

文章编号 0258-7106 (2010) 03-0489-12

从江翁浪地区蚀变岩型金矿床常量元素及 稀土元素迁移规律研究*

王睿^{1,2}, 李霞¹, 董成¹, 金晓玲³, 刘柯¹

(1 中国矿业大学地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2 贵州大学资源与环境工程学院,
贵州 贵阳 550003; 3 中国矿业大学化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要 根据野外对从江翁浪地区蚀变岩型金矿床内岩石变形特点的分析,在典型剖面中划分出了3个不同的构造变形带,即简单变形带(未蚀变带)、复杂透镜体带(强蚀变带)和叠加透镜体带(弱蚀变带)。不同构造带中Au的含量不同,其特点为:复杂透镜体带>叠加透镜体带>简单变形带,即Au在构造变形强烈的区域富集。对3个变形带内的常量元素迁移规律和稀土元素特征进行了探讨:①常量元素的迁移规律明显,从叠加透镜体带和复杂透镜体带到简单变形带,明显带出的主要成分为SiO₂、MnO、K₂O、FeO、TiO₂,说明引起蚀变的流体中富含SiO₂、MnO等;而P₂O₅、Fe₂O₃、MgO、Na₂O、CaO等成分明显带入,说明矿化作用导致P₂O₅、Fe₂O₃等向矿体迁移富集。②简单变形带的稀土元素总量高于叠加透镜体带和复杂透镜体带,稀土元素配分曲线为右倾型,轻稀土元素富集。 δEu 都小于1以及 δCe 都大于1,说明该矿区的成矿环境为氧化性质环境。该矿床样品的稀土元素配分曲线图显示出,大部分矿体和围岩的曲线以及石英脉的曲线与辉绿岩的曲线基本相同,说明矿体的成矿物质大部分来源于深部,矿体与围岩有小部分曲线趋于相同,可认为矿体的成矿物质有小部分来自于围岩。最后,对金的富集机制进行了简要的讨论,认为元素在成矿过程中的迁移能力受到动力变形机制以及元素自身离子半径的影响。

关键词 地球化学 常量元素 稀土元素 构造分带 迁移规律 翁浪金矿 贵州省

中图分类号:P618.51

文献标志码:A

Migration regularity of major elements and REE in Wenglang structural altered rock type gold deposit, Congjiang County

WANG Rui^{1,2}, LI Xia¹, DONG Cheng¹, JIN XiaoLing³ and LIU Ke¹

(1 College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2 Resource and Environmental Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550003, Guizhou, China; 3 School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract

Based on field characteristics of the Wenglang structural altered rock type gold deposit, the authors recognized three different tectonic deformation belts in the typical profile, namely simple deformation belt (unaltered belt), superimposed lens belt (weakly altered belt) and complicated lens belt (strongly altered belt). The variation of Au content in the three different tectonic deformation belts is in order of complicated lens belt > superimposed lens belt > simple deformation belt. An analysis of major element migration regularity and REE characteristics in these belts has led to the following conclusions: ① The migration regularity of major elements is obvious. The major components which migrated from the complicated deformation belt and the superimposed lens belt into the simple deformation belt included SiO₂, MnO, K₂O, FeO and TiO₂, suggesting that the liquids with abundant SiO₂, MnO etc. could cause alteration. The components P₂O₅, Fe₂O₃, MgO, Na₂O and CaO

* 本文得到贵州省2006年度研究生创新基金资助项目(编号:省研理工2006003)的资助

第一作者简介 王睿,女,1981年生,博士研究生,地质工程专业。Email:wangrui19@21cn.com

收稿日期 2009-10-22;改回日期 2010-04-14。许德焕编辑。

were obviously brought in, implying that mineralization made such major components as P_2O_5 and Fe_2O_3 move into and concentrated in the ore body. ② Total REE quantity in the simple deformation belt is above the superimposed lens belt and the complicated deformation belt. The rare earth element curves assume a rightly dipping REE pattern and the enrichment of LREE. δEu values are all lower than 1, whereas δCe values are all higher than 1. The mineralization took place in an oxidation environment. The REE patterns show that most curves of the ore body and wall rock are basically the same as those of quartz veins and diabase. It turns out that the source of ore-forming materials was derived from the depth. A few curves of the ore body and wall rock tend to be similar to each other. All these data indicate that the source of the ore-forming material partly came from the wall rock. The mechanism for gold enrichment is also briefly discussed. It is held that the element migration capability in the ore-forming process depended on two factors, namely dynamic deformation mechanism and ionic radii.

Key words: geochemistry, major elements, REE, tectonic sections, migration regularity, Wenglang gold deposit, Guizhou Province

上世纪 90 年代末,贵州省地质矿产局 101 地质队在开展以金为主的地质矿产预查时,在地虎-翁浪-摆容地区发现了一系列的顺层滑动带,并在这些带内相继发现了九星、翁浪、地虎、摆容等构造蚀变岩型金矿床。从江翁浪金矿床是该地区蚀变岩型金矿床的典型代表。近年来,众多地质工作者对翁浪金矿床的成矿构造(戴传固等,2001;刘灵等,2003;卢焕章等,2005;王睿,2008;吴学益等,2009)、矿体分布特征(杨光忠,2005;王尚彦等,2006;王睿,2008)、成矿物质来源(余大龙,1997;黎应书等,2004;陶平等,2005;李吉春等,2007;王睿,2009)和矿物组合(杨忠琴等,2008;王世杭,2003)等进行了不同程度的研究,但对矿体分布及成矿物质来源等问题还缺乏深入认识。本文对该区构造变形程度不同(蚀变程度不同)的岩石进行了常量元素和稀土元素组成、分布特征和迁移规律的研究,旨在探讨翁浪矿床内金的来源、指示性矿物和富集特征等,以丰富该区域的成矿理论,为进一步找矿提供理论依据。

1 矿床地质特征

翁浪金矿区位于贵州省从江县城南西约 80 km 处,其大地构造位置属于江南地轴西段北西向的加车鼻状背斜北东翼(寨蒿断裂南延部分)的东侧、党扭断层北盘的地虎-翁浪-摆容顺层滑动带的东段。该矿区的南部紧邻摩天岭花岗岩体(王世杭,2003)。矿体的分布主要受叠加在一系列顺层滑动带之上的层间滑动带、韧性剪切带和断层破碎带的控制,在不

大的范围内呈较密集的矿体群产出(图 1)。

矿区内出露的地层主要为元古界青白口系下江群甲路组、乌叶组和番召组。赋矿岩石为甲路组第一段中-上部的变余石英砂岩、绢云母石英千枚岩、绿泥石石英千枚岩等(王世杭,2003)。该区岩浆活动强烈,岩石类型复杂,主要有元古代的超基性岩、基性岩、花岗岩等。贵州省区域地质调查院(2003)^①的资料表明,矿区内的岩石均遭受不同程度的变质,区域变质岩、接触变质岩和动力变质岩等均有分布。

翁浪矿区的构造条件较为复杂,金矿体的产出不仅受到层位和岩性的控制,而且明显受断裂构造的控制。矿化类型为构造蚀变型,矿体呈似板状、透镜状、藕节状产于顺层滑动带内,较为稳定,总体产状近于水平,随滑动带产状的变化而变化,具有波状起伏的特点。矿体沿 NE 向延长大于 600 m,往 SE 方向延伸约 400 m,厚度一般为 1~3.88 m,平均 2.2 m,由 SW 往 NE,矿体厚度有变厚趋势。Au 品位 $w(Au)$ 一般为 $(1.49 \sim 5.89) \times 10^{-6}$,平均 3.32×10^{-6} 。金的赋存状态以裂隙金为主,次为晶隙金,有少量包体金。主要载金矿物是磁铁矿和黄铁矿(王尚彦等,2006)。

2 构造变形分带

根据野外剖面的观察和分析,翁浪矿区的上述层间滑动变形具有明显的构造分带性,依据各种特征性变形现象在剖面上的分布规律,将其划分为如下 3 个不同的构造变形带(图 2)。

① 贵州省区域地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1:5 万窄幅、高武幅区域地质调查报告. 内部资料.

