

## Chương 3

# PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN BỒI LẮNG HỒ CHỨA

### 3.1. TÍNH TOÁN LƯỢNG BÙN CÁT BỒI LẮNG TRONG HỒ CHỨA

#### 3.1.1. Phương pháp so sánh thể tích

Phương pháp so sánh thể tích là phương pháp tính toán bồi lắng hồ chứa đơn giản và phổ biến hiện nay. Từ số liệu đo đạc địa hình lòng hồ, tiến hành tính toán chênh lệch dung tích giữa hai lần đo liên tiếp, đó chính là phần hồ bị bồi hoặc xói trong khoảng thời gian tính toán.

$$\Delta V = V_T - V_S \quad (3-1)$$

trong đó:

$V_T$  - thể tích hồ tại đầu thời khoảng tính toán;

$V_S$  - thể tích hồ tại cuối thời khoảng tính toán;

$\Delta V$  - lượng bùn cát bồi lắng trong thời kỳ tính toán.

$\Delta V > 0$  hồ bị bồi,

$\Delta V < 0$  hồ bị xói.

Dưới đây là ba cách tính thể tích hồ ứng với một mực nước nào đó.

#### 1. Phương pháp đường đồng mức

Nếu lòng hồ được thể hiện chi tiết trên bản đồ địa hình với các đường đẳng cao (hình 3-1) thì thể tích hồ ứng với một mực nước nào đó có thể tính theo công thức (3-2) hoặc (3-3):

$$V = \sum_{i=1}^n \left[ \Delta h_{i,i+1} \left( \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \right) \right] \quad (3-2)$$

hoặc

$$V = \sum_{i=1}^n \left[ \Delta h_{i,i+1} \left( \frac{F_i + \sqrt{F_i + F_{i+1}} + F_{i+1}}{3} \right) \right] \quad (3-3)$$

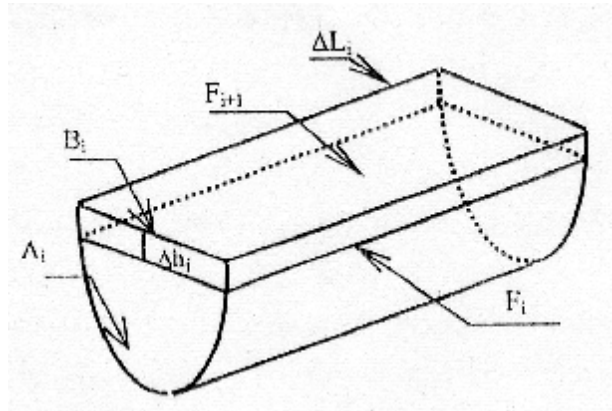
trong đó:

$V$  - thể tích hồ ứng với mực nước nào đó;

$F$  - diện tích mặt hồ ứng với đường đẳng cao nào đó;

$\Delta h$  - khoảng chênh cao giữa hai đường đẳng cao liên tiếp;

$i$  - số thứ tự các đường đẳng cao.



Hình 3-1. Sơ đồ một đoạn sông - hồ

## 2. Phương pháp tính thể tích không chế giữa hai mặt cắt ngang

Nếu lòng hồ được thể hiện bởi địa hình các mặt cắt ngang (hình 3-1) thì thể tích hồ ứng với một mực nước nào đó có thể tính theo công thức:

$$V = \sum_{j=1}^m \left[ \Delta L_{j,j+1} \left( \frac{A_j + A_{j,j+1}}{2} \right) \right] \quad (3-4)$$

hoặc

$$V = \sum_{j=1}^m \left[ \left( \frac{A_{j,j+1}^S}{2} \right) \left( \frac{A_j}{W_j} + \frac{A_{j+1}}{W_{j+1}} \right) \right] \quad (3-5)$$

trong đó:

- V - thể tích hồ ứng với mực nước nào đó;
- A - diện tích mặt cắt ngang ứng với mực nước nào đó;
- $A_S$  - diện tích mặt hồ không chế bởi hai mặt cắt ngang liên tiếp;
- W - độ rộng của hồ ứng với mực nước nào đó;
- $\Delta L$  - khoảng cách giữa hai mặt cắt ngang liên tiếp;
- j - số thứ tự các mặt cắt ngang.

## 3. Phương pháp yếu tố không đổi (CFM)

Thực chất đây là một phiên bản của phương pháp tính thể tích không chế giữa hai mặt cắt ngang. Dựa trên bản đồ địa hình gốc thể hiện chi tiết dưới dạng các đường đồng mức, tiến hành tính toán thể tích và diện tích mặt cắt ngang ứng với các cao trình khác nhau cho từng đoạn hồ. Tiếp theo, tính toán yếu tố không đổi  $C_0$ :

$$C_0 = \frac{V_0}{A_0} \quad (3-6)$$

Từ đó có thể tính lượng bùn cát bồi hoặc xói trong hồ:

$$\Delta V = C_0 A_S = C_0 (A_0 - A_1) \quad (3-7)$$

trong đó:

$V_0$  - dung tích ban đầu của đoạn hồ;

$A_0$  - tổng diện tích ban đầu của hai mặt cắt ngang khống chế;

$C_0$  - yếu tố không đổi;

$\Delta V$  - lượng bùn cát bồi hoặc xói trong hồ;

$A_S$  - tổng diện tích bùn cát bồi lắng tại hai mặt cắt ngang khống chế trong thời khoảng tính toán;

$A_1$  - tổng diện tích của hai mặt cắt ngang khống chế tại cuối thời khoảng tính toán.

Xuất phát từ cơ sở của phương pháp CFM và những tính chất liên tục của hệ tuyến tính. Viện Thủy lực Wallingford đã xây dựng mô hình SWIMM (Stage Width Modification Method) dựa trên cơ sở giả định sau đây:

Thừa nhận sự tồn tại của một hàm mô phỏng  $E(x)$  được sử dụng để từ đường quan hệ độ rộng - mực nước ban đầu mà xây dựng quan hệ diện tích - mực nước ban đầu. Hàm này được coi là ổn định để áp dụng cho lần đo tiếp sau. Về mặt toán học, có thể biểu diễn hàm mô phỏng  $E(x)$  là một biến thực sao cho:

Nếu tồn tại

$$A_0(x) = E(x)W_0(x)$$

thì tồn tại

$$A_n(x) = E(x)W_n(x) \quad (3-8)$$

trong đó:

$x$  - độ sâu từ một mặt cắt chuẩn ứng với  $H_{\max}$ ;

$A_0(x)$  - diện tích ứng với độ sâu  $x$  cũ;

$A_n(x)$  - diện tích ứng với độ sâu  $x$  mới;

$W_0(x)$  - độ rộng ứng với độ sâu  $x$  cũ;

$W_n(x)$  - độ rộng ứng với độ sâu  $x$  mới.

Như vậy, với một đoạn hồ cho trước, nếu xác định được hàm  $E(x)$  và hàm độ rộng  $W(x)$  thì sẽ tính được hàm diện tích  $A(x)$  từ đó tích phân theo độ sâu có hàm dung tích  $V(x)$ . Với hàm dung tích của từng đoạn hồ có thể xác định được lượng bùn cát bồi lắng trong đoạn đó giữa hai lần đo liên tiếp.

### 3.1.2. Phương pháp cân bằng lượng bùn cát qua hồ

Phương pháp cân bằng bùn cát dựa trên phương trình có dạng:

$$DW = W_V + W_{kg} - W_r \quad (3-9)$$

trong đó:

$DW$  - lượng bùn cát bồi lắng trong hồ;

$DW > 0$  hồ bị bồi,

$DW < 0$  hồ bị xói;

$W_V$  - lượng bùn cát vào hồ qua cửa vào;

$W_r$  - lượng bùn cát tháo ra khỏi hồ;

$W_{kg}$  - lượng bùn cát gia nhập khu giữa (gồm lượng bùn cát do xói mòn đất và sạt lở bờ).

Như vậy muốn biết được lượng bùn cát lắng đọng trong hồ thì phải xác định được 3 thành phần bên vế phải của phương trình (3-9).

Lượng bùn cát vào hồ được tính theo các phương pháp như trình bày ở chương I. Lượng bùn cát ra khỏi hồ được ước tính theo các phương pháp kinh nghiệm, phương pháp Brune và phương pháp Churchill, hoặc phương pháp dòng phân tầng.

- Phương pháp Brown (1950) dựa vào quan hệ giữa tỷ số dung tích hồ ( $V$ ) và diện tích lưu vực ( $A_C$ ) với hệ số bồi lắng ( $TR$ ):

$$TR = 100 \left[ 1 - \frac{1}{1 + \frac{K_b V}{A_C}} \right] \quad (3-10)$$

trong đó:

$TR$  - hệ số bồi lắng;

$K_b$  - hệ số thay đổi từ 0,046 đến 1, trung bình lấy bằng 0,1;

$V$  - dung tích hồ ở mức nước dâng cao nhất (ac-ft);

$A_C$  - diện tích lưu vực (mi<sup>2</sup>).

- Phương pháp Brune (1953) lại dựa vào quan hệ giữa hệ số bồi lắng ( $TR$ ) với tỷ số dung tích hồ ( $V$ ) và lượng nước đến trung bình năm ( $MAR$ ) như hình 3-2. Dendy (1974) đã bổ sung thêm nhiều số liệu thực đo vào đường cong của Brune và đã xây dựng phương trình dự báo hệ số bồi lắng:

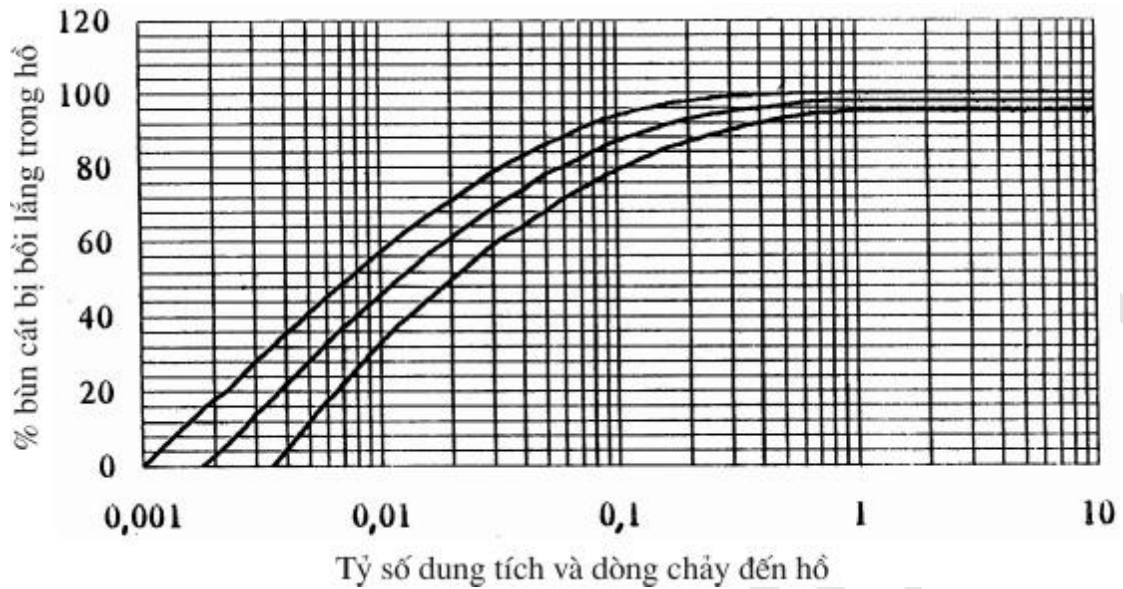
$$TR = 100(0,97)^{0,19 \log \frac{V}{MAR}} \quad (3-11)$$

trong đó:

$TR$  - hệ số bồi lắng;

$MAR$  - lượng nước đến trung bình trong một năm (ac-ft hay m<sup>3</sup>);

$V$  - dung tích hồ ở mức nước dâng cao nhất (ac-ft hay m<sup>3</sup>).



