

# 热液矿床中含钙矿物的 Sm-Nd 同位素定年

彭建堂,符亚洲,袁顺达,沈能平,张东亮

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

**内容提要:** Sm、Nd 的离子半径相似、化学性质很相近,母体衰变形成的子体易在矿物晶格中保存下来,故矿物或岩石中的 Sm-Nd 同位素体系易保持封闭,具有较强的抗风化、抗蚀变能力,是一种有效的定年工具。但长期以来,Sm-Nd 同位素体系主要用于前寒武纪地质年代学研究,研究对象主要限于陨石、月球岩石、古老的基性、超基性岩和前寒武纪老地层等。近年的研究表明,热液矿床中一些含钙矿物,其 REE 含量较高,Sm/Nd 分馏明显,是很有潜力的 Sm-Nd 同位素定年对象,能对矿床的成矿时间进行精确制约。本文对萤石、白钨矿、方解石、电气石等常见热液含钙矿物的 Sm-Nd 同位素研究现状进行归纳总结,并对该方法在中国热液矿床中进一步的应用前景进行了展望,以期促进 Sm-Nd 同位素成矿年代学在我国的推广和应用。

**关键词:** Sm-Nd 同位素体系;成矿年代学;含钙矿物;热液矿床

成矿年代学是矿床学研究最基本的内容,也是建立成矿模式和找矿勘探的主要依据之一。只有精确确定热液活动的时间,才有可能正确判断岩浆、构造和/或变质作用与成矿的关系,才能进一步准确认识矿床形成的地球动力学环境、形成过程与矿床成因等,并有效地指导找矿实践;反之,矿床成矿时间的不确定性,将严重影响对矿床成因、成矿机理的认识,制约对找矿勘探实践的正确指导。如湘西沃溪金锑钨矿床,由于长期缺乏可靠的年龄数据,导致人们对其矿床成因的认识存在很大差异,先后提出了七种不同的成因模式。同样,成矿年代学对研究区域成矿规律也是至关重要的,被认为是“认识金属成矿省演化的计时钟”(裴荣富等,1993),准确的年代学数据是认识或定义大规模成矿或爆发性成矿的基础(毛景文等,1999)。因此,直接测定热液矿物的年龄以获得热液成矿事件的精确年表,一直是地质学家多年的梦想(刘建明等,1998)。

早在18世纪人们就意识到成矿年代学在矿床学研究中的重要地位(裴荣富等,1995),但长期以来,由于测试分析手段发展的相对滞后以及许多矿床中缺乏适于常规定年的矿物,成矿年代学研究一直是矿床学研究中的薄弱环节。如在20世纪80年代以前,人们对热液矿床的年代学研究主要局限于含钾热液

矿物的常规 K-Ar 法测年或对方铅矿、钾长石进行所谓的普通 Pb 或 Pb-Pb 年龄的测定(Faure, 1986)。许多矿床的形成时间主要是借助于间接的手段来获取,如利用各种野外地质关系来推断,或对与矿有关的岩浆岩进行年龄限定,难以准确、定量地反映其成矿的真实时间。

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,故矿物/岩石中的 Sm-Nd 同位素体系易保持封闭,具有较强的抗风化、抗蚀变能力,是一种有效的定年工具(如 Hamilton et al., 1977, 1979; McCulloch and Wasserburg, 1978; DePaolo and Wasserburg, 1979; Jacobsen and Wasserburg, 1980; McCulloch and Compston, 1981; Mork and Mearns, 1986; Whitehouse, 1988; 江博明等, 1986; 李曙光等, 1987, 1989; 乔广生等, 1987; 杨杰东等, 1988; 周新民等, 1989; 张宗清等, 1991)。但由于 Sm 和 Nd 均为 LREE, 离子半径相似,化学性质很相近,故自然界中 Sm/Nd 分馏通常不明显(DePaolo, 1988);且受镧系收缩效应的影响,地幔发生部分熔融时 Nd 比 Sm 更趋于进入熔体,故地壳物质中 Nd 比 Sm 富集,其 Sm/Nd 值较小,且变化范围窄,通常在 0.1~0.5 之间(DePaolo, 1988);而且  $^{147}\text{Sm}$  半衰期很长

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40472053)的成果。

收稿日期:2006-04-10;改回日期:2006-07-26;责任编辑:章雨旭。

作者简介:彭建堂,男,1968年生,1992年毕业于中南工业大学(现中南大学)地质系,获学士学位,1997年在该校获博士学位。现为中国科学院地球化学研究所研究员,主要从事矿床学、同位素地球化学研究。通讯地址:550002,贵州省贵阳市观水路46号,中国科学院地球化学研究所;Email: pengjiantang@vip. gyig. ac. cn.

