第 27 卷　第 6 期
2025 年　12 月

古　地　理　学　报
JOURNAL OF PALAEOGEOGRAPHY（Chinese Edition）

Vol. 27　No. 6
Dec.　2025

文章编号：1671-1505(2025)06-1516-16　　**DOI**:10.7605/gdlxb.2025.074

四川盆地及周缘地区震旦系灯影组三段构造-沉积格局*

何　宇[1,2]　丁　一[1,2]　张　新[3]　李智武[1,2]　张自力[3]
兰才俊[3]　宋金民[1]　陈荣庆[2]　张盼盼[2]　刘树根[1,4]

1 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室，四川成都 610059
2 成都理工大学沉积地质研究院，四川成都 610059
3 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院，四川成都 610041
4 西华大学，四川成都 610039

摘　要　四川盆地灯影组三段岩相及沉积相展布尚存争议，不利于深入理解该时期的构造格局及油气勘探工作的进一步开展。在此背景下，对四川盆地灯三段多个野外剖面和钻井进行详细研究，共识别出深水陆棚、浅水陆棚、滨岸3种沉积环境。其中，深水陆棚相为静水环境，主要发育泥页岩；浅水陆棚相主要受风暴浪和回流作用影响，以砂岩、粉砂岩和混积岩为主，常见丘状交错层理、粒序层理及冲刷面等风暴成因构造；滨岸相受控于波浪和潮汐作用，以砂岩为主，交错层理最为发育。此外，在西乡—南郑一带灯四段直接超覆于基底上，说明在灯三段沉积时期该区为古陆。依据典型剖面识别出的优势相，结合单因素法绘制出四川盆地灯三段沉积相展布图，重建了汉南古陆主控的碎屑岩陆表海沉积格局，具体表现为：远离汉南古陆方向，自北向南依次发育滨岸、浅水陆棚和深水陆棚沉积，整体上离古陆越远，碎屑供给越少，沉积物粒度越细，沉积厚度越小。该沉积格局响应了晚震旦世灯影组沉积时期四川盆地的伸展构造背景，即该时期华南板块处于独立漂移状态，未接受其他板块的陆源供应。至早寒武世，四川盆地西北缘逐渐向冈瓦纳大陆靠近，伸展构造背景逐渐向挤压构造背景转换，碰撞造山致使沧浪铺组沉积期四川盆地形成了西高东低及西侧发育碎屑岩、向东过渡为碳酸盐岩的沉积格局。

关键词　沉积相　沉积格局　构造背景　灯影组　四川盆地

第一作者简介　何宇，男，2001 年生，成都理工大学沉积地质研究院硕士研究生，地质学专业。E-mail：2313276004@qq.com。

通讯作者简介　丁一，男，1987 年生，成都理工大学研究员，主要从事碳酸盐岩沉积学、地球化学方面研究。E-mail：Dingyi@cdut.edu.cn。

中图分类号：P531　　**文献标志码**：A

Tectonic-sedimentary patterns of the third member of Sinian Dengying Formation in Sichuan Basin and its surrounding areas

HE Yu[1,2]　DING Yi[1,2]　ZHANG Xin[3]　LI Zhiwu[1,2]　ZHANG Zili[3]
LAN Caijun[3]　SONG Jinmin[1]　CHEN Rongqing[2]　ZHANG Panpan[2]　LIU Shugen[1,4]

* 国家自然科学基金项目（编号：U2344209，42372140）资助。[Financially supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. U2344209, 42372140)]

收稿日期：2024-12-12　　改回日期：2025-02-09

1 *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation*, *Chengdu University of Technology*, *Chengdu* 610059, *China*
2 *Institute of Sedimentary Geology*, *Chengdu University of Technology*, *Chengdu* 610059, *China*
3 *Research Institute of Exploration and Development*, *PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company*, *Chengdu* 610041, *China*
4 *Xihua University*, *Chengdu* 610039, *China*

Abstract　The distribution of lithofacies and sedimentary facies within the third member of the Dengying Formation in the Sichuan Basin remains a topic of debate, hindering a comprehensive understanding of the tectonic framework of that period and limiting further exploration of oil and gas resources. To address this issue, this study conducts an in-depth analysis of multiple outcrop sections and drill cores from the third member of the Dengying Formation in the Sichuan Basin. Three primary depositional environments have been identified: deep-water shelf, shallow-water shelf, and coastal zones. The deep-water shelf environment is characterized by a tranquil setting, with shale and mudstone as the dominant lithologies. The shallow-water shelf, influenced by storm waves and backflow currents, is marked by the deposition of sandstone, siltstone, and mixed sedimentary rocks, which commonly exhibit storm-induced structures such as hummocky cross-bedding, graded bedding, and scour surfaces. The coastal zone, controlled by wave and tidal processes, with sandstone as the predominant lithology, is characterized by the well-developed cross-bedding. Furthermore, in the Xixiang-Nanzheng area, the fourth member of the Dengying Formation directly overlies the basement, indicating the presence of a palaeocontinent during the deposition of the third member. Based on the dominant facies identified from typical sections and using the single-factor method, a sedimentary facies distribution map for the third member of the Dengying Formation in the Sichuan Basin has been constructed. This map reveals a terrigenous siliciclastic-dominated epeiric marine environment controlled by the Hannan paleocontinent. As one moves away from the Hannan paleocontinent, the depositional environments transition sequentially from coastal to shallow-water shelf and then to deep-water shelf settings. Overall, the farther one is from the paleocontinent, the less clastic material is supplied, resulting in finer sediment grain size and thinner depositional thickness. This depositional pattern reflects the extensional tectonic background of the Sichuan Basin during the Dengying period. During this period, the South China Plate was drifting and did not receive terrestrial supplies from other plates. By the Early Cambrian, the northwest margin of the Sichuan Basin gradually approached the Gondwana continent, transitioning the tectonic background from extensional to compressional. This collisional orogeny influenced the depositional pattern of the Canglangpu Formation in the Sichuan Basin, resulting in an eastward-dipping geomorphology where clastic rocks change into carbonate rocks from west to east.

Key words　sedimentary facies, sedimentary pattern, tectonic background, Dengying Formation, Sichuan Basin

About the first author　HE Yu, born in 2001, a master's degree candidate, majors in geology. E-mail: 2313276004@qq.com.

About the corresponding author　DING Yi, born in 1987, a researcher follow, is mainly engaged in researches on carbonate sedimentology and geochemistry. E-mail: Dingyi@cdut.edu.cn.

四川盆地是中国重要的含油气盆地之一，历经多年的勘探研究，发现了自上震旦统到下侏罗统共21套含油气层系（邹才能等，2014）。其中，震旦系灯影组作为四川盆地最为重要的勘探层系之一，油气资源极为丰富，已相继发现了威远、资阳气区和高石梯—磨溪地区的安岳气田（谭磊等，2022），且具有整体埋藏深、成岩作用时间长的特点，并受到多期构造运动改造（李雅楠等，2014；

李智武等，2019；文龙等，2021；何若玮等，2023）。震旦系灯影组根据岩性特征可划分为 4 段，其中灯一段、灯二段和灯四段主要发育白云岩，而灯三段则是以发育陆源碎屑岩和混合沉积为特征（陈明思等，2023）。因此，灯三段沉积与灯影期其他时间段普遍发育的浅水碳酸盐岩台地沉积不同，通常认为其与一次短暂海侵、海平面迅速升高背景下的碳酸盐岩台地淹没有关（Ding *et al.*，2021）。此外，四川盆地及周缘地区灯三段普遍发育的富有机质泥页岩，是灯二段、灯四段优质储集层的潜在供烃层系（邹才能等，2014；刘静江等，2015）。

目前，针对灯三段的沉积环境分析及相带展布研究较少，关于灯三段的沉积相划分、物源来源、成因机制及发育主控因素仍有不少争议，这不利于深入理解灯影组碳酸盐岩台地演化过程，阻碍对灯影组油气勘探领域进行进一步拓展。早期的沉积相研究划分出的灯三段主要以碳酸盐沉积为主，包含了灯四段下部的贫藻段（李英强等，2013），或灯二段上部的贫藻段（张健等，2014），难以为现行地层划分标准下的研究提供参考。之后的研究认为，四川盆地灯三段沉积格局明显受控于裂谷活动（刘静江等，2015；侯明才等，2017）。邓双林等（2020）的研究表明，远离汉南古陆的川中地区碎屑含量、粒径大小明显低于古陆周缘地区，该现象表明灯三段沉积期汉南古陆与四川盆地的沉积格局紧密联系。在灯三段沉积相划分方面，马志鑫等（2019）在南江地区识别出混积潮坪相，邢凤存等（2015）、邓双林等（2020）和 Ding 等（2021）则将其划分为滨岸相和陆棚相。在沉积相刻画方面，不同学者在古陆、滨岸及陆棚相的展布认识上亦存在巨大差异（刘静江等，2015；邢凤存等，2015；侯明才等，2017）。因此，笔者在总结前人研究成果的基础上，对四川盆地及其周缘地区灯三段的野外剖面和钻井资料进行了详细的研究，识别出灯三段的沉积环境，并结合单因素法刻画沉积相展布，明确烃源岩发育和分布规律。在此基础上，建立灯三段沉积模式，分析碳酸盐岩台地转换为陆源碎屑岩沉积环境的控制因素及大地构造格局。

1 区域地质概况

四川盆地是位于扬子地块西北缘的大型菱形叠合型盆地（李英强等，2013；李伟等，2015）。在新元古代南华纪早期，伴随罗迪尼亚超大陆裂解，扬子地块以陆内裂谷作用为主，在四川盆地周缘形成了碧口裂谷盆地、南华裂谷盆地、汉南裂谷盆地和康滇裂谷盆地（李智武等，2019；Yang *et al.*，2020；Ding *et al.*，2021）。南华纪中晚期，裂谷作用形成的地堑盆地被冰期和间冰期形成的冰碛砾岩和黑色页岩填充（Jiang *et al.*，2011）。震旦纪，扬子地块总体上转为稳定的台地（Jiang *et al.*，2011；Ding *et al.*，2021），但四川盆地内部发育的绵阳—长宁拉张槽（刘树根等，2013）和四川盆地北缘复杂的隆—坳格局（李智武等，2019）都表明扬子板块在震旦纪—寒武纪早期经历了强烈的伸展活动。直至加里东期，在华南板块与冈瓦纳大陆汇聚背景下，扬子地块转换为挤压构造环境（周刚等，2023）。

