

白沙口海岸小泻湖的演变 及砂坝泻湖海岸的成因*

李凡

(中国科学院海洋研究所)

砂坝泻湖海岸约占世界海岸线总长度的11%，它伴有巨大的堆积体，成为某些沉积矿床发育的有利条件。因此，对于砂坝泻湖海岸的研究，不但与研究海岸演化、新构造运动等理论问题关系密切，而且对海岸工程、寻找砂矿等方面也有重要意义。许多学者都讨论过砂坝泻湖海岸的形成问题，但至今各家观点尚未统一。

白沙口海岸的小泻湖，位于白沙滩泻湖口三角洲的东侧（图1），长约750米，宽200米。

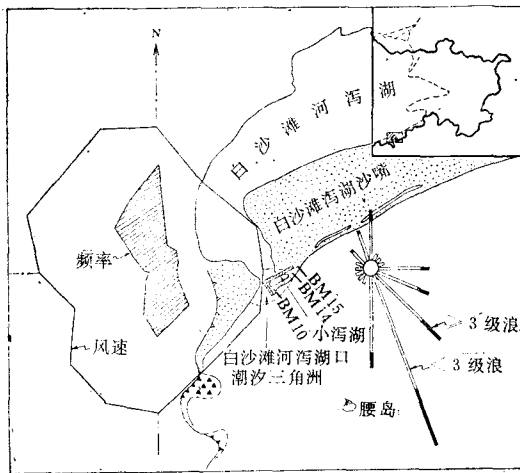


图1 小泻湖的位置及所在岸段的风海浪玫瑰图

面积约0.15平方公里。由于这里特殊自然条件的影响，在不到十年的时间内，基本上经历了产生、发展和衰亡等全过程。

一、小泻湖的形成和发展

1971年初，山东省乳山县为了兴建潮汐发电站，在白沙口泻湖口筑起了拦海大堤，将白沙口泻湖的原潮汐通道截断。同时，在渠东岸

筑起了拦砂坝，与拦海大堤基本上直角相交，从而形成了凹入角充填的有利于泥沙淤积形势。

北段海岸走向为 $N45-50^{\circ}E$ ，面对黄海。因受区域海岸线轮廓的影响，南向海浪盛行。1972年7月—1973年7月实测，波能年合成方位为 139° 。外海的波浪传到岸边浅水区，受到地形的影响发生折射，从而使上述波能合成方向在拦砂堤东侧与岸线斜交，并指向西，产生了向西的纵向输沙力。加上岸边自东向西沿岸流（据测量，1972年8月沿岸流流速5—10厘米/秒）的影响，推动东面的泥沙陆续西移，形成局部泥沙流。结果在三角洲东侧原堆积体上，产生了次生砂嘴。（下称1号砂嘴）同时，西面靠近拦砂坝处形成了角滩。两者呼应，将拦海大堤外面一段潮汐通道的水域包围，仅有一条新的通道与外海相通，从而产生了小泻湖（图2a）。

1971年7月，1号砂嘴的头部距离拦砂坝约150米，通道口宽约120米，小泻湖内水深5—6米，为小型机帆船避风的“良港”。夏季在东南向海浪作用下，1号砂嘴不断向西延伸。同时，由于南南东向海浪和涨潮流的强劲作用，迫使砂嘴微向北偏。此外，在西向输沙力和退潮流的共同作用下，一方面缩小了小泻湖潮汐通道的宽度，另一方面，在砂嘴的拐弯处形成次生角滩。

