第 36 卷　第 7 期　　海　洋　学　报　　Vol. 36, No. 7
2014 年 7 月　　ACTA OCEANOLOGICA SINICA　　July 2014

刘晓东,傅命佐,李萍,等. 河北南堡－曹妃甸海域潜在的浅表灾害地质类型及特征[J]. 海洋学报,2014,36(7):90－98,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.07.010

Liu Xiaodong, Fu Mingzuo, Li Ping, et al. Types and characteristics of potential geohazards in the sea area near Nanpu-Caofeidian, Hebei Province[J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 2014, 36(7): 90—98, doi: 10.3969/j.issn.0253-4193.2014.07.010

河北南堡－曹妃甸海域潜在的浅表灾害地质类型及特征

刘晓东[1],傅命佐[1*],李萍[1],高珊[1],刘乐军[1]

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所,山东 青岛 266061)

摘要: 利用 2～7 kHz 浅地层剖面探测、多波束、单波束水深数据以及侧扫声纳勘测影像等地质地球物理实测数据,分析研究了河北南堡－曹妃甸海域各种潜在的地质灾害类型,编制了该海域的灾害地质图与海底地貌图。并在前人对海岸带灾害地质类型分类的基础上,对该海域的潜在的灾害地质类型进行了分类。对海底浅层气、活动沙波、海底侵蚀、活动断裂、埋藏斜层、陡坡、陡坎以及沟槽等与近海海洋工程密切相关的灾害类型的空间分布特征深入研究。研究结果显示:调查区海域的潜在地质灾害因素分布较为集中,多发育在缓斜的水下侵蚀堆积岸坡与陡斜的水下侵蚀岸坡分界线附近,浅层气,陡坡陡坎以及沟槽都有发育;在陆架侵蚀洼地区,发育有较大规模的沟槽,海底侵蚀现象也是较为普遍;调查区其他海域,灾害类型较少,局部发育有活动沙波和埋藏斜层等。

关键词: 南堡－曹妃甸;地质灾害;分布特征

中图分类号: X43;P694　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 0253-4193(2014)07-0090-09

1　引言

南堡－曹妃甸地区位于河北省唐山市东南部海域,是渤海湾内正在开发的深水港口和临港工业区,被列为国家“十一五”最大的工程之一。海域建港水深条件良好,曹妃甸甸头前 500 m 水深即达到 25 m,附近深槽水深达 30 m,是渤海沿岸唯一不需人工开挖航道和港池即可建设大型泊位的天然良港。

基于国家海洋局第一海洋研究所 2009 年在南堡－曹妃甸海域进行的环境地质与灾害地质调查所取得的地形、地貌和地质-地球物理资料,作者对该海域主要的潜在灾害地质类型的基本特征和空间分布进行了研究。

2　研究区概况及区域地质背景

曹妃甸位于河北省唐山市南部沿海,地处天津港和京唐港之间,为渤海湾北岸岸线转折处海域中的长条状沙坝,距大陆岸线 18 km。研究区地处渤海海湾口北侧,曹妃甸滩外海(见图 1)。位于唐山市滦南县南堡镇东－湖林口一带近岸海域(39°00′～39°26.5′N,118°30′～119°15′E)。

收稿日期: 2012-12-20;**修订日期:** 2013-10-25。

基金项目: 国家 908 专项——河北南堡－曹妃甸海域环境地质与灾害地质补充调查与研究(908－01－BC16);国家海洋公益性行业科研专项资助——我国典型海岛地质灾害监测及预警示范研究(201005010)。

