

# 萤石 Sm-Nd 同位素体系对晴隆锑矿床成矿时代和物源的制约\*

彭建堂 胡瑞忠 蒋国豪

PENG JianTang, HU RuiZhong and JIANG GuoHao

中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002

Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

2002-11-08 收稿, 2003-07-10 改回.

Peng JT, Hu RZ and Jiang GH. 2003. Samarium-Neodymium isotope system of fluorites from the Qinglong antimony deposit, Guizhou Province: Constraints on the mineralizing age and ore-forming materials' sources. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 785-791

**Abstract** The Qinglong antimony deposit located at Southwestern Guizhou is an important Sb-producer in South China. Despite the previous detailed investigations, the metallogenic epoch and ore-forming materials' sources of the Qinglong deposit is still poorly constrained, which seriously hampered the further understanding on its ore genesis. The objectives of this contribution are to investigate the Sm-Nd isotope systematics of fluorites coevally with stibnite from this deposit, attempt to provide some constraints on its mineralizing age and ore-forming materials' sources, and lay some foundations for the further understandings of ore deposit origin.

The Sm-Nd isotope system of fluorites coevally with stibnite from the Qinglong antimony deposit is discussed. Different-color fluorites form two isochrones, corresponding to the isochron ages of  $148 \pm 8$  Ma and  $142 \pm 16$  Ma, respectively; i. e., Sb-F mineralization at Qinglong deposit took place during late Jurassic Period rather than Permian Period as expected. The measured dating data are coincident with the known field geological evidences, and rule out the temporally genetic connection between the Qinglong antimony deposit and the Emeishan basalt. The initial  $\epsilon_{Nd}$  values of different fluorites at the mineralizing time (142Ma) fall in the ranges of  $-5.72 \sim -5.81$  and  $-3.81 \sim -3.88$ , respectively. The difference in the initial  $^{143}Nd/^{144}Nd$  ratios of different fluorites indicates source heterogeneity, probably as a result of Nd supply from variable local sources of wallrocks. The minor contributions of the local wallrock probably contributed significantly to the hydrothermal fluid Nd budget, and resulted in the dramatic change of Nd isotopic composition in the hydrothermal fluid, and finally affected the Nd isotopic composition of the fluorites deposited from this hydrothermal system. The ore-forming fluid was rich in radiogenic  $^{87}Sr$  and depleted in radiogenic  $^{143}Nd$  relative to the Emeishan basalt, which rules out the possibility that the Emeishan basalt supplied most of Sr and Nd for the ore-forming hydrothermal solution. In the  $\epsilon_{Sr}(t) - \epsilon_{Nd}(t)$  diagram, all fluorite samples fall in the field away from the host Emeishan basalt and Permian Maokou limestone, indicating that the ore-forming materials were mostly originated from the exterior, probably from the underlying older strata or from basement, rather than the host wallrocks (Emeishan basalt and Permian Maokou limestone). The Qinglong antimony deposit did not result from the in-situ remobilization as previously expected.

**Key words** Sm-Nd isotope system, metallogenic epoch, ore-forming material's source, fluorite, Qinglong antimony deposit, Guizhou Province

**摘要** 本文首次对黔西南晴隆锑矿床的萤石进行 Sm-Nd 同位素研究, 来探讨该矿床的形成时间和成矿物源。研究表明, 该矿主成矿期的萤石构成两组等时线, 其对应的等时线年龄分别为  $148 \pm 8$  Ma 和  $142 \pm 16$  Ma, 显示该矿床的成矿作用发生在晚侏罗世。本次测定的成矿年龄数据远小于峨眉山玄武岩的成岩年龄, 暗示该矿床与该区二叠纪的火山作用没有直接的成因联系。计算表明, 在晴隆锑矿床成矿时 (142 Ma), 两组萤石的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值分别为  $-5.72 \sim -5.81$  和  $-3.81 \sim -3.88$ , 远小于峨眉山玄武岩的相应值 ( $0.40 \sim 3.27$ ); 两组萤石初始 Nd 同位素组成的差异, 暗示其 Nd 的来源存在不均一性, 这很可能与萤石沉淀环境围岩的局部差异有关。在  $\epsilon_{Sr}(t) - \epsilon_{Nd}(t)$  图解中, 萤石明显分布在与赋矿围岩不同的区域, 暗示该矿的成矿物质主要是来自外部 (可能是下伏老地层或基底), 而不是赋矿的峨眉山玄武岩和茅口组灰岩, 因此, 该矿并非是前人认定的“原地改造成矿”。

