

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.271

引用格式: 陈科, 卢妍欣, 李飞, 等. 中上扬子地区陡山沱组沉积特征及其油气地质意义[J]. 中国地质调查, 2024, 11(5): 92–103. (Chen K, Lu Y X, Li F, et al. Sedimentary characteristics of Doushantuo Formation in middle – upper Yangtze region and its significance for oil and gas geology[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(5): 92–103.

# 中上扬子地区陡山沱组沉积特征及其油气地质意义

陈科, 卢妍欣, 李飞, 宋腾

(中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083)

**摘要:** 近期鄂西地区震旦系陡山沱组勘查获得页岩气工业气流。陡山沱组富有机质页岩主要分布于上扬子德阳—安岳断陷槽及中扬子鄂西断陷槽, 探明其沉积特征和油气地质条件是进一步开展页岩气与常规油气勘探开发的重要依据。通过研究中上扬子两个断陷槽内陡山沱组露头、钻井和地球物理资料, 对比分析两者的沉积特征和沉积环境, 结果显示: ①中上扬子地区陡山沱组沉积时期古地理格局在地形上具有西高东低的特征; ②陡山沱组沉积早期, 上扬子地区仍然存在大面积古陆, 其厚度较薄或缺失, 中晚期才接受大量沉积, 而中扬子地区此时为台地、潟湖、陆棚和盆地的沉积环境, 地层发育较完整, 富有机质页岩沉积厚度较大; ③陡山沱组是在整体拉张环境下形成的产物, 中上扬子地区断陷槽均形成台内断陷盆地, 上扬子地区德阳—安岳断陷槽形成时间较晚, 陡山沱组主要沉积碳酸盐岩, 中扬子地区鄂西断陷槽形成较早, 槽内沉积页岩夹碳酸盐岩; ④鄂西断陷槽内厚层陡山沱组富有机质页岩, 保存较好的构造单元中有望获得页岩气勘查新突破, 并可以作为灯影组常规天然气烃源岩, 在生储盖匹配地区有望形成常规油气藏。研究成果可以为震旦纪—寒武纪裂陷槽油气调查工作提供参考。

**关键词:** 陡山沱组; 扬子克拉通; 震旦纪; 沉积特征; 页岩气

中图分类号: P584

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2024)05–0092–12

## 0 引言

新元古代埃迪卡拉纪(635~541 Ma), 全球构造格局发生了重大变化。此时, 罗迪尼亞超大陆裂解, 全球处于离散环境阶段, 发育多个裂陷槽(断陷槽)。扬子克拉通作为超大陆的重要组成部分, 在板块活动中长期位于北半球<sup>[1-2]</sup>, 随着罗迪尼亞超大陆裂解<sup>[3-6]</sup>, 沉积生成大量的富有机质页岩及良好储层。2015年以来, 扬子北部黄陵背斜周缘针对陡山沱组(635~551 Ma)的页岩气勘查获得了工业气流, 这是继四川盆地灯影组安岳特大型气田震旦纪—寒武纪常规天然气突破之后<sup>[7]</sup>, 在四川盆地之外复杂构造区获得的首次古老层系页岩气勘查重大突破<sup>[8]</sup>, 证实了震旦系陡山沱组页岩具有较大的调查潜力和勘探前景。

上世纪通过地层学研究, 刘鸿允<sup>[9]</sup>、王鸿桢

等<sup>[10]</sup>编制了中国震旦纪古地理图集, 首次描述了中国震旦纪古地理特征, 本世纪随着油气田勘探的发展, 马永生等<sup>[11]</sup>、郑和荣等<sup>[12]</sup>分别编制了《中国南方构造—层序地层岩相古地理图集(震旦纪—新近纪)》和《中国前中生代构造层序—岩相古地理图集》。随着研究的进展, 周晓峰等<sup>[13]</sup>重建了扬子克拉通震旦系陡山沱组构造—岩相古地理。然而, 目前对于陡山沱组的沉积环境还存在不同认识, 如陡山沱组内部是否存在暴露面及关键层序界面的识别标志仍然不清楚, 在侵蚀槽和裂陷槽沉积机理上尚有争议<sup>[14-15]</sup>。本研究在中扬子地区获得新勘查资料的基础上, 收集了上扬子地区钻井、物探和地质调查资料, 重点分析了陡山沱组的沉积特征和沉积相, 以鄂西断陷槽和德阳—安岳断陷槽为重点, 研究中上扬子地区陡山沱组沉积大地构造环境, 并讨论了其油气勘探意义。研究成果可促进震旦系—寒武系页岩气重大突破的实现, 为新一轮找

收稿日期: 2024-08-02; 修订日期: 2024-09-12。

基金项目: 国家自然科学基金地质联合基金项目“古特提斯洋俯冲方向和过程对三江造山带构造格架的控制(编号: U2344213)”资助。

第一作者简介: 陈科(1982—), 男, 正高级工程师, 主要从事油气地质调查工作。Email: 39024332@qq.com。

矿突破提供了参考。

## 1 地质背景

扬子地区较为经典的陡山沱组剖面位于三峡地区黄陵背斜南缘,陡山沱组一般由4个岩性段组成,从下到上分别为:陡一段盖帽白云岩,普遍具有原生或成岩重晶石扇、帐篷构造、角砾等特殊构造<sup>[16-22]</sup>;陡二段灰黑色泥页岩夹泥质白云岩;陡三段碳酸盐岩,具有竹叶状构造等特征;陡四段黑色页岩夹碳酸盐岩,整体上呈现两层碳酸盐和两层页岩互层的特征<sup>[23-24]</sup>。在整个扬子地区,陡山沱组岩性主要为碎屑岩和碳酸盐岩,但不同剖面间地层厚度差异较大,部分剖面显示存在垮塌角砾、滑塌褶皱等构造,因此陡山沱组可能存在较为复杂的隆凹古地理格局<sup>[25]</sup>(图1)。

基于火山灰锆石U-Pb定年,陡山沱组内部3个较精确的年龄为:①( $635.2 \pm 0.6$ ) Ma,位于盖帽白云岩内部;②( $632.5 \pm 0.5$ ) Ma,位于盖帽白云岩底部之上9.5 m;③( $551.1 \pm 0.6$ ) Ma,位于陡四段顶部,因此,目前一般认为陡山沱组的沉积时限为635~551 Ma,时间跨度84 Ma<sup>[25-26]</sup>。



(a) 鄂西宜昌地区南沱组、陡山沱组和灯影组露头

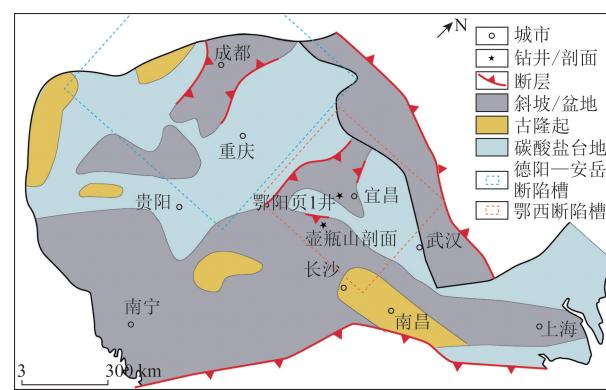


图1 扬子板块震旦纪晚期沉积古地理图(据文献[21]修改)

Fig. 1 Paleogeographic map of the terminal Sinian in Yangtze Block (modified after reference [21])

## 2 沉积地质特征

从沉积序列上看,震旦系陡山沱组整合或平行不整合于南华系南沱组冰碛杂砾岩之上,在宜昌地区与上覆灯影组白云岩为整合接触(图2(a),(b))。其上,灯影组上部与牛蹄塘组富有机质页岩平行不整合接触(图2(c)),在鄂西地区牛蹄塘组相当于由岩家河组和水井沱组两套层序组成(图2(d))。



