

黔北桑木背斜铅锌成矿带 S、Pb 同位素特征及成矿物质来源探讨

朱华利^{1,2}, 王 波¹, 譙 常¹, 张晗彬¹, 韩 雪¹

(1. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550000; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

[摘 要] 本文以 S、Pb 同位素作为示踪元素研究黔北桑木背斜铅锌成矿带成矿物质来源。桑木背斜铅锌成矿带矿石矿物中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较大最小值为 16.1‰, 最大值为 31.5‰, 平均值为 25.6‰, 极值为 15.4‰; 矿石矿物为相对富集重硫型; 据此判断其硫的来源可能为沉积岩。研究区内来自不同矿区、不同矿物的 Pb 同位素变化均很小。 $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 介于 18.25 ~ 18.57 之间, $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 介于 15.63 ~ 15.92 之间, $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 介于 37.82 ~ 38.93 之间, 三者变化范围均很小, 且不同硫化物样品之间的 Pb 同位素组成也不存在明显的差异, 表明桑木背斜地区的铅锌矿床可能具有较为单一的铅金属来源。通过投图分析, 笔者认为桑木铅锌成矿带的铅金属可能来源于下伏基底地层。

[关键词] 桑木背斜; 铅锌矿; S、Pb 同位素

[中图分类号] P597; P618.42; P518.43 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2021)-01-0059-06

1 引言

黔北桑木背斜铅锌成矿带位于扬子地块西南缘的北东向构造带。前人对桑木背斜铅锌成矿带做了较多研究, 陈云明、刘金海等对黔北桑木背斜铅锌成矿带地质特征和找矿前景进行了研究, 认为桑木场铅锌成矿带有较好的找矿前景(陈云明等, 2014; 刘金海, 2010); 张燕等基于对洞子沟铅锌矿的稀土和微量元素特征, 认为其成矿模型属于 MVT 型铅锌矿成因(张燕等, 2011; 陈云明等, 2014)。但整体工作程度仍然较低, 还没有做过系统研究; 特别是成矿物质来源的研究; 到目前为止在该区仅发现少量的铅锌矿床(点), 均属于中小型, 未见大型铅锌矿床。所以有必要对该成矿带进行深入研究, 为后续铅锌矿找矿工作提供重要的基础地质依据。

硫元素广泛分布于火成岩、沉积岩、变质岩、海

水以及大气降水中。硫是一个很好的示踪剂, 可以根据矿物的硫同位素组成判断矿物的原始形成条件(刘子燕, 2017)。此外金属硫化物中通常含有一定量的铅, 而 U、Th 含量很低, 硫化物结晶以后通过衰变作用所产生的放射性成因的铅含量非常低, 对硫化物的铅同位素组成影响也可以忽略不计, 因此, 硫化物的普通铅同位素组成也被广泛应用于矿床定年和成矿物质示踪(Cumming G, Richards J. 1975; 张海等, 2016)。故本文选择桑木背斜铅锌成矿带中典型的铅锌矿床(点)进行了系统采样并开展了 S、Pb 同位素研究, 探讨其成矿物质来源。

2 地质背景

黔北桑木背斜北接四川盆地, 南邻黔中隆起北缘, 为一北东向背斜构造, 桑木断裂带呈北东走向切割桑木背斜核部。背斜核部出露最老地层为震旦系灯影组(未见底), 上覆寒武系戈仲伍组、

[收稿日期] 2020-03-15 [修回日期] 2020-10-22

[基金项目] 本文是《贵州乌蒙山区 1:5 万天鹅池、习水县、桑木场、官店 4 幅区域地质调查》(工作编码: 1212010100001500 02-09, DD20160019-05) 成果。

[作者简介] 朱华利(1987—), 男, 工程师, 从事区域地质矿产调查工作。E-mail: 1007811423@qq.com。

[通讯作者] 王波(1984—), 男, 高级工程师, 从事区域地质矿产调查工作。E-mail: 396299975@qq.com。

牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组、清虚洞组、陡坡寺组、石冷水组、娄山关组;奥陶系桐梓组、红花园组、湄潭组、十字铺组、宝塔组;及志留系至侏罗系地层;岩性以碳酸盐岩为主,碎屑岩次之,除二叠与三叠之交出现少量的凝灰岩外,未见其它岩浆岩出露。研究区内未见变质岩基底岩石出露,但区域地质信息显示下伏有较老的前震旦系变质岩基底地层,与滇东北地区对比,下伏基底地层可能与昆阳群或会理群相当的地层。