1971年10月观测，小泻湖潮汐通道口宽只有40米左右。1971年7月—10月，四个月间，

* 郭永盛、高航等同志对本文提出宝贵意见，谨此致谢。
中国科学院海洋研究所调查研究报告第874号。

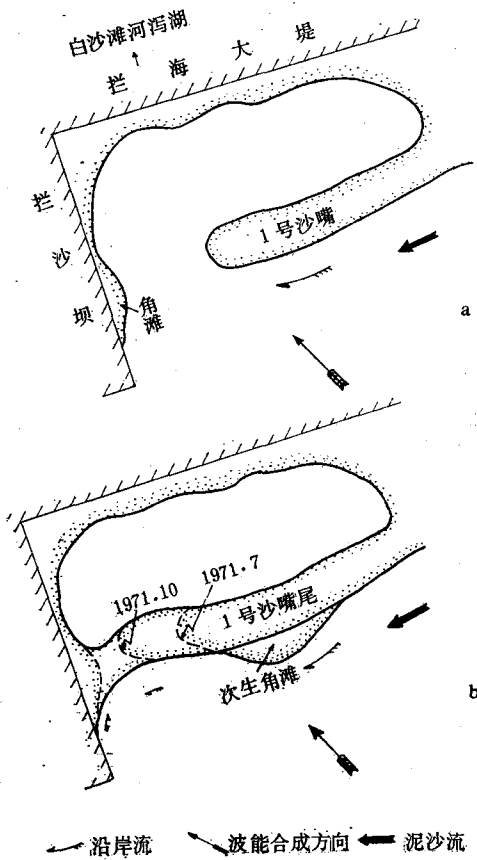


图2 沿岸砂坝的形成及小泻湖的发展
a. 1号砂嘴的发育及小泻湖的形成;
b. 1号砂嘴连成砂坝。

砂嘴向西延伸了60米，平均每月15米。

1号砂嘴在东南向海浪和西向沿岸流的不断作用下，陆续西移，口门不断缩小，最后，终于在1972年7月26日—27日的一次大风浪期间，砂嘴经受住了潮汐通道内进、退潮流的冲刷，与西面的角滩衔接，形成了沿岸砂坝，将泻湖口封闭（见图2b）。当时的平均波高为1.2米，最大波高1.9米，平均周期和最大周期分别为6.4秒和12秒，波向为130—145°。

应当指出，这种由砂嘴形成的沿岸砂坝，在性质上与通常所指的砂坝是不同的。通常所指的砂坝是泥沙向岸运动形成的堆积体，而这种砂坝则是泥沙沿岸运动的产物。但是，它们在发展过程中不是恒定不变的。Зенкович 曾经指出，砂坝可以被分割成一系列小的堆积形态——砂嘴。而“砂嘴在一定条件下也能具有

砂坝的外形特征”。为了在成因上予以区别，暂将由砂嘴演化而成的砂坝称做“砂嘴式砂坝”，上述封闭小泻湖的沿岸砂坝即属此类。

该砂嘴式砂坝面对广阔的大海，这里水动力因素异常活跃。虽然此岸段整体上属于堆积区，但由于局部地形的影响和水动力条件的变化，部分岸段也受到侵蚀，特别是在原1号砂嘴的次生角滩附近尤为明显。1972年8月25日的一次大风浪，加上大潮汛、风成增水，水位抬高，波高增大。当时，实测最大波高为2.4米，周期7.4秒，波向153°。在上述角滩的两侧，一天之内便将此砂坝冲开一个缺口，砂坝溃决，小泻湖复与大海相通，原1号砂嘴附近形成了新的砂嘴。为了叙述方便，仍称之为1号砂嘴。据测量，该砂嘴的头部距拦砂坝220米，同时，西面拦砂坝附近的角滩也变成了新的砂嘴，暂称5号砂嘴。在总的地形轮廓影响下，小泻湖口指向130°（见图3a）。

在稳定的西向输沙力作用下，1号砂嘴又开始向西延伸。拦砂坝东侧，涨潮流受坝影响

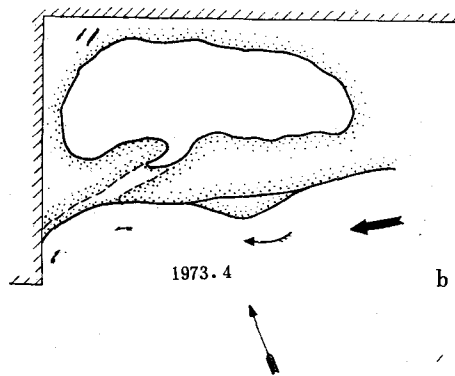
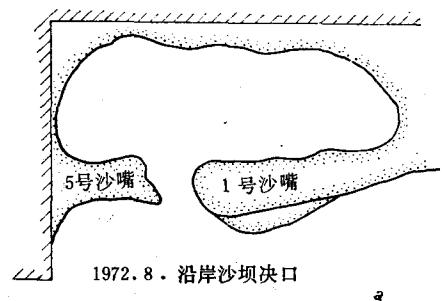


