

## 鄱阳湖淤积量计算方法的探讨

曹统照\*

(江西省交通规划勘察设计院, 南昌)

**提要** 本文应用极限淤积量的概念, 并引进拦沙效率系数与极限淤积容积剩余率系数, 导出了吞吐型过水湖泊或水库的淤积量计算方程式。用此方程对鄱阳湖淤积量进行计算, 其结果与实测值接近, 证明本方法是可行的。

鄱阳湖水位 21m 时, 水面面积达 3900km<sup>2</sup>, 而在低水位时(1963 年), 则仅 30km<sup>2</sup>。该湖是一个吞吐型的过水湖泊, 洪水期起调洪作用, 水位主要随长江水位的变化而变化。它

接纳了赣江、抚河、信江、饶河、修水等河流(图 1) 及其区间入汇的水量和泥沙量。本文主要对该湖淤积量的计算方法进行了探讨, 并定量论述了湖区淤积情况, 但不涉及长江泥沙的倒灌与异重流<sup>[3]</sup>的潜入等。

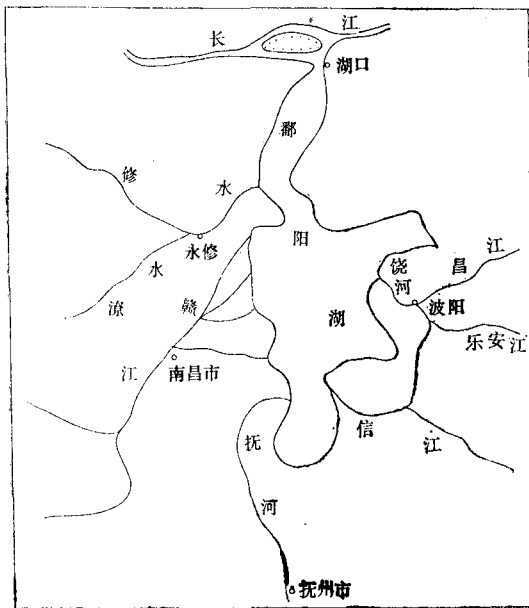


图 1 鄱阳湖水系示意

### 一、计算方法

鄱阳湖与湖泊形的水库相似, 故两者泥沙淤积规律相同, 因此, 两者淤积量的计算方法亦相同<sup>1,2)</sup>。

#### 1. 根据实测资料分析淤积量的年均值

沙量平衡方程式为:

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad (1)$$

式中  $\Delta W$  为鄱阳湖淤积量年均值 (10<sup>4</sup>t);  $W_1$  为五河及其区间输入沙量的年均值 (10<sup>4</sup>t);  $W_2$  为湖口站输出沙量的年均值 (10<sup>4</sup>t)。

(1) 来沙量年均值  $W_1$  的推求 根据国家水文年鉴(鄱阳湖区)约 30 年资料<sup>3)</sup>的统

\* 作者现在长江航道局研究所(武汉)。

收稿日期: 1985 年 1 月 15 日。

1) 曹统照, 1982。一种水库淤积量计算方法的探讨。江西水利科技 4: 22—28。

2) 曹统照等, 1973。黄河中游无定河干流王圪堵大型水库的淤积计算(设计), (黄河水利委员会勘测规划设计院)王圪堵水库设计说明书 1: 2。

3) 在这些资料中, 有丰水丰沙年、丰水中沙年、枯水少沙年、平水中沙年等, 概括了各种水情、沙情的组合, 所以, 这些资料具有较好的代表性。

计, 五河来沙量的年均值<sup>1)</sup>(指进入鄱阳湖的悬移质泥沙量)为  $W'_1 = 1720(10^4t)$ 。在没有水文测站的区间流域面上, 一般有两种估算来沙量的方法: A. 根据流域侵蚀模数等值线(侵蚀模数分区); B. 没有资料的地区, 可按流域面积比例法计算, 于是

$$W''_1 = 300(10^4t)$$

故

$$W_1 = W'_1 + W''_1 = 2020(10^4t)。$$

(2) 输出沙量年均值的推求 按湖口水文站历年输沙量进行统计得

$$W_2 = 1070(10^4t),$$

于是

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 950(10^4t)。$$

## 2. 分析不同时期来沙量年均值的变化

鄱阳湖区的来沙量, 约有 70% 来自赣江, 30% 来自抚、信、饶、修四条河。1958—1968 年、1969—1979 年两个系列的实测来沙量年均值的统计结果(表 1)表明, 以上四河流域的水土流失已在恶化<sup>2)</sup>, 来沙量有明显的增长。

