

热水沉积矿床研究的现状与趋势

王 涛, 刘淑文, 隗合明, 薛春纪

(长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 热水沉积是一种非常重要的地质作用,它是地球内部物质和能量释放到近地表至地表所发生的以沉积为主,包括复杂的结晶、交代、充填等作用及其形成物的总称。热水沉积矿床在时间上主要形成于元古代、晚古生代和现代,而古生代又集中于泥盆纪。成矿金属主要来自矿体以下沉积柱岩石或基底岩石的淋滤。热水沉积成矿流体的水主要来自于海水和大气降水,成矿模式主要是盆地压实卤水模式和海底热液对流模式。目前热水沉积矿床研究存在这样一些问题:热水沉积成矿作用在地球上是否具有普遍性,热水沉积成矿作用中的物质来源,整个热水沉积成矿作用的驱动力是什么,成矿流体的来源和如何运移等,这些问题至今还没有得到令人信服的解释。因此,今后的研究趋势是加强对热水沉积矿床的地质环境和深部背景、对成矿流体地球物理化学界面、对热水沉积盆地尤其是热水沉积盆地中热水沉积矿床岩相的研究以及利用先进的计算机技术进行建模研究。

[关键词] 热水沉积;成矿作用;研究趋势;水热矿床

[中图分类号] P611.22 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)04-0006-05

[作者简介] 王涛(1968—),男,山东威海人,硕士研究生,研究方向为金属矿床学。

热水沉积是指地球内部物质和能量释放到近地表至地表所发生的以沉积为主、包括复杂的结晶、交代、充填等作用及其形成物的总称^[1]。它的活动场所是地球能量交换的地方,热水沉积常能形成一系列矿床,尤其是超大型矿床。热水沉积形成的SEDEX型矿床一般品位很高,规模巨大,储量集中,常构成超大型(世界级)矿床。根据 Sangster (1994)^[2]报道,热水沉积型(SEDEX)铅锌矿床储量和产量占铅锌矿总储量和产量的1/2左右。热水沉积形成的SEDEX型铅锌矿仅澳大利亚的资源量就达 1.2×10^8 t,中国的秦岭泥盆纪热水沉积巨型铅锌矿带已探明的储量数千万吨。受20世纪70年代后在多处洋底直接观察热液成矿作用及推论的启发,人们对热水沉积形成的矿床有了新的认识。因此,研究热水沉积形成的矿床对沉积学、成矿理论以及超大型矿床的研究具有十分重要的意义。

1 热水沉积理论的兴起及其概念

20世纪40年代末,瑞典海洋考察船(Albatross号)在红海发现水温与盐度异常,但这并未引起当时地质科学家的足够重视。随着海洋探测技术的进步,到了20世纪60年代中期,美、英、德3国的考察船又在红海海底发现了富含Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Au的多金属软泥,人们开始研究海底热液成矿作用。1978年美、法、墨联合小组在东太平洋脊21°N首先发现了海底热水硫化物。次年,美国地质学家又在海底发现了正在喷发的温度高达350℃的热液流体,当其与海水接触混合后,析出Cu, Fe, Zn等元素的硫化物微粒,并形成黑烟囱。此后,又有多国的科学家相继开展了海底热水沉积成矿的研究。人们随后相继发现了美国内华达州Sreamboat温泉活动、非洲裂谷大陆地热系统(Barnes, 1979)^[3]及中国西南的现代地热成矿区。到2000年,斯考特(Scott)等已收集到150处海底现代热液活动的资料。结合对热水沉积矿床地质特征以及对现代海洋热液成矿作用考察和认识,人们更新了对热液成矿作用过程的认识,提出了热水

[收稿日期] 2003-12-03

[基金项目] 教育部优秀青年教师资助计划项目;中国地质调查局综合研究项目(200310200040)

