

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2013.01109

# 南黄海地区与上扬子地区 海相中—古生界岩性地层对比

祁江豪<sup>1,2</sup>, 温珍河<sup>2</sup>, 张训华<sup>2</sup>, 方念乔<sup>1</sup>, 郭兴伟<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 海洋学院, 北京 100083;

2. 国土资源部 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

**摘要:**海相油气勘探是近十年来我国油气勘探中的重点研究领域,受到越来越多的关注。南黄海地区分布着厚层的前新生代海相地层,为深入了解该套地层,通过收集南黄海盆地的钻井资料以及下扬子陆区的地层资料,将其与上扬子四川盆地的海相地层进行岩性对比和沉积演化分析,了解两套地层的异同性,认为南黄海盆地与上扬子四川盆地的海相中—古生界沉积演化在印支运动以前总体来说是“大同小异”,均为以碳酸盐岩沉积为主的稳定沉积,只是在中—古生代构造运动改造时间、规模上存在着一定的差异,上下扬子地区的海相中—古生界具有充分的可比性。还就上下扬子地区的烃源岩特征和油藏保存条件差异等方面进行了简要阐述,这有助于通过借鉴四川盆地海相油气勘探的成功经验,评估南黄海海相地层油气潜力,探索南黄海盆地下一步油气勘探的方向。

**关键词:**上扬子;地层;沉积;四川盆地;南黄海

中图分类号:P736.22

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2013)01-0109-11

长期以来,我国海域油气的勘探领域大部分局限于陆相新生界,而对厚层的海相中—古生界研究程度不够,勘探程度偏低<sup>[1]</sup>,位于下扬子地区的南黄海存在巨大的油气资源勘探潜力,但至今仍是我国近海中惟一没有工业油气突破的海区。近年来,随着南黄海海域区域地质调查工作和前古近系油气前景评价工作的开展,南黄海盆地中—古生代海相沉积地层和构造演化等得到了初步的研究。

与南黄海同处扬子块体的上扬子地区中—古生代海相地层分布面积约  $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,震旦系—中三叠统海相沉积地层累计厚度最大超过 10 000 m,发育多套生储盖组合,原始成油气条件优越<sup>[2]</sup>,是我国目前海相油气勘探领域的一个重大突破区。本文以上扬子四川盆地和下扬子南黄海盆地为例,分析南黄海盆地与四川盆地海相中—古生界的地层特征和沉积演化特征,归纳异同点,同时结合两地区的烃源岩和油藏保存条件,获得对上下扬子区沉积建造发育的整体认识。通过借鉴四川盆地中—古生代海相地层油气勘探的成功经验,有助于评估南黄海海相地层油气潜力,探索南黄海盆地下一步油气勘探的方向。

## 1 区域地质背景

扬子块体所在区域,即秦岭—大别—苏鲁造山带以南、江绍—沃川结合带以北、龙门山造山带以东的地区,块体西侧为松潘—甘孜结合带;东南侧为华南块体;北东以郟庐断裂带与中朝块体相隔。扬子块体西部为四川盆地,盆地海拔约为 400~600 m;东部为低山丘陵及平原地区,一直延伸到海区的南黄海盆地。扬子块体经新元古代末期的晋宁运动完成了基底的固结,变质基底推测是元古代经强烈混合岩化和花岗岩化的片麻岩、片麻花岗岩及混合岩,中—古生界经历了多次构造运动的改造,各次级构造单元发生了不同程度的构造变形和地层剥蚀<sup>[3]</sup>。

扬子块体自前震旦纪完成基底固结至中生代早期依次经历了加里东运动、海西运动和印支运动的改造,加里东运动使得华南块体与扬子块体碰撞拼贴,组成统一的南方古陆,而后遭受剥蚀(表 1);海西运动在扬子块体内以拉张、断陷作用为主;印支运动是扬子块体内很重要的一次运动,由于华北块体和扬子块体发生碰撞,扬子地区整体作用应力从拉伸转变为挤压,块体此后由海相沉积转变为陆相沉积。

南黄海在大地构造位置上位于下扬子地区,西与苏北地区相连,北部以苏鲁造山带为界与中朝块体相邻,南部以江绍—沃川结合带为界与华南块体

基金项目: 中国海陆地质地球物理系列图项目 (GZH200900504)

作者简介: 祁江豪(1987—),男,博士生,主要从事海洋地质研究, E-mail: bbqyiqi@126.com

收稿日期: 2012-08-02; 改回日期: 2012-10-12. 周立君编辑

相邻,现今的南黄海盆地整体上为建立在中—古生代海相地层之上,经中—新生代构造运动强烈改造的叠合盆地,根据白垩纪以来的盆地展布特征,自北而南可划分出5个次级构造单元,分别是苏鲁造山带在海区的延伸——千里岩隆起、南黄海北部盆地、中部隆起、南黄海南部盆地和勿南沙隆起(图1)。

上扬子四川盆地北部以秦岭造山带与华北地区相连,西以龙门山造山带与松潘—甘孜地区相连,东南一侧为滇黔川鄂台内断褶带(图1),四川盆地在扬子块体统一的元古界变质基底上演化而来,中—古生代期间为稳定的台地沉积阶段,经历了多次构造运动的改造,发育了多期和多向的深断裂活动,具备了黄汲清先生所提出的多旋回演化的特点<sup>[4]</sup>。

## 2 地层特征对比

扬子块体基底固结后,自震旦纪开始发育第一套沉积盖层,一直到早—中三叠世期间存在多套以海相碳酸盐岩为主的沉积盖层组合,沉积类型多样。上扬子四川盆地与下扬子苏北盆地—南黄海盆地海相地层分组如表1所示。

目前,南黄海地区共有7口井钻遇了中—古生代海相地层(图1),其中,北部盆地1口(KACH1),最深钻至三叠系,南部盆地和勿南沙隆起共6口,最深层位钻至石炭系(CZ12-1-1A)。钻井资料证实,南黄海盆地广泛分布下扬子海相碳酸盐岩地层,岩性与陆上一致,为下扬子地区在海域的延伸<sup>[7]</sup>。鉴于南黄海地区古生界石炭系以下地层未曾钻遇,该段的地层特征全部参照下扬子陆区苏北盆

