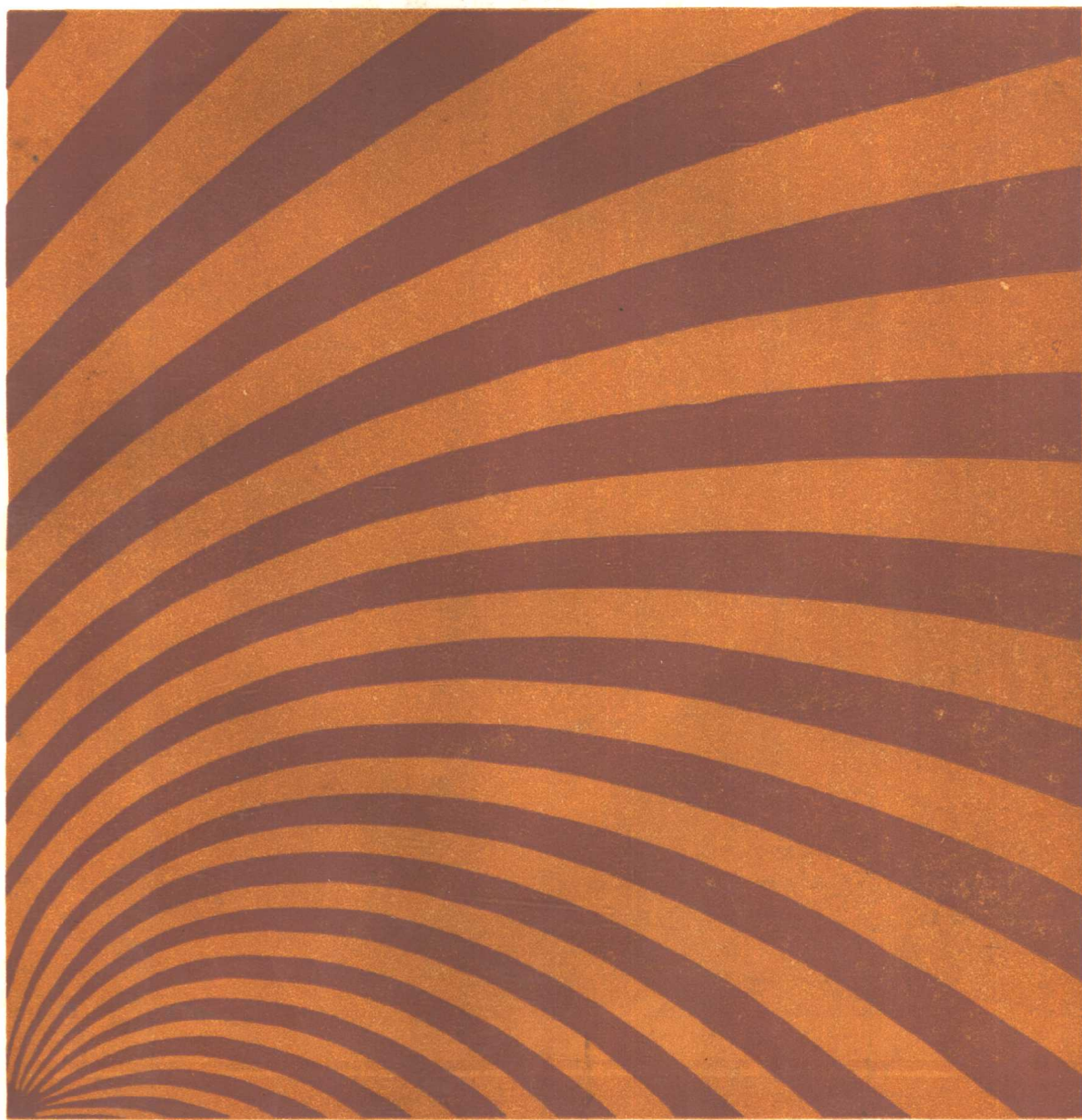


论热液成矿条件

曾庆丰 著



科学出版社

内 容 简 介

本书提出“构造矿床学”的概念，把它作为介于矿床学和构造地质学之间的一门边缘学科，目的是把内因和外因结合起来研究成矿机制和规律。本书从这一观点出发，论述了热液成矿的物质条件和构造条件。这在国内是初次尝试。

本书在构造矿床学、热液成矿多元论、矿液运移、矿田构造应变史、矿田构造发展规律性、脉体充填的力学机制、多期构造与成矿叠加性、同期构造与成矿脉动性、矿田构造的岩组分析以及构造与成矿的关系等方面都有较详细的论述。

本书对从事矿床及矿田构造研究的科研、教学 and 实际工作的同志有参考价值。

论热液成矿条件

曹庆丰 著

责任编辑 衣晓云

地质出版社 出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1986年2月第一版 开本：787×1092 1/16

1986年2月第一次印刷 印张：18 1/4 插页：4

印数：0001—1,300 字数：411,000

统一书号：13031·3065

本社书号：4603·13—14

定价：4.60元

序

长时期以来,对热液矿床的理解,局限于岩浆期后热液矿床,二者是同意语。大量的非岩浆热液矿床,尽管无疑是热的成矿溶液形成的,由于这种偏见而被视作非热液矿床。

由于传统的束缚,多年来所讨论的热液成矿条件也主要指岩浆期后热液矿床。现在是时候了,应当恢复热液矿床的全部面貌,即包括岩浆热液矿床和众多的非岩浆热液矿床。

本书作者对热液持广义见解。即除岩浆热液外,还包括地下水热液、变质热液、混合岩化热液、叠加热液等。这种见解比较符合实际地质情况。书中论述了各种不同热液形成的矿床特征、成因、物质来源等问题,并概括为“五多性”。提出了热液成矿多元论的观点。一般说来,矿床的多成因性是普遍存在的,作者对此作了强调,是从实际出发的。继而,作者剖析了矿液运移问题,从不同角度探讨了这一个在矿床学上费解的问题。总的说来,作者在这个问题上的态度是客观而严谨的,所用的都是实际资料,讨论也符合实际情况。

