

doi: 10.12029/gc20200304

张予杰, 安显银, 刘石磊, 高永娟, 郑杰, 桑永恒. 2020. 黔东南地区大塘坡组早期含锰沉积充填、岩相古地理与锰矿的关系[J]. 中国地质, 47(3): 607–626.

Zhang Yujie, An Xianyin, Liu Shilei, Gao Yongjuan, Zheng Jie, Sang Yongheng. 2020. The lithofaces, Mn-bearing sedimentary filling and palaeogeographic pattern of Early Datangpo Stage and implied for manganese in the northeastern Guizhou Province [J]. *Geology in China*, 47(3): 607–626(in Chinese with English abstract).

黔东南地区大塘坡组早期含锰沉积充填、 岩相古地理与锰矿的关系

张予杰¹, 安显银¹, 刘石磊¹, 高永娟¹, 郑杰², 桑永恒²

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 黔东南地区是中国南华纪“大塘坡式”锰矿重要富集区, 而岩相古地理是沉积型锰矿最重要的控矿因素。笔者根据松桃—江口地区南华系各组岩性及碎屑锆石年龄特征对清水江组、两界河组、铁丝坳组及大塘坡组进行细致的地层划分, 在建立了本区南华纪大塘坡早期沉积充填序列的同时, 将本区沉积盆地划分为 4 个 II 级盆地、12 个 III 级盆地以及 11 个次级(IV)聚锰盆地。在不同盆地内的大塘坡一段中识别出 14 种岩相类型, 划分出 2 类沉积系、10 类主要的岩相古地理单元, 进而编绘了本区南华纪大塘坡早期岩相古地理图。提出在大陆边缘裂谷盆地的背景下, 研究区南华纪大塘坡早期沉积环境应属大陆边缘障壁海岸体系, 属于典型的“大塘坡式”锰矿, 与障壁后侧迅速沉降的深水局限盆地密切相关。

关键词: 南华纪; 大塘坡早期; 沉积充填; 岩相古地理; 大陆边缘; 障壁海岸体系; 锰矿; 地质调查工程; 黔东南
中图分类号: TE121.3; P618.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2020)03-0607-20

The lithofaces, Mn-bearing sedimentary filling and palaeogeographic pattern of Early Datangpo Stage and implied for manganese in the northeastern Guizhou Province

ZHANG Yujie¹, AN Xianyin¹, LIU Shilei¹, GAO Yongjuan¹, ZHENG Jie², SANG Yongheng²

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The Cryogenian (Nanhua) Period “Datangpo type” manganese deposits in northeastern Guizhou Province constitute the most important manganese resource base of China, and the lithofacies – paleogeographical environment is the most important ore-control factor. Based on analyzing the lithology and age histogram of detrital zircon U–Pb ages of Qingshuijiang Formation, Liangjiehe Formation, Tiesi’ao Formation and Datangpo Formation, the authors present the stratigraphic division of Nanhua System. Totally, there are four level II basins, twelve level III basins and eleven Mn-bearing basins according to distinct sedimentary filling patterns in northeastern Guizhou Province. It is suggested that there are nine types of palaeogeographic units in

收稿日期: 2018-09-03; **改回日期:** 2019-03-20

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41602126、41802137)、中国地质调查局项目(DD20160018)及科技部项目(2019QZKK0706)联合资助。

作者简介: 张予杰, 男, 1978 年生, 高级工程师, 从事区域地层划分与对比研究; E-mail: zebiac@163.com。

early Datangpo Age based on identifying fourteen types of lithofacies in 1st member of Datangpo Formation. Furthermore, the authors compiled the lithofacies paleogeographic map of Early Datangpo Age of Cryogenian (Nanhua) Period in northeastern Guizhou Province. In conclusion, under the background of continental margin rifting, the authors hold that the sedimentary environment of early Datangpo Age in the study area belonged to the barrier coastal system of continental margin, and the typical "Datangpo type" manganese deposit was closely related to the deep-water limited basin with rapid subsiding behind the barrier.

Key words: Early Datangpo Age of Cryogenian (Nanhua) Period; sedimentary filling; lithofacies-paleogeographical pattern; barriered coastal system; continental margin; Manganese deposit; geological survey engineering; northeastern Guizhou Province

About the first author: ZHANG Yujie, male, born in 1978, assistant professor, master, mainly engages in the study of regional stratigraphic division; E-mail: zebiac@163.com.

Fund support: Supported by Science Funds of National Natural Science Foundation (No. 41602126, No. 41802137), China Geological Survey Program (No. DD20160018) and Project of Ministry of Science and Technology (No. 20419QZKK0706).

1 引言

黔东南地区是中国南华纪“大塘坡式”沉积型锰矿的重要富集区,近年来陆续发现了4个超大型锰矿床,多个大中型锰矿床,取得了锰矿找矿的重大突破。自20世纪60年代以来黔东南南华纪“大塘坡式”锰矿成矿地质背景和成因作用就不断有学者进行研究,提出了若干岩相古地理及锰矿成因模式(刘巽锋等,1983;王砚耕等,1985;郑光夏和刘巽锋,1987;夏文杰和雷建喜,1989;王砚耕,1990;许效松等,1991;陈多福和陈先沛,1992;杨瑞东等,2002;周琦等,2007,2013)。本文通过详细观测黔东南南华系地层剖面,试图在前人研究的基础上进一步探讨黔东南南华纪大塘坡期这一关键成矿期的岩相古地理。

2 地质背景

黔东南地区地质及主要锰矿分布见图1。起始于820 Ma的华南裂谷系(王剑等,2001),对上扬子地块南华纪“大塘坡式”锰矿的形成演化具有重要意义。华南裂谷盆地的形成与Rodinia超大陆在新元古代时期的裂解作用密切相关(郑永飞,2003;王剑等,2009)。标志着黔东南梵净山地区裂谷盆地开启的第一套沉积地层为冲洪积相砾岩的芙蓉坝组砂砾岩(贵州省地质调查院,2017),与其下覆梵净山群浅变质碎屑岩与火山岩系不整合接触。其上红子溪组为初始海侵的沉积序列,经历了由三角洲前缘—潮间坪—浅海陆棚的沉积演替过程。进入清水江时期,火山活动频繁,有大量火山碎屑沉积,沉积建造主要为陆源碎屑及火山碎屑浊积岩建造和粉砂岩-泥岩建造。有证

据表明这一时期沉积相带差异明显,呈现出形成“台-坳”相间的构造格局,可能是由于Rodinia在超大陆持续裂解的背景下一次伸展作用或地壳升降作用形成的(汪正江等,2015)。

有关南华系底界问题的讨论,长期以来有~780 Ma和~720 Ma及其他年龄的不同认识(汪正江等,2013;张启锐,2014),《国际年代地层表》(2015/01)建议将成冰系(南华系)底界年龄置于~720 Ma(樊隽轩等,2015)。由此,南华冰期应包括长安冰期、富禄间冰期及南沱冰期,相应地其地质记录为长安组、富禄组(含大塘坡组)、南沱组(黎家坡组),而黔东南南华系自下而上的地层依次为两界河组、铁丝坳组、大塘坡组、南沱组。传统上认为黔东南地区缺失长安冰期的地质记录,将两界河组—铁丝坳组对比为富禄组(贵州省地质调查院,2017),亦有将本区的大塘坡组对比为富禄组上部(卢定彪等,2010;汪正江等,2015)。笔者对松桃县平头乡大雅堡南华系剖面进行了研究,发现该剖面上两界河组可明显分为两段——砾岩夹白云岩段与砂岩段。其中两界河组下部砾岩段具有明显的冰碛砾岩的特征,表明与长安冰期相关,与黔东南一带类似,下部也常常夹有透镜状的白云岩夹层。而其上部的砂岩段的岩性可与黔东南从江县黎家坡剖面上的富禄组中的砂岩相对比。该发现表明黔东南地区不一定完全缺失了长安冰期的地质记录。铁丝坳组为一套杂砾岩与杂砂岩的重力流性质的岩性组合,被认为是与古城冰期对应沉积记录。作为本文主要研究对象的大塘坡组从岩性上可分为两段,一段为黑色炭质页岩系,常含菱锰矿,在局部地段还含凝灰岩类,是“大塘坡”式锰矿的主要赋矿层位;

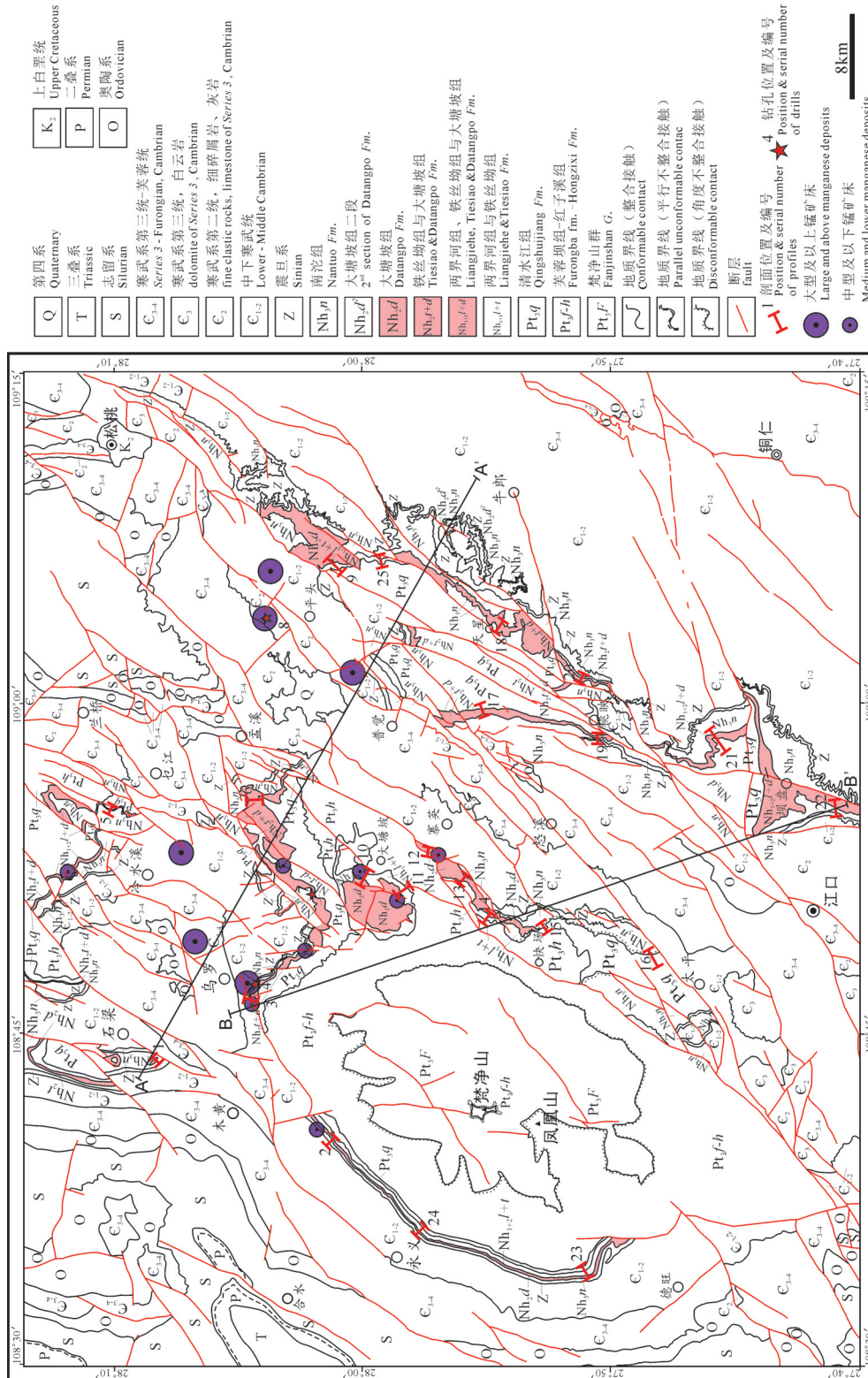


图1 黔东南地区地质略图及主要锰矿床分布图

1—印江格罗, 2—印江杨立掌, 3—松桃杨家湾, 4—松桃李家湾, 5—松桃沿寨沟, 6—松桃大塘, 7—松桃和尚坪, 8—松桃桃子坪, 9—松桃大雅堡, 10—松桃大塘坡, 11—松桃万家堰, 12—松桃举贤, 13—松桃落满, 14—江口凯岩, 15—江口快场, 16—江口太平, 17—松桃上坪, 18—松桃天星, 19—江口桃映, 20—江口坪屋, 21—江口苗哨溪, 22—江口南塘, 23—江口堰溪, 24—印江永义, 25—松桃西溪堡。

Fig.1 Geological sketchy map and distribution of manganese deposits in the Northeastern Guizhou Province

