编号:0258-7106(2016)05-1062-11

## 黔东北大塘坡组菱锰矿矿床控矿因素研究

## 杨胜堂<sup>1</sup> 禚喜准<sup>2 \* \*</sup> 陈骁帅<sup>2</sup> 赵 爽<sup>1</sup> 洪万华<sup>1</sup>

(1贵州省地质矿产勘查开发局 103 地质队,贵州 铜仁 554300;2 辽宁工程技术大学地质系,辽宁 阜新 123000)

摘 要 黔东北黑色泥岩盆地中菱锰矿的品位普遍偏低,高品位的块状菱锰矿在横向上和垂向上并非稳定存 在,弄清菱锰矿的空间分布规律可以为勘探开发提供指导。文章首先从区域尺度分析了菱锰矿矿床分布与黑色泥 岩盆地内部次级洼陷的关系,然后以杨家湾锰矿床为例,分析了同一次级洼陷内锰品位与含锰岩系厚度和矿层厚度 的相关性。最后选取次级洼陷内的典型探井,从矿石的结构特征和矿物共生组合规律等微观尺度,研究了菱锰矿矿 床的垂向非均质性,探讨了黑色泥岩盆地中菱锰矿富集的控制因素。研究表明,菱锰矿主要赋存于有机质含量较高 的大塘坡组一段底部,锰矿品位与矿层厚度呈正相关,高品位的锰矿主要为泥晶结构的块状菱锰矿,平面上主要分 布于黑色泥岩盆地的次级洼陷沉积中心,锰矿层在横向上并非稳定的均质沉积,从洼陷中心到洼陷边缘,菱锰矿的 品位逐渐降低,锰矿层与粉砂质泥页岩交互沉积,具有很强的垂向非均质性。

关键词 地质学 黑色泥岩盆地 非均质性 菱锰矿 大塘坡组 黔东北 中图分类号: P578.6<sup>+</sup>1 文献标志码 :A

## Ore-controlling factors of rhodochrosite ore bed from Datangpo Formation in northeast Guizhou

YANG ShengTang<sup>1</sup>, ZHUO XiZhun<sup>2</sup>, CHEN XiaoShuai<sup>2</sup>, ZHAO Shuang<sup>1</sup> and HONG WanHua<sup>1</sup>

(1 No. 103 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Tongren 554300, Guizhou, China; 2 Department of Geology, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China)

#### Abstract

The grade of rhodochrosite deposits in black shale basins is generally low, and the distribution of high grade bulk rhodochrosite is not steady horizontally and vertically. Therefore, investigating the spatial distribution regularity of rhodochrosite can serve as a guidance of exploitation. In this study, the authors first analyzed the rhodochrosite ore distribution in relation to the inner secondary sag of the basin at the regional scale. The Yangjiawan manganese deposit in northeast Guizhou was used as an example to analyze the grade of manganese in the same secondary sag related to the thickness of manganese-bearing rock series and the thickness of ore bed. Finally, typical drill holes in secondary sag were selected to study the vertical anisotropism of manganese in view of micro-scales like petrosal structural features and the rule of paragenetic association of minerals. In addition, the controlling factors of enrichment of rhodochrosite in black shale basins were also discussed. The results show that the rhodochrosite mainly occurrs within the bottom of the first member of Datangpo Formation, where there is a high content of organic matter, the grade of rhodochrosite has a positive relation with the thickness of

第一作者简介 杨胜堂,男,1967年生,高级工程师,主要从事金属矿产勘查的研究。Email:550122270@qq.com

\*\*通讯作者 禚喜准,男,1981年生,博士,副教授,主要从事层序地层学与储层沉积学的研究。Email:zhuoxizhun@126.com

收稿日期 2015-07-10;改回日期 2016-07-18。苏 杭编辑。

<sup>\*</sup> 本文受国家自然科学基金(编号:41402101)和辽宁省教育厅一般项目(编号:14-1167)资助

ore beds, and the high grade rhodochrosite layers are mainly massive rhodochrosite with mud structure, which are mainly occur at the center of the secondary sag in plain view; horizontally rhodochrosite ore beds are not steady homogeneous deposit, the grade of rhodochrosite decreases from the center to the boundary of the sag; rhodochrosite ore beds have strong vertical heterogeneity because of the interaction of sediments with silty shale.

Key Words: geology, black shale basin, heterogeneity, rhodochrosite, Datangpo Formation, northeast Guizhou

锰是地壳中的一种主量元素 ,在地壳中的含量 为0.09%。在火成岩中 MnO 的丰度很低,从酸性 岩的 0.08%, 到超基性岩的 0.25%, 内生富集的锰 矿床很少。 锰的富集作用是外生的 ,然而沉积岩中 锰的含量变化也很大,砂岩中只有痕量,灰岩中为 0.03% ,页岩中的平均含量也仅为 0.085% (Chen et al. (1990)。各种常见岩石类型中锰含量普遍很低, 说明锰要达到工业品位,其形成环境要求沉积分异 明显 掺和作用微弱 富集系数至少为 300~500。因 而构造活动性较低、沉积环境稳定的地区,特别是大 陆架的滨海地带或那些出现火山作用的下沉海槽中 (乌尔夫,1980),是菱锰矿矿床发育的有利区。勘探 实践也证实,许多大型的锰矿床如澳大利亚 Groote Eyland 锰矿床、墨西哥 Molango 锰矿床以及中国贵 州西溪堡锰矿床通常赋存于沉积速率较低的黑色泥 岩盆地内(Frakes et al., 1984; Okita et al., 1992; 付 勇等 2014)。

