

滇东南含锰建造沉积相及聚锰条件分析

李志群¹⁾, 梁秋原¹⁾, 刘文佳¹⁾, 陈明伟¹⁾, 邹云达¹⁾, 郑荣华¹⁾, 郭欣²⁾

1) 云南省有色地质局, 云南昆明 650093;

2) 云南省国土资源职业学院, 云南昆明 650217

摘 要: 在对滇东南区域地质及锰矿研究成果综合分析的基础上, 以中三叠世拉丁期含锰建造的沉积相研究为基础, 把滇东南的法郎组中的锰矿总结为碎屑岩建造中的斗南式锰矿和碳酸盐岩建造中的白显式锰矿两类, 从解析典型锰矿床的沉积格局入手, 研究了中三叠世拉丁期典型矿床的岩相古地理特征。斗南锰矿形成于礁(滩)后泻湖的滨浅海碎屑岩建造相区、台地碳酸盐建造相区和斜坡碎屑岩建造相区中, 在斜坡碎屑岩建造相内多具有异地堆积的重力流沉积。白显锰矿形成于局限台地水体较为滞流的泻湖相-潮坪相中。在不同沉积格架下, 海水物理化学条件、水动力环境、生物作用和同生断裂活动是影响聚锰作用的重要因素。

关键词: 含锰建造; 中三叠世拉丁期; 沉积相; 聚锰条件; 滇东南

中图分类号: P618.32; P611 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.s1.03

An Analysis of Sedimentary Facies of Manganiferous Formation and Manganese Accumulation Conditions in Southeastern Yunnan

LI Zhi-qun¹⁾, LIANG Qiu-yuan¹⁾, LIU Wen-jia¹⁾, CHEN Ming-wei¹⁾, ZOU Yun-da¹⁾,
ZHENG Rong-hua¹⁾, GUO Xin²⁾

1) Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650093;

2) Yunnan Land and Resources Vocational College, Kunming, Yunnan 650217

Abstract: On the basis of an integrated analysis of the research achievements for regional geology and manganese deposits in southeastern Yunnan and in the light of the sedimentary facies study of manganiferous formation in Middle Triassic Latin period, the authors divided the manganese deposits in Falang Formation of southeastern Yunnan into two types, i.e., the Dounan type manganese deposits in detrital rock formation and the Baixian type manganese deposits in carbonate rock formation. Starting with the analysis of the sedimentary framework of typical manganese deposits, the authors studied the lithofacies and paleogeography of typical manganese deposits of Middle Triassic Latin period. The Dounan manganese deposit was formed in littoral-neritic detrital rock formation facies area of backreef lagoon, platform carbonate formation facies area and slope detrital rock formation facies area, with the last facies area containing lots of gravity flow sediments of heterochthonous accumulation. The Baixian manganese deposit was formed in the lagoon facies-tidal flat facies where confined platform water body was relatively stagnant. Under the conditions of different sedimentary frameworks, physical-chemical conditions of sea water, hydrodynamic environments, biological actions and contemporaneous faulting constituted important factors responsible for manganese accumulation.

Key words: manganiferous formation; Middle Triassic Latin period; sedimentary facies; manganese accumulation conditions; southeastern Yunnan

本文由“全国矿产资源潜力评价——云南省锰矿潜力评价”项目(编号:1212011121022)资助。

收稿日期: 2013-04-24; 改回日期: 2013-05-07。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 李志群, 男, 1963 年生。教授级高级工程师。主要从事区域成矿预测、矿产勘查和信息工程研究, 近年来着重于矿产资源潜力评价。通讯地址: 650093, 云南省昆明市人民东路 93 号。电话: 0871-63141029。E-mail: mr0871@qq.com。

云南省锰矿资源较丰富(刘文佳等, 2013), 绝大多数矿床(点)分布在华南古陆块中, 构成云南最重要的锰矿成矿带。在全省 7 个中型锰矿床中, 滇东南就有 4 个。滇东南地区含锰岩系为中三叠统法郎组, 国内不少研究者对其进行过较为详细的研究, 但多着重于法郎组的岩相古地理、沉积体系、地球化学特征、微生物、矿物组成、锰质来源、锰矿成矿规律、锰矿成矿模式等方面(朱平, 1985; 杨荆舟等, 1998; 刘仁福等, 1998; 章正军等, 1995; 郑荣才等, 1997; 杜秋定等, 2009; 李盛俊等, 2009; 夏国清等, 2010), 取得了令人瞩目的成果。我们在对滇东南地区三叠统法郎组含锰岩系各类研究成果和区域地质资料综合分析的基础上, 从解析典型锰矿床中三叠世拉丁期的岩相古地理特征入手, 着重分析了其含锰建造的沉积环境和沉积相格局, 从区域成矿的角度, 对不同沉积格架下的锰矿床进一步分析了海水物理化学条件、水动力环境、生物作用的聚锰意义。

1 区域成矿背景

滇东南地区经印支期的风化夷平作用, 使晚二叠世以来玄武岩浆喷发形成起伏不平的地貌基本被夷平, 至奥仑尼克早期, 滇东南地区基本上都属碳酸盐沉积。奥仑克中、晚期, 由于发生大规模的凹陷、断陷, 使滇东南大部分地区出现不同规模的断陷或凹陷盆地, 形成不同的沉积环境和沉积体系。安尼期, 文山—麻栗坡断裂活动减弱, 使富宁—丘北台地与个旧—弥勒台地连为一体形成碳酸盐沉积; 弥勒—师宗断裂和富宁断裂继续活动, 致使南盘江断裂南东和富宁断裂北东的断陷槽盆加深、扩大, 广泛发育碎屑浊流沉积。这样的古地理格局一直持续到拉丁中期, 拉丁晚期盆地开始收缩, 多数转化为浅海陆棚。由于挤压作用呈间歇式变化, 在挤压较强时, 则形成起伏不平的一系列断隆、断陷, 其中发育挤压型浊积岩; 在挤压较弱时, 由于相对海平面的下降, 陆源物质供给增加, 形成均衡补偿沉积。这样形成了浊积岩、风暴岩与浅海砂、泥岩互层的沉积组合特征。随着挤压作用的持续发展, 致使全区在诺利期逐步转化为滨海沼泽相至陆相沉积(章正军等, 1994; 中国有色金属工业总公司西南地质勘查局, 1995)。