**关键词** Sm-Nd 同位素体系; 成矿时代; 成矿物源; 萤石; 贵州晴隆

**中图分类号** P597.3 P578.21

\* 国家重点基础研究发展规划项目 (G199043210) 和中科院“西部之光”项目联合资助

第一作者简介: 彭建堂, 男, 1968 年 8 月生, 博士, 副研究员, 矿床地球化学, E-mail: jtpeng@chinese.com

## 1 引言

晴隆铈矿床位于黔西南地区,是我国铈矿的重要产地,其累计探明储量为19.96万吨,保有储量为7.66万吨,平均品位为2.8%~5.5%(朱训,1999)。尽管前人对该矿进行了较多研究(陈豫等,1984;曹俊臣等,1987;陈代演,1988<sup>①</sup>,1991;廖善友等,1990;蔡华君等,1996,1997;彭建堂等,2002),但对其成矿时代和成矿物质来源等关键问题,目前仍争议很大。一种观点认为,该矿的成矿作用与早、晚二叠世之间的玄武岩火山活动有关,成矿时间与 $P_1m^4$ (注:二叠系茅口组灰岩第四段)成岩大致同时,成矿物质来源于玄武岩,矿床应为火山气液成因(廖朝中,1983);亦有人主张该矿为海相火山喷流沉积成因,认为该矿与二叠纪峨眉山玄武岩喷发之前的火山喷流作用相关(张国林等,1998);另一种观点则认为,该矿床为典型的层控矿床,早期形成矿源层峨眉山玄武岩,晚期发生改造作用,应为火山沉积-改造成因,其成矿时代为燕山期(陈豫等,1984;曹俊臣等,1987;陈代演,1988<sup>①</sup>;廖善友等,1990)。

由于Sm、Nd的化学性质很相近,母体( $^{147}\text{Sm}$ )衰变形成的子体( $^{143}\text{Nd}$ )易在矿物晶格中保存下来,故Sm-Nd同位素体系容易保持封闭,具有较强的抗风化、抗蚀变能力,是矿床定年的一种有效手段。萤石是含Ca的矿物,萤石中的REE是以置换矿物晶格中 $\text{Ca}^{2+}$ 的形式存在,萤石中的Sm-Nd同位素体系可能是一种潜在的、有效的定年工具。因此,自20世纪80年代末以来,国内外学者对热液矿床中萤石的Sm-Nd同位素体系进行较多的研究(李志昌等,1987;Halliday *et al.*, 1990; Chesley *et al.*, 1991, 1994; 李华芹等,1992;韩文彬等,1992;Galindo *et al.*, 1994, 1997;聂凤军等,2002;许成等,2002),但目前的研究大多局限于与岩浆作用有关的矿床(Chesley *et al.*, 1991;Galindo *et al.*, 1994, 1997;李志昌等,1987;李华芹等,1992;聂凤军等,2002;许成等,2002)和少数MVT型Pb-Zn矿床(Halliday *et al.*, 1990; Chesley *et al.*, 1994)。本文拟以晴隆铈矿床为研究对象,试图利用萤石的Sm-Nd同位素体系对其成矿时代进行精确厘定,并对其成矿物质来源进行制约,为进一步探讨其矿床成因奠定基础。

## 2 地质背景

在大地构造上,晴隆铈矿处于扬子地块西南缘的黔桂地台凹陷带。该矿床明显受NE向构造的控制(图1)。NE向的花鱼井断层、青山镇断层和马厂断层均以高角度逆冲断层形式产出,控制了该区玄武岩和铈矿的空间分布,具有工业开采价值的矿体仅分布于花鱼井、青山镇两断层之间,铈矿体与NE向黑山箐一后坡背斜关系密切。矿区内出露的地层由老至新为(图1):下二叠统茅口组( $P_1m$ )灰岩、峨眉山玄武岩( $P_2\beta$ )和上二叠统龙潭组( $P_2l$ )煤系。

该区的铈矿体、矿化均严格受“大厂层”控制,矿体呈层状、似层状产出。“大厂层”由下二叠统茅口组灰岩的顶部、上二叠统峨眉山玄武岩的底部以及其间的火山碎屑岩组成,该套岩石以强烈硅化和粘土化为特征。按其野外地质特征,“大厂层”可分为3个岩性段(陈豫等,1984),即强硅化岩段、玄武质砾岩段和粘土岩段。下部强硅化岩段中,角砾状强硅化岩的顶部为铈矿产出的重要部位;中部玄武质砾岩段中,强硅化的角砾状粘土岩是铈矿的主要赋矿部位;上部粘土岩段中,蚀变玄武岩是赋矿的重要部位。

矿床的矿物组合简单,金属矿物主要为辉铈矿,次为受后期热液改造的沉积型黄铁矿,非金属矿物有石英、萤石、方解石、高岭石和少量重晶石。围岩蚀变有硅化、萤石化、粘土化,以及少量碳酸盐化和重晶石化。萤石主要作为辉铈矿矿石的脉石矿物产出,是该矿非常重要的一种脉石矿物。按其颜色特征,该矿萤石可分为紫色、浅兰色、绿色、浅绿色和白色5种;在同一手标本中,可见多种颜色的萤石共生。初步研究显示,该矿萤石可分为早、晚两期,早期萤石形成于铈的主成矿期,与辉铈矿共生,颗粒较小,颜色多样,晶形发育不好,局部可呈晶簇状,以它形粒状结构和半自形结构为主;晚期萤石呈无色—白色,颗粒粗大,自形结构发育,常产于晶洞中,与晚期石英(或贵翠)共生,与铈成矿关系不大。

## 3 样品采集与分析

本次研究对不同颜色、不同矿物共生组合的早期萤石进行了较系统地采样。样品主要采自杉树林矿区(样号QSS),部分采自固路、大厂矿区(样号QD、QN)。样品的基本地质特征见表1。

