

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019080301

东海陆架盆地瓯江凹陷构造单元属性讨论

龚建明^{1,2}, 孙晶^{1,2}, 廖晶^{1,2}, 杨长清^{1,2}, 李智高³, 王建强^{1,2}, 杨艳秋^{1,2}, 杨传胜^{1,2},
李刚^{1,2}, 孟明⁴

1. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

2. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071

3. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518000

4. 中国地质大学, 北京 100083

摘要: 为了明确东海陆架盆地西部瓯江凹陷的构造单元属性, 指导下步油气勘探部署, 本文在前人中生代构造单元划分和构造演化的研究基础上, 开展了地震剖面解释、平衡剖面分析、海陆对比研究等工作。综合研究认为, 瓯江凹陷为白垩纪断陷红盆, 缺少侏罗纪地层, 其断裂构造特征、白垩纪沉积建造和火山岩活动等类似于浙闽隆起带, 而瓯江凹陷以东的闽江凹陷为白垩纪和侏罗纪的断拗转换盆地, 沉积环境为海陆过渡相—海相。地震剖面上闽江凹陷与其东侧的基隆凹陷构成一个向东倾斜的整体。海陆对比显示, 瓯江凹陷与浙闽隆起侏罗纪时均处于隆升剥蚀, 白垩纪时均处于断裂拉张。因此, 推测瓯江凹陷与浙闽隆起带具有相似的构造单元属性, 属于浙闽隆起带的一部分, 其中生代的油气资源潜力可能比闽江凹陷差。

关键词: 东海陆架盆地; 浙闽隆起; 瓯江凹陷; 闽江凹陷; 构造单元属性

中图分类号: P544

文献标识码: A

Discussion on the tectonic attributes of Oujiang Sag, East China Sea Shelf Basin

GONG Jianming^{1,2}, SUN Jing^{1,2}, LIAO Jing^{1,2}, YANG Changqing^{1,2}, LI Zhigao³, WANG Jianqiang^{1,2}, YANG Yanqiu^{1,2},
YANG Chuansheng^{1,2}, LI Gang^{1,2}, MENG Ming⁴

1. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China

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

3. Shenzhen Company, CNOOC China Ltd. Shenzhen 518000, China

4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: In order to make clear the tectonic attributes of the Oujiang Sag in the western part of the East China Sea Shelf Basin so as to guide and arrange the next cycle of oil and gas exploration in the region, on the basis of previously studies on the Mesozoic tectonic division and evolution, seismic profile interpretation, balanced profile analysis and land-sea correlation research are conducted in this paper. Comprehensive study shows that the Oujiang Sag is a faulted Cretaceous red basin in which the Jurassic is missing. The structural characteristics of faults, the Cretaceous sedimentary sequences and magmatic activities in the sag are similar to those observed in the Zhejiang-Fujian uplift belt. The Minjiang Sag to the east of Oujiang Sag is a Cretaceous and Jurassic fault-depression and transformation basin filled with marine-terrestrial transitional facies and marine facies deposits. On the seismic profile, the Minjiang Sag and the Jilong Sag in the east constitute an entirety inclined eastward. Sea-land correlation shows that both the Oujiang Sag and the Zhejiang-Fujian Uplift belt were uplifted and denuded in Jurassic, and suffered from faulting and extension in Cretaceous. Therefore, it is inferred that the Oujiang Sag has similar tectonic attributes with the Zhejiang-Fujian uplift belt, and could be regarded as a part of the Zhejiang-Fujian uplift belt, in which the Mesozoic oil and gas resources potential is worse than that in the Minjiang Sag.

Key words: the East China Sea Shelf Basin; the Zhejiang-Fujian Uplift Belt; the Oujiang Sag; the Minjiang Sag; tectonic attributes

资助项目: 中国地质调查项目(DD20190211); 国家自然科学基金项目“东海陆架盆地南部与毗邻陆域中生代耦合过程研究”(41476053); 中国地质调查项目“东海陆架盆地西部坳陷带含油气远景调查评价”(1212010310403)

作者简介: 龚建明(1964—), 男, 研究员, 石油地质专业, 主要从事海洋油气与天然气水合物研究工作, E-mail: gongjianm@aliyun.com

通讯作者: 孙晶(1981—), 男, 高工, 主要从事海洋油气研究工作, E-mail: sunjing@mail.cgs.gov.cn

收稿日期: 2019-08-03; **改回日期:** 2019-10-09 蔡秋蓉编辑

东海陆架盆地位于欧亚、太平洋和印度三大板块交汇处,构造演化历史复杂,具有多期次、多类型的构造演化特征^[1],是一个中、新生代的非继承性的叠合盆地,面积约 $46\times 10^4\text{ km}^2$,沉积厚度达10 000 m以上。区域上新生代表现为NNE向隆、凹相间的特征,东海陆架盆地南部新生代盆地由6个二级构造单元组成^[2-5],从西到东到南分别为:瓯江凹陷、雁荡低凸起、闽江凹陷、台北低凸起、基隆凹陷和观音凸起(图1)。近年来,随着对中生代油气勘探新领域新层系的重视、地震资料采集和处理技术的不断提高以及海陆中生代地层对比研究的不断深入,东海中生代地层和构造单元属性展现出与新生代明显不同的特征^[6-12]。地震资料综合解释认为,瓯江凹陷与其东侧的闽江凹陷在中生代地层、构造、沉积、火山岩等方面存在较大差异,而与西侧的浙闽隆起在大地构造背景、白垩纪沉积建造等方面具有较多的相似性。由于不同的构造单元具有不同的油气富集规律,因此,厘清瓯江凹陷构造单元属性具有重要的理论和实际意义。为此,本文通过地震剖面解释、平衡剖面分析、海陆对比等研究手段,探讨东海陆架盆地瓯江凹陷中生代构造单元的属性。

