



基于地震岩相分析的北康盆地晚渐新世沉积体系构建

骆帅兵, 张 莉, 徐国强, 王笑雪, 雷振宇, 帅庆伟

Reconstruction of Late Oligocene depositional systems in the Beikang Basin by seismic facies analysis

LUO Shuaibing, ZHANG Li, XU Guoqiang, WANG Xiaoxue, LEI Zhenyu, and SHUAI Qingwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2021051001>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

北康盆地基底卷入断层特征及其对南海南部构造演化的启示

Features of the basement-involved faults in the Beikang Basin and their implications for the tectonic evolution of the southern South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(4): 116

南海南部海陆过渡相烃源岩的两类分布模式

Two distribution patterns of the marine-continental transitional source rocks in the southern South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 173

南海南部浅表层柱状沉积物孔隙水地球化学特征对甲烷渗漏活动的指示

Pore water geochemistry of shallow surface sediments in the southern South China Sea and its implications for methane seepage activities

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 112

南黄海中部隆起晚新近纪—第四纪沉积序列的地层划分与沉积演化

Stratigraphic classification and sedimentary evolution of the late Neogene to Quaternary sequence on the Central Uplift of the South Yellow Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 25

北黄海盆地东部坳陷中生界次生孔隙的发育规律

Development of Mesozoic secondary pore zones in the Eastern Depression of North Yellow Sea Basin

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 194

渤海湾西岸晚更新世以来的沉积环境演化及碳埋藏评价

Environmental evolution and carbon burial assessment of the west coast of Bohai Bay since Late Pleistocene

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 194



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

骆帅兵, 张莉, 徐国强, 等. 基于地震岩相分析的北康盆地晚渐新世沉积体系构建[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(1): 123-134.

LUO Shuaibing, ZHANG Li, XU Guoqiang, et al. Reconstruction of Late Oligocene depositional systems in the Beikang Basin by seismic facies analysis[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(1): 123-134.

基于地震岩相分析的北康盆地晚渐新世沉积体系构建

骆帅兵¹, 张莉¹, 徐国强², 王笑雪¹, 雷振宇¹, 帅庆伟¹

1. 自然资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广州 510075

2. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059

摘要: 依据位置(陆棚-陆架边缘-斜坡)、外部形态(丘状、楔状、板状等)、内幕结构(平行、斜交、发散等)和反射波属性(振幅、频率、连续性等)4个方面的标识划分地震相的传统地震相分析法,在钻井较多的地区,可实现地震相-沉积相的准确转换;但在钻井稀少(无井)或地质条件复杂的地区,由于传统地震相分析的结果主要为环境相,在岩相判别上能力较弱,故在沉积相的转换上存在一定的缺陷和不足。通过新增地震反射波光滑性、地震反射整洁性和特殊波形3种标识,建立地震相-地震岩相-沉积相的分析方法,能有效提升岩相的辨别能力,结合沉积环境与水流体系,可实现准确的沉积体系重建,对油气勘探具有重要价值。综合传统地震相分析与3种新增标识的各自优势,在北康盆地晚渐新世识别出6种典型地震岩相,即砂砾岩相、砂包泥相、砂泥岩互层相、泥包砂相、纯泥(页)岩相和火山岩相;划分出4类沉积体系,即河流三角洲、陆架浅海、陆坡浊积扇和深海盆地沉积体系;明确了两支来自婆罗洲地区的大型沉积物源;恢复了陆架三角洲-陆坡浊积体-深海盆地沉积体系以及火成岩体的空间展布,为进一步开展北康盆地油气调查提供基础支撑。

关键词: 地震相; 岩相; 沉积相; 沉积体系; 南海南部; 北康盆地

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2021051001

Reconstruction of Late Oligocene depositional systems in the Beikang Basin by seismic facies analysis

LUO Shuaibing¹, ZHANG Li¹, XU Guoqiang², WANG Xiaoxue¹, LEI Zhenyu¹, SHUAI Qingwei¹

1. MENR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation (Chengdu University of Technology), Chengdu 610059, China

Abstract: Traditional seismic facies analysis is usually carried out based on the features of topography (shelf, continental margin and slope), external morphology (dome-like, wedge-like, plate-like), internal structure (parallel, oblique and radiate) and reflection waves (amplitude, frequency, and continuity). Lithofacies may be defined if there are enough drilling wells. However, in the areas only having few wells and complicated geological conditions, it is difficult to reach an appropriate conclusion of lithofacies without additional data support. In this paper, we will introduce three new marks to help making interpretation of seismic facies into lithofacies, namely, the smoothness of seismic reflection waves, the cleanliness of seismic reflection waves and special wave forms. Thus a new method for seismic interpretation from seismic facies to lithofacies to sedimentary facies is proposed, which is suitable for the reconstruction of sedimentary systems under any geological and data conditions and can effectively enhance the quality of lithofacies identification and sedimentary facies conversion, and it is of great significance to oil and gas exploration. Combining this method with the method for traditional seismic facies analysis, six typical seismic lithofacies are identified for the Late Oligocene of the Beikang Basin, namely, sandy conglomerate facies, sand-mud-encrusted facies, interbedded sand-mud facies, mud-encrusted facies, pure mud-shale facies and volcanic facies. Four kinds of depositional systems are recognized, namely, the fluvial delta, shelf shallow sea, slope turbidite fan and deep-sea basin depositional systems; Two large sediment sources from the Borneo region are recognized; The spatial distributions of shelf delta-continental slope turbidite, deep-sea basin depositional system and igneous body are clarified. The results have provided basic support for further exploration of oil and gas in the Beikang Basin.

Key words: seismic facies; lithofacies; sedimentary facies; sedimentary system; southern South China Sea; Beikang Basin

据不完全统计,全球新发现的油气田 60% 来自海上,且未来油气总储量的 40% 将来自深水区,深水以及超深水油气勘探开发将逐渐成为油气增产和资源战略的新领域和新热点^[1-4]。但如何有效规

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190213)

作者简介: 骆帅兵(1989—),男,工程师,主要从事海域含油气盆地地震资料解释与石油地质综合研究, E-mail: 865285868@qq.com

收稿日期: 2021-05-10; 改回日期: 2021-08-16。 周立君编辑

避勘探风险,提高钻井成功率,是深水油气勘探开发面临的重要挑战。对此,学者通过运用高分辨率层序地层学、三维地震属性、测井和钻井、地质露头等多种技术方法^[5-15],识别深水沉积类型、分布和油气聚集关系,建立深水沉积体系下储层的识别与有利储层中油气资源的有效预测。其中,地震相-沉积相分析技术具有重要的科学指导意义。

地震相的概念是 20 世纪随地震地层学的兴起而逐渐推广的,其主要为沉积相在地震资料上表征的总和^[16-18]。地震相分析是稀疏井网甚至无井条件下开展沉积相研究的最有效的方法。目前,国外比较流行的地震相分析主要有人工相面法、地震属性和波形分类法和基于地震切片的沉积地貌单元分析法^[19-23];而国内主要采用传统地震相分析法^[24-28]。

传统地震相分析在地震相-沉积相转换上存在较大误差与不确定性,例如,三角洲平原内大套洪泛平原泥岩和厚层状河道砂岩均表现出弱-空白反射;高孔渗含气砂岩和灰岩(或含灰质、钙质)均表现出强-极强振幅反射;陆架边缘三角洲和陆棚边缘进积楔都具有前积构型,但前者为低位域高含砂岩相,后者为高位域含泥岩相。针对这种情况,徐国强教授通过对南海北部珠江口盆地大量钻井的井震对比与岩性总结,提出地震反射波光滑性、地震反射整洁性和特殊波形 3 种新标识,来开展岩相辨别和沉积相转换,并以此推广至无井地区的地震岩

相预测。

我国对北康盆地油气勘探程度较低且无钻井,国外钻井最深也仅到下中新统,对渐新统的探索几乎为零。而随着浅层可采油气资源量的不断减少,日益增长的油气需求迫使我们向深层勘探,面对成本高、风险大等问题,更加要求对实际地质情况的准确把握。本文通过开展二维地震资料综合解释,总结北康盆地晚渐新世典型地震岩相特征,并重建沉积体系。希望该研究对进一步深化北康盆地沉积认识以及为后续油气勘探工作提供基础支撑。

