

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019112001

中国海域油气资源潜力分析与黄东海海域油气资源调查进展

陈建文^{1,2}, 梁杰^{1,2}, 张银国^{1,2}, 杨长清^{1,2}, 袁勇^{1,2}, 许明^{1,2}, 王建强^{1,2}, 雷宝华^{1,2}, 李刚^{1,2}, 杨艳秋^{1,2}, 杨传胜^{1,2}, 孙晶^{1,2}

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

2. 青岛海洋科学与技术国家试点实验室海洋矿产资源评价与探测功能实验室, 青岛 266071

摘要:2019 年是青岛海洋地质研究所重建 40 周年。40 年来, 研究所根据公益性油气资源调查的基本定位, 按照“立足黄东海、面向中国海、辐射全球海”的空间业务布局, 紧密围绕国家和社会重大需求、瞄准国际海洋科技前沿, 以摸清中国海域油气资源家底、掌握资源分布状况、实现新区新层系油气突破、服务国家能源战略和海洋强国战略为己任, 持续开展了中国海域油气资源区域评价与黄东海盆地油气资源调查, 大体分为海域及邻区沉积盆地对比研究、中国海域区域评价战略研究和黄东海海域新区新层系油气资源调查 3 个阶段。先后主持编制了中国海域沉积盆地分布图和油气资源勘探开发(动态)形势图, 开展了海域及邻区含油气盆地对比、中国海域油气勘探开发形势动态分析和油气资源区域评价战略研究、黄东海海域油气资源调查研究与评价, 取得了一批原创性的成果。主要体现在: ①海域油气资源早期评价技术和沉积盆地深部地震探测技术取得突破性进展; ②中国海域油气资源丰富, 下一步的调查与勘探方向包括: 新层系、近海天然气、富生烃凹陷潜山油气藏、南海深水油气、南海生物礁和非常规天然气; ③明确了南黄海盆地的基底性质、海相盆地地层层序和构造区划、侏罗纪前陆盆地特征、海相盆地的油气地质条件和有利区带; ④明确了东海中生代盆地的地层层序、盆地结构和两期盆地性质、“大东海”中生代地层分布特征、中生界油气地质条件和有利区带; ⑤发现了南黄海古生界古油藏。上述成果和认识为海洋油气资源调查与勘探的下一步工作奠定了坚实的基础。

关键词:中国海域; 油气资源潜力; 油气勘查战略领域; 南黄海中—古生界; 东海中生界

中图分类号: P744.4

文献标识码: A

Regional evaluation of oil and gas resources in offshore China and exploration of marine Paleo-Mesozoic oil and gas in the Yellow Sea and East China Sea

CHEN Jianwen^{1,2}, LIANG Jie^{1,2}, ZHANG Yinguo^{1,2}, YANG Changqing^{1,2}, YUAN Yong^{1,2}, XU Ming^{1,2}, WANG Jianqiang^{1,2}, LEI Baohua^{1,2}, LI Gang^{1,2}, YANG Yanqiu^{1,2}, YANG Chuansheng^{1,2}, SUN Jing^{1,2}

1. Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China

2. Pilot Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

Abstract: 40 years have passed since the reestablishment of the Qingdao Institute of Marine Geology in 1979. In the past 40 years, following the basic objective to carry out public oil and gas surveys in China seas and global waters with the Yellow Sea and East China Sea as major targets so as to meet the increasing demand of energy resources of the nation and society, the institute has devoted a lot to the studies on hydrocarbon resource generation and distribution patterns in China seas, upon the international frontiers of marine science and technology. A great number of breakthroughs have been achieved, such as the discovery of new oil and gas horizons and districts. Under the guidance of national energy strategy and the task to make China a strong marine power, the Institute has persisted in regional evaluation of oil and gas resources in China seas, in particular in the Yellow Sea and East China Sea. The research can be roughly subdivided into three stages: the first stage focusing on comparison of offshore and neighbouring basins; the second stage focusing on the study of regional evaluation strategies of China seas and the third stage focusing on new horizons and new districts in the Yellow Sea and East China Sea. A map series on distribution of

资助项目:国家地质调查专项“崂山隆起构造沉积条件地质调查”(DD20190818), “南黄海油气资源调查”(DD20160152), “NHH 海域油气资源普查”(GZH200800503), “东海陆架盆地西部坳陷带含油气远景调查评价”(1212010310403), “东海陆架西部和 DNB 油气资源调查”(DD20160153), “东海南部 MJ-JL 凹陷中生界油气资源调查”(DD20190211)

作者简介:陈建文(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事海域油气资源调查评价与研究工作, E-mail: jwchen2012@126.com

收稿日期:2019-11-20; **改回日期:**2019-12-03. 蔡秋蓉编辑

sedimentary basins in China seas and a set of dynamic situation map of oil and gas exploration and development in China Sea were compared and published successively. During the period, following achievements are necessary to be mentioned: (1) Breakthroughs in early stage oil and gas evaluation technology and the deep seismic detection technology for offshore sedimentary basins; (2) Resource assessment in China seas. Data proves that China is rich in marine oil and gas. And the next cycle of survey and exploration should be placed in the new horizons, such as gas offshore, buried hills oil and gas resources in the hydrocarbon-rich sags, oil and gas in deepwaters, organic reefs in the South China Sea and unconventional gas; (3) Further understandings of basic geology, such as, basement properties, marine stratigraphic sequences, tectonic division, characteristics of Jurassic foreland basins, marine basin hydrocarbon geologic conditions and favorable zones in the South Yellow Sea basins; (4) Solution of some specific geological problems related to oil and gas accumulation. Such as, Mesozoic stratigraphic sequences, two-stage basin architecture, basin properties, Mesozoic stratigraphic distribution patterns and the discovery of "Great East China Sea", Mesozoic hydrocarbon geologic conditions and favorable zones in the East China Sea; (5) Discovery of Paleozoic reservoirs. These achievements and discoveries have laid a solid foundation for the future oil and gas geological survey and exploration in China seas.

Key words: China seas; potential of oil and gas resource; strategic areas of oil and gas survey; Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea; Mesozoic in East China Sea

1 调查研究历程

青岛海洋地质研究所自1979年在青岛重建以来,几代石油地质人持续开展了中国海域油气资源区域评价与黄东海盆地油气资源调查。40年来,取得了一系列的研究成果和重要发现。总体分为3个阶段。

第1阶段:海域及邻区沉积盆地对比研究阶段(1990年以前)

该阶段的主要任务是:掌握中国海域沉积盆地的分布状况和当时的海域油气勘探开发形势,研究各盆地的形成演化特征及其基本的石油地质条件。围绕上述主要任务,依托国家攻关项目和部控、局控项目,取得了以下主要成果:①系统收集和整理了全海域的地质和地球物理资料;②首次编制了中国海域油气勘探开发形势图(1:200万)^[1];③通过组织实施“海域及邻区含油气盆地对比研究”项目系统分析了中国海域及邻区中—新生代含油气盆地的类型、形成背景和过程、基本油气地质条件、油气资源赋存状况^[2-3]。

第2阶段:中国海域区域评价战略研究(1991—2005年)

该阶段开展了中国海域油气资源区域评价、勘探开发形势动态分析与战略研究、中国海域油气资源数据库建设和黄东海海域油气资源战略侦查。依托国家“八五”、“九五”、“十五”攻关项目、国家海洋专项和“863”项目、国土资源地质大调查项目和国际合作项目,先后完成中国海域油气资源区域快速评价技术研究、油气资源区域评价与战略研究、油气勘探开发形势动态分析、黄东海油气资源战略侦查等工作,取得了重要成果有:①形成具有自主知识产权的海上油气资源区域快速综合评价

技术^[4-6];②编制了中国海域沉积盆地分布图(1:500万)^[7]和各年度的海域油气勘探开发形势图,构建了海域油气资源数据库^[8-9];③系统评价了中国海域含油气盆地的油气资源;④提出了中国海域油气资源战略性调查的四大领域和八个方向^[10-11];⑤对黄东海海域沉积盆地的形成及油气地质条件有了进一步的认识^[12-22];⑥通过参与国际合作项目“东南亚地质单元对比”(CCOP/CPGDP)(1996—1999年),共享了CCOP/CPGDP数据库,为研究所的油气地质工作“辐射全球海”奠定了初步的资料基础。

第3阶段:黄东海海域新区新层系油气资源调查阶段(2005年—现在)

这一阶段的主要任务是:以黄东海海域新区新层系为目标开展战略调查、预测远景区、优选有利区带、确定重点目标、锁定参数井钻探井位,实施钻探、实现油气资源战略性调查的重大突破。

2005年,全国油气资源选区调查评价专项项目“南黄海前第三系油气资源前景研究”项目^[23-26]的启动,标志着中国海域油气资源战略性调查进入新区新层系调查评价阶段。此后国家专项先后启动了南黄海海域油气资源普查、南黄海崂山隆起及滩海区海相地层油气资源调查评价、NHH油气资源调查、崂山隆起构造沉积条件地质调查、BHH盆地油气资源勘查、东海陆架盆地西部坳陷带油气资源调查评价、东海南部油气资源选区评价、东海陆架盆地西部及DNB油气资源调查、东海MJ-JL凹陷油气资源调查等项目,在黄东海海域新区新层系油气资源调查的同时,开展了中国海域和21世纪海上丝绸之路沿线国家海域油气勘探开发形势分析,取得了以下主要成果:①研发了南黄海海相中—古生界“高富强”地震探测技术^[27-30],应用该技术在南黄海崂山隆起获得了海相中—古生界的有效反

射^[31], 发现了三套地震反射标志层组^[32-33]; ②提出并证实了南黄海海在区域构造上“不仅是扬子地台的延伸, 而且是下扬子的主体”^[34]的新认识; ③发现和圈定南黄海海域古生界的构造稳定区^[34], 该区是南黄海海相中—古生界下一步油气勘查的重点区; ④发现了南黄海崂山隆起古生界的古油藏^[35-37], 说明区内曾经历过大规模的油气运移和聚集过程; ⑤认为南黄海海相中—古生界具有形成大型油气田的物质基础和构造条件^[38], 其中崂山隆起是海相下构造层的油气远景区、勿南沙隆起是海相上构造层的油气远景区^[32,34,39], 高石稳定带是利区带、高石 2 号和 3 号圈闭是首选钻探目标^[40-41]; ⑥重塑了东海陆架盆地中生代多期次叠加演化和动力学转换过程, 明确了东海及邻域中生代遭受两次海侵事件^[42-43]; ⑦认为东海南部中生界厚度大、分布广、油气前景好, 闽江凹陷是油气远景区, 闽江斜坡和台北转折带是利区带^[44-48]; ⑧建立黄东海大型叠合盆地多源多期成藏地质模式^[48]; ⑨依托中国地质调查局组织实施的国家专项项目, 查明了北黄海盆地的地质构造特征和油气地质条件, 在中生代致密砂岩中获得了低产油气流^[49-50]; ⑩编制了各年度中国海域油气资源勘探开发形势图(1:200 万)和 21 世纪海上丝绸之路沿线国家海域油气资源勘探开发形势图(1:1 000 万)(2015—现在)^[51-52]。

2 地质背景

2.1 构造背景

中国海域位于欧亚板块的东南部, 是欧亚板块、印度—澳大利亚板块和太平洋板块的汇聚区。从地球动力学角度看, 是古亚洲域、环太平洋域和特提斯构造域的动力转换区。历史大地构造分析认为, 中国东部大陆与海域自太古代以来经历了大陆基底形成(800 Ma 以前)、大陆增生与拼合(205~800 Ma)和陆内造山与成盆(205 Ma 以来)3 大构造阶段及 10 期构造旋回(表 1), 历经多次拉张与挤压的构造动力学转换, 并在中晚元古代以来, 形成了克拉通、前陆和裂陷等不同性质的盆地^[4]。

2.2 沉积盆地分布与类型

中国管辖海域约 300 万 km², 其上分布有 30 个大小不等、形态各异新生代沉积盆地(图 1, 表 2), 由北往南分别为: 渤海、北黄海、南黄海、东海陆架、冲绳海槽、台西、台西南、珠江口、北部湾、笔

架南、尖峰北、双峰、西沙海槽、琼东南、莺歌海、中建南、排波、西北巴拉望、礼乐、万安、南薇西、南薇东、永署、九章、安渡北、曾母、北康、南沙海槽和文莱沙巴盆地。其中大多分布于大陆边缘, 按盆地结构的不同和成因上的差异, 大体可将盆地分为 8 种类型^[53], 即陆内裂谷盆地、陆缘裂谷盆地、走滑拉张盆地、弧后盆地、前弧盆地、前陆盆地、裂离陆块盆地和深海堆积盆地(表 3)。

3 中国海域油气资源潜力

不同时期的油气资源评价表明, 中国海域油气资源丰富。2015 年的全国油气资源动态评价结果与 1994 年的全国第二轮油气普查评价结果^[10]相似, 近海 11 个新生代盆地(渤海、北黄海、南黄海、东海、冲绳海槽、台西、台西南、珠江口、北部湾、琼东南、莺歌海)石油地质资源量 239.04×10^8 t, 其中渤海、珠江口、北部湾、琼东南 4 大盆地资源量均超 10×10^8 t, 累计 220.67×10^8 t^[54-55], 占 92%; 近海天然气地质资源量 20.85×10^{12} m³^[54-55], 东海、琼东南、莺歌海、珠江口、渤海 5 大盆地资源量均超 10^{12} m³, 累计 19.92×10^{12} m³, 占 96%。南海西沙、南沙群岛附近海域面积约 82×10^4 km², 其中位于我国传统海疆线内的面积约为 70×10^4 km², 油气资源极为丰富。据“八五”期间资源评价结果, 南沙海域诸盆地中的总资源量达 331.7×10^8 t, 其中资源量在 50×10^8 t 以上的特大型含油气盆地有 3 个(万安、曾母、文莱—沙巴), 总资源量达 $(230 \sim 243) \times 10^8$ t, 占南沙海域资源量的 69.3%~73.2%。这些大型、特大型含油气盆地大部分位于我国传统海域疆界线以内^[10]。

我国海域新生代盆地之下还有中、古生代的残留盆地沉积, 其厚度大、分布广泛。战略性调查表明, 油气资源丰富, 油气前景好。2018 年, 海洋地质调查项目的资源评价表明, 我国海域 30 个盆地(包括新区、新层系)石油总资源量为 490×10^8 t, 天然气总资源量达 65.5×10^{12} m³。中国海域油气勘探程度低, 沉积盆地中每 100 km² 探井仅 0.53 口, 每 1 km² 沉积盆地仅 1.5 km 地震测线(扣除早期自营勘探期间质量较差的地震测线)。而我国对边远海区(如冲绳海槽盆地、南沙海域诸盆地)尚未进行钻探, 地震工作量亦极为有限。

我国近海盆地资源探明程度低^[56-59], 以发现储量(探明+控制+预测)计算, 截止 2018 年, 近海探明石油地质资源量 43.22×10^8 t, 探明程度为 18%, 近海探明天然气地质资源量 1.1×10^{12} m³, 占 5.3%。与中

表 1 中国海域与东部大陆构造演化阶段及其动力学环境简表^[4]
Table 1 A summary of tectonic evolution stages and kinetic background of China seas and East China continent^[4]

地质时代 (Ma)				构造阶段	构造旋回 (Ma)	构造运动 (事件) (Ma)	主要动力学环境 (Ma)	主要盆地类型						
宙	代	纪	时间											
显生宙	新生代	新 生 代	第四纪	Q	1.8	喜马拉雅旋回	晚喜马拉雅运动 (2.4) 中喜马拉雅运动 (23.8) 早喜马拉雅运动 (40.50)	伸 展	裂陷盆地					
			新近纪	N							23.8			
			古近纪	E										
	中生代	白垩纪	K ₂	65.5	80	燕山旋回	晚燕山运动 (80) 中燕山运动 II (110±5) 中燕山运动 I (145±5) 早燕山运动 II (155~170) 早燕山运动 I (180)	80 伸 展 145	裂陷盆地					
			K ₁	98.9										
			J ₃	142										
			J ₂	159.4										
			J ₁	180										
		侏罗纪	T ₃	205	205	印支旋回	晚印支运动 (205) 早印支运动 (230)	挤 压	前陆盆地 及裂陷盆地					
			T ₂	227										
			T ₁	241.7										
			P ₂	250										
			P ₁	260										
	古 生 代	晚古生代	二叠纪	292	260	华力西旋回	晚海西运动 (260) 早海西运动 (354)	伸 展	克 拉 通					
			石炭纪	C ₂							320			
				C ₁							354			
				D ₃							370			
			D ₂	391										
		早古生代	D ₁	417	417	加里东旋回	晚加里东运动 (417) 早加里东运动 (440)	挤 压	盆 地					
			志留纪	S							440			
			奥陶纪	O							495			
			寒武纪	Є							540			
			震旦纪	Z							800			
			青白口纪	Q _b							800			
元古宙	新元古代	J _x	1 000	800	扬子(晋宁)旋回	晋宁运动 (800) 四堡运动 (1 000)	800 挤 压 1 000 伸展为主	地						
		蓟县纪	J _x							1 400				
	中元古代	C _{hc}	1 800							1 800	吕梁运动 (1 800) 吕梁旋回	1 800 挤压—伸展		
		长城纪	C _{hc}											
	古元古代	H _t	2 500							2 500	五台运动 (2 500) 五台旋回	2 500 陆壳的增加		
太古宙	太古代	五台纪	W _t	2 600	2 600	阜平运动 (2 600) 阜平旋回	2 600 挤压为主							
		阜平纪		3 000						3 000	迁西运动 (3 000) 迁西旋回	3 000		
			迁西纪										3 350	
													3 800	

国东部陆上油气区平均探明程度 37%(有的坳陷达 50% 以上)相比,近海油气探明程度相差甚远。因此,中国海域油气资源丰富,勘探潜力巨大。

4 中国海域油气资源勘查方向

4.1 新层系

4.1.1 黄海海域陆相中生界

黄海海域发育 2 个中—新生代沉积盆地,即北黄海盆地和南黄海盆地,这两个盆地的勘探程度

低,新生代盆地之下发育陆相中生代盆地。资料表明其具有油气远景。

(1)北黄海盆地

北黄海盆地是在华北地台基底上发育的中—新生代断陷型沉积盆地,北为海洋岛隆起,南为刘公岛隆起,向东与朝鲜陆上的安州盆地相连。早期,朝鲜在盆地东部的钻井揭示了中生代地层,上侏罗统龙胜组和新义州组为砂页岩夹薄层煤,其中发育良好的生油层;白垩系以砂岩为主,可作为储层,新生界发育良好的盖层。所钻的 610 井于白垩系砂岩中试获日产原油 52.7 t,在 606 井侏罗系—白