(b) 鄂西宜昌地区陡山沱组和灯影组界线



(c) 湘西北地区灯影组界线



(d) 鄂西宜昌地区下寒武统岩家河组和水井沱组

图2 鄂西地区震旦纪-寒武系露头照片

Fig. 2 Outcrops photos of Sinian - Cambrian in the western Hubei Province

在鄂西峡东地区陡山沱组发育较完整, 陡一段和陡三段以白色白云岩为主, 陡二段和陡四段

为黑色页岩, 整体上具有“两黑两白”的特征 (图 3)。

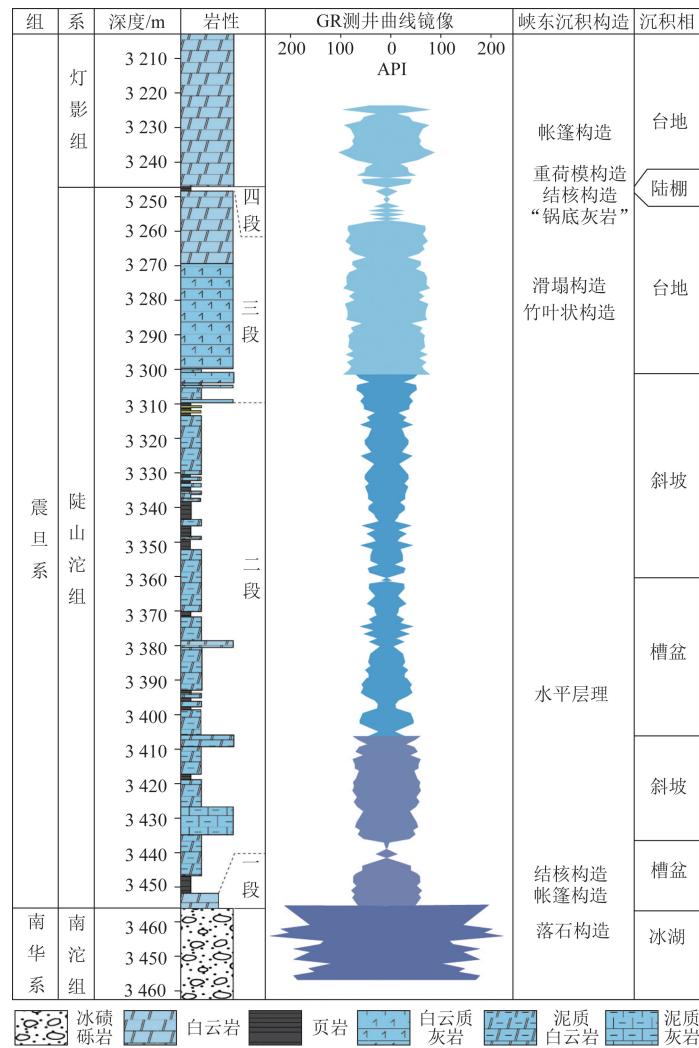


图 3 鄂阳页 1 井陡山沱组综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive histogram of Doushantuo Formation in Well E'Yang

陡山沱组一段为盖帽白云岩, 以灰白色、浅灰色中一厚层灰质白云岩, 含砾灰质白云岩为标志层, 在三峡地区厚度 3.28~16.7 m。陡一段作为全球可对比的盖帽白云岩, 以出现多种沉积构造样式, 蒋干清等<sup>[22]</sup>将峡东地区陡山沱组划分为 3 段, 第一段为扰动非常强烈的胶结层, 第二段为 1~1.9 m 中等纹层, 具有帐篷构造, 第三段为粉砂质泥质灰岩和白云岩, 具有薄的纹层。陡一段发育层状平顶晶洞构造、帐篷构造、层状裂隙、胶结角砾、柱状构造和重晶石冲积扇等沉积构造<sup>[27~41]</sup>, 有关这些构造的成因仍有争议, 存在四种不同的地质模型。①雪球地球假说: 大气中的 CO<sub>2</sub> 通过硅质碎

屑岩和碳酸盐岩风化而形成碳酸盐沉积, 温室效应减弱, 最终演变成雪球地球, 冰期后 CO<sub>2</sub> 释放, 形成全球分布的碳酸盐并伴随重晶石扇和柱状构造<sup>[19, 27]</sup>; ②上升流模式: 冰期后, 海水温差较大, 上升流或海平面上升将富 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的深部海水携带至大陆架及其内部盆地, 沉积广泛分布的盖帽白云岩<sup>[42~44]</sup>; ③甲烷释放模式: 极端寒冷的冰期之后, 甲烷在碳酸盐过饱和海洋中被氧化, 并沉积形成碳酸盐, 保留帐篷构造等沉积构造特征<sup>[31, 34]</sup>; ④淡水分层假说: 低盐度冰雪融水中的微生物活动发育, 沉积广泛发育的碳酸盐沉积, 而扇状文石晶簇被认为是冰融之后缺氧海水与淡水混合的证据<sup>[41]</sup>。

陡山沱组二段为碳质页岩和碳质灰岩互层, 厚75.57~235.4 m, 含有硅质结核, 也被称为含围棋子状硅质结核碳质泥岩, 水平层理发育, 发育硅质结核、磷质结核。该段富含有机质, 鄂西宜昌地区陡山沱组二段是页岩气勘查的主要层系<sup>[8]</sup>, 并可以细分为多个层序<sup>[45]</sup>。

陡山沱组三段主要为灰色薄层—薄板状白云岩, 夹薄层硅质条带和硅质结核, 在三峡地区该段厚35.84~64.73 m。其下部岩性为灰白色厚层砾屑、砂屑白云岩夹中层细晶白云岩, 夹薄层状、透镜状硅质条带及少量含泥质白云岩, 局部层段可见薄—中层状塌积岩或潮坪相砾屑白云岩。上部岩性为灰白色薄层状含灰质白云岩、白云质灰岩, 间夹灰白—灰黄色极薄层—薄层状含云质泥岩、粉砂质泥岩。

陡山沱组四段为含有“锅底灰岩”的碳质泥岩, 水平层理发育。顶部发育2 m厚灰黑色薄层状含磷含铁硅质岩夹灰黑色极薄层状硅质页岩、紫红色薄层状含磷含铁硅质岩。岩层灰黑色含碳页岩夹锅底状白云质灰岩透镜体, 锅底直径5~50 cm, 层间普遍夹紫红色铁质薄膜(图3)。

### 3 中上扬子地区断陷槽

目前中上扬子地区震旦纪—寒武纪油气勘探集中在上扬子地区的德阳—安岳断陷槽和中扬子地区的鄂西断陷槽<sup>[8, 46]</sup>。上扬子地区德阳—安岳断陷槽已经获得灯影组、龙王庙组常规油气重大突破<sup>[46]</sup>, 而中扬子地区鄂西断陷槽获得了震旦系陡山沱组页岩气重大突破, 灯影组和清虚洞组仍然处于勘查阶段。前人研究和扬子地区油气勘探资料表明, 上扬子地区的德阳—安岳断陷槽和中扬子地区的鄂西断陷槽在震旦纪及其后同处于扬子板块, 均具有正断层发育的特征<sup>[7]</sup>, 而且灯影组和下寒武统牛蹄塘组在厚度上均有互补特征, 因此, 两个断陷槽中的陡山沱组具有很好的可对比性, 以下分别讨论两个地质单元的沉积特征。