1 沉积背景

北康盆地位于南海南部海域中部,南沙地块西南缘,盆地从西到东依次环绕南薇西盆地、曾母盆地、文莱-沙巴盆地、南沙海槽盆地(图 1)。总面积约 $6\times 10^4\text{ km}^2$,最大沉积厚度约 12000 m,水深范围 100~1200 m,主体水深超过 1000 m^[29-37]。盆地分为 3 隆 3 坳共 6 个二级单元,发育齐全的新生代沉积地层,根据广州海洋地质调查局解释方案,划分出 6 个地质界面, T_1 界面为 5.3 Ma,对应上新统和第四系的分界面; T_2 界面为 10.5 Ma,对应中中新统和上中新统的分界面; T_3 界面为 16.5 Ma,对应下中新统和中中新统的分界面; T_4 界面为 32 Ma,对应下渐新统和上渐新统的分界面; T_5 界面为 40.4 Ma,对

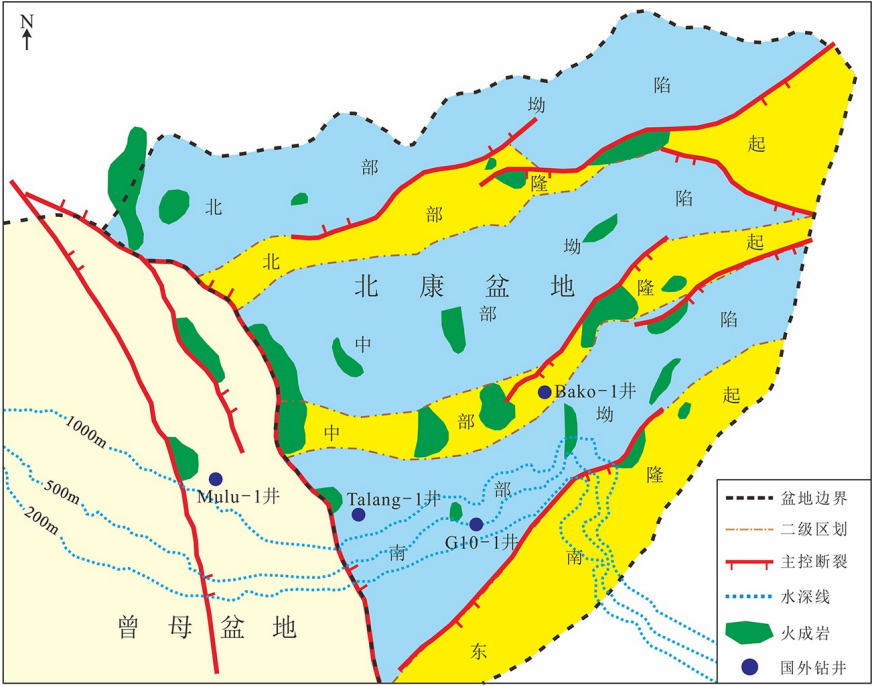


图 1 北康盆地地理位置及构造区划图
Fig.1 Geographic location and tectonic map of Beikang Basin

应始新统和渐新统的分界面; T_g 界面为 58.7 Ma, 是新生界的底界面(图 2)。随“古南海消亡、新南海扩张”的南海构造演化史, 北康盆地总体上经历了初始断陷期(湖相碎屑岩沉积)、继承性断陷期(河流、沼泽和滨浅湖相碎屑岩夹煤层沉积)、裂陷高潮期(海岸平原、浅海相沉积)和拗陷期(半深海-深海相沉积, 局部发育生物礁)。其中, 晚渐新世时, 盆地经历裂陷高潮期, 发育海岸平原富砂的砂泥互层夹煤层到浅海相砂泥互层沉积^[38-44]。

2 地震相分析

2.1 反射特征

传统地震相分析中的反射外形主要有丘状、席状、楔状以及侵蚀沟谷等。其中, 丘状反射可进一步分为沉积型和非沉积型, 沉积型的丘状反射外形具有明显的方向性, 在横剖面上表现为丘状, 在纵

剖面上为楔状并呈现出向盆地方向收敛的形态; 非沉积型的丘状反射不具有方向性, 表现出原地生长发育的特征, 例如泥底辟、火山岩体、剥蚀残丘等。席状反射表现为顶底面呈平行或亚平行的层状沉积体, 分布范围广, 沉积厚度大, 发育于中陆棚、外陆棚、宽缓的陆坡和深海平原等非常开阔平坦的古地理环境。楔状反射主要有单边断陷同沉积楔状体和陆架边缘前积楔两大类, 前者发育于盆地内大型断裂一侧, 靠近断裂的凹陷可堆积巨厚的沉积物, 翘倾隆起端则相对较薄; 而陆架边缘三角洲、富泥型陆棚边缘前积楔和礁前斜坡都会发育向盆地方向收敛的陆架边缘前积楔。侵蚀沟谷主要为河流途经后的产物, 根据水流的势能而呈现不同的深度和宽度。

2.2 内部反射结构

内部反射结构受控于反射外形, 两者间一般具有匹配关系, 常见的有平行、亚平行、斜交型(S 型

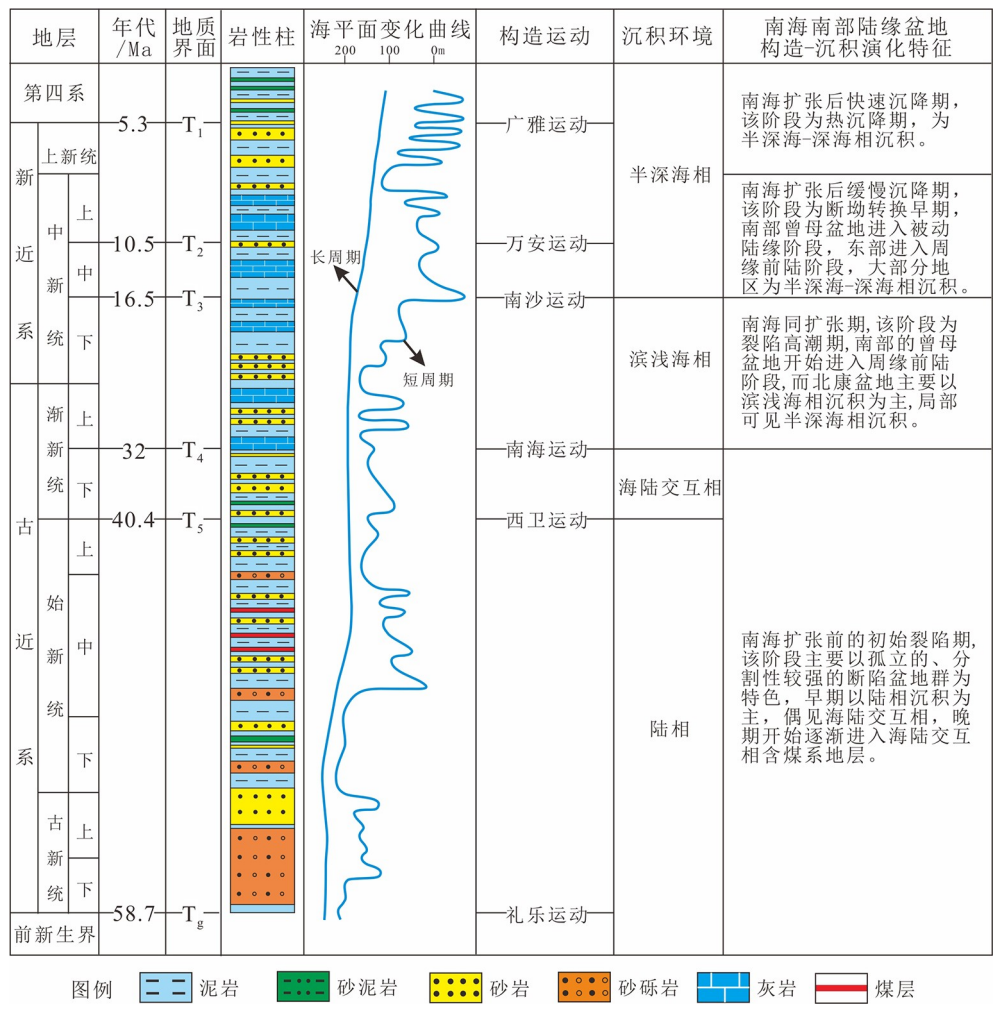


图 2 北康盆地层序划分与构造演化综合柱状图

Fig.2 Integrated stratigraphic column and tectonic evolution of the Beikang Basin

