

铅同位素地球化学示踪进展^①

何琼^②

(中国地质大学研究生院, 武汉, 430074)

李向阳

(中国地质大学地球化学研究所, 武汉, 430074)

摘 要 本文论述了铅同位素示踪在地质学中的最新应用和发展。由于它在示踪物质来源、圈定找矿靶区、判别构造环境等方面的优势, 是当前最重要的地球化学示踪手段之一和同位素地球化学研究的热点。

关键词 铅(Pb) 同位素, 地球化学示踪, 同位素地球化学

0 引言

在地质研究中常用的铅同位素有²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb 和²⁰⁸Pb, 其中²⁰⁴Pb 的半衰期为 1.4×10^{17} a, 远大于地球形成时年龄(4.6×10^9 a), 因而可以看作是稳定同位素; 其它三种则都是稳定的同位素。在自然界中铅同位素几乎不发生分馏作用, 其组成的变化主要是由于放射性铀、钍衰变反应所引起, 与任何物理、化学条件的变化无关; 另一方面, 通过岩浆演化及分异作用、热液和变质作用以及地表低温风化过程, 均可改变铀/铅和钍/铅比值, 因此, 岩石和矿物中的铅同位素组成及其变化就反映出其各自的地质演化历史, 铅同位素示踪就是采用铅同位素作为示踪剂, 根据区域内有关岩石、矿物的铅同位素组成和它们之间的关系来判断物质来源(陆块内岩石来源、成矿物质来源等), 研究块体性质、块体边界和地体发展变化, 揭示层圈之间的物质交换和化学环境, 探讨矿床成因和矿体区域分布, 具体指导找矿。本文主要从构造学和矿床学两方面对铅同位素示踪方法的应用进行论述。

1 构造学铅同位素示踪

同一陆块中不同岩源的花岗岩其铅同位素组成具有差别, 同一岩浆源区的花岗岩其铅同位素组成则十分相似。例如, 来自地幔和下地壳的花岗岩具有低的放射性成因铅, 而来自上地

① 收稿日期 1998-03-10 审回日期 1998-04-08

② 第一作者简介: 何琼, 女, 1973年11月生, 工学硕士, 管理工程专业。从事灰色系统理论研究, 灰色矿床预测以及数据库系统开发。

壳和造山带的花岗岩常具有较高的放射性成因铅,而来自混合源区的花岗岩其铅同位素特征常介于上述二者之间。这样,就可以根据相同陆块的同步效应和不同层圈之间的变化来示踪层圈之间的演化机制以及花岗岩的源区。对于大陆地壳剖面未暴露的地区,通过前寒武纪中深变质岩和不同岩源侵入岩的铅同位素示踪可以了解地壳深部的物质组成并说明成岩物质来源。大陆地壳和各期花岗岩可以作为铅同位素地球化学示踪的重要媒体。通常,将所研究地质体的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 对 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 作图,与典型地区地幔、造山带、下地壳和上地壳模式演化曲线对比,大致确定该地质体的物质来源。为了消除时间因素影响、突出矿石铅同位素的区域性特征,可采用矿石铅同位素三维空间拓扑图解^[1]。

例如,张宏飞等(1996 在东秦岭商丹构造带研究中发现,晚古生代各碰撞型花岗岩(翠华山岩体、宝鸡岩体、蟒岭岩体等)的长石铅同位素组成特征非常相似,而与北秦岭新元古代—早古生代花岗岩类长石铅同位素相比,则明显贫放射成因铅。低 μ 值。这表明北秦岭自晚古生代后花岗质岩浆源区(μ 值)发生了明显变化。北秦岭晚古生代花岗质岩石铅同位素组成特征与南秦岭晚古生代—早中生代花岗质岩石和由其示踪的该区中、下地壳铅同位素组成特征相一致,反映在晚古生代,南、北秦岭形成花岗质岩浆的源区具有统一的 μ 值,指示南秦岭中、下地壳应为北秦岭晚古生代花岗质岩浆的源区^[2]。经过三维空间拓扑变换,在 V_1 值纬向投影上,不同岩源(层圈)铅同位素 V_1 值呈 Ω 或U形。

