

渤海海峡跨海通道地壳稳定性调查评价研究进展*

赵铁虎^{*1,2} 齐君^{1,2}

(1. 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室,青岛海洋地质研究所,山东 青岛 266071)

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

摘要 中国地质调查局立项开展的渤海海峡跨海通道地壳稳定性的调查评价是重大涉海工程前期的基础性工作,该项目在收集已有成果资料的基础上,对渤海海峡区域进行了系统的地球物理勘测与研究,分析了灾害地质类型,甄别出了主要的活动断裂,开展了渤海海峡及邻区的外围地震活动性和地壳层析成像研究,并进行了地应力、微震实地长期监测。本文简要介绍了目前项目研究进展及取得的初步成果。

关键词 渤海海峡;通道;地壳稳定性;断裂;地震

引言

渤海海峡跨海通道具有重大战略意义^[1,2],其主要设想是利用渤海海峡有利的地理条件,从山东蓬莱经长岛至辽宁旅顺,建设公路和铁路结合的跨越渤海的直达快捷通道,可以改变中国的铁路运输和公路运输等现有的交通格局,对促进环渤海区域经济全面协调一体化发展、振兴东北老工业基地以及巩固国防等都具有十分重要的意义^[3]。

区域地壳稳定性评价是所有重大工程选址的重要依据。为了给渤海海峡跨海通道工程的论证、规划、建设以及将来的运营提供科学依据和基础地质资料,2012年中国地质调查局启动了渤海海峡跨海通道地壳稳定性调查评价工作,其总体目标是以渤海海峡地区新近纪以来的主要断裂为重点调查对象,进行系统的地球物理勘测,开展渤海海峡跨海通道及其外围地震活动性、活动断裂研究,识别、分析渤海海峡跨海通道区域新近纪以来主要地层断裂的性质、分布特征与成因,甄别出主要的活动断裂;进行陆岛区钻探、地应力测量与监测工作。在综合多种资料的基础上评价地壳稳定性,为渤海海峡跨海通道建设项目提供基础地质资料。该项目由青岛海

洋地质研究所承担,通过几年努力,项目组在实测资料基础上,综合历史资料和已有成果,较系统地开展了渤海海峡区域地壳稳定性综合评价研究。本文介绍目前实际调查与研究取得的初步成果。

1 项目进展

1.1 资料收集与分析

本项目收集了渤海海峡及附近区域已有的遥感、地质、地球物理等方面的报告、图件及数据资料(范围见图1),并进行了系统地整理与分析。从分析情况来看,对陆域断裂的认识虽然不尽统一,但由于有测年等技术的支持,在断裂活动性方面认识相对统一。在海域,由于资料相对较少且受调查手段限制,对其断裂的认识仍然是众说纷纭,莫衷一是。总体来看,在郯庐断裂中段渤海海域由于缺乏系统的实测资料,对断裂展布的认识仍存在较大争议。张家口—蓬莱断裂带在海域部分的研究非常薄弱,有待进行深入地研究。另外,渤海、北黄海内的NE向和NW向断裂也较为发育,应予以重视。长岛周边海域为地震密集区,尤其是山东半岛北部近海区域,小震微震不断,其与断裂活动性的关系应深入研究。岛屿间海底冲刷沟槽较多,深度较大,也是将来

收稿日期:2015-04-23

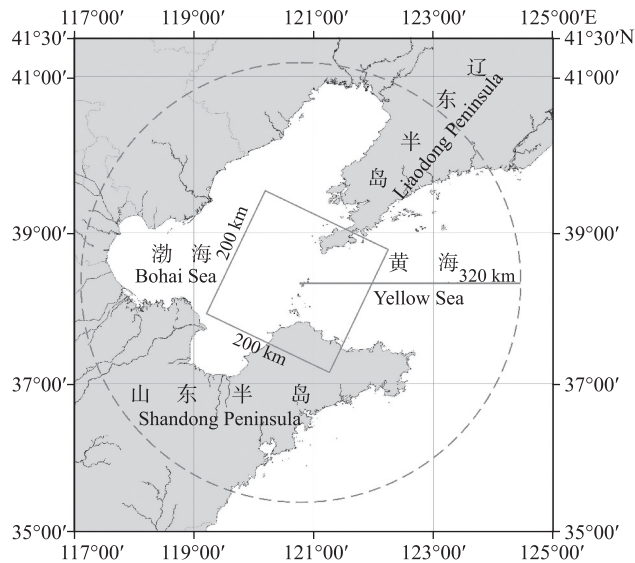
* 国家海洋地质专项工作项目(GZH201200504)资助

作者简介:赵铁虎(1962—),男,研究员,主要从事海洋地质与地球物理调查研究。E-mail: thzhao2007@126.com

跨海通道工程建设的不利因素。

1.2 海域地球物理调查

项目组在2012~2014年期间,利用多种新型海洋地球物理调查设备陆续开展了浅地层剖面、侧扫声纳、高分辨率地震以及同步测深工作,获得了大量有关地形地貌、浅地层结构及高分辨率地震剖面实测数据资料。现场数据采集完成后,根据研究区海域水文及地质环境特点,采用多种去噪处理、短周期



注:中间实线框内海域为实际调查区,虚线圆圈为资料收集区。

Note: The inner region of solid line box is surveyed sea waters, inner region of dotted circle is data collection area.

