

南黄海盆地上二叠统一下三叠统 基准面旋回特征及沉积充填模式

张银国^{1,2,3}, 陈清华¹, 陈建文^{2,3}

(1 中国石油大学(华东))

(2 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室; 3 青岛海洋地质研究所)

摘要 采用高分辨率层序地层学理论与基准面旋回识别技术,根据区域构造旋回变化和海平面变化特征,将上二叠统一下三叠统作为1个长期基准面旋回。基于南黄海盆地钻井资料,以岩电组合旋回性特征及特殊岩性(煤层、白云岩、砂岩)为依据,将长期基准面旋回划分为5个中期基准面旋回(MC₁—MC₅)。连井对比分析表明,上二叠统一下三叠统主要发育三角洲相、潮坪相、台地相和陆棚相,水体西北深、东南浅。依据基准面旋回变化和沉积环境变迁,上二叠统一下三叠统发育两种基准面旋回充填模式,即上二叠统龙潭组相对稳定的潮坪相和上二叠统大隆组一下三叠统青龙组快速海侵陆棚相至稳定的台地相,这些模式可为南黄海盆地中生界油气地质评价提供基础依据。

关键词 南黄海盆地; 上二叠统; 下三叠统; 沉积相; 层序基准面; 沉积模式

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 概况

海相中生界是南黄海盆地重要的勘探领域^[14]。目前盆地勘探程度还较低,地震资料主要覆盖了北部拗陷、中部隆起、南部拗陷和勿南沙隆起等构造单元(图1),总体上网密度约8 km×16 km。钻井主要揭示了二叠系和下三叠统青龙组,缺失中、上三叠统,根据钻井和地震解释,二叠系和下三叠统平面上主要分布于南部拗陷和勿南沙隆起,中部隆起和北部拗陷则大面积缺失。

针对南黄海盆地海相地层层序-沉积的研究,以往仅有上二叠统和下三叠统的地震层序划分及沉积特征的总体概述^[5-6],尚没有进行高分辨率层序地层学指导下的基准面沉积旋回及沉积充填模式分析。本文以前人的地震层序划分为基础,重点利用钻井资料,分析了上二叠统龙潭组一下三叠统青龙组的基准面旋回特征,探讨了相应的沉积充填模式,这可为油气勘探提供一定的基础依据。



图1 南黄海盆地构造区划示意图

2 P₂—T₁基准面旋回划分

层序地层学流派中,Exxon 层序理论是以不整

收稿日期: 2014-07-15; 改回日期: 2015-04-01

本文受全国油气资源战略选区调查与评价国家专项“南黄海前第三系油气前景研究”(编号:XQ-2005-01)及国家油气资源调查专项“海域油气资源普查”(编号:GZH200800503)等资助

张银国: 1973年生,博士研究生,现为青岛海洋地质研究所高级工程师,从事石油地质和层序地层研究。通讯地址: 266071 山东省青岛市福州南路62号青岛海洋地质研究所。E-mail: zygzhang@sohu.com

合面或与之可对比的整合面所进行的层序地层划分与对比^[7-8],它更适用于三级层序及以上层序划分;而Cross层序理论^[9-11]则强调利用基准面沉积旋回进行层序地层划分与对比,它在勘探的初期及勘探较成熟阶段都较为实用。地层基准面旋回是地球运动和地层基准面旋回过程的响应,它通过可容纳空间的大小控制着旋回的层序模式^[12-13],并且通过岩性、岩相组合及测井响应的变化表现出来。本文在前期地震层序划分的基础上,采用基准面旋回识别技术,对上二叠统龙潭组—下三叠统青龙组这套目的层进行了长期旋回和中期旋回的划分。

2.1 长期基准面旋回(LC₁)