本书的侧重点是成矿构造条件的分析,即矿田构造的分析。作者长期从事本项工作,已逐渐形成一套完整的学术思想与工作方法。作者把矿田分为同生与叠生两大类,这是一种新看法。作者指出,矿田构造的形成主要是地壳水平运动的结果。而脉体的充填主要是在构造拉伸条件下、即地壳垂直运动中形成的。这种把矿田构造的生成和充填与不同地壳运动方式相联系的作法,在地质界中是新颖的。作者总结了矿田构造发展的规律性,把它上升到理论高度。书中引用了岩组分析方法,这在国内尚属首创。

本书第三部分讨论了构造与成矿的关系问题。作者首先着眼区域构造与成矿规律的分析。之后,深入地阐述了各种不同的控矿构造。特别值得一提的是作者把构造的多期性与成矿多期性密切结合起来,这种尝试在国内外尚不多见。

总之,本书的基本指导思想是把矿床学与构造地质学结合起来,从成矿的内在因素与外部条件两个方面,阐明矿产的形成机制及赋存条件,即作者所提出的“构造矿床学”。本书全面地处理了各种热液矿床及其构造控制问题。在我国,作这样的尝试还是第一次。

本书作者是有为的中年学者。多年来带病坚持工作。在与疾病作斗争的条件下写出这数十万字的著作,还有其他许多文章。确实是斗志坚强,难能可贵。

愿以此短序祝贺本书的出版。

涂光炽

1983.11.16

作者的话

过去一提起热液矿床，很自然就想到是指岩浆成因的内生矿床。这种概念可以说是根深蒂固的，但是它是很不全面的，远不能概括所有成因的热液成矿作用。

固体矿床基本上可分为三大类：内生矿床类、外生矿床类和复生矿床类。后者包括了两种或多种地质作用所形成的矿床。近代所兴起的层控矿床，虽然各家说法不一，但把它归入复生矿床一类较为合适，因为层控矿床都经过同生沉积和后期改造两大成矿过程，所以它们既具有沉积矿床的特点，又有热液矿床的特征，这样就打破了内生和外生的严格界线。

顾名思义，热液是指高于常温的含矿热水溶液，这种热液决非只有岩浆单一来源，在其他一些地质过程中同样可以产生。因此，原来岩浆单一成因学说，是不能全面地解释各种热液成矿的因果关系，更不能包括所有热液成矿的内容。基于上述，我们把热液矿床按成因分为（1）岩浆热液的、（2）古地下水热液改造再造的、（3）变质或混合岩化的、（4）气液叠加的等四种基本类型，当然还有（5）复合热液矿床。把它们等同并列起来、“平起平坐”。由此可见，热液矿床的类型是多种类的，形成模式是多成因的，成矿物质是多来源的，成矿过程是多期次的，成矿构造也是多类型的，即热液矿床具有“五多性”的特征。根据热液的多源性和成矿的“五多性”特征，我们提出热液成矿多元论的观点。

矿产的形成，正如地壳上任何地质现象一样，都是构造运动的产物。矿产作为独特的地质体取决于两个因素，其一是物质因素，其二是成矿的构造条件，这两个因素相互配合，相辅相成，二者必须同时存在，才能成矿。

正如物质条件一样，构造因素是成矿的先决条件之一。构造运动导致沉积成岩成矿发生，它导致岩浆及成矿物质由深部带到地壳上部，为矿质的运移提供了通道和沉淀场所；构造运动促使变质成岩成矿作用的发生；它引起成矿物质的活化、转移和再沉淀，也可引起破坏作用等等。

由上可见，研究矿床的形成，只从矿床本身的内因去工作是不够的，当然也不要单纯地只谈控矿构造问题。因为只强调某一方面而不能顾及全面，未免就产生某些局限性和片面性。我们认为，应该把成矿与构造密切结合起来。为了体现出这种观点，我们提出“构造矿床学”这一概念，把它作为构造地质学和矿床地质学相结合的一门边缘学科。其出发点就是从成矿的内在因素和外部条件两个方面去研究矿产的形成机理和赋存规律。本书的用意就是从“构造矿床学”的角度出发，对有关含矿热水溶液成矿作用的内因和外部条件作一肤浅的分析。“构造矿床学”还是一颗弱小的幼芽，但可以认为，这条路子是对头的，方向是正确的，因此，今后当朝这个方向作进一步工作，以期逐步发展和完善。

中国科学院地质研究所领导和第二研究室给以作者多方面的关怀和支持，创造了各

种有利条件，使工作得以顺利进行。

作者的良师、中国科学院地学部主任涂光炽教授审阅了全部书稿并为本书写了序言；学部委员尹赞勋、叶连俊、袁见齐、杨遵仪、王鸿楨等教授以及孙枢、朱上庆、刘梦庚、翟裕生教授和易善锋、苏明迪、叶大年、钟大赟、杨柏林、钟嘉猷、欧阳选、蔡书第等同志从各方面给作者以支持和帮助；工作中承蒙很多单位的支持，他们提供了很多资料，包括珍贵的图件和分析数据；所内各实验室提供了诸多测试数据；陈爱华、李凤仙同志清绘和加工了大部分图件，使本书提高了出版质量。作者在此对他们一并表示深深的感谢。

