

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2019.03.008

黔西南泥堡金矿床含矿火山岩稀土元素地球化学特征

祁连素¹, 邱小平²

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局一〇五地质大队, 贵州 贵阳 550018; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘 要:泥堡金矿床含 Au 最高的容矿岩石是玄武安山岩, 其 Au 品位含量高达 32.5×10^{-6} , 稀土总量高达 $176.78 \times 10^{-6} \sim 431.98 \times 10^{-6}$, 均值为 237.4×10^{-6} ; 轻重稀土比值为 5.36~10.19, 具有中基性岩浆岩稀土配分模式平缓右倾的典型特征。稀土总量高的样品均位于火山旋回的顶部, 含 Au 最高的样品稀土总量也较高, 金矿体的品位还与玄武安山岩的厚度略呈正比关系。按照岩浆上涌时同化混染规律, 从早期至晚期, 火山岩逐渐由基性向中基性演化, 金与稀土元素逐渐富集, 代表着火山旋回末次残余岩浆活动富集成矿特点。因而泥堡金成矿作用与峨眉山玄武岩残余岩浆相关, 属于滇黔桂金成矿区内与火山作用相关的大型金矿床。

关键词:稀土元素; 玄武安山岩; 晚二叠世火山作用; 泥堡金矿床; 贵州

中图分类号: P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2019)03-0081-09

REE Geochemical Features of Ore-hosted Volcanic Rocks in the Nibao Gold Deposit, Southwest Guizhou, China

QI Liansu¹, QIU Xiaoping²

(1. Brigade 105, Bureau of Guizhou Geological Exploration Development, Guiyang 550018, Guizhou, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China)

Abstract: Basaltic andesite, as the highest gold content ore-hosted rock in the Nibao gold deposit, has highest gold grade of 32.5×10^{-6} , and total rare earth elements (Σ REE) contents ranging from 176.78×10^{-6} to 431.98×10^{-6} with an average in 237.4×10^{-6} . Their LREE/HREE ratios are 5.36~10.19, forming a figure gentle-dipped on the right side, according with the REE partition model of the intermediate-basic magma rock. The samples of highest Σ REE content are situated at the top of volcanic cycle, containing the highest gold grade ore. Furthermore, there is a roughly positive correlation between the gold grade of orebody and the thickness of basaltic andesite. According to the regulation of assimilation and contamination of upwelling magma, the medium-basic volcanic rocks were developed from basic rocks as the temporal order, while gold and REE were enriched gradually, which represent the residual magma enrichment and metallogenesis features of volcanic cycle. Therefore, the Nibao gold deposit is related to the residual magma eruption of Emeishan basalt, which is the large scale gold deposit related to the volcanism

收稿日期: 2018-09-10; 修回日期: 2018-11-28

基金项目: 2019 年贵州省地矿局地质科研项目“贵州泥堡地区峨眉山火山活动与金成矿关系研究”[黔地矿科合(2019)10]、“黔西南泥堡金矿床火山成矿作用研究及找矿预测”[黔地矿科合(2016)14 号]

作者简介: 祁连素(1971-), 女, 高级工程师, 长期从事矿产地质勘查及研究工作。E-mail: 984814834@qq.com

in Yunnan-Guizhou-Guangxi gold metallogenic province.

Keywords: basaltic andesite; geochemistry of REE; late Permian volcanism; Nibao gold deposit; Guizhou

黔西南泥堡金矿床地处滇黔桂金矿集中区内,为国家级整装勘查区——贵州贞丰—普安金矿整装勘查区的重要组成部分。众多学者对泥堡金矿床的相关研究侧重于矿床地质特征、矿床成因及矿床地球化学特征和矿床控矿因素等(陈世委等,2013;刘家铎等,2003;郑禄林等,2014;孙军等,2012;刘平等,2006;王疆丽等,2014;李俊海等,2016;周余国等,2009)。目前,关于黔西南卡林型金矿的成矿物质究竟是来源于赋矿地层本身,还是峨眉山玄武岩及峨眉山地幔热柱活动引发的热水沉积提供成矿物质,并促使成矿过程发生(SU W C et al,2012);而含矿热液是地下水深循环结果(NIE A Get al,2008),还是直接来源于地幔(SU W C et al,2009)均尚无定论。随着近年勘查工作的深入开展和综合研究,揭示泥堡金矿床最主要的容矿岩石为中基性火山岩——玄武安山岩(祁连素等,2016),而且金成矿作用与晚二叠世火山或火山气液作用相关。但火山作用与金矿成矿过程的研究刚刚起步,数据和资料积累较少。笔者针对泥堡金矿最主要的容矿岩石玄武安山岩,在中心剖面系统采集岩矿石样品,从稀土元素地球化学角度探讨该地区金矿成矿作用与峨眉山玄武岩喷发残余岩浆活动的相关性,试图揭示成岩与成矿作用的关系(李文渊,2013),进而拓展找矿思路,并讨论了相邻地区相似类型金矿床的区域找矿方向。

1 成矿地质背景

泥堡金矿床位于扬子陆块与江南复合造山带的结合部位(贵州省地质调查院,2017)。区内印支—燕山—喜山期多旋回构造变形形成种类繁多且复杂的构造形迹和金、锑等重要矿产。主构造形迹为北东向断裂褶皱带,伴随东西向和北西西向辅协构造;主构造潘家庄成矿构造带内构造变形强烈,褶皱、断层交织重叠分布,从西段到东段主要由北东向的二龙抢宝背斜、三道沟背斜、紫马背斜以及一系列北东向、北西向的断裂构造组成(图1),对应有泥堡金矿床、三道沟金矿点和紫马金矿床等产出。

