

DOI:10.3724/SP.J.1140.2010.02103

北波拿巴盆地构造演化与层序地层学

龚承林^{1,2}, 王英民^{1,2}, 崔刚³, 郎淑敏⁴, 官宝聪⁵, 周兴海⁶

(1 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;
3 华北油田采油一厂, 任丘 062452; 4 华北油田采油三厂, 河间 062450; 5 厦门大学 海洋与环境学院,
近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门 361005; 6 中国石油化工股份有限公司 上海海洋油气分公司研究院, 上海 200120)

摘要:北波拿巴盆地油气资源十分丰富, 是具有重要价值的战略远景区, 其构造演化模式和层序地层学发育样式具有一定的特殊性。通过对北波拿巴盆地的地震资料、钻、测井资料和岩心资料的综合研究, 分析北波拿巴盆地的构造演化模式和层序地层学发育样式, 提出了陆裾转换不整合和俯冲碰撞不整合的划分依据和识别标志。

关键词:构造演化; 层序地层学; 陆裾转换不整合; 俯冲碰撞不整合; 北波拿巴盆地

中图分类号: P736.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0256-1492(2010)02-0103-07

北波拿巴盆地位于澳大利亚西北陆棚, 为一被动大陆边缘盆地, 预计盆地最终原油可采储量为 2.2×10^8 t, 天然气 $9\,490 \times 10^8$ m³[1], 是具有重要战略价值的远景区(图1)。但与典型的大西洋型被动大陆边缘盆地(如 Campos 盆地、尼日尔三角洲盆地和 Conger 盆地等)相比[2], 北波拿巴盆地外侧为一系列的岛弧和海沟体系(如 Banda Arc 和 Timor Arc 等), 盆地的构造演化模式和层序地层学发育样式具有一定的特殊性。因此, 开展北波拿巴盆地的构造演化及层序地层学研究具有重要的理论意义和实践价值。

本文从北波拿巴盆地的典型区域地震大剖面及区域背景资料分析入手, 利用北波拿巴盆地的地震资料、钻测井资料和岩心资料等开展井—震结合的层序地层学研究。分析了北波拿巴盆地的构造演化模式和层序地层特征, 提出了陆裾转换不整合和俯冲碰撞不整合的划分依据和识别标志。

1 构造演化

北波拿巴盆地位于澳大利亚西北陆棚的帝汶海域, 覆盖了西澳大利亚金伯利地区以北的海上区域, 面积达 25×10^4 km², 在盆地形态上呈喇叭状向北帝汶海域张开[3-4]。北波拿巴盆地可进一步划分为 Malita 地堑、Calder 地堑、Sahul 向斜、Flamingo 向

斜、Sahul 台地、Flamingo 高地、Darwin 陆架等一系列古地理单元[5-6](图1)。

北波拿巴盆地经历了以下几个构造演化阶段:

(1) 古生代—石炭纪末大陆开裂阶段

在古生代, 澳大利亚西北陆棚属于冈瓦纳大陆的一部分。从石炭纪开始, 冈瓦纳大陆在澳大利亚板块处被拉伸、变薄, 使大陆开裂, 形成地堑, 这种开裂作用一直持续到石炭纪末, 从而形成了北波拿巴盆地的雏形[7-8]。

(2) 石炭纪末—Valanginian 晚期大陆裂谷阶段

在二叠纪初期, 特提斯洋和古地中海的大洋中脊开始活动, 使得 Cimmerian 地块破碎并向西南方漂移, 与此同时扩张的古地海洋壳向古中国大陆和欧亚板块之下俯冲。到晚侏罗世, Neotethy 大洋中脊分成两支, 一支残留在特提斯海(Tethys)的西南一侧, 一支向南漂移。在这一宏观的构造背景下澳大利亚板块西北部被拉伸、减薄, 先期形成的大陆地堑在平面上延伸很长, 纵向上切割很深, 形成大陆裂谷[9-10]。

