

文章编号: 0529-6579 (2000) 06-0101-06

新疆乔尔山金矿床稀土元素 地球化学特征及其意义^{*}

翟 伟, 杨荣勇, 李兆麟, 孙晓明

(中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 乔尔山金矿床为产于中天山脆韧性剪切带中的石英脉型或破碎带蚀变岩型金矿床, 南部矿床产于受剪切的志留泥盆系地层中, 北部矿床产于受剪切的闪长岩体中. 不同阶段形成的含金石英脉及其赋矿围岩具有相似的稀土元素地球化学特征, 呈轻稀土富集型, 出现不明显的 Eu 负异常及明显的 Tb 和 Er 正异常. 成矿流体 H、O 同位素变化范围小, $\delta_{18}O_{H_2O} = 44.5\% \sim 10.95\%$, $\delta D_{H_2O} = -63.0\% \sim -42.0\%$, 其成矿物质具统一来源, 即来自受剪切岩石 (志留泥盆系地层及闪长岩体) 的均一的成矿物质及成矿流体.

关键词: 金矿床; 稀土元素; 地球化学特征; 成矿物质; 新疆乔尔山

中图分类号: P618.31 **文献标识码:** A

乔尔山金矿床是“八五”期间在新疆中天山发现的一个与剪切带有关的金矿床^①. 与韧性剪切带有关金矿床成矿物质来源一般认为有以下几种, 即下地壳及上地幔^{1,2}, 岩浆源^{2,3}, 绿岩带 (或矿源岩层)^{4,5}, 而其成矿流体则有地幔流体^{1,2}, 岩浆流体^{2,3}, 变质流体⁶, 天水⁷ 或者为混合流体^{4,5}; 卢焕章⁸ 通过对世界上一些典型的与韧性剪切带有关金矿床的统计研究, 认为成矿流体的稳定同位素变化范围小, 其成矿物质及成矿流体来自一个均匀的流体源. 本文主要通过对乔尔山金矿床稀土元素及氢氧同位素地球化学特征的研究, 探讨了其成矿物质及成矿流体的来源.

1 区域地质特征

乔尔山金矿床位于新疆善鄯县境内, 矿床产于塔里木板块与北天山—准噶尔板块接触带附近靠塔里木板块一侧. 矿区出露地层有中元古界星星峡群角闪岩相变质岩, 其中侵入有元古界片麻状花岗岩; 志留—泥盆系为一套连续沉积的弧后盆地相陆源碎屑岩夹火山碎屑岩, 经历了低绿片岩相的区域变质作用, 局部遭受了脆韧性剪切变质作用, 其中侵入有华力西期花岗闪长岩、闪长岩体; 下石炭统大哈拉军山组为一套形成于岛弧环境的中酸性火山岩、火山碎屑岩.

乔尔山金矿床产于塔里木板块与北天山—准噶尔板块接触带附近的中天山脆韧性剪切

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49703043); 南京大学内生金属矿成矿机制研究国家实验室基金资助项目

收稿日期: 2000-03-03; 作者简介: 翟 伟 (1965~), 男, 高级工程师.

① 李兆麟, 等. 阿其克布拉克—梧桐沟一带金、铜成矿前景及找矿靶区优选评价. 国家三〇五项目研究报告.

带中, 剪切带走向呈 NWW 向, 长约 100 km, 宽约 10.0 km, 剪切运动方向以右旋平移剪切为主, 古差异应力为 37.21 ~ 46.78 MPa, 应变速率为 $5.95 \times 10^{-12} \sim 1.49 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$, 剪切位移量约为 50.0 km. 剪切带因剪切运动方向的不均一性, 局部表现出由 SW 向 NE 的强烈推覆剪切作用. 沿剪切带石英的蠕变石香肠构造、S-C 构造、压力影构造、剑鞘褶皱等脆韧性剪切变形组构发育.

