

天津近海海底地质灾害类型及声学特征

赵 卫^{1,2}, 熊元凯³, 官少军^{1,2}, 詹华明^{1,2}, 乔吉果^{1,2}

(1. 天津市海洋地质勘查中心, 天津 300170; 2. 国土资源部资源环境承载力评价重点实验室, 廊坊 065201; 3. 海南省海洋地质调查研究院, 海南 海口 570206)

摘要: 作者利用浅地层剖面资料研究了天津近海海域存在的主要海底地质灾害。研究发现: 浅层气、埋藏三角洲前缘、水下潮流沙脊、陡坎、沙波等地质灾害发育。浅层气主要分布在研究区北部海域的近岸附近, 南部海域远离海岸浅层气逐渐增多; 埋藏三角洲前缘分布区北至涧河口, 南至南港工业区东部海域; 水下沙脊分布于北部海域 5 m~7 m 水深的近岸带, 地层内部前积斜层理发育; 沙波区延伸长度约 3 km, 整体上在天津海域分布较少; 海底表层陡坎出现在天津港及以南海域, 其成因主要是航道两侧边缘陡坎或因吹填而抽走的泥沙造成的, 近岸及远海地区均有分布。

关键词: 天津近海海域; 地质灾害类型; 浅层气; 陡坎; 埋藏三角洲前缘; 水下沙脊

中图分类号: P67 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2021)02-0119-08

DOI: 10.11759/hyxx20200513001

海洋地质灾害按照发生地域的不同, 一般可以分为海岸带地质灾害、海域或海岸带地质灾害以及海底地质灾害^[1]。随着海洋经济地位的日益提高, 海洋空间的利用率逐渐增大, 海洋地质灾害的研究对海洋油气开发和海底管线铺设等海底工程以及相关的护岸工程都有重要的现实意义。因此, 针对海底地质灾害的调查工作越来越引人关注, 从海洋地质的角度出发, 波浪或潮流等水动力、特定的海底地形地貌及沉积地层特征都会成为地质灾害的诱因。

前人关于海底地质灾害类型的划分提出了多种分类方案。早在 1980 年, 国外学者基于灾害地质因素与限制性地质因素两大类型对海底地质灾害进行了划分^[2], 冯志强等^[3]将海底地质灾害按照具有活动能力的破坏性地质灾害和不具活动能力的限制性地质条件来划分。从对海底地质灾害的危险性和实际应用的角度考量, 后一种分类法更为直接, 实用性更强, 更侧重于海底灾害对工程的危害和防避措施的选择, 因此根据灾害是否具有活动能力的破坏性, 将海底灾害分为两类:

具有活动能力的破坏性地质灾害: 指在内应力或外应力, 如台风、大潮、强流、地震等诱发下可对海洋工程造成直接的严重破坏的地质活动, 包括浅层气、滑坡、断层、陡坎、潮流沙脊、活动沙波; 不具有活动能力的限制性地质条件, 或称被动性地质灾害: 它们本身不具有直接的破坏性, 但对海底

工程具有潜在威胁, 需特别注意, 包括埋藏古河道、埋藏三角洲前缘、凹凸地、浅滩、非移动沙波和沙丘等。

天津岸段位于渤海湾西岸湾顶处, 大部分地区水深小于 20 m, 仅局部可达到 25 m。本区属于构造及地面沉降区, 且海岸带地区坡降极小, 均在 2‰以下, 海岸带地质环境主要受潮流、波浪和海流影响。针对天津海域的海底地质灾害调查工作已初步开展, 天津地质调查中心针对天津近海海域, 通过地球物理方法调查发现, 包括浅层气、断层、潮流沙脊、埋藏三角洲前缘等均有发现^[4]。此外, 天津北大港油田的调查结果亦表明此区域有大量浅层气的存在。另外, 天津海域陆架区广阔, 有河口分布, 且以海河断裂为代表的断裂构造极其发育, 再加上海河、黄河等河流历史上都经由天津入海, 客观上为天津海域的浅层气、断层和埋藏三角洲的发育创造了条件。

收稿日期: 2020-05-13; 修回日期: 2020-06-21

基金项目: 天津市国土资源和房屋管理局科技项目(国土房任[2013]6 号, 国土房任[2017]023 号); 国土资源部资源环境承载力评价重点实验室开放课题资助项目(CCA2017.04)

[Foundation: Tianjin Municipal Bureau Technology Project of Land Resources and Housing Management, No[2013]6, [2017]023; Key Laboratory Open Project of Resources and Environment Carrying Capacity Evaluation of Ministry of Land and Resources, No. CCA2017.04]