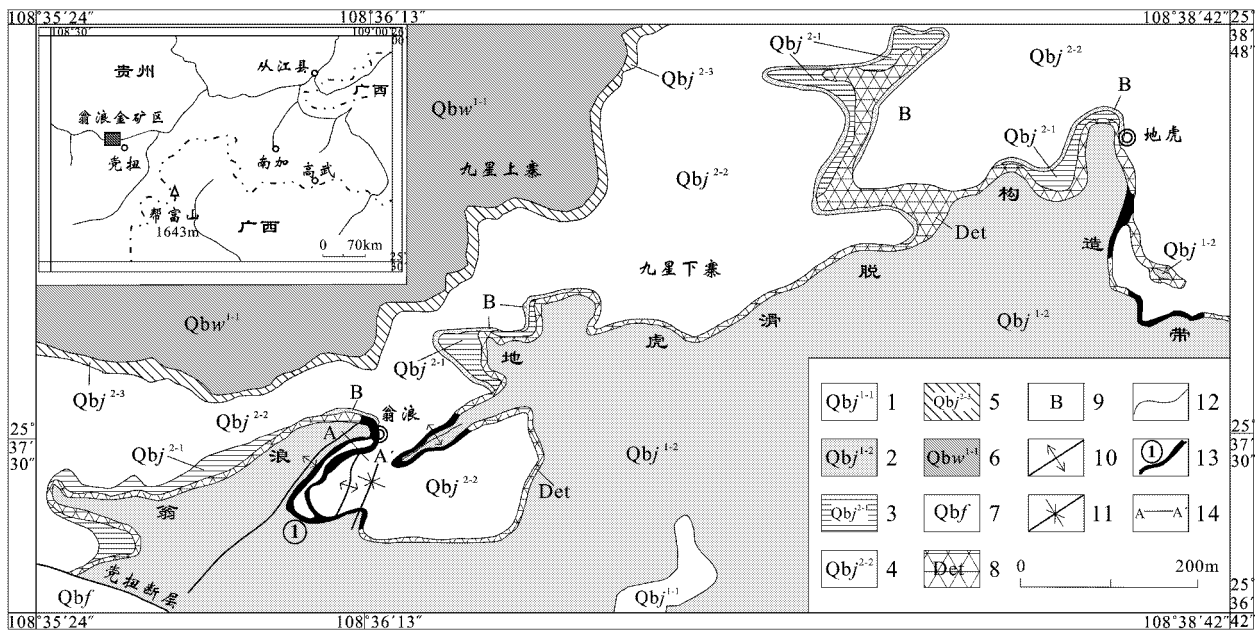


图 1 翁浪金矿床区域位置图及地质略图(据贵州省地质调查院,2003^①修改)

1—甲路组第一段第一亚段；2—甲路组第一段第二亚段；3—甲路组第二段第一亚段；4—甲路组第二段第二亚段；5—甲路组第二段第三亚段；6—乌叶组第一段第一亚段；7—番召组；8—顺层滑动带；9—蚀变基性岩；10—背斜；11—向斜；12—地质界线；13—金矿体及编号；14—剖面(图 2)位置

Fig. 1 Regional location and geological sketch map of Wenglang gold deposit (modified from Guizhou Geological Survey,2003)

1—1st Submember of 1st Member of Jialu Formation ;2—2nd Submember of 1st Member of Jialu Formation ;3—1st Submember of 2nd Member of Jialu Formation ;4—2nd Submember of 2nd Member of Jialu Formation ;5—3rd Submember of 2nd Member of Jialu Formation ;6—1st Submember of 1st Member of Wuyue Formation ;7—Fanzhao Formation ;8—Bedding-slip plane ;9—Altered basic rock ;10—Anticline ;11—Syncline ;12—Geological boundary ;13—Gold ore body and its serial number ;14—Section (Fig. 2) position

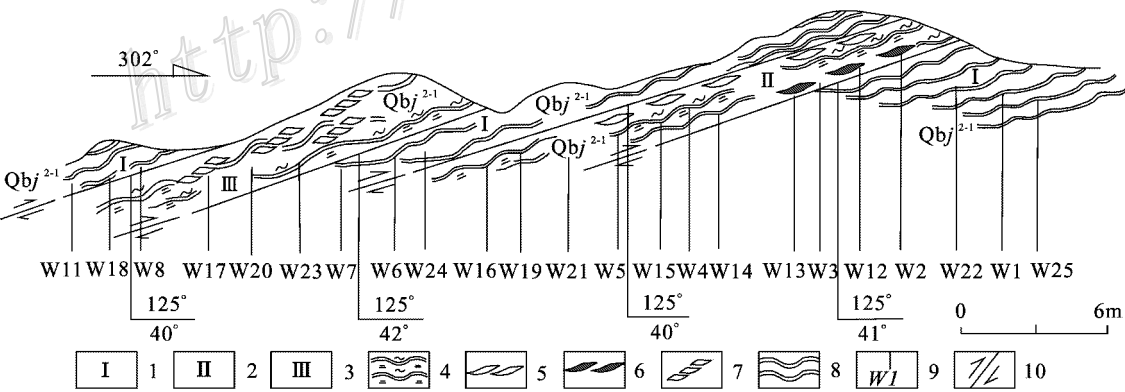


图 2 翁浪金矿床构造剖面图

1—简单变形带(未蚀变带)；2—复杂透镜体带(强蚀变带)；3—叠加透镜体带(弱蚀变带)；4—绿泥绢云母千枚岩；5—条带状透镜体；6—复杂透镜体；7—叠加透镜体；8—千枚岩；9—采样点；10—层滑面

Fig. 2 Tectonic section of Wenglang gold deposit

1—Simple deformation zone (non-altered belt) ;2—Complicated lens zone (strongly-altered belt) ;3—Superimposed lens zone (weakly-altered belt) ;4—Chlorite sericite phyllite ;5—Banded lens ;6—Complicated lens ;7—Superimposed lens ;8—Phyllite ;9—Sampling site ;10—Slipping plane

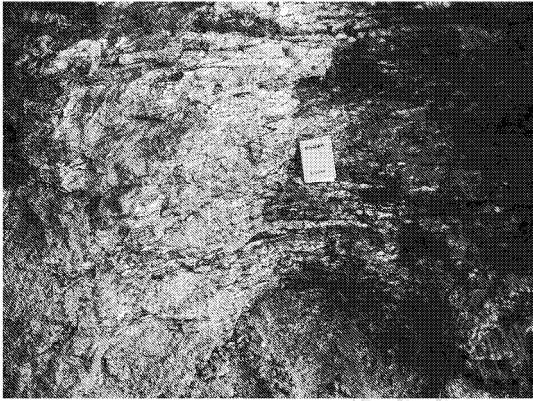
① 贵州省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1:5 万宰便幅、高武幅区域地质调查报告. 内部资料.

