

中国地质矿产部科学技术司 主办
中国地质矿产信息研究院

当代地质 科学技术进展

1995

中国地质大学出版社

目 录

矿床地质

隐伏热液矿床(体)预测的几个基本问题	赵一鸣	艾永德(1)
生物-有机质-流体成矿系统	殷鸿福	谢树成(9)
大洋固体矿产富钴锰结壳研究进展	潘家华	刘淑琴(16)
与火山成因块状硫化物矿床有关的若干新进展	任有祥	杨宗镜(24)
分形理论在油气勘查中的应用现状		游有志(32)

水文、环境、农业地质

中国同位素水文地质学的主要进展	王东升(40)
古岩溶和深岩溶——岩溶地质及水文地质研究进展	贾疏源等(46)
环境地质:兴起、进展与展望	晏同珍 晏 磊(55)
正在兴起的地质灾害风险评价	张业成 张 梁(64)
农业地球化学的研究进展	朱立新(73)

技术方法

金属矿勘探中瞬变电磁法研究与应用	胡 平(82)
稳定同位素地球化学发展现状	丁悌平(89)
油气地球化学勘探——新领域、新思路、新方法	陈 力(99)
我国油气地球化学勘查技术的拓新	吴学明 吴传芝(109)
科学钻探的成就、现状和发展趋势	张 伟(116)
贯通式潜孔锤反循环钻进技术与应用	殷 琨 蒋荣庆(123)
对接井钻井技术研究进展及其应用前景	周铁芳 向军文(130)
地质实验测试工作的现状和未来	周金生 高梅芳(139)
高温喇曼光谱在地质科学中的应用	刘玉山(146)
化学计量学方法和流动注射新技术在地质样品痕量元素 测试中的应用及进展	姜桂兰等(152)
低品位硫化矿的氧化亚铁硫杆菌湿法冶金 研究现状	汪模辉 罗 霞(160)

矿物超细粉体材料科技进展	刘岫峰 刘 昉(168)
石油天然气地质科学工作站的进展	杨勤勇(175)

基础地质及地质经济

当代地层学研究动态及发展趋势	季 强(182)
陆相层序地层学进展	刘招君等(191)
混沌和分形在沉积盆地模拟应用研究中的进展	薛林福等(198)
沉积物地球化学特征与沉积盆地构造背景分析	顾雪祥(205)
地下深部生物圈的研究现状和前景	许碧燕(213)
造山带沉积地质学研究的若干进展	杜远生等(223)
波浪状镶嵌构造学说的最新进展及展望	吕建辉(230)
高温压下流体/固相反应动力学及对地球各层圈相互作用 的意义	张荣华 胡书敏(237)
地质经济学的新进展	靳秉强等(244)

隐伏热液矿床(体)预测的几个基本问题

赵一鸣 艾永德

(中国地质科学院矿床地质研究所)

摘要 隐伏热液矿床(体)预测最重要的基本问题是:控矿构造、矿床分带和围岩蚀变。现代构造理论的研究正在促使传统成矿学发生重大变革。构造成矿学、构造地球化学、成矿动力学等新兴交叉学科方兴未艾。四维的、动态的成矿构造分析成为现代成矿学的发展方向之一。矿床分带研究有向全球成矿分带和多级综合分带发展的趋势,对垂直分带和侧向分带的研究尤为重视;元素的原生晕分带、同位素成分和流体包裹体变化的分带以及分带机制的研究,正在不断深化。近十年来交代岩研究的一个特点是重视了与前寒武纪矿产有关的交代作用。围岩蚀变与成矿物质活化迁移富集关系、矽卡岩含矿性以及交代岩分带模拟实验的研究也取得不少进展。

主题词 热液矿床 隐伏矿预测 基本问题

热液矿床在固体矿产资源中占有重要位置。它包括矽卡岩矿床、斑岩矿床、云英岩矿床、热液脉状或网脉状矿床和热液-沉积矿床(块状硫化物矿床)等许多重要矿床类型。随着地质找矿工作的深入,地表露头矿大多已被发现。今后找矿工作的主要对象是不同深度的隐伏矿体,找矿难度愈来愈大。因而在对热液矿床评价和预测中,必须加强对隐伏矿预测地质理论的研究,使其进一步深化和完善。长期的实践表明,其中最重要的三个基本问题,即控矿构造、矿床分带和围岩蚀变。本文拟就近几年来国内外对这三个问题研究的新进展作一概要论述。

一、控矿构造

矿床地质学家们一直重视研究成矿空间,认识到不同性质、不同类型的构造单元具有不同的成矿地质背景和成矿构造环境,按不同的方式产生不同类

型、各具特色的矿床。找矿实践和科学研究的资料表明,多尺度构造系统有序地制约着多级次成矿系统,即大地构造单元、区域构造带以及矿田构造、矿床构造直到显微构造均不同程度地控制或影响着成矿省(域)、成矿带、矿田、矿床、矿体和矿石的分布、形态和位态。金属矿床的生成与构造作用关系十分密切,对于具有成矿物质和成矿流体的热液矿床来说,构造对成矿经常起着基本的甚至是主导的作用。

