

何泽洋, 白志钊, 王万银, 等. 基于重、磁数据的珠江口盆地构造格局研究[J]. 海洋学报, 2023, 45(12): 25–43, doi:10.12284/hyxb2023165
He Zeyang, Bai Zhizhao, Wang Wanyin, et al. Tectonic framework research in Zhujiang River Mouth Basin based on gravity and magnetic data[J]. Haiyang Xuebao, 2023, 45(12): 25–43, doi:10.12284/hyxb2023165

基于重、磁数据的珠江口盆地构造格局研究

何泽洋¹, 白志钊², 王万银^{1,3,4*}, 李林致², 张义蜜^{1,5}, 陈莹², 何涛^{1,5}, 马瑞云¹

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028; 3. 海洋油气勘探国家工程研究中心, 北京 100028; 4. 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 5. 纽芬兰纪念大学 地球科学系, 纽芬兰与拉布拉多 圣约翰斯 A1B3X5)

摘要: 珠江口盆地位于南海北部大陆边缘, 横跨了华南大陆架、大陆坡以及洋陆过渡带地区, 其构造演化十分复杂。随着勘探程度的加深, 珠江口盆地的边界也一直发生着变化, 盆地南部边界存在争议。本文基于卫星重力异常数据和磁力异常数据, 重新研究了珠江口盆地的断裂及火成岩分布, 并以高精度地震数据为约束反演了研究区新生界深度, 根据处理的结果对研究区构造单元进行了调整。研究结果显示, 研究区的 NEE、NE 和 NW 向断裂较为发育, 且在本次研究中新识别出 4 条断裂; 火成岩平面位置整体走向为 NEE 向, 但不同区域走向存在区别: 在盆地西部有近 EW 向火成岩, 盆地中部火成岩为 NWW 向, 而盆地东部火成岩部分为近 EW 向; 在构造单元中将阳江凹陷根据重力和新生界特征分成了阳江西凹陷和阳江东凹陷, 并删去了文昌 D 凹陷和文昌 E 凹陷。NW 向的北卫滩断裂与阳江—一统断裂一起将盆地分为西部、中部和东部 3 个部分, 此 3 个部分的断裂走向、火成岩平面位置和新生界厚度及构造单元都有所不同。本次同时对珠江口盆地断裂、火成岩和构造单元进行研究, 旨在对后续盆地研究和油气突破提供地球物理支撑。

关键词: 重磁资料; 断裂; 火成岩; 新生界

中图分类号: P736.12

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2023)12-0025-19

1 引言

南海是太平洋板块、欧亚板块和印度-澳大利亚板块相互作用而形成的边缘海, 是西太平洋最大的边缘海之一^[1-2]。珠江口盆地作为南海北部大陆架和大陆坡上的伸展拉张型新生代沉积盆地之一, 在多期裂隙活动的作下^[3-4], 形成了一系列以 NW、NEE 和 NE 走向为主的断裂^[5], 且断裂附近的火成岩十分发育。

自 1975 年第一次对珠江口盆地进行综合调查后, 许多学者通过地质和地球物理资料对珠江口盆地的断裂展开过很多解释和研究, 对一些深大断裂在珠

江口盆地的延伸及与盆地的成因关系进行了分析。前人主要基于重磁资料^[6-7]、地震剖面^[8-12], 或是以重磁震测井相结合的方法^[13]对断裂进行研究。珠江口盆地的断裂组由 NE-NEE 向断裂组、NW 向断裂组和 EW 向断裂组构成, 且 NW 向走滑断裂的切割、错断了 NE-NEE 向和 EW 向的张性断裂, 形成了“南北分带, 东西分块”的构造格局^[10-11, 13-16]。也有学者对研究区内一些深大断裂进行精细研究, 如滨外断裂带的研究^[6-7, 9-10, 15]、中生代俯冲带的研究^[7, 17-18]、阳江—一统断裂带研究^[3, 19]及珠三南断裂^[20]的研究等。关于不同走向断裂的性质, NNW 向是切岩石圈断裂, 性质为张扭性, NWW-NW 向是基底断裂, 为走滑断层, 近 EW-

收稿日期: 2023-05-04; 修订日期: 2023-09-28。

基金项目: 中海油研究总院有限责任公司科技项目(CCL2021RCPS1067KQN)。

作者简介: 何泽洋(2000—), 男, 安徽省六安市人, 博士研究生, 研究方向为重、磁方法理论及应用。E-mail: 2021026001@chd.edu.cn

* 通信作者: 王万银(1962—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事重、磁位场理论及应用研究和教学工作。E-mail: wwy7902@chd.edu.cn

NEE 向属于盖层断裂,性质为张性^[8,21]。也有学者认为控盆断裂体系自西向东的走向为 NE-NEE-近 EW 向的转变^[22]。

南海北部陆缘在中生代和新生代的岩浆活动都较强,以中生代的酸性和中性侵入岩、新生代中酸性和基性的喷入岩为主,存在多期喷发^[23],自西向东火山活动逐渐变强^[24]。前人多依据重磁数据识别火成岩分布,但具体的识别方法不同:张斌等^[25]将剩余化极磁力异常大于 50 nT 且幅值变化大的区域认为其是火成岩;而吴兴^[26]直接利用磁力异常圈定火成岩,认为磁高重高的岩体一般为基性或中基性火成岩,磁与重相对高的一般为中性或中酸性火成岩。深大断裂对火成岩的影响力较大^[24],火成岩多分布于断裂或断裂交汇处,且其走向也与断裂密切相关^[27-28]。

珠江口盆地属于新生代沉积盆地,其新生界厚度根据构造单元展布呈现出薄厚相间的特征,且走向为 NEE^[29];深水区的兴宁凹陷新生界最大厚度达到 5.5 km,靖海凹陷新生界最大厚度 2.4 km^[30]。珠江口盆地新生界厚度最大超过 10 km,其中古近系最厚为 6 km,新近系最厚为 3.5 km,第四系厚度小于 0.4 km^[16]。惠格格等^[31]认为南海北部陆架-上陆坡区新生界沉积物厚度平均为 3 km,由陆架到深海沉积厚度逐渐变小。

珠江口盆地的构造单元大致有 4 种构造格局。最早的“两坳两隆”^[32]的构造单元包括盆地北部的北部隆起带、珠一坳陷和珠三坳陷组成的北部坳陷带,包括神狐隆起、番禺低隆起和东沙隆起的中央隆起带,以及包括开平凹陷、白云凹陷和潮汕坳陷的南部坳陷带。第二种是“两坳三隆”^[3,33],北部坳陷带为珠一坳陷和珠三坳陷,并将开平凹陷、白云凹陷和顺德凹陷划分至中央坳陷带,云开低凸起从中间隔开,将荔湾凹陷划分为南部坳陷带。第三种是“三坳四隆”,在“两坳两隆”的构造格局上,将兴宁凹陷划分至中央坳陷带,并将鹤山凹陷和靖海凹陷归为南部坳陷带^[34]。最后一种是在第三种的基础上,在神狐隆起上识别出文昌 D 凹陷和文昌 E 凹陷两个凹陷,并在靖海凹陷北部增加了揭阳凹陷和揭靖凸起,南部坳陷带被命名为“珠四坳陷”^[35-36]。随着珠江口盆地勘探程度加大,盆地边界也一直在变化。

前人针对珠江口盆地构造格局的研究众多,但对于盆地内主要断裂分布和火成岩平面位置的认识不一:如滨外断裂带和阳江—统断断裂带的位置、盆地内火成岩的分布特征等;新生界的研究结果显示,前人对新生界的研究往往在某个凹陷内或更大面积如南海北部进行研究,但这样分辨率过大或过小,不

足研究整个盆地的需要。

本文基于重、磁资料横向分辨率高的特点,且数据获取方式便捷,本次研究拟通过对珠江口盆地 1:50 万比例尺重、磁资料的处理,对珠江口盆地的断裂分布、火成岩平面位置和新生界厚度进行研究,并调整珠江口盆地构造单元,从而得到对构造格局的整体认识,为进一步油气勘探提供地球物理依据。

2 地质概况及地球物理场特征

2.1 地质概况

珠江口盆地位于欧亚板块、太平洋板块和印度板块交汇处的南海北缘的大陆架和大陆坡处,是勘探程度较高的一个新生代大型含油气盆地^[29,37-39]。珠江口盆地作为南海北部面积最大、地质特征最典型的陆缘裂谷盆地,其形成和演化也受到南海地质活动的影响(图 1)。在燕山晚期,南海北缘在挤压-拉张-挤压-拉张的变化应力环境下,形成了 NE 向的逆冲断层^[40]。古新世-早始新世,由于太平洋板块俯冲方向发生变化,早期的 NNE-NE 向断裂从左行走滑变为右行走滑,在盆地内形成了控制着各凹陷的形成一系列次级 NEE-EW 向正断层^[5]。渐新世开始,南海洋盆打开,印支地块向东南挤出,NNW 向断裂表现为左行走滑^[3],发育大量 EW-NNW 向断裂。中中新世,南海北部应力场表现为 NNE 向拉张环境,此时 NNW 向和 EW 向先存断裂发生活化,在隆起区也新生了 NNW 向左行走滑的次级张性断裂^[5]。经过多次构造运动后,珠江口盆地内发育大量断裂与火成岩,为油气的生、储、盖等条件提供了地质基础。

2.2 岩石物性特征

地球物理数据处理及解释离不开岩石的物性信息,如岩石的密度、磁性和电阻率等参数。本次研究主要为重、磁方法,故只重点关注研究区的岩石密度和磁性特征。根据已有的岩石物性研究成果^[41-42],研究区各地层密度为:水层 $1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,新生代沉积层 $2.2 \times 10^3 \sim 2.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,其中新近系 $2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,古近系 $2.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,中生界 $2.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,地壳的平均密度取 $2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,上地幔 $3.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,新生界地层的岩石密度随埋深的增大而增大^[31]。

珠江口盆地的新生代玄武岩具有较强的剩磁^[1]。燕山期的侵入岩是引起磁异常的主要因素,但新生界沉积盖层中的中、基性火山岩(主要为玄武岩)和侏罗纪的中性火山岩中也存在磁性^[1]。磁高重高的岩体一般为基性或中基性火成岩;磁与重相对高的一般为中性或中酸性火成岩;酸性或偏碱性火成岩一般具有

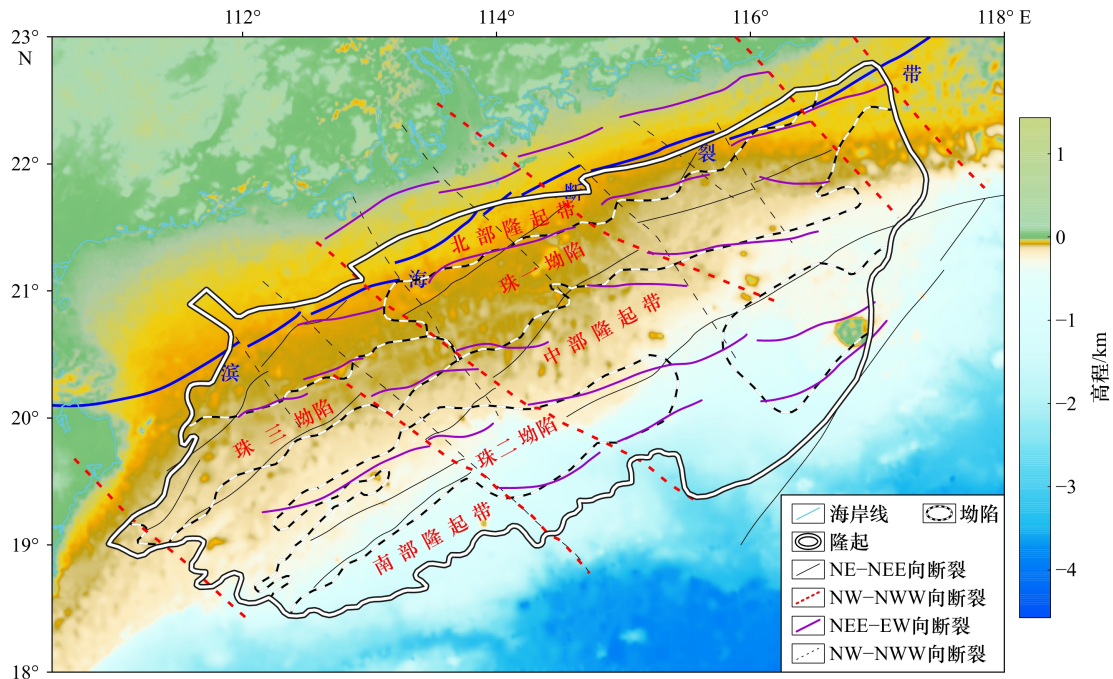


图1 南海北部陆缘断裂系统(图中黑底白线所围区域为珠江口盆地,引自文献[31])

Fig. 1 The regional tectonic background in the northern South China Sea (The region enclosed by the white line with the black background in the figure is the Zhujiang River Mouth Basin, according to reference [31])

