

四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿 铷-锶测年及地质意义

张长青¹⁾, 李向辉²⁾, 余金杰¹⁾, 毛景文¹⁾, 陈福坤²⁾, 李厚民¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

2) 中国科学院地质与地球物理研究所, 固体同位素地球化学实验室, 北京, 100029

内容提要:大梁子铅锌矿床位于扬子地台西南缘、甘洛—小江深大断裂带西缘,是中国川滇黔地区重要的大型铅锌矿床之一,其金属储量为180万吨(Pb+Zn),平均品位为11.45%。铅锌矿体产于灯影组顶部,严格受近南北向断层控制。本文首次采用超低本底单颗粒闪锌矿 Rb-Sr 同位素测年方法,测得大梁子铅锌矿床成矿年龄为(366.3±7.7)Ma,代表了矿床的主成矿阶段年龄。通过地球动力背景探讨,认为该矿床的形成可能与晚加里东期扬子地台西缘构造活动有关。锶同位素初始比值测试结果表明大梁子铅锌矿床成矿物质来源可能主要源自围岩碳酸盐岩或基底地层。

关键词:Rb-Sr 定年;单颗粒闪锌矿;大梁子;四川

铅锌矿床的定年一直是国内外地学界研究的难题,即便是全球研究程度最高的 MVT 矿床也是如此(Sangster, 1996; Leach et al., 2001; 2005)。Sangster(1983)曾指出只有找到准确测定成矿年龄的方法后,对 MVT 矿床的认识才会取得实质性的进展。密西西比型铅锌矿床一般矿石矿物组成简单,主要为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,脉石矿物为方解石、石英和白云石,个别矿床中存在萤石和重晶石;因此矿床中一般缺少可以直接用于同位素定年的矿物(Nakai et al., 1993; Sangster, 1996)。中国川滇黔地区铅锌矿床的成矿时代也存在争议,张云湘等(1988)根据铅同位素模式年龄的分组,认为康滇地轴东缘的铅锌矿床为多期成矿产物,主成矿期为海西晚期和燕山期;杨应选等(1994)、柳贺昌和林文达等(1999)将这些铅锌矿床的成矿时代划分为海西成矿期和印支—燕山期两个时期;张立生(1997)推断整个川滇经向构造带东侧的铅锌矿床成矿作用发生于晚二叠纪峨眉山玄武岩喷发时期;管士平和李忠雄(1999)在对本区 15 个矿床铅同位素数据总结的基础上,利用铅同位素组成计算出该区铅锌矿床成矿年龄为 245 Ma;王奖臻(2001)根据矿区的构造和地质特征推断成矿时代为燕山—喜马拉

雅期。近年来,会泽铅锌矿成为该区的研究热点,黄智龙等(2004)、李文博等(2004)、刘峰[●]、张长青等(2005)先后采用闪锌矿 Rb-Sr 法、方解石 Sm-Nd 法和粘土矿物 K-Ar 法测得会泽铅锌矿床的成矿年龄数据为 225.6±3.1 Ma、222±14 Ma、220±14 Ma 和 176.5±2.5 Ma,这不仅为会泽铅锌矿床成矿年代提供了精确数据,同时为该地区同位素年代学研究的展开提供了方法和思路。但是川滇黔地区其他矿床缺乏精确的年代学数据,导致对该区矿床成因认识的不同,如岩浆热液型(谢家荣,1963);沉积型(张位及,1984);沉积改造(廖文,1984;陈士杰,1986;赵准,1995);沉积—改造—叠加(陈进,1993);沉积—改造—后成(柳贺昌和林文达,1999);MVT(王小春,1990;王奖臻,2001;2002)等成因观点纷纷涌现,因此成矿时代的精确厘定显得尤为重要。本文运用单颗粒闪锌矿 Rb-Sr 方法对川滇黔地区具代表性的大梁子铅锌矿床进行定年,获得了比较可靠的年代学数据。

1 矿床地质特征

大梁子大型铅锌矿床,位于四川省会东县境内,大地构造上位于扬子地台西南缘、甘洛—小江深大

注:本文为地质大调查项目“我国主要金属矿床模型研究”(编号 1212010634001)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(编号 K2007-5-6)的成果。

收稿日期:2007-11-27;改回日期:2008-05-06;责任编辑:章雨旭。

作者简介:张长青,男 1975 年生。博士研究生,主要从事岩石、矿物、矿床学研究。通讯地址:100037,北京市西城区百万庄大街 26 号;电话:010-68999514;Email:zcqchangqing@163.com。