沉积成矿理论。

热水沉积成矿是在一种特殊的热水沉积环境当中,地壳中的物质以流体的形式通过构造作用到达地表发生沉积为主的并伴有结晶、沸腾、重结晶、角砾化作用的成矿作用。它的主要产物包括硫化物、碳酸盐、硫酸盐、硅酸盐、氯化物、氧化物。涂光炽^[4]认为“热水沉积矿床是指热水介质中(海水、湖水、热泉等,水温在70℃~350℃或更高)形成的矿床,矿床主体以沉积方式形成于水岩界面之上的水体中,但也包括在此界面之下可能存在的以交代和充填方式形成的筒状、锥状或面型含矿蚀变体,而这可共生或分别出现”,陈先沛^[5](1990)认为热水沉积是“壳内释热造成的热水溶液在地表或近地表发生沉积、交代和充填等作用”,并且认为,热水沉积作用与热水的动力作用、交代作用、充填作用是密不可分的;薛春纪^[6](1990)在研究的基础上,则总结出热水成矿作用的内涵应该包括3个方面:“①沉积于异常地热背景控制下的海底热泉活动造成的温热卤化水体中;②成岩(矿)物质来自盆地巨厚沉积柱及基底一定深处(不排除海底热液活动期间歇期水成沉积的掺合);③沉积作用(包括在海底热液上升通道中的结晶、到达海底对先期沉积物的同生蚀变和沉积3种作用)主要受控于海底同生断裂带上的热水活动。”由此可见,热水沉积是一种中低温地球化学作用,热液的温度很少超过350℃,主要是在地球水圈内或者水圈沟通构成循环系统异常水体的成矿作用。热水成矿作用可以发生在地表形成喷流沉积矿床,可以发生在地下形成热液渗透或爆破充填矿床,也可以形成交代矿床。

2 关于热水沉积矿床的一般认识

2.1 热水沉积成矿构造背景

热水沉积矿床在时间上主要形成于元古代、晚古生代和现代,而古生代又集中于泥盆纪。矿床在空间上主要分布于世界上5个地区:①东澳大利亚北部地区;②北美西部;③西北欧;④非洲南部;南非和津巴布韦;⑤中国北方。

矿床形成的构造环境,一般认为,地质历史中的热水沉积成矿作用主要发生在拉张的构造环境。具体构造背景则为受裂谷控制的克拉通内部及其边缘沉降盆地或拉张的裂谷、地堑和大陆边缘或拗拉槽裂谷中,而边缘裂谷比洋底裂谷更加有利于热

水沉积成矿。

2.2 矿床分类

对于热水沉积矿床类型的划分,目前的分类方法主要有3种:

Hutchinson^[7](1973)根据容矿围岩的不同把矿床分成以下两大类:

(1)喷气-火山成因类:①原始型(Zn-Cu; Ag-Au);②多金属型(即黑矿型, Zn-Pb-Cu; Ag-Au);③含铜黄铁矿型(即塞浦路斯型, Cu, Au);④铜-锌黄铁矿型(即别子型, Cu-Zn-Au)。

(2)喷气-沉积成因类:①以碎屑岩为围岩,即沙利文型, Pb-Zn;②以碳酸盐为围岩 Zn-Pb。

D. F. Sangster(1976)根据容矿岩系及成矿环境将矿床分为3大类:

(1)产于火山岩为主环境的矿床。

(2)产于沉积岩为主环境的矿床。

(3)产于火山-沉积环境中的矿床。

芮宗瑶^[8](1989)按容矿岩系将热水喷流沉积矿床分为两大类,又按大地构造环境和矿石组分的不同分出6个亚类:

(1)与火山岩有关的海底喷气沉积矿床:①与蛇绿岩套有关的含Cu, Zn, Co硫化物矿床;②与拉斑基性火山岩系有关的含Cu硫化物矿床;③与拉斑-钙碱性分异火山岩系有关的Cu, Pb, Zn硫化物矿床;④与双模式火山岩系有关的Pb, Zn, Cu硫化物矿床。