低磁低密的特征,与大部分沉积岩物性类似,故不能识别^[26]。

2.3 地形及重力场特征

本次研究采用的地形(图2a)及重力数据来自全球卫星重力异常数据库^[43-45],其中地形数据为V29.1版本,重力数据为V31.1版本。地形数据网格间距为 $1' \times 1'$,重力数据在海域的网格间距为 $1' \times 1'$,总精度可以达到3.03 mGal,局部地区甚至可达1.8 mGal;重力数据在陆域的网格间距为 $5' \times 5'$,总精度可达4.125 mGal^[45-46]。

珠江口盆地卫星测高重力异常(图2b)在研究区的变化范围在 $-60 \sim 175$ mGal之间。陆区的卫星测高重力异常大多为低值,异常走向不明显。海区的布格重力异常走向为NEE-NE向。在神狐隆起-番禺低隆起-东沙隆起处有一条明显的异常高值带,在阳春凹陷、北部隆起、西江凹陷北部、惠州凹陷西北部、白云凹陷南部、鹤山凹陷、荔湾凹陷、兴宁凹陷和南部低隆起处的卫星测高重力异常为低值,在南海洋盆区域的卫星测高重力异常也为高值。海域卫星测高重力异常经仪器校正、电离层校正和潮汐校正等校正后,反映了海平面以下地质体密度不均匀性,因此在解释盆地的构造特征时,需消除海水层及地形起伏的重力影响。本文采用基于球坐标系扇形柱体的广义地形改正技术^[47],先计算全球海洋和陆地对重力观测

值的影响,将参考椭球面以上的陆地质量消去,再将海水密度(1.03×10^3 kg/m³)填充成平均地壳密度(2.67×10^3 kg/m³)。根据卫星测高重力异常对地形高程进行地形改正得到的为沉积层和莫霍面起伏引起的重力异常认为是布格重力异常(图2c)。

研究区的布格重力异常变化范围在 $-50 \sim 290$ mGal之间。在陆区,布格重力异常的变化趋势与卫星测高异常的趋势相似,都是大面积的负值区。在海区,经过广义地形改正后,布格重力异常呈现出NEE走向。在珠江口盆地的北部隆起带和珠一坳陷西部、珠三坳陷北部,布格重力异常为低值;珠四坳陷呈现出明显的高值。研究区整体的布格重力异常由NW向SE逐渐增大,与海底地形的变化趋势相似。由于布格重力异常消除了海水产生的重力影响,其与地壳结构对应更好。布格重力异常由陆壳区向洋壳区重力值增大的特征与研究区莫霍面由陆壳向洋壳变浅^[48]的趋势一致。

2.4 磁场特征

本次研究的磁力数据来自于美国国家地理数据中心(National Geographic Data Center, NGDC)2014年发布的地磁异常网格数据2V3(Earth Anomaly Grid 2-arc-minute resolution, EMAG2V3),是不同观测形式(如卫星磁测、航空磁测、海洋船测)的融合结果,数据平均网度为 $2' \times 2'$ 。通过与航遥中心提供的珠江

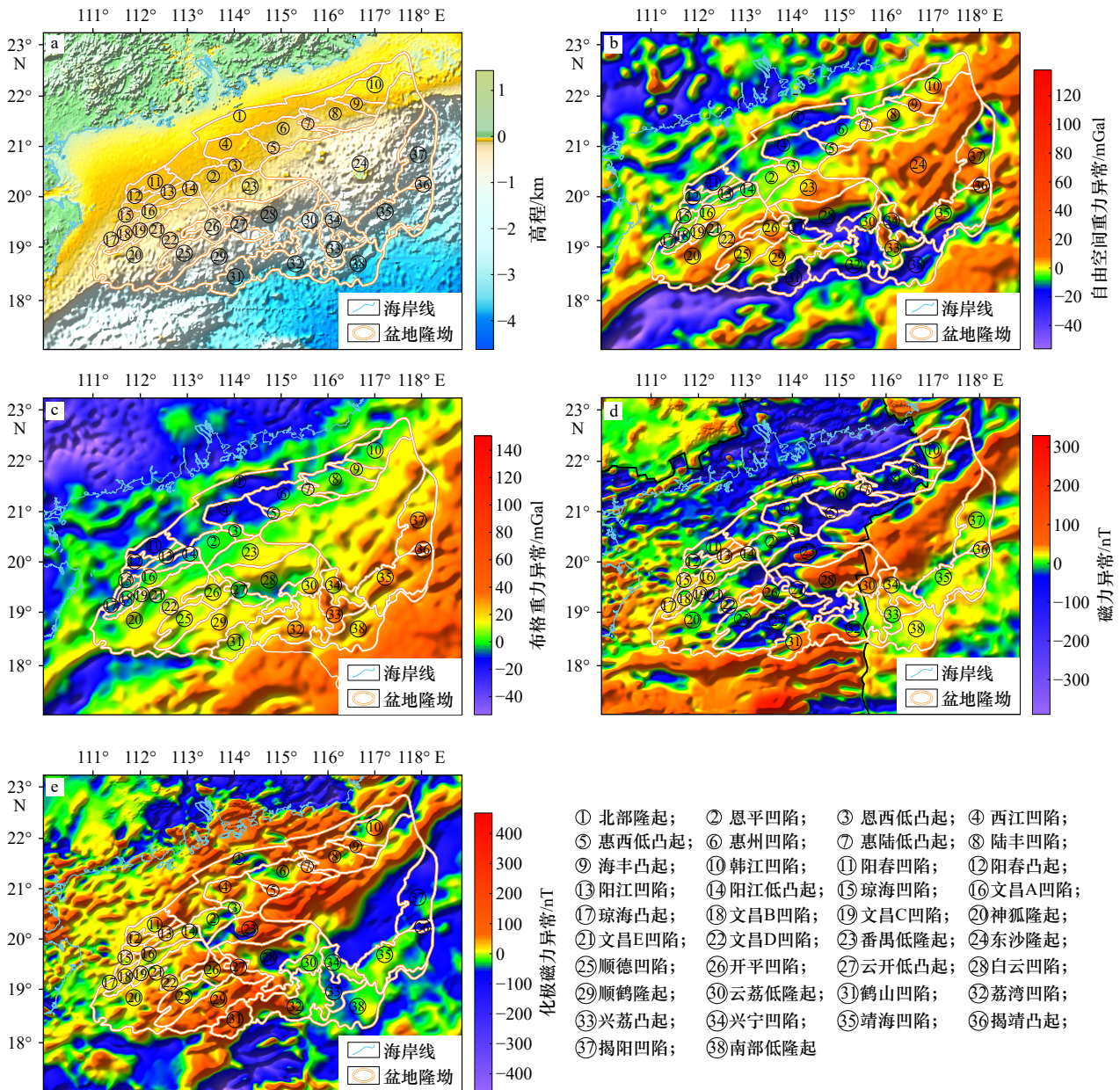


图2 珠江口盆地重磁基础及处理

Fig. 2 The basic and gravity and magnetic in Zhujiang River Mouth Basin

a. 珠江口盆地地形; b. 珠江口盆地卫星测高重力异常; c. 珠江口盆地布格重力异常; d. 珠江口盆地磁力异常, 黑框部分为航磁数据; e. 珠江口盆地化极磁力异常

a. The topograph of the Zhujiang River Mouth Basin; b. the free-air gravity disturbances of the Zhujiang River Mouth Basin; c. the Bouguer gravity disturbances of the Zhujiang River Mouth Basin; d. the magnetic anomalies of the Zhujiang River Mouth Basin, the black box shows the airborne magnetic data; e. RTP of magnetic anomalies of the Zhujiang River Mouth Basin

口盆地的船测磁力异常数据(数据精度 1 : 100 万)进行单维数据融合^[49], 得到了珠江口盆地磁力异常数据(图 2d)。

由于珠江口盆地位于低纬度区(18°~23°N), 受斜磁化的影响, 造成 ΔT 磁异常主体与磁性体位置在垂向上的偏移, 进而对正确认识磁性体的位置造成影响。为此, 我们需要将 ΔT 磁异常进行化极处理。本

次化极处理采用波数域全变倾角化极方法^[50], 化极结果如图 2e 所示。

珠江口盆地化极磁力异常变化范围在-460~470 nT 之间。整个研究区的化极磁力异常呈现出 NEE 走向, 且在陆区化极磁力异常多为低值, 海区则是大面积的高值区。盆地中的高磁异常集中在两个区域: 北部隆起-珠一坳陷-东沙隆起, 包括北部隆起

带、西江凹陷、惠西低凸起、惠州凹陷、惠陆低凸起、陆丰凹陷、海丰凸起、韩江凹陷、番禺低隆起东部和东沙隆起北部;以及珠二拗陷-珠四拗陷的西部,包括神狐隆起、顺德凹陷、开平凹陷、云开低凸起、顺鹤隆起、鹤山凹陷和荔湾凹陷西部,且其走向都为NE-NEE向。在东沙隆起的中部,以及珠江口盆地南部,存在化极磁力异常梯级带。珠二拗陷的白云凹陷有一化极磁力低异常,其四周皆为磁力高。盆地东部的云荔低隆起、兴宁凹陷、南部低隆起和靖海凹陷的边界与化极磁力异常的高低变化趋势相同。在南部的洋壳区,由磁异常高低变化的磁条带,呈NEE-近EW方向。

3 盆地构造单元区划

本次研究基于重磁数据,利用位场边缘识别技术^[51-53]、重磁场源位置及属性识别技术(GMCP)^[54]以及最小曲率位场分离技术^[55]、密度界面快速正反演技术^[56]对研究区内断裂分布、火成岩平面位置、新生界厚度和盆地构造单元进行研究。

3.1 断裂划分

由于断裂两侧沉积地层不连续,当两侧地层密度横向差异较大时,在重力异常上会有所体现,从而可以使用重力的方法识别断裂。本次断裂划分采用归一化总水平导数垂向导数(NVDR-THDR)技术的边缘识别方法^[51-52],以重力异常NVDR-THDR的脊值进行连线^[53]或脊值错断位置作为识别断裂的主要标志。将计算得到的布格重力异常NVDR-THDR与前人划分的阳江—统断裂和珠三南断裂等进行比对(图3a),NW走向的阳江—统断裂带和NEE走向的珠三南断裂均分布在NVDR-THDR极大值点连线或错断的位置。同时利用过西江—番禺4—白云—荔湾联合剖面^[1]进行对比(图3b),可以看出布格重力异常NVDR-THDR极大值处都很好地反映了断裂的分布。因此本文使用此方法,并参考最小曲率位场分离得到的剩余布格重力异常对断裂进行识别,识别出的断裂与布格NVDR-THDR叠合图及与剩余布格重力异常的叠合图如图4a和图3b所示。

综合前人断裂研究结果^[5-6,9]和布格重力异常NVDR-THDR,本次在珠江口盆地共划分断裂32条。根据断裂对盆地的影响,将断裂划分为控制着盆地边界的控盆断裂和控制盆地内部凸凹结构的控凹断裂,其中,共划分控盆断裂6条,控凹断裂26条(断裂编号和详细信息见表1和表2)。在控盆断裂和控凹断裂中,NEE向断裂数量最多,且与盆地走向平行;其

次是NW向断裂,且此断裂组切割、错段了其他走向的断裂组;再次是NE向断裂组;NWW向断裂、NNW向断裂和NNE向断裂也具有一定的规模,其他走向的断裂较少。

从剩余布格重力异常与断裂叠合图(图4b)中可以看出,盆地内存在多个NEE走向的重力高值带。NW向的阳江—统断裂(F1-3)和北卫滩断裂带(F1-6)将珠江口盆地分为西部、中部和东部3个区域。阳江—统断裂带以东和北卫滩断裂以西组成了珠江口盆地的中部区域,在盆地中部,断裂走向为NE、NW、NEE和近EW向,而盆地西部断裂呈NEE向展布,盆地东部断裂呈NE向和NWW向展布。

根据断裂走向和长度绘制断裂走向玫瑰花图(图5a),珠江口盆地的断裂走向以NEE、NE和NW为主,长度分别为1610 km、1544 km和1446 km。NNE向、NNW向和NWW向的断裂虽也有分布,但规模没有前3个走向断裂大,近EW向和近SN向断裂更是几乎不可见。根据划分断裂频数与走向玫瑰花图(图5b),走向为NE的断裂较多,共14段;其次是NEE向断裂和NW向断裂,都为9段;而其他走向的断裂较少。根据区域地质背景,NW向的断裂都是走滑性质,而NEE、NE、NNE向的断裂为拉张性质。再根据断裂长度分布直方图(图5c),长度为90~180 km之间的断裂最多,达到21段;其次是0~90 km和180~270 km的断裂,分别8段;长度为360~450 km断裂有4段,长度为270~360 km的断裂最少,只有2段。

