

我国南方泥盆系层控多金属矿床形成的沉积地球化学特征

陈先沛 高计元 张国新 陈 福

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

摘 要

本文讨论了两类礁相——盆地礁相和台地礁相的岩性及沉积环境的特点, 讨论了生物礁的生长发育对沉积环境的影响和各种不同沉积相中的地球化学性质, 以及层控多金属矿床与沉积环境和沉积相之间的关系。

泥盆系地层在我国南方广泛出露, 发育齐全, 是层控多金属矿床的重要含矿地层, 我国南方许多重要的工业矿床, 如矾口铅锌矿、英德黄铁矿、锡矿山锑矿、大厂锡矿等, 均产在泥盆系以碳酸岩为主的地层中。

一、我国南方泥盆系的沉积地球化学特点

我国南方泥盆系的地层学研究有较好的基础, 近年来已注意到沉积环境的分析^{[1-3][2]}。本文用综合性的地质地球化学方法恢复泥盆系以碳酸岩为主的地层的沉积环境和演变史, 并进而探讨矿床与沉积作用的关系。

据以碳酸岩为主的中、上泥盆统的岩石、生物和地球化学为标志, 将有关地层的沉积环境分成 6 个相和 12 个亚相^[4], 从陆到海分别为 1) 滨海相; 2) 局限盆地相; 3) 台地礁相; 4) 礁间洼地相; 5) 盆地礁滩相; 6) 盆地相。各相和亚相的地质、地球化学特征和矿化情况见图 1。

在泥盆纪的沉积盆地中, 生物礁、滩很发育, 它们在很大程度上影响着碳酸岩台地的性质。造礁生物主要是藻类、珊瑚、层孔虫和部分苔藓虫等。在不同的相带中生长发育起来的生物礁和生物滩, 因为它们所处的沉积环境不同, 因而它们的造礁生物, 沉积物类型, 沉积地球化学性质等都有着明显的差别, 最具典型的是台地型礁、滩和盆地型礁、滩 (表 1)。

台地型生物礁, 一般说来, 礁体的厚度小, 多为几米到十几米, 但分布面积广, 且层数较多, 属层礁性质, 也有小型的点礁。造礁生物以藻类最为重要, 其次是珊瑚和层孔虫等。潮汐、浅水沉积环境所特有的沉积构造, 如藻席、藻纹层、干裂、虫迹、生物钻孔、鸟眼等构造比较发育。非造礁生物以腕足类、腹足类、瓣腮、棘皮等底栖生物为主。与生物礁共生的生物滩面积很宽, 多由鲕粒、球粒、团粒、内碎屑及生物碎屑等碎屑颗粒组成。岩石的白云岩化作用较明显。上述

