

澳大利亚北卡那封盆地晚三叠世 混合沉积特征

黄众, 胡孝林, 杨松岭, 张璐

(中海油研究总院)

摘要 在澳大利亚北卡那封盆地的东南部,上三叠统 Brigadier 组为三角洲砂泥岩,在西北部则发育纯碳酸盐岩。盆地东南部有明显的河流及碎屑物源供应的证据,靠近物源区为三角洲碎屑岩沉积,远离物源区为生物礁滩沉积及滑塌沉积,总体上具有明显的混积特征。Brigadier 组混合沉积形成的主要原因是碎屑物源输入的停止和水动力的减弱,碳酸盐岩沉积在早期河道砂泥岩之上,这属于典型的相混成因类型。

关键词 澳大利亚;北卡那封盆地;晚三叠世;Brigadier 组;混合沉积;沉积模式

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

1 概况

北卡那封盆地位于澳大利亚西北陆架的最南端,北东东向断裂控制着盆地的基本构造样式,分为“一隆两坳一斜坡”共四个一级构造单元(图1),北部有 Exmouth-Wombat 隆起、Beagle 坳陷,南部有 Exmouth-Barrow-Dampier 坳陷和 Peedamullah-Lambert 斜坡。北卡那封盆地的演化与冈瓦纳大陆的裂解密切相关,经历了晚二叠世—三叠纪克拉通内坳陷阶段、中生代裂陷阶段和新生代漂移阶段。三叠系在全盆地均有分布,最厚可达7 000 m,其中的中—晚三叠世海退三角洲沉积Mungaroo组(图2)为盆地主要储量的发现层系,目前已发现石油 $7.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,凝析油 $156.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气 $1627.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

前人研究主要针对盆地中—上三叠统Mungaroo组的碎屑岩储层,而对上三叠统Brigadier组的碳酸盐岩储层则一直被忽略。本文将重点关注Brigadier组碳酸盐岩的混合沉积特征,以期为开拓新的勘探领域提供基础依据。

已有研究证实澳大利亚西北陆架存在着混合沉

积。董朔朋等^[1]认为波拿巴盆地(位于澳大利亚西北陆架的最北端)中新统的底部发育一套12~52 m厚的硅质碎屑与碳酸盐的混合沉积,它们是由陆棚浅海台地生物滩、坝的碳酸盐和三角洲平原、前缘的硅质碎屑混合而成,在空间上相互交叉着占优势。该套中新世混合沉积主要受到构造运动和相对海平面变化的控制。渐新世末期,盆地发生区域构造抬升,古隆起遭受剥蚀,陆源碎屑进入台地,这是形成这套混合沉积的先决条件。

Williamson^[2]通过对北卡那封盆地Wombat隆起地震资料的解释,认为Wombat隆起上三叠统也具有碎屑岩和碳酸盐岩混合的特征;Ito等^[3]通过对北卡那封盆地Wombat隆起钻井岩性、岩心、薄片资料的研究,认为Wombat隆起在晚三叠世具有碎屑岩和碳酸盐岩沉积旋回纵向互层和横向混合的特征,该套沉积由河流相、三角洲相、局限台地相、台地边缘相等沉积相组成。

本文将从晚三叠世的沉积背景、混合沉积特征以及混合沉积成因等三方面,对北卡那封盆地的上三叠统Brigadier组沉积进行研究。

收稿日期: 2016-10-20; 改回日期: 2017-11-08

本文受国家科技重大专项“海外重点区勘探开发关键技术”(编号:2017ZX05032)资助

黄众: 1989年生,2013年毕业于中国地质大学(武汉)获硕士学位;工程师,主要从事层序地层学、盆地沉积学及储层预测等研究工作。通讯地址: 100028 北京市朝阳区太阳宫街6号海洋石油大厦A座; E-mail: huangzhong5@cnooc.com.cn