断裂带西缘约 16km。太古宙—中元古代的结晶基底和褶皱基底组成本区的基底地层;新元古代以来一系列不同岩性特征的沉积岩层,构成本区的沉积盖层。

矿区内出露的地层有震旦系灯影组白云岩、下寒武统筇竹寺组、沧浪铺组、龙王庙组砂页岩,下寒武统地层与震旦系灯影组地层呈平行不整合接触(图 1)。灯影组为主要赋矿层,厚 928m,岩性主要为白云岩,下部富含藻类化石,中部细碎屑成分较多,上部富含磷质条带及燧石条带。

矿区控矿构造发育,断裂构造以南北向高角度断层最发育,东西向次之,北东向和北西向的断裂更次之。南北向断裂成组出现,具有多期活动和继承性,断距大而延长远。它们控制着古生代以来的地层分布、岩浆侵入和喷出,是区内最主要的断裂构造;东西向断裂发育于前南华系变质岩系中,多属基底断裂,其特点是早期属压性和压扭性,晚期属张性或张扭性,并沟通基底和盖层构造,活动时间长,对区内矿体的矿化富集有明显的控制作用(图 1)。

大梁子铅锌矿床由两个矿体组成,赋存于由 F15 和 F1 所构成的地堇式构造中。金属矿物除闪锌矿、方铅矿外,还有黄铁矿、白铁矿、白铅矿、菱锌矿、异极矿等,脉石矿物主要有白云石、方解石、石英。矿石的结构主要为粒状结构、交代溶蚀结构和表生结构;构造主要为胶结状、充填交代、残余胶状、多孔状、土状构造等。围岩蚀变较弱,主要有硅化、黄铁矿化和碳酸盐化。

闪锌矿为主要有用矿物成分,广泛分布于块状、角砾状、“黑破矿”和细脉浸染状等各种构造类型的矿石中,呈他形、半自形和自形粒状集合体产出,其颜色有棕黑色、棕褐色和棕黄色三种。本次用于 Rb-Sr 测年的样品采自露天采场中块状矿体内部新鲜断面的棕褐色闪锌矿。

2 测试方法及结果

2.1 方法流程

本次测试工作在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室完成。测试流程如下:首先将样品碎至 10~30 目,挑选较纯净的闪锌矿样品;用纯度为 18.2 M Ω 的二次亚沸腾蒸馏水(Sr 本底小于 0.2 ng/L)将所用仪器和闪锌矿进行超声波清洗,双目镜下挑选不含可识别杂质的闪锌矿样品用电子天平称重 2~5mg,放入溶样罐中,用二次亚沸腾蒸馏水清洗数次;然后计算最佳稀释比

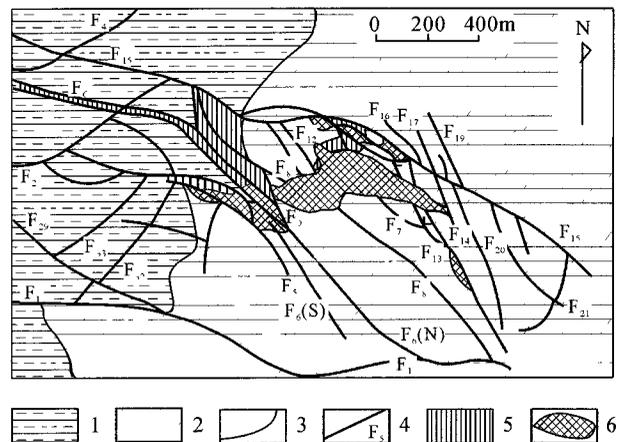


图 1 大梁子铅锌矿矿区地质图(据林方成,1994)

Fig. 1 Geological sketch map of the Daliangzi Pb-Zn deposit (from Lin Fangcheng, 1994)

1—寒武系; 2—震旦系灯影组; 3—地层界线; 4—断层及编号; 5—“黑破带”; 6—矿体

1—Cambrian; 2—Dengying Formation of Sinian; 3—boundary of layers; 4—fault and number; 5—fractured zone; 6—orebody

后在溶样罐中加入适量已知浓度的⁸⁷Rb—⁸⁴Sr 混合稀释剂和 0.3 mL HNO₃ (浓度 3.5 mol/L); 约 120°C 恒温加热 24 h, 溶样; 实验采用 300 μ L Spec-Sr 特效交换树脂和 3 mol/L HNO₃ 进行 Rb 和 Sr 分离纯化, Rb 和 Sr 本底为 5~6pg (陈福坤等, 2005); 接取分离后的溶液加入 2 mL 1% 纯化 H₃PO₄ 蒸干待测。同位素比值测试在高精度固体热电离质谱计(IsoProbe-T)上完成, 仪器参数详见文献(陈福坤等, 2005; 李秋立等, 2006)。采用单 W 和单 Ta 灯丝载入 Sr 和 Rb 样品, 以纯化的 TaF₅ 作为发射剂, 以 Faraday 接收器静态测量 Sr 同位素组成, 以 Daly 接收器监测 Rb 对 Sr 的同质异素干扰。测量时采用指数率对 Sr 同位素比值进行质量分馏校正(校正参数 $n(^{88}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})=8.37521$)。以 Sr 标准 NBS987 监测仪器状态, 获得平均 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 比值为 0.710250 ± 31 (2σ , 测量次数 6 次, 每次测量为 200 组扫描)(李秋立等, 2006)。本次测试采用微量样品铷-锶同位素稀释法, 全流程为超低本底化学流程, Rb 和 Sr 本底为 5~6pg (陈福坤等, 2005)。