2 矿床、矿体地质特征

2.1 矿区地质

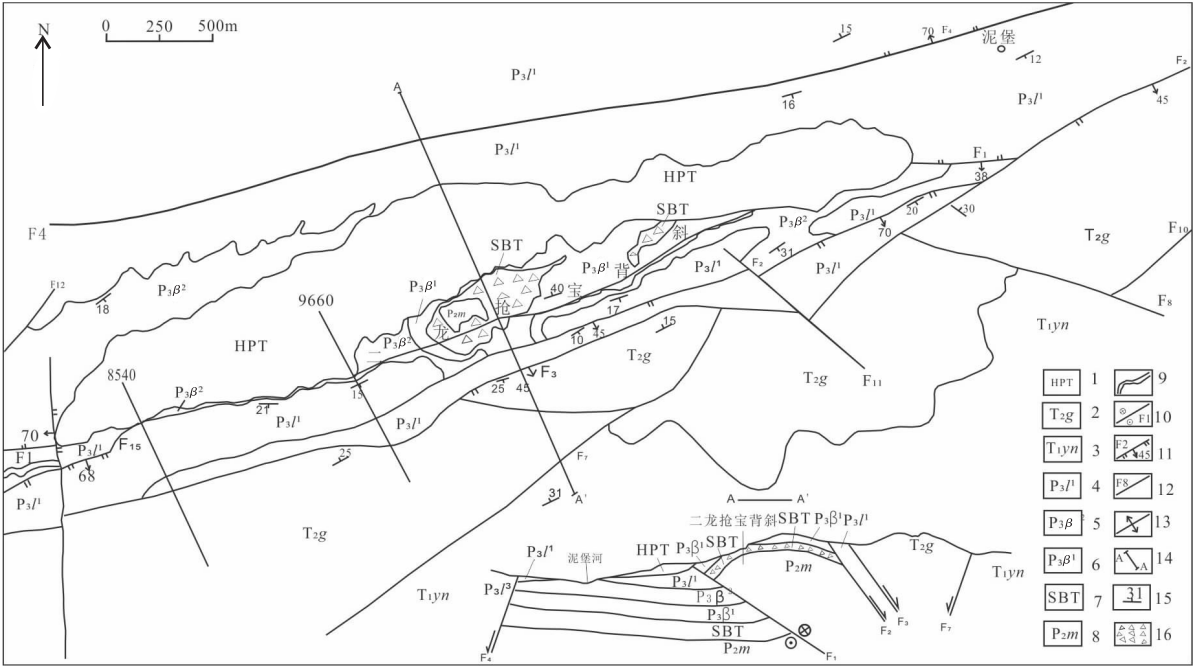
泥堡大型金矿床为北东向潘家庄成矿构造带内的典型矿床,位于黔西南峨眉山玄武岩东南边缘的火山岩凝灰岩分布带上,在赋矿岩石、含金建造、沉积环境等成矿地质因素方面均具有火山—次火山热液矿床特点。矿区构造变形较为强烈,构造形迹展布以北东向为主体,北西向次之。构造样式以褶皱、断层为主。北东向构造控制了金矿体的产出,而峨眉山玄武岩组中的玄武安山岩及火山碎屑岩及其携带的热液活化和改造黔西南含金基底地块;主体含金构造为北东向的、以二龙抢宝背斜为代表的褶皱—断裂构造,轴向断裂有 F1、F2、F3、F4 等,大致与背斜轴向平行展布(图1)(贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队,2013)。

2.2 矿体特征

泥堡原生金矿体按其控矿因素、产状和空间位置分为断裂型和层控型。断裂型矿体产于 F1 断层破碎带中,为区内主要矿体,其分布与产状严格受断层破碎带控制。矿体呈似板状、透镜状产出,产状与断层产状基本一致,长约 2 720m,宽约 200~540 m。矿体具有膨大收缩、分支复合现象。容矿岩石为角砾岩,角砾成分为玄武安山岩、粉砂岩、灰岩。其中,角砾成分为玄武安山岩的 Au 品位最富。

层控形矿体分别产于 F1 断层上、下盘的峨眉山玄武岩组二段($P_3\beta^2$)、一段($P_3\beta^1$)及构造蚀变体中(SBT),矿体呈似层状、透镜状大致顺层产出。层控型矿体为区内次主要矿体,其容矿岩石主要为玄武安山岩、凝灰岩、硅化灰岩及粉砂岩等。

无论是在 F1 断层破碎带,还是在峨眉山玄武岩组中,都以中基性火山岩(玄武安山岩)中 Au 品位最高(本次测试结果金最高品位为 32.5×10^{-6} ,平均品位为 4.02×10^{-6}),而火山碎屑岩(凝灰岩)次之(最高品位为 16.00×10^{-6} ,平均品位为 2.49×10^{-6})(贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队,2013)。区内岩石含 Au 性由高到低依次为:玄武安



1. 滑坡体;2. 关岭组;3. 永宁镇组;4. 龙潭组第一段;5. 峨眉山玄武组第二段;6. 峨眉山玄武组第一段;7. 构造蚀变体;8. 茅口组;9. 地层界线;10. 左行断层及编号;11. 正断层及编号;12. 推测断层及编号;13. 背斜构造;14. 剖面;15. 地层产状;16. 构造蚀变体(SBT)

图 1 泥堡金矿床地质略图(祁连素,2017 年修编)

Fig. 1 Geological sketch map of Nibao gold deposit

山岩(本次测试结果)、凝灰岩、粉砂岩、灰岩、黏土质粉砂岩、黏土岩。其中,黏土岩、黏土质粉砂岩、灰岩、粉砂岩往往含矿较差(郑禄林等,2014)。

中基性火山岩(玄武安山岩)为该区最主要的容矿岩石。该类岩石组分较为复杂,岩石组成主要是中基性火山岩屑、玄武质岩屑(图 2a、图 2b)、火山玻璃屑,其次是石英晶屑。原岩矿物成分为斜长石、辉石、玻璃质、磁铁矿、钛铁矿、石英、碳酸盐矿物等,大部分转变为黏土矿物,其中的火山玻璃质多已脱玻化蚀变成水云母、蒙脱石、高岭石及绿泥石、玉髓等。后期经白云石化、黏土化蚀变(图 2b),原岩矿物大多转变为白云石和黏土矿物,但原岩之熔结结构、凝灰结构及交织结构(安山结构)和气孔构造仍能被清楚辨认。原岩中的长石形态部分保留,大部分转变为黏土矿物。该岩石具交代残余结构,斑状结构、交织结构(图 2a)和典型的火山岩鸡骨状构造(图 2c、图 2d,同一视域)。

