

王加昇,温汉捷. 贵州交犁—拉峨汞矿床方解石 Sm-Nd 同位素年代学. 吉林大学学报:地球科学版,2015,45(5):1384-1393. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.201505111.

Wang Jiasheng, Wen Hanjie. Sm-Nd Dating of Hydrothermal Calcites from Jiaoli-Lae Mercury Deposit, Guizhou Province. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2015, 45(5): 1384-1393. doi: 10. 13278/ j. cnki. jjuese. 201505111.

贵州交犁—拉峨汞矿床方解石 Sm-Nd 同位素年代学

王加昇¹, 温汉捷²

1. 昆明理工大学国土资源工程学院/西南地质调查所, 昆明 650093

2. 中国科学院地球化学研究所/矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002

摘要:三丹汞矿带位于贵州省南部,是继湘黔汞矿带之外西南大面积低温成矿域内发现的又一重要汞矿带。因此,阐明带内汞矿的成矿物质来源、成矿时代及成矿动力学背景等问题,对深入探讨西南大面积低温成矿域的形成机理有着重要的作用。热液方解石是带内汞矿床的主要脉石矿物之一,作者尝试对三丹汞矿带中段交犁—拉峨汞矿床中的热液方解石进行 Sm-Nd 同位素测年,获得等时线年龄为 (129 ± 20) Ma, MSWD=0.21, $\epsilon_{Nd} = -12.9$, 说明成矿作用主要发生在燕山晚期。该年龄的报道为深入探讨汞矿床以及西南大面积低温成矿域的形成和演化提供了重要的信息和依据。结合前人研究认为,西南低温成矿作用主要存在两期,早期为 145~155 Ma 的 Sb 成矿作用,晚期为 120~135 Ma 的 Sb、Au、Hg、As 成矿作用。围岩下奥陶统锅塘组灰岩样品的 ϵ_{Nd} 值为 -12.6,与方解石 ϵ_{Nd} 值极为接近,指示该矿床成矿物质可能主要来自奥陶系赋矿海相碳酸盐岩。

关键词:交犁—拉峨汞矿床;方解石;Sm-Nd 定年;三丹汞矿带;碳酸盐岩

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.201505111

中图分类号:P597;P618.68

文献标志码:A

Sm-Nd Dating of Hydrothermal Calcites from Jiaoli-Lae Mercury Deposit, Guizhou Province

Wang Jiasheng¹, Wen Hanjie²

1. Faculty of Land Resource Engineering/Southwest Institute of Geological Survey, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences/State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Guiyang 550002, China

Abstract: San-Dan mercury metallogenic belt is one of the most important parts of the large-scale low-temperature epithermal metallogenic region in Southwestern China, besides Guizhou—Hunan mercury metallogenic belt. To clarify the source of metallogenetic materials, mineralization ages, and geodynamical background is critical for understanding the mineralization mechanism of this region.

收稿日期:2014-12-12

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41303038);昆明理工大学人才引进科研启动基金项目(KKSY201321027);国家自然科学基金联合基金项目(U1133602)

作者简介:王加昇(1985—),男,博士,主要从事矿床地球化学方面的研究,E-mail:jiashengwang@126.com。

Considering that the hydrothermal calcite is one of the main gangue minerals of this belt, Sm-Nd geochronology of hydrothermal calcites is used to date Jiaoli-Lae mercury deposit in the middle of the belt. An isochron age (129 ± 20 Ma, MSWD = 0.21, $\epsilon_{Nd} = -12.9$) has been obtained. This age suggests that the Hg mineralization occurred in Late Yanshanian. This provides some important information and clues to discover the formation and evolution of the mercury deposits and other deposits of the large-scale low-temperature epithermal metallogenic region in Southwestern China. Referring to some other previous research, we conclude that this area underwent two main mineralizing stages, i. e., early stage of 145-155 Ma Sb mineralization, and late stage of 120-135 Ma Sb, Au, Hg, As mineralization. The limestone ϵ_{Nd} value of wall rocks of the Guotang Formation (Lower Ordovician Series) is -12.6, which is in good agreement with the ϵ_{Nd} of the hydrothermal calcite. This indicates that the ore materials of this mercury deposit probably originated from the ore-bearing Ordovician carbonatite.

Key words: Jiaoli-Lae mercury deposit; hydrothermal calcite; Sm-Nd dating; San-Dan mercury metallogenic belt; carbonatite

0 引言

汞资源的分布极其不均衡,在世界范围内,汞矿主要沿深大断裂分布在26条汞矿带上,全球3/4的汞产量来自主要的5条汞矿带^[1]。其中西班牙中部的阿尔马登汞矿带就占世界汞产量的1/3^[2]。汞作为低温成矿元素,在全球两大独具特色的大面积低温成矿域中都广泛分布。如美国中西部低温成矿域中的加利福尼亚海岸山脉和大盆地两个重要的汞矿带内分布着世界上第四、第五大的汞矿床^[3]。而在我国西南大面积低温成矿域中,作为代表性元素之一,我国80%以上的汞矿床分布于该成矿域中。其中驰名中外的湘黔汞矿带,其探明储量约占全国汞矿总储量的50%^[4]。近年来,由于汞矿山对环境的影响,汞矿的经济价值越来越低;并且许多汞矿山已几乎无矿可采,所以越来越多的汞矿床不得不被关闭。这些均间接导致对汞矿床的研究处于停滞状态,但是关于汞矿床的理论研究价值却难以被忽视。

硫化物型汞矿常以其沉积围岩类型以及与岩浆作用的关系进行划分。Rytuba^[1]认为汞矿可以分为3种类型:阿尔马登型、蛇绿岩型和热泉型。Kuznetsov和Obolenskiy^[5]根据汞矿与岩浆作用的关系也将汞矿划分为:深成热液矿床、远温热液矿床、热泉及火山喷气型矿床3种类型;并将中国湘黔地区的汞矿床划分为远温热液型,这种类型的特点是与岩浆作用或深大断裂无关。事实上,中国湘黔地区的汞矿床作为一种独特的成矿类型,有着自己鲜明的地球化学特点,包括主要赋矿围岩是碳酸盐

岩、矿床具有显著的层控(寒武、奥陶系)特点、成因与岩浆岩无关等区别于世界上其他类型的汞矿,因而有着较高的研究意义。此外,对西南大面积低温成矿域的认识中,汞作为区内最具特色的矿种之一,其理论研究地位难以被替代。而汞矿的物质来源及成矿时代又是其中最为关键的两个科学问题。

