

关于构造—流体—成矿作用研究的几个问题

翟裕生

(中国地质大学,北京,100083)

摘要 在成矿过程中,构造和流体是重要的控矿因素。构造、流体和矿石堆积可以作为一个系统加以研究。按成矿作用的规模,构造—流体—成矿系统有不同的尺度:全球的;区域的;矿田(床)的;微观的。文章分别阐述了矿床的和区域的构造—流体—成矿系统,结合矿床和区域实例讨论了它们的研究目的、内容和方法。具体总结了古老区域流体系统的示踪标志。论文最后讨论了关于古老成矿流体和现代成矿流体、深部成矿流体与浅部成矿流体等的研究任务。

关键词 构造 流体 成矿系统 区域热水系统 古流体 示踪标志

CLC P613, P611

1 成矿过程中构造与流体的关系

成矿作用是成矿物质由分散到富集并形成矿床的过程,受多种地质因素控制,其中,构造和流体起了重要的作用。

在成矿过程中,从构造与流体的相互关系看,构造是控制一定区域中各地质体间耦合关系的主导因素,是驱动流体运移的主要动力。各种构造形迹如断层、裂隙、角砾岩带等为地球内部流体的运移提供通道。构造应力还对岩石的力学、物理性质发生影响,从而影响流体在岩石中的流动状态、速率和水/岩作用过程。多种多样的构造扩容空间还是含矿流体大量停积和沉淀出矿石的场地。这些都显示了在成矿作用过程中,构造对流体的作用和影响。

从另一方面看,流体作为从矿源地汲取并搬运成矿物质的主要媒介,在促使矿质由分散到浓集的过程中,起了极为重要的作用。流体由于其所处地质构造环境不同,而有不同的运动方式。地壳浅表层次的低势能的流体,受重力或热能的驱动,在岩石孔隙和裂隙中作缓慢运动。在此过程中,对流经岩石的力学、物理、化学性质有所改变,从而对作用于这些岩石的构造活动发生影响。处在高压或超高压状态的流体房蕴藏有巨大的内能,一旦其所处环境发生变化,如断层的切入,则引发瞬间的突发式运动,大规模的热流体就可以快速喷流等形式向低压区涌流。在这个过程中,能强烈地破坏其邻近岩石,产生水致断裂、角砾岩带等非应力形成的构造型式。这既显示了流体的强大作用力及其活动轨迹,也使其所在地段的构造复杂

收稿日期:1996-06-12

作者简介:翟裕生,男,1930年生,教授,博士生导师,矿床学专业。

化, 叠加、改造甚至破坏了原有的构造形迹。而区域中应力构造与流体成因构造互相重叠的地带, 常是矿床形成的有利场所。

由上述分析可见, 在整个成矿作用过程中, 构造和流体是相互作用的一对基本控矿因素。构造在总体上或经常状态下对流体的运动起着控制作用; 而在特定的空间、时间条件下, 流体又表现为十分活跃的地球物质, 对构造作用发生物理和化学效应, 其强大的能量可突破构造的束缚和局限, 并产出新的构造型式。构造和流体的相互作用对成矿物质的运移和富集状态起了明显的控制。

由于热液成因矿床在各矿床类型中占有很大的比重, 加强流体成矿作用的研究很有必要, 其中的一个研究方向是将构造、流体、成矿三者结合, 作为一个整体加以全面研讨。这将从更广、更深层次上认识热液矿床的成矿机理和时空分布特征, 从而为找矿工作提供新的思路。本文拟分别讨论不同尺度的构造—流体—成矿作用, 并提出有关研究问题和研究方法的建议。

2 构造—流体—成矿作用的不同尺度和层次

按着成矿地质环境和成矿时空结构的规模和尺度的不同, 构造—流体—成矿作用可大体划分为: 全球尺度的; 成矿带尺度的; 矿田(床)尺度的; 矿石和显微尺度的。不同层次和尺度的构造—流体—成矿作用, 有不同的研究意义和研究方法。