(3) Valanginian 晚期—白垩纪末新生大陆边缘阶段

到 Valanginian 晚期大陆裂谷作用结束, 先期向南移的 Neotethy 大洋中脊在澳大利亚西北陆棚和 Argoland 残留陆块之间不断扩张, 从而使得北波拿巴盆地和外海连通起来, 在北波拿巴盆地扩张轴的轴部出现一个年轻的洋壳并不断下沉, 逐渐形成大陆架和大陆坡。这一阶段所形成的新生大陆边缘的陆架较窄, 与外海连通不畅, 海水局限, 大部分地区遭受剥蚀。

(4) 白垩纪末—渐新世末成熟大陆边缘阶段

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2009CB219407); 澳大利亚西北陆棚北波拿巴盆地 NT/P76 区块层序、沉积相研究项目

作者简介:龚承林(1983—), 男, 博士生, 从事深水油气勘探研究, E-mail: chenglingong@yahoo.com.cn

收稿日期: 2009-06-10; **改回日期:** 2009-09-25. 周立君编辑

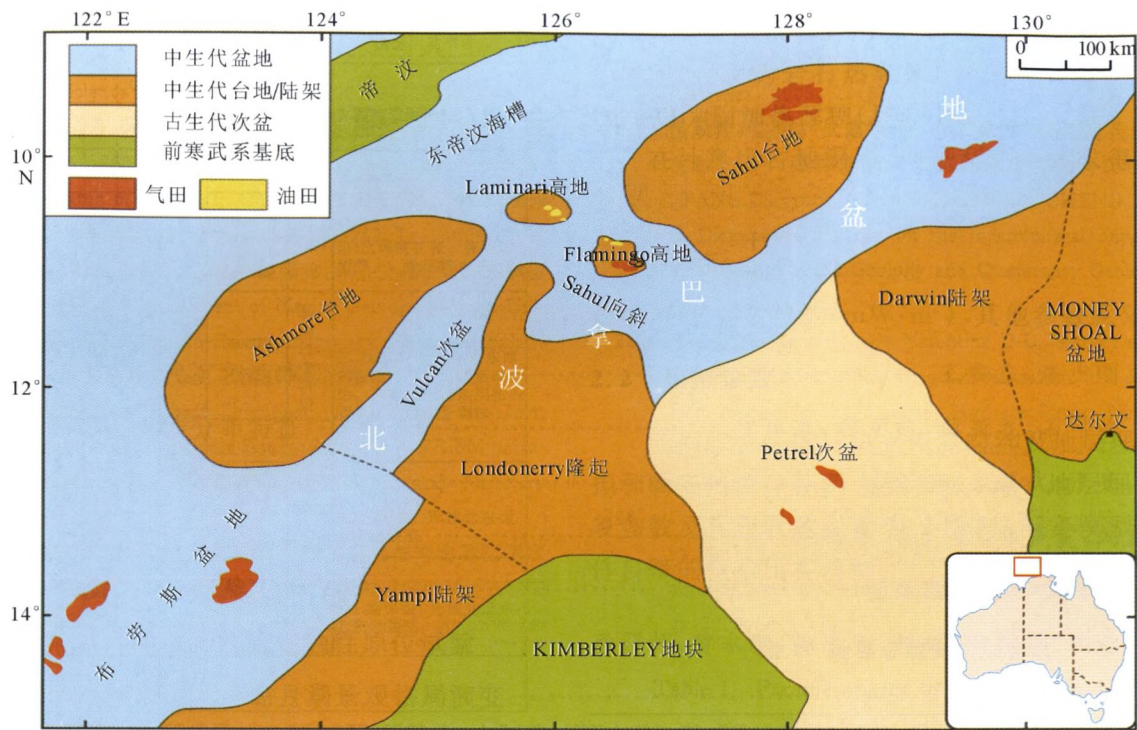


图1 北波拿巴盆地构造位置及区划

Fig. 1 Geotectonic location and tectonic division of North Bonaparte basin

从白垩纪末期开始,残留的 Neotethy 大洋中脊不断扩张驱动残留的 Argoland 陆块不断向东北方向移动。在这一过程中 Neotethy 大洋中脊逐渐消失,从而导致在澳大利亚西北陆棚洋壳的扩张、俯冲作用停止,形成稳定的被动大陆边缘,整个北波拿巴盆地进入成熟被动大陆边缘演化阶段。

