

上扬子地块早震旦世大塘坡期 锰矿成因和沉积学

许效松 黄慧琼 刘宝珺

(成都地质矿产研究所)

王砚耕

(贵州省地矿局)

提要 晋宁运动以后的上扬子地块,在早震旦世为陆内拉张阶段。其西缘有火山喷发,而其东南边缘为拉张裂谷带,沿黔东、湘西形成北东向的地堑盆地,沉积了黑色炭质页岩、锰矿和硅质岩。锰矿层由枕状富锰矿体和粒序层状、层纹状锰矿体组成,具有皮壳和胶状结构,并由菌藻团粒、团块、硅质放射虫以及粘土等悬浮沉积物组成层纹和显微粒序。其结构和构造特征显示锰质由海底热水补给,经化学、生物化学作用,沉积在低能深水还原环境中。

主题词 大塘坡期锰矿 地堑盆地 深水还原环境沉积

第一作者简介 许效松 女 53岁 副研究员 沉积学、沉积矿床

一、地质构造背景

1.地层特征

早震旦世上扬子地块东南边缘的地层层序,由下而上划分为4个组(图1)

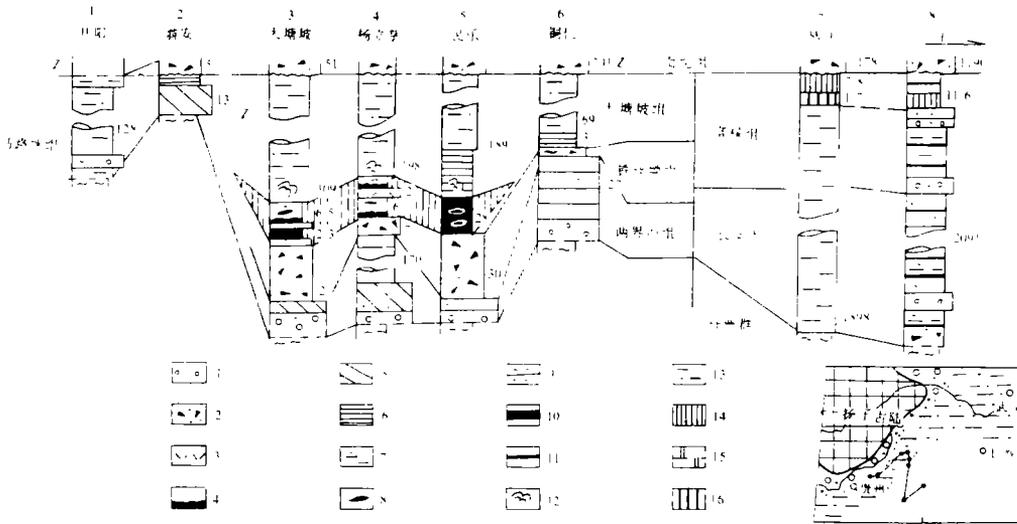
两界河组 假整合于前震旦系板溪群之上。底部为砾岩、含砾砂岩;上部为灰色杂砂岩、岩屑砂岩和含砾砂岩夹粘土层,属滨浅海碎屑岩相。最大厚度300m。

铁丝垌组 灰色含砾粗砂岩,砾石成分复杂,以石英岩硅质岩为主,花岗岩次之。砾石表面有擦痕,在具水平层理的细砂岩中有堕石压弯层理的现象,为海相冰碛层。厚1—30m。该组与锰矿层相伴产出。

大塘坡组 早震旦世大塘坡组地层为区域性地层单元,以富含炭质的黑色页岩和黑色锰矿层为代表。标准地层在黔东、湘西和川南,相当的层位向北东方向延伸至浙江西部和安徽南部。长约200多公里,宽约几十公里,沿上扬子地块的东南边缘呈狭长带状层布。大塘坡组的锰矿以贵州松桃大塘坡和湖南花垣民乐为典型代表,剖面层序分为上下两段:

