

张馨予, 曹敬贺, 赵芳, 等. 珠江口海域 NW 向断裂的地震学特征及意义[J]. 华南地震, 2019, 39(4): 1-9. [ZHANG Xinyu, CAO Jinghe, ZHAO Fang, et al. Seismological Features and Geological Implication of the NW Faults in the Pearl River Estuary[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(4): 1-9]

珠江口海域 NW 向断裂的地震学特征及意义

张馨予^{1,2}, 曹敬贺¹, 赵芳¹, 王力伟^{3,4}, 熊成¹, 夏少红¹

(1. 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国地震局地震观测与地球物理成像重点实验室 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081;

4. 广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 珠江口地区是我国重要的经济发达区域, 断裂控制了珠江三角洲的拗陷和水系发育, 同时也控制了珠江口盆地南北分带、东西分块的构造格局。目前, 关于珠江口海域 NW 向断裂的探测还不够深入, 系统认识和理解该地区 NW 向断裂是否自陆地延伸到海区, 及其延伸至海区后的展布位置和发育特征, 不仅可以揭示珠江口海域 NW 向断裂陆—海一体化构造特征, 而且可以为珠江三角洲的工程建设、资源开发提供重要的地质信息, 同时可以辅助该区地震等灾害监测机制的完善。以 2015 年获取的反射地震数据为基础, 在地震剖面中确定了西江断裂、淇澳—桂山岛东断裂由陆向海延伸情况。西江断裂在区域内表现为一组走向 NW、倾向各异的高角度正断层, 基底断距达 1 km 左右。淇澳—桂山岛东断裂为走向 NW、倾向西南、倾角约 45°的正断层, 研究区内断裂的断距约 300 m, 与担杆岛以南的一段相比断距有明显增大的趋势。反射地震剖面也揭示了 NW 向断裂在该区域将滨海断裂带错断为三段, 对地形的控制自陆向海逐渐减弱。虽然珠江口地区的主要控震构造为 NEE 向断裂, 但 NW 向和 NEE 向断裂交汇构造区是主要的应力积累区, 为地震多发区, 说明 NW 向断裂在地震活动性方面也发挥了很重要的作用。

关键词: 珠江口海域; 反射地震; 西江断裂; 淇澳—桂山岛东断裂

中图分类号: P315.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2019)04-0001-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.04.001

Seismological Features and Geological Implication of the NW Faults in the Pearl River Estuary

ZHANG Xinyu^{1,2}, CAO Jinghe¹, ZHAO Fang¹, WANG Liwei³, XIONG Cheng¹,
XIA Shaohong¹

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

收稿日期: 2019-05-10

基金项目: 国家自然科学基金(U1701641, 41506046, 41576046); 广东省自然科学基金项目 (2017A030311015); 中科院边缘海与大洋地质重点实验室开放基金项目(MSGL15-05)

作者简介: 张馨予(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事地震数据处理与解释工作。

E-mail: zhangxinyu16@mailsucas.edu.cn.

3. Key Laboratory of Seismic Observation and Geophysical Imaging, Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China; 4. Guangzhou Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

Abstract: The Pearl River Estuary (PRE) is an important economically developed area in China. The fault controls the depression and water system development of the Pearl River Delta, which also dominates the framework that belts in south-north and blocks in east-west in the Pearl River Estuary Basin (PREB). At present, the research on NW-trending faults in PRE is very scarce. A systematic understanding of whether the major faults in this area extend from onshore to offshore, and their geometric characteristics after extending to offshore area, which can not only reveal the NW-trending land-sea integrated structural features of the PRE, but also provide important geological information for project construction and resource development in Pearl River Delta. Based on reflection seismic data acquired in 2015, this paper determines the extension of Xijiang fault (XJF) and Qi'ao-Guishan fault (QGF) from land to sea in seismic profile. The XJF appears as a group of high-angle normal faults with NW strike and different inclinations in the region, and the basement fault distance is about 1 km. The QGF is a normal fault that strikes northwest, tends to the southwest with a dip angle of about 45° . The fault distance is about 300 m, which exhibits a significant increase compared to the south section of the Dangan islands. The reflection seismic profiles also reveal that the NW-trending fault divides the Littoral Fault Zone (LFZ) into three sections in this region, and topographic control gradually weakened from land to sea. Although the main seismogenic structure in PRE is NEE-trending faults, and the intersection of NW-trending and NEE-trending faults is the main stress accumulation area, indicating that NW-trending faults also play an important role in seismicity.

Keywords: Pearl River Estuary; Reflection seismic; Xijiang fault; Qi'ao-Guishan fault

0 引言

南海位于欧亚板块、太平洋板块和印—澳板块的交汇处,是西太平洋最大的边缘海之一^[1]。南海北部陆缘位于华南地块和南海海盆的过渡地带,断裂构造极为发育,晚中生代西太平洋板块向欧亚大陆俯冲以及新生代陆缘裂解导致不同走向断裂的错综复杂^[2],同时该地区也保存了南海海底扩张的演化过程和演化历史的许多重要信息^[3-4]。国内外众多学者在南海北部陆缘开展了广泛的研究,并取得了一系列重要成果^[5-8]。

随着地质、地球物理研究工作的不断积累,珠江口地区 NEE 向和 NE 向断裂的地质地震学特征被反复研究探讨,但关于 NW 向断裂的研究仅仅集中在华南沿海的大陆地区,对于 NW 向断裂自陆向海的延伸形式及其在海域的走向等几何学特征的研究寥寥无几,现有的大部分研究也主要着眼于岛屿的露头剖面^[9-11]。珠江三角洲是我国经济最发达的地区之一,该地区不仅人口众多又是许多大型基础设施建设的场所,其区域稳定性更与粤港澳等大型城市的安全发展息息相关,位于该地区的珠江口盆地亦是重要的资源盆地。因此,