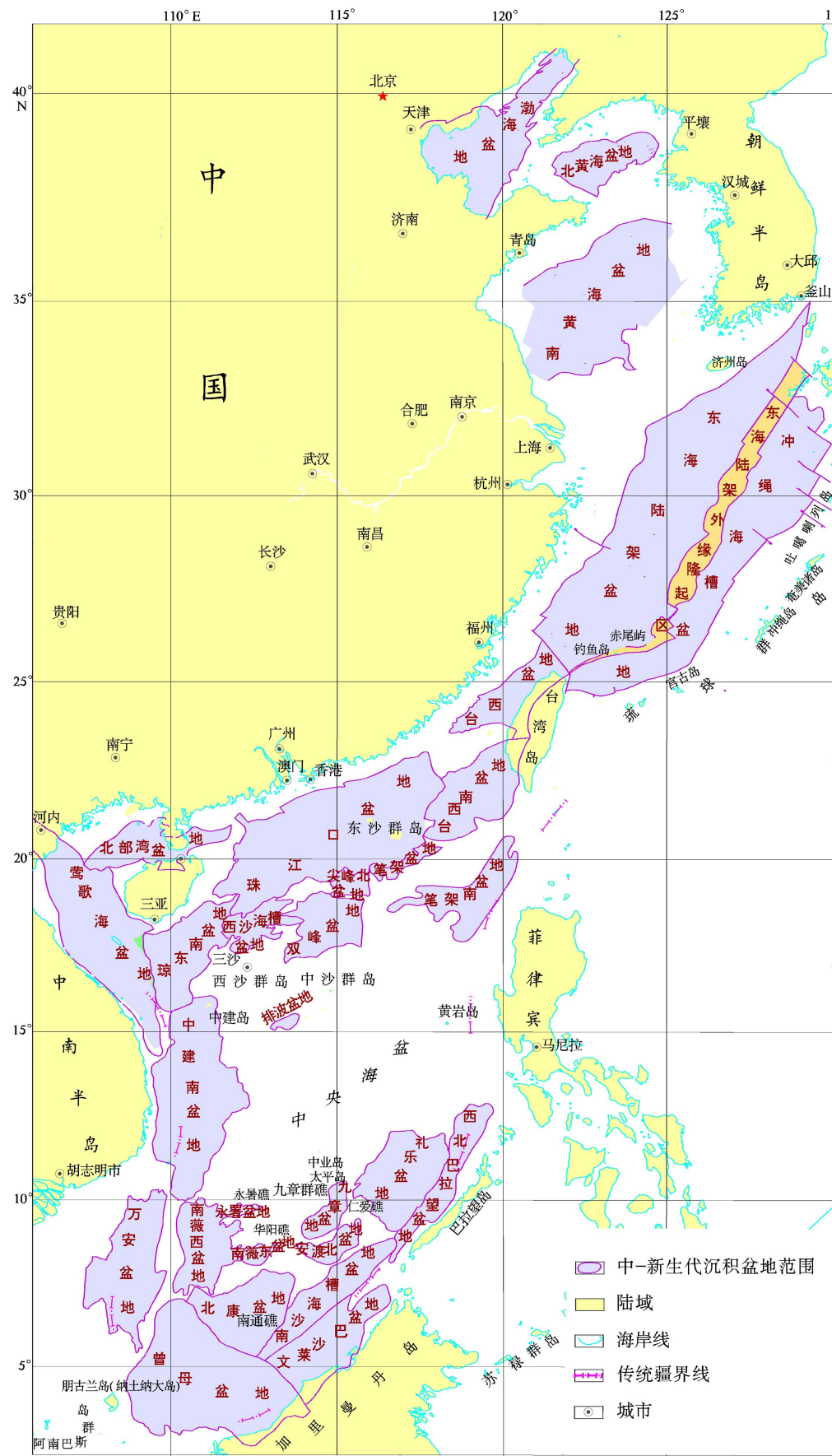


图 1 中国海域沉积盆地分布图

Fig.1 Distribution map of sedimentary basins in China seas

表 2 中国海域沉积盆地
Table 2 A summary of sedimentary basins in China seas

海域	盆地名称
渤海和黄东海	渤海盆地、北黄海盆地、南黄海盆地 东海陆架盆地、冲绳海槽盆地、台西盆地
南海	台西南盆地、珠江口盆地、北部湾盆地、笔架盆地、笔架南盆地、尖峰北盆地、双峰盆地、西沙海槽盆地、琼东南盆地、莺歌海盆地、中建南盆地、排波盆地、西北巴拉望盆地、礼乐盆地、万安盆地、南薇西盆地、南薇东盆地、永署盆地、九章盆地、安渡北盆地、曾母盆地、北康盆地、南沙海槽盆地和文莱沙巴盆地

表 3 中国海域主要盆地类型划分 (据文献 [53] 修改)
Table 3 Basin types of major basins in China seas (Modified from [53])

盆地类型	盆地划分
陆内裂谷盆地	渤海湾盆地、北黄海盆地、南黄海盆地、北部湾盆地
陆缘裂谷盆地	东海陆架盆地、台西盆地、台西南盆地、珠江口盆地、琼东南盆地
走滑拉张盆地	莺歌海盆地、中建南盆地、万安盆地
弧后盆地	冲绳海槽盆地
前弧盆地	文莱沙巴盆地
前陆盆地	曾母盆地
裂离陆块盆地	北康盆地、南薇盆地、礼乐盆地、南薇西盆地、南薇东盆地、永署盆地、九章盆地、安渡北盆地、西北巴拉望盆地、
深海堆积盆地	笔架盆地、笔架南盆地、尖峰北盆地、双峰盆地、西沙海槽盆地、排波盆地

垩系中试获日产原油 31 t, 在 405 井侏罗系测试日产原油 60 t。近年来, 中国地质调查局在盆地东部坳陷钻探的 10 口井进一步揭示中—上侏罗统发育 2 套有效烃源岩^[60], 并存在早(J_3-K_1)、晚(E_2 末- N_1) 2 期排烃高峰, 生烃总量达 $1\,400\times 10^8$ t, 预测可形成侏罗系“自生自储式”和侏罗系—白垩系(或新生界)“下生上储式”两类生储盖组合^[50,61], 并钻获得低产油流, 油气前景好^[10]。

(2)南黄海盆地

南黄海盆地和陆上的苏北盆地相连形成统一的苏北—南黄海中—新生代陆相盆地, 该盆地是在扬子地台基础上发育的裂陷盆地。盆地成盆时, 首先沉积了晚中生代地层。黄 7 井揭示了厚达 1 065 m 晚白垩世泰州组湖相沉积, 诸城 1-2-1 井发现泰州组岩心泥岩裂隙中有少量液体原油渗出及强烈的荧光显示, RC20-2-1 井揭示 2 100 m 厚的中侏罗世地层。地震资料表明, 盆地北部烟台坳陷中生代沉积范围较广, 沉积厚度较大, 使用沉积岩体积法计算的中生界油气资源量为 9×10^8 t 油当量^[40]。由此推测, 南黄海盆地中生代油气具有良好的勘探前景^[10, 62]。

4.1.2 南黄海水相中—古生界

俄罗斯东西伯利亚在寒武系—震旦系海相地层中发现了一批大油气田, 本世纪以来, 我国在四川盆地和塔里木盆地的晚元古代—古生代海相地

层发现许多大型、特大型油气田, 如四川盆地的安岳、普光、元坝、龙冈气田, 塔里木盆地的顺北、克拉、克深、博孜气田。事实证明, 古老海相地层中有丰富的油气资源^[10]。南黄海地区在晚元古代—古生代沉积时期是下扬子盆地向海域的延伸部分, 而且是下扬子的主体。新生界地层之下是以碳酸盐岩为主的新元古界—中生界下三叠统的海相沉积。目前已有多口钻井钻遇, 如 WX5-ST1 井、CZ35-2-1 井、CZ24-1-1 井、CZ12-1-1 井、WX13-3-1 井、WX4-2-1 井、Kachi-1 井等钻获石炭系、二叠系、下三叠统。2016 年钻探的 CSDP-2 全取心井完整了揭示了与下扬子陆域可对比的早志留世—早三叠世完整的海相沉积, 烃源岩和储层发育, 在志留系砂岩、石炭系灰岩、二叠系砂岩和下三叠统青龙组灰岩中见到多层油气显示, 在砂岩和灰岩储层中发现了大量的油气包裹体和古油藏^[35-37], 说明区内曾发生过大规模的油气运移过程。通过地震资料解释, 在构造稳定区崂山隆起发现了一批古生界大型圈闭^[63], 是下一步的重要勘查方向。

4.1.3 “大东海”中生界

近年来的地质、地球物理解释和及海陆对比表明, 东海新生代盆地之下发育广泛分布的中生界, 前人划分的新生代 3 个凸起(雁荡、台北、观音)在中生代时期呈雁列向南消失, 观音凸起和台北凸起上中生界厚度稳定分布^[44], 向南连接南海北部、向

东延伸至日本列岛^[64-66],形成了一个中生代“大东海”盆地^[44];FZ10-1-1 和 FZ13-2-1 井揭示中生代地层有侏罗系福州组、白垩系厦门组、渔山组、闽江组和石门潭组,其中发育福州组和石门潭组 2 套生烃岩,侏罗系和白垩系砂岩储层和盖层发育。中生代经历了侏罗纪拗陷(可能是特提斯海的分支)^[67]和白垩纪断陷两期演化过程,形成两套含油气系统,盆地模拟法计算中生界油气地质资源量达 63.9×10^8 t 油当量,具有良好的油气远景^[48]。

4.1.4 新近系

传统石油地质理论认为,新近系地层因埋藏浅、烃源岩不成熟难以形成油气聚集。我国海域沉积盆地中一方面由于新近纪的快速沉降导致沉降中心、沉积中心转移形成巨厚地层,并产生差异压实和岩性圈闭,另一方面因频繁发生的新构造活动形成具有规律性分布的构造圈闭,并使下部地层的油气运移和调整至新近系圈闭中形成新近系油气藏^[68-72]。新构造运动的主要表现包括中新统末、上新统与第四系之间及层系内部的不整合、中新世和第四纪沉降、沉积中心的迁移、非常发育的晚期断裂活动及活跃的天然地震等^[68-69]。控制油气成藏的新构造运动按成因分为 4 种类型:

(1) 新生代晚期板块运动诱发的新构造运动。如东海盆地西湖拗陷中新世末反转构造、台湾岛及其周边新生代晚期板块活动俯冲引起的新构造活动。

(2) 深部动力源诱发的区域大断裂的继承性活动或重新活动。如纵贯渤海的郯庐断裂带的活动控制了 PL19-3 油田、BZ29-4 等油气田的形成,该区下一步具体勘探方向有:①被生烃凹陷包围的隆起区及其倾没带。如渤海海域的辽西、石臼坨、沙垒田、埕北、渤南、庙西、莱北、渤东隆起等,区内已发现 QHD32-6、NB35-2、PL19-3 和 CFD11-1 等大油田。②凹陷区受走滑、张扭、逆牵引、差异压实和滑塌等因素控制的新近纪断裂背斜带。如渤海海域与郯庐断裂走滑张扭、压扭伴生的断裂带上,区内已发现 QK17-3、QK17-2、BZ25-1 等油田。

(3) 陆架陆坡转折带沉积体的滑塌陷落诱发的陆架、陆坡转折带断裂重新活动。如珠江口盆地、琼东南盆地。

(4) 盆地快速沉降和区域应力场变化诱发的底辟活动。如莺歌海盆地中央持续的底辟活动,1 号断裂右旋走滑产生的剪切断裂应力薄弱带,出现成排分布的泥底辟拱张背斜构造,伴随构造形成的垂向拱张断裂和裂隙,成为油气垂向运移的通道,也是高温超压传递散失的通道,使深部烃类向浅部运

移,在拱张背斜中成藏,DF1-1 气田就是典型的例子。

4.2 近海天然气

中国海域天然气资源丰富^[73],2015 年动态评价认为,近海新生代盆地天然气地质资源量 20.85×10^{12} m³,2018 年底,探明 1.1×10^{12} m³,探明程度为 5.3%。前古近纪新层系的油气资源主要为天然气,2018 年海洋地质调查项目评价结果表明,全海域天然气资源量达 65.5×10^{12} m³。因此,天然气是海域未来油气勘探的主战场。

我国近海沉积盆地可分为“内带”与“外带”两大部分^[74-75]。内带是典型的裂谷盆地,裂陷期是主要烃源岩发育期,裂后沉积较薄,烃源岩演化程度不高,裂后晚期进入生油高峰,一般以生油为主,只有少数凹陷(如渤中、珠Ⅲ及丽水等)具生气条件。外带在早期裂陷沉积基础上,裂后期发生快速沉降,形成了巨厚的裂后沉积(如莺歌海—琼东南盆地新近系沉积上万米),裂陷期与裂后期两套烃源岩热演化程度都较高,以生气为主,构成我国近海天然气资源集中分布区。东海、琼东南、莺歌海、珠江口、渤海 5 大盆地占近海新生代盆地天然气资源量的 96%。

4.2.1 东海陆架盆地

东海陆架盆地以古新统碳质泥岩和煤层、始新统平湖组湖相泥岩为主要烃源岩,古新统烃源岩主要分布于东海陆架盆地西部拗陷带,平湖组烃源岩主要分布在陆架盆地的东部拗陷带。古近系发育河湖相、三角洲砂岩构成良好的储集体。灵峰组泥岩、平湖组泥岩、花港组上段泥岩平面上分布比较稳定,可为区域性盖层^[72]。众多与断裂密切相关的断块和地层岩性圈闭,构成以断块气藏为主要类型的气藏。东海陆架盆地天然气资源量为 6.05×10^{12} m³,截止 2018 年底,已发现 16 个气田,其中储量大于 $1\,000 \times 10^{12}$ m³ 的特大型气田 4 个,盆地整体勘探程度较低,尚有一批预测储量规模较大的含气构造,发现大中型气田的希望较大。西湖凹陷和瓯江凹陷是进一步寻找大中型气田的有利勘探靶区。

4.2.2 琼东南盆地

盆地内烃源岩主要为崖城组二段和陵水组二段沼泽相、浅海相泥岩,其次为梅山组浅海、半深海相泥岩。储层主要有陵水组三段滨海相、扇三角洲相砂岩,其次为三亚组、黄流组浅海陆架席状砂和浊积砂。分布广、厚度大的梅山组浅海相泥岩构成良好的区域性盖层。圈闭类型以断块为主,也有发育面积较大的背斜圈闭。已发现了 YC13-1、LS17-2

和LS25-1等大型气田,盆地内天然气资源量为 $5.16 \times 10^{12} \text{ m}^3$,截止2018年底,已探明 $0.18 \times 10^{12} \text{ m}^3$,资源探明程度仅为3.5%。还有大量的资源待发现,盆地内的崖南、宝岛及松南凹陷为富气凹陷^[76-78],紧临富气凹陷的崖城—松涛凸起及其斜坡、崖21-1背斜带是下一步的勘探重点区。

4.2.3 莺歌海盆地

莺歌海盆地烃源岩有梅山组、三亚组、黄流组和莺歌海组海相泥岩;储层包括黄流组和莺歌海组海相砂岩,分布范围广,物性好;莺歌海组二段泥岩不仅厚度大、分布广,且存在超压层,为良好的封盖层。盆地内已发现DF1-1、LD22-1和DF13-2等大型气田,盆地内天然气资源量为 $4.42 \times 10^{12} \text{ m}^3$,截止2018年底,已探明 $0.21 \times 10^{12} \text{ m}^3$,探明程度仅为4.7%,还有大量的资源待发现^[76-78]。盆地中的泥底辟构造带、莺东斜坡构造带和临高构造带是寻找天然气的重点区带。

4.2.4 珠江口盆地

珠江口盆地主要烃源岩为恩平组湖沼相泥岩,储层为珠海组二段浅海相砂岩,珠海组是区域性盖层。凹陷内恩平组埋藏深度超过5 000 m,全部进入生气窗并出现超压。天然气以垂向和侧向两种方式通过断裂运移至珠海组、珠江组区域盖层以下的储层圈闭中。盆地内发育两套含气组合^[79-80],恩平组—珠海组和文昌组—珠江组,由于异常高压和深大断裂的存在,造就了前者以产气为主。盆地内已发现LH29-1、LH29-2、PY30-1和WC9-3等16个气田,盆地内天然气资源量为 $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$,截止2018年底,已探明 $0.15 \times 10^{12} \text{ m}^3$,资源探明程度低,仅为5.3%。盆地深部是寻找天然气的主要领域^[81]。

4.2.5 渤海盆地

渤海盆地裂后期沉降速度快,新近系沉积总厚达5 000 m,使沙河街组烃源岩普遍进入生气窗。拗陷内发育了两套成熟的烃源岩,尤其是沙河街组一段和东营组烃源体规模巨大^[81]。古近系油气田普遍含大量溶解气或成为凝析气田。盆地内已发现JZ20-2、JZ31-1和BZ19-6等3个气田,盆地内天然气资源量为 $1.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$,截止2018年底,已探明 $0.07 \times 10^{12} \text{ m}^3$,资源探明程度为5.4%。分析认为,沙东南、沙东构造带和渤东凸起西南、渤南凸起西坡构造带是下一步天然气勘探的主要方向。

4.3 富生烃拗陷区潜山油气藏

海域新生代盆地多发育中生代地层或变质岩的结晶基底之上,下覆地层遭受了多期的构造运

动影响,经历了长时间的风化剥蚀,易形成基岩潜山古地貌,被上覆的新地层所覆盖形成圈闭,油气聚集其中形成“潜山油气藏”^[82]。近年随着勘探技术和理论的发展,潜山油气藏不断取得重大发现,PL9-1和BZ19-6油气田的发现,证实了海域基岩油气田的勘探前景。

潜山油气藏的储层岩性类型:包括火山岩,变质岩和古生代碳酸盐岩。

潜山油气藏控制因素:富生烃凹陷提供充足的烃源条件;古潜山圈闭面积大,储集空间为溶蚀孔洞和裂缝,储层物性较好;油气成藏要素匹配关系好,天然气持续充注^[83-85]。

海域潜山油气藏的勘探方向:

(1)渤海盆地渤中拗陷的基岩凸起一般位于富生烃凹陷内,这里烃源充足,古老火山岩、变质岩或碳酸盐岩储层发育,盖层条件好。目前已相继发现了PL9-1、JZ20-2、JZ25-1S、CHD1-6、CHD18-1/2、BZ26-1、BZ19-6等油气藏,辽西、沙垒田、渤南、庙西、石臼坨等凸起仍然是寻找潜山油气藏的重点区^[82]。

(2)珠江口盆地惠州凹陷是一个富生烃凹陷,具备形成基岩油气藏的条件,目前已钻探井73口,其中有33口井钻遇基岩,为燕山期岩浆岩,以花岗岩为主,其次是花岗闪长岩、闪长岩、石英闪长岩等^[82]。

(3)南黄海海域在中新生代陆相盆地之下广泛分布古生代海相地层,烟台拗陷中的福山凸起及艾山凸起东部,青岛拗陷的灵山凸起和浮山凸起是勘查潜山油气藏的有利区带。这些凸起位于生烃凹陷内,古生界碳酸盐岩储层发育,白垩系泰州组和古近系阜宁组泥岩是优质盖层。

(4)东海南部和南海北部在新生代盆地之下广泛分布有残留特提斯沉积,在富生烃凹陷的基岩凸起带,以海相碳酸盐岩潜山为目标可望获得勘查发现。越南在万安盆地的灰岩潜山钻获高产油气预示着该领域具有良好的勘探前景^[82]。

4.4 南海深水油气

深水油气勘探是世界油气主要增长点^[86-90]。2018—2019年10月,全球20个最著名的油气发现,其中14个位于深水区,展示了深水油气广阔的勘探前景。勘探证实,大型构造圈闭与水道砂和浊积扇体等岩性圈闭是主要的油气聚集场所。我国深水油气勘探起步较晚,目前已在南海北部陆坡深水区发现了LW3-1、LH34-2、LH29-1、LS17-2等油气田,证实具有良好的勘探前景。

南海深水区是下一步的勘探方向。珠江口盆

地和琼东南盆地深水区位于被动大陆边缘位置,与世界上主要的深水油气发育区(如大西洋两岸)的构造背景相似,具有良好的烃源、储层、盖层和生储盖组合,构造与岩性圈闭发育,目前已有一些重要发现,珠江口盆地珠二坳陷、琼东南盆地中央坳陷、潮汕坳陷及是的首选勘探区^[86];莺歌海盆地深水区处于高温高压的油气成藏环境,泥底劈发育,油气成藏条件较好,中央构造带和泥底劈发育带是深水油气的有利勘探区;南海南部的曾母盆地、北康盆地和南薇西盆地深水区,生储盖组合完整、大型圈闭发育,深水区的碳酸盐岩储层发育带和水道砂发育带是有利勘探区带。