作者简介: 刘晓东(1981—),男,山东省青岛市人,主要从事海洋地质与灾害地质研究。E-mail:xdliu@fio.org.cn

* **通信作者:** 傅命佐,男,研究员,主要从事海底地貌与灾害地质研究。E-mail:mzuofu@fio.org.cn

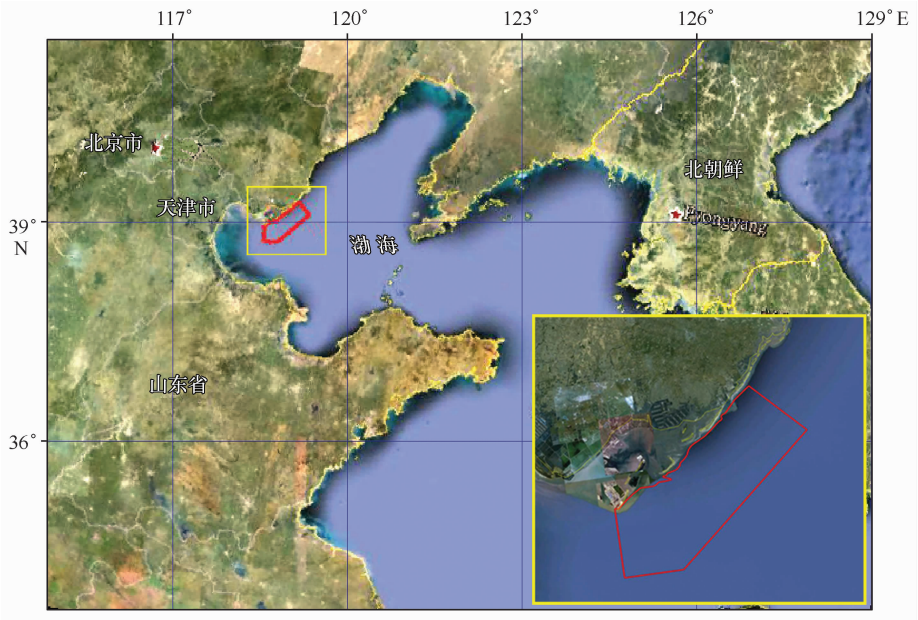

图 1　研究区地理位置图

Fig. 1　The geographical location of study area

曹妃甸及附近在大地构造上位于华北断陷区内的黄骅坳陷东北端与埕宁隆起的交接地段，北临燕山断隆区。根据该区第三纪的构造及其演化特征，可将其划分为华北断陷区和燕山断隆区两个一级构造单元，华北断陷区又分为黄骅坳陷与埕宁隆起两个二级构造单元。《中国海岸带灾害地质图天津幅》显示，此调查区分布有 4 条断裂，一条位于调查区的最西端边缘的甸南深槽中，称为曹妃甸断裂，走向近 W—E 向，向北东北延伸，长 68 km，走向 SE，倾向 N，倾角 75°，断裂呈弧型，是沙垒田凸起的北缘断裂，为第四纪活动断裂；一条位于曹妃甸以东，调查区中南部，走向为 NNW—SSE，延伸至调查区外部；调查区中部也有断裂发育，由调查区北部的水下岸坡沿 SE 方向至陆架平原；调查区东北部也发育一条 NWW 方向的断裂[1]。

3　前人研究现状

近 20 年来，国内不少学者对曹妃甸海岸及附近海域地质环境和地质灾害发育等进行了研究，取得了大量的研究资料。王艳等[2]对曹妃甸 20 世纪 80 年代以来 1983、1996、1997 年 3 个年份 10 条海岸剖面资料进行了对比研究。陶志刚等[3]对唐山沿海主要灾害地质类型进行了研究，为唐山市防灾减灾提供了依据。闫新兴和霍吉亮[4]对河北曹妃甸近海的地貌与沉积特征进行了详细分析。陆永军等[5]针对曹妃甸海域波浪、潮流、泥沙及海床演变特点，应用波流共同作用下二维泥沙数学模型研究港区开发方案，对水动力泥沙环境的影响进行了探讨。但还没有对本区近海灾害地质问题的专门研究。

目前，大体从 3 个角度对灾害地质分类：一是根据地质灾害类型所在部位（划分为海底地表的和地下的）；二是根据形成或影响地质灾害类型的动力（如按地球表面几大圈层划分或按照各种地质营力划分）；三是根据地质灾害类型的危害程度（划分为潜在型和直接型）。这些分类从多方面深化了对地质灾害类型的认识，它们之间起到一个互相补充的作用[1]。

本文采用李培英等[1]提出的海洋灾害地质分类的 3 原则，即赋存部位及危害对象原则、对海洋工程的直接或者间接影响程度原则以及成因和发展趋势原则。依其赋存部位及其危害对象的不同，可将海洋灾害地质类型划分为两大类，即海底表面灾害地质类型和海底地下灾害地质类型；根据对工程的危害程度和防避措施的选择以及对工程引起灾害的直接程度，划分为直接的和潜在的灾害地质类型两个亚类；根据成因和发展趋势原则将海洋灾害地质类型按成因划分为 7 个亚类，即构造、重力、侵蚀、堆积、气动力、气候—海面变化和人为作用等 7 种成因类型。

4　资料获取与研究方法

4.1　资料获取

水深地形测量采用多波束和单波束测深仪。水

深 10 m 以深海域使用多波束全覆盖测量，采用英国产 GeoSwath 6100 型多波束测深系统，系统精度为 0.3%。10 m 以浅海域区使用单波束测深仪按 1∶50 000比例尺测线测深。

