

doi: 10.12029/gc20200518

杜文波, 黄文凯, 朱红涛, 张璐, Jakub Miluch. 2020. 台湾海峡西部海域沉积体系、地层架构与油气勘探前景[J]. 中国地质, 47(5): 1542–1553.
Du Wenbo, Huang Wenkai, Zhu Hongtao, Zhang Lu, Jakub Miluch. 2020. Sedimentary system, stratigraphic architecture and petroleum exploration prospect in the western Taiwan Strait[J]. Geology in China, 47(5):1542–1553(in Chinese with English abstract).

台湾海峡西部海域沉积体系、地层架构 与油气勘探前景

杜文波^{1,2}, 黄文凯¹, 朱红涛³, 张璐⁴, Jakub Miluch³

(1. 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 自然资源部海底矿产资源重点实验室, 广东 广州 510075; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东 广州 511458; 3. 中国地质大学(武汉)资源学院, 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; 4. 中海油研究总院, 北京 100028)

摘要:基于台湾海峡西部新采集的高分辨率二维地震资料及钻井数据, 结合区域地质资料和前人研究成果, 建立台湾海峡西部高精度等时地层格架, 在此基础上厘定了地质年代属性和沉积相特征分析。研究表明第四纪地层识别出 6 个三级层序界面, 对应地划分为 5 个三级层序。研究区地震相主要有席状平行—亚平行地震相、前积地震相、下切谷充填地震相、充填状低连续地震相和充填状杂乱地震相等, 不同的地震相及其组合代表特定的沉积体系。通过以上分析可知研究区新生代主要发育于海陆过渡地带, 主要发育冲积/洪积平原相和滨岸平原相, 在此基础上分析沉积演化特征, 为台湾海峡西部海域进行精细勘探提供地质依据, 这对将来的油气勘探具有重要的指导意义。

关键词:沉积体系; 地层格架; 地质年代; 地震相; 油气地质; 海洋地质调查工程; 台湾海峡

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A **文献编号:** 1000–3657(2020)05–1542–12

Sedimentary system, stratigraphic architecture and petroleum exploration prospect in the western Taiwan Strait

DU Wenbo^{1,2}, HUANG Wenkai¹, ZHU Hongtao³, ZHANG Lu⁴, JAKUB Miluch³

(1. Guangzhou Marine Geological Survey of China Geological Survey, Ministry of Natural Resources, Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou 510075, Guangdong, China; 2. Project for Introduced Talents Team of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Guangzhou 511458, Guangdong, China; 3. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, Hubei, China; 4. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: Based on the new high resolution 2D seismic data and drilling data obtained from the western Taiwan Strait and combined

收稿日期: 2020-02-18; 改回日期: 2020-06-20

基金项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0207)及中国地质调查局项目(DD20160138、DD20190627、DD20191002、DD20160140、GZH201400210、DD20190209、DD20190216、GZH201300502)联合资助。

作者简介: 杜文波, 男, 1986 年生, 硕士, 主要从事于层序地层学、沉积学及地震资料解释的研究工作; E-mail: superdwb@outlook.com。

with the regional geological data and previous research result, the authors established the high resolution equitime stratigraphic framework of the western Taiwan strait and, on such a basis, determined the geological age attributes and sedimentary facies system characteristics. The results show that there are 6 third-order sequence boundaries in the Quaternary strata, which are correspondingly divided into 5 third-order sequences. The seismic facies in the study area are mainly sheet-like parallel-subparallel seismic facies, progradation seismic facies, incised valley filling seismic facies, low-continuous filling seismic facies and filling chaotic seismic facies, with different seismic facies and their combinations representing specific sedimentary systems. According to the above analysis, it can be seen that the Cenozoic sediments are mainly developed in the sea-land transition zone, and alluvial/pluvial plain facies and coastal plain facies are mainly developed in the study area. The sedimentary evolution characteristics were hence analyzed to provide geological basis for fine exploration in the western Taiwan Strait, which has great guiding significance for future hydrocarbon exploration.

Key words: sedimentary system; stratigraphic framework; geological age; seismic facies; petroleum geology; marine geological survey engineering; Taiwan Strait

About the first author: DU Wenbo, male, born in 1986, master, mainly engages in the study of sequence stratigraphy, sedimentology and seismic data interpretation; E-mail: superdwb@outlook.com.

Fund support: Supported by Project for Introduced Talents Team of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (No. GML2019ZD0207), China Geological Survey Project (No. DD20160138, No. DD20190627, No. DD20191002, No. DD20160140, No. GZH201400210, No. DD20190209, No. DD20190216, No. GZH201300502).

1 引言

层序地层学是从20世纪80年代以来在震地地质学基础上发展起来的一门新兴边缘学科,源于海相被动大陆边缘盆地研究的层序地层学理论经过30多年的发展,得到不断的丰富、拓展和进展(邓宏文等,2000)。目前层序地层学已经被证实是一种有效的理论方法,广泛应用于海相盆地和陆相盆地的层序分析、沉积充填过程及其沉积时空分布、等时地层格架内的生-储-盖组合的油藏描述(赵英杰等,2010;朱红涛等,2018)。地震资料是开展层序地层学研究的核心资料,可有效揭示钻井之间的层序发育样式,尤其在无井区层序地层单元识别过程中具有不可替代的作用,其中地震反射结构参数能够反映产生反射的地下地质单元宏观上的结构特征,并可以对精细的等时地层格架、层序界面及高级别层序单元内部结构进行识别(杜文波等,2015)。

台湾海峡位于欧亚板块、菲律宾海板块和西太平洋板块相互作用的构造前锋位置,是古新世期间在继承白垩系裂陷的基础上发生进一步张裂而形成的陆缘裂陷,并于后期深受前陆作用影响的中、新生代叠合盆地。自盆地形成经历多期构造作用的叠加影响,对盆地构造和沉积结构特征产生了明显的影响(黄慈流等,1987;俞何兴等,1996;刘振湖

等,2006)。前人对台湾海峡盆地开展了大量研究工作,通过低频多道地震数据划分了台湾海峡新生代以来的地层层序,但其主要工作都集中在西部斜坡带东南区域,对海岸带附近海域没有深入了解,且没有准确的测年数据。笔者利用近年来广州海洋地质调查局在研究区获取的高分辨率单道地震资料,通过典型地震反射特征进行识别追踪,结合本次钻遇了流纹岩基底的钻井,通过钻井的岩性、古生物、测年数据等资料,建立等时地层格架,通过对研究区的沉积体系分析,对台湾海峡地区的油气资源和海洋基础地质研究等都有着重要意义。

2 研究区概况

研究区位于台湾海峡盆地的西部(图1),台湾海峡盆地大致呈NE-SW走向,北面与东海陆架盆地之间被NW向的观音隆起区分隔;南面受ENE向澎湖—北港隆起区所限,与西南面的珠江口盆地和东南面的台西南盆地分隔开(刘金水等,2003;黄昭等,2006;韦振权等,2018)。台湾海峡盆地东部和西部在构造和沉积层结构特征上存在差异,具有东西分带的特点,因此将盆地划分为东部坳陷(包括新竹凹陷、苗栗凸起及台中凹陷)、西部坳陷(包括晋江凹陷、澎北凸起及九龙江凹陷)和西部斜坡带3个二级构造单元(郑求根等,2005;钱星等,2018)。研究