#### 3.1 德阳—安岳断陷槽

德阳—安岳裂陷槽位于四川盆地内部, 大致呈SN向分布(图1), 震旦纪—寒武纪在拉张背景下,

受同沉积断裂控制, 形成克拉通内裂陷槽(断陷槽)。该裂陷槽近SN向延伸, 裂陷槽内的下寒武统碎屑岩将裂陷槽填平补齐, 发育麦地坪组和筇竹寺组优质烃源岩, 为灯影组常规天然气提供了优质烃源岩<sup>[47~50]</sup>。而区内钻穿陡山沱组的钻井仍然较少, 其勘探潜力仍然值得探索, 其中W117井和女基1井等钻井显示该断陷槽在陡山沱组沉积时期可能为古隆起(图4)。

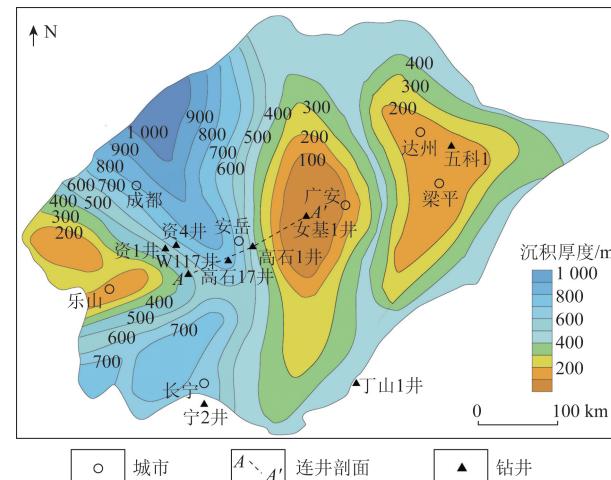


图4 德阳—安岳断陷槽及邻区陡山沱组等厚图<sup>[49]</sup>

Fig. 4 Isopach map of Doushantuo Formation in Deyang—Anyue rift and its adjacent areas<sup>[49]</sup>

W117井位于上扬子震旦纪—寒武纪德阳—安岳断陷槽的西缘, 完钻井深3 746 m, 钻遇陡山沱组厚度约为41 m, 其底部与花岗岩呈不整合接触<sup>[51]</sup>, 顶部和灯影组平行不整合接触, 灯影组岩性为含泥白云岩(图5)。W117井钻遇地层显示, 该区缺失陡一段盖帽白云岩和陡四段黑色页岩, 仅发育陡二段、陡三段。自下向上, 陡二段厚度约为10 m, 发育灰绿色白云质泥岩和白云质粉砂岩, 夹泥质粉砂岩和含砾砂岩, 泥岩中发育砂岩透镜体, 砂岩中可见波痕沉积构造, 判断为砂泥坪沉积<sup>[51]</sup>。陡三段厚度约31 m, 可细分为下部和上部, 下部为含石膏泥质白云岩夹石膏层、白色石膏层夹薄层石膏质白云岩, 根据石膏发育的特征, 判断为潟湖环境; 上部发育灰白色粉晶—泥晶白云岩夹含泥云岩, 局部可见藻纹层沉积构造, 判断为白云岩潮坪环境。从其整体沉积特征上判断, 在陡山沱组沉积之前, W117井应该处于隆起区, 陡一段并未接受沉积, 陡二段开始接受沉积, 但是为

近源浅水沉积,该区因抬升剥蚀而缺乏陡四段沉积。

高石 17 井位于断陷槽内部,下寒武统牛蹄塘组(麦地坪组和筇竹寺组)厚度较大,为 695 m,未钻穿灯影组。高石 1 井位于断陷槽东部边缘,陡山沱组底部与英安岩基底接触,发育陡二段和陡三段沉积,缺乏中扬子地区陡四段的碎屑岩沉积。女基 1 井陡山沱组厚 18.8 m,为台地内部沉积,在陡山沱组一段、二段和三段沉积时期可能为古陆,仅发育陡三段局限台地碳酸盐岩沉积(图 5)。

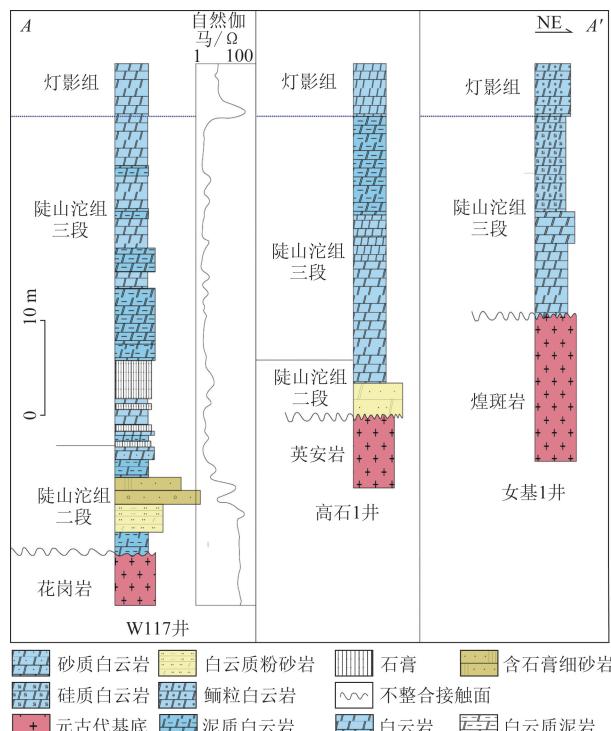


图 5 德阳—安岳断陷槽陡山沱组 AA' 连井剖面柱状图

Fig. 5 AA' stratigraphic column of Doushantuo Formation in Deyang – Anyue rift

### 3.2 鄂西断陷槽

鄂西地区陡山沱组下伏南沱组冰砾砾岩发育,指示了鄂西地区为大陆冰川沉积,具有冰湖相沉积的特征,沉积厚度略厚于大陆<sup>[5]</sup>。陡山沱组在宜昌西部和安康南部沉积厚度较大(图 6),而在鄂西地区发育断陷槽,也被称为“鄂西海槽”。陡山沱组之上沉积灯影组碳酸盐岩和下寒武统牛蹄塘组页岩,灯影组沉积末期发育具有断陷相关的正断层,从沉积厚度上看与德阳—安岳断陷槽类似,下寒武统牛蹄塘组在厚度上与该区灯影组

具有互补的特征,下寒武统发育厚度较大的富有机质页岩,通过勘查获得了复杂构造区下寒武统页岩气突破<sup>[8]</sup>,在沉积充填角度上看,牛蹄塘组碎屑岩也具有填平补齐的特征(图 7)。

