

潮汐汉道的若干问题

任美镠 张忍顺

(南京大学地理系)

摘 要

本文通过国外潮汐汉道研究进展的回顾,并结合我国的具体情况,论述了潮汐汉道的定义以及它与其他类型的潮汐水道的区别;并证明中小河口湾也是潮汐汉道的一种特殊类型。文中举例说明,海岸动力地貌学,特别是堆积地貌的慎重研究是判断潮汐汉道稳定性的一个重要手段。在缺乏详细的近岸带泥沙运移和水动力要素的定量数据时,更是如此。

一、潮汐汉道的概念

汉道——英文inlet,原意为入口,是把开敞海面和被陆地所包围的海湾、溺谷、泻湖或河口湾(即三角港)等水域连接起来的水道^[1]。美国陆军工程兵团M. P. Rice^[2]曾给汉道下过一个简单、明确的定义,即“一般所述的汉道,是连接海洋与泻湖、海湾或河口湾(estuaries)的水道(Channels)”。由此可见,汉道是水道的一种类型,而不连接海洋与泻湖、海湾或河口湾的水道,则不得称为汉道。在有潮海岸(如我国),这种汉道就是潮汐汉道。有些纳潮水域是由人工构造物围成,为人工型汉道。美国五大湖湖岸的一些港口通往港外湖面的水道,亦称inlet,但并非是潮流塑造而成,故不属潮汐汉道。狭义上的汉道仅指口门段的水道。

由潮流所塑造的深槽和水道有多种类型,如海岸和邻近岛屿之间的水道和岛间水道,这类水道在我国多岛屿的浙闽沿海比较多。浙江金塘水道就是其中之一。它的走向和形状受区域地质构造的控制,在金塘岛与北仑山之间宽仅3.1公里。由于地形的缩窄作用,流速增强,造成对海底的冲刷,形成并维持着这条深槽。另一种类型的潮汐水道是潮流脊间的深槽。我国江苏海岸外的琼港辐射状沙洲的各潮流脊间的水道,如黄沙洋水道和西大港水道即是。由于该处有丰富的碎屑沉积物,加上东海前进潮波系统和废黄河口外旋转潮波系统在那里相聚散,往复潮流的冲刷和泥沙侧向富集作用,形成了一系列水下沙脊和其间

早在1931年, O'Brien^[1]就发现, 纳潮量 P 和口门段平均海面下均衡过水面积 A 之间的关系, 具有简单的函数形式:

$$A = CP^n \quad (1)$$

他提出的第一个 $P-A$ 关系, 至今仍被广泛地引用。以后许多学者分别求出了各种自然和人工情况下的 $P-A$ 关系, 都证实了(1)式是正确的, 只是系数和幂数各有差异。O'Brien (1969)^[3]注意到口门导堤的有无对于 $P-A$ 关系的影响, 发现未加整治的汉道的均衡断面面积要比有导堤的汉道断面面积大些, 但相差不多。Jarrett (1976)^[6]就无导堤和单导堤、双导堤及不分有无导堤等三种组合, 用更多的汉道数据分别求出了 $P-A$ 的关系。结果表明在这三种情况中, 没有一种情况的 $P-A$ 关系与O'Brien (1931, 1969)原先的关系式有明显的差别, 尽管单导堤和无导堤的 $P-A$ 关系对美国的各段海岸来说稍有不同。Shigemura (1980)^[7]对于岸线曲折、沿岸泥沙运动量不大的港湾海岸的汉道进行了详细的研究, 认为对于基岩海岸的汉道来说, $P-A$ 关系仍取(1)式的形式, 关系相当密切。如按海湾的几何尺度与口门断面的几何尺度之比, 对各段不同海岸进行分级, 可以相当大地提高 $P-A$ 关系的可靠性。鉴于潮型的不同, Bruun (1978)^[8]采用了最大潮流量与过水面积的关系。

