

嘉陵江干流某水库运行方式研究

燕荔, 俞建虹, 付曼蓉

(陕西省水利水电勘察设计研究院(集团)有限公司, 陕西 西安 710001)

摘要: 对于以防洪为主的水库, 随着运行时间推移, 泥沙淤积会使防洪库容缩减, 需采取合理调度运行方式以实现排沙减淤。然而, 在确保排沙减淤成效的同时, 如何最大程度提升水库兴利效益并兼顾库区安全, 成为当前水库调度领域亟待解决的关键问题。为了研究兼顾生态流量、发电效益与库区安全的水库合理运行方式, 针对嘉陵江干流某水库存在的泥沙淤积问题, 建立泥沙冲淤模型, 对多种运行方式下库区泥沙淤积状况进行模拟分析。研究表明: 该水库采取汛期(7—9月)将水位降低至汛限水位, 且在入库流量 $\geq 320 \text{ m}^3/\text{s}$ 或入库含沙量 $\geq 20 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时进行敞泄排沙的泥沙调度方式, 能够有效提升生态流量保证率和发电量, 同时满足库区涉水建筑物的安全标准。

关键词: 泥沙淤积; 调度运行方式; 泥沙冲淤模型; 兴利效益; 库区安全

中图分类号: TV145

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2025)04—0233—07

Operation Mode of Reservoirs on the Main Stream of Jialing River

YAN Li, YUN Jianhong, FU Manrong

(Shaanxi Province Institute of Water Resource and Electric Power Investigation and Design(Group) Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710001, China)

Abstract: For reservoirs primarily used for flood control, sedimentation will reduce the flood control storage capacity over time, necessitating the adoption of reasonable scheduling and operation methods to achieve sediment flushing and siltation reduction. However, while ensuring the effectiveness of sediment flushing and siltation reduction, how to maximize the reservoir's beneficial utilization efficiency while also taking into account the safety of the reservoir area has become a critical issue that needs to be urgently addressed in the field of reservoir scheduling. In response to the sedimentation problem in a certain reservoir on the mainstream of the Jialing River, a sediment flushing and siltation model was established to simulate and analyze the sedimentation conditions in the reservoir area under various operation methods, with the aim of determining a reasonable operation method for the reservoir that balances ecological flow, power generation benefits, and reservoir area safety. The results indicates that adopting a sediment scheduling approach for the reservoir, which involves lowering the water level to the flood control limit level during the flood season (July – September) and conducting unrestricted sediment flushing when the inflow discharge is $\geq 320 \text{ m}^3/\text{s}$ or the inflow sediment concentration is $\geq 20 \text{ kg}/\text{m}^3$, can effectively enhance the guarantee rate of ecological flow and power generation, while also meeting the safety standards for water-related structures in the reservoir area.

Keywords: sedimentation; scheduling and operation methods; sediment flushing and siltation model; beneficial utilization efficiency; reservoir area safety

在城市上游修建防洪水库, 能起到滞洪削峰作用, 和其它防洪措施一起, 形成综合防洪体系, 提高城市的整体防洪能力。修建水库后, 会打破河道原有的冲淤平衡状态, 导致库区泥沙淤积, 而库区淤积会影响水库防洪、兴利效益^[1], 在水库上游有敏感

对象淹没点时, 泥沙淤积床面对库区淹没对象有着制约性影响。水库淤积与水库泥沙调度运行方式息息相关, 如王瑶水库采用蓄水运行方式, 库容已损失76%, 影响水库防洪和供水安全^[2]; 巴家咀水库^[3]长期蓄水运用, 水库已淤积74.6%, 库容淤损严重;

三峡^[4]、小浪底^[5]、三门峡^[6]在初期蓄水运行,导致泥沙淤积量大,后期采用“蓄浑排清”的方式运行后,水库淤损速度减缓,优化调度运行方式对于水库减淤至关重要,对于泥沙淤积和调度运行方式之间关系的研究,如黄仁勇等^[7]开展三峡水库汛期泥沙调度方式,减少库区泥沙淤积,优化水库汛期调度;李巍^[8]和叶辉辉等^[9]探究了水库泥沙调度方式对泥沙淤积的影响;夏力哈尔^[10]从冲淤平衡理论着手,分析了调度方式与泥沙淤积的关系。胡茂银^[11]论证汛期控制运行水位和老鹰岩一级电站泥沙淤积关系。不同运行方式会导致库区淤积情况不同,会影响水库防洪、兴利效益,也会对库区涉水建筑物安全产生影响。本文以嘉陵江干流某水库为例,运用一维不平衡输沙模型,对多种运行方式进行计算与分析,考虑水库兴利效益和库区敏感对象的淹没,以期提出水库排沙减淤的优化调度方案。