滇东南锰矿主要分布于云南东南部的南盘江流域, 即弥勒—师宗断裂以东, 丘北—广南和富宁—那坡断裂以北。中三叠统法郎期(与拉丁期相当)是滇东南地区地壳发展演化阶段中最重要的成锰时

期。含锰地层主要分布在滇东南的建水、蒙自、砚山、文山一带, 工业锰矿床的形成, 受控于古隆起(越北古陆、滇中平原、哀牢山隆起)一侧的局限海和广海, 在云南, 构成了一个长 115 km, 宽约 15 km 的锰矿带(云南地质矿产局, 1993)。综合前人研究资料(云南省第二地质大队, 1984; 夏国清等, 2010; 云南省地质矿产局, 1995), 将滇池东南中三叠世拉丁期沉积相分为: 局限台地、开阔台地、台沟、礁(滩)后泻湖、生物礁、台缘斜坡和深水盆地八种沉积相(图 1)(云南省第二地质大队, 1984)。碳酸盐岩建造仅在西部的个旧、建水一带发育, 在其它地区不发育或仅表现为局部夹层, 而发育碎屑岩建造, 对应地形成了白显式(碳酸盐岩建造)和斗南式(碎屑岩建造)两种沉积型锰矿。

2 含锰建造特征

含锰建造主要分为两种类型: 含锰碎屑岩建造(斗南式)和含锰碳酸盐岩建造(白显式)。

2.1 含锰碎屑岩建造

分布范围较广, 主要分布在砚山、建水、石屏、丘北、弥勒、开远等地。以砚山县斗南剖面为代表。

该类型法郎组分为六个岩性段(T_2f_6 — T_2f_1), 其中第四段分为四个亚段($T_2f_4^4$ — $T_2f_4^1$), 第五段分为三个亚段($T_2f_5^3$ — $T_2f_5^1$)。

有两个含锰层位, 一个在含锰岩系的下部, 称下含矿层($T_2f_4^1$), 其中产工业矿体主要有三层; 另一个在含锰岩系的中部, 称上含矿层($T_2f_5^2$), 其中产工业矿体 4 层。两个含矿段在含锰地层剖面柱状上, 均属于海进序列。锰矿层在剖面上均出现在由石英细砂岩或疙瘩状灰岩向泥质粉砂岩、钙质粉砂质泥岩夹碳酸盐岩的过渡部位上。疙瘩状灰岩是由砾石呈棱角状或扁豆状“漂浮”于灰泥、砂屑、生物屑及粉屑构成的基质中而形成的, 具正递变粒序层理, 砾屑具滑动撕裂现象, 反映了斜坡下部具有较高密度的碎屑流沉积的特征。

2.2 含锰碳酸盐岩建造

分布范围较广, 主要分布在建水、石屏、弥勒、个旧等地。以建水县白显剖面为代表。

该类型法郎组划分为泥质灰岩段(T_2f^1)、白云岩夹灰岩段(T_2f^2)、灰岩段(T_2f^3)三个岩性段, 白云岩夹灰岩段(T_2f^2)分为五个亚段(T_2f^{2-1} — T_2f^{2-5}); 灰岩段(T_2f^3)分为三个亚段(T_2f^{3-1} — T_2f^{3-3})。

法郎组主要由碳酸盐岩、泥质硅质碳酸盐岩和泥质岩组成, 以碳酸盐岩为主要岩石类型, 锰矿层无例外地产在由白云岩向灰岩过渡的部位上, 有二

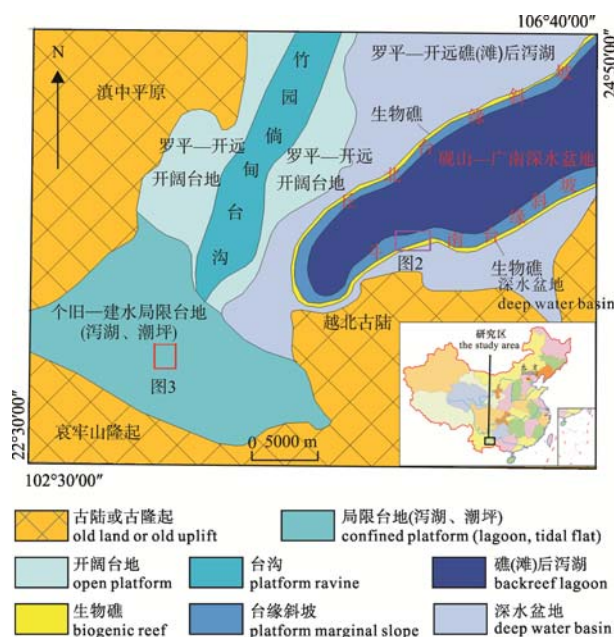


图 1 滇东南中三叠世拉丁期岩相古地理图
Fig. 1 Lithofacies-paleogeographical map of Middle Triassic Latin period in southeastern Yunnan

层锰矿: 下矿层产于法郎组底部; 上矿层产于法郎组中部。但以上矿层最为重要, 是矿区最有远景的工业锰矿层。在矿层底板白云岩中, 粒屑结构、鲕粒结构和角砾状构造十分普遍; 而在矿层顶板灰岩中, 纹层构造十分发育, 显示了由泻湖向潮坪环境或由潮间高能带向潮下低能带环境的过渡。

