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

张晓东^{1,2)},杨瑞东²⁾,刘玲³⁾,魏怀瑞²⁾

1) 南京地质矿产研究所,南京,210016; 2) 贵州大学研究生院,贵阳,550025;

3) 贵州有色地质勘查局,贵阳,550005

内容提要:在黔东南出露的一套新元古界下江群浅变质碎屑岩中产出众多石英脉型金矿床(点),有关该类矿 床的成因问题,特别是金的物质来源一直是研究的热点,因此下江群地层岩石的含金性以及元素地球化学特征也 倍受关注。本文对贵州锦屏地区新元古界下江群浅变质岩及典型矿床的微量及稀土元素进行了系统测试,通过对 比分析发现:下江群剖面的每个组均富集 As、Ba、Zr、Ti;亏损 Cr、Rb、Sr、Ta、Sc等元素,从番召组到平略组,元素组 合演化呈明显相似性和继承性。含凝灰质多的番召组和清水江组地层中金含量较高,并且含金高的层位稀土含量 较低,地层中 Au 与壳源特征的 Ag、Hg、As 等低温元素关系最为密切,该压金的迁移、富集可能与地层的热液活动 或区域变质作用有密切的关系。围岩、地层岩石与矿石的微量元素特征及 REE 组成模式体现了地球化学演化上 的一致性及继承性,表明该区金矿成矿物质可能主要来自于地层,而平积金矿部分含金石英脉矿石表现出与围岩 地层不同的地球化学特征,其更接近下地壳或上地幔,说明可能有部分深部流体参与成矿。

关键词:下江群;石英脉型金矿;微量及稀土元素;成矿物质;贵州锦屏

黔东南地区是我国中、新元古界浅变质岩的主 要分布区之一,在其出露的一套新元古界下江群浅 变质碎屑岩中产出众多石英脉型和蚀变岩型金矿床。 (点),主要分布于黔东南的天柱、锦屏、黎平等地、该 区在漫长的地质时期中,孕育了良好的成矿地质环 境,经历多期多次的构造活动,形成了多种含金建 造,该区构造活动所形成的褶皱、断裂为金矿的形成 创造了有利的条件。金矿区受区域性断裂和背斜轴 部控制,区域构造和次级构造的交汇区控制金矿床 的分布,各种形态和性质的断层及褶皱控制金矿体 的分布(刘幼平,1997;王亮,203;卢焕章等,2005; 陶平等,2005a;杨光忠,2005 吴学益等,2006;王尚 言等,2006)。在该地区产出的金矿床(点)除了受构 造控制外,还明显受新元古代地层的控制。下江群 这套火山沉积浅变质碎厚岩系(凝灰质板岩、沉凝灰 岩、变余砂岩等),控制着黔东南金矿床(点)的产出, 产于凝灰质板岩中的矿床(点)占44%,产于凝灰岩 中矿床(点)约占39%(张杰等,1997;陶平等,

2009),足以体现该区金矿与下江群浅变质岩系的关 系十分密切。资料显示该区大部分金矿集中分布于 下江群中(表1),其中又以清水江组为主,次为番召 组、隆里组(黎应书等,2004;陈文一等,2006;卢焕 章等,2006;杨瑞东等,2009)。为此,笔者对贵州锦 屏地区下江群的番召组、清水江组、平略组、隆里组 地层进行了系统的野外调研,以该区基础地质、矿产 地质及科研成果为基础,初步研究了贵州锦屏地区 下江群出露地层含金性以及微量、稀土元素地球化 学特征,对进一步研究该区下江群浅变质碎屑岩与 金矿的关系提供理论基础。

1 区域地质概况

研究区位于扬子地台和华南加里东褶皱带的结 合部,所处构造位置为江南造山带,属雪峰山多金属 成矿带之西南段,区内出露地层有青白口系下江群、 震旦系、石炭系、二叠系、白垩系及零星分布的第四 系(图1)。青白口系下江群分布广泛,其中含金层

注:本文为贵州大学矿床学博士点学科建设基金项目(编号 GZUD2008002)资助成果。

收稿日期。2017-04-22;改回日期:2011-11-29;责任编辑:周健。

作者简介:於晓东,男,1981年生。硕士,助理研究员,主要从事矿床地球化学、地质矿产调查工作。通讯地址:210016,南京地质矿产研究 所。Emain:zxd11111@163.com。

DOI:CNKI:11-1951/P.20120113.0857.012 网络出版时间:2012-1-13 8:57

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20120113.0857.012.html

| ົ | 5 | \cap |
|---|---|--------|
| 4 | 0 | 9 |
| | | |

表 1 黔东南新元古界下江群主要金矿赋矿层位简表(据陶平等,2009)

Table 1 Main Au-bearing formations in Xiajiang Group of Neoproterozoic in southeasten Guizhou (after Tao Ping et al., 2009)

| 赋矿层位 | 沉积作用 | 容矿岩石 | 矿化类型 | 矿床点实例 |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------|
| 下江群 隆里组 | 浅海斜坡相近源浊流砂、页岩偶夹沉凝灰 岩沉积 | 砂质板岩、条带状砂质板岩、炭质板岩、变 余沉凝灰岩等 | 石英脉型 | 锦屏铜鼓 |
| 下江群 平略组 | 盆地相远源一中源浊流沉积、浅海斜坡相 夹凝灰岩沉积 | 板岩、变余砂岩、变余沉凝灰岩 | 石英脉型 | 虎盆、地稠、达冲 |
| 下江群 清水江组 | 斜坡相近源一远源浊流、碎屑流沉凝灰 岩、凝灰质砂、页岩沉积 | 变余沉凝灰岩、凝灰质板岩、凝灰质细砂 岩、粉砂岩等 | 石英脉型为 主蚀变岩型为次 | 天柱下达、主山冲、 锦屏八克、辣子坪 |
| 下江群 番召组 | 斜坡相中源浊流含火山碎屑泥质、碎屑岩 沉积 | 粉砂质板岩、变余砂岩、千枚岩、原岩常富 含硫化物 | 石荚脉型为主 | 锦屏平秋 |
| 下江群 甲路组 | 滨海相砂泥质岩、浅海一陆相碳酸盐岩沉 积 | 绢云母板岩、含砾砂质板岩、千枚岩等,常 含硫化物和有机质 | 快变岩型 | 从江翁浪、地虎 |



图 1 黔东南锦屏和天柱地区地质简图及研究剖面位置(据卢焕章等,2006)

Fig. 1 Simplified regional geological map of the Jinping area, Guizhou Province and locality f study section (after Lu Huanzhang et al. ,2006)

1一震旦系及以上地层;2一下江群隆里组;3一下江群平略组;4一下江群清水江组;5一下江群番召组;6一金矿点;7一剪切力方向;