1—Geluo, Yinjiang county; 2—Guochang, Yinjiang; 3—Yanglizhang, Songtao county; 4—Lijawan, Songtao county; 5—Yanzhaigou, Songtao county; 6—Da'ao, Songtao county; 7—Heshangping, Songtao county; 8—Taoziping, Songtao county; 9—Dayapu, Songtao county; 10—Datangpo, Songtao county; 11—Wanjiaowan, Songtao county; 12—Juxian, Songtao county; 13—Luoman, Songtao county; 14—Kaiyan, Jiangkou county; 15—Kuaichang, Jiangkou county; 16—Taiping, Jiangkou county; 17—Shangping, Songtao county; 18—Tianxing, Songtao county; 19—Taoying, Jiangkou county; 20—Pingwu, Jiangkou county; 21—Miaoshaoxi, Jiangkou county; 22—Nan'ao, Jiangkou county; 23—Yanxi, Jiangkou county; 24—Yongyi, Yinjiang county; 25—Xixipu, Songtao county

二段为粉砂岩与粉砂质泥岩互层,偶夹白云岩类,粉砂岩及白云岩类,常呈透镜状分布。区域上南沱组为典型的与冰川作用有关的沉积地质体,而本区南沱组可能既有冰海相亦有冰湖(河)相。

随着南华纪大冰期的结束,自震旦纪开始,本区广泛海侵,经历潮坪—浅海陆棚—外陆棚的沉积相序演变。受加里东运动影响,本区再次出现“台—坳”相间的构造格局,直到早志留世末期海平面降至最低位,沉积一套以回新峭组滨岸砂岩为相标志的地质体结束了本区早古生代的沉积演化历程。

3 黔东北地区南华纪地层划分与对比

开展地层对比工作是研究岩相古地理的前提。本区南华系主体为碎屑岩,自下而上可划分为两界河组、铁丝坳组、大塘坡组及南沱组,结合岩性组合特征和碎屑锆石年龄谱系的分析,可较为有效地对南华纪地层进行划分(图2)。

南华系下伏清水江组为灰绿色、灰色厚层—块状变余砂岩、粉砂岩,夹粉砂质板岩、凝灰质砂岩、火山凝灰岩等。在统计的2个样品134个点年龄后发现,清水江组上部的碎屑锆石年龄集中于770~900 Ma,峰值在800~850 Ma,其最小年龄分别为(777±10)Ma和(800±2)Ma。表明其沉积时代下限在780 Ma附近,这与前人在清水江组中测得凝灰岩中岩浆锆石的年龄是一致的(高林志等,2010;Wang Xuance et al., 2012;汪正江等,2015)。

两界河组岩性较为复杂,纵向及横向变化大,在松桃大雅堡、举贤、万家堰等剖面,可明显分为下部砂砾岩夹白云岩段与上部砂岩段,而在江口落满、凯岩、堰溪一带主要发育上部砂岩段。两界河组下段岩性主要为杂砂岩、砾质粗砂岩、杂砾岩等,多为透镜状、指状,可能与冰川作用有关。该组下部亦常发育粉晶—细晶状白云岩,除大雅堡剖面(层状白云岩,厚15 m左右)外,其他剖面白云岩的产出均以透镜状为主,厚度为1~2 m。两界河组上段岩性以肉红色或灰白色长石岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、含砾中粗砂岩等为主,多层中—厚层状。该套砂岩横向展布较为稳定。对两界河组4件砂岩样品进行了351个碎屑锆石年龄数据分析后发现,其年龄集中于740~920 Ma,峰值则为800 Ma左右,最小年龄分别为(735±11)Ma、(732±6)Ma、(739±8)

Ma和(730±16)Ma。与清水江组砂岩明显不同,数据显示两界河组的沉积时代下限约为730 Ma左右,这恰好与国际地层委员会建议的南华系底界年代~720 Ma相一致。

铁丝坳组是一个较为特殊的岩石地层单元,以砾岩为主,岩性以含砾粗砂岩、杂砾岩为主,偶见有炭质或粉砂质泥岩夹层,厚度2~20 m。对铁丝坳组砾岩的成因有多种不同认识(王砚耕等,1986),但多数认为与“古城”冰期有关(如张启锐和储雪蕾,2006)。铁丝坳组砾岩(尤其是角砾状含砾粗砂岩)与大塘坡组一段底部的锰矿层关系密切,在多数矿区锰矿底板岩石便是该套砾岩(如杨立掌锰矿区),二者呈正相关。然而,非锰矿区铁丝坳组砾岩与锰矿区有明显的不同,其岩性以含砾中粗砂岩为主,砾石砾径小、砾石磨圆好,含量低于10%,整体厚度小。

大塘坡组从岩性上可分为两段,一段主要岩性为黑色炭质页岩、菱锰矿及含碳质粉砂质页岩,在松桃寨郎沟、黑水溪、将军山一带还夹火山凝灰岩(Zhou Chuanming et al., 2004;尹崇玉等,2006;余文超等,2016)呈薄板状、具水平层理和粒序层理,富含黄铁矿,厚度0~30 m。锰矿层为黑色富碳质的菱锰矿,赋存在黑色岩系的下部,露头尺度上锰矿层呈层状展布,但是根据勘探资料锰矿体显示为呈北东走向透镜状分布。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(王砚耕等,1985;王福星等,1988)。该段有时被灰色层纹状板岩或夹白云岩透镜体的板岩所替代,甚至同时期亦可能沉积中—细粒岩屑砂岩。大塘坡组二段为粉细粒陆源碎屑岩,以浅黄、灰黄色粉砂质泥岩为主,夹粉砂岩层,局部层位夹白云岩或白云质泥页岩透镜体,薄层状砂纹层理、透镜状层理发育,亦可见小型滑动和包卷构造。该段厚度一般在200 m左右,最厚出现在松桃县平头乡一带,厚度可达600 m。对大塘坡组上部粉砂岩进行碎屑锆石测年后发现,两个样品出现了两个峰值,分别为670~680 Ma及800~820 Ma,同时也包含了~730 Ma的年龄,最小年龄分别为(663±9)Ma以及(651±10)Ma,表明沉积下限年龄约为660 Ma,这与前人在大塘坡组一段中测得凝灰岩的时代完全一致(Zhou et al., 2004;尹崇玉等,2006;余文超等,2016)。

南沱组呈灰或灰黑色,岩性主要为块状杂砾

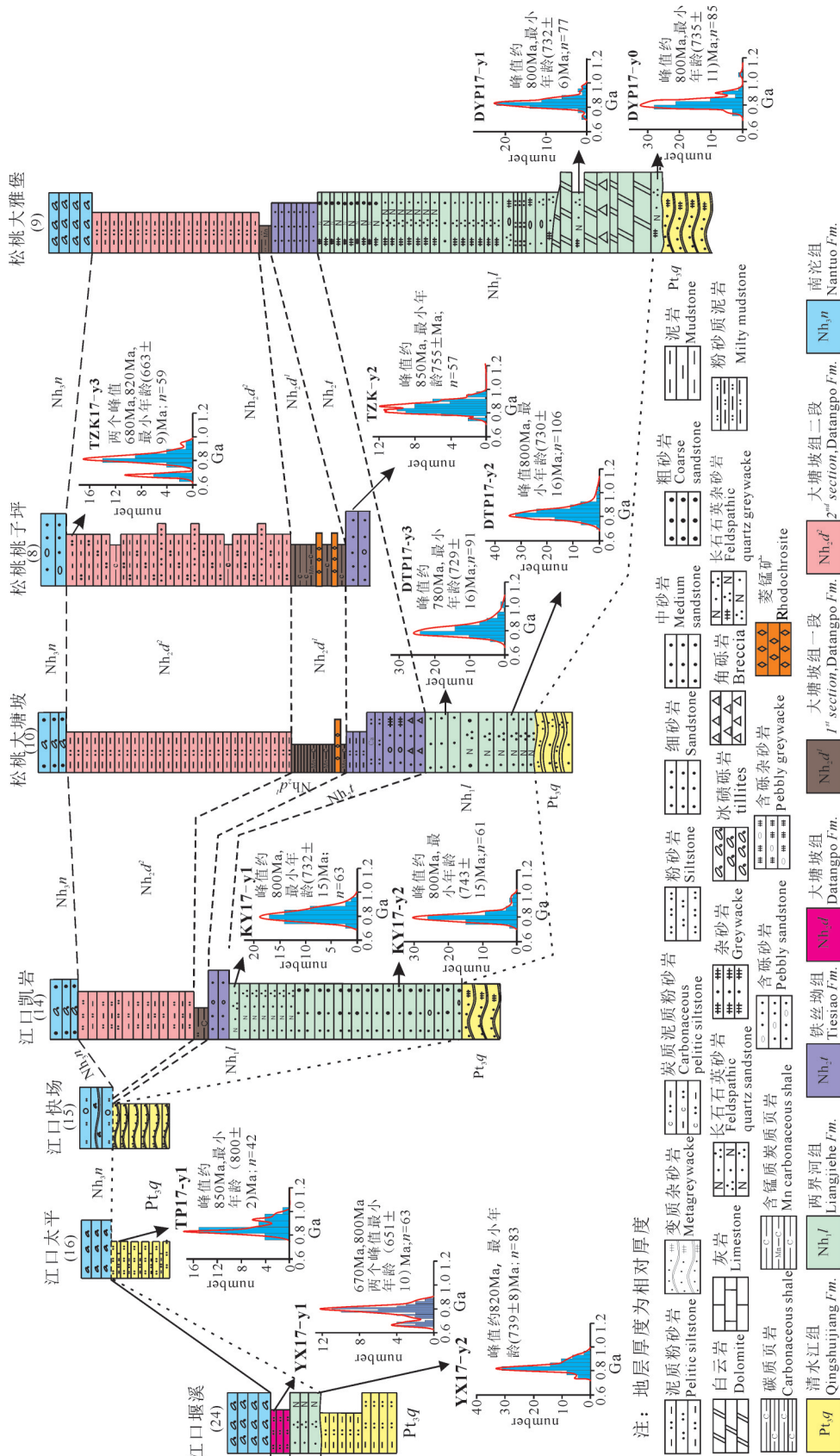


图2 黔东南南华系岩性组合及碎屑锆石U-Pb年龄划分对比图
(剖面位置及序号参见图1)
Fig.2 The division and comparison chart of Cryogenian (Nanhua System) base on lithology and detrital zircon U-Pb ages in the Northeastern Guizhou Province
(The position and serial number of the Profile see also Fig.1)

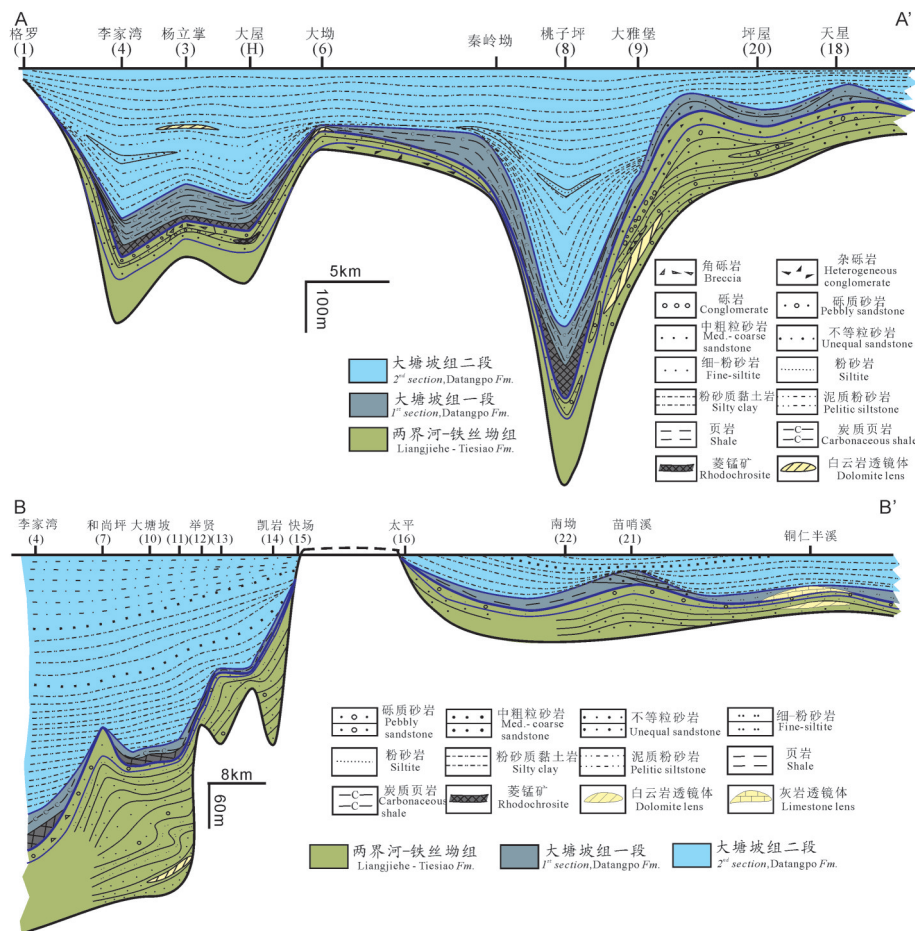


图3 黔东北地区大塘坡早期沉积充填样式
(剖面位置及序号参见图1)