Escoffier (1940)^[9]认为, 对于某汉道来说, 存在着一个临界的断面积 A_* 。当汉道断面积 $A > A_*$ 时, 减小断面积将导致口门断面的平均最大流速 \hat{u} 的增加, 从而使断面积趋于扩大。而当 $A < A_*$ 时, 摩擦效应将逐渐变得重要, A 的减小将导致 \hat{u} 的减小, 从而使 A 进一步减小。前者是稳定的, 后者是不稳定的, 断面达到均衡时的断面平均流速随着横断面积的增加而增加。

Keulegan (1967)^[10]得出了一个非常重要的参数——饱满系数 (repletion coefficient) K 。 K 中包含着外海、口门及内侧海湾的各种重要参数, 因此成了判断汉道口门稳定性的很好的指标。他证明, 对于汉道口门来说, 存在着一个临界的饱满系数 K_* 。这个 K_* 对应着口门的最大平均流速。当 $K > K_*$ 时, 随着过水断面的减小, 流速增大, 水流冲刷能力加强, 断面积复又扩大。而当 $K < K_*$ 时, 则随着过水断面的减小, 流速亦减小, 从而使断面继续减小, 使汉道趋于封闭。 $K_* = 0.64$ 。

潮汐汉道在航运上的价值还必须考虑口门内外水道的稳定性。它们在地貌上和动力机制上与口门段密切相关。最近年来研究潮汐汉道的专著和论文常常把口门段内外的主水道包括在内。Vincent和Corson (1981)^[11]发现口门最窄处的断面积 A_c 是汉道诸参数中最有效的参数, 它可以用来推算诸如主水道的长度及最浅处的深度、退潮流三角洲的面积等。联系 $P-A$ 关系, 则可以说明, 纳潮量也是控制上述诸要素的决定性参数。Walton和Adams (1976)^[12]发现, 外坝体积和纳潮量同样呈幂数关系, 外坝体积随纳潮量的增加而增加, 在低能海岸比在高能海岸增加得快。

位于有沿岸泥沙流的海岸上的汉道是否会被泥沙封闭, 取决于两大因素, 即最大纳潮量 Ω 和沿岸泥沙运动总量 M 。前者起冲刷作用, 后者起淤积作用。Bruun和Gerritsen (1960)^[13]用 Ω/M 作为汉道全面稳定性的指标。Bruun (1967, 1973, 1978)^[15, 11, 8]后来又修改并完善了这个指标, 这个比值决定了外坝深度和发育程度, 外坝上水道的情况

及泥沙出口门附近转运的方式等。

三、中小潮汐河口是潮汐汉道的一个类型

潮汐汉道研究的早期,就把中小河口的河口湾(即三角港)包括在研究对象。O'Brien (1931, 1969)^[4, 5]提出的 $P-A$ 关系式所涉及到的美国太平洋沿岸汉道中,不少就是河口湾型汉道。因此,国外海洋工程学界和海洋地貌学界大多数学者早已认为三角港汉道是潮汐汉道的一种。由于地质构造的原因,或沿岸大量泥沙运动形成沙嘴或堡岛,外掩了河口湾水域,束窄口门,具有了明显的汉道形态。前者如福建省九龙河口,后者如美国大西洋沿岸及荷兰沿岸被堡岛所掩护的河口湾,因为这些河流的径流量远小于潮流量,且最大径流量(洪峰)只能维持较短的时间,故河口深槽的塑造受径流的影响并不显著,而主要受潮流的影响。因此, O'Brien (1969)^[5]明确指出,河口湾遵循与潮汐泻湖和海湾相同的 $P-A$ 关系。近年来,国外就中小河口径流量附加在河口湾水域的纳潮量之上会有什么影响,做了进一步的研究。