2.2 测试结果

本次测试的计算结果见表 1, 该计算结果为质谱计测量结果经本底和稀释剂迭加扣除后的计算值。其中 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 的误差为测量误差。等时线年龄值计算采用 ISOPLOT 软件 (Version 2.49,

2001)(Ludwig, 2001),等时线回归计算时 $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 比值采用 2% 误差, Sr 同位素比值采用 0.03% 误差。由表 1 可见样品的 Rb、Sr 含量存在一定的变化范围, $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 和 $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 的变化范围分别为 0.712323~0.752212 和 0.2340~7.5283 之间。对该样品先后进行了两次测试, 两次测试结果吻合, 显示出测试仪器稳定性和方法的可靠性。在首次分析测试过程中, 由于测点 5 样品的重量较小(小于 2mg), $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 较低, 本底扣除对结果影响较大, 同时引起 $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb}$ 比值误差较大, 因此在等时线计算过程中将该点舍去。其余 5 个测点所得到的等时线年龄为(367 ± 11Ma), $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]$ 为 0.71260 ± 0.00063。显示了该闪锌矿样品 $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr}) - n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 图表现出较好的线性关系。在第二次加测的过程中, 测点 2-1 和测点 2-2 表现首次测点 5 的相同的情况, 样品重量小, 受到本底扣除的影响大, 略微偏离等时线; 另外和 2-4 偏离等时线较远, 该点除受到本底扣除影响外, 表现出有后期热液改造的迹象(图 2)。测点 5 和 2-1, 2-2, 2-4 去除后的测年结果为(366.3 ± 7.7 Ma)(图 2), 可代表成矿阶段的年龄。 $1/\text{Sr}$ 与 $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 之间不存在线性关系(图 3), 因此认为图 2 表现出的等时线具有实际地质意义。

3 讨论

3.1 年龄可靠性

近年来, 国内外许多地质工作者致力于密西西比型铅锌矿床的成矿时代研究。Rb-Sr 法已被证明是一种直接测定 MVT 矿床矿化年龄的有效方法(Nakai 等, 1990; Christensen 和 Halliday, 1995;

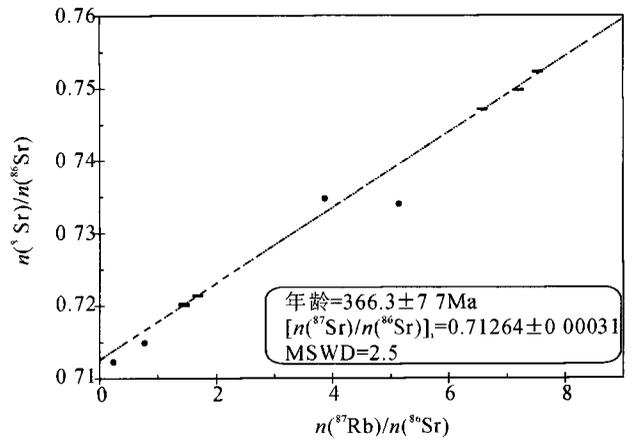


图 2 大梁子铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 同位素等时线

Fig. 2 Rb-Sr isochron of sphalerites from the

Daliangzi Pb—Zn deposit

(原始数据见表 1, 等时线年龄采用 Ludwig 的 ISOPLOT/Ex 软件(Version 2.3, 2000)计算, 图中短线为用于计算等时线年龄的数据点, 黑圆点为被去除, 不用于等时线年龄计算的数据点)

(The data see in table 1, the isochronal age is obtained by the software of ISOPLOT/Ex (version 2.3, 2000) by Ludwig. In map, the short dashes show the data that were used for calculating the age, the dot marks show the data that were omitted and not used for calculating the age)

Christensen 等 1995)。Nakai 等(1990)首次报导了东田纳西矿区 Coy 矿床的闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄(377 ± 29) Ma, 提出了新的盆地压实成矿的模式。1993 年, Nakai 等又测定了东田纳西矿区 Immel 矿床的闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄(347 ± 20) Ma, 这与 Coy 矿床的成矿时代是一致, 证明了该区矿床形成时间在 350~380 Ma 之间, 与中古生代的阿卡迪亚运动有成因联系。Brannon 等(1992)运用 Rb-Sr 法得出上密西西比河地区闪锌矿的年龄为

