

贵州天柱地区金矿地球化学特征及成矿作用探讨

李纪 何兴华

(贵州大学, 贵州贵阳 550025)

【摘要】:应用四级杆型电感耦合等离子体质谱(Q-ICP-MS)对黔东南天柱地区各典型金矿床(点)含金石英脉及近矿围岩的微量、稀土元素进行系统的测定,结果表明:其微量、稀土分布曲线与区域变质岩基本一致,表明金主要来源于区域地层。部分石英脉样品的稀土配分模式为“平坦型”,轻重稀土分馏不明显,更接近上地幔或下地壳的稀土组成特征。同时,W、Mo等高温成矿元素的相对富集,暗示可能有深部岩浆活动影响了成矿。Y/Ho、Th/U的研究结果显示:成矿流体主要为变质水,部分矿床可能有大气降水的混入。综合分析认为:该区金矿床的成矿流体与成矿物质具多来源特征。

【关键词】:黔东南, 金矿, 微量及稀土元素, 成矿作用

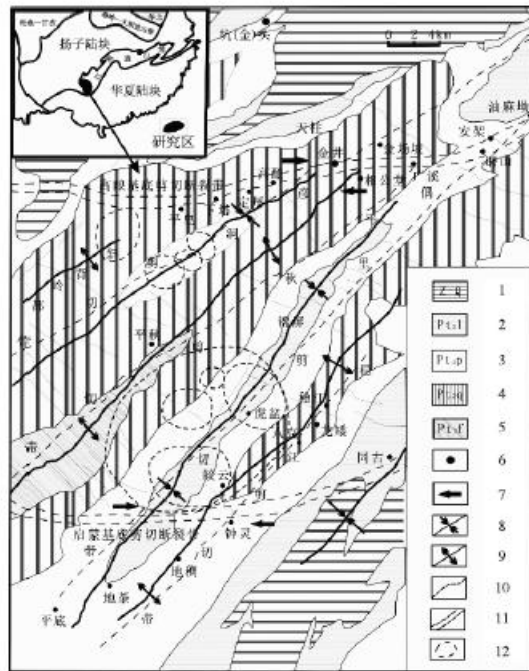
【中图分类号】:P618.51 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1003-6563(2017)02-0036-08

0 引言

黔东南地区是贵州省两大重要的黄金产地之一。20世纪90年代以来,随着民营金矿的大力发展,使得黔东南地区一些金矿的年产量有所增加,但该区已发现的金矿规模普遍较小,仍为一些小型金矿床或金矿化点。而与其共属于同一成矿区并具有相似的成矿地质背景的湘西地区却已发现了大型的金矿床,说明黔东南地区具备形成大型金矿的潜力及良好的找矿前景。这也吸引了大量的学者对本区金矿的矿床成因及成矿作用^[1-5]等方面开展了大量的研究,但金矿的成矿流体与成矿物质来源问题一直存在较多的争议,并未得到圆满的解决。本文在充分认识研究区矿床地质特征的前提下,通过对赋矿地层的微量、稀土元素分析研究,力图对成矿流体及成矿物质来源作出较为全面的解释,为该区进一步找矿、开发,提供资料和依据。

1 区域地质背景

黔东南天柱地区在大地构造位置上位于扬子准地台东南缘与华夏陆块的过渡结合部位,常被称为江南造山带^[6],是地史上经历过多次剧烈构造活动的地带,不同时期的构造型迹叠加改造形成了多层基底的复杂构造特征,整体构造格局呈北东向、北北东向。研究区金矿床(点)的分布主要受控于东西向基底剪切断裂、北东向的背斜构造及发育其上的扭-压性断裂破碎带所形成的“三位一体”的成矿构造模式^[7],例如:高酿—金井—相公堂—油麻坳一带,部分学者将这种构造骨架俗称为“背斜加一刀”^[8]。区内未见岩浆岩出露,但根据朱笑青等^[9]、卢焕章等^[3]的卫星解译结果及王亮等^[10]的物探资料显示,本区存在较多的环形构造(图1)。多样化的构造类型为成矿物质及流体的富集与运移提供了良好的容矿空间及运移通道。



1-震旦系及以上地层;2-下江群隆里组;3-下江群平略组;4-下江群清水江组;5-下江群番召组;6-金矿点;7-剪切带方向;8-向斜轴;9-背斜轴;10-剪切带;11-基底剪切断裂带;12 环形构造

图 1 江南造山带大地构造位置简图及

黔东南锦屏—天柱地区地质简图^[3-4]

Fig. 1 Tectonic location of the Jiangnan orogenic belt and geological sketch of Tianzhu - Jinping area in Southeast Guizhou^[3-4]