在这一阶段,随着板块扩张、大陆漂移、大洋拓宽,在海底扩张的背景上,发生大规模沉积作用,在前期陆相沉积的基础上,发育一系列碎屑岩和碳酸盐岩进积楔状体,形成了稳定的陆架—陆坡—陆裾沉积。

(5) 渐新世末至今衰亡大陆边缘阶段

从渐新世末开始,由于“Neogene collision”以及澳大利亚板块、欧亚板块的 Sundaland 微板块、Caroline 海和菲律宾海洋壳以及太平洋板块的相互作用^[11],澳大利亚板块不断向欧亚板块俯冲,形成“北波拿巴盆地—帝汶岛—东印度尼西亚群岛”这一复杂的沟-弧体系。在这一阶段,沉积层遭受褶皱、逆掩和叠覆,被动大陆边缘开始向活动大陆边缘转化。

2 层序地层学

2.1 不整合面的发育特征

北波拿巴盆地经历了大陆开裂阶段、大陆裂谷阶段、新生大陆边缘阶段、成熟大陆边缘阶段和衰亡大陆边缘构造演化阶段,相应形成四大不整合,即开裂不整合、破裂不整合、陆裾转换不整合、俯冲碰撞不整合,在这4个不整合面上下,盆地充填特征、构造样式和沉积相类型都有显著的差别(图2)。

(1) 开裂不整合(石炭系底界面)的识别

在地震剖面上,开裂不整合面之下为一套无明显地震反射特征的无反射波组,开裂不整合为这套无反射波组(基底)的包络面^[12](图2);在沉积特征上表现为大套花岗岩的顶界面;在测井相上开裂不整合上下测井曲线的基值发生了明显的变化(图3)。

(2) 破裂不整合(Valanginian 顶界面)的识别

破裂不整合面在北波拿巴盆地是一个区际不整合面,它是石炭纪末—Valanginian 晚期大陆裂谷旋回结束,进入 Valanginian 晚期—白垩纪末新生被动大陆边缘旋回的重大构造转换面。在地震剖面上,破裂不整合是一个典型的区际削蚀不整合面^[13-15],在研究区内的 Malita 断陷的南缘因后期构造反转表现得最为强烈,具有较高角度的削蚀,而向北往 Sahul 台地则主要表现为缓慢的抬升削蚀。

