

## 四川盆地中部—北部地区灯影组二段 天然气勘探新认识及潜力分析

谢继容<sup>1</sup>, 张自力<sup>2</sup>, 钟原<sup>2</sup>, 严威<sup>2</sup>, 李堃宇<sup>2</sup>, 和源<sup>2</sup>,  
赵立可<sup>2</sup>, 龙虹宇<sup>2</sup>, 张宝收<sup>2</sup>, 乔艳萍<sup>2</sup>

1 中国石油西南油气田公司; 2 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院

**摘要** 近期PT101井灯影组二段测试获得 $231 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流,刷新了四川盆地灯影组探井测试产量纪录,显示川中古隆起北部构造斜坡区灯二段具备规模资源。利用最新的钻井岩电、地震及分析测试等资料,针对川中—川北地区灯二段含油气地质条件进行新一轮研究,明确了川中—川北地区灯二段台地边缘带勘探潜力。研究表明:①川中—川北地区灯二段发育由南向北逐渐变宽、增厚的台地边缘沉积,台缘带宽40~130 km,厚650~1 000 m;②川中—川北地区灯二段储层以台地边缘丘—滩复合体藻白云岩为主,发育次生溶蚀孔、洞、缝,平均孔隙度为3.6%,平均渗透率为 $3.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,优质储层呈大面积连片叠置分布;③川中—川北地区灯二段源储配置条件极佳,中江—蓬萊区块发育多个大型断控构造—岩性圈闭,已证实PT1井区、ZJ2井区具有独立的气—水界面并且远低于高石梯—磨溪地区,发育大型单斜构造背景下的岩性、构造—岩性气藏群。川中—川北地区灯二段台地边缘带具有有利的沉积背景、良好的储层发育条件及优越的天然气成藏要素配置关系,是四川盆地灯影组发现下一个万亿方气区的重要战略新区带。

**关键词** 台地边缘带; 构造—岩性圈闭; 天然气勘探; 灯二段; 川中—川北地区; 四川盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

### 0 前言

川中古隆起现今在四川盆地内部表现为一个近东西向展布的鼻状隆起,其定型于加里东末期,面积约为 $6.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。2011年,在川中古隆起构造高部位发现了安岳特大型天然气田,气藏的展布整体受构造背景控制<sup>[2-5]</sup>。安岳气田北部为川中古隆起现今构造的北部斜坡区,总体上呈单斜背景,具有埋深大的特征<sup>[5-7]</sup>,最低构造海拔比安岳气田低2 000 m,该区能否发育有效储层,能否形成规模油气聚集是勘探面临的重大挑战。2020年,风险探井PT1井于川中古隆起北部斜坡的蓬萊地区灯影组二段(简称灯二段)台地边缘带取得了重大突破<sup>[6-9]</sup>,测试获日产气 $121.89 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,并且气—水界面(海拔-5 580 m)远低于安岳地区(海拔-5 160 m),证实了川中—川北地区作为古隆起的长期继承性斜坡带具备岩性气藏勘探的巨大潜力。2021年,针对

PT1井区灯二段的集中评价工作陆续见到成效,取心见大量孔、洞发育,测井解释气层厚度自40 m至150 m不等,特别是评价井PT101井灯二段测试创纪录地获得 $231 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流,直接证实了单斜背景下能够形成规模整装岩性气藏。有鉴于此,本文基于最新的钻井岩电、地震及分析测试等资料,开展川中—川北地区灯二段台地边缘带含油气地质条件综合研究,评价其天然气勘探潜力,以期指导勘探部署。

### 1 地质背景

四川盆地是一个在上扬子克拉通板块上发展起来的多期叠合盆地,盆地基底为中元古代末晋宁运动形成的褶皱基底<sup>[10-12]</sup>。震旦纪,在罗迪尼亚大陆裂解背景下<sup>[11]</sup>,全球大陆发生大规模离散拉张,古中国地台逐渐裂解,称为兴凯旋回或兴凯地裂运动旋回<sup>[6-7,12-13]</sup>。华南扬子板块同时期发生

收稿日期:2022-07-15; 改回日期:2022-08-02

本文受中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目“西南油气田天然气上产300亿立方米关键技术研究与应用”(编号:2016E-06)资助

**第一作者:** 谢继容,正高级工程师,主要从事石油与天然气勘探研究及技术管理工作。通信地址:610051四川省成都市成华区府青路一段3号;E-mail: xiejr@petrochina.com.cn。ORCID: 0000-0002-3505-3909

广泛的地壳幕式上升运动,表现为大规模地壳垂直差异隆升(即桐湾运动),其中桐湾运动 I、II 幕形成了灯二段顶部、灯四段顶部 2 个区域性不整合<sup>[14-16]</sup>。在长期风化、剥蚀作用下,德阳—安岳裂陷及其周缘最终形成了“北沉积、南侵蚀”的槽台格局<sup>[9,16-19]</sup>。

局<sup>[9,16-19]</sup>,北部保留裂陷槽及裂陷槽边缘沉积型台地边缘带,而南部主要发育侵蚀槽及边缘侵蚀陡坎。川中—川北地区位于现今四川盆地西北部地区,东起南充、西至龙门山前,南起安岳、北至广元,区域面积近  $4 \times 10^4 \text{ km}^2$  (图 1)。

