

河口沙量平衡方程及其应用*

赵 知 梅
(华东水利学院)

本文从河口泥沙特征、潮流搬运过程出发,提出一个年周期的沙量平衡方程,并应用于江苏灌河口盐东控制工程挡潮闸闸下淤积估算。预报的闸下淤积量和嗣后工程建成并运行一周年后,天然原型实际淤积量相差不超过10%¹⁾。本文提出的沙量平衡方程可用于国内一些类似的中、小河口的河床预测问题。

一、河口泥沙特征及潮流挟沙关系

河口区河床演变是潮流和可变形河床相互作用的结果。采用物理模型来研究这种相互作用受到许多限制,且花费人力、物力较大。在河床演变计算中,通常总是先从初始床面上算出一个潮流的流速场,然后把潮流和河床的作用,用一个潮流挟沙关系来体现,进行地形修改,并新的地形上再作潮流计算,如此反复进行直到计算时段结束为止。

可见,河口冲淤计算中一个十分重要的问题,就是根据河口泥沙特征建立一个符合客观规律的挟沙关系。

河口区泥沙一般较细,属于淤泥、粘土类型,有粘性。当然也挟有少量粉沙及有机质。从收集到的资料来看, d_{50} 多数在60微米以下(见表1)。

表1 国内几个河口泥沙特征

名 称	d_{50} (毫 米)	备 注
灌河口	0.02—0.04	新沂河行洪时明显变粗
射阳河	0.02	
甬 江	0.016—0.02	杭州湾 $d_{50} = 0.02$ 吴淞以下
钱塘江	0.02—0.05	
长江口	0.03	

粘性细粒在河口微碱环境中常呈絮凝沉降。絮凝尺度难以直接测定。作者和我院同学曾经做过对比试验,即用同一方法分别在清水和盐水中测其粒配曲线。发现粒径愈细絮凝愈明显(见图1)。