有关汞矿床的成矿年代学研究,由于缺乏合适的定年矿物及成熟的测试方法,一直是个薄弱的环节,特别是与岩浆无关的矿床,年代学研究几乎是一片空白,只能凭借构造活动的期次加以粗略限定,难以准确提供成矿时代信息。截至目前,整个西南大面积低温成矿域中的汞矿床极少有可信的年龄数据报道。纵观全球,也只有Hall等^[6]利用激光⁴⁰Ar/³⁹Ar法对与汞矿化有关的黏土、铬云母等蚀变矿物进行定年测试,为西班牙阿尔马登超大型汞矿提供了较可靠的年龄数据。因此,成矿年代学数据的缺乏严重限制对汞矿床成矿背景和成矿机制的认识。近年来,方解石的Sm-Nd定年法作为一种新兴的定年技术已被逐步运用于锑矿^[7-8]、卡林型金矿等低温热液矿床中^[9]。而交犁—拉峨汞矿床内有较多的方解石,所以本文尝试运用其进行Sm-Nd定年,以期获得该区理想的年代学信息。

1 地质概况

交犁—拉峨汞矿床位于三(都)—丹(寨)汞矿带中段,地处区域性F₁、F₂断层之间的狭长构造带内(图1),在区域构造上属新华夏系第三隆起带的南端,与川黔经向构造带接壤部位的三丹“S”型构造

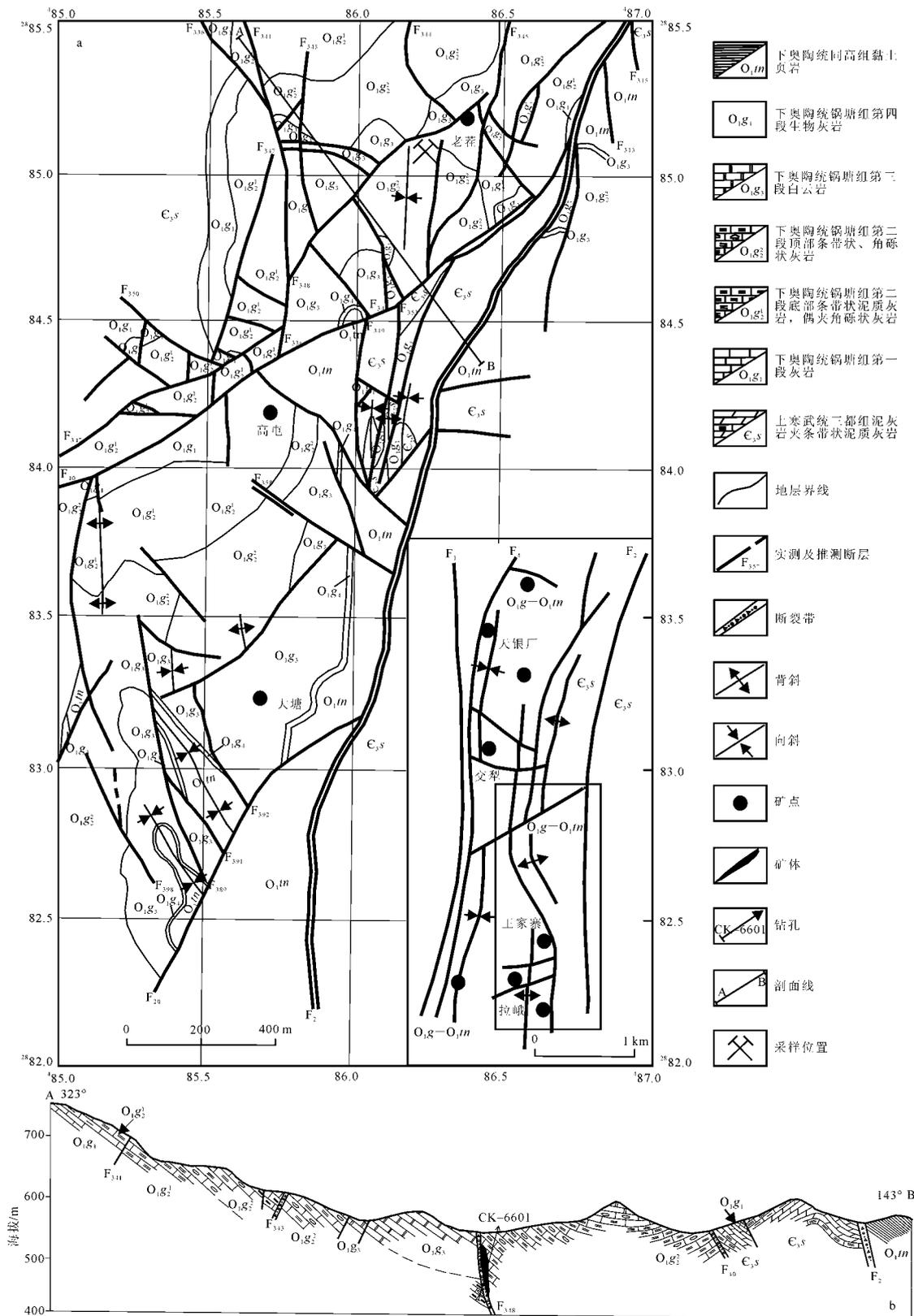


图 1 交梨—拉峨汞矿床高屯、大塘矿段地质简图(a)和剖面图(b)(据文献[10-11]修编)

Fig. 1 Geological map (a) and a geological section map (b) of Gaotun and Datang ore-section of Jiaoli-Lae mercury deposit (modified after references[10-11])

的腰部。同一构造带内还分布有轴向近南北的翁吉—拉峨背斜,天银厂—王家寨向斜,此外,著名的三丹汞矿带、三都苗龙金矿、三都牛场—坝桥铅锌矿等均赋存于此。该区出露地层为台地前缘斜坡沉积相区,主要有中泥盆统独山组、帮寨组灰岩及石英砂岩;下奥陶统同高组(O_1tn)、锅塘组(O_1g)黏土页岩、条带状灰岩、钙质页岩;上寒武统三都组(\in_3s)、杨家湾组泥灰岩、角砾状灰岩及条带状灰岩;中寒武统大发洞组、排成组白云岩、泥质白云岩;下寒武统渣拉沟组灰岩、泥灰岩^[10]。