作者简介: 赵卫(1985-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事海洋环境地质与灾害地质研究工作, 电话: 022-24385505, E-mail: zhaowei1228@126.com; 熊元凯, 通信作者, 电话: 15120693505, E-mail: 176009205@qq.com

1 技术方法

本次工作数据采集设备是 EdgeTech 公司的 3200XS 型浅地层剖面仪, 选用 SB-512i 型(500Hz-12KHz)拖鱼, 水平波束宽度 $16^{\circ}\sim 41^{\circ}$, 垂直分辨率 8 cm~20 cm。针对天津海域海底地层情况, 其实际探测厚度在 10 m~30 m, 不同区域由于底质沉积物特征的不同而有所差异。东西向主测线间距为 5 km, 南北向联络测线间距 25 km, 分布位置如图 1 所示。DGPS 信标机在数据采集过程中, 对浅剖仪进行实时动态跟踪, 导航定位准确度优于 ± 5 m。

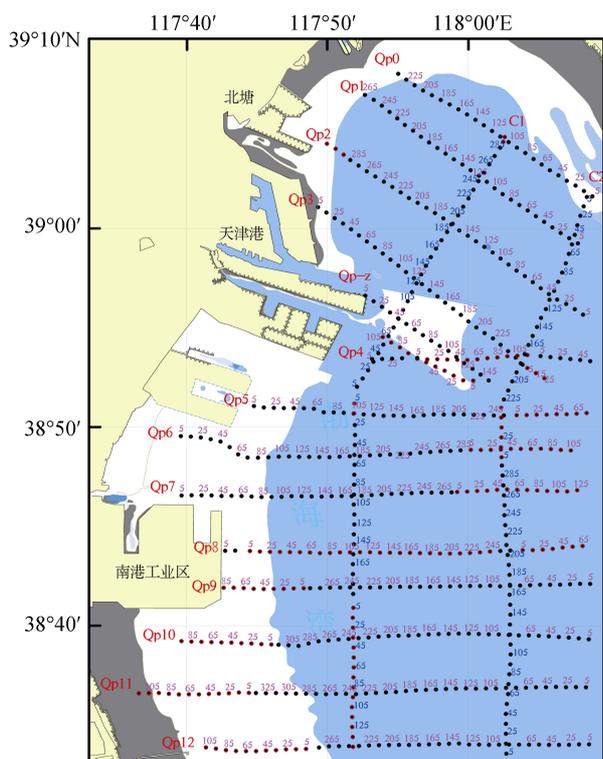


图 1 测线位置展布图

Fig. 1 Location of the survey line

在浅地层剖面上, 可通过声学层序的划分以及声学地层特征的描述来判定浅部地层中不稳定地质体甚至是地质灾害的存在。声学地层主要是依据地震地层学的原理, 根据一定地层序列的外部形态、内部结构等地震反射相特征和反射终止模式进行划分的。其中, 地震反射相特征主要包括席状、楔状等外部形态特征, 而内部反射结构包括平行反射、前积反射、杂乱反射等, 反射相特征可以反映在某一地质时期内沉积环境的能量、物源信息的变化^[5]。反射终止模式表明了上下地层的接触关系, 较常见的接触关系除了整合接触之外, 还有顶超、削截、上超和下超

这几类代表着地层出现不整合甚至沉积间断特征的接触关系。

2 主要地质灾害的浅地层剖面特征

通过对浅地层剖面的地质解译, 本次调查发现天津海底地质灾害有: 浅层气、陡坎、水下潮流沙脊、沙波和埋藏三角洲前缘。在浅剖上地震相及声学反射特征如下所述。

2.1 浅层气

海底浅层气是指海床下 1 000 m 以浅聚积、储量比较小的有机气体。主要包括生物气、油型气、煤层甲烷气等^[6]。浅层气在上覆水体及地层的压力作用下, 沿地层上倾方向向上运移^[7], 聚积在上部的浅表地层内, 主要分布于河口与陆架海区中。载有浅层气的地层在声学记录剖面上形成低速屏蔽层, 造成地层反射波相位在对比追踪中突然中断, 浅层气顶面处形成声波的强反射, 顶部以上的地层反射波清晰可辨, 而下部地层的反射波部分或全部被屏蔽, 如图 2 所示。