Escoffier和Walton (1979)^[14]考虑注入汉道内侧水域的径流量,用流体力学的方法提出了一个新的饱满系数,并且在无径流的情况下和Keulegan (1967)的结果作了比较,从而得出了临界的饱满系数 K_* ,并把结果应用于美国东海岸的两个有径流注入的汉道,得到与它们的历史趋势相一致的稳定性判断,并证明,有径流注入的汉道,其临界饱满系数 K_* 要比没有径流时小,说明径流的下泄有助于汉道口门的稳定。这显然是河流径流含沙量不很大,或泥沙堆积区距口门较远时的情况。

河口湾受河流径流的影响是随季节而变化的,当洪峰来临时,影响最大。Nelson和Keats (1980)^[17]对澳大利亚维多利亚州的 Borwon河口进行了长期研究,发现洪峰后的汉道过水断面面积 A 在很大程度上取决于最大洪峰流量,洪峰流量越大,则 A 越大(见图2)。图解表明,随着流量的增大,横断面积的取值范围减小,流量对口门的影响也增强。对于 Borwon河口汉道来说,当最大流量为250—300米³/秒时,径流开始起主导作用,此时汉道的横断面面积便只是淡水径流的函数,而和盛行的风浪及海岸水位的变化无关。但最大流量只是暂时的,在1975—1978年中,大于上述临界值的流量只不过3—4次,每次不过二天。一待洪峰过后,河口口门断面面积便恢复到与潮汐状况和盛行风浪相适应的大小。因此,决定有径流注入的汉道的长期稳定性的,仍是潮汐状况。

由于洪峰流量只是在短时期内起作用,甚至对于一些中等河口来说,它们的稳定性和口门断面面积也与无径流汉道的规律相似。如莱茵河-缪司河三角洲,自南至北有四个河口湾,即东Scheldt, Brouwershavense Gat, Haringvliet和鹿特丹水道。这四个河口的平均流量和平均涨潮量之比分别为0、0、0.25和0.53。Kreeke和Haring (1980)^[18]研究了这四条水道的稳定性问题。分析表明,在各河口湾的均衡过水面积 A_c 和最大潮流量 \hat{Q} 之间,存在着极好的线性相关:

$$A_c = 1.17\hat{Q} \quad (\text{米-秒制})$$

上式中的数据是在径流量 Q_r 与最大潮流量之比为0.0—0.23之间时取得的。作者认为,当

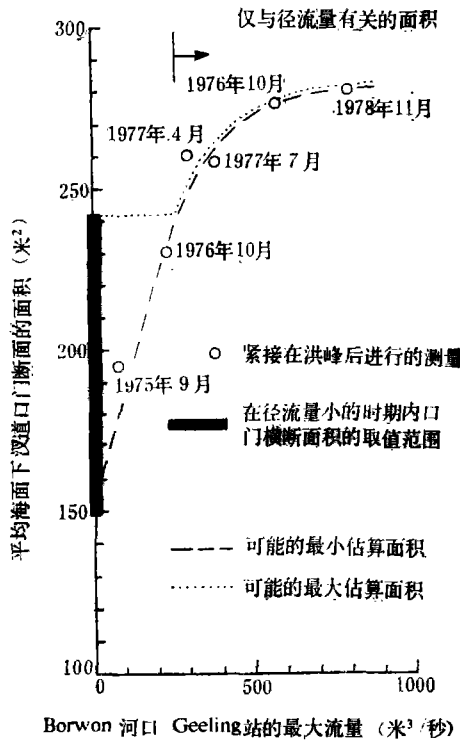


图2 澳大利亚Borwon河洪水径流对深道口门断面的影响
(据Nelson和Keats, 1980)

$Q_r/\hat{Q} < 0.25$ 时, Q_r/\hat{Q} 对于均衡过水断面的作用可以忽略。这是因淡水径流而增加的退潮冲刷能力, 被沿水底向上的梯度流所抑制的缘故。在大潮时, 河口湾深道口门的最大潮流流速和 Bruun (1973) [11] 所得到的无径流汉道的结果相同。

