维普资讯 http://www.cqvip.com

埕岛海区浅地层地质灾害因素分析

赵维霞，杨作升，冯秀丽

（中国海洋大学 海洋地球科学学院，山东 青岛 266003）

摘要：埕岛海区处于特殊的地理位置，是海底地质灾害频发地带，因而直接威胁到海上工程设施的安全。过去多限于对某些重点区域有针对性的声学探测和实测资料的解释，通过收集20多份井场调查资料，对埕岛海区浅地层地质灾害按水深进行分类，并对成因进行分析。结果表明，5 m等深线以浅多冲蚀沟槽；8～12 m地质灾害体类型较多；12～16 m多为充填相地层。

关键词：埕岛海区；浅地层；地质灾害

中图分类号：P736　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-3096(2006)10-0020-05

埕岛海域位于黄河三角洲东北滨外的渤海西南沿岸(图1)。自1988年在该海域发现储量丰富的埕岛油田以来，大量海上工程设施如人工岛、海上油气勘探平台、海底油气管道等不断建成。为了保证海上工程设施的安全，国内外专家在该区开展了大量浅地层地质灾害的调查研究，获得了丰富的资料。

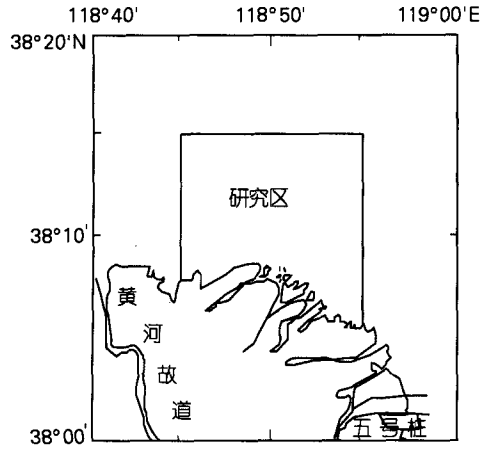


图1　研究区位置图

Fig. 1　The location of the study area

1964～1976年期间黄河曾由刁口流路在埕岛地区注入渤海，河口曾三次变动，形成了快速向海延伸的3个亚三角洲叶瓣。1976年黄河改道由清水沟流路入莱州湾，本区黄河泥沙来源断绝，埕岛地区的废弃黄河亚三角洲发生了严重的侵蚀后退，形成了复杂多样的水下地貌。加以本区地处黄河三角洲东北角，是波浪、潮流等海洋水动力最强的海域，触发了大量岸坡沉积物块体运动，使埕岛海域成为海底地质灾害最严重的海域之一。前人所做的大量海上调查表明：本区存在水下滑塌冲沟、残留海底岗丘等众多的地质灾害形成的地质体，在浅地层中尚有埋藏的古河道、古湖泊、古沼泽等不均匀地层，对海洋油气工程设施构成严重的威胁。因此，对本海区浅地层地质灾害因素进行系统分析对保证海洋油气工程具有重要的实用价值。

埕岛海区的浅地层工程地质条件、水动力环境、地貌特征极其复杂，特别是黄河尾闾摆动后海岸快速蚀退引起沉积物类型和性质在空间上分布很不均匀，使得本海区海底呈现形态各异的微地貌形态。高分辨率声学系统在该海区记录到侵蚀残留岗丘、塌陷凹坑、滑坡块体、表层扰动体、古河道、古沼泽、古湖泊等浅地层地质灾害类型，这些不仅会引起钻井平台销毁，还会造成输油管及电缆位移折断、码头及海底设施被毁等。杨作升等[1]证实在黄河口快速堆积作用下，水下岸坡较陡，且黄河泥沙具有极易液化的特性，使活动的和废弃的水下三角洲斜坡存在大量的滑坡体。陈卫民等[2]根据形态特征和规模的差异，将黄河口水下底坡微地貌划分为5种类型并对其成因进行了探讨。刘效国等[3]探讨了埕岛海域水深地形特征

收稿日期：2004-11-09；修回日期：2005-12-08

基金项目：国家自然科学基金资助项目(40376015)

作者简介：赵维霞(1976-)，女，硕士研究生，研究方向为海洋地质工程，电话：0532-82033522，E-mail：zhaoweixia2000@hotmail.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

