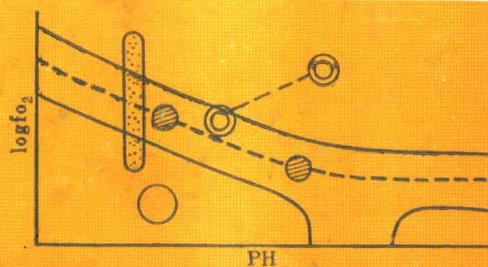
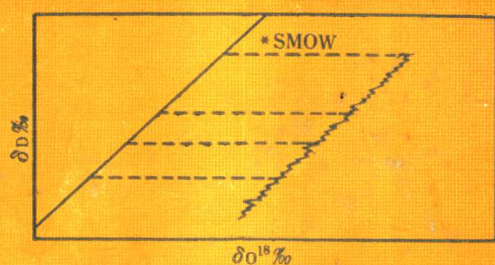


Geological Applicable for the Stable Isotope

稳定同位素 在 地质科学中的 应用

——金属活化热液
成矿作用及找矿

张理刚 著



陕西科学技术出版社



稳定同位素在地质 科学中的应用

-金属活化热液成矿作用及找矿

张理刚 著

陕西科学技术出版社

稳定同位素在地质科学中的应用

张 理 刚 著

责任编辑 何 越

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街 131 号)

陕西省新华书店发行 国营五二三厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.75 插页 4 字数 386,000

1985 年 4 月第 1 版 1985 年 4 月第 1 次印刷

印数 (精) 1—1,120 定价 (精) 5.30 元

(平) 1—5,050 (平) 4.30 元

统一书号: 12202·3

内 容 提 要

本书从介绍稳定同位素（氧、硫、氢、碳等）分馏作用原理和同位素地温计应用入手，用丰富的稳定同位素资料，系统地研究和论述了大气降水（雨水）、海水（大洋水）、混合岩浆水、变质分泌水和原生水等的稳定同位素组成和变化机理，水与岩石交换作用和金属浸出-活化成矿作用等等。此外，通过对我国许多典型矿床的稳定同位素地球化学研究，进一步论证各种成因水的金属活化热液成矿作用。书中还提出了许多有益的找矿评价意见。

本书对从事于野外地质和找矿研究的地质人员尤其有用，而对同位素地质和矿床地质科研人员以及大专院校师生也是很好的参考资料。

The Application of the Stable Isotope to Geology

——**The Hydrothermal Mineralization
of Metal Activation and It's
prospecting**

Zhang Ligang

**(Yichang Institute of Geology and
Mineral Resources, Yichang, Hubei)**

**Shaanxi Science and Technology
Publishing House**

ABSTRACT

This book is divided into eight Chapters including 152 figures. Chapter one and two deal with the fractionation mechanisms of stable isotope (including the isotope of most important elements such as oxygen, hydrogen, Carbon and sulfur) and the application of stable isotope geothermometer. The fractionation mechanisms of various water, such as meteoric water, Ocean water, reequilibrated magmatic water, metamorphic water, mixed or/and complex water, and their related ore-deposits are stated in chapter 3, 4, 5, 6 and 7. Some questions about the hydrothermal mineralization of metal activation have been discussed in chapter 8.

This book may be helpful for geologists working in the fields, geochemists, geologists of ore deposits and students.

序 言

近二十年来,由于生产和科学技术的迅速发展和水平的不断提高,从而促使许多学科发生一系列革命性的变化。与此同时,许多新的学科建立起来了,稳定同位素地球化学便是其中之一。它不仅已作为重要的研究手段广泛应用于岩石学、矿物学、地球化学和矿床学等各个地质领域中,同时,它的本身也得到了迅速的发展和完善。

国内外大量资料表明:稳定同位素地球化学在解决矿床学中的一些重要或基本问题,如成矿有用物质来源、成矿溶液(介质水)来源、成矿的物理化学条件及成矿过程等方面,起着极其重要的、有的甚至是关键性的作用。它有力地促使矿床学的许多理论发生一系列的变革,同时也使一些成矿理论有了扎实的立论基础。

