

TÍNH TOÁN BỒI LẮNG HỒ CHỨA SƠN LA VÀ ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA CÔNG TRÌNH THỦY ĐIỆN SƠN LA ĐẾN BỒI LẮNG CÁT Bùn HỒ HÒA BÌNH

TS. Nguyễn Kiên Dũng

Trung tâm Ứng dụng công nghệ khí tượng thủy văn

Công trình thủy điện Sơn La, đã được khởi công xây dựng vào năm 2004, là bậc thang thứ hai sau thủy điện Hòa Bình trong hệ thống sông Đà. Sau khi hoàn thành và đưa vào vận hành, công trình thủy điện Sơn La không chỉ tạo ra một sản lượng điện lớn và phòng lũ cho hạ du mà còn có những tác động đáng kể đến bồi lắng cát bùn hồ chứa Hòa Bình.

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu bồi lắng cát bùn hồ chứa Sơn La và ảnh hưởng của công trình thủy điện Sơn La đến bồi lắng cát bùn hồ chứa Hòa Bình bằng mô hình toán một chiều HEC-6 của Trung tâm Kỹ thuật Thủy văn Quân đội Hoa Kỳ. Kết quả tính toán này là một trong những cơ sở khoa học quan trọng trong việc xây dựng quy trình vận hành hồ Hòa Bình.

1. Tóm tắt cơ sở lý thuyết mô hình Hec-6

a. Cơ sở lý thuyết tính toán thủy lực của mô hình HEC-6

1) Phương trình cơ bản

Phương trình liên tục:

$$Q = vA + Q_L \quad (1)$$

Phương trình bảo toàn năng lượng của dòng chảy đều biến đổi dần:

$$\frac{\partial(WS)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)}{\partial x} = S_{en} \quad (2)$$

phân của phương trình (2):

Dạng sai

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

Trong đó: Q = lưu lượng nước, v = lưu tốc trung bình mặt cắt, A = diện tích mặt cắt ngang, Q_L = lưu lượng nước gia nhập khu giữa, g = gia tốc trọng trường, S_{en} = độ dốc đường

năng, h_e = tổn thất năng lượng, v_1, v_2 = vận tốc trung bình tại 2 mặt cắt 1 và 2, WS_1, WS_2 = cao trình mực nước tại 2 mặt cắt, α_1, α_2 = hệ số phân bố lưu tốc tại 2 mặt cắt của đoạn sông.

2) Phương pháp giải

Phương trình (3) được giải bằng phương pháp bước chuẩn và các tham số thủy lực (vận tốc, độ sâu, chiều rộng và độ dốc năng lượng...) được tính toán tại mỗi mặt cắt ngang cho các cấp lưu lượng kế tiếp nhau. Số hạng tổn thất năng lượng h_e gồm tổn thất do ma sát h_f và tổn thất hình dạng h_0 . Tổn thất hình dạng chính là tổn thất cục bộ do lòng sông - hồ bị thu hẹp hay mở rộng đột ngột, được xác định từ số liệu địa hình.

b. Cơ sở lý thuyết tính toán bùn cát của mô hình HEC-6

Phương trình liên tục của bùn cát (phương trình EXNER):

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + B_0 \frac{\partial Y_s}{\partial t} + q_{sl} = 0 \quad (4)$$

Trong đó: B_0 = chiều rộng của lòng động,

Người phản biện: TS. Dương Hồng Sơn

t = thời gian, x = khoảng cách dọc theo lòng dẫn, Q_s = lưu lượng bùn cát tổng cộng, q_{sL} = lưu lượng đơn vị của bùn cát ra nhập khu giữa, nếu chảy vào: q_{sL} nhận giá trị (-) còn chảy ra: q_{sL} nhận giá trị (+), Y_s = chiều sâu bùn cát trong thể tích khối chế.