**Hình 3-2. Đường cong Brune (1953)**

- Phương pháp Churchill (1948) dựa trên quan hệ giữa % phù sa tháo ra khỏi hồ với chỉ số bồi lắng (Hình 3-3).

$$SI = \frac{T_R}{\bar{v}} = \frac{V^2}{Q^2 L_R} \quad (3-12)$$

Sau này Roberts biến đổi thành chỉ số không thứ nguyên:

$$SI = \frac{gV^2}{Q^2 L_R} \quad (3-13)$$

trong đó:

TR - hệ số bồi lắng;

$T_R$  - thời gian lưu giữ nước trong hồ (s);

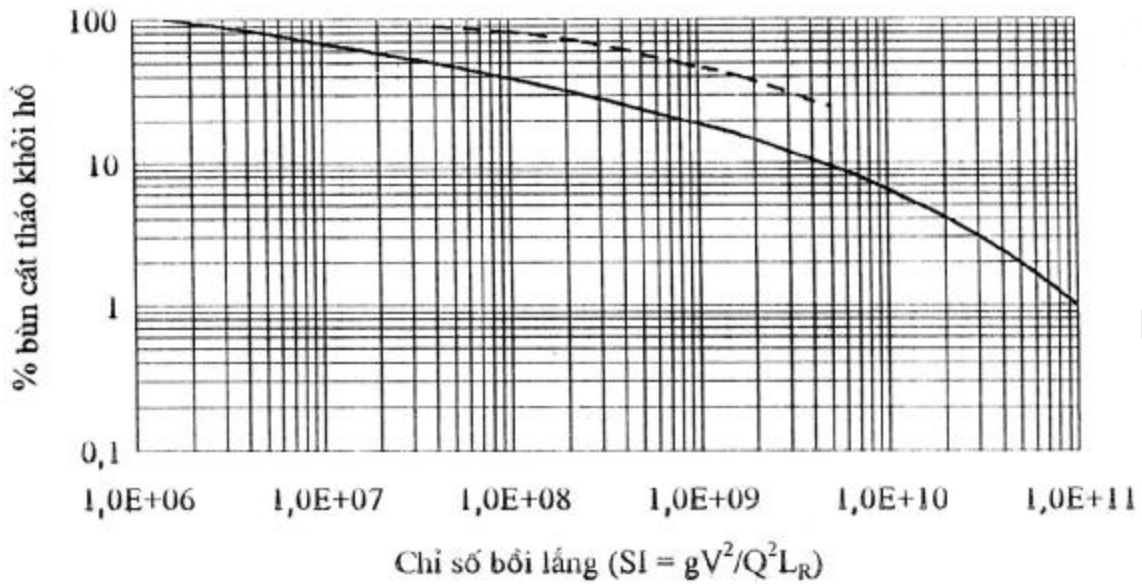
$L_R$  - chiều dài hồ (ft hay m);

$\bar{v}$  - tốc độ trung bình của nước chảy qua hồ (ft/s hay m/s);

Q - lưu lượng nước đến hồ trung bình năm (ft<sup>3</sup>/s hay m<sup>3</sup>/s);

V - dung tích hồ ở mức nước dâng cao nhất (ft<sup>3</sup> hay m<sup>3</sup>);

g - gia tốc trọng trường (9,81 m/s<sup>2</sup>).



Hình 3-3. Đường cong Churchill (1948) được Roberts cải tiến năm 1982

### 3.1.3. Tính toán lượng bùn cát bồi lắng trong hồ chứa theo công thức kinh nghiệm

#### 1. Công thức của Shamov

$$W_T = W_\infty (1 - a_0^T) \quad (3-14)$$

trong đó:

$W_T$  - tổng lượng bùn cát bồi lắng sau T năm vận hành hồ ( $m^3$ );

$W_\infty$  - thể tích giới hạn của bùn cát bồi lắng trong hồ ( $m^3$ );

$a_0$  - hệ số tỷ lệ;

T - thời gian tính từ khi hồ bắt đầu vận hành (năm);

$a_0, W_\infty$  có thể tính như sau:

$$a_0 = 1 - \frac{W_1}{W_\infty} \quad (3-15)$$

$$W_\infty = V \left[ 1 - \left( \frac{A_r}{A_p} \right)^{1,7} \right] \quad (3-16)$$

$$W_1 = \frac{R_0}{\rho_s} \left[ 1 - \left( \frac{A_r}{A_p} \right)^{n_1} \right] \quad (3-17)$$

trong đó:

$W_1$  - thể tích bùn cát bồi lắng trong năm vận hành đầu tiên ( $m^3$ );

$R_0$  - tổng lượng bùn cát năm vào hồ (bao gồm cả bùn cát lơ lửng và bùn cát di đáy) trung bình nhiều năm (kg);

$A_r, A_p$  - tiết diện ướt của lòng sông và tiết diện ướt của hồ tại vị trí sạt đập ứng với mực nước tương ứng với lưu lượng nước bằng 3/4 lưu lượng nước lớn nhất;

$V$  - dung tích hồ ứng với mực nước dâng bình thường ( $m^3$ );

$n_1$  - hệ số phụ thuộc vào độ dốc sông  $s$

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,00 \div 0,80 \text{ nếu } s < 0,0001, \\ &= 0,80 \div 0,50 \text{ nếu } s = 0,0001 \div 0,001, \\ &= 0,50 \div 0,33 \text{ nếu } s = 0,001 \div 0,01; \end{aligned}$$

$\rho_s$  - khối lượng riêng bùn cát bồi lắng ( $kg/m^3$ ), phụ thuộc vào thành phần hạt

$$\begin{aligned} \rho_s &= 0,8 \div 0,9 \text{ tấn}/m^3 \text{ đối với các hạt sét,} \\ &= 1,5 \div 1,6 \text{ tấn}/m^3 \text{ đối với các hạt mịn,} \\ &= 1,6 \div 1,8 \text{ tấn}/m^3 \text{ đối với các hạt cát trung bình và thô,} \\ &= 2,0 \div 2,2 \text{ tấn}/m^3 \text{ đối với các hạt sỏi và cát cuội.} \end{aligned}$$

## 2. Công thức của Garde

$$\frac{V}{W_T} = \frac{\left(\frac{T}{t_T}\right)^m}{\left[1 + \left(\frac{T}{t_T}\right)^m\right]^{\frac{1}{4}}} \quad (3-18)$$

trong đó:

$V$  - dung tích hồ ban đầu ( $m^3$ );

$W_T$  - thể tích bùn cát bồi lắng tính tại thời điểm  $t$  ( $m^3$ );

$T$  - thời gian tính từ khi hồ bắt đầu vận hành (năm);

$m$  - hằng số ( $m = 0,8 \div 1,4$ ).

### 3.2. TÍNH TOÁN SỰ PHÂN BỐ LƯỢNG Bùn Cát Bồi Lắng TRONG HỒ CHỨA

Qua nghiên cứu khảo sát tình hình bồi lắng lòng hồ Thác Bà, Hòa Bình chứng tỏ rằng, việc để một dung tích chết và coi là bồi lắng theo lớp bắt đầu từ nơi sâu nhất tỏ ra không phù hợp với thực tế. Phù sa vào hồ theo dòng nước, ngay sau điểm đổ (nơi nước sông tự nhiên gặp nước hồ) là quá trình bồi lắng đã diễn ra. Quá trình bồi lắng như vậy có ảnh hưởng đáng kể đến tuổi thọ của công trình, thậm chí làm nâng cao đáy sông gây ngập lụt ở phía thượng lưu.

Có nhiều phương pháp ước tính sự phân bố phù sa trong hồ chứa mà có thể khái quát thành hai hướng. Đó là:

- + Các phương pháp kinh nghiệm.
- + Phương pháp mô hình toán.

Theo Robert và Pemberton (1982) có tới 22 phương pháp khả thi tính phân bố phù sa trong hồ chứa theo kinh nghiệm, trong đó phổ biến nhất là phương pháp Borland-Miller. Phương pháp mô hình toán tỏ ra có triển vọng. Tuy nhiên, tài liệu thu thập mô tả bằng mô hình toán quá trình bồi lắng thường thiếu thốn và một vài xử lý về thuật toán cho đến nay vẫn chưa thỏa đáng.

#### 3.2.1. Phương pháp kinh nghiệm

##### 1. Phương pháp Borland Miller

Phương pháp Borland & Miller được thành lập dựa trên kết quả khảo sát ở 30 hồ chứa ở Mỹ, quá trình tính toán gồm hai bước:

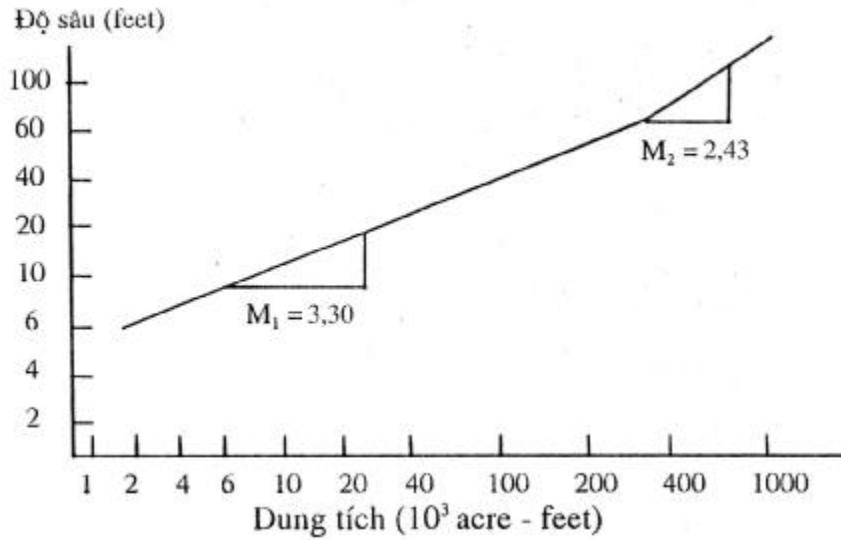
- + Phân loại hồ.
- + Tính phân bố bùn cát bồi lắng.

Các hồ chứa được phân làm 4 loại dựa trên quan hệ giữa thể tích và chiều sâu ban đầu của hồ (Hình 3-4). Sau đây là các loại hồ và chỉ tiêu phân loại:

**Bảng 3-1. Bảng phân loại hồ theo Borland - Miller**

Loại	Tên loại hồ	M	C	m	N
I	Hồ tự nhiên (Lake)	3,5 ÷ 4,5	3,417	1,5	0,2
II	Hồ chứa vùng đồng bằng - bán sơn địa (Floodplain - foothill)	2,5 ÷ 3,5	2,324	0,5	0,4
III	Hồ chứa vùng đồi (Hill)	1,5 ÷ 2,5	15,88	1,1	2,3
IV	Hồ chứa vùng núi cao (Gorge)	1,0 ÷ 1,5	4,232	0,1	2,5





Hình 3-4. Quan hệ dung tích - độ sâu

M là số nghịch đảo của độ dốc đường quan hệ dung tích - độ sâu. Có trường hợp đường quan hệ dung tích - độ sâu cho hai độ dốc khác nhau (ví dụ hình 3-4). Việc chọn loại hồ để xem phần nào chiếm tỷ lệ nhiều hơn mà quyết định. Ví dụ trên hình 3-4, phần  $M_1 = 3,3$  chiếm tới 70% và do đó hồ được xếp vào loại II.