详细研究珠江口海域 NW 向断裂的发育特征,不仅有利于探讨断裂对南海北部陆缘发育演化的控制作用,而且对整个珠江三角洲地区的防震减灾有重要意义。本文选取珠江口外海域 3 条 NE 向多道地震剖面,以 NW 向剖面为辅助,对珠江口海区 NW 向断裂发育特征进行详细研究,意在探明该区 NW 向断裂是否向海延伸以及这些断裂向海延伸的特征;对比 NW 向断裂陆—海特征的延伸性,分析与滨海断裂带之间的切割关系以及对本区控震机制的影响,并探讨该海域 NW 向断裂的成因及其构造意义。

1 地质背景

南海北部陆缘的断裂构造极为发育,主要分布有 NE、NW 和 NEE 三组,NE 向断裂主要形成于中生代,在燕山期活跃,在中、新生代经历了压剪和张剪性的变化,新近纪以来进入晚期演化阶段而活动性减弱;NEE 向断裂主要形成于前中生代,在新生代南海张裂演化期间表现为张性正断层性质,并兼有右行走滑特征,在区内广为发育;NW 向断裂在新构造运动期间表现出较强的活

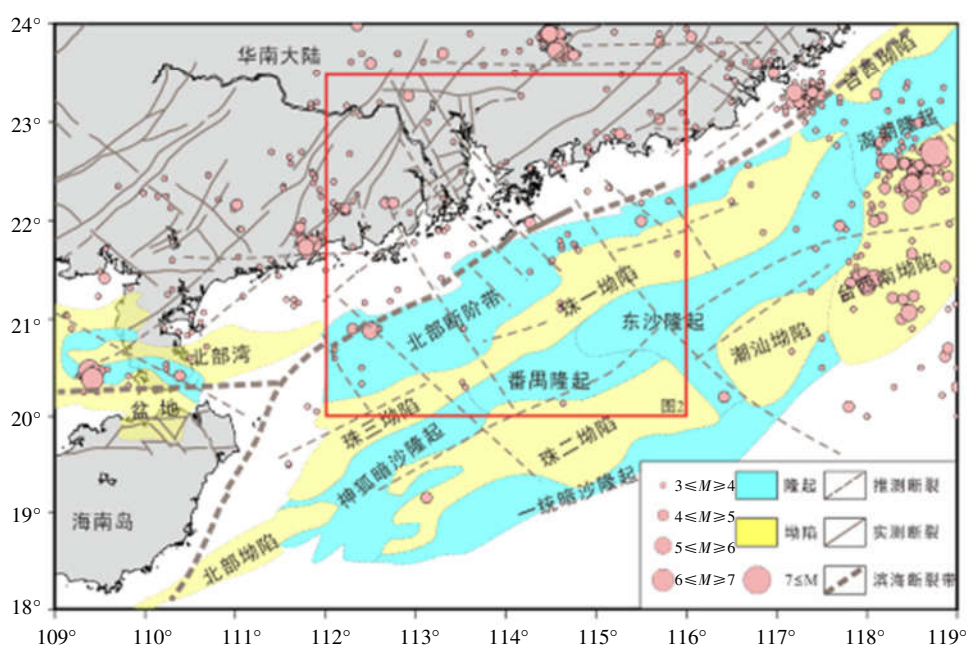
动性,多为盖层至地壳断裂,由于其新生性往往截切错断 NEE 向断裂,与 NE 向和 NEE 向断裂相比规模较小,以张剪性为主^[12-15](图 1)。

珠江口地区位于南海北部陆缘中部,经历了晚白垩纪—早渐新世的多幕拉伸断陷阶段、晚渐新世—中中新世的拗陷阶段以及晚中新世至今的断块升降及区域热沉降阶段等构造演化阶段^[6]。在新生代期间,珠江口盆地构造演化的主要受太平洋和菲律宾海板块俯冲挤压、印支地块与欧亚板块碰撞和南海扩张等等因素影响^[8,13]。该区域的沉积基底主要由 NEE、NE 和 NW 向三组断裂构成,南海第一次扩张中受相同的应力场作用形成的 NE 向和 NW 向断裂,属共轭断裂系,为左行剪切性质;在南海二次扩张期间应力场转变, NW 向断裂转为右行剪切继承性活动,二者共同控制着珠江三角洲的地质构造^[6,12-13]。在珠江口地区, NEE 向断裂是主要的控震构造,许多大型山脉和水系亦受其控制,目前对于珠江口地区断裂构造的研究主要集中在 NEE 向和 NE 向断裂系统^[14,16-18]。由于特殊的构造意义,刘以宣^[9]综合以往对于华南沿岸的断裂构造工作,首次提出了滨海断裂带这一概念,学者们逐渐认识到华南沿岸大陆与南海北部陆架在构造格局上存在明显的分区性。滨海断裂带是南海北部一个重要的活跃构造带,该断裂带全长达 1000 多公里,整体沿岸线展布,分布于 30~50 m 水深线,走向呈 NEE—NE 向,该断裂带起源于晚古生代华力西晚期,形成于