(2)与沉积岩有关的海底喷气沉积矿床:①与黑色碎屑岩系有关的Pb, Zn重晶石硫化物矿床;②与碳酸盐岩系有关的Pb, Zn硫化物矿床。

2.3 矿质来源和水的性质

至于成矿物质的来源,一般认为,成矿的金属主要来自矿体以下沉积柱岩石或基底岩石的淋滤。对现代海洋热水流体的同位素研究表明,大洋热水流体主要是海水下参与玄武岩在高温下发生水岩作用的结果。单连芳等^[9](1991)对东太平洋海盆底层水金属含量研究得知,底层水金属含量高于表层水1~20倍,底层岩石间隙水高出表面层2~5个数量级,也证明了洋底水岩作用是热水成矿物质的来源。

White(1974)^[10]曾归纳有6种水为热水来源:大气降水、海水、原生水、变质水、岩浆水和初生水。而这几乎包括了地球所有水来源的种类,过于宽泛,不利于对热水沉积成矿作用中水来源的判定和

对成矿流体性质的研究。Samson(1987)^[11]对澳大利亚 Sullivan 铅锌矿床成矿流体研究后认为,该矿床的成矿流体是石炭纪含盐地表水和大气降水。Longstaffe 等^[12]对加拿大塞尔温盆地 Jason 矿床底盘蚀变带的氧同位素进行了研究,认为其成矿流体很有可能是海水。

2.4 成矿模式

目前对热水沉积成矿模式主要有两类说法:

(1)盆地压实卤水模式^[13]:含矿热水主要由沉积物埋藏压实期间排出的水构成,孔隙水随地热升温而升温,如果在地热异常区,压力也随之增大(有时可以超过静地压力),在压力增大的同时,水的盐度也不断地随深度增加;这时,含矿卤水从矿源中萃取和富集金属的能力增强,而且孔隙水的流动缓慢,与岩石的反应充分,最后这些含矿热水被非渗透性岩石封存起来,在遇到有构造活动产生的断裂通过这个封闭的空间时,就喷出并沉积成矿。

(2)海底热液对流模式^[14]:以海水为主,包括大气降水、岩浆水和地下水,受岩浆热、地热和构造热等作用,在深部被加热并发生对流,沿途从基底或沉积岩柱淋滤出成矿组分,形成热卤水。这些含矿热卤水最后沿断裂喷出,与海水混合后发生沉积,充填通道并在海底沉积成矿,这种模式与现代海底热水沉积成矿情况相吻合。

3 对热水沉积矿床若干问题的讨论

由于热水沉积成矿是受现代海底热水沉积成矿现象的启示发展而来的,研究的时间并不长,因此,尚有许多问题未能完美解决。

(1)热水沉积成矿作用在地球上是否具普遍性?目前对现代大洋洋脊的考察还不到整个洋脊的 1%。热水沉积成矿作用在漫长的地质成矿过程中起多大作用?发生的范围有多大?目前还不清楚。对于现代已经研究的比较成熟的 SEDEX 矿床目前还未发现与其相似的现代海底热水成矿实例。T. J. Wolery 等(1976)研究表明,全球海水的总质量是 10^{18} g,而在海底扩张中心通过岩石的海水流量是 $(1.3 \sim 9) \times 10^{17}$ g/a,这表明所有的海水在 5~11 年就可全部循环一次。由此可见,在漫长的地质年代中,这种热水沉积作用就相当可观了。所以,继续深入地现代海底热水沉积成矿机理进行研究十分必要。这是因为现代海底热水成矿现象给研