Fig.3 The sedimentary fill-up pattern of Early Datangpo stage in the Northeastern Guizhou Province

Note: The position and serial number of the Profile see Fig.1

岩、杂砂岩,混有火山碎屑,局部地段还可见中粒岩屑砂岩透镜体。

由此,在600 Ma至1200 Ma这个区间内,清水江组砂岩碎屑锆石峰值年龄为800~850 Ma,较新的年龄分布在780 Ma左右;两界河组与铁丝坳组砂岩的峰值年龄亦为800 Ma左右,较新的年龄分布在730 Ma;大塘坡组砂岩碎屑锆石峰值年龄除800 Ma和670~680 Ma这两组外,还包括次一级~730 Ma的峰值年龄,较新的年龄为660 Ma。利用这个结论同时结合细致的岩性对比可对黔东北地区南华系及前南华系进行较为准确的划分和对比。

4 黔东北地区南华纪大塘坡早期盆地沉积充填样式

正如许效松等(1991)及周琦等(2016)的认知,黔东地区南华纪伸展型被动大陆边缘的背景下,大

塘坡早期沉积盆地结构呈“堑—垒”相间的构造格局。根据盆地的沉积大地构造背景黔东北地区南华纪大塘坡早期的聚锰盆地结构可细分至四级(表1)。在对黔东北松桃至江口一带20余条南华系剖面及钻孔进行观测和分析后,该区域南华纪大塘坡早期盆地沉积充填序列如图3所示。

4.1 印江—石阡盆地沉积充填特征

该区域南华系出露少,多被古生界覆盖。两界河组假整合在清水江组之上,岩性主要为长石岩屑砂岩,厚度约20 m,铁丝坳组杂砾岩不发育,大塘坡组为灰黄色浅灰色中薄层状粉砂岩夹泥岩,泥岩构成的脉状(透镜状)层理发育厚度仅5~10 m,上覆南沱组为典型的块状冰碛岩,砾石巨大,厚度大于10 m。

4.2 松桃—江口地垒区沉积充填特征

黔东北南华纪大塘坡期地垒沉积序列主要表现为两类。第一类在江口县太平乡至快场村一带

表现为无南华纪两界河—大塘坡期的沉积物,上覆南沱组冰碛岩直接不整合覆于前南华系之上。第二类表现为多种沉积组合,在印江石梁为中细砂岩至粉细砂岩,松桃沿寨沟为含砾中砂岩与白云岩组合至粉砂岩、松桃天星—松桃西溪堡一带为含砾砂岩至粉砂岩,大塘坡组一段厚度在1~10 m不等,二段为粉砂质泥岩夹粉砂岩,厚度为30~50 m,与下伏清水江组为假整合接触。

4.3 松桃—江口地堑盆地沉积充填特征

松桃—江口地堑盆地沉积充填样式主要有3种类型。第一类以桃映剖面为代表,可能为地堑盆地普遍的沉积特点:两界河组整合为中细粒岩屑砂岩,铁丝坳组并没有表现为明显的冰水杂砾岩特点,主要以粉细粒岩屑砂为主,二者厚度之和约40 m;大塘坡组一段为灰黑色中薄层状泥质粉砂岩,向上过渡为灰绿色薄层状粉砂质黏土岩,沉积厚度约120 m;第二类以大雅堡剖面为代表,显示为半深水的局限环境,两界河组明显分为下部砂砾岩夹白云岩段与上部砂岩段,厚度约198 m。铁丝坳组为典型的冰水杂砾岩、杂砂岩的特点,厚度小于5 m;大塘坡组一段仅厚5.9 m,岩性为灰黄色灰褐色粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩条带,可见2~3 cm厚的锰土层;大塘坡组二段含透镜状粉砂质条带的黏土岩,偶夹

粉砂岩夹层,厚度约320 m;第三类以松桃桃子坪钻孔为代表,是聚锰盆地沉积充填的典型,该钻孔内铁丝坳组为典型的含砾碳质粉砂质板岩,厚度大于1 m。大塘坡组一段厚度63.2 m,岩性为黑色炭质页岩及粉砂质炭质页岩,夹两层菱锰矿,矿体厚度近3 m。大塘坡组二段岩性为条带状粉砂质黏土岩与泥质粉砂岩互层,厚度巨大,可达620 m余。该盆地内南华系与下伏清水江组整合接触。

4.4 铜仁—岑巩陆棚

该区域南华系出露少,多被寒武系覆盖,在铜仁茶店乡半溪两界河组为岩屑砂岩夹透镜状白云岩及砂质中细晶灰岩,厚度仅6 m。铁丝坳组为含钙质杂砂岩,厚度约0.5 m。大塘坡组一段为砂质重结晶(中粗晶)灰岩,厚度约3 m。大塘坡组二段为浅灰色粉砂质泥岩与泥岩组成,厚度约60 m。南沱组为杂砾岩、含砾杂砂岩,厚度大于10 m。与下伏清水江组整合接触。

5 黔东南地区南华纪大塘坡早期岩相古地理

5.1 黔东南地区南华系大塘坡组一段岩相类型

黔东南松桃—江口地区大塘坡组一段可识别出14种岩相类型(图4),以下分别简述其主要特征。

表1 黔东南地区大塘坡早期沉积盆地结构划分

Table 1 The basin structure of Early Datangpo stage in the northeastern Guizhou Province

一级	二级	三级	四级
黔东南南华纪大陆边缘裂谷盆地	I 印江—石阡陆缘盆地	I-1 印江天堂盆地	(略)
		I-1 印江木黄盆地	(略)
		II-1 印江新业盆地	钢厂聚锰盆地
			道沱聚锰盆地
		II-2 松桃乌罗—道沱盆地	高地聚锰盆地
	II 江口—松桃地堑盆地		杨立掌—李家湾—寨郎沟聚锰盆地
		II-3 松桃黑水溪盆地	石塘聚锰盆地
			黑水溪—千工坪聚锰盆地
		II-4 松桃大坳—大塘坡—落满盆地	万家堰—大塘坡聚锰盆地
		II-5 松桃普觉—西溪堡盆地	落满—举贤聚锰盆地
III 江口—松桃地垒		III-1 梵净山—太平地垒	大屋聚锰盆地
		III-2 印江石梁地垒	西溪堡—桃子坪聚锰盆地
		III-3 松桃沿寨沟—秀山兰桥地垒	普觉聚锰盆地
		III-4 松桃县城—松桃西溪堡—江口苗哨溪—江口坝盘地垒	(略)
	IV 铜仁—岑巩盆地	IV-1 牛郎—半溪盆地	(略)

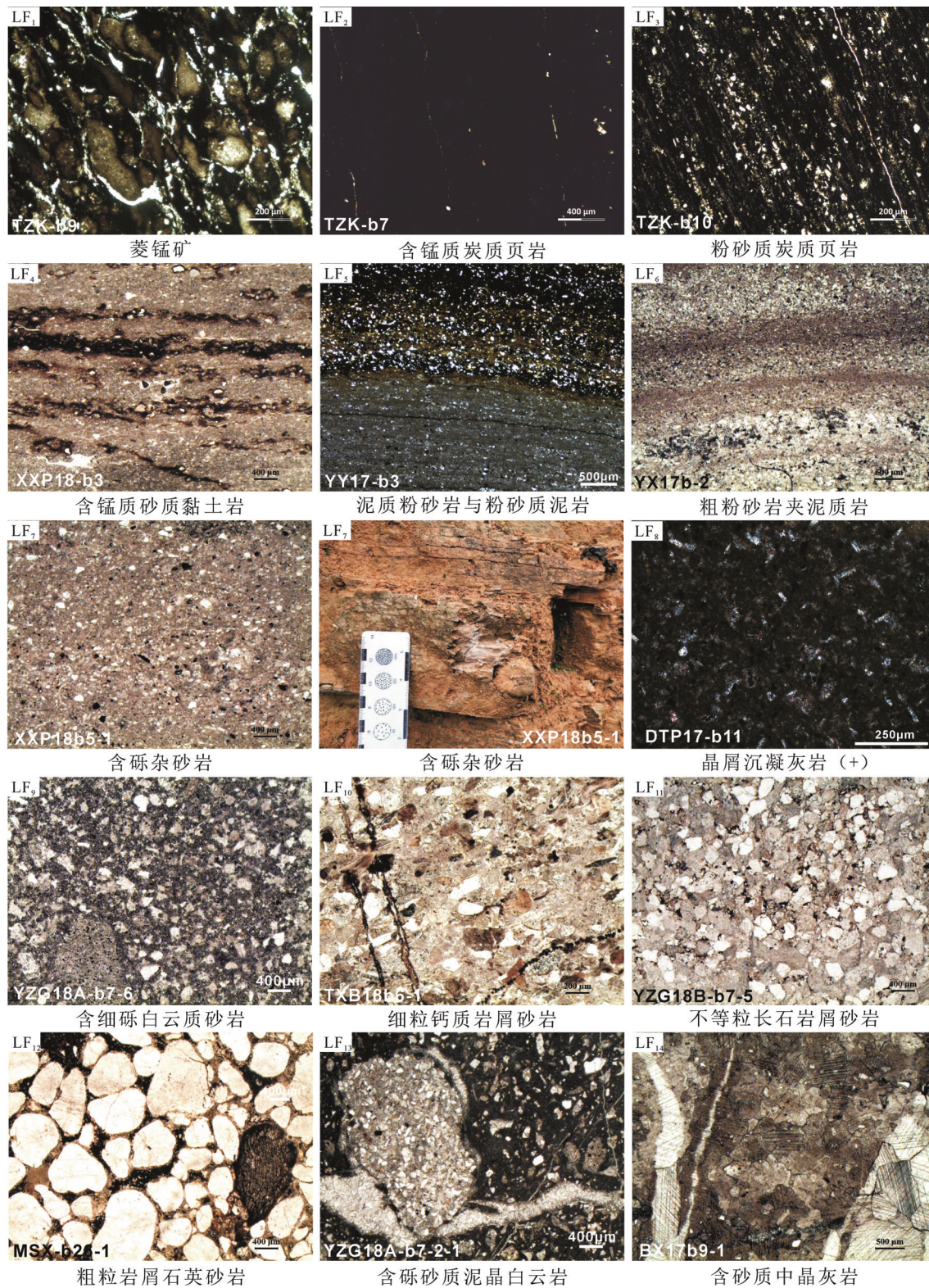


图4 黔东南松桃—江口地区大塘坡组一段岩相类型

Fig.4 The lithic facies of the 1st. Sector of Datangpo Formation of Songtao – Jiangkou area in the Northeastern Guizhou Province

菱锰矿相(LF₁):以纹层状泥晶—粉晶碳酸锰夹层的形式赋存在黑色炭质或粉砂质页岩中,呈豆粒或肾状隐晶质集合体,菱锰矿单层厚度从数厘米至数米不等,为局限环境下极低能的化学沉积物。

含锰质炭质页岩相(LF₂):黑色炭质页岩,有机质页岩(桃子坪钻孔单件样品总有机碳含量为6.26%),偶含隐晶质菱锰矿,伴有丰富的层状草莓状黄铁矿,为局限环境下极低能沉积类型。

粉砂质炭质页岩相(LF₃):该岩相类型常见,为黑色粉砂质炭质页岩,含有机质页岩,伴有丰富的层状草莓状黄铁矿。所含陆源碎屑主要为长石和石英颗粒,呈次棱角状粉砂级,层状分布,含量约15%~20%。具局限环境下较低能水体中受牵引流作用的沉积特征。

含锰质砂质黏土岩相、粉砂质黏土岩(LF₄):呈灰褐色,中薄层松散状,砂质泥质结构,此外还含有一定量的氧化锰。除黏土基质外,主要颗粒为次棱角状细砂级石英,强溶蚀,含量约25%。该岩相特征显示沉积水较浅,近物源,可能受地表流体影响。

粉砂岩与粉砂质泥岩相(LF₅):灰黑色,薄层状,粉砂质(呈透镜状)泥质互层结构,含一定量炭质有机质,颗粒为粉砂级石英。此岩相可能受弱牵引流作用控制,处于潮下低能环境。