1 嘉陵江某水库概况

嘉陵江系长江上游左岸一级支流,全长 1 119 km,流域面积 15.98 万 km²,其中略阳县城以上流域面积为 19 206 km²。主要支流有青泥河、西汉水、八渡河等,其中西汉水流域面积为 10 111 km²,占略阳县城以上集水面积的 52.6%;八渡河流域面积 601 km²,其左岸一级支流东渡河流域面积 138 km²。

略阳城区位于嘉陵江、八渡河、东渡河三水交汇口,遭遇洪水时,嘉陵江洪水对八渡河和东渡河形成

顶托,导致两条河洪水不能下泄,造成略阳县城区频遭洪水侵害。解放后 75 年间,略阳水文站超过 3 000 m³/s 以上的洪水有 22 场,大于 5 000 m³/s 有 7 场。2018 年以来,嘉陵江略阳段多次出现超警戒水位,其中 2018 年“7.11”洪水流量达 5 400 m³/s、2020 年“8.16”洪水流量达 5 820 m³/s、2024 年“7.24”洪水流量达 5 940 m³/s,县城六年四次被淹(其中 2020 年 8.16、8.17 两次被淹),虽无人员伤亡,但给当地人民群众造成了重大的经济损失。

目前,略阳城区下游三河坝至灵岩寺拓宽工程正在实施,实施后城区过洪能力可达到 5 400 m³/s(10 年一遇),仍不满足城市 30 年一遇防洪标准。考虑在略阳水文站上游 22.3 km 处嘉陵江上新建某大型水库,其上游集水区域面积 18 882 km²,多年平均来水量 33.12 亿 m³,输沙量 2 344 万 t(含推移质),水库为 II 等大(2)型工程,总库容 1.62 亿 m³,防洪库容 1.42 亿 m³,坝高 62 m,工程建设任务为防洪,兼有发电和改善河道生态,水库地理位置见图 1。水库库沙比为 8,属于泥沙问题严重的水库,随着运行时间的增长,泥沙淤积会导致防洪库容的减少,降低水库防洪效益,应根据水库所在区域水沙条件,分析合理的排沙减淤的水库泥沙调度方式,保持水库防洪库容,通过蓄洪削峰运用或蓄洪错峰运用,与堤防工程相结合,使嘉陵江下游略阳中心城区防洪标准提高至 30 年一遇,以彻底解决略阳县城防洪问题。