本区金矿床主要产于下江群浅变质岩系的清水江组、平略组、隆里组,岩性主要由变余沉凝灰岩、凝灰质板岩、变余砂岩、砂质板岩、绢云母板岩及千枚岩等组成的浅变质低绿片岩相复理石建造;矿石矿物为黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿,少量黄铜矿、赤铁矿等。脉石矿物以石英为主,其次是方解石、白云石、绿泥石及绢云母等^[11];常见的矿物组合有石英—黄铁矿、毒砂(或多金属硫化物)—自然金组合;常见的围岩蚀变作用有硅化、毒砂化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化及碳酸盐化等,其中前四种蚀变与金矿化的关系较为密切,一般来说,单一蚀变类型不利于金的成矿作用,多种蚀变共同作用的复合类型有利于金成矿^[12-13]。

2 样品采集及测试方法

在搜集分析前人研究资料和野外调研的基础上,对黔东南天柱地区的油麻坳金矿、金井金矿、坑头金矿进行了系统的采样工作,共采集样品 41 件,其中包括石英脉、近矿围岩、硫化物集合体、剪切破碎带等代表性样品。于室内碎样至 200 目,送至中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室进行了微量、稀土元素的测试分析研究,所用仪器为四级杆型电感耦合等离子体质谱仪(Q-ICP-MS)。

3 微量、稀土元素地球化学特征

3.1 微量元素分布特征

据所测微量元素数据(表 1)对上地壳元素丰度(Rudnick and Gao et al. 2003)作微量元素标准化图(图 2), 所得图解元素富集趋势与陶平^[5]、刘坤^[14]等相类似, 说明本次测试分析资料具有一定的可信度, 其中由石英脉、近矿围岩及硫化物等组成的成矿体系与下江群区域变质岩系的元素变化趋势大体一致^[4, 15], 表明两者在成因上存在一定的关联性与继承性。

表 1 坑头、金井、油麻坳金矿微量元素含量及特征表($\times 10^{-6}$)

Tab. 1 Contents and characteristics of trace elements in Kengtou, Jinjing and Youmaao gold deposit

元素	条带状凝灰质板岩	石英脉	石英脉	含围岩石英脉	石英脉	变余沉凝灰岩	黄铁矿化石英脉	含石英团块变余凝灰岩	含围岩石英脉
	kT-1	kT-5	kT-9	JJ-4	JJ-9	JJ-20	YM-4	YM-6	YM-7
Cu	70.00	7.91	16.40	11.90	2.86	15.70	145 000.00	39.40	931.00
Pb	113.00	19.80	8.54	45.50	71.50	151.00	221.00	43.30	21 700.00
Zn	84.40	20.80	21.50	154.00	441.00	309.00	34.50	91.50	126.00
As	92.90	4 580.00	19.80	359.00	758.00	1 210.00	15.10	102.00	55.20
Sb	29.40	29.90	5.51	28.70	13.70	8.74	23.10	14.80	7.11
Ag	0.61	0.27	0.27	0.57	0.07	0.63	17.20	0.85	9.56
Cr	54.00	1.30	5.40	8.05	0.34	39.78	11.67	28.89	142.24
Co	9.47	1.60	1.95	2.10	0.68	4.84	1.59	10.20	29.40
Ni	12.50	6.72	7.22	4.29	1.35	10.90	7.29	16.60	98.70
Rb	104.00	23.40	43.20	20.70	4.24	193.00	0.62	110.00	2.58
Sr	140.00	68.10	165.00	41.70	11.30	81.20	1.65	145.00	23.20
Ba	997.00	196.00	347.00	146.00	30.10	1 740.00	7.63	893.00	17.80
W	8.45	2.57	15.00	11.70	2.50	15.10	0.41	126.00	13.10
Zr	304.00	44.40	86.00	62.00	22.30	328.00	2.70	329.00	32.40
Mo	1.11	0.64	0.81	0.85	0.88	0.84	0.45	8.85	0.61
Ta	1.06	0.22	0.74	0.24	0.12	1.72	0.02	0.96	0.22
V	60.60	6.45	14.00	12.80	3.51	70.60	3.47	83.30	42.40
Nb	15.90	2.04	11.53	3.95	1.74	20.79	0.31	14.96	3.49
Hf	7.99	1.39	3.04	1.66	0.52	10.20	0.07	8.25	0.67
Ho	1.48	0.41	1.03	0.25	0.20	2.50	0.81	1.78	0.32
La	48.90	8.68	13.50	20.10	3.05	49.30	0.57	44.70	2.42
Sm	8.00	1.62	3.24	1.62	0.49	11.00	0.84	8.76	1.26
Th	9.65	2.14	4.27	2.60	0.85	17.90	0.15	11.80	0.59
U	1.65	0.52	1.07	0.53	0.29	4.33	0.20	2.60	0.42
Y	38.20	12.40	29.50	7.44	5.75	61.20	26.10	49.00	13.20
Co/Ni	0.76	0.24	0.27	0.49	0.50	0.44	0.22	0.61	0.30
Hf/Sm	1.00	0.86	0.94	1.02	1.08	0.93	0.08	0.94	0.53
Nb/La	0.33	0.24	0.85	0.20	0.57	0.42	0.55	0.33	1.44
Th/La	0.20	0.25	0.32	0.13	0.28	0.36	0.26	0.26	0.24
Y/Ho	25.81	29.95	28.64	29.52	29.04	24.48	32.10	27.53	41.90
Th/U	5.85	4.09	3.99	4.94	2.88	4.13	0.72	4.54	1.40