Sai phân phương trình EXNER cho điểm P được phương trình (4):

$$Y'_{sp} = Y_{sp} - \frac{\Delta t}{B_{sp}} \left[\frac{Q_{sd} - Q_{su}}{0,5(L_d + L_u)} + q_{sL} \right] \quad (5)$$

Trong đó: B_{sp} = chiều rộng của lòng động tại điểm P, Q_{sd} , Q_{su} = lưu lượng bùn cát tại mặt cắt hạ và thượng lưu, L_d , L_u = chiều dài đoạn sông thượng hạ lưu giữa 2 mặt cắt (chính là khoảng cách từ mặt cắt cần tính đến hai mặt cắt liền kề), Y_{sp} , Y'_{sp} = chiều sâu lớp bùn cát trước và sau Δt ở điểm P, 0,5 là hệ số hình dạng thể tích, Δt = bước thời gian tính toán.

Phương trình vận chuyển bùn cát:

Phương trình Krone (1962) được sử dụng để tính vận tải bùn cát trong trường hợp bồi lắng các hạt bùn cát dính kết. Phương trình của Parthenaides (1965) và nghiên cứu sửa đổi của Ariathurai-Krone (1976) được sử dụng để tính vận tải bùn cát trong trường hợp xói bùn sét dính kết.

HEC-6 đã sử dụng 11 quan hệ khác nhau để tính khả năng vận tải của dòng nước đối với các hạt cát và cuội, trong đó có các công thức của: Meyer-Peter-Muller (1948), Colby (1964), Toffaleti (1966), Yang (1973), Acker-White (1973), Laussen (1958) & Copeland-Thomas (1990).

2. Bồi lắng hồ chứa Hòa Bình khi không có công trình thủy điện Sơn La

Sơ đồ tính bồi lắng hồ chứa Hòa Bình gồm: 01 nhánh chính là lòng hồ Hòa Bình với 60 đoạn tính toán (61 mặt cắt ngang), giới hạn trên cùng là tại trạm thủy văn Tạ Bú, giới hạn dưới cùng là đập Hòa Bình; 07 sông nhánh

chính gia nhập khu giữa từ Tạ Bú về Hòa Bình là: Nậm Pia, Nậm Chim, Nậm Sập, Suối Sập, Suối Khoáng, Suối Nháp, Suối Sầm.

Điều kiện ban đầu là địa hình của 61 mặt cắt ngang đo tháng 12 năm 1991.

Điều kiện biên trên gồm lưu lượng nước, nhiệt độ nước bình quân ngày và tháng của năm trung bình thời kỳ 1961 - 1996, được xem là năm điển hình thời kỳ nhiều năm tại biên thượng lưu Tạ Bú của lòng chính hồ Hòa Bình và cửa ra của 07 nhập lưu (Nậm Pia, Nậm Chim, Suối Sập, Nậm Sập, Suối Khoáng, Suối Nháp, Suối Sầm); quan hệ lưu lượng dòng chảy và lưu lượng bùn cát với $Q_s = 1,35Q_{ss}$, thành phần hạt bùn cát tổng cộng ứng với các cấp lưu lượng khác nhau tại Tạ Bú và cửa ra của 07 nhập lưu, thành phần hạt bùn cát đáy tại một số mặt cắt dọc hồ Hòa Bình. Điều kiện biên dưới là mực nước bình quân ngày và tháng của năm trung bình trong thời kỳ 1992 - 1996, được xem như là quá trình mực nước năm điển hình tại thượng lưu đập Hòa Bình trong thời kỳ nhiều năm.

Thời kỳ tính toán kéo dài từ năm 1992 đến năm 2080 với bước tính 01 ngày đối với các tháng 6 đến tháng 10, 01 tháng đối với các tháng còn lại trong năm.

Kết quả tính toán bồi lắng cát bùn hồ chứa Hòa Bình trong trường hợp không có công trình thủy điện Sơn La được ghi trong bảng 1, hình 1.