近年来,随着构造地质学的迅速发展,特别是在岩石圈动力学研究的推动下以及大陆构造变形研究不断取得新成果的影响下,现代构造理论向成矿学渗透,逐渐形成动态的成矿观,产生了一些新兴的交叉学科和研究领域,如构造成矿学、构造地球化学、成矿动力学、比较成矿学、非线性成矿学等。它们将进一步推动构造与成矿的紧密结合和迅速发展。

按照控矿构造的规模,可将各类构造划分为大、中、小三级。大型构造因素是构造区和构造系;中型构造包括褶皱、断层和火成岩体构造;小型构造有节理和劈理等。大地构造是最高级别的综合性的控矿构造因素。金属矿床大地构造背景的研究是为国际地学界所瞩目的前沿课题之一。自从板块构造理论问世以来,许多人就试图把它应用到成矿研究中,分析不同类型的金属矿床产出的大地构造背景(A. H. G. Mitchell 等,1987);有人系统地论述了各种类型的板块边界与金属矿床的关系(F. J. Sawkins, 1984);有人根据构造与成矿全球变化的系统对比,提出了超大陆旋回(M. Gurnis 等,1984;J. B. Murphy 等,1991),发现超大陆旋回与金属成矿巨旋回之间具有惊人的一致性(M. E. Barley, 1991;R. Kerrich, 1992)。中小型构造对矿床形成的位置以及在小范围内的分布有直接的控制作用,习惯上,中小型构造是矿田构造学的研究内容。

实际资料表明,许多金属矿床不仅受构造控制,而且与构造具有成生关系,剪切带型金矿床和剥离断层型层状多金属矿床就是典型实例。从构造成矿和矿床的构造成因角度来研究矿床的形成和时空分布规律的学科可称之为构造成矿学。显然,其最大的特色,一是侧重于构造,如大地构造成矿、断层构造成矿、褶皱构造成矿、火成岩体构造成矿等;二是侧重于矿床的构造成因(黄瑞华, 1990)。

现代成矿学区别于传统成矿学的显著特点之一是认识到成矿作用的动态演化过程,由此成矿动力学便应运而生。特定的矿床可看成是在一定的构造演化过程和特定的成矿环境中形成的,因而,四维动态成矿分析是认识成矿规律和成矿机理的有效途径。所谓四维动态成矿分析,是指在研究特定矿床的成矿构造背景的基础上,解析成矿系统所具有的含矿构造类型及其空间配置和组合

规律,重塑成矿演化的构造过程,探索矿床的动力成矿机理,建立其动力成矿模式。简言之,就是对产于特定大地构造背景下的矿床进行系统的空间分析、时间分析和动力学分析(李德威,1994)。

构造地球化学是构造地质学和地球化学之间的一个重要分支学科。国外目前还没有把构造地球化学作为一门独立的学科来研究。我国地质学家十分重视构造地球化学研究。构造地球化学对于研究构造应力场与地球化学场的关系、搞清成矿元素的迁移富集规律具有重要意义。我国已在矿田、矿床构造地球化学和断层构造地球化学研究方面取得一定进展(吴学益,1994)。

二、矿床分带

热液矿床往往具有明显的分带性,表现在化学元素、矿物成分、矿物组合、矿石、近矿交代岩及其结构构造特征等要素在空间上的有序带状分布。它的形成是成矿作用在空间和时间上因地质和物理化学条件的变化所致。自从艾孟斯(1936)提出内生金属矿床的理想分带序列至今已近60年,但对矿床分带的研究一直经久不衰。这说明矿床分带研究在矿床地质学中占有十分重要的位置,对于阐明矿床成因和指导找矿实践亦具有重要理论和实际意义。

随着板块构造的崛起,矿床分带的研究已不限于矿体、矿床和矿田范围,由成矿带扩大到全球,例如,国际地科联世界地质图委员会(CGMW)1988年批准了编制“世界前寒武纪成矿分带图册(WAPML)”的规划。这项工作现由俄罗斯前寒武纪地质和地质年代研究所负责,国外有关学者参加并一同工作,于1995年完成,比例尺为1/10 000 000,并附有较大比例尺的系列补充图件。其目的是对前寒武纪成矿进行全球成矿分析,概括地反映前寒武纪矿产的分布规律。已有综合研究资料表明,在古元古代末期(20~18 Ma),主要含矿构造呈有序的分带分布(Л. В. Рундквист 等,1994)。

为了更好地研究成矿规律和进行隐伏矿的预测,研究成矿区(带)、矿田、矿床、矿体和交代岩等不同级别的分带十分重要。赵一鸣、张德全等(1994)在研究内蒙古东南部铜多金属矿成矿规律和预测时,对多级成矿分带的综合研究进行了初步尝试,取得了较好的找矿效果,不仅阐明了有关成矿区(带)、重要矿床、交代岩等的分带规律,而且还在某些交代矿床的深部找到了新的铜矿体。

对于预测深部的隐伏矿床来说,矿床的垂直分带和侧向分带比水平分带更重要和更有实际意义。索科洛夫(С. В. Соколов, 1990)根据原苏联西北部金矿床的矿物-地球化学分带的研究,指出该矿床存在着明显的垂直分带现象,即石英