四川盆地及周缘地区震旦系可划分为陡山沱组和灯影组（邓胜徽等，2015；汪泽成等，2019；刘静江等，2023）。陡山沱组主要发育泥质白云岩、云质灰岩及泥页岩，在川中、川南地区又可称之为喇叭岗组，发育粉砂岩和页岩（邓胜徽等，2015；汪泽成等，2019）。灯影组分布广泛，现今厚度为几十至上千米，自下而上可划分为 4 个小段，分别为灯一段、灯二段、灯三段和灯四段（图 1）。灯一段为贫藻段，主要发育泥晶白云岩，偶见砂屑白云岩、泥质白云岩和藻白云岩，常与下伏陡山沱组整合接触，或直接与基底不整合接触（陈明思等，2023）。灯二段在四川盆地内部沉积厚度大且较为稳定（张健等，2014），通常厚度为 200 ~ 500 m，为富藻段，岩性主要为叠层石白云岩、藻纹层白云岩等多种类型的藻白云岩，下亚段发育标志性的葡萄花边构造（Ding *et al.*，2021；陈明思等，2023）。灯三段在全盆地厚度变化很大，通常为几十厘米至几十米，岩性主要为泥岩、粉砂岩和砂岩，盆地外可见硅质岩发育（刘静江等，2023；王林康等，2024），碎屑岩和碳酸盐岩混积现象较为普遍，可见砂质白云岩和云质砂岩等（邓双林等，2020）。灯四段厚度一般在 200 ~ 400 m 之间，发育泥晶白云岩和藻白云岩，见大量硅质条带（陈明思等，2023）。受全球海平面下降影响，灯二段与灯三段之间及灯四段与上覆地层之间均为不整合接触（Ding *et al.*，2021）。由于差异升降运动，自裂陷槽缘向内灯影组剥蚀程度逐渐加剧，裂

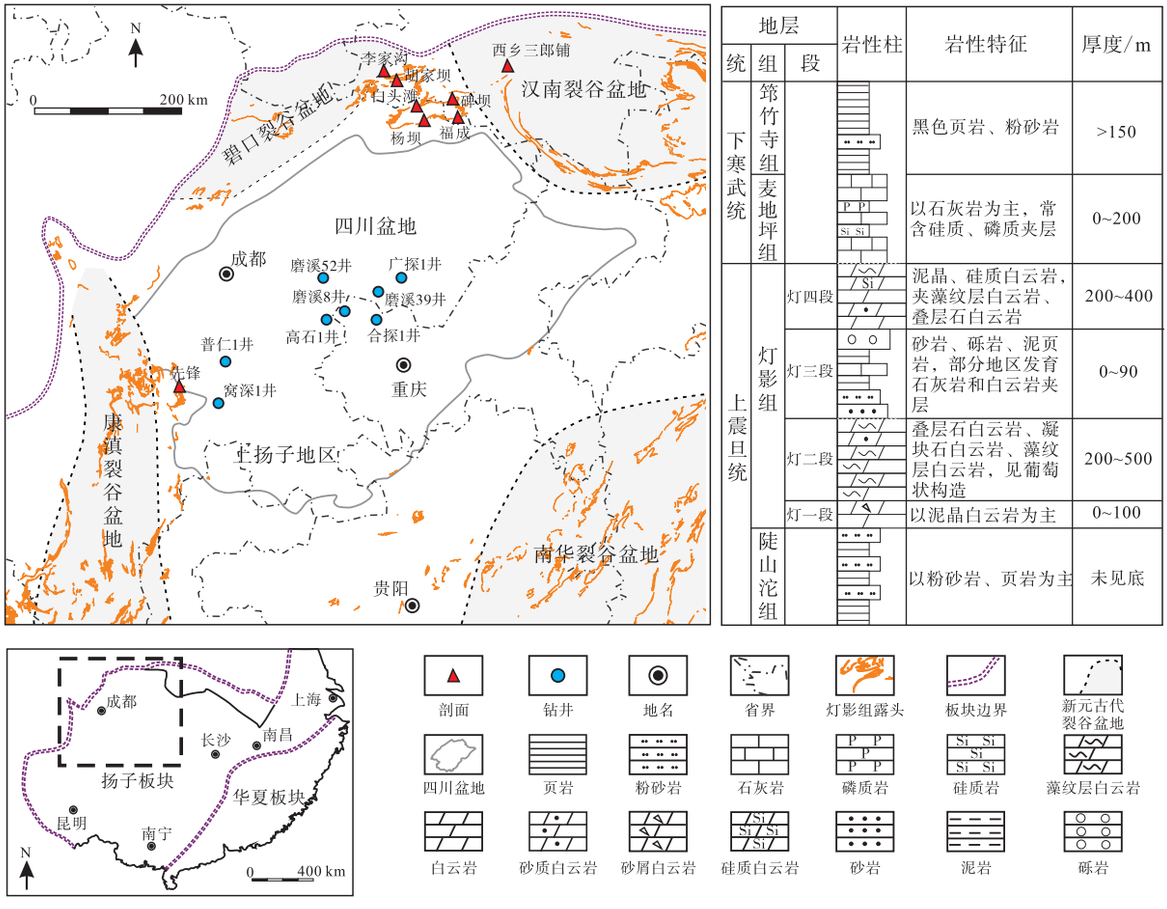


图 1　四川盆地及周缘地区灯影组典型钻井和剖面位置及灯影组地层综合柱状图（修改自 Ding *et al.*, 2021；丁一等，2025）

Fig. 1　Location of typical drilling wells and sections, and a comprehensive stratigraphic column of the Dengying Formation in Sichuan Basin and its surrounding areas (modified from Ding *et al.*, 2021; Ding *et al.*, 2025)

陷槽核心部位如资阳 1 井可剥蚀至灯二段下部（刘静江等，2021；陈明思等，2023）。上覆地层寒武系麦地坪组厚度为 0~200 m，大量发育磷质岩和硅质岩，主要分布在裂陷槽内（刘树根等，2013）。裂陷槽外高地貌区域，灯影组直接与筇竹寺组黑色页岩不整合接触（刘树根等，2013）。

2　沉积相识别及划分

选取四川盆地及周缘地区灯三段主干剖面和钻井为研究对象，根据岩性特征、沉积结构和构造分析沉积环境，识别出深水陆棚相、浅水陆棚相和滨岸相。汉南古陆无灯三段沉积，由灯四段直接覆盖在基底之上。

2.1　深水陆棚相

深水陆棚相属于风暴浪基面之下的静水沉积（陈代钊等，2012），由发育泥页岩的陆棚泥微相和发育云质泥岩、泥质白云岩的陆棚云泥微相组成。除川中高磨、蓬莱地区以及川北南江—宁强一带外，深水陆棚相在四川盆地广泛发育。陆棚泥微相以先锋剖面灯三上亚段和普仁 1 井灯三下亚段为代表。先锋剖面灯三上亚段沉积薄层黑色页岩（图 2；图 3-a），见典型的页理构造，稀土及微量元素地球化学研究进一步表明其沉积于快速海侵背景下的贫氧环境（冯明友等，2017）。普仁 1 井灯三段底部发育小段泥页岩，指示其由静水条件下悬浮物质沉降而成，中上段可见厚层灰色—蓝灰色白云质泥岩（图 3-b），夹灰色泥质白云岩（图 3-c），窝深 1 井灯三段底部也可见含泥白云岩发育（图 3-d），表明在灯三段向灯四段沉积过渡时期，碳酸盐岩工厂逐步恢复，陆源物质输入量减少，造成白云质与泥质混积，指示陆棚云泥沉积微相。

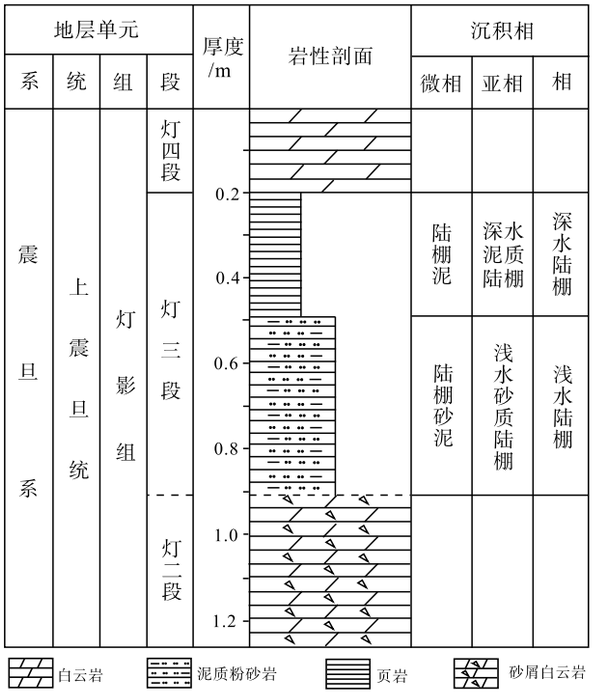
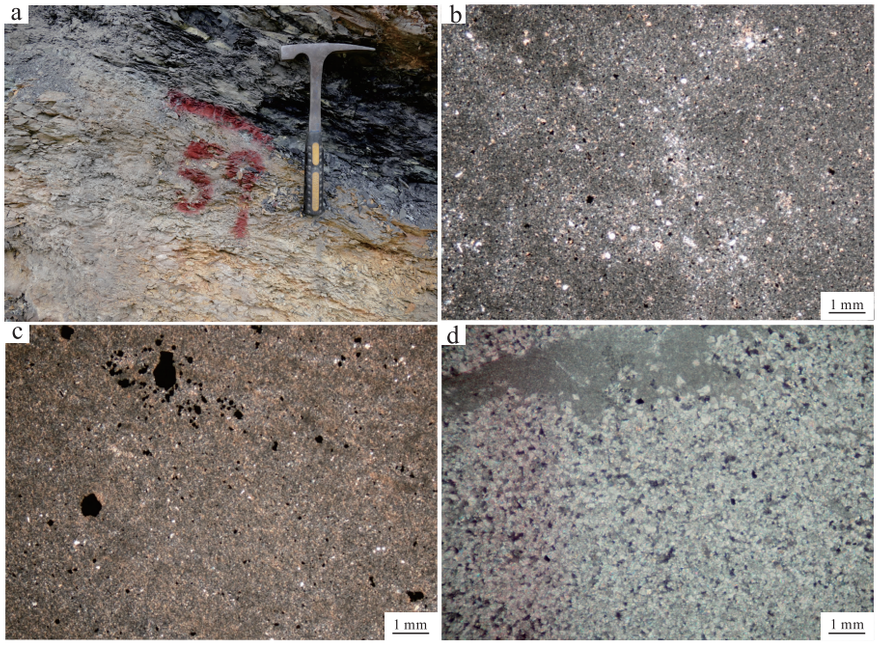


图 2 四川盆地先锋剖面灯影组三段沉积相柱状图

Fig. 2 Comprehensive column of sedimentary facies of the third member of Dengying Formation at Xianfeng section in Sichuan Basin