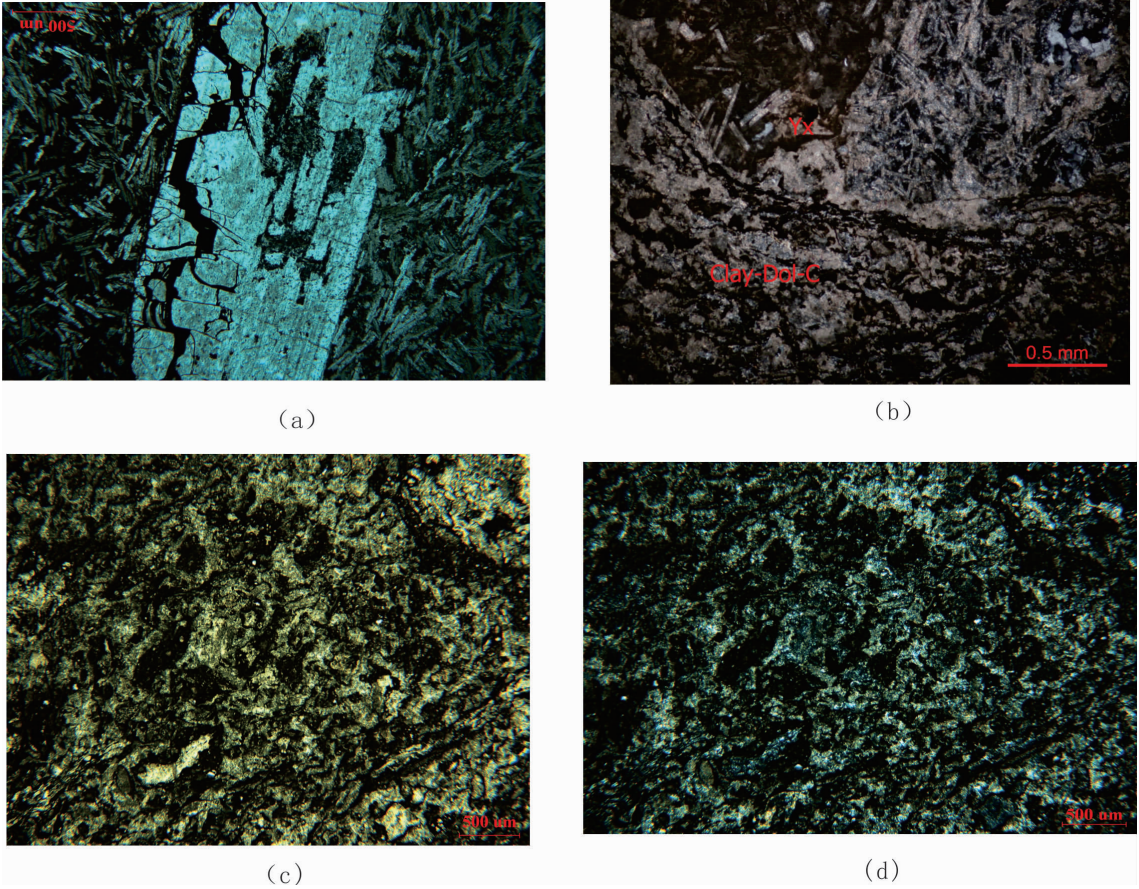
金矿石主要遭受硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、毒砂化、白云石化,次有方解石化、高岭石化、辰砂化、萤石化、雄(雌)黄化、辉锑矿化等蚀变。硅化、黄铁矿化、白云石化和黏土化蚀变与金矿极为密切,凡金

矿体产出部位均有此类蚀变特征。与金有明显成因联系的矿物主要是黄铁矿、含砷黄铁矿、毒砂、石英、黏土矿物和萤石等,其他矿物有铁白云石、磷灰岩、金红石、赤铁矿、闪锌矿、白铁矿、碳质及碳酸盐矿物等。

3 样品采集与测试分析

对泥堡金矿西段至东段(9020—9660 勘探线)上的钻孔进行系统采样(图 3),图中的小黑点即为采样位置,样品编号由钻孔号和序号组成。采样位置为 F1 断裂破碎带及 F1 断层上下盘的峨眉山玄武组二段($P_3\beta^2$),采样介质为玄武安山岩,每个采样钻孔均按剖面进行,采样深度为(50~450m),共采集钻孔 7 个,样品 19 件。稀土元素含量测试工作在澳实分析检测(广州)有限公司完成,采用 M61—MS81 电感耦合等离子体质谱测定。

测试步骤为:称取 2 份试样,一份试样用高氯酸、硝酸、氢氟酸消解。蒸至近干后的样品用稀盐酸溶解定容,再用等离子体发射光谱与等离子体质谱进行分析。另一份试样加入到偏硼酸锂/四硼酸锂



a. 交织斜长石围绕斜长石斑晶(+); b. clay-Dol-C-黏土、白云质、碳质; Yx. 玄武质安山岩屑(+); c. 安山质凝灰岩的鸡骨状构造(-); d. 安山质凝灰岩的鸡骨状构造(-)

图 2 泥堡金矿玄武安山岩样品显微镜照片

Fig. 2 The microscope photos of basaltic andesite

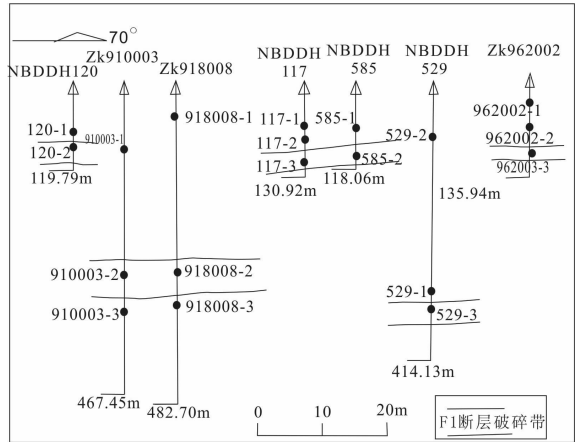


图 3 泥堡金矿玄武安山岩采样位置平面图

Fig. 3 The sample position of basaltic andesite in Nibao gold deposit.