本次划分的控盆断裂共6条(F1-1-F1-6)。滨外断裂带(F1-1)是珠江口盆地北部边界,是一条走向与海岸线近乎平行的NEE向断裂,被F2-17截断。海南岛东部断裂(F1-2)沿SW方向由海南岛东部向海南岛南部延伸^[7]。神狐隆起西断裂带位于神狐隆起西部,走向NW,从雷州半岛东南部向SE方向延伸至西沙海槽处,构成了珠江口盆地的西部边界。阳江—统断裂带(F1-3)是一条NW向的断裂带,在中生代就已形成,在新生代选择性活化,断裂两侧构造具有差异性^[3,19]。西沙海槽断裂(F1-4)是位于南海北部西沙海槽的一条岩石圈断裂^[13],是珠江口盆地南部边界。北卫滩断裂带(F1-6)是一条NW走向的断裂,穿过南海北部陆架的北卫滩。

本次研究选取了若干前人研究^[40]的地质剖面(图3a BB'、CC'和DD'),对比结果如图6所示。F2-3与文昌A凹陷对应良好,可能与文昌A凹陷的沉积有关;F2-8和F2-12与开平凹陷对应良好,可能与开平凹陷的沉积有关;F2-6对西江凹陷对应良好,可能

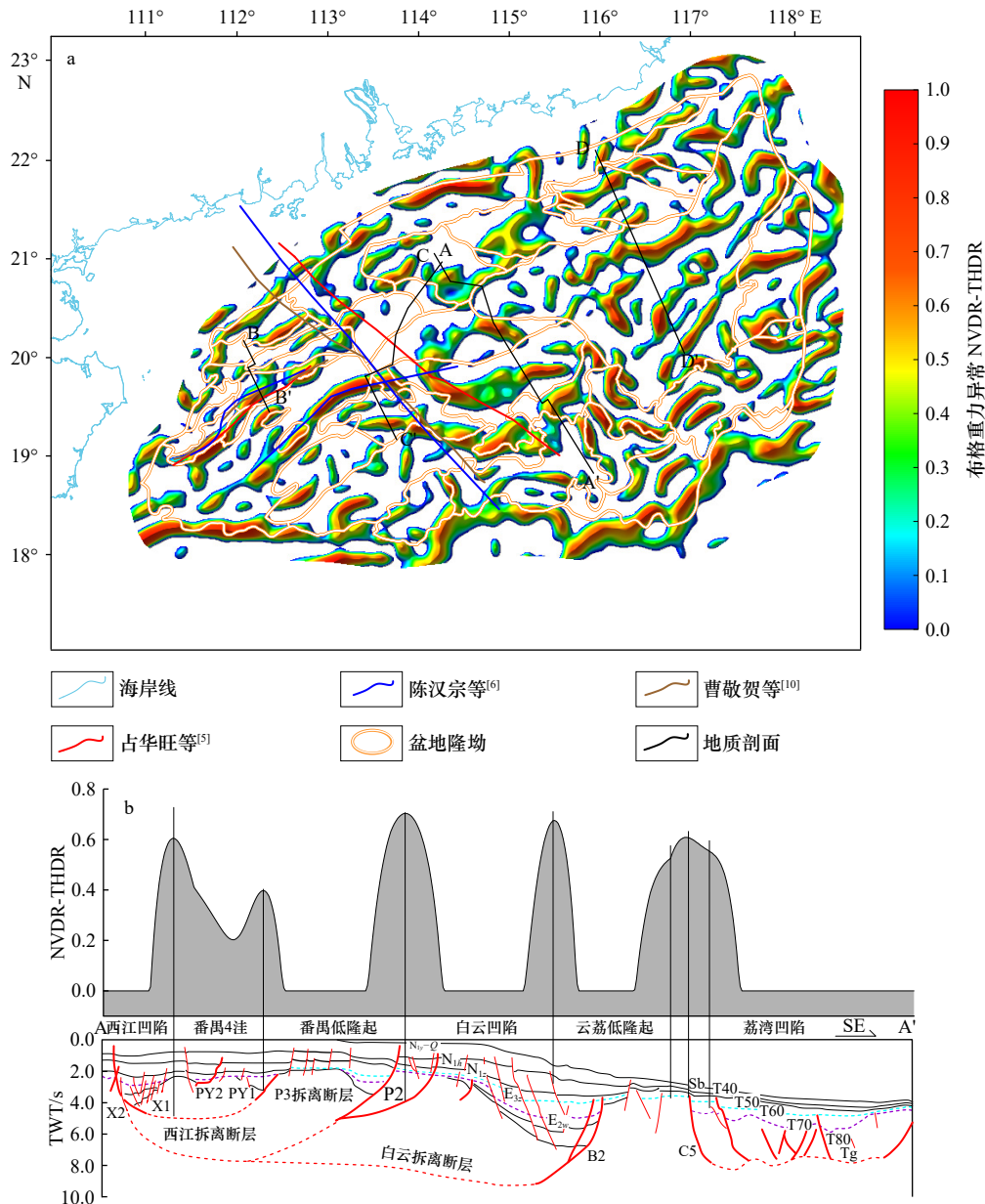


图3 前人划分断裂与布格重力异常 NVDR-THDR 叠合(a), 黑色实线引自文献 [3] 剖面; 布格重力异常 NVDR-THDR 与地质剖面叠合(b)

Fig. 3 Superposed of previous faults division and NVDR-THDR of Bouguer gravity anomalies (a), the black line is the profile according to reference [3]; superposed of NVDR-THDR of Bouguer gravity anomalies and geological profile (b)

对西江凹陷的沉积存在影响; F2-10 与白云凹陷对应良好, 可能与白云凹陷的沉积有关, F2-15 与荔湾凹陷对应良好, 可能与荔湾凹陷的沉积有关。

本次在珠江口盆地内部新识别出了 4 条控凹断裂, 分别为 F2-6、F2-10、F2-24 和 F2-25。F2-6 断裂起始于惠州凹陷东部, 经惠陆低凸起、陆丰凹陷、海丰凸起和韩江凹陷, 呈 NEE 向展布, 在剩余布格重力异常上显示其北部为剩余异常低值区, 南部为剩余异常高值区, 且其大致平行于珠一坳陷的北部边界, 推测为珠一坳陷内部的一条隐伏断裂。F2-10 是位于盆地

东部东沙隆起处的一条 NE-NEE 走向的断裂, 平行于东沙隆起边界, 在布格 NVDR-THDR 和剩余布格重力异常零值线上都有体现, 推测为隐伏断裂。F2-24 断裂位于盆地东南部, 与兴宁凹陷的边界重合, 走向为 NNW, 在布格重力异常 NVDR-THDR 上表现为极大值, 且位于剩余布格重力异常 0 值线处, 是坳陷内部控制着二级构造单元的断裂。F2-25 位于盆地东南靖海凹陷内部, 走向为 NNE, 在布格重力异常 NVDR-THDR 上表现为极大值, 同样位于剩余布格重力异常零值线处, 推测为坳陷内部的一条隐伏断裂。

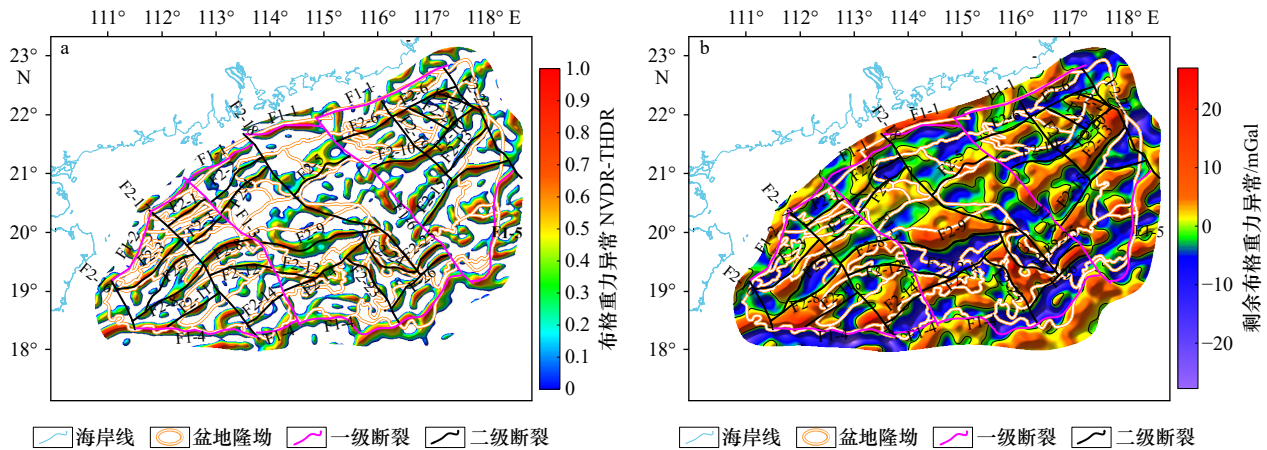


图4 珠江口盆地断裂与布格 NVDR-THDR 叠合(a); 珠江口盆地剩余布格重力异常与断裂叠合(b)

Fig. 4 Superposed of faults division and NVDR-THDR of Bouguer gravity anomalies of Zhujiang River Mouth Basin (a); superposed of faults division and residual Bouguer gravity anomalies of Zhujiang River Mouth Basin (b)

表1 珠江口盆地控盆断裂统计表

Table 1 The statistic of basin-control faults in Zhujiang River Mouth Basin

断裂编号	断裂走向	断裂性质 ^[7]	断裂属性	与前人识别对比
F1-1(滨外断裂带)	NEE, NE	拉张	地壳断裂	与前人识别位置一致
F1-2(海南岛东部断裂)	NNE	拉张	地壳断裂	与前人识别位置一致
F1-3(阳江—统断裂带)	NW	走滑	基底断裂	与前人识别位置略有差异
F1-4(西沙海槽断裂)	近EW, NE	拉张	地壳断裂	与前人识别位置一致
F1-5	近SN	拉张	地壳断裂	与前人识别位置略有差异
F1-6(北卫滩断裂带)	NW	走滑	基底断裂	与前人识别位置略有差异

本次识别出的断裂在研究区的走向主要为 NE 向、NEE 向和 NW 向, 也存在部分 NNE 向和近 EW 向断裂, 其他方向的断裂分布较少。6 条控盆断裂控制着盆地的边界, 26 条控盆断裂与盆地内部的凹陷具有密切关系。NE-NEE 向断裂多为拉张性质的断裂, 而 NW 向断裂为走滑断裂。新识别出 4 条断裂, 其中 3 条断裂为隐伏断裂, 1 条断裂为控制盆地二级构造单元的断裂。

3.2 火成岩识别

珠江口盆地火成岩平面分布的识别步骤为: 利用研究区布格重力异常和化极磁力异常, 先使用最小曲率场分离技术^[53]计算出剩余布格重力异常和剩余化极磁力异常(图 7a), 再计算出剩余布格重力异常的垂向一阶导数(VDR)(图 7b), 基于剩余布格重力异常 VDR 和剩余化极磁力异常, 利用重磁场源平面位置及属性判别技术(GMCP)^[54]得到火成岩平面位置分布及属性判别。使用 GMCP 方法可有效缩小火成岩的识别范围, 且根据 GMCP 参数可以区分高磁高密、高磁低密、低磁高密和低磁低密 4 种不同物性

的岩石。珠江口盆地火成岩主要为玄武岩、凝灰岩、安山岩等^[25], 这几种岩性呈现的是高磁特征, 而密度特征是有高有低。因此, 本次根据 GMCP 属性识别出的岩石物性选择高磁特征。

本次将提取出的火成岩的平面位置如图 8a 所示。由图 8a 可见, 珠江口盆地的火成岩平面分布较为零散, 盆地北部的珠一坳陷西部和珠三坳陷内分布较少, 而中央隆起区和盆地南部火成岩分布较多, 且多为带状分布。火成岩在盆地内部分布为南多北少, 整体走向为 NEE-NE, 也包含部分走向为 NW-NWW 和近 EW 向的火成岩。

据张斌等^[25]整理与图 8a 进行对比得到珠江口盆地火成岩分类及新生界钻井揭示火成岩特征表(表 3)。由表 3 可初步推断高密高磁区可能有玄武岩、火山岩、角砾岩; 高密低磁区可能有粗面岩、凝灰岩; 高磁低密区可能有玄武岩、安山岩、凝灰岩; 低磁低密区有英安斑岩、凝灰岩、英安斑流岩等。珠江口盆地火成岩识别结果与钻井揭示综合识别火山岩^[25]对比图(图 8a)显示与火成岩类型推断基本符合。张莉等^[57]

表 2 珠江口盆地控凹断裂统计表
Table 2 The statistic of sag-control faults in Zhujiang River Mouth Basin

