

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.596>



# 东海陆架盆地西湖凹陷花港组原型盆地性质厘定

李祥权<sup>1,2</sup>, 刘金水<sup>3</sup>, 陆永潮<sup>1,2</sup>, 蒋一鸣<sup>3</sup>, 杜学斌<sup>1,2</sup>, 陈平<sup>1,2</sup>

1.中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室,湖北武汉 430074

2.中国地质大学海洋学院,湖北武汉 430074

3.中海石油(中国)有限公司上海分公司,上海 200030

**摘要:**西湖凹陷是东海陆架盆地最主要的含油气构造单元,渐新世花港组是西湖凹陷重要的油气勘探目的层系,然而对于花港组沉积时期原型盆地的性质却一直存在争议且缺乏有说服力的证据。以最新的区域二维地震资料解释为基础,通过对关键不整合界面特征、盆地充填几何形态、盆地边界改造特征等方面系统的分析,提出西湖凹陷花港组原型盆地为一大型挤压挠曲坳陷型盆地,花港组底界面T30为盆地挤压背景下广泛发育的一个区域隆升侵蚀型不整合界面,是花港组原型盆地的成盆界面。花港组顶界面T20主要是受钓鱼岛隆褶带隆升活动控制的局部隆升侵蚀型不整合面,是花港组原型盆地的改造界面。在上述认识的基础上,进一步建立了花港组原型盆地的形成演化模式。

**关键词:**西湖凹陷;花港组;原型盆地;钓鱼岛隆褶带;弧后裂谷盆地;地震地层学;盆地动力学。

中图分类号: P539.1

文章编号: 1000-2383(2018)02-0502-12

收稿日期: 2017-09-03

## Prototype Basin Characterization of Huagang Formation of Xihu Depression, East China Sea Shelf Basin

Li Xiangquan<sup>1,2</sup>, Liu Jinshui<sup>3</sup>, Lu Yongchao<sup>1,2</sup>, Jiang Yiming<sup>3</sup>, Du Xuebin<sup>1,2</sup>, Chen Ping<sup>1,2</sup>

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. College of Marine Science and Technology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200030, China

**Abstract:** Xihu depression is the most important petroliferous structural units, and the Huagang Formation is the major target stratum for petroleum exploration in the East China Sea shelf basin. However, the prototype basin type of Huagang period is still controversial and lack of persuasive evidences up till now. According to the 2D seismic data interpretation, the system analysis of key surfaces' features, basin infilling geometry, basin transforming and erosion, it is proposed that the Huagang prototype basin is a large-scale compressional depression. The T30 seismic reflector, which acts as the initial surface of Huagang prototype basin, represents a regional uplift-erosion unconformity under compressional background. The T20 seismic reflector, which acts as the transforming surface of Huagang prototype basin, mainly stands for a regional uplift-erosion unconformity controlled by the uplifting activities of Diaoyu Dao folded-uplift belt. Further, the formation and evolutionary model of Huagang prototype basin is established.

**Key words:** Xihu depression; Huagang Formation; prototype basin; Diaoyu Dao folded-uplift belt; back-arc rift basin; seismic stratigraphy; basin dynamics.

**基金项目:**国家自然科学基金项目(No.41672110);国家“十三五”重大专项(No.2016ZX05027-001)。

**作者简介:**李祥权(1976—),男,副教授,博士,主要从事沉积盆地动力学、盆地构造分析、层序地层学、地震沉积学等方面的研究工作。

ORCID:0000-0002-5126-2655.E-mail: lxq@cug.edu.cn

**引用格式:**李祥权,刘金水,陆永潮,等.2018.东海陆架盆地西湖凹陷花港组原型盆地性质厘定.地球科学,43(2):502—513.

## 0 引言

东海陆架盆地位于西太平洋沟—弧—盆构造体系的中段(属弧后陆缘裂谷盆地),隶属于欧亚板块、太平洋板块和菲律宾板块的交汇部位,是解剖西太平洋构造域板块构造事件及盆地动力学背景的理想

场所(Zhou *et al.*, 1989, 2001; Yang, 1992; Ren *et al.*, 2002; 刘金水等, 2003; 赵金海, 2004, 2005; 张敏强等, 2005; 杨香华等, 2006; Li *et al.*, 2009; Cukur *et al.*, 2010, 2011; Yin, 2010; 王鹏等, 2011; Dai *et al.*, 2014; 赵志刚等, 2016). 东海陆架盆地可划分为西部坳陷带、中部隆起带及东部坳陷带3个

