

# 中上扬子地区南华系大塘坡组沉积期岩相古地理 及对油气成藏的指示

宋腾<sup>1,2</sup>, 林拓<sup>2</sup>, 李飞<sup>2</sup>, 李浩涵<sup>2</sup>, 吴海<sup>1</sup>, 段轲<sup>3</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 3. 湖北省地质调查院, 湖北 武汉 430034)

**提要:**【研究目的】中上扬子地区在新元古代南华纪中期发育大塘坡组海相黑色含锰碳质页岩, 长期以来作为锰矿层被广泛关注, 但其油气地质特征研究较少。本文从油气地质角度, 对大塘坡组岩相古地理及其对油气成藏的指示作用进行阐述, 以对南方地区油气调查进行指导。【研究方法】通过野外地质调查和资料收集, 采用单井分析、连井对比、岩相古地理图编制等方法, 结合烃源岩特征分析、储层分析等实验测试手段, 对大塘坡组沉积特征和油气地质条件进行了梳理, 并对其烃源岩特征和潜在油气组合进行了分析。【研究结果】大塘坡组形成于间冰期, 沉积过程受拉张裂陷过程控制, 可划分出 2 大类沉积相、7 类沉积亚相及若干微相, 整个沉积期构成一个完整的海侵—高位—海退沉积旋回; 大塘坡组最具有油气资源潜力的相带为局限陆棚亚相和潟湖亚相, 主要分布在大塘坡组一段, 有机地球化学指标特征好, 为优质烃源岩。【结论】大塘坡组一段具有良好的生烃潜力和页岩气发育潜力, 松桃、花垣、秀山、湘潭、鹤峰等地区具有页岩气发育有利条件, 为潜在页岩气发育区。以大塘坡组为烃源岩发育多种成藏组合, 渝黔湘交界的秀山、松桃、花垣地区, 源储配置条件较好, 为潜在常规油气发育区。

**关键词:** 页岩气; 新元古界; 大塘坡组; 岩相古地理; 烃源岩; 成藏组合; 油气勘查工程; 中国南方

**创新点:** 阐述了南方地区油气调查潜在油气层系成藏机制: (1) 系统收集南华系大塘坡组剖面和钻孔资料, 从油气地质角度开展了梳理分析, 确定了最具油气资源潜力的沉积相类型; (2) 开展了大塘坡组生烃潜力、页岩气发育潜力和成藏条件分析, 优选了潜在油气发育区, 指示了油气调查方向。

## Lithofacies paleogeography in the depositional period of the Datangpo Formation of Nanhua System in the Middle and Upper Yangtze Region, SW China and its indication of hydrocarbon accumulation

SONG Teng<sup>1,2</sup>, LIN Tuo<sup>2</sup>, LI Fei<sup>2</sup>, LI Haohan<sup>2</sup>, WU Hai<sup>1</sup>, DUAN Ke<sup>3</sup>

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China*; 2. *China Geological Survey & Oil and Gas Survey, Beijing 100083, China*; 3. *Hubei Geological Survey, Wuhan 430034, China*)

**Abstract:**【Objective】Marine black manganese-bearing carbonaceous shale of Datangpo Formation was generally developed in the mid-Neoproterozoic Nanhua period in the Middle-Upper Yangtze Region, South China, which has been widely concerned as a manganese deposit for a long time, but with little attention to its petroleum geological characteristics. This paper expounds the lithofacies paleogeography of the Datangpo Formation and its indication of oil and gas accumulation, so as to guide the oil and gas investigation in the Southern China.

【Methods】Through field investigation and data collection on the Datangpo Formation, the oil and gas geological conditions, the source rock characteristics and hydrocarbon accumulation assemblage, especially lithofacies and paleogeography, were systematically analyzed by methods of single well analysis, continuous well comparison,

基金项目: 中国地质调查局项目(编号: DD20190088)资助。

作者简介: 宋腾, 男, 1988 年生, 博士生, 工程师, 主要从事页岩气地质调查和选区评价工作; E-mail: songteng@mail.cgs.gov.cn。

通讯作者: 林拓, 男, 1984 年生, 高级工程师, 主要从事页岩气地质调查与资源评价工作。E-mail: lintuo@mail.cgs.gov.cn。

lithofacies paleogeographic map compilation, etc., combined with source rock characteristic analysis, reservoir analysis and other experimental testing methods. **【Results】** The Datangpo Formation was formed during the interglacial period, and the depositional process was controlled by the extensional rifting process. Its sedimentary facies can be divided into two types, seven subtypes and several microfacies. The entire depositional period constitutes a complete transgressive-Highstand-Regressive sedimentary cycle; the most potential facies belts for oil and gas resources in the Datangpo Formation are limited shelf subfacies and lagoon subfacies, mainly distributed in the first member, with good organic geochemical index characteristics, and are high-quality source rocks.

**【Conclusions】** The first member of the Datangpo Formation has good hydrocarbon generation and shale gas development potential. Songtao, Huayuan, Xiushan, Xiangtan, Hefeng and other areas at the junction of Hunan, Chongqing and Guizhou Province have favorable conditions for shale gas development and are potential shale gas development areas. With the Datangpo Formation as the source rock, a variety of potential reservoir-forming assemblages can be formed. The Xiushan, Songtao and Huayuan areas at the junction of Chongqing, Guizhou and Hunan Province have good source-reservoir configuration conditions and are potential conventional oil and gas development areas.

**Key words:** Neoproterozoic; The Datangpo Formation; lithofacies paleogeography; source rock; accumulation assemblage; Shale gas geological survey project in Southern China

**Highlights:** This article expounds the accumulation mechanism of potential oil and gas strata for oil and gas investigation in southern China: (1) This article had collected the profiles and drilling data of the Datangpo Formation of the Nanhua System systematically, conducted a carding analysis from the perspective of oil and gas geology, determined the type of sedimentary facies with the most potential for oil and gas resources, analyzed the hydrocarbon generation and shale gas developmental potential of the Datangpo Formation. (2) Based on the analysis of gas development potential and accumulation conditions, the potential oil and gas development areas were selected and the direction of oil and gas investigation was indicated.

**About the first author:** SONG Teng, male, born in 1988, engineer, engaged in shale gas geological survey and regional evaluation work. E-mail: songteng@mail.cgs.gov.cn

**About the corresponding author:** LIN Tuo, male, born in 1984, senior engineer, engaged in shale gas geological survey and resource evaluation work. E-mail: lintuo@mail.cgs.gov.cn

**Fund support:** Supported by the project of China Geological Survey (No.DD20190088).

## 1 引言

元古宇是近年来全球油气勘探和研究的热点之一。我国三大克拉通均发育元古宇烃源岩,其中扬子克拉通主要发育中元古界神农架群郑家垭组、新元古界南华系大塘坡组和震旦系陡山沱组 3 套烃源岩,三者构造演化、沉积环境、成烃特征等方面具有诸多相似之处(汪泽成等, 2014; 赵文智等, 2019)。目前针对震旦系陡山沱组的油气调查和研究已有一定进展,并在鄂西宜昌等地区获得油气发现,证实该地层是一套良好的烃源岩和页岩气层(翟刚毅等, 2017; 汪泽成等, 2019),而对大塘坡组和郑家垭组的油气调查和研究较为缺乏,制约了进一步的油气资源评价和有利区优选。

大塘坡组在扬子东南缘广泛发育,长期以来被作为锰矿产层被广泛关注,相关研究多集中在锰矿成因与成矿模式(周琦等, 2013; 杜远生等, 2015)、锰矿地球化学特征与形成环境(朱祥坤等, 2013; 马志鑫等, 2016; 赵志强等, 2019)等固体矿产领域,对其油气地质和资源潜力则缺乏系统分析和研究。本文以中上扬子地区南华系大塘坡组为研究对象,以大塘坡组沉积期岩相古地理特征为重点,对其油气成藏条件进行了梳理,以为油气资源调查和有利区优选提供依据。

## 2 地质背景

新元古代早期，在罗迪尼亚（Rodinia）超级大陆裂解及华南地块区域伸展活动背景下，扬子克拉通东南缘发生幕式裂陷过程，形成新元古代—早古生代华南裂谷系（图 1），内部发育多个次级裂谷盆地，整体呈北东—南西向条带状分布（王剑等，2001，2012；Wang et al., 2006；李献华等，2008）。与此同时，全球范围内至少发生了 2 次大规模的“冰川事件”，分别发生在约 780Ma 的 Sturtian 冰期和约 654Ma 的 Marinoan 冰期（Evants, 2000；Karen, 2003），在扬子地区分别称为“长安冰期”和“南沱冰期”。大塘坡组形成于两次大冰期之间的间冰期，为一套受拉张裂陷过程控制的含锰碳酸盐岩和黑色碳质页岩陆源碎屑沉积组合。

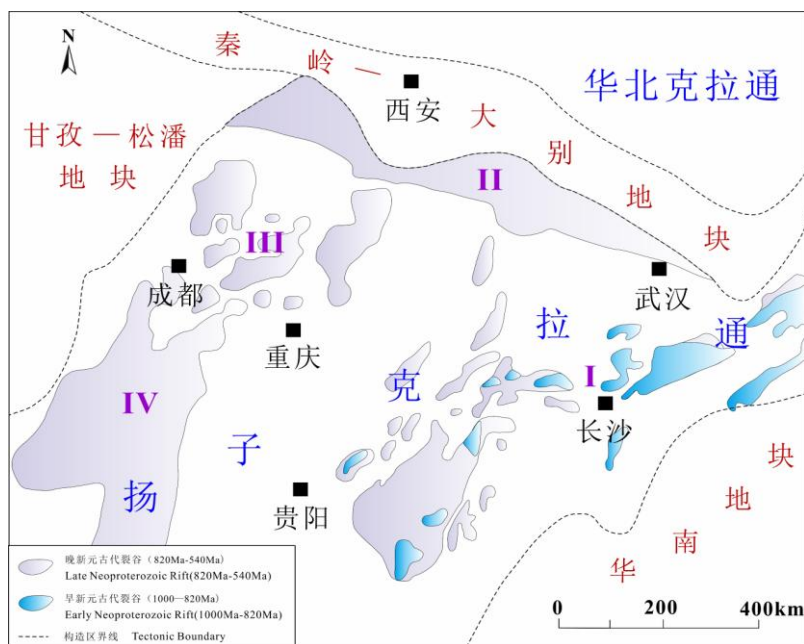


图 1 扬子及周边地区新元古代裂谷分布图（修改自万天丰，2011；管树巍等，2017；杜远生等，2018）

I-鄂湘黔桂裂谷系；II-扬子北缘裂谷系；III-川中裂谷系；IV-康滇裂谷系

Fig.1 Distribution map of Neoproterozoic rift valleys in Yangtze and surrounding areas, SW China (Modified from Wan Tianfeng, 2011; Guan Shuwei et al., 2017; Du Yuansheng et al., 2018)