全球性的构造—流体—成矿作用是以地球为研究对象, 它是涉及全球动力学与大陆动力学、地幔对流、板块构造、地幔—地壳相互作用、地球各层圈的流体系统及其耦合关系, 以及岩石圈、水圈、大气圈和生物圈的相互作用等的复杂巨系统。初步研究表明, 地球内部流体对于深部作用过程包括矿床形成有重要的影响。探讨和逐步建立地球内部构造运动、流体系统和成矿系统关系的新的知识体系, 将可能深入地认识全球性成矿域的形成和分布特征, 从而制定新的固体矿产和油气勘查战略与方向。

成矿带的构造—流体—成矿作用属于区域性大尺度的研究内容, 是近20年引起重视的研究课题。它包括在拉张构造体制下洋底热水沉积形成的多金属成矿系统(如裂谷环境中的喷流—沉积型 Pb-Zn-S 系统)、挤压构造体制下的岩浆热液成矿系统(如俯冲带旁侧的花岗岩类 Cu-Au-Mo 系统)和剪切、走滑构造体制下的热液成矿系统(如绿岩带中的剪切带型 Au 成矿系统)等。这种尺度的研究工作对于阐明重点成矿区(带)的成矿作用、区域矿床分布规律, 进行区域成矿预测有实际意义; 同时, 也是区域成矿学的一个基本研究内容。

矿田(床)尺度的构造—流体—成矿作用研究对大比例成矿预测有直接指导作用, 一直受到矿床地质学家的重视。一般是采用矿田构造学、蚀变岩石学、矿物流体包裹体学、矿床水文地球化学、构造地球化学等多学科结合的研究方法^[1]。研究内容包括矿田构造应力场、热液流动系统、构造—热液的幕式活动、成矿阶段划分和蚀变矿化分带以及含矿热液运移路径的追踪等。研究目标之一是建立定量的动态的构造—流体—成矿模式, 以便有效地指导隐伏矿床(体)的找寻。

矿石和微观尺度的构造—流体—成矿作用是通过矿床学、岩组学、显微构造、矿物流体包裹体以及成岩成矿模拟实验等来研究的。显微裂隙和晶体位错中流体及矿化的痕迹是重要研究内容。已有的研究成果表明, 水压致裂作用是生成微裂隙的一种重要机制, 微裂隙

的多次开合与成矿流体不混溶、减压沸腾和Au、Ag等矿质沉淀富集作用有关。由于微裂隙控矿作用与中小尺度断裂控矿具有自相似性^[2],因而,微观尺度的构造—流体—成矿研究对认识整个矿田(床)的成矿机理有实际的参考价值。

以上简要地讨论了不同尺度的构造—流体与成矿,其中全球性尺度研究是宏观探索,正在资料积累和初步解释阶段;显微尺度的研究正日益深入,将能提供关于成矿机制的崭新认识;而矿田尺度的和区域尺度的构造—流体—成矿研究兼顾宏观和微观两方面,是现代成矿学研究的主要内容。在实际研究中,针对研究目的,不同尺度的研究可结合进行,小中见大,大中有小,不宜机械地割裂开来。

3 矿床(田)尺度的构造—流体—成矿研究

在对热液矿床的传统的研究方法中,很早就注意到含矿热液流动方向和流动通道的判别,以认识矿化在空间分布的强弱趋势,并据此追溯深部和侧向上的未知矿体。其常用方法是以矿床地质观测为基础,查明控矿构造的性质和分布,以一定数量的测试和计算资料反映矿石化学组成、温度、压力等参数的梯度变化,来推断矿液的运移方向^[1,3]。以后,则采用较为系统的构造地球化学方法来研究构造活动与成矿组分运移富集的关系。