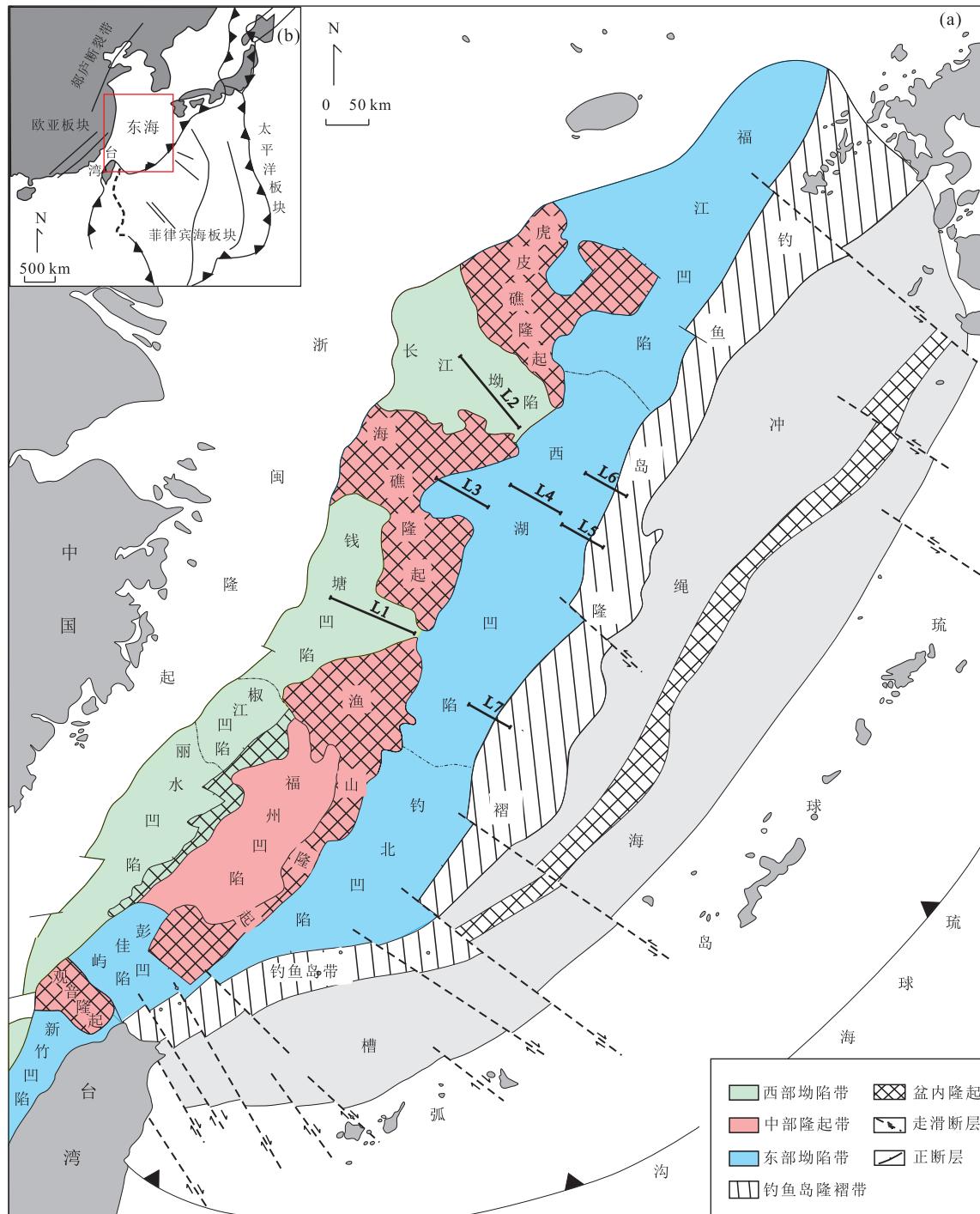


图1 东海陆架盆地构造格架

Fig.1 The tectonic framework of East China Sea shelf basin

a. 盆地构造单元划分;b. 盆地区域位置;据 Zhou *et al.*(1989)、Kong *et al.*(2000)和 Hsu *et al.*(2001)

地层系统				地震反射层	年代(Ma)	构造运动	构造演化	
系	统	组	代号				构造幕	演化阶段
第四系	更新统	东海群	Q <sub>dh</sub>	T0	2.6	冲绳海槽运动		区域沉降期
新近系	中新统	三潭组	N <sub>2s</sub>	T10	5.3			
		柳浪组	N <sub>1'l</sub>	T12	10.5	龙井运动		
		玉泉组	N <sub>1'y</sub>				II幕	挤压坳陷—反转期
		龙井组	N <sub>1'l</sub>	T20	23.3	花港运动		
	渐新统	花港组	E <sub>3h</sub>				I幕	
古近系	始新统	平湖组	E <sub>2p</sub>	T30	32.0	玉泉运动		
		温州组	E <sub>2w</sub>	T40			IV幕	
		瓯江组	E <sub>2o</sub>	T50			III幕	
		明月峰组	E <sub>1m</sub>	T80	56.5	瓯江运动		
	古新统	灵峰组	E <sub>1l</sub>	T85			II幕	
		月桂峰组	E <sub>1y</sub>	T90				
		石门潭组	K <sub>2s</sub>	T100	65.0	雁荡运动		
	上白垩统	闽江组	K <sub>2m</sub>					
		渔山组	K <sub>1y</sub>	Tg	96.0	基隆运动	I幕	
白垩系	下白垩统							

图 2 东海陆架盆地中新生代构造运动和地质界面划分

Fig.2 The Mesozoic-Cenozoic stratigraphic framework and tectonic movements of the East China Sea shelf basin

大的一级构造单元,其中西湖凹陷位于东海陆架盆地东部坳陷带的中部(图 1),面积为  $4.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,凹陷内部堆积了厚逾 15 000 m 的新生代硅质碎屑沉积,是东海陆架盆地规模最大、最具油气潜力的含油气构造单元(王震等,2005;张忠民等,2006;何将启等,2008;段漠东等,2017)。

西湖凹陷自晚中生代以来长期处于中国东部边缘伸展构造带内,先后经历了基隆、雁荡、瓯江、玉泉、花港、龙井和冲绳海槽运动等多次构造运动的叠加和改造(图 2),并伴随着盆地新生代以来裂陷中心不断自西向东迁移的过程,构造运动次数之多、构造演化之复杂是中国东部中、新生代盆地所特有的(张建培等,2014)。渐新世花港组是西湖凹陷重要的油气储层发育时段,然而由于盆地晚期经历强烈构造运动的改造(花港运动和龙井运动),大大加大了

对花港组沉积时期原型盆地认识的难度,目前存在前陆盆地(陶瑞明,1994;龚建明和陈国威,1997;陈琳琳,1998,2001;陈琳琳和谢月芳,1998;孙肇才,2004)、挤压坳陷型盆地(陈志勇和葛和平,2003;刘金水等,2003;赵金海,2004;张敏强等,2005)、裂后热沉降坳陷型盆地(柴利根,1988;Zhou et al.,2001)、断陷型或断拗型盆地(Lee et al.,2006;朱伟林和米立军,2010;Cukur et al.,2011)等多种不同的观点。本文通过对花港组关键界面特征的厘定、盆地充填几何形态、原型盆地边界及改造过程的分析,提出花港组沉积时期西湖凹陷为一大型挤压挠曲坳陷型原型盆地。该研究成果对西湖凹陷的构造、沉积充填演化、油气勘探及渐新世时期西太平洋构造域盆地发育的动力学背景等方面均具有重要意义。

# 1 关键不整合界面发育特征

不整合界面包含着盆地所经历的构造运动及各构造运动的变形强度、变形特点等地质信息,对盆地关键不整合面发育特征及剥蚀量研究是开展原型盆地分析的重要内容(吴智平等,2004;李伟等,2005;肖焕钦,2006;张磊,2009)。花港组的底界面T30和顶界面T20分别代表盆地的玉泉运动和花港运动(图2),是盆地两个重要的不整合界面,其中T30不整合界面能够反映花港组同沉积期盆地的古地貌格局特征,T20界面则主要反映花港组沉积末期构造运动对花港组原型盆地的改造,对这两个界面性质和特征的详细厘定将有助于深化对花港组原型盆地的认识。

## 1.1 西湖凹陷西侧隆起上T30、T20界面发育特征

西湖凹陷西侧隆起是指东海陆架盆地中部隆起带与西湖凹陷相对应的部分。在凹陷西侧隆起上T30界面表现为明显的高角度不整合特征,且在南部和北部存在一定的差异(图3,4)。如西侧隆起南部的L1剖面,其T30界面为一时间跨度较大、多期构造运动叠加的叠合型不整合界面(多个不整合界面合为一个界面;图3)。晚始新世平湖组沉积时期,盆地的裂陷中心向东迁至东部坳陷带。晚始新世末,玉泉运动使盆地由张性应力场转为压性应力场,西湖凹陷西侧隆起带发生隆升剥蚀并持续到渐新世末,缺失晚始新世及渐新世地层(Yang, 1992; 刘金水等, 2003; 冯晓杰和蔡东升, 2006; 张建培等,

2014)。因此该处的不整合界面实质上是T40、T30和T20三个不整合界面叠置而成的叠合型不整合面,界面的下削上超特征明显,但各界面原本的特征很难从叠合后的不整合界面中分离出来。而西侧隆起带北部的L2剖面,其T30界面仍然为一个明显的叠合型角度不整合界面(图4),但与南部不同的是T20界面从叠合不整合面中分离出来,隆起带上接受厚度较薄的花港组沉积,T20界面主要表现为整合特征。

## 1.2 西湖凹陷西部斜坡带T30、T20界面发育特征

西湖凹陷西部斜坡带L3剖面上T30界面主要表现为低角度的削蚀不整合,界面上削上超特征明显,且凹陷的张性断裂活动主要终止于该界面。T20界面在西部斜坡带主要表现为整合特征(图5)。