印支期,新生代再活动^[19],被认为是华南亚板块正常型陆壳与南海亚板块减薄型陆壳的分界断裂^[20]。该区域滨海断裂带被 NW 向断裂错切为多段,在剩余重力异常图和垂直一阶导数图上可以观察到狭长的重力异常高速条带^[21-22]。

珠江三角洲沉积区的断块差异沉降、河道变迁可能受 NE 向和 NW 向断裂共轭联动、共同控制^[23]。NW 向的西江断裂控制着珠江三角洲的西部边界,也是该区域第四纪以来拗陷和水系分布的主要控制者^[12,24-25]。西江断裂整体隐伏发育在西江下游沿岸,由北向南依次经过四会、鹤山、江门,最后到达珠海磨刀门后沿入南海,全长约 200 km。由于断裂两盘的差异运动,以西江断裂为界,其东北一侧发育珠江三角洲断块沉积,断裂走向与西江近似平行,西江河谷在该断裂的控制下形成。西江断裂是张裂性质的正断裂,走向在 320°~340°之间,倾角大于 70°,主要为北东倾向,在西江河谷部分地区的河道两岸呈倾向相对的一组断裂^[26-28]。

珠江口断裂带是珠江口地区一个规模较大、活动性较强的断裂带,淇澳—桂山岛东断裂是该断裂带的一个次级断裂。淇澳—桂山岛东断裂北起淇澳岛,南下延伸至牛头岛和桂山岛东部水域,可分为南北两支,不同地段的活动性存在较大差异。该断裂总体走向大约 320°,全长 80 km 左右,倾向北东。根据磁异常推测,该断裂可能南延至担杆列岛并与滨海断裂带交切^[29-30]。



(红色方框为图 2 位置,断裂及构造单元据陆成斌等^[14],Zhu et al.^[20],程世秀等^[8],地震数据来源于中国地震台网中心)

图 1 华南大陆和南海北部陆缘构造及地震活动分布图

Fig.1 Tectonic and seismicity distribution map of South China and the north continental margin of SCS

惠东—北卫滩断裂带(图 2)在中生代和新生代长期活动,始于惠州东北侧,经惠东入红海湾至南卫滩,止于东沙岛西南,切割 NE 向和 NEE 向断裂,断裂带东侧分布有中生代岩浆和中生代海相沉积岩,西侧主要为中生代岩浆岩,因此该断裂带是控制了珠江口盆地东西两侧沉积基底构造差异的重要基底断裂^[31]。

2 数据和方法

为了推进珠江三角洲地区防震减灾工作的发展,广东省地震局实施了珠江口区域海陆联合三维地震构造探测项目,在该项目的支持下,广东省地震局、中国科学院南海海洋研究所和中国地震局物探中心于 2015 年在珠江口海域实施了大型海陆联合地震探测试验,该试验采集获得了大量的反射与折射地震数据。这次试验在珠江口外海域共采集了二维反射地震测线 13 条,其中包括 NE 向测线 3 条,每条测线长约 210 km; NW 向测线 10 条,每条测线长度在 115~145 km 之间,NE 和 NW 向测线呈网格交错分布,区域水深为 25~90 m。海上作业由“海调 6 号”科考船完成,船只航行过程中使用差分全球定位系统(DGPS)进行导航和定位,震源系统为 4 支大容量 Bolt 气枪所组成

的枪阵,总容积 6000 in³,放炮间隔 80 s,船速约为 5 节,炮间距约 200 m;地震信号接收系统为 24 道固体缆,道间距为 3.125 m,记录采用 GEODE 数字地震记录系统,采样间隔 1 ms,记录长度 6 s;同时使用 Hypack 导航系统精确记录每个炮点的位置信息,地震数据保存为国际通用的 SEGY 格式数据。在室内数据处理过程中我们首先将原始导航数据依据航向对炮点和接收器进行位置校正,利用 SU 软件集合包,可视化读取 SEGY 数据并转换为 SU 格式数据,并将位置信息写入道头文件,同时进行时深转换,最后通过滤波、增益等操作绘制每个检波器的单道地震剖面图。使用 Kingdom 8.8 地震资料解释软件对地震剖面图进行沉积基底层位追踪以及断层位置解释。数据的时深转换速度模型结合了两组经验公式:浅部参考基于 XJ33-2-1A 钻井数据结合陆架区地层较浅的特征,用 DataFit8.0 软件拟合的 3 次多项式^[32];深部是基于垂直地震剖面(VSP)深度的时间深度,利用区域时间深度转换经验公式校正而得到的适用于深部地震解释的时深转换二次多项式^[33],该方法对于珠江口大部分研究区域,沉积基底埋深的最大误差小于 100 m,而水深小于 300 m 时的最大误差不超过 200 m。本研究主要基于 3 条 NE 向反射地震剖面,重点对海域 NW 向断裂开展了详细研究。