及冲淤规律，阎通等根据埕北海域水下三角洲的工程地质条件和水动力条件，分析了海底管线的冲刷稳定性。陈晖等研究了埕岛海域浅水区人工构筑物周边海底地形演化与海洋灾害地质现象的关系，鹿洪友等[4]对埕岛地区近年海底冲淤规律及水深进行了预测，冯秀丽等对埕岛近岸海域悬浮泥沙输运趋势进行了分析[5]，并对该区工程地质从平面和垂向上做了综合性的评价[6]，国内外专家对该区地质灾害问题作了大量工作，但是对整个海区地质灾害类型分布的全面分析尚嫌不足。随着油田深层次开发，海洋构筑物不断增多，海洋工程环境对油田开发的影响越来越重要。因此系统分析埕岛海区浅地层地质灾害类型及其分布，对今后埕岛油田工程的合理设计、顺利施工及各项构筑物的管理等有着重要的意义。

1 研究区概况

本研究区范围如图 1 所示，它位于现代黄河三角洲的水下三角洲平原上，是黄河 1855 年改道渤海以来形成的水下三角洲，目前是胜利油田浅海石油勘探开发的重点。黄河分流河道改道以前，大量的河流泥沙供应，使本区的水下三角洲前缘斜坡向海快速淤进，河口堆积造成前缘斜坡坡度变陡，达 1/380～1/560[3]。自 1976 年 5 月 23 日黄河由此改道，研究区受到了东北向强波浪和强海流的强烈侵蚀。由于河口区泥沙的快速堆积，使本区泥沙体内部所具有的位能相对较高。在外动力的强烈作用下，位能开始向动能转化，孔隙水排出，较细的颗粒被水流带走或再沉积。位能向动能转化的结果使研究区浅海底发育了大量形态各异的浅地层地质灾害因素，如塌陷凹坑、坍塌洼地、冲刷沟槽、切蚀－充填地质构造、块体滑坡等。

2 地质灾害类型分布

井场调查中采用高精度 GPS 定位系统和回声测深仪、数字旁扫声纳以及高分辨率 3.5 kHz 浅地层剖面系统等设备，采集到井场及路由区域水深、地貌和地层结构的三维数据。本试验结合井场调查报告及历史资料，根据海底水深（图 2）及地形特征，将各区浅地层地质灾害因素由岸向海分别加以说明。

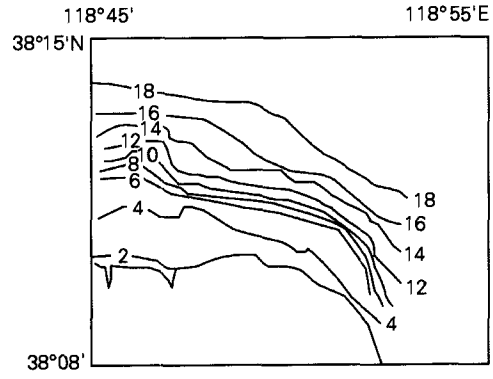


图 2 研究区水深

Fig. 2 Water depth of the survey area

2.1 水深小于 5 m 的冲蚀地貌区

埕岛海区自投入开发以来，在水深 2 m 以浅的浅水区建造了众多人工构筑物。这些构筑物的出现，使其周围的流场发生了很大改变，同时埕岛海域海岸属黄河三角洲侵蚀后退海岸，海流与波浪作用集中，这种作用在该区域易导致海岸出现淘空现象。调查发现构筑物周边水深剧烈增大，形成了一系列凹坑地形。另外由于海流的冲刷，在海底往往形成平行于堤坝的水下冲沟。另外在水深 5.0 m 等值线附近，海底坡度较大，地形特征为一陡坡。在波浪掀沙、海流和近于平行于岸线的潮流及地层内部不稳定因素共同作用下，海底面形成了一系列走向和潮流平行的低缓的冲蚀沟槽。而在水深大于 5 m 的海域虽潮流速度极高，但受波浪掀沙作用和影响较小，水动力冲蚀相对较弱，未见明显的冲蚀地貌特征。其在声纳图像上呈现定向、断续、强弱相间的声波反射特征。冲沟常常是泥流、粉砂流的通道，在周期性增水加载条件下，特别是风暴潮期间，沟底及侧壁沉积物孔隙水压力增大，将导致滑坡发生，对海洋平台、海底管线和电缆构成极大威胁。杨子赓[10]曾记述了渤海湾北部大型潮汐通道在切割障壁岛处由于雍水形成的孔隙水压异常增高使地滑成群集体发生。此种地貌主要发现于桩古 46～CB35 井～CB35 单和老九井～CB12A 和管线登陆点～CB 古 5 井之间的近岸段。此外，在各平台的根部也发现了少量的冲蚀地貌区，但高差很小。