熔剂中,混合均匀,在 1 025℃ 以上的熔炉中熔化。

熔液冷却后,用硝酸、盐酸和氢氟酸定容,再用等离子体质谱仪分析。根据样品的实际情况和消解效果,综合取值即是最后的检测结果。

各样品稀土元素特征见表 1。利用 MCDONOUGH & SUN(1989)球粒陨石数据对微量稀土元素进行标准化,生成泥堡金矿玄武安山岩稀土元素配分图(图 4);利用安山岩数据(毛安琦等,2016)和凝灰岩、含凝灰质粉砂岩、含凝灰质次生石英岩以及玄武岩数据(郑禄林等,2014),生成泥堡金矿床容矿岩石与类似火山岩稀土元素配分图(图 5)。

4 稀土元素特征

稀土元素球粒陨石标准化模式,玄武安山岩稀土元素球粒陨石标准化配分形式见图 4。由表 1 可知,玄武安山岩稀土总量为 $176.78\times10^{-6}\sim431.98\times$

表 1 泥堡金矿玄武安山岩及其他岩石中稀土元素含量及特征值表(10⁻⁶)

Tab. 1 The gold and the rare earth element contents of basaltic andesite Nibao gold deposit(10⁻⁶)

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE	HREE	L/H	δEu	δCe	备注
918008-1	75.6	168.5	21.1	91.8	19.90	6.37	18.50	2.46	13.15	2.39	5.83	0.82	4.85	0.71	431.98	383.3	48.7	7.87	1.00	1.02	
918008-2	35.3	72.1	8.35	33.3	6.39	2.27	6.19	0.90	5.35	1.01	2.62	0.37	2.28	0.35	176.78	157.7	19.1	8.27	1.09	0.99	
918008-3	41.6	81.4	9.34	37.8	7.69	2.96	7.21	0.97	5.36	0.96	2.36	0.33	2.02	0.29	200.29	180.8	19.5	9.27	1.20	0.97	
910003-1	44.9	89.9	10.30	41.6	7.91	2.39	7.19	1.05	6.50	1.24	3.41	0.51	3.10	0.48	220.48	197.0	23.5	8.39	0.95	0.99	
910003-2	40.8	86.9	10.10	42.1	8.73	2.87	8.51	1.22	7.06	1.33	3.41	0.49	2.86	0.43	216.81	191.5	25.3	7.57	1.01	1.02	
910003-3	59.4	118.0	13.40	51.2	9.28	2.68	8.06	1.16	6.80	1.37	3.50	0.51	3.05	0.47	278.88	254.0	24.9	10.19	0.93	0.98	
962002-1	76.7	156.0	18.25	72.9	14.25	4.67	14.25	2.09	12.30	2.37	6.47	0.94	5.66	0.86	387.71	342.8	44.9	7.63	0.99	0.99	
962002-2	40.4	85.0	10.15	40.4	7.43	2.36	6.60	1.01	6.42	1.30	3.58	0.52	3.27	0.50	208.94	185.7	23.2	8.01	1.01	1.00	玄武安山岩
962002-3	42.2	86.9	10.40	42.9	8.68	2.88	7.90	1.13	6.61	1.28	3.20	0.46	2.75	0.42	217.71	194.0	23.8	8.17	1.04	0.99	(P ₃ β)
529-1	42.6	88.6	10.90	43.5	7.37	2.22	6.29	0.98	6.35	1.30	3.61	0.54	3.22	0.49	217.97	195.2	22.8	8.57	0.97	0.98	
529-2	35.9	76.0	9.22	37.3	7.51	2.39	7.14	1.03	6.09	1.15	3.11	0.45	2.78	0.41	190.48	168.3	22.2	7.60	0.98	1.00	
585-1	42.1	87.0	10.50	42.1	8.22	2.63	7.52	1.13	6.72	1.34	3.56	0.51	3.14	0.48	216.95	192.6	24.4	7.89	1.00	0.99	
585-2	41.5	87.4	10.75	44.1	8.19	2.54	6.72	0.96	6.03	1.17	3.27	0.47	2.98	0.44	216.52	194.5	22.0	8.82	1.02	0.99	
117-1	59.5	142.0	20.0	97.8	25.6	9.93	28.6	3.73	17.80	2.76	6.44	0.88	5.18	0.76	420.98	354.8	66.2	5.36	1.12	1.01	
117-2	37.9	78.3	9.62	39.8	8.09	2.80	7.34	1.06	6.09	1.16	3.02	0.44	2.62	0.39	198.63	176.5	22.1	7.98	1.09	0.98	
117-3	32.1	69.8	9.07	39.1	9.07	3.46	10.20	1.34	7.13	1.20	2.83	0.38	2.27	0.34	188.29	162.6	25.7	6.33	1.10	0.99	
120-1	40.1	79.2	9.56	37.9	7.46	2.39	6.28	0.93	5.62	1.05	2.73	0.40	2.62	0.40	196.64	176.6	20.0	8.82	1.04	0.96	
120-2	36.3	75.6	9.21	37.4	6.96	2.21	6.53	0.98	5.94	1.16	3.27	0.48	2.92	0.44	189.4	167.7	21.7	7.72	0.99	0.99	
凝灰岩	98.5	190	19.9	71.6	11.85	2.91	9.14	1.36	8.41	1.74	4.94	0.75	4.7	0.73	426.53	394.76	31.77	12.43	0.82	0.99	
含凝灰质砂岩	107	213	24.2	93	17.7	3.32	15	2.34	13.85	2.8	7.86	1.19	7.56	1.19	510.01	458.22	51.79	8.85	0.61	0.99	
含凝灰质次生石英岩	70.4	131	14.65	53.9	8.25	1.43	4.69	0.72	5	1.1	3.33	0.51	3.23	0.54	298.75	279.63	19.12	14.63	0.64	0.95	*
玄武岩	37.17	86.29	9.76	46.46	10.28	3.02	9.10	1.27	1.53	1.13	2.53	0.21	1.41	0.21	210.37	192.98	17.39	11.10	0.93	1.09	
安山岩	45.11	89.28	10.81	41.25	7.11	1.71	5.44	0.64	3.45	0.64	1.59	0.22	1.34	0.20	208.79	200.71	13.52	14.85	0.81	0.96	#