下段 富含炭质和有机质的黑色页岩,厚30m。呈薄层板状,具水平层理、层纹状和粒序状,富含黄铁矿。锰矿层为黑色富炭质的菱锰矿,呈枕状透镜体和透镜体群,分布在黑色页岩的中下部,其间常有凝灰岩和粉砂岩。矿体的边缘与围岩过渡带常见包卷和泄水构

造。在黑色页岩和锰矿层中含有较丰富的单体、群体菌藻和疑源类，前人已发表有 20 多个种属（王福星 1985, 1986）。近年笔者在锰矿层中还找到陨石球粒和硅质放射虫。目前据国内外的报道，硅质放射虫的最低层位是下寒武统，而晚元古代放射虫的发现在世界上为首次，而且对解释大塘坡组锰矿的成因还具有指相意义。



1.含砾砂岩 2.冰碛岩 3.凝灰岩 4.砂岩 5.交错层砂岩 6.黑色页岩 7.长石英砂岩 8.枕状构造 9.块状砂岩
10.锰矿层 11.硅质板岩 12.滑塌构造 13.页岩和粉砂岩 14.硅质岩 15.含锰白云岩 16.含锰硅质岩

图 1 早震旦世地层岩相对比图

Fig.1 Stratigraphic and facies correlation of Early Sinian succession

上段 为细陆源碎屑岩，以浅黄、灰黄色粉砂质泥为主，夹粉砂岩。薄层状水平层理，常见小型滑动和包卷构造。最大厚度 200m。

南沱组 灰、灰黑色含砾砂岩，混有火山碎屑。为海相冰筏和冰水沉积物，厚 70—730m，由西北向东南递增。

2. 构造和古地理

前震旦纪上扬子地块经四堡运动和晋宁运动形成稳定的克拉通陆块，由板溪群、丹洲群和神农架群组成沉积基底。

早震旦世上扬子陆块边缘处于拉张阶段。它的西侧，为陆内裂谷，堆积了厚 3000—5000m 酸性—中基性火山岩（苏雄组）。它的东南为大陆边缘拉张活动带，形成了地堑式的断陷盆地，并在构造和地形上具有障壁作用，因此在上扬子古陆东南缘的黔东、湘西以及桂北一带形成了陡海岸的陆缘广海，海底地形受断裂活动的影响为脊槽相间和深浅水相间的沉积环境。

由图 2 所示，上扬子陆块在早震旦世大塘坡早期的古海陆界线在瓮安以东，此海岸线以下震旦统只有马路坪组（图 1），为河湖相紫红色粉砂岩和泥岩，可能与东部四个海相地层单元相当。在滨岸带，为石英砂岩和石英长石海绿石砂岩，厚 13m，上部则直接与南沱

冰磧岩接触。再向北东至松桃大塘坡、杨立掌和民乐（图 1、2），其水平间距约 80km（地壳缩短后），而南坨组以下的地层由石英砂岩相变为黑色粉砂岩夹硅质岩以及黑色炭质页岩和锰矿层（即前述的 4 个海相地层），厚度总计约 400m。铜仁附近，与含锰地层相当的部位只有 3m 厚的黑色页岩，含锰很低。再向东南至从江、三江一带，则为硅质岩和硅质板岩，下部为含砾泥岩、含砾砂岩、岩屑砂岩和长石石英砂岩等厚 2000—3000m。