在系统的野外工作和室内镜下观察的基础上,将萤石碎至40~60目,然后在双目镜下将杂质剔除,使其纯度达到99%以上,最后将纯净萤石碎至200目以下。样品的Sm、Nd同位素分析在中国地质调查局天津地质矿产研究所同位素实验室完成。

样品的Sm-Nd分析采用双流程工艺,即Sm、Nd定量与Nd同位素比值测定分别在两个流程中独立完成。利用同位素稀释法确定Sm、Nd含量,对IC流程提纯的样品单独进行Nd同位素比值测定。样品采用HF+HClO<sub>4</sub>法溶样。Nd的纯化采用HDEHP反色层法,以确保没有 $^{144}\text{Sm}$ 对 $^{144}\text{Nd}$ 的干扰。

Sm、Nd的同位素稀释法定量测定和Nd同位素比值测定均在MAT-261型热电质谱仪上进行,所有数据均以 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 作为同位素校正因子进行校正。国家一级Sm-Nd法标准岩石样GBS04419的测定结果为Sm=3.02 μg/g、Nd=10.07 μg/g、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512739 \pm 5(2\sigma)$ ;

① 陈代演. 1988. 滇东黔西层控铈汞矿床研究(国家自然科学基金报告)。

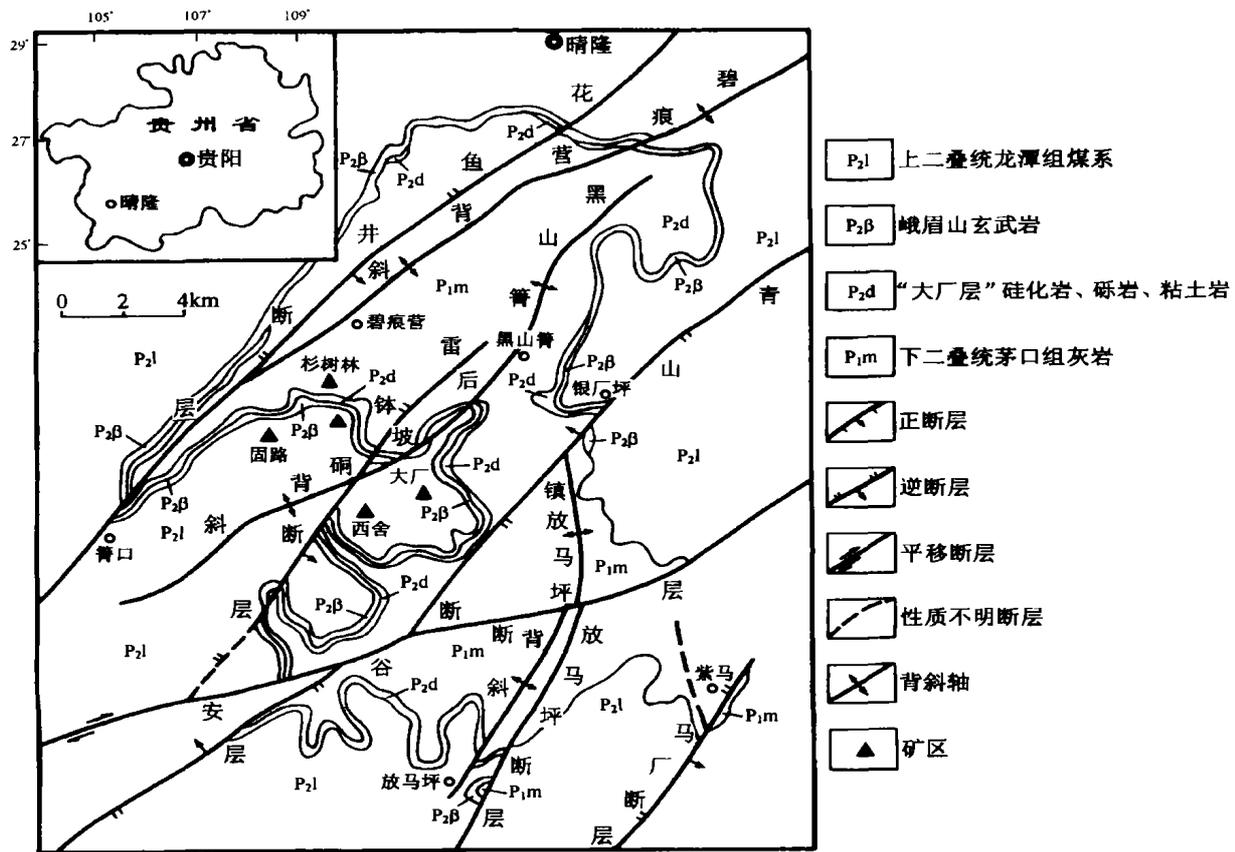


图1 黔西南晴隆锑矿地质图(据贵州地矿局105队资料修编)

Fig.1 Geological map of the Qinglong antimony deposit, Southwestern Guizhou

表1 晴隆锑矿床成矿期萤石的 Sm、Nd 同位素组成

Table 1 The Sm, Nd isotopic composition of ore-stage fluorites from the Qinglong antimony deposit