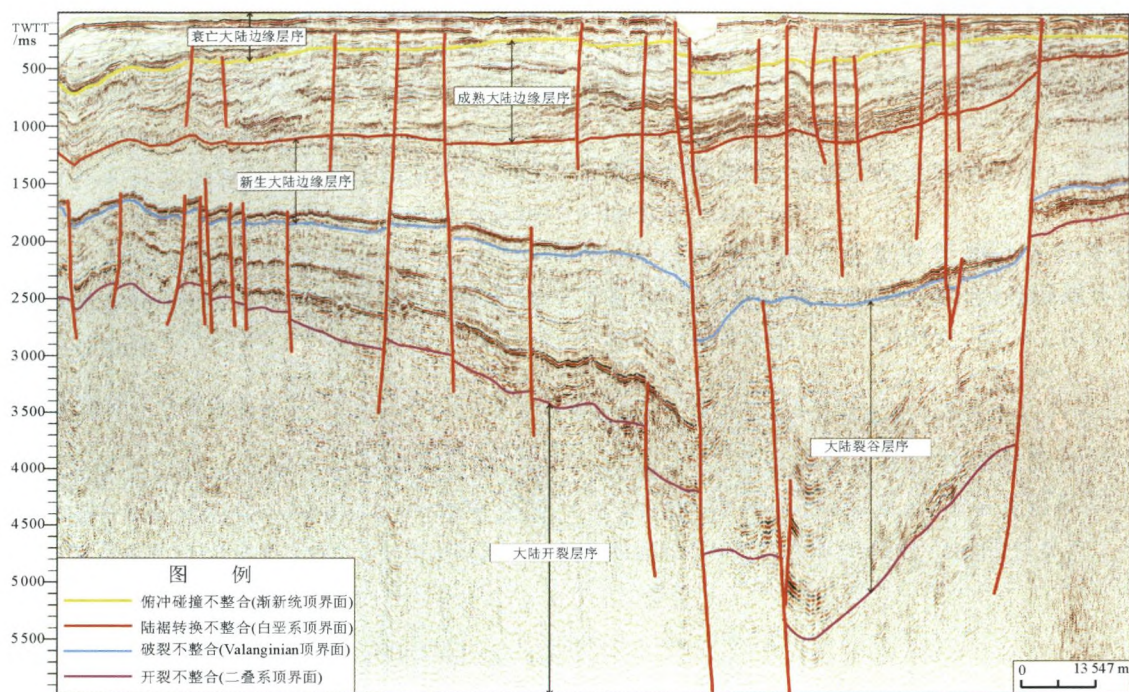


图 2 北波拿巴盆地不整合面及构造层序发育特征

Fig. 2 Unconformity and tectono-sequence characters of North Bonaparte basin

此外,其下的地层断层活动强烈,表现为断陷的沉积特征,而之上的地层断层活动明显减弱,表现为坳陷的沉积特征(图 2)。在测井相上,破裂不整合之上为相对高的 RD、CAL 值,相对低的 GR、DT 值,界面之下则相反。在岩相特征上,破裂不整合面在北波拿巴盆地大多数地区表现为数十米厚的台地碳酸盐岩的底界,而下部总体上为大套泥岩或泥夹薄层砂岩的特征,之间为明显的旋回转换面,界面上下岩相和沉积环境发生了突变(图 3)。

(3) 陆裾转换不整合(白垩系顶界面)的识别

陆裾转换不整合是北波拿巴盆地新生大陆边缘演化阶段和成熟大陆边缘演化阶段之间的分界面。在地震剖面上,陆裾转换不整合面是一个区际不整合面,其下的地层被削蚀,其上的地层向其逐层超覆(图 2)。在岩性上,陆裾转换不整合之上发育厚达数百米的灰岩,而界面之下发育滨、浅海砂岩、泥岩,界面上下沉积环境和沉积相发生了明显的变化。在沉积特征上,陆裾转换不整合之下只发育较窄的陆架—陆坡沉积,缺少陆裾沉积,而陆裾转换不整合之上发育稳定的陆架—陆坡—陆裾沉积(图 3),笔者将这一不整合面定义为陆裾转换不整合。

(4) 俯冲碰撞不整合(渐新统顶界面)的识别

从渐新世末开始,澳大利亚板块不断向欧亚板块俯冲,使得先期的沉积地层遭受褶皱、逆掩和叠

覆,被动大陆边缘开始向活动大陆边缘转化,形成了俯冲碰撞不整合。在地震剖面上,俯冲碰撞作用使得先期形成的断层重新活动,而且发育许多新的断层,断层较先期的地层更为发育,表现为断陷的沉积特征;而其下的地层主要为成熟大陆边缘阶段的坳陷沉积(图 2)。整体上,俯冲碰撞不整合为一重大的构造转换面,界面上下盆地性质、岩性、沉积相等特征也发生了重大转变,是一典型的区际不整合面(图 3)。

2.2 层序地层学

如前所述:北波拿巴盆地发育四大不整合:开裂不整合(石炭系底界面)、破裂不整合(Valanginian 顶界面)、陆裾转换不整合(白垩系顶界面)和俯冲碰撞不整合(渐新统顶界面);以这四大不整合面为界可将整个北波拿巴盆地划分为五大构造层序:古生代—石炭纪末大陆开裂层序、石炭纪末—Valanginian 晚期大陆裂谷层序、Valanginian 晚期—白垩纪末新生大陆边缘层序、白垩纪末—渐新世末成熟大陆边缘层序和渐新世末至今衰亡大陆边缘层序(图 2、图 3)。