表 1 五河来沙量及产沙模数增长情况统计

河流 测站名	沙量的年均值 $W_{s0}(10^4t)$		年产沙模数 $M_0(t/a \cdot km^2)$		年来沙量 净增值 ( $10^4t$ )	年来沙量 增长比例 (%)	年产沙模数 增长值 ( $t/a \cdot km^2$ )
	1958—1968 年	1969—1979 年	1958—1968 年	1969—1979 年			
赣江(外洲)	1110	1190	142	152	80	7.2	10
抚河(李家渡)	110	160	70	101	50	45.5	31
信江(梅港)	200	290	129	187	90	45.0	58
饶河(虎山)	40	60	63	94	20	50.0	31
修水(拓林)	90	150	95	158	60	66.7	63
潦水*(万家埠)	20	60	56	169	40	200.0	113
累计	1570	1910					

\* 潦水为修水的支流, 其河口控制站万家埠, 位于修水控制站(拓林)之下游, 汇入修水, 故修水汇入鄱阳湖的水量、沙量需加入潦水的来水量和来沙量。

## 3. 建立淤积量计算方程式

图 2 是吞吐型过水湖泊或水库淤积量累积曲线, 其表达式为  $W_t = f(t)$ 。在单位时间内湖区的淤积量等于此时上游来沙量扣除排出的泥沙量, 如下式

$$\frac{W_t}{t} = \beta G_t \quad (2)$$

式中,  $\beta$  为湖区的拦沙效率系数, 其值从 1 变到 0;  $G_t$  为上游来沙量 ( $10^4t/a$ );  $W_t$  为在  $t$  年内, 湖区的累积淤积量 ( $10^4t$  或  $10^4 m^3$ );  $t$  为淤积年限(a)。由式(2)可得

$$W_t = \beta G_t t \quad (3)$$

而

$$W_t + \Delta W_t = \beta G_t t + \beta G_t \Delta t \quad (4)$$

1) 五河的推移质泥沙<sup>2)</sup>, 绝大部分堆积于下游河槽内及河口区(这里流速较小), 进入鄱阳湖区的很少, 故略去。

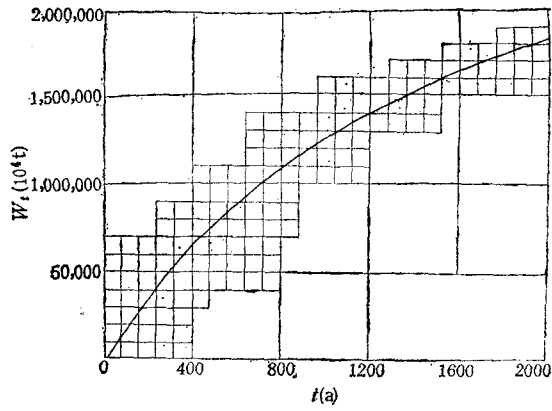


图2 鄱阳湖湖区淤积量累积曲线

式(4)与式(3)相减得

$$\Delta W_t = \beta G_s \Delta t \tag{5}$$

当  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W_t}{\Delta t} = \frac{dW_t}{dt} = \beta G_s,$

于是

$$dW_t = \beta G_s dt \tag{6}$$

依据极限淤积量概念<sup>[2]</sup>,对实测资料进行分析,可以建立吞吐型过水湖泊拦沙效率系数  $\beta$  与极限淤积容积剩余率  $\frac{W_k - W_t}{W_k}$  之间的相关关系(图3)。

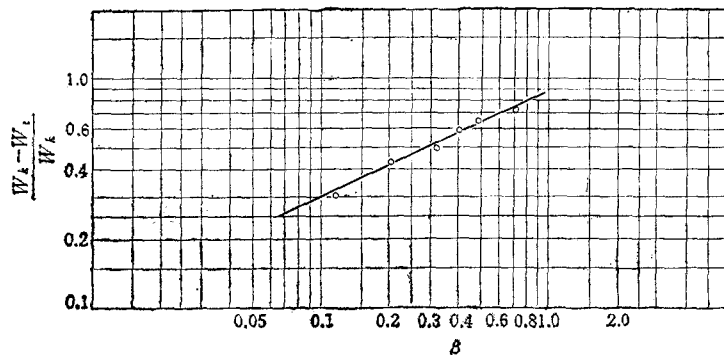


图3 鄱阳湖的  $\beta$  与  $\frac{W_k - W_t}{W_k}$  相关关系

由图3可以建立下列关系式:

$$\beta = K \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right)^m \tag{7}$$

当初始条件  $t = 0, W_t = 0$  时,代入式(7)得

$$\beta = K \left( \frac{W_k - 0}{W_k} \right)^m = K = 1$$

于是

$$\beta = \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right)^m \quad (8)$$