3 典型锰矿床的沉积相

滇东南法郎组中锰矿床可分为碎屑岩建造中的斗南式锰矿和碳酸盐岩建造中的白显式锰矿两类, 相应的典型矿床是斗南锰矿和白显锰矿。这两类矿床受控于不同的沉积环境, 分布于不同的沉积相区(钟薇等, 1987)。斗南式锰矿和白显式锰矿两种沉积型锰矿, 为同时异相的产物。

3.1 斗南锰矿

斗南锰矿沉积在台地前缘坡下与坡底相位中的两种岩石交替带的部位上, 整个含矿地层剖面, 有颗粒流和浊流(次)的沉积特征。

结合郑荣才等(1991)对邻区老乌锰矿和岩子脚锰矿研究成果, 将斗南锰矿法郎组含锰建造划分为三套沉积建造相区(图 2)。

(1) 滨浅海碎屑岩建造相区

发育于 T_{2f1} — T_{2f2} 亚段, 局部在 T_{2f3}^1 亚段, 分布于卡他、米克里、大凹子等矿段, 较稳定, 属拉丁早期海侵沉积, 由海滩、海湾泻湖和浅海陆棚组成连续的海侵层序; 底部海滩滞留砾岩, 呈透镜体充填

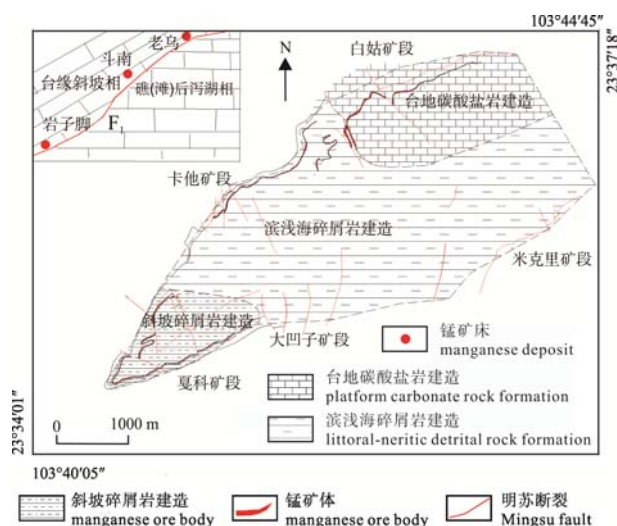


图 2 砚山县斗南锰矿中三叠世拉丁期岩相古地理图
Fig. 2 Lithofacies-paleogeographical map of Middle Triassic Latin period in the Dounan manganese deposit of Yanshan County

于个旧灰岩不整合面上的低洼处, 钙质砾石来自个旧灰岩, 细-粗卵石级, 磨圆极好, 为泥、粉砂和灰泥填隙, 具有从块状层向板状交错层和双向叠瓦构造层变化的剖面结构。

(2) 台地碳酸盐建造相区

由局限—开阔台地和台地边缘浅滩组成的海侵层序, 仅发育在斗南白姑 T_{2f1} — T_{2f3}^1 亚段; 超覆在个旧灰岩的局限台地相之上, 由潮坪—泻湖亚相的次角砾状细晶白云岩和含泥、粉砂质微-细晶白云岩组成, 具强烈的近地表混合水白云石化作用特征, 显示出白姑等地于海侵早期为间歇暴露的沉积高地: 开阔台地相由单一的暗色含泥粉砂质颗粒微晶灰岩组成, 产丰富的棘皮、瓣鳃、有孔虫、腕足和菊石化石; 台地边缘浅滩相由粉棘晶屑白云岩、微-亮晶砾屑灰岩和间夹条带灰岩的微晶砂屑、介屑灰岩组成向上变深的层序: 下部棘屑白云岩, 亦很复杂, 计有海绵—水螅礁灰岩屑、砂屑鲕粒灰岩屑、棘屑介屑灰岩和红藻或隐藻灰岩屑等, 大部分为已固结岩隆的浪蚀碎屑, 呈次棱角-次圆状, 细-中砾级, 分选较好, 颗粒支撑, 微-亮晶方解石胶结, 属台缘高能带沉积体。上部夹有条带灰岩的砂屑、介屑灰岩, 出现轻微塑性变形作用, 向上渐变为斜坡相的条带状-扁豆状灰岩, 显示海侵逐渐扩大, 台缘退缩变陡和海水加深, 以及悬浮沉积物增多, 堆积环境有向不稳定发展的趋势。