斜交、平行斜交、叠瓦状斜交等)、收敛或发散型以及充填结构等。平行或亚平行主要见于席状反射体内,指示细粒沉积物,例如纯泥岩层、薄层粉砂岩等。斜交型与丘状反射体或滩状反射有关,例如随三角洲的前积而向盆地方向迁移的S型斜交、或河控三角洲的平行斜交、或浪控三角洲的叠瓦状斜交。收敛或发散型与楔状反射体有关,呈凹陷处发散而隆起端收敛的特征。充填结构发育于侵蚀沟谷内,可表现为槽状交错结构、上超充填、侧向加积和杂乱空白。

2.3 振幅、频率、连续性

地震反射波的振幅主要反映上下岩层界面的波阻抗差异大小,它与岩性、孔隙度、充填介质及厚度多种因素有关。可分为弱振幅、中振幅、强振幅和极强振幅,若上下岩层间的波阻抗差异较小或在大套同时期沉积体内部(无波阻抗差异),则表现出弱振幅反射;若上下岩层间波阻抗差异较大,如煤层、欠压实泥岩、含气砂岩与泥灰岩、灰岩和玄武岩,则表现出强—极强振幅反射。

频率指单位时间内反射波的数量,主要指示岩性在纵向上变化的频繁程度。一般地,高频代表纵向上岩性变化非常频繁,如砂泥岩薄互层;低频代表纵向上岩性变化不频繁,单位时间内反射界面少。

地震反射同相轴的连续性反映的是地层横向分布的稳定性,一般地,河流相砂体的横向分布不稳定,通常产生短轴不连续反射;经过波浪和潮汐摊平的河口坝、席状砂、沿岸砂坝和远砂坝砂体,分布范围相对较宽,产生连续反射。

2.4 地震同相轴光滑性

地震同相轴光滑性指沉积层表面的平整程度,当地层横向沉积稳定、分布广泛时,通常表现出连续性的特征。例如,发育于陆架边缘的三角洲前缘席状砂由于受海浪冲刷作用,分布广且平整性好而产生连续反射;海进期沉积的灰岩层或含灰质(钙质)层表面平整且横向分布非常稳定亦表现出连续反射,并且当砂岩含气或孔渗性极好时,呈强—极强振幅反射,与灰岩层或含灰质(钙质)层振幅相似,这给研究判断带来迷惑性。因此,在连续性的基础上,增加光滑性用以表征沉积层表面的平整程度,突出其主要受沉积物组分的性质和成因影响。灰岩层或含灰质(钙质)层主要通过物质的化学沉淀和结晶形成,同相轴表面呈极光滑的特征;而三角洲前缘席状砂由河流搬运的物理沉积形成,尽管受波浪、潮汐等水动力作用,但同相轴表面呈凹凸起伏,光滑性较差(图3)。

2.5 特殊波形

Anstey^[45]通过利用不同地震子波形态来直接识别砂岩储集层的相关问题。之后,通过利用大量详实的钻井资料,并结合切实的地质模型研究发现,在特定的沉积环境下,利用地震波形分析方法是可行、可信的,并总结出零十字对称、斜十字对称和低频不对称波形为三种基本地震反射波型。

下文主要指低速和高速夹层所表现出的斜十字对称波形。例如,高孔渗砂岩由于波阻抗低于上下围岩,其顶面为负反射,对应波谷;底面为正反射,对应波峰,整体呈现一个右下倾斜对称的形态,

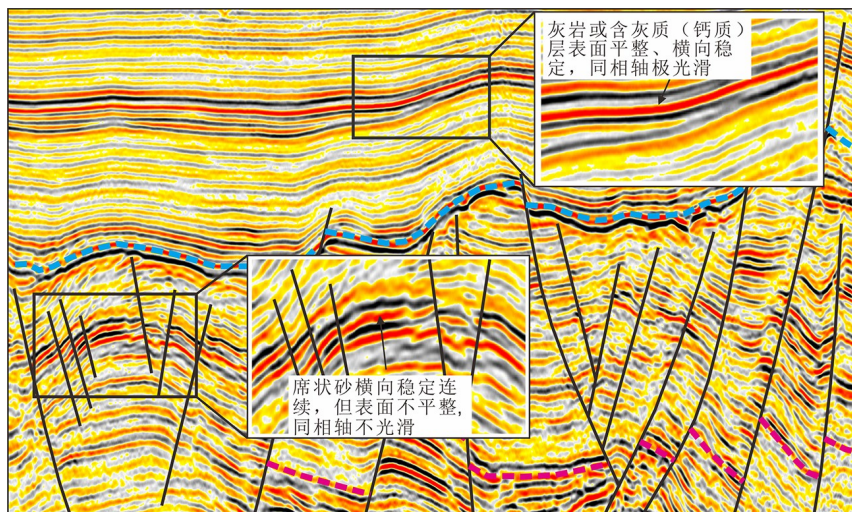


图3 地震同相轴光滑性

Fig.3 Smoothness of seismic in-phase axis

即 A1 与 A4、A2 与 A3 均呈斜十字对称, 从 A2 到 A3 振幅变化最大(图 4), 若砂岩含气时, A2 到 A3 将表现出更大的振幅。灰岩、火山熔岩或钙质砂岩, 其波阻抗远大于上下围岩, 顶面为正反射, 对应于波峰; 底面为负反射, 对应于波谷, 整体表现出一个左下倾斜对称波形(图 4)。结合地震相分析, 高孔渗砂岩主要有河流相砂、河口坝砂、三角洲前缘席状砂等; 灰岩发育于海进期没有陆缘碎屑供应的陆架、台地等浅海环境; 火山熔岩在火山口附近, 发育于任何水深。

2.6 地震反射剖面整洁性

地震反射剖面整洁性指沉积层内部结构的变化, 沉积地层内部结构、岩性变化以及外来物数量等, 均会引起宏观层界面同相轴振幅的变化, 这种

变化在纵横向上延伸至更大范围时, 就可以在剖面上辨别出来, 表现出不干净和干净的画面。例如内部结构的变化, 河流相砂岩因其内部地层结构横向不稳定或产生突变(如槽状交错充填)而表现出不干净画面; 三角洲前缘席状砂、河口坝砂等因其内部地层结构横向上稳定(平行层状加积)而呈干净反射。又如岩性变化, 大套河流相砂岩和静水泥岩尽管均表现为弱振幅反射, 但砂岩内部稳定性差、岩性变化快, 表现出不干净画面; 而泥岩内部物质均一、地层平整且横向稳定, 整个反射画面看起来显得整洁干净。最后, 当层状介质中夹杂其他外来沉积物时, 将会导致同相轴波形的突变, 在变密度剖面中表现出不同程度的“变脏”, 如砂泥岩地层中夹杂火山碎屑、静水泥岩中夹杂浊积岩、灰岩或煤层中夹杂砂岩等(图 5)。