根据区域地质研究成果,泥盆纪—三叠纪,下扬子地区(南黄海盆地及相邻陆区构成了下扬子地区的主体)海相地层经历了两次较大规模的海退和一次大规模的海侵^[14-16];早二叠世晚期,东吴运动发生,构造抬升并最终造成南黄海盆地普遍缺失下二叠统孤峰组,上二叠统龙潭组直接覆盖在下二叠统栖霞组顶部风化壳(海西风化壳)之上(图2)——钻进时在对应层位有明显的泥浆渗漏;晚二叠世大隆期发生了大规模海侵;中晚三叠世,印支运动的隆升作用造成南黄海盆地中上三叠统大面积缺失,并且下三叠统青龙组上部也遭受了一定剥蚀(图2),最终形成了印支风化壳。

南黄海盆地目前只有C1井和C2井(位置见图1)揭示了较全的二叠系和三叠系(图2),其中,勿南沙隆起上的C1井区,青龙组上部有地层缺失。根据区域构造旋回、海平面变化及其沉积响应特征,以大隆组顶面为最大海泛面,以栖霞组顶面海西风化壳和青龙组顶面印支风化壳为层序界面,将上二叠统—下三叠统(P₂—T₁)目的层作为1个长期基准面沉积旋回(LC₁)(图2);LC₁具有较强的非对称性,晚二叠世最大规模海侵之后进入了长期基准面的稳定下降半旋回。地震剖面上,各旋回界面能较好地标定和识别(图3);LC₁顶界面之下具有明显削截特征、界面之上具有明显上超特征,LC₁底界面见下超特征,可能反映了三角洲前积;钻井揭示最大海泛面(mfs₂)对应大隆组大套黑色泥岩与上覆青龙组薄层灰岩的岩相转换面(图2),界面上下地震反射特征存在差异——界面之下表现为低频连续—较连续反射,界面之上以弱反射为主(图3)。长期基准面沉积旋回中,龙潭

组岩性主要为砂泥岩夹煤层,地震响应为强振幅连续—较连续反射;大隆组岩性主要为泥岩夹薄层砂岩,地震响应为中振幅连续—较连续反射;青龙组主要为石灰岩夹薄层泥质岩,地震响应主要呈弱反射特征(图3)。

受幕式构造抬升和较大规模海侵—海退的影响,长期旋回LC₁中形成了多个中期旋回。这里,主要依据钻井层序界面和海泛面的岩性—电性组合特征,把LC₁自下而上进一步划分为5个中期旋回(MC₁—MC₅)(图2)。

2.2 中期基准面旋回(MC₁—MC₅)

MC₁中期旋回 该旋回在海西风化壳上发育了一套滨岸碎屑岩,主要为潮坪相、沼泽相沉积(图2)。旋回具有较好的对称性;基准面上升半旋回的岩电组合具有加积特征,基准面下降半旋回则反映了海退期较强的进积特点;海泛面mfs₁为加积与进积的转换面,测井响应上处于自然伽马曲线幅值开始降低的位置;旋回顶底多见电测曲线幅值突变(图2)。

MC₁基准面上升半旋回以潮坪、潟湖泥质沉积为主,局部发育三角洲砂体,岩性主要为深灰色—灰黑色泥岩、灰色粉砂岩、灰色细砂岩,局部夹黑色薄煤层。MC₁基准面下降半旋回岩性主要为灰色粉砂岩、灰色细砂岩,其次为深灰色—灰黑色泥岩,该半旋回下部以潮坪、潟湖泥质沉积为主,上部为潮坪和三角洲砂体沉积,砂体受潮汐作用改造的特征较为明显,煤层也较发育,具有海退时期的沼泽化沉积特点(图2)。

MC₂中期旋回 该旋回迎来了大隆期大规模的区域性海侵^[17],并且海侵速度较快。MC₂旋回具有明显的不对称性;以稳定的基准面下降半旋回为主,自然伽马曲线总体呈箱形,反映出稳定的加积特征;旋回顶界自然伽马曲线由箱形向钟形转变,反映出开始向海侵转化;海泛面mfs₂附近自然伽马曲线幅值表现为高值与低值的突变(图2)。