2 矿床地质特征

乔尔山金矿床分为南北 2 个矿床, 南部矿床产于受脆韧性剪切变质的志留泥盆系地层中, 赋矿岩石为以粉砂岩类岩石为主的陆源碎屑岩受剪切变质作用形成的糜棱岩系列岩石, 矿体为产于剪切带次级构造裂隙中的与剪切带面理平行的石英脉或破碎带蚀变岩; 而北部矿床产于受推覆剪切的华力西期闪长岩体中, 矿体为沿剪切期后的一组脆性共轭剪切断裂(走向分别为 330° 和 50°) 分布的石英脉或其两侧的破碎带蚀变岩. 因这组脆性的共轭剪切断裂切割中天山脆韧性剪切带及剪切带面理, 其形成时代明显晚于南部矿床.

矿石矿物主要有自然金、黄铁矿、褐铁矿、毒砂等, 脉石矿物主要有石英、绿泥石、绢云母、方解石、高岭石等. 围岩蚀变作用以硅化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化、高岭石化等为特征.

根据野外观察及室内显微镜下分析研究, 可将成矿作用分为 4 个阶段:

(1) 区域变质成矿作用阶段: 形成分布于志留泥盆系地层中的石香肠状、透镜体状石英脉矿化体.

(2) 脆韧性剪切变质成矿作用阶段: 与中天山脆韧性剪切带同期或稍晚, 形成沿剪切带次级构造裂隙分布的石英脉型或其两侧的破碎带蚀变岩型矿体, 石英脉本身又遭受了不同程度的糜棱岩化作用. 乔尔山南部平行剪切带分布的含金石英脉矿体主要在此阶段形成, 是主要成矿阶段之一.

(3) 脆性共轭剪切断裂成矿作用阶段: 形成沿剪切后期的脆性共轭剪切断裂分布的含金石英脉或其两侧的破碎蚀变岩型矿体. 形成的石英脉本身受应力作用较弱, 乔尔山北部赋存于受强烈推覆剪切的糜棱岩化闪长岩体中的含金石英脉矿体即形成于此阶段.

(4) 张性构造裂隙充填作用阶段: 剪切作用期后, 由于构造应力的释放, 使地壳处于构造松弛阶段, 形成沿张性构造裂隙充填的具梳状对生构造的矿化石英—碳酸盐脉.

3 稀土元素地球化学特征

3.1 剪切变质作用过程中赋矿岩石的稀土元素分异演化特征

乔尔山南部金矿床其赋矿围岩为粉砂岩系列糜棱岩, 在剪切作用过程中, 随剪切程度的增加, 由糜棱岩化粉砂岩→粉砂岩初糜棱岩→糜棱岩→千糜岩, ΣREE 及单个稀土元素质量含量都呈增加的趋势, 如表 1, ΣREE 由 $95.38 \times 10^{-6} \sim 109.81 \times 10^{-6}$ 增加到 $187.28 \times 10^{-6} \sim 205.75 \times 10^{-6}$. 乔尔山北部金矿床其赋矿围岩为闪长岩系列糜棱岩, 在剪切作用过程中, 随剪切程度的增加, 由糜棱岩化闪长岩→闪长岩初糜棱岩→糜棱岩→千糜岩, ΣREE 及单个稀土元素质量含量都呈降低的趋势, 其 ΣREE 由 379.23×10^{-6} 降低到 $202.72 \times 10^{-6} \sim 143.01 \times 10^{-6}$. 如表 2.