-碳酸盐组合及与其相应的元素组合(As、Ag、Cr、Ba)主要发育在矿体之上的层位,金银、银黝铜矿-石英组合(Au、Sb、Pb、Hg、Cu、Zn)主要发育在矿体上部层位,金-毒砂-石英组合(As、Au、W、Mo、Pb)主要分布在矿体中及矿体之下的层位,而金-辉铋矿-石英组合(Au、Bi、Co)则发育在矿体下部层位。根据上述矿物-地球化学垂直分带,估算了具工业意义金矿体的侵蚀面深度,进而证明矿床只受到了轻度的侵蚀。拉法依洛夫维奇(М. С. Рафайлович, 1990)通过研究成矿元素原子和离子的物理化学性质,从理论上划分出某些地球化学组合,建立不同类型金矿床的垂直地球化学分带综合模式。我国江西银山多金属矿床、福建紫金山铜(金)矿床也是根据次火山热液矿床与斑岩矿床的上下分带规律,推断深部有斑岩型矿床存在的。实践证明的这种推断的正确性。

胡受奚等(1992)通过对我国东部几个重要气成-热液矿床分带的研究对比,指出侧向分带对这些矿床具有普遍性,并提出了在活动大陆边缘构造环境中,与板块-板片下行-俯冲机制有关的热液矿床侧向分带的成因模式。

元素的原生晕分带、同位素成分变化分带和成矿温度分带等是矿床分带研究的一个重要组成部分,也是利用地球化学方法寻找隐伏矿的重要理论基础之一。它还能判别矿液流向,确定成矿中心,进而推测矿质来源。吉伯特(I. M. Guibert 等, 1986)修改了艾孟斯的热液矿床分带型式,使其成为12个带的分带序列。格里戈良(С. В. Григорян, 1987)总结了25年来从事各类热液硫化物矿床地球化学分带研究的经验,阐明了从钡(上部)至钨(下部)元素晕的有序分布规律。史密斯(T. J. Smith, 等, 1985)对加拿大苏必利尔省太古宙绿岩系中金矿床的原生地球化学分带的研究表明,这些矿床不仅形成大范围的原生矿化蚀变分带,而且流体包裹体的温度和成分(如 CO_2 含量)变化均与上述矿化蚀变分带相一致。刘崇民等(1993)通过对我国三个地区两类不同的隐伏矿床化探测量的研究,确定了矿床的地球化学分带模式,并计算了分带指数。上述研究成果,对于判断矿床剥蚀深度和预测深部盲矿远景无疑具有重要意义。

关于矿床分带形成的机理,许多学者曾从不同的角度进行过研究,提出了诸如地质-构造成因、脉动说、温度梯度成因、络合物稳定性控制分带序列、元素的活动性(迁移能力)制约分带、元素与配位体(阴离子)亲和力和控制分带和化学动力学与流体动力学形成机制等假说或理论。上述假说或理论为阐明矿床分带机制起到了积极的促进作用。但应该看到,矿床分带的形成是一个复杂的地质和物理化学作用过程,无法概括地用一种模式来解释所有分带现象,即使是目前比较流行的远离平衡态的化学动力学理论,对于矿床分带的解释现还处于探索阶段。

三、围岩蚀变

热液矿床常伴生广泛和强烈的围岩蚀变现象,形成各类交代岩。这些交代岩与矿体常形影相随,有着紧密的时空成因联系。矿体本身往往就是交代作用的产物。因此,研究交代岩的类型、矿物共生组合、化学成分、分带性及其含矿性,不但能揭示矿床形成的物理化学条件和成岩成矿作用机理,而且还可以为预测隐伏矿体提供重要的找矿标志。

最近十年来,交代岩研究的一个特点是重视了对与前寒武纪矿产有关的交代作用的研究。这是因为在前寒武纪杂岩中,世界上一些重要矿产资源的储量猛增,如铁、镍、金、铜、磷灰石、金云母的总储量已占世界首位,还发现了一批规模巨大的新矿床类型,如铜-金-铀矿、镍-铀矿、锰矿和含铁石英岩中的金矿、科马提岩中的镍矿等。这些矿床的形成大多与交代作用有关。但对前寒武纪岩系中广泛发育的交代作用研究则相对较薄弱,因而必须确定进一步普查和预测矿产的交代作用标志。有鉴于此,1987年11月在原苏联的列宁格勒,召开了第六届全苏“交代作用和成矿作用”学术会议,专门就前寒武系的交代作用及其含矿性问题进行了讨论。这次会议主要成果曾分别于1989和1991年以论文集的形式公开出版,内容主要包括以下四个方面:①前寒武系交代岩的地质、岩石和地球化学等一般性问题;②交代类型及其含矿性;③地幔中的交代作用;④交代作用的实验和理论建模研究。