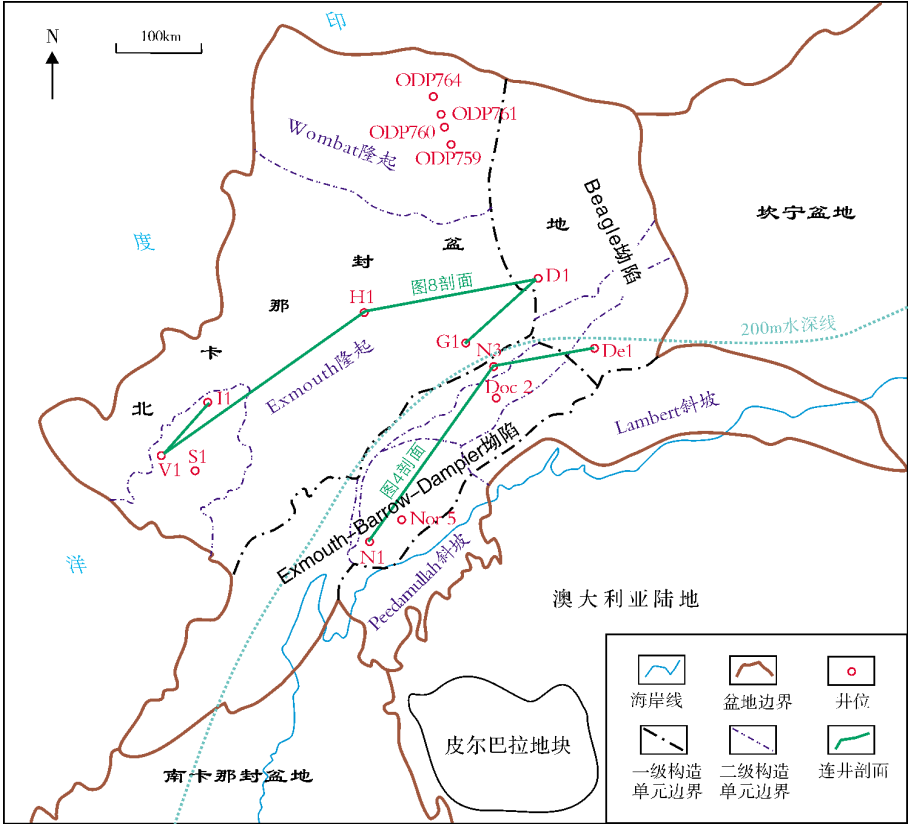


图 1 澳大利亚北卡那封盆地区域位置及构造单元

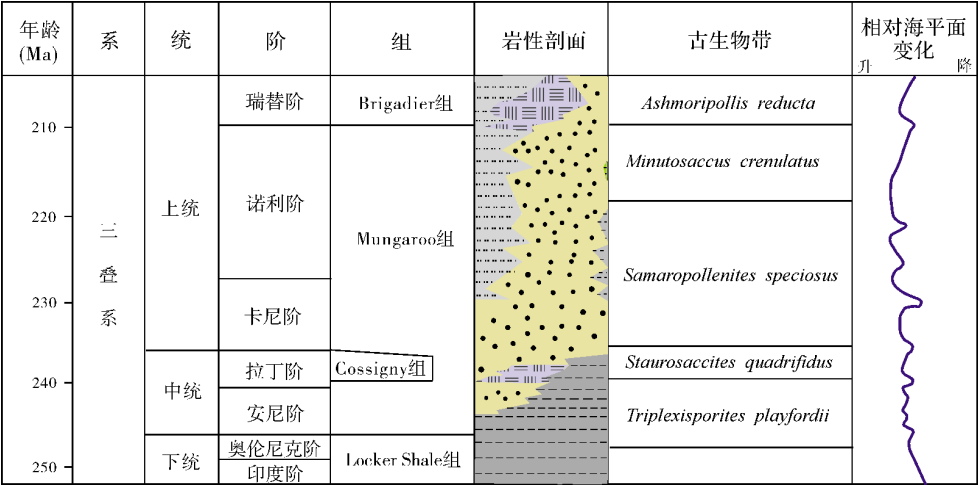


图 2 澳大利亚北卡那封盆地三叠系综合柱状图

2 三叠纪区域地质背景

2.1 区域沉积背景

Bradshaw等^[4]认为北卡那封盆地晚三叠世处

于克拉通拗陷阶段,盆地构造稳定,基底坡度小,东南部广泛发育三角洲沉积,西北部主要为开阔浅海以及生物礁沉积,由东南向西北总体上反映了岩性由碎屑岩逐渐转变为碳酸盐岩的混积特点(图3)。

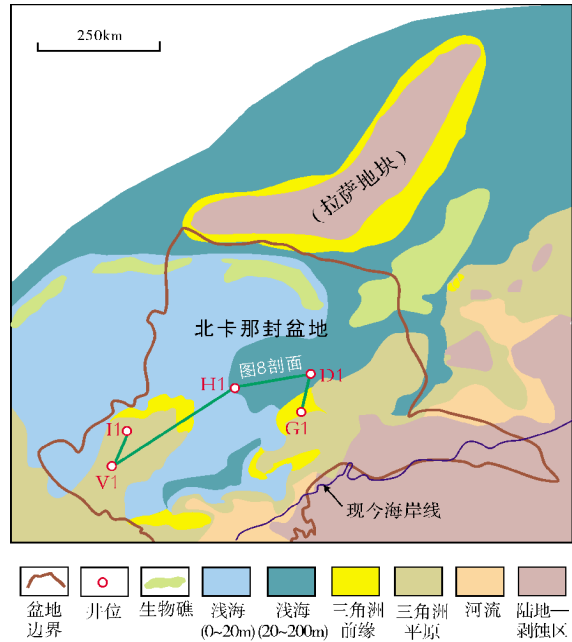


图3 北卡那封盆地及周缘晚三叠世古地理
(据文献[4])