(269 ± 6) Ma 和 (270 ± 4) Ma, 认为北美两个不同的成矿区截然不同的年龄结果说明该区 MVT 矿床的形成是多期次的, 至少有两个不同成矿期, 而且它们都与同时期主要构造运动有关。在我国, 黄智龙等(2004)首次运用闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄给出了云南会泽铅锌矿床的成矿时代为(225.6 ± 3.1) Ma, 从而将会泽铅锌矿的形成与峨眉山玄武岩联系起来, 建立了“均一化成矿流体贯入”的成矿模式。但是, 许多矿区(纽芬兰哈波尔矿区、阿肯萨斯北

表 1 大梁子铅锌矿闪锌矿 Rb-Sr 同位素分析结果

Table 1 Rb-Sr dating data for sphalerites from the Daliangzi Pb—Zn deposit

点号	样品重量 (mg)	Rb (μg/g)	Sr (μg/g)	$n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$	$n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$	$[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$	误差 (±2σ)
D-23-1	17.71	2.9137	1.1246	7.5283	0.752212	0.712952	0.000064
D-23-2	2.47	1.1232	0.4530	7.2038	0.749694	0.712126	0.000034
D-23-3	2.54	0.3279	0.5659	1.6786	0.721451	0.712697	0.000048
D-23-4	4.21	0.2910	0.5805	1.4518	0.720094	0.712523	0.000054
D-23-5	1.82	0.2122	0.7986	0.7694	0.714914	0.710902	0.000021
D-23-6	3.20	1.0719	0.4731	6.5801	0.747104	0.712789	0.000037
D-23-2-1	1.50	0.1195	1.4788	0.2340	0.712323	0.711103	0.000021
D-23-2-2	1.73	1.3501	0.7611	5.1453	0.733970	0.707137	0.000038
D-23-2-3	4.30	0.2589	0.5184	1.4470	0.720237	0.712691	0.000029
D-23-2-4	6.58	0.7894	0.5920	3.8679	0.734759	0.714588	0.000012

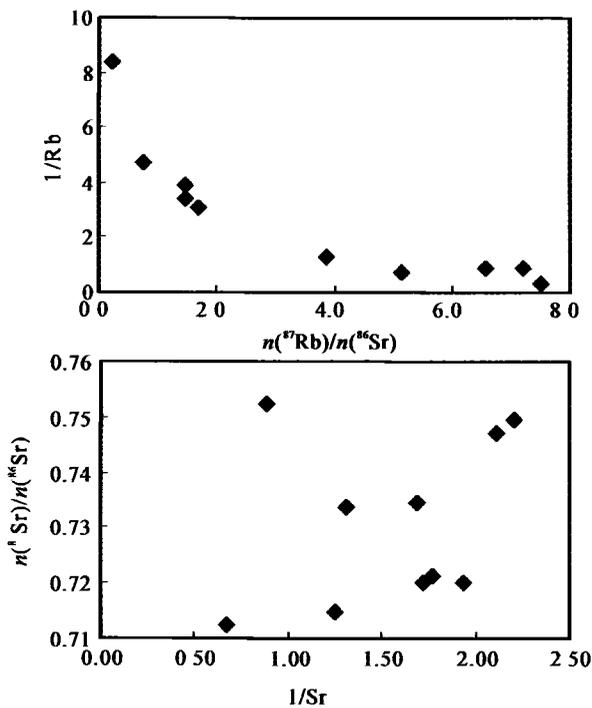


图 3 大梁子铅锌矿床闪锌矿 $1/\text{Rb}$ — $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 和 $1/\text{Sr}$ — $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 关系图

Fig. 3 Diagrams of $1/\text{Rb}$ vs. $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ and $1/\text{Sr}$ vs. $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ of sphalerites from the Daliangzi Pb—Zn deposit

部)由于闪锌矿样品不满足成矿后的封闭条件或者闪锌矿中存在粘土矿物包体以及闪锌矿残留相中混有流体包裹体的影响等原因,均未给出合理的等时线年龄。

目前中国科学院地质与地球物理研究所应用先进的高精度 IsoProbe-T 型固体热电离质谱计,采用超低本底化学流程,先后对单颗粒云母(李秋立等,2006)和单颗粒黄铁矿(韩以贵等,2007)进行了 Rb-Sr 同位素的测定,并取得了较好的测试结果。这一测试方法不仅一定程度上满足了 Rb-Sr 测年基本条件中的同源、同时、封闭性条件,同时可降低测试本底误差,提高 Rb-Sr 测定的精度。