究热水沉积矿床的形成提供了大量直观的解释,对地质历史过程中某些成矿作用作出了最直观的成矿模拟。但现代海底热液成矿系统中以沉积岩为容矿岩石的 Pb-Zn-Ba-Ag 型矿床尚未发现,而热水沉积的铅锌矿床经济意义十分重大,因为热水沉积作用形成的矿床大而富,矿床平均矿石量 6×10^4 t,平均品位为 11.9%,是 VMS 型矿床矿石量的 10 倍和品位的 2 倍。同时,热水沉积作用是超大型矿床形成的重要条件之一,丰富的矿质是形成超大型矿床的基础,而流体的存在和迁移是形成各种矿床的必要条件。流体能活化石质并能萃取矿源层中的成矿物质,能为超大型矿床提供物质来源,所以,对热水沉积矿床的研究能促进对超大型矿床的研究,这就需要对现代海洋热水沉积成矿作用作更详细更系统的研究和调查。对现代海底热水成矿机理的深入研究,可以为进一步认识热水沉积形成的矿床提供重要的线索,使人们对热水沉积成矿的原因有新的更完善的认识。

(2)热水沉积成矿的物质来源?根据对秦岭地区铅同位素资料研究后得知,该区热水沉积矿床铅的来源既有地幔铅,又有陆源或深部壳源铅。整个矿床矿物质来源并没有准确的答案。由于古代热水沉积成矿作用主要发生在中元古代及古生代的早期和中期,是否能说明地球在早期曾经是火山活动强烈和频繁的地区,在全球大规模的火山活动时代结束之后,在形成岩浆岩的同时为将来的热水成矿提供了丰富的矿质和流体。在地幔上涌、壳幔作用等深部过程中,深部的岩浆水直接向上运移加入到盖层热水系统之中,形成具有明显岩浆特征的热水沉积岩石,而这一点也被现代海底热流测量与热水系统研究证实。随着同位素测年技术不断提高和同位素示踪技术的发展,可以利用同位素测年对热水沉积矿床成矿年代做出准确地判断。在对大量的形成热水沉积矿床地区的成矿年代的精确测定后,结合该地区早期热事件的调查,同时查明热水沉积矿床基底规模。这样应该能确定热水沉积成矿地区是否早期有过大规模频繁的火山活动,而热水沉积成矿作用是否与之有关。同时利用同位素示踪技术,对热水沉积成矿的物质来源做出正确的解释,则热水沉积成矿的矿质来源问题应该得出答案。

(3)整个热水沉积成矿作用的热源来自何处?因为正常的地热梯度的热源增加并不足以提供足

够的热动力,如果正常地温梯度为(25~30)℃/km,这就要求矿床的盖层有3 km厚。但实际上,许多SEDEX型矿床的盖层均<3 km。许多SEDEX型矿床的矿化温度为140℃~280℃,显然高于盆地压实卤水模式可能达到的温度。而且,提供热动力的热活动事件具体是什么,如何活动目前尚无统一认识。对现代热水沉积现象的研究发现,几乎在每个热水沉积活动区经常下伏有岩浆房,这能否说明可能在全球大规模的火山活动时代后,在随后的相对火山活动稳定的地质时期,在某些地壳薄弱带下仍有岩浆活动,虽然没有喷出地表,但却有可能是热水活动的热动力来源之一。因此,对热水沉积矿床隐伏基底的调查和成矿历史上热活动事件的研究十分必要,这有可能使热水沉积成矿作用热动力的来源得到明确地答案。

(4)成矿热卤水的来源和运移方式?热水溶液究竟是海水、同生水、岩浆水尚无定论。热水沉积成矿过程中,含矿热卤水的运移十分关键,控制热卤水驱动的因素都有哪些,具体如何运移,很多现象都没有得到合理地解释。因此,应该加强对流体成矿的研究,研究地热流体在成矿作用的力学性质、形成机理,分析地热流体的成矿方式、控矿因素;在研究流体时应联系古成矿环境的水文地质条件、地热条件、构造环境、区域地球化学条件及岩性条件,其中,岩相古地理环境和地热条件是控制流体活动非常重要的因素,它直接影响着流体的来源和运移方式。

4 热水沉积成矿研究发展趋势

由于热水沉积矿床的成矿作用过程尚有许多问题没有得到完全地解决,因此,热水沉积成矿作用研究重点和研究趋势目前有以下几个方面。

对热水沉积成矿的地质环境和深部背景进行研究。研究成矿深部背景主要目的是为了研究区域地幔结构与深部作用对矿床形成的制约和影响。深部背景是研究矿床隐伏基底不可缺少的条件,对研究热水沉积成矿作用流体运移的动力来源十分重要。深部是水岩反应发生的地方,是热水萃取成矿物质场所,对成矿物质来源的研究十分重要。

