

成矿地质流体体系的主要类型^{*}

刘建明 赵善仁 刘 伟 储雪蕾 常 旭

(中国科学院矿物资源探查研究中心 北京 100101)

摘 要 地壳中可划分出五大类不同的成矿地质流体体系: 与大陆地壳中—酸性岩浆热事件有关的热液流体体系; 与海底基性火山活动有关的热液喷流流体体系; 与海相沉积盆地演化有关的盆地流体体系; 与区域变质作用有关(含与大型剪切带有关)的变质流体体系; 与地幔排气过程有关的深部流体体系。简要讨论了每个成矿流体体系的发生、演化、特征和成矿作用。并指出, 成矿地质流体体系的时间—空间演化动力学轨迹实际上就是热液矿床的相继定位以及有关的矿床系列不断被完成的过程, 这也就是我们所要认识的、矿床在时间和空间上的成矿规律。

关键词 地质流体 流体体系 热液成矿

分类号 P611.1

“地质流体”是指存在并活跃于岩石圈中的由 H_2O 、 CO_2 、烃类, 以及卤素、S、N 等挥发组分及其中的溶解组分一同构成的复杂流体相。在当代地球科学家眼里, 流体已经不再只是成矿和变质的辅助因素, 或单纯的地下水和石油天然气, 而是一种把地球内部各系统相互联系在一起的最活跃的媒介和因素, 它使人们能够抓住地球动力学系统中物质和能量传输、循环、分配和再分配这一核心问题, 从而把地球内部各子系统中的各种作用过程联系起来从整体上进行研究和认识, 这就打破了许多传统观念和思维的局限, 为建立新一轮地球科学知识体系提供了崭新的机遇。开展以流体为主线的研究, 乃是当今固体地球科学为了更接近自然真实, 而从静态向动态、从线性向非线性、从封闭体系向开放体系、从平衡过程向非平衡过程、从定性向定量、从结果到过程、从现象描述到机理探讨这一系列重大转变的需要。因为流体是动态的, 它的活动是非线性、非平衡的, 它使岩石圈的各个部位相互开放产生质—能交换, 从而控制着一系列地质地球化学作用过程的发生和发展。地质流体在地球演化过程中的作用可大致归纳为三个方面: 流体自身的流动就是实现物质和能量迁移的直接过程; 通过与固体岩石以及岩浆熔体的化学反应不断改变着它们的化学组成(主、微量元素以及同

* 本文受地矿部行业基金(9513)和国家自然科学基金项目“华北地台北缘某些地质体中流体及其对资源探查作用研究”(项目编号: 49453003)资助。

第一作者简介: 刘建明, 男, 1958 年 9 月出生, 研究员, 主要从事矿床学、矿床地球化学研究。

收稿日期: 1997-05-26; 修改稿: 1997-08-11

位素组成等); 通过与固体岩石以及岩浆熔体的物理作用不断改变着它们的各项物性参数(如力学性质、流变特性、岩浆的粘度等)。

流体体系则是指起源于一定的地质构造环境下、活动于统一的地质作用过程中,受同一地质构造—热—化学—动力条件驱动的流体系统。本文流体体系的概念,打破了传统的岩浆水、地表水、变质水的界限,强调了流体—热—化学—地质构造环境的多元耦合作用,突出了流体和固体岩石之间的有机联系和整体性,将更有利于有关研究的开展。我们对成矿地质流体体系的分类和命名原则有四条: 流体活动的地质—构造背景; 与流体活动耦合的主要地质作用过程; 流体活动的主要成岩成矿效应; 易于理解的通用术语。据此,将地壳中的成矿地质流体体系分为以下五类。

