



澳大利亚波拿巴盆地N区块岩性圈闭识别探讨

周静毅, 杜学斌, 陈茂根, 蒋 岑, 周 英

Identification of lithologic traps in block N of Bonaparte Basin, Australia

ZHOU Jingyi, DU Xuebing, CHEN Maogen, JIANG Cen, and ZHOU Ying

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2020122302>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

澳大利亚Northern Carnarvon盆地Brigadier组碳酸盐岩混积沉积特征及沉积模式

Characteristics of the mixed carbonate deposit of Brigadier Formation in Northern Carnarvon Basin, Australia and its depositional model

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(5): 80

叠前同时反演技术在南黄海崂山隆起储层预测中的应用

Application of pre-stack simultaneous inversion in the reservoir prediction in South Yellow Sea basin

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(3): 162

莺歌海盆地二维剖面高斯束高精度叠前深度偏移

HIGH PRECISION GAUSSIAN BEAM PRE-STACK DEPTH MIGRATION FOR YINGGEHAI BASIN 2D SEISMIC PROFILES

海洋地质与第四纪地质. 2017, 37(1): 168

南黄海崂山隆起石炭系-下二叠统海相碳酸盐岩叠前三参数反演储层预测

Prestack three-term seismic inversion for prediction of Carboniferous-lower Permian carbonate reservoir on the Central uplift of South Yellow Sea basin

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(3): 186

苏北盆地溱潼凹陷戴一段沉积-层序特征及其对岩性勘探的指示意义

Depositional characteristics of the first member of Dainan formation in Qingtong sag, Subei basin and their significance to lithological exploration

海洋地质与第四纪地质. 2018, 38(3): 107

珠江口盆地白云凹陷北坡第四纪层序地层和沉积体系演化及其控制因素

Quaternary sequence stratigraphic evolution of the Pearl River Mouth Basin and controlling factors over depositional systems

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(1): 25



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2020122302

澳大利亚波拿巴盆地 N 区块岩性圈闭识别探讨

周静毅¹, 杜学斌², 陈茂根¹, 蒋涔¹, 周英¹

1. 中国石油化工股份有限公司上海海洋油气分公司勘探开发研究院, 上海 200120

2. 中国地质大学(武汉)海洋学院, 武汉 430074

摘要: 澳大利亚 N 区块是海上勘探区块, 钻探成本高, 存在一定的勘探风险, 尽可能地降低风险和找寻可能存在的最大圈闭资源规模, 成为勘探的重点和难点。为此, 在澳大利亚 N 区块开展了构造和岩性等多种类型圈闭的识别评价。在构造圈闭落实的情况下, 利用澳大利亚 N 区块二维、三维地震资料, 在高精度层序地层格架下, 结合物源方向、古地貌和沉积体系空间配置关系分析, 建立了岩性圈闭发育模式。通过目标层位的地震叠后属性、叠前同时反演等综合分析, 采用纵横波速度比 (V_p/V_s) 等地震属性预测了岩性圈闭的分布特点及含油气性。在上述工作基础上, 开展了岩性圈闭的油气成藏条件研究和圈闭资源量估算, 扩大了澳大利亚 N 区块的资源规模, 使其具备了一定的勘探价值。

关键词: 层序地层; 古地貌; 沉积体系; 地震属性; 叠前同时反演; 岩性圈闭; 澳大利亚

中图分类号: P744

文献标识码: A

Identification of lithologic traps in block N of Bonaparte Basin, Australia

ZHOU Jingyi¹, DU Xuebing², CHEN Maogen¹, JIANG Cen¹, ZHOU Ying¹

1. Institute of Exploration and Development, SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China

2. College of Marine Science and Technology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The Block N in the Bonaparte Basin of Australia is an offshore exploration target with high drilling cost and exploration risk. The way to reduce the exploration risk as much as possible remains with the discovery of large traps. Therefore, the identification and evaluation of structural and lithologic traps have become a very important task. Based on the high-precision sequence stratigraphic framework established with 2D and 3D seismic data collected from the block, combined with the analysis of provenance directions, paleogeomorphology and spatial distribution of depositional systems, a depositional model for the lithologic traps is established in this paper. Through comprehensive study of post-stack attributes and pre-stack simultaneous inversion of the target horizon, the distribution patterns and oil-gas potential of the lithologic traps are predicted and evaluated using the seismic attributes such as P-wave velocity ratio (V_p/V_s) etc. On the basis of the above work, we carried out the research again on the hydrocarbon accumulation conditions of the lithologic traps and the assessment of resource potentials. The resource scale of the block is substantially increased, which proves that the block is valuable for further exploration.

Key words: sequence stratigraphy; ancient-landform; sedimentary system; seismic attribute; pre-stack simultaneous inversion; lithologic trap; Australia

1 区域概况及难点分析

澳大利亚 N 区块位于波拿巴盆地东北部(图 1), 波拿巴盆地^[1]位于澳大利亚西北大陆边缘的帝汶海(Timor Sea)海域, 覆盖了西澳大利亚金伯利(Kimberley)地区的陆上和海上区域, 面积达 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地形态上呈喇叭状向北帝汶海域张开, 位于海上的主体部位约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 陆上部分为西

澳大利亚地区金伯利古老克拉通盆地^[2]。

波拿巴盆地北部地区中生界属于裂谷作用形成的北东向裂谷盆地, NE-SW 走向的中生代构造带控制了盆地北部的构造格架, 包括 Malita 地堑、Calder 地堑等, 它们被 Sahul 台地、Londonderry 隆起、Nancarrow 槽谷(Laminaria 高地)和 Flamingo 向斜等分隔开来(图 1)。

澳大利亚 N 区块是风险勘探区块, 为尽可能在实施钻探前获得最大的圈闭资源量, 除了开展常规

资助项目: 中国石化国际石油勘探有限公司“澳大利亚波拿巴盆地 N 区块地震资料综合解释”项目

作者简介: 周静毅(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋地震资料综合研究, E-mail: zhoujingyi.shhy@sinopec.com

