PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN BỒI LẮNG CÁT BÙN CHO HỆ THỐNG HỒ CHỨA BẬC THANG

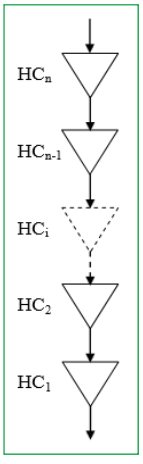
TS. **Nguyễn Kiên Dũng**
Trung tâm Ứng dụng công nghệ và Bồi dưỡng nghiệp vụ Khí tượng Thủy văn và Môi trường

Hệ thống hồ chứa bậc thang không chỉ đặt ra cho các nhà khoa học và quản lý là phải xây dựng qui trình vận hành liên hồ chứa mà còn cần nghiên cứu phương pháp tính toán bồi lắng phù hợp. Bài báo này giới thiệu cách tính bồi lắng cát bùn cho hệ thống nhiều hồ chứa, hệ số bồi lắng cho hồ chứa đơn và thử nghiệm cho 02 hồ chứa Hòa Bình, Sơn La trên sông Đà.

1. Phương pháp tính toán bồi lắng cát bùn cho hệ thống hồ chứa bậc thang

Giả sử trên một dòng sông người ta xây dựng n hồ chứa, hồ chứa HC1 được xây dựng đầu tiên ở vị trí cuối cùng phía hạ lưu và đưa vào vận hành tại thời điểm t1, hồ chứa HC2 được xây dựng ở vị trí liền kề với hồ chứa HC1 về phía thượng lưu và đưa vào vận tại thời điểm t2, hồ chứa HCn được xây dựng ở vị trí trên cùng phía thượng lưu và đưa vào vận hành tại thời điểm tn (hình 1). Các nhà thiết kế cần biết trong khoảng thời gian $\Delta t1 = t2 - t1$, $\Delta t2 = t3 - t2$, …, $\Delta tn = tn - tn\text{-}1$ thì lượng/tốc độ bồi lắng và phân bố bồi lắng cát bùn tại các hồ chứa HC1, HC2, …, HCn là bao nhiêu?

Muốn giải bài toán này trước hết phải xác định được thời điểm đưa vào vận hành của tất cả các hồ chứa trong hệ thống, cũng chính là thời điểm tác động của các hồ nằm phía thượng lưu đối với các hồ nằm phía hạ lưu; sau đó tiến hành tính toán bồi lắng cát bùn cho từng hồ chứa riêng rẽ, qua đó xác định được lượng và tốc độ bùn cát bồi lắng trong hồ, hệ số bồi lắng (TR) lưu lượng nước (Q), nồng độ và cấp phối hạt của bùn cát tháo xả qua hồ. Cùng với lượng nước và bùn cát gia nhập khu giữa, đây chính là số liệu đầu vào để tính toán bồi lắng cát bùn cho các hồ chứa phía hạ lưu. Lưu lượng nước và bùn cát tháo xả ra từ hồ chứa phía thượng lưu chính là lưu lượng nước và bùn cát đến của hồ chứa ha lưu liền kề. Hình 1 khái quát hệ thống n kho chứa bậc thang và sơ đồ tính toán bồi lắng.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống hồ chứa bậc thang

Đối với hồ chứa HC1, trong thời khoảng từ t1 đến t2 có: lưu lượng nước đến hồ Q1 = f1(t), lưu lượng bùn cát tổng cộng đến hồ Qs,1 =a1Qb1, thành phần hạt của bùn cát đến hồ Ps,1 = f1(d); đến thời điểm t2 khi hồ chứa HC2 đưa vào vận hành thì lưu lượng nước đến hồ Q1, lưu lượng bùn cát tổng cộng đến hồ Qs,1, thành phần hạt của bùn cát đến hồ Ps,1 bị biến đổi tương ứng thành Q2 = f2(t), Qs,2 =a2Qb2, Ps,2 = f2(d).

