

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

渤海湾西岸年轻贝壳堤:形态、 结构及多成因过程

王宏 李建芬 张玉发 张金起 李凤林

中国地质调查局天津地质矿产研究所, 300170

内容提要 渤海湾西岸年轻贝壳堤的横截面呈上凸形态,堤的底板向海倾斜。年轻贝壳堤可分为底部-下部(前缘基足)、中部和上部三部分。底部-下部为形成于水下的(潮间带至潮下带上部)贝屑质砂坝。中部为障壁岛,岛后为泻湖环境;当岛后泥质充填迅速时,障壁岛可转化为沿岸堤。上部为风成沙丘。水下砂坝→障壁岛→沿岸堤→风成沙丘反映了贝壳堤多成因的、复杂的形成过程。障壁岛-泻湖体系是渤海湾西岸沿海平原形成的重要因素。

关键词 水下砂坝 障壁岛-泻湖体系 贝壳堤 多成因过程 渤海湾西岸

1957年,历史学家李世瑜发现了渤海湾西岸由贝壳组成的长垅状地质体,称之为蛤蜊堤(李世瑜,1962)。随后,地貌及第四纪地质学家进一步研究了它们的物质组成、形态、分布、形成时间及其成因(王颖,1964;赵希涛等,1980;蔡爱智,1981;徐家声等,1986),并将其定名为贝壳堤(王颖,1964;赵希涛等,1980)。但是,以往对其内部结构及外部形态(特别是底板形态及堤与相邻泥质地层的接触关系)的研究,多仅为图示或简单的文字描述(王颖,1964;赵希涛,1980;大港油田地质研究所等,1985;徐家声等,1986)。实际上,内部结构及其外部形态与该地区贝壳堤、乃至渤海湾西岸沿海平原的成因有直接联系。自1989年以来,该地区的贝壳堤受到人为严重破坏,致使我们的研究对象主要集中于年轻贝壳堤[即Ⅱ、I两道(王颖,1964)]。本文仅就年轻贝壳堤的结构与形态展开讨论。

1 形态

贝壳堤的外部形态特征主要指堤的横截面形态,以及堤与上、下(或相邻)泥质沉积物的接触关系等。

1.1 堤的横截面形态

贝壳堤的横截面,表现为向上凸起的贝壳及其碎屑堆积体(即堤本身)和向海倾斜的底板。三条垂直贝壳堤走向的水准实测剖面(图1)证实了前人的底板向海倾伏的认识(夏东兴,1981;大港油田地质研究所等,1985)。关于底板的比降(底板在某一水平距离的向陆一侧与向海一侧两点的高度差),以往的数据是13‰~19‰(大港油田地质研究所等,1985)或堤的前、后缘相差2m以上(夏东兴,1981)。笔者的实测值是8‰~30‰(图1)。底板以上部分的横截面一般呈圆缓的上凸型。当后期风积作用强烈、植被茂盛时,则因强烈的加积作用而呈高耸的上凸型。例如现已破坏的贾家堡贝壳堤水准标处,被破坏之前堤顶部高达11m。正常情况

注:本文为国家自然科学基金(编号49672139)和中国-希腊政府间科技合作项目(编号98015)的成果。

本文1999年10月收到,12月改回,郝梓国编辑。

下,上凸的堤向其前、后缘自然下降(图 1:上古林趴趴地Ⅱ-1堤);但遭受后期侵蚀时,凸起的坡度明显变陡(图 1:上古林苹果园Ⅱ-2堤向海一侧)。

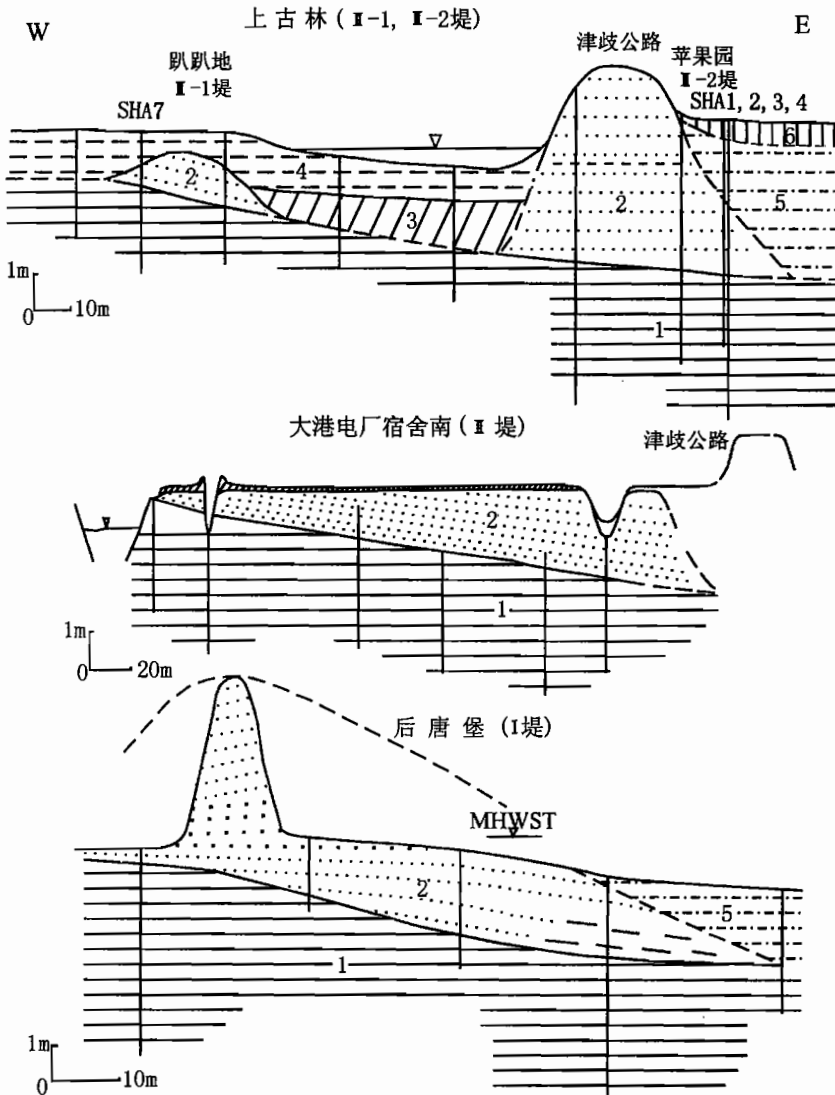


图 1 渤海湾西岸年轻贝壳堤横截面外部形态与相邻泥质沉积物的接触关系

Fig. 1 Transverse sections of the younger cheniers, illustrating the external morphology and relationship with the surrounding mud deposits on the coast of Bohai Bay

