华南古海洋热水沉积作用 研究概述及若干认识

周永章¹, 刘建明², 陈多福³

(1. 中山大学 地球科学系, 广东 广州 510275; 2. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 华南地区热水沉积建造发育, 在沉积建造类型、沉积作用方式、产出的大地构造背景及岩石地球化学特征等方面反映了热水沉积的多样性。该地区热水沉积作用具有相对确定的演化特性, 并与许多金属矿床有直接或间接的关系。

关键词: 华南地区; 热水沉积; 古海洋; 地热系

中图分类号: P512.2.60 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2000)02-0114-05

岩石圈中热水作用是非常重要的地质作用, 经常伴生成矿物质的富集。自 60 年代初首次在红海海底发现现代海底热水活动以来, 先后在三大洋扩张脊、边沿海、岛弧及相关盆地、陆内地热异常区查明存在热水活动及其产物。热水沉积作用是近 20 年来沉积学和矿床学最为活跃的研究热点之一^[1-29]。

热水沉积作用是岩石圈中以水为主的流体体系在其循环流动中, 获得化学物质, 到达地表或附近时所发生的沉积作用、交代作用和热动力学作用。对它的研究包括现代热水活动体系的观察和古代热水沉积作用的识别与重建两个部分。国外的研究起于 60 年代, 比较有代表性的工作包括对新西兰 Taupo 火山活动带热水体系^[30]、东太平洋脊高热流区沉积^[22, 31, 32]、哥斯达黎加太平洋海岸中生代硅岩建造^[33]、巴布亚·新几内亚 Western Woodlark 盆地富含贵金属重晶石沉积物^[20]、美国内华达州 Steamboat 现代热泉和科罗拉多州西南部 Rico 古地热异常区大规模热液蚀变现象^[28, 34]、日本四万十地区白垩系造山带硅岩建造^[35]、与火山活动有关的块状硫化物矿床(VMS)、条带状含铁建造(BIF)和喷流沉积铅、锌矿床(Sedex 型)的研究^[17, 23]等。

我国对古老地热系研究及对相关沉积物的识别有自己的特色, 并讨论过某些矿床的热水成因属性。如对广西泥盆系礁硅岩套及赋矿岩系热水沉积遗迹的识别^[1, 2]、对桂西北南丹-河池盆地上泥盆统榴江组及粤西震旦系顶部热水沉积硅岩建造^[4, 36]、秦岭泥盆系铅锌成矿带沉积建造^[7, 37, 38]、西秦岭南亚带金-铜-铀成矿带中硅岩^[39]、云南金顶中生代铅-锌矿床和湖南石门砷(金)矿床^[40, 41]、扬子台地元古代以来硅岩建造^[15, 42]等。现代热水活动-沉积的代表性工作有对冲绳海槽海底热水作用以及对滇藏陆相热泉的调查研究等^[9, 12, 43-46]。

华南地区是我国古热水沉积作用最为发育的地区之一, 其热水沉积特性最早引起我国学者的注意。陈先沛等^[1]于 1986 年正式发表了广西泥盆系礁硅岩套是热水沉积的观点。笔者等^[47, 48]对广西大厂锡-多金属矿床赋矿地层南丹-河池盆地中上泥盆统硅岩/泥质碳酸盐岩建造进行了细致的观察和地球化学分析, 提出了热水沉积的标志和若干地球化学特征。韩发、雷良奇^[3, 49]发表了大厂矿床属于热液喷气的观点。这些工作激发了华南乃至其他地区热水沉积的研究。进入 90 年代, 热水沉积建造及其重要性已经在较广泛的范围为地学工作者所接受。

收稿日期: 2000-02-14

基金项目: 国家科技部攀登预选项目(95-预-39)、国家重点基础研究项目(G 1999043210)、国家教育部骨干教师基金资助。前期工作获国家自然科学基金(94303041)、广东省自然科学基金(940409)和中国科学院重点基金(KZ952-S1-435)的支持