交犁—拉峨矿床包括交犁、雄黄洞、四恒厂、五工区、拉峨寨、水沟、高屯、大塘、猫洞共 9 个矿段。矿床内出露地层以下奥陶统为主,在翁吉—拉峨背斜核部和西缘有少许上寒武统出露。上寒武统三都组以灰绿、黄绿色页岩及暗灰色薄层泥灰岩为主,夹深灰—暗灰色条带状泥质灰岩,厚度大于 80 m。下奥陶统锅塘组按岩性分为四段:第一段(O_1g_1),灰、浅灰色薄层灰岩,夹薄层泥质条带,顶部为一层 3~6 m 厚的角砾状灰岩,该段厚度 53~80 m。第二段(O_1g_2),底部($O_1g_2^1$)为灰、暗灰色薄层条带状灰岩夹少量角砾状灰岩,顶部为一层 3~6 m 厚的暗灰色钙质页岩,泥质由上向下渐增;其下部则为暗灰色薄层条带状泥质灰岩,厚 140~151 m;上部($O_1g_2^2$)为灰、浅灰色薄—中厚层条带状灰岩,夹 8~9 层厚度 1~4 m 的厚层角砾状灰岩透镜体;本层是富集汞矿的最有利岩石,厚度 110~125 m。第三段(O_1g_3),灰—灰黑色,风化面呈黄褐色泥质白云岩(深部多见层纹状、条带状)及灰—浅灰色中—厚层白云岩,厚 89 m。第四段(O_1g_4),灰、浅灰、灰白色结晶生物灰岩,有时夹纹层状泥质白云岩,含大量生物化石碎屑,厚度 3~14 m。下奥陶统同高组为灰—黄绿色页岩,夹少量砂质页岩,厚度 230~310 m^[10,12]。

高屯矿段位于翁吉—拉峨背斜中段的西翼。出露地层为下奥陶统锅塘组 $O_1g_2^1$ 、 $O_1g_2^2$ 、 O_1g_3 。控制汞矿的主要构造是 F_{348} 断层,全长 900 m,有辰砂矿化的露头长 450 m,走向北东,倾向南东,倾角 $65^\circ\sim 85^\circ$ 。矿石具半自形—他形粒状结构、溶蚀交代结构;浸染状、团块状、角砾状、细脉状构造。矿石矿物主要出露有辰砂、雄黄、雌黄、黄铁矿等(图 2a、b、c);脉石矿物主要出露有方解石、白云石、重晶石。围岩蚀变以方解石化、白云石化为主,其次为硅化、重晶石化、黄铁矿化。

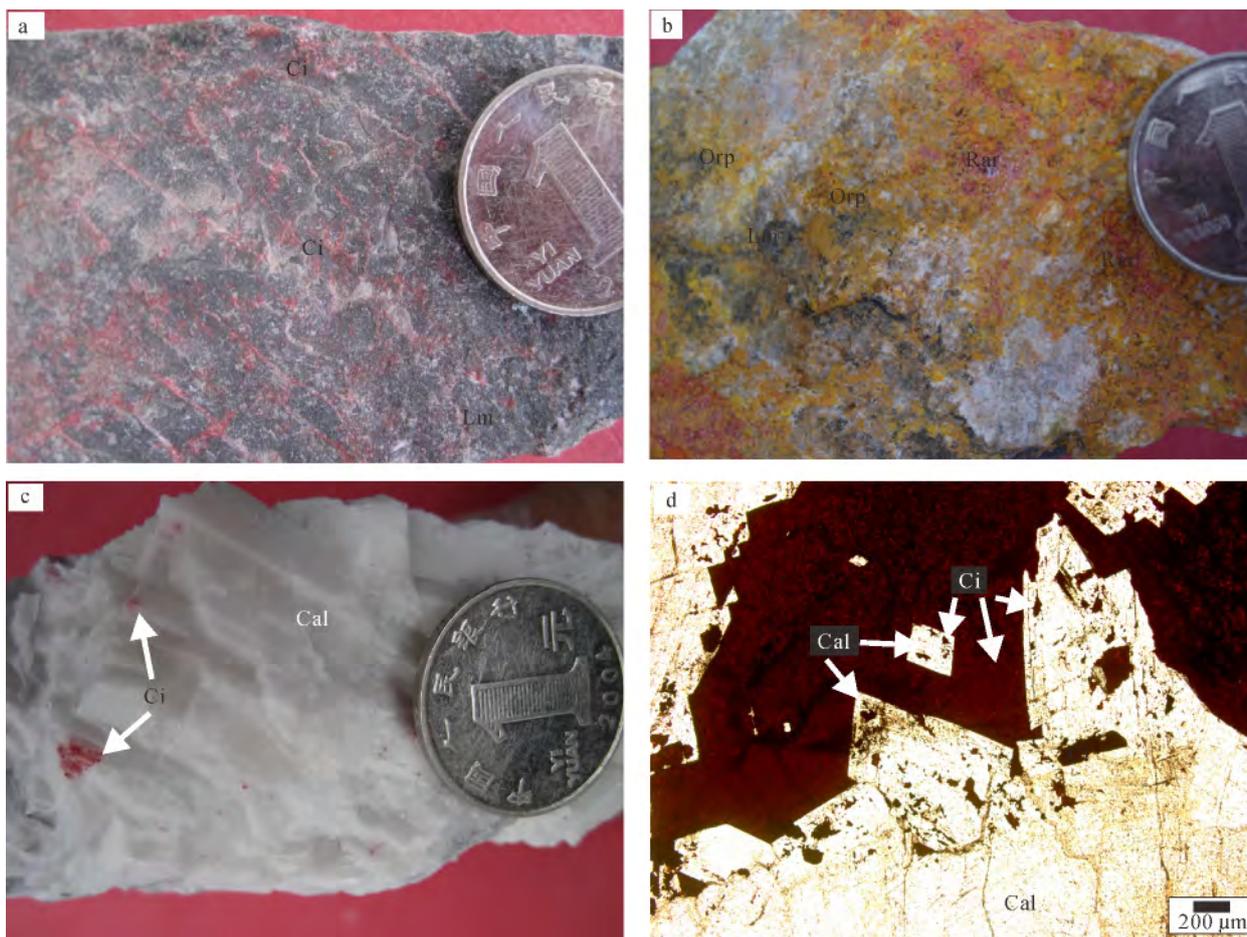
2 样品采集与测试

样品均采自交犁—拉峨汞矿床高屯矿段一号平硐。方解石主要呈团块状、细脉状和脉状,广泛分布在不同矿化类型的矿石中。从显微镜下对薄片的观察发现,辰砂与方解石关系极为密切,两者相互包裹共生(图 2d)。

