胶东谢家沟金矿稀土元素特征及其成矿意义

王建国[1)],刘洪臣[2)],邓军[1)],张静[1)],刘秉光[2)],钱进[3)]

1) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京,100083;

2) 中国科学院地质与地球物理研究所,北京,100029;

3) 山东金亭岭矿业有限公司,山东招远,265400

内容提要:谢家沟金矿是胶东金矿集中区新发现的一个大型金矿床,为韧性剪切带蚀变岩型金矿床,矿体主要赋存在NE向黄铁绢英岩化糜棱岩、超糜棱岩韧脆性剪切带中。本文对矿区的黑云母花岗岩、脉岩、矿石的稀土元素地球化学特征进行了系统研究,黑云母花岗岩、脉岩及矿石稀土元素地球化学特征表现为ΣREE较小,LREE富集,HREE亏损型,Eu异常不明显,脉岩、花岗岩和矿石的稀土元素球粒陨石标准化图谱曲线基本一致。认为矿区的花岗岩、中基性脉岩、成矿流体具有同源性,继承性;成岩、成矿物质主要来源于深部壳幔过渡带;谢家沟金矿成矿作用受中国东部中生代大规模壳慢相互作用控制。

关键词:谢家沟金矿;稀土元素;成矿作用;山东

胶东金矿集中区是我国华北地台北缘一个重要的金成矿区带,金矿床主要分布在焦家-新城断裂带;招远-平度断裂带和牟平-乳山断裂带。其矿床成因主要受燕山期构造岩浆演化机制的控制,矿床主要成因类型为玲珑石英脉型金矿和焦家破碎蚀变岩型金矿。谢家沟金矿是胶东金矿集中区新发现的一个大型金矿床。该矿床位于招平断裂带西侧5 km处。矿区内主要岩性为中生代黑云母花岗岩,其中发育北北东、近南北向多条中基性岩脉,主要有闪长岩、闪长玢岩、辉石闪长岩、正长斑岩、辉绿岩、煌斑岩等形成岩脉群。

谢家沟金矿为韧性剪切带蚀变岩型金矿床,矿体主要赋存在北东向黄铁绢英岩化糜棱岩、超糜棱岩韧脆性剪切带中❶。主要矿脉带有3号脉带、1号脉带及10号脉带等,共圈出了大小矿体20个,其中,3-3、1-2、3-1、3-5、3-4号矿体为主要矿体(图1)。

稀土元素是探讨金矿床蚀变带各种蚀变岩及围岩的岩浆演化及其成因的重要地球化学参数之一。详细研究蚀变岩及围岩中的稀土元素的丰度、分布模式及其演化机理有助于阐明蚀变岩的形成和演化过程。对谢家沟矿区稀土元素的研究表明,稀土元素在蚀变岩和围岩中的丰度、配分、演化趋势具有很大的变化。

1 矿区花岗岩与区域岩石稀土元素特征

表1为谢家沟金矿区的黑云母花岗岩、区域岩石和胶东群地层的稀土元素含量对比,谢家沟金矿区的黑云母花岗岩的ΣREE为75.34×10^{-6}(表1),ΣREE值低于世界花岗岩平均值(250×10^{-6}),与玲珑花岗岩(73.47×10^{-6})、滦家河花岗岩(67.2×10^{-6})值相接近,而与郭家岭花岗岩(136.38×10^{-6})和胶东群(217.88×10^{-6})的相差较大。δEu值为0.82,玲珑和滦家河花岗岩都出现负δEu,且与矿区花岗岩的相差不大。该矿区黑云母花岗岩、玲珑花岗岩、滦家河花岗岩的ΣLREE/ΣHREE值分别为3.9、4.22、3.2。

本区的黑云母花岗岩ΣREE较少,受热液的淋滤作用影响大,与玲珑花岗岩接近,从另一方面说明二者的成因关系较密切,两者在成因环境上相似。谢家沟花岗岩ΣREE含量与郭家岭花岗岩和胶东群斜长角闪岩差别较大,是由于本区花岗岩与这两种岩石的构造演化环境差别较大所造成。