1—贝壳堤下伏泥质沉积; 2—贝壳堤; 3—堤后越流水混杂堆积; 4—泻湖-沼泽泥质沉积; 5—潮坪泥质沉积; 6—人类堆积; MHWST—平均大潮高潮线

1—Mud deposits underlying the cheniers; 2—cheniers; 3—unsorted overwash deposit behind the chenier; 4—lagoon-swamp mud deposits; 5—tidal mud deposits; 6—artificial accumulation; MHWST—mean high water spring tide

1.2 前缘基足

堤的前缘基足向前下方延展,被后期泥质沉积覆盖(蔡爱智,1981;大港油田地质研究所等,1985;Wang Hong, 1994)。一种情况是基足逐渐变薄、尖灭(蔡爱智,1981;大港油田地质研究所等,1985),后期泥质沉积物“自然地”披覆于其上,二者之间可有或没有沉积间断。这种基

足被完整保存的贝壳堤,称之为“完整型贝壳堤”,如图1的后唐堡剖面。另一类堤的基足被侵蚀,以至堤向海一侧的坡度明显变陡(图1:苹果园Ⅱ-2堤)。在后期泥质沉积物沉积之前,堤的基足即已受到强力(如风暴潮)破坏。即后期泥层沉积之前,曾发生过强烈的向岸侵蚀,贝壳堤后退,前缘(基足)变得陡峭。这一类称之为“侵蚀型贝壳堤”。老狼坨子贝壳堤亦属于这一类(老狼坨子有另文专述)。

1.3 堤与向陆一侧泥质沉积的关系

较老贝壳堤的苗庄、东孙村剖面顶部已发育成黑色埋藏古土壤。其上有冲积形成的粉细砂层(赵希涛等,1980;徐家声等,1991),武帝台剖面顶部被泥质沉积物覆盖(徐家声等,1991),表明前人注意到老贝壳堤被泥质沉积物覆盖这一现象。但是,泥质沉积物是如何覆于贝壳堤之上的,特别是年轻贝壳堤与其向陆一侧的泥质沉积物的关系,对于判断贝壳堤的成因,更为重要。

一种观点认为,贝壳堤形成于平均大潮高潮线处(王颖,1964,赵希涛,1980)、甚至平均大潮高潮线以上(李绍全等,1987)。这一观点的意思是:贝壳堤形成之后,其向陆一侧一般即不再接受沉积[参见王颖(1964)的图6、7,赵希涛等(1980)的图2,蔡爱智(1981)的图5、6和Wang Ying等(1989)的图4。所有这些均表明贝壳堤是“超覆”在泥质沉积之上]。实际上,将该地区的贝壳堤归入沿岸堤范畴的传统观点(王颖,1964;赵希涛等,1980)一经确立,认为堤后不会再有更年轻的(受海水影响的)泥质沉积物就是顺理成章的推断了。应该指出,这恐怕是长期以来不重视堤后泥质沉积物与堤本身关系的原因。

上古林趴趴地-苹果园剖面表明,年轻贝壳堤(无论是Ⅱ-1抑或Ⅱ-2堤)形成后,其向陆一侧仍有泥质沉积物不断加积(图1)。在这一过程中,始终有水体存在,从泻湖逐渐转变为盐沼、最后淡化为沼泽。直至今日,该地点以及其它地区凡未受人类扰动的,均仍保持盐沼或沼泽状态,例如北、南大港以及更南部的老狼坨子向陆一侧

相同的地貌部位。

图1、2的Ⅱ-1堤向陆一侧的后缘部分逐渐收敛、停止发育之后,泥质沉积缓慢加积于其上。第3层是黑色、灰黑色泥质沉积,混有海相贝壳碎片及极个别的淡水腹足类 *Bithynia* sp.、*Gyraulus* sp.。4-1层含有大量海相贝壳碎片及极个别的 *Bithynia* sp.、*Gyraulus* sp.;4-2层以上,开始出现零星的 *Bithynia* sp.、*Gyraulus* sp.。对1的Ⅱ-2堤堤后黄褐色泥质沉积物的下部混有大量由越流水

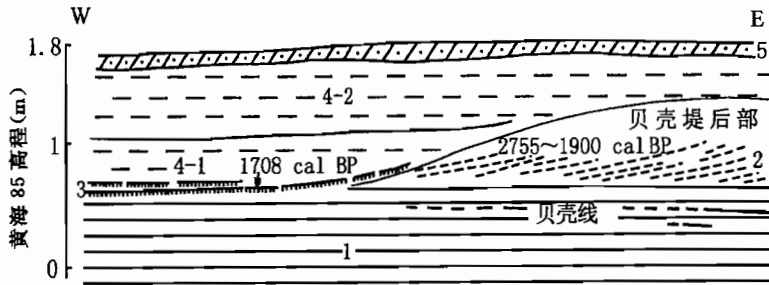


图2 上古林趴趴地Ⅱ-1堤堤后泥质沉积物沉积过程
Fig.2 Section showing accumulation of mud deposits through the area behind the chenier I-1 and over the aft-part of the chenier in Papadi, Shanggulin

1—灰色、灰蓝色海相泥质沉积;2—Ⅱ-1堤的后缘;3—灰黑、黑色泥质沉积,超覆于贝壳堤之上;4-1—灰褐色泥质沉积,含海相贝壳碎片;4-2—灰褐色泥质沉积,含零星陆生腹足类,4-1和4-2层超覆于贝壳堤之上;5—表层耕作土层;¹⁴C—平均校正年龄(cal BP)

1—Gray, grayish-blue marine mud; 2—the aft-part of the chenier I-1; 3—grayish-dark, dark mud, overlapping on the aft-part of the chenier; 4-1—grayish-brown mud, with marine shell fragments; 4-2—grayish-brown mud, with scattered terrigenous gastropod shells. laterally, both the beds 4-1 and 4-2 overlap on the aft-part of the chenier; 5—plough layer; ¹⁴C—average calibration ages (cal BP)