60年代以来,由于斑岩型矿床和SEDEX型矿床的广泛分布和巨大经济价值,勘查专家和矿床学家对它们作了长期的、大量的研究工作,其成果之一是使人们对含矿流体的复杂来源、类型、组成、性状及在一定环境中的活动机制,有了较完整的认识,建立了斑岩铜矿的热水对流循环系统^[4]和SEDEX等矿床的洋底热水喷气沉积成矿系统^[5]。在这些有关模式中,既反映了深部来源水(岩浆水、地幔排气、深循环的大气降水等)和下渗大气降水的混合作用是矿石沉淀的主要原因,也表达了在构造—矿化的不同发展阶段,流体化学组成及物理化学性质的变化对蚀变和矿化分带的影响。

在斑岩型矿床的控矿因素中,不同方向断裂交汇构成的高渗透性岩石带对形成稳定的热液环境系统起了重要作用^[6];而在SEDEX型矿床形成过程中,盆地中的同沉积断层对上升热液的输导作用^[7],以及盆地中次级凹地热卤水池的存在,是矿床定位的关键因素。

关于流体在一些世界级巨型矿床成矿中的作用,也开始引起学者们的重视。以著名的澳大利亚Olympic Dam铜-铀-金矿床为例,最近,D.W. Haynes等(1995)^[8]提出了解释该矿床成因的一个流体混合模式。根据系统的地质—地球化学研究,他们认为,上升热流体从深部带来大部分的Fe、F、Ba和CO₂,而下降的地下水携带有Cu、U和Au以及大部分硫。它们是在中元古代时,在克拉通边缘火山口环境中活动的,在巨大的浅层角砾杂岩中彼此混合,相互反应而沉淀出磁铁矿、赤铁矿、硫化物和沥青铀矿等矿物组合。该文作者认为,Olympic Dam之所以能形成超巨量的矿石堆积,是由于成矿是发生在火山活动环境的一个可能存在的盐湖之下(或在旁侧)。这样,深源上升的岩浆能提供充分热能,又有源源不断的湖水和与其连通的地下水能搬运大部分的Cu、Au、Ag和S进入成矿系统中,不同来源和性状的流体的反复多次混合,是成矿的重要条件。Haynes等强调指出,形成巨型Olympic Dam矿床并不需要特殊的岩石类型,关键因素是特定条件下大量的不同类型流体的混合成矿作用。这一模式尽管还需要进一步的研究和验证,但足以启发人们去思考,在形成巨型矿床的过程中,流体起了何等重要的作用。

4 区域尺度的构造—流体—成矿研究

区域性构造—流体—成矿研究只是近年来才引起人们的重视。地壳中8~12km深处大量自由孔隙流体的发现(俄、德等国大陆深钻计划的成果),太平洋、大西洋等多处洋底热水沉积(及矿石堆积)的查明,一些大油气田深部存在巨大的超高压流体房,以及山脉—盆地转换系统中含金属流体的区域性运移^[9]等,这一系列的发现开阔了地质学家的眼界;从另一方面看,油气和金属矿产勘查工作的区域展开,也需要新颖的对区域流体成矿作用的系统知识,以更全面地认识区域成矿规律。但是,研究区域性,尤其是古老的区域性构造—流体—成矿是十分复杂的,它涉及的因素很多。很多古老流体当时运移的通道及其遗迹,在后来的地质过程中,已被破坏或改造,要恢复和重建古流体系统,是十分艰难的工作。当前,首先是摸索和逐步建立古代流体(指地壳中流体)运动轨迹的追踪方法。

古老流体(包括热流体)在其运动过程中,尤其是区域性大面积的流动过程中,总会遗留下种种痕迹,这些遗迹的一部分能被保留在岩石中。通过对这些遗迹的查定和追踪,可以或多或少地获得有关流体的组成、性状及其沿途与围岩反应以及运移途径的信息。这些流体示踪的标志有:

(1) 区域交代蚀变带 如白云石化、硅化、钾化以及重晶石化等蚀变带,分布广泛,产状细微,有一定方位,代表着区域性流体沿一定岩层或构造带运动并进行水/岩反应的产物。

(2) 热水沉积岩 在壳内流体的地表排出口附近,经常有热水沉积岩分布。海底热水喷流和沉淀的规模较大,并与上下地层一起被保存下来。例如,南秦岭区泥盆系中的钠长石岩、硅质岩、重晶石岩都有发育,在长数百km的带上分段集中,以层状和角砾岩带状等形式产出^[10]。

(3) 热水角砾岩带 是由热水系统在浅表地区活动引发的构造岩带,有角砾岩、破裂化岩石带等,伴有大面积的蚀变(和矿化痕迹)。例如,宁芜中生代火山岩盆地中广泛分布的蚀变角砾岩(化)带,是一种重要的区域性找矿(Fe、Cu、S)标志。

(4) 火成岩(含伟晶岩)脉带和热液脉带 这些脉体的广泛成群分布,可指示岩浆和较高温热流体的运动趋向,也可反映地史上一定阶段中热事件的发生地带。

(5) 矿物封闭的微裂隙带 流体通过岩石中的细微裂隙时,可在其中沉淀出矿物,将裂隙封闭,保存下来,可以作为追踪流体的标志。例如,S.J.Hay等(1988)^[11]关于苏格兰西北部Lewisian片麻岩系中微裂隙充填物的区域性对比研究,提供了有关20亿年前流体成分、类型及流动通道的若干有用信息。

(6) 矿物流体包裹体地球化学参数的区域性分布和变化趋势 通过在区域的一定岩石中的系统布点采样,测定矿物包裹体中的温度、压力、化学成分和S、O等同位素组成特征,可获得有关区域流体的成分、性质的系统变化趋势,从而获得有关流体运动及水/岩反应的丰富信息。

(7) 含矿构造的分布 含有痕迹矿化的区域构造,如剪切带、裂隙带等的产出特征,也可提供有关含矿流体运动情况的线索。

(8) 矿点、矿化点的区域分布 区域中矿点、矿化点的分布常是有规可寻的,仔细分析属于同一时代同一成矿系统的各矿(化)点间的相互关联,能提供有关控矿构造及含矿流体

动向的有用信息。

除上述外,由于区域性热水蚀变引起的岩石古地磁数据、放射性数据的区域变异,以及区域热异常梯度等,也常能作为构造—流体活动的指示标志。

以上各类判别标志可运用地质、地球物理、地球化学以及遥感技术等多种方法加以追溯,包括宏观的和微观方法的综合运用。现以美国Ozark区域密西西比河谷型矿床的区域性流体运移和沉淀成矿为例(D.L. Leach等, 1993)^[12~13],加以简要说明。

美国中南部Ozark区域产有世界最大的MVT型成矿省,包括阿肯色州北部和密苏里州中、南部的广大区域。在晚石炭世到二叠纪期间,阿肯色州南部的Arkoma和Black Warrior两个盆地南翼因Quachita造山运动而发生构造上隆,导致盆地中流体受地势趋动而发生区域性北移。流体包裹体研究表明,这些含矿流体是温度为80~140℃的热卤水。在它们的作用下,区域中Pennsylvanian岩石显示异常的热成熟度。从Arkoma盆地边缘向北到密苏里中部,流体包裹体的均一温度在系统地降低,近水平方向的热梯度约为0.1℃/km,表明一股缓慢冷却的卤水自Arkoma盆地向北运动,其流速为每年几米。经推算,北美大陆上晚古生代这一巨大区域热水系统作用于约35万km³体积的岩石上,从底砂岩中汲取Pb,从碳酸盐岩中汲取Zn,从而有丰富的矿质来源。而不同矿区中的成矿金属比值、微量元素、岩石蚀变组合等的差异,显示了不同含水层的岩性和不同的沉淀机制。MVT型矿床就是这一区域热水系统的产物。在区域的广阔地段遗留有矿化痕迹,但是工业矿床的就位则主要受含矿流体的透过性(transmissivity)的控制。流体透过性不论在侧向或垂向上的突然改变会导致含矿流体的温度和压力的相应突然变化,从而提供了流体混合或水/岩反应并沉淀矿石的机会。