3 矿床及矿石特征

研究区铅锌矿床(点)主要集中产于震旦系

灯影组白云岩中,其次在寒武系清虚洞组白云岩以及奥陶系宝塔组灰岩中亦有产出。区内构造活动强烈,主要以 NE 向的桑木构造断裂带为主, NW 向断层和节理次之。NE 向桑木构造断裂带严格控制了铅锌矿的展布(图 1),所有铅锌矿床(点)均产于桑木断层北西盘,其中棕岩沟、谢家坝、邓家沟等铅锌矿床(点)均沿桑木断层展布;而晶车井、洞子沟、大岩、槽沟等铅锌矿床(点)均产于次级断层或破碎带中。

区内铅锌矿床的矿体主要呈似层状、透镜状,其次为脉状。严格受层间剥离裂隙、节理或断层破碎带的控制。矿床围岩蚀变有重晶石化、硅化、白云石化、萤石化等。

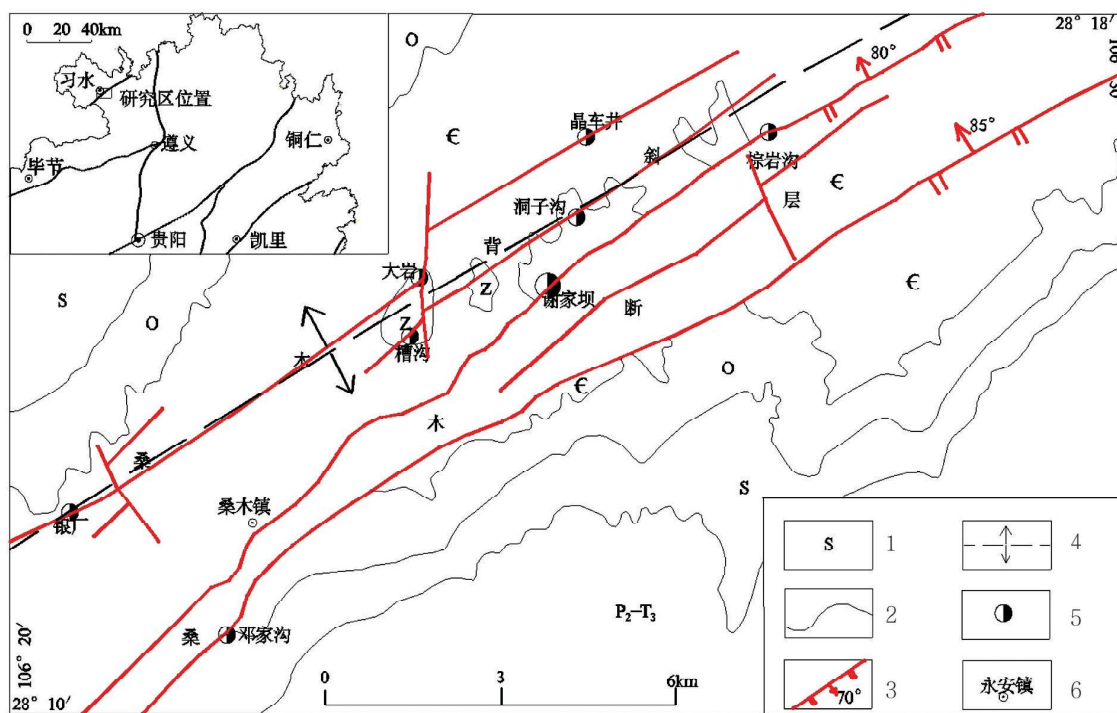


图 1 研究区地质略图(图片来源于 1:5 万桑木场幅矿产地质图,略有改动)

Fig. 1 Geological sketch of the study area

1—地层时代;2—地层界线;3—断层;4—背斜;5—矿床(点);6—地名

矿石矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿。脉石矿物主要有重晶石、石英、白云石、方解石、萤石等。闪锌矿为黄棕、红棕色(图 2);方铅矿为铅灰色。矿石具粒状结构(图 3)、溶蚀交代结构;团块状构造、浸染状构造和角砾状构造。矿石类型有铅锌矿石、铅矿石和锌矿石等。