个别区域浅层气的在地层中形成大片的声学空白区反射, 会屏蔽部分地层。声学空白区顶界面不规则起伏(图 3), 图 3 地层中同时聚集了上下两层的浅层气, 上层出现典型的羽状反射特征, 反映了浅层气向上运移的状态^[8]。据该声学空白反射区周围的三角洲相沉积地层显示, 该处三角洲相地层厚度约 12 m, 因此该处声学空白反射区屏蔽了 6 m~8 m 厚的三角洲相地层。

2.2 埋藏三角洲前缘

大型前积层斜层理的存在, 是埋藏三角洲存在的特征性标志之一^[9]。埋藏三角洲前缘则是三角洲的水下部分, 地层剖面上地层单元顶界面表现为削截或顶超的特征, 底界面为下超特征, 均为地层不整合接触关系。顶底界面之间的地层砂质含量居多, 内含淤泥质夹层, 地层结构一般具有大尺度叠瓦状或“S”形前积反射构型(图 4、图 5)。埋藏三角洲地层序列具有沉积速率快、沉积构造复杂、地层结构坡降大且不稳定等特点, 造成沉积物抗剪强度低, 容易造成持力不均。

图 4 中地层结构为典型的“S”形前积结构, 上部反射界面为顶超或削截, 下部反射界面为下超或削截。前积方向大致为 SW 方向, 主要分布在天津北塘口以北海域, 是北部水系沉积物入海的结果, 发育在天津北部海底以下 1 m~2 m 左右, 厚 6 m~10 m。

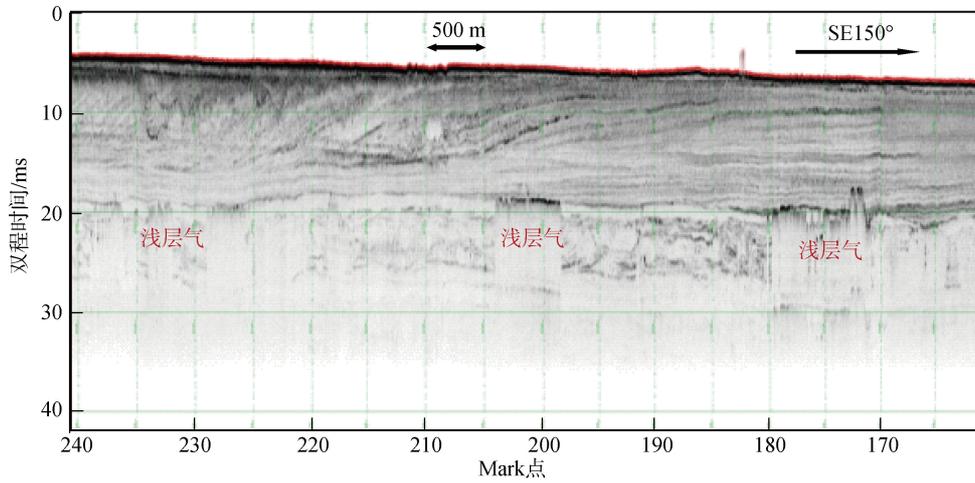


图 2 浅地层剖面图像中低速屏蔽层特征(Qp0 北段)

Fig. 2 Characteristics of low speed shielding layer on the sub-bottom profile

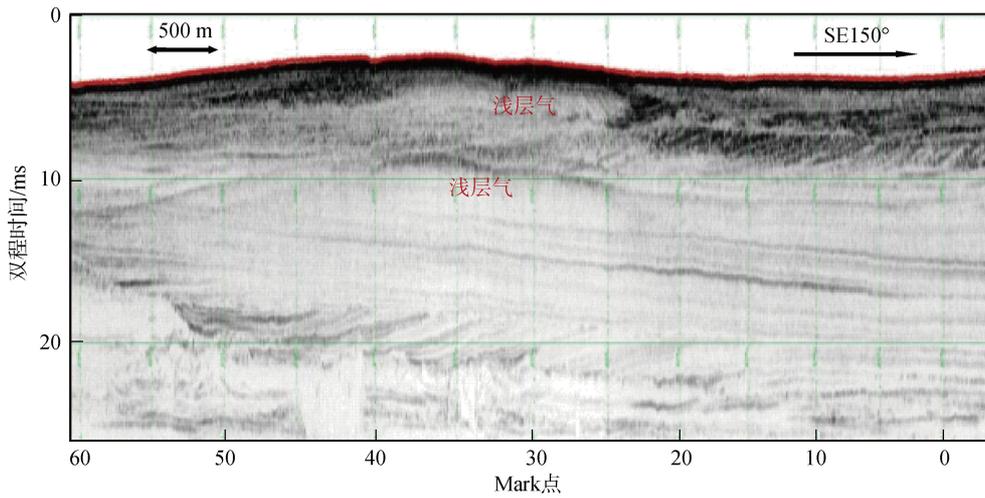


图 3 浅地层剖面图像中声学空白区特征(Qp0 北段)