8一向斜轴;9一青斜轴;10一剪切带;11一基底剪切断裂带;12一剖面位置;13一遥感环形构造

1—Sinina and formation above; 2—Longli Fm., Xiajiang Group; 3—Pinglue Fm., Xiajiang Group; 4—Qingshuijiang Fm., Xiajiang Group;

5—Fanzhao Franzhao Group; 6—gold mine; 7—shearing stress orientation; 8—anticline axle; 9—sycline axle;

10—shearing zone; 11—shearing fault zone; 12—location of section; 13—remotering circular structure

位有番召组、清水口组及隆里组。岩性为一套浅变 质杂砂岩、岩屑砂岩、凝灰质砂岩夹火山熔岩、集块 岩、火山角砾岩以及泥砂混积的浊积岩等(陈文一 等,2006:卢焕章等,2006)。岩石主要为板岩、变余 砂岩、变余凝灰岩、千枚岩等,部分岩石含有呈星点 状分布的黄铁矿。

区内下江群各组地层特征如下:

番召组(Pt₃f):下部主要为灰色、灰绿色粉砂质

板岩夹少量变余砂岩,具水平条纹构造;上部以灰 色、浅灰色变余砂岩为主,夹条带状沉凝灰岩及含凝 灰质板岩。为了避开平秋金矿,剖面只从番召组二 段开始测量,厚度>400 m。

清水江组(Pt₃q):浅灰色、灰绿及深灰色条带状 变余沉凝灰岩,条带状、块状变余沉凝灰岩,变余沉 凝灰质砂岩、块状变余砂岩和板岩。中部变余砂岩 较多,下部和上部变余沉凝灰岩、板岩较多。厚度 1800 m.

平略组(Pt₃*p*):浅灰色、灰绿色条带状、块状互 层的板岩和变余砂岩,夹少量变余沉凝灰岩。厚度 800m。

隆里组(Pt₃*l*):浅灰色至灰色块状、条带状变余 砂岩、变余粉砂岩夹板岩互层,夹变余沉凝灰岩。厚 度大于 500 m。

2 样品采集和测试方法

在分析野外地质资料和前人资料的基础上,选 取研究程度较高、受构造影响较小、无蚀变、无脉体 的锦屏一平秋剖面(A-A'剖面,见图 1),该剖面下 江群地层出露较全,剖面岩性特征及地层序列见图 2。在对剖面进行详细的观测的基础上,对新鲜的岩 石采取 50~100 m 一个样品进行系统采样,采集番 召组、清水江组、平略组、隆里组地层的岩石样品共 32件,岩性主要由变余砂岩、变余凝灰质砂岩、含凝 灰质板岩、变余沉凝灰岩等组成。将样品碎到 200 目以下,送国土资源部官昌地质矿产研究所分析测 试中心测试,Ti采用X射线荧光光谱方法(XRF)分 析测量,微量元素和稀土元素采用 INAA 法测定, 并对个别样品进行了筛选及复测。另外对该区赋存 于下江群的典型矿床点平秋金矿和八克金矿分别采。 集含金石英脉矿石和围岩(共计15件),送中国科学 院地球化学研究所国家重点实验室,采用 Element 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS),对微量及稀 土元素进行测定,相对标准偏差优于5%

3 研究区下江群微量元素特征

3.1 下江群地层含金性研究

该区下江群地层产出众多的石英脉金矿,对于 金矿的成矿物质来源,主要的观点认为金主要来源 于围岩,其依据主要是金矿围岩金元素平均含量远 远高于地壳中金元素克拉克值 2.25×10⁻⁹(黎彤, 1994;余大龙等,1999;黎应书等,2004;张杰等, 1997;吴攀,1999) 然而亦有人认为,该区金矿的成 矿物质部分来自赋矿地层,部分来自深部,成矿物质 是多来源的(正尚彦等,2006)。

本文对文江祥各组地层岩石(变余砂岩、凝灰质 板岩、变余凝灰岩等)中金含量进行了测定,发现其 变化范尾较大(0.74×10⁻⁹~9.08×10⁻⁹),其平均 值2.71×10⁻⁹。在下江群的4个组岩性段中,番召 组和清水江组含金较高,其平均含量分别为3× 10⁻⁹和3.54×10⁻⁹;平略组和隆里组明显较低分别





为 1.38×10⁻⁹ 和 1.68×10⁻⁹。该区赋存于番召组 的平秋金矿围岩(3 件),金平均值为 33.4×10⁻⁹;赋 存于清水江组的八克金矿围岩(5件)金平均值为 30.7×10⁻⁹,均远远高于地层金克拉克值。新元古 界下江群地层中金的含量虽然不高,金的丰度一般 低于大陆地壳中的平均值 3.0×10⁻⁹,甚至低于上 陆壳中金的平均含量 1.8×10⁻⁹(黎彤,1994),但是 金的分布不均匀,贫化-富集共轭显现明显,反映了 岩石中金在变质过程中的活化现象。下江群普遍夹 凝灰岩、沉凝灰岩或含凝灰质板岩,尤其是番召组顶 部、清水江组大部,而平略组和隆里组相对较少。不 同岩性中金含量变化较大,含凝灰质多的番召组和 清水江组层位金含量高,而含凝灰岩类少的平略组 和隆里组金含量低,并且含金高的层位稀土含量普 遍较低(图 2)。显然,岩性变化也引起金含量的变 化,下江群含大量的火山凝灰物质,这些火山碎屑物 质往往含金较高。研究区新元古界下江群浅变质岩 系是区内主要的容矿地层,由于地层多经历了多期 地质作用的叠加,尤其是研究区受后期热液作用等 影响使地层中的 Au 活化迁移,并在局部富集成矿, 而没有矿化和蚀变的地层由于 Au 的迁出,其含量 常常低于地壳克拉克值。

3.2 微量元素含量及其分布特征

锦屏一平秋剖面各组微量元素平均含量列于表 2,相应的上地壳微量元素(Taylor et al.,1985)标准化 蛛网图见图 3。由表 2,图 3 可看出,锦屏一平秋下江 群剖面中 As、Ba、Zr、Ti都发生相对富集;亲硫元素 Cu、Pb、Zn 的含量则有下降趋势,而亲铁元素除 Ti 富 集外,Ni、V、Co、Cr、Mi 都呈下降趋势。隆里组与下 江群其他三组相比某微量元素分布特征有所差异,以 富集多种微量元素为特征,其中 Cu、Zn、Pb、Ni、Co、 W、Mn 等铁族元素富集系数均比其他三组高。