* 参加本工作的有李素琼、曾焕阳、邵倩华同志。施成熙教授对本文提过宝贵意见。淮阴水利局和宁波建港指挥部提供有关资料,均此致谢。

本刊编辑部收到稿件日期: 1979年6月18日。

1) 盐东工程闸下预估(南京水利科学研究所水利水运科技情报, 1976年1期)。

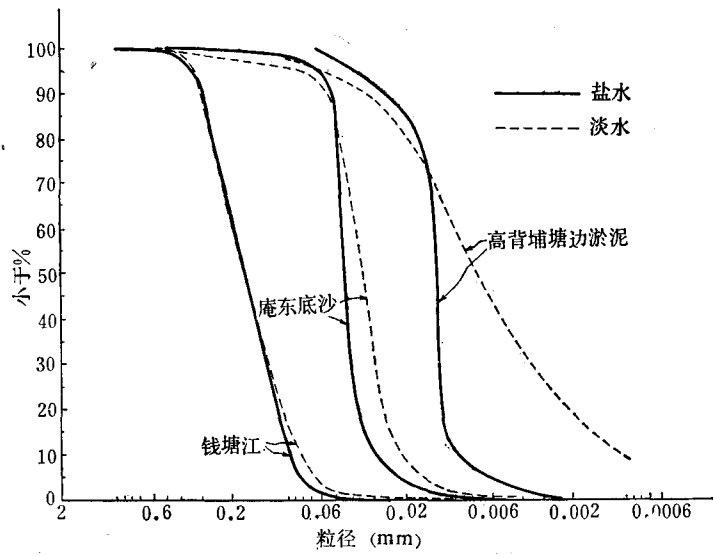


图1 粘性细粒絮凝效应

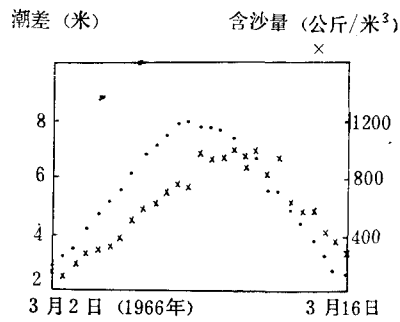


图2 Humber 河口连续半个月内潮差和含沙量变化

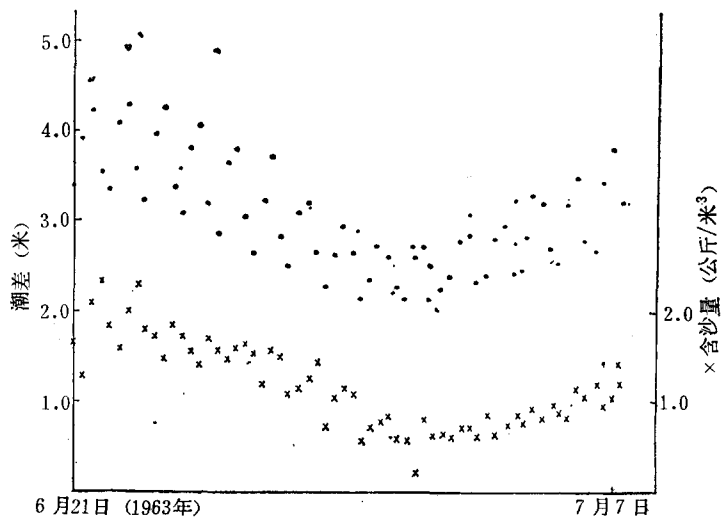


图3 灌河陈港连续潮差和含沙量变化

对于这种粘性细粒的挟沙关系，并不完全取决于当时潮流强度。例如图 2 和图 3 所示的资料来看，图 2 沙峰明显滞后于最大潮差^[2]，图 3 表明最低沙量落后于最小潮差。两者都说明沙量和潮流强度之间有一定相位差。作者根据沙量变化的这一特点，提出一个前期含沙量因子，可以改善潮流挟沙关系。通过灌河及甬江现场测量资料得出这种关系的形式为：

$$\rho_f \sim \rho_e'^a \nabla_f^b h_f^c$$

或

$$\rho_e \sim \rho_f'^a \nabla_e^b h_e^c$$

式中 ρ , ∇ , h 分别代表含沙量、潮流平均流速和平均水深。 f 脚注代表涨潮半个潮周期内平均值， e 代表落潮半个潮周期平均值。 ρ' 代表前期含沙量，例如某次涨潮的前期含沙量就是紧接这次涨潮的上一个潮的落潮平均含沙量。 a, b, c 等系数需用统计回归根据实测资料求得^[1]。图 4 及图 5 示出了灌河和甬江的挟沙规律(图 5 中 R 为水力半径)。

