贵州锦屏地区金矿地球化学特征与成矿物源分析

牟　军[1],覃永军[2,3],王安华[1],罗香建[1],强希润[1]

(1. 贵州省地质调查院、贵州省地质物探开发应用工程技术研究中心、贵州省地质调查院院士工作站,贵州　贵阳　550081;2. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心,贵州　贵阳　550081;3. 贵州省地质矿产勘查开发局,贵州　贵阳　550003)

[摘　要]对贵州锦屏石英脉型金矿赋矿地层岩石地球化学分析结果表明,该区金矿赋矿层位新元古代下江群再瓦组—隆里组地层中 Au 元素含量一般低于上地壳背景值,并随地层由老到新其含量大致具有逐渐减少的特点,但 Au 及其共伴生元素的富集对地层、岩性并无明显的选择性。金矿石中黄铁矿及毒砂硫同位素分析结果显示:$\delta^{34}S$ 介于-0.79‰～5.93‰之间,大部分与上地幔基性—超基性岩 $\delta^{34}S$ 值相近,少量与中酸性岩相近,表明成矿物质主要来源于上地幔。

[关键词]金矿;地球化学;成矿物源;贵州;锦屏

[中图分类号]P618.31;P595　[文献标识码]A　[文章编号]1000-5943(2020)-01-0031-09

1　地质背景

贵州锦屏地区位于扬子陆块东南缘、江南造山带西南段(图 1)。出露地层主要为新元古代下江群再瓦组($Pt_3^{1d}z$)、清水江组($Pt_3^{1d}q$)、平略组($Pt_3^{1d}p$)和隆里组($Pt_3^{1d}l$),南华系下统长安组($Pt_3^{2a}ca$),石炭系上统黄龙组(C_2h)和二叠系阳新统栖霞组(P_2q)(图 2)。金矿床含金建造为新元古代下江群陆源碎屑浊积岩与火山岩组成的浅变质岩系(陶平等,2005;王尚彦等,2006),赋矿地层为再瓦组板岩夹少量变余砂岩及变余凝灰岩,清水江组变余凝灰岩、变余沉凝灰岩、变余砂岩和板岩,平略组绢云母板岩、粉砂质板岩及变余粉砂岩,隆里组变余砂岩、变余粉砂岩、板岩夹细砂岩等。

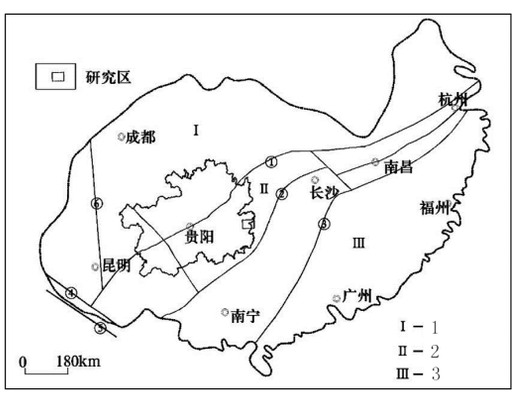


图 1　研究区大地构造位置图(代传固等,2013)

Fig. 1　Tectonic position of the study area

1—扬子地与夫;2—江南造山带;3—华夏地块

①宗-松桃-慈利-九江断裂带;②罗城-龙胜-桃江-景德镇断裂带;③北海-萍乡-绍兴断裂带;④红河断裂带;⑤哀牢山断裂带;⑥小江断裂带

研究区金矿主要分布于平秋—口洞背斜、八克—乌油背斜、敦寨—同古背斜三个北东向背斜部位,其中已知小型金矿床 5 处,其余皆为矿点及矿化点(图 2)。锦屏县锦隆金矿床位于平秋背斜核部偏西北翼,金矿为层间石英脉型矿体,地表以下大致 250 m～450 m 范围见 8 号、9 号、10 号矿体(图 3),围岩为新元古代下江群再瓦组粉砂质板岩、变余砂岩及板岩。含金石英脉充填于平秋背斜层间滑脱断层中,其形态和规模受到层间断层滑脱空间控制。含金石英脉与层面平行或近于

[收稿日期]2019-10-03　[修回日期]2019-12-29

[基金项目]中国地质调查局"贵州 1:5万锦屏、远口、平略、同古 4 幅区域地质矿产调查"项目,项目编码 1212011220404。贵州省科技计划项目:贵州省地质调查院院士工作站(编号:黔科合平台人才[2018]5626)。