热液矿物 Rb-Sr 等时线定年的基本前提是同源、同时、封闭性、一致的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$, 以及具有不同的 $[n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 。由于本次测试所采用样品来自同一标本,并且该样品为块状矿石,闪锌矿纯度较高,既不存在脉石矿物穿插又很少发育裂隙,因而很大程度上满足了测年的同时、同源、封闭性和初始比值一致性的基本前提。目前,普遍认为造成低温矿床 Rb-Sr 同位素测年等时线构筑不成功的原因可能是由于成矿温度较低,使得成矿体系

同位素不均衡导致的,为消除这一影响,Nakai 等(1993)指出适合定年的闪锌矿应来自矿床中的同一矿体,最好来自同一手标本。成矿体系同位素不均衡问题不能避免,但是我们可以尽量避免其影响。因此笔者等选择单颗粒矿石样品,利用矿物颗粒间元素含量的不均一性,通过构造矿物内部等时线方法来最大可能地回避初始同位素不平衡的问题(李秋立等,2006)。热液矿床形成的时间一般为数百万年,一组热液共生矿物的生成时限则往往只有数十万年,对于不同矿物 Rb-Sr 等时线定年而言可视为基本同时生成;因同一矿物的不同晶粒常显示差异很大的 Rb/Sr 比值(刘建明等,1998),加之超低本底化学流程可以提高精度,最大程度地展示由矿物颗粒间元素含量的不均一性所带来的颗粒间 $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 比值的差异,因此本测试流程满足等时线测年的基本前提。另外本次测试结果利用 $1/\text{Rb}$ 与 $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 和 $1/\text{Sr}$ 与 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 图解显示出该等时线为真正有年龄意义的等时线。

刘建明等(1998)指出,Rb、Sr 在热液矿物中的赋存状态有三种形式:①主矿物晶格中;②固态微包体中;③流体包裹体中,他们认为前两种存在形式对于同位素测年的影响可以忽略,原生流体包裹体的影响也可以忽略,仅有次生包裹体需要排除。但是,到目前为止影响闪锌矿 Rb-Sr 同位素测年的真正原因尚不明了。虽然 Nakai 等(1993)进行的闪锌矿 Rb-Sr 测年部分获得成功,对于不能给出合理等时线的原因归结为成矿体系不封闭或者矿物中流体包裹体没有排除干净两个方面。从到目前为止的测试结果来看,所有流体包裹体的 $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 和 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 测试值相对残余相的闪锌矿来说低得多,虽然流体包裹体测试结果变化不大,不能够构筑合理等时线年龄,但是其测试结果同样落入残余相构筑的等时线上或落在等时线的附近。此外,由于闪锌矿形成温度较低,可能会有个别样品在去除次生包裹体的同时,损失部分的原生包裹体,其测试结果反倒比未去除包裹体前结果更不能令人满意,因为流体包裹体的存在是造成 Rb/Sr 初始比值变化的另一个原因,毕竟原生流体包裹体与成矿流体同属一个体系,去除后有可能导致整个体系平衡的破坏。对于低温铅锌矿床而言,成矿温度较低,次生包裹体与原生包裹体均一温度之间差别很小,因此给包裹体分离带来了困难。为尽量避免次生包裹体的影响,笔者等选择结晶较好,未见裂隙及脉石

矿物的致密块状矿石为研究对象。由于所需样品粒度较小,为单颗粒样品,这样也大大降低了颗粒间次生包裹体的存在几率。使得测试结果更加接近实际地质含义。

3.2 成矿物质来源

所有点的测试结果等时线年龄为 (369 ± 41) Ma, $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 为 0.7118 ± 0.0026 ; 除 5、2-1、2-2、2-4 号点外其余六点测试结果等时线年龄为 (366.3 ± 7.7) Ma, $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 为 0.71264 ± 0.00031 , 这似乎暗示了成矿物质应来源于相对富放射性成因 Sr 的源区或成矿流体曾经流经富放射性成因 Sr 的地质体。峨眉山玄武岩 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 为 $0.70437 \sim 0.70757$ (张招崇和王福生, 2003), 与大梁子铅锌矿床中闪锌矿有着明显的区别, 说明大梁子铅锌矿床成矿物质并不能由峨眉山玄武岩来源解释; 我国扬子地台西缘震旦系碳酸盐岩 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 范围为 $0.70834 \sim 0.70861$, 平均值为 0.708464 (张自超, 1995), 其值也低于闪锌矿的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$, 但潘忠华和范德廉 (1996) 测试的川东南地区震旦系灯影组白云岩的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 为 0.72017 , 较闪锌矿更富放射性成因 Sr, 说明高的初始比值并非铅锌成矿作用所引起的, 因此灯影组白云岩有可能成为大梁子铅锌矿床的矿源层; 区域上最有可能富放射性成因 Sr 的地质体为基底岩石, 李复汉等 (1988) 得到东川因民组白云岩的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 为 0.7288 (年龄 984Ma), 河口群岔河组碳质板岩的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 为 0.7283 (年龄 1006Ma), 易门铜厂因民组板岩的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 为 0.7249 (年龄 1115Ma), 基底地层可以作为闪锌矿初始 Rb、Sr 的来源, 但基底地质体的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$ 明显高于大梁子闪锌矿的 $[n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})]_i$, 因此该地质体是否大梁子矿床的唯一成矿物质来源体, 尚需通过流体运移痕迹的进一步研究方能确定。通过以上分析, 初步认为本区的成矿物质可能主要源自围岩碳酸盐岩地层或基底地层。