$$TR = 100\left[1 - \frac{1}{1 + K_b V_{max} / A_c}\right] \quad (1)$$

$$TR = 100(0{,}97^{0{,}19^{\log(V_{max}/MAR)}}) \quad (2)$$

$$SI = \frac{T_R}{\bar{v}} = \frac{V_{max}^2}{Q^2 L_R} \quad (3)$$

Tương tự, tại thời điểm tn, khi hồ chứa HCn đã đi vào hoạt động thì lượng và thành phần hạt của bùn cát đến hồ HCn-1 được xác định theo công thức:

$$Q_{s,n-1} = a_{n-1} Q^{bn-1} = (1 - TR_n) Q_{s,n} \quad (4)$$

$$SI = \frac{g V_{max}^2}{Q^2 L_R} \quad (5)$$

Người đọc phản biện: PGS. TS. **Lương Tuấn Anh**

$$TR_{HC_2} = \frac{W_{s,2-bồi}}{W_{s,2}} \quad (6)$$

Trong đó: TR_2 và TR_n là hệ số bồi lắng tương ứng của hồ chứa đơn HC_2 và HC_n khi thượng lưu chúng chưa có bất kỳ hồ chứa nào, $P_{s,2,j}$ và $P_{s,n,j}$ là phần trăm (%) của cấp hạt j tương ứng tháo ra khỏi hồ HC_2 và H_{Cn}, $W_{s,2\text{-bồi}}$ và $W_{s,n\text{-bồi}}$ là lượng bùn cát bồi lắng tương ứng trong hồ HC_2 và HC_n, $W_{s,2}$ và $W_{s,n}$ là lượng bùn cát đến tương ứng với hồ HC_2 và HC_n, $Ws_{,2,j\text{-ra}}$ và $W_{s,n,j\text{-ra}}$ là lượng bùn cát tương ứng với cấp hạt j tháo ra khỏi hồ HC_2 và HC_n trong khoảng thời gian vận hành $W_{s,2}$ và $W_{s,n}$ là lượng bùn cát đến tương ứng với hồ HC_2 và HC_n trong khoảng thời gian T năm vận hành.

2. Phương pháp tính toán hệ số bồi lắng cho hồ chứa đơn

Như vậy, để tính toán bồi lắng cát bùn cho hệ thống hồ chứa bậc thang thì một trong những công việc quan trọng là phải xác định cho được hệ số bồi lắng của các hồ chứa đơn. Hệ số bồi lắng có thể được xác định trực tiếp từ số liệu đo đạc lượng bùn cát đến và tháo xả khỏi hồ theo công thức (5)vhoặc tính toán gián tiếp theo các công thức kinh nghiệm (Brown, Brune, Churchill, Roose-boom…) và mô hình toán.

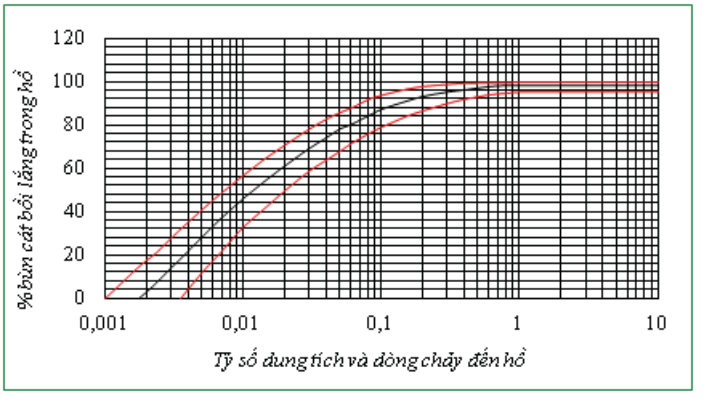
Phương pháp Brown (1950) dựa vào quan hệ giữa tỷ số dung tích hồ (Vmax) và diện tích lưu vực (Ac) với hệ số bồi lắng (TR):

$$P_{s,2,j} = \frac{W_{s,2,j-ra}}{W_{s,2-ra}} \quad (7)$$

Trong đó: T_R là hệ số bồi lắng, Kb là hệ số thay đổi từ 0,046 đến 1, trung bình lấy bằng 0,1, V_{max} là dung tích hồ ở mức nước dâng cao nhất [ac-ft], Ac là diện tích lưu vực [mi^2].

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

$$TR=100(0,97^{0,19\log(VMAX/MAR)}) \quad (8)$$



Hình 2. Đường cong Brune (1953)

Phương pháp Churchill (1948) dựa trên quan hệ giữa % bùn cát tháo ra khỏi hồ với chỉ số bồi lắng SI (hình 2).