4.5 南海生物礁

全球生物礁油气资源非常丰富,随着油气勘探开发活动的不断开展,生物礁油气探明储量和产量不断增加,所占比重越来越大。

南海是我国最大的边缘海,盆地类型多,富生烃凹陷发育,油源丰富。生物礁广泛分布在盆地的次级正向构造带上^[91],形成于早中新世、中新世和晚中新世三大主成礁期,有塔礁、台地边缘礁和块礁等多种类型。南海西部以台地边缘礁为主,东部以塔礁为主。生物礁储层物性好,其上厚层海相泥岩是区域性有效盖层,断层面和不整合面是油气运移的主要通道。因此,南海海域新生代生物礁油气藏前景广阔^[92]。实际上,我国南沙海域诸盆地中,除文莱—沙巴盆地以三角洲砂岩为主外,其他盆地的主要储层为碳酸盐岩,已发现的油气田和含油气构造中,其储层85%以上为碳酸盐岩或生物礁,如曾母盆地的F6、E11、F23、L气田和万安盆地的红兰花(万安滩7)、西兰花(万安西18)等气田。资料解释表明,南沙海域发育生物礁近200个,它们中的一部分将成为未来生物礁油气藏勘探的重要目标^[10]。

4.6 非常规天然气

4.6.1 南黄海页岩气

页岩气已在美国和我国的四川盆地实现了商业性开发。志留系龙马溪组是四川盆地焦石坝、长宁-威远、昭通等页岩气田的核心产层。南黄海水域在古生代沉积时期与四川盆地同处于扬子海,发育与龙马溪组层位相当的高家边组。地震资料解释、海陆对比和综合研究表明,高家边组在南黄海水域分布广、厚度大、有机质含量高,是古生界含油气组合的主要烃源岩层,也是页岩气的主要产层。南黄海崂山隆起构造变形弱、地层埋藏浅、沉积层

分布稳定,高家边组厚度大,是页岩气的远景区^[93]。

此外,南黄海崂山隆起和勿南沙隆起还发育二叠系龙潭组—大隆组泥页岩,地层埋藏浅、有一定分布范围,其有机质含量高,也具备形成页岩气的地质条件,是值得关注的重点层位^[94]。

4.6.2 东海陆架盆地古近系致密气

致密气是指赋存于低孔隙度和低渗透率砂岩中的非常规天然气,具有含气饱和度低、含水饱和度和高的地质特征。近年来,致密砂岩气的储量和产量呈日益增加的趋势。

东海陆架盆地天然气资源量巨大,目前探明程度低,已有的勘探和开发表明,盆地中深层普遍发育近致密—致密砂岩储层,且天然气资源丰富,2012年新一轮油气资源评价表明,东海陆架盆地的致密气占总资源量的80%以上^[95],近年来发现4个 $1\,000\times 10^{12}\text{ m}^3$ 储量气田均为致密砂岩气。因此,致密气是东海陆架盆地的重要勘探领域。西湖凹陷的中央反转构造带、西部次凹和西部斜坡是下一步的勘探重点区。

4.6.3 海域煤层气

煤层气是指储存在煤层中以甲烷为主要成分,吸附在煤基质颗粒表面为主,部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体^[96],是与煤层伴生的非常规天然气,是一种清洁能源。

东海陆架盆地纵向上已发现发现6套煤系或亚煤系^[21,97]。东海陆架盆地东部坳陷带包括福江凹陷、西湖凹陷、基隆凹陷及新竹凹陷,古近系厚5 000~12 000 m,煤系地层发育,煤层累计厚度已逾百米。钻井揭示西湖凹陷煤系主要发育于始新统平湖组、渐新统花港组及中新统龙井组,煤层的厚度及层数变化大,渐新统煤层最多可达49层。始新统平湖组在平湖1井夹沥青质煤41层,这些煤系是煤成气的良好源岩。已发现的16个气田的天然气分析表明,其烷烃气具有正碳同位素系列, $\delta^{13}\text{C}_2$ 为-27.01‰~-27.44‰, $\delta^{13}\text{C}_3$ 为-6.95‰~-7.27‰,证明煤系地层产生了大量的天然气,如果吸附在煤层中,便形成煤层气。因此,东海陆架盆地东部坳陷带是煤层气的远景区,西湖凹陷是有利区。

此外,莺歌海—琼东南盆地及珠江口盆地早渐新世崖城组及恩平组也发育大量的煤系地层,也是值得关注的煤层气远景区。

4.6.4 东海深盆气

“深盆气”分布于盆地深部,是一种“气水倒置”的特殊气藏^[98],构造平缓、储层致密和持续供气的气源是其形成的主要条件^[99]。北美许多盆地也发

现了这种特大型天然气藏,加拿大阿尔伯达盆地深盆气储量占到整个盆地油气储量的50%以上^[100],我国在四川盆地、鄂尔多斯盆地和松辽盆地也都有发现^[101-103]。

东海陆架盆地西湖凹陷勘探研究表明:烃源岩为多层系广覆式持续生烃的煤系烃源岩,源岩分布广、厚度大、埋藏深,有机质丰度高,44 Ma至今持续生排烃,气源充足;平湖组三四段及其以下地层具有宽缓稳定的古地貌背景、广泛发育的以潮汐海岸和潮控三角洲沉积为主的致密砂岩体与煤系烃源岩“千层饼式”或“交互式”接触,储盖层发育并匹配完整;普遍发育的异常高压,成藏条件优越;气藏在纵向上可分为饱含气带、气水过渡带、常规储层饱含水带(或常规油气藏带)等3个带,具有深盆气藏的基本特征^[104]。因此,西湖凹陷具有形成深盆气藏的良好地质条件和勘探前景。

4.6.5 天然气水合物

天然气水合物,是一种高效清洁能源,被誉为21世纪的绿色能源,由天然气与水在高压低温条件下形成,分布于海域深水区和陆域的永久冻土带。我国南海及东海海域具有良好的天然气水合物成矿条件^[105],其巨厚的沉积物、丰富的有机质和适宜的温压条件等成矿条件可与一些著名的水合物产地(如墨西哥湾、秘鲁海槽、孟加拉湾等)相媲美^[106]。研究表明,南海海域和东海海域位于我国传统疆界线内面积分别有 $93\times 10^4\text{ km}^2$ 和 $7.2\times 10^4\text{ km}^2$ 海域满足天然气水合物成矿条件。根据地质、地球物理和地球化学标志,目前已在这两个海域分别圈定出 $36\times 10^4\text{ km}^2$ 和 $1.5\times 10^4\text{ km}^2$ 的天然气水合物远景区。初步调查和研究显示,我国南海和东海海域天然气水合物资源总量达 $80\times 10^8\text{ t}$ 油当量^[107]。此外,台湾科学家与美国合作,在台湾西南陆坡及台西南盆地发现有大量的BSR^[108]。

2007年,我国在南海北部陆坡区针对天然气水合物开展了钻探,13个钻孔中有3个孔获得了水合物样品。2013年在珠江口盆地东部钻探获得了“渗漏型”水合物样品。2017年,在神狐海域进行了天然气水合物试采,5月18日,宣告试采成功,7月29日试采圆满结束。在水深1266 m海底以下203~277 m的天然气水合物矿藏中经试气点火,连续产气8天,最高产量每天 3.5万 m^3 ,平均日产 1.6万 m^3 ,天然气产量稳定,甲烷含量最高达99.5%,目前正在准备第二次试采。

上述表明,我国海域天然气水合物资源丰富,是我国未来海洋能源的主要勘探方向,并有望在本

世纪中叶实现商业开采。

5 南黄海盆地油气资源调查进展

南黄海是中—古生代海相和中—新生代陆相盆地相叠加的大型沉积盆地,其油气调查始于上世纪60年代初,经历了陆相盆地调查与勘探、探索与研究 and 海相盆地勘查3个阶段,迄今未获得商业性发现。2005年,国家专项项目“南黄海前第三系油气前景研究”的启动拉开了南黄海中—古生代海相盆地油气勘查的序幕^[32-33]。近年来的调查研究取得了多方面进展。

5.1 “高富强”地震探测技术的攻克了强能量屏蔽层条件下的地震成像难题

南黄海水相中—古生界顶面是一个长期风化剥蚀形成的区域性不整合(又称“印支面”),其上覆盖着陆相中—新生界或新近系地层。由于“印支面”上下岩石地层的波阻抗差别大,对地震能量产生的巨大屏蔽作用,严重影响了地震波能量的下传,最终使得深部中—古生代地层地震信号能量弱、信噪比低,成像质量差^[109]。利用Zoeppritz方程计算表明,地震波传播过程中震源子波透射能量与反射界面上下地层的波阻抗差相关,界面上下的速度差越大,透射能量越少。针对南黄海这一特殊的地震地质条件^[29],2005年以来,青岛海洋地质研究所联合国内多家单位开展大量的理论模拟、物理模拟和长期的海上试验^[23-26]与生产采集,2015—2016年完善了地震采集和处理参数^[110],形成一套适用于区内地震地质条件的“高富强”地震调查技术^[27-30,111-112]。即:“高覆盖次数、富低频信号、强震源能量”采集技术和“高分辨率、富低频成分、强反射能量”处理技术相结合的“高富强”地震探测技术^[32-33,113]。该技术的研发与应用获得了较高品质的海相中—古生界反射资料(图3),最大探测深度超过15000 m,为区内油气资源调查提供了技术支撑。

5.2 重新厘定了盆地的基底性质和盆地地质结构

5.2.1 盆地的结晶基底

全球范围内许多大型盆地发育有古老的结晶基底,如四川盆地、塔里木盆地及加拿大盆地等。上扬子区的古陆核(图2)由康定群杂岩构成^[114],具有很高的强度,是川中表层褶皱极为平缓的关键因素。中扬子古陆核由太古代—早元古代形成的崆岭群构成,是一套中—高变质的以角闪岩相—麻粒

岩相为主的混合岩和混合片麻岩^[115],但其分布范围较小。

下扬子(包括南黄海)的基底有深、浅两套变质岩^[32-33]。深变质岩形成于早元古代或更老,为一套变质的基性超基性岩,构成了下扬子的古陆核,属于刚性结晶基底。该套地层在陆域主要为东海群和埤城群。东海群岩性为片麻岩、片岩、绿片岩、蓝片岩、变粒岩、浅粒岩、大理岩,厚度大于 6 000 m,长英质片麻岩中锆石 U-Pb 年龄为 2 210 Ma。埤城群的岩性片岩、变粒岩、浅粒岩夹角闪岩,厚度大于 800 m,片岩中锆石 U-Pb 年龄为 1 771 Ma。由于该刚性基底的存在使其表层褶皱变形较弱。在古陆核周围,分布塑性的张八岭群和海州群(云台组和锦屏组),岩性为千枚岩、大理岩、角斑岩、含铁变粒岩、黑云片岩类,厚度大于 3 591 m,锆石 U-Th-Pb 年龄 1 026 Ma,全岩 Pb 年龄 1 031 Ma^[32-33]。

重磁资料解释和海陆对比分析表明,下扬子区的古陆核面积达 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中主体部分在南黄海海域(图 2),面积达 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

5.2.2 南黄海古生代盆地不仅是扬子海盆在现今海域的延伸,而且是下扬子的主体

下扬子地区的布格重力异常的幅度、形态、走向、规模等基本特征表明,下扬子地块上,从陆地到海域其重力异常是连续的,并且异常的主体在南黄海地区^[32,34]。

根据下扬子磁场特征,可将其划分为千里岩和

苏北—南黄海两个磁异常区,后者以负磁异常为主,向西与陆上的苏北拗陷相连,并且异常的主体在南黄海海区^[32,34]。

扬子地台西起四川盆地往东延伸至江汉平原、苏浙皖地区、南黄海海域,并延至朝鲜半岛^[116-119],从下扬子区覆盖的陆域和海域面积来看,海域面积比陆域面积大(图 2)。因此,南黄海古生代盆地不仅是扬子海盆在现今海域的延伸,而且是下扬子的主体,海域面积 $30 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

5.2.3 巨厚的中—古生界具有 3 套地震反射标志层组

地震剖面的对比分析表明,区内中—古生界存在三大地震反射标志层^[29,32],均表现为平行—亚平行结构、中—强振幅和连续—较连续地震反射特征(图 3)。

第 1 标志层:连续性好,由 2~3 个同向轴组成,双程反射时间为 300 ms 左右,钻井证实为中石炭统一二叠统灰岩夹钙质泥岩及泥灰岩,该套地层在区域上厚度稳定。

第 2 标志层:连续—较连续,由 4~5 个同向轴组成,双程反射时间厚度约 400 ms。区域地层对比和 CSDP-2 井揭示其为下志留统高家边组泥页岩。

第 3 标志层:较连续,由 6~7 个相对强振幅组成,双程反射时间厚度约 500 ms。该套地层没有钻井钻遇,根据区域地层对比推测其为震旦系陡山沱组砂泥岩—灯组白云岩—下寒武统泥页岩形成反射。

根据上述地震标志层组,在南黄海盆地追踪对比出与海相中—古生界有关的 8 个主要地震反射



图 2 南黄海盆地构造位置及古陆核范围(据文献[32,39])

Fig.2 Tectonic location of the South Yellow Sea Basin and the extent of paleo-continent nucleus (from references [32,39])

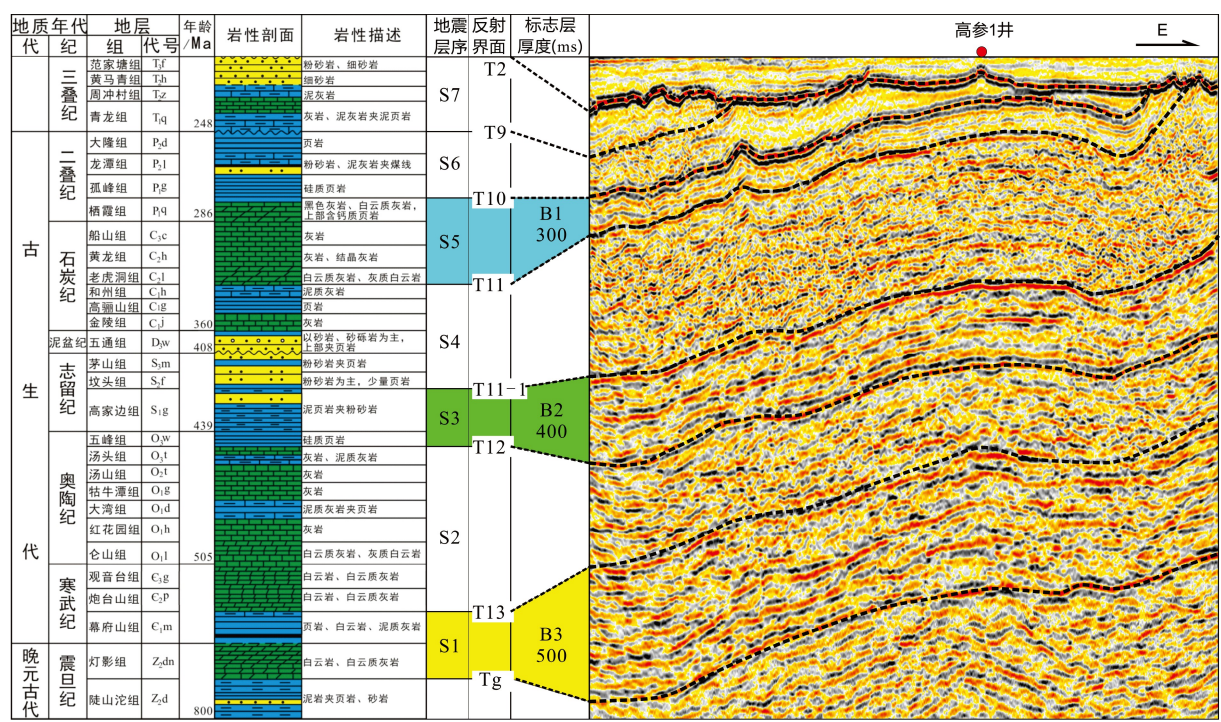


图3 南黄海海相中—古生界地震层序及地质属性标定（据参考文献[32]修改）（S1至S7为南黄海海相中—古生界地震层序，T2相当于新近系底界，B1至B3为3套典型地震反射标志层）

Fig.3 Paleozoic seismic sequences and their geological attributes on Laoshan uplift at the South Yellow Sea(modified from [32])(S1 to S7 are the seismic sequences of marine Paleozoic-Mesozoic, T2 is the bottom boundary of Neogene, the B1 to B3 are the three typical seismic markers)

层,其地质属性分析表明 [32,120-121], T_8 相当于陆相中—新生代盆地的底界、 T_9 相当于下三叠统青龙组的底界、 T_{10} 相当于下二叠统孤峰组的底界、 T_{11} 相当于下石炭统金陵组底界、 T_{11-1} 相当于中志留统坟头组底界、 T_{12} 相当于下志留统高家边组—上奥陶统五峰组的底界、 T_{13} 相当于下寒武统炮台山组的底界、 T_g 相当于上震旦统陡山沱组的底界。由此,可划分出7个地震层序(图3),由下往上分别为层序1(S1)(相当于震旦系—下寒武统)、层序2(S2)(相当于中上寒武统一—奥陶系)、层序3(S3)(相当于下志留统)、层序4(S4)(相当于中上志留统和上泥盆统)、层序5(S5)(相当于石炭系—下二叠统栖霞组)、层序6(S6)(相当于二叠系孤峰组—龙潭组—大隆组)和地震层序7(S7)(相当于下三叠统青龙组)。

5.2.4 古生代残留盆地可划分为3个二级构造单元
根据区域构造演化、残留盆地地层厚度及分布、断裂系统和构造样式等特征 [122-133],对南黄海中—古生代海相残留盆地划分为3个二级构造单元(图4) [32,120],由南往北划分为青岛断褶带、崂山断隆带和烟台冲断带。其中崂山断隆带又划分为青峰变形带和高石稳定带2个三级构造带。各单元构造特征见表4。

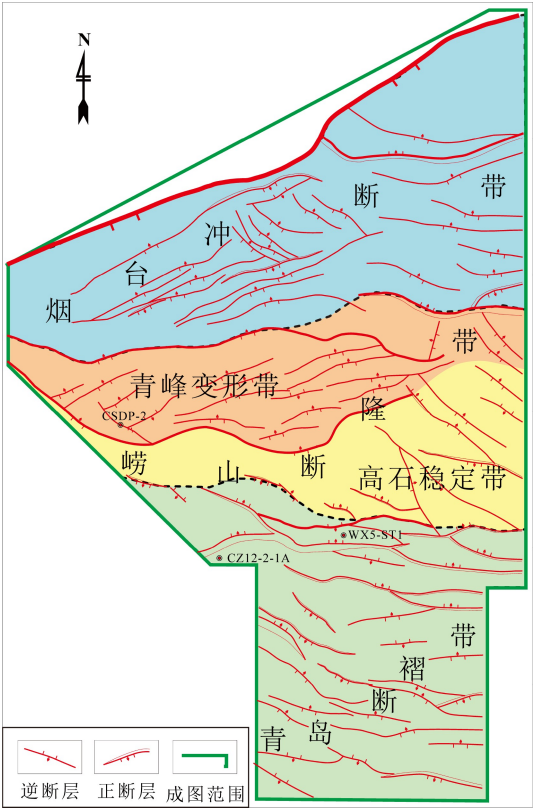


图4 南黄海盆地中—古生界构造单元划分图
Fig.4 Tectonic division map of Paleozoic-Mesozoic in South Yellow Sea Basin

表 4 南黄海盆地海相中—古生界构造单元划分表 (据参考文献 [32, 40])

Table 4 Tectonic units of the marine Meso-Paleozoic in the South Yellow Sea Basin (from references [32, 40])

基本构造单元	二级构造带	三级构造带	总体特征
南黄海盆地	青岛断褶带		南倾断裂较发育, 常与北倾断裂形成地堑或地垒构造, 中—古生代海相地层齐全、厚度大、变形较弱, 以隔档式构造为主。
	崂山断隆带	高石稳定带	深大断裂不发育, 浅层断裂较少, 正逆共存。中—古生代海相地层层序完整, 变形较弱, 构造以宽缓褶皱或断鼻、断块为主。
		青峰变形带	盖层滑脱型逆掩推覆体系, 断裂发育, 地层褶皱变形较强烈, 古生界发育完整, 分布广泛。
	烟台冲断带		高角度基底卷入式逆冲, 断裂北倾为主, 发育逆冲断块, 上古生界剥蚀严重, 下古生界分布相对稳定。

