

# 沉积体系域控矿机制讨论

## ——以华南泥盆纪某些沉积层控矿床为例

许效松 牟传龙

(成都地质矿产研究所)

七十年代末期,由于地震地层学的扩展,层序地层学应运而生并已成为沉积地质学研究领域的前沿学科,也是全球沉积地质计划(GSGP)的重要内容之一和第十三届国际沉积学大会的中心议题之一,由此可见地质工作者对进行层序地层研究的热衷程度。七·五期间,在刘宝珺教授领导的《中国南方岩相古地理及沉积、层控矿产远景预测》项目中,运用层序地层的理论和方法对中国南方震旦纪至二叠纪的沉积层序进行了研究,并建立了离散型被动大陆边缘、汇聚型挤压盆地和板内盆地中的沉积层序模式和海平面升降曲线。在进行《湖南泥盆纪岩相古地理与成矿》项目研究中,运用层序地层学的方法对南方泥盆纪板内盆地的地层进行了沉积层序的划分,建立了板内盆地的沉积层序模式,并探讨了沉积体系域的控矿作用。本文旨在详细阐述沉积层序与成矿的关系,即沉积体系域的控矿机制。

### 一、沉积型矿床与沉积体系域的关系

南方泥盆纪地层中赋存多种沉积矿床,矿床的形成、富集改造都与海平面相对升降有关,并构成各种沉积体系域的主体。

#### (一)海侵体系域的铁矿

分布于南方诸省的泥盆系宁乡式铁矿,其主要铁矿层及其围岩的沉积基底均位于下古生代挤压造山时升降的扬子克拉通之上,由于南方泥盆系的海侵是由南往北推进,从而形成由南往北的海岸上超和地层超覆。桂东北一带,铁矿层出现于中泥盆统信都组中;湘中地区出现在上泥盆统锡矿山组或岳麓山组的下部;湘东赣西包括湘东南的汝城一带,铁矿层赋存于法门阶顶部;湘西北赋矿层则为上泥盆统弗拉斯阶的黄家碛组中下部,至鄂西地区则为上泥盆统法门阶的写经寺组。

综观华南泥盆系的鲕状赤铁矿层,其赋矿岩层多为灰绿色或紫红色的泥质岩、粉砂质页岩或鲕绿泥石页岩等。在湘西北的石门地区,铁矿层赋存于粉砂岩及石英细砂岩中,向上为泥灰岩、灰岩或白云岩等,其沉积环境为滨浅海相,而含矿地层属海侵体系域的下部。

泥盆系是早古生代造山回返后的沉积盖层。从早泥盆世中晚期新的构造旋回开始后,海平面由相对下降转为海平面主体上升阶段,铁矿层则赋存在海侵超覆沉积层的下部,由鲕状赤铁矿、泥晶赤铁矿、砾屑状赤铁矿、鲕绿泥石等组成。矿层中常夹泥质粉砂岩、绿泥石细砂

岩,其直接底板为粉砂岩,顶板和上覆地层为泥岩、钙质泥岩或生物屑灰岩。此剖面结构和沉积组合为向上变深的演化序列,代表海平面处于主体上升阶段。以石英为核心的鲕状结构代表清水环境和弱振荡的水动力条件,铁的沉积作用发生在海平面相对静止期。

铁矿层中除沉积作用成矿外,还受到沉积改造富集或贫化现象。某些地点铁矿层,如道县虎岩坝、邵东马鞍山等地,具有明显的流动搬运的沉积构造,如粒序层,粒序由豆鲕所组成,通常表现为正粒序,豆鲕之间为泥质支撑,充分显示了搬运改造的特点,呈近距离由海水改造残积物豆鲕沿海岸带呈海侵砂体出现。

泥盆纪海平面上升速率,在早中泥盆世为快速上升,而中泥盆世晚期至晚泥盆世早期则上升速率缓慢。铁矿层由南往北升高,完全与海平面的稳定上升同步,因而也与堆积速率相平衡。另一方面,在铁矿层及其上下的围岩中,陆源碎屑物不具有由陆向海方向增加的趋势,而是表现为岸退层序,由此可以证明在铁矿沉积时没有明显的海平面下降,否则会使造山后以陆地铁质风化壳为基底的富铁海域水随海平面下降而流向外海,从而不能在近岸区形成富铁的地球化学场。晚泥盆世晚期(法门期晚期),海平面开始快速下降,陆源碎屑和富铁海水向外海大幅度搬运,从而导致上泥盆统锡矿山组碎屑岩迁移到衡南以南而结束了铁矿的沉积作用。

