

## 铅锌矿床 Rb - Sr 定年研究综述

李文博<sup>1,3</sup>,黄智龙<sup>1</sup>,许德如<sup>1</sup>,陈进<sup>2</sup>,许成<sup>1,3</sup>,管涛<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室,贵州 贵阳 550002; 2. 云南会泽铅锌矿采选厂,云南 654211; 3. 中国科学院研究生院,北京 100039)

**摘要:**本文在总结 Rb - Sr 等时线定年的基本前提和矿床 Rb - Sr 等时线定年存在的问题的基础上,综述了铅锌矿床流体包裹体和闪锌矿 Rb - Sr 等时线定年的研究进展,同时对该定年方法存在的问题进行了简要评述。综合分析表明,Rb - Sr 等时线定年(尤其是闪锌矿 Rb - Sr 等时线定年)为铅锌矿床较理想的直接定年方法,但该定年方法还存在许多理论和技术问题,有待深入研究;铅锌矿床 Rb - Sr 等时线定年应以深入细致的地质、地球化学研究为基础,定年过程中必须谨慎对待样品采集、样品挑选、流体包裹体溶液提取和质谱分析等各个环节。

**关键词:**铅锌矿床;Rb - Sr 定年;研究进展

**中图分类号:**P618.42/43;P618.77/78 **文献标识码:**A **文章编号:**1001 - 1552(2002)04 - 436 - 06

成矿时代对探讨成矿物质、成矿流体来源和建立矿床成因模式具有重要意义。确定成矿时代主要有两种方法,其一是“间接法”,即利用与矿体有关的地质体(如地层、岩体等)的地质年龄间接确定成矿时代,这种方法确定的成矿时代常具多解性,只能定性分析成矿时代;其二是“直接法”,即直接测定与矿石矿物共生的蚀变矿物或脉石矿物的年龄,为近年来多采用的矿床定年方法。直接测定成矿时代的方法主要有:Rb - Sr、Sm - Nd、U - Pb、K - Ar、Ar - Ar、Re - Os 以及裂变径迹和古地磁等,测定对象主要为长石、云母、石英、锆石、金红石、榍石、白钨矿、磷灰石和辉钼矿等。

铅锌矿床的矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,与之共生的蚀变矿物或脉石矿物多为方解石、白云石、重晶石和萤石,而常用定年矿物如长石、云母、石英、锆石、金红石、榍石、白钨矿、磷灰石和辉钼矿等则极少出现,虽然可利用 Pb - Pb 法测定闪锌矿、方铅矿和黄铁矿等的普通铅模式年龄,但不管是

单阶段模式、两阶段模式、多阶段模式、还是后来发展的构造铅模式和动态连续演化模式 [1983, Amov], 所获年龄均具有多解性,这种定年方法正逐渐为人们所摒弃 [1998, 刘建明,等]。因而对铅锌矿床的定年一直比较困难,即使是世界上研究程度较高的 MVT 铅锌矿床也是如此 [1990, 1993, Nakai, *et al.*; 1996, Sangster]。近年来,国内外许多学者致力于铅锌矿床成矿年代学研究,先后在“Nature”、“Science”、“Geochem Cosmochem Acta”和“Economic Geology”等刊物上发表了大量有关闪锌矿 Rb - Sr 定年、包裹体 Rb - Sr 定年、萤石 Sm - Nd 定年和辉钼矿 Re - Os 定年等方面的研究成果 [1990, 1993, Nakai, *et al.*; 1981, 1982, Shepherd, *et al.*; 1992, Brannon, *et al.*; 1995a, 1995b, Christensen, *et al.*; 1994, Chesley, *et al.*; 2000, 毛德宝,等],这些成果具有十分重要的科学意义。本文即综述了这些研究成果,并对该定年方法存在的问题进行了简要评述。