将方解石粉碎至 40~60 目,用超纯水冲洗几遍,在低温($<60^\circ\text{C}$)下将其烘干,然后在双目镜下将杂质剔除,使方解石的纯度达到 99% 以上,最后将纯净的方解石用玛瑙研钵研磨至 200 目以下。方解石的 Sm、Nd 同位素分析在天津地质矿产研究所 Triton 热电离质谱上进行。方解石的 Sm-Nd 法采用双流程的分析测试工艺。同位素稀释(I. D.)流程的用样量在 0.15 g 左右;同位素富集(I. C.)流程的用样量以估计可取得 1.0 μg 以上的纯 Nd 为标准。样品粉末用 $\text{HF} + \text{HClO}_4$ 溶解,在密闭的 Teflon 溶样器中和高温条件下,首先烘半天以上。Nd 的纯化采用 HDEHP 技术。I. C. 流程及其子流程纯化 Nd 的设置,从根本上排除了¹⁴⁴Sm 对¹⁴⁴Nd 的干扰,为得到高精度、高准确度的 Nd 同位素比值奠定了可靠的基础。国家一级标准 Sm-Nd 岩石样 GBS04419 的结果是: $w(\text{Sm}) = 3.017 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Nd}) = 10.066 \times 10^{-6}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512739 \pm 0.000005$ 。国际标准岩石样 BCR-1 的结果是: $w(\text{Sm}) = 6.571 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Nd}) = 28.753 \times 10^{-6}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512644 \pm 0.000005$ 。全流程空白本底稳定在 $w(\text{Sm}) = 3.0 \times 10^{-11}$ 、 $w(\text{Nd}) = 5.4 \times 10^{-11}$ 。Nd 分馏的内校正因子均采用¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.7219。质量分数测定和同位素比值测定均由 Triton 热电离质谱承担,用平行双灯丝构件的离子源测 Sm、Nd。J. M. C Nd (the Johnson and Matthey® Nd) 质谱标准样的结果为¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.511132 \pm 0.000005。等时线拟合计算均用 Isoplot 标准程序。

3 结果

交犁—拉峨汞矿床 6 个方解石样品的 Sm、Nd 质量分数及同位素比值列于表 1。其 Sm、Nd 质量分数分别为 $(0.5555 \sim 1.9154) \times 10^{-6}$ 和 $(2.9082 \sim 10.0054) \times 10^{-6}$,¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 及¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 值分别为 0.0892~0.1157 和 0.511884~0.511908;利用 Isoplot 软件计算出交犁—拉峨汞



a. 辰砂呈浸染状产于灰岩中; b. 浸染状雌黄、雄黄矿石; c. 辰砂呈浸染状产于方解石中; d. 显微镜下相互包裹的方解石与辰砂。Cal. 方解石; Ci. 辰砂; Lm. 灰岩; Orp. 雌黄; Rar. 雄黄。

图 2 交梨—拉峨汞矿床手标本以及显微镜下辰砂与方解石特征照片

Fig. 2 Photographs of hand specimens and microphotographs of thin sections of the cinnabar and calcite from the Jiaoli-Lae mercury deposit

矿床方解石等时线年龄 $t = (129 \pm 20) \text{ Ma}$, 0.511902 ± 0.000005 , 按 480 Ma 计算获得 ϵ_{Nd} 值 $\text{MSWD} = 0.21$, 初始 $\epsilon_{\text{Nd}} = -12.9$ (图 3)。下奥陶统 为 -12.6 。
 锅塘组第二段上部一个灰岩样品的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为

表 1 交梨—拉峨汞矿床方解石、围岩 Sm、Nd 同位素组成

Table 1 Sm and Nd isotopic compositions of calcites and wall rocks from the Jiaoli-Lae mercury deposit

样品号	样品特征	$w(\text{Sm})/10^{-6}$	$w(\text{Nd})/10^{-6}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(2\sigma)$
LE-3	方解石	1.490 1	8.120 4	0.110 9	0.511902 ± 0.000003
LE-6	方解石	1.288 2	7.123 8	0.109 3	0.511900 ± 0.000005
LE-8	方解石	1.915 4	10.005 4	0.115 7	0.511908 ± 0.000007
LE-9	方解石	0.967 3	5.159 2	0.113 3	0.511904 ± 0.000004
LE-12	方解石	0.986 7	6.689 5	0.089 2	0.511884 ± 0.000011
LE-13	方解石	0.555 5	2.908 2	0.115 5	0.511906 ± 0.000011
LE-29	锅塘组灰岩(围岩)				0.511902 ± 0.000005

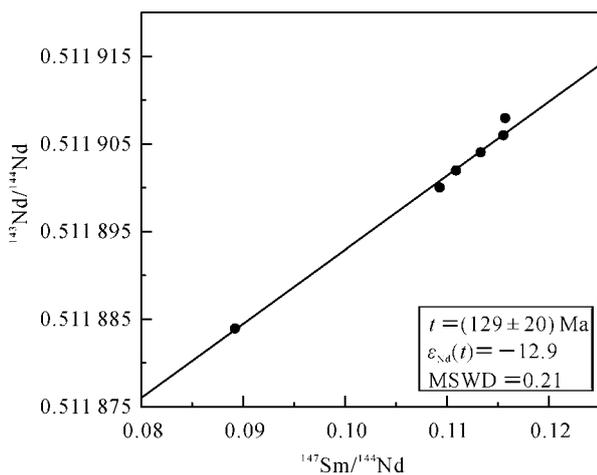


图3 交犁—拉峨汞矿床方解石 Sm-Nd 等时线年龄图解
Fig. 3 Sm-Nd isochron for the calcites from the Jiaoli-Lae mercury deposit