第一作者简介: 周永章(1963—), 男, 教授、博士生导师, 从事沉积矿床地球化学、数学地质的教学与科研工作。

华南地区热水沉积具有显著的多样性,并且发育的地质历史跨度大,产出层位相对稳定,伴随着丰富的矿化作用。本文拟简单介绍作者对该地区热水沉积作用的若干认识。

1 热水沉积具有多样性

(1) 沉积建造: 硅岩、硫化物、BIF、重晶石是华南地区常见的热水沉积建造。热水成因硅岩建造广泛发育在震旦系顶部、泥盆系、二叠系地层中,厚度通常是几十米^[4,15,50]。热水成因硫化物建造在粤西大降坪震旦系底部层位产出^[51,52]。古海洋热水活动体系大致可以分出高温和低温两种。一般分别可与现代海底“黑烟囱”和“白烟囱”相对应。不同热水沉积建造和正常沉积建造经常以一种较为固定的时空有序的组合产出,构成特色的礁硅岩套。

最近几年的研究显示,热水沉积还可以形成特殊的钠长石岩,这在粤西大沟谷震旦系乐昌峡群有产出^[53]。

(2) 沉积作用方式: 根据热水沉积发生的位置和方式,可以区分出沉积期和准同生沉积期的沉积、交代和充填三种方式。其中,沉积方式发生在沉积界面上,而交代和充填发生在沉积界面之下的热水流体通道及附近。

(3) 大地构造背景: 热水沉积作用发育于地壳演化的不同阶段和各种大地构造位置。大洋中脊、弧后和弧间盆地、裂谷或断陷盆地等都是理想的热水活动-沉积的场所。它们多与张性应力环境和地热异常相联系。受热源形成和活动机制、热源稳定性及维持时间长短、深部壳幔相互作用等因素的制约。

2 热水沉积建造具有特殊的地球化学特征

硅岩建造在华南地区热水沉积体系中非常有代表性。对震旦系顶部硅岩建造的研究表明^[5,36,54],它们具有如下特征: 1) 常量元素 TiO_2 、 Al_2O_3 和 K_2O 一致偏低。在 $\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn}$ 三元图上,几乎所有的硅岩样品都落在前人圈定的热水成因硅岩范围内; 2) 大部分微量元素含量偏低(与地壳克拉克值相比),但 Ba 、 As 、 Sb 、 Hg 和 Se 偏高。而这些含量偏高的元素

恰恰是热水沉积的特征元素; 3) 多元统计分析显示,大部分微量元素在其第一个主因子上均有显著的因子载荷,代表了古地热系热水循环中的淋滤因子; 4) 稀土元素总量低,北美页岩组合样标准化后的稀土配分模式落在已知的典型热水沉积物的上、下限之间。

广西南丹-河池盆地榴江组硅岩是另一有代表性的热水沉积建造。它们具有与震旦系顶部硅岩建造相似的地球化学特征^[4]。此外,从近热水喷口向远离热水喷口方向,依次发育类碧玉岩、纹理状硅岩、块状泥质硅岩、硅页岩,同时存在特征的地球化学递变序列: 富 Sb 、 As 和 Ag , 相对贫 V 和 Cu , 且 FeO 与 MnO 显示正相关 $\rightarrow$ Pb 、 Zn 和 Ni 含量相对地高,并与 Fe_2O_3 呈正相关 $\rightarrow$ 富 V , 相对贫 Sb 、 As 和 Ag , 且 Al_2O_3 、 TiO_2 、 K_2O 、 MgO 和 SiO_2 两两间表现为线性关系。