图1 资料收集及海域调查范围

Fig. 1 The range of data collection and investigation

1.3 陆岛浅钻、地应力观测及微震监测

在渤海海峡的陆岛区,布置了全取心地质浅钻8个,累计进尺约727.89 m,并进行了钻孔地应力测量,建成了地应力监测站(网)8处及数据中心1个,并建设微地震监测台站(网)10处,各台站位置见图3。这些已经开始工作的观测仪器所记录的数据将在后续现代地应力分析、微地震观测中发挥重要作用。

2 取得的初步成果

2.1 地球物理剖面分析解释

对浅地层剖面探测和高分辨率多道地震资料进行了系统分析与地质解释,典型剖面解释图如图4所示。编制了全新统底界面埋深和地层等厚图、第

四次波压制、高精度速度分析以及叠前时间偏移成像等针对性技术对高分辨率地震剖面进行了精细处理,处理后的资料较清晰地显示了研究区中、浅层较复杂的构造成像,且剖面上断点、断面较清晰,波组特征与接触关系明显,清楚地揭示了渤海海峡新近纪以来海底地层的结构与构造的形态、幅度、类型以及空间分布位置。完成的高分辨率地震材料实际材料图见图2。

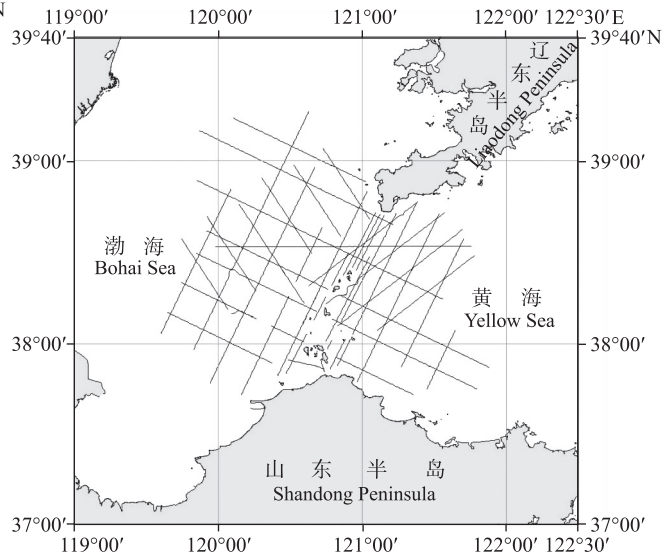


图2 高分辨率地震测量实际材料图

Fig. 2 The field map of high-resolution seismic survey

四系底界面埋深图(图5)以及调查区东部新近系底界面埋深图。通过对断裂构造进行识别、追踪和解释,初步查明了区内晚更新世以来的分布情况,圈定了研究区内大断裂的展布图(图6),初步分析了主要断裂带分布及其与现代地震活动的关系。

如图5所示,渤海海峡通道研究区的第四系沉积层厚度可以分为东、西两部分。西部为渤海湾盆地,经新生代裂陷作用后长期沉降,形成巨厚的新生代沉积地层,第四系地层全区均有分布,且沉积厚度较大,渤中区最厚沉积超过700 m。而且,该海域的第四系沉积物普遍受郯庐断裂渤海段、张家口—蓬莱断裂带的影响产生地层严重挤压褶皱变形。东部为胶辽隆起区,基底隆升,第四系沉积厚度普遍较小,除长山列岛周围厚度较小外,其余地区厚度在100~250 m。