由于作者水平有限，工作做得不够，缺点错误在所难免，书中对一些问题阐述尚欠深入，对构造与成矿的关系结合不够紧密，模拟实验工作不多，等等。作者怀着至诚的心情，等待着专家和同行们的批评指教。

曾庆丰

1982.11.24. 北京

目 录

序

作者的话

第一篇 热液成矿的物质条件

第一章 热液矿床分类及成矿物质来源问题	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 分类.....	(5)
第三节 岩浆热液矿床.....	(7)
第四节 再造热液矿床.....	(21)
第五节 变质和混合岩化热液矿床.....	(30)
第六节 叠加热液矿床.....	(36)
第七节 层控热液矿床基本特征.....	(40)
第八节 热液成矿多元论.....	(44)
第二章 热液中成矿物质的搬运和沉淀	(46)
第一节 成矿物质的搬运形式.....	(46)
第二节 矿液运移的动力和通道.....	(49)
第三节 矿液中成矿物质的沉淀.....	(53)
第三章 矿液流向的研究	(57)
第一节 概述.....	(57)
第二节 方法.....	(57)
第三节 结束语.....	(73)

第二篇 成矿的构造基础——矿田构造

第一章 矿田构造的分期	(76)
第一节 矿田的分类.....	(76)
第二节 矿田构造的分期和分阶段.....	(77)
第三节 成矿作用的脉动性、矿化阶段的划分.....	(78)
第四节 成矿构造的脉动性.....	(80)
第二章 矿田构造的形成	(88)
第一节 褶皱-断裂的形成和空间形变特征.....	(88)
第二节 共轭角问题.....	(93)

第三节 力学分析.....	(97)
第四节 有限单元分析.....	(102)
第三章 矿田构造的鉴别.....	(108)
第一节 宏观标志和显微构造.....	(108)
第二节 矿田构造的岩组分析.....	(115)
第四章 脉体充填的力学机制.....	(137)
第一节 绪言.....	(137)
第二节 岩脉和部分小岩体的侵入充填.....	(137)
第三节 矿脉的充填.....	(139)
第四节 力学分析.....	(149)
第五章 矿田构造应变史.....	(152)
第六章 矿田构造发展规律性.....	(166)

第三篇 构造与成矿

第一章 大地构造与成矿规律.....	(173)
第一节 各种大地构造学派简述.....	(173)
第二节 实例初析.....	(182)
第二章 控矿构造.....	(193)
第一节 概述.....	(193)
第二节 断裂构造的控矿作用.....	(194)
第三节 矿脉雁列特征.....	(200)
第四节 支矿脉空间排列的规律性.....	(211)
第五节 褶皱构造对成矿的控制作用.....	(220)
第六节 地层岩性及原生构造对成矿的影响.....	(230)
第七节 火成岩构造对成矿的控制作用.....	(234)
第八节 构造的等距性与成岩成矿的等距性.....	(243)
第九节 复合构造控矿.....	(245)
第十节 控矿构造的趋势面分析.....	(247)
第三章 构造(多期)叠加与成矿(多期)叠加.....	(253)
第一节 概念.....	(253)
第二节 实例分析.....	(254)
第三节 结语.....	(264)
第四章 我国矿床及矿田构造研究状况和设想.....	(265)
第一节 矿床学.....	(265)
第二节 矿田构造学.....	(267)
第三节 构造矿床学.....	(271)
参考文献.....	(274)

CONDITIONS FOR HYDROTHERMAL MINERALIZATION

Zeng Qingfeng

CONTENTS

Part One: Material Condition for Hydrothermal Mineralization

I	Classification of Hydrothermal Ore Deposits and Sources of Mineral-forming Materials	(1)
	1 General Outline.....	(1)
	2 Classification.....	(5)
	3 Magmatic-Hydrothermal Deposits.....	(7)
	4 Reconstructed Hydrothermal Deposits	(21)
	5 Metamorphic - Hydrothermal Deposits.....	(30)
	6 Superimposed Hydrothermal Deposits	(36)
	7 Main Characteristics of Strata-bounded Hydrothermal Deposits.....	(40)
	8 Polygenesis of Hydrothermal Deposits.....	(44)
II	Transportation and Precipitation of Ore-forming Materials in Hydrothermal Liquids.....	(46)
	1 Transportation Form of Ore-forming Materials.....	(46)
	2 Driving Forces and Conduits for Migration of Ore-bearing Liquids	(49)
	3 Precipitation of Ore-forming Materials from Ore-bearing Liquids.....	(53)
III	Studies of Flow Direction of Ore-bearing Liquids	(57)
	1 General Outline	(57)
	2 Methods	(57)
	3 Conclusions	(73)

Part Two: Tectonic Foundation of Mineralization

—Ore Field Structures

I	Periods of Ore Field Structures.....	(76)
---	--------------------------------------	--------

