

doi:10.3799/dqkx.2016.014

# 黔湘渝毗邻区南华纪武陵裂谷盆地 结构及其对锰矿的控制作用

周琦<sup>1,2</sup>, 杜远生<sup>3</sup>, 袁良军<sup>1</sup>, 张遂<sup>1</sup>, 余文超<sup>3</sup>, 杨胜堂<sup>1</sup>, 刘雨<sup>4</sup>

1. 贵州省地质矿产勘查开发局 103 地质大队, 贵州铜仁 554300

2. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州贵阳 550004

3. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

4. 长江大学地球环境与资源学院, 湖北武汉 430100

**摘要:** 黔湘渝毗邻区南华纪“大塘坡式”锰矿是我国最重要的锰资源基地, 现已发现沉积型菱锰矿上亿吨, 占全国已探明锰矿资源量的 50% 左右。通过对南华纪地层系统和地层分区的研究, 提出在 Rodinia 超大陆裂解背景下, 南华裂谷盆地(I 级)西段分别由武陵、雪峰次级裂谷盆地和其间的天柱—怀化隆起(地垒)3 个 II 级构造单元构成。武陵次级裂谷盆地控制形成了黔湘渝毗邻区锰矿成矿带, 内部由 3 个 III 级断陷(地堑)盆地、2 个 III 级隆起(地垒)和至少 16 个 IV 级断陷(地堑)盆地组成。3 个 III 级断陷(地堑)盆地分别控制形成了松桃—古丈、玉屏—芷江以及溪口—小茶园锰矿成矿亚带。其中, 松桃—古丈锰矿成矿亚带是武陵次级裂谷盆地的裂陷中心, 锰矿成矿作用强烈, 形成的锰矿资源量巨大, 已成为世界级锰矿资源富集区之一。IV 断陷(地堑)盆地则控制形成研究区各锰矿床; 提出南华纪早期同沉积断层是锰矿床形成的前提, 并识别恢复出研究区 15 条同沉积断层及所控制形成的断陷(地堑)盆地和主要锰矿床。同沉积断层不但是深部锰质和古天然气上升的通道, 更是连接古天然气渗漏沉积型锰矿成矿系统中地内系统与表层系统的纽带。

**关键词:** 南华纪; 裂谷盆地; 锰矿; 华南; 矿床地质。

**中图分类号:** P618.32

**文章编号:** 1000-2383(2016)02-0177-12

**收稿日期:** 2015-09-10

## The Structure of the Wuling Rift Basin and Its Control on the Manganese Deposit during the Nanhua Period in Guizhou-Hunan-Chongqing Border Area, South China

Zhou Qi<sup>1,2</sup>, Du Yuansheng<sup>3</sup>, Yuan Liangjun<sup>1</sup>, Zhang Sui<sup>1</sup>, Yu Wenchao<sup>3</sup>, Yang Shengtang<sup>1</sup>, Liu Yu<sup>4</sup>

1. 103 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development of Guizhou Province, Tongren 554300, China

2. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang 550004, China

3. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. School of Earth Environment and Water Resource, Yangtze University, Wuhan 430100, China

**Abstract:** The “Datangpo type” manganese deposits in Guizhou-Hunan-Chongqing border area is an important manganese resource base since its hundreds of million tons of sedimentary rhodochrosite accounts for about half of manganese resource of China. In this paper, based on the study about the formation system of Nanhua period and stratigraphic regionalization, we find under the background of Rodinia supercontinent breakup, the Nanhua rift basin (level I) consisted of the Wuling and Xuefeng secondary rift basin and the Tianzhu-Huaihua uplift. Wuling secondary rift basin controlled and formed the manganese metallogenic area in the Guizhou-Hunan-Chongqing border area, and its inside consisted of three level III depression basins, one level III uplift and sixteen level IV rift basins. The three level III depression basins controlled Songtao-Guzhang, Yiping-Zhijiang and Xikou-Xiaochayuan secondary manganese metallogenic area. Among them, the Songtao-Guzhang depression basin (Level III) is the rifting center of the Wuling secondary rift basin, where the manganese mineralization is strong, and the quantity of resource

**基金项目:** 国土资源部公益性行业科研专项项目(No.201411051); 中国地质调查局项目(No.12120114016701)。

**作者简介:** 周琦(1964—), 男, 研究员, 博士, 从事矿产地质研究及评价工作。E-mail: 103zq@163.com

**引用格式:** 周琦, 杜远生, 袁良军, 等, 2016. 黔湘渝毗邻区南华纪武陵裂谷盆地结构及其对锰矿的控制作用. 地球科学, 41(2): 177-188.

is huge, which has become a world-level manganese concentrated area. The IV rift basins controlled and formed the manganese deposits in the target area. It's suggested that the syn-sedimentary fault in Nanhua period is the premise of manganese deposit formation, fifteen syn-sedimentary faults, the controlled depression basins and the major manganese in the target area are distinguished and recovered. The syn-sedimentary fault is not only the transporting tunnel of deep manganese material and ancient natural gas but also the link of inside system and surface system of ancient natural gas seepage sedimentary-type manganese metallogenic system.

**Key words:** Nanhua period; rift basin; manganese deposit; South China; ore deposit geology.

## 0 引言

Rodinia 超大陆形成于 1 300~900 Ma 全球范围造山运动时期,约 820 Ma 开始的全球性大陆裂谷活动,最终导致 Rodinia 超大陆裂解 (Hoffman, 1991; Li *et al.*, 2008; 王剑和潘桂棠, 2009; 李献华等, 2012). 与全球新元古代构造活动相对应的我国华南四堡造山运动发生于约 820 Ma, 该运动导致扬子陆块与华夏陆块发生拼合. 之后两陆块再度拉张, 形成南华裂谷盆地. 在上扬子地块东南缘区域, 以深水沉积和火山岩及凝灰岩沉积为主的板溪群 (黔东南及毗邻区)、下江群 (黔东南—湘西南) 以及丹洲群 (桂北) 代表裂陷盆地充填序列 (见图 1b; Wang and Li, 2003). 在 780~770 Ma, 扬子、华夏两个陆块发生最终拼合 (王自强等, 2012), 之后, 拼合区再次转化为拉张背景, 南华盆地保持裂谷盆地特征直至南华纪结束 (何卫红等, 2014; Lan *et al.*, 2015). 南华盆

地这种拉张构造背景与同时期的其他盆地存在可对比性, 如加拿大境内科迪勒拉山系北段 Amundsen 盆地 (Thomson *et al.*, 2015), 美国北犹他州 Uinta Mountain 盆地 (Dehler *et al.*, 2010) 及澳大利亚南部和西部新元古代沉积盆地 (Preiss, 2000; de Vries *et al.*, 2008) 的沉积记录同样表明在 780~670 Ma 这些盆地处于拉张沉降机制控制下的构造背景, 这表明南华裂谷盆地的发展是 Rodinia 超大陆裂解过程中的一幕.

全球性的多期冰川事件是新元古代晚期地质记录中又一显著标志, 一般认为, 我国的南华系与国际上成冰系 (Cryogenian) 相对应, 以代表 Marinoan 冰期终止的南沱组顶界为南华系结束标志, 但目前对于华南地区南华系底界位置尚存争议. 一种观点认为应以最早出现的寒冷气候沉积作为南华系底界, 该底界年龄在约 780 Ma (尹崇玉和高林志, 2013); 一种观点则考虑到国际上成冰纪底界在 850 Ma, 从