近年来 在黔东北南华系大塘坡组的黑色泥岩 中陆续发现了许多大型的隐伏菱锰矿矿床,如道坨、 杨家湾和西溪堡锰矿床等(何志威等 ,2013 ;张飞飞 等 2013)。这些含锰矿层并非稳定的层状沉积体, 富锰矿体只是局部存在(朱祥坤等,2013),存在很强 的非均质性。前人对元古代的古气候和古地理等沉 积坏境开展了相关研究,厘定了大塘坡组的岩相古 地理分布(王鸿祯等,1980;1981)。菱锰矿矿床的发 育位置与沉积环境具有明显的相关性,主要分布于 上扬子古陆附近鄂黔浅海的黑色泥岩沉积区 ,很多 学者对其形成条件也进行了反复的讨论(王鸿祯等, 1980;1981;涂光炽,1987),但还有一些突出的问题 悬而未决。其中,菱锰矿作为一种内源沉积岩,其形 成分布不仅受控于水动力条件 ,而且与锰离子的物 质来源、沉积环境的水化学特征以及盆地内部沉积 速率的差异性密切相关。这些环境因素都会体现在 菱锰矿空间分布的非均质性上,因而探讨含锰岩系 沉积期的古地貌和古水深特征对菱锰矿的分异富集 有何控制作用,可以通过研究岩相的多尺度非均质

性得以解决,这种研究也有助于解释新元古代的古 地理特征,为矿床地质勘查和富锰矿体预测提供借 鉴。本文从富锰矿体的区域分布、锰矿品位变化的 古地理条件及富锰沉积物的矿物共生组合等角度, 开展菱锰矿形成分布的非均质性研究,以期揭示菱 锰矿富集的控制机理。

## 1 区域地质背景

黔东北地区南华系大塘坡组的菱锰矿处于扬子 陆块与江南陆块的过渡区(图 1a),南东方向为鄂黔 浅海,北西方向为上扬子古陆(图1b)。区内锰矿床 主要受几条 NE 向、NNE 向及 NEE 向展布的走滑断 裂控制 ,如西溪堡断裂、红石断裂、木耳断裂等( 图 1c)而大型的菱锰矿矿床都位于断裂附近的次级洼 陷内。含锰岩系的下伏地层为铁丝坳组(Nh<sub>1</sub>t)灰色 岩屑砂岩、含砾黏土岩 局部地段为角砾状白云岩 而 其上覆地层为大塘坡组第二段(Nhid<sup>2</sup>)深灰色粉砂质 页岩夹碳质页岩(王砚耕等,1985;许效松等,1991)。 岩相古地理研究表明 黔东北大塘坡组菱锰矿所处的 沉积环境为冰碛岩之后的浅海相黑色泥岩沉积(图 1b) 菱锰矿赋存于大塘坡组的碳质页岩中(Fan et al., 1992 刘巽锋等,1983)。含矿层具水平层理或线理,呈 层状、似层状顺层缓倾斜产出 层位固定。 含锰岩系 平均厚度 20 m 矿石中的主要含锰矿物为泥晶菱锰 矿 菱锰矿含量 40%~60% 最高为 70%~75%。

## 2 次级洼陷对菱锰矿矿床平面分布的 控制

大塘坡沉积期黔东北地区属于具火山弧活动的 大陆边缘沉积,沿 NE 方向发育一系列地垒型断裂 体系(图 1c,图 2),地貌上表现为构造脊,这些构造 脊具有拦截沉积物的堤坝作用,而构造脊之间将产 生水深更大的次级洼陷(王砚耕等,1985)。菱锰矿 的赋存场所与古地貌密切相关,大型的菱锰矿矿床 就分布于北东向断裂控制的杨家湾盆地、大塘坡盆



图 1 研究区大地构造简图(a)、黔东北大塘坡组岩相古地理图(b;据王鸿祯,1985 修改)、黔东北黑色泥岩盆地锰矿床区域 地质简图(c;据朱祥坤等,2013 修改)和松桃西溪堡锰矿区岩性空间分布图(d;据周琦等,2012 修改)

1一冰水沉积物与暗色泥岩;2一古陆冰碛岩;3一菱锰矿-碳质页岩组合;4一白云岩-菱锰矿-碳质黏土岩组合;5一白云岩-碳质黏土岩组合;
6一碳质黏土岩-黑色页岩组合;7一古陆;8一浅海相;9一东南海槽;10一深海相;11一次级洼陷;12一走滑断层;13一研究区域;
14一锰矿床

Fig. 1 Tectonic sketch map of the study area (a), lithofacies palaeogeography map of manganese ore deposits in the northeast of Guizhou Province (b; modified after Wang, 1985), sketch geological map of the Mn carbonate ore deposits in black shale basin of Northeast Guizhou (c; modified after Zhu, 2013) and spatial distribution map of the Xixibao manganese ore district in Songtao (d; modified after Zhu, 2012)

1—Fluvioglacial deposit and dark mudstone: 2—Old land tillite: 3—Rhodochrosite-carbonaceous shale combination: 4—Dolomite-rhodochrosite-carbonaceous clay rock combination: 6—Carbonaceous clay rock-black shale combination:
7—Old land: 8—Neritic facies: 9—Southeast trough: 10—Abyssal facies: 11—Secondary grade depression: 12—Strike-slip fault:
13—Study area: 14—Manganese ore bed

地、杨立掌盆地等同沉积次级洼陷内。这些次级洼 陷内富含有机质的黑色泥岩十分发育,几乎都有菱 锰矿产出(图2)。黔东北地区的锰矿床之间,在构造 上表现为地垒,对应的含锰岩系中黑色泥岩和菱锰 矿却不发育,出现较多的白云岩。该白云岩具有明 显的内碎屑结构,且含有磨圆较好的陆源碎屑石英 颗粒,为矿床的间歇标志。这一现象说明菱锰矿并 不连续沉积在整个大盆地内,而是在一系列的次级 洼陷内浓缩而成,也反映了锰的沉积作用可能为与 海侵作用有关的幕式沉积。