地资料。

### 寒武系(Є)

下扬子地区的寒武系主要为一套浅海碳酸盐岩夹碎屑岩,下寒武统包含一套黑色含炭质泥岩,为下扬子区海相下组合油气勘探中的烃源岩层<sup>[8]</sup>。南黄海地区根据地震剖面解释推测存在。四川盆地寒武系由一套碎屑岩和碳酸盐岩组成,下寒武统下部为黑色页岩,粉砂岩夹泥质灰岩,中—上寒武统主要为一套碳酸盐岩<sup>[4]</sup>。下寒武统的暗色泥岩、泥灰岩同样作为上扬子地区的区域优质烃源岩层存在。

### 奥陶系(O)

下扬子地区奥陶系以碳酸盐岩为主,期间夹杂有泥岩、泥灰岩,上统的五峰组灰黑色硅质泥岩为烃源岩层<sup>[8]</sup>。南黄海地区根据地震剖面解释推测存在。

四川盆地奥陶系中—下统以深灰色灰岩、泥质灰岩为主;上统为瘤状灰岩夹页岩,含灰质及硅质黑色页岩、泥灰岩<sup>[4]</sup>,该地区奥陶系中上统的暗色灰岩烃源岩很发育,保存条件相对较好。

### 志留系(S)

下扬子地区志留系总体反映为碰撞拼合过程中形成的海退沉积旋回,缺失上志留统沉积,中—下志留统为海陆过渡相的杂色砂泥岩沉积,下志留统内发育的灰黑色泥质岩为海相烃源岩层<sup>[7-9]</sup>。南黄海地区根据地震剖面解释推测较为发育。

与下扬子区一样,四川盆地志留系只有中—下统,缺失上统,下统为灰黑色及黄绿色砂质页岩及细砂岩;中统为黄灰色及黄绿色砂质页岩、页岩、砂岩及紫红色页岩<sup>[4]</sup>。盆地内的志留系页岩和泥质页岩作为主力烃源岩层存在<sup>[7]</sup>。

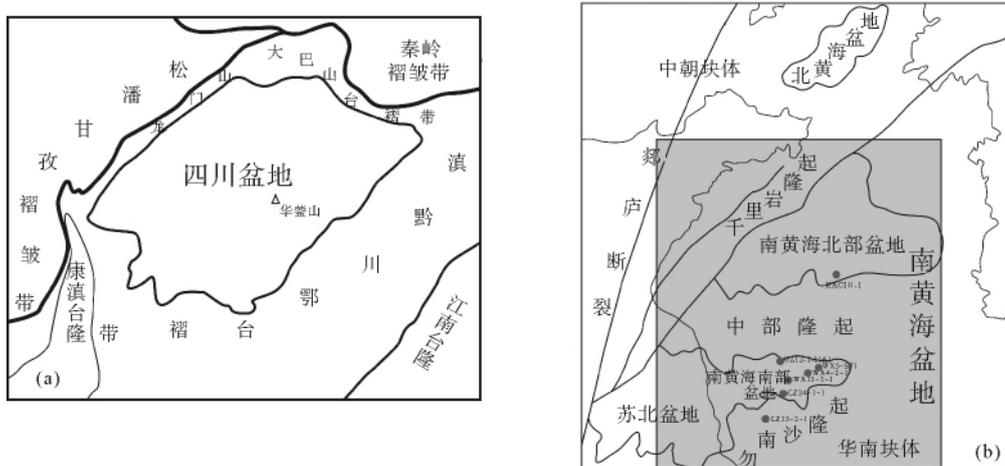


图1 研究区构造位置示意图(据文献[5]、[6])

a. 四川盆地 b. 南黄海盆地 ●南黄海海相地层钻遇井

Fig. 1 Structural location of the study area

表 1 四川盆地与苏北盆地—南黄海盆地海相地层分组(据文献[8]修改)

Table 1 Stratigraphy of marine strata in Sichuan Basin and North Jiangsu basin-South Yellow Sea basin

系		统		地层		演化阶段
				组		
				苏北盆地—南黄海盆地	四川盆地	
三叠系	上统			须家河组		
	中统			雷口坡组		
	下统	上青龙组		嘉陵江组		
二叠系	上统	下青龙组		飞仙关组		
		大隆组		长兴组		
	下统	龙潭组		龙潭组		
		孤峰组		茅口组		
石炭系	上统	栖霞组		栖霞组		海西—印支期
	中统	梁山组		梁山组		
	下统	船山组				
泥盆系	上统	黄龙组		黄龙组		
	中统	和州组				
	下统	高骊山组				
志留系	上统	五通组		水车坪组		
	中统			小溪峪组		
	下统					
奥陶系	上统	茅山组		韩家店组		
	中统	坟头组		龙马溪组		
		高家边组				
	下统	五峰组		五峰组		
寒武系	上统	汤头组		临湘组		
		汤山组		宝塔组		
	下统	大湾组		庙坡组	十字铺组	
		红花园组		牯牛潭组		
		仓山组		湄潭组/大湾组		
寒武系	上统	观音台组		红花园组		加里东期
		炮台山组		分乡组	桐梓组	
	下统	幕府山组		南津关组		
		荷塘组		毛田组		
				后坝组		
寒武系	中统			平田组		
				茅坪组		
	下统			高台组		
寒武系	上统			龙王庙组		
				沧浪组		
	下统			筲竹寺组		

### 泥盆系(D)

由于加里东运动使下扬子地区抬升为陆,地层剥蚀,该地区普遍缺失中一下泥盆统,仅保留上泥盆统,为海陆交互相和三角洲相石英砂砾岩沉积,与下伏志留系茅山组平行不整合接触<sup>[8]</sup>。地震剖面解释推测南黄海地区泥盆系较为发育。

四川盆地泥盆系大面积缺失。龙门山地区泥盆系发育最全,最大厚度 4 000 m,上部以砂岩、粉砂岩沉积为主,下部出现灰岩白云岩沉积,与下伏志留系平行不整合接触,具有较好的生油条件,但由于晚期喜马拉雅运动的影响使其暴露在山区,油气藏遭到破坏<sup>[4]</sup>。

### 石炭系(C)

南黄海南部盆地 CZ12-1-1(A)井钻遇石炭系地层,见于 2 013~3 511 m 井段,整体以碳酸盐岩沉积为主,与泥盆系呈平行不整合接触<sup>[8]</sup>。

四川盆地石炭系以碳酸盐岩沉积为主,盆地腹部大面积缺失,在川东地区有石炭系出露,厚 0~96 m,主要发育中石炭统黄龙组,与下伏泥盆系或志留系呈平行不整合接触,目前,中石炭统是川东地区的主力产气层<sup>[4]</sup>。