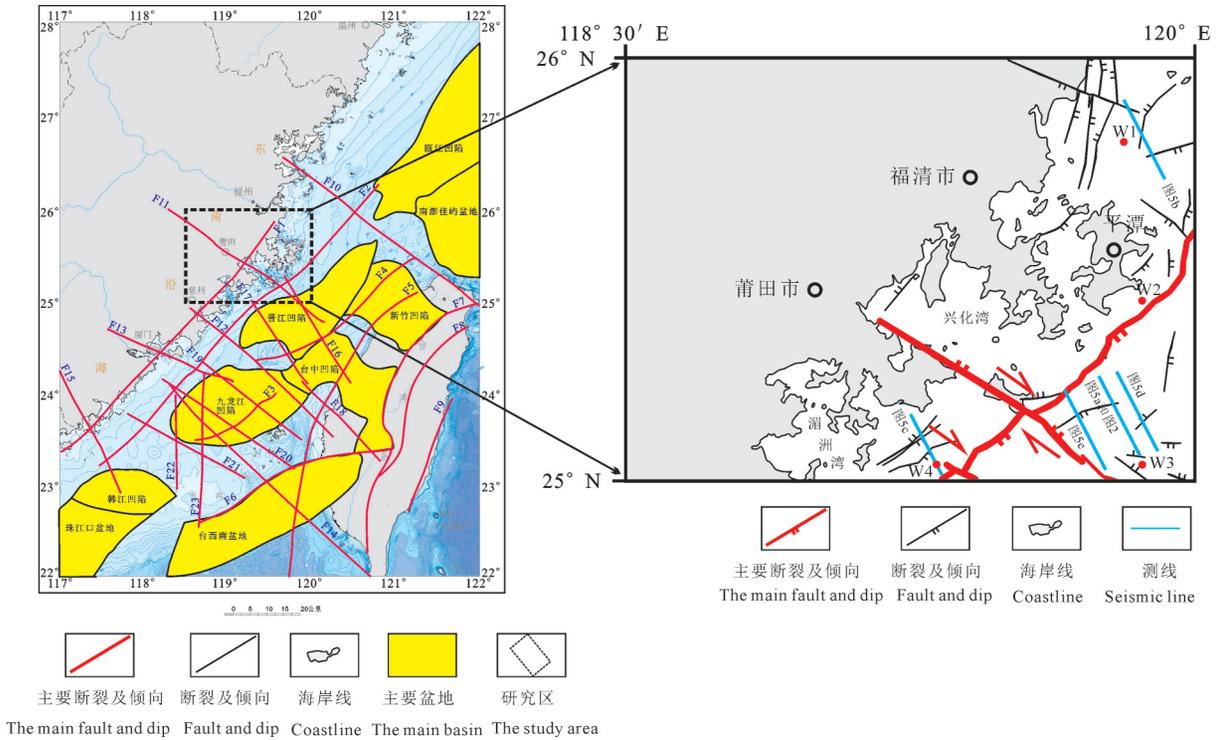


图1 研究区地理位置图
Fig.1 Location of the study area

区总面积约 $1.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 海域面积约 $0.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 研究区西部为陆地, 东部为岛屿和海区, 主要跨越了陆地、岛屿、陆架、礁滩等地貌单元。海区活动断裂以滨海断裂带及其周边的一系列断裂为主, 其他区域发育规模较小的的断裂。整体上活动断裂以NE向断裂为主, 其次为NW—NNW向断裂, ENE向、近SN向和NNE向断裂有小规模发育(王国纯, 1993)。

3 数据资料

本次研究主要利用2012年广州海洋地质调查局在采集的高分辨率二维地震数据, 总长度为1524 km, 主测线为NW方向, 网格为 $5 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 。震源系统为CSP2200 Sparker电火花震源, 地震采集参数为: 地震源容量为1200 J, 激发间隔为2 s, 采样频率为4000 Hz, 采集采用的软件为Ixsea Delph Seismic, 二维地震数据处理使用的CGG处理系统GeoVation包括涌浪静校正技术、斜干扰压制技术及多次波压制技术等。在这些技术基础上结合对原始资料的分析, 设计处理流程, 进行模块参数试验选取最优化参数。最后利用斯论贝谢公司开发的地震资料综合解释软件Geoframe, 建立解释数据库。

4 地震相分析

4.1 主要地震反射界面及时代

在研究区古地理构造背景的基础上, 结合前人在台湾海峡西部海域层序地层学研究(彭学超等, 1993; 周勳佳等, 2018), 根据最新的钻井资料和地震剖面层序界面特征, 建立了研究区的层序地层格架(图2)。根据地震反射波的侵蚀削截、顶超、上超及下超等反射特征, 识别出6个地震反射界面, 自下而上分别为 R_6 、 R_4 、 R_3 、 R_2 、 R_1 、 R_0 。

R_6 : 基本上全区均有分布, 总体上为低频、中振幅、中—低连续的反射同相轴, 局部区域界面特征明显, 表现为强振幅, 连续性较好, 双相位反射特征。大部分区域由于埋藏较深或波阻抗较大, 受单道地震记录长度和调查手段所限, 特征不明显, 难以识别。界面整体展布西北高, 东南低, 起伏变化大, 界面上部同相轴上超现象明显。

R_4 : 全区分布, 部分上超于 R_6 , 总体上为低频、中振幅、中—低连续的反射同相轴, 局部区域界面特征明显, 表现为强振幅, 连续性较好, 双相位反射特征。部分区域由于埋藏较深或波阻抗较大, 受单

道地震记录长度和调查手段所限,导致界面特征不明显,难以识别。

R_3 :全区均有分布,总体呈现中频、中振幅、中—高连续、双相位反射特征,部分区域可见其对下伏地震层序的明显削截作用。界面上下地震反射特征明显不同:界面之上为一套水平展布的、席状、中—弱振幅的反射层组,界面之下总体为倾斜的、中—强振幅的反射层组,大部分区域双相位反射特征明显,较易于追踪。

R_2 :全区均有分布,为中频、中振幅、中连续、1—2相位反射特征。界面上下反射波总体平行。有下切河谷现象,局部地区振幅较弱,连续性变差,难以追踪。

R_1 :全区均有分布,总体呈中频、中振幅、高连续、双相位反射特征,反射同相轴总体上相对平直、稳定,可连续追踪。 R_1 界面与上、下地震层序的地震波反射同相轴平行,反射同相轴的连续性好,从南到北,频率增强,振幅变弱。

R_0 :该界面为海底反射界面,由于海上和海底沉

积物的波阻抗差异较大,呈高频、强振幅、高连续、双相位反射特征,随海底起伏而变化;在剖面中最易识别。

4.2 层序特征

根据上述反射界面的划分,可将研究区的地层进一步划分为5个三级层序,自下而上分别为层序E(R_5-R_4)、层序D(R_3-R_4)、层序C(R_2-R_3)、层序B(R_1-R_2)和层序A(R_0-R_1)(图2)。各地震层序特征如下:

地震层序E(R_4-R_5):由于埋藏较深,在单道地震剖面上难以全区追踪。该层序在陆坡主要表现为中—低频、中等振幅、低连续反射特征;局部反射特征明显,呈现为亚平行结构,强振幅,高连续性;而大部分区域为低连续反射至杂乱反射,难以追踪,局部隆起区较薄或缺失。该层序主要发育在研究区东部,且靠近岸边厚度逐渐减薄直至缺失(图3)。