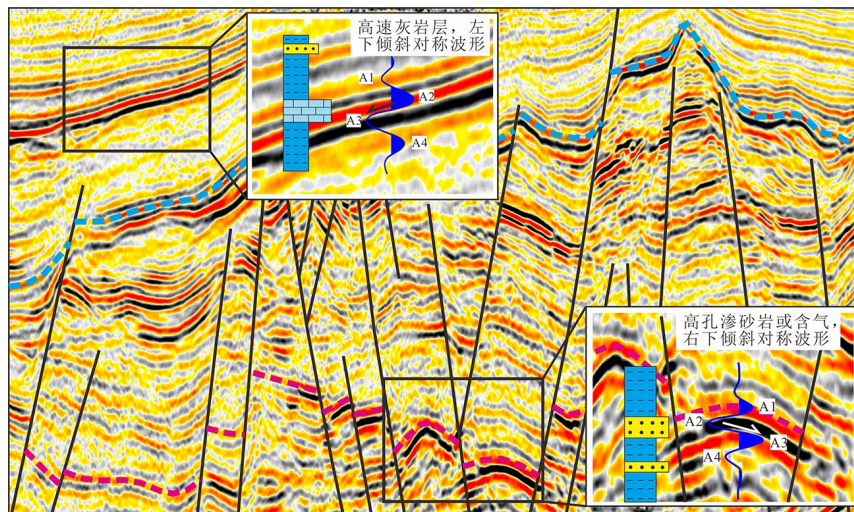


图 4 特殊波形——斜对称波形

Fig.4 Special waveform — skew symmetric waveform

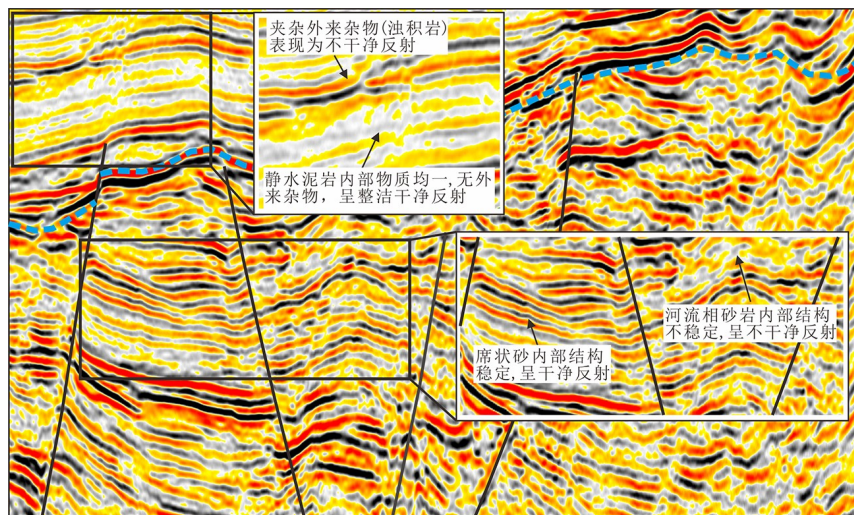


图 5 地震反射剖面整洁性

Fig.5 Tidiness of seismic reflection profile

3 北康盆地主要地震岩相特征

3.1 国外钻井分析

通过收集周边国家在北康盆地和曾母盆地的钻井信息,将岩性信息植入地震剖面,利用传统地震相分析和3种新增标识,开展钻井岩性与井旁地震反射特征研究(图6),总结出主要的地震岩相有:

①砂砾岩相:砂砾岩混杂,由于砂砾岩间波阻抗差异较大而表现出中—强振幅反射;主要发育在冲积平原—河流的高能环境中,且快速堆积而成,沉积物在纵向上厚度大,横向上稳定性差而表现出中—低频、杂乱不光滑以及不干净反射。

②砂包泥相:泥岩以条带状的形式嵌于砂岩中,砂岩层之间由于波阻抗差异较小,总体呈弱反

射的地震响应;主要发育在河流—三角洲平原的高能环境中,砂体沉积厚度大且内部存在的各种层理面(弱波阻抗差异界面)横向稳定性差,表现出中—低频、短轴不光滑及不干净反射。

③砂泥岩互层相:砂泥岩以层状形式相互叠置,砂泥岩之间由于波阻抗差异大而表现出中—强振幅反射;常见于三角洲前缘环境或高含砂的滨岸砂坝环境,砂岩和泥岩都比较纯且横向连续性较好而表现出中—高频、光滑连续反射。

④灰岩(或含钙质、灰质)相:由于与围岩巨大的波阻抗差异而表现出强振幅反射;而灰岩层表面的平整性以及灰岩分布的广泛性使其呈现出极光滑连续性;低—中频主要为强振幅造成的假象。

⑤泥包砂相:砂岩被周围大套泥岩包裹,砂体以短轴不连续反射或孤立状反射,置于弱振幅泥岩背景中而呈中—强振幅、中—低频、不光滑反射;

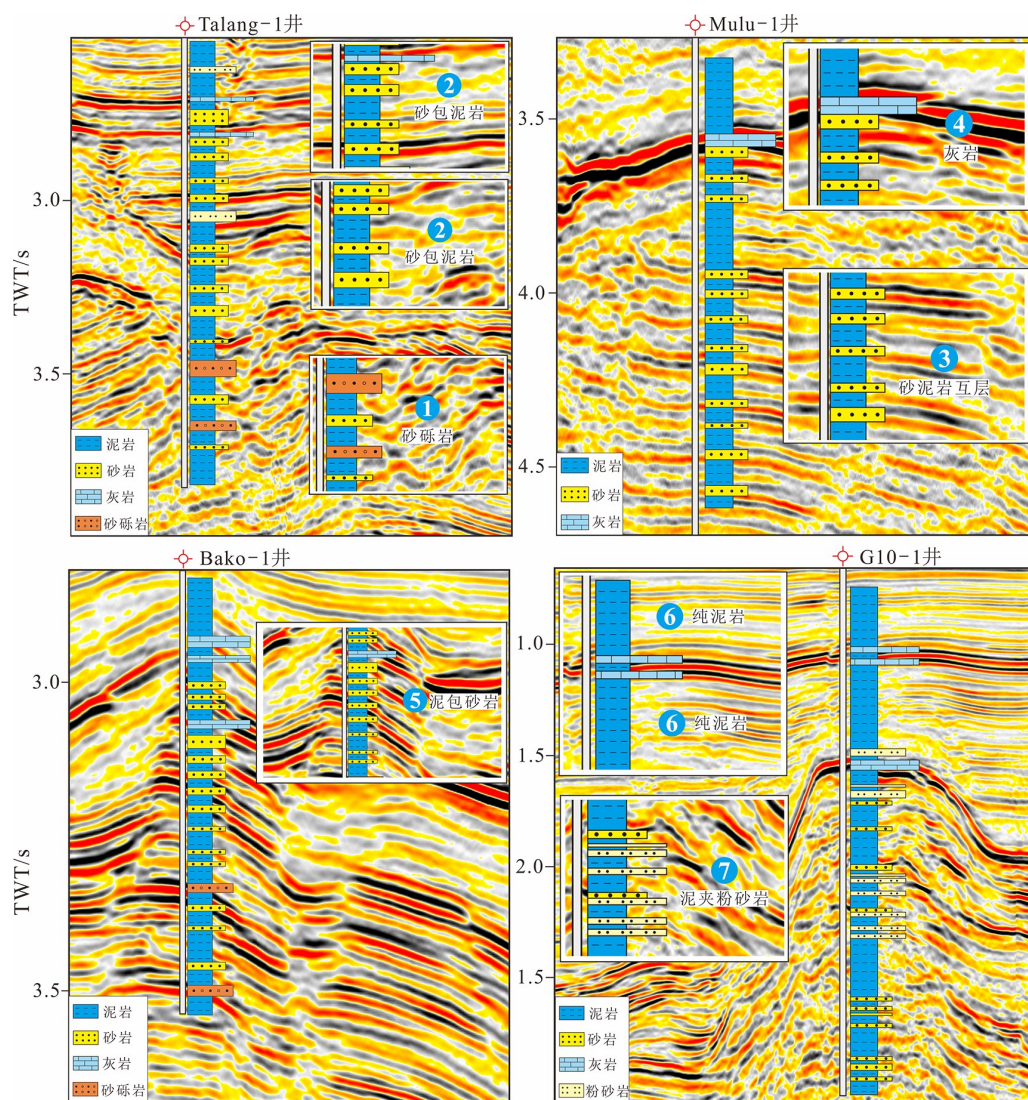


图6 钻井岩性与井旁地震反射特征

Fig.6 Well lithology and borehole seismic reflection characteristics

通常为发育在陆坡或盆底的深水扇砂体。

⑥纯泥(页)岩相: 发育于静水环境而呈水平层状; 较低的沉积速率表现出中—高频; 横向上地层结构、岩石类型大致相同或相似, 纵向上层与层之间波阻抗差异甚小, 总体表现为光滑连续干净反射。

⑦泥夹粉砂(细沙)相: 主要发育于前三角洲或深海平原等低能环境, 粉砂岩(细砂岩)和泥岩呈平铺式展布沉积而表现出光滑连续的水平层状反射; 由于粉砂岩(细砂岩)与泥岩之间波阻抗差异较小且沉积速率低而表现为弱—中振幅、中—高频、较干净反射。

3.2 北康盆地主要地震岩相

基于上述钻井分析, 结合传统地震相和 3 种新增标识建立北康盆地综合地震相分析方法(图 7), 通过开展北康盆地地震资料连片解释, 识别出北康盆地 8 种主要地震岩相, 即砂砾岩相、砂包泥相、砂