4 硫同位素特征

本次研究在桑木背斜铅锌矿成矿带共采集了

12 件样品挑选单矿物样品进行硫同位素测试分析,其中黄铁矿 7 件、方铅矿 2 件、闪锌矿 3 件。采自洞子沟、谢家坝的样品含矿围岩均为震旦系灯影组白云岩;棕岩沟的样品含矿围岩为清虚洞组白云岩;而采自邓家沟的样品含矿围岩为奥陶系宝塔组灰岩;围岩差异是因为成矿热液向上迁移过程中遇到适合的围岩析出成矿,为断层控矿和围岩双重控矿,故研究区铅锌矿能够在不同时期的碳酸盐岩中产出。样品测试方法为: S-ISTP-01,由澳实分析检测(广州)有限公司测试分析,

测试分析结果列于表 1,根据表 1 数据进行硫化物及硫酸盐中硫同位素投图得到图 4。总体桑木背斜铅锌。



图 2 洞子沟铅锌矿床红棕色闪锌矿脉体
Fig. 2 Red-brown sphalerite vein in Dongzigou lead-zinc deposit



图 3 邓家沟铅锌矿点浅灰色粒状方铅矿
Fig. 3 Light grey granulo galena in Dengjiagou lead-zinc occurrence

表 1 研究区硫化物的硫同位素组成
Table 1 Sulfur isotopic composition of sulfide in the study area

样品号	矿床(点)	矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
ZYG-H4	棕岩沟	黄铁矿	25.1
ZYG-H6	棕岩沟	闪锌矿	24.9
DZG-H1	洞子沟	闪锌矿	19.2
DZG-H5	洞子沟	闪锌矿	18.7
DZG1-16H1	洞子沟	方铅矿	16.1
XJB-H1	谢家坝	黄铁矿	31.0
XJB-H2	谢家坝	黄铁矿	31.0
XJB-H3	谢家坝	黄铁矿	31.4

续表

样品号	矿床(点)	矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
XJB-H5	谢家坝	黄铁矿	31.5
XJB-H8	谢家坝	黄铁矿	31.2
XJB-H9	谢家坝	黄铁矿	30.6
K0001-B2	邓家沟	方铅矿	16.9

注:测试方法为: S-ISTP-01 由澳实分析检测(广州)有限公司测试分析

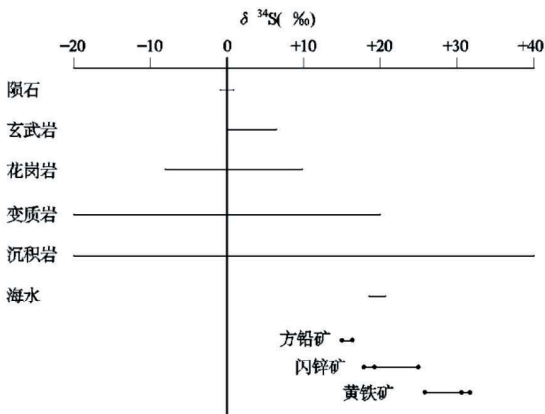


图 4 研究区硫化物中硫同位素投影图
底图据文献(Rollinson H R.1992)

Fig. 4 Middle sulfur isotopic projection of sulfide in the study area

矿区的硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较大 ($16.1\text{‰} \sim 31.5\text{‰}$), 平均值为 25.6‰ , 极差为 15.4‰ , 为相对富集重硫型。总体具有 $\delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿 $> \delta^{34}\text{S}$ 闪锌矿 $> \delta^{34}\text{S}$ 方铅矿, 这个变化规律与硫同位素分馏及矿物成矿的先后顺序有关。

5 铅同位素特征

桑木背斜铅锌成矿带铅锌矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿。本次研究共采集了 13 件矿石矿物挑选硫化物样品进行了 Pb 同位素测试, 其中黄铁矿 7 件, 闪锌矿 4 件, 方铅矿 2 件。测试结果列于表 2, 从列表中可以看出, 研究区内来自不同矿区、不同矿物的 Pb 同位素变化均很小。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 $18.25 \sim 18.57$ 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 $15.63 \sim 15.92$ 之间, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 介于 $37.82 \sim 38.93$ 之间, 三者变化范围均很小, 且不同硫化物样品之间的 Pb 同位素组成也不存在明显的差异, 表明桑木背铅锌成矿带可能具有较为单一的铅金属来源。

