粤西河台韧性剪切带金矿床深部微量元素地球化学特征*

Geochemical Characteristics of Trace Elements in Depths of Hetai Ductile Shear Zone Gold Deposit

翟 伟[1,2] 李兆麟[1] 黄栋林[3] 文拥军[1] 全亚荣[1]

(1 中山大学地球科学系，广东 广州 510275； 2 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家实验室，江苏 南京 210093；3 广东高要河台金矿，广东 高要 26100)

Zhai Wei[1,2], Li Zhaolin[1], Huang Donglin[3], Wen Yongjun[1] and Quan Yarong[1]

(1 Department of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2 State Key laboratory for Mineral Deposit Research, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 3 Hetai Gold Mine, Gaoyao 526100, Guangdong, China)

摘 要 河台金矿床赋存于河台韧性剪切带中，矿床严格受剪切带控制，矿石类型以糜棱岩型矿石为主并有少量石英脉型矿石。矿床以富集 Au、Ag、Se、S、As、Bi、Cu、Sb 的元素组合为特征，Au/Ag 比值在 2～10，同时 W、Sn、U、Pb 也有一定程度的富集。亲铁性元素 Sc、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni 出现亏损；大离子亲石元素 Rb、Cs 发生富集，而 Sr、Ba、Y 等出现亏损。同时 REE 元素也出现亏损，但以轻稀土富集为特征，ΣREE 在（54.49～137.45）$\times 10^{-6}$ 之间，ΣLREE/ΣHREE 为 5.1～11.53，δ Eu 在 0.52～0.66 之间，出现明显的 Eu 亏损。根据特征富集元素组合及元素含量向深部的变化趋势推测矿床向深部的延伸仍具有很好的工业前景。

关键词 河台韧性剪切带 金矿床 微量元素 稀土元素

河台金矿床是 20 世纪 80 年代在粤西云开加里东隆起区发现的典型的受韧性剪切带控制的金矿床，自矿床发现以来，已有许多学者对其成矿地质背景（陈础庭，1988；王鹤年等，1992）、控矿构造特征（符力奋，1988）、矿床地质特征（凌井生，1986，1992）、地球化学特征（王鹤年等，1989；李兆麟等，2001a，2001b）等进行了研究。以往的研究由于条件的限制，多只限于地表，且对其微量元素地球化学特征研究不够深入。本文对该矿床近地表 280 m 中段以及 160 m 中段、80 m 中段、0 m 中段微量元素地球化学特征进行了系统的研究。

1 矿床地质特征

河台金矿床位于粤西云开隆起区的东北部，广宁-罗定断裂东北段与吴川-四会深大断裂断裂交汇的部位。矿区出露地层有震旦系云开群 C 组变粒岩、二云母石英片岩、云母片岩、片麻岩、混合岩、混合花岗岩等；奥陶系—志留系为浅变质的陆源碎屑岩，分布于矿区南侧。侵入岩有海西期和印支期（黄灵辉，1988；叶伯丹，1989）的云楼岗花岗岩，岩性以黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩为主。燕山期伍村花岗岩（凌井生，1992；黄灵辉，1988）夹在混合岩与云楼岗花岗岩之间，呈北东向展布，主体岩性为巨斑状黑云母二长花岗岩。同时沿裂隙分布有酸性到基性的脉岩。

河台金矿床产于河台韧性剪切带中，赋矿岩石为受剪切的震旦系云开群 C 组糜棱岩系列岩石，矿体严格受韧性剪切带控制。由高村、云西、河海、双保等矿床组成，矿体产在次一级的剪切带中。剪切带总体走向北东 50～70°，倾向北西，倾角 60～85°。矿体呈不规则状产出，长几十米到上千米，宽几十厘米到数十米，产状与剪切带产状一致。矿石类型有糜棱岩型和含金石英脉型两种，以糜棱岩型矿石为主，主要金属矿物有自然金、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿，少量毒砂、方铅

* 广东省自然科学基金（编号：001255）及国家自然科学基金（编号：49873018）资助项目
第一作者简介 翟 伟，男，1965 年生，高级工程师，从事矿床地球化学教学及研究工作。