Thể tích bồi lắng tính toán sẽ được tính theo biểu thức:

$$V_S = \sum_{i=c}^{\frac{H-h_0}{\Delta h}-1} A_0 \left( A_{P(i)} + A_{P(i+1)} \right) \frac{\Delta h}{2A_{P(0)}} + V_0 \quad (3-19)$$

trong đó:

$V_S$  - thể tích bồi lắng tính toán;

$\Delta h$  - giá số độ sâu trong bước tính;

$h_0$  - cao trình bồi lắng tích đọng trước đập;

$A_0$  - diện tích bề mặt hồ ban đầu ở độ cao  $h_0$ ;

$V_0$  - thể tích phù sa lắng đọng ở độ cao  $h_0$ ;

$A_{P(i)}$  - diện tích tương đối tại độ sâu tương đối P,  $A_{P(i)} = C_p^m (1 - P)^n$ ;

P - độ sâu tương đối,  $P = h/H$ ;

H - độ sâu tổng cộng trước đập;

C, n, m - hệ số không thứ nguyên cho các loại hồ (bảng 3-1).

Biểu thức (3-14) được tính đúng dần (tính lặp) cho đến khi lượng phù sa bồi lắng gần đúng với số lượng đã biết thì dừng lại. Quá trình phân bố tương ứng chấp nhận. Ví dụ về các bước tính cho hồ Hòa Bình có thể tóm tắt như sau:

- (1) Vẽ quan hệ Dung tích/ độ sâu của hồ như hình 3-4 và xác định loại hồ.
- (2) Xác định các độ sâu tương đối  $P = h/H$  và ghi vào cột 4 bảng 3-2.
- (3) Tính diện tích mặt hồ tương đối không thứ nguyên

$$A_P = CP^m(1 - P)^n$$

và ghi vào cột 5 bảng 3-2.

- (4) Lựa chọn cao trình bồi lắng trước đập gần đúng khả dĩ thứ nhất sau thời kỳ tính toán bồi lắng. Các giá trị diện tích bồi lắng nằm dưới cao trình này sẽ bằng các giá trị diện tích ở cột 2 bảng 3-2. Các diện tích tương ứng với các cấp cao trình nằm trên cao trình bồi lắng trước đập vừa lựa chọn được tính bằng cách chia diện tích ban đầu tại cao trình  $h_0$  cho giá trị  $A_P$  tương ứng ở cột 5 và nhân tỷ số  $K$  này với các giá trị  $A_P$  khác. Ví dụ như ở bảng 3-2, giả thiết cao trình  $h_0 = 45$  m, tại đó diện tích bề mặt  $A_S = 49$  km<sup>2</sup>,  $A_P = 1,192$  thì  $K = 49/1,192 = 41,1074$ . Các diện tích bề mặt mới là các giá trị  $A_P$  mới nhân với 41,1074, được ghi trong cột 6 của bảng 3-2.
- (5) Tính thể tích bồi lắng nằm giữa hai cao trình liên kế bằng cách lấy khoảng cách chênh lệch của hai cao trình nằm liên kế ở cột 1 nhân với diện tích trung bình của hai diện tích tương ứng với hai cao trình này. Kết quả ghi ở cột 7 bảng 3-2. Cột 6 và cột 7 thể hiện kết quả xấp xỉ phân bố bùn cát bồi lắng trong lòng hồ lần thứ nhất. Kết quả này được kiểm tra bằng cách lấy tổng các thể tích bùn cát bồi lắng vừa tính toán, nếu nó lớn hơn hoặc nhỏ hơn tổng lượng bùn cát bồi lắng mà ta đã xác định từ trước thì phải tiếp tục thực hiện xấp xỉ lần thứ hai, thứ ba... trên cơ sở giả thiết lại độ sâu bồi lắng trước đập như trình bày trong bảng 3-2.
- (6) Tính thể tích bùn cát bồi lắng tích lũy, sửa lại quan hệ Diện tích/Mực nước và Thể tích/Mực nước, ghi kết quả vào cột 12,13 và 14 tương ứng; (cột 13 = cột 2 – cột 10), (cột 14 = cột 3 – cột 12).

Các thông số tính toán:

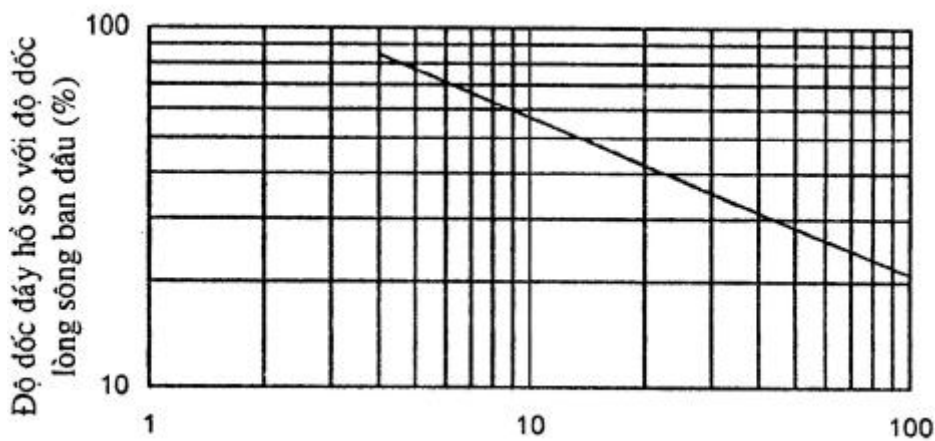
- |  |   |
|--|---|
| - Cao trình đáy sông tại đập                       | : 0 m                                   |
| - Cao trình mực nước dâng bình thường              | : 115 m                                 |
| - Độ sâu ban đầu tại đập                           | : 115 m                                 |
| - Lượng bùn cát đến hồ hàng năm                    | : $71,5 \cdot 10^6$ m                   |
| - Thời gian bồi lắng                               | : 60 năm                                |
| - Lượng bùn cát bồi lắng tích lũy sau 60 năm       | : $3715 \cdot 10^6$                     |
| - Cao trình bồi lắng trước đập sau 60 năm vận hành | : 45 m, 43 m & 40 m.                    |
| - Các hệ số  | : $C = 2,324$ ; $m = 0,5$ ; $n = 0,4$ . |

**Bảng 3-2. Bảng tính sự phân bố lượng bùn cát bồi lắng lòng hồ Hòa Bình sau 60 năm vận hành**

Cao trình (m)	Diện tích ban đầu (km <sup>2</sup> )	Dung tích ban đầu (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Độ sâu tương đối	Diện tích tương đối A <sub>p</sub>	Thử sai lần thứ nhất		Thử sai lần thứ hai		Thử sai lần thứ ba		Thể tích bùn cát bồi tích lũy (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Diện tích mặt hồ đã hiệu chỉnh (km <sup>2</sup> )	Dung tích hồ đã hiệu chỉnh (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
					Diện tích bồi (km <sup>2</sup> )	Thể tích bồi (km <sup>2</sup> )	Diện tích bồi (km <sup>2</sup> )	Thể tích bồi (km <sup>2</sup> )	Diện tích bồi (km <sup>2</sup> )	Thể tích bồi (km <sup>2</sup> )			
115	198,3	9450,0	1,000	0,000	0,00	66,64	0,00	57,55	0,00	61,93	3698,6	198,3	5751,4
110	184,0	8400,0	0,957	0,648	26,66	330,50	23,02	285,40	24,77	307,13	3636,7	159,2	4763,3
105	164,0	6634,0	0,870	0,959	39,44	206,44	34,06	178,27	36,65	191,84	3329,6	127,4	3304,4
100	154,0	5750,0	0,826	1,049	43,13	222,58	37,25	192,21	40,08	206,84	3137,7	113,9	2612,3
95	144,0	5100,0	0,783	1,117	45,90	234,71	39,64	202,68	42,66	218,11	2930,9	101,3	2169,1
90	131,0	4400,0	0,739	1,167	47,98	243,73	41,44	210,47	44,59	226,50	2712,8	86,4	1687,2
85	118,0	3800,0	0,696	1,204	49,51	250,20	42,75	216,06	46,01	232,51	2486,3	72,0	1313,7
80	106,0	3200,0	0,652	1,230	50,57	254,45	43,67	219,73	46,99	236,45	2253,8	59,0	946,2
75	94,0	2750,0	0,609	1,246	51,21	256,71	44,22	221,68	47,59	238,55	2017,3	46,4	732,7
70	83,0	2300,0	0,565	1,252	51,47	257,12	44,45	222,03	47,83	238,93	1778,8	35,2	521,2
65	74,0	1900,0	0,522	1,250	51,37	255,76	44,36	220,86	47,74	237,67	1539,8	26,3	360,2
60	64,0	1550,0	0,478	1,239	50,93	252,67	43,98	218,19	47,33	234,80	1302,2	16,7	247,9
55	56,0	1200,0	0,435	1,220	50,14	247,85	43,30	214,02	46,59	230,31	1067,4	9,4	132,7
50	49,0	1000,0	0,391	1,192	49,00	94,00	42,31	84,14	45,53	90,53	837,0	3,5	163,0
45	45,0	850,0	0,374	1,178	45,00	129,00	41,83	124,24	45,00	129,00	746,5	0,0	103,5
40	41,0	750,0	0,348	1,155	41,00	185,00	41,00	185,00	41,00	185,00	617,5	0,0	132,5
35	33,0	580,0	0,304	1,109	33,00	147,50	33,00	147,50	33,00	147,50	432,5	0,0	147,5
30	26,0	450,0	0,261	1,052	26,00	112,50	26,00	112,50	26,00	112,50	285,0	0,0	165,0
25	19,0	300,0	0,217	0,982	19,00	77,50	19,00	77,50	19,00	77,50	172,5	0,0	127,5
20	12,0	250,0	0,174	0,898	12,00	47,50	12,00	47,50	12,00	47,50	95,0	0,0	155,0
15	7,0	47,5	0,130	0,794	7,00	27,50	7,00	27,50	7,00	27,50	47,5	0,0	0,0
10	4,0	20,0	0,087	0,661	4,00	15,00	4,00	15,00	4,00	15,00	20,0	0,0	0,0
5	2,0	5,0	0,043	0,476	2,00	5,00	2,00	5,00	2,00	5,00	5,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
						3919,9		3485,0		<b>3698,6</b>			

## 2. Phương pháp Mennes - Kriel

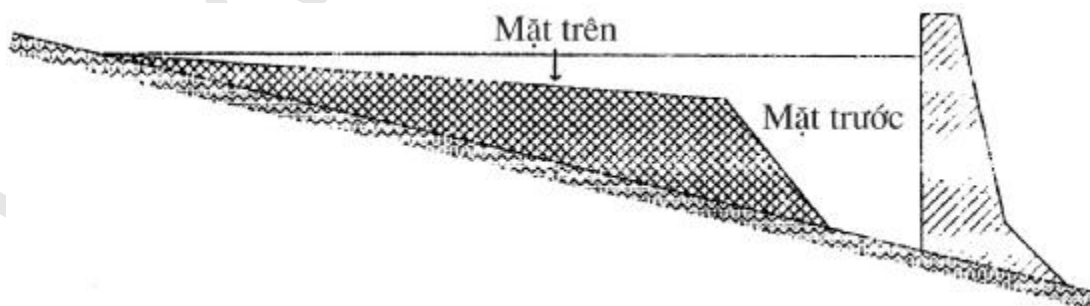
Nội dung cơ bản của phương pháp này là xây dựng một biểu đồ quan hệ giữa tỷ số độ dốc bùn cát bồi lắng và độ dốc đáy sông ban đầu với yếu tố hình dạng (Tỷ số giữa chiều dài và chiều rộng trung bình của hồ khi tích đầy nước) (Hình 3-5). Yếu tố hình dạng được sử dụng để đại diện cho sức tải bùn cát trung bình trong hồ. Nếu sức tải trung bình có giá trị càng thấp thì độ dốc tam giác châu bùn cát bồi lắng càng lớn do bùn cát bị bồi ngay tại khu vực gần cửa vào hồ. Mô hình này đã được kiểm nghiệm ở một số hồ. Kết quả cho thấy, sức tải bùn cát trung bình trong hồ không chỉ là một hàm của yếu tố hình dạng mà nó còn phụ thuộc vào lưu lượng nước đến và đi ra khỏi hồ.



