

B. Bùn cát

*Biên soạn: GS. TS. Ngô Đình Tuấn
PGS. TS. Đỗ Cao Đàm*

Chương 1. Bùn cát trong sông thiên nhiên

Chương 2. Bùn cát trong hồ chứa

Chương 3. Phương pháp tính toán bồi lắng hồ chứa

Chương 1

BÙN CÁT TRONG SÔNG THIÊN NHIÊN

1.1. TÍNH CHẤT CỦA BÙN CÁT

1.1.1. Phân loại bùn cát

Trong sông thiên nhiên, bùn cát được chia thành hai loại: bùn cát lơ lửng và bùn cát di đáy (đáy). Tuy vậy phân loại chi tiết cũng có nhiều phương pháp khác nhau.

1. Phương pháp Sa Ngọc Thanh: dựa trên cơ sở phân loại theo đường kính hạt và đặc điểm thủy lực của bùn cát (Bảng 1.1).

Bảng 1-1. Phân loại theo Sa Ngọc Thanh

Đường kính hạt (mm)	Tên gọi		Cấp hạt	Vùng chảy	Chất lơ lửng hay di đáy
0,001 ÷ 0,002	nhỏ	Bùn dính	Bùn	Khu chảy tầng	Bùn cát lơ lửng
0,002 ÷ 0,004	trung bình				
0,004 ÷ 0,01	thô				
0,01 ÷ 0,02	nhỏ	Bùn			
0,02 ÷ 0,04	trung bình				
0,04 ÷ 0,1	thô				
0,1 ÷ 0,2	nhỏ	Cát	Cát	Khu quá độ	Di đáy
0,2 ÷ 0,6	trung bình				
0,6 ÷ 2	thô				
2 ÷ 6	nhỏ	Đá dăm	Sỏi đá	Khu chảy rối	
6 ÷ 20	thô				
20 ÷ 60	nhỏ	Sỏi			
60 ÷ 200	thô				

2. Phương pháp Đại học Thanh Hoa: dựa trên cơ sở phân loại đất của cơ học đất

Bảng 1-2. Phân loại bùn cát theo Đại học Thanh Hoa

Phạm vi đường kính hạt (mm)	Tên gọi và phân cấp	Phạm vi đường kính hạt (mm)	Tên gọi và phân cấp
0,001 ÷ 0,0025	Đất sét mịn	2 ÷ 5	Đá dăm nhỏ
0,0025 ÷ 0,005	Đất sét thô	5 ÷ 10	Đá dăm vừa
0,005 ÷ 0,01	Bùn cát mịn	10 ÷ 20	Đá dăm thô
0,01 ÷ 0,025	Bùn cát vừa	20 ÷ 50	Sỏi nhỏ
0,025 ÷ 0,05	Bùn cát thô	50 ÷ 100	Sỏi vừa
0,05 ÷ 0,1	Bụi cát	100 ÷ 200	Sỏi thô
0,1 ÷ 0,25	Cát mịn	200 ÷ 500	Đá cuội nhỏ
0,25 ÷ 0,5	Cát vừa	500 ÷ 1000	Đá cuội vừa
0,5 ÷ 2	Cát thô	> 1000	Đá cuội thô

Bảng 1-3. Quan hệ giữa tốc độ lắng chìm của bùn cát với kích thước hạt

Vùng chảy	Đường kính d (mm)	Tốc độ lắng đọng ω (mm/s)				
		t = 0 °C	t = 10 °C	t = 20 °C	t = 30 °C	t = 40 °C
Vùng chảy tầng	0,001	0,000379	0,000514	0,000667	0,000832	0,00102
	0,005	0,000851	0,00110	0,00150	0,00187	0,00230
	0,002	0,00152	0,00206	0,00267	0,00333	0,00409
	0,0025	0,00237	0,00322	0,00417	0,00520	0,00639
	0,003	0,00341	0,00463	0,00601	0,00748	0,00918
	0,0035	0,00464	0,00630	0,00817	0,0102	0,0125
	0,004	0,00604	0,00822	0,0107	0,0133	0,0163
	0,005	0,00946	0,0129	0,0167	0,0208	0,0256
	0,006	0,0136	0,0185	0,0240	0,0299	0,0367
	0,007	0,0185	0,0252	0,0327	0,0407	0,05
	0,008	0,0242	0,0329	0,0426	0,0531	0,0652
	0,009	0,0306	0,0416	0,0540	0,0674	0,0826
	0,01	0,0379	0,0514	0,0667	0,0832	0,102
	0,015	0,0851	0,110	0,150	0,187	0,23