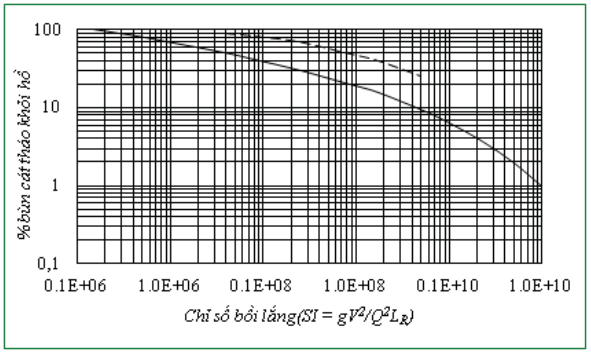
$$TR_{HCn} = \frac{W_{s,n-bồi}}{W_{s,n}} \quad (9)$$

Roberts (1982) đã biến đổi thành chỉ số không thứ nguyên:

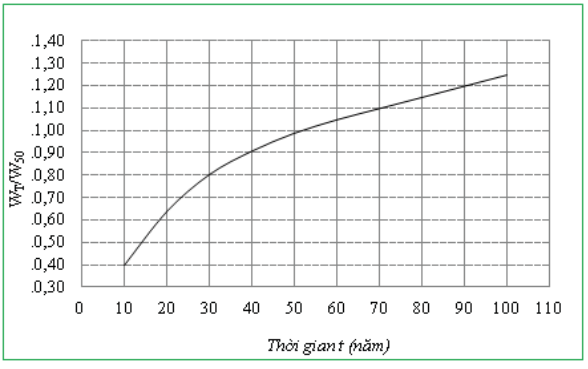
$$P_{s,2,j} = \frac{W_{s,n,j-ra}}{W_{s,n-ra}} \quad (10)$$

Trong đó: T_R là thời gian lưu giữ nước trong hồ [s], L_R là chiều dài hồ [ft hay m], v là tốc độ trung bình của nước chảy qua hồ [ft/s hay m/s], Q là lưu lượng nước đến hồ trung bình năm [ft^3/s hay m^3/s], V_{max} là dung tích hồ ở mức nước dâng cao nhất [ft^3 hay m^3], g là gia tốc trọng trường [$9,81 m/s^2$].

Rooseboom (1975) đã đề xuất một quan hệ lôgarít giữa tỷ số WT/W50 và thời gian tích tụ bùn cát với một tốc độ không đổi nào đó trong hồ. ở đây, WT và W50 tương ứng là thể tích bùn cát bồi lắng lũy tích trong hồ sau T năm và 50 năm vận hành. Để chuyển đổi từ khối lượng sang thể tích, lấy khối lượng riêng trung bình của bùn cát bồi lắng trong thời kỳ 50 năm là 1350 kg/m^3.



Hình 2. Đường cong Churchill (1948) được Roberts cải tiến năm 1982



Hình 3. Quan hệ WT/W50 và thời gian bồi lắng t

Mô hình HEC-6 của Trung tâm Kỹ thuật Thủy văn Quân đội Mỹ tỏ ra là một công cụ hữu hiệu không chỉ trong việc tính toán quá trình bồi lắng bùn cát trong hồ mà còn xác định lưu lượng nước, lưu lượng bùn cát và cấp phối hạt bùn cát tháo ra khỏi hồ, hệ số bồi lắng cho từng thời gian vận hành hồ.

3. Thử nghiệm tính toán hệ số bồi lắng cho hồ chứa Hòa Bình

• Tính toán hệ số bồi lắng từ số liệu thực đo

Năm 1990 hồ Hòa Bình chính thức tích nước điều tiết. Thời kỳ 1990 - 1996, mực nước thượng lưu đập được duy trì ở cao trình 88 - 115 m. Lượng bùn cát trung bình chuyển vào hồ qua mặt cắt Tạ Bú khoảng 91 triệu tấn/năm, xấp xỉ trị số bình quân nhiều năm, đã gây nên tình trạng sa bồi khá nghiêm trọng trong hồ (67 triệu m^3/năm), đặc biệt là hai năm 1990, 1991 (93,5 triệu m^3/năm). Từ số liệu thực đo tính được hệ số bồi lắng trung bình trong khoảng thời gian từ 1990 đến 2009 là 92%, từ 2010 đến 2012, khi hồ Sơn La tích nước điều tiết, là 86% (bảng 1).