收稿日期:2002 - 04 - 07;改回日期:2002 - 08 - 12

基金项目:国家自然科学基金项目(40172038)和云南省省院省校科技合作项目(2000YK - 04)资助。

作者简介:李文博(1976 -),男,湖北大悟人,博士研究生,主要从事矿床地球化学研究。

## 1 Rb - Sr 等时线定年的基本前提

Rb - Sr 等时线定年早已有成熟的理论体系 [1977, Faure]。该定年方法的基本前提是:①样品的同源性,②样品的同时性,③样品初始 Sr 同位素组成的均一性,④样品的封闭性,⑤样品 Rb/Sr 比值的差异性。对于岩浆体系来说,由于体系具有较高的温度而易于发生元素的交换扩散, Sr 同位素组成可以达到完全均一化;在岩浆结晶分异过程中,由于 Rb、Sr 在结晶相与熔体相之间分配系数存在差异,体系的 Rb/Sr 比值有足够的变化范围;而且岩浆过程可视为封闭环境。因此,同一岩浆体系的样品能较好的满足 Rb - Sr 等时线定年的基本前提条件,这种定年方法在岩浆岩研究中被广泛使用。

## 2 矿床 Rb - Sr 等时线定年存在的问题

成矿体系为相对开放环境,且成矿过程中存在复杂的水 - 岩相互作用,样品很难满足 Rb - Sr 等时线定年的基本前提条件。刘建明等 (1998) 对矿床 Rb - Sr 等时线定年存在的问题进行了总结,主要表现在:①成矿物质和流体受多种源区影响,成矿过程中存在复杂的水 - 岩相互作用,流体与多种物源区发生元素和同位素交换,因而成矿体系常常达不到同位素平衡和同位素均一化;②许多矿床受构造控制,成矿期后的流体活动、构造活动、岩浆活动等均可能改变其原来矿物组合,许多常用的同位素定年方法受到严重干扰而无法使用,或所获年龄数据不能代表成矿的真实年代;③成矿体系中热液矿物 Rb、Sr 的含量常常较低, Rb/Sr 比值变化相对较小,对质谱仪的灵敏度/精确度和实验室的全流程本底(空白误差)的要求很高;④ Rb、Sr 在热液矿物的存在形式不清楚,使人们对所测出年龄的地质解释产生怀疑;⑤在成矿体系的热液矿物中,含有适合同位素精确定年的子体/母体元素比值的矿物相对较少。

对于铅锌矿床成矿体系, Rb - Sr 等时线定年除存在以上问题外,体系中常常缺少常用于同位素定年的样品,如长石、云母等。为此,致力于矿床年代学研究的学者们在铅锌矿床中寻找 Rb - Sr 等时线定年的样品、样品处理和分析技术等方面进行了大量探索性工作,报道了许多铅锌矿床 Rb - Sr 等时线成功定年的实例,也对存在的问题进行了较深入的分

析。目前已报道用于铅锌矿床 Rb - Sr 等时线定年的对象有流体包裹体 [1990, 1993, Nakai, *et al.*; 1981, 1982, Shepherd, *et al.*; 1992, Brannon, *et al.*; 1995a, 1995b, Christensen, *et al.*]、闪锌矿 [1990, 1993, Nakai, *et al.*; 1992, Brannon, *et al.*; 1995a, 1995b, Christensen, *et al.*]、海绿石 [1979, Kish, *et al.*; 1985, 1991, Stein, *et al.*] 和方铅矿 [1983, Lange, *et al.*] 等,本文仅综述铅锌矿床流体包裹体和闪锌矿 Rb - Sr 等时线定年研究进展及存在的问题。

## 3 流体包裹体 Rb - Sr 等时线定年

由于石英中流体的包裹体体积较大,封闭性好,容易满足流体包裹体的 Rb - Sr 等时线定年的条件,因此有的学者试图利用矿床中的脉石矿物石英进行了流体包裹体的 Rb - Sr 等时线定年 [1981, 1982, Shepherd, *et al.*]。但是由于铅锌矿床中石英相对较少,目前所收集的文献资料中,只有 Shepherd 等 (1982) 对英国 Pennine 北部 MVT 铅锌矿床进行了石英流体包裹体 Rb - Sr 等时线年龄测定。为此,国外许多学者对闪锌矿中包裹体 Rb - Sr 等时线定年的可能性进行了研究(表 1)。从表 1 中可见,由于闪锌矿中流体包裹体的 Rb/Sr 和  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  变化范围较小,无法构筑等时线,目前还没有成功获得闪锌矿包裹体 Rb - Sr 等时线年龄的报道。

