

热水沉积作用的概念和几个岩石学标志¹

陈先沛 高计元 陈多福 董维全

(中国科学院地球化学研究所广州分部)

提要 热水沉积作用系指沉积界面之下循环流动的热液溢出界面以后发生的沉积作用, 以及界面之下的围岩的交代(蚀变)充填作用。本文讨论了三个重要的岩石学标志——与沉积物同期(准同期)的交代、充填作用; 具对称分布趋势的喷溢条带和纹层及礁硅岩套。

关键词 热水沉积作用 概念 岩石学标志

第一作者简介 陈先沛 男 57 岁 研究员 沉积学及沉积地球化学

近十年来, 热水沉积作用的研究在地质和地球化学领域形成了一个热潮。国际上, 以 60 年代基伍湖和红海海底热水沉积物的发现和研究所为契, 重新评价热液成矿理论, 使喷气(溢)沉积获得新的发展动力。70 年代末期大洋中脊热泉沉积的发现, 把热水沉积的研究提高到一个新的阶段, 吸引起地学工作者和其它领域的专家的极大关注。热水沉积作用的发现和研究所被认为是继板块运动以来地学界的又一重大突破, 它使矿床究竟是如何形成的这一古老的命题从单纯的思辩和模拟范畴, 变得可以实际观察和操作。据现今正在发生成矿作用的“天然实验室”的各种作用的理解, 澄清了许多有关矿床形成的多种假说长期争论不决的状态; 为在浩瀚的现代海洋底部寻找新的工业矿床开辟了广阔的前景。并藉以在陆地发展为有效的找矿预测理论和方法。

沉积学是最具现实主义方法传统的地质分枝学科。有关沉积学的基本概念、方法和理论, 多半建立在对现代沉积作用了解的基础之上。规模巨大的现代热水沉积作用的发现也给沉积学的研究提出新的课题。如果说在此之前沉积学家所关注的基本问题是沉积物形成环境是在海中还是在陆上? 是深水还是浅水? 是动荡还是宁静? 是氧化还是还原等; 那么, 今后还需要沉积学家回答所研究的沉积物是热水介质还是正常水体中沉积下来的这个关键问题。

一、热水沉积作用的概念

现代热水沉积是通过海洋调查发现海底热(温)泉及其有关沉积物而被提到学术界面前的, 因此, 热水沉积作用和热水沉积物两者紧密的联系在一起讨论。早期的研究者强调作用, 把循环流动在海洋盆地基底岩石中的热水体系到达涌出带附近所发生的作用称为热水沉积作用 (Rona 1983, 1984, Edmond, 1983, Hekinian, 1982)。由此而形成的矿床为热水沉积矿床或洋底热泉矿床。涂光炽 (1989) 认为“热水沉积矿床是指在热水介质中(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-岩石界面之上的水体中, 但也包括此界面之下可能存在的、以交代和充填方式形成的筒状、锥状或面型热液含矿蚀变体, 二者可

¹国家自然科学基金资助项目

共生或分别出现”。此定义侧重介质和产状, 较为具体和全面, 有利广泛使用, 是值得推广的概舍。

我国在 70 年代末期以来, 地质文献中较多的出现热水沉积方面的研究论文, 所使用的名称较多, 如热液沉积、喷流(气)沉积、热卤水沉积、热(湿)泉沉积等等。这些名词的使用虽然侧重点有细微差别, 基本含义则是相似的。其中相当部分涉及习惯用语和对外文名词的翻译, Hydrothermal 在文献中可译为水热的、热水的和热液的, 而矿床学中长期译成热液的, 并遵循北美的习惯将其来源与岩浆作用相联系(瑞奇, 1979), 划分出高温、中温、低温、远温热液矿床。70 年代北美地质学家已经重新明确 Hydrothermal 仅指热水(Hot water)(郭文魁, 1991)。描述现代热水沉积作用也常用热泉(Hot Spring, Thermal Spring)、热水(Hot water, thermal water)。可见重视的是水的热状态, 并不强调成因和来源。

水文学早已使用热水一词, 指温度较高的地下水和泉水。关于地下热水的温度下限各国规定的标准并不统一, 如北美把水温高于当地年平均气温 5℃ 以上的地下水称为热水, 我国把 25℃ (北方)、40℃ (南方) 定为热水的下限温度(沈照理, 1985)。