2.2 区域气候条件

基于对全球分布的三叠系红层、蒸发岩及煤层的研究,Bradshaw等^[4]的模拟结果表明,三叠纪泛大陆存在强烈的季风循环,广泛存在着全年或季节性干旱,特提斯洋南部和北部的沿岸存在着夏季季风降雨,中纬度地区则存在着冬季降雨带。

Brigadier组沉积时期,北卡那封盆地处于典型的温带,气候温暖潮湿,海洋生物种类繁多,适宜各种造礁生物的生长和发育。由于晚三叠世海平面整体上升,海洋生物种属明显增多,以*Rhaetogonyaulax rhaetica*和*Dapcodinium priscum*生物带为主^[5],主要有苔藓虫、珊瑚、钙质骨针、有孔虫、水螅虫珊瑚等海洋生物^[6];从浮游生物含量的变化(图4)也反映了种属增多的特征;而孢粉的数量及种类则明显减少。同时Brigadier组沉积时期,地层中砂岩的厚度明显减小,并开始沉积碳酸盐岩,这也反映了Brigadier组沉积时期的整体海侵背景^[7]。

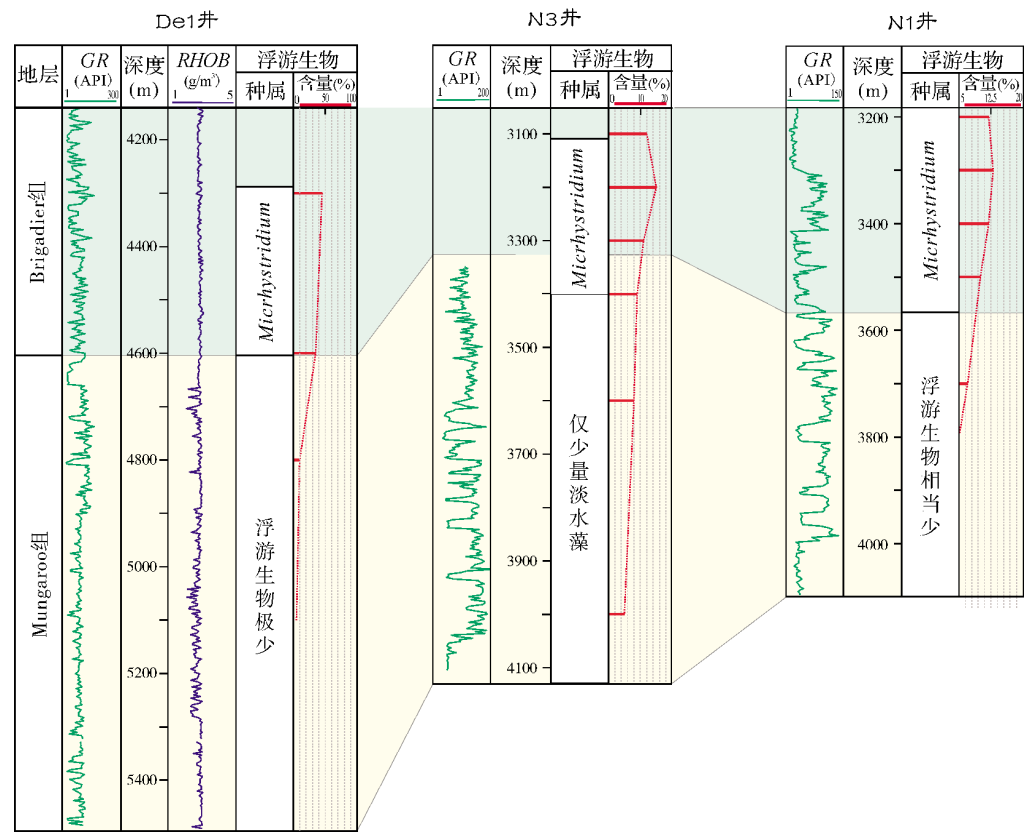


图4 北卡那封盆地晚三叠世地层浮游生物含量变化
井的位置参见图1

3 晚三叠世Brigadier组沉积特征

3.1 物源特征

晚三叠世Brigadier组沉积时期,盆地东南部有明显的河流及碎屑物源供应,Lewis等^[8]通过对9口钻井330个Brigadier组的碎屑岩样品进行了锆石定年物源分析,Brigadier组主要母岩为中元古代—新元古代,次要母岩还有太古代、古元古代、显生宙等三个时代(参见图5,研究区部分数据),这说明Brigadier组沉积时期澳大利亚大陆有四个物源区同时向西北陆架北卡那封盆地提供物源。Brigadier组的主要物源来自皮尔巴拉(Pilbara)地块(位置见图1)的Albany-Fraser造山带,以及伊尔岗(Yilgarn)地块(位于皮尔巴拉地块以南,西澳大利亚州的南部)的Musgrave Province造山带(其锆石年代与皮尔巴拉地块Albany-Fraser造山带的相近)^[8]。