[作者简介]牟军(1977—),男,汉族,贵州六枝,贵州省地质调查院,高级工程师。长期从事区域地质调查、区域矿产调查和矿产资源勘查工作。

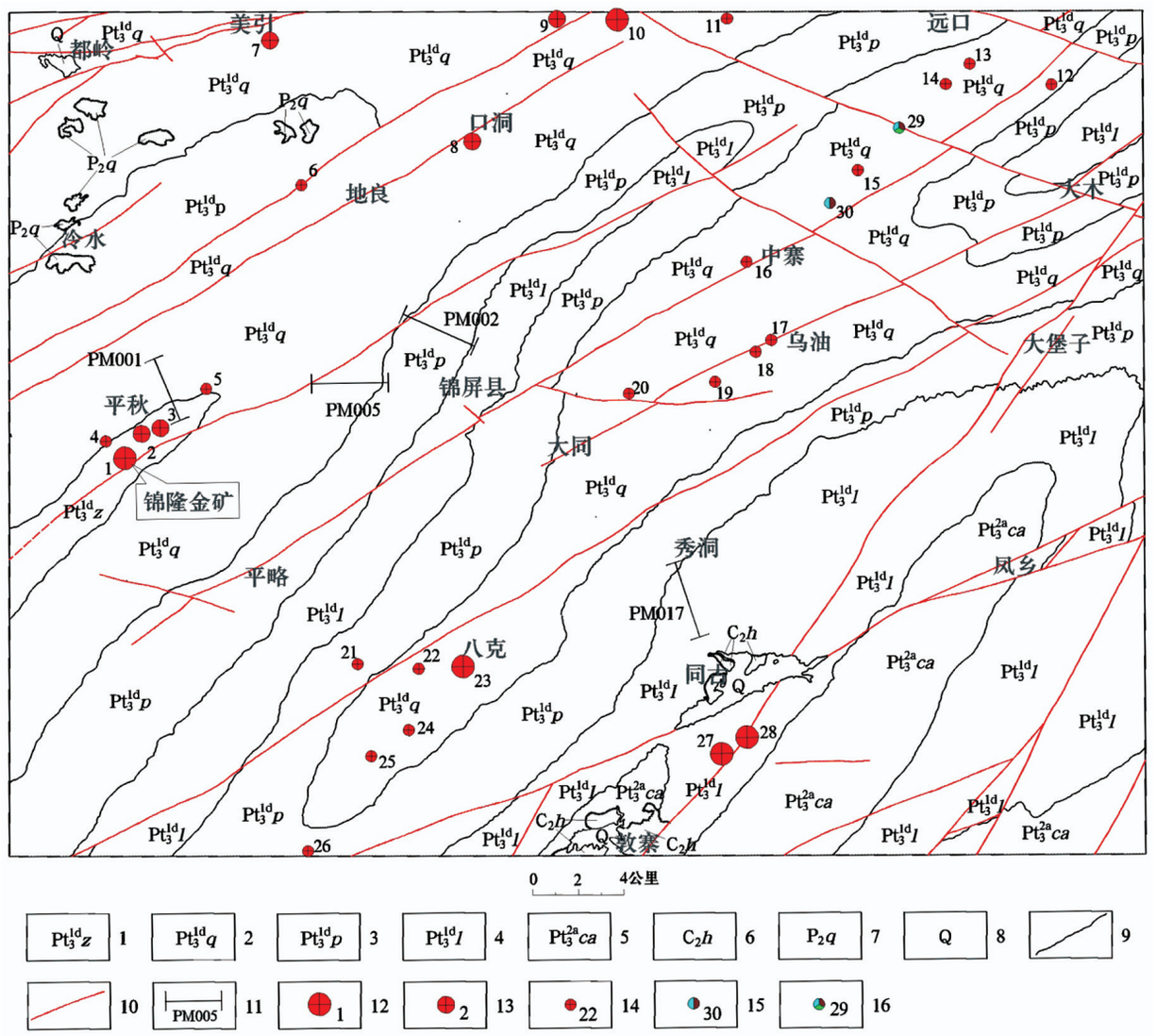


图 2　研究区地质矿产简图(贵州 1∶5万锦屏片区 4 幅区调报告,2015 改)

Fig. 2　Geological mineral sketch of the study area

1—再瓦组;2—清水江组;3—平略组;4—隆里组;5—长安组;6—黄龙组;7—栖霞组;8—第四系;9—地层界线;10—断层;11—剖面位置及编号;12—小型金矿床;13—金矿点;14—金矿化点;15—铅锌矿化点;16—铅锌铜矿化点

平行,表现为层状、似层状、扁豆状及透镜状等形态,单脉或平行的数条单脉组成脉带。含金石英脉厚度 0.1 m～1.05 m,与围岩的界限清楚。脉体中常见不规则的围岩条带,与围岩之间常夹着一层厚度不等(一般 1 cm～10 cm)的构造泥(图 3 中 8 号矿体)。矿石品位 0.5×10^{-6}～96.0×10^{-6},背斜核部金矿品位总体最高,成为富矿体,跨过该背斜轴部后金矿品位急剧下降,成为贫矿体。



图 3　锦隆金矿矿体特征(从左至右分别为 8 号、9 号、10 号矿体)

Fig. 3　Orebody characteristics of Jinglong gold deposit

2　数据来源

本文样品数据来自锦屏—同古地区四条实测地层剖面(PM001、PM002、PM005、PM017)及锦隆金矿床 8 号、9 号、10 号矿体。剖面上分不同岩性段采集薄片样和化学分析样,涉及地层由老至新分别为再瓦组 6 件、清水江组 37 件、平略组 17 件、隆里组 13 件,共 73 件,基本涉及了研究区下江群含矿地层,所有薄片样均由贵州省地质调查院岩矿测试中心完成鉴定,样品岩性主要为板岩、粉砂质板岩、变余粉砂岩、变余细砂岩、沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩等。矿体采样则依据不同矿化蚀变程度分别采集了含金石英脉、近矿顶板围岩、近矿底板围岩、远矿围岩等不同部位,共计 26 件,其中一般化学分析样 11 件,硫化物的硫同位素测试样 15 件。硫化物单矿物挑选由河北廊坊诚信地质服务公司完成,硫化物的硫同位素测试由中科院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室运用连续流同位素质谱仪(CF-IRMS):Multiflow-IsoPrime(英国 GVInstruments)完成测试。其余样品的化学测试在贵州省地质矿产中心实验室国土资源部贵阳矿产资源监督检测中心完成,采用 WFJ-7200 分光光度计 S-09 测试微量元素含量,误差在 5%左右,测试分析数据可靠。

3　地层岩石地球化学特征

3.1　Au 及其共伴生元素富集对地层的选择性分析

锦屏—同古地区四条实测地层剖面(PM001、PM002、PM005、PM017)不同层位进行了薄片样、化学样的系统采集,分析了 Au 及其共伴生元素,测试结果如表 1。

表 1　下江群不同地层中 Au 及其共伴生元素测试结果表

Table 1　Results of Au and its associated elements test in different stratum of Xiajiang group