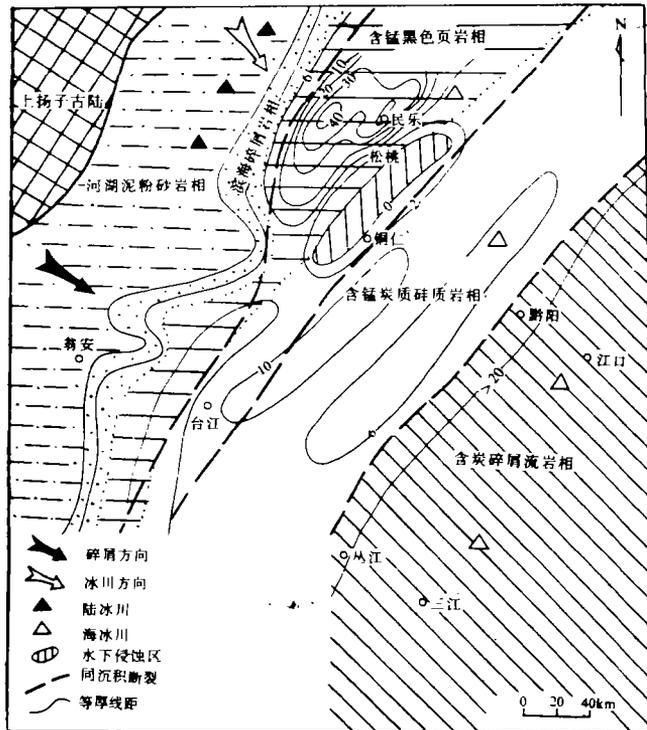


图 2 贵州东部湖南西部早震旦世大塘坡早期岩相古地理图

Fig.2 Lithofacies palaeogeographic map of early Datangpo age of the Early Sinian, Eastern Guizhou and Western Hunan

可见，在湘西、黔东一带，由滨岸到浅海陆棚间，岩相、厚度急剧变化。铜仁以西为近陆陡海岸的深水低能盆地，铜仁以东为强烈沉降并以碎屑流沉积为主的盆地。因此，早震旦世上扬子陆块的东南近缘是一个活动的拉张裂谷带，形成深浅水相间的断陷盆地和脊状隆起，除伴有酸性火山岩喷发外，在江口以东还有可代表拉张环境的碱性拉斑玄武岩。

二、 锰矿岩相特征

黑色炭质页岩中的锰矿有 3 种类型：枕状锰矿层、纹层状锰矿层和粒序性锰矿层（图 3）。

1. 枕状锰矿层

分布在黑色炭质页岩的下部，锰含量均在 25% 以上，组成富锰矿体。单个锰枕状体长 1—20m，厚 0.2—3m，在枕状体的边缘滑动构造和包卷现象非常发育，数个枕状体可组成锰枕群。