断裂编号	断裂走向	断裂性质 ^[7,34]	断裂属性	与前人识别对比
F2-1	NEE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-2	NE-NEE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-3(珠三南断裂)	NEE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-4	NEE-NE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-5	NEE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-6	NNE	拉张	盖层断裂	穿过珠一坳陷东部, 为本次新识别断裂
F2-7	NNE, NE	拉张	盖层断裂	比前人识别位置更长
F2-8	NNE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-9	NNE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-10	NNE	拉张	盖层断裂	为本次新识别断裂
F2-11	NE-NNE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置存在差异
F2-12	NE-NNE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-13	NE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置略有差异
F2-14	NEE	拉张	基底断裂	与前人识别位置略有区别
F2-15	NE-NEE	拉张	基底断裂	与前人识别位置相同
F2-16(神狐隆起西断裂)	NW	走滑	基底断裂	与前人识别位置存在一定差异
F2-17	NW	走滑	基底断裂	与前人识别位置具有一定差异
F2-18	NW	走滑	基底断裂	与前人识别位置相同
F2-19	NW	走滑	基底断裂	与前人识别位置相同
F2-20	NWW	走滑	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-21	NWW	走滑	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-22	NNW	走滑	基底断裂	与前人识别位置具有一定差异
F2-23	NNW	走滑	盖层断裂	与前人识别位置相同
F2-24	NNW, NW	走滑	盖层断裂	为本次新识别断裂
F2-25	NE	拉张	盖层断裂	为本次新识别断裂
F2-26	NE	拉张	盖层断裂	与前人识别位置相同

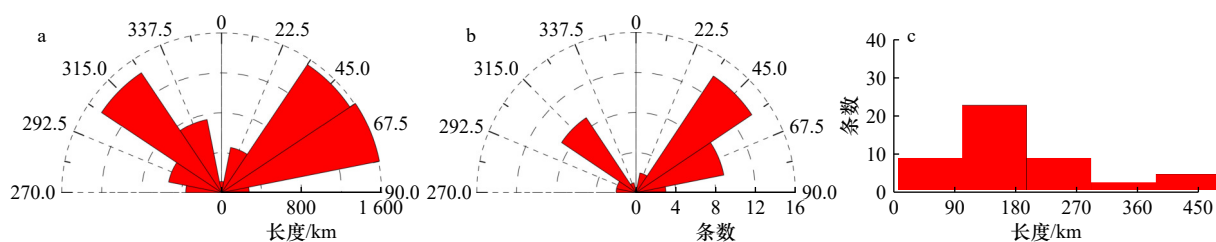


图 5 珠江口盆地断裂统计

Fig. 5 Statistical of faults in Zhujiang River Mouth Basin

a. 珠江口盆地断裂走向及长度玫瑰花图; b. 珠江口盆地断裂走向与频数玫瑰花图; c. 珠江口盆地断裂长度及频数直方图
a. The rose diagram of faults strike and length in Zhujiang River Mouth Basin; b. the rose diagram of faults strike and frequency in Zhujiang River Mouth Basin; c. histogram of fault length and frequency in Zhujiang River Mouth Basin

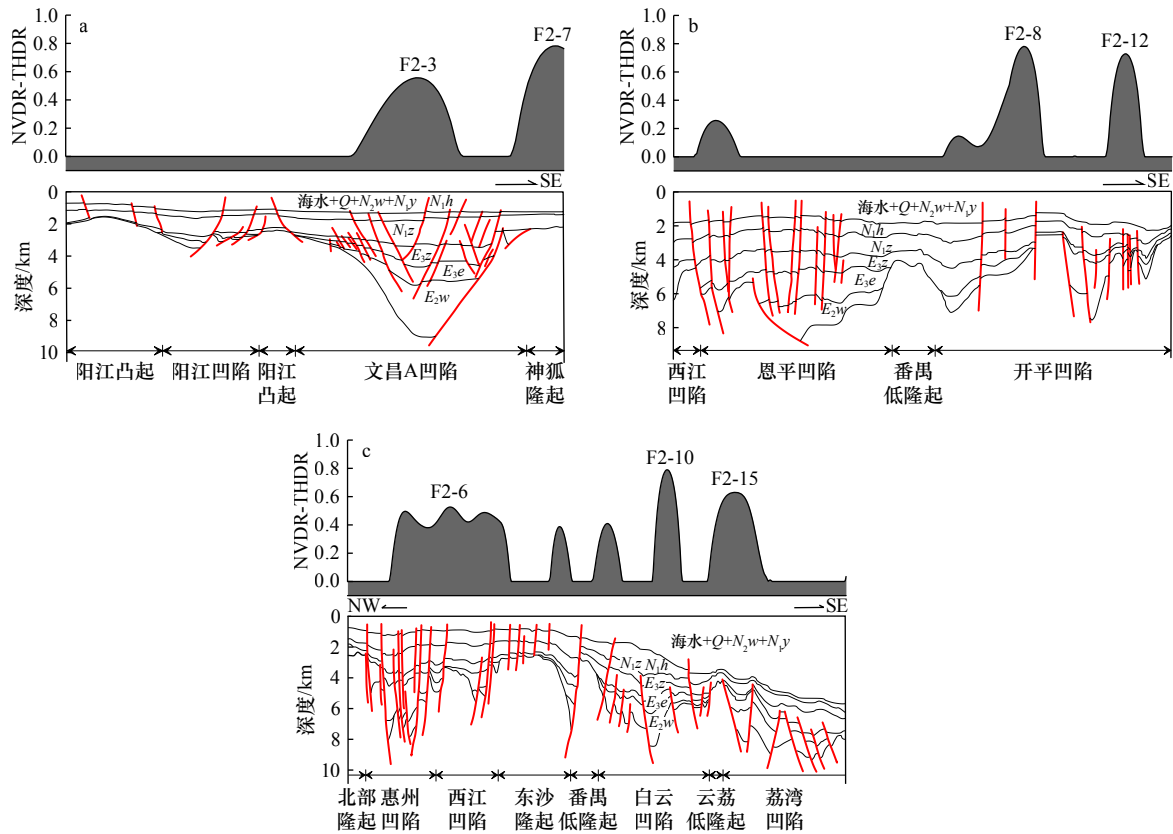


图 6 控凹断裂与地质剖面对应关系(据文献 [39])

Fig. 6 The relationship between sag controlled faults and geological profile (according to reference [39])

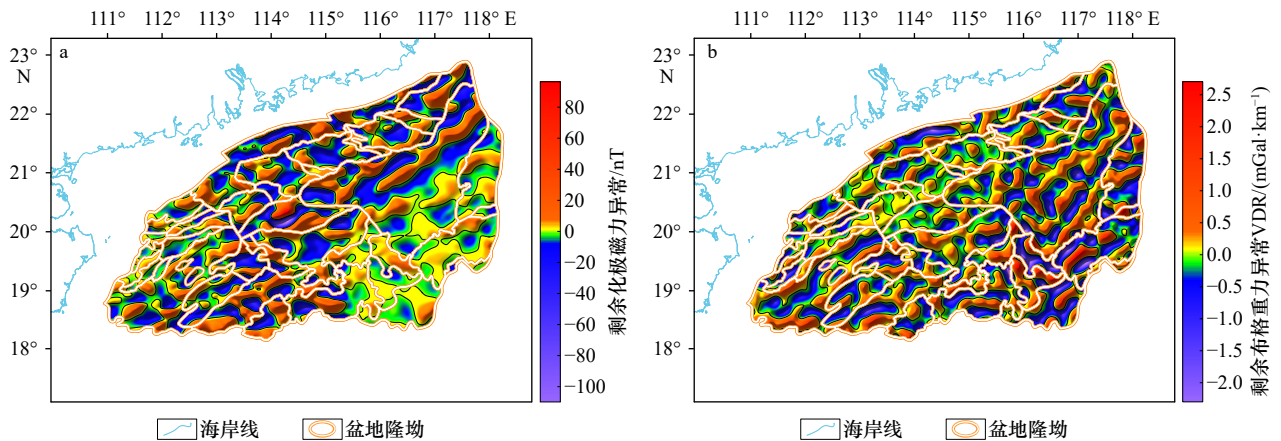


图 7 珠江口盆地剩余化极磁力异常(a)和珠江口盆地剩余布格重力异常 VDR 图(b)

Fig. 7 The map of the residual RTP magnetic anomalies in Zhujiang River Mouth Basin (a) and the map of the VDR of the residual Bouguer anomalies in Zhujiang River Mouth Basin (b)

认为南海北部陆缘的岩浆活动以中生代的岩浆侵入为主, 岩性以酸性为主, 中性次之; 新生代的岩浆活动仅次于中生代, 表现为岩浆喷出, 并具有旋回性的喷发特点, 岩性也由中酸性为主逐步转为基性为主^[27]。整个新生代基性岩喷发伴随着构造运动(盆地抬升与沉降、断裂活动等), 受台湾运动影响, 东部岩浆活动更加剧烈。从识别的火成岩来看, 偏基性岩的数量比

偏中性岩多, 主要分布于东沙群岛经珠江口南部至西沙群岛附近, 与这一带的岩浆活动相对应; 而酸性岩由于在重磁上响应较弱, 且其与大部分沉积岩类的物性相似, 不能很好地识别。整体上看, 盆地内火成岩东南部分布广, 北西部分布较少, 也表明了东西部的岩浆活动差异较大。

根据图 8a, 与前人识别区别最大处在隆起处, 特

表 3 珠江口盆地火成岩分类及新生界钻井揭示火成岩特征表 (据文献 [26])

Table 3 Classification of igneous rocks in Zhujiang River Mouth Basin and the features of igneous rocks revealed by Cenozoic drillings (according to reference [26])

二级构造单元	钻井岩石特征	识别结果
恩平凹陷	玄武岩夹凝灰岩	高密高磁
西江凹陷	玄武岩	低密低磁、高密高磁、高密低磁、低密高磁
惠州凹陷	英安斑岩、安山岩	低密低磁、低密高磁
惠陆低凸起	凝灰岩、安山岩、安山质凝灰岩、玄武岩	高密高磁、低密高磁
陆丰凹陷	粗面岩、流纹质/英安质凝灰岩、火山岩、角砾岩	低密低磁、高密高磁、高密低磁、低密高磁
海丰凹陷	角砾岩、凝灰岩	高密高磁、高密低磁
韩江凹陷	玄武岩、玄武质凝灰岩	高密高磁、低密低磁、低密高磁
云开低凸起	凝灰岩夹玄武岩、火山角砾岩、安山质凝灰岩	低密高磁、高密高磁、低密低磁
白云凹陷	凝灰岩	高密低磁、低密低磁、低密高磁、高密高磁
阳春凹陷	流纹质凝灰岩	低密高磁、低密低磁
阳江低凸起	玄武岩	低密高磁
文昌A凹陷	凝灰岩	高密低磁
文昌B凹陷	英安斑岩、蚀变珍珠岩	低密高磁、低密低磁
番禺低隆起	玄武岩	高密高磁、低密高磁、高密低磁、低密低磁
东沙隆起	玄武岩、流纹质凝灰岩、凝灰岩、凝灰岩熔岩、集块岩	高密高磁、低密高磁、高密低磁、低密低磁

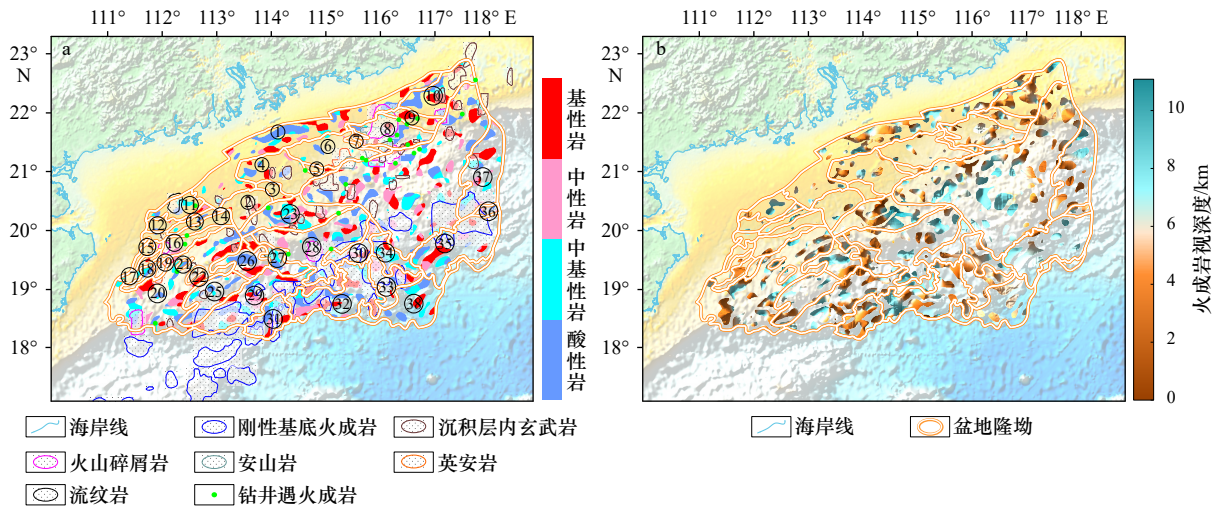


图 8 珠江口盆地火成岩岩性及与前人对比(对比文献 [26])(a)和珠江口盆地火成岩视深度(b)