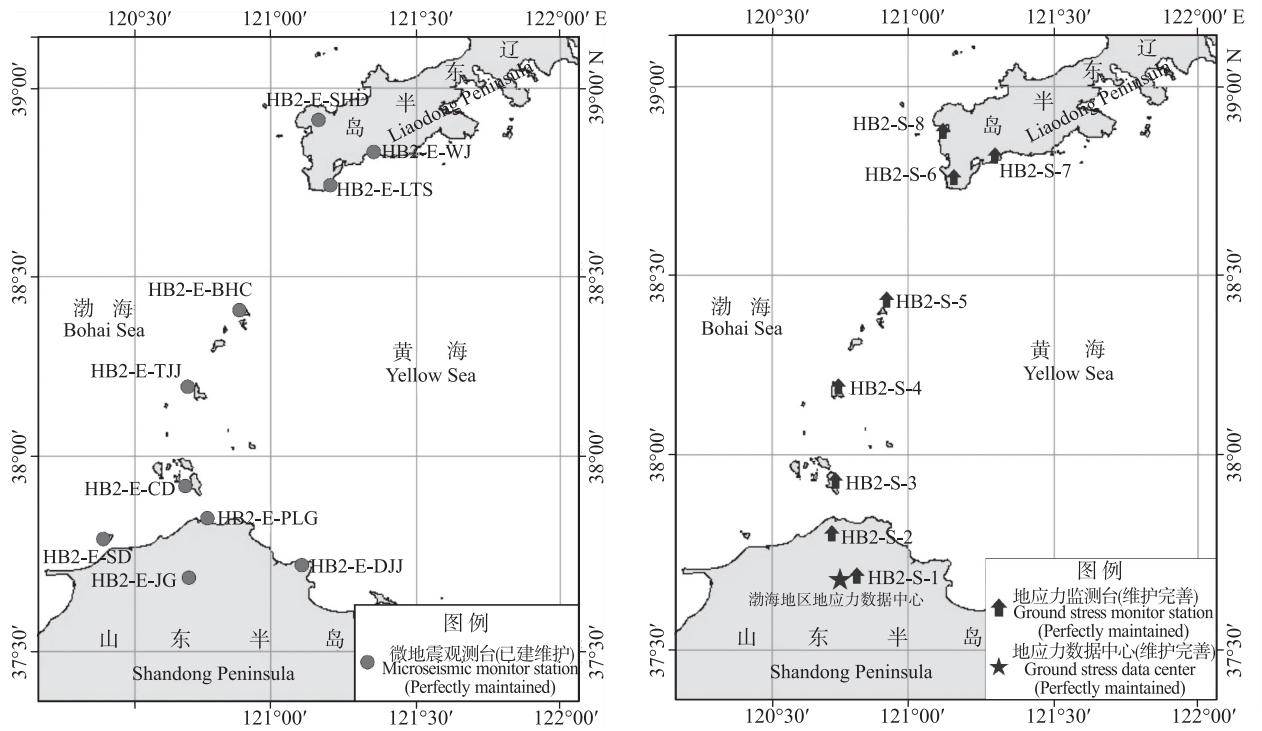
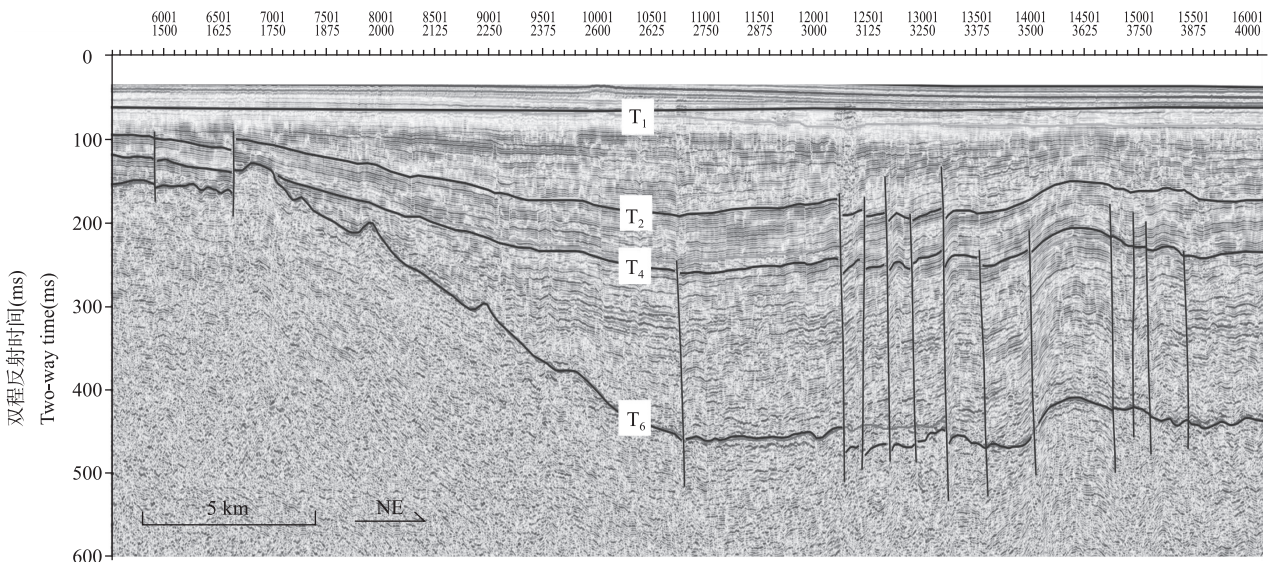


图 3 跨海通道陆岛区地应力、微震监测站位图

Fig. 3 The position of geostress and microearthquake monitoring in the areas of land and island along the trans-sea channel



注: T1: 全新统底界面; T2: 晚更新统底界面; T4: 第四系底界面; T6: 新近系底界面。

Note: T1: the bottom interface of Holocene; T2: the bottom interface of Late Pleistocene; T4: the bottom interface of Quaternary; T6: the bottom interface of Neogene.