## 1.3 西湖凹陷中部凹陷带T30、T20界面发育特征

西湖凹陷中部凹陷是指NE向西湖凹陷的轴向中央带,在该带T30界面主要表现为整合、假整合或低角度的不整合特征,角度不整合特征相对较弱,主要见于中部凹陷带的北部(如L4剖面,图6)。T20界面在中部凹陷带主要表现为整合特征。凹陷的张性断裂活动在中部凹陷带仍主要终止于T30界面(图6)。

## 1.4 西湖凹陷东侧及钓鱼岛隆褶带上T30、T20界面发育特征

该带由于盆地的后期挤压反转及断裂活动较强,加之地震资料较少且没有钻井资料标定,界面特征难以识别,但在一些地震剖面上,尤其是西湖凹陷东侧中间段可以看到T30界面的角度不整合特征。如在L5剖面的东侧,T30界面上、下地层产状明显不同,

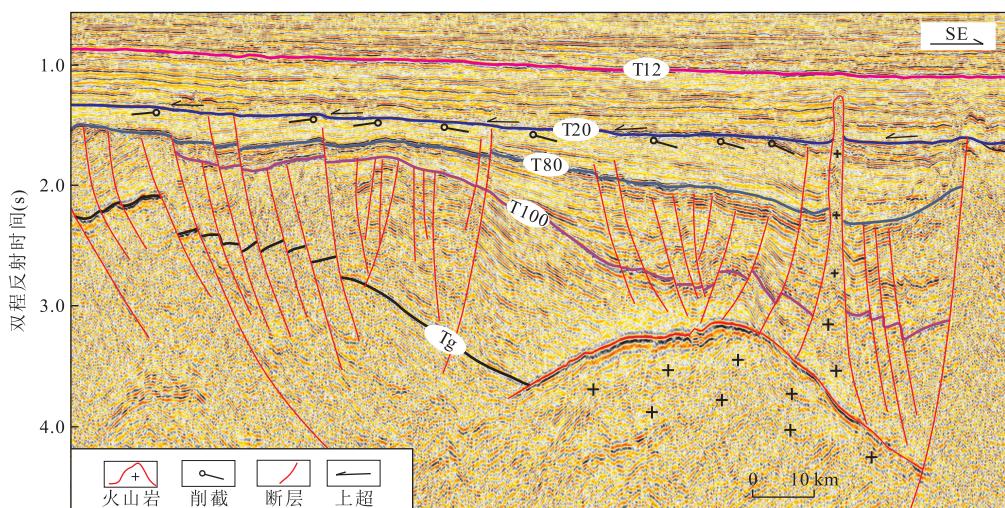


图3 西湖凹陷西侧隆起带L1剖面T30、T20界面发育特征

Fig.3 The features of interfaces T30 and T20 in seismic profile L1 in western uplift to the Xihu depression  
剖面位置见图1

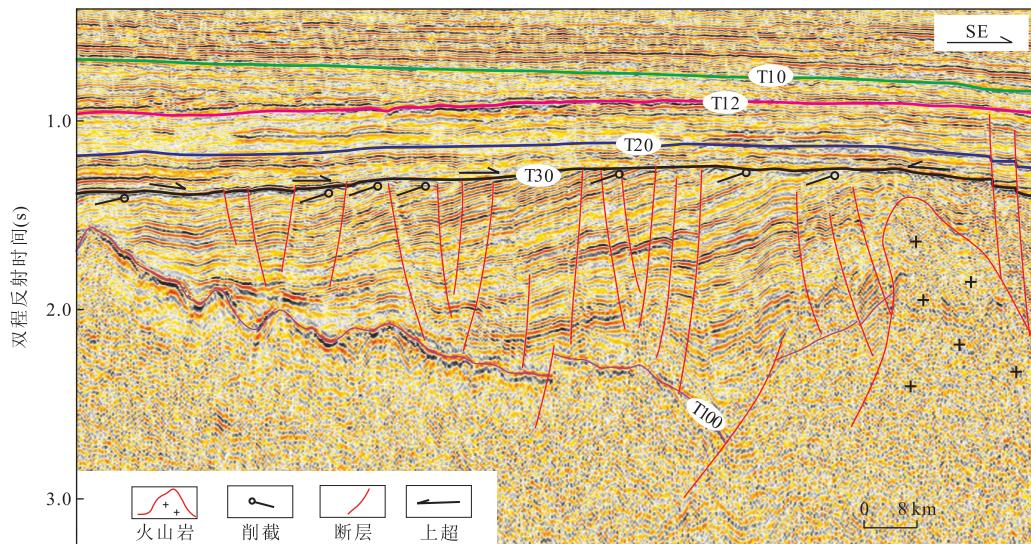


图 4 西湖凹陷西侧隆起带 L2 剖面 T30、T20 界面发育特征

Fig.4 The features of interfaces T30 and T20 in seismic profile L2 in western uplift to the Xihu depression  
剖面位置见图 1

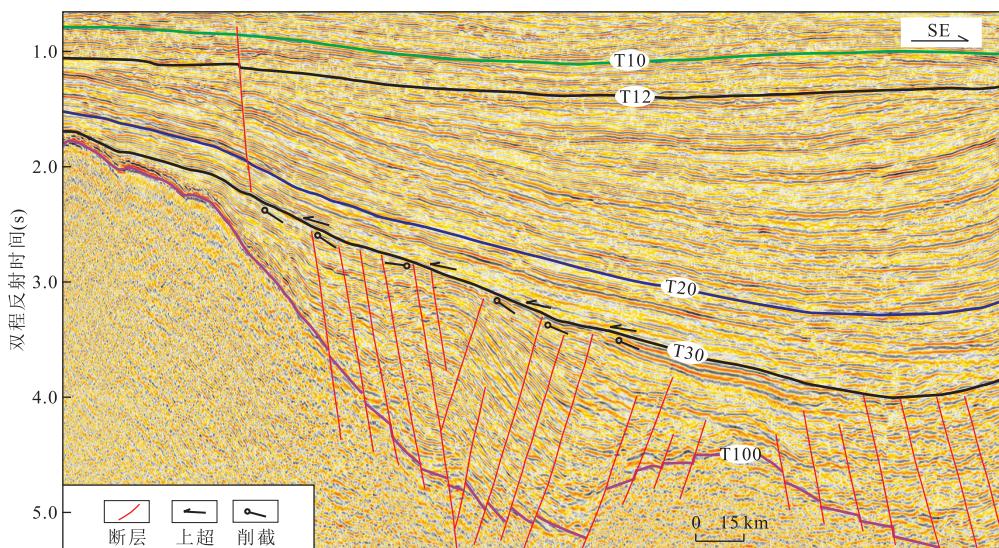


图 5 西湖凹陷西部斜坡带 L3 剖面 T30、T20 界面发育特征

Fig.5 The features of interfaces T30 and T20 in seismic profile L3 in western slope of the Xihu depression  
剖面位置见图 1