围岩蚀变与成矿物质活化迁移富集关系的研究取得了不少新进展。沈保丰等(1977)和赵一鸣等(1983)分别在研究邯邢地区和大冶地区接触交代铁矿床近矿闪长岩类的钠质交代作用时曾指出,由于钠长石化的结果,使接触带闪长岩岩体中暗色矿物消失、铁质活化迁移,并可能为铁矿体的形成提供重要的物质来源。季克俭等(1989)对德兴铜矿区围岩地球化学和蚀变作用研究后,认为在矿区周围存在一个铜元素的低值场,变火山-沉积碎屑围岩的铜在热液蚀变作用过程中被活化迁移,成为该矿床的重要矿质来源。燕山期花岗闪长斑岩提供了热源,成矿热液所需的水以地表水或雨水为主。克努森(Kuntson等,1992)对南澳大利亚奥林匹克坝等矿床中元古代围岩进行了研究,认为火山岩和次火山岩的热液蚀变作用和金属矿化有密切成因联系。蚀变岩和未蚀变岩石的岩石化学、矿物学和结构特征对比研究结果表明,蚀变岩石中的铜含量明显低于未蚀变围岩(玄武岩类),暗示铜被热液流体带出。因此,该区的铁镁质至中性火山岩和次火山岩可能提供了矿质来源。霍洛彻尔等(Hollocher,1994)也指出美国

亚利桑那州中西部的流纹质火山岩类遭钾交代蚀变时, Mn、Cu、Zn 等金属元素从岩石中萃出, 并在断裂带中富集, 从而构成脉状、似层状锰矿床和贱金属矿床的物质来源。综上所述, 不少地区热液矿床的围岩蚀变有可能提供矿质来源, 并和金属成矿作用有密切成因联系, 成为指示隐伏矿预测的重要标志。

矽卡岩及其含矿性的研究正在不断深化。矽卡岩矿床具有很重要的工业意义, 因为它集中了世界上将近 25% 的富铁矿石、30% 的铅锌矿、50% 的钨矿、100% 的金云母、蛭石和青金石以及相当数量的硼、铜、钴等矿产储量(西尼亚柯夫等, 1983)。但在 70 年代, 对矽卡岩矿床的研究有所忽视。80 年代至 90 年代初, 含矿矽卡岩的研究又逐步被矿床学家们所重视, 相继出版了一些专著和论文集, 如埃诺迪等(Einaudi 等, 1981); 西尼亚柯夫等(В. И. Синяков 等, 1983); 扎里柯夫等(В. А. Жариков 等, 1985); 霍达诺维奇等(П. Ю. Ходанович 等, 1990) 和赵一鸣(1990)等的著作。

由霍达诺维奇等(1990)集体编写的《矽卡岩矿床的交代作用和成矿预测》一书, 总结了多年来原苏联不同地区矽卡岩金属矿床的研究成果和找矿预测经验, 从蚀变岩的基础理论上阐明了指导矽卡岩金属矿床预测和勘查的重要意义。书中还强调应扩大矽卡岩矿床中交代岩的找矿指示作用范畴。赵一鸣等(1990, 1992)对我国矽卡岩矿床和有关交代岩作了较全面深入的研究, 提出了交代系列的新概念和两类新的含矿矽卡岩建造——与铅锌矿化有关的锰(钙)质矽卡岩建造和与 U、Th、稀土元素矿化有关的碱质矽卡岩建造。在交代系列中提出, 把不同含矿交代建造有机地结合起来, 作为一个统一的成岩成矿演化过程中不同阶段的交代产物来考虑, 将有助于全面地进行矿床评价和预测。

近十年来, 含金矽卡岩矿床的勘查和研究成为国际矿床学的前沿和热点之一。对矽卡岩金矿床以往总认为其规模小和数量不多而未被重视, 因而也没有作为独立的矿床类型划分出来。随着找金工作的深入, 在加拿大、美国、澳大利亚和中国陆续发现了一批独立大型矽卡岩金矿床, 从而引起了矿床学家们的极大关注。有关含金矽卡岩的形成地质环境、矿物岩石地球化学评价标志的研究, 是今后需要进一步深入研究的问题。

交代岩和交代岩分带的实验研究近几年来有了不少新的进展。赵斌(1989)对矽卡岩形成的物理化学条件和机制进行了大量实验模拟和有关热力学计算。查拉依斯基(Г. П. Зарайский, 1989)在世界上首次用实验的方法直接模拟了一些重要交代岩的交代分带, 包括石英-长石交代岩、云英岩、次生石英岩、黄铁绢英岩、青磐岩、泥化岩、电英岩、双交代钙矽卡岩和镁矽卡岩以及碱质交代岩等, 研究了它们形成的温度、压力、 CO_2 分压、pH、 $f\text{O}_2$ 、 $f\text{S}$ 和溶液组分的成分、浓度等,

从理论上论证了交代岩分带的序列和形成物理化学条件。

(审稿:戴自希)