对成矿流体地球物理化学界面进行深入细致研究。流体活动场所的某一突变界面常常是金属矿物质发生沉淀而形成矿床的场所,这种界面是不

同流体混合的地方,流体的物理化学性质和条件在界面部位发生变化,这些变化正是流体能形成矿床的主要原因,这与边缘成矿理论不谋而合。此外,流体物理化学界面是围岩与流体分界部位,而围岩的力学性质(硬度、孔隙度)则与流体大规模运移有直接的联系。硬度较小和孔隙度大的围岩易产生构造破碎带,形成流体迁移的通道。

加强对热水沉积盆地的研究尤其是热水沉积盆地中热水沉积矿床岩相的研究。热水沉积岩相记录了盆地的形成、发展、演化过程,可以了解沉积盆地改造过程中构造活动、盆地热事件和热活动史;也可以了解热水沉积成矿过程的古地理环境、物质组成、矿物质聚集的规律及特征,为进一步研究提供对比和参考的标准,还可以为下一步研究提供方向,同时为新区的矿床预测提供依据。南秦岭古生代热水沉积矿床分布广泛,类型多样,性质典型,是研究热水沉积盆地理想的天然实验室,因此可以把它建成标准热水沉积盆地成岩成矿模式,深入细致地研究热水沉积成矿机理,全面建立和归纳热水沉积序列,使之成为认识和研究热水沉积相关科学的理想剖面之一。

利用先进的计算机技术进行建模研究。利用计算机数据库、图形图像库等可视化技术进行地质-地球化学-地球物理方法模拟和分析热水沉积成矿作用,总结已有的规律,恢复热水沉积盆地沉积环境,并且采用现代计算机数据库和图形图像处理技术对地质-地球化学-地球物理资料进行大规模处理与成图、成像并建立三级热水沉积盆地热水沉积成矿模型,全方位、直观地再现热水成矿过程。

[参 考 文 献]

- [1] 薛春纪,祁思敬,郑明华,等.热水沉积研究及相关科学问题[J].矿物岩石地球化学通报,2000,19(3):155~161.
- [2] Sangster D F. World class MVT and SEDEX lead-zinc deposits[A]. Geol. Survey of Canada Min. Colloquium, 1[C]. Ottawa: Ottawa Congress Center, 1994.
- [3] Barnes H L. 热液矿床地球化学[M]. 陈浩琬,邓燕华译.北京:地质出版社,1985.
- [4] 涂光炯,王秀璋,陈先沛,等.中国层控矿床地球化学(第三卷)[M].北京:科学出版社,1988.131~254.
- [5] 陈先沛,高计元,陈多福.热水沉积作用的概念和几个岩石学标志[J].沉积学报,1992,10(3):124~132.
- [6] 薛春纪.秦岭泥盆系热水沉积[M].西安:西安地图出版社,1997.119~127.
- [7] Hutchinson R W. Massive base metal sulfide deposits in sedi-