( $1.06 \times 10^{11}$  a)。这使得 Sm-Nd 同位素定年的应用在很大程度上受到限制,如大多数花岗岩由于其 Sm/Nd 变化范围小,故无法利用 Sm-Nd 法对其侵入事件进行时间限定。长期以来,Sm-Nd 同位素体系主要用于前寒武纪地质年代学研究,研究对象主要限于陨石、月球岩石、古老的基性、超基性岩和前寒武纪老地层等,对热液成矿体系很少涉及,最近出版的同位素地质学专著仍是如此(Dickin, 2005; Faure and Mensing, 2005)。

大量的研究表明,稀土元素化学性质稳定,一般的地球内部活动,如成岩作用、变质作用、部分熔融和分离结晶作用等,对稀土元素之间的内部分馏影响很小,地壳形成以后地壳物质中的 Sm/Nd 值通常不会发生明显改变(DePaolo, 1988; Pimentel and Charnley, 1991)。但近年的研究发现,部分地壳内部活动亦能使岩石或矿物中的 Sm/Nd 比值发生明显改变,如陆壳中某些热液矿床的形成过程中,稀土元素内部可发生强烈的分馏作用,导致一些热液矿物中的 Sm/Nd 变化很大,甚至远高出地壳岩石的正常值(如李华芹等, 1992; Chesley et al., 1994; Brugger et al., 2002; 彭建堂等, 2002, 2003)。这些发现为 Sm-Nd 同位素年代学在矿床学中的推广应用提供了新的契机。本文旨在介绍目前国内外热液含钙矿物 Sm-Nd 同位素定年的研究成果,并对该方法在中国热液矿床中进一步的应用前景进行了展望,以期促进 Sm-Nd 同位素成矿年代学在我国的推广和应用。

## 1 热液含钙矿物的 Sm-Nd 同位素定年的依据和优势

在理论上,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(Anglin et al., 1996):① 从该热液体系沉淀的矿物容纳有足够量的稀土元素,② 相对于 Sm、Nd,矿物结晶后处于封闭状态,③ 矿物中 Sm、Nd 发生了分馏。Fryer and Taylor(1984)首次揭示该同位素体系用于热液矿床定年的潜力,对热液型铀矿成功地进行了 Sm-Nd 同位素定年;随后的研究表明,热液矿床中的含钙矿物如萤石、白钨矿、电气石、方解石等,是 Sm-Nd 同位素定年的理想对象,具有很好的应用前景(Bell et al., 1989; Halliday et al., 1990; Chesley et al., 1991; Nie et al., 1999; Jiang et al., 2000)。

由于:① 理论和实验研究均表明,稀土元素在

含钙矿物中主要是以置换晶格中  $\text{Ca}^{2+}$  的形式存在(如 Elzinga et al., 2002);与其他矿物比较,含钙矿物往往含有相当数量的 REE,如一些白钨矿中能容纳 1.0% 以上的  $\text{REE}_2\text{O}_3$ (如 Ludden et al., 1984; Ghaderi et al., 1999);② 尽管自然界中 Sm/Nd 分馏通常不明显,地球上大多数矿物岩石中 Sm/Nd 值较小且变化相当有限;但在一些热液成矿体系中,稀土元素内部可发生强烈的分馏作用(Morgan and Wandless, 1980),导致某些热液含钙矿物中的 Sm/Nd 值较高且变化范围大,如湘中锡矿山早期方解石和湘西沃溪的白钨矿,其稀土元素分配模式均为左倾的 HREE 富集型(彭建堂等, 2004, 2005),Sm/Nd 比均大于 1,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  值变化范围分别为 7.5 和 0.43(彭建堂等, 2002, 2003),这种很宽的  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  变化范围对 Sm-Nd 同位素年龄测定非常有利。正如 Farmer and DePaolo(1997)所指出地,对于 Sm-Nd 同位素体系,用于制约等时线的  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  范围越宽,该同位素体系能辨别的年龄越小(越年轻)。如常见岩石中的  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  变化范围约为 0.1, 在这种情况下 Sm-Nd 同位素体系确定年龄绝对误差约为 20 Ma, 如果岩石中  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  变化范围达到 0.5, 则其确定的年龄绝对误差可降至 4 Ma 左右(DePaolo, 1988)。③ 已有的实验研究表明,在萤石、方解石等含钙矿物中,Sm、Nd 等稀土元素的扩散速率低(Cherniak, 1998; Cherniak et al., 2001),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。因此,热液矿床中的含钙矿物如方解石、萤石、白钨矿、电气石等,可以成为进行 Sm-Nd 同位素定年时优先考虑的对象。