(3) 斜坡碎屑岩建造相区

斜坡普遍发育于 T_{2f3}^1 — T_{2f5}^3 亚段, 多分布于夏科矿段, 沿明苏断裂北西下降盘, 呈北东向“S”型

展布,长约 90~100 km,宽约 8~10 km,交替发育有以下三个亚相。

上斜坡亚相:该亚相有较陡的坡度、窄的宽度和高的堆积速率。据构造对沉积作用的控制,可识别出两种不同边缘性质的斜坡,以上斜坡差别最大。两种斜坡相:(a)具侵蚀边缘的斜坡:仅发育于明苏断裂北段、弧形外突部位的斗南白姑 $T_{2f3}^2-T_{2f4}^2$ 亚段。沉积作用受该断裂拉张和间歇右旋走滑活动造成的局部挤压交替影响,边缘性质不稳定,拉张期台缘下沉,上斜坡加深变缓,接受台缘悬浮沉积的条带状-扁豆状灰岩,有轻微塑性变形作用。挤压期台缘抬升,固结并遭受波浪侵蚀。垂向层序中,往往由厚层角砾状砾屑灰岩与中层条带状-扁豆状灰岩组成岩性突变的韵律互层,可与巴哈马群岛北部的“G”型斜坡沉积模式对比(郑荣才等,1991),后者位于具侵蚀边缘的镶边台地前缘,坡度可达 20° 。(b)边缘稳定的斜坡:为矿区主要斜坡类型,沉积作用受明苏断裂弧形内凹部位的持续拉张控制。台缘与斜坡位置相对稳定,很少受波浪侵蚀破坏,且台缘沉积与沉降速率保持均衡。台缘以发育较高能的松散颗粒滩为主,而斜坡受持续拉张和欠补偿沉积的影响加深变陡。上斜坡由台缘悬浮沉积的条带状-扁豆状灰岩,及其重力滑塌所形成的碎屑流或浊流沉积的砾屑灰岩交替成的粒序。砾屑成分和杂基中所含的薄壳介形虫、薄壳瓣鳃或腕足、有孔虫和骨针等较深水相生物组合,与条带状-扁豆状灰岩基本一致。砾屑呈弯曲的长条状、板片状或撕裂状等半固结塑性变形外貌,细—巨砾级。基质为灰泥和泥粉砂质,含少量砂屑、生物骨,偶含鲕粒。常见塑性蠕动、拉裂或包卷的条带状-扁豆状灰岩向高密度堆积的块状或叠瓦状砾屑灰岩,以及为基质支撑的正粒序砾屑灰岩变化。此特征亦可与巴哈马群岛北部稳定边缘及末端变陡的“E”型斜坡沉积模式相对比(郑荣才等,1991),堆积坡度由大于 15° 向 5° 递减。

下斜坡亚相:该亚相位于坡度由陡变缓的斜坡下部,有较大的分布范围和水深。沉积作用受边缘性质影响较小,但受槽盆轴向搬运的远源陆屑浊流和台缘钙屑重力流双重物源影响。因此,垂向层序由远源浊积的泥岩、(含凝灰质)粉-细砂岩和泥粉砂质粉屑砂屑灰岩、泥灰岩,与近源碎屑流和浊流沉积的砂屑砾屑灰岩交替组成。泥-粉砂级的细碎屑岩或灰岩具正粒序、沙纹层理、微粒序或水平纹层,以及无纹层泥岩的典型远源浊流层序,为 a-c-d-e 和

c-d-e 鲍玛序列,底面具冲刷、槽模、重荷模和火焰构造。砂屑砾屑灰岩与上斜坡同类沉积相似,仅泥粉砂质同生砾石及基质陆源组分增多,灰岩砾屑变细变少,呈基质支撑,具块状或正粒序层理,底冲刷明显,显然亦为来自上斜坡的碎屑流及其衍生的高密度浊流沉积。需要指出的是,该亚相时夹台缘松散颗粒堆积体砂崩形成的钙质或锰质颗粒流沉积,为斗南锰矿最重要的聚锰环境。来自上斜坡的碎屑流进入此带因坡度变缓而发生停积,而部分浊流和变密度颗粒流仍可继续穿越此带,进入坡底或盆地边缘再沉积,以及下斜坡沉积物无变形和滑塌作用,推测坡度由 5° 向 1° 递减。

坡底亚相:该亚相位于下斜坡向盆地边缘过渡的宽广平缓地带,坡度小于 1° ,水深与盆地渐趋一致。如同下斜坡,沉积作用受双重物源影响,以发育陆屑或钙屑远源浊积岩为主,虽缺少碎屑流和近源浊积的厚层砾屑灰岩,但由颗粒流衍生的变密度颗粒和浊流仍可间歇注入此带,形成远源浊积岩系中,十分发育钙质或锰质颗粒岩夹层或条带,因此也是较重要的聚锰环境(郑荣才等,1991)。

下斜坡—坡底相为重要聚锰环境,多数颗粒锰矿具异地堆积的重力流沉积特征,郑荣才等(1991)认为有颗粒流、变密度颗粒流和浊流三种类型。

(1) 颗粒流

斗南锰矿多数主矿体为颗粒沉积,以斗南夏科 VI 主矿体为例,矿体由近 10 层厚 5~25 cm 的致密块状颗粒锰矿单矿层,间夹厚 5~10 cm 的凝灰质泥岩叠覆层组成。矿层呈一系列尖灭再现的顺层扁豆体,沿北东向斜坡带断续分布达 6~7 km。平行坡斜方向扁豆体长仅数百米,但沿垂直斜坡的颗粒流搬运方向,扁豆体向北西延伸可达 2~3 km,扁豆体内具 4~5 个为底冲刷分隔的逆—正粒序韵律层,并产于下斜坡内侧的远源浊积岩系中,显然为砂崩引起的锰质颗粒流侵蚀并充填下斜坡的水道洼地沉积,锰质颗粒来自台缘松散浅滩。

(2) 变密度颗粒流和浊流

因变密度颗粒流和浊流有分散应力、湍流和基质浮力复合支撑作用,比颗粒流有更大的搬运能力和搬运距离,故以堆积在下斜坡外侧和坡底为主,局部浊流尾部可进入盆地边缘。由变密度颗粒流和浊流的堆积作用也可形成规模较大的主矿体,如斗南白姑矿段的主矿体都由 2~3 层变密度颗粒流和浊流连续沉积的单矿层组成,产于远源浊积岩系中。单矿层厚 0.3~0.6 m,由块状向正粒序变化的致密块

状颗粒锰矿及条带状或花斑状灰质颗粒锰矿组成韵律层序,与底板为冲刷突变接触关系,向上渐变为含锰颗粒灰岩和粉砂岩。应指出的是,进入坡底和盆地边缘的单一浊流沉积仅形成薄的锰矿夹层或矿质条带,对形成工业矿体是不利的。

