

黄河口水下滑坡体系*

杨作升 陈卫民 陈彰榕 吴光华 曹立华 沈渭铨

(青岛海洋大学河口海岸研究所, 青岛 266003)

提要 自1988年以来, 通过多次野外考察和深入研究, 在黄河口发现并确认存在大规模的水下滑坡体系。根据声纳图象和浅地层剖面记录, 对滑坡进行分类命名和特征分析。研究表明, 该滑坡体系中存在瓶颈状滑坡、平移板状滑坡和旋转滑坡3种类型; 许多单个滑坡在下坡方向汇集成复合滑坡系统, 有时数十条滑坡汇集成蜿蜒数公里的大规模复杂体系。滑坡冲沟分布广泛, 将底坡表层切割得支离破碎, 与密西西比河口比较, 黄河口水下滑坡具有高含水、浅表多发、微型多样、搬运机制清楚、滑坡全部呈负地形、分布广泛等特点, 对形成黄河口及水下三角洲的特点及其发育演化有重要作用。滑坡沉积物各阶段存在不同的流变组合, 构成完整的流谱。河口底坡沉积物向海洋的输送具有阵发性和事件性。

关键词 黄河口水下底坡 滑坡分类和体系 冲沟 前缘隆起裾

低角度($<1^\circ$)河口水下底坡上的滑坡近年来在世界许多大河河口都有发现(Peimnits, 1972), 例如密西西比南支河口拦门沙沉积物有一半是以滑坡形式输往深水(Lindsay et al., 1984)。在我国河口水下滑坡的正式报道仅见于杭州湾北岸, 此外, 陆架区也有报道(杨启伦等, 1988)。在1985—1987年中美黄河口合作考察中, 记录到大量海底不稳定性现象, 但是Prior等(1986a, 1986b)及Bornhold(1986)等人发表的文章中, 未有只字提及滑坡。虽然Prior等在1990年以后发表的一篇文章中也提到了“滑坡”, 但未作任何论述。本文就滑坡的特征、类型、发育演化过程、体系、特色和在河口发育中的作用等进行分析。这对认识黄河三角洲的发育演变, 研究河-海沉积物输送的事件性与阵发性, 观察世界上罕见的水下沉积物重力流(包括浊流)过程及其沉积体, 解决海洋工程地基的稳定性和防止地质灾害等, 都有独特的意义。

1 研究区域和方法

研究区位于现行黄河口至1976年废弃的黄河刁口流路之间的近岸海域(图1), 水深2.5—16m, 从河口三角洲顶部平原、三角洲前缘斜坡和三角洲前缘隆起裾至前三三角洲一带。

在1988—1991年期间, 我们用高分辨率的水声学仪器进行海上同步走航调查, 使用的仪器有: 100kHz旁扫声纳, 分别为Klein及EG&G公司生产的两种; Datasonics公司

* 国家自然科学基金重大项目, 9487005号。

本文利用了1987年部分中美合作原始资料, 谨对参加该次考察的中外同行Keller, G. H., 陆念祖, Prior, D. B., Bornhold, B., Wright, L. D. 许卫东等表示感谢。

收稿日期: 1992年11月2日; 接受日期: 1994年5月3日。

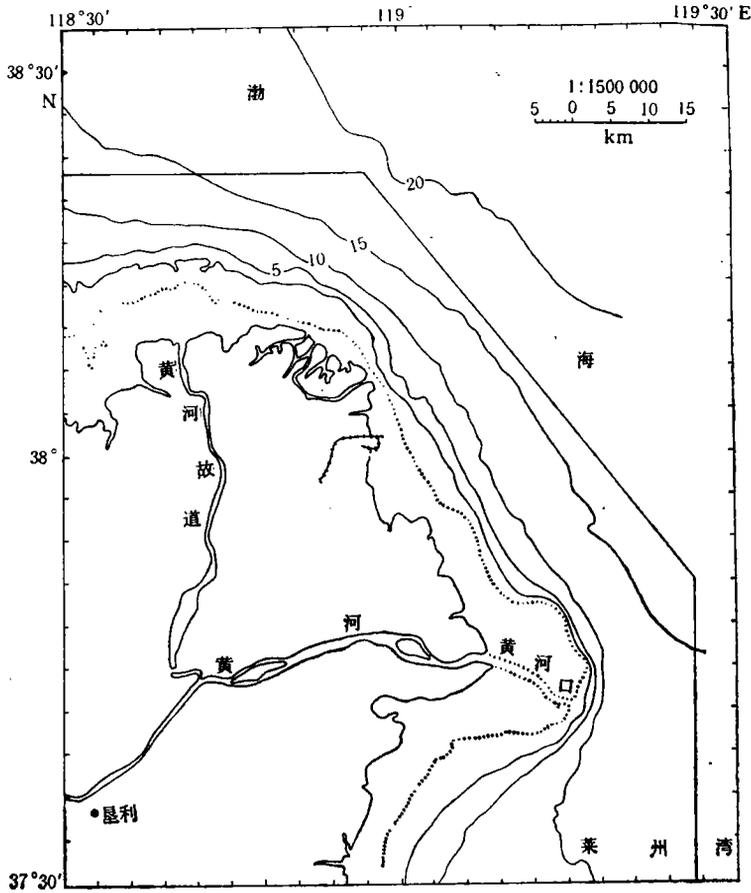


图1 研究区域(自折线范围至水深2m)
 Fig. 1 Study area in the Huanghe River Delta

的 SBP5000 型多频浅地层剖面仪,以 3.5kHz 为主; Ross 等公司的 200kHz 二通道热敏测深仪。由于黄河口水浅和基本不含浅层天然气,加上仪器较为先进,所获记录较佳。