(1) 古生代—石炭纪末大陆开裂层序

古生代—石炭纪末大陆开裂层序为北波拿巴盆地在大陆开裂阶段形成的,表现为北波拿巴盆地的

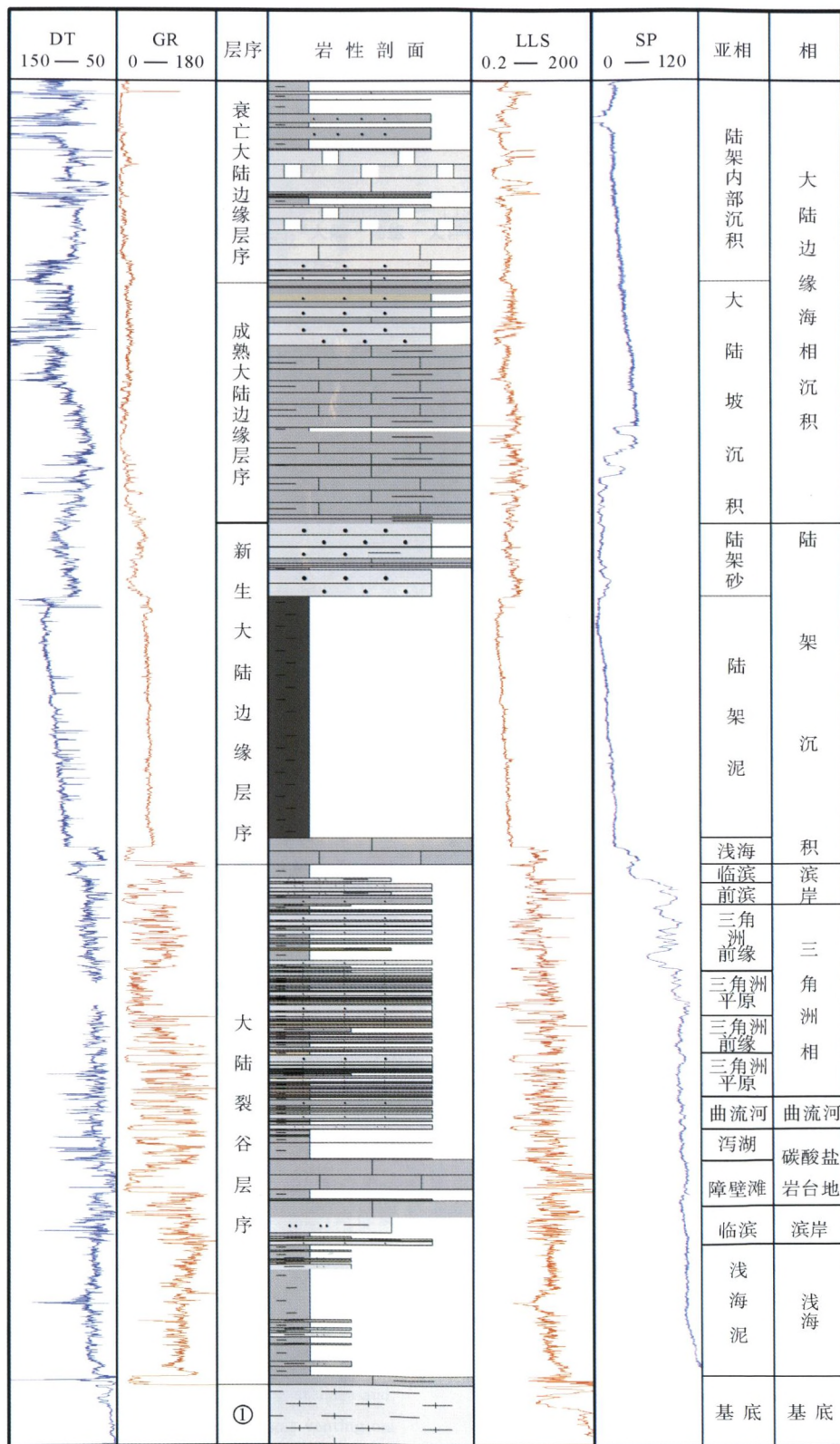


图3 北波拿巴盆地 Troubadour 1 层序-沉积综合分析图(①:大陆开裂层序)
 Fig. 3 Integrative sequence-sedimentary analysis of Troubadour 1, North Bonaparte basin