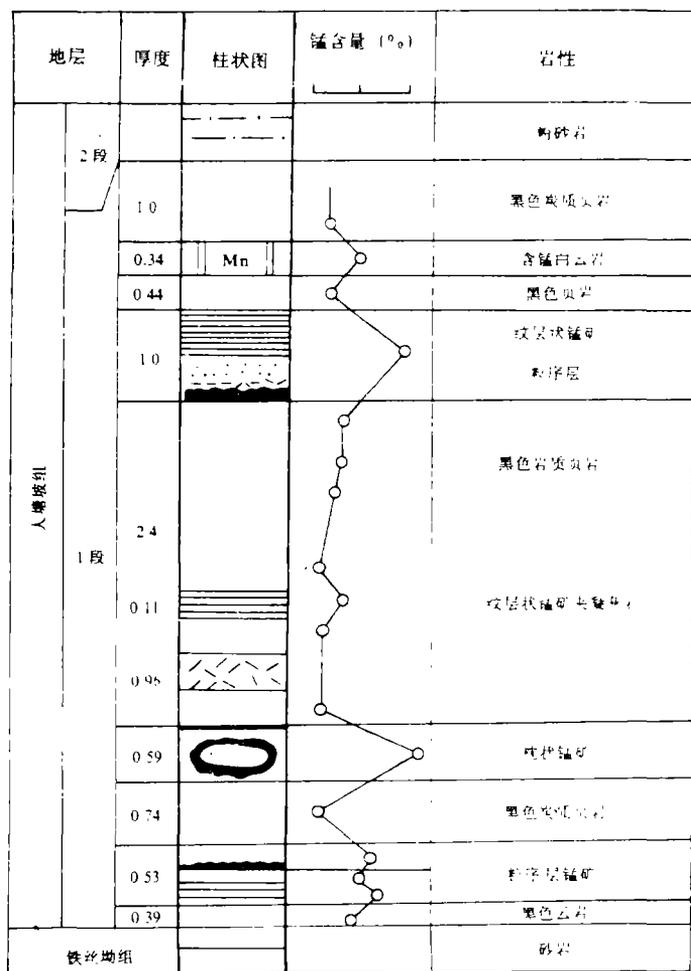


图 3 大塘坡锰矿层柱状图

Fig.3 Column showing Mn-ore bearing succession of Datangpo

枕状体的内部以皮壳构造为主，图版 I，1 是切过枕状体中心的横断面，其上可见厚 0.5—1cm 的层圈，圈内有宽 1—2mm 的石英细脉垂直分布，呈上宽下窄的小楔形体，脉的顶端终止在每个层圈的上界面内而不切穿整个枕状体，所以细脉的长度与层圈的厚度相等，一般均小于 1cm。这种特征说明石英细脉和锰矿的层圈构造是同期形成的。任一沉积物在沉淀后即转入早期成岩固结阶段，枕状锰矿体也不例外。高锰水围绕其核心沉积形成层圈后，即发生固结作用，并产生向核心的收缩裂隙，由孔隙水充填。在沉积过程中每个层圈之

间有短暂的沉积间断面, 所以有时可看到垂直层圈的石英细脉的顶端可沿着层圈界面水平延伸, 但不切穿相邻的外层圈。从而可证明石英细脉是伴随锰矿沉积的同时产生的, 并非后期成岩作用的产物。

显微镜下枕状锰矿体主要由菱锰矿和钙菱锰矿组成, 呈胶状结构和多期生长的皮壳结构, 这种结构是热水冷凝和化学沉淀的典型标志(图版 I, 2)。热水成矿的另一佐证是石英细脉中伴生有重晶石, 呈纤维状(图版 I, 3)和粒状, 并常被胶状结构的菱锰矿包围。所以枕状锰矿体和其中的石英重晶石细脉的沉积构造和结构, 可反映锰矿是由海底富锰的热水溶液经化学凝缩沉积形成的。

2. 层纹状锰矿体

呈薄板状, 水平层理发育。层纹厚 1—2mm, 由絮凝状菱锰矿、藻球粒、单体和群体菌藻以及有机质和粘土组成。同时还有较多的硅质放射虫(图版 I, 5、6)及少量的陨石球粒(图版 I, 7)等悬浮沉积物。

3. 粒序层状锰矿层

锰矿层中的粒序性主要呈微粒序状, 由细粒和悬浮颗粒为主的低密度流体组成不完整的鲍马层序, 常见的有 A、B 段和 A、B、C 段两种剖面结构类型, 厚度一般都不超过 5mm(图版 I, 4)。层序的底部有微弱的冲刷面, 颗粒由菌藻球粒、团块和硅质放射虫组成; 上部则为黑色炭质、有机质粘土, 以水平层理为主, 偶见沙纹层理。

三种不同类型的锰矿中, 以枕状锰矿体为富锰矿, 含 Mn 大于 25%, 最高达 30%。其他两种含 Mn 20—25%。在空间上富锰矿常夹在纹层状和粒序状锰矿之中, 沿走向可转变。所以无论从锰矿品位、厚度以及形态, 富锰矿均分布在中心, 呈似“牛眼式”结构, 并受沉积盆地的构造性质和锰质来源的控制。

三、 锰矿成因和环境

在复杂的地质体中对矿床成因的解释是个非常棘手的问题。用单一成矿作用解释确有很多难点而不能自圆其说, 往往以多成因、多来源综合因素陈述。早震旦世大塘坡组锰矿属沉积成矿已无疑义, 但对成矿的构造背景、沉积盆地的古地理环境和物源问题却众说纷纭。笔者据锰矿的沉积构造、结构、物质组分、同位素等资料, 讨论沉积盆地的构造背景、古地理环境以及矿床成因等问题。

1. 锰矿沉积的介质条件

大塘坡组锰矿及其围岩都以富含有机质和炭质为特征, 砂岩中有机碳含量平均 2.68%, 炭质页岩中有机碳平均 2.02%。锰矿石的沥青分析, 饱和烃占 6.78—20.78%, 芳香烃 2.54—8.66%(王砚耕等, 1986)。有机质和炭质的存在说明锰矿的沉积环境应属还原介质条件, 可通过微生物的分解使海水硫酸盐还原成硫化氢。