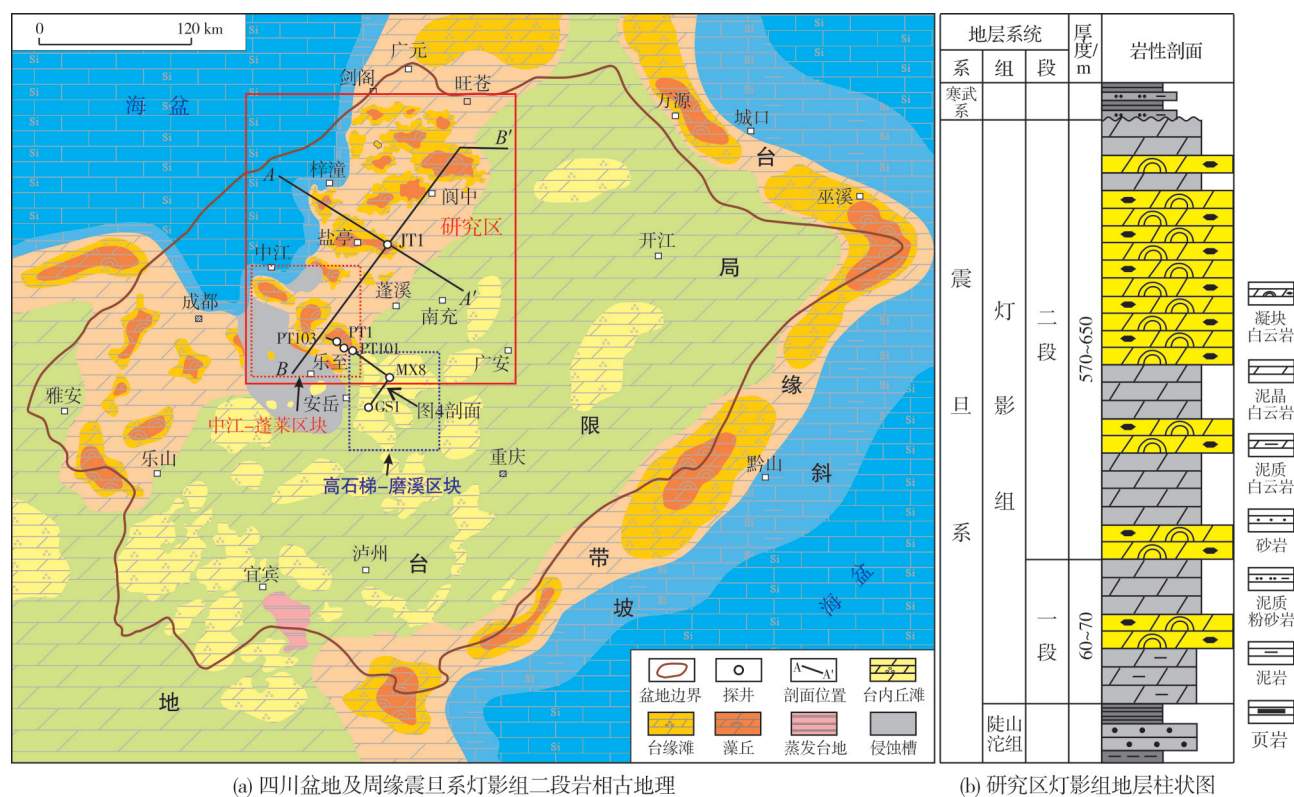


图 1 川中—川北地区区域位置及灯影组地层柱状图(据文献[17],修改)

Fig. 1 Location map and stratigraphic column of Dengying Formation of the study area (cited from reference [17], modified)

## 2 川中—川北地区灯二段勘探新认识

### 2.1 灯二段台地边缘带及丘—滩体大规模、继承性发育

二维、三维地震解释及古地理格局恢复结果表明,四川盆地灯二段沉积期为一稳定碳酸盐台地(图 1a)。高石梯—磨溪(简称为高一磨)地区灯二段为台内沉积,以泥晶藻白云岩、砂屑白云岩和泥晶白云岩为主,厚度介于 260~300 m。而中江—蓬莱地区灯二段以凝块白云岩为主,局部可见破碎凝块、漂浮状砾屑等高能沉积构造(图 2),为典型的碳酸盐台地边缘相沉积,厚度介于 550~1 000 m。

灯影组沉积时期,川中—川北地区位于扬子板块西北缘,为宽缓的台地边缘沉积背景(图 3a),台

地边缘西侧即扬子西缘广海,波浪和潮汐作用强烈,水体扰动深度大,水动力作用强,宽缓的台地边缘带更有利于生物丘—滩体大规模、继承性发育。总体上,川中—川北地区灯二段台地边缘呈 SW—NE 向展布,但具有明显的平面分段性特征,以盐亭为界可分为南段和北段(图 1a,图 3b):南段中江—蓬莱—盐亭地区台地边缘带宽 40~60 km,厚度介于 550~750 m;北段剑阁—阆中地区台地边缘带宽 100~130 km,厚度介于 800~1 000 m。灯影组主要发育较连续、中—强振幅反射,断续、中—强振幅反射,以及杂乱反射等 3 种地震相类型(图 3)。

灯二段连井沉积相及储层对比剖面显示:相对于高一磨地区的台内薄层丘—滩体沉积,中江—蓬



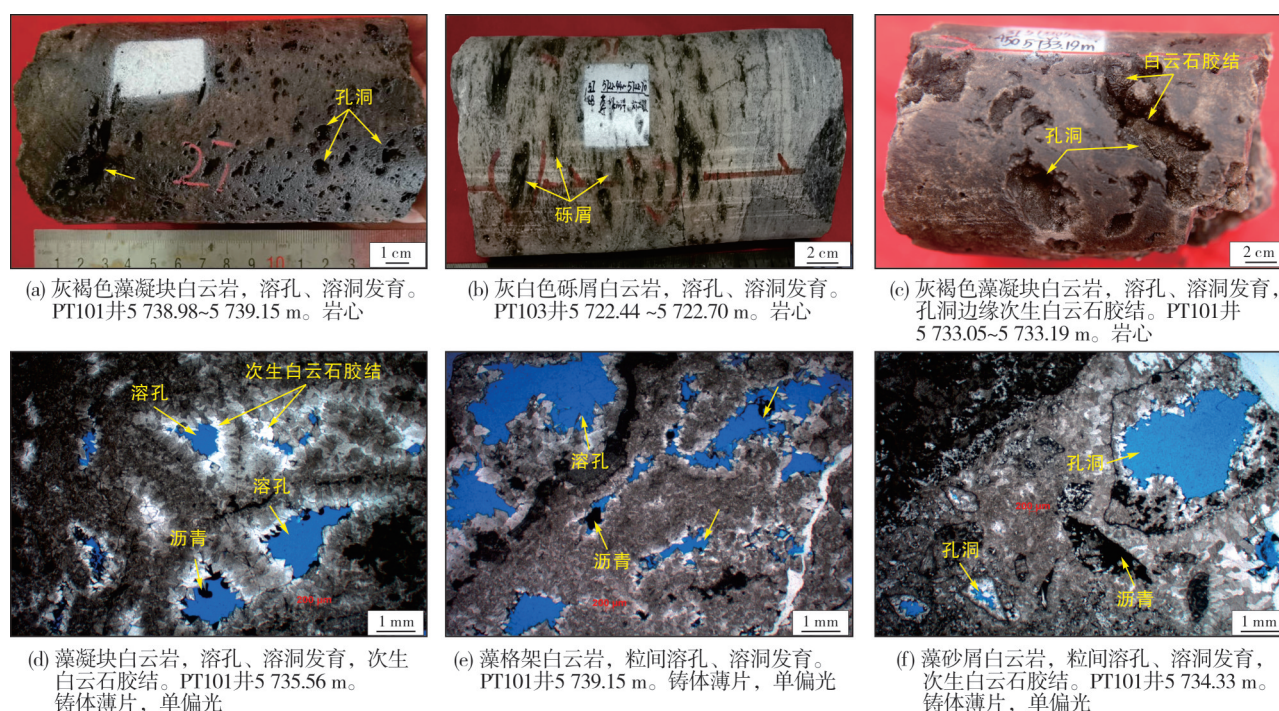


图2 川中—川北地区中江—蓬莱区块PT1井区灯影组二段储层岩性组合及孔隙结构

Fig. 2 Reservoir lithology and pore structure of Dengying Member 2 of Well PT1 in Zhongjiang-Penglai block, central-northern area of Sichuan Basin