基底,以开裂不整合和上覆的石炭纪末—Valanginian 晚期大陆裂谷层序分割开来。大陆开裂层序表现为盆地的基底火山活动剧烈,岩性以火成岩和变

质岩为主,基本上不发生沉积作用(图2,图3)。

(2)石炭纪末—Valanginian 晚期大陆裂谷层序
 石炭纪末—Valanginian 晚期大陆裂谷层序为

北波拿巴盆地在大陆裂谷阶段形成的沉积层序,主要发育三叠系、侏罗系和 Flamingo 群 3 套地层。根据构造古地貌的差异,又可分为 P-T 裂谷层序和 J-Valanginian 裂谷层序,其中 J-Valanginian 裂谷层序油气成藏条件优越,是北波拿巴盆地油气勘探的主要目的层。P-T 裂谷层序主要发育粒度比较细的泥岩、泥质粉砂岩和灰岩,主要为一套海陆交互相沉积,在北波拿巴盆地靠海一侧主要发育浅海沉积^[16-17],而在北波拿巴盆地靠近达尔文陆架一侧主要发育三角洲相、河流相沉积。J-Valanginian 裂谷层序由先期的海陆交互相沉积过渡到陆相沉积,发育一个完整的海退沉积序列,岩性以河流相、三角洲相和湖泊的泥岩、砂岩和粉砂岩为主。整体上,大陆裂谷层序以陆相沉积为主,为一套陆相、断陷沉积层序(图 2、图 3 和图 4)。

(3) Valanginian 晚期—白垩纪末新生大陆边缘层序

Valanginian 晚期—白垩纪末新生大陆边缘层序为盆地在新生大陆边缘演化阶段形成的沉积层序,主要发育 Echuca Shoals 群、Danmin 群、Wangarlu 群和上白垩统地层^[18]。新生大陆边缘层序以过渡相为主,在靠近帝汶海的一侧以浅海大陆边缘

相沉积为主,发育陆架泥岩、陆架砂岩,浅水碳酸盐岩沉积;在靠近海岸一侧以过渡相沉积为主,发育滨岸平原或障壁岛沉积,和侏罗纪末—Valanginian 晚期形成的沉积地层构成一个海进沉积组合序列。整体上,新生大陆边缘层序以过渡相沉积为主,这些过渡相沉积物包括:海相页岩、浅水碳酸盐岩和蒸发岩,为一套过渡相的、断拗转换沉积层序(图 2、图 3 和图 4)。

(4) 白垩纪末—渐新世末成熟大陆边缘层序

白垩纪末—渐新世末成熟大陆边缘层序为盆地在成熟大陆边缘阶段形成的沉积层序。在白垩纪末—渐新世末期间北波拿巴盆地陆架区的水深相对较浅,发育厚达数百米的碳酸盐岩沉积,大部分陆架地区遭受侵蚀,在越靠近海岸的部分海岸侵蚀作用越强烈。与此同时原来与海岸线平行的海岸平原沉积向靠近洋盆的一侧迁移,形成稳定的大陆坡沉积和碳酸盐岩沉积。整体上,成熟大陆边缘层序为一套海相的、拗陷沉积层序(图 2、图 3 和图 4)。