笔者认为热水沉积作用遍及大陆、大洋的许多地方, 不必要规定一个统一的不变的温度(或温度范围)作为热水的下限值, 而采用明显高于当地背景温度作为标准。现代洋中脊水深 2000m 左右的海水背景温度为 2℃ 左右, 最初调查发现的洋底热水的最高温度仅 19℃ (Edmand 1983), 后来找到热水烟囱就其本身来说, 也只是在喷水口处达到百度以上的高温, 当与热容量极大的海水混合之后, 温度就急剧降低而形成有明显温度梯度的热水场。只有在海底地形低洼处, 如红海 II 号海渊, 海水交换受到限制和热盐水的分层, 方能保持较为稳定的 40–80℃ 的热水池。

有关现代和古代热水沉积矿床的资料已经积累得非常多了, 研究的势头还在持续增长, 以地质历史中石化了的热水沉积物为主要研究对象而言, 下述的一些概念是重要的。

1、地表水(海水、大气水)下渗与热的岩石的相互作用普遍存在, 下渗的深度可达 8–10km, 或更多, 局部可深入莫霍面之下, 厚度为 8km 的洋壳中 75% 的岩石均受到过程度不同的热水交代作用。

2、加热循环的热水涌入盆地的数量非常巨大。多种方法的估计年上涌热量相当于地表入海流量的十分之一, 换言之, 现在大洋的全部水体在 1–10Ma 的时间尺度内将全部循环一次。

3、热水性质的观察和水岩相互作用实验的结果证实, 各种岩石与海水相互反应均能形成酸性的、还原的、包含多种重金属的热水, 与现代海底热泉水性质类似。热水比海水富集程度在两个数量级以上的成分有 Si、Ba、Fe、Mn、Cu、Zn、H₂S 等。

4、热水沉积作用性质和规模受一系列的地质因素所制约, 主要是地质体的空间结构和热状态, 包括岩浆房的大小和深浅、构造带的空间配置, 扩张的速率和扩张的阶段, 地热梯度, 岩石的渗透率及组合关系, 地形与封闭程度, 热水供应速率与持续时间, 后期的保存等。热水沉积作用不限于固定的地质单元, 在多种地质环境中均可产生。现代海洋底部已发现热水沉积物达 150 余处, 且数量还在增长。

5、热水沉积的产物有多种不同的分类方案, 如按成分(硫化物、氧化物、硅酸盐等)、按产状(层状和似层状、丘堤状、脉状)、按环境(火山岩为主、陆源沉积为主)、按时间(喷溢前、同喷溢期和喷溢期后)等, 从不同侧面反映热水作用的特色。

热水沉积作用的普遍发现和深入研究为沉积学的发展提供了新的领域和新的内容。首先在沉

积物的物质来源上,有必要强调盆下源的重要意义。过去沉积物的来源较多的重视陆源、海源、火山源、宇宙源等,仅是在火山源的讨论中附带说明与火山作用相伴的炽热气、液对沉积作用的影响。热水的普遍存在、巨大数量和它并不固定与火山作用相联系的事实说明盆下源不是火山源所能包容的,在许多情况下热水沉积可以发育在没有火山作用的沉积盆地中。有时,少量的火山产物与大量的热水沉积物很不相称。据热水的运移方向是从沉积盆地的底部喷溢到盆地中的特点,称其为盆下源。既区别于来源很深的、以固体产物为特色的火山源,也区别于侧向运移或重力驱动的陆源和海源。

其次热水的独特性质为化学沉积作用的研究开辟了新的思路。地表水中基本上极少含有金属元素而沉积层中堆积有大量金属和非金属矿床的事实曾使沉积学家和矿床学家迷惑不解。比如海水中含 Ba 仅 20ppb, 而含 BaSO_4 80% 以上的重晶石层, 常有巨大的规模, 其中仅湖南贵州交界的重晶石矿区, 就有近 5 亿吨的重晶石矿储量 (涂光炽等, 1987); 沉积地层中硅岩层厚度数十到百米以上, 分布范围数百到数千平方公里, 含 SiO_2 90% 者多处可见。许多贱金属矿床也有类似的情况。对于这种极难从海水中富集到巨大规模的海相沉积物中的金属和非金属元素的来源曾提出过许多假说。热水沉积作用的了解, 特别是现代热水沉积物中多金属硫化物、铁锰氧化物、碳酸盐和硅酸盐、纹层状重晶石的发现, 海底纯 SiO_2 烟囱的发现 (Herzig, 1988) 才找到可信的证据。笔者相信热水沉积作用的深入研究将推进化学沉积作用的更快发展。