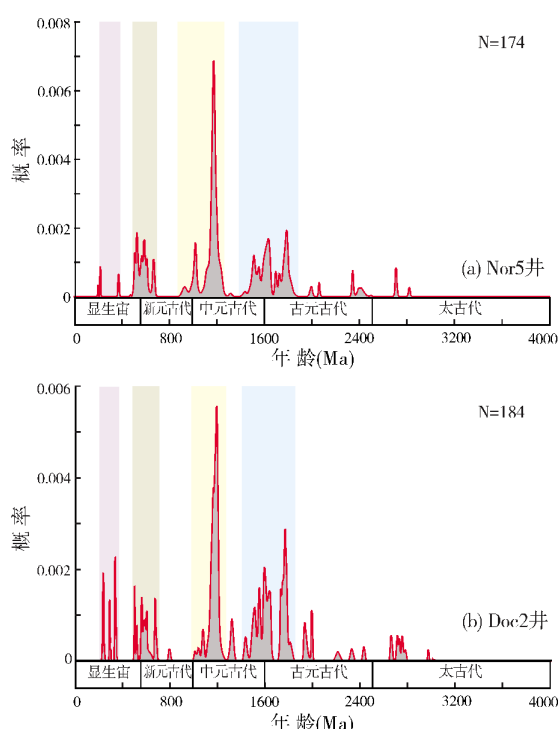


图5 北卡那封盆地 Brigadier 组碎屑岩样品锆石分析
(据文献^[8])
井的位置参见图1

3.2 Brigadier 组混合沉积特征

Brigadier 组碳酸盐岩的岩性主要为泥灰岩、颗

粒灰岩和生物骨架灰岩,属生物礁相、鲕粒滩相、开阔台地相和混积相;碎屑岩的岩性主要是灰色砂泥岩,属三角洲相。Brigadier 组岩性组合中普遍含有碳酸盐岩、碎屑岩组分(表1,图6);由图6可见,自下而上,泥岩与碳酸盐岩含量存在此消彼长的特点,并且上部石灰岩含量明显增加,也反映出碳酸盐岩沉积时期间歇性地受到碎屑物质的影响。

表1 北卡那封盆地 Brigadier 组钻井岩类含量统计

井名 *	深度段 (m)	泥岩 (%)	砂岩 (%)	颗粒灰岩 (%)	泥灰岩 (%)	颗粒灰岩/泥灰岩
V1	2725~2775	43	0	18	39	0.50
S1	3005~3100	0.56	5.8	10.56	83.08	0.13
I1	3300~3365	24.3	4.2	11.5	60	0.19

* 钻井位置参见图1

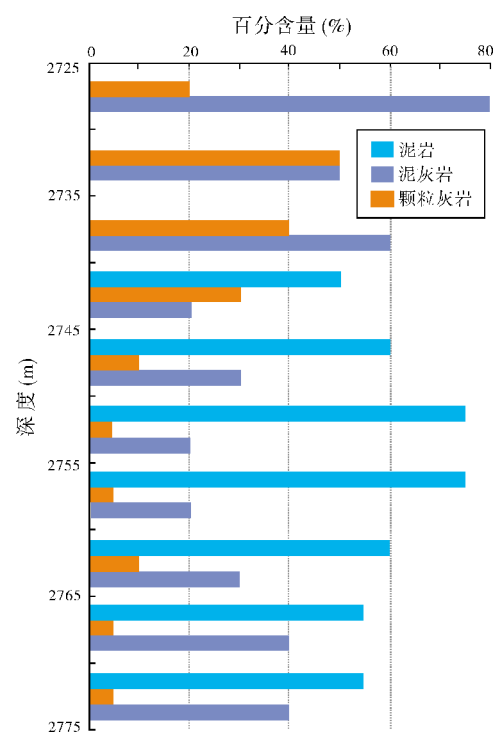


图6 北卡那封盆地 V1 井 Brigadier 组岩性含量统计

结合区域地质背景,盆地北部的Wombat隆起形成于晚二叠世,晚三叠世仍为大型水下凸起,利于发育大型生物礁滩沉积;另外,由于晚三叠世拉萨地块向北漂移与澳洲板块裂开(图3),海水大量侵入,加之Wombat隆起远离三角洲沉积区,故而有利于生物礁滩的发育。Wombat隆起上的ODP钻井(图3)和Exmouth隆起西南部的V1井和S1井均钻遇