图 4 渤海海峡多道地震调查典型剖面解释图 (长岛以东海域)

Fig. 4 The interpretation of typical multichannel seismic survey profile in Bohai Strait (In the east of Changdao Island sea area)

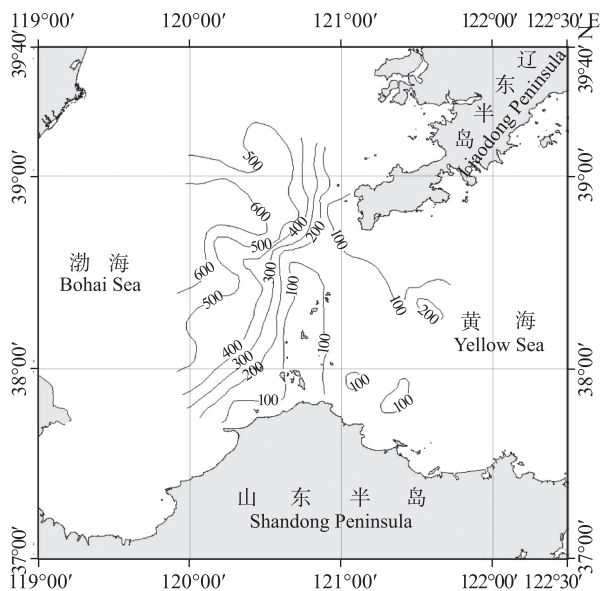
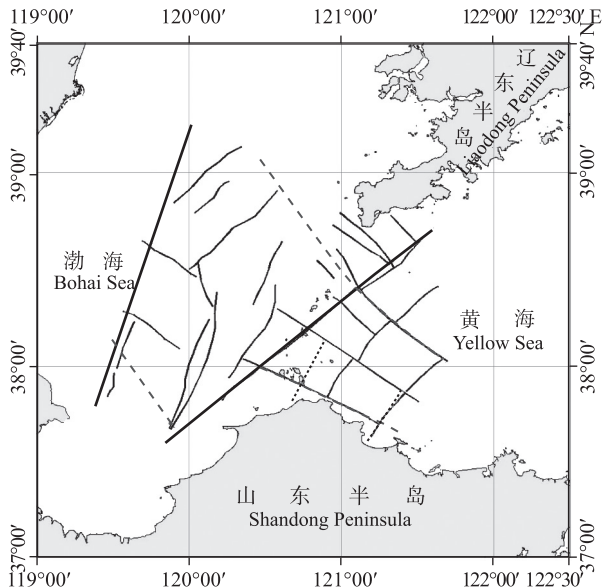


图5 调查区第四系底界面埋深图

Fig. 5 The depth map of bottom interface Quaternary within survey area



注：——线范围推测属郯庐断裂带；---线范围推测属张家口—蓬莱断裂带；·····线范围推测属于蓬莱—栖霞断裂带。

Note: It is speculated that faults within “——” lines belong to the Tan-Lu fault zone, faults within “---” lines belong to the Zhangjiakou-Penglai fault zone, faults within “·····” lines belong to the Penglai-Xixia fault zone.

图6 研究区断裂展布图

Fig. 6 The faults distribution within the study area

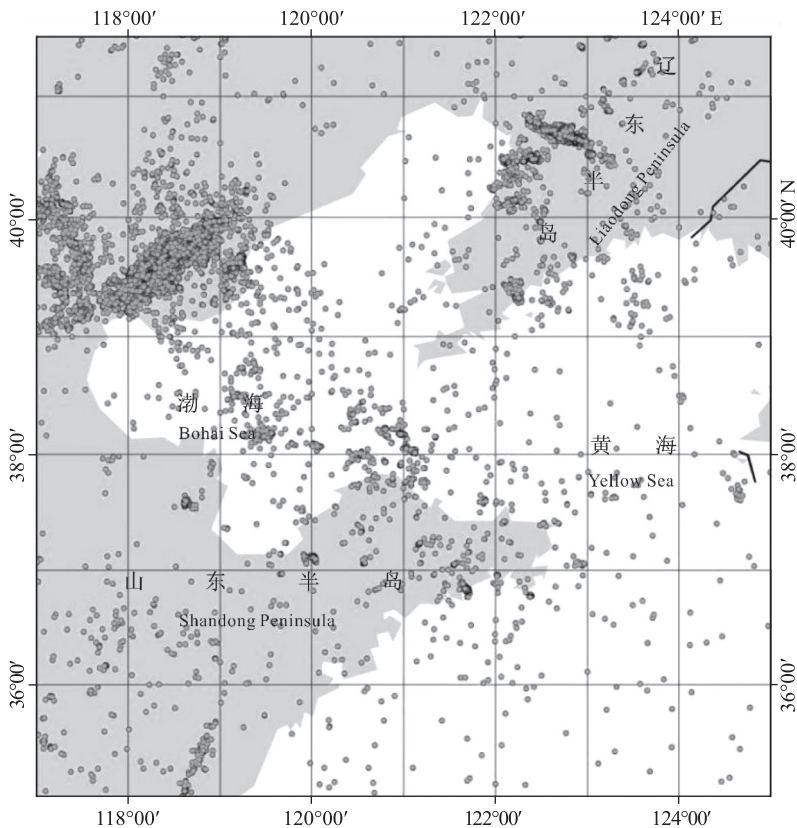


图7 渤海海峡及周边地区的地震震中分布图

Fig. 7 The epicenter distribution in the Bohai Strait and its surrounding areas

如图 6 所示,渤海海峡通道区正好位于郯庐断裂带和张家口—蓬莱断裂带的相交部位,一条疑似郯庐断裂带的 NE 向分支断裂斜穿通道区,而 NWW 向的张家口—蓬莱断裂带则与通道走向正交,通道区大部位于该断裂带内。地层剪切破碎,挤压褶皱变形现象严重,两大断裂交汇区也成为了地震密集区。另外,胶东半岛陆上的 NNE 向蓬莱—栖霞断裂带向海域延伸,与 NWW 向张家口—蓬莱断裂带东段交错切割,构造关系复杂,也形成了胶东半岛北岸的较密集地震带。