矿、闪锌矿，围岩蚀变以硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等为主。

表 1 各中段含金糜棱岩型矿石微量元素平均含量及富集系数

	含金糜棱岩型矿石				含金石英脉	富集系数					克拉克值
	280 中段 (3)	160 中段 (3)	80 中段 (3)	0 中段 (3)	(2)	280 中段	160 中段	80 中段	0 中段	含金石英脉	(泰勒)
- Sc	1.76	5.78	3.83	4.60	0.73	0.08	0.26	0.17	0.21	0.03	22.00
- Ti	1220.05	3004.37	1814.87	2079.88	351.00	0.21	0.53	0.32	0.36	0.06	5700.00
- V	21.29	60.25	38.38	43.74	7.55	0.16	0.45	0.28	0.32	0.06	135.00
- Cr	19.43	59.61	32.71	34.53	13.97	0.19	0.60	0.33	0.35	0.14	100.00
- Mn	125.00	187.15	465.10	386.18	371.81	0.13	0.20	0.49	0.41	0.39	950.00
- Co	2.76	12.27	15.36	39.05	37.67	0.11	0.49	0.61	1.56	1.51	25.00
- Ni	2.65	14.92	17.16	29.25	12.85	0.04	0.20	0.23	0.39	0.17	75.00
++ Cu	64.40	3692.08	1216.55	1746.64	18250.37	1.17	67.13	22.12	31.76	331.82	55.00
Ga	14.18	24.42	25.39	18.84	3.11	0.95	1.63	1.69	1.26	0.21	15.00
Ge	1.41	1.91	2.04	1.64	1.28	0.94	1.27	1.36	1.09	0.85	1.50
+ Rb	123.02	153.38	141.95	120.63	25.88	1.37	1.70	1.58	1.34	0.29	90.00
-- Sr	8.75	20.60	17.51	31.14	6.93	0.02	0.05	0.05	0.08	0.02	375.00
- Y	9.03	15.28	11.11	21.82	3.83	0.27	0.46	0.34	0.66	0.12	33.00
- Zr	84.15	155.61	114.07	125.79	13.65	0.51	0.94	0.69	0.76	0.08	165.00
- Nb	7.23	12.25	10.47	10.12	2.07	0.36	0.61	0.52	0.51	0.10	20.00
- Mo	0.86	1.19	1.44	0.63	0.76	0.57	0.79	0.96	0.42	0.51	1.50
+ Sn	5.59	9.47	7.35	8.23	6.92	2.79	4.74	3.68	4.11	3.46	2.00
+ Cs	6.64	7.74	9.12	5.53	0.92	2.21	2.58	3.04	1.84	0.31	3.00
- Ba	272.02	570.16	312.85	342.50	59.79	0.64	1.34	0.74	0.81	0.14	425.00
Hf	2.09	3.67	2.57	2.84	0.65	0.70	1.22	0.86	0.95	0.22	3.00
- Ta	1.14	1.40	1.36	1.27	0.24	0.57	0.70	0.68	0.64	0.12	2.00
+ W	5.68	12.74	10.19	5.96	2.36	3.79	8.49	6.79	3.97	1.57	1.50
Tl	0.49	0.63	0.80	0.52	0.37	1.14	1.46	1.86	1.22	0.87	0.43
+ Pb	4.48	27.82	31.38	29.39	24.74	0.36	2.23	2.51	2.35	1.98	12.50
Zn	34.05	61.39	109.00	101.56	574.21	0.49	0.88	1.56	1.45	8.20	70.00
++ Bi	1.59	2.84	2.50	18.97	11.55	9.33	16.69	14.73	111.57	67.96	0.17
Th	4.30	10.57	5.50	7.51	2.51	0.45	1.10	0.57	0.78	0.26	9.60
+ U	6.82	3.83	11.82	6.41	1.05	2.53	1.42	4.38	2.37	0.39	2.70
++ Au	1.34	2.10	1.40	2.82	10.69	334.17	523.83	350.00	705.01	2672.50	0.004
++ Ag	13.66	23.46	3.31	3.40	20.64	195.19	335.14	47.29	48.62	294.86	0.07
++ S(%)	0.14	0.89	1.19	3.78	3.69	5.26	34.36	45.77	145.26	141.92	0.03
++ Se	1.13	1.31	1.17	3.05	1.68	22.60	26.13	23.47	60.93	33.50	0.05
++ As	7.24	26.11	74.86	30.39	13.50	4.02	14.50	41.59	16.89	7.50	1.80
+ Sb	1.01	0.88	0.97	0.94	1.86	5.05	4.42	4.87	4.68	9.31	0.20
Au/Ag	4.76	0.49	0.43	0.83	0.85						
S/Se	1212.45	6342.81	9769.60	6873.83	19898.29						
Rb/Sr	23.74	9.08	8.06	7.78	3.87						