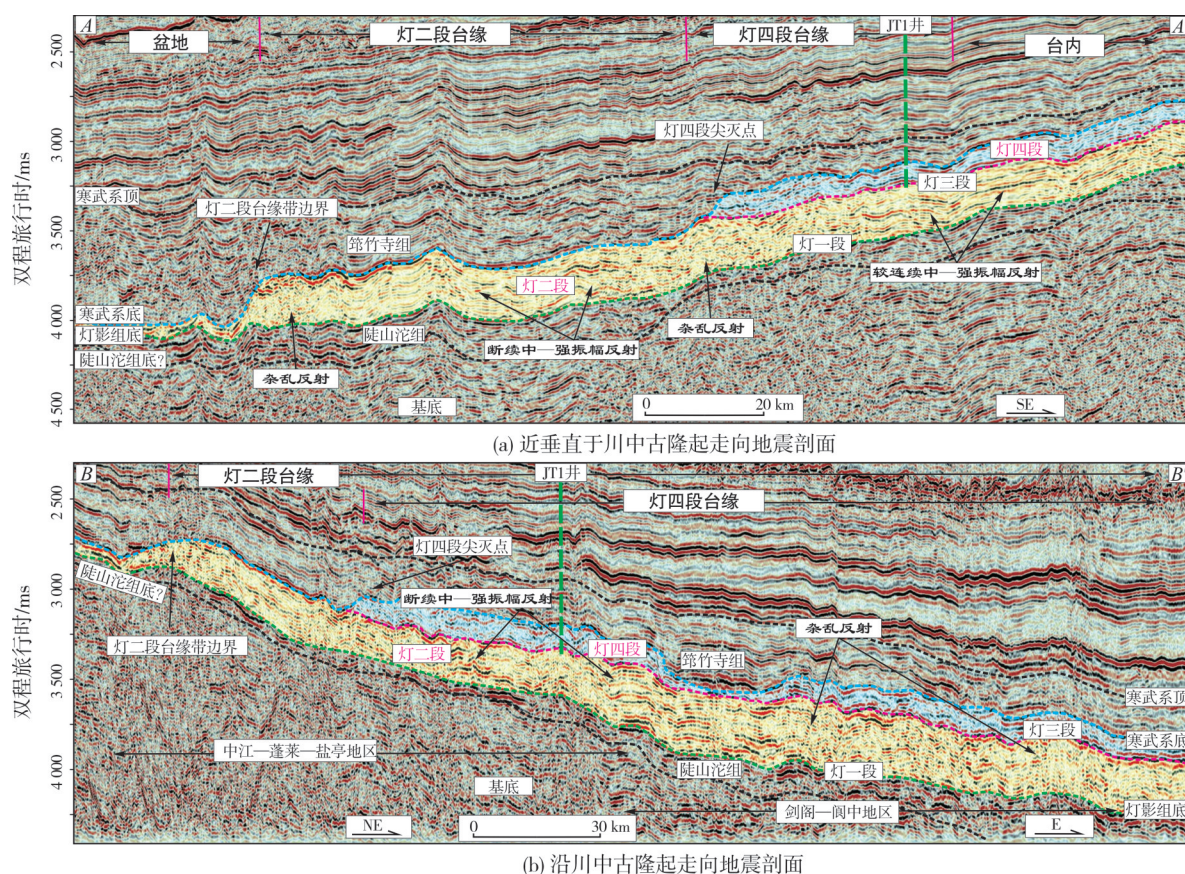


图3 川中—川北地区灯影组地震地质解释及台地边缘带展布剖面图(剖面位置见图1a)

Fig. 3 Seismic interpretation sections showing platform margin distribution of Dengying Formation in central-northern area of Sichuan Basin (section location is shown in Fig. 1a)



莱地区的台缘丘-滩体更具规模,单层厚度大(15~110 m),横向分布稳定(图4)。此外,根据地震地质解释(图3b),灯二段台缘带由南段中江-蓬莱地区

向北段剑阁-阆中地区呈现明显加宽、增厚的趋势,北段台缘带生物丘-滩体沉积厚度及平面展布规模均优于南部地区,极具勘探潜力。

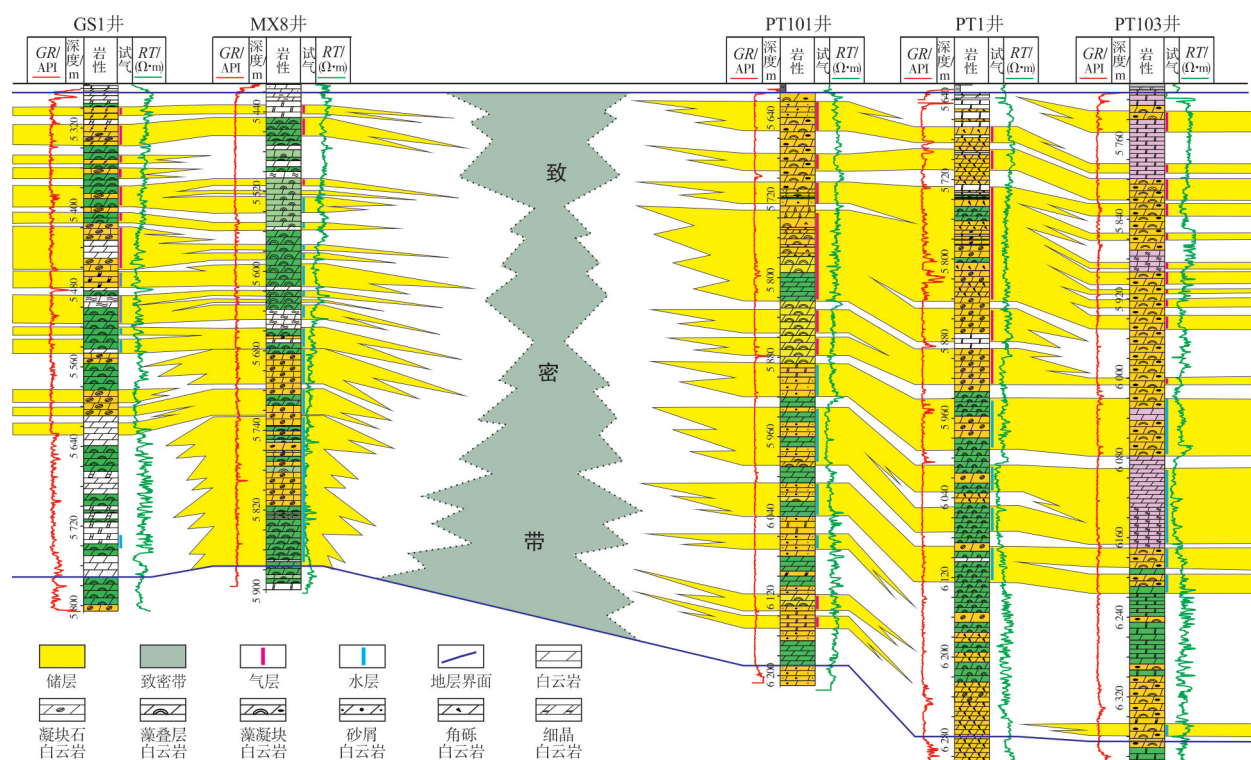


图4 川中地区灯二段丘-滩体储层连井对比剖面图(拉平灯二段顶;剖面位置见图1a)

Fig. 4 Inter-well mound-shoal reservoir comparison section of the Dengying Member 2 in central area of Sichuan Basin (flatten the top of Dengying Member 2; section location is shown in Fig. 1a)