I-Hubei-Hunan-Guizhou-Guangxi Rift System; II-Northern Yangtze Rift System; III-Central Sichuan Rift System; IV-Tibet-Yunnan Rift System

## 3 地层特征

### 3.1 地层定义及分布

大塘坡组最早命名于黔东北地区，以贵州松桃两界河大塘坡剖面为标准，定义为“一套碳锰质和细屑沉积，以底部黑色碳质岩或锰质岩与下伏杂砂岩分界”（尹崇玉等，2006）。通常分为两段或三段，其中下段以黑色碳质页岩为主，夹菱锰矿及凝灰岩，局部夹有白云岩透镜体，含有藻类、菌类和凝源类化石，富含有机质和黄铁矿；中段、上段为粉砂质页岩、粉砂质黏土岩，颜色较浅，碳、锰含量低。

大塘坡组主要分布在湘、黔、渝、鄂等地区，与上下地层接触关系见图 2。在桂北地区，相变为一套上部含砾的岩屑长石石英砂岩、含砾石英砂岩，对应富禄组上段（陈建书等，2016）。在湘中地区，因为锰矿主产层，被称为湘锰组。在黔中地区，相变为一套紫红色粉砂岩和泥岩河湖相沉积，称为马路坪组（张予杰等，2020）。



阳杨树坳; 17-鹤峰走马; 18-沅陵军大坪; 19-桃源马金洞; 20-安化龙塘; 21-宁乡菜花田; 22-湘锰锰矿; 23-江口堰溪; 24-印江永义; 25-松桃石塘锰矿; 26-松桃道陀; 27-花垣两河乡; 28-花垣民乐; 29-古丈鬼溪; 30-古丈烂泥田; 31-遵义松林六井; 32-开阳马路坪; 33-余庆采丁; 34-石阡窑上; 35-石阡龙家屋基; 36-镇远松柏洞; 37-剑河八卦河; 38-湘西黔阳; 39-怀化新路河

Fig.3 Distribution map of Neoproterozoic outcropping areas and profile points in the middle-upper Yangtze area, SW China

Profile (drill) name: 1-Liaoyagai, Youyang, Chongqing; 2-Xiaochayuan, Xiushan, Chongqing; 3-Xiaoxi, Xiushan, Chongqing; 4-Bijiashan, Xiushan, Chongqing; 5-Lanqiao, Xiushan, Chongqing; 6-Datangpo, Songtao, Guizhou; 7-Yangjiawan, Songtao, Guizhou; 8-Zhaiying, Songtao, Guizhou; 9-Taoying, Jiangkou, Guizhou; 10-Shizhuxi, Wanshan, Guizhou; 11-Banqiao, Xinhuang, Hunan; 12-Tuokou, Hongjiang, Hunan; 13-Mahuanggou, Shennongjia, Hubei; 14-Qinglinkou, Zigui, Hubei; 15-Liuxi, Changyang, Hubei; 16-Yangshuao, Changyang, Hubei; 17-Zouma, Hefeng, Hubei; 18-Jundaping, Yuanling, Hunan; 19-Majindong, Taoyuan, Hunan; 20-Longtang, Anhua, Hunan; 21-Caihuatian, Ningxiang, Hunan; 22-Manganese ore, Ningxiang, Hunan; 23-Yanxi, Jiangkou, Guizhou; 24-Yongyi, Yinjiang, Guizhou; 25-Shitang manganese ore, Songtao, Guizhou; 26-Daotuo, Songtao, Guizhou; 27-Lianghe, Huayuan, Hunan; 28-Minle, Huayuan, Hunan; 29-Guixi, Guzhang, Hunan; 30-Lannitian, Guzhang, Hunan; 31-Songlin Well6#, Zunyi, Guizhou; 32-Maluping, Kaiyang, Guizhou; 33-Duoding, Yuqing, Guizhou; 34-Yaoshang, Shiqian, Guizhou; 35-Longjiawuji, Shiqian, Guizhou; 36-Songbaidong, Zhenyuan, Guizhou; 37-Baguahe, Jianhe, Guizhou; 38-Qianyang, Xuangxi, Hunan; 39-Xinluhe, Huaihua, Hunan

## 4 沉积特征与岩相古地理

### 4.1 沉积体系及有利相带特征

大塘坡组沉积期, 研究区在拉张断裂形成的“垒堑相间”格局之上, 充填了一套陆源碎屑沉积, 形成了隆起和凹陷相间的岩相古地理格局。大塘坡组整体可划分出 2 大类沉积相、7 类沉积亚相及若干微相, 整个沉积期构成一个完整的海侵—高位—海退沉积旋回, 其中海侵体系域 (TST) 对应大塘坡组下段 (一段), 高位体系域 (HST) 对应大塘坡组中上段 (二段、三段)。

临近古陆或古岛的陆缘地区发育滨岸相, 根据岩石组合、沉积构造、水体能量、古地貌等特征可分为海滩、潮坪、潟湖、障壁岛等亚相 (图 5, 表 1)。其中潟湖多由陆地边缘断陷深度较小的地堑发展演化而成, 常见含碳的粉砂质泥岩、钙 (泥) 质粉砂岩, 局部夹透镜状菱锰矿, 是滨岸相带内油气潜力较好的亚相类型。

离岸较远的陆架区发育陆棚相, 以浅水陆棚为主。受同沉积断裂影响, 局部地区垒堑分异较大, 断陷深度较大的地堑区逐渐演化为局限陆棚, 水体深度大, 沉积沉降幅度大, 水体循环受内部隆起和边缘隆起限制, 形成了低能、阻滞、闭塞的沉积环境。由于同沉积断裂具有阶梯状沉降特征, 常发育多个沉积中心。在沉积中心 (盆洼) 发育含锰碳质页岩和菱锰矿, 具有“碳锰共存”的沉积特征, 具有较好的油气发育潜力。

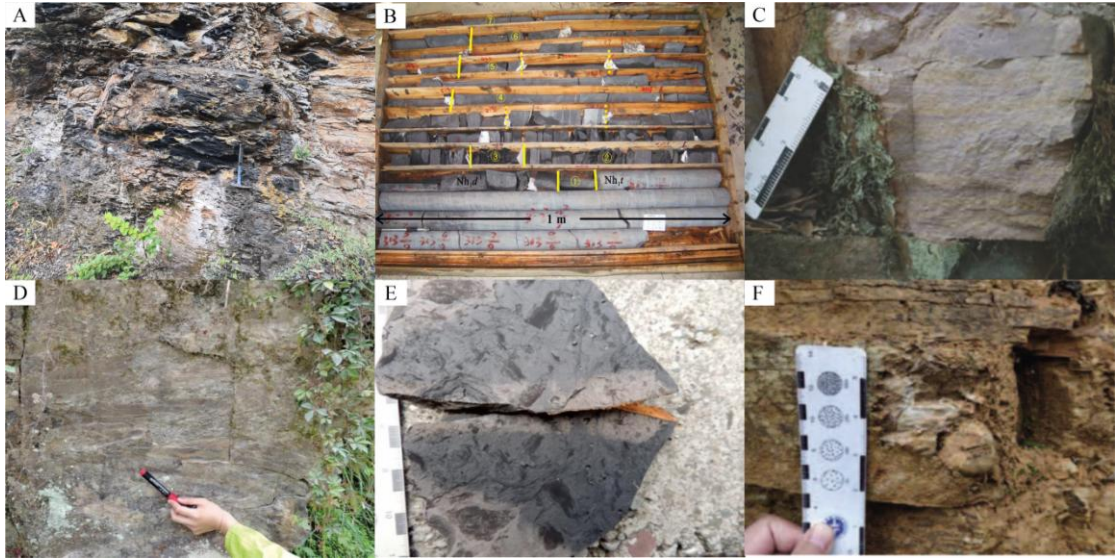


图4 中上扬子地区大塘坡组露头及岩心特征

A-大塘坡组一段碳质页岩，夹于南沱组与古城组冰碛砾岩之中，厚度小于5m，局限陆棚相，神农架宋洛蚂蟥沟；B-贵州松桃道陀 ZK001 钻孔大塘坡组一段岩心，局限陆棚相：①黑色碳质页岩，见星点状黄铁矿；②黑色、钢灰色条带状菱锰矿；③黑色碳质页岩、泥岩、硅质岩；④黑色块状菱锰矿夹碳质页岩，见星点状黄铁矿；⑤黑色含锰碳质页岩；⑥黑色块状菱锰矿夹黑色碳质页岩，见星点状黄铁矿；⑦黑色碳质页岩；C-大塘坡组一段，粉砂岩发育脉状层理，潮坪相，贵州江口堰溪；D-大塘坡组一段，细砂岩中发育交错层理，浅水陆棚相，汉中钢厂；E-大塘坡组一段，碳质页岩中见宏体化石，局限陆棚相，神农架宋洛蚂蟥沟；F-大塘坡组一段含砾粉砂岩，海滩及障壁岛相，贵州松桃西溪堡（B图据安正泽，2014；C、F图据张予杰，2020，D、E图据张高冲，2020）

Fig.4 Characteristics of Outcrops and Cores of the Datangpo Formation in the Middle and Upper Yangtze Region, SW China

A-carbonaceous shale of the first member of the Datangpo Formation, sandwiched between the moraine conglomerate of the Nantuo Formation and Gucheng Formation, with a thickness of less than 5m, limited shelf facies, Songluo Majigou, Shennongjia; B-ZK001 of Songtao Daotuo manganese ore, Guizhou; The core of the first member of the Datangpo Formation, limited shelf facies; ①The black carbonaceous shale showed star-shaped pyrite; ②The black and steel gray banded rhodochrosite; ③Black carbonaceous shale, mudstone, siliceous rock; ④Black massive rhodochrosite with carbonaceous shale, with star-shaped pyrite; ⑤Black manganese-bearing carbonaceous shale; ⑥Black massive rhodochrosite with black carbon shale and star-shaped pyrite; ⑦black carbonaceous shale; C- the first member of the Datangpo Formation, siltstone developed vein bedding, tidal flat facies, Yanxi, Jiangkou, Guizhou; D- The first member of Datangpo Formation, with cross bedding developed in fine sandstone, shallow-water shelf facies, Hanzhong Steel Works; E-The first member of Datangpo Formation, macrofossils are seen in carbonaceous shale, limited shelf facies, Mahuanggou, Songluo, Shennongjia, Hubei; F-The first Member of the Datangpo Formation, gravel-bearing siltstone, beach and barrier island facies, Xixibao, Songtao, Guizhou; (image B according to An Zhengze, 2014; images C and F according to Zhang Yujie, 2020, images D and E according to Zhang Gaochong, 2020)