2.2 8～12 m 的地质灾害体广泛分布区

水深 5～12 m 地形复杂，尤其是 8～12 m 区地质灾害分布广泛，类型多样。根据地貌特征及地质灾害分布情况将该区域以 CB30～CB303～CB302～CB5 为界分为东南部和西北部两部分进行分析。

由 CB306 ～ CB30，CB306 ～ CB30A，CB306 ～ CB307 海底管缆路由区调查资料及各井场调查报告显示，东南部海底地形起伏较大，在各路由区沿轴线

维普资讯 http://www.cqvip.com

方向水深8.0～12.0 m之间发育有滑塌洼地、塌陷凹坑和侵蚀凹坑(图3),这类地质灾害是由于沉积物本身的压实作用,或者由于海水的涡流作用而形成的近圆形地形,在洼地内散布着块状滑塌沉积物,且伴有流动迹象,边缘陡坎垂直高差可达1 m左右(图4),属于正在发生目前还没有被水动力改造完成的情况,其海底土层含水量极高,地层较软,可能的结果是造成管线下沉或滑动,对海底管线危害极大。此外通过勘察报告显示,沿路由区还存在大量的斑状海底区和少量的蚀余高地区(图3),这类海底是水动力对海底的改造已接近后期,对海底管缆的危害相对较小,可能的结果是造成海底管线的悬空。建议管线路由最好回避该区地质灾害体,如果一定要从此过最好不要掩埋,危害会相对减小。

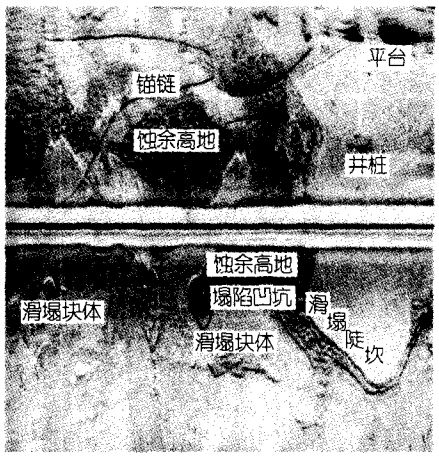


图3 CB306～CB30A路由区声纳典型记录

Fig. 3 Typical sonar record of CB306～CB30A routing areas

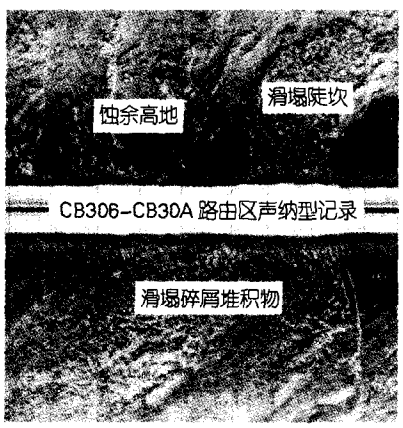


图4 CB306～CB30A路由区声纳典型记录

Fig. 4 Typical sonar record of CB306～CB30A routing areas

高精度、高分辨率的回声测深、旁侧声纳及浅地层剖面记录在西北部区域发现埋藏有古河道、古湖沼、古沼泽充填相地层、滑塌体、侵蚀残留岗丘等地质灾害。在CB12A设计井位处发现有底界面埋深为15.5～21.1 m、最大下切深度达6.2 m的古河道,基本以南西西～北东东走向横穿过井场区,其埋深等值线顺河道分布。在CB20B井场内发现有古湖沼、沼泽相地层,底界面埋深为17 m左右,但层厚较薄,对该地层工程力学性质影响不大。在CB11A东北角、中心一号西、CB22A西、中心一号～中心二号之间靠近中心一号段,CB20A～CB20B正北部等海区广泛分布有侵蚀残留岗丘和台地,面积大小不一,其值为40 m×60 m～200 m×250 m,突出海底高度0.5～3 m,岗丘顶部和海底高差最大可达4 m之多,边缘高倾角陡坎发育,表现为多次旋转滑塌典型特征,浅地层显示平行层理发育,相间的塌陷洼地被无序的坍塌沉积物所充填,与相邻海底相比在浅地层上有明显的差异,从整体上反映出这是一种早期形成的由成层地层组成的海底遭受后期的破坏后残留下来的地貌形态。在CB4A～CB4B路由轴线上距CB4A设计井位1 048m～CB4B设计井位区段以及距CB4B设计井位0～108 m的区段发现有滑塌体,前者在路由轴线上的长度为70 m之多,海底水深比周围海底的小0.3 m左右,滑塌体内声波亚阻抗界面已变形或消失,滑动面已经形成,底界面埋深为5.1～6.3 m,后者滑动面埋深为4.2～6.3 m。滑塌体内的沉积物由于受坡降的限制,不具备快速运动的条件,它的发展在垂向上造成该区水深的增大(增大至与周围海底的相一致),在横向上面积逐渐扩大,这应对设于此地的海底管缆影响不大。另外滑塌体虽已发生破碎,但其表层物质组成较为致密,其力学强度近于"铁板砂",在铺设开挖管缆应注意。