地震层序D(R_3-R_4):该层序主要表现为平行—亚平行结构、中—低频、中等振幅、中—低连续反射。该层序总体产状向东南倾斜,厚度变化较大,

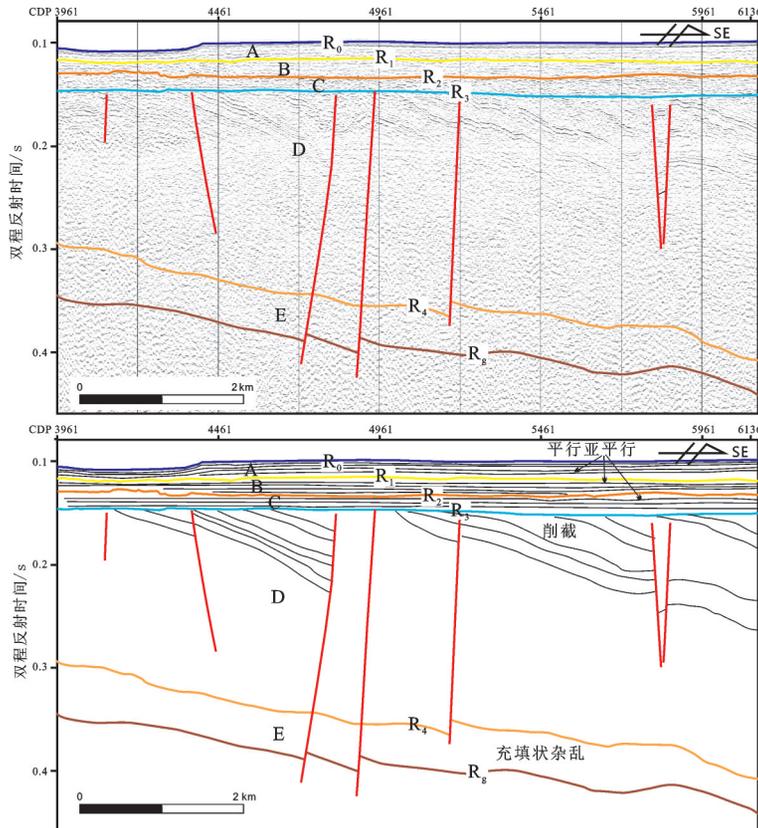


图2 典型地震反射剖面图(测线见图1)

Fig.2 Typical seismic reflection profile

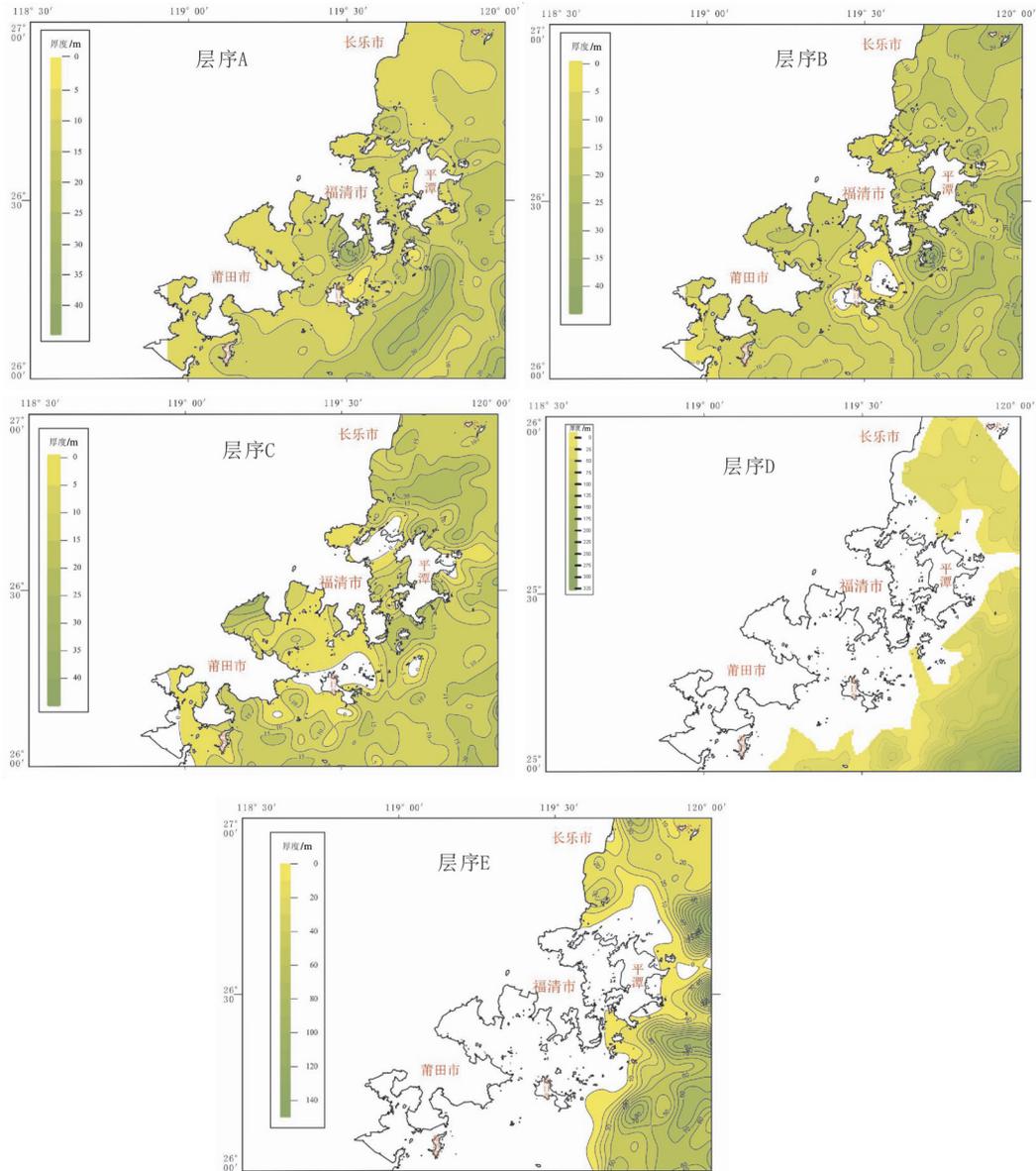


图3 层序A-层序E厚度图
Fig.3 Thickness of sequence A-E

发育范围较层序E大,研究区南部沉积厚度较大,而北部区域厚度较小。研究区海区西部部分区域基底隆起,层序上超在基底之上而缺失(图3)。

地震层序C(R_2-R_3):顶界面 R_2 与上覆地层为整合接触,底界面 R_3 与下伏地层为角度不整合接触。该层序主要为中频、中—弱振幅、中—高连续反射,具平行—亚平行结构,总体呈席状披盖外形。研究区海区西北部区域因底界面上超至基底而显示充填状低连续地震相。层序C基本上全区分布,厚度变化不大,总体较薄,西部部分区域基底隆

起,层序上超至基底而缺失(图3)。

地震层序B(R_1-R_2):层序内部结构总体表现为高频、中—强振幅、中—高连续反射层组,总体呈席状披盖或席状外形,局部呈乱岗状。但水体较浅,水动力条件显著增强,层序内部可见多处丘型、前积、下切谷等地震反射结构。随着海平面的上升,层序B全区分布,厚度较层序C变化不大(图3)。