了开阔台地生物礁、鲕粒滩等碳酸盐沉积。

Wombat隆起上的ODP761井、ODP764井^[9-10]的Brigadier组,揭示了大段滨浅海相石灰岩和礁灰岩。ODP761井Brigadier组主要发育外陆棚生物滩和碎屑滩,岩性以颗粒灰岩为主(图7a1,7a2),为典型开

阔台地沉积;而ODP764井主要沉积骨架灰岩、颗粒灰岩及少量泥灰岩,为典型的生物礁沉积,含珊瑚、苔藓虫、双壳软体伟齿蛤等多种造礁生物(图7a3—7a6),同时在岩心照片中可见滑塌形成的灰岩变形及挠曲(图7b),推断其沉积环境为礁前斜坡。

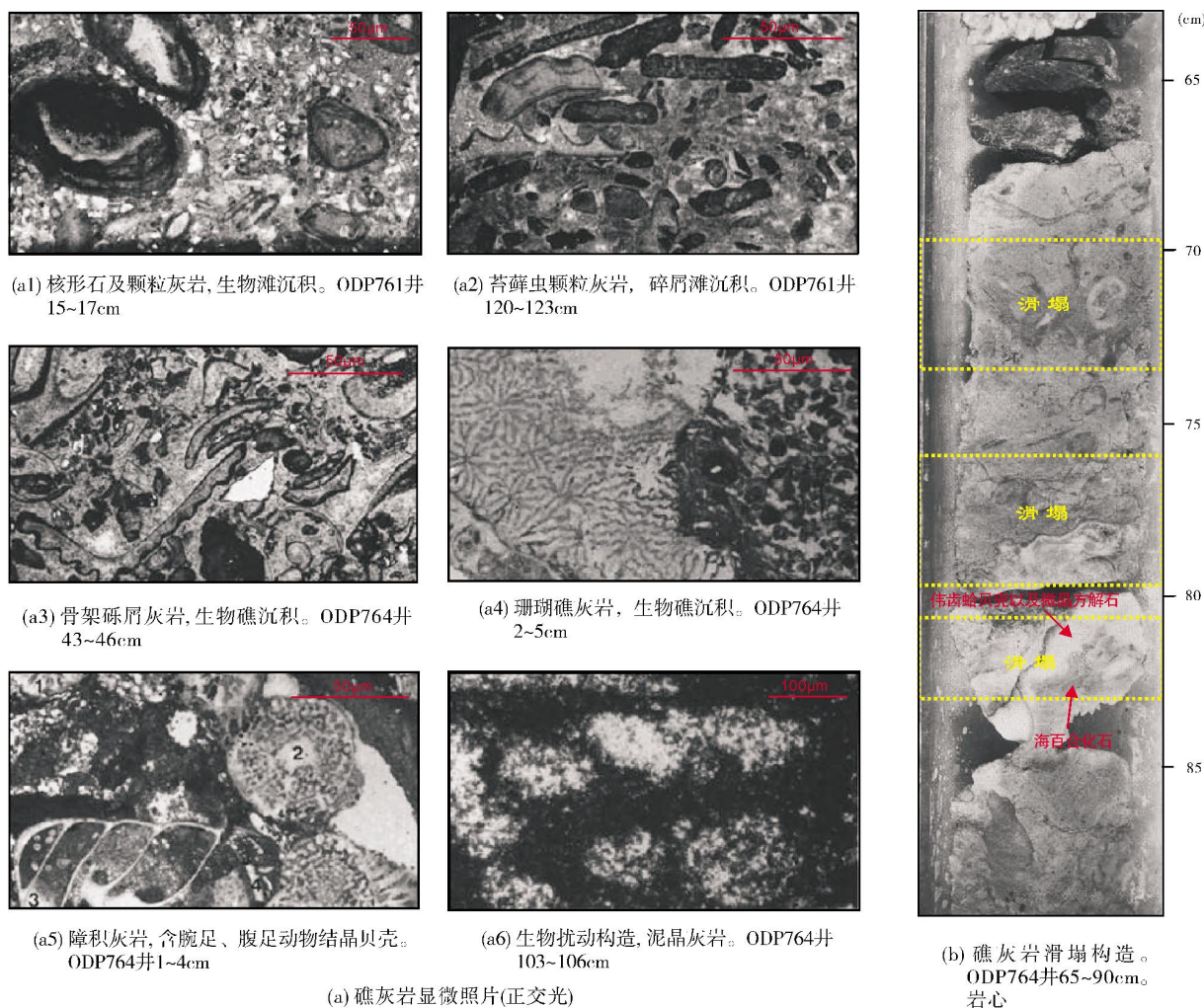


图7 北卡那封盆地Wombat隆起Brigadier组生物礁沉积特征(据文献[11])