5.2.5 中—古生界具有与四川盆地相同的沉积建造和沉积演化历史

南黄海盆地与上扬子四川盆地具有相同的中—古生代海相沉积建造和充填历史^[32,39-40]。根据钻井及地震资料解释, 结合邻区露头资料分析推测, 南黄海海域的变质基底为太古界—元古界变质岩系、其上依次为震旦系陡山沱组浅海相砂泥岩和灯影组台地相白云岩、寒武系盆地相—台缘斜坡相泥质岩和台地相碳酸盐岩、奥陶系陆棚相碳酸盐岩和志留统陆棚相页岩、砂泥岩。缺失泥盆系中—下统, 上覆泥盆系上统的滨岸和河流三角洲相的砂泥岩、石炭系潮坪—台地相碳酸盐岩、二叠系台地及斜坡相碳酸盐岩和滨岸沼泽相煤系地层。再往上为三叠系碳酸盐岩和砂泥岩沉积。目前, 钻井揭示了志留系及其以上地层。地震解释发现南黄海海相中—古生界厚度总体为 4 000~6 000 m, 最厚超过 8 000 m^[32,40]。

5.2.6 发育中生代前陆盆地

下扬子—南黄海区域受华北地台和扬子地台陆陆碰撞的影响, 经历了中生代前陆盆地演化阶段。下扬子陆域保存了完整的前陆盆地沉积^[134-137], 南黄海地区大都遭受后期剥蚀, 仅在烟台坳陷东北部保存有部分沉积, 地震剖面解释显示最大残留厚度达 5 000 m, 2008 年钻探的 RC20-2-1 井钻遇了 2 200 m 厚的中侏罗世前陆盆地陆相碎屑岩沉积, 地震剖面上反映该套地层之下还存在较厚的地层 (图 5), 可能为晚三叠世—早侏罗世地层。推测当时沉积范围较大, 晚侏罗世, 南黄海海域区处于广泛抬升状态, 大部分前陆盆地地层受到剥蚀, 仅在盆地东北部南倾边界断层的上盘保存了中侏罗统及以下地层。南黄海盆地侏罗纪前陆盆发育的构造背景受到同期北侧千里岩超高压变质带从深部折返影响, 随着千里岩隆起的快速抬升, 为南黄海盆地提供了丰富的物源, 在盆地北部沉积了大套的前陆盆地地层^[138] (图 6)。

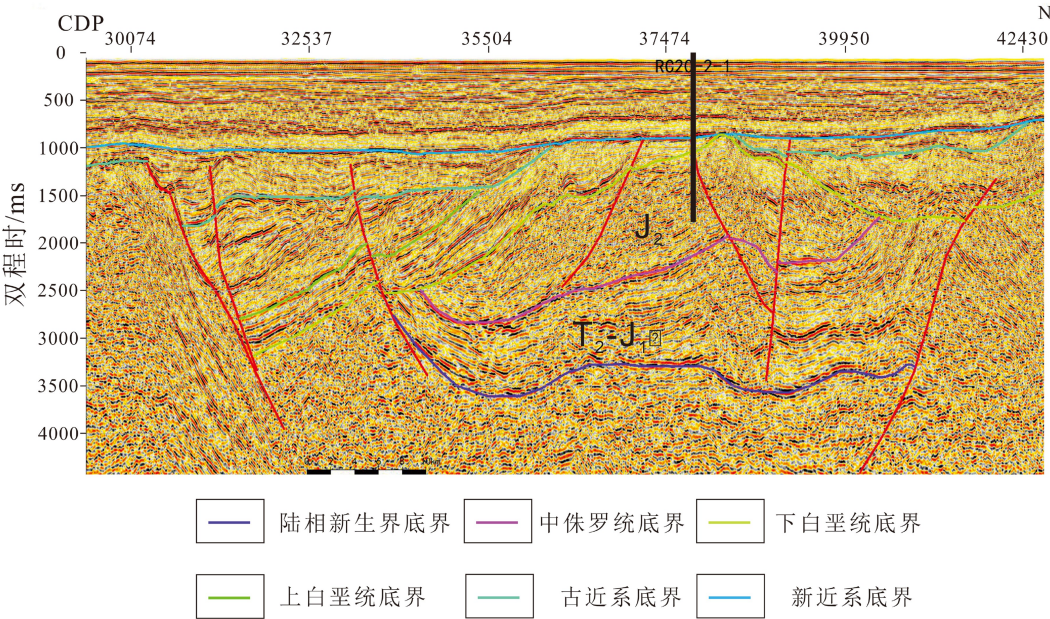


图 5 过 RC20-2-1 井地震剖面解释图

Fig.5 The interpreted seismic section across Well RC20-2-1

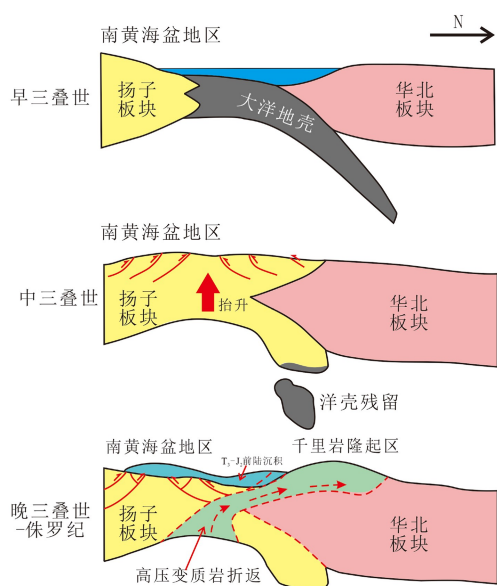


图 6 南黄海盆地中生代前陆盆地发育阶段演化图

(据参考文献[138]修改)

Fig.6 Schematic diagrams showing the Mesozoic evolution of the South Yellow Sea foreland basin(modified from reference [138])

5.3 海相中一古生界具备形成大型油气田的基本地质条件

5.3.1 发育大面积的构造稳定区

构造稳定区是残留盆地油气勘查的有利区。南黄海盆地与陆域扬子区四川盆地和苏北盆地一样经历了加里东期、海西期、印支期、燕山期和喜山期多次构造运动,尤其是印支期以及以后的构造运动对地层有着重要的改造作用^[139-147],使得中一古生代海相地层构造变形较强。尽管如此,目前的地震资料解释表明,盆地内仍然发育大面积的构造稳定带——崂山断隆带。该带面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 构造变形相对较弱。印支运动期间,扬子地台与华北地台发生陆陆碰撞,南黄海盆地受到强烈挤压。南黄海崂山断隆带变形较弱的主要原因有二:首先,盆

地深部存在古老刚性结晶基底,该结晶基底之上的沉积地层在印支期以及以后的构造运动中难以变形,使得南黄海中部的崂山断隆带构造变形较弱;其次是在这一过程中,由于厚达 400~600 m 的下志留统高家边组泥页岩的存在,使得挤压应力在此软地层得到释放,表现在地震剖面上海相上构造层的大部分断层消失在高家边组滑脱层中,使得海相下构造层变形弱^[32,40](图 7)。

5.3.2 具有 3 套完整的生储盖组合

(1) 3 套区域性烃源岩

海陆对比认为,南黄海水相中一古生界发育 3 套可能的区域性烃源岩^[148-168]。它们分别是:下寒武统荷塘组(或幕府山组)、上奥陶统五峰组一下志留统高家边组、上二叠统龙潭一大隆组。

下寒武统荷塘组(或幕府山组):南黄海没有钻遇该套烃源岩,沉积相预测有南北 2 个北东东向分布区,有机质丰度高,厚度大。苏北的苏东 121 井有效烃源岩厚度 146 m,有机碳含量 2%~5%;皖南的皖宁 2 井有效烃源岩厚度 465 m,有机碳含量 2%~10%。

上奥陶统五峰组一下志留统高家边组:南黄海没有钻遇,地层对比和沉积相预测该套烃源岩厚度较大、有机质丰度较高,分布范围较广。苏北黄桥 N4 井有效烃源岩厚度 75 m,有机碳含量 1%~2%。2014 年位于南京汤山 3 号井揭示,有效烃源岩厚度大于 80 m,有机碳一般为 1.5%~3%,成熟度(R_o)为 1.7%~2.6%,有机质类型为 I 型和 II₁型^[161],2017 年钻探苏页 1 井揭示五峰组—高家边组黑色笔石页岩的有机碳为 2.0%~3.44%, R_o 为 2.4%~2.6%;2017—2018 年在巢湖地区钻探的鼓地 1 井、皖含地 1 井、皖南地 1 井等井揭示的五峰组—高家边组黑色笔石页岩 77 个样品的平均 TOC 为 2.6%,平均 R_o 为 2.3%^[32]。证明是一套具有较高潜力的烃源岩。

二叠系龙潭组一大隆组:WX5-ST1、CZ35-2-1、

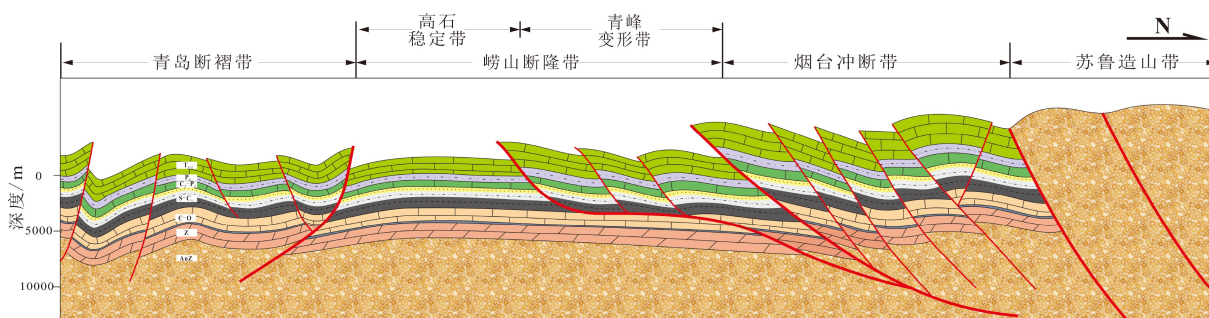


图 7 南黄海盆地挤压构造模式图(据参考文献[32])

Fig.7 Model of extrusion structure at the South Yellow Sea Basin(from reference [32])

CSDP-2井钻遇该套地层,厚度260~385 m(CSDP-2井730 m,因地层重复所致),有机质丰度高,有机碳含量0.8%~13%,热演化程度适中, R_o 为0.7%~2.0%,该套烃源岩区域上分布广,有机质含量高。如苏北苏32井龙潭组和大隆组有效烃源岩厚度达200 m,有机碳含量2%~5%;新苏泰159井龙潭组有效烃源岩厚度100 m,有机碳含量1%~5%;苏32井大隆组有效烃源岩厚度35 m,有机碳含量2%~5%;浙江长兴煤山13井龙潭组有效烃源岩厚度达670 m,有机碳含量1%~2%。

(2) 两类储层

南黄海海相中、古生界储层较为发育^[169-176],储层类型主要为碳酸盐岩储层,碎屑岩储层次之^[169]。其中发育碳酸盐岩储层的主要层段有上震旦统灯影组、中上寒武统、奥陶系、石炭系、二叠系及下三叠统,碎屑岩储层主要发育于中上志留统、上泥盆统及二叠系龙潭组。

根据现有钻井资料,南黄海海相中、古生界地台型碳酸盐岩地层普遍致密,只是在局部层段发育了储层,其储层分4种类型,分别为白云岩孔隙储层、礁滩相储层、风化壳储层和裂隙储层。根据钻井资料分析,志留系坟头组和茅山组,上泥盆统五通组 and 上二叠统龙潭组发育砂岩储层,但因地层古老、曾经历深埋藏历史和强成岩作用,储集物性总体偏差,为低孔低渗储层。

(3) 3套完整的生储盖组合

南黄海海相中—古生界发育3套完整的生储盖组合^[32,38-41,177-179]。第1组合以下寒武统荷塘组(或幕府山组)泥页岩为烃源岩,以中、上寒武统一奥陶系灰岩为储层,上奥陶统五峰组一下志留统高家边组泥页岩为盖层;第2组合以上奥陶统五峰组一下志留统高家边组泥页岩为烃源岩,以中—上志留统的坟头组和茅山组、上泥盆统五通组砂岩以及石炭系灰岩为储层,以上二叠统龙潭组及大隆组泥页岩为盖层;第3组合以上二叠统龙潭组及大隆组泥页岩为烃源岩,以上二叠统龙潭组砂岩和下三叠统青龙组白云岩为储层,以三叠系青龙组泥灰岩和膏盐层为盖层。2018年资源评价结果表明,南黄海海相中—古生界天然气地质资源量为 $6.9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

5.3.3 南黄海海相中—古生界具有多源多期成藏特点

2015—2016年,青岛海洋地质研究所崂山断隆带的青峰变形带西部钻探了大陆架科探井——CSDP-2井,揭示了三叠系下统至志留系下统高家边组上段(志留系未穿)。该井在古生代地层中见较好油气显示、储层中存在大量沥青和油气包裹

体,发现了古油藏^[32,35-37],有3套古油藏发育层位,由下至上依次为志留系、石炭系、二叠系(龙潭组—大隆组),其中志留系中统一上统坟头组—茅山组、二叠系龙潭组—大隆组为砂岩型古油藏,石炭系为碳酸盐岩型古油藏^[32,35-40],反映地质历史时期曾经历了大规模油气运移和聚集。根据油气藏沥青特征、包裹体特征及可动轻质油特征,推测南黄海崂山隆起石炭系及以下地层油气藏以气藏为主,二叠系油气藏则表现为气藏与油藏共存。油气包裹体镜下观察、测温和测年分析表明,区内古生界油气具有多源多期成藏特点^[32,35-37]。据此,建立了南黄海海相中—古生界多源多期成藏模式^[40-41]。

5.4 高石稳定带是古生界油气勘查的有利区带

崂山断隆带是南黄海海相残留盆地的构造稳定区,该区为印支期的对冲带。对冲带的南部——高石稳定带面积大,总面积达2.4万 km^2 ,带内构造变形相对较弱,构造多以断块和宽缓背斜为主;志留系高家边组滑脱层在该区起到了较好的卸力作用,使得南北挤压应力得到有效释放,早古生代地层保存完整,分布稳定,油气地质条件优越,有利于海相下组合油气的富集和保存,是南黄海盆地海相下组合的有利区带^[32,40-41]。

高石稳定带中部存在一个大型冲隆构造和多个大型圈闭。其中大型冲隆构造总体为一个被断裂复杂化的背斜构造,在 T_{10} - T_g 各层都有发育,由两条北西向逆冲断裂控制背斜高部位,构造面积达1986 km^2 。在此大型冲隆构造以西还发育多个面积大于50 km^2 的圈闭^[51-52],各圈闭继承性发育、闭合幅度大,形成时间早,有利于油气的聚集成藏。圈闭远景资源量大,评价结果表明89.5%资源量来源于海相下构造层。因此,高石稳定带中部是海相下构造层的重点目标区。2016—2018年,经过论证,在高石稳定带中部的高石1号、2号和3号构造上锁定了GC1A、GC1B、GC1C和GC1D共4个调查参数井井位。

6 东海陆架盆地油气资源调查进展

6.1 建立了中生代地层层序

东海海域钻遇中生界的钻井有35口,较全的钻井主要有FZ13-2-1和FZ10-1-1井两口,主要揭示中生代侏罗系和白垩系^[180-181],自下而上分别发育有福州组、厦门组、渔山组、闽江组与石门潭组(表5),

表 5 东海陆架盆地与邻区陆域中生代地层对比 (据参考文献 [45] 修改)
Table 5 Correlation of the Mesozoic in the East China Sea Shelf Basin and adjacent land areas
(modified from reference [45])

时代	广东 东部	浙东 沿海		东海陆架盆地	福建 沿海	地质事件	
						陆域	海域
E ₁				月桂峰组		燕山Ⅲ幕	雁荡运动
K ₂	叶塘组 优胜组	天台群		石门潭组 闽江组	崇安组 沙县组 均口组		
K ₁ ²	合水组 官草湖组	方岩组 朝川组 馆头组		渔山组 厦门组	寨下组 黄坑组 板头组		
K ₁ ¹ -J ₃	高基坪群	磨拉石群	横山组 寿昌组 黄尖组 劳村组	?	下渡组 南园组 长林组	燕山Ⅱ幕	燕山Ⅰ幕 渔山运动
J ₁₋₂	古岭湾组 漳平组 桥源组 蓝塘群	毛弄组 马涧组		福州组 ?	漳平组 梨山组		
T ₃	头目冲组 小水组 红卫坑组	乌灶组			文宾山组 大坑组	印支运动	

地震剖面解释可能存在上三叠统, 表现为大角度倾斜和中低频的可连续追踪反射层。福州组为一套暗色碎屑岩夹数层薄煤或碳质泥岩, 厚度大于 538.5 m, 下部为灰、深灰色泥岩与灰白色砂岩互层夹薄煤数层, 近底部为厚层状砂岩夹薄层泥岩; 上部为灰白色砂岩与褐、棕褐色泥岩, 浅灰、灰色泥岩呈不等厚互层。厦门组为杂色碎屑岩层, 钻遇地层厚度为 440~570 m, 上部褐、灰褐、棕褐色泥岩, 棕红色泥岩和灰白色、杂色砂岩呈不等厚互层; 下部浅灰、灰、灰绿色泥岩及少量棕红色泥岩与浅灰、灰白色砂岩互层。渔山组为一套杂色和红色碎屑岩层, 钻井揭露厚度为 140~400 m, 下部为杂色砂砾岩夹棕红色泥岩, 上部棕红、棕褐色泥岩夹薄层粉砂岩。闽江组为一套褐灰、灰、浅灰、棕褐色泥岩与浅灰色粉砂岩、砂岩互层, 局部夹灰黑色粉砂质泥岩条带, 厚 372.5 m。石门潭组以火山岩夹棕红色、棕紫色、深棕色泥岩和灰色、灰白色砂岩为特征。海陆对比认为: 东海与陆域广东东部、浙江沿海和福建沿海中生代上三叠统一中侏罗统为同一构造层; 上侏罗统一下白垩统下部为磨拉石建造, 厦门组与陆域福建板头组、浙东馆头组相类似, 都为杂色的碎屑沉积(表 5)。

通过钻井标定, 结合地层岩石物性组合、地震波组、反射速度、综合反演和海陆对比几个方面推

测了中生界层序的地质属性, 初步确定其为上三叠统一中侏罗统和白垩系。原钻井中一下侏罗统福州组(J₁₋₂f)为一套暗色碎屑岩系夹数层薄煤或炭质泥岩, 下不见底, 所含孢粉化石以早一中侏罗世分子为主, 但也产有三叠纪的孑遗分子, 不能排除福州组以下可能存在上三叠统, 而且与上部地层呈不整合接触; 钻井中厦门组和渔山组没有确切化石资料, 根据其与上下地层的关系, 厦门组与下伏地层为角度不整合接触, 与上覆渔山组为整合接触关系, 表明该套地层与下伏地层为同一构造层, 推断厦门组和渔山组应该是早白垩世早一中期沉积^[45]。

6.2 “大东海”的中生代地层分布特征

地震资料解释和区域地层对比认为, 东海海域中生代地层的分布广、厚度大, 东海南部与台湾岛、台西南盆地、南海北部、琉球岛弧、日本岛等地区连成一体构成一个统一的“大东海”中生代盆地^[44]。中生代地层广泛分布在海礁凸起以南的广大地区, 具有“南厚北薄、东厚西薄”的分布特征, 残留厚度 4 000~7 000 m。据钻井、台湾岛及周边露头浅钻资料综合分析认为, 三叠系和侏罗系主要以滨浅海及海湾沉积环境为主, 三叠系纪时期发育深海碎屑岩沉积, 白垩系具有“南海北陆、东海西路”的沉积特征^[44,181-185]。