地层	岩　性 (薄片定名简称)	Au	As	Sb	Hg	Pb	Zn	Ag	Cd	Cu
	粉砂质板岩	1.400	12.200	5.060	0.021	0.002	0.016	0.073	0.180	0.004
	变余粉砂岩	1.200	5.260	1.690	0.021	0.002	0.020	0.075	0.200	0.003
	变余粉砂岩	1.600	4.250	1.360	0.036	0.002	0.013	0.115	0.150	0.002
	变余细砂岩	1.800	9.340	2.260	0.059	0.004	0.015	0.172	0.100	0.011
	变余粉砂岩	2.000	8.040	1.610	0.021	0.002	0.021	0.047	0.140	0.002
	变余粉砂岩	0.400	11.100	0.860	0.038	0.001	0.015	0.074	0.130	0.004
隆里组 ($Pt_3^{1d}l$)	粉砂质板岩	0.800	3.930	0.710	0.012	<0.001	0.015	0.028	0.130	0.003
	变余细砂岩	0.800	3.880	1.500	0.024	0.001	0.014	0.107	<0.10	0.040
	变余粉砂岩	0.400	1.770	1.090	0.080	0.001	0.008	0.080	<0.10	0.001
	变余细砂岩	0.900	1.930	0.800	0.018	0.005	0.007	0.161	<0.10	0.002
	变余粉砂岩	1.100	1.430	0.730	0.024	<0.001	0.007	0.152	<0.10	0.001
	变余含砾质砂岩	1.200	1.740	0.560	0.018	0.002	0.011	0.070	<0.10	0.002
	板岩	0.700	2.830	0.520	0.015	0.001	0.023	0.030	0.120	0.003
	平均值	1.100 0	5.207 7	1.442 3	0.029 8	0.002 1	0.014 2	0.091 1	0.143 8	0.006 0
	板岩	0.900	5.650	0.510	0.012	0.001	0.015	0.050	0.180	0.003
	变余粉砂岩	3.200	18.000	2.100	0.021	0.005	0.019	0.053	0.200	0.003
	粉砂质板岩	0.600	6.220	0.830	0.012	0.001	0.009	0.046	0.150	0.002
	板岩	0.700	13.100	1.030	0.012	0.001	0.015	0.048	0.180	0.004
平略组 ($Pt_3^{1d}p$)	变余粉砂岩	1.600	0.940	0.200	0.012	<0.001	0.035	0.056	0.150	0.003
	变余粉砂岩	0.500	22.300	0.540	0.015	0.002	0.015	0.051	0.230	0.003
	粉砂质板岩	0.500	5.930	2.390	0.012	<0.001	0.011	0.064	0.180	0.002
	变余粉砂岩	1.500	12.100	0.740	0.012	0.001	0.030	0.040	0.150	0.003
	变余粉砂岩	1.600	3.530	0.300	0.012	0.001	0.012	0.074	0.140	0.003
	变余粉砂岩	1.200	10.700	0.260	0.009	0.001	0.016	0.084	0.170	0.002

续表 1

地层	岩　性 (薄片定名简称)	Au	As	Sb	Hg	Pb	Zn	Ag	Cd	Cu
	粉砂质板岩	1.000	4.700	0.420	0.012	0.001	0.014	0.029	0.150	0.003
	变余粉砂岩	1.800	12.800	0.310	0.012	0.001	0.009	0.099	0.160	0.002
	粉砂质板岩	2.300	3.090	0.230	0.012	0.001	0.017	0.038	0.180	0.003
平略组	变余粉砂岩	2.300	5.080	0.300	0.012	0.002	0.008	0.057	0.170	0.002
($Pt_3^{1d}p$)	粉砂质板岩	2.500	5.690	0.600	0.015	0.001	0.011	0.068	0.180	0.002
	粉砂质板岩	0.900	35.100	5.450	0.021	0.003	0.013	0.043	0.170	0.003
	粉砂质板岩	1.900	11.300	2.210	0.021	0.003	0.026	0.052	0.170	0.003
	平均值	1.470 6	10.366 5	1.083 5	0.013 8	0.001 7	0.016 2	0.056 0	0.171 2	0.002 7
	变余细砂岩	1.100	5.600	0.920	0.015	0.001	0.007	0.089	<0.10	0.001
	变余细砂岩	2.100	6.310	1.790	0.033	0.001	0.011	0.104	<0.10	0.002
	变余粉砂岩	2.100	3.690	0.530	0.030	0.002	0.012	0.105	0.110	0.002
	沉凝灰岩	2.600	12.200	0.920	0.021	0.002	0.006	0.073	<0.10	0.001
	凝灰质粉砂岩	4.100	23.600	0.680	0.036	0.002	0.009	0.096	0.100	0.001
	凝灰质粉砂岩	2.400	8.080	0.740	0.018	0.001	0.008	0.086	<0.10	0.001
	沉凝灰岩	1.400	3.000	0.430	0.015	0.003	0.009	0.047	<0.10	0.001
	变余粉砂岩	2.700	3.890	0.290	0.015	0.001	0.009	0.032	<0.10	0.001
	粉砂质板岩	0.400	1.340	0.290	0.006	<0.001	0.006	0.028	<0.10	0.001
	变余粉砂岩	2.300	3.780	0.360	0.018	0.001	0.018	0.071	0.130	0.001
	粉砂质板岩	1.800	5.470	4.030	0.018	<0.001	0.011	0.039	<0.10	0.001
	变余细砂岩	1.100	2.940	0.600	0.012	0.001	0.005	0.027	<0.10	0.001
	沉凝灰岩	2.800	7.550	0.550	0.018	0.002	0.008	0.089	0.110	0.001
	沉凝灰岩	1.100	11.200	1.140	0.018	0.002	0.020	0.121	<0.10	0.001
	变余粉砂岩	0.600	4.860	0.370	0.012	0.005	0.020	0.049	0.110	0.002
	沉凝灰岩	1.100	1.910	0.560	0.009	0.003	0.005	0.055	<0.10	0.001
	板岩	0.600	1.220	0.350	0.012	0.001	0.021	0.034	0.120	0.001
	变余粉砂岩	1.300	1.220	0.380	0.012	0.002	0.012	0.065	0.150	0.001
清水江组	变余粉砂岩	0.700	3.860	0.400	0.018	0.001	0.021	0.055	0.170	0.001
($Pt_3^{1d}q$)	凝灰质粉砂岩	2.700	12.700	1.300	0.030	0.003	0.018	0.110	0.170	0.001
	变余粉砂岩	1.400	3.080	0.260	0.012	0.002	0.035	0.067	0.110	<0.001
	沉凝灰岩	0.800	8.240	0.410	0.027	0.003	0.028	0.085	<0.10	0.002
	变余粉砂岩	1.600	5.020	0.590	0.012	0.001	0.028	0.065	0.130	0.002
	沉凝灰岩	2.400	4.550	0.590	0.018	0.002	0.009	0.079	<0.10	0.001
	沉凝灰岩	1.400	6.280	0.620	0.024	0.002	0.015	0.148	0.100	0.002
	变余细砂岩	3.000	5.600	0.610	0.012	0.001	0.017	0.069	0.150	0.001
	变余细砂岩	1.400	3.770	0.470	0.030	0.001	0.010	0.037	<0.10	0.002
	板岩	0.800	8.330	4.500	0.012	0.001	0.011	0.036	0.170	0.001
	板岩	0.900	4.460	2.340	0.012	<0.001	0.012	0.077	0.190	0.002
	变余含砾质砂岩	2.200	5.420	8.170	0.036	0.004	0.015	0.103	0.100	0.007
	变余含砾质砂岩	1.000	4.650	0.580	0.018	0.002	0.013	0.028	<0.10	0.001
	变余含砾质砂岩	2.100	3.780	0.550	0.021	0.002	0.010	0.104	0.130	0.001
	变余粉砂岩	0.700	2.810	2.300	0.086	0.002	0.009	0.095	0.140	0.001
	凝灰质粉砂岩	2.000	8.160	1.560	0.065	0.024	0.030	0.311	0.160	0.002
	变余细砂岩	1.700	0.810	0.580	0.021	<0.001	0.008	0.125	<0.10	0.001
	变余粉砂岩	0.600	1.950	0.440	0.015	0.002	0.017	0.096	<0.10	0.001
	变余细砂岩	1.600	1.210	0.600	0.012	0.001	0.004	0.081	<0.10	0.001
	平均值	1.637 8	5.474 1	1.129 7	0.021 6	0.002 5	0.013 7	0.080 6	0.134 2	0.001 4