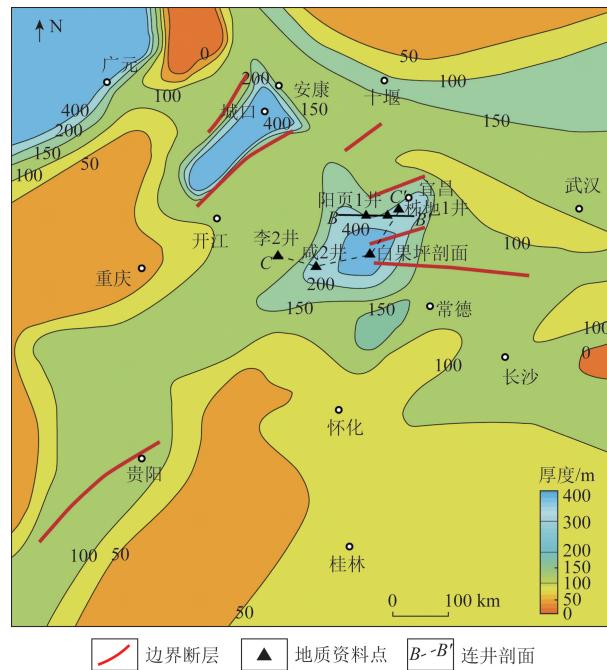


图 6 鄂西断陷槽地区陡山沱组等厚图

Fig. 6 Isopach map of Doushantuo Formation in the western Hubei rift

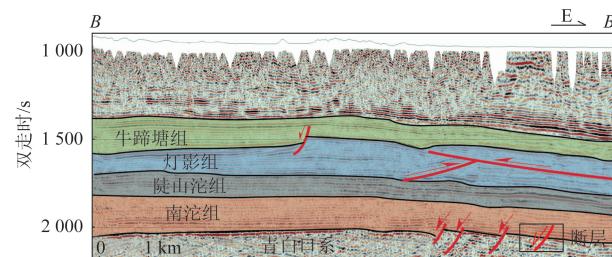


图 7 鄂西地区 BB' 连井地震剖面

Fig. 7 BB' seismic profile in the western Hubei Province

位于鄂西断陷槽西侧的李 2 井,陡山沱组厚度 46.9 m,咸 2 井陡山沱组厚度 59.19 m,断陷槽内部白果坪剖面 695 m,东侧秭地 1 井厚度为 220.25 m。从地层厚度上看,呈现了单侧断陷的结构(图 8)。秭地 1 井位于三峡地区,其底部陡一段为盖帽白云岩,厚度为 8.3 m;陡二段为富有机质页岩,厚度为 151.66 m;陡三段为泥质白云岩,厚度为 58.24 m;陡四段,厚度 2.05 m,为富有机质页岩。

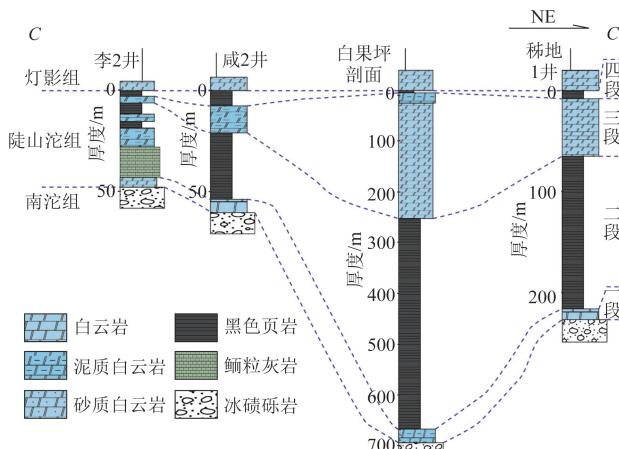


图8 鄂西地区陡山沱组连井CC'剖面

Fig.8 CC' profile of Doushantuo Formation in the western Hubei Province

## 4 沉积相分析对比

震旦纪初期,扬子地区自从南沱组冰期后气候变暖,海平面快速上升,形成了广泛分布的陆表浅海,在冰碛物之上沉积了一套厚度不大的碳酸盐,即盖帽白云岩,构成了陡山沱期的第一个海侵体系域(图3)。此后,扬子地区经历了多个海进—海退沉积旋回,主要由碎屑岩和碳酸盐岩组成。

陡山沱组底部在扬子地区大多具有明显的超覆特征,中扬子地区北缘神农架、京山等地常见陡山沱组底部沉积了古风化壳的铁锰矿床,平行不整合覆于南沱组之上,在峡东地区及崇阳、通山等地可见厚层含砂白云岩平行不整合于南沱组之上。陡山沱组沉积中、晚期,扬子地区古地理环境发生了急剧变化,不同地区形成了特征明显的深水、浅水沉积物,如在湘西北大庸四都坪、田坪等地出现了代表较深水斜坡环境的碳酸盐滑塌沉积,说明古地理环境的变化明显,使中扬子地区在陡山沱期除了发育广阔的碳酸盐台地相区外,还发育了斜坡和台缘盆地相区。古地理环境发生剧烈变化的原因可能与此时超大陆裂解而拉张形成可容空间有关。

按照沉积优势相,结合周晓峰等<sup>[13]</sup>最新编制的扬子克拉通震旦系陡山沱期构造岩相古地理图,扬子地区古地理隆凹格局总体上表现出西高东低、北高南低的特征。从沉积环境上看具体有4个古陆、3个台地和4个盆地的沉积格局(图9)。

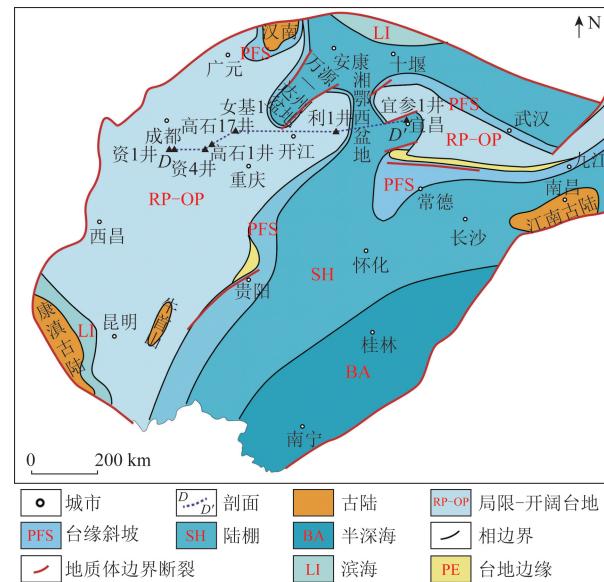


图9 陡山沱组沉积相图(据文献[13]修改)

Fig.9 Sedimentary facies map of Doushantuo Formation (modified after reference [13])

扬子地区4个古陆,即汉南古陆、康滇古陆、牛首山古陆和江南古陆(图9),分布在扬子周缘地区,古陆存在开始于成冰纪时期,在陡山沱组沉积时期后,逐步被海水覆盖,呈现了从古陆周缘向内部的超覆沉积特征,这些小范围残余古陆为陡山沱组碎屑岩提供了主要的碎屑物源<sup>[51]</sup>。

扬子地区的台地陡山沱组优势相区主要分布在滇东、川西、渝西、鄂、皖中、浙北等地(图9),3个台地分别为上扬子台地、中下扬子台地和浙北台地。台地地区以发育局限—开阔台地相为主,岩性为白云岩、泥质白云岩和泥质灰岩沉积。台地区沉积厚度差异较大,介于20~660 m,可能发育多个台内凹陷而沉积碎屑岩。

扬子地区的4个盆地分别位于东北万源—达州、鄂西断陷槽、扬子东南缘和扬子东北缘(图9),从盆地性质上看,前二者属于克拉通内断陷,范围较小;后二者属为被动陆缘拗陷,范围和面积较大<sup>[6]</sup>。2个克拉通内断陷盆地区主要发育台缘斜坡和陆棚相,从盆地边缘到盆地内部,从斜坡相泥质白云岩和碳质泥岩,逐渐过渡为陆棚相大套泥页岩夹泥质碳酸盐岩。克拉通内断陷盆地区陡山沱组厚度一般介于100~300 m。湘鄂西地区白果坪剖面陡山沱组厚度可达695 m,且发育深水滑塌沉积,说明陡山沱组以陆棚相深灰色泥岩和灰色粉砂岩韵律互层沉积为特征。2个被动陆缘拗陷表现出

往海盆方向水体逐渐变深的特征,拗陷盆地区陡山沱组厚度一般为 50~100 m。

从优势相区上看,震旦纪陡山沱期扬子处于碳酸盐台地发育初期阶段,主要特征为滨浅海陆源碎屑岩与碳酸盐岩混合沉积。

## 5 讨论

### 5.1 陡山沱组沉积环境

#### 5.1.1 沉积背景

震旦纪全球发育大量裂谷盆地,诸多研究也将该期伸展与罗迪尼亞超大陆裂解相关联,而扬子板块自新元古代青白口纪一直位于超大陆的北缘<sup>[1-2]</sup>,随着超大陆的裂解,发生大规模的沉降<sup>[5-6]</sup>,此后在冈瓦纳大陆再次聚合挤压形成前,扬子地区一直处于离散大陆的张性环境。因此,扬子地区在新元古代经历了较为复杂的多期拉张盆地的发育,不同地区发育不同的断陷槽。