6.3 中生代盆地具有“北北东分带”的结构特点

东海中生代盆地与陆域具有“北北东分带”结构特征^[186-189], 东海陆架中生代自西往东有瓯江凹陷、雁荡凸起、闽江斜坡和基隆凹陷, 基隆凹陷是中生代的沉积、沉降中心^[45]。西侧 NNE 向展布的长江凹陷、瓯江凹陷、晋江凹陷等受白垩纪断裂控制, 剖面上表现为东断西超的特征, 凹陷内掀斜断块、半地堑等中生界构造样式发育广泛; 东侧闽江凹陷、基隆凹陷、新竹凹陷等凹陷断裂、火成岩较为不发育, 凹陷内发育有断背斜、挤压背斜、反转构造等中生界构造样式。盆地内中生代断裂主要于早白垩世开始活动, 其展布格局与区域构造走向基本一致, NNE 向为主、NNW 向次之。相较而言, 西部断裂发育强于东部, 大都表现出张扭性断裂的特征, 为多期构造活动复合作用下的产物。盆地内中生代岩浆岩以燕山期侵入岩、喷发岩为主, 具体可划分为晚侏罗世与早白垩世两期^[46]。

6.4 中生代发育 2 期不同的沉积盆地

东海中生代发育 2 期不同类型的盆地^[42-48, 186-189], 即早期的坳陷型盆地和晚期的断陷性盆地。

6.4.1 晚三叠世—中侏罗世活动大陆边缘挤压坳陷型盆地

晚三叠世—中侏罗世(图 8), 伊泽奈崎板块开始以低角度向欧亚大陆板块俯冲, 受此俯冲作用的影响, 东海陆架盆地东缘基底地层遭受挤压作用开始发育低隆起(即陆缘隆起带), 并遭受剥蚀, 在隆起带后缘产生坳陷作用, 形成沉降带, 接受晚三叠世—中侏罗世沉积。同时由于浙闽隆起区在板

块俯冲产生的远程效应作用下发生隆升, 导致东海陆架盆地西侧地势高于东侧, 形成西高东低、西薄东厚的构造—沉积格局。此时, 盆地内部没有发生明显的断裂作用, 也没有明显的岩浆活动, 断裂对沉积充填的控制作用不明显, 沉积层序向两侧超覆, 表现为碟状形态, 盆地性质应属于挤压坳陷型盆地^[42, 48]。

6.4.2 晚侏罗世—白垩纪伸展断陷型盆地

晚侏罗世—白垩纪(图 9), 太平洋板块向北西方向俯冲的速度和角度增大, 太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲后撤使陆缘隆起带后侧的东海陆架盆地受到拉张作用影响, 产生伸展变形, 形成地堑、半地堑构造组合, 控制晚侏罗世—白垩纪沉积, 并伴有局部的岩浆侵入。地震资料解释与物理模拟验证^[190]了该时期是在双侧拉张应力背景下分层伸展形成的断陷盆地^[42, 48]。

6.5 中生界具有油气前景

6.5.1 中生界发育 2 套烃源岩和 2 套生储盖组合

(1) 中生界发育 2 套烃源岩

上三叠统一下侏罗统烃源岩: 该套烃源岩在东海南部和台西南盆地有所钻遇。台西南盆地钻遇的侏罗系黑色页岩, 有机质丰富, 总有机碳多为 0.9%~1.8%, 有机质类型属Ⅲ型; 东海 FZ10-1-1 和 FZ13-2-1 井钻遇福州组泥质岩有机碳为 0.03%~1.24%, 生烃潜量(S1+S2)最大可达 1.97 mg/g, 指标较低, 但所揭示仅仅是盆地西缘中一下侏罗统的上半段, 推测东部盆地中心及下部层段的泥岩有机质丰度会变好。从邻近陆域看, 闽西南地区的上三叠统暗色泥岩、炭质泥岩总有机碳含量为 0.28%~14.96%, 平均

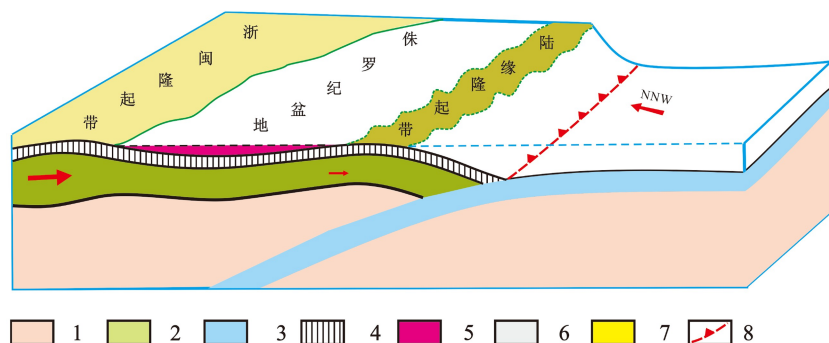


图 8 东海晚三叠世—中侏罗世活动大陆边缘挤压坳陷型盆地(据文献^[48])

1-软流圈, 2-大陆岩石圈, 3-大洋岩石圈, 4-前中生代基底, 5-晚三叠世—中侏罗世沉积, 6-闽浙隆起带, 7-陆缘隆起带, 8-海沟俯冲带

Fig.8 Compressional depression basin on active continental margin during Late Triassic-Middle Jurassic in East China Sea

(from reference^[48])

1-asthenosphere, 2-continental lithosphere, 3-ocean lithosphere, 4-pre-Mesozoic basement, 5-Late Triassic-Middle Jurassic sediments,

6-MinZhe uplift zone, 7-continental margin uplift, 8-trench subduction zone

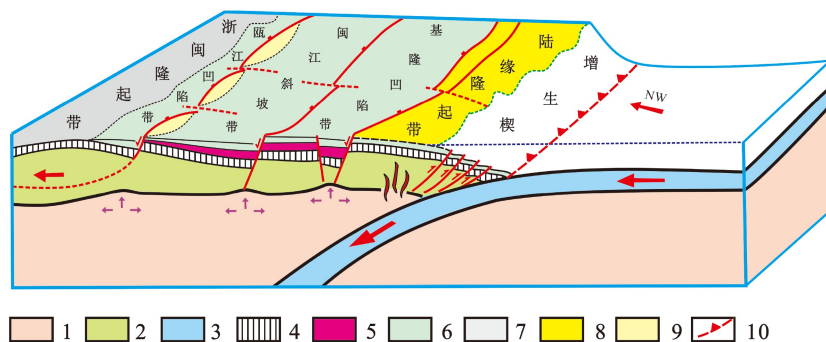


图9 晚侏罗世—白垩纪伸展断陷型盆地 (据文献[48])

1-软流圈, 2-大陆岩石圈, 3-大洋岩石圈, 4-前中生代基底, 5-晚三叠世—中侏罗世沉积, 6-晚侏罗世—白垩纪沉积, 7-闽浙隆起带, 8-陆缘隆起带, 9-低凸起, 10-海沟俯冲带

Fig.9 Extensional graben basins in Late Jurassic to Cretaceous (from reference [48])

1-asthenosphere, 2-continental lithosphere, 3-ocean lithosphere, 4-pre-Mesozoic basement, 5-Late Triassic-Middle Jurassic sediments, 6-Late Jurassic-Cretaceous sediments, 7-MinZhe uplift zone, 8-continental margin uplift, 9-low uplift, 10-trench subduction zone

达 2.36%; 粤东地区小水组黑色炭质页岩, 有机碳含量恢复后为 1.17%~5.43%^[191-192], 下侏罗统上龙水组半深海相泥页岩有机碳含量为 0.74%, 是一套较好的烃源岩层。

下白垩统烃源岩: 在东海南部和台西盆地都有钻遇^[42-48]。FZ10-1-1 和 FZ13-2-1 井所处盆地西部, 所钻遇的渔山组的沉积相带为扇三角洲和滨浅湖相沉积, 其有机质丰度很低, FZ13-2-1 井渔山组泥岩总有机碳为 0.07%~0.89%, 仅有少量样品有机碳质量分数和生烃潜量(S1+S2)数据达到中等至较好烃源岩丰度。北港隆起西缘的 WX-1 井, 下白垩统云林组总厚度达到 959 m, 其中深灰色—黑色海相泥岩厚度约为 500 m, 其间还夹 87 m 厚的灰岩, 有机碳质量分数为 0.57%~0.82%; PK-3 和 GH-1 井下白垩统烃源岩的有机碳质量分数也达到 1.0%; 南日坳陷东缘的 CCT-1 井泥质岩有机碳质量分数达到 1.56%; 台西南盆地的 CFC-3 井的有机碳质量分数达到 0.56%~1.56%, 南海南部的礼乐滩盆地 S-1 井钻遇的下白垩统泥岩, 其总有机碳质量分数最高达 2.0%, 这都充分说明早白垩世发育较好的烃源岩^[47]。

(2) 中生界储层发育

东海及相邻地区中生界储层比较发育。FZ10-1-1 和 FZ13-2-1 井揭示的埋深 2 300 m 以上中生界砂岩储层的孔隙度可达到 20.0%, 闽江组砂岩的孔隙度为 18.5%~26.5%, 渗透率为 $(1.3 \sim 128.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于中—高孔、中渗型储层; 2 300~3 100 m 的砂岩储层, 孔隙度可达 10.0%; 但埋深大于 3 100 m 的砂岩储层, 孔隙度小于 10.0%, 属于低孔低渗储层^[193]。礼乐盆地下白垩统储层平均孔隙度为 17.7%, 平均渗透率为 $10.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层类型主要为三角洲沉

积体系中的分流河道砂体和滩坝砂体^[48]。

(3) 中生界储层发育 2 套完整的生储盖组合

东海及相邻地区中生界发育 2 套完整的生储盖组合^[42-48, 192-195], 分别为下组合和上组合。前者以上三叠统一下侏罗统泥页岩为烃源岩, 中—上侏罗统砂岩为储层, 下白垩统泥页岩为盖层; 后者以下白垩统泥页岩为烃源岩, 白垩系砂岩为储层, 上白垩统泥页岩为盖层。

6.5.2 中生界油气资源丰富

根据盆地模拟结果, 上三叠统一下侏罗统烃源岩生烃中心在基隆凹陷—闽江凹陷南部一带, 生烃强度在 $(2 \sim 14) \times 10^6 \text{ t/km}^2$, 最大生烃强度可达 $16 \times 10^6 \text{ t/km}^2$, 最大生烃时期为白垩纪末期; 下白垩统烃源岩生烃中心位于基隆凹陷—闽江斜坡, 生烃强度在 $(10 \sim 15) \times 10^6 \text{ t/km}^2$, 最大生烃强度达 $18 \times 10^6 \text{ t/km}^2$, 最大生烃在白垩纪末期。累计生烃量 $1 238 \times 10^8 \text{ t}$, 预测地质资源量 $63 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量^[48]。

6.5.3 台北转折带和闽江斜坡南部为中生界有利区带

(1) 台北转折带和闽江斜坡南部为油气运移指向区

中生代时期, 主要沉积和沉降中心位于基隆凹陷, 主要生油中心为基隆凹陷。地震解释和平衡剖面揭示, 晚三叠—下侏罗统和白垩系在台北转折带具有“东厚西薄”特征, 在闽江斜坡上东向西逐层超覆, 表明台北转折带发育于晚三叠—中侏罗世。流体势和运聚史模拟结果表明台北转折带和闽江斜坡南部是油气运移指向区^[48]。

(2) 区内圈闭发育

根据地震资料解释在台北转折带和闽江斜坡南部初步圈定了 37 个局部构造, 构造类型有断块、

背斜、半背斜、断鼻和潜山披覆等。闭合面积42~298 km²。台北转折带上发育有7个整体呈北东向展布的局部构造,局部构造的幅度为200~700 m;闽江斜坡发育8个圈闭,闭合厚度100~500 m^[48]。

(3) 油气勘查的有利区带

台北转折带属于“凹中隆”,距有效生烃凹陷(基隆凹陷)近,向西运移的烃类主要聚集于台北转折带中部和南部构造圈闭,以气态烃为主,还接受来自其西侧闽江斜坡带生烃凹陷的部分烃类,后期中、新生代断裂和岩浆作用对构造圈闭改造影响较弱。闽江斜坡带南段发育上三叠统一侏罗统和白垩系两套主力生烃层段,生成的烃类主要向凹陷斜坡西部运移并主要聚集于该斜坡带南段,以液态烃为主^[48]。因此,台北转折带和闽江斜坡南部为中生界有利区带。

7 结论与认识

40年来,青岛海洋地质研究所的海洋油气调查研究和评价工作大体分为:海域及邻区沉积盆地对比研究、中国海域区域评价战略研究和黄东海海域新区新层系油气资源调查3个阶段。先后主持编制了中国海域沉积盆地分布图和油气资源勘探开发(动态)形势图,自主研发了海域油气资源早期评价和沉积盆地深部“高富强”地震探测两大技术体系。取得的主要认识如下:

7.1 海域油气资源丰富, 探明程度低

中国管辖海域约300×10⁴ km²,其上分布有30个新生代沉积盆地,可分陆内裂谷、陆缘裂谷、走滑拉张、弧后、前弧、前陆、裂离陆块和深海堆积盆地8种类型。海域30个盆地(包括新区、新层系)总石油地质资源量为490×10⁸ t,天然气资源量为65.5×10¹² m³(海洋地质调查项目资源评价结果,2018年),近海11个新生代盆地石油地质资源量239.04×10⁸ t,天然气地质资源量20.85×10¹² m³(全国油气资源动态评价结果,2015年),天然气水合物资源量800×10⁸ t油当量(2017年评价结果)。我国近海盆地资源探明程度仍然较低,截止2018年,近海探明石油地质资源量43.22×10⁸ t,探明程度为18%,近海探明天然气地质资源量1.1×10¹² m³,占5.3%。因此我国海域油气资源丰富,勘探程度低,勘探潜力巨大。

7.2 我国海域油气资源调查与勘探的6大战略领域

我国海域油气资源下一步调查与勘探的6大战

略领域如下:

(1)新层系:包括南黄海和北黄海盆地的陆相中生界、南黄海盆地的海相中—古生界、“大东海”中生界和近海盆地的新近系。

(2)近海天然气:勘查方向包括东海陆架盆地西湖凹陷和瓯江凹陷;琼东南盆地的崖南、宝岛及松南凹陷内凸起、斜坡和背斜构造带;莺歌海盆地的泥底辟构造带、莺东斜坡构造带和临高构造带;珠江口盆地深部;渤海盆地沙东南、沙东构造带和渤东凸起西南、渤南凸起西坡构造带。

(3)富生烃凹陷区潜山油气藏:重点区包括渤海盆地的辽西、沙垒田、渤南、庙西、石臼坨等凸起;珠江口盆地惠州凹陷的基岩潜山、南黄海盆地烟台坳陷中的艾山凸起东部和福山凸起,青岛坳陷的灵山凸起和浮山凸起;东海南部和南海北部新生代富生烃凹陷内的基岩潜山。

(4)南海海域深水油气:南海海盆周边陆坡区的新生代深水盆地内大型构造圈闭和水道砂与浊积扇体发育区是有利区。

(5)南海生物礁:南海海域早中新世、中中新世和晚中新世的3期生物礁体共计近200个,它们中的一部分将成为未来生物礁油气藏勘探的重要目标。

(6)非常规油气:包括南黄海页岩气、东海陆架盆地的生盆气、近海海域的致密气和煤层气以及天然气水合物。

7.3 南黄海海相中—古生界油气资源潜力巨大

(1)南黄海盆地在区域构造上不仅是扬子地台的延伸,而且是下扬子的主体,海相残留盆地发育大面积的构造稳定区;

(2)海相中—古生界发育3套地震反射标志层组,可划分为7个地震层序;总体分布广、厚度大,与四川盆地具有相同的沉积建造和沉积演化历史;

(3)海相中—古生界发育3套区域性烃源岩、碳酸盐岩和碎屑岩2类储层、3套完整的生储盖组合,具备形成大型油气田的基本地质条件,预测海相中—古生界天然气地质资源量为6.9×10¹² m³。CSDP-2井古油藏的发现反映地质历史时期大规模油气运移和聚集,具有多源多期成藏特点。崂山断隆带是海相下构造层的油气远景区,青岛隆褶带是海相上构造层的油气远景区,高石稳定带是最有利的区带。

7.4 东海南部中生界油气前景好

(1)东海南部中生代地层自下而上分别发育有

中一下侏罗统福州组、上侏罗统厦门组、下白垩统渔山组以及上白垩统的闽江组与石门潭组;

(2) 中生代发育“大东海”盆地, 中生界广泛分布在海礁凸起以南的广大地区, 残留厚度 4 000~7 000 m, 具有“南厚北薄、东厚西薄”的地层分布特征和“南海北陆、东海西路”的沉积特征。

(3) 中生代盆地具有“北北东分带”的结构特点, 发育 2 期不同类型的盆地, 即晚三叠世—中侏罗世活动大陆边缘挤压拗陷型盆地和晚侏罗世—白垩纪伸展断陷型盆地。

(4) 中生界发育上三叠统一下侏罗统和下白垩统 2 套烃源岩和发育 2 套完整的生储盖组合, 预测油气地质资源量为 63×10^8 t 油当量, 台北转折带和闽江斜坡南部为有利区带。

参考文献 (References)