续表 1

地层	岩　性 (薄片定名简称)	Au	As	Sb	Hg	Pb	Zn	Ag	Cd	Cu
再瓦组 ($Pt_3^{1d}z$)	板岩	0.900	8.870	3.830	0.036	0.001	0.012	0.057	0.140	0.002
	粉砂质板岩	2.000	13.500	1.880	0.030	0.002	0.014	0.059	0.140	0.003
	板岩	1.200	14.900	0.820	0.024	0.002	0.008	0.093	0.170	0.001
	板岩	2.000	17.300	1.500	0.012	<0.001	0.016	0.044	0.140	0.002
	粉砂质板岩	0.900	14.400	1.000	0.012	0.001	0.011	0.082	<0.10	0.002
	粉砂质板岩	5.200	26.400	0.700	0.024	0.002	0.007	0.098	<0.10	0.001
	平均值	2.033 3	15.895 0	1.621 7	0.023 0	0.001 6	0.011 3	0.072 2	0.147 5	0.001 8
上地壳(Taylor,1985)		1.8	1.5	0.2	0.012 3	0.002 0	0.007 1	0.05	0.098	0.002 5

测试单位:贵州省地质矿产中心实验室,国土资源部贵阳矿产资源监督检测中心;(单位:Au×10^{-9},Pb、Zn、Cu×10^{-2},其他×10^{-6})

结果统计显示:再瓦组地层 Au 含量介于 0.9×10^{-9}～5.2×10^{-9},平均值为 2.03×10^{-9};清水江组地层 Au 含量介于 0.4×10^{-9}～4.1×10^{-9},平均值为 1.64×10^{-9};平略组地层 Au 含量介于 0.5×10^{-9}～3.2×10^{-9},平均值为 1.47×10^{-9};隆里组地层 Au 含量介于 0.4×10^{-9}～2.0×10^{-9},平均值为 1.10×10^{-9};Au 含量随地层由老到新大致具逐渐变小的特点。而其他共伴生元素规律不明显。

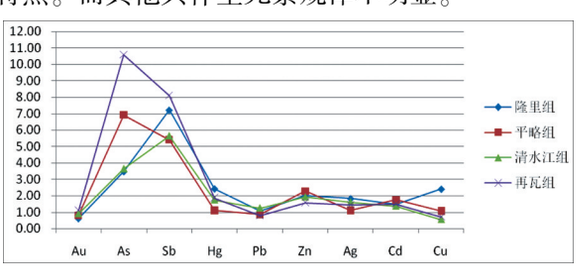


图 4　下江群不同地层 Au 及其共伴生元素富集系数蜘蛛网图

Fig. 4　Spider diagram of Au and its associated elements enrichment coefficient in different stratum of Xiajiang group

由表 1 和图 4 可看出:再瓦组地层 Au 富集系数略大于 1,为弱富集;清水江组、平略组、隆里组富集系数均小于 1,为弱亏损;As、Sb 富集系数均大于 3,为强富集;Hg、Zn、Ag、Cd 富集系数一般大于 1 小于 2,为弱—中等富集;Pb、Cu 较接近上地壳元素丰度。下江群不同地层 Au 及其共伴生元素系数蜘蛛网图具有相似的特征,即 As、Sb 具异常峰值,为强富集元素;而 Au、Hg、Pb、Zn、Ag、Cd、Cu 均在接近于 1 的水平线附近,未出现明显的富集与亏损,表明 Au 及其共伴生元素在本区地层中的富集并无明显的选择性。

3.2　Au 及其共伴生元素的富集对岩性的选择性分析

本次将研究区下江群各地层中主要岩性进行大致分类,可分为板岩、粉砂质板岩、变余粉砂岩、变余细砂岩、变余含砾质砂岩、变余沉凝灰岩及变余凝灰质粉砂岩,对不同岩性 Au 及其共伴生元素含量进行统计,结果显示:从粒度的变化上看,Au 元素含量从变余含砾质砂岩—板岩,随岩石粒度的减小,Au 含量略显减小,但含量变化仅有微小差别,且变余粉砂岩又比粉砂质板岩含量低;其他共伴生元素(Pb、Ag、Cu、Zn 等)随粒度变化并无明显规律性;从岩石中是否含凝灰质来看,含凝灰质岩石的 Au 含量比不含凝灰质岩石稍高,但沉凝灰岩又比凝灰质粉砂岩低。其余共伴生元素相差不大,不具明显规律。