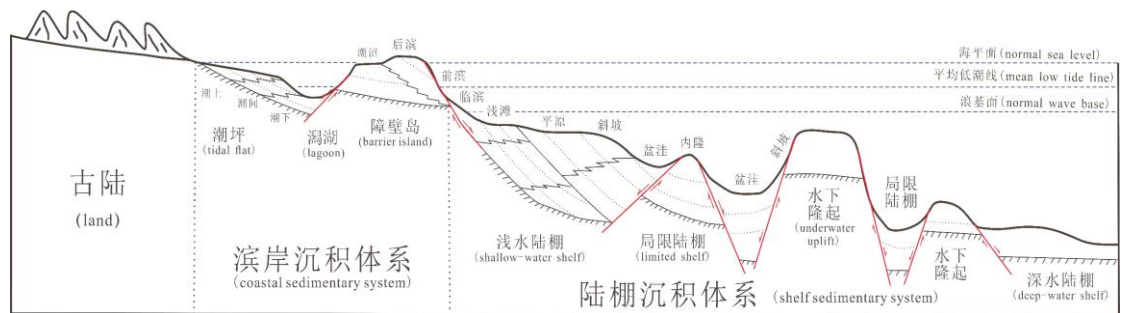


图5 中上扬子地区大塘坡组沉积体系划分图

Fig.5 Sedimentary system division map of Datangpo Formation in the middle-upper Yangtze area, SW China

表 1 中上扬子地区大塘坡组沉积体系划分表

Table 1 Sedimentary System Classification of Datangpo Formation in Middle-Upper Yangtze Region, SW China

相	亚相	微相	岩石组合	沉积构造	水体能量
海滩及障壁岛	后滨		中粗砂岩、含砾砂岩	小型交错层理	低能
	前滨		含砾中砂岩、石英砂岩	交错层理、冲洗层理	中高能
	临滨		中细砂岩、粉砂岩	交错层理、水平层理	中低能
滨岸	潮上带		泥岩、粉砂质泥岩、盐岩	暴露构造	低能
	潮间带		粉砂岩、粉砂质泥岩、砂质泥岩	脉状层理、波状层理、透镜状层理	中低能
	潮下带		粗粉砂岩夹泥岩、中粗砂岩	大型交错层理	中高能
潟湖	/		粉砂质泥岩、钙(泥)质粉砂岩、含碳锰粉砂质泥岩、菱锰矿	水平层理, 小型韵律层理	低能
浅水	浅滩		细砂岩、石英砂岩、岩屑石英砂岩	大型交错层理、浪成层理	中高能
	陆棚平原		砂质页岩、粉砂质泥岩、含钙粉—细砂岩、含砂灰(云)岩、泥晶灰(云)岩	小型交错层理、水平层理	中低能
陆棚局限	斜坡		含粉砂碳质页岩、含锰碳质页岩、含锰云(灰)岩	牵引流构造	低能
	盆洼		菱锰矿、碳质页岩、含锰碳质页岩、沉凝灰岩	水平纹层、页理	
	内隆		含锰碳粉砂质页岩、含锰白云岩	水平层理	
水下隆起	障壁砂坪		中细砂岩、粉砂岩	交错层理、水平层理	中低能
	障壁云坪		含砾白云质砂岩、含砾砂质白云岩、含砂白云岩	水平层理	
深水陆棚	/		钙质泥岩、硅质泥岩	浊流构造	低能

## 4.2 沉积相与代表剖面

### 4.2.1 古陆(岛)

大塘坡组沉积缺失, 表现为南华系上统南沱组冰碛岩与下统莲沱组(鄂西)、清水江组(黔东)或澄江组(黔中)假整合接触, 存在沉积间断。古陆主要发育在鄂西、渝东南、黔中一带, 古岛主要发育在梵净山、黔阳、吉首等地, 为大塘坡组沉积物源区。

### 4.2.2 海滩及障壁岛

无障碍岛遮挡、海水循环良好的古陆、古岛周缘及障壁岛外缘多发育海滩相, 沿海岸线呈带状分布, 可分为后滨、前滨、临滨等亚相。由陆向海依次发育含砾砂岩、中细砂岩、石英砂岩、粉砂岩等, 粒度由粗变细, 可见交错层理、冲洗层理、水平层理, 局部可见波浪及暴露构造, 反映水位变化频繁。

#### 4.2.3 潮坪

受陆地和障壁岛围限的平缓海岸多发育潮坪相，可见以滨岸沼泽为主的潮上带、发育脉状层理的粉砂岩与粉砂质泥岩互层的潮间带，及以粗粉砂夹泥质沉积为主的潮下带，反映水体能量由弱到强的变化。

#### 4.2.4 潟湖

潟湖多由陆地边缘断陷深度较小的地堑发展演化而成，常见含碳的粉砂质泥岩、钙(泥)质粉砂岩，局部夹透镜状菱锰矿。球状蓝藻等广盐度浮游生物繁盛，发育水平层理和小型韵律层理，局部有弱风暴搅动的标志，整体为循环较差的低能还原环境。沉积范围受海平面和沉积物堆积速率影响较大，常出现潮坪—潟湖的频繁变化。典型剖面如长阳古城大塘坡组二段（据谭满堂等，2019），如图 6 所示。障壁岛为邻近滨岸的地形高部位，常与潟湖共同发育，其内缘主要发育潮坪相，外缘主要发育海滩相。

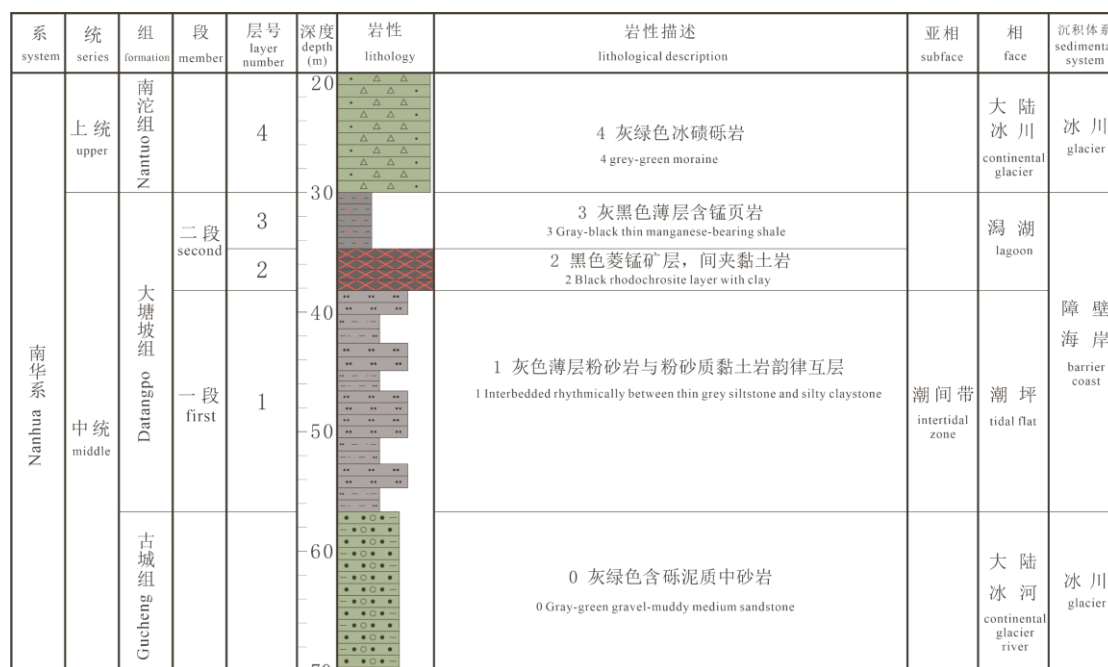


图 6 长阳古城大塘坡组沉积相剖面（1:1000）

Fig.6 Sedimentary facies profile of the Datangpo Formation in Gucheng section, Changyang, Hubei(1:1000)

#### 4.2.5 浅水陆棚

可分为浅滩、平原等亚相。浅滩亚相紧邻滨岸分布，发育细砂岩、石英砂岩、岩屑石英砂岩等岩石类型，碎屑颗粒磨圆度高，常见大型交错层理、浪成层理，反映水体能量强。平原亚相地形平坦、水体相对深，发育泥晶灰（云）岩、含砂质灰（云）岩，横向上常过渡为粉砂质泥岩、砂质页岩、含钙粉—细砂岩，整体为开阔安静的沉积环境。典型剖面如松桃普觉 ZK1408 钻孔大塘坡组二段（据齐靓等，2015），如图 7 所示。

#### 4.2.6 局限盆地

多为远离陆地的断陷深度较大的地堑发展演化而成，伴生的同沉积断裂常具阶梯状沉降特征，发育多个沉积中心。水体深度大，沉积沉降幅度大，水体循环受内部隆起和边缘隆起限制，形成了低能、阻滞、闭塞的沉积环境。沉积中心（盆洼）多发育含锰碳质页岩和菱锰矿，具有“碳锰共存”的沉积特征，向外（斜坡）逐渐相变为含粉砂的碳质页岩或白云岩，形成平面上大致对称的岩性组合分带。局限盆地的发育整体受控于区域构造拉张活动，在平面