作者分析了1885—1958年鹿特丹水道口门横断面积的变化, 认为 Escoffier 所提出的无径流汉道图解, 可以用来满意地解释鹿特丹水道的过水断面的变化及其稳定性 (图3)。

1885年, 鹿特丹水道口门横断面积为3000米², 后来因口门的上游进行疏浚, 河槽容积增加, 故潮量及其冲刷能力亦增加, 口门横断面积逐渐扩大, 到1944年, 口门断面达到了新的均衡面积 (5600米²), 一直保持到1958年。由上述可知, 对于莱茵河这一中等河流的河口 (年平均径流量2200米³/秒) 来说, 增加口门内侧的纳潮量, 可以相当大地提高口门稳定状况, 其均衡断面亦随着纳潮量的增加而增加。又如西德的著名海港汉堡及不来梅, 分别位于易北河和威悉河河口段。这两条河的河口均作三角港形, 河口两侧为淤泥质海岸, 淤泥滩宽6—10公里。1901—1914年, 扩大汉堡港水域, 使进潮量增加, 把咸水界 (及最大淤积带) 推向上游, 潮差也增加了18厘米, 因而航道也得到改善 (W. Niebuhr 等 [12], 1961)。这些都是国外应用潮汐汉道理论整治河口海港的成功实例。

我国宁波港地处甬江口内, 原是我国天然良港之一。由于潮量、沙量和断面尺度相互适

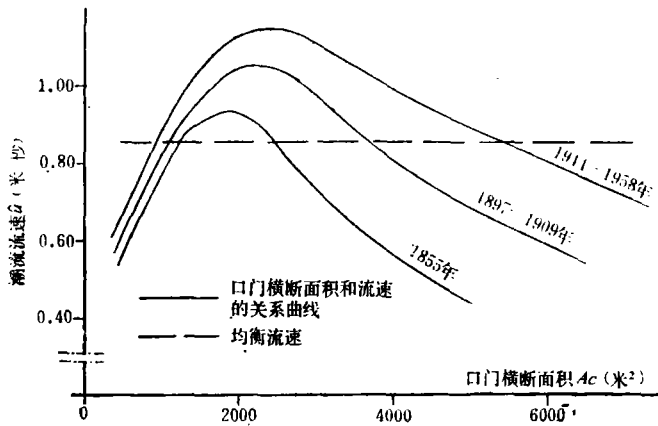


图3 鹿特丹水道口门的稳定性

(据Kreeke和Haring, 1980)

应，故航道基本稳定。落潮流速大于涨潮流速，涨潮时带进的沙量可在落潮时带出。洪峰时偶尔上冲下淤，经过一定时间后又会恢复平衡。1958年，在姚江建闸后，失去了姚江闸以上1400万米³的纳潮量，占原纳潮量的1/2以上。结果，潮波急剧变形，落潮时延长，涨潮时缩短，以致于涨、落潮流的强度完全颠倒过来，涨潮进沙量也大于落潮出沙量。于是，建闸后第一年猛淤了943万米³，第二年为192万米³，以后每年淤100万米³上下，航道中潮位以下平均水深，由原先的6.72米减至4.01米，大大破坏了甬江的通航能力¹⁾。

宁波港的情况与典型的无径流的海湾型汉道——厦门港相同。厦门港原为不淤的天然深水良港。自1956年以来，先后在内侧海湾内围了马銮、杏林和筭筭三大内湾和一些小湾，面积达72 000余亩，使纳潮面积至少缩小了1/3。结果使潮流速度比围前明显降低，厦鼓水道中的涨落潮流速度降低了0.5节。宝珠屿港域流速几乎减为0，而且明显地改变了余流方向。航道普遍淤浅了2米，有的地方竟淤浅了5米²⁾（图4）。