图2为矿区花岗岩与区域岩石样品的REE数据的球粒陨石标准化稀土元素配分图。球粒陨石标准化图谱上可以明显看出,谢家沟矿区的黑云母花岗表

注:本文为国家"十一五"科技支撑规划项目(编号2006BAB01B02)资助的成果。

收稿日期:2009-07-22;改回日期:2009-09-18;责任编辑:周健。

作者简介:王建国,男,1958年生。博士,教授,主要从事金矿地质教学、科研工作。Email: wjg@cugb.edu.cn。

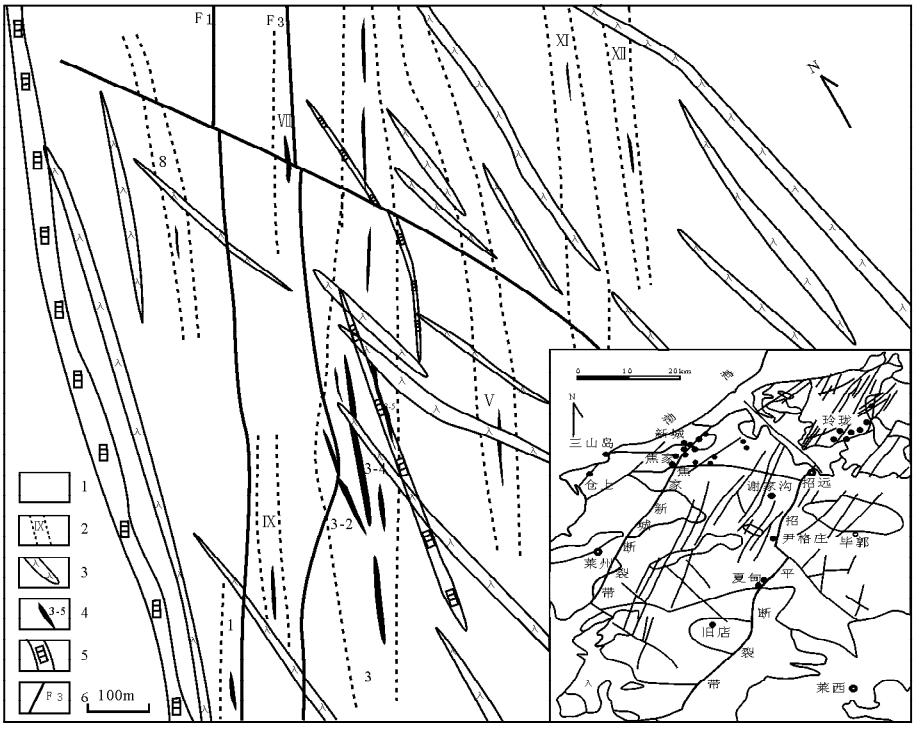


图 1 胶东谢家沟金矿床矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of the Xiejiagou gold deposit in the eastern Shandong

1—玲珑花岗岩；2—蚀变带及编号；3—中基性脉岩；4—矿体及编号；5—硫铁矿带；6—断层及编号

1—Linglong granite; 2—alteration zone; 3—intermediate-basic dikes; 4—ore body; 5—pyrote ore zone; 6—fault

现为 LREE 富集、HREE 平坦型的形式，并且有较小的负 Eu 异常；该矿区黑云母花岗岩稀土元素配分模式与玲珑花岗岩、滦家河花岗岩的比较接近，三者的稀土元素配分曲线基本平行，矿区黑云母花岗岩 LREE 含量依次高于玲珑花岗岩、滦家河花岗岩，但远远低于胶东群斜长角闪岩、郭家岭花岗岩；矿区黑云母花岗岩的 HREE 略低于滦家河花岗岩。这表明矿区黑云母花岗岩与玲珑花岗岩和滦家河花岗岩成因关系密切，而与郭家岭花岗岩和胶东群斜长角闪岩差别较大。较小的负 Eu 异常，可以认为是由于后期的热液活动事件作用造成的 Eu 变化。

谢家沟金矿区黑云母花岗岩稀土元素特征研究表明，矿区黑云母花岗岩与玲珑花岗岩、滦家河花岗岩具有相似的稀土元素地球化学特征。另外，谢家沟金矿区的黑云母花岗岩与玲珑和滦家河型花岗岩的结构、构造相同，局部具有明显的片麻理构造；两者表现出相同或相似的岩石地球化学特征（杨敏之等，1996；吕古贤等，1999）；花岗岩中含有大量老地层残留体，花岗岩的结构构造和残留体展布多同附近岩层及区域构造方向协调（李兆龙等，1993；吕古贤，2001）。因此，矿区黑云母花岗岩为玲珑花岗岩系列。

2 矿区主要矿石的稀土元素特征

谢家沟金矿床矿石类型主要为黄铁绢英岩化蚀变糜棱岩型和黄铁绢英岩化蚀变千枚岩型矿化，统称为韧性剪切带蚀变岩型矿化，或简称黄铁绢英岩矿化，有时含有黄铜矿称黄铜、黄铁绢英岩型矿化，其次为石英-硫化物脉型矿化[1]。石英-硫化物脉型矿化分布在剪切带中部局部强应变带，形成高品位的块状硫化物矿石，平均品位一般超过 20 g/t。

4-1210-23 和 4-99-6 号样为采自 242 中段工业矿体中的富矿石；3-1203-8 和 4-1202-7 号样为采自主矿体边侧的黄铁矿绢英岩化低品位矿石。分别进行了稀土元素的分析研究，测试分析结果列于表 2，图 3 为矿区主要矿石类型的稀土元素配分曲线图。

从图 3 可看出，3-1203-8、4-99-6、4-1202-7 都为右倾型轻稀土富集型的配分曲线，其 ΣLREE/ΣHREE 分别为 6.98、2.35、4.10，说明三者的稀土分馏程度较强。4 种样品的 δEu 值分别为 0.72、0.90、0.74、0.64，都为负 Eu 异常。富矿石 4-1210-23、4-99-6 样品 ΣREE 低，分别为：28.06×10^{-6}、31.38×10^{-6}，ΣLREE/ΣHREE 值低，分别为：0.10、2.35；矿体边侧的蚀变岩型矿石 3-1203-8、4-