菱锰矿矿床都集中分布于冰碛岩之上,富含有 机质的大塘坡组一段下部,尽管层位分布稳定,但含 锰矿层的分布受控于古水深和古地貌等环境因素, 并非区域稳定的层状沉积体。从富锰矿体只出现在 黑色泥岩盆地内的次级洼陷来看(图2),要形成大型 的富锰矿体,浓集过程不仅需要充足的含锰物质来 源,而且需要特定的水动力环境促使锰跟石英、长 石、云母等陆源碎屑以及悬浮的黏土组分有效分异, 即菱锰矿沉积期,陆源物质很少到达次级洼陷。大 塘坡组一段有机质含量高,主要为富含黄铁矿的黑 色碳质泥岩,反映了该时期水体深度较大。相对于 冰碛岩发育的铁丝坳组,当时海平面已经明显上升, 陆源碎屑供给不足。尤其杨家湾盆地、大塘坡盆地 等强还原环境的次级洼陷内部,跟周围的地垒隆起 区相比,陆源碎屑颗粒受海平面上涨的顶托作用,注 入更少,最终菱锰矿和粉砂质碎屑颗粒以及陆源黏 土能充分的发生机械分异,这与波罗的海内部的现 代菱锰矿沉积分异条件类似(Huckriede et al., 1996)。

很多学者从沉积构造、岩相古地理、海平面变化 分析等角度对菱锰矿成因的研究表明,厌氧的还原 环境有利于菱锰矿的形成(刘红军,1987;赵东旭, 1987;郑荣才等,1991;何明华,2001;夏国清等, 2010)。含锰岩系以有机质含量较高的泥质沉积物



图 2 黔东北地区走滑断裂与成锰盆地分布示意图 1一局限海盆;2一次级洼陷;3一走滑断裂;4一地点; 5一对比剖面走向;6一钻孔或剖面位置

Fig. 2 The distribution of strike-slip faults related to manganese-forming basins in the northeast secondary grade depression; Guizhou

1-Limitary marine basin; 2-Secondary grade depression;

3—Strike-slip fault: 4—Place: 5—Strike of contrast profile: 6—Location of drill hole or profile

为主,沉积物中含放射虫硅质岩(黄慧琼等,1988), 说明大塘坡组菱锰矿的形成水体较深(大于100 m)。 但由于元古代的古生物组合和古构造特征不同于现 代海洋,古水深的绝对大小难以参照现代沉积特征 进行类比。从含锰岩系的泥质沉积物纹层发育,石 英和云母等陆源碎屑颗粒含量高等特征推断,此类 次级洼陷为距离古陆不远的局限浅海相,并非缺乏 陆源供给的深海沉积。浅海沉积区通常水深 20~ 500 m,大致相当于滨面带以外至陆架坡折之间的的 广阔海域,该区不只是沉积物从陆地到深海传输搬 运的中途客栈,也经常是陆源物质沉降停息的最终 聚集场所(Leeder, 2011)。换句话说, 在到达深海之 前,大部分沉积物就在陆架区停止不前而发生沉积 埋藏。同一相带内古水深和古地貌的差异,将导致 水动力条件、沉积速率和陆源碎屑掺和作用强度的 变化,最终导致内源沉积物的分异富集。故浅海相

假如存在隆洼相间的地貌格局,将对沉积物的传输、 分异和沉积产生重要影响。例如现代大洋中的锰结 核,也形成于沉积速率极低的欠补偿沉积区,否则将 被陆源碎屑物质掩盖,而且锰结核的平均含锰丰度 与沉积物的聚集速率呈负相关关系(Glasby,1978)。 由此可见,黑色泥岩盆地内部的次级洼陷,水体深度 比周围的浅海区更大,随着海平面上升,因而陆源碎 屑输入物很少,还原环境发育,有利于锰元素的富 集,否则将被陆源物质稀释,最终降低矿床的品位。

## 3 次级洼陷内含锰岩系的非均匀分布

黔东北黑色泥岩盆地各个次级洼陷中,菱锰矿 主要分布于洼陷内部,向外逐渐相变为白云岩,再向 外白云岩又相变为含粉砂的碳质页岩(图 1d),在平 面上形成对称的岩性组合分带(周琦等,2007)。此 外,含锰岩系沿着走向逐渐变薄,锰品位与含锰岩系 厚度和矿层厚度密切相关。

例如,杨家湾矿区以F38 断层为界,北西部没有 含锰岩系;南东一带地表有含锰岩系断续出露,主要 由碳质页岩、含锰碳质页岩、菱锰矿及粉砂质碳质页 岩等组成。杨家湾锰矿的含锰岩系厚度等值线呈环 形,厚度变化较大,最大厚度位于ZK401 井、ZK402 井和ZK203 井附近;矿层厚度最大的区域,也主要分 布于ZK402 井和ZK203 井附近。从图 3a 可以看 出,锰品位大于15%的区域也位于ZK401 井和 ZK402 井附近。