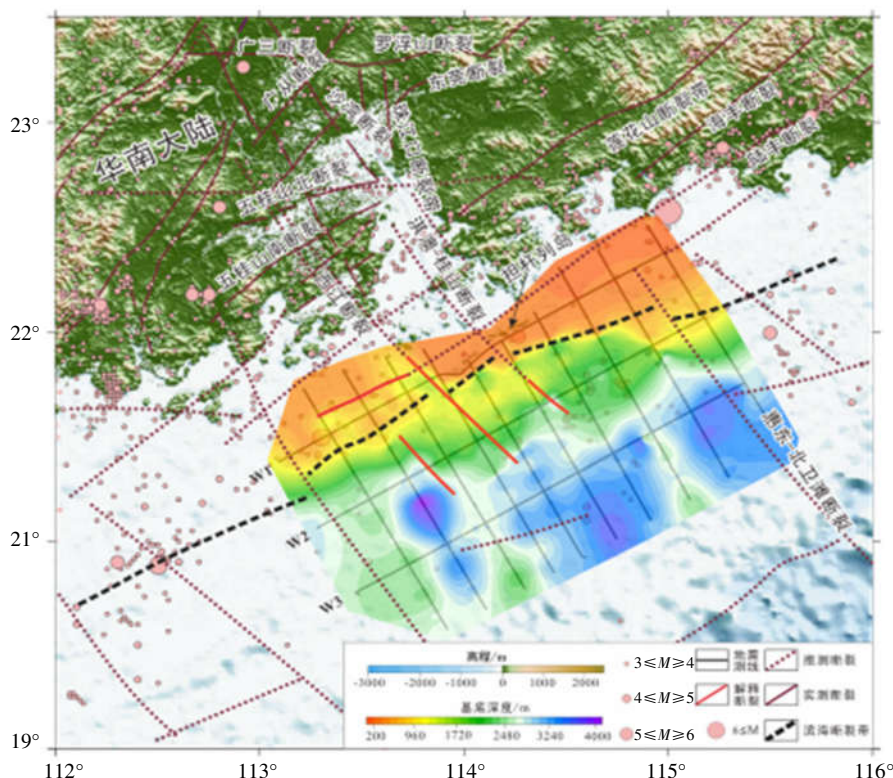


图 2 2015 年珠江口地区海陆联合探测多道地震测线及研究区沉积基底深度分布图

Fig.2 The distribution of reflection seismic line and basement depth in PRE area

3 断裂控盆、控震的地震学特征与地质特征分析

我们利用珠江口海域获取的 13 条反射地震剖面,首先开展了研究区沉积基底界面埋深分布的研究,通过对 13 条反射数据的时深转换,并从地震剖面图上识别出基底界面。在 W1 剖面(图 3)和 W2 剖面(图 4)中,沉积基底反射界面受断裂控制发生破碎且基底深度变化较大;W3 剖面(图 5)的海底面以下表现为层状地层的发育,基底界面不易识别,通过 NW 向测线与其交点位置的基底投影确定基底层位,可看出 W3 剖面中基底界面局部有微小错动,极可能也是受一些断裂影响且这种错动自基底延伸至沉积层的上部,可能显示断裂的最新活动痕迹。从沉积基底深度分布(图 2)可以发现,基底埋深从珠江口向海域逐渐增厚,研究区东北部沉积基底深度较浅,担杆列岛及以东地区沉积基底埋深大约在 200 m 到 500 m,而在研究区西南部的基底埋深较深,最深可以达到 4000 m 左右,且存在一条明显的 NEE 走向的沉积基底埋深急剧变化的陡变带,反映了滨海断裂带对该海域沉积层发育具有主控效应;沉积基底在总体上 NEE 走向的同时,也发现一些局部的 NW 向沉积基底变化带,这些变化带应该受控于 NW 向断裂。从图 2 的分布情况我们认识到该地区基底明显受 NEE 向滨海断裂带的影响和控制,沉积基底陡变带与滨海断裂带的走向保持一致,同时该基底在局部地区也被几个 NW 向断裂切断,并在断裂影响下沉积基底深度变化较为剧烈,NW 向断裂对沉积层具有次一级的控制和影响。在 NEE 与 NW 向断裂交接构造附近,沉积基底埋深存在局部更深的现象,说明两组不同走向交错断裂的交接构造部位表现为沉积局部中心区,沉积层的发育明显要厚于其它周边地区。

图 2 中棕色实线表示实测断裂构造,棕色虚线表示推测断裂构造,黑色虚线为滨海断裂带,红色实线表示根据研究测线解释的断裂构造。

3.1 NW 向断裂在珠江口海域的延伸

在多道地震剖面 W1 上识别出了西江断裂在海区的延伸状态及其构造特征(图 3)。西江断裂为张裂性质,陆上的西江河道正是其断裂活动作用下的产物,西江断裂是多条断裂组成的一组断裂带,在陆上水系两侧表现为倾向相对的高角度断裂。

反射地震剖面显示西江断裂在担杆岛西侧宽度约 20 km,性质为正断层,东侧断裂倾角约为 75°,剖面上可见断层东侧沉积基底深度约为 400 m,西侧沉积基底深度约为 1600 m,与陆上西江断裂的发育特征对比,珠江口海域西江断裂东侧的倾向为西南方向;西侧断裂倾角较东侧稍小约为 60°,下盘基底埋深约 700 m,上盘基底埋深约 1200 m,西侧的断裂倾向东北。西江断裂东西两侧造成了沉积基底垂向上的明显错断,控制了沉积地层的发育和分布,且其东侧沉积基底错断的幅度要明显大于西侧,说明东侧断裂在海域的影响可能更强。

除西江断裂以外,研究还发现珠江口断裂带向海延伸的证据。与西江断裂相比,该断裂带在 W1 剖面上的延伸并不十分明显,W1 剖面位于担杆列岛附近及担杆列岛以东部位的沉积基底埋深很浅,大约只有 200 m,因此地震剖面上同相轴受断裂控制产生的错动现象并不明显,珠江口断裂带在 W1 剖面上对应的位置仅可见微小错动。但在 W2 剖面上清晰的识别出切穿基底的东北倾向断层(图 4),结合区域重力异常数据,发现沿剖面 W2 的重力异常与沉积基底的起伏有很强的相关性^[35],认为这个断裂可能是淇澳—桂山断裂南段在该区海域的延伸。陆上的淇澳—桂山断裂可分南北两支,彼此呈左阶错列,每支又由多条平行断裂组成,断距为 20 m 左右。该断层在研究区表现为走向 NW、倾向东北、倾角约 45°的正断层,断距约 300 m。