2 水下滑坡判别和分类依据简述

低角度($<1^\circ$)斜坡上发生的大量水下滑坡已有广泛发现,而密西西比河口水下滑坡发生在平均坡度 $<0.5^\circ$ 的斜坡上,与陆地滑坡发生的坡度差别很大。Dingle (1977) 归纳了大型水下滑坡的 4 个识别特征,其大部分已公认可作为水下滑坡的判据,河口底坡滑坡判别分类又多参照密西西比河口情况,本文以此为基本依据,结合陆地滑坡特征来判识黄河口水下滑坡。

水下滑坡的分类命名目前以 Prior 等(1984)所提方案较为完整系统,本文以此为依据进行分类,同时考虑了黄河口沉积物具有高含水、低强度及以粉砂为主、液化和流动作用强烈的特点。

滑坡一般由 3 个形态单元组成:(1) 滑坡源区,位于滑坡的上部;(2) 滑坡沉积物

输送区,位于滑坡的中部;(3) 滑坡沉积物堆积区,位于滑坡的下端。本文以这 3 部分特征作为分类命名的基础。

3 研究结果

通过上述水声仪器走航记录和滑坡判别及分类依据,并与国内外水下滑坡资料对照确定黄河口存在水下滑坡体系,现分述如下。

3.1 滑坡分类特征及相互影响

3.1.1 瓶颈状滑坡 这是最小型的滑坡,多发生在水下底坡的中上部分,坡度中等或较缓,在 0.2° — 0.3° 之间,在现行的黄河口区分布广泛,也有位于底坡最下部分缓坡区的,现按形态单元分述如下。

源区特征 本类滑坡源区上半部有弧形陡壁(陡坎)周缘,高度不大,一般在 0.5—0.1m 左右。沿周缘有小裂隙,在周缘陡壁一带可以辨认出轻度的滑动迹象。源区为弧形塌陷区,内部结构粗糙,常见大量沉积物碎块呈迭瓦状或绳网状分布,表现了塑性流动的特点,也有呈不规则散布者(图 2)。在整体形态上密西西比水下三角洲的同一类型相似。

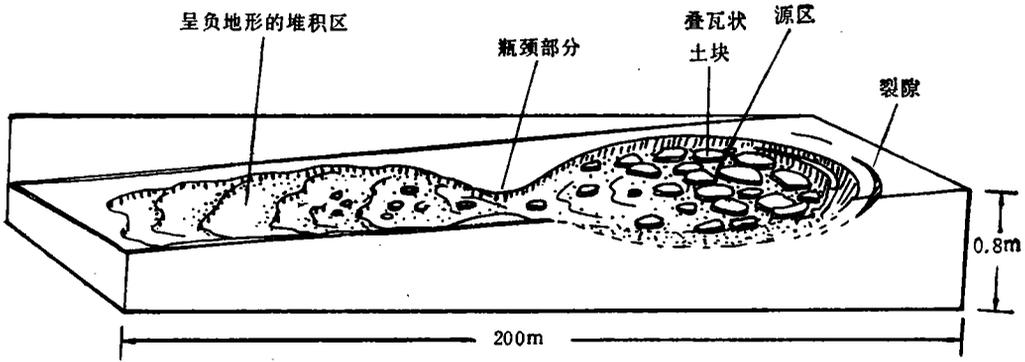


图 2 瓶颈状滑坡示意图

Fig.2 Scheme of bottle-neck landslide in the Huanghe River Delta

通道与堆积区的特征 与源区洼地相对的下端是扰动的滑坡沉积物堆积区,为不规则弧形的沉积物堆积洼地或不规则弥散流动堆积的洼地。在源区与堆积洼地之间有一狭窄的细“瓶颈”冲沟区,是源区滑塌沉积物向下流动搬运的通道(图版 I: 1—3)。从源区低的后缘陡壁及扰动地层来看,最初的塌陷大概是液化导致的,沉积物与孔隙流体一起向下坡运动,造成后壁陡坎临空,失去支持,再度发生具有少量旋转成份的滑塌滑坡。瓶颈状滑坡发生的坡度最小。由于流动起很大作用,所以仍能有一定搬运距离。这是一种处于滑坡与沉积物流之间的类型 (Peimnits, 1972)。黄河口瓶颈状滑坡沉积物搬运距离不长,自数十米到 300m 不等,上下两端宽度在数十米到 150m 左右,长宽比为 1.4—2.4,深长比为 1—0.5,瓶颈有时很短,有时蜿蜒曲折,未发现拉张裂隙(密西西比河口类型则有),可能与流动成份较多有关。重塑地层扰动深度为 1—2m,在源区内则小于 1m,且陡崖也低,这与平移板状滑坡源区形态不同。扰动随下坡迅速加深,颈部通道部分即可达 2m。下端沉积区低于周围海底,整个滑坡区均为负地形,这与密西西比河口瓶颈状滑坡下端为正地形的舌状堆积不同。