1 与大陆地壳上部中—酸性岩浆热事件有关的热液流体体系

不均匀性是地壳的基本特征之一。深部炽热岩浆的上升使地壳温度分布不均匀,形成许多地热异常区。一般认为浅部地壳内有一个不连续的地下水圈,热力驱动下就会产生水热流体的环(对)流,这实际上是系统自我调节以消除或减小温差、趋向温度平衡的一个最优化过程,乃是地球冷却的重要机制之一。这种热水活动就是地热异常区的主要表现形式,也是地质历史上最常见的热液成矿系统之一。现代大陆地热系统在地表有热泉、喷泉、喷气孔、热淤泥池、热水塘、泥火山、水热爆炸产物(角砾岩)、泉华、热液蚀变等表现形式,并经常伴有浅成热液型金属矿化的发生。研究表明,浅部热水大多源于大气降水,向深部则岩浆热液的活动越来越强。我们通过对现代活动热液成矿系统和古代相应热液矿床的系统总结和广泛对比,把浅部下渗加热环流大气降水成矿体系与深源上升岩浆热液成矿体系联系在一起,提出了一个综合热液成矿系列模式,并运用这一模式讨论了中国东部中生代火山岩区和西藏中生代火山岩区有关热液矿床的成矿规律^[1]。简而言之,深部炽热岩浆的上升在浅部大陆地壳内形成许多地热异常场,表现为下渗大气降水在热力驱动下的加热环流体系,环流热水从流经的围岩淋滤获得成矿组分,并主要生成地表热泉型和浅成热液型矿床;在这一环流热水体系之下尚可能存在一个上升岩浆热液成矿系统,并可能有矽卡岩型矿床以及石英脉型和云英岩型钨锡矿床的形成;而在这两个热液成矿体系的接触混合部位则可能有斑岩型矿床的生成。综合起来,从地表向下可能出现如下的矿化分带: 地表热泉型浅成热液金、汞矿床 脉型浅成热液金银矿床以及铅锌(银)矿床 斑岩型铜、钼矿床 矽卡岩型铜、铁、铅、锌矿床以及钨、锡矿床 石英脉型和云英岩型钨、锡矿床。上述矿化分带也可能表现为以热液为中心的水平分带。当然,由于具体的地质、地球化学条件不同会发生某些带的缺失或位置改变。这一模式对于讨论岩浆热液与下渗加热大气降水热液之间的耦合机制及其有关的成矿系列和成矿规律,具有重要的理论意义。

2 与海底基性火山活动有关的热液喷流流体体系

大量的地球物理测量表明,具高热流量的洋脊内部热流量分布极不均匀。地球物理学家指出,这是下渗冷海水的热对流循环造成的,这种热对流体系在地质历史上普遍存在,是地球冷却的重要机制,其海底露头将构成一个热水喷流区。大洋深潜调查在 70 年代后期相继发现了多处活动的海底热液喷口。据 Rona^[2]的统计,截至 1987 年,全球总长 55 000 km 的扩张中心只有接近 1% 被较为系统地调查过,但已发现的百多处矿化地段几乎包括了地质

历史上已知的所有贱金属块状硫化物矿床类型, 此外还涉及相当一部分铁锰氧化物矿床、以及金矿床和重晶石矿床^[3]。据 Rona^[4] 的统计, 已发现 135 处海底热液喷流区和有关的矿化物覆盖区, 遍及四大洋的各种类型洋中脊、裂谷海、弧后扩张中心、岛弧、大洋板内火山中心。采自洋脊的玄武岩样品都显示一定程度的蚀变变质(低绿片岩相为主), 经研究, 这是下渗海水热对流过程中与玄武岩反应的结果。70 年代初为验证海底扩张假说和探讨海水某些组分收支平衡的控制因素, 玄武岩—海水反应的实验研究应运而生, 并很快发展成目前范围广泛的地球化学动力学模拟。海底活动热液喷口发现后, 人们认识到, 这种水—岩反应的另一重要意义就是使海水演化成含矿热液。控制海底热液物理—化学特征的主要因素有三: 与海水反应的岩石特征(主要是玄武岩, 但也可能是超基性岩、沉积岩等)、反应时的温度以及水岩比。上升环流热液在海底上下的沉淀卸载过程既可发生在海底以下的岩石裂隙孔隙之中, 也可以在海底与正常沉积作用一起进行。热液卸载的机制主要有沸腾、与冷海水以及围岩相互作用(包括温度、氧逸度、酸碱度以及各种矿化剂和金属组分的交换), 而影响卸载过程的主要因素有热液的物理化学特性、海水深度和海底地形等。

3 与海相沉积盆地演化有关的盆地流体体系^[5]

盆地流体是指在沉积盆地演化过程中活动的、并参与了沉积物的各种成岩—后生变化的复杂流体相, 包括来自盆地内部沉积物压实和相变所释放出的流体, 以及主要由盆地边缘大陆隆起区补给的下渗大气降水。在盆地演化早期的沉积水文地质阶段很可能以前者占优势, 而在晚期的渗入水文地质阶段则以后者为主。流体的流动机制主要有重力驱动流和压实驱动流两种。在沉积盆地演化过程中, 沉积物成岩压实和矿物相变都能释放出大量的水, 并由于离子过滤效应、有机物变质作用、地热增温、相变等过程而使残留孔隙水的盐度以及酸度和温度增高。尤其是在欠压实的异常高压含水层中, 孔隙水的含量及其压力、温度和盐度都异常地高。此时, 流体的流动机制主要是压实驱动。而由重力驱动的大气降水的渗入主要发生在盆地边缘的滨岸地带, 其流量与沉积物的堆积速率成反比, 且从滨岸向外急剧降低。