整体而言,盆地的Brigadier组岩性,东南部为三角洲砂泥岩,西北部为纯碳酸盐岩,整体呈现从东南向西北、由物源区到盆地区岩性由碎屑岩变为碳酸盐岩的趋势(图3,图8),由陆到海,砂岩厚度由大变小,砂岩含量逐渐减少,碳酸盐岩含量逐渐增加,在盆地内部则沉积纯碳酸盐岩;纵向上地层岩性表现为碳酸盐岩与砂泥岩互层频繁,底部为厚层砂泥岩,向顶部过渡为较纯的碳酸盐岩(图8),反映出Brigadier组混积特征明显。

4 Brigadier组沉积模式及混积成因机制

根据上述分析,研究区Brigadier组发育三角洲—混积区—开阔台地—台地边缘—盆地等沉积相,可归为混积碳酸盐岩台地沉积模式(图9),东南部靠近物源方向发育三角洲碎屑岩沉积,在远离物源、向陆棚浅海过渡区开始发育一些碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积(混积区),并开始沉积开阔台地相纯碳酸盐岩,在Wombat隆起形成台地边缘大型生物礁滩复合体沉积。

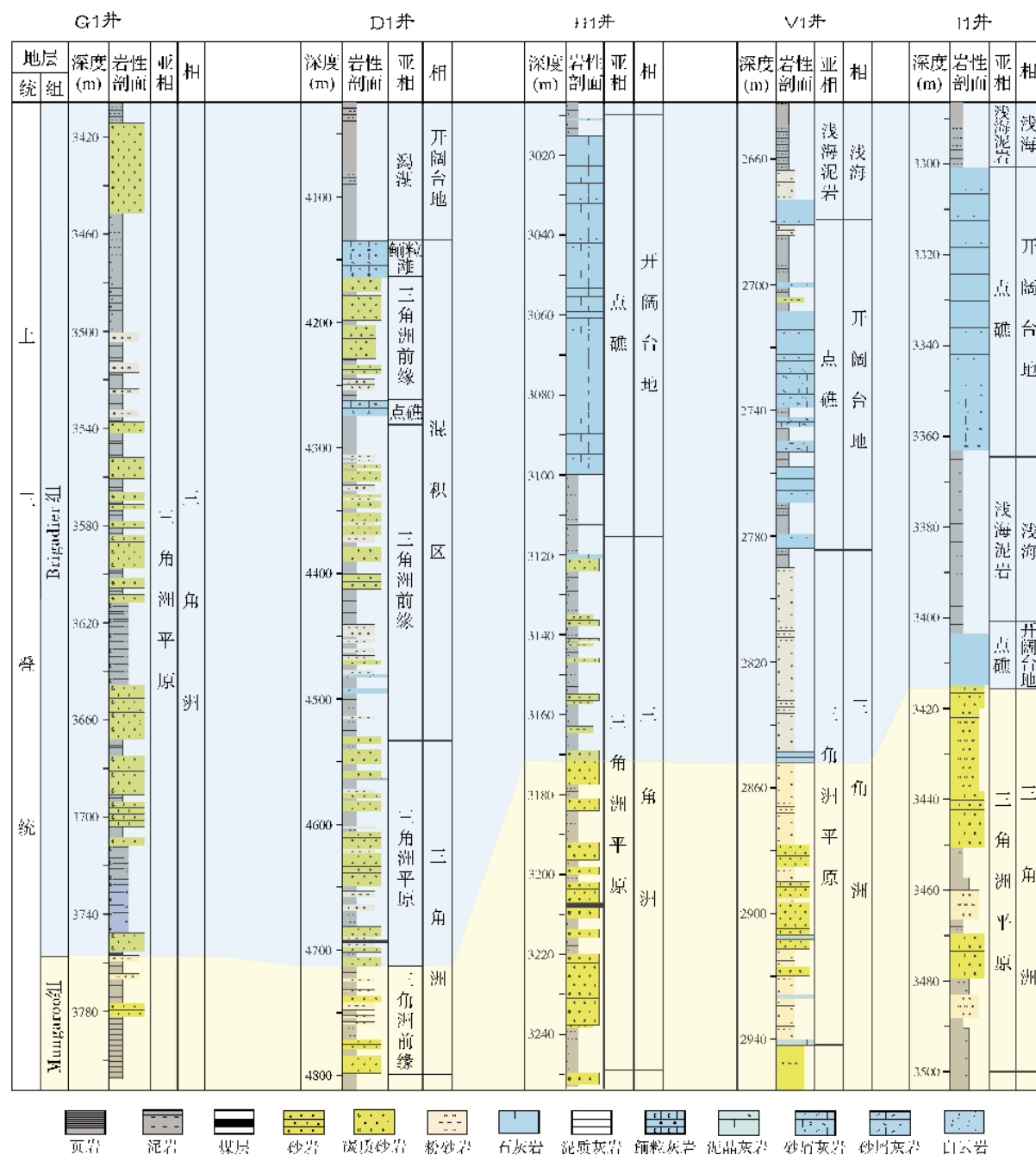


图8 北卡那封盆地上三叠统连井对比

钻井位置参见图1、图3

Mount^[12]曾以浅水陆棚环境中的狭义混合沉积为例,将混合沉积划分出4种成因类型:(1)间断混合(punctuated mixing),由高强度事件(如风暴等)形成,将本来分属不同沉积环境的沉积物混合;(2)相混合(facies mixing),沉积物沿不同相之间的扩散边界发生混合,相过渡带造成的碳酸盐岩与碎