对大量地区所做的铅同位素研究表明,同一陆块不同时期、不同成因的岩浆岩、火山岩,其铅同位素具有明显的相似性,即“块体效应”,而处于不同陆块,即使是相同成因的岩浆岩、火山岩其铅同位素组成也完全不同^[3,4,5]。因而,我们可以根据不同陆块铅同位素组成的差异来进行区域地球化学和构造分区。朱炳泉(1993)、张理刚(1995)、张本仁(1996)等根据中生代花岗岩长石铅的同位素数据以扬子板块的壳、幔一致以明显富集放射成因铅区别于华北的壳和幔,将华北和扬子板块划归为两个构造-铅同位素省或板块^[1,4,6]。许继锋等(1996)以北秦岭地区基性岩不同于两侧陆块、独特的高放射成因铅组成特征,反映它们形成时的铅同位素初始比值不同,因而认为北秦岭地区继承了秦岭古洋壳、幔的高放射成因铅,是南北两大古陆的分界(带)^[7]。

2 矿床铅同位素示踪

铅同位素在矿床预测上的示踪作用主要应用在两方面:(1)在区域上圈定大型、超大型矿床的产出位置;(2)在成矿远景区内优选找矿靶区或在某一具体矿床中圈定矿体产出地段。分述如下:

2.1 铅同位素区域找矿

80年代后期的研究表明:(1)地质体的铅同位素组成具有很强的构造块体与区域性特征,并且在特定的构造块体与成矿区、带上,不同类型的矿种与不同的矿床类型具有特定的铅同位素组成^[1,8];(2)具有不同铅同位素组成的块体之间常常存在地球化学场的急变带,它们常是划分地球化学省的边界,这些急变带与大型和超大型矿床的产出位置密切相关,从而可以用铅

同位素省划分来进行化探找矿和预测评价。在不同矿种与不同成因的矿床之间, 矿石铅同位素组成存在着明显差异。例如, 钨-锡矿的铅同位素组成具有钐-铀与铀-铅富集特征, 大型金矿床与金矿带的矿石铅同位素组成比同一地区的其它矿种矿石具有更强的富钐-铀特征, 而以铜为主的多金属矿床常具有贫钐-铀与贫铀-铅特征^[1]。朱炳泉等(1995)通过铅同位素 V_1 值的地球化学填图和等值线处理, 在华南-扬子之间发现了 V_1 值在 50~60 之间的急变带以及在大别地体东南与西南缘 V_1 值在 0~30 的急变带, 标志着扬子-华北板块的地球化学边界, 在华南与扬子块体内部也可看出若干相区分的次级块体^[9]。地球化学急变带的走势与中国南方大部分超大型矿床产出位置密切相关。如: 云南兰坪金顶铅、锌矿床、个旧锡-铜矿床、蒙自白牛厂银矿床、柿竹园钨-锡多金属矿床、德兴-铁沙街-冷水坑铜-金-银-铅-锌矿床等, 它们主要分布在: (1) 急变带等值线分布高密度但又有一定宽度的区域; (2) 急变带的拐弯处; (3) 急变带的两侧 V_1 值所形成大体对称的封闭圈等位置。从而可以确定进一步找矿重点应为这些铅同位素 V_1 值的急变带附近(如中心线、收缩处、转折处、两侧的封闭圈等)。

2.2 铅同位素示踪找矿靶区

铅同位素示踪找矿靶区就是应用铅同位素示踪方法, 先根据已知矿床的铅同位素特征标志建立本区找矿的靶标值, 根据预测区地质情况布置采样, 分析其铅同位素组成, 并与所建立的找矿靶标值进行对比, 接近已知矿区的值即中靶, 根据中靶的几率并参考地质成因因素对中靶区进行找矿评价和优选。这一方法通常可以获得较高的精确度, 例如陈好寿等^[11]在对广东玉水-银矢富铜多金属矿带中玉水式铜矿床与银矢式铅锌矿床的研究中采用 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 特征值作为找矿标志, 把 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.150 \pm 0.150$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1.155 \pm 0.005$ 作为玉水式铜矿的找矿标志(靶标值), 把 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.65 \pm 0.05$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1.19 \pm 0.01$ 作为银矢式铅锌矿的找矿标志(靶标值), 对若干预测区进行铅同位素打靶, 其同位素预测结果与物、化探预测结果一致。