上呈近北东—南西向离散分布。典型剖面如松桃普觉 ZK1408 钻孔大塘坡组一段(据齐靛等, 2015), 如图 7 所示。

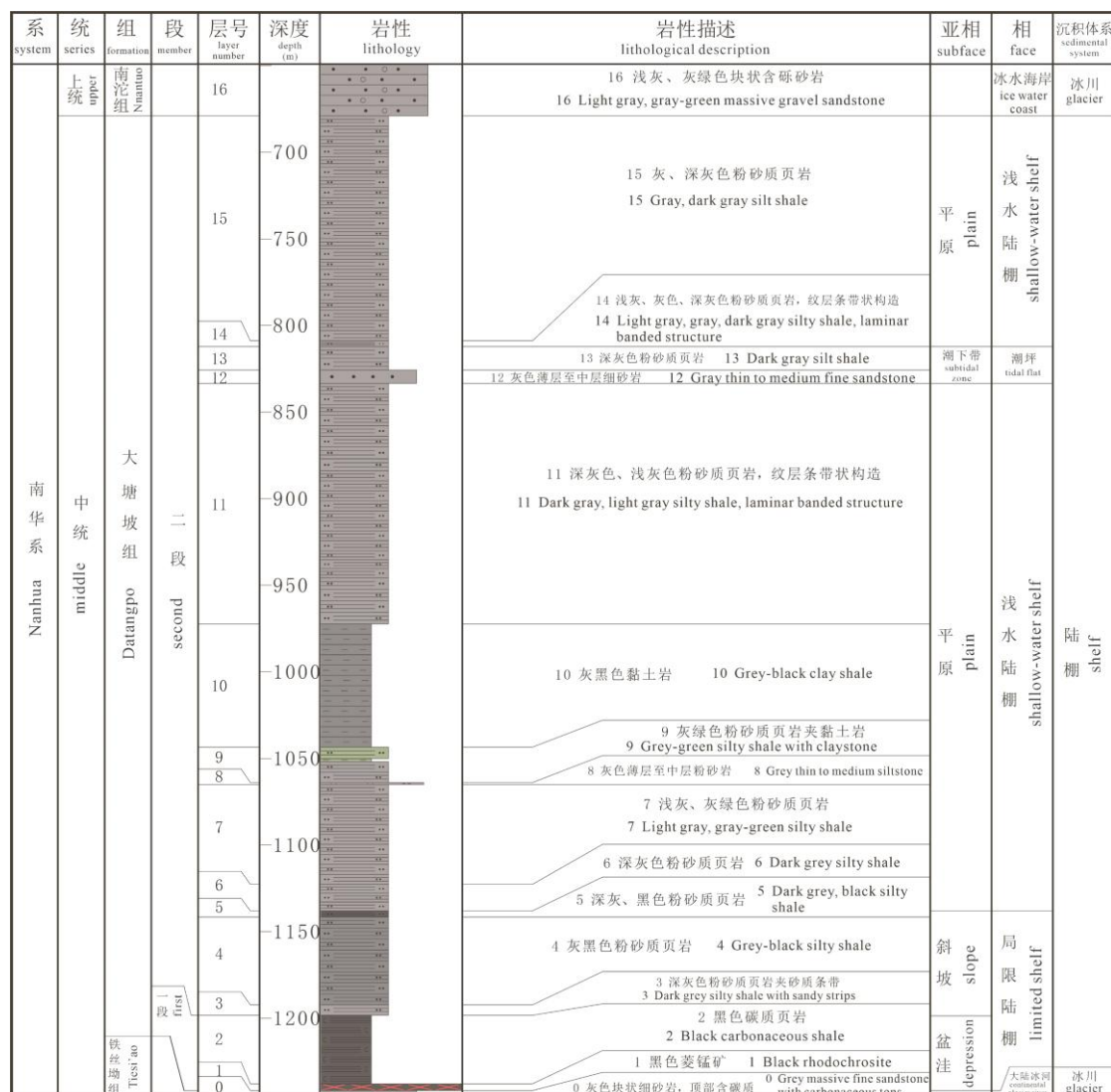


图 7 松桃普觉 ZK1408 钻孔大塘坡组沉积相剖面 (1:3000)

Fig.7 Sedimentary facies profile of the Datangpo Formation in Pujue ZK1408 hole, Songtao, Guizhou(1:3000)

#### 4.2.7 水下隆起

常紧邻局限盆地分布, 为地垒结构发展演化而成。沉积厚度薄 (仅 1~3m), 矿物成分复杂, 常见云坪、砂坪等沉积序列。典型剖面松桃沿寨沟大塘坡组一段 (张予杰等, 2020), 如图 8 所示。

#### 4.2.8 深水陆棚

多分布在水下隆起外侧, 地势平缓, 为低能深水环境, 主要发育钙质泥岩、硅质泥岩, 多具水平层理, 常见浊流构造。

#### 4.3 沉积相横向对比

对研究区资料点进行了沉积相划分对比, 编制了南北向 (A-A'、B-B')、东西向 (C-C'、D-D') 4 条对比剖面, 如图 9~图 12 所示 (剖面位置见图 3)。

系 system	统 series	组 formation	段 member	深度 depth (m)	岩性 lithology	岩性描述 lithological description	亚相 subface	相 face	沉积体系 sedimental system		
南 华 系 Nanhua	中 统 middle	大 塘 坡 组 Datangpo	二 段 second	2	13 粉砂岩	13 siltstone	平原 plain	浅水陆棚 shallow-water shelf	陆 棚 shelf		
					12 含锰粉砂质泥岩	12 manganese siltstone	障壁砂坪 barrier sand flat	水下隆起 underwater uplift			
					11 火山凝灰岩	11 volcanic tuff	障壁砂坪 barrier dolomitic flat				
					10 砂质白云岩、泥晶白云岩	10 sandy dolomite, micrite dolomite					
					9 含砾砂质白云岩	9 gravelous sandy dolomite					
					8 砂质白云岩、泥晶白云岩	10 sandy dolomite, micrite dolomite					
			7 白云质长石岩屑砂岩	7 dolomitic feldspar detrital sandstone							
			一 段 first	4	6 含砾砂质白云岩	6 gravelous sandy dolomite		障壁砂坪 barrier dolomitic flat		水下隆起 underwater uplift	
					5 含锰变质粉砂岩	5 manganese-bearing metamorphic siltstone					
					4 砂质板岩	4 sandy slate	临 滨 shoreface				滨 岸 shore
					3 粉砂质板岩	3 silty slate					
					2 板岩	2 slate					
铁 丝 坳 组 Tiesi'ao	6	4 砂质板岩			4 sandy slate	临 滨 shoreface			滨 岸 shore		
		3 粉砂质板岩	3 silty slate								
									冰水陆棚 ice water shelf		

图 8 松桃沿寨沟剖面大塘坡组沉积相剖面 (1:50)

Fig. 8 Sedimentary facies profile of Datangpo Formation in Yanzhaigou section, Songtao, Guizhou (1:50)

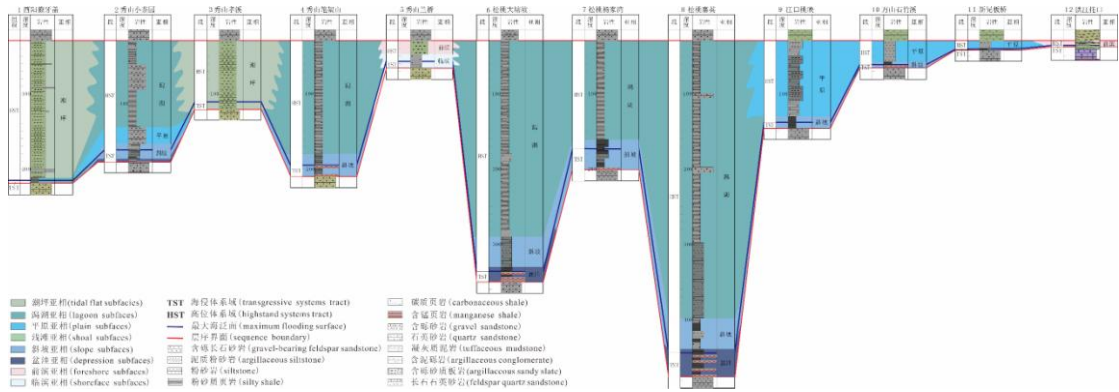


图 9 大塘坡组南北向 A-A' 沉积相对比剖面 (纵向 1:2000, 横向未按实际比例)

Fig.9 North-south A-A' sedimentary contrast section of Datangpo Formation (vertical 1:2000, horizontal no scale)

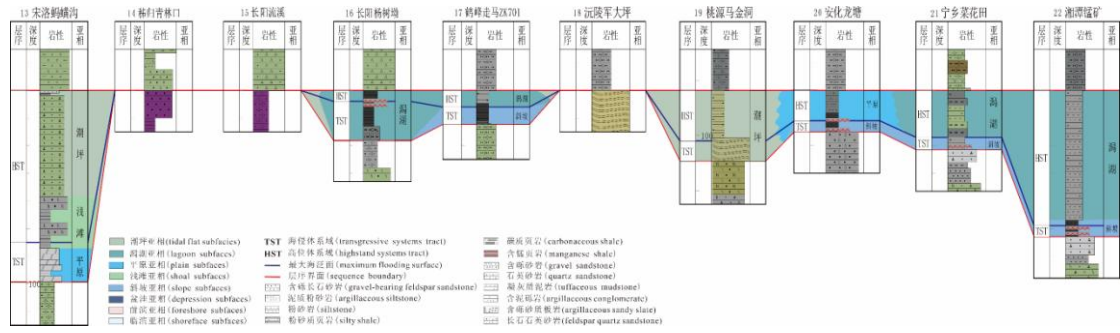


图 10 大塘坡组南北向 B-B' 沉积相对比剖面 (纵向 1:1000, 横向未按实际比例)

Fig.10 North-south B-B' sedimentary contrast section of Datangpo Formation (vertical 1:1000, horizontal no scale)

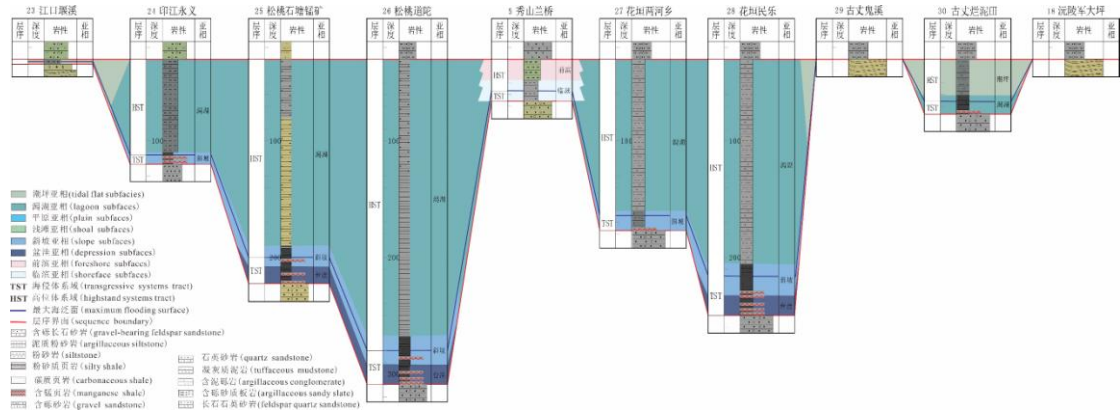


图 11 大塘坡组东西向 C-C' 沉积相对比剖面 (纵向 1:2000, 横向未按实际比例)