Vùng chảy	Đường kính d (mm)	Tốc độ lắng động ω (mm/s)				
		t = 0 °C	t = 10 °C	t = 20 °C	t = 30 °C	t = 40 °C
Vùng chảy	0,02	0,152	0,206	0,267	0,333	0,409
	0,025	0,2370	0,322	0,417	0,520	0,639
	0,03	0,341	0,463	0,601	0,748	0,918
	0,035	0,464	0,63	0,817	1,02	1,25
	0,04	0,604	0,822	1,07	1,33	1,63
	0,05	0,946	1,29	1,67	2,08	2,76
	0,06	1,36	1,85	2,4	3,17	3,75
	0,07	1,85	2,52	3,5	4,08	5,06
	0,08	2,42	3,41	4,41	5,13	6,07
	0,09	3,06	4,19	5,55	6,18	7,48
Vùng quá độ	0,1	3,7	4,97	6,12	7,35	8,55
	0,15	7,69	9,9	11,8	13,7	15,5
	0,2	12,3	15,3	17,9	20,5	23
	0,25	17,2	21	24,4	27,5	30,2
	0,3	22,3	26,7	30,8	34,4	37,6
	0,35	27,4	32,8	37,1	41,4	45,5
	0,4	32,9	38,7	43,4	48,6	52,7
	0,5	43,3	50,6	56,7	61,9	67,1
	0,6	54,3	62,6	69,2	75	81,0
	0,7	65,2	74,2	81,2	88,5	95,2
	0,8	75	85,5	93,7	102	108
	0,9	85,5	96,0	106	114	121
	1,0	95,2	107	117	125	133
1,5	143	160	172	177	177	
2,0	190	205	205	205	205	
Vùng chảy rối	2,5	229	7	383	25	725
	3,0	251	8	409	30	794
	3,5	271	9	435	35	856
	4,0	290	10	458	40	916
	5,0	324	15	561	50	1025
	6,0	355	20	648	60	1121

1.1.2. Dung trọng khô của bùn cát bồi lắng trong hồ chứa

1. Dung trọng của bùn cát và độ rỗng ε

Dung trọng khô của bùn cát γ' (T/m^3) là trọng lượng của một đơn vị thể tích bùn cát khô. Độ rỗng của bùn cát là tỷ số giữa thể tích rỗng của bùn cát so với một đơn vị thể tích bùn cát. Dung trọng khô có quan hệ với dung trọng hạt cát γ_S và độ rỗng ε như sau:

$$\gamma' = \gamma_S (1 - \varepsilon) \quad (1-1)$$

Độ rỗng của bùn cát có quan hệ với đường kính hạt và có mức dao động lớn. Chỉ có khi bùn cát đã bồi lắng ổn định độ rỗng mới ổn định bằng khoảng 0,4. Dung trọng khô của bùn cát đạt khoảng $1,6 T/m^3$.

2. Dung trọng khô của bùn cát lắng đọng trong hồ chứa

Dung trọng khô của bùn cát lắng đọng trong hồ chứa có quan hệ với đường kính hạt, độ rỗng, thời gian bồi lắng, độ phơi nắng và áp lực nước...

Quan hệ giữa dung trọng khô với thời gian

$$\gamma'_T = \gamma'_0 + B/g T \quad (1-2)$$

trong đó:

γ'_T - dung trọng khô sau T năm (T/m^3);

B - tham số;

γ'_0 - dung trọng đầu (T/m^3), tương đương với dung trọng sau 1 năm;

T - thời gian.

Khi bùn cát bồi lắng có nhiều cỡ hạt thì đường kính hạt tính theo phương pháp bình quân gia quyền lấy phần trăm của từng cỡ hạt làm quyền số.

Bảng 1-4. Quan hệ giữa γ'_0 và B

Tình hình hồ chứa	Cát		Bùn		Sét	
	γ'_0	B	γ'_0	B	γ'_0	B
Vật bồi lắng luôn chìm trong nước	1,49	0	1,04	0,0915	0,461	0,256
Mực nước hồ chứa lên xuống nhất định	1,49	0	1,186	0,0433	0,737	0,1715
Mực nước hồ chứa lên xuống mạnh	1,49	0	1,264	0,016	0,961	0,0961
Hồ chứa luôn rỗng	1,49	0	1,312	0	1,25	0

3. Dung trọng bùn cát ở một số hồ chứa Trung Quốc

1) Tổng kết tài liệu của một số hồ chứa ở Trung Quốc Sa Ngọc Thanh đã đưa ra quan hệ giữa độ rỗng và đường kính hạt như sau:

Độ rỗng lớn nhất

$$\varepsilon_{\max} = \frac{0,165}{d^{0,2}} + 0,25 \quad (1-3)$$

Độ rỗng nhỏ nhất

$$\varepsilon_{\min} = \frac{0,07}{d^{0,125}} + 0,25 \quad (1-4)$$

trong đó: d là đường kính hạt tính theo mm.