图 7 为研究区及周边地区地震震中分布图(数据源自河北、山东、辽宁三省地震台网,数据经过筛选合并)。从图 7 中可以看出震中的分布也呈 NE

向和 NW 向,与推测的 NE 向郯庐断裂带和 NW 向张家口—蓬莱断裂带的位置基本相同,且地震密集区主要分布在断裂带相互交错位置。渤海海峡的地震大多分布在其南部的张家口—蓬莱断裂带内,主要是郯庐断裂带、张家口—蓬莱断裂带以及蓬莱—栖霞断裂带的交汇地带。

2.2 地貌和海底灾害地质图编制

根据对实际调查的分析发现,研究区海底灾害地质类型主要有侵蚀陡坎、沟槽、侵蚀洼地、潮流沙脊、活动沙波、水下浅滩、浅层气、活动断裂带等。在对收集资料研究的基础上结合侧扫声纳测量、浅地层剖面测量、水深测量等实际调查数据,编制了 1:50 万渤海海峡地貌图和海底灾害地质图(图 8)。

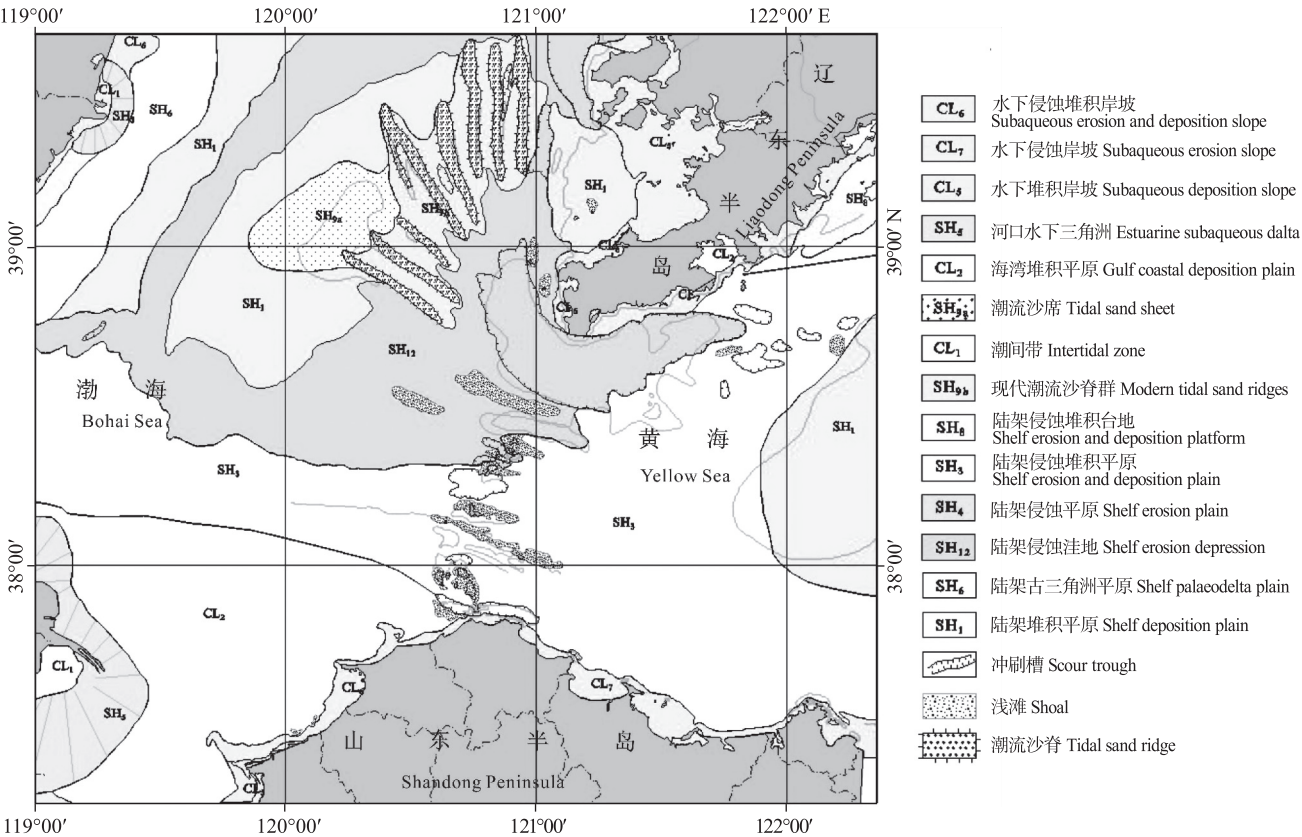


图 8 研究区地貌和海底灾害地质图

Fig. 8 The landscape and seabed geo-hazards map of the study area

2.3 区域重磁图件的编制

利用近年来实测海洋重力、磁力数据,并收集周边陆域数据,在对不同来源数据进行分析、整理以及基本的数据处理后,编制了 1:50 万的空间重力异常图(图 9)、布格重力异常图以及磁力异常图,分析了研究区地球物理场特征。