主要参考文献

- 胡受奚、陈武、华仁民、庄锦良、汪志芬,1992,气化-热液矿床的侧向分带及其成因机制。矿床地质,第4期,291~300页。
- 季克俭、吴学汉、张国炳,1989,热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律。北京:北京科学技术出版社。
- 李德威,1994,构造动力成矿研究的新进展。地学前缘,第4期,184~190页。
- 吴学益,1994,构造地球化学研究的某些进展。北京:地震出版社。
- 赵一鸣、林文蔚、毕承恩、李大新、蒋崇俊,1990,中国矽卡岩矿床。北京:地质出版社。
- 赵一鸣、林文蔚、张德全等,1992,交代成矿作用及其找矿意义——几个重要含矿交代建造的研究。北京:北京科学技术出版社。
- Barley, M. E., Groves, D. I., 1992, Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. *Geology*, 20: p. 291~294.
- Hollocher, K., Spencer, J. and Ruiz, J., 1994, Composition changes in an ash-flow cooling unit during K-metasomatism, West Central Arizona. *Econ. Geol.*, No. 4, p. 877~888.
- Knutson, J., Donnelly, T. H., Eadington, P. J. and Tonkin, D. G., 1992, Hydrothermal alteration of Middle Proterozoic basalts, Stuart Shelf, South Australia — a possible source for Cu mineralization. *Econ. Geol.*, No. 4, p. 1054~1077.
- Mitchell, A. H. G., Garson, M. S., 1987, Mineral deposits and global setting. London: Academic.
- Зарайский Г. П., 1989, Зональность и условия образования метасоматических пород. Москва, "Наука".
- Рафаилович М. С., 1990, Физико-химические свойства элементов, геохимические ассоциации и вертикальная геохимическая зональность золоторудных месторождений. "Известия АН КазССР, Серия Геологическая", №1, с. 32~40.
- Рундквист Д. В., Отв. Ред., 1991, Метасоматические процессы в докембрийских толщах, Сборник Научных Трудов. Петербург, "Наука", С.-Петербургское отделение.
- Рундквист Д. В., Лалегайский В. Б., И Хильтова В. Я., 1994, Зональность и эволюционные ряды рудоносных структур докембрия. *Геол. Рудн. М-я*, №5, с. 387~399.
- Соколов С. В., 1990, Минерало-геохимическая зональность золоторудного месторождения на Северо-Востоке СССР. *Геол. и Разв.*, №2, с. 78~84.

作者简介 赵一鸣,男,1934年12月生于浙江省余姚县。1959年毕业于原苏联第聂伯彼得罗夫斯克矿业学院地质系。1990年12月—1995年4月任地矿部矿床地质研究所所长,现为研究员、矿床学博士生导师、中国地质学会理事,国际矿床成因协会砂卡岩组副组长。30多年来,主要对我国铁矿床、砂卡岩金属矿床和交代岩岩石学进行了较系统深入的研究。发表论文50余篇,专著5部。代表作有:《闽西南马坑式钙砂卡岩铁矿床》(1983)、《中国砂卡岩矿床》(1990)和《交代成矿作用及其找矿意义》(1992)等。作为第一作者,曾获地矿部科技成果二等奖两项和三等奖两项。1985年被地矿部授予全国地矿系统劳动模范称号。通讯地址:北京百万庄路26号,中国地质科学院矿床地质研究所,邮政编码 100037。

The Basic Problems in Production Buried Hydrothermal Deposits(Bodies)

Zhao Yiming Ai Yongde

(Institute of Mineral Deposits, China Academy of Geological Sciences)

Abstract The most important basic problems in production buried hydrothermal deposits (bodies) include ore-control structures, zoning of deposits and country rock alteration. Research on modern tectonic theories is spurring a significant revolution in traditional metallogeny. New and developing crisscross disciplines such as tectonic metallogeny, tectonic geochemistry and metallogenic dynamics are now in the ascendant. Four-dimensional and dynamic metallotectonics analysis has become one of the developing orientation of modern metallogeny. For zoning of deposits there is a tendency to develop research on global metallogenic zoning and multirank integrated zoning. Special attention is given to research on both vertical and lateral zoning. Researches on zoning and its mechanism of primary mineral halo isotopic composition and fluid inclusion variation are continuously deepening. In the late 10 years, the characteristic of research on metasomatic rocks is to pay great attention to metasomatism associating with Precambrian minerals. More progress has also been made in research on the relationship of country rock alteration with activation, migration and enrichment of ore-forming materials ore-bearing potential of skarn as well as modelling experiments of zoning of metasomatic rocks.

Key words hydrothermal deposits buried deposits production basic problems

生物-有机质-流体成矿系统

殷鸿福 谢树成

(中国地质大学)

摘要 本文提出了以生物-有机质-流体成矿系统为指导思想来研究生物成矿作用,认为生物成矿作用是一个随着其他地质作用的发展而不断发展和演化的过程。介绍了以盆地-山脉构造演化、生物-有机质-流体演化及生物成矿作用演化这三个子系统为本系统的主要研究内容,从而把构造演化与生物成矿作用结合起来研究。简述了有机流体的主要来源。着重探讨了生物成矿作用演化子系统,包括活生物体的作用、有机质的作用及有机流体的作用。从油气矿床和某些金属矿床存在的空间和可能的成因联系上,以及油气矿床的“生、储、盖”和层控矿床的“源、容、盖”组合的相似性角度出发,分析了该成矿系统的客观存在性和一些成矿现象,并简述了各子系统间的相互作用。