表 1　谢家沟金矿区的花岗岩和区域岩石、地层的稀土元素特征表(×10⁻⁶)

Table 1　The REE (×10⁻⁶) characteristics of granites in Xiejiagou gold deposit and rock, stratum in the area

样品名	黑云母花岗岩	玲珑花岗岩	郭家岭花岗岩	滦家河花岗岩	胶东群斜长角闪岩
La	14.19	16.50	32.36	13.34	45.00
Ce	28.20	27.00	63.96	23.14	91.00
Pr	3.38	2.70	6.95	3.21	9.60
Nd	11.60	11.00	20.21	9.25	40.00
Sm	2.06	1.70	3.51	1.80	8.00
Eu	0.51	0.49	0.88	0.46	2.00
Gd	1.72	1.40	1.91	1.37	4.70
Tb	0.28	0.28	0.37	0.28	0.66
Dy	1.62	1.30	0.91	1.45	2.50
Ho	0.32	0.37	0.17	0.30	0.54
Er	1.01	0.82	0.70	1.00	1.10
Tm	0.16	0.23	0.10	0.16	0.24
Yb	1.15	0.73	0.34	1.34	0.93
Lu	0.14	0.15	0.05	0.20	0.11
Y	9.00	8.80	3.96	9.90	11.50
δEu	0.82	0.97	1.04	0.90	1.00
ΣREE	75.34	73.47	136.38	67.20	217.88
La/Sm	6.89	9.71	9.22	7.41	5.63
ΣLREE	59.94	59.39	127.87	51.20	195.60
ΣHREE	15.40	14.08	8.51	16.00	22.28
ΣLREE/ΣHREE	3.90	4.22	15.03	3.20	8.78
资料来源	王建国,2004❶	杨敏之,1996	杨敏之,1996	杨敏之,1996	王建国,2004❶

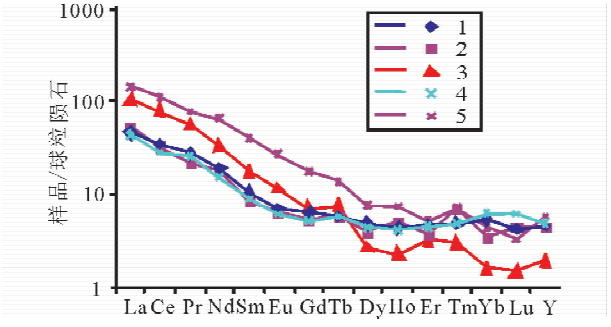


图 2　谢家沟金矿区花岗岩与区域岩石、地层的稀土元素配分曲线图(球粒陨石据 Boynyon,1984)

Fig. 2　The REE assemblage graph of granites in Xiejiagou gold deposit and rock, stratum in the area (data of the chronite are from Baynton, 1984)

1—黑云母花岗岩; 2—玲珑花岗岩; 3—郭家岭花岗岩; 4—滦家河花岗岩; 5—胶东群斜长角闪岩

1—biotite granite; 2—Linglong granodiorite; 3—Guojialing granodiorite; 4—Luanjiahe granodiorite; 5—amphibolite in JiaoDong Group

1202-7 样品 ΣREE 高,分别为:78.42×10⁻⁶、73.98×10⁻⁶,ΣLREE/ΣHREE 值高,分别为:6.98、4.10。样品 4-1210-23 LREE、La/Sm 异常低。3-1203-8、4-99-6、4-1202-7 样品稀土配分曲线的相似性及 δEu 值和 ΣLREE/ΣHRE,可知 3-1203-8、4-99-6、4-1202-7 具有相同的物质来源及相似的形成环境。

表 2　谢家沟矿区主要矿石类型的稀土元素特征值(×10⁻⁶)

Table 2　The REE characteristic values (×10⁻⁶) of main ore types in Xiejiagou gold deposit

样品编号	3-1203-8	4-1210-23	4-99-6	4-1202-7
采样位置	180 中段 110 穿东支 18 m(17 号样处)	长形采空区中部 95 线附近	242 中段 99 线 27 m	242 中段 99 线 122 m
样品名	黄铁矿、黄铜矿绢英岩	团块状黄铜矿化绢英岩(富矿石)	黄铁矿绢英岩(富矿石)	黄铁绢英岩
La	17.23	0.66	5.16	15.15
Ce	32.8	1.00	10.7	28.4
Pr	3.59	0.11	1.23	3.24
Nd	12.7	0.40	4.10	10.60
Sm	1.88	0.22	0.66	1.76
Eu	0.39	0.12	0.17	0.33
Gd	1.46	0.75	0.74	1.41
Tb	0.20	0.22	0.13	0.23
Dy	1.05	2.15	0.92	1.47
Ho	0.18	0.51	0.20	0.27
Er	0.53	1.33	0.51	0.83
Tm	0.08	0.26	0.08	0.16
Yb	0.57	1.52	0.53	1.14
Lu	0.07	0.16	0.07	0.14
Y	5.69	18.65	6.18	8.85
δEu	0.72	0.90	0.74	0.64
δCe	1.00	0.90	1.02	0.98
La/Sm	5.77	1.89	4.92	5.41
ΣREE	78.42	28.06	31.38	73.98
LREE	68.59	2.51	22.02	59.48
HREE	9.83	25.55	9.36	14.5
ΣLREE/ΣHREE	6.98	0.10	2.35	4.10