W3 剖面的沉积基底面深度分布在 2200~3600 m 之间,整体起伏形态较为平缓,沉积基底面同相轴反射不是十分清晰,沉积层较为连续且厚度较大(图 5)。在剖面东北部沉积底层成层性很好但不同层位之间的界限并不十分明确,显示为平行密集的层状沉积,沉积物厚度达 2~3 km 左右,其间有明显的错动干扰,断距在 300 m 左右,从位置上来看,可能受到惠东—北卫滩断裂带的影响;在剖面西部沉积基底界面同样并不清晰,沉积基底界面上部可见层状沉积,成层性相对东部较差,多见微小扰动。这些错动到达很新的地层,可能指示正在进行的断裂活动。

3.2 珠江口海域 NW 向断裂对地震活动的影响

走滑地震在南海北部沿海的断裂带内频繁发生,地震震源机制表明周围区块的运动速度场沿断层带具有右旋挤压特征^[36]。与其他区域相比,珠江口地区的地震活动性较低,目前主要发生微震,

且这些地震大都属于浅源地震^[37]。该地区近年来的最大地震是 2006 年 9 月 14 日在担杆列岛发生 4 级地震,担杆列岛断层可能是该次地震的震源平面,担杆列岛沿岸的断裂带被几个 NW 向断层切

断^[35]。该地区的发震构造与南澳和琼山地区的发震构造非常相似,而这些地区经历了四次大于 7.5 的历史地震,因此,经构造类比,担杆列岛附近被认为具有发生强烈地震的潜力^[4,13,38]。

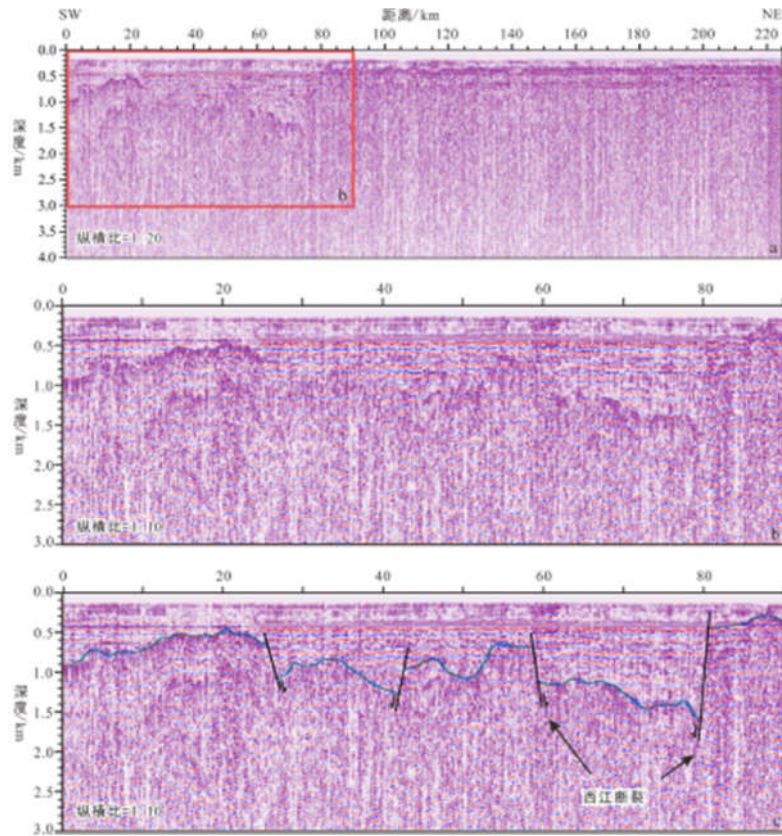


图 3 (a)W1 测线的地震剖面图,测线位置见图 2;(b)W1 测线 SW 段;(c)W1 测线 SW 段沉积基底及断裂解释

Fig.3 (a)Seismic profile of line W1,the location is shown in Fig.2;(b)SW section of line W1;(c)Basement and fracture interpretation of SW segment of line W1

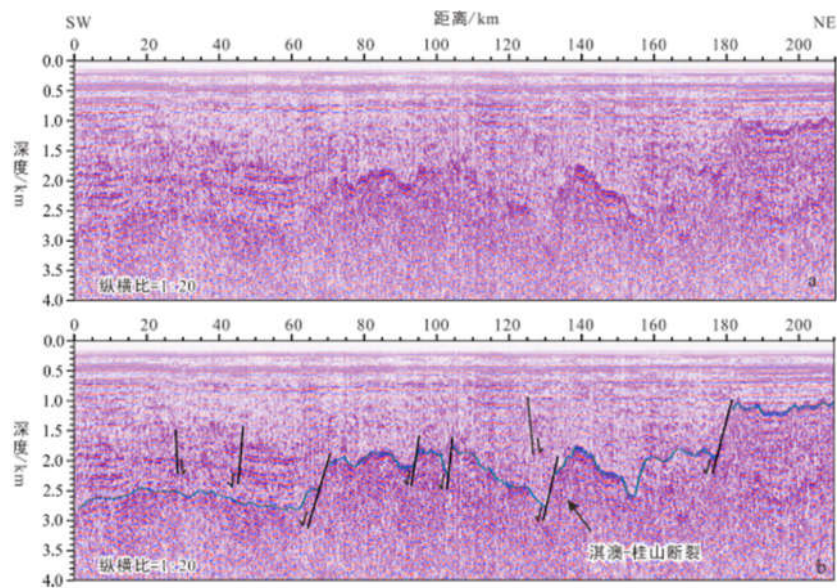


图 4 (a)W2 测线的地震剖面图,测线位置见图 2;(b)W2 测线沉积基底及断裂解释

Fig.4 (a)Seismic profile of line W2,the location is shown in Fig.2;(b)Basement and fracture interpretation of SW segment of line W2