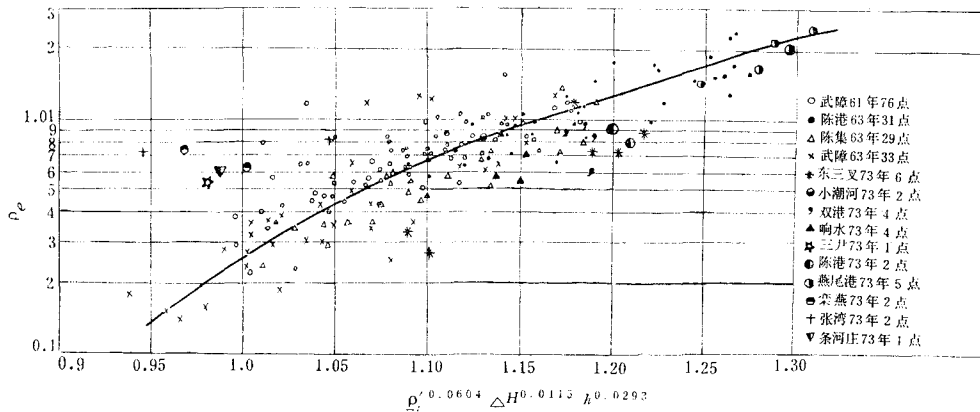


图 4 灌河汛期落潮含沙量与水力因素关系

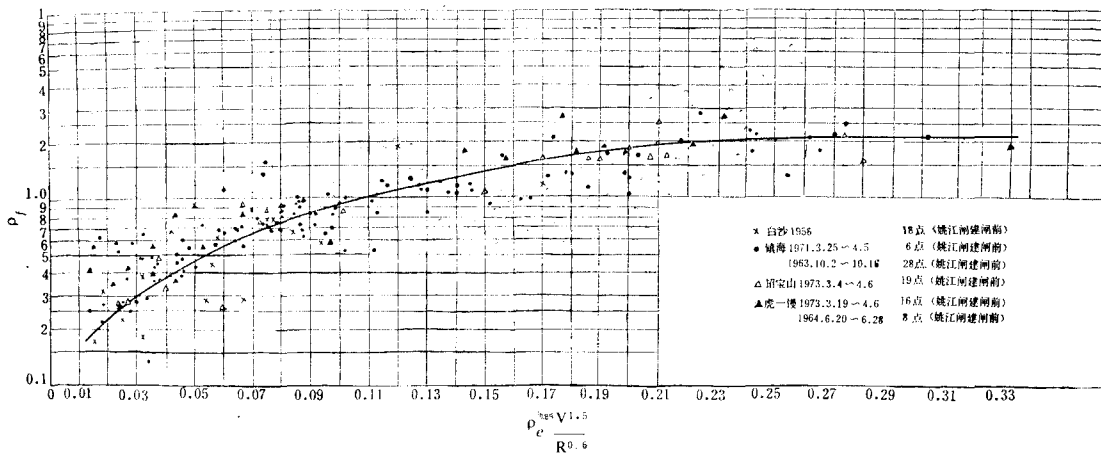


图 5 甬江涨潮含沙量和水力因素关系

二、潮流搬运过程和沙量平衡方程

在天然河床上就是定床的潮流计算也是不易算准的。因此,我们从潮流搬运过程特点出发,提出一个沙量平衡估算方法。

河口区的粘性细粒以悬浮形式为主,在一个潮周期内也和潮流一样具有往复搬运性质,称为周日搬运。这种搬运过程在河床变化上的反映,难以直接验证。河口泥沙搬运,除上述周日搬运外,在一个水文年度内还由于汛期上游来水来沙丰富,有向下搬运趋势;枯季外海潮流倒灌势力较强,有向上搬运趋势的年周期搬运过程。反映在河床变化上,汛期上冲下淤,枯季下冲上淤。且易在年内定期汛、枯季测量中得到反映。图6是甬江宁波(1号断面)到镇海(45号)段内汛、枯季定期测量结果。最上面一个图是以1963年5月河床为基准,到同年10月汛末河床上冲下淤情况;中间一个图以1963年10月为基准,到翌年5月枯末回淤情况;最下面一个图是一个水文年度后的净冲淤状况。可见净的冲淤量并不很大。

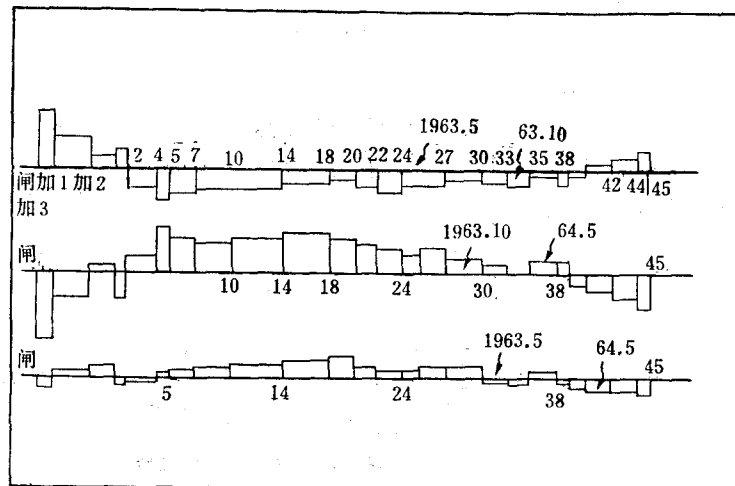


图6 甬江宁波-镇海段水文年度内冲淤变化

表2 灌河口各河段槽容积比较(2米水位以下)

河 段	1955年6月测量(万方)	1973年6月测量(万方)
义泽—东三汉	352.6	482
龙沟—东三汉	129.0	184
武障—东三汉	448.1	500.9
东三汉—小潮河	1109.1	1131.4
小潮河—响水	1668.2	1784.8
响水—双港	2567.8	2446.3
双港—陈港	4361.9	4244.5
陈港—燕尾港	4848.0	4659.5
总 计	15504.6	15483.1