Fig. 3 Characteristics of acoustic blank area on the sub-bottom profile

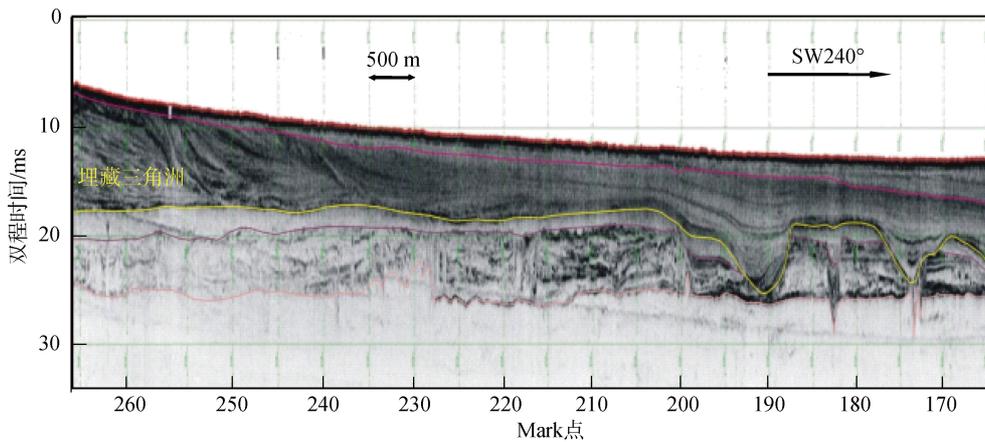


图 4 天津北部埋藏三角洲前缘浅地层剖面特征——“S”形前积结构(C1 北段)

Fig. 4 Characteristic of buried delta-front on a sub-bottom profile——“S” progradation reflection configuration

图 5 中地层结构为典型的叠瓦状前积结构。上部反射界面被削截，下部反射界面为下超特征，内部地层前积方向大致为东西向，主要分布在海河河口及以南地区，发育在天津港附近海底以下 1 m~2 m 左右，厚 1 m~7 m。

2.3 水下沙脊

现代潮流沙脊是发育在陆架浅海区海底的特殊地貌类型，是以不同时期沙质沉积物为底质的基础上，由现代海洋动力或较强潮流作用形成的沙质脊

状堆积体；后期经过潮流等外力的作用，亦可形成沙脊群^[10]。

沙脊平面长轴展布方向为 NW-SE 向，顶部水深仅 2 m~3 m。浅剖地层特征的指向性非常明显，斜层理倾向显示其 NW 向前积，说明水下沙脊沿西北方向迁移。由于天津海域涨潮流是 SE→NW 方向，这与水下沙脊的前积方向一致，沙脊成因可能是入海沉积物在强潮流的作用下搬运沉积而形成的脊状砂质堆积体(图 6、图 7)。

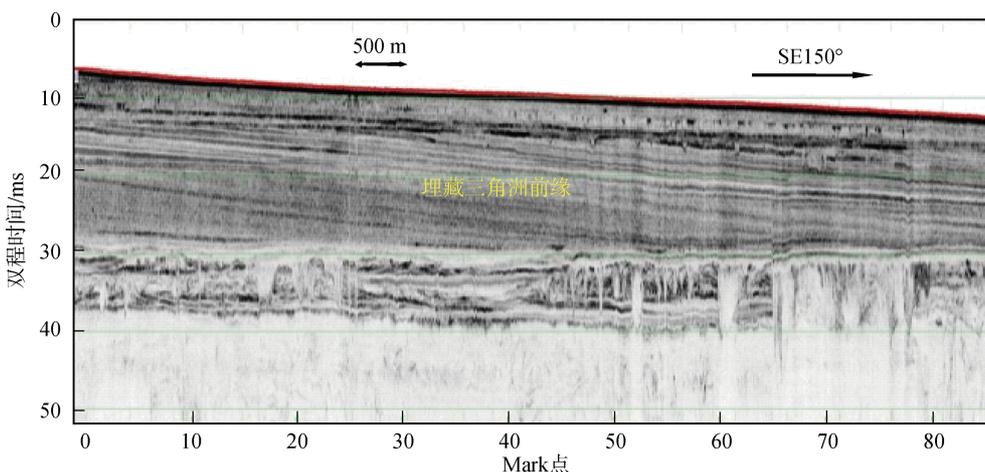


图 5 埋藏三角洲前缘剖面特征—叠瓦状前积结构(Qp3 测线)