流体包裹体 Rb - Sr 等时线定年在理论和技术上都存在一些长期争论的问题。虽然流体包裹体 Rb - Sr 等时线定年在我国得到比较广泛的应用,但刘建明等 (1998) 和姚海涛等 (2001) 也对该方法提出了异议。

(1) 次生包裹体的影响:矿床流体包裹体 Rb - Sr 等时线定年均采用矿石或脉石矿物中的群体包裹体,因此,样品前处理过程中排除次生包裹体是该方法面临的关键技术问题之一。矿石或脉石矿物中原生和次生包裹体的识别已不成问题。目前国内外排除次生包裹体多采用热爆超声洗涤法(简称热爆法),其加热温度多控制在 160 ~ 180℃。这种方法在成矿温度大于 200℃ 的中高温矿床的矿石或脉石矿物中的次生包裹体排除过程中可能对原生包裹体的影响不太明显,但对于成矿温度小于 200℃ 的低温矿床,在矿石或脉石矿物中的次生包裹体排除过程中不可避免以下问题:能否将次生包裹体全部排除、对

表 1 铅锌矿床闪锌矿及其流体包裹体 Rb-Sr 等时线定年实例

Table 1 Examples on Rb-Sr method of fluid inclusions and sphalerites in zinc-lead ore deposits

矿床名称	测定对象	Rb( $\times 10^{-6}$ )	Sr( $\times 10^{-6}$ )	Rb/Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	时代(Ma)	发表年份
美国田纳西州东部 Coy 矿床	淋滤液(7)			0.04337 ~ 0.1240	0.711070 ~ 0.711428			1990
	残留物(8)	0.0504 ~ 0.4755	0.281 ~ 1.858	0.0764 ~ 0.6364	0.2200 ~ 1.8350	0.711761 ~ 0.720396	377 ± 29	
美国上密西西比河谷西 Hayden 铅锌矿床(B区)	淋滤液(5)	0.0013 ~ 0.0021	0.203 ~ 0.330	0.00484 ~ 0.00640	0.0144 ~ 0.0184	0.70928 ~ 0.70943		1992
	残留物(5)	0.018 ~ 0.024	0.047 ~ 0.070	0.303 ~ 0.383	0.879 ~ 1.099	0.71260 ~ 0.71350	269 ± 6	
美国上密西西比河谷西 Hayden 铅锌矿床(C区)	淋滤液(4)	0.0006 ~ 0.0008	0.099 ~ 0.131	0.00606 ~ 0.00686	0.0178 ~ 0.0187	0.70937 ~ 0.70943		1992
	残留物(4)	0.007 ~ 0.011	0.031 ~ 0.044	0.205 ~ 0.275	0.589 ~ 0.767	0.71151 ~ 0.71231	270 ± 4	
美国东田纳西州 Immel 矿床	淋滤液(10)	0.0109 ~ 0.0315	0.249 ~ 1.21	0.01468 ~ 0.05462	0.0422 ~ 0.158	0.71062 ~ 0.71113		1993
	残留物(10)	0.129 ~ 0.225	0.177 ~ 1.28	0.113 ~ 0.729	0.309 ~ 2.09	0.71176 ~ 0.72048	347 ± 20	
加拿大 Pine Point 矿床	淋滤液(3)	0.00102 ~ 0.0121	0.0391 ~ 0.132	0.0077 ~ 0.3095	0.022 ~ 0.109	0.70860 ~ 0.70903		1993
	残留物(8)	0.0118 ~ 0.594	0.0556 ~ 0.345	0.212 ~ 2.909	0.609 ~ 8.40	0.71119 ~ 0.74647	361 ± 13	
澳大利亚 Blendevalle 矿床	淋滤液(9)	0.002 ~ 0.009	0.060 ~ 0.355	0.0056 ~ 0.0891	0.021 ~ 0.263	0.712728 ~ 0.714723		1995
	残留物(9)	0.156 ~ 1.156	0.201 ~ 1.019	0.4024 ~ 2.3984	1.17 ~ 10.8	0.721138 ~ 0.767709	357 ± 3	
加拿大 Polaris 矿床	淋滤液(13)	0.0006 ~ 0.0024	0.038 ~ 0.303	0.0047 ~ 0.0256	0.014 ~ 0.053	0.708893 ~ 0.710162		1995
	残留物(13)	0.022 ~ 0.188	0.085 ~ 1.036	0.0577 ~ 0.6706	0.168 ~ 1.959	0.709735 ~ 0.720378	366 ± 15	