## (二)凝缩层与锰矿

华南泥盆系锰矿床都分布在上泥盆统地层中,尤以广西大新下雷锰矿为世人所瞩目。下雷锰矿呈层状和似层状体夹于五指山组扁豆状灰岩、硅质岩及泥岩中。锰矿层具有独特的碳酸锰和硅酸锰矿组合,两者呈层纹、条带状产出。硅酸锰矿有蔷薇辉石、锰铁叶蛇纹石和黑云母及绿泥石等以及其它热液矿物,即锰帘石、阳起石、钾长石、石榴石、重晶石、赤铁矿、磁铁矿、含铂白铁矿、毒砂及萤石等。它们呈微细粉屑状与菱锰矿、锰方解石等互层。说明热硅酸盐溶液是在冷海水中,其成矿作用发生在沉积期,并以快速絮凝物分异聚集而呈豆鲕和层圈结构。

锰矿下部的钙质泥岩、扁豆状灰岩和泥质灰岩为海侵体系域;上部为高水位体系域的硅质灰岩、泥质岩、钙质泥岩。而锰矿层则相当于凝缩阶段沉积,以缓慢化学沉积为主。以区域分布来看,华南泥盆系锰矿床就位于北西向和北东向台间深水盆地的交叉部位,而这些台间盆地的形成与北西向断裂的拉张相关。

广西下雷锰矿,据其含矿岩系特征、原生矿石中的矿物特点以及 Ba 的含量较高,且与 Mn 呈正相关关系等信息,应属海底热水喷流沉积矿床。

归纳起来,广西下雷锰矿的形成体现了沉积-构造、事件-成矿几种作用的统一。北西向断裂的拉张,台间盆地宣告形成,也为含矿热水喷出海底提供了通道。相对海平面上升,使盆地水体迅速变深,直至最大海泛期,盆地处于饥饿状态,给锰矿有时间充分沉积提供了绝妙的空间。上述几种因素时间配置一致时,方能形成与下雷锰矿床相似的与凝缩层相伴的海底热水喷流沉积矿床。

## 二、层控型矿床与沉积体系域的关系

华南泥盆纪层控矿床丰富,本文主要以城步铺头黄铁矿床、新邵白云铺铅锌矿床和冷水江锡矿山铋矿床为例来探讨沉积体系域的控矿作用。

### (一)凝缩段与城步黄铁矿床

该矿床位于雪峰古陆南端东南缘,城步西岩复式向斜西翼近轴部,受城步-新化断裂控制明显。矿体赋存于中泥盆统棋梓桥组中。其剖面结构为(图1):

下部( $D_{2q}^{3-1}$ )为海侵体系域,由薄层状微晶生物屑灰岩、硅化硅质岩和硅化含碳质生物屑微晶灰岩互层,它们的厚度分别为2—10cm、0.5—1cm及1—2cm。硅化硅质岩呈灰黑色,主要由燧石组成,部分已重结晶为细晶石英,可见交代残余生物屑和灰泥。为浅海陆棚环境的产物。

中部( $D_{2q}^{3-2}$ )为凝缩层,也是主要赋矿层,由极薄层—微层状微晶生物屑灰岩、含碳质矿化生物屑微晶灰岩,强矿化薄层硅质岩(黄铁矿层)和钙质碳质页岩组成韵律。岩层中普遍发育有条带状、团块状硅化硅质岩。黄铁矿局部呈眼球状(具压力影)、虫管状分布于含碳质生物屑微晶灰岩中。

上部( $D_{2q}^{3-3}$ )为高水位体系域,由浅海陆棚相的极薄层状含碳灰泥质生物屑微晶灰岩、微晶生物屑灰岩互层夹条带状、团块状硅化硅质岩组成。

“矿层”韵律结构主要赋存于 $D_{2q}^{3-2}$ 段的下部、中上部及近顶部,厚度分别为16cm、18cm和小于1m。其间夹有“非矿层”韵律结构。黄铁矿层总是与薄层状硅质岩相伴,同时含有丰富的竹节石。竹节石平行层面分布。整个黄铁矿床由多层矿层组成,为一凝缩复合体。矿体呈层状、似层状、扁豆状或透镜状与围岩呈交互产出,产状一致,并同步褶皱,局部有分支脉状。矿物成分十分简单,黄铁矿约占50—85%。非金属矿物有方解石、白云石,少量石英、粘土和炭泥质。矿石主要具有草莓状结构,次有交代、变晶结构。纹层状、条纹状、条带状、网状和球状、枕状等构造。围岩蚀变弱,主要有硅化和白云石化。