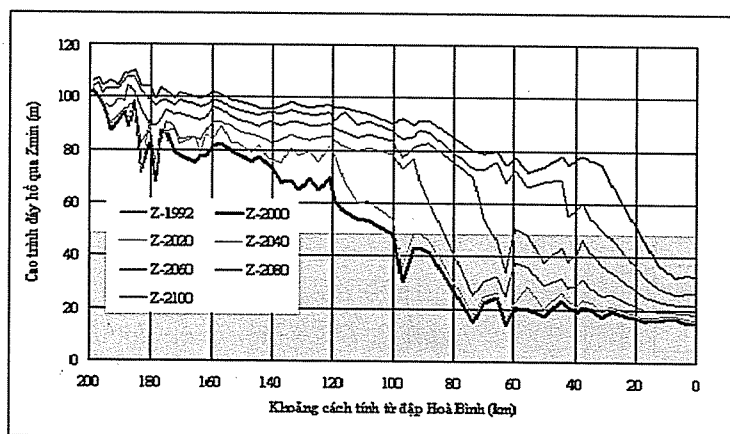
Trong thời kỳ 1992 - 2080, trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 54,5 triệu mét khối với khoảng 70 % bùn cát lắng đọng trong dung tích chết và hệ số bồi lắng 0,72. Sau 75 năm vận hành, đến năm 2065, lượng bùn cát bồi lắng trong hồ gần bằng dung tích chết. Sau 90 năm vận hành, đến năm 2080, bãi ngầm sẽ tiến về cách đập khoảng 20 km và cao trình bồi lắng trước đập đạt xấp xỉ 40m. Từ kết quả dự tính bồi lắng bằng mô hình HEC - 6 có thể

nhận thấy, với cách bố trí cửa xả đáy ở cao trình 56m, cửa lấy nước vào turbine ở cao trình 65 - 75m như hiện nay, đến năm 2080 hồ Hòa Bình vẫn đảm bảo chức năng sản xuất điện. Tuy nhiên, do bùn cát bồi lắng 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 mét khối và 4414 triệu mét khối, bằng khoảng 74 - 75 % dung tích ban đầu.

Bảng 1. Kết quả dự tính lượng bùn cát bồi lắng hồ chứa Hòa Bình

Thời đoạn	1992 - 2000	2001 - 2020	2021 - 2040	2041 - 2060	2061 - 2080
$W_{s-\Delta T}$ ($10^6 m^3$)	499,6	1142	1085	1033	930,5
V_s ($10^6 m^3$)	62,5	57,1	54,2	51,7	46,5
TR	0,824	0,754	0,716	0,683	0,614
$V_{s-chết}$ ($10^6 m^3$)	45,7	39,3	37,8	35,0	28,3
$V_{s-chết}/V_s$ (%)	73,2	68,9	69,8	68,7	64,1



Hình 1. Diễn biến trắc dọc đáy hồ chứa Hòa Bình qua Zmin khi không có hồ chứa Sơn La

Ghi chú: W_s - T : tổng lượng bồi lắng trong T năm, V_s : lượng bồi lắng hàng năm trung bình trong T năm, TR : hệ số bồi lắng cát bùn, $V_{s-chết}$: lượng bồi lắng hàng năm trong dung tích chết.

3. Bồi lắng cát bùn hồ chứa Sơn La

Sơ đồ tính bồi lắng hồ chứa Sơn La gồm: 01 nhánh chính là lòng hồ Sông Đà với 59 đoạn tính toán (60 mặt cắt ngang), giới hạn trên cùng là tuyến biên giới Việt - Trung, giới hạn dưới cùng là đập Pa Vinh; 08 sông nhánh chính gia nhập khu giữa bao gồm: Nậm Mu, Nậm Muội, Nậm Mạ, Nậm Mực, Nậm Giàng, Nậm Pô, Nậm Bum, Nậm Ma. Nhánh Nậm Na có 17 đoạn tính toán (18 mặt cắt ngang).

Điều kiện ban đầu là số liệu của 60 mặt cắt ngang trên lòng chính sông Đà và 18 mặt cắt

ngang trên nhánh Nậm Na được xác định vào tháng 5 năm 1997.