1	Classification of Ore Fields	(76)
2	Periods and Stages of Ore Field Structures.....	(77)
3	Pulsation of Mineralizations and Division of Stages of Mineralizations.....	(78)
4	Pulsation of Mineralogenic Structures.....	(80)
II	Formation of Ore Field Structures.....	(88)
1	Formation of Fold-Fault Systems and Characteristics of Deformation in Space.....	(88)
2	Problem of Conjugate Angles.....	(93)
3	Mechanical Analysis.....	(97)
4	Finite Element Analysis.....	(102)
III	Discrimination of Ore Field Structures.....	(108)
1	Macroscopic Features and Microstructures.....	(108)
2	Petrofabric Analysis of Ore Field Structures	(115)
IV	Mechanism of Filling of Veins	(137)
1	Introduction.....	(137)
2	Intrusion and Filling of Dykes and Some Small Magmatic Bodies	(137)
3	Filling of Ore-veins	(139)
4	Mechanical Analysis	(149)
V	Strain History of Development of Ore Field Structures.....	(152)
VI	Main Characteristics of Development of Ore Field Structures	(166)

Part Three, Tectonics and Metallization

I	Geotectonics and Metallogenic Regularities.....	(173)
1	Brief Account of Various Geotectonic Theories	(173)
2	Case Analysis.....	(182)
II	Ore-controlling Structural	(193)
1	General Outline.....	(193)
2	Ore-controlling of Fault Structures	(194)
3	Characteristics of En-echelon Veins.....	(200)
4	Regularities of Spatial Distribution of Branching Veins.....	(211)
5	Controlling of Fold Structures on Mineralization.....	(220)
6	Effects of Strato-lithologic Features and Primary Structures on Mineralization	(230)
7	Controlling of Igneous-intrusive Structures on Mineralization	(234)

8	Equidistance of Structures, Petrogenesis and Mineralization	(243)
9	Ore-Controlling Complex Structural	(245)
10	Trend Surface Analysis of Ore-controlled Structures.....	(247)
III	Tectonic (multiphase) Superimposition and Metallogenetic (multiphase) Superimposition.....	(253)
1	Conceptions.....	(253)
2	Case Analysis	(254)
3	Conclusions.....	(264)
IV	Research Status and Considerations on Ore Deposits and Ore Field Structures.....	(265)
1	Metallogeny.....	(265)
2	Tectonics of Ore Fields.....	(267)
3	Tectonic Metallogeny	(271)
	References	(274)

第一篇 热液成矿的物质条件

第一章 热液矿床分类及成矿物质来源问题

第一节 概述

矿床是地壳中有用组分在一定的地质作用下富集形成的。成矿的物质来源是矿床学中一个基本问题, 长期来, 它一直是地质学家争论的课题之一。

回顾半个世纪前, N.L. 鲍文提出原始岩浆为玄武岩浆, 并通过它的分异作用而产生基性→中性→酸性各种岩浆。这种假说当时广泛地为岩石学和矿床学者所接受。基于玄武岩浆演化公式和成矿母岩的概念, 对于与侵入岩有空间关系的金属矿床, 往往认为侵入岩就是成矿母岩, 是成矿物质的唯一来源, 而成矿母岩的成矿物质, 又都来自深部岩浆源。对于与侵入岩无明显空间关系的金属矿床, 则常假定其深部隐伏着一个成矿母岩侵入体。热液成矿作用被认为是岩浆中冷凝过程中分馏出来的气体和含矿溶液, 在岩浆期后高于地表常温而低于岩浆温度条件下, 成矿物质沉淀富集而形成矿床。成矿物质的逐步沉淀主要是由于温度的逐步降低, 因而依据由高温到低温热液的次序和距岩浆岩的远近提出了热液矿床的分类和分带。这种学说以W. 林格仑 (1935)、P. 尼格里和B. 艾孟斯 (1893—1925) 等为代表。后来, 苏联学者C. C. 斯米尔诺夫 (1947)、A. Г. 别捷赫金 (1955)、П. М. 塔塔林诺夫 (1955) 和B. И. 斯米尔诺夫 (1976) 等作了一些修正, 但仍离不开岩浆热液的观点。

岩浆分异成矿的单一成因论和物质来源的单元论, 在近代矿床学中统治了很长时间, 直至现在也还有相当大的影响, 从而对同一矿种的多种成因类型、同一地区的矿床组合, 往往孤立地看待, 而没有追索它们之间的联系, 对复杂成因的矿床, 也人为地只用岩浆学说来解释。研究表明, 鲍文所设想的由玄武岩浆结晶分异而形成的花岗岩类岩浆不可能存在。对那些低温远成矿床, 区域内并没有与成矿有关的岩浆活动。因此, 人们对岩浆决定一切的观点开始怀疑。三十年代H. 史奈德洪 (1932) 所提出的侧分泌成矿假说, 是热液成矿理论的重大转折。

看来, 成矿单元论存在很大的局限性, 它束缚了人们的思想, 阻碍了生产的发展, 使找矿工作和成矿预测达不到预期结果。

六十年代以来, 由于新学科的引进, 新技术、新方法的采用, 矿床学有了长足的进展, 特别是地球化学、地球物理、物理化学、海洋地质、同位素地质、矿物包裹体的研究, 以及成矿模拟实验的开展, 为研究热液成矿作用提供了重要依据, 表明热液有不同来源, 除岩浆结晶分异作用所析出的热液外, 还存在地下水环流热液和变质热液, 甚至同一矿床的成矿热液也可以有两种或两种以上的来源。与侵入体有时空联系的矿床, 成矿物质在很大程度上与岩浆有关, 但也并非唯一源于深部岩浆源, 因为成矿物质可能随岩浆侵入过程中从周围岩石中带入一部分, 然后, 在适当的条件下, 再从岩浆或其残余

