr/^{86}Sr$		$(^{87}Sr/^{86}Sr)i$
		变化范围	平均值	变化范围	平均值	
安山岩	10	84.68 ~ 439.69	215.919	0.70630 ~ 0.72848	0.716837	0.70570 ± 0.00014
安山玢岩	7	283.21 ~ 514.54	358.9714	0.70871 ~ 0.71030	0.709584	0.70760 ± 0.00001
伊利石	7	50.98 ~ 66.94	59.5886	0.76886 ~ 0.81345	0.786277	0.70899 ± 0.0002
灰白色石英脉	6	1.89 ~ 9.82	4.88167	0.71004 ~ 0.71722	0.712822	0.7062 ± 0.0002
烟灰色石英脉	7	5.24 ~ 19.69	9.06571	0.71034 ~ 0.71722	0.712671	0.7069 ± 0.0004
碳酸盐石英脉	7	6.46 ~ 11.56	9.54143	0.70917 ~ 0.70999	0.70954	0.7064 ± 0.0001

资料来源:李华芹等[13],1998.

其次还应该看到,阿希金矿容矿火山岩是在早古生代基底之上接收了中石炭世陆相火山岩堆积的结果.微量元素研究结果表明,火山岩以富集 K、Rb、Ba 等大离子元素为特征,其配分模式接近于板内过渡型玄武岩;稀土元素呈轻稀土富集型,Sm/Nd 值明显低于球粒陨石 (Sm/Nd = 0.333),而接近于大陆壳的相应组成.表明火山活动是在陆壳基础上发展起来的.

再次,火山岩地球化学资料提供的信息比较复杂,诚如资料所示,容矿火山岩主体显示造山带火山岩特征,但在里特曼 - 戈蒂里图解中也有少数落入由此派生的碱性火山岩区内,这一成分上的演化特征在微量元素组成上也有体现(图 4、5).笔者对此的理解是,大哈拉军山组火山岩不单纯属于钙碱性系列,而是钙碱性 - 碱性系列组合.换言之,火山岩岩石化学成分具有造山带钙碱性岩向大陆内部稳定区碱性岩过渡之特点.

综合上面几点我们认为,阿希金矿形成的古构造背景既非安第斯型大陆边缘,也不是岛弧型大陆边缘.其形成于松弛 - 拉张环境下,与晚古生代伊犁裂谷的生成有关.就其特征而言,基本上相当于秦克章划定的 5 种浅成低温金矿成矿背景中的造山基底之上的晚古生代拉张陆缘盆地[17].

6.2 成矿作用与火山作用

前面的讨论中,有几点值得注意:其一,阿希金矿围岩具有 Au、Ag、As、Sb、Bi、Pb 等元素高背景场,与矿体及其蚀变带比较,具有从容矿岩—蚀变岩—矿石上述元素不同程度递进式的富集过程.不言而喻,这些元素属于金矿的指示元素,并反映出可能主要来自容矿围岩——大哈拉军山组火山岩.其二,阿希金矿矿石铅同位素组成与大哈拉军山组火山岩的铅同位素组成表明,阿希矿区岩浆活动与成矿作用具有共同铅源,有壳幔混合源特征.其三,含金石英脉锶同位素初始值与区内容矿火山岩及与矿化有关的蚀变矿物十分接近,仅在 0.709 至 0.705 间变化.可以推断,阿希金矿成矿的矿质主要来源于区内火山岩和次火山岩,成矿作用无疑与区内火山岩系具有密切的成因联系,即大哈拉军山组火山岩的矿源层作用.

6.3 矿床成因

研究表明,阿希金矿矿石 $\delta^{34}S$ 值主体集中在不大的正值区,硫的来源可能比较单一,以深源火山成因硫为主.包裹体地球化学测试结果:$\delta^{18}O$ 值变化范围 5‰ ~ 13‰,δD 值为 - 59.504‰ ~ - 115.20‰,流体中 CO_2、O_2、N_2 等气相成分含量很高,显示了大气降水的特点.矿床具有成矿温度低 (120 ~ 180℃)、成矿压力小 (7.2 ~ 21.8 MPa)、成矿流体低盐度 (2.4% ~ 4.5%, NaCl) 等特点.正是基于此,笔者等提出了阿希金矿为浅成低温热液型金矿的观点[8 ~ 12],并得到许多研究者的认可[13 ~ 15].

综上所述,阿希金矿在成矿地球化学特征上,反映出其属于浅成低温热液系统矿床的成矿特点.但同时也反映出其在成矿大地构造背景、赋矿火山岩特征、成矿地球化学特征等方面,与经典的环太平洋构造带上浅成低温金矿存在一定的差别,足见对其研究的理论和实际意义之所在.

参考文献:

[1] Heald P, et al. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types[J]. Economic Geology, 1987, 82(1): 1—22.

[2] White N C, Hedenquist J W. Epithermal environments and styles of mineralization-variation and their cause, and guidelines for exploration[J]. Jour Geochem Exploration, 1990, 36: 445—474.