Điều kiện biên trên gồm lưu lượng nước, nhiệt độ nước bình quân ngày và tháng của năm 1974, được xem là năm điển hình cho thời kỳ nhiều năm tại tuyến biên giới Việt-Trung trên lòng chính sông và 08 nhập lưu chính: Nậm Mu, Nậm Muội, Nậm Mạ, Nậm Mực, Nậm Giàng, Nậm Pô, Nậm Bum, Nậm Ma; quan hệ lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát, thành phần hạt bùn cát tổng cộng ứng với các cấp lưu lượng khác nhau tại tuyến biên giới

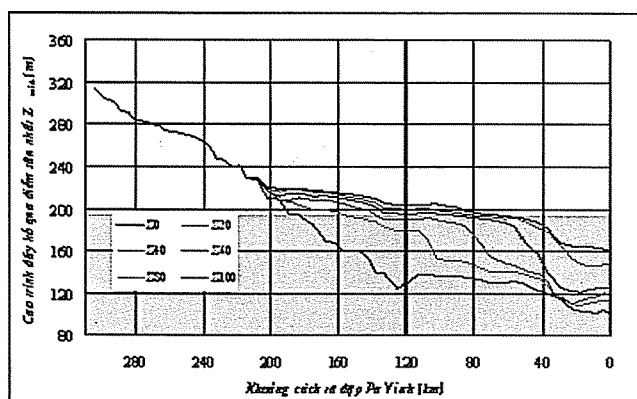
Việt - Trung trên dòng chính sông Đà và 08 nhập lưu chính, thành phần hạt của bùn cát đáy tại một số mặt cắt dọc hồ chứa Sơn La và nhánh Nậm Na. Điều kiện biên dưới là quá trình mực nước bình quân tháng của năm điển hình tại thượng lưu đập Pa Vinh trong thời kỳ nhiều năm được xác định qua tính toán điều tiết.

Thời kỳ tính toán là 100 năm; bước tính là 01 ngày đối với các tháng từ tháng 6 đến tháng 10 và 1 tháng đối với các tháng còn lại trong năm.

Kết quả tính toán bồi lắng cát bùn hồ chứa Sơn La được ghi trong bảng 2, hình 2; có thể tóm tắt như sau:

Bảng 2. Kết quả tính toán lượng bùn cát bồi lắng hồ chứa Sơn La

Thời gian vận hành	20	40	60	80	100
$W_{s,\Delta T}$ ($10^6 m^3$)	1209	937	790	649	448
V_s ($10^6 m^3$)	60,4	46,9	39,5	32,5	22,4
TR	0,75	0,59	0,49	0,41	0,28
$V_{s, chết}$ ($10^6 m^3$)	35,8	22,3	17,6	15,0	8,39
$V_{s, chết} / V_s$ (%)	59,3	47,5	44,6	46,2	37,4



Hình 2. Diễn biến trắc dọc đáy hồ Sơn La thấp qua Z_{min} trong 100 năm vận hành

Trong suốt 100 năm vận hành, trung bình hàng năm hồ chứa Sơn La thấp bị bồi lấp 40,3 triệu m^3 với khoảng 47% bùn cát lắng đọng ở phần dung tích chết. Tuy nhiên, quá trình bồi lắng giảm nhanh theo thời gian. Nếu như trong 20 năm đầu vận hành, hàng năm lượng bùn cát bồi lắng trung bình đạt 60,4 triệu m^3 với hệ số bồi lắng 0,75, thì trong 20 năm cuối con số này tương ứng chỉ còn là 22,4 triệu m^3 và 0,28. Sau 70 năm vận hành, lượng bùn cát bồi lắng trong hồ gần bằng dung tích chết.

Sau 80-100 năm vận hành, đỉnh bãi ngầm bùn cát bồi lắng sẽ tiến về cách đập khoảng 35 km và cao trình bồi lắng trước đập đạt xấp xỉ

148-160m. Nếu bố trí cửa xả đáy ở cao trình 150-160m, cửa lấy nước vào turbine ở cao trình 160-170m, thì sau 100 năm vận hành hồ chứa Sơn La thấp vẫn có thể đảm bảo chức năng sản xuất điện. Song cũng cần lưu ý rằng, do hơn 50% bùn cát bồi lắng trong phần dung tích điều tiết, nên trung bình hàng năm dung tích hữu ích của hồ bị mất 21,4 triệu m^3 .