泥岩互层相、泥包砂相、纯泥(页)岩相、泥夹粉砂(细沙)相、灰岩(含钙质)相和火山岩相(图 8)。其中火山岩相尽管在所收集的钻井中未钻遇, 通过已有研究成果判别北康盆地主要包括火山熔岩、火山碎屑岩和火山侵入岩。其中, 火山熔岩呈连续极强振幅反射, 地震波形表现为高速层的左下倾斜对称波形; 火山口附近的火山碎屑岩或撒落后的火山碎屑表现出中—强振幅、没有生根、内部呈杂乱或空白反射的特征, 翼部为没有构造形态丘状反射体; 而火山侵入岩则有“根”且翼部发生构造形变。

4 北康盆地晚渐新世沉积体系构建

4.1 方法和原理

通过地震相定性标定, 将不同的地震相标定解释结果叠合到同一张平面图上, 生成地震相线图,

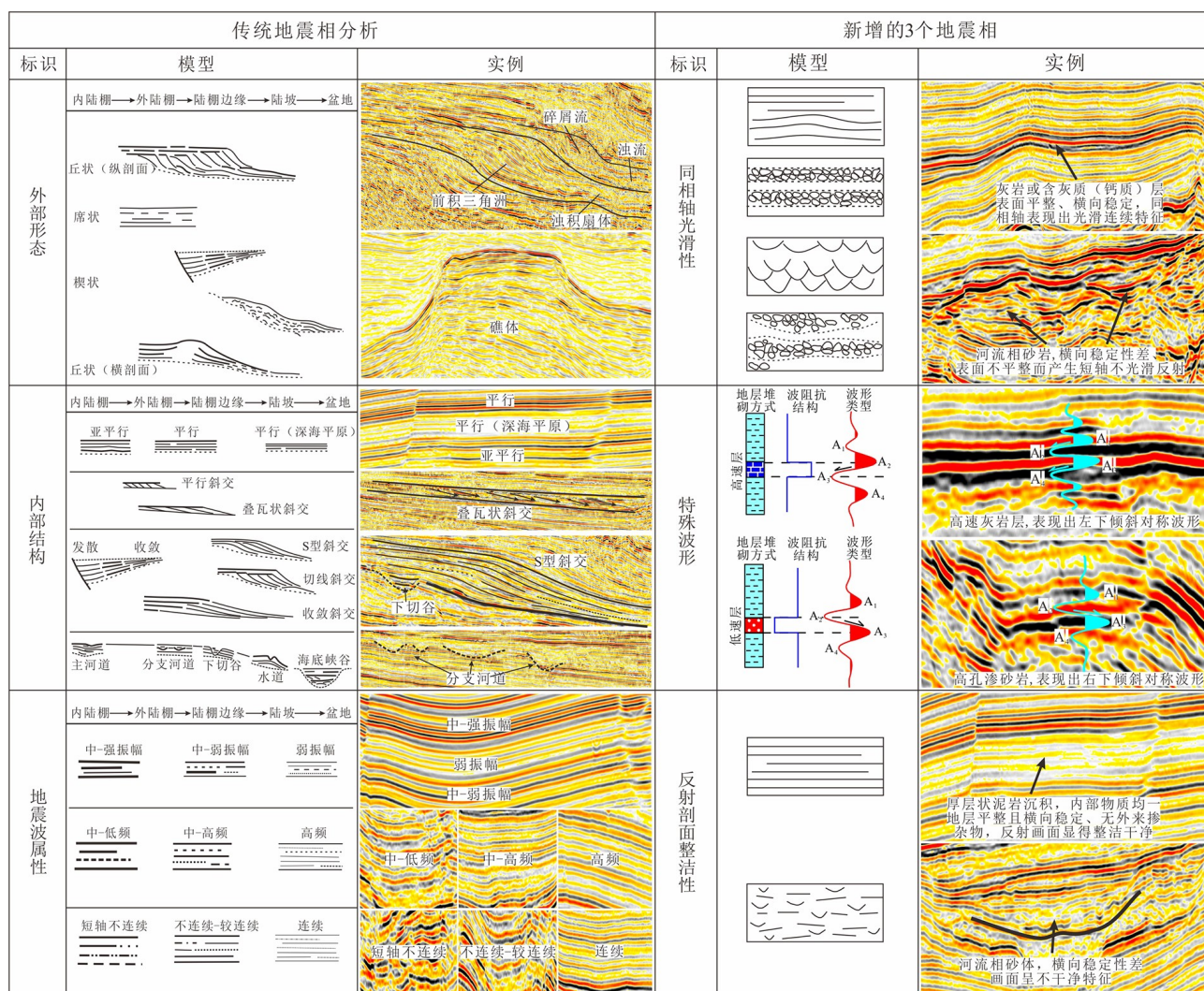


图 7 基于传统地震相分析和 3 种新增标识的综合地震相分析

Fig.7 Comprehensive seismic facies analysis based on traditional seismic facies analysis and the method using three new markers

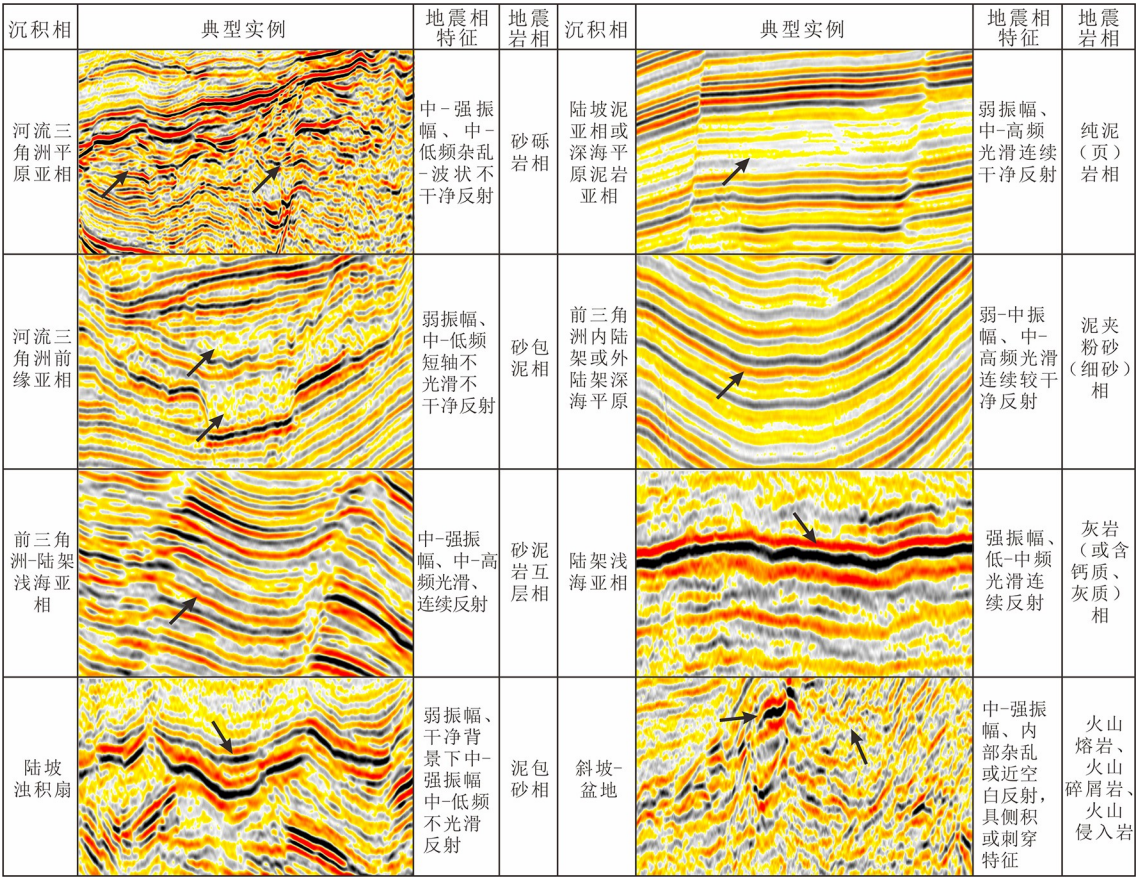


图 8 北康盆地 8 种主要地震相与地震岩相特征

Fig.8 Characteristics of eight major seismic facies and seismic lithofacies in Beikang Basin