(5) 渐新世末至今衰亡大陆边缘层序

到中新世,澳大利亚板块和欧亚板块发生俯冲、碰撞^[19],形成衰亡大陆边缘层序,主要发育新近系和第四系沉积地层。从中新世开始,北波拿巴盆地

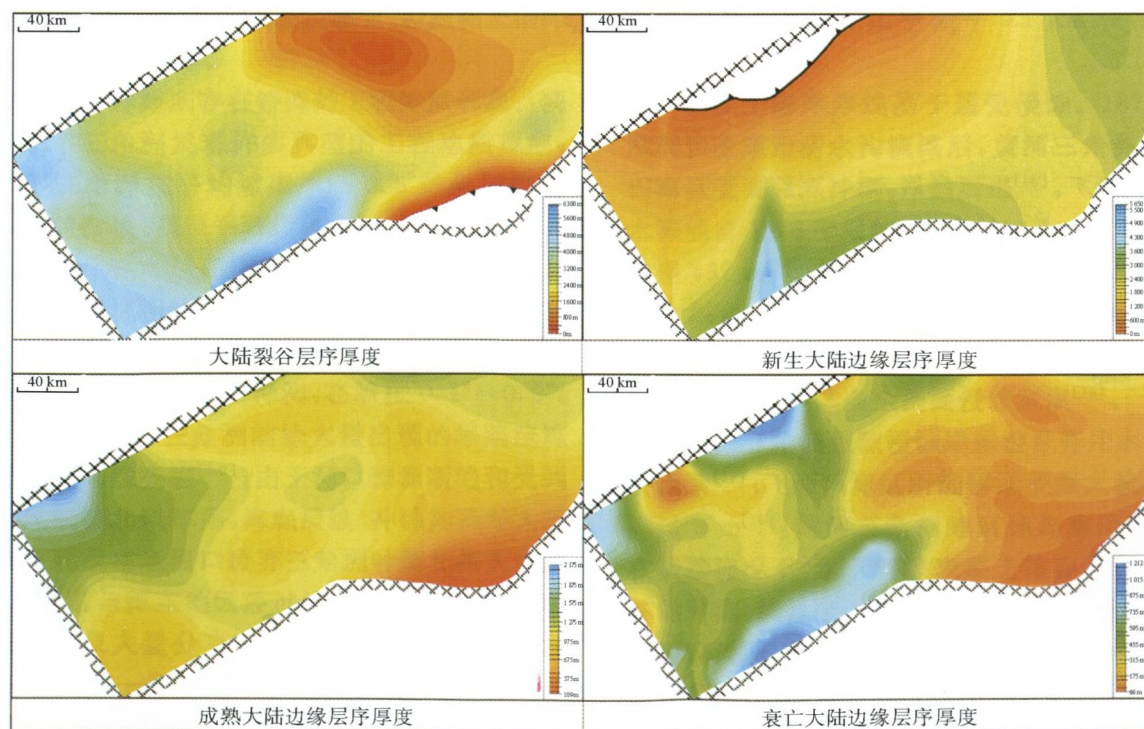


图 4 北波拿巴盆地各层序地层厚度

Fig. 4 Strata thicknesses of sequences of North Bonaparte basin

原来的陆架沉积区被海水所覆盖重新沉积陆架碳酸盐岩沉积物。从中新世末至全新世,在 Ashmore 和 Sahul 台地的边缘则发育了生物礁,陆架台地相碳酸盐岩沉积是这个时期主要的沉积建造。整体上,衰亡大陆边缘层序为一套海相的、断陷沉积层序(图 2、图 3 和图 4)。

3 结论

(1)北波拿巴盆地是典型的衰亡型被动大陆边缘深水盆地,经历了大陆开裂、大陆裂谷、新生大陆边缘、成熟大陆边缘和衰亡大陆边缘的构造演化过程,现今正处于衰亡阶段。

(2)北波拿巴盆地发育有四大不整合(开裂不整合、破裂不整合、陆裾转换不整合和俯冲碰撞不整合),相应地发育五大构造层(大陆开裂层序、大陆裂谷层序、新生大陆边缘层序、成熟大陆边缘层序和衰亡大陆边缘层序),经历非海相→过渡相→海相的沉积演化过程。

参考文献 (References)