本文 1983 年 2 月 26 日收到, 1983 年 7 月 18 日收到修改稿。

1) 杨松年, 地质与勘探, 1981 年, 第 4 期。

2) 俞昌民等, 湖南的泥盆系及含矿特征, 1979 年, 第 2 期。

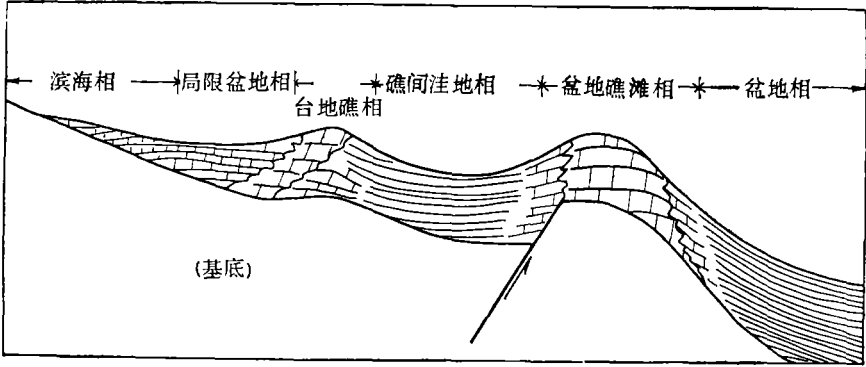


图 1 各相带的空间分布,地质特征示意图

表 1 两类不同沉积环境中的礁相特征

类 型	台 地 礁 相	盆 地 礁 相
岩石沉积旋迴	碎屑岩、细碎屑岩—碳酸岩—碎屑岩	粉砂岩、细碎屑岩—碳酸岩—硅岩及细碎屑岩
基底构造性质	较大范围的升降	局部差异式升降
礁盖层性质	泥灰岩和碎屑岩	泥灰岩、硅岩和页岩
造礁生物	藻、珊瑚、层孔虫等	以珊瑚、层孔虫为主,藻类较少
非造礁生物	底栖生物为主	浮游及游泳生物
礁体形态	高度不大,范围较宽,多为层状礁	厚度大,面积小,多为堡礁
礁滩性质	鲕状、球粒、团粒、内碎屑和生物碎屑灰岩	生物碎屑灰岩
沉积构造	潮汐沉积发育(藻席、纹层、干裂、虫迹钻孔、鸟眼等)	滑动层理,垮塌构造,小型浊积常见
沉积环境	陆表海浅水,富氧,水体动荡环境	远岸较深水,水体宁静的还原环境

这些特点反映了浅水、动荡的沉积环境。台地型礁滩之上的盖层一般为碎屑岩，是海退系列的产物,由于广泛地海退,结束了生物礁的生长发育。台地型礁、滩在华南的东部较为典型(硃口、英德等)。

盆地型生物礁多为发育较好的宝塔状礁,礁体的分布面积一般不大,但厚度大,一般在数百米以上,有时可达千米。生物礁的各种特征,如造礁生物骨架等,保存得较多,也较完整。造礁生物主要为珊瑚、层孔虫和苔藓虫等,与东部台地型生物礁明显不同的是在造礁生物的骨架中藻类已不占重要地位。与生物礁共生的生物滩几乎全部都是由生物碎屑所组成。鲕粒、团粒、球粒、内碎屑等反映近岸浅水、动荡环境的颗粒不见或极少见。在礁滩相的边缘斜坡上常可见到滑动层理,垮塌角砾,小型浊积层等反映陡岸较深水域的沉积构造。非造礁生物以竹节

石、三叶虫等浮游生物为主，礁体直接与黑色细碎屑岩及硅质岩相接触。上述特点反映了离岸较远，海水较深的沉积环境。

礁体上的覆盖层多为黑色细碎屑岩和硅质岩，说明生物礁生长活动的结束是由于海底沉降过快造成的。盆地型礁主要是在华南的西部出现(如铺头、大厂等地)。

华南中部的湘中地区的生物礁、滩具过渡性质，有的为层礁(如禾青)，有的近似盆地礁(如巨口铺)，构成礁体的造礁生物主要为珊瑚、藻类、层孔虫，同时还有一定数量的苔藓虫等。

碳酸岩沉积相的这种从东向西逐渐由滨海相带到盆地相带的变化，不同类型礁、滩相的地理分布以及它们所具有的地质特征，都是与泥盆纪时期我国南方海侵总的由西南而东北超覆的发展趋势相关联的。这种趋势在沉积厚度上也反映得很清楚，东部较薄，泥盆系地层一般厚度从数百米到 1,000 多米，剖面下部常常缺失；而在西部，沉积层的厚度多在数千米，局部地区可达 6,000 多米¹⁾，剖面比较完整。

二、不同相带的地球化学性质

对上述不同相带中的各类岩石共作 89 个岩石全分析，45 件多项分析，53 件有机碳分析，126 件硫同位素分析(还收集了桂林冶金地质所作的 324 件，共计 450 件)，对这些数据进行整理，获得了一些评价沉积环境的资料。

1. 岩石化学特点

各相带中岩石的平均化学成分列于表 2。由表 2 可见，主要元素的含量在各相带中不大相同，特别是SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO、FeO、Fe₂O₃、Na₂O 和 K₂O 有较明显的系统性区域变化(图 2)。SiO₂的含量是反映沉积物来源的一个重要指标(在一定程度上反映了沉积物的性质)。SiO₂的含量以局限盆地相、台地礁相和盆地礁相最低，其中盆地礁相又比台地礁相低。表明在生物礁的生长期间没有或很少有陆源物的加入，尤其是盆地礁相更是如此。SiO₂的含量以滨海相