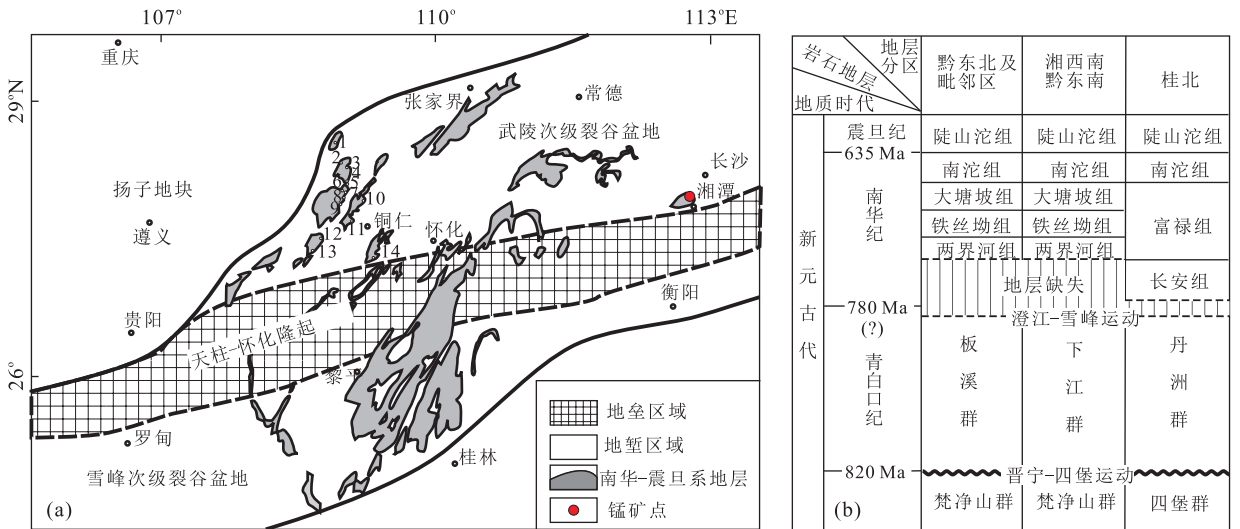


图 1 华南新元古代黔湘渝毗邻区南华纪裂谷盆地结构示意图 (a) 及研究区南华系划分方案 (b)

Fig.1 The geological sketch of the Early Cryogenian Nanhua rift basin in the Guizhou-Hunan-Chongqing border area, South China (a) and stratigraphic classification scheme of Nanhua System stratum in research area (b)

图中剖面分别为: 1. 重庆秀山小茶园; 2. 重庆秀山盐井沟; 3. 重庆秀山笔架山; 4. 贵州松桃杨家湾 ZK402; 5. 贵州松桃牛峰包; 6. 贵州松桃道坨 ZK301; 7. 贵州松桃茶叶坨 ZK108; 8. 贵州松桃大屋 ZK1703; 9. 贵州松桃两界河; 10. 贵州松桃西溪堡 ZK1010; 11. 贵州江口桃映; 12. 贵州江口雷家; 13. 贵州铜仁半溪; 14. 贵州万山盆架山 ZK2208

而以 820 Ma“晋宁—四堡”造山运动不整合界线为南华系的起始(王剑, 2005); 还有一种观点认为应将华南 Sturtian 冰期开启时间作为南华纪底界, 因此将其提升到 720 Ma(汪正江等, 2013; 覃永军等, 2015). 综合考虑目前取得的地质证据和划分方案接受的普遍性, 笔者暂且采用 780 Ma 划分方案.

南华纪早期(约 725 Ma), 随着南华裂谷盆地进一步发展, 武陵与雪峰两个次级裂谷盆地形成(图 1), 发育以海相中粗碎屑沉积为主的两界河组, 代表 Sturtian 冰期开启前次级裂谷盆地充填沉积. 在全球性裂谷作用发育及冰期—间冰期气候交替的背景下, 新元古代晚期也是全球重要的锰—铁成矿期, 在巴西、纳米比亚、印度及我国华南地区, Sturtian 冰期沉积中或上覆地层均发育有条带状铁建造及锰矿沉积(Roy, 2006; Maynard, 2010). 我国新元古代晚期锰矿沉积主要以菱锰矿形式赋存于大塘坡组第一段黑色页岩底部, 与下伏 Sturtian 冰期铁丝坳组含砾砂岩及杂砂岩沉积相区别.“大塘坡式”锰矿资源储量巨大, 成为我国最重要的锰矿类型和新的世界级超大型锰矿床.

我国华南地区南华纪的锰矿成矿过程是全球背景下区域古气候、古构造活动以及古海洋化学演化多重因素共同作用的结果. 虽然目前对于锰质来源问题尚存争议, 但研究者均强调南华裂谷盆地结构及盆地发展过程对锰质供给及锰矿沉淀过程的控制作用. 陆源风化说认为裂谷活动增加了大陆边缘面积, 因此增加了风化速率与物源供应(张飞飞等, 2013); 热液成因说认为大陆裂谷作用导致的地壳拉伸作用使得盆地内热点增加, 热液活动增强, 有利于热液将锰质带入盆地(Xu *et al.*, 1990; 何志威等, 2014); 古天然气渗漏沉积说则认为这些断裂是深部无机成因气体上涌的通道, 该过程也携带大量锰质进入盆地(周琦等, 2007a, 2007b, 2013). 因此, 南华裂谷盆地的发展过程对于锰矿沉积存在重要控制作用, 恢复裂谷盆地展布结构对于圈定成矿有利区域有着重要意义.

## 1 南华纪地层系统和地层分区

### 1.1 南华纪地层系统

研究区位于黔渝湘三省毗邻区, 区域内南华系自下而上依次为两界河组、铁丝坳组、大塘坡组和南沱组(贵州省地质矿产局, 1987)(图 1b). 两界河组在区域上呈线状、零星分布, 厚度变化大, 为 0~

388.9 m. 在大塘坡地区, 两界河组下部为浅灰绿色厚层砂砾质粘土岩、含砾砂岩以及岩屑砂岩夹白云岩透镜体; 上部为灰绿色厚层块状长石岩屑砂岩、含砾岩屑砂岩以及石英砂岩; 顶部为夹透镜状白云岩, 厚度为 388.9 m. 该组厚度向两侧明显减薄, 与下伏的青白口系板溪群紫红色粉砂质板岩呈不整合接触. 铁丝坳组分布较为普遍, 下部为含砾砂岩, 砾石成分复杂; 中部为薄—中层含砾(“落石”)层纹状粘土岩、粉砂质粘土岩、长石岩屑杂砂岩以及含长石石英砂岩; 上部为深灰色含砾砂岩, 富含星点状黄铁矿, 相当于 Sturtian 冰期的冰海沉积, 厚度在数米至 80 m 之间变化. 大塘坡组分为两段, 第 1 段为黑色含锰岩系, 主要为黑色碳质页岩, 常夹黑色碳质菱锰矿透镜体、白云岩与凝灰岩透镜体等(周琦, 1989), 厚度为 0~98.58 m. 该段地层区域上呈线状展布, 常侧向尖灭, 变化剧烈; 第 2 段为灰绿色层纹状粉砂质、含粉砂质粘土岩, 底部为深灰色层纹状粘土岩, 局部含碳质. 区域上该段地层厚度变化也较大, 厚度为 0~603.75 m. 大塘坡组第 1 段黑色含锰岩系底部的凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为 665 Ma(Zhou *et al.*, 2004; 尹崇玉等, 2006). 南沱组下部为灰绿色块状含砾粉砂岩, 含砾粉砂质粘土岩, 局部夹白云岩透镜体; 中部为灰绿色块状含砾砂岩和砂质砾岩; 上部为灰绿色含砾粘土岩和含砾粉砂岩, 时夹粘土岩薄层, 厚度变化范围为 44.91~357.39 m.

### 1.2 南华系分区

南华裂谷盆地中的黔湘渝毗邻区在南华纪进一步裂解, 形成武陵次级裂谷盆地. 本研究在详细测制、收集和总结研究区南华系 150 余条地层剖面和锰矿区大量钻孔剖面地层分布规律特征的基础上, 将黔湘渝毗邻区南华系划分为 5 个地层小区(图 2).