4. Tác động của công trình thủy điện Sơn La đến bồi lắng hồ chứa Hòa Bình

a. Hệ số bồi lắng cát bùn hồ chứa Sơn La, lượng và cấp phối hạt bùn cát tháo xả qua đập Pa Vinh

Trong một khoảng thời gian xác định, hệ số bồi lắng cát bùn là tổng lượng bùn cát bị lắng đọng lại trong hồ so với tổng lượng bùn cát vào hồ.

Trong một khoảng thời gian xác định, hệ số bồi lắng cát bùn là tổng lượng bùn cát bị lắng đọng lại trong hồ so với tổng lượng bùn cát vào hồ.

$$TR = \frac{W_{s-bồi}}{W_{s-vào}} \quad (6)$$

Một cách truyền thống, khi tính toán thiết kế, các kỹ sư thủy lợi-thủy điện thường lấy giá trị hệ số bồi lắng không đổi trong suốt thời gian hồ hoạt động. Brown, Brune, Churchill, Rooseboom... đã xây dựng các quan hệ kinh nghiệm ước tính hệ số bồi lắng. Trên thực tế, hệ số bồi lắng là một hàm phụ thuộc vào qui mô công trình xả, qui trình vận hành, đặc điểm địa mạo của hồ và thành phần hạt của bùn cát đến. Bùn cát lắng đọng trước tiên ở khu nước vật di động, nơi sông gặp hồ, tốc độ và năng lượng dòng chảy bị giảm đột ngột. Cùng với thời gian, bãi ngầm bồi lắng được hình thành và di chuyển dần về phía đập, tạo điều kiện thuận lợi cho dòng chảy mang bùn cát tiến sâu về phía hạ lưu hồ. Vì thế, hệ số bồi lắng cát bùn bị triệt giảm theo thời gian vận hành, bùn cát nói chung và các hạt bùn cát thô hơn nói riêng được tháo xả qua hồ ngày càng nhiều.

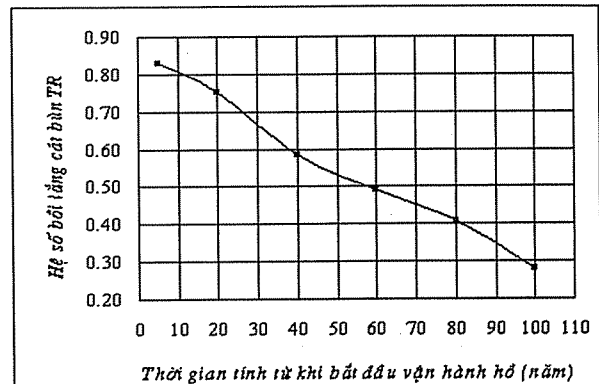
Khi công trình thủy điện Sơn La đi vào hoạt động, quan hệ lưu lượng dòng chảy và lưu lượng bùn cát, thành phần hạt bùn cát tổng cộng ứng với các cấp lưu lượng khác nhau tại Tạ Bú được xác định trên cơ sở hệ số bồi lắng cát bùn hồ chứa Sơn La như sau:

$$Q_{s-HB+SL} = (1-TR)Q_{s-HB} \quad (7)$$

$$P_{s,i} = \frac{W_{s,i-ra-SL}}{W_{s-ra-SL}} \quad (8)$$

Trong đó: $Q_{s-HB+SL}$ = lưu lượng bùn cát tại Tạ Bú khi có công trình thủy điện Sơn La,

Q_{s-HB} = lưu lượng bùn cát tại Tạ Bú khi không có công trình Sơn La, TR = hệ số bồi lắng cát bùn trong thời đoạn tính toán, $P_{s,i}$ = tỷ lệ nhóm hạt nào đó trong mẫu bùn cát tháo qua đập Pa Vinh, $W_{s,i-ra-SL}$ = lượng của nhóm hạt bùn cát nào đó được tháo qua đập Pa Vinh, $W_{s-ra-SL}$ = tổng lượng bùn cát được tháo qua đập Pa Vinh.