由表 2 和图 5 可看出,在不同岩性中 As、Sb 富集系数均大于 2.5,个别可达 12.3,为强富集元素;除在凝灰质粉砂岩中 Hg、Pb、Ag 为强富集外,其余岩性均为弱富集。Au、Zn、Cd、Cu 在各类型岩石中的富集系数均分布在 1 附近,接近于地壳元素丰度。即 Au 及其共伴生元素的富集对岩性并无明显的选择性。

综合前述认为:研究区 Au 及其共伴生元素的富集对地层、岩性并无明显的选择性。凝灰质岩类中 Au 含量比其它类型岩石中稍高,但异常不明显。黔东地区凝灰质岩类主要产于下江群中上部的清水江组地层中,而金矿的产出层位基本含盖了整个下江群地层,结合前述测试数据来看,并不能说明凝灰质岩类为金矿的形成提供了物质来源。

4　矿床地球化学特征

对平秋锦隆金矿床 8 号矿脉及其顶、底板进行系统取样分析,样品共 11 件, 其中 s1 为含金石

表 2　下江群不同岩性 Au 及其共伴生元素平均含量统计表

Table 2　Statistics of Au and its associated elements average content in different lithology of Xiajiang group

岩性	Au	As	Sb	Hg	Pb	Zn	Ag	Cd	Cu
板岩	0. 966 7	8. 517 8	1. 711 1	0. 016 3	0. 001 1	0. 014 8	0. 052 1	0. 156 7	0. 002 1
粉砂质板岩	1. 585 7	10. 662 1	1. 842 9	0. 016 3	0. 001 7	0. 012 9	0. 053 4	0. 163 0	0. 002 4
变余粉砂岩	1. 433 3	6. 310 8	0. 750 4	0. 023 1	0. 001 8	0. 017 0	0. 073 2	0. 152 0	0. 002 0
变余细砂岩	1. 550 0	4. 139 0	1. 013 0	0. 023 6	0. 001 8	0. 009 8	0. 097 2	0. 125 0	0. 006 2
变余含砾质砂岩	1. 625	3. 897 5	2. 465	0. 023 25	0. 002 5	0. 012 25	0. 076 25	0. 115	0. 002 75
凝灰质粉砂岩	2. 8	13. 135	1. 07	0. 037 25	0. 007 5	0. 016 25	0. 150 75	0. 143 333	0. 001 25
沉凝灰岩	1. 7	6. 866 25	0. 652 5	0. 018 75	0. 002 375	0. 012 5	0. 087 125	0. 105	0. 001 25

（单位：Au×10^{-9}，Pb、Zn、Cu×10^{-2}，其他×10^{-6}）

英脉矿石；c1 ～ c4 为矿体顶板围岩；b1 ～ b3 为矿体底板围岩；y1 ～ y3 为远矿地层。

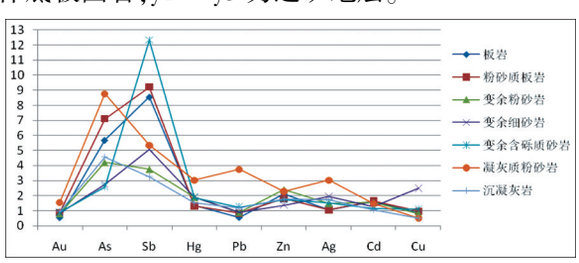


图 5　下江群不同岩性 Au 及其共伴生元素富集系数蜘蛛网图

Fig. 5　Spider diagram of Au and its associated elements enrichment coefficient in different lithology of Xiajiang group

4. 1　矿体和围岩中的微量元素

微量元素分布特征列于表 3，相应的上地壳（Taylor，1985）微量元素标准化蛛网图见图 6。元素含量和富集程度可见，Au、As、Sb、Hg、Pb、Zn 等亲硫（亲铜）元素，在矿石中的含量高于围岩，具有不同程度的富集；而 Be，Li，Nb，Sc，Ga 等元素在矿石中的含量低于围岩。成矿元素在围岩中含量高者（与上地壳克拉克值比较），在矿石中的富集程度较高。

表 3　锦隆金矿 8 号矿体矿石与围岩微量元素分析结果表

Table 3　Analytical results of ore and wall rock trace elements of orebody No.8 in Jinlong gold deposit

位置	远矿地层（再瓦组）			间接顶板			直接顶板	含金石英脉	直接底板	间接底板		上地壳（Taylor，1985）
编号	y1	y2	y3	c1	c2	c3	c4	s1	b1	b2	b3	
Au	0. 000 9	0. 002	0. 002	0. 005 4	0. 008 1	0. 049	0. 47	2. 05	1. 32	0. 024	0. 015	0. 001 8
As	8. 87	13. 5	17. 3	35. 9	52. 1	74. 2	165	968 4	401 8	133	52. 4	1. 5
Sb	3. 83	1. 88	1. 5	12. 6	2. 47	2. 77	9. 3	26. 2	13. 9	2. 29	3. 4	0. 2
Hg	0. 036	0. 03	0. 012	0. 015	0. 021	0. 038	0. 178	0. 592	0. 047	0. 024	0. 021	12. 3
Pb	10	20	10	2	1	1	3	110	65	4	1	20
Zn	120	140	160	8	13	7	99	340	156	12	15	71
Ag	0. 057	0. 059	0. 044	0. 101	0. 06	0. 132	0. 05	0. 05	0. 05	0. 069	0. 01	0. 05
Cd	0. 14	0. 14	0. 14	0. 05	0. 1	0. 05	0. 47	0. 92	0. 41	0. 13	0. 13	98
Cu	20	30	20	2	1	2	1	5	1	4	1	25
Be	2. 3	2. 3	2. 6	2. 2	2. 2	1. 8	2. 6	0. 8	3. 2	2. 5	2. 2	3
Li	56	53	53	10	13	14	74	20	32	21	28	20
Mo	0. 3	0. 3	1. 4	0. 9	1	1. 4	1	3. 4	1. 5	1. 2	1. 4	1. 5
Nb	10	9. 6	9. 5	6. 7	6. 5	6. 3	4. 3	2. 4	6. 6	7	6. 3	12
Sc	16	11	15	11	11	7. 2	9. 6	4. 2	13	8. 7	9. 2	11
Ga	23	23	24	22	20	17	15	10	28	23	19	17