## 2.2 发育多期岩溶,优质储集体规模连片分布

四川盆地灯影组勘探实践表明:现今有利的储集相带主要分布于裂隙槽边缘的台地边缘带,台地边缘丘-滩相白云岩为研究区的优质储集层和主力产气层。沉积相带组合控制了原始优质储集体的宏观分布,而后期的岩溶改造及强烈的成岩蚀变作用,不仅控制了储层的微观孔隙类型和结构,还改善了深层碳酸盐岩的储集性能,进而控制了储层的储集能力<sup>[4,5]</sup>。

岩心及薄片分析表明,川中-川北地区灯二段储层主要由藻白云岩构成,与高一磨地区储层岩性相同<sup>[4,8]</sup>,但岩性组合类型存在差异。灯二段储层岩性组合可进一步划分为藻凝块白云岩、藻砂屑白云岩和藻叠层白云岩等类型(图2)。灯二段不同岩相储层在准同生期、表生期及埋藏过程中存在明显的差异溶蚀现象:顶部藻砂屑白云岩发育小型溶蚀孔

洞,见大量针状溶孔;中上部藻凝块白云岩发育小型溶蚀孔洞;中下部雪花状构造白云岩、砂屑白云岩发育大孔大洞和针状溶孔;底部藻砂屑白云岩发育大孔大洞和针状溶孔。中江-蓬莱区块灯二段储集空间类型主要为次生溶蚀孔、洞及溶缝,储层累计厚度介于170~320 m,平均厚度超过250 m(图4)。中江-蓬莱地区岩心孔渗测试结果显示(表1):灯二段储层孔隙度为2.48%~14.53%,平均孔隙度为3.6%,平均渗透率为 $3.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,整体属低孔、低渗储层。

不同的孔隙类型具有不同的成因,而中江-蓬莱区块的灯二段储层具备各种储集空间类型,反映了该区块的灯影组经历了复杂的沉积-成岩演化过程和流体介质环境。储层反演剖面显示:次生高孔隙发育带具有垂向分层性、横向连续性的特征,整体上发育有表层、浅层及深层3个次生高孔-渗带(图5)。



表1 川中—川北地区中江—蓬莱区块与高一磨区块灯二段储层对比表

Table 1 Comparison of reservoir characteristics of the Dengying Member 2 between Zhongjiang-Penglai block and Gao-Mo block in central-northern area of Sichuan Basin

地区	钻井揭示地层厚度/m		储层厚度/m		全直径储层孔隙度/%		柱塞样	柱塞样平均渗透率/
	范围	平均	范围	平均	范围	平均	平均孔隙度/%	$10^{-3}\mu\text{m}^2$
中江—蓬莱地区	290~660	540	170~320	250	2.48~14.53	3.60	4.37	3.60
高一磨地区	186~380	217	150~260	168	1.52~4.25	3.00	3.50	1.09

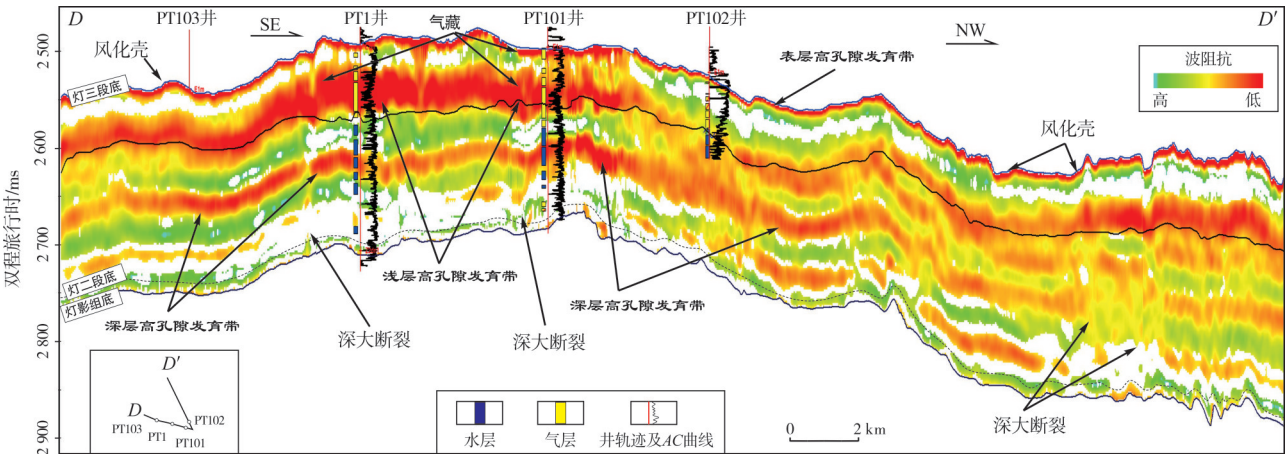


图5 川中地区中江—蓬莱区块灯二段波阻抗反演剖面

Fig. 5 Wave impedance inversion section of the Dengying Member 2 in Zhongjiang-Penglai block, central area of Sichuan Basin

表层高孔-渗发育带位于灯二段顶部风化壳, 横向呈薄层连续分布, 厚度为10~30 m。浅层高孔-渗发育带呈丘状集中分布于中江—蓬莱区块PT103井—PT1井—PT101井区, 厚度为120~230 m, 浅层高-孔渗发育带是PT1井区最主要的产层。深层高孔-渗发育带呈不连续条带状分布, 厚度为20~60 m。前人研究揭示, 川中古隆起区灯影组在成岩演化过程中经历了3类流体的溶蚀, 包括桐湾运动的大气淡水、上下2套烃源岩或储层自身发育的藻类在有机质热演化过程中生成的有机酸及深部热液流体等<sup>[4]</sup>。岩溶作用有效地改善了灯影组储层的储集性能。

灯二段顶部次生孔隙发育带呈规模连片分布, 其形成与桐湾运动导致区域抬升而引起的大气水淋滤作用有关。灯影组末期桐湾Ⅱ幕运动造成川中古隆起区基底大规模隆升, 灯影组遭受长期风化、剥蚀、淋滤, 从而形成独特的表层次生岩溶储层(图5)。沉积期海平面的频繁升降变化、多期次间歇性暴露所造成的准同生溶蚀形成了一系列次生溶蚀孔、洞并拓宽了构造裂缝, 不仅改善了储层的储集性能, 并且为埋藏期成岩流体及深部热液的进入提供了通道, 进一步改善了深层碳酸盐岩储层的储集性能。对于灯二段内部存在的次生高孔隙发

育带, 同样具有纵向延伸距离远的特征, 多分布于深大断裂周围, 可能与成岩期的深部热液活动有关<sup>[4-5]</sup>(图5)。PT1井—PT101井区次生孔隙发育带是大气水淋滤与深部热液溶蚀共同作用而多期溶蚀的结果。同时, 中江—蓬莱地区灯二段储层无论是厚度还是物性均优于高一磨地区(表1)。