热水沉积作用的堆积方式丰富多彩, 热水溢入海盆地之后将因水温和水柱压力的大小不同而有较平静的混合和猛烈的爆发、沸腾作用; 与海水混合后可以化学聚沉, 也可以被生物吸收后再聚集, 可以就地堆积, 也可以搬运一段距离后才沉积; 热水对先期的沉积物有广泛的交代、充填、矿物相变和重结晶等作用, 这是其它沉积作用没有或少见的。热水沉积物几何形态、沉积结构、构造有自身的特点, 如点式分布、剖面位置、岩石结合、眼式结构、准同期的交代充填、同生角砾、喷溢纹层等 (涂光炽等, 1984, 1987, 1988; 陈先沛, 1987, 1988, 1989; Chen Xianpei et al. 1988)。

地球是一部热机, 热量的产生、传输和散失是地球中发生的许多作用的基本动力。据计算, 地球热量的输送有约 1/4 是经由热水的循环而从深部带向地表的。在热、动力的影响下, 大到板块的扩张和漂移, 盆地和山脉的形成, 小至元素的迁移和富集, 都和流体的作用、流体的演变历史有关。过去所划分和强调的内生作用和外生作用通过水的循环在一定程度上被沟通了。经过多年的工作, 已经认识到不少的矿床, 特别是规模巨大的许多矿床很难用单一的内生成矿或外生成矿来概括, 它们往往是两种作用兼而有之, 只不过在不同的矿床或一次大的成矿作用的不同阶段有所侧重而已。

因此, 国际上和国内的地学界, 首先是矿床学界研究热水沉积的热潮是很自然的, 代表了人们对地球上发生的作用的深入了解。沉积学对发展热水沉积的研究负有重大的责任。

二、热水沉积作用的几个岩石学标志

热水沉积作用较迟为人们所重视与该作用的性质有关。热水对物质和能量的输送所留下的固态产物和遗迹数量相对于以后散失的大量热水要少得多, 因而不易被发现认识。研究热水沉积作用, 尤其是地质上已经发生过的热水沉积作用, 在很大程度上是识别和确定热水沉积作用的标志问题。

热水沉积作用的标志是多方面的。现代热水场可以用地球物理、地球化学、地质学的多种方

法实际观测、取样分析、综合比较;对古代热水沉积的研究要困难得多。全面介绍有关热水沉积的各种标志不是一篇文章所能包容的。对几种较常见的岩石学标志作简略的介绍,以资引起同行们的讨论。

1、与沉积物同期(准同期)的交代、充填作用。

国外关于块状硫化物矿床、阿尔卑斯铅锌矿床、页岩型贱金属矿床的研究报道过许多证明矿石物质与地层是同期或准同期形成的实例。在国内,笔者等先后报道过菱铁矿多金属矿、重晶石矿、硅岩、磷矿等矿床中沉积作用与交代-充填作用同时并存的例证(涂光炽等,1984,1987,1988,1989;陈先沛,1988,1989)。笔者认为这种同沉积的交代、充填作用的发育是判定热水沉积的重要标志之一。现就贵州二叠系碳酸盐地层中石英脉及硅化岩和燧石结核的资料作补充说明。

贵州罗甸县向西约40km处有完好的二叠系出露。厚数百米的二叠系剖面由两部分组成,剖面中、下部为成层规整的薄层、中厚层到厚层的灰黑色泥晶灰岩,剖面上部为碎屑流沉积。二叠系产状稳定,为单斜。环境分析属于较深水的静水盆地。中上部泥晶灰岩中的石膏假晶(已碳酸盐化)大致均匀散布于泥晶灰岩薄层中,不显定向。石膏晶体假象薄层灰岩的存在,说明沉积物堆积之后有高盐度水介质的存在。上部碎屑流沉积为块状不显层理的砾岩。砾岩层中砾石大小悬殊,大者长轴可达10m以上,但大量砾石为厘米级。砾石多为棱角和次棱角状,大砾石的棱角更明显。砾石分布杂乱无定向和粒序现象,基质(泥质和泥晶碳酸盐)支撑。属于较典型的盆地边缘碎屑流沉积。