I. 简单变形带(未蚀变带) 该带主要为变形相对较为简单的砂质板岩和绿泥石绢云母板岩,岩石中构造透镜体和片理化现象不发育。

II. 复杂透镜体带(强蚀变带) 该带在剖面中厚约 8 m,可进一步划分为复杂透镜体亚带、条带状透镜体亚带和片理化亚带。复杂透镜体亚带厚约 5 m,分布在下层滑面之上(见照片 1),单个透镜体多呈‘S’形,往往成群出现,组合成有规律分布的可区分出 C 面和 S 面的透镜体群,笔者称之为 S-C 透镜体群(见照片 2);此外,该亚带内的大透镜体中发育有包裹若干次级透镜体的复杂包裹现象。条带状透镜体亚带厚约 2.5 m,位于本带顶部滑动面之下,构造透镜体由砂质含量较多的板岩组成,压扁拉长现象明显,其 A 轴长约 30 cm,C 轴长约 8 cm,往往构

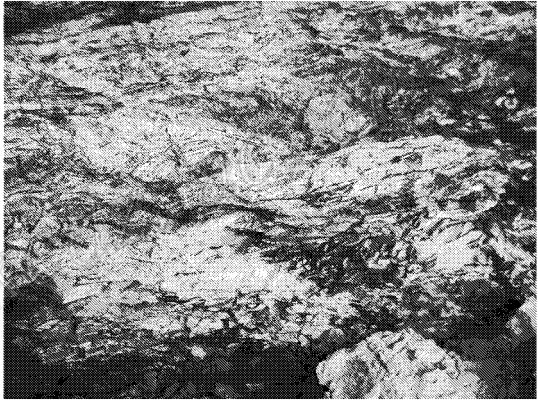
成条带状。片理化亚带厚约 0.5 m,位于条带状透镜体之下,薄层粉砂质板岩因层间滑动而造成局部片理化现象(见照片 3),云母类矿物的定向排列特征明显。层间滑动带内的岩性多为强硅化绢云母千枚岩、铁锰质绢云母千枚岩、石英片岩、绿泥石片岩、变余砂岩等;由于层间滑动作用和后期构造作用的影响,带内岩石常形成片理化带、构造透镜体等,并伴随发育有众多不同走向的褶皱及断裂;带内岩石变质程度明显加深,硅化蚀变强烈,并伴有磁铁矿化、黄铁矿化、赤铁矿化、绿泥石化等。

III. 叠加透镜体带(弱蚀变带) 该带厚约 6 m,其内次级透镜体不发育,单个透镜体的大小差别不大,A 轴长 30 cm 左右,C 轴长约 12 cm,透镜体间的相互叠加现象明显(见照片 4)。在剖面中,构造透镜



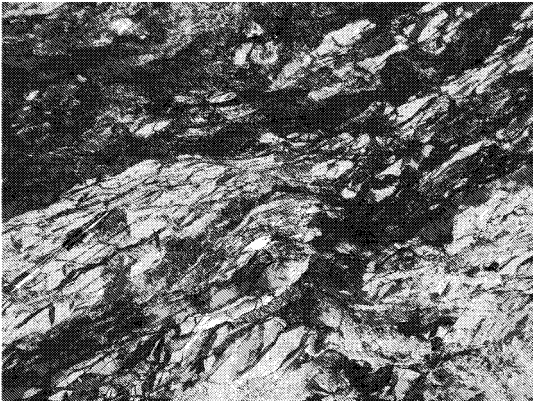
照片 1 分布在下层滑面之上的复杂透镜体亚带

Photo 1 Complicated lens subzone lying at the top of slipping plane



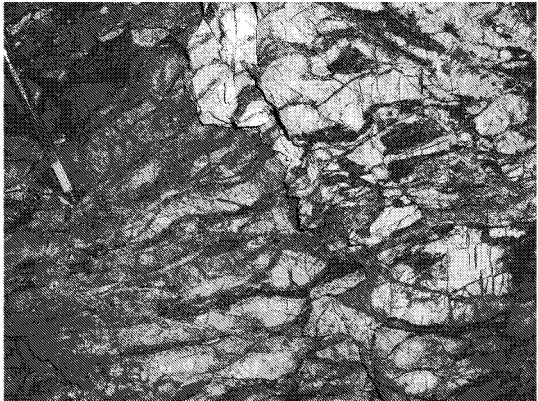
照片 2 S-C 透镜体群

Photo 2 S-C lens group



照片 3 条带状透镜体之下的局部片理化现象

Photo 3 Partial schistosity phenomena under banded lens



照片 4 叠加透镜体带

Photo 4 Superimposed lens belt

体 AB 面的产状与层滑面的产状基本一致(图 2),为 $125^{\circ}\angle 40^{\circ}$ 。根据复杂透镜体带内 S-C 透镜体群与层滑面的关系,可判定层间滑动的剪切方向为各层间滑动带的上盘(南东盘)相对上升,即层间滑动具有逆断层性质。该带的岩石遭受不同程度的变形作用,常由片理化带、构造透镜体组成,以强硅化为特征,可见少量绿泥石、绿帘石、绢云母等变质矿物。

3 样品的采集及测试

本次测试样品采自翁浪金矿床典型剖面的不同构造变形部位(图 2)。将所选的最具代表性的样品经碎样后筛分至 300 目,称取缩分好的样品各 50.0 mg,备用于常量及稀土元素分析。W1—W18 号样品的测试由国家地质实验测试中心完成,常量元素的测试主要运用 X 荧光光谱仪(3080E),稀土元素的测试则应用等离子质谱仪(ICP-MS)。W19—W25 号样品的测试由国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成,测试仪器为电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)。所有测试的分析精度均优于 10%。岩石样品的描述如表 1 所示。

笔者对采自岩石变形程度不同的典型剖面的 23 个样品(见图 2)进行了 Au 含量的分析,发现在岩石变形程度不同的部位,金的含量不同:复杂透镜体带的金含量最高,叠加透镜体带次之,简单变形带最低(表 5,图 3)。

4 常量元素分析

翁浪金矿床岩石样品的常量元素分析数据列于表 2。笔者对其中的 13 件代表性样品进行了岩石密度测试(表 2),测试单位为贵州大学矿业学院实验室。

由表 2 可见, Fe_2O_3 的含量从简单变形带到叠加透镜体带再到复杂透镜体带,呈递增的趋势, P_2O_5 、 MnO 的含量却与之相反,呈减少趋势。

4.1 常量元素的质量迁移规律

Grant(Gresens,1967)推导了用于研究蚀变岩成分变化的质量平衡方程:

$$C_i^A = (M^0/M^A)(C_i^0 + \Delta C_i) \tag{1}$$

式中, C_i^0 、 C_i^A 为原岩、蚀变岩中第 i 种元素的含量, M^0 、 M^A 分别为原岩、蚀变岩的质量。对于不活

表 1 翁浪金矿床岩石样品描述
Table 1 Description of rock samples from Wenglang gold deposit

分带	样品号	岩性描述
简单变形带(I)	W1	紫红色板岩,内有黄绿色,含铁
	W22	紫红色板岩,含铁
	W25	紫红色板岩,含铁
	W2	黑褐色网脉状矿石,片理化严重
	W3	黄绿色网脉状千枚岩,被氧化的硫化物沿裂隙发育,透镜体发育
复杂透镜体带(II)	W4	紫红色千枚岩,有黑色硫化物,被氧化的硫化物沿裂隙发育
	W5	黄绿色千枚岩,透镜体较发育,有黑色硫化物
	W12	黄绿色网脉状千枚岩,被氧化的硫化物沿裂隙发育,透镜体发育
	W13	黄绿色千枚岩
	W14	黄绿色千枚岩
	W15	黄绿色千枚岩,内有透镜体,被氧化的透镜状硫化物沿透镜体发育
	W16	紫红色千枚岩,片理化发育
	W19	紫红色千枚岩,片理化发育
	W21	紫红色千枚岩,片理化发育
	W6	两层矿体中部,浅紫红色板岩
简单变形带(I)	W7	紫红色板岩
	W24	灰白色粉砂质板岩
	W17	灰白色粉砂质千枚岩
	W20	灰白色粉砂质千枚岩
叠加透镜体带(III)	W23	灰白色粉砂质千枚岩
	W8	浅紫红色板岩
简单变形带(I)	W11	紫红色板岩
	W18	紫红色板岩