分散在含锰地层中的细粒黄铁矿, 其硫同位素均属重硫型, $\delta^{34}\text{S}$ 42.9—57.3‰, 平均 $\delta^{34}\text{S}$ 48.30‰, 比大洋水中的硫酸盐高一倍多, 海水中 ^{34}S 的富集是通过细菌作用把海水硫酸盐还原成硫化氢或硫化物, 在这些反应物中以富 ^{32}S 为主, 而剩余海水中富 ^{34}S 。如果海水体系是封闭的还原环境, 与外海沟通不畅, 使海水中还原消耗的硫酸盐得不到补充, 而且又无富 ^{32}S 的陆地淡水掺合, 此还原环境既有利于细菌的繁殖又可加速硫酸盐的还原, 使海水

不断富集 ^{34}S , 导致黄铁矿中逐渐富 ^{34}S 甚至完全与海水中硫酸盐的重硫相同。所以含锰黑色岩系中的硫同位素以重硫为主是锰矿沉积在还原环境中的重要佐证。同时菱锰矿中 $\delta^{13}\text{C}$ 为高负值, 由 -8.16 — 10.689% 。(王砚耕, 1985), 据此数据可以认为, 菱锰矿产出于强还原环境, 碳的来源由有机碳转化而来, 不具有大气淡水掺合的影响, 与硫同位素所得结论是一致的。

形成还原环境的因素除了生物作用外主要是构造和古地理背景。早震旦世上扬子陆块东南边缘的拉张活动形成了地堑式的断陷盆地, 裂隙的下降盘可形成深水槽, 而另一侧则为相对隆起成浅水高地或脊状的突起。因此, 拉张活动带在构造上和地形上都有障壁作用, 阻止海水柱底层的侧向流通, 使深水槽内的海水趋向停滞, 因而形成还原介质条件。

2. 成矿物质来源

某些以沉积作用形成的沉积矿产常分布在邻近古陆剥蚀区的海域内, 因此对其成矿物质来源常认为是陆源补给。大塘坡组的锰矿也具有同样的特征, 沉积在上扬子古陆的东南边缘, 目前虽然不能完全恢复锰矿沉积盆地距古海岸线的距离, 但由于上下相邻地层的岩相组合可知是近岸的浅海水域。但笔者认为, 大塘坡组锰矿的物质来源是海底热水补给, 不是陆源。

热水成矿的佐证除前述的枕状锰矿结构外, 由包体测温资料也可证明。锰矿层中石英包体的温度平均在 200°C 左右, 但石英的温度与锰矿沉积时介质温度的关系可由以下三方面说明: (1) 石英脉是伴随锰矿沉积的同时充填在收缩裂隙中, 不是成岩后期的次生石英脉, 所以石英包体的温度基本上反应了锰矿沉积在热水条件下。(2) 石英脉中与石英共生的矿物以重晶石为主, 因此形成石英脉的孔隙水为富含二氧化硅和钡的水溶液, 也是深部水的佐证。(3) 锰矿中含铁很少, 不形成铁锰矿共生, 锰在热水中较活泼, 还原条件下可增加锰在水中的溶解度, 造成铁锰分离。如果是冷水沉积则必然是铁锰共生。

另外, 民乐锰矿和大塘坡含锰硅质页岩中的稀土元素含量较高, 分别为 199.8ppm 和 75.67ppm , 均以轻稀土为主。斐济岛太平洋中脊近代沉积的热水锰矿稀土总量为 187.5PPm , 与大塘组锰矿中的稀土含量非常接近。

海底热水循环有两种: 大气淡水循环和海水循环。七十年代后期已经证实现代大洋中有海底热水环流, 海水下渗把海底基岩中的金属元素活化迁移成矿, 为海底热水成矿理论提供依据。形成大塘坡锰矿的热水, 虽然目前尚难提供可靠的证据确认为大气降水下渗或是海水循环, 但是, 据菱锰矿中 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素为高负值, 硫同位素为重硫型, 表明大气淡水掺合的影响不明显。值得注意的是早震旦世的拉张活动也为海水环流提供了构造空间和流通场所。