3.1.2 浅层平移板状滑坡 这是最常见的一类。其基底破坏面为一平面，大致平行于斜坡。以倾斜角低和长度较大为主要特征，又可进一步分为单纯浅层平移板状滑坡和复合后退浅层平移板状滑坡两种。这两种滑坡并无本质差别。如果在单纯浅层平移板状滑坡的源区内，后缘发生了不止一次的塌陷，导致滑坡朝上坡方向后退逆行发育，就构成了复合后退型。它们的区别仅在源区内比较明显，而在下端堆积区内，多次堆积形态难以辨认，但多次扰动现象常可见到，与密西西比河口类型差别颇大 (Prior et al., 1982, 1984)。

源区特征 源区的上端后缘陡坎比瓶颈状滑坡高，可达 2m 以上，圈椅状陡壁边界清晰(图 3)，常可辨认出旋转和滑塌剪切，剪切面曲率不大，仅限于上部边缘及侧壁，旋转量一般很有限(图版 I:4—6)。复合后退型平移板状滑坡在源区洼地内，可看到一系列或数列平行于后缘和边缘的陡壁，陡壁之间相距 3—10m，是滑坡多次向上端或侧壁方向逆行留下的痕迹。除了源区的特征外，该二种滑坡仅在尺度和复杂性上有所不同。二者共同的特征是：源区海底常粗糙不平，多有迭瓦状或绳网状结构，偶尔可见平坦海底，声学无序的、重塑地层厚约 1—4m，有时有少量薄层沉积物位于原始层状地层之上(图版 II: 1. 2)。源区尺度可达 200—250m。

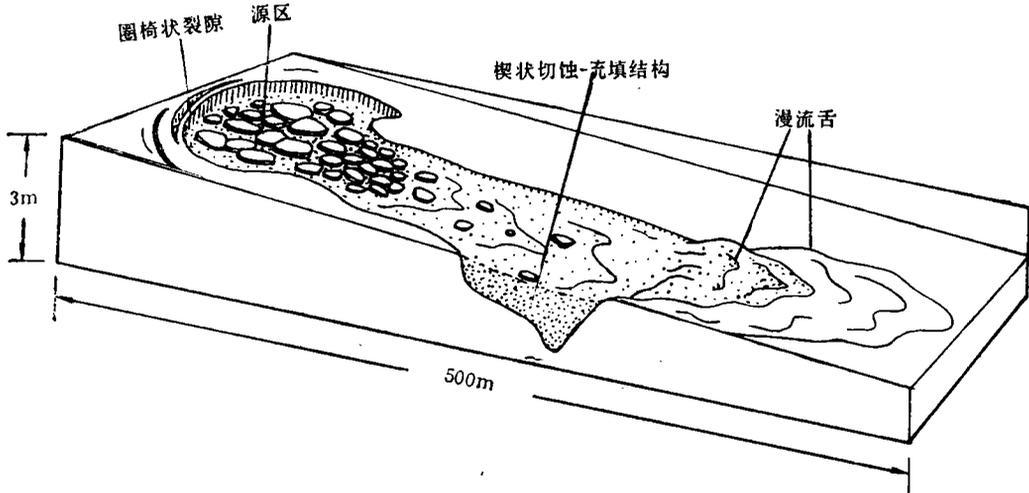


图 3 浅层板状平移滑坡示意图

Fig. 3 Scheme of shallow plate translational landslide in the Huang he River Delta

输送沉积物的通道-冲沟 从源区流出的高浓度的沉积物顺坡流动，切蚀海底形成冲沟。随之又在冲沟内沉积，形成切蚀-充填结构的无序扰动地层，其厚度下坡方向加大。切蚀-充填作用在下坡达到最深，纵剖面常呈不对称楔形，称为下端楔形切蚀-充填，下切角度比先前顺坡运动的角度大数倍，楔形切蚀可深达 5m，有时切入平行连续的渤海海底地层内(图版 II:4)。冲沟、切蚀-充填结构和沉积物粉砂流的基本特征曾由 Prior 等 (1986a, 1986b) 描述过。单个冲沟长度在 50—500m 之间，其走向基本垂直等深线，确切方向受局部微地形和地层控制，因而蜿蜒曲折的也不少见。冲沟壁高可达 2m，它在向下坡方向减小，特别是当冲沟末端终止于底坡下部时，由于沉积物的充填堆积，冲沟深度一般很少超过 30cm，有时几乎与周围海底平齐。底坡中下部的冲沟在下坡方向常相互汇