我国稳定同位素地球化学的研究工作的开展虽比一些发达国家为晚,但由于各方面的重视,使得这门学科得到愈来愈广泛和迅速的发展,在解决我国实际问题上取得一系列的重要成果。张理刚同志所著的《稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿》一书就是反映这些成果的代表之一。

纵观全书可以认为:著者根据大量的实际资料,确定了成矿溶液的多成因、多来源和多类型,这方面问题是研究现代成矿理论的重要基础之一。书中以较丰富的资料,提供了我国东部地区中生代大气降水的氢、氧同位素组成变化规律。这些资料对我国科研和国民经济都是有一定意义的。著者从这些资料中得出我国东部中生代海岸线要比现代为远的推论,这已逐步为我国东海、南海的近海油田钻探资料所证实。

此外,著者根据氢、氧同位素定量数据,提出并划分了我国中生代大气降水成矿作用类型、生成条件以及找矿和矿床评价等问题。

当前,在国际地球化学研究领域,水与岩石交换作用的研究已成为重要的课题之一,国内在这方面的研究还很薄弱,著者通过对莲花山、银坑等矿床氧同位素的研究,探讨了这方面的问题,并取得了一定成果。

成矿元素在交代作用过程中的活化转移方面的问题,著者用氢、氧同位素资料得到进一步的证实,并提出了再平衡混合岩浆水成矿的观点。

总之,著者在大量实际的同位素资料基础上,提出了许多有意义的和可供进一步探讨的观点。

由于客观条件的限制,著者虽作了长期和多方面的努力,在某些方面仍不免有一定的局限性。如确定我国现代和中生代的大气降水等值线尚嫌粗略;同时,与地质条件和矿床实际的结合方面也有欠缺;在金属成矿物质的浸出、搬运等活化转移问题与实验资料的结合上也较少,但这并不妨碍作者从稳定同位素地球化学角度来系统地论述他的观点。因此这一著作仍是一本内容新颖、资料丰富、观点明确、立论扎实和有价值的新的

著。同位素地球化学在矿床学中的应用，对我国来说，还是薄弱的。因此，本书的出版必将推动和促进这方面研究工作的进一步开展。

徐克勤
张社远
孙 霖
胡受英 83.6.17

前 言

六十年代,尤其是七十年代以来,地质科学同其它科学一样,正以全方位、加速度的方式向前发展着。特别是同位素地质、数学地质、遥感地质等新兴边缘学科,在“上天”、“入地”、“下海”等多领域中的结合与运用,更加速了地质科学新理论的建立和发展,推动了资源的开发和利用。

随着近代科学技术的迅速发展,人们对物质世界的认识也在不断地深化。就地球化学领域来说,它已由研究元素在时间和空间上的迁移、分配、分散及富集等问题,扩展到研究元素的同位素在自然界的变化机理和分配问题。因此,同位素地质学就成为地质科学更高的一个发展阶段。这和人们对物质世界的认识一样,每当人们接触到物质的一个新的层次,就会出现认识上新的飞跃,发现一系列新的规律,并利用这些认识和规律,更有效地改造物质世界,为人类进步服务。正由于如此,稳定同位素地球化学作为同位素地质学中的一门最年轻的分支学科,一旦应用到地质学领域,尤其是热液成矿作用中,它便有着极为广阔和潜在的发展远景。热液成矿作用中稳定同位素行为的研究,不仅可以帮助人们了解成矿的物理化学条件、成矿物质的来源和成矿作用的过程,而且促使人们自觉地、更有效地开展寻找和评价矿床的工作。