MC₂基准面上升半旋回以潮坪沉积为主,岩性主要为深灰色—灰黑色泥岩,其次为灰色粉砂岩、灰色细砂岩(图2)。MC₂下降半旋回以陆棚沉积为主,岩性为灰色和深灰色石灰岩与深灰色和黑色泥岩不等厚互层,夹薄层泥质灰岩,局部夹薄层粉砂岩(图2)。

MC₃中期旋回 MC₂之后再次发生了较大规

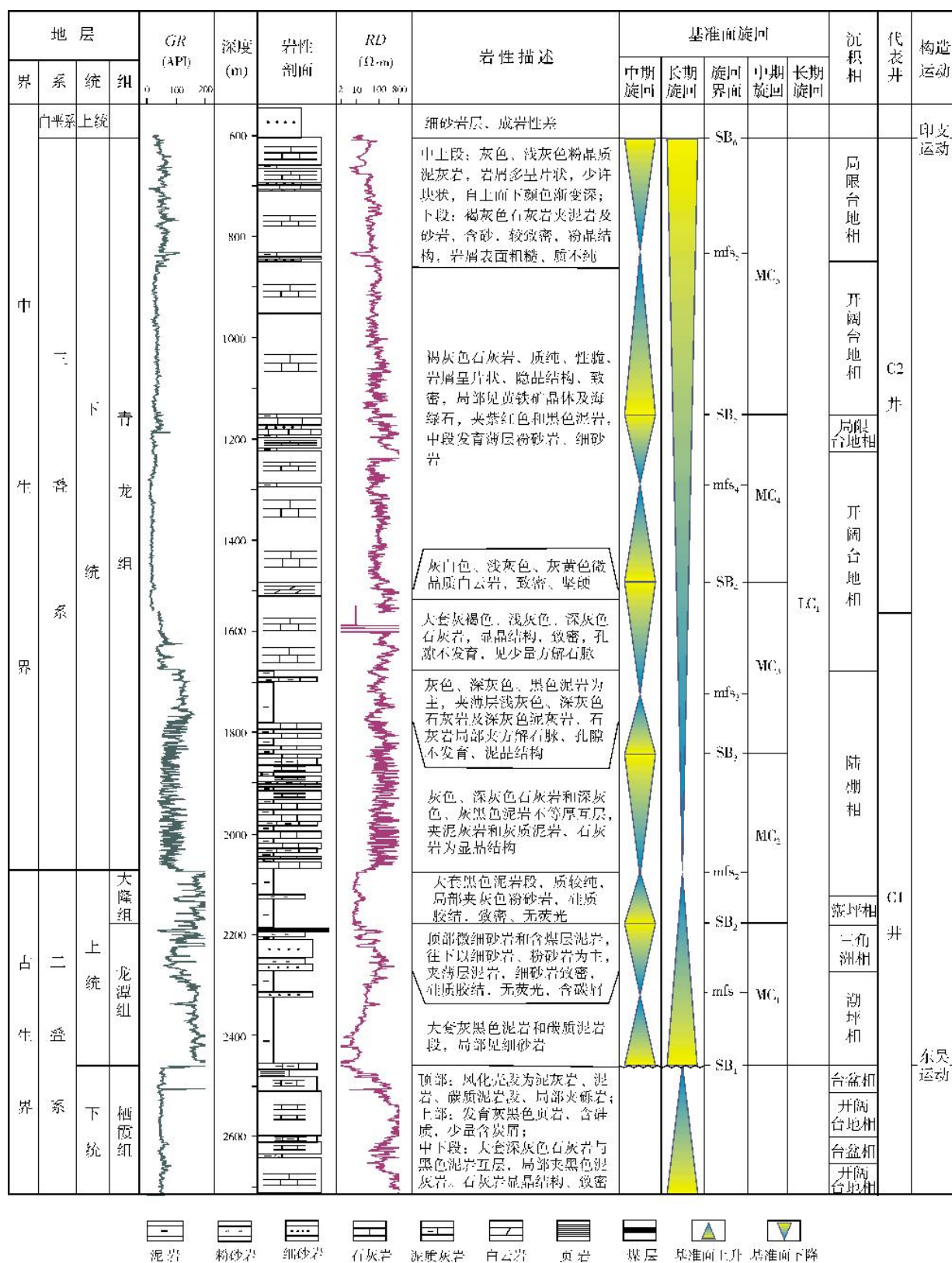


图2 南黄海盆地二叠系—三叠系基准面旋回综合柱状图

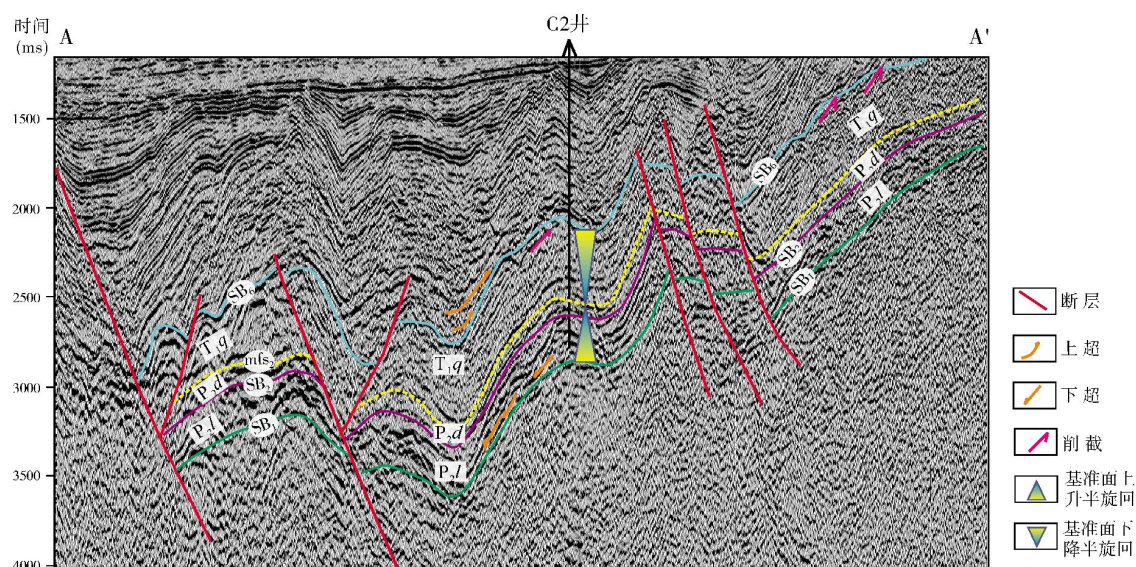


图3 南黄海盆地典型剖面地震层序特征

A—A'剖面位置见图1

P₂l 龙潭组, P₂d 大隆组, T₁q 青龙组; SB、mfs参见图2的旋回界面

模海侵。MC₃旋回具有一定的对称性,海泛面 mfs₃ 表现出凝缩段特征,即自然伽马为相对高值、电阻率为低值,海泛面之上具有明显的由退积向进积转化的岩电组合特征(图2)。

MC₃基准面上升半旋回与下降半旋回的沉积存在较大差异:上升半旋回以陆棚—开阔台地沉积为主,岩性主要为黑色泥岩、深灰色泥质灰岩、灰色石灰岩互层;下降半旋回以厚层灰色石灰岩沉积为主,其次为深灰色、黑色泥岩,局部夹薄层砂岩,并且在旋回的顶部见白云岩发育(C2井区),这是基准面下降末期的沉积特征。

MC₄中期旋回 MC₄中期旋回基准面上升期主要为开阔台地相碳酸盐岩沉积,海泛面 mfs₄ 附近对应泥岩沉积,基准面下降半旋回晚期石灰岩与砂泥岩多呈互层(图2),反映出海平面下降时受陆源碎屑沉积的影响较强。