3 热水沉积与一些矿床的形成密切相关

华南地区的许多金属矿床直接或间接地与热水沉积作用有关。热水沉积建造常常构成某些金属矿床的矿源层,甚至成矿(“黑烟囱”和“白烟囱”)。如粤西河台金矿田的矿源层是震旦-寒武系地层。研究表明^[55,56],矿源层中包含了热水成因沉积物,热水沉积作用参与了金在矿源层形成阶段的初步富集。有利证据包括: 1) 热水成因硅岩中贵金属元素的丰度较高。对古水震旦系顶部硅岩建造测定, Au 丰度为 8.7×10^{-9} , 约为 Au 克拉克值的两倍; 2) 在因子分析中, Au 和 As 同属一个因子,而 As 已经被证明是典型的热水沉积元素; 3) 硅岩建造的富集元素恰恰是含矿的热液蚀变变形带中被带进的元素,如 Ag 、 As 、 Au 、 Bi 、 Hg 、 Sb 等,而大部分亲石元素,如 Cs 、 Hf 、 Nb 、 Rb 、 Sc 、 (Ta) 、 Th 、 U 、 Zr 和 REE , 在硅岩和矿体中均属亏损元素。

广东云浮硫铁矿成矿层位是震旦系底部地层,是热水沉积的直接结果^[51,57]; 大厂锡-多金属矿床主要产在中上泥盆统地层中,包含了上泥盆统榴江组热水成因硅岩,矿床的形成与热水沉积作用有显著关系^[3,47]; 广东清新县大沟谷钠长石岩型金矿床,产在震旦系乐昌峡群中,是热水沉积与后期改造叠加的结果^[53]。新近在广东发现的长坑大型 $\text{Ag}(\text{Au})$ 矿床的赋矿地层是石炭-二叠系,也包含有热水成因硅

岩^[38,59]。此外,广西泥盆系的硅岩-重晶石-多金属硫化物建造、湖南二叠系的Pb、Zn、Au、U矿化热水硅质沉积建造、粤北凡口铅锌矿、大宝山铜多金属矿床以及其他一些重晶石、锑、汞矿床也被认为与热水沉积作用有联系。

4 热水沉积具有相对确定的演化特性

热水活动-沉积作用的重要特征之一是与地壳、地质构造演化阶段有关,在时间上呈幕式发育。在拉张大地构造背景下,一个完整的热水活动-沉积作用体系通常经历几个阶段。

在华南地区,主要热水活动-沉积事件发生在早震旦世、晚震旦世—早寒武世、泥盆纪、二叠纪。

震旦纪早期:典型代表有广东大降坪黄铁矿、广西鹰扬关铁矿、海南石碌铁矿、湖南民乐锰矿^[13]。大降坪黄铁矿矿床的含矿地层由3个部分组成:下部为碎屑岩系,中部为碳酸盐岩,上部为细碎屑岩系。热水沉积黄铁矿层分布在中、上部过渡带。

晚震旦世—早寒武世:典型代表是云开地区震旦系顶部硅岩建造^[5]。该建造的硅岩主要发育层状构造、纹理状构造、块状构造和假角砾状构造。形成于前寒武纪时期云开边缘地槽中的裂谷或张性应力带,热水对流体体系主要靠勾通海水与深部未知热源的大断裂系来维持。此外,寒武系下部的重晶石层、磷矿层、黑色岩系亦被认为属于热水沉积成因^[13,60]。

泥盆纪:泥盆纪热水沉积建造广泛分布在华南各地。它的发育始于早泥盆世的塘丁期,到晚泥盆纪达到高潮。广西南丹-河池盆地榴江组硅岩建造是其典型代表。

二叠纪:华南地区主要发育碳酸盐型台地相,以碳酸盐岩为主。热水成因层状硅岩建造在张性的台盆相区中,以湘南下二叠统茅口阶上部的孤峰组/当冲组最有代表性^[15]。

热水沉积演化还具有地球化学遗传性。对两广地区震旦系顶部和上泥盆统热水成因硅岩建造的研究表明,热水成因硅岩对基底和古老地层沉积物具有显著的地球化学遗传性。

参考文献:

[1] 陈先沛. 初论礁硅岩套——一种重要的含矿组合[A]. 地球化学文集[C]. 北京: 科学出版社, 1986. 37-44.
[2] 陈先沛, 高计元. 广西中部泥盆系的多金属-重晶石矿床和热