表 2 锦屏一平秋下江群各组地层、典型矿床矿石及围岩微量元素平均含量(Au×10⁻⁹,Ti×10⁻²,其他×10⁻⁶) Table 2 Average contents of trace elements in Xiajiang Group strata, the ores

| 地质体 | 番召组 | 清水江组 | 平略组 | 隆里组 | 下江群 | 江群平秋金矿矿石 | 平秋金矿围岩 | 八克金矿矿石 | 八克金矿围岩 | 上陆壳 |
|-----|------|-----------|------|---------------|-------|----------|--------|--------|--------|------|
| 样品数 | 4 | 18 | 8 | 2 | 4 | 05 | 3 | 3 | 32 | 兀素丰度 |
| Cu | 0.67 | 0.56 | 0.95 | 1.29 | 0.71 | 0.17 | 0.25 | 0.35 | 0.45 | 25 |
| Pb | 0.52 | 0.66 | 0.76 | 1.29 | 0.71 | •4.93 | 3.03 | 0.92 | 3.87 | 20 |
| Zn | 1.25 | 0.90 | 1.43 | 2.92 | 1.20 | 0.55 | 1.45 | 1.49 | 1.61 | 71 |
| Cr | 0.10 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.10 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.08 | 355 |
| Ni | 0.59 | 0.37 | 0.64 | 1.13 | 0.51 | 0.64 | 0.77 | 0.58 | 0.54 | 20 |
| Со | 0.39 | 0.33 | 0.69 | 1.56 | 0.55 | 0.11 | 0.59 | 0.38 | 0.48 | 10 |
| Rb | 0.73 | 0.45 | 0.43 | 0.62 | 0.48 | 0.02 | 0.98 | 0.10 | 1.10 | 112 |
| W | 0.51 | 0.39 | 2.00 | 0.84 | 0.83 | 0.28 | 2.47 | 0.78 | 3.01 | 2 |
| As | 4.23 | 3.92 | 2.14 | 1.79 | 3. 31 | 785.13 | 242.67 | 121.48 | 418.2 | 1.5 |
| Sr | 0.15 | 0.26 | 0.33 | 0.20 | 0.27 | 0.09 | 0.20 | 0.04 | 0.22 | 350 |
| Ba | 2.31 | 1.52 | 1.46 | 1.64 | 1.58 | 0.02 | 1.23 | 0.16 | 2.02 | 550 |
| V | 0.93 | 0.74 | 1.25 | 1.55 | 0.93 | 0.02 | 0.61 | 0.07 | 0.90 | 60 |
| Sc | 0.33 | 0.30 | 0.62 |) 0.79 | 0.41 | 0.12 | 0.79 | 0.08 | 1.10 | 11 |
| Ta | 0.51 | 0.38 | 0.39 | 0.40 | 0.40 | 0.02 | 0.50 | 0.02 | 0.30 | 2.2 |
| Zr | 1.51 | 1.32 | 1.29 | 1.13 | 1.30 | 0.11 | 1.26 | 0.22 | 1.20 | 190 |
| Ti | 0.52 | 0.47 | 0.59 | 0.63 | 0.51 | _ | _ | _ | _ | 0.3 |
| Sn | 0.76 | 0.86 | 1.10 | 0.75 | 0.90 | 0.01 | 0.14 | 1.53 | 5.40 | 5.5 |
| Au | 1.22 | 1.97 | 0.77 | 0.93 | 1.51 | 83.33 | 18.56 | 97.22 | 17.04 | 1.8 |
| Ag | 0.80 | /1.20 | 0.80 | 0.60 | 0.98 | 1.60 | 8.60 | 7.76 | 8.01 | 0.05 |
| Mn | 0.09 | 0.51 | 0.92 | 1.89 | 0.64 | 0.09 | 0.06 | 0.003 | 0.002 | 600 |
| Sb | | <u>//</u> | — | — | — | 34.50 | 24.85 | 64.65 | 14.71 | 0.2 |

and wall rock of typical deposits (Au $\times 10^{-9}$, Ti $\times 10^{-2}$, others $\times 10^{-6}$)

注:原始数据由宜倡地质矿产研究所分析测试中心测试。上陆壳元素丰度据 Taylor 等(1985)。

从表2中含金石英脉矿石、围岩及地层岩石20 个微量元素好征和微量元素比值蛛网图(图3)可以 看出,常见的成矿元素如Au、Ag、Pb、As、Sb等主要 成矿元素,在矿石中的富集程度较高。矿石中成矿 元素含量与近矿围岩及地层岩石相比普遍较高,说 明除 Au 以外的成矿元素在经历成矿过程中也得到 了再次富集。在贵州锦屏地区,As 是石英脉型金矿 的成矿元素之一,As 在下江群各地层单元的含量均 大于上地壳丰度值,特别是金含量较高的番召组和 清水江组,As 的富集系数均大于3;相反在 Au 含量



Fig. 3 The comparison plot of trace element features of Xiajiang Group stratatin Inping—Pingqiu section, wall rocks and quartz veins in typical gold deposit

1-番召组;2-清水江组;3-平略组;4-隆里组;5-下江群;6-平秋金矿矿石;7-文秋金矿围岩;8-八克金矿矿石;9-八克金矿围岩
 1-Fanzhao Fm.; 2-Qingshuijiang Fm.; 3-Pinglue Fm.; 4-Longli Fm.; 5-Xiajiang Group; 6-ore of Pingqiu gold deposits;
 7-wall rock of Pingqiu gold deposits; 8-ore of Bake gold deposits; 9-wall rock of Bake gold deposits

低的平略组和隆里组,As的富集程度明显降低。 Au与As等亲硫元素有一定相关性,反映了金的亲 硫性;一般认为,石英脉中Au与As是正相关性(张 杰等,1997),该区很多金矿床金与毒砂关系密切, As在下江群含金高的地层中明显富集,这与该区金 矿床的As常以毒砂等硫化物形式与金矿物伴生的 矿物组合相吻合。

含金石英脉矿石中除了成矿元素外的其他微量 元素含量均较低,但是矿石与围岩及地层岩石的微 量元素变化趋势具有一致性,这说明矿石与围岩地 层之间具有一定的成因联系。

3.3 微量元素聚类分析

为了阐明下江群浅变质岩徵量元素之间的关 系,本文对下江群岩石(不含0石)选择了21个反 映岩石地球化学特征的微量元素进行聚类分析对 比。根据元素的R型聚类分析(图4),Au与Ag、 Hg、As元素聚为一类关系最为密切。与Au关系 密切的均为壳源特征的低温元素,可见地层中Au 的富集与该区的中低温热液活动有关。

4 下江群稀土元素地球化学特征

4.1 下江群稀土丰度及变化特征

稀土元素的含量、特征比值和球粒陨石标准化 分配模式分别见表 3 和图 5。由表 3 和图 5 可以看 出,研究区下江群出露地层岩石稀土元素含量总体 不高,变化范围较大, Σ REE = 38.75 × 10⁻⁶ ~



图 4 锦屏—平秋下江群岩石微量元素 R 型聚类图谱 Fig. 4 R-cluster analyses pedigreediagram of trace-elements in Xiajiang Group strata of Jinping—Pingqiu section