图3 a. 砂坝决口；b. 第二次连成砂坝；

产生局部环流，指向东北，促使5号砂嘴与1号砂嘴相对延伸。延伸的速度是1号快，5号慢。由此，导致新的潮汐通道向西迁移，口门相应地向西南偏转。据1973年1月测量，1号砂嘴的头部离拦砂坝仅有70米，即平均每月延伸了25米，通道口门的方位指向220°。1973年4月，左右两条砂嘴又连接成新的砂嘴式砂坝，小泻湖再次与外海隔开（图3b）。

1973年6月12日，在南向大浪（实测波高2.8米，周期4.6秒）的侵蚀下，砂坝又在上述次生角滩附近决口。后来，又经过砂嘴的增长、潮汐通道的西移、口门西偏、砂嘴连接等过程，至1974年6月，小泻湖第三次与外海隔开（图4a, b）。

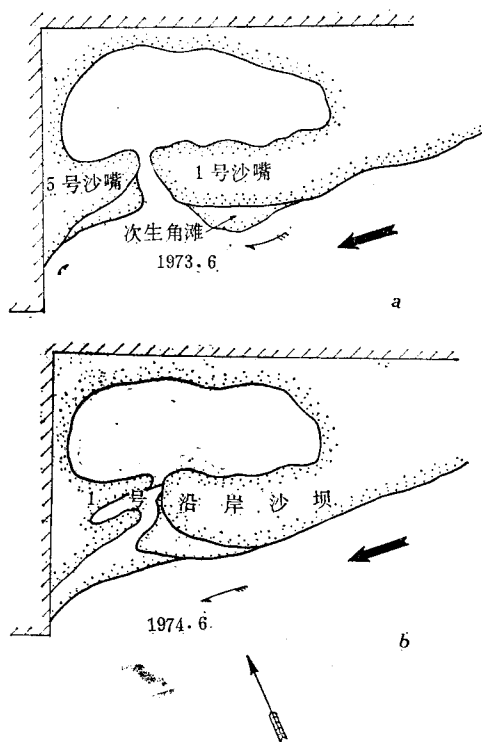


图4 a. 砂坝第二次决口； b. 第三次连成砂坝。

这次形成的砂嘴式砂坝，我们称为1号砂坝。由于受大浪的加积作用（例如，1973年7月18日—20日，实测最大波高达3.3米），1号坝脊高出一般高潮线以上，加上海滩上堆积体的向岸移动、水下砂堤的掩护，减缓了海浪对砂坝的侵蚀作用，从而使1号砂坝不再溃决。

据统计，泻湖口东部的BM14和BM15两条断面上，1972年7月—9月之间，单宽冲刷量分别为70米³和22米³，断面平均冲刷量约7000米³，1973年7月—9月间，分别为58米³、53米³和8300米³。BM15以东冲刷量渐小。由此说明，此砂主要是以沿岸运动的方式搬运而来的。

二、2号砂坝的形成及小泻湖的衰亡

以上所述仅为在泥沙沿岸运动影响下砂嘴式砂坝及小泻湖的发育过程。实际上，在总的过程中，泥沙的向岸运动，特别是堆积体的向岸迁移也起着重要作用。

在小泻湖形成的初期，其东南方向低潮线附近发育一条垄状砂堆积体，脊部走向N50—60°E，大致平行于海岸线，向海坡缓，向陆坡陡。该堆积体以前位于低潮线以下。1971年7月测量时，其脊部已露在低潮线（-0.6米）之上，最大高程-0.36米。它已经具有了水下砂堤的特征，下文称之为3号水下砂堤。