Fig. 5 Characteristic of buried delta-front on a sub-bottom profile—shingled progradation reflection configuration

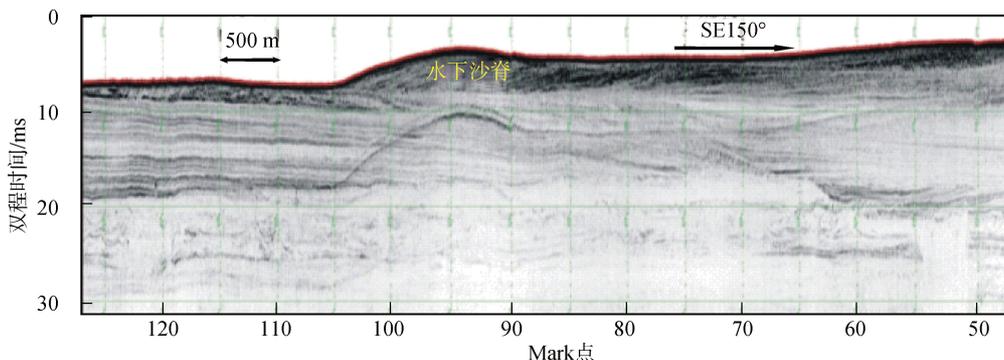


图 6 水下潮流沙脊长轴方向剖面特征(Qp0 测线)

Fig. 6 Characteristics of the underwater tidal sand ridge on the long-axis profile

2.4 沙波

海底沙波在浅地层剖面上较难判断，仅发现海底反射面比较粗糙^[11]，一般强振幅、砂质结构的海底对其下部地层会产生一定的反射屏蔽，有些沙波区厚度较大可达数米或 10 余米。图 8 中海底面反射波呈连续锯齿状起伏以及不规则的微起伏波状面。地层剖面做放大处理后可发现沙波最大波高约 2 m、最

大波长近 200 m。当水动力条件发生改变时，尤其是在风暴潮的作用下，沙波与水下沙脊类似，其形态和分布都会发生变化。对于海洋石油平台建设、管线铺设都会带来威胁。

2.5 陡坎

天津海域表层陡坎大多是人为因素形成，其成因主要是航道两侧边缘陡坎(图 9)或因吹填而抽走的

泥沙造成的，因此一般坡度较陡，普遍大于 30° ，明显的地形高差在浅地层剖面上较易识别。在海流和地震等因素的影响下，极有可能产生地层滑塌，给石油管线和海底工程带来危险。

3 海底地质灾害分布规律

天津海域上述海底地质灾害分布如图 10 所示，分布特征如下：

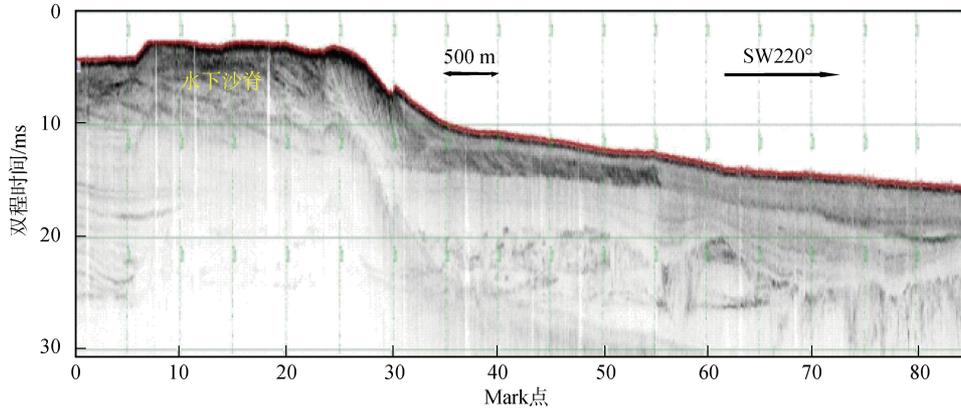


图 7 水下潮流沙脊短轴方向剖面特征(C2 测线)

Fig. 7 Characteristics of the underwater tidal sand ridge on the short-axis profile