注:淋滤液为流体包裹体提取液,残留物为提取流体包裹体后的闪锌矿;括号内为样品数。

原生包裹体是否有影响以及影响程度、洗涤过程中能否将次生包裹体中的 Rb 和 Sr 等成分全部清除。

(2) 流体包裹体的提取: 矿石或脉石矿物中原生流体包裹体的提取也是流体包裹体 Rb-Sr 等时线定年的关键技术问题之一。目前流体包裹体的提取有两种方法,即研磨法和热爆法。前者由于容器与样品之间的摩擦会使人为污染增加,而后者则很难打开样品内部较深部位的包裹体而使包裹体提取不完全。Pettke 等(1995)的实验研究表明,用研磨法提取的包裹体溶液是一种最有效的手段,而利用石英玻璃管进行热爆会产生重复性好,但是不真实的结果。同时他还发现:当温度超过 800℃时 Rb 容易被石英玻璃吸附,而使 Rb/Sr 值偏低;用酸化含 La<sup>3+</sup>的萃取液对包裹体中 Rb、Sr 的萃取率达 99.7%,而去蒸馏水的萃取率只有 93%,使 Rb/Sr 值偏高。目前国内绝大多数是用热爆法提取包裹体溶液,以此测定的 Rb-Sr 等时线年龄的真实性应慎重考虑[1998,刘建明,等]。

(3) 流体包裹体中 Rb 和 Sr 的分异: 这是矿床流体包裹体 Rb-Sr 等时线定年的理论问题,也是能否利用流体包裹体进行 Rb-Sr 等时线的基本前提

条件之一。一些研究[1987, Rossman, *et al.*; 1988, Changkakoti, *et al.*]证实石英中的 Rb、Sr、Sm、Nd、U 和 Pb 主要赋存于流体包裹体中,石英中流体包裹体的 Rb/Sr 和  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  比值具有较宽的变化范围,表明流体包裹体中存在 Rb 和 Sr 的分异。然而,刘建明等(1998)认为,由于矿石或脉石矿物中的所有原生包裹体是直接捕获成矿流体的产物而无化学分异机制,其 Rb/Sr 和  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  比值不应有明显差别,无法构筑等时线;这一点与 Pettke(1995)的实验研究结果是一致的,表 1 中闪锌矿的 Rb/Sr 和  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  比值不具明显变化范围也支持这种观点。据此,刘建明等(1998)指出,流体包裹体不符合 Rb-Sr 等时线的基本前提,不适合矿床直接定年。姚海涛等(2001)的分析结果表明,矿石或脉石矿物只有在“热液与围岩之间有石英脉等隔离物质,同时与热液接触的相中也存在能使 Rb 和 Sr 发生分异的矿物,如长石、云母等”的情况下捕获的流体包裹体,才有可能符合“Sr 同位素完全均一化、且 Rb 与 Sr 之间存在分异”的定年条件,还需要保证“流体包裹体中 Rb 与 Sr 之间的分异程度满足 Sr 同位素分析的精度要求”才具有定年意义。

正因为存在上述问题,所以利用流体包裹体 Rb-Sr 等时线确定铅锌矿床成矿时代还需更多的理论研究和实际工作。

#### 4 闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年

闪锌矿是铅锌矿床的主要矿石矿物之一,在许多铅锌矿床中闪锌矿常具多个世代、多种结构、多种颜色产出,表明其形成贯穿整个成矿过程。Maxwell (1976) 在分析加拿大 Pine Point 铅锌矿床中硫化物、碳酸盐的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  过程中发现,闪锌矿的 Rb/Sr 比值(0.357)明显高于方铅矿和方解石(Rb/Sr 比值分别为 0.01 和 0.0065);Medford 等(1983)的研究证实,该矿床中硫化物、碳酸盐和流体包裹体的 Sr 同位素存在均一化过程。这些特征均暗示,闪锌矿满足 Rb-Sr 等时线定年的前提条件,具有铅锌矿床直接定年的潜力。Pettke 等(1996)通过对人造石英及其流体包裹体中 Rb、Sr 同位素组成的研究,用它来模拟含流体包裹体的自然闪锌矿,认为前人所得出的闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄 “indeed date the growth of sphalerite”。