盆地流体的运移特征是: 上覆沉积物加积而引起的压实作用促使沉积物中孔隙水排出并向压力较小(即覆盖较薄)的部位流动, 即主要向上、向盆地边缘、向水下高地部位流动;

当砂岩与泥岩互层时, 由于泥质沉积物压实并排出流体的速率和数量远大于砂岩, 流体将从泥岩向砂岩垂向流动, 而在砂岩中则会有侧向流动发生; 压实过程中由于流体排出受阻(例如有隔水屏蔽层的存在)而使其中的孔隙水具有高于静岩和静水压力的异常高压, 从而出现欠压实异常高压现象。结果使相邻岩层间存在一个压力差, 这是促使石油天然气运移的主要动力。盆地流体与活动于地壳内的其它流体的最主要区别是含有丰富的有机组分。沉积有机质在成岩—后生演化过程中产生大量的、富含烃类的可溶性有机质, 它们与盆地卤水一道组成我们定义的盆地流体。它们既可能在有利部位聚集成工业油气藏, 又是促使许多金属元素从母岩中迁移出来的萃取剂、络合剂和搬运剂。生物—有机成矿乃是近年的研究热点之一。石油(尤其是成熟度低的重质高硫石油)和油田卤水常常含有高浓度的成矿金属组分(包括金)。其中的金属主要以各种有机—金属络合物的形式迁移, 并主要与某些复杂有机配位体中的 S、Cl 和 N 结合生成多齿杂环络合物。盆地流体具典型的低温热液地球化学特性, 温度以 80~150℃ 为主, 可达 200~220℃。流体温度主要受盆地热演化史的控制。流体的同位素组成和流体中的溶解组分与沉积物的特征以及沉积体系的空间分布密切相关。

盆地流体广泛参与了沉积物的成岩、后生、成油、成气和成矿过程。沉积体系的空间分布(不均匀介质)、同沉积断裂体系、欠压实异常高压地层以及古地形联合控制着盆地流体的流动迁移和汇聚成矿。当同沉积期的断裂—地震活动或者欠压实异常高压系统自身的水热压裂穿透上覆的隔水屏蔽层时,储水层中的热卤水将迅速涌向海底形成热液喷流区。最有利于产生这种热液的环境是具泥质盖层的砂质岩系。这种结构常出现在浊流沉积或海侵岩系的下部。而与水下地震和滑塌堆积相联系的同沉积断裂活动,则是促使这种盆地成因成矿流体大量释放且聚流到一定部位集中成矿的重要诱因。有关的矿床类型主要包括:沉积喷流型(sedex 型)矿床、密西西比式(MVT)铅锌矿床、大陆砂页岩型矿床以及沉积岩容矿的微细浸染型金矿床等^[6]。

4 与区域变质作用有关(含与大型剪切带有关)的变质流体体系

变质流体是指在区域变质热事件过程中活跃于变质体系内的各种流体的总和,目前则以流体包裹体的形式被残留封存在变质矿物之中。从变质浅部带往深部带,变质流体的来源和性质有很大的变化。麻粒岩相的深变质带是以深部(地幔排气)来源的流体占优势,主体是高密度的 CO_2 、 H_2S 、 CH_4 、 N_2 等;经过角闪岩相到麻粒岩相的转换带,变质流体从以水(H_2O)为主变为以 CO_2 为主。在中低级变质区,流体成分继承了原岩流体的性质,主要是由原岩的脱水脱气作用形成的,是一个典型的岩石缓冲体系。浅变质带内则有地下水或地表水的向下渗透参与,主体为 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 等,含少量 N_2 、 H_2S 等。研究变质流体,对于了解变质过程的物理化学条件、探讨流—岩相互作用、确定变质作用演化的动力学机制,以及阐明变质矿床和变质热液矿床的成因都具有重要的理论和实际意义。

地壳中引人注目的大型剪切带乃是地壳的高度活动带、能量汇聚带、高渗透区和流体汇集区。大型剪切带的逆冲、推覆和走滑活动与流体反应相互促进,其发生发展的全过程中始终有着不同来源的地质流体的积极参与。根据现有资料,从深部往浅部可能有四种来源的流体进入和活动:大型剪切带在其宽阔的、韧性的根部广泛聚集深源(幔源)富 CO_2 的流体;