将式(8)代入式(6)可得

$$dW_t = \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right)^m G_s dt \quad (9)$$

式(9)为本文推导的吞吐型过水湖泊或水库的输沙平衡微分方程式, 此式在以下四种条件下的积分求解方法是:

(1) 当上游来沙量基本稳定, 即流域的植被较好, 长期内土壤侵蚀较轻微时, 来沙量接近常值,  $m \approx 1$  时,  $W_k$  是常量, 对式(9)积分则

$$\int -\frac{d(W_k - W_t)}{(W_k - W_t)^m} = \int \frac{G_s dt}{W_k^m} - \frac{(W_k - W_t)^{1-m}}{1-m} = \frac{G_s t}{W_k^m} + C \quad (10)$$

当初始条件  $t = 0, W_t = 0$  时, 则

$$C = -\left( \frac{W_k^{1-m}}{1-m} \right)$$

将  $C$  值代入式(10)整理后得

$$W_t = W_k \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{G_s t (1-m)}{W_k} \right]^{\frac{1}{1-m}} \right\} \quad (11)$$

(2) 当上游来沙量基本稳定(接近常量),  $m = 1$  时, 根据式(9)则

$$dW_t = \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right) G_s dt \quad (12)$$

对式(12)进行积分后经过整理得

$$W_t = W_k \left( 1 - e^{-\frac{G_s t}{W_k}} \right) \quad (13)$$

式(11), (13)中,  $W_t$  为  $t$  年湖区的累积淤积量 ( $10^4 t$  或  $10^4 m^3$ );  $W_k$  为湖区淤积发展到总库容基本淤满(除河槽外)形成平衡比降时的极限淤积量 ( $10^4 t$  或  $10^4 m^3$ );  $t$  为湖泊或水库淤积年限 (a)。

(3) 当上游有拦沙工程, 并起拦沙作用时<sup>[4,5]</sup>, 来沙量为变量,  $m \approx 1$ , 于是式(9)变成

$$dW_t = \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right)^m G_{si} dt \quad (14)$$

$W_k$  是常量, 对式(14)积分后经过整理得

$$W_t = W_k \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{W_k - W_{t_i}}{W_k} \right)^{1-m} + \frac{G_{si}(t - t_i)(1-m)}{W_k} \right]^{\frac{1}{1-m}} \right\} \quad (15)$$

(4) 当上游有拦沙工程, 并起拦沙作用时<sup>[4,5]</sup>, 来沙量为变量,  $m = 1$ , 于是式(9)变成

$$dW_t = \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right) G_{si} dt \quad (16)$$

$W_k$  是常量,对式 (16) 积分后经过整理得

$$W_t = W_k \left[ 1 - e^{-\frac{G_{ji}}{W_k}(t-t_i)} \right] + W_{t_i} e^{-\frac{G_{ji}}{W_k}(t-t_i)} \quad (17)$$

式 (15), (17) 中的  $W_{t_i}$  为在  $t_i$  总的年限内各年的累积淤积量 ( $10^4\text{t}$ );  $G_{ji}$  为在  $t_i$  时段内平均年来沙量 ( $10^4\text{t/a}$ );  $t_i$  为上游拦沙工程生效期间的年数 ( $a$ ); 其余符号同前。

#### 4. 确定极限淤积量

根据  $W_k$  的含义,用表达式

$$W_k = W_{\text{总}} - \Delta W' \quad (18)$$

联解水流连续律方程式、水流阻力及河相关系方程式,可推求  $\Delta W'$  得

$$H = \left( \frac{Q n}{\xi^2 J_k^{1/2}} \right)^{3/11} \quad (19)$$

$$B = \xi^2 H^2 \quad (20)$$

于是

$$\Delta W' = BHL \quad (21)$$

式(18)中的  $W_{\text{总}}$  为湖区或水库的总容积 ( $10^4\text{m}^3$ ); 式 (19) 中的  $Q$  为造床流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $J_k$  为湖区的淤积平衡比降(万分率); 式 (20) 中的  $B$  为湖区淤积平衡时的河槽宽度 ( $\text{m}$ ),  $H$  为稳定河槽的滩槽高差 ( $\text{m}$ ),  $\xi$  为河相系数; 式(21)中的  $\Delta W'$  为湖区淤积平衡时的河槽容积 ( $10^4\text{m}^3$ ),  $L$  为河槽长度 ( $\text{m}$ )。