剖面中、下部二叠系灰黑色层状泥晶灰岩中,有上百条的灰白-乳白色的石英脉,硅化岩和少量灰到灰黑的燧石结核。石英脉多在下部灰岩层,硅化岩和燧石结核多在中上部灰岩中。

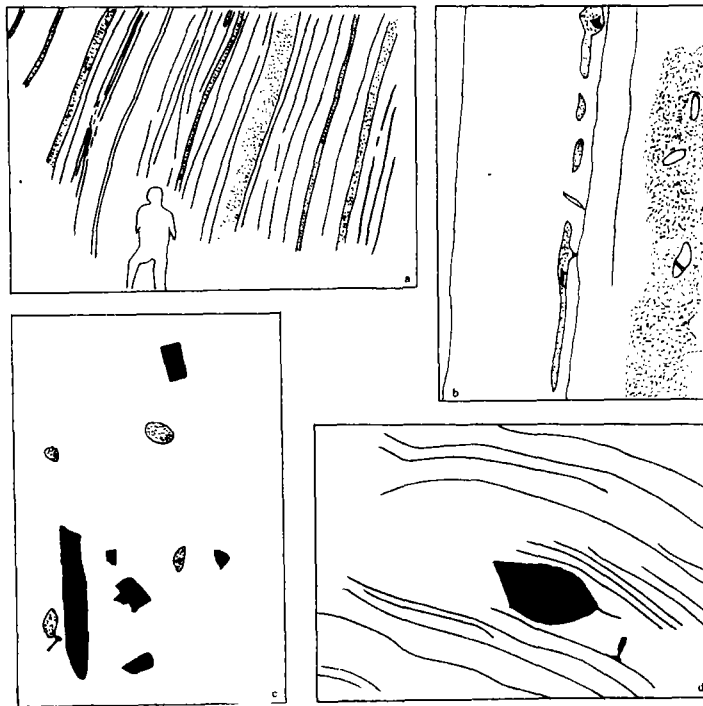
石英脉呈乳白色,由细-微晶石英组成,糖粒状镶嵌,较严格的顺灰岩层贯入,接触界线清楚、明显。石英脉宽度一般为几厘米,少数超过50cm。在露头上灰黑色灰岩和乳白色的石英脉在颜色上产生鲜明的反差,极易辨认(图1a)。石英脉的分布较为均匀,间距为几十厘米到几米。

硅化岩多为灰白、灰色,局部为灰黑色。硅化岩由微-隐晶石英组成,无颗粒感。灰岩中的硅化岩亦顺层产出,但并不完全顺层理面分布。硅化岩与灰岩的界线不规则,也不清楚,其中常有未被硅化的灰岩残体(图1b)。在分布上硅化岩的连续性不如石英脉,常断续作顺层分布的透镜体。硅化岩中心强硅化部分出现灰黑色隐晶石英,极似燧石结核(图1b)、沿走向曾见到灰白色硅化岩透镜体颜色逐渐变深,可为灰黑色燧石结核所代替。

燧石结核多为灰黑色的隐晶石英,可以成较大的单体(图1c),也可成群顺层断续分布。结核的形态与岩层的层理基本适应,显示准同期结核的特点。

上述的石英脉、硅化岩和燧石结核在空间上分布邻近,有垂向上的更替,严格或基本顺层,顺走向有过渡和交替现象,它们是在沉积物堆积后尚未固结时由富硅溶液在软沉积物中充填和交代泥晶和交代泥晶灰岩的结果,但硅化作用的准确时间尚待讨论。