2.2 浅水陆棚相

浅水陆棚临靠深水陆棚，位于正常浪基面与风暴浪基面之间（姜在兴，2003）。在四川盆地，浅水陆棚相由近端风暴岩微相、远端风暴岩微相和陆棚砂泥微相组成（图 4）。受海平面升降和陆源碎屑供应强度等因素的影响，四川盆地浅水陆棚环境普遍发育混积岩（邓双林等，2020）。本次研究揭示浅水陆棚环境主要发育在川中高石—磨溪一带，东至五探 1 井一带。浅水陆棚相在野外剖面最为典型，胡家坝和杨坝剖面可见由间歇风暴流作用形成的洼状、丘状交错层理（图 5-a，5-b）和底冲刷面（图 5-c），指示浅水陆棚近端风暴岩微相沉积（Dumas and Arnott，2006；Ding *et al.*，2021；Qi *et al.*，2023）。远端风暴岩微相主要发育泥质粉砂岩（图 5-d），在杨坝和胡家坝剖面见正粒序层理（图 5-d）等典型的风暴回流沉积构造，为风暴浪回流速度减弱时沉积物按粒度大小依次沉积而成（Dumas and Arnott，2006；Ding *et al.*，2021；Qi *et al.*，2023）。李家沟剖面可见灰黄色泥质粉砂岩发育（图 5-e），指示低能陆棚砂泥微相沉积。盆地内部浅水陆棚相以磨溪 8 井（图 4）为代表。磨



a—先锋剖面，黄灰色泥质粉砂岩之上发育黑色泥页岩，见页理构造，陆棚泥微相，地质锤长 30 cm；b—普仁 1 井，白云质泥岩，陆棚云泥微相，正交偏光；c—普仁 1 井，泥质白云岩，陆棚云泥微相，正交偏光；d—窝深 1 井，含泥粉晶白云岩，陆棚云泥微相，正交偏光

图 3 四川盆地灯影组三段深水陆棚相典型岩性及沉积构造

Fig. 3 Representative lithology and depositional structure of deep shelf facies of the third member of Dengying Formation in Sichuan Basin

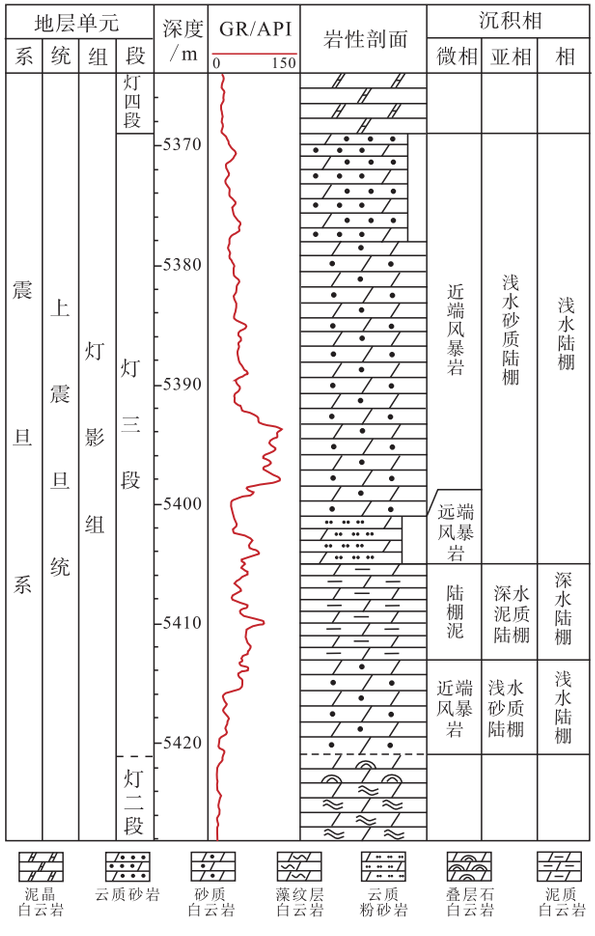


图 4　四川盆地磨溪 8 井灯影组三段沉积相综合柱状图

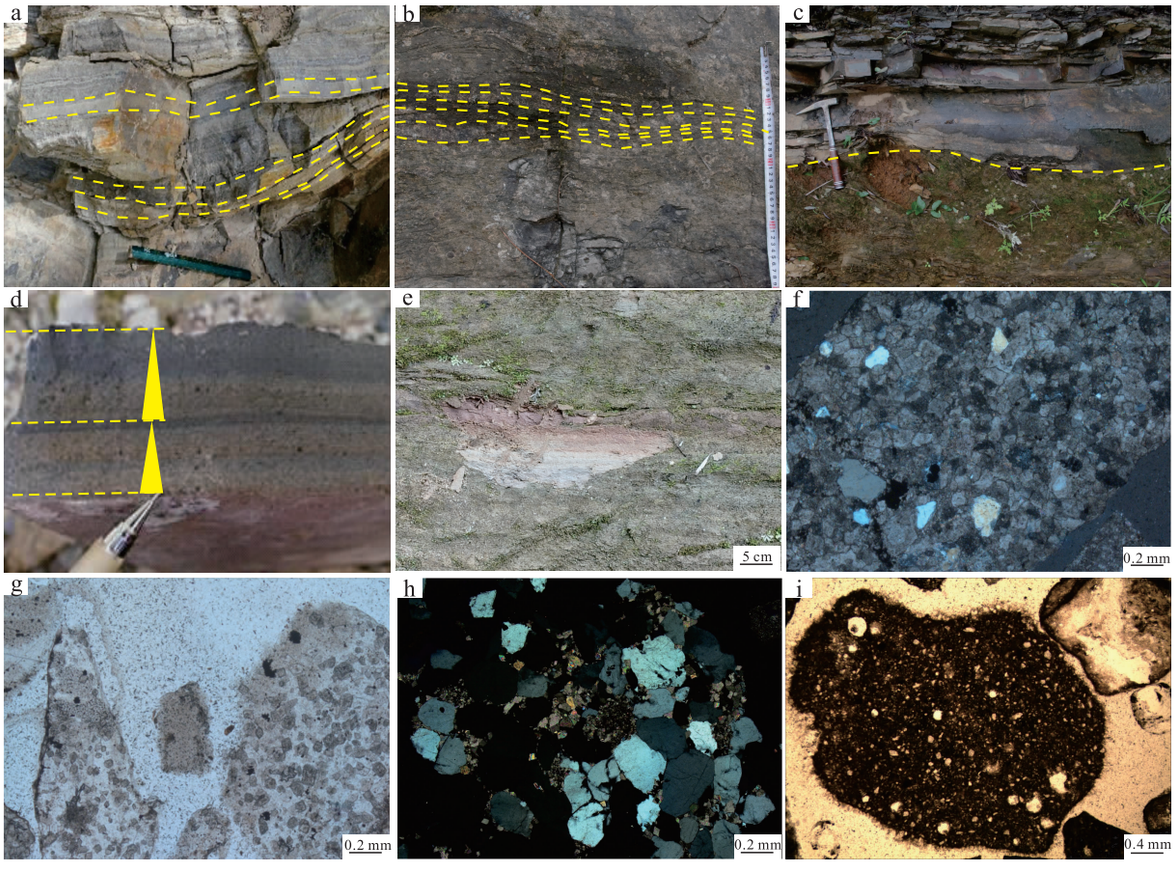
Fig. 4　Comprehensive column of sedimentary facies of the third member of Dengying Formation at Well Moxi 8 in Sichuan Basin

溪 8 井灯三段厚 52 m，为一个海侵—海退旋回：底部 5413～5421 m 段，发育砂质白云岩（图 5-f）夹云质砂岩，石英碎屑含量达 25%～50%，粒径在 0.05～0.4 mm 之间，分选中等，棱角状—次棱角状，磨圆一般；石英碎屑较低的结构成熟度和成分成熟度指示间歇风暴流作用，未经长期搬运，为浅水陆棚近端风暴岩微相沉积。5405～5413 m 段，海侵加强，发育泥质白云岩，为深水陆棚泥微相。5401～5405 m 段，水体变浅，发育白云质粉砂岩（图 5-g），石英碎屑粒径在 0.02～0.05 mm 之间，分选一般，呈棱角状—次棱角状，磨圆差，指示陆源物质经风暴回流搬运筛选后，以结构成熟度低的粉砂与云质混积形成，为浅水陆棚远端风暴岩微相沉积（Dumas and Arnott，2006；Ding *et al.*，2021；Qi *et al.*，2023）。5369～5401 m 段，持续海退，发育砂质白云岩和含云石英砂岩（图 5-h）；整段石英碎屑结构成熟度和成分成熟度均较低，指示间歇风暴流作用，为浅水陆棚近端风暴岩微相沉积。此外，在磨溪 39 井、磨溪 102 井、广探 1 井和磨溪 52 井灯三段中均可见砂质白云岩发育，为典型的近端风暴岩微相沉积；在磨溪 52 井和高石 1 井可见远端风暴岩微相的粉砂质白云岩和云质粉砂岩发育；高石 1 井灯三段中部沉积的粉砂质泥岩（图 5-i），可指示浅水陆棚砂泥微相。

2.3　滨岸相

风暴潮面到浪基面之间的范围被称为滨岸，向海方向与浅水陆棚接触，主要的水动力来源为波浪和潮汐（姜在兴，2003；García-Hidalgo *et al.*，2007；McMahon *et al.*，2020；Ding *et al.*，2021）。本次研究揭示滨岸相主要发育在四川盆地北缘南江、宁强一带，临靠汉南古陆，以发育临滨亚相为主，可划分为下、中、上 3 种临滨微相（姜在兴，2003；McMahon *et al.*，2020）。下临滨为低能带，波浪作用弱（姜在兴，2003），如胡家坝剖面沉积一套紫红色粉砂质泥岩和粉砂质白云岩的互层（图 6-a），水平层理发育。中临滨为高能带，主要水动力条件为波浪（姜在兴，2003），在胡家坝和福成剖面灯三段均可见石英砂岩发育（图 6-b），石英碎屑含量达 80%以上，粒径大于 0.5 mm，呈次圆状，磨圆和分选好；高的结构成熟度和成分成熟度，以及平行层理（图 6-c）和交错层理等典型的波浪成因构造，指示波浪持续作用的高能沉积环境（Ding *et al.*，2021）。上临滨也为高能沉积环境，受潮汐和波浪作用共同控制（姜在兴，2003）。典型的上临滨亚相广泛发育于白头滩剖面，以楔状交错层理、板状交错层理（图 6-d）和对称波痕（图 6-e）等波浪作用构造以及潮汐作用形成的羽状交错层理（图 6-f）和再作用面为标志。

滨岸相剖面记录了灯三段内部发育的海侵—海退旋回。以四川盆地北缘南江县杨坝剖面为例（图 7），该剖面灯三段厚约 46 m，根据岩性结构变化共划分出 16 个小层：第 1-5 层，主要沉积灰绿色块状含砾粉砂岩、灰绿色薄板状泥质粉砂岩（图 6-g）和深灰色粉砂质泥岩，整体沉积物粒度较小，以粉砂质为主，且单层沉积厚度较大，表明沉积环境为较弱的波浪作用为主，并受到风暴浪的侵蚀，为下临滨微相沉积。第 6-10 层，该沉积期



a—胡家坝剖面，洼状交错层理，近端风暴岩微相，铅笔长 15 cm；b—杨坝剖面，丘状交错层理，近端风暴岩微相；c—杨坝剖面，底冲刷面，近端风暴岩微相，地质锤长 30 cm；d—杨坝剖面，正粒序层理，远端风暴岩微相，铅笔头长 2 cm；e—李家沟剖面，灰黄色泥质粉砂岩，陆棚砂泥微相；f—磨溪 8 井，砂质白云岩，近端风暴岩微相，单偏光；g—磨溪 8 井，白云质粉砂岩，远端风暴岩微相，单偏光；h—磨溪 8 井，含云石英砂岩，近端风暴岩微相，正交偏光；i—高石 1 井，粉砂质泥岩，陆棚砂泥微相，单偏光