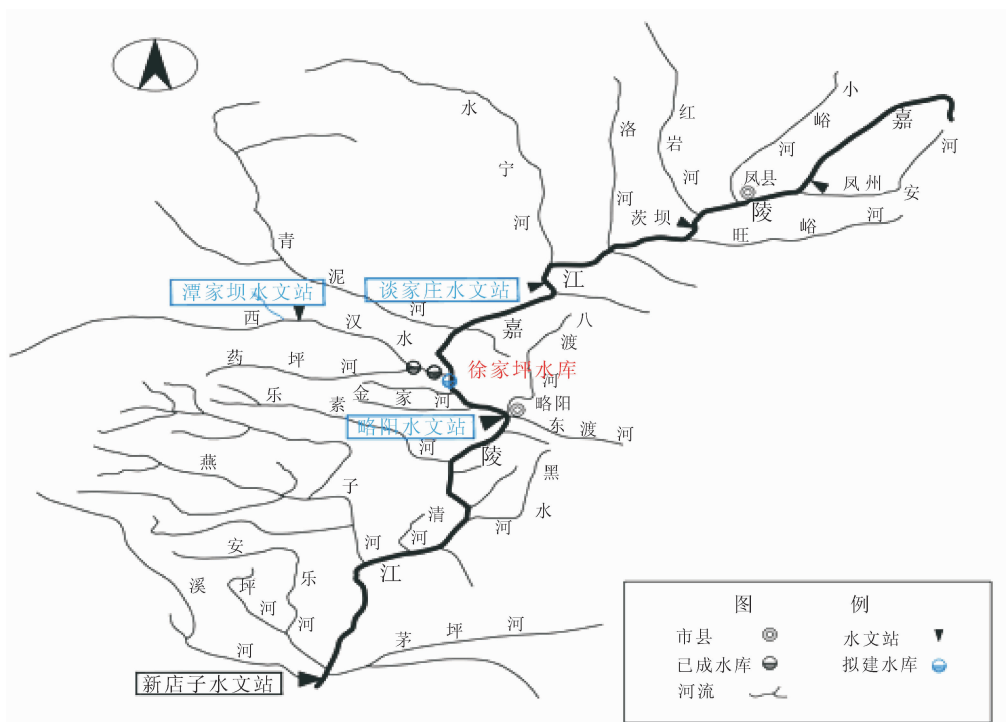


图 1 嘉陵江干流某水库地理位置

2 入库水沙条件

水库入库水沙由嘉陵江干流及西汉水支流组成,根据1951—2023年长系列水沙资料统计,多年平均入库径流量为33.12亿 m^3 ,多年平均输沙量为2344.06万t,悬移质含沙量为6.34 kg/m^3 。其中:干流嘉陵江多年平均入库径流量为19.34亿 m^3 ,多年平均入库悬移质输沙量为360.22万t,推移质为悬移质的20%,为72.04万t,输沙量为432.26万t。支流西汉水多年平均入库径流量为13.78亿 m^3 ,多年平均入库悬移质输沙量为1738万t,推移质为悬移质的10%,为173.8万t,输沙量为1911.8万t。

2.1 水沙年际变化

图2是水库水沙年际变化情况统计图,从图2可见年际分配极不均匀,变化较大。水量在1995年之前相对较丰,之后略有减少;沙量和含沙量在1985年之前相对较高,之后显著减少。水库丰水年出现在1964年,入库水量为77.01亿 m^3 ,为多年平均入库水量的2.33倍;枯水年出现在2002年,入库水量为7.18万 m^3 ,为多年平均入库水量的0.22倍;输沙量交替变化也比较大,1984年输沙量1.23亿t,为多年平均沙量的5.86倍,而2016年仅26.64万t,为多年平均沙量的0.01倍。含沙量也是一样的规律,最大含沙量发生在1959年(22.87 kg/m^3),最小含沙量发生在2016年,仅为0.22 kg/m^3 。

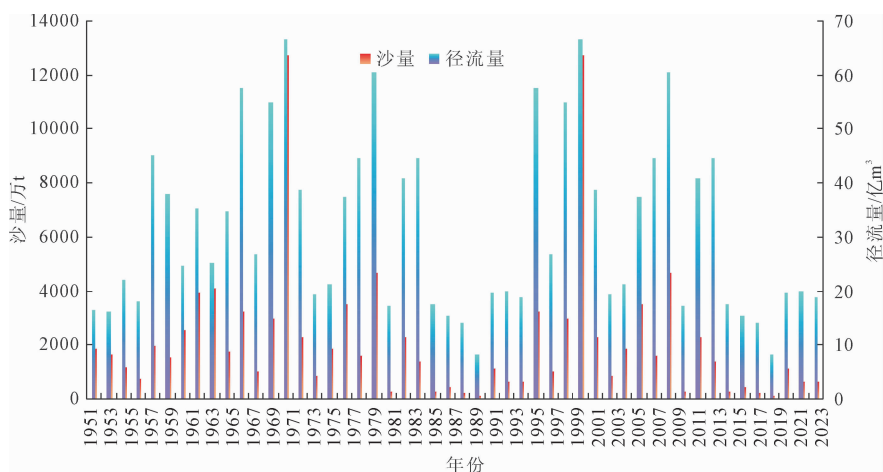


图2 水库水沙年际变化

2.2 水沙年内变化

基于长期水文观测,该水库7—9月汛期径流量达15.32亿 m^3 (占年总量49.03%),同期输沙量1612.01万t(占年总量79.78%)。图3是水沙年内变化情况统计图,从图3可见,水库水沙相对集中,5—10月来水量较大时,来沙量也较大,水沙基本匹配,而沙量占比最大的时段为主汛期7—9月。