[3] 毋瑞身. 低温浅成热液金矿若干问题探讨[J]. 贵金属地质, 1993, 2(1): 47—53.

[4] Hedenquist J W, Arribas A, Reynolds J. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepano porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines[J]. Economic Geology, 1998, 93(4): 373—404.

[5] Henley R W. Epithermal gold deposits in volcanic terranes[A]. In: Foster R P, Blackie, eds. Gold Metallogeny & Exploration[C]. 1991. 133—164.

[6] Berger B R, Henry R W. Advances in the understanding of epithermal gold-silver deposits, with special reference to the Western United States [J]. Economic Geology, 1989, Monograph, 6: 405—423.

[7] 应汉龙. 浅成低温热液金矿床的全球背景[J]. 贵金属地质, 1999, 8(4): 241—250.

[8] 沙德铭, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 西天山吐拉苏 - 也里莫墩矿带金矿成矿条件与成矿规律[A]. 中国地质学会, 编. "九五"全国地质科技重要成果论文集[C]. 北京: 地质出版社, 2000. 247—250.

[9] 毋瑞身, 田昌烈, 杨芳林, 等. 新疆阿希地区金矿概论[J]. 贵金属地质, 1996, 5(1): 5—21.

[10] 毋瑞身, 田昌烈, 沙德铭, 等. 西天山吐拉苏 - 也里莫墩火山岩带地质特征[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 1078—1087.

[11]沙德铭,毋瑞身,田昌烈,等. 西天山阿希古破火山口构造及其控矿意义[J]. 地质论评,1999,45(增刊):1088－1094.
[12]沙德铭. 西天山阿希金矿流体包裹体研究[J]. 贵金属地质,1998,7(3):180－188.
[13]QIN Ke-zhang, SUN Shu, LI Ji-liang, et al. Paleozoic epithermal Au and porphyry Cu deposits in North Xinjiang, China: Epochs, features tectonic linkage and exploration significance [J]. Resourece Geology,2002, 52(4): 291－300.
[14]廖启林,戴塔根. 新疆北部浅成低温热液型金矿床成矿地球化学特征初探[J]. 地质地球化学,2000,28(2):19－25.
[15]肖龙,王方正,张桂林,等. 新疆西天山高硫化型京希－伊尔曼得金矿床的识别标志及其找矿意义[J]. 地质科技情报,2002,21(3):74－78.
[16]李华芹,谢才富,常海亮,等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社,1998. 107－127.
[17]刘洪林,董连慧. 阿希金矿地质特征及成因初探[J]. 新疆地质,1994,10(2):110－119.
[18]李本海,薛秀娣. 新疆阿希金矿Ⅰ号脉矿床矿石特征及其成因意义[J]新疆地质,1994,12(2)146－156.
[19]郭建军. 新疆阿希金矿床地球物理特征[J]. 新疆地质,1994,12(2):157－163.
[20]陆志刚,陶奎元,谢家莹,等. 中国东南大陆火山岩地质与矿产[M]. 北京:地质出版社,1997. 248－256.
[21]邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社,1995. 316－317.
[22]赵振华,熊小林,王强,等. 我国富碱火成岩有关的大型－超大型金铜矿床成矿作用[A]. 中国科学(D辑),2002,32(增刊):1－10.
[23]胡受奚,王鹤年,王德滋,等. 中国东部金矿地质学及地球化学[M]. 北京:科学出版社,1998,300－303.
[24] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1983. 54－120.
[25]王可勇,姚书振,吕新彪. 川西北马脑壳金矿床成矿流体地球化学特征与性质[J]. 地球化学,2001,30(3):273－281.
[26]华仁民,胡金化,黄耀生,等. 福建紫金山矿床流体运移－反应模式及其氧同位素示踪研究[J]. 地球化学,1998,27(2):187－194.

STUDY ON THE METALLOGENIC GEOCHEMISTRY OF AXI GOLD DEPOSIT IN WESTERN TIANSHAN MOUNTAINS

SHA De-ming[1,2], JIN Cheng-zhu[1], DONG Lian-hui[3], WU Rui-shen[2], TIAN Chang-lie[2], JIA Bin[1,2]

(1. *Institute of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang* 110004, *China*;
2. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang* 110033, *China*; 3. *Xinjiang Bureau of Geological Exploration, Urumqi* 830000, *China*)