收稿日期: 2020-12-23; 改回日期: 2021-05-31。 周立君编辑

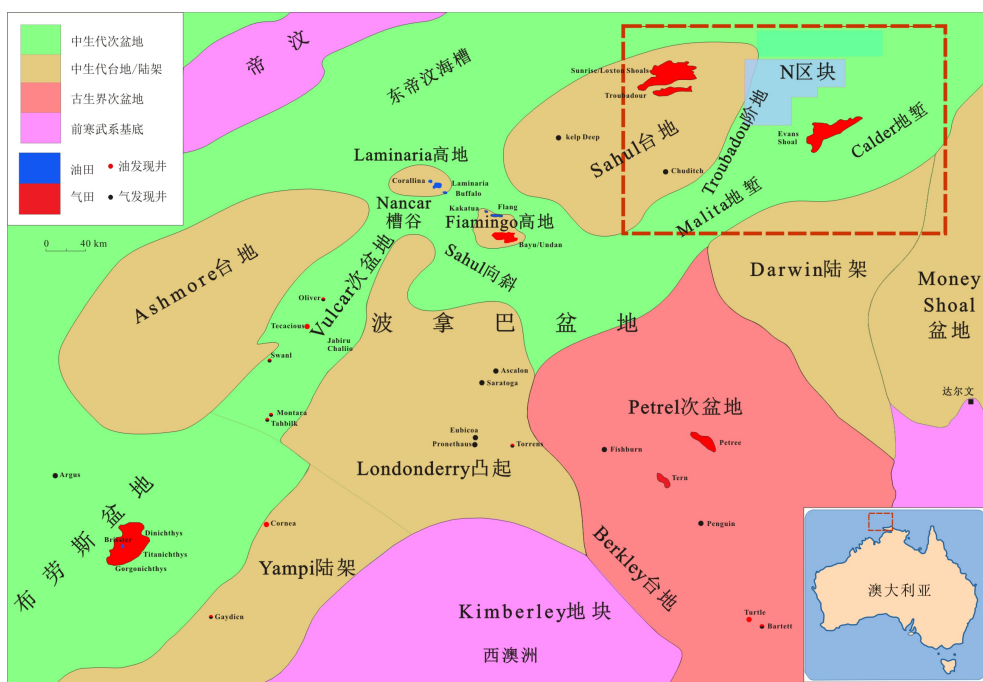


图1 澳大利亚帝汶海域及N区块位置图

Fig.1 Location map of East Timor Sea and Block N, Australia

构造圈闭解释外,还开展了以层序地层学研究为主的岩性圈闭等隐蔽油气圈闭的识别工作。吴金才^[3]通过准噶尔盆地层序地层学研究识别隐蔽圈闭,认为层序地层学是建立地层等时格架、预测砂体分布并进一步预测有利岩性圈闭发育区的有效理论和方法。钟玮^[4]等认为物源及沉积体系研究对岩性圈闭识别有重要意义。从前人对岩性圈闭的识别研究来看,对澳大利亚N区块的岩性圈闭识别的启示是基于层序地层学建立N区块地层等时格架,并结合N区块古地貌、物源和沉积体系分析岩性圈闭可能发育的有利部位。

据前人研究^[5-6]并综合岩相、测井相、地震剖面等所反映的地层不整合面及其与之对应界面的级别及特征,波拿巴盆地侏罗系主要目的层段(Malita组至Cleia组)充填沉积中共识别确定出了5个主要的等时界面,其中:一级层序(构造层序界面)1个:SBE(Callovia);二级层序(层序组界面)1个:SBES(Valanginian);三级层序(层序界面)3个:SBC(Oxfordian)、SB_Upper Plover、SB_Lower Plover。N区块主体位于阶地上,层序发育稳定但很局限,故对N区块层序地层研究是在综合考虑区块周边台地、地堑等构造单元层序发育特征的基础上进行的。N区块的主要目的层段为侏罗系。对于N区块岩性圈闭识别而言,研究区存在两个方面的难点:①研究区沉积相带不明确,砂体的形成机制不明确,岩性圈闭识别比较困难;②刻画砂体的展布

形态、探究目标砂体的含油气性是识别岩性圈闭的另一难点^[7]。

针对以上难点,制定了相应的技术路线和解决方案。首先,针对N区块内没有钻井,只有二维和三维地震数据的现实条件,利用N区块周边钻井资料和钻井成果,开展单井沉积相的研究,通过二维地震数据和周边钻井建立高精度层序地层格架,结合物源方向和古地貌特征研究区块沉积体系的空间配置关系,建立区块内三维工区岩性圈闭的发育模式。其次,在岩性圈闭发育模式指导下,借鉴区块东南已发现气田内S1井的资料,通过对S1井的岩石物理分析,结合地震属性、叠前同时反演等技术进行综合解释,开展岩性圈闭的识别。最后参考区块周边东南方向已发现气田的石油地质条件,对识别的岩性圈闭做初步的评价。

2 沉积体系

层序地层学为隐蔽圈闭的寻找指明了方向^[8]。为了研究区块沉积体系,确定了由“点(单井相)”-“线(地震相沉积相)”-“面(沉积体系平面)”的研究思路。

2.1 N区块周边钻井典型单井相分析

图2为N区块东南方向Calder地堑S1井单井沉积相精细解剖结果。从S1井单井沉积相可以看出:坳陷的缓慢沉降时期,层序组发育有Elang组、

Cleia 组, 各地层均发育海侵体系域和高位体系域。Cleia 组主要发育海侵体系域和高位体系域。海侵体系域: 其准层序构成可划分出 1 个退积型准层序组, 3 个准层序。该层序五级高频单元(准层序)主要由下粗上细的正粒序单元组成, 局部地区是下细上粗的反粒序单元, 测井曲线上显示为微齿形。高位体系域: 该体系域的准层序组划分为 1 个进积型准层序组, 2 个准层序。该层序五级高频单元(准层序)主要由下粗上细的正粒序单元和下细上粗的反粒序单元组成, 测井曲线上显示为齿化漏斗形。

从 S1 井岩心特征及环境解释(图 2)可以看出, Elang 组、Upper Plover 组和 Lower Plover 组层序中砂岩非常发育, 测井曲线几乎为箱状或宽幅齿状, 都处于三角洲环境; 并且除了 Upper Plover 组的高位域之外, Elang 组、Upper Plover 组的下部和 Lower Plover 组都属于三角洲平原, 表现为砂岩粒度大、砂层厚度大, 主要为水下分流河道微相; Upper Plover

组的高位域属于三角洲前缘。Cleia 组发育大套的泥岩, 沉积环境已经由三角洲过渡到了浅海环境, 主要为大面积的浅海陆架沉积, 以陆架泥岩为主, 局部发育浅海陆架砂岩。该井的目的层段 Cleia 组、Elang 组和 Plover 组, 从下至上水体逐渐变深, 在 S1 井区逐渐出现了分流河道、河口坝、水下分流河道和浅海陆棚泥, 以分流河道微相最为典型。

2.2 古地貌与物源分析

古地貌是控制盆地后期沉积体系发育与分布的主要因素之一, 在某种程度上同时也影响着后期油气成藏要素中的储盖组合。本次研究以盆地沉降史回剥为技术核心^[8], 结合构造演化分析, 恢复 N 区块关键界面的古地貌形态, 划分古地貌单元、分析古地貌对砂体分布的影响, 为沉积体系分析提供依据。图 3 是 N 区块 Cleia 组底界的古地貌图。可以看到这一沉积时期地形发生了较大变化, 研究