注:坑头金矿(KT),油麻坳金矿(YM),金井金矿(JJ)

测试单位:中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室

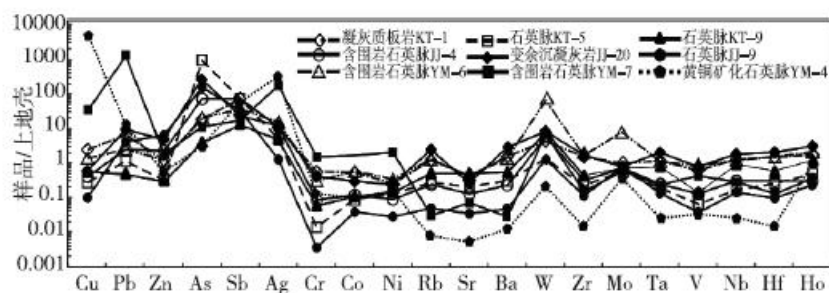


图2 坑头、金井、油麻坳金矿各组岩石、
矿石微量元素比值蜘蛛网图

Fig. 2 Spider diagram of trace elements in rocks and
minerals in Kengtou, Jinjing and Youmaao gold deposit

在标准化图解上, W 元素往往呈现较明显的峰值。一般来说, W 通常是岩浆活动的产物^[4], 反映本区的金成矿作用可能受到深部岩浆热液活动的参与或影响。同时少数金矿床(点)中的测试结果显示, Mo 元素在石英脉中相对富集, 而 Mo 一般在热液作用中富集, 同时作为高温元素, Mo 在成因上与岩浆热液活动有一定的联系。在从江地区加里东期摩天岭花岗岩微量元素的研究中, Pb、As、Sb、Au、Ag、Mo 等元素明显富集^[16]。而卢焕章等^[3]的研究成果表明, 本区存在较多与内生金属矿产有所联系的环形构造, 解译结果显示, 在天柱地区存在一个较大的由隐伏岩体引起的环形构造^[10]。由此推测深部的隐伏岩体可能为本区的金成矿作用提供了部分成矿物质。

国内外诸多学者对成矿流体和现代海底热液的 Ho 和 Y 展开了较多的研究^[17-21], 由于 Y 与 Ho 具有相近的离子半径及相等的电子价态。因此, 二者具有相似的地球化学行为, 该元素对在同一热液体系中的比例关系保持相对的稳定。一般认为, 原始球粒陨石中 Y/Ho 值为 28。在黔东南天柱地区石英脉型金矿床(点)中的石英脉、围岩及硫化物 Y/Ho 值相对集中, 多介于 24-29 之间(表 1), 与本区下江群区域变质岩系^[4, 15]相似(图 3), 暗示成矿流体可能为变质水, 但部分金矿床(点)样品的 Y/Ho 值明显偏离了区域变质岩, 反映可能在成矿过程中有外来热液的加入, 打破了原始热液体系的平衡, 破坏了该元素对的相对稳定比例关系, 表明成矿流体具有多来源特征。