#### 5. 确定方程式的指数 $m$ 值

$m$  值是根据排沙量的计算来确定的,其步骤如下: (1)按本文的方法求  $W_k$  值; (2)计算蓄水时排沙量,从  $S_{\text{出}}/S_{\lambda}$  与  $Q\Delta H/V_0 H_0$  关系线查得  $S_{\text{出}}/S_{\lambda}$  比值  $M$ , 排沙量  $W_s = M S_{\lambda} \Delta t$ ; (3)计算不蓄水时排沙量,从  $S_{\text{出}}/S_{\lambda}$  与  $UJ/\omega_0$  关系线查得  $S_{\text{出}}/S_{\lambda}$  比值  $M'$ , 排沙量  $W'_s = M' S_{\lambda} \Delta t$ ; (4)计算某年淤积量  $W'_i = G'_{i} - W_s$ ,  $W_i = \Sigma W'_i$  值; (5)计算拦沙效率系数

$\beta_i = W'_i / G'_{i}$  和  $\frac{W_k - W_i}{W_k}$  值,得到  $\beta_i$  与  $(W_k - W_i)/W_k$  关系线,于是确定  $m$  值。

上述式中,  $S_{\text{出}}$  为排出的含沙量实测值 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $S_{\lambda}$  为相应的来沙量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $Q$  为排沙下泄流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $\Delta H$  为排沙期平均湖水位与排沙出口的高差 ( $\text{m}$ );  $V_0$  为排沙期湖区的平均容积 ( $10^4\text{m}^3$ );  $\omega_0$  为排沙期泥沙中值粒径相应的沉速 ( $\text{cm}/\text{s}$ );  $U$  为不蓄水时排沙流速 ( $\text{m}/\text{s}$ );  $J$  为排沙时的水面坡降。

## 二、淤积量的计算

### 1. 推求极限淤积量 $W_k$ 值

已知: 平滩流量为  $4750\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\xi = 6.2$ ,  $J_k = 0.06\%$ ,  $n = 0.015$ ,  $L = 155,000\text{m}$ ,  $W_{\text{总}} = 2,990,000(10^4\text{m}^3)$ , 淤积土  $\gamma_s = 1.2\text{t}/\text{m}^3$  (试测值)。

推求淤积平衡时河槽容积  $\Delta W'$  值,按式 (21) 计算得

$$\Delta W' = BHL = 768 \times 4.47 \times 155,000 = 53,211(10^4\text{m}^3)$$

推求  $W_k$  值按式 (18) 计算得

$$W_k = W_{\text{总}} - \Delta W' = 2,936,800(10^4\text{m}^3)$$

或

$$W_k = 2,936,800 \times 1.2 = 3,524,160(10^4\text{t})$$

## 2. 确定淤积量计算方程式的指数 $m$ 值

根据湖口站和五河控制站的实测资料, 按前述方法、步骤分别求出  $\beta$ ,  $(W_k - W_t)/W_k$  值(表 2)。

表 2  $\beta$  与  $(W_k - W_t)/W_k$  的关系

资料编号	$\beta$	$\frac{W_k - W_t}{W_k}$	资料编号	$\beta$	$\frac{W_k - W_t}{W_k}$
1	0.202	0.432	4	0.403	0.574
2	0.710	0.716	5	0.497	0.631
3	0.116	0.291	6	0.330	0.510

按表 2 中  $\beta$ ,  $\frac{W_k - W_t}{W_k}$  值绘关系线(图 3), 推求出此关系线的斜率即是  $m$  值。

## 3. 计算淤积量

计算方程式采用式 (11), 结果见表 3 和图 2。将  $W_k$ ,  $m$ ,  $G_t$  值代入式 (11) 得

$$W_t = 3, 524, 160 \left\{ 1 - \left[ \frac{1}{1 + 0.0006552t} \right]^{0.877} \right\}$$

表 3 鄱阳湖淤积量计算值

$t(a)$	$W_t(10^4t)$	$t(a)$	$W_t(10^4t)$	$t(a)$	$W_t(10^4t)$	$t(a)$	$W_t(10^4t)$
1	2020	50	98,218	400	650,701	1200	1,406,291
10	20,126	100	190,657	500	775,315	1400	1,532,844
20	39,999	150	278,148	650	942,346	1600	1,645,018
30	59,558	200	360,733	800	1,088,930	1800	1,744,484
40	79,047	300	513,185	1000	1,258,965	2000	1,833,321

## 三、对淤积量计算值的论证

### 1. 鄱阳湖形成的年代及初始湖盆面积

距今 6000—7000 年时发生的全新世冰后期的大海浸, 导致海面和长江水位上升, 产生了顶托作用, 使沿江平原一些洼地蓄水成湖, 直到两汉时期(距今 2000 年左右)才形成鄱阳湖。到唐时, 其湖盆面积达  $5000\text{km}^2$ <sup>[1]</sup>。