3号水下砂堤由中、粗砂组成，分选较好。 $M_{\phi} = 0.65$ ， $\sigma = 0.65$ ， $S_k = 0.26^{1)}$ 。在东南向海浪的作用下，该砂堤的向海坡侵蚀，向陆坡淤积，砂堤不断向岸靠拢。1973年7月与1972年7月比较，3号水下砂堤向岸移动了约100米，同时，其长轴走向渐向北偏转至N45—50°E，与新岸线平行。由于海底泥沙的不断供给，砂堤的体积也不断增加，-0.4米等高线内沙体长轴的长度与1972年7月比较，增长了三倍，脊部高程增至+0.9米，出露于平均水位之上。1974年8月测量，3号水下砂堤又向岸移动了约120米，脊部高程增至+1.6米，西侧受局部回流作用，形成了次生退潮砂嘴。此外，在它的东南方向低潮线附近，又形成一条小砂堤，暂称5号砂堤（图5a）。

1) 本文之粒度参数是按照 Foik 公式计算的， M_{ϕ} 为平均粒径， σ 为标准偏差， S_k 为偏态。

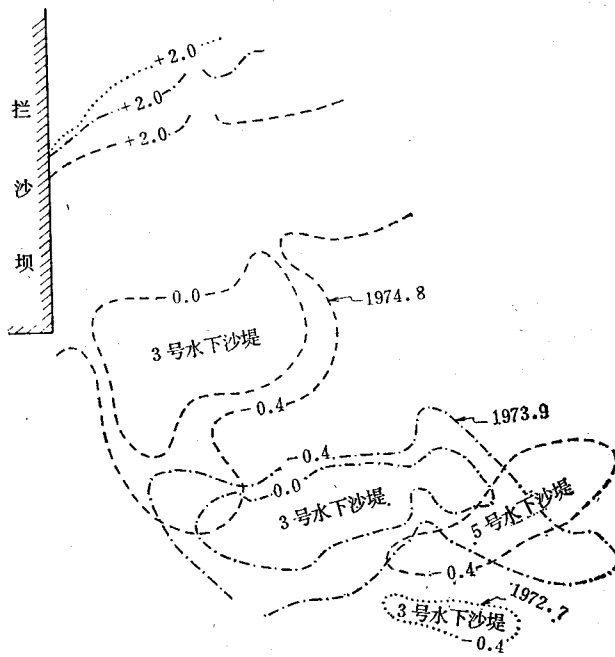


图5a 3号水下砂坝向岸移动的过程

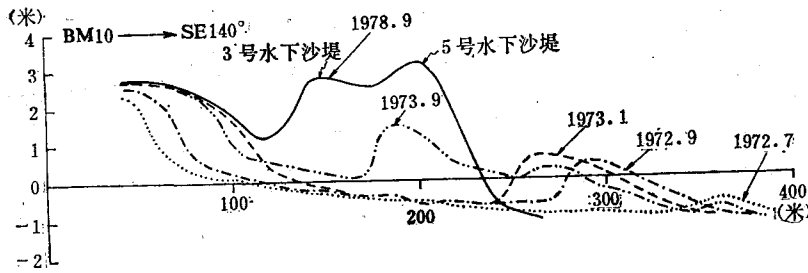


图5b 3号水下砂坝移动断面

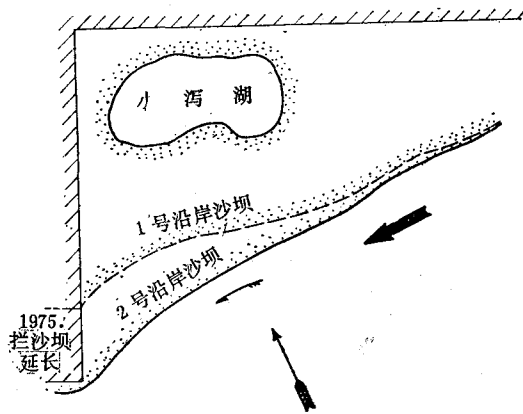


图5c 2号砂坝形成小泻湖走向衰亡

由于水下砂堤的向岸移动和增高，在它的向岸坡形成了波影区，加速了堆积作用，加上泥沙的沿岸搬运，岸线不断向海增长。

1974年9月—1979年6月间缺少实测资料，未能记录其变化过程。1979年7月在BM10断面进行测量，并综合以前各次测量结果，将其变化绘于图5b。