样号	样名	产状	Sm / 10 <sup>-6</sup>	Nd / 10 <sup>-6</sup>	<sup>147</sup> Sm / <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd / <sup>144</sup> Nd (2σ)	ε <sub>Nd</sub> (142Ma)
QN-27-1	紫色萤石	萤石 + 辉锑矿	0.457	1.60	0.1722	0.512320 ± 5	-5.81
QSS-8		萤石 + 辉锑矿	0.715	2.03	0.2133	0.512359 ± 6	-5.80
QSS-10		萤石 + 石英 + 辉锑矿	0.650	2.08	0.1891	0.512336 ± 5	-5.81
QN-25	浅兰色萤石	块状萤石	1.16	2.52	0.2781	0.512423 ± 5	-5.72
QSS-6		萤石 + 石英 + 辉锑矿	0.816	2.16	0.2281	0.512375 ± 6	-5.75
QSS-4		萤石 + 石英 + 辉锑矿	0.687	2.54	0.1635	0.512313 ± 6	-5.79
QSS-16-2		块状萤石	1.00	2.65	0.2290	0.512475 ± 5	-3.82
QSS-19	绿色萤石	块状萤石	1.34	4.74	0.1710	0.512421 ± 3	-3.82
QSS-16-1		块状萤石	1.05	3.53	0.1800	0.512430 ± 3	-3.81
QSS-20	浅绿色萤石	贵翠 + 萤石	1.78	5.84	0.1841	0.512430 ± 4	-3.88
QN-27-2		萤石 + 辉锑矿	1.16	3.66	0.1911	0.512437 ± 3	-3.87

测试分析单位: 中国地质调查局天津地质矿产研究所同位素分析室; 测试者: 林源贤

国际标准岩石样品 BCR-1 的测定结果为  $Sm = 6.57 \mu\text{g/g}$ 、 $Nd = 28.75 \mu\text{g/g}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512644 \pm 5(2\sigma)$ 。JMC Nd 标准质谱样的测试结果为  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511132 \pm 5(2\sigma)$ 。全流程 Sm、Nd 的本底空白分别为  $3.0 \times 10^{-11} \text{g}$ 、 $5.4 \times 10^{-11} \text{g}$ 。Sm、Nd 含量的分析误差优于 0.5%， $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  的分析误差 ( $2\sigma$ ) 为  $\pm 0.5\%$ 。

### 4 结果与讨论

萤石的 Sm、Nd 含量及其同位素组成见表 1。该矿萤石的 Sm 含量为  $0.457 \sim 1.78 \mu\text{g/g}$ ，Nd 含量为  $1.60 \sim 5.84 \mu\text{g/g}$ ； $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  变化范围分别为  $0.1635 \sim 0.2781$ 、 $0.512313 \sim 0.512475$ 。该矿萤石的 Nd 同位素组成，明显高于浙江武义一带赋存于火山岩地层中的萤石 (韩文彬等, 1992)。在  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  图解中，本次测试的样品明显分为两组，紫色、浅兰色萤石 (QSS-16-2 除外) 为一组，绿色、浅绿色萤石为另一组，均表现出明显的线性分布特征 (图 2)。在  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - 1/\text{Nd}$  图解中，两组萤石均没有线性分布的趋势，暗示  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  图解中的两组直线并非混合线，而应具有等时线意义。利用 ISOPLOT 软件，求得 6 个紫色、浅兰色萤石样品构筑的等时线  $t = 148.0 \pm 8.5 \text{Ma}$ ， $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  为  $0.512153 \pm 12(2\sigma)$ ， $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -5.7$  (图 3A)。4 个绿色、浅绿色样品和 1 个浅兰色样品构筑的等时线  $t = 142 \pm 16 \text{Ma}$ ， $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  为  $0.512261 \pm 20(2\sigma)$ ， $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -3.8$  (图 3B)。尽管 QSS-16-2 亦为浅兰色萤石，但却无法与第一组样品进行拟合，其内在原因有待探讨。值得注意的是，尽管本次测定的萤石样品构成了两组等时线，但两等时线的斜率大体一致，对应的等时线年龄在误差范围内基本吻合。

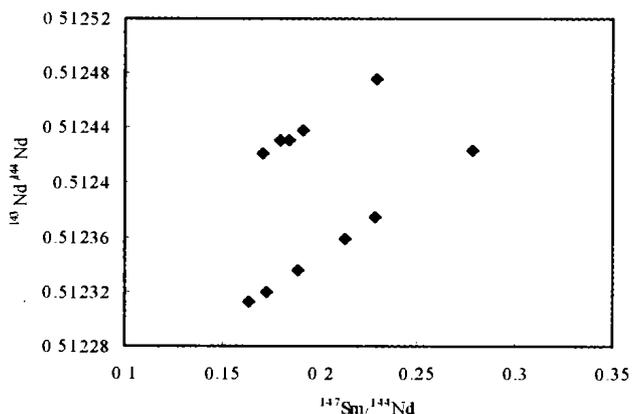


图 2 晴隆锑矿床萤石的 Sm-Nd 同位素组成图解  
Fig. 2 Plot of Sm-Nd isotope composition for fluorites from the Qinglong antimony deposit