本书之所以定名为《稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿》,是基于书中的主要内容是应用稳定同位素地球化学知识,来探讨和研究地质学中的有关问题,特别是热液成矿作用的一系列理论和实际找矿问题。为了系统完整地介绍及便于读者阅读与研究,在第一、二章中较系统地概述了氢、氧、硫、碳等稳定同位素的一些基本概念、分馏作用机理以及地质应用的最基本原理和方法。第三、四、五、六、七章中则较系统地论述和研究大气降水(雨水)、海水(大洋水)、再平衡混合岩浆水、变质分泌水和复合-混合水的概念,同位素组成和变化机理,水与岩石交换作用和金属浸出-活化转移成矿作用等。书中介绍了我国许多不同类型矿床的稳定同位素研究实例,并对这些矿床的成矿物质及其成矿介质水的来源;成矿模式及其找矿评价问题等进行了探讨。作者通过对我国华南地区中生代花岗岩类岩石成因及其成矿作用的稳定同位素研究后,提出了新的分类方案和再平衡混合岩浆水成矿作用概念。对我国现代和中生代大气降水中氢、氧同位素组成变化规律和成矿作用等等问题进行了探讨。同时,对国外典型矿床的稳定同位素研究成果也作了适当介绍。不过由于篇幅关系,典型矿床例子尽可能地减少对地质资料的描述和堆积,而着重介绍稳定同位素的组成、变化及论证。最后,第八章中就金属活化热液成矿作用和找矿评价的有关问题做了综述。

本书撰写过程中,得到我国著名的矿床学、岩石学和地球化学家徐克勤、张祖还、孙肅、胡受奚教授等的关怀和鼓励,并认真审查和共同讨论有关问题。

另外，在成书过程中，曾引用了我国一些单位，如北京大学地质学系、中国科学院地球化学研究所、中国科学技术大学地球和行星科学系等有关同位素实验室的部分资料。本单位有关领导以及我的同事叶伯丹副研究员和张自超、陈好寿、韩友科、钱雅倩、庄龙池工程师等给予支持或部分合作，郭英顺、瞿平等同志一起参加部分野外地质调查和实验室分析工作。兄弟单位邱纯一副研究员、张仲录、刘荣漠工程师等帮助做了质谱分析。许多野外地质队及科研单位的有关同志提供了大量样品。陕西省地质矿产局综合研究队张生春工程师审阅了部分章节、郭素云工程师精心绘制所有图件。对以上同志，在此表示衷心的感谢。

为了使书稿简洁起见，对未公开发表的资料，书中仅标出作者姓名及年代或采样者姓名；对于从其它文献资料中转引的资料，书中也仅标出作者姓名和年代，它们均未列入书后参考文献或作脚注处理。对此作者深表歉意。书后仅列出主要参考文献。

作者期望本书对于大专院校有关专业的师生，尤其是对从事野外地质研究和找矿的地质人员有所裨益。也希望对在研究工作中使用稳定同位素地球化学方法的地质科学研究工作者，能够提供有益地参考。

由于作者水平有限，书中缺点错误难免，敬请有关专家、同行和读者，不吝多多赐教。

张理刚

一九八三年五月于宜昌

目 录

绪 论	(1)
第一节 热液矿床成因研究的历史回顾	(1)
第二节 近年国内外的新进展	(3)
第一章 稳定同位素地球化学基础	(7)
第一节 基本概念及术语	(7)
第二节 标准	(9)
第三节 氧、氢、硫和碳同位素性质	(10)
一、氧同位素性质	(10)
二、氢同位素性质	(14)
三、硫同位素性质	(16)
四、碳同位素性质	(21)
第二章 稳定同位素地温计及其地质应用	(23)
第一节 稳定同位素地温计	(23)
一、氧同位素地温计	(24)
二、硫同位素地温计	(31)
三、氢同位素地温计	(36)
四、碳同位素地温计	(40)
五、稳定同位素平衡交换的判别问题	(42)
第二节 热液体系的稳定同位素组成测定	(45)
一、介质水的成因类型	(46)
二、热液体系的稳定同位素组成测定	(46)
第三章 大气降水热液成矿作用稳定同位素地球化学	(54)
第一节 大气降水的稳定同位素组成	(54)
一、大气降水中氢、氧同位素组成	(54)
二、大气降水中 D 和 O^{18} 之间关系	(59)
三、年平均大气降水的同位素组成	(61)
第二节 大气降水热液成矿作用机理	(63)
一、大气降水与岩石间的相互作用	(63)
二、大气降水热液成矿作用	(68)
第三节 大气降水热液矿床稳定同位素组成	(68)