玉屏—石竹溪地层小区(图 2, III<sub>1</sub>)、松桃—古丈地层小区(图 2, III<sub>3</sub>)与小茶园—溪口地层小区(图 2, III<sub>5</sub>)存在相似的沉积特征, 均处于武陵次级裂谷盆地中更次级的断陷(地堑)盆地的古地理环境中. 以普遍分布南华系大塘坡组第 1 段(含锰岩系)为特征, 主要为黑色碳质页岩, 部分区域在含锰岩系近底部夹菱锰矿体. 主要地层特征如下:

(1)大塘坡组第 1 段在小区内大致沿 NE-NEE 方向呈线状、断续展布, 垂直该方向其厚度、岩性组合变化剧烈, 甚至缺失. 大塘坡组一段厚度从 0 m 到 98.58 m 不等. 大塘坡组第 1 段(含锰岩系)局部地区缺失, 如松桃牛蜂包、将军岩、松桃大屋与石塘之间的和尚坪地区(钻孔揭露)等. 说明在次级断陷(地

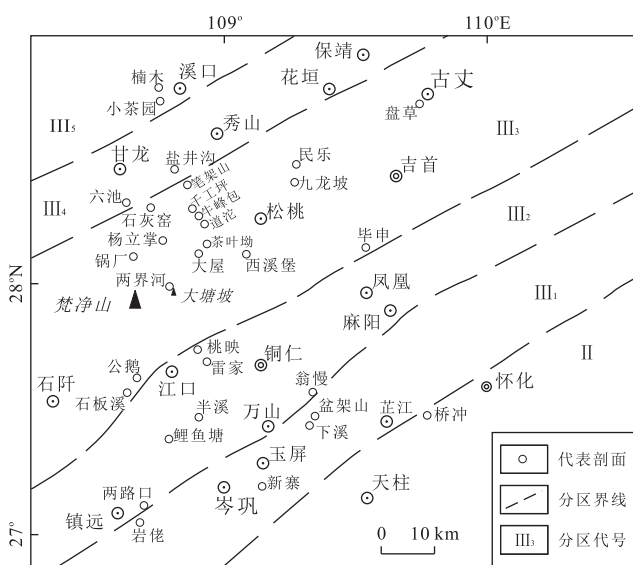


图 2 黔渝湘毗邻区南华系分区示意

Fig.2 The geological sketch of the Early Nanhua period stratigraphic regionalization in the Guizhou-Hunan-Chongqing border area, South China

III<sub>1</sub>.玉屏—石竹溪地层小区;III<sub>2</sub>.铜仁—凤凰地层小区;III<sub>3</sub>.松桃—古丈地层小区;III<sub>4</sub>.甘龙—秀山地层小区;III<sub>5</sub>.小茶园—溪口地层小区;II.天柱—怀化地层区

堑)盆地内部沉积环境差异依然明显,还存在更次级断陷(地堑)盆地与更次级隆起(地垒)构造,导致内部沉积环境与沉积相的进一步分异.当黑色含锰岩系厚度相对较厚时(大于 15 m),含锰岩系底部往往出现菱锰矿透镜体和白云岩透镜体含锰岩系厚度与菱锰矿体厚度呈明显的正相关关系.

(2)大塘坡组第 1 段厚度与上覆第 2 段地层厚度明显正相关.大塘坡组第 2 段厚度可从几十米至 600 余米不等,其中,大厚度区域在平面上也沿 NE-NEE 方向呈线状分布.

(3)两界河组的厚度变化与大塘坡组第 1 段地层厚度呈明显的正相关关系,厚度从几米至 300 余米不等.空间上与含锰岩系展布方向一致,也沿 NE-NEE 方向呈线状、断续展布,但含锰岩系分布范围已明显较两界河组地层的分布范围宽.垂直 NE-NEE 方向,两界河组厚度、岩性组合变化同样剧烈,甚至缺失.

(4)当两界河组中底部以及上部出现白云岩透镜体时,之上的大塘坡组第 1 段底部则出现菱锰矿透镜体,含锰岩系顶部偶现白云岩透镜体.菱锰矿透镜体、白云岩透镜体的形态与内部结构也十分相似.有时铁丝坳组顶部的含砾砂岩中,也夹薄层菱锰矿小透镜体.

铜仁—凤凰地层小区(图 2, III<sub>2</sub>)与甘龙—秀山地层小区(图 2, III<sub>4</sub>)存在相似的沉积特征,处于武陵次级裂谷盆地中更次级隆起(地垒)的古地理环境之中.该地层小区的最大特征:一是南华系大塘坡组第 1 段黑色碳质页岩普遍发生缺失,大塘坡组第 2 段灰绿色粉砂质页岩与铁丝坳组含砾砂岩(冰碛砾岩)直接接触;二是缺失两界河组地层;三是大塘坡组厚度大幅度减薄,在部分区域甚至缺失整个大塘坡组地层,导致南沱组直接与板溪群接触.

5 个地层小区呈现间隔分布,体现出武陵次级裂谷盆地内部沉积差异性.这种差异性主要由裂解的不均一性引起,武陵裂谷盆地中进一步形成了一系列间隔分布的次级断陷(地堑)盆地与次级隆起(地垒)构造,这些次级断陷与次级隆在不同的沉积环境形成了不同的沉积相特征.

## 2 南华纪早期裂谷盆地结构及沉积特征

### 2.1 武陵次级裂谷盆地三级单元划分

南华裂谷盆地(I级)分别沿松桃—张家界—慈利深断裂带、黔阳—三江深断裂带再次发生裂陷,接受南华系沉积物沉积与演化.南华裂谷盆地从 NW 向往 SE 向,分别由武陵次级裂谷盆地、天柱—怀化隆起(地垒)和雪峰次级裂谷盆地 3 个 II 级单元构成(图 1).

武陵次级裂谷盆地(II级)依据其内部同沉积断层(即同生断层或生长断层,是指与沉积作用同时且连续活动的断层)分布以及对沉积环境、沉积相以及锰矿的控制特征,其盆地结构由一系列 III 级、IV 级的断陷(地堑)盆地、隆起(地垒)等单元构成(表 1,图 3 和图 4).

### 2.2 裂谷盆地沉积特征

**2.2.1 两界河期** 研究区南华系两界河组厚度变化很大,一般零米到几十米不等,最厚可达 380 余米,大厚度区域总体呈 NEE 向线状展布,主要分布在松桃—花垣一带,与下伏的青白口系板溪群多呈角度不整合接触.其沉积环境为青白口期第 1 次裂陷沉积之后,又开始第 2 次裂陷作用而形成的系列线状、断续展布的断陷小盆地沉积.两界河组为充填在断陷小盆地中的块状—中厚层状粘土质砂砾岩,再沉积砾岩、杂砂岩等组成,以夹有透镜状砂屑、砾屑白云岩为特征.岩石组合复杂,部分剖面上见有颗粒支撑为主的砾石,且砾石大致定向排列,其长轴方向主要为 60°~65°NE,成分成熟度高,砾石分选磨

表 1 武陵次级裂谷盆地结构划分

Table 1 The structure of the Wuling 2nd rift basin

I 级	II 级	III 级	IV 级	备注
南 华 裂 谷 盆 地	武 陵 次 级 裂 谷 盆 地	溪口—小茶园断陷(地堑)盆地	秀山小茶园断陷(地堑)盆地	武 陵 次 级 裂 谷 盆 地 的 IV 级 结 构 单 元 划 分 仅 限 于 两 界 河 至 大 塘 坡 早 期
		甘龙—秀山隆起(地垒)	/	
		松桃—古丈断陷(地堑)盆地	松桃道坨—李家湾、西溪堡、大塘坡、大屋、杨家湾、凉风坳、举贤、普觉、花垣民乐、古丈烂泥田、秀山笔架山、石阶石板溪、镇远都坪断陷(地堑)和秀山椅子山、松桃牛峰包以及和尚坪隆起(地垒)	
		镇远—铜仁—凤凰隆起(地垒)		
		玉屏—芷江断陷(地堑)盆地	/	
		万山盆架山以及玉屏新寨断陷(地堑)盆地		

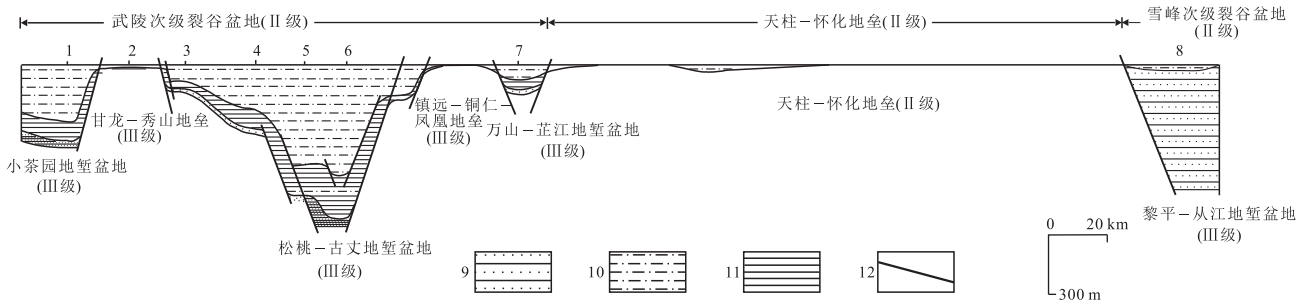


图 3 黔湘渝毗邻区南华纪两界河—大塘坡期南华裂谷盆地复原

Fig.3 Reconstruction of the Nanhua rift basin in the Nanhua period Liangjiehe-Datangpo stages in the Guizhou-Hunan-Chongqing border area, South China