表 2 各相中元素平均化学成分

相 亚 相 化学成分		滨海相	局限盆地相		台地礁相		洼地相	盆地礁相		盆地相
			盆地亚相	边缘亚相	礁核亚相	礁滩亚相		礁核亚相	礁滩亚相	
SiO ₂	63.72	12.42	28.67	6.93	14.53	33.18	1.75	6.33	67.57	
FeO	0.67	2.48	1.52	0.22	0.53	1.93	0.12	0.27	1.61	
Fe ₂ O ₃	4.17	0.98	2.52	1.15	1.04	1.59	0.36	0.88	1.34	
Al ₂ O ₃	10.07	2.72	6.16	1.29	2.36	8.48	0.69	0.21	5.37	
MgO	2.54	6.10	5.72	2.19	2.00	3.53	0.06	0.03	0.27	
CaO	6.01	37.03	28.49	46.19	43.74	24.22	54.03	50.64	11.44	
P ₂ O ₅	0.09	0.04	0.08	0.06	0.42	0.13	0.08	0.03	0.15	
TiO ₂	0.47	0.08	0.31	0.12	0.10	0.27	0.06	0.06	0.19	
MnO	0.063	0.19	0.24	0.64	0.61	0.13	0.06	0.08	0.11	
K ₂ O	3.14	0.74	1.82	0.37	0.61	2.52	0.11	0.32	0.91	
Na ₂ O	0.33	0.16	0.17	0.08	0.16	0.10	0.06	0.02	0.11	

1) 王光,中国南方海相沉积区的油气远景,贵州石油地质,1980 年,第 2 期。

和盆地相为高。滨海相的沉积物主要来源于陆源碎屑,而盆地相除了陆源碎屑外,还有大量的硅质沉积。 Al_2O_3 与 SiO_2 有大致相同的趋势。

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值与 SiO_2 有相反的分布趋势(图 2b)以台地礁相为最高,其次是盆地礁相和局限盆地相;而盆地相,礁间洼地相和滨海相则较低。结合表 2 中的其它项目的分析值判断,此项比值在一定程度上反映了盆地局限程度的高低,局限程度高,比值亦高。

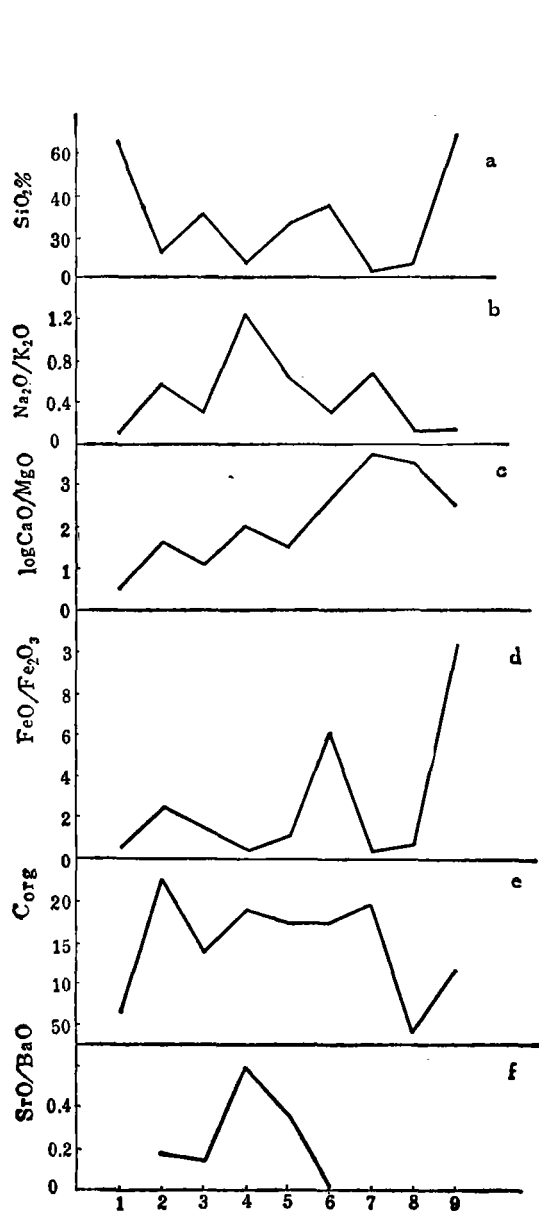


图 2 各相带中某些元素的变化
(图中的横坐标 1, 2, ..., 9, 分别代表表 2 中从左至右的沉积相)