### 二叠系(P)

根据南黄海地区钻井资料和地震解释成果,二叠系广泛分布于南黄海南部盆地和勿南沙隆起区,勿南沙隆起的 CZ35-2-1 井、南部盆地的 WX5-ST1 井、CZ21-1-1(A) 井以及 WX13-1-1 井钻遇该套地层,以开阔台地相碳酸盐岩沉积为主,并分布有斜坡相和深水盆地相的泥岩沉积,上下二叠统为平行不整合接触,上二叠统龙潭组底部存在海陆交互相含煤碎屑岩沉积,钻井揭示的最大厚度为 651 m,上下二叠统发育的黑色泥岩、深色灰岩为本区主要的烃源岩层<sup>[9]</sup>。

四川盆地二叠系内可见上下二叠统之间平行不整合接触。下二叠统整体为碳酸盐岩夹泥质灰岩沉积,其中栖霞组存在泥质烃源岩和碳酸盐岩质烃源岩,为该区重要的源岩层<sup>[10]</sup>,茅口组受到不同程度的剥蚀。上二叠统底部的龙潭组为一套海陆过渡相沉积,含灰黑色泥质岩,砂岩夹煤层,川西南地区的龙潭组底部有玄武岩分布,为灰绿、深灰色厚层斑状玄武岩及含铁玄武岩,称为“峨眉山玄武岩”,上二叠统长兴组存在深灰色灰岩、泥质灰岩沉积,为重要的区域性产气层<sup>[4]</sup>。

### 三叠系(T)

据南黄海海区钻井资料,三叠系广泛分布于南黄海南部盆地和勿南沙隆起区,有 4 口井钻遇

(CZ35-2-1、WX5-ST1、CZ24-1-1、WX4-2-1),最大钻遇厚度 1 472 m(WX5-ST1 井),主要为下三叠统的青龙组,之上地层缺失,在南黄海北部盆地东部的 KACHI-1 井也钻遇了局限分布的三叠系。青龙组以灰岩沉积为主,顶部出现红褐色泥岩夹层,反映的是海进至海退的沉积旋回,在勿南沙隆起区的 CZ35-2-1 井中,青龙组中暗色泥岩增多,灰岩仅占 69.3%,特别是青龙组下段,灰岩仅占地层的 39.2%,而暗色泥岩占地层的 53.8%,是本区重要的烃源岩层<sup>[9]</sup>。

四川盆地的三叠系可分为上、中、下三统,中一下三叠统的雷口坡组、飞仙关组和嘉陵江组为海相沉积,以深灰色灰岩、鲕状灰岩、白云岩为主,夹有泥质岩和石膏层;上三叠统须家河组为一套海陆过渡相至陆相的碎屑岩及含煤层系沉积,为区域性产气层,三叠系与下伏二叠系整合接触<sup>[4]</sup>。

总体来说,扬子块体自震旦纪到三叠纪期间,整体以海相碳酸盐岩沉积为主。下寒武统下部发育了大量黑色、暗色泥页岩,上部以碳酸盐岩为主,中寒武统至奥陶系碳酸盐岩发育,志留系和泥盆系以碎屑岩为主,晚奥陶世至早志留世期间由于快速海进发育了一套较好的烃源岩层,石炭纪开始一直到中三叠世,扬子块体再次发育碳酸盐岩沉积,块体内部从晚三叠世开始由海相沉积向陆相沉积过渡,大致到晚三叠世至早侏罗世时期,海水全部退出本区,转变为陆相沉积,从此结束了扬子块体海相沉积的历史,开始接受后期燕山运动和喜马拉雅运动的强烈改造<sup>[3]</sup>。

## 3 沉积演化

扬子块体在新元古代晋宁期完成了基底的固结统一,自震旦纪开始,进入相对稳定的地台发展阶段,马永生称之为海相盆地的演化阶段<sup>[3]</sup>,直至中三叠世末的印支运动后,才进入真正的、实质性的海相盆地改造阶段。

根据马永生的观点<sup>[3]</sup>,扬子块体内海相盆地晋宁运动以后的构造演化大致可以分为 3 个阶段:震旦纪—志留纪的加里东期海相盆地演化阶段,泥盆纪—三叠纪的海西—印支期海相盆地演化阶段,以及中生代印支运动以后的侏罗纪—新生代陆相盆地叠加改造阶段,本文在海相沉积期内以苏北盆地—南黄海盆地和四川盆地为例,进行上、下扬子地区海相地层的沉积演化对比分析。

### 3.1 加里东期(Z—S)

伸展裂陷和挤压造山是构造演化中主要的两种

地球动力学环境,它引起了岩石圈的拉伸和缩短,以及克拉通、前陆和裂陷盆地的形成。加里东早期,由于泛大陆的解体,中国古地块群开始裂离,自震旦纪开始,整个扬子块体处于拉张环境,构成了震旦纪—早—中奥陶世的裂陷—被动大陆边缘阶段,扬子块体整体海进,上下扬子地区均形成拉伸作用为主的克拉通盆地;从奥陶纪开始,由于早加里东运动的影响,华南块体逐渐向北西漂移,靠近扬子块体,在志留纪晚期至泥盆纪中期的晚加里东运动中发生碰撞拼贴,形成统一的南方古陆,整体发生海退,盆地演化由被动陆缘阶段转化为加里东晚期的挤压前陆盆地阶段;加里东运动在扬子块体表现为整体抬升和地层剥蚀的特点,泥盆系和志留系之间呈不整合接触。古地理演化过程如图 2 所示。

南黄海地区加里东期形成自震旦纪海进至志留纪晚期海退的一级沉积旋回,最剧烈的海侵期为早寒武世,形成了一套黑色含炭质泥岩、页岩烃源岩层(见表 2 的 S<sub>1</sub>期);寒武纪—奥陶纪为浅海稳定的开阔台地—局限台地沉积,晚奥陶世至早志留世台地内再次强烈沉降,海水明显加深,发育了非补偿的陆棚相页岩沉积,构成本区第二套重要的烃源岩层(见表 2 的 S<sub>2</sub>期);志留纪时期由于华南和扬子两大块体碰撞拼合形成海退沉积旋回,产生了滨岸三角洲相的杂色砂泥岩沉积<sup>[9]</sup>。