Fig.11 East-west C-C' sedimentary contrast section of Datangpo Formation (vertical 1:2000, horizontal no scale)

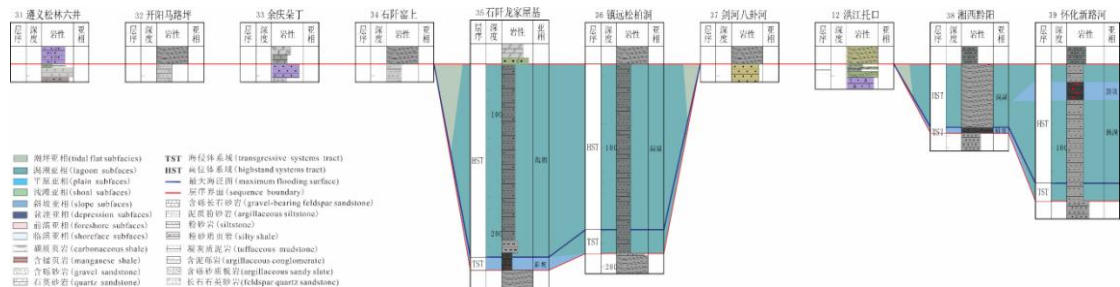


图 12 大塘坡组东西向 D-D' 沉积相对比剖面 (纵向 1:2000, 横向未按实际比例)

Fig.12 East-west D-D' sedimentary contrast section of Datangpo Formation (vertical 1:2000, horizontal no scale)

剖面对比显示, 大塘坡组在渝东南酉阳以西 (图 9)、鄂西秭归—长阳 (图 10)、湘西北沅陵—古丈 (图 10、图 11)、黔中遵义—余庆—石阡 (图 12) 沉积缺失, 表现为南华系上统南沱组冰碛岩与下统莲沱组 (鄂西—渝东)、溇水河组 (湘西北) 或澄江组 (黔中) 不整合接触, 表明上述地区在大塘坡组沉积期存在沉积间断, 应为古陆或古岛等古地貌高地。在渝东南的酉阳—秀山 (图 9)、鄂西北神农架 (图 10)、鄂西长阳 (图 10)、湘西北桃源—宁乡 (图 11)、黔东江口—印江—石阡—镇远 (图 12) 等地发育潮坪—潟湖相, 指示了海陆交界线的走向; 同时在秀山孝溪 (图 9)、秀山兰桥 (图 11) 等地发育障壁岛, 沉积相和沉积厚度均有变化。在湖北鹤峰 (图 10), 湖南湘潭 (图 10), 贵州松桃 (图 11)、湖南花垣 (图 11) 等地发育局限陆棚, 内部发育富锰—富碳岩石组合, 生烃条件较好; 沉积活动应受到了同沉积断裂活动控制, 导致地层厚度大; 内部有斜坡、盆洼和隆起的分异, 如松桃大塘坡—杨家湾—寨英地区 (图 11)。在黔东北江口—铜仁以东南 (图 9)、湘西北安化以南 (图 10), 水体逐渐变深, 局限陆棚发育渐少, 为稳定的浅水陆棚—深水陆棚相。天柱—怀化隆起之上

发育连续古岛，发生沉积缺失，如剑河八卦河（图 12）、洪江托口剖面（图 12）；其东侧发育局限陆棚，局部具有碳锰聚集，如怀化新路河剖面（图 12）。

#### 4.4 岩相古地理及其演化

##### 4.4.1 大塘坡组一段沉积特征

大塘坡组一段沉积期是发生广泛海侵和拉张活动活跃的时期，沉积活动受拉张断裂控制，沉积环境可划分为潮坪—潟湖—浅水陆棚—局限陆棚—深水陆棚（图 13）。在黔东—渝东南地区，海陆分界线沿瓮安—石阡—印江—酉阳一线展布，在酉阳—秀山地区形成局限海湾，沉积物以潮坪—潟湖相的粉砂岩和泥岩为主，向东、南水体渐深。在鄂西地区，中上扬子之间的海槽已初步形成，沿永顺—桑植—五峰—长阳—巴东—神农架一线贯通南北，部分地区深入古陆内部，如在长阳附近形成指状展布的潟湖。在湘西北地区，海岸线大致沿东西向分布，滨岸多发育海滩相，局部地区发育局限海湾。

局限陆棚和潟湖为碳锰富集相带，分布主要受拉张断裂控制，在平面上呈近北东—南西向展布，主要分布在渝黔湘交界的秀山—花垣—松桃地区、铜仁—吉首一线，湘西绥宁—洪江—溆浦、娄底—湘潭地区，鄂西—渝东鹤峰、建始—巴东、神农架、城口等地区。沉积厚度在地垒区（潮坪、障壁岛、水下隆起等）一般为 5~10m，在地堑区（局限陆棚、潟湖等）可大于 30m，一般为 10~20m。

##### 4.4.2 大塘坡组二段沉积特征

大塘坡组二段沉积期，构造活动逐渐减弱，海平面处于缓慢脉动式下降阶段，沉积作用以填平补齐为主。沉积环境可划分为滨岸—潮坪—潟湖—浅水陆棚—深水陆棚（图 14）。早期的局限陆棚内水体逐渐变浅，沉积相以浅水陆棚相—潟湖相为主，充填沉积纹层状粉砂质页岩、厚层粉砂质黏土岩序列，生烃条件变差。沉积厚度横向变化大，在地垒区（潮坪、障壁岛、水下隆起等）为 5~100m，在地堑区（局限陆棚、潟湖等）厚度可大于 400m，一般为 100~300m。

## 5 对油气成藏的指示

中国含油气盆地的勘探实践表明，不同地质时代的岩相古地理类型控制了有效烃源岩、储层和盖层的分布和组合，沉积演化的多样性控制了油气资源的分布和油气藏的类型（朱筱敏等，2004）。大塘坡组沉积期具有鲜明的堑垒分异结构，形成了特殊的岩相古地理格局，可为油气有利区预测提供良好指示。优质烃源岩主要分布在局限陆棚、潟湖等相带内，具有较好的有机地球化学指标特征。在地垒区易于形成优质储层，具有良好的源储配置条件。

### 5.1 烃源岩特征

松桃、秀山、神农架、长阳等潟湖、局限陆棚相带内的分析测试结果表明（表 2），大塘坡组富碳锰页岩有机质显微组分以沥青组和腐泥组为主，干酪根碳同位素值 -32.9 ~ -32.4‰，为典型的 I 型腐泥型干酪根，生烃物质基础好。残余有机碳含量大，最高可达 10% 以上，一般在 3%~4%，是一套优质烃源岩。生烃潜量（ $S_1+S_2$ ）普遍偏低，反映已经历了高演化生烃阶段。生烃演化史表明，大塘坡组生油高峰期—生湿气阶段为加里东期，在印支期后进入高成熟期，现今处于过成熟期（谢增业等，2017）。实测成熟度  $R_o$  普遍偏高，最高可达 4% 以上，但在局部地区仍可发现不到 3% 的低值（张健等，2015；王新贵等，2015），表明部分地区仍具有良好的生烃潜力。大塘坡组原始生烃条件与区域上覆的陡山沱组、牛蹄塘组类似（表 2），均为优质烃源岩，但经历的生烃演化时间更长，残留生烃潜力受到一定限制。

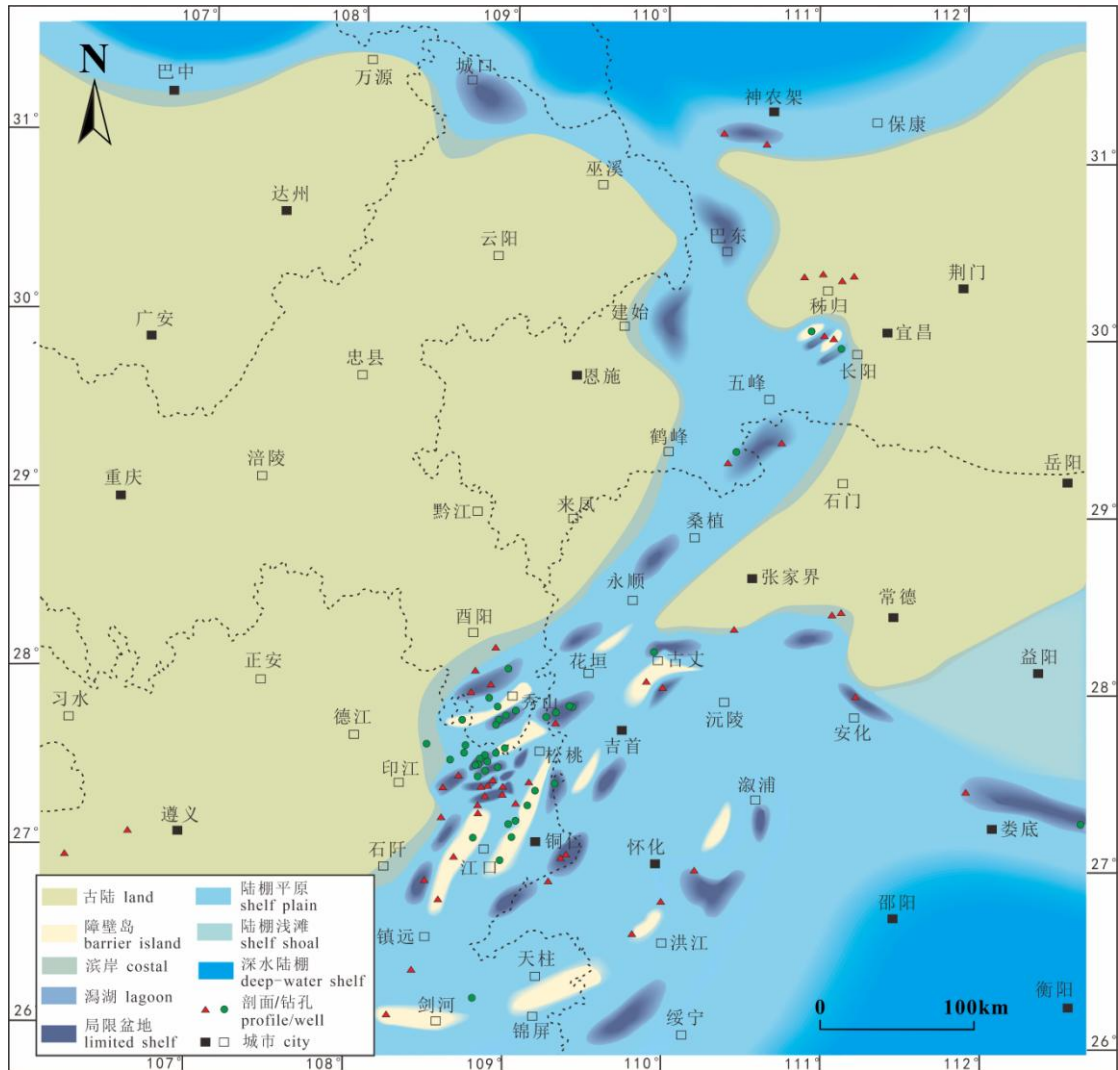


图 13 中上扬子地区大塘坡组一段沉积期岩相古地理图

Fig. 13 Lithofacies and paleogeography map of the first member of Datangpo Formation in the middle and upper Yangtze area during the deposition