(风暴潮水超越贝壳堤)搬运的、无分选的海相贝壳(单瓣或碎片)。说明在相当长的时间内, I-1 与 II-2 堤堤后分别断续地、不同程度地受海水控制。只是在相当晚近时, 堤后部分与海的联系才完全终止。沉积层序、接触关系及¹⁴C 年龄对比(图 1、2 及表 1)均明确无误地表明堤形成后仍有(受海水影响的)泥质沉积物从其向陆一侧“超覆”于其上。

表 1 近年在上古林、后唐堡贝壳堤获得的¹⁴C 年龄

Table 1 ¹⁴C ages obtained during the recent years in Shanggulin and Houtangpu sites

序号	实验室编号	地点	测试物	直接测定值 (a BP)	惯用年龄 (a BP)	校正年龄(MARINE93) (cal BP)	校正年龄(INTCAL93) (cal BP)	平均校正年龄 (cal BP)
1	98Y075	上古林 (II-1)	<i>Umbonium</i> sp.	2410±140	2827±146	2602 (2738~2338)	2932, 2908, 2890 (3149~2768)	2755
2	UtC-7037	上古林 (II-1)	<i>Mactra</i> <i>veneriformis</i> ?		2125±40	1695 (1736~1636)	2110 (2141~2011)	1900
3	98Y077	上古林 (II-1)	<i>M. veneriformis</i>	2089±70	2467±81	2102 (2195~1989)	2422, 2413, 2366 (2712~2346)	2250
4	98Y076	上古林 (II-1)	黑色碳质 粘土	1827±80	1795±90		1708 (1823~1572)	1708
5	UtC-7038	上古林 (II-2)	<i>Arca</i> sp., <i>M.</i> <i>Veneriformis</i> ?		1850±35	1369 (1406~1328)	1804, 1760 (1824~1717)	1585
6	UtC-2240	上古林 (II-2)	<i>Umbonium</i> sp. <i>Terebridae</i> ?		2350±100	1948 (2081~1838)	2350 (2470~2215)	2150
7	UtC-2237	后唐堡	<i>Umbonium</i> sp. <i>Terebridae</i> ?		820±90	458 (509~353)	720 (790~665)	590
8	98Y074	后唐堡	炭屑	622±90	638±99		633, 580, 564 (667~537)	592
9	UtC-2236	后唐堡	炭屑		260±90		296 (434~0)	296

注: 关于¹⁴C 年龄及其校正的详细研究, 笔者有另文专述(Wang Hong, 1994; Wang Hong et al., 1997); 校正依 CALIB3.0.3c(Stuiver et al., 1994)。

2 结构

图 3 是经大量 Eijkelkamp 槽型取样钻^①、挖掘机、人工探坑等揭露的贝壳堤内部结构及泥质沉积物的综合柱状图。其剖面描述如下:

(A) 上古林叭叭地 II-1 堤(图 3 a 剖面)

7. 现代土壤。

6. 褐色泥质沉积。可细分为下部的泻湖与上部的高位盐沼沉积两部分。泻湖环境仍有较多的海相贝壳碎屑, 向上与海的连通逐渐减弱至消失, 海相贝壳不再出现, 代之以零星的 *Gyraulus* 小个体。下部泻湖沉积中夹不规则产出的红褐色焙烧土, 是被后期水流(风暴潮?)破坏的古人短暂居留的证据。古地磁剖面 SHA7。

5. 黑色—灰黑色泥层, 细腻, 肉眼未见层理, 含零星的海相贝壳(壳面亦呈黑色)。向陆方向, 渐变为黄褐—灰黑色, 粗糙, 有零星的直立状态、双壳闭合的 *Solen* 属壳。¹⁴C 平均校正年龄: 1708 cal B P(样号 98Y076)。

4. 贝壳堆积, 主要为 *Arca*、*Mactra*、*Cyclina*、*Anomia*、扇贝、*Rapana*、*Umbonium*、*Terebridae* 等, 双壳类一般

① Eijkelkamp 槽型钻工作量: 叭叭地-苹果园剖面: 10 个孔累计进尺>45 m; 大港电厂南剖面: 6 个孔累计进尺 23.5 m; 后唐堡剖面: 25 个孔累计进尺>100 m。

均为单瓣。仅在中部发现较多双壳闭合的 *Maetra* 属壳, ^{14}C 平均校正年龄: 1900 cal B P (样号 UtC-7037)、2250 cal B P (样号 98Y077)。具良好的层理, 单层厚度一般 5~10 cm, 某些层的贝壳呈明显的黑褐色。

3. 淡褐色粘土, 发育良好的水平薄层, 层间夹有砂粒级的贝屑纹层。
2. 贝壳碎屑层, 单瓣贝壳少见, 含少量泥质沉积。夹壳体新鲜、保存完好的 *Umbonium* 和 *Terebridae*, ^{14}C 平均校正年龄: 2755 cal B P (样号 98Y075)。该层整体呈淡灰黑色。
1. 淡灰褐—灰蓝—杂色泥质沉积(向下, 以灰蓝色调为主)。顶部有发育不充分的水平纹层结构, 由泥质纹层和砂粒级贝屑与泥的混合纹层形成互层。顶部-上部 1~2 m 内有大量的垂直潜穴(蟹类?), 横截面为圆形, 直径 2~3 cm, 被后期泥质或贝屑充填。顶部(界限以下 20~40 cm 处)有两层海相贝壳水平断续分布(图 2), 由 *Arca*、*Maetra*、*Meretrix*(一个单瓣的壳高 6 cm)、*Anomia* 及蛭、贻贝的单瓣和 *Rapana* 壳等组成。双壳类的壳均凸面向上。古地磁剖面 SHA7。

(B) 上吉林苹果园 II-2 堤(图 3 b 剖面)