1 箕状断陷的瓯江凹陷

1.1 地震剖面特征

瓯江凹陷位于东海陆架盆地南部西侧,总体上为NE—SW向展布,西邻浙闽隆起,东接雁荡低凸起,面积约 $3.5\times 10^4\text{ km}^2$,发育南北2个次凹,为明显的“东断西超”断陷盆地,从北到南海油称之为椒江凹陷和丽水凹陷,中石化上海分公司称之为钱塘凹陷和瓯江凹陷,本文统称为瓯江凹陷。从穿越东海陆架盆地南部所有构造单元的地震测线CX01和CX02线来看^[10](图2,图3),瓯江凹陷断陷结构特征明显,主要发育白垩纪地层,沉积中心位于断陷东部,厚达3 000~4 000 m,平均厚度500~1 000 m^[13]。从图2和图3来看,瓯江凹陷东侧的闽江凹陷除了发育有白垩纪地层以外,还有厚度较大的侏罗纪地层。构造上呈向东倾斜的单斜,中生界向东加厚,沉积中心位于基隆凹陷。

根据东海陆架盆地南部地震反射特征和钻井(FZ13-2-1和FZ10-1-1井)揭示的沉积特征,建立了东海陆架盆地南部中生界地震相解释模板(图4),并开展了地震相—沉积相解释。解释结果显示,瓯

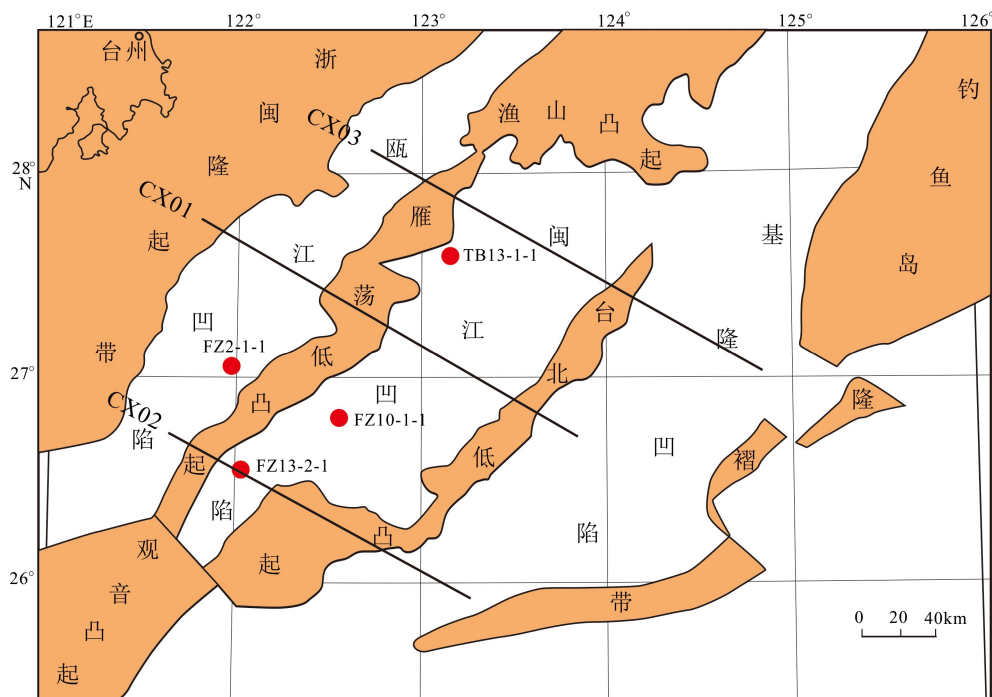


图1 东海陆架盆地南部新生代构造区划图(据文献[2])(由西到东到南构造单元为:瓯江凹陷、雁荡低凸起、闽江凹陷、台北低凸起、基隆凹陷及观音凸起)

Fig.1 Cenozoic tectonic map of southern East China Sea Shelf Basin(after reference [2])(Note: The tectonic units from west to east and south are: Minjiang Sag, Yandang Low Uplift, Qujiang Sag, Taipei Low Uplift, Jilong Sag and Guanyin Uplift)

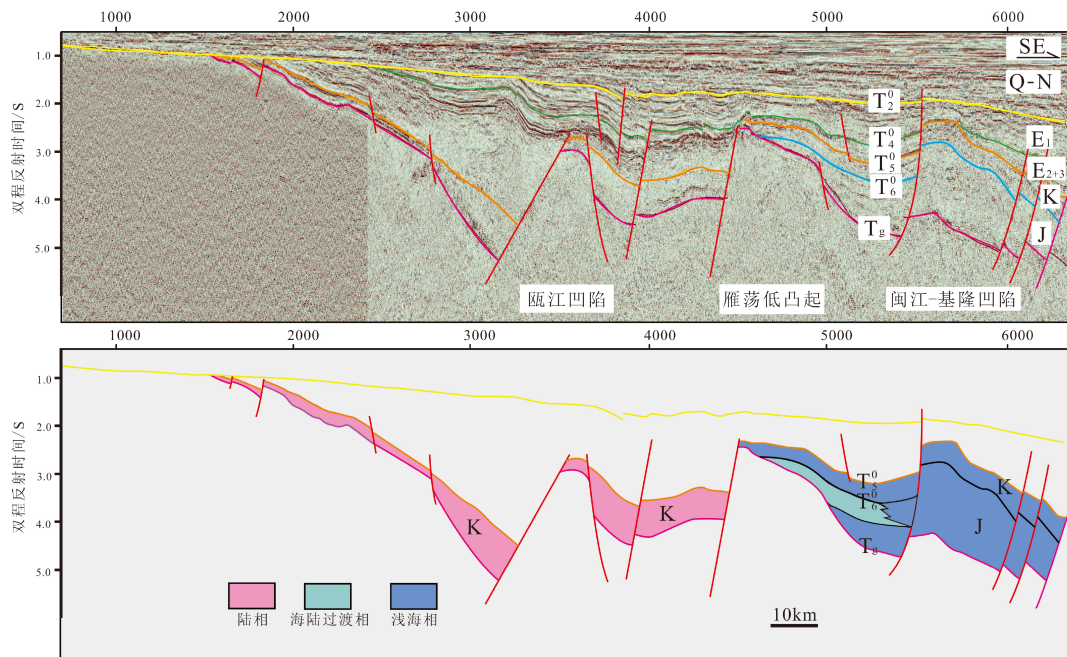


图2 CX01地震相解释结果(据文献[10])