主题词 成矿系统 生物成矿作用演化 有机流体 金属矿床 油气矿床

近几年,生物成矿作用研究逐渐受到地学界的重视,许多学者纷纷撰文讨论生物成矿作用研究情况。然而,这一涉及古生物学、生物学、地球化学、矿床学等多学科的前沿研究,突破性工作不多。生物成矿作用研究一方面要依赖于研究手段等“硬件”的改进和提高,例如,傅立叶转换红外光谱仪和共聚焦激光扫描显微镜的引进,大大促进了有机包裹体中各有机组分成矿作用的研究;另一方面更重要的是要依赖于能反映客观实际的思想等“软件”的指导。生物-有机质-流体成矿系统包括盆地-山脉构造演化、生物-有机质-流体演化和生物成矿作用演化三个子系统,它是以发展和联系的观点来研究生物成矿作用的演化,系统地研究从活生物体的成矿作用(如预富集作用)到生物体演化为各种有机质时的有机质成矿作用(如溶解、迁移作用等),再到有机质演化为流体(主要是有机流体)时的有机流体成矿作用(如迁移、富集作用等)。而且,由于该成矿系统把生物成矿作用与盆地-山脉构造演化结合起来,增强了找矿预测的能力。因此,研究生物-有机质-流体成矿系统,不仅能深化成矿作用研究,而且能够指导找矿、预测。

一、生物-有机质-流体成矿系统的研究内容

一个完整的生物-有机质-流体成矿系统的研究,必须涉及三个子系统:盆地-山脉构造演化子系统、生物-有机质-流体演化子系统和生物成矿作用演化子系统。但是,这一涉及许多地质学科和基础学科的系统研究,并不同于三个子系统的孤立研究,它主要着眼于前二个子系统对后一个子系统有影响、起制约作用的方面,并最终为找矿、预测服务。

二、生物-有机质-流体成矿系统的三个子系统

1. 盆地-山脉构造演化子系统

对单独的盆地-山脉构造演化已有很详细的研究,它是一项很复杂的工作。本成矿系统的盆地-山脉构造演化子系统着眼于成矿前和成矿时的一系列古构造研究,包括盆地接受沉积时的隆凹格局及造山过程中的断裂体系发育情况等。这些构造往往影响着各种流体的形成、运移和演化以及地层中成矿元素的丰度和成矿时的古水文地质条件等,对成矿有特别重要的意义。只有在弄清这些古构造的基础上才能真实地对有机流体及其他成矿流体的运移进行计算机模拟。因此,盆地-山脉构造演化子系统是成矿系统不可缺少的部分,它的研究出发点是成矿系统研究服务,研究内容主要涉及那些对生物体、有机质和有机流体成矿作用有影响的方面。

2. 生物-有机质-流体演化子系统

该子系统涉及到的生物主要是菌藻类,目前资料表明,这些生物对形成金属矿床的贡献较大。有机地球化学家已对生物转变成有机质作了深入的研究,这里主要谈及流体,尤其是有机流体。

有机质在各种地质作用下,将发生两极分化,一部分由于热降解而生成 H_2O 、 CO_2 、 N_2 、 H_2S 、 CH_4 及其他气态和液态烃类,另一部分则在热降解的同时缩聚成含碳率更高、分子量更大的产物。前者实际上是有机流体。流体由于具有对地质体的物质和能量实行再分配的功能,所以了解流体的活动早已是地质学中一个重要课题。在以往的研究中,对来自变质反应、岩浆和上地幔等无机流体较为重视。其实,有机流体作为一种特殊的流体也在许多地质过程中起重要作用,一些低温地球化学过程就是在有机流体参与下进行的。

有机流体的来源很多。近代海底和湖底淤泥中的含水量可达 50%~80%，孔隙水中不仅富含有机质(可达 300 mg/L)，而且其中的 100% Zn、80%~100% Cu、50%~100% Fe、40%~80% Ni 及 10%~50% Co 与溶解有机质结合在一起(Nissenbaum 等, 1976)，因此成岩作用挤出的有机流体很可观，而且这种流体还富含金属成矿元素。除了成岩作用以外，某些构造作用、岩浆作用和变质作用或多或少、直接或间接地产生富有机质流体、富 CH_4 或富 CO_2 流体。沉积岩中的有机质在 60~210℃ 时，生成液态烃可占 53.85% (涂光炽等, 1988)。法国中央比利牛斯山韧性剪切带形成过程中，由于水岩反应，在 1m 宽的剪切带上沉淀的硅质所需流体总量达 $9 \times 10^9 \text{ kg H}_2\text{O}$ (Losh, 1989)。近年来，人们认识到受岩浆驱动的热流体体系的化学组成和性质，部分取决于流体源成分，但主要受流体与其流经的岩石相互作用的影响，这种流体流经富碳地层时很容易成为富有机质的流体。当代流体地质研究的重大进展之一是认识到地壳规模流体运移的存在，据证实，流体在北美大陆内部地壳深部的运移距离可达数百乃至上千公里，流体的循环深度可达 10~15 km 或更深。而且在一些深部流体中发现有微生物和烃类。