灌河口无这种定期测量结果,但是在 1955 年 6 月到 1973 年 6 月的两次测量来看,18 年来河口区基本容积(2 米水位下)并无多大变化(见表 2)。可见这种周年冲淤平衡关系是客观存在的。

这里根据这种周年搬运特征,提出一个以年为周期的、经过河口某一控制断面的沙量平衡方程如下(见图 7):

$$\left(\sum_{i=1}^{N_1+N_2} Q_i\right) \bar{\rho}_c' + \left(\sum_{i=1}^{2N_1} W_i'\right) (\bar{\rho}_c' - \bar{\rho}_f') = \sum_{i=1}^{N_1+N_2} G_i + \left(\sum_{i=1}^{2N_2} W_i''\right) (\bar{\rho}_f'' - \bar{\rho}_c'') \pm G_s$$

式中 N_1, N_2 分别为全年汛、枯季天数, $N_1 + N_2 = 365$ 天。 $\sum_{i=1}^{N_1+N_2} Q_i$ 为全年下泄河水总量。 $\sum_{i=1}^{2N_1} W_i'$, $\sum_{i=1}^{2N_2} W_i''$ 分别为汛期和枯季逐潮累积进潮量。 $\bar{\rho}_f'$, $\bar{\rho}_c'$ 为汛期涨、落潮季平均含沙量, $\bar{\rho}_f''$, $\bar{\rho}_c''$ 为枯季相应涨、落潮季平均含沙量。 $\sum_{i=1}^{N_1+N_2} G_i$ 为流域全年产沙量, G_s 为河床全年冲淤量。

沙量平衡方程表明,方程左边所代表的汛期下泄沙量加上汛期倒灌累积潮量所带走的泥沙,如果超过右边流域产沙及枯季回淤的话,河床就有所冲刷,相反就会淤积。所以 G_s 正号代表冲,负号代表淤。

以上是指图 7 中断面 I-I 以上的河床变化而言的。诚然,没有明确具体发生冲淤的部位。如果计算图 7 中 I-I 断面到 II-II 断面的冲淤量,只要分别对上述两个断面各应用一次沙量平衡方程然后相减即可。

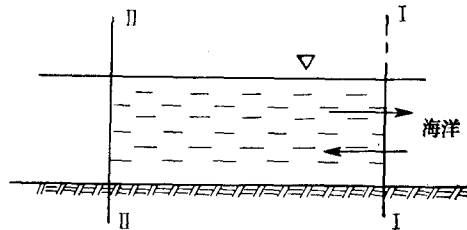


图 7 河口控制断面示意图

三、灌河盐东控制工程和冲淤估算简介

苏北灌河属淮河水系,流域面积在陈港以上约 6 千平方公里。上游有 4 条支流,并有盐河(运河)与其垂直相交。由于各支流潮水在盐河交会,1973 年踏勘时,盐河在各支流间河段已淤塞,和地面相平。淮阴水利局为拦蓄灌溉用水、抵制盐水倒灌、提高河槽滞洪排涝能力并重开盐河航运,计划在上游各支流沿盐河东侧兴建一系列挡潮闸,此即称为盐东控制工程(见图 8)。

考虑到潮汐河口建闸后常在闸下造成淤积,影响出口航道,恶化和阻碍汛期排涝能力。为此委托我院进行闸下淤积预估计算。这里仅将沙量平衡方程的应用简要说明几点如下:

1. 控制断面选择在陈港,因为这里资料较多,方程中的各种参数容易确定,所以预估

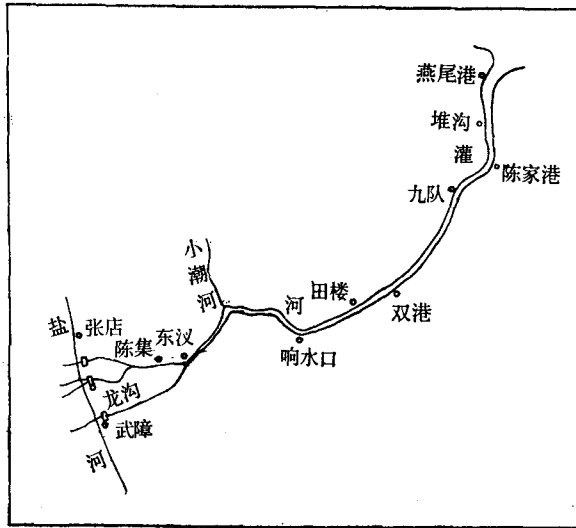


图 8 灌河口盐东控制工程草图

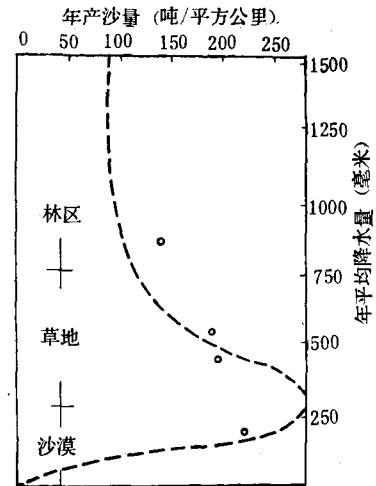


图 9 年产沙量与年平均雨量关系

数字是陈港到闸下淤积量。

2. 沙量平衡中 N_1 , N_2 天数, 在建闸后的应用中, 开闸相当于汛期, 关闸相当于枯季。

3. 开闸时总是排泄上游来水、来沙, 所以原来汛期的一切参数, 比如汛期进潮量、汛期涨、落潮平均含沙量, 均可移用于开闸情形。至于关闸时一切数据, 须根据关闸情形下, 先作水流计算, 然后根据水流计算结果再来寻求关闸情形下一切数据。在陈港情形下, 由于陈港离盐东控制工程尚有 60 公里, 水力计算表明关闸时倒灌潮量与枯季潮量并无多大改变, 所以也可用枯季一切参数作为关闸情形下的数据。

4. 流域产沙与建闸与否无关, 仅与地面土壤、植被、降水情况有关。但此项难以确定。在没有资料情形下, 可以参照图 9 求得^[3]。因为根据对灌河实测资料, 用沙量平衡方程反推得出的与用图 9 计算得出的相差不超过 10%。

四、原型验证结果

1976 年冬, 盐东工程以本文冲淤估算为部分依据正式动工。1977 年 4 月先建成武障闸, 至 1978 年 4 月运行一周年后, 淮阴水利局为验证本方法预估冲淤量的正确程度, 自闸下至东三汉 12 公里内复测了 1973 年设置并测量过的 17 个固定断面地形, 与 1973 年比较, 得出建闸后闸下年淤积量为 80 万方, 和作者估算的 72 万方 (整个盐东工程是 215.7 万方, 因武障占三分之一), 十分接近 (实测断面比较见图 10, 淤积量计算见表 3)。自东三汉以下断面并无变化, 这也可从最后一个断面上看出。

值得指出的是, 沙量平衡算出第二年后淤积量是指清除上年陈淤后的淤积量。今没有进行机械清淤, 而让水流自然冲刷, 对今后各年淤积趋势的估计, 可以参考甬江的例子。甬江姚江建闸后各年淤积状况见表 4。

表 3 灌河武障闸闸下淤积计算

断 面 号	断面积变化(米 ²)	断面间距(米)	淤积量(米 ³)
0+900	0	500	14375
1+400	57.5	500	30625
1+900	65	1000	77965
2+900	90	1000	88750
3+900	87.5	1000	86250
4+900	85	1022	81760
5+922	75	978	64793
6+900	57.5	1000	62500
7+900	67.5	1000	72500
8+900	77.5	500	76250
9+900	75	500	21250
10+400	10	500	-3125
10+900	-22.5	500	23750
11+400	117.5	301	18060
11+701	2.5	99	9244
11+900	90	401	18045
12+361	0	总 计	742952

备注: 0+000 到 0+9000 原河道因建闸时另辟新河, 该段淤积如估计在内, 据淮阴水利局估算闸下淤积为 80 万米³。

表 4 甬江姚江建闸后闸下逐年淤积状况

建闸后年份	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
年淤积量(万米 ³)	943	192	132	131	81	171	63	79	81	32