注：括弧内为样品数，元素符号前++为强烈富集；+为富集；--为强烈亏损；-为亏损。

2 样品的采集及分析

河台金矿床目前已开采到 0 m 中段以下，对进行矿床深部研究提供了良好的空间，因此对河台金矿床近地表 280 m 中段、160 m 中段、80 m 中段、0 m 中段含金糜棱岩矿体及 80 m 中段的含金石英脉矿体分别进行了取样。由于 280 m 中段靠近地表，所采样品为弱风化含金糜棱岩，其它样品均为新鲜样品。样品碎至－200 目后由中国科学院广州地球化学研究所进行 ICP-MS 分析（分析质量及精度见刘颖等，1996），Au、Ag、As、Se、Sb、Zn 元素用原子吸收光谱法测定。

3　矿床深部微量元素地球化学特征

河台金矿床 280 m 中段、160 m 中段、80 m 中段及 0 m 中段微量元素及稀土元素含量如表 1，表 2。

表 2　不同中段含金糜棱岩型矿石稀土元素含量及富集系数

	含金糜棱岩型矿石				含金石英脉	富集系数					克拉克值
	280 中段 (3)	160 中段 (3)	80 中段 (3)	0 中段 (3)	(2)	280 中段	160 中段	80 中段	0 中段	含金石英脉	(泰勒)
La	9.64	24.02	28.94	15.50	13.41	0.32	0.80	0.96	0.52	0.45	30.00
Ce	21.10	51.17	59.14	33.81	28.18	0.35	0.85	0.99	0.56	0.47	60.00
Pr	2.81	6.30	7.52	4.07	2.76	0.34	0.77	0.92	0.50	0.34	8.20
Nd	10.13	22.17	25.33	14.36	10.37	0.36	0.79	0.90	0.51	0.37	28.00
Sm	2.21	4.36	4.77	3.03	1.98	0.37	0.73	0.80	0.50	0.33	6.00
Eu	0.44	0.87	0.78	0.62	0.30	0.37	0.72	0.65	0.51	0.25	1.20
Gd	2.11	4.00	4.21	3.33	1.35	0.39	0.74	0.78	0.62	0.25	5.40
Tb	0.39	0.64	0.57	0.64	0.17	0.43	0.71	0.63	0.71	0.19	0.90
Dy	2.24	3.33	2.53	3.97	0.87	0.75	1.11	0.84	1.32	0.29	3.00
Ho	0.46	0.69	0.48	0.84	0.15	0.38	0.57	0.40	0.70	0.12	1.20
Er	1.38	2.05	1.50	2.41	0.36	0.49	0.73	0.54	0.86	0.13	2.80
Tm	0.19	0.29	0.20	0.35	0.05	0.40	0.61	0.42	0.72	0.11	0.48
Yb	1.21	1.82	1.29	2.15	0.37	4.02	6.06	4.31	7.16	1.24	0.30
Lu	0.18	0.28	0.19	0.31	0.05	0.35	0.55	0.37	0.62	0.09	0.50
∑REE	54.49	121.99	137.45	85.39	60.37						
∑LREE	46.33	108.89	126.48	71.39	57						
∑HREE	8.16	13.1	10.97	14	3.37						
δEu	0.66	0.63	0.52	0.59	0.53						
∑LREE/ ∑HREE	5.68	8.31	11.53	5.10	16.91						