集,有时可多达数十条,形成复杂宽阔的冲沟系统(图版 II: 7—9)。在 8—12m 的等深线一带,即三角洲前缘斜坡坡度最陡处及其下端处,存在着许多参差错落的复合冲沟系统组合成的冲沟带,围绕着整个水下底坡。长度最大的单个复合冲沟有 3—4km,沿等深线延伸(图版 II: 3,4),这种长条状冲沟带在现行河口的东北部特别发育。冲沟内上坡部分地形和下坡部分地形差别明显:上部地形比较粗糙,存在迭瓦状或绳网状起伏的微地貌;下坡部分海底比较平坦,声纳图上常呈无起伏的灰白色或浅灰色海底,常可见淡色浸染状流体形态镶边,这是塑性流动停止后,较稀薄的沉积物流继续流动的结果。

沉积物堆积区特征 由冲沟输送的沉积物大量堆积在冲沟的下端。虽然冲沟末端切蚀扰动深度可达 5m(图版 I:6),但由于这种堆积,使其地势仅略低于周围海底。另外,很大一部分滑坡沉积物由冲沟末端外流,堆积在冲沟末端外的海底上,形成泥流舌或弥散流舌,沉积物粒度较细,浓度也低。其特点与密西西比河口十分不同。

3.1.3 浅层旋转滑坡 这类滑坡以具有明显旋转滑动的运动机制为特点,由于旋转滑动发生在滑坡的初始阶段,所以在一个已形成的滑坡系统内,几乎无法记录到正在处于旋转滑动阶段的滑体,一般都采取分析源区特征的方法确认,但在滑体的另外某些部位,可记录到正处于旋转滑动阶段的滑体。下面分别讨论这两种情况。

滑坡源区内存在较宽的圈椅状陡壁,高约 1—2m,个别可达 4m,并有数道平行后壁的弧形后退陡坎存在,呈弧形阶梯状(图版 II: 5, 6),陡坎的上端部分有时可见裂隙。滑动剪切面为向上微凹的曲面,沉积物从浅层旋转开始,在一定深度上形成与由微倾斜平行成层的地层平行的基底剪切面,随后的位移以平移为主,沉积物输送和沉积的距离都比平板滑坡小,在本海域仅有 500—600m 左右。相邻滑坡可因侧向扩展连成一片。冲沟短而浅,内有大量沉积物碎块迭瓦状和绳网状构造、起伏挤压褶皱等。源区也如此,但有时可见平坦单调海底。堆积区与沉积物碎块挤压叠置的迭瓦状结构发育,显示出碎屑流的特点。

处于旋转滑动中的滑体,往往可在层理连续、相互平行的斜坡地层剖面记录上观察到。旋转滑动不仅表现在连续的海底上滑体整块倾斜断开,而且其内部地层的平行层理相对于相邻地层水平的层理也发生了倾斜错动,出现角度不整合及错位,而滑坡体内的地层层理与相邻地层原是连续一致的,旋转是向坡度较高方向发生,即朝上坡逆向旋转。这种滑体在沿滑动剪切面断开时内部地层层理仍保持彼此平行,说明内部沉积物基本上未受扰动,整个滑体在这一阶段以刚体运动为主。有时其层理呈现扭曲,表明有一定程度的塑性运动存在。这些旋转滑动体的尺度都不大,由数米到数十米不等,滑坡面的埋藏深度可达 5m 左右。浅层旋转滑坡常发生在废弃的 1964—1976 年的黄河口沙嘴水下底坡的中上部分,该处坡度相对较陡,但平均坡度不超过 0.5° ,与密西西比河口滑坡发生区的平均坡度($<0.5^\circ$) (Prior et al., 1984) 相同,仍属低角度缓坡的水下滑坡。

3.2 滑坡体系外貌形态及平面分布

各种类型的滑坡,它们的 3 个组成单元,以及它们在运动中的发育演化结果等,在空间上组成了完整的滑坡体系,它们的外貌形态、位置和相互关系受到地形、海洋及河流沉积动力因素及斜坡沉积物性质的影响,分布各不相同(图 4)。从图 4 中可以看出,水下底坡上部滑坡较少也较小。许多瓶颈状滑坡位于这一地带,坡度缓,波能较弱。随着水深的

增加,滑坡的数量和尺度也增加,切蚀-充填作用也加强。滑坡始发最多的地方是水下底坡中部,这里波能最集中,坡度最陡。但滑坡作用表现最强烈的地方是在底坡的中下部分,由底坡沉积物的势能转变而成的动能,在这一带释放,形成扰动最深、面积广大的冲沟带,滑坡和冲沟将水下底坡表面切割得支离破碎。有的冲沟区延续 3—4km,从其宽度和切蚀深度算,仅此一区中扰动搬运的沉积物就达数百万吨,可见其影响之大。此冲沟带围绕整个水下三角洲下部分布,由冲沟下端溢出的沉积物堆积成微隆的前缘裾,形成与三角洲尺度相当的新沉积地貌单元,初步估计扰动泥沙量在亿吨级。在 1976 年废弃的老河口区,旋转滑坡比较发育,还可见到滑坡越外块体的特殊现象,浅层平板滑坡则多见于现行河口东北侧底坡上,表明滑坡类型和强度的空间分布是有一定的区域性。