注:样品数据由中国科学院地质与地球物理研究所测定。

谢家沟金矿矿石学特征表明,矿石中黄铁矿、黄铜矿、石英含量越高,即黄铁矿化和硅化越强,则金品位越高,相应的富金矿石类型的稀土元素地球化学特征表现为:ΣREE 低、ΣLREE/ΣHREE 值低,相对平缓的配分模式,主要受矿化强度、热液蚀变强度控制。

4-1210-23 样品的稀土配分曲线与其他的恰相反,为左倾型重稀土富集的配分曲线,其 ΣLREE/ΣHREE 值为 0.1,δEu 为 0.90。该矿石样品为石英硫化物脉,主要矿物成分为黄铁矿、黄铜矿和石

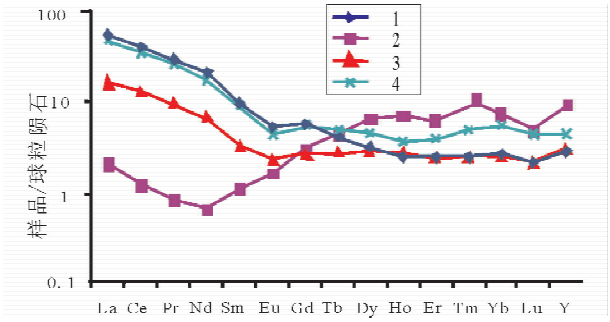


图 3 谢家沟矿区主要矿石类型的稀土元素配分曲线图(球粒陨石据 Boynyon,1984)

Fig. 3 The REE assemblage graph of main ore types in Xiejiagou gold deposit (data of the chronite are from Baynton, 1984)

1—黄铁矿、黄铜矿绢英岩(样号:3-1203-8);2—团块状黄铜矿化绢英岩(富矿石)(样号:4-1210-23);3—黄铁绢英岩(富矿石)(样号:4-99-6);4—黄铁绢英岩(样号:4-1202-7)

1—Chalcopyritization-pyritization and sericitization-silication granite (sample No.: 3-1203-8); 2—cloddy chalcopyritization and sericitization-silication granite (the rich ore) (sample No.: 4-1210-23); 3—pyrite-sericite-quartz rock (the rich ore) (sample No.: 4-99-6); 4—pyrite-sericite-quartz rock (sample No.: 4-1202-7)

英。由于稀土元素不成类质同象形式进入黄铁矿、黄铜矿与石英中,主要以机械混入物的形态存在其中,黄铁矿和石英对稀土元素没有选择性,同一成矿热液演化过程中形成的矿物稀土元素具有相似性,其稀土元素特征取决于其成矿热液沉淀时的稀土元素特征和形成环境(肖武权等,1995;苗来成等,1999)。因此,富矿石稀土元素地球化学特征提供了成矿热液的来源和形成环境的信息。ΣREE 低、ΣLREE/ΣHREE 值低,相对平缓的配分模式表明含金成矿热液主要来源于地壳深部,这与该矿床流体包裹体地球化学研究结果非常吻合。

3 脉岩与金矿石的稀土元素特征

源自同一岩浆房的不同岩石,它们的稀土元素组成既有联系又有差别,这可能是由于岩浆分异或由于源岩在不同阶段、按不同比例分熔的结果(姚凤良等,1990)。基于此,本文对谢家沟矿区内的主要脉岩花岗斑岩、煌斑岩、石英正长岩、正长岩、闪长岩、辉石闪长岩、闪长玢岩的稀土元素进行系统研究(表 3)。

3.1 脉岩的稀土元素特征

从图 4 的几种脉岩的球粒陨石标准化图谱上看出,它们的图谱形式具有相似性,皆为右倾的轻稀土富集的配分曲线,这说明它们具有相同的物质来源。但闪长岩、石英闪长岩、辉石闪长岩相比其他样品有较大的正铕异常,辉石闪长岩、煌斑岩(B170-2)的配分曲线明显高于石英闪长岩、闪长岩。

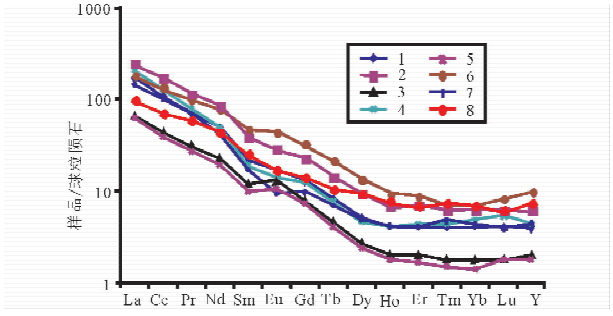


图 4 谢家沟金矿区主要脉岩的稀土配分曲线(球粒陨石据 Boynyon,1984)