229.74×10⁻⁶,平均值为136.2×10⁻⁶;ΣREE 与黎 形等(1981)计算的地壳平均稀土元素总量值165.4 ×10⁻⁶接近,大部分样品的稀土元素总量低于北美 页岩的平均值200×10⁻⁶(Haskin et al.,1979)。 ΣLREE/ΣHREE值为4.21~9.64,平均6.8,显示

表 3 贵州锦屏新元古界青白口系下江群稀土元素含量(×10⁻⁶

Table 3 Contents of rare earth elements of the Xiajiang Group, Neoproterozoic Qingbaikouan in Jinping County, southeastern Guizhou Province (×10⁻⁶)

| 样号 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | ΣREE | $\Sigma L/\Sigma H$ | $(La/Yb)_N$ | δEu | δCe |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|--------|--------|-------|------|------|--------|---------------------|-------------|------|------|
| XJ1 | 39.6 | 54.5 | 10.1 | 37.9 | 7.44 | 1.35 | 6.08 | 1.02 | 6.20 | 1.28 | 3.77 | 0.71 | 4.85 | 72 | 33.3 | 208.82 | 6.13 | 5.50 | 0.61 | 0.66 |
| XJ2 | 26.5 | 35.3 | 5.75 | 20.7 | 3.84 | 0.82 | 3.30 | 0.51 | 2.95 | 0.59 | 1.66 | 0.29 | 1.97 | 0.29 | 15.5 | 119.97 | 8.04 | 9.07 | 0.70 | 0.69 |
| XJ3 | 35.8 | 48.9 | 8.04 | 28.9 | 5.25 | 1.20 | 4.45 | 0.70 | 3.99 | 0.79 | 2.30 | 0.41 | 2.77 | 0.41 | 20.3 | 164.21 | 8.1 | 8.71 | 0.76 | 0.69 |
| XJ4 | 25.6 | 32.5 | 5.84 | 21.4 | 3.87 | 0.90 | 3.22 | 0.50 | 2.90 | 0.57 | 1.66 | 0.29 / | 1.94 | 0.28 | 14.8 | 116.27 | 7.92 | 8.90 | 0.78 | 0.64 |
| XJ5 | 8.18 | 7.47 | 1.95 | 7.68 | 1.55 | 0.33 | 1.29 | 0.22 | 1.28 | 0.26 | 0.73 | 0.12 | 0.84 | 0.12 | 6.73 | 38.75 | 5.59 | 6.57 | 0.71 | 0.45 |
| XJ6 | 13.4 | 16.5 | 3.12 | 11.5 | 2.22 | 0.53 | 1.75 | 0.25 | 1.35 | 0.26 | 0.73 | 0.13 | 5. 89 | 0.13 | 6.37 | 59.13 | 8.61 | 10.15 | 0.82 | 0.61 |
| XJ7 | 29.8 | 42.2 | 6.72 | 24.7 | 4.53 | 0.98 | 3.72 | 0.56 | 3.21 | 0.63 | 1.80 | 0.32 | 2.10 | 0.32 | 15.9 | 137.49 | 8.6 | 9.57 | 0.73 | 0.72 |
| XJ8 | 19.0 | 27.2 | 4.72 | 17.9 | 3.33 | 0.64 | 2.55 | 0.37 | 2.12 | 0.44 | 1.25 | . 22 | 1.40 | 0.20 | 10.8 | 92.14 | 8.51 | 9.15 | 0.67 | 0.69 |
| XJ9 | 31.0 | 42.0 | 8.21 | 31.5 | 6.25 | 1.15 | 5.18 | 0.87 | 5.36 | 1.08 | 3.05 | 0.53 | 3.49 | 0.51 | 27.1 | 167.28 | 5.98 | 5.99 | 0.62 | 0.63 |
| XJ10 | 25.0 | 43.6 | 6.00 | 22.4 | 4.58 | 0.88 | 4.08 | 0.68 | 4.14 | 0.86 | 2.60 | 0.49 | 3.44 | 0.52 | 23.5 | 142.77 | 6.1 | 4.90 | 0.62 | 0.86 |
| XJ11 | 36.7 | 45.5 | 8.31 | 29.1 | 4.75 | 0.79 | 3.63 | 0.57 | 3.36 | 0.68 | •1, 98 | 0.35 | 2.35 | 0.35 | 17.2 | 155.62 | 9.43 | 10.53 | 0.58 | 0.63 |
| XJ12 | 39.9 | 46.6 | 9.76 | 36.7 | 6.99 | 1.46 | 6.09 | 0.98 | 5.50 | 1.10 | 3.09 | 0.55 | 3.68 | 0.54 | 28.5 | 191.44 | 6.57 | 7.31 | 0.68 | 0.57 |
| XJ13 | 22.7 | 27.5 | 5.45 | 20.5 | 3.91 | 0.93 | 3.25 | 0.53 | 3.06 | 0.61 | 1.76 | 0.31 | 2.02 | 0.29 | 15.5 | 108.32 | 6.85 | 7.58 | 0.80 | 0.60 |
| XJ14 | 30.0 | 29.8 | 7.41 | 27.3 | 5.29 | 1.02 | 4.12 | 0.62 | 3.59 | 0.72 | 2.08 | 0.37 | 2.48 | 0.37 | 18.5 | 133.67 | 7.03 | 8.16 | 0.67 | 0.48 |
| XJ15 | 46.9 | 85.3 | 9.86 | 38.4 | 7.27 | 1.32 | 5.62 | 1.03 | 5.74 | 1.86 | 3.72 | 0.56 | 3.67 | 0.56 | 31.9 | 243.21 | 8.49 | 8.62 | 0.63 | 0.95 |
| XJ16 | 30.5 | 45.0 | 7.30 | 27.6 | 5.60 | 1.32 | 4.89 | 0.82 | 5.02 | 1.02 | 2.96 | 0.54 | 3.71 | 0.56 | 26.4 | 163.25 | 6.01 | 5.54 | 0.77 | 0.73 |
| XJ17 | 28.9 | 45.0 | 6.94 | 25.8 | 5.03 | 1.17 | 4.49 | 0.76 | 4.61 | 0.92 | 2.63 | 0.47 | 3.12 | 0.46 | 23.8 | 154.10 | 6.46 | 6.24 | 0.75 | 0.76 |
| XJ18 | 28.2 | 41.7 | 6.36 | 23.4 | 4.49 | 1.08 | 4.03 | 0.66 | 3.80 | 0.76 | 2.15 | 0.39 | 2.59 | 0.38 | 19.3 | 139.29 | 7.13 | 7.34 | 0.78 | 0.75 |
| XJ19 | 11.8 | 14.6 | 2.58 | 9.77 | 1.75 | 0.45 | 1.43 | 0.20 | 1.08 | 0.21 | 0.57 | 0.09 | 0.58 | 0.09 | 5.46 | 50.66 | 9.64 | 13.72 | 0.87 | 0.64 |
| XJ20 | 38.4 | 47.0 | 9.20 | 33.9 | 6.19 | 1.32 | 4.77 | 0.70 | 4.09 | 0.86 | 2.56 | 0.46 | 3.12 | 0.46 | 21.3 | 174.33 | 7.99 | 8.30 | 0.74 | 0.60 |
| XJ21 | 11.1 | 13.1 | 2.44 | 8.80 | 1.60 | 0.47 | 1.33 | 0.21 | 121 | 0.25 | 0.74 | 0.13 | 0.92 | 0.14 | 6.48 | 48.92 | 7.61 | 8.13 | 0.99 | 0.61 |
| XJ22 | 10.0 | 8.24 | 2.74 | 11.1 | 2.46 | 0.67 | 2.10 | 0.36 | 2.12 | 0.42 | 1.21 | 0.22 | 1.53 | 0.23 | 10.7 | 54.10 | 4.3 | 4.41 | 0.90 | 0.38 |
| XJ23 | 28.6 | 27.1 | 7.16 | 27.7 | 5.30 | 1.29 | 4.59 | 0.74 | 4.26 | 0.85 | 2.43 | 0.42 | 2.77 | 0.41 | 22.1 | 135.72 | 5.9 | 6.96 | 0.80 | 0.46 |
| XJ24 | 16.9 | 19.8 | 4.34 | 17.0 | 3.52 | 0.93 | 2.99 | 0.53 | 3.35 | 0.70 | 2.08 | 0.38 | 2.59 | 0.38 | 17.4 | 92.89 | 4.81 | 4.40 | 0.88 | 0.56 |
| XJ25 | 25.8 | 32.8 | 6.66 | 25.8 | 5.57 | 1.24 | 4.91 | 0.85 | 5.34 | 1.09 | 3.15 | 0.57 | 3.91 | 0.58 | 29.1 | 147.38 | 4.8 | 4.45 | 0.72 | 0.60 |
| XJ26 | 30.6 | 28.8 | 7.31 | 27.4 | 5.13 | 1.13 | 4.34 | 0.69 | 3.95 | 0.79 | 2.35 | 0.43 | 2.91 | 0.43 | 20.9 | 137.16 | 6.32 | 7.09 | 0.73 | 0.46 |
| XJ27 | 17.8 | 28.3 | 4.82 | 19.0 | 4.52 | 1.16 | 4.22 | 0.77 | 4.73 | 0.95 | 2.73 | 0.51 | 3.51 | 0.52 | 25.2 | 118.74 | 4.21 | 3.42 | 0.81 | 0.74 |
| XJ28 | 29.9 | 43.3 | 7.24 | 26.2 | 4.63 | 1.05 | 10 | 0.65 | 3.87 | 0.81 | 2.42 | 0.44 | 3.04 | 0.47 | 21.3 | 149.42 | 7.11 | 6.63 | 0.74 | 0.71 |
| XJ29 | 38.8 | 52.6 | 9.26 | 34.6 | 6.73 | 1.33 | 5.69 | 0.91 | 5.39 | 1.07 | 3.13 | 0.55 | 3.75 | 0.55 | 27.2 | 191.56 | 6.81 | 6.98 | 0.66 | 0.67 |
| XJ30 | 48.6 | 51.8 | 12.6 | 47.2 | 8.74 | 1.66 | 6. 98 | 1.18 | 6.92 | 1.33 | 3.78 | 0.66 | 4.33 | 0.62 | 32.0 | 228.40 | 6.61 | 7.57 | 0.65 | 0.50 |
| XJ31 | 50.3 | 46.3 | 9.64 | 31.8 | 5.31 | 1.12 | 4.37 | 0.68 | 3.94 | 0.80 | 2.45 | 0.46 | 3.28 | 0.51 | 21.4 | 182.36 | 8.76 | 10.34 | 0.71 | 0.51 |
| XJ32 | 24.4 | 30.9 | 5.64 | 21.3 | 3.91 | 0.92 | 3.57 | 0.60 | 3.80 | 0.82 | 2.54 | 0.48 | 3.32 | 0.51 | 22.6 | 125.31 | 5.57 | 4.95 | 0.75 | 0.63 |