Fig.2 Seismic facies interpretation results of CX01 line(after reference [10])

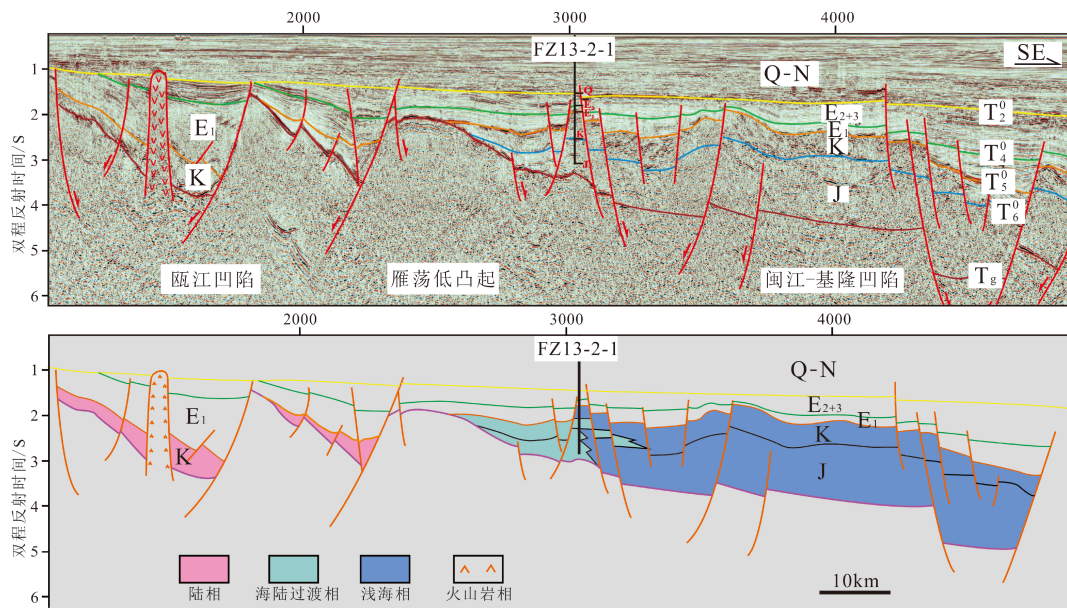


图3 CX02地震相解释结果(据文献[10])

Fig.3 Seismic facies interpretation results of CX01 line(after reference [10])

江凹陷中生界地震反射特征为变振幅较连续—断续的楔状相和充填相,以冲积扇相沉积为主;东部的闽江凹陷和基隆凹陷中生界反射特征主要为中—强振幅较连续—断续的席状相,以滨浅海相沉积为主。由此可见,东海陆架盆地南部侏罗系主要发育浅海相、海陆过渡相以及火山岩相,从NW到SE方向中生代沉积环境逐渐由陆相过渡为海相^[10]。同时,从中生代地层的剖面特征和沉积相分布来

看,瓯江凹陷与其东侧的其他凹陷具有较大的差异。同时,区内主要发育伸展、挤压及复合3种构造样式^[14],属于张扭型盆地^[15]。

1.2 平衡剖面特征

运用平衡剖面可以获取各构造演化阶段的构造变形和展布特征,对深入分析构造变形演化历史和构造单元的属性具有重要的作用。从穿过新生

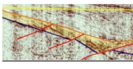
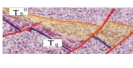
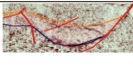
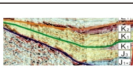
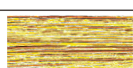
地震相类型	对应沉积环境		分布位置	地震相
变振幅较连续—断续楔状相	冲积扇相	陆相	瓯江凹陷	
中振幅较连续—断续透镜状相	河流相		瓯江凹陷向陆一侧	
变振幅较连续—断续楔形前积相	三角洲相 (过渡相)		瓯江凹陷、 闽江凹陷 缓坡浅水区	
中振幅较连续充填相				
中—弱振幅较连续—断续楔状相				
中—强振幅断续—连续席状相	浅海相		闽江凹陷、 基隆凹陷	

图 4 东海陆架盆地南部中生界地震相解释模板

Fig.4 Mesozoic seismic facies interpretation template for southern East China Sea Shelf Basin