Bảng 1. Kết quả tính hệ số bồi lắng cát bùn hồ Hòa Bình từ số liệu thực đo

Năm	Bùn cát vào hồ ($10^6 m^3$)	Bùn cát ra khỏi hồ ($10^6 m^3$)	Hệ số bồi lắng (%)
1987	54,6	20,0	63
1988	51,7	8,0	85
1989	32,0	2,2	93
Trung bình thời kỳ 1987-1989			*80*
1990	98,4	8,1	92
1991	102,8	6,0	94
1992	33,1	2,9	91
1993	45,4	4,8	90
1994	66,8	4,8	93
1995	68,6	4,6	93
1996	93,3	6,4	93
1997	75,9	7,4	90
1998	70,0	8,7	88
1999	101,7	9,6	91
2000	47,5	4,7	90
2001	59,4	16,2	73
2002	66,8	9,4	86
2003	45,1	4,6	90
2004	45,4	4,5	90

2005	43,8	2,2	95
2006	61,0	2,2	96
2007	61,4	4,6	93
2008	39,5	2,6	93
2009	21,2	1,8	91
Trung bình thời kỳ 1990 - 2009			*91*
2010	10,9	0,8	92
2011	3,5	0,8	76
2012	5,6	0,6	90
Trung bình thời kỳ 2010 -2012			*86*
Trung bình thời kỳ 1990 - 2012			*90*

• Tính toán hệ số bồi lắng bằng các công thức kinh nghiệm

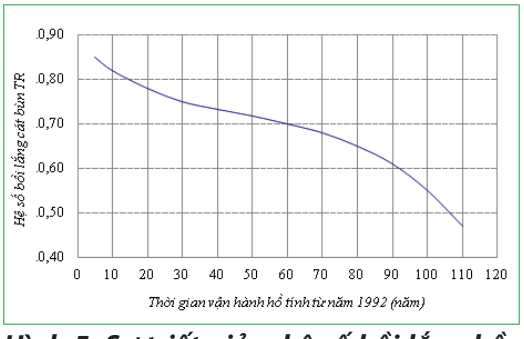
Hệ số bồi lắng trung bình tính theo phương pháp Churchill-Roberts thời kỳ 1990 - 2012 là 96%, lớn hơn hệ số bồi lắng thực đo khoảng 6%; theo phương pháp Brune là 85% (bảng 2), nhỏ hơn hệ số bồi lắng thực đo khoảng 5%; trung bình cộng hai phương pháp tính toán là 90,5%, xấp xỉ hệ số bồi lắng thực đo.

Bảng 2. Kết quả tính toán hệ số bồi lắng cát bùn hồ Hòa Bình bằng phương pháp Churchill - Roberts và Brune

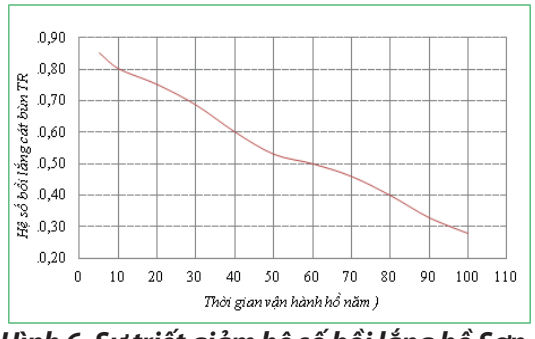
Năm	Q (m^3/s)	MAR (10^9 m^3/s)	Phương pháp Churchill - Roberts		Phương pháp Brune	
			$g.V^2_{max}/(Q^2.L)$ (10^9)	% bùn cát bồi trong hồ	V_{max}/MAR	% bùn cát bồi trong hồ
1990	1700	53,6	1,52	95	0,18	86
1991	1693	53,4	1,53	95	0,18	86
1992	1176	37,1	3,16	97	0,25	87
1993	1256	39,6	2,78	97	0,24	87
1994	1563	49,3	1,79	95	0,19	85
1995	1779	56,1	1,38	94	0,17	83
1996	1834	58,0	1,30	94	0,16	83
1997	1840	56,0	1,29	94	0,17	83
1998	1939	59,0	1,17	94	0,16	83
1999	2147	65,3	0,95	93	0,14	82
2000	1748	53,3	1,43	95	0,18	86
2001	1878	57,1	1,24	94	0,17	83
2002	1781	54,2	1,38	94	0,17	83
2003	1396	42,4	2,25	96	0,22	86
2004	1296	39,5	2,61	97	0,24	87
2005	1434	43,6	2,13	96	0,22	86
2006	1315	40,0	2,53	97	0,24	87
2007	1549	47,1	1,83	95	0,20	85
2008	1696	51,8	1,52	96	0,18	86
2009	1346	40,9	2,42	97	0,23	87
Trung bình thời kỳ 1990 - 2009			*1,81*	*95*	*1,94*	*85*
2010	1053	32,1	3,95	98	0,29	88
2011	1066	32,4	3,85	98	0,29	88
2012	1503	45,9	1,94	96	0,21	85
Trung bình thời kỳ 2010 -2012			*3,25*	*97*	*0,26*	*87*
Trung bình thời kỳ 1990 - 2012			*2,00*	*96*	*0,200*	*85*