Hình 3. Quá trình triệt giảm hệ số bồi lắng cát bùn hồ Sơn La theo thời gian vận hành

b. Tác động của công trình thủy điện Sơn La đến bồi lắng hồ chứa Hòa Bình

Bồi lắng cát bùn hồ chứa Hòa Bình trong trường hợp có công trình thủy điện Sơn La được tính toán với giả thiết đến năm 2020 hồ chứa Sơn La chính thức tích nước điều tiết với các điều kiện dưới đây:

Số liệu của 61 mặt cắt ngang đo vào tháng 12/1991, như trường hợp tính bồi lắng hồ Hòa Bình không có hồ chứa Sơn La.

Điều kiện biên trên gồm lưu lượng nước, nhiệt độ nước bình quân ngày và tháng tại Tạ Bú và 07 nhập lưu chính: Nậm Pia, Nậm Chim, Suối Sập, Nậm Sập, Suối Khoáng, Suối Nháp, Suối Sầm. Lưu lượng nước tại Tạ Bú được tính bằng lưu lượng xả qua đập của hồ chứa Sơn La tại tuyến Pa Vinh cộng với lưu lượng của 02 nhánh Nậm Bú và Nậm Chiến năm điển hình 1974. Lưu lượng tại 07 nhập lưu chính được giữ nguyên như khi tính bồi lắng hồ Hòa Bình không có công trình thủy điện Sơn La. Biên bùn cát gồm quan hệ lưu

lượng nước và lưu lượng bùn cát, thành phần hạt bùn cát tổng cộng ứng với các cấp lưu lượng khác nhau tại Tạ Bú và 07 nhập lưu chính, thành phần hạt bùn cát đáy tại một số mặt cắt dọc hồ Hòa Bình. Quan hệ lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát, thành phần hạt bùn cát tổng cộng ứng với các cấp lưu lượng khác nhau tại Tạ Bú được xác định theo hình 3, công thức (7) và (8). Do ảnh hưởng của hồ chứa Sơn La, quan hệ $Q-Q_s$ tại Tạ Bú sẽ bị thay đổi mạnh từ năm 2021. Đến khi hồ bị bồi lấp hoàn toàn (2141), hầu hết bùn cát đến bị tháo qua đập Pa Vinh thì quan hệ $Q-Q_s$ tại Tạ Bú sẽ trở lại qui luật ban đầu. Điều kiện biên dưới gồm

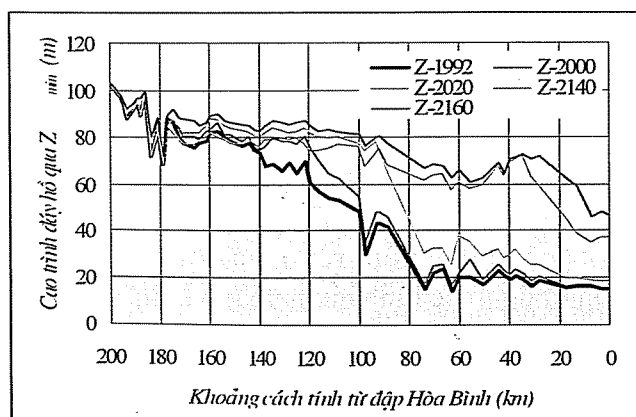
mức nước bình quân ngày và tháng của năm trung bình trong thời kỳ 1992-1996 tại thượng lưu đập Hòa Bình, được xem là quá trình mức nước năm điển hình thời kỳ nhiều năm.

Thời kỳ tính toán từ 1992 đến 2160; bước tính là 01 ngày đối với các tháng từ tháng 5 đến 9 và 01 tháng đối với các tháng còn lại trong năm.