江苏省大部分海岸为淤泥质海岸，潮汐河口多为中小河口，涨潮流速大于落潮流速。建闸后，潮量减少，加之潮波急剧变形，涨潮流速更强，从而使涨潮时的输沙量大于退潮时的输沙量，故大部分挡潮闸闸下淤积比较严重。分析表明^[2,3]，在影响潮汐河口断面面积的诸因素中，退潮平均流量（包括径流量）是最主要的因素。据射阳河、浏河、甬江等河口建闸前后的河口断面的变化，以及灌河、飞云江的资料表明有如下关系式：

$$A = 3.84Q^{0.89}$$

其中A以米²计，Q以米³/秒计。上式表明，如要扩大河口断面，亦应按照潮汐汉道的整治原则，即以扩大潮量，加强潮流的冲刷能力为主。故纳潮冲淤是个比较好的办法。实践证明，引蓄的潮水随落潮流的下泄，从根本上改变了涨、落潮流强度的对比，延长了落潮流延时，增加了落潮流的挟沙能力。连续若干次纳潮冲淤不仅可使闸下河段淤积减轻，离闸

1) 林显钰，甬江淤积和姚江建闸存废问题的探讨，1981。

2) 谢在团，厦门海岸带资源的开发和保护问题，1981。

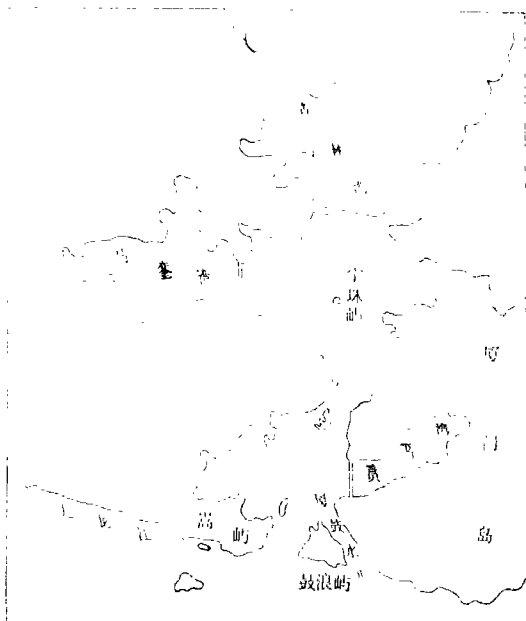


图4 厦门港潮汐汉道示意图

较远处的河槽、河宽也有所扩大。

由上所述可见，一般中小河口湾遵循着与无径流汉道相同的规律，即它的稳定性及动态均受潮量的大小和变化所决定。因此，它的整治原则亦与海湾或泻湖型的汉道相同。这些河口特别是那些口门狭窄、内侧有广阔纳潮水域的河口湾，是潮汐汉道的一个类型。河口湾型潮汐汉道有一个临界的径流量，当径流量大于这个临界值时，则主要受潮量的控制，此时径流的影响为沿水底而上的梯度流所抵销。这正是河口湾型潮汐汉道有别于海湾型潮汐汉道的特征。各河口的临界径流量的大小亦与纳潮量的大小有关。

四、海岸动力地貌研究在潮汐汉道整治中的意义

由于沿岸泥沙流数量(即 M 值，或沿岸泥沙体积)往往难以准确测定，目前应用的一些公式都是近似的，精度相对较低。因此，把沿岸泥沙流数量引入判据是难以处理的。而且汉道的封闭主要出现在风暴时，如我国华南的一个汉道，在一次台风后即被封闭，所以汉道的封闭应主要取决于风暴时的状况。O'Brien (1980) [21]指出，用平均数值，如年平均潮差下的纳潮量，或全年的(或季节的)平均波浪强度，来判断汉道是否会封闭，都不可靠。因为它们不能代表汉道封闭时海洋动力的实际情况，所以他建议用风暴时的封闭系数 M 来判断汉道在风暴时是否会被封闭。