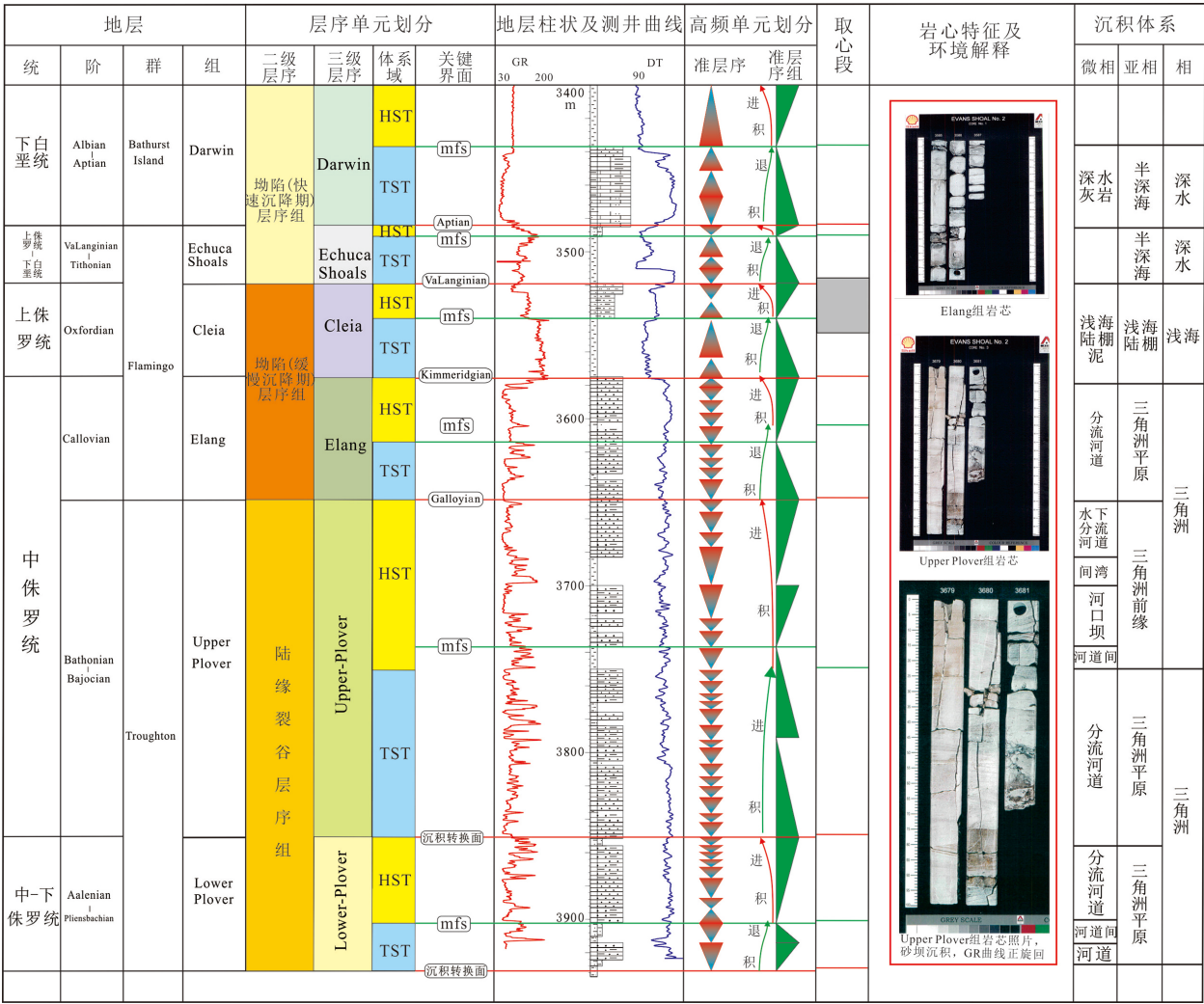


图 2 S1 井层序地层格架及沉积相精细解剖

Fig.2 Stratigraphic framework and sedimentary facies of well S1

区西部开始逐渐抬升,因此 Sahul 台地范围逐渐增大,阶地范围缩小,在台地和阶地之间,发育有一个高度不大的低凸起,在靠近 Malita 地堑附近仍旧存在几个地势相对较低的低洼区,而且深度加深。

N 区块周边单井相和古地貌分析结果结合物源方向^[5],可以发现,Lower Plover 时期,沉积物主要来自西北部 Sahul 台地之上,Upper Plover 时期三角洲物源供给持续稳定,该时段沉积具有继承性。到 Elang 和 Cleia 时期西北部物源继续供应但是明显比 Upper Plover 时期变弱,此时 N 区块开始接受来自南部 Darwin 陆架物源和东北部 Abadi 高地物源供

给(图 4)。因此,该时期 N 区块处于多物源控制时期,能看到三角洲远源、近源和水下分流河道沉积。

2.3 沉积体系分析

在全区古地貌分析^[9]基础上,对 N 区块内三维工区的 Cleia 组古地貌形态进行了恢复(如图 5a 所示)。该时期高低起伏明显、隆洼格局显著。低洼区集中在东部和南部的三个区域。高地区发育在西部边界附近,范围较为局限。高地区与低洼区之间为过渡区。从三维区内侏罗系 Plover 组到 Cleia 组古地貌形态整体演化过程分析认为,西部有一

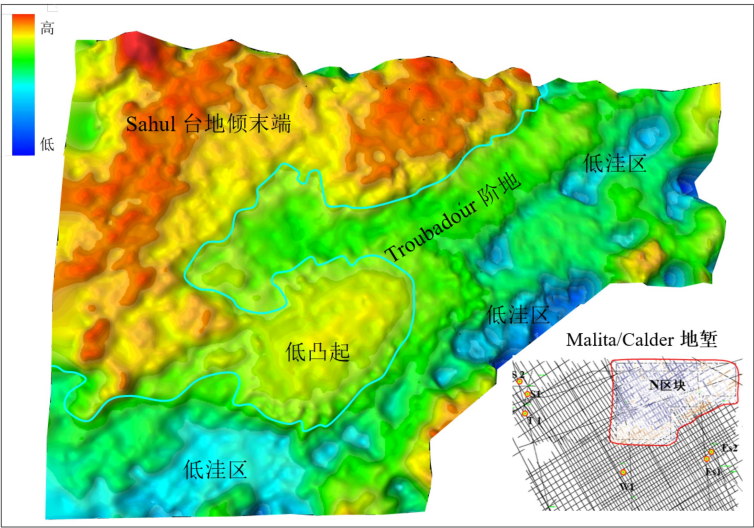


图 3 N 区块 Cleia 组底界古地貌图

Fig.3 Paleogeomorphologic map of the bottom boundary of Cleia Formation for Block N

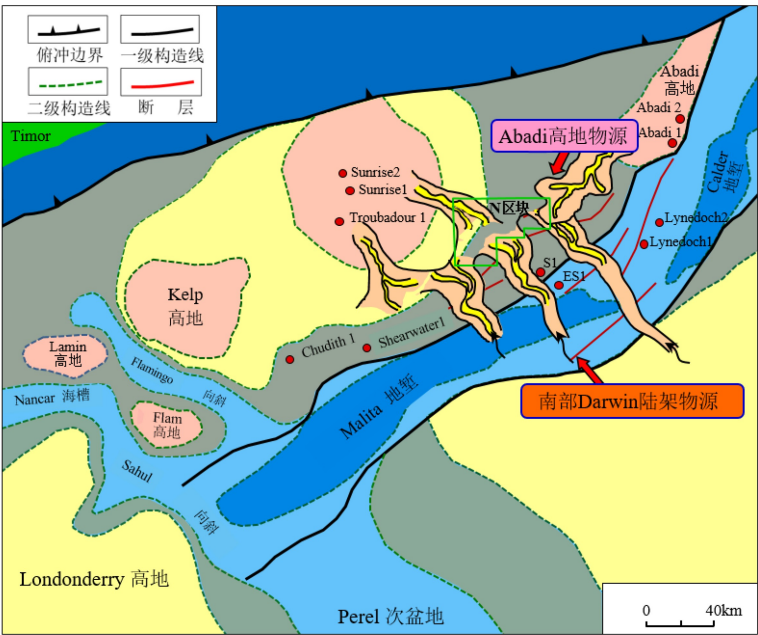


图 4 Cleia 时期 N 区块物源示意图

Fig.4 Provenance of Block N in Cleia Period

个逐渐抬升的过程, 牛津到白垩期间 (Oxfordian-Cretaceous), 已经出现了低凸起, 这与区域古地貌 (图 3) 变化一致, 为 N 区块三维区岩性圈闭的找寻指示了方向。

到 Cleia 时期, 西北部物源已经消亡, N 区块物源供给主要为南部 Darwin 陆架物源和 Abadi 高地物源。在海侵体系域时南部和东部的低洼区靠近物源, 直接接受沉积物沉积。根据 Cleia 组地震均方根振幅属性 (图 5b) 和 Cleia 组地震相 (图 5c) 分析认为, Cleia 时期 N 区块三维区东侧形成大量前缘砂坝 (图 5d)。