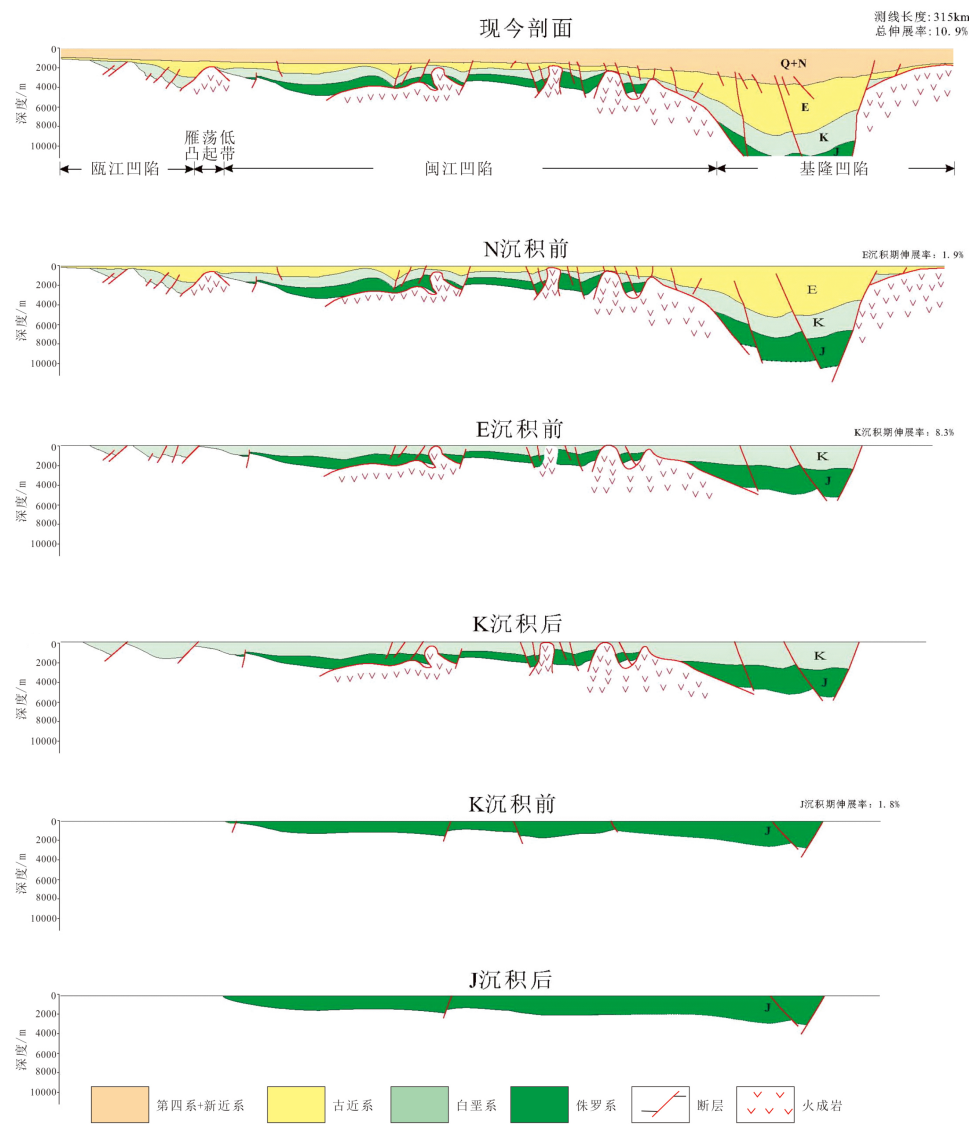


图 5 东海陆架盆地南部 CX03 线构造演化剖面图

Fig.5 Tectonic evolutionary section along the CX03 line in southern East China Sea Shelf Basin

代各构造单元的 CX03 线的平衡剖面来看, 瓯江凹陷构造演化经历了裂陷阶段、裂后期沉降阶段、抬升阶段和区域沉降阶段^[12, 16]。侏罗纪时瓯江凹陷为隆起区, 未接受沉积, 而东部的闽江和基隆凹陷为一整体, 沉积中心位于基隆凹陷, 侏罗系最大厚度近 2 200 m。白垩纪时瓯江凹陷和闽江凹陷在剖面上表现为一种复式箕状断陷的构造样式, 断裂发育, 地层向西逐渐减薄乃至尖灭, 超覆特征明显, 而向东则逐渐加厚。火山活动瓯江凹陷晚, 而闽江凹陷早(图 5)。

另外, 前人研究认为^[17], 东海陆架盆地南部可以划分出 4 个 NE 和 NNE 向火山岩带, 他们是: ①浙闽隆起区; ②中部隆起区; ③钓鱼岛隆褶带; ④琉球岛弧带。其中, 由于瓯江凹陷火山岩与浙闽地区火山岩特征较为一致, 火山活动主要在上新世, 因此, 推测瓯江凹陷火山岩属于浙闽隆起区的一部分, 而由渔山凸起、观音凸起等构成的中部隆起区, 火山活动主要在白垩纪晚期。

由此可见, 瓯江凹陷与东侧的闽江—基隆凹陷在沉积地层、构造演化以及火山岩发育时间上均存在较大差异, 前者以白垩纪地层为主, 后者白垩纪和侏罗纪地层兼而有之, 且向东有加厚之趋势; 前者以断陷为主, 后者以凹陷为主; 前者火山岩发育晚, 后者火山岩发育早。

2 断拗转换的闽江凹陷

2.1 地震剖面特征

闽江凹陷西邻雁荡低凸起, 东接台北低凸起, 面积约 $3.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 发育南北 2 个次凹, 具明显的“断拗转化”特征。从穿越东海陆架盆地南部构造单元的 CX01 和 CX02 地震剖面来看(图 2, 图 3), 闽江凹陷不仅发育白垩纪地层, 而且还沉积了较厚的侏罗纪地层。白垩系由西向东加厚, 最大厚度 2 500 m, 一般厚度为 750~2 000 m。侏罗系同样由西向东加厚, 最大厚度 2 000 m, 一般厚度为 0~1 900 m。从图 2 和图 3 中可以看出, NE 向的雁荡低凸起分割了闽江凹陷和瓯江凹陷, 造成侏罗纪地层只分布在闽江凹陷及以东的区域, 且超覆在雁荡低凸起之上^[13], 具有伸展型盆地的特征^[14]。从图中还可以看出, 闽江凹陷侏罗纪时断层不发育, 白垩纪时断层发育, 具有断拗转换的特征。

另外, 闽江凹陷南部有 2 口井(FZ10-1-1 和 FZ13-2-1)钻遇较厚的侏罗纪地层, 岩心观察发现: 中下侏罗统福州组为受海侵影响的半深湖/深湖相沉积环境, 沉积了较厚的灰黑、黑色泥岩, 而上白垩统为广阔的潮坪环境, 沉积了灰白色粉砂岩(表 1)。因此, 从中生代地层的分布和断裂构造特征来看, 闽江凹陷与瓯江凹陷具有较大的差异。

表 1 东海陆架盆地南部中生代地层厚度及终孔深度
(据文献^[18-19])

Table 1 Mesozoic strata thickness and drilling holes depths in southern East China Sea Shelf Basin (after reference^[18-19])