- mentary rocks and their metallogenic relationship during Proterozoic time[A]. In: Paper presented at joint meeting of AIME-SEG, Chicag[C]. Abstract in Econ Geol, and 1973, 68: 138.
- [8] 芮宗瑶. 海底喷气沉积矿床研究的新进展[J]. 国外矿床地质, 1988, (3): 19~57.
- [9] 单连芳. 太平洋中部多金属结核岩石、矿物和地球化学特征的研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(增刊): 1~66.
- [10] White D E. Diverse origins of hydrothermal ore fluids[J]. Econ. Geol, 1974, 69: 954~973.
- [11] Samson I M, Russell M J. Genesis of the Silver mines zinc-lead-barite deposits, Ireland; fluid inclusion and stable isotope evidence[J]. Econ. Geol, 1987, 82: 371~394.
- [12] Longstaffe F J, Nesbitt Be, Muehkenbachs K. Oxygen isotope geochemistry of the shales hosting Pb-Zn-Ba mineralization at the Jason Prospect, Selwyn Basin, Yukon[J]. Current Research Part C, Geological Survey of Canada, Paper, 1985, 82: 45~49.
- [13] Lydon J M. Chemical parameters controlling the origin and deposition of sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits[A]. In: Sangster D F. ed. Short Course in Sediment-Hosted Stratiform Lead-Zinc Deposits[C]. Mineralogical Association of Canada, Victoria, 1983, 175~250.
- [14] Russell M J. Major sediment-host exhalative zinc lead deposits formation from hydrothermal convection cells that deepen during crustal extension[A]. In: Sangster D F. Short Course in Sediment-Hosted Stratiform Lead-Zinc Deposits[C]. Mineralogical Association of Canada, Victoria, 1983, 251~282.
- [15] 祁思敬, 李英. 南秦岭晚古生代海底喷气沉积成矿系统[J]. 地质前缘, 1999, 6(1): 171~178.
- [16] 王集磊, 何伯堰, 李健中, 等. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [17] 肖建新, 倪培. 论喷流沉积(SEDEX)成矿与沉积——改造成矿之对比[J]. 地质矿论丛, 2000, 9(3): 238~245.
- [18] 田毓龙, 秦德先, 林幼斌, 等. 喷流热水沉积矿床研究现状与进展[J]. 昆明理工大学学报, 1999, 2(1): 150~156.
- [19] 方维萱, 张国伟, 胡瑞忠, 等. 秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相应研究及实例[J]. 沉积学报, 2001, 3(1): 48~54.
- [20] 张术根. 地热流体成矿作用分析[J]. 矿床地质, 1998, 17(1): 91~96.
- [21] 肖荣阁, 杨忠芳, 杨卫东. 热水成矿作用[J]. 地质前缘, 1994, 1(3~4): 140~147.
- [22] 翟裕生. 走向 21 世纪的矿床学[J]. 矿床地质, 2001, 20(1): 10~14.
- [23] 涂光炽. 从一个侧面看矿床事业的发展[J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 97~105.
- [24] 翟裕生. 矿床学的百年回顾与发展趋势[J]. 地球科学进展, 2001, 10(5): 719~724.
- [25] 方维萱. 秦岭造山带中热水沉积成矿盆地的研究思路与方法初探[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2): 28~41.
- [26] 赵振华, 刘秉光, 李朝阳. 我国与寻找超大型矿床有关的基础研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 184~188.
- [27] 孙国曦, 胡文瑛, 朱东亚, 等. 超大型矿床的主要特征及研究进展[J]. 矿产与地质, 2001, 15(87): 683~687.
- [28] 倪师军, 张成江, 腾彦国, 等. 成矿流体地球化学界面[J]. 地质地球化学, 2001, 29(3): 19~21.

Resent situations and trend of studies on the hydrothermal sedimentary deposit

WANG Tao, LIU Shu-wen, WEI He-ming, XUE Chun-ji

(School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract The hydrothermal mineralization is an important geological process. The deposit has been formed at Proterozoic late palaeozoic and modern time. The metallic element of ore comes from leaching of basement sedimentary rock, and the hydrothermal mineralizing fluids from the atmospheric water and ocean water. But, there are some questions which have not been known distinctly, such as whether the geological process of hydrothermal mineralization is widespread in the history of the earth, and what is the driving force of hydrothermal metallization, and the way that the mineralizing fluid to transfer. Therefore, in the future, the trend of the study of hydrothermal mineralization is in the interfaces of ore forming fluid geophysics and geochemistry, computer modeling of geological process of hydrothermal mineralization.

Key words hydrothermal sedimentation; mineralization; trend of research thinking of problem; hydrothermal deposit

[英文审定: 杨家喜]