溶液中析出和富集，有的矿床表面上与侵入岩有空间关系，但同位素年龄证明岩体晚于成矿时间，在这种情况下，成矿物质显然不可能是来自侵入岩浆，那些远离侵入体的矿床，通常不能证实下部有隐伏侵入体的存在，相反，有很多证据表明成矿物质来自围岩。现在矿床工作者对层控矿床开展了大量工作。过去被认为是岩浆期后远成低温热液矿床，现在看来并非与岩浆有关，它大多属于沉积再造矿床，即早期准备了成矿物质基础，形成矿源层，后期经构造和热水溶液作用的改造而富集成矿，成矿物质主要来源于地表岩石。此外，有些被看成是成矿母岩的花岗岩，不一定是岩浆成因的，而是花岗岩化的产物，因此，成矿物质不是来自深部岩浆源，可能来自被花岗岩化的原来岩石。

由此，单一的岩浆热液矿床的概念已经解体。热液矿床是多成因的，成矿物质是多来源的。

成矿物质的来源大致可分为四种：

1. 成矿物质来自硅镁层上地幔，矿质是上地幔分熔作用的产物，沿岩石圈断裂进入地壳上部地带而成矿，如与基性-超基性岩有关的Cu-Ni、Cr、Pt、V-Ti磁铁矿等正岩浆矿床，环太平洋斑岩Cu矿带也可能部分与此有关。 δS^{34} 值为-1.0—+0.6‰、 $\delta O^{18} + 5$ —18‰、 Sr^{87}/Sr^{86} 0.703—0.712，它们都十分接近陨石同位素组成特征。

2. 成矿物质来自地壳硅铝层岩浆，主要与花岗闪长岩及花岗岩类等中酸性岩浆有关，当围岩的外压力小于富含挥发物的残余流体所膨胀的压力，成矿组分自岩浆中分馏出来形成成矿热液，如与岩基岩有关、空、地球化学和成因紧密关系的伟晶岩矿床、砂卡岩矿床、岩浆期后热液矿床等是，而且一定成分的岩浆岩具有一定的成矿专属性（花岗岩类与W、Sn矿床、闪长-安山岩类与Fe、Cu矿床）。硫同位素与地壳岩石圈组成的总趋势一致，接近于陨石硫型。砂卡岩矿床 δS^{34} 在-5.1—+7.9‰之间，多为-5—+5‰。一部分岩浆热液矿床 δS^{34} 18—0‰，具塔形分布特征，但偏离0值稍远。

3. 成矿物质来自地壳硅铝层上部围岩，如热液在循环过程中，溶解吸取围岩组分，地下水从蒸发岩获得盐分变成卤水，具有很强溶解力而使Cu、Pb、Zn、U、Hg、Sb等活化转移，变质或混合岩化作用使成矿物质从围岩或矿源层中释放出来。上述成矿物质经过迁移再沉淀形成不同种类的热液矿床，它们的矿质来源基本上是就近取材。一部分岩浆（包括火山-次火山）热液矿床及大多数再造和变质热液矿床的硫同位素组成变化较大，不大集中，与深部岩基硫源有明显差别。

4. 成矿物质来自地表岩石，如沉积矿床、风化矿床。硫同位素变化大，弥散度宽，呈脉冲式分布。

对于一个具体矿床的物质来源往往也不是单一的，可以同时来自几种途径、是多源的。

下面简单地叙述一下同位素地质在矿床学研究中的应用问题。近代对S、H、O、C、Sr等同位素分析积累了大量的资料，尤以S同位素的工作最为集中。S在自然界中有四种同位素，据豪克纳马拉和索德（1961）的分析，它们的丰度为 S^{32} 95.02%、 S^{34} 4.21%、 S^{33} 0.75%、 S^{36} 0.02%。一般测定 S^{32}/S^{34} 比值的变化，结果用 δS^{34} ‰来表示。不同地点、不同地质体中同位素丰度是不同的，而且是可变的。现在世界通用的S同位素标准为CDT，即美国亚利桑那州迪亚布洛谷陨石中的陨硫铁为标准，其 S^{32}/S^{34} 比值为

22.20%， δS^{34} 接近于0。通常以陨石的 S^{32}/S^{34} 作为地球S同位素原始比值，用它来与其他地质体相比较，假若上地幔的S同位素未经分异，则其 δS^{34} 值应与陨石相同或只有 ± 0.1 到 $\pm 1\%$ 的变化，所以成矿物质来自上地幔时，且未因物理化学条件的变化而明显分馏，则硫化物中 δS^{34} 绝对数值极小（一般在0.5‰）、变化范围狭窄（不超过0.3‰）、其总S的同位素组成 δS^{34} 值在0值附近，与陨石S的特征十分相近。若发生明显分馏，则硫化物中 δS^{34} 就发生变化，但总S的同位素组成基本不变。地壳中比陨石略富于 S^{34} ，H.G.Thode (1961) 等把地壳平均 δS^{34} 值定为+3.6‰，它略高于陨石的 δS^{34} 值。

与岩浆有关的热液矿床总的来说，其 δS^{34} 值接近陨石或地壳平均值，变化在 $\pm 5\%$ ，一般不超过 $\pm 10\%$ ，具塔式效应。以矿床S同位素组成特征推测其成矿物质来源于地壳深部或上地幔，与深部岩浆活动有关。至于有围岩物质的混染及其他地质因素的影响，则 δS^{34} 变化范围较大，若混染了海水硫酸盐的S，那么这种S源的同位素组成就明显变重，其总S的 δS^{34} 值往往是一个比较大的正值；如果混染了细菌成因硫化物的S，则这种S源的同位素组成比地幔S轻，即 δS^{34} 值小于0。