Nakai 等(1990)首先成功的测定了美国田纳西州东部 Coy MVT 铅锌矿床的闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄,随后 Brannon 等(1992)、Nakai 等(1993)、Christensen 等(1995a, 1995b)又分别测定了美国、加拿大和澳大利亚等国铅锌矿床的闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄(表 1)。从表 1 中可见:①不同学者采用分析流程相似,即先用研磨法或热爆法(多用前者)提取闪锌矿中的流体包裹体溶液,然后分别测定淋滤液(流体包裹体)和残留相(去除流体包裹体的闪锌矿)的 Rb、Sr 含量及  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值;②残留相的 Rb、Sr 含量明显高于淋滤液,表明 Rb、Sr 主要赋存于闪锌矿中而不是其中的流体包裹体中;③残留相的  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  和  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值具有较宽的变化范围,表明闪锌矿中 Rb 与 Sr 之间存在分异,在  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  图上能构筑等时线;④淋滤液的  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  和  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值变化不明显,暗示 Rb 和 Sr 在闪锌矿的流体包裹体中的分异不明显,在  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  图上不能构筑等时线。这些实例表明,闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年为铅锌矿床较理想的直接定年方法。但这种定年方法同样在理论和技术上存在的一些问题。

(1) 样品选择:许多铅锌矿床中闪锌矿常具多个世代、多种结构、多种颜色产出,成矿系统多为开

放体系,有些铅锌矿床的闪锌矿具多种成因。是否满足 Rb-Sr 等时线定年的“同时性”、“同源性”和“封闭性”前提条件便是样品选择面临的主要问题。Nakai 等(1993)同时对北美的 4 个铅锌矿床进行了闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年,只有美国的 Immel 矿床和加拿大的 Pine Point 矿床获得了成功(表 1),而加拿大的 Daniel's Harbour 矿床和美国的 Monte Cristo 矿床未拟合出等时线,Nakai 等(1993)认为前者未成功的原因可能是闪锌矿 Rb-Sr 体系不封闭,后者可能是流体包裹体溶液提取过程中出现了问题。他们还指出,适合定年的闪锌矿应采自矿床中的同一矿体,最好来自同一手标本。笔者认为,在选择 Rb-Sr 等时线定年样品之前,首先应对矿床进行深入细致的野外地质观察、室内光薄片鉴定,对所选样品应进行相关的地球化学研究,以确定其“同时性”、“同源性”和“封闭性”。然后对所获得的数据进行合理性判别,以确保所获得的年龄具有实际的地质意义,如利用  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 1/\text{Sr}$  图和  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} - 1/\text{Rb}$  图判别闪锌矿生长期间  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初始值是否保持不变 [1996, Pettke, *et al.* ]。

(2) 流体包裹体溶液提取:前已述及,闪锌矿及其中的流体包裹体的 Rb、Sr 含量及  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值均有明显的差别,闪锌矿中 Rb 与 Sr 之间存在分异,而其中的流体包裹体中 Rb 和 Sr 分异不明显,目前闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年多利用闪锌矿的分析数据。因此,闪锌矿中流体包裹体溶液的提取成功与否将直接影响 Rb-Sr 等时线定年, Nakai 等(1993)未能拟合出美国 Monte Cristo 矿床的闪锌矿 Rb-Sr 等时线,他们认为可能是包裹体未排除完全所致。目前闪锌矿中流体包裹体溶液提取主要为研磨法和热爆法,对两种方法的优越性已有较多文献讨论,Pettke 等(1995)的实验研究表明,研磨法和热爆法对流体包裹体溶液的提取率分别为 99.7% 和 93%,且前者能使包裹体溶液和残留石英的同位素值均保持真实,而后者则不能。因此,在闪锌矿中流体包裹体溶液提取过程中应考虑使用研磨法,同时应在闪锌矿流体包裹体温压及成分研究基础上设计溶液提取的温度条件和洗涤试剂,以便能更完全提取流体包裹体溶液、避免(或减少)对闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年带来的不良影响。