粗粉砂岩夹泥质岩(LF₆):浅灰色夹灰黄色,粗粉砂结构,透镜状及或脉状层理(泥岩条带)发育,表明此岩相可能受弱牵引流作用影响,处潮下或潮间中低能环境。

含砾杂砂岩相(LF₇):灰褐色透镜状,不等粒杂基结构,颗粒以石英颗粒和少量砾石为主。石英颗粒呈次棱角状,杂乱分布,粒度约0.2 mm。砾石具圆度,成分较复要,砾径大者可至5~8 cm,基质为粉砂质黏土。以上特征显示该岩相可能与冰川等重力流作用相关,快速堆积形成,可能形成于冰川快速融化的滨后环境中。需要说明的是,在西溪堡至天星一带该套含砾杂砂岩上下具有典型特征的大塘坡组一段含锰质黏土岩,并在其下可明显识别出铁丝垌组的杂砾岩。

晶屑沉凝灰岩相(LF₈):绿灰色或灰白色中层块状,晶屑似斑状隐晶质结构。晶屑多为石英和钾长石,石英表面干净,被熔蚀成粒状,粒度约0.05 mm,含量约15%。钾长石无色,见板状单晶,粒度约0.1

mm,含量约40%;基质为泥质与火山灰。该岩相在区域内广布,既在盆地内出现也见于地垒处,可能代表本区远离火山喷发中心。

含细砾白云质砂岩相(LF₉):呈灰白色、灰褐色,透镜状层状构造,含砾细粒结构,粒径0.2~0.4 mm,棱角状—次棱角状。颗粒主要为陆源石英和长石,含量50%~60%,含砾径约2 mm的变质火山岩砾石,粉晶白云质充填。以上特征显示该岩相沉积水体浅,混合物源,具潮汐强水动力的特点,可能为潮间带的障壁砂坝环境。

细粒钙质岩屑砂岩相(LF₁₀):呈灰褐色,中层状构造,细粒结构。颗粒主要成份为岩屑及长石,粒径约0.2 mm,次棱角状,长轴明显定向,二者含量约65%,钙质基底式胶结。显示该岩相沉积水体浅且浊,近物源,具滨岸带牵引流特征。

不等粒长石岩屑砂岩相(LF₁₁):灰白色,中层状构造,不等粒结构,次棱角状。颗粒主要为岩屑和长石,其中岩屑粒度0.4~0.7 mm,长石0.1~0.3 mm,颗粒分布杂乱,二者含量约85%,颗粒支撑。以上特征显示该岩相为近物源快速堆积的特点。

粗粒岩屑石英砂岩相(LF₁₂):灰褐色,中层状构造,粗粒结构,磨圆好呈次圆—圆状。颗粒主要为石英及岩屑,石英分选和磨圆均好,粒径0.4~1 mm,含量约80%;岩屑磨圆亦好,多粉砂岩和板岩颗粒,粒径约1~1.5 mm,砂泥质孔隙式胶结。以上特征显示该岩相处于清水且水动力强的环境下,具滨岸带牵引流的特点,推测为冲溢扇后缘或前滨环境。

含砾砂质泥晶白云岩相(LF₁₃):呈灰白色,透镜状层状构造,含砾砂质泥晶结构。砾石为细粒长石岩屑砂岩,砾径3~4 mm,砂质呈次棱角状,多为岩屑和长石,粒度0.3~0.4 mm,基质为泥晶白云岩,含少量藻类碎屑。以上特征显示该岩相具有沉积水体浅,混合物源,具潮汐强水动力的特点,可能为障壁台地环境。

含砂质中晶灰岩相(LF₁₄):深灰色,薄层状,含砂质中细晶结构,方解石呈中细晶粒状,含量约85%。含一定量的陆源砂级碎屑,颗粒主要为石英和硅质岩类,细粒和中粒均见及含量约10%。以上特征显示该岩相具有一定的沉积深度,近物源,具潮下中能水动力特点,为浅水陆棚环境。

5.2 黔东南地区南华纪大塘坡早期沉积相和古地理

控制黔东南南华纪(甚至更早)盆地垂向形态特征的最重要因素,一直以来都被认为是伸展构造背景下形成同沉积断层(王砚耕等,1985;许效松等,1991;周琦等,2016),但在现今地表观测尺度下是很难获取同沉积断层存在的直接证据。通过多年的勘探,人们绘制了黔东南主要锰矿区含锰岩系等厚线图及其他如矿层顶底板等高线图,证明了南华纪时期位于大陆边缘的一系列同沉积断层的存在。这些同沉积断层控制了该时期沉积相的展布,并塑造了黔东南南华纪大塘坡早期“堑-垒”相间的盆地构造形态和古地理格局。主要的同沉积断裂可能分布在大塘坡组一段厚度急剧变化的区域,而含锰岩系厚度急剧变化的部位可能反映了次级同沉积断层(控制聚锰盆地)所在位置。

通过对黔东南松桃—江口地区南华系剖面的细致观察及镜下薄片的沉积学分析,识别出大陆边缘障壁海岸沉积环境和陆棚沉积环境两类主要的沉积体系以及5类沉积相及10类沉积亚相,每种沉积相又可通过若干岩相组合进行识别(表2)。

5.2.1 印江—石阡潮坪带

根据许效松等(1991)、夏文杰和雷建喜(1989)的观点,大塘坡早期海陆分界线在印江—石阡—瓮安附近,此界线以西出露的南华纪地层为河湖相紫红色粉砂岩和泥岩(马路坪组),在本次调查研究区内未出露,推测区内印江合水至天堂一带为滨岸沼泽(潮上带)的沉积环境。向东印江木黄—永义至江口堰溪一带为潮坪(潮间)环境,主要的代表剖面是江口县德旺乡堰溪剖面(图5),该剖面南华系缺

失铁丝垌组的冰碛砾岩,两界河组为一套潮下带的细粒—中粒岩屑砂岩,向上粒度变细,平行层理和砂纹层理发育,向上迅速过渡为大塘坡组含脉状层理的粉砂岩与粉砂质泥岩互层的呈潮间带特征的岩相组合。大塘坡早期该带位于梵净山障壁后侧,因不发育大型的交错层理和暴露的沉积构造标志而推测此时水体虽浅但总体安静。该带的沉积物源推测来自西部川中—黔中以及梵净山—太平障壁岛(剥蚀区)。

5.2.2 松桃—江口隆起区

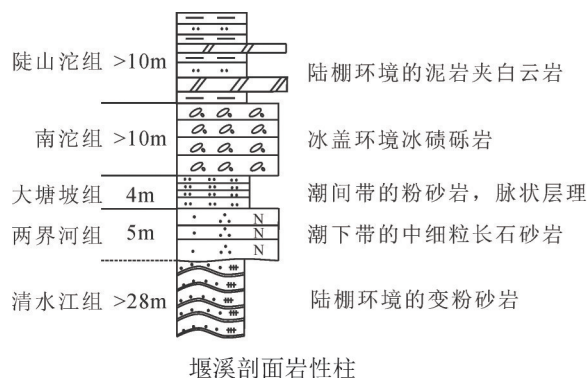
受同期的“堑-垒”构造格局,甚至是更早期的古构造控制,黔东南松桃—江口地区南华纪大塘坡早期可识别出一系列的古隆起区(带),通过调查研究工作,可识别的有梵净山—太平古隆(古隆起)、印江石梁砂坝、松桃沿寨沟—秀山兰桥障壁岛、松桃县城—松桃西溪堡—江口苗哨溪—江口坝盘水下隆起带等4个主要的古地理单元。

梵净山—太平古陆(古隆起)的分为两种类型:快场—太平古陆和梵净山剥蚀区。前者分布在江口县快场村至太平及其西南延伸区域的狭长区域,根据野外和室内地层划分对比研究,在江口县快场村及太平一带,南沱组是直接平行不整合覆于南前华系的清水江组或红子溪组之上,相同的情况也发生在江口县闵孝镇的闵家场村及岑巩县龙田镇天堂沟一带(图6),该区域明显地识别出南沱冰碛岩直接覆于发生了古风化作用的清水江组含凝灰质粉砂质板岩之上,其间未叠加任何明显的后期构造改造。说明在这个区域发生了南华系两界河组至大塘坡组的沉积间断,表明在南华纪早期该区域暴露于古水面之上,成为未接受沉积的岛(链)状古地

表2 黔东南大塘坡早期盆地沉积体系及沉积相分类

Table 2 Classification of early basin sedimentary systems and sedimentary facies in Earth Datangpo stage in the northeast Guizhou Province

沉积体系	沉积相	沉积亚相	岩相组合
大陆边缘障壁海岸体系	潮坪	潮上带	细砾岩-粉砂岩(推测)
		潮间带	LF5, LF6, LF13
		潮下带	LF6
	障壁性局限海盆	障壁性半深水海盆	LF2, LF3
		障壁性深水海盆	LF1, LF2, LF3, LF8
	障壁岛	后滨	LF7, LF9, LF4, LF8
		前滨	LF11, LF12, LF8
	冲溢扇	冲溢扇前缘	LF4, LF10
		冲溢扇后缘	LF11
	陆棚体系	远滨(内陆棚)	LF10, LF14



堰溪剖面岩性柱



大塘坡组中发育脉状层理

图5 江口县堰溪南华系大塘坡组潮坪环境特征

Fig.5 The tide-flat facies in Datangpo Formation from Yanxi profile, Jiangkou County

理单元,可为两侧沉积区提供沉积物源。

在现今梵净山主体以南,由于构造隆升作用,出露的地层主体是新元古界梵净山群及下江群(板溪群)浅变质岩系,未见南华系出露及其与下伏地层的接触关系,根据梵净山区域南北两界的地层及岩相分布特点,该区域为构造剥蚀区,无法判断南华系(至少中下南华统)是未沉积亦或是沉积之后遭受了剥蚀。

松桃县城—松桃西溪堡—江口苗哨溪—江口坝盘水下隆起带是对大塘坡期岩相古地理格局具重要影响的一条沉积相带(图7)。包括两类单元,其一是松桃—天星障壁岛和坝盘—郑家沟障壁岛,其二是江口苗哨溪—坝竹坪一带的冲溢扇。松桃—天星障壁岛(图8)主要分布在松桃县南经沙河坝乡至江口县桃映坪屋村以东一带,大塘坡组一段厚度小,仅1 m至不足3 m,但成分较为复杂。在松桃县平头乡西溪堡村东,可识别出由粉砂岩、发育平行层理的含锰质粉砂岩以及含砾粉砂质组成的滨后环境以及粉砂质泥岩及细粉砂岩代表的临滨环境。天星村剖面上亦可识别出由发育平行层理的泥质粉砂岩及含锰质的粉细砂岩代表后滨相,同时向上出现粉砂质泥岩的前滨相。该剖面上还发育可与寨郎沟、大塘坡等地对比的火山凝灰岩相。在松桃县七江镇西北沿寨沟,大塘坡组一段由含丰富陆源碎屑的泥晶白云岩、白云质砂岩、中—细粒长石砂岩、含锰质粗粉砂岩以及火山凝灰岩组成,岩性组合极为复杂(图9)。白云岩类呈透镜状,最大厚度不超过1.5 m,主要由砾质砂质泥晶白云岩、微—粉—细晶白云岩,溶蚀程度高。同时在该剖面上还出现白云质砂岩类。以上特征显示岩寨沟剖面

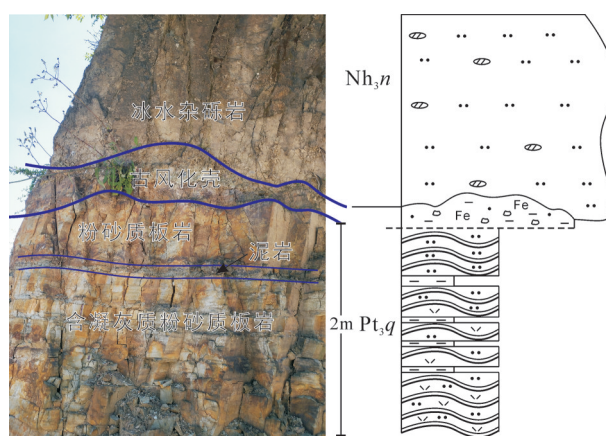
图6 岑巩县龙田镇天堂沟南沱组(Nh₃n)平行不整合覆于清水江组(Pt₃q)之上

Fig.6 The parallel unconformity between Nantuo Formation and Qingshuijiang Formation from Longtian Tiantanggou profile, Cengong County

为一套潮间障壁岛(障壁云坪和障壁砂坪)的沉积序列。江口苗哨溪—坝竹坪一带的冲溢扇可识别出由发育平行层理的中粗粒岩屑石英砂岩构成的冲溢扇后缘,以及发育软沉积变形及水平层理的粉砂质黏土岩构成的冲溢扇前缘,是海水由陆棚向障壁后侧交流的主要通道。