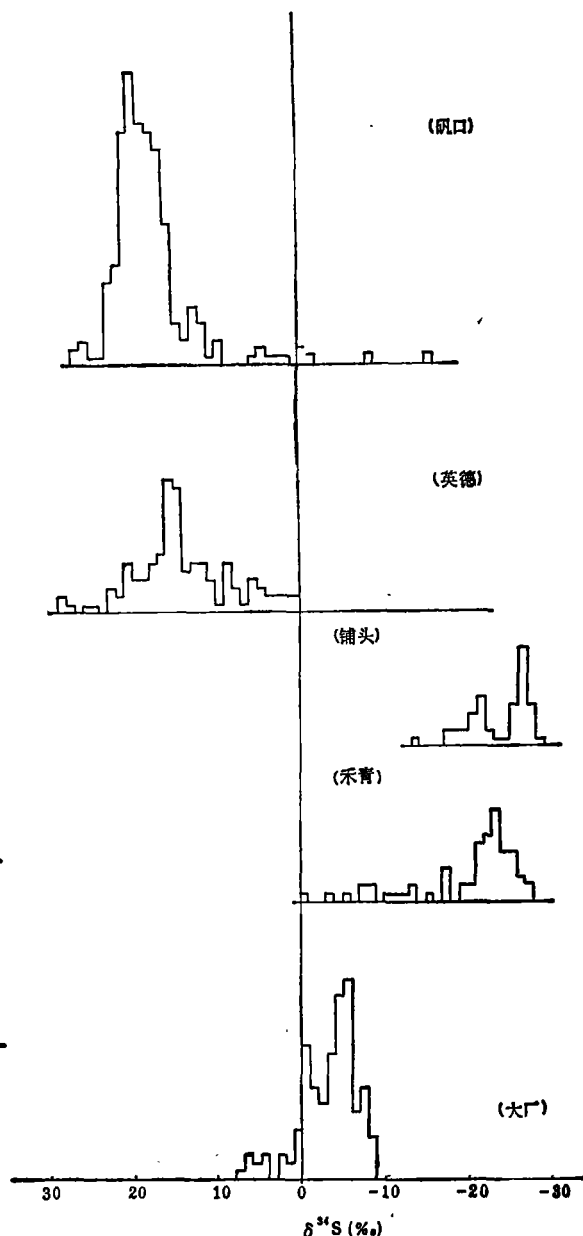


图 3 不同地区矿床中硫同位素的分布特征

CaO/MgO 比值从陆向海有很明显的规律性的变化(图 2c), 滨海相最低, 其 CaO/MgO 比值主要是由白云岩化程度和粘土矿物含量的多少决定。由此向盆地方向比值依次增高, 反映近岸浅水带到盆地碳酸岩的白云岩化依次减弱。盆地相中此比值最高, 表明碳酸岩均为较纯的方解石组成, 不含白云石。这种现象的出现, 是与东部海水较浅, 局限程度高, 因而盐度也较高; 西部盆地海水较深, 环境比较开放, 介质盐度正常的沉积环境有关。

$\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 比值是反映环境氧化-还原程度的一个重要标志, $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的比值以盆地相为最高, 其次是局限盆地相和礁间洼地相, 它们分别表现为三个峰值(图 2d); 两个礁相和滨海相在图上则分别表现为三个谷值。反映在沉积期间盆地相, 局限盆地相和洼地相为较还原性质的沉积环境, 而滨海相、两种礁相则为氧化性质较强的沉积环境。

有机碳的含量在还原程度较强的三个盆地相中较高, 其中以局限盆地相为最高; 而在氧化程度较强的滨海相中最低(图 2e)。然而在氧化程度较强的两个礁相中有机碳含量也较高, 且两者的含量基本一致, 这可能是与生物体腔中残留的有机质及后期有机质的带入充填有关。

SrO/BaO 比值的数据不够完整, 以台地礁相比较, 尤其是以台地礁滩相中的礁核亚相为最高(图 2f), 这种特点反映了造礁生物骨架可能为文石质介壳, 以及淡水由陆向海的流动。