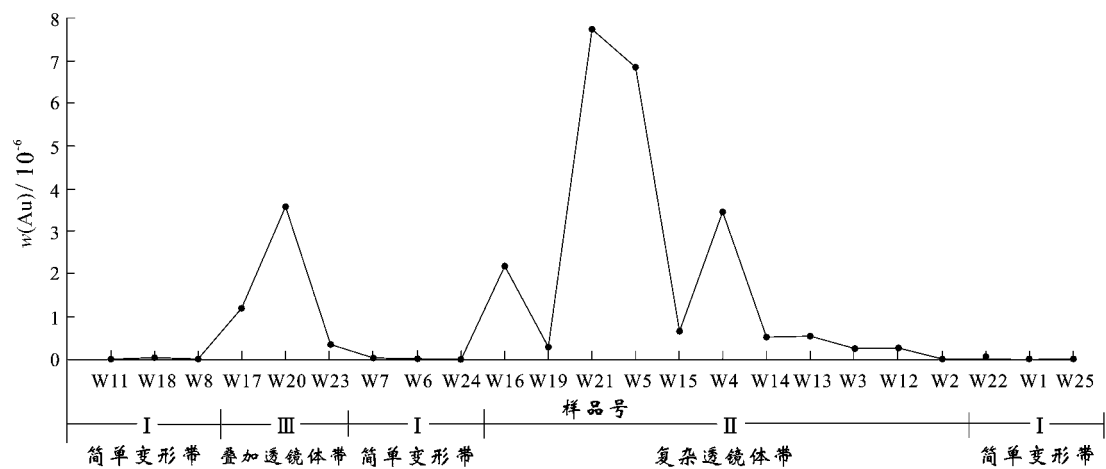


图 3 翁浪金矿床构造剖面中样品的金含量分布图

Fig. 3 Distribution of Au content in different samples from tectonic section of Wenglang gold deposit

表 2 翁浪金矿床岩石样品中主要成分的含量

Table 2 Major components of rock samples from Wenglang gold deposit

分带	样品号	w(B)/%														合计	ρ (g/cm ³)
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	H ₂ O ⁺	CO ₂	LOI		
简单变形带 (I)	W1	0.10	0.37	9.42	80.1	0.03	2.31	0.06	0.42	0.04	3.98	0.44	2.27	0.04	2.25	101.83	2.33
	W22	0.01	0.09	2.10	94.3	0.01	0.47	0.01	0.15	0.02	1.96	0.20	0.53	0.06	0.65	100.56	—
	W25	0.09	0.53	3.58	88.5	0.03	0.99	2.44	0.08	0.07	0.32	0.80	0.68	1.70	2.40	102.21	—
复杂透镜体带 (II)	W2	0.29	1.21	30.3	42.7	0.08	8.67	0.05	1.41	0.01	8.39	0.92	4.90	0.43	5.25	104.61	—
	W3	0.04	0.16	2.52	78.7	0.01	0.72	0.04	0.15	0.01	15.6	0.40	2.16	0.04	2.14	102.69	—
	W4	0.11	0.15	2.22	72.7	0.01	0.52	0.05	0.14	0.01	21.6	0.41	2.30	0.04	2.28	102.54	—
	W5	0.05	0.18	1.35	52.3	0.01	0.18	0.06	0.09	0.01	39.3	0.25	5.38	0.07	5.39	104.62	2.50
	W12	0.04	0.12	1.90	81.4	0.01	0.58	0.04	0.14	0.01	13.3	0.27	1.92	0.05	1.93	101.71	2.34
	W13	0.03	0.12	1.27	78.4	0.01	0.31	0.06	0.12	0.01	17.8	0.40	1.50	0.07	1.53	101.63	2.56
	W14	0.14	0.23	1.68	77.6	0.01	0.44	0.05	0.13	0.01	15.7	0.99	2.50	0.09	2.47	102.04	2.37
	W15	0.03	0.15	1.25	75.3	0.01	0.31	0.05	0.12	0.01	20.9	0.27	1.78	0.04	1.78	102.00	2.51
	W16	0.11	0.14	6.07	81.3	0.01	0.5	0.01	0.10	0.01	7.92	0.45	2.96	0.05	2.96	102.59	2.25
	W19	0.04	0.14	2.37	77.5	0.02	0.70	0.01	0.14	0.01	16.3	0.48	1.99	0.09	2.24	102.03	—
简单变形带 (I)	W21	0.04	0.06	1.23	52.1	0.02	0.18	0.02	0.09	0.01	39.9	0.58	5.52	0.10	5.60	105.45	—
	W6	0.03	0.13	3.27	93.1	0.01	1.02	0.04	0.16	0.01	0.36	0.74	0.54	0.07	0.53	100.01	2.24
	W7	0.02	0.06	2.20	94.3	0.01	0.47	0.04	0.16	0.01	1.87	0.23	0.58	0.07	0.62	100.64	2.26
叠加透镜体带 (III)	W24	0.08	0.32	9.35	80.6	0.03	2.29	0.01	0.42	0.05	4.05	0.43	1.83	1.82	2.24	103.52	—
	W17	0.06	0.20	4.01	85.7	0.02	1.02	0.04	0.16	0.01	6.01	0.31	1.68	0.14	1.74	101.10	2.33
	W20	0.04	0.11	2.07	71.2	0.02	0.50	0.01	0.12	0.01	22.7	0.64	2.35	0.05	2.33	102.15	2.22
简单变形带 (I)	W23	0.02	0.11	2.21	95.9	0.01	0.71	0.01	0.11	0.02	0.36	0.20	0.12	0.06	0.28	100.12	2.34
	W8	0.21	0.11	2.30	95.2	0.01	0.71	0.04	0.12	0.02	0.41	0.16	0.30	0.05	0.32	99.96	—
	W11	0.23	0.64	15.8	67.8	0.02	4.08	0.06	0.75	0.01	6.62	0.47	3.20	0.05	3.20	102.93	—
	W18	0.04	0.08	1.90	93.6	0.01	0.25	0.04	0.12	0.02	2.27	0.45	0.66	0.07	0.68	100.19	2.34

测试单位 国家地质实验测试中心,国土资源部中南矿产资源监督检测中心,贵州大学矿业学院实验室。

动元素来说,在围岩蚀变过程中,基本上没有发生元素迁移,可认为 $\Delta C_i = 0$, 公式(1)可简化为:

$$C_i^A = (M^0/M^A) C_i^0 \tag{2}$$

在 $C_i^A - C_i^0$ 图上,公式(2)是一条穿过原点(0, 0)、斜率为 M^0/M^A 的直线,即等地球化学浓度线,

该直线的斜率:

$$k = M^0/M^A$$

若能确定 1 种或 2 种以上元素为不活动性组分,则斜率公式可以表示为:

$$k = M^0/M^A = C^A/C^0 \tag{3}$$

将(3)式代入(1)式,得:

$$\Delta C_i = C_i^A/k - C_i^0 \quad (4)$$

根据(3)式可以求出 k 值,根据(4)式就可以求出元素得失变化。元素得失变化研究的核心问题是在元素迁移过程中组分的得失。 Al_2O_3 和 TiO_2 在很多热液矿床的蚀变中均可作为惰性组分(魏俊浩等, 2002)。笔者在翁浪矿区的简单变形带、复杂透镜带和叠加透镜体带中,分别选择典型样品 W22、W12 和 W20 进行了计算,以 Al_2O_3 作为惰性组分,得出简单变形带和复杂透镜带的 $k = 0.905$,简单变形带和叠加透镜体带的 $k = 0.986$,可以作出 $C_i^A - C_i^0$ 图(图 4 和图 5),为了图形能更加直观,笔者将部分元素组成的含量乘了一个系数。

由图 4 和图 5 可见,常量元素的迁移规律比较明显,从叠加透镜体带和复杂透镜带到简单变形带,明显带出的主要成分为 SiO_2 、 MnO ,说明引起围岩蚀

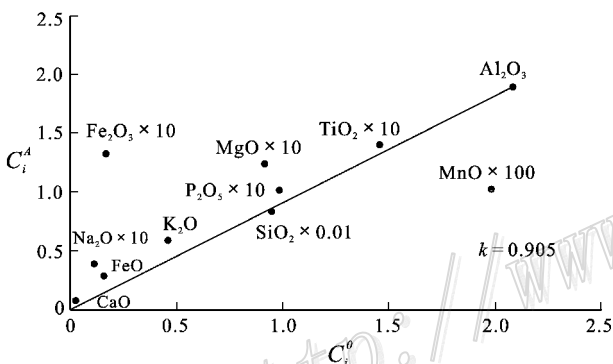


图 4 翁浪金矿床内简单变形带和复杂透镜带的 $C_i^A - C_i^0$ 图

Fig. 4 $C_i^A - C_i^0$ diagram of simple deformation belt and complicated lens belt in Wenglang gold deposit