注:本文采用的球粒陨石稀土元素平均含量为 Boynton 推荐值、下标 N 表示元素相对球粒陨石标准化值, 8Eu=Eu/Eu*=Eu_N/(Sm_N×Gd_N)^{1/2}; 8Ce= Ce/Ce*=Ce_N/(La_N×Pr_N)^{1/2}。



图 5 锦屏—平秋下江群剖面样品稀土元素球粒陨石标准化图(样号同表 3)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of Xiajiang Group in Jinping—Pingqiu section (samples No. the same as table 3)



图 6 锦屏—平秋下江群典型矿床石英脉矿石和围岩稀土元素球粒陨石标准化图(样号同表 4) Fig. 6 Chondrite nonvalized REE patterns of wall rocks and quartz veins in typical gold deposit of the Xiajiang Group in Jinping—Pingqiu (samples No. the same as table 4)

富集轻稀土型特点; 下江群铕具有中等负异常, δEu= 0.58~0.99, 平均 0.7, 输负异常, δCe=0.38~0.86, 平均 0.62。与北美页岩稀土配分(Haskin et al., 1979)相比有所不同;总量低于北美页岩平均值, 而且 表现出铈负异常, 下江群中稀土总量(ΣREE)与金含 量呈负相关性, 金含量高的层位, 稀土总量低, ΣREE 一般小子 50×10⁻⁶。这种低的 ΣREE 特征一般代表 热液活动形成, 其明显与含金石英脉稀土总量较低类 似(张杰等, 1997)。含金高, 稀土含量低的样品, 地层 中常出现细小的石英脉, 由此分析可能是石英对稀土 元素的稀释效应,而该区金往往与黄铁矿、毒砂、石英 共生,形成 Au-毒砂-石英或者 Au-黄铁矿-石英的矿 物组合。从这一点来说该地层中金的迁移、富集可能 与地层的热液活动有密切的关系。研究区下江群各 组地层稀土配分非常类似,均显示出富集轻稀土、中 等 Eu 亏损和 Ce 亏损(图 5),说明这些地层浅变质岩 稀土组成模式继承了沉积原岩的特征,下江群地层岩 石可能来自同一源区。

4.2 Eu 异常和 Ce 异常

稀土地球化学参数是稀土分布模式的定量化

评价指标,而 δ Ce 和 δ Eu 则反映特殊的稀土分馏过 程。由表 4 可知锦屏—平秋剖面下江群铕具有中等 负异常, δ Eu 平均 0.74;从下江群岩石的 δ Eu 值及 各组 δ Eu 平均值来看, δ Eu 沿剖面变化不大。浅变 质作用过程中稀土元素呈惰性行为,因此 Eu 负异 常是继承了沉积原岩或成岩过程的特征,同时它们 也是成岩环境的指示剂。Eu/Sm 值为 0.14~0.24, 平均 0.189,与沉积岩(Eu/Sm = 0.20)基本一致 (赵振华,1994)。