黄铁矿床不仅具有清晰的纹层状、条纹状和条带状构造,也具有与锰枕相类似的球状和枕状体,且与薄层硅质岩共生产出,并具有清晰的交代作用,表明为海底热水沉积作用有关的层控型矿床。

前人认为该矿床为生物礁控型黄铁矿床。但客观地质事实不一定如此。实际上,无论从赋存空间还是提供成矿物质方面,该矿床的富集成矿可能与生物礁没有直接的关系,而是统一地质场中沉积、构造、热事件和海平面升降共同作用的产物。由于北东向的城步-新化断裂

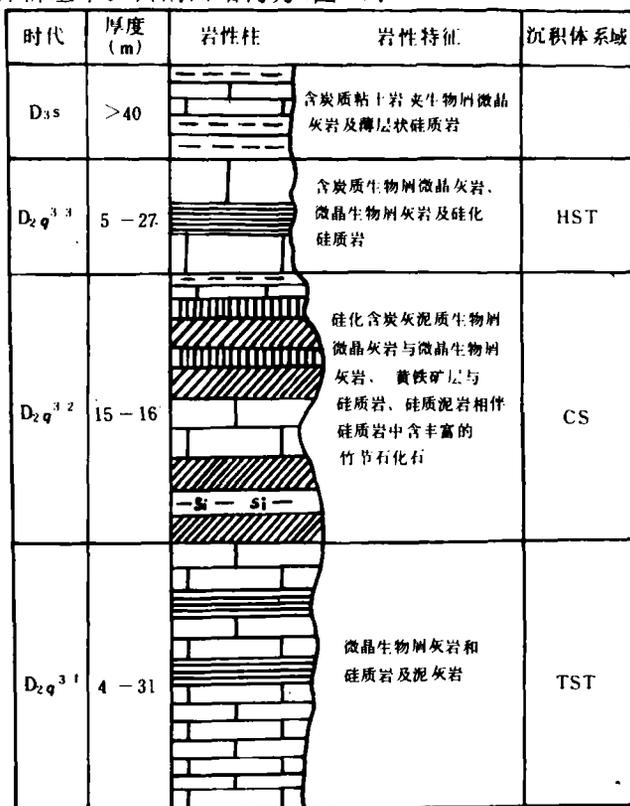


图1 城步黄铁矿与沉积体系域的关系图

Fig. 1 The relationship between the Chengbu pyrite deposit and depositional systems tracts

的拉张,导致整个沉积格局发生变化,相对海平面上升,台间盆地水体加深,最终达到最大海泛期,盆地呈欠补偿状态。也因为断裂的拉张活动,使得海底含矿热卤水沿着这些大断裂上升,而后又溢出于深水盆地底部,在同生-成岩阶段,经沉积和交代而形成热液喷流同生-成岩层状黄铁矿床。其有利的成矿环境为台间盆地而非生物礁,具体的赋矿层位为最大海泛期形成的凝缩层复合体,为富含竹节石的薄层硅质岩。

### (一)高水位沉积体系域古喀斯特控矿

湖南新邵白云铺铅锌矿分布在中泥盆统棋梓桥组。在中南地区颇有代表性。以往对其含矿层位的描述通常称之为“含矿层分布于碎屑岩与碳酸盐交界处,在碳酸盐一侧或与碳酸盐台地有关”<sup>①</sup>。实际上,棋梓桥组上段之下部(D<sub>2</sub>q<sup>2-1</sup>)为主要赋矿层位,其围岩为碳酸盐岩,层序上为高水位体系域,具体赋矿层为古喀斯特。其剖面结构为:

半山组(D<sub>2</sub>b),中部为一套浅色砾岩层,其砾石由前震旦系的基底岩石组成,以脉石英和硅质岩砾石为主,发育河流二元结构、板状层理、楔状层理以及槽状层理,代表海平面快速下降河流回春作用的产物;上部为泛滥平原沉积,它们共同代表了I类层序界线不整合特征和相应的低水位体系域。