## 2 热液含钙矿物 Sm-Nd 同位素定年的研究进展

萤石:自 Halliday 等(1990)、Chesley 等(1991)相继在《Nature》、《Science》等权威杂志上发表萤石 Sm-Nd 同位素定年研究成果以来,该矿物的 Sm-Nd 同位素体系得到了广泛的研究:一方面人们利用 Sm-Nd 等时线年龄来获取热液矿床的形成时间,另一方面,利用萤石的初始 Nd 同位素值,单独或与 Sr 同位素联合来示踪流体来源或矿质源区(如 Chesley et al. 1994; Galindo et al., 1994, 1997; Kempe et al., 2000; Munoz et al., 2005)。李志昌等(1987)率先在国内建立了萤石 Sm-Nd 同位素定年方法;韩文彬等(1991)、李华芹等(1992)分别对浙江萤石矿、西华山钨矿进行萤石的 Sm-Nd 同位素定年;聂凤军等

(2002)、彭建堂等(2003)分别对内蒙古阿拉善东七一萤石矿床和贵州晴隆锑矿床成功地进行了萤石 Sm-Nd 定年研究。目前萤石是热液矿床 Sm-Nd 同位素定年中应用最为广泛的含钙矿物,研究所涉及的矿种包括锡矿、钨矿、MVT 型铅锌矿、萤石(重晶石)矿、锑矿等。

白钨矿:由于白钨矿常产于不同时代(前寒武纪—新近纪)形成的金矿中(Boyle, 1979),且许多金矿床中白钨矿与金的沉淀在时间、空间上非常密切。因此,白钨矿作为矿石矿物,可直接用于金矿床的同位素定年,被认为是脉型金矿最理想的测年对象。自 Anglin 等(1987)首次报道了加拿大新元古代 Abitibi 绿岩带金矿中白钨矿的 Sm-Nd 同位素年龄以来,国外学者对金矿床中的白钨矿 Sm-Nd 同位素体系进行了较多研究,用以制约金矿化的时间和矿床成因;津巴布韦、西澳大利亚和加拿大太古宙—古元古代绿岩带中许多金矿床的白钨矿都得到了研究(Bell et al., 1989; Kent et al., 1995; Darbyshire et al., 1996; Oberthür et al., 2000; Ghaderi et al., 1998; Brugger et al., 2002)。以上这些年龄数据均为太古宙—古元古代。Kempe 等(2001)通过对中亚地区穆龙套 Au—(W)矿床的研究,首次得到较年轻的白钨矿年龄数据( $279 \pm 18$  Ma)。另外, Eichhorn 等(1997)对奥地利 Felbertal 钨矿床中的白钨矿进行 Sm-Nd 同位素研究,发现部分白钨矿样品的 Sm-Nd 同位素体系由于受后期改造而发生重置(resetting)。尽管白钨矿在我国许多金矿、特别是华南钨矿中分布广泛,但目前国内很少有人对其进行同位素年代学研究。彭建堂等(2003)对湘西沃溪金锑钨矿床中的白钨矿进行了初步研究,得到  $402 \pm 6$  Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄(图1),该年龄数据与该矿石英的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄基本一致,也与区域上一些金锑钨矿床的成矿年龄相吻合。彭渤等人(2004)亦对湘西沃溪和廖家坪矿床中的白钨矿进行 Sm-Nd 同位素测定,但没有获得相关的年龄数据(Peng and Frei, 2004)。