浅地层剖面勘测的主测线垂直于海岸线方向，联络测线与主测线正交。共完成浅地层剖面和同步单波束水深测量 2 307.5 km。浅地层探测使用的是 GeoPlus 浅地层剖面仪。

4.2 研究方法

对海上调查获取的多波束、单波束测深数据进行了水位改正、声速校正等后处理，利用校正后的离散数据经网格化，编绘调查区海域的二维和三维地形图；对获取的底质样品进行了粒度分析，计算了平均粒径、分选系数、偏度和峰值，编绘调查区海域的沉积物类型分布图；对获取的浅地层剖面测量数据进行了后处理和初步分析，包括追踪反射界面、划分反射波组、分析反射波组特征等[6—7]。

将二维海底地形图、沉积物类型分布图和浅地层剖面探测航迹图叠加在一起，作为地理地图，参考三维海底地形图，根据海底地形的几何形态、沉积物组成、地层结构、浅地层剖面反射特征等因素，识别海底地貌类型和灾害地质类型，按照海底地貌和灾害地质分类原则，对研究区海底地貌类型和灾害地质类型进行了划分，编绘了研究区海底地貌图(图 2)和灾害地质图(见图 3)。在此基础上，分析研究区海底灾害地质要素分布规律和发育机制。

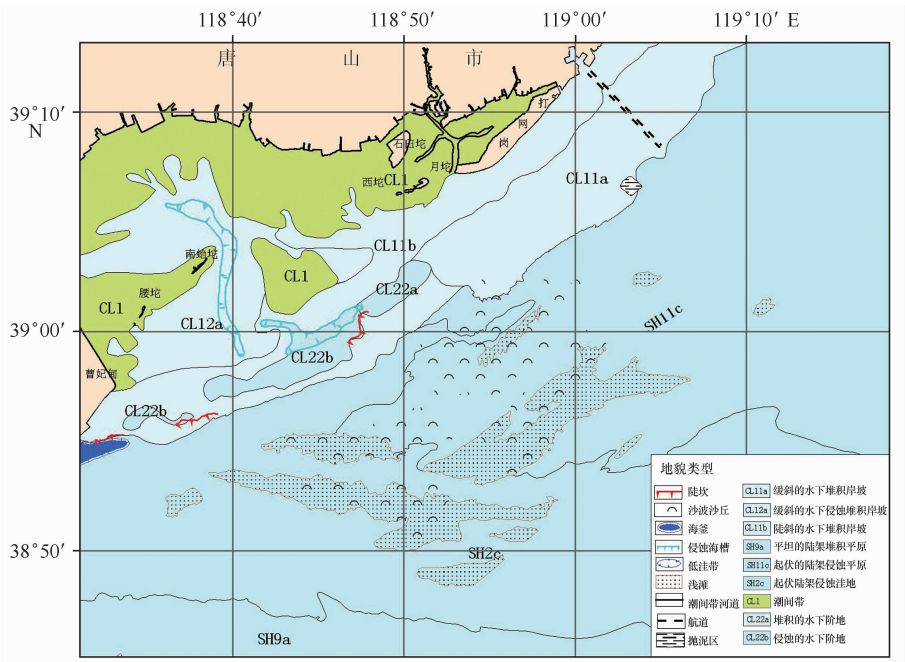

图 2 调查区海底地貌类型图

Fig. 2 The geomorphologic map of study area

5 研究结果

5.1 海底灾害地质分类

按照以上分类原则、结合调查区内海域发现的灾害地质类型，将调查区海域灾害地质类型进行了如下分类(见表 1)。

5.2 主要灾害地质类型与特征

5.2.1 动力侵蚀-堆积成因的灾害地质类型

(1) 活动沙波

沙波是海底表面松散砂质堆积的有规则的波状起伏地形，像波浪形态一样，从它的横剖面上可以确定其波高、波长。一般剖面是不对称的，有陡坡和缓坡。一般陡坡的坡向指示海底泥沙运动的净移动方向。

研究区海底活动沙波主要分布在起伏的陆架侵蚀平原西南部的浅滩上，浅洼地中也有活动沙波分布。陆架侵蚀洼地中的浅滩上也有活动沙波发育。研究区东北部基本上没有沙波分布。沙波分布区总面积约 180 km^2。