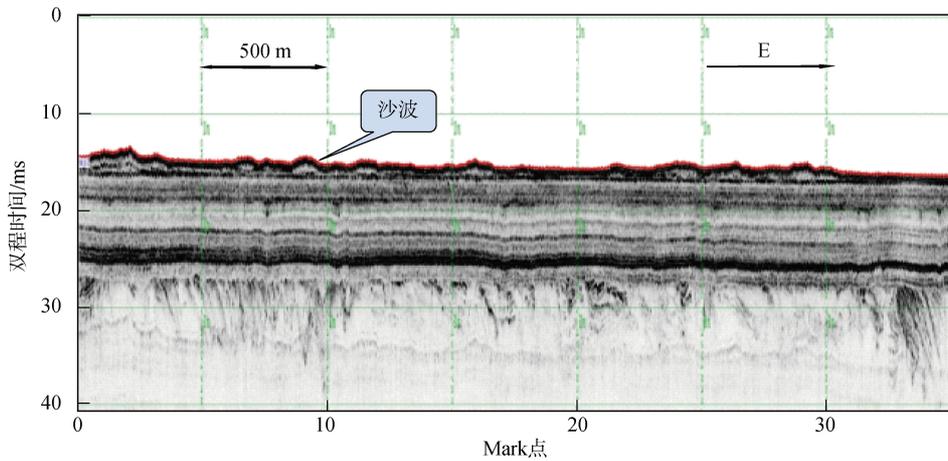


图 8 浅地层剖面图象中的沙波特征(Qp7 测线)

Fig. 8 Characteristics of the sand waves on the sub-bottom profile

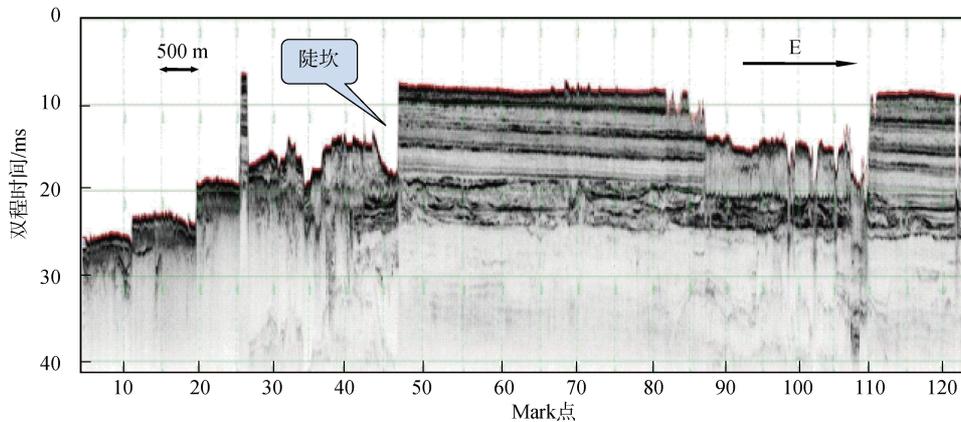


图 9 浅地层剖面图象中的陡坎(Qp7 测线)