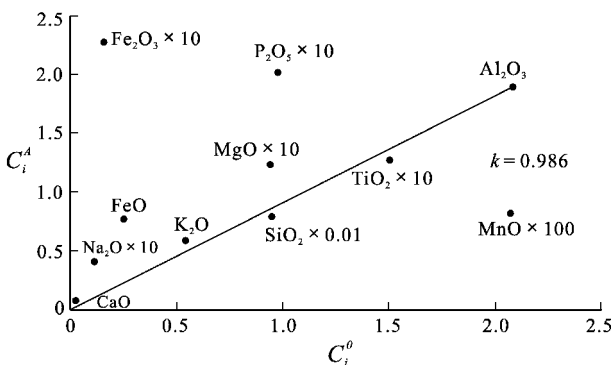


图 5 翁浪金矿床内简单变形带和叠加透镜体带的 $C_i^A - C_i^0$ 图

Fig. 5 $C_i^A - C_i^0$ diagram of simple deformation belt and superimposed lens belt in Wenglang gold deposit

变的流体中富含 SiO_2 、 MnO 而 Fe_2O_3 、 Na_2O 明显带入,说明在矿化过程中, Fe_2O_3 、 Na_2O 等主成分向矿体迁移富集。其他一些元素的迁移规律则结合其体积变化进行研究。

4.2 常量元素的体积变化规律

许多学者运用 Grant (Gresens, 1967) 所建立的交代作用过程中成分体积公式,来计算岩石变形过程中的体积变化因子,该公式如下:

$$100[fv \frac{g^B}{g^A} C_n^B - C_n^A] = x_n \quad (5)$$

式中, g^A 、 g^B 为被计算样品的岩石密度; C_n^A 、 C_n^B 为被计算样品第 n 种组分的含量; x_n 为 2 个样品间第 n 种组分带入带出的总量,用全岩分析数据进行计算时假定其为 0; fv 为体积因子,当 $fv = 1$ 时,2 个样品间体积不变,当 $fv > 1$ 时,被计算的样品中 A 样品获得体积,当 $fv < 1$ 时,则样品 A 遗失体积(杜定全, 1994)。

按照上述公式,用表 2 中所列之分析数据,计算出了岩石简单变形带(围岩)内样品 W1 与其他各样品间各组分的 fv 值(表 3)。

由图 4、图 5 和表 3 可见,从简单变形带到叠加透镜体带再到复杂透镜带, SiO_2 、 MnO 、 K_2O 、 FeO 、 TiO_2 的 fv 值呈逐渐增大的趋势,显示出简单变形带得到了体积,而这些主成分在复杂透镜带及叠加透镜体带中则形成体积的亏损。这说明在成矿过程中, SiO_2 、 MnO 、 K_2O 、 FeO 、 TiO_2 由复杂透镜带及叠加透镜体带向简单变形带迁移。从简单变形带到叠加透镜体带再到复杂透镜带, P_2O_5 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 CaO 等主成分的 fv 值呈逐渐减小的趋势,显示出简单变形带失去了体积,而复杂透镜带和叠加透镜体带则体积增加。这说明在成矿过程中, P_2O_5 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 CaO 由简单变形带向复杂透镜带和叠加透镜体带迁移。

结合 Au 在复杂透镜带和叠加透镜体带中含量较高的特点,常量元素的迁移规律很好地解释了 Au 矿体旁边一般都有石英脉出现的原因。Fe、Mn 等主元素的迁移明显,导致铁、锰常成为 Au 矿床的伴生组分,因而,铁矿物可作为 Au 矿的找矿标志。

5 稀土元素特征分析

尽管各稀土元素的行为相近,但在原子结构、晶体化学和化学性质上仍有某些差异,因而,在一定的

表 3 诸样品相对于 W1 样品的主成分体积得失因子表

Table 3 Volume factor table of gain and loss about different samples relative major components of sample W1		f_v													
分带	样品号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	H ₂ O ⁺	CO ₂	LOI
简单变形带 (I)	W6	3.47	2.96	2.99	0.90	3.12	2.36	1.56	2.73	4.16	11.5	0.62	4.37	0.59	4.42
	W7	5.15	6.36	4.41	0.88	3.09	5.07	1.55	2.71	4.12	2.19	1.97	4.04	0.59	3.74
	W18	2.49	4.61	4.94	0.85	2.99	9.20	1.49	3.48	1.00	1.75	0.97	3.42	0.57	3.29
叠加透镜体带 (III)	W17	1.67	1.85	2.35	0.94	1.50	6.26	1.50	2.63	4.00	0.66	1.42	1.35	0.29	1.29
	W20	1.35	1.94	1.12	0.96	1.55	4.73	1.72	3.96	3.03	0.62	1.27	1.34	0.26	1.26
	W23	2.67	2.40	1.48	0.92	2.50	6.25	1.01	2.75	2.01	0.38	1.46	0.99	0.50	0.89
复杂透镜体带 (II)	W12	2.49	3.07	4.94	0.98	2.99	3.97	1.49	2.99	3.98	0.30	1.62	1.18	0.80	1.16
	W13	3.03	2.81	6.75	0.93	2.73	6.78	0.91	3.19	3.64	0.20	1.00	1.38	0.52	1.34
	W14	0.70	1.58	5.51	1.02	2.95	5.16	1.18	3.18	3.93	0.25	0.44	0.89	0.44	0.90
	W15	3.09	2.29	6.99	0.99	2.78	6.92	1.11	3.25	3.71	0.18	1.51	1.18	0.93	1.17
	W5	1.86	1.92	6.50	1.43	2.80	11.9	0.93	4.35	3.73	0.09	1.64	0.39	0.53	0.39
	W16	0.94	2.74	1.61	1.02	1.55	4.43	1.55	2.72	4.14	0.52	1.01	0.79	0.83	0.79

表 4 翁浪金矿床岩石样品中稀土元素的含量

Table 4 REE content of rock samples from Wenglang gold deposit		$w(B)/10^{-6}$														
分带	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
叠加透镜体带(III)	W17	3.72	7.22	0.97	3.68	0.87	0.24	0.75	0.14	0.80	0.16	0.49	0.08	0.59	0.09	4.78
	W20	1.27	2.29	0.26	1.02	0.26	0.13	0.35	0.09	0.65	0.14	0.41	0.08	0.52	0.08	3.83
	W23	4.55	18.4	0.98	3.93	0.66	0.15	0.56	0.08	0.50	0.11	0.35	0.07	0.44	0.06	2.62
	平均值	3.18	9.30	0.74	2.88	0.60	0.17	0.55	0.10	0.65	0.14	0.42	0.08	0.52	0.08	3.74
复杂透镜体带(II)	W2	52.0	99.3	11.1	39.5	7.39	0.98	5.94	0.85	4.71	0.89	2.80	0.44	3.18	0.52	25.3
	W3	2.06	4.32	0.56	1.74	0.42	0.11	0.44	0.10	0.63	0.15	0.47	0.08	0.52	0.08	4.64
	W4	1.14	2.59	0.38	1.25	0.36	0.09	0.37	0.14	0.63	0.14	0.42	0.07	0.43	0.07	4.15
	W5	1.25	3.01	0.43	1.44	0.42	0.12	0.43	0.10	0.62	0.14	0.35	0.07	0.36	0.06	3.98
	W12	1.58	3.27	0.36	1.37	0.31	0.06	0.35	0.07	0.53	0.12	0.39	0.06	0.45	0.08	4.01
	W13	1.50	3.23	0.37	1.36	0.30	0.09	0.26	0.06	0.38	0.09	0.28	0.05	0.31	0.05	2.75
	W14	1.12	2.48	0.29	1.09	0.28	0.07	0.29	0.07	0.48	0.12	0.41	0.06	0.44	0.07	3.55
	W15	1.58	3.42	0.37	1.33	0.28	0.07	0.29	0.06	0.47	0.11	0.37	0.06	0.39	0.06	3.45
	W16	2.24	5.64	0.69	2.82	0.84	0.21	0.74	0.16	1.02	0.20	0.57	0.09	0.63	0.09	5.70
	W19	1.76	3.87	0.30	1.16	0.26	0.15	0.28	0.07	0.53	0.13	0.40	0.08	0.53	0.08	3.10
	W21	1.52	2.79	0.30	1.28	0.36	0.14	0.36	0.09	0.63	0.13	0.36	0.07	0.41	0.06	3.48
	平均值	6.16	12.2	1.38	4.94	1.02	0.89	0.16	0.97	0.20	0.62	0.10	0.70	0.11	5.83	
简单变形带(I)	W1	14.3	18.1	3.69	13.4	2.67	0.58	2.84	0.50	2.86	0.58	1.75	0.27	1.69	0.27	15.4
	W6	3.63	7.67	0.90	3.21	0.61	0.14	0.52	0.10	0.58	0.14	0.46	0.07	0.48	0.08	3.99
	W7	1.48	3.63	0.41	1.43	0.33	0.11	0.31	0.07	0.46	0.11	0.38	0.06	0.45	0.07	3.10
	W8	2.93	11.8	0.88	3.40	0.64	0.13	0.53	0.09	0.54	0.13	0.38	0.06	0.40	0.06	3.35
	W11	17.9	45.7	4.37	16.7	3.26	0.42	2.87	0.52	3.45	0.73	2.22	0.35	2.40	0.38	20.7
	W18	1.52	8.83	0.37	1.29	0.32	0.08	0.35	0.07	0.43	0.10	0.30	0.05	0.38	0.06	2.60
	W22	1.84	4.22	0.36	1.33	0.27	0.13	0.31	0.07	0.48	0.12	0.40	0.09	0.60	0.09	3.00
	W24	20.2	12.8	3.62	13.3	2.56	0.61	2.46	0.42	2.44	0.49	1.37	0.24	1.47	0.22	11.5
	W25	26.0	47.3	4.50	15.6	3.05	0.52	2.91	0.46	3.12	0.74	2.31	0.41	2.44	0.31	21.5
	平均值	9.98	17.8	2.12	7.74	1.52	0.30	1.46	0.26	1.60	0.35	1.06	0.18	1.15	0.17	9.46