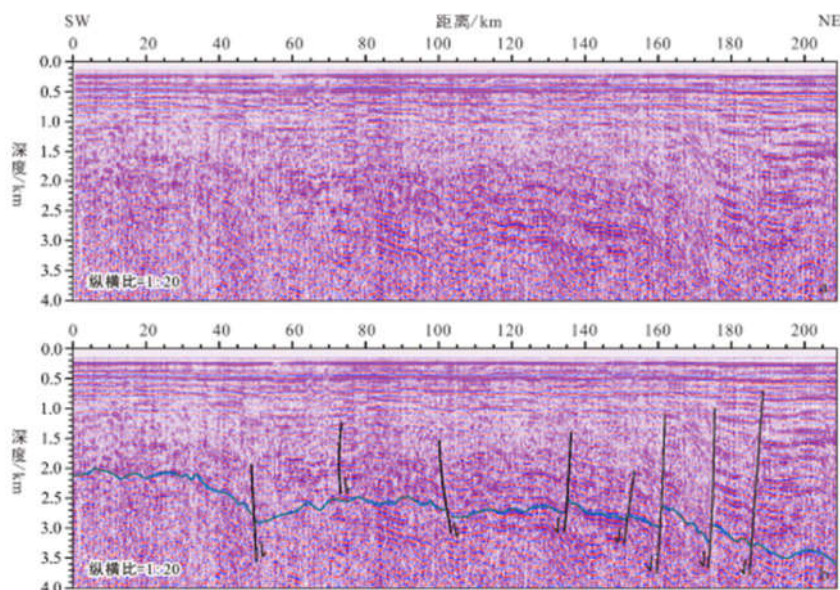


图 5 (a)W3 测线的地震剖面图,测线位置见图 2;(b)W3 测线沉积基底及断裂解释

Fig.5 (a)Seismic profile of the line W3,the location is shown in Fig.2;(b)Basement and fracture interpretation of SW segment of line W3

在珠江口潜在震源区,主要断裂为担杆岛断裂,该断裂联合周围发育的一些短小断层共同组成了沿岸断裂带。层析成像的结果表明,在担杆列岛以南的地壳上存在一个低速异常区^[17,39]。此外,华南沿岸陆上到近海区域存在中地壳低速层,这可能是具有应力调整的弱化层,起到平衡地壳中压力的作用^[40]。担杆列岛周围的沉积基底埋深非常浅,而沉积基底的深度沿着岛屿向西和向南突然增加,这些因素可能使岛屿和邻近区域成为容易积累应力的地方,当累积应变能量突然释放时,便在 NEE 与 NW 向断裂组交汇的薄弱部位沿断层面产生地震,同时可能形成大震、强震。同时不同部位的断裂活动不同,因此该地区地震的主压应力轴和节面倾角都不尽相同^[36]。珠江口地区主要的控震构造是 NEE 向断裂,NEE 向的滨海断裂带在研究区内被 NW 向的主要断裂错动为多段,错动距离达 20 km 以上,产生了潜在的发震构造。

3.3 珠江口海域 NW 向断裂对盆地沉积基底的控制作用

研究区所在的珠江口盆地是表现为“下断上拗”特征的叠合型盆地,同时表现为“南北分带、东西分块”等构造分布特征^[40],自北向南可以分为北部隆起带、北部拗陷带、中央隆起带、中部拗陷带、南部隆起带、南部拗陷带等构造单元^[41]。珠江口海域主要的 NEE 向、NE 向和形成于南海张裂时期,NW 向断裂形成于中生代,在新生代受控于该地区中生代的先存构造,表现为断裂的再活化^[40]。

在新生代期间珠江口盆地经历了裂陷期、拗陷期和构造活化期三个阶段,断裂主要于裂陷期活跃,新生代以来 NW 向断裂的活动性比 NEE 向和 NE 向断裂更为活跃,在珠江口盆地的拗陷期断裂活动较为平静^[42]。在裂陷期先后有两幕性质不同的构造运动,第一幕发生在古新世—中始新世,即神狐运动和珠琼运动一幕,由太平洋板块向欧亚板块俯冲作用控制,珠江口海域主要的 NE 向和 NEE 向断裂在这个时期形成;第二幕构造运动,即珠琼运动二幕,发生在晚渐新世—早渐新世,而受这一幕运动的影响,在珠江口盆地形成了许多 EW 向和 NW 向断裂,断裂活动西强东弱^[18,41,43-44]。NW 向断裂切割 NEE—NE 向断裂,致使原来南北分带的构造格架增添了东西分块的复合形态^[1,14,40,42]。