5.2.3 松桃—江口障壁性局限海盆地

从松桃冷水溪至江口县的区域受同沉积断裂作用控制明显,沉积沉降幅度大,形成松桃—江口障壁性局限海盆,主要岩相是粉砂质炭质页岩相,受次级同沉积断裂影响,盆地沉降中心可能有若干,依据岩相组合特点,可进一步划分为障壁性半深水海盆和障壁性深水海盆,含锰岩系等厚线显示后者是聚锰盆地地位的分布范围,目前主要的锰矿均产于该区域内。

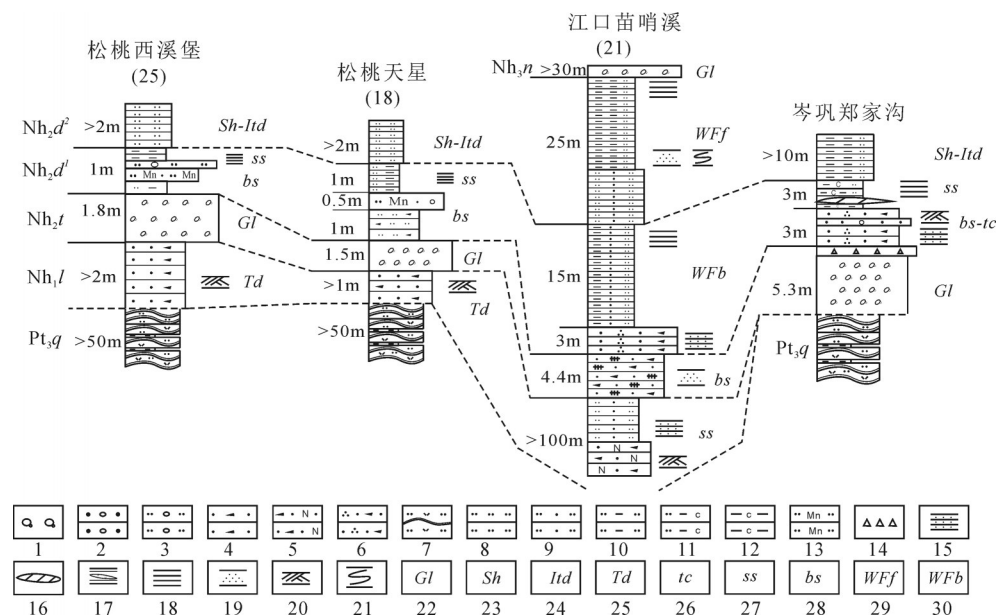


图7 松桃县城—松桃西溪堡—江口苗哨溪—江口坝盘水下隆起带沉积特征

1—冰碛砾岩;2—含砾粗砂岩;3—含砾粉砂岩;4—岩屑砂岩;5—长石岩屑砂岩;6—石英岩屑砂岩;7—含凝灰质粉砂质板岩;8—粉砂岩;9—粉细砂岩;10—泥质粉砂岩;11—含炭质粉砂质泥岩;12—炭质泥岩;13—含锰质粉砂岩;14—风化壳;15—平行层理;16—泥晶白云岩透镜体;17—透镜状层理;18—水平层理;19—粒序层理;20—交错层理;21—软沉积变形;22—冰海相;23—浅海陆棚相;24—潮间带;25—潮下带;26—潮沟;27—临滨;28—后滨;29—冲溢扇前缘;30—冲溢扇后缘

Fig.7 The underwater uplift-zone sedimentary sequences shown in Songtao county – SongtaoXixipu – Jiangkou Miaoshaoxi – Jiangkou Bapan

1—Tillite; 2—Pebbled sandstone; 3—Pebbled siltstone; 4—Lithic sandstone; 5—Feldspar lithic sandstone; 6—Quartz lithic sandstone; 7—Tuffaceous silty slate; 8—Silt; 9—Silty sandstone; 10—pelitic siltstone; 11—carboniferous silty mudstone; 12—Carboniferous mudstone; 13—Mn-bearing siltstone; 14—decayed layer; 15—Parallel bedding; 16—Dolomite lens; 17—Lenticular bedding; 18—Horizontal bedding; 19—Graded bedding; 20—Cross bedding; 21—Soft deformation; 22—Gacial marine facies; 23—Shallow shelf facies; 24—Tide zone; 25—Subtidal zone; 26—Tidal creek; 27—Foreshore facies; 28—Backshore faices; 29—Frontal washover fan; 30—Back washover fan

新业、和尚坪、大雅堡、桃映等几个代表性沉积剖面可归类为障壁性半深水海盆相,其沉积结构和相见图3~图13。新业半深水海盆主要分布在印江新业乡至永义乡一带,大塘坡组一段主要的岩石相为粉砂质炭质泥岩、黏土岩、粉砂质页岩,总厚度不超过10 m,发育水平层理或块状层理;和尚坪半深水海盆主要分布在乜江至孟溪西南和尚坪一带,该区域大塘坡组一段主要的岩石相为黏土岩、粉砂质页岩,可见水平层理,厚度约15 m;大雅堡半深水盆地主要分布在松桃县平头乡大雅堡一带,大塘坡组一段主要的岩石相为含炭质锰质泥(页)岩、粉砂岩,厚度约6 m,层理不发育;桃映半深水盆地分布范围广,推测江口县桃映于怒溪乡及江口县城一带均为该环境,大塘坡组一段主要的岩石相为粉砂质炭质页岩、粉砂质泥岩,水平层理发育,厚度约16 m。从岩相上来看,不发育化学沉淀碳酸盐岩,同时自生的黄铁矿也不十分发育,主要以粉砂质、

含炭质泥(页)岩为主,大塘坡组一段的厚度通常不超过20 m,原生沉积构造水平层理和块状层理为主(图10),表明该区域有一定的水深条件,但达不到完全封闭的条件,可为局限性的半深水盆地相。

以松桃乌罗李家湾一道沱、松桃寨英大塘坡以及松桃平头桃子坪等锰矿区勘查钻孔或实测剖面为代表,可归集为障壁性深水海盆相环境(图11)。李家湾锰矿钻孔(ZK107)可基本上代表道沱聚锰盆地、高地聚锰盆地、杨立掌—李家湾—寨郎沟聚锰盆地、石塘聚锰盆地等盆地特点。大塘坡组一段主要的岩石相为纹层状含粉砂质碳酸锰、炭质泥(页)岩、含粉砂质炭质泥(页)岩,火山凝灰岩等类型,厚度在20~76 m。其中菱锰矿多呈层状,有时可呈透镜状,可见多层(最多4~6层,一般1~3层),单层厚度从数厘米至数米不等,菱锰矿中可见一定量(10%~15%)的粉砂级陆源碎屑,在菱锰矿层之间也多以炭质泥(页)岩为主。炭质泥(页)呈薄层状



图8 松桃西溪堡—江口天星障壁岛沉积层序及露头

Fig.8 The sedimentary sequences and outcrop of Songtao Xixipu-Jiangkou Tianxing barrier island

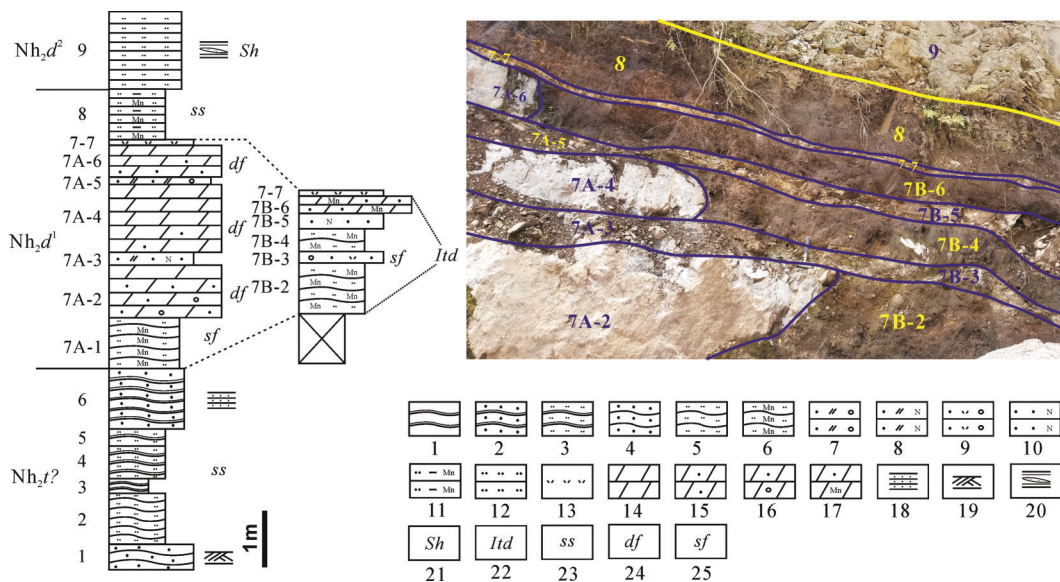


图9 松桃岩寨沟障壁岛沉积岩相组合

1—板岩;2—砂质板岩;3—粉砂质板岩;4—变砂岩;5—变质粉砂岩;6—含锰质变质粉砂岩;7—含砾白云质砂岩;8—白云质长石岩屑砂岩;9—含砾含凝灰质砂岩;10—长石岩屑砂岩;11—含锰质粉砂质泥岩;12—粉砂岩;13—火山凝灰岩;14—泥晶白云岩;15—砂质白云岩;16—含砾砂质白云岩;17—含锰砂质白云岩;18—平行层理;19—交错层理;20—透镜状层理;21—浅海陆棚相;22—潮间带;23—临滨;24—潮间云坪;25—潮间砂坪

Fig.9 The sedimentary sequences and outcrop of Songtao Yanzaigou barrier island

1—Slate; 2—Sandy slate; 3—Silty slate; 4—Meta-sandstone; 5—Meta-silts; 6—Mn-bearing meta-silts; 7—peddled dolomitic sandstone; 8—Dolomitic feldspar lithic sandstone; 9—Peddled tuffaceous sandstone; 10—Feldspar lithic sandstone; 11—Mn-bearing silty mudstone; 12—Silts; 13—Tuff; 14—dolomite; 15—Sandy dolomite; 16— Peddled sandy dolomite; 17—Mn-bearing sandy dolomite; 18—Parallel bedding; 19—Cross bedding; 20—Lenticular bedding; 21—Shallow shelf facies; 22—Tide zone; 23—Foreshore facies; 24—Dolomite flat in tide; 25—Sandy flat in tide

或块状不显层理,个别区段页理发育,混入一定量的粉砂级陆源碎屑。炭质页中黄铁矿极发育,多呈层状或透镜状,半层厚多为1 cm左右,推测与大塘坡组沉积成岩时期同时。在寨郎沟和大塘坡等地,大塘坡组一段底部可发育火山凝灰岩夹层,表明此时受火山活动影响,由于附近区域并没有发育火山熔岩类,推测本区远离火山喷溢口。在桃子坪钻孔内大塘坡一段菱锰矿 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 的平均值为 -5.5‰ ,含锰岩系总有机碳(TOC)含量及有机碳同位素($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$)的平均值分别为2.06%和 -32.23‰ ,至大塘坡组二段前者迅速变小为0.16%,后者则增大至 -30.35‰ ,该结果表明大塘坡组一段含锰岩系中有有机质极丰富,且其类型可为腐泥质的类有机质类型。大塘坡组一段炭质泥(页)岩中主要发育水平层理,在其底部有时可见粒序层理,表明在锰矿区

沉积作用以悬浮的重力作用为主。在锰矿坑道内,常可见大塘坡组一段发生极为强烈的成岩期后挠曲,形成层间同斜褶皱。以上所有沉积及构造特征结合前人(王萍等,2016)关于菱锰矿中黄铁矿硫同位素组成研究成果,表明大塘坡早期锰矿所在区域(聚锰盆地)的古海洋具有一定的深度,呈还原的、封闭状态下的局限环境。

5.2.4 铜仁—岑巩陆棚

该区域分布在松桃县城—松桃西溪堡—江口苗哨溪—江口坝盘水下隆起带的以东以南一侧。研究区内大塘坡组零星出露于地表,以铜仁万山区半溪剖面为例,该剖面大塘坡组一段为砂质重结晶(中粗晶)灰岩,厚度约3 m,大塘坡组二段为浅灰色粉砂质泥岩与泥岩组成,厚度约60 m。一段的碳酸盐岩类主要为中层状含砂质粗砾晶大理岩、含砂质