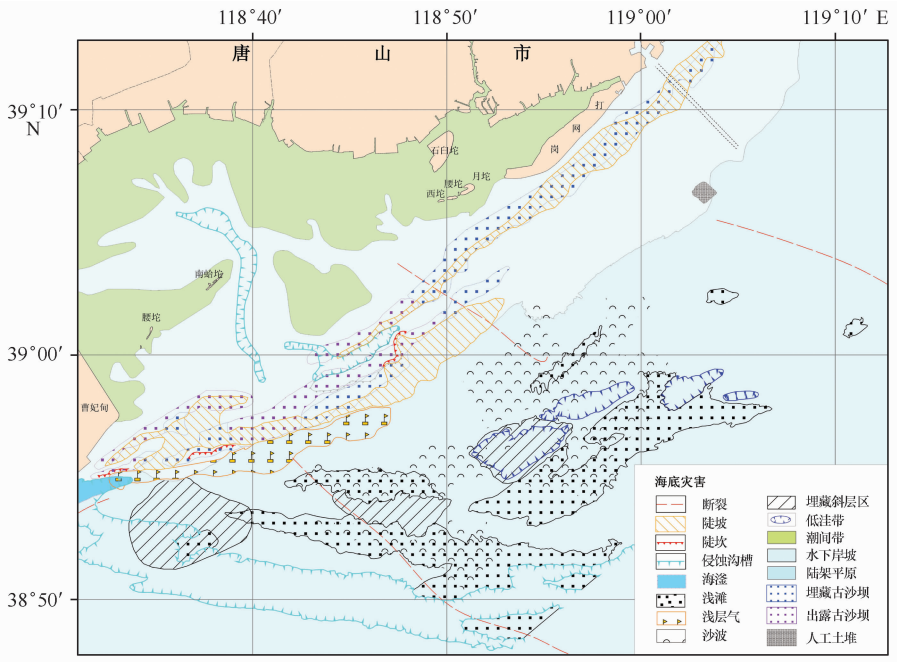

图 3　调查区海域灾害地质图

Fig. 3　The geohazard map of sea area near Nanpu-Caofeidian

表 1　南堡—曹妃甸海域灾害地质分类表

Tab. 1　The classification of geohazards in the sea area near Nanpo-Caofeidian

类型划分		构造成因	动力侵蚀堆积成因	气动力成因	气候-海面变化成因	人为作用
海底表面灾害地质类型	直接灾害地质类型		陡坎 沟槽 活动沙波 海底侵蚀			
	潜在灾害地质类型		陡坡			人工土堆
海底地下灾害地质类型	直接灾害地质类型	活动断层 地震		浅层气		
	潜在灾害地质类型				埋藏斜层 埋藏沙坝	

浅滩上的沙波峰脊线呈“S”形,脊线总体走向NNE—SSW(脊线中段近南北向),沙波的波长介于100～250 m之间(见图4)。沙波的西北坡缓,东南坡陡,指示海底泥沙净运动方向和沙波移动方向为自西北向东南。穿过沙波区的浅地层剖面也揭示沙波的东南坡明显比西北坡陡(见图5)。从浅地层剖面上可量测出沙波的波高在1.2～2.8 m之间。底质取样分析结果表明,这片沙波分布区表层沉积物为砂。

渤海中部陆架侵蚀洼地中的浅滩上的沙波波峰线走向为近N—S向和NNW—SSE向,与洼地的延伸方向近于正交,面积约为30 km^2。

(2)海底侵蚀

海底侵蚀现象也是一种潜在的地质灾害。侵蚀作用改变海底地形结构,可能使海底管线造成位移、架空甚至断裂。海底侵蚀的空间分布、土工性质,尤其是在海底水动力作用下的冲刷侵蚀、活动变迁,影