界面角度不整合面特征明显,在钓鱼岛隆褶带顶部 T30、T20 界面合为一个叠合型不整合面(图 7)。

## 2 花港组原型盆地分析

### 2.1 从 T30 界面特征分析花港组原型盆地

从上述对花港组 T30、T20 两个关键界面特征的分析,可以看出 T30 界面的不整合特征在盆内分布较广泛,主要体现在以下 4 个方面:(1)在西湖凹

陷西侧隆起上 T30 界面见明显的角度不整合特征;(2)在西湖凹陷西部斜坡带上 T30 界面见低角度侵蚀不整合特征;(3)在西湖凹陷中部凹陷带的北部 T30 界面见侵蚀下切不整合特征;(4)在西湖凹陷盆地东侧边缘 T30 界面见明显的角度不整合特征。综上所述,T30 界面代表东海陆架盆地经历了一次区域性的构造隆升和广泛侵蚀、剥蚀的构造运动。同时该界面在西湖凹陷内又是盆地早期张性断裂活动的终止面,该界面之后盆地早期发育的张性断裂基本停止活动。上述特征说明 T30 界面为分隔西湖凹陷

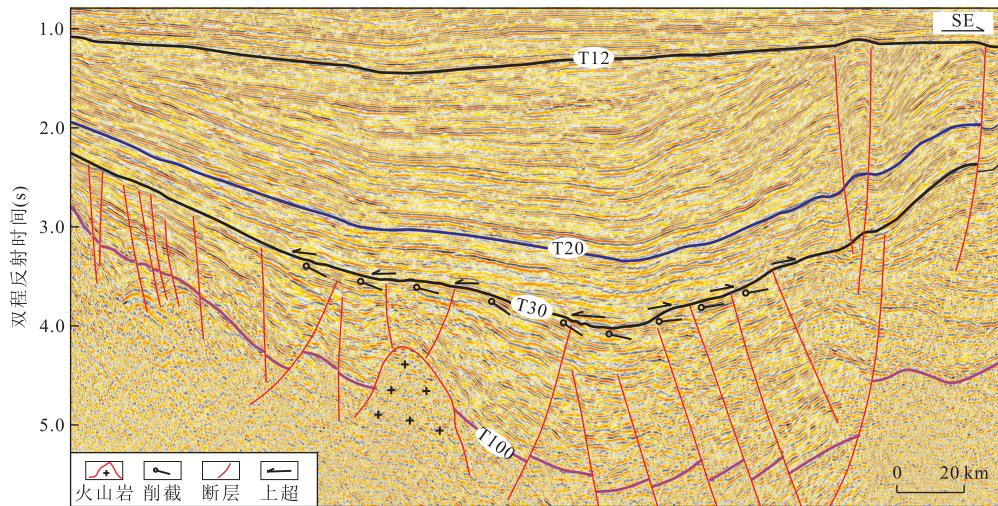


图6 西湖凹陷中央带L4剖面T30、T20界面发育特征

Fig.6 The features of interfaces T30 and T20 in seismic profile L4 in the central belt of the Xihu depression  
剖面位置见图1

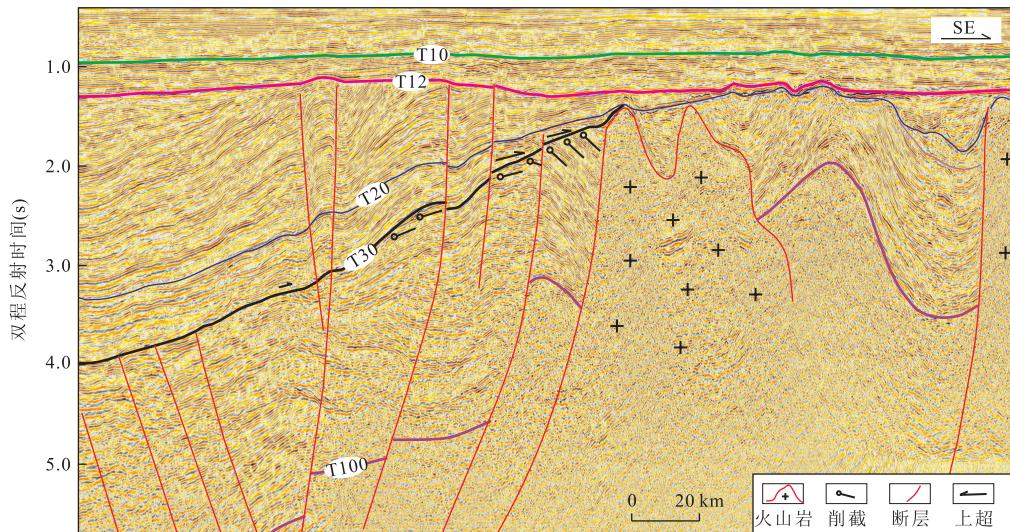


图7 西湖凹陷东侧及钓鱼岛隆褶带L5剖面T30、T20界面地震反射特征

Fig.7 The features of interfaces T30 and T20 in seismic profile L5 in eastern Xihu depression and Diaoyu Dao folded-uplift belt  
剖面位置见图1

裂陷期与裂后坳陷期2种类型原型盆地的一个重要构造变革性界面。

## 2.2 从盆地充填几何形态分析花港组原型盆地

T30界面前后西湖凹陷充填的几何形态发生明显变化, T30界面前晚始新世平湖组沉积主要为箕状单断断陷沉积充填(东断西超)或地堑式双断断陷沉积充填(东西双断), 盆地边界受同沉积断裂活动控制明显。T30界面后花港组主要为向盆地两侧边缘逐渐减薄的“碟形”坳陷式沉积充填(图5~7), 早期的张性断裂停止活动, 盆地沉积充填受断裂活动影响较小(图5~7)。因此, 从盆地沉积充填的几何形

态上讲, 花港组原型盆地为典型的坳陷型盆地, T30界面为盆地断陷构造层与坳陷构造层的分界面。

## 2.3 从盆地边界改造特征(T20界面)看花港组原型盆地

从西湖凹陷东西两侧花港组原型盆地后期改造强度对比来看, 凹陷西侧后期构造变形较弱, 主要表现为向西超覆减薄的楔形沉积充填特征, 花港组原型盆地沉积充填结构保存较好(图5,6)。而西湖凹陷东侧盆地后期改造变形较强, 地层剥蚀严重, 盆地沉积充填结构保存不完整, 这种强改造主要发生在T20界面时期(花港运动), 性质以侧向挤压和垂向