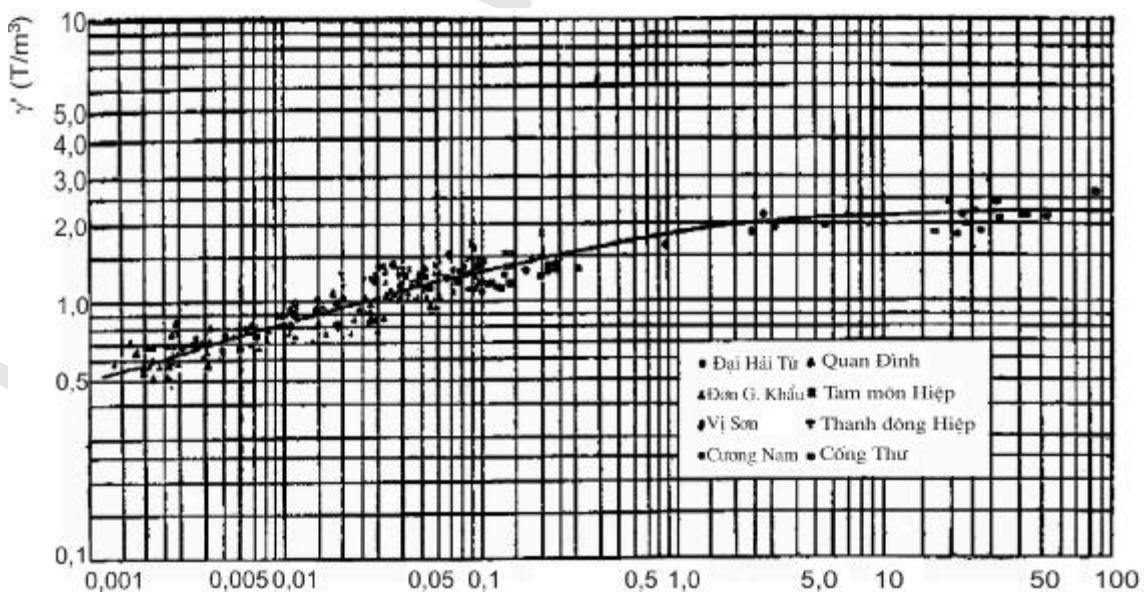
Sau khi xác định được độ rỗng thay vào công thức (1-1) được dung trọng khô.

- 2) Theo điều tra của Đại học Thanh Hoa Trung Quốc thì dung trọng khô của bùn cát lắng đọng trong các hồ chứa như Bảng 1.5:

Bảng 1.5

Tính chất của bùn cát	Đường kính hạt (mm)	γ' (T/m ³)
Dòng dị trọng	< 0,2	0,8 ÷ 7,7
Bùn cát lơ lửng		1,2 ÷ 1,5
Bùn cát di đáy		1,5

- 3) Theo tài liệu của Viện Khảo sát thiết kế Bộ Thủy lợi Trung Quốc thì quan hệ của dung trọng khô γ' với số giữa của đường kính hạt của các hồ chứa ở Trung quốc như hình sau:



Hình 1-1. Quan hệ giữa dung trọng khô với số giữa đường kính hạt d_{50} (mm)

1.2.3. Tốc độ khởi động của bùn cát

Nói chung bùn cát hạt nhỏ như cát mịn, cát bụi chỉ cần nước chảy yếu cũng đã khởi động, những hạt bùn cát rời không kết dính như sỏi thì khó khởi động. Vì có lực kết dính giữa các hạt những hạt nhỏ như đất sét cũng khó khởi động thường bị nước xói từng mảng. Sự khởi động của bùn cát được biểu thị bởi tốc độ khởi động.

1. Công thức tốc độ khởi động của bùn cát không dính

Lực làm cho bùn cát không dính khởi động có sức đẩy của dòng nước và lực đẩy lên do chảy vòng, lực tác động ngược lại có trọng lượng của bùn cát. Từ công thức dòng đều 2 chiều tìm được tốc độ khởi động của bùn cát:

$$v_0 = K \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}} \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6} \quad (1-5)$$

trong đó:

v_0 - tốc độ khởi động (tốc độ bình quân của thủy trực hay của mặt cát);

γ_s, γ - dung trọng của bùn cát và nước;

h - độ sâu;

d - đường kính hạt;

g - gia tốc trọng trường;

K, m - hằng số.

2. Công thức Sa Mốp (theo tài liệu thí nghiệm)

$$v_0 = 1,14 \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}} g d \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6} \quad (1-6)$$

Với sông thiên nhiên, $\gamma_s = 2,65 \text{ T/m}^3$ thì

$$v_0 = 4,6 d^{1/3} h^{1/6} \quad (1-7)$$

Các ký hiệu như trên, đơn vị là m, kg, s, dùng cho trường hợp $d > 0,2 \text{ mm}$, kết quả tính thường thiên thấp.

3. Công thức Ủy ban sông Trường Giang

$$v_0 = 2,13 \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}} g d \left(\frac{H}{d} \right)^{1/7} \quad (1-8)$$

trong đó:

H - độ sâu bình quân;

Các ký hiệu khác như trên.

Phạm vi sử dụng có độ sâu từ $1,63 \div 19,6 \text{ m}$, số giữa của đường kính hạt là $0,12 \div 0,31 \text{ mm}$.