位置	井号	地层厚度/m		终孔深度/m
		白垩系	侏罗系	
闽江凹陷	FZ13-2-1	909	978	3 523
	FZ10-1-1	451	1 092	3 523
瓯江凹陷	SMT-1	265	—	3 353

注: “—”表示未钻遇

2.2 平衡剖面特征

从图 5 可以看出, 侏罗纪时闽江凹陷与东部的基隆凹陷连为一体, 沉积了较厚的侏罗纪地层, 侏罗系最大厚度近 2 000 m。白垩纪时闽江凹陷在剖面上表现为一种复式箕状断陷的构造样式, 地层向西逐渐减薄乃至尖灭, 断裂和火山岩发育, 但整个中生代地层向东仍然有逐渐加厚的趋势(图 5)。后期构造运动的改造导致闽江凹陷呈现出现今的盆地形态^[20]。由此可见, 瓯江凹陷与闽江凹陷在平衡剖面特征上存在较大差异, 可以认为属于不同的构造单元。

3 海陆对比

3.1 浙闽隆起中生界及构造演化

研究表明^[21], 浙闽隆起从晚三叠世到侏罗纪一直是隆起区, 其上没有沉积, 而浙闽隆起西部为河湖相沉积, 隆起南部为浅海—滨海相的龙岩海湾沉积。白垩纪时浙闽隆起上沉积有火山岩或非火山岩的红色砂岩、沙砾岩、凝灰质砂砾岩夹酸性火山岩。

陆域中生代发生了 4 次大规模的构造运动^①: 中—晚三叠世之间的印支运动和中—晚侏罗世之间的燕山 I 幕运动在浙闽隆起都表现为隆升作用, 未

① 徐立明, 邓克, 卢清地, 等. 东海陆架盆地南部邻近陆域中生代盆地演化研究报告. 福建: 福建省地质调查研究院, 2013.

沉积三叠纪—侏罗纪地层;早白垩世早期火山活动相对较弱,浙闽隆起上沉积了巨厚的火山岩;早白垩世中晚期发生燕山Ⅱ幕运动,火山喷发和岩浆侵入强烈,造成十分强烈的褶皱和变形。晚白垩世发生了燕山Ⅲ幕运动,形成 NE 和 NNE 断裂带,以断裂变动为主,褶皱变形次之,大规模的火山活动是其最显著的特点。

3.2 海域中生界及构造演化

前已述及,瓯江凹陷主要发育陆相白垩纪地层,而闽江凹陷除了发育白垩纪地层外,还发育有侏罗纪地层,白垩纪和侏罗纪地层往东增厚,其沉积环境属海陆过渡相—海相。瓯江凹陷为“东断西超”断陷盆地,闽江凹陷为断拗转换盆地。

从盆地演化历史来看,瓯江凹陷在侏罗纪时为隆起区,与其西侧的浙闽隆起一样缺少沉积;白垩纪时期,瓯江凹陷进入初始开裂阶段^[22],火山喷发和岩浆侵入频繁,沉积了一套火山岩—陆相红色碎

屑岩,白垩系残留厚度较薄而稳定^[23]。闽江凹陷在白垩纪和侏罗纪沉积了较厚地层。其中,雁荡低凸起是侏罗系的西部边界^[13],也是闽江凹陷和瓯江凹陷中生界沉积和构造演化的分界线^[24-25]。

据分析^[22],太平洋板块在 1.25~0.7 亿年沿亚洲大陆边缘作 NWW 向俯冲,0.7~0.43 亿年转为向 N 俯冲,0.43 亿年之后转为 NW 向俯冲。在此期间,浙闽隆起上发育了永康型(NNE 向拗陷式)火山岩—沉积碎屑岩盆地(K₁ 中晚期—K₂),随后在浙西北发育了金衢型(NEE 向地堑式)红盆(K₁ 晚期—K₂),再后在东面的滨海发育了瓯江型(NE 向地堑式)红盆(K₂ 中晚期)。

由此可见,瓯江凹陷在中生代时与浙闽隆起处于相似的大地构造背景,侏罗纪时均处于隆起剥蚀,白垩纪时均处于断裂拉张^[26]。二者具有相似的构造运动特征(断裂为主、褶皱为辅)、相似的断裂方向(主要为 NE 和 NEE),因此,推测瓯江凹陷是浙闽隆起的一部分(表 2)。

表 2 浙闽隆起区、瓯江凹陷及闽江凹陷中生代地层、构造、岩浆活动等对比

Table 2 Comparison of Mesozoic strata, tectonics, magmatic activities etc. between Zhejiang-Fujian Uplift Belt, Oujiang Sag and Minjiang Sag

凹陷/隆起	中生代地层分布	中生界沉积相	侏罗纪时地形	白垩纪岩浆活动时间及强度	白垩纪沉积建造	断裂构造特征
瓯江凹陷	白垩系	陆相	隆起	晚、弱	火山岩—红色碎屑岩	断陷
浙闽隆起	白垩系	陆相	隆起	晚、强	火山岩—红色碎屑岩	断裂为主
闽江凹陷	白垩系+侏罗系	海陆过渡相—海相	沉降	早、强	火山岩—深灰色碎屑岩	断拗转化

4 沉积特征

4.1 浙闽隆起上白垩统沉积特征

东海陆架盆地紧邻西太平洋活动大陆边缘火山岩带的东侧。该大陆边缘形成始自印支期华北与华南板块的拼合,之后,全区规模巨大、时间集中(主要在晚侏罗世—早白垩世)的燕山期陆相火山活动形成了中国东部巨型火山岩带。

上白垩统在福建地区自下而上包括均口组、沙县组和崇安组^[27]。均口组为白垩纪红盆,岩性以浅灰、灰绿、灰黑色粉砂岩、钙质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,夹泥灰岩及紫红色粉砂岩。沙县组为内陆盆地紫红色细碎屑沉积,岩性以紫红色粉砂岩、泥岩为主,夹砂砾岩、长石石英砂岩及黄绿色粉砂岩、细砂岩、凝灰岩。崇安组为陆相红盆厚层粗碎屑沉积,岩性为紫红色厚层砂砾岩、砾岩夹中—薄层细