上面这个例子反映的是浅表层次盆地流体系统的成矿,是以侧向流动为主。此外还有以上升岩浆为主体的构造—岩浆热液—成矿系统,是以垂向流动为主,断裂构造起明显作用。例如,我国东部广泛分布的中生代构造—岩浆(热液)—成矿带及所包含的斑岩型、矽卡岩型、火山热液型矿床。此外,区域韧性剪切带控制的金矿带(小秦岭、胶东北、内蒙乌拉山区等)也是值得重视的区域构造—流体—成矿作用的产物。

5 讨论和建议

(1) 地壳中相当多的矿床是在具备成矿物质和热能的前提下,在构造和流体的共同作用下形成的。为了突出构造和流体在成矿过程中的作用,笔者建议将构造、流体和成矿作为一个自然系统加以研究。所谓构造—流体—成矿系统可理解为:在一定地质时期和一定的地质环境下,受构造作用控制,以流体为媒介和作用剂,成矿物质由分散到浓集成矿床的作用过程和产物构成的整体。这一概念和思路突出了流体在成矿过程中的关键作用,同时,也注意到流体与构造的耦合关系及它们对成矿的综合控制作用与效应。这种综观全局,又突出重点的研究思路将可能促进矿床学的进步与提高。

(2) 构造—流体—成矿系统有不同的层次和尺度,各有不同的研究目的和方法。今后一段时间内,应继续深入研究典型矿床的构造—流体—成矿系统,尤其是深入研究在大型、超大型矿床形成过程中流体的特殊作用。同时,也要加强对区域流体系统及其成矿作用的研究,以便充实和丰富区域成矿学的研究内容,争取在区域成矿预测工作中获得突破性进展。

(3) 构造—流体—成矿系统有古老的和现代的。古老的成矿系统是自前寒武纪到中生代时期形成的, 控制着已知的主要矿产资源的形成和分布, 因此, 应把它们作为主要的研究对象。但由于其经历历史悠久, 原来活动的记录残缺不全, 研究难度很大, 需要采用综合的先进技术和正确的思维方法, 逐步地探索和认识其形成和演变过程。可先从典型的矿田(床)及其外围做起, 再扩展到成矿带范围的研究。我国的中西部地区, 具备研究山—盆转换系统区域流体—成矿的有利条件(如三江地区、右江地区等)^[6], 而东部地区古老地块出露较多, 中生代构造—岩浆—热流体活动也很活跃, 已知的矿床类型多种多样, 各种矿化集中区分布普遍, 因而是研究复杂的古老流体成矿作用的有利地区, 也是研究中生代以来壳—幔岩浆成矿系统的良好基地。

现在正在活动的新的构造—流体—成矿系统, 例如滇西腾冲地区火山环境的现代热泉成矿系统、日本和新西兰等地岛弧带的热流体系统^[4], 都含有丰富的成矿金属, 一些地区正在进行矿石堆积, 甚至构成了规模可观的有用元素矿床。有重点地开展对现代热流体成矿的研究, 一方面可为开发这些现实的或潜在的矿产资源作好技术准备, 一方面也可作为古老流体成矿系统研究的对比和参照系。

(4) 地球的流体系统有深部和浅部之分, 研究工作应统筹兼顾, 相互补充借鉴。10~15 km 以下的岩石圈及软流圈中的流体, 包括地幔排气产生的流体、深熔岩浆和深变质岩系中的变质流体对深部作用过程有显著影响, 是成矿物质在深部循环、活动的主要作用剂, 也是将深部矿质大量地携带到地壳浅部的媒介。有重点地研究深部构造—流体成矿作用, 是地球动力学和地球物质学研究的重要内容。