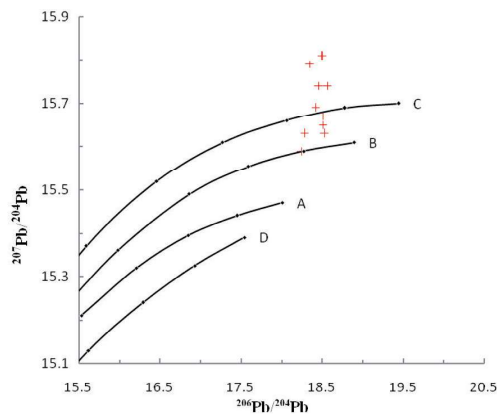
笔者利用路远发开发的 GeoKit 软件将表 2 的数据进行 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — ^{208}Pb

表 2 研究区硫化物的铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic composition of sulfide in the study area

样品号	矿床(点)	矿物	矿物类型	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
ZYG-H4	棕岩沟	黄铁矿	硫化物	18.35	15.79	38.41
ZYG-H6	棕岩沟	闪锌矿	硫化物	18.50	15.81	38.77
ZYG-H7	棕岩沟	闪锌矿	硫化物	18.49	15.81	38.76
DZG-H1	洞子沟	闪锌矿	硫化物	18.53	15.63	38.13
DZG-H5	洞子沟	闪锌矿	硫化物	18.51	15.65	38.18
DZG-16H1	洞子沟	方铅矿	硫化物	18.51	15.67	38.21
XJB-H1	谢家坝	黄铁矿	硫化物	18.42	15.69	38.46
XJB-H2	谢家坝	黄铁矿	硫化物	18.57	15.74	38.60
XJB-H3	谢家坝	黄铁矿	硫化物	18.28	15.63	37.82
XJB-H5	谢家坝	黄铁矿	硫化物	18.54	15.92	38.93
XJB-H8	谢家坝	黄铁矿	硫化物	18.49	15.81	38.64
XJB-H9	谢家坝	黄铁矿	硫化物	18.46	15.74	38.50
K0001-B2	邓家沟	方铅矿	硫化物	18.25	15.59	38.20

注:测试方法为:PBIS-RAT61,由澳实分析检测(广州)有限公司测试分析。



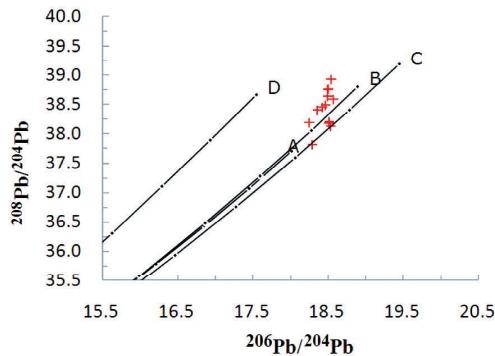
A-地幔(Mantle); B-造山带(Orogen); C-上地壳(Upper Crust); D-下地壳(Lower Crust)

图 5 研究区铅锌矿床(点)

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造模式图

(底图据 Doe B R, Zartman R E, 1979)

Fig. 5 Light grey granulo galena in Dengjiagou lead-zinc occurrence



A-地幔(Mantle); B-造山带(Orogen); C-上地壳(Upper Crust); D-下地壳(Lower Crust)

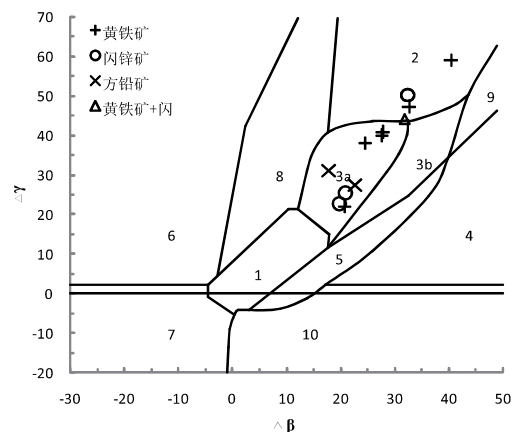
图 6 邓家沟铅锌矿点浅灰色粒状方铅矿

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造模式图

Fig. 6 Light grey granulo galena in Dengjiagou lead-zinc occurrence

^{204}Pb 构造模式投图得到图 5 和图 6;从图 5 和图 6 的投图曲线可以看出,所有点均落于造山带或上地壳曲线之上,说明桑木背斜成矿带的成矿物质铅来源与造山带或上地壳有关。因桑木背斜所处的大地构造位置为扬子地块西南缘,属于板块内部,并不属于造山带,所以其铅来源可能为上地壳的沉积地层。