测试单位 国家地质实验测试中心,国土资源部中南矿产资源监督检测中心。

地质作用过程中,它们势必发生分馏(赵振华,1997)。本文所采用的球粒陨石稀土元素平均含量为 Boynton(1984)的推荐值。翁浪金矿床岩石样品中稀土元素含量及其特征参数见表 4 和表 5。

由表 5 可见,简单变形带的 Σ REE 含量较高,为 55.1,而叠加透镜体带和复杂透镜体带的 Σ REE 含量都有所下降,分别为 35.4 和 23.2。整体而言, Σ REE 含量偏高。依据 $(La/Sm)_N$ 都大于 1、 $(Gd/Yb)_N$

表 5 翁浪金矿床岩石样品的稀土元素特征参数
Table 5 Parameters of rare earth elements characteristics of rock samples from Wenglang gold deposit

分带	样品号	∑REE	LREE	HREE	LREE/ HREE	δEu	δCe	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	w(Au)/10 ⁻⁶
叠加透镜体带 (Ⅲ)	W17	24.6	16.7	3.10	5.39	0.89	0.90	4.25	2.69	1.03	1.190
	W20	11.4	5.23	2.32	2.25	1.32	0.91	1.65	3.07	0.54	3.580
	W23	33.5	28.7	2.17	13.2	0.74	2.01	6.97	4.34	1.03	0.320
	平均值	23.2	16.9	2.53	6.95	0.98	1.27	4.29	3.37	0.87	1.700
简单变形带 (Ⅰ)	W2	255	210	19.3	10.9	0.44	0.95	11.0	4.43	1.51	0.004
	W3	16.3	9.21	2.47	3.73	0.78	0.95	2.67	3.09	0.68	0.240
	W4	12.2	5.81	2.27	2.56	0.75	0.94	1.79	1.99	0.69	3.450
	W5	12.8	6.67	2.13	3.13	0.86	0.99	2.34	1.87	0.96	6.840
	W12	13.0	6.95	2.05	3.39	0.56	1.01	2.37	3.21	0.63	0.250
	W13	11.1	6.85	1.48	4.63	0.96	1.02	3.26	3.15	0.68	0.530
	W14	10.8	5.33	1.94	2.75	0.75	1.02	1.72	2.52	0.53	0.520
	W15	12.3	7.05	1.81	3.90	0.75	1.04	2.73	3.55	0.60	0.650
	W16	21.6	12.4	3.50	3.55	0.80	1.08	2.40	1.68	0.95	2.200
	W19	12.7	7.50	2.10	3.57	1.69	1.18	2.24	4.26	0.43	0.255
	W21	11.9	6.39	2.11	3.03	1.18	0.94	2.50	2.66	0.71	7.720
	平均值	35.4	25.9	3.74	4.10	0.87	1.01	3.19	2.95	0.76	2.060
简单变形带 (Ⅰ)	W1	78.9	52.7	10.8	4.90	0.64	0.59	5.70	3.37	1.36	0.003
	W6	22.6	16.2	2.43	6.65	0.74	0.99	5.10	3.74	0.87	0.013
	W7	12.4	7.39	1.91	3.87	1.04	1.10	2.22	2.82	0.56	0.034
	W8	25.3	19.8	2.19	9.03	0.66	1.75	4.94	2.88	1.07	0.004
	W11	122	88.4	12.9	6.84	0.41	1.21	5.03	3.45	0.96	0.011
	W18	16.8	12.4	1.74	7.13	0.73	2.75	2.70	2.99	0.74	0.021
	W22	13.3	8.15	2.16	3.77	1.37	1.18	2.07	4.29	0.42	0.047
	W24	73.7	53.1	9.11	5.83	0.73	0.33	9.26	4.96	1.35	0.006
	W25	131	96.9	12.7	7.64	0.53	0.97	7.18	5.36	0.96	0.002
	平均值	55.1	39.5	6.21	6.18	0.76	1.21	4.91	3.76	0.92	0.020

测试单位：国家地质实验测试中心,国土资源部中南矿产资源监督检测中心。

表 6 翁浪金矿床内石英脉的稀土元素含量
Table 6 REE content of quartz in Wenglang gold deposit

样品号	w(B)/10 ⁻⁶														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
W26	0.54	4.09	0.08	0.30	0.06	0.02	0.07	0.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.29
W27	2.30	712	0.33	1.12	0.28	0.08	2.56	0.10	0.26	0.05	0.16	0.03	0.20	0.03	1.22
W28	4.36	8.56	0.62	2.16	0.41	0.15	0.35	0.04	0.19	0.04	0.12	0.02	0.16	0.03	1.11

测试单位 国土资源部中南矿产资源监督检测中心。

表 7 翁浪金矿床内辉绿岩的稀土元素含量^①
Table 7 REE content of diabase in Wenglang gold deposit

	w(B)/10 ⁻⁶														
	La	Se	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
辉绿岩	17.1	32.0	4.36	19.9	3.83	1.36	4.36	0.80	5.18	1.08	2.90	0.44	2.55	0.32	22.0

Yb)_N 都小于 1 来看,均具有轻稀土元素分馏程度较高而重稀土元素分馏不明显的特点。δEu 都小于 1 以及 δCe 都大于 1,又说明整个成矿环境为氧化性质的环境。

笔者绘制了翁浪矿区内石英脉(表 6)、辉绿岩(表 7)、简单变形带、叠加透镜体带和复杂透镜体带中岩石样品的稀土元素配分曲线(图 6),以进一步讨论其稀土元素地球化学特征。

① 贵州省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1:5 万宰便幅、高武幅区域地质调查报告. 内部资料.