MC₅中期旋回 MC₅中期旋回基准面上升期为开阔台地相厚层碳酸盐岩沉积,海泛面 mfs₅ 附近对应泥岩沉积,基准面下降期多为碳酸盐岩与砂岩、泥岩互层。

2.3 基准面旋回沉积特征对比

C1井与C2井的基准面旋回具有较好的对比性(图4),各旋回沉积相的空间变化有一定规律。

MC₁中期旋回:龙潭组以潮坪沉积为主,见三角洲砂体,这种砂体在C2井区更为发育,并且砂体上部的煤层也相对更发育,这反映出C2井更接近海岸。

MC₂中期旋回:大隆组以潮坪沉积为主;青龙组中下段,C1井区以陆棚沉积为主,向东北至C2井区则主要为开阔台地与局限台地相沉积为主。

MC₃—MC₄中期旋回:研究区总体为稳定的开阔台地沉积,C1井、C2井均揭示了厚层台地相石灰岩,C2井区在MC₄旋回上部局部发育了局限台地相。

3 基准面旋回沉积充填模式

本次研究以南黄海盆地相邻陆区的层序—岩相古地理成果^[17-21]为基础,根据对南黄海盆地基准面旋回及沉积特征的分析,建立了从南部坳陷至勿南沙隆起的P₂—T₁基准面旋回沉积充填模式(图5)。

3.1 龙潭组潮坪相

经历了东吴运动构造抬升之后,进入MC₁中期基准面旋回,龙潭组沉积早期开始发生海侵,沉积了一套滨岸碎屑岩,主要为潮坪相沉积;龙潭组沉积晚期发生大规模海退,沉积了一套煤系地层(图5a),这在C1井、C2井均有揭示(图4)。这套煤系地层可作为南黄海盆地二叠系—三叠系的烃源岩。龙潭组沉积

