

[文章编号]1005-9539(2000)增刊-0264-04

现代海底热液成矿作用综述^{*}

林文洲

(成都理工学院地质学系, 成都 610059)

[摘要] 现代海底热液成矿作用是一种重要的成矿作用。海底热液系统主要分布在大洋中脊、弧后盆地、板内火山活动中心等张裂性环境中, 不同的环境具有类似的成矿模式。海底大洋中脊热液作用的主要产物为黑烟囱、白烟囱。现代海底硫化物堆积过程是烟囱生长、倒塌和热液流体在其开放空间充填与交代的过程, 硫化物的形成首先是通过硫化物烟囱来完成。提出了运用成矿系统理论来研究海底热液作用的方法。

[关键词] 海底热液成矿作用, 黑白烟囱, 成矿系统

[分类号] P611 **[文献标识码]** A

人口、资源、环境是人类社会所面临的共同问题, 在可利用的空间、能源范围越来越小的时代, 人类纷纷将眼光投向海洋。海洋是生命的发源地, 是人类生存和可持续发展的基本条件之一。作为一种重要的成矿作用, 现代海底热液成矿作用是近年来地质和地球化学领域研究的一个新的热点, 海底热液矿床正日益受到地质学家的重视, 其中作为目前研究重点的是热液硫化物矿床。

1 海底热液成矿作用研究

早在 1891 年, 就曾出版过一篇有关深海洋底富金属沉积物的文献, 这应该是海底热液作用最早的说道(Murray & Renard, 1891)。挑战者探险队历时 3 年在世界各大洋进行了广泛的钻探和取样, 首次发现了大面积的深海软泥。在 Tahiti-Vahparasio 293 侧的观测站采得了一种连续的深红棕色沉积物, 这件样品代表了第一件含金属沉积物记录。在接下来的 60 年中很少有人注意到这种现象^[1]。

20 世纪 60 年代, 美国“发现”号科学考察船在红海的 Atlantis II 海渊发现了高达 56℃ 的热卤水与规模巨大的多金属矿床^[3], 据估计, 其中金属总量达 $8\,000 \times 10^4$ t, 潜在经济价值达数十亿美元, 这次发现极大地激发了人们对现代海底热液成矿作用研

究的浓厚兴趣。从那时起, 许多地质工作者就认识到海底热液成矿作用沿整个大洋脊系出现。70 年代, 在大西洋的 TAG 热液区发现了海底热泉和低温热液矿床, 随之在 Galapagos 扩张中心发现了海底热泉和大量动物群体^[4], 根据 Galapagos 热液流体成分, 人们推断可能存在着高温热液成矿活动, 这些热液活动可以为细菌提供能量的来源—硫化氢和粒子流, 细菌又可成为一些动物的食物来源。1979 年春, “Alvin”潜艇在实施 RISE 考察计划时对北纬 21° 东太平洋中脊洋底热液系统所做的直接观察^[3], 发现了正在喷发的丘堤和烟囱状喷口, 丘堤顶部热液温度达到 350℃, 在其附近存在大量的生物群, 从此掀起了现代海底热液成矿作用研究的热潮。

自从有了这些初次发现后, 科学家继续沿板块的扩张中心寻找热液喷发场所。美国、加拿大、前苏联及俄罗斯、法国、日本、英国、德国的科学家对更广泛的地区进行了大量的科学考察和研究, 获取了大量的资料。

我国的海底热液作用研究起步较晚, 迄今只有 10 年历史左右。1988 年, 国家海洋局一所与德国基尔大学合作, 进行了马里亚纳海槽的海底热液成矿作用调查(SO57 航次); 1990 年, 该所又与德国、美国科学家合作进行了 SO69 航次的海底热液作用调

^{*} [收稿日期] 2000-01-13

[作者简介] 林文洲(1975—), 男, 硕士生, 岩石、矿物、矿床专业。

查(吴世迎等, 1991, 1995), 从而开始了我国的海底热液成矿作用研究。1992年, 中科院海洋研究所与中科院地化所合作, 利用“科学一号”开展了冲绳海槽的热液活动的调查, 这是我国第一次独立组队进行的热液活动调查(赵一阳, 1995)。我国1998年加入ODP第184航次就进行了南海的首次深海科学钻探, 这必将促进我国的海底热液成矿作用的研究^[5]。