4 讨论

4.1 定年方法的选择及存在问题

由于区域内无火成岩出露,汞矿仅赋存于沉积碳酸盐岩中,矿物组分比较简单,缺乏合适的定年矿物及手段。所以迄今为止,三丹汞矿带没有一个已发表的成矿年龄数据。Sm-Nd 定年热液矿物如电气石、白钨矿、萤石、方解石等,在金矿、钨矿、铀矿、锑矿等矿床研究中取得了巨大成功^[7-9,13-24]。

三丹汞矿带中的辰砂主要产于方解石脉中,且在显微镜下发现辰砂与方解石晶体相互包裹(图2d),说明两者应形成于同一时期。方解石的形成时间可以直接代表汞矿床的成矿年龄。Anglin 等^[17]认为 Sm-Nd 同位素定年技术能够应用于任何热液成矿系统,只要该热液系统满足以下条件:①从该热液体系沉淀的矿物容纳有足够量的稀土元素;②对于 Sm、Nd 而言,矿物结晶后处于封闭状态;③矿物中 Sm、Nd 发生了分馏,能够构筑等时线。从燕山运动以后,本区构造相对比较稳定。Cherniak^[25]认为在方解石等含钙矿物中,Sm、Nd 等稀土元素的扩散速率低,暗示这些矿物从热液体系结晶后,其 Sm-Nd 同位素体系易保持封闭。锡矿山和巴年锑矿床中的方解石都属于中重稀土元素富集型^[7-8],水银洞卡林型金矿床中的方解石属于中稀土元素富集型^[9],所以,这些样品间的¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 值差别都比较大。交犁—拉峨汞矿床内的方解石属于轻稀土元素富集型,Sm、Nd 质量分数偏低,与会泽铅锌矿床

中的方解石相似^[23],Sm、Nd 分馏相对较小,这也是导致本文 Sm-Nd 年龄误差较大的原因所在。

4.2 成矿时代及成矿物质来源探讨

由于缺乏直接的年代学数据,汞矿床的形成时代仅依靠控矿构造的生成时期来确定。但现已发现,真正能确定生成时代的构造,如湘黔汞矿带中北北东向的褶皱和断裂与汞矿无明显关系,而和汞矿有密切关系的北东向、北东东向断裂,其生成时期不能确定^[26]。前人多借助于与毗邻的扬子成矿区的构造活动时期类比,确定主要成矿时期为燕山期^[26-29]。交犁—拉峨汞矿床属于三丹汞矿带的代表性矿床,其成矿年龄为 129 Ma,属于燕山晚期(早白垩世),这与上述绝大多数学者关于燕山期成矿的推断相符合。

在整个西南大面积低温成矿域内,岩浆活动总体不太发育,火山活动主要有两个时期:一是古元古代,主要发育有细碧岩、角斑岩和火山碎屑岩;二是晚二叠世,在川、滇、黔接壤区发育峨眉山大火成岩省^[30]。这两次大的火山活动地区都与湘黔汞矿带有着数百公里的距离,所以很难对湘黔汞矿的形成造成影响。而从本文的年代学数据也证实汞矿的形成与上述两个时期的火山活动无关。

交犁—拉峨汞矿床方解石的 ϵ_{Nd} 值为 -12.9,下奥陶统锅塘组第二段上部灰岩样品的 ϵ_{Nd} 值为 -12.6,与方解石 ϵ_{Nd} 值极为接近。此外,陈江峰等^[31]所测奥陶系汤山组灰岩 ϵ_{Nd} 值为 -11.6,与本区方解石 ϵ_{Nd} 值也较为接近。而其余各已知古老地层岩石的 ϵ_{Nd} 值都与之有较大差别,包括二叠系、志留系、泥盆系中的砂岩、页岩、灰岩 ϵ_{Nd} 值(-11.5~-11.2)^[31]。李献华^[32]和 Ling 等^[33]对扬子南缘寒武系沉积岩所测 Nd 同位素结果(清溪组页岩与荷塘组页岩 ϵ_{Nd} 值分别为 -9.60 和 -9.99);震旦系页岩、粉砂岩、千枚岩 ϵ_{Nd} 值为 -8.94~-0.20^[32-33],新元古界千枚岩、页岩、粉砂岩 ϵ_{Nd} 值为 -5.3~0.6^[31-33],中元古界板岩、千枚岩、粉砂岩 ϵ_{Nd} 值为 -0.5~1.4^[32]。上述 Nd 同位素特征指示该区成矿物质可能主要来自奥陶系的赋矿海相碳酸盐岩。

4.3 西南大面积低温成矿域燕山期 Sb、Au、Hg、As 成矿年龄谱系

西南大面积低温成矿域是我国 Sb、Au、Hg、As 等低温热液矿床的重要矿集区,各种热液矿床之间在时空上相伴出现,但又往往形成相对独立的矿带或矿集区,表现出既共生又分异的现象。其中该区

著名的矿带或矿集区有:湘黔汞矿带、华南锑矿带、滇黔桂卡林型金矿集区,以及湘西北砷矿集区。该成矿域各矿床之间的共生分异机制,与各元素之间的地球化学学习性,以及不同元素成矿所需的特殊矿源层、赋矿层位、大地构造背景环境等都是密切相关的^[29,34-35]。而成矿先后问题则可能主要与各元素的成矿温度及区域地热场有关。在大地构造背景下,锑矿床与卡林型金矿床主要分布于盆地边缘,构造活动较为强烈,而汞矿床和砷矿床则分布于陆内,构造环境相对稳定,从盆地边缘→陆内,地温梯度应逐渐降低。马东升^[34]报道了华南中、低温热液矿床的成矿温度、流体盐度、压力、pH 和流体溶液的成分等参数在大区域上的分布(从东到西、从南到北)具有一定的规律性。王国芝等^[36]认为大规模的流体流动造成大面积低温成矿作用。而燕山期 Sb、Au、Hg、As 等热液矿床大规模成矿也是不争的事实,但是在燕山期大规模成矿背景下,各元素之间的成矿年龄谱系问题却很少讨论。

鉴于燕山运动对西南大面积低温成矿域的控制性作用,作者对该区已有的 Sb、Au、Hg 等主要矿床的年代学数据进行了统计(表 2),并结合本文的工作,对所有数据作统计直方图进行了分析(图 4),结果表明已有年龄数据主要集中在 80~160 Ma。而