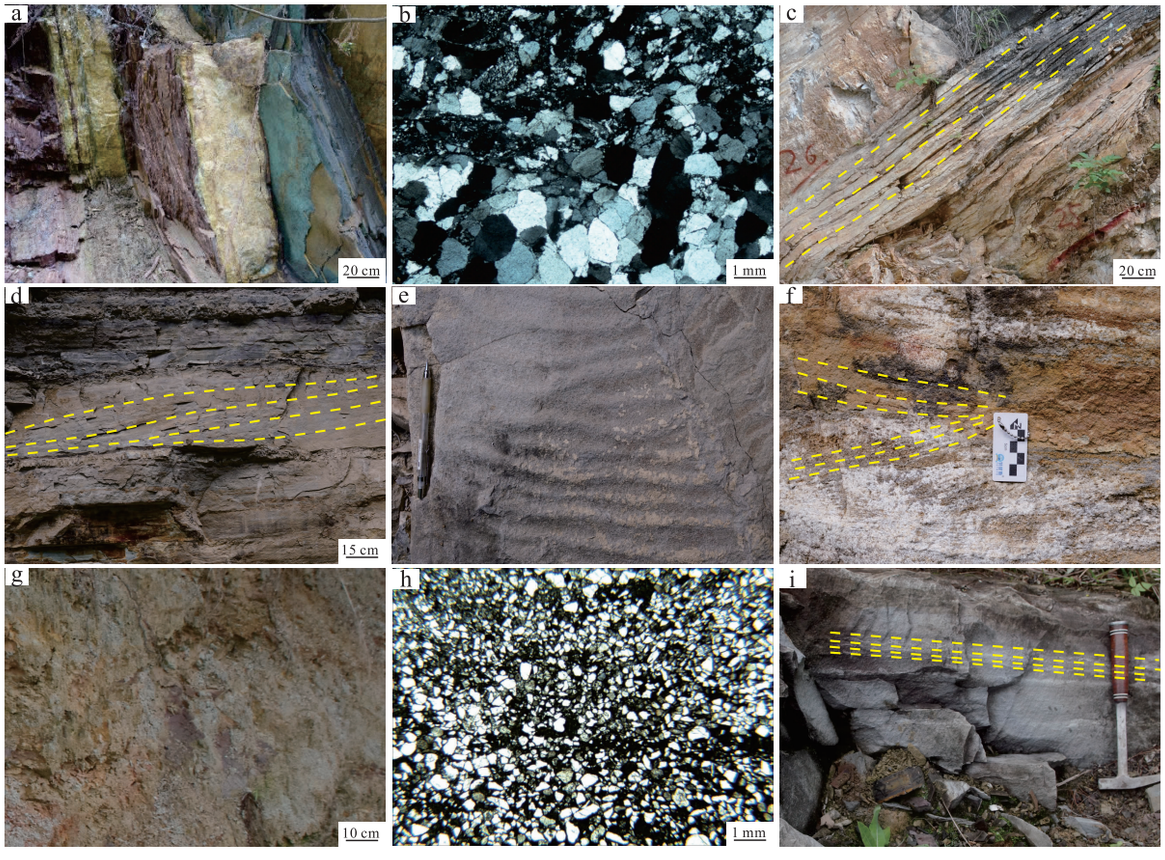
图 5 四川盆地灯影组三段浅水陆棚相典型岩性及沉积构造

Fig. 5 Representative lithology and depositional structure of shallow shelf facies of the third member of Dengying Formation in Sichuan Basin

海侵导致水体加深，沉积物中泥质含量增加，发育灰黑色粉砂质泥岩和灰色薄层状泥质粉砂岩，为浅水陆棚远端风暴岩微相沉积（Dumas and Arnott，2006；Ding *et al.*，2021；Qi *et al.*，2023）；可见正粒序构造（图 5-d），可能为风暴回流引发的浊流沉积，对应鲍马序列 a 段。第 11-15 层，该沉积期持续海退，主要发育含砾不等粒砂岩、薄层含砾粉砂岩和泥质粉砂岩互层，见丘状交错层理（图 5-b）和底冲刷面（图 5-c），指示浅水陆棚近端风暴岩微相（Dumas and Arnott，2006；Ding *et al.*，2021；Qi *et al.*，2023）。顶部第 16 层，发育灰色厚层—块状含砾粗砂岩，镜下可见石英碎屑含量大于 80%（图 6-h），整体粒径大于 0.4 mm，最大可达 1 mm，次棱状—次圆状，分选和磨圆较好，较高的结构成熟度和成分成熟度表明其为强水动力长期搬运磨蚀而成，平行层理（图 6-i）发育指示沉积期波浪作用强，为中临滨微相沉积（Ding *et al.*，2021）。

2.4 古陆

前人研究表明，在四川盆地北缘旺苍—西乡三郎铺地区灯影组逐渐超覆于基底之上（图 8），说明该区域在灯影组沉积之前为先存隆起区，通常称为汉南古陆（刘宏等，2015；Ding *et al.*，2021；Gu *et al.*，2023b）。在汉南古陆核心区域，灯影组沉积厚度常减少至 150 m 以内，底部发育粗砂岩、砾岩（图 9-a，9-b），向上过渡为硅质白云岩、泥晶白云岩和藻纹层白云岩（图 9-c，9-d）（刘宏等，



a—胡家坝剖面，紫红色粉砂岩和粉砂质白云岩互层，下临滨微相；b—福成剖面，石英砂岩，中临滨微相，正交偏光；c—福成剖面，平行层理，中临滨微相；d—白头滩剖面，板状交错层理，上临滨微相；e—白头滩剖面，黄灰色砂岩，波痕层面，上临滨微相，笔长 15 cm；f—白头滩剖面，羽状交错层理，再作用面，上临滨微相，卡尺长 10 cm；g—杨坝剖面，第 3 层，灰绿色薄板状泥质粉砂岩，下临滨微相；h—杨坝剖面，第 16 层，砂岩，下临滨微相，单偏光；i—杨坝剖面，第 16 层，平行层理，中临滨微相

图 6　四川盆地灯影组三段滨岸相典型岩性及沉积构造

Fig. 6　Representative lithology and depositional structure of coast facies of the third member of Dengying Formation in Sichuan Basin

2015）。考虑到四川盆地灯四段完整沉积厚度通常在 300～400 m 之间，且汉南古陆周缘地区灯三段粗碎屑岩更为发育（图 9），故这套砂砾岩—白云岩沉积序列的沉积时限应该对应于灯四段中晚期。这也表明汉南古陆高部位在灯三段沉积时期仍是处于陆上环境，并为周缘地区提供了大量的陆源输入。

3　沉积相展布及其构造意义

3.1　沉积相展布特征

依据实测和收集的多口钻井和剖面资料（图 10），并结合西南油气田的地震资料（郭冉，2024），绘制出四川盆地灯三段地层残余厚度图（图 11-a）和砂质、泥质、硅质、云质、灰质百分含量单因素图（图 11-b 至 11-f）。基于典型沉积构造和岩石特征，结合单因素分析，笔者将见波浪、潮汐作用沉积构造及岩石中砂质百分含量大于 40%的地区定为滨岸；见风暴浪作用沉积构造及岩石中砂质、云质均发育的地区定为浅水陆棚；见静水沉积构造及岩石中泥质含量大于 40%、砂质不发育的地区定义为深水陆棚；见深水硅质岩且硅质含量大于 40%的地区定义为盆地—斜坡相。再结合优势相法，综合刻画出四川盆地灯三段沉积相展布图（图 12）。

四川盆地北缘西乡三郎铺—黑怀子一带无灯三段沉积（图 11-a），由灯四段硅质白云岩、砾岩直接覆盖在花岗岩基底之上（图 10），该区域即为汉南古陆。沿汉南古陆周缘地区砂质百分含量升高，在福成—南江杨坝—镇巴小洋一带砂质含量达到 70%以上（图 11-c），且大部分区域灯三段厚度超

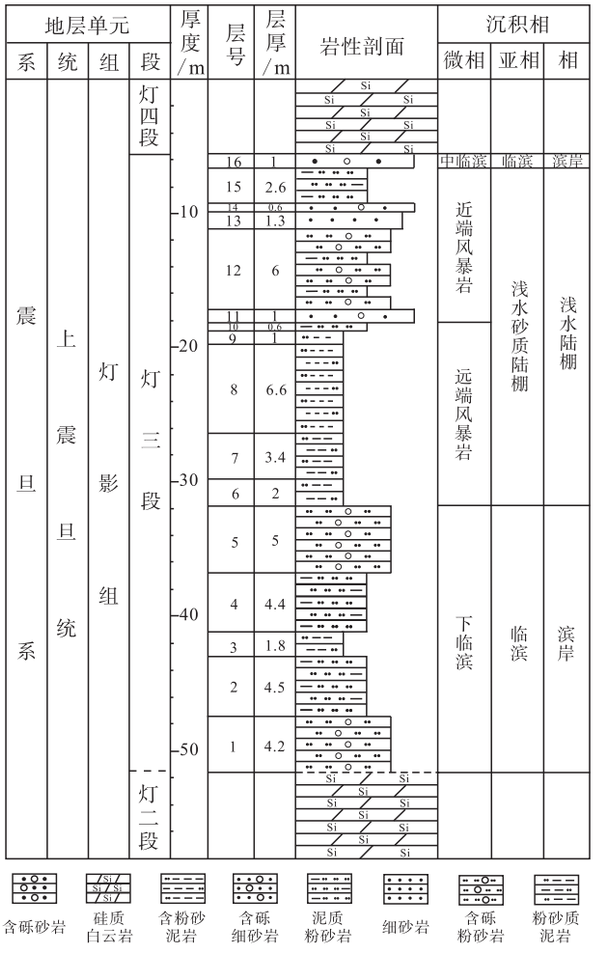


图 7 四川盆地杨坝剖面灯影组三段沉积相综合柱状图

Fig. 7 Comprehensive column of sedimentary facies of the third member of Dengying Formation at Yangba section in Sichuan Basin

过 40 m（图 10；图 11-a），是主要的沉积中心之一，表明该地区在灯三段沉积时期接受了汉南古陆供给大量陆源碎屑，沉积厚度大，砂质含量高，发育板状交错层理等典型滨岸相构造，为典型的滨岸相带（图 12）。向南砂质含量总体降低，但高磨地区—五探 1 井一带仍可达到 70%以上（图 11-c），且高磨地区沉积厚度大，普遍在 40～80 m 之间，岩性以粉砂岩和混积岩为主（图 10；图 11-a），为浅水砂质陆棚相带。盆地南部和东缘几乎无砂质沉积，沉积物以泥页岩和混合沉积为主（图 10；图 11-b），代表远离陆源的深水陆棚相带。灯三段沉积期四川盆地受混积影响（邓双林等，2020）发育少量碳酸盐岩，云质在川中—川南都有分布，主要集中在川南老龙 1—宁 1 井一带（图 11-d），灰质主要分布在川北胡家坝和蓬深 6 井一带（图 11-e）。在四川盆地外围的盆地—斜坡深水沉积区（图 11-f；图 12），灯影组相变为硅质岩（Ding *et al.*，2021；王林康等，2024），难于划分亚段，故不在本文讨论范围之中。