Fig. 8 The horizontal distribution of igneous compare with others in Zhujiang River Mouth Basin (according to reference [26]) (a) and the top depth of igneous rocks in Zhujiang River Mouth Basin (b)

别是北部隆起和中央隆起带上。前人在北部隆起中并没有识别出火成岩,而本次研究中在北部隆起识别出了火成岩,且火成岩中基性岩较多,中性岩、中基性岩和酸性岩较少。前人在中央隆起带处识别的火成岩较少,认为中央隆起带分布有火山碎屑岩、沉积层内玄武岩以及东沙隆起南部的大面积刚性基底的

玄武岩。而本次识别结果显示,中央隆起带上火成岩分布较多且较为零散,在整个隆起区都有分布。中央隆起带上的火成岩同时具有基性岩、中性岩、中基性岩和酸性岩的岩性特征。根据前人收集的钻井资料,本次反演出的火成岩平面位置与钻遇火成岩点位对应良好。

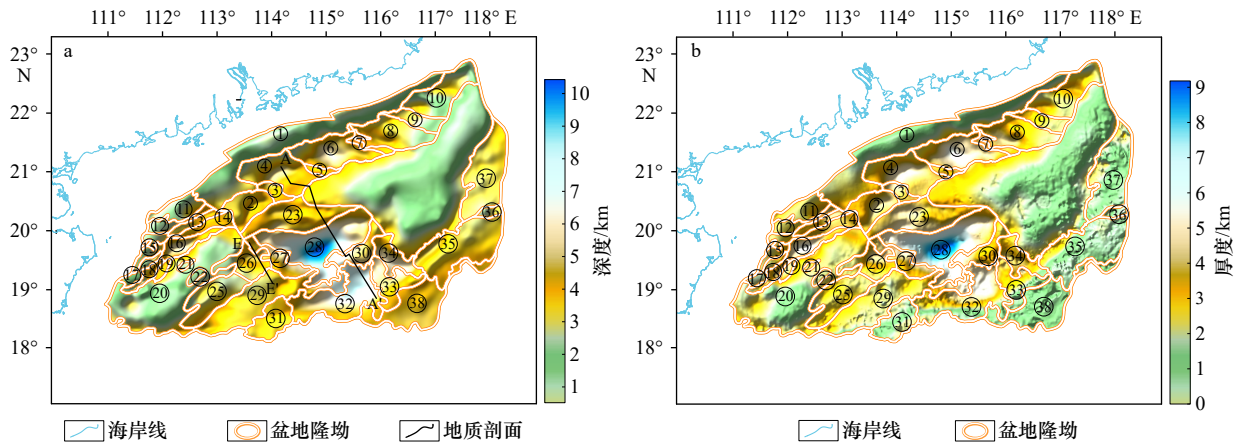


图9 珠江口盆地新生界底界面深度(a)和珠江口盆地新生界厚度(b)

Fig. 9 The depth of the bottom interface of Cenozoic in the Zhujiang River Mouth Basin (a) and the Cenozoic thickness of the Zhujiang River Mouth Basin (b)

同时,本次研究还根据沃纳反褶积反演方法^[58]计算了火成岩的视深度(图8b)。珠江口盆地火成岩的视深度在0~11 km之间,且盆地中神狐隆起-番禺低隆起-东沙隆起一带的火成岩视深度较深,凹陷中的火成岩视深度较浅。火成岩在新生界和前新生界中均有分布,说明珠江口盆地的火成岩同时具有新生代火成岩和前新生代火成岩。

3.3 新生界厚度反演

地下密度界面的起伏会在横向上形成密度差异,从而在重力异常上有所体现,通常坳陷和凹陷因密度较低的沉积层厚而表现为剩余重力异常低值,隆起和凸起因此沉积层薄而表现为剩余重力异常高值,因此依据重力异常可以进行新生界底界面的反演。本文利用最小曲率位场分离技术^[55]将不同参数下卫星重力异常的位场分离试算结果,分别与地震解释的新生界底界面深度进行相关分析,选取相关系数最大的剩余重力异常,认为它对新生界底界面深度变化有最好的反映。将高精度地震深度作为约束,根据珠江口盆地的各地质界面的物性差异,将新生界底界面上下密度差选为 -370 kg/m^3 ,采用双界面模型重力场快速反演技术^[56]得到新生界底界面埋深(图9a),再减去地形数据得到珠江口盆地的新生界厚度分布(图9b)。

由图9b可以看出,珠江口盆地的新生界厚度大部分介于0~9 km之间,且盆地中央有一个沉积中心,位于白云凹陷。珠一坳陷新生界沉积层厚度为2~6 km,珠二坳陷新生界厚度为2~9 km,珠三坳陷的新生界厚度为2~5.5 km,珠四坳陷的新生界厚度较其他几个坳陷更薄,为1~5.5 km。在珠四坳陷的南部反演出的新生界厚度较薄,符合“低隆起”的定义。但珠四坳陷中的靖海凹陷和揭阳凹陷

在反演结果中厚度较薄,一个可能的原因是在珠江口盆地的东侧存在一定的中生界残留,但在本次反演中并未考虑中生界的影响,导致对反演结果产生了一定的影响。

为验证本次新生界反演结果的可靠性,将反演的结果与约束点进行对比,采用均方根误差计算公式:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{\text{con},i} - Z_{\text{cal},i})^2}{n}}, \quad (1)$$

式中, $Z_{\text{con},i}$ 是约束点深度; $Z_{\text{cal},i}$ 是约束点处的反演深度。经与1 815个约束点对比,两个数据之差的最大值为3.27 km,最小值为-1.52 km,平均值为0.17 km,均方根误差RMSE为0.66 km。证明本次反演结果准确度较高。

再选择两条穿过珠江口盆地的地震剖面对新生界厚度进行验证,剖面位置见图9a,对比结果如图10所示。AA'剖面为穿过西江凹陷、东沙隆起、番禺低隆起、白云凹陷、云荔低隆起和荔湾凹陷的一条地震剖面^[9],细节信息比较丰富。在剖面上显示存在3个新生界深度较大的凹陷,分别为西江凹陷、白云凹陷和荔湾凹陷,其新生界深度分别为5 km、9 km和8 km,在隆起处的起伏形态也与地质剖面图相同。EE'剖面为穿过云开低凸起、开平凹陷和顺鹤隆起的一条剖面^[9],本次反演的结果与地震剖面在形态上相似:开平凹陷的新生界深度较周围更深,可以达到5 km,而云开低凸起和南部隆起新生界埋深比开平凹陷浅。两条剖面的对比结果说明,本次新生界反演的结果与地震剖面的结果吻合程度很高,新生界厚度反演结果准确。

3.4 构造单元展布特征

关于盆地构造单元的划分,学者们认为隆起和拗陷的边界被大型断裂(控拗断裂)隔开,凹陷之间被凸起(或低凸起)和控拗断裂分隔^[59-60]。在使用沉积层厚度划分构造单元时,根据研究范围不同,划分依据也各不相同^[29, 61-62]。参照前人划分盆地构造单元的依据,

本次研究依托于反演出的新生界厚度,依据水深 300 m 以浅的区域以 2 km 的新生界厚度、水深 300 m 以深的区域以 1 km 的新生界厚度为划分依据^[29],并结合剩余布格重力异常和断裂分布特征等因素,重新对珠江口盆地边界和内部构造单元重新划分,划分的结果如图 11 所示。

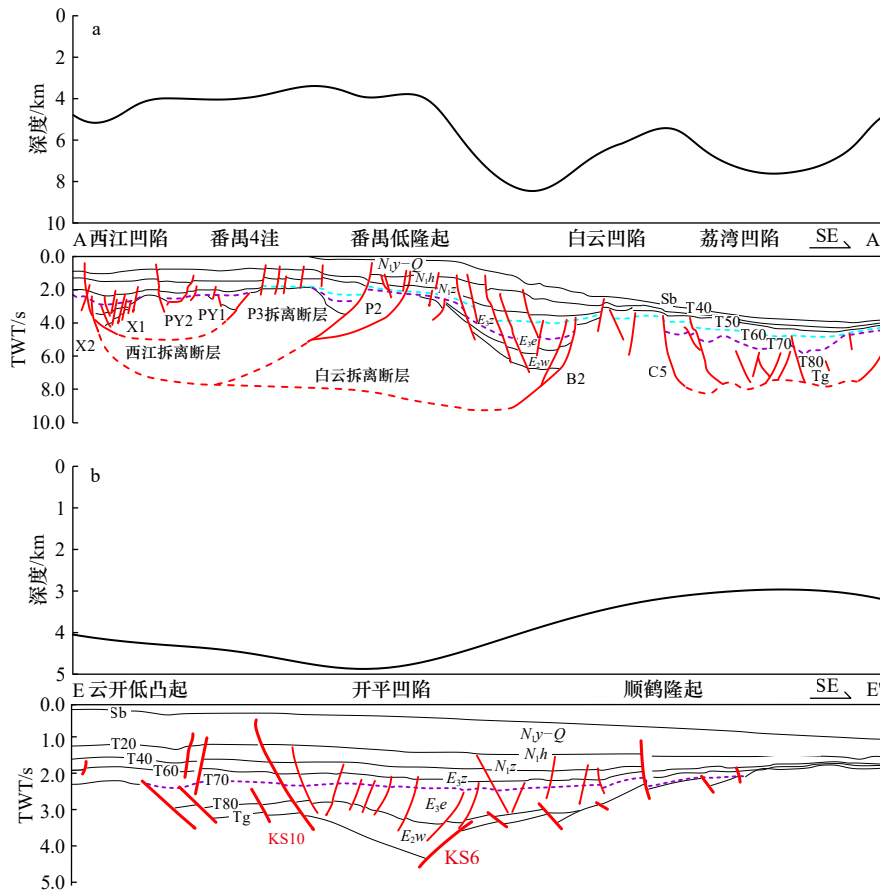


图 10 珠江口盆地新生界深度与地震剖面对比,上图为 AA'剖面,下图为 EE'剖面(据文献[3])
 Fig. 10 Cenozoic depth and seismic profiles comparison of the Zhujiang River Mouth Basin, the above picture is the profile AA', the below picture is the profile EE' (according to reference [3])

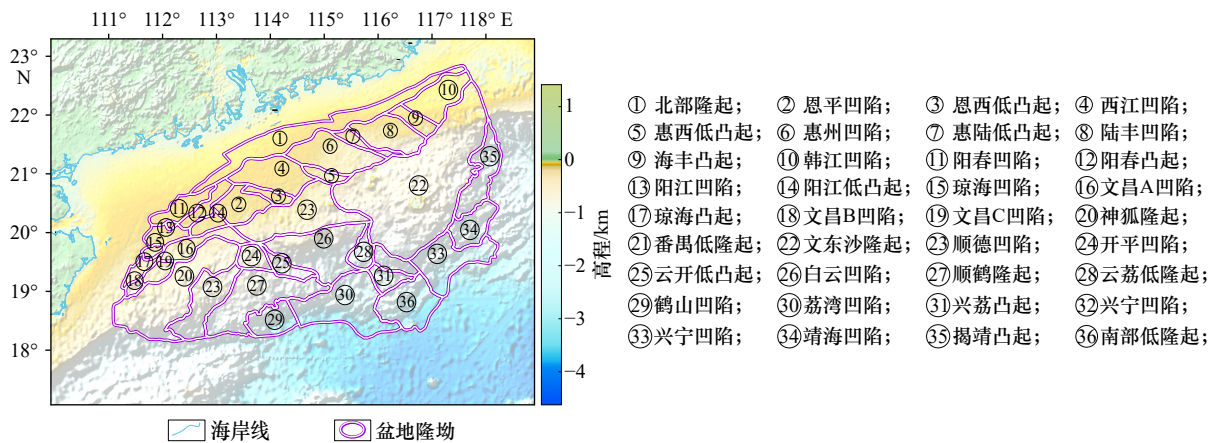


图 11 珠江口盆地构造单元划分结果
 Fig. 11 The division results of construction units in the Zhujiang River Mouth Basin

珠江口盆地作为南海北缘的新生代盆地之一,盆地构造单元大多呈 NEE-NE 向和近 EW 向展布,只有珠四拗陷东部呈 NNE 向展布,这可能与中生代太平洋板块俯冲方向有关。盆地构造格局主要为“四隆三拗”,呈现出“南北分带”的特征。珠一拗陷呈 NEE 向展布,其中的次级构造单元恩平凹陷、西江凹陷和惠州凹陷为近 EW 向,西恩低凸起、惠西低凸起、惠陆低凸起、陆丰凹陷和海丰凸起走向为 NWW 向,韩江凹陷走向为 NEE 向。珠二拗陷呈近 EW-NE 向展布,其中,顺德凹陷为 NE 向展布,珠二拗陷的其他构造单元如开平凹陷、云开低凸起和白云凹陷呈近 EW 向展布。珠三拗陷整体呈 NEE 向展布,珠四拗陷呈 NEE-NNE 向展布。