砂岩、粉砂岩,风化后常形成丹霞地貌。通过岩性组合特征判断,福建地区晚白垩世主要为干燥炎热氧化环境下形成的河、湖相红色碎屑沉积,后期发育冲积扇粗碎屑沉积。

上白垩统在福建以北的浙江南部地区为衢江群,自下而上划分为中戴组、金华组和衢县组。中戴组岩性为紫红色厚层块状砾岩、砂砾岩、细砂岩、粉砂岩夹粉砂质泥岩,下部偶夹火山岩。金华组岩性为浅灰紫色薄层粉砂质泥岩(图 6)、泥质粉砂岩、粉砂岩夹细砂岩及灰绿、浅灰、灰黑色泥岩。衢县组岩性为棕褐、棕红色厚层至块状砂岩、粉砂岩、含砾砂岩、砂砾岩及砾岩。通过岩性组合特征判断,浙江南部地区上白垩统主要为河流相沉积。

上白垩统在福建以南的粤东地区自下而上为优胜组和叶塘组。优胜组由流纹质凝灰岩、流纹岩、流纹—英安质熔岩等组成,以流纹岩分布最广。叶塘组岩性以紫红色粉砂岩、钙质粉砂岩、粉砂质泥岩夹灰绿或深灰色钙质泥岩、粉砂质泥质灰



图6 浙江省龙游县高仙塘上白垩统金华组
紫红色含砾粗砂岩

Fig.6 Purple red pebbly coarse sandstone of the Upper
Cretaceous Jinhua Formation in Gaoxiantang,
Longyou County, Zhejiang Province

岩和石膏薄层为主。通过岩性组合特征判断,粤东地区在晚白垩世早期,仍然受到火山活动影响,发育火山喷发相沉积,至晚白垩世晚期,发育一套湖泊相碎屑岩沉积。

总体看来,浙闽陆区晚白垩世仍受到火山活动影响,属于白垩系陆相红色沉积,沉积物以紫红色—红色为主。

4.2 瓯江凹陷上白垩统沉积特征

目前,瓯江凹陷钻遇白垩系的钻井只有几口。其中,位于瓯江凹陷北部的FY1井,自下而上钻遇了下白垩统渔山组、上白垩统闽江组和石门潭组。渔山组厚约600 m,上部为棕红、棕褐色泥岩夹灰色粉砂岩,下部为厚层状浅灰色、灰白色砂砾岩夹棕红色泥岩。闽江组和石门潭组厚约2 000 m,总体表现为大段的褐色、棕红色泥岩、粉砂质泥岩与灰色含砾岩屑中砂岩互层,局部含杂色砂砾岩。砂砾岩成分为石英、岩屑,砾石成分主要为火山岩屑,颜色有肉红色、灰白色、灰黑色等,分选差,次棱角状,泥质胶结,较致密。含砾岩屑砂岩中,岩屑有霏细岩、流纹岩、英安岩、安山岩、千枚岩、晶屑凝灰岩,砾径最大10 mm,胶结物为高岭土及少量铁白云石,致密。泥岩质不纯,局部含岩屑斑块及石英斑晶,岩屑有千枚岩、安山岩、英安岩等中酸性火山岩。而位于瓯江凹陷南部的石门潭1井钻遇一套杂色的上白垩统石门潭组碎屑岩,由棕红色泥岩夹灰白色砂岩组成,厚265 m^[18-19]。

瓯江凹陷的火山岩主要为喷出岩与侵入岩^[28]。推测闽江组发育的沉积体系类型为扇三角洲或者近岸水下扇,整体表现为一套陆相红色碎屑岩沉积,夹有火山喷发岩及火山碎屑岩。与浙闽隆起带上白垩统沉积较为类似。同时,也有学者对瓯江凹陷

物源开展分析认为,物源主要来自邻近的华南^[29-30]。

4.3 闽江凹陷上白垩统沉积特征

FZ13-2-1井位于闽江凹陷南部,在上白垩统闽江组钻取了6 m岩心。岩心总体为灰白色粉砂岩系,局部有很薄的灰黑、黑色泥质纹层,另外有2~3个中粗砂的滞留沉积。其中粉砂岩粒度细而颜色浅,肉眼观察岩性纯,石英含量高,长石、岩屑含量低。沉积构造多见冲刷面、波状槽状层理、前积纹层、虫孔发育、局部见双向泥纹层和非对称羽状交错层理。同时可以在岩心上观察到海相矿物海绿石及海相微体古生物丁丁虫,综合判定,当时的沉积环境为滨浅海环境(图7)^[31]。

镜鉴结果表明,闽江组岩心火山碎屑物质含量为30%。岩屑类型主要是火山岩岩屑和少量变质岩岩屑。火山碎屑以中酸性喷出岩为主,包括酸性喷出岩—流纹岩岩屑、中性喷出岩—安山岩岩屑、基性喷出岩—玄武岩岩屑和一些塑性变形岩屑。变质岩岩屑包括热变质岩屑—石英岩岩屑,浅动力变质岩—云母片岩岩屑。

通过FZ13-2-1井观察到的大量的火山变质岩岩屑和长石石英晶屑,说明闽江凹陷中生界白垩系闽江组受火山作用影响,且FZ13-2-1井矿物颗粒分选中—差,次棱角—次圆,说明距离物源很近。因此,FZ13-2-1井在沉积时应该受到两方面物源的影响,一部分来自于正常的浅水碎屑物质,另一部分来自于火山喷发形成的火山碎屑物质,很少有来自于浙闽隆起带的物源供给。