地震层序A(R_0-R_1):层序内部反射层组大致以高频、弱振幅、高连续为特征,总体具平行和亚平行反射结构,局部见波状或发散反射结构,席状披

盖外形。平行—亚平行结构、弱振幅、高连续地震相分布在研究区大部分地区,沿海岸带呈北东走向展布,局部受到水流冲刷等的影响为波状,厚度无显著变化(图3)。

4.3 钻井资料及地层地质时代分析

钻井主要包括3套地层:全新统、上更新统和白垩统。W4钻井(图4)在73.5 m处钻遇灰白色流纹岩,锆石U-Pb同位素测年数据为 (92.64 ± 0.42) Ma,即晚白垩世早期。钻井跟地震资料都没有揭示出第四系之前的地层,所以,可基本判断该区 R_4 界面应该为第四系的底界面。根据钻井所测得的最老的光释光测年数据为86.2 ka来看, R_4 界面的地质年龄应该远老于该年龄。古地磁分析表明,该界面可能对应于120 ka前后的布莱克磁极性漂移事件,即晚更新世早期。因此,笔者推测 R_4 界面应该对应上更新统底界。 R_3 界面是该区最为明显的剥蚀不整合界面。从古地磁分析来看,该界面与拉尚磁极性漂移事件相对应。因此,利用钻井资料判断 R_3 界面为上更新统内部的一个界面,具有穿时性。从福建沿海资料的分析,可知从晚更新世海侵起始时间来看从北往南有由早—晚趋势(曾从盛等,1997;黄长煌,2018)。另外,末次盛冰期(18~22 ka)时海平面大幅下降,福建沿海陆架区基本出露于海平面之上,发生大规模地层剥蚀(周定成等,2011)。因此,笔者初步认为 R_3 界面的形成年代大致为18~45 ka。根据钻井的海洋底栖有孔虫的初现面位于23.3 m,孢粉草本植物蒿属花粉在20 m处骤降(蒿属花粉在末次冰期时大量出现,其含量的骤降可指示末次冰期的结束)。古地磁分析表明,该界面与哥德堡磁极性漂移事件相对应,即相当于全新世开始。综合分析认为 R_2 界面应对应于全新统底界。在全新统地层中,底栖有孔虫明显分为两个类群,分别代表不同的沉积环境,由陆架海滨有孔虫组合过渡为近岸浅海有孔虫组合,可能反映了一次海平面下降的过程。将全新统地层划为两段:上部为全新统上、中段,下部为全新统中、下段。钻井的 ^{14}C 测年数据表明, R_1 界面大致处于6~8 ka。通过与福建沿海地层对比,该界面应该对应于中、下全新统的分界,从岩性上来说更新世沉积物粗,沉积环境不稳定,有多次较为频繁的波动变化,水动力条件强;全新统沉积物细,沉积环境相对稳定,水动力弱(图4)。

4.4 典型地震相分析

地震相是由特定的地震反射参数所限定的三维空间地震反射单元,是沉积外形、岩性组合及叠置形式在空间的组合方式,在地震中客观显示出沉积环境,每一特征的地震相分别代表某一类沉积类型(孙美静等,2015)。研究区识别出的主要地震相如下:

席状平行—亚平行地震相(图5a)主要发育在主要呈席状外形,平行—亚平行结构,强振幅为主,局部与中、弱振幅互层,为高频,局部显示中频特征,连续性很好,厚度较稳定。该地震相反映的是相对稳定的低能沉积环境,推测其为滨岸平原相沉积。

前积结构地震相(图5b):以S形前积结构为主,可见斜交形前积,局部区域表现为多个前积结构的叠置,部分前积结构可见近端顶超、远端下超的现象;外形中间厚两端薄,呈楔状或梭状;中振幅为主,局部见强振幅;主要为中—高频、中—高连续。总体反映出一种距离物源较近、水动力条件强弱交替的沉积环境,分布在调查区东南部以及东北部。

下切谷充填地震相(图5c):中间呈“U”形或“V”形下切显示,为弱振幅;向两侧为平台状两翼,呈平行、亚平行结构,外部为强振幅边界,内部为弱振幅,总体为高频、中连续。反映出水动力非常强,水道成片分布,并且多期水道叠置发育,侵蚀水道的“U”形或“V”形范围沉积物充填后向两侧溢出,则显示为该水道两侧的平直“两翼”,外形呈“海鸥翼”,形成水道—天然堤岸复合沉积体。

充填状低连续地震相(图5d):以亚平行结构为主,局部呈现发散结构;外形因沉积基底埋深浅而显示下部为充填状,上部为席状;振幅以中—弱为主;频率以中—低频为主;连续性较低。总体反映一种距离物源较近,水动力条件较强的沉积环境,主要分布在研究区海区东部区域。

充填状杂乱地震相(图5e):外形因沉积基底埋深浅而显示出下部为充填状,上部为席状;振幅以中—弱为主;频率以中—低频为主;显示出杂乱地震反射结构。总体反映一种距离物源较近,水动力条件较强的沉积环境,分布于研究区海区中部区域。