沿着矿层走向的剖面(图 4)显示,含锰岩系厚 度、锰矿层厚度具有明显的正相关特征。ZK701 和 Ld5 附近含锰岩系厚度较小,一般小于1m,锰矿层 不发育;而二者之间的ZK402 井附近,含锰岩系厚度 最大,为14~16m厚,此处锰矿层也最厚,厚约8m。 从图 3a 和图 3b 可以看出,锰矿品位最高与含锰岩 系厚度最大的区域都位于 ZK402 井附近(图 4), 说 明锰矿的富集区域与沉积中心保持一致,含锰岩系 厚度和品位具有明显的正相关性。矿层厚度和锰矿 品位的变化相比,前者曲线波动较大,在Ld3和Ld5 附近矿层厚度为 2~5 m, ZK402 井附近却为 15~16 m;而后者变化较小,如 Qz6-Ld5 剖面上的所有钻井 品位为12%~18%。这一现象说明,菱锰矿沉积期 整个洼陷的陆源物质注入量都很小,但洼陷内不同 位置的锰元素供给程度和沉积速率却存在差异,受 北东向的隆洼格局所控制,含锰岩系和富锰矿层的



图 3 黔东北杨家湾锰矿等值线图(a. 锰品位等值线图,单位/%; b. 含锰岩系厚度等值线图,单位/m; c. 含矿层厚度等值线图,单位/m)

1—钻孔编号; 2—勘探线; 3—图 4 剖面线; 4—断层; 5—探槽; 6—锰品位等值线; 7—含锰岩系厚度等值线; 8—含矿层厚度等值线

Fig. 3 The contour map of the Yangjiawan manganese ore deposit in northeast Guizhou(a. Contour map showing the grade of manganese, unit/%; b. Contour map showing the thickness of manganese-bearing rock series, unit/m; c. Contour map showing the thickness of ore bed, unit/m)

1—Serial number of drill hole: 2—Exploration line: 3—Profile lines in Fig. 4: 4—Fault: 5—Trial trench: 6—Contour of manganese grade: 7—Contour of thickness of manganese bearing rocks: 8—Contour of thickness of ore-bearing strata





the profile see Fig. 3)

#### 沉积中心与次级洼陷的沉降中心基本一致。

## 4 次级洼陷内含锰岩系的垂向变化

在黔东北地区, 锰元素不仅平面上具有很强的 非均质性, 而且垂向分布也变异明显。菱锰矿的纵 向分布规律与含锰岩系的垂向序列特征密切相关。 根据含锰岩系的岩性组合特征和铁锰的含量变化, 以杨家湾锰矿为例, 划分为锰矿层底板、锰矿层、锰 矿层顶板, 分别对应于A段、B段、C段(图5)。按岩 性组合, 自下而上进一步细分为9小层, 各层特征如 下:

#### A段(锰矿层底板)

① 黑色碳质页岩,靠顶部夹含锰碳质页岩。含 细粒黄铁矿,多呈星点状产出。局部见一层厚 3~8 cm 的白云岩或白云质灰岩。

# B段(锰矿层,主要由碳质页岩及菱锰矿层等组成)

② 黑灰色条带状菱锰矿,夹少许含锰碳质页岩,



图 5 含锰岩系对比剖面(部分据王砚耕等,1985,剖面位置见图 2)

1-菱锰矿; 2-碳质页岩; 3-含锰碳质页岩; 4-凝灰质砂岩; 5-泥晶灰岩/粉砂质黏土岩; 6-泥岩; 7-碳质泥岩; 8-粉砂岩; 9-粉砂质泥岩; 10-泥质粉砂岩; 11-角砾岩; 12-硅质岩; 13-含锰岩系; 14-底板; 15-顶板; 16-剖面对比线
Fig. 5 The comparison profile of manganese bearing rock series modified after Wang et al., 1985, for the location of the section, see Fig. 2)

1—Rhodochrosite: 2—Carbonaceous shale; 3—Carbonaceous shale containing manganese: 4—Tuffaceous sands; 5—Micrite/silty claystone; 6—Mudstone: 7—Carbon mudstone: 8—Siltstone: 9—Silty mudstone: 10—Argillaceous siltstone: 11—Breccias: 12—Siliceous rock: 13—Manganese-bearing rock series: 14—Floor: 15—Roof: 16—Contrast lines of profiles

变化较大。底界见表外矿石。厚度:0.60~13.04 m。

③ 黑色碳质页岩,含锰碳质页岩,含黄铁矿,多 沿层呈线状产出。该层厚度变化较大,分布极不稳 定。厚度:0.30~1.71 m。

④ 黑灰色、钢灰色条带状菱锰矿,局部夹含锰碳质页岩。顶部多为表外矿石。厚度变化较大。厚度:0.66~3.30 m。

C段(锰矿层顶板)

⑤ 黑色碳质页岩、含锰碳质页岩,偶夹泥晶灰 岩薄层。含黄铁矿呈线状、断线状沿层分布。厚度: 0.26~12.27 m。

⑥ 浅灰色,薄-中层泥晶灰岩或粉砂岩或者粉砂

质黏土岩。分布不稳定,厚度变化较大,仅少数钻孔 中见到,从平面上看,多呈透镜状产出。厚度:0~ 1.49 m。

⑦ 黑色碳质页岩,夹含锰碳质页岩,富含细粒 黄铁矿。厚度:0.57~13.64 m。

⑧ 浅灰一浅灰白色凝灰质砂岩或凝灰质黏土 岩,富含细粒黄铁矿较多及白云石方解石细脉,大致 顺层呈透镜状分布。厚度不稳定,变化较大。厚度: 0.90~0.22 m。