3. 生物成矿作用演化子系统

生物成矿作用演化子系统是该成矿系统的核心。生物成油的理论已是很完善了，这里主要谈及金属矿床中的生物成矿作用演化。

就活生物体而言，其参与成矿的方式是多样的，它可以通过直接聚集成矿元素而成矿，也可以通过改变环境物化条件的方式，还可以通过新陈代谢作用把元素从一种状态转变成另一种状态而参与成矿。许多生物对一些金属元素都具有惊人的富集能力，富集系数可以从几百到几十万，甚至是几百万以上。金是这方面研究得较多的元素之一，漂浮马尾藻吸收的金可达其细胞干重的 42%。在实验室里，把一种芽孢杆菌放入含金的溶液后，这种细菌就会开始吸附金离子，然后把它还原成原子金并长成晶体(八面体和十二面体)，开始生长时，晶体金在细胞表面形成一层膜，并与细胞结合得很牢，随时间推移，晶体金逐渐长大，随后就会从细胞上脱落下来。南非维特瓦特斯兰德(Witwatersrand)砂砾岩型金铀矿床、阿拉斯加砂金矿、四川白玉孔隆沟砂金矿、四川东北寨和拉尔玛金矿床都存在菌类或藻类的聚金作用。除金以外，许多铁矿、锰矿、铜矿和铅锌矿常与叠层石密切共生，其中的一些矿床就存在生物的这种成矿作用。微生物聚集成矿元素的现象，最直接的观察来自现代洋中脊的热泉喷口附近，在这些地方生活着许多摄取喷口喷出的 Cu、Pb、Zn 等多种金属的细菌。生物在改变环境物化参数上对成矿具有普遍意义，这些参数中对成矿比较重要的是 pH 和 Eh

值。近年来,一些学者特别注意研究生物造成的微环境对成矿的影响,某些生物在氧化条件下能在其附近形成局部的还原环境,这种氧化条件下的局部还原对一些硫化物矿床的形成显得很重要。

生物死亡转变成各种有机质,有机质又能以各种方式参与许多矿床的形成。由于有机质热稳定性低,尽管许多变质程度很高的金属矿床中,有机质含量很低,但有机质在成矿过程中的作用应远比我们所认识的大得多,青海锡铁山铅锌矿床中有机包裹体的发现就说明了这点。事实上,由于任何沉积矿床和部分层控矿床的形成,都包含着成矿元素的供给和聚集两个方面,除火山沉积矿床外,一般都须经过母岩的风化、元素的迁移及聚集成矿诸阶段。而有机质具有胶体特性、还原性、络合性和吸附性等一系列特殊性质,因此,有机质能在成矿元素的活化、迁移和聚集成矿诸方面起重要作用。在成矿元素活化方面,腐殖酸、氨基酸起主要作用,它们具有与金属元素形成高稳定性络合物的官能团,如羧基、羟基、氨基、硫氢基等。有机质参与成矿元素的迁移至少有两种方式:一是以胶体形式;二是以金属-有机络合物形式。有机质在成矿元素最后聚集成矿中也有多方面的作用,有机质本身的吸附作用就能富集许多元素,有机质的还原作用也导致了許多成矿元素沉淀下来聚集成矿。

有机质在一定条件下能转化为有机流体,而有机流体参与成矿的方式也是多样的,事实上,有机质的成矿作用在许多矿床中是通过流体发生的。中国的一些层控铅锌矿床的均一温度为 $130\sim 235^{\circ}\text{C}$,这样的温度很利于低分子有机化合物的生成,并较多地进入成矿流体参与成矿。金属矿床中这些富有机质成矿流体既能活化、迁移成矿元素,也能还原、沉淀成矿元素,即使是同一种流体,在其不同演化阶段可以起不同的甚至是完全相反的作用。比如,在有机成矿流体的温度较低时,有机质主要以富含活泼官能团的有机酸存在,它可以络合金属元素,从而使这些元素活化;随着流体的运移、演化,流体温度升高,有机质发生分解,形成许多还原性气体,它们就能还原许多金属并使之沉淀下来。在现代洋脊热泉喷口附近,一方面是细菌摄取喷口喷出的多种金属,另一方面这些生物使得喷口附近的流体富含还原气体,与海水形成鲜明的对比(Cathles, 1990)。一些由构造岩、粘土矿物和有机质形成的“天然碳吸附系统”与许多金属矿床密切相关,也与有机流体的成矿作用有一定关系,因为这种系统一方面利于成矿流体的运移、汇集,另一方面由于有机质的大量存在又利于成矿流体的不断演变。值得重视的是,富有机质流体还可以形成裂隙,在东海含油砂层中,就发现砂的含油孔隙主要是石英、长石颗粒受成岩期含有机酸的流体溶蚀造成的,有机酸在 $80\sim 120^{\circ}\text{C}$ 对石英等颗粒有巨大的溶蚀作用,有机流体的这种溶蚀作用为成矿