5 沉积体系分析

沉积体系是被沉积环境和沉积过程联系起来

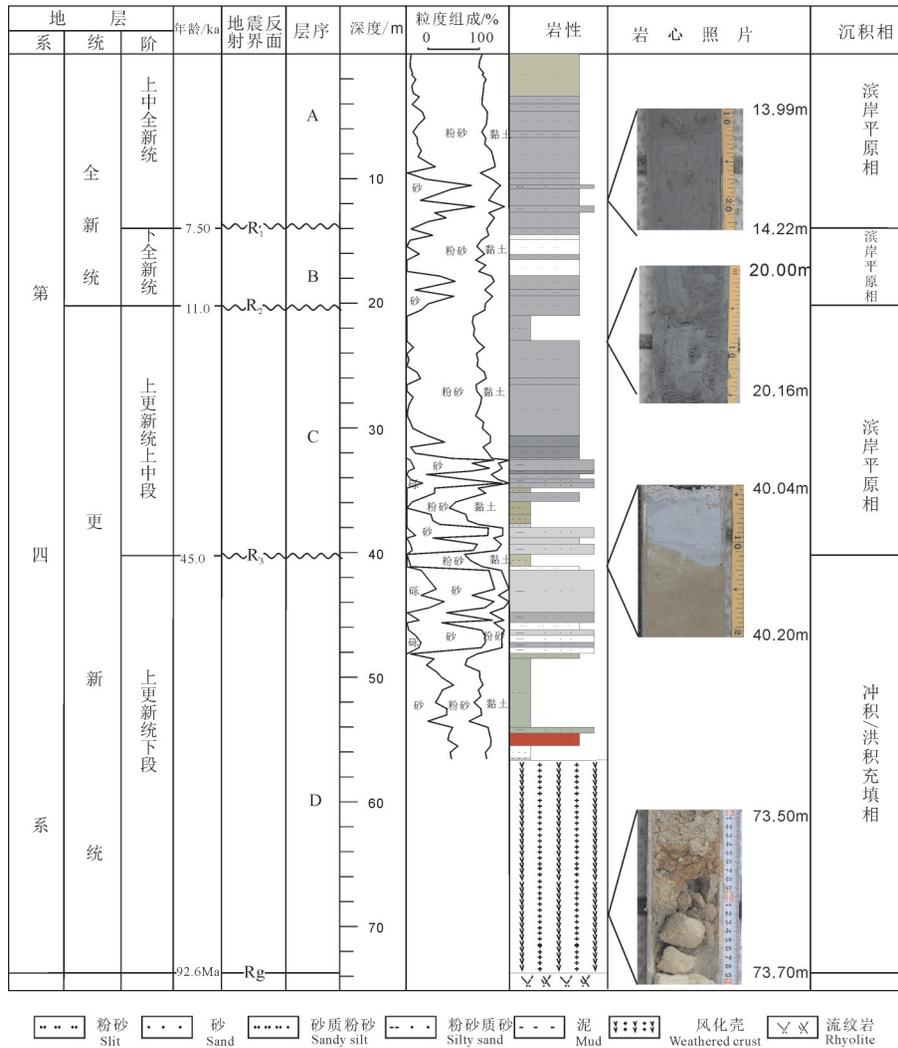


图4 W4井综合柱状图
Fig.4 Comprehensive histogram of W4 well in the study area

的沉积相在立体空间内的组合,沉积相是沉积体系的基本成因单元(周蒂,2002;于兴河等,2005)。通过地震层序学、层序地层学、分频解释等方法来建立精确等时地层格架,然后在等时地层格架的基础上研究沉积体系及其演化过程,使沉积体系和沉积相的研究更具有层次性和实用性(李桂范等,2009;王家豪等,2011;曾智伟等,2017)。依照“点-线-面”的分析思路,在钻井、地震相剖面、厚度图分析的基础上编制了研究区5个层序的沉积相图(图6),各平面图反映的特征如下:

5.1 层序E沉积相展布特征

地震剖面上的不整合界面R_g对应的是台湾运动,总体自NW向SE倾斜,仅局部有宽缓的褶皱,因

此台湾运动在海湾海峡西部并非剧烈的褶皱造山运动,而是区域性隆升和断块掀斜运动。层序E沉积时期基本处于暴露状态,前新生代火成岩基底被风化剥蚀,就近沉积于基岩隆起之间的洼陷中。从层序E沉积相平面分布图(图6e)可知,其主要发育于研究区东部,沿南北走向展布,在平潭岛东侧一线超覆于R_g不整合面之上。研究区没有钻井钻遇该地震层序,无法确切了解该层序的沉积物岩性特征。但根据邻近区域的钻井资料和地震相的分析可知,该层序以充填状低连续或杂乱反射为特征。根据以上综合分析可推测,该层序沉积时期,由构造运动和气候变化导致当时的海平面较低,主要发育强水动力条件下的近源堆积,物源主要为构造隆

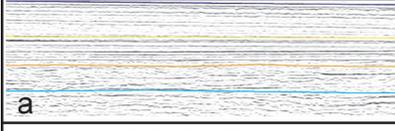
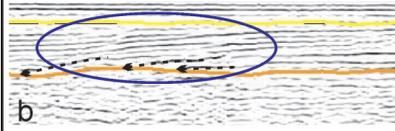
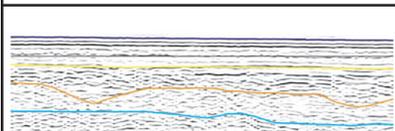
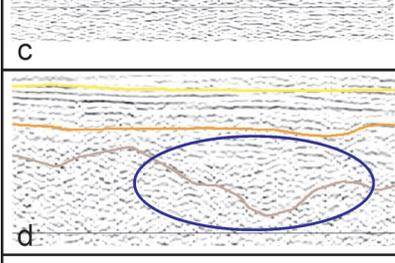
| 地震剖面实例 | 地震相特征 | 发育的层序 | 沉积相类型 |
|--|-------------|-------------|---------|
|  | 席状平行、亚平行地震相 | 层序A、层序B和层序C | 滨岸平原相 |
|  | 前积地震相 | 层序A | 三角洲 |
|  | 下切谷地震相 | 层序B | 下切水道 |
|  | 充填状低连续地震相 | 层序D和层序E | 冲/洪积平原相 |
|  | 充填状杂乱地震相 | 层序D和层序E | |

图5 地震相分类特征

Fig.5 Characteristics of seismic facies classification

起区的风化剥蚀产物。

5.2 层序D沉积相展布特征

层序D主要发育于各个海湾和湾口之外的开阔海域(图6d)。该层序中,除在平潭岛北侧以及兴化湾、湄洲湾湾口发育冲积/洪积平原相外,在其东部主要发育滨岸平原相沉积。其中钻井钻遇该层序,上段岩性主要为含砾砂,而下段为风化层,未能获取岩心,但推测应该为火成岩风化产物。从钻井的岩心特征可知,层序D砂含量相对较高,以粉砂岩和砂质粉砂岩为主,指示沉积环境不稳定,有多次较为频繁的波动变化。地震剖面显示,该套层系发育大量断层,其中大部分发育在R₃界面以下,少部分断层继续向上延伸,切穿R₃界面。受这些断层控制,此时期沉积作用多以断陷沉积为主,在地震剖面上表现为典型的地堑、半地堑构造。

根据层序D沉积相分布图可知其发育两种沉积相分别为:冲积/洪积平原相对应的地震相为低连

续、杂乱充填状反射。推测其当时沉积区距离物源较近,水动力条件较强,而平潭岛北侧的沉积物可能是平潭岛提供的物源;滨岸平原相发育于研究区东部,其对应的地震相为中—低连续、中振幅、中频率,其外部形态主要以席状为主,内部结构主要为平行—亚平行,推测当时的沉积环境稳定。

5.3 层序C沉积相展布特征

地震剖面(图6c)上,R₃不整合界面的下伏地层全部为向东南方向倾斜的斜层展布,其上覆的地层全部为近水平展布;下伏地层中断裂比较发育,且大部分断裂终止于R₃不整合界面,上覆地层中的断裂活动非常少,地层的发育不受断层的控制。

从层序C沉积相分布图可以看出,除湄洲湾内缺失外,在整个研究区均有分布。根据钻遇的岩心可知由下向上含砂量和粒度逐渐降低,由上升半旋回组成,表明一个海进的沉积过程,推测在更新世的海平面下降至最低点后,海平面进入了缓慢上升