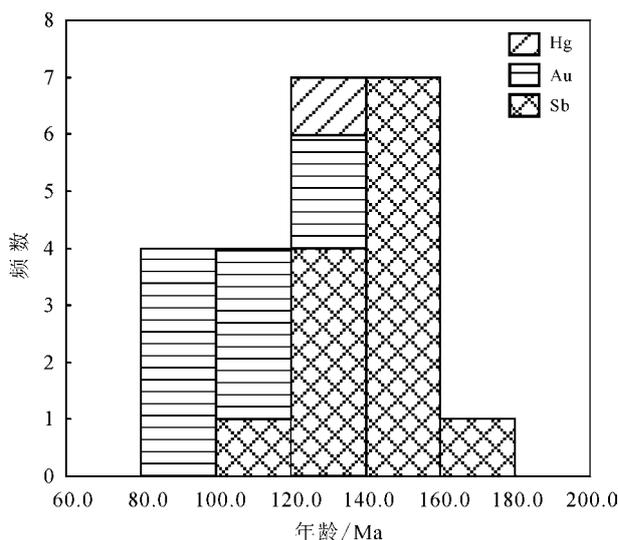


图 4 西南大面积低温成矿域 Sb、Au、Hg 矿已有年代数据统计图

Fig. 4 Geochronology statistics histogram of Sb, Au and Hg deposit, in large-scale low-temperature epithermal metallogenic domain in Southwestern China

近几年通过方解石的 Sm-Nd 年代学研究发现,锑矿床的形成主要集中在两个时期:早期为 145~155

表 2 西南大面积低温成矿域已有年代学数据

Table 2 Metallogenic ages existed in large-scale low-temperature epithermal metallogenic domain in Southwestern China

矿种	矿床	赋矿围岩	测试对象及方法	年龄/Ma	资料来源
锑矿	锡矿山	泥盆系碳酸盐岩、细碎屑岩	方解石, Sm-Nd 等时线年龄	155.5±1.1, 124.1±3.7	文献[7]
	锡矿山	泥盆系碳酸盐岩、细碎屑岩	方解石和辉锑矿 Sm-Nd 等时线年龄	156.3±12.0	文献[37]
	木利	泥盆系碳酸盐岩	石英 Ar-Ar 坪年龄	165	文献[29]
	马雄	寒武系白云岩, 泥盆系泥岩、砂岩	K-Ar 法年龄, Rb-Sr 法年龄	141, 156	文献[38]
晴隆	二叠系大厂层玄武岩		萤石的 ESR 年龄, 石英的 ESR 年龄	104.0, 125.2	文献[39]
	二叠系大厂层玄武岩		萤石的 Sm-Nd 等时线年龄	148±8, 142±16	文献[40]
巴年	泥盆系碳酸盐岩		方解石, Sm-Nd 等时线年龄	128.2±3.2, 126.4±2.7	文献[8]
独山	泥盆系砂岩、页岩		矿物包裹体 K-Ar 法等时线年龄	145	文献[41]
卡林	水银洞	三叠系碳酸盐岩、碎屑岩	方解石, Sm-Nd 等时线年龄	134±3, 136±3	文献[9]
型金矿	百地	三叠系碳酸盐岩、碎屑岩	石英, 裂变径迹法	90.8±6.4, 84.5±6.8	文献[42]
	烂泥沟	三叠系碳酸盐岩、碎屑岩	石英, 裂变径迹法	82.3±7.5, 83.4±8.3	文献[42]
	烂泥沟	三叠系碳酸盐岩、碎屑岩	石英, 流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄	105.6	文献[43]
	丫他	三叠系碳酸盐岩、碎屑岩	石英, 裂变径迹法	100	文献[44]
	丹寨	寒武系一下奥陶统灰岩	全矿石 Rb-Sr 等时线年龄	114±6	文献[45]
汞矿	交梨—拉峨	奥陶系灰岩	方解石, Sm-Nd 等时线年龄	129±20	本文

Ma^[7,37,40];晚期为 120~130 Ma^[7-8]。卡林型金矿的形成时间约为 135 Ma^[9]。本文提供的汞矿成矿年龄数据与锑矿床晚成矿期以及卡林型金矿的形成时期近乎一致。砷矿床(雌黄、雄黄)目前还没有年龄数据,但是 As 与 Hg 有着很多共性特征,包括两者成矿温度都很低、两者形成的矿集区比较相近、大地构造背景环境比较相似、都位于扬子陆块内部而有别于 Sb、Au 矿床位于扬子地块边缘等^[35],所以作者推测砷矿床的形成也发生在 120~135 Ma。当然更为准确的判断还需要今后更多年代学工作的补充及其相关知识的积累。

5 结论

1) 本文利用方解石的 Sm-Nd 等时线法首次给出交犁—拉峨汞矿床成矿年龄为 (129 ± 20) Ma, MSWD = 0.21, ϵ_{Nd} 为 -12.9, 属于燕山晚期, 根据 ϵ_{Nd} 值推测成矿物质主要来自奥陶系的赋矿海相碳酸盐岩。

2) 西南低温成矿域中, 燕山期大规模 Sb、Au、Hg、As 等低温成矿作用主要大体可分为两期, 早期为 145~155 Ma 的锑成矿作用, 晚期为 120~135 Ma 的 Sb、Au、Hg、As 成矿作用。

成文过程中承蒙中国科学院广州地球化学研究所裘愉卓研究员的关怀与指导, 以及中国地质大学(北京)期刊中心 Geoscience Frontiers 编辑部王丽丽同志的热情帮助, 在此一并致谢!