表 1 粉砂岩系糜棱岩稀土元素质量含量表¹⁾

Tab 1 REE contents of mylonites of siltstone series ^{10⁻⁶}									
元素	糜棱化粉砂岩		粉砂岩初糜棱岩		糜棱岩		千糜岩		石英脉岩
	X459	X464	X502	X510	X465	X507	X501	X503	X505
La	18.69	19.66	10.71	26.51	28.18	49.89	37.88	36.43	5.198
Ce	41.31	50.27	29.81	72.90	67.76	101.3	94.83	81.23	10.80
Pr	3.884	4.447	4.851	7.875	8.509	8.818	9.404	7.648	1.438
Nd	14.13	20.55	15.56	26.97	38.40	37.91	30.18	37.39	5.258
Sm	4.227	4.822	2.281	3.105	3.731	7.061	6.466	6.214	1.138
Eu	1.019	0.6894	0.4972	1.168	1.320	1.500	1.124	1.151	0.1786
Gd	3.799	2.608	3.406	5.018	5.130	5.172	6.399	4.850	0.4889
Tb	0.7121	0.6243	0.9294	1.012	1.046	1.196	1.570	1.119	0.2996
Dy	3.383	2.419	4.125	4.326	4.735	5.169	8.157	4.825	0.377
Ho	0.6493	0.4659	0.8698	0.8512	0.8671	0.8963	1.341	0.9059	0.0980
Er	2.248	2.096	2.644	2.136	2.541	4.224	5.520	3.635	0.5140
Tm	0.1808	0.1578	0.2968	0.2660	0.2591	0.2744	0.3968	0.2691	0.0450
Yb	1.007	0.8677	1.617	1.435	1.361	1.625	2.183	1.562	0.1013
Lu	0.1421	0.1299	0.2483	0.1857	0.1974	0.2308	0.2971	0.0532	0.032
ΣREE	95.38	109.81	77.85	153.76	164.04	225.27	205.75	187.82	25.96
ΣLREE	83.26	100.44	63.71	138.53	147.90	206.48	179.88	170.06	24.01
ΣHREE	12.12	9.37	14.14	15.23	16.14	18.79	25.80	17.22	1.95
δEu	0.84	0.58	0.61	0.99	0.97	0.79	0.80	0.68	0.67

1) 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家实验室分析

表 2 闪长岩系列糜棱岩稀土元素含量表¹⁾

Tab 2 REE contents of mylonites of diorite series													10 ⁻⁶	
岩性	糜棱岩 化闪长岩		闪长岩初 糜棱岩		闪长糜棱岩		超糜棱岩		构造 片岩		千糜岩		石英脉岩	
样号	9407	9401	8402	9410	9411	9413	9414	9415	9416	9418	9419	9412	9421	
Sc	62.14	40.16	64.71	28.75	35.76	20.48	25.41	17.93	17.82	7.713	9.531	2.362	0.3526	
Y	127.4	77.63	95.55	88.86	50.77	79.74	59.53	33.04	30.10	8.726	12.74	15.84	0.5099	
La	81.66	63.69	82.43	64.89	67.77	76.08	66.02	35.81	28.18	21.37	34.74	9.365	1.389	
Ce	145.3	149.6	170.9	129.8	135.0	190.2	171.0	104.1	83.12	61.17	82.16	18.69	3.638	
Pr	12.32	12.17	10.91	9.065	9.617	12.53	13.82	11.87	12.63	9.210	13.35	1.914	0.8322	
Nd	88.77	78.89	81.77	58.15	60.18	74.45	85.07	61.65	58.35	31.96	43.29	7.894	2.013	
Sm	20.47	16.06	19.94	15.41	13.44	16.48	14.71	8.197	6.290	4.227	6.532	2.349	0.5926	
Eu	3.429	2.787	2.910	2.296	2.819	1.933	1.745	1.555	1.534	1.111	1.564	0.4262	0.0480	
Gd	7.147	6.023	4.849	4.974	4.526	5.746	6.524	6.096	6.661	5.018	7.060	0.8734	0.1965	
Tb	2.146	1.832	1.605	1.695	1.500	1.860	1.858	1.687	1.779	1.279	1.559	0.5715	0.2161	
Dy	6.287	4.538	4.075	4.741	3.229	5.133	5.005	4.608	5.090	2.796	4.587	0.9522	0.1838	
Ho	1.095	0.8897	0.7324	0.8622	0.6148	0.9681	1.026	1.073	1.315	0.8887	1.147	0.2225	0.0695	
Er	8.260	5.714	6.016	6.814	4.284	6.404	6.071	4.471	3.982	2.347	3.852	1.505	0.3391	
Tm	0.3420	0.3118	0.2456	0.2948	0.2042	0.3159	0.3645	0.3904	0.4545	0.2637	0.3866	0.0947	0.0370	
Yb	1.752	1.547	1.142	1.555	0.8137	1.670	1.952	2.208	2.594	1.182	2.183	0.2657	0.0584	
Lu	0.2522	0.2470	0.1747	0.2303	0.1223	0.2522	0.2887	0.3336	0.2392	0.1896	0.3138	0.0514	0.0154	
ΣREE	379.23	344.29	387.69	300.77	304.12	394.02	375.45	244.04	212.21	143.01	202.72	45.18	9.628	
ΣLREE	351.94	323.19	368.86	279.61	288.82	371.67	352.36	223.18	190.10	129.05	181.64	40.64	8.51	
ΣHREE	27.28	21.10	18.84	21.17	15.29	22.35	23.09	20.87	22.11	13.96	21.09	4.54	1.12	
δEu	0.75	0.77	0.67	0.67	0.94	0.52	0.50	0.70	0.79	0.82	0.77	0.80	0.36	