根据构造单元的划分依据,本次将珠江口盆地共 36 个二级构造单元根据新生界厚度进行调整,并将本次划分的构造单元与前人构造单元进行对比,如图 12a 所示。根据统计,前人划分珠江口盆地面积为 249 663 km²;本次划分新构造单元后,盆地面积为 246 058 km²,面积共缩小了 3 605 km²。除根据新生界厚度调整各构造单元边界外,根据剩余布格重力异常特征,阳江凹陷和阳江低凸起两个次级构造单元在新生界厚度上无明显特征,在剩余布格重力异常上体现为两个重力低的特征,故在本次研究中将阳江低凸起和阳江凹陷两个次级构造单元调整为阳江西凹陷和阳江东凹陷两个次级构造单元(图 12b)。文昌 D 凹

陷和文昌 E 凹陷因其构造单元面积小,在新生界厚度和剩余布格重力异常上特征不明显,其在本次的构造单元划分中无法划分独立构造单元,故将其删去。同时,在盆地南部,根据新生界厚度特征调整了原盆地边界。

4 讨论

经过构造单元的划分后,珠江口盆地的构造单元分别为北部隆起、北部凹陷带、中央隆起带、珠二拗陷、顺德隆起-云荔低隆起、珠四拗陷及南部低隆起组成的“四隆三拗”的构造格局。其中,北部拗陷带包含了珠一拗陷(恩平拗陷、西恩低凸起、西江拗陷、惠西低凸起、惠州拗陷、惠陆低凸起、陆丰拗陷、海丰凸起、韩江凹陷)和珠三拗陷(阳春凹陷、阳春凸起、阳江西凹、阳江东凹、琼海凹陷、琼海凸起、文昌 A 凹陷、文昌 B 凹陷、文昌 C 凹陷),中央隆起带为神狐隆起、番禺低隆起和东沙隆起,珠二拗陷带中包含了顺德凹陷、开平凹陷、云开低凸起和白云凹陷,珠四拗陷中的构造单元为鹤山凹陷、荔湾凹陷、兴荔凸起、兴宁凹陷、靖海凹陷、揭靖凸起和揭阳凹陷。下面分别讨论断裂与火成岩分布特征、断裂与新生界分布特征,以及断裂、火成岩和新生界的构造格局认识。

4.1 断裂与火成岩分布特征

将本次识别出的火成岩平面位置与划分的断裂

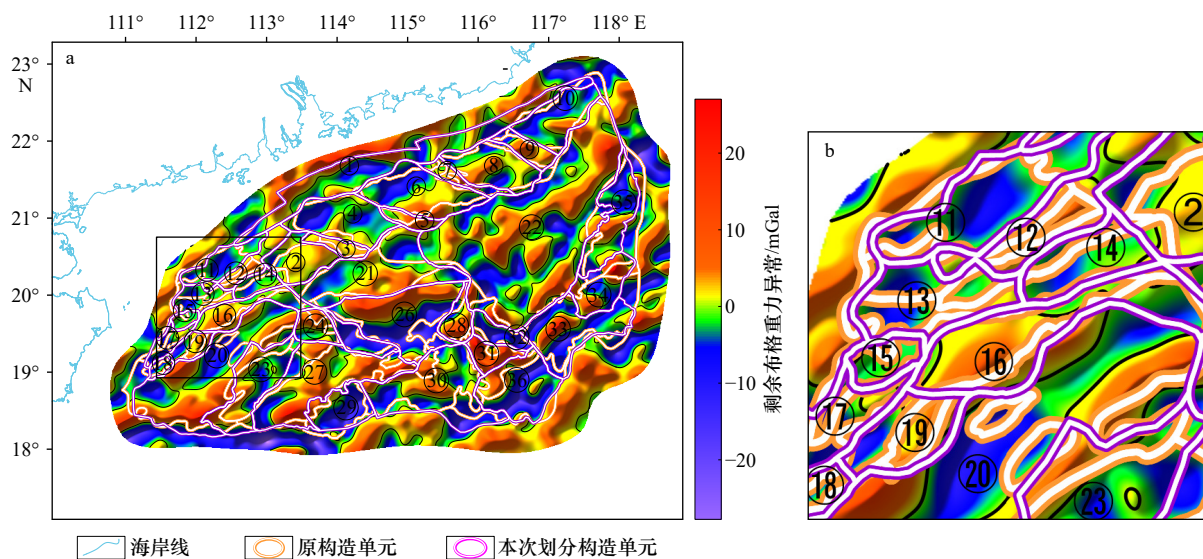


图 12 珠江口盆地构造单元对比(a)和图 a 中黑框部分剩余布格重力异常(b)

Fig. 12 The comparison of structural units in Zhujiang River Mouth Basin (a) and the black box with residual Bouguer gravity anomalies in figure a (b)

橙底白线为原构造单元,紫底白线为本次划分的构造单元

The white line with orange background is the former structural units, the white line with magenta background is the structural units of this division

进行叠合,如图 13a 所示。构造活动会对地层产生较强的破碎作用,当地层破碎到一定程度时,会形成一条明显的破裂面,这条破裂面的两侧的地层会相对上下滑动,就会产生断层,深部的岩浆会沿着断层面上涌和移动。故而从图上看,火成岩的走向受断裂影响很大,且断裂的交汇部位大多都有火成岩分布。如断裂 F2-8 走向为 NEE-NE 向,其附近的火成岩走向也为 NEE-NE 向;断裂 F1-4(西沙海槽断裂)走向为 NEE-近 EW 向,而盆地南部的火成岩走向也为 NEE-近 EW 向。盆地南部受南海洋盆影响,构造活动较盆地北部更为复杂,其断裂和火成岩分布也更为复杂。珠江口盆地被断裂 F1-3(阳江—统断裂)和断裂 F1-6(北卫滩断裂)两条断裂分为西部、中部和东部 3 个部分。断裂的走向在盆地不同区域内并不相同:在盆地西部断裂走向为 NEE 向、近 EW 向和 NW 向;在盆地中部为 NEE 向、NW 向、NWW 向,而在盆地东部断裂走向为 NE-NEE 向和 NW-NWW 向。盆地内火成岩的走向主要为 NEE 向,但不同区块间的火成岩走向并不完全相同:除 NEE 向外,火成岩在西部还呈近 EW 向展布,在中部呈 NWW 向展布,而在东部的火成岩也呈近 EW 向展布。

4.2 断裂分布与新生界厚度分布特征

将本次反演出的新生界厚度与识别出的断裂进行叠合,如图 13b 所示。从图上看,新生界厚度与断裂间有较为明显的对应关系。一些断裂附近的新生界厚度没有发生明显的突变,可以认为其为盖层断裂;而断裂附近新生界厚度发生突变的地区,认为这些断裂切割至基底。据此推断,新识别出的断裂中, F2-6 为基底断裂,而 F2-12、F2-24 和 F2-25 都是盖层断裂。

断裂 F2-17 和 F2-19 将盆地划分为西部、中部和东部 3 个部分。在盆地的西部,新生界有一个沉积中心——珠三拗陷的文昌 A 凹陷,此处新生界沉积在西部最厚,达到了 5.5 km。盆地中部的中生界沉积中心位于白云凹陷处,其沉积厚度超过 9 km,也是整个盆地的中生界沉积中心。同时,珠一拗陷中的西江凹陷和惠州凹陷也有较厚的中生界沉积,分别为 5 km 和 5.5 km,南部荔湾凹陷的新生界沉积深度也达到了 5.5 km。而在盆地东部,没有明显的沉积中心,东部中生界最深处位于惠州凹陷处,且从西向东,从北向南,中生界厚度逐渐减薄。中生界厚度在 3 个区块的沉积厚度呈现出“中间厚、两边薄”的特征。

4.3 构造格局认识

珠江口盆地的构造运动包括神狐运动、珠琼运动一幕、珠琼运动二幕、南海运动和东沙运动等^[22, 63]。珠江口盆地的形成始于晚白垩世-古新世的神狐运动,南海北部陆缘发生张裂,并形成 NNE-NE 向及 NW 向断裂,伴有中酸性岩浆喷发^[64]。早-中始新世的珠琼运动一幕形成了 NE-NEE 向的珠一拗陷和珠三拗陷,并伴有中酸性岩浆喷发^[21, 64]。中-晚始新世的珠琼运动二幕形成了近 EW 向的珠二拗陷和番禺低隆起,并伴有中酸性及基性岩浆喷发^[5, 64]。晚渐新世的南海运动,南海洋盆打开,使珠江口盆地进入拗陷发育阶段^[34]。中中新世末-晚中新世末的东沙运动,使东沙地区隆升,产生 NWW 向断裂,基性岩浆多沿两组断裂的交叉部位喷溢^[64]。

NW 向的阳江—统断裂(F1-3)和北卫滩断裂(F1-6)将盆地划分成了西部、中部和东部 3 个部分(图 14)。西部的火成岩走向多为 NEE 向和近 EW

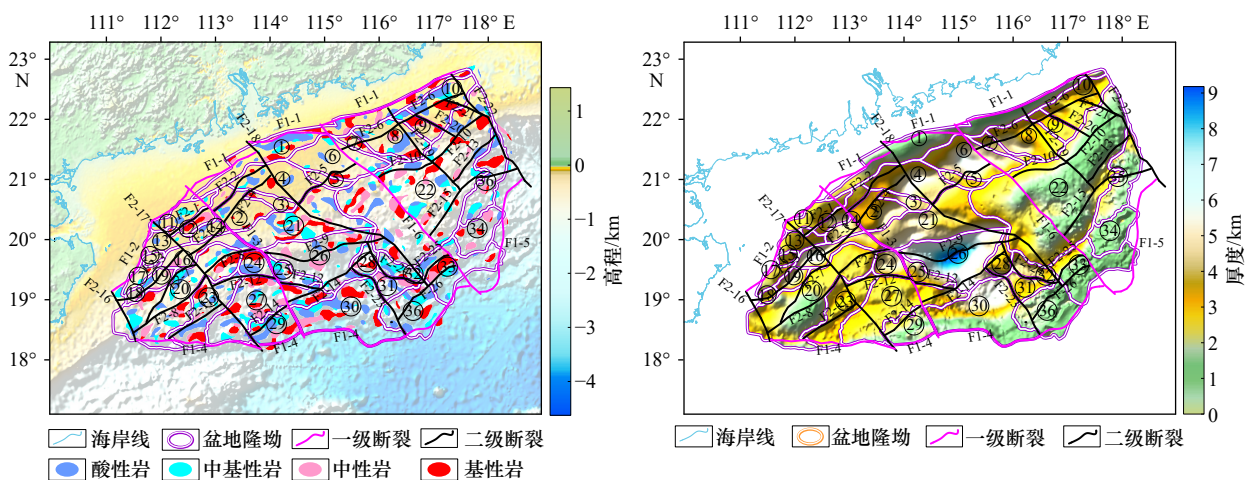


图 13 珠江口盆地火成岩平面分布与断裂叠合(a)和珠江口盆地新生界厚度与断裂叠合(b)

Fig. 13 Superposed of horizontal distribution of igneous rocks and faults in Zhujiang River Mouth Basin (a) and superposed of horizontal distribution of igneous rocks and faults in Zhujiang River Mouth Basin (b)

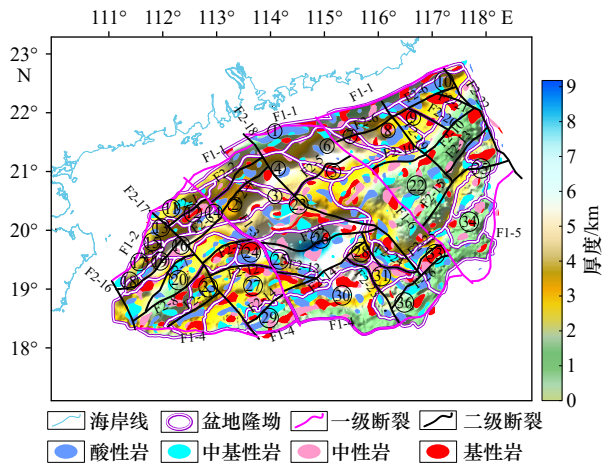


图 14 珠江口盆地构造格局叠合

Fig. 14 The overlay of tectonic framework of Zhujiang River Mouth Basin

向, 中部火成岩走向多为 NEE 向和 NWW 向, 而东部火成岩呈 NEE 向和近 EW 向。新生界厚度的分布规律也与这两条断裂关系较大: 盆地中部新生界厚度最厚, 西部次之, 东部最浅。因为在盆地东部存在一定的中生界残留, 故新生界沉积较其他两个分区更薄。在构造单元上, 西部构造单元如阳江西凹、阳江东凹、文昌 A 凹陷、文昌 B 凹陷和文昌 C 凹陷等多呈 NEE 走向, 中部恩平凹陷、西江凹陷、惠州凹陷和白云凹陷等构造单元呈近 EW 向展布, 而东部陆丰凹陷、韩江凹陷、揭阳凹陷和靖海凹陷等构造单元走向为 NNE 向和 NWW 向。综上, 本次研究认为北卫滩断裂 (F1-6) 与阳江—统断裂 (F1-3) 一同控制了盆地其他控凹断裂、火成岩分布和新生界厚度分布特征。