3 岩性圈闭识别

3.1 岩性圈闭的地震剖面特征

从过 N 区块及其东南方向区块内的 S1 井、S2 井和 ES1 井的地震剖面 (图 6) 可以看出: N 区块内

发育古生代、中生代和新生代古、新近纪沉积的地层, 其中目的层段为侏罗系, 自下而上包括下侏罗统 Malita 组、Lower Plover 组, 中侏罗统 Upper Plover 组和 Elang 组, 上侏罗统 Cleia 组。

基于高分辨率层序地层的沉积体系空间配置关系分析认为, N 区块三维区的东北边缘 Cleia 组可能发育来自东北物源沉积的一套岩性圈闭。从地震剖面特征来看, N 区块三维区的东北边缘 Cleia 组的顶部存在一个上倾尖灭体, 如图 7a 所示。从联络测线上可以看到, 地层西高东低、该尖灭体由东向西尖灭在 Cleia 组的顶部, 再往西部分被削蚀, 沿主测线方向横穿上倾尖灭体的剖面依然表现为进积体, 发育范围局限于 Cleia 组的顶部, 进积体在主测线剖面上向两边减薄, 如图 7b 所示。

在 N 区块三维区内通过对岩性体进行精细解释, 得到 Cleia 组岩性圈闭厚度图及最大负振幅地震属性, 厚度从北东往西南方向由 60 m 逐渐尖灭 (图 8a)。从最大负振幅地震属性图 (图 8b) 上可以

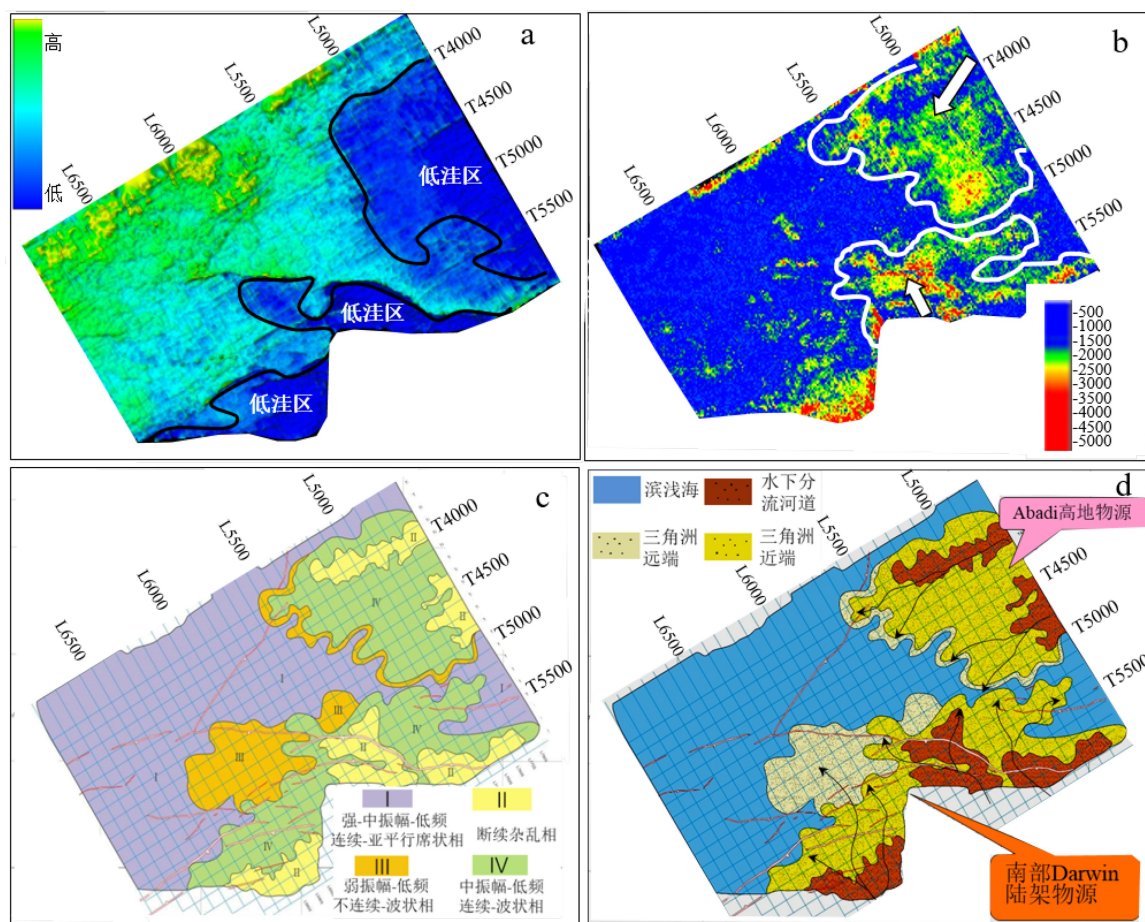


图 5 N 区块内三维区的 Cleia 组沉积体系分析

a. 古地貌, b. 均方根振幅属性, c. 地震相分布, d. 沉积体系平面展布。

Fig.5 Sedimentary system analysis of Cleia Formation for the 3D area of N block

a. paleogeomorphology, b. root mean square amplitude attribute, c. seismic facies distribution, d. plane distribution of sedimentary system.