水沉积作用[J]. 沉积学报, 1987, 5(3): 149-158

- [3] 韩发, R. W. 哈钦森. 大厂锡-多金属矿床热液喷气沉积的证据[J]. 矿床地质, 1989, 8(2): 25-27.
[4] 周永章. 广西丹池盆地泥盆系热水成因硅岩的地球化学特征[J]. 沉积学报, 1990, 8(3): 75-83.
[5] 周永章, Chown E H, Guha J, 卢焕章. 粤西古水震旦系顶部层状硅岩的热水成因属性[J]. 沉积学报, 1994, (3): 110.
[6] 李朝阳, 王京彬, 肖荣阁. 滇西地区陆相热水沉积成矿作用[J]. 铀矿地质, 1993, (1).
[7] 祁思敬, 李英, 等. 秦岭泥盆系铅锌成矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 240.
[8] 涂光炽. 我国南方几个特殊的热水沉积矿床[A]. 纪念谢家荣诞辰90周年文集[C]. 学术出版社, 1989. 189-198.
[9] 刘建明, 刘家军. 盆地流体及成矿作用评述[A]. 世纪之交中国矿物学岩石学地球化学的回顾与展望[C]. 北京: 原子能出版社, 1998. 384-389.
[10] 侯增谦, Uebe. 现代与古代海底黑矿型块状硫化物矿床矿石地球化学比较研究. 地球化学, 1996, 25: 228-240.
[11] 肖荣阁, 杨忠芳, 杨伟东. 热水成矿作用. 地学前缘, 1994, 1(3-4): 140-147.
[12] 赵一阳, 鄢明才. 冲绳海槽海底沉积物异常——现代海底热水效应的“指示剂”[J]. 地球化学, 1994, 23(2): 132-139.
[13] 陈多福, 陈先沛, 高计元. 礁硅岩套与超大型矿床[J]. 中国科学(D辑), 1997, 增刊.
[14] 林丽, 殷鸿福, 张本仁, 朱利东. 太阳群热水沉积成因的硅质岩作为拉尔玛金矿源层的研究[J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(2): 1-6.
[15] 夏邦栋, 钟立荣, 方中, 等. 中国南方早二叠世孤峰组层状硅岩成因[J]. 地质学报, 1995, 68(2): 125-137.
[16] 卓维荣. 滇西两河热泉型金矿的发现及其地质特征[J]. 地球科学, 1991, 16(2): 189-197.
[17] 夏文杰. 中国南方震旦纪岩相古地理与成矿作用[J]. 北京: 地质出版社, 1994. 109.
[18] Rona P A. Hydrothermal mineralization at seafloor spreading centers [J]. Earth Science Reviews, 1984, 20: 1-104.
[19] Rona P A, Scott S D. A special Issue on sea-floor hydrothermal mineralization: New perspectives. Economic Geology, 1993, 88(8): 1935-2294.
[20] Crockett J H. Noble metals in seafloor hydrothermal mineralization from the Juan de Fuca and Mid-Atlantic Ridges: A fractionation of gold from platinum metals in hydrothermal fluids [J]. Canadian Mineralogist, 1990, 28: 639-648.
[21] Binns R, et al. Precious metal barite spires from the Western Woodlark Basin, Papua New Guinea [A]. Program with Abstracts, Volume 16, Geological Association of Canada [C], 1991. Mineralogical Association of Canada, and Society of Economic Geologists, A12.
[22] Barret T J. Mass changes in the Galapagos hydrothermal mounds: Near-axis sediment transformation and mineralization [J]. Geology, 1992, 20: 1075-1078.