从上图可以清楚地看出3号水下砂堤向岸移动、靠岸的过程。3号水下砂堤靠岸形成了2号砂坝，附于1号砂坝外侧。

3号水下砂堤的向岸移动过程，在一定程度上反映了2号砂坝的物质来自海底泥沙的向岸搬运，此外，以下两个事实进一步说明了本区泥沙的向岸运动。第一，2号砂坝表层砂中有较多的暗色矿物，砂坝剖面中有大量暗色矿物夹层。暗色矿物的主要成份是角闪石、绿帘石、磁铁矿等。

这里角闪石的特征是不含包裹体，与腰岛上角闪片麻岩中的角闪石的特征相同。在海底沉积物角闪石含量分布图中，有一高含量舌自腰岛以NW W方向向岸伸展¹⁾。第二，2号砂坝上有大量的紫贻贝 (*Mytilus edulis* Linnaeus)、西施舌 (*Macra antiquata* Spengler)、毛蚶 (*Arca subcrenata* Lischke) 等软体动物的介壳。紫贻贝壳来自腰岛附近的养殖场，西施舌、毛蚶贝壳则来自本区海滩及水下岸坡上。以上两件事均说明，海底有部分物质向岸搬运。由此可见，2号砂坝在成因上与1号砂坝不同。2号砂坝的

1) 李凡、张秀荣。白沙口海湾沉积作用。

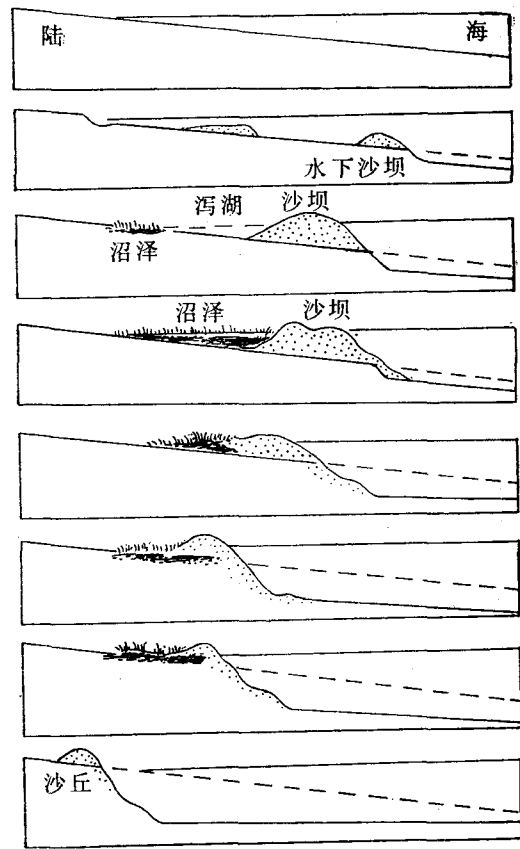
向岸靠拢，加大了原砂嘴式砂坝的规模，使小泻湖进一步与外海隔绝，水深淤浅，面积缩小。1979年7月，其长度仅有200米左右，宽约50米，水深约1米，小泻湖趋于衰亡（图5c）。

由此可见，本区小泻湖的发育，首先是泥沙沿岸运动使砂嘴发育成砂嘴式砂坝；其次是在泥沙的向岸运动影响下，水下砂堤向岸靠拢，加大了砂嘴式砂坝的规模，促进了小泻湖的发展和衰亡。