事实上，由于风暴时的波浪强度等参数往往难以准确测定，而且我国许多汉道并非都有长期的(包括风暴时期)泥沙流、波浪和潮汐的实测资料，因此，单纯用公式计算来判断我国潮汐汉道是否能够利用，或提出整治方案，是有困难的。海岸带地貌(包括沉积物

是海岸带泥沙供给和各种动力参数综合作用的结果，反映它们的多年平均状况，在水文、泥沙参数尚不齐备时，也可以根据海岸动力地貌（及沉积物）标志，来判断一个汉道的通航可能性。但在实际工作中必须注意：应该用多种地貌和沉积物标志加以综合分析研究，避免用单一标志或少数标志轻率作出结论。例如，滨岸沙堤，特别是河流三角洲附近的滨岸沙堤，是否仅指示海岸带泥沙的横向运动，单纯只凭沙堤表面形态，是不能轻率作结论的，必须结合沉积学、海岸水文资料来综合分析，以判别是否有沿岸纵向的泥沙运动，参与沙堤的建造。当然，在评价汉道的通航价值及拟定整治方案时，最好应有该区沿岸泥沙流测量的数据。事实已经证明，单纯凭地貌形态所作的结论，往往不符合实际情况，如汕头港就是一例。

我们认为，海岸地貌标志应包括下列内容：（1）沿岸流方向；（2）泥沙来源；（3）海岸地貌的发育过程，特别是堆积地貌的发育过程；（4）海岸带沉积物特征；（5）汉道口门内外水下地形的分析；（6）与邻近地区其他潮汐汉道的比较。只有综合考虑了上述各个因素，所得结论才比较可靠。以华南某港（以下简称甲港）为例。这里沿岸流主要指向西南，附近一些小河供给海岸带以砂质沉积物。港区附近海岸有较高的滨海沙堤。其物质显然来自入海的小河。汉道口门外的一侧有较长的沙嘴，伸入海中。这些地貌表明，这里海岸带的砂质沉积物供应是比较丰富的。如在几百年前，从海岸至岸外的一个岩岛间，已堆积了一个连岛沙嘴（方向大致与海岸垂直），小河在连岛沙嘴以东入海，故河流泥沙对汉道地区的供给，已被切断。这从汉道地区的一些地貌标志可以看出来：第一，这里的滨海沙堤已从继续堆积，而变为受波浪侵蚀，不断后退，沙堤的向海一侧已有不高的浪蚀陡坎，这反映当地海岸带物质供应的不足。第二，汉道口门外的沙嘴形态比较特殊。一般海岸沙嘴，其顶端均向岸弯曲，为内弯沙嘴（recurved spit），反映潮流和波浪搬运物质指向海岸；但这里的沙嘴的顶端却不向汉道口门以内的方向弯曲，而向口门以外的方向弯曲（图5），可称为外弯沙嘴。这明显地表明，由于这里物质供给不足，并且从口门出来的落潮流势力较强（该汉道落潮流流速大于涨潮流），因而形成这种独特的外弯沙嘴。汉道口门的海底表层沉积物为粗砂、细砾和贝壳，也指明口门的潮流是较强的。汉道口门外有一个水下沙坝，由于落潮流很强，水下沙坝的位置离口门较远，水下沙坝顶上的水深也较大，不妨碍船只进出汉道。因此，该港虽缺乏长期的水文、泥沙测量数据，但根据上述现象综合分析可以判断，该港附近泥沙流数量很小，落潮流势力较强，而且落潮流