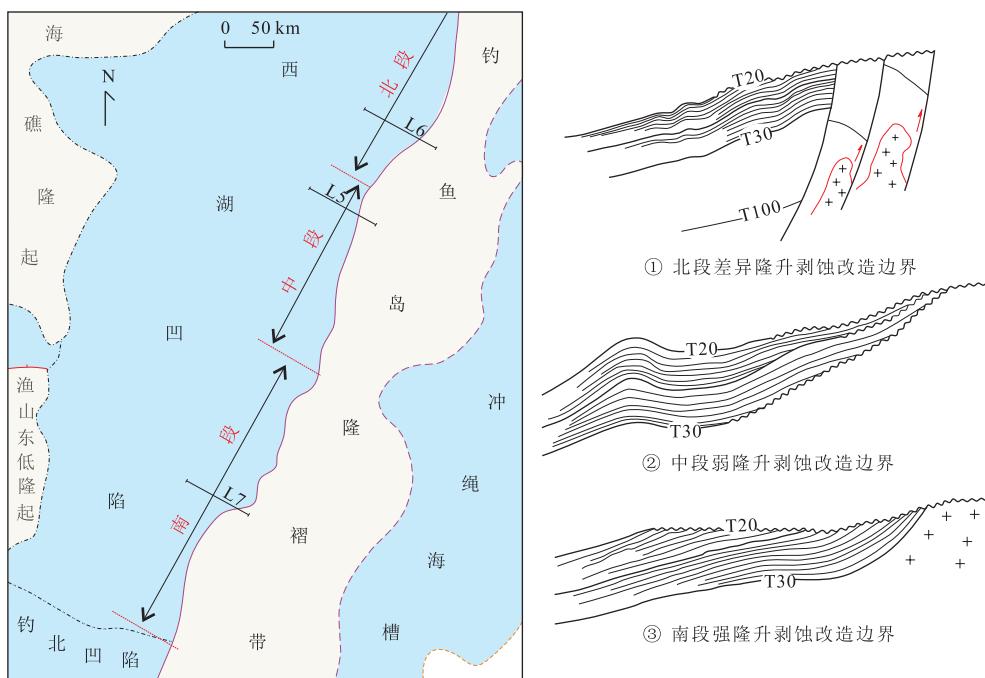


图 8 花港组原型盆地东部残留边界模式

Fig.8 The geological model of Huagang Formation of the residual basin boundary of eastern Xihu depression

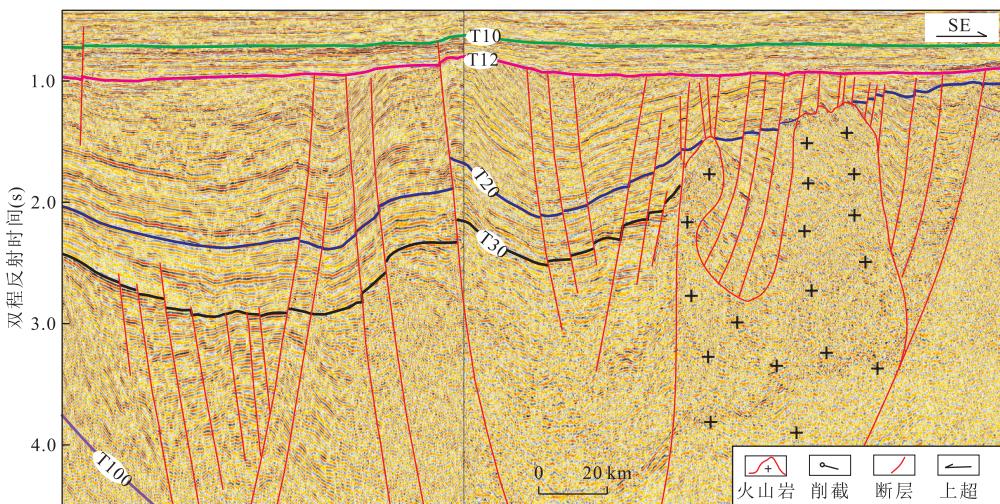


图 9 花港组原型盆地东部挤压差异隆升剥蚀改造段发育特征

Fig.9 The discrepant uplift part for the preexisting normal faults of the Huagang prototype basin of eastern Xihu depression  
L6 剖面位置见图 1 和图 8

隆升为主,且从北至南改造特征具有空间上的差异性,据此笔者将花港组原型盆地的东边界在空间上自北向南划分为 3 段:(1)北段挤压差异隆升剥蚀改造段;(2)中段挤压弱隆升剥蚀改造段;(3)南段挤压强隆升剥蚀改造段(图 8)。

北段差异隆升剥蚀改造段以 L6 剖面(图 9)为典型代表,该段盆缘的隆升通过盆地早期多个张性断裂的垂向调节产生断块间的差异隆升和旋转,盆

缘外侧断块隆升幅度较盆地内侧大,隆升过程中断块的旋转倾斜及剥蚀导致 T20 界面表现为高角度的不整合特征,且形成隆升断块内和凹陷内地层产状的差异(图 8,9)。笔者推测出现这种现象的主要原因之一方面和 T20 界面时期来自东侧钓鱼岛隆褶带的侧向挤压有关,另一方面和该时期钓鱼岛隆褶带大量岩浆活动产生垂向上的底拱应力有关(图 8,9)。

中段弱挤压隆升剥蚀改造段以 L5 剖面(图 7)

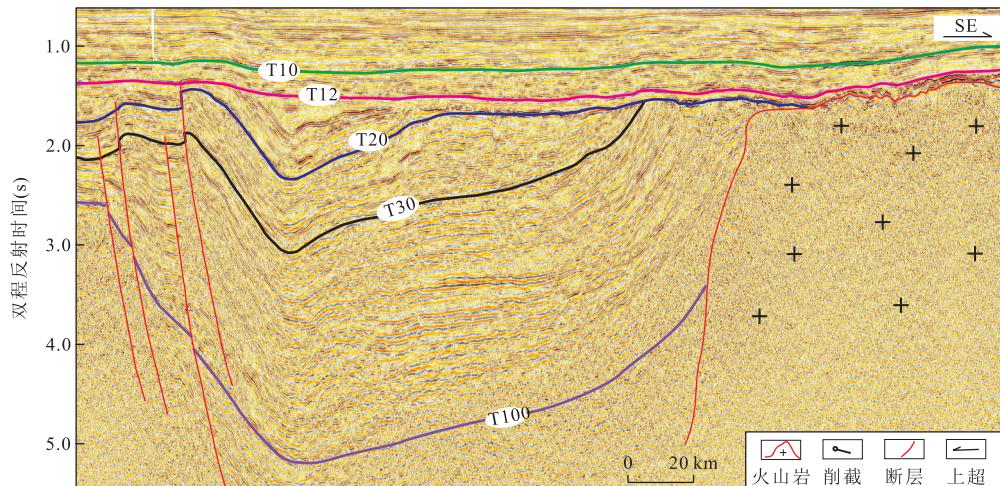


图 10 花港组原型盆地强挤压隆升剥蚀改造段发育特征

Fig.10 The strong compressional uplift part of the Huagang prototype basin of eastern Xihu depression

L7 剖面位置见图 1 和图 8

为典型代表,该段在花港组沉积末期主要发生侧向弱推挤变形,花港组地层隆升变形幅度小,后期剥蚀少,原型盆地结构保存相对较完整,花港组呈楔形向钓鱼岛隆褶带超覆减薄(图 7)。另外 L5 剖面显示花港组下伏以平湖组沉积为主的裂陷沉积层在钓鱼岛隆褶带上仍残留较厚的地层,其上没有接受花港组的沉积,在北段的 L6 剖面也有这一特征,说明平湖组时期盆地东边界的沉积范围要比花港组时期大,也就是说花港组沉积时期盆地的东边界较平湖组时期向西收缩。

南段强挤压隆升剥蚀改造段(图 8)以 L7 剖面(图 10)为典型代表,该段花港组原型盆地经历了强烈的挤压隆升、剥蚀改造过程,盆地地层陡立,T20 表现为高角度强剥蚀不整合特征,说明花港组原型盆地经历了较强烈的侧向挤压、横向收缩和垂向隆升剥蚀过程,地层剥蚀严重,原型盆地结构遭受了极大的破坏(图 10)。