综上,瓯江凹陷晚白垩世沉积环境与浙闽隆起带相似,均属于陆相红层沉积和火山岩沉积,而闽江凹陷则属于滨浅海环境下的水下含火山岩岩屑的碎屑沉积,从而推测,瓯江凹陷白垩纪时期可能属于浙闽隆起带的一部分,而有别于东部的中生代闽江凹陷(表2)。由于闽江凹陷发育侏罗纪的烃源岩,因此,推测闽江凹陷中生代的油气资源潜力好于瓯江凹陷^[26, 32-34]。

5 结论

(1)地震剖面上,瓯江凹陷为以白垩系为主体的陆相断陷盆地,具有“东断西超”的特征,沉积地层以陆相红层为主;而闽江凹陷除了白垩系外,还有厚度较大的侏罗系,构造上具有“断拗转换”的特征,与其东侧的基隆凹陷构成一个整体,沉积环境为海陆过渡相和海相。

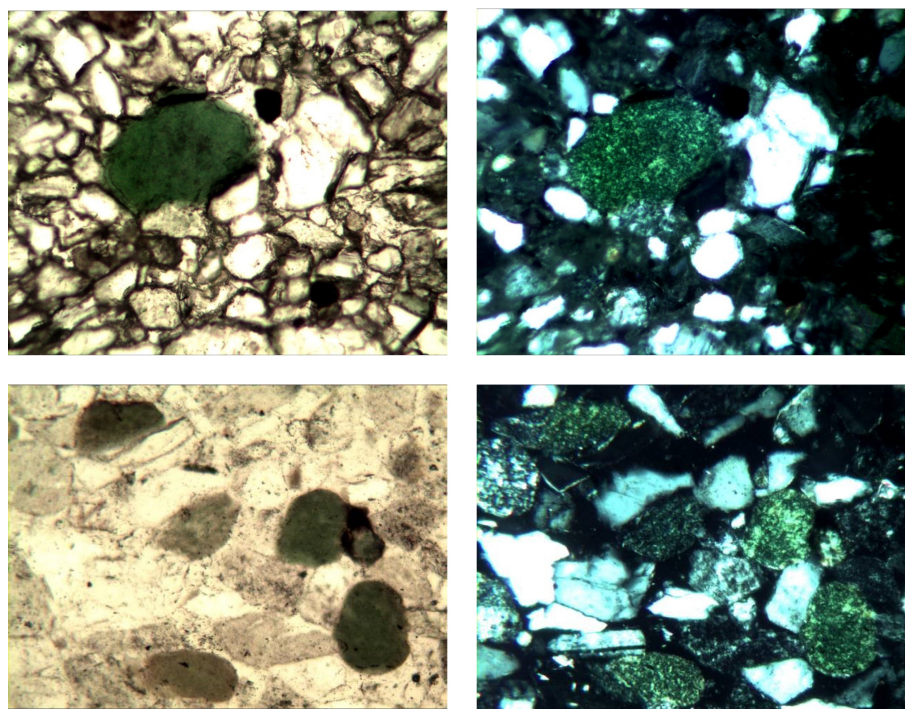


图 7 闽江凹陷 FZ13-2-1 井白垩系海绿石显微照片(据文献[31])

Fig.7 Photomicrograph of Cretaceous glauconite from Well FZ13-2-1 in Minjiang Sag(after reference [31])

(2)平衡剖面上,侏罗纪瓯江凹陷为隆起区,缺少沉积,而闽江凹陷为凹陷区,沉积了较厚的侏罗系;白垩纪瓯江凹陷断裂发育,闽江凹陷及其东侧的基隆凹陷断裂和火山活动同时发育。

(3)海陆对比显示,瓯江凹陷在中生代时与浙闽隆起处于相似的大地构造背景,侏罗纪时均处于隆升剥蚀,白垩纪时均处于断裂拉张。二者具有相似的构造运动特征(断裂为主、褶皱为辅)、相似的断裂方向(主要为 NE 和 NEE),相似的沉积建造(火山岩—红色碎屑岩)。

(4)沉积特征对比结果显示,瓯江凹陷与浙闽隆起在白垩纪时期均属陆相红层沉积和火山岩沉积,而闽江凹陷属于滨浅海环境下的水下含火山岩岩屑的碎屑沉积。

(5)综上所述,推测瓯江凹陷属于浙闽隆起带的一部分。

参考文献 (References)