3.3 地质意义

大梁子铅锌矿容矿围岩为上震旦统灯影组白云岩, 与上覆寒武系地层呈平行不整合接触, 缺失寒武纪以后的沉积地层。本地区缺失志留系到石炭系的沉积物, 张云湘 (1988) 认为是地幔物质上涌导致早古生代末到晚古生代加里东期的裂前穹状隆起引起的。本次测试结果 (366.3 ± 7.7 Ma, 早泥盆世) 与晚加里东期地壳上隆运动后的裂陷盆地的张裂环境

相对应, 为加里东期构造运动后伸展作用引起的大规模流体活动的产物。此外本地区的会泽铅锌矿床的研究, 黄智龙等 (2004)、李文博等 (2004) 分别采用闪锌矿 Rb-Sr 法和方解石 Sm-Nd 法测得会泽铅锌矿成矿年龄为 $(225.6 \pm 3.1 \text{ Ma})$ 和 $(222 \pm 14\text{Ma})$, 认为区内会泽铅锌矿床可能是晚二叠世峨眉山玄武岩喷发诱导的大规模流体活动的结果, 张长青等 (2005) 采用矿体中粘土矿物 K-Ar 法测得会泽铅锌矿的成矿年龄为 $(176.5 \pm 2.5\text{Ma})$, 认为成矿作用与晚印支期构造运动引起的大规模流体活动有关, 总的来说, 该矿床属于后生矿床, 主成矿阶段为印支—燕山期。对于大梁子铅锌矿而言, 主成矿阶段为晚加里东期, 无论是后来的峨眉山玄武岩喷发引起的流体活动还是晚印支期构造运动引起的大规模流体活动可能对大梁子铅锌矿起到一定的富集作用, 测点 2-4 偏离等时线, 表现出的后期热液改造的迹象也说明了大梁子铅锌矿后期富集作用的存在。因此, 笔者等认为川滇黔地区至少存在两期的大规模成矿作用, 这两期分别对应着晚加里东期构造活动后伸展作用和晚二叠世峨眉山玄武岩喷发后或晚印支期构造运动后的裂陷事件。加里东期构造运动导致了大梁子铅锌矿床的形成, 后期的构造运动或岩浆活动引起的大规模流体运移导致了大梁子铅锌矿床的进一步富集。这两期成矿事件分别落后于构造运动或地幔活动 50Ma 和 25Ma 左右, 主要有两方面的原因, 第一, MVT 矿床流体形成于构造事件后期的伸展或裂陷阶段; 第二, 大规模成矿流体长时间持续活动 (Spirakis, 1995; Muchez 等, 2000; Yang 等, 2006; Southgate 等, 2006) 导致成矿滞后。加里东期构造活动相对晚二叠世峨眉山玄武岩喷发或晚印支构造活动强度小, 故其导致的流体运移强度和速度均小一些, 形成的矿床规模相对于较小, 时间较长, 后期构造运动导致了矿床的进一步富集。

4 结论

本次研究对大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿进行了 Rb-Sr 同位素测定, 精确测定出主成矿阶段年龄为 $(366.3 \pm 7.7 \text{ Ma})$, 该研究方法为低温矿床成因研究提供了有效方法。

单颗粒闪锌矿 Rb-Sr 同位素测年方法样品, 结晶程度较好, 裂隙不发育, 最大程度上满足了 Rb-Sr 测年的前提条件; 样品取自同一标本最大程度地避免了低温热液矿床普遍存在的成矿体系中同位素不均衡的问题; 超低本底化学流程提高了测年精度, 因

此高精度超低本底测年方法具有广阔的应用前景。

通过对区域地质背景的讨论及结合前人已获得的资料,指出在川滇黔地区至少有两期大规模成矿作用的发生,分别对应于晚加里东期构造运动后伸展作用和晚二叠世的峨眉山玄武岩喷发后的裂隙作用,成矿事件滞后于构造运动或地幔活动。

致谢:本研究的野外地质调查与采样工作得到大梁子铅锌矿潘方杰总工程师的鼎力协助,在样品测试过程中得到肖平女士指导和帮助,在此表示感谢!