再利用地震相-地震岩相的方法,将地震相线图转换为岩相图。这里的岩相分析为主要的骨架岩相分布图,即碎屑岩岩相主要包括砂砾岩、砂包泥岩、砂泥岩互层和泥包砂岩;灰岩和火山岩为特殊岩性;纯泥岩和泥夹粉砂岩为充填岩性。

在骨架岩相分布图的基础上,结合北康盆地上渐新统等厚度图,通过海岸线(陆相沉积地层不连续反射与海相沉积地层连续反射的分界带)、陆架坡折带(沉积地层产状和堆积方式由水平层状加积堆积转变为“S”型斜交前积堆积的突变处)和深水盆地(弱振幅、中—高频、连续层状反射)等来圈定内陆架(滨浅海)、陆架边缘—斜坡、深海盆地的大类环境相图。

陆源碎屑沉积物主要通过大型河流带来,通过识别地震剖面上的侵蚀沟谷或根据等厚度图上高地势夹低谷来确定主要的水流路径,得到水流路径图。最后将岩相图、环境相图和水流路径图叠合在一起,得到较准确的沉积体系图。

4.2 北康盆地晚渐新世沉积体系特征

北康盆地上渐新统内主要发育 6 类典型地震相

(图 9),即:① 中—强振幅、中—低频,杂乱不连续、不干净反射;② 弱振幅、中—低频,短轴不连续、不干净反射;③ 中—强振幅、中—高频,光滑连续、较干净反射;④ 弱振幅干净反射背景中,中—强振幅、短轴不连续反射;⑤ 弱振幅、中—高频,光滑连续、干净反射;⑥ 中—强振幅、内部杂乱或近空白反射,具有侧积或刺穿特征。将该 6 类地震相进行转换,得到北康盆地上渐新统 6 类主要岩相,即砂砾岩相、砂包泥岩相、砂泥岩互层相、泥包砂岩相、火山岩相和纯泥岩相(图 10)。其中曾母盆地的康西坳陷、北康盆地的南部坳陷以及中部坳陷的西南部为砂岩发育的有利相带;北康盆地中部坳陷和北部坳陷发育深水浊积砂岩;火山岩主要分布于两盆地交界处以及北康盆地深水区;在三角洲相间处发育静水泥岩。

晚渐新世时为南海同扩张期,盆地强烈伸展,南部的曾母盆地开始进入周缘前陆阶段,而北康盆地主要以滨浅海相沉积为主,局部可见半深海相沉积。从南至北依次为三角洲、浅海、半深海-深海的沉积环境。

研究分析表明,沉积物源主要来自南部陆地,

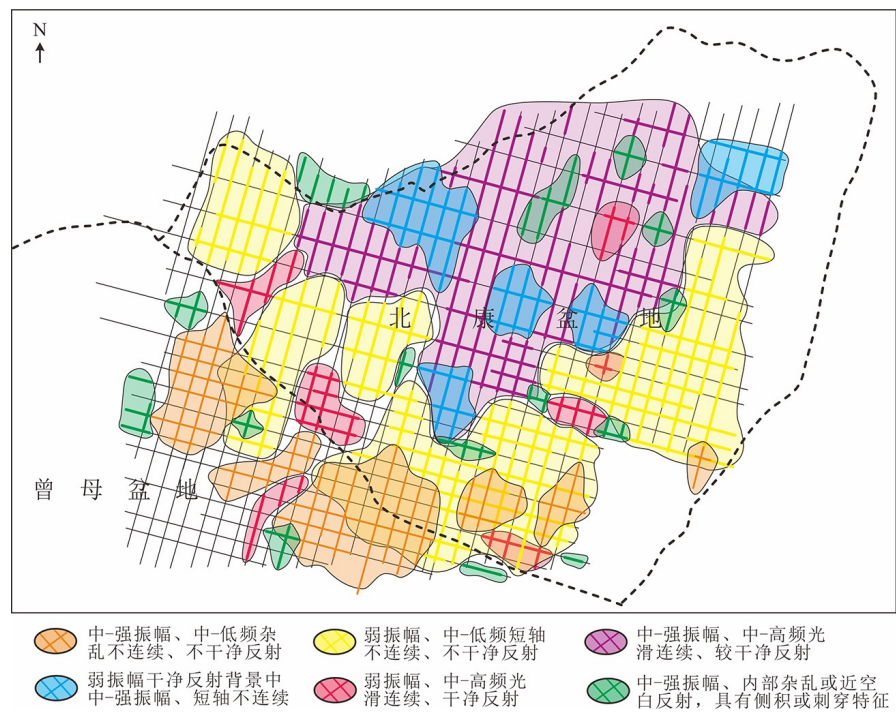


图 9 北康盆地晚渐新世地震相线图

Fig.9 Late Oligocene seismic facies of Beikang Basin

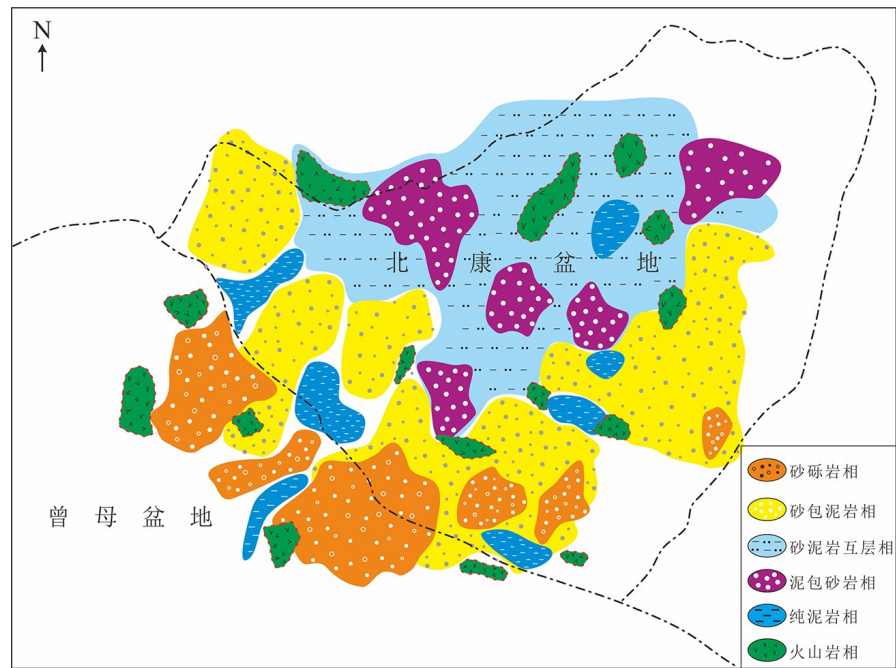


图 10 北康盆地晚渐新世地震岩相图

Fig.10 Late Oligocene seismic lithofacies map of Beikang Basin

尤其是婆罗洲山地,受沙巴造山运动的影响,通过拉让江和巴兰河分别从南面和东南面向盆地凹陷内搬运沉积物,主水流距离超过 40 km,进入陆架后分叉为多支较小水流,形成多个三角洲-深水扇沉积体系。此外,还有来自西北方向(印支半岛)的物源进入研究区,其规模较小^[46-47]。

综上,北康盆地晚渐新世主要发育河流三角

洲、陆架浅海、陆坡浊积扇和深海盆地 4 种沉积体系(图 11)。在盆地南部和东南部的陆架-斜坡区域发育大型三角洲-深水扇沉积体系,其沉积物源主要来自南部婆罗洲地区,其中发育于曾母盆地康西坳陷和北康盆地南部坳陷的三角洲和斜坡扇砂体有形成优质储层的潜力。