二叠系剖面上部的碎屑流沉积中存在较多石英脉、硅化岩和硅岩的大小角砾(图1d),为硅化作用提供了准确的时间限制。有力地证明二叠系中、下部泥晶灰岩的石英脉贯入和硅化作用发生在碎屑流形成之前可以说泥晶灰岩沉积未完全结束时就发生了一次广泛的硅化作用事件。碎屑流中层状硅岩大角砾(大小约为 $350 \times 40\text{cm}^2$),暗示二叠系中存在有由富硅热水溶液涌入盆地后以沉积的方式形成的硅岩层。



a. 灰岩层中石英脉和硅化岩产状。黑实线为灰岩层面和层理，灰岩未加图例，石英脉和硅化岩加细黑点。人像作比例尺，约 15m 高。 b. 图右侧灰岩层中硅化岩（细黑点）及灰岩残留体，界线不明显，不规则；中部硅化岩不连续顺层分布，中心有灰黑色硅化岩（黑色）。灰岩未加花纹，黑实线为层理面。图中部的记号笔长为 12cm。 c. 灰岩层中的燧石结核（黑色），其余图例同上，右下地质锤长度 35cm； d. 二叠系上部碎屑流。仅绘出大砾石，细黑点示石英脉和硅化岩，黑色为硅岩和燧石。左下地质锤长度 35cm。

图 1 罗甸城西二叠系灰岩中石英脉、硅化岩、燧石结核和碎屑流素描图（据彩色照片绘制）

Fig.1 Sketch map of quartz veins, silicified rocks, chert nodules and debris flow of Permian system in western Luodian

我国南方下二叠统的栖霞组、茅口组中广泛发育燧石结核，结核的密集程度、形态和产状有明显的层控性，常可作为初步判定地层层位的标志之一；上二叠统硅岩层亦甚普遍（当冲组、合山组、吴家坪组等）。从大的区域背景分析，上二叠世有一次大规模、涉及滇、桂、川、湘等省区的热液沉积事件，正好与峨眉山玄武岩的喷溢期相当。

罗甸城西二叠系石英脉、硅化岩和燧石结核以及硅岩提供了热液沉积作用的良好岩石学证据。类似的现象也程度不一的出现于我国南方震旦系、寒武系和泥盆系（陈先沛，1990）。

2. 喷溢条带和纹层

热液沉积岩石和矿石中最为常见的沉积构造是条带和纹层构造。有关纹层和条带的形成机理已有文献作过多方面的讨论，取得了许多宝贵的成果，仍存在一些疑难问题（Reineck H. E., 1973, Lijima and Hein, 1983）。笔者研究硅岩、重晶石矿时注意到由热液沉积作用形成的条带和纹层具有若干独特的特点，可用“眼式”构造一词来概括（陈先沛等，1988，1989）。据热液沉积作用是由盆下源热液喷溢入海盆与海水混合后发生沉淀的特点，认为喷溢纹层有脉动性；热液的

喷溢是多次的, 无论是一次大的热水事件还是一次小的喷溢都有从出现到增强并逐渐减弱以至消失的过程, 因此热水物质的加入有从少到多至极盛后逐渐减少、消失的趋势。热水喷溢以热水和海水的混合为主要方式, 沉淀发生在水柱压力大, 也就是深水或半深水的环境。深水环境的陆源物主要是细碎屑物从水体中缓慢下沉, 可以大略的认为是比较匀速的沉降。当热水沉积物脉动式的注入, 与海水迅速反应快速沉积, 叠加在均匀的背景沉积之上, 由此而产生一种大致对称的结构形式。笔者用这种判断, 解释了秦岭寒武系硅岩层和广西泥盆系硅岩层由硅质板岩—薄层硅岩—块状硅岩—薄层硅岩—硅质板岩的剖面结构。我国层状重晶石矿和硅岩也存在类似的对称剖面结构 (涂光炽等, 1987, 1988; 陈先沛, 1989)。笔者认为以较纯的化学 (或生物化学) 沉积物质构成的近于对称的条带、条纹构造属于喷溢条带和纹层。图 2 的硅岩光面照片素描是这种构造的一个典型实例, 中心是硅岩 (燧石), 两侧对称出现硅岩条带, 条带的厚度渐次减薄, 过渡为纹层硅岩。这个照片是据文献 (Lijima and Hein, 1983, p.444, 照片), 由笔者解释的。国内相似的例子笔者曾多处见到, 但没有这个照片完美, 相似的基本趋向是普遍存在的。Scholle, et al., (1983) 曾综合比较过脉动纹层和季节纹层的沉积学特点, 笔者据此并加上喷溢纹层的特点并作一些补充列入表 1 中以供鉴别沉积岩纹层的成因时参考。