2.3 12～16 m的充填相地层区

该区域浅层地质灾害主要为海底表层扰动体(图5)、古河道及古沼泽相地层。

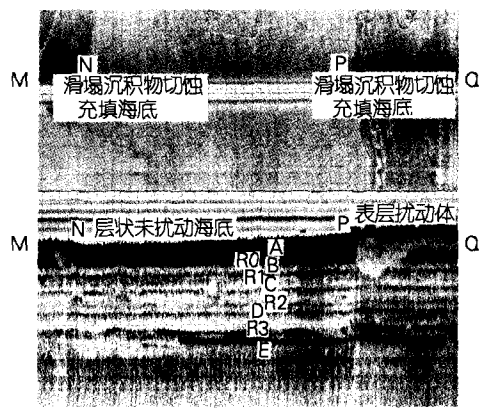


图5 CB306～CB307路由区典型记录

Fig. 5 Typical record of CB306～CB307routing areas

维普资讯 http://www.cqvip.com

由于黄河水下三角洲的坡降一般在1‰～2‰，沉积物块体运动所形成的滑动块体和粉砂碎屑流在较小区域内就丧失了沉积运动的驱动力——重力分力而停留下来，受其改造过的海底区的规模不大，且成封闭状，称之为表层扰动体。主要在SH6A井场南半部，SH6B井场的北部、西部和南部，SH6C井场的中部和西南部，CB251D井场的西北角，CB301～CB30B路由区广泛分布，其扰动最大深度依次为8.0 m。但前3个井场区扰动体上部地层已在海洋动力作用下形成了层厚2 m左右的稳定的"铁板砂"层，因此可推断，扰动体产生和发展的时间早已结束，特别是扰动体中沉积物曾液化失水，地层已呈稳定状态。表层扰动体形成的原因是黄河水下三角洲在淤长过程中，沉积速率较大(平均2.0 m/a)，沉积物颗粒之间的堆积较为松散，孔隙水压力较大，在沉积物块体自身重力和外来动力作用下，易发生区域性的滑塌和粉砂碎屑流等在重力分力作用下流动或滑动的沉积物块体运动。这种地质作用破坏了发生区和沉积区内的地层原有结构而形成了特殊地质体。由于其沉积速率极高，且物质组成以粗、细粉砂粒级的颗粒为主，堆积松散，含水率极大，因而其工程力学强度相对较低，可能会造成管线一定程度的下沉。

在SH6A，SH6C设计井位埋深9 m以下有2～2.5 m多厚的沼泽相细粒沉积，在SH6B井场南东东140 m方向发现有深大废弃河道，基底最大埋深为16.5 m，沼泽、废弃河道中沉积的物质颗粒较细，且包含有有机质，因而其工程力学性质较差，对平台插桩工作有一定影响，在设计中应注意。调查发现CB301～CB30B路由区海底为粗糙海底和绳网状泄水地貌，粗糙海底在声纳记录上无明显的阴影，声波反射能量强，无突变现象。绳网状泄水地貌在声纳记录上呈现阴影相间的绳网状，继续发育可成为小的塌陷凹坑。这是因该区域处于三角洲前缘斜坡区，高含水率沉积物在波浪作用下向外排水而致。这种地形的发育将会造成管线一定程度的下沉。

3 控制因素

研究区沉积物类型属于粉砂粘土类，在行河期间由于黄河高浓度泥沙快速沉积于河口水下三角洲及水下底坡区，形成了高含水量、高孔隙度及较高压缩性的沉积物，这种快速沉积的过程使沉积物内部孔隙水难以很快排出，产生一定的孔隙水压力。在海洋波浪、潮流和地震等周期性外力载荷作用下，发生沉积物地层结构扰动。又砂土一般欠固结，呈中密～疏松状态，具有较高的液化可能性。一旦土体局部范围液化产生塌陷，影响范围扩大时，沉积物与孔隙流体将一起沿低缓坡度向下流动，导致塌陷洼地边缘处变陡，土体临空后范围进一步扩大，粉砂流冲沟。