电气石:Anglin 等(1996)对加拿大 Abitibi 金矿带 Val d'Or 金矿床含金石英—碳酸盐—白钨矿—电气石脉体进行研究时,发现电气石和白钨矿样品能构成很好的 Sm-Nd 等时线,并认为电气石也具有用于热液矿床 Sm-Nd 同位素定年的潜力。蒋少涌等对加拿大 Sullivan Pb—Zn—Ag 矿床中热液成因的电气石岩成功地进行了 Sm-Nd 同位素定年(Jiang et al., 2000)。另外,蒋少涌等还对广西大厂锡多金属

矿床中的电气石进行了 Sm-Nd 同位素研究,但未能获得等时线年龄数据(Jiang et al., 1999)。

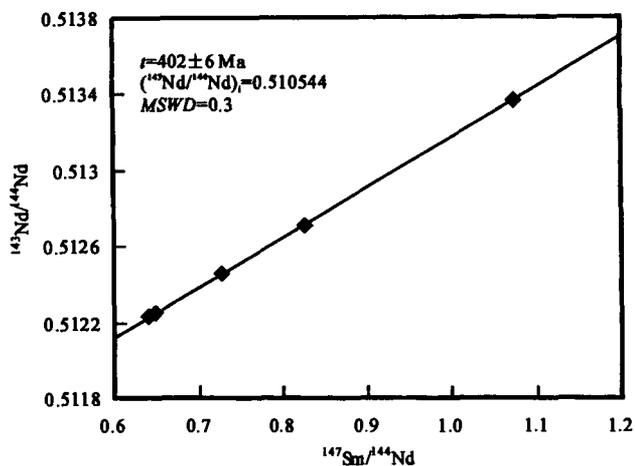


图1 湘西沃溪金锑钨矿床浸染状白钨矿的 Sm-Nd 等时线图解(据彭建堂等,2003)

Fig. 1 Sm-Nd isochron for the disseminated scheelites from the Woxi Au—Sb—W deposit, Western Hunan

方解石:Hu 等(1996)首次探讨了方解石 Sm-Nd 同位素定年的可能性,对锡矿山的6个方解石样品和1个辉锑矿样品进行 Sm-Nd 同位素研究,并获得一条等时线。聂凤军等(1999)对挪威元古宙绿岩带中的 Au—Cu 矿床成功地进行了方解石的 Sm-Nd 同位素定年,15个方解石样品给出一条年龄为  $1857 \pm 72$  Ma 的等时线(Nie 等, 1999),该年龄与已有的 U-Pb 年龄数据吻合较好。在 Hu 等(1996)工作的基础上,笔者重新对锡矿山成矿期方解石进行测年研究,成功地厘定出早、晚两期热液成矿作用(图2)。研究表明,锡矿山早、晚两期的成矿作用时间分别是  $155.5 \pm 1.1$  Ma、 $124.1 \pm 3.7$  Ma,分别对应于晚侏罗世和早白垩世。最近,李文博等(2005)对云南会泽 Pb—Zn 矿床中的方解石进行 Sm-Nd 同位素定年。由于方解石 Sm-Nd 同位素定年方法的研究刚起步,目前成功的范例仍很少,这种定年方法的可行性和可靠性,仍有待于更多的研究去证实。