注:数据由澳实分析检测(广州)有限公司测试,表中带*的数据取自郑禄林等(2014),表中带#的数据取自毛安琦等(2016)。

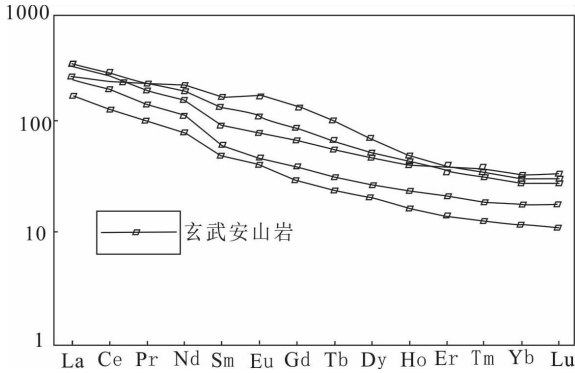
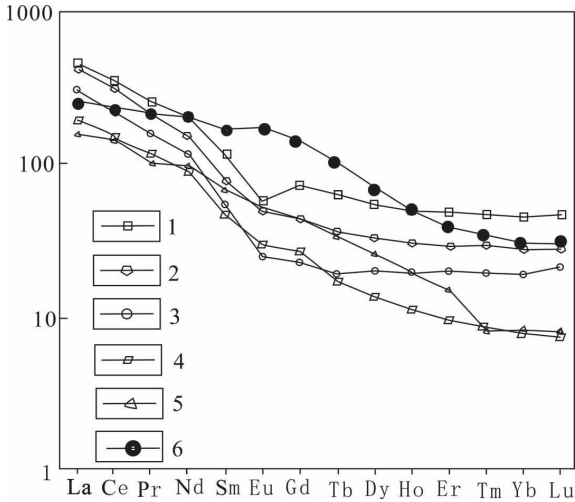


图 4 泥堡金矿玄武安山岩稀土元素配分图

Fig. 4 The partition graph of rare earth elements of basaltic andesite Nibao gold deposit



1. 含凝灰质粉砂岩; 2. 凝灰岩; 3. 含凝灰质次生石英岩;
4. 安山岩; 5. 玄武岩; 6. 玄武安山岩

图 5 泥堡金矿床玄武安山岩对比类似火山岩稀土元素配分图

Fig. 5 Comparison the partition graphs of rare earth elements of basaltic andesite Nibao gold deposit to the similar volcanic rocks

10^{-6} , 均值为 237.4×10^{-6} 。轻重稀土含量比值为 $5.36 \sim 10.19$, 均值为 8.06 。 $\delta La/\delta Yb$ 值为 $8.86 \sim 14.77$, 均值为 10.47 ; 轻稀土分馏明显, $\delta La/\delta Sm$ 值为 $1.50 \sim 4.13$, 均值为 3.21 。Eu 基本为正异常 ($\delta Eu = 0.93 \sim 1.20$), 平均值为 1.02 , Ce 基本无异常。稀土配分曲线表现为平缓右倾型, 代表标准的深源镁铁质(中基性)岩浆岩稀土配分模式特征。

19 件测试样品中, 稀土元素含量最高样品分别为 117-1 ($\Sigma REE = 420.98 \times 10^{-6}$)、918008-1

($\Sigma REE = 431.98 \times 10^{-6}$)、962002-1 ($\Sigma REE = 387.71 \times 10^{-6}$), 均具有 Eu 正异常。这 3 件样品均位于峨眉山玄武岩旋回顶部, 其中包括含 Au 最高的样品 117-1 (品位为 32.5×10^{-6})。由图 5 可知, 玄武安山岩、玄武岩、安山岩及其他含凝灰质矿石的稀土特征值和配分模式图基本相同, 但含 Au 矿石的稀土元素总量更高, 且 Eu 具弱正异常, 而不含 Au 的玄武岩 ($\Sigma REE = 210.37 \times 10^{-6}$)、安山岩稀土元素总量 ($\Sigma REE = 208.79 \times 10^{-6}$) 均较低, 显示峨眉山玄武岩火山旋回的最后残余岩浆活动, 金与稀土元素都具有明显的富集成矿作用。

根据已有资料(郑禄林等, 2014; 黄建国等, 2012; 赵平, 2017; 杨成富等, 2012)对黔西南台地相区(泥堡、戈塘、水银洞 3 个金矿)稀土元素含量进行统计, 结果显示, 泥堡金矿稀土总量为 $15.0 \times 10^{-6} \sim 511.30 \times 10^{-6}$, 轻重稀土含量比值为 $6.98 \sim 19.91$; ($\delta La/\delta Yb$) 值为 $8.15 \sim 17.66$; 轻稀土分馏明显, $\delta La/\delta Sm$ 值为 $3.02 \sim 5.51$; Eu 具中等至弱负异常 ($\delta Eu = 0.48 \sim 0.82$), 平均值为 0.65 , Ce 大多显示无异常。稀土配分曲线表现为轻稀土富集平缓右倾型。