### 3 花港组原型盆地性质及形成演化模式

#### 3.1 花港组原型盆地形态几何学及盆地性质分析

前文已经叙述了花港组原型盆地具坳陷型原型盆地的结构特征,但是其盆地类型属于裂后热沉降型坳陷盆地还是挤压挠曲坳陷型盆地还尚未明确。图 11a 为张性裂陷盆地及其裂后热沉降型坳陷盆地的叠加示意图,该类坳陷型盆地的沉积特点是盆地结构左右对称,且沉积范围明显大于裂陷期的盆地范围;而花港组坳陷型盆地则主要表现为收缩坳陷

型盆地,即花港组沉积的盆地范围比下伏平湖组裂陷沉积层的盆地范围明显要小。图 11b 为前陆盆地的形成示意图,由于逆冲断层的冲断负载作用,盆地发生挠曲沉降(横弯褶皱),形成不对称结构的前陆盆地,西湖凹陷东缘钓鱼岛隆褶带并未发育逆冲推覆断层,因此花港组原型盆地也不符合前陆盆地的发育模式。图 11c 表示当盆地受双侧挤压应力作用形成纵弯挠曲沉降的时候,盆地具坳陷盆地充填结构特征,且盆地结构左右对称,盆地沉积沉降中心位于盆地中央且垂向上稳定叠加。而当单侧挤压应力作用时,盆地主要表现为一种不对称的坳陷挠曲变形结构,挤压应力来源一侧盆地变形相对强烈,而另一侧变形较弱,盆地沉积沉降中心偏向挤压应力来源一侧且垂向上朝挤压应力推挤方向发生侧向迁移(图 11d)。

由前面的分析笔者判断花港组原型盆地具有以下 3 个特征:(1)花港组具有中部厚两侧薄的坳陷型盆地结构特征;(2)花港组沉积底界面(T30)为盆地张性断裂活动的终止面,即盆地裂陷沉积层和坳陷沉积层之间的转换界面;(3)从盆地东缘来看,花港组坳陷沉积层范围较下伏平湖组裂陷沉积层范围要小,盆地的沉积范围发生了向西收缩迁移。上述 3 个特征说明花港组原型盆地更符合图 11d 的盆地沉积结构模式,即为来自东部钓鱼岛隆褶带单侧挤压应力作用下的大型挤压挠曲坳陷型原型盆地。

#### 3.2 花港组原型盆地形成演化模式

根据上述分析,T30 界面(玉泉运动)和 T20 界面(花港运动)是认识花港组原型盆地 2 个最重要的

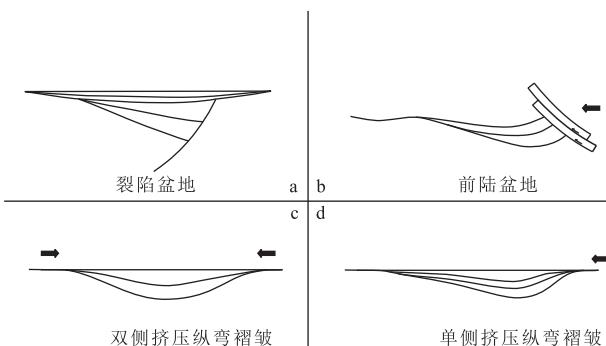


图 11 不同类型盆地形态几何学示意图

Fig.11 The schematic diagram of geometry characteristics of differential types of basins

不整合界面, T30 界面是确定花港组大型挤压坳陷型原型盆地性质的构造变革性区域隆升剥蚀或下切侵蚀型不整合界面, 而 T20 界面是对花港组原型盆地, 尤其是盆地东边界进行强烈改造且造成大量地层剥蚀的局部构造隆升剥蚀型不整合界面, 且 T20 界面代表的花港运动大大增加了认识和恢复花港组

原型盆地的难度. 在此基础上笔者建立了花港组原型盆地的演化模式(图 12):(1) 平湖组沉积时期, 盆地为东断西超的断陷型盆地.(2) 平湖组沉积末期的玉泉运动是花港组大型挤压挠曲坳陷型原型盆地的成盆事件, 主要表现为来自钓鱼岛隆褶带的侧向挤压, 盆内沉积层发生横向上的收缩和垂向上的隆升, 盆地断裂停止活动, 区域性的 T30 不整合面形成; 平湖组的构造变形在盆缘东侧钓鱼岛隆褶带处最为显著, 在挤压背景下先存张性正断层控制的断块可能在差异隆升过程中发生掀斜、旋转.(3) 玉泉运动使盆地早期的正断层停止活动, 西湖凹陷形成大型挤压坳陷型原型盆地, 花港组地层先期在挤压坳陷中央最深的部位开始接受沉积, 盆地两侧斜坡带发育低角度不整合, 随着时间的推移, 地层逐渐向上扩充充填; 花港组整体呈中间厚两侧薄的“碟形”坳陷型盆地结构特征, 整体而言花港组时期的盆地范围较平湖组时期小, 花港组沉积层具明显的向西迁移特征.(4) 渐新世花港组沉积末期盆地东缘钓鱼岛隆

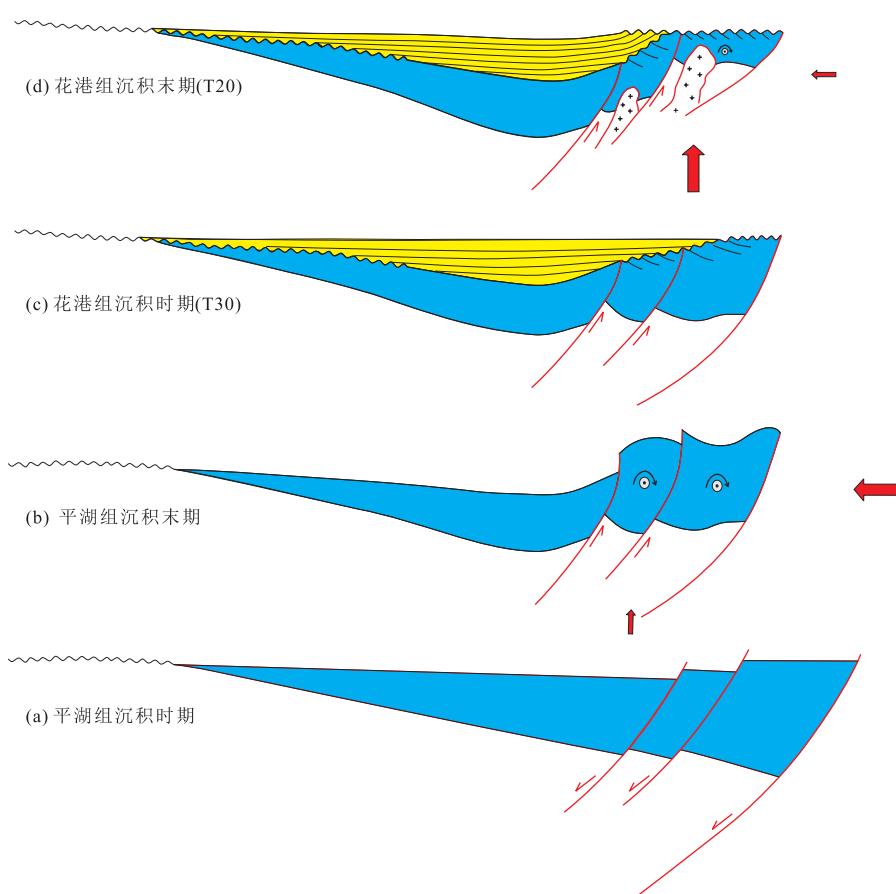


图 12 西湖凹陷花港组原型盆地形成演化模式

Fig.12 The forming and evolutionary model of the Huagang prototype basin of Xihu depression  
图中箭头粗细代表应力的相对强弱