8. 回填物, 贝壳碎屑与土的混杂堆积。
7. 现代土壤, 小团粒结构, 无芦苇根(据当地农民介绍, 附近的芦苇群落出现于 50 年代之后)。
6. 灰褐—黄褐色泥质沉积, 无层理, 有不发育的团块状结构和垂直节理, 少量的植物根孔(直径仅数毫米, 不是芦苇根)。中部有一条延伸甚远的黄褐—锈黄色粉细砂条带, 厚 1~3 cm, 内含零星的贝壳碎片及 *Bithynia* 属(?)壳体。古地磁剖面 SHA1、2、3、4。
5. 黄褐色贝壳碎屑, 水平展布或向陆缓倾斜的层理。有 2~3 层母质为贝屑的古土壤, 已半固结, 淡灰黑色。
4. 单瓣贝壳、少量的腹足类, 及其碎屑, 黄褐色。具向海方向缓倾斜的层理, 较细碎的贝屑与以单瓣贝壳为主的薄层形成互层。贝壳以 *Arca*、*Maetra* 等为主。
3. 贝壳碎屑, 灰蓝—灰黑色, 有粗糙的层理, 混有少量泥土。*Umbonium* 和 *Terebridae* 壳体的 ^{14}C 平均校正年龄: 2150 cal B P (样号 UtC-2240)。
2. 灰褐—黄褐色或灰黑—黑色泥质沉积与贝壳细屑的薄层—纹层的互层, 水平展布, 泥质单层厚数厘米至 30 cm;
1. 灰—灰褐—灰绿色泥质沉积。顶部-上部有大量的垂直潜穴(一种直径 1~2 cm, 充填物为色调更深的泥; 另一种直径 3~4 cm, 充填物为贝壳细屑, 蟹穴?)。混有大量贝壳, 主要为 *Arca*、*Maetra*、*Anomia*、*Rapana*、*Umbonium* 等, 不规则赋存于泥中, 凡双壳类皆为单瓣。该层顶部的 *Arca*、*Maetra* 壳的 ^{14}C 平均校正年龄: 1585 cal B P (样号 UtC-7038)。

(C) 后唐堡 I 堤(图 3 c 剖面)

7. 上部, 参见图 4。
6. 中部, 贝壳粗屑或双壳类的单瓣贝壳, 分选差, 含零星的灰陶片(最大 12 cm)、砖块、瓷片及玄武岩块(10 cm)。有粗糙的层理(近平行或波状), 单瓣贝壳一般凸面向上。整体呈淡灰褐—黄褐色。
5. 贝壳细屑为主的薄层(纹层)与泥、贝壳细屑混合沉积的薄层(纹层)的互层, 因负荷变形, 层理极不规则。整体呈淡黄褐—灰褐色。夹有贝壳细屑形成的向陆倾斜的前积层组和水平纹层组。该层底部的 *Umbonium* 和 *Terebridae* 的 ^{14}C 平均校正年龄: 590 cal B P (样号 UtC-2237)。
4. 贝壳细屑为主的薄层与贝屑、泥混合薄层的不规则互层, 夹零星的完整腹足类及双壳类的单瓣壳, 灰黑—黑色, 贝壳及有孔虫壳面亦被黑色浸染。
3. 夹有泥的贝壳粗屑沉积, 壳片最大 2 cm, 含完整的 *Umbonium* 和 *Terebridae* 壳。与下伏泥质沉积为突变接触。
2. 淡黄褐色泥, 肉眼未见明显层理, 含零星的海相贝壳碎片, 以及极少的贝屑薄层(最厚达 6 cm)、零星的壳高约 1 cm 的完整的 *Neverita* 及蛭、*Arca* 的碎片。
1. 具良好水平波状层理的粉细砂纹层与泥质纹层的互层, 灰色, 含零星的海相贝壳碎片。夹厚度 10~30

cm 的粉细砂—中细砂层, 硬实, 内含零星的完整 *Umbonium* 壳。

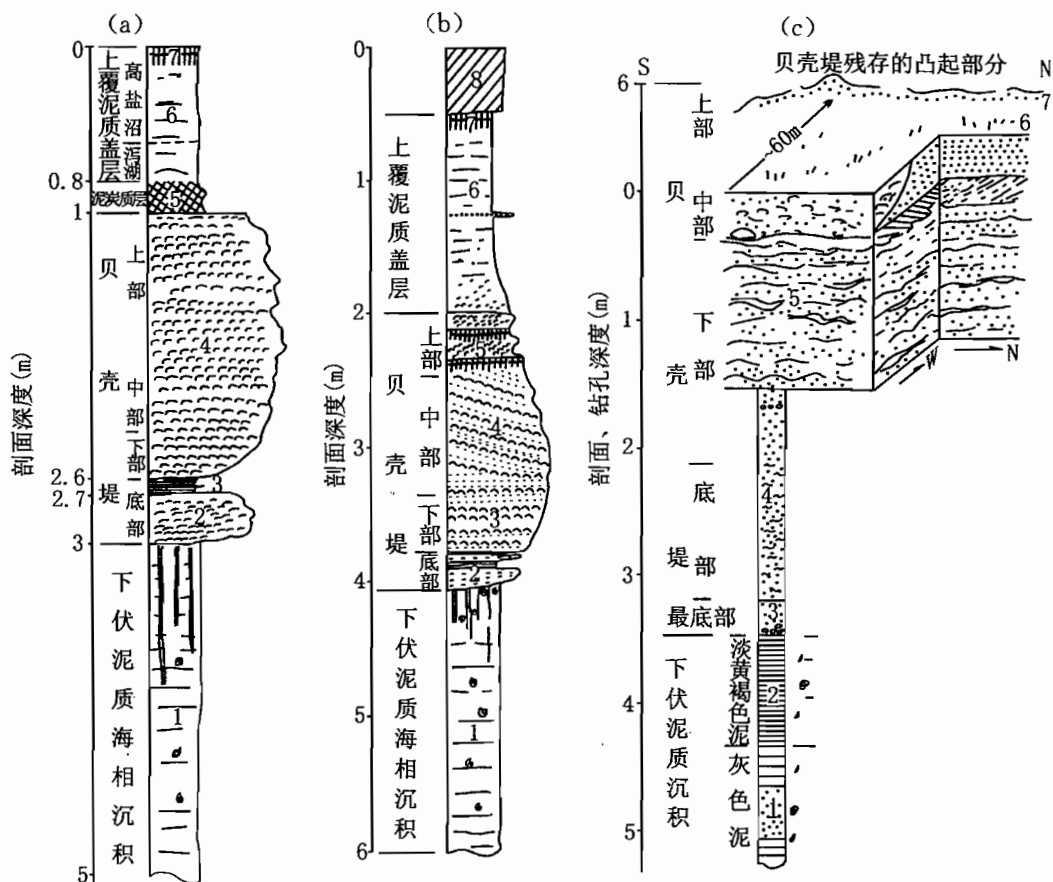


图 3 渤海湾西岸年轻贝壳堤综合柱状图

Fig. 3 Composite stratigraphic columns, showing the younger cheniers on the west coast of Bohai Bay