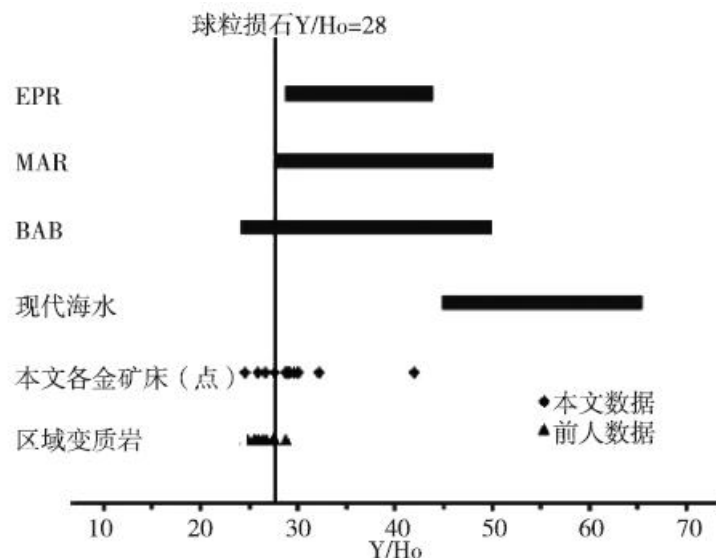


图3 黔东南金矿床、区域变质岩、现代海底热液和海水的 Y/Ho 值比较图

Fig. 3 Y/Ho values of gold deposits in Southeast Guizhou, of regional metamorphic rock, of submarine hydrothermal solution, and of seawater

Jones 等^[22]的研究成果显示, Th/U 值可以反映成矿时的氧化还原特征, 当 Th/U > 1.25 时为还原环境; Th/U = 0.75 ~ 1.25 为氧化还原过渡环境; Th/U < 0.75 时为氧化环境。黔东南天柱地区各金矿床(点)样品的 Th/U 值主要介于 4.1 ~ 5.8 之间, 显示成矿条件为强烈的还原环境, 与各金矿床(点)的矿物组合中广泛出现大量的硫化物特征相一致。仅油麻坳金矿点个别样品 Th/U 值 < 1 (表 1), 结合本区区域地质背景, 此金矿点位于基底剪切带与区域大断裂的交汇部位, 可能矿体与地面沟通条件较好, 推测此结果为大气降水渗透进入成矿流体所致, 从而显示了明显的氧化特征。

3.2 稀土元素分布特征

由表 2 稀土元素测试数据对球粒陨石标准化作稀土元素分布模式图(图 4(a)、(b)), 可以看出天柱地区金矿床(点)的含金石英脉与近矿围岩表现为轻稀土元素富集, 而重稀土元素亏损 ($\sum \text{LREE} / \sum \text{HREE} = 5.97 \sim 15.16$, $\text{La}_N / \text{Yb}_N = 4 \sim 14$)。Ce 整体上呈现无异常或弱负异常, Eu 为明显中等负异常 ($\delta \text{Eu} = 0.46 \sim 0.88$), 反映成矿环境为较强的还原环境。稀土配分模式为右倾型, 与陶平等^[5]、刘坤等^[14]所进行的本区石英脉成矿体系的稀土元素研究结论相似, 证明本次测试结果的正确性。虽然石英脉中稀土含量较围岩低, 但二者稀土配分曲线近乎平行, 反映来源于同一源区, 且与下江群区域变质岩稀土配分模式相近^[4, 15], 表明本区石英脉成矿体系与区域地层之间有一定的继承关系。

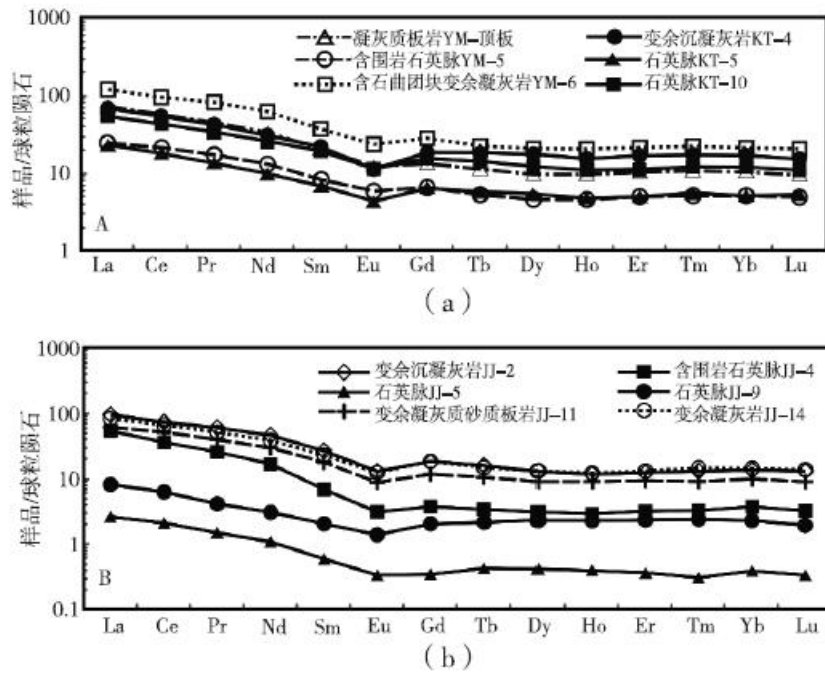


图4 黔东南天柱地区各金矿床(点)的矿石样品
稀土元素配分曲线(球粒标准化)