铅同位素示踪也可应用于在某一具体矿床内寻找和圈定矿体位置和矿段。全岩的铅同位素组成可以指示矿体位置, 并与矿体大小和矿石品位关系密切, 铅同位素在矿体部位或其旁侧发生突变, 表明矿体与围岩之间铅来源与演化的差异性, 铅同位素的急剧变化也可能提示深部隐伏矿体的存在。预测区找矿靶标值的选择相当重要。作者在对海南不磨金矿区资料^[12]分析中, 采用灰色关联度分析和滑动滤波的方法, 研究了金矿床与铅、氧等同位素之间的关系。研究发现, 与金成矿关系密切的同位素示踪指标是 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, 而不是原文献所采用的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, 因而应当选用 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 来进行金矿的铅同位素示踪。运用灰色关联滑动滤波进行钻孔金矿体铅同位素示踪, 获得了很高的精确度。

3 铅同位素示踪方法存在的问题与改进

与其它地球化学方法一样, 铅同位素示踪方法的使用具有它的局限性。例如, 根据某一矿床特征所建立的铅同位素找矿模式很可能完全不能适用于另一矿床, 即便它们具有相同时代或者相近(相似)的地理位置, 所建立的某一模式只能解决某一时间、某一地区或某一类矿床的

特征和形成、演化特点与时空关系。同样,在判别构造环境时,也只提供了大尺度的提示而不可能反映较细致的构造分区。因此,要充分注意研究对象的“有限时空”特征和所选样品的代表性。

其次,采用单一的铅同位素体系来示踪复杂的地质、构造与成矿过程将面临不可避免的多解性和模糊性,采用多元同位素联合制约,如用 Pb-Sr-Nd 同位素体系、Pb-S-O-H 多元同位素示踪能够大大增加结论的可靠性。

参考文献

1. 朱炳泉. 矿石 Pb 同位素三维空间拓扑图解用于地球化学省和矿种区划. 地球化学, 1993, (3): 209~ 216
2. 张宏飞, 等. 东秦岭商丹构造带陆壳俯冲碰撞在花岗岩浆源区同位素示踪证据. 中国科学(D 辑), Vol. 26, No. 3: 232~ 236
3. Zhu B Q. Evidence of Isotopic systematics from crust and mantle for chemical heterogeneities of terranes. China Sciences Bulletin, 1991.36: 1279~ 1282
4. 张理刚主编. 东南亚岩石圈地体性质-地幔基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学. 北京: 科学出版社, 1995, 15~ 350
5. 马振东. 长江中下游及邻区区域铅同位素组成背景及其应用. 地质学报, Vol. 70, No. 4: 324~ 334
6. 张本仁, 等. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及其大地构造意义. 中国科学(D), Vol. 26, no. 3: 201~ 208
7. 许继锋, 等. 北秦岭及其邻区基性岩的高放射性成因铅同位素组成的发现及其意义. 科学通报. Vol. 41, No. 19: 1771~ 1774
8. Zhu B Q. Geochemical evidence for The southern China block being a part of Gondwana. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1994, 9: 319~ 324
9. 朱炳泉. 华南-扬子地球化学边界及其对超大型矿床形成的控制. 中国科学(B), Vol. 25, No. 7: 1004~ 1008
10. Gulson B L. Lead Isotopes in Mineral Exploration. 1986, Elsevier Press: 1~ 245
11. 陈好寿. 成矿作用年代学及同位素地球化学. 1994, 地质出版社: 1~ 239
12. 陈好寿. 海南金矿床同位素地球化学示踪研究. 地球学报, Vol. 17, No. 3, 302~ 312

DEVELOPMENT OF GEOLOGICAL TRACING OF LEAD ISOTOPES

He Qiong

(Class 95-1, Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Li Xiangyang

(Institute of Geochemistry, China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Abstract

As an important geological tracing method, lead(Pb) isotopes have their unique advantages to be used in tracing the material origin, sorting the unknown mineral deposits, discriminating the tectonic background etc. The main application and present progress are discussed in details in this paper.

Key words Lead(Pb) isotope, geochemical tracing, Isotopic geochemistry