(3) 闪锌矿中 Rb、Sr 的赋存状态:目前对 Rb、Sr 在闪锌矿中的赋存状态还不清楚,这是困扰矿床闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年的理论问题。Rb、Sr 的离子半径分别为 1.52Å 和 1.18Å,而 Zn 的离子半径仅为

0.60Å, 暗示在闪锌矿中存在 Zn 与 Rb、Sr 的类质同象替代的可能性不大。Nakai 等(1993)认为 Rb、Sr 可能位于闪锌矿的晶格缺陷或八面体晶体的空隙中, 这两种赋存状态对闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年没有影响。刘建明等(1998)认为 Rb、Sr 在热液矿物中赋存状态主要有三种形式: ①矿物晶格中, 对 Rb-Sr 等时线定年无影响; ②固态微包体, 因大多为原生包体, 对 Rb-Sr 等时线定年的影响亦可忽略; ③流体包裹体, 因闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年一般都需要提取流体包裹体溶液, 其影响亦可忽略。当然, 如果在闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年过程中对 Rb、Sr 的赋存状态进行深入研究, 这对丰富和完善铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年理论、提高所获数据的可信度具有重要意义。

总之, 虽然闪锌矿 Rb-Sr 等时线定年还存在较多理论和技术问题, 但不失为铅锌矿床较理想的直接定年方法。要获得一条理想的闪锌矿 Rb-Sr 等时线, 除谨慎地野外取样和闪锌矿挑选外, 还必须辅以深入细致的地质、地球化学研究成果, 同时还应具有娴熟的流体包裹体分离和质谱分析技术, 对超净实验室条件和质谱性能具有很高的要求。目前仅有少数发达国家的有限几处实验室能获得国际公认的可信数据, 我国还没有相关文献报道。

#### 参考文献:

- 1976 Maxwell R J. A study of rubidium, strontium, and strontium isotopes in some mafic and sulphide minerals [D]. Unpub MS thesis, Univ British Columbia.
- 1977 Faure G. Principles of isotope geology [M]. New York: John Wiley & Sons.
- 1979 Kish S A and Stein H J. The timing of ore mineralization, Viburnum Trend, southeast Missouri lead district-Rb-Sr glauconite dating (abs.) [J]. Geol Soc America Abstracts with Programs, 11: 458.
- 1981 Shepherd T J and Darbyshire D P F. Fluid inclusion Rb-Sr isochrons for dating mineral deposits [J]. Nature, 290: 578-579.
- 1982 Shepherd T J, Darbyshire D P F, Moore G R, *et al.* Rare earth element and isotopic geochemistry of the North Pennine ore deposits [J]. Bull Bur Mech Gites Min, 11: 371-377.
- 1983a Lange S, Chaudhuri S and Clauer N. Strontium isotopic evidence for origin of barites and sulfides from the Mississippi Valley-type ore deposits in Southeast Missouri [J]. Econ Geol, 78: 1255-1261.
- 1983b Amov B G. Evolution of uranogenic and thorogenic lead, 1. A dynamic model of continuous isotopic evolution [J]. Earth Planet Sci Lett, 65: 61-74.
- 1983c Medford G A, Maxwell R J and Armstrong R L.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio measurements on sulfides, carbonates, and fluid inclusions from Pine Point, Northwest Territories, Canada: A  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio increase accompanying the mineralizing process [J]. Econ Geol, 78: 1375-1378.
- 1985 Stein H J and Kish S A. The timing of ore formation in southeast Missouri: Rb-Sr glauconite dating at the Magmont Mine, Viburnum Trend [J]. Econ Geol, 80: 739-753.
- 1987 Rossman G R, Weis D and Wasserburg G J. Rb, Sr, Nd and Sm concentration in quartz [J]. Geochim Cosmochim Acta, 51: 2325-2327.
- 1988 Changkakoti A, Gray J, Krstic D, *et al.* Determination of radiogenic isotopes (Rb/Sr, Sm/Nd and Pb/Pb) in fluid inclusion waters: An example from the Bluebell Pb-Zn deposit, British Columbia, Canada [J]. Geochim Cosmochim Acta, 52: 961-967.
- 1990 Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, *et al.* Rb-Sr dating of sphalerites from Tennessee and the genesis of Mississippi Valley-Type (MVT) ore deposits [J]. Nature, 346: 354-357.
- 1991 Stein H J and Kish S A. The significance of Rb-Sr glauconite ages, Bonnetterre Formation, Missouri: Late Devonian-Early carboniferous Mississippian brine migration in the Midcontinent [J]. J Geol, 99: 1468-1481.
- 1993a Brannon J C, Podosek F A and McLimans R K. Alleghenian age of the upper Mississippi Valley zinc-lead deposit determined by Rb-Sr dating of sphalerite [J]. Nature, 356: 509-511.
- 1993b Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, *et al.* Rb-Sr dating of sphalerites from MVT ore deposits [J]. Geochim Cosmochim Acta, 57: 417-427.
- 1994 Chesley J T, Halliday A N, Kyser T K, *et al.* Direct dating of Mississippi Valley-type mineralization: Using of Sm-Nd in fluorite [J]. Econ Geol, 89: 1192-1199.
- 1995a Pettke T and Diamond L W. Rb-Sr isotopic analysis of fluid inclusions in quartz: Evaluation of bulk extraction procedures and geochronometer systematics using synthetic fluid inclusions [J]. Geochim Cosmochim Acta, 59: 4009-4027.
- 1995b Christensen J N, Halliday A N, Leigh K E, *et al.* Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polariss Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit [J]. Geochim Cosmochim Acta, 59: 5191-

