

新疆萨瓦亚尔顿金矿床稀土元素地球化学特征

彭 静,龙训荣,李佑国
(成都理工大学地球科学学院,成都 610059)

摘 要:为了揭示新疆萨瓦亚尔顿金矿床容矿岩系的沉积环境及成矿物质来源,笔者对容矿岩石和矿石的稀土元素地球化学特征进行了分析。结果表明:1)萨瓦亚尔顿金矿床容矿岩系的稀土总量高,LREE/HREE 比值较大,负Eu异常现象较明显,可以解释为在矿床形成过程中,正常的海相沉积过程有海相热水流加入。2)可以根据容矿岩系的稀土元素地球化学特征,判别其容矿岩系沉积时的构造环境应属大陆岛弧。3)矿石中Eu有明显的亏损,推测其成矿条件为还原环境。4)萨瓦亚尔顿金矿床的成矿物质大部分来自沉积地层,但不排除小部分矿质可能来自岩浆岩。

关键词:萨瓦亚尔顿;金矿床;稀土元素;沉积环境;成矿物质

中图分类号: P618.51, P595

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2010)02-0103-05

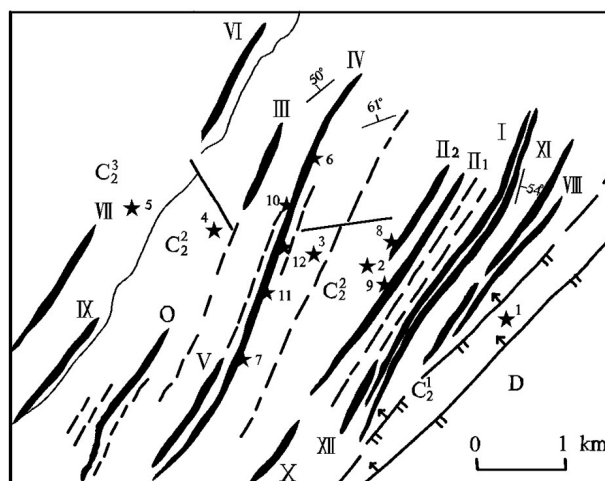
1 引言

新疆萨瓦亚尔顿金矿床发现于1991年,是中国西部一个大型金矿床,也是中国第一例具有相当规模的穆龙套型金矿床^[1],矿区紧邻吉尔吉斯斯坦。长期以来,前人对该矿进行了较多的研究^[1-8],但迄今为止,对稀土元素尚无系统研究。因此,笔者试图通过研究萨瓦亚尔顿金矿床容矿岩系和矿石的稀土元素地球化学特征,来揭示容矿岩系的沉积环境及成矿物质来源,为该区的地质勘探和研究提供参考。

2 矿床产出的地质背景

萨瓦亚尔顿金矿床位于塔里木地台、天山褶皱系、西昆仑褶皱系三大构造单元交汇部位的天山褶皱系南天山冒地槽褶皱带东阿赖复背斜中。区域上,断裂和褶皱构造发育,总体构造线方向为NE-SW向。矿区东西两侧较大的断裂构造有阿热克托如克断裂和依尔克什坦断裂,走向NE-SW;次级断裂发育,控制了矿区破碎蚀变带的展布(图1)。破碎蚀变带延伸2~4 km,宽度一般为10~50 m。

矿区内及附近覆盖着一套石炭系的碎屑岩系和碳酸盐岩系地层^[2,4]。作为容矿岩系的碎屑岩系地



D 1 C₂³ 2 C₂² 3 C₂¹ 4 5 6 7 8 ★ 9

图1 萨瓦亚尔顿金矿区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Sawaya'erdun gold deposit

1.石灰岩;2.上石炭统下段;3.上石炭统中段;4.上石炭统上段;5.矿化带(宽度夸大显示);6.大断层;7.预测矿化破碎带;8.地质界线;9.采样位置及编号

收稿日期: 2009-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目:新疆萨瓦亚尔顿金矿床的低温成矿作用地球化学研究(40073019);国家科技攻关305项目:萨瓦亚尔顿金矿成矿条件及东阿赖山成矿区靶区优选与评价(96—915—04—03—01)及矿物学、岩石学、矿床学国家重点(培育)学科(SZD0407)