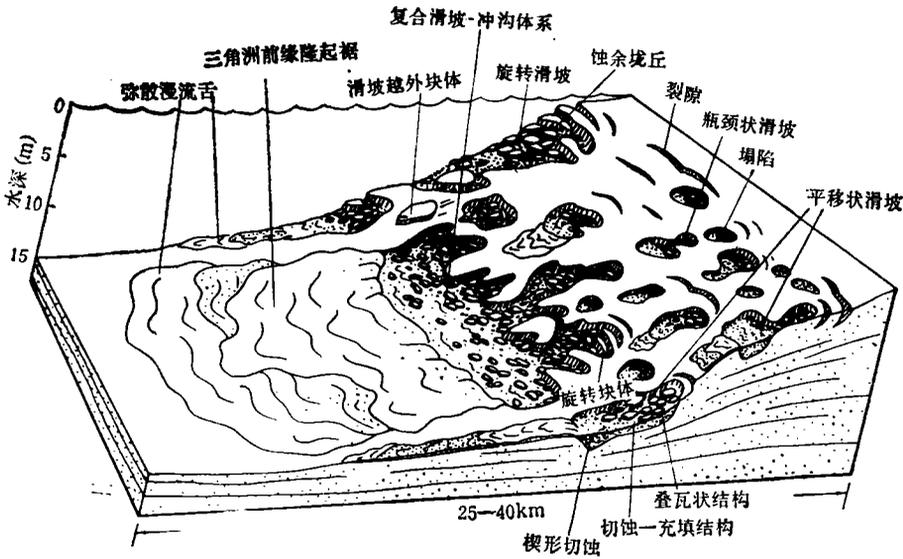


图 4 黄河口水下滑坡体系示意图

Fig. 4 Scheme of subaqueous landslide system in the Huanghe River Delta

3.3 水下滑坡沉积动力过程在黄河三角洲发育演化中的作用

3.3.1 底坡沉积物输送在底坡平衡剖面形成中的作用 黄河口附近存在着无潮点,潮流强,流向基本平行海岸。阻碍着近岸大量沉积的泥沙向海运移。黄河口沿岸泥沙如何穿越这一平行海岸的强大潮流屏障向海运移,形成岸坡平衡剖面,使势能与动能作用保持自然平衡,这一直是个令人困扰的问题。很明显,泥沙单纯以悬移方式是难以穿越的。现在,这一问题已基本清楚,那就是主要通过底坡不稳定性过程进行:已沉积的底坡沉积物发生块体运动,产生各类的沉积物重力流将大量沉积物沿底坡向海输送。由于潮流流速在底层最小,重力流贴近海底下泄时受到的潮流阻力也最小,便可最有效地将沉积物沿垂直等深线方向输送到底坡下部,在陆架区沉积下来,实现河口沉积物近岸堆积与较低的受盆之间的势能平衡,这种沉积-搬运-再沉积是形成黄河口岸坡冲淤平衡剖面最重要的过程之一。

3.3.2 沉积-侵蚀-再沉积的三角洲进积演化模式 三角洲前缘斜坡中、下部分发生大量滑坡的结果,使原已沉积在这里的物质受到侵蚀(也有局部沉积)并向下搬运到毗邻陆架区沉积,其总体过程是(河口近岸)沉积-(岸坡中、下部)侵蚀-(岸坡底部及毗邻陆架区)再沉积,这与大多数河口三角洲由河口向外逐步沉积模式相比,是不同的类型;与迄今为止发表的各种黄河口三角洲进积模式完全不同,三角洲新的沉积地貌单元——三角洲前缘隆起是其产物之一。这一过程也说明河口三角洲形成演化沉积动力过程具有韵律性,沉积物向海搬运是多次不同过程阶段完成的,不是一个单一平稳的运动。

3.3.3 滑坡尺度与河口改道的关系 快速的季节性沉积使河口频繁改道,导致河口各沉积相地层的延续性小,单一连续地层薄,不同沉积相地层在三维空间频繁交替,使滑坡的尺度受到很大限制。

3.4 黄河口滑坡体系的特点

3.4.1 强烈的流动特点 黄河口水下滑坡表现出强烈的流动性远较密西西比河口和国外海底滑坡为高,例如滑坡体下端不能形成凸起的泥流鼻,都是负地形,内部表面在声纳图上多呈现为灰白色的均匀海底,是为较稀薄均匀的泥流沉积特点。许多从滑坡冲沟中顺延到海底的泥流舌都具有弥散漫流的和均匀溢流的形态,较均匀地扩散,泥流舌末端连续平坦地逐渐过渡到渤海陆架上,在其他河口尚未见过上述类似的形态。

因此,在早期研究中一个令国内外专家困扰的问题是黄河口大量液化塌陷流动与滑坡的明确区分。事实上,海底液化塌陷-流动曾为 Terzaghi (1956) 定为海底流动滑坡, Anderson 等(1967)又将其进一步细分为液化滑坡与流动滑坡, Coleman 等(1977)在论述密西西比河水下三角洲的滑坡体系时也将塌陷一并列入,因此将水下液化形式的块体运动列为滑坡的范畴,并无不可。本文倾向于采用传统观念,将液化塌陷流动列为滑坡之外的更广泛的底坡不稳定性现象。虽然如此,黄河口沉积物高粉砂含量及高含水量,使本区滑坡体系具有显著的液化流动特色和过渡性,例如弥散漫流沉积舌。