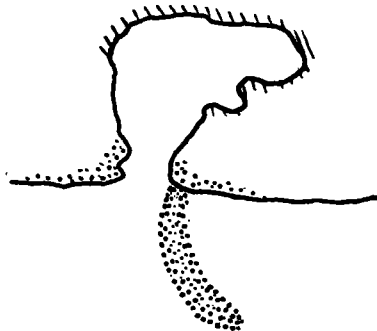


图5 外弯沙嘴示意图

流速大于涨潮流, 口门以内并有一定的纳潮水域, 这些都符合汊道利用的条件。与该港东面不远处另一个汊道进行比较研究, 发现两港的海岸地貌及水文、泥沙条件虽大致相同; 但东面的汊道(以下简称乙港)缺乏一个拦阻泥沙的连岛沙嘴, 故乙港东北侧入海小河的泥沙源源运到乙港汊道口门, 堆积成巨大的内弯沙嘴。过去, 为利用乙港, 曾在该内弯沙嘴中部人工开挖一条水道, 通入港内, 但一次台风后, 即被全部淤死, 从甲、乙两港的综合比较更明显地看出, 前者可以开发利用, 而后者则否。自甲港根据作者的建议利用以来, 直至1981年, 汊道水深基本没有变化, 反而略有刷深(由于人工建筑物等原因)。由此可见, 在缺乏完善的水文、泥沙实测数据时, 应用海岸动力地貌(包括沉积物)多种标志进行细致、认真的综合分析, 对潮汐汊道的利用、整治, 可以作出有益的贡献。

参 考 文 献

- [1] 任美铎、张忍顺、曹琼英、陈万里, 全国海岸带和海涂资源综合调查, 海岸工程学术会议论文集, 海洋出版社, 1980, 331—340.
- [2] Rice, M.P., *Shore and Beach*, 42(1974), 15—20.
- [3] Sorensen, R.M., *Proc.17th Int.Coastal Engrg.*, ASCE, 3(1980), 2565—2580.
- [4] O'Brien, M.P., *Civil Engineering*, 1(1931), 8, 738—739.
- [5] O'Brien, M.P., *Jour.Waterways and Harbors Div.*, ASCE, 95(1969), WWI, 43—52.
- [6] Jarrett, J.T., *Tidal Prism-Inlet Area Relationships*, 1976, GIT13.
- [7] Shigemura, T., *Shore and Beach*, 48(1980), 3, 30—35.
- [8] Bruun, P., *Stability of Tidal Inlets, Theory and Engineering*, Elsevier Scientific Pub. Co. 1978, 510.
- [9] Escoffier, E.F., *Hydraulics and Stability of Tidal Inlets*, 1977, GIT113.
- [10] Keulegan, G.H., *Tidal Flow in Entrances, Water-Level Fluctuations of Basins in Communication with the Sea*, *Tech.Bulletin*, NO. 14, 1961, Committee on Tidal Hydraulics, Corps of Engineers.
- [11] Vincent, C.L. and Corson, W.D., *Jour.of the Waterways Port Coastal and Ocean Division*, 1981, WWI, 1—9.
- [12] Walto, T.L. and William, D.A., *Proc.of the 15th Coastal Engineering Conference*, 2(1976), 1919—1937.
- [13] Bruun, P. et al., *Stability of Coastal Inlets*, 1960, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- [14] Bruun, P., *Port Engineering*, 1973, Gulf Publishing Co.
- [15] Bruun, P. et al., *Jour.of the Waterways, Harbors Division*, 93(WW2), 1967, 101—128.
- [16] Escoffier, E.F. and Walton, T.L., *Jour.Waterways, Port, Coastal and Ocean Div.*, ASCE, 105(1979), 4, 341—355.
- [17] Nelson R.C. and Keats, A.J., *Proc.17th Conference on Coastal Engrg.*, ASCE, 3 (1980), 2534—2549.
- [18] Van De Kreeke, J. and Haring, J., 1980, *Proc.17th Conference on Coastal Engrg.*, ASCE, 3 (1980), 2627—2639.
- [19] Niebuhr, W. et al., *20th Int. Navigation Congress*, Baltimore, set.11, 1961, 1—36.
- [20] 罗肇森、顾佩玉, 河流泥沙国际学术讨论文集, 第一卷, 光华出版社, 1980, 477—484.
- [21] O'Brien, M.P., *Proc.17th Conference on Coastal Engrg.*, ASCE, 3(1980), 2504—2516.