## 5.2 潜在油气成藏组合

大塘坡组上下地层均为冰期时形成的杂砾岩、含砾砂岩或砂泥岩，颗粒直径大、磨圆度差，岩石物性较好，为良好潜力储层。大塘坡组一段含碳页岩孔隙度值可达 5% 左右（王新贵等，2015），具有页岩气赋存的空间。镜下分析表明，大塘坡组孔隙以无机矿物孔、缝为主，主要为矿物粒间孔缝（图 15a）、粒缘缝（图 15a）、溶蚀孔（图 15b），局部仍可见到保存较好的有机质孔（图 15c-d）。南华系之上覆盖了陡山沱组厚层碳质页岩/含碳云岩，为良好烃源岩和盖层。南华纪持续活动的同沉积断裂贯通上下，为油气运移提供了良好通道。大塘坡组还可能直接接触花岗岩基底，具有氦气来源（张健等，2015）。上扬子地区的勘探实践表明，南华系裂谷的垒堑结构还可以控制上覆震旦系丘滩体沉积、岩溶储集层和烃源岩的发育，对油气藏的形成具有一定控制作用，其震旦系—寒武系高产井主要分布在南华系裂谷地垒上的丘滩体中，产量大于 10 万方/天的高产井中 75% 位于地垒区，20 口测试产量大于 50 万方/天的井全部位于地垒区（魏国齐等，2018）。综上所述，研究区可能发育以大塘坡组为烃源岩的多种类型油气成藏组合，具有油气勘探的良好潜力，应予以重视并开展深入调查探索（图 16）。

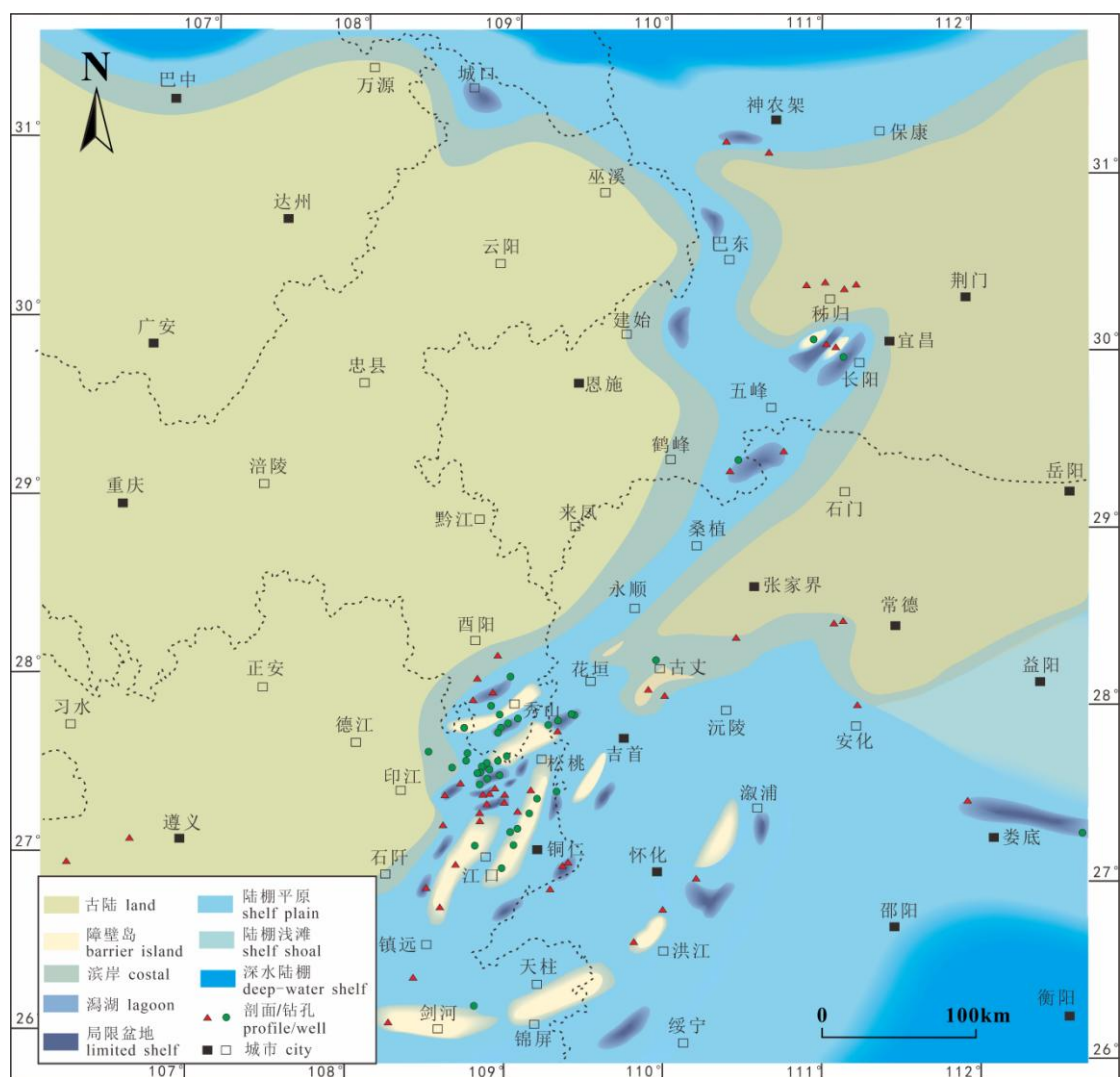


图 14 中上扬子地区大塘坡组二段沉积期岩相古地理图

Fig. 14 Lithofacies and paleogeography map of the second member of Datangpo Formation in the middle and upper Yangtze area during the deposition

表 2 中上扬子地区大塘坡组有机地球化学特征及其对比

Table 2 Organic geochemical characteristics of the Datangpo Formation in the middle-upper Yangtze area and comparison with other organic shales

地层	地区	有机碳/%	生烃潜量 $S_1+S_2/mg\ g^{-1}$	成熟度 $R_o/\%$	干酪根 $\delta^{13}C/\%$	沉积相	来源
大塘坡组	松桃寨英	3.05~6.29 (4.32)	0.001~0.051 (0.013)	2.19~2.47 (2.34)	-32.9 ~ -32.4	局限陆棚	谢增业等, 2017
	秀山千子门	0.43~4.47 (2.19)	0.005~0.029 (0.014)	2.84	/	潮坪—潟湖	
	秀山小茶园	3.47~8.5 (4.72)	0.046~0.096 (0.016)	3.09	/	潟湖—局限陆棚	

	秀山大、小 茶园	0.25~15.86 (4.80)	0.002~0.043 (0.014)	2.02~2.37	-33.8 ~ -33.9	潟湖—局限 陆棚	张健 等, 2015
	神农架宋洛	4.55	0.17	3.37	-28.41	浅水陆棚— 局限陆棚	实测
陡山 沱组	宜昌长阳	0.5-6.1 (2.1)	0.01~1.54 (0.23)	1.9-3.5 (3.3)	/	台内盆地	实测
牛蹄 塘组	宜昌长阳	1.5-5.0 (3.6)	0.03~0.81 (0.34)	2.5-3.2 (2.9)	/	深水陆棚	实测

数据格式为：最大值~最小值（平均值） [Data format: maximum ~ minimum (average)]

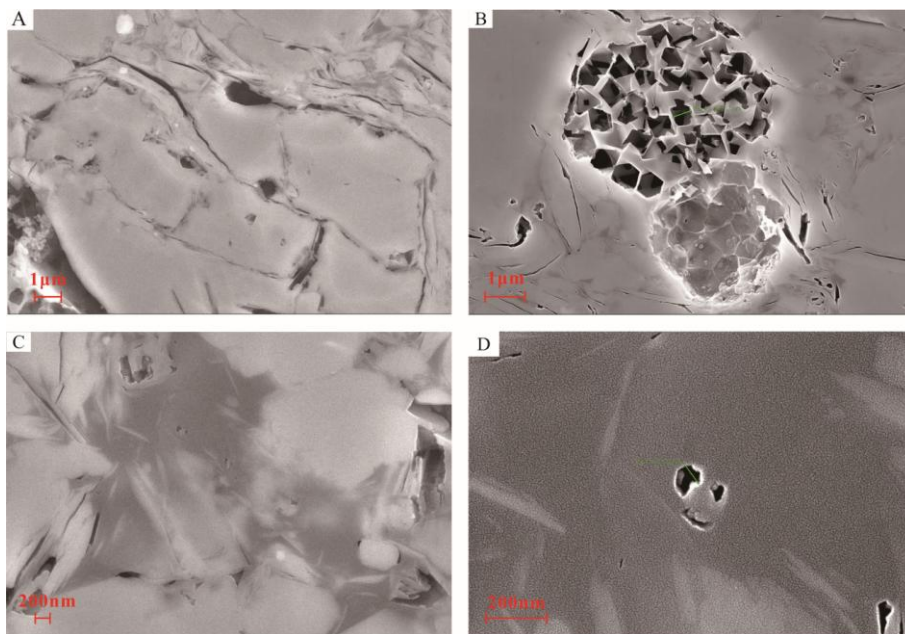


图 15 中上扬子地区大塘坡组碳质页岩扫描电镜下孔隙形态

A-凹凸接触的钠长石颗粒发育溶蚀孔及粒缘缝；B-黄铁矿晶体被溶蚀后形成的铸模孔集合体；C-填隙状有机质发育少量孔隙；见微晶钾长石颗粒；D-填隙状有机质发育少量孔隙