### 3 热液含钙矿物 Sm-Nd 同位素定年的展望

在华南地区,与花岗岩有关的钨、锡矿床中,萤石广泛分布。Chesley 等(1991)也对英国西南部花岗岩中的锡矿床成功地进行了 Sm-Nd 同位素定年;我

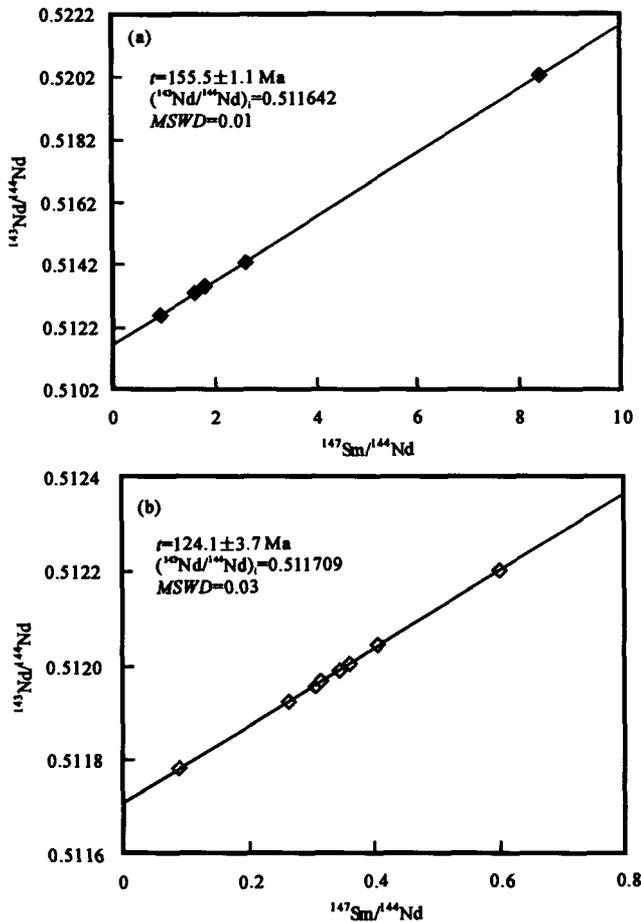


图 2 湘中锡矿山锑矿床成矿早期(a)、晚期(b)方解石的 Sm-Nd 同位素图解(据彭建堂等,2002)  
Fig. 2 Sm-Nd isochron diagram for early calcite (a) and late calcite (b) associated with stibnite from the Xikuangshan stibnite deposit, Central Hunan

国学者李志昌等(1987)、李华芹等(1992)也先后对西华山钨矿成功地进行萤石 Sm-Nd 定年。因此,萤石的 Sm-Nd 同位素定年方法对华南钨、锡矿床可能有很好的应用前景。

方解石 Sm-Nd 同位素定年方法的建立和完善,有可能极大地推动我国 Hg、Pb—Zn、Au、Cu、Sb 等金属矿床成矿年代学的研究。华南地区汞矿非常发育,许多矿床均达到大型、超大型规模,如著名的湘黔汞矿带,前人也对其进行大量研究;然而,迄今为止该区汞矿尚没有一个成矿年龄数据,主要原因是由于其矿物组合非常简单,方解石是其唯一的脉石矿物。亚洲最大雄黄矿——湖南石门雄黄矿床,也存在类似问题。我国铅锌矿床,成矿期方解石分布广泛,甚至作为唯一的脉石矿物出现,如云南会泽铅锌矿。在部分金矿中,方解石亦作为最主要的矿物出

现,如广西叫曼方解石脉型金矿和黑龙江老柞山金矿。在一些铜矿中,如山西运城的白峪口、中条山铜矿峪等铜矿中均可见含铜方解石脉体。在华南锑矿带中,方解石—辉锑矿型和石英—方解石—辉锑矿型矿石分布广泛,如湖北徐家山、贵州独山巴年和广西东田金谷等锑矿。

白钨矿在华南钨矿床中也分布广泛,如江西的阳储岭钨矿和大吉山钨矿、湖南的柿竹园钨锡多金属矿、司徒钨矿和瑶岗仙钨矿、广东的大宝山钨钼矿和莲花山钨矿等,均有白钨矿的产出。因此,白钨矿 Sm-Nd 同位素定年方法在国内的建立,也有助于华南钨矿床成矿年代学的研究,为探讨华南钨大规模成矿的时限和成矿动力学背景奠定基础。另外,电气石在华南钨锡矿床也较为常见,因此,热液成因电气石的 Sm-Nd 同位素定年在我国亦可能取得重要进展。

值得指出的是,并非所有热液含钙矿物都适合于进行 Sm-Nd 同位素定年,如许多金属矿床中的方解石,由于其 Sm/Nd 分馏太小,无法构筑等时线。最近我们在研究湘南芙蓉超大型锡矿床时也遇到类似的问题,该矿白腊水矿区的萤石样品,其 Sm/Nd 值较小且变化范围很窄,难以在  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ — $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  图解上有效拉开。因此,选取 Sm/Nd 分馏明显的含钙矿物,对于获得精确的 Sm-Nd 同位素年龄是至关重要的。另外,由于热液成矿作用本身的复杂性,一些热液矿床中的初始 Nd 同位素组成未必达到均一,而且许多热液矿床中存在多期成矿叠加改造,这些因素均可能导致无法获得精确合理的同位素年龄数据。