作者简介:彭静(1980—),女,硕士研究生,就读于成都理工大学地球科学学院,矿产普查与勘探(固体)专业,主要从事固体矿产资源勘查、评价及矿床地质研究,Email:pj418@163.com;通讯作者:龙训荣(1967—),男,副教授,主要从事矿床学及矿床地球化学研究,E-mail:longxunrong@cdut.cn。

层,可划分出三个岩性段:上石炭统下段(C₂¹)为灰色中-薄层细粒石英砂岩、粉砂岩夹炭质板岩,底部有不稳定的薄层泥灰岩和生物碎屑灰岩;上石炭统中段(C₂²)为深灰-黑色薄层粉砂岩与炭质板岩互层,此段是最主要的容矿段,90%以上的金矿体赋存其中;上石炭统上段(C₂³)由灰色-深灰色中-薄层粉砂质板岩、粉砂岩夹炭质板岩组成。这些地层中可见到许多相标志,显示为浊流作用的产物,属浊积岩^[5]。与区域其它地层相比,容矿岩系中金含量相对较高,表明浊积岩中的炭质和粘土矿物在沉积时对金有较强的吸附作用,使金得到初始富集^[6]。

在矿区及周边相当大的区域范围内,除零星散布小的辉绿岩脉外,未见其它火成岩体出露。

3 矿化特征

矿体产于破碎蚀变带中,走向为NE-SW向,与区域构造线方向一致;形态较规则,主要为似层状和透镜状,少数呈囊状;最长者近千米,厚6~15 m。矿石构造以浸染状、细脉浸染状和网脉状者最常见。围岩蚀变极普遍,主要为硅化、绢云母化和碳酸盐岩化。

矿石中矿物成分复杂,已鉴定出的金属矿物多达20余种,主要有毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉锑矿、脆硫锑铅矿、辉铋矿、银黝铜矿、自然铋、银金矿、自然金等。与其共生的非金属矿物为石英、菱铁矿和铁方解石^[7]。

金矿物以银金矿为主,少量自然金。金矿物赋存状态有:①呈显微细脉或与黄铜矿、石英组成显微细脉,分布于毒砂和黄铁矿的微裂隙中;②石英颗粒之间的粒间金;③呈包裹体形式赋存于毒砂、石英、黄铁矿等矿物中。银金矿的粒径一般在30~50 μm,最大者10 μm×100 μm^[8]。

4 稀土元素地球化学特征

通过对萨瓦亚尔顿矿床中的浊积岩系岩石(5件)以及矿石(7件)的稀土元素含量进行测定,得到稀土元素含量值(表1、表2)和特征参数值(表3)。其中,容矿岩石均采自新鲜基岩;矿石样品主要采自IV号矿化带,其次采自II号矿化带,经薄片鉴定后选择新鲜、有代表性的样品进行稀土元素地球化学分析,采样位置见图1(编号同表3)。

表3中稀土元素总量(ΣREE)为镧系14个元素含量之和,铈(Ce)和铕(Eu)异常的计算公式为:
 $\delta Ce = Ce_N / 0.5 (La_N + Pr_N)$, $\delta Eu = Eu_N / 0.5 (Sm_N + Gd_N)$ ^[9],用W. V. Boynton(1984)提出的球粒陨石丰度值^[10]进行标准化。

从表1、表3可见,萨瓦亚尔顿金矿床容矿岩稀土含量较高,ΣREE为143.51×10⁻⁶~258.99×10⁻⁶,平均值为199.02×10⁻⁶,La的含量平均为46.51×10⁻⁶,Ce的平均含量则达80.35×10⁻⁶。(La/Sm)_N比值为3.35~5.66,(La/Yb)_N比值为4.53~12.23,LREE/HREE比值为5.09~11.09,这些数据都表明了容矿岩石中轻重稀土之间发生了明显的分馏作用,轻稀土富集,重稀土亏损。δCe为0.80~0.88,显示负铈异常不明显;δEu为0.34~0.71,明显负铕异常,属Eu亏损型。