沉积（包括生物作用）成因硫化物的S同位素组成特征，一般是弥散度宽阔，且波动很大，具脉冲型分布特点，其 δS^{34} 值变化范围可达 $\pm 50\%$ ，而且往往富于轻同位素 S^{32} ，故 δS^{34} 常表现为负值。据W.V.Ault和J.L.Kulp (1959、1960) 的估计，这种硫化物的 δS^{34} 平均值为-12.5‰。这是由于在生物（细菌）参与下，引起S同位素的剧烈分馏。在细菌还原硫酸盐所形成的硫化氢中，富集轻同位素 S^{32} ，而残留的硫酸盐中则相对富集了重同位素 S^{34} 。如生物成因的硫化物中 δS^{34} 为-6.9‰，而与其共生的硫酸盐的 δS^{34} 可达+34.0‰。

海成原生硫酸盐和蒸发岩以富 S^{34} 为特征，其 δS^{34} 要富集10—30‰的重同位素。前者的S同位素相当固定， δS^{34} 大致在+18—+22‰之间，可以把+20‰作为其代表值。至于次生硫酸盐S同位素组成变化很大，它在很大程度上取决于原生矿物的同位素特征。蒸发岩的S同位素组成有一定的变化范围，其 δS^{34} 在+5—+35‰。

B.И.斯米尔诺夫 (1968) 把 $S^{32}/S^{34} > 22.30$ 划为生物S区，而 < 22.15 为硫酸盐S区。R.L.Stanton (1972) 认为“若整个矿床 S^{32}/S^{34} 比值是高度均一的，或其系统变化与矿物的生成序列相一致，则可假定这是无机深成成矿的，如 S^{32}/S^{34} 的变化范围宽广，或其变化与地层顺序相吻合，则可认为这是有机沉积成因的”。沉积-再造层控矿床和变质层控矿床的形成过程是长期而复杂的，成矿物质也是多来源的，一般 δS^{34} 变化范围较大，可正可负，反映了再生S同位素特征。

我们综合了H.G.Thode (1961) 及有关资料，把S同位素在自然界若干地质体中的组成列于图1-1中。

利用S同位素来判别成矿物质来源是一个复杂问题，必须与矿床的地质和地球化学情况相结合，才能得出比较切合实际的结论。上述S同位素组成是在正常状态下的一般特征，然而影响S同位素的因素很多，据大本的意见，在热液条件下，控制S同位素变异的因素有(1)矿液中全S的同位素、(2)温度、(3)氧逸度、(4)溶液的pH值、(5)离子浓度。他用下述公式表示：

$$\delta_1^{34} = f(\delta_{2S}^{34}, T, f_{O_2}, pH, I)$$

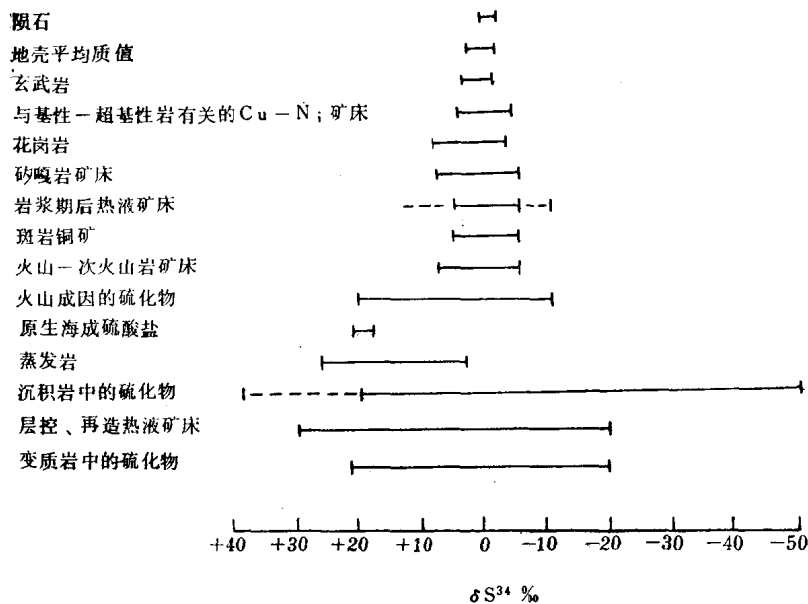


图1-1 S同位素在自然界的分配
(据H.G.Thode及有关资料编制)

溶液的状态,对S同位素成分会产生影响,据估计,在250℃以下,氧逸度增加一个对数单位或pH值增加一个单位,含硫化物的 δS^{34} 减少约200‰。同样,富S溶液中沉积的硫矿物 δS^{34} 值变动范围一般大于从贫S溶液中沉积的含硫矿物。据此,可推测与磁铁矿、赤铁矿或硫酸盐呈平衡沉积的硫化物矿物,它的S同位素可能与溶液的S同位素成分有极其明显的差异,因而 δS^{34} 也可能接近于0‰,但这并不反映S是岩浆来源的。