参考文献 (References):

- [1] Rytuba J J. Mercury from Mineral Deposits and Potential Environmental Impact [J]. *Environmental Geology*, 2003, 43(3): 326-338.
- [2] Saupé F. Geology of the Almadén Mercury Deposit, Province of Ciudad Real, Spain [J]. *Economic Geology*, 1990, 85(3): 482-510.
- [3] Smith C N, Kesler S E, Blum J D, et al. Isotope Geochemistry of Mercury in Source Rocks, Mineral Deposits and Spring Deposits of the California Coast Ranges, USA [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 269(3/4): 399-407.
- [4] 鲍钰敏, 万溶江, 鲍振襄. 湘黔汞矿带相关成矿问题的讨论 [J]. *北京地质*, 1999 (2): 5-12.
Bao Yumin, Wan Rongjiang, Bao Zhenxiang. Discussion of the Mercury Mineralization Related to the Mercury Metallogenic Belt of Hunan-Guizhou Province [J]. *Beijing Geology*, 1999 (2): 5-12.
- [5] Kuznetsov V A, Obolenskiy A A. Genesis of Mercury Ore Deposits and Sources of the Substance in the Ores [J]. *International Geology Review*, 1970, 13: 477-486.
- [6] Hall C M, Higuera P L, Kesler S E, et al. Dating of Alteration Episodes Related to Mercury Mineralization in the Almadén District, Spain [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 148: 287-298.
- [7] Peng J T, Hu R Z, Burnard P G. Samarium-Neodymium Isotope Systematics of Hydrothermal Calcites from the Xikuangshan Antimony Deposit (Hunan, China): The Potential of Calcite as a Geochronometer [J]. *Chemical Geology*, 2003, 200(1/2): 129-136.
- [8] Wang J S, Wen H J, Fan H F, et al. Sm-Nd Geochronology, REE Geochemistry and C and O Isotope Characteristics of Calcites and Stibnites from the Banian Antimony Deposit, Guizhou Province, China [J]. *Geochemical Journal*, 2012, 46(5): 393-407.
- [9] Su W C, Hu R Z, Xia B, et al. Calcite Sm-Nd Isochron Age of the Shuiyindong Carlin-Type Gold Deposit, Guizhou, China [J]. *Chemical Geology*, 2009, 258(3/4): 269-274.
- [10] 林极峰. 交犁汞矿床成矿地质条件及控矿特征 [J]. *贵州地质*, 1985(3): 241-252.
Lin Jifeng. Geological Metallogenetic Conditions and Ore-Control Characteristics of Jiaoli Mercury Deposit, Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 1985(3): 241-252.
- [11] 贵州省地矿局 104 地质队. 贵州省三都县交犁汞、金矿床金矿普查地质报告 [R]. 贵阳: 贵州省地质资料馆, 1992.
Team 104 of Guizhou Geology and Minerals Bureau. Geological Survey Report of Jiaoli Mercury and Gold Deposits in Sandu, Guizhou Province [R]. Guiyang: Geological Archives of Guizhou Province, 1992.
- [12] 李雪青, 陈卫东. 贵州三都交犁汞-金矿床地质特征及找矿潜力 [J]. *贵州地质*, 2009, 26(3): 185-190.
Li Xueqing, Chen Weidong. Geologic Character and Prospecting Potential of Hg-Au Deposit in Jiaoli of Sandu, Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 2009, 26(3): 185-190.
- [13] Bell K, Anglin C D, Franklin J M. Sm-Nd and Rb-Sr Isotope Systematics of Scheelites: Possible Implications for the Age and Genesis of Vein-Hosted Gold Deposits [J]. *Geology*, 1989, 17(6): 500-504.
- [14] Halliday A N, Shepherd T J, Dicken A P, et al. Sm-

- Nd Evidence for the Age and Origin of a Mississippi Valley Type Ore Deposit[J]. *Nature*, 1990, 344: 54-56.
- [15] Chesley J T, Halliday A N, Scrivener R C. Sm-Nd Direct Dating of Fluorite Mineralization[J]. *Science*, 1991, 252: 949-951.
- [16] Chesley J T, Halliday A N, Kyser T K, et al. Direct Dating of MVT Mineralization: Use of Sm-Nd in Fluorite[J]. *Economic Geology*, 1994, 89(5): 1192-1199.
- [17] Anglin C D, Jonasson I R, Franklin J M. Sm-Nd Dating of Scheelite and Tourmaline: Implications for the Genesis of Archean Gold Deposits, Val d'Or, Canada[J]. *Economic Geology*, 1996, 91(8): 1372-1382.
- [18] Darbyshire D P F, Pitfield P E J, Campbell S D G. Late Archean and Early Proterozoic Gold-Tungsten Mineralization in the Zimbabwe Archean Craton: Rb-Sr and Sm-Nd Isotope Constraints [J]. *Geology*, 1996, 24(1): 19-22.
- [19] Eichhorn R, Höll R, Jagoutz E, et al. Dating Scheelite Stages: A Strontium, Neodymium, Lead Approach from the Felbertal Tungsten Deposit, Central Alps, Austria [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(23): 5005-5022.
- [20] Jiang S Y, Slack J F, Palmer M R. Sm-Nd Dating of the Giant Sullivan Pb-Zn-Ag Deposit, British Columbia[J]. *Geology*, 2000, 28(8): 751-754.
- [21] Turner W A, Heaman L M, Creaser R A. Sm-Nd Fluorite Dating of Proterozoic Low-Sulfidation Epithermal Au-Ag Deposits and U-Pb Zircon Dating of Host Rocks at Mallery Lake, Nunavut [J]. *Canada Earth Sci*, 2003, 40(12): 1789-1804.
- [22] Roberts S, Palmer M R, Waller L. Sm-Nd and REE Characteristics of Tourmaline and Scheelite from the Björkdal Gold Deposit, Northern Sweden: Evidence of an Intrusion-Related Gold Deposit[J]. *Economic Geology*, 2006, 101(7): 1415-1425.
- [23] Li W B, Huang Z L, Yin M D. Dating of the Giant Huize Zn-Pb Ore Field of Yunnan Province, Southwest China: Constraints from the Sm-Nd System in Hydrothermal Calcite [J]. *Resource Geology*, 2007, 57(1): 90-97.
- [24] Uysal T, Zhao J X, Golding S D, et al. Sm-Nd Dating and Rare-Earth Element Tracing of Calcite: Implications for Fluid-Flow Events in the Bowen Basin, Australia[J]. *Chemical Geology*, 2007, 238(1/2): 63-71.
- [25] Cherniak D J. REE Diffusion in Calcite[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 160(3/4): 273-287.
- [26] 严均平. 贵州汞矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- Yan Junping. *Geology of Mercury Deposits of Guizhou Province*[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1989.
- [27] 谢文安, 谢琳玲. 湘西汞矿床的地质特征与成因[J]. *矿产与地质*, 1991, 5(24): 338-343.
- Xie Wen'an, Xie Linling. Geological Characteristics of Mercury Deposits and Its Metallogeny in the Western Hunan Province[J]. *Mineral Resources and Geology*, 1991, 5(24): 338-343.
- [28] 花永丰, 刘幼平. 贵州万山超大型汞矿成矿模式[J]. *贵州地质*, 1996, 13(2): 161-165.
- Hua Yongfeng, Liu Youping. A Genetic Model for the Wanshan Super-Large Mercury Deposit, Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 1996, 13(2): 161-165.
- [29] 胡瑞忠, 彭建堂, 马东升, 等. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代[J]. *矿床地质*, 2007, 26(6): 583-596.
- Hu Ruizhong, Peng Jiantang, Ma Dongsheng, et al. Epoch of Large-Scale Low-Temperature Mineralizations in Southwestern Yangtze Massif[J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(6): 583-596.
- [30] 李朝阳. 中国低温热液矿床集中分布区的一些地质特点[J]. *地学前缘*, 1999, 6(1): 163-170.
- Li Chaoyang. Some Geological Characteristics of Concentrated Distribution Area of Epithermal Deposits in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(1): 163-170.
- [31] 陈江峰, 周泰禧, 邢凤鸣, 等. 皖南浅变质岩和沉积岩的钕同位素组成及沉积物物源区[J]. *科学通报*, 1989 (20): 1572-1574.
- Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Xing Fengming, et al. Nd Isotopic Composition and Sedimentary Source Area of Epimetamorphic Rock and Sedimentary Rock in South Anhui[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1989 (20): 1572-1574.
- [32] 李献华. 扬子南缘沉积岩的 Nd 同位素演化及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 1996, 12(3): 359-369.
- Li Xianhua. Nd Isotopic Evolution of Sediments from the Southern Margin of the Yangtze Block and Its Tectonic Significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1996, 12(3): 359-369.