从表2、表3可以看出,矿石的稀土元素含量相对较低,ΣREE为34.62×10⁻⁶~236.01×10⁻⁶,平均值为131.45×10⁻⁶,δEu为0.28~0.84,明显负铕异常,为Eu亏损型,这可能与在还原性的成矿条件下,部分Eu³⁺还原成Eu²⁺有关,因其碱性与RE³⁺差别较大而发生分离,因此出现了Eu异常^[9];(La/Sm)_N及(La/Yb)_N的比值,除粗粒黄铁矿矿石(CW1#-Tc24)外,均大于1,表明轻稀土富集,重稀土亏损。

表1 萨瓦亚尔顿金矿床容矿岩石稀土元素含量(×10⁻⁶)
Table 1 Host rock REE content of the Sawaya'erdun gold deposit(×10⁻⁶)

样品名称及样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
变粉砂岩(S-6)	51.50	88.60	12.50	48.28	5.72	1.24	4.70	0.82	5.31	1.13	3.14	0.46	2.84	0.34
变粉砂岩(S-8)	27.19	54.09	7.95	33.71	5.10	1.27	6.42	1.07	6.62	1.35	3.58	0.50	2.96	0.45
炭质板岩(千枚岩)(S-15)	53.83	91.27	13.12	50.76	6.67	0.85	8.78	1.64	11.37	2.59	7.73	1.22	8.01	1.17
炭质板岩(千枚岩)(S-19)	34.04	55.93	7.34	26.71	3.96	0.65	2.80	0.54	3.86	0.91	2.79	0.45	3.08	0.45
变粉砂岩(S-21)	44.97	78.80	11.85	47.66	6.20	1.03	5.96	1.03	6.61	1.39	3.85	0.56	3.42	0.45

分析单位:成都理工大学中子活化实验室

根据容矿岩石及矿石中的稀土含量值(表1、表2),利用W. V. Boynton(1984)提出的球粒陨石丰度值和LA Haskin等(1984)提出的北美页岩组合样(NASC)^[11]分别标准化后作图(图2、图3、图4),其中,图2、图3样号同表1,图4样号同表2。本文采用两种方法,是由于在沉积岩研究中常以北美页岩为标准^[12]。

从图2中可以看出,容矿岩系的稀土组成球粒陨石标准化模式,负Eu异常现象较明显,配分曲线向右倾斜(右倾型);从图3中可以看出,容矿岩石稀土组成北美页岩标准化模式表现为近水平状,Ce负异常明显,为较典型的海相热水沉积物稀土配分模式。且具有稀土总量高,LREE/HREE比值较大的特征,这

表2 萨瓦亚尔顿金矿床矿石稀土元素含量(×10⁻⁶)
Table 2 REE content of ore minerals of the Sawaya’erdun gold deposit(×10⁻⁶)

样品名称及样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
稠密浸染状矿石 (CW12-257)	30.01	76.91	7.40	28.78	6.51	1.49	4.45	0.82	5.61	1.26	3.72	0.58	3.76	0.53
粗粒黄铁矿矿石 (CW1#-Tc24)	1.72	7.25	1.36	9.48	2.75	0.35	3.18	0.54	3.40	0.70	1.91	0.27	1.63	0.08
脆硫锑铅矿矿石 (SIV97-22)	9.58	12.20	2.64	10.85	3.35	1.05	4.36	0.75	4.79	1.01	2.77	0.40	2.44	0.38
毒砂黄铁矿辉锑矿矿石 (97A-73)	61.80	7.70	14.62	55.77	10.84	1.02	7.00	1.18	7.38	1.51	4.08	0.58	3.44	0.15
浸染状矿石 (CW12-262)	31.71	67.51	7.56	28.91	4.34	0.96	2.98	0.52	3.37	0.72	1.99	0.29	1.80	0.27
网脉状矿石 (CW27-421)	13.41	19.80	4.15	18.09	6.34	0.65	7.81	1.32	8.28	1.70	4.60	0.65	3.90	0.45
细脉浸染状矿石 (CW3-48)	45.98	83.22	14.00	60.59	7.15	0.92	5.21	0.96	6.57	1.48	4.35	0.68	4.40	0.51