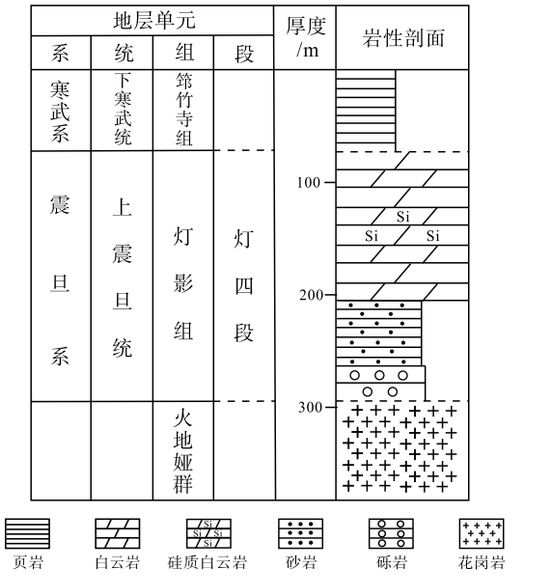
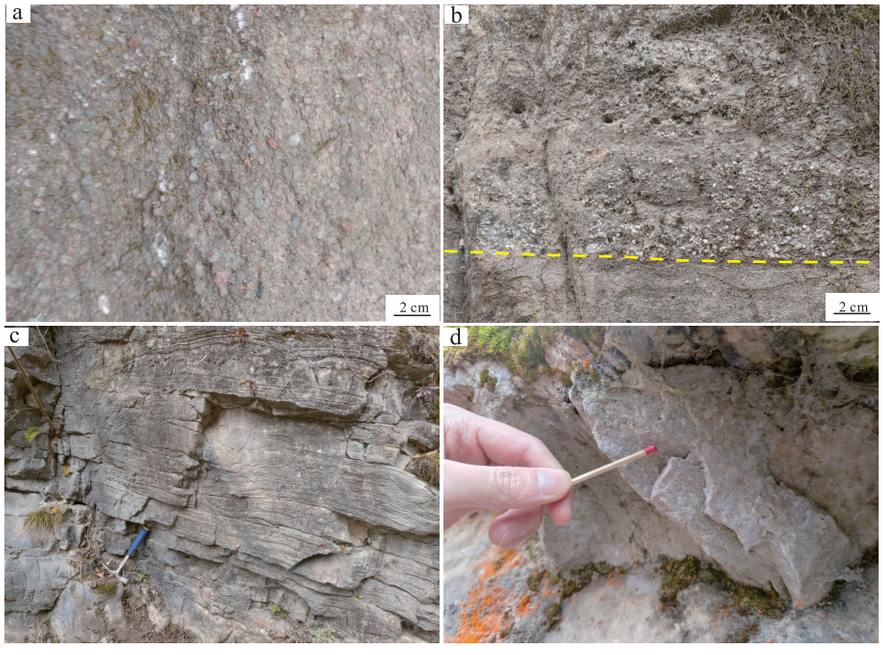


图 8 四川盆地黑怀子剖面灯影组四段地层综合柱状图（修改自刘宏等，2015）

Fig. 8 Comprehensive stratigraphic column of the fourth member of Dengying Formation at Heihuaizi section in Sichuan Basin (modified from Liu *et al.*, 2015)

关于德阳—安岳裂陷槽，其成因问题的实质主要是槽内灯三段、灯四段是否存在，有学者认为灯三段、灯四段遭受了广泛剥蚀（刘静江等，2021），或者认为灯三段、灯四段相变为碳硅质岩等深水沉积（李双建等，2018；赵文智等，2022）。最新研究发现，槽内（如：蓬探 1 井）灯影组与槽外灯一段、灯二段岩石地层和碳同位素地层特征对比相似（陈明思等，2023；刘静江等，2021），其上覆地层碳同位素发生大幅度负偏，并发育磷质岩和小壳化石，指示该套深水沉积为寒武系麦地坪组（刘静江等，2021；陈明思等，2023；丁一等，2025），这表明灯影组沉积后发生了自上而下的剥蚀作用，导致盆地中部裂陷槽区的汶川七盘沟—资阳 1 井—德胜 1 井一带和南缘宝 1 井—金沙岩孔—松林一带缺失灯三段（图 11-a；图 12）（陈明思等，2023）。因此，灯三段烃源岩主要残留在川西南和川东地区，可为灯二段和灯四段微生物白云岩成储成藏提供有利条件。



a—碑坝剖面，灯四段底部砂砾岩，见长石；b—碑坝剖面，灯四段底部砂砾岩，冲刷面；c—碑坝剖面，灯四段上段，藻纹层白云岩，地质锤长 30 cm；d—碑坝剖面，灯四段上段，泥晶白云岩，红色火柴长 2 cm

图 9　西乡—南郑地区基底上覆灯四段典型岩性及沉积构造

Fig. 9　Representative lithology and depositional structure of the fourth member of Dengying Formation overlying basement in Xixiang-Nanzheng area

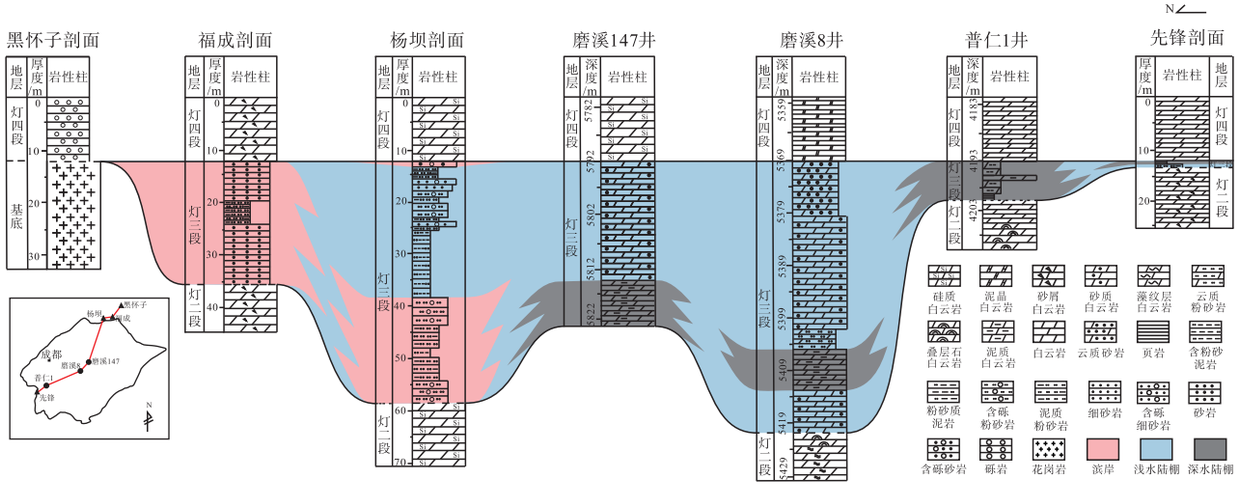
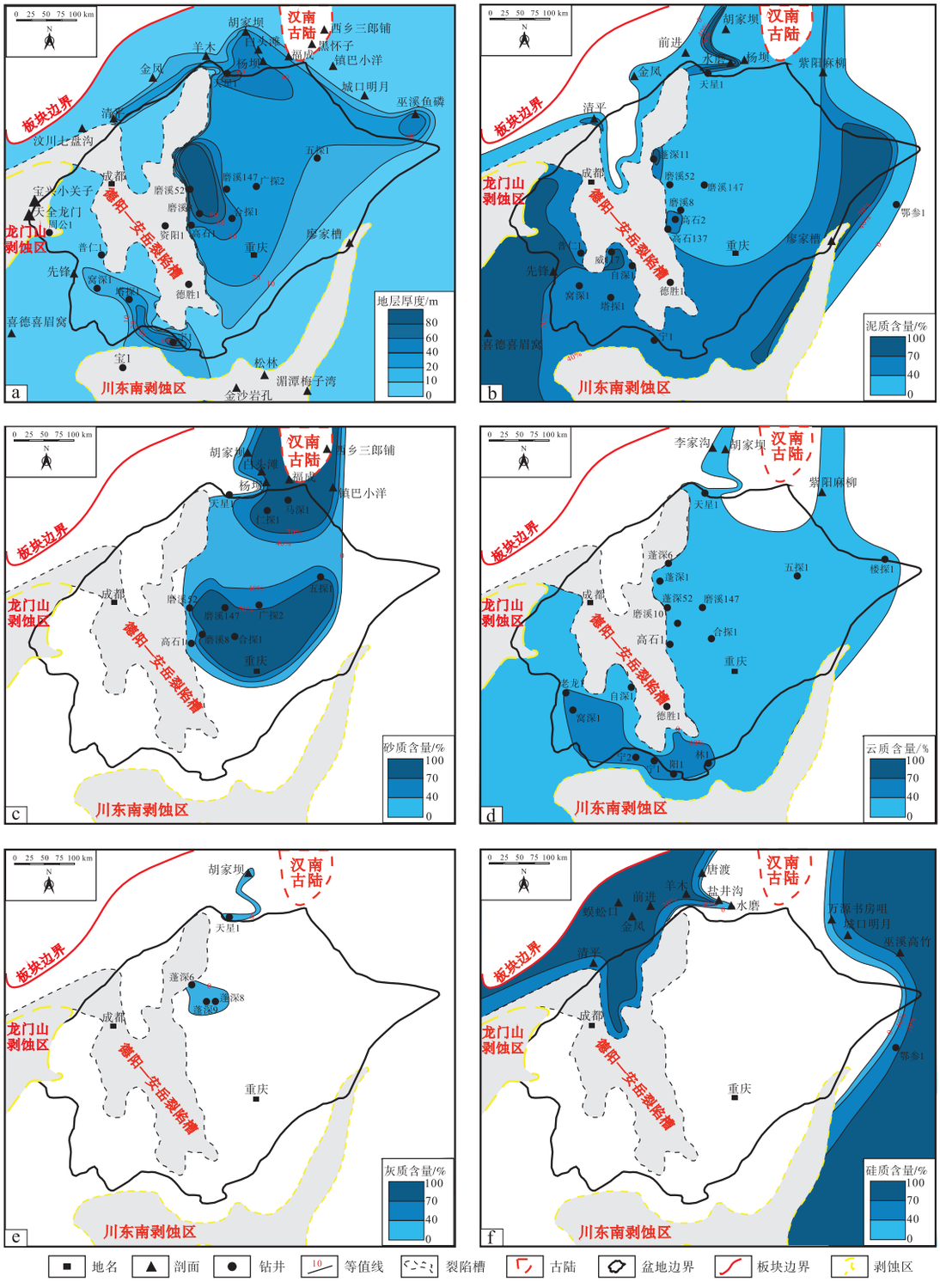