(a)—上古林 II-1 堤; (b)—上古林 II-2 堤; (c)—后唐堡 I 堤(1~8 层的描述见正文)

(a)—Chenier II-1, Shanggulin; (b)—chenier II-2, Shanggulin; (c)—chenier I, Houtangpu (see text for interpretation of beds 1~8)

综合分析贝壳堤的沉积剖面特点, 可把贝壳堤分为三部分。

2.1 底部和下部

完整型贝壳堤的底部-下部, 通常被后期泥质沉积物所覆盖, 被埋藏的前缘基足, 由贝壳碎片与泥质沉积构成。贝壳碎片一般小于 1 cm, 大量的仅数毫米; 混有少量的壳饰仍较新鲜的腹足类 *Umbonium* sp. 和 *Terebridae*, 其保存良好的壳体均为文石质, 区域性 $\delta^{13}\text{C}$ 平均含量均接近 +1‰ PDB (Wang Hong, 1994; Wang Hong et al., 1997), 遂成为测定底部初始年代的良好对象(如 98Y075, 表 1)。以贝屑为主的薄层与以泥质沉积为主的薄层(单层厚数毫米至数厘米)的互层, 常呈平行层理; 并存在大量准同生的重力负荷变形构造。此外, 还具有极细腻、纯净的粘土薄层(厚 1~2 cm)(图 3 的 a、b 柱状图), 层位稳定, 延展甚远。偶有向陆倾斜的高角度前积纹层层组, 高度约 20 cm。

在堤的向海一侧, 基足与下伏地层的接触为突变关系 (Reading et al., 1996)。在堤的后缘

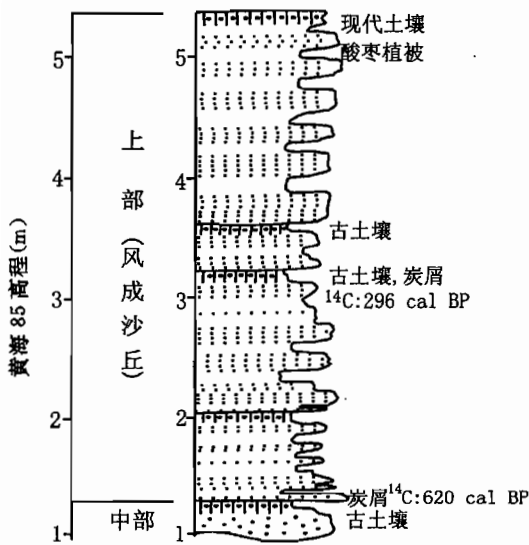


图4 后唐堡 I 堤上部风成沙丘剖面
Fig. 4 Section showing the eolian dune deposits forming the upper part of the Chenier I in Houtangpu

白—黄褐色,但上古林 II-1 和 II-2 堤内一些单层呈黑色,同一单层或几个相邻的层所有贝壳均呈黑色,贝壳表面被强烈浸染(后期铁锰浸染?)。后唐堡 I 堤中部有发育良好、向陆倾斜、由单瓣贝壳及其粗碎屑构成的高角度前积层组^②,高 20~30 cm。堤中部与下伏地层之间为轻微的剥蚀接触,这是因为进入中期后,波浪及潮流动能增强,对下伏地层的侵蚀力亦随之增强。因此,同为底板,与下伏层在其向海一侧是突变接触(图 3),在向陆一侧则为剥蚀接触(Wang Hong, 1994)(图 2)。

2.3 上部

若无风成沉积物加积,则堤的上部常发育有 1、2 层古土壤,II 堤及几道更老的堤即属于这一类(图 3 b)。I 堤则完全不同,风积作用常使堤的上部成为风成沙丘,如后唐堡贝壳堤(图 1、4)。组成物几乎全为数毫米的贝壳碎片,夹有数毫米的腹足类幼体壳,贝屑表面干净。风力的良好分选使贝屑成为数毫米与仅约 1 mm 不同粒级的互层(仅数毫米厚的纹层或数厘米厚的薄层),并夹有零星出现的主要由小单瓣贝壳构成的薄层、或主要由壳高数毫米至 1 cm 的腹足类 Terebridae 和 Nassarius sp. 组成的薄纹层。相对于底部-下部和中部,风成沉积更为疏松,总体呈贝壳固有的新鲜的淡黄褐色。风成沉积被多次古土壤成壤期所中断,风成贝屑即土壤的母质层。土壤层呈淡灰黑色,微弱的块状结构,内常含有直径 1~3 mm 的炭屑,可供放射性碳测年(图 1、4 及表 1)。在垂直堤走向的横剖面上,可见发育良好的向陆倾斜的斜层理,倾角达 5°~30°;而在平行堤走向的数百米长的剖面上,发现发育良好的缓波状、亚平行层理或浅槽状交

(向陆一侧)则为轻微的剥蚀接触。换言之,年轻贝壳堤的前缘底板与下伏层是突变接触,而后缘底板则存在剥蚀过程(Wang Hong, 1994)(图 5、6)。堤底部(特别是在前缘基足处)无论是泥质沉积抑或贝屑、贝壳碎片,常呈明显的灰黑色、黑色。

2.2 中部

组成物的粒度明显变粗,多为双壳类 *Arca*、*Maetra*、*Cyclina*、*Anomia*、*Meretrix*、*Corbula* 等的完整单瓣和 *Rapana*、*Umbonium*、*Terebridae* 等腹足类壳体,以及它们的粗碎片。粗糙的薄层,具近平行层理,低角度向海或向陆倾斜。由于水动力强弱变化,相邻单层平均粒度常呈更粗或稍细的交替。上古林 II-1 堤未发现陶片^①; II-2 堤仅见零星灰陶片;后唐堡 I 堤中部见大量陶、瓷碎片,以及砖块。后唐堡 I 堤中部还见有长轴直径约 10 cm 的玄武岩块混于贝壳碎片、碎屑中。中部整体呈贝壳天然的灰