1.重庆秀山小茶园;2.重庆秀山盐井沟;3.重庆秀山笔架山;4.贵州松桃道坨;5.贵州松桃两界河;6.贵州松桃西溪堡;7.贵州万山盆架山;8.贵州从江八当;9.两界河期(富禄)—铁丝坳期砂砾岩沉积;10.大塘坡早期黑色碳质页岩(夹菱锰矿);11.大塘坡中晚期粉砂质页岩;12.同沉积断层

圆度高,有时可见交错层理,具有典型的裂谷盆地内水道沉积物特征.有时可见“落石”等冰筏沉积.武陵次级裂谷盆地中,在对从 NW 向往 SE 向 14 条南华系早期两界河组地层柱状剖面对比分析后,笔者对两界河期裂谷盆地内部结构进行了复原,发现两界河期裂谷(萌芽期)主要在松桃大塘坡、西溪堡地区较为明显.另在松桃道坨—李家湾一带,两界河期也具有裂谷(断陷)的雏形(图 5c).

**2.2.2 铁丝坳期** 研究区南华系铁丝坳组普遍分布,厚度变化相对较小,一般为 1~10 m.当下伏有两界河组地层分布时,厚度略有增厚.当下伏地层无两界河组地层分布而与青白口系板溪群地层直接接触时,厚度很小,一般厚为 0.5~2.5 m.铁丝坳期主要有两种沉积环境及沉积相类型:

冰水滨浅海沉积;铁丝坳组以块状(冰碛)含砾粘土岩、含砾砂质粘土岩、少量粘土质砂岩等碎屑岩组成,岩性单一,厚度不大.杂基支撑,砾石成分复杂,部分砾石表面见凹坑及冰川擦痕.主要分布在秀山—保靖一带,以秀山椅子山剖面为代表.

冰水浅海隆起(地垒)沉积;缺失两界河组沉积,主要由中厚层状含砾泥晶白云岩组成,砾石特点与冰水滨浅海沉积环境的砾石特征基本一致,但以泥晶白云质胶结相区别.砾石及碎屑可能主要来自冰筏.一般厚度较薄,主要分布在镇远—铜仁一带,以铜仁半溪、江口雷家等剖面为代表.

**2.2.3 大塘坡期** 研究区南华纪大塘坡期沉积环境及沉积相是在两界河期与铁丝坳期的基础上继承和发展而来的.总体反映武陵次级裂谷盆地内部进一步裂解、断陷,水深进一步加大,沉积环境进一步封闭,并在大塘坡初期的系列次级(IV 级)断陷(地堑)盆地中发生大规模锰矿成矿作用,形成菱锰矿沉积物.武陵次级裂谷盆地大塘坡期主要有次级断陷(地堑)盆地相和次级隆起(地垒)相两种沉积相类型.

(1)次级断陷(地堑)盆地沉积. III 级断陷(地堑)盆地沉积:因武陵次级裂谷盆地(II 级)进一步裂解,由 NW 向往 SE 向形成了溪口—小茶园、松桃—古丈和岑巩—下溪 3 个 III 级断陷(地堑)盆地(图 3).在

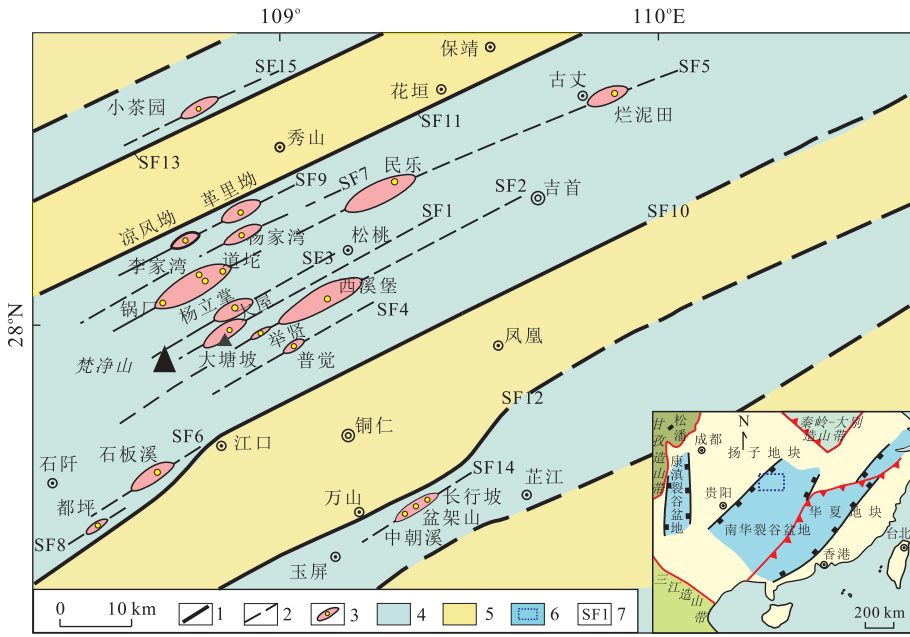


图 4 黔渝湘毗邻区南华纪早期武陵次级裂谷盆地结构与构造古地理

Fig.4 Structural and tectonic paleogeographic sketch of the Early Nanhua period Wuling secondary rift basin in the Guizhou-Hunan-Chongqing border area, South China

1.控制Ⅲ级断陷(地堑)盆地和隆起(地垒)的同沉积断层;2.控制Ⅳ级断陷(地堑)盆地和隆起(地垒)的同沉积断层;3.Ⅳ级断陷(地堑)盆地及所控制的锰矿床名称;4.Ⅲ级断陷(地堑)盆地范围;5.Ⅲ级隆起(地垒)范围;6.研究区大地构造位置;7.同沉积断层编号

这 3 个Ⅲ级断陷(地堑)盆地中形成的大塘坡组沉积,均以水平层理为特征,总体反映沉积的水体较深.一是以普遍分布大塘坡组第 1 段黑色岩系(黑色碳质页岩和黑色页岩)为标志,见大量微细粒草莓状黄铁矿分布,厚度从几米至 100 米不等,总体为封闭缺氧的还原沉积环境;二是断陷(地堑)盆地中的大塘坡组第 2 段粉砂质页岩厚度明显增大,并与大塘坡组第 1 段黑色岩系厚度呈正相关关系.

Ⅳ级断陷(地堑)盆地沉积:由于同沉积断层的作用,在Ⅲ级断陷(地堑)盆地中还可进一步分解成若干Ⅳ级断陷(地堑)盆地.在对裂谷盆地中 14 条代表性的大塘坡组第 1 段地层柱状剖面对比分析后,笔者对大塘坡早期武陵次级裂谷盆地结构进行了复原(图 5b),发现大塘坡早期裂解作用强烈,形成了特殊的盆地结构与沉积特征,锰矿的沉积成矿作用就发生在强烈裂解作用的早期,成矿时间基本等时,均分布在Ⅳ级盆地底部.大塘坡组在Ⅳ级盆地中沉积相主要特征为:①大塘坡组第 1 段黑色岩系底部出现了菱锰矿矿体和白云岩透镜体(周琦等,2002, 2007a, 2007b, 2013;周琦,2008;周琦与杜远生,2012),在盆地中心位置,菱锰矿体之间出现薄层凝灰岩或凝灰质透镜体夹层;②黑色含锰岩系厚度明显增大,一般为 10~40 m,最厚可达 98.58 m(西溪

堡Ⅳ级盆地);③大塘坡组第 2 段粉砂质页岩明显增厚,一般为 150~300 m,最厚可达 603.75 m(西溪堡Ⅳ级盆地)(张遂等,2015).