3. 锰矿沉积与海平面的关系

大塘坡组地层的上下都是冰积岩, 而且锰矿层的分布与下伏铁丝坳组冰积层密切相伴, 在纵向上呈截切关系, 代表了两种不同的流动体制。反之, 如果缺失铁丝坳组地层, 也就没有锰矿沉积。所以锰矿在某种意义上解释为是间冰期的沉积物。冰川作用与锰矿沉积的关系主要是冰川消融后大量淡水入海, 造成海平面上升, 海侵加快, 使陆源碎屑物的沉积作用向陆方向推移, 在原浅水海域变成以凝缩沉积为主的深水海域, 有利化学和生物化学作用。同时冰水流入使海域内表层水的盐度、温度降低, 低温和密度小的表层水不利形成海水的垂向交替, 因而引起海水密度分层, 使海水柱的底部易形成缺氧的还原环境。

4. 锰矿沉积盆地中水的深度

本区锰矿沉积时盆地内水的深度也是颇有争议的问题, 有近岸浅水或泻湖海湾及深水盆地两种不同的认识。从沉积盆地的构造性质看, 受控于陆内拉张活动形成的盆地, 表现为垂向差异较大的地堑盆地, 沿着活动带形成狭长带状的深水槽盆, 而不是泻湖或海湾。早震旦世大塘坡组黑色页岩和锰矿层, 以东西向的窄相变带为特征, 就是地堑盆地的反映。从沉积构造看, 由黔东至湘西以及桂北, 大塘坡组黑色岩系的沉积构造都是水平层理, 为细悬浮沉积层, 同时在这些沉积物中几乎未发现有浅水波浪和潮汐流形成的沉积构造, 此特征均说明含锰地层沉积在低能停滞水体的深水槽盆, 水的深度应在浪基面以下。同时根据黑色页岩中所含的菌藻及放射虫等浮游生物, 其生态环境至少需要 50m 以下的水深。

四、 锰矿沉积模式

大塘坡组锰矿沉积在浅海边缘的深水槽状盆地中, 沉积、成矿作用受构造活动、古地理环境和锰质来源等三方面的控制。

早震旦世上扬子地块东南为大陆边缘拉张裂谷带, 在浅海海域形成地堑式的槽状盆地。拉张活动的早期伴有火山喷发和海底热环流, 沿活动断裂有富锰热水溶液喷溢。冰川消融和海底富锰溶液形成了海水柱状分层, 上部表层水为低温、低密度的被淡水混合了的海水层, 下部为正常海水层, 底部为富含锰质的高密的海水层 (图 4)。