1) 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家实验室分析

两类糜棱岩在剪切变质作用过程中，随剪切程度的增加，其稀土元素含量趋向均一，说明在剪切变质作用过程中，剪切带内受剪切的岩石发生了物质的均一化作用，因而就有可能产生来自受剪切岩石的携带成矿物质的均一的成矿流体。

3.2 稀土元素球粒陨石标准化曲线特征

乔尔山南部产于脆韧性剪切变质成矿作用阶段的含金石英脉及赋矿围岩——粉砂岩系列糜棱岩的稀土元素球粒陨石标准化曲线如图 1a，乔尔山北部产于后期脆性共轭剪切断裂作用阶段含金石英脉及赋矿围岩——闪长岩系列糜棱岩的稀土元素球粒陨石标准化曲线图 1b，两类糜棱岩具有相似的球粒陨石标准化曲线，都呈轻稀土富集型，出现不明显的 Eu 负异常，粉砂岩系列糜岩其 $\delta_{Eu}=0.58 \sim 0.99$ ，而闪长岩系列糜棱岩其 $\delta_{Eu}=0.5 \sim 0.94$ ；都出现明显的 Tb 和 Er 正异常。而这两类糜棱岩与其没有受剪切变质的原岩——志留泥盆系地层及闪长岩相比，其稀土元素含量及稀土元素球粒陨石标准化曲线明显不同（图 2），其 2 类原岩 δ_{Eu} 分别为 $0.74 \sim 2.10$ 和 $0.81 \sim 0.91$ ，没有出现 Tb 和 Er 的异常，也说明经历剪切变质作用之后，稀土元素发生分异演化，两类糜棱岩其稀土元素趋向于均一。