因大塘坡早期强烈的裂解作用是在两界河期裂解初期的基础上继承和发展起来的,故Ⅳ级盆地中具有两界河组分布.而Ⅳ级盆地之外的下伏地层中,则缺失两界河组沉积,下伏铁丝坳组与板溪群直接接触.

(2)次级隆起(地垒)沉积.武陵次级裂谷盆地中的 3 个Ⅲ级断陷(地堑)盆地之间,为甘龙—秀山和镇远—铜仁—凤凰 2 个Ⅲ级隆起(地垒)(图 3),主要的沉积相特征为:①缺失了相对封闭还原环境条件下的大塘坡组第 1 段黑色碳质页岩沉积,而出现浅灰色泥晶白云岩沉积,底部有时可见暴露和沉积间断的标志,反映沉积水深较浅;②大塘坡组第 2 段粉砂质页岩的厚度大幅度减薄,一般小于 100 m.有时甚至整体缺失大塘坡组沉积,导致南沱组冰碛砾岩直接与板溪群接触(如镇远鲤鱼塘剖面等).

Ⅳ级断陷(地堑)盆地之间为Ⅳ级隆起(地垒),如杨家湾与道坨—李家湾Ⅳ级盆地之间的牛峰包隆起(地垒),道坨—李家湾与大屋Ⅳ级盆地之间的和尚坪隆起(地垒)等(图 5b).其沉积相主要特征与Ⅲ级隆起(地垒)类似:①缺失大塘坡组第 1 段的黑色

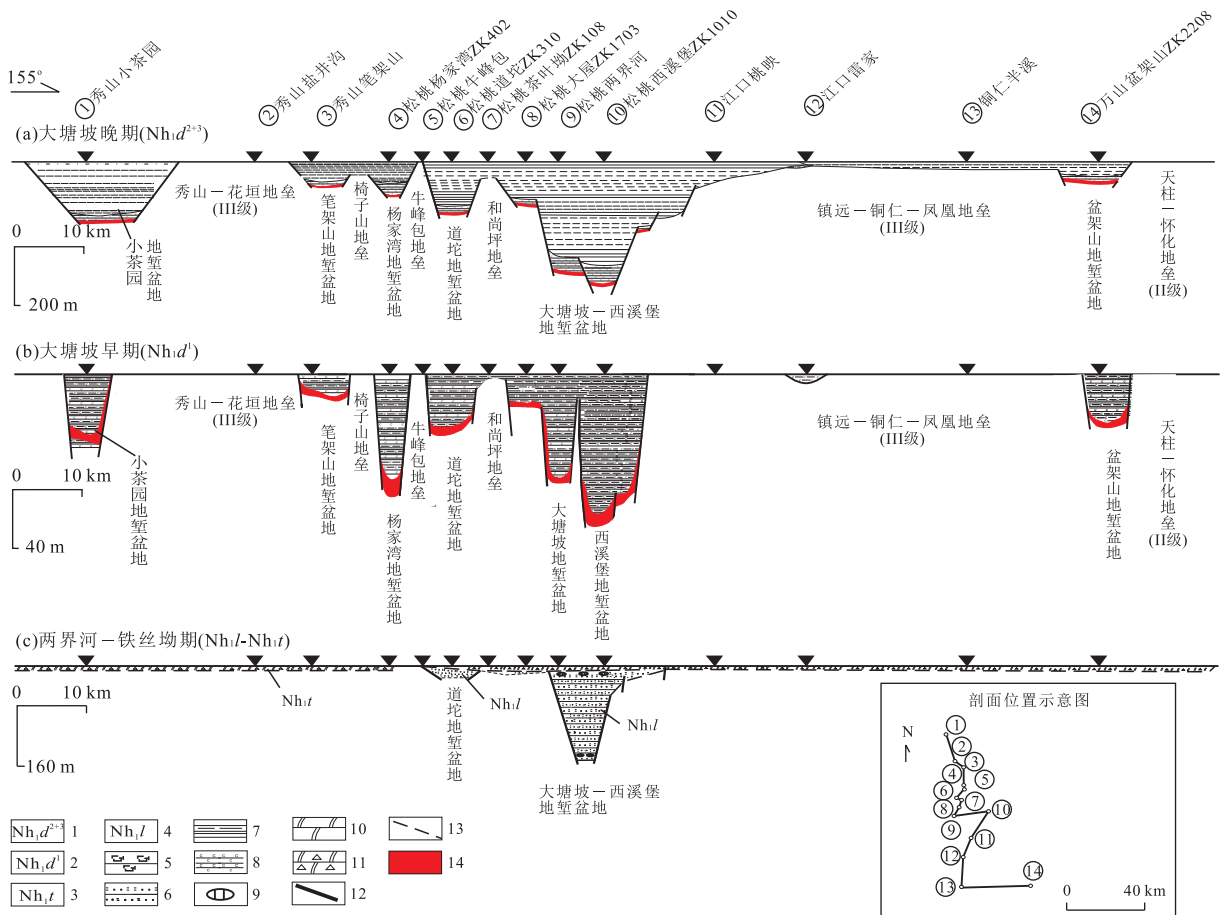


图 5 黔湘渝毗邻区南华裂谷盆地武陵次级裂谷盆地盆地复原与演化

Fig.5 Reconstruction of the Nanhua rift basin in the Guizhou-Hunan-Chongqing border area, South China

1.大塘坡组第 2、3 段;2.大塘坡组第 1 段;3.铁丝坳组;4.两界河组;5.冰碛砾岩;6.砂岩;7.粉砂质页岩;8.碳质页岩;9.白云岩透镜体;10.白云岩;11.含砾白云岩;12.同沉积断层;13.地层对比线;14.菱锰矿体;剖面位置见图 1

含锰岩系,但上覆大塘坡组第 2、3 段沉积物厚度未见明显减薄,如和尚坪隆起(地垒);②大塘坡组第 1 段黑色岩系存在,如位于和尚坪隆起(地垒)NE 向的 Zk108、Zk103 钻孔,其厚度已大幅度减薄至 1 m 左右,无锰矿体分布,但上覆大塘坡组第 2、3 段沉积物厚度未见明显减薄;③有时也表现为缺失整个大塘坡组,使南沱组与铁丝坳组、乃至青白口系板溪群直接接触,如杨家湾与道坨—李家湾 2 个 IV 级断陷(地堑)盆地之间的牛峰包隆起(地垒)、李家湾锰矿区南东侧的 Zk1205 孔等,反映其在两界河至大塘坡期高出海平面,为一孤岛。

继续对武陵次级裂谷盆地中 14 条代表性的南华系大塘坡组第 2、3 段地层柱状剖面对比分析和对大塘坡中晚期裂谷盆地结构进行复原后(图 5a),发现裂陷中心依然在西溪堡—大塘坡一带,但武陵次级裂谷盆地中部分 IV 级结构单元消失,如大塘坡早期的道坨、大塘坡盆地和西溪堡 3 个 IV 级盆地在

塘坡晚期合并为一个断陷(地堑)盆地,笔架山与杨家湾两个 IV 级盆地合并为一个断陷(地堑)盆地,导致其间的隆起(地垒)消失等(图 5a)。因此,武陵次级裂谷盆地中的 IV 级结构单元的划分仅限于大塘坡早期才有锰矿成矿意义(表 1)。

### 2.3 南华纪早期同沉积断层

同沉积断层断距随着深度和沉积物加大加厚而增加,其下降盘岩层厚度大于上升盘相应岩层的厚度,是一种具正断层性质的盆地中的构造类型(翟裕生等,1997)。

**2.3.1 同沉积断层主要标志** 武陵次级裂谷盆地中南华纪早期同沉积断层,主要通过以下标志进行判别:

(1)南华系地层厚度的突变带:沉积物等厚线形状及延伸通常受同沉积断层制约,如松桃西溪堡 IV 级断陷(地堑)盆地中,大塘坡组第 1 段黑色含锰岩系(Nhd<sup>1</sup>)厚度、大塘坡组第 2 段(Nh<sub>1</sub>d<sup>2</sup>)地层厚度