Hệ số bồi lắng trung bình thời kỳ 1990-2012 tính theo phương pháp Churchill-Roberts là 96%, lớn hơn hệ số bồi lắng thực đo khoảng 6%; theo phương pháp Brune là 85%, nhỏ hơn hệ số bồi lắng thực đo khoảng 5% (bảng 2); trung bình cộng hai phương pháp là 90,5%, xấp xỉ hệ số bồi lắng thực đo.

Hệ số bồi lắng trung bình thời kỳ 1990-2012 tính theo phương pháp mô hình toán thời kỳ 1990 - 2012 là 86%, nhỏ hơn hệ số bồi lắng thực đo khoảng 4% (hình 5).



Hình 5. Sự triết giảm hệ số bồi lắng hồ hòa bình khi không có các công trình hồ chứa thượng lưu



Hình 6. Sự triết giảm hệ số bồi lắng hồ Sơn La khi không có các công trình hồ chứa thượng lưu



Hình 7. Sự triết giảm hệ số bồi lắng hồ hòa bình khi không có các công trình hồ chứa thượng lưu

4. Kết luận và kiến nghị

Tính toán bồi lắng cát bùn cho hệ thống hồ chứa là một bài toán phức tạp; phụ thuộc vào lượng nước và bùn cát đến hồ, đặc tính bùn cát, đặc điểm địa mạo hồ và qui trình vận hành của các hồ chứa trong hệ thống. Tính toán bồi lắng cát bùn cho hệ thống hồ chứa sẽ được giản hóa trên cơ sở tính toán bồi lắng cho hồ chứa đơn.

Tính toán thử nghiệm hệ số bồi lắng hồ chứa

•Tính toán hệ số bồi lắng bằng mô hình toán

Hệ số bồi lắng hồ chứa Sơn La bị giảm dần theo thời gian, từ trên 90% cho những năm đầu tích nước điều tiết xuống còn khoảng dưới 20% sau 110 vận hành (hình 6). Hồ chứa Sơn La được xây dựng và đưa vào vận hành sau hồ chứa Hòa Bình khoảng 10 năm, vì vậy sau 120 -130 năm vận hành, hệ số bồi lắng hồ Hòa Bình lại có xu thế tăng lên do hệ số bồi lắng hồ chứa Sơn La tiến dần đến 0%, hồ lúc này trở thành "sông tự nhiên", bao nhiêu bùn cát đến hồ đều được tháo xả xuống hồ Hòa Bình (hình 7).

đơn Hòa Bình bằng các phương

pháp khác nhau cho kết quả tương đối phù hợp. Sử dụng mô hình toán để tính toán hệ số bồi lắng cho hệ thống hồ chứa Hòa Bình và Sơn La là khả thi và có nhiều triển vọng.

Phương pháp tính toán bồi lắng đề xuất cần được thử nghiệm thêm cho một số hệ thống hồ chứa khác nhau ở Việt Nam trong thời gian tới.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Kiên Dũng. Nghiên cứu, tính toán bồi lắng và nước dềnh ứng với các phương án xây dựng khác nhau của hồ chứa Sơn La. Đề tài NCKH cấp Bộ. Hà Nội, 2003.

2. Annandale G.W. (1987). Reservoir Sedimentation. Elsevier Science Publishers B.V/Science and Technology Division, Amsterdam, Netherlands.

3. Brown C.B. (1950). Sedimentation. Engineering Hydraulics, H. Rouse (editor). Proc.4th Hydraulics Conference, Iowa Institute of Hydraulic Research.

4. Brune G.M. (1953). Trap Efficiency of Reservoir. US geophysical Union, vol.34(3), pp.407-418.

5. U.S. Army Corps of Engineers (1991). HEC-6 Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs. User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, Califorlia.