- [33] Ling H F, Shen W Z, Zhang B T, et al. Nd Isotopic Composition and Material Source of Pre-and Post-Sinian Sedimentary Rocks in Xiushui Area, Jiangxi Province [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 1992, 11(1): 80-87.
- [34] 马东升. 华南中、低温成矿带元素组合和流体性质的区域分布规律[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 347-358.
Ma Dongsheng. Regional Pattern of Element Composition and Fluid Character in Medium-Low Temperature Metallogenic Province of South China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 347-358.
- [35] 孙国胜, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 扬子地块西南缘低温成矿域 Au、Sb、Hg、As 矿床区域分布上的共生分异及控制因素[J]. 地质地球化学, 2003, 31(4): 50-55.
Sun Guosheng, Hu Ruizhong, Su Wenchao, et al. Geology-Geochemistry Regional Association and Fraction Mechanism of Au, Sb, Hg and As Deposits in Vast Epithermal Mineralization Area at the Southwestern Margin of the Yangtze Block [J]. Geology Geochemistry, 2003, 31(4): 50-55.
- [36] 王国芝, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 滇—黔—桂地区右江盆地流体流动与成矿作用[J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(增刊): 78-86.
Wang Guozhi, Hu Ruizhong, Su Wenchao, et al. Fluid Flow and Mineralization of Youjiang Basin in Yunnan-Guizhou-Guangxi Area [J]. Science in China: Series D, 2002, 32(Sup.): 78-86.
- [37] Hu X W, Pei R F, Zhou S. Sm-Nd Dating for Antimony Mineralization in the Xikuangshan Deposit, Hunan, China [J]. Resource Geology, 1996, 46(4): 227-231.
- [38] 韦文灼. 马雄锑矿床地质特征[J]. 西南矿产地质, 1993(2): 8-16.
Wei Wenzhuo. Geological Features of Maxiong Sb Deposit [J]. Mineral Resources in Southwestern China, 1993(2): 8-16.
- [39] 朱赖明, 刘显凡, 金景福, 等. 滇—黔—桂微细浸染型金矿床时空分布与成矿流体来源研究[J]. 地质科学, 1998, 33(4): 463-474.
Zhu Laiming, Liu Xianfan, Jin Jingfu, et al. The Study of the Time-Space Distribution and Source of Ore-Forming Fluid for the Fine-Disseminated Gold Deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi Area [J]. Chinese Journal of Geology, 1998, 33(4): 463-474.
- [40] 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 莹石 Sm-Nd 同位素体系对晴隆锑矿床成矿时代和物源的制约[J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 785-791.
Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Jiang Guohao. Samarium-Neodymium Isotope System of Fluorites from the Qinglong Antimony Deposit, Guizhou Province: Constraints on the Mineralizing Age and Ore-Forming Minerals' Sources [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(4): 785-791.
- [41] 俸月星, 陈民扬, 徐文忻. 独山锑矿稳定同位素地球化学研究[J]. 矿产与地质, 1993, 7(2): 119-126.
Feng Yuexing, Chen Minyang, Xu Wenxin. Stable Isotope Geochemistry Research of Dushan Antimony Ore Deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 1993, 7(2): 119-126.
- [42] 张峰, 杨科佑. 黔西南微细浸染型金矿裂变径迹成矿时代研究[J]. 科学通报, 1992(17): 1593-1595.
Zhang Feng, Yang Keyou. Fission-Track Ages of Micro-Disseminated Gold Deposits in Southwestern Guizhou [J]. Chinese Science Bulletin, 1992(17): 1593-1595.
- [43] 苏文超, 杨科佑, 胡瑞忠, 等. 中国西南部卡林型金矿床流体包裹体年代学研究: 以贵州烂泥沟大型卡林型金矿床为例[J]. 矿物学报, 1998, 18(3): 359-362.
Su Wenchao, Yang Keyou, Hu Ruizhong, et al. Fluid Inclusion Chronological Study of the Carlin-Type Gold Deposits in Southwestern China: As Exemplified by the Lannigou Gold Deposit, Guizhou Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18(3): 359-362.
- [44] 罗孝桓. 黔西南右江区金矿床控矿构造样式及成矿作用分析[J]. 贵州地质, 1997, 14(4): 312-320.
Luo Xiaohuan. Analysis of Gold Mineralization in Southwestern Guizhou Based on Structural Styles [J]. Guizhou Geology, 1997, 14(4): 312-320.
- [45] 贾蓉芬, 陈庆年, 周丕康, 等. 贵州丹寨卡林型金矿中金的富集阶段与有机质演化关系[J]. 地质找矿论丛, 1993, 8(4): 69-81.
Jia Rongfen, Chen Qingnian, Zhou Peikang, et al. Relation Between Au-Enrichment Periods and Organic Matter in Danzhai Gold Deposit, Guizhou [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1993, 8(4): 69-81.