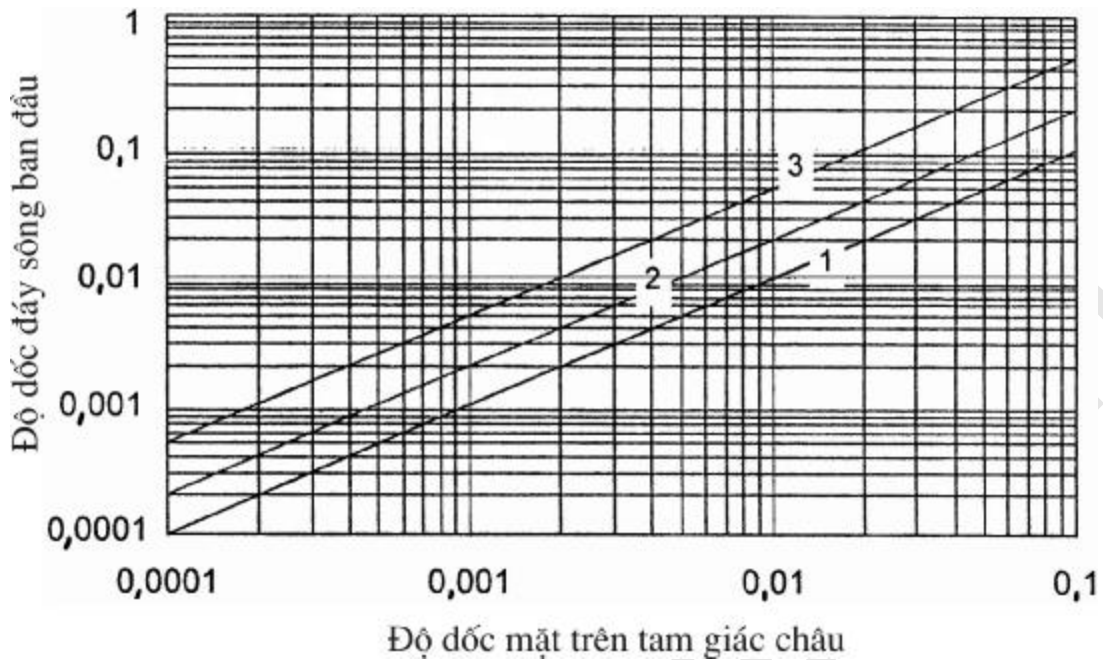
Hình 3-5. Quan hệ độ dốc bồi lắng và yếu tố hình dạng (Mennes - Kriel)

## 3. Phương pháp của Borland (1970)

Borland đã xây dựng mô hình tính các độ dốc bồi lắng trên cơ sở giả thiết rằng, bùn cát bồi lắng dưới dạng tam giác châu điển hình (Hình 3-6).



Hình 3-6. Sơ đồ bồi lắng bùn cát trong một hồ chứa



**Hình 3-7. Quan hệ giữa độ dốc đáy sông ban đầu và độ dốc mặt trên của tam giác châu**

Cách tính bao gồm hai bước:

- + Tính độ dốc mặt trên tam giác châu: có thể sử dụng quan hệ thực nghiệm giữa độ dốc đáy sông ban đầu và độ dốc đáy hồ sau khi đã bị bùn cát bồi lắng (hình 3-7). Borland đề nghị lấy giá trị tỷ số giữa độ dốc bồi lắng và độ dốc đáy sông ban đầu bằng 0,5 cho các mục đích thiết kế.
- + Tính độ dốc mặt trước tam giác châu: Xác định bằng cách nhân độ dốc mặt trên với 6,5.

#### 4. Công thức phán đoán hình thái bồi lắng hướng dọc

Theo số liệu hơn 30 hồ chứa trên các dòng sông nhiều cát, phòng nghiên cứu khoa học thủy lợi tỉnh Thiểm Tây đưa ra biểu thức quan hệ :

$$K = \frac{10^{-4} V}{W_s J_0} \quad (3-20a)$$

$K < 2,2$  bồi lắng thể nhọn;

$K > 2,2$  bồi lắng tam giác châu hoặc dạng giải;

trong đó:

$W_s$  - lượng bùn cát chảy vào hồ bình quân thời khoảng ( $m^3$ );

$V$  - dung tích hồ bình quân thời khoảng ( $m^3$ );

$J_0$  - độ dốc lòng sông cũ ( $\text{‰}$ );

Học viện Thủy lợi điện lực Vũ Hán đã phân tích tài liệu thực đo của 8 hồ chứa trên dòng sông ít phù sa đề ra công thức phán đoán như sau:

$$\phi = \frac{H}{\Delta H} \left( \frac{W_s}{W} \right)^{1/2} \quad (3-20b)$$

$\phi > 0,04$  bồi lắng tam giác châu;

$\phi < 0,04$  bồi lắng dạng giải;

trong đó:

$\Delta H$  - biên độ mực nước hồ lớn nhất bình quân nhiều năm (m);

$H$  - độ sâu nước trước đập lớn nhất bình quân nhiều năm (m);

$W_s$  - lượng tải cát chất lơ lửng chảy vào hồ bình quân nhiều năm (100 triệu  $m^3$ );

$W$  - lượng dòng chảy vào hồ bình quân nhiều năm (100 triệu  $m^3$ ).

### 5. Độ dốc đoạn đuôi và mái đỉnh

Căn cứ vào phân tích tài liệu thực đo của rất nhiều tam giác châu bồi lắng, dưới điều kiện nước và cát đến khác nhau, độ dốc mái đỉnh có thể có sự chênh lệch. Nhưng khi tam giác châu đã phát triển tiếp cận đến trạng thái cân bằng thì mái đỉnh có thể dùng phương pháp tính toán độ dốc cân bằng bồi lắng để xác định. Vì hiện nay chưa có công thức hoàn thiện, mái dốc đỉnh sử dụng phương pháp loại suy đoán để chọn.

Phòng Nghiên cứu Thủy lợi thuộc Hội đồng quản trị Hoàng Hà đưa ra tỷ số giữa độ dốc đoạn đuôi và lòng sông cũ của dòng sông nhiều cát là :

$$J_{\text{đuôi}} = 0,68J_0 \quad (3-21a)$$

Phạm vi ứng dụng của công thức trên:

$$J_{\text{đuôi}}: 1,2 \div 110\text{‰},$$

$$J_0: 1,7 \div 167\text{‰}.$$

Khi có cả bùn cát lơ lửng, lại có cả bùn cát đáy (như các dòng sông ở phương Bắc), việc bồi lắng ở đoạn đuôi thường do chất lơ lửng và chất xê dịch hỗn hợp hình thành, chất lòng sông của nó ở vào giữa vật thể bồi lắng lòng sông nguyên thủy và đoạn mái đỉnh, độ dốc đó là:

$$J_{\text{đuôi}} = \frac{1}{2}(J_{\text{đỉnh}} + J_0) \quad (3-21b)$$

### 6. Độ dốc đoạn mái trước

Đoạn mái trước có độ dốc lớn hơn đoạn mái đỉnh. Nếu không có dòng chảy dị trọng thì độ dốc đoạn mái trước trở nên thoải. Trường Đại học Thanh Hoa đã phân tích tài liệu thực đo trên 10 hồ chứa ở Trung Quốc đã đề ra công thức quan hệ :

$$\frac{J_{\text{trước}}}{J_{\text{đỉnh}}} = 11,4 \div 13,9 \frac{J_{\text{đỉnh}}}{J_0} \quad (3-22)$$

### 3.2.2. Phương pháp mô hình toán

Có thể phân các mô hình tính toán xác định phân bố bùn cát bồi lắng thành các mô hình một chiều, hai chiều và ba chiều. Các mô hình hai hoặc ba chiều cho kết quả chi tiết và chính xác hơn, nhưng cần rất nhiều giờ máy và đòi hỏi một lượng số liệu đo đạc lớn, chi tiết. Đối với hồ chứa dạng sông có bề ngang hẹp hơn chiều dài rất nhiều thì có thể sử dụng mô hình một chiều để tính toán.

#### 1. Phương trình cơ bản tính toán bồi lắng

Giả thiết vận chuyển bùn cát cân bằng, phương trình cơ bản của nó là: (Chỉ xét đến nước và chất lơ lửng thông qua đơn vị chiều rộng trong đơn vị thời gian nhất định).

Phương trình liên tục dòng nước đục

$$\frac{\delta}{\delta x}(uh) + \frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta y}{\delta t} = 0 \quad (3-23)$$

Phương trình cân bằng chuyển cát

$$\frac{\delta}{\delta x}(uhS_v) + \frac{\delta}{\delta t}(hS_v) + m \frac{\delta y}{\delta t} = 0 \quad (3-24)$$

Phương trình vận động dòng chảy chứa cát

$$J = \frac{Q^2}{K^2} + \frac{u}{g} \frac{\delta u}{\delta x} + \frac{1}{g} \frac{\delta u}{\delta t} + \frac{r_s - r}{r_h} \frac{h}{2} \frac{\delta S_v}{\delta x} - \frac{[mr_s + (1-m)r] u}{gr_h} \frac{\delta y}{h \delta t} \quad (3-25)$$

Trong 3 công thức trên:

$m$  - hệ số chặt của bùn cát bồi lắng trên lòng sông;

$r_h$  - dung trọng nước đục bằng,

$$S_v r_x + (1 - S_v) r$$

$r_s, r$  - dung trọng bùn cát và nước;

$S_v$  - hàm lượng cát (tỷ lệ thể tích);

$\frac{Q^2}{K^2}$  - tổn thất dẫn nước  $\left( \frac{Q^2}{K^2} = \frac{u^2}{C^2 n} \right)$ ;

$C$  - hệ số ma sát;

Các ký hiệu khác xem hình (3-8).





- c. Giả thiết trong quá trình xói bồi mực nước trong hồ không thay đổi. Trong tính toán cụ thể phải hạn chế lượng xói bồi trong mỗi thời khoảng không thể lớn quá, giản hóa công thức (3-23) thành

$$\frac{\delta}{\delta x}(uh) = 0$$

hoặc lưu lượng  $Q =$  hằng số.