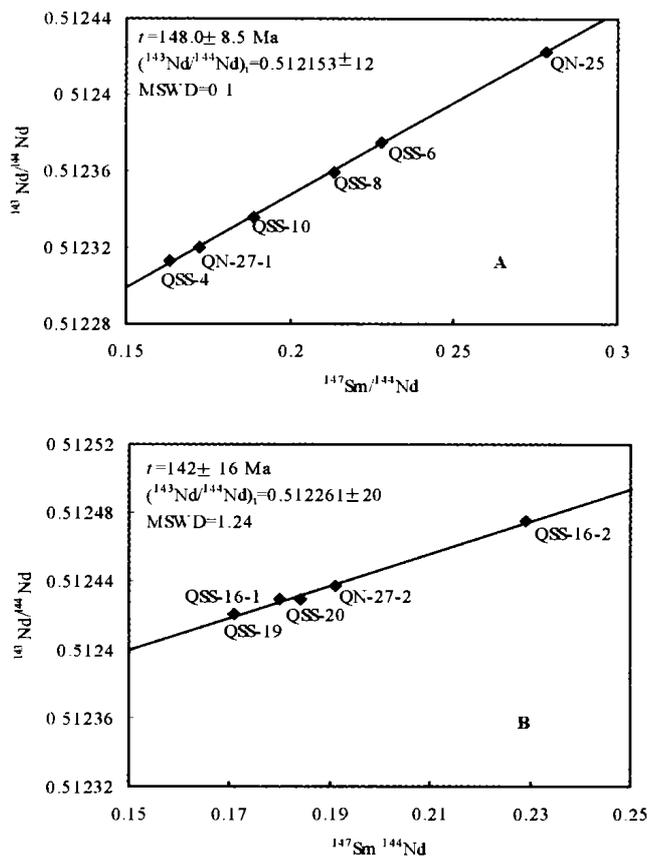


图 3 晴隆锑矿床成矿期萤石的 Sm-Nd 等时线图解  
Fig. 3 Sm-Nd isochron for the ore-stage fluorites from the Qinglong antimony deposit

萤石中的 Sm、Nd 等稀土元素主要是以置换晶格中  $\text{Ca}^{2+}$  的形式存在；且实验研究表明，Sm、Nd 等稀土元素在萤石中的扩散速率较低，萤石中的 Sm-Nd 同位素体系易处于封闭状态 (Cherniak *et al.*, 2001)。而且，黔西南晴隆地区的构造、岩浆活动相对微弱，锑矿体形成后未遭受明显的构造-岩浆事件的扰动。因此，该矿萤石的 Sm-Nd 同位素体系应保存了其成矿时的初始信息，此次测定的 Sm-Nd 等时线年龄 ( $148 \pm 8 \text{Ma}$  和  $142 \pm 16 \text{Ma}$ ) 应代表其成矿时间，即晴隆锑矿床应形成于晚侏罗世。从空间分布来看，该矿所有的矿体都集中分布在花鱼井断层和青山镇断层之间，严格受燕山期形成的黑山箐—后坡背斜的控制 (图 1)。因此，本次测定的年龄数据与野外地质事实相吻合。另外，据刘东升等 (1985) 的资料，黔西南产于同一层位的戈塘锑金矿，其矿石的 Rb-Sr 等时线年龄为  $172 \pm 36 \text{Ma}$ ；黔东产于泥盆系地层中的半坡锑矿，其矿流体包裹体的  $^{40}\text{K} - ^{40}\text{Ar}$  等时线年龄为  $145 \text{Ma}$  (俸月星等, 1993)。上述两组贵州锑矿的成矿年龄与晴隆的年龄数据也大体一致。因此，本次测定的同位素年龄数据应该是真实可靠的。最近的研究表明，峨眉山玄武岩的形成时限为

257 Ma ~ 259 Ma(宋谢炎等,2001),显然该玄武岩的成岩年龄远大于晴隆锑矿的成矿年龄,因此我们从时间上可排除晴隆锑矿床与峨眉山玄武岩之间的直接成因联系。

尽管晴隆锑矿两组等时线的斜率大体一致,等时线年龄在误差范围内基本吻合,但其初始<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd 比值则明显不同(图2、图3)。

表2 晴隆锑矿床赋矿围岩的 Sr、Nd 同位素组成

Table 2 The Sr and Nd isotopic composition of wallrocks from the Qinglong antimony deposit

样号	样名	Rb/10 <sup>-6</sup>	Sr/10 <sup>-6</sup>	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Sm/10 <sup>-6</sup>	Nd/10 <sup>-6</sup>	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	$\epsilon_{Sr}(142Ma)$	$\epsilon_{Nd}(142Ma)$
EM-55	峨眉山玄武岩	19	429	0.70497	6.93	32.2	0.51260	6.14	0.47
EM-56		22	367	0.70501	5.698	28.22	0.51261	5.71	0.81
EM-57		17	454	0.70480	6.202	30.36	0.51259	4.16	0.40
EM-58		18	444	0.70488	6.223	30.33	0.51267	5.11	1.95
EM-79		21	231	0.70586	2.819	11.53	0.51276	15.8	3.27
EM-83		12	148	0.70541	4.369	19.43	0.51268	10.1	1.93
QD-17	茅口组灰岩	0.21	354	0.70682	0.1323	0.7138	0.512224	35.3	-6.51
QD-19		0.55	298	0.70679	0.1152	0.5474	0.512258	34.9	-6.12