参 考 文 献 / References

韩文彬,马承安,王玉荣. 1991. 萤石矿床地质及地球化学特征一以浙江武义矿田为例. 北京:地质出版社.  
江博明,张宗清. 1986. 冀东太古代麻粒岩—片麻岩的稀土地球化学和岩石成因. 中国地质科学院地质研究所所刊,16:1~34.  
李华芹,刘家齐,杜国民,魏林. 1992. 内生金属矿床成矿作用年代学研究——以西华山钨矿为例. 科学通报, 37(12):109~1112.  
李曙光, Hart S R, 郭安林, 张国伟. 1987. 河南中部登封群全岩 Sm-Nd 同位素年龄及其构造意义. 科学通报, 32(21):1728~1731.  
李曙光, 葛宁洁, 刘德良, 张宗清. 1989. 大别山北翼大别群中 C 型榴辉岩的 Sm-Nd 同位素年龄及其构造意义. 科学通报, 34(7):522~525.  
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.  
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.  
刘建明, 沈洁, 赵善仁, 霍卫国, 姜能. 1998. 金属矿床同位素定年的方

- 法和意义. 有色金属矿产与勘查, 7(2):107~113.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质, 18(4):291~298.
- 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 林源贤. 2002. 阿拉善东七一大型萤石矿床萤石钐—铷同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 21(1):10~15.
- 裴荣富, 吴良士. 1993. 金矿成矿省的地质历史演化和成矿年代学研究新进展. 矿床地质, 12(3):285~286.
- 裴荣富, 吴良士. 1995. 矿物共生和矿物共生组合研究与成矿年代学. 矿床地质, 14(2):185~188.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 2003. 萤石 Sm-Nd 同位素体系对靖陵锑矿床成矿时代和物源的制约. 岩石学报, 19(4):785~791.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 林源贤, 赵军红. 2002. 锡矿山锑矿床热液方解石的 Sm-Nd 同位素定年. 科学通报, 47(10):789~792.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 漆亮, 赵军红. 2004. 锡矿山热液方解石的独特 REE 分配模式及其制约因素. 地质论评, 50(1):25~32.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲, 林源贤. 2003. 湘西沃溪 Au—Sb—W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年. 科学通报, 48(18):1976~1981.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲, 袁顺达. 2005. 湘西沃溪金锑钨矿床中白钨矿的稀土元素地球化学. 地球化学, 34(2):115~122.
- 乔广生, 王开怡, 郭起凤, 张桂存. 1987. 冀东早太古岩石 Sm-Nd 同位素年龄测定. 地质科学, 22(1):86~92.
- 杨杰东, 王银喜, 王宗哲. 1988. 吉林大阳岔寒武系/奥陶系界线地层化石中 Sm-Nd 同位素的研究. 科学通报, 36(16):1247~1249.
- 张宗清, 伍家善, 叶笑江. 1991. 阜平群下部太古代变质岩的 REE、Rb-Sr 和 Sm-Nd 年龄及其意义. 地球化学, (2):118~127.
- 周新民, 邹海波, 杨杰东, 王银喜. 1989. 安徽歙县伏川蛇绿岩套的 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义. 科学通报, 34(16):1243~1245.
- Anglin C D, Franklin J M, Jonasson I R, Bell K and Hoffman E. 1987. Geochemistry of scheelites associated with Archean gold deposits; Implications for their direct age determination. In Current research, Part A: Geological Survey of Canada Paper 87-1A, 591~596.
- Anglin C D, Jonasson I R and Franklin J M. 1996. Sm-Nd dating of scheelite and tourmaline; Implications for the genesis of Archean gold deposits, Val d'Or, Canada. Econ. Geol., 91: 1372~1382.
- Bell K, Anglin C D and Franklin J M. 1989. Sm-Nd and Rb-Sr isotope systematics of scheelites; Possible implications for the age and genesis of vein-hosted gold deposits. Geology, 17: 500~504.
- Boyle R W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. Geological Survey of Canada Bulletin 280.
- Brugger J, Mass R, Lahaye Y, McRae C, Ghaderi M, Costa S, Lambert D, Bateman R and Prince K. 2002. Origins of Nd—Sr—Pb isotopic variations in single scheelite grains from Archaean gold deposits, Western Australia. Chem. Geol., 182: 203~225.
- Cherniak D J, Zhang X Y, Wayne N K and Watson E B. 2001. Sr, Y, and REE diffusion in fluorite. Chem. Geol., 181: 99~111.
- Cherniak D J. 1998. REE diffusion in calcite. Earth Planet. Sci. Lett., 160: 273~287.