Fig. 15 Pore Morphology of Carbonaceous Shale from Datangpo Formation in the Middle-Upper Yangtze Area  
A- The albite grains in contact with the concave-convex develop dissolution pores and grain boundary fractures; b- The aggregates of mold pores formed after the dissolution of the pyrite crystals; c- The interstitial organic matter develops a small amount of pores; see microcrystalline potassium feldspar grains ; d-Interstitial organic matter with a small amount of pores

### 5.3 有利区预测

由于大塘坡组地层年代较老，生油高峰期—生湿气阶段为加里东期，在印支期后进入高成熟期，现今处于过成熟期，因此应重视大塘坡组烃源岩形成的古油藏或分散液态烃聚集区的“二次生烃”作用。研究表明，液态烃裂解生气时机晚、散失量少、成藏有效性高、资源潜力大等特点（赵文智等，2015），加里东期之前的古隆起、古斜坡区域应是大塘坡组形成的古油藏或分散液态烃的有利聚集场所。渝黔湘交界的秀山、松桃、花垣地区在大塘坡组沉积期具有鲜明的垒堑分异构造格局，地堑与地垒区沉积差异大。其地堑区长期处于沉积低部位，发育厚度较大的大塘坡组一段优质烃源岩，并叠加了早震旦世陡山沱组、早寒武世牛蹄塘组

优质烃源岩沉积。其地垒区长期处于沉积高部位，为古油藏或分散液态烃的有利聚集场所，并可能控制了晚震旦世灯影组藻云岩的沉积，源储配置条件较好。其西侧靠近黔中古隆起，在加里东末期抬升，晚期构造未大规模破坏，油气保存条件较好。综合判断秀山、松桃、花垣地区为常规油气潜在发育区。松桃、花垣、秀山、湘潭、鹤峰等地区大塘坡组一段厚度大、有机质含量高、生烃条件好，具有页岩气发育潜力，综合判断为潜在页岩气发育区。

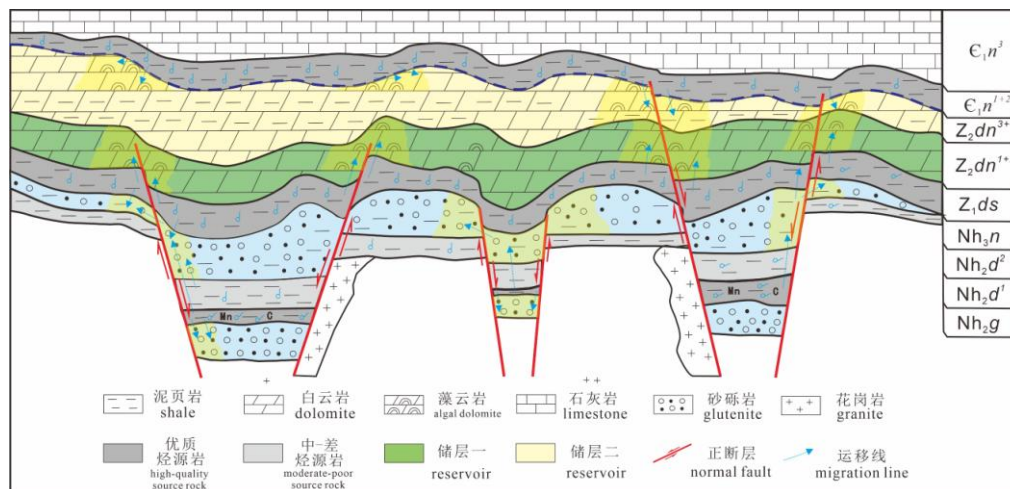


图 16 中上扬子地区大塘坡组成藏组合模式图

Nh<sub>2</sub>g-南华系古城组; Nh<sub>2</sub>d<sup>1-2</sup>-南华系大塘坡组一段~二段; Nh<sub>3</sub>n-南华系南沱组; Z<sub>1</sub>ds-南华系陡山沱组; Z<sub>1</sub>dn<sup>1-4</sup>-南华系灯影组一段~四段; C<sub>1</sub>n<sup>1-3</sup>-寒武系牛蹄塘组一段~三段

Fig. 16 Datangpo Formation and Tibetan Assemblage Model in the Middle and Upper Yangtze Region

Nh<sub>2</sub>g-Gucheng Formation, Nanhua System; Nh<sub>2</sub>d<sup>1-2</sup>-The first and second member of Datangpo Formation, Nanhua System; Nh<sub>3</sub>n-Nantuo Formation, Nanhua System; Z<sub>1</sub>ds-Doushantuo Formation, Sinian System; Z<sub>1</sub>dn<sup>1-4</sup>-The first~Fourth member of Dengying Formation, Sinian System; C<sub>1</sub>n<sup>1-3</sup>- The first~Third member of Niutitang Formation, Cambrian System

## 6 结论

(1) 大塘坡组形成于间冰期，沉积过程受拉张裂陷过程控制，具有鲜明的堑垒分异结构，可划分出 2 大类沉积相、7 类沉积亚相及若干微相，整个沉积期构成一个完整的海侵—高位—海退沉积旋回。

(2) 大塘坡组一段沉积期是发生广泛海侵和拉张活动活跃的时期，沉积活动受拉张断裂控制，沉积环境可划分为潮坪—潟湖—浅水陆棚—局限陆棚—深水陆棚。其中具有油气资源潜力的相带为局限陆棚亚相和潟湖亚相，为碳锰富集相带，分布主要受拉张断裂控制，在平面上呈近北东—南西向展布，最大沉积厚度可达 30m。

(3) 大塘坡组一段具有良好的生烃潜力和页岩气发育潜力，富碳锰页岩有机质显微组分以沥青组 and 腐泥组为主，发育 I 型腐泥型干酪根，生烃物质基础好。残余有机碳含量大，最高可达 10% 以上，一般在 3~4%，是一套优质烃源岩。含碳页岩孔隙度值可达 5%，孔隙以无机矿物孔、缝为主，局部仍可见到保存较好的有机质孔。松桃、花垣、秀山、湘潭、鹤峰等地区具有页岩气发育有利条件，为潜在页岩气发育区。

(4) 以大塘坡组为烃源岩可形成多种潜在成藏组合，南华纪持续活动的同沉积断裂贯通上下，为油气运移提供了良好通道。渝黔湘交界的秀山、松桃、花垣地区由于在大塘坡组沉积期具有鲜明的堑垒分异构造格局，为古油藏或分散液态烃的有利聚集场所，源储配置条件较好，为潜在常规油气发育区。

## Reference

An Zhengze, Zhang Renbiao, Chen Jiakai, Qin Ying, Pan Wen, Wu Guiwu, Peng Qianyun, Zheng Chao, Zhang Feifei, Zhu Xiangkun, Wang Haibin. 2014. Geological and geochemical characteristics of Daotuo superlarge



- manganese bore deposit in Songtao County of Guizhou Province: Constraint on formation mechanism of Mn\_carbonate ores[J]. *Mineral Deposits*, 33(4): 870-884.
- Chen Jianshu, Dai Chuangu, Peng Chenglong, Wang Min, Lu Dingbiao, Wang Xuehua, Luo Shan. 2016. The filling sequence and stratigraphic framework of rift basin during the Neoproterozoic 820-635 Ma in Hunan, Guizhou and Guangxi[J]. *Geology in China*, 43(3): 899-920(in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Zhou Qi, Yu Wenchao, Wang Ping, Yuan Liangjun, Qi Jing, Guo Hua, Xu Yuan. 2015. Linking the Cryogenian Manganese Metallogenic Process in the Southeast Margin of Yangtze Block to Break-up of Rodinia Supercontinent and Sturtian Glaciation[J]. *Geological Science and Technology Information*, 34(6): 1-7(in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Zhou Qi, Yu Wenchao, Zhang Yaguan, Wang Ping, Qin Yongjun, Pang Dawei. 2018. Sedimentary Geotectonics and Its Control Function of Sedimentary Mineral in Nanhua Period—Sinian Period in Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 35(4): 282-290(in Chinese with English abstract).
- Evans D A D. 2000. Stratigraphic geochronological and paleomagnetic constraints upon the Neoproterozoic climatic paradox[J]. *American Journal of Science*, 300(5): 347-433.
- Guan Shuwei, Wu Lin, Ren Rong, Zhu Guangyou, Peng Chaoquan, Zhao Wentao, Li Jie. 2017. Distribution and petroleum prospect of Precambrian rifts in the main cratons, China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 38(1): 9-22(in Chinese with English abstract).
- Karen Lund, John N. Aleinikoff, Karl V. Evans, C. Mark Fanning. 2003. SHRIMP U-Pb geochronology of Neoproterozoic Windermere Supergroup, central Idaho: Implications for rifting of western Laurentia and synchronicity of Sturtian glacial deposits[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 115(3): 349-372.
- Li Xianhua, Wang Xuance, Li Wuxian, Li Zhengxiang. 2008. Petrogenesis and tectonic significance of Neoproterozoic basaltic rocks in South China: From orogenesis to intracontinental rifting[J]. *Geochimica*, 37(4): 382-398(in Chinese with English abstract).
- Ma Zhixin, Luo Liang, Liu Xiting, Liu Wei, Sun Zhiming. 2016. Palaeoenvironment of the Datangpo Formation of Nanhua System in Xiaochayuan Manganese Deposit in Xiushan area of Chongqing[J]. *Journal of Palaeogeography*, 18(3): 473-485(in Chinese with English abstract).
- Qi Jing, Yu Wenchao, Du Yuansheng, Zhou Qi, Guo Hua, Wang Jiawu, Wang Ping, Xu Yuan. 2015. Paleoclimate Evolution of the Cryogenian Tiesi'ao Formation-Datangpo Formation in Eastern Guizhou Province: Evidence from the Chemical Index of Alteration[J]. *Geological Science and Technology Information*, 34(6): 47-57(in Chinese with English abstract).
- Tan Mantang, Lu Zhixiong, Zhang Yan. 2009. Preliminary analysis on genesis of manganese deposit in Datangpo Formation, West Hubei Province[J]. *Resources Environment & Engineering*, 23(2): 108-113(in Chinese with English abstract).
- Wang Jian, Duan Taizhong, Xie Yuan, Wang Zhengjiang, Hao Ming, Liu Wei. 2012. The tectonic evolution and its oil and gas prospect of southeast margin of Yangtze Block. *Geological Bulletin of China*, 31(11): 1739-1749(in Chinese with English abstract).
- Wang Jian, Liu Baojun, Pan Guitang. 2001. Neoproterozoic rifting history of south china significance to rodinia breakup[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 21(3): 135-145(in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Qiu Jiansheng, Zhang Wenlan, Liu Xiaoming, Zhang Guilin. 2006. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: Implications for tectonic evolution[J]. *Precambrian Research*, 145(1-2): 111-130.
- Wang Xingui, Wang Chaoyong, Dou Luxing. 2015. Shale Gas Condition and Potential in Datangpo Formation of Nanhua System on the Southeast of Sichuan Basin[J]. *Science Technology and Engineering*, 15(17): 113-116(in Chinese with English abstract).
- Wang Zecheng, Liu Jingjiang, Jiang Hua, Huang Shipeng, Wang Kun, Xu Zhengyu, Jiang Qingchun, Shi Shuyuan, Ren Mengyi, Wang Tianyu. 2019. Lithofacies paleogeography and exploration significance of Sinian