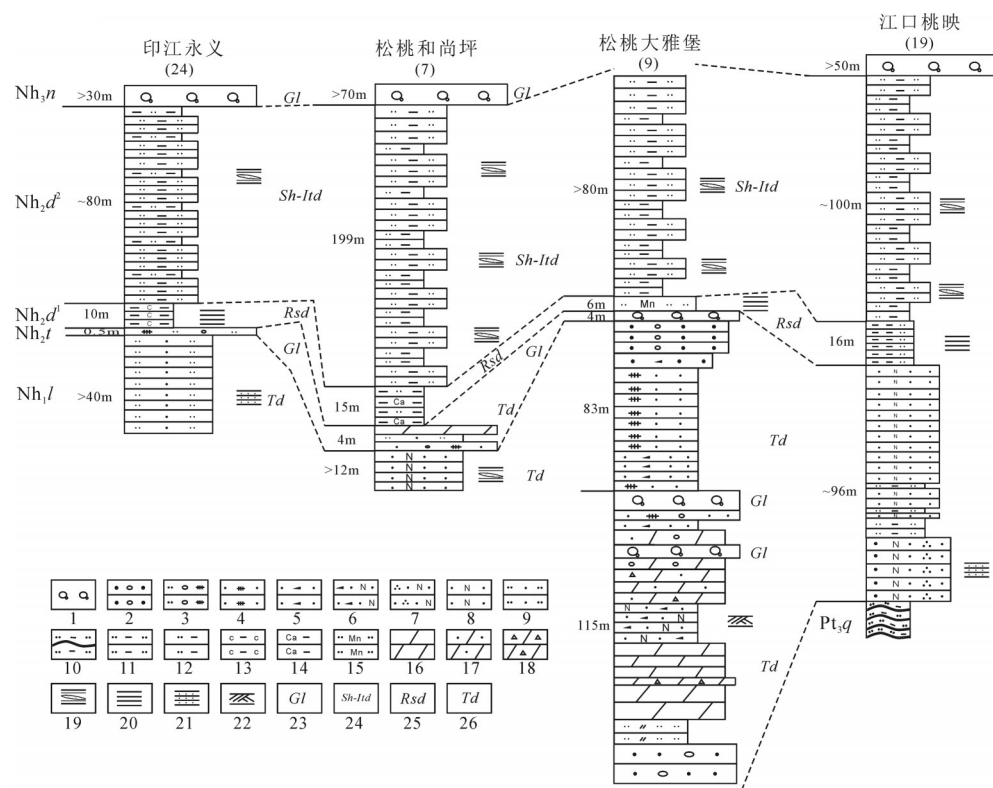


图10 松桃—江口地区障壁性半深水海盆沉积相序

1—冰碛砾岩;2—含砾粗砂岩;3—杂砾岩;4—杂砂岩;5—岩屑砂岩;6—长石岩屑砂岩;7—长石石英砂岩;8—长石砂岩;9—粉细砂岩;10—粉砂质泥质板岩;11—泥质粉砂岩;12—粉砂质泥岩;13—炭质泥岩;14—钙质泥岩;15—含锰质粉砂岩;16—泥晶白云岩;17—砂质白云岩;18—角砾状白云岩;19—透镜状层理;20—水平层理;21—平行层理;22—交错层理;23—冰海相;24—浅水陆棚—潮间带;25—半深水海盆相;26—潮坪带

Fig.10 The facies sequences of Songtao - Jiangkou barriered semi-deepwater basin

1-Tillites; 2-Peddled coarse sandstone; 3-Diamictite; 4-Graywak; 5-Lithic sandstone; 6-Feldspar lithic sandstone; 7-Feldspar quartz sandstone; 8-Feldspar sandstone; 9-Silty sandstone; 10-Silty-muddy slate; 11-Muddy silts; 12-Silty mudstone; 13-Carbonaceous mudstone; 14-Calcareous mudstone; 15-Mn-bearing silts; 16-Dolomite; 17-Sandy domolite; 18-Brecciated dolomite; 19-Lenticular bedding; 20-horizontal bedding; 21-parallel bedding; 22-Cross bedding; 23-Gacial marine facies 24-Shallow shelf - tide zone; 25-Barriered semi-deepwater basin; 26-Tide zone

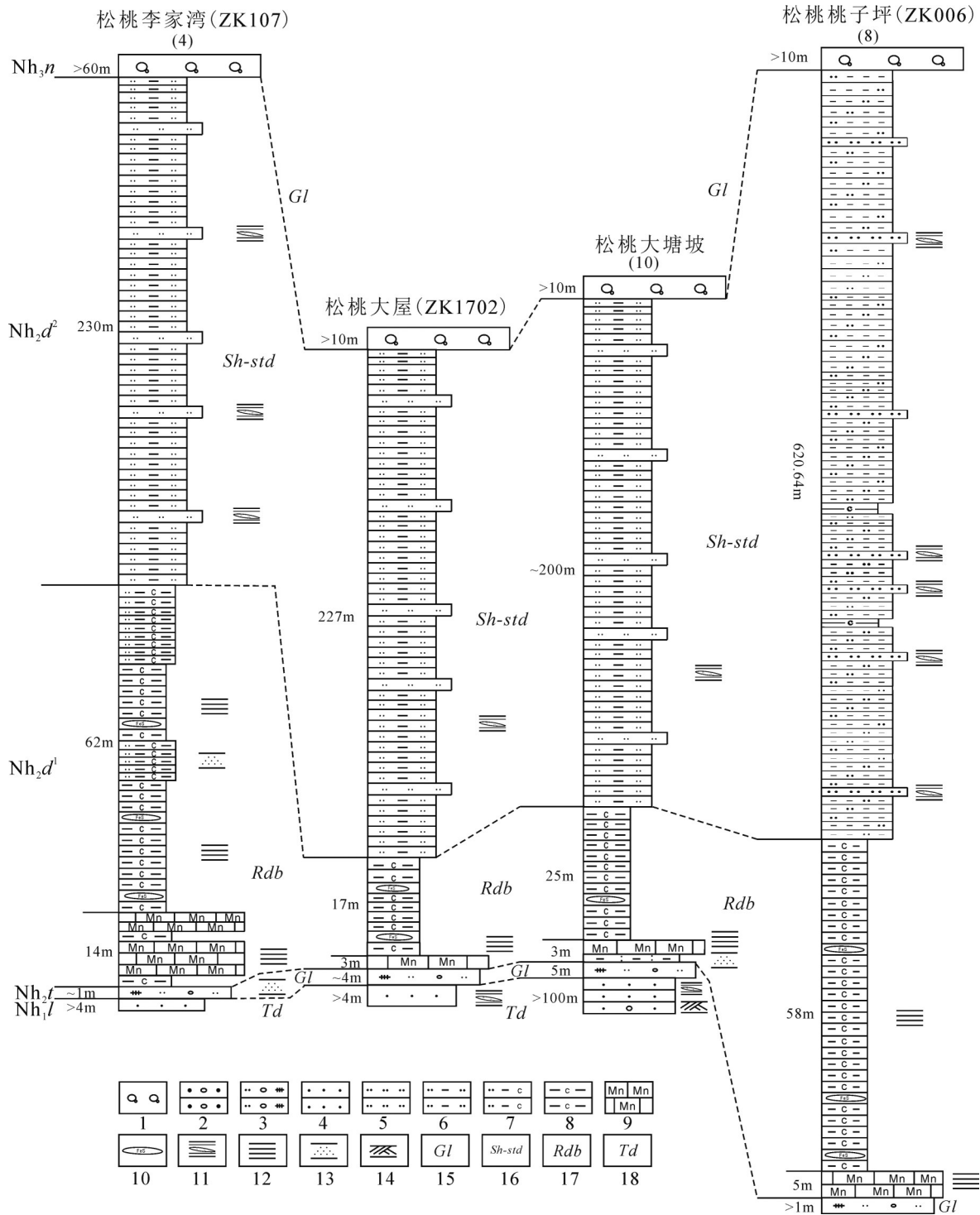


图11 松桃—江口地区障壁性深水海盆沉积相序

1—冰碛砾岩;2—含砾粗砂岩;3—杂砾岩;4—细砂岩;5—粉砂岩;6—泥质粉砂岩;7—炭质粉砂质泥岩;8—碳质泥(页)岩;9—菱锰矿(碳酸锰);10—黄铁矿层(透镜体);11—透镜状层理;12—水平层理;13—粒序层理;14—交错层理;15—冰川相;16—浅水陆棚—潮下带;17—障壁性深水海盆相;18—潮坪带

Fig.11 The facies sequences of Songtao - Jiangkou barred deepwater basin

1-Tillites; 2-Peddled coarse sandstone; 3-Diamictite; 4-Fine sandstone; 5-Silty sandstone; 6-Muddy silts; 7-Carbonaceous silty mudstone; 8-Carbonaceous mudstone (shale); 9-Rhodochrosite; 10-Pyrite bed; 11-Lenticular bedding; 12-Horizontal bedding; 13-Graded bedding; 14-Cross bedding; 15-Glacial facies; 16-Shallow shelf-subtidal zone; 17-Barrired deepwater basin; 18-Tide zone

中粗晶灰岩和细晶灰岩组成(图12),横向上与粉砂质泥岩过渡,沉积环境为浅海陆棚,在浪基面附接受大量陆源碎屑物质。根据资料,在半溪剖面的东侧万山黑岩脑、从江高增有厚度不大的黑色页岩系并菱锰矿产出,由于没有明显的障壁阻隔,推测其产出环境为陆棚内凹陷。

综上,黔东南地区南华纪大塘坡期的岩相古地理格局由大陆边缘障壁海岸沉积体的由潮坪相、障壁性局限海盆相、障壁岛相和冲溢扇相构成,陆棚体系则主要为浅海陆棚相(图13)。

6 讨论

黔东南松桃地区锰矿床以其巨大的体量而为世界瞩目,菱锰矿的聚集成矿过程是目前沉积型矿产领域的研究热点。通过汇集资料,笔者发现,现今绝大部分探明的“大塘坡式”锰矿床均分布在松桃县城—松桃西溪堡—江口苗哨溪—江口坝盘障壁后靠陆一侧的局限海盆中。虽然在铜仁万山、从江高增以及天柱县一带也见有同层位的锰矿出露,但些锰矿床无论规模亦或勘探前景都无法与黔东南

北松桃地区的锰矿床相提并论,这从某种程度上也暗示了该界线两侧的锰矿沉积成因环境有明显的差异(杨瑞东等,2010;和景阳和肖加飞,2016)。通过前述,已能认识到黔东南松桃地区锰矿床的沉积背景是处于陆缘碎屑海岸体系下,具体而言就是大陆边缘障壁海岸环境,障壁后侧会发育潮坪—湖环境。而在快速的区域伸展背景下(王剑等,2001),叠加冰川消融等事件(张启锐和储雪蕾,2006)。若次级同沉积断裂迅速发展,潟湖环境很快会演化成强补偿断陷式局限盆地,当盆地沉降达到一定深度后就为锰元素的聚集提供了地理空间和必要的还原环境。前人通过地球化学的相关证据已认识到大塘坡早期海水具有柱状分层性(许效松等,1991;王萍等,2016),即在发育障壁岛后侧相对封闭的环境下,由于冰川融化带来大量淡水效应,造成海平面急剧上升,一方面在局限盆地中形成密度分层,并形成海水化学分层(Li et al., 2012),这种分层柱状水体环境的形成对菱锰矿的沉积沉淀是极为重要的。

菱锰矿成矿过程中的成矿物质显然应与碳和锰的来源有关。目前观点主要有:碳(包括有机碳和无

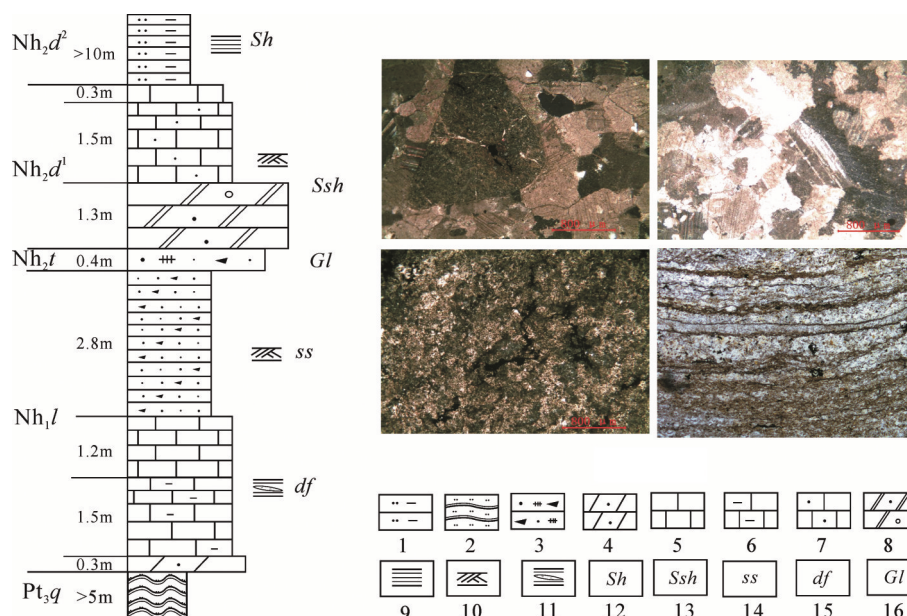


图12 铜仁万山半溪陆棚沉积相序特征

1—粉砂质泥岩;2—粉砂质板岩;3—杂砂岩;4—含砂质白云岩;5—泥晶灰岩;6—含泥质灰岩;7—含砂质中晶灰岩;8—粗—砾晶大理岩;9—水平层理;10—交错层理;11—透镜状层理;12—陆棚;13—浅海陆棚相;14—临滨;15—潮间云坪;16—冰海相