2.3 构造-岩性圈闭成群分布, 天然气大规模聚集成藏

2.3.1 “双源、三向供烃”更具有成藏优势

川中—川北地区震旦系—寒武系发育陡山沱组、筇竹寺组2套烃源岩, 为灯影组天然气成藏提供了充足的气源<sup>[2,3,8,20-21]</sup>。研究区位于德阳—安岳裂陷槽东北缘, 灯影组沉积时期台地边缘带西部为扬子西缘广海深水盆地硅质沉积, 早寒武世筇竹寺组沉积期发育深水黑色泥页岩。筇竹寺组烃源岩厚度为300~450 m, 整体具有西厚东薄的特征(图6a)。灯影组下伏为厚层陡山沱组, 整体具有东南薄、西北厚的特征, 是研究区潜在的烃源岩层系<sup>[20-21]</sup>(图3, 图6b)。研究区灯二段台地边缘带紧邻生烃中心, 上部及侧翼为筇竹寺组烃源岩所包裹, 下伏厚层陡山沱组烃源岩, 同时具备“上生下





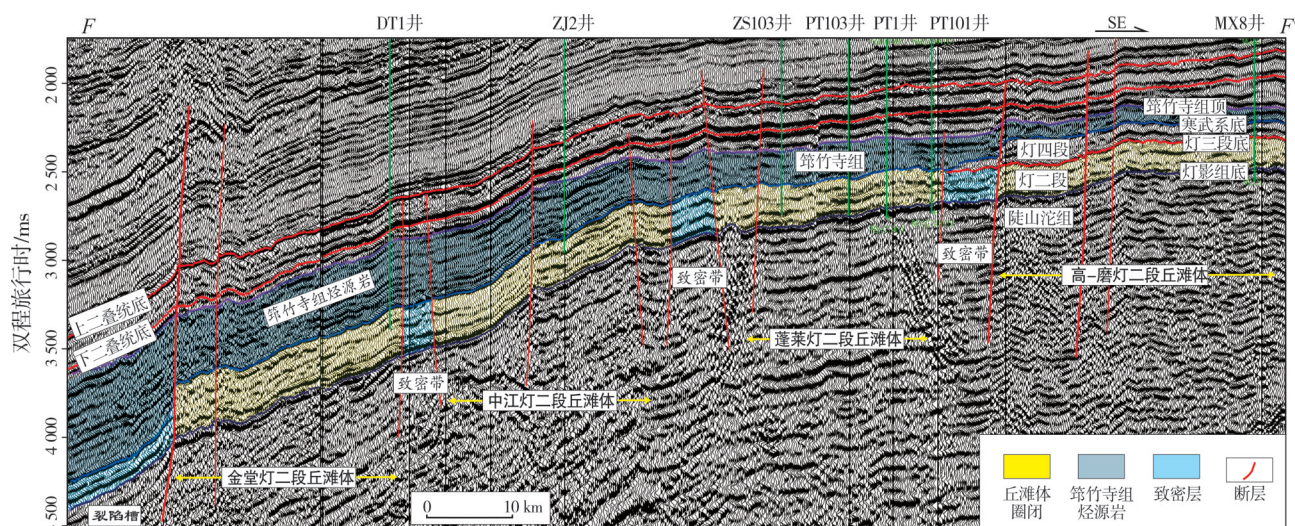


图7 川中—川北地区中江—蓬萊区块构造-岩性圈闭解释剖面(剖面位置见图10)

Fig. 7 Structural-lithologic trap interpretation section of Dengying Formation in Zhongjiang-Penglai block, central-northern area of Sichuan Basin (section location is shown in Fig. 10)

表2 川中—川北地区中江—蓬萊区块灯二段构造-岩性圈闭要素表

Table 2 Structural-lithologic trap elements of the Dengying Member 2 in Zhongjiang-Penglai block, central-northern area of Sichuan Basin

圈闭编号	幅度/m	圈闭面积/km <sup>2</sup>
①号圈闭	300	430
②号圈闭	820	640
③号圈闭	260	140
④号圈闭	660	130
⑤号圈闭	820	460
合计		1 800

PT1井区灯二段储层预测及生产结果分析表明：中江—蓬萊区块圈闭群构造高点受丘-滩复合体侧向岩性尖灭及断层共同控制，圈闭构造低点主要受岩性尖灭控制，圈闭侧缘及圈闭之间受断层和致密岩性带共同控制(图7)。

### 2.3.3 勘探证实灯二段气层厚度大，单井储量丰度高

现今勘探成果表明，川中—川北地区中江—蓬萊区块灯二段气藏具有气层厚度大、多层连续分布、单井储量丰度高等特征，与高一磨地区气藏之间相互不连通，具有独立的天然气成藏系统(图8)。高一磨地区位于川中古隆起构造核部，灯影组发育构造气藏<sup>[6,22]</sup>，具有统一的压力系统和气-水界面，GS1井气-水界面深度为-5 150 m，MX8井气-水界面深度为-5 160 m，气藏压力近61 MPa。与之不同

的是，川中—川北地区为继承性单斜构造背景，主要发育岩性、构造-岩性气藏。蓬萊区块灯二段气藏具有统一的气-水界面和压力系统，气-水界面深度为-5 580 m，比磨溪地区气-水界面低420 m；气藏压力超过64 MPa，相较于磨溪地区气藏压力高4.0 MPa。蓬萊区块气藏单井储层丰度高，平均气层厚度大于160 m，平均气柱高度大于200 m，但不同井之间气柱高度略有差异。其中，PT1井平均气柱高度最大，超过250 m；测井解释储层11层，累计厚度为320 m，其中气层有5层，累计厚度为150 m，孔隙度为4.0%。中江地区灯二段气藏同样具有相似的特征：ZJ2井测井解释储层10层，累计厚度为120 m，孔隙度为3.5%；ZJ2井天然气藏气柱高度达820 m，气-水界面深度为-6 320 m，相对于PT1气藏气-水界面低740 m；气藏压力为69 MPa，相对于PT1气藏压力升高约5.0 MPa。

川中—川北地区各区块气藏内的统一性和区块间的气藏差异性，与圈闭类型及储层非均质性相关。高一磨地区长期处于构造高部位，以构造圈闭为主，天然气藏具有统一的压力系统和气-水界面。但是对于印支晚期—燕山期深埋、喜马拉雅期剥蚀调整的中江—蓬萊区块，天然气具有调整成藏持续时间长、气-水分异程度较高等特征，而台地边缘带丘-滩体沉积及差异岩溶作用导致的储层非均质性，可能是造成各井间气-水界面略有差异的主要因素。