跳马涧组(D<sub>2</sub>t),为一套紫红色粉砂岩和泥岩的韵律互层,为潮坪相环境,与其下伏地层的接触面为第一海侵面。

棋梓桥组下段(D<sub>2</sub>q<sup>1</sup>),为一套泥岩和泥灰岩、生物灰岩组成,为浅海环境,与跳马涧组共同组成海侵体系域。

棋梓桥组上段之下部(D<sub>2</sub>q<sup>2-1</sup>)为厚层—巨厚层状灰岩、生物灰岩、白云岩和生物白云岩,系高水位体系域,这也是赋矿部位。

上述系海平面持续上升的产物,继之转为海平面快速下降,导致陆上暴露,从而在D<sub>2</sub>q<sup>2-1</sup>顶部形成了分布广泛的古喀斯特,成为铅锌矿床的赋矿空间。往上过渡到棋梓桥组上段中部(D<sub>2</sub>q<sup>2-2</sup>)的深色薄层泥质灰岩,为海侵体系域,对矿床的最后形成起到了圈闭作用。

该矿床与地下热水和热卤水改造富集有关的后生层控矿床,主要依据有:

(1)矿质来源主要不是含矿地层本身,而是下伏老地层所提供,这从28件铅同位素模式年龄得到证实。其结果较分散,从103—881Ma,其中61%的年龄值与下古生代及震旦纪时限相当,只有14%的年龄值落在泥盆纪时限内,表明矿质来源的多源性。

(2)硫同位素组成很不稳定,变化范围大。在 $\delta^{34}\text{S}$ 频数直方图上呈弥散型分布,具明显的沉积硫,说明硫主要来自含矿地层。

(3)区内单独的铝锌矿床凤毛麟角,一般都是叠加在黄铁矿之上,而形成铅锌-黄铁矿床。这使我们想到,早期的黄铁矿的形成与喷流型城步黄铁矿床具有相似的成因和成矿来源,尔后由于含有铅、锌的热水或热卤水的叠加而形成。

(4)单矿物微量元素中Ba、Sr含量较高,矿田中也有强烈的重晶石化、硅化。脉石矿物中有重晶石,这说明此成矿溶液为地下热卤水。

冷水江锡矿山锑矿床也位于城步-新化断裂带的次级断裂上。含矿层位为上泥盆统余田桥组,在沉积层序上为高水位体系域,由灰岩、夹白云质砂质页岩及碳质页岩,厚500m左右。旋回的顶部为海平面快速下降,导致陆上暴露所形成的古喀斯特,锑矿体均赋存于古喀

① 王甫仁等,1990,湘中湘南泥盆系有色贵金属的控矿条件及远景预测研究。

斯特地貌中。喀斯特面之上为下一个沉积层序的海侵体系域的页岩、泥灰岩组成,构成了天然的盖层,从而使含矿热卤水在此之下被圈闭而形成矿床。

该矿床为热卤水改造富集的后成层控矿床,其主要依据为:

(1)区内岩浆岩中Sb平均值为0.83ppm,明显低于区域背景值(5.95ppm),也没有发现与成矿有直接联系的岩浆岩存在,说明其矿质来源与岩浆岩无关,而区内震旦系、寒武系、泥盆系中Sb的丰度高,上泥盆统余田桥组Sb的平均值为16.3ppm;中、下寒武统分别为19.08ppm,24.83ppm;震旦系江口组普遍见有辉锑矿。这可能预示着含矿层本身为“胚胎矿”提供了矿物质,而最后富集成矿是深部热水再造作用来完成的,矿质来源于深部矿源层。

(2)硫同位素变化范围大,极差-3.2—16,区别于陨石流,属混合型具多源性特点。

(3)单矿物中微量元素特征表明(欧阳宗圻等,1990):辉锑矿中以富Sb、As、Hg、Cr为特点,而脉石矿物石英、方解石、重晶石、萤石等Sr含量都偏高,重晶石中Ba、Sr含量特高。Ba、Sr是热卤水特征元素,矿床中也有重晶石、石膏及萤石矿物产出,这表明该矿床的成矿与热卤水有关。

(4)从矿床的地质特征来看,矿床的富集往往与硅化有关,并且是锑矿的赋存部位,两者呈正相关的关系。通过硅化作用形成的硅化岩,其化学成分与海底热水成因的硅质岩的化学组分并没有明显的差别<sup>①</sup>,从而表明它们可能具有相同的成因特点。