3.4.2 不同滑坡类型的相关性 平移板状滑坡、液化塌陷和冲沟都可引起边缘变陡,产生旋转滑坡;旋转滑坡或平移板状滑坡的沉积加载又可引起下伏地层扰动,导致液化和流动。水下滑坡常不是一个单一性质的或单向的过程,一种类型的滑坡可以触发其他类型或同一类型的块体运动过程。

3.4.3 滑坡沉积物块体运动中鲜明的流变 在水下滑坡过程中沉积物从旋转滑动开始到成为稀薄的流体沉积下来,中间经历了刚体运动、塑性流动和流体流动的连续谱,流谱也可以是不完全的,碎屑流、液化流和浊流可以并存和演化 (Terzaghi, 1956)。

3.4.4 滑坡幅度和频率特点 小型(甚至微型)、浅表、多变、多样、坡度缓、堆积薄,发生频率高,分布密度大,发生区水浅等,是黄河口水下滑坡的特点。此外,浅层天然气极少,使声学反射记录清晰,研究结果较为理想。

4 结论

4.1 实例分析和理论阐述揭示和确认了黄河口水下底坡上存在大量滑坡,并分为瓶颈状滑坡、浅层平移板状滑坡和旋转滑坡 3 类,提出了黄河口滑坡判识依据和分类标准。

4.2 通过高分辨率的声学仪器同步走航的记录相对照,清晰地展示出黄河口不同类型滑坡具有 3 维形态的多样性、复杂性和独特性,并展示出黄河口水下滑坡在世界上的特色。

4.3 黄河口水下滑坡形成的冲沟在其中、下部往往和相邻的冲沟汇合, 逐渐扩大成复杂的滑坡冲沟体系, 把水下三角洲表层切割得支离破碎, 作用巨大。由复杂冲沟末端排出的泥沙从重力流的形式漫流到陆架上, 形成围绕整个水下斜坡的微隆的三角洲前缘裾。滑坡及其产生的地质体在空间的有机联系和相关分布构成了完整的水下滑坡体系, 并形成沉积-侵蚀-再沉积的三角洲进积新类型。

4.4 黄河口滑坡体具有高含水 and 流动性的特点, 由此衍生出一系列独特形态结构。滑坡沉积物出现由刚性运动→塑性流动→流体流动的完整流变过程, 部分也与此有关。

4.5 黄河口水下滑坡分布广泛, 类型多, 规模大, 活动频繁, 作用强烈, 构成了河口水下边坡不稳定性的主要因素。

4.6 本研究再次表明了阵发性、事件性过程在河口沉积动力过程及陆-海物质交换中的重要作用, 对河口三角洲的水下工程建设也有重要意义。

参 考 文 献

- 杨启伦等, 1988, 东海浅地层剖面, 旁测声纳图集, 地质部上海地质调查局出版, 12, 17.
- Anderson, A. and Bjerrn, L., 1967, Slides in Subaqueous Slopes in Loose Sand Silt, *Marine Geotechnique*, Wiley Corp. (Tulsa), pp. 221—229.
- Bornhold et al., 1986, Sedimentary framework of the modern Huanghe (Yellow River) Delta, *Geo-Marine Letters*, 6: 77—83.
- Coleman et al., 1977, Geological aspects of marine slope, *Gulf Mexico. Bull. AAPG.*, 52: 1204—1228.
- Dingle, 1977, Submarine slumping and initiation of turbidity currents, *In Marine Geotechnique ed. by Richards*, Univ. of Illinois Press (Urbana), pp. 189—220.
- Lindsay, J. F., Prior, D. B. and Coleman J. M., 1984, Distributary-mouth bar development and role of submarine landslides in delta growth, south pass, *Mississippi Delta AAPG.*, 68(11): 1732—1743.
- Peimnits, E., 1972, Efforts in the Copper River Delta: the Great Alaska Earthquake of 1964, National Academy of Sciences (Washington D. C.), pp. 290—302.
- Prior, D. B. and Coleman, J. M., 1982, Active slides and flows in under consolidated marine sediments on the slopes of the Mississippi Delta, *In Marine Slides and Other Mass Movements*, Plenum Publishing Corp. (Baton Rouge), pp. 21—49.
- Prior, D. B. and Coleman, J. M., 1984, Subaqueous slope instability, *Slope instability*, Wiley and Sons Ltd. (New York), pp. 419—456.
- Prior, D. B., Yang, Z-S, Bornhold, B. D. et al., 1986a, The subaqueous delta of the modern Huanghe (Yellow River), *Geo-Marine Letters*, 6: 67—75.
- Prior, D. B. et al., 1986b, Active slope failure, Sediment collapse and silt flows on the modern subaqueous Huanghe Delta, *Geo-Marine Letter*, 6: 54—64.
- Terzaghi, K., 1956, Varieties of submarine slope failures, *Proceedings of 8th Texas Oil Mechanics and Engineering Conference*, Norwegian Geotechnical Institute Publication 25 (Oslo), pp. 1—41.