Abstract: One of the most important prospecting achievements in Xinjiang recently is the discovery of the large-scale Axi gold deposit, which occurs in Late Paleozoic continental volcanic rocks in West Tianshan Mountains. The deposit is hosted by the acid-intermediate to intermediate-basic volcanic rocks of Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation. The mineralization is closely related to the volcanism and volcano-geothermal system. The hosting volcanic rocks, which belong to calc-alkaline and alkaline series, are characterized by rich silicon and sodium while lacking of potassium, aluminum, magnesium and calcium. The host rocks with medium contents of rare earth elements ($\Sigma REE = 41.59\times10^{-6} \sim 135.83\times10^{-6}$) belong to LREE enriched type ($LREE = 29.05\times10^{-6} - 95.37\times10^{-6}$) with fairly high REE fractionation. And the host rocks with features of enriched macro-ion elements such as K, Rb, Ba and Th while lacking of Ti, Y, Yb, Sc etc. are similar to the intraplate transitional basaltic rocks. The low-temperature elements of Au, Ag, As, Sb and Bi are enriched in host rocks, near-ore altered rocks and ore in a gradual enrichment process, showing the genetic relationship between the host rocks and ore bodies. With $^{206}Pb/^{204}Pb$ of 17.5269 – 18.6644, $^{207}Pb/^{204}Pb$ of 15.1073 – 16.0108 and $^{208}Pb/^{204}Pb$ of 37.3670 – 38.1958, the lead-isotope contents of hosting volcanic rocks and ores show their crust-mantle mixed origin. The strontium-isotope initial ratios of Au-bearing quartz vein, hosting volcanic rocks and the metallogenesis-related altered minerals are very closed from 0.705 to 0.709, suggesting the close genetic relation between the metallogenesis and volcanism. The $\delta^{34}S$ of pyrite of Au-bearing ore ranges from 0.95‰ to 10.51‰, indicating that the sulfur isotope compositions related to Au ore-forming are mainly from deep volcanism. The ratio ranges of hydrogen and oxygen isotopes are wide ($\delta^{18}O$ from 5‰ to 13‰, δD from -59.504‰ to -115.20‰), suggesting the meteoric character of the ore-forming fluid, which belongs to $K^+[Na^+] - SO_4^{2-}[Cl^-]$ type with low-temperature (120 – 180℃), low-pressure (7.2 – 21.8 MPa), low-salinity (NaCl, 2.4% – 4.5%) and enriched CO_2, N_2, O_2 etc. In general, Axi gold

(*Continued on Page* 145)

源，加大对油页岩的勘探和开发力度，了解和评价油页岩资源具有非常重要的意义．

根据油页岩地质成因及过去大量煤田地质勘探钻孔及采样化验资料，预测有希望的找矿远景区如下．

(1)沈北煤田．该区煤系地层为古近系渐新统地层，为湖前期成煤环境，煤层段顶部为厚层植物化石段及动物化石段，其中的植物化石段含有厚层油页岩层段．通过在煤田勘探钻孔中采样化验，部分层的含油率达到工业品位．该层段厚度为 55～280 m，层位稳定，全区发育，是良好的油页岩找矿区．

(2)沈南永乐煤田．该区煤系地层为古近系渐新统，为湖前期成煤环境，含煤段顶部为灰褐色厚层泥岩，为湖相沉积．以往化验资料证实，该层段具有工业品位的油页岩厚度为 120～620 m，层位稳定，为良好的油页岩找矿区．

此外，辽宁省内的下辽河西坡、阜新煤盆地、朝阳七道泉子、喀左九佛堂等地都具有油页岩成矿条件与环境，找矿前景均十分广阔．

由于在过去煤田勘探中以煤为主，上述各区的油页岩资源被忽略．今后应加大油页岩找矿勘探力度，尤其是在今后煤田勘探中，更应注意与煤共生的油页岩资源的综合勘探[2]，以较少的投入获取更好的地质效果．

参考文献：

[1]全国矿产储量委员会．矿产工业要求参考手册[M]．北京 地质出版社，1987.

[2]武汉地质学院煤田教研室．煤田地质学[M]．北京 地质出版社，1979.

POTENTIAL ANALYSIS OF THE OIL SHALE RESOURCES IN LIAONING PROVINCE

ZHANG Xian-liang

(*Northeast Bureau of Coal Geology, Shenyang* 110011, *China*)

Abstract: Oil shale is an important kind of resources with great utilizing value. The oil shale resources in Liaoning Province occur mainly in the Lower Cretaceous Jiufotang formation in Fuxin county and the Paleogene Guchengzi formation in Fushun coalfield. The Jiufotang formation contains four layers of oil shale, of which the 3rd layer is stably distributed with a high oil length. The Guchengzi formation is composed of a huge thick series of oil shale, with a high oil length and abundant reserves.

Key words: oil shale; resources; oil length; Liaoning Province

作者简介：张显良(1959—)，男，高级工程师，1982 年毕业于阜新矿业学院，主要从事煤田地质勘探工作，现为东北煤田地质局勘察设计研究总院总工程师，通讯地址 沈阳市沈河区盛京路 24 号，邮政编码 110011，E-mail//dmdzxl@ yahoo. com. cn

---

(*continued from Page* 125)

deposit has the basic geochemical characters of the classic epithermal ones, but with its own features on ore-forming epoch, background and so on.

Key words: metallogenic geochemistry; Axi gold deposit; Western Tianshan Mountains

作者简介：沙德铭(1962—)，男，研究员，博士，1986 年毕业于长春地质学院地质系，主要从事矿产地质研究工作，通讯地址 沈阳市北陵大街 25 号，邮政编码 110033, E-mail//sysdeming@ cgs. gov. cn