⑨黑色碳质页岩,含黏土质碳质页岩及少量含粉砂质碳质页岩。厚度:14.02~29.14 m。

含锰岩系底板为铁丝坳组砂岩或粉砂岩,不发 育菱锰矿,总体为一套冰水沉积的碎屑岩建造,TOC (总有机碳,下同)含量普遍小于0.8,说明沉积环境 *E*<sub>b</sub> 值较高。含锰岩系内部的有机质含量一般大于 1.2% 说明菱锰矿形成于强还原的沉积环境,但有 机质含量与锰的品位变化相关性不明显(图5)表明 锰品位的变化不仅与还原环境有关,也受锰元素供 给程度的影响。含锰岩系的顶板 从大塘坡盆地的 N04 孔到西溪堡盆地的 ZK006 井和 ZK4220 井,有 机碳含量一般大于 1.2% , a (Fe)为 3.8% ~ 5.1% , 垂 向的含量变化很小;但<sub>亚</sub>(Mn)在垂向上普遍较低,一 般小于4%。锰矿层及其顶板的有机质和黄铁矿都十 分发育 表明水深变化不大 都为海平面高位期的深 水厌氧低能环境,但大塘坡组二段因缺乏锰的来源, 而无菱锰矿沉积。因而强还原环境只是菱锰矿富集 的必要条件 菱锰矿大规模的富集还得需要充足的含 锰物质来源。菱锰矿仅在冰碛岩之上的大塘坡组一 段底部发育,可能跟铁丝坳组的古陆风化壳有关。

从杨家湾盆地、大塘坡盆地以及西溪堡盆地中 含锰岩系对比剖面(图5)可以看出,不同次级洼陷的 含锰岩系,岩性垂向序列的组合特征类似,都是黑色 泥页岩与菱锰矿互层。根据锰含量的垂向分布,将 含锰岩系进一步划分为下锰矿层和上锰矿层,二者 之间为一套几乎不含锰的暗色碳质泥岩。下锰矿层 和上锰矿层的锰含量变化都很大,例如ZK006井位 于下锰矿层的2105~2106 m处, α(Mn)为9%~ 21%,但 α(Mn)超过20%的矿层厚度很薄,小于 0.1 m;ZK4220井和N04孔也具有类似的特征,锰 矿层单层厚度都小于0.5 m,锰品位超过20%的富 锰矿层也很薄。上锰矿层在品位和单层厚度上也具 类似特征,品位大于15%的富锰矿层仅局部发育,单 层厚度一般小于0.5 m,在横向上也不稳定。

菱锰矿不同于最大海泛面相关的凝缩段黑色泥 岩沉积,前者在不同洼陷内和同一洼陷内不同剖面 的含锰层数都不相同(图5),而后者在区域上稳定存 在 具有等时性,可以连续对比(Catunaeau,2006)。 例如 N04 孔有2个层的品位达到15%,单层厚度为 0.5 m /2K4220 井却有9个层的品位达到15%,但单 层厚度小于 0.3 m;而 ZK006 井却有5个层的品位 达到15%,其中下锰矿层内的单层厚度小于 0.3 m, 上锰矿层内的单层厚度  $0.3 \sim 0.7 \text{ m}$ (图5)。  $\mathfrak{a}$ (Mn)大于 20%的富锰矿层比较稀少,横向上并不 稳定,单层厚度一般小于 0.5 m。由此可见,次级洼 陷不同或同一洼陷的所处位置不同,菱锰矿的品位和 沉积层数存在很大差异,说明菱锰矿的沉积受局部环 境的水化学特征控制 在区域上横向连续性较差。

综上所述 黔东北黑色泥岩盆地中,各个次级洼 陷内部的菱锰矿层数量不同,菱锰矿层的厚度横向 上变化大,连续性差,难以对比,说明菱锰矿的沉淀 析出受局部的锰元素供给、氧化还原电位和水介质 条件控制(Frakes et al.,1992)。在海平面高位期,次 级洼陷的沉积中心碎屑物质的掺和作用微弱,厌氧 的水化学条件适合锰元素的浓缩富集,因而发育高 品位的富锰矿层。

## 6 含锰岩系的矿物共生组合与微观结构

猛元素在化学周期表中属于过渡元素,具有多种可变的化合价,表生作用中,锰主要以四价锰的氧化物和氢氧化物形式赋存于地表的风化岩和土壤中(牛保磊,1999)。大塘坡组一段为海相的黑色泥岩沉积,由于还原性较强,主要形成二价的菱锰矿。该段锰矿层主要由菱锰矿和粉砂级的石英碎屑颗粒、富含有机质的黏土矿物、黄铁矿、燧石结核以及次生的方解石和石英脉体组成(图6)。薄片分析表明,根据结构和成分特征锰矿层可分成2类,分别是块状菱锰矿(图6b)和纹层状的菱锰矿(图6c)。其中,块状的菱锰矿后,品位大于20%,以泥晶结构的结核状菱锰矿为主,黄铁矿和有机质含量低,陆源碎屑颗粒含量较少(图6b)。

纹层状的菱锰矿品位 10%~15%,明显低于块 状菱锰矿 ,含较多石英颗粒、黏土矿物和黄铁矿( 图 6c) 石英或云母颗粒的长轴方向平行于泥质纹层; 粉砂质含量高的黏土岩中, m( Mn )通常小于 5%, 不 具工业品位。该锰矿层中含有粉砂级的石英和云母 颗粒 ,且大量发育黄铁矿( 图 6c ) ,反映所处的环境为 低能的闭塞盆地。这种盆地所处位置只接受少量碎 屑物质或没有接受碎屑物质 ,属于缺氧的欠补偿盆 地。世界上很多层控的菱锰矿矿床也具类似特征, 都发育于海平面高位的海侵期(Roy,1992)。此外, 纹层状菱锰矿内部有时出现硅质结核(图 6e、f),结 核被菱锰矿纹层和有机质纹层环绕 ,说明该结核为 同沉积期形成。海洋中的同生硅质结核多形成于深 水环境 Hsü et al. 2009) 锰矿层内存在硅质结核也 是沉积环境水体较深的佐证。波罗的海现代海洋调 查也表明,纹层状菱锰矿与粒度细小的黑色页岩共 存 发育于沉积作用极度缓慢的次级洼陷中(Force et al. ,1988 ;Huckriede et al. ,1996 **)** 