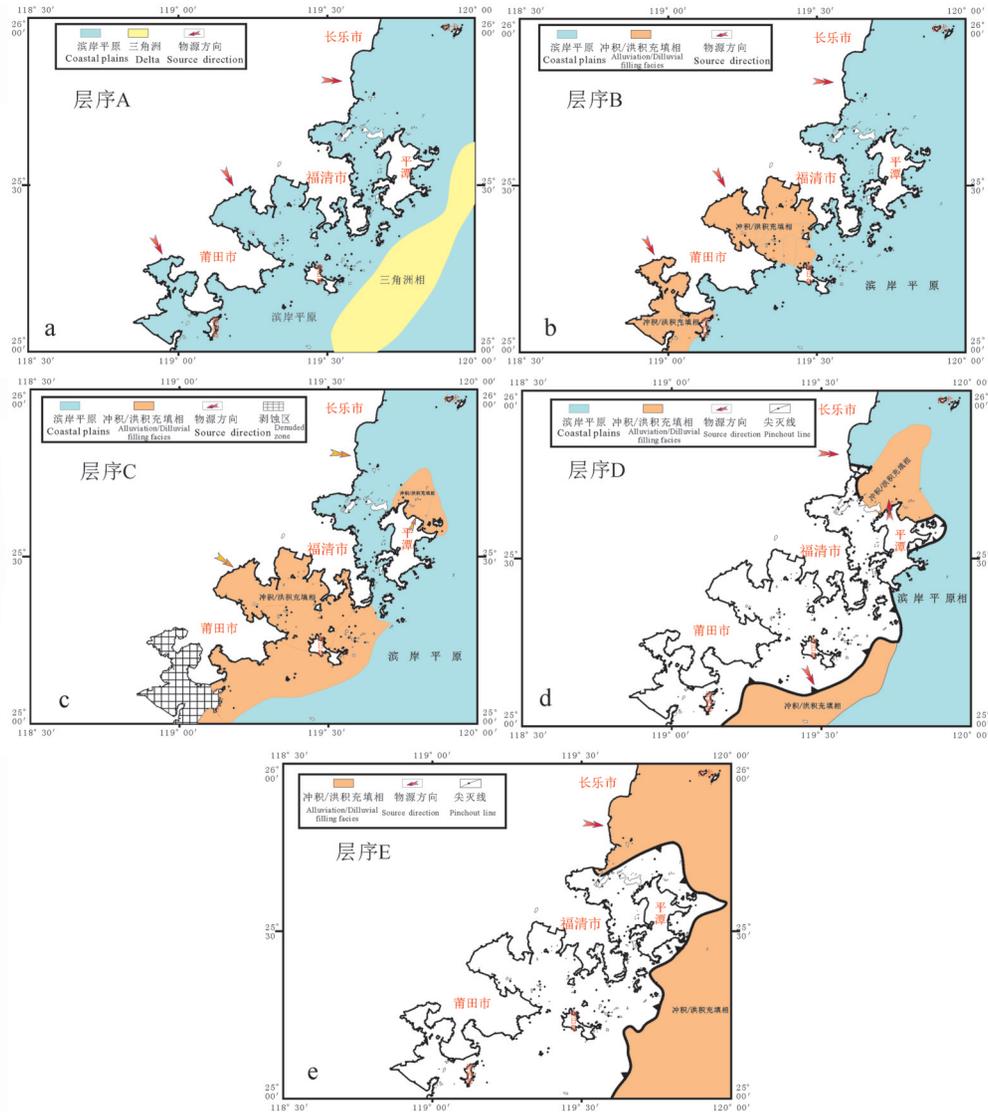


图6 沉积相平面分布图

Fig.6 Sedimentary facies of different sequences

的过程中,从而层序C比层序B的沉积范围更大,近岸局部小范围地层受冲刷剥蚀而缺失。该层序发育两类成因相类型。冲积/洪积平原相发育于研究区南部及平潭岛北侧,对应充填状低连续地震相,表明当时的沉积环境为海平面较低,沉积区距离物源较近,水动力条件较强,而平潭岛北侧发育的冲积/洪积平原相可能是由平潭岛提供的物源。滨岸平原相发育于研究区大部分,其对应的地震相为中—高连续、中—强振幅、中频率,其外部形态主要以席状为主,内部结构主要为平行—亚平行,推测当时的沉积环境稳定,水动力较弱。

5.4 层序B沉积相展布特征

层序B沉积相分布图(图6b)可以看出其分布于

整个研究区。从钻遇该层序的岩心来看,其岩性主要为砂质粉砂和粉砂。该层序由上升半旋回组成,表明随时气候变暖,海平面进一步上升,这与全球海平面变化相对应。该层序主要发育两类沉积相类型。除兴化湾和湄洲湾内发育冲积/洪积平原相外,研究区广泛发育滨岸平原相。滨岸平原相发育于研究区大部分,对应的地震相为中—高连续、中—强振幅、中频率,其外部形态主要以席状为主,内部结构主要为平行—亚平行,推测当时的沉积环境稳定,水动力较弱。从地震层序C到地震层序B时期,由于海平面上升,滨岸平原范围不断扩大;冲积/洪积平原相发育于研究区西部的兴化湾和湄洲湾内,对应的地震相为低连续、杂乱充填状,推测其当

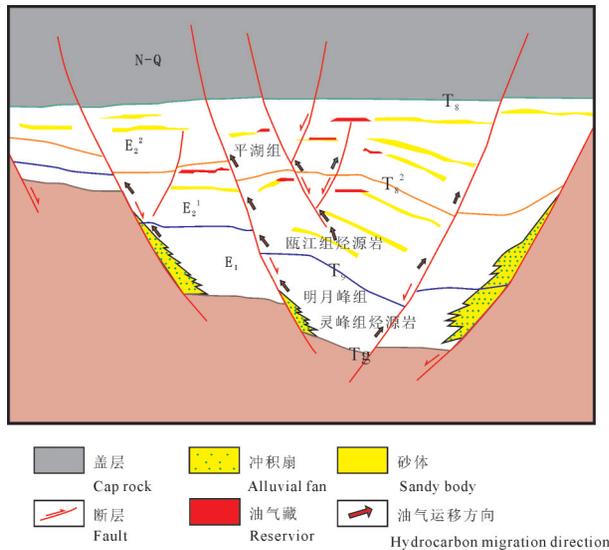


图7 台湾海峡西部油气成藏模式(据钱星, 2019 修改)
Fig.7 Hydrocarbon accumulation model in the western Taiwan Strait (modified from Qian Xing, 2019)

时的沉积环境为距离物源较近、水动力条件较强的冲积/洪积平原相。

5.5 层序A沉积相展布特征

全新世以来,全球气候显著转暖,末次冰期结束,海面大幅度波动上升,在4000~3000 a.B.P 福建沿海海侵达到了最高峰(钟建强, 1994; 张路等, 2009)。研究区全新世以来层序稳定发育,从钻遇该层序的岩心来看,其岩性主要为砂质粉砂和粉砂。整体上该层序由上升半旋回组成,表明海平面进一步上升。地震相特征为中—高连续、中—强振幅、中频率,其外部形态主要以席状为主,内部结构主要为平行—亚平行,推测当时的沉积环境稳定,水动力较弱,从下全新统到上中全新统发育时期,海平面不断上升,其滨岸平原相环境不断扩大(图6a)。东南部三角洲的主要物源可能为来自浙闽沿岸流携带的沉积物。

6 油气勘探前景分析

迄今为止,在台湾海峡东部地区有100多口钻井,发现了13个油气田和19个含油气构造。勘探证明台西盆地具有良好的油气远景。从前人勘探成果分析,福建陆域油气显示主要分布于中生界,而台湾海峡西部坳陷油气显示主要分布于新生界的古近系(金庆焕, 1993)。研究区东南部为晋江凹

陷,主力烃源岩主要为古新统的湖相烃源岩,其成熟度较高,始新统的海湾相烃源岩由于未达到成熟阶段,可作为次要烃源岩(高天钧, 1994; 傅志飞等, 2012)。储层集中在始新统(已在东海灵峰1井见油气),类型以三角洲及水下扇最优。新近系广泛发育的滨浅海相泥岩可作为良好区域盖层(李占东等, 2019)。台湾海峡西部坳陷为新生代坳陷,其形成主要受控于单剪切应力场,具有下断上坳的双层结构。古新世—始新世为断陷发育期,形成东断西超的箕状断陷(张莉等, 2019)。中新世以后,台西盆地内主控断裂基本停止活动,西部坳陷进入区域沉降阶段,此时海相沉积范围进一步扩大(层序E—层序A的沉积范围也不断扩大),坳陷大部分地区以浅海相沉积为主。早更新世至全新世时期的台湾运动对应与地震剖面反射层 R_6 (对应于图7的 T_8 界面),使新生界上升褶皱和推覆逆掩,此时为油气保存的关键期,根据图7可以看出 T_8 界面为一个大的区域不整合面, T_8 界面下覆的地层断层较多,也可以作为油气运移的通道;上覆的地层为新近纪和第四纪(本文的 R_0 — R_6 的年代都是第四系见图4),根据地震界面也可知其反射特征主要为平行—亚平行,岩性也以泥岩为主,而泥岩可作为良好的区域盖层。总体上,研究区内生储盖匹配关系良好,该区为台湾海峡西部进一步勘探的有利区域。