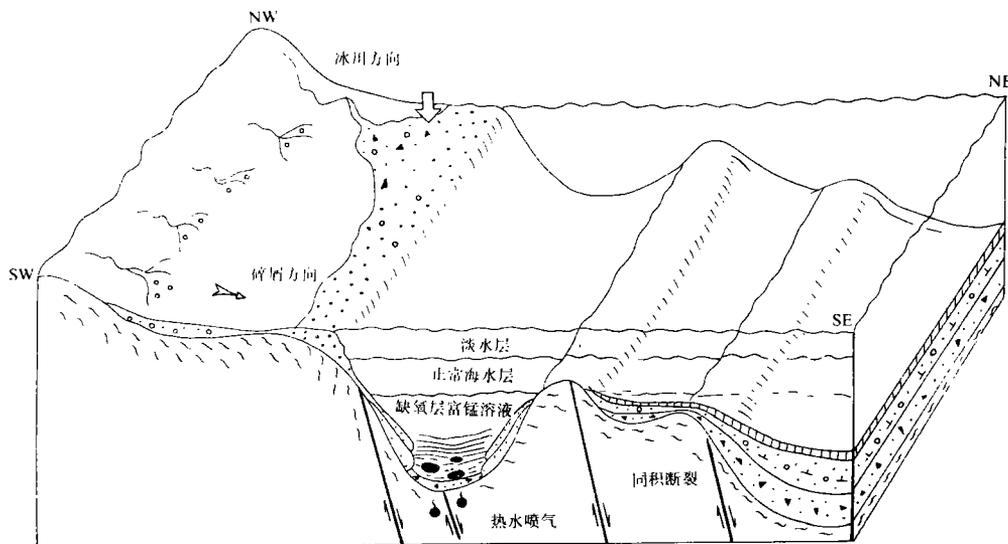


图 4 锰矿沉积模式

Fig.4 Manganese deposits model

地堑式深水盆地中的底层海水柱为还原环境的水体, 锰在还原条件下溶解度增加, 从而使局部封闭的深水槽盆内不断富集锰质, 在生物化学作用下促使锰的聚集和成矿作用。枕状锰矿体沿海底热水喷溢处附近沉积凝缩形成富锰矿, 外围海水中的絮凝状的锰质点沉积为纹

层状低品位的锰矿层，而沿着槽状盆地两侧的高地，由边缘向盆地和低处可形成低密度的浊流，沉积粒序状的锰矿层。

收稿日期：1988年11月24日

参 考 文 献

- (1) 王砚耕等, 1985, 贵州东部大塘坡组地层沉积环境和成锰作用。贵州人民出版社。
- (2) 张炳熹主编, 1987, 当代地质科学动向, 地质出版社。
- (3) Couey H. and Walsh J.N., 1987, Genesis of Fe-Mn Deposits of southwest Viti Levu Fiji. Institution of Mining Metallurgy, Vol.96 Nov. p.201-212.
- (4) McLennan.S.M., 1985, The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publications

The Sedimentology and Origin of Early Sinian Manganese Deposits from the Datangpo Formation, South CHina

Xu Xiaosong Huang Huiqiong Liu Baojun

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

Wang Yangeng

(Geological Bureau of Guizhou Province)

Abstract

Early Sinian black manganese carbonate deposits of the Datangpo formation are distributed in eastern Guizhou and western Hunan Province. The formation comprises a belt which extending for 200 km along depositional strike and 40 km perpendicular to the strike. The manganese precipitation is located in an extension in the passive continental margin of the Yangtze plate.