#### 图 6 黔东北黑色泥岩盆地中大塘坡组的典型显微照片

a. 构造脊上的砂屑白云岩,含少量磨圆较好的陆源碎屑石英颗粒,具内碎屑结构,砂屑内部见重结晶现象;b. 块状菱锰矿含少量纹层状有 机质,泥晶结构;c. 纹层状菱锰矿,含少量石英颗粒和黄铁矿,石英颗粒长轴方向平行于黑色泥质纹层,黑色泥质纹层与菱锰矿纹层形成似 条纹构造;d. 块状菱锰矿为泥晶结构,黄铁矿和富有机质的黏土含量很低,发育次生的细小白云石脉和石英脉;e. 黑色有机质纹层环绕气 泡状燧石,气泡状燧石内部为纯的沥青质;f. 黑色泥质纹层环绕结核状燧石,燧石结核被菱锰矿交代

Rds-菱锰矿;Qtz-石英;Dol-白云石;Chert-燧石;Py-黄铁矿;OM-有机质

Fig. 6 Typical microphotographs of Datangpo Formation in the black shale basin, northeast Guizhou

a. The sand cutting dolomites on the structural ridge, which contain a few well-rounded terrigenous clastic quartz grains. The intraclastic structure is developed and recrystallization could be seen within the sand cuttings; b. The massive rhodochrosites contain a few laminated organic matters with microcrystalline structure; c. The laminated rhodochrosites contain a few quartz grains and pyrites. The long axis direction of quartz grains is parallel to black argillaceous layers. The stripe-like structures are formed by black argillaceous layers and rhodochrosite layers; d. The massive rhodochrosites are microcrystalline structure, where the values of pyrites and clays rich in organic matters are low. Secondary tiny dolomite veins and quartz veins are developed; e. The bubble shape cherts are embraced by black organic matter layers, where the inner parts are pure asphaltene;

f. The concretion form chert is embraced by black organic matter layers, which is replaced by rhodochrosite

Rds-Rhodochrosite: Qtz-Quartz: Dol-Dolomite: Chert-Chert: Py-Pyrite: OM-Organic Matter

## 7 菱锰矿矿床的分布模式

所谓非均质性指各种性质随其空间位置而变化 的属性,很多地质体的非均质性主要表现在岩石矿 物组成、粒度、结构、元素含量等方面的空间变异,它 们是形成过程和沉积环境的一种反映。以杨家湾锰 矿床为例的典型矿床解剖分析,揭示出同一次级盆 地内锰品位与含锰岩系厚度和矿层厚度具有明显的 相关性,块状菱锰矿主要出现在次级盆地的沉积中 心,该处主要为低能的强还原环境,有利于菱锰矿和 碎屑颗粒充分分异。根据岩石薄片、TOC 分析和元 素分析等手段,分析了盆地中不同环境沉积物的结 构特征和矿物共生组合规律,说明菱锰矿的沉淀具 有幕式特征,并非连续沉积,在垂向上品位变化较大 (图 5),可能受局部的氧化还原电位、水介质条件和 锰元素的供给程度有关。

根据黑色泥岩盆地中次级洼陷和菱锰矿矿床的 平面分布关系、次级洼陷内含锰岩系的垂向分布特 征和含锰岩系的矿物共生组合关系,建立了黔东北 大塘坡组菱锰矿分布模式图(图7),其中菱锰矿在整 个黑色泥岩盆地中的浅海斜坡相、次级洼陷相、斜坡 盆地相都有出现,但具有工业价值的矿床主要集中 在次级洼陷内部。黑色泥岩盆地可以细化为6个岩 相带:

(1)上扬子古陆的剥蚀区,在冰期的铁丝坳组,物



图 7 黔东北大塘坡组菱锰矿分布模式图

Fig. 7 The distribution pattern of the rhodochrosite in Datangpo Formation in northeast Guizhou

理风化作用强烈,产生大量碎屑颗粒(图7);在间冰期的大塘坡组,气候湿润,有利于化学风化的进行, 锰元素可以从母岩中淋滤出来,最终为黑色泥岩盆 地菱锰矿的形成提供物质来源。

(2) 滨岸相的粗碎屑沉积区,水动力较强,以机 械沉积作用为主,砂岩和粉砂岩等陆源碎屑沉积发 育,碳质含量高的暗色泥岩较少(图7)。

(3)浅海斜坡相水动力较弱,石英碎屑纹层与 暗色泥质纹层交互沉积,富含有机质的碳质泥岩开 始大量出现,局部位置出现少量纹层状的菱锰矿,高 品位的块状菱锰矿少见。

(4)次级洼陷内部出现大量的纹层状和块状菱 锰矿沉积,但富锰矿层却主要出现在沉积中心,向次 级凹陷边缘含锰岩系厚度有减薄的趋势。

(5)次级洼陷之间的构造脊菱锰矿不发育,以 黑色泥岩和白云岩为主(图7)。

(6)向海洋方向的斜坡盆地相,为低能环境,主要为黑色碳质黏土岩夹硅质岩沉积,菱锰矿亦不发育(图7)。

### 8 结 论

(1)黔东北大塘坡组的黑色泥岩盆地中,含锰岩系具有多尺度的非均质性;菱锰矿主要赋存于各次级洼陷内;次级洼陷之间的构造脊上锰矿床不发育,同一洼陷内菱锰矿的品位、矿层厚度和含锰岩系厚度密切相关,富锰矿层的分布与锰矿层和含锰岩系的沉积中心基本一致。