褶带的挤压应力加强,且该时期岩浆大量活动(花港运动),花港运动主要表现为钓鱼岛隆褶带的垂向隆升及相对应的花港组和平湖组地层的大量剥蚀,形成展布相对局限的T20不整合面,花港组原型盆地结构被严重破坏。值得一提的是,花港运动来自钓鱼岛隆褶带的侧向挤压应力和岩浆活动在空间上是不均衡的,从而造成花港组原型盆地东侧后期改造特征上的南北三段性(图8)。

## 4 结论

(1)花港组底T30界面为盆地挤压背景下广泛发育的一个区域隆升侵蚀型不整合界面,是花港组原型盆地的成盆界面。花港组顶T20界面主要是受钓鱼岛隆褶带隆升活动控制的局部隆升侵蚀型不整合面,是花港组原型盆地的改造界面。

(2)花港组原型盆地为东部钓鱼岛隆褶带推挤应力背景下形成的大型单侧挤压挠曲不对称坳陷型盆地。

## References

- Chai, L.G., 1988. An Introduction to the Tectonic System of the East China Sea. *Oil & Gas Geology*, 9(1):100—108 (in Chinese with English abstract).
- Chen, L.L., 1998. Sedimentary Facies of Huagang Formation of Sudi Division in Xihu Trough, the East China Sea. *Shanghai Geology*, 19(1): 21—28 (in Chinese with English abstract).
- Chen, L. L., 2001. Discussion on Depositional Mechanism Controlled by Axis-Wise Drainage in Huagang Formation(Oligocene) of Xihu Trough, the East China Sea. *Offshore Oil*, (3):35—41(in Chinese with English abstract).
- Chen, L.L., Xie, Y.F., 1998. Discussion on Depositional Mode of Huagang Formation in Xihu Trough, the East China Sea. *Offshore Oil*, 18(4):15—21(in Chinese with English abstract).
- Chen, Z.Y., Ge, H.P., 2003. Inversion Structures and Hydrocarbon Accumulation in Xihu Sag, East China Sea Basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 17(1):20—24 (in Chinese with English abstract).
- Cukur, D., Horozal, S., Kim, D.C., et al., 2010. The Distribution and Characteristics of the Igneous Complexes in the Northern East China Sea Shelf Basin and Their Implications for Hydrocarbon Potential. *Marine Geophysical Research*, 31(4):299—313.doi:10.1007/s11001-010-9112-y
- Cukur, D., Horozal, S., Lee, G. H., et al., 2011. Structural Evolution of the Northern East China Sea Shelf Basin Interpreted from Cross-Section Restoration. *Marine Geophysical Research*, 32(3): 363—381. doi: 10.1007/s11001-011-9114-4
- Dai, L.M., Li, S.Z., Lou, D., et al., 2014. Numerical Modeling of Late Miocene Tectonic Inversion in the Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 86:25—37.doi:10.1016/j.jseaes.2013.09.033
- Duan, M. D., Ye, J. R., Wu, J. F., et al., 2017. Overpressure Formation Mechanism in Xihu Depression of the East China Sea Shelf Basin. *Earth Science*, 42(1):119—129 (in Chinese with English abstract).https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.009
- Feng, X.J., Cai, D.S., 2006. Controls of Mesozoic and Cenozoic Tectonic Evolution on Source Rock Distribution in East China Sea Shelf Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 18(6):372—375(in Chinese with English abstract).
- Gong, J. M., Chen, G. W., 1997. Geological Configuration and Evolution of the Fault Zone in the East of the Xihu Depression. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 17(1):33—38(in Chinese with English abstract).
- He, J.Q., Liang, S.Y., Chen, Y.F., et al., 2008. Control on Petroleum by Cenozoic Tectonic Evolution in the Xihu Sag, the East China Sea Basin—Taking Petroleum Response of the Pinghu Formation as an Example. *Petroleum Geology & Experiment*, 30(3):221—226(in Chinese with English abstract).
- Hsu, S.K., Sibuet, J.C., Shyu, C.T., 2001. Magnetic Inversion in the East China Sea and Okinawa Trough: Tectonic Implications. *Tectonophysics*, 333(1—2):111—122.doi: 10.1016/s0040-1951(00)00270-5
- Kong, F.C., Lawver, L. A., Lee, T. Y., 2000. Evolution of the Southern Taiwan-Sinzi Folded Zone and Opening of the Southern Okinawa Trough. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(3):325—341.doi:10.1016/s1367-9120(99)00062-0
- Lee, G.H., Kim, B., Shin, K.S., et al., 2006. Geologic Evolution and Aspects of the Petroleum Geology of the Northern East China Sea Shelf Basin. *AAPG Bulletin*, 90(2):237—260.doi:10.1306/08010505020
- Li, C.F., Zhou, Z. Y., Ge, H.P., et al., 2009. Rifting Process of the Xihu Depression, East China Sea Basin. *Tectonophysics*, 472(1—4): 135—147. doi: 10.1016/j.tecto.2008.04.026
- Li, W., Wu, Z. P., Zhou, Y. Q., 2005. Reconstruction of the Thickness of the Mesozoic Strata and Mesozoic Prototype Basin in the Jiyang Depression. *Geological Review*, 51(5):507—516(in Chinese with English abstract).
- Liu, J. S., Liao, Z. T. Jia, J. Y., et al., 2003. The Geological