SUBAQUEOUS LANDSLIDE SYSTEM IN THE HUANGHE RIVER (YELLOW RIVER) DELTA

Yang Zuosheng, Chen Weimin, Chen Zhangrong,

Wu Guanghua, Cao Lihua, Shen Weiwan

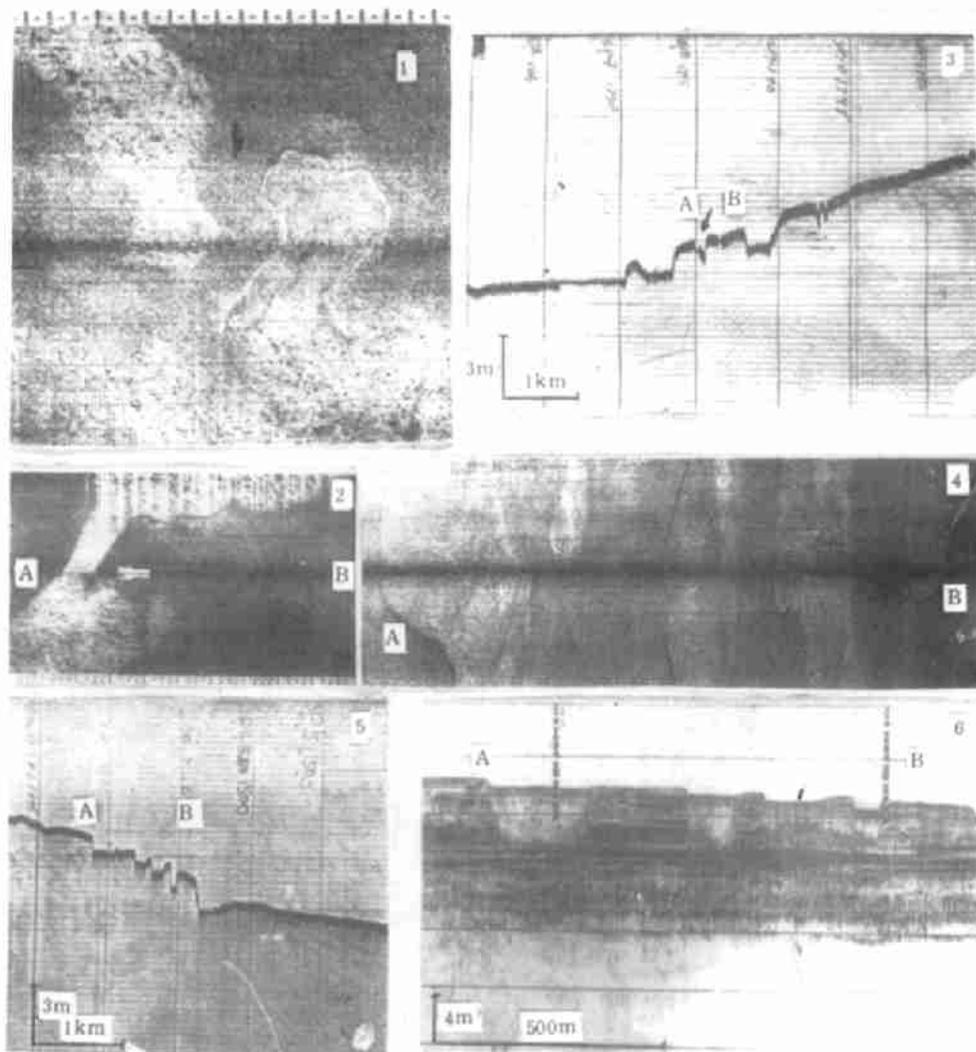
(*Institute of Estuarine & Coastal Studies, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003*)

ABSTRACT

Large scale subaqueous landslide system was found and recognized in the subaqueous Huanghe River (Yellow River) Delta through several field surveys since 1988. Bottleneck slides, translational plate slides and rotational slides were identified and described based on sidescan sonar images and subbottom profile records. Many individual landslides merge with each other along their way down to the delta slope, forming complexes of landslides. Sometimes several tens of slides come down seaward to the end of the delta slope and gradually join together into a common, elongate, chute gully of several kilometers at the lower part of the delta front slope, forming a complicated landslide system. The landslides cut the slope surface into broken pieces with their chute gullies. Many depositional lobes formed by very diluted debris flows were found. The sediments coming out from the lower end of the gullies generate a delta front apron.

In comparison with the subaqueous landslides in the Mississippi Delta, the Huanghe River case is characterized by high water content, shallow disturbance, multi-activation, minitype, variety in morphology, clear 3-dimensional geometry, distinct transport mechanism, wholly negative topography, etc.. The landslides play an important role in the evolution of the Huanghe River Estuary and its Delta.