注:玄武岩同位素组成的原始数据引自 Chung and Jahn(1995),灰岩为本文数据

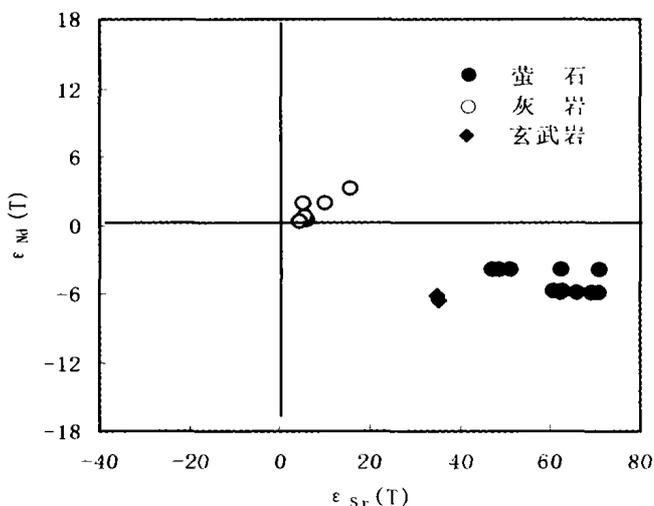


图4 晴隆锑矿床萤石和赋矿围岩的  $\epsilon_{Sr}(142Ma)$  -  $\epsilon_{Nd}(142Ma)$  图解

注:萤石的 Sr 同位素组成数据来自彭建堂等(2003)

Fig. 4 Plot of  $\epsilon_{Sr}(t)$  vs.  $\epsilon_{Nd}(t)$  for fluorites from the Qinglong antimony deposit

如果以 142 Ma 作为该矿的成矿时间来计算,第一组萤石样品的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值为 -5.72 ~ -5.81,第二组萤石样品的  $\epsilon_{Nd}(t)$  为 -3.81 ~ -3.88(表1),明显比第一组富放射成因 Nd,这暗示两组萤石样品的 Nd 来源可能有所差异。前人的研究也发现,在许多矿床中,不同脉体或同一脉体中萤石的初始 Nd 同位素值往往变化较大(Halliday *et al.*, 1990; Chesley *et al.*, 1991),甚至在同一手标本样品中,萤石的初始 Nd 同位素组成也可能存在不均一性(Menuge *et al.*, 1997),

这种不均一性通常是来自不同源区 Nd 的混合作用造成的。考虑到晴隆锑矿床的两组萤石在形成时间上大体相同,其流体包裹体特征(流体成分、温度、盐度)和 Sr 同位素组成没有差异,而水/岩反应是导致该矿萤石发生沉淀的主要机制(彭建堂等,2002)。因此,我们推测,这两组萤石初始 Nd 同位素的组成差异,很可能与沉淀环境围岩的局部改变有关,围岩中少量 Nd 的混入导致了萤石 Nd 同位素的组成差异。由于热液流体中 REE 的含量通常很低(Michard and Albarède, 1986; Michard, 1989),因此,在沉淀环境中围岩微区尺度的局部变化,都可能影响到热液体系中 Nd 的平衡(budget),导致成矿流体的 Nd 同位素组成发生变化(Menuge *et al.*, 1997),并最终影响到萤石等热液矿物 Nd 同位素组成的不均一性。

为了更进一步制约晴隆锑矿床成矿热液体系中的物质来源,我们对赋矿围岩(峨眉山玄武岩、二叠系茅口组灰岩)和萤石的 Sr、Nd 同位素组成进行了对比研究。在成矿时(142Ma)时,峨眉山玄武岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$  为 0.40 ~ 3.27(表2),大大高出萤石的初始 Nd 同位素组成;在  $\epsilon_{Sr}(t) - \epsilon_{Nd}(t)$  图解中,萤石明显分布在远离峨眉山玄武岩的区域(图4)。因此,玄武岩并非成矿流体中的 Sr、Nd 的主要提供者。对于茅口组灰岩而言,其成矿时的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值为 -6.51 ~ -6.12(表2),略低于第一组萤石样品(-5.72 ~ -5.81),但第二组萤石样品明显比灰岩富放射成因 Nd;所有萤石均比赋矿灰岩富放射成因 Sr(图4)。因此,茅口组灰岩也不应是成矿流体 Nd、Sr 的主要提供者。前人的研究也表明,该矿的围岩原岩中基本不含 Sb 或含 Sb 甚微,只有岩石遭受硅化蚀变后,岩石才含成矿元素 Sb,而且其 Sb 含量是随硅化强度的增加而增加的(廖朝中,1983)。因此,该矿的赋矿地层并非是

矿源层,成矿物质主要是来自外部,而不是前人认定的“原地改造成矿”(陈豫等,1984;曹俊臣等,1987;陈代演,1988<sup>①</sup>;廖善友等,1990)。已有的研究显示,成矿流体来自或流经下伏的沉积地层或基底,成矿物质很可能是流体从深部萃取出来的(彭建堂等,2003)。上述结论亦与稀土元素地球化学研究成果相吻合。稀土元素研究表明,晴隆锑矿形成时处于一种开放体系的无限储集库条件下,成矿流体是从外部源源不断地补给到矿石沉淀场所的(彭建堂等,2002)。