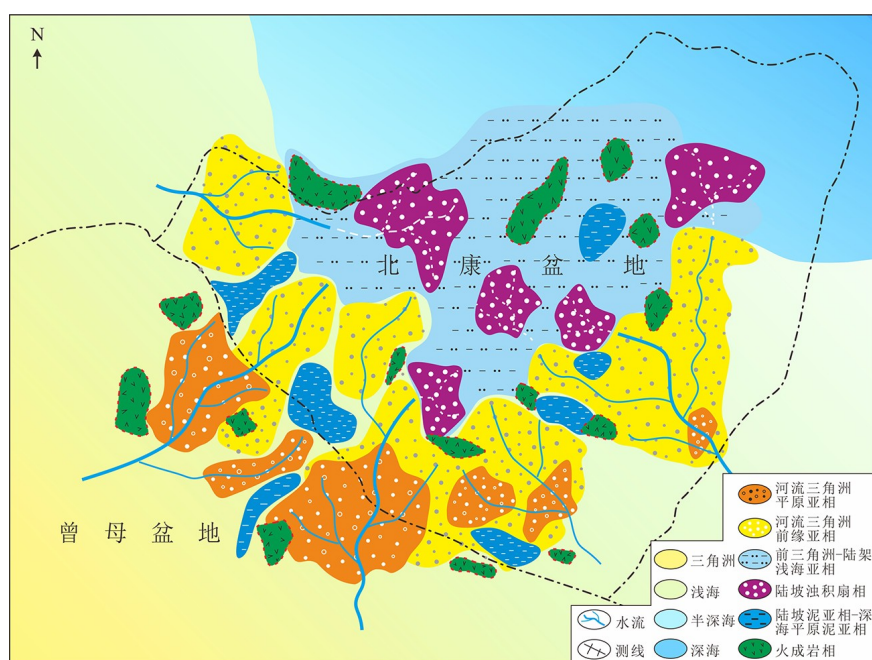


图 11 北康盆地晚渐新世沉积体系图

Fig.11 Late Oligocene sedimentary system map of Beikang Basin

5 结论

(1)光滑性主要表征沉积地层界面的平整程度,突出其主要受沉积物组分的性质和成因影响;特殊波形中的斜对称波形可有效识别低速和高速夹层;画面整洁性是内部岩石物理特性的表现,沉积物均一、沉积环境稳定且无外来物质,将呈干净整洁的画面。利用该3种新标识,建立地震岩相的分析方法,在开展无井地区的沉积相转换上精度大幅提升且信息更加准确。

(2)北康盆地晚渐新世主要发育6种地震岩相,即砂砾岩相、砂包泥相、砂泥岩互层相、泥包砂相、纯泥(页)岩相和火山岩相;主要沉积物源为来自南部婆罗洲,通过拉让江和巴兰河运送至盆地沉积。

(3)北康盆地晚渐新世主要发育河流三角洲、陆架浅海、陆坡浊积扇和深海盆地4种沉积体系,形成了陆架三角洲-陆坡浊积体-深海盆地沉积体系以及火成岩体的空间展布体系。

(4)基于地震岩相分析,结合沉积环境获得较为准确的北康盆地晚渐新世沉积体系图,为北康盆地油气勘探提供有效的地质基础支持。

参考文献 (References)

[1] 谢晓军, 赵志刚, 张功成, 等. 南海南部三大盆地油气地质条件差异性[J]. 地球科学, 2018, 43(3): 802-811. [XIE Xiaojun, ZHAO

Zhigang, ZHANG Gongcheng, et al. Hydrocarbon geological differences of three basins in southern South China Sea [J]. Earth Science, 2018, 43(3): 802-811.]

- [2] 王龙, 谢晓军, 刘世翔, 等. 南海南部主要盆地油气分布规律及主控因素[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(10): 1546-1554. [WANG Long, XIE Xiaojun, LIU Shixiang, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation and diversity of the major basins in mid-southern part of the South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(10): 1546-1554.]
- [3] 赵忠泉, 钟广见, 冯常茂, 等. 南海北部西沙海槽盆地新生代层序地层及地震相[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(1): 15-26. [ZHAO Zhongquan, ZHONG Guangjian, FENG Changmao, et al. Cenozoic sequence stratigraphy and seismic facies analysis of Xisha trough basin in northern South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2016, 36(1): 15-26.]
- [4] 吴时国, 袁圣强. 世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6): 693-699, 714. [WU Shiguo, YUAN Shengqiang. Advance of exploration and petroleum geological features of deep-water hydrocarbon in the world [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(6): 693-699, 714.]
- [5] Vail P R, Mitchum R M Jr, Thompson S III. 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. AAPG Memoir, 1977, 26: 63-83.
- [6] Mitchum R M Jr, Vail P R, Sangree J B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 6. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic

- interpretation[M]//Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir, 1977, 26: 117-135.
- [7] Badley M E. Practical Seismic Interpretation[M]. Boston: IHRDC Press, 1985: 1-259.
- [8] Sheriff R E. Aspects of seismic resolution: Chapter 1[M]//Seismic Stratigraphy II: An Integrated Approach to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir, 1985, 39: 1-10.
- [9] 鲜本忠, 牛花朋, 朱筱敏, 等. 准噶尔盆地西北缘下二叠统火山岩岩性、岩相及其与储层的关系[J]. 高校地质学报, 2013, 19(1): 46-55. [XIAN Benzong, NIU Huapeng, ZHU Xiaomin, et al. Early permian volcanic lithology, lithofacies and their relations to reservoir in northwestern margin of the Junggar basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2013, 19(1): 46-55.]
- [10] 罗伟平, 李洪奇, 朱丽萍, 等. 地震与测井资料自动匹配的研究[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(1): 205-212. [LUO Weiping, LI Hongqi, ZHU Liping, et al. Application of the cross-hole electromagnetic method (CHEM) in hydrocarbon reservoir monitoring [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2014, 49(1): 205-212.]
- [11] 庞雄, 施和生, 朱明, 等. 再论白云深水油气勘探前景[J]. 中国海上油气, 2014, 26(3): 23-29. [PANG Xiong, SHI Hesheng, ZHU Ming, et al. A further discussion on the hydrocarbon exploration potential in Baiyun deep water area [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2014, 26(3): 23-29.]
- [12] 张振波, 李东方, 轩义华, 等. 白云凹陷深水复杂构造区斜缆地震资料处理关键技术及应用[J]. 石油物探, 2014, 53(6): 657-664. [ZHANG Zhenbo, LI Dongfang, XUAN Yihua, et al. Variable-depth streamer seismic data processing in deepwater complex structure area of Baiyun Sag [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2014, 53(6): 657-664.]
- [13] 郑胜, 吕成福, 陈国俊, 等. 南海西北部晚中新世红河海底扇储集层特征[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2015, 46(5): 1754-1762. [ZHENG Sheng, LÜ Chengfu, CHEN Guojun, et al. Reservoir characteristics of Late Miocene Red River submarine fan, northwestern South China Sea [J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2015, 46(5): 1754-1762.]
- [14] 张文彪, 段太忠, 刘志强, 等. 深水浊积水道沉积构型模式及沉积演化: 以西非M油田为例[J]. 地球科学, 2017, 42(2): 273-285. [ZHANG Wenbiao, DUAN Taizhong, LIU Zhiqiang, et al. Architecture model and sedimentary evolution of deepwater turbidity channel: A case study of M oilfield in West Africa [J]. *Earth Science*, 2017, 42(2): 273-285.]
- [15] 徐怀大, 王世飞, 陈开远. 地震地层学解释基础[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. [XU Huaide, WANG Shifei, CHEN Kaiyuan. Fundamentals of Seismic Stratigraphic Interpretation[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990.]
- [16] 刘彩燕, 潘树新, 梁苏娟. 松辽盆地西部地区地震沉积相研究[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(5): 2044-2050. [LIU Caiyan, PAN Shuxin, LIANG Sujuan. Seismic-sedimentologic facies of western area of Songliao basin [J]. *Progress in Geophysics*, 2017, 32(5): 2044-2050.]
- [17] 石巨业, 樊太亮, 周娇, 等. 南图尔盖盆地几种典型地震相分析及其地质意义[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(34): 133-138. [SHI Juye, FAN Tailiang, ZHOU Jiao, et al. Several typical seismic facies in South Turgay Basin and the geological meaning [J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(34): 133-138.]
- [18] 孔令辉, 凌涛, 叶青, 等. 地震相分析在沉积相研究中的应用[J]. 复杂油气藏, 2019, 12(2): 36-40. [KONG Linghui, LING Tao, YE Qing, et al. Application of seismic facies analysis in sedimentary facies research [J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2019, 12(2): 36-40.]
- [19] Berg O R. Seismic detection and evaluation of delta and turbidite sequences: their application to the exploration for the subtle trap[M]//The Deliberate Search for the Subtle Trap. AAPG Memoir, 1982, 32: 57-75.
- [20] Ranky E C. Seismic architecture and seismic geomorphology of heterozoan carbonates: Eocene-Oligocene, Browse Basin, Northwest Shelf, Australia [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2017, 82: 424-443.
- [21] Song C Y, Liu Z N, Wang Y J, et al. Multi-waveform classification for seismic facies analysis [J]. *Computers & Geosciences*, 2017, 101: 1-9.
- [22] Posamentier H W. Seismic geomorphology and depositional systems of deep water environments; observations from offshore Nigeria, Gulf of Mexico, and Indonesia[C]//64th EAGE Conference & Exhibition. Florence, Italy: European Association of Geoscientists & Engineers, 2002.
- [23] Zeng H L. Seismic geomorphology-based facies classification [J]. *The Leading Edge*, 2004, 23(7): 644-645, 688.
- [24] 蔡全升, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 松辽盆地徐家围子北部宋站地区沙河子组地震相与沉积相解释应用[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2017, 32(4): 1-10. [CAI Quansheng, HU Mingyi, HU Zhonggui, et al. Seismic facies and sedimentary interpretation of Shahezi formation in Songzhan region, northern Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2017, 32(4): 1-10.]
- [25] 尹青, 万朝大, 刘伟君, 等. 地震相分析及其在石油勘探中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2011, 26(1): 79-84. [YIN Qing, WAN Chaoda, LIU Weijun, et al. Seismic phase analysis and the application to oil prospecting [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2011, 26(1): 79-84.]
- [26] 邱铁成, 王征, 纪中云, 等. 影响沉积盆地地震相分析结果的主要因素研究[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(2): 831-838. [QIU Tiecheng, WANG Zheng, JI Zhongyun, et al. The research on main influence factors of seismic facies analysis in sedimentary basin [J]. *Progress in Geophysics*, 2014, 29(2): 831-838.]
- [27] 高阳, 王春贤, 冯西会, 等. 地震相分析技术在煤田地震勘探中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2016, 44(1): 107-111. [GAO Yang, WANG Chunxian, FENG Xihui, et al. Application of seismic facies analysis technology in coal seismic exploration [J]. *Coal Geology & Exploration*, 2016, 44(1): 107-111.]
- [28] 朱剑兵, 赵培坤. 国外地震相划分技术研究新进展[J]. 勘探地球物理进展, 2009, 32(3): 167-171. [ZHU Jianbing, ZHAO Peikun. Advances in seismic facies classification technology abroad [J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2009, 32(3): 167-171.]
- [29] 姚伯初, 刘振湖. 南沙海域沉积盆地及油气资源分布[J]. 中国海上油气, 2006, 18(3): 150-160. [YAO Bochu, LIU Zhenhu. Sedimentary basins and petroleum resources in Nansha offshore area,