- d. Không xét đến hàm lượng cát trong nước thay đổi theo thời gian, giản hóa công thức (3-24) thành

$$\frac{\delta}{\delta x}(uhS_v) + \frac{\delta}{\delta t}(hS_v) = 0$$

hoặc

$$\frac{\delta G}{\delta l} + r' B \frac{\delta y}{\delta t} = 0 \quad (3-27a)$$

trong đó:

$G$  - lưu lượng chuyển cát lòng sông (kg/s);

$r'$  - dung trọng khô của cát lòng sông (kg/m<sup>3</sup>);

$B$  - chiều rộng mặt nước (m);

$H$  - độ sâu nước bình quân (m);

$l$  - khoảng cách giữa 2 mặt cắt;

Các ký hiệu khác giống trên

Khi tính toán nên viết dưới dạng sai phân hữu hạn

$$J = \frac{Q^2 n^2}{B^2 H^{10/3}} + \frac{1}{2g\Delta x} \left( \frac{Q^2}{B_2^2 H_2^2} - \frac{Q^2}{B_1^2 H_1^2} \right) \quad (3-26b)$$

và

$$(G_1 - G_2)\Delta t = r'\Delta x B \Delta y \quad (3-27b)$$

trong đó:

Chỉ số 1, 2 biểu thị 2 mặt cắt trên dưới;

$\Delta$  - sai phân hữu hạn.

### 3. Phương pháp tính toán độ dốc cân bằng bồi lắng hồ chứa

Xét thời gian và đoạn sông tương đối dài, lòng sông thường thay đổi quanh trạng thái bình quân nào đó. Nguyên nhân của nó, một là biến hình lòng sông so với thay đổi về lưu lượng thì từ từ và chậm hóa; hai là sự biến hình lòng sông thực tế trong năm thường có xói có bồi mà xói bồi thường không chế lẫn nhau, dẫn đến 1 loại cân bằng tương đối. Vì thế độ dốc cân bằng bồi lắng hồ chứa là khái niệm tương đối trong thời gian tương đối dài được ứng dụng trong qui hoạch.

Phương pháp tính toán độ dốc cân bằng bồi lắng hồ chứa thường giả thiết là dòng chảy đều, sử dụng công thức lực cản, công thức chuyển bùn tải cát và công thức quan hệ với lòng sông, tìm ra quan hệ giữa độ dốc cân bằng bồi lắng với lưu lượng, lượng hàm cát, độ nhám... Trong tính toán sức tải cát trên dòng sông nhiều cát có thể sử dụng công thức

$$S_* = 1,07 \frac{v^{2,26}}{R^{0,74} \omega^{0,77}}$$

trong đó:

- $S_*$  - lượng hàm cát ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- $R$  - bán kính thủy lực (m);
- $v$  - tốc độ bình quân mặt cắt (m/s);
- $\omega$  - tốc độ lắng đọng (cm/s).

hoặc dùng công thức kinh nghiệm tìm được qua phân tích tài liệu thực đo. Hình thức quan hệ với sông tương đối nhiều, hệ số cũng khác nhau, tốt nhất là từ tài liệu thực đo ở vùng đo qua phân tích so sánh mà xác định.

Sau khi hồ được xây, phần lớn lòng sông vùng hồ bị bồi lắng, vì điều kiện nước đến, cát đến thay đổi không lớn, độ dốc cân bằng sau và trước khi xây dựng hồ nói chung nhỏ hơn 1, bình quân trên dưới 0,5. Có thể dùng tỷ số này cùng với 1 số nhân tố như đường kính hạt đất lòng sông... mà xác lập quan hệ kinh nghiệm, tìm độ dốc sau cân bằng bồi lắng.

Đối với dòng sông ít cát, thường lấy sườn dốc đỉnh tam giác châu làm độ dốc ước tính cân bằng bồi lắng hồ chứa.

Tính toán bồi lắng chuyển cát không cân bằng. Trong phương pháp phân tích sai phân hữu hạn, giả thiết lượng hàm cát thay đổi dọc đường. Vấn đề cấp phối chất lơ lửng và cấp phối chất lòng sông đều phải đồng thời tiến hành điều chỉnh tương ứng, trên mức độ nhất định lại ảnh hưởng đến sự thay đổi lượng hàm cát. Viện nghiên cứu thủy điện thủy lợi Trường Giang đã đề ra công thức tính toán sự thay đổi dọc đường của 3 yếu tố lượng hàm cát, cấp phối chất lơ lửng và cấp phối chất lòng sông, tương đối phức tạp.

#### 4. Tính toán quá trình bồi lắng hồ chứa theo phương pháp sai phân hữu hạn

##### a. Các bước tính toán quá trình bồi lắng hồ chứa nước

Mục đích của việc tính toán bồi lắng hồ chứa là dự tính trước phân diện dọc bồi lắng, tổng lượng bồi lắng và dung tích hồ cuối cùng... sau thời gian tương đối dài vận hành hồ chứa (như 50 năm hoặc 100 năm). Các bước tính toán như sau:

- 1) Đem toàn bộ khu hồ phân thành nhiều đoạn sông nhỏ, trên mỗi một đoạn sông ta chọn 1 mặt cắt đại biểu để làm mặt cắt cửa ra của đoạn sông, nếu mặt cắt được chọn quá phức tạp nên giản hóa thành mặt cắt tương đối quy tắc.

- 2) Vẽ sơ đồ mặt cắt dọc lòng sông khu hồ, sơ đồ mặt cắt ngang của các tuyến đại biểu và vẽ đường cong làm việc hữu quan của các tuyến đại biểu như đường cong quan hệ giữa mực nước và chiều rộng sông, đường cong quan hệ giữa mực nước và diện tích mặt cắt ướt v.v...
- 3) Đem đường quá trình lưu lượng tính toán giản hóa thành 1 số bậc thang, lưu lượng của mỗi bậc là hằng số, khi thời gian của mỗi bậc quá dài, thì nên phân thành một số thời khoảng tính toán.
- 4) Xác định mực nước trước đập làm mực nước khống chế, dung công thức (3-26b) để vẽ đường mặt nước khu hồ từ đó tìm các nhân tố thủy lực của mặt cắt đại biểu.
- 5) Ở gần đầu mút nước vật chọn mặt cắt vào hồ làm mặt cắt bắt đầu bồi lắng hồ chứa và thông qua phân tích tài liệu thực tế xác định quan hệ giữa lưu lượng và lưu lượng chuyển cát lơ lửng, di đầy trong phạm vi lưu lượng tính toán, sau đó tính toán lưu lượng chuyển cát của các mặt cắt đại biểu.
- 6) Dùng công thức (3-27b) tính toán độ dày xói bồi bình quân của đoạn sông. Căn cứ vào kết quả xói bồi trong tính toán vẽ mặt cắt dọc lòng sông mới. Đến đây, coi như hoàn thành việc tính toán thời khoảng thứ nhất.
- 7) Trên cơ sở mặt cắt dọc lòng sông mới, theo các bước từ (4) ÷ (6), căn cứ vào điều kiện của thời khoảng thứ 2 (lưu lượng vào hồ và mực nước hồ), tiến hành tính toán cho thời khoảng thứ 2. Tiếp tục tính toán như thế cho từng thời khoảng một ta có thể xác định được sự thay đổi theo mặt cắt dọc của lòng sông và đường cong mặt nước bồi lắng hồ chứa trong thời gian dài.

Sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn, chỉ cần các thời khoảng và các đoạn hồ được phân chia thỏa đáng, chọn dùng các tham số 1 cách hợp lý, xử lý vấn đề đúng đắn thì kết quả tính toán có thể đạt độ chính xác nhất định và có thể sử dụng tính toán biến hình của dòng sông tương đối phức tạp song khối lượng tính toán cũng rất lớn.

- b. Tính toán phân bố bồi lắng hướng dọc. Sự phân bố bồi lắng hướng dọc bao gồm tam giác châu, xói lở ngược dòng và xói lở dọc đường v.v...

Theo 3-28 phán đoán được hình thái bồi lắng trong hồ chứa là tam giác châu, ta chia tổng lượng bồi lắng thành 2 phần là bồi lắng tam giác châu và bồi lắng dòng chảy dị trọng, biết dung trọng khô bồi lắng của chúng sẽ tìm được thể tích tương ứng, sau đó xác định vị trí bồi lắng của mỗi phần riêng biệt.

Từ số liệu đo dòng chảy dị trọng có thể dùng 0,02 mm làm đường kính hạt phân giới của bùn cát. Loại lớn hơn là vật bồi lắng tam giác châu, nhỏ hơn là phần bồi lắng của dòng chảy dị trọng. Nhưng trong quá trình hình thành tam giác châu, 1 phần nhỏ hơn đường kính hạt này cũng có thể chìm lắng xuống (ví dụ trong tam giác châu của hồ chứa Quan Đình Trung Quốc có 10% số hạt nhỏ hơn 0,02 mm).

Đường viền của tam giác châu bồi lắng do độ dốc của các đoạn tạo thành xem hình (2-1), từ công thức kinh nghiệm (3-21a, 3-21b) v.v... tính toán độ dốc các đoạn. Cao trình điểm đỉnh a tam giác châu nói chung có thể xác định bằng cách lấy mực nước

hồ bình quân trong thời kỳ nước dâng trừ đi độ sâu nước mặt bãi ứng với lưu lượng bình quân đồng thời trên cao trình này di động lên trước lùi sau tam giác châu abcd sao cho bằng lượng bồi lắng tam giác châu đã biết thì vị trí của tam giác châu có thể xác định.

Lượng bồi lắng của dòng chảy dị trọng bằng tổng lượng bồi lắng trừ đi lượng bồi lắng tam giác châu. Khi địa hình vùng hồ tương đối dốc, nước dâng ngắn thì lượng bồi lắng rải đều trước đập; khi địa hình vùng hồ tương đối bằng, nước dâng tương đối dài thì có thể phân thành hai phần là bồi lắng dọc đường và bồi lắng trước đập như hình (2-1) biểu thị.

- c. Tính toán phân bố bồi lắng theo độ sâu nước (Phương pháp kinh nghiệm giảm nhỏ diện tích). Địa hình vùng hồ ảnh hưởng rất lớn đến sự phân bố bồi lắng trong khu hồ. Nói chung quan hệ giữa dung tích và độ sâu nước trong hồ là:

$$V = Nh^m \quad (3-28)$$

trong đó:

V - dung tích tương ứng với độ sâu nước h (m<sup>3</sup>);

h - độ sâu nước trước đập tính từ lòng sông cũ (m);

m - chỉ số dung tích hồ tăng thêm theo cao trình,

$$m = \frac{10^6 V \left( m^3 \right)}{h(m)}$$

N - hệ số xem bảng 3-3.