Fig. 4 The REE assemblage graph of main veins in Xiejiagou gold deposit (data of the chronite are from Baynton, 1984)

1—花岗斑岩(样号:B134-14);2—煌斑岩(样号:B170-2);3—石英闪长岩(样号:B170-7);4—正长岩(样号:B170-13);5—闪长岩(样号:B170-26);6—辉石闪长岩(样号:3-88-6);7—闪长玢岩(样号:5-1204-7);8—煌斑岩(样号:5-1204-8)

1—Granite porphyry (sample No. B134-14); 2—lamprophyre (sample No. B170-2); 3—quartz diorite (sample No. B170-7); 4—syenite (sample No. B170-13); 5—diorite (sample No.: B170-26); 6—pyroxene diorite (sample No. 3-88-6); 7—diorite porphyrite (sample No. 5-1204-7); 8—granite porphyry (sample No.: 5-1204-8)

从表 3 看出样品 B170-7、B170-27、5-1204-7 的 δEu 分别为 1.35、1.24、1.16。石英闪长岩的 ΣREE 为 85.70×10^{-6},比花岗斑岩(200.37×10^{-6})、煌斑岩(309.67×10^{-6})、正长岩(227.87×10^{-6})、闪长岩(305.28×10^{-6})、辉石闪长岩(234.96×10^{-6})的低较多。地质年代学研究表明石英闪长岩脉是较早期岩浆作用的产物,受后期的热液作用的影响使得稀土元素受淋滤而受损失。样品 3-88-6、5-1204-8 的 La/Sm 值比其他样品的要低,分别为 3.80、3.81。5-1204-8 和 B170-2 的两个煌斑岩样品的 La/Sm 和 ΣREE 有较大的差别,La/Sm 值分别为 6.18、3.81,ΣREE 分别为 309.67×10^{-6}、154.47×10^{-6},说明它们是不同期次形成,从 ΣREE 上分析知 5-1204-8 是晚期形成的,受热液作用的影响较小。

3.2 脉岩、矿石的稀土特征对比

主要对煌斑岩、正长岩、闪长玢岩和矿石的稀土含量及特征参数进行了对比研究,并做了相应的稀土元素球粒陨石标准化图(图 5)。

从图 5 可以看出,矿石和脉岩的稀土球粒陨石

标准化图谱具有相似性,皆为右倾的富集轻稀土的配分曲线。说明矿石和脉岩的物质来源可能是一致的。而 4-1210-23 的富矿石的图谱为左倾的重稀土富集型,与其他样品的恰好相反。

表 2 和表 3 数据的综合分析看出,矿石 3-1203-8 出现较大的负铕异常,其 δEu 为 0.72 与闪长玢岩(δEu 为 0.73)的接近相等,其他样品煌斑岩(B170-2)、闪长岩、煌斑岩(5-1204-8)也出现较弱的负铕异常,其值分别为 0.95、0.92、0.89。热液成矿作用过程中的热液蚀变对稀土元素的富集与贫化有一定的影响,反映在蚀变很强的富矿石的稀土含量较蚀变较弱的矿石的要低。矿石 3-1203-8 的 ΣREE 为 78.4×10^{-6},B170-2、B170-13、5-1204-7、3-1203-8 的 ΣREE 分别为 309.67×10^{-6}、227.87×10^{-6}、186.23×10^{-6}、128.35×10^{-6},矿石与上述几种脉岩差别较大,可能是由于矿石在后期的热液作用下使得稀土淋失较多。矿石 3-1203-8 的 La/Sm 为 5.76 与脉岩 B170-2、5-1204-7(La/Sm 分别为 6.18、8.65)的比较接近。综合上述分析知矿石与闪长玢岩和煌斑岩(B170-2)的关系很密切。

表 3　谢家沟金矿区主要脉岩的稀土元素含量及特征参数表($\times10^{-6}$)

Table 3　REE content ($\times10^{-6}$) and characteristic parameters of main vein in Xiejiagou gold deposit

样品编号	B134-14	B170-2	B170-7	B170-13	B170-26	3-88-6	5-1204-7	5-1204-8
岩石名称	花岗斑岩	煌斑岩	石英闪长岩	正长岩	闪长岩	辉石闪长岩	闪长玢岩	煌斑岩
La	51.80	74.52	20.36	63.70	19.52	56.01	46.19	30.20
Ce	88.32	135.08	35.6	102.76	32.31	106.19	85.10	57.30
Pr	8.78	14.14	3.94	9.61	3.31	12.08	8.82	7.41
Nd	29.91	50.52	14.06	30.57	12.01	48.07	26.10	27.20
Sm	4.32	7.58	2.32	3.68	2.01	9.28	3.36	4.98
Eu	1.29	2.08	0.98	1.06	0.80	3.33	0.70	1.26
Gd	3.46	5.97	2.12	3.38	1.94	8.26	2.58	3.84
Tb	0.40	0.69	0.23	0.37	0.20	1.02	0.34	0.52
Dy	1.74	3.05	0.92	1.55	0.79	4.48	1.61	3.06
Ho	0.31	0.50	0.15	0.30	0.13	0.70	0.30	0.56
Er	0.89	1.50	0.43	0.94	0.36	1.92	0.90	1.47
Tm	0.14	0.21	0.06	0.15	0.05	0.24	0.16	0.24
Yb	0.88	1.35	0.39	1.05	0.30	1.51	0.94	1.47
Lu	0.14	0.21	0.06	0.18	0.06	0.27	0.13	0.20
Y	7.99	12.27	4.08	8.57	3.62	19.52	9.00	14.76
δEu	1.02	0.95	1.35	0.92	1.24	1.16	0.73	0.89
ΣREE	200.37	309.67	85.7	227.87	305.28	234.96	186.23	154.47
ΣLREE	184.42	283.92	77.26	211.38	297.83	272.88	170.27	128.35
ΣHREE	15.95	25.75	8.44	16.49	7.45	37.92	15.96	26.12
La/Sm	7.54	6.18	5.52	10.89	6.11	3.80	8.65	3.81