- [1] 彭世福, 郭振轩. 中国海域油气勘探开发形势图说明书 [R]. 青岛: 地质矿产部海洋地质研究所, 1984. [PENG Shifu, GUO Zhenxuan. Specification of situation map of oil and gas exploration and development in the China Sea [R]. Qingdao: Institute of Marine geology, Ministry of Geology and Mineral Resources, 1984.]
- [2] 陈国威. 中国海域含油气盆地的基本特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1986, 6(4): 31-36. [CHEN Guowei. Main characteristics of hydrocarbon-bearing basins in China seas [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1986, 6(4): 31-36.]
- [3] 蔡乾忠. 中国海域及邻区主要含油气盆地与成藏地质条件 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(4): 1-10. [CAI Qianzhong. Primary hydrocarbon-bearing basins and the pool forming conditions in China seas and adjacent regions [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18(4): 1-10.]
- [4] 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. [DAI Chunshan. Oil and Gas Basin Group of China Seas and Early Resource Assessment Techniques [M]. Beijing: Ocean Press, 2011.]
- [5] 戴春山, 刘伊克, 陈建文, 等. 海上油气资源区域快速综合评价技术 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 79-82. [DAI Chunshan, LIU Yike, CHEN Jianwen, et al. Fast comprehensive assessment techniques for offshore hydrocarbon resources [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(4): 79-82.]
- [6] Dai C S, Lin F, Chen J W, et al. Techniques for Quick, Comprehensive Assessment of Offshore Petroleum Resources, in Offshore Geology of China [M]. Beijing: China Ocean Press, 2003, 173-178.
- [7] 郭振轩. 新生代盆地图 [M] // 刘光鼎. 中国海域及邻区地质地球物理图集. 北京: 科学出版社, 1993: 74-75. [GUO Zhenxuan. Cenozoic basin maps [M] // LIU Guangding. Geological and Geophysical Maps in China Sea and Around Area. Beijing: Science Press, 1993: 74-75.]
- [8] 肖国林. 应用GIS建立中国海域油气资源地理信息系统的思路 [J]. 海洋地质动态, 1999(4): 1-3, 5. [XIAO Guolin. The thinking of geographic information system of oil and gas resources with GIS in China seas [J]. Marine Geology Letters, 1999(4): 1-3, 5.]
- [9] 肖国林. 基于GIS技术的中国海域油气资源可视化数据库的设计与实现——以黄海盆地油气勘查可视化数据库为例 [J]. 海洋地质动态, 2002, 18(11): 39-42. [XIAO Guolin. Design and realization of visualized dataset of china sea area petroleum resources on the basis of GIS technique [J]. Marine Geology Letters, 2002, 18(11): 39-42.]
- [10] 陈建文, 肖国林, 刘守全, 等. 中国海域油气资源勘查战略研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 77-82. [CHEN Jianwen, XIAO Guolin, LIU Shouquan, et al. Strategy of oil and gas resources explorations in China seas [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(4): 77-82.]
- [11] Chen J W, Xiao G L, Liu S Q, et al. Strategy of Oil and Gas Exploration in China's Sea Areas, in Offshore Geology of China [M]. Beijing: China Ocean Press, 2003: 163-172.
- [12] 戴春山, 李刚, 蔡峰, 等. 黄海前第三系及油气勘探方向 [J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 225-231. [DAI Chunshan, LI Gang, CAI Feng, et al. The pretertiary and its hydrocarbon exploration targets in Yellow Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(4): 225-231.]
- [13] 戴春山, 杨艳秋, 闫桂京. 南黄海—中生代海相残留盆地埋藏生烃史模拟及其意义 [J]. 石油天然气地质, 2005, 26(1): 49-56. [DAI Chunshan, YANG Yanqiu, YAN Guijing. Modelling of burial and hydrocarbon-generation histories of Meso-Paleozoic marine residual basins in South Yellow Sea and its geologic significance [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 49-56.]
- [14] 李刚, 陈建文, 肖国林, 等. 南黄海海域的海相—中生界油气远景 [J]. 海洋地质动态, 2003, 19(8): 12-16. [LI Gang, CHEN Jianwen, XIAO Guolin, et al. Petroleum prospect of marine paleozoic in the south Yellow Sea [J]. Marine Geology Letters, 2003, 19(8): 12-16.]
- [15] Cai F, Dai C S, Chen J W, et al. Hydrocarbon potential of Pre-cenozoic Strata in the north Yellow Sea Basin [C] // Offshore Geology of China. Beijing: China Ocean Press, 2003: 187-200.
- [16] LI G, Chen J W, Qu X Y. Hydrocarbon prospects of Mesozoic terrestrial Facies in the Yellow Sea [C] // Offshore Geology of China. Beijing: China Ocean Press, 201-210.
- [17] 李刚, 张燕, 陈建文, 等. 黄海海域陆相中生界地震反射特征及靶区优选 [J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(6): 1069-1074. [LI Gang, ZHANG Yan, CHEN Jianwen, et al. Seismic reflection characteristics and selection of hydrocarbon prospective areas in the terrestrial Mesozoic strata of the Yellow Sea [J]. Periodical of Ocean University of China, 2004, 34(6): 1069-1074.]
- [18] 曲希玉, 陈建文, 徐淑艳, 等. 南黄海盆地北部拗陷白垩系地震相分析 [J]. 世界地质, 2005, 24(2): 129-136. [QU Xiyu, CHEN Jianwen, XU Shuyan, et al. Cretaceous seismic facies analysis of northern South Yellow Sea Basin [J]. Global Geology, 2005, 24(2): 129-136.]
- [19] 曲希玉, 刘立, 陈建文, 等. 南黄海盆地北部拗陷白垩系沉积特征 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(4): 443-448. [QU Xiyu, LIU Li, CHEN Jianwen, et al. Sedimentary characteristics for

- the cretaceous strata in the northern depression of the south Yellow Sea Basin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2005, 35 (4): 443-448.]
- [20] 陈建文, 李刚, 陈国威. 东海陆架盆地西部坳陷带的中生界和古新统油气远景[J]. *海洋地质动态*, 2003, 19 (8): 17-19. [CHEN Jianwen, LI Gang, CHEN Guowei. Petroleum prospects of Mesozoic and paleocene in the western depression of the East China Sea Shelf Basin [J]. *Marine Geology Letters*, 2003, 19 (8): 17-19.]
- [21] 肖国林, 陈建文, 闫桂京. 东海陆架盆地的第三系煤成气[J]. *海洋地质动态*, 2003, 19 (8): 20-23. [XIAO Guolin, CHEN Jianwen, YAN Guijing. Tertiary coal-related gas in the East China Sea Shelf Basin [J]. *Marine Geology Letters*, 2003, 19 (8): 20-23.]
- [22] 闫桂京, 肖国林, 陈建文, 等. 基隆凹陷油气资源潜力[J]. *海洋地质动态*, 2003, 19 (8): 24-26. [YAN Guijing, XIAO Guolin, CHEN Jianwen, et al. Potentials of petroleum resources in Jilong Depression [J]. *Marine Geology Letters*, 2003, 19 (8): 24-26.]
- [23] 陈建文. 南黄海前第三系油气前景研究项目设计书(2005年)[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2005. [CHEN Jianwen. Project design document of oil and gas prospects of Pre-Tertiary in South Yellow Sea (2005) [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2005.]
- [24] 陈建文, 吴志强, 李慧君, 等. 南黄海前第三系油气前景研究2006年工作总结[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2007. [CHEN Jianwen, WU Zhiqiang, LI Huijun, et al. 2006 work summary of oil and gas prospects of Pre-Tertiary in South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2007.]
- [25] 陈建文, 吴志强, 李慧君, 等. 南黄海前第三系油气前景研究2007年工作总结[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2008. [CHEN Jianwen, WU Zhiqiang, LI Huijun, et al. 2007 work summary of oil and gas prospects of Pre-Tertiary in South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2008.]
- [26] 陈建文, 李慧君, 吴志强, 等. 南黄海前第三系油气前景研究成果报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2010. [CHEN Jianwen, WU Zhiqiang, LI Huijun, et al. Results report of oil and gas prospects of Pre-Tertiary in South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2010.]
- [27] 陈建文, 施剑, 张异彪, 等. 地震调查技术突破南黄海水相中—古生界成像技术瓶颈[J]. *地球学报*, 2017, 38 (6): 847-858. [CHEN Jianwen, SHI Jian, ZHANG Yibiao, et al. The application of “HRS” seismic exploration technology to making breakthrough of the seismic imaging “Bottleneck” of the marine Mesozoic-Paleozoic strata in the South Yellow Sea Basin [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2017, 38 (6): 847-858.]
- [28] 陈建文, 张异彪, 刘俊, 等. 南黄海“高富强”地震勘查技术及其应用[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32 (10): 9-17. [CHEN Jianwen, ZHANG Yibiao, LIU Jun, et al. The “HRS” seismic exploration technology and its application in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32 (10): 9-17.]
- [29] 陈建文, 施剑, 刘俊, 等. 南黄海水相中-古生界地震地质条件[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32 (10): 1-8. [CHEN Jianwen, SHI Jian, LIU Jun, et al. Seismic geological conditions of the marine Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32 (10): 1-8.]
- [30] 陈建文, 梁杰, 施剑, 等. 南黄海水相中-古生界地震探测技术突破技术瓶颈[J]. *中国地质调查成果快讯*, 2016, 3 (4): 18-21. [CHEN Jianwen, LIANG Jie, SHI Jian, et al. Breakthrough of the seismic exploration technology of the marine Mesozoic-Paleozoic strata in the South Yellow Sea Basin [J]. *Results Express of China Geological Survey*, 2016, 3 (4): 18-21.]
- [31] 张海敏, 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. [ZHANG Haiqi, CHEN Jianwen, LI Gang, et al. Discovery from seismic survey in laoshan uplift of the south Yellow Sea and the significance [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29 (3): 107-113.]
- [32] 陈建文, 雷宝华, 梁杰, 等. 南黄海盆地油气资源调查新进展[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38 (3): 1-23. [CHEN Jianwen, LEI Baohua, LIANG Jie, et al. New progress of petroleum resources survey in South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38 (3): 1-23.]
- [33] Chen J W, Xu M, Lei B H, et al. Prospective prediction and exploration situation of marine Mesozoic-Paleozoic oil and gas in the South Yellow Sea [J]. *China Geology*, 2019, 2 (1): 67-84.
- [34] 陈建文. 下扬子地块南黄海水相层系具备良好的油气形成条件[J]. *中国地质调查成果快讯*, 2016, 2 (12): 1-5. [CHEN Jianwen. Good oil and gas formation conditions of marine strata in the South Yellow Sea Basin of Lower Yangtze Block [J]. *Results Express of China Geological Survey*, 2016, 2 (12): 1-5.]
- [35] 陈建文, 张银国, 欧光习, 等. 南黄海古生界油气多期成藏的包体证据[J]. *海洋地质前沿*, 2018, 34 (2): 69-70. [CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, OU Guangxi, et al. The inclusion evidences of multi-accumulation of Paleozoic in South Yellow Sea [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2018, 34 (2): 69-70.]
- [36] 陈建文, 张银国, 欧光习. 南黄海崂山隆起志留系古油藏的深部烃源证据[J]. *海洋地质前沿*, 2019, 35 (1): 74-76. [CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, OU Guangxi, et al. Evidence of deep hydrocarbon sources from the Silurian Paleo-reservoir in the Laoshan uplift of the South Yellow Sea [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2019, 35 (1): 74-76.]
- [37] Zhang Y G, Chen J W, Liang J, et al. Evidence of the existence of paleo reservoirs in Laoshan Uplift of the South Yellow Sea Basin [J]. *China Geology*, 2018, 1 (4): 566-567.
- [38] 陈建文. 南黄海水相中生界—古生界具有形成大型油气田的物质基础[J]. *中国地质调查成果快讯*, 2016, 2 (12): 6-10. [CHEN Jianwen. Material base of great resources in marine Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea Basin [J]. *Results Express of China Geological Survey*, 2016, 2 (12): 6-10.]
- [39] 陈建文, 龚建明, 李刚, 等. 南黄海盆地海相中—古生界油气资源潜力巨大[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32 (1): 1-7. [CHEN Jianwen, GONG Jianming, LI Gang, et al. Great resources potential of the marine Mesozoic-Paleozoic in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32 (1): 1-7.]
- [40] 陈建文, 何玉华, 肖国林, 等. 南黄海水域油气资源普查成果报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2017. [CHEN Jianwen, HE

- Yuhua, XIAO Guolin, et al. Oil and gas resource general survey of the South Yellow Sea[R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2017.]
- [41] 陈建文, 梁杰, 张银国, 等. 南海黄崂山隆起高参1井井位论证报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2017. [CHEN Jianwen, LIANG Jie, ZHANG Yinguo, et al. Gaocan 1 well location demonstration report in Laoshan uplift, South Yellow Sea[R]. Qingdao: Qingdao institute of Marine Geology, 2017.]
- [42] 杨长清, 杨传胜, 孙晶, 等. 东海陆架盆地南部中生代演化与动力学转换过程[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2019, 49(1): 139-153. [YANG Changqing, YANG Chuansheng, SUN Jing, et al. Mesozoic evolution and dynamics transition in southern Shelf Basin of the East China Sea [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2019, 49(1): 139-153.]
- [43] 杨长清, 杨传胜, 李刚, 等. 东海陆架盆地南部中生代构造演化与原型盆地性质[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 109-115. [YANG Changqing, YANG Chuansheng, LI Gang, et al. Mesozoic tectonic evolution and prototype basin characters in the southern East China Sea Shelf Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(3): 109-115.]
- [44] 李刚, 龚建明, 杨长清, 等. “大东海”中生代地层分布——值得关注的新领域[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 98-104. [LI Gang, GONG Jianming, YANG Changqing, et al. Stratigraphic features of the Mesozoic “great East China Sea”-- a new exploration field [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(3): 98-104.]
- [45] 杨长清, 韩宝富, 杨艳秋, 等. 东海陆架盆地中生界油气调查进展与面临的挑战[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(4): 1-8. [YANG Changqing, HAN Baofu, YANG Yanqiu, et al. Oil and gas exploration in the Mesozoic of East China Sea Shelf Basin: progress and challenges [J]. Marine Geology Frontiers, 2017, 33(4): 1-8.]
- [46] 杨传胜, 杨长清, 李刚, 等. 东海陆架盆地中-新生界油气勘探研究进展与前景分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(2): 136-147. [YANG Chuansheng, YANG Changqing, LI Gang, et al. Prospecting of Meso-cenozoic hydrocarbon in the East China Sea Shelf Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2018, 38(2): 136-147.]
- [47] 杨长清, 李刚, 龚建明, 等. 中国东南海域中生界油气地质条件与勘探前景[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2015, 45(1): 1-12. [YANG Changqing, LI Gang, GONG Jianming, et al. Petroleum geological conditions and exploration prospect of the Mesozoic in southeast China Sea area [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2015, 45(1): 1-12.]
- [48] 杨长清, 杨艳秋, 孙晶, 等. 东海陆架盆地西部和DNB油气资源调查[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所. 2019. [YANG Changqing, YANG Yanqiu, SUN Jing, et al. Oil and gas resources survey in the west and southeast of East China Sea Shelf Basin [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2019.]
- [49] 肖国林, 孙长虹, 郑浚茂. 北黄海盆地东部前中生界基底特征[J]. 现代地质, 2005, 19(2): 261-266. [XIAO Guolin, SUN Changhong, ZHENG Junmao. Pre-Mesozoic basement characteristics in the eastern depression of the north Yellow Sea Basin [J]. Geoscience, 2005, 19(2): 261-266.]
- [50] 肖国林, 蔡来星, 郭兴伟, 等. 北黄海盆地东部坳陷勘探突破对我国近海残留“黑色侏罗系”油气勘探的启示[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2019, 49(1): 115-130. [XIAO Guolin, CAI Laixing, GUO Xingwei, et al. Exploration Enlightenment on Residual “Black Jurassic” in Chinese offshore from exploration breakthrough in Eastern Sag of the North Yellow Sea Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2019, 49(1): 115-130.]
- [51] 陈建文, 梁杰, 张银国, 等. 南海黄油气资源调查进展报告(2017)[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2017. [CHEN Jianwen, LIANG Jie, ZHANG Yinguo, et al. Progress report of oil and gas resource survey in the South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2017.]
- [52] 陈建文, 梁杰, 张银国, 等. 南海黄油气资源调查成果报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2019. [CHEN Jianwen, LIANG Jie, ZHANG Yinguo, et al. Report of oil and gas resources survey in the South Yellow Sea [R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2019.]
- [53] 蔡乾忠. 中国海域油气地质学 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 1-406. [CAI Qianzhong. Oil & Gas Geology in China Sea [M]. Beijing: Ocean Press, 2005: 1-406.]
- [54] 国土资源部油气储量评审办公室. 全国石油天然气探明地质储量评审表 [R]. 北京, 2008-2017. [Oil and Gas Reserves Assessment Office in Ministry of Land and Resources. Assessment table of oil and gas explored reserves in China [R]. Beijing, 2008-2017.]
- [55] 国土资源部信息中心. 全国油气矿产储量通报 [R]. 2008-2017. [Information Center in Ministry of Land and Resources. Bulletin of oil and gas reserves in China [R]. 2008-2017.]
- [56] 谢玉洪. 中国海洋石油总公司油气勘探新进展及展望[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(1): 27-35. [XIE Yuhong. New progress and prospect of oil and gas exploration of China National Offshore Oil Corporation [J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(1): 27-35.]
- [57] 朱伟林, 张功成, 钟锺. 中国海洋石油总公司“十二五”油气勘探进展及“十三五”展望[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(4): 1-12. [ZHU Weilin, ZHANG Gongcheng, ZHONG Kai. Oil and gas exploration progress of China National Offshore Oil Corporation during the 12th Five-Year Plan and the prospect during the 13th Five-Year Plan [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(4): 1-12.]
- [58] 朱伟林. 中国近海油气勘探的回顾与思考[J]. 中国工程科学, 2011, 13(5): 4-9. [ZHU Weilin. China offshore oil and gas exploration: review and thinking [J]. Engineering Sciences, 2011, 13(5): 4-9.]
- [59] 朱伟林. 中国近海油气勘探进展[J]. 中国工程科学, 2010, 12(5): 18-24. [ZHU Weilin. Advancements of oil and gas exploration in China offshore area: overview and perspective [J]. Engineering Sciences, 2010, 12(5): 18-24.]
- [60] 赵青芳, 李双林, 温珍河, 等. 北黄海盆地LV井侏罗系烃源岩特征及油源对比[J]. 沉积学报, 2016, 34(4): 794-802. [ZHAO Qingfang, LI Shuanglin, WEN Zhenhe, et al. Geochemical characteristics of Jurassic source rocks from well LV and Oil-source correlation in north Yellow Sea Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2016, 34(4): 794-802.]
- [61] 梁杰, 温珍河, 肖国林, 等. 北黄海盆地东部坳陷储层特征及影响因

- 素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(2): 111-119. [LIANG Jie, WEN Zhenhe, XIAO Guolin, et al. Reservoir characteristics and influential factors in the Eastern depression of the north Yellow Sea Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(2): 111-119.]
- [62] 刘守全, 蔡乾忠, 莫杰. 中国海域油气勘探的新领域——应当重视海域中生界油气资源[J]. 中国地质, 2001, 28(11): 4-9. [LIU Shouquan, CAI Qianzhong, MO Jie. A new field of petroleum exploration in sea areas of China-Attention should be paid to Mesozoic marine petroleum resources [J]. Chinese Geology, 2001, 28(11): 4-9.]
- [63] 陈建文. 南黄海崂山隆起海相中—古生界发现多个大型圈闭构造[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(4): 69-70. [CHEN Jianwen. Many large trap structures develop in the marine Mesozoic-Paleozoic strata in the South Yellow Sea Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(4): 69-70.]
- [64] 高乐. 东海陆架中生代残余盆地特征及勘探方向探讨[J]. 中国海上油气, 2005, 17(3): 148-152. [GAO Le. Mesozoic remnant basin characteristics and hydrocarbon exploration direction on East China Sea Shelf [J]. China Offshore oil and Gas, 2005, 17(3): 148-152.]
- [65] 刘建华, 黎明碧, 方银霞. 东海陆架盆地海相中生界及其与邻近古海洋关系探讨[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(2): 1-7. [LIU Jianhua, LI Mingbi, FANG Yinxia. Mesozoic strata in East China Sea Shelf Basin and their relationship with adjacent palaeo seas [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(2): 1-7.]
- [66] 唐建. 东海及邻近地区中生代沉积地层展布研究[D]. 上海: 同济大学, 2007. [TANG Jian. Distribution research of Mesozoic strata in East China Sea and around[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.]
- [67] 蔡乾忠, 刘守全, 莫杰. 寻找海相油气新领域——从南海北部“残留特提斯”谈起[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 157-162. [CAI Qianzhong, LIU Shouquan, MO Jie. Search for new domains of marine-origin petroleum: “remained tethys” in the northern South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(3): 157-162.]
- [68] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(5): 513-517. [GONG Zaisheng. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese Basins [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 513-517.]
- [69] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 133-138. [GONG Zaisheng. Neotectonic movement and hydrocarbon accumulation in petroliferous basins, offshore China [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 133-138.]
- [70] 龚再升. 中国近海新生代盆地至今仍然是油气成藏的活跃期[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 1-6. [GONG Zaisheng. Cenozoic China offshore basins keeping active hydrocarbon accumulation to present [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(6): 1-6.]
- [71] 龚再升, 王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 1-7. [GONG Zaisheng, WANG Guochun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 1-7.]
- [72] 龚再升. 中国近海盆地晚期断裂活动和油气成藏[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(2): 12-19. [GONG Zaisheng. Late-stage fault activities and oil and gas reservoir formation of China's Offshore Basins [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9(2): 12-19.]
- [73] 肖国林, 陈建文. 中国近海的天然气勘探[J]. 海洋地质动态, 2003, 19(8): 47-52. [XIAO Guolin, CHEN Jianwen. Natural gas exploration of offshore China [J]. Marine Geology Letters, 2003, 19(8): 47-52.]
- [74] 张功成, 苗顺德, 陈莹. “源热共控”中国近海天然气富集区分布[J]. 天然气工业, 2013, 33(4): 1-17. [ZHANG Gongcheng, MIAO Shunde, CHEN Ying. Distribution of gas enrichment regions controlled by source rocks and geothermal heat in China offshore basins [J]. Natural Gas industry, 2013, 33(4): 1-17.]
- [75] 张功成, 陈国俊, 张厚和, 等. “源热共控”中国近海盆地油气田“内油外气”有序分布[J]. 沉积学报, 2012, 30(1): 1-19. [ZHANG Gongcheng, CHEN Guojun, ZHANG Houhe, et al. Regular distribution of inside-oil fields and outside-gas fields controlled by source rocks and heat in China offshore basins [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(1): 1-19.]
- [76] 张功成. 中国近海天然气地质特征与勘探新领域[J]. 中国海上油气, 2005, 17(5): 289-296. [ZHANG Gongcheng. Geological features and new exploration realms of offshore gas in China [J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(5): 289-296.]
- [77] 董伟良. 南海西部莺-琼盆地天然气勘探领域分析[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 7-11. [DONG Weiliang. An analysis of the natural gas exploration areas in Ying Qiong Basin in western South China Sea [J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 7-11.]
- [78] 陈伟煌, 何家雄, 夏斌. 莺—琼盆地天然气勘探回顾与存在的主要问题及进一步勘探的建议[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(4): 412-415. [CHEN Weihuang, HE Jiaxiong, XIA Bin. Review and proposal upon offshore gas exploration in Yingqiong Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(4): 412-415.]
- [79] 林兴荣, 孙志鹏. 文昌A凹陷天然气成藏条件[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 47-51. [Lin Xingrong, Sun Zhipeng. Conditions of forming gas reservoirs in Wenchang Sag A [J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 47-51.]
- [80] 甘军, 张迎朝, 邓勇, 等. 珠江口盆地西部文昌A凹陷古近系天然气富集主控因素与勘探方向[J]. 中国海上油气, 2009, 21(6): 367-371. [GAN Jun, ZHANG Yingzhao, DENG Yong, et al. Main controls over Palaeogene natural gas accumulation and its exploration direction in Wenchang A Sag, the western Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(6): 367-371.]
- [81] 谢玉洪. 中国海洋石油总公司油气勘探新进展及展望[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(1): 26-35. [XIE Yuhong. New progress and prospect of oil and gas exploration of China National Offshore Oil Corporation [J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(1): 26-35.]
- [82] 王建强, 赵青芳, 董和平, 等. 海域油气勘探开发形势分析与战略研究2019年成果报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2019. [WANG Jianqiang, ZHAO Qingfang, DONG Heping, et al. 2019 Report of situation analysis strategic research in seas[R]. Qingdao: Qingdao Institute of Marine Geology, 2019.]
- [83] 周心怀, 张如才, 李慧勇, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷深埋古潜山天然气成藏主控因素探讨[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2017,