锡矿山的硅化岩、沉积硅质岩以及未硅化围岩的稀土元素分析结果表明<sup>②</sup>, $\Sigma\text{REE}$ 、 $\delta\text{Eu}$ 都十分接近,但硅化岩的 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 比值略高于沉积成因的硅质岩,可能表明它们具有相同的来源,只不过形成方式不同。

上述两矿床的矿体都充填在碳酸盐古喀斯特的溶洞中,形成角砾状矿石或呈皮壳状产出。在层序上为高水位体系域。

### 三、沉积体系域控矿作用讨论

地壳通过拉张或断裂活动形成盆地。盆地内的有效空间是海平面升降和构造活动之间平衡的结果。实际上这两种因素控制盆地内沉积物性质、几何形态、沉积作用方式、沉积环境和海域的地球化学场。沉积型矿床,成矿物质无论是外源还是内源,其成矿作用发生了沉积期以及同期的沉积改造,因此某些沉积体系域就是含矿层,如宁乡式铁矿(前述)为海侵体系域砂岩,它的形成与海平面上升同步,形成海岸上超砂体(图2),捕获了从风化壳上改造的豆豉铁矿。低速沉积的锰矿是在海平面上升速率最快的条件下形成的,因此它既是凝缩沉积物又是矿层,如广西下雷的锰矿就是以热水为来源的台间盆地低速沉积物。在贫氧沉积环境中,由于富含有机碳,凝缩沉积物也可成为含铁硫化物的赋矿空间,如城步黄铁矿,则以交代含竹节石硅质岩的形式产出。层控型有色金属矿床,排除成矿物质来源以外,赋矿空间则是极为重要的条件。湖南新邵白云铺、禾青以及广西大瑶山的铅锌矿床,容矿层为中泥盆统棋梓桥组和落脉组灰岩;湖南锡矿山的锑矿床分布在上泥盆统余田桥组灰岩中。通过笔者的露头分析和追索,这三个重要矿床的矿体都充填在碳酸盐古喀斯特的溶洞中,形成角砾状矿石或呈皮壳状交代产出,在层序上为高水位体系域,当海平面下降时转为陆上暴露,造成淡水

<sup>①</sup> 曾允孚等,1990,《中国南方泥盆纪岩古相地理及沉积、层控矿产远景预测》送审稿。



# THE CONTROLS OF THE DEPOSITIONAL SYSTEMS TRACTS ON ORE DEPOSITS; EXAMPLES FROM SOME OF THE DEVONIAN SEDIMENTARY AND STRATABOUND DEPOSITS IN SOUTHERN CHINA

Xu Xiaosong                      Mu Chuanlong  
(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

## Abstract

The study is designed to examine the relationship between the depositional systems tracts and ore deposits with the aid of the concepts and methods of sequence stratigraphy. The Devonian strata in southern China may be divided into four depositional sequences, of which Sequences 1, 2 and 4 are controlled by relative sea-level changes, while Sequence 3 by a combination of relative sea-level changes and tectonic activity. In fact, the effective basin spaces are often controlled by the sea-level changes and tectonic activity which, in turn, control the characteristics and geometry of the sediments, depositional styles, sedimentary environments and geochemical field of the sea area. Therefore, some of the depositional systems tracts may be in itself the ore-bearing beds. For example, the Ningxiang-type iron deposits consist of the sand bodies of the transgressive systems tract, the coastal onlap sand bodies formed synchronously in response to the sea-level rises, whereas the low-velocity sedimentary manganese deposits are often associated with condensed sections. Since the condensed sections are in the oxygen-deficient conditions, they may serve as the infilled spaces of the ferruginous sulfides, as exemplified by the Chengbu pyrite deposit. The ore bodies of the Baiyunpu lead-zinc deposit and Xikuangshan antimony deposit are all hosted in the palaeokarst cavities of carbonate rocks, which belong to the highstand systems tract where subaerial corrosion by fresh water took place during the sea-level fall. The palaeokarst surface was then onlapped by micritic limestones formed during the sea-level rise.

It follows that some of the depositional systems tracts not only consist of the ore-bearing beds, but also provide the infilled spaces, favourable sedimentary environments and ore-forming material for mineralization.