(2)品位大于 20%的富锰矿主要为块状菱锰 矿,由泥晶结构的结核状菱锰矿组成,黄铁矿、有机 质和黏土矿物含量较低;品位 10%~15%的低品位 锰矿层主要为纹层状菱锰矿,以泥晶菱锰矿与粉砂 质黏土、有机质和黄铁矿互层为特征。

(3)黔东北大塘坡组的块状富锰矿层形成于厌 氧的次级洼陷中心,黏土和陆源碎屑含量低,反映了 海平面高位期的次级洼陷内部,沉积分异作用明显, 陆源碎屑输入量低,有利于菱锰矿的富集。

#### References

- Catunaeau O. 2006. Principles of sequence stratigraphy[ M ]. Oxford : Elsevier. 142-147.
- Chen N S, Yang X Z, L1U D H, Xiao X J, Fan D L and Wang L F. 1990. Lower Cambrian black rock series and associated stratiform deposits in southern China J. Chinese Journal of Geochemistry, 8 (2):244-255.
- Fan D L , Liu T B and Ye J. 1992. The process of formation of manganese carbonate deposits hosted in black shale series [J]. Econ. Geol. , 87 (5):1419-1429.
- Force E R and Cannon W F. 1988. Depositional model for shallow-marine manganese deposits around black shale basins J l Econ. Geol. , 83(1):93-117.
- Frakes L A and Bolton B R. 1984. Origin of manganese giants : Sea-level change and anoxic-oxic history[ J ]. Geology , 12(2):83-86.
- Frakes L A and Bolton B R. 1992. Effects of ocean chemistry, sea level, and climate on the formation of primary sedimentary manganese ore deposits[ J ]. Econ. Geol., 87(5):1207-1217.
- Fu Y, Xu Z G, Pei H X and Jiang R. 2014. Study on metallogenic regu-

larity of manganese ore deposit in China J ]. Acta Geologica Sinica , 88(12):2192-2207 in Chinese with English abstract ).

- Glasby G P. 1978. Deep-sea manganese nodules in the stratigraphic record : Evidence from DSDP cores J ] Marine Geology , 28(1):51-64.
- He M H. 2001. Sedimentary facies and palaeogeography during the early Sinian and potential of the rhodochrosite deposits in northeastern Guizhou and its adjacent areas [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology , 21(3):39-47 (in Chinese with English abstract).
- He Z W , Yang R D , Gao J B , Cheng W , Zhang R B and Zhang P Y. 2013. Sedimentary geochemical characteristics of manganese deposits in Xixibao , Songtao County , Guizhou Province [ J ]. Geochimica , 42(6): 576-588 in Chinese with English abstract ).
- Hsü K J and Jenkyns H C. 2009. Pelagic sediments-on land and under the sea Special Publication 1 of the IAS J M J. London : Blackwell Scientific Publications. 273-299.
- Huang H Q, Xu X S and Liu B J. 1988. The discovery and environmental significance of radiolarian from manganese deposits in the early Sinian Datangpo Formation in the western Hunan and eastern Guizhou[J]. Lithofacies Paleogeography, 36(4):51-59(in Chinese with English abstract).
- Huckriede H and Meischner D. 1996. Origin and environment of manganese-rich sediments within black-shale basins[ J ]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 60(8):1399-1413.
- Leeder M. 2011. Sedimentology and sedimentary basins( from turbulence to tectonics J M ]. Oxford : Wiley Blackwell. 440-460.
- Liu H J. 1987. The Heqin manganese deposit, west Yunnan : Its sedimentary diagenetic environment and metallogenic mode[ J ]. Geology and Prospecting, 23(7):1-7( in Chinese with English abstract ).
- Liu X F , Hu Z R , Zeng L X and Wang C Y. 1983. Origin and characteristics of sedimentary faces of Sinian manganese deposts in Guizhou[ J ]. Acta Sedimentologica Sinica , 1(4): 106-116( in Chinese with English abstract ).
- Niu B L. 1999. Geochemistry of elemen[ M]. Beijing : Geological Publishing House. 38-41( in Chinese ).
- Okita P M and Shanks III W C. 1992. Origin of stratiform sedimenthosted manganese carbonate ore deposits : Examples from Molango , Mexico , and TaoJiang , China[ J ]. Chemical Geology , 99(1-3): 139-163.
- Roy S. 1992. Environments and processes of manganese deposition [J]. Econ. Geol. , 87 (5):1218-1236.
- Tu G C. 1987. Stratabound ore deposit geochemistry of China( Vol. 1 J M ]. Beijing : Science Press. 293-294( in Chinese ).
- Wang H Z , Wang Z Q , Zhu H , Chen Y Y and Quan Q Q. 1980. Upper Proterozoic tectono-paleography in China[ J ]. Scientia Geologica Sinica , (2):103-111( in Chinese with English abstract ).
- Wang H Z and Liu B P. 1981. The outline of paleogeography development since Mesoproterozoic in China J J. Journal of Stratigraphy, 5 (2):77-89 in Chinese with English abstract ).