表 2 武陵次级裂谷盆地南华纪早期主要同沉积断层及特征

Table 2 Major syn-sedimentary faults and their characteristics of Wuling secondary rift basin in early Nanhua Period

编号	主要特征	控制 IV 级断陷盆地等
SF1	沿该断层延长方向两界河组(394 m)、含锰岩系(50~70 m)、大塘坡组第 2、3 段(583 m)厚度异常增大等,两侧迅速减薄	松桃大塘坡
SF3	断层北西含锰岩系厚度为零,南东则迅速增厚;出现两界河组沉积等	松桃大屋
SF5	断层南东侧含锰岩系厚度迅速减薄为零,大塘坡第 2 段也大幅减薄;北西侧含锰岩系迅速增厚,出现两界河组沉积,被沥青充填的气泡状菱锰矿石、底劈构造及软沉积变形纹理沿 NE 60°方向展布	松桃钢厂—李家湾—道坨、花垣民乐、古丈烂泥田等
SF7	断层南东侧含锰岩系厚度为零,大塘坡组第 2、3 段也迅速减薄直至为零;北西侧含锰岩系厚度则迅速增厚(最厚大于 80 m),大塘坡组第 2、3 段也迅速增厚等	松桃杨家湾
SF9	断层南东侧含锰岩系厚度为零,大塘坡组第 2、3 段也迅速减薄;北西侧出现含锰岩系,厚度迅速增厚,含锰岩系中出现来自隆起区的小型盆地扇沉积物	松桃凉风坳以及秀山革里坳
SF15	沿断层含锰岩系较大厚度沉积,出现被沥青充填的气泡状菱锰矿石	秀山小茶园
SF2	沿断层延长方向出现两界河组(大于 140 m)、含锰岩系(96 m)、大塘坡组第 2、3 段(652 m)大厚度沉积等,沿两侧迅速减薄	松桃西溪堡、松桃贤贤等
SF4	沿断层延长方向出现两界河组和含锰岩系(40 m)、大塘坡组第 2、3 段(300 m)较大厚度沉积等	松桃普觉
SF6 SF8	沿断层均出现两界河组较大厚度沉积和含锰岩系,沿两侧迅速减薄等	石阡石板溪以及镇远袁家山
SF14	沿断层方向含锰岩系相对较厚,沿两侧迅速减薄,直至为零	万山盆架山
SF10 SF12	两同沉积断层之间均缺失含锰岩系,大塘坡组很薄或缺失;之外则迅速出现含锰岩系、大塘坡组沉积	系控制 III 级单元的边界
SF11 SF13	两同沉积断层之间均缺失含锰岩系,大塘坡组很薄或缺失;之外则迅速出现含锰岩系以及大塘坡组沉积	系控制 III 级单元的边界

以及南沱组地层厚度(Nh<sub>2n</sub>)均出现突变带,两侧地层厚度竟相差一倍以上(张遂等,2015),甚至缺失大塘坡组第 1 段黑色含锰岩系。

(2)沉积岩相的突变带:线状展布的两界河组快速堆积低成熟度的含砾杂砂岩边界线指示同沉积断裂的存在。

(3)在 IV 级断陷(地堑)盆地中特殊古天然气渗漏喷溢沉积构造(如被沥青充填的气泡状构造、软沉积变形纹理构造等)分布区的连线、串珠状 IV 级断陷(地堑)盆地的连线等。

**2.3.2 主要同沉积断层** 根据上述主要判别标志,武陵次级裂谷盆地中可判定 15 条南华纪早期同沉积断层(表 2),其中可划分为两个层级:一是控制 III 级断陷(地堑)盆地和隆起(地垒)的同沉积断层,具有规模大,控相、控盆特征明显的特点,如 SF10 和 SF11 是分别控制甘龙—秀山—保靖隆起(地垒)、松桃—古丈断陷(地堑)盆地和铜仁—凤凰隆起(地垒)边界的同沉积断层;二是在 III 级断陷(地堑)盆地中进一步控制 IV 级断陷(地堑)盆地与隆起(地垒)的同沉积断层,如 SF1、SF2、SF5 等(详见表 2),大致具有等间距(约为 5 km)分布的特点(图 4),其展布方向为 60°~65°NE,这与目前 NNE-NE 区域构造线方向是不同的(南华

纪早期同沉积断层方向应为 EW 向,60°~65°NE 向系后期燕山期构造改造的结果)。

### 3 裂谷盆地与锰矿成矿

#### 3.1 裂谷盆地结构与锰矿成矿的关系

研究区乃至整个华南地区南华纪锰矿,严格受南华纪早期裂谷盆地形成演化过程控制,南华裂谷盆地结构严格控制了锰矿的形成和分布。锰矿均形成和分布在一系列次级断陷(地堑)盆地中心,而其间的次级隆起(地垒)区域则无锰矿体产出和分布。总体具有以下规律:

**3.1.1 南华裂谷盆地(I 级)控制锰矿成矿区** 华南地区南华纪锰矿床均分布在南华裂谷盆地之中(图 1)。因此,南华裂谷盆地(I 级)控制和形成了华南地区南华纪锰矿成矿区,范围涉及黔、渝、湘、鄂、桂等区域。华南锰矿成矿区因南华裂谷盆地内部结构差异,进一步划分为两个锰矿成矿带。

**3.1.2 次级裂谷盆地(II 级)控制锰矿成矿带** 南华裂谷盆地(I 级)在南华纪初期的第 2 次裂解、裂陷和演化过程中,进一步裂解形成了武陵次级裂谷



盆地(Ⅱ级)和雪峰次级裂谷盆地(Ⅱ级).其中武陵次级裂谷盆地(Ⅱ级)控制和形成了黔湘渝毗邻区(上扬子地块东南缘)锰矿成矿带,主要包括贵州的松桃、万山、印江、碧江和石阡,湖南的花垣、古丈和芷江,重庆的秀山和酉阳、湖北的长阳等区域,当中分布有一批著名的大型—超大型锰矿床,是我国最重要的锰矿资源富集区;而雪峰次级裂谷盆地(Ⅱ级)则控制和形成了湘中—黔东南锰矿成矿带,主要包括湖南的湘潭、黔阳和靖州,贵州的黎平和从江等区域,也是我国重要的锰矿资源富集区之一,分布有一批大中型锰矿床.

根据盆地内部结构特征,武陵次级裂谷盆地(Ⅱ级)所控制和形成的黔湘渝毗邻区锰矿成矿带,可进一步划分为3个锰矿成矿亚带.

### 3.1.3 Ⅲ级断陷(地堑)盆地控制锰矿成矿亚带

武陵次级裂谷盆地(Ⅱ级)内部由松桃—古丈、溪口—小茶园和玉屏—芷江3个Ⅲ级断陷(地堑)盆地组成,故黔湘渝毗邻区锰矿成矿带在这3个Ⅲ级断陷(地堑)盆地形成演化背景下,分别控制和形成了松桃—古丈锰矿成矿亚带、溪口—小茶园锰矿成矿亚带和玉屏—芷江锰矿成矿亚带.

因松桃—古丈Ⅲ级断陷(地堑)盆地是武陵次级裂谷盆地裂隙中心,故所形成和控制的松桃—古丈锰矿成矿亚带是黔湘渝毗邻区锰矿成矿带的主体,锰矿成矿作用最强、形成的锰矿资源量最多.目前已发现2个超大型锰矿床、3个大型锰矿床和一批中型锰矿床等.

3.1.4 Ⅳ级断陷(地堑)盆地控制形成锰矿床 控制锰矿成矿亚带的Ⅲ级断陷(地堑)盆地是由一系列Ⅳ级断陷(地堑)盆地组成,而Ⅳ级断陷(地堑)盆地则形成和控制锰矿床,即一个Ⅳ级断陷(地堑)盆地就控制形成一个锰矿床.武陵次级裂谷盆地中目前已圈定约16个Ⅳ级断陷(地堑)盆地(表1),因此,该裂谷盆地至少可形成16个锰矿床.

## 3.2 同沉积断层与锰矿成矿系统

同沉积断层属伸展构造系统,它产于裂谷等拉张构造环境.同沉积断层是与沉积、火山、地震、流体以及成矿作用同时发生、持续进行的一种特殊构造型式.武陵次级裂谷盆地同沉积断层控制了可能来自深部锰质(余文超等,未发表)和古天然气泄漏通道.