屑岩互层也包括在内;(3)原地混合(in-situ mixing),碳酸盐组分由原地死亡的钙质生物所组成,堆积在碎屑岩基底之中或之上;(4)母源混合(source mixing),即由邻近的已石化的碳酸盐岩源区经侵蚀而提供碳酸盐岩碎屑,再与硅质碎屑混合。

混合沉积的发育主要受控于物源的供给及水

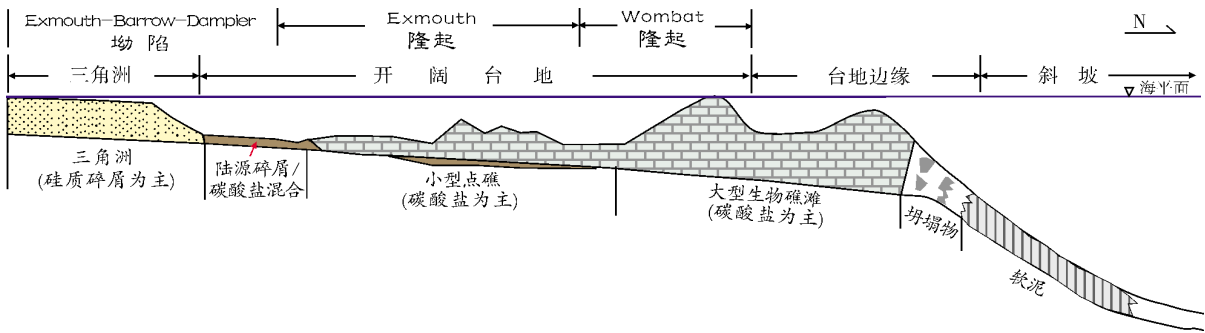


图9 北卡那封盆地Brigadier组沉积模式

动力条件。**Brigadier**组沉积时期,北卡那封盆地南部的皮尔巴拉地块和伊尔岗地块强烈隆升^[13],大量碎屑物质沿着Mungaroo三角洲输入盆地内部。河流入海不仅携带了大量碎屑物质,也带入了大量营养物质。当碎屑物质输入较强时,主水道方向不利于碳酸盐岩沉积,碳酸盐岩只能沉积在远离主水道的富营养物质地区(图10);而当碎屑物质输入减弱时,早期河道废弃,碳酸盐岩的发育环境得到改善,碳酸盐岩便开始沉积在早期河道沉积之上;也可能由于后期河流改道、碎屑物质输入的增强和三角洲发育,而导致早期沉积碳酸盐岩的地区失去碳酸盐岩沉积的有利环境,从而形成下部碳酸盐岩、上部砂泥岩的岩性序列。笔者认为**Brigadier**组混合沉积形成的主要原因是碎屑物源输入的停止和水动力的减弱,导致了碳酸盐岩沉积与砂泥岩沉积出现混合,这属于典型的相混合成因类型。