2.4 区域位移场分析

位移场反映了区域长期构造运动的一个积累

量。在对环渤海区 GNSS 数据处理及区域速度场进行解算的基础上,编制了 GPS 速度场和位移场图,分析了研究区范围内的地壳运动区域速度场特征。结果显示,该区域站点整体呈现东偏南运动,与欧亚板块的运动方向是一致的,且华北区域整体运动量值要大于东北区域。速度场则反应了中国大陆华北块体整体是东南向运动,速度约 30 mm a^{-1} (图 10)。

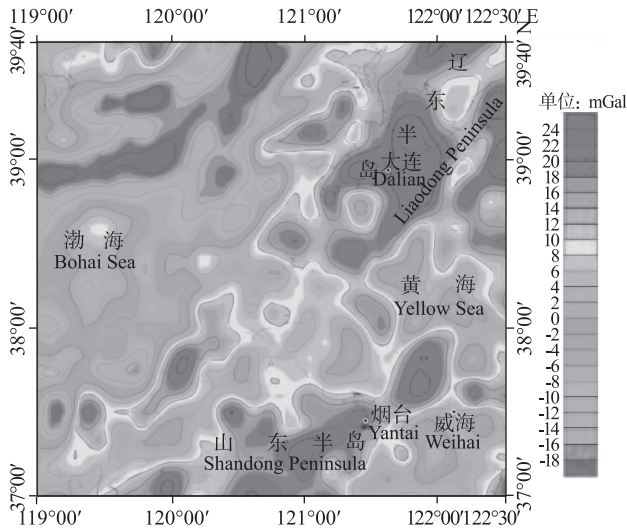
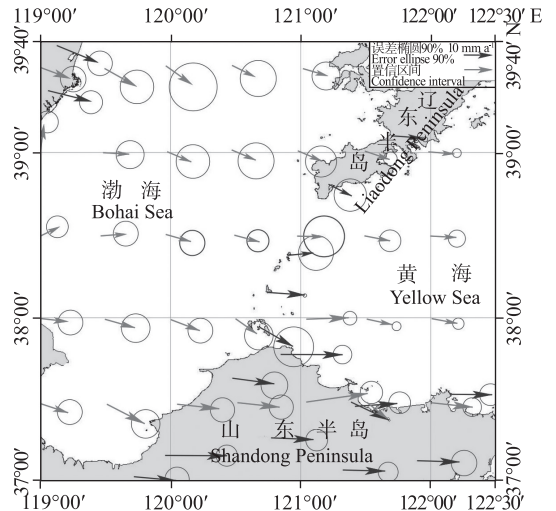


图9 研究区空间重力异常图

Fig. 9 The free-air gravity anomaly map of the study area

2.5 深部地层结构研究

通过地震层析成像综合研究,获取了水平方向的速度分布图和穿过主要构造单元的纵向速度剖面图。图11为地下13 km深度的速度图像,可以看出,郯庐断裂带和张家口—蓬莱断裂带对渤海海域的构造格局有一定的控制作用,上述断裂两侧的速度差异在渤海中部和南部十分明显,不仅速度异常



注:黑色箭头表示已知点速度;灰色箭头表示内插点速度。
 Note: Black arrows indicate the speed of known points; Grey arrows indicate the speed of interpolation points.

图10 ITRF2008 框架下的区域速度场

Fig. 10 The regional velocity field under the framework of ITRF2008

的走向与断裂带一致,速度结构也有所不同,前者以高速异常为主,后者附近则多为低速异常。这一深度也是渤海地区地震活动的主要层位,以1975年海城7级地震和1976年唐山8级地震的震源区附近最为集中,其次是张家口—蓬莱断裂带与郯庐断裂带的交汇部位,其余地区的地震分布相对分散。