Pb同位素在解决矿床成因和矿质来源上也有重大意义。首先可以区分成矿与围岩的时代关系,同时,Pb的不同同位素组成提供区别火成成因和沉积成因的物理标志。Pb在自然界有四个同位素,即 Pb^{204} 、 Pb^{206} 、 Pb^{207} 、 Pb^{208} 。 Pb^{204} 是非放射成因的,其他三个是U和Th衰变的,且随地球演变时间越来越多。如在矿床中测得的年龄值和围岩(岩浆岩或沉积岩)基本一致,这种情况是正常Pb或是单阶段演化Pb,没有受到外界另一来源的U-Th-Pb体系的干扰。正常Pb源于地壳深部或上地幔,并与火成活动紧密相关。在成矿时,方铅矿由岩浆热液中析出,其中Pb就保持着成矿时岩浆中Pb的那种同位素成分,因为在方铅矿中U和Th的含量是微不足道的。所以方铅矿的Pb同位素成分可以不变地保持至今。异常Pb是在成矿时接受了外界另一来源或多来源的U-Th-Pb体系的干扰和物质的加入,表明Pb来源的复杂性。这种Pb显然并非完全来自地壳深部。如沉积再造矿床中具有不同程度的异常Pb,计算成矿年龄有时出现负值,说明Pb除部分沉积来源外,还有一部分可能来自围岩或基底岩石。

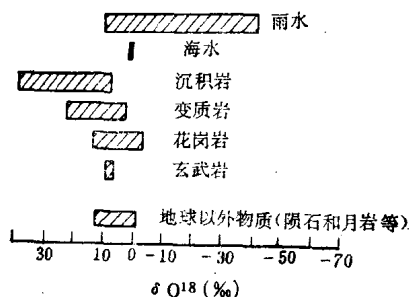


图1-2 氧同位素在自然界的分配
(综合材料)

其他元素如O、H、Sr、C等的同位素测定(图1-2)资料不如前述者多。这些工作将有很大的发

展。利用各种同位素综合分析，有可能更科学地揭开成矿物质来源之迷。

第二节 分 类

关于矿床分类问题，一直都沿用内生、外生、变质三大类，非此即彼，界线分明。事实上，自然界的事物是既有个性，又有共性；既有矛盾（特殊性），又有统一；彼此有联系，又可互为转化。内生成矿和外生成矿并不是绝对对立的，很多矿床具有多种成因，如层控矿床既非典型的热液矿床，又非典型的沉积矿床，但却又包括了两者的某些特征，二者兼备，这就打破了内生和外生的严格界线。类似的情况，彼彼皆是，所以一些复杂成因的矿床，就不能简单地划入上述某类之中了。由此看来，机械地把它分开，不能反映客观事物发展的内容，在理论上束缚了人们对自然界的认识，同时也在实践上也局限了人们的思路。

涂光炽¹⁾针对单一成因分类原则而提出把矿床成因分为两类：

1. 基本上单一成因的矿床：①内生的；②外生的。

2. 多成因的矿床：①叠加的；②再造的。

这个分类反映了事物的复杂发展过程，但不够简明扼要，同时未把变质矿床明确列进去。

我们舍弃了把变质矿床作为内生、外生、变质三大类中独立一类的原则，在前人分类基础上，取长补短，提出把固体矿床分为三大类：

1. 内生矿床类；

2. 外生矿床类；

3. 复生矿床类。

第一类指基本上未经改造的内生矿床；第二类指基本上未经改造的外生矿床。上述两类基本上属于单一成因的矿床。第三类则是指那些经历了多次不同成矿作用形成的矿床，属于多成因范畴。这一类又可分为①矿化经古地下热水溶液改造、再造形成的矿床，一般多为外生沉积矿床或矿源层被改造、再造形成的层控矿床。当然，内生矿化也可改造、再造成矿；②矿化经变质和混合岩化作用形成的矿床，主要是外生沉积矿床和矿源层经变质作用而形成的层控矿床。当然，内生矿化同样可遭受变质改造，这时它就已属于复生类，而不是单纯的内生矿床；③矿化经岩浆气液作用的叠加而形成的矿床，这种叠加可以出现在沉积和变质矿床中，也可发生在内生矿床之上。

这个分类很简明，它概括了客观事物的多种作用。把复生类列为单独一大类，这样就把复杂成因的矿床有一个归类。层控矿床分类很混乱，我们认为把它列入复生类较为妥贴，这样，层控矿床在成因分类中就占有一个明确的席位。

关于热液矿床的分类，W. 林格伦等分为高温、中温和低温三类，形成温度由500至100℃之间；П. М. 塔塔林诺夫（1955）按深度、温度和矿石建造进行了分类，极深离地面3公里以上，中深为1.5—3公里，浅深从数百公尺到1.5公里。