综上所述, 沉积岩的化学成分是划分相带的有用标志之一。

2. 稳定同位素特点

根据对我国南方泥盆系层控多金属矿床中所作的硫同位素分析表明, 在没有大量后期岩浆热液迭加的层控矿床中, 硫同位素的组成具有明显的区域性变化, 按它们的分布特征可以分为三种类型(图 3)。第一类以富集 ^{34}S 为特征, $\delta^{34}\text{S}$ 一般大于 $+10\text{‰}$, 为较大的正值, 分布比较集中。具这种同位素值的矿床主要分布在华南的东部。硫同位素的这种分布代表了海水较浅, 较封闭的沉积环境。海水硫酸盐在封闭体系中被细菌还原, 硫酸盐得不到充足地补充, 使得封闭体系中的硫酸盐逐渐变得富含 ^{34}S , 其硫酸盐还原形成的硫就富集了较多的 ^{34}S 。

第二类以富集 ^{32}S 为特征, 典型代表是湘中及湘西的一些矿床, $\delta^{34}\text{S}$ 的分布比较集中, 一般小于 -15‰ , 这种分布可能是由于海水较深, 环境比较开放。硫的来源主要是海水中的硫酸盐的细菌的还原作用, 在此环境下, 硫酸盐不断地被细菌还原形成具轻同位素的硫离子, 与金属离子结合沉淀出来, 由于环境开放, 又有新的硫酸盐不断地加以补充, 这种还原作用就使得沉积物中大量地富集 ^{32}S 。

第三类是 $\delta^{34}\text{S}$ 的值大部分都分布在零值附近, 也较集中, 华南西部的大厂多金属矿床的硫同位素具有这种特征。该矿床赋存于典型的盆地礁相环境中, 其硫同位素分布与盆地礁相环境中的铺头黄铁矿矿床不一样。我们认为大厂的硫同位素可能反映了矿床的复杂成因, 即沉积时期除有由海水硫酸盐还原形成的硫外, 深部流体也带来部分硫。沉积期后的埋藏过程和燕山期花岗岩的侵入使地层中的硫活化, 也可能有新的硫带入。广西北山铅锌黄铁矿矿床也为泥盆系盆地礁相环境¹⁾, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -8 — $+2\text{‰}$, 与大厂相似, 但该矿区没有后期的岩浆岩。从这两个矿床的硫同位素分布来看, 影响硫同位素分布的因素, 除沉积环境的开放和局限程度外, 还有一些其它方面的作用, 有待进一步探讨^[5]。

3. 化石元素测温

生物化石的元素测温是在对中、新生代沉积研究的基础上提出来的一种测温方法^[6,7], 这

1) 纯生, 广西地质科技, 1980, 第1期, 37—40页。

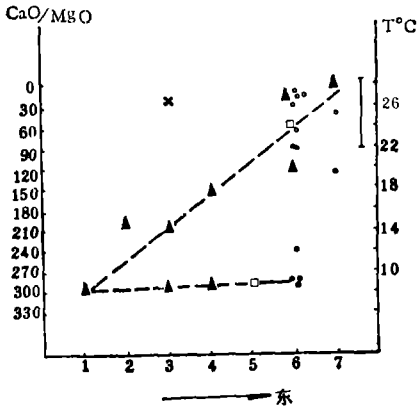


图 4 华南泥盆系生物化石中 CaO/MgO 比值与测温的关系

(横坐标 1, 2...7, 分别代表大厂、铺头、邵东、巨口铺、锡矿山、矾口、英德。图中实线表示苏联泥盆系测温范围)

● 藻; □ 珊瑚; ▲ 层孔虫; × 苔藓虫。

种方法对古生代的应用尚在摸索中。我们对广东、湖南、广西等地一些矿区的生物礁中的生物介壳化石,作了矿物鉴定(图 5)和化学分析,并将结果进行了温度计算(图 4)。化石的矿物成分有明显的区域性变化。以盆地礁(大厂)为最纯,各种化石,甚至岩石均为方解石组成,不含白云石(图 5), CaO/MgO 比值的变化范围小;而台地型礁(矾口、英德等)则含有一定量的白云石, CaO/MgO 比值的变化范围大。对化石 CaO/MgO 温度的计算,其值为 $20-28^{\circ}\text{C}$ 的一组,反映了近表层海水的温度,这一温度值与东部地区的以藻礁为主、白云岩化作用强烈等地质现象是一致的,也与苏联泥盆系的部分测温结果相符。大厂的化石介壳所测得的温度为 $8-10^{\circ}\text{C}$, 从大厂生物礁沉降快,被盆地相沉积物包围,缺乏藻类生物以及成分均匀等推测,所得的温度可能反映较深水下的早期成岩温度。