分析单位:成都理工大学中子活化实验室

表3 萨瓦亚尔顿矿床容矿岩石及矿石稀土元素组成的特征参数
Table 3 Characteristic parameters of REE in the host rock and ore minerals
from the Sawaya’erdun gold deposit

序号	样品名称及样号	LREE	HREE	ΣREE	δ Ce	δ Eu	(La/Sm) _N	(La/Yb) _N	(Sm/Nd) _N	$\frac{LREE}{HREE}$
		(×10 ⁻⁶)	(×10 ⁻⁶)	(×10 ⁻⁶)						
1	变粉砂岩(S-6)	207.84	18.74	226.58	0.82	0.71	5.66	12.23	0.36	11.09
2	变粉砂岩(S-8)	129.31	22.95	152.26	0.88	0.68	3.35	6.19	0.47	5.63
3	炭质板岩(千枚岩) (S-15)	216.49	42.50	258.99	0.80	0.34	5.08	4.53	0.40	5.09
4	炭质板岩(千枚岩) (S-19)	128.63	14.88	143.51	0.81	0.57	5.41	7.45	0.46	8.64
5	变粉砂岩(S-21)	190.50	23.27	213.77	0.81	0.51	4.56	8.87	0.40	8.19
6	稠密浸染状矿石 (CW12-257)	151.09	20.73	171.82	1.21	0.80	2.90	5.38	0.70	7.29
7	粗粒黄铁矿矿石 (CW1#-Tc24)	22.91	11.71	34.62	1.07	0.36	0.39	0.71	0.89	1.96
8	脆硫锑铅矿矿石 (SIV97-22)	39.67	16.89	56.56	0.57	0.84	1.80	2.65	0.95	2.35
9	毒砂黄铁矿辉锑矿矿石 (97A-73)	151.75	25.32	177.07	0.06	0.34	3.59	12.11	0.60	5.99
10	浸染状矿石 (CW12-262)	140.98	11.94	152.92	1.02	0.77	4.60	11.88	0.46	11.81
11	网脉状矿石 (CW27-421)	62.44	28.72	91.15	0.63	0.28	1.33	2.32	1.08	2.17
12	细脉浸染状矿石 (CW3-48)	211.86	24.15	236.01	0.78	0.44	4.05	7.05	0.36	8.77