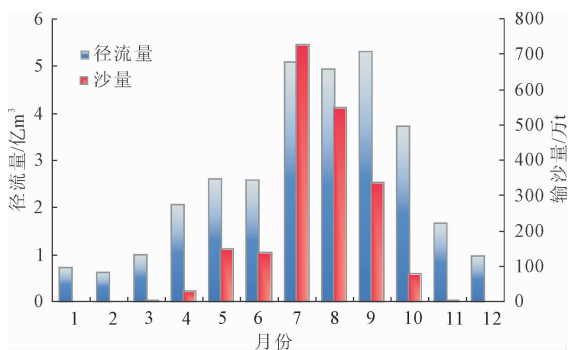


图3 水库水沙年内变化

2.3 水沙特性分析

将含沙量分级统计,多年不同含沙量级入库水量、沙量统计情况见表1。由表1可以看出,上游来水含沙量 $S \geq 20 \text{ kg}/\text{m}^3$ 的天数为10d^[12-13],这10d内,6.6%的水带来了64.6%的泥沙。将流量分级统计,多年不同流量级入库水量、沙量统计情况见表2。从表2可以看出,多年平均情况上游来水流量 $\geq 320 \text{ m}^3/\text{s}$ 的天数为21d,这几天内,36.1%的水带来了54.4%的泥沙。由上述不同流量级和含沙量级水沙特性可以看出,约80%以上的入库沙量集中发生于3~5场典型洪水过程(单场洪峰含沙量 $\geq 20 \text{ kg}/\text{m}^3$),此类高含沙量洪水的泥沙调度方式是水库水沙调节的重点部分。

3 泥沙冲淤模型

根据嘉陵江流域水沙特性,地形资料,水库任务需求,建立适合其自身的泥沙冲淤模型,进行冲淤计算。

表 1 水库多年不同含沙量级入库水沙量统计表

项目	全年	<0.5 kg/m ³		0.5~1 kg/m ³		1~5 kg/m ³		5~10 kg/m ³		10~20 kg/m ³		20~30 kg/m ³		>30 kg/m ³	
		水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数
水量/亿 m ³	33.1	13.2	258	3.8	31	9.0	47	3.0	12	1.8	7	0.7	3	1.4	8
百分比/%	100.0	39.8		11.6		27.3		9.1		5.6		2.3		4.3	
沙量/万 t	2098.2	20.4	258	28.0	31	221.6	47	215.7	12	256.7	7	184.5	3	1171.4	8
百分比/%	100.0	1.0		1.3		10.6		10.3		12.2		8.8		55.8	

表 2 水库多年不同流量级入库水沙量统计表

项目	全年	<50 m ³ /s		50~100 m ³ /s		100~200 m ³ /s		200~320 m ³ /s		320~450 m ³ /s		>450 m ³ /s	
		水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数	水沙量	出现天数
水量/亿 m ³	33.1	4.6	177	5.7	93	6.5	55	4.3	20	2.8	9	9.2	12
百分比/%	100.0	13.9		17.2		19.7		13.0		8.4		27.7	
沙量/万 t	2098.2	59.7	177	230.2	93	408.5	55	259.2	20	222.2	9	918.4	12
百分比/%	100.0	2.8		11.0		19.5		12.4		10.6		43.8	

水库冲淤计算的条件:①入库水沙条件:采用 50 逐日水沙资料;②水库初始库容曲线采用考虑塌岸量修正后的水库库容曲线;③徐家坪水库坝址在嘉陵江干流上,计算水库冲淤时,研究范围包括干流嘉陵江及其一级支流西汉水。干流嘉陵江划分成 57 个河段共 58 个断面(断面编号 D67~M1),支流西汉水划分成 75 个河段共 76 个断面(断面编号 D61~H15),共计 133 个控制断面。④采用由谭家坝站及略阳水文站资料分析得出的多年平均床沙质级配资料。

3.1 控制方程

基于一维恒定不平衡输沙数学模型^[14-16],构建泥沙冲淤计算模型,控制方程如下:

$$Q_i = Q_{Nes} + \sum_{i=1}^{N_{es}-1} Q_{Li} \quad (i = 1, 2, \dots, N_{es} - 1) \quad (1)$$

$$H_1 + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{v_2^2}{2g} + Jl \quad (2)$$

$$H_1 = H_2 + \Delta L \cdot J + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{B_c^2 h_c^2} - \frac{1}{B_r^2 h_r^2} \right) \quad (3)$$

$$B\omega(\alpha_1 \bar{S} - \alpha_2 S) = \rho \frac{\partial A_{CY}}{\partial t} \quad (4)$$