物质提供空间。

由此看来,生物-有机质-流体成矿系统中的生物成矿作用是丰富多彩的,随着成矿系统的演变,就构成了生物成矿作用演化子系统。

三、生物-有机质-流体成矿系统是客观存在的

生物-有机质-流体成矿系统常见于盆地-山脉体系中,反映在油气矿床和某些金属矿床的成因联系上。早在 70 年代初期,人们就已注意到油气矿床和某些金属矿床可能的成因和空间联系,美国、加拿大、阿根廷、苏联、日本以及我国均存在这两类矿床的空间联系现象。这样出现的金属矿床涉及到的矿种有 Hg、Sb、U、Mo、Au、Cu、Pb、Zn 等,而且这些矿床常是大型或特大型的。对于这两类矿床的空间联系问题,一些学者曾作过探讨,一些资料表明,这与生物-有机质-流体成矿系统的作用有一定关系。因为:在原始盆地接受沉积时,一方面沉积了大量生物物质,为油气矿床的形成奠定了基础,另一方面生物及其有机质对金属元素存在预富集作用,又为金属矿床的形成提供物质基础;在成岩过程中,生物转化为有机质及有机热流体,对金属成矿物质有溶解、富集作用;在原始盆地形成山脉,同时在山脉边缘形成新盆地过程中,原始盆地的有机流体向山脉迁移并携带大量成矿物质,对金属元素存在迁移作用,而新盆地又在沉积生物物质,为油气及有机流体的形成、保存创造条件;各种不同流体(如山脉中富含金属元素的流体、新盆地的有机流体等)的汇合或某种流体的不断演化,最终会导致金属矿床的形成,从而表现出油气矿床与金属矿床空间上的相邻。这是一个完整的生物-有机质-流体成矿系统,这个系统中起纽带作用的是流体,尤其是有机流体的运动。

梶原良道(1982)提出 PUMOS(原始未分异的含金属有机沉积物)假说来解释日本黑矿与油气矿床的带状成对分布。他认为形成这两类矿床的成矿物质均来源于沉积在海底的含金属有机沉积物(PUMOS),至于这些沉积物是生成油气矿床还是黑矿则取决以后的构造环境。这种假说在一定程度上与生物-有机质-流体成矿系统相似。PUMOS 的形成就是生物、有机质作用的结果,是成矿系统中的生物-有机质-流体演化子系统的一部分,而最终决定形成哪类矿床的构造环境实际上是成矿系统中的盆地-山脉构造演化子系统,它决定了有机成矿流体的不同演化方向。

油气的“生、储、盖”组合与层控矿床的“源、容、盖”组合的相似性也可以说是本成矿系统中三个子系统相互作用、相互影响的体现。和生油层一样,能作为

这类层控矿床矿源层的主要是些黑色岩系,而且其中的有机质大多是腐泥型的,之所以这样,是因为目前的资料表明,对金属成矿有较大贡献的生物主要是菌藻类生物,所以矿源层和生油层的相似性是在盆地演化过程中,生物、有机质演化及其成矿作用的体现。储油层、盖层和容矿层、盖层的相似性,实际上反映了盆地-山脉构造演化子系统对其他两个子系统(尤其是其中起纽带作用的有机流体)的制约作用。目前,一方面在油田中发现了富含金属(V、Ni、Co、Cr、Cu、U、Pb、Zn、Mo、Ag、Sn、As、Hg、REE等)的卤水,另一方面在许多层控矿床中检测出了含烃类流体,如黔西南的一些金矿床、南京栖霞山铅锌矿床以及一些密西西比河谷型铅锌矿床等,这些成矿流体类似于油田卤水,这种“你中有我,我中有你”的现象正是三个子系统本身的演化及其相互作用形成的。因此,要研究这些层控矿床,就必须涉及生物-有机质-流体成矿系统。

(审稿:戴自希)

主要参考文献

- 涂光炽等,1988,中国层控矿床地球化学(第三卷),265页。北京:科学出版社。
- Cathles, L. M., 1990, Scales and effects of fluid flow in the upper crust. *Science*, Vol. 248, p. 323~329.
- Losh, S., 1989, Fluid-rock interaction in an evolving ductile shear zone and across the brittle-ductile transition, Central Pyrenees, France. *Am. J. Sci.*, Vol. 289, p. 600~648.
- Nissenbaum, A. and Swaint, D. J., 1976. Organic matter-metal interactions in recent sediments; the role of humic substances. *Geochim. Cosmochim. Acta*. Vol. 40, p. 809~816.

作者简介 殷鸿福,1935年3月生,浙江舟山人,北京地质学院研究生毕业,中科院院士。现任国际地层委员会三叠纪分会委员、国际二叠-三叠界线工作委员会主席、国际地质对比规划359项主席、中国古生物学会常务理事、中国地质大学(武汉)地球科学学院院长等职。出版了《南祁连山三叠系》、《古生物地理学》、《华南二叠-三叠系界线地层及动物群》、《秦岭及邻区三叠系》、《扬子区及其周缘东吴-印支期生态地层学》、《东特提斯的二叠-三叠系事件》等主要代表作9部,发表论文67篇,其中外文论著19篇(册)。完成的科研成果获地矿部科技进步奖二等奖五项、国家教委科技进步二等奖一项。论文获地矿部科技进步三等奖四次,湖北省自然科学优秀论文二、三等奖三次。曾获中国古生物学会首届尹赞勋奖、李四光地质科技奖、国家有突出贡献的中青年专家、武汉市科技新秀称号等,并入选伦敦国际名人传记中心的系列