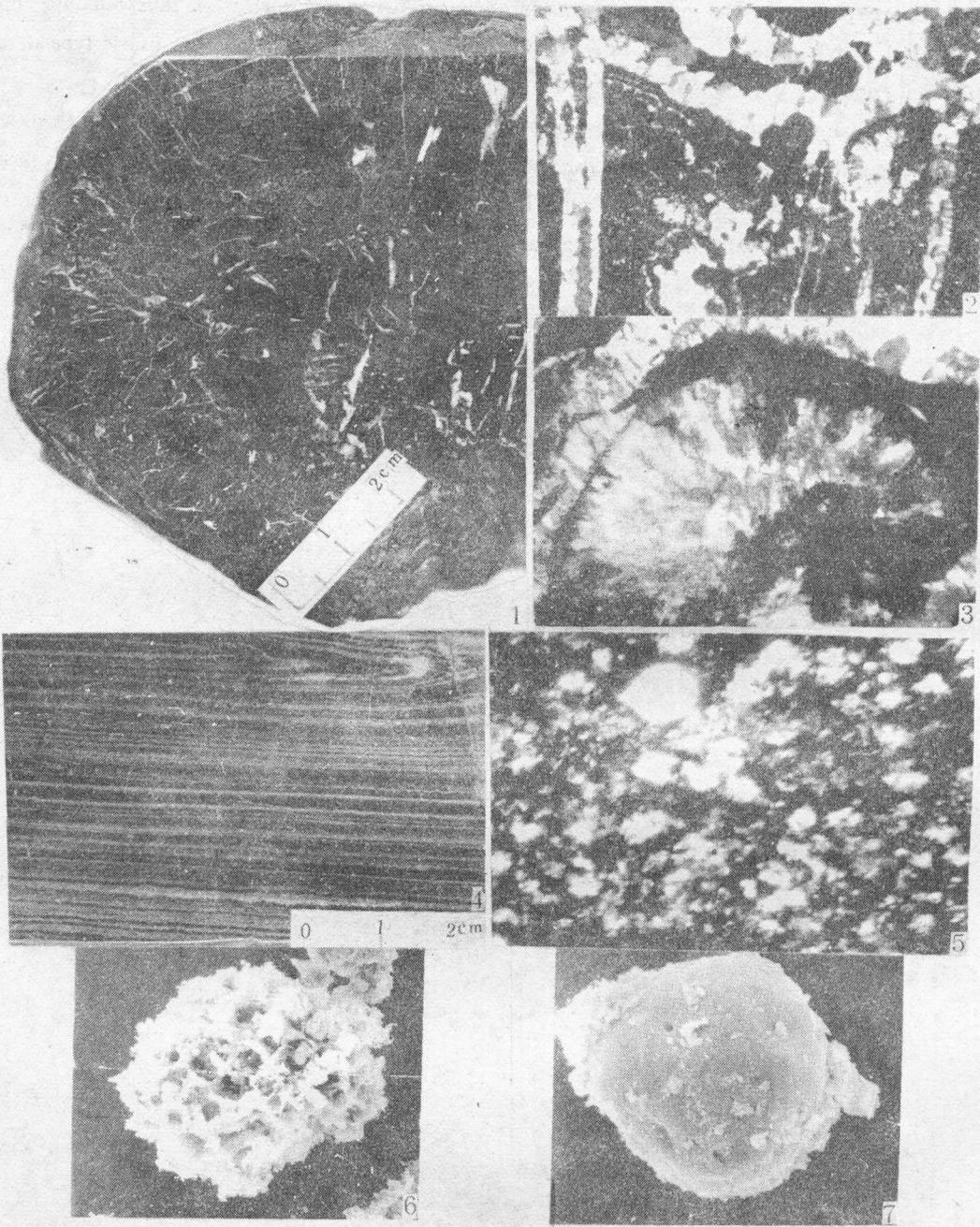
The Datangpo formation is interbedded between two sequences that have been interpreted as glacial diamictites. The formation comprises manganese ore and Mn-rich shale which show fine, graded laminations, with A-B-C, A-B-E Bouma sequences. The Mn-rich shale contains algae and fungi and acritarchs as reported previously; but the radiolaria have been found for the first time, and the radiolaria from Early Sinian has not been reported in the world. These features suggest that the deposition in a relatively deep water marine setting under conditions of anoxia which could have been caused by melting and a sea-level rise.

The manganese ore bodies comprise lens and pillow-shaped structure which show a structure of successive concentric layer, and are cut by many fine barite veinlets. Particularly, veinlets are concentrated in individual layer, and usually terminated at layer boundaries. This indicates that veins filled the fissures of shrinkage which was produced during the manganese ore cooling and separating phases.

It is suggested that the manganese originates from hydrothermal exhalation and extrusion at the sea

floor. It is precipitated as the successive concentric layers around a nucleus, thus building-up a pillow-shaped body. The $\delta^{34}\text{S}$ signature (average 48.3‰) of the manganese ore is typical of a hydrothermal origin.

We suggest that glacial melting at the beginning of Dagangpo formation brought about a major sea-level rise and the resulting transgression established a relatively deep marine environment. Hydrothermal exhalation at the sea bottom could have resulted in a division of the sea water column with anoxic bottom water conditions and precipitated the syngenetic manganese deposits.



1. 锰结核中皮壳层与切割的重晶石脉, 民乐 2. 结核锰矿中菱锰矿的胶状结构, $\times 10$, 民乐
3. 菱锰矿中充填纤维状重晶石, $\times 25$, 民乐 4. 富锰黑色页岩中粒序层, 大塘坡 5. 粒序层中含有硅质放射出(白)、菱锰帮(暗)和显微团粒(灰) $\times 25$, 大塘坡 6. 富锰黑色页岩中放射出, 大塘坡 7. 富锰黑色页岩中陨石球粒, 大塘坡