震旦纪开始,上扬子地区形成台地阶段的第一套海相稳定沉积盖层,早寒武世以浅海台地相沉积为主,中、晚寒武世水体变浅,以潮坪相和局限台地相沉积为主,晚寒武世时期地壳短暂上升,上扬子西部和南部陆地面积扩大,同时川中水下隆起产生,至奥陶纪时期再次发生海进,一直持续到晚奥陶世,志

留纪开始的加里东运动是本地区涉及范围较大的一次地壳运动,此时上扬子大部分地区隆升为陆,四川盆地盆内的隆起区和龙门山地区均已发现志留系、泥盆系、部分奥陶系、甚至部分寒武系剥蚀的存在,使得本区的较深水盆地被浅海—滨岸相碎屑物沉积所充填<sup>[4,6]</sup>。

### 3.2 海西—印支期(D—T)

此阶段为晚古生代至中生代三叠纪时期,加里东运动以后,中国南方成为统一的华南古陆,由于东冈瓦纳大陆北缘的裂解,华南古陆晚古生代在古特提斯构造域的影响下,再次处于拉伸引张的状态,一直持续到中生代的三叠纪时期海相沉积期结束(图 3),可分为如下几个演化阶段:

**泥盆纪—早二叠世晚期的海西运动阶段** 此阶段为伸展、裂离型盆地发育阶段,是华南古陆克拉通盆地的主要形成时期,海侵的作用形成了广泛的海相碳酸盐岩及碎屑岩沉积,在早二叠世达到海侵高峰,发育一套区域性烃源岩层(见表 2 的 S<sub>3</sub>期)。早二叠世末我国南方普遍存在的东吴运动是此阶段内运动较为激烈的一幕,主要表现为区域性的抬升作用,形成上二叠统与下二叠统的平行不整合接触。

**晚二叠世—早三叠世的早印支阶段** 此阶段为短暂的伸展断裂期,于晚二叠世达到海侵高峰,上二叠统和下三叠统的黑色泥页岩和泥质岩构成了本期第二套烃源岩层(见表 2 的 S<sub>4</sub>期)。

**中—晚三叠世的晚印支阶段** 此阶段为碰撞、汇聚型盆地发育阶段,印支运动是中国大陆及邻区最大规模的一次陆—陆碰撞和挤压造山运动,扬子块体与中朝块体发生碰撞造山,形成秦岭—大别—

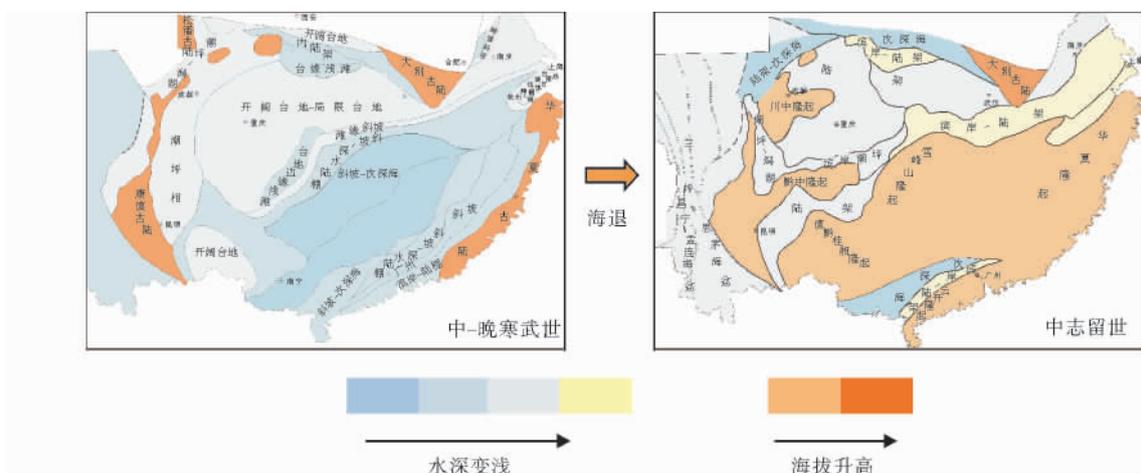


图 2 扬子块体及其邻区加里东期古地理示意图(据文献[3])

Fig. 2 Palaeogeographical map of Yangtze block and its adjacent areas during Caledonian phase

胶南造山带,在古生代被动大陆边缘的基础上,形成了一条以四川、江汉、苏北盆地—南黄海盆地为代表的周缘前陆盆地群,至晚三叠—早侏罗世时期,扬子地区结束了海相沉积历史<sup>[3,9]</sup>(图3)。

加里东运动使得下扬子南黄海地区整体上升为陆(图3a),晚志留世—早、中泥盆世阶段为剥蚀夷平阶段,地层缺失;晚泥盆世—早石炭世为海陆交互和三角洲相沉积;晚石炭世—早二叠世,本区地壳再次下降接受海侵,演化为局限台地沉积相(图3b),早二叠世孤峰期达到海侵高峰(图3c),发育了海西—印支期内第一套区域性源岩层,早二叠世末的东吴运动使得南黄海地区短暂隆升,区域上造成下二叠统上部部分地层的缺失,形成上下二叠统之间的平行不整合;晚二叠世以来一直到早三叠世时期由于短暂的伸展裂陷活动再次发生海进,大隆期达到海侵高峰,发育了海西—印支期的第二套区域性源岩层;印支期的沉积旋回由一套海退序列组成,为早三叠世海相碳酸盐岩—中三叠世海陆交互相—晚三叠世陆相碎屑岩沉积建造<sup>[8]</sup>,晚三叠世由于扬子、中朝两大块体相互碰撞拼合,下扬子地区沉积盖层形成广泛的褶皱体系,

根据地震资料,南黄海上古生界存在大量的逆冲褶皱体系,至此海相沉积期结束(图3d)。

海西运动是上扬子地区古生代以来第二次大的构造运动,发生于泥盆纪末期,在海西运动期间,四川地区主要表现以加里东期古隆起为核心的持续上升运动,盆地内广泛缺失泥盆系和石炭系,说明隆升至少持续到早石炭世;晚石炭世开始,古陆变小,开始海侵(图3a,b);到早二叠世时期四川地区已发育为一浅海碳酸盐岩开阔台地海(图3c),海西晚期的东吴运动使得上扬子地区的广海盆沉积再次转变为陆相沉积,上二叠统出现含煤沼泽沉积,该运动属于地壳张裂活动派生的升降运动,造成地层的缺失,上下二叠统之间形成平行不整合,并且伴随有大规模的玄武岩喷出,称为“峨眉山玄武岩”,此段玄武岩在二叠系广泛分布;晚二叠世—中三叠世期间的早印支运动,使得上扬子地区再次海侵,广泛发育陆表海和浅海碳酸盐岩沉积,中—晚三叠世的晚印支运动使得上扬子地区地壳从张裂活动逐渐转变为压扭活动,盆地内普遍表现为整体抬升,陆地面积增大,至晚三叠世末期,结束海相沉积(图3d)<sup>[4]</sup>。