Fig. 4 Distribution of rare earth elements in gold
deposits in Tianzhu, Southeast Guizhou

表2 坑头、油麻坳、金井金矿稀土元素含量及特征表($\times 10^{-6}$)

Tab. 2 Contents and characteristics of rare earth elements in Kengtou, Jinjing and Youmaao gold deposit

样品编号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	Σ LREE/ Σ HREE	(La/Yb)N	δ Eu	δ Ce
KT-2	石英脉	2.97	7.39	0.81	3.22	0.91	0.21	1.22	0.24	1.22	0.26	0.69	0.11	0.72	0.10	20.07	3.40	2.78	0.61	1.10
KT-4	变余沉凝灰岩	26.30	52.90	5.83	22.20	5.19	1.00	5.77	1.09	6.85	1.34	4.27	0.63	4.29	0.59	138.25	4.57	4.14	0.56	0.97
KT-5	石英脉	8.68	17.60	1.88	7.14	1.62	0.38	1.99	0.34	2.11	0.41	1.27	0.20	1.30	0.21	45.15	4.76	4.51	0.65	0.98
KT-9	石英脉	13.50	28.10	2.93	12.30	3.24	0.79	4.25	0.80	5.24	1.03	3.17	0.44	3.26	0.42	79.46	3.27	2.80	0.65	1.01
KT-10	石英脉	20.20	42.10	4.73	18.80	4.55	1.01	4.86	0.84	4.77	0.95	2.86	0.44	3.05	0.43	109.60	5.02	4.48	0.66	0.98
YM-顶板	凝灰质板岩	27.00	55.40	6.24	24.20	4.86	1.09	4.15	0.67	3.76	0.84	2.63	0.39	2.63	0.37	134.22	7.70	6.94	0.73	0.97
YM-1	石英脉	6.99	18.60	2.44	11.30	4.04	1.19	4.76	0.66	2.97	0.57	1.38	0.17	1.02	0.12	56.20	3.83	4.63	0.83	1.05
YM-3	含围岩石英脉	9.53	20.70	2.42	9.54	1.95	0.52	2.06	0.31	1.79	0.40	1.26	0.19	1.29	0.19	52.15	5.97	4.99	0.79	0.99
YM-5	含围岩石英脉	1.29	2.67	0.32	1.43	0.47	0.16	0.67	0.11	0.55	0.11	0.27	0.04	0.22	0.03	8.34	3.17	4.00	0.88	0.95
YM-6	含石英团块变余凝灰岩	44.70	92.80	11.40	45.10	8.76	2.10	8.81	1.33	8.07	1.78	5.43	0.81	5.36	0.80	237.25	6.32	5.64	0.72	0.95
YM-7	含围岩石英脉	2.42	6.23	0.75	3.53	1.26	0.44	1.87	0.29	1.52	0.32	0.90	0.13	0.82	0.11	20.57	2.46	2.00	0.87	1.08

样品编号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE/ΣHREE	(La/Yb) _N	δEu	δCe
JJ-2	变余沉凝灰岩	35.70	71.60	8.42	33.50	6.30	1.15	5.58	0.95	5.12	1.02	3.16	0.48	3.43	0.51	176.91	7.74	7.03	0.58	0.94
JJ-4	含围岩石英脉	20.10	35.30	3.59	12.20	1.62	0.28	1.17	0.20	1.20	0.25	0.81	0.12	0.94	0.13	77.91	15.16	14.40	0.58	0.91
JJ-5	石英脉	0.98	2.06	0.21	0.79	0.14	0.03	0.11	0.03	0.16	0.03	0.09	0.01	0.10	0.01	4.76	7.72	6.72	0.72	1.02
JJ-9	石英脉	3.05	6.15	0.58	2.23	0.49	0.12	0.64	0.13	0.91	0.20	0.60	0.09	0.58	0.08	15.83	3.92	3.54	0.68	1.03
JJ-11	变余凝灰质砂质板岩	31.70	64.50	7.40	28.70	5.39	1.02	4.96	0.84	5.02	1.07	3.28	0.50	3.47	0.51	158.35	7.06	6.17	0.59	0.96
JJ-14	变余凝灰岩	31.00	64.20	7.19	28.10	5.43	1.11	5.77	0.88	5.12	1.06	3.34	0.53	3.67	0.54	157.94	6.55	5.71	0.60	0.98
JJ-21	石英脉	1.25	2.95	0.36	1.70	0.60	0.12	0.74	0.12	0.68	0.12	0.34	0.05	0.30	0.04	9.37	2.92	2.84	0.54	1.02