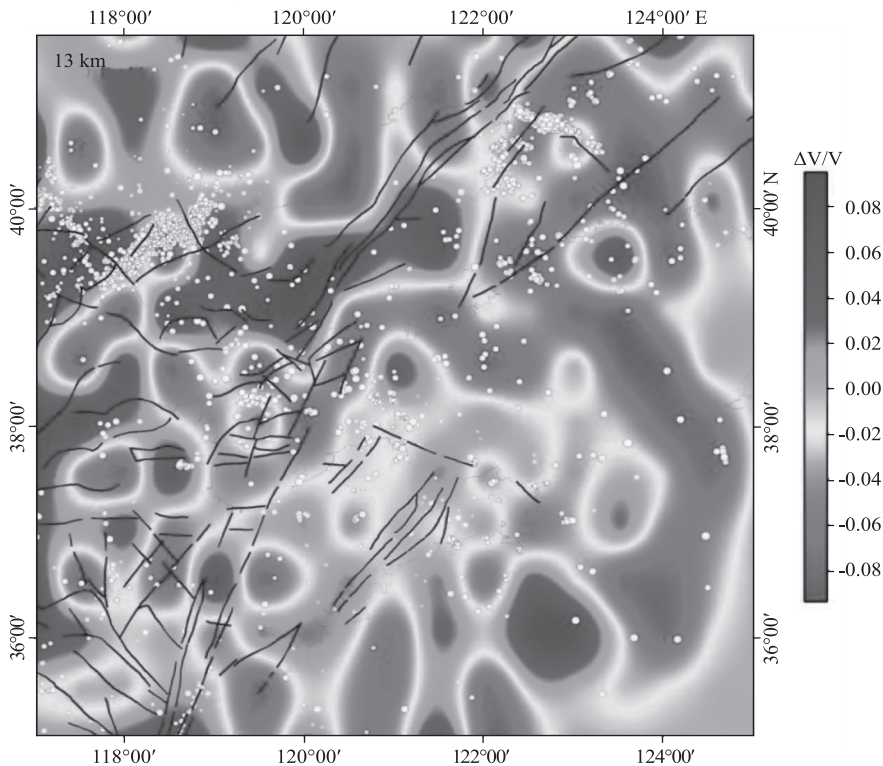


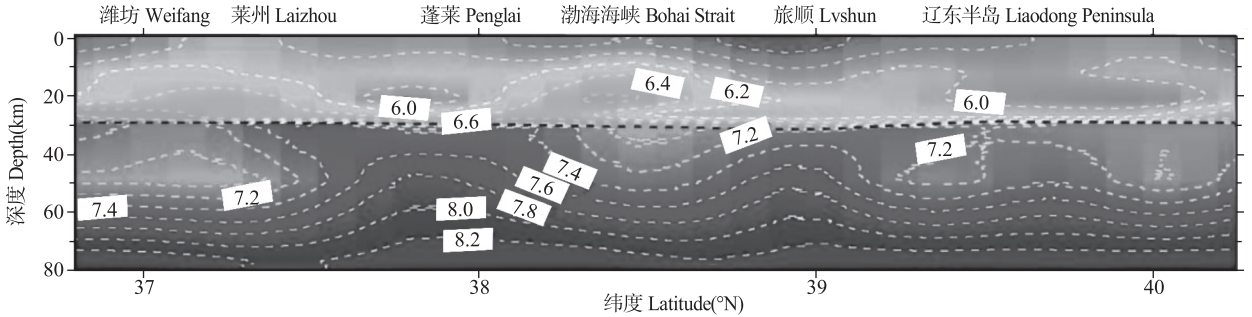
图11 13 km 深度的P波速度分布图

Fig. 11 The distribution of P wave velocity at the depth of 13 km

图 12 为沿渤海海峡走向的地震层析成像剖面图,该剖面清晰地揭示了渤海海峡地壳和上地幔结构的横向变化,沿着渤海海峡的走向,渤海海峡的北部和南部也存在明显的差异。相比之下,海峡南部的地壳结构较为复杂。

2.6 地应力分析及地震危险性初步分析

对该区的地应力测量值进行分析,结果表明:该地区水平应力占主导地位,处于逆断层状态。随深度加深而应力值增大,该地应力场处于应力积累状态(图 13)。



注:等值线标注为 P 波速度值。

Note: Marks in the contour is the value of P wave velocity.