戈塘金矿区稀土总量为 $3.4 \times 10^{-6} \sim 330.66 \times 10^{-6}$, 轻重稀土含量比值为 $5.11 \sim 10.29$; $\delta La/\delta Yb$ 值为 $4.54 \sim 13.65$; 轻稀土 ($\delta La/\delta Sm$) 分馏明显值为 $2.69 \sim 6.08$, 重稀土分馏不明显; Eu 具中等至弱负异常 ($\delta Eu = 0.65 \sim 0.85$, 平均值为 0.75), Ce 具弱负异常至正异常 ($\delta Ce = 0.90 \sim 1.86$)。稀土配分曲线表现为轻稀土富集平缓右倾型。

水银洞金矿区稀土总量为 $9.2 \times 10^{-6} \sim 315.70 \times 10^{-6}$, 轻重稀土含量比值为 $4.93 \sim 21.12$; $\delta La/\delta Yb$ 值为 $6.32 \sim 34.79$; 轻稀土 ($\delta La/\delta Sm$) 分馏明显值为 $2.73 \sim 7.95$, 重稀土有一定程度的分馏; Eu 具中等至弱负异常 ($\delta Eu = 0.64 \sim 0.84$), 平均值为 0.74 , Ce 大多显示无异常。稀土配分曲线表现为轻稀土富集平缓右倾型。

综上所述, 3 个矿区稀土元素富集程度依次为泥堡金矿、戈塘金矿、水银洞金矿。泥堡金矿含矿火山岩稀土元素含量较高(平均值为 375.7×10^{-6}), 其次为含凝灰质粉砂岩中稀土含量(平均值为 222.36×10^{-6}), 粉砂岩稀土含量平均值为 134.42×10^{-6} , 灰岩稀土总量均小于 20×10^{-6} 。

火山岩容矿岩石均表现高稀土含量特征, 为目

前黔西南地区稀土含量最高的岩石类型,远远大于地壳的 165.35×10^{-6} (黎彤,1976)。19 件样品稀土含量均值是地壳的 2.3 倍。如此高的稀土含量代表着火山旋回末期残余岩浆活动的特点。

5 讨论

5.1 稀土元素富集与高品位金含量的相互关系

对泥堡、戈塘、水银洞 3 个矿区不同容矿岩石类型稀土含量变化特征进行对比分析可知,3 个矿区稀土元素总量特征虽共同显示较高,但不同容矿岩石类型稀土含量变化范围亦较大。泥堡金矿主要容矿岩石玄武安山岩稀土元素含量最高,依次为凝灰岩、含凝灰质粉砂岩、粉砂岩,灰岩稀土元素含量最低;对比前人及本次研究成果显示,区内金矿的容矿岩石按其矿石含 Au 性由高到低依次为:玄武安山岩(Au 品位高达 32.5×10^{-6} , YNBDDH117-1, 本次测试结果)、凝灰岩、粉砂岩、灰岩、黏土质粉砂岩、黏土岩。其中,黏土岩、黏土质粉砂岩、灰岩、粉砂岩往往含矿较差。玄武安山岩作为泥堡金矿最主要的容矿岩石,其 Au 品位比矿区其他容矿岩石都高,同时也是稀土元素总量最高的样品。

19 件测试样品中,稀土元素含量最高的样品均具有 Eu 正异常。Eu 是自然界中唯一可被还原为二价状态的稀土元素(亨德森,1984),跟 Ca 相同,同时两者离子半径接近,二者经常呈类质同象替换(王中刚等,1989)。出现 Eu 负异常大家就认为是源区残留了斜长石。如果矿石中斜长石较多,或者

富 Ca 的矿物(单斜辉石之类)较多,那么出现 Eu 正异常是很正常的。泥堡金矿主要容矿岩石为玄武安山岩,中基性长石含量较高(图 2a),因此,出现 Eu 正异常。

3 件稀土元素含量最高的样品位于峨眉山玄武岩火山旋回顶部,按照岩浆上涌和同化混染规律,从早期至晚期,火山岩逐渐由基性向中基性演化(祁连素等,2016;彭燕东等,2003),代表着火山旋回末期残余岩浆活动富集成矿特点。在泥堡及周边地区的玄武岩与玄武安山岩中没有观察到柱状节理,推测为海相喷发环境,玄武安山岩也可产于陆缘火山弧环境(李永祥等,2011)。峨眉山玄武岩分布区外缘泥堡金矿床具有多层金矿层,且每层金矿皆与玄武安山岩、凝灰岩密切相关,玄武安山岩矿石中的金矿体规模为最大。

5.2 中基性火山岩厚度与金矿体及其品位变化的关系

据泥堡金矿区前期勘查成果,在泥堡西段 8540—9660 勘探线间赋存了全区厚度最大与品位最富的金矿体,随着远离该地段位置,其厚度逐渐变薄和尖灭,矿石品位逐渐变低。在该地段也是中基性火山岩厚度最大的位置。

由图 6 可以看出,矿体的厚度和品位变化与火山岩厚度大致显示出较好的对应关系,特别是在 9380 线附近,中基性火山岩 Au 品位高达 32.5×10^{-6} (YNBDDH117-1),厚度为 100m 左右,火山岩分布范围厚度大,其含矿品位高,矿体厚度大,也是稀土元素总量最高的样品。