7 结论

(1) 运用高分辨率地震资料和钻井资料建立了台湾海峡西部海域地层格架,共识别出6个地震反射界面,自下而上分别为 R_6 、 R_4 、 R_3 、 R_2 、 R_1 、 R_0 ,结合区域地质背景和钻井资料可知 R_6 界面为第四系的底界面。 R_4 界面对应上更新统底界。 R_3 界面为全新世开始。 R_2 界面对应于全新统底界; R_1 界面应该对应于中、下全新统的分界。

(2) 基于层序内部的地震相参数,共识别出5种地震相,席状平行—亚平行地震相、前积结构地震相、下切谷充填地震相、充填状低连续地震相和充填状杂乱地震相,分析认为,席状平行—亚平行地震相为滨岸平原相;前积结构地震相为三角洲相;下切谷充填地震相为下切水道沉积、充填状低连续地震相和充填状杂乱地震相为冲积/洪积平原相。

(3) 层序E沉积时期由于台湾运动的影响,区域

性隆升和断块掀斜运动,使其处于暴露状态,由构造运动和气候变化导致当时的海平面较低,主要发育冲积/洪积平原相。层序D—层序C沉积时期,沉积环境不稳定,有多次较为频繁的波动变化,总体来说海平面处于上升趋势,从而其沉积范围不断扩大。层序B—层序A沉积时期,全球气候显著转暖,末次冰期结束,海面大幅度波动上升,在4000~3000 a.B.P 福建沿海海侵达到了最高峰,层序B—层序A沉积范围不断扩大。

References

- Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. 2000. Sediment volume partition principle: theory basis for high-resolution sequence stratigraphy[J]. Earth Science Frontiers, (4): 305–313(in Chinese with English abstract).
- Du Wenbo, Sun Guihua, Su Yu, Nie Xin. 2015. Reservoir prediction based on seismic multi-attributes analysis: Example from Paleogene Enping Formation of Enping sag in the Pearl River Mouth Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 31(8):64–72(in Chinese with English abstract).
- Fu Zhifei, Jiang Xiongying, Wang Haiping, Wang Guangtao. 2012. Geological features and hydrocarbon prospect of the western depression[J]. Marine Geology Frontiers, 28(7):30–35(in Chinese with English abstract).
- Gao Tianjun, Huang Hui. 1994. Tectonic characteristics and evolution of the Taiwan Strait[J]. Acta Geologica Sinica, 68(3): 197–207(in Chinese with English abstract).
- Huang Changhuang. 2018. Zircon U–Pb isotopic geochronology of Tongao schist in Taiwan and its geological significance[J]. Geology in China, 45(1):81–94(in Chinese with English abstract).
- Huang Ciliu, Liu Zuhui. 1987. Preliminary interpretation of the data from a geophysical investigation in Taiwan Strait[J]. Tropic Oceanology, 6(2):95–96(in Chinese with English abstract).
- Huang Zhao, Wang Shanxiang. 2006. Tectonic features and activity of Binhai fault in Taiwan Strait[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 26(3):16–22(in Chinese with English abstract).
- Jin Qinghuan, Gao Tianjun, Zhou Changfan. 1993. The Tectonics and Petroleum Geology of Taiwan Strait Region in Mesozoic–Cenozoic[M]. Fuzhou: Fujian Science & Technology Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Li Guifan, Li Jianpin, Wang Genzhao, Chen Jianchun, Gong Huijie. 2009. Control of structure–paleogeomorphology on the deposition of the lower part of the third member of the Paleogene Shahejie Formation in the Qingdong sag of the Bozhong depression[J]. Oil & Gas Geology, 30(4): 425–430(in Chinese with English abstract).
- Li Zhandong, Zhao Jiabin, Zhang Rixin, Li Li, Hai Hujun, Huang Jinda, Li Zhong. 2019. Tectonic framework of Taiwan and its petroleum geological significance[J]. Progress in Geophysics, 34(5):1776–1784.
- Liu Jinshui, Liao Zongting, Jia Jianyi, Zhou Zhuyi, Yang Juan. 2003. The geology structure and tectonic evolution of the East China sea shelf basin[J]. Offshore Oil, 87(3):1–6(in Chinese with English abstract).
- Liu Zhenhu, Wang Yingmin, Wang Hairong. 2006. Characteristics and evolutions of geologic structures in the Taiwan strait basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 26(5): 69–75(in Chinese with English abstract).
- Peng Xuechao, Yao Bochu. 1993. Seismic stratigraphic analysis of the western Taiwan strait[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 13(2): 49–63(in Chinese with English abstract).
- Qian Xing, Zhang Li, Yi Hai, Wei Zhenquan, Lei Zhenyu, Luo Shuaibing. 2018. Key Cenozoic tectonic transformation in Jiulongjiang Sag, Taiwan Strait Basin and its petroleum geologic significance[J]. Oil & Gas Geology, 40(1): 162–169(in Chinese with English abstract).
- Sun Meijing, Peng Xuechao, Nie Xin, Liu Jie. 2001. Pliocene–Quaternary shelf–edge depositional a system on the Northern Slope Of Baiyun Sag, the Pearl River Mouth Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 22(2): 38–43(in Chinese with English abstract).
- Wang Guochun. 1993. Geological structural characteristics and oil prospects of Taiwan Straits[J]. Acta Petrolei Sinica, 14(3):10–19 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiahao, Liu Lihua, Chen Shenghong, Shang Yale. 2011. Tectonic–sedimentary responses to the second episode of the Zhu–Qiong movement in the Enping Depression, Pearl River Mouth Basin and its regional tectonic significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 32(4):588–595(in Chinese with English abstract).
- Wei Zhenquan, Zhang Li, Shuai Qingwei, Yi Hai, Qian Xing, Lei Zhenyu, Wang Yantang. 2001. Application of balanced cross section technique to the study of tectonic evolution of western Taiwan Strait Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 22(2): 38–43(in Chinese with English abstract).
- Yu Hexing, Chen Nuqing. 1996. The sedimentary basin of offshore Taiwan[J]. Offshore Oil, (3):31–39 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xinghe, Zhang Zhijie. 2005. Characteristics of Neogene depositional systems on the northern continental slope of the South China Sea and their relationships with gas hydrate[J]. Geology in China, 32, (3):470–476(in Chinese with English abstract).
- Zeng Congsheng. 1997. Transgressions and sea level changes along the northeast coast of Fuian during the Late Quaternary[J]. Nature Science 13(4):94–101(in Chinese with English abstract).
- Zeng Zhiwei, Zhu Hongtao, Yang Xianghua, Xia Chenchen, Chen Ying, Han Yinxue. 2017. Provenance transformation and sedimentary evolution of Enping Formation, Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Earth Science, 42(11): 197–207(in Chinese with English abstract).
- Zhang Li, Lei Zhenyu, Xu Hong, Shuai Qingwei, Luo Shuaibing, Qian Xing. 2019. Sedimentary features and geological conditions for hydrocarbon generation and accumulation in Taixi Basin[J]. Oil & Gas Geology, 40(1):152–161.
- Zhang Lu, Qu Guosheng, Chen Jianqiang. 2009. Tectonic subsidence of Quaternary basins in coastal area of Southeast Fujian Province[J].