图 12 沿渤海海峡走向的地震层析成像剖面图

Fig. 12 The section of seismic tomography along the Bohai Strait

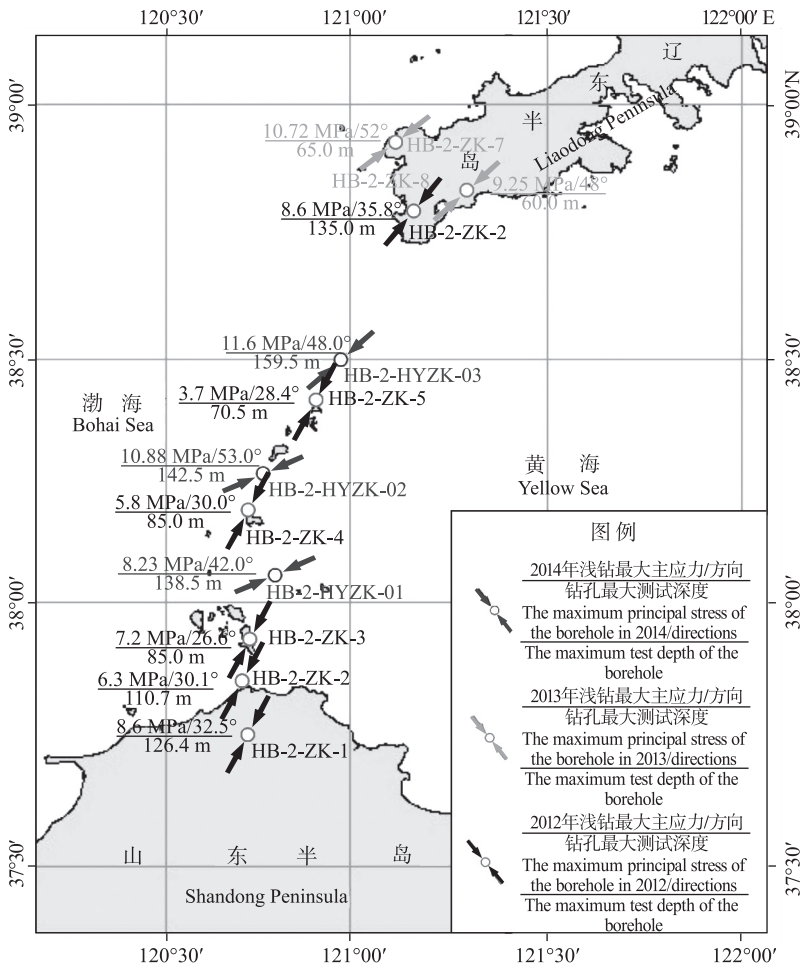


图 13 跨海通道区钻孔主应力分布图

Fig. 13 The distribution of drilling principal stress in the cross-sea channel area

通过收集历史与现今地震时间序列特征,结合项目微地震台网采集的微地震数据,开展了地震危险性分析工作。研究表明:工程区范围内地震活动十分频繁,尤其是工程区内的郯庐断裂带和张家口—蓬莱断裂带及其交叉部位地震活动强度大、频度高、分布密集。根据历史地震重演的原则,该地区仍有发生7.0级地震的构造条件,近期该地区虽然中小地震活动频繁,发生多次地震序列,但震源深度较浅,不易积累较高能量,推测未来一段时间内该地区仍以中小地震活动为主,孕育中强地震的可能性不大。

2.7 地壳稳定性综合评价研究

在上述工作基础上,项目组初步开展了区域地壳稳定性综合评价研究,建立了评价的基本流程,在ArcGIS平台上开发了相应的程序模块,将影响区域地壳稳定性的各类因素(指标)进行量化,对评价区进行了新构造分区。

3 讨论

(1) 渤海海峡跨海通道位于胶辽隆起上,该区基底隆升,第四系沉积层厚度除长山列岛周围外其余均在100~250 m,如果采用全隧道跨海方案,隧道位置最好选择在基岩埋深较浅的长山列岛岛屿链上。

(2) 该区断裂发育,尤其是山东半岛北部近海

为郯庐、张家口—蓬莱、蓬莱—栖霞断裂带交汇地带,岩石破碎程度较高,地壳结构复杂,为地震多发地段。而渤海海峡跨海通道的走向决定了该工程必须横穿张家口—蓬莱断裂带,因此,必须加强对该条断裂的研究,并通过进一步的工作在该断裂带中寻找地层相对稳定、安全的通道。

(3) 与周边地区相比,渤海海峡是地质资料较少、实际调查程度较低的区域,为满足工程需要,还应进行更进一步的地质调查;同时为深入了解渤海海峡通道及附近区域的地壳详细结构信息,应开展高分辨地震学研究,并利用海底地震仪在这一地区实施海陆联合地震测深。

参考文献

- [1] 柳新华,刘良忠.渤海海峡跨海通道对环渤海经济发展及振兴东北老工业基地的影响研究.北京:经济科学出版社,2009. Liu X H, Liu L Z. The influence study of in Trans-sea Channel of Bohai Strait to the economic developing round the Bohai sea area and revitalizing the old industrial bases of the northeast China. Beijing: Economic Science Press, 2009
- [2] 刘良忠,柳新华.渤海海峡跨海通道建设与蓝色经济发展.北京:经济科学出版社,2012. Liu L Z, Liu X H. The construction and blue economy development of the Trans-sea Channel of Bohai Strait. Beijing: Economic Science Press, 2012
- [3] 王梦恕.渤海海峡跨海通道战略规划研究.中国工程科学,2013,15(12):4-9. Wang M S. Strategic plan of Bohai Strait cross-sea channel. China Engineering Sci., 2013, 15(12): 4-9

INVESTIGATION PROGRESSES OF “BOHAI STRAIT CROSS-SEA CHANNEL CRUSTAL STABILITY INVESTIGATION AND ASSESSMENT” PROJECT

Zhao Tiehu^{1,2} Qi Jun^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071, China)

(2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract “Bohai Strait cross-sea channel crustal stability investigation and assessment” project implemented by China Geological Survey is a major sea project based work. Based on the collection of historical data, the project carried out geophysical exploration and drilling work in the Bohai Strait area, analyzed the types of geological hazards, identified the main active faults. This project also carried out the research of seismic activity of Bohai Strait, long-term monitoring of micro seismic and crustal stress, the research of crustal tomography. This paper briefly introduces the progress and the preliminary results of the project.

Key words Bohai Strait; Channel; Crustal Stability; Fault; Seismic