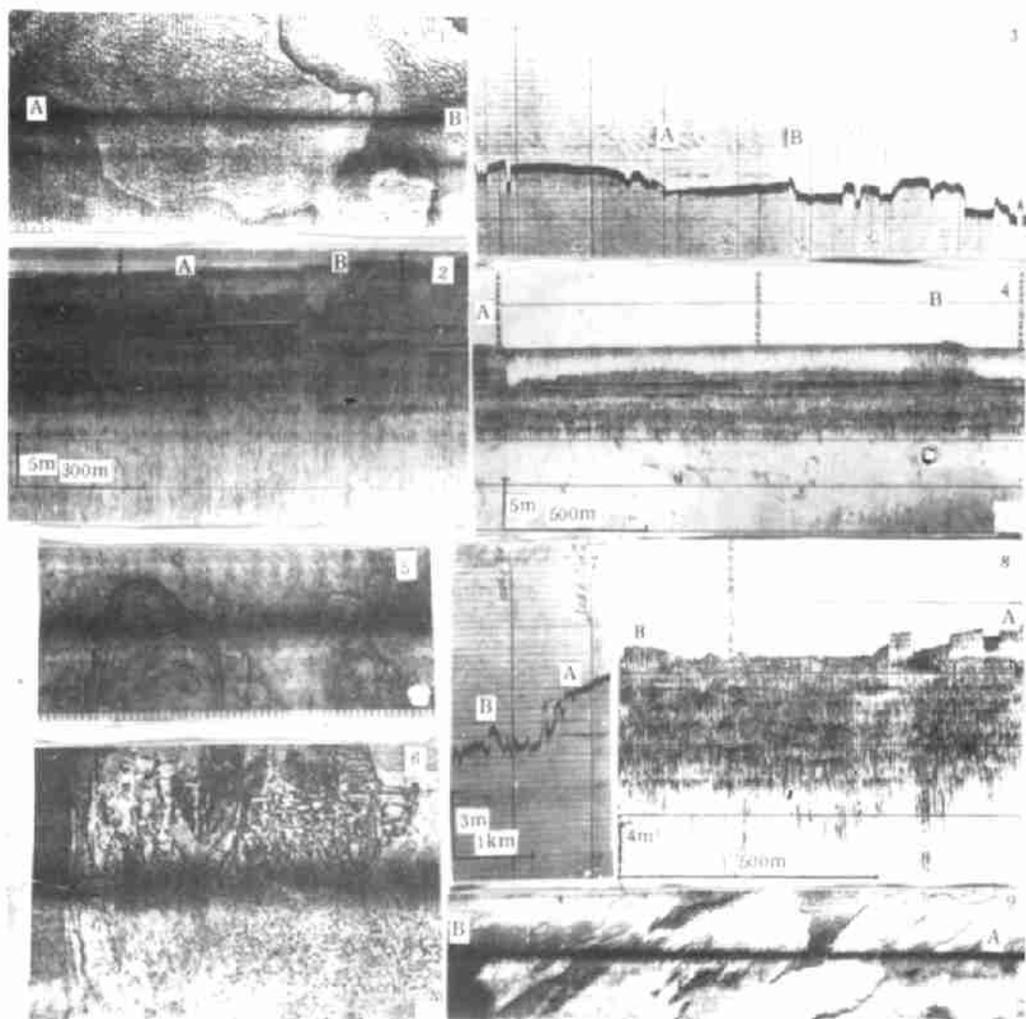
Key words Huanghe River Delta subaqueous slope Types and system of landslides Lobes of debris flow Front slope apron



图版 1 黄河口小型滑坡

Plate 1 Minitype subaqueous landslides in the Huanghe River Delta

1—3. 瓶颈状滑坡: 1. 旁扫声纳记录, 单侧扫描宽度为 100m; 2. 瓶颈部分的声纳记录, 单侧扫描宽度为 100m; 3. 在测深曲线上的位置, 测深线 AB 区为图版 1: 2AB 标示的对应位置。4—6. 浅层平移板状滑坡: 4. 旁扫声纳记录, 单侧扫描宽度为 75m; 5. 测深曲线; 6. 浅地层剖面记录, 可见滑坡内切蚀充填结构, 最大深度达 5m,



图版 II 黄河口复合滑坡及大型冲沟

Plate II Complex of subaqueous landslides and macrogully in the Huanghe River Delta

1—2. 两个毗邻的浅层平移板状滑坡: 1. 旁侧声纳记录, 滑坡内部部分呈叠瓦状或绳网状结构, 下坡部分及周边呈无构造形态, 显示碎屑流作用, 单侧扫描宽度为 75m; 2. 对应的浅地层剖面记录。3. 沿 9—11m 等深线的测深记录, 图版 II: 4 中的大冲沟位置 (AB) 与 AB 标示相对应。4. 长度超过 1km 的单个大冲沟 (AB) 的浅地层剖面记录, 左端楔形切蚀充填结构深入渤海海底面, 但其扰动程度在图版 II: 3 的测深曲线上无法观察到。5. 旋转滑坡的圈椅状后壁及源区的旁侧声纳记录, 单侧宽度为 75m。6. 旋转滑坡源区的不规则叠瓦状结构和粗糙表面的旁侧声纳记录, 单侧扫描宽度为 75m。7—9. 同一复合水下滑坡体系的局部记录: 7 为测深曲线; 8 为浅地层剖面记录; 9 为旁侧声纳记录, 暗色为未扰动海底, 浅色部分为滑坡体, 单侧扫描宽度为 75m。