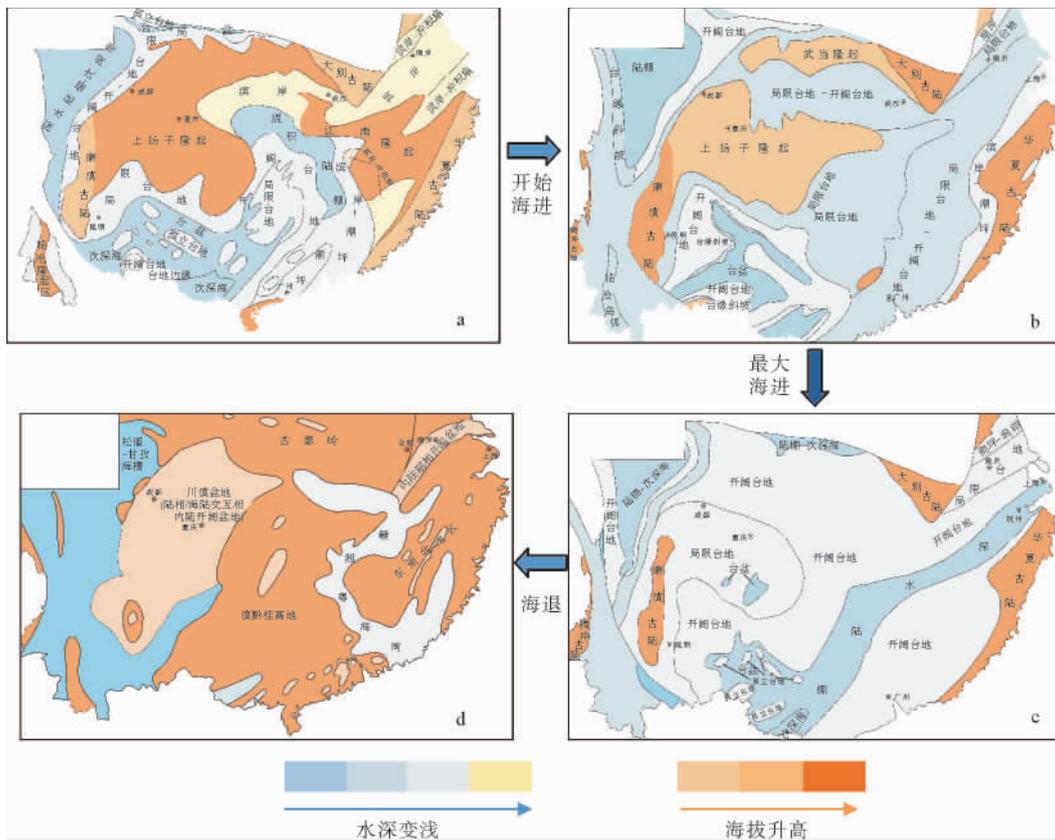


图3 扬子块体及邻区海西—印支期古地理示意图(据文献<sup>[3]</sup>、<sup>[11]</sup>)

a. 晚泥盆世; b. 晚石炭世; c. 早二叠世; d. 晚三叠世

Fig. 3 Palaeogeographical map of Yangtze block and its adjacent areas during Hercynian—Indosinian phase(from references <sup>[3,11]</sup>)

## 4 讨论

前文可知,下扬子南黄海地区与上扬子四川盆地的中—古生界海相地层有着极为相似的地层、沉积演化特征,在进行地层对比、沉积演化分析的基础上,参考古地理图件<sup>[11]</sup>,本文对上下扬子地区海相中、古生界的沉积环境进行了详细的对比,如表 3 所示。

### 4.1 海相烃源岩对比

优质烃源岩的发育是沉积盆地进行油气勘探工作的先决条件。如前文所述,南黄海所处的下扬子地区与四川盆地中—古生代期间主要发育 4 期烃源岩( $S_1-S_4$ )。

$S_1$ 期在四川盆地内为下寒武统筇竹寺组,此时四川盆地为克拉通盆地演化阶段,主要发育陆棚沉积岩性以黑色炭质页岩为主,平均厚度 100 m 左右,有机碳丰度较高,成熟度总体非常高, $R_o$  值为 2%~5%,均达到过成熟阶段,以生成气态烃为主,表现出较好的生烃潜力<sup>[10]</sup>;  $S_1$ 期下扬子见于苏北地区的下寒武统幕府山组暗色泥岩,其泥岩有机碳丰度平均值为 3.1%, $R_o$  主要集中在 3%~4%<sup>[12]</sup>,干酪根为 I 型,由于海相地层的稳定性,推测认为南黄海盆地寒武统幕府山组烃源岩有机碳丰度和干酪根类型大体与陆区相当<sup>[13]</sup>,具备形成大型油气藏的烃源岩条件<sup>[12]</sup>,综合评价为好烃源岩。

$S_2$ 期在四川盆地内为下志留统龙马溪组,以深水缓坡相的深灰色—黑色页岩为主,有机碳含量相比  $S_1$ 期烃源岩有所下降,约 1%左右,热演化程度总体偏高, $R_o$  值主要分布于 2%~3.6%,处于高成熟—过成熟阶段; $S_2$ 期下扬子见于苏北地区下志留统高家边组暗色泥岩,根据陆区钻井有机质分析结果<sup>[13]</sup>,高家边组有机碳丰度为 0.54%~2.67%, $R_o$  在陆上黄桥地区平均为 1.9%,为高成熟,局部可达过成熟,干酪根为 II 型,通过海陆对比分析认为,南黄海地区高家边组有机碳丰度及干酪根类型相对较好。

$S_3$ 期在四川盆地内为下二叠统栖霞组,发育泥质岩烃源岩和碳酸盐岩烃源岩,主要沉积台地相中—厚层深灰色、灰黑色生物碎屑灰岩,含泥质条带和薄层泥岩。泥质烃源岩发育较薄,大部分地区仅数米厚,有机碳丰度均值可达 3.5%,碳酸盐岩烃源岩平均厚度可达 240 m,有机碳丰度普遍较低,均值 0.8%左右,存在烃源岩厚度与有机碳丰度的负相关。两类烃源岩成熟度差异不明显,平均  $R_o$  值为 2%左右,烃源岩热演化都进入了高成熟和过成熟的