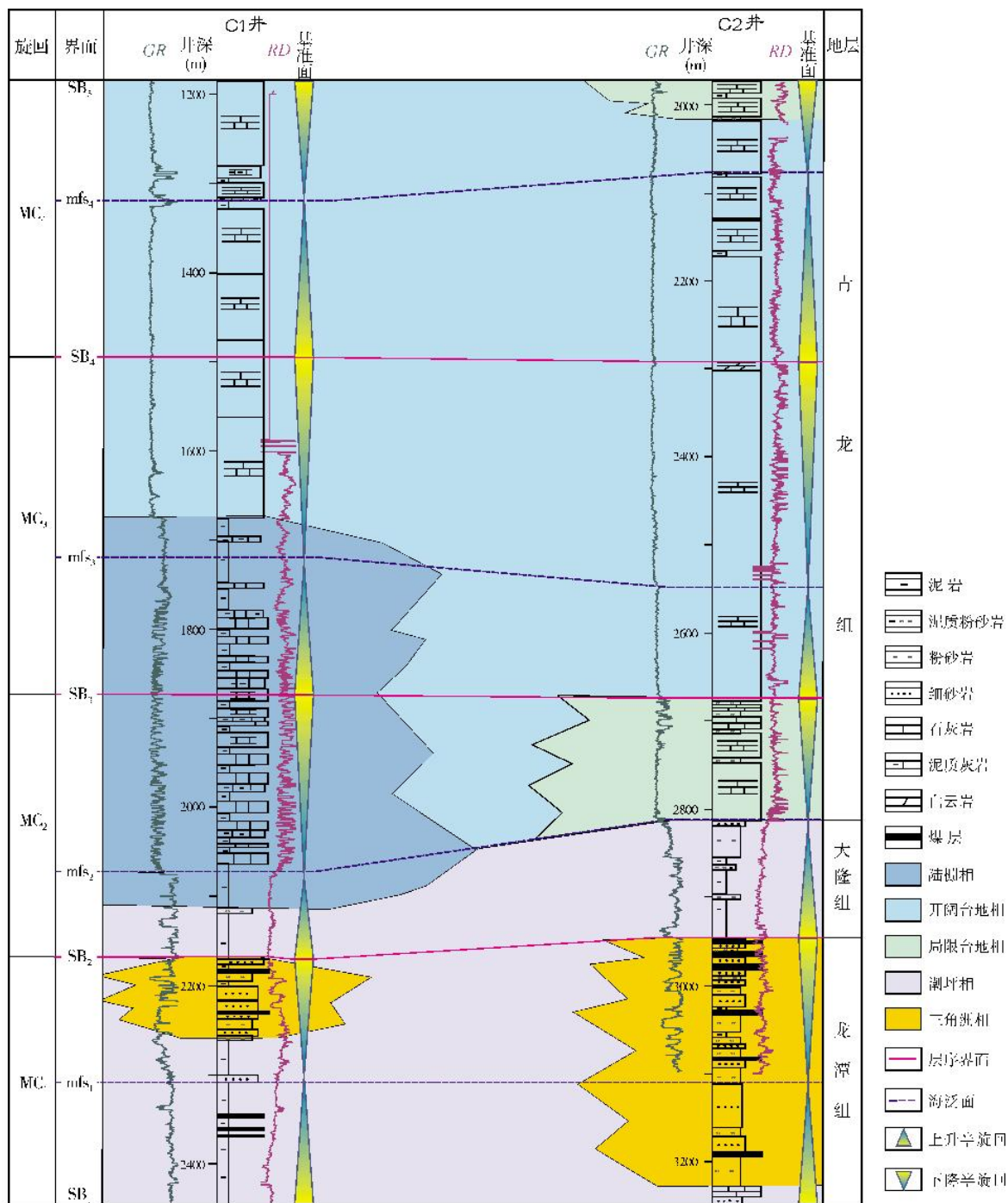


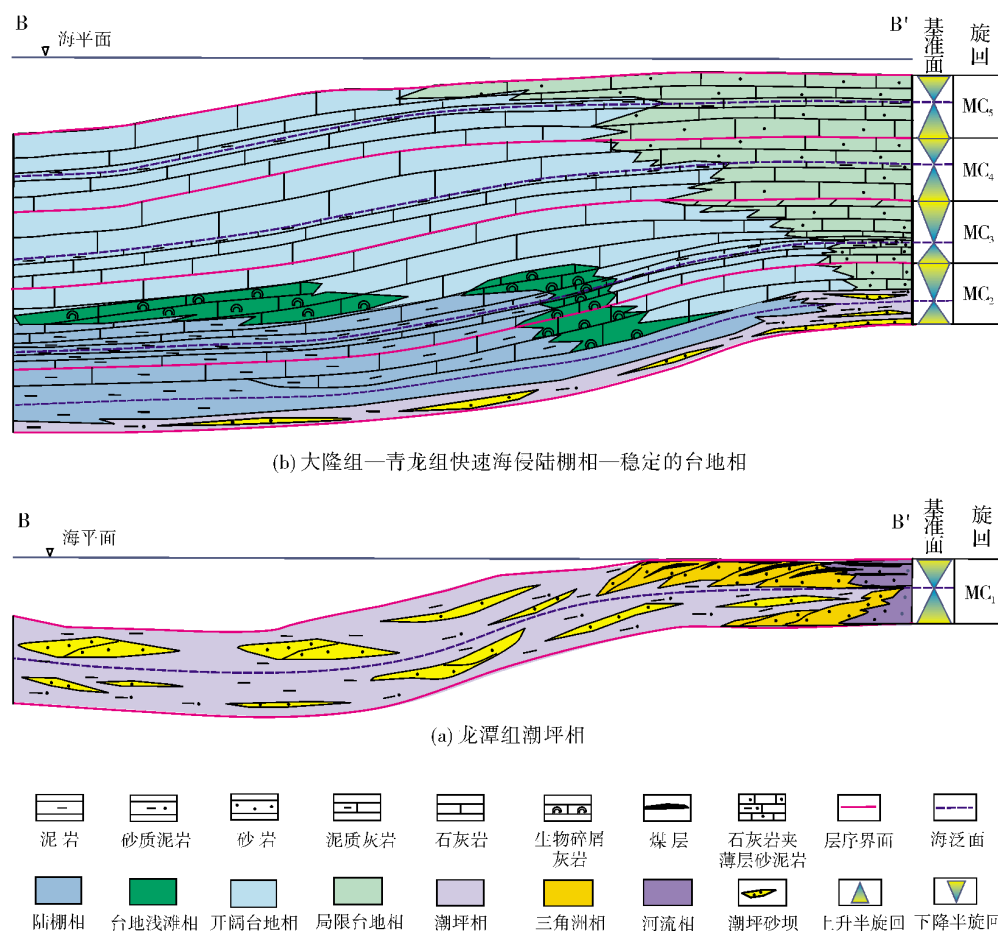
图4 南黄海盆地连井基准面旋回及沉积相对比图

井位见图1

时期的海水,西北深、东南浅,区域上,滨海隆起的龙潭组主要沉积了一套潮下带粉砂岩、细砂岩,电测曲线呈顶底突变的箱形,反映出潮坪高能环境中受潮沙作用较强^[17]。

3.2 大隆组—青龙组快速海侵陆棚相—稳定的台地相

MC₂ 基准面上升半旋回,海侵规模达到最大,在

图 5 南黄海盆地 P_2-T_1 基准面旋回沉积充填模式

B—B' 剖面位置见图 1

下扬子陆区,大隆组多见陆棚相—盆地相的硅质泥页岩^[19-21],在南黄海盆地则主要为黑色泥页岩;纵向上,大隆组的下部为潮坪沉积,上部为陆棚相黑色泥页岩沉积(图5b)。这些富含有机质的泥页岩及泥质灰岩是有利的烃源岩。进入早三叠世, MC_2 基准面下降半旋回开始发育稳定的陆棚相泥页岩、薄层泥质灰岩、石灰岩。