总体上来说从 280 m 中段到 0 m 中段其微量元素组合及含量变化不明显。这与国外此类型矿床垂向延深大(大于 2 km)，但垂向分带不明显（Groves，1993，1998）的特征一致，但在其元素组合及富集特征方面也有其独特的地方。

首先矿床以富集 Au、Ag、Se、S、As、Bi、Cu、Sb 为特征，在含金糜棱岩型矿石中 Au、As、Se，S、Bi、Cu 有向深部富集的趋势，而 Ag 的含量有向深部降低的趋势，如表 1，由 280 m 中段→160 m 中段→80 m 中段→0 m 中段：

Au 的富集系数由 334.17→523.83→350.00→705.01；　As 的富集系数由 4.02→14.50→41.59→19.89；

Se 的富集系数由 22.6→26.13→23.47→60.93；　S 的富集系数由 5.26→34.36→45.77→145.26；

Bi 的富集系数由 9.33→16.69→14.73→111.57；　Cu 的富集系数由 1.17→67.13→22.12→31.67；

Ag 的富集系数由 195.19→335.14→47.29→48.62。

含金石英脉型矿石也以富集这些元素为特征。Au/Ag 比值为 0.43~4.767，因本项目研究所采样品量有限，分析所得的 Au 含量不一定有代表性，根据广东地矿局 719 队对矿体刻槽采样化学分析结果，河台金矿床 Au/Ag 比值多在 2~10 之间（凌井生，1986）。S/Se 比值为 1212.45~9769.6，也有向部增大的趋势。从以上这些元素的含量变化趋势结合国外同类型金矿床向深部延伸大的特点，推测河台金矿床向深部延伸仍有很好的工业前景。

另外 W、Sn、U、Pb 也有一定程度的富集，其富集系数分别为 3.97～9.33，2.79～4.74，1.42～4.38，2.23～2.5，这些元素在含金石英脉型矿石中也有相同的富集特征，且 Sn、Pb、Zn 含量有向深部富集的趋势。

亲铁性较强的元素 Sc、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni 均出现强烈亏损，其富集系数在 0.04～0.61 之间，但 Co、Ni、Mn 的含量有向深部增加的趋势。

大离子亲石元素在含金糜棱岩型矿石中 Rb、Cs 发生富集，其富集系数分别为 1.34～1.70 和 1.84～3.04，在含金石英脉型矿石中出现亏损。而常以正二价形式出现的大离子亲石元素 Sr、Ba 以及其它亲石元素 Y、Zr、Nb、Ta、Hf 等均出现亏损，其中 Sr 亏损最严重，其富集系数为 0.002～0.008。并不像太古宙此类金矿床出现所有大离子亲石元素的富集（Cameron，1988；Groves，1998）。Rb、Cs 发生富集可能与韧性剪切带以富 K、Na 蚀变有关（Groves，1998；胡受奚，1998），因为 Rb，Cs 常呈正一价形式易与 K、Na 发生类质同像替换，而大离子亲石元素 Sr、Ba 及 Y 等常呈正二价或正三价形式出现，在剪切变质作用过程中常迁出。Sr 含量向深部逐渐增加，Rb/Sr 比值向深部呈降低的趋势，由 280 m 中段到 0 m 中段，其比值由 23.74→9.08→8.06→7.78。