- Quaternary Sciences, 29(3): 633–640(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yingjie, Guo Yandong. 2010. Research on sequence stratigraphy and depositional features of Paleogene System of Oujiang Sag in the East China sea[J]. Offshore Oil, 30(4):15–19(in Chinese with English abstract).
- Zhen Qiugen, Zhou Zhuyi, Cai Liguang, Lu Yongde, Cao Qinggu. 2005. Mes–Cenozoic tectonic setting and evolution of East China sea shelf basin[J]. Oil & Gas Geology, 26(2):197–201(in Chinese with English abstract).
- Zhong Jianqiang, Huang Ciliu, Zhan Wenhuan, Liu Diguang. 1994. Evolution of Cenozoic sedimentary basin in Taiwan strait[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 8(3):21–28(in Chinese with English abstract).
- Zhou Di. 2002. Mesozoic strata and sedimentary environment in SW Taiwan basin of the South China Sea and Peikang high of western Taiwan[J]. Tropic Oceanology, 21(2): 50–57(in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingcheng, Sun Quan, Xu Zhifeng. 2011. Discussion on the evidence of three Late–Pleistocene “transgressions” in the western Taiwan Strait waters[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait 30(3):324–329(in Chinese with English abstract).
- Zhu Hongtao, Liu Keyu, Zhu Xiaomin, Jiang Zaixing, Zheng Hongliu, Chen Kaiyuan. 2018. Varieties of sequence stratigraphic configurations in continental basins[J]. Earth Science, 43(3):770–785 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Mengjia, Wu Ziyin, Ma Shengzhong, Shang Jihong, Liang Yuyang, Zhou Jieqiong, Li Shoujun, Zhou Dineng. 2016. High resolution seismic stratigraphy research in the Taiwan strait since late Pleistocene[J]. Acta Oceanologica Sinica, 38(9):76–88(in Chinese with English abstract).
- 邓宏文, 王红亮, 宁宁. 2000. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础[J]. 地学前缘, (4):305–313
- 杜文波, 孙桂华, 舒誉, 聂鑫. 2015. 基于地震多属性的储层预测——以珠江口盆地恩平凹陷古近系恩平组为例[J]. 海洋地质前沿, 31(8):64–72.
- 傅志飞, 姜雄鹰, 王海平, 王光涛. 2012. 台西盆地西部拗陷地质特征及油气前景[J]. 海洋地质前沿, 28(7):30–35.
- 高天钧, 黄辉. 1994. 台湾海峡地质构造特征及演化[J]. 地质学报, 68(3):197–207.
- 黄长煌. 2018. 台湾东澳片岩锆石 U–Pb 年龄及地质意义[J]. 中国地质, 45(1): 81–94.
- 黄慈流, 刘祖惠. 1987. 台湾海峡地球物理调查资料初步分析[J]. 热带海洋, 6(2):95–96.
- 黄昭, 王善雄. 2006. 台湾海峡滨海断裂带的构造特征与活动性[J]. 大地测量与地球动力学, 26(3):16–22.
- 金庆焕, 高天钧, 周昌范. 1993. 台湾海峡中、新生代地质构造及油气地质[M]. 福州:福建科学技术出版社.
- 李桂范, 李建平, 王根照, 程建春, 宫海婕. 2009. 渤中拗陷青东凹陷古近系沙三下亚段构造–古地貌对沉积的控制[J]. 石油与天然气, 30(4): 425–430
- 李占东, 赵佳彬, 张日新, 李丽, 郝沪军, 黄进达, 李中. 2019. 台湾大地构造格局及其对油气的地质意义[J]. 地球物理学进展, 34(5): 1776–1784.
- 刘金水, 廖宗廷, 贾健谊, 周祖翼, 杨娟. 2003. 东海陆架盆地地质结构及构造演化[J]. 上海地质, 87(3):1–6.
- 刘振湖, 王英民, 王海荣. 2006. 台湾海峡盆地的地质构造特征及演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 26(5):69–75.
- 彭学超, 姚伯初. 1993. 台湾海峡西部地震地层分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 26(2):49–63.
- 钱星, 张莉, 易海, 韦振权, 雷振宇, 骆帅兵. 2018. 台湾海峡盆地九龙江凹陷新生代关键构造变革及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 40(1):162–169.
- 孙美静, 彭学超, 聂鑫, 刘杰. 2015. 珠江口盆地白云凹陷北坡上新世–第四纪陆架边缘沉积体系特征[J]. 海洋地质前沿, 31(8):41–46.
- 王国纯. 1993. 台湾海峡地质构造特征及油气探讨[J]. 石油学报, 14(3):10–19.
- 王家豪, 刘丽华, 陈胜红, 尚亚乐. 2011. 珠江口盆地恩平凹陷珠琼运动二幕的构造–沉积响应及区域构造意义[J]. 石油学报, 32(4): 588–595
- 韦振权, 张莉, 帅庆伟, 易海, 钱星, 雷振宇, 王衍棠. 2018. 平衡剖面技术在台湾海峡盆地西部构造演化研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 38(5):193–201.
- 俞何兴, 黄富文. 1996. 台湾海峡及东南南部新生代层序地层[J]. 海洋石油, 3:31–39.
- 于兴河, 张志杰. 2005. 南海北部陆坡区新近系沉积体系特征与天然气水合物分布的关系[J]. 中国地质, 32(3):470–476.
- 曾从盛. 1997. 闽东北沿海晚第四纪海侵与海面变动[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 13(4):94–101.
- 曾智伟, 朱红涛, 杨香华, 夏晨晨, 陈莹, 韩银学. 2017. 珠江口盆地白云凹陷恩平组物源转换及沉积充填演化[J]. 地球科学, 42(11): 197–207.
- 张莉, 雷振宇, 许红, 帅庆伟, 骆帅兵, 钱星. 2019. 台西盆地地层沉积特征与成烃–成藏地质条件[J]. 石油与天然气地质, 40(1):152–161.
- 张路, 曲国胜, 陈建强. 2009. 福建东南沿海第四纪盆地构造沉降[J]. 第四纪研究, 29(3):633–640.
- 赵英杰, 郭艳东. 2010. 东海陆架盆地瓯江凹陷古近系层序地层学与沉积特征研究[J]. 海洋石油, 30(4):15–19.
- 郑求根, 周祖翼, 蔡立国, 陆永德, 曹清古. 2005. 东海陆架盆地中新世构造背景及演化[J]. 石油与天然气地质, 13(2):197–201.
- 钟建强, 黄慈流, 詹文欢, 刘帝光. 1994. 台湾海峡新生代沉积盆地的演化[J]. 中国海上油气地质, 8(3):21–28.
- 周蒂. 2002. 台西南盆地和北港隆起的中生界及其沉积环境[J]. 热带海洋学报, 21(2):50–57.
- 周定成, 孙全, 许志峰. 2011. 台湾海峡西部海域更新世3次“海侵”依据的探讨[J]. 台湾海峡, 30(3):324–329.
- 朱红涛, 刘可禹, 朱筱敏, 姜在兴, 曾洪流, 陈开远. 2018. 陆相盆地层序构型多元化体系[J]. 地球科学, 43(3): 770–785.
- 周勤佳, 吴自银, 马胜中, 尚继杨, 周洁琼, 李守军, 赵获能. 2016. 台湾海峡晚更新世以来的高分辨率地震地层学研究[J]. 海洋学报, 38(9):76–88.

附中文参考文献