MC_3 基准面上升半旋回,再次发生较大规模的海侵,沉积了一套以泥质岩为主的地层,下降半旋回的海退早期发育潮坪相泥岩、泥质灰岩与石灰岩薄互层沉积,中晚期则发育台地相石灰岩(图5b)。

MC_4 、 MC_5 中期旋回处于长期基准面旋回(LC_1)的基准面下降期,期间有规模较小的海进、海退发生,开阔台地相石灰岩沉积广泛,仅东部的局部地区发育局限台地相(图5b)。经过印支运动的改造,这套地层中的裂缝灰岩及顶部风化壳可成为潜在的有利储层。

4 结 论

(1)根据区域构造旋回变化和海平面变化的特征,南黄海盆地上二叠统—下三叠统可作为1个长期基准面旋回,该旋回具有较强的非对称性,基准面上升期较短,快速海侵,沉积地层较薄,而基准面下降期相对较为缓慢且稳定,沉积地层较厚。以盆内钻井岩电组合旋回性特征及特殊岩性(煤层、白云岩、砂岩)为依据,将长期基准面旋回划分为5个中期基准面旋回(MC_1-MC_5),横向上它们具有较强的对比性。

(2)通过C1井、C2井沉积特征对比, MC_1 基准面旋回— MC_3 基准面上升半旋回的沉积相展布特征反映出水体的西深东浅, MC_3 下降基准面旋回— MC_5 基准面旋回以稳定的台地相碳酸盐岩沉积为主。