## 5 结论

(1)晴隆锑矿早期萤石在 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} - ^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 图解中明显分为两组,分别对应于等时线年龄 $148 \pm 8\text{Ma}$ 和 $142 \pm 16\text{Ma}$ ;晴隆锑矿床的成矿作用发生在晚侏罗世,远小于峨眉山玄武岩的成岩年龄,晴隆锑矿与峨眉山玄武岩之间没有直接的成因联系。

(2)晴隆锑矿两组等时线的年龄在误差范围内大体吻合,但其初始Nd同位素组成明显不同。这种初始同位素组成的差异很可能与萤石发生沉淀时围岩环境的局部变化有关。

(3)在 $\varepsilon_{\text{Sr}}(t) - \varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图解中,萤石、峨眉山玄武岩、二叠系茅口组灰岩明显分布在不同区域。晴隆锑矿的成矿物质主要是来自外部环境而不是赋矿地层,很可能是来自下伏的老地层或基底。

**致谢** 本文的同位素测试工作得到天津地质矿产研究所林源贤研究员的大力协助,在此深表谢忱!

## References

- Cai Huajun and Zhang Baogui. 1996. REE geochemistry of fluorites from the stibnite-fluorite deposits. *Geology Geochemistry*, 24(2): 103 - 106 (in Chinese with English abstract)
- Cai Huajun, Zhang Baogui and Li Yuansheng. 1997. Fluid inclusion geochemistry of antimony deposits at the triangle area of Yunnan, Guizhou and Guangxi Provinces. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 427 - 434 (in Chinese with English abstract)
- Cao Junchen, Li Benchao, Li Xin'an *et al.* 1987. Geochemistry of strata-bound fluorite deposits. *Geochemistry of Strata-Bound Deposits in China (Vol. 2)*. Beijing: Science Press. 224 - 259 (in Chinese)
- Chen Daiyan. 1991. A research on stable isotopes of major strata-bound Sb-Hg ore deposits in Eastern Yunnan and Western Guizhou. *Geology of Guizhou*, 8(3): 227 - 240 (in Chinese with English abstract)
- Chen Yu, Liu Xiucheng and Zhang Qihou. 1984. A tentative discussion on the genesis of the Dachang antimony deposit, Qinglong County, Guizhou Province. *Mineral Deposits*, 3(3): 1 - 10 (in Chinese with English abstract)

- Cherniak D J, Zhang X Y, Wayne N K *et al.* 2001. Sr, Y and REE diffusion in fluorite. *Chem. Geol.*, 181: 99 - 111
- Chesley J T, Halliday A N, Kyser T K *et al.* 1994. Direct dating of MVT mineralization: use of Sm-Nd in fluorite. *Econ. Geol.*, 89: 1192 - 1199
- Chesley J T, Halliday A N, Scrivener R C. 1991. Samarium-Neodymium direct dating of fluorite mineralization. *Science*, 252: 949 - 951
- Chung S L and Jahn B M. 1995. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary. *Geology*, 23: 889 - 892
- Feng Yuexing, Chen Minyang and Xu Wenxin, 1993. Stable isotope geochemistry research of Dushan antimony ore deposits. *Mineral Resources and Geology*. 7(2): 119 - 126 (in Chinese with English abstract)
- Galindo C, Pankhurst R J, Casquet C *et al.* 1997. Age, Sr- and Nd-isotope systematics, and origin of two fluorite lodes, Sierras Pampeanas, Argentina. *International Geology Reviews*, 39: 948 - 954
- Galindo C, Tornos F, Darbyshire D P F *et al.* 1994. The age and origin of the barite-fluorite veins of the Sierra del Guadarrama: a radiogenic and stable isotope study. *Chem. Geol.*, 112: 351 - 364
- Halliday A N, Shepherd T J, Dicken A P *et al.* 1990. Sm-Nd evidence for the age and origin of a MVT ore deposit. *Nature*, 344: 54 - 56
- Han Wenbin, Zhang Wenyong, Huang Wenming *et al.* 1992. The isotopic geochemistry of fluorites in Wuyi fluorite Mine, Zhejiang Province. *Geochimica*, 21(4): 354 - 364 (in Chinese with English abstract)
- Li Huaqin, Liu Jiaqi, Du Guomin *et al.* 1992. The metallogenic geochronology of endogenic metal deposits — Taking Xihuashan W deposit as an example. *Chinese Bulletin of Sciences*, 37(12): 1109 - 1112 (in Chinese)
- Li Zhichang, Wan Jianhua, and Du Guomin. 1987. Sm-Nd isochron of fluorites. *Geology Geochemistry*, 15(9): 67 - 68 (in Chinese with English abstract)
- Liao Chaozhong. 1983. A study on the genesis of Dachang antimony deposit, Guizhou. *Guizhou Science-Technology Information of Geology*, (1): 16 - 28 (in Chinese with English abstract)
- Liao Shanyou and Hu Tao. 1990. The ore-controlling condition and ore-forming mechanism of the Dachang antimony deposit, Qinglong County, Guizhou Province. *Geology of Guizhou*, 7(3): 229 - 235 (in Chinese with English abstract)
- Liu Dongsheng and Geng Wenhui. 1985. Mineralogical features and metallogenic conditions for Carlin-type gold deposit in China. *Geochimica*, 14(3): 277 - 282 (in Chinese with English abstract)
- Menuge J F, Feely M and O'Reilly C. 1997. Origin and granite alteration effect of hydrothermal fluid: Isotopic evidence from fluorite veins, Co. Galway, Ireland. *Mineral Deposits*, 32: 34 - 43
- Michard A and Albarède F. 1986. The REE content of some hydrothermal fluids. *Chem. Geol.*, 55: 51 - 60

① 陈代演. 1988. 滇东黔西层控锑汞矿床研究(国家自然科学基金报告).