Mỹ, Ba Lan v.v... đã thu thập tài liệu bồi lắng vận hành trữ nước dài ngày của 30 hồ chứa trên các sông ít phù sa, lấy chỉ tiêu m và dựa vào đặc tính địa hình của hồ mà phân bố bồi lắng theo cao trình để phân thành 4 loại hình như bảng 3-3. Vẽ biểu đồ quan hệ giữa % lượng bồi lắng của hồ và độ sâu tương đối trên hình 3-9a. Trong hình độ sâu tương đối của hồ chứa nước trong năm (là độ sâu ứng với từng mực nước so với độ sâu ứng với mực nước trữ cao nhất và hình (3-9b) là quan hệ về độ sâu tương đối và diện tích bồi lắng tương đối. Dưới đây trình bày phương pháp kinh nghiệm giảm nhỏ diện tích, phân bố bồi lắng dọc theo cao trình tính toán:

Đầu tiên tìm trị số m để phán đoán loại hình và xác định độ sâu bồi lắng trước đập h<sub>0</sub>. Giả thiết tỷ số giữa diện tích bồi lắng ở các cao trình với diện tích bồi lắng tương đối trong toàn vùng hồ là một hằng số k:

$$\frac{A_0}{a_0} = \frac{A}{a} = k$$

$$\frac{1 - V_r}{a_0} = \frac{V_s - V_0}{HA_0} \quad (3-29)$$

trong đó:

A<sub>0</sub> - diện tích bồi lắng (m<sup>2</sup>);

$a_0$  - diện tích bồi lắng tương đối;

$V_0$  - thể tích bồi lắng dưới  $h_0$ ;

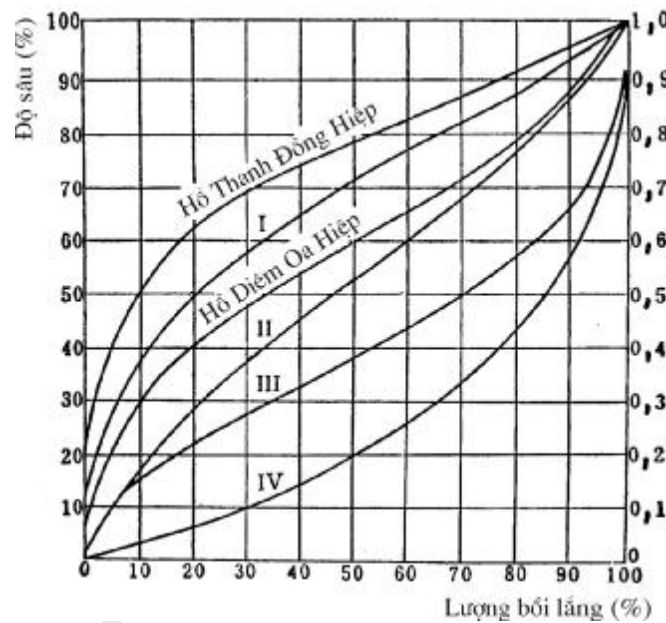
$V_r$  - thể tích bồi lắng tương đối ( $m^3$ );

$V_s$  - tổng lượng bồi lắng ( $m^3$ );

$H$  - độ sâu nước trước đập tính từ đáy sông cũ (m);

$A$  - diện tích bồi lắng ở chỗ độ sâu nước  $h$  tính từ đáy sông tại vị trí đập trở lên ( $m^2$ );

$a$  - diện tích bồi lắng tương đối tương ứng.

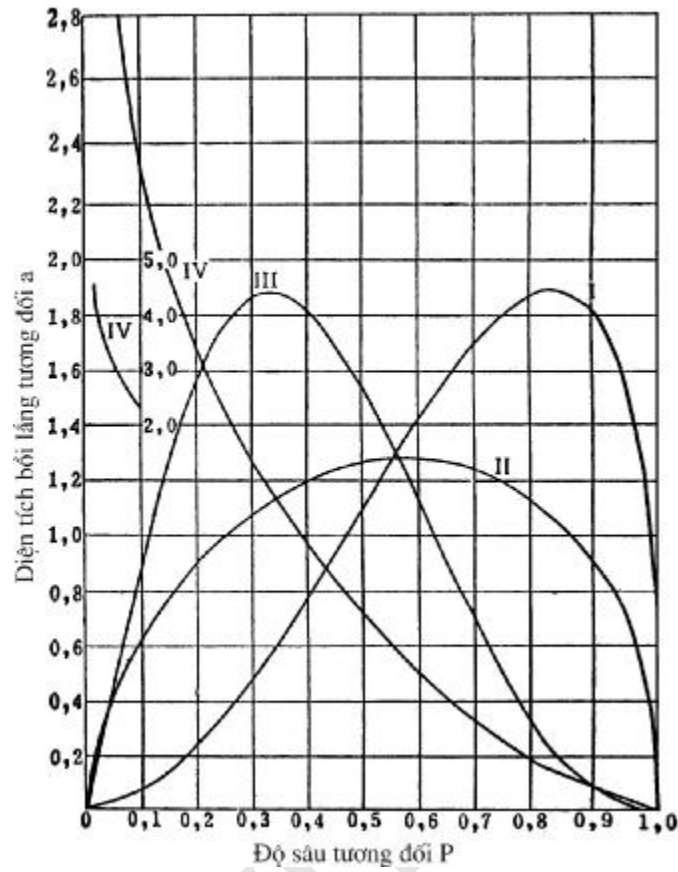


**Hình 3-9a. Phân bố bồi lắng dựa vào địa hình để phân loại**

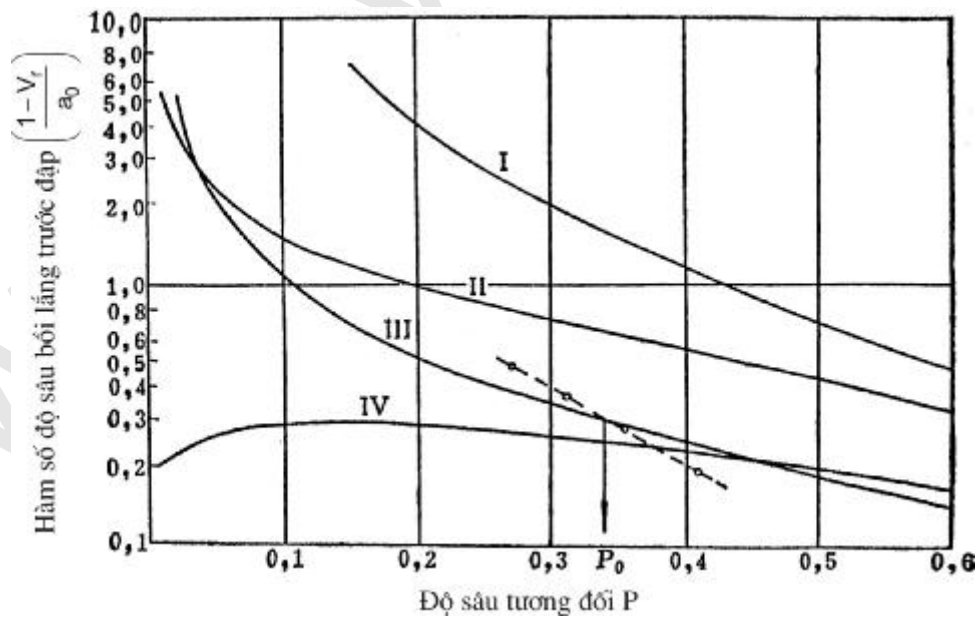
Khi dùng công thức (3-29) tìm độ sâu bồi lắng trước đập  $h_0$  thì có thể dùng phương pháp tính thử dần trị số 2 vế của công thức có bằng nhau không; hoặc sử dụng đường hỗ trợ trên hình (3-9c) để xác định độ sâu bồi lắng trước đập. Đã biết tổng lượng bồi lắng; độ sâu nước của hồ chứa tính toán, trị số  $(V_s - V_0)$  (tức là lượng bồi lắng dư thừa

từ mặt bồi lắng trước đập trở lên) và trị số  $\frac{V_s - V_0}{HA_0}$ . Xây dựng biểu đồ đường cong hỗ

trợ xác định độ sâu bồi lắng trước đập (3-9c) theo 4 loại đặc tính địa hình. Chúng giao nhau với đường loại hình xác định từ trị số  $m$ . Giao điểm của nó chính là độ sâu tương đối bồi lắng trước đập  $P_0$ ,  $h_0$  và  $A_0$  cao trình tương ứng. Từ hình (3-9b) tra được  $a_0$  và xác định được  $K$ . Từ đó có thể tính được diện tích bồi lắng, thể tích bồi lắng và dung tích hồ sau bồi lắng. Phạm vi tài liệu thực đo với dung tích hồ là  $0,04 \div 38,6$  tỷ  $m^3$ , lượng bồi lắng là  $1 \div 57\%$  dung tích hồ cũ, thời hạn vận hành  $14 \div 50$  năm. Đối với loại phương pháp này, hiện nay nghiên cứu còn ít.



Hình 3-9b. Phân bố diện tích bồi lắng tương đối dựa vào phân loại địa hình hồ chứa



Hình 3-9c. Đường cong hỗ trợ xác định độ sâu bồi lắng trước đập

**Bảng 3-3. Phân loại đặc tính địa hình hồ chứa**

Số phân loại	Địa hình hồ chứa	Trị số m	Trị số N	Ghi chú
I	Hình ao hồ	$m > 35$	$N < 0,28$	Điểm trên giấy hai trục đối số
II	Địa hình núi cao	$3,5 > m > 2,5$	$0,4 > N > 0,28$	Quan hệ dung tích hồ và độ sâu nước
III	Địa hình đồi núi	$2,5 > m > 1,5$	$0,67 > N > 0,4$	Tìm trị số m
IV	Trong thung lũng sâu	$m < 15$	$N > 0,67$	

### 5. Tính toán quá trình bồi lắng hồ chứa theo mô hình toán HEC-6

Mô hình HEC-6 của Trung tâm Kỹ thuật Thủy văn Quân đội Mỹ, phiên bản 4.1 do Thomas và Prasuhn nâng cấp năm 1993 [1] có một số ưu việt hơn các mô hình tính bồi lắng hồ chứa khác, cụ thể như sau:

- HEC-6 là mô hình một chiều viết cho dòng chảy ổn định biến đổi dần trong kênh hở lòng động; được thiết kế để mô phỏng và dự báo xu thế biến đổi lòng dẫn và các đặc trưng bùn cát của sông và các hồ chứa nông, quá trình bồi lắng cát bùn các hồ chứa sâu trong thời kỳ dài nhiều năm. Mặc dù vậy, nó vẫn có khả năng ứng dụng cho từng trận lũ.
- HEC-6 có khả năng phân tích dòng chảy và bùn cát trong mạng lưới sông và cho phép lựa chọn các dạng nhập - tách khác nhau của dòng chảy.
- HEC-6 cho phép mô tả tình trạng dòng chảy sát thực hơn bằng việc chia lòng sông thành các bộ phận: bờ trái, lòng chính và bờ phải (hoặc phân đáy động và đáy cứng) với đặc điểm thủy lực và bùn cát khác nhau.
- HEC-6 có khả năng mô phỏng quá trình bồi - xói các hạt bùn cát có kích cỡ thay đổi từ sét ( $d = 0,00024 \div 0,004$  mm) đến đá tảng ( $d > 256$  mm).
- HEC-6 sử dụng 11 quan hệ để tính toán sức tải cát cho từng cấp hạt khác nhau, ngoài ra còn cho phép người sử dụng xây dựng hàm sức tải riêng nếu có đủ số liệu đo đạc.
- HEC-6 cho phép tính toán đường mặt nước trong sông, hồ ứng với các điều kiện lòng cứng và lòng động.
- HEC-6 có khả năng mô phỏng quá trình thô hóa đáy sông hạ lưu đập dựa trên khái niệm về lớp hoạt động và lớp không hoạt động cũng như quá trình trao đổi bùn cát giữa hai lớp này.
- Ngoài khả năng tính bồi lắng hồ chứa, HEC-6 còn có thể dùng để:
  - (i) Mô phỏng xu thế dài hạn của hiện tượng bồi hoặc xói lòng sông do kết quả của sự thay đổi có tính thường xuyên và tính chu kỳ của lưu lượng hoặc do sự thay đổi hình dạng kênh.
  - (ii) Tính toán thiết kế thu hẹp lòng dẫn để duy trì chiều sâu vận tải thủy.

- (iii) Tính toán khối lượng nạo vét và dự đoán ảnh hưởng của việc nạo vét đối với tốc độ bồi lắng.
- (iv) Ước tính khả năng xói lớn nhất có thể đối với các trận lũ lớn.

Mô hình có một số điểm hạn chế như:

- (i) Không mô tả sự chuyển động bùn cát trong các nhánh từ cấp II trở lên.
- (ii) Không tính toán chuyển tải bùn cát theo phương ngang và không thể mô phỏng hiện tượng dòng chảy vòng
- (iii) Giữa hai mặt cắt ngang chỉ cho phép có một điểm nhập - tách lưu cục bộ hoặc một điểm giao nhau của dòng chảy.
- (iv) Không có khả năng áp dụng cho các đoạn sông bị ảnh hưởng triều.