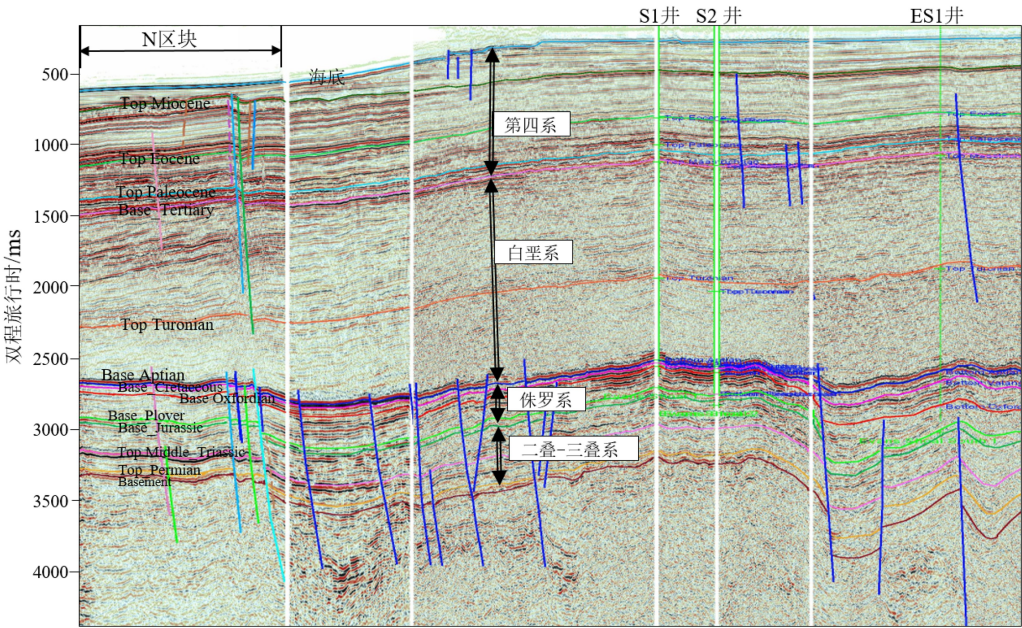


图 6 过 S1 井、S2 井和 ES1 井的地震剖面
Fig.6 Seismic profile of well S1, S2 and ES1

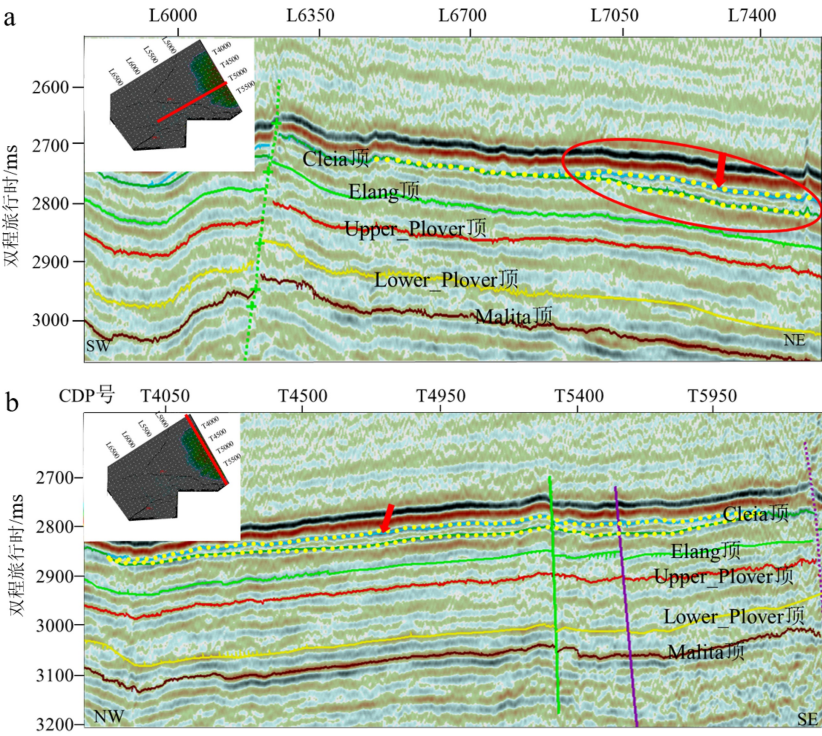


图 7 过 Cleia 组岩性圈闭的地震剖面
a. 联络测线方向, b. 主测线方向。

Fig.7 Seismic profile passing through lithologic trap of Cleia Formation
a. direction of crossline, b. direction of main line.

看出此岩性圈闭分布范围。

3.2 基于叠前同时反演的储层及含油气性预测

岩性圈闭是隐蔽圈闭的一种类型,它是砂体尖灭于非渗透性泥岩中形成,为了提高预测精度,采

用叠前同时反演技术进行储层岩性及含油气性预测^[10-14]。要开展工区内叠前同时反演,有两个难点:区块内没有钻井资料和实验室岩石弹性参数数据。因此利用周边已钻井 S1 井的测井资料进行岩石物理^[15]弹性参数交会分析和横波预测,为叠前同

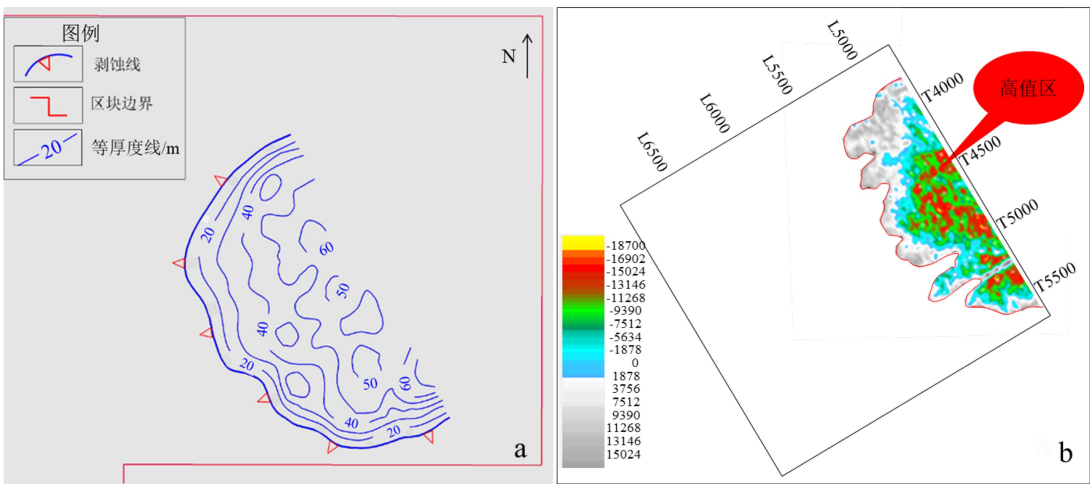


图 8 Cleia 组岩性圈闭厚度图 (a) 和最大负振幅地震属性图 (b)

Fig.8 Lithologic trap in the Cleia Formation

a. thickness map, b. maximum negative amplitude seismic attribute map.

时反演和解释奠定基础。

3.2.1 岩石物理参数分析

利用 S1 井测井数据(包含纵波、横波、密度等主要测井曲线)确定主要目的层段气砂、水砂和泥岩的弹性参数范围(表 1)。对目的层段不同组的波阻抗、泊松比、纵横波速度比和密度分别与纵波阻抗进行交会分析,从图 9 可以看出纵横波速度比、泊松比是识别岩性和流体最敏感的参数。

3.2.2 虚拟井横波预测

根据过 N 区块和 S1 井的二维地震测线反演结果,建立 N 区块内的虚拟井,提取纵波阻抗,得到虚拟井的纵波速度(图 10a)。图 10b 为合成记录与地震标定剖面,主要目的层段合成记录与地震道的波组对应关系较好。

虚拟井横波估算^[16-18]方法需要依靠工区东南部 S1 井进行分析。拟合横波的公式有很多,譬如 Castagna 等由现场数据导出了著名的“泥岩线”公式: $V_s=0.862V_p-1.172$, Han(1986)根据实验室超声波数据获得经验公式: $V_s=0.794V_p-0.787$ 。通过试验表明,用 Castagna 泥岩线公式拟合的横波与实测较为接近(图 11a),其中黑色为实测横波曲线。

通过分析 S1 井纵波及横波速度的关系,最终选

择乘幂方程建立改进的 Castagna 横波预测关系式见图 11b,用于虚拟井的横波速度预测,并取得了较好的效果。

3.2.3 叠前同时反演

在岩石物理分析和横波预测的基础上,对此岩性圈闭尝试利用叠前不同偏移距叠加数据进行叠前同时反演^[19],进行岩性及含油气性预测,其目的是对岩性圈闭的储层发育情况及含油气性进一步落实,降低叠后反演及预测的不确定性风险。对于 Cleia 组岩性圈闭的储层及含油气性预测,我们从过此岩性体的联络测线方向 V_p/V_s (纵、横波速度比)剖面可以看出,其为一套向上倾尖灭的砂体(图 12a),但从主测线方向线上可看出此岩性体的岩体是有明显变化的,表明了其明显的横向泥质含量变化引起的非均质性,沿此岩性体提取的 V_p/V_s 平面图(图 12b)上也表明此岩性体不是非常均一。

利用 AVO 流体因子属性对此岩性圈闭进行了含油气性预测。Cleia 组岩性圈闭范围与 Cleia 组地层的高位体系域分布范围大致吻合,其储集体类型可能是东北部物源控制下的三角洲河口坝和水下分流河道砂体。新发现的有利区面积较大,有较好的含油性显示(图 13)。

表 1 Cleia 组岩石物理参数统计表

Table 1 Statistical table of petrophysical parameters of Cleia Formation

岩性	纵横波速度比 V_p/V_s	泊松比	纵波阻抗/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	横波阻抗/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
泥岩	1.75~1.9	0.26~0.31	9 300~11 000	4 800~5 700	2.55~2.71
水砂	1.6~1.7	0.18~0.22	10 700~11 100	6 400~6 700	2.58~2.65
气砂	1.5~1.6	0.12~0.17	10 000~10 500	6 400~6 700	2.48~2.55