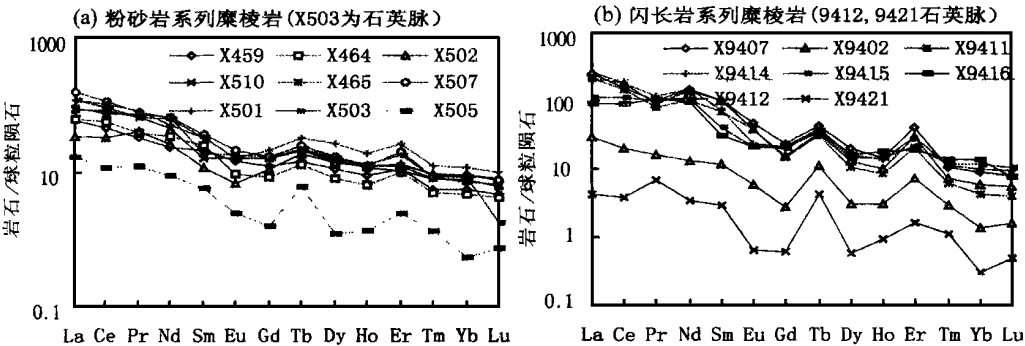


图 1 两类糜棱岩稀土元素球粒陨石标准化曲线图

Fig 1 Chondrite normalized REE pattern of two types of mylonites

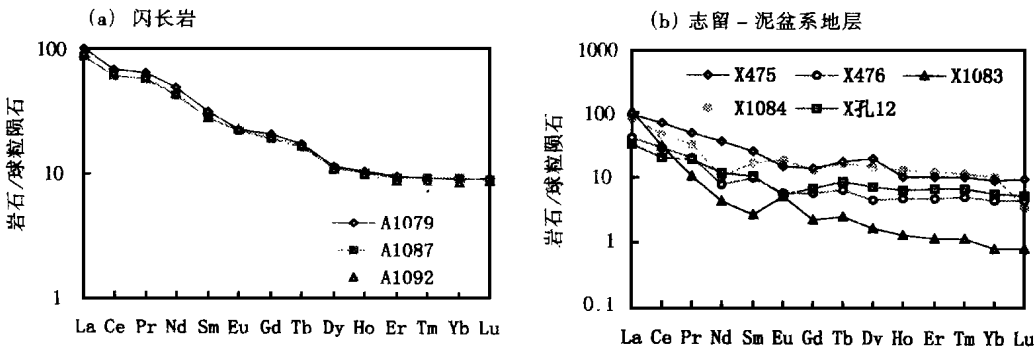


图 2 志留泥盆系地层及闪长岩稀土元素球粒陨石标准化曲线图

Fig 2 Chondrite-normalized REE pattern of Silurian-Devonian strata and diorite body

产于两类糜棱岩中形成于不同成矿阶段的含金石英脉具相似的球粒陨石标准化曲线，且也相似于两类糜棱岩的球粒陨石标准化曲线，如图 1，出现不明显的 Eu 负异常及明显的 Tb 和 Er 正异常，说明含金石英脉与两类糜棱岩具亲缘性，两个成矿阶段形成的含金石

英脉具有统一的成矿物质成矿流体来源。乔尔山南部形成于脆韧性剪切变质作用阶段的含金石英脉，其成矿物质并不一定来自其赋矿围岩——志留泥盆系受剪切的粉砂岩系列糜棱岩；乔尔山北部形成于脆性共轭剪切断裂作用阶段的含金石英脉，其成矿物质并不一定来自其赋矿围岩——华力西期受剪切的闪长岩体；而来自受剪切的岩石（志留泥盆系地层及闪长岩）的均一的成矿物质及成矿流体。

4 成矿流体氢氧同位素特征

通过对乔尔山金矿床各成矿阶段形成石英脉中石英的氧同位素及包裹体水的氢同位素分析，结合石英与水之间氧同位素分馏系数与温度的函数关系（ $1\,000\ln\alpha_{\text{石英-水}}=3.30\times10^6\times T^{-2}-2.71$ ）计算出各成矿阶段成矿流体氧同位素组成，如表 3，其 2 个主要成矿阶段脆韧性剪切变质作用阶段与脆性共轭剪切断裂作用阶段成矿流体具相似的氢氧同位素组成特征， $\delta^8\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=5.79\text{‰}\sim10.95\text{‰}$ ， $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}=-42.0\text{‰}\sim-63.0\text{‰}$ 。卢焕章^[8]对世界上一些与剪切带有关的金矿床的统计研究，成矿流体的 $\delta^8\text{O}$ 介于 $0.35\text{‰}\sim1.00\text{‰}$ 之间，如果再具体到一个绿岩带或矿床，那么 $\delta^8\text{O}$ 值的变化范围则更小，例如 Abitibi 绿岩带 $\delta^8\text{O}_{\text{石英}}$ 绝大部分为 $12.5\text{‰}\sim15.0\text{‰}$ ，Sigma 金矿 $\delta^8\text{O}_{\text{石英}}$ 为 $9.0\text{‰}\sim11.0\text{‰}$ ，认为氧同位素的这种小的变化范围暗示一个矿床甚至一个地区剪切带的成矿流体都来自一个比较均匀的流体库，这与本矿床的 H、O 同位素组成是一致的，乔尔山金矿床两个主要成矿阶段的成矿流体的 H、O 同位素变化范围小，也说明它们为来自同一流体源的均匀的成矿流体，即剪切作用产生的、来自受剪切的闪长岩或志留—泥盆系变质地层的均一的流体；晚期张性构造裂隙充填作用阶段形成的石英脉，其 $\delta^8\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 降低，成矿流体中可能有天水的加入。

表 3 石英包裹体中成矿流体氢氧同位素组成表¹⁾

Tah 3 Hydrogen and oxygen isotope compositions of ore-forming fluid in inclusions of quartz veins