综上所述,斗南锰矿形成于陆源碎屑丰富的滨浅海碎屑岩建造相、台地碳酸盐建造相和斜坡碎屑岩建造相中,在斜坡碎屑岩建造相中,多具异地堆积的重力流沉积特征。

3.2 白显锰矿

白显锰矿含锰建造以泻湖相—潮坪相为主,向上过渡为和蒸发潮坪相。

(1) 泻湖相

岩性以灰色薄至中厚层状泥粉晶灰岩、微晶灰岩、灰色中厚层状粉晶白云岩、细晶白云岩和硅化细晶白云质灰岩组成,局部育白云石化或白云石条带。岩石中有时含少量泥质,生物普遍贫乏,仅占5%,但局部可达20%以上,门类较多,有腕足、介形虫、瓣鳃和棘屑碎片,个体较完整的有孔虫、介形虫、海胆。沉积构造为薄—中厚层,水平层理发育,局部有条带构造。层序上与潮坪相邻,反映了一个能量低、水体循环较好的淡化泻湖环境特征,其

中零星分布的白云石及纹层状分布的白云石可能为水体短期的或间歇性成化的产物。这套岩石中普遍发育有氧化锰矿,从其分布呈不规则团状、细分散状、带状来看,应属化学或胶体化学沉积成因。它代表了当时泻湖环境具有弱碱性-弱还原的地球化学条件。上述特征表明此类泻湖与广海有一定的连通性,属半开放型,水体较深,盐度基本正常,为障壁型海岸沉积,泻湖环境。是最重要的控矿岩相之一。

(2) 潮坪相,进一步分为两个亚相:

潮下浅滩:岩性主要有灰色薄层含锰微晶砾屑白云岩、灰黑色锰质亮晶粒屑灰岩、灰色薄层状含生物碎屑的藻层纹白云质灰岩、条带状硅化生物碎屑灰岩和鲕粒灰岩,具水平层纹、波状层理、斜层理及沙纹层理,局部可见鸟眼构造。粒屑类型有藻屑、团块、鲕粒、生物屑、内碎屑(以藻砂屑、团块内碎屑为主)。鲕粒或核形石仅在个别层位如 T_2f^B 富集。生物碎屑有腕足、棘屑、有孔虫、瓣鳃和介形虫等碎片,含量40%。潮坪相系白显锰矿重要的控矿岩相之一。

潮间坪:岩石为灰色中厚层状粉-微晶灰岩、粉晶白云岩与生物屑灰岩和含锰粒屑灰岩互层,生物碎屑有介形虫、双壳类、有孔虫,部分生物体腔体内有锰质充填,有些形成完全锰矿化的生物碎屑假象,粒屑灰岩多为亮晶胶结。微晶灰岩与粉晶白云岩中具细分散状氧化锰与泥质混合,形成含锰灰岩与白云岩。在垂向上与生物灰岩和含锰粒屑灰岩构成的纹层状层理与水平层理互层,也见有波状层理、沙纹层理。沉积物中可见有鸟眼构造及藻层纹构造,显示了水体能量由弱至中等、变动频繁并且经常暴露海面的沉积特征。

总之,白显锰矿形成于水动力条件较弱,水体较为滞流的泻湖相-潮坪相内。

4 不同构造格架下的聚锰条件

在不同沉积控制下,形成沉积环境的差异,导致成矿作用方式不同。

4.1 斗南锰矿

顶底板岩石的 pH 值为 9.06~8.97, ΔEh 值为 33~52, 属碱性还原—氧化过渡带介质环境;矿层及夹石的 pH 值为 8.75~8.90, ΔEh 值为 46~59, 为碱性还原介质环境(云南省地质矿产局, 1993)。在 Eh-pH 图上,落在氧化锰矿物(软锰矿、水锰矿)与碳酸锰矿物混合生成区的介质环境内(图 4)。

锰矿石中鲕、豆状结构,表明蓝藻类微生物对

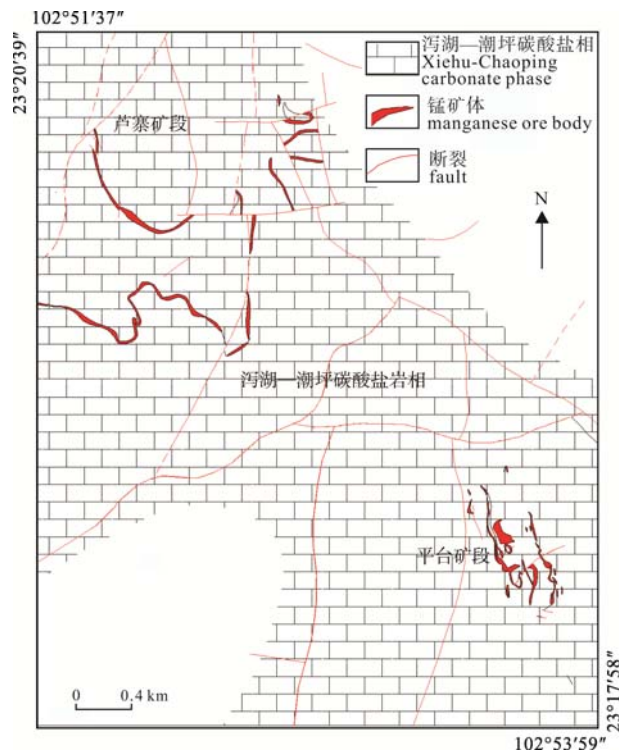


图 3 建水县白显锰矿中三叠世拉丁期岩相古地理图

Fig. 3 Lithofacies-paleogeographical map of Middle Triassic Latin period in the Baixian manganese deposit of Jianshui County