注:坑头金矿(KT),平秋金矿(PQ),金井金矿(JJ)

测试单位:中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室

例外的是,黔东南天柱地区石英脉型金矿床(点)中少数的石英脉样品的稀土配分模式图并未呈现出常规的轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型,而是表现为一条近水平的曲线(如YM-1、YM-5、JJ-21)(图5),与唐文春等^[23]对上地幔($\Sigma\text{HREE}/\Sigma\text{REE}=0.2528$, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}=2.8$)及下地壳($\Sigma\text{HREE}/\Sigma\text{REE}=0.2335$, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}=3.28$)的研究资料接近。同时,代传固等^[16]对从江地区摩天岭花岗岩的稀土元素研究亦表现为近水平的“平坦型”曲线,表明深部的岩浆活动可能为成矿作用提供了成矿流体或成矿物质。

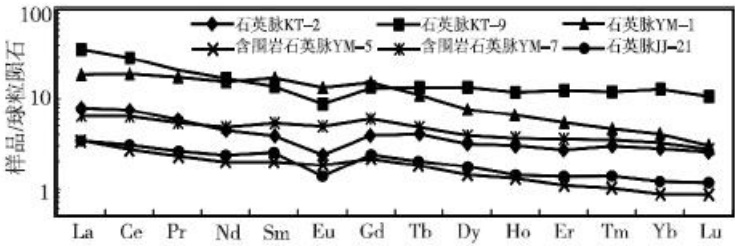


图5 黔东南各金矿床(点)的矿石样品
“平坦型”稀土元素配分曲线(球粒标准化)

Fig.5 Distribution of rare earth elements (horizontal pattern) in gold deposits in Tianzhu, Southwest Guizhou

4 成矿作用探讨

黔东南石英脉型金矿由于矿体形态复杂,品味变化较大,其成矿流体与成矿物质来源问题一直存在着争议。赵振华^[24]认为轻微的成岩作用及变质作用对原岩部分微量元素及稀土元素的迁移改造作用影响不大。因此,可以通过分析黔东南石英脉型金矿脉及其围岩的微量、稀土组成来判断成矿流体与成矿物质的来源。

前人对成矿流体的来源研究主要存在以下几种观点:余大龙^[25]通过对八克金矿的稳定同位素分析,其 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解投点落于变质水区域且靠近原生岩浆水边缘。张杰等^[1]研究认为成矿流体是由变质水和大气降水不均与混合而成。而吴攀^[26]的研究认为成矿流体是以大气降水为主,且含有岩浆水和变质水的多成因混合流体。本文通过对黔东南石英脉型金矿的矿体及近矿围岩微量、稀土特征分析,W、Mo等高温成矿元素均呈现不同程度的富集,部分金矿床(点)W的富集程度可达66倍之上,暗示深部的岩浆活动可能提供了部分的成矿流体。Y/Ho比值与区域变质岩相近,仅少量样品与区域变质岩有所偏离。反映成矿流体以变质水为主,但有其他外来热液的混入。Th/U值整体反映成矿条件为还原环境,但少量样品Th/U值 <1 ,呈现出明显的氧化环境,结合区域地质构造可知,本区断裂发育,与地面沟通良好,氧含量较高的大气降水可能也混入到成矿流体中,致使成矿流体具

有多来源的特征。

前人对本区成矿物质来源的研究主要有两种观点:余大龙等^[2]研究发现湘黔地区地层金背景值较低,认为成矿物质与赋矿围岩关系不大,而黎应书等^[13]通过对金矿床(点)赋矿围岩的金含量测试研究认为赋矿地层为主要的成矿物质提供者。本文的微量、稀土分布模式与下江群区域变质岩相近,且近矿围岩与石英脉的稀土配分模式一致,说明二者来源于同一源区,继承了原始沉积岩的特征。由此判断,本区金矿床(点)主要成矿物质来源于区域地层中,但少量“平坦型”稀土分布模式与上地幔或下地壳相似。结合本区的深大断裂与环形构造特征,虽不能证明深部岩浆直接为成矿作用提供了热源,亦不能排除岩浆热液活动影响或参与了成矿作用并提供了部分成矿物质的可能性。