注 释 / Notes

- 刘峰. 2005. 云南会泽大型铅锌矿床成矿机制及锗的赋存状态. 中国地质科学院硕士学位论文, 1~112.

参 考 文 献 / References

- 陈福坤, 李秋立, 李潮峰, 李向辉, 王秀丽, 王芳. 2005. 高精度质谱计在同位素地球化学的应用前景. 地球科学, 30(6): 639~645.
- 陈进. 1993. 麒麟厂铅锌硫化物矿床成因及成矿模式探讨. 有色金属矿床与勘探, 2(2): 85~89.
- 陈士杰. 1986. 黔西滇东北铅锌矿床的沉积成因探讨. 贵州地质, 8(3): 41~48.
- 管士平, 李忠雄. 1999. 康滇地轴东缘铅锌矿床铅铷同位素地球化学研究. 地质地球化学, 27(4): 45~54.
- 韩以贵, 李向辉, 张世红, 张元厚, 陈福坤. 2007. 豫西祁雨沟金矿单颗粒和碎裂状黄铁矿 Rb-Sr 等时线定年. 科学通报, 52(11): 1307~1311.
- 黄智龙, 陈进, 韩润生, 等. 2004. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因——峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系. 北京: 地质出版社, 77~87.
- 李复双, 覃嘉铭, 申玉连, 等. 1988. 康滇地区的前震旦系. 重庆: 重庆出版社, 245~278.
- 李秋立, 陈福坤, 王秀丽, 李向辉, 李潮峰. 2006. 超低本底化学流程和单颗粒云母 Rb-Sr 等时线定年. 科学通报, 51(3): 321~325.
- 李文博, 黄智龙, 王银喜, 陈进, 韩润生, 许成, 管涛, 尹牡丹. 2004. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义. 地质论评, 50(2): 189~195.
- 廖文. 1984. 滇东、滇西 Pb-Zn 金属区 S、Pb 同位素组成特征与成矿模式探讨. 地质与勘探, (1): 1~6.
- 林方成. 1994. 四川会东大梁子铅锌矿床成因新探. 矿床地质, 13(2): 126~136.
- 刘建明, 赵善仁, 沈洁, 姜能, 霍卫国. 1998. 成矿流体活动的同位素定年方法评述. 地球物理学进展, 13(3): 46~55.
- 柳贺昌, 林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究. 昆明: 云南大学出版社, 1~419.
- 潘忠华, 范德康. 1996. 川东南脉状萤石—重晶石矿床同位素地球化学. 岩石学报, 12(1): 127~136.
- 王奕臻, 李朝阳, 李泽琴, 李葆华, 刘文周. 2002. 川、滇、黔交界地区密西西比河谷型铅锌矿床与美国同类矿床的对比. 矿物岩石地球化学通报, 21(2): 127~132.
- 王奕臻, 李朝阳, 李泽琴, 刘家军. 2001. 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景及成因探讨. 地质地球化学, 29(2): 41~45.
- 王小春. 1990. 论 MVT 铅锌矿床与沉积作用的关系——以四川天宝山和大梁子矿床为例. 地质进展, (2): 39~42.
- 谢家荣. 1963. 中国矿床学总论. 北京: 学术期刊出版社.
- 杨应选, 柯成熙, 林方成, 李忠雄, 管士平. 1994. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律. 成都: 四川科技大学出版社, 1~175.
- 张长青, 毛景文, 刘峰, 李厚民. 2005. 云南会泽铅锌矿床粘土矿物 K-Ar 测年及其地质意义. 矿床地质, 24(3): 336~348.
- 张立生. 1997. 滇东北地区层控 Pb-Zn-(F-Ba) 矿床地热液喀斯特成因. 云南地质学报, 18(1): 41~52.
- 张位及. 1984. 试论滇东北 Pb-Zn 矿床的沉积成因和成矿规律. 地质与勘探, (7): 11~16.
- 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜, 等. 1988. 攀西裂谷. 北京: 地质出版社, 7~34.
- 张招崇, 王福生. 2003. 峨眉山玄武岩 Sr、Nd、Pb 同位素特征及其物源探讨. 地球科学, 28(4): 431~439.
- 张自超. 1995. 我国某些元古宙及早寒武世碳酸盐岩石的锶同位素组成. 地质论评, 41(4): 349~354.
- 赵准. 1995. 滇东、滇东北地区铅锌矿床的成矿模式. 云南地质, 14(4): 350~354.
- Brannon J C, Podosek F A, McLimans R K. 1992. Alleghenian age of the Upper Mississippi Valley zinc-lead deposits determined by Rb-Sr dating of sphalerite. Nature, 356: 509~511.
- Christensen J N, Halliday A N. 1995. Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polaris Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59(24): 5191~5197.
- Christensen J N, Halliday A N, Vearncombe J R, Kesler S E. 1995. Testing models of large-scale crustal fluid flow using direct dating of sulfides: Rb-Sr evidence for early dewatering and formation of Mississippi Valley-type deposits, Canning Basin, Australia. Economic Geology, 90: 877~884.
- Leach D L, Bradley D C, Lewchuk M, Symons D T A, Brannon J and Marsily G. 2001. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits through geological time; implications from recent age-dating research. Mineralium Deposita, 36: 711~740.
- Leach D L, Sangster D F, Kelley K D, Large R R, Garven G, Allen C R, Gutzmer J, Walters S. 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective. In: Hedenquist J W, Thompson J F H, Goldfarb R J, Richards J P. Eds. Economic Geology 100th Anniversary Volume, 561~607.
- Ludwig K R. 2001. Users manual for isoplot/Ex version 2.49: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, No. 1a, 1~55.
- Mucheza P, Sintubinb M and Swennen R. 2000. Origin and migration pattern of palaeofluids during orogeny; discussion on the Variscides of Belgium and northern France. Journal of Geochemical Exploration, 69~70: 47~51.
- Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, Jones H D. 1990. Rb-Sr dating of sphalerites from Tennessee and the genesis of Mississippi Valley-type ore deposits. Nature, 346: 354~357.
- Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, Jones H D, Kyle J R, Lanes T E. 1993. Rb-Sr dating of sphalerites from Mississippi Valley-type (MVT) ore deposits. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57: 417~427.
- Sangster D F. 1983. Mississippi Valley-type deposits: A geologic