各种海洋动力如表面波、潮位变化、灾害性海浪、内波等条件变化会造成周期性荷载，对土体的力学性质影响很大，在不排水条件下，孔隙水压力增大，土体强度下降，引起浅地层地质灾害发育。

4 结论

根据井场调查报告中高分辨率声学仪器对各井场及各路由区的记录，可见埕岛海区浅地层地质灾害呈现出多样性和复杂性。根据海底水深及地形特征，可划分为3个部分。(1)水深5 m以浅的冲蚀地貌区。水深2 m以浅由于人工构筑物的出现导致近岸流场改变，海底凹坑及洼地发育。5.0 m等值线附近，由于潮流冲蚀较强，海底面形成了一系列走向和潮流平行的低缓的冲蚀沟槽。此种地貌主要发现于桩古46～CB35井～CB35单和老九井～CB12A和管线登陆点～CB古5井之间的近岸段。(2)8～12 m之间由于破波带内波浪能量的快速转换导致滑塌体、塌陷凹坑、侵蚀残留岗丘等地质灾害体以及古河道、古湖沼、古沼泽充填相地层发育。(3)12～16 m区域浅层地质灾害主要为海底表层扰动体、古河道及古沼泽相地层。

参考文献：

[1] 杨作升，Keller G H，陆念祖，等. 现代黄河口水下三角洲海底地貌及不稳定性[J]. 青岛海洋大学学报. 1990，**20**(1)：7-21.

[2] 陈卫民，杨作升，Prior D B，等. 黄河口水下底坡微地貌及其成因探讨[J]. 青岛海洋大学学报. 1992，**22**(1)：71-81.

[3] 阎通，李萍，李广雪，等. 埕北海域海底管线冲刷稳定性研究[J]。青岛海洋大学学报. 1999，**28**(4)：721-725.

[4] 鹿洪友，李广雪. 黄河三角洲埕岛地区近年海底冲淤规律及水深预测[J]. 长安大学学报，2003，**25**(1)：57-61.

[5] 冯秀丽，吴世强，林霖，等. 黄河三角洲近岸海域悬浮泥沙运动[J]. 海洋科学，2003，**27**(12)：66-70.

[6] 冯秀丽，林霖，庄振业，等. 现代黄河水下三角洲全新世以来土层岩土工程参数与沉积环境之间的关系[J]. 海岸工程，1999，**18**(4)：1-7.

[7] 李广雪，薛春汀. 黄河水下三角洲沉积物厚度、沉积速率及砂体形态[J]. 海洋地质与第四纪地质，1993，**17**(6)：15-24.

[8] 常瑞芳，陈樟榕，陈卫民，等. 老黄河口水下三角洲前缘底坡不稳定地形的近期演变及控制因素[J]. 青岛海洋

维普资讯 http://www.cqvip.com

大学学报，2000，**30**(1)：159-164.
[9] 杨作升，王涛. 胜利油田勘探开发海洋环境[M]. 青岛：青岛海洋大学出版社，1993. 84-86.
[10] 杨子赓，王学言. 渤海湾北部浅海海洋地质环境演变与灾害地质问题[M]. 北京：科学出版社，1998. 100-112.
[11] 常瑞芳，崔青. 黄河口水下三角洲海底冲蚀沟发育的动力机制探讨[J]. 海洋学报，1999，**21**(3)：90-97.

A study on factors of geological hazards in Chengdao shallow stratum

ZHAO Wei-xia, YANG Zuo-sheng, FENG Xiu-li
(College of Marine Geosciences , Ocean University of China , Qingdao 266003, China)

Received: Nov. , 9, 2004
Key words: Chengdao sea area; shallow stratum; geological hazards

Abstract: Based on the especially geography situation, Chengdao area is typically characterized by geologic hazards, which will threaten the safety of the offshore engineering. Many investigations were carried out in this area only limited to the measurement of geologic hazards using the sonic equipment and the records were interpreted. Here the data of more than 20 well sites in this area are collected to analyze the related geologic hazards. The distribution of the shallow stratum geologic hazards is presented according to water depth. Bellow the 5 m isobaths mild erosional furrows were developed; between 8 m and 12 m isobaths there are many geologic hazards; between 8 m and 12 m isobaths geologic hazards are mostly filled facies stratum.

（本文编辑：刘珊珊）