响和制约着区内海洋工程的正常进行。

浅地层剖面资料显示，调查区海底侵蚀分布广泛，水下岸坡、海底侵蚀平原和渤海中部侵蚀洼地中都有强侵蚀区分布。出现侵蚀洼地、侵蚀沟槽和侵蚀残余脊(图 6)。

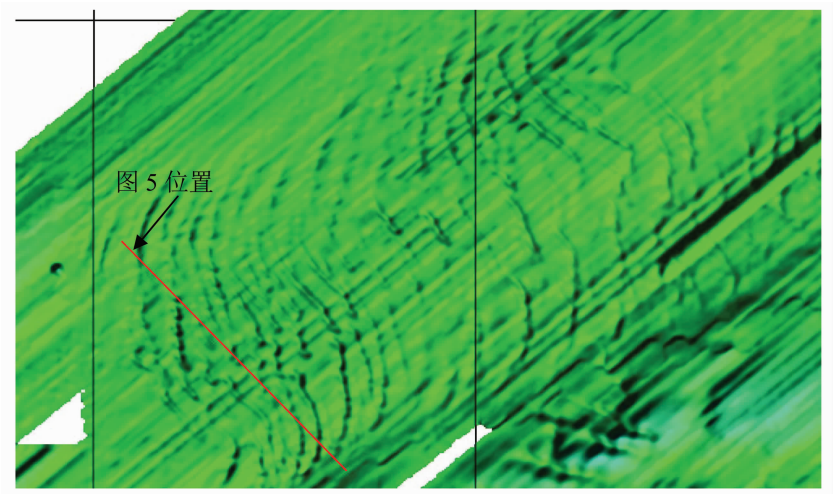

图 4 浅滩上的活动沙波三维地形图像

Fig. 4 The 3D image of the active sands waves on the shallow

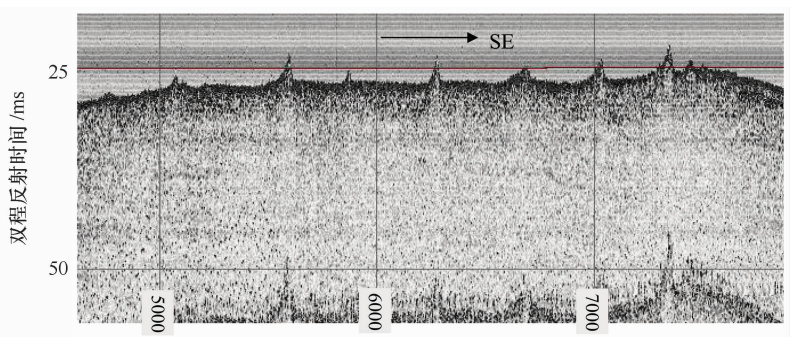

图 5 浅地层剖面揭示的活动沙波

Fig. 5 The active sands waves revealed by subbottom profiles

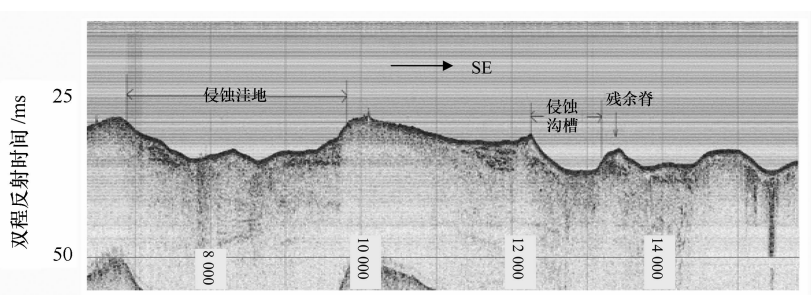

图 6 陆架侵蚀洼地、侵蚀沟槽、残余脊

Fig. 6 Erosive shelf depression, erosive groove and remnant of ridge

海底侵蚀沟槽是侵蚀区的负向地貌单元，是侵蚀作用较为强烈的地带。调查区内侵蚀沟槽大致可以分为两条，位于调查区中部的起伏的陆架侵蚀洼地区，呈近 EW 方向贯穿整个调查区，其宽度为 1～4

km,最大可达 7 km。

(3)陡坡、陡坎

陡坡和陡坎的发育受控于沿岸地形地貌,多发育在地形变化比较大的地方,陡坎是海底管线铺设施工中必须避让或处理的灾害地质因素,同时,海底陡坎和陡坡也是潜在滑坡危险的地形因素。

调查区内的陡坡基本与海岸线平行分布,贯穿整个调查区域。由于该陡坡陡坎区为陡斜的水下堆积岸坡和缓斜的水下侵蚀—堆积岸坡的分界区,形成纵向的水下沙坝,所以在浅地层剖面中清晰可见,坡度较大,陡坡坡角 0.8°～1.2°;陡坎坡角 2°～ 4°,最大坡角 4.68°。浅地层剖面揭示,研究区的陡坎主要分布在裸露的古海岸沙坝的向海侧。陡坡在裸露的和埋藏的古海岸沙坝的向海侧,陡坡的上部古沙坝常裸露,下部多被顺坡滑落的后期沉积物所掩埋(图 7)。