三、砂坝泻湖海岸的发育模式

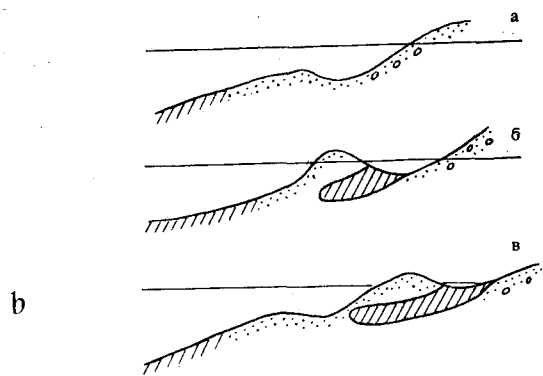
砂坝泻湖海岸形成的理论已争论了近百年。法国学者Elie de Beaumont于1884年最早提出了关于砂坝泻湖海岸的成因。他认为：沿岸砂坝是海底物质在海浪作用下抛向海岸堆积而成的。翌年，Gillert提出异议，他认为，沿岸砂坝是沉积物在较为倾斜的海底上做沿岸运动堆积的结果。近百年来，有关学者对于Beaumont的观点进行了大量的论证和补充，Johnson在这个观点的基础上，结合新构造运动，于1919年首次提出了砂坝泻湖海岸的发育模式（图6a），成为后人广泛引用的典型模式之一。Зенкович也曾对砂坝泻湖海岸的形成进行系统而全面的叙述。1961年，Леонтьев提出了类似的砂坝泻湖海岸的发育模式（图6b）等。以上诸论，除了与海平面的升降有关以外，皆以泥沙的向岸运动（包括堆积体的向岸推移）为特征。故可统称为“横向发育模式”。另一部分学者则支持了Gillert的观点。例如，Fisher研究美国中部大西洋海岸砂坝泻湖海岸的时候，强调了泥沙沿岸运动的因素，他指出，那些大型砂坝泻湖海岸也是由复杂的砂嘴发展起来的，这种由泥沙沿岸运动发育而成的砂坝泻湖海岸，可以简称为“纵向发育模式”。

除了上述两种较为流行的理论外，1967年Hoyt提出砂坝泻湖海岸是在下沉作用下，即海面相对上升时，海水淹没海滩或滨海砂丘的向陆部分而形成的。由于他的观点中特别强调了海平面上升，或海岸下沉的作用，实际上是下



泻湖海岸的发展

（据约翰逊，转引自 Зенкович, В. П. 1957）



a. 水下沙坝 b. 坝岛 B. 沿岸沙坝

沿岸沙坝的发育阶段

（引自 Леонтьев, О. К. 1961）

图6 砂坝泻湖海岸发育的横向模式

沉成因观点的进一步发挥。所以，也被称为“下沉说”。1976年，Field在讨论砂坝起源

的时候指出,更新世时期,美国大西洋陆架上存在着许多砂坝前身堆积体,在海面上升的过程中,由于前滨和滨面的侵蚀,发生了沿岸和向岸的泥沙运动,堆积体不断延伸并向岸后退,形成砂坝泻湖海岸。可以看出,在Field的观点中,强调了砂坝起源于更新世低海面时期,在其发展过程中,受到了泥沙的沿岸运动、向岸运动及海面上升等多因素的影响,有人把这类观点称为综合说。

上述诸论各有例证,在目前的争论中,要想将它们统一在一种模式里是很难的。因为,事实证明,砂坝泻湖海岸的形成过程并非单一的。

从上述小泻湖的发展过程中可以看出,砂嘴在一定条件下可以延伸成砂嘴式砂坝,构成砂坝泻湖海岸,同时,水下砂堤也可以向岸靠拢,出露水面形成沿岸砂坝。由于时间短暂,难以看出海平面变化的影响,但是,这并不排除自然界中大型砂坝泻湖海岸在长期发育过程中它在客观上起的作用。

砂坝泻湖海岸形成的学说虽有数种,但是,较为盛行的却是横向发育模式(包括海平面变化的影响),一般认为,这种模式能够比较满意的解释大型砂坝泻湖海岸的成因。

为了强调砂坝泻湖海岸形成过程的多样性,特对以泥沙的沿岸(纵向)运动为主(同时也考虑到泥沙的横向运动和海平面变化的影响)发育的砂坝泻湖海岸提出佐证。

调查表明,上述由砂嘴延伸形成砂坝、小泻湖的过程并非偶然的。实际上,自然界中,仅就山东半岛而言,其规模较大者也不乏其例,如白沙口砂坝泻湖海岸即是其一。

白沙口岸段为一开阔的港湾式海岸,湾口朝向东南,白沙滩河流入湾内。该河为一季节性河流,长约20公里,其年径流量虽然不大,但是,长年积累却向海中输入了大量的泥沙。泥沙入海后,在南西向沿岸流和东南向海浪的作用下,沿岸向西运动,形成砂嘴。由于河流输沙的不断供应,砂嘴逐渐延伸,向西直指海阳所村附近,与海阳所村西面的角滩仅隔一条