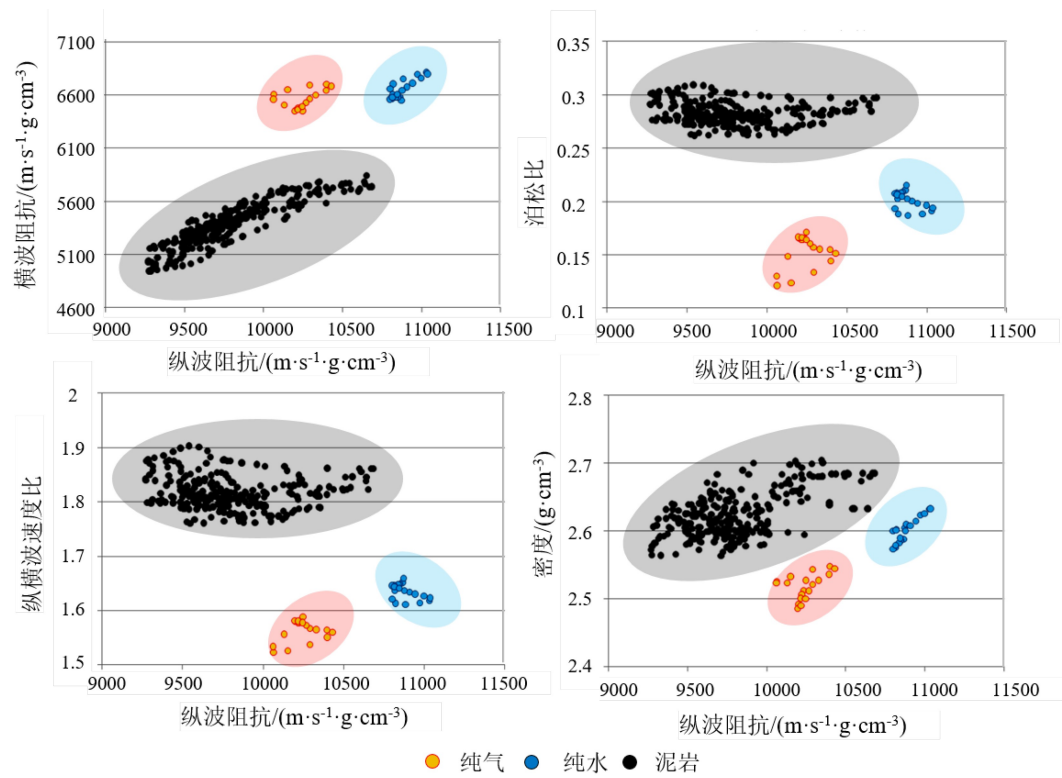


图 9 Cleia 组岩石物理参数交会分析

Fig.9 Intersection analysis of petrophysical parameters of the Cleia Formation

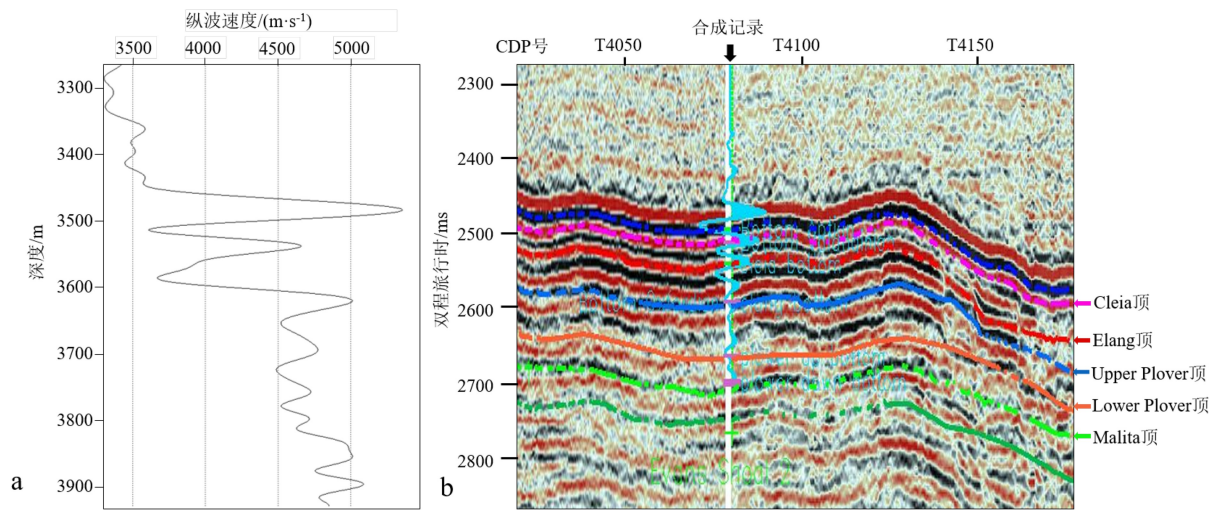


图 10 虚拟井井震标定

a. 虚拟井纵波曲线, b. 合成记录标定剖面。

Fig.10 Well seismic calibration of virtual well

a. P-wave curve, b. synthetic record calibration section.

4 岩性圈闭初步评价

对于 N 区块而言, 主要研究层段为侏罗系, 生油层主要是 Echuca Shoals 组、Cleia 组、Elang 组、Plover 组; 储层主要是 Elang 组、Plover 组、Cleia 组;

白垩系泥岩是区域盖层、Cleia 组泥岩盖层、上 Plover 组中泥岩盖层。因此分为两套生储盖组合: 上组合、下组合。本次研究中识别出的 Cleia 组岩性圈闭属于上组合, 同时它有属于自生自储的生储盖组合。结合相关资料^[20-21]对识别的 Cleia 组岩性圈闭进行评价, 可以看到三维区既有构造成藏(背斜),

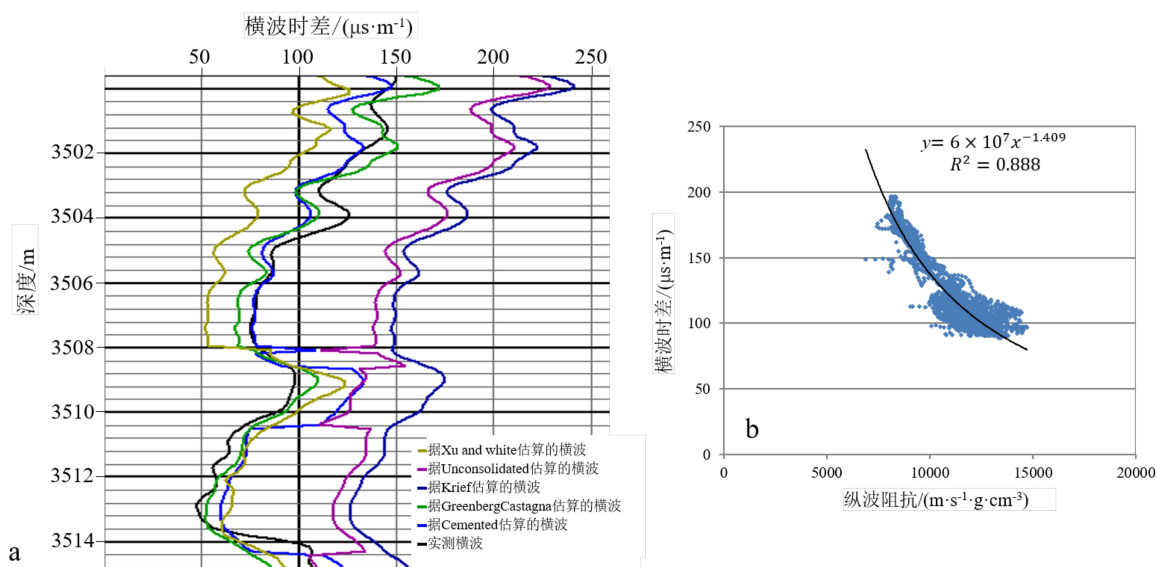


图 11 横波预测

a. 拟合横波与实测横波的对比, b. 横波与纵波的拟合关系式。

Fig.11 S-wave prediction

a. comparison between simulated S-wave and measured S-wave, b. fitting relationship between S-wave and P-wave.