- mélange. In: Kisvarsanyi K, Grant S K, Pratt W P and Koenig J W, eds. Proceedings of the International Conference on Mississippi Valley-type Lead—zinc Deposits. University of Missouri-Rolla, Missouri, 7~19.
- Sangster D F. 1996. Mississippi Valley-type lead—zinc. In: Eckstrand O R, Sinclair W D and Thorpe R I, eds. Geology of Canadian Mineral Deposit Types, Geology of Canada, No. 8; Geological Survey of Canada, 253~261.
- Southgate P N, Kyser T K, Scott D L, Large R R, Golding S D and Polito P A. 2006. A Basin System and Fluid—Flow Analysis of the Zn—Pb—Ag Mount Isa-Type Deposits of Northern Australia, Identifying Metal Source, Basinal Brine Reservoirs, Times of Fluid Expulsion, and Organic Matter Reactions. *Economic Geology*, 101(6), 1103~1115.
- Spirakis C S. 1995. Problems with applying topographically driven flow to genesis of the Upper Mississippi Valley zinc—lead district and to fluid flow in the Illinois Basin. Washington, United States Government Printing Office, 1~15.
- Yang Jianwen, Large R R and Bull S. 2006. Basin-Scale Numerical Modeling to Test the Role of Buoyancy-Driven Fluid Flow and Heat Transfer in the Formation of Stratiform Zn—Pb—Ag Deposits in the Northern Mount Isa Basin. *Economic Geology*, 101, 1275~1292.

Rb-Sr Dating of Single Sphalerites from the Daliangzi Pb—Zn Deposit, Sichuan, and Its Geological Significances

ZHANG Changqing¹⁾, LI Xianghui²⁾, YU Jinjie¹⁾, MAO Jingwen¹⁾, CHEN Fukun²⁾, LI Houmin¹⁾

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *Key Laboratory for Radiogenic Isotope Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

Abstract: The Daliangzi Pb—Zn deposit, located on the southwestern margin of the Yangtze craton and on the western margin of the Ganluo—Xiaojiang deep fault, is a large-scale Pb—Zn deposit with reserve of 1.80Mt Pb + Zn, averaging grade of 11.45%, in the Sichuan—Yunnan—Guizhou region, southwestern China. The deposit occurs at the top of the Sinian (Neoproterozoic) Dengying Formation and is strictly controlled by nearly N-S-trending faults. The ultra-low procedural blanks and Rb-Sr dating of sphalerite separates yielded an isochron age of 366.3 ± 7.7 Ma for the deposit, which represents the main stage of the mineralization age of the deposit. Study of the geodynamical setting indicates that the formation of the deposit is probably related to the late Caledonian tectonic activity of uplifting of the crust below the western margin of the Yangtze craton affected by the subduction of ancient Tethys to Yangtze craton. Initial Sr isotope ratios show that the ore materials of the deposit were derived from the host rocks or Precambrian basement.

Key words: Dating of Rb-Sr; Sphalerite; Daliangzi; Sichuan