- South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2006, 18(3): 150-160.]
- [30] 李三忠, 索艳慧, 刘鑫, 等. 南海的基本构造特征与成因模型: 问题与进展及论争[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(6): 35-53. [LI Sanzhong, SUO Yanhui, LIU Xin, et al. Basic structural pattern and tectonic models of the South China Sea: problems, advances and controversies [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(6): 35-53.]
- [31] 张功成, 屈红军, 刘世翔, 等. 边缘海构造旋回控制南海深水区油气成藏[J]. 石油学报, 2015, 36(5): 533-545. [ZHANG Gongcheng, QU Hongjun, LIU Shixiang, et al. Tectonic cycle of marginal sea controlled the hydrocarbon accumulation in deep-water areas of South China Sea [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(5): 533-545.]
- [32] 鲁宝亮, 王璞珺, 梁建设, 等. 古南海构造属性及其与特提斯和古太平洋构造域的关系[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2014, 44(5): 1441-1450. [LU Baoliang, WANG Pujun, LIANG Jianshe, et al. Structural properties of Paleo-South China Sea and their relationship with the Tethys and the Paleo-Pacific Tectonic Domain [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2014, 44(5): 1441-1450.]
- [33] 林长松, 初凤友, 高金耀, 等. 论南海新生代的构造运动[J]. 海洋学报, 2007, 29(4): 87-97. [LIN Changsong, CHU Fengyou, GAO Jinyao, et al. On tectonic movement in the South China Sea during the Cenozoic [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(4): 87-97.]
- [34] 钱坤, 闫义, 黄奇瑜, 等. 南海扩张过程及海陆变迁沉积记录[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(8): 10-23. [QIAN Kun, YAN Yi, HUANG Qiyu, et al. Sea floor spreading of South China Sea and its depositional records of sea and land changes [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(8): 10-23.]
- [35] 金庆焕, 李唐根. 南沙海域区域地质构造[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 1-8. [JIN Qinghuan, LI Tanggen. Regional geologic tectonics of the Nansha sea area [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(1): 1-8.]
- [36] 姚永坚, 杨楚鹏, 李学杰, 等. 南海南部海域中新世(T_3 界面)构造变革界面地震反射特征及构造含义[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1274-1286. [YAO Yongjian, YANG Chupeng, LI Xuejie, et al. The seismic reflection characteristics and tectonic significance of the tectonic revolutionary surface of mid-Miocene (T_3 seismic interface) in the southern South China Sea [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2013, 56(4): 1274-1286.]
- [37] 张翀, 吴世敏, 丘学林. 南海南部海区前陆盆地形成与演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 61-70. [ZHANG Chong, WU Shimin, QIU Xuelin. Formation of foreland basins in the south of the South China Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(1): 61-70.]
- [38] 张厚和, 刘鹏, 廖宗宝, 等. 南沙海域主要盆地地质特征与油气分布[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(1): 62-70. [ZHANG Houhe, LIU Peng, LIAO Zongbao, et al. Geological characteristics and hydrocarbon distribution in major sedimentary basins in Nansha sea areas [J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(1): 62-70.]
- [39] 张强, 贺晓苏, 王彬, 等. 南海沉积盆地含油气系统分布特征及勘探潜力评价[J]. 中国海上油气, 2018, 30(1): 40-49. [ZHANG Qiang, HE Xiaosu, WANG Bin, et al. Petroleum system distributing characteristics and exploration potential assessment of sedimentary basins in South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(1): 40-49.]
- [40] 张功成, 李友川, 谢晓军, 等. 南海边缘海构造旋回控制深水区烃源岩有序分布[J]. 中国海上油气, 2016, 28(2): 23-36. [ZHANG Gongcheng, LI Youchuan, XIE Xiaojun, et al. Tectonic cycle of marginal sea controls the ordered distribution of source rocks of deep water areas in South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2016, 28(2): 23-36.]
- [41] 赵长煜, 宋海斌, 杨振武, 等. 南海南部边缘沉积盆地构造-热演化历史[J]. 地球物理学报, 2014, 57(5): 1543-1553. [ZHAO Changyu, SONG Haibin, YANG Zhenwu, et al. Tectonic and thermal evolution modeling for the marginal basins of the southern South China Sea [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2014, 57(5): 1543-1553.]
- [42] 施秋华, 万志峰, 夏斌. 婆罗洲地质构造特征及其对南海南部盆地的影响[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(1): 11-16. [SHI Qiuhua, WAN Zhifeng, XIA Bin. Geology of Borneo Block and its influence on basins of southern South China Sea [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29(1): 11-16.]
- [43] 周蒂, 孙珍, 杨少坤, 等. 南沙海区曾母盆地地层系统[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2011, 36(5): 789-797. [ZHOU Di, SUN Zhen, YANG Shaokun, et al. The stratigraphic system of the Zengmu Basin, Southern South China Sea [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2011, 36(5): 789-797.]
- [44] 孙珍, 赵中贤, 周蒂, 等. 南沙海域盆地的地层系统与沉积结构[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2011, 36(5): 798-806. [SUN Zhen, ZHAO Zhongxian, ZHOU Di, et al. The stratigraphy and the sequence architecture of the Basins in Nansha Region [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2011, 36(5): 798-806.]
- [45] N. A. 安蒂斯. 砂岩油气藏的地震勘探[M]. 石油工业出版社, 1987. [N. A. Anstey. Seismic exploration of sand body reservoirs[M]. Petroleum Industry, 1987.]
- [46] Hutchison C S. Marginal basin evolution: the southern South China Sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2004, 21(9): 1129-1148.
- [47] Madon M, Kim C L, Wong R. The structure and stratigraphy of deepwater Sarawak, Malaysia: implications for tectonic evolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 76: 312-333.