研究表明，热液矿床的形成是多成因的、复杂的。成矿物质是多来源的，既可来自

1) 涂光炽，1976，叠加与再造——被忽视了的成矿作用

地壳下部的岩浆源，也可来自地壳上部的围岩。成矿的热水溶液可以与岩浆活动有关，也可与地下水循环增温或变质作用有关，以及不同来源热液的混合。(1)岩浆热液来源于岩浆上升冷却分馏作用，即在岩浆结晶的一定阶段，由于温度压力的降低， H_2O 及其它挥发组分的集中，因而富集形成高温的含矿气水溶液。岩石化学分析表明，花岗岩及火山岩中含水1—5%，甚至8—10%以上。实验证明，水的溶解度随压力增大而变大。当900℃时酸性岩浆在15公里深的压力下，含水可达9.4%。(2)沉积岩、岩浆岩、火山岩在变质作用过程中可以放出初生水、矿物结晶水、孔隙水，尤其是沉积岩含水可达 α -30%以上，它们在地下深处受地热等作用而形成变质热液。它在迁移过程中，从围岩中吸取了成矿元素，并有碱及碱土金属的卤化物、硫酸盐、硼酸盐被溶解于溶液中。(3)地下水热液是与大气降水和地表水有着补给关系的下渗水与沉积岩中水和封存的古海水、深地层水汇合，在地壳深处环流、受地热或深部岩浆热熔体的影响而形成的热水溶液，其温度可达数十度至100多度，火山活动区则达200—300℃。它们在对流过程中，溶解了周围的盐分和金属元素，并且含盐度愈高，溶解金属元素的能力愈强，所以受热的地下水是含矿热液的重要组成部分。(4)很多热水溶液可能是混合成因的。完全根据热液矿床的产物来区分热液来源仍有一定困难。除同位素地质外，M. 西蒙和X. 泰勒(1974)研究了含水热液矿物中氦和氢的比例，发现它们的比值对岩浆水和地表水是有区别的，为解决这一问题提供了一些前景。

考虑到热液的来源和作用，根据我们上述分类的原则，把热液矿床基本上分为四种并列的成因类型(表1-1)，除外，还有复合类型。

表 1-1 热液矿床分类表

大 类	类 型	亚 类
内 生 类	1. 岩浆热液矿床	①与侵入体有关的 ②与火山-次火山有关的
复 生 类	2. 再造热液矿床	①就地再造的 ②易地再造的
	3. 变质和混合岩化热液矿床	①变质的 ②混合岩化的
	4. 叠加热液矿床	①同型叠加的 ②异型叠加的

1. 岩浆热液矿床属内生矿床大类，与侵入岩体和火山-次火山作用有成因上的联系。物质组分复杂，矿石矿物以重金属硫化物、砷化物居多，有部分金属氧化物和含氧盐。脉石矿物普遍存在石英，其次为碳酸盐、硫酸盐和含水硫酸盐。成矿受构造控制十分明显，各种断裂、裂隙常常是矿液运移的良好通道，又是成矿物质沉淀的有利场所。成矿方式以充填和交代为主。围岩普遍发育着各种蚀变现象。该类矿床成矿物质来源主要与地壳深部岩浆有关，部分可来自围岩和海水。S同位素组成 δS^{34} 值可在+18—-5‰之间，变化范围稍大，但仍具塔形分布特征，与陨石型有近似之处，但偏离0值稍远，

且不大集中。

2.再造热液矿床一般是沉积矿床或矿源层经古地下水热液的改造和再造而形成。是典型的层控矿床。物质组分一般较简单，成矿温度也较低，多在100℃上下，围岩蚀变微弱。成矿物质主要来自沉积岩，同位素组成证实了这点。S同位素变化大， δS^{34} 多在+30—-20‰之间，弥散度大，不集中，呈脉冲分布，这种特征显然与深部岩浆来源的S同位素不同，它反映了沉积成因的特点。

再造矿床可细分为两亚类：①就地再造矿床，矿体基本上在矿源层层位之内；②易地再造矿床，矿质搬运较远，由矿源层转移到储矿层位内成矿。

同时，还有岩浆热液矿床和矿化经古地下水热液改造和再造的情况，但这方面常被忽略，应当引起重视。

3.变质和混合岩化热液矿床有内生矿化经变质改造和外生矿化经变质改造两种情况。通常以后者居多，工作也较深入，它属于层控矿床，其成因与区域变质作用有关。氧同位素组成可以区别变质水和地下水。根据变质作用细分为(1)变质热液矿床和(2)混合岩化热液矿床两亚类。

4.叠加热液矿床是后期岩浆气液矿化叠加于老的岩浆热液矿床(矿化)之上，可称为同型叠加亚类；而叠加于沉积或沉积变质矿床(矿化)之上则为异型叠加亚类。

上述三类热液矿床属复生矿床大类。

第三节 岩浆热液矿床

内生类岩浆热液矿床的矿种丰富多采，包括了大部分有色金属矿产(W、Sn、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn及Fe、Ni、Co)、稀有和分散元素矿产(Ga、Ge、In、Cd等)、放射性元素和许多非金属矿产(硫、石棉、重晶石、萤石、水晶、明矾石、冰洲石等)。

该类矿床与岩浆活动有时间上、空间上和成因上的联系，即与硅铝层的中性和酸性岩浆有亲缘关系。矿床产于活动带的中、晚期及稳定区的活化阶段，明显受构造(尤以断裂构造)的制约。当岩浆沿构造带侵入或重熔形成火山岩体并分异出含矿溶液，后者沿裂隙或孔隙进行充填或交代而形成岩浆期后高温、中低温热液矿床。矿体多产于岩体内部、接触带和附近的围岩中。

岩浆热液矿床大体上可分为(1)与侵入岩有关的热液矿床和(2)与火山-次火山岩有关的热液矿床两亚类。

一、与侵入岩有关的热液矿床

(一) 岩浆期后热液矿床

这类矿床主要与花岗岩类岩体有关。关于花岗岩类的形成，众说纷云，有的认为是由岩浆形成的(一般富含B、F等元素)，有的主张是花岗岩化(富含Na、Ca、Mg等的碳酸盐及硫酸盐)或重熔的结果。一般花岗岩化表现在老的岩体，而重熔则是较新岩体的特征。在多期多阶段的岩体中，其演化过程是由老到新、由下到上的发展，而成矿