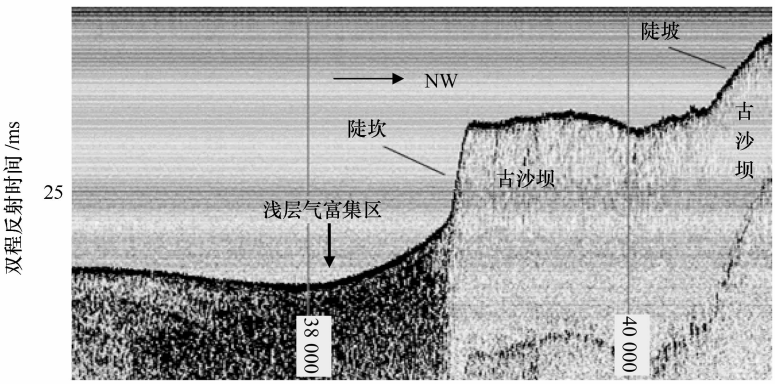

图 7　浅地层剖面上揭示陡坡、陡坎

Fig. 7　The steep slopes and steep scarps revealed by subbottom profiles

(4) 沟槽

沟槽是海底表层沉积物遭受侵蚀冲刷而成。主要分布在两侧岛屿之间狭窄、潮流或水流较急的区域,沟槽之间有浅滩分布,沟槽出口与洼地相接。沟槽首先是地形起伏,成为工程地质障碍性因素;其次有的沟槽可能标志海底的侵蚀作用仍然在进行,会对海底构筑物基础造成破坏。曹妃甸沙岛以岬角的形态向南深入渤海湾,甸头前沿即为沟槽水域,其水下岸坡陡峻,30 m 等深线距岸仅 400～500 m 左右。该沟槽是调查区最大水深区,也是渤海湾最深水域。根据水深资料,一般可达 25 m 以上,最深处可达 32 m,其 30 m 深槽长达 34 km,最大宽度约 5 km。此沟槽走向总体近 W—E 向,西宽东窄,深槽表现为等深线封闭的洼地,沟槽北侧陡于南侧。

5.2.2　气动力成因的灾害地质类型

调查区西部的陡斜的水下岸坡坡麓堆积体和坡麓低洼槽内充填层中分布有浅层气。浅地层剖面上呈现为凌乱的深黑色调,浅层气分布区海底地层结构被屏蔽(图 7 和图 8)。浅层气分布区呈长条状,长度约为 21 km,宽度 1～2.6 km,面积约为 31 km^2。调查区域内海底表面没有发现成群的麻坑状地貌特征,说明浅层气压力不大,没有大量逸出,不足以影响海底的地貌形态。

5.2.3　气候-海面变化成因的灾害地质类型

(1) 埋藏斜层

调查区内分布 3 处埋藏斜层区。一处位于曹妃甸南头的侵蚀洼地中(见图 9),面积大约为 50 km^2,另外两处位于调查区中部,位置偏西处面积为 16.2 km^2,另一处面积为 22.6 km^2。在浅地层剖面上,该埋藏斜层区主要表现为强振幅的杂乱反射填充,底部边界不十分明显,内部填充物层理结构清晰,有丘状突起或槽型凹槽的结构形态,埋藏深度也只有数十米不等,分布无规律性。埋藏斜层的倾斜角度为 SW 向,可能是古海岸沙丘沉积的结果。