$$S = f(\bar{v}, h, w, \dots) \quad (5)$$

$$G = f(\bar{v}, h, d, \dots) \quad (6)$$

式中: Q_i 为任意时段的出流量, m³/s; Q_{Nes} 为 N 时刻初始入库的流量, m³/s; Q_{Li} 为任意时段的入流量, m³/s; N_{es} 为初始时刻; H_1 、 H_2 分别为进出口断面水位, m; v_1 、 v_2 分别为进出口断面的流速, m/s; J 为水力坡度; l 为河段长度, m; B_c 、 B_r 为进出口断面河宽, m; h_c 、 h_r 为进出口断面水深, m; Q 为流量, m³/s; ΔL

为两个计算断面间的河段长度, m; \bar{B} 为平均河宽, m; \bar{h} 为平均水深, m; n 是糙率; g 是重力加速度; B 为水面宽度, m; α_1 为第一时段的恢复饱和系数; α_2 为第二时段的恢复饱和系数; ρ 是清水密度, kg/m³; ω 是平均沉速, m/s; \bar{S} 为全断面上的平均含沙量, kg/m³; A_{CY} 为河床冲淤面积, m²; S 为全断面上悬移质的挟沙力, kg/m³; \bar{v} 为垂线平均流速, m/s; w 为悬移质泥沙静水沉降速度, m/s; G 为推移质挟沙力, kg/m³; h 为水深, m; d 为推移质断面平均粒径, mm。

3.2 模型验证

根据《水利工程水利计算规范》(SL104—2015), 水库回水和调节计算采用 10~30 年淤积成果, 洪水调节涉及工程安全, 一般采用淤积 50 年的库容曲线。本次按照 30 年调节、50 年调洪考虑, 为了确保选取系列计算成果的一致性, 本次计算 50 年代表系列由 30 年代表系列 + 20 年代表系列组合而成, 且 30 年代表水沙系列和 20 年水沙系列应分别与多年平均水沙系列相近。因此, 通过滑动平移筛选出 30 年和 20 年的水沙序列, 形成 1971—2000 年 30 年水沙系列和 1981—2000 年 20 年水沙系列共同组成 50 年逐日水沙系列。

采用 50 年逐日水沙资料, 泄流曲线等资料, 建立属于嘉陵江干流某水库的调度模型。按照天然河道冲淤基本平衡的理论, 经调适参数计算, 图 4 是水库 50 年运行累计淤积量曲线, 累计淤积量为 0.73 万 m³。证明数学模型能够反映天然状态下河道的冲淤变化规律, 上述冲淤量过程验证成果满足要求。图 5 反映嘉陵江干流纵剖面冲淤成果, 图 6 是西汉水支流纵剖面冲淤成果, 从图 5、图 6 可以看出, 嘉

陵江干流以及西汉水支流纵剖面有冲有淤,河床冲淤变化不大,可见本数学模型能较好的反映嘉陵江干流及其支流在天然状态下的冲淤演变规律,可用于预测河道建坝抬高后库区河道未来的泥沙淤积过程。