- Structure and Tectonic Evolution of the East China Sea Shelf Basin. *Shanghai Geology*, (3): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. Y., Tamaki, K., Li, S. T., et al., 2002. Late Mesozoic and Cenozoic Rifting and Its Dynamic Setting in Eastern China and Adjacent Areas. *Tectonophysics*, 344(3—4): 175—205. doi:10.1016/s0040-1951(01)00271-2
- Sun, Z.C., 2004. Progress of Petroleum Geology Research for the East China Sea and on Tectonic Evolution of Cenozoic Basins in the Continental Margins along the West Pacific Ocean: An Evolutional Model of Oceanwards-Receding Residual Rear-Arc Basins. *Marine Origin Petroleum Geology*, 9(1—2): 1—17 (in Chinese with English abstract).
- Tao, R.M., 1994. Discussion on Basin Formation Mechanism and Basin Types in East China Sea Continental Shelf Basin Based on West Pacific Plate Tectonics. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 8(1): 14—20 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P., Zhang, Z.G., Zhang, G.C., et al., 2011. Analysis on Structural Evolution in Diaoyu Islands Folded-Uplift Belt, East China Sea Basin and Its Impact on the Hydrocarbon Exploration in Xihu Sag. *Geological Science and Technology Information*, 30(4): 65—72 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z., Zhang, M. L., Wu, F. D., et al., 2005. A Study on Stratigraphic Erosion Thickness in Xihu Sag, the East China Sea Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 26(2): 175—177 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Z.P., Li, L., Li, W., et al., 2004. Sedimentary Pattern of Prototype Basin in the Deposition Period of Laiyang Formation and the Advantageous Areas for Oil and Gas Exploration of Jiaolai Basin. *Geotectonica et Metallogenesis*, 28(3): 330—337 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, H. Q., 2006. Reconstruction of the Mesozoic Basin of Jiayang Depression (Dissertation). Guangzhou Institute of Geochemistry of Chinese Academy of Sciences, Guangzhou (in Chinese with English abstract).
- Yang, Q.L., 1992. Geotectonic Framework of the East China Sea. In: Watkins, J.S., Feng, Z.Q., McMillen, K.J., eds., *Geology and Geophysics of Continental Margins. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 53: 17—26.
- Yang, X.H., Li, A.C., Qing, Y.S., et al., 2006. U-Pb Dating of Zircons from Cenozoic Sandstone to Constrain on the Geodynamic Setting of East China Sea Shelf Basin. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 26(3): 75—86 (in English with Chinese abstract).
- Yin, A., 2010. Cenozoic Tectonic Evolution of Asia: A Preliminary Synthesis. *Tectonophysics*, 488(1—4): 293—325. doi:10.1016/j.tecto.2009.06.002
- Zhang, J.P., Zhang, T., Tang, X.J., 2014. Basin Type and Dynamic Environment in the East China Sea Shelf Basin. *Acta Geologica Sinica*, 88(11): 2033—2043 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., 2009. The Depositional Evolution and Tertiary Tectonic and Reconstruction of the Cretaceous Prototype Basin in Liupanshan Basin (Dissertation). China University of Petroleum, Dongying (in Chinese with English abstract).
- Zhang, M.Q., Zhong, Z.H., Xia, B., et al., 2005. Late Miocene Tectonic Inversion and Hydrocarbon Migration and Accumulation in Central and Southern Xihu Sag, East China Sea. *China Offshore Oil and Gas*, 17(2): 73—79 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z.M., Zhou, J., Wu, X.W., 2006. Oil and Gas Migration Periods and Accumulation Process in Central Anticlinal Zone in the Xihu Sag, the East China Sea Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(1): 30—33, 37 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J. H., 2004. The Forming Factors and Evolvement of the Mesozoic and Cenozoic Basin in the East China Sea. *Offshore Oil*, 24(4): 6—14 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, J. H., 2005. The Forming Factors and Evolvement of the Mesozoic and Cenozoic Basin in the East China Sea. *Offshore Oil*, 25(1): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. G., Wang, P., Qi, P., et al., 2016. Regional Background and Tectonic Evolution of East China Sea Basin. *Earth Science*, 41(3): 546—554 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.045>
- Zhou, Z., Zhao, J.H., Yin, P.L., 1989. Characteristics and Tectonic Evolution of the East China Sea. In: Zhu, X., ed., *Chinese Sedimentary Basins*. Elsevier, Amsterdam, 165—179.
- Zhou, Z.Y., Jiang, J. Y., Liao, Z. T., et al., 2001. Basin Inversion in Xihu Depression, East China Sea. *Gondwana Research*, 4 (4): 844—845. [https://doi.org/10.1016/s1342-937x\(05\)70627-4](https://doi.org/10.1016/s1342-937x(05)70627-4)
- Zhu, W.L., Mi, L.J., 2010. *Atlas of Oil and Gas Basins, China Sea*. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 柴利根, 1988. 东海构造体系概论. 石油与天然气地质, 9(1): 100—108.
- 陈琳琳, 1998. 东海西湖凹陷苏堤区带花岗组沉积相分析. 上海地质, 19(1): 21—28.

- 陈琳琳,2001.东海西湖凹陷渐新世花港组轴向水系沉积机制探讨.海洋石油,(3):35—41.
- 陈琳琳,谢月芳,1998.东海西湖凹陷花港组沉积模式初探.海洋石油,18(4):15—21.
- 陈志勇,葛和平,2003.西湖凹陷反转构造与油气聚集.中国海上油气(地质),17:(1):20—24.
- 段漠东,叶加仁,吴景富,等,2017.东海陆架盆地西湖凹陷超压成因机制.地球科学,42:(1):119—129.<https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.009>
- 冯晓杰,蔡东升,2006.东海陆架盆地中新生代构造演化对烃源岩分布的控制作用.中国海上油气,18(6):372—375.
- 龚建明,陈国威,1997.西湖凹陷东部断阶带的地质结构与演化.海洋地质与第四纪地质,17(1):33—38.
- 何将启,梁世友,陈拥锋,等,2008.东海盆地西湖凹陷新生代构造演化对油气的控制作用——以平湖组油气响应为例.石油实验地质,30(3):221—226.
- 李伟,吴智平,周瑶琪,2005.济阳坳陷中生代地层剥蚀厚度、原始厚度恢复以及原型盆地研究.地质评论,51(5):507—516.
- 刘金水,廖宗廷,贾健谊,等,2003.东海陆架盆地地质结构及构造演化.上海地质,3:1—6.
- 孙肇才,2004.从东海石油地质重要进展看西太平洋大陆边缘新生代盆地的构造演化——一种海沟向洋后退的残余弧后盆地演化模式.海相油气地质,9(1—2):1—17.
- 陶瑞明,1994.从西太平洋板块构造探讨东海陆架盆地形成机制和类型划分.中国海上油气(地质),8(1):14—20.
- 王鹏,赵志刚,张功成,等,2011.东海盆地钓鱼岛隆褶带构造演化分析及对西湖凹陷油气勘探的意义.地质科技情报,30(4):65—72.
- 王震,张明利,武法东,等,2005.东海盆地西湖凹陷地层剥蚀厚度研究.新疆石油地质,26(2):175—177.
- 吴智平,李凌,李伟,等,2004.胶莱盆地莱阳期原型盆地的沉积格局及有利油气勘探区选择.大地构造与成矿学,28(3):330—337.
- 肖煥钦,2006.济阳坳陷中生代原型盆地的恢复(博士学位论文).广州:中国科学院广州地球化学研究所.
- 杨香华,李安春,秦蕴珊,等,2006.东海陆架新生代砂岩锆石U-Pb年龄及其地球动力学意义.海洋地质与第四纪地质,26(3):75—86.
- 张建培,张田,唐贤君,2014.东海陆架盆地类型及其形成的动力学环境.地质学报,88(11):2033—2043.
- 张磊,2009.六盘山盆地白垩系沉积构造演化及原型盆地研究(硕士学位论文).中国石油大学,东营.
- 张敏强,钟志洪,夏斌,等,2005.东海西湖凹陷中南部晚中新世构造反转与油气运聚.中国海上油气,17(2):73—79.
- 张忠民,周瑾,邬兴威,2006.东海盆地西湖凹陷中央背斜带油气运移期次及成藏.石油实验地质,28(1):30—33,37.
- 赵金海,2004.东海中、新生代盆地成因机制和演化(上).海洋石油,24(4):6—14.
- 赵金海,2005.东海中、新生代盆地成因机制和演化(下).海洋石油,25(1):1—10.
- 赵志刚,王鹏,祁鹏,等,2016.东海盆地形成的区域地质背景与构造演化特征.地球科学,41(3):546—554.<https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.045>
- 朱伟林,米立军,2010.中国海域含油气盆地图集.北京:石油工业出版社.