- Wang H Z. 1985. Atlas of the palaeogeography of China M ]. Beijing : Cartographic Publishing House. 17-18 in Chinese ).
- Wang Y G , Wang L X , Zhu S C , Xie Z Q , Chen D C , Zheng S F , Chen Y L and Zhu H. 1985. Sedimentary environment and manganese metallogenesis of Datangpo Formation in eastern Guizhou M J. Guiyang : Guizhou People 's Press. 3-8( in Chinese ).
- Wolf K H. 1980. Stratabound ore deposit and bedded deposit (Vol.3 J M ]. Beijing : Geological Publishing House. 99-100( in Chinese ).
- Xia G Q, Yi H S, Li S J and Wu X F. 2010. Research on manganeseaccumulation features in middle triassic ladinian sedimentary system and sequence stratigraphic framework, southeastern Yunnan[J]. Geological Review, 56(5): 703-709( in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Huang H Q, Liu B J and Wang Y G. 1991. The sedimentology and origin of early Sinian manganese deposits from the Datangpo Formation, South China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 9(1): 63-71( in Chinese with English abstract ).
- Zhang F F , Zhu X K , Gao Z F , Cheng L , Peng Q Y and Yang D Z. 2013. Implication of the precipitation mode of manganese and ultrahigh δ<sup>34</sup>S values of pyrite in Mn-carbonate of Xixibao Mn ore deposit in Northeastern Guizhou Province J J. Geological Review , 59(2): 274-286( in Chinese with English abstract ).
- Zhao D X. 1987. Intraclastic structures and gravity flow sedimentation of rhodochrosite ore in Sinian Datangpo Formatior[ J ]. Scientia Geologica Sinica ,(2):149-157 (in Chinese with English abstract ).
- Zheng R C and Zhang J Q. 1991. Gravity flow manganese deposits and their sedimentary environents in middle Triassic from Dounan, southeast Yunnan J J. Journal of Chengdu College of Geology, 18 (4):65-74 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Q , Du Y S , Yan J X , Zhang M Q and Yin S L. 2007. Geological and geochemical characteristics of the cold seep carbonates in the early Nanhua System in Datangpo , Songtao , Guizhou Province[ J ]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences , 32( 6 ): 845-852 in Chinese with English abstract ).
- Zhou Q and Du Y S. 2012. Ancient natural gas leakage and the formation of manganese M J. Beijing : Geological Publishing House. 25-26( in Chinese ).
- Zhu X K, Peng Q Y, Zhang R B, An Z Z, Zhang F F, Yan B, Li J, Gao Z F, Qin Y and Pan W. 2013. Geological and geochemical characteristics of the Daotuo super-large manganese ore deposit at Songtao Country in Guizhou Province J]. Acta Geologica Sinica, 87 (9):1335-1347 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

付勇,徐志刚,裴浩翔,江冉.2014.中国锰矿成矿规律初探[]]地

质学报,88(12):2192-2207.

- 何明华.2001. 黔东北及邻区早震旦世成锰期岩相古地理及菱锰矿 矿 床 J]. 沉积与特提斯地质,21(3):39-47.
- 何志威,杨瑞东,高军波,程伟,张仁彪,张平壹. 2013.贵州松桃 西溪堡锰矿沉积地球化学特征[].地球化学,4次(6):576-588.
- 黄慧琼,许效松,刘宝 1988. 湘西,黔东早震旦世大塘坡组锰矿 中放射虫的发现及环境意义[1]. 岩相古地理,36(4):51-59.
- 乌尔夫 K H. 1980. 层控矿床和层状矿床(第3卷]M]. 北京:地质 出版社. 99-100.
- 刘红军. 1987. 滇西鹤庆锰矿沉积——成岩环境分析及成矿模式探 试[]]. 地质与勘探, 23(7):1-7.
- 刘巽锋,胡肇荣,曾励训,郑光夏,汪成元. 1983.贵州震旦纪锰矿 沉积相特征及其成因探试[].沉积学报,1(4):106-116.
- 牛保磊. 1999. 元素地球化学[M]. 北京:地质出版社. 38-41.
- 涂光炽. 1987. 中国层控矿床地球化学(第1卷]M]. 北京:科学出版社. 293-294.
- 王鸿祯,王自强,朱鸿,陈忆元,全秋琦.1980.中国晚元古代古构 造与古地理J].地质科学,(2):103-111.
- 王鸿祯,刘本培. 1981. 中国中元古代以来古地理发展的轮廓[J]. 地层学杂志, 5(2):77-89.
- 王鸿祯. 1985. 中国古地理图集[M]. 北京 地图出版社. 17-18.
- 王砚耕,王来兴,朱顺才,谢志强,陈德昌,郑淑芳,陈玉林,朱鸿.

1985.贵州东部大塘坡组地层沉积环境和成锰作用[M].贵阳: 贵州人民出版社. 3-8.

- 夏国清,伊海生,李盛俊,武向峰.2010. 滇东南中三叠世拉丁期沉 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.
- 许效松,黄慧琼,刘宝,王砚耕.1991.上扬子地块早震旦世大塘 坡期锰矿成因和沉积学[J].沉积学报,9(1):63-71.
- 张飞飞,朱祥坤,高兆富,程龙,彭乾云,杨德智. 2013. 黔东北西 溪堡锰矿的沉淀形式与含锰层位中黄铁矿异常高 8<sup>34</sup>S 值的成 因[J]. 地质论评,59(2):274-286.
- 赵东旭. 1987. 震旦纪大塘坡期锰矿的内碎屑结构和重力流沉 积 J]. 地质科学,(2):149-157.
- 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):65-74.
- 周琦,杜远生,颜佳新,张命桥,尹森林.2007.贵州松桃大塘坡地 区南华纪早期冷泉碳酸盐岩地质地球化学特征[J].地球科学 (中国地质大学学报),32(6):845-852.
- 周琦,杜远生.2012. 古天然气渗漏与锰矿成矿[M]. 北京:地质出版社.25-26.
- 朱祥坤,彭乾云,张仁彪,安正泽,张飞飞,闫斌,李津,高兆富,覃 英,潘文. 2013. 贵州省松桃县道坨超大型锰矿床地质地球化学 特征 J]. 地质学报,87(9):1335-1648.

http. // www.kcit.o.ac. cn