将表 2 数据进行朱炳泉矿石铅同位素的 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图解投图得到图 7。从图 7 可以看出,所有点均落于上地壳铅(2)及上地壳与地幔混合的俯冲带铅(3a 岩浆作用)区域,表明研究区铅来源于上地壳且与热液活动有关。

图 7 铅同位素的 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图解Fig. 7 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ genetic classification of lead isotope

1—地幔源铅;2—上地壳铅;3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅(3a.岩浆作用;3b.沉积作用);4—化学沉积型铅;5—海底热水作用铅;6—中深变质作用铅;7—深变质下地壳铅;8—造山带铅;9—古老页岩上地壳铅;10—退变质铅

6 成矿物质来源探讨

(1) 成矿物质硫的来源探讨

根据张青等研究成果,研究区海相沉积地层震旦系的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值 17‰ 左右,而寒武系的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值 28‰ 左右,与研究区硫化物的硫同位素平均值 25.6‰ 相近。据图 4 可知桑木背斜铅锌成矿带硫化物及硫酸盐中硫同位素投图均落于沉积岩区;据此判断其硫的来源为沉积岩。故笔者认为桑木背斜铅锌成矿带成矿物质硫来源于围岩或下伏基底地层。

(2) 金属铅的来源探讨

桑木背斜铅锌成矿带已知矿床点产出的地层从震旦系灯影组到奥陶系宝塔组碳酸盐岩中均可见及,无论是最老的灯影组还是上覆的寒武系至奥陶系地层,其岩石地层中铅的背景值均很低,不具有提供铅源的条件。而根据前面铅同位素投图分析,其铅来源于上地壳沉积地层,且与热液活动有关,故推测桑木背斜铅锌成矿带的铅来源于该区下伏前寒武纪基底地层。故笔者认为研究区铅来源为受断层影响的热液活动将基底岩石中的铅溶出,并跟随热液运移,在热液向上运移过程中与围岩中溶出的硫结合,最终在碳酸盐岩地层中析出成矿。

7 结论

(1) 桑木背斜铅锌矿带的硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较大,为相对富集重硫型。其成矿物质硫

来源于围岩或下伏基底地层。

(2) 桑木背斜地区铅锌矿床具有较为单一的铅金属来源。铅来源于该区下伏前寒武纪基底地层。

致谢: 本文在成文过程中得到中国地质大学(武汉)韩庆森博士的悉心指导;得到习水区调项目全体项目成员的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

[参考文献]

- 陈云明,刘志臣,李刚成,等. 2014. 贵州习水谢家坝铅锌矿地质特征及成因类型[J]. 矿业工程研究, 29(4): 42-46.
- 刘子燕. 2017. 硫同位素在矿床研究中的应用[J]. 四川有色金属, 1: 21-23.
- 刘金海. 2010. 贵州习水桑木场铅锌成矿带地质特征及找矿潜力[J]. 贵州地质, 27(3): 193-197.
- 张燕,陈翠华,刘树根,等. 2011. 贵州习水洞子沟铅锌矿稀土微量元素地球化学特征及其成因初探[J]. 矿物学报, (增) 232-233.
- 张海,孟忠昌,齐有强,等. 2016. 黔西北云炉河坝铅锌矿集区成矿物质来源—S、Pb 同位素制约[J]. 矿物学报, 36(2): 271-276.
- 朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用—兼论中国大陆壳幔演化[M]. 北京: 科学出版社.
- Cumming G, Richards J. 1975. Ore lead isotope ratios in a continuously changing earth[J]. Earth and Planetary Science Letters, 28(2): 155-171.
- Doe B R, Zartman R E. 1979. Plumbotectonics: The Plumbotectonics in Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. New York: Wiley-Interscience, 22-70.
- Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation. Presentation. Interpretation [M]. New York: John Wiley and Sons, Inc; 1992: 1-343.