4. Công thức Viện Khảo sát thiết kế Thành Đô

Tốc độ khởi động của đa sỏi

$$v_0 = 1,2 \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}} \text{gd} \left(\frac{H}{d} \right)^{1/6} \quad (1-9)$$

công thức dựa trên số liệu thực đo tại sông Đại Độ, sông Trường Giang và số liệu thí nghiệm với số giữa của đường kính hạt sỏi là 200 mm, đơn vị là m, s, kg.

1.2. BÙN CÁT LƠ LŨNG

1.2.1. Số liệu thực đo

Cả nước ta hiện nay có khoảng 90 trạm thủy văn đo bùn cát lơ lửng. Thời gian đo của từng trạm rất khác nhau. Ở các tỉnh phía Bắc có số liệu quan trắc rất sớm khoảng 1904 trên sông Hồng, các sông khác có quan trắc từ những năm 1960 và có nhiều trạm đã ngừng đo. Các sông phía Nam bắt đầu quan trắc sau năm 1977. Tài liệu đo trước 1956 trên sông Hồng có độ chính xác kém do chế độ thiết bị lấy mẫu, phân tích chưa được chuẩn hoá, số liệu thường rời rạc và thất lạc. Ở những nơi có dự kiến xây dựng hồ chứa thường có ít tài liệu hoặc cách xa tuyến quan trắc.

Bùn cát thường được quan trắc muộn hơn so với mực nước (H) và lưu lượng (Q) song lại ngừng đo trước khi ngừng đo Q và H nên số liệu bùn cát thường ngắn hơn. Mặt khác, chuỗi số liệu bùn cát biến động lớn hơn chuỗi số liệu Q và H. Vì thế muốn đảm bảo đặc trưng ổn định của bùn cát thì chuỗi số phải dài hơn nhiều so với chuỗi Q và H. Tính toán lượng bùn cát trên sông tự nhiên có thể chia ra hai trường hợp: có hoặc không có số liệu quan trắc.

1) Sông có số liệu quan trắc H, Q, ρ

Xây dựng quan hệ giữa lưu lượng nước với lưu lượng hoặc nồng độ bùn cát. Các quan hệ này thường có dạng:

$$Q_s = aQ^b$$

hay $\rho = a_1 Q^{b_1} \quad (1-10)$

trong đó:

Q_s - lưu lượng bùn cát tổng cộng (kg/s);

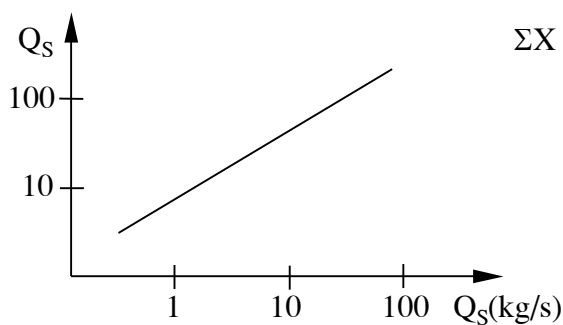
Q - lưu lượng nước (m³/s);

ρ - hàm lượng bùn cát hay nồng độ bùn cát (độ đục) tổng cộng (g/m³);

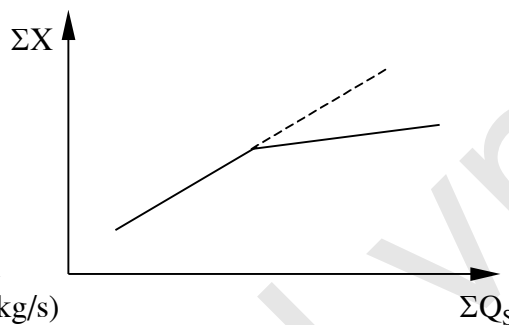
a, b, a₁, b₁ - các hệ số, thông số.

Các quan hệ này thường phân tán nhất là các trị số đặc trưng cho thời khoảng ngắn. Vì thế khi sử dụng cần chú ý.

Cần thấy rằng, các hoạt động trên lưu vực ảnh hưởng có nơi rất mạnh đến chế độ dòng chảy phù sa. Để đánh giá ảnh hưởng đó thường sử dụng đường quan hệ $Q \sim Q_S$ hay đường tích phân kép $\Sigma X \sim \Sigma Q_S$ (1-2). Trong đó X là lượng mưa.



Hình 1-2. Quan hệ $Q \sim Q_S$



Hình 1-3. Quan hệ $\Sigma X \sim \Sigma Q_S$

2) Sông không có quan trắc bùn cát

Trong tính toán quy hoạch, thiết kế, lượng phù sa thường được ước tính bằng cách dùng bản đồ phân vùng độ đục bình quân $\bar{\rho}$ (g/m^3) hay moduyn phù sa lơ lửng M_S (T/năm.km^2). Nói chung đây là những thông tin có độ chính xác thấp bởi vì khi xây dựng các bản đồ này đã dựa trên nguồn số liệu ít ỏi và không đủ điều kiện đồng nhất (thời gian quan trắc, cỡ diện tích lưu vực...) hơn nữa ngay trong phạm vi một vùng các lưu vực khác nhau cho $\bar{\rho}$ cũng rất khác nhau.