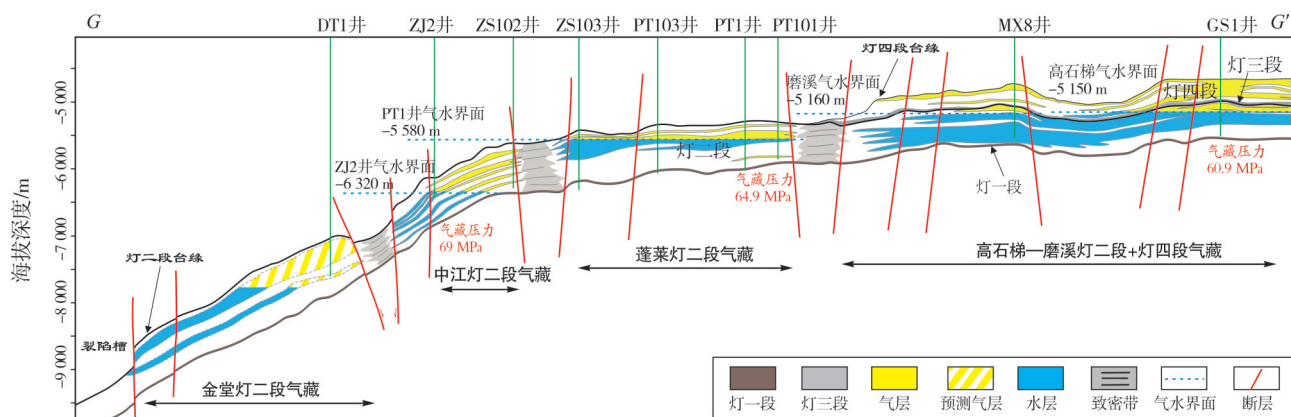


图8 川中—川北地区过金堂—中江—蓬莱—高石梯—磨溪区块灯影组气藏模式图(剖面位置见图10)

Fig. 8 Gas reservoir model of Dengying Formation of Jintang-Zhongjiang-Penglai-Gaoshiti-Moxi in central-northern area of Sichuan Basin (section location is shown in Fig. 10)

### 3 川中—川北地区天然气勘探潜力分析及展望

川中—川北地区由南段中江—蓬莱区块向北段剑阁—阆中区块,台地边缘带呈现出明显的加宽、增厚的趋势,在此背景下,气-水界面也有向北持续降低、突破的趋势(图9)。应用岩性圈闭刻画技术,在中江—蓬莱区块岩性圈闭识别刻画的基础上,在灯二段台地边缘带北段刻画出另外7个大型岩性圈闭带(圈闭⑥—圈闭⑫,图10),该带是四川盆地震旦系下一步寻找规模目标的有利勘探区域。

与高一磨地区灯影组呈叠置连片分布的连续性构造气藏不同的是,川中—川北地区岩性、构造-岩性圈闭垂向上不连续,平面上成群分布,累计有利勘探面积达7900 km<sup>2</sup>,资源量近5.35×10<sup>12</sup> m<sup>3</sup>。在现今已经投入勘探、开发的中江—蓬莱区块灯二段台地

边缘带南段,发育5个(①—⑤)受断层和岩性共同控制的大型独立丘-滩复合构造-岩性圈闭(图10)。该圈闭群整体埋深介于-5280~-7780 m,闭合高度为260~820 m,圈闭群气-水界面之上的圈闭面积达130~460 km<sup>2</sup>,其中PT1气藏储量丰度为5×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>,折算中江—蓬莱区块资源量为(650~2300)×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。川中—川北地区灯二段台地边缘带北段发育7个大型丘-滩复合构造-岩性圈闭(图10),圈闭埋深介于-6600~-10000 m,闭合高度为200~950 m,圈闭群的面积达380~1300 km<sup>2</sup>,预测圈闭资源量为(1900~6500)×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>(按PT1气藏储量丰度5×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>计算),是未来深层勘探的首选。川中—川北地区灯二段大型岩性圈闭、构造-岩性圈闭规模要远超前高一磨地区灯影组圈闭规模,并且大型丘-滩复合构造-岩性圈闭之间保持相对独立性,勘探前景十分广阔。

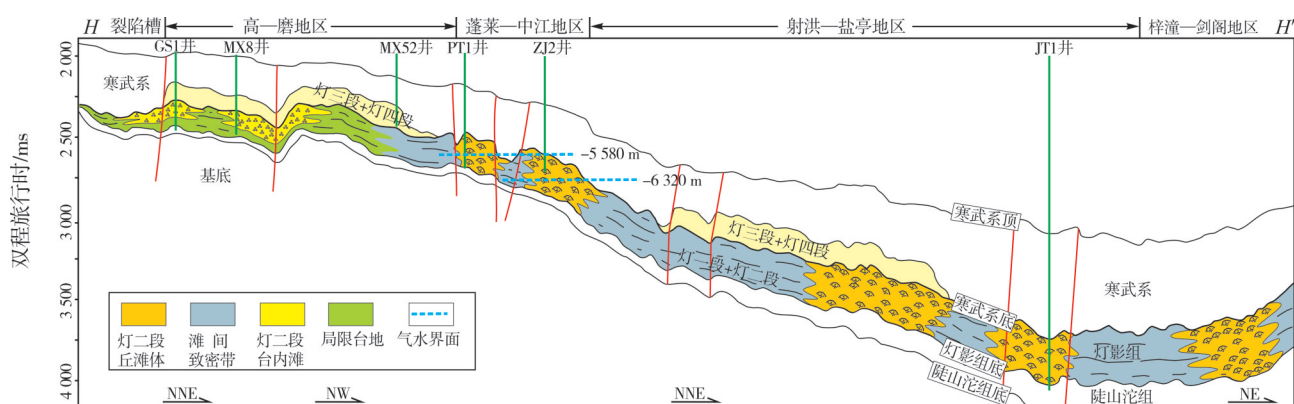


图9 川中—川北地区灯二段沉积及储层发育模式图(剖面位置见图10)

Fig. 9 Sedimentary and reservoir model of the Dengying Member 2 in central-northern area of Sichuan Basin (section location is shown in Fig. 10)