演化阶段,以裂解气为主<sup>[10]</sup>;  $S_3$ 期在南黄海地区 CZ35-2-1 井钻遇下二叠统栖霞组,为黑色灰岩烃源岩,有机碳含量范围为 0.45%~1.52%,平均为 1.1%<sup>[13]</sup>, $R_o$  平均为 2.45%,生油指标完全不亚于泥岩,是一套良好的生油层<sup>[7]</sup>。

$S_4$ 期在四川盆地主要为上二叠统龙潭组,岩石类型主要为灰至深灰色黏土质页岩、泥岩以及深灰色厚层泥晶灰岩,同样由泥质岩和灰岩构成烃源岩层,与栖霞组一样,该期的烃源岩丰度值与厚度值呈负相关,烃源岩厚度较大的地区(如重庆),有机碳丰度较小,约 3%,烃源岩厚度较小的地区有机碳丰度可达 7%。龙潭组烃源岩成熟度普遍较高,大部分地区  $R_o$  值达到 2%以上,这表明该期烃源岩演化至裂解气阶段<sup>[10]</sup>;  $S_4$ 期在南黄海地区钻遇上二叠统龙潭组、大隆组和下三叠统青龙组,其中龙潭组和大隆组为黑色泥岩,有机碳含量分别为 1.704% 和 2.077%,干酪根主要为 III 型, $R_o$  值为 1.6%~2.2%,达到成熟、过成熟阶段;下三叠统青龙组烃源岩主要为深灰色灰岩,有机碳含量平均为 0.308%,主要为 III 型干酪根, $R_o$  为 1.05%,综合分析为成熟差烃源岩<sup>[7,13]</sup>。各期烃源岩特征见表 2。

### 4.2 油藏保存条件的巨大差异

上扬子四川盆地和下扬子南黄海盆地是目前我国海相油气勘探中的重要突破区和潜力区,总体来说,中—古生代海相沉积在两个地区内是相对稳定的,海相储层类型也具有相似性,以碳酸盐岩储层为主,但是中—新生代以来受太平洋构造域影响的印支、燕山和喜马拉雅等运动在扬子块体不同地区的影响则差异巨大。

盆地的“叠加”是指在同一地质单元上,不同时代盆地间的叠置、叠合或覆盖关系,而“改造”则表明晚期的构造运动以及伴随这些运动后形成的上覆盆地对前期的下伏盆地的影响、改变甚至破坏<sup>[15]</sup>。四川盆地和南黄海盆地均属于经多期构造运动改造的叠合型盆地,盆地的叠合序列大致都经历了克拉通盆地( $Pz+T_{1+2}$ )→前陆盆地( $T_3$ )→坳陷盆地( $K_2-E$ )的阶段<sup>[15]</sup>,盆地的叠加、改造作用建设性或破坏性影响了上下扬子叠合盆地不同构造阶段油气资源的形成、运移和成藏过程,倪新锋等从盆地演化及生储盖组合的角度将盆地叠合关系分为覆盖型以及非覆盖型<sup>[15]</sup>,其中覆盖关系又因构造演化特点或后期剥蚀作用的影响可以分为连续覆盖和间断覆盖两种主要类型,它们具有不同的地层结构特点,对油气的生成、演化、运移、保存或破坏也具有不同

表2 苏北—南黄海地区与上扬子四川盆地烃源岩特征对比(资料据文献[7,10,12-14])

Table 2 Comparison of source rocks between Northern Jiangsu-South Yellow Sea region and the Upper Yangtze Sichuan Basin(from references [7,10,12-14])

发育期次	地层		岩性		TOC		R <sub>0</sub>		干酪根类型	
	四川盆地	苏北—南黄海地区	四川盆地	苏北—南黄海地区	四川盆地	苏北—南黄海地区	四川盆地	苏北—南黄海地区	四川盆地	苏北—南黄海地区
S <sub>1</sub>	Є <sub>1q</sub>	Є <sub>1m</sub>	黑色页岩	暗色泥岩	0.75%~4%	3.1%	2%~5%	3%~4%	I	I
S <sub>2</sub>	S <sub>1l</sub>	S <sub>1g</sub>	深灰色—黑色页岩	暗色泥岩	1%	0.54%~2.67%	2%~3.6%	1.9%	I	I~II
S <sub>3</sub>	P <sub>1x</sub>	P <sub>1x</sub>	泥质岩、灰岩	黑色灰岩	3.5%(泥质岩)/0.8%(灰岩)	0.45%~1.52%	2%	2.45%	II	III
S <sub>4</sub>	P <sub>2l</sub>	P <sub>2l+d</sub> T <sub>1q</sub>	泥质岩、灰岩	黑色泥岩、灰岩	3%~7%(泥质岩)	1.704%~2.077%(P <sub>2l+d</sub> )/0.308%(T <sub>1q</sub> )	2%以上	1.6%~2.2%(P <sub>2l+d</sub> )/1.05%(T <sub>1q</sub> )	I~II (灰岩烃源岩)	III

程度的影响,四川盆地和南黄海盆地均属于覆盖型的叠合盆地(图4)。

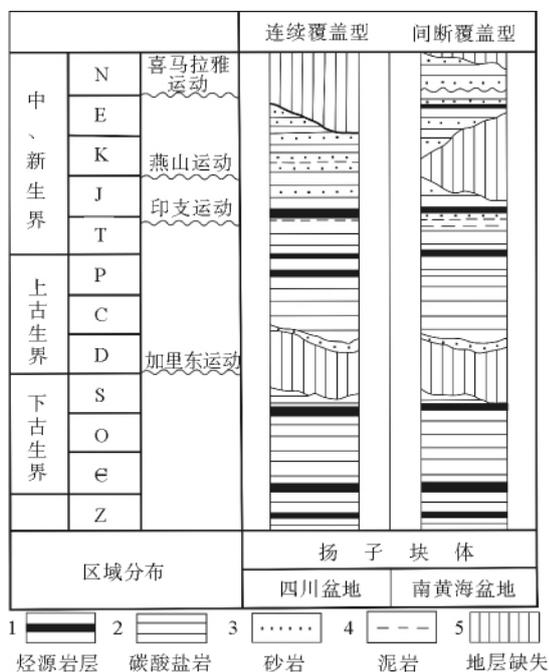


图4 上下扬子地区中—古生界不同盆地叠合类型及其剖面结构特点(据文献[15]修改)