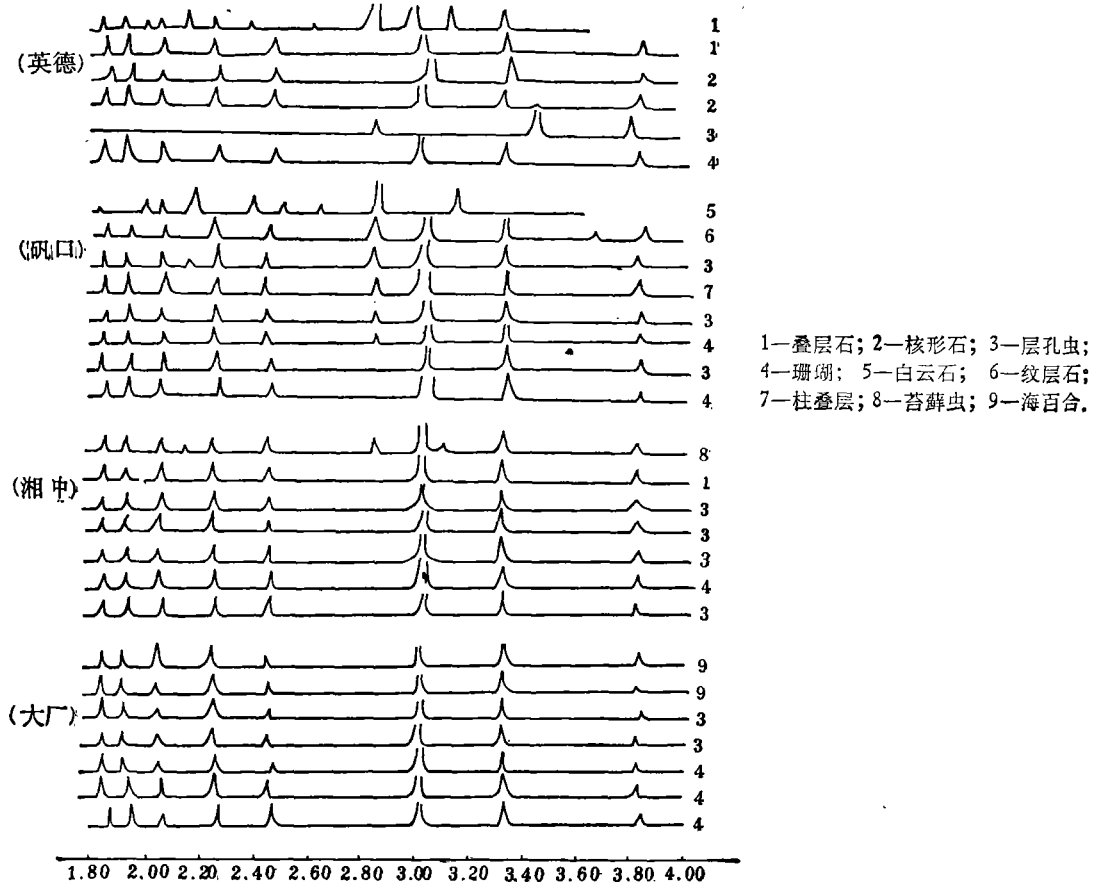


图 5 不同地区的生物化石介壳的衍射图

4. 对岩石层间及生物体腔内的沥青反射率的测定 (图 6)

沥青反射率从东到西有系统性的区域变化, 经温度换算, 它们大都经历了温度最高达 250℃ 的一次热动力事件的改造, 改造的温度有东部较低, 西部较高的趋势, 这与泥盆系本身及上覆上古生代地层东薄西厚是相对应的。