### 2. 泥沙淤积的分析

今日的鄱阳湖湖盆沉积了近 2000 年<sup>[1]</sup>的泥沙, 湖区面积也大为缩小。由于历史上无水文泥沙资料, 现根据该流域水土流失的成因分析, 可以推算出历史上输入鄱阳湖沙量的年均值与目前入湖沙量的年均值 ( $2020 \times 10^4\text{t}$ ) 接近, 故湖区历史上的年淤积量(多年平均值)亦接近目前的年淤积量(多年平均值)  $950 \times 10^4\text{t}$ 。

### 3. 鄱阳湖淤积量计算值可靠性分析

我们已掌握约 30 年的水文泥沙实测资料,概括了可能出现的各种水情、沙情的组合,它的年沙量、年淤积量的均值,在一定程度上可以代表长期的平均情况。当鄱阳湖淤积年限为 1800 年时,累积淤积量计算值为  $1,744,500 \times 10^4 \text{t}$ , 其均值为  $969 \times 10^4 \text{t}$ , 与实测的均值  $950 \times 10^4 \text{t}$  比较接近,这说明本计算方法能够反映吞吐型过水湖泊泥沙淤积的规律。

本方法在黄河中游的无定河干流一个大型水库的设计中应用过<sup>1,2)</sup>,因此,同样适应于水库的淤积量计算<sup>[3]</sup>。

## 四、结 语

1. 作者引用拦沙效率和极限淤积容积剩余率等与泥沙淤积有密切关系的系数,推导出吞吐型过水湖泊或水库的输沙平衡微分方程式,根据不同条件进行积分,得到四组计算淤积量的方程式。用此方程式对鄱阳湖淤积量进行了计算,结果与实测值接近。

2. 信江、抚河、饶河、修水四河流域水土流失比较严重,应引起有关部门的注意,否则会趋于恶化。

## 参 考 文 献

- [1] 朱海虹,1984。鄱阳湖的成因演变及三角洲沉积。南京地理研究所集刊。科学出版社。
- [2] 沙玉清,1965。泥沙运动学引论。中国工业出版社,273—278,148—152 页。
- [3] 武汉水利电力学院,1982。河流泥沙工程学,下册。水利电力出版社,3—6 页。
- [4] 曹统照,1965。对黄河下游河道治理方向探讨。黄河建设 9: 18—20。
- [5] 曹统照,1977。黄河的泥沙与中上游治理问题初探。河南大学学报(自然科学版) 3: 33—34,36—39。

---

1,2) 见第 320 页角注。

## PROBING INTO THE COMPUTATION METHOD ON SEDIMENTARY AMOUNT OF POYANG LAKE

Cao Tongzhao

(Jiangxi Traffic Design Institute, Nanchang)

### ABSTRACT

Poyang Lake is a natural lake capable of comprehensive utilization. It has great economic value in flood prevention, shipping, irrigation, fishery, etc. In order to follow the demands of the national economy department, it is necessary to investigate the law of sand sediment for the comprehensive harness and wide utilization.

In this paper, the silt transport balance differential equation derived from the concept of the limit sedimentary amount for swallow-spit type water passing lake.

$$dW_t = \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right)^m G_s dt \quad (9)$$

The author presents the way to solve the differential equations under the four different conditions.

(1) When sand flow-through basically stable,  $m \neq 1$ , where  $W_k$  is a constant in equation (9).

Therefore, the equation (9) comes to be the following form.

After integrating and reducing we have

$$W_t = W_k \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{G_s t (1 - m)}{W_k} \right]^{\frac{1}{1-m}} \right\} \quad (11)$$

(2) When sand flow-through basically stable,  $m=1$ , the equation (9) comes to be the following wing form

$$dW_t = \left( \frac{W_k - W_t}{W_k} \right) G_s dt \quad (12)$$

Since  $W_k$  is a constant, the equation (12) can be transformed further then integrated

$$\int - \frac{d(W_k - W_t)}{(W_k - W_t)} = \int \frac{G_s dt}{W_k}$$

After integrating and reducing, we have

$$W_t = W_k \left( 1 - e^{-\frac{G_s t}{W_k}} \right)$$

In the later two equations

$W_k$ —the limit sedimentary amount ( $10^4$  t) in lake;

$W_t$ —the accumulating sedimentary amount ( $10^4$  t) in lake or reservoir for  $t$  years;

$G_s$ —the sand flow-through from upper reaches ( $10^4$  t per year);

$t$ —the sedimentary years of the lake.