区域变质脱水—脱气作用产生的流体也将向剪切带汇集;沿大型剪切带上侵的花岗质岩浆也可能提供部分岩浆成因的流体;上述三种作用构成的局部或区域热梯度将驱动地壳流体发生热对流,在浅部带将有下渗大气降水的加入。这些流体的活动在变形岩石的体积(质量)损失与增益、质量传输、物理机械变形、变质分异以及有关的热液蚀变和矿化富集等方面都起着极其重要的作用。尤其是近年很热的剪切带型金矿床,一般认为是流体聚集在其韧性—脆性过渡地段而形成的。

5 与地幔排气过程有关的深部流体体系

地幔物质从地球圈层形成至今,一直在持续不断地将其中所含的不相容组分,包括 CO_2 、 H_2 、 H_2O 、 N_2 、 Cl 、 F 、 He 、 Ar 、 S 、 CH_4 、 K 、 Na 等向上排出,由此产生的地幔流体,是岩石圈演化过程中一个非常积极的因素。地幔交代作用、地幔和地壳深部物质的熔融过程、控制麻粒岩相深变质作用的富 CO_2 流体作用、大型剪切带中的深源流体以及地壳浅部许多矿化密集区的起因等,大都能与这种地幔流体的活动联系在一起。甚至有人认为可能是非生物成因天然气的主要来源。显然,幔源流体乃是壳幔相互作用过程中最为活跃的因素。许多大型剪切带和其中的剪切带型金矿床以及像白云鄂博铀—稀土—铁超大矿床等重要矿床类型都有

地幔流体的参与。

当然, 实际情况更复杂得多。同一类流体体系可能涉及到不同来源的流体, 而不同的流体体系又往往含有同一来源的流体。如变质流体体系在深部可能有幔源流体的活动, 而在浅部又可能有下渗地表水的参与。而且各种地质热事件以及地质流体体系可能相互叠加。

热液矿床乃是地壳流体活动最为直接、也是最为重要的产物之一。成矿地质流体体系在时间—空间演化的动力学轨迹实际上就是热液矿床的相继定位以及有关的矿床系列不断被完成的过程, 这也就是我们所要认识的矿床在时间和空间上的成矿规律, 包括矿床的内部结构、矿床组合和矿床系列、成矿时代、矿床的区域分布、矿床密集区和成矿区带等。因此, 以地质流体活动为主线来探讨岩石圈物质—能量分布和迁移的机理并重新考察各种成矿地质作用过程, 通过研究流体体系的行为及其与固体岩石的耦合机制来理解有关矿石和岩石的形成机制, 从流体体系的时间—空间演化的动力学轨迹来阐明有关矿床的成矿规律, 正在成为热液矿床研究的发展趋势。

主要参考文献

- 1 Liu Jianming Genese der Zhilintou Au-Ag-Lagerstaette und hydrothermale Au-Ag-Erze in den Vulkangebieten von Suedostchina Heidelberg: Heidelberger Geowiss Abh., 1989, 26: 181.
- 2 Rona P A. Hydrothermal mineralization at oceanic ridge Canadian Mineralogist, 1989, 26: 431~ 465
- 3 刘建明 海底喷流型层控矿床 见: 朱上庆, 郑明华主编 层控矿床学 北京: 地质出版社, 1991. 101~ 120
- 4 Rona P A., Scott S P. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: New perspective-Preface Econ Geol., 1993, 99: 1 933~ 1 976
- 5 刘建明, 刘家军, 顾雪祥. 沉积盆地中的流体活动及其成矿作用. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(4): 341~ 352
- 6 刘建明, 刘家军. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式. 矿物学报, 1997, 17(4): 448~ 456

ORE-FORMING FLUID SYSTEMS IN CRUST

LIU Jian-ming ZHAO Shan-ren CHU Xue-lei

LIU Wei CHANG Xu

(Research Center of Mineral Resources Exploration, CAS, Beijing 100101)

Abstract In the present paper, ore-forming geofluids in crust were classified into five fluid systems: (1) ore-forming fluid-system in connection with acid-intermediate magmatic activity in continental crust; (2) ore-forming fluid-system in connection with submarine basic magmatic activity; (3) basin fluid system in connection with sedimentary basin evolution; (4) metamorphic fluid system in connection with regional metamorphism; (5) mantle fluid system produced by mantle. The occurrence, evolution, main features, and ore-forming processes of each fluid systems were briefly discussed.

Key words Geofluid, Fluid system, Hydrothermal ore-forming