- Michard A. 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53:745 - 750
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Liu Yan *et al.* 2002. Sm-Nd isotopic dating of fluorite separates from Dongqiyan fluorite deposit, Alxa, Western Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, 21(1): 10 - 15 (in Chinese with English abstract)
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong and Jiang Guohao. 2003. Sr isotope geochemistry of fluorite from the Qinglong antimony deposit, Southwestern Guizhou. *Geological Journal of China Universities*, 9(2):244 - 251 (in Chinese with English abstract)
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Qi Liang *et al.* 2002. REE geochemistry of fluorite from the Qinglong antimony deposit and its geological implications. *Chinese Journal of Geology*, 37(3):277 - 287 (in Chinese with English abstract)
- Song Xieyan, Hou Zengqian, Cao Zhimin *et al.* 2001. Geochemical characteristics and period of the Emei Igneous Province. *Acta Geologica Sinica*, 75(4):498 - 506 (in Chinese with English abstract)
- Xu Cheng, Huang Zhilong, Qi Liang, *et al.* 2002. REE and isotopic geochemistry of fluorites in the Maoniuping rare-earth deposit, Sichuan Province. *Geochimica*, 31(2):180 - 190 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Guolin, Yao Jinyan, Gu Xiangpin. 1998. The type of Chinese antimony deposits and its temporal, spatial distribution regularities. *Mineral Resources and Geology*, 12(5):306 - 311 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Xun. 1999. The China Situation of Mineral Resources (vol. 2). Beijing: Science Press. 448 - 449 (in Chinese with English abstract)
- 球化学. *地质地球化学*, 24(2):103 - 106
- 曹俊臣, 李本超, 李新安等. 1987. 层控萤石矿床地球化学. *中国层控矿床地球化学(第二卷)*. 北京: 科学出版社, 1987. 224 - 259
- 陈代演. 1991. 滇东黔西主要层控铋汞矿床稳定同位素研究. *贵州地质*, 8(3):227 - 240
- 陈豫, 刘秀成, 张启厚. 1984. 贵州晴隆大厂铋矿床成因探讨. *矿床地质*, 3(3):1 - 10
- 俸月星, 陈民扬, 徐文昕. 1993. 独山铋矿稳定同位素地球化学研究. *矿产与地质*, 7(2):119 - 126
- 韩文彬, 张文育, 黄文明等. 1992. 浙江武义萤石矿田同位素地球化学研究. *地球化学*, 21(4):354 - 364
- 李华芹, 刘家齐, 杜国民等. 1992. 内生金属矿床成矿作用年代学研究——以西华山钨矿床为例. *科学通报*, 37(12):1109 - 1112
- 李志昌, 万建华, 杜国民. 1987. 萤石 Sm-Nd 等时线. *地质地球化学*, 15(9):67 - 68
- 廖朝中. 1983. 贵州大厂铋矿床成因探讨. *贵州地质科技情报*, (1):16 - 28
- 廖善友, 胡涛. 1990. 贵州晴隆大厂铋矿床控矿条件及成矿机理. *贵州地质*, 7(3):229 - 235
- 刘东升, 耿文辉. 1985. 我国卡林型金矿物特征及成矿条件探讨. *地球化学*, 14(3):277 - 282
- 聂凤军, 江思宏, 刘妍等. 2002. 阿拉善东七一大型萤石矿床萤石钐-钕同位素年龄及地质意义. *矿床地质*, 21(1):10 - 15
- 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 2003. 贵州晴隆铋矿床中萤石的 Sr 同位素地球化学. *高校地质学报*, 9(2):244 - 251
- 彭建堂, 胡瑞忠, 漆亮等. 2002. 晴隆铋矿床中萤石的稀土元素特征及其指示意义. *地质科学*, 37(3):277 - 287
- 宋谢炎, 侯增谦, 曹志敏等. 2001. 峨眉山火成岩省的岩石地球化学特征及时限. *地质学报*, 75(4):498 - 506
- 许成, 黄智龙, 漆亮等. 2002. 四川牦牛坪稀土矿床萤石稀土元素、同位素地球化学. *地球化学*, 31(2):180 - 190
- 张国林, 姚金炎, 谷湘平. 1998. 中国铋矿床类型及时空分布规律. *矿产与地质*, 12(5):306 - 311
- 朱训. 1999. *中国矿情(V. 2. 金属矿产)*. 北京: 科学出版社. 448 - 449

#### 附中文参考文献

- 蔡华君, 张宝贵, 李院生. 1997. 滇黔桂三角地区铋矿床流体包裹体研究. *矿物学报*, 17(4):427 - 434
- 蔡华君, 张宝贵. 1996. 辉铋矿—萤石共生矿床中萤石的稀土元素地