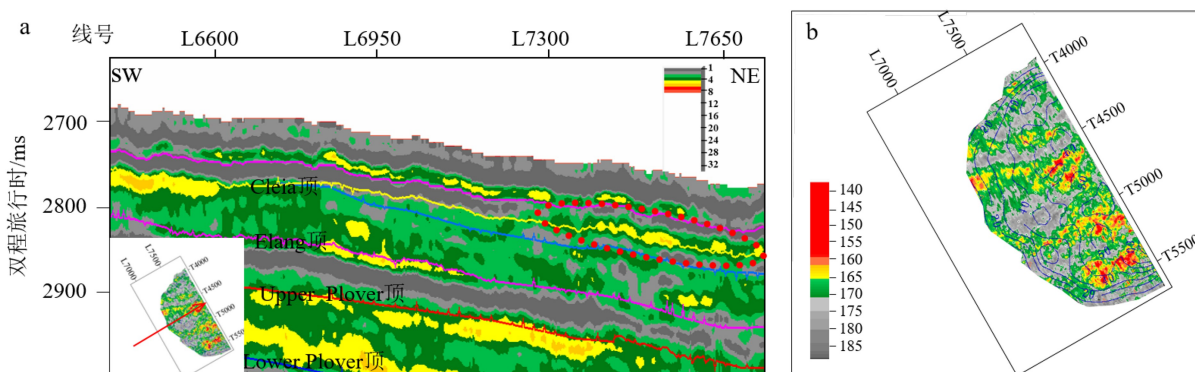


图 12 Cleia 组岩性圈闭储层预测结果

a. V_p/V_s 属性剖面图, b. V_p/V_s 属性平面图。

Fig.12 Prediction results of lithologic trap reservoir in Cleia Formation

a. V_p/V_s attribute section, b. V_p/V_s attribute plane.

又有 Cleia 岩性成藏(地层尖灭), 见图 14 岩性圈闭地质剖面。不整合面、断层和横向展布的砂体构成了油气输送通道。在岩性圈闭成藏中, 油气聚集在上倾尖灭的地层中。利用石油天然气行业圈闭评价规范进行了 Cleia 组岩性圈闭资源量的计算, 其资源量为 1.46 TCF(1 个 TCF 表示 1 万亿立方英尺)。

5 结论

针对澳大利亚波拿巴盆地 N 区块仅有二维、三维地震数据而无钻井资料的条件下开展识别岩性圈闭提出了有效的研究思路, 并取得了一定效果。

(1) 根据 N 区块周边已钻井确立了层序地层格架, 并结合古地貌、物源分析和沉积体系研究确定了 N 区块可能发育岩性圈闭的有利部位。

(2) 基于 N 区块邻区已钻井的岩石物理分析和叠前同时反演是预测岩性圈闭的有效手段。认为纵横波速度比是该地区识别岩性的敏感参数, AVO 流体因子是 N 区块流体识别最敏感的参数, 可以有效地对 N 区块岩性圈闭进行储层和含油气性预测。

(3) N 区块岩性圈闭识别, 不仅扩大了区块资源规模, 而且拓展了区块的勘探目标类型, 使其具备了勘探价值。

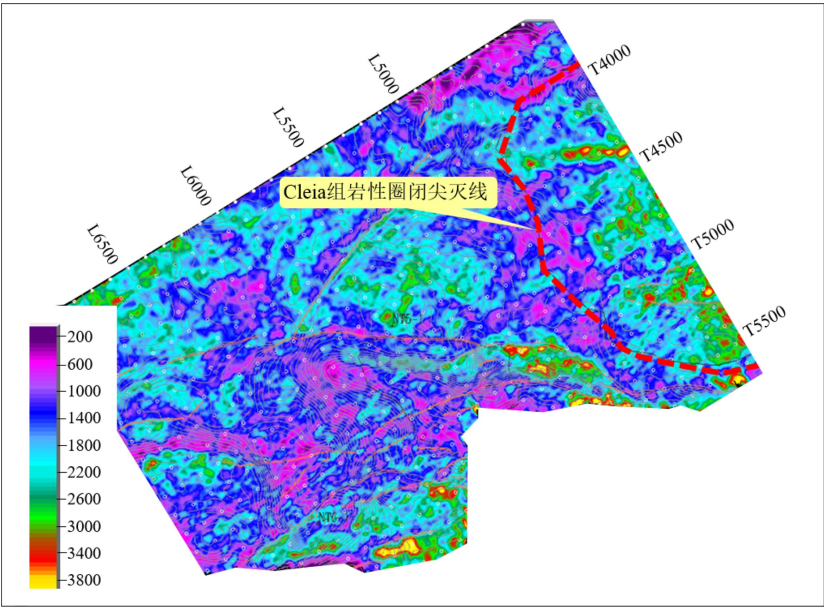


图 13 Cleia 组岩性圈闭 AVO 流体因子含油气性预测结果
Fig.13 Prediction results of AVO fluid factor of lithologic trap in the Cleia Formation

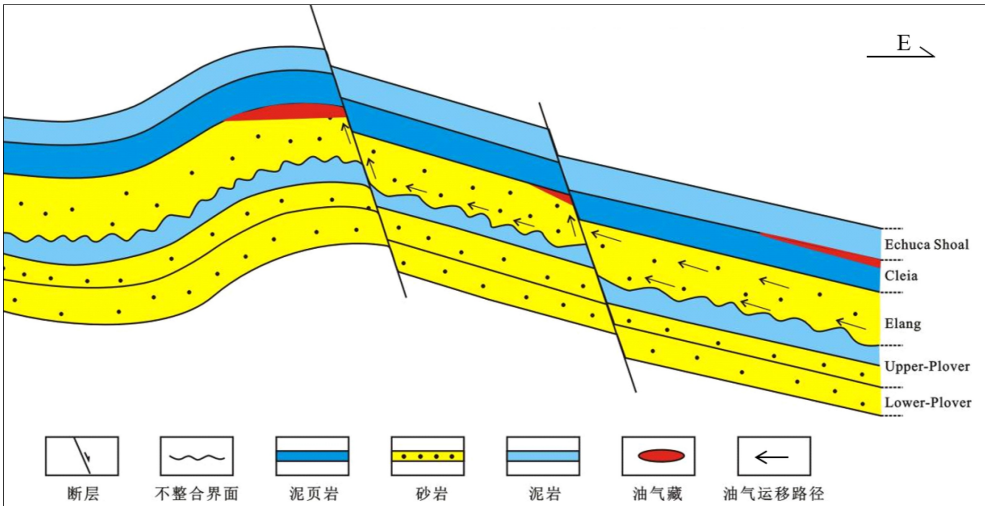


图 14 N 区块 Cleia 组岩性圈闭地质剖面
Fig.14 A geological section of the lithologic trap of Cleia Formation in Block N

参考文献 (References)

[1] 逢林安, 康洪全, 许晓明, 等. 澳大利亚西北陆架波拿巴盆地油气资源潜力评价[J]. 中国海上油气, 2017, 29(6): 43-52. [PANG Lin'an, KANG Hongquan, XU Xiaoming, et al. Bonaparte basin petroleum resource assessment, northwest shelf of Australia [J]. China Offshore Oil and Gas, 2017, 29(6): 43-52.]