单位均为 10^{-6}

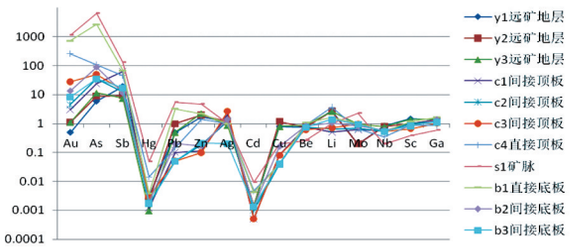


图 6　锦隆金矿地层、围岩及矿石微量元素比值蜘蛛网图

Fig. 6　Spider diagram of stratum, wall rock and ore trace elements ratio in Jinlong gold deposit

从图 6 中可以看出,近矿围岩微量元素与地层再瓦组微量元素的上地壳标准化蛛网图曲线相似,近矿围岩与地层相比 Au、As、Sb 等元素相对富集,其他元素与地层中含量相当或亏损。而石英脉中除了 Au、As、Sb、Hg、Pb、Zn、Cd、Mo 元素高于围岩外,其它元素含量均低于或接近于围岩。在标准化曲线上表现为,石英脉中 Au、As、Sb 等主成矿元素常形成峰值,其它元素峰值不明显或位于围岩曲线之下,虽然石英脉中 Be、Li、Nb、Sc、Ga 等元素含量低,但是其曲线变化趋势与围岩基本相似,也就是说在成矿过程中 Au、As、Sb 等主成矿元素富集的同时部分微量元素相对减少。

研究区再瓦组地层中金平均含量为 1.63×10^{-9},略低于上地壳克拉克值 1.8×10^{-9};而近矿围岩含金 $5\times10^{-9}\sim1\ 320\times10^{-9}$,平均 272.23×10^{-9},比地壳克拉克值高出 100 倍;含金石英脉金平均含量为 $1\ 200\times10^{-9}$;反映了远矿地层与矿体中 Au 的富集并无明显的成因联系。

砷在远矿围岩中富集系数 5.91 ～ 11.53,在近矿围岩中富集系数 3 ～ 733.3,矿体中富集系数高达 6 456。金和砷元素之间含量变化显示出正相关关系,金元素含量高时则砷含量也高,尤其在矿体中最为明显,与该矿床矿物组合为金—毒砂—石英一致。铅、锑元素也显示出其含量高则金含量也高的特征。在 S1 号样中含金达 2.05×10^{-6},铅、锑含量达 110×10^{-6}和 26.2×10^{-6}。这与石英脉含金较高时,毒砂、方铅矿等矿物含量增多是一致的。

4.2　矿石中的硫化物硫同位素

研究区原生金矿中金的赋存状态主要以自然金为主,其次以包裹金或晶格金的状态赋存于黄铁矿、毒砂等金属硫化物中,因此,研究硫同位素组成可指示成矿物质来源信息(郑永飞等,2000)。本次在锦隆金矿床的 9 号和 10 号矿体中采集了含金石英脉样品,从中挑选出与金呈共(伴生)的不同晶型的毒砂和黄铁矿等硫化物单矿物,进行硫同位素 $\delta^{34}S$ 的测定,测试结果(表 4)显示:$\delta^{34}S$ 介于 −1.40‰～5.93‰之间,均值为+0.568‰,极差为 7.33。

按照矿体统计,9 号矿体的硫化物的硫同位素表现为:$\delta^{34}S$ 介于 −0.79‰～ 5.93‰之间(10 件样品),均值为+1.32‰,极差为 6.72。10 号矿体的硫化物的硫同位素表现为:$\delta^{34}S$ 介于 −1.40‰～−0.12‰之间(5 件样品),均值为 −1.17‰,极差为 1.28。

表 4　锦屏锦隆金矿床 9 号和 10 号矿体中硫化物的硫同位素特征

Table 4　Sisotope features of sulfide in orebody No.9 and No.10 of Jinlong gold deposit in Jinping

序号	样品信息		测试结果[‰VCDT]		平均值	
	样品号	样品名称	$\delta^{34}S$	Stdev	不同晶型(‰)	不同矿体(‰)
1	9−1	毒砂	2.28	0.08		
2	9−2	毒砂	−0.21	0.01		
3	9−3	毒砂	−0.16	0.12		
4	9−6	毒砂	2.49	0.16	+0.1325(8)	9 号矿体:+1.32(10),极差值 6.72
5	10−1	毒砂	−1.14	0.10		
6	10−3	毒砂	−0.68	0.01		
7	10−4	毒砂	−1.40	0.02		
8	10−5	毒砂	−0.12	0.07		
9	9−5(1)	毒砂(自形)	−0.65	0.03	−0.65(1)	10 号矿体:−0.936(5),极差值 0.09
10	9−5(2)	毒砂(它形)	−0.39	0.03	−0.86(2)	
11	10−2	毒砂(它形)	−1.34	0.00		
12	9−5(3)	黄铁矿(立方体)	−0.79	0.00	−0.79(1)	9+10 号矿体:+0.568(15)
13	9−5(4)	黄铁矿(五角十二面体)	−0.58	0.01	−0.58(1)	
14	9−4	黄铁矿(它形)	5.93	0.05	5.605(2)	
15	9−5(5)	黄铁矿(它形)	5.28	0.02		

备注:测试时间 201404;“9−x”采集于 9 号矿样品;“10−x”采集于 10 号矿体;纵向上 10 号位于 9 号之下;“0.936(n)”中的 n 为样品个数。

按照矿物类型统计,毒砂的 $\delta^{34}S$ 介于-1.40‰～2.49‰之间(11 件样品),均值为-1.12‰,极差为 3.89;未知晶型毒砂的 $\delta^{34}S$ 介于-1.40‰～2.49‰之间(8 件样品),均值为+1.325‰,极差为 3.89;它形毒砂的 $\delta^{34}S$ 介于-1.34‰～-0.39‰之间(2 件样品),均值为-0.865‰,极差为 0.95;自形毒砂的 $\delta^{34}S$ -0.65‰。黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 介于-0.79‰～5.93‰之间(4 件样品),均值为 2.46‰,极差为 6.72;立方体型黄铁矿的 $\delta^{34}S$ -0.79‰;五角十二面体型黄铁矿的 $\delta^{34}S$ -0.58‰;它形黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 介于 5.28‰～5.93‰之间(2 件样品),均值为+5.61‰,极差为 0.65。