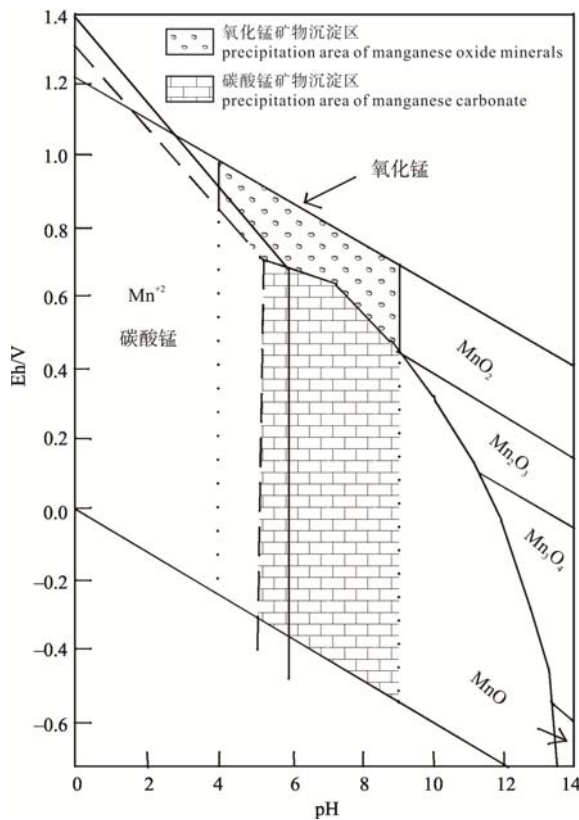


图4 锰-水体系的 Eh-pH 图(Roy, 2006)

Fig. 4 Eh-pH diagram of the manganese-water system (Roy, 2006)

锰质富集有重要的意义(杜秋定等, 2010), 另外, 褐锰矿主要以核形石(藻鲕或藻豆)包粒出现, 显然是在水体很浅的氧化相环境中形成的, 但含锰地层又具有次深水沉积的特征, 这种既是次深水又有足够氧逸度的沉积环境, 除了与锰质沉淀和沉积定位的环境有所不同外, 还与浊流能从发源地携带大量的氧进入坡底有关。

根据计算的古海水温度为 35.74~47.58, 略高于“白显式”锰矿形成的古海水温度(云南省地质矿产局, 1993)。

锰质主要来自海盆周围的古陆。锰质除了从基岩和土壤中通过物理侵蚀获得外, 主要是通过化学作用在还原环境中从含锰矿物中溶蚀而来, 锰质最终运至海洋后, 以氧化物颗粒和溶解的 Mn^{2+} 存在, 剩余部分则存在于溶解的有机质中。在弱还原(碳酸盐矿石)至氧化(氧化物矿石)条件下则可沉积形成有工业价值的锰矿床。

据沉积相古地理特征, 锰质颗粒、核形石和砂砾屑具残余藻包壳、藻纹层和藻丝体结构, 以及含锰岩系和矿体具重力流沉积剖面结构综合分析, 两个含锰层位应代表拉丁期盆地扩张引起的两次成锰事件, 锰质来源于古陆(马雪等, 2009), 在盆地礁(滩)

后泻湖滨浅海碎屑岩建造相区与台地碳酸盐建造相区形成沉积的纹层状钙菱锰矿, 但在台地边缘斜坡碎屑岩建造相区则以藻类吸收作用为主, 形成锰质鲕粒或核形石滩的松散堆积体, 其中的部分含锰堆积物在重力流作用下搬运到下斜坡和坡底, 由氧气充足的条件变为低氧或缺氧的环境, 同时, 海水中的 $CaCO_3$ 成分增高, 形成碳酸锰沉淀, 因为氧化锰再溶解不完全, 形成氧化锰矿和碳酸盐锰矿混合存在的现象。

明苏同断裂是最重要的同生控矿断裂(图2), 主要表现为:

(1)靠近明苏断裂南段内凹部位的斗南夏科、卡他等地, 继法郎早期海侵($T_2f^1-T_2f^2$), 中期($T_2f^3-T_2f^4$)进入稳定的台缘斜坡带, 台缘因沉积和沉降速率均衡, 能量较高, 有利形成滩相的、由藻类吸收锰质及包壳的鲕粒和核形石松散堆积体。而在不断加深, 变陡的上斜坡和平缓的下斜坡及坡底地带, 则有利于台缘浅滩砂崩形成的颗粒流及其衍生的变密度颗粒流和浊流搬运, 并在斜坡的不同部位, 形成不同类型的密度流堆积。晚期($T_2f^5-T_2f^6$)进一步沉降, 该区沦为远离台缘的盆地边缘相带, 锰质重力流很少进入此带而不利于成矿。上述地区仅发育下含矿层, 上含矿层仅见锰矿化现象。

(2)靠近明苏断裂北段弧形外突部位的斗南白姑矿段, 法郎早、中期由间歇暴露的台地逐渐进入具侵蚀边缘的斜坡, 因台缘不稳定难以形成大量锰质颗粒的聚集, 斜坡以堆积近源钙屑浊积岩为主, 偶见钙菱锰矿质颗粒混入浊积岩中。晚期进入边缘稳定的斜坡带, 台缘大量锰质颗粒堆积并发生砂崩, 以颗粒流及高密度流等搬运形式, 倾泻到下斜坡和坡底发生异地堆积而富集成矿。因此, 此两矿段发育上含矿层。