Fig.12 The facies sequences of Tongren Wanshan shelf

1—Silty mudstone; 2—Silty slate; 3—Greywacke; 4—Sandy dolomite; 5—Micrite; 6—Argillaceous limestone; 7—Sandy recrystallized limestone; 8—Coarse marble; 9—Horizontal bedding; 10—Cross bedding; 11—Lenticular bedding; 12—Shelf facies; 13—Shallow shelf facies; 14—Foreslope facies; 15—Dolomite flat in tide; 16—Gacial marine facies

机碳)的来源主要集中在藻类等微生物有机质降解(郑光夏、刘巽峰,1987;解启来等,1999;瞿永泽等,2018)和古天然气渗流(周琦等,2007)等。藻类等微生物在黔东南南华系大塘坡组一段的分布是较为普遍的,除在锰矿区发育外(王砚耕等,1985),笔者近来在黔东南非锰矿区的相应地层中也分析出疑源藻类化石。解启来等(1999)在分析有机质类型及来源时认为,有机质来源于藻类和细菌类微生物,当时的海水环境应是还原和低盐度的。瞿永泽等(2018)则认为有机质的降解是导致 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值明显偏负的重要原因,而淡水的输入是 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ 值的低负值的最主要原因。以上证据和观点也直接或间接地印证了在大塘坡早期黔东南松桃—江口地区南华纪,很可能处于冰期后陆缘障壁海岸环境下。

菱锰矿中 Mn^{2+} 的来源是沉积型锰矿床成矿过

程研究的难题之一(Okita and Shanks, 1992; Maynard, 2003),涉及大塘坡组中锰物质来源的讨论也持续不断,归纳起来有母岩风化(瞿永泽等,2018)、海底火山喷发来源(夏文杰和雷建喜,1989)、热水沉积来源(王砚耕,1990;陈多福和陈先沛,1992;杨瑞东等,2002;何志威等,2014)以及混合来源(余文超等,2016)等。笔者认为无论锰质是何种来源,与离散型陆缘障壁海岸环境都不冲突。低价态的 Mn^{2+} 是还原作用的结果,无论是沉积期的沉淀还是成岩早期的改造都可以在障壁性深水海盆的还原环境中完成(当然这个过程还需要深入研究)。而在障壁沙坝(水下隆起区)的区域常常可见含氧化锰的堆积物(沉积期亦或成岩期亦需要再研究,同时其也是划分大塘坡组的标志之一),显然是氧化环境中的产物。目前在黔东南区域大塘坡组

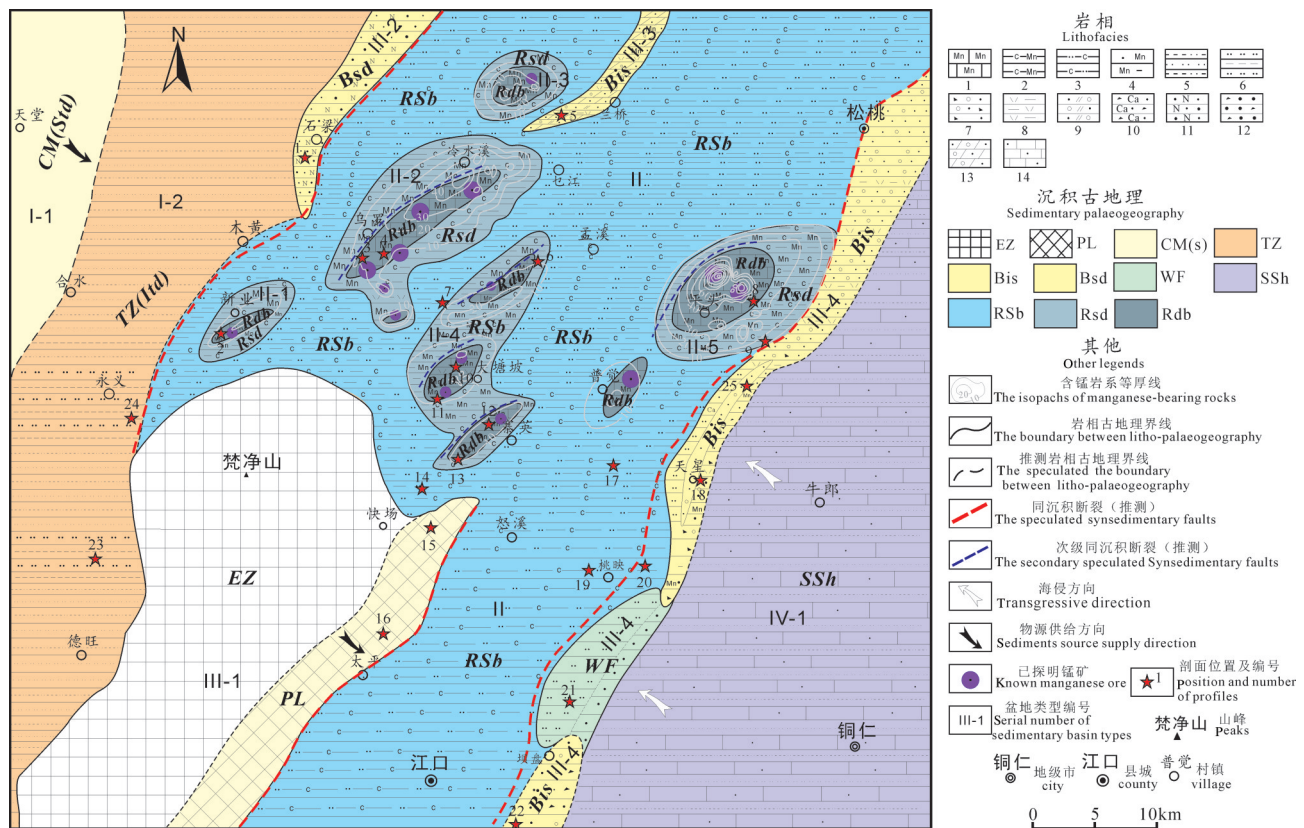


图13 黔东南松桃—江口地区大塘坡早期岩相古地理图

EZ—剥蚀区;PL—古陆(古隆起区);Bis—障壁岛;Fd—冲溢扇;CM(Std)—推测滨岸沼泽(潮上带);TZ—潮坪(潮间带);Bsd—障壁砂坝;SSb—浅水陆棚;Rsb—障壁性局限海盆;Rsd—障壁性半深水海盆;Rdb—障壁性深水海盆(聚锰盆地)岩相解释和盆地类型解释见正文

Fig.13 The lithofacies and palaeogeographic pattern of Early Datangpo stage in the Northeastern Guizhou Province

EZ—Erosion zone; PL—Palaeoland; Bis—Barriered Island; WF—Washover fan; CM—Coastal marsh (supratidal zone); TZ—Tidal zone (intertidal zone); Bsd—Barriered sand dam; SSb—Shallow water shelf; Rsb—Barriered restricted sea basin; Rsd—Barriered restricted semi-deep water basin; Rdb—Barriered restricted deep water basin

一段(盆地内和障壁上都发育)中仅见有极少量的凝灰岩层,并未见有大量熔岩出露,说明该区域远离火山喷发源区,是否有足够量的锰质形成规模巨大的锰矿值得商榷。

7 结 论

(1)黔东北大塘坡组砂岩碎屑锆石在0.6~1.2 Ga年龄范围内,包含800 Ma、~730 Ma两个峰值年龄,其下限年龄为~660 Ma。利用这个结论可对黔东北地区南华系及前南华系进行较为准确的地层年代学划分和对比。

(2)黔东北大塘坡早期沉积盆地呈“堑-垒”相间的构造格局。根据盆地的沉积大地构造背景,沉积盆地结构可识别出4个II级盆地、12个III级盆地以及11个次级(IV)聚锰盆地。

(3)黔东北松桃—江口地区大塘坡组一段划分出14种岩相类型。

(4)根据黔东北地区南华系大塘坡组一段的岩相及沉积充填特征,大塘坡早期由2类沉积体系、10类主要的岩相古地理单元构成大陆边缘障壁海岸沉积体系。

综合黔东北南华纪大塘坡期地质、地球化学、生物等情况,“大塘坡式”锰矿的成锰环境为冰期后处于伸展背景下的陆缘障壁海岸环境。

致谢:在野外地质工作中得到贵州地勘局一〇三地质大队潘文、叶飞、袁良军等同志的无私帮助;在本文撰写过程中得到中国地质调查局成都地质调查中心朱同兴、江新胜、王立全等老师给予的宝贵指导意见,两位审稿人对本文提出的极宝贵意见和建议,在此一并表示衷心感谢!

References

Chen Duofu, Chen Xianpei. 1992. Geological and geochemical characteristics of Songtao hydrothermal sedimentary manganese deposits, Guizhou[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10(4): 35–43 (in Chinese with English abstract)

Fan Junxuan, Peng Shanchi, Hou Xudong, Chen Dongyang. 2015. Official website of the International Commission on Stratigraphy and the release of the International Chronostratigraphic Chart (V2015/01)[J]. *Journal of Stratigraphy*, 39(2): 125–134 (in Chinese with English abstract)

Gao Linzhi, Dai Chungu, Liu Yanxue, Wang Min, Wang Xuehua, Chen

Jianshu, Ding Xiaozhong. 2010. Zircon SHRIMP U–Pb dating of the tuffaceous bed of Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication[J]. *Geology in China*, 37(4): 1071–1080 (in Chinese with English abstract)

He Jingyang, Xiao Jiafei. 2016. The controls of the palaeogeographic environments on manganese deposits in eastern Guizhou during the early Datangpoan (Nanhuan)[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 36(1):14–22 (in Chinese with English abstract)

He Zhiwei, Yang Ruidong, Gao Junbo, Cheng Wei, Liu Shuai, Zhang Fengwei. 2014. The geochemical characteristics and sedimentary environment of manganese-bearing rock series of Daotuo manganese deposit, Songtao County of Guizhou Province[J]. *Geological Review*, 60(5):1061–1075 (in Chinese with English abstract)

Ju Yongze, Xu Lingang, Mao Jingwen, Pan Wen, Zhan Pengcai, An Zhengze. 2018. Carbon and oxygen isotope characteristics and mineralization of black shale-hosted manganese carbonate of Datangpo Formation in Tongren, Guizhou Province[J]. *Mineral Deposits*, 37(1):50–56 (in Chinese with English abstract)

Li C, Love G D, Lyons T W, Scott C T, Feng L, Huang J, Chang H, Zhang Q, Chu X. 2012. Evidence for a redox stratified Cryogenian marine basin, Datangpo Formation, South China[J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 331–332: 246–256

Liu Xunfeng, Hu Zhaorong, Zeng Lixun, Zheng Guangxia, Wang Chengyuan. 1983. Origin and characteristics of sedimentary facies of Sinian manganese deposits in Guizhou[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1(4):106–118(in Chinese with English abstract)

Lu D B, Xiao J F, Lin S J, Liu A M, Mou S Y, Chen R, Yi C X, Wang X L. 2010. The Nanhuan section at Lijiapo Village, Congjiang County, Guizhou Province in Hunan–Guizhou–Guangxi adjacent region, China—a good section with sedimentary record in Nanhuan Large Glaciation age[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(8): 1143–1151 (in Chinese with English abstract)

Maynard J B. 2003. Manganiferous Sediments, rocks, and Ores[J]. *Treatise on Geochemistry*, 7:289–308.

Okita P M, Shanks III W C. 1992. Origin of stratiform sediment-hosted manganese carbonate ore deposits: Examples from Molango, Mexico, and Taojiang, China[J]. *Chemical Geology*, 99(1/3): 139–163.