- [23] Roberts R G, Sheahan P A. Ore deposit models[M]. Geoscience Canada Reprint Series 3, 1987. 250.
- [24] Bonatti E. Metallogenesis at oceanic spreading centers[J]. Annual Review of Earth and Planetary Science Letters, 1975, 3: 401- 431.
- [25] Berger B R, Bethke, P M. Geology and geochemistry of epithermal systems[A]. Reviews in Economic Geology, Volume 2, Society of Economic Geologists[C], 1985. 270.
- [26] Cann J R, Strens M R. Black smokers fuelled by freezing magma[J]. Nature, 1982, 298:147- 149.
- [27] Herzig P M, *et al.* Hydrothermal silica chimney fields in the Galapagos Spring Center at 86W [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1988, 89: 261- 272.
- [28] Larson P B, Cunningham C G. Large-scale alteration effects in the Rico paleothermal anomaly, South Colorado [J]. Economic Geology, 1994, 89(8).
- [29] Colillon P, Girard F. Comparative evolution of material flux through two DSDP succession from Central Atlantic and Gulf of Mexico: Preliminary results of a new approach to sedimentary dynamics in pelagic environments [J]. Marine Geology, 1995, 122(4): 329- 248.
- [30] Weissberg B G. Gold-silver ore-grade precipitates from New Zealand thermal waters[J]. Economic Geology, 1969, 64:54- 108.
- [31] Bostrom K, Peterson M N A. The origin of aluminum-poor ferromanganous sediments in areas of high heat-flow on the East Pacific Rise[J]. Marine Geology, 1969, 7:427- 447.
- [32] Adachi M, *et al.* Hydrothermal cherts and associated siliceous rocks from the northern Pacific: their geological significance as indication of ocean ridge activity[J]. Sedimentary Geology, 1986, 47:125- 148.
- [33] Hein J R, *et al.* Petrology and geochemistry of cretaceous and paleogene cherts from Western Costa[A]. A Iijima J R, Hein R Ricaeds. Siliceous Deposits in the Pacific Region. Seiver, Elsevier, Amsterdam[C], 1983. 143- 174.
- [34] White D E. Active geothermal systems and hydrothermal ore deposits [J]. Economic Geology, 1981, 75: 392- 423.
- [35] Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes[J]. Sedimentary Geology, 1987, 52 65- 108.
- [36] Zhou Y Z, *et al.* Cherts: Evidence of a fossil geothermal system, A case study [A]. Program with Abstracts [C], Volume 16, 1991, Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, and Society of Economic Geologists, Toronto, A 138.
- [37] 薛春纪, 等. 秦岭凤太矿田硅岩及与成矿关系[A]. 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室年报[C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1990. 1- 8.
- [38] 宋春晖, 武安斌, 周少平. 西成矿田海底热水喷溢沉积成因硅质岩及其与矿化关系[J]. 沉积学报, 1992, 10 (4): 60- 67.
- [39] 郑明华, 刘家军. 西南秦岭亚带金-铜-钼成矿带中硅岩的海底喷流沉积特征[J]. 成都地质学院学报, 1993, 20 (2): 9- 16.
- [40] 王京彬, 李朝阳. 金顶超大型铅锌矿床 REE 地球化学研究[J]. 地球化学, 1991, (4): 359- 365.
- [41] 张景荣, 陆建军, 王蔚. 论湖南石门 As(Au) 矿床的古热泉成因[J]. 地质论评, 1994, 40(5): 429- 434.
- [42] 伊海生, 曾允孚, 夏文杰. 扬子地台东南大陆边缘上震旦统硅质岩的超微组构及其成因[J]. 地质学报, 1994, 68(2): 132- 141.
- [43] 侯宗林, 郭光裕. 云南腾冲-梁河地区地热系统与现代热泉型金矿化作用[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 243- 249.
- [44] 郑亚新, 章铭陶, 朱炳球, 等. 云南腾冲热海热田痕量元素分带研究[J]. 地质科学, 1991, (2): 137- 147.
- [45] 王江海, 颜文. 陆相热水沉积作用——以云南地区为例[M]. 北京: 地质出版社, 1998. 132.
- [46] 侯增谦, 莫宣学. 现代海底热液成矿作用研究的现状及发展方向[J]. 地学前缘, 1996, 3(3): 263- 272.
- [47] 周永章. 台盆相地层的沉积地球化学及数学地质特征——对广西丹池盆地上泥盆系地层的解剖[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1987. 202.
- [48] 鲁观清, 刘友梅. 热水活动对碳酸盐沉积物中 $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ 的影响——以晚泥盆丹池盆地为例[J]. 地球化学, 1990, (4): 312- 317.
- [49] 葛朝华, 韩发. 广东大宝山矿床喷气-沉积成因地质地球化学特征[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1987. 1- 111.
- [50] Zhou Y Z, Chown E H, Guha J, *et al.* Hydrothermal origin of Precambrian bedded chert at Gusui, Guangdong, China: Petrologic and geochemical evidence [J]. Sedimentology, 1994, (3): 605- 619.
- [51] 张乾, 张宝贵, 潘家永, 等. 粤西大降坪黄铁矿床热水沉积硅质岩特征及稀土模式[J]. 科学通报, 1992, 37(17): 1588.
- [52] 王鹤年, 李红艳, 王银喜. 广东大降坪块状硫化物矿床形成时代——硅质岩 Rb-Sr 同位素研究 [J]. 科学通报, 1996, 41(21): 1960- 1962.
- [53] 梁华英, 王秀璋, 程景平, 等. 大沟谷钠长石岩及金矿床形成分析[J]. 贵金属地质, 1997, 6(4): 255- 260.
- [54] 周永章, 杨蔚华, 刘友梅, 等. 稀土元素作为粤西桂东南地区存在晚前寒武纪热水沉积事件的证据[A]. 矿床地球化学研究[C]. 北京: 地震出版社, 1994. 105- 107.
- [55] Zhou Y Z. Geochimie et mecanisme metallogenique du district aurifere de Hetai, Sud de la Chine [D]. Universite du Quebec, 1992. 279.
- [56] 周永章. 广东河台金矿田的地球化学和成矿机理[J]. 广东地质, 1993, (2): 61- 66.
- [57] 陈多福, 陈光谦, 陈先沛. 广东云浮大降坪超大型黄铁矿床的热水沉积特征[J]. 地球化学, 1998, 27(1): 21- 28.
- [58] 夏萍, 张湖, 王秀璋, 等. 粤西长坑金银矿区硅质岩的地质地球化学特征及成因探讨[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 130- 138.
- [59] 李胜荣, 高振敏. 华南下寒武统黑色岩系中的热水成因硅质岩[J]. 矿物学报, 1996, 14(4): 416- 422.