5　成矿物质来源分析

关于黔东南地区金矿成矿物质来源的观点较多,目前主要有 3 种认识(王尚彦等,2006;卢焕章等,2006):一是认为金矿物质来源于赋矿地层;二是认为金矿物质来源于深部的隐伏岩体;三是认为金矿物质来源是多源的,既有来自围岩的,也有来自深部的。其中以前两种观点为主。本文在仔细的野外观察和岩矿测试的基础上分析讨论如下:

(1)本次对研究区赋矿地层岩石的测试数据显示:再瓦组地层 Au 含量介于 0.9×10^{-9}～5.2×10^{-9},平均值为 2.03×10^{-9},略高于上地壳克拉克值 1.8×10^{-9},这可能是因为采样剖面 PM001 中再瓦组处于平秋背斜轴部,成矿物质在背斜轴部相对富集的缘故;清水江组地层 Au 含量介于 0.4×10^{-9}～4.1×10^{-9},平均值为 1.64×10^{-9};平略组地层 Au 含量介于 0.5×10^{-9}～3.2×10^{-9},平均值为 1.47×10^{-9};隆里组组地层 Au 含量介于 0.4×10^{-9}～2.0×10^{-9},平均值为 1.10×10^{-9}。除再瓦组地层中 Au 含量略高于上地壳克拉克值,其余地层均小于地壳克拉克值。且通过 Au 及其伴生元素在下江群不同地层、不同岩性中的富集程度显示,Au 及其共伴生元素的富集对下江群地层、岩性不具有明显的选择性。黔东地区金矿的产出层位基本含盖整个下江群地层,结合前述测试数据来看,金矿的成矿物质来源与赋矿地层并无明显关系。

(2)本次对平秋锦隆金矿矿石中毒砂与黄铁矿样品中的硫同位素测定结果显示:9 号、10 号矿体中毒砂的 $\delta^{34}S$ 含量基本一致,说明属于同期流体成矿,且硫的来源相对单一,成矿环境及物理化学条件较为稳定。与国际标准 Canyon Diablo 铁陨石的陨硫铁(0‰)和基性—超基性(均值 0‰,变化范围-1‰～+2‰)以及玄武岩的 $\delta^{34}S$ 范围和均值相近,较中酸性岩 $\delta^{34}S$(-13.4‰～+27.6‰)区别较大,尤其是与成矿关系更为密切的自形和它形毒砂、立方体和五角十二面体型黄铁矿中的 $\delta^{34}S$ 变化范围较窄和均值接近 0,指示硫主要来源深部基性—超基性岩浆岩硫。与沉积岩的还原性硫酸盐中 $\delta^{34}S$(-10‰～-50‰)和江南造山带西段前寒武纪碎屑岩中硫化物的 $\delta^{34}S$(-10.40‰～+23.50‰,极差 33.90)(罗献林,1990)相差较大,仅它形黄铁矿(表 4)中的 $\delta^{34}S$ 值有逐渐远离岩浆硫的趋势,可能是受矿体围岩中硫源混入的影响。

(3)诸多学者研究表明,研究区石英脉型金矿中石英的形成至少有两期,王尚彦等(2006)将其分为:早世代无矿石英、主成矿期与金矿有关的石英和晚世代无矿石英。早世代无矿石英,构成含金石英脉的主体,常呈白色块状、粒径粗大,半自形晶粒状结构,有少量粗大黄铁矿或毒砂共生,脉体大多顺层产出,含金差。主成矿期与金矿有关的石英,产于早世代石英脉体的两侧或呈细脉状充填其中,或以胶结物形式胶结早世代石英,有的则以细脉或网脉充填于早世代石英上下盘围岩的节理裂隙中,以浅灰色、烟灰色它形细粒为主。晚世代无矿石英,热液期末阶段产物,形成细脉、网脉,常与方解石共生,颗粒较粗大,以切层不规则状产出,含金不好。

根据石英脉与围岩的关系可将石英脉分为切层型和顺层型两种类型。在研究区同古附近,清楚可见两种石英脉类型(图 7、图 8),图中所见为早世代无矿石英脉。图 7 中的石英脉产于厚层状砂质板岩中,沿地层倾向方向顺层产出,下部石英脉充填于整个岩层,越往上部石英脉厚度变薄,石英脉在底部与围岩接触层面上继续延伸的同时,向上逐渐出现沿裂隙、切层发育的锯齿状形态,石英晶体具有从外向内、从层面向中心生长的特征,石英脉中常见包裹的颗粒状、残留侵蚀状碎屑岩围岩物质。结合前人研究成果分析认为:早期石英脉的形成与造山运动热效应及气液作用具有密切关系,具有较高 SiO_2 含量(介于 56.22%～88.91%之间,平均 68.41%)的围岩为石英脉的形成提供了物质来源,且石英脉的形成主要是在原岩所占有的空间位置形成的,而并非完全是热液

充填形成,说明早期造山运动热效应及气液作用对金矿物质来源的贡献相对较弱,成矿期深部热液才是金矿形成的主要来源;早期形成的石英脉,由于其物理性质较脆,受成矿期构造应力作用发生变形、破碎,所产生的缝隙为深部含矿热液的进一步富集提供了存储空间,这个阶段的成矿作用同样是在背斜轴部最为突出,使得背斜轴部的部分顺层石英脉进一步富集成矿物质而成为矿体。这可能就是研究区绝大多数石英脉包括背斜轴部的一些石英脉均不能成为矿体的一个主要原因。