由表可见, 喷溢纹层以作用复杂、成分多变、纹层宽度可细微到小于微米级、有对称分布趋势和具分带性为突出的特点。

3、礁硅岩套

笔者据我国一些金属与非金属矿床的观察和部分文献的调研, 提出存在一种较稳定的沉积岩类的自然组合, 命名为礁硅岩套 (陈先沛, 1988)。基本内容是盆地型礁滩相碳酸盐与上覆的硅岩 (广义的) 和不稳定的火山岩类有规律的伴生, 并且往往是重要的含矿地质体。对礁硅岩套的地质背景 (张性构造环境, 同沉积断裂发育, 高的地热场), 岩石成因和组合关系 (浅水生物碳酸盐和热水沉积的硅岩、深源火山岩和次火山岩), 含矿的种类和成矿部位等作过初步的探讨。曾列出了国内的几个含矿礁硅岩套和国外的一个实例, 其中两处 (广西大厂, 西秦岭) 有较详细的讨论。其后, 韩发和哈钦森 (1989, 1990) 对大厂礁硅岩套中的锡多金属矿床作了详尽全面的研究, 肯定为喷气沉积成因。吴健民 (1990) 研究了“秦岭式铅锌矿床含矿礁硅岩套”的地球化学, 认为产于其中的矿床与热水沉积有关, 分出热水沉积—受变质型、热水沉积—改造型和热水交代—再造型等矿床类型。祁思敬 (1990)、李英等 (1990)、薛春纪等 (1990) 分别从不同的角度讨论了产于礁硅岩套的秦岭铅锌多金属矿床的地质和地球化学问题。

滇东南木利铈矿产于下泥盆统的生物礁中 (郑荣才等, 1988)。生物礁中的铈矿伴有强烈的硅化 (硅化礁灰岩, 块状硅化岩), 礁硅岩套的上覆地层为碳质、钙质页岩夹薄层硅岩。据笔者判断, 这可能是礁硅岩套产出大型铈矿床的又一例证。

值得注意的是滇黔桂的微细金矿的某些类型 (如戈塘、浪全) 也产于礁硅岩套之中。含矿硅化蚀变岩、硅化角砾岩直接盖在下二叠统或三叠统礁 (滩) 灰岩之上, 其上的上二叠统或下三叠统有典型的沉积硅岩层。说明礁硅岩套也是重要的含金建造 (沈阳地质矿产研究所, 1989), 可与湖南二叠系礁硅岩套中的铀矿、铅锌矿、金矿比较。

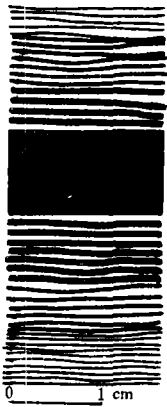


图 2 日本三叠系硅岩、条带与条纹对称分布 (据光面照片绘出)
Fig. 2 Sketch map of symmetric banded and laminated chert of Triassic system in Japan

表1 沉积岩(矿)中几种常见的纹层和条带的特点比较

Table 1 Comparison of several kinds of common banded and laminated structure in sedimentary rocks and ores

| 特点 | 喷溢纹层 | 脉动纹层 | 季节纹层 |
|------------|--|---|--|
| 1. 作用 | 盆下源热水喷溢入盆与海水混合 | 脉动性重力流入盆地而沉降 | 季节性水流变化而引起 |
| 2. 代表岩石 | 硅岩、重晶石岩 | 中、细粒浊流层 | 冰川纹泥层 |
| 3. 几何形态 | 透镜状、丘堤状、带状 | 席状 | 席状 |
| 4. 条带与纹层成分 | 由化学或生物化学沉积本身显示条带、或化学沉积物与背景沉积的细碎屑物交替 | 中、细碎屑因重力沉降的速度差异而形成条带交互 | 水流和陆源成分改变而形成不同粒级或颜色的沉积物 |
| 5. 条带对的系 | 化学沉积条带宽度与背景沉积宽度相互消长, 条带不稳定, 条带间界线截然或过渡, 形成时间长短不定, 条带和纹层宽度变化很大, 从小于1厘米到数十厘米 | 中(砂、粉砂)、细(粘土)粒层的厚度存在一定比例关系, 条带对很稳定, 界线过渡形成时间短暂(秒、分、时) | 条带对的厚度无一定比例界线清楚, 分布范围不一致条带间可有冲刷、虫孔。形成时间长(年、季)条带宽度毫米到厘米 |
| 6. 垂向层序 | 存在对称分布趋势 | 向上变细、变薄或变粗、变厚 | 无确定的垂向变化趋势 |
| 7. 水平分带性 | 成分组构分带性普遍 | 不明显的粒度分带 | 无分带性 |