① 说明当时该地并无人类活动。地质学和年代学的发现可验证历史、考古推论,参见韩嘉谷的“天津平原开发迅速的秘密”,天津日报,1999. 8. 8。

② 岐口贝壳堤向陆一侧的中部向陆倾斜的高角度前积层组高度约 1 m(赵希涛,1980; Wang Hong, 1994)。

错层理,并有大量的风蚀不整合面(贾家堡 I 堤)(Wang Hong, 1994)。

3 成因与讨论

关于渤海湾西岸贝壳堤的性质,长期以来被认为是沿岸堤。其形成过程是,当黄河不在渤海湾西岸入海时,该地泥沙减少,致使较强的波浪(激浪)作用将潮间带及浅海的贝壳及其碎屑从泥沙中簸选出来并向岸搬运至高潮线处,堆积成为具沿岸堤性质的贝壳堤(王颖,1964;赵希涛等,1980;蔡爱智,1981;大港油田地质研究所等,1985;徐家声等,1986)。本文提出水下砂坝→障壁岛→沿岸堤→风成沙丘多成因过程假说(图 5)。下面围绕年轻贝壳堤的结构方面的几个关键问题,试解释这一多成因过程。

3.1 初始阶段:水下砂坝

渤海湾西岸的年轻贝壳堤形成初期阶段的前缘基足,即堤的底部-下部,为细贝屑和泥在水下形成的混杂堆积或互层沉积,是波浪和潮流的筛选作用刚开始出现、簸选效果还不充分的产物。贝壳堤底部与下伏泥层之间常不具明显的剥蚀特征,定为突变接触似更合理(Reading et al., 1996)。前人甚至认为堤的前下方与滩涂沉积是相变关系(大港油田地质研究所等,1985)。水动力不够强大,加之物源丰富,因此堤底部-下部的贝屑与泥的分选不好。二者或为混杂沉积;即便进一步成为互层,仍然是以贝屑为主的薄层(仍含少量的泥)与以泥为主的薄层(仍含少量的贝屑)的互层。这种互层结构还表明,在贝壳堤的初始阶段,贝屑的被簸选与泥质潮坪的沉积作用

是交替进行的(Wang Hong, 1994),只是后者最终被前者完全取代(一个附带的疑点是:贝壳堤的初始阶段也许并非如前人所说必以黄河的迁移为前提,否则如何解释堤的底部-下部仍有大量的泥质沉积物存在?)。堤的底部-下部沉积中从未发现在高潮岸线处常见的浮柴、泥球等水边线特有的杂物。大量的准同生的重力负荷变形构造是水下环境的特征标志。延展甚远的细腻粘土纹层和底部的黑色浸染,暗示水力强度在一定时期极微弱、甚至构成还原环境(?)。以上说明,堤的底部-下部(基足)形成于水下、并且需要有一定的水深条件:即可能在潮间带中

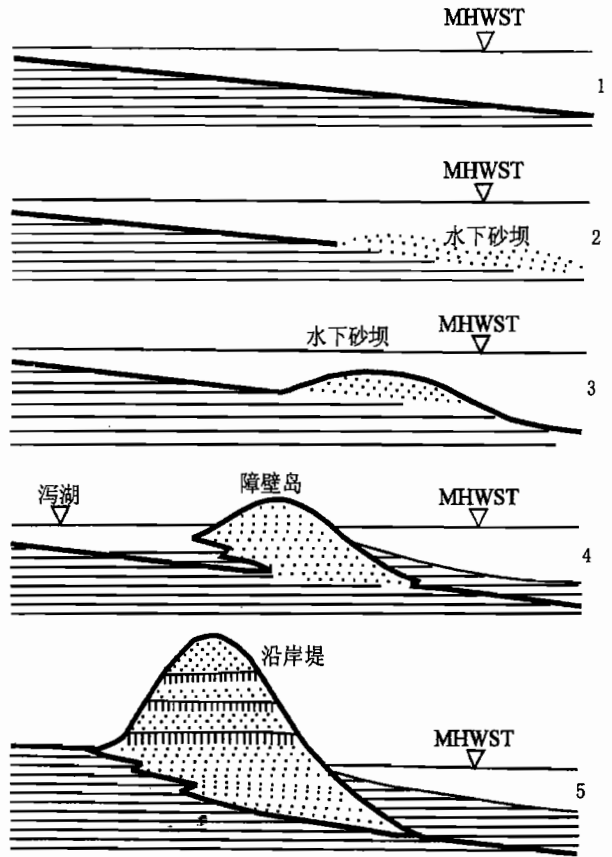


图 5 渤海湾西岸年轻贝壳堤的多成因过程
Fig. 5 Multi-phase origins of the younger cheniers on the west coast of Bohai Bay

- 1—潮间带和潮下带的海相泥质沉积; 2—繁盛的软体动物的壳体在波浪与潮流作用下开始富集; 3—形成贝壳质水下砂坝;
- 4—进一步发育为障壁岛,岛后为泥质充填的泻湖; 5—形成沿岸堤及上部的风成沙丘
- 1—Marine mud, accumulating in the intertidal and subtidal zones;
- 2—molluscan biota restrained from its climax by wave/tide currents and turned to contribute its shell material; 3—subaqueous shelly bar; 4—barrier island with lagoon, partially filled with mud; 5—stratified beach ridge and windblown dune at the upper part

下部一潮下带上部。换言之,贝壳堤的初始阶段并非形成于高潮线附近或高潮线之上,底部-下部沉积不是高动能激浪的产物。从其物质组成和沉积结构推断,堤的初始阶段应为岸外的小型水下贝屑质砂坝。

3.2 中期:障壁岛→沿岸堤

随着加积作用的继续,砂坝不断增高、规模变大,达到并超过潮间带上部(高潮位高度),形成出露水面的障壁岛。障壁岛向海一侧与高潮水相交切的水边线(高潮线),并非大陆岸线,而是岸外的障壁岛岸线。波浪和潮流因有岛的阻挡,水动力明显增强,致使堤中部的沉积物粒度明显变粗(以单瓣贝壳为主)。Ⅱ-2堤和Ⅰ堤出现岸边才可见到的陶片、砖块,甚至玄武岩块。高能越流水形成向陆倾斜的高角度前积层组。同一时期,在障壁岛和原大陆之间,形成新的泻湖区。这就是障壁岛-泻湖体系。贝壳堤形成后(中期以后),其向陆一侧泻湖仍保持与海的断续连通,受海水影响的泥质沉积超覆于贝壳堤的后缘之上,这已从沉积层序和年代地层序列得到初步证实(图1、2,表1及本文有关文字表述)。这一事实说明,某些贝壳堤形成后的一段相当长时间内,堤后为受海水影响的泻湖环境。