锦屏一平秋剖面下江群铈负异常, dCe=0.38 ~0.86,平均0.62;其中番召组 dCe平均0.67;清水 江组 dCe平均0.64;平略组 dCe平均0.59;隆里组 dCe平均0.57,从下江群岩石的 dCe值及各组 dCe 平均值来看, dCe沿剖面呈逐渐减小的趋势。在锦 屏下江群岩石中Ce的负异常十分明显, dCe异常的 出现,反映了岩石形成的氧化还原环境特征。dCe 的负异常程度沿剖面由番召组一隆里组呈逐渐增强,其原因可能是沉积环境发生变化,沉积成岩过程 还原环境逐渐增强。随着水体的变深,悬浮物在海 水中停留时间变长, REE 随其缓慢沉积下来, 与海 水发生交换的机会多, Ce分异变强。

4.3 石英脉金矿、围岩与地层稀土配分关系

从矿石、围岩及下江群地层岩石稀土元素的球。 粒陨石标准化分布模式(图 6)和有关参数特征(表 4)可以看出,大部分含金石英脉矿石与各亩围岩间 的稀土元素特征基本一致,稀土元素分布模式与其 变质围岩基本平行,轻稀土富集,Eu专损,表现为 左高右低的特点;石英脉体与其围岩的界限清楚,石 英脉矿石与其围岩的稀土元素特益非常接近,唯一 的差异是稀土元素总量低于围岩地层。它们之间稀 土模式一致性,说明矿石同步继承了围岩的稀土元 素组成特征;结合野外地质特征,我们推测,黔东南 地区以下江群为赋矿地层金矿床,其成矿物质可能 主要来自赋矿围岩。而平秋金矿含金石英脉 Pq3 稀土元素特征与其围岩以及八克金矿床有所不同, 其稀土元素球粒陨石标准化模式图中呈近水平分布 (图 6),轻重稀土分异不显著,Eu异常不明显,而更 接近于上地幔的稀土配分特征。围岩的 δEu=0.53 ~0.78,矿脉的 δEu=0.49~0.61,Eu 均具中等负 异常;围岩的 &Ce= 0.94~0.99, 矿脉的 &Ce= 0.94~1. Ce 具较弱异常,反映成矿物质沉淀过 程中处于较低氧化环境条件。矿脉与围岩的 Eu 和 Ce异常极为接近,反映二者存在明显继承性。

由表 5 可见,平秋金矿部分含金石英脉稀土元 素特征与其围岩以及八克金矿床、下江群地层岩石 有明显差异,其更接近于下地壳或上地幔的稀土组 成特征。尽管还不能据此判断有地幔流体参与,但 至少说明可能有深部流体参与成矿。

表 4 锦屏一平秋下江群典型矿床矿石及围岩稀土元素含量(×10⁻⁻⁶)及特征值

Table 4 REE contents ($\times 10^{-6}$) and characteristics of gold ores and wall rocks

| in typical gold deposit of t | he Xiajiang Group | in Jinping—Pingqiu |
|------------------------------|-------------------|--------------------|
|------------------------------|-------------------|--------------------|

| 一志志 | 平秋金矿含金石英脉矿石 | | | | • | 平 | 秋金矿围 | 岩 | | 八克金矿 | 含金石草 | 英脉矿石 | 八克金矿围岩 | | |
|---------------------|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 儿系 | Pq1 | Pq2 | Pq3 | Pq4 | Pq | Pq6 | Pq7 | Pq8 | Pq9 | BK1 | BK2 | BK3 | BK4 | BK5 | BK6 |
| La | 0.779 | 0.232 | 1.68 | 0.263 | 34.8 | 39.60 | 68.90 | 59.7 | 41.80 | 5.13 | 2.20 | 8.25 | 62.20 | 41.00 | 13.00 |
| Ce | 1.51 | 0.463 | 3.54 | 0.517 | 67.6 | 76.40 | 138.00 | 117.0 | 79.90 | 9.73 | 4.32 | 16.20 | 125.00 | 81.30 | 25.20 |
| Pr | 0.193 | 0.054 | 0.488 | 0.062 | 8.16 | 9.07 | 18.20 | 14.0 | 9.49 | 1.18 | 0.53 | 1.98 | 15.10 | 10.10 | 2.88 |
| Nd | 0.76 | 0.243 | 2.38 ^ | 0.23 | 31.8 | 34.60 | 68.90 | 54.8 | 36.40 | 4.39 | 1.92 | 7.26 | 55.90 | 36.90 | 10.40 |
| Sm | 0.232 | 0.05 | 1.07 | 0.05 | 6.69 | 7.10 | 13.40 | 11.3 | 7.31 | 0.91 | 0.43 | 1.48 | 10.90 | 7.62 | 1.94 |
| Eu | 0.047 | 0.012 | 0.257 | 0.009 | 1.02 | 1.08 | 1.93 | 1.66 | 1.12 | 0.16 | 0.07 | 0.28 | 1.70 | 1.36 | 0.33 |
| Gd | 0.281 | 0.044 | 1.442 | 0.049 | 5.42 | 5.78 | 9.10 | 9.41 | 6.03 | 0.76 | 0.38 | 1.22 | 6.98 | 6.00 | 1.41 |
| Tb | 0.053 | 0.011 | 0 220 | 0.008 | 1.10 | 1.19 | 1.26 | 1.68 | 1.20 | 0.15 | 0.08 | 0.21 | 0.99 | 1.03 | 0.23 |
| Dy | 0.332 | 0.058 | 2.07 | 0.048 | 6.41 | 6.85 | 6.05 | 9.60 | 6.89 | 0.87 | 0.50 | 1.16 | 5.02 | 5.86 | 1.34 |
| Ho | 0.075 | 0.012 | 0.471 | 0.011 | 1.46 | 1.57 | 1.41 | 2.23 | 1.57 | 0.19 | 0.12 | 0.24 | 1.21 | 1.37 | 0.30 |
| Er | 0.217 | 0.04 | 1.23 | 0.032 | 4.06 | 4.43 | 5.04 | 6.14 | 4.49 | 0.55 | 0.32 | 0.72 | 3.62 | 3.84 | 0.79 |
| Tm | 0.002 | 0.005 | 0.188 | 0.005 | 0.62 | 0.64 | 0.72 | 0.89 | 0.67 | 0.08 | 0.04 | 0.10 | 0.56 | 0.58 | 0.11 |
| Yb | 0. 232 | 0, 935 | 1.21 | 0.033 | 4.05 | 4.22 | 5.33 | 5.64 | 4.36 | 0.53 | 0.31 | 0.69 | 4.37 | 4.09 | 0.71 |
| Lu | 0.01 | 0.004 | 0.192 | 0.004 | 0.60 | 0.64 | 0.85 | 0.86 | 0.68 | 0.08 | 0.04 | 0.09 | 0.71 | 0.59 | 0.10 |
| ∑REE | 16.67 | 1.62 | 28.05 | 1.62 | 211.6 | 233.8 | 368.99 | 349.1 | 241.8 | 30.37 | 15.02 | 47.49 | 325.16 | 240.0 | 67.22 |
| Y | 1.89 | 0.355 | 11.5 | 0.298 | 37.8 | 40.60 | 29.90 | 54.20 | 39.90 | 5.67 | 3.76 | 7.61 | 30.90 | 38.40 | 8.47 |
| $\Sigma L/\Sigma H$ | 2.79 | 5.04 | 1.32 | 5.95 | 6.33 | 6.63 | 10.40 | 7.09 | 6.80 | 6.70 | 5.29 | 8.00 | 11.54 | 7.63 | 10.77 |
| δCe | 0.94 | 1.00 | 0.94 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.94 | 0.97 | 0.97 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.98 | 0.96 | 0.99 |
| δEu | 0.56 | 0.78 | 0.63 | 0.56 | 0.52 | 0.52 | 0.54 | 0.49 | 0.52 | 0.59 | 0.53 | 0.64 | 0.60 | 0.61 | 0.61 |