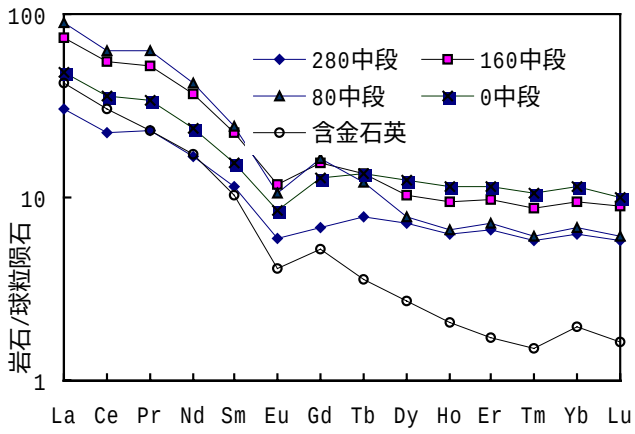


图 1 不同中段含金糜棱岩型矿石稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

稀土元素总体上也以亏损为特征，在含金糜棱岩型矿石中除 Yb 之外其它稀土元素的富集系数为 0.32~0.99 之间，重稀土元素 Yb 发生富集，其富集系数为 4.02~7.16。ΣREE 在 54.49×10^{-6}~137.45×10^{-6} 之间，以轻稀土富集为特征，ΣLREE/ΣHREE 为 5.1~11.53，δ Eu 在 0.52~0.66 之间，出现明显的 Eu 亏损，如表 2，图 1。重稀土元素有向深部富集的趋势。含金石英脉型矿石与糜棱岩型矿石具相似的稀土元素地球化学特征，但稀土元素的分异更明显，以轻稀土强烈富集为特征，ΣLREE/ΣHREE=16.91。

4 结 论

（1）河台金矿床以富集 Au、Ag、Se、S、As、Bi、Cu、Sb 的元素组合为特征，Au/Ag 比值在 2~10 之间，同时 W、Sn、U、Pb 也有一定程度的富集。

（2）亲铁性元素 Sc、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni 出现亏损，富集系数小于 1。

（3）大离子亲石元素 Rb，Cs 发生富集，而 Y、Sr、Ba 等却出现亏损。同时 REE 元素也出现亏损，但以轻稀土富集为特征，ΣREE 在 54.49×10^{-6}~137.45×10^{-6} 之间，ΣLREE/ΣHREE 为 5.1~11.53，δEu 在 0.52~0.66 之间，出现明显的 Eu 亏损，重稀土元素有向深部富集的趋势。

（4）根据 Au、Ag、Se、S、As、Bi、Cu、Sb 等特征元素组合及元素含量向深部的变化趋势推断河台金矿床向深部的延伸仍具有很好的工业前景。

致谢：在野外工作中得到广东高要河台金矿刘振升高级工程师及地测科王斯亮等地质技术人员的大力支持与帮助，在此特表致谢。文中错误在所难免，望读者批评指正。

参 考 文 献

陈础廷，季明钧，胡谢天. 1988. 广东河台金矿成矿条件的初步分析[J]. 广东地质，3(1): 1～16.

符力奋. 1988. “ 断裂变质作用 ”与金的成矿作用初探[J]. 广东地质，3(1) 31～44.

胡受奚，赵懿英，叶瑛,等. 1998. 花岗岩、绿岩、煌斑岩、韧性剪切带和钾交代在金成矿上的贡献及关系[J]. 矿床地质，17(增刊):153～158.

黄灵辉. 1986. 河台金矿区花岗质岩石的特征和成因[J]. 广东地质，1(1): 45～54.

李兆麟，翟伟，黄栋林,等. 2001b. 新疆乔尕山和粤西河台韧性剪切带金矿床中熔融包裹体的发现及矿床成因[J]. 矿床地质，20 (3): 208～215.

李兆麟. 2001a. 关于变质深熔作用与成岩成矿关系的思考[J]. 地学前缘，8(3): 29～38.

凌井生，陈础廷，季明钧. 1992. 河台韧性剪切带蚀变岩型金矿的地质特征、矿床成因与成矿模式[J]. 广东地质， 7(3): 51～56.

凌井生. 1986. 广东河台金矿床地质特征[J]. 广东地质，1(1): 65～68.

刘颖，刘海臣，李献华. 1996. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学，25(6) 552～558

王鹤年，张守韵，俞受鋆,等. 1992. 华夏地块韧性剪切带型金矿地质[M]. 北京:科学出版社.

王鹤年张景荣，戴爱华.1989. 广东河台糜棱岩带蚀变岩型金矿床的地球化学研究[J]. 矿床地质，8(3):61～71.

Cameron, E. M.,.1988. Archean gold: Relation to granulite formation and redox zoning in the crust[J]. Geology, 16,:109～112.

Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M., et al. 1998。Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 13,:7～27.

Groves D. I.. 1993.The crustal continuum model for late-Archean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia[J].Mineral. Deposit, 28: 366～374.