地壳浅部流体系统(一般在10~15 km 以上)对形成大量的金属矿床和油气藏起到直接的作用, 应投入较多力量和资金加以优先研究, 所取得的成果将能具体用于指导成矿预测, 较易于推广和获得实际效益。

参 考 文 献

- 1 曾庆丰. 论热液成矿条件. 北京: 科学出版社, 1986
- 2 秦长兴, 翟裕生. 矿床学中若干自相似现象及其意义. 矿床地质, 1992, (3): 259~266
- 3 翟裕生, 林新多主编. 矿田构造学. 北京: 地质出版社, 1993
- 4 Lowell J D, Guilbert J M. Lateral and Vertical Alteration Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits. *Economic Geology*, 1970, 65: 373~408
- 5 Hutchinson R W. Massive Base Metal Sulphide Deposits as Guides to Tectonic Evolution. In: D W Strangway, ed. *The Continental Crust and Its Mineral Deposits. Geological Association of Canada Special Paper 20*. 1980, 659~684
- 6 黄方方, 翟裕生. 德兴斑岩铜矿床构造地球化学研究. 第五届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 1993. 111~114
- 7 程小久, 翟裕生. 沉积盆地中同生断层及对层控Pb-Zn(Ba-Cu-Ag)矿床的控制. 现代地质, 1995, 9(3): 343~348
- 8 Haynes D W, Cross K C, Bills R T, et al. Olympic Dam Ore Genesis: A Fluid Mixing Model. *Economic Geology*, 1995, 90: 281~307
- 9 贾跃明. 地球内部流体与成矿. 见: 走向二十一世纪的中国地球科学. 郑州: 河南科学技术出版社, 1995. 189~198
- 10 祁思敬, 李英, 曾章仁, 等. 秦岭热水沉积型铅锌(铜)矿床. 北京: 地质出版社, 1993

- 11 Hay S J, Hall J, Simmons G, et al Sealed microcracks in the Lewisian of NW Scotland : a record of 2 Billion years of fluid circulation. *J of the Geological Society, London*, 1988, 145 : 819~ 830
- 12 Leach D L, Hofstra A, Plumlee G, et al Ore-fluid Migration and the Deposition of Mississippi Valley-Type Deposits in the Ozark Region, U SA. In : Parnell J, ed *Geofluids 93 Extended Abstracts* 1993
- 13 Viets J B, Leach D L. Genetic implications of regional and temporal trends in ore fluid geochemistry of Mississippi Valley-Type deposits in the Ozark Region. *Economic Geology*, 1990, 85 : 842~ 861
- 14 翟裕生. 从29届地质大会看矿床地质学研究的进步. 地质科技情报, 1992, 11(4) : 1~ 7

PROBLEMS IN THE STUDY OF STRUCTURE-FLUID- ORE-FORMING PROCESSES

Zhai Yusheng

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Abstract Structure and ore-fluid are two main controlling factors of ore-forming processes. They may be studied from the view point of "structure-fluid-ore-forming system" so as to combine the key factors as a system for profound understanding the metallogenesis. Based on the different spatial scales of the structure-fluid-ore-forming processes, they may be divided into four levels, namely: of global scale; of regional (metallogenic belt) scale; of orefield scale and of microscopic scale. This paper discusses predominantly the aim, content and approaches of the study on regional and orefield scales of structure-fluid-ore-forming processes respectively. The main trace markers of the paleo-fluid systems movement have been recognized also. Finally, the author presents main topics for the study of ore-fluid systems at present and in the near future.

Key words structure, fluid, ore-forming system, regional hydrothermal system, paleo-fluids, trace marker

(责任编辑 楼亚儿)