注:5-1204-7、5-1204-8 样品由中国地质科学院廊坊物化探研究所测定,2003 年 3 月;其余样品的数据由中国科学院地质与地球物理研究所于 2006 年 5 月测定)。

综合上述分析,从球粒陨石标准化图谱的相似性,各种脉岩和矿石的特征参数的相近性上可知矿石与闪长玢岩和煌斑岩的物质来源的一致性。

4　矿石、脉岩和花岗岩的稀土特征综合分析

黑云母花岗岩、煌斑岩、矿石 1(3-1203-8)、矿石 3(4-99-6)的 La/Sm 分别为 6.89、6.06、9.16、7.82(表 4),它们的值接近,黑云母花岗岩、闪长玢岩、煌斑岩、矿石 1(3-1203-8)和矿石 3(4-99-6)的 Sm/Nd 分别为 0.18、0.13、0.18、0.15、0.16,较接近,而高品位的矿石 2(4-1210-23)与其他的有明显差别,其 ΣREE 为 28.1×10^{-6},比其他的岩石和矿石的低,可能受后期的改造影响。7-1210-25 花岗岩的 δEu 为 0.92,与脉岩和矿石的数值相差不大,说明花岗岩、脉岩和矿石的来源可能是一致的。

在球粒陨石标准化图谱(图 5)上,玲珑花岗岩、脉岩和金矿石的图谱形式类似,皆为向右倾斜,δEu 值近于相等。从表 3 的脉岩的稀土特征值和图 5 的稀土元素球粒陨石标准化图谱上分析可知矿石与闪长玢岩和煌斑岩的关系最密切,同时可以更好的说明矿石与脉岩(尤其是闪长玢岩和煌斑岩)之间的物质来源的一致性。

详细的高精度的离子探针(SHRIMP)研究表

表 4 谢家沟矿区主要岩石和矿石的稀土元素特征值表

Table 4 The characteristic values of main rock and ore in Xiejiagou gold deposit

样品号		5-1204-7	5-1204-8	3-1203-8	4-1210-23	4-99-6	4-1202-7
岩石类型	黑云母花岗岩	闪长玢岩	煌斑岩	黄铁矿、黄铜矿绢英岩(矿石 1)	团块状黄铜矿化绢英岩(富矿石)(矿石 2)	黄铁绢英岩(富矿石)(矿石 3)	黄铁绢英岩(硫铁矿)
ΣREE($\times10^{-6}$)	75.34	186.23	154.47	78.42	28.06	31.38	73.98
ΣCe/ΣY	9.29	22.14	10.07	15.06	0.34	6.52	9.89
δEu	0.82	0.73	0.89	0.72	0.9	0.74	0.64
La/Sm	6.89	13.75	6.06	9.16	3	7.82	8.61
Sm/Nd	0.18	0.13	0.18	0.15	0.55	0.16	0.17
Sm/Eu	4.04	4.8	3.95	4.82	1.83	3.88	5.33
$\frac{Sm/Eu(样)}{Sm/Eu(标)}$	1.47	1.75	1.44	1.76	0.66	1.42	1.95

注:球粒陨石标准化采用 A. G. Herman(1970)推荐值表。

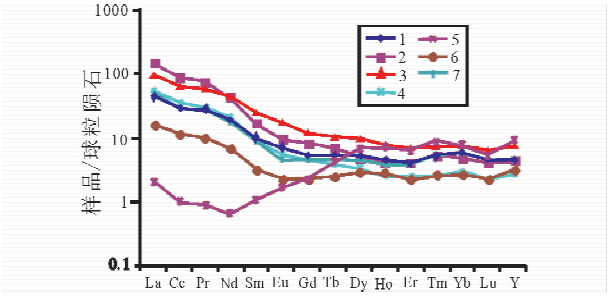


图 5 谢家沟金矿岩体、脉岩和矿石稀土元素球粒陨石标准化图谱(球粒陨石据 Boynyon, 1984)

Fig. 5 The chondrite-normalized REE patterns of rocks, veins and ore in Xiejiagou gold deposit (data of the chronite are from Baynton, 1984)