Ngoài những trạm thủy văn quan trắc phù sa, còn có một số trạm (bãi) thực nghiệm xói mòn (khoảng 15 trạm). Cần lưu ý rằng, chỉ một phần lượng vật chất bị xói mòn trên sườn dốc mới dồn xuống sông, phần còn lại bị chặn ở các bồn trũng, các barriere dọc đường. Ví dụ, theo Hadley và Shown (1976) chỉ ra rằng chỉ có 30% chất xói mòn ở các nhánh sông ($0,5 \div 5,2 \text{ km}^2$) Ryan Gulch ở Tây Bắc Colorado chuyển xuống thung lũng và 30% trong số đó chuyển xuống mặt cắt khổng lồ chế diện tích $124,8 \text{ km}^2$. Bảng 1-6 là so sánh giữa lượng phù sa thực đo ở các sông Châu Phi với ước tính tổn thất đất dựa vào bản đồ xói mòn do FAO lập.

Bảng 1-6. Lượng đất bị xói mòn ước tính dựa vào bản đồ do FAO và lượng phù sa lơ lửng thực đo ở các sông châu Phi

Sông	Nước	Diện tích lưu vực (km^2)	M_w ($\text{tấn/km}^2\text{ năm}$)	$A_{(FAO)}$ $10^3 \text{ t/km}^2\text{ năm}$
Watari	(Nigeria)	1450	483	1 ÷ 5
Bunsuru	-	5900	438	1 ÷ 5
Senegal	Mali	157400	14,6	1 ÷ 5

Sông	Nước	Diện tích lưu vực (km ²)	Mw (tấn/km ² năm)	A _(FAO) 10 ³ t/km ² năm
Faleme	-	15000	40	1 ÷ 5
Hamman	Algeria	485	198	1 ÷ 5
Kebir Ouert	-	1130	92	1 ÷ 5
Mesanu	Ethiopia	150	1680	5 ÷ 20

1.2.2. Tỷ số phân rải bùn cát (sediment delivery ratio)

Tỷ số phân rải phù sa là tỷ số của lượng bùn cát chảy về mặt cắt cửa ra (T/km²năm) so với lượng chất xói mòn (T/km²năm) trên sườn dốc. Nó phụ thuộc vào các yếu tố như địa hình, độ dốc, hình thái lưu vực, điều kiện lòng dẫn, dòng nước, lớp phủ thực vật, sử dụng đất và cấu đất... Người ta đã lập các quan hệ giữa DR với diện tích lưu vực hay các quan hệ với các đặc trưng lưu vực:

Theo Bowie (Mỹ, 1975):

$$DR = 0,488 - 0,006A + 0,010RO \quad (1-11)$$

Theo Mou và Meng (Trung Quốc, 1980):

$$DR = 1,29 + 1,37 \ln RC - 0,025 \ln A \quad (1-12)$$

trong đó:

A - diện tích lưu vực;

RO - lưu lượng dòng chảy năm;

RC - mật độ lưới sông.

Sự biến đổi theo thời gian của trị số DR đôi khi có tính đột xuất. Nó bị ảnh hưởng bởi thực tế là, có khi lượng chất xói mòn bề mặt đổ xuống nằm chờ trong lưới sông mà khi lũ đến mới kéo xuống mặt cắt khống chế. DR cho lòng dẫn thường được tính là tỷ số của lượng phù sa ra và vào. Tỷ số này từ 20 ÷ 50% trong mùa đông và 100 ÷ 350% trong mùa hè.

Các công thức kinh nghiệm được thành lập dựa trên kết quả đo đạc nhiều khi được coi là cách đơn giản và có hiệu quả để ước tính lượng phù sa đến hồ.

Ví dụ ở Mỹ, dùng tài liệu đo đạc ở 800 hồ chứa với cỡ diện tích lưu vực khống chế từ 2,5 đến 75000 km² đã rút ra quan hệ:

$$M_S = 1280M_0^{0,46} (1,43 - 0,26 \log A) \quad (1-13)$$

cho vùng $M_Q < 2$ inches (50 mm)

$$\text{và} \quad M_S = 1958M^{-0,055M_Q} (1,43 - 0,26 \log A) \quad (1-14)$$

cho các vùng còn lại.

trong đó:

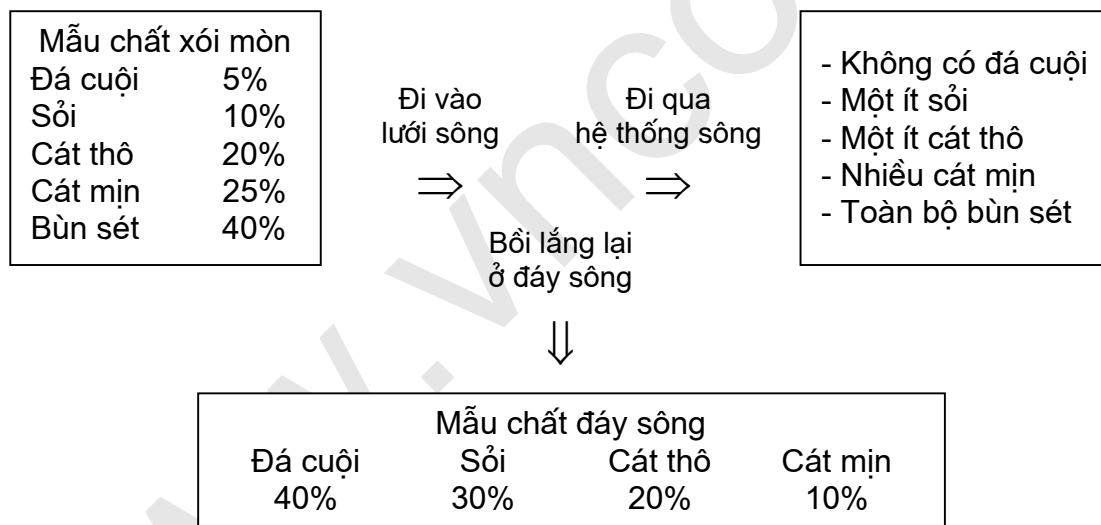
M_Q - mô đun dòng chảy (inches);

M_S - mô đun dòng phù sa (T/km^2 năm);

A - diện tích lưu vực.

Edmund Atkinson (1992) đề nghị ước tính tỷ số phân rải phù sa DR bằng cách sử dụng kết quả đo phân bố cỡ hạt. Giả thiết cơ bản của phương pháp là sự phân bố cỡ hạt chất bồi lắng ở đáy sông giống như phân bố cỡ hạt chất đáy đo được. Thông thường chất liệu đáy sông thô hơn vật chất xói mòn từ lưu vực vì trong quá trình chuyển động, hạt thô lắng lại, còn hạt mịn tiếp tục trôi. Càng về xuôi, hạt chất đáy sông mịn dần. Nếu chỉ xét xói mòn trên sườn dốc và phù sa ở cửa ra sẽ thấy có một số lớp hạt chất xói mòn bị mất đi ở chất đáy sông. Tỷ lệ các lớp hạt cũng thay đổi rõ rệt.

Để mô tả việc sử dụng cỡ hạt nhằm xác định tỷ số phân rải đáy sông có thể xem ví dụ sau (chỉ phân 5 cỡ hạt).



Sơ đồ ước tính tỷ số phân rải phù sa Edmund Atkinson (1992)

Từ đó có thể thấy: Nếu có 1 tấn chất xói mòn đổ xuống thì có 0,05 tấn đá cuội trong đó bồi lại hoàn toàn. Lượng này chiếm 40% trong mẫu chất đáy sông nên thường bồi lại là $0,05 : 0,4 = 0,125$ tấn và do đó lượng chuyển qua là 0,875 tấn. Nghĩa là có thể coi $DR = 87,5\%$.

Như vậy trong điều kiện thiếu tài liệu đo đạc phù sa trong sông cũng có thể ước tính lượng phù sa gia nhập vào hồ chứa khi có tài liệu thực nghiệm xói mòn và tài liệu phân tích hạt chất xói mòn ở bãi và chất đáy sông ở cửa vào hồ chứa.

Để ước tính DR có độ tin cậy cao, khi tổ chức thu thập, phân tích hạt các mẫu chất xói mòn và chất liệu đáy cần lưu ý đến tính đại biểu của mẫu kể cả không gian lẫn thời gian làm thỏa mãn yêu cầu của giả thiết đặt ra.

Ở những nơi đã tiến hành đo lường phù sa bồi lắng lại trong hồ thì có thể thông qua kết quả đo, liên hệ với các đặc trưng lưu vực để khái quát. Khi có lưu vực tương tự có thể lấy mức độ bồi lắng của các hồ đã có, cùng với một số hiệu chỉnh thích đáng để tính lượng phù sa đến hồ hay quy hoạch, thiết kế cho hồ mới.

1.2.3. Đặc tính của bùn cát lơ lửng

Bùn cát lơ lửng được đặc trưng bởi kích thước, phân bố hạt, hình dạng, nồng độ, tốc độ chìm lắng...

1. Kích thước hạt

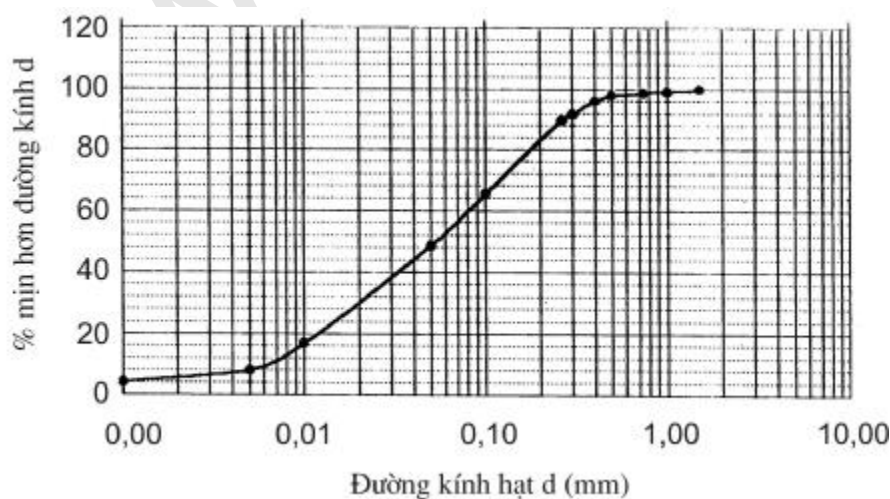
Hạt phù sa trong thiên nhiên có hình dạng rất đa dạng. Giả sử hạt phù sa có kích thước ba chiều tương ứng là a, b, c vậy đường kính trung bình có thể ước tính:

$$d = \sqrt[3]{abc} \quad (1-15)$$

Đường kính lắng chìm là đường kính của hạt hình cầu, có tốc độ lắng chìm trong nước ở nhiệt độ 24°C giống như hạt nghiên cứu. Đường kính lắng chìm đo chẳng những phản ánh kích thước mà còn phản ánh một phần hình dạng hạt.

2. Đường cấp phối hạt

Trong một mẫu, phù sa có rất nhiều cỡ hạt. Để làm cơ sở cho việc phân tích, nghiên cứu và tính toán, sau khi lấy mẫu, người ta tiến hành phân tích và xây dựng đường cấp phối hạt (hình 1-3).



Hình 1-4. Đường cấp phối hạt của mẫu bùn cát

Độ dốc của đường biểu thị tính đồng nhất của mẫu hạt. Nếu mẫu được phân làm các cấp hạt thì đường kính trung bình được tính bằng trung bình trọng số theo lượng của mỗi cấp chiếm trong mẫu:

$$d_m = \frac{\sum d_i \Delta P_i}{\sum \Delta P_i} \quad (1-16)$$

3. Hình dạng hạt được đặc trưng bởi tỷ lệ của các kính thước a, b, c theo ba chiều của mỗi hạt. Chính nó cũng ảnh hưởng đến tốc độ lắng chìm và chuyển động của hạt trong nước. Tham số hình dạng hạt theo Mc Nown và Malaika (1950) xác định như sau:

$$SF \text{ (Shape factor)} = \frac{C}{(ab)^{1/2}} \quad (1-17)$$

4. Tốc độ lắng chìm là tốc độ trung bình của hạt trong nước tĩnh ở nhiệt độ 24°C. Tốc độ lắng chìm của hạt hình cầu được tính theo công thức:

$$\omega_c = \frac{gd^2}{18} \left(\frac{C_s - C}{\mu} \right) \quad (1-18)$$

trong đó: d - đường kính hạt.

5. Nồng độ hạt phù sa (kg/m^3)

Với phù sa trong thiên nhiên có thể lấy $C_s = 2,65C$, trong đó C là nồng độ nước ở nhiệt độ 4°C. Trong nhiều trường hợp nồng độ chất đáy được lấy bằng 1,4 tấn cho 1m^3 chất sấy khô.

1.3. BÙN CÁT DI ĐẦY

1.3.1. Tài liệu thực đo bùn cát di đầy

Trong những năm trước đây, ở một số sông trên Miền Bắc, việc đo bùn cát di đầy được tiến hành bằng máy Don do Liên Xô (cũ) chế tạo. Sau một thời gian ngắn, đem phân tích tài liệu nhận thấy thiết bị lấy mẫu kiểu Don không thích hợp nên đã ngừng đo. Mãi đến năm 1993, thiết bị lấy mẫu Helley - Smith mới được đo thử nghiệm tại một số trạm trên sông Se San và sông Srepok. Tài liệu thực đo còn rất ít và ngắn, chưa đưa vào tính toán thiết kế các công trình.

1.3.2. Các công thức tính bùn cát di đầy

Phần lớn các hạt thô được mang đi trong sông dưới dạng phù sa đáy. Cần nhấn mạnh rằng, ứng suất cắt trên biên kênh dẫn được dùng trong phần lớn các công thức:

- DuBoys (1879):

$$q_b = C_d \tau_0 (\tau_0 - \tau_c) \quad (\text{kg/m.s}) \quad (1-19)$$

trong đó:

$$\tau_c = 0,061 + 0,093d \quad (\text{kg/m}^2) \quad (1-20)$$

$$C_d = 0,17/d^{3/4} \quad (\text{m}^3/\text{kg/s}) \quad (1-21)$$

d - đường kính hạt đồng nhất (mm).

Các công thức (1-20), (1-21) được Straub (1935) tìm ra bằng thí nghiệm.