对本区成矿流体与成矿物质的来源问题的讨论,笔者认为两者都应该具备多来源的特征,成矿流体为变质水与岩浆水的混合流体,同时部分与地面具备较好的连通性的矿体,成矿流体中应有大气降水的参与。成矿物质既来源于围岩地层中,又由深部隐伏岩体提供。由于研究者的采样方法、研究手段及测试方式等因素的差异,才产生了不同的结论与认识。

5 结论

通过对黔东南天柱地区的各典型金矿的矿床地质特征的认识、地球化学特征的分析,得出以下几点结论:

1) 研究区石英脉及近矿围岩的微量、稀土配分模式基本一致,显示了两者之间的成因联系,且与下江群区域变质岩相近,表明本区成矿物质来源于区域地层;

2) W、Mo 等高温成矿元素在部分金矿床(点)中出现富集。加之,部分金矿床(点)呈现的“平坦型”稀土配分模式,表明深部岩浆热液活动可能影响或参与了成矿过程并为其提供了部分成矿流体与成矿物质;

3) 通过 Th/U、Y/Ho 等元素对及 δEu 的研究,结合矿物组合特征,反映成矿流体主要来源为还原环境中的变质水,但部分样品的 Th/U 及 Y/Ho 异常行为显示明显的氧化特征,可能有大气降水参与成矿。

参考文献【REFERENCES】

[1] 张杰,余大龙,张先煜,等. 贵州天柱磨山—油麻坳金矿化带岩石矿物地球化学研究[J]. 地质与勘探, 1998, 34(2): 30-36.

ZHANG J, YU D L, ZHANG X Y, et al. Petrological, mineralogical and geochemical study of the Moshan-Youmaao gold mineralized zone in Guizhou Province [J]. Geology and Prospecting, 1998, 34(2): 30-36.

[2] 余大龙,周德忠,张瑞蓉,等. 湘黔地区地层含金性研究[J]. 矿物学报, 1999, 19(3): 362-369.

YU D L, ZHOU D Z, ZHANG R R, et al. A study of the goldbearing potential of the strata in Hunan and East Guizhou [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1999, 19(3): 362-369.

[3] 卢焕章,王中刚,吴学益,等. 贵州东南部的地质构造与金矿床的关系[J]. 地质学报, 2005, 79(1): 98-105.

LU H Z, WANG Z G, WU X Y, et al. Turbidite-hosted gold deposits in SE Guizhou Province, China, their regional setting, structural control and gold mineralization [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(1): 98-105.

[4] 杨瑞东, 张晓东, 刘玲, 等. 贵州锦屏新元古界青白口系下江群稀土、微量元素分布特征 [J]. 地质学报, 2009, 83(4) : 505-514.

YANG R D, ZHANG X D, LIU L, et al. Geochemical characteristics of REE and trace element: implication for gold source in the Xiajiang Group of Neoproterozoic Qingbaikouan System, Jinping county, Guizhou Province, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(4) : 505-514.

[5] 陶平, 姚书振, 许启松. 黔东南天柱-锦屏地区金矿床地球化学特征及成矿作用探讨 [J]. 贵州地质, 2013, 30 (3) :161-169.

TAO P, YAO S Z, XU Q S. Discussion of geoschemical characters and metallogenesis of gold deposit in Tianzhu-Jinping area of Southeast Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2013, 30 (3) :161-169.

[6] 顾雪祥, 刘建明, Schulz Oskar, 等. 江南造山带雪峰隆起区元古宙浊流沉积构造背景的地球化学制约 [J]. 地球化学, 2003, 32(5) : 406-426.

GU X X, LIU J M, SCHULZ OSKAR, et al. Geochemical constraints on the tectonic setting of the Proterozoic turbidites in the Xuefeng Uplift region of the Jiangnan orogenic belt [J]. Geochimica, 2003, 32(5) : 406-426.

[7] 毛景文, 李红艳. 江南古陆某些金矿床成因讨论 [J]. 地球化学, 1997, 26(5) : 71-81.

MAO J W, LI H Y. Research on genesis of the gold deposits in the Jiangnan Terrain [J]. Geochimica, 1997, 26(5) : 71-81.

[8] 余大龙. 黔东南脉型金矿构造控矿规律研究-兼论黔东南寻找大型金矿的方向 [J]. 贵州地质, 1993, 10(4) : 308-313.

YU D L. A study on regularity of structure control of quartz vein type gold deposits in Eastern Guizhou and discussion on the prospecting target for large deposits in this area [J]. Geology of Guizhou, 1993, 10(4) : 308-313.

[9] 朱笑青, 王甘露, 卢焕章. 黔东南金矿形成时代的确定兼论湘黔加里东金矿带 [J]. 中国地质, 2006, 33 (5) :1092-1099.