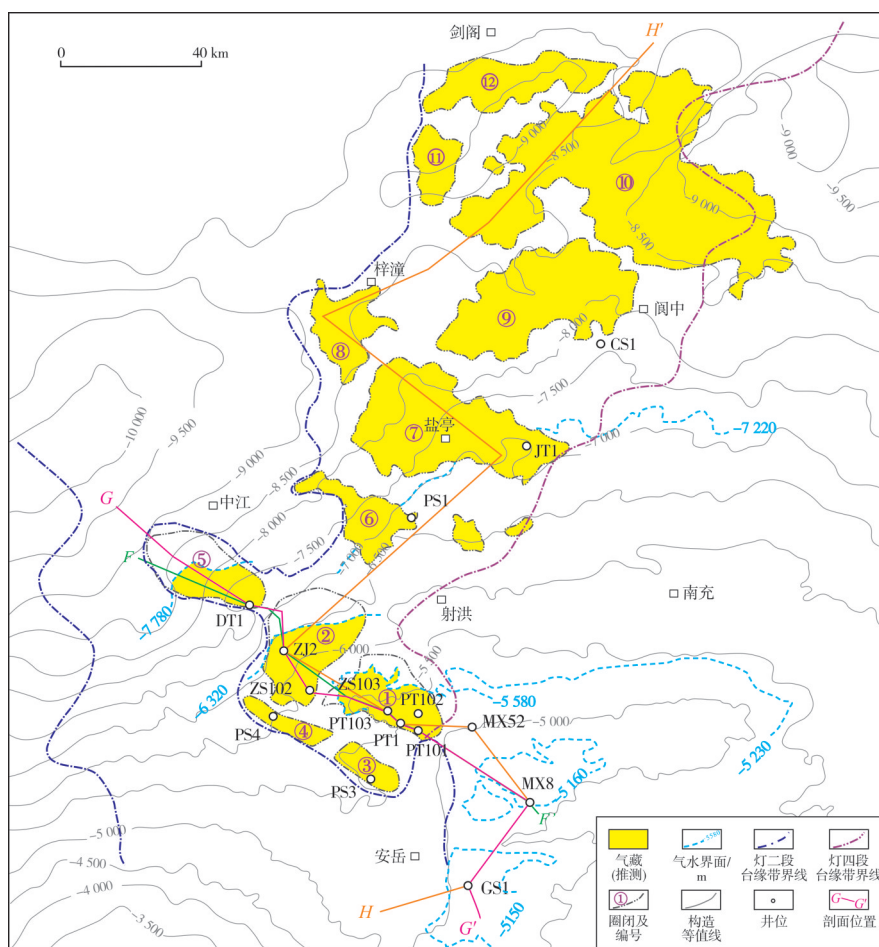


图 10 四川盆地川中—川北地区灯二段圈闭与顶面构造叠合图

Fig. 10 Superimposition map of traps and top structure of the Dengying Member 2 in central-northern area of Sichuan Basin

## 4 结 论

四川盆地蓬莱区块灯影组二段PT1井钻探获得成功,明确了川中—川北地区灯二段发育巨厚的丘-滩复合体沉积,同时证实了德阳—安岳裂陷内灯二段台地边缘带的勘探潜力和前景。特别是PT101井灯二段测试获得日产 $231 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产工业气流,创造了四川盆地灯影组测试产量新纪录,进一步展示了川中古隆起深层海相碳酸盐岩具有万亿方天然气规模储量的勘探潜力。通过本文的研究获得以下认识:

(1)川中—川北地区灯二段形成于宽缓台地边缘背景之上,相较于高石梯—磨溪地区台内环境具有明显的沉积优势,台地边缘带优势相生物丘-滩复合体沉积具有垂向叠置、横向大面积连片展布的特征。

(2)川中—川北地区灯二段台地边缘储层以丘-滩复合体优质藻白云岩为主,次生溶蚀孔、洞、缝发育,平均孔隙度为3.6%,平均渗透率为 $3.6 \times 10^{-3}$

$\mu\text{m}^2$ 。多期溶蚀作用极大地改善了川北地区灯二段台地边缘带丘-滩体储层的储集性能,使储层具有垂向厚度大、横向连片分布的特征。

(3)川中—川北地区灯二段邻近寒武系生烃中心,具备极佳的源-储空间配置条件。现今勘探证实灯二段圈闭受断层和沉积微相共同控制,以发育斜坡背景下的大型岩性、构造-岩性圈闭为主,并且圈闭在平面上成群分布。

(4)川中—川北地区中江—蓬莱区块灯二段天然气充注主要受断层控制。天然气藏具有气层厚度大、多层连续分布、单井储量丰度高等特征。此外,川中—川北地区气藏与高石梯—磨溪地区气藏之间相互不连通,具有独立的成藏系统。

(5)川中—川北地区目前累计有利勘探面积为 $7\,900 \text{ km}^2$ ,预测资源量近 $5.35 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,勘探前景广阔;在灯二段台地边缘带北段已初步刻画7个岩性圈闭,圈闭面积达 $380 \sim 1\,300 \text{ km}^2$ ,预测圈闭资源量为 $(1\,900 \sim 6\,500) \times 10^8 \text{ m}^3$ ,是未来深层勘探的首选。

## 参考文献

- [1] 宋文海. 乐山—龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究[J]. 天然气工业, 1996, 16(增刊1): 13-26, 105-106.  
SONG Wenhai. Research on reservoir-formed conditions of large-medium gas fields of Leshan-Longnusi Palaeohigh [J]. Natural gas industry, 1996, 16(S1): 13-26, 105-106.
- [2] 徐春春, 沈平, 杨跃明, 等. 四川盆地川中古隆起震旦系一下古生界天然气勘探新认识及勘探潜力[J]. 天然气工业, 2020, 40(7): 1-9.  
XU Chunhui, SHEN Ping, YANG Yueming, et al. New understandings and potential of Sinian-Lower Paleozoic natural gas exploration in the central Sichuan paleo-uplift of the Sichuan Basin [J]. Natural gas industry, 2020, 40(7): 1-9.
- [3] 杨雨, 罗冰, 张本健, 等. 四川盆地寒武统筇竹寺组烃源岩有机质差异富集机制与天然气勘探领域[J]. 石油实验地质, 2021, 43(4): 611-619.  
YANG Yu, LUO Bing, ZHANG Benjian, et al. Differential mechanisms of organic matter accumulation of source rocks in the Lower Cambrian Qiongzhusi Formation and implications for gas exploration fields in Sichuan Basin [J]. Petroleum geology and experiment, 2021, 43(4): 611-619.
- [4] 夏青松, 黄成刚, 杨雨然, 等. 四川盆地高石梯—磨溪地区震旦系灯影组储层特征及主控因素[J]. 地质论评, 2021, 67(2): 441-458.  
XIA Qingsong, HUANG Chenggang, YANG Yuran, et al. Reservoir characteristics and main controlling factors of oil and gas accumulation of Dengying Formation, Sinian System, in Gaoshiti-Moxi area, Sichuan Basin [J]. Geological review, 2021, 67(2): 441-458.
- [5] 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 Caineng, DU Jinhui, XU Chunhui, 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.
- [6] 魏国齐, 杨威, 杜金虎, 等. 四川盆地高石梯—磨溪古隆起构造特征及对特大型气田形成的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(3): 257-265.  
WEI Guoqi, YANG Wei, DU Jinhui, et al. Tectonic features of Gaoshiti-Moxi paleo-uplift and its controls on the formation of a giant gas field, Sichuan Basin, SW China [J]. Petroleum exploration and development, 2015, 42(3): 257-265.
- [7] 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 Guoqi, YANG Wei, DU Jinhui, et al. Geological characteristics of the Sinian-Early Cambrian intracratonic rift, Sichuan Basin [J]. Natural gas industry, 2015, 35(1): 24-35.
- [8] 赵路子, 汪泽成, 杨雨, 等. 四川盆地蓬探1井灯影组灯二段油气勘探重大发现及意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 1-12.  
ZHAO Luzi, WANG Zecheng, YANG Yu, et al. Important discovery in the second member of Dengying Formation in Well Pengtan1 and its significance, Sichuan Basin [J]. China petroleum exploration, 2020, 25(3): 1-12.
- [9] 文龙, 王文之, 李林娟, 等. 川西南部灯影组展布特征新认识及油气地质勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 56-65.  
WEN Long, WANG Wenzhi, LI Linjuan, et al. New understandings of the distribution characteristics of the Sinian Dengying Formation in the southwestern Sichuan Basin and its significance for oil and gas geological exploration [J]. China petroleum exploration, 2020, 25(3): 56-65.
- [10] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十): 四川油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.  
Compilation group of petroleum geological records of Sichuan oil and gas region. Petroleum geology of China (Vol. 10): Sichuan oil and gas area [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.
- [11] 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 515-523.  
LU Songnian, LI Huaikun, CHEN Zhihong, et al. Relationship between Neoproterozoic cratons of China and the Rodinia [J]. Earth science frontiers, 2004, 11(2): 515-523.
- [12] 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 Shugen, SUN Wei, LUO Zhili, 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.
- [13] 罗志立. 略论地裂运动与中国油气分布[J]. 地球学报, 1984, 6(3): 93-101.  
LUO Zhili. A discussion of taphrogenesis and hydrocarbon distribution in China [J]. Acta geoscientia sinica, 1984, 6(3): 93-101.
- [14] 张扬, 田少亭, 吴一凡, 等. 桐湾运动形成古风化壳对华南上震旦统储层的控制作用: 以南山坪古油藏灯影组储层为例[J]. 石油地质与工程, 2012, 26(6): 29-31, 63, 145.  
ZHANG Yang, TIAN Shaoting, WU Yifan, et al. Controlling of palaeo-weathering crust formed in Tongwan movement towards Upper Sinian reservoirs of South China [J]. Petroleum geology and engineering, 2012, 26(6): 29-31, 63, 145.
- [15] 邢凤存, 侯明才, 林良彪, 等. 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[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 115-125.  
XING Fengcun, HOU Mingcai, LIN Liangbiao, et al. The records and its dynamic genesis discussion of tectonic movement during the Late Sinian and the Early Cambrian of Sichuan Basin [J]. Earth science frontiers, 2015, 22(1): 115-125.
- [16] 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 Zhongquan, LIU Ji, LI Ying, 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.
- [17] 文龙, 罗冰, 钟原, 等. 四川盆地晚震旦世灯影期沉积特征及槽—台体系成因模式[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2021, 48(5): 513-524, 590.  
WEN Long, LUO Bing, ZHONG Yuan, et al. Sedimentary