Kết quả tính toán bồi lắng cát bùn hồ Hòa Bình dưới tác động của công trình thủy điện Sơn La được trình bày trong bảng 3, hình 3 và 4. Có thể tóm tắt tình hình bồi lắng hồ chứa Hòa Bình dưới tác động của công trình thủy điện Sơn La như sau:

Bảng 3. Kết quả tính toán lượng bùn cát bồi lắng hồ chứa Hòa Bình dưới tác động của công trình thủy điện Sơn La

Thời gian	2000	2020	2140	2160
$W_{s-\Delta T}$ ($10^6 m^3$)	499,6	1142	1962	884,3
V_s ($10^6 m^3$)	62,46	57,08	16,35	44,21
TR	0,824	0,754	0,404	0,568
$V_{s-\text{chết}}$ ($10^6 m^3$)	45,74	39,29	12,37	19,35
$V_{s-\text{chết}}/V_s$ (%)	73,2	68,8	75,7	43,8



Hình 4. Diễn biến trắc dọc đáy hồ Hoà Bình dưới tác động của thủy điện Sơn La thấp

Trong khoảng thời gian 1992-2160, trung bình hàng năm hồ Hòa Bình bị bồi lấp 26,7 triệu m^3 với khoảng 71% bùn cát lắng đọng trong dung tích chết và hệ số bồi lắng 0,49. Sau 160 năm vận hành, đến năm 2150, lượng bùn cát bồi lắng trong hồ gần bằng dung tích chết.

Sau 170 năm vận hành, đến năm 2160, bãi ngầm bùn cát bồi lắng cách đập khoảng 30km và cao trình bồi lắng trước đập đạt 46,5m. Thời kỳ 2021-2140, do ảnh hưởng của hồ chứa Sơn La thấp, nên trung bình hàng năm hồ Hòa Bình chỉ bị bồi lấp 16,4 triệu m^3 , bằng 30% lượng

bồi lắng trung bình hàng năm khi chưa có công trình thủy điện Sơn La, khoảng 76% bùn cát lắng trong dung tích chết và hệ số bồi lắng 0,4.

Từ kết quả tính toán bồi lắng bằng mô hình HEC-6 có thể nhận thấy: nếu bố trí cửa xả đáy ở cao trình 56m, cửa lấy nước vào turbine ở cao trình 65-75m như hiện nay thì đến năm 2160 hồ Hòa Bình vẫn đảm bảo chức năng sản xuất điện. Tuy nhiên, do bùn cát bồi lắng 1293 triệu m³ ở phần dung tích điều tiết trong 170 năm vận hành nên cuối thời kỳ này dung tích hữu ích và phòng lũ của hồ tương ứng bị giảm xuống còn 4357 và 4577 triệu m³, bằng khoảng 77 và 78% dung tích ban đầu.

5. Kết luận và kiến nghị

Khái niệm về sự triệt giảm hệ số bồi lắng

cát bùn theo thời gian và việc sử dụng mô hình toán cho phép nghiên cứu bồi lắng cát bùn của hệ thống các kho nước bậc thang. Kết quả đánh giá tác động của công trình thủy điện Sơn La đến bồi lắng hồ chứa Hòa Bình sẽ được sử dụng nhằm xem xét, điều chỉnh qui trình vận hành hồ Hòa Bình khi công trình thủy điện Sơn La đi vào hoạt động.

Để nâng cao độ chính xác của các kết quả tính toán bồi lắng cát bùn hồ chứa Sơn La và Hòa Bình, cần tiến hành khảo sát bổ sung địa hình lòng hồ, các yếu tố thủy văn, thủy lực, bùn cát lơ lửng và di đáy (bao gồm cả lưu lượng và thành phần hạt ứng với các cấp lưu lượng nước) tại một số mặt cắt trên sông Đà và các nhập lưu.

Tài liệu tham khảo

- 1) Bộ Năng lượng. Luận chứng kinh tế kỹ thuật công trình thủy điện Hòa Bình, Hà Nội, 1974.
- 2) Công ty Tư vấn Thiết kế Điện I. Báo cáo nghiên cứu khả thi công trình thủy điện Sơn La, Hà Nội, 1998.
- 3) Nguyễn Kiên Dũng. Nghiên cứu xây dựng cơ sở khoa học tính toán bồi lắng cát bùn hồ chứa Hòa Bình, Sơn La, Luận án tiến sĩ, Viện Khí tượng Thủy văn, Hà Nội, 2001.
- 4) U.S. Army Corps of Engineers. Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs, Engineer Manual 1110-2-4000, Washington D.C. 1989.
- 5) U.S. Army Corps of Engineers. HEC-6 Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, Users Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, California. 1991.