上扬子克拉通在震旦纪几乎无火山活动,穿越上扬子四川盆地深反射地震剖面揭示,震旦系也无明显的大断裂活动<sup>[6]</sup>,因此,四川盆地底部陡山沱组沉积时期并未发育裂谷(图 9)。然而,此时在鄂西地区有明显的控层正断层(图 6),从盆地厚度的形态上,也具有正断层发育的特征(图 8 和图 9),说明在陡山沱沉积时期,中扬子地区已经发育断陷槽。

因此,在陡山沱组沉积早期(一段和二段沉积时期),受下伏早期古地貌发育特征和形态控制<sup>[6, 52-54]</sup>,加之气候转暖、冰川融化导致的海平面上升影响,扬子克拉通在该时期逐渐被海水大面积覆盖,形成陡一段盖帽碳酸岩和盆地内的富有机质页岩;在陡山沱组三段沉积时期,海平面上升,形成大面积分布的碳酸岩和浅水碎屑岩;陡山沱组沉积晚期(四段沉积时期),海平面持续上升,同时受到同沉积断裂活动的影响,如在川东北镇巴等地露头中发现滑塌褶皱、滑塌角砾等沉积构造<sup>[55-56]</sup>,断陷进一步发育而成 2 个断陷槽,分别为扬子北缘和东南缘被动陆缘拗陷、万源—达州和湘鄂西克拉通内断陷为主的盆地格局(图 9)。

#### 5.1.2 沉积机制

裂陷槽形成机制存在争议,其中侵蚀谷机制强调桐湾运动形成古地貌对下寒武统沉积的控制作用<sup>[57-59]</sup>;拉张槽机制强调桐湾运动隆升剥蚀及早寒

武世拉张<sup>[60-61]</sup>;克拉通内裂陷模型强调晚震旦世—早寒武世拉张<sup>[48, 62-63]</sup>;拉张—侵蚀槽模式强调震旦纪期间基底断裂多幕堑垒式活动对灯影组控制<sup>[64]</sup>。汪泽成等<sup>[25]</sup>认为是区域伸展构造环境导致晚震旦世中上扬子克拉通发生构造分异,受同沉积断裂活动控制,四川盆地腹部发育德阳—安岳台内断陷,中上扬子之间发育城口—鄂西台内断陷,形成了灯影组沉积期“三台两凹”的构造—古地理格局。李文正等<sup>[65]</sup>认为鄂西—渝东地区克拉通内裂陷近 SN 向分布。从本文的研究和陡山沱组沉积厚度分布可以看出,在川东北万源—达州、湘鄂西一带出现了明显的厚度差异(图 4),指示了此时发育了台内裂陷盆地(即鄂西海槽),后期灯影组发育显示了明显的台盆结构(图 9),在早寒武世以碎屑岩将裂陷槽填平补齐。

#### 5.1.3 中上扬子裂陷槽对比

通过对比扬子地区两个裂陷槽的陡山沱组发育特征,两者在三个方面具有明显的区别:①初始接受沉积时间,上扬子德阳—安岳裂陷槽在南华纪和震旦纪早期均为古陆,缺失陡一段,中扬子鄂西裂陷槽沉积较连续的南华纪南沱组冰碛岩,震旦系陡山沱组一段盖帽白云岩稳定连续分布,说明此时具有西高东低的古地形特征;②岩性方面,上扬子陡山沱组以碳酸盐岩和粗粒碎屑岩为主,富有机质页岩发育较少,中扬子地区以黑色页岩和碳酸盐岩为主;③沉积厚度,上扬子地区裂陷槽因为开启时间晚,沉积厚度较薄,陡一段和陡二段大面积缺失,陡山沱组整个厚度小于 50 m,而中扬子地区古地形位置较低,裂陷槽开启时间较早,形成厚度较大,最厚地区越 700 m。因此,中上扬子裂陷槽古地形决定了两个地区沉积物和地质特征的差异性(图 10)。

## 5.2 油气勘探意义

### 5.2.1 页岩气

震旦系陡山沱组是我国南方地区重要的页岩层系,长期以来也是固体矿产的重点层系如磷矿、锰矿等<sup>[66-68]</sup>。近期,已经在鄂西宜昌地区获得陡山沱组页岩重大突破<sup>[8]</sup>,根据调查,将陡山沱组地层分为 4 段,富有机质页岩发育在陡山沱二段和四段,陡四段厚度较小,目前的勘查集中在陡山沱组二段,相当于二级层序中的海侵体系域。厚度普遍大于 100 m,在鄂西断陷槽高达 600 m,TOC 平均值为 2.5%,成熟度为 2%~3%,达到高—过成熟生气阶段。目前页岩气勘探程度较低,建议优选鄂

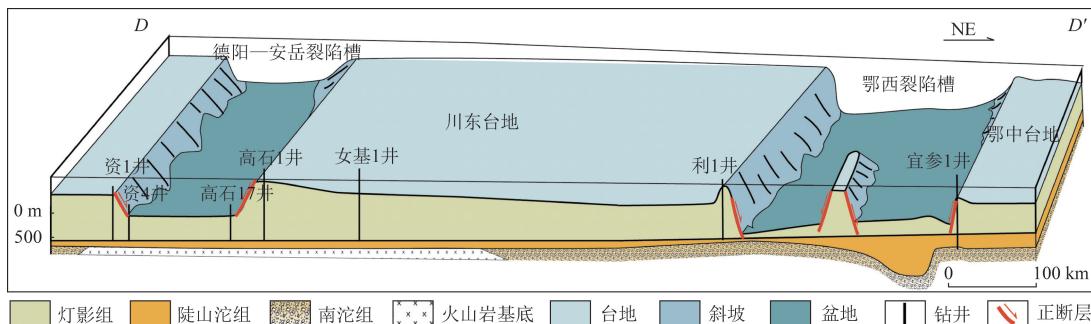


图 10 中上扬子地区震旦系陡山沱组—灯影组沉积期沉积模式

Fig. 10 Sedimentary model during the sedimentary period of Sinian Doushantuo – Dengying Formation in Middle – upper Yangtze region

西断陷槽和川东北安康断陷槽等地,实施页岩气勘查,有望扩大页岩气勘查范围。

#### 5.2.2 常规油气

震旦纪—寒武纪常规油气是我国南方重要的油气成藏组合,如四川盆地新元古界灯影组藻丘滩白云岩,受沉积相和成岩作用双重影响<sup>[25]</sup>,叠加两期桐湾运动导致的风化剥蚀暴露及淡水淋滤作用改造形成有效储集层,孔隙度一般为4%~6%,储集层累计厚度可达60~130 m。目前在四川盆地获得了安岳气田灯影组常规油气重大突破。对于中扬子地区常规油气,从下到上分别为陡山沱组烃源岩、灯影组常规油气和牛蹄塘组烃源岩和盖层,形成“三明治”式常规油气成藏模式,但是该组合保存条件较差,目前还需要进一步勘查,优选保存条件,在复向斜中优选构造高点,即“凹中隆”,有望获得该新领域的突破。

## 6 结论

(1)通过研究中上扬子地区两个断陷槽内陡山沱组露头、钻井和地球物理资料,对比分析了两者的沉积特征和沉积环境,中上扬子地区陡山沱组沉积时期古地理在地形上具有西高东低的特征。西部德阳—安岳断陷槽地区陡山沱组海拔较高,早期为古陆,后期为台地;而鄂西断陷槽海拔较低,有更大的容积空间,能够沉积更厚的沉积物。