武陵次级裂谷盆地中系列同沉积断层的形成与地外鄂湘黔岩石圈断裂带(饶家荣等,1993)或秀山壳幔韧性剪切带的特殊地质背景有关(蔡学林等,

2008;袁学诚与华九如,2011).鄂湘黔岩石圈断裂带或秀山壳幔韧性剪切带先后控制了研究区板溪群、南华系、寒武系的沉积相、沉积物厚度以及锰、铅、锌、汞等大规模成矿作用.壳幔韧性剪切带被认为是深部壳幔源无机成因气体上升的通道(张景廉,2001,2014;蔡学林等,2008).同沉积断层垂向发育使其与深部的岩石圈断裂带或壳幔韧性剪切带沟通,导致可能来自壳幔深部的气液与锰质通过岩石圈断裂带或壳幔韧性剪切带和同沉积断层上升到断陷(地堑)盆地底部.

古天然气渗漏沉积型锰矿成矿系统是地内各子系统(构造、气(流)体、火山等)耦合作用的结果,表现为深部天然气与可能同源的锰质沿岩石圈断裂带或壳幔韧性剪切带和同沉积断层上升到其控制的断陷(地堑)盆地中,发生大规模天然气渗漏喷溢沉积成锰而形成菱锰矿体.因此,同沉积断层是沟通古天然气渗漏沉积型锰矿成矿系统的关键.

同沉积断层在断陷盆地中心的渗漏喷溢口及附近的中心相区,分布有大量的古天然气渗漏喷溢构造,如底劈构造、渗漏管构造、软沉积变形纹理等,特别是出现被沥青充填的气泡状菱锰矿石(周琦等,2007a,2007b,2013;周琦,2008),是锰含量最高的矿石类型(达30%).气泡状沥青球均为平行层理分布,因成岩(矿)压实作用,沿层理被压扁成椭球状,但不切穿层理,长一般为5~10 mm.被沥青充填的气泡状菱锰矿石仅出现在渗漏中心相区,往外的过渡相和边缘相区均不见其分布.

## 4 结论

(1)通过对南华纪地层系统和地层分区的研究,本文提出在Rodinia超大陆裂解背景下,南华裂谷盆地(Ⅰ级)分别由武陵、雪峰次级裂谷盆地和其间的天柱—怀化隆起(地垒)3个Ⅱ级构造单元构成.黔湘渝毗邻区南华纪锰矿床均产于武陵次级裂谷盆地中.

(2)在对南华纪两界河期、大塘坡早期沉积相及演化特征总结的基础上,对武陵次级裂谷盆地的结构进行了研究,共划分出2个Ⅲ级断陷(地堑)盆地,1个Ⅲ级隆起(地垒)和16个Ⅳ级断陷(地堑)盆地.

(3)对裂谷盆地结构与锰矿成矿的关系进行了研究.南华裂谷盆地(Ⅰ级)控制华南地区南华纪锰矿成矿区,次级裂谷盆地(Ⅱ级)控制锰矿成矿带,Ⅲ级断陷(地堑)盆地控制形成锰矿成矿亚带,Ⅳ级断陷

(地堑)盆地控制形成锰矿床。

(4)南华纪早期同沉积断层的存在是锰矿床形成的前提。同沉积断层控制和形成了不同序次的次级断陷(地堑)盆地,而不同序次的次级断陷(地堑)盆地控制了锰矿成矿亚带、锰矿床的形成;同沉积断层垂向发育形成锰质和古天然气上升的通道,是沟通古天然气渗漏沉积型锰矿成矿系统中地内子系统与表层子系统的關鍵。

致谢:本文是贵州铜仁松桃锰矿国家整装勘查的综合研究成果之一。感谢贵州省地质矿产勘查开发局 103 地质大队覃英、田景江、安正泽、王佳武、潘文、杨炳南、赵爽、王敏和中国地质大学(武汉)齐靓、王萍、徐源等为本文做出的贡献。感谢周振昊同学对文中的图件进行了认真清绘。

## References

Bureau of Geology and Mineral Resources of Guizhou Province, 1987. Regional Geology of the Guizhou Province. Geological Press House, Beijing (in Chinese).

Cai, X. L., Cao, J. M., Zhu, J. S., et al., 2008. The System of Crust-Mantle Ductile Shear Zones in China Continental Lithosphere. *Earth Science Frontiers*, 15(3): 36–54 (in Chinese with English abstract).

de Vries, S. T. D., Pryer, L. L., Fry, N., 2008. Evolution of Neoproterozoic Basins of Australia. *Precambrian Research*, 166(1–4): 39–53. doi: 10.1016/j.precamres.2008.01.005

Dehler, C. M., Fanning, C. M., Link, P. K., et al., 2010. Maximum Depositional Age and Provenance of the Uinta Mountain Group and Big Cottonwood Formation, Northern Utah: Paleogeography of Rifting Western Laurentia. *Bulletin*, 122(9–10): 1686–1699. doi: 10.1130/B30094.1

He, W. H., Tang, T. T., Yue, M. L., et al., 2014. Sedimentary and Tectonic Evolution of Nanhua-Permian in South China. *Earth Science*, 39(8): 929–953 (in Chinese with English abstract).

He, Z. W., Yang, R. D., Gao, J. B., et al., 2014. The Geochemical Characteristics and Sedimentary Environment of Manganese-Bearing Rock Series of Daotuo Manganese Deposit, Songtao County of Guizhou Province. *Geological Review*, 60(5): 1061–1075 (in Chinese with English abstract).

Hoffman, P. F., 1991. Did the Breakout of Laurentia Turn Gondwanaland Inside-Out? *Science*, 252(5011): 1409–1412. doi: 10.1126/science.252.5011.1409

Lan, Z. W., Li, X. H., Zhu, M. Y., et al., 2015. Revisiting the

Liantuo Formation in Yangtze Block, South China: SIMS U-Pb Zircon Age Constraints and Regional and Global Significance. *Precambrian Research*, 263: 123–141. doi: 10.1016/j.precamres.2015.03.012

Li, X. H., Li, W. X., He, B., 2012. Building of the South China Block and Its Relevance to Assembly and Breakup of Rodinia Supercontinent: Observations, Interpretations and Tests. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 31(6): 543–559 (in Chinese with English abstract).

Li, Z. X., Bogdanova, S. V., Collins, A. S., et al., 2008. Assembly, Configuration, and Break-Up History of Rodinia: A Synthesis. *Precambrian Research*, 160(1–2): 179–210. doi: 10.1016/j.precamres.2007.04.021

Maynard, J. B., 2010. The Chemistry of Manganese Ores through Time: A Signal of Increasing Diversity of Earth-Surface Environments. *Economic Geology*, 105(3): 535–552. doi: 10.2113/gsecongeo.105.3.535

Preiss, W. V., 2000. The Adelaide Geosyncline of South Australia and Its Significance in Neoproterozoic Continental Reconstruction. *Precambrian Research*, 100(1–3): 21–63. doi: 10.1016/s0301-9268(99)00068-6

Qin, Y. J., Du, Y. S., Mou, J., et al., 2015. Geochronology of Neoproterozoic Xiajiang Group in Southeast Guizhou, South China, and Its Geological Implications. *Earth Science*, 40(7): 1107–1121 (in Chinese with English abstract).

Rao, J. R., Wang, J. H., Cao, Y. Z., 1993. Deep Structure in Hunan. *Geology of Hunan*, (Suppl.7): 1–103 (in Chinese with English abstract).

Roy, S., 2006. Sedimentary Manganese Metallogenesis in Response to the Evolution of the Earth System. *Earth Science Reviews*, 77(4): 273–305. doi: 10.1016/j.earscirev.2006.03.004

Thomson, D., Rainbird, R. H., Krapez, B., 2015. Sequence and Tectonostratigraphy of the Neoproterozoic (Tonian-Cryogenian) Amundsen Basin Prior to Supercontinent (Rodinia) Breakup. *Precambrian Research*, 263: 246–259. doi: 10.1016/j.precamres.2015.03.001

Wang, J., 2005. New Advances in the Study of “the Nanhua System”—With Particular Reference to the Stratigraphic Division and Correlation of the Nanhua System, South China. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 491–495 (in Chinese with English abstract).