4.2 白显锰矿

据朱平(1985)研究, 白显锰矿的 $Eh=0.35\sim0.60$, $pH=7.20\sim9.09$, 属碱性还原沉积环境。在 Eh-pH 图上, 主要落在碳酸锰沉积区, 少量落于氧化锰沉积区。白显矿区位于个旧海盆的滨海区, 西近滇中平原、南靠哀牢山隆起, 东临越北古陆, 形成三面环陆的海湾景貌。古陆为中三叠统法郎组地层的沉积提供了丰富的物质, 以致沉积了一套 730 多米的地层。此套地层以碳酸盐岩为主, 分别属于受限制的陆源碎屑泻湖潮坪环境和碳酸盐泻湖潮坪环境, 在剖面上形成了由砂、页岩—泥质灰岩—白云岩—灰岩由粗到细的正向沉积旋回。白显锰矿即产于由白云岩向灰岩过渡的部位。锰质主要来源于海

盆边缘的古陆(特别是富含锰地层的滇中平原),部分可能来自海盆内古岛上的个旧组地层。陆源物质除锰外,还有少量的铁质、泥质、碳质和石英。锰质从含锰地层中风化出来后,随砂、泥质一起被带入海盆,由于环境的改变,促成其沉积。原始的锰的沉积物为 Mn^{4+} 、 Mn^{3+} 、 Mn^{2+} 氧化物和氢氧化物,如软锰矿、黑锰矿、硬锰矿,水锰矿和氢氧化锰凝胶,在搅动的水体中形成鲕粒和松散堆集。泻湖—潮坪内弱的水动力条件对聚锰作用有利,矿区内常见含锰纹层石,具搅动的鸟眼构造,反映水较浅;完整个体的古生物化石和碳酸盐岩沉积,表明潮下环境;水平层理、微波状层理、碳酸盐岩与粘土层交互出现,指示水动力不强,潮汐作用不明显。从泻湖的潮下、潮间、潮上三个能量带来看,聚锰条件以潮下和潮间为主。矿物相研究结果证明(唐云凤等, 2011),在成岩阶段,由于 Eh 值降低,温度和压力增高,早期矿物变价、脱水,使大部分四价和三价锰矿物转变成三价和二价锰矿物。同时还发生铁对锰、锰对钙的取代。这个阶段的新生矿物为褐锰矿、黑锰矿、方铁锰矿、锰方解石,可能还有菱锰矿。锰矿体不论在沿层和垂直层方向上只产于石灰岩和白云岩相变带的石灰岩一侧。这种物质组份上的差异,在平面上是沉积环境不同的反映,在剖面上是控制沉积环境的地壳振荡运动的结果。内碎屑石灰岩和锰矿体产于台地泻湖—潮坪(潮下—潮间)相中,而无矿的细晶-微晶白云岩代表了台地泻湖潮上相。

5 结论

(1)中三叠世晚期(拉丁期),滇东南地区出现了两个含锰沉积盆地。以开远海隆为界,北东为斗南海盆;以西为个旧海盆,前者控制着斗南锰矿的形成,后者控制着白显锰矿的沉积。

(2)斗南锰矿形成于碎屑岩建造中,分为滨浅海碎屑岩建造相区、台地碳酸盐建造相区和斜坡碎屑岩建造相区,重力流有颗粒流、变密度颗粒流和浊流三种类型,水动力条件较强;白显锰矿以泻湖—潮坪碳酸盐岩相为主要控矿岩相,以水动力较弱的潮下和潮间带为主。

(3)中三叠世拉丁期在滇东南海盆地,来源于古陆风化的锰质,在礁(滩)后泻湖的滨浅海碎屑岩建造相区、台地碳酸盐建造相区和斜坡碎屑岩建造相区,由藻类吸附形成含锰藻(鲕豆和核形石)(杜秋定等, 2009)导致锰聚集,同时,在斜坡碎屑岩建造相区,在强水动力条件下(风暴流、浊流等)形成颗粒流,锰质沿斜坡下移,下斜坡—坡底相对宁静的碱性还

原-强还原环境中再沉积聚集成锰矿,形成以碎屑岩建造为主的斗南式锰矿。当陆源锰质进入台地局限泻湖的锰沉积区,由于藻礁吸附以及潮间带向潮下带转化、白云岩向灰岩过渡等物理学化学条件的变化,产生含锰碳酸盐岩建造为主的沉积,形成白显式锰矿。

参考文献:

- 杜秋定,伊海生,惠博,武向峰,陈三运,陈广义. 2010. 滇东南中三叠统法郎组锰矿床成因的新认识[J]. 地质论评, 56(5): 673-681.
- 杜秋定,伊海生. 2009. 滇东南中三叠统法郎组锰矿床微生物成因的新证据[J]. 地质科技情报, 28(5): 78-83.
- 李盛俊,伊海生,马雪,夏国清,荣建峰,达雪娟. 2009. 滇东南中法郎组含锰地层沉积相分析[J]. 沉积与特提斯地质, 29(2): 33-38.
- 刘仁福,田宝坤,时子祯,郝如锡,李宏臣. 1988. 滇东南地区中三叠世法郎组含锰建造的地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 3(4): 1-19.
- 刘文佳,李志群,梁秋原,陈明伟,邹云达. 2013. 云南省鹤庆县小天井锰矿的地质特征及盆地控制[J]. 地球学报, 34(s1): 151-156.
- 马雪,伊海生,李盛俊. 2009. 滇东南锰矿物源区分析及锰质来源[J]. 云南地质, 28(1): 87-94.
- 唐云凤,伊海生. 2011. 滇东南地区斗南沉积型锰矿物相变化及沉积模式[J]. 中国地质, 38(2): 451-461.
- 夏国清,伊海生,李盛俊,武向峰. 2010. 滇东南中三叠统拉丁期沉积体系与层序地层格架下的聚锰特征[J]. 地质论评, 56(5): 703-709.
- 杨荆舟,罗君烈,赵准. 1998. 云南矿床区域成矿模式[J]. 云南地质, (增刊): 83-86.
- 云南省地质矿产局. 1993. 云南省区域矿产总结[R]. 昆明: 云南省地质矿产局.
- 云南省地质矿产局. 1995. 云南岩相古地理图集[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 云南省第二地质大队. 1984. 滇东南中三叠统锰矿远景调查报告[R]. 文山: 云南省第二地质大队.
- 章正军,丁俊,赵珉,杨庆寿. 1994. 南盘江盆地三叠纪风暴沉积及其沉积构造背景[J]. 云南地质, 13(4): 362-370.
- 章正军,丁俊,赵珉. 1995. 滇东南三叠纪层序地层及盆地演化[M]. 北京: 中国地质大学出版社.
- 郑荣才,张锦泉. 1991. 滇东南斗南锰矿重力流沉积及其聚锰环境[J]. 成都地质学院学报, 18(4): 65-75.
- 中国有色金属工业总公司西南地质勘查局. 1995. 滇东南区带成矿条件与成矿预测[R]. 昆明: 中国有色金属工业总公司西南地质勘查局.
- 钟薇,王筱仙. 1987. 滇东南锰矿相区划分及其找矿方向[J]. 中国锰业, (1): 1-4.
- 朱平. 1985. 云南白显锰矿平台矿段沉积相与成锰环境分析[J]. 成都理工学院学报, 22(3): 75-80.