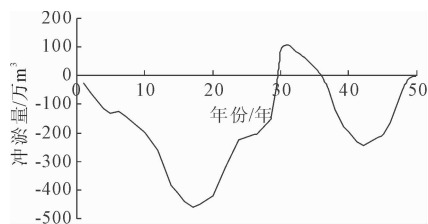


图4 累计淤积曲线

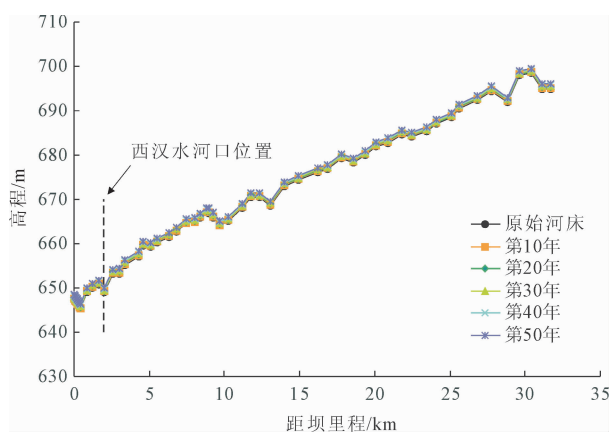


图5 嘉陵江干流不同年限纵剖面冲淤结果

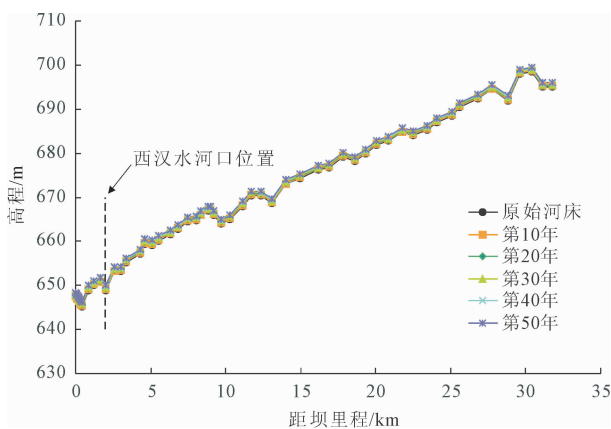


图6 西汉水支流不同年限纵剖面冲淤结果

4 考虑兴利效益的运行方式比选

本文拟采用水库泥沙冲淤计算,确定水库的淤积库容后,在淤积库容基础上进行防洪库容计算,水库兴利计算是生态补水以及发电并结合部分防洪库容进行兴利调节计算,尽可能满足生态补水要求及多发电,同时分析对库区敏感点淹没不造成影响。

4.1 水库兴利调节计算

兴利调节计算原则:采用30年淤积水位~库容曲线,以坝址设计径流为基础,来水首先供坝址下游河道生态需水,供水后有余水则蓄库,不足水量,由水库调蓄供水。生态供水年保证率按不低于75%控制;按时历法对1965年10月—2023年9月共59年徐家坪水库坝后电站发电流量计算逐日的平均出力,计算年电量。

水库生态补水调节计算采用如下公式:

$$V_{i+1} = V_i + I_i - Q_{es} - F_i - S_i \quad (7)$$

$$Q_{es} \geq Q_{ed} \quad (8)$$

$$P = \frac{n_m}{n+1} \times 100\% \quad (9)$$

$$P \in [75\%, 100\%] \quad (10)$$

式中: V_{i+1} 为时段末库容,万 m^3 ; V_i 为时段初库容,万 m^3 ; I_i 为时段来水量,万 m^3 ; Q_{es} 为时段生态供水,万 m^3 ; F_i 为蒸发损失,万 m^3 ; S_i 为时段渗漏损失,万 m^3 ; Q_{ed} 为时段生态需水量,万 m^3 ; P 为年保证率,%; n_m 为满足的年份,年; n 为调节计算年份,年。

电能计算公式如下:

$$E_i = g \cdot \rho \cdot \eta \cdot H_i \cdot Q_i \cdot t \quad (11)$$

式中: E_i 为电能, $kW \cdot h$; g 为重力加速度,9.81 m/s^2 ; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; η 为水轮发电机组综合效率; H_i 为净水头, m ; Q_i 为发电用水量, m^3/s ; t 为时间, h 。

4.2 水库调洪计算

由于水库为河道型水库,洪水流量较大,由于回水的影响,水库表面呈现出明显的水面坡降,在这种情况下,若仍用静库容曲线进行调洪计算会带来较大的误差。为了满足成果精度的要求,应采用动库容曲线进行调洪计算:

$$Q_{h1} + Q_{h2} - 2q_1 + \left(\frac{2R_1}{\Delta t} + q_1 \right) = \left(\frac{2R_2}{\Delta t} + q_2 \right) \quad (12)$$

$$q = f\left(\frac{2R}{\Delta t} + q, Q \right) \quad (13)$$

式中: Q_{h1} 、 Q_{h2} 为时段 Δt 始、末的入库流量, m^3/s ; q_1 、 q_2 为时段 Δt 始、末的出库流量, m^3/s ; q 为出库洪水流量, m^3/s ; R_1 、 R_2 为时段 Δt 始、末的水库蓄水量, m^3 ; R 为 Δt 时段需水量, m^3 ; Q_h 为入库洪水流量, m^3/s ; Δt 为计算时段, s 。

4.3 考虑兴利效益的水库运行方式比选

由于徐家坪水库库沙比为8,与来沙量相比徐家坪水库库容较小,若采用常年蓄水运用方式,水库

淤积严重,无法满足保持长期有效库容和调洪库容的限制条件。且库尾有十(堰)天(水)高速敏感对象,因此尽量减少库尾淤积,结合水库坝址处年内水沙特性分析,水库来沙量集中在汛期几场洪水中,因此本次拟定五种排沙减淤运行方式(表 3),通过不同运行方式的水库泥沙冲淤、防洪、兴利计算,最后确定合理的运行方式。对五种运行方式的防洪、兴利进行计算后,进行综合对比。