- 41(1): 42-50. [ZHOU Xinhui, ZHANG Rucai, LI Huiyong, et al. Major controls on natural gas accumulations in deep-buried hills in Bozhong Depression, Bohai Bay Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2017, 41(1): 42-50.]
- [84] 薛永安. 渤海海域深层天然气勘探的突破与启示[J]. *天然气工业*, 2019, 39(1): 11-20. [XUE Yong'an. The breakthrough of the deep-buried gas exploration in the Bohai Sea area and its enlightenment [J]. *Natural Gas Industry*, 2019, 39(1): 11-20.]
- [85] 薛永安, 李慧勇. 渤海海域深层太古界变质岩潜山大型凝析气田的发现及其地质意义[J]. *中国海上油气*, 2018, 30(3): 1-9. [XUE Yong'an, LI Huiyong. Large condensate gas field in deep Archean metamorphic buried hill in Bohai Sea: Discovery and geological significance [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(3): 1-9.]
- [86] 陈建文. 深水盆地油气勘探新领域[J]. *海洋地质动态*, 2003, 19(8): 38-41. [CHEN Jianwen. New exploration domain for oil and gas in deep water basins [J]. *Marine Geology Letters*, 2003, 19(8): 38-41.]
- [87] 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. [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.]
- [88] 张功成, 屈红军, 赵冲, 等. 全球深水油气勘探40年大发现及未来勘探前景[J]. *天然气地球科学*, 2017, 28(10): 1447-1477. [ZHANG Gongcheng, QU Hongjun, ZHAO Chong, et al. Giant discoveries of oil and gas exploration in global deepwaters in 40 years and the prospect of exploration [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2017, 28(10): 1447-1477.]
- [89] 金庆焕. 深水油气是当今海洋油气勘探的主要热点[J]. *科学中国人*, 2006(11): 18-20. [JIN Qinghuan. Deepwater oil and gas exploration is the hot spot in the marine oil and gas exploration [J]. *Scientific Chinese*, 2006(11): 18-20.]
- [90] 何家雄, 夏斌, 施小斌, 等. 世界深水油气勘探进展与南海深水油气勘探前景[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(6): 747-752. [HE Jiaxiong, XIA Bin, SHI Xiaobin, et al. Prospect and progress for oil and gas in deep waters of the world and the potential and prospect foreground for oil and gas in deep waters of the South China Sea [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(6): 747-752.]
- [91] 冯杨伟, 张功成, 屈红军. 南海新生代生物礁发育规律与油气勘探潜力[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(6): 18-25. [FENG Yangwei, ZHANG Gongcheng, QU Hongjun. Development regularity and hydrocarbon exploration potential of Cenozoic reef reservoir, South China Sea [J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(6): 18-25.]
- [92] 魏喜, 邓晋福, 谢文彦, 等. 南海盆地演化对生物礁的控制及礁油气藏勘探潜力分析[J]. *地质前缘*, 2005, 12(3): 245-252. [WEI Xi, DENG Jinfu, XIE Wenyan, et al. Constraints on biogenetic reef formation during evolution of the South China Sea and exploration potential analysis [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 245-252.]
- [93] 龚建明, 王建强, 李小豫, 等. 南海海嵴山隆起古生界页岩气远景区[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(6): 115-120. [GONG Jianming, WANG Jianqiang, LI Xiaoyu, et al. Exploration targets of Paleozoic shale gas at the Laoshan Uplift, South Yellow Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(6): 115-120.]
- [94] 王建强, 龚建明, 张莉, 等. 南海海盆地“三明治”结构的页岩气保存条件探讨[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(3): 135-142. [WANG Jianqiang, GONG Jianming, ZHANG Li, et al. Discussion on preservation conditions of shale gas with “Sandwich” structure in South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(3): 135-142.]
- [95] 苏奥, 陈红汉, 詹海勇. 东海西湖凹陷西斜坡和西次凹近致密一致密砂岩气藏的地质特征及发育前景[J]. *中国地质*, 2015, 42(4): 1115-1125. [SU Ao, CHEN Honghan, ZHAN Haiyong. Development prospects and geological characteristics of nearly tight and tight sandstone gas reservoirs in western secondary sag and western slope zone of Xihu depression, East China Sea [J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 1115-1125.]
- [96] 戴金星, 戚厚发, 宋岩, 等. 我国煤层气组份、碳同位素类型及其成因和意义[J]. *中国科学(B)辑*, 1987, 30(12): 1324-1337. [DAI Jinxing, QI Houfa, SONG Yan, et al. Composition, carbon isotope characteristics and the origin of coal-bed gases in China and their implications [J]. *China Science (B Series)*, 1987, 30(12): 1324-1337.]
- [97] 姜亮. 东海陆架盆地第三系煤系烃源岩油气生成与聚集[M]. 石油工业出版社, 2002. [JIANG Liang. Hydrocarbon Generation and Accumulation in Tertiary Coal Measure Source Rocks in East China Sea Continental Shelf Basin [M]. Petroleum Industry Press, 2002.]
- [98] 荣春龙. 深盆气藏基本特征及其形成机制[J]. *低渗透油气田*, 1997, 2(2): 55-58. [RONG Chunlong. The characteristics and formation mechanism of gas reservoir in deep basin [J]. *Hypomosis Oil and Gas Field*, 1997, 2(2): 55-58.]
- [99] 张金亮, 张金功. 深盆气藏的主要特征及形成机制[J]. *西安石油学院学报*, 2001, 16(1): 1-7. [ZHANG Jinliang, ZHANG Jingong. Basic characteristics of deep basin gas traps [J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute*, 2001, 16(1): 1-7.]
- [100] 袁政文, 许化政. 阿尔伯达深盆气研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. [YUAN Zhengwen, XU Huazheng. Research of Deep Basin Gas in Alberta Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996.]
- [101] 张金亮, 常象春, 王世谦. 四川盆地上三叠统深盆气藏研究[J]. *石油学报*, 2002, 23(3): 27-33. [ZHANG Jinliang, CHANG Xiangchun, WANG Shiqian. Gas trap in deep basin of the upper Triassic in Sichuan Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(3): 27-33.]
- [102] 闵琪, 杨华, 付金华. 鄂尔多斯盆地的深盆气[J]. *天然气工业*, 2000, 20(6): 11-15. [MIN Qi, YANG Hua, FU Jinhua. Deep basin gas in E'erdusi Basin [J]. *Gas Industry*, 2000, 20(6): 11-15.]
- [103] 姜烨, 梁春旭. 深盆气藏及松辽盆地勘探远景[J]. *大庆石油地质与开发*, 2001, 20(6): 14-16, 19. [JIANG Ye, LIANG Chunxu. Deep basin gas reservoir and exploration potential of Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2001, 20(6): 14-16, 19.]
- [104] 张建培, 余逸凡, 张田, 等. 东海西湖凹陷深盆气勘探前景探讨[J]. *中国海上油气*, 2013, 25(2): 24-29, 35. [ZHANG Jianpei, YU

- Yifan, ZHANG Tian, et al. A discussion on the exploration potential of deep basin gas in Xihu Sag, East China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(2): 24-29, 35.]
- [105] 魏伟, 张金华, 魏兴华, 等. 我国南海天然气水合物资源潜力分析[J]. *地球物理学进展*, 2012, 27(6): 2646-2655. [WEI Wei, ZHANG Jinhua, WEI Xinghua, et al. Resource potential analysis of natural gas hydrate in South China Sea [J]. *Progress in Geophysics*, 2012, 27(6): 2646-2655.]
- [106] 龚建明, 陈建文, 戴春山, 等. 中国海域天然气水合物资源远景[J]. *海洋地质动态*, 2003, 19(8): 53-56. [GONG Jianming, CHEN Jianwen, DAI Chunshan. Resources perspective of gas hydrate in China seas [J]. *Marine Geology Letters*, 2003, 19(8): 53-56.]
- [107] 陆敬安. 解码南海天然气水合物试采[J]. *海洋与渔业杂志*, 2017. [LU Jing'an. Decode pilot production of natural gas hydrate in the South China Sea [J]. *Ocean and Fishery*, 2017.]
- [108] Chi W C, Donald L R, Liu C, et al. Distribution of the bottom-simulating reflector in the offshore Taiwan collision zone [J]. *TAO*, 1998, 9(4): 779-794.
- [109] 王建花, 李庆忠, 邱睿. 浅层强反射界面的能量屏蔽作用[J]. *石油地球物理勘探*, 2003, 38(6): 589-596, 602. [WANG Jianhua, LI Qingzhong, QIU Rui. Energy shielding action of shallow strong reflector [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2003, 38(6): 589-596, 602.]
- [110] 刘俊, 吴淑玉, 施剑, 等. 南黄海崂山隆起地震采集方法[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(10): 24-29. [LIU Jun, WU Shuyu, SHI Jian, et al. On seismic acquisition methods on the Laoshan Uplift of the South Yellow Sea [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(10): 24-29.]
- [111] Chen J W, Shi J, Zhang Y B, et al. The "HRS" seismic exploration technology of deep strata in China sea areas: A case of the South Yellow Sea Basin [C]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2019, 93(S2): 388-389.
- [112] 陈建文, 袁勇, 施剑, 等. 中国海域深部“高富强”地震探测技术与南黄海盆地海相地层的发现[J]. *天然气勘探与开发*, 2019, 42(3): 53-64. [CHEN Jianwen, YUAN Yong, SHI Jian, et al. "High, rich, and strong" seismic technologies for deeper layers in offshore China and discoveries in marine strata of South Yellow Sea Basin [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2019, 42(3): 53-64.]
- [113] 施剑, 刘江平, 陈建文, 等. 崂山隆起地震资料多次波特征与压制策略[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(10): 30-37. [SHI Jian, LIU Jiangping, CHEN Jianwen, et al. Characteristics of seismic multiples on the Laoshan uplift and their suppression method [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(10): 30-37.]
- [114] 袁海华, 张树发, 张平. 康滇地轴结晶基底的时代归属[J]. *成都地质学院学报*, 1986, 13(4): 64-70. [YUAN Haihua, ZHANG Shufa, ZHANG Ping. Geochronological belonging of the crystalline basement of the Kang-Dian Geaxis [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1986, 13(4): 64-70.]
- [115] 陶洪祥. 扬子古陆核北缘西段元古代侵入岩岩石组合的划分及其地质意义[J]. *西安地质学院学报*, 1983(2): 24-34. [TAO Hongxiang. Division and geological meaning of Proterozoic intrusions in western part of northern Yangtze block [J]. *Journal of Xian Geological College*, 1983(2): 24-34.]
- [116] 任纪舜. 中国及邻区大地构造图(1: 500万)及简要说明书——从全球看中国大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 2-10. [REN Jishun. Tectonic Map (1: 5000000) and Specification of China and Adjacent Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 2-10.]
- [117] 杨志坚, 陈玉华. 中国东部(包括海域)与朝鲜半岛西南日本古构造发展关系的探讨[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1983, 3(1): 89-100. [YANG Zhijian, CHEN Yuhua. Discussion on the relation between the development of paleotectonics of the peninsula of Korea, southwestern Japan and eastern China and contiguous seas [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1983, 3(1): 89-100.]
- [118] 蔡乾忠. 横贯黄海的中朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(2): 185-192, 196. [CAI Qianzhong. Relationship between Sino-Korean orogenic belt traversing Yellow Sea and basin evolution and hydrocarbon generation in North and South Yellow Sea basins [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 185-192, 196.]
- [119] 蔡乾忠. 中国东部与朝鲜大地构造单元对应划分[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1995, 15(1): 7-24. [CAI Qianzhong. Corresponding division of geotectonic units of eastern China and Korea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1995, 15(1): 7-24.]
- [120] 雷宝华, 陈建文, 李刚, 等. 南黄海盆地二叠系地震地层特征与识别[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 29-34. [LEI Baohua, CHEN Jianwen, LI Gang, et al. Seismic stratigraphic features and recognition of the Permian in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 29-34.]
- [121] 王丰, 李慧君, 张银国. 南黄海崂山隆起地层属性及油气地质[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, 30(2): 95-102. [WANG Feng, LI Huijun, ZHANG Yinguo. Stratigraphic geologic attribute and hydrocarbon geology in Laoshan Uplift of South Yellow Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2010, 30(2): 95-102.]
- [122] 马立桥, 陈汉林, 董庸, 等. 苏北-南黄海南部叠合盆地构造演化与海相油气勘探潜力[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(1): 35-42. [MA Liqiao, CHEN Hanlin, DONG Yong, et al. Tectonic evolution of Subei-South Nanhuanghai superimposed basin from the Late Mesozoic to the Cenozoic and marine petroleum potential [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(1): 35-42.]
- [123] 杨方之, 闫吉柱, 苏树桢, 等. 下扬子地区海相盆地演化及油气勘探选区评价[J]. *江苏地质*, 2001, 25(3): 134-141. [YANG Fangzhi, YAN Jizhu, SU Shuan, et al. Evolution of marine basins and exploration direction estimation of oil and gas in lower Yangtze Areas [J]. *Jiangsu Geology*, 2001, 25(3): 134-141.]
- [124] 裴振洪, 王果寿. 苏北-南黄海海相中生界构造变形类型划分[J]. *天然气工业*, 2003, 23(6): 32-36. [PEI Zhenhong, WANG Guoshou. Classification of deformation types of the marine mesozoic-paleozoic Erathem in North Jiangsu-South Yellow Sea [J]. *Natural Gas Industry*, 2003, 23(6): 32-36.]
- [125] 姚永坚, 夏斌, 冯志强, 等. 南黄海古生代以来构造演化[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(2): 124-128. [YAO Yongjian, XIA Bin, FENG Zhiqiang, et al. Tectonic evolution of the South Yellow Sea since the Paleozoic [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(2): 124-

- 128.]
- [126] 周小进, 杨帆. 中国南方新元古代-早古生代构造演化与盆地原型分析[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(5): 446-451. [ZHOU Xiaojin, YANG Fan. Tectonic evolution and prototypes analysis from Neoproterozoic to early Paleozoic in South China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(5): 446-451.]
- [127] 梅廉夫, 戴少武, 沈传波, 等. 中、下扬子区中、新生代陆内对冲带的形成及解体[J]. *地质科技情报*, 2008, 27(4): 1-7, 14. [MEI Lianfu, DAI Shaowu, SHEN Chuanbo, et al. Formation and disintegration of Mesozoic-Cenozoic intra-continental ramp zone in middle and Lower Yangtze region [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2008, 27(4): 1-7, 14.]
- [128] 李亚辉, 段宏亮, 谈迎. 下扬子区海相中、古生界地质结构分区及其油气勘探选区意义[J]. *地质力学学报*, 2010, 16(3): 271-280. [LI Yahui, DUAN Hongliang, TAN Ying. Structural division of marine Mesozoic-Paleozoic in Lower Yangtze region and its significance for petroleum exploration targets [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16(3): 271-280.]
- [129] 赵挺, 程海生, 陆英. 下扬子区中、古生界典型构造样式与油气勘探选区[J]. *复杂油气藏*, 2010, 3(2): 8-12. [ZHAO Ting, CHENG Haisheng, LU Ying. Typical tectonic styles of Mesozoic & Paleozoic and exploration targets of oil and gas in Lower Yangtze Area [J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2010, 3(2): 8-12.]
- [130] 杨长清, 董贺平, 李刚. 南黄海盆地中部隆起的形成与演化[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(7): 17-21, 33. [YANG Changqing, DONG Heping, LI Gang. Formation and tectonic evolution of the central uplift of the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(7): 17-21, 33.]
- [131] 王建强, 孙晶, 肖国林, 等. 南黄海盆地构造特征及油气地质意义[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(10): 34-39. [WANG Jianqiang, SUN Jing, XIAO Guolin, et al. Tectonic characteristics of the South Yellow Sea Basin and implications for petroleum geology [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(10): 34-39.]
- [132] 庞玉茂, 张训华, 肖国林, 等. 下扬子南黄海沉积盆地构造地质特征[J]. *地质论评*, 2016, 62(3): 604-616. [PANG Yumao, ZHANG Xunhua, XIAO Guolin, et al. Structural and geological characteristics of the South Yellow Sea Basin in lower Yangtze Block [J]. *Geological Review*, 2016, 62(3): 604-616.]
- [133] 袁勇, 陈建文, 张银国, 等. 南黄海盆地崂山隆起海相中-古生界构造地质特征[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 48-53. [YUAN Yong, CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, et al. Geotectonic features of the marine Mesozoic-Paleozoic on the Laoshan Uplift of the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 48-53.]
- [134] 郭令智, 施央申, 孙岩, 等. 下扬子区前陆盆地逆冲推覆构造的研究[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 1988, 24(1): 3-11. [GUO Lingzhi, SHI Yangshen, SUN Yan, et al. A study on the thrust-Nappe structure of foreland basin in Lower Yangtze area [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*, 1988, 24(1): 3-11.]
- [135] 闰吉柱, 俞凯, 赵曙白, 等. 下扬子区中生代前陆盆地[J]. *石油实验地质*, 1999, 21(2): 95-99. [YAN Jizhu, YU Kai, ZHAO Shubai, et al. The mesozoic foreland basins in the Lower Yangtze area [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1999, 21(2): 95-99.]
- [136] 朱光, 徐嘉炜, 刘国生, 等. 下扬子地区前陆变形构造格局及其动力学机制[J]. *中国区域地质*, 1999, 18(1): 73-79. [ZHU Guang, XU Jiawei, LIU Guosheng, et al. Tectonic pattern and dynamic mechanism of the foreland deformation in the Lower Yangtze region [J]. *Regional Geology of China*, 1999, 18(1): 73-79.]
- [137] 丁卫星, 赵挺, 赵胜, 等. 下扬子前陆盆地北部构造变形特征研究[J]. *复杂油气藏*, 2013(2): 1-6. [DING Weixing, ZHAO Ting, ZHAO Sheng, et al. Characteristics of structural deformation in the northern part of lower Yangtze foreland basin [J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2013(2): 1-6.]
- [138] 许明, 陈建文, 雷宝华, 等. 南黄海海域中生代前陆盆地形成的构造背景[J]. *现代地质*, 2019, 33(1): 13-24. [XU Ming, CHEN Jianwen, LEI Baohua, et al. Tectonic background of Mesozoic Foreland basin development in the Southern Yellow Sea [J]. *Geoscience*, 2019, 33(1): 13-24.]
- [139] 丁道桂, 王东燕, 刘运黎. 下扬子地区古生代盆地的改造变形[J]. *地质前缘*, 2009, 16(4): 16-73. [DING Daogui, WANG Dongyan, LIU Yunli. Transformation and deformation of the Paleozoic basins in lower Yangtze areas [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(4): 16-73.]
- [140] 赵宗举, 朱琰, 李大成, 等. 中国南方构造形变对油气藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(1): 19-25. [ZHAO Zongju, ZHU Yan, LI Dacheng, et al. Control affect of tectonic deformation to oil-gas pools in southern China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(1): 19-25.]
- [141] 郭旭升, 梅廉夫, 汤济广, 等. 扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(3): 295-304, 325. [GUO Xusheng, MEI Lianfu, TANG Jiguang, et al. Constraint of Meso-Cenozoic tectonic evolution of Yangtze massif on formation of marine reservoirs [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(3): 295-304, 325.]
- [142] 丁道桂, 王东燕, 刘运黎. 下扬子地区古生代盆地的改造变形[J]. *地质前缘*, 2009, 16(4): 61-73. [DING Daogui, WANG Dongyan, LIU Yunli. Transformation and deformation of the Paleozoic basins in lower Yangtze areas [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(4): 61-73.]
- [143] 徐旭晖, 周小进, 彭金宁. 从扬子地区海相盆地演化改造与成藏浅析南黄海勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(5): 523-531, 545. [XU Xuhui, ZHOU Xiaojin, PENG Jinning. Exploration targets in southern Yellow Sea through analysis of tectono-depositional evolution and hydrocarbon accumulation of marine basin in Yangtze area [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2014, 36(5): 523-531, 545.]
- [144] Yuan Y, Chen J W, Zhang Y X, et al. Tectonic evolution and geological characteristics of hydrocarbon reservoirs in marine Mesozoic-Paleozoic strata in the South Yellow Sea Basin [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2018, 17(05): 1075-1090.
- [145] Lei B H, Xu M, Chen J W, et al. Structural characteristics and evolution of the South Yellow Sea Basin since Indosinian [J]. *China Geology*, 2018, 1(4): 466-476.
- [146] 雷宝华, 陈建文, 梁杰, 等. 印支运动以来南黄海盆地的构造变形与