Fig. 9 Characteristics of the scarp on the sub-bottom profile

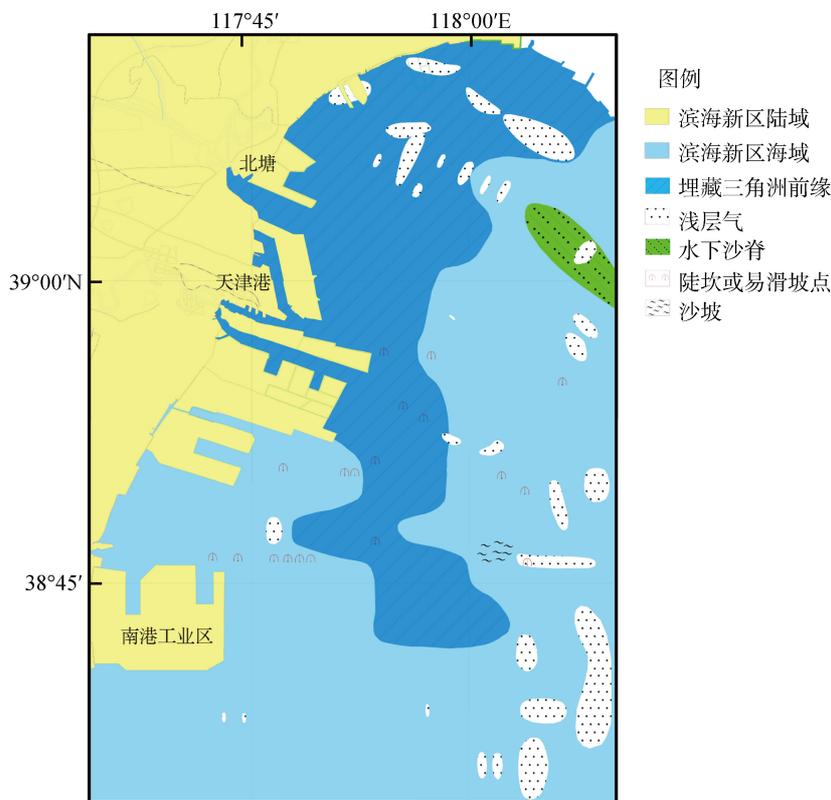


图 10 天津海域地质灾害分布图

Fig. 10 Distribution of submarine geological hazards in Tianjin offshore areas

3.1 浅层气

平面上看,天津北部海域浅层气主要沿海岸线分布,远离海岸浅层气减少。南部海域浅层气近岸地区分布较少,远离海岸浅层气增多,且单个块区发育面积较大,甚至连结成片。

垂向上看,浅层气主要分布于海底下 12 m 左右的早全新世砂质沉积层内,被上覆埋藏三角洲、埋藏潮道或水下沙脊沉积物盖层封盖。

3.2 埋藏三角洲前缘

天津市海域埋藏三角洲总面积约 848 km²,北至涧河口,南至南港工业区东部海域均有分布。海河河口处及以南海域三角洲前缘为具有叠瓦状前积结构的砂质沉积,前积方向大致为东西向,厚 1 m~7 m;天津市海域北塘口以北海域的埋藏三角洲前缘主要为“S”形前积结构的粘土质沉积与砂质沉积,前积方向大致为 SW 方向,发育在天津北部海底以下 1 m~2 m 左右,厚 6 m~10 m。

3.3 水下沙脊

发育位置位于涧河河口以南 15 km,东疆港区

外 23 km,水深较浅(5 m~7 m)的近岸带,沙脊区面积约为 40 km²,沙脊平面长轴展布方向为 NW-SE 向,顶部水深只有 2 m~3 m。地层内部斜层理倾向特征显示其沿西北方向迁移。

3.4 沙波

天津海域仅在南港工业区外 26 km 处发现沙波分布区,具体位置在北纬 38°45′、东经 118°交点东北侧海域,总延伸长度约 3 km,最大波高约 2 m,最大波长近 200 m。

3.5 陡坎

研究区的海底表层陡坎出现在天津港及以南海域,近岸及远海地区均有分布。分布范围集中在 3 个区域:天津港航道两侧,主要为天津港南北主航道的两侧边缘陡坎;临港工业区外围区域,主要为航道边缘陡坎和泥土开挖区;南港工业区东北海域,主要为工程土开挖或因吹填而抽走的泥沙而形成。

4 结论

本次调查工作发现的海底地质灾害主要有 5 种,

分别是埋藏三角洲前缘、浅层气、水下沙脊、沙波和陡坎。陡坎为人为工程活动衍生而成,其他灾种均在自然条件下形成。

作者总结了天津海域中海底地质灾害的分布规律:北部海域近岸地区分布有浅层气和埋藏三角洲前缘,潮流沙脊的发育位置离岸较远;南部海域的近岸地区较少发育地质灾害,有少量陡坎分布,浅层气和埋藏三角洲前缘则发育在远海地区。

研究区海域不同地质灾害在浅地层剖面上表现为不同的声学反射特征。沙波在本区分布较少,其声学反射特征不十分显著;浅层气表现为声学空白区;埋藏三角洲前缘的典型地震相特征为叠瓦状或“S”型前积反射构型;水下沙脊以地层剖面内部前积斜层理为主要特征,并伴有一定的地形起伏。

参考文献:

- [1] 刘守全,莫杰.海洋地质灾害研究的几个基本问题[J].海洋地质与第四纪地质,1997,17(4):36.
Liu Shouquan, Mo Jie. Several basic problems on the research of marine geological hazards[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1997, 17(4): 36.
- [2] Carpenter G B, Mearthy J C. Hazards analysis on the Atlantic outer continental shelf[J]. 12th Annual O T C Proceedings, 1980, 4: 419-424.
- [3] 冯志强,冯文科,薛万俊,等.南海北部地质灾害及海底工程地质条件评价[M].南京:河海大学出版社,1996:82-119.
Feng Zhiqiang, Feng Wenke, Xue Wanjun, et al. Evaluation of marine geologic hazards and engineering geological conditions in the northern South China Sea[M]. Nanjing: Hehai University Publishing House, 1996: 82-119.
- [4] 王宏.天津市海域地质地貌调查[R].天津:天津地质矿产研究所,2008.
Wang Hong. Geological and geomorphological survey of Tianjin sea area[R]. Tianjin: Tianjin Institute of Geology And Mineral Resources, 2008.
- [5] 牛毓荃,徐怀大.地震地层学[M].北京:石油工业出版社,1980.
Niu Yuquan, Xu Huaida. Seismic stratigraphy[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1980.
- [6] 叶银灿,陈俊仁,潘国富,等.海底浅层气的成因、赋存特征及其对工程的危害[J].东海海洋,2003,21(1):27-36.
Ye Yincan, Chen Junren, Pan Guofu, et al. A study of formation cause, existing characteristics of the shallow gas and its danger to engineering[J]. Donghai Marine Science, 2003, 21(1): 27-36.
- [7] 李萍,杜军,刘乐军,等.我国近海海底浅层气分布特征[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(1):71.
Li Ping, Du Jun, Liu Lejun, et al. Distribution characteristics of the shallow gas in Chinese offshore seabed[J]. The Chinese Journal Of Geological Hazard and Control, 2010, 21(1): 71.
- [8] 顾兆峰,张志珣,刘怀山,等.南黄海西部地区浅层气的浅部埋藏地质背景[J].海洋科学,2008,32(7):46-51.
Gu Zhaofeng, Zhang Zhixun, Liu Huaishan, et al. Shallow geological background of shallow gas in the western South Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2008, 32(7): 46-51.
- [9] 范奉鑫,林美华,江荣华,等.海南岛东部外陆架水下埋藏古三角洲[J].海洋科学,1999,23(6):55-57.
Fan Fengxin, Lin Meihua, Jiang Ronghua, et al. The submarine buried paleo-delta in the east outer continental shelf of Hainan island[J]. Marine Sciences, 1999, 23(6): 55-57.
- [10] 李晶.辽东浅滩海域浅部地层声学反射特征及地质意义[D].青岛:中国海洋大学,2012.
Li Jing. Characteristics of acoustic reflection and geological significance of Liaodong shoal's shallow strata abstract[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [11] 赵铁虎,张训华,王修田,等.广东珠江口-东平近海浅地层剖面的声学特征及地质意义[J].物探化探计算技术,2007,29(3):181-189.
Zhao Tiehu, Zhang Xunhua, Wang Xiutian, et al. Sub-bottom profiling (SBP) acoustic characteristics and geological interpretation on offshore from Pearl River estuary to Dongping in Guangdong Province[J]. Computing Techniques For Geophysical And Geochemical Exploration, 2007, 29(3): 181-189.

Acoustic characteristics and types of submarine geological hazards in Tianjin offshore areas

ZHAO Wei^{1, 2}, XIONG Yuan-kai³, GONG Shao-jun^{1, 2}, ZHAN Hua-ming^{1, 2},
QIAO Ji-guo^{1, 2}

(1. Tianjin Exploration Center of Marine Geology, Tianjin 300170, China; 2. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, Ministry of Land and Resources, Langfang 065201, China; 3. Hainan Marine Geological Survey Academy, Haikou 570206, China)

Received: May 13, 2020

Key words: Tianjin offshore areas; types of geological hazards; shallow gas; scarp; buried delta front; submarine sand ridges

Abstract: On the basis of the shallow seismic profile data, the submarine geological hazards in Tianjin offshore areas, which include shallow gas, scarp, buried delta front, submarine sand ridges, and sand waves, were discussed. Shallow gas is widely distributed in the inshore waters of the northern area and the farshore waters of the southern area. The buried delta front is distributed north of the Jian River and south to the eastern sea area of the Nangang industrial zone. Submarine sand ridges are distributed in the nearshore waters of the northern area whose depth ranges from 5 m to 7 m. Inclined foreset bedding exists as an internal formation. Sand waves extend approximately 3 km and are rarely distributed. The scarp is distributed in the eastern and southern sea areas of the Tianjin port, which exists because of channel excavation and land formation and is distributed from nearshore to farshore.

(本文编辑: 谭雪静)