图 10　四川盆地黑怀子—先锋剖面灯影组三段沉积相连井图（黑怀子剖面引自刘宏等，2015）

Fig. 10　Correlation across Heihuaizi-Xianfeng sections of sedimentary column of the third member of Dengying Formation in Sichuan Basin（data of Heihuaizi section from Liu *et al.*, 2015）

3.2　汉南古陆主控的碎屑岩陆表海沉积模式

依据上述沉积相格局和相带类型及展布，建立了汉南古陆主控的碎屑岩陆表海沉积模式（图 13）。灯二段沉积晚期，海平面下降，陆表海碳酸盐岩台地暴露消亡（Ding *et al.*, 2021）。灯三段沉积期早期，海平面迅速上升（Ding *et al.*, 2021），碳酸盐岩台地尚未恢复，以陆源碎屑沉积为主。在此背景下，汉南古陆作为唯一陆源区，成为控制四川盆地及周缘地区灯三段沉积格局的首要因素，即远离汉南古陆水体加深，自北向南依次发育滨岸、浅水陆棚和深水陆棚沉积（图 12；图 13）。但由于古陆面



a—灯三段残余厚度图；b—灯三段泥质单因素图；c—灯三段砂质单因素图；d—灯三段云质单因素图；e—灯三段灰质单因素图；f—灯三段硅质单因素图

图 11 四川盆地及周缘地区灯影组三段残余厚度及岩性单因素图

Fig. 11 Plane map of residual thickness and single-factor variables of the third member of Dengying Formation in Sichuan Basin and its surrounding areas

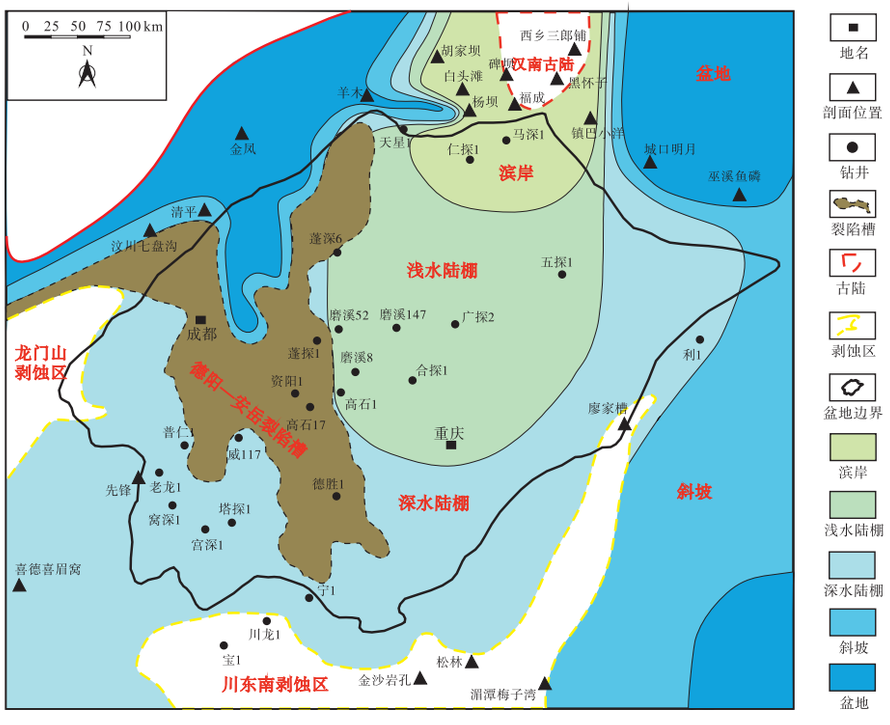


图 12　四川盆地及其周缘地区灯影组三段沉积相

Fig. 12　Sedimentary facies of the third member of Dengying Formation in Sichuan Basin and its surrounding areas

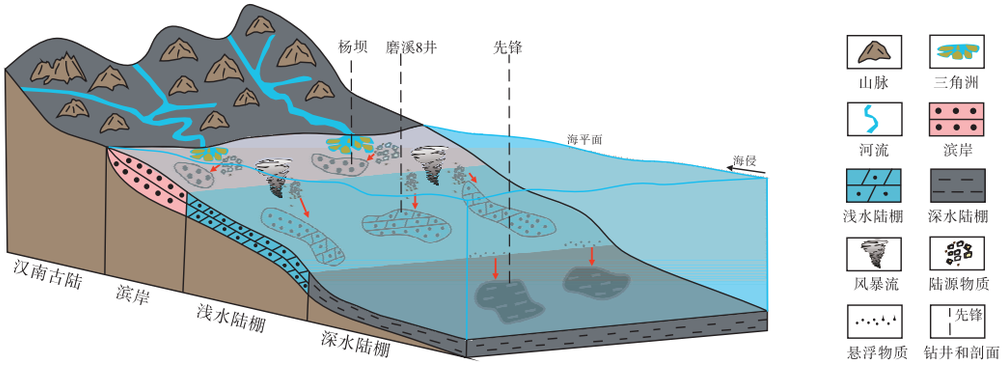


图 13　四川盆地及周缘地区灯影组三段沉积模式

Fig. 13　Sedimentary model of the third member of Dengying Formation in Sichuan Basin and its surrounding areas

积较小，物源供给有限，仅为周缘的滨岸提供了大量陆源碎屑沉积，沉积厚度大（何若玮等，2023）。在滨岸相外侧的浅水陆棚区，风暴浪和风暴回流带来了大量的陆源碎屑，沉积厚度大，但分选变差、粒度变细（邓双林等，2020），同时伴随物源输入的相对减少，对碳酸盐沉积的抑制减弱，混积形成云质砂岩、云质粉砂岩和砂质白云岩等。深水陆棚相位于浅水陆棚外侧，远离物源区，无强水动力作用，陆源碎屑难以运输到此处，仅有悬浮物质漂浮水面，在静水环境下沉积形成泥页岩凝缩沉积。

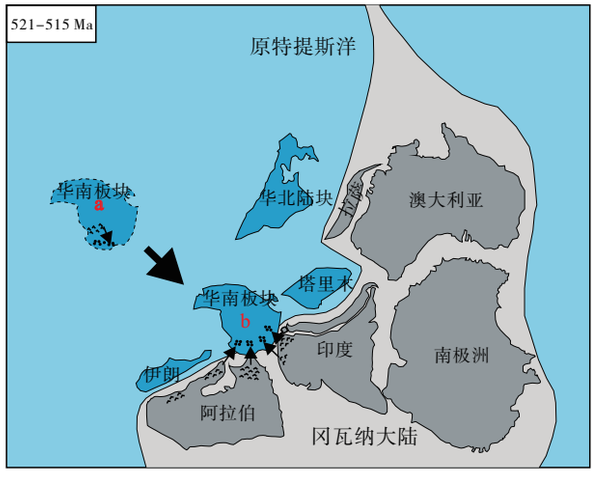
3.3　大地构造格局

罗迪尼亚超大陆裂解后，大规模的板块汇聚导致冈瓦纳大陆形成，这一过程始于新元古代，直到寒武纪方才完成（Chen *et al.*, 2021）。华南板块是冈瓦纳超大陆汇聚过程中重要的板块之一（Han *et al.*, 2022），但在该时期其是如何参与到冈瓦纳超大陆汇聚仍存在不少争议：Li 和 Powell（2001）、Li 等（2008）认为华南板块在新元古代—早古生代游离于冈瓦纳大陆之外；古地磁资料表明，震旦纪华南板块是位于印度北部的孤立陆块，在震旦纪

晚期—早寒武纪，逐渐靠近澳大利亚板块西北部（Zhang *et al.*，2015）；寒武系—奥陶系碎屑锆石亲缘性则显示，寒武纪华南与西冈瓦纳阿拉伯板块发生碰撞（Xu *et al.*，2012；Chen *et al.*，2021）；Han 等（2022）则认为，筇竹寺组沉积时期华南板块与阿拉伯板块和印度板块碰撞汇聚，且更接近阿拉伯板块。

尽管前人的古地理重建方案在碰撞位置和碰撞时间上存在争议，但总体都认为震旦纪华南板块尚未与冈瓦纳大陆发生碰撞（Li and Powell，2001；Li *et al.*，2008；Xu *et al.*，2012；Zhang *et al.*，2015；Chen *et al.*，2021；Han *et al.*，2022）。新元古代，华南板块受罗迪尼亚超大陆裂解影响，总体处于伸展构造背景（刘树根等，2013；李智武等，2019；Ding *et al.*，2021），在超大陆裂解早期扬子地块以陆内裂谷作用为主（Yang *et al.*，2020）；进入灯影组沉积期，总体虽处于稳定的台地发育阶段，但灯影组沉积末期的桐湾运动仍受控于伸展背景下的差异升降运动（Ding *et al.*，2021；陈明思等，2023），大量剥蚀德阳—安岳裂陷槽内灯三段、灯四段（刘静江等，2021；陈明思等，2023）。前人通过锆石 U-Pb 定年表明灯三段盆地物源来自于汉南古陆（何若玮，2023），本次研究进一步证明伴随灯二段沉积期陆表海碳酸盐台地暴露消亡（Ding *et al.*，2021），灯三段沉积期四川盆地受控于汉南古陆，形成了碎屑岩陆表海沉积格局。这表明灯影期四川盆地周缘无其他物源区，也就是说，灯影期华南板块处于独立漂移状态，未与其他板块碰撞并接受陆源供给，符合伸展构造背景的特征（图 14）。

寒武纪初期，四川盆地拉伸作用达到高潮，伴随连续的海侵，海平面上升，裂陷槽内沉积巨厚的深水相泥页岩，裂陷槽周缘沉积的页岩粒度较粗（刘树根等，2013）。Han 等（2022）通过地球化学方法分析了四川盆地筇竹寺组沉积物，认为物源区大地构造环境以大陆岛弧为主，陆源碎屑为冈瓦纳大陆北缘早古生代岛弧岩浆活动提供。此外，由于灯三段沉积晚期汉南古陆接近消失殆尽，到筇竹寺组沉积期位于海平面之下（Ding *et al.*，2021；Gu *et al.*，2023a），四川盆地及周缘地区再无古陆物源供给，为深水相沉积。这些证据说明在筇竹寺组沉积时期，华南板块已经有向冈瓦纳大陆汇聚的



灯影组沉积时期，华南板块处于独立漂移状态（a）；筇竹寺组沉积时期，华南板块进一步向冈瓦纳大陆汇聚，并接受其物源供给（b）

图 14 华南板块与冈瓦纳大陆相对位置

（修改自 Han *et al.*，2022）

Fig. 14 Relative position of the South China and Gondwana

(modified from Han *et al.*, 2022)