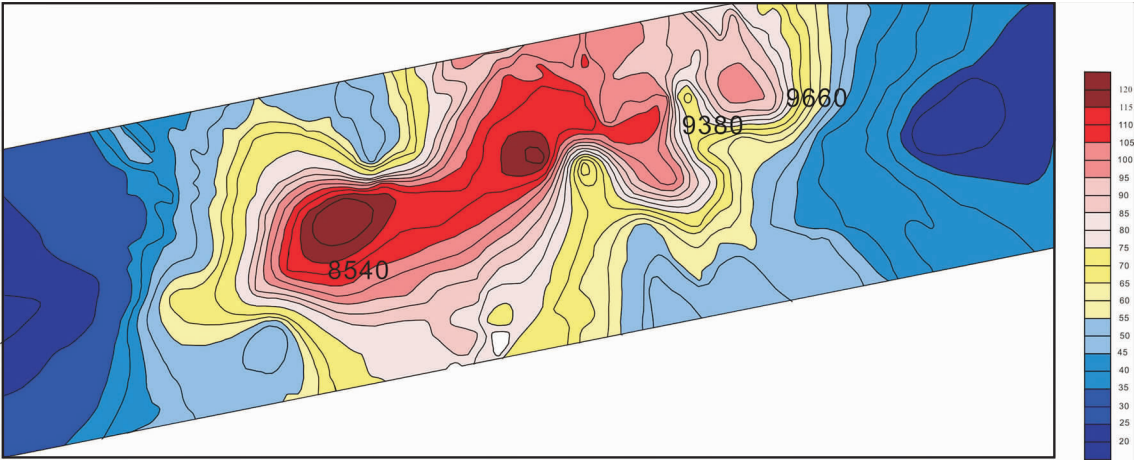


图 6 泥堡金矿区中基性火山岩厚度等值线图

Fig. 6 The thickness contour map of basaltic andesite in Nibao gold deposit

5.3 矿床成因指示意义

通过对泥堡金矿含矿火山岩稀土元素地球化学特征研究可知,泥堡金矿与玄武安山岩这套岩石关系密切,Au品位高,高稀土含量都与这套岩石密切相关。认为峨眉山玄武岩岩浆及所携带的岩浆热液同化滇、黔、桂“金三角”基底含Au地块,岩浆成分从基性岩浆岩向中基性岩浆演化,形成了峨眉山玄武岩残余岩浆活动和含Au热液成矿活动。区域上大范围峨眉山玄武岩分布区并未出现相关的金矿,仅在玄武岩区边缘与黔西南金矿集中区毗邻地带出现泥堡等金矿床,峨眉山玄武岩并非金矿物质的来源。因此,推测火山-次火山热液活化改造了黔西南的含Au的基底岩石,该区内的玄武安山岩、凝灰岩才成为富金地质体。因此,认为深部火山-次火山热液流体参与成矿作用。

6 结论

玄武安山岩含Au矿石稀土总量为 $176.78 \times 10^{-6} \sim 431.98 \times 10^{-6}$,均值达 237.4×10^{-6} ,为目前黔西南地区稀土总量较高的岩石类型,其配分模式曲线平缓向右倾斜,为典型的中基性岩浆岩的稀土配分模式特征。稀土总量最高的样品均具有Eu正异常,位于峨眉山玄武岩旋回顶部,其中也包括含Au最高的样品,说明峨眉山玄武岩火山旋回的最后残余岩浆活动对金与稀土元素起到明显的富集或成矿作用。泥堡金矿床属于滇黔桂金成矿区内与火山作用相关的大型金矿床。

参考文献(References):

陈世委,孙军,付斌,等. 黔西南泥堡金矿含矿岩系元素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报,2013,32(5): 591-598.

CHEN Shiwei, SUN Jun, FU Bin, et al. Geochemical Characteristics of Ore-bearing Rock Series in the Nibao Gold Deposit[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2003, 23(4): 75-76.

孙军, 聂爱国, 黄思涵, 等. 贵州泥堡金矿床成矿地质条件研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2012, 29(5): 36-41.

SUN Jun, NIE Aiguo, HUANG Sihan, et al. A Research of Ore-Forming Conditions of Nipu Gold Deposit in

Guizhou Province China [J]. Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2012, 29(5): 36-41.

刘平, 李沛刚, 马荣, 等. 一个与火山碎屑岩和热液喷发有关的金矿床-贵州泥堡金矿[J]. 矿床地质, 2006, 25(1): 101-110.

LIU Ping, LI Peigang, MA Rong, et al. A gold deposit associated with pyroclastic rock and hydrothermal exhalation: Nibao gold deposit in Guizhou Province, China[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(1): 101-110.

李文渊. 大陆生长演化与成矿作用讨论[J]. 西北地质, 2013, 46(1): 1-10.

LI Wenyuan. The Continental Growth and Ore-Forming Process [J]. Northwest geology, 2013, 46(1): 1-10.

李文渊. 大陆生长演化与成矿作用讨论[J]. 西北地质, 2013, 46(1): 1-10.

LI Wenyuan. The Continental Growth and Ore-Forming Process [J]. Northwest Geology, 2013, 46(1): 1-10.

王疆丽, 林方成, 侯林, 等. 贵州泥堡金矿床流体包裹体特征及其成矿意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2014, 33(5): 688-699.

WANG Jiangli, LIN Fangcheng, HOU Lin, et al. Characteristics and Metallogenic Significance of Fluid Inclusions in the Nibao Gold Deposit, Guizhou[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2014, 33(5): 688-699.

李俊海, 刘建中, 张双菊, 等. 黔西南泥堡特大型金矿床的新发现及其控矿因素[J]. 地质科技情报, 2016, 35(4): 144-149.

LL Junhai, LIU Jianzhong, ZHANG Shuangju, et al. New Discovery and Ore-Controlling Factors of the Large Scale Nibao Gold Deposit in Southwestern Guizhou Province[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(4): 144-149.

祁连素, 邱小平, 李俊海, 等. 黔西南泥堡金矿床“砾屑砂岩”的火山岩属性及其与金成矿的密切关系[J]. 贵州地质, 2016, 34(4): 245-250.