Thread and Knowledge to Fossil Sea-Floor Hydrothermal Sedimentation of South China

ZHOU Yong-zhang¹, LIU Jia-ming², CHEN Du-fu³

(1. Dept. of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Research Center of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Fossil sea-floor hydrothermal sedimentary formations developed well in South China, such facts has attracted attention from Chinese scholars since 1980s. The hydrothermal sedimentation varied in sediment formation, model and tectonic background as well as in geochemical characteristics. It had certain evolution direction, and was to various extents in relation to the formation of many metallic ore deposits in this area.

Key words: South China; hydrothermal sedimentation; fossil sea-floor; geothermal system

· 简 讯 ·

第二届全国化学地球动力学高级研讨会在合肥召开

由中国科学院主办、中国科学技术大学承办的“第二届全国化学地球动力学高级研讨会”于2000年2月15~17日在安徽省合肥市举行。来自高校系统和中国科学院、国土资源部所属单位的80余人出席了会议,代表们就近年来化学地球动力学的最新进展和发展方向进行了深入研讨。

会议交流了造山带同位素地质年代学、大陆板块俯冲的化学地球动力学、地壳演化与花岗岩地球化学、壳—幔相互作用的地球化学、流体地球化学与成岩成矿及环境地球化学与全球变化等领域的最新科研成果。参加研讨会的专家达成以下共识:科学研究既要考虑社会需求,也要具有追求真理、锲而不舍的探索精神;化学地球动力学研究不仅要注意跟踪国际前沿领域的热点和动态,更要注重高起点的开拓和创新,不仅要强调不同学科、不同单位之间的交叉与渗透,而且要注意与国家重大基础研究项目相结合;虽然一流的学术思想是推动学科发展必不可少的关键因素,但扎实的地质基础、准确的实验数据和合理的理论模型是其稳步快速发展必不可少的支撑点。

(魏春生 供稿)