Wang, J., Pan, G. T., 2009. Neoproterozoic South China Palaeocontinents: An Overview. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(5): 818–825 (in Chinese with English abstract).

Wang, J., Li, Z. X., 2003. History of Neoproterozoic Rift Ba-

- sins in South China: Implications for Rodinia Break-Up. *Precambrian Research*, 122(1-4): 141-158. doi: 10.1016/s0301-9268(02)00209-7
- Wang, Z.J., Xu, X.S., Du, Q.D., et al., 2013. Discussion on the Bottom of Nanhua System: Evidences from Sedimentology and Isotopic Geochronology. *Advances in Earth Science*, 28(4): 477-489 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z.Q., Gao, L.Z., Ding, X.Z., et al., 2012. Tectonic Environment of the Metamorphosed Basement in the Jiangnan Orogen and Its Evolutional Features. *Geological Review*, 58(3): 401-413 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X., Huang, H., Liu, B., 1990. Manganese Deposits of the Proterozoic Datangpo Formation South China: Genesis and Palaeogeography, In: Parnell, J., Ye, L.J., Chen, C. M., eds., Black Scientific, Boston, 39-50. doi: 10.1002/9781444303872.ch4
- Yin, C.Y., Gao, L.Z., 2013. Definition, Time Limit and Stratigraphic Subdivision of the Nanhua System in China. *Journal of Stratigraphy*, 37(4): 534-541 (in Chinese with English abstract).
- Yin, C.Y., Wang, Y.G., Tang, F., et al., 2006. SHRIMP II U-Pb Zircon Date from the Nanhua Datangpo Formation in Songtao County, Guizhou Province. *Acta Geologica Sinica*, 80(2): 273-278 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, X.C., Hua, J.R., 2011. 3D Lithospheric Structure of South China. *Geology in China*, 38(1): 1-19 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Y.S., Zhang, H., Song, H.L., et al., 1997. Macroscopic Structures and Superlarge Ore Deposits. Geological Press House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, F.F., Yan, B., Guo, Y.L., et al., 2013. Precipitation Form of Manganese Ore Deposit in Gucheng, Hubei Province, and Its Paleoenvironment Implication. *Acta Geologica Sinica*, 87(2): 245-258 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J.L., 2001. Inorganic Origin of Petroleum. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, J.L., 2014. Again on the Inorganic Origin of Petroleum. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, S., Zhou, Q., Zhang, P.Y., et al., 2015. Geological Characteristics and Prospecting Prediction of Xixibao Super-Large Manganese Deposit in Songtao of Eastern Guizhou. *Geological Science and Technology Information*, 34(6): 8-16 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, C.M., Tucker, R., Xiao, S.H., et al., 2004. New Constraints on the Ages of Neoproterozoic Glaciations in South China. *Geology*, 32(5): 437-440. doi: 10.1130/g20286.1
- Zhou, Q., 1989. A Preliminary Discussion on the Formation Mechanism of Ore Pillows of Datangpo Rhodochrosite Deposit in Songtao Country, Guizhou Province. *Geology of Guizhou*, 6(1): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Q., 2008. Geological and Geochemical Characteristics of Cold Seep Carbonates of Neoproterozoic Nanhua Period and Their Significance for Manganese Ore Deposits in East Guizhou (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Q., Du, Y.S., 2012. Palaeo-Gas Seep and Manganese Metallogeny. Geological Press House, Beijing (in Chinese).
- Zhou, Q., Du, Y.S., Qin, Y., 2013. Ancient Natural Gas Seepage Sedimentary-Type Manganese Metallogenic System and Ore-Forming Model: A Case Study of 'Datangpo Type' Manganese Deposits Formed in Rift Basin of Nanhua Period along Guizhou-Hunan-Chongqing. *Mineral Deposits*, 32(3): 457-466 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Q., Du, Y.S., Wang, J.S., et al., 2007a. Characteristics and Significance of the Cold Seep Carbonates from the Datangpo Formation of the Nanhua Series in the Northeast of Guizhou. *Earth Science*, 32(3): 339-346 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Q., Du, Y.S., Yan, J.X., et al., 2007b. Geological and Geochemical Characteristics of the Cold Seep Carbonates in the Early Nanhua System in Datangpo, Songtao, Guizhou Province. *Earth Science*, 32(6): 845-852 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Q., Qin, Y., Zhang, S., et al., 2002. Progress of Looking for the Manganese Ores of Good Quality in the Area of Northeast Guizhou. *Geology of Guizhou*, 19(4): 228-230 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 贵州省地质矿产局, 1987. 贵州省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 蔡学林, 曹家敏, 朱介寿, 等, 2008. 中国大陆岩石圈壳幔韧性剪切带系统. 地质前缘, 15(3): 36-54.
- 何卫红, 唐婷婷, 乐明亮, 等, 2014. 华南南华纪一二叠纪沉积大地构造演化. 地球科学, 39(8): 929-953.
- 何志威, 杨瑞东, 高军波, 等, 2014. 贵州松桃道坭锰矿含锰岩系地球化学特征和沉积环境分析. 地质论评, 60(5): 1061-1075.
- 李献华, 李武显, 何斌, 2012. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚合—裂解——观察、解释与检验. 矿物岩石地球化学通报, 31(6): 543-559.
- 覃永军, 杜远生, 牟军, 等, 2015. 黔东南地区新元古代下江群

- 的地层年代及其地质意义.地球科学,40(7):1107—1121.
- 饶家荣,王纪恒,曹一中,1993.湖南深部构造.湖南地质,(增刊7):1—103.
- 王剑,2005.华南“南华系”研究新进展——论南华系地层划分与对比.地质通报,24(6):491—495.
- 王剑,潘桂棠,2009.中国南方古大陆研究进展与问题评述.沉积学报,27(5):818—825.
- 汪正江,许效松,杜秋定,等,2013.南华冰期的底界讨论:来自沉积学与同位素年代学证据.地球科学进展,28(4):477—489.
- 王自强,高林志,丁孝忠,等,2012.“江南造山带”变质基底形成的构造环境及演化特征.地质论评,58(3):401—413.
- 尹崇玉,高林志,2013.中国南华系的范畴、时限及地层划分.地层学杂志,37(4):534—541.
- 尹崇玉,王砚耕,唐烽,等,2006.贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩锆石 SHRIMP II U-Pb 年龄.地质学报,80(2):273—278.
- 袁学诚,华九如,2011.华南岩石圈三维结构.中国地质,38(1):1—19.
- 翟裕生,张湖,宋鸿林,等,1997.大型构造与超大型矿床.北京:地质出版社.
- 张飞飞,闫斌,郭跃玲,等,2013.湖北古城锰矿的沉淀形式及其古环境意义.地质学报,87(2):245—258.
- 张景廉,2001.论石油的无机成因.北京:石油工业出版社.
- 张景廉,2014.二论石油的无机成因.北京:石油工业出版社.
- 张遂,周琦,张平壹,等,2015.黔东松桃西溪堡超大型锰矿床地质特征与找矿预测.地质科技情报,34(6):8—16.
- 周琦,1989.松桃大塘坡菱锰矿床矿枕形成机理初探.贵州地质,6(1):1—7.
- 周琦,2008.黔东新元古代南华纪早期冷泉碳酸盐岩地质地球化学特征及其对锰矿的控矿意义(博士学位论文).武汉:中国地质大学.
- 周琦,杜远生,2012.古天然气渗漏与锰矿成矿.北京:地质出版社.
- 周琦,杜远生,覃英,2013.古天然气渗漏沉积型锰矿床成矿系统与成矿模式——以黔湘渝毗邻区南华纪“大塘坡式”锰矿为例.矿床地质,32(3):457—466.
- 周琦,杜远生,王家生,等,2007a.黔东北地区南华系大塘坡组冷泉碳酸盐岩及其意义.地球科学,32(3):339—346.
- 周琦,杜远生,颜佳新,等,2007b.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.地球科学,32(6):845—852.
- 周琦,覃英,张遂,等,2002.黔东北地区优质锰矿找矿进展与前景展望.贵州地质,19(4):228—230.