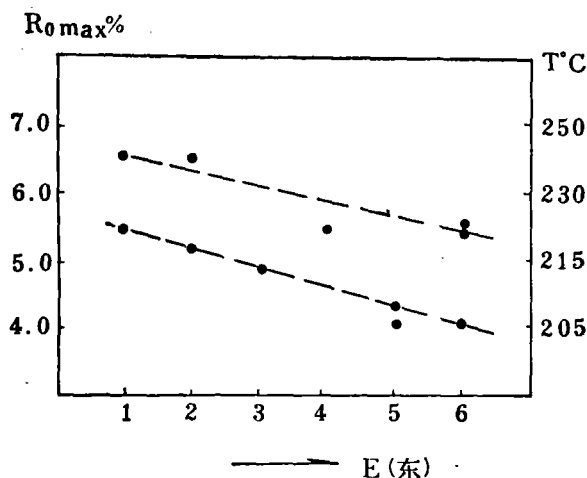


图 6 一些地区沥青反射率和古地温的关系
(图中横坐标 1, 2...6, 分别代表大厂、铺头、邵东、锡矿山、矾口、英德)

上述资料证明, 我国南方泥盆系从东到西各相带中的地质背景、沉积环境、沉积物特点、成岩作用及改造作用的强度是不相同的。东部台地相海水浅, 范围广, 海底沉降幅度不大, 为一个较宽广的氧化环境。在这种温暖的浅水环境中, 常发育有许多大小不同的生物礁、滩, 由于生物礁、滩的阻隔, 在礁、滩的靠岸一侧, 常形成大小不等的还原性局限盆地, 这样就在广泛氧化环境的基础上, 形成了小范围的局限性的还原环境, 因而使得沉积环境发生了迅速的变化。东部成岩作用进行的时间较早, 受大气降水的影响较强。但由于地层埋藏浅, 因此所受到的热事件改造的温度较西部低。

在西部的盆地相带, 是一个离岸较远, 海水较深, 环境较开放, 在较大范围内水体比较安静的还原环境。由于海底的差异式升降运动强烈且持久, 所形成的隆起部位, 常发育着碳酸盐生物礁。礁滩及其附近地区, 由于海水浅, 水体动荡, 因而形成了规模较小的局部氧化环境。西部盆地成岩作用的时间较晚, 并且较少地受大气降水的影响, 沉积期后的改造温度较高。

三、多金属矿床与沉积环境的关系

我国南方泥盆系的层控多金属矿床多产在礁、滩相及其附近地区的碳酸岩中, 矿体沿一定的地层层位分布, 受岩性的控制, 但在局部地段矿体很不规则。层控矿床的形成大都经历了两个不同的成矿阶段, 在泥盆纪, 特别是在中、上泥盆世, 含矿岩石的沉积阶段, 主要的成矿元素有些已初步富集形成成矿元素的富集层。矿石虽已经过改造, 但仍程度不同地保留了沉积成岩阶段形成的结构构造, 如黄铁矿矿石中常见到的纹层状、条带状、斜层理等构造, 莓球状、胶状、交代生物化石等结构; 闪锌矿矿石中见到的条纹状构造, 软砾石、颗粒的粒度递变层以及交

代化石等结构构造¹⁾,都可以证明金属矿石的沉积聚集。

贱金属元素的地壳克拉克值一般较低,贱金属硫化物的溶解度也很低,仅仅依靠正常的地表径流和海水是不大可能形成贱金属的大量富集,而必须借助某些特殊的条件。

我国南方广泛出露前泥盆纪的含多金属的黑色页岩,其中贱金属的含量很高,据氧化淋滤实验的资料证明,含多金属的黑色页岩经表生淋滤可以提供较多的金属元素,形成富金属层或小矿体。但对于那些大型的或特大型的高品位的矿床而言,只靠这种供给方式不足以在局部范围内集中如此众多的成矿金属。在我们研究中见到下列一些事实和现象:

(1) 前泥盆纪沉积时期地壳的构造活动不均衡,同沉积的构造活动较强烈,因此,泥盆系的沉积环境复杂多变,礁、滩相分布比较广泛,许多较大型的矿床常出现在急剧地相变带附近。

(2) 泥盆纪海盆中有火山活动,虽然火山岩的数量不多,范围也有限,但这些火山岩是产在稳定的细碎屑岩-碳酸岩建造中。

(3) 在一些细碎屑岩-碳酸岩建造中,见有钠长石和含钠长石的岩石,如马口黄铁矿层的含矿系内有碎屑钠长石作为砾岩的基质。经旋转针和费氏台测定有序率为 10—40,属高温无序钠长石。钠长石中包体测温的温度范围集中于 400℃ 左右,最高可达 700℃(?)。