海底热液成矿作用的研究进展很快, 由局部到全球, 不断有发现。到1993年已发现热液活动区和硫化物矿床139处, 近年还在不断发现。可以相信, 到2003年ODP计划结束时, 又会有许多热液区被发现。

2 现代海底热液系统

2.1 地理分布

现代海底热液系统主要分布在太平洋、大西洋及红海中^[3]。在大西洋中沿中央脊分布有5处著名的热液活动区: Menez Gwen (38°N)、Lucky strike (37°N)、Broken spur (39°N)、TAG (26°N) 和 Snake Pit (25°N), 其中最具代表性的热液区是TAG地区。在东太平洋带, 自北向南: 探险者(Explorer)、中间谷地(middle Valley)、努力者(Endeavour)、中轴海山(Axial Seamount)、裂开段(Cleft Segment)、南胡安德福卡(S·Juan de Fuca)、埃斯卡纳巴海槽(Escanba Trough)、瓜马斯(Guaymas)、东太平洋21°N-21°S、504B孔(Hole 504B)、加拉帕戈斯(Galapagos)。在东太平洋带, 自北向南有: 冲绳海槽、马里亚纳海槽、马努力裂谷盆地、伍德拉克盆地、北斐济盆地、劳(Lau)盆地。红海有: 阿特兰蒂斯II海渊、发现海渊、链海渊等热液活动区。

2.2 地质背景

现代海底热液系统按其产出位置可分为三类: a. 产于大洋中脊地区的大洋中脊型, 主要是东太平洋海岭上的一系列热液田和大西洋中脊以TAG为代表的热液区; b. 产于沉积裂谷区的裂谷型, 如红海的 Atlantis II 海渊、中间谷地、瓜马斯盆地等热液区; d. 产于弧后盆地中的弧后盆地型, 如冲绳海槽、马里亚纳海槽等热液区。

3 大洋中脊热液成矿作用

20世纪70年代以前, 人们对大洋中脊构造与

作用的了解大都是通过研究蛇绿岩套而获得的。随着大洋中脊热液活动的发现, 促进了人们对洋底含金属沉积物形成机理的理解^[2]。尽管近年来在岛弧火山活带、弧后盆地、板内火山活动中心等张裂性环境也发现存在着活动的和窒息的热液活动区, 但大规模的海底热液活动及形成的热液矿床, 主要见于大洋中脊^[6]。

3.1 大洋中脊热液作用过程

在洋底地壳流动的液体, 一种是由沉积层俯冲后, 沉积水受挤压或成岩作用上返而来, 一种是海水沿裂隙下渗, 与岩浆相互作用后上返, 即洋底热液。大洋钻探对两者都进行了探索, 其中对洋底热液区的钻探尤为突出^[7]。

在中脊顶部, 由于张性裂隙众多, 沉积层厚度很薄, 冷的海水沿裂隙下渗进入洋壳内部^[6]。中脊轴部具有较高热流值, 因此下渗海水受热并与基底玄武岩发生反应, 形成酸性、还原且富硫化物与成矿金属的热液。反应程度随温度和压力的增加而增加, 直到岩石变得难以渗透, 含矿热液就上升回到海底^[7]。据Sato研究^[4], 排泄入海的热液有三种: I. 低温高密度(大于海水)流体: 沿海底地形流动, 在地形低洼处汇聚成卤水, 矿物就沉淀在卤水池中, 如红海卤水; II. 高温低密度(总小于海水)流体: 流体在海水里像烟囱一样浮升, 形成上浮热柱, 在喷发点上方约200m处达到平衡。据调查, 洋流可将这种上浮热柱带到离喷口很远的地方, Fe的氢氧化物颗粒下降形成富金属沉积物; III. 初始密度小于海水, 经与海水混合后, 密度高于海水的流体, 则多遵循“烟囱一圆丘”堆积模式, 形成锥状或丘状矿体。综上所述, 现代海底热液成矿作用可产生于不同洋底环境, 但均与海底扩张作用和断陷活动密切相关^[4]。不同环境具有类似的成矿三部曲: a. 由扩张中心及其附近热源驱动海水在海底下循环; b. 加热的水与渗透性壳岩发生反应; c. 热液在海底排泄成矿。