一、沉积(变质)岩源大气降水热液矿床类	(69)
二、岩浆岩源大气降水热液矿床类	(83)
三、现代大气降水地热水和含矿热卤水	(107)
第四节 大气降水热液矿床一般特征及其找矿	(115)
一、大气降水热液矿床一般特征	(116)
二、大气降水热液矿床的找矿	(120)
第四章 海水热液成矿作用稳定同位素地球化学	(121)
第一节 海水的成分和稳定同位素组成	(121)
一、海水的氢、氧同位素组成	(121)
二、海水的硫、碳同位素组成	(124)
三、海水的铍同位素组成	(125)
第二节 海水热液成矿作用机理	(126)
一、海水与岩石间的相互作用	(126)
二、海底海水热液成矿作用	(128)
第三节 海水热液矿床稳定同位素组成	(129)
一、海底沉积(变质)岩源海水热液矿床类	(129)
二、海底岩浆岩源海水热液矿床类	(138)
三、海水含矿热卤水和地热水	(148)
第四节 海水热液矿床一般特征及其找矿	(151)
第五章 再平衡混合岩浆水热液成矿作用稳定同位素地球化学	(152)
第一节 岩浆水的同位素组成及其成矿作用	(152)
一、初生水、“原始岩浆水”和“正常岩浆水”	(152)
二、初始混合岩浆水及成矿作用	(153)
第二节 再平衡混合岩浆水热液成矿作用机理	(163)
一、再平衡混合岩浆水的同位素组成	(163)
二、再平衡混合岩浆水中金属组分的来源	(165)
三、再平衡混合岩浆水热液成矿作用	(166)
第三节 钨、锡系列花岗岩源再平衡岩浆水热液矿床类	(167)
一、大脉状钨-锡矿床类型	(167)
二、细脉、网脉状钨(钼)矿床类型	(174)
第四节 金-铜系列花岗岩源再平衡岩浆水热液矿床类	(178)
一、大脉状铅锌矿床类型	(179)
二、网脉-细脉浸染状多金属矿床类型	(181)
三、接触交代型多金属矿床类型	(182)
第五节 再平衡岩浆水热液矿床一般特征及其找矿	(185)

第六章 变质分泌水热液成矿作用稳定同位素地球化学	(187)
第一节 变质分泌水的同位素组成	(187)
一、变质温度.....	(187)
二、变质水和变质分泌水 (流体) 稳定同位素组成.....	(190)
第二节 变质分泌水热液成矿作用机理	(190)
一、变质分泌水热液的含矿性.....	(190)
二、变质分泌水热液成矿作用.....	(191)
第三节 变质分泌水热液矿床稳定同位素组成	(192)
一、就地变质分泌水热液矿床类.....	(192)
二、异地变质分泌水热液矿床类.....	(197)
第四节 变质平衡水矿床	(199)
第五节 变质 (分泌) 水热液矿床一般特征及其找矿	(201)
 第七章 复合水—混合水热液成矿作用稳定同位素地球化学	(202)
第一节 复合水热液矿床类	(202)
一、单源复合水热液矿床	(202)
二、多源复合水热液矿床	(221)
第二节 混合水热液矿床类	(226)
一、密西西比谷型铅锌矿床	(227)
二、wilber 泉和 sulphur Bank 汞矿床	(230)
第三节 混合水—复合水热液矿床类	(230)
第四节 复合水及混合水热液矿床一般特征及其找矿	(234)
 第八章 金属活化热液成矿作用综述和结论	(235)
第一节 成矿 (介质水) 热液的同位素组成	(235)
第二节 成矿 (介质水) 热液的性质	(236)
一、温度	(236)
二、酸碱度和氧逸度的变化.....	(237)
三、盐度	(237)
第三节 成矿 (介质水) 热液的“热源”问题	(238)
一、地热增温.....	(238)
二、岩浆热能.....	(238)
第四节 成矿金属的浸出和搬运	(242)
第五节 水/岩石同位素平衡交换作用	(244)
第六节 金属活化热液成矿作用的环境分析和找矿	(246)
一、大陆壳浅部环境	(246)
二、海洋、海湾等海底环境	(247)
三、再平衡岩浆水热液成矿	(248)