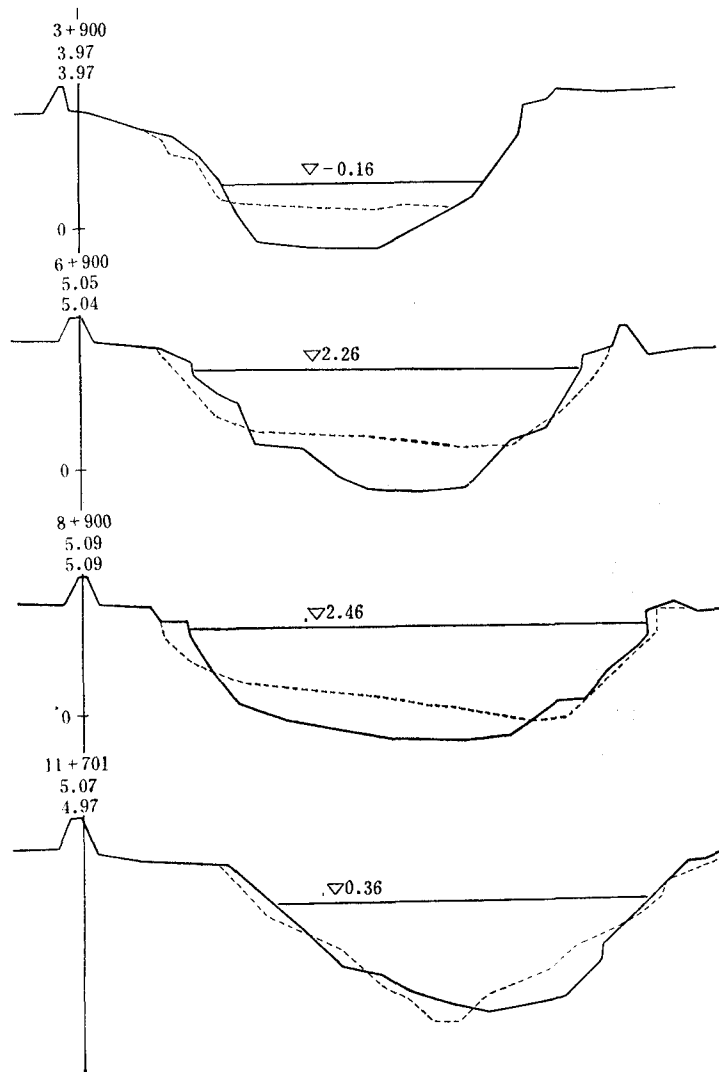


图 10 建闸前后断面变化图

武障河(盐河至东三汉)横断面图 比例: 纵 1:1000

——1973年6月测量断面

横 1:200

- - - 1978年4月测量断面

五、结 语

沙量平衡方程适用于河流型中、小型河口。未能预报出河床内部细节变化。且须有一定实测资料。我国一些主要河口解放后都已累积一定的资料。某些缺乏资料的河口,在应用这一方法时,无疑需要补充一些测量工作。作者认为:应用沙量平衡模式可以有计划地进行资料收集工作,能避免收集资料中的浪费现象。从作者接触到的河口资料来看,普遍的缺点是枯季资料测量较少,望能引起重视,因枯季回淤是一个重要现象。

参 考 文 献

- [1] 复旦大学数学系主编, 1961。统计数学, 上海科学技术出版社。215—222 页。
[2] Mepowell, D. M. and B. A. O'Connor, 1977. Hydraulic Behavior of Estuaries. pp. 8—12.
[3] Ray, K. Linsley, Jr. et al., 1975. Hydrology for Engineers. (Second edition) pp. 408—411.

A SEDIMENT BUDGET EQUATION AND IT'S APPLICATION IN ESTUARY

Zhao Zhimei

(*East China Hydrology Institute*)

ABSTRACT

A sediment budget equation of an estuary for a hydrological cycle is presented by analyzing the reversing tidal current, sediment transport and the seasonal change of bed level in estuaries.

The established sediment budget equation was used to predict the deposit volume after the closure of the Guanhe River mouth by barrier, which is in agreement with observation in prototype. The relative error was not greater than 10%, illustrating that the equation of sediment balance is correct and the parameters chosen in calculating the model are also true. This method can be applied to estimate the sedimentation in river like estuaries.