- 5197.
- 1995c Christensen J N, Halliday A N, Vearncombe J R, *et al.* 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 [J]. *Econ Geol*, 90: 877 - 884.
- 1996a Sangster D F. Mississippi Valley-type lead-zinc deposit. In: Eckstrand O R, Sinclair W D, Thorpe R I, eds. *Geology of Canadian Mineral Deposit Type [J]*. *Geol Surv Can, Geol Can*, (8): 253 - 261.
- 1996b Pettke T and Diamond L W. Rb-Sr dating of sphalerite based on fluid inclusion-host mineral isochrons: A clarification of why it works [J]. *Economic Geology*, 91: 951 - 956.
- 1998 刘建明,赵善仁,沈洁,等. 成矿流体活动的同位素定年方法评述[J]. *地球物理学进展*, 13(3): 46 - 55.
- 2000 毛德宝,陈志宏,钟长汀,等. 冀北北岔沟门铅锌矿床中辉钼矿的铷-锶同位素年龄 [J]. *地球化学*, 29: 132 - 135.
- 2001 姚海涛,郑海飞. 流体包裹体 Rb - Sr 等时线定年的可靠性[J]. *地球化学*, 30: 507 - 511.

## Rb-Sr ISOTOPIC METHOD ON ZINC-LEAD ORE DEPOSITS: A REVIEW

LI Wen-bo<sup>1,3</sup>, HUANG Zhi-long<sup>1</sup>, XU De-ru<sup>1</sup>, CHENG Jin<sup>2</sup>,  
XU Cheng<sup>1,3</sup> and GUAN Tao<sup>1,3</sup>

(1. *Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*  
2. *Huize Zinc-lead Ore Mine, Yunnan 654211, China;* 3. *Postgraduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** In this paper, based on summing up the essential prerequisites and disadvantages of Rb-Sr isochron method on zinc-lead ore deposits, we sum up the advances on Rb-Sr method of fluid inclusions and sphalerites in zinc-lead ore deposits, and give a simple commentary on the disadvantages of Rb-Sr method. The results show that Rb-Sr isochron (especially of sphalerites) is a feasible method for directly dating the zinc-lead deposits, but there exist many disadvantages in theory and technique for this method. Careful study of geology and geochemistry must be done before Rb-Sr dating of zinc-lead deposits. In the Rb-Sr dating process, we must pay more attention to samples selecting, picking, fluid inclusion extraction and the analysis at mass spectrometer.

**Key word:** Zinc-lead ore deposit; Rb-Sr dating method; Achievement