四、找矿勘探及评价	(248)
结论	(249)
主要参考文献	(251)

Contents

Introduction	(1)
Chapter 1 Stable Isotope Geochemistry Fundament	(7)
1.1 Terms	(7)
1.2 Standards.....	(9)
1.3 Isotopic Properties of Selected Elements	(10)
Chapter 2 Stable Isotope Geothermometer and	
Application	(23)
2.1 Stable Isotope Geothermometers	(23)
2.2 Determination of Stable Isotope Composition for Mineralization Hydrothermal	(45)
Chapter 3 Stable Isotope Geochemistry of Meteoricwater-	
Hydrothermal Mineralization	(54)
3.1 Stable Isotope Compositions of Meteoric waters	(54)
3.2 Mineralization Mechanisms of Meteoricwater-Hydrothermal	(63)
3.3 Stable Isotope Compositions of Meteoricwater-Hydrothermal Ore Deposits.....	(68)
3.4 General Characteristics of Meteoricwater-Hydrothermal Ore Deposits and Prospecting.....	(115)
Chapter 4 Stable Isotope Geochemistry of Oceanwater-	
Hydrothermal Mineralization	(121)
4.1 Stable Isotope Compositions of Ocean-water	(121)
4.2 Mineralization Mechanisms of Oceanwater-Hydrothermal	(126)
4.3 Stable Isotope Compositions of Oceanwater-Hydrothermal Ore Deposits.....	(129)
4.4 General Characteristics of Oceanwater- Hydrothermal Ore Deposits and Prospecting	(151)
Chapter 5 Stable Isotope Geochemistry of Re-equilibrated	
Magmatic-Hydrothermal Mineralization	(152)
5.1 Stable Isotope Compositions of Magmatic water	

and Mineralization Questions	(152)
5.2 Mineralization Mechanisms of Re-equilibrated Magmatic-Hydrothermal	(163)
5.3 Stable Isotope Compositions of Re-equilibrated Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits for W-Sn Series Granitoids	(167)
5.4 Stable Isotope Compositions of Re-equilibrated Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits for Au-Cu Series Granitoids.....	(178)
5.5 General Characteristics of Re-equilibrated Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits and Prospecting	(185)
Chapter 6 Stable Isotope Geochemistry of Metamorphic- Hydrothermal Mineralization	(187)
6.1 Stable Isotope Compositions of Metamorphic-water	(187)
6.2 Metamorphic-Hydrothermal Mineralization Mechanisms	(190)
6.3 Stable Isotope Compositions of Metamorphic Segregation Ore Deposits	(192)
6.4 Stable Isotope Compositions of Metamorphic Re-crystallization Ore Deposits	(199)
6.5 General Characteristics of Metamorphic Segregation Ore Deposits and Propecting	(201)
Chapter 7 Stable Isotope Geochemistry of Complex and Mix-Hydrothermal Mineralization	(202)
7.1 Stable Isotope Compositions of Complex-Hydrothermal Ore Deposits.....	(202)
7.2 Stable Isotope Compositions of Mix-Hydrothermal Ore Deposits.....	(226)
7.3 Stable Isotope Compositions of Complex and Mix- Hydrothermal Ore Deposits	(230)
7.4 General Characteristics of Complex and Mix-Hydrothermal Ore Deposits and Prospecting.....	(234)
Chapter 8 Hydrothermal Mineralization Mechanism of Metal Activation and Conclusion	(235)

8•1	Stable Isotope Compositions of Hydrothermal	(235)
8•2	Character of Hydrothermal.....	(236)
8•3	Thermal Source	(238)
8•4	Separation and Transport of Ore-Metals	(242)
8•5	Isotopic Interchange of water/Rocks.....	(244)
8•6	Circumstance of Hydrothermal Mineralization and Prospecting.....	(246)
	Conclusion.....	(249)
	References	(251)