- 演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(3): 45-54. [LEI Baohua, CHEN Jianwen, LIANG Jie, et al. Tectonic deformation and evolution of the South Yellow Sea Basin since Indosinian movement [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2018, 38(3): 45-54.]
- [147] 王文娟, 陈建文, 张银国. 贵州思南奥陶纪末至志留纪初大息场组的笔石[J]. 古生物学报, 2019, 58(2): 188-201. [WANG Wenjuan, CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo. Latest Ordovician to early Silurian graptolites of the Daxichang Formation in Sinan, Guizhou, China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2019, 58(2): 188-201.]
- [148] 张全忠, 焦世鼎. 南京汤山地区志留系研究的新进展[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1985, 6(2): 97-111. [ZHANG Quanzhong, JIAO Shiding. Bull. Nanjing Inst. Geol. M. R., Journal of Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources [J]. Chinese Academy of Geological Sciences, 1985, 6(2): 97-111.]
- [149] 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.]
- [150] 陈安定, 刘东鹰, 刘子满. 江苏下扬子区海相中、古生界烃源岩晚期生烃的论证与定量研究[J]. 海相油气地质, 2001, 6(4): 27-33. [CHEN Anding, LIU Dongying, LIU Ziman. Demonstration and quantitative study of late hydrocarbon generation from Mesozoic and Paleozoic source rocks in the lower Yangtze area, Jiangsu province [J]. Marine Oil and Gas Geology, 2001, 6(4): 27-33.]
- [151] 李双建, 肖开华, 沃玉进, 等. 南方海相上奥陶统一志留统优质烃源岩发育的控制因素[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 872-880. [LI Shuangjian, XIAO Kaihua, WO Yujin, et al. Developmental controlling factors of upper ordovician-lower Silurian high quality source rocks in marine sequence, South China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 872-880.]
- [152] 高林, 周雁. 中下扬子区海相中—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 sequence, middle-lower Yangtze area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3): 30-33.]
- [153] 刘小平, 潘继平, 董清源, 等. 苏北地区古生界页岩气形成地质条件[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(6): 1100-1108. [LIU Xiaoping, PAN Jiping, DONG Qingyuan, et al. Geological conditions of shale gas forming in Paleozoic Subei Area [J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(6): 1100-1108.]
- [154] 潘继平, 乔德武, 李世臻, 等. 下扬子地区古生界页岩气地质条件与勘探前景[J]. 地质通报, 2011, 30(2-3): 337-343. [PAN Jiping, QIAO Dewu, LI Shizhen, et al. Shale-gas geological conditions and exploration prospect of the Paleozoic marine strata in lower Yangtze area, China [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2-3): 337-343.]
- [155] 黄俨然, 张枝焕, 刘继勇, 等. 黄桥-句容地区二叠-三叠系烃源岩生烃历史及晚期成藏研究[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(3): 44-48. [HUANG Yanran, ZHANG Zhihuan, Liu Jiyong, et al. Study on Permian-Triassic hydrocarbon generation evaluation and history of late accumulation Huangqiao-Jurong area [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(3): 44-48.]
- [156] 龚建明, 王健强, 王蛟, 等. 南黄海崂山隆起古生界页岩气远景区[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(6): 114-120. [GONG Jianming, WANG Jianqiang, WANG Jiao, et al. Exploration targets of Paleozoic shale gas at the Laoshan Uplift, South Yellow Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(6): 114-120.]
- [157] 李皓月, 刘倩茹, 薛林福. 苏北盆地中—古生界海相烃源岩发育规律及其意义[J]. 世界地质, 2014, 33(1): 178-189. [LI Haoyue, LIU Qianru, XUE Linfu. Development and significance of Mesozoic-Paleozoic marine hydrocarbon source rocks in Subei Basin [J]. Global Geology, 2014, 33(1): 178-189.]
- [158] 肖国林, 张银国, 吴志强, 等. 南黄海盆地烃源潜力比较性评价[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(7): 25-33. [XIAO Guolin, ZHANG Yinguo, WU Zhiqiang, et al. Comparative assessment of hydrocarbon resource potential in the South Yellow Sea Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(7): 25-33.]
- [159] 葛海霞, 张枝焕. 下扬子黄桥-句容地区二叠系-下三叠统油源分析[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(26): 140-151. [GE Haixia, ZHANG Zhihuan. Oil-source analysis of Permian-lower Triassic crude oils from Huangqiao and Jurong Area in Lower Yangtze region [J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(26): 140-151.]
- [160] 张银国, 陈清华, 陈建文, 等. 下扬子海相中—古生界烃源岩发育的控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(1): 8-12. [ZHANG Yinguo, CHEN Qinghua, CHEN Jianwen, et al. Controlling factors on the Mesozoic-Paleozoic marine source rocks in the Lower Yangtze platform [J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(1): 8-12.]
- [161] 贾东, 胡文瑄, 姚素平, 等. 江苏省下志留统黑色页岩浅井钻探及其页岩气潜力分析[J]. 高校地质学报, 2016, 22(1): 127-137. [JIA Dong, HU Wenxuan, YAO Suping, et al. Shallow borehole drilling of the lower Silurian black shale in Jiangsu Province and the Shale Gas potential analysis [J]. Geological Journal of China Universities, 2016, 22(1): 127-137.]
- [162] 蔡来星, 王蛟, 郭兴伟, 等. 南黄海中部隆起中—古生界沉积相及烃源岩特征——以CSDP-2井为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2017, 47(4): 1030-1046. [CAI Laixing, WANG Jiao, GUO Xingwei, et al. Characteristics of sedimentary facies and source rocks of Mesozoic-Paleozoic in central uplift of south Yellow Sea: a case study of CSDP-2 coring well [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2017, 47(4): 1030-1046.]
- [163] 肖国林, 蔡来星, 郭兴伟, 等. 南黄海中部隆起CSDP-2井中-古生界烃源岩精细评价[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(12): 24-36. [XIAO Guolin, CAI Laixing, GUO Xingwei, et al. Detailed assessment of Meso-Paleozoic hydrocarbon source rocks: implications from well Csdp-2 on the central uplift of the South Yellow Sea Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2017, 33(12): 24-36.]
- [164] 梁狄刚, 陈建平. 中国南方高、过成熟区海相油源对比问题[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 8-14. [LIANG Digang, CHEN Jianping. Oil-source correlations for high and over matured marine source rocks in South China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 8-14.]

- [165] 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(一)南方四套区域性海相烃源岩的分布[J]. *海相油气地质*, 2008, 13(2): 1-16. [LIANG Digang, GUO Tonglou, CHEN Jianping, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, Southern China (Part 1): distribution of four suits of regional marine source rocks [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2008, 13(2): 1-16.]
- [166] 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(二)南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征[J]. *海相油气地质*, 2009, 14(1): 1-15. [LIANG Digang, GUO Tonglou, CHEN Jianping, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, Southern China (Part 2): Geochemical Characteristics of Four Suits of Regional Marine Source Rocks, South China [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14(1): 1-15.]
- [167] 梁狄刚, 郭彤楼, 边立曾, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(三): 南方四套区域性海相烃源岩的沉积相及发育的控制因素[J]. *海相油气地质*, 2009, 14(2): 1-19. [LIANG Digang, GUO Tonglou, BIAN Lizeng, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, Southern China (Part 3): controlling factors on the sedimentary Facies and development of Palaeozoic marine source rocks [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14(2): 1-19.]
- [168] Wang J Q, Gong J M, Zhang L, et al. Discussion on “sandwich” structures and preservation conditions of shale gas in the South Yellow Sea Basin [J]. *China Geology*, 2018, 1(4): 485-492.
- [169] 梁杰, 张银国, 董刚, 等. 南黄海海相中—古生界储集条件分析与预测[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2011, 31(5): 101-108. [LIANG Jie, ZHANG Yinguo, DONG Gang, et al. A discussion on marine Mesozoic-Palaeozoic reservoirs in South Yellow Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2011, 31(5): 101-108.]
- [170] 张鹏辉, 陈建文, 梁杰, 等. 南黄海盆地海相储层成岩作用与储层发育特征[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 35-42. [ZHANG Penghui, CHEN Jianwen, LIANG Jie, et al. Diagenesis and characteristics of the marine reservoirs in the South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 35-42.]
- [171] 吴淑玉, 陈建文, 梁杰, 等. 南黄海海相中-古生界碳酸盐岩储层特征及成藏模式—对比四川盆地和苏北盆地[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(1): 13-21. [WU Shuyu, CHEN Jianwen, LIANG Jie, et al. Characteristics of Mesozoic-Palaeozoic marine carbonate reservoir in the South Yellow Sea Basin and hydrocarbon accumulation: comparison between the Sichuan Basin and the Subei Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(1): 13-21.]
- [172] 吴淑玉, 陈建文, 刘俊, 等. 叠前同时反演技术在南黄海崂山隆起储层预测中的应用[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(3): 162-174. [WU Shuyu, CHEN Jianwen, LIU Jun, et al. Application of pre-stack simultaneous inversion in the reservoir prediction in South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(3): 162-174.]
- [173] 张银国, 梁杰. 南黄海盆地二叠系至三叠系沉积体系特征及其沉积演化[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2014, 44(5): 1406-1418. [ZHANG Yinguo, LIANG Jie. Sedimentary system characteristics and their sedimentary evolution from the permian to triassic in the southern Yellow Sea Basin [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2014, 44(5): 1406-1418.]
- [174] 张银国, 陈建文, 吴淑玉, 等. 南黄海崂山隆起下石炭统和州组至下二叠统栖霞组储层预测[J]. *海洋地质前沿*, 2016, 32(10): 60-64. [ZHANG Yinguo, CHEN Jianwen, WU Shuyu, et al. Reservoir prediction for deposits from Hezhou Formation of Lower Carboniferous to Qixia Formation of Lower Permian on the Laoshan Uplift of the South Yellow Sea [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(10): 60-64.]
- [175] 刘俊, 陈建文, 吴淑玉, 等. 南黄海崂山隆起石炭系-下二叠统海相碳酸盐岩叠前三参数反演储层预测[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(3): 186-198. [LIU Jun, CHEN Jianwen, WU Shuyu, et al. Prestack three-term seismic inversion for prediction of Carboniferous-Lower Permian carbonate reservoir on the Central uplift of South Yellow Sea Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(3): 186-198.]
- [176] Yuan Y, Chen J W, Zhang Y G, et al. Sedimentary system characteristics and depositional filling model of Upper Permian-Lower Triassic in South Yellow Sea Basin [J]. *Journal of Central South University*, 2018, 25(12): 2910-2928.
- [177] 梁杰, 陈建文, 张银国, 等. 南黄海盆地中、古生界盖层条件[J]. *现代地质*, 2016, 30(2): 353-360. [LIANG Jie, CHEN Jianwen, ZHANG Yinguo, et al. Conditions of the mesozoic-paleozoic cap rocks in the South Yellow Sea Basin [J]. *Geoscience*, 2016, 30(2): 353-360.]
- [178] 袁勇, 陈建文, 梁杰, 等. 海陆对比看南黄海海相中—古生界的生储盖组合特征[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(2): 195-202, 212. [YUAN Yong, CHEN Jianwen, LIANG Jie, et al. Source-reservoir-seal assemblage of marine Mesozoic-Paleozoic in South Yellow Sea Basin by land-ocean comparison [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(2): 195-202, 212.]
- [179] Yuan Y, Chen J W, Liang J, et al. Hydrocarbon geological conditions and exploration potential of mesozoic-paleozoic marine strata in the South Yellow Sea Basin [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2019, 18(6): 1329-1343.
- [180] 江东辉, 唐建, 王丹萍, 等. 东海陆架盆地南部及邻近陆域中生代地层格架对比[J]. *海洋地质前沿*, 2017, 33(4): 16-21. [JIANG Donghui, TANG Jian, WANG Danping, et al. Mesozoic stratigraphic framework of the Southern East China Sea Shelf Basin and its correlation with adjacent areas [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2017, 33(4): 16-21.]
- [181] 蒋玉波, 龚建明, 曹志敏, 等. 东海陆架盆地南部及邻区陆域中生界对比[J]. *海洋地质前沿*, 2013, 29(10): 1-7. [JIANG Yubo, GONG Jianming, CAO Zhimin, et al. Correlation of the Mesozoic between southern East China Sea Shelf Basin and its adjacent areas [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29(10): 1-7.]
- [182] 杨艳秋, 李刚, 戴春山. 东海陆架盆地西部坳陷带中生界分布特征及其有利区探讨[J]. *世界地质*, 2011, 30(3): 396-403. [YANG Yanqiu, LI Gang, DAI Chunshan. Characteristics of Mesozoic distribution and discussion on its favourable area in Western Depression Zone of East China Sea Shelf Basin [J]. *Global Geology*,

- 2011, 30(3): 396-403.]
- [183] Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Southeast China Block: new insights from basin analysis [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34(3): 376-391.
- [184] Okada H, Sakai T. Nature and development of Late Mesozoic and Early Cenozoic sedimentary basins in southwest Japan [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1993, 105(1-2): 3-16.
- [185] 胡文博. 东海陆架盆地南部中生界沉积体系研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012. [HU Wenbo. The Mesozoic sedimentary systems in the Southern East China Sea Shelf Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.]
- [186] Yang C Q, Yang Y Q, Li G, et al. The Mesozoic basin - mountain Coupling process of the Southern East China Sea Shelf Basin and its adjacent land area [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2016, 90(3): 1051-1052.
- [187] 陈虹宇, 胡广. 中国东南沿海早白垩世大地构造演化分析——来自浙江东部沿海石油群沉积岩的证据[J]. 地质论评, 2017, 63(S1): 269-270. [CHEN Hongyu, HU Guang. Analysis of tectonic evolution during Early Cretaceous in costal area of SE China: a case from sedimentary rock of Shipu Group in Eastern Zhejiang Province [J]. *Geological Review*, 2017, 63(S1): 269-270.]
- [188] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9): 876-884. [SHU Liangshu, ZHOU Xinmin, ZHENG Ping, et al. Geological features and tectonic evolution of Meso-Cenozoic basins in southeastern China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(9): 876-884.]
- [189] 冯晓杰, 蔡东升, 王春修, 等. 东海陆架盆地中新代构造演化特征[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(1): 33-37. [FENG Xiaojie, CAI Dongsheng, WANG Chunxiu, et al. The Meso-Cenozoic tectonic evolution in East China Sea Shelf Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(1): 33-37.]
- [190] 崔幸, 王亮亮, 罗洪明, 等. 东海陆架盆地南部中生代盆地性质与演化: 砂箱物理模拟检验[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(4): 181-193. [CUI Xing, WANG Liangliang, LUO Hongming, et al. Sandbox modeling test for Mesozoic basins in Southern East China Sea Shelf Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017, 37(4): 181-193.]
- [191] 钟广见, 易海, 林珍, 等. 粤东和南海东北部陆坡区中生界及烃源岩特征[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(6): 676-680. [ZHONG Guangjian, YI Hai, LIN Zhen, et al. Characteristic of source rocks and Mesozoic in continental slope area of Northeastern the South China Sea and East Guangdong of China [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(6): 676-680.]
- [192] 张莉, 耿安松, 王嘹亮, 等. 华南陆缘中生界烃源岩条件评价[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(1): 99-108. [ZHANG Li, GENG Ansong, WANG Liaoliang, et al. Assessment of Mesozoic source rocks at the margin of South China Continent [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(1): 99-108.]
- [193] 须雪豪, 陈琳琳, 汪企浩. 东海陆架盆地中生界地质特征与油气资源潜力浅析[J]. 海洋石油, 2004, 24(3): 1-9, 55. [XU Xuehao, CHEN Linlin, WANG Qihao. Analysis of Mesozoic Geological Characteristics and resource potential in the East China Sea Shelf Basin [J]. *Offshore Oil*, 2004, 24(3): 1-9, 55.]
- [194] 蔡东升, 冯晓杰, 高乐, 等. 中国近海前第三纪残余盆地及其勘探潜力与方向[J]. 中国海上油气, 2004, 16(1): 1-17. [CAI Dongsheng, FENG Xiaojie, GAO Le, et al. Petroleum potential and exploration direction of pre-Tertiary remnant basins in Offshore China [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2004, 16(1): 1-17.]
- [195] 冯晓杰, 张川燕, 王春修, 等. 东海陆架和台西南盆地中生界及其油气勘探潜力[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(5): 306-310, 316. [FENG Xiaojie, ZHANG Chuanyan, WANG Chunxiu, et al. Mesozoic in the East China Sea Shelf and Taixinan Basin and its petroleum potential [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(5): 306-310, 316.]