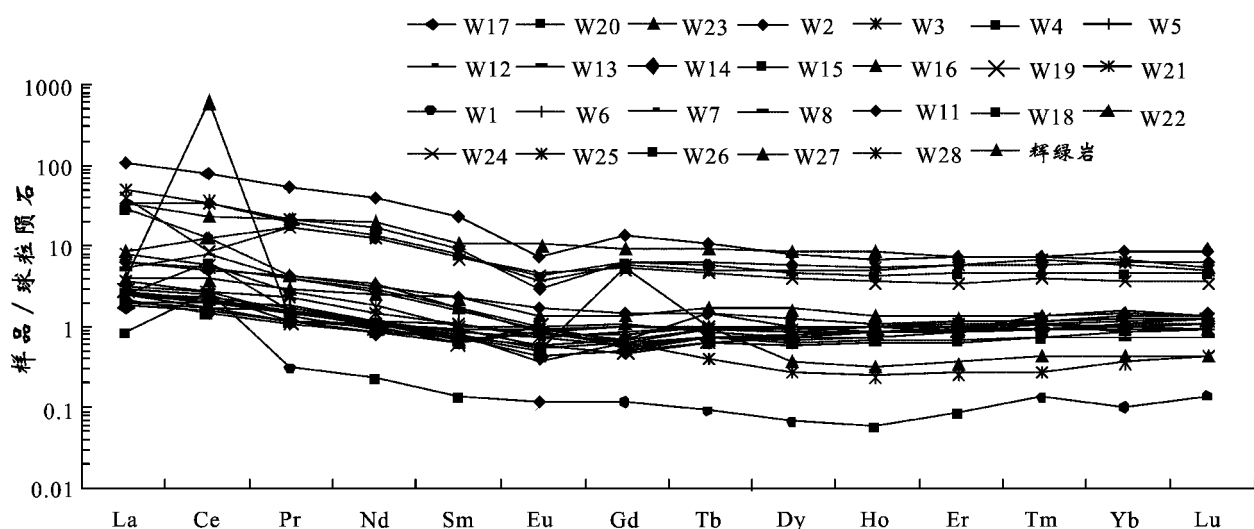


图 6 翁浪金矿床稀土元素配分曲线

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of Wenglang gold deposit

由图 6 可见,简单变形带的稀土元素总量高于叠加透镜体带和复杂透镜体带。稀土元素配分曲线为明显的右倾型,轻稀土元素富集。从稀土元素的整体来看, $(La/Yb)_N$ 以及 $(La/Sm)_N$ 都大于 1,说明围岩中的稀土元素的分馏程度较高,而重稀土元素分馏不显著 [$(Gd/Yb)_N \approx 0.85$],属轻稀土元素富集型。

石英脉与辉绿岩的稀土元素配分曲线大致相同,说明石英脉型矿的成矿物质可能来源于深部。对于石英脉型金矿,在此不做详细讨论。大部分矿体和围岩的稀土元素配分曲线与石英脉和辉绿岩的大致相同,说明矿体的成矿物质可能大部分来源于深部。另外,其余矿体和围岩的稀土元素配分曲线与石英脉和辉绿岩不同,但围岩和矿体的这部分曲线的形状是大致相同的,说明矿体的成矿物质有一小部分来自于围岩。

6 金富集机制简要分析

6.1 动力变形机制影响

许多研究表明,动力变形作用作为一种构造活动,对元素迁移乃至成矿作用具有重要影响。动力变形中矿物的演变经历了机械破坏(碎裂化)、溶解变质沉淀以及再迁移的过程,其控制机制即为压溶作用(Kerrick et al., 1977)。这对成矿物质的传输有着重要的动力学意义。

层间滑动带的形成是由物性差异引起的,而构造透镜体和应变集中带的形成则是在顺层剪切作用下强应变带固态流变过程的产物。变形对化学过程的影响是通过对固体化学势能的影响来实现的(Reitan, 1977),而变形过程中改变岩石化学势能又是通过某些机械破坏能来实现的,这就导致了岩石中化学成分和矿物成分的重新分配。流体是变形与化学过程之间的重要因素,因为流体是某些变质反应机制(Brown et al., 1969)及变形过程(压溶作用)所必须的。变质反应实际上是一种包含了许多相的交代(置换)和离子交换反应。这种交代(置换)反应是由矿物的溶解作用引起的。变形可以影响变质反应的发生和在什么位置发生,通过研究,变形可有助于确定哪些矿物被溶解和哪些矿物被置换(Beach, 1979)。变形可以:①影响优先溶解、核晶作用和沉淀的位置;②估计流体的化学势能梯度;③提供物质扩散转移的路径。

与应变有关的最明显的沉淀位置是拉伸部位,如‘压力影’和伸展脉,更微观的明显部位是那些非均质变形所形成的变形几何体分布部位(Knippe, 1981),其他的沉淀部位可能是晶体优先溶解的部位,或具有高的非均匀缺陷的晶体分布位置(Engelder, 1982)。

综上所述,在动力变形过程中,动力变形及成矿物质的迁移和富集是一种力学-化学耦合作用,而且

表 8 常量元素离子半径表
Table 8 Ionic radius of major elements

	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Fe ²⁺	Ti ⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺	Si ⁴⁺	P ⁵⁺
离子半径/nm	0.133	0.099	0.097	0.074	0.068	0.066	0.064	0.051	0.046	0.042	0.035

是通过压溶作用来实现这种耦合过程的。

6.2 元素在成矿过程中的迁移能力

元素在构造变形中的迁移能力主要取决于其自身的离子半径,一般情况下,由离子半径较大的离子构成的化合物,其迁移能力较大,反之,其迁移能力则较小。

以常量元素的离子半径为依据,在构造变形中的迁移能力从大到小的顺序为:K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Fe²⁺, Ti⁺, Mg²⁺, Fe³⁺, Al³⁺, Mn²⁺, Si⁴⁺, P⁵⁺ (表 8),这与造岩元素的稳定性顺序基本一致。

在翁浪矿区, K₂O、CaO、FeO、SiO₂、MnO 为主要的迁出成分,其中, K₂O、CaO、FeO 的迁出主要受构造变形改造的影响较大,在构造变形过程中,这些成分因其自身的离子半径较大而很容易先被挤压迁移出去。而导致 SiO₂、MnO 迁出的原因则是多方面的,如原子的负电性、电价、离子电位(电价与离子半径的比值)、化合物的键性和溶解度等的影响。

7 结 论

本文根据从江翁浪地区蚀变岩型金矿床岩石变形的特点,在典型剖面内划分出了 3 个不同的构造变形带,即简单变形带(未蚀变带)、复杂透镜体带(强蚀变带)和叠加透镜体带(弱蚀变带)。在此基础上,对 3 个变形带内的常量元素迁移规律和稀土元素特征进行了探讨,结果表明:

(1) 在岩石变形程度不同的部位, Au 含量不同,复杂透镜体带的金含量最高,叠加透镜体带次之,简单变形带最低。常量元素的迁移规律明显,从叠加透镜体带和复杂透镜带到简单变形带,明显带出的主要成分为 SiO₂、MnO、K₂O、FeO、TiO₂,说明引起蚀变的流体中富含 SiO₂、MnO 等;而 P₂O₅、Fe₂O₃、MgO、Na₂O、CaO 等成分明显带入,说明矿化作用导致 P₂O₅、Fe₂O₃ 等主成分向矿体迁移富集。结合构造变形强烈带内 Au 含量较高的特点,常量元素的迁移规律很好地解释了 Au 矿体旁边一般都有石英脉出现的现象。Fe、Mn 等主元素的迁移明显,使铁、锰常为 Au 矿床的伴生组分,而铁矿物则可作为 Au 矿

的找矿标志。

(2) 简单变形带的稀土总元素量高于叠加透镜体带及复杂透镜体带,其稀土元素配分曲线为右倾型,轻稀土元素富集。δEu 都小于 1, δCe 都大于 1,说明翁浪矿床的成矿环境为氧化性质环境。该矿床样品的稀土元素配分曲线图显示出,大部分矿体和围岩的曲线以及石英脉的曲线与辉绿岩的曲线基本相同,说明矿体的成矿物质大部分来源于深部。此外,矿体与围岩有小部分曲线趋于相同,可认为矿体的成矿物质有小部分来自于围岩。