- Doushantuo depositional stage in the middle-upper Yangtze region, Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 46(1): 39-51(in Chinese with English abstract).
- Wang Zecheng, Jiang Hua, Wang Tongshan, Gu Zhidong, Huangshipeng. 2014. Hydrocarbon systems and exploration potentials of Neoproterozoic in the Upper Yangtze Region[J]. *Natural Gas Industry*, 34(4): 27-36 (in Chinese with English abstract).
- Wan Tianfeng. 2011. *The Tectonics of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 65-67(in Chinese).
- Wei Guoqi, Yang Wei, Zhang Jian, Xie Wuren, Zeng Fuying, Su Nan, Jin Hui. 2018. The pre-Sinian rift in central Sichuan Basin and its control on hydrocarbon accumulation in the overlying strata[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 45(2): 179-189(in Chinese with English abstract).
- Xie Zengye, Wei Guoqi, Zhang Jian, Yang Wei, Zhang Lu. 2017. Characteristics of source rocks of the Datangpo Fm, Nanhua System, at the southeastern margin of Sichuan Basin and their significance to oil and gas exploration[J]. *Natural Gas Industry*, 37(6): 1-11(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 Nanhua Datangpo Formation in Songtao County, Guizhou Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(2): 273-278(in Chinese with English abstract).
- Zhai Gangyi, Bao Shujing, Wang Yufang, Chen Ke, Wang Shengjian, Zhou Zhi, Song Teng, Li Haohan. 2017. Reservoir Accumulation Model at the Edge of Palaeohigh and Significant Discovery of Shale Gas in Yichang Area, Hubei Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(4): 441-775(in Chinese with English abstract).
- Zhang Gaochong. 2020. *Sedimentary Facies and Lithofacies Paleogeography of the Nanhua System Datangpo Formation on the Northern Margin of the Yangtze Platform* [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 26-49.
- Zhang Jian, Yang Wei, Yi Haiyong, Xie Wuren, Xie Zengye, Zeng Fuying, Cen Yongjing. 2015. Feasibility of high-helium natural gas exploration in the Presinian strata of the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 35(1): 45-52(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yujie, An Xianyin, Liu Shilei, Gao Yongjuan, Zheng Jie, Sang Yongheng. 2020. The lithofacies, 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).
- Zhao Wenzhi, Wang Xiaomei, Hu Suyun, Zhang Shuichang, Wang Huajian, Guan Shuwei, Ye Yuntao, Ren Rong, Wang Tongshan. 2019. Hydrocarbon generation characteristics and exploration prospects of Proterozoic source rocks in China. *Science China Earth Sciences*, 62: 909-934(in Chinese).
- Zhao Wenzhi, Wang Zhaoyun, Wang Dongliang, Li Jian, Li Yongxin, Hu Guoyi. 2015. Contribution and significance of dispersed liquid hydrocarbons to reservoir formation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 42(4): 401-413(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhiqiang, Ling Yun, Li Heliang, Jiang Kai, Li Jie, Cai Keke, Liao Hong. 2019. Geochemistry and Significance of the Datangpo Formation in the Xiaochayuan Manganese Deposit in the Xiushan County, Chongqing[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 38(2): 330-341(in Chinese with English abstract).
- 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).
- Zhu Xiaomin, Yang Junsheng, Zhang Xilin. 2004. Application of lithofacies palaeogeography in petroleum exploration[J]. *Journal of Palaeogeography*, 6(1): 101-109(in Chinese with English abstract).
- Zhu Xingkun, Peng Qianyun, Zhang Renbiao, An Zhengze, Zhang Feifei, Yan Bin, Li Jin, Gao Zhaofu, Qin Ying, Pan Wen. 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): 1335-1348(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 安正泽, 张仁彪, 陈甲才, 覃英, 潘文, 吴桂武, 彭乾云, 郑超, 张飞飞, 朱祥坤, 王海宾. 2014. 贵州省松桃县道坨超大型锰矿床的发现及其成因探讨[J]. 矿床地质, 33(4): 870-884.
- 陈建树, 戴传固, 彭成龙, 王敏, 卢定彪, 王雪华, 骆珊. 2016. 湘黔桂相邻区新元古代 820~635Ma 时期裂谷盆地充填序列与地层格架[J]. 中国地质, 43(3): 899-920.
- 杜远生, 周琦, 余文超, 王萍, 袁良军, 齐靓, 郭华, 徐源. 2015. Rodinia 超大陆裂解、Sturtian 冰期事件和扬子地块东南缘大规模锰成矿作用[J]. 地质科技情报, 34(6): 1-7.
- 杜远生, 周琦, 余文超, 张亚冠, 王萍, 覃永军, 庞大卫. 2018. 贵州南华纪—震旦纪沉积大地构造及其对沉积矿产的控制作用[J]. 贵州地质, 35(4): 282-290.
- 管树巍, 吴林, 任荣, 朱光有, 彭朝全, 赵文韬, 李杰. 2017. 中国主要克拉通前寒武纪裂谷分布与油气勘探前景[J]. 石油学报, 38(1): 9-22.
- 李献华, 王选策, 李武显, 李正祥. 2008. 华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义: 从造山运动到陆内裂谷[J]. 地球化学, 37(4): 382-398.
- 马志鑫, 罗亮, 刘喜停, 刘伟, 孙志明. 2016. 重庆秀山小茶园锰矿南华系大塘坡组古环境[J]. 古地理学报, 18(3): 473-485.
- 齐靓, 余文超, 杜远生, 周琦, 郭华, 王佳武, 王萍, 徐源. 2015. 黔东南华纪铁丝坳期—大塘坡期古气候的演变: 来自 CIA 的证据[J]. 地质科技情报, 34(6): 47-57.
- 谭满堂, 鲁志雄, 张嫣. 2009. 鄂西地区南华系大塘坡期锰矿成因浅析——以长阳古城锰矿为例[J]. 资源环境与工程, 23(2): 108-113.
- 王剑, 段太忠, 谢渊, 汪正江, 郝明, 刘伟. 2012. 扬子地块东南缘大地构造演化及其油气地质意义[J]. 地质通报, 31(11): 1739-1749.
- 王剑, 刘宝瑛, 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.
- 王新贵, 王超勇, 窦鲁星. 2015. 川东南新元古界南华系大塘坡组页岩气勘探潜力分析[J]. 科学技术与工程, 15(17): 113-116.
- 汪泽成, 刘静江, 姜华, 黄士鹏, 王坤, 徐政语, 江青春, 石书缘, 任梦怡, 王天宇. 2019. 中—上扬子地区震旦纪陡山沱组沉积期岩相古地理及勘探意义[J]. 石油勘探与开发, 46(1): 39-51.
- 汪泽成, 姜华, 王铜山, 谷志东, 黄士鹏. 2014. 上扬子地区新元古界含油气系统与油气勘探潜力[J]. 天然气工业, 34(4): 27-36.
- 万天丰. 2011. 中国大地构造学[M]. 北京: 地质出版社, 65-67.
- 魏国齐, 杨威, 张健, 谢武仁, 曾富英, 苏楠, 金惠. 2018. 四川盆地中部前震旦系裂谷及对上覆地层成藏的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 45(2): 179-189.
- 谢增业, 魏国齐, 张健, 杨威, 张璐, 王志宏, 赵洁. 2017. 四川盆地东南缘南华系大塘坡组烃源岩特征及其油气勘探意义[J]. 天然气工业, 37(6): 1-11.
- 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.
- 翟刚毅, 包书景, 王玉芳, 陈科, 王胜建, 周志, 宋腾, 李浩涵. 2017. 古隆起边缘成藏模式与湖北宜昌页岩气重大发现[J]. 地球学报, 38(4): 441-775.
- 张高冲. 2020. 扬子北缘南华系大塘坡组沉积相与岩相古地理[D]. 成都: 成都理工大学, 26-49.
- 张健, 杨威, 易海永, 谢武仁, 谢增业, 曾富英, 岑永静. 2015. 四川盆地前震旦系勘探高含氮天然气藏的可行性[J]. 天然气工业, 35(1): 45-52.
- 张予杰, 安显银, 刘石磊, 高永娟, 郑杰, 桑永恒. 2016. 黔东北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.

- 赵文智, 王晓梅, 胡素云, 张水昌, 王华建, 管树巍, 叶云涛, 任荣, 王铜山. 2019. 中国元古宇烃源岩成烃特征及勘探前景[J]. 中国科学: 地球科学, 49: 939-964.
- 赵文智, 王兆云, 王东良, 李剑, 李永新, 胡国义. 2015. 分散液态烃的成藏地位与意义[J]. 石油勘探与开发, 42(4): 401-413.
- 赵志强, 凌云, 李核良, 蒋凯, 李杰, 蔡柯柯, 廖洪. 2019. 重庆秀山小茶园大塘坡组合锰岩系地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物, 38(2): 330-341.
- 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.
- 朱筱敏, 杨俊生, 张喜林. 2004. 岩相古地理研究与油气勘探[J]. 古地理学报, 6(1): 101-109.
- 朱祥坤, 彭乾云, 张仁彪, 安正泽, 张飞飞, 闫斌, 李津, 高兆富, 覃英. 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): 1335-1348.