QI Liansu, QIU Xiaoping, LI Junhail, et al. The Volcanic Property of 'Rudaceous Sandstone' And Its Close Relationship with Gold Mineralization in Nibao Gold Deposit, Southwest Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2016, 34(4): 245-250.

邱小平. 猫岭金矿床成矿构造演化特征[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 203-204.

QIU Xiaoping. Evolution Features of Metallogenic Structure in Maoling Gold Deposit[J]. Mineral Deposits, 2004, 23(2): 203-204.

贵州省地质调查院. 中国区域地质志贵州志[M]. 北京: 地质出版社, 2017.

Guizhou Institute of Geological Survey of Guizhou Prov-

- ince. Advisor committee of the regional geology of china, Guizhou Province [M]. Beijing: Geology Publishing House, 2017.
- 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队. 贵州省普安县泥堡金矿勘探(阶段性)地质报告[R]. 2013.
- 黎彤. 元素化学的地球丰度[J]. 地球化学, 1976, 5(3): 167-174.
- LI Tong. The geochemical abundance of element [J]. Geochimica, 1976, 5(3): 167-174.
- 黄建国, 李虎杰, 李文杰, 等. 贵州戈塘金矿含矿岩系元素地球化学特征[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1318-1326.
- HUANG Jianguo, LI Hujie, LI Wenjie, et al. Element geochemistry of ore-bearing rock series in the Getang gold deposit, Guizhou Province [J]. Geology in China, 2012, 39(5): 1318-1326.
- 郑禄林, 王兰香, 王甘露. 黔西南台地相区金矿构造蚀变体稀土元素特征[J]. 金属矿山, 2014, 460(10): 122-125.
- ZHENG Lulin, WANG Lanxiang, WANG Ganlu. REE Characteristic of Structure Alteration- Rocks in Tableland Lithofacies Area, Southwest Guizhou Province [J]. Metal Mine, 2014, 460(10): 122-125.
- 郑禄林, 杨瑞东, 刘建中, 等. 黔西南泥堡金矿床大型隐伏金矿体地质特征研究[J]. 地质与勘探, 2014, 50(4): 689-699.
- ZHENG Lulin, YANG Ruidong, LIU Jianzhong, et al. Geological features of a large concealed gold orebody in the Nibao gold deposit, southwestern Guizhou Province [J]. Geology and Exploration, 2014, 50(4): 0689-0699.
- 赵平, 李爱民, 刘建中, 等. 应用 ICP-MS 研究黔西南地区构造蚀变体稀土元素地球化学特征[J]. 岩矿测试, 2017, 36(1): 89-96.
- ZHAO Ping, LI Aimin, LIU Jianzhong, et al. Application of ICP-MS to Study REE Geochemistry of Structure Alteration Rocks in Southwestern Guizhou Province, China [J]. Rock and Mineral Analysis, 2017, 36(1): 89-96.
- 周余国, 刘继顺, 王作华, 等. 从滇黔桂“金三角”区域地层地球化学演化特征探讨卡林型金矿的物质来源[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 199-208.
- ZHOU Yuguo, LIU Jishun, WANG Zuohua, et al. The sources of ore-forming substance of Carlin-type gold deposit: A discussion based on the characteristics of regional stratigraphic geochemical evolution in “Gold-Triangle” area of Yunnan, Guizhou, Guian-gxi Provinces [J]. Earth Science Frontier, 2009, 16(2): 199-208.
- 杨成富, 刘建中, 陈睿. 贵州水银洞金矿构造蚀变体稀土元素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(4): 404-413.
- YAN Chengfu, LIU Jianzhong, CHEN Rui, et al. Geochemical Characteristics of REEs in Structure Alteration Rocks of the Shuiyingdong Gold Deposit, Guizhou Province [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2012, 31(4): 404-413.
- 亨德森. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- HENDERSON. The geochemical of Rare earth elements [M]. Beijing: Geology Publishing House, 1984.
- 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- WANG Zhonggang, YU Xueyuan, ZHAO Zhenhua, et al. The geochemical of Rare earth elements [M]. Beijing: Science Press, 1989.
- 彭燕东, 张立东, 张长捷, 等. 辽西义县旋回火山岩的稀土元素特征[J]. 西北地质, 2003, 2(4): 37-38.
- PENG Yandong, ZHANG Lidong, ZHANG Changjie, et al. Rare earth element characteristics of volcanic rocks from Yixian formation of Western Liaoning [J]. Northwest Geology, 2003, 2(4): 37-38.
- 李永祥, 李善平, 王树平, 等. 青海鄂拉山地区陆相火山岩地球化学特征及构造环境[J]. 西北地质, 2011, 44(4): 26-27.
- LI Yongxiang, LI Shanping, WANG Shuping, et al. Geochemical Characteristics and Tectonic Environment of the Continental Facies Volcanic Rocks in Elashan Area, Qinghai Province [J]. Northwest Geology, 2011, 44(4): 26-27.
- 毛安琦, 孙德有, 苟军, 等. 大兴安岭北部额尔古纳地区塔木兰沟组火山岩岩石地球化学特征及成因[J]. 世界地质, 2016, 35(3): 641-652.
- MAO Anqi, SUN Deyou, GOU Jun, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of volcanic rocks from Tamulangou Formation in Erguna Region, northern Da Hinggan Mountain [J]. Global Geology, 2016, 35(3): 641-652.
- SU W C, ZHANG H T, HU R Z, et al. Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong carlin-type gold deposit, Guizhou, China: Implications for gold depositional processes [J]. Mineral Deposita, 2012, 47(6): 653-662.
- NIE A G, MEI S Q, GUAN D Y, et al. A study on the genetic relations between Permian Longtan Formation coal series strata and Carlin-type gold deposits, southwestern Guizhou Province, China [J]. Chin. J. Geochem. 2008, 27(3): 291-298.
- SU W C. Sediment-hosted gold deposits in Guizhou, China: Products of Wall-rock sulfidation by deep crustal fluids [J]. Economic Geology, 2009, 104(1): 73-93.