3.2 现代海底热液作用产物

现代海底热液区中热液活动的主要产物是热液烟囱, 其成分既有热液硫化物, 也有热液硅酸盐及氢氧化物等, 按其成分分为黑烟囱、白烟囱。黑烟囱主要由金属硫化物组成, 白烟囱主要由重晶石和氧化硅组成^[3]。

3.2.1 黑烟囱

现代海底硫化物堆积过程实际是烟囱生长、倒塌堆积和热液流体在其开放空间充填与交代的过程,硫化物的形成首先是通过硫化物烟囱来完成^[4]。烟囱的生长开始于高温热液流体与海水的混合,首先沉淀硬石膏,最后以高温矿物组合黄铜矿—黄铁矿淀积。对 TAG 热液区铅同位素研究表明,烟囱生长很快,不到 10 年就可形成。

当高温热液与冷的海水混合时,渗透性强的硬石膏/硫化物混合物很快沉淀 (Haymon, 1983)。随着硫化物继续沉淀,起到了堵塞烟囱壁内的孔隙空间的作用,烟囱变得难以渗透。在烟囱壁内外温度梯度、物化梯度作用下,沿烟囱壁相应建立起一个化学和矿化分带,内部带以黄铜矿为主,外部带以闪锌矿、方铅矿为主,边缘以重晶石和非晶硅为主。热液流体温度随烟囱壁变得难以渗透而增高,成矿物质如黄铁矿也因而具有高温性。在 TAG 热液区,其分带性表现为:烟囱—流体界面是黄铁矿,向外相应为黄铁矿和斑铜矿,烟囱外部则为硬石膏与硫化物的混合物^[2]。

3.2.2 白烟囱

白烟囱是一种有共同通道连接的硫化物矿床^[2],喷发流体温度约 200~300 °C。在东太平洋洋隆,白烟囱覆盖有管状蠕虫,其虫穴为海水渗透进烟囱和环境水与热液流体的混合提供了有利通道 (Haymon 和 Kastner, 1981)。白烟囱富闪锌矿、非晶硅以及重晶石和硬石膏。烟囱内部硫酸盐与非晶硅的存在显示发生过大规模的海水入侵以及热液流体的传导冷却。TAG 热液区白烟囱为球茎形,白烟囱流体化学显示海水的循环混合作用发生在丘堤内,伴随有各种硫化物和硬石膏相的沉淀和溶解。

3.2.3 丘堤

丘堤的形成首先是从烟囱的堵塞、风化和崩塌作用开始的。当烟囱生长到一定高度后,便崩塌形成烟囱碎屑丘堤。随着这种作用的继续,基底丘堤变得越来越大,孔隙空间充填了蚀变产物和非晶硅,其结果既阻止了热液流体高速、聚集式喷射,又促进了热液流体在丘堤内的对流循环,硫化物在丘堤内发育。

3.3 TAG 沉积物

20 世纪 70 年代早期, TAG 热液区就发现了富

金属沉积物^[2],沉积物的形成主要受两种因素控制:第一种因素就是丘堤物质的整体坡移;第二种是平衡活动热柱的粒子沉降。

4 海底热液成矿作用研究值得注意的几点

海底热液成矿作用的研究已经成为海洋科学新的热点。通过多年的集中研究,对于海底热液成矿作用的许多问题都找到了答案或能提供合理解释,但仍有许多问题没有解决,主要包括:热液场所的位置和演化历史的构造和火山控制因素;热液喷发产物的分散机制;快速和慢速扩张中脊的共同热液活动参数等。

针对存在的一些问题,结合具体的情况,本文试图从宏观和微观结合的角度提出了如下值得注意的几点:

4.1 积极实施 ODP 大洋钻探计划,运用成矿理论来指导研究

成矿系统是指在一定时—空域中,控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用过程,以及所形成的矿床系列和异常系列构成的整体,它是具有成矿功能的一个自然系统^[8]。它强调运用整体论、系统论的观点去分析成矿作用。对于海底热液成矿作用,从热液成矿的空间、时间、物质、运动出发,系统研究,深入探讨此类矿床的成因、形成过程及动力学机制,结合 ODP 大洋钻探计划,进一步确定热液矿床在一系列张裂性构造环境中的分布,建立不同环境条件下的海底热液矿床成矿模式,有助于指导勘探和找矿。

4.2 加强流体成矿作用研究

地壳中流体及成矿流体的研究已成为地球科学领域的前沿学科。绝大多数金属矿床的形成都与流体的运动和作用有关。利用深海钻探获取海底热液成矿系统中的流体,采用各种有效手段和方法,进行监测与分析,围绕成矿流体的来源、形成过程和演化机制以及成矿作用等前沿问题进行系统研究,是了解矿床成因、总结成矿规律、指导成矿预测的关键。进行海底热液流体成矿作用研究,无疑具有重要的意义。目前国内对流体研究尤其对海底热液流体研究程度很低,我们应该抓住时机尽快开展流体成矿作用的研究。

4.3 开展成矿动力学研究

矿床是一种复杂系统,而成矿作用是一种复杂的动力学过程^[10]。在成矿系统中,动力学是确定系统演化和最终结果的关键。将区域成矿作为一个系统,从大区域地球动力背景上来研究成矿环境和成矿作用过程,揭示成矿作用本质,这将能起到丰富成矿理论的作用。对于海底热液成矿系统,从动力学的角度来分析,也就做到了从宏观上把握整个系统。

为了在今后的海洋竞争中不受制于人,我们应该:a.大力加强国际合作与交流,积极参与 ODP 计划,掌握相关信息;b.积极发展自己的海上调查取样技术,积累经验。

[参 考 文 献]

[1] Rachel A Mills, Harry Elderfield. Hydrothermal Activity and the Geochemistry of Metalliferous sediments. In: L. M. PARSON, et al. Hydrothermal vents and process [M]. Society Special Publication. 1995, 392~407.

[2] Rachel A Mills. Hydrothermal deposits and metalliferous sediments froms TAG, 26°N Mid—Atlantic Ridge. In: L. M. PARSON, et al. Hydrothermal vents and process [M]. 1995, 121~132.

[3] 张立生. 现代海底的成矿作用与矿产资源[J]. 四川地质学报, 1999, 19(4): 281~290.

[4] 侯增谦, 莫宣学. 现代海底热液成矿作用研究现状及发展方向[J]. 地学前缘, 1996, 3(3~4): 263~271.

[5] 高爱国. 海底热水矿床勘探开发战略[J]. 中国地质, 1999, (9): 8~12.

[6] 金性春. 板块构造学基础[J]. 上海: 科学技术出版社, 1983.

[7] 汪品先. 大洋钻探与海洋地质的新世纪. 中国地质, 1998, (8): 9~10.

[8] 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 13~27.

[9] 贾跃明. 流体成矿系统与成矿作用研究[J]. 地学前缘. 1996, 3(4): 253~258.

[10] 朱创业. 成矿系统研究现状及发展趋势[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(1): 1~5.

A SUMMARY OF MODERN SEAFLOOR
HYDROTHERMAL MINERALIZATION

LIN Wen-zhou

(Chengdu University of Technology, China)

Abstract: Modern seafloor hydrothermal process is an important ore—forming process. Seafloor hydrothermal system mainly distributes in the tensile environment such as MOR, Arc—rear basin, intraplate volcanic center and so on. However, different environment possess similar ore—forming modle. The main product of hydrothermal activity of Mid—Ocean Ridge are black chimney and white chimney. The accumulation of modern benthic sulphide is the process of chimney growth, collapse and hydrothermal fluid infilling and metasomatism in the open space and the formation of sulphide is completed by sulfide chmney. The paper put forward a way to study seafloor hydrothermalism by using ore—forming system theory.

Key words: seafloor hydrothermal mineralization; black, white chimney ; ore—forming system