5 结论

本文以重力资料为主、磁力资料为辅, 根据 NVDR-THDR 技术识别了珠江口盆地的控盆断裂和控凹断裂, 根据 GMCP 技术识别了珠江口盆地火成岩平面位置分布, 同时结合双界面反演技术反演出了珠江口盆地的新生界厚度, 重新划分了珠江口盆地的构造单元。并得到如下结论:

(1) 本次在珠江口盆地共识别出了 32 条断裂, 其中 6 条为控盆断裂, 26 条为控凹断裂。研究区断裂

以 NEE、NE 和 NW 走向为主, NNE 和 NNW 走向为辅; 研究区的火成岩岩性有基性岩、中性岩、中基性岩和酸性岩, 火成岩的总体走向为 NEE 向。新生界厚度反演结果表明, 珠江口盆地内部新生界厚度主要在 1~9 km 之间, 新生界厚度的最厚处位于白云凹陷, 可达 9 km 以深; 珠一、珠二、珠三坳陷厚度在靠近盆地中部沉积较厚, 而盆地边缘处新生界沉积较薄。

(2) 阳江—统断裂 (F1-3) 和北卫滩断裂 (F1-6) 两条 NW 向断裂, 将整个盆地分为 3 个部分, 各部分构造特征存在明显差异。除了 NEE 向和 NW 向断裂外, 在两条断裂之间的中部, 断裂走向为 NE、NW、NEE 和近 EW 向, 而在阳江—统断裂 (F1-3) 以西、北卫滩断裂 (F1-6) 以东, 断裂分别呈近 EW 向和 NW-NWW 向。火成岩平面识别结果表明, 不同区块内走向存在差别: 西部有近 EW 向火成岩, 中部有 NWW 向火成岩展布, 东部存在近 EW 向火成岩分布。且火成岩在研究区北部分布较少, 中部和南部分布较多, 其走向与其附近断裂走向相同。

(3) 本次研究中, 根据珠江口盆地剩余布格重力异常特征和反演出的新生界厚度, 将阳江凹陷重新划分为阳江西凹陷和阳江东凹陷, 并删去了文昌 D 凹陷和文昌 E 凹陷, 同时也对盆地东部和南部的边界进行了调整。且珠江口盆地各构造单元分布很有规律: 凹陷的展布方向主要为 NNE-近 EW 向, 与盆地走向及布格重力异常走向一致; 低凸起多呈 NWW 向, 低隆起呈近 EW 向分布, 隆起走向为 NEE 向。珠江口盆地隆坳呈带状分布的构造特征构成了盆地内“四隆三坳”的构造格局。

(4) 珠江口盆地的断裂、火成岩平面位置、新生界厚度和构造单元构成了其构造格局。在这个构造格局中, 阳江—统断裂 (F1-3) 和北卫滩断裂 (F1-6) 将盆地分割成西、中、东 3 个部分, 各部分断裂走向、火成岩分布、新生界沉积特征和构造单元走向都不相同。

珠江口盆地所在的南海北部地区构造活动较为复杂, 本次研究旨在分析其构造格局的特殊性, 为后续的盆地相关研究和潜在富烃凹陷突破起到指导作用。

参考文献:

- [1] 郝天兆, 徐亚, 孙福利, 等. 南海共轭大陆边缘构造属性的综合地球物理研究 [J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3098-3116.
Hao Tianyao, Xu Ya, Sun Fuli, et al. Integrated geophysical research on the tectonic attribute of conjugate continental margin of South China Sea [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(12): 3098-3116.
- [2] 李三忠, 索艳慧, 刘鑫, 等. 南海的盆地群与盆地动力学 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(6): 55-78.
Li Sanzhong, Suo Yanhui, Liu Xin, et al. Basin dynamics and basin groups of the South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(6): 55-78.

- [3] 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, 44(2): 603–625.
Zhang Yuanze, Qi Jiafu, Wu Jingfu. Cenozoic faults systems and its geodynamics of the continental margin basins in the northern of South China Sea[J]. Earth Science, 2019, 44(2): 603–625.
- [4] 王嘉, 栾锡武, 何兵寿, 等. 南海北部珠江口盆地西南段断裂特征与成因讨论 [J]. 地球科学, 2021, 46(3): 916–928.
Wang Jia, Luan Xiwu, He Bingshou, et al. Characteristics and genesis of faults in southwestern Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea[J]. Earth Science, 2021, 46(3): 916–928.
- [5] 占华旺, 蔡国富, 张志伟, 等. 南海北缘古近纪断裂活动规律及控盆特征: 以阳江东凹为例 [J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 20–39.
Zhan Huawang, Cai Guofu, Zhang Zhiwei, et al. Paleogene fault activity and basin controlling characteristics in the northern South China Sea Margin — a case study of the eastern Yangjiang Sag[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2021, 45(1): 20–39.
- [6] 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.
Chen Hanzong, Wu Xiangjie, Zhou Di, et al. Meso-Cenozoic faults in Zhujiang River Mouth Basin and their geodynamic background[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(2): 52–61.
- [7] 罗新刚, 王万银, 张功成, 等. 基于重力资料的南海及邻区断裂分布特征研究 [J]. 地球物理学报, 2018, 61(10): 4255–4268.
Luo Xin'gang, Wang Wanyin, Zhang Gongcheng, et al. Study on distribution features of faults based on gravity data in the South China Sea and its adjacent areas[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(10): 4255–4268.
- [8] 李文勇, 李东旭. 中国南海不同板块边缘沉积盆地构造特征 [J]. 现代地质, 2006, 20(1): 19–29.
Li Wenyong, Li Dongxu. Tectonic characteristics on the sedimentary basins with different plate margins in the South China Sea[J]. Geoscience, 2006, 20(1): 19–29.
- [9] 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.
Cao Jinghe, Sun Jinlong, Xu Huilong, et al. Seismological features of the littoral fault zone in the Pearl River Estuary[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57(2): 498–508.
- [10] 曹敬贺, 夏少红, 孙金龙, 等. 珠江口盆地北部断裂构造特征对比及其地质学意义 [J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2364–2369.
Cao Jinghe, Xia Shaohong, Sun Jinlong, et al. Comparison of fault structure characteristics in the northern Pearl River Mouth Basin and its geological implication[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(5): 2364–2369.
- [11] 胡阳. 珠江口盆地珠一坳陷新生代盆地结构与成因演化 [J]. 高校地质学报, 2019, 25(1): 81–92.
Hu Yang. Basin structure and genetic evolution of the Zhu 1 Depression, during the Cenozoic, Pearl River Mouth Basin, south China[J]. Geological Journal of China Universities, 2019, 25(1): 81–92.
- [12] 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.
- [13] 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.
Lu Baoliang, Wang Pujun, Zhang Gongcheng, et al. Characteristic of regional fractures in South China Sea and its basement tectonic framework[J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(4): 1544–1553.
- [14] 刘以宣. 华南沿海的活动断裂 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1985(3): 11–21.
Liu Yixuan. The active fractures in South China coast[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1985(3): 11–21.
- [15] 宋海斌, 郝天珧, 江为为, 等. 南海地球物理场特征与基底断裂体系研究 [J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1): 24–34.
Song Haibin, Hao Tianyao, Jiang Weiwei, et al. Researches on geophysical field characteristics and basement fault system of South China Sea[J]. Progress in Geophysics, 2002, 17(1): 24–34.
- [16] 刘绍飞. 利用重磁异常研究南海盆地、断裂及岩浆岩分布 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
Liu Shaofei. Study on the distribution of basins, faults and igneous rocks by gravity and magnetic data in the South China Sea[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- [17] 李桐林, 石会彦, 郭志宏, 等. 基于卫星重磁资料的南海深部构造研究 [J]. 地球物理学报, 2018, 61(10): 4216–4230.
Li Tonglin, Shi Huiyan, Guo Zhihong, et al. Research on deep structure of the South China Sea based on satellite gravity and magnetic data[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(10): 4216–4230.
- [18] 周蒂, 王万银, 庞雄, 等. 地球物理资料所揭示的南海东北部中生代俯冲增生带 [J]. 中国科学 D 辑 地球科学, 2006, 36(3): 209–218.
Zhou Di, Wang Wanyin, Pang Xiong, et al. Mesozoic subduction-accretion zone in northeastern South China sea inferred from geophysical interpretations[J]. Science in China (Series D), 2006, 36(3): 209–218.
- [19] 蔡国富, 张向涛, 彭光荣, 等. 南海北部阳江—统暗沙断裂带与新近纪岩浆活动 [J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 40–52.
Cai Guofu, Zhang Xiangtao, Peng Guangrong, et al. Neogene volcanism and tectonics along the Yangjiang-Yitong'ansha Fault zone in the northern South China Sea margin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2021, 45(1): 40–52.
- [20] 陈少平, 王华, 刘丽芳, 等. 断裂时空差异性演化及其对生烃凹陷形成的控制——以珠江口盆地珠三坳陷为例 [J]. 断块油气田, 2015, 22(1): 1–6.
Chen Shaoping, Wang Hua, Liu Lifang, et al. Space-time diversity evolution of faults and its control on formation of hydrocarbon generation sag: taking Zhu III Depression in Pearl River Mouth Basin as an example[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2015, 22(1): 1–6.

- [21] 马晓倩, 刘军, 朱定伟, 等. 多期走滑拉分盆地的沉积响应: 以南海北部珠江口盆地为例 [J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(1): 64–78.
Ma Xiaolian, Liu Jun, Zhu Dingwei, et al. Sedimentary response of multi-stage pull-apart Basin: insights from the Pearl River Mouth Basin in the northern South China Sea margin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2021, 45(1): 64–78.
- [22] 刘雨晴, 吴智平, 程燕君, 等. 南海北缘古近纪裂陷结构时空差异及控制因素——以珠江口盆地为例 [J]. 中国矿业大学学报, 2019, 48(2): 367–376.
Liu Yuqing, Wu Zhiping, Cheng Yanjun, et al. Spatial and temporal difference of Paleogene rift structure and its controlling factors in the northern South China Sea: a case study of Pearl River Mouth Basin[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2019, 48(2): 367–376.
- [23] 祝嵩, 姚永坚, 李学杰. 南海及邻区岩浆岩时空分布特征及机制 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(4): 87–115.
Zhu Song, Yao Yongjian, Li Xuejie. Spatio-temporal distribution pattern of magmatic rocks and mechanism in the South China Sea and adjacent areas[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2021, 41(4): 87–115.
- [24] Yang Min, Wang Wanyin, Zhang Gongcheng, et al. Relationship between the extent of igneous rocks and deep structures as determined by gravitational and magnetic data in the South China Sea[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2021, 95(1): 294–304.
- [25] 张斌, 王璞珺, 张功成, 等. 珠-琼盆地新生界火山岩特征及其油气地质意义 [J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(6): 657–665.
Zhang Bin, Wang Pujun, Zhang Gongcheng, et al. Cenozoic volcanic rocks in the Pearl River Mouth and Southeast Hainan Basins of South China Sea and their implications for petroleum geology[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(6): 657–665.
- [26] 吴兴. 南海北部盆地火成岩分布的重磁识别研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
Wu Xing. Study igneous rock distribution of northern South China Sea by using gravity and magnetic method[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2016.
- [27] 张丙坤, 李三忠, 夏真, 等. 南海北部深水区新生代岩浆岩分布规律及其与海底地质灾害的相关性 [J]. 海洋学报, 2014, 36(11): 90–100.
Zhang Bingkun, Li Sanzhong, Xia Zhen, et al. Distribution of Cenozoic igneous rocks and its relation to submarine geological hazards in the deepwater area of the northern South China Sea[J]. *Haiyang Xuebao*, 2014, 36(11): 90–100.
- [28] 张峤. 南海北部陆缘新生代岩浆活动及构造意义 [D]. 青岛: 中国科学院研究生院 (海洋研究所), 2014.
Zhang Qiao. Cenozoic magmatism in the northern continental margin of the South China Sea and its implication for the tectonic evolution of the rifted margin[D]. Qingdao: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences), 2014.
- [29] 冯旭亮, 张功成, 王万银, 等. 基于重磁震资料的南海新生代盆地分布综合研究 [J]. 地球物理学报, 2018, 61(10): 4242–4254.
Feng Xuliang, Zhang Gongcheng, Wang Wanyin, et al. An integrated study on distribution of Cenozoic basins in the South China Sea based on gravity, magnetic and seismic data[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2018, 61(10): 4242–4254.
- [30] 杨东升, 赵志刚, 杨海长, 等. 南海北部超深水区兴宁-靖海凹陷中-新生代构造演化及其油气勘探意义 [J]. 中国石油勘探, 2018, 23(5): 28–36.
Yang Dongsheng, Zhao Zhigang, Yang Haichang, et al. Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution and its oil and gas exploration significance in Xingning-Jinghai Sag in ultra-deep water area, northern South China Sea[J]. *China Petroleum Exploration*, 2018, 23(5): 28–36.
- [31] 惠格格, 李志刚, 王伟涛, 等. 南海北部陆架断裂系统特征及其对南海打开的启示意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2022, 46(3): 501–516.
Hui Gege, Li Zhigang, Wang Weitao, et al. The fault assembly characteristics on the northern South China Sea continental margin and its implications on the South China Sea spreading[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2022, 46(3): 501–516.
- [32] 王树祥. 地壳伸展与珠江口盆地的形成 [J]. 中国海上油气, 1993(2): 21–25.
Wang Shuxiang. Crustal extension and the formation of Pearl River Mouth Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 1993(2): 21–25.
- [33] 何家雄, 陈胜红, 马文宏, 等. 南海东北部珠江口盆地成生演化与油气运聚成藏规律 [J]. 中国地质, 2012, 39(1): 106–118.
He Jiaxiong, Chen Shenghong, Ma Wenhong, et al. The evolution, migration and accumulation regularity of oil and gas in Zhujiangkou Basin, northeastern South China Sea[J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 106–118.
- [34] 王鹏程, 李三忠, 郭玲莉, 等. 南海打开模式: 右行走滑拉分与古南海俯冲拖曳 [J]. 地学前缘, 2017, 24(4): 294–319.
Wang Pengcheng, Li Sanzhong, Guo Lingli, et al. Opening of the South China Sea (SCS): a joint effect of dextral strike-slip pull-apart and proto-SCS slab pull[J]. *Earth Science Frontiers*, 2017, 24(4): 294–319.
- [35] 张文昭, 张厚和, 李春荣, 等. 珠江口盆地油气勘探历程与启示 [J]. 新疆石油地质, 2021, 42(3): 346–352, 363.
Zhang Wenzhao, Zhang Houhe, Li Chunrong et al. Petroleum exploration history and enlightenment in Pearl River Mouth Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2021, 42(3): 346–352, 363.
- [36] 米立军, 周守为, 谢玉洪, 等. 南海北部深水区油气勘探进展与未来展望 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(3): 58–65.
Mi Lijun, Zhou Shouwei, Xie Yuhong, et al. Deep-water oil and gas exploration in northern South China Sea: progress and outlook[J]. *Strategic Study of CAE*, 2022, 24(3): 58–65.
- [37] 郭彬. 珠江口盆地新生代地层及其含油气性 [J]. 石油与天然气地质, 1984(1): 11–19.
Guo Bin. On the Cenozoic strata and their petroleum potential of Zhujiangkou Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 1984(1): 11–19.
- [38] 丁原章. 珠江口盆地及其邻近地区的活动断裂与地震活动 [J]. 中国地震, 1994, 10(4): 307–319.
Ding Yuanzhang. The active faults and the seismic activity in the Pearl River Mouth Basin and its vicinity areas[J]. *Earthquake Research*