(2)陡山沱组沉积早期,上扬子地区仍然大面积为古陆,而中扬子地区在下部具有台地、潟湖、陆棚和盆地的沉积特征。中扬子地区陡山沱组发育较完整的沉积,而上扬子地区地层较薄,陡山沱组中后期才接受沉积。

(3)陡山沱组是在整体拉张环境下形成的产

物,均为台内断陷,上扬子德阳—安岳裂陷槽形成时间较晚,陡山沱组主要沉积碳酸盐岩沉积,中扬子鄂西裂陷槽形成较早,沉积页岩夹碳酸盐岩。

(4)鄂西断陷槽沉积富有机质陡山沱组,在保存好的构造单元有望获得页岩气新突破,并可以为灯影组提供天然气烃源岩,在生储盖匹配地区有望获得常规油气新突破。

**致谢:**感谢匿名审稿专家对本文提出的宝贵意见。

#### 参考文献(References):

- [1] Evans D A D, Li Z X, Kirschvink J L, et al. A high – quality mid – Neoproterozoic paleomagnetic pole from South China, with implications for ice ages and the breakup configuration of Rodinia[J]. Precambrian Research, 2000, 100 (1/2/3) : 313 – 334.
- [2] Cawood P A, Zhao G C, Yao J L, et al. Reconstructing South China in Phanerozoic and Precambrian supercontinents[J]. Earth – Science Reviews, 2018, 186 : 173 – 194.
- [3] Li X H, Li W X, Li Z X, et al. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China: constraints from SHRIMP U – Pb zircon ages, geochemistry and Nd – Hf isotopes of the Shuangxiu volcanic rocks[J]. Precambrian Research, 2009, 174 (1/2) : 117 – 128.
- [4] 旷红伟,柳永清,耿元生,等.中国中新元古代重要沉积地质事件及其意义[J].古地理学报,2019,21(1):1–30.
- Kuang H W, Liu Y Q, Geng Y S, et al. Important sedimentary geological events of the Meso – Neoproterozoic and their significance[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2019, 21(1) : 1 – 30.
- [5] Wang J, Li Z X. History of Neoproterozoic rift basins in South China: Implications for Rodinia break – up [J]. Precambrian Research, 2003, 122 (1 – 4) : 141 – 158.
- [6] Yang F L, Zhou X F, Peng Y X, et al. Evolution of Neoproterozoic

- basins within the Yangtze Craton and its significance for oil and gas exploration in South China:an overview [J]. Precambrian Research,2020,337:105563.
- [7] 杜金虎,汪泽成,邹才能,等.上扬子克拉通内裂陷的发现及对安岳特大型气田形成的控制作用 [J]. 石油学报,2016,37(1):1–16.  
Du J H, Wang Z C, Zou C N, et al. Discovery of intra – cratonic rift in the Upper Yangtze and its control effect on the formation of Anyue giant gas field [J]. Acta Petrolei Sinica,2016,37(1):1 – 16.
- [8] 陈科,翟刚毅,包书景,等. 华南黄陵隆起构造演化及其对页岩气保存的控制作用 [J]. 中国地质,2020,47(1):161 – 172.  
Chen K, Zhai G Y, Bao S J, et al. Tectonic evolution of the Huangling uplift and its control effect on shale gas preservation in South China [J]. Geology in China,2020,47(1):161 – 172.
- [9] 刘鸿允. 中国古地理图 [M]. 北京:科学出版社,1955.  
Liu H Y. Paleogeographic Map of China [M]. Beijing: Science Press,1955.
- [10] 王鸿祯,楚旭春,刘本培. 中国古地理图集 [M]. 北京:地图出版社,1985.  
Wang H Z, Chu X C, Liu B P. Atlas of the Palaeogeography of China [M]. Beijing: Map Publishing House,1985.
- [11] 马永生,陈洪德,王国力. 中国南方构造 – 层序岩相古地理图集(震旦纪 – 新近纪) [M]. 北京:科学出版社,2009.  
Ma Y S, Chen H D, Wang G L. Atlas of Tectonic Sequence Stratigraphy, Lithofacies, and Paleogeography in Southern China (Sinian Neogene) [M]. Beijing: Science Press,2009.
- [12] 郑和荣,胡宗全. 中国前中生代构造 – 岩相古地理图集 [M]. 北京:地质出版社,2010.  
Zheng H R, Hu Z Q. Atlas of Pre Mesozoic Tectonic Sequences, Lithofacies, and Paleogeography in China [M]. Beijing: Geological Publishing House,2010.
- [13] 周晓峰,杨风丽,杨瑞青,等. 扬子克拉通埃迪卡拉系陡山沱组构造 – 岩相古地理恢复及油气意义 [J]. 古地理学报,2020,22(4):647 – 662.  
Zhou X F, Yang F L, Yang R Q, et al. Tectonic – lithofacies palaeogeographic reconstruction of the Yangtze Craton of the Ediacaran Doushantuo Formation and its oil and gas significance [J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition),2020,22(4):647 – 662.
- [14] Jiang G Q, Shi X Y, Zhang S H, et al. Stratigraphy and paleogeography of the Ediacaran Doushantuo Formation (ca. 635 ~ 551 Ma) in South China [J]. Gondwana Research,2011,19(4): 831 – 849.
- [15] Zhu M Y, Lu M, Zhang J M, et al. Carbon isotope chemostratigraphy and sedimentary facies evolution of the Ediacaran Doushantuo Formation in western Hubei, South China [J]. Precambrian Research,2013,225:7 – 28.
- [16] Bowring S A, Myrow P, Landing E, et al. Geochronological constraints on terminal Neoproterozoic events and the rise of Metazoan [C]// Proceedings of EGS – AGU – EUG Joint Assembly. Nice,2003:13219.
- [17] Zhao G C, Cawood P A. Precambrian geology of China [J]. Precambrian Research,2012,222 – 223:13 – 54.
- [18] Zhang S H, Li H Y, Jiang G Q, et al. New paleomagnetic results from the Ediacaran Doushantuo Formation in South China and their paleogeographic implications [J]. Precambrian Research,2015,259:130 – 142.
- [19] Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, et al. A Neoproterozoic snowball earth [J]. Science,1998,281(5381):1342 – 1346.
- [20] 胡军,孙思远,谷昊东,等. 峡东南华系南沱组底部冰川底砾沉积特征及其意义 [J]. 地球科学,2021,46(7):2515 – 2528.  
Hu J, Sun S Y, Gu H D, et al. Subglacial sedimentary characteristics of the bottom of Nantuo Formation in Three Gorges Area and its implications [J]. Earth Science,2021,46(7):2515 – 2528.
- [21] Wang J B, He Z L, Zhu D Y, et al. Petrological and geochemical characteristics of the botryoidal dolomite of Dengying Formation in the Yangtze Craton, South China: Constraints on terminal Ediacaran “dolomite seas” [J]. Sedimentary Geology, 2020, 406: 105722.
- [22] 蒋干清,史晓颖,张世红. 甲烷渗漏构造、水合物分解释放与新元古代冰后期盖帽碳酸盐岩 [J]. 科学通报,2006,51(10): 1121 – 1138.  
Jiang G Q, Shi X Y, Zhang S H. Methane leakage structure, hydrate decomposition and release, and Neoproterozoic post glacial cap carbonate rocks [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(10): 1121 – 1138.
- [23] 安志辉,童金南,叶琴,等. 峡东青林口地区新元古代地层序列及沉积演变 [J]. 地球科学(中国地质大学学报),2014, 39(7):795 – 806.  
An Z H, Tong J N, Ye Q, et al. Neoproterozoic stratigraphic sequence and sedimentary evolution at Qinglinkou Section, East Yangtze Gorges Area [J]. Earth Science:Journal of China University of Geosciences,2014,39(7):795 – 806.
- [24] Zhou C M, Li X H, Xiao S H, et al. A new SIMS zircon U – Pb date from the Ediacaran Doushantuo Formation: Age constraint on the Weng'an biota [J]. Geological Magazine, 2017, 154 (6): 1193 – 1201.
- [25] 汪泽成,姜华,陈志勇,等. 中上扬子地区晚震旦世构造古地理及油气地质意义 [J]. 石油勘探与开发,2020,47(5):884 – 897.  
Wang Z C, Jiang H, Chen Z Y, et al. Tectonic paleogeography of Late Sinian and its significances for petroleum exploration in the middle – upper Yangtze region, South China [J]. Petroleum Exploration and Development,2020,47(5):884 – 897.
- [26] Condon D, Zhu M Y, Bowring S, et al. U – Pb ages from the Neoproterozoic Doushantuo formation, China [J]. Science, 2005, 308(5718):95 – 98.