从图 9 可以看出,侵蚀洼地表面起伏不平,有浅滩、侵蚀残余脊、冲刷槽沟发育,证明这些斜层理堆积层不是现代沉积,渤海陆架中部洼地现代动力地貌过程以侵蚀为主。

(2)埋藏和出露的古海岸沙坝

分布在水下岸坡的外部。曹妃甸—滦河口一带,岸外分布着一系列的堡岛沙坝,部分已成为沙岛,如蛤坨、月坨、石臼坨、打网岗等。在这一列现代堡岛沙

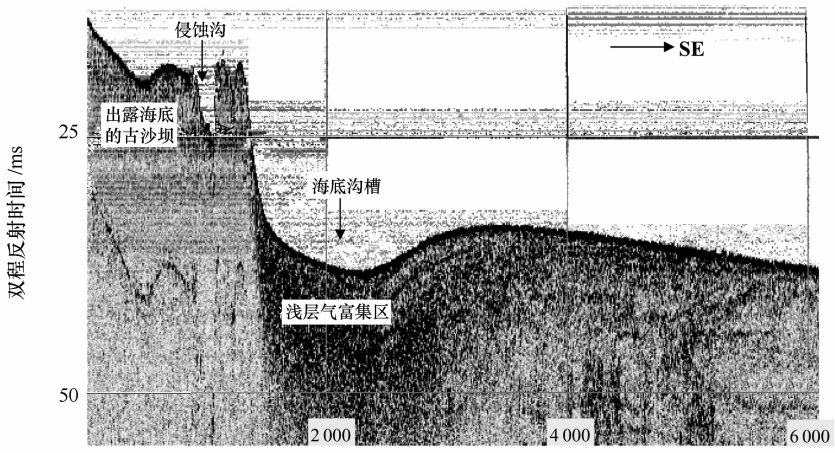

图 8 浅地层剖面揭示古沙坝

Fig. 8 The ancient sand bars revealed by shallow stratigraphic profiles

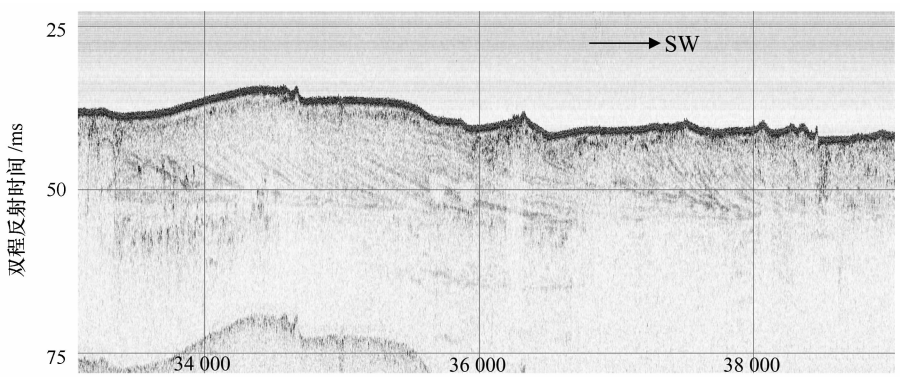

图 9 陆架侵蚀洼地内的埋藏斜层

Fig. 9 The buried cross-bedded sand layers in the erosive shelf depression

坝的外侧，目前水深 6～10 m 和 12～16 m 之间，发现埋藏和部分埋藏的古海岸沙坝。浅地层剖面上，沙坝表面构成强反射面，而古海岸内部显示为均匀的浅色调(图 10)。沙坝的向海侧披盖着深色调的后期细颗粒沉积物，构成水下岸坡下部斜坡。埋藏古沙坝的顶部与沙坝后侧被填平的古潟湖洼地一起构成平坦的水下阶地。水下岸坡上的陡坎，大多是古沙坝的向海侧陡坡。

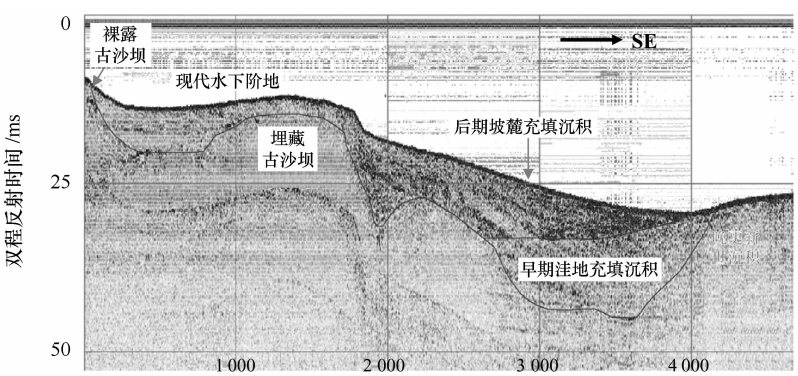

图 10 浅地层剖面揭示的埋藏古沙坝

Fig. 10 The buried ancient sand bars revealed by subbottom profiles

在水下岸坡的西南段（约 39°02′N 以南），发现淹没的古沙坝出露海底，表面受侵蚀而凹凸不平（见图 8），出露海底的古沙坝向海侧斜坡常构成海底陡坎。

6　讨论和结论

6.1　讨论

南堡－曹妃甸近海海域的海岸地貌体系是古滦河废弃三角洲长期改造的产物，古滦河曾为本海区带来大量泥沙，滦河含沙量高是形成该地貌体系的基本条件，因此不仅发育有典型的潮流冲刷深槽、潮流沙脊等较大规模的纵向地貌，还有不同尺度的水下沙波、陡坡、陡坎和水下沙坝等横向地貌。

水下岸坡区的地质灾害要素主要是陡坡、陡坎、埋藏和出露的古海岸沙坝。研究区水下岸坡是渤海西南部海岸带坡度最大的水下岸坡。其原因是因为本区水下岸坡是在冰后期早期海岸沙坝（或堡岛沙坝）及近－现代堡岛沙坝的基础上发育而成的。水下岸坡坡麓存在一个古冲刷槽，逐渐被细粒沉积物所充填，其中富含浅层气。