(3) 对金的富集机制进行了简要的讨论,认为在成矿过程中,元素的迁移能力受到动力变形机制以及元素自身离子半径的影响。动力变形作用作为一种构造活动,对元素迁移乃至成矿作用有着重要影响。在动力变形过程中,动力变形与成矿产物的迁移和富集是一种力学-化学耦合作用,而且是通过压溶作用来实现这种耦合过程。元素在构造变形中的迁移能力主要取决于其自身的离子半径,一般情况下,由离子半径较大的离子构成的化合物,其迁移能力较大,反之,其迁移能力则较小。

References

Beach A. 1979. Pressure solution as a metamorphic process in deformed terrigenous sedimentary rocks[J]. Lithos, 12: 51-58.
Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements[M].
Brown F H and Carmichae I S E. 1969. Quaternary volcanoes of the lake rudolf region: The basanite-tephrite series of the Korath Range [J]. Lithos, 2: 239-260.
Dai C G and Yang D H. 2001. Structural characteristic of southeast Guizhou area[J]. Guizhou Geology, 18(1): 2-6 (in Chinese with English abstract).
Du D Q. 1994. Tecto-geochemistry of the Thrust Zone at Dongling, Yixiang, Jiangsu [J]. Acta Mineralogica Sinica, 14(4): 200-206 (in Chinese with English abstract).
Engelder T. 1982. A natural example of the simultaneous operation of free-face dissolution and pressure solution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 46: 69-74.
Gresens R L. 1967. Composition-volume relation of metasomatism [J].

- Chem. Geol., 2 : 47-65.
- Kerrick R, Beckinsale R D and Durham J J. 1977. The transition between deformation regimes dominated by intercrystalline diffusion and intracrystalline creep evaluated by oxygen isotope thermometry [J]. Tectonophysics, 38 : 241-257.
- Knipe R J. 1981. The interaction of deformation and metamorphism in slates [J]. Tectonophysics, 78 : 249-272.
- Li J C, Yang G Z, Liu H M, Zhang M J and Lai Y. 2007. Metallogenesis of the Longlei gold deposit at Wenglang, Congjiang County, Guizhou and its prospecting [J]. Guizhou Geology, 24(1) : 27-31 (in Chinese with English abstract).
- Li Y S, Qin D X, Pu C J, Chen A B, Tan S C and Fan Z G. 2004. Geological and geochemical features of Au ore deposit in southeastern Guizhou [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 9(3) : 5-8 (in Chinese with English abstract).
- Liu L, Wang K G, Li J C, Zeng Z G and Zhang H. 2003. A study on detachment structure in Congjiang, Guizhou [J]. Guizhou Geology, 20(3) : 139-144 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z, Wang Z G, Wu X Y, Chan W Y, Zhu X Q, Guo D J, Hu R Z and Mou Ssa K. 2005. Turbidite-hosted gold deposits in SE Guizhou Province, China : Their regional setting, structural control and gold mineralization [J]. Acta Geologica Sinica, 79(1) : 98-105 (in Chinese with English abstract).
- Reitan P H. 1977. Energetics of metamorphic crystallization [J]. Lithos, 10 : 121-128.
- Tao P, Wang S Y, Dai C G and Wang M. 2005. The types of the gold deposits in the eastern area of Guizhou and their essential characteristics [J]. Guizhou Geology, 22(4) : 229-235 (in Chinese with English abstract).
- Wang R. 2008. Tectonic deformation and its ore-control law in Wenglang structural altered rock type gold deposit, Congjiang County (master candidate paper) [D]. Supervisor : Du D Q. Guiyang : Guizhou University. 40p (in Chinese with English abstract).
- Wang R. 2009. Trace elements geochemical characteristics of the Wenglang structural altered rock type gold deposit, Congjiang County [J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(1) : 95-112 (in Chinese with English abstract).
- Wang S Y and Tao P. 2006. Gold deposit of Guizhou eastern [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1-179 (in Chinese).
- Wang S H. 2003. Host rocks and wall rock alteration in the Wenglang gold deposit, Congjiang County and its prospecting evidence [J]. Guizhou Geology, 20(1) : 41-44 (in Chinese with English abstract).
- Wei J H, Liu C Q and Ding Z J. 2002. Active laws of element migration in wall-rock alteration processes for hydrothermal gold deposits [J]. Acta Mineralogica Sinica, 20(2) : 200-206 (in Chinese with English abstract).
- Wu X Y, Lu H Z, Wang Z G, Chen W Y, Zhu X Q and Hu R Z. 2009. Tectonic ore-control law and its ore-forming simulation experiment of Southeastern Guizhou [J]. Acta Mineralogica Sinica, 29(2) : 253-258 (in Chinese with English abstract).
- Yang G Z. 2005. Distribution laws and metallogenic models for the gold deposits in the shear zone of Southeastern Guizhou [J]. Guizhou Geology, 22(4) : 236-241 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z Q, Feng L, Yang B H and Yu D L. 2008. A pilot study on mineral character of Wenglang altered rock type gold deposit in Congjiang [J]. Journal of Guizhou University of Technology (Natural Science Edition), 37(2) : 1-5 (in Chinese with English abstract).
- Yu D L. 1997. A study on ore-hunting indicators for endogenetic gold deposits in eastern Guizhou [J]. Guizhou Geology, 14(1) : 55-63 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H. 1997. Geochemistry principle of trace element [M]. Beijing : Scientific Press. 238p (in Chinese).

附中文参考文献

- 戴传固, 杨大欢. 2001. 黔东南地区构造特征 [J]. 贵州地质, 18(1) : 2-6.
- 杜定全. 1994. 江苏宜兴东岭逆冲断层带的构造地球化学特征研究 [J]. 矿物学报, 14(4) : 394-398.
- 李吉春, 杨光忠, 刘华明, 张明军, 赖银. 2007. 贵州从江翁浪-陇雷金矿地质特征及成矿探讨 [J]. 贵州地质, 24(1) : 27-31.
- 黎应书, 秦德先, 普传杰, 陈爱兵, 谈树成, 范柱国. 2004. 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, 9(3) : 5-8.
- 刘灵, 王康年, 李吉春, 曾昭光, 张华. 2003. 贵州从江地区滑脱构造初步研究 [J]. 贵州地质, 20(3) : 139-144.
- 卢焕章, 王中刚, 吴学益, 陈文益, 朱笑青, 郭迪江, 胡瑞忠, Mou Ssa Keita. 2005. 贵州东南部的地质构造与金矿床的关系 [J]. 地质学报, 79(1) : 98-105.
- 陶平, 王尚彦, 戴传固, 王敏. 2005. 黔东南地区金矿床类型及其基本特征 [J]. 贵州地质, 22(4) : 229-235.
- 王尚彦, 陶平. 2006. 贵州东部金矿 [M]. 北京 : 地质出版社. 179 页.
- 王世杭. 2003. 从江县翁浪金矿床容矿岩石与围岩蚀变及其找矿标志 [J]. 贵州地质, 20(1) : 41-44.
- 王睿. 2008. 从江翁浪地区蚀变岩型金矿构造变形及控矿规律研究 (硕士论文) [D]. 导师 : 杜定全. 贵阳 : 贵州大学. 40 页.
- 王睿. 2009. 从江翁浪地区蚀变岩型金矿微量元素地球化学特征 [J]. 地球学报, 30(1) : 95-112.
- 魏俊浩, 刘从强, 丁振举. 2002. 热液型金矿床围岩蚀变过程中元素迁移规律 [J]. 矿物学报, 20(2) : 200-206.
- 吴学益, 卢焕章, 王中刚, 陈文益, 朱笑青, 胡瑞忠. 2009. 黔东南金矿构造控矿与成矿模拟实验 [J]. 矿物学报, 29(2) : 253-258.
- 杨光忠. 2005. 黔东南剪切带金矿的分布规律与成矿模式 [J]. 贵州地质, 22(4) : 236-241.
- 杨忠琴, 冯琳, 杨佰恒, 余大龙. 2008. 从江翁浪蚀变岩型金矿矿物特征初步研究 [J]. 贵州工业大学学报 (自然科学版), 37(2) : 1-5.
- 余大龙. 1997. 黔东南内生金矿找矿标志研究 [J]. 贵州地质, 14(1) : 55-63.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京 : 科学出版社. 238 页.