References:

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1993. Summary on Area Mineral Resources in Yunnan[R]. Kunming: Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province(in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1995. Atlas of the sedimentary facies and palaeogeography of Yunnan[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House(in Chinese).
- DU Qiu-ding, YI Hai-sheng, HUI Bo, WU Xiang-feng, CHEN San-yun, CHEN Guang-yi. 2010. A new recognition about genesis of manganese ore deposit in the Falang Formation of Triassic, Southeastern Yunnan[J]. *Geologic Review*, 56(5): 673-681(in Chinese with English abstract).
- DU Qiu-ding, YI Hai-sheng. 2009. New microbiological origin evidence of manganese deposit in the Falang Formation of Middle Triassic, Southeast Yunnan[J]. *Geological Science and Technology Information*, 28(5): 78-83(in Chinese with English abstract).
- LI Sheng-jun, YI Hai-sheng, MA Xue, XIA Guo-qing, RONG Jian-feng, DA Xue-juan. 2009. Sedimentary facies of the manganese-bearing strata in the Falang Formation, southeastern Yunnan[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 29(2): 33-38(in Chinese with English abstract).
- LIU Ren-fu, TIAN Bao-kun, SHI Zi-zhen, HAO Ru-xi, LI Hong-chen. 1988. Geology characteristics of the Mn-bearing-Falang Formation in the southeast Yunnan Province[J]. *Contributions of Geology and Mineral Resources Research*, 3(4): 1-19(in Chinese with English abstract).
- LIU Wen-jia, LI Zhi-qun, LIANG Qiu-yuan, CHEN Ming-wei, ZOU Yun-da. 2013. Geological Characteristic and Basin Control of the Xiaotianjing Manganese Ore Deposit in Heqing County of Yunnan Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(s1): 151-156(in Chinese with English abstract).
- MA Xue, YI Hai-sheng, LI Sheng-jun. 2009. The analysis of ore origin area and Mn source of Mn deposit in SE Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 28(1): 87-94(in Chinese with English abstract).
- ROY. 2006. Sedimentary manganese metallogenesis in response to the evolution of the earth system[J]. *Earth Science Review*, 77(4): 273-305.
- Southwest Bureau of Geology and Exploration of China Non-ferrous Metal Industry Company. 1993. Metallogenetic Conditions and Forecast in Southeast Yunnan Region[R]. Kunming: Southwest bureau of geology and exploration of China Non-ferrous Metal Industry Company(in Chinese).
- TANG Yun-feng, YI Hai-sheng. 2011. Mineral phase changes and depositional model of sedimentary manganese deposits in Dounan area of southeastern Yunnan[J]. *Geology in China*, 38(2): 451-461(in Chinese with English abstract).
- The Second Geology Team of Yunnan Province. 1984. Report on forecast of Triassic manganese deposits in southeast Yunnan[R]. Wenshan: The second geology team of Yunnan Province(in Chinese).
- XIA Guo-qing, YI Hai-sheng, LI Sheng-jun, WU Xiang-feng. 2010. Research on Manganese-accumulation Features in Middle Triassic Ladinian Sedimentary System and Sequence Stratigraphic Framework, southeastern Yunnan[J]. *Geologic Review*, 56(5): 703-709(in Chinese with English abstract).
- YANG Jing-zhou, LUO Jun-lie, ZHAO Zhun. 1998. Area mineral models of Deposits in Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, (Supplement1): 83-86(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zheng-jun, DIND Jun, ZHAO Min, YANG Qing-shou. 1994. The triassic storm sediment and tectonic setting of the sedimentation in Nanpan River basin[J]. *Yunnan Geology*, 13(4): 362-370(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zheng-jun, DIND Jun, ZHAO Min. 1995. Triassic sequence stratigraphy and basin evolution in southeast Yunnan[M]. Beijing: China Geology University Publishing House(in Chinese).
- ZHENG Rong-cai, ZHANG Jin-quan. 1991. Gravity flow manganese deposits and their sedimentary environment in middle Triassic from Dounan, southeastern Yunnan[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 18(4): 65-75(in Chinese with English abstract).
- ZHONG Wei, WANG Xiao-xian. 1987. On the classification of facies areas in manganese deposits and the way of mineral resources research[J]. *China Manganese Industry*, (1): 1-4(in Chinese with English abstract).
- ZHU Ping. 1985. Analysis of sedimentary facies and formation environment of manganese in Pintai Ore block of Baixian manganese ore deposit[J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 22(3): 75-80(in Chinese with English abstract).