海底沙波、浅滩、侵蚀沟槽、侵蚀低洼地、侵蚀残余体等主要分布在渤海中央洼地西北侧的陆架侵蚀平原区。这片海底平原在末次冰期低海面时出露成陆，可能受风沙作用及河流作用改造，浅地层剖面探测和底质取样分析结果显示，海底平原基本缺失细粒的全新世沉积，地层中常见埋藏斜层。

渤海中央洼地是一个现代侵蚀洼地，研究区只涉及其指向海河口和蓟运河口中的一个分支，洼地内侵蚀作用强烈，侵蚀残余浅滩、冲刷槽交错。曹妃甸沙岛的岬角地貌使得局部潮流明显增大，不断的冲刷海床，形成现在的侵蚀地貌。浅地层剖面探测和底质取样分析显示，渤海中央侵蚀洼地中缺失全新世沉积，这也揭示出曹妃甸甸南深槽的发育趋势，动力地貌特征以侵蚀为主。地层中常见埋藏斜层，可能是末次冰期的风沙沉积。

研究区西南部的陆架堆积平原表层被全新世细粒沉积物所覆盖，其厚度自东向西逐渐增大。海底表面平缓，没有发现明显的潜在地质灾害要素。

6.2　结论

南堡－曹妃甸岸外海域潜在灾害地质要素主要有地震、活动沙波、浅层气、海底侵蚀、陡坡、陡坎、侵蚀沟槽、侵蚀洼地、埋藏斜层、埋藏古沙坝、淹没的古沙坝等几种类型。

除地震外，一般地质灾害要素的分布主要受海底地貌和第四纪海面变化的控制。海底陡坡、陡坎、埋藏和出露海底的古沙坝分布在水下岸坡区；海底沙波、侵蚀沟槽、侵蚀残余体、埋藏斜层等主要分布在陆架侵蚀平原和陆架侵蚀洼地中；浅层气分布在水下岸坡坡麓的海底古槽谷中。研究区西南部的陆架堆积平原上没有发现明显的潜在地质灾害要素。

参考文献：

[1]　李培英，杜军，刘乐军，等. 中国海岸带灾害地质特征及评价[M]. 北京：海洋出版社，2007.

[2]　王艳，柯贤坤，贾玉连，等. 渤海湾曹妃甸 80 年代以来海岸剖面变化研究[J]. 海洋通报，1999，18(1)：43－51.

[3]　陶志刚，李昌存，王明格. 唐山海岸带主要灾害地质因素及其影响[J]. 资源与产业，2006，8(3)：84－87.

[4]　闫新兴，霍吉亮. 河北曹妃甸近海区地貌与沉积特征分析[J]. 水道港口，2007，28(3)：164－168.

[5]　陆永军，左利钦，季荣耀，等. 渤海湾曹妃甸港区开发对水动力泥沙环境的影响[J]. 水科学进展，2007，18(6)：793－800.

[6]　丁维凤，罗进华，来向华，等. 浅地层剖面交互拾取解译技术研究[J]. 试验与技术，2008，9：1－8.

[7]　陈晓辉，李日辉，张志珣，等. 北黄海海区浅地层剖面数据资料干预分析及预处理[J]. 海洋地质前沿，2011，1：27－33.

Types and characteristics of potential geohazards in the sea area near Nanpu-Caofeidian, Hebei Province

Liu Xiaodong[1], Fu Mingzuo[1], Li Ping[1], Gao Shan[1], Liu Lejun[1]

(1. *First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao* 266061, *China*)

Abstract: Based on the geological and geophysical data, including shallow stratigraphic profiles, multibeam and sin-

gle-beam bathymetric data, and sidescan sonar photographs, the potential geohazards in the sea area near Nanpu-Caofeidian, Hebei Province were analysed and classified, the geohazard map and geomorphologic map of the study area are compiled, and studied the spatial distribution characteristics of the geohazards which are closely related to marine engineering, such as shallow gas, active sand waves, seafloor erosion, active fault, buried cross-bedded sand layers, steep slopes, steep scarps and grooves, are examined. The shallow gas, steep slopes and scarps are usually developed near the boundary between the gentle erosive-accumulative nearshore slope and steep erosive nearshore slope. Large-scales grooves and seafloor erosion are usually distributed in erosive shelf depression. In the other parts of the study area, geohazard types are less discovered, while active sand waves and buried cross-bedded sand layers are local found in the shelf area.

Key words: Nanpu-Caofeidian; geohazards; distribution characteristics