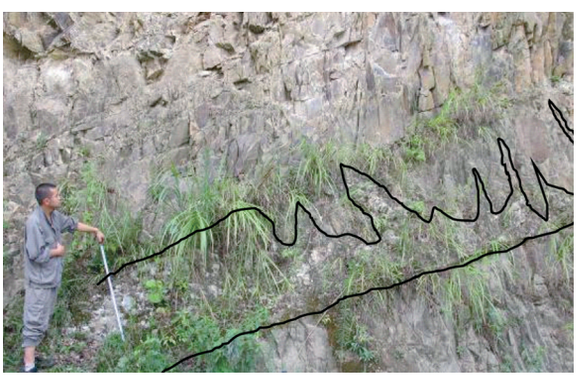


图 7　顺层产出中伴切层产出的石英脉

Fig. 7　Quartz vein occurred in shearing associated with the bedding



图 8　切层产出的石英脉

Fig. 8　Quartz vein occurred in the shearing

6　结论

贵州锦屏地区石英脉型金矿矿石中黄铁矿及毒砂硫同位素分析结果显示:$\delta^{34}S$ 介于-0.79‰～5.93‰之间,大部分与上地幔基性—超基性岩$\delta^{34}S$值相近,少量与中酸性岩相近,表明成矿物质主要来源于上地幔。成矿期深部热液是金矿形成的主要物质来源,Au 及其共伴生元素的富集成矿对地层、岩性并无明显的选择性。石英脉不仅是成矿作用的产物,同时也为 Au 及其共伴生元素的进一步富集成矿提供了存储空间。

[参考文献]

戴传固,王敏,陈建书,等. 2013. 贵州构造运动特征及其地质意义[J]. 贵州地质. 30(2):119-124.

贵州省地质矿产勘查开发局 115 地质大队. 贵州 1:5万锦屏幅、远口幅、平略幅、同古幅区域地质矿产调查报告[R]. 2015.

卢焕章,王中刚,吴学益,等. 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.

卢焕章,王中刚,陈文一,等. 2006. 贵州东南部浊积岩中金矿的地质特征和成因[J]. 矿产地质,25(4):0369-0388.

罗献林. 1990. 论湖南前寒武系金矿的成矿床物质来源[J]. 桂林冶金地质学院学报. 10(1):13-26.

兰安平. 2004. 贵州锦屏县虎盆金矿地质特征及找矿方向. 贵州地质,21(1):38-40.

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

覃永军,牟军. 2017. 贵州锦屏平秋背斜锦隆金矿床地质特征与同位素示踪. 矿物学报. 37(增刊 1):605-606.

孙士军,潘文卯. 2002. 贵州八客金矿富金包成因. 黄金地质,8(2):20-25.

陶平,王尚彦,戴传固. 2005. 黔东地区金矿床类型及其基本特征[J]. 贵州地质. 22(4):229-235.

陶平,姚书振,王亮. 2012. 黔东南天锦黎地区金矿成矿单元划分及其控矿因素探讨[J]. 贵州地质. 29(4): 241-248.

陶平,王亮,刘锐. 2012. 黔东南浅变质碎屑岩中金矿属于造山型金矿[J]. 矿床地质. 31(Supp.):793-794.

陶平,姚书振,许启松. 2013. 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. 30(3):161-169.

吴攀,余大龙. 1997. 锦屏钟林断层带石英脉型金矿包裹体特征研究. 贵州地质,14(4):321-327.

吴攀,余大龙. 1998. 黔东同古金矿床地质特征及其成因探讨. 地质地球化学,26(4):27-32.

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

王尚彦. 2006. 贵州东部金矿[M]. 北京:地质出版社.

余大龙. 1997. 黔东八克金矿地质地球化学特征研究[J]. 地质地球化学. 25(1):12-17.

余大龙,周德忠,张瑞蓉,等. 1999. 湘黔地区地层含金性研究[J]. 矿物学报. 17(2):175-182.

朱笑青,王甘露,卢焕章,等. 2006. 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. 33(5):1092-1099.

张杰,余大龙,李明琴,等. 1997. 贵州天柱磨山—麻油坳金矿化带地球化学特征及成矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通报. 16(3):186-190.

张杰,余大龙. 1997. 贵州天柱磨山—麻油坳金矿地球化学及金矿赋存状态研究[J]. 贵州工业大学学报. 26(2):43-49.

郑永飞,陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学[M]. 北京:科学出版社.

Hoefs J. 1997. Stable Isotope Geochemistry (4th Edition)[M]. Berlin Springer-Verlag.

Hoefs J. 2004. Stable Isotope Geochemistry [M]. Berlin Springer-Verlag.

Geochemical Characteristics and Minerogenetic Source Analysis of Gold Deposits in Jinping Area, Guizhou Province

MOU Jun[1], QIN Yong-jun[2], WANG An-hua[1], LUO Xiang-jian[1], QIANG Xi-run[1]

(1. *Guizhou Geological Survey, Guiyang* 550081, *Guizhou, China*; *Guizhou Research of Geologyand Geophysical prospecting devecoped and Applied Engineering Technology, Guiyang* 550081, *Guizhou, China*; *Cademician Workstation, Guizhou Geological Survey, Guiyang* 550081, *Guizhou, China*; 2. *Engineering Technology Innovation Center of Mineral Resources Explorations in Bedrock Zones, Ministry of Natural Resources, Guiyang*, 550081, *Guizhou, China*; 3. *Guizhou Bureau of Geology and Mineral Explora Tion and Development, Guiyang* 550004, *Guizhou, China*)

[**Abstract**] The results of petrochemistry analysis of the gold bearing strata of Jinping quartz vein type gold deposit in Guizhou Province show that the gold bearing strata in this area are generally lower than the background value of the upper crust in the strata of Zaiwa Longli formation of the Neoproterozoic Xiajiang group, and the content of Au in the strata decreases gradually from old to new, but the enrichment of Au and its associated elements has no obvious choice for the strata and lithology。 The results of sulfur isotopic analysis of pyrite and arsenopyrite in gold ore show that $\delta^{34}S$ is between − 0.79 ‰ and 5.93 ‰. Most of them are close to the $\delta^{34}S$ value of the basic ultrabasic rocks in the upper mantle, and a few are close to the intermediate acid rocks, indicating that the ore-forming materials are mainly from the upper mantle.

[**Key Words**] Gold deposit; Geochemistry; Metallogenic source; Guizhou; Jinping