(3)根据基准面旋回变化和沉积环境变迁,上二叠统—下三叠统发育两种基准面旋回充填模式,

即上二叠统龙潭组相对稳定的潮坪相和上二叠统大隆组—下三叠统青龙组快速海侵陆棚相至稳定的台地相。

参考文献

- [1] 张家强. 南黄海中、古生界油气勘探前景[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(11): 25-27.
- [2] 蔡峰, 熊斌辉. 南黄海海域与下扬子地区海相中—古生界地层对比及烃源岩评价[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(6): 1-6.
- [3] 王连进, 叶加仁, 吴冲龙. 南黄海盆地前三系油气地质特征[J]. 天然气工业, 2005, 25(7): 1-3.
- [4] 范小林. 南黄海盆地海相领域油气勘探战略思考[J]. 海相油气地质, 2001, 6(4): 35-40.
- [5] 姚永坚, 冯志强, 郝天珧, 等. 对南黄海盆地构造层特征及含油气性的新认识[J]. 地学前缘, 2008, 15(6): 233-238.
- [6] 张海啟, 陈建文, 李刚, 等. 地震调查在南黄海崂山隆起的发现及其石油地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(3): 107-113.
- [7] 付志方, 王焕弟, 邢卫新, 等. 层序地层学研究现状及进展[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(5): 320-321.
- [8] 徐怀大. 从地震地层学到层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 49-58.
- [9] Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles, upper Cretaceous, western interior USA [C]// Wilgus C K, Ross C A, Posamentier H. Sea-Level Changes: An Integrated Approach (SEPM Special Publication No.42), 1989: 371-380.
- [10] 邓宏文, Cross T A, 王红亮, 等. 高分辨率层序地层学——原理及应用. 北京: 地质出版社, 2002: 9, 64-69.
- [11] 邓宏文. 高分辨率层序地层学应用中的问题探析[J]. 古地理学报, 2009, 11(5): 472-479.
- [12] 王起琮. 天文周期与地层基准面旋回及其识别技术[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(4): 24-30.
- [13] 张昌民, 尹艳树, 尹太举, 等. 基准面旋回定量表征的工作框架[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(4): 8-14.
- [14] 李刚, 吴时国. 南黄海海域的海相地层含油气系统[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(7): 27-32.
- [15] 余晓宇, 徐宏节, 何治亮. 江苏下扬子区中、古生界构造特征及其演化[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 227-236.
- [16] 姚永坚, 夏斌, 冯志强. 南黄海古生代以来构造演化[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 124-128.
- [17] 许正龙, 翟爱军. 苏皖下扬子区震旦纪—中三叠世海相层序地层[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 22(2): 64-69.
- [18] 张永鸿. 下扬子区构造演化中的黄桥转换事件与中古生界油气勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(4): 440-445.
- [19] 冯增昭, 吴胜和. 从岩相古地理论下扬子地区青龙群油气前景[J]. 石油学报, 1988, 9(2): 1-8.
- [20] 朱洪发, 秦德余, 陈跃, 等. 江南早三叠世碳酸盐岩台地及其两侧斜坡带沉积特征和含油气性[J]. 沉积学报, 1993, 11(4): 47-55.
- [21] 冯增昭, 吴胜和. 下扬子地区中、下三叠统青龙群岩相古地理研究及编图[J]. 沉积学报, 1987, 5(3): 48-51.

编辑: 董庸

Upper Permian-Lower Triassic Base-level Cycle and Depositional Filling Model, South Yellow Sea

Zhang Yinguo, Chen Qinghua, Chen Jianwen

Abstract: The Upper Permian-Lower Triassic (P_2-T_1) sequence can be classified into one whole long-term base-level cycle (LC_1) by using the high-resolution sequence stratigraphy and the base-level cycle recognition technology, and referring to the regional tectonic cycles and sea level changes in Lower Yangtze area. Based on the drilling data in the South Yellow Sea, five medium-term base-level cycles (MC_1 to MC_5) are recognized in LC_1 . The analysis of well-linking correlation has shown that delta, tidal flat and shelf facies commonly develop in P_2-T_1 strata, and sedimentary waters is deeper in the northwest than in the southeast. In the light of integrated analysis of changing base-level cycles and sedimentary environments, two filling patterns of base-level cycles can be recognized in the Upper Permian-Lower Triassic sequence, one is the stable Upper Permian Longtan tidal flat facies and the other is the rapidly-transgressive Upper Permian Dalong shelf facies to stable Lower Triassic Qinglong platform facies. These patterns will be significant to petroleum geology evaluation to Mesozoic and Palaeozoic marine sediments in the South Yellow Sea Basin.

Key words: Late Permian; Early Triassic; Sedimentary facies; Sequence base-level; South Yellow Sea

Zhang Yinguo: Senior Geology Engineer, Doctoral candidate at China University of Petroleum. Add: Qingdao Institute of Marine Geology, 62 Fuzhou Nan Rd., Qingdao, Shandong, 266071, China