- Meyer - Peter - Muller (1948):

$$\left[\frac{q_b (\gamma_s - \gamma)}{\gamma_s} \right]^{2/3} \left(\frac{\gamma}{g} \right)^{1/3} \frac{0,25}{(\gamma_s - \gamma) dm} = \frac{\left(\frac{k}{k'} \right)^{3/2} \gamma R J}{(\gamma_s - \gamma) dm} - 0,047 \quad (1-22)$$

trong đó:

q_b - lưu lượng phù sa đáy đơn vị là trọng lượng trên một đơn vị thời gian và đơn vị chiều rộng đáy lòng dẫn (ví dụ kg/s.m);

dm - đường kính hạt bình quân,

$$dm = \sum_i p_i d_i$$

i - số cấp hạt;

d_i - đường kính hạt trung bình mỗi cấp hạt;

p_i - tỷ trọng mỗi cấp so với toàn mẫu %;

k, k' - Các số nghịch đảo của hệ số nhám Manning, có thể rút ra từ công thức:

$$v = kR^{2/3} J^{1/2} \quad (1-23)$$

với:

v - tốc độ trung bình mặt cắt;

R - bán kính thủy lực;

J' - độ dốc năng lượng gây ra bởi độ nhám hạt;

K' - có thể được xác định theo công thức Stricler:

$$k' = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \quad (1-24)$$

(Chú ý là d_{90} tính bằng m, thời gian tính bằng giây).

Tỷ số $\frac{k}{k'}$ = 0,5 cho trường hợp dạng đáy cứng;

= 1,0 cho trường hợp không có dạng đáy.

- Einstein (1942):

Đưa ra hai quan hệ không thứ nguyên biểu thị dòng chảy nước Ψ và phù sa đáy ϕ , trong đó $\phi = f(\Psi)$ được xác định bằng thực nghiệm:

$$\phi = \frac{q_b}{\gamma_s} \left(\frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \frac{1}{gd^3} \right)^{1/2} \quad (1-25)$$

$$\Psi = \frac{(\gamma_s - \gamma)d}{\gamma R' J} \quad (1-26)$$

trong đó:

R' - bán kính thủy lực có quan hệ với hạt phù sa;

J - độ dốc năng lượng;

γ_s, γ - nồng độ khối lượng của phù sa và của nước;

d - đường kính hạt trong tổ hợp mẫu hạt phân chia ra các cấp và tính riêng q_{bi} cho từng cấp sau đó cộng lại:

$$q_b = \sum_{i=1}^n p_i q_{bi} \quad (1-27)$$

và cuối cùng lưu lượng phù sa đáy

$$Q_b = b q_b$$

1.3.3. Tính toán bùn cát đáy

Trong thực tế tính toán, do thiếu tài liệu đo đạc, người ta ước tính lượng phù sa bằng một tỷ lệ của phù sa lơ lửng. Ở công trình hồ Hòa Bình, YaLy... khi tính toán thiết kế người ta lấy bùn cát đáy bằng 20% bùn cát lơ lửng.

Ở một số nước người ta cũng ước tính lượng bùn cát đáy bằng cách trên dựa vào một số thành phần của chất liệu đáy và cấu trúc hạt. Theo Stran và Pembeton (1987) việc ước tính đó như sau: (Bảng 1-7).

Bảng 1-7. Ước tính bùn cát đáy theo Stran và Pembeton

Nồng độ bùn cát lơ lửng	Chất liệu đáy	Cấu trúc bùn cát	Tỷ lệ %
< 1000 mg/l	Cát	20 ÷ 50% cát	25 ÷ 150%
1000 ÷ 7500	Cát	20 ÷ 50% cát	10 ÷ 35
> 7500	Không cát	< 25% cát	5 ÷ 15
Bất kỳ	Bùn & sét	Không cát	< 2

Trong điều kiện cho phép người ta tiến hành đo đạc xác định một số thông số rồi tính toán bùn cát đáy bằng mô hình thực nghiệm lựa chọn (ví dụ mô hình Mayer - Peter - Muller).

Ở nước ta, (1) Theo TCXD 250:2001, tập II - Các tiêu chuẩn cơ bản áp dụng cho dự án thủy điện Sơn La, qui định ở mục 3-2-2: Lượng bùn cát vào hồ trung bình hàng năm là lượng bùn cát tổng cộng năm bình quân nhiều năm chuyển qua tuyến công trình, trong đó lượng bùn cát đáy được lấy bằng $35 \div 40\%$ lượng bùn cát lơ lửng. (2) Theo 14 TCN 143-2004 - Hồ chứa nước Cửa Đạt - tỉnh Thanh Hóa - Công trình đầu mối Thủy lợi - Tiêu chuẩn thiết kế, tại mục 2.2.3.2 qui định “Khối lượng bùn cát di đáy trung bình hàng năm lấy bằng 20% khối lượng bùn cát lơ lửng, khối lượng đất đá sạt lở trung bình hàng năm lấy bằng 25% tổng lượng bùn cát lơ lửng và di đáy, khối lượng bùn cát trôi về lòng hồ trung bình hàng năm lấy bằng 30% khối lượng bùn cát lơ lửng, di đáy và sạt lở”. Tỷ lệ lấy theo qui định cho hồ chứa Cửa Đạt thiên cao. Lý do là số liệu thực đo về bùn cát thiếu, gián đoạn, độ tin cậy không cao.