Discussion of Sulfur-lead Isotope Characteristics and Source of Ore-forming Materials of Lead-zinc Metallogenic Belt in Sangmu Anticline of Northern Guizhou

ZHU Hua-li^{1,2}, WANG Bo¹, QIAO Chang¹, ZHANG Han-bin¹, HAN Xue¹

(1. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China; 2. China University of Geoscience, Wuhan 430074, China)

[Abstract] In this paper, S and Pb isotopes were used as trace elements to study the metallogenic material sources in the Pb-Zn mineralization belt of Sangmu anticline in the northern Guizhou Province. The $\delta^{34}\text{S}$ values of sulphide or sulfate in the Pb-Zn mining area of Sangmu anticline range from 16.1‰ to 31.5‰, with average

value of 25.6‰, and extreme value of 15.4‰, which are relatively enriched in heavy sulfur isotopes. The sulfur isotope allplot in the field of sedimentary rocks, which are similar to the sulfur isotopes of sulfate in seawater during earth history, indicating that the sulfur may be sourced from sedimentary rocks. Pb isotopic variations of different minerals from different mining areas are very small in the study area. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ values are between 18.25 and 18.57, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios are between 15.63 and 15.92, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios are from 37.82 to 38.93. There is no obvious difference in Pb isotope composition between different sulfide samples, indicating that the Pb–Zn deposit in the Sangmu anticline area may have a single source of the Pb metal. Pb isotope analyses show that the Pb metal in the Pb–Zn mineralization belt of Sangmu area may be from the underlying basement strata.

[**Key Words**] Sangmu anticline; Lead zinc ore; Sulfur–lead isotope

(上接第 42 页)

port worked in, further petrological and lithogeochemical analysis was carried out, data mining and re-research on Yulinshan formation volcanic rocks in Yulinshan area, Tibet. The study shows that this formation consisting of tephra and volcanic lava has at least three rhythms; bulk elements show that it is a base – neutral rock with high alkali and rich potassium, belonging to shoshonite series – high potassium series; the ratios of $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}$ and $(\text{La}/\text{Yb})_N$ of light and heavy rare earth in rare earth elements are 16.44 ~ 19.39 and 73.04 ~ 84.18 respectively, and the fractionation degree of light and heavy rare earth in volcanic rocks is relatively large; the high field strength elements Nb, Ta, Zr, Hf and Ti in trace elements are obviously deficient compared with the adjacent large ion lithophile elements, and Sr also shows a deficit situation. Combined with the characteristics of rare earth and trace elements, the volcanic rocks of Yulinshan formation evolved from mantle-derived basaltic magma from intraplate rift valley, accompanied by only a small amount of crustal contamination, which was the product of internal plate stress relaxation stage in Himalayan orogeny. It cracked east to west towards Kunchu Kecuo, providing a channel for magmatism in Himalayan revival.

[**Key Words**] Yulinshan formation; Volcanic rocks; Petrology; Geochemistry; Tibet

(上接第 28 页)

Study on Petrologic Classification of “Siltstone Sandwich” in Ore-bearing Volcanic Rocks of Nibao Gold Deposit, Southwest Guizhou

QI Liansu

(*Ghosh Institute of Geophysical and Geochemical Prospecting, Guiyang 550018, Guizhou, China*)

[**Abstract**] In the study, the formerly deduced “siltstone sandwich” in ore-bearing volcanic rocks of Nibao gold deposit should be a kind of altered tuff, because it possesses the volcanoclastic composition, texture and structure, including melting quartz crystal fragment, feldspar plate crystal pseudomorph, as well as lot of fossils fragments. The former “siltstone sandwich” is not exist, only a short gap of volcanic eruption. The whole volcanic rock series become a late Permian volcanic eruption cycle from partially basic volcanoclastic rock to intermediate basic volcanic breccia. From early stage to late stage of volcanic cycle, the strength of gold mineralization enhanced gradually, it proves the closed relationship between gold mineralization and volcanic rock.

[**Key Words**] Altered tuff; volcanic eruption gap; Late Permian volcanism; Nibao gold deposit; Guizhou