贝壳堤多成因过程

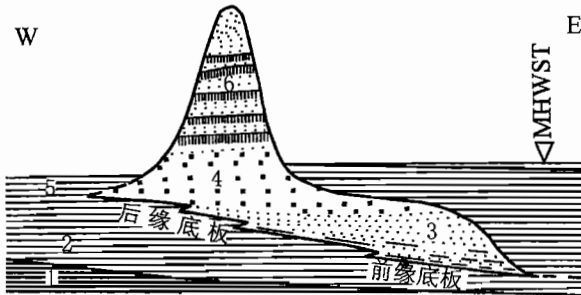


图6 渤海湾西岸年轻贝壳堤相发育模式及底板形态

Fig. 6 A model, illustrating facies evolution and base morphology of the younger cheniers and relationship with the underlying mud on the west coast of Bohai Bay

- 1—灰色海相泥质沉积; 2—黄褐色海相泥质沉积; 3—贝壳堤前缘基足; 水下砂坝; 4—贝壳堤中部:障壁岛→沿岸堤; 5—泻湖泥质沉积; 6—贝壳堤上部:风成沙丘和古土壤层
1—Grayish marine mud; 2—yellowish-brown marine mud; 3—the front foot of the cheniers; subaqueous bar; 4—the middle part of the chenier: barrier island→beach ridge; 5—lagoonal mud; 6—the upper part of the chenier: sand dune and intercalated soil horizons

积的特征。说明基足形成后,原地向上、向斜后方(陆地方向)不断加积(但基足仍在原地!),贝壳堤逐渐变宽、加高,出露水面(图5、6)。作者认为,传统的海岸带分类的两个端员——沿岸堤和障壁岛之间可能存在大量的过渡形式,以及复杂而丰富的转换过程。Taylor等人(1996)在论及沿岸堤时并不排斥与障壁岛伴生的泻湖,如果不是作者对他们的分类概念的理解有误,则暗喻他们对传统的分类并不那么在意,这或许与障壁岛向沿岸堤的转换有内在联系。

3.3 后期:风成沙丘

与Ⅱ堤或其他更老的贝壳堤不同,Ⅰ堤的上部发育为风成沙丘。贾家堡Ⅰ堤顶部的向陆倾

另一方面,障壁岛有向沿岸堤转化的可能性。当障壁岛不断发育的同时,岛后的泻湖→盐沼亦不断被泥质沉积物充填,最终接近平均高潮位。这时,障壁岛就逐渐转化为沿岸堤。

一些学者不否认沿岸堤(广义的沿岸堤和 chenier)的一种成因是起始于岸外砂坝:苏里南的 cheniers 的初期阶段是形成于平均低潮位的砂坝,随着不断加积而出露水面,并向岸移动(Augustinus, 1978, 1980);墨西哥湾 Florida 和 Alabama 的沿岸堤始于岸外 4 km 处水下内陆架斜坡上砂坝向陆的移动(Taylor et al., 1996)。他们强调砂坝向陆的移动。渤海湾西岸的年轻贝壳堤的内部结构表明,堤本身向陆方向的移动则始终是微弱的。堤底部-下部分选差、有较多的泥、缺少水边线处特有的 litters 等特点,说明未经向岸方向的长距离搬运,反更符合水下“原地”沉

斜的高角度和低角度斜层理,表明盛行风向是东风(包括东北、东南风)。风力搬运可在堤内进行:在堤的表面,细贝屑从向海一侧在东风作用下向陆方向被搬运数米、数十米。搬运还可在更大范围进行:贝屑可被风力从潮间带簸选出来(两次大潮之间潮滩干出时)(Carter, 1988)。那些更粗一些的薄层,可能是大风暴的产物(Carter, 1988)。更老的贝壳堤未发育有风成沙丘,其原因在于中全新世时该地区尚在强烈的夏季降水带控制之下,风力微弱。约 4000 cal BP 以后,降水带南移(Wang Hong et al., 1995)^①,风力作用逐渐强盛,致使年轻贝壳堤的上部发育为风成沙丘。

3.4 倾斜的底板:结构与形态的近似同一性

前人(夏东兴,1981;大港油田地质研究所等,1985)及笔者的研究均表明堤的底板向海倾斜。通常认为,倾斜的底板是被激浪在(大陆岸线)高潮线附近侵蚀而成(王颖,1964;蔡爱智,1981;大港油田地质研究所等,1985)。笔者则倾向于前缘底板首先形成于岸外(潮间带中下部至潮下带上部),堤的底部-下部(基足)与下伏泥质沉积是突变而非剥蚀接触。中期时障壁岛的加积或向沿岸堤的转化,可与岛后泥质沉积的加积同时进行、或仅有轻微的剥蚀作用。按照前人的观点,倾斜的底板(被剥蚀而)形成在先,贝壳堤堆积于后。内部沉积与外部形态(此处指堤的底板)不协调?有一个时间间断,即时间上的非同一性。本文倾向于从下伏泥层到堤的底部-下部,时间上基本连续,即前缘底板与其上的堤的底部-下部沉积无明显间断,内部沉积与外部形态是近似同一的。这一特征,亦表明从潮间带中下部、潮下带泥质沉积转入堤的底部-下部的初始阶段,并无强烈的沉积环境的改变,始终是在水下环境。

4 结论

综上所述,渤海湾西岸年轻贝壳堤的形成经历 3 个主要阶段。

(1) 水下砂坝阶段:完整型贝壳堤的基足(堤的底部-下部)从下伏潮间带-潮下带上部的泥质沉积中簸选、堆积而成,带有明显的过渡性质。与下伏层是突变接触,含有大量泥质。