趋势，并接受了冈瓦纳大陆提供的大量细粒物源（图 14）。综上所述，四川盆地及周缘地区大致在麦地坪组至筇竹寺组沉积期发生了伸展向挤压的构造转换，在此背景下陆源区由本板块的古陆转换为冈瓦纳大陆。此后，寒武系中上统及上覆层位普遍发育碎屑岩—碳酸盐岩混积体系，响应了华南与冈瓦纳大陆碰撞的造山过程（马梓珂等，2022；Gu *et al.*，2023a；周刚等，2023；Xie *et al.*，2024）。

4 结论

1）四川盆地及周缘地区灯影组三段共识别出 3 种沉积相：深水陆棚相、浅水陆棚相和滨岸相。深水陆棚相为静水环境，主要沉积泥页岩；浅水陆棚以间歇风暴流和风暴回流作用为主，沉积物以粉砂岩、细粒砂岩和混积岩为主，可见丘状交错层理、正粒序等典型风暴沉积构造；滨岸相水动力作用为波浪和潮汐，大量发育砂岩，见板状、羽状交错层理等；汉南古陆地区无灯三段沉积，灯四段直接覆盖在基底之上，灯三段沉积期为盆地提供物源。

2）明确了四川盆地及周缘地区灯三段沉积相展布特征，揭示四川盆地灯三段沉积期为汉南古陆主控的碎屑岩陆表海沉积格局，自北向南依次发育滨岸、浅水陆棚和深水陆棚沉积环境。古陆位于盆

地北缘西乡县一带；滨岸环境位于川北宁强—南江杨坝一带；浅水陆棚环境主要发育在川中高磨地区，东至五探 1 井一带；深水陆棚环境广泛发育，主要位于德阳—安岳裂陷槽周缘，为烃源岩主要分布区。

3）灯影组沉积时期，华南板块受罗迪尼亚大陆裂解影响，处于伸展构造背景。重建的四川盆地灯三段沉积格局进一步表明灯影组沉积时期华南板块处于独立漂移的状态，响应了拉伸构造背景，并在寒武纪初期拉伸作用达到高潮。进入寒武纪筇竹寺组沉积时期，华南板块已有向冈瓦纳大陆汇聚的趋势，并接受了冈瓦纳大陆提供的物源，四川盆地发生了由伸展向挤压的构造转换。

参考文献(References)

陈代钊,汪建国,严德天,韦恒叶. 2012. 中扬子地区早寒武世构造-沉积样式与古地理格局. 地质科学,47(4)：1052-1070. [Chen D Z,Wang J G,Yan D T,Wei H Y. 2012. Tectono-depositional patterns and palaeogeography in the Middle Yangtze River region during the Early Cambrian. Chinese Journal of Geology, 47(4)：1052-1070]

陈明思,张本健,李智武,刘树根,李勇,宋金民,王瀚,蒋航,王林康,徐少立,丁一. 2023. 四川盆地及周缘震旦系灯影组岩性—碳同位素地层划分及意义. 古地理学报,25(6)：1347-1363. [Chen M S,Zhang B J,Li Z W,Liu S G,Li Y,Song J M,Wang H,Jiang H,Wang L K,Xu S L,Ding Y. 2023. Lithol and carbon isotopic stratigraphic division and its significance of the Sinian Dengying Formation in Sichuan Basin and surrounding area. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),25(6)：1347-1363]

邓胜徽,樊茹,李鑫,张师本,张宝民,卢远征. 2015. 四川盆地及周缘地区震旦(埃迪卡拉)系划分与对比. 地层学杂志,39(3)：239-254. [Deng S H,Fan R,Li X,Zhang S B,Zhang B M,Lu Y Z. 2015. Subdivision and correlation of the Sinian(Ediacaran)system in the Sichuan Basin and its adjacent area. Journal of Stratigraphy, 39(3)：239-254]

邓双林,宋金民,刘树根,罗平,李智武,杨迪,孙玮,李金玺,余晶洁,李立基. 2020. 四川盆地灯影组三段混积特征及其地质意义. 沉积学报,38(3)：598-609. [Deng S L,Song J M,Liu S G,Luo P,Li Z W,Yang D,Sun W,Li J X,Yu J J,Li L J. 2020. Mixed sedimentary characteristics of the Third Member of Dengying Formation, Sichuan Basin,and its geological significance. Acta Sedimentologica Sinica,38(3)：598-609]

丁一,刘树根,文龙,马奎,陈代钊,宋金民,王瀚,王林康,陈明思,杨钹,唐攀,李智武. 2025. 绵阳—长宁拉张槽东北缘埃迪卡拉系灯影组上部地层缺失及构造意义. 地质学报,99(2)：352-364. [Ding Y,Liu S G,Wen L,Ma K,Chen D Z,Song J M,Wang H,Wang L K,Chen M S,Yang B,Tang P,Li Z W. 2025. Strata missing of the Ediacaran upper Dengying Formation at the northeastern Mianyang-Changning intracratonic sag, and tectonic implications. Acta Geologica Sinica,99(2)：352-364.]

冯明友,伍鹏程,鄢晓荣,刘小洪,李宁辛,吴宇,陈笛,何金格. 2017. 四川峨边震旦系灯影组三段泥页岩地球化学特征及地质意义. 矿物岩石地球化学通报,36(3)：493-501. [Feng M Y,Wu P C,Yan X R,Liu X H,Li N X,Wu Y,Chen D,He J G. 2017. Geochemistry and significance of shale in the Third Member of the Precambrian Dengying Formation,Ebian of southwestern Sichuan. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry,36(3)：493-501]

郭冉. 2024. 四川盆地震旦纪宣汉—开江古隆起形成演化及其油气勘探前景. 成都理工大学博士学位论文：26-58. [Guo R. 2024. Formation and evolution of the Sinian Xuanhan-Kaijiang paleo-uplift and its petroleum exploration prospects in Sichuan Basin. Doctoral dissertation of Chengdu University of Technology：26-58]

何若玮. 2023. 四川盆地灯影组三段沉积特征与桐湾运动Ⅰ幕研究. 成都理工大学硕士学位论文：57-69. [He R W. 2023. Sedimentary Characteristics of the Third Member of the Dengying Formation in the Sichuan Basin and study on the Tongwan Movement episode I. Masteral dissertation of Chengdu University of Technology：57-69]

何若玮,孙玮,李泽奇,邓宾,苗如霖,张长俊,田腾振,鲁鹏达. 2023. 川北柳湾乡震旦系灯影组第三段沉积特征及其地质意义. 成都理工大学学报(自然科学版),50(1)：50-64. [He R W,Sun W,Li Z Q,Deng B,Miao R L,Zhang C J,Tian T Z,Lu P D. 2023. Sedimentary characteristics and geological significance of the third member of Sinian Dengying Formation in Liuwanxiang area,northern Sichuan. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition),50(1)：50-64]

侯明才,邢凤存,徐胜林,林良彪,刘欣春,熊富浩,黄虎. 2017. 上扬子 E-C 转换期古地理格局及其地球动力学机制探讨. 沉积学报,35(5)：902-917. [Hou M C,Xing F C,Xu S L,Lin L B,Liu X C,Xiong F H,Huang H. 2017. Paleogeographic patterns of E-C transition period in the Upper Yangtze and the geodynamic mechanism. Acta Sedimentologica Sinica,35(5)：902-917]

姜在兴. 2003. 沉积学. 北京：石油工业出版社,329-356. [Jiang Z X. 2003. Sedimentology. Beijing：Petroleum Industry Press,329-356]

李伟,刘静江,邓胜徽,张宝民,周慧. 2015. 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. 石油学报,36(5)：546-556,563. [Li W,Liu J J,Deng S H,Zhang B M,Zhou H. 2015. The nature and role of Late Sinian-Early Cambrian tectonic movement in Sichuan Basin and its adjacent areas. Acta Petrolei Sinica, 36(5)：546-556,563]

李双建,高平,黄博宇,王海军,沃玉进. 2018. 四川盆地绵阳—长宁凹槽构造演化的沉积约束. 石油与天然气地质,39(5)：889-898. [Li S J,Gao P,Huang B Y,Wang H J,Wo Y J. 2018. Sedimentary constraints on the tectonic evolution of Mianyang-Changning trough in the Sichuan Basin. Oil & Gas Geology,39(5)：889-898]

李雅楠,郑荣才,庞艳春,孙红强. 2014. 川东北南江地区灯影组三段岩石特征及沉积环境分析. 科学技术与工程,14(5)：204-210. [Li Y N,Zheng R C,Pang Y C,Sun H Q. 2014. Lithology charac-

teristic and sedimentary environment of the Member 3 of Dengying Formation, in Yangba area, northeast Sichuan. Science Technology and Engineering, 14(5): 204-210]

李英强,何登发,文竹. 2013. 四川盆地及邻区晚震旦世古地理与构造-沉积环境演化. 古地理学报,15(2): 231-245. [Li Y Q, He D F, Wen Z. 2013. Palaeogeography and tectonic-depositional environment evolution of the Late Sinian in Sichuan Basin and adjacent areas. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 15(2): 231-245]

李智武,冉波,肖斌,宋金民,郑玲,李金玺,王瀚,肖斌,叶玥豪,蔡其新,刘树根. 2019. 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. 地学前缘,26(1): 59-85. [Li Z W, Ran B, Xiao B, Song J M, Zheng L, Li J X, Wang H, Xiao B, Ye Y H, Cai Q X, Liu S G. 2019. Sinian to Early Cambrian uplift-depression framework along the northern margin of the Sichuan Basin, central China and its implications for hydrocarbon exploration. Earth Science Frontiers, 26(1): 59-85]

刘宏,罗思聪,谭秀成,李凌,连承波,曾伟,罗冰,山述娇. 2015. 四川盆地震旦系灯影组古岩溶地貌恢复及意义. 石油勘探与开发,42(3): 283-293. [Liu H, Luo S C, Tan X C, Li L, Lian C B, Zeng W, Luo B, Shan S J. 2015. Restoration of paleokarst geomorphology of Sinian Dengying Formation in Sichuan Basin and its significance, SW China. Petroleum Exploration and Development, 42(3): 283-293]

刘静江,李伟,张宝民,周慧,袁晓红,单秀琴,张静,邓胜徽,谷志东,樊茹,王拥军,李鑫. 2015. 上扬子地区震旦纪沉积古地理. 古地理学报,17(6): 735-753. [Liu J J, Li W, Zhang B M, Zhou H, Yuan X H, Shan X Q, Zhang J, Deng S H, Gu Z D, Fan R, Wang Y J, Li X. 2015. Sedimentary palaeogeography of the Sinian in Upper Yangtze Region. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 17(6): 735-754]

刘静江,刘慧荣,李文皓,谢武仁,姜华,苏旺,李文正,石书缘,翟秀芬,马石玉. 2021. 四川盆地裂陷槽研究新进展: 关于裂陷槽成因机制与形成时间的探讨. 地质论评,67(3): 767-786. [Liu J J, Liu H R, Li W H, Xie W R, Jiang H, Su W, Li W Z, Shi S Y, Zhai X F, Ma S Y. 2021. New progress in the study of aulacogen in Sichuan Basin: a discussion on the genetic mechanism and formation time of the aulacogen. Geological Review, 67(3): 767-786]