Tuy nhiên, những hạn chế này không ảnh hưởng nhiều đến kết quả tính toán bồi lắng hồ chứa, đặc biệt là các hồ chứa dài, hẹp và sâu như Hòa Bình, Sơn La.

Dưới đây giới thiệu kết quả tính toán quá trình bồi lắng hồ chứa Hòa Bình với thời kỳ tính toán kéo dài từ năm 1992 đến năm 2090 với bước tính 1 ngày đối với các tháng VI - X; 1 tháng đối với các tháng còn lại trong năm. Kết quả dự tính bồi lắng cát bùn hồ Hòa Bình đến năm 2080 (theo Trung tâm nghiên cứu Môi trường không khí và Nước - Viện Khí tượng Thủy văn) như sau:

Trong 9 năm đầu tích nước điều tiết (1992 ÷ 2000), trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 62,5 triệu mét khối với 69,78% bùn cát lắng đọng trong dung tích chết, hệ số bồi lắng đạt 0,83; chỉ các hạt sét và bùn mịn có đường kính 0,002 ÷ 0,016 mm được xả xuống hạ lưu. Cuối thời kỳ này, bãi ngầm bùn cát bồi lắng hình thành với đỉnh của nó cách tuyến đập khoảng 120 km, cao trình bồi lắng trước đập đạt 15,8 m.

Trong 20 năm tiếp theo (2001 ÷ 2020), trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 57,1 triệu mét khối với 66 ÷ 72% bùn cát lắng đọng trong dung tích chết, hệ số bồi lắng 0,75; chỉ các hạt sét và bùn mịn có đường kính 0,002 ÷ 0,016 mm được xả xuống hạ lưu. Cuối thời kỳ này, đỉnh bãi ngầm bùn cát bồi lắng cách tuyến đập khoảng 90 km, cao trình bồi lắng trước đập đạt 18,5 m.

Thời kỳ 2021 ÷ 2040, trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 54,2 triệu mét khối với 66 ÷ 73% bùn cát lắng đọng trong dung tích chết, hệ số bồi lắng 0,72; chỉ các hạt sét và bùn mịn có đường kính 0,002 ÷ 0,016 mm được xả xuống hạ lưu. Cuối thời kỳ này, đỉnh bãi ngầm bùn cát bồi lắng cách tuyến đập khoảng 60 km, cao trình bồi lắng trước đập đạt 22,0 m.

Thời kỳ 2041 - 2060, trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 51,7 triệu mét khối với 64 ÷ 73% bùn cát lắng đọng trong dung tích chết, hệ số bồi lắng 0,68; ngoài các hạt sét và bùn mịn, các hạt bùn trung bình và thô có đường kính 0,016 ÷ 0,0625 mm cũng được xả xuống hạ lưu. Cuối thời kỳ này, đỉnh bãi ngầm bùn cát bồi lắng cách tuyến đập khoảng 35 km, cao trình bồi lắng trước đập đạt 26,1 ÷ 27,2 m.



Thời kỳ 2061 ÷ 2080, trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 46,5 triệu mét khối với 64% bùn cát lắng đọng trong dung tích chết, hệ số bồi lấp 0,62; các hạt sét và bùn có đường kính 0,002 ÷ 0,0625 mm được xả xuống hạ lưu. Cuối thời kỳ này, đỉnh bãi ngâm bùn cát bồi lấp cách tuyến đập khoảng 20 km, cao trình bồi lấp trước đập đạt 33,1 ÷ 38,7 m.

Tóm lại, trong cả thời kỳ 1992 ÷ 2080, trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 54,5 triệu mét khối với khoảng 70% bùn cát lắng đọng trong dung tích chết và hệ số bồi lấp 0,72. Sau 75 năm vận hành, đến năm 2065, lượng bùn cát bồi lấp trong hồ gần bằng dung tích chết. Sau 90 năm vận hành, đến năm 2080, bãi ngâm sẽ tiến về cách đập khoảng 20 km và cao trình bồi lấp trước đập đạt xấp xỉ 40 m. Từ kết quả dự tính bồi lấp bằng mô hình HEC-6 có thể nhận thấy, với cách bố trí cửa xả đáy ở cao trình 56 m, cửa lấy nước vào turbine ở cao trình 65 ÷ 75 m như hiện nay, đến năm 2080 hồ Hòa Bình vẫn đảm bảo chức năng sản xuất điện. Tuy nhiên, do bùn cát bồi lấp 1456 triệu mét khối ở phần dung tích điều tiết trong 90 năm vận hành, nên đến năm 2080 dung tích hữu ích và phòng lũ của hồ tương ứng bị giảm xuống còn 4194 và 4414 triệu mét khối, bằng khoảng 74 ÷ 75% dung tích ban đầu.

Kết quả tính toán lượng và phân bố bồi lấp cát bùn hồ Hòa Bình theo thời gian bằng mô hình HEC-6 tương đối phù hợp với kết quả tính toán bằng phương pháp của Shamov. Kết quả tính toán độ cao bồi lấp trước đập bằng mô hình HEC-6 nhỏ hơn kết quả tính toán bằng phương pháp Borland-Miller. Điều này có thể giải thích: do giả thiết bùn cát bồi lấp trước tiên ở hố trũng nhất sát đập sau đó lan dần về phía thượng lưu hồ, nên phương pháp Borland-Miller bao giờ cũng cho kết quả tính cao trình bồi lấp trước đập lớn nhất.

Hiện nay có nhiều mô hình toán tính toán quá trình bồi lấp hồ chứa như mô hình Mike 11 (mô hình toán 1 chiều), Mike 21 (mô hình toán 2 chiều), HEC-6 – HEC-RAS (kết nối)...

### 3.3. MỘT SỐ VẤN ĐỀ LIÊN QUAN TRONG TÍNH TOÁN BỒI LẤP HỒ CHỨA

Độ chính xác và độ tin cậy trong tính toán bồi lấp hồ chứa quyết định ở xử lý một số vấn đề có thích đáng không, sự lựa chọn một số tham số có hợp lý không, thậm chí có lúc trở thành nội dung quan trọng trong việc đánh giá kết quả tính toán. Vì thế đối với một số vấn đề liên quan trong tính toán phải thật sự coi trọng, trong đó có 5 nội dung chủ yếu như sau:

#### 3.3.1. Xác định lượng bùn cát vào hồ

Lượng bùn cát vào hồ có quan hệ rất lớn đối với lượng bồi lấp và sự phân bố bồi lấp, nói chung có thể thông qua phương pháp phân tích tài liệu thực đo để vẽ đường quan hệ giữa lưu lượng bình quân tuần hoặc ngày và lưu lượng chuyển cát lơ lửng và đi

đẩy qua mặt cát vào hồ để xác định. Nếu không có tài liệu thực đo về bùn cát, đối với dòng sông vùng núi có thể căn cứ vào bản đồ đẳng trị module lượng chuyển cát đồng thời kết hợp với phương pháp tượng tự để ước tính lượng bùn cát nhập vào hồ; Đối với sông đồng bằng, lưu lượng hàm cát được bổ sung thêm thì có thể dùng công thức vận chuyển bùn cát để tính toán xác định số lượng chất lơ lửng. Để phân tách lượng bồi lắng chất lơ lửng và chất di đầy cần lợi dụng kết quả thực đo của các công trình thủy lợi đã xây dựng trên thượng lưu và quan hệ so sánh giữa cấp phối bùn cát lơ lửng và cấp phối vật bồi lắng dọc đường của hồ để tìm ra % của hai chất đó để tính toán lượng bồi lắng của chất lơ lửng và chất di đầy.

### 3.3.2. Lựa chọn độ nhám

Độ nhám lòng sông là một trong những nhân tố chính ảnh hưởng đến độ dốc, nó không chỉ ảnh hưởng đến điều kiện dòng chảy mà còn có thể ảnh hưởng đến lượng bồi lắng và vị trí bồi lắng trong khu hồ, cho nên phải rất thận trọng trong việc lựa chọn độ nhám.

Tài liệu thực đo của khu hồ Tây Tân, Thanh Đồng Hiệp... (Trung Quốc) cho thấy tình hình giảm nhỏ độ nhám sau khi xây dựng hồ là rất phức tạp. Với hồ chứa khác nhau, với giai đoạn phát triển bồi lắng khác nhau, với đoạn hồ khác nhau, sự giảm nhỏ về độ nhám của nó là khác nhau. Độ nhám của đoạn nước dềnh biến động giảm tương đối nhiều, độ nhám đoạn trước đập giảm tương đối ít. Việc xác định độ nhám cần chú ý xem xét đoạn biến động nước dềnh và đoạn nước dềnh không thường xuyên. Ước tính độ nhám chủ yếu có mấy phương pháp sau:

- Ước tính độ nhám theo chất tạo lòng sông.
- Sử dụng độ nhám của một đoạn sông hạ lưu hồ chứa để ước tính độ nhám đáy sông sau bồi lắng.
- Lợi dụng tài liệu thực đo độ nhám sau bồi lắng của hồ chứa đã xây dựng làm căn cứ.

### 3.3.3. Vấn đề mịn hóa và thô hóa chất đất lòng sông

Sự bồi lắng lòng hồ làm mịn hóa lòng và làm tăng thêm sức tải cát của dòng chảy, nên giảm bớt số lượng bồi lắng. Sự xói lở hồ chứa sẽ làm thô hóa chất lòng sông. Vì vấn đề thô, mịn hóa bùn cát ở lòng sông hết sức phức tạp, nên có thể chọn 1 kích thước hạt nào đó làm tiêu chuẩn phân chia ranh giới chất bị xói và chất lòng sông. Theo số liệu bồi lắng hồ chứa ở Trung Quốc đường kính hạt chia khoảng  $0,01 \div 0,02$  mm. Học viện Thủy lợi điện lực Vũ Hán căn cứ vào tài liệu của hồ chứa cửa khẩu Đôn Giang và hồ chứa Quan Đình đã đề ra công thức kinh nghiệm tính đường kính hạt phân chia. Ngoài ra còn chia vùng hồ làm 2 đoạn mà điểm phân giới của nó có mực nước xấp xỉ mực nước dưới đập khi lưu lượng bằng nhau, đoạn hồ ở trên điểm phân giới thì dùng  $d_{10}$  cấp phối chất lòng sông hạ lưu làm cấp hạt phân giới, đoạn hồ ở dưới điểm phân giới thì sử dụng 0,01 mm làm cấp hạt phân giới. Đây đều là cách tính thô.

### 3.3.4. Bồi lắng chất xung xói

Công thức tính toán sức tải cát của dòng nước thường dùng chỉ bao gồm một phần chất lòng sông, không xét đến sự bồi lắng của chất xung xói. Vì thế, trong tính toán bồi lắng hồ chứa còn phải ước tính đến vấn đề bồi lắng của chất xung xói. Bồi lắng của chất xung xói nội dung có thể chia làm 2 phần, một là bồi lắng theo chất lòng sông; phần khác hoặc là tham gia dòng chảy dị trọng hoặc bồi lắng theo dạng thủy tĩnh xuống trước đập. Sau khi đã tính được lượng bồi lắng chất lòng sông  $\Delta G_z$ , lượng bồi lắng của chất xung xói  $\Delta G_c$  tính theo công thức sau:

$$\Delta G_c = \frac{\varphi}{1 - \varphi} \Delta G_z \quad (3-30)$$

trong đó:  $\varphi$  - % mà lượng bồi lắng chất xung xói chiếm so với tổng lượng bồi lắng.