- [27] Hoffman P F, Schrag D P. The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change [J]. *Terra Nova*, 2002, 14(3): 129–155.
- [28] Aitken J D. The ice brook formation and post-Rapitan, late Proterozoic glaciation, Mackenzie Mountains, Northwest Territories [R]. Ottawa: Energy, Mines and Resources Canada, Geological Survey of Canada, 1991.
- [29] Kennedy M J. Stratigraphy, sedimentology, and isotopic geochemistry of Australian Neoproterozoic postglacial cap dolostones; deglaciation, delta  $^{13}\text{C}$  excursions, and carbonate precipitation [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1996, 66(6): 1050–1064.
- [30] Kennedy M J, Runnegar B, Prave A R, et al. Two or four Neoproterozoic glaciations? [J]. *Geology*, 1998, 26(12): 1059–1063.
- [31] Kennedy M J, Christie-blick N, Sohl L E. Are Proterozoic cap carbonates and isotopic excursions a record of gas hydrate destabilization following Earth's coldest intervals? [J]. *Geology*, 2001, 29(5): 443–446.
- [32] James N P, Narbonne G M, Kyser T K. Late Neoproterozoic cap carbonates: Mackenzie Mountains, northwestern Canada; precipitation and global glacial meltdown [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2001, 38(8): 1229–1262.
- [33] Jiang G, Christie-blick N, Kaufman A J, et al. Sequence stratigraphy of the Neoproterozoic Infra Krol Formation and Krol Group, Lesser Himalaya, India [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2002, 72(4): 524–542.
- [34] Jiang G Q, Kennedy M J, Christie-blick N. Stable isotopic evidence for methane seeps in Neoproterozoic postglacial cap carbonates [J]. *Nature*, 2003, 426(6968): 822–826.
- [35] Nogueira A C R, Riccomini C, Sial A N, et al. Soft-sediment deformation at the base of the Neoproterozoic Puga cap carbonate (southwestern Amazon craton, Brazil); Confirmation of rapid ice-house to greenhouse transition in snowball Earth [J]. *Geology*, 2003, 31(7): 613–616.
- [36] Halverson G P, Maloof A C, Hoffman P F. The Marinoan glaciation (Neoproterozoic) in northeast Svalbard [J]. *Basin Research*, 2004, 16(3): 297–324.
- [37] Allen P A, Leather J, Brasier M D. The Neoproterozoic Fiq glaciation and its aftermath, Huqf supergroup of Oman [J]. *Basin Research*, 2004, 16(4): 507–534.
- [38] Porter S M, Knoll A H, Affaton P. Chemostratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates from the Volta Basin, West Africa [J]. *Precambrian Research*, 2004, 130(1/2/3/4): 99–112.
- [39] Xiao S H, Bao H M, Wang H F, et al. The Neoproterozoic Quruqtagh Group in eastern Chinese Tianshan: evidence for a post-Marinoan glaciation [J]. *Precambrian Research*, 2004, 130(1–4): 1–26.
- [40] Allen P A, Hoffman P F. Extreme winds and waves in the aftermath of a Neoproterozoic glaciation [J]. *Nature*, 2005, 433(7022): 123–127.
- [41] Shields G A. Neoproterozoic cap carbonates: a critical appraisal of existing models and the plumeworld hypothesis [J]. *Terra Nova*, 2005, 17(4): 299–310.
- [42] Grotzinger J P, Knoll A H. Anomalous carbonate precipitates: Is the Precambrian the key to the Permian? [J]. *Palaios*, 1995, 10(6): 578–596.
- [43] Knoll A H, Bambach R K, Canfield D E, et al. Comparative Earth history and Late Permian mass extinction [J]. *Science*, 1996, 273(5274): 452–457.
- [44] Ridgwell A J, Kennedy M J, Caldeira K. Carbonate deposition, climate stability, and Neoproterozoic Ice Ages [J]. *Science*, 2003, 302(5646): 859–862.
- [45] 李浩涵,包书景,张焱林,等.鄂西地区下震旦统陡山沱组二段剖面特征及页岩气地质意义[J].油气藏评价与开发,2022,12(1):171–180.
- Li H H, Bao S J, Zhang Y L, et al. Outcrop characteristics and shale gas geological significance of the second member in Doushantu Formation of Lower Sinian in western Hubei [J]. *Petroleum Reservoir Evaluation and Development*, 2022, 12(1): 171–180.
- [46] 魏国齐,贾承造,杨威.安岳—奉节地区上震旦统下寒武统陆架边缘台地地质特征及其对大气田(区)形成的控制作用[J].石油学报,2023,44(2):223–240,311.
- Wei G Q, Jia C Z, Yang W. Geological characteristics of shelf-rimmed platform from Upper Sinian to Lower Cambrian and its control on formation of large gas fields in Anyue-Fengjie area [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2023, 44(2): 223–240,311.
- [47] 魏国齐,杨威,杜金虎,等.四川盆地震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷地质特征[J].天然气工业,2015,35(1):24–35.
- Wei G Q, Yang W, Du J H, et al. Geological characteristics of the Sinian-Early Cambrian intracratonic rift, Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2015, 35(1): 24–35.
- [48] 邹才能,杜金虎,徐春春,等.四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J].石油勘探与开发,2014,41(3):278–293.
- Zou C N, Du J H, Xu C C, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gas field, Sichuan Basin, SW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(3): 278–293.
- [49] 杜金虎,汪泽成,邹才能,等.上扬子克拉通内裂陷的发现及对安岳特大型气田形成的控制作用[J].石油学报,2016,37(1):1–16.
- Du J H, Wang Z C, Zou C N, et al. Discovery of intra-cratonic rift in the Upper Yangtze and its control effect on the formation of Anyue giant gas field [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2016, 37(1): 1–16.
- [50] 马新华,杨雨,文龙,等.四川盆地海相碳酸盐岩大中型气田分布规律及勘探方向[J].石油勘探与开发,2019,46(1):1–13.