- Chesley J T, Halliday A N, Kyser T K and Spry P G. 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. Sm-Nd direct dating of fluorite mineralization. Science, 252: 949~951.
- Darbyshire D P F, Pitfield P E J and Campbell S D G. 1996. Late Archean and Early Proterozoic gold—tungsten mineralization in the Zimbabwe Archean craton; Rb-Sr and Sm-Nd isotope constraints. Geology, 24: 19~22.
- DePaolo D J and Wasserburg G J. 1979. Sm-Nd age of the Stillwater complex and the mantle evolution curve for neodymium. Geochim. Cosmochim. Acta, 43: 999~1008.
- DePaolo D J. 1988. Neodymium Isotope Geochemistry—An introduction. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- Dickin A P. 2005. Radiogenic Isotope Geology. Cambridge University Press.
- Eichhorn R, Höll R, Jagoutz E and Schärer U. 1997. Dating scheelite stages; A strontium, Neodymium, lead approach from the Felbertal tungsten deposit, Central Alps, Austria. Geochim. Cosmochim. Acta, 61: 5005~5022.
- Elzinga E J, Reeder R J, Withers S H, Peale R E, Mason R A, Beck K M and Hess W P. 2002. EXAFS study of rare-earth element coordination in calcite. Geochim. Cosmochim. Acta, 66: 2875~2885.
- Farmer G L and DePaolo J. 1997. Source of hydrothermal components; heavy isotopes. In: Barnes H L (ed.) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (third edition). John Wiley & Sons, Inc., 31~41.
- Faure G and Mensing T M. 2005. Isotopes, Principles and Applications (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc., 194~213.
- Faure G. 1986. Principles of Isotope Geology. New York; Wiley.
- Fryer B J and Taylor R P. 1984. Sm-Nd direct dating of the Collins Bay hydrothermal uranium deposit, Saskatchewan. Geology, 12: 479~482.
- Galindo C, Pankhurst R J, Casquet C, Coniglio J, Baldo E, Rapela C W, Rapela C W and Saavedra J. 1997. Age, Sr- and Nd-isotope systematics, and origin of two fluorite lodes, Sierras Pampeanas, Argentina. Int. Geol. Rev., 39: 948~954.
- Galindo C, Tornos F, Darbyshire D P F and Casquet C. 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.
- Ghaderi M. 1998. Sources of Archaean gold mineralization in the Kalgoorlie—Norseman region of Western Australia, determined from strontium—neodymium isotopes and trace elements in scheelite and host rocks. PhD Thesis, The Australian National University. Canberra, 231pp.
- Ghaderi M, Palin J M, Campbell I H and Sylvester P J. 1999. Rare earth element systematics in scheelite from hydrothermal gold deposits in the Kalgoorlie—Norseman region, Western Australia. Econ. Geol., 94: 423~438.
- Halliday A N, Shepherd T J, Dicken A P and Chesley J T. 1990. Sm-Nd evidence for the age and origin of a Mississippi Valley Type ore deposit. Nature, 344: 54~56.
- Hamilton P J, Evensen N M, O'Nions R K and Tarney J. 1979. Sm-Nd systematics of Lewisian gneisses; Implications for the origin of granulites. Nature, 277: 25~28.
- Hamilton P J, O'Nions R K, Evensen N M. 1977. Sm-Nd dating of Archean basic and ultrabasic volcanics. Earth Planet. Sci. Lett., 36: 263~268.
- Hu X, Pei R and Su Z. 1996. Sm-Nd dating for antimony mineralization in the Xikuangshan deposit, Hunan, China. Resour. Geol., 46(4): 227~231.