Wang Fuxing, Chen Qiao, Zhao Xia, Liao Guangyu, Guo Ruihuan. 1988. Precambrian Algal Fossils from Southwestern China and Their Geological Significance[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1–297 (in Chinese with English abstract)

Wang Jian, Liu Baojun, Pan Guitang. 2001. Neoproterozoic rifting history of South China: A significance to Rodinia Breakup[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 21(3):135–145 (in Chinese with English abstract)

Wang Jian, Pan Guitang. 2001. Neoproterozoic South China Palaeocontinents: An overview[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27

- (5):818–825 (in Chinese with English abstract)
- Wang Ping, Zhou Qi, Du Yuansheng, Yu Wenchao, Xu Yuan, Qi Liang, Yuan Liangjun. 2016. Characteristics of Pyrite sulfur isotope of Mn deposit from Datangpo Formation in Songtao area, East Guizhou Province and its geological significance[J]. *Earth Science*, 41(12): 2031–2040 (in Chinese with English abstract)
- Wang Xuance, Li Xianhua, Li Zhengxiang, Li Qiuli, Tang Guoqiang, Gao Yuya, Zhang Qirui, Liu Yu. 2012. Episodic Precambrian crust growth: Evidence from U–Pb ages and Hf–O isotopes of zircon in the Nanhua Basin, central South China[J]. *Precambrian Research*, 222–223: 386–403
- Wang Yangeng, Wang Laixing, Zhu Shuncai, Xie Zhiqiang, Chen Dechang, Zheng Shufang, Chen Yulin, Zhu Hong. 1985. The Stratigraphy, Sedimentary Environment and Manganese-forming Process of Datangpo Formation in Eastern Guizhou[M]. Guiyang: People's Publishing House of Guizhou China, 1–92 (in Chinese with English abstract)
- Wang Yangeng, Xie Zhiqiang, Wang Laixing, Chen Dechang, Zhu Shuncai. 1986. The Stratigraphic sequence and origin of the depositional environments of the Tiesi'ao Formation in Eastern Guizhou and its adjacent areas[J]. *Regional Geology of China*, 4: 341–348 (in Chinese with English abstract)
- Wang Yangeng. 1990. Old hot brine manganese deposits in a shallow-sea rift basin: An example from the Sinian manganese deposits in the Wuling Mountain area[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 10(1): 38–45 (in Chinese with English abstract)
- Wang Zhengjiang, Wang Jian, Jiang Xinsheng, Sun Haiqing, Gao Tianshan, Chen Jianshu, Qiu Yanseng, Du Qiuding, Deng Qi, Yang Fei. 2015. New Progress for the Stratigraphic division and correlation of Neoproterozoic in Yangtze Block, South China[J]. *Geological Review*, 61(1): 1–22 (in Chinese with English abstract)
- Wang Zhengjiang, Xu Xiaosong, Du Qiuding, Yang Fei, Deng Qi, Wu Hao, Zhou Xiaolin. 2013. Discussion on the bottom of Nanhua System: Evidences from sedimentology and isotopic geochronology[J]. *Advances in Earth Science*, 28(4): 477–489 (in Chinese with English abstract)
- Xia Wenjie, Lei Jianxi. 1989. Sedimentary environment of the Datangpo Period, Early Sinian and genesis of the manganese ores in Songtao district, Guizhou province[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 16(1): 67–78 (in Chinese with English abstract)
- Xie Qilai, Chen Duofu, Chen Xianpei. 1999. Characteristics of sedimentary organic matter in Songtao Manganese Deposits, Guizhou[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(2): 280–284 (in Chinese with English abstract)
- Xu Xiaosong, Huang Huiqiong, Liu Baojun, Wang Yangeng. 1991. The sedimentology and origin of Early Sinian manganese deposits from the Datangpo Formation, South China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 9(1): 63–72 (in Chinese with English abstract)
- Yan Ruidong, Ouyang Ziyuan, Zhu Lijun, Wang Shijie, Jiang Lijun, Zhang Weihua, Gao Hui. 2002. A new understanding of manganese carbonate deposits in Early Sinian Datangpo Stage[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 22(4): 329–334 (in Chinese with English abstract)
- Yang Ruidong, Gao Junbo, Cheng Mali, Wei Huairui, Xu Lijun, Wen Xuefeng, Wei Xiaogui. 2010. Sedimentary geochemistry of manganese deposit of the Neoproterozoic Datangpo Formation in Guizhou Province, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(12): 1781–1790 (in Chinese with English abstract)
- Yin Chongyu, Wang Yangeng, Tang Feng, Wan Yusheng, Wang Ziqiang, Gao Linzhi, Xing Yusheng, Liu Pengju. 2006. SHRIMP II U–Pb zircon date from the Nanhuan Datangpo Formation in Songtao County, Guizhou Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(2): 273–278 (in Chinese with English abstract)
- Yu Wenchao, Du Yuansheng, Zhou Qi, Peng Touping, Wang Ping, Yuan Liangjun, Xu Yuan, Pan Wen, Xie Xiaofeng, Qi Liang. 2016. Provenance of Nanhuan Datangpo Formation manganese Mn deposit in Songtao Area, East Guizhou Province: Evidence from Sr Isotope[J]. *Earth Science*, 41(7): 1110–1120 (in Chinese with English abstract)
- Yu Wenchao, Du Yuansheng, Zhou Qi, Wang Ping, Yuan Liangjun, Xu Yuan, Pan Wen, Xie Xiaofeng, Qi Liang, Jiao Liangxuan. 2016. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating from the Nanhuan Datangpo Formation in Songtao Area, East Guizhou and its geological significance[J]. *Geological Review*, 62(3): 539–549 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qirui, Chu Xuelei. 2006. The stratigraphic classification and correlation of the Jiangkou Glaciation in the Yangtze Block and the stratotype section of the Nanhuan System[J]. *Journal of Stratigraphy*, 30(4): 306–314 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qirui. 2014. Comment on the age 780Ma at the Lower boundary of the Nanhuan Period[J]. *Journal of Stratigraphy*, 38(3): 336–339 (in Chinese with English abstract)
- Zheng Guangxia, Liu Xunfeng. 1987. The Algae Mineralization of the sedimentary Dialogite deposits of Sinian and its diagenetic succession, Guizhou Province[J]. *Geology of Guizhou*, 12(3): 339–350 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Chuanming, Tucker R, Xiao Shuhai, Peng Zhanxiong, Yuan Xunlai, Chen Zhe. 2004. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in South China[J]. *Geology*, 32(5): 437–440.
- Zhou Qi, Du Yuansheng, Qin Ying. 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 border area[J]. *Mineral Deposits*, 32(3): 457–466 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Qi, Du Yuansheng, Wang Jiasheng, Peng Jiaqiang. 2007. Characteristics and significance of Cold Seep Carbonates from the

- Datangpo Formation of the Nanhua Series in the Northeast Guizhou[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3): 339–346 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Qi, Du Yuansheng, Yuan Liangjun, Zhang Sui, Yu Wenchao, Yang Shengtang, Liu Yu. 2016. The structure of the Wuling Rift Basin and its control on the manganese deposit during the Nanhun Period in Guizhou–Hunan–Chongqing border area, South China. *Earth Science*, 41(2):177–188 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献:**
- 陈多福,陈先沛. 1992. 贵州省松桃热水沉积锰矿的地质地球化学特征[J]. *沉积学报*, 10(4):35–43.
- 樊隽轩,彭善池,侯旭东,陈冬阳. 2015. 国际地层委员会官网与《国际年代地层表》(2015/01版)[J]. *地层学杂志*, 39(2):125–134.
- 高林志,戴传固,刘燕学,王敏,王雪华,陈建书,丁孝忠. 2010. 黔东南地区下江群凝灰岩锆石年龄及其地层意义[J]. *中国地质*, 37(4): 1071–1080.
- 贵州省地质调查院. 2017. 中国区域地质志:贵州志[M]. 北京:地质出版社, 36–79.
- 何志威,杨瑞东,高军波,程伟,刘帅,张峰玮. 2014. 贵州松桃道坨锰矿含锰岩系地球化学特征和沉积环境分析[J]. *地质论评*, 60(5): 1061–1075.
- 和景阳,肖加飞. 2016. 贵州东部南华纪大塘坡早期古地理环境控锰作用探讨[J]. *沉积与特提斯地质*, 36(1):14–22.
- 解启来,陈多福,陈先沛. 1999. 贵州松桃锰矿沉积有机质特征研究[J]. *沉积学报*, 17(2):280–284.
- 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讨[J]. *沉积学报*, 1(4):106–118.
- 卢定彪,肖加飞,林树基,刘爱民,牟世勇,陈仁,易成兴,王兴理. 2010. 湘黔桂交界区贵州省从江县黎家坡南华系剖面新观察——一条良好的南华大冰期沉积记录剖面[J]. *地质通报*, 29(8): 1143–1151.
- 瞿永泽,徐林刚,毛景文,潘文,占朋才,安正泽. 2018. 贵州铜仁地区南华系大塘坡组黑色页岩型菱锰矿碳、氧同位素特征及锰矿成矿作用[J]. *矿床地质*, 37(1):50–56.
- 汪正江,王剑,江新胜,孙海清,高天山,陈建书,邱艳生,杜秋定,邓奇,杨菲. 2015. 华南扬子地区新元古代地层划分对比研究新进展[J]. *地质论评*, 61(1):1–22.
- 汪正江,许效松,杜秋定,杨菲,邓奇,伍皓,周小琳. 2013. 南华冰期的底界讨论:来自沉积学与同位素年代学证据[J]. *地球科学进展*, 28(4): 477–489.
- 王福星,陈乔,赵霞,廖光宇,郭瑞环. 1988. 中国西南前寒武纪藻类化石及其地质意义[M]. 重庆:重庆出版社, 1–297.
- 王剑,刘宝珺,潘桂棠. 2001. 华南新元古代裂谷盆地演化——Rodinia 超大陆解体的前奏[J]. *矿物岩石*, 21(3):135–145.
- 王剑,潘桂棠. 2009. 中国南方古大陆研究进展与问题评述[J]. *沉积学报*, 27(5):818–825.
- 王萍,周琦,杜远生,余文超,徐源,齐靓,袁良军. 2016. 黔东南松桃地区南华系大塘坡组锰矿中黄铁矿硫同位素特征及其地质意义[J]. *地球科学*, 41(12):2031–2040.
- 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, 1–92.
- 王砚耕,谢志强,王来兴,陈德昌,朱顺才. 1986. 贵州东部及邻区铁丝网组层序及沉积环境成因[J]. *中国区域地质*, 4:341–348.
- 王砚耕. 1990. 一个浅海裂谷盆地的古老热水沉积锰矿[J]. *岩相古地理*, 10(1):38–45.
- 夏文杰,雷建喜. 1989. 贵州松桃地区早震旦世大塘坡期沉积环境及锰矿成因[J]. *成都地质学院院报*, 16(1):67–78.
- 许效松,黄慧琼,刘宝珺,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):63–72.
- 杨瑞东,高军波,程玛莉,魏怀瑞,许利群,文雪峰,魏晓贵. 2010. 贵州从江高增新元古代大塘坡组锰矿沉积地球化学特征[J]. *地质学报*, 84(12):1781–1790.
- 杨瑞东,欧阳自远,朱立军,王世杰,姜立君,张位华,高慧. 2002. 早震旦世大塘坡期锰矿成因新认识[J]. *矿物学报*, 22(4):329–334.
- 尹崇玉,王砚耕,唐烽,万渝生,王自强,高林志,邢裕盛,刘鹏举. 2006. 贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩锆石 SHRIMP II U–Pb 年龄[J]. *地质学报*, 80(2): 273–278.
- 余文超,杜远生,周琦,彭头平,王萍,袁良军,徐源,潘文,谢小峰,齐靓. 2016. 黔东南松桃南华系大塘坡组锰矿层物源:来自 Sr 同位素的证据[J]. *地球科学*, 41(7):1110–1120.
- 余文超,杜远生,周琦,王萍,袁良军,徐源,潘文,谢小峰,齐靓,焦良轩. 2016. 黔东南松桃地区大塘坡组 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义. *地质论评*, 62(3):539–549.
- 张启锐. 2014. 关于南华系底界年龄 780 Ma 数值的讨论[J]. *地层学杂志*, 38(3):336–339.
- 张启锐,储雪蕾. 2006. 扬子地区江口冰期地层的划分对比与南华系层型剖面[J]. *地层学杂志*, 30(4):306–314.
- 郑光夏,刘巽锋. 1987. 贵州震旦纪沉积菱锰矿床的藻类成岩作用及其成岩序列[J]. *贵州地质*, 12(3):339–350.
- 郑永飞. 2003. 新元古代岩浆活动与全球变化[J]. *科学通报*, 48(16): 1705–1720.
- 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[J]. *矿床地质*, 32(3):457–466.
- 周琦,杜远生,王家生,彭加强. 2007. 黔东南地区南华系大塘坡组冷泉碳酸盐岩及其意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(3):339–346.
- 周琦,杜远生,袁良军,张遂,余文超,杨胜堂,刘雨. 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[J]. *地球科学*, 41(2):177–188.