1—黑云母花岗岩;2—闪长玢岩(样品号:5-1204-7);3—煌斑岩(样品号:5-1204-8);4—黄铁矿、黄铜矿绢英岩(样号:3-1203-8);5—团块状黄铜矿化绢英岩(富矿石)(样号:4-1210-23);6—黄铁绢英岩(富矿石)(样号:4-99-6);7—黄铁绢英岩(硫铁矿)(样品号:4-1202-7)

1—Biotite granite; 2—diorite porphyrite (sample No. 5-1204-7); 3—granite porphyry (sample No. 5-1204-8); 4—chalcopyritization-pyritization and sericitization-silication granite (sample No. 3-1203-8); 5—cloddy chalcopyritization and sericitization-silication granite(the rich ore)(Sample No. 4-1210-23); 6—pyrite-sericite-quartz rock (the rich ore)(sample No. 4-99-6); 7—pyrite-sericite-quartz rock (pyrite ore)(sample No. 4-1202-7)

明,招掖地区的玲珑型和滦家河型花岗岩均形成于燕山早期,年龄为 160～150 Ma,郭家岭型花岗闪长岩则形成于燕山晚期,年龄为 130～126 Ma(冉清昌,1994;苗来成等,1997;杨进辉,2000);矿区内一切切割矿体的成矿后花岗斑岩、闪长岩、闪长玢岩脉的年龄为 120～110 Ma❶,胶西北地区三山岛-仓上、焦家-新城、招远-平度及牟平-乳山金成矿带金成矿时代均集中在 130～110 Ma,金成矿高峰期为 120 Ma(冉清昌,1994;苗来成等,1997;杨进辉,2000)❶,谢家沟金矿成矿时代为 120～110 Ma。胶东地区玲珑型花岗岩、郭家岭型花岗闪长岩、中基性脉岩群、金矿床构成了完整的巨型构造岩浆演化金成矿系统。

研究认为月球上各类岩石的 REE 在$(Sm/Eu)_{样品}/(Sm/Eu)_{球粒陨石}$-Sm 图解中的投点均位于同一直线上,被认为这是它们属于相同来源的证据。谢家沟矿区花岗岩、脉岩和矿石在稀土元素的$(Sm/Eu)_{样品}/(Sm/Eu)_{球粒陨石}$-Sm/Eu 变异图上,拟合成一条标准的直线(图 6),说明它们关系密切,受同一区域地质构造岩浆演化系统控制;是对胶东地区玲珑型花岗岩、郭家岭型花岗闪长岩、中基性脉岩群、金矿床这一巨型构造岩浆演化金成矿系统的补充与注解。

矿区黑云母花岗岩、脉岩及矿石在 La/Yb-δEu 图解上(图 7),各种脉岩均位于壳幔源区域,矿石和黑云母花岗岩则位于壳源区域,靠近壳幔源区域,说明胶东地区玲珑型花岗岩、郭家岭型花岗闪长岩、中基性脉岩群、金矿床这一巨型构造岩浆演化金成矿系统受深部壳幔演化动力学机制的控制,成岩、成矿

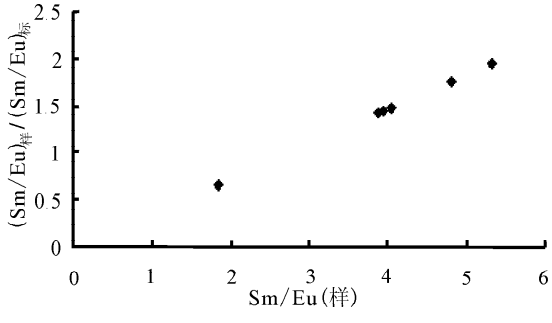


图 6 $(Sm/Eu)_{样}/(Sm/Eu)_{标}$-(Sm/Eu)变异图

Fig. 6 Varivation diagram of $(Sm/Eu)_{sam.}/(Sm/Eu)_{sta.}$-(Sm/Eu)

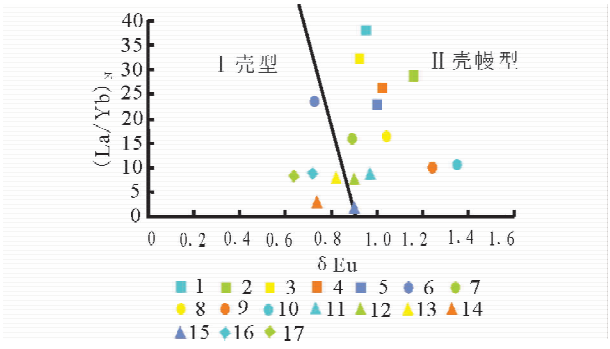


图 7　矿区岩浆岩及矿石 La/Yb-δEu 图解

Fig. 7　La/Yb-δEu diagram of magma and ore in mining area

1—煌斑岩; 2—辉石闪长岩; 3—正长岩; 4—花岗斑岩; 5—胶东群斜长角闪岩; 6—闪长玢岩; 7—煌斑岩; 8—郭家岭花岗岩; 9—闪长岩; 10—石英闪长岩; 11—玲珑花岗岩; 12—团块状黄铜矿化绢英岩(富矿石); 13—黑云母花岗岩; 14—黄铁矿绢英岩(富矿石); 15—团块状黄铜矿化绢英岩(富矿石); 16—黄铁矿、黄铜矿绢英岩; 17—黄铁绢英岩