- [1] 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,2007:152-189. [ZHANG Jianqiu, QIAN Guihua, GUO Nianfa. Giant Sedimentary Basin of Australian and Its Petroleum Accumulation [M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2007:152-189.]
- [2] Paul Weimer, Roger M Slatt. Introduction to the Petroleum Geology of Deep-water Settings [M]. AAPG Memoir,2007.
- [3] Ellis G. Hydrocarbon entrapment in Triassic to Late Jurassic reservoirs in the Timor Sea, Australia; new insights[J]. APPEA Journal,2007,47(1):39-53.
- [4] Haggas S, Marshall E, Rheinberg P, et al. Offshore exploration and development of the Browse and Bonaparte Basins; a review [J]. APPEA Journal, 2006,46(1):666-667.
- [5] McIntyre C L, Stickland P J. Sequence stratigraphy and hydrocarbon prospectivity of the Campanian to Eocene succession, northern Bonaparte Basin, Australia [J]. APPEA Journal, 1998,38(1):313-338.
- [6] Maher J. Tour of the 2007 release of offshore petroleum exploration areas [J]. APPEA Journal,2007,47(2):603-613.
- [7] Mat Harrowfield, Guy R Holdgate, Christopher J L Wilson, et al. Tectonic significance of the Lambert graben, East Antarctica; Reconstructing the Gondwanan rift [J]. Geology, 2005, 33:197-200.
- [8] Jacqueline A Halpin, Anthony J Crawford, Nicholas G Dieren, et al. Naturaliste Plateau, offshore Western Australia; A submarine window into Gondwana assembly and break [J]. Geology,2008,36:807-810.
- [9] Eyles N, Mory A J, Backhouse J. Carboniferous-Permian playnostratigraphy of west Australian marine rift basins; resolving tectonic and eustatic controls during Gondwanan glaciations [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,2002,184:305-319.
- [10] Foster C B, Logan G A, Summons R E, et al. Carbon isotopes, kerogen types and the Permian-Triassic boundary in Australia; implications for exploration[J]. APPEA Journal,1997,37(1):472-489.
- [11] Peter W Baillie, Tom H Fraser, Robert Hall, et al. Geological development of eastern Indonesia and the northern Australia collision zone; A review[R]. 2003.
- [12] Flavey D S. The development of continental margins in plate tectonic theory [J]. Australian Petroleum Exploration Associate Journal,1974:95-86.
- [13] 庞雄,陈长民,彭大均,等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京:科学出版社,2007:316-342. [PANG Xiong, CHEN Changmin, PENG Dajun, et al. The Pearl Rive Deep-water Fan System and Petroleum in South China Sea [M]. Beijing: Science Press,2007:316-342.]
- [14] Edwards J D, Santogrossi P A. Divergent/Passive Margin Basin [M]. AAPG Memoir 48,1989.
- [15] Flavey D S. The development of continental margins in plate tectonic theory [J]. Australian Petroleum Exploration Associate Journal,1974:86-95.
- [16] Tim R Charlton. The petroleum potential of inversion anticlines in the Banda Arc [J]. AAPG Bulletin,2004,88(5):565-585.
- [17] Mamet B L, Belford D J. Carboniferous foraminifera, Bonaparte Gulf Basin, northwest Australia[J]. Micropaleontology, 1968,14(3):339-347.
- [18] George S C, Lisk M, Eadington P J. Fluid inclusion evidence for an early, marine-sourced oil charge prior to gas-condensate migration, Byu-1, Timor Sea, Australia[J]. Marine and Petroleum Geology, 2004,21:1107-1128.
- [19] Li Z X, Powell C McA. An outline of the palaeogeographic evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic [J]. Earth-Science Reviews, 2001, 53:237-277.

TECTONIC EVOLUTION AND SEQUENCE STRATIGRAPHY OF PASSIVE CONTINENTAL MARGIN DEEP-WATER BASIN (NORTH BONAPARTE BASIN)

GONG Chenglin^{1, 2}, WANG Yingmin^{1, 2}, CUI Gang³, LANG Shumin⁴,
GUAN Baocong⁵, ZHOU Xinghai⁶

(1 School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2 State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3 No. 1 Oil Production Plant of SINOPEC North China Company, Renqiu 062452, China;

4 No. 3 Oil Production Plant of SINOPEC North China Company, Hejian 062450, China;

5 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, College of Oceanography

and Environmental Science of Xiamen University, Xiamen 361005, China;

6 Institute of Shanghai Offshore Oil & Gas Company, SINOPEC, Shanghai 200120, China)

Abstract: North Bonaparte basin is rich in oil and gas resources, and also is an important area of strategy, and its tectonic evolution pattern and stratigraphy sequences are unique. Through the integrated researches of seismic data, core and log data, the tectonic evolution pattern and stratigraphy sequences have been analyzed, and identification characters of the continental rise transform unconformity and subduction and collision unconformity have been pointed out.

Key words: tectonic evolution; stratigraphy sequence; continental rise transform unconformity; subduction and collision unconformity; North Bonaparte basin