可以解释为在矿床形成过程中,正常的海相沉积过程有海相热水流的加入^[12,13]。

将图2与不同构造背景的稀土配分曲线进行比较,

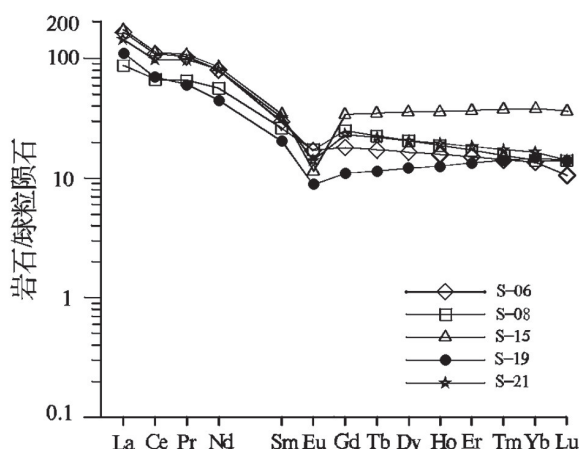


图2 容矿岩石稀土组成球粒陨石标准化曲线

Fig. 2 Chondrite-normalized REE pattern of the host rocks

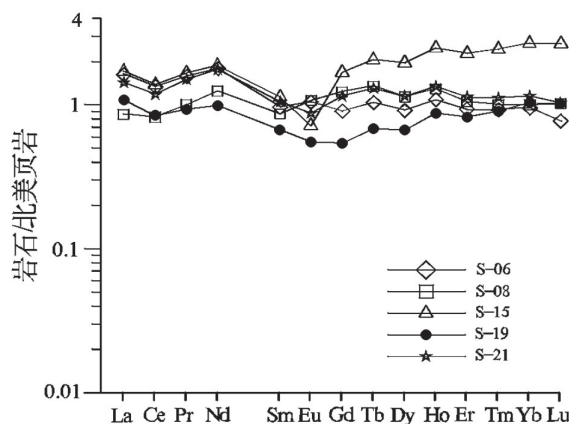


图3 容矿岩石稀土组成NASC标准化曲线

Fig. 3 NAAS normalized REE pattern of the host rocks

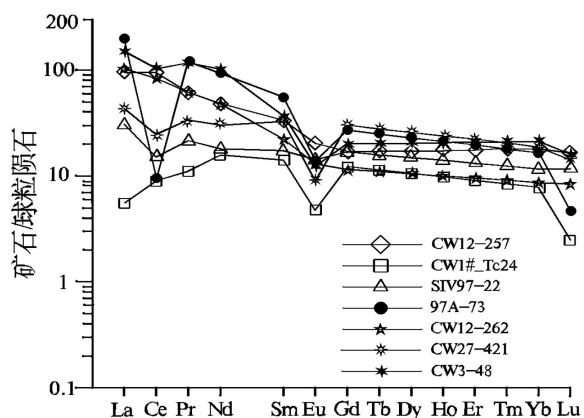


图4 矿石稀土组成球粒陨石标准化曲线

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the ore minerals

可以看出萨瓦亚尔顿金矿床的稀土配分曲线处于大陆岛弧与安第斯型活动大陆边缘之间,而与大洋岛弧杂砂岩和被动陆缘型碎屑岩的曲线形态相去甚远^[14]。从NASC标准化曲线图(图3)中,也可以看出Eu的负异常,这与大洋岛弧一般出现的Eu正异常相悖,而与大陆岛弧和安第斯型活动陆缘的模式曲线颇为相似^[15]。同时,根据表3中数据,容矿岩石 Σ REE为 $143.51 \times 10^{-6} \sim 258.99 \times 10^{-6}$,平均值为 199.02×10^{-6} ;LREE/HREE比值为 $5.09 \sim 11.09$,平均值为7.73; $(La/Yb)_N$ 比值为 $4.53 \sim 12.23$,平均值为7.85; δ Eu为 $0.34 \sim 0.71$,平均值为0.56,这与大陆岛弧沉积盆地杂砂岩的稀土参数特征极为相似(大陆岛弧的杂砂岩轻稀土元素较富集, Σ REE为 $(146 \pm 20) \times 10^{-6}$;LREE/HREE比值为 7.7 ± 1.7 ;较高的 $(La/Yb)_N$ 比值,为 7.5 ± 2.5 ;小的负Eu异常, δ Eu为 0.79 ± 0.13 ^[14],容矿岩石中,除样品S-15中 δ Eu为0.34,其它样品 δ Eu值都与大陆岛弧杂砂岩较接近)。

从图4中可以看出,矿石中Eu有明显的亏损,大多数矿石的稀土配分曲线与容矿岩石的稀土配分曲线颇为类似,但有个别样品(如97A-73)与大多数样品显著不同,表现出明显的Ce亏损,由此看来,矿石中的成矿物质大部分来自沉积地层,但不排除小部分矿质可能来自岩浆岩^[9]。

5 结论

稀土元素有着稳定的地球化学性质,除了在特殊的风化壳内发生富集及贫化外,一般在沉积物中受成岩和后生改造作用的影响很小,因此,用稀土元素反映容矿岩系的沉积环境及成矿物质来源具有一定的科学依据。基于此,对萨瓦亚尔顿矿床中的浊积岩系岩石以及矿石的稀土元素含量进行测定及作图,可以得出以下结论:

(1)根据容矿岩系的稀土组成球粒陨石标准化曲线及北美页岩标准化曲线,可以判别其容矿岩系沉积时的构造环境应属大陆岛弧,并且在矿床形成过程中,正常的海相沉积过程有海相热水流的加入,这与前人认为萨瓦亚尔顿矿床中赋存层位为一套近海沉积物相一致。

(2)从矿石的稀土组成球粒陨石标准化曲线中可以看出,矿石中Eu有明显的亏损,表明其成矿条件为还原环境下。

(3)将矿石的稀土配分曲线与容矿岩石的稀土

配分曲线进行对比,除个别样品外,大多数矿石的稀土配分曲线与容矿岩石的稀土配分曲线颇为类似,可得出矿石中的成矿物质大部分来自沉积地层,但不排除小部分矿质可能来自岩浆岩。

参考文献:

- [1] 刘家军,郑明华,龙训荣,等.新疆萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床的确认及其意义[J].贵金属地质,2000,9(3): 129-143.
- [2] 龙训荣,郑明华,刘家军.萨瓦亚尔顿金矿床同位素地球化学特征[J].矿床地质,2002,21(增刊):1005-1008.
- [3] 杨富全,毛景文,王义天,等.新疆萨瓦亚尔顿金矿床年代学、氢氦碳氧同位素特征及其地质意义[J].地质论评,2006,52(3):341-351.
- [4] 杜恩社,陈 静,张能军.西南天山萨瓦亚尔顿金矿地质特征及矿床成因[J].资源环境与工程,2006,20(5): 505-508.
- [5] 郑明华,刘家军,张寿庭,等.萨瓦亚尔顿金矿床的同位素组成特征及其成因意义[J].成都理工学院学报,2002,29(3):237-245.
- [6] 叶锦华,叶庆同,王进,等.萨瓦亚尔顿金(锑)矿床地质地球化学特征与成矿机理探讨[J].矿床地质,1999,18(1):63-72.
- [7] 郑明华,刘家军,龙训荣,等.西南天山萨瓦亚尔顿金矿床成矿地球化学特征[J].矿物岩石地球化学通报,2000,19(4):226-227.
- [8] 杨富全,毛景文,王义天,等.新疆西南天山萨瓦亚尔顿金矿床地质特征及成矿作用[J].矿床地质,2005,24(3):206-227.
- [9] 陈德乾,陈 刚.实用稀土元素地球化学[M].北京:冶金工业出版社,1990:223-258.
- [10] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorites studies[J].Development in Geochemistry, 1984: 63-114.
- [12] 韩吟文,马振东,张宏飞,等.地球化学[M].北京:地质出版社,2003:189-202.
- [12] 王中刚,于学元,赵振华,等.稀土元素地球化学[M].北京:科学出版社,1989:76-88.
- [13] 张杰,张覃,龚美菱,等.贵州寒武纪早期磷块岩稀土元素特征[M].北京:冶金工业出版社,2008:32-37.
- [14] Bhatia,M.R.. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control[J]. Econ.Geol., 1985, 45: 97-113.
- [15] Haskin M A, Haskin L A. Rare earth in European shales: a redetermination[J]. Science, 1966, 154: 507-509.

Geochemical Characteristics of the REE in the Sawaya'erdun Gold Deposit, Xinjiang

PENG Jing, LONG Xun-rong, LI You-guo

(College of Earth Sciences of Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China)

Abstract: In order to reveal the sedimentary environment and the genesis of ore-forming materials, the author has made an analysis on the REE geochemical features of the ore and its country rock series in Sawaya'erdun gold deposit, Xinjiang. The results show that: 1) the REE total content of the ore-bearing rock series and the LREE/HREE is high with remarkable negative Eu anomaly. This phenomenon suggests that marine hot water current joined in during the deposit forming. 2) The REE geochemical characteristics of the ore-bearing rock series proposes they formed in a continental island arc tectonic environment. 3) Negative Eu anomaly indicates that the ore formation is under the deoxidized environment. 4) The ore-forming material mostly comes from sedimentary stratum, but doesn't exclude that a small part of material maybe comes from magmatic rocks.

Keywords: Sawaya'erdun; gold deposit; REE; sedimentary environment; metallogenic materials