1—The first lamprophyre; 2—pyroxene diorite; 3—syenite; 4—granite-porphyry; 5—amphibolite in Jiaodong Group; 6—dioritic porphyrite; 7—the second lamprophyre; 8—Guojialing granodiorite; 9—diorite; 10—quartz diorite; 11—Linglong granite; 12—massive chalcopyritized sericitolite (rich ore); 13—biotite granite; 14—pyritized sericitolite (rich ore); 15—massive pyritized sericitolite (rich ore); 16—pyritized and chalcopyritized sericitolite; 17—pyritized sericitolite

物质主要来源于深部壳幔过渡带。王登红等(1999)认为胶东金矿集中区,可能受到地幔柱构造的制约或影响,金可能都主要来自于深部或者来自于地幔柱头部;胶东大规模成矿的动力学过程受华北东部中生代构造转折体制制约,是周围板块共同作用下的大规模壳幔相互作用的直接结果(翟明国等,2001)。

5　结论

谢家沟矿区的黑云母花岗岩、脉岩及矿石稀土元素地球化学表现为 ΣREE 较小,LREE 富集,HREE 亏损型,Eu 异常不明显,脉岩、花岗岩和矿石的稀土元素球粒陨石标准化图谱曲线基本一致,除一富矿石样品(金品位达 400 g/t)外均为右倾型的稀土配分模式,轻重稀土的分馏明显。不同品位矿石的稀土元素配分曲线有一定的差异,是成矿热液系统演化过程中流体性质变化、成矿物理化学条件变化结果。

矿区的花岗岩、中基性脉岩、成矿流体具有同源性,继承性;成岩、成矿物质主要来源于深部壳幔过渡带;谢家沟金矿成矿作用受华北东部中生代大规模壳幔相互作用控制。

注　释

❶ 王建国,张志启,邓军,等. 2004. 谢家沟金矿地质勘查报告. 山东省招金集团金亭岭矿业有限公司,1～40.

参　考　文　献

李兆龙,杨敏之. 1993. 胶东金矿床地质地球化学. 天津:科学技术出版社,47～77.

吕古贤,林文蔚,罗元华,等 1999. 构造物理化学与金矿成矿预测. 北京:地质出版社,112～191.

吕古贤. 2001. 胶东玲珑-焦家式金矿床矿源岩系(序)列研究. 地质地球化学,29(3):140～143.

苗来成,罗镇宽,黄佳展,等. 1997. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石 SHRIMP 研究及其意义. 中国科学(D 辑),27(3):207～213.

苗来成,朱成伟,翟裕生,等. 1999. 山东招掖金矿带内花岗岩与金矿化关系探讨. 黄金地质,5(4):7～11.

冉清昌. 1994. 胶东西部地区脉状金矿床区域成矿模型及找矿. 吉林:长春地质学院.

王登红,林文蔚,杨建民,等. 1999. 试论地幔柱对于我国两大金矿集中区的控制意义. 地球学报,20(2):157～162.

肖武权,戴塔根. 1995. 试论胶东金成矿区成矿物质条件. 地质与勘探,31(4):7～13.

杨进辉. 2000. 胶东地区金矿床成矿时代及其成矿地球动力学背景—兼论壳幔相互作用与成岩成矿. 中国科学院地质与地球物理研究所(博士学位论文),1～133.

杨敏之,吕古贤. 1996. 胶东绿岩带金矿地质地球化学. 北京:地质出版社,2～9.

姚凤良,刘连登,孔庆存,等. 1990. 胶东西北部脉状金矿. 长春:吉林科学技术出版社,46～100.

翟明国,杨进辉,刘文军. 2001. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用. 中国科学(D 辑),31(7):545～552.

REE Characteristics of the Xiejiagou Gold Deposit, Eastern Shandong Province and Its Significance to Mineralizations

WANG Jianguo[1)], LIU Hongchen[2)], DENG Jun[1)], ZHANG Jing[1)], LIU Bingguang[2)], QIAN Jin[3)]

1) *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing*, 100083;

2) *The Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing*, 100029;

3) *Jingtingling Mining Industry Co. Ltd., Zhaoyuan, Shandong*, 265400

Abstract

A newly-discovered Xiejiagou gold deposit, located in Eastern Shandong Province, is an alteration-rock type gold one controlled by the ductile shear belt. Ore bodies occur mainly in the NE-trending ductile and brittle shearing zone containing pyritic sercitized mylonite and ultramiylonite. The paper studies the REE geochemical characteristics of biotite granites, dikes and ore. The results show that they are characterized by enrichment of LREE and depletion of HREE, with low ΣREE and no obvious Eu anomaly, and their chondrite-normalized REE plots are primarily consistent. It is suggested that the rock and ore-forming materials originated mainly from deep crust-mantle transitional zone, and the mineralization of Xiejiagou gold deposit is controlled by the Mesozoic large-scale crust-mantle interaction in eastern China.

Key words: Xiejiagou gold deposit; REE (Rare Earth Element); mineralization; eastern Shandong