在文献中见到国外一些矿床产于典型或较典型的礁硅岩套中, 如澳大利 Bleiberg 三叠系中的铅锌矿床 (Ashley, 1985)、德国波因纳-鲁斯卡山区泥盆系的铁锰矿, 澳大利亚昆士兰芒特摩根黄铁矿型金、铜矿床 (克莱姆等, 1986) 等。矿床中既有同沉积的矿化, 也有后生的矿化, 研究认为两者形成时间相距很近, 与火山热液或上涌的地下水有关。

国内外的礁硅岩套确有相当广泛的分布, 又是重要的含矿建造。对其中的成矿作用大多数研究者持广义的热水沉积作用观点。因此, 礁硅岩套不仅是重要的找矿对象, 也是一种判定热水沉积作用的岩石自然组合标志。看来, 礁硅岩套的岩石类型和组合情况相当复杂, 有必要进一步的研究划分出亚类, 以反映热水沉积作用的不同类型及其地质背景的差异。

参 考 文 献

- (1) 陈先沛, 1986, 初论礁硅岩套——一种重要的含矿组合, 地球化学文集庆祝地球化学研究所成立二十周年专辑中国科学院地球化学研究所编辑, 科学出版社, 37-44页。
- (2) 陈先沛, 高计元, 1987, 沉积学报, 5卷3期, 149-158页。
- (3) 陈先沛, 陈多福, 1988, 沉积学报, 6卷4期, 22-32页。
- (4) 陈先沛, 1988, 岩石矿物地球化学通讯, 2期, 102-104页。
- (5) 陈先沛, 陈南生, 1988, 贵州震旦纪磷矿的硅化作用, 第三届矿物岩石地球化学学术交流会议文集汇编, 中国科技文献出版社重庆分社, 242-243页。
- (6) 陈先沛, 陈多福, 1989, 地球化学, 3期, 1-8页。