Fig. 4 Different overlap relationships of basins and their vertical sequences of Mesozoic-Paleozoic Groups in lower-upper Yangtze region(modified from reference [15])

已发现了大型油气田的四川盆地属于连续覆盖型盆地,即以整合或假整合关系完整地覆盖于前期盆地之上(新生代地层可能部分缺失)的盆地类

型<sup>[15]</sup>。四川盆地的海相地层(P<sub>z</sub>—T<sub>2</sub>)上覆有较为连续沉积的中—新生代陆相地层,且与海相地层之间为整合或假整合接触,厚度巨大,特别是白垩系与侏罗系,最大累加厚度达到7 600 m<sup>[9]</sup>,其在覆盖关系上的连续性,使多层系生、储、盖要素在时空上有效配置,形成了四川盆地多套良好的原始含油气系统<sup>[15-16]</sup>,中—新生代的构造运动对其油气藏的破坏并不显著。

与四川盆地不同,位于下扬子地区的南黄海盆地属于间断覆盖型盆地,即后期盆地(主要为K<sub>1</sub>—N)以角度不整合覆盖于前期盆地(地层)之上,其间有长短不一的间歇暴露阶段。南黄海盆地中—新生代构造变形强烈,盆地J<sub>2</sub>—K<sub>3</sub><sup>1</sup>之间可能经历了30 Ma之多的暴露剥蚀阶段<sup>[15]</sup>,期间有长期的沉积间断和地层剥蚀存在,造成该地区海相构造层与新近系、古近系和白垩系等陆相地层主要呈角度不整合接触,如勿南沙隆起区新近系地层不整合覆盖于三叠系青龙组之上;南部盆地的古近系直接覆盖于三叠系青龙组甚至上古生界之上;中部隆起区主要由新近系不整合覆盖在上古生界之上等<sup>[9]</sup>,这与东部地区中—新生代受太平洋构造域的强烈作用有关。因此,对于油气藏保存条件而言,下扬子南黄海盆地不如上扬子四川盆地圈闭保存条件好,其后期油气藏破坏严重,这正是两地区油气勘探领域最大的差别所在,同时也说明了盆地演化过程中多期次构造运动所产生的隆起、拗陷、冲断、褶皱、块断、隆升以及热动力作用等多种方式产生的后期改造,均对原型盆地的油气成藏产生程度不同、利弊不一的影响<sup>[15]</sup>。

### 5 结论

(1)上扬子四川盆地与下扬子南黄海地区中—古生代海相地层经历了相同构造运动的改造,海相沉积期内岩性地层及沉积演化特征十分相似;

(2)上扬子四川盆地与下扬子南黄海地区有着极为相似的海进、海退演化序列,海进环境往往意味着烃源岩层的广泛发育,因此,上下扬子地区的烃源

岩层发育期次也十分相近,主要处于各自的早寒武世( $S_1$ 期)、晚奥陶世—早志留世( $S_2$ 期)、早二叠世末( $S_3$ 期)、晚二叠世—早三叠世( $S_4$ 期)等明显的海进期内(表 3),符合前文地层资料,体现了沉积环境与源岩层的对应性,源岩特征也较为相似(表 2)。

(3)上下扬子地区加里东运动抬升所导致的陆相沉积均开始于中—晚志留世,下扬子地区晚泥盆世已开始明显海进,但上扬子古陆一直持续到中—晚石炭世才开始缓慢海进,陆相沉积期更长,四川盆

表 3 上下扬子地区海相地层沉积环境对比

Table 3 Correlation of marine depositional environment types in lower and upper Yangtze

地质年代	上扬子(四川)	水深示意曲线	下扬子(苏北—南黄海)	
三叠纪	晚三叠世		陆相内陆开阔盆地河湖砂泥质沉积 (下扬子大部分抬升为陆)	
	中三叠世		陆相内陆开阔盆地河湖砂泥质沉积 (上扬子近海盆地)	
	早三叠世		浅海碳酸盐岩组合 (下扬子海)	
二叠纪	晚二叠世		海陆交互及陆表海沉积组合 (上扬子浅海)	海陆交互相沉积
	早二叠世		浅海碳酸盐岩组合 (上扬子浅海)	深浅海碳酸盐岩、硅质及碎屑组合
石炭纪	晚石炭世		上扬子古陆(古陆变小)	浅海碳酸盐岩组合
	中石炭世		上扬子古陆	滨浅海碎屑及碳酸盐岩组合
	早石炭世		上扬子古陆	海陆交互相沉积
泥盆世	晚泥盆世		上扬子古陆	陆相沉积
	中泥盆世		上扬子古陆	陆相沉积(内陆河湖盆地泥砂质组合)
	早泥盆世	上扬子古陆	海陆交互至陆相沉积	
志留纪	中—晚志留世	上扬子古陆	浅海碎屑及碳酸盐岩 (下扬子海)	
	早志留世	滨岸—滨浅海碎屑及碳酸盐岩组合 (上扬子海)	浅海泥质及碳酸盐岩组合 (下扬子海)	
奥陶纪	晚奥陶世	浅海泥质及碳酸盐岩组合 (上扬子海)	浅海碳酸盐岩组合 (下扬子海)	
	中奥陶世	浅海碳酸盐岩组合 (上扬子海)	浅海碳酸盐岩组合 (下扬子海)	
	早奥陶世	滨浅海碎屑/碳酸盐岩组合 (上扬子海)	浅海碳酸盐岩组合 (下扬子海)	
寒武纪	中—晚寒武世	滨浅海泥质及碳酸盐岩组合 (上扬子海)	滨浅海/深浅海碳酸盐岩组合 (下扬子海)	
	早寒武世	浅海碳酸盐岩组合 (上扬子海)	浅海泥质及碳酸盐岩组合 (下扬子海)	
震旦纪	晚震旦世	滨浅海碳酸盐及碎屑岩组合 (上扬子陆表海)	浅海泥质及碳酸盐岩组合 (下扬子海)	

地内上志留统,泥盆系和石炭系的大面积缺失证明了这一点,其因抬升导致的剥蚀地层明显多于下扬子地区;