刘静江,周慧,刘慧荣,翟秀芬,池英柳. 2023. 川西地区震旦纪地层新发现. 地层学杂志,47(3): 324-338. [Liu J J, Zhou H, Liu H R, Zhai X F, Chi Y L. 2023. New discovery of the Sinian strata in western Sichuan. Journal of Stratigraphy, 47(3): 324-338]

刘树根,孙玮,罗志立,宋金民,钟勇,田艳红,彭瀚霖. 2013. 兴凯地裂运动与四川盆地下组合油气勘探. 成都理工大学学报(自然科学版),40(5): 511-520. [Liu S G, Sun W, Luo Z L, Song J M, Zhong Y, Tian Y H, Peng H L. 2013. Xingkai taphrogenesis and petroleum exploration from Upper Sinian to Cambrian strata in Sichuan Basin, China. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 40(5): 511-520]

马志鑫,罗茂金,刘喜停,任京伟,黄腾,孙志明. 2019. 四川南江地区上震旦统灯影组混积层系特征及成因. 沉积与特提斯地质,39(4): 1-13. [Ma Z X, Luo M J, Liu X T, Ren J W, Huang T, Sun Z M. 2019. Characteristics and genesis of the mixed siliciclastic-carbonate successions in the Upper Sinian Dengying Formation in the Nanjiang region, Sichuan. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 39(4): 1-13]

马梓珂,刘博文,李昱翰,李明,梁新玉. 2022. 川中地区寒武系沧浪铺组地层划分及展布特征研究. 中国石油和化工标准与质量,42(19): 80-82. [Ma Z K, Liu B W, Li Y H, Li M, Liang X Y. 2022. Stratigraphic division and distribution of the Cambrian Canglangpu Formation, central Sichuan Basin. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 42(19): 80-82]

谭磊,刘宏,陈康,倪华玲,周刚,张旋,严威,钟原,吕文正,谭秀成,张坤. 2022. 川中高磨地区震旦系灯影组三—四段层序沉积与储集层分布. 石油勘探与开发,49(5): 871-883. [Tan L, Liu H, Chen K, Ni H L, Zhou G, Zhang X, Yan W, Zhong Y, Lü W Z, Tan X C, Zhang K. 2022. Sequence sedimentary evolution and reservoir distribution in the third and fourth members of Sinian Dengying Formation, Gaomo area, Sichuan Basin, SW China. Petroleum Exploration and Development, 49(5): 871-883]

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. 石油勘探与开发,46(1): 39-51. [Wang Z C, Liu J J, Jiang H, Huang S P, Wang K, Xu Z Y, Jiang Q C, Shi S Y, Ren M Y, Wang T Y. 2019. Lithofacies paleogeography and exploration significance of Sinian Doushantuo depositional stage in the middle-upper Yangtze region, Sichuan Basin, SW China. Petroleum Exploration and Development, 46(1): 39-51]

王林康,文龙,李智武,刘树根,陈代钊,宋金民,王瀚,陈明思,杨钺,唐攀,陈荣庆,丁一. 2024. 四川广元羊木—岩洞地区震旦纪—寒武纪界线地层序列及构造-沉积演化. 地质通报,43(5): 812-826. [Wang L K, Wen L, Li Z W, Liu S G, Chen D Z, Song J M, Wang H, Chen M S, Yang B, Tang P, Chen R Q, Ding Y. 2024. Stratigraphic sequence and tectonic-sedimentary evolution of Sinian-Cambrian boundary in Yangmu-Yandong area, Guangyuan, Sichuan Province. Geological Bulletin of China, 43(5): 812-826]

文龙,罗冰,钟原,马奎,严威,张玺华,李勇,彭瀚霖,李堃宇,周红飞. 2021. 四川盆地灯影期沉积特征及槽—台体系成因模式. 成都理工大学学报(自然科学版),48(5): 513-524,590. [Wen L, Luo B, Zhong Y, Ma K, Yan W, Zhang X H, Li Y, Peng H L, Li K Y, Zhou H F. 2021. Sedimentary characteristics and genetic model of trough-platform system during the Dengying Period in Sichuan Basin, China. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 48(5): 513-524,590]

邢凤存,侯明才,林良彪,徐胜林,胡华蕊. 2015. 四川盆地晚震旦世—早寒武世构造运动记录及动力学成因讨论. 地学前缘,22(1): 115-125. [Xing F C, Hou M C, Lin L B, Xu S L, Hu H R. 2015. The records and its dynamic genesis discussion of tectonic movement during the Late Sinian and the Early Cambrian of Sichuan Basin. Earth Science Frontiers, 22(1): 115-125]

赵文智，王小芳，王鑫，王坤，沈安江. 2022. 四川盆地震旦系灯影组地层厘定与岩相古地理特征. 古地理学报，24(5)：852－870. [Zhao W Z，Wang X F，Wang X，Wang K，Shen A J. 2022. Stratigraphic sequence re-determination and lithofacies palaeogeographical characteristics of the Sinian Dengying Formation in Sichuan Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition)，24(5)：852－870]

张健，谢武仁，谢增业，黄平辉，李德江，邱声义，曾富英. 2014. 四川盆地震旦系岩相古地理及有利储集相带特征. 天然气工业，34(3)：16－22. [Zhang J，Xie W R，Xie Z Y，Huang P H，Li D J，Qiu S Y，Zeng F Y. 2014. Lithofacies palaeogeographic characteristics and favorable reservoir facies belts of the Sinian in the Sichuan Basin. Natural Gas Industry，34(3)：16－22]

周刚，田兴旺，文龙，张本健，杨岱林，姚军，孙奕婷，向柱，周力，唐浩. 2023. 四川盆地西部泥盆纪—石炭纪古坳陷存在的新证据及其油气地质意义. 天然气工业，43(8)：1－11. [Zhou G，Tian X W，Wen L，Zhang B J，Yang D L，Yao J，Sun Y T，Xiang Z，Zhou L，Tang H. 2023. New evidence of Devonian-Carboniferous paleo-depression in the western Sichuan Basin and its implications for oil and gas geology. Natural Gas Industry，43(8)：1－11]

邹才能，杜金虎，徐春春，汪泽成，张宝民，魏国齐，王铜山，姚根顺，邓胜徽，刘静江，周慧，徐安娜，杨智，姜华，谷志东. 2014. 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. 石油勘探与开发，41(3)：278－293. [Zou C N，Du J H，Xu C C，Wang Z C，Zhang B M，Wei G Q，Wang T S，Yao G S，Deng S H，Liu J J，Zhou H，Xu A N，Yang Z，Jiang H，Gu Z D. 2014. Formation，distribution，resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gas field，Sichuan Basin，SW China. Petroleum Exploration and Development，41(3)：278－293]

Chen Q，Zhao G C，Sun M. 2021. Protracted northward drifting of South China during the assembly of Gondwana：constraints from the spatial-temporal provenance comparison of Neoproterozoic-Cambrian strata. GSA Bulletin，133(9－10)：1947－1963.

Ding Y，Li Z W，Liu S G，Song J M，Zhou X Q，Sun W，Zhang X H，Li S J，Ran B，Peng H L，Li Z Q，Wang H，Chen D Z. 2021. Sequence stratigraphy and tectono-depositional evolution of a late Ediacaran epeiric platform in the Upper Yangtze area，South China. Precambrian Research，354：106077.

Dumas S，Arnott R W C. 2006. Origin of hummocky and swaley cross-stratification：the controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. Geology，34(12)：1073－1076.

García-Hidalgo J F，Gil J，Segura M，Domínguez C. 2007. Internal anatomy of a mixed siliciclastic-carbonate platform：the Late Cenomanian-Mid Turonian at the southern margin of the Spanish Central System. Sedimentology，54(6)：1245－1271.

Gu Z D，Jian X，Watts A B，Zhai X F，Liu G X，Jiang H. 2023a. Formation and evolution of an Early Cambrian foreland basin in the NW Yangtze Block，South China. Journal of the Geological Society，180(3)：jgs2022－127.

Gu Z D，Jiang H，Fu L，Zhang B M，Zhai X F，Liu G X，Li Q F. 2023b. Ediacaran stratigraphy and paleogeography in the north Yangtze Block，South China. Sedimentary Geology，444：106314.

Han Y Y，Ran B，Santosh M，Luo C，Liu S G，Li Z W，Ye Y H，Song J M，Wang H，Ding Y. 2022. Linking South China Plate to Arabian margin of Gondwana：significance for Cambrian global plate reconstruction. Journal of Asian Earth Sciences，237：105341.

Jiang G Q，Shi X Y，Zhang S H，Wang Y，Xiao S H. 2011. Stratigraphy and paleogeography of the Ediacaran Doushantuo Formation(ca. 635－551 Ma) in South China. Gondwana Research，19(4)：831－849.

Li Z X，Powell C M. 2001. An outline of the palaeogeographic evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic. Earth-Science Reviews，53(3)：237－277.

Li Z X，Bogdanova S V，Collins A S，Davidson A，De Waele B，Ernst R E，Fitzsimons I C W，Fuck R A，Gladkochub D P，Jacobs J，Karlstrom K E，Lu S，Natapov L M，Pease V，Pisarevsky S A，Thrane K，Vernikovsky V. 2008. Assembly，configuration，and break-up history of Rodinia：a synthesis. Precambrian Research，160(1)：179－210.

McMahon W J，Liu A G，Tindal B H，Kleinhans M G. 2020. Ediacaran life close to land：coastal and shoreface habitats of the Ediacaran macrobiota，the Central Flinders Ranges，South Australia. Journal of Sedimentary Research，90(11)：1463－1499.

Qi L，Hou M C，Cawood P A，Lang X G，Zhu S X，Zhang M X. 2023. Neoproterozoic storm deposits in western Yangtze：implications for the sea conditions during the middle Sturtian glaciation. Precambrian Research，384：106945.

Xie L，Yang X F，Zhang Y H，Xu Y，Zeng D，Tang R F，Du Y，Wang X Z. 2024. Sedimentary characteristics and lithofacies paleogeography of the Cambrian in Sichuan Basin，Southwest China. Petroleum，10(2)：224－242.

Xu Y J，Du Y S，Cawood P A，Zhu Y H，Li W C，Yu W C. 2012. Detrital zircon provenance of Upper Ordovician and Silurian strata in the northeastern Yangtze Block：response to orogenesis in South China. Sedimentary Geology，267－268：63－72.

Yang F L，Zhou X F，Peng Y X，Song B W，Kou X H. 2020. Evolution of Neoproterozoic basins within the Yangtze Craton and its significance for oil and gas exploration in South China：an overview. Precambrian Research，337：105563.

Zhang S H，Li H Y，Jiang G Q，Evans D A D，Dong J，Wu H C，Yang T S，Liu P J，Xiao Q S. 2015. New paleomagnetic results from the Ediacaran Doushantuo Formation in South China and their paleogeographic implications. Precambrian Research，259：130－142.

（责任编辑　张西娟；英文审校　刘贺娟）