- Ma X H, Yang Y, Wen L, et al. Distribution and exploration direction of medium – and large – sized marine carbonate gas fields in Sichuan Basin, SW China [J]. Petroleum Exploration & Development, 2019, 46(1):1–13.
- [51] 汪泽成, 刘静江, 姜华, 等. 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, 2019, 46(1):39–51.
- Wang Z C, Liu J J, Jiang H, et al. 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, 2019, 46(1):39–51.
- [52] Li C, Shi W, Cheng M, et al. The redox structure of Ediacaran and early Cambrian oceans and its controls [J]. Science Bulletin, 2020, 65(24):2141–2149.
- [53] 管树巍, 吴林, 任荣, 等. 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, 2017, 38(1):9–22.
- Guan S W, Wu L, Ren R, et al. Distribution and petroleum prospect of Precambrian rifts in the main cratons, China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(1):9–22.
- [54] Li S Z, Li X Y, Wang G Z, et al. Global Meso – Neoproterozoic plate reconstruction and formation mechanism for Precambrian basins: Constraints from three cratons in China [J]. Earth – Science Reviews, 2019, 198:102946.
- [55] Vail P R, Mitchum Jr R M, Thompson III S, et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 3. Relative changes of sea level from coastal onlap: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation [M]//Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. American Association of Petroleum Geologists, 1977.
- [56] 李智武,冉波,肖斌,等. 四川盆地北缘震旦纪—早寒武世隆坳格局及其油气勘探意义 [J]. 地学前缘, 2019, 26(1):59–85.
- Li Z W, Ran B, Xiao B, et al. Sinian to Early Cambrian uplift – depression framework along the northern margin of the Sichuan Basin, central China and its implications for hydrocarbon exploration [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(1):59–85.
- [57] 汪泽成, 姜华, 王铜山, 等. 四川盆地桐湾期古地貌特征及成藏意义 [J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3):305–312.
- Wang Z C, Jiang H, Wang T S, et al. Paleo – geomorphology formed during Tongwan tectonization in Sichuan Basin and its significance for hydrocarbon accumulation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3):305–312.
- [58] 杨雨, 黄先平, 张健, 等. 四川盆地寒武系沉积前震旦系顶界岩溶地貌特征及其地质意义 [J]. 天然气工业, 2014, 34(3):38–43.
- Yang Y, Huang X P, Zhang J, et al. Features and geologic significances of the top Sinian karst landform before the Cambrian deposition in the Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3):38–43.
- [59] 周慧, 李伟, 张宝民, 等. 四川盆地震旦纪末期—寒武纪早期台盆的形成与演化 [J]. 石油学报, 2015, 36(3):310–323.
- Zhou H, Li W, Zhang B M, et al. Formation and evolution of Upper Sinian to Lower Cambrian intraplatform basin in Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3):310–323.
- [60] 刘树根, 孙玮, 罗志立, 等. 兴凯地裂运动与四川盆地地下组合油气勘探 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2013, 40(5):511–520.
- Liu S G, Sun W, Luo Z L, et al. Xingkai taphrogenesis and petroleum exploration from Upper Sinian to Cambrian Strata in Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2013, 40(5):511–520.
- [61] 李伟, 刘静江, 邓胜徽, 等. 四川盆地及邻区震旦纪末—寒武纪早期构造运动性质与作用 [J]. 石油学报, 2015, 36(5):546–556, 563.
- Li W, Liu J J, Deng S H, et al. The nature and role of Late Sinian – Early Cambrian tectonic movement in Sichuan Basin and its adjacent areas [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(5):546–556, 563.
- [62] 杜金虎, 邹才能, 徐春春, 等. 川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新 [J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3):268–277.
- Du J H, Zou C N, Xu C C, et al. Theoretical and technical innovations in strategic discovery of a giant gas field in Cambrian Longwangmiao Formation of central Sichuan paleo – uplift, Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3):268–277.
- [63] 杨志如, 王学军, 冯许魁, 等. 川中地区前震旦系裂谷研究及其地质意义 [J]. 天然气工业, 2014, 34(3):80–85.
- Yang Z R, Wang X J, Feng X K, et al. Geological research and significance of a rift valley in the Presinian period in central Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3):80–85.
- [64] 李忠权, 刘记, 李应, 等. 四川盆地震旦系威远—安岳拉张侵蚀槽特征及形成演化 [J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(1):26–33.
- Li Z Q, Liu J, Li Y, et al. Formation and evolution of Weiyuan – Anyue extension – erosion groove in Sinian system, Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(1):26–33.
- [65] 李文正, 张建勇, 李浩涵, 等. 鄂西—渝东地区克拉通内裂陷分布特征及油气勘探意义 [J]. 天然气地球科学, 2020, 31(5):675–685.
- Li W Z, Zhang J Y, Li H H, et al. Distribution characteristics of intracratonic rift and its exploration significance in western Hubei and eastern Chongqing area [J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(5):675–685.
- [66] 赵东旭. 四川城口陡山沱组的 Epiphyton 锰质叠层石 [J]. 科学通报, 1992, 37(20):1873–1875.
- Zhao D X. Epiphyton manganese stromatolites from the Tuo Formation of Chengkou Steep Mountain, Sichuan [J]. Chinese Sci-

- ence Bulletin, 1992, 37(20): 1873 – 1875.
- [67] 万平益, 罗锋. 重庆市城口锰矿地质特征与成因及成矿远景分析[J]. 中国锰业, 2000, 18(3): 5 – 8.  
Wan P Y, Luo F. Geologic features, origin and formation prospect of Chengkou Manganese Deposit, Chongqing [J]. China's Manganese Industry, 2000, 18(3): 5 – 8.
- [68] 张汉金, 胡正祥, 颜代蓉, 等. 鄂西陡山沱村期岩相古地理与含磷岩系沉积规律[J]. 地层学杂志, 2013, 37(4): 521 – 526.  
Zhang H J, Hu Z X, Yan D R, et al. Phosphoric rock series in the Ediacaran Doushantuo Age (Sinian period) in western Hubei [J]. Journal of Stratigraphy, 2013, 37(4): 521 – 526.

## Sedimentary characteristics of Doushantuo Formation in middle – upper Yangtze region and its significance for oil and gas geology

CHEN Ke, LU Yanxin, LI Fei, SONG Teng

(Oil & Gas Survey Center, China Geological Survey, Beijing, 100083, China)

**Abstract:** Industrial gas flow of shale gas was recently achieved in Doushantuo Formation of Sinian in the western Hubei Province. The organic – rich shale of Doushantuo Formation was predominantly found in Deyang – Anyue rift of the upper Yangtze region and the western Hubei rift of the middle Yangtze region, and its sedimentary characteristics and petroleum geological conditions were critical for further exploration and development of shale gas and oil resources. A comparative analysis of the sedimentary characteristics and environment of these two rifts was conducted through the analysis of the outcrops, drilling, and geophysical data of Doushantuo Formation. The results are as follows. ① The paleogeographic pattern exhibited a terrain that was higher in the west and lower in the east in the middle – upper Yangtze region during the deposition of Doushantuo Formation. ② A significant area of ancient land persisted in the upper Yangtze region during the early deposition stage of Doushantuo Formation, with a relatively thin layer or missing layer, which has mass deposition in the middle – later stage. While the middle Yangtze region features sedimentary environment such as platform, lagoon, continental shelf, and basin, with well – developed strata, substantial sediment thickness, and development of organic – rich shales. ③ Doushantuo Formation is a product of an extensional environment, and the aulacogen in the middle – upper Yangtze region all formed graben basin with in the platform. The formation of Deyang – Anyue fault depression in the upper Yangtze region occurred late, and Doushantuo Formation primarily deposited in carbonate rock. Conversely, the western Hubei rift of the middle Yangtze region formed earlier, with shale and carbonate intercalations depositing. ④ In the western Hubei Province, Doushantuo Formation depositing in the rift trough contains abundant organic matter. The well – preserved structural units are anticipated to lead to breakthroughs in shale gas exploration, which could potentially serve as the natural gas source rock of Dengying Formation, and present opportunities for conventional oil and gas discoveries within the matching area of source – reservoir – cap conditions. This research could provide some references for the oil and gas investigation work in Sinian – Cambrian rifts.

**Keywords:** Doushantuo Formation; Yangtze craton; Sinian Period; sedimentary characteristics; shale gas

(责任编辑: 王晗)