(4)海西期虽然上下扬子区均存在上下二叠统的假整合现象,但其在上扬子四川盆地内主要表现为持续性的上升运动,晚期的东吴运动伴随着大量的玄武岩喷出现象,构成二叠统广泛分布的“峨眉山玄武岩”,下扬子南黄海地区则以拉张断陷作用为主,东吴运动在该地区以震荡作用为主,并未见岩浆活动。

#### 参考文献(References)

- [1] 温珍河,刘守全,陈建文,等. 值得重视的海域海相油气勘探[J]. 海相油气地质, 2007, 12(3): 5-9. [WEN Zhenhe, LIU Shouquan, CHEN Jianwen et al. Oil and gas exploration in marine formation of China sea areas [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(3): 5-9.]
- [2] 沃玉进,汪新伟. 中、上扬子地区地质结构类型与海相层系油气保存意义[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 177-182. [WO Yuxin, WANG Xinwei. Geologic configuration types of the middle-upper Yangtze region and their significance for hydrocarbon preservation in marine strata[J]. Oil and Gas Geology, 2009, 30(2): 177-182.]
- [3] 马永生. 中国海相油气勘探[M]. 北京:地质出版社, 1997: 231-260. [MA Yongsheng. Chinese marine oil and gas exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 231-260.]
- [4] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京:地质出版社, 1992: 10-25. [TONG Chongguang. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 10-25.]
- [5] 杨琦,陈红宇. 苏北—南黄海盆地构造演化[J]. 石油实验地质, 2003, 25(11): 562-565. [YANG Qi, CHEN Hongyu. Tectonic evolution of the North Jiangsu—South Yellow Sea basin[J]. Petroleum Geology and Experiment. 2003, 25(11): 562-565.]
- [6] 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社, 1996: 49-62. [GUO Zhengwu, DENG Kangling, HAN Yonghui et al. Formation and evolution of the Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 49-62.]
- [7] 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. [CAI Feng, XIONG Binhui. Comparison of marine Mesozoic-Paleozoic strata and hydrocarbon source rocks in the South Yellow Sea and Lower Yangtze area [J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(6): 1-6.]
- [8] 张志珣,蓝先洪,刘锡清,等. 1:100万南通幅海洋区域地质调查成果报告[R]. 青岛:青岛海洋地质研究所, 2007: 625-683. [ZHANG Zhixun, LAN Xianhong, LIU Xiqing et al. 1:1000000 Geological survey report on the marine areas in Nantong sheet [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2007: 625-683.]
- [9] 戴春山. 中国海域含油气盆地群和早期评价技术[M]. 北京:海洋出版社, 2011: 71-197. [DAI Chunshan. Oil gas basin group of China Sea and early resource assessment techniques [M]. Beijing: China Ocean Press, 2011: 71-197.]
- [10] 徐胜林,陈洪德,陈安清,等. 四川盆地海相地层烃源岩特征[J]. 吉林大学学报, 2011, 4(2): 344-349. [XU Shengli, CHEN Hongde, CHEN Anqing, et al. Source rock characteristics of marine strata in Sichuan Basin [J]. Journal of Jilin University, 2011, 4(2): 344-349.]
- [11] 王鸿祯,楚旭春,刘本培,等. 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社, 1985: 32-94. [WANG Hongzhen, CHU xunchun, LIU Benpei, et al. Atlas of Palaeogeography of China [M]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1985: 32-94.]
- [12] 高林,周雁. 中下扬子区中—古生界烃源岩评价与潜力分析[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(3): 30-33. [GAO lin, ZHOU yan. Evaluation and potential analysis on source rocks in Mesozoic and Paleozoic marine sequences in middle-lower Yangtze area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3): 30-33.]
- [13] 张银国,梁杰,杨艳秋. 南黄海海相中、古生界油气资源战略选区评价[R]. 青岛:青岛海洋地质研究所, 2009: 58-79. [ZHANG yinguo, LIANG jie, YANG yanqiu. Paleozoic oil and gas resource evaluation of strategic constituencies in South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2009: 58-79.]
- [14] 郑求根,雷保华,马良涛,等. 南黄海盆地构造演化与海相中、古生界油气成藏条件预测[R]. 北京:中国地质大学, 2008: 62-66. [ZHENG qiugen, LEI baohua, MA liangtao, et al. Tectonic evolution of the South Yellow Sea basin and the marine Paleozoic oil and gas accumulation conditions forecast [R]. Beijing: China University of Geosciences, 2008: 62-66.]
- [15] 倪新锋,陈洪德,韦东晓,等. 中上扬子盆地叠加、改造类型及油气勘探前景[J]. 地质学报, 2009, 83(4): 468-476. [NI xinfeng, CHEN dehong, WEI xiaodong, et al. Superimposing and rebuilding of the Middle-Upper Yangtze basins and its prospects of oil and gas in marine strata [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(4): 468-476.]
- [16] 马力,陈焕疆,甘克定,等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社, 2004: 567-769. [MA li, CHEN huanjiang, GAN keding, et al. Tectonics in South China and marine petroleum geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 567-769.]

## LITHOSTRATIGRAPHIC CORRELATION OF MESOZOIC AND PALAEOZOIC MARINE STRATA BETWEEN SOUTH YELLOW SEA AND UPPER YANGTZE REGION

QI Jianghao<sup>1,2</sup>, WEN Zhenhe<sup>2</sup>, ZHANG Xunhua<sup>2</sup>, FANG Nianqiao<sup>1</sup>, GUO Xingwei<sup>2</sup>

(1. School of Ocean Sciences, China university of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071)

**Abstract:** Exploration for marine hydrocarbon has gained great attention in China recently. The Pre-Cenozoic marine strata were widely distributed in the South Yellow Sea. In order to better understand these strata, we made comparison in this article of the marine strata and their depositional features between the South Yellow sea and the Sichuan basin in the upper Yangtze with the well data from the South Yellow sea and the lithostratigraphic data from the Upper Yangtze area. It is concluded that the Mesozoic and Paleozoic marine strata in the two areas dominated by carbonate platform deposits are generally similar before Indosinian movement, but different in the time and scale due to the tectonic movements in Paleozoic and Mesozoic. The sediments are comparable between the upper and lower Yangtze. Also discussed briefly are the source rocks and reservoir storage capabilities between the two regions. The successful exploration for marine oil and gas in the Sichuan Basin has provided a benchmark for the assessment of oil and gas potential and exploration of marine hydrocarbons in the South Yellow Sea.

**Key words:** upper Yangtze; lithostratigraphy; sedimentation; Sichuan Basin; South Yellow sea