研究区测线主要覆盖珠江口盆地的北部断阶带、北部拗陷带以及中央隆起带。在上文所述的三个 NE 向测线的剖面上可以观察到明显的差异,W1 和 W2 剖面的沉积基底界面受断裂控制较为破碎,W3 剖面主要显示为平行沉积而沉积基底错动程度较小。W1 和 W2 测线位于北部断阶带,断阶带的断裂高角度,断距落差很大,地形起伏很大;而 W3 测线位于断阶带和珠一拗陷的分界位置,其西南部在断阶带,东北部为拗陷区,沉积作用明显而少见断裂的控制。新生代断陷盆地的形成和发展与基底断裂有着显著的关联性,表现为断裂控制了各个不同构造单元的沉积过程。从图 6 可以看出,珠江口海域的主要断裂的分布与基底深度陡变带位置相吻合,在珠江口盆地的北部断阶

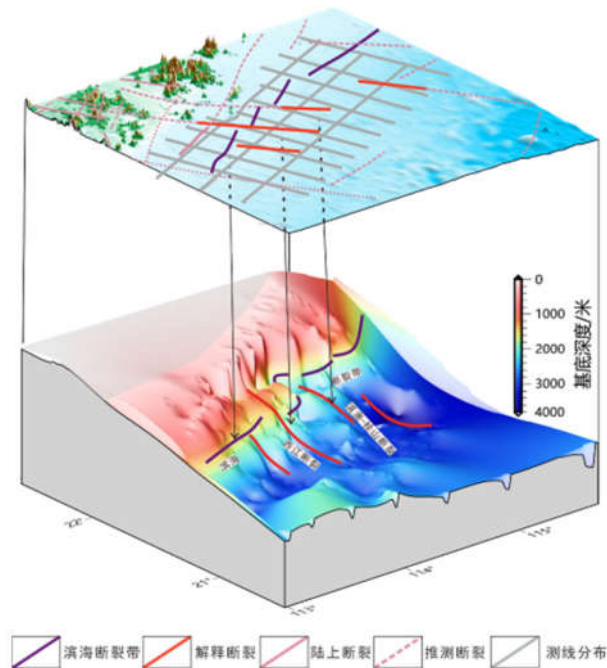


图6 珠江口海域基底与断裂空间分布图

Fig.6 Spatial distribution map of basement and fault in the PRE

带控制沉积基底起伏的主要是断裂构造,同时自陆向海 NW 向断裂对沉积基底的控制作用也逐渐减弱。

图6的上部是使用 GMT 内全球水深数据绘制的地形图,研究区的水深约在 50~300 m 之间;图片下部是根据本次研究所获数据而绘制的研究区沉积基底深度空间分布图,并在图上标示了研究区主要断裂的分布位置,与上部地形相对应。

4 结语

本文通过对珠江口地区的 13 条反射地震数据进行处理分析,对该区域的 NW 向断裂在海域的展布位置和发育特征进行研究,获得以下结论:

(1) 珠江口海域的主要 NW 向断裂带的走向近似平行,它们的性质表现为一系列高角度的正断裂。其中,西江断裂在陆上以倾向东北为主,在海域其主要断裂倾向为西南。淇澳—桂山岛东断裂在自陆向海,由北至南延伸经过担杆列岛之后,在担杆列岛以南的部分断距明显增大,构造活动更为强烈。

(2) 从华南大陆向珠江口海域, NW 向断裂的断距逐渐缩小,基底的地形起伏趋于平缓,所反映的断裂对基底地形的控制作用也逐渐减弱,珠江口地区的 NW 向断裂控制了珠江三角洲的河道变迁以及该地区两侧的边界,在珠江口盆地的北部断阶带断裂对于基底起伏的影响较大。

(3) NEE 向断裂是珠江口海域的控震断裂,控制了珠江口地区的地形和沉积物分布,在担杆岛附近海域滨海断裂带被 NW 向断裂错动 20~30 km,在 NW 向断裂与 NEE 向断裂交切的位置因应力的积累,更易发生地震。

参考文献:

- [1] 姚伯初. 南海海盆新生代的构造演化史[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(2): 1-13.
- [2] 刘以宣. 华南沿海区域断裂构造分析[M]. 北京:地震出版社, 1981.
- [3] 汪品先. 追踪边缘海的生命史:“南海深部计划”的科学目标[J]. 科学通报, 2012, 57(20): 1807-1826.
- [4] Xia S, Cao J, Sun J, et al. Seismogenic structures of the 2006 $M_L 4.0$ Dangan Island earthquake offshore Hong Kong[J]. Journal of Ocean University of China. 2018, 17(1): 169-176.
- [5] 刘以宣, 钟建强, 詹文欢. 南海北部陆缘地震带基本特征及区域稳定性初步分析[J]. 华南地震, 1994, 14(04): 41-46.
- [6] 龚晓峰, 何家雄, 罗春, 等. 南海北部珠江口盆地油气运聚成藏机制与特征[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(6): 20-26.
- [7] 张云帆, 孙珍, 周蒂, 等. 南海北部陆缘新生代地壳减薄特征及其动力学意义[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(12): 1609-1616.
- [8] 程世秀, 李三忠, 索艳慧, 等. 南海北部新生代盆地群构造特征及其成因[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(6): 79-93.