- (7) 陈先沛、陈多福, 1990, 华南几个热水沉积事件, 全国矿床地质地球化学理论与方法学术讨论会文集, 兰州大学出版社, 10-11 页。
- (8) Edmond, 1983, 大洋底的温泉, 科学, 8期, 37-50页。
- (9) 郭文魁, 1991, 矿床地质, 10卷1期, 1-9页。
- (10) 韩发、哈钦森、R W, 1989, 矿床地质, 8卷2期, 26-40页。
- (11) 韩发、哈钦森、R W, 1990, 矿床地质, 9卷4期, 309-324页。
- (12) 克莱姆 D. D. 施奈德 H. J (主编), 1988, 时限与层控矿床 (蔡文彦等译), 科学出版社, 1-321页。
- (13) 李英等, 1990, 南秦岭泥盆纪沉积盆地地壳热状态的变迁与喷溢成矿热源探索, 中国科学院矿床地化开放室年报, 贵州科技出版社, 15-24 页。
- (14) 祁思敬, 1990, 秦岭泥盆纪中的热水沉积成矿特征, 全国矿床地球化学理论学术讨论会文集, 兰州大学出版社, 22-23 页。
- (15) 薛春纪等, 1990, 秦岭凤太矿田及找矿关系, 中国科学院地化开放室年报, 贵州科技出版社, 1-8页。
- (16) 瑞奇 J. D., 1979, 成矿概念的变化和发展 (张炳熹译), 地质出版社, 1-373页。
- (17) Rona P. A., 1986, 海底热泉形成的矿床, 科学, 6期, 38-47页。
- (18) 沈阳地质矿产研究所, 1989, 中国金矿主要类型区域成矿条件文集 (第六集) 黔西南地区, 地质出版社, 1-128 页。
- (19) 涂光炽等, 1984, 中国层控矿床地球化学, 第1卷, 科学出版社, 70-128页。
- (20) 涂光炽等, 1987, 中国层控矿床地球化学, 第2卷, 科学出版社, 157-196页。
- (21) 涂光炽等, 1983, 中国层控矿床地球化学, 第3卷, 科学出版社, 131-168页。
- (22) 涂光炽, 1989, 我国南方几个特殊的热水沉积矿床, 中国矿床学-纪念谢家荣诞辰90周年文集 (宋叔和主编), 学术书刊出版社, 1989-197 页。
- (23) 吴健民, 1990, 秦岭式铅锌矿床含矿礁硅岩套的地球化学特征研究, 全国矿床地质地球化学理论与方法学术讨论会文集, 兰州大学出版社, 45-46 页。
- (24) 郑荣才、吴祁道、陈志洪, 1988, 成都地质学院学报, 15卷, 4期, 57-67页。
- (25) Ashley et al (Ed), 1985, Glacial Sedimentary Environments, Pubed by the SEPM, Tulsa, 1985, p. 1-239.
- (26) Chen Xianpei, 1988, Some Marks of the Hydrothermal Solution Sedimentation, 1AS International Symposium on Sedimentary Related to Mineral Deposits, (Abstracts), Beijing China, 12
- (27) Hekinian R. 1982, Petrology of Ocean Floors, Elsevier, Amsterdam, p. 1-383
- (28) Hein J. R. (Ed), 1987, Siliceous Sedimentary rocks-hosted Ores and Petroleum, Van Nosnand Keinhold Company, New York, 3-57, 138-163
- (29) Herzig p. M. et al, 1988, Hydrothermal Silica Chimney feild in the Gallpagos Spreading Center at 86 ° W, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 89, p.261-272
- (30) Lijima A, Hein J. R. et al.(Ed) 1983, Siliceous Deposits in the Pacific Region, Developments in Sedimentology 36, Elsevierier, Amsterdam p.1-472
- (31) Rona P. A., 1983, Hydrothermal Processes at Seafloors Spreading Centers, Plenum Press New York, p.1-796
- (32) Rona P. A. 1984, Hydrothermal mineralization at Seafloors Spreading Center, Earth Science Reviews, No.2, p.1-796
- (33) Scholle P. A. Bebout D. G. Moore C. H. (Ed), 1983, Carbonate depositional enviroments, Pub. by AAPG, Tulsa, p.1-708

The Concept of Hydrothermal Sedimentation and Its Petrological Criteria

Chen Xianpei Gao Jiyan Chen Duofu Dong Weiquan

(Guangzhou Branch of institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Hydrothermal sedimentation is referred to the sedimentation that occurring in the water bodies under the rock-water interface resulting from the hot water upmigration and extrusion under the sedimentary interface, including the contemporaneous (pene-contemporaneous) replacement and infilling happening near the interface.

Several petrological criteria to identify the hydrothermal dimentation are as follows:

1. Contemporaneous (pene-contemporaneous) replacement and infilling with sediments mainly occur in the surrounding rock near the sedimentary interface before the hot water extrusion, usually appearing in the form of veins and altered mass, distributing under the hydrothermal sediments.

2. Erupted bandings and laminae are the results of the hot water extrusion from weak to strong and to weak again. In the profile, the block is in the center and bandings and laminae distribute symmetrilly in both sides. The bandings and laminae are usually formed by the hydrothermal sediments themselves or their alternation with the backgroud sediments.

3. Reef-siliceous rock suite is composed of basin-typed reef-beach-phased carbonate and its overlying siliceous rock (including silicified rocks) accompanied by unstable volcanic (and / or subvolcanic) rocks. Important ore-bearing geologic bodies are often found in the transitional position of the reef-limestone-siliceous rock. The shape of ore-body and quility and fabric of ores are related to its occurrence position in reef-siliceous rock suite. More than 10 ore-bearing eef-siliceous rock suites have been found in China and abroad.