石英脉类型	样品编号	均一温度/℃	$\delta^8\text{O}_{\text{石英}}/\text{‰}$	$\delta^8\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$
区域变质型	A 孔 2	330	16.6		
脆韧性剪切变质型	A491	345	14.6	8.65	-56.0
	A521	280	13.9	5.79	-57.0
	A761	293	16.4	8.64	-56.0
	A766	310	17.0	9.98	-54.0
共轭剪切断裂型	A1075	340	16.9	10.81	-63.0
	A1083	345	16.9	10.95	-53.0
	B9421	300	14.5	7.15	-44.4
	B9433	330	15.7	9.62	-42.0
张性构造裂隙充填型	A549	255	13.6	4.45	-52.0

1) 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家实验室分析

5 结 论

(1) 剪切变质成矿作用过程中，闪长岩系列糜棱岩与粉砂岩系列糜棱岩出现不同的稀土元素分异演化规律，有向均一的稀土元素含量演化的趋势。

(2) 剪切带内两类不同性质的原岩受剪切之后，其糜棱岩系列岩石球粒陨石标准化丰

度曲线一致, 说明剪切变质作用使剪切带内受剪切的岩石发生稀土元素均匀化作用。

(3) 产于剪切带内形成于不同成矿阶段的含金石英脉与其赋矿围岩具相似的球粒陨石标准化丰度曲线, 且其氢氧同位素组成一致, 成矿物质及成矿流体具统一来源, 即来源于受剪切岩石(志留泥盆系地层及华力西期闪长岩体)的均匀的成矿物质及成矿流体。

参考文献:

- [1] CAMERON E M. Archean gold: Relation to granulite formation and redox zoning in the crust [J]. *Geology*, 1987, 16: 109 ~ 112.
- [2] 孙晓明, 徐克勤, 任启江, 等. 吉南太古宙高级变质地体及金矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 71 ~ 102.
- [3] CAMERON E M, HATTORI K. Archean gold mineralization and oxidized hydrothermal fluids [J]. *Economic Geology*, 1987, 82: 1177 ~ 1191.
- [4] 王鹤年, 张守韵, 俞受, 等. 华夏地块韧性剪切带型金矿地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. 76 ~ 82.
- [5] 杨敏之, 吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 196 ~ 200.
- [6] DE RONDE C E J, SPOONER E T C, DE WIT M J, et al. Shear zone-related, Au quartz vein deposit in the Barberton greenstone belt, South Africa: field and petrographic characteristics, fluid properties and light stable isotope geochemistry [J]. *Econ Geol*, 1992, 87: 366 ~ 402.
- [7] ROBERT F, KELLY W C. Ore-forming fluid in Archean gold-bearing quartz veins at sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada [J]. *Econ Geol*, 1987, 82: 1464 ~ 1482.
- [8] 中国科学院地球化学开放研究实验室. 矿床地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 339 ~ 372.

Geochemical Characteristics and Significance of Rare Earth Elements at Qiaogashan Gold Deposit, Xingjiang

ZHAI Wei^{*}, YANG Rong-yong, LI Zhao-lin, SUN Xiao-ming

Abstract: Qiaogashan gold deposit is a type of quartz-vein or altered rocks of fracture zone, which is situated in middle Tianshan brittle-ductile shear zone. The south part of the deposit is hosted in sheared Silurian-Devonian stratum, and north part in sheared diorite body. The auriferous quartz-veins formed in different metallogenetic phase and their wall rock have similar geochemical characteristics of rare earth elements richness, which shows richness in light rare earth element, obscure negative Eu anomaly, and apparent Tb and Er positive anomaly. The range of hydrogen and oxygen isotope change of ore-forming fluid is small, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 4.45\text{‰} \sim 10.95\text{‰}$; $\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -63.0\text{‰} \sim -42.0\text{‰}$. Their ore-forming substances and fluid are homogeneous and have identical origin, that is from sheared rocks (Silurian-Devonian stratum and diorite body).

Keywords: gold deposit; rare earth elements; geochemical characteristics; ore-forming substances; Qiaogashan gold deposit

^{*} Department of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China