(4) 泥盆系的细碎屑岩-碳酸岩建造中,常可见到大理岩化的灰岩和白云岩。大理岩化在剖面上和区域上有一定的广泛性。从砾岩中存在塑性变形和磨圆大理岩砾石的事实表明,存在准同生期的大理岩化。

(5) 在泥盆系的深水、半深水盆地相中、硅岩是主要的岩石类型之一。质地较纯净,厚度大,分布广的硅岩往往与深部的补给有关。

(6) 多金属矿同位素组成的多样性,如矾口、湘中和泗顶铅锌矿的铅同位素有明显的异常,不是单阶段演化铅同位素模式。硫同位素也具有多样性。

从上述论述可知,泥盆系细碎屑岩-碳酸岩建造中的多金属矿的物质来源并非都是陆源的,特别是那些规模巨大、品位高的多金属矿床的金属,可能主要是深部热卤水和海底火山喷发作用供给。

有足够来源的成矿物质进入沉积盆地后,能否沉积成矿由许多地质因素决定,其中一个很重要的条件,需要有一个适宜的沉积环境。多金属硫化物沉积的有利地球化学环境,是氧化和还原这两种不同环境的过渡带,即由氧化环境向还原环境,或是由还原环境向氧化环境变化的过渡部位。在泥盆纪的不同沉积盆地中,广泛发育着生物礁及其构成这种不同沉积环境的过渡带。东部台地区,就整个大的区域而言,为近岸浅水的氧化环境。由于生物礁的生长发育,在这种大面积普遍氧化环境的基础上,形成了一些局部的小型局限海盆。在这些局限海盆中,由于与广海隔绝,水体安静,生物作用活跃,在有机质分解作用的参与下,形成局部的还原环境。那些在氧化状态下活泼,在还原状态下沉积的元素,如 Pb, Zn 等,逐渐地从氧化环境中或从深部流体中迁移到这里来,沉积形成矿体或富矿层。如矾口,泗顶和湘中的一些铅锌多金属矿床就可能是在这种作用下形成的。

西部盆地区为海水较深的还原环境,同样由于生物礁、滩的生长,在这种大面积普遍还原环境的海盆中,形成了一些小型的局部氧化环境。大面积还原环境有利于那些在还原条件下

1) 陈先沛等,粤北中上泥盆统多金属矿床的成矿特征,1980。

活泼的元素,如 Fe, Mn 等的活化运移。小型的氧化环境为金属元素提供沉积场所,若这种环境中有机质少,那么金属就以高价氧化物的形式沉淀;若生物生长繁盛,具有大量的有机质,由于有机质的分解作用,在氧化-还原环境的过渡部位产生大量的硫。上述活化运移来的金属遇到硫形成硫化物矿层,如北山,铺头的黄铁多金属矿床等。

我国南方地壳长期不稳定,晚期地质构造及岩浆作用特别活跃,泥盆系的矿层或含矿层受到了程度不等的改造。礁滩相的发育使岩性多变、不同类型的岩石相互接触,礁滩相中的碳酸岩岩石多孔,易碎,同时岩石的物理化学性质对改造作用甚为有利。沉积时形成的成矿元素在礁滩环境及其附近地段进一步改造富集成富大的工业矿体。

通过矿石和脉石的包体测温,元素测温,沥青测温等结果表明,所研究过的泥盆系层控矿床大都经历了温度为 200—250℃ 左右的热动力事件的改造,现今见到的工业矿床主要是这次改造事件的产物。

参 考 文 献

- [1] 杨式溥等,地质学报,54(1980),2: 192—201.
- [2] 范嘉松等,地质学报,53(1979),4: 287—301.
- [3] 曾学思,石油与天然气地质,1980,2: 137—145.
- [4] Reading, H. G. *Sedimentary Environments and Facies*, Blackwell Scientific Publications, 1978.
- [5] Hoefs, J., *Stable Isotope Geochemistry*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980.
- [6] Берлин, Т. С. и др., *Геол.*, 1966, 11: 1359—1364.
- [7] ———, *ibid.*, 1970, 8: 971—978.