狭窄的入海口相望。砂嘴的根部在老河口西侧,头部向西伸展,具有明显的自由堆积地貌形态特征,我们称之为白沙滩泻湖砂嘴。该砂嘴长约6公里,宽300—500米,北面为白沙滩泻湖。上述地貌形态已经说明了它们是在泥沙沿岸运动条件下形成的堆积体。此外,从物质组成上也能清楚地说明其泥沙沿岸运动的特征。

重矿物分析表明,东部靠近物源区,沉积物中角闪石、绿帘石、磷灰石等重矿物颗粒多具黑褐色包裹体,沿长轴排列。向西,其含量减少,圆度增加,并逐渐代之以不含包裹体,或含石英包裹体的同类矿物。同时,自东向西沉积物中稳定矿物含量(如石榴石、钛铁矿、锆石等)逐渐增加,不稳定矿物(如磷灰石等的含量)逐渐减少。上述情况说明了白沙滩泻湖砂嘴是在泥沙沿岸运动条件下形成的。

此外,从白沙滩泻湖砂嘴上可以看出三条砂堤。实际上,它是一个规模较大的复式砂嘴。在其形成过程中,泥沙的横向搬运使砂嘴不断加宽。从目前本区岸线的轮廓及其动力特征来看,它已形成曲率较小的弧形,趋于夷平。这种地貌轮廓往往使外海传来的南向海浪在湾顶辐散,两侧辐聚,不利于泥沙的定向沿岸搬运,有利于泥沙的向岸堆积,形态上具有

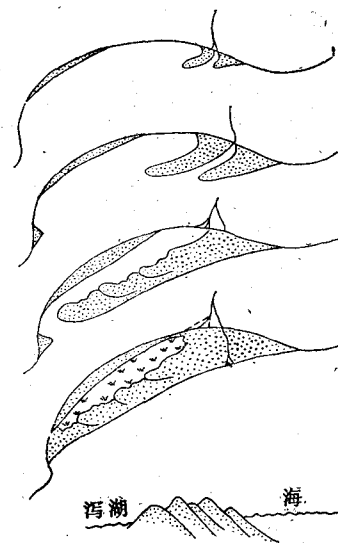


图7 砂嘴式砂坝泻湖海岸的发育模式

了砂坝的特征。此外,据 ^{14}C 初步测量结果,该砂坝形成时代为 5610 ± 105 年以前;这时,山东半岛存在着高海面的许多证据,因此估计,在其发育过程中,也受到海面变化的影响。

Hoyt, Зенкавич等人认为,砂嘴形成的砂坝泻湖海岸不能解释大型砂坝的成因。实际上,此类海岸砂坝虽然以中、小型为主,但是,据Fisher的报道,美国大西洋海岸长岛的大型砂坝泻湖海岸也是由复式砂嘴发育而成

的。由此看来,由砂嘴发育而成的砂坝泻湖海岸,规模也是可观和较为普遍的现象。为了在成因上和横向发育模式的砂坝泻湖海岸相区别,可称之为砂嘴式砂坝泻湖海岸;作为砂坝泻湖海岸的类型之一,与前者并行不悖。其发育模式见图7。

实际上,这种砂坝泻湖海岸的发育过程也是港湾式海岸的夷平过程。

(参考文献略)

EVOLVEMENT OF LITTLE LAGOON ON BAISHAKOU COAST AND FORMATION BARRIER-LAGOON COAST

Li Fan

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Abstract

Developmental process of little lagoon on Baishakou coast seems to be a natural simulated experiment. It went through appearance, development and decline in less than ten years. Survey shows that formation of this little lagoon can be attributed to the development of spit at the mouth, and sand onshore movement can only promoted its development. Evolvement of the barrier-lagoon coast was too varied to be grouped into one module.