ZHU X Q, WANG G L, LU H Z, et al. Determination of the age of gold deposits in Southeastern Guizhou: with a discussion of the Caledonian Hunan-Guizhou gold ore belt [J]. Geology in China, 2006, 33(5) : 1092-1099.

[10] 王亮, 陶平. 应用 1 : 200 000 区域重磁资料推断贵州东部地区隐伏岩体 [J]. 物探化探计算技术, 2012, 34 (4) :449-455.

WANG L, TAO P. Application of 1 : 200 000 regional gravity and magnetic data to infer concealed rock mass in East of Guizhou [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 34(4) : 449-455.

[11] 王尚彦, 张立新, 陶平, 等. 贵州东部石英脉型金矿地质特征和成矿作用 [J]. 贵州地质, 2006, 23(1) : 36-43.

WANG S Y, ZHANG L X, TAO P, et al. Geological characteristics and mineralization of quartz vein type gold deposits in East of Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2006, 23(1) : 36-43.

[12] 叶大元, 张瑞蓉. 湘黔地区内生金矿分布规律的探讨 [J]. 贵州工学院学报, 1991, 20(3) : 10-16.

YE D Y, ZHANG R R. A study on the distribution law of gold deposit in Hunan and Guizhou [J]. Journal of Guizhou Institute of Technology, 1991, 20(3) : 10-16.

[13] 黎应书, 秦德先, 普传杰, 等. 黔东南地区金矿地质和地球化学特征 [J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2004, 29(3) : 5-8.

LI Y S, QIN D X, PU C J, et al. Geological features of Au ore deposit in Southeastern Guizhou [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology(Science and Technology), 2004, 29(3) : 5-8.

[14] 刘坤, 杨瑞东, 陶平. 黔东南石英脉型金矿床地球化学及成矿作用研究 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2014:1-172.

LIU K, YANG R D, TAO P. The study on geochemical characteristics and metallogenesis of quartz vein-type gold deposit from the southeastern Guizhou Province [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House, 2014: 1-172.

[15] 张晓东, 杨瑞东, 刘玲, 等. 贵州锦屏新元古界下江群元素地球化学特征及其与金矿的关系 [J]. 地质学报, 2012, 86(2) : 258-268.

ZHANG X D, YANG R D, LIU L, et al. Elements geochemistry of the Neoproterozoic Xiajiang Group in Jinping county Guizhou Province, and its impact on the gold deposits [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(2) : 258-268.

[16] 代传国, 张慧, 王敏, 等. 江南造山带西南段地质构造特征及其演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1-146

DAI C G, ZHANG H, WANG M, et al. Geological structural features and evolution of the southwestern part of Jiangnan orogenic belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010:1-146

[17] BAU M, DULSKI P. Comparing yttrium and rare earth in hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: Implications for Y and REE behavior during near-vent mixing and for the Y/Ho ratio of Proterozoic seawater [J]. Chemical Geology, 1999, 155:77-90.

[18] BAU M, MOLLER P, DULSKI P. Yttrium and lanthanides in eastern Mediterranean seawater and their fractionation during redox-cycling [J]. Marine Chemistry, 1997, 56 (5) :123-131.

[19] DOUVILLE E, BIENVENU P, CHARLOU J I, et al. Yttrium and rare earth element in fluids from various deep-sea hydrothermal systems [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63: 627-643.

[20] 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 等. 黄铁矿微量元素地球化学特征及其对成矿流体性质的指示 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(1) : 1-4.

BI X W, HU R Z, PENG J T, et al. REE and HFSE geochemical characteristics of pyrites in Yao' an gold deposit: tracing ore forming fluid signatures [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(1) : 1-4.

[21] 毛光周, 华仁民, 高剑锋, 等. 江西金山金矿床含金黄铁矿的稀土元素和微量元素特征 [J]. 矿床地质, 2006, 25(4) : 412-426.

MAO G Z, HUA R M, GAO J F, et al. REE composition and trace element features of gold bearing pyrite in Jinshan gold deposit, Jiangxi Province [J]. Mineral Deposits, 2006, 25 (4) :412-426.

[22] Jones B J. , Mnning A C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones [J]. Chemical Geology, 1994, 111: 111-129.

[23] 唐文春, 朱汇派. 新康猫金矿床热液矿物微量元素地球化学特征及其成因探讨[J]. 矿物岩石, 2008, 28 (4) :64-70.

TANG W C, ZHU H P. The geochemical characters and genesis of trace elements in epithermal minerals from the Xin Kangmao gold deposit [J]. Mineral Petrol, 2008, 28(4) : 64-70.

[24] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 1-217