- in China, 1994, 10(4): 307–319.
- [39] 王雪, 吕宝凤, 梁捷尉, 等. 南海北部珠江口盆地新生代伸展过程及其区域差异性定量研究 [J]. 海洋通报, 2016, 35(5): 507–515, 544. Wang Xue, Lü Baofeng, Liang Jiewei, et al. A quantitative study on the Cenozoic extension process and its regional differences in the Pearl River Mouth Basin of northern South China Sea based on balanced section restoration[J]. Marine Science Bulletin, 2016, 35(5): 507–515, 544.
- [40] 索艳慧, 李三忠, 曹现志, 等. 中国东部中生代反转构造及其记录的大洋板块俯冲过程 [J]. 地学前缘, 2017, 24(4): 249–267. Suo Yanhui, Li Sanzhong, Cao Xianzhi, et al. Mesozoic-Cenozoic inversion tectonics of East China and its implications for the subduction process of the oceanic plate[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(4): 249–267.
- [41] 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. Wang Jialin, Zhang Xinbing, Wu Jiansheng, et al. Integrated geophysical researches on base texture of Zhujiang River Mouth Basin[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2002, 21(2): 13–22.
- [42] 陈冰. 南海东北部新生代沉积盆地基底的地球物理特征及其地质解释 [D]. 上海: 同济大学, 2004. Chen Bing. Geophysical features and geological interpretation of Cenozoic sedimentary basin basement in the northeast area of South China Sea[D]. Shanghai: Tongji University, 2004.
- [43] Sandwell D T, Smith W H F. Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: ridge segmentation versus spreading rate[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2009, 114(B1): B01411.
- [44] Sandwell D, Garcia E, Soofi K, et al. Toward 1-mGal accuracy in global marine gravity from CryoSat-2, Envisat, and Jason-1[J]. *The Leading Edge*, 2013, 32(8): 892–899.
- [45] Sandwell D T, Müller R D, Smith W H F, et al. New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure[J]. *Science*, 2014, 346(6205): 65–67.
- [46] 张功成, 贾庆军, 王万银, 等. 南海构造格局及其演化 [J]. 地球物理学报, 2018, 61(10): 4194–4215. Zhang Gongcheng, Jia Qingjun, Wang Wanyin, et al. On tectonic framework and evolution of the South China Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(10): 4194–4215.
- [47] 雷受旻. 重力广义地形改正值和均衡改正值的一种计算方法 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1984(1): 101–111. Lei Shoumin. Calculation of generalized topographic and isostatic gravity corrections[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1984(1): 101–111.
- [48] 秦静欣, 郝天璠, 徐亚, 等. 南海及邻区莫霍面深度分布特征及其与各构造单元的关系 [J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3171–3183. Qin Jingxin, Hao Tianfan, Xu Ya, et al. The distribution characteristics and the relationship between the tectonic units of the Moho depth in South China Sea and adjacent areas[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(12): 3171–3183.
- [49] 刘福香, 王万银, 纪晓琳, 等. “多维”多尺度重磁位场数据融合方法 [J]. 地球物理学报, 2021, 64(4): 1453–1470. Liu Fuxiang, Wang Wanyin, Ji Xiaolin, et al. The fusion with gravity and magnetic potential field data at multi-dimension and multi-scale[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2021, 64(4): 1453–1470.
- [50] He Tao, Xiong Shengqing, Wang Wanyin. Three-dimensional transformation of magnetization direction and magnetic field component at low latitudes based on vertical relationship[J]. *Applied Geophysics*, 2022, 19(1): 91–106.
- [51] Wang Wanyin, Pan Yu, Qiu Zhiyun. A new edge recognition technology based on the normalized vertical derivative of the total horizontal derivative for potential field data[J]. *Applied Geophysics*, 2009, 6(3): 226–233.
- [52] Zhu Yingjie, Wang Wanyin, Farquharson C G, et al. Normalized vertical derivatives in the edge enhancement of maximum-edge-recognition methods in potential fields[J]. *Geophysics*, 2021, 86(4): G23–G34.
- [53] 王丁丁, 王万银, 朱莹洁, 等. 位场边缘识别特征点提取方法及应用 [J]. 地球物理学报, 2021, 64(4): 1401–1411. Wang Dingding, Wang Wanyin, Zhu Yingjie, et al. Extraction methods and application of feature points of edge recognition for potential field[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2021, 64(4): 1401–1411.
- [54] 鲁宝亮, 马涛, 熊盛青, 等. 基于重磁异常相关分析的场源位置及属性识别方法 [J]. 地球物理学报, 2020, 63(4): 1663–1674. Lu Baoliang, Ma Tao, Xiong Shengqing, et al. A new recognition method for source locations and attributes based on correlation analysis of gravity and magnetic anomalies[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2020, 63(4): 1663–1674.
- [55] 纪晓琳, 王万银, 邱之云. 最小曲率位场分离方法研究 [J]. 地球物理学报, 2015, 58(3): 1042–1058. Ji Xiaolin, Wang Wanyin, Qiu Zhiyun. The research to the minimum curvature technique for potential field data separation[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58(3): 1042–1058.
- [56] 王万银, 潘作枢. 双界面模型重力场快速正反演问题 [J]. 石油物探, 1993, 32(2): 81–87, 123. Wang Wanyin, Pan Zuoshu. Fast solution of forward and inverse problems for gravity field in a dual interface model[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1993, 32(2): 81–87, 123.
- [57] 张莉, 张光学, 王嘹亮, 等. 南海北部中生界分布及油气资源前景 [M]. 北京: 地质出版社, 2014. Zhang Li, Zhang Guangxue, Wang Liaoliang, et al. Mesozoic Distribution and Prospect of Oil and Gas Resources in the Northern South China Sea[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [58] 王万银, 罗新刚. 重磁场二度体边缘深度反演研究进展 [J]. 物探与化探, 2023, 47(3): 547–562. Wang Wanyin, Luo Xin'gang. Research on edge depth inversion of 2D geological body based on gravity and magnetic field[J]. Geophys-

- ical and Geochemical Exploration, 2023, 47(3): 547–562.
- [59] 王步清, 黄智斌, 马培领, 等. 塔里木盆地构造单元划分标准、依据和原则的建立 [J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 86–93.
Wang Buqing, Huang Zhibin, Ma Peiling, et al. Establishment of division standard, evidence and principle of structural units in Tarim Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(1): 86–93.
- [60] 张吉光, 王英武. 沉积盆地构造单元划分与命名规范化讨论 [J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 309–313, 318.
Zhang Jiguang, Wang Yingwu. Discussion on standard of classification and nomenclature of structural elements in sedimentary basins[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2010, 32(4): 309–313, 318.
- [61] 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.
Yao Bochu. Tectonic evolution of the South China Sea in Cenozoic[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(2): 1–13.
- [62] 张智武, 吴世敏, 樊开意, 等. 南沙海区沉积盆地油气资源评价及重点勘探地区 [J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 418–424.
Zhang Zhiwu, Wu Shimin, Fan Kaiyi, et al. Evaluation of hydrocarbon resources and key exploration areas in Nansha Block, southern South China Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2005, 29(3): 418–424.
- [63] 朱明, 张向涛, 黄玉平, 等. 珠江口盆地烃源岩特征及资源潜力 [J]. 石油学报, 2019, 40(S1): 53–68.
Zhu Ming, Zhang Xiangtao, Huang Yuping, et al. Source rock characteristics and resource potential in Pearl River Mouth Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2019, 40(S1): 53–68.
- [64] 李平鲁. 珠江口盆地新生代构造运动 [J]. 中国海上油气, 1993, 7(6): 11–17.
Li Pinglu. Cenozoic tectonic movement in the Pearl River Mouth Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 1993, 7(6): 11–17.

Tectonic framework research in Zhujiang River Mouth Basin based on gravity and magnetic data

He Zeyang¹, Bai Zhizhao², Wang Wanyin^{1,3,4}, Li Linzhi², Zhang Yimi^{1,5}, Chen Ying², He Tao^{1,5}, Ma Ruiyun¹

(1. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China; 3. National Engineering Research Center of Offshore Oil and Gas Exploration, Beijing 100028, China; 4. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Chinese Academy of Science, Qingdao 266071, China; 5. Department of Earth Sciences, Memorial University of Newfoundland, St. Johns A1B3X5, Canada)

Abstract: The Zhujiang River Mouth Basin is located in the northern shelf of the South China Sea, and its tectonic evolution is very complicated. At the same time, as one of the hydrocarbon-rich basins in offshore China, Zhujiang River Mouth Basin ranks the top in oil and gas production among the offshore basins. With the deepening of exploration, the boundary of the Zhujiang River Mouth Basin has been changing, and the southern boundary of the basin is disputed. In this paper, based on satellite gravity and magnetic anomaly data, the fault distribution of Zhujiang River Mouth Basin is re-studied and the plane location of igneous rocks is identified. The Cenozoic thickness of the study area is retrieved with high-precision seismic data, and the tectonic units of the study area are adjusted according to the processing results. The results show that the fault distribution in the study area is mainly NEE, NE and NW trending. In this study, four new faults were identified based on the satellite gravity data. The overall strike of the igneous rocks in the plane is NEE strike, but there are differences among different regional strikes. There are nearly EW trending igneous rocks in the western basin, NWW trending igneous rocks in the central basin, and no other strike in the eastern basin. According to gravity data and Cenozoic characteristics, Yangjiang Sag is divided into Yangjiang West Sag and Yangjiang East Sag, and Wenchang D Sag and Wenchang E Sag are deleted. The Beiweitan Fault is the same as the Yangjiang-Yitong Fault, which divides the basin into three parts: the west, the middle and the east. The fault strike, the plane position of igneous rock, the thickness of Cenozoic and the tectonic units of the three parts are different. The study of faults, igneous rocks and tectonic units in Zhujiang River Mouth Basin aims to provide geophysical support for subsequent basin research and oil and gas breakthrough.

Key words: gravity and magnetic data; faults; igneous rocks; Cenozoic surface