### 3.3.5. Ước tính lưu lượng tạo lòng

Nhân tố chính ảnh hưởng đến độ dốc cân bằng bồi lắng là lưu lượng tạo lòng. Khi tính toán độ dốc cân bằng, trước mắt người ta thường lấy lưu lượng tạo lòng bằng lưu lượng tràn bãi. Ở nước ta, cát đến từ lòng sông chủ yếu tập trung vào mùa lũ, có người đề ra lấy lưu lượng bình quân mùa lũ hoặc lưu lượng lũ bình quân (lưu lượng bình quân của quá trình các đỉnh lũ) hoặc lưu lượng bình quân lấy lưu lượng chuyển cát trọng số làm lưu lượng tạo lòng. Makavayer căn cứ vào tần số xuất hiện mỗi cấp lưu lượng P và độ dốc bình quân của nó J, vẽ đường quan hệ  $Q^mPJ - Q$  (với sông đồng bằng  $m = 2$ ), lấy lưu lượng tương ứng với trị số lớn nhất  $Q^mPJ$  làm lưu lượng tạo lòng. Trong 1 năm có 2 trị số lớn nhất, 1 số tương đương với lưu lượng lũ lớn nhất bình quân nhiều năm, tần suất của nó là  $P = 1 \div 6\%$  (tương đương với mực nước tràn bãi cao của sông), 1 số khác hơi lớn hơn lưu lượng bình quân năm, tần suất của nó  $p = 24 \div 25\%$  (tương đương với mực nước tràn ở bãi thấp). Trong tính toán hồ chứa, ta lấy số trước làm lưu lượng tạo lòng thì thích hợp hơn.

### 3.3.6. Vận hành hồ chứa và vấn đề dung tích hồ

1. Phương thức vận hành hồ chứa có nhiều phù sa và dung tích hồ có thể sử dụng lâu dài. Trên dòng sông có nhiều phù sa, xu thế phát triển bồi lắng hồ chứa có quan hệ rất lớn đến phương thức vận hành, nghĩa là khi thiết kế phải xét đến phương thức vận hành. Phương thức vận hành hồ chứa chủ yếu có: chứa trong xả đục, trữ lũ xả cát, chậm lũ... Căn cứ vào kinh nghiệm vận hành hiện có sơ bộ đề ra 2 chỉ tiêu phân biệt

$$K_T \left( = \frac{V_0}{V_S} \right) \text{ và } K_W \left( = \frac{V_0}{W} \right) \text{ để lựa chọn phương thức vận hành } K_T > 50, K_W < 0,2 \text{ có}$$

thể ưu tiên trữ lũ;  $K_T < 20 \div 30, K_W < 0,1$  ưu tiên "tích trong xả đục";  $K_T = 20 \div 30, K_W = 0,1 \div 0,2$  thì thời kỳ đầu trữ lũ, thời kỳ sau tích trong xả đục, hoặc 2 loại thay nhau sử dụng. Trong đó:  $V_0$  là dung tích hồ ban đầu,  $V_S$  là lượng cát đến bình quân năm,  $W$  là lượng nước đến bình quân năm.

Khi tình hình xói bồi trên hồ chứa phát triển đến mức cân bằng, trong 1 thời gian nhất định, lượng cát ra vào hồ duy trì cân bằng, tổn thất dung tích hồ đạt đến trị số lớn nhất. Với mực nước dâng bình thường hoặc ở dưới mặt bãi tiêu chuẩn thiết kế nào đó, dung tích hồ trên bãi đã lấp đầy, lúc này dung tích còn lại chính là dung tích hồ có thể dùng lâu dài hoặc gọi là dung tích hồ cấp cuối cùng. Chỉ cần có phương thức vận hành thích đáng. Như sử dụng phương thức tích trong xả đục hoặc chậm lũ phải có 1 quy mô dòng xả nhất định và cao trình cửa xả nước tương đối thấp thì trong hồ có thể hình thành máng sâu bãi cao và mới có thể giữ được một dung tích hồ với mức lớn nhất để sử dụng lâu dài. Ngược lại, nếu không có biện pháp thích hợp thì chưa chắc giữ được dung tích hồ sử dụng lâu dài.

2. Hình thái cực hạn bồi lắng hồ chứa và ước tính niên hạn bồi lắng. Hình thái cuối cùng trong bồi lắng hồ chứa thường là chỉ sự xói bồi trong hồ chứa phát triển đến trạng thái cân bằng, về cơ bản không phát sinh bồi lắng nữa. Đây chỉ là nói tình hình trung bình trên đoạn sông tương đối dài trong thời gian cũng tương đối dài.

Căn cứ vào quy luật hồ chứa dần dần theo hướng cân bằng bồi lắng, tốc độ bồi lắng giảm nhỏ theo dung tích hồ cho đến khi kết thúc bồi lắng. Vì thế niên hạn bồi lắng có ý nghĩa thực tế không phải chỉ là thời gian bồi lắng hoàn toàn dung tích hồ có thể bồi, mà là chỉ niên hạn hiệu ích phân sử dụng của hồ xuống rất thấp, tuổi thọ sử dụng của hồ chứa đã đến lúc kết thúc. Cũng có người cho rằng khi dung tích hồ còn lại xấp xỉ với dung tích lòng sông thì bồi lắng đã đạt đến mức cân bằng tương đối, coi thời gian tương ứng của nó làm niên hạn bồi lắng.

Đối với hồ chứa trên dòng sông ít cát, niên hạn bồi lắng có thể ước tính theo tỷ số lượng bồi lắng trong hồ và lượng bùn cát năm đầu sau số năm  $t$  (lượng bùn cát bị giữ lại ở hồ chứa trong 1 năm chiếm % lượng bùn cát nhập vào hồ trong năm đó). Niên hạn bồi lắng cũng có quan hệ với dung tích hồ. Công thức quan hệ giữa hệ số lắng đọng bùn cát của hồ chứa sau  $t$  năm và lượng bồi lắng là:

$$\beta_t = \beta_0 \left( 1 - \frac{W_t}{W_0} \right)^n \quad (3-31)$$

trong đó:

$\beta_t$  - hệ số lắng đọng bùn cát của hồ chứa sau  $t$  năm (%);

$\beta_0$  - hệ số lắng đọng bùn cát của hồ chứa năm đầu (%);

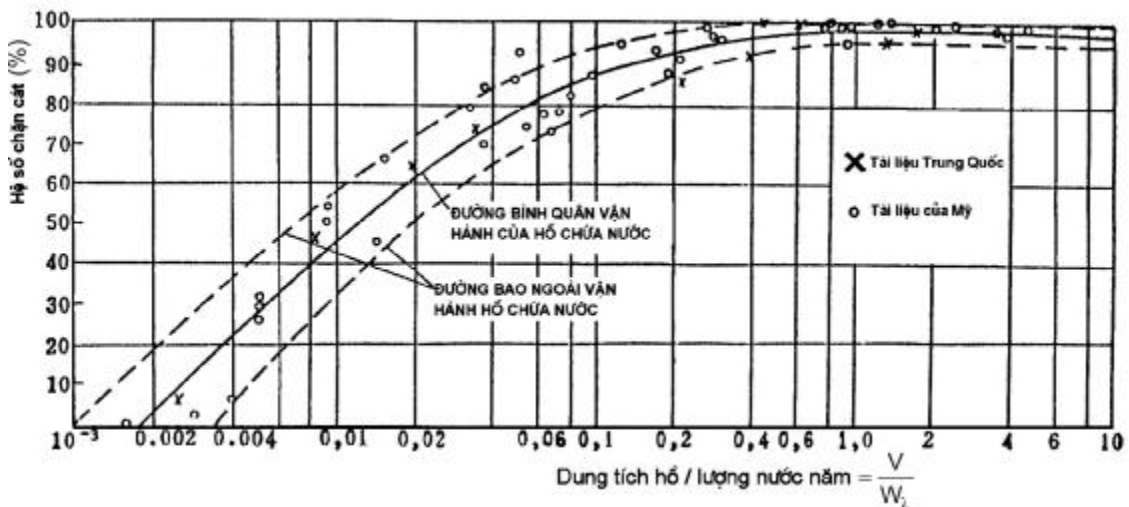
$W_t$  - lượng bồi lắng tích lũy sau  $t$  năm ( $m^3$ );

$W_0$  - dung tích hồ có thể bồi lắng lớn nhất ( $m^3$ );

$n$  - chỉ số triết giảm của hệ số lắng đọng bùn cát theo dung tích hồ, là số cần xác định có quan hệ với nước và bùn cát.

Căn cứ vào tài liệu bồi lắng của một số hồ chứa nước ở Trung Quốc, trị số  $n$  nói chung nhỏ hơn 1. Hồ chứa cơ bản không xả cát,  $n = 0 \div 0,45$ ; Với hồ chứa xả cát tương đối nhiều  $n = 0,9 \div 0,95$ ; ở vào giữa 2 trạng thái trên thì  $n = 0,6 \div 0,75$ . Vì hệ số lắng đọng bùn cát có quan hệ rõ ràng với tỷ số giữa dung tích hồ và lượng nước bình quân năm (xem hình 3-10) nên chúng ta có thể lợi dụng công thức (3-31) để xác định trị số  $n$  cho 1 hồ chứa nào đó. Khi biết tổng lượng dòng chảy năm bình quân, hệ số lắng đọng bùn cát năm đầu và dung tích lớn có thể bồi lắng, giả thiết lượng bồi lắng tích lũy  $W_1$ , theo tỷ số giữa dung tích còn lại và lượng dòng chảy năm, từ hình (3-10) ta tra được hệ số lắng đọng bùn cát tương ứng  $\beta_1$ , dùng công thức (3-31) vẽ trên giấy loga 2 chiều có thể tìm được trị số  $n$ .

Trong quy hoạch thiết kế, niên hạn bồi lắng của hồ chứa phải xác định theo tính chất và mục tiêu của công trình khác nhau. Đối với hồ chứa phòng chống lũ, niên hạn bồi lắng thường lấy 100 năm hoặc dài hơn nữa; Hồ chứa bị hạn chế bởi ngập úng đất đai hoặc di dân, thì niên hạn bồi lắng có thể lấy 10 ÷ 20 năm. Nếu hồ chứa có nhiệm vụ phòng lũ cho các đô thị trọng yếu thì niên hạn bồi lắng của nó nên có nghiên cứu riêng.



Hình 3-15. Quan hệ kinh nghiệm hệ số lắng đọng bùn cát bình quân nhiều năm của hồ chứa nước

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trung tâm nghiên cứu Môi trường không khí và nước - Viện Khí tượng Thủy văn. Nghiên cứu tính toán bồi lắng và nước dâng ứng với các phương án xây dựng khác nhau của hồ chứa Sơn La. Hà Nội - 2004.
2. Học viện Thủy lợi Hoa Đông - Trung Quốc (Chủ biên). Sổ tay thiết kế công trình Thủy công - NXB. Thủy lợi - Điện lực Trung Quốc. Bắc Kinh - 1984.
3. Trung tâm Thủy văn ứng dụng và Kỹ thuật môi trường - Đại học Thủy Lợi (Chủ biên). Quy phạm tính toán thủy văn Dự án phát triển Tài nguyên nước. Bản thảo 2004.
4. Ngô Đình Tuấn. Tài nguyên nước và cân bằng nước hệ thống. Giáo trình Cao học Thủy văn - Môi trường. Hà Nội 1998.
5. Ngô Đình Tuấn. Thủy văn nâng cao. Giáo trình Cao học Thủy văn - Môi trường. Hà Nội - 1998; 2004.