(2) 障壁岛→沿岸堤阶段:砂坝进一步发育,形成障壁岛,岛后为受海水影响的泻湖-潮坪-中、低位盐沼;某些地段,岛后泥质物充填迅速,可使障壁岛转换为沿岸堤。

(3) 风成沙丘阶段:这是 I 堤特有的。风力强盛时,贝壳堤可进一步发育为风成沙丘。

这一假说揭示,渤海湾西岸沿海平原可能并非由西向东渐进的、叠瓦式的沿岸堤平原,而是障壁岛-泻湖平原。对成因认识的转变,可能对该类地区的社会、经济活动及可持续发展产生影响。

前期研究得到比利时 ABOS 奖学金(编号 904967)、原国家教委、中国地质科学院回国启动基金、比利时皇家文化遗产研究所的支持;Utrecht 大学 van der Graaff 实验室和国土资源部海洋地质研究所海洋地质试验测试中心提供¹⁴C 数据,天津地质调查中心“沿海地质环境变化”研究小组钟新宝计算机绘图,在此表示感谢。

参 考 文 献

蔡爱智. 1981. 渤海湾贝壳堤成因初步研究. 海洋科学集刊, (18): 117~132.

^① 从以海洋影响为主到以陆地影响为主的气候大背景发生变化的时间,在该地区大致是公元前 2000 年左右,参见渤海湾西北岸表口牡蛎礁顶部伴生的 *Traperium* (*Neotraperium*) *liratum* 的 AMS ¹⁴C 平均校正年龄: 4044 cal B P/UtC-7036 (“沿海地质环境变化”研究小组未发表资料)。

- 大港油田地质研究所, 海洋石油勘探局研究院, 同济大学海洋地质研究所. 1985. 滦河冲积扇—三角洲沉积体系. 北京: 地质出版社, 1~164.
- 李绍全, 李广雪. 1987. 大口河至顺江沟的海岸特征. 海洋地质与第四纪地质, (7): 57~62.
- 李世瑜. 1962. 古代渤海湾西部海岸遗迹及地下文物的初步调查研究. 考古, (12): 652~657.
- 王颖. 1964. 渤海湾西部贝壳堤与古海岸线问题. 南京大学学报, 8 (3): 424~443.
- 夏东兴. 1981. 全新世高海面何在. 海洋学报, 3 (4): 601~607.
- 徐家声, 刘刻福, 李肇基等. 1986. 唐宋以来渤海湾西岸岐口狼坨子贝壳堤的发育与岸线变化. 见: 国际地质对比计划 200 项中国工作组编, 中国海平面变化. 北京: 海洋出版社, 61~69.
- 徐家声, 刘鹤智. 1991. 黄骅海岸带开发环境概论. 北京: 海洋出版社, 1~193.
- 赵希涛, 张景文, 焦文强等. 1980. 渤海湾西岸的贝壳堤. 科学通报, 25 (6): 279~281.
- 赵希涛. 1980. 渤海湾西岸全新世海岸线变迁. 见: 中国科学院地质研究所、国家地震局地质研究所编, 华北断块区的形成与发展. 北京: 科学出版社, 302~309.
- Augustinus P G E F. 1978. The Changing Shoreline of Surinam (South America), Ph. D Dissertation, Found. Sci. Res. Sorinnum and Neth. Antilles, Utrecht, 95; 232.
- Augustinus P G E F. 1980. Actual development of the chenier coast of Suriname (South America). Sedimentary Geology, 26: 91~113.
- Carter R W G. 1988. Coastal Environments. London: Academic Press.
- Reading H G, Levell B K. 1996. Controls on the sedimentary rock record. In: Reading H G. (ed.). Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy (third edition). Oxford: Blackwell Science, 5~36.
- Stuiver M, Reimer P J. 1994. CALIB Rev. 3.0.3c. Quaternary Isotope Laboratory, University of Washington, Seattle.
- Taylor M, Stone G. 1996. Beach-Ridge: A Review. Journal of Coastal Research, 12 (3): 612~621.
- Wang Hong. 1994. Palaeoenvironment of Holocene Chenier and Oyster Reefs in the Bohai Bay (China). Ph. D Dissertation, Vrije Universiteit Brussel, 249.
- Wang Hong, Keppens E, Nielsen P, et al. 1995. Oxygen and carbon isotope study of the Holocene oyster reefs and palaeoenvironmental reconstruction on the northwest coast of Bohai Bay, China. Marine Geology, 124 (4): 289~302.
- Wang Hong, Van Strydonck M. 1997. Chronology of Holocene cheniers and oyster reefs on the Coast of Bohai Bay, China. Quaternary Research, 47: 192~205.
- Wang Ying, Ke Xiankun. 1989. Cheniers on the east coastal plain of China. Marine Geology, 90: 321~335.

The Younger Cheniers (Shell Banks) on the West Coast of the Bohai Bay: Morphology, Structure and Polygenetic Processes

Wang Hong Li Jianfen Zhang Yufa Zhang Jinqi Li Fenglin

Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Bureau of Geological Survey of China, 300170,

Abstract

The transverse section of the younger cheniers (shell banks) on the west coast of Bohai Bay shows a convex morphology with its base tilting seawards. It consists of three parts: the basal-lower part, the middle part and the upper part. The basal-lower part, i. e. the buried front foot, is composed of water-laid shelly fragments mixed and/or weakly interbedded with mud. This is firstly piled up on the lower portion of the intertidal zone to the upper portion of the subtidal zone to form a subaqueous shelly shoals/bars/mounds. The middle part is barrier island and lagoon, including intertidal flat and middle and/or lower marsh environments, exists behind it. Occasionally, if mud accumulation occurring in the lagoonal area is quick enough, then the barrier island will be transformed into beach ridge. The upper part is windblown shelly dune, consisting of fine shelly fragments with several soil horizons. The subaqueous bars→barrier island→beach ridge→

windblown dune indicate that the younger cheniers experience polygenetic processes, which are a major factor of the coastal plain development.

Key words: subaqueous bar; barrier-island system; cheniers; polygenetic processes; the West Coast of Bohai Bay

作 者 简 介

王宏,男,1948年生。1972年毕业于长春地质学院,1982、1994年先后获得布鲁塞尔自由大学理学硕士、博士学位。现为天津地质矿产研究所研究员,从事第四纪地质及沿海地区近现代地质环境演变研究。通讯地址:300170,天津市河东区大直沽八号路4号,天津地质矿产研究所;电话:022-24314298; E-mail: mrqgcgcec@public.tpt.tj.cn。