[2] 黄志超, 万丽芬, 王英民, 等. 波拿巴盆地东北部的石油地质条件[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(4): 15-20. [HUANG Zhichao, WANG Lifan, WANG Yingmin, et al. Petroleum geological conditions in the northeast of Bonaparte Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(4): 15-20.]

[3] 吴金才. 准噶尔盆地腹部侏罗系层序地层学与隐蔽圈闭识别[D]. 成都理工大学博士学位论文, 2005. WU Jincai. Sequence stratigraphy research and subtle trap recognition in the centre part of Zunggar Basin[D]. Doctor Dissertation of Chengdu University of Technology, 2005.

[4] 钟玮, 林常梅, 周凤春. 物源及沉积体系研究对识别岩性圈闭的意义: 以黄骅坳陷歧口凹陷歧南斜坡为例[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2019, 34(3): 19-26, 108. [ZHONG Wei, LIN Changmei, ZHOU Fengchun. Significance of study on provenance and sedimentary system to identification of Lithologic traps: taking Qi'nan slope of Qikou depression in Huanghua sag as an example [J]. Journal of Xi'an University of Petroleum (Natural Science Edition), 2019, 34(3): 19-26, 108.]

[5] 周川, 王英民, 黄志超, 等. 澳大利亚北波拿巴盆地北部物源分析与沉积特征研究[J]. 中国石油勘探, 2010, 15(6): 72-75. [ZHOU Chuan, WANG Yingmin, HUANG Zhichao, et al. Provenance and

- sedimentary features of northern Bonaparte Basin, Australia [J]. *China Petroleum Exploration*, 2010, 15 (6): 72-75.]
- [6] 周川, 王英民, 黄志超, 等. 澳大利亚北波拿巴盆地北部侏罗纪古地貌特征与演化[J]. *海洋地质动态*, 2009, 25 (10): 14-19. [ZHOU Chuan, WANG Yingmin, HUANG Zhichao, et al. Characteristics and evolution of Jurassic paleogeomorphology in northern Bonaparte Basin, Australia [J]. *Marine Geology Letters*, 2009, 25 (10): 14-19.]
- [7] 金博, 常广发, 庞文珠, 等. Melut盆地P地区白垩系Galhak组岩性圈闭识别及其勘探意义[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2014, 29 (5): 9-16, 48. [JIN Bo, CHANG Guangfa, PANG Wenzhu, et al. Identification and exploration significance of lithologic traps in cretaceous Galhak formation in P area of Melut Basin [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2014, 29 (5): 9-16, 48.]
- [8] 徐怀大. 寻找非构造油气藏的新思路[J]. 勘探家, 1996, 1 (1): 43-47. [XU Huaida. New thoughts on finding non-structural hydrocarbon reservoirs [J]. *Explorationist*, 1996, 1 (1): 43-47.]
- [9] 左丽群. 古地貌恢复方法综述[J]. *石油地质与工程*, 2019, 33 (3): 12-16, 21. [ZUO Liqun. Review on methods of paleo-geomorphologic restoration [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2019, 33 (3): 12-16, 21.]
- [10] 多力坤, 杨智刚, 阿布都艾尼, 等. 南图尔盖盆地057区块上侏罗统岩性圈闭识别方法[J]. *新疆石油天然气*, 2016, 12 (1): 25-28, 2. [DUO Likun, YANG Zhigang, AINI A, et al. Recognition method on Jurassic lithologic traps in 1057 block of south Turgai basin [J]. *Xinjiang Oil & Gas*, 2016, 12 (1): 25-28, 2.]
- [11] 吴义杰, 高德群, 许江桥, 等. JH凹陷隐蔽圈闭识别与描述方法研究[J]. *石油物探*, 2003, 42 (3): 334-339. [WU Yijie, GAO Dequn, XU Jiangqiao, et al. Identification and description for subtle traps in JH sag [J]. *Petroleum Geophysics*, 2003, 42 (3): 334-339.]
- [12] 闫奎邦, 李冬梅, 吴小泉. Jason反演技术在岩性圈闭识别中的应用[J]. *石油物探*, 2004, 43 (1): 54-57. [YAN Kuibang, LI Dongmei, WU Xiaoquan. Application of Jason inversion technique in identification of lithologic traps [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2004, 43 (1): 54-57.]
- [13] 尹兵祥, 杨建萍, 尹克敏, 等. 东营凹陷永安地区地震反演及储层预测[J]. *石油物探*, 2011, 50 (1): 59-64. [YIN Bingxiang, YANG Jianping, YIN Kemin, et al. Seismic inversion and reservoir prediction in Yong'an area, Dongying Sag [J]. *Petroleum Geophysics*, 2011, 50 (1): 59-64.]
- [14] 李坦, 殷小舟. 地震属性的地质意义分析[J]. 复杂油气藏, 2009, 2 (3): 25-28, 36. [LI Tan, YIN Xiaozhou. Analysis on the geological significance of seismic attributes [J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2009, 2 (3): 25-28, 36.]
- [15] 姜仁, 曾庆才, 黄家强, 等. 岩石物理分析在叠前储层预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49 (2): 322-328, 221. [JIANG Ren, ZENG Qingcai, HUANG Jiaqiang, et al. Application of petrophysical analysis in pre stack reservoir prediction [J]. *Petroleum Geophysical Exploration*, 2014, 49 (2): 322-328, 221.]
- [16] Oloruntobi O, Butt S. The shear-wave velocity prediction for sedimentary rocks [J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2020, 76: 103084.
- [17] 张元中, 周开金, 赵建斌, 等. 砂泥岩地层横波测井曲线预测方法研究[J]. *石油物探*, 2012, 51 (5): 508-514. [ZHANG Zuanzhong, ZHOU Kaijin, ZHAO Jianbin, et al. Study on prediction method of shear wave logging curve in sand shale formation [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2012, 51 (5): 508-514.]
- [18] 郑旭桢, 王涛, 刘钊, 等. 泥岩基质弹性参数对Xu-White模型横波速度估算的影响[J]. 石油地球物理勘探, 2017, 52 (5): 990-998, 880. [ZHENG Xuzhen, WANG Tao, LIU Zhao, et al. Influence of clay elastic parameters on S-wave velocity estimation based on Xu-White model [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2017, 52 (5): 990-998, 880.]
- [19] 苑书金. 叠前地震反演技术的进展及其在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 地球物理学进展, 2007, 22 (3): 879-886. [YUAN Shujin. Progress of pre-stack inversion and application in exploration of the lithological reservoirs [J]. *Progress in Geophysics*, 2007, 22 (3): 879-886.]
- [20] 石玉, 李宗杰. 塔河油田三叠系岩性圈闭识别与评价技术[J]. *新疆石油地质*, 2007, 28 (3): 375-378. [SHI Yu, LI Zongjie. Identification and evaluation technologies of Lithologic trap of Triassic in Tahe oilfield [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28 (3): 375-378.]
- [21] 刘震, 韩军, 关强, 等. 地层岩性圈闭识别和评价的关键问题[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22 (3): 31-37. [LIU Zhen, HAN Jun, GUAN Qiang, et al. Key problems to the identification and evaluation of stratigraphic and lithologic traps [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2007, 22 (3): 31-37.]