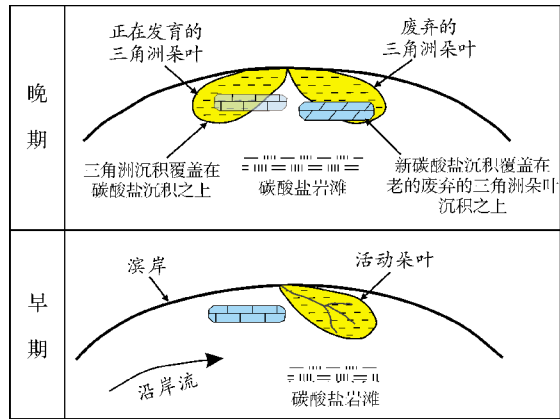


图10 北卡那封盆地Brigadier组混合沉积成因模式

5 结 论

(1)北卡那封盆地上三叠统Brigadier组具有明

显的混合沉积特征。岩性特征上,**Brigadier**组在盆地东南部发育三角洲砂泥岩,在盆地西北部发育纯碳酸盐岩,呈现从东南向西北岩性由碎屑岩变成碳酸盐岩的特征;物源特征上,**Brigadier**组沉积时期盆地东南部有明显的河流及碎屑物源供应的证据,靠近物源区为三角洲碎屑岩沉积,而远离物源区为生物礁滩沉积及滑塌沉积。

(2)**Brigadier**组混合沉积形成的主要原因是碎屑物源输入的停止和水动力的减弱,碳酸盐岩便开始沉积在早期河道砂泥岩之上,这种混合沉积属典型的相混合成因类型。

参 考 文 献

[1] 董朔朋,祝彦贺. 澳大利亚波拿巴盆地北部中新统硅质碎屑与碳酸盐混合沉积特征及控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(8): 41-47.

[2] Williamson P E. Seismic characteristics of a Late Triassic carbonate reefal platform on the Wombat Plateau, Australia[G]// von Rad U, Haq B U, et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 122, 1992: 23-37.

[3] Ito M, O'Connell S, Stefani A, et al. Fluvio-deltaic successions at the Wombat Plateau: Upper Triassic siliciclastic-carbonate cycles[G]// von Rad U, Haq B U, et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 122, 1992: 109-125.

[4] Bradshaw J, Sayers J, Bradshaw M, et al. Palaeogeography and its impact on the petroleum systems of the North West Shelf, Australia[C]// The sedimentary basins of Western Australia 2: Proceedings of the Petroleum Exploration Society of Australia Symposium. Perth WA: 1998: 95-121.

[5] 白国平,殷进根. 澳大利亚北卡那封盆地油气地质特征及勘探潜力分析[J]. 石油实验地质, 2013, 29(3): 254-258.

[6] 刘聪. 澳大利亚北卡那封盆地地层序地层特征及对海平面变化的响应[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011: 12-85.

- [7] 张建球, 钱桂华, 郭念发. 澳大利亚大型沉积盆地与油气成藏[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [8] Lewis C J, Worsley T R. Causes and consequences of extreme Permo-Triassic warming to globally equable climate and relation to the Permo-Triassic extinction and recovery[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, 203(8): 207-237.
- [9] Thomas G, Hugo B, Arnaud B, et al. Late Early Triassic climate change: Insights from carbonate carbon isotopes, sedimentary evolution and ammonoid paleobiogeography[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 243(4): 394-411.
- [10] Ursula R, Thierry D, Ulrich V R, et al. Upper Triassic Tethyan carbonates off Northwest Australia(Wombat Plateau, ODP Leg 122)[J]. *Facies*, 1991, 25(3): 211-252.
- [11] Kaiko A R, Tait A M. Post-rift tectonic subsidence and palaeo-water depths in the Northern Carnarvon Basin, Western Australia: Implications for modelling hydrocarbon generation and migration[J]. *The Australian Petroleum Production and Exploration Association Journal*, 2001, 41(1): 367-380.
- [12] Mount J F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments[J]. *Geology*, 1984, 12(7): 432-435.
- [13] Gartrell A P. Rheological controls on extensional styles and the structural evolution of the Northern Carnarvon Basin, North West Shelf, Australia[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2000, 47(2): 231-244.

编辑: 董庸

Mixed Carbonate-Siliciclastic Sedimentation of Upper Triassic in Northern Carnarvon Basin, Australia

Huang Zhong, Hu Xiaolin, Yang Songling, Zhang Lu

Abstract: In Upper Triassic Brigadier Formation, there developed delta sandstone and mudstone in the southeast of Northern Carnarvon Basin, whereas developed carbonate rock in the northwest of the basin. According to some proofs of source input in the southeastern part of the basin, there developed siliciclastic sediments of delta facies near the provenance, and developed reef-shoal sediments and slump sediments away from the provenance. It is suggested that the mixed sedimentation in the Brigadier Formation is a typical facies mixing with carbonate rocks on the early fluvial sandstones, mainly due to the cessation of debris input and the reduction of hydrodynamic forces.

Key words: Late Triassic; Brigadier Formation; Mixed carbonate-siliciclastic sediments; Sedimentary model; Northern Carnarvon Basin; Australia

Huang Zhong: MSc, Petroleum Geology Engineer. Add: CNOOC Research Institute, 6 Taiyanggong Nan Jie, Beijing 100028, China