- Jacobsen S B and Wasserburg G J. 1980. Sm-Nd isotopic evolution of chondrites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50:139~155.
- Jiang S Y, Han F, Shen J Z and Palmer M R. 1999. Chemical and Rb-Sr, Sm-Nd isotopic systematics of tourmaline from the Dachang Sn-polymetallic ore deposit, Guangxi Province, P. R. China. *Chem. Geol.*, 157: 49~67.
- Jiang S Y, Slack J F, Palmer M R and Shaw D R. 2000. Sm-Nd dating of the giant Sullivan Pb-Zn-Ag deposit, British Columbia. *Geology*, 28: 751~754.
- Kempe U, Belyatsky B V, Krymsky R S, Kremenetsky A A and Ivanov P A. 2001. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheelite from the giant Au-(W) deposit Muruntau; Implications for the age and sources of Au mineralization. *Mineral. Deposita*, 36: 379~392.
- Kent A J R, Campbell I H and McCulloch M T. 1995. Sm-Nd systematics of hydrothermal scheelite from the Mount Charlotte Mine, Kalgoorlie, Western Australia: An isotopic link between gold mineralization and komatiites. *Econ. Geol.*, 90: 2329~2335.
- Ludden J N, Daigneault R, Robert F and Taylor R P. 1984. Trace element mobility in alteration zones associated with Archean Au lode deposits. *Econ. Geol.*, 79: 1131~1141.
- McCulloch M J and Compston W. 1981. Sm-Nd age of Kambalda and Kanowna greenstones and heterogeneity in the Archean mantle. *Nature*, 200: 1003~1011.
- McCulloch M J and Wasserburg G J. 1978. Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation. *Science*, 200: 1003~1011.
- Morgan J W and Wandless G A. 1980. Rare earth element distribution in some hydrothermal minerals; Evidence for crystallographic control. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44: 973~980.
- Mork M B E and Mearns E W. 1986. Sm-Nd isotopic systematics of a grbbro—eclogite transition. *Lithos*, 19: 255~267.
- Munoz M, Premo W R, Courjault-Rade P. 2005. Sm-Nd dating fluorite from the worldclass Montroc fluorite deposit, southern Massif Central, France. *Mineral. Deposita*, 39: 970~975.
- Nie F J, Bjorlykke A B and Nilsen K S. 1999. The origin of the Proterozoic Bidjovagge gold—copper deposit, Finnmark, Northern Norway, as deduced from rare earth element and Nd isotope evidences on calcites. *Resour. Geol.*, 49(1): 13~25.
- Oberthür T, Blenkinsop T G, Hein U F, Höppner M, Höhndorf A and Weiser T W. 2000. Gold mineralization in the Mazowe area, Harare—Bindura—Shamva greenstone belt, Zimbabwe: Genetic relationships deduced from mineralogical fluid inclusions and stable isotope studies, and the Sm-Nd isotopic composition of scheelites. *Mineral. Deposita*, 35: 138~156.
- Peng B and Frei R. 2004. Nd—Sr—Pb isotopic constraints on metal and fluid sources in W—Sb—Au mineralization at Woxi and Liaojiaping (Western Hunan, China). *Mineral. Deposita*, 39: 313~327.
- Pimentel M M and Charnley N. 1991. Intracrustal REE fractionation and implications for Sm-Nd model age calculations in late-stage granitic rocks: An example from central Brazil. *Chem. Geol.*, 86: 123~138.
- Whitehouse M J. 1988. Granulite facies Nd-isotopic homogenization in the Lewisian complex of northwest Scotland. *Nature*, 331: 705~707.

## Sm-Nd Isotope Dating of Some Ca-bearing Minerals in Hydrothermal Deposits

PENG Jiantang, FU Yazhou, YUAN Shunda, SHEN Nengping, ZHANG Dongliang

*State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institution of Geochemistry,  
Chinese Academy of Sciences, Guizhou, Guiyang, 550002*

### Abstract

Both Sm and Nd are similar in ionic radius and in chemical properties, the daughter  $^{143}\text{Nd}$  decayed by the parent  $^{147}\text{Sm}$  through  $\alpha$ -process can occupy the same site in mineral lattice as its parent, thus Sm-Nd isotope systematics is easily be closed and can resist later alteration and weathering. However, Sm-Nd chronometer has predominately been applied in Precambrian geochronological studies in the past, few similar applications have been carried out on hydrothermal mineralization, and the dated objectives are mainly restricted in meteorite, lunar rocks, ancient ultrabasic and basic rocks, and Precambrian metamorphic or sedimentary rocks. Some researches in recent years indicate that, some hydrothermal Ca-bearing minerals display relatively high REE concentrations and obvious Sm/Nd fractionation, and show great potentials in precisely dating various hydrothermal mineralization. Sm-Nd isotope dating studies on fluorite, scheelite, calcite and tourmaline are summarized in this paper, and their further application in hydrothermal deposits are expected, which aims to promote the development of Sm-Nd isotope geochronology in China.

**Key words:** Sm-Nd isotope systematics; metallogenic geochronology; Ca-bearing minerals; hydrothermal deposit