- characteristics and genetic model of trough-platform system during the Dengying Period in Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (science & technology edition), 2021, 48(5): 513–524, 590.
- [18] 李英强, 何登发, 文竹. 四川盆地及邻区晚震旦世古地理与构造—沉积环境演化[J]. 古地理学报, 2013, 15(2): 231–245.
- LI Yingqiang, HE Dengfa, WEN Zhu. Palaeogeography and tectonic-depositional environment evolution of the Late Sinian in Sichuan Basin and adjacent areas[J]. Journal of palaeogeography, 2013, 15(2): 231–245.
- [19] 李双建, 高平, 黄博宇, 等. 四川盆地绵阳—长宁凹槽构造演化的沉积约束[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(5): 889–898.
- LI Shuangjian, GAO Ping, HUANG Boyu, et al. Sedimentary constraints on the tectonic evolution of Mianyang–Changning trough in the Sichuan Basin[J]. Oil & gas geology, 2018, 39(5): 889–898.
- [20] 王铁冠, 龚剑明. 中国中—新元古界地质学与油气资源勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(6): 1–9.
- WANG Tieguan, GONG Jianming. Meso–Neoproterozoic geology and petroleum resources prospect in China[J]. China petroleum exploration, 2018, 23(6): 1–9.
- [21] XIAO Di, CAO Jian, LUO Bing, et al. Neoproterozoic postglacial paleoenvironment and hydrocarbon potential: a review and new insights from the Doushantuo Formation in Sichuan Basin, China[J]. Earth–science reviews, 2021, 212: 103453.
- [22] 杨跃明, 杨雨, 杨光, 等. 安岳气田震旦系—寒武系气藏成藏条件及勘探开发关键技术[J]. 石油学报, 2019, 40(4): 493–508.
- YANG Yueming, YANG Yu, YANG Guang, et al. Gas accumulation conditions and key exploration & development technologies of Sinian and Cambrian gas reservoirs in Anyue gas field[J]. Acta petrolei sinica, 2019, 40(4): 493–508.

编辑:董庸

## New understanding and potential analysis of natural gas exploration of the Dengying Member 2 in central–northern area of Sichuan Basin

XIE Jirong, ZHAGN Zili, ZHONG Yuan, YAN Wei, LI Kunyu, HE Yuan, ZHAO Like, LONG Hongyu, ZHANG Baoshou, QIAO Yanping

**Abstract:** Recently, a high–yield industrial gas flow of  $231 \times 10^4 \text{ m}^3$  was obtained from the test of Dengying Member 2 of Well PT101, which refreshed the test production record of the Dengying Formation in Sichuan Basin, and further demonstrated that the deep marine carbonate rocks in the paleouplift of Sichuan Basin have huge natural gas reserves and exploration potential. Based on the latest drilling logging–lithology, seismic and test data, a new round of research is carried out on the oil and gas bearing geological conditions of Dengying Formation in central–northern area of Sichuan Basin, so as to further clarify the exploration potential of platform margin belt of the Dengying Member 2 in central–northern area of Sichuan Basin and guide the follow–up exploration deployment. The results show that: (1) The platform margin deposits of Dengying Member 2 gradually widened and thickened from south to north in central–northern area of Sichuan Basin, with an overall width of 40–130 km and a thickness of 650–1 000 m. (2) The reservoirs of the Dengying Member 2 in central–northern area of Sichuan Basin are mainly algal dolomites of platform margin, with secondary dissolution pores, holes and fractures, and high–quality reservoirs are overlapped in a large area, with an average porosity of 3.6 % and an average permeability of  $3.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ . (3) The source–reservoir spatial combination of Dengying Member 2 in central–northern area of Sichuan Basin is excellent. Several large fault controlled structural–lithologic traps were found in Zhongjiang–Penglai block by using seismic prediction technology. Nowadays, exploration has confirmed that well areas of PT1 and ZJ2 have independent gas–water interface, which is far lower than that in Gao–Mo area, and lithologic and structural–lithologic gas reservoirs under the background of large monoclinial structure are developed. It is concluded that the platform margin of Dengying Member 2 in central–northern area of Sichuan Basin has advantageous sedimentary background, good reservoir development conditions and superior allocation relationship of natural gas reservoir forming factors. At present, a breakthrough has been made in Zhongjiang–Penglai block in the southern section of the platform margin belt. In addition, seven traps have been preliminarily described in the north section of the platform margin of Dengying Member 2, with a total area of 380–1 300  $\text{km}^2$  and a predicted trap resource of  $(1\ 900\text{--}6\ 500) \times 10^8 \text{ m}^3$ . The platform margin of the Dengying Member 2 in central and northern area of Sichuan Basin is an important strategic new zone for the discovery of the next trillion gas area in Dengying Formation.

**Key words:** platform margin; structural–lithologic trap; natural gas exploration; Dengying Member 2; central and northern area; Sichuan Basin

**XIE Jirong**, First author: Professorate Senior Engineer, mainly engaged in research and management of oil and gas exploration. Add: No. 3, Section 1 of Fuqing Rd., Chenghua District, Chengdu, Sichuan 610051, China. ORCID: 0000–0002–3505–3909