| Table 5 Cor | relation of | | parameters o | DI KEE III U | pical gold c | ieposit w | ни лада | ang Grou | p and ea | runspheres |
|-----------------------------|-------------|--------|--------------|--------------|--------------|-----------|---------|----------|----------|------------|
| | | 亚秋今矿今 | 亚秋今矿 | 八克金矿 | 八古今矿 | | | | | 澳大利亚 |
| 地质体 | 下江群 | 金石英脉矿石 | 十秋並4 围岩 | 含金石 | 用岩 | 上地壳 | 下地壳 | 上地幔 | 下地幔 | 青生代一中生代 |
| | | | | 英脉矿石 | | | | | <u> </u> | 沉积岩 |
| 样品数 | 32 | 4 | 5 | 3 | 3 | — | — | — | | _ |
| $\Sigma LREE / \Sigma REE$ | 0.87 | 0.749 | 0.879 | 0.867 | 0.907 | 0.905 | 0.804 | 0.74 | 0.603 | 0.899 |
| Σ HREE/ Σ REE | 0.13 | 0.251 | 0.121 | 0.133 | 0.094 | 0.095 | 0.196 | 0.259 | 397 | 0.10 |
| ΣLREE/ΣHREE | 6.98 | 3.78 | 7.45 | 6.66 | 9.98 | 9.54 | 4.11 | 2.85 | 1.52 | 8, 98 |

典型矿床稀土元素特征参数与研究区下江群及地球圈层对比 表 5

注:上、下地幔据黎彤等(1990);上、下地壳据赵振华(1997)。

5 讨论

大多数研究者认为浅变质和轻微成岩作用对原 岩部分微量元素和稀土元素的改造作用相对较弱 (Henderson, 1984; 王中刚等, 1989; 赵振华, 1994)。 因此可以用研究区下江群浅变质碎屑岩系中的稀土 组成的特征来恢复或判断原岩的性质。下江群地层 岩石在 La/Yb-ΣREE 图解中的投影除了落入钙泥 质沉积岩范围外,还有一部分在大陆拉斑玄武岩和 沉积岩的交汇区(图7)。陈文一等(2006)利用黔东 南下江群凝灰岩类氧化物数据编制(Fe₂O₃+FeO) $+0.5(MgO+CaO) - (Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/SiO_2$ 投影图,绝大多数样品投入英安岩和流纹岩的区间; 显微镜下的岩矿鉴定也发现岩石中含大量火山凝灰 物质,尤其是该区的清水江组和番召组地层。

在锦屏下江群岩石中 Ce 的负异常十分明显, δCe异常的出现,反映了岩石形成的还原环境特征。



这些形成于还原环境的富含火山物质、碳质的岩石, 是金聚集的有利场所(应汉龙等,1997)。下江群各 组地层中金含量分布不均匀,含凝灰质多的层位清 水江组和番召省地层金含量较高,以凝灰质板岩、凝 灰岩为主的典型矿床围岩金含量高达(33.4×10⁻⁹、 30.7×10丁)。在黔西南产于二叠纪大陆溢流拉斑 玄武岩底部和边缘或其相邻地层中的金矿,也是以 凝灰岩、沉凝灰岩或含凝灰质的沉积岩类作为赋矿 岩石、刘巽锋等,2001;陶平等,2005b)。显然,岩性 变化也引起金含量的变化,下江群地层中含金高的 医位,凝灰岩类多,稀土含量低,并且根据地层岩石 元素的 R 型聚类分析, Au 与 Ag、Hg、As 等壳源特 征的低温元素关系最为密切,这说明该地层中金的 迁移、富集可能与地层的热液活动或变质作用有密 切的关系。

该区在中元古代有一次碰撞造山作用,新元古 代处于造山后拉伸构造环境。该区沉积成岩过程 中,可能处于岛弧或者海底火山活动较活跃时期,武 陵构造运动晚期和雪峰一加里东阶段,本区形成一 套夹凝灰岩的板岩,凝灰质板岩及变余砂岩构成复 理石组合,也形成一系列NE向的褶皱及断裂(贵 州省地质矿产局,1987)。这些由岛弧或者海底火山 喷出的火山碎屑、火山灰等物质往往含金较高,这可 能为黔东南地区赋存于下江群中的金矿提供了最初 始的成矿物质。但含矿岩系在沉积成岩阶段一般只 形成富金的岩石,很少形成矿床,而后期变质作用、 造山运动以及热液活动等与金矿床的形成有密切的 关系。雪峰一加里东运动使本区岩石发生浅变质作 用,Au从凝灰岩类,碳质吸附等沉积状态下释放出 来,同时也可能有部分来自深部的成矿物质叠加在 原始富集 Au 的岩石中,这都为后期金矿的形成创 造了有利的物理和化学条件。

6 结论

通过以上对锦屏--平秋新元古界下江群剖面浅

变质岩及典型矿床的元素地球化学特征分析,得出 以下认识:

(1)下江群普遍夹凝灰岩、沉凝灰岩或含凝灰质 板岩,尤其是番召组顶部、清水江组大部。下江群各 组地层中金分布不均匀,含凝灰质多的层位清水江 组和番召组地层金含量较高,以凝灰岩、凝灰质板岩 为主典型矿床围岩的金含量高达(33.4×10⁻⁹、30.7 ×10⁻⁹)。下江群含大量的火山凝灰物质,这些由岛 弧或者海底火山喷出的火山碎屑、火山灰等物质往 往含金较高,这可能为黔东南地区赋存于下江群中 的金矿提供了最初始的成矿物质。