- [9] 董好刚. 基于浅层地震勘探的西江断裂第四纪活动性研究[J]. 人民长江, 2016,47(19):42-47.
- [10] 董好刚,路韬,何万双,等. 珠江三角洲沙湾断裂带第四纪活动性研究[J]. 中国地质, 2016,43(5):1803-1813.
- [11] 董好刚,陈宇达. 西江断裂三水至磨刀门段第四纪活动性再研究[J]. 热带海洋学报, 2017,36(2):26-32.
- [12] 卢邦华,黄日恒. 东南沿海地区的断裂与地震 [J]. 华南地震, 2006,26(3):109-118.
- [13] 夏玲燕,林畅松,李筱,等. 珠江口盆地断裂构造特征及对沉积盆地的控制作用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2018, 33(5):1-8,16.
- [14] 王霄飞,余珊,龚跃华,等. 华南北东向断裂在南海北部陆架的延伸 [J]. 大地构造与成矿学, 2014,38(03):557-570.
- [15] 魏柏林,冯绚敏,陈定国. 东南沿海地震活动特征[M]. 北京:地震出版社,2001.
- [16] 赵明辉,丘学林,叶春明,等. 南海东北部海陆深地震联测与滨海断裂带两侧地壳结构分析[J]. 地球物理学报, 2004,47(5):845-852.
- [17] 曹敬贺,孙金龙,徐辉龙,等. 珠江口海域滨海断裂带的地震学特征[J]. 地球物理学报, 2014,57(2):498-508.
- [18] 叶青,施和生,梅廉夫,等. 珠江口盆地珠一坳陷裂后期断裂作用:迁移、转换及其动力学[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2017,42(1):105-118.
- [19] 李唐根,邱燕,姚永坚. 大地构造特征[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [20] 徐辉龙,丘学林,赵明辉,等. 南海东北部南澳大地震($M=7.5$)震中区的地壳结构特征与震源构造[J]. 科学通报, 2006,51(S3):83-91.
- [21] 张菲菲,王万银,杨金玉,等. 根据重力数据研究南海北部陆缘断裂带的延伸问题[J]. 地球物理学进展, 2014,29(5):2113-2119.
- [22] 熊成,曹敬贺,孙金龙,等. 珠江口外海域滨海断裂带沿构造走向的变化特征[J]. 地球科学, 2018,43(10):3682-3697.
- [23] 余章馨,张珂,梁浩,等. 对珠江三角洲第四纪断裂运动的再认识[J]. 热带地理, 2016,36(3):334-342.
- [24] 鲁宝亮,王璞珺,张功成,等. 南海区域断裂特征及其基底构造格局[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(4):1544-1553.
- [25] 董好刚,黄长生,陈雯,等. 珠江三角洲环境地质控制性因素及问题分析[J]. 中国地质, 2012,39(2):539-549.
- [26] 吴业彪,陈少锋. 西江断裂鹤山—江门段的构造活动性[J]. 华南地震, 1999,19(3):60-65.
- [27] 伍明浪. 珠江三角洲断裂构造的探讨[J]. 科技资讯, 2008(17):254-255.
- [28] 曾敏,董好刚. 西江断裂三水—磨刀门段的主体分布及第四纪活动的年代学特征[J]. 华南地质与矿产, 2016,32(4):374-381.
- [29] 李官保,刘保华,吴金龙,等. 伶仃洋南部断裂构造特征[J]. 海洋科学进展, 2006,24(3):320-328.
- [30] 曹新文,马秀敏,龚淑云,等. 深圳北西向断裂分布特征及其活动性研究[J]. 地质力学学报, 2018,24(6):759-767.
- [31] 陈汉宗,吴湘杰,周蒂,等. 珠江口盆地中新生代主要断裂特征和动力背景分析[J]. 热带海洋学报, 2005,24(2):52-61.
- [32] Zhu J, Qiu X, Kopp H, et al. Shallow anatomy of a continent - ocean transition zone in the northern South China Sea from multichannel seismic data [J]. Tectonophysics, 2012,554-557:18-29.
- [33] 赵中贤,周蒂,廖杰,等. 珠江口盆地陆架区岩石圈伸展模拟及裂后沉降分析 [J]. 地质学报, 2010,84(8):1135-1145.
- [34] 李伍志,王璞珺,张功成,等. 珠江口盆地深部基底地层的地震时深转换研究[J]. 地球物理学报, 2011,54(2):449-456.
- [35] Cao J, Xia S, Sun J, et al. Offshore fault geometries in the pearl river estuary, southeastern China: evidence from seismic reflection data[J]. Journal of Ocean University of China, 2018,17(4):799-810.
- [36] 孙金龙,徐辉龙,詹文欢,等. 南海北部陆缘地震带的活动性与发震机制[J]. 热带海洋学报, 2012,31(3):40-47.
- [37] 曹敬贺,夏少红,孙金龙,等. 珠江口外潜在强震区海陆地震联测的初步结果[J]. 热带海洋学报, 2012,31(3):71-78.
- [38] 徐辉龙,叶春明,丘学林,等. 南海北部滨海断裂带的深部地球物理探测及其发震构造研究[J]. 华南地震, 2010,30(S1):10-18.
- [39] 夏少红,丘学林,赵明辉,等. 南海北部海陆过渡带地壳平均速度及莫霍面深度分析[J]. 热带海洋学报, 2010,29(4):63-70.
- [40] 张远泽,漆家福,吴景富. 南海北部新生代盆地断裂系统及构造动力学影响因素[J]. 地球科学, 2019,63(2):603-625.
- [41] 龚再升,李思田,谢秦俊. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [42] 王家林,张新兵,吴健生,等. 珠江口盆地基底结构的综合地球物理研究[J]. 热带海洋学报, 2002,21(2):13-22.
- [43] 金庆焕. 南海地质与油气资源[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [44] 施和生,何敏,张丽丽,等. 珠江口盆地(东部)油气地质特征、成藏规律及下一步勘探策略[J]. 中国海上油气, 2014,26(3):11-22.