- [1] 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): 105-111. [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): 105-111.]
- [2] 周志武, 殷培龄. 东海地质调查的回顾与含油气远景展望[J]. 石油与天然气地质, 1985, 6(1): 1-14. [ZHOU Zhiwu, YIN Peiling. A geological review of the East China Sea and its petroleum potential [J]. Oil & Gas Geology, 1985, 6(1): 1-14.]
- [3] 许薇龄, 乐俊英. 东海的构造运动及演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1988, 8(1): 9-21. [XU Weiling, LE Junying. Tectonic movement and evolution of the East China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1988, 8(1): 9-21.]
- [4] 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.]
- [5] 姚伯初, 张莉, 韦振权, 等. 华南东部中生代构造特征及沉积盆地[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 47-60. [YAO Bochu, ZHANG Li, WEI Zhenquan, et al. The Mesozoic tectonic characteristics and sedimentary basins in the eastern margin of South China [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(3): 47-60.]
- [6] 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.]
- [7] 冯晓杰, 张川燕, 王春修. 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.]
- [8] 冯晓杰, 蔡东升, 王春修. 东海陆架盆地中生代构造演化特征[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.]
- [9] Yang C Q, Han B F, Yang C S, et al. Mesozoic basin evolution of the East China Sea shelf and tectonic system transition in southeast China [J]. *Geological Journal*, 2018.
- [10] 王蛟, 李智高, 蔡来星, 等. 东海陆架盆地南部中生界沉积模式[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2019, 49(1): 131-138. [WANG Jiao, LI Zhigao, CAI Laixing, et al. Sedimentary model of Mesozoic in the southern part of the East China Sea Shelf Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2019, 49(1): 131-138.]
- [11] 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.]
- [12] 郑求根, 周祖翼, 蔡立国, 等. 东海陆架盆地中新世代构造背景及演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 197-201. [ZHENG Qiugen, ZHOU Zuyi, CAI Ligu, et al. Meso-Cenozoic tectonic setting and evolution of East China Sea Shelf Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 197-201.]
- [13] 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): 97-104. [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): 97-104.]
- [14] 韩宝富, 杨长清, 刘健, 等. 东海盆地瓊江凹陷构造样式及其形成机制[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(4): 43-48. [HAN Baofu, YANG Changqing, LIU Jian, et al. Structural styles and their forming mechanism of the Oujiang depression in the East China Sea Basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2017, 33(4): 43-48.]
- [15] 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): 181-192. [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): 181-192.]
- [16] 贾成业, 夏斌, 王核, 等. 东海陆架盆地丽水凹陷构造演化及油气地质分析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 397-401. [JIA Chengye, XIA Bin, WANG He, et al. Characteristic of tectonic evolution and petroleum geology in Lishui Sag, East China Sea Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(3): 397-401.]
- [17] 杨传胜, 李刚, 杨长清, 等. 东海陆架盆地及其邻域岩浆岩时空分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 125-133. [YANG Chuansheng, LI Gang, YANG Changqing, et al. Temporal and spatial distribution of the igneous rocks in the East China Sea Shelf Basin and its adjacent regions [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(3): 125-133.]
- [18] 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.]
- [19] 刘建华, 吴健生, 方银霞, 等. 东海陆架盆地的前新生界[J]. 海洋学报, 2007, 29(1): 66-75. [LIU Jianhua, WU Jiansheng, FANG Yinxia, et al. Pre-Cenozoic groups in the Shelf Basin of the East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 29(1): 66-75.]
- [20] 张婧, 王蛟. 闽江凹陷形成演化史[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(8): 24-29. [ZHANG Jing, WANG Jiao. Formation and evolution of the Minjiang Sag [J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32(8): 24-29.]
- [21] 沈淑敏, 郑芳芳, 刘文英. 中国东南大陆边缘地区中、新生代构造特点与构造应力场[J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1986(8): 9-34. [SHEN Shumin, ZHENG Fangfang, LIU Wenying. Mesozoic-Cenozoic tectonic features of southeast China continental margin and the tectonic stress field [J]. Bulletin of the Institute of Geomechanics CAGS, 1986(8): 9-34.]
- [22] 陶国保, 梁连喜, 朱平. 浙闽近海瓊江凹陷新生代地质构造发展特征[J]. 地质科学, 1992(1): 1-9. [TAO Guobao, LIANG Lianxi, ZHU Ping. Characteristics of Cenozoic geologic and tectonic development of the Oujiang deperession in Zhejiang-Fujian Offshoresea [J]. Scientia Geologica Sinica, 1992(1): 1-9.]
- [23] 陈志勇, 吴培康, 吴志轩. 丽水凹陷石油地质特征及勘探前景[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(6): 384-391. [CHEN Zhiyong, WU Peikang, WU Zhixuan. Petroleum geology and exploration potential of Lishui Sag [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(6): 384-391.]
- [24] 索艳慧, 李三忠, 戴黎明, 等. 东海陆架盆地构造单元划分与特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(6): 49-58. [SUO Yanhui, LI Sanzhong, DAI Liming, et al. Division and characteristics of tectonic units of the East China Sea Shelf Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(6): 49-58.]
- [25] 杨文达, 崔征科, 张异彪. 东海地质与矿产[M]. 北京: 海洋出版社, 2010: 390-405. [YANG Wenda, CUI Zhengke, ZHANG Yibao. Geology and Mineral Resources of the East China Sea[M]. Beijing: Marine Press, 2010: 390-405.]
- [26] 龚建明, 徐立明, 杨艳秋, 等. 从海陆对比探讨东海南部中生代油气勘探前景[J]. 世界地质, 2014, 33(1): 171-177, 189. [GONG Jianming, XU Liming, YANG Yanqiu, et al. Discussion on Mesozoic hydrocarbon potential of sourthern East China Sea based on comparision between offshore and onshore areas [J]. *Global Geology*, 2014, 33(1): 171-177, 189.]
- [27] 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.]
- [28] 王勇刚. 丽水凹陷火成岩发育特征及区域背景分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(9): 150-151. [WANG Yonggang. Development characteristics and regional background analysis of igneous rocks in Lishui Sag [J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2019, 39(9): 150-151.]

- [29] 付晓伟, 朱伟林, 陈春峰, 等. 丽水—椒江凹陷西斜坡明月峰组上段碎屑锆石物源[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2015, 40(12): 1987-2001. [FU Xiaowei, ZHU Weilin, CHEN Chunfeng, et al. Detrital zircon provenance of upper Mingyuefeng formation in West Slope of Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2015, 40(12): 1987-2001.]
- [30] 付晓伟, 朱伟林, 钟锴, 等. 东海丽水凹陷晚古生代碎屑锆石的发现及其意义[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2015, 43(6): 924-931. [FU Xiaowei, ZHU Weilin, ZHONG Kai, et al. Discovery of Late Paleozoic detrital zircons in Lishui Sag, East China Sea, and its significance [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2015, 43(6): 924-931.]
- [31] 胡文博. 东海陆架盆地南部中生界沉积体系研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2012. [HU Wenbo. The Mesozoic sedimentary systems in the southern East China Sea Shelf Basin[D]. Master Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 2012.]
- [32] 龚建明, 李刚, 杨长清, 等. 东海南部三叠纪地层分布[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 119-124. [GONG Jianming, LI Gang, YANG Changqing, et al. Distribution of Triassic strata in the southern East China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(3): 119-124.]
- [33] 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): 1-7, 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): 1-7, 55.]
- [34] 龚建明, 李刚, 杨传胜, 等. 东海陆架盆地南部中生界分布特征与油气勘探前景[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(1): 20-27. [GONG Jianming, LI Gang, YANG Chuansheng, et al. Hydrocarbon prospecting of Mesozoic strata in southern East China Sea Shelf Basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2013, 43(1): 20-27.]