(2)下江群剖面的每个组均富集 As、Ba、Zr、Ti; 亏损 Cr、Rb、Sr、Ta、Sc 等元素,从番召组到平略组, 元素组合演化呈明显相似性和继承性。地层中含金 较高的层位,稀土总量低,但下江群地层岩石稀土配 分具有一致性,均显示出富集轻稀土、中等 Eu 亏损 和轻微的 Ce 亏损,说明这些地层的岩石可能来自 同一源区。根据地层岩石元素 R 型聚类分析,与 Au 关系密切的均为壳源特征的低温元素,可见地 层中 Au 可能与该区中低温热液活动有关。

(3)该区典型金矿床中大部分含金石英脉矿石 和围岩与下江群地层岩石稀土元素特征参数基本一 致,呈轻稀土元素富集、Eu中等亏损、Ce弱亏损的 特点,唯一的差异是矿石中稀土元素总量低于围岩 和地层岩石。它们之间稀土配分模式的一致性及继 承性,说明矿石同步继承了围岩或地层岩石的稀土 元素组成特征;因此我们推测,黔东南地区以下江群 为赋矿地层金矿床,其成矿物质可能主要来自赋矿 围岩。另外,平秋金矿部分含金石英脉矿石稀土元 素表现出与围岩地层有明显差异、更接近与下地壳 或上地幔的特征,虽然不能以此判断有幔源流体参 与,但这至少说明可能有部分深部流体参与成矿。

致谢:在论文编写过程中得到了陈世忠研究员 对本论文的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文 献

陈文一,卢焕章,王田州胡瑞忠,吴学益,Keita M,朱笑青.2006.黔 东南新元古界青白石系下江群火山碎屑浊流沉积与金矿关系的 初步研究/发地理学报,8:487~497.

- 贵州省地质矿产局.1987.贵州省区域地质志.北京:地质出版社. 黎彤,倪守斌.1990.地球和地壳的化学元素丰度.北京,地质出版社. 黎彤.1994.中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度,地球化 学,23(2):140~145.
- 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. 昆明理工大学报,29(3):5~8.
- 刘巽锋,陶平.2001.贵州火山凝灰岩型金矿地质特征及找矿意义.中 国地质,28(1):30~35.
- 刘幼平.1997.贵州金矿类型与分布规律.西南矿产地质,3:43~53.
- 卢焕章,王中刚,陈文一,吴学益,朱笑青,胡瑞忠.2006.贵州东南部 浊积岩中金矿的地质特征和成团.矿床地质,25(4):369~387.
- 卢焕章,王中刚,吴学益,陈文益,朱笑青,郭迪江,胡瑞忠, Moussa
 K. 2005.贵州东南部的地质构造与金矿的关系.地质学报,79
 (1):98~105.
- 陶平,王尚彦,戴传固,王敏.2005a.黔东地区金矿床类型及其基本特征.贵州地质,2244).229~235.
- 陶平,杜芳应,杜昌乾,马荣.2005b.黔西南凝灰岩中金矿控矿因素 概述.地质与勘探,41(2):12~16.
- 陶平,肖旭东,张慧.2009. 湘黔桂浅变质岩区含金建造及其与金矿的 关系:地质科技情报,28(2):110~114.
- 王亭. 2003 贵州东南部深部构造与区域矿产的关系.贵州地质,20 (2).75~79.
- 玉尚彦,等.2006.贵州东部金矿.北京:地质出版社.

文中刚,于学元,赵振华. 1989.稀土元素地球化学.北京:科学出版 社.

- 关学益,卢焕章,吕古贤,王中刚,胡瑞忠,陈文一,朱笑青.2006.黔东 南锦屏一天柱地区构造控岩控金特征模拟实验及其力学分析. 大地构造与成矿学,30(3):355~368.
- 杨光忠. 2005. 黔东南剪切带金矿的分布规律与成矿模式. 贵州地质, 22(4):236~241.
- 杨瑞东,张晓东,刘玲,袁世婷,许利群.2009.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.地质学报,83(4):505~ 514.
- 应汉龙,陆德复.1997.国外超大型浅变质细碎屑岩型金矿床的地质 特征.贵金属地质,6(4):296~304.
- 余大龙,周德忠,张瑞蓉,叶大元,饶筑平,陈庆年.1999. 湘黔地区地 层含金性研究.矿物学报,19(3):363~369.
- 张杰,余大龙,李明琴,张先煜,杨勇俊.1997.贵州天柱磨山一油麻坳 金矿化带地球化学特征及成矿作用.矿物岩石地球化学通报, 16(2):186~190.
- 赵振华.1997. 微量元素地球化学原理. 北京:科学出版社.
- Henderson P. 1984. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Taylor S R, Mclennan S M. 1985. The continental crust: its composition and evolution. London: Blackwell, 57~72.

268

Elements Geochemistry of the Neoproterozoic Xiajiang Group in Jinping County, Guizhou Province, and Its Impact on the Gold Deposits

ZHANG Xiaodong^{1,2)}, YANG Ruidong²⁾, Liu Ling³⁾, WEI Huairui²⁾

1) Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016; 🔨

2) Guizhou University, Guiyang, 550025;

3) Guizhou Nonferrous Metal Geological Exploration Bureau, Guiyang, 55000

Abstract

Low-degree metamorphic clastic rocks of the Neoproterozoic Xiajiang Group in southeastern Guizhou Province host numerous quartz vein type gold deposits and prospects. But the origin of the deposits of this kind, especially gold source, has long been a research issue. Therefore, gold-bearing possibility and element geochemical characteristics of formation rocks in the Xiajiang Group have also received extensive concern. This paper conducted a systematic analysis of the trage elements and rare earth elements. Comparative study indicates that the Xiajiang Group is characterized by enrichment in As, Ba, Zr and Ti and depletion in Cr, Rb, Sr, Ta and Sc, and element association shows obvious similarity and inheritance from Fanzhao Formation to Pinglue Formation. In Addition, tuffaceous sequence in the Fanzhao and Pinglue formations has a high content of gold, and horizons which contain high contents of gold have a low REE content. Gold in the sequences has a close relation with crustal elements such as Ag, Hg and As. Therefore, gold migration and enrichment may have been closely related to hydrothermal activities and regional metamorphism. The trace element charactoristics of country rocks, sequences and ore, and consistency and inheritance of REE compositions suggest that ore-forming material was derived mainly from sequences. Part of gold-bearing quartz vejasin the Pingqiu gold deposit exhibit different geochemical features, indicating that it was more close to over a poper or upper mantle and some of the deep fluids were likely involved into mineralization.

Key words: Xiajiang Group; quartz vein type gold deposit; trace element and REE; ore-forming materials; Jinping of Guizhou Provence