表 3 拟定的水库运行方式

方案	泥沙调度方式	具体运行工况
方案一	全年空库运行	水库常年不蓄水,仅在来大洪水时滞洪削峰
方案二	汛期敞泄、非汛期蓄水	汛期 7~9 月空库敞泄,非汛期蓄水
方案三	汛期降低水位	汛期降低至汛限水位,非汛期蓄水运行
方案四	汛期降低水位并定期敞泄排沙	汛期 7—9 月降低至汛限水位运行,并在 7 月 11 日—7 月 30 日期间,定期空库敞泄排沙;非汛期蓄水运行。
方案五	汛期降低水位并相机敞泄排沙	汛期 7—9 月降低至汛限水位,并在汛期设置排沙流量和排沙限,相机敞泄排沙;非汛期蓄水运行。

对上述五个方案^[17]进行防洪、兴利计算,比较结果见表 4。

方案一累计淤积量相对最小,剩余防洪库容最大,由于水库不蓄水,对生态流量没有调蓄功能,生态年保证率 52.94%,对生态未有改善,发电水头很小,电站发电量最小,装机仅 3 MW,发电量 747 万 kW·h。

方案二累计淤积量相对较小,汛期基本生态流

量也有不满足的时段,但汛期敞泄,不能对汛期生态有改善提高作用,生态调蓄水量 372.24 万 m³,年保证率 54.90%,不满足基本生态保证率 75% 要求,发电量 7996 万 kW·h,年利用小时数 1 568 h,汛期洪水集中在几天时间,还可以利用汛期含沙量小的时间段内蓄水发电,因此也不宜推荐方案二。

方案三在汛期降低水位排沙,整个汛期(7—9 月)都降至 674 m,水库剩余库容与方案四、方案五对比没有优势,泥沙淤积量相对最多,而发电量并没有增加很多,不宜推荐方案三。

方案四虽然每年定期敞泄 20 d,水库有 20 d 不能发电,但是淤积量比方案五还多,因此不宜推荐方案四,且基本生态年保证率不满足 75% 要求,因此不推荐方案四。

方案五,水库汛期(7—9 月)降低至汛限水位 674 m,并且相机排沙,从计算结果可见,该运用方式中剩余防洪库容结果与方案三、方案四情况相比,泥沙淤积量相对较小,对于维持水库后续防洪库容有利,满足生态调蓄任务,生态调蓄水量 878.53 万 m³,可将生态流量年保证率从 52.94% 提高至 76.47%,满足基本生态流量年保证率和时段保证率不低于 75% 要求,也对维持水库后续防洪库容有利,且发电量比方案三和方案四没有减少很多,因此,方案五对于防洪任务来说,具有优势,且能保证水库的终极库容。

本次推荐方案五:汛期 7—9 月降低至汛限水位,并在入库流量 ≥ 320 m³/s,或者入库含沙量 ≥ 20 kg/m³ 时,相机敞泄排沙。

表 4 水运行方式结果对比表

方案	防洪高水位 /m	正常蓄水位 /m	死水位 /m	汛限水位 /m	径流量 /亿 m ³	入库沙量 /万 t	50 年累计淤积量 /万 m ³	剩余防洪库容 /万 m ³	多年平均淤积量 /万 m ³	多年平均排沙比 /%	生态调蓄水量 /万 m ³	生态年保证率 /%	电站装机 /MW	发电量 /万 kW·h	年利用小时数 /h
方案一	686.2	680	652.3	—	31.24	2335	2514.80	10692.6	50.30	97.1	—	52.94	3	747	2491
方案二	686.7	680	652.3	—	31.24	2335	3330.00	9907.9	75.00	95.7	372.24	54.90	51	7996	1568
方案三	687.4	680	652.3	674	31.24	2335	5408.39	8811.6	108.17	93.8	1031.23	76.47	51	12498	2451
方案四	687.4	680	652.3	674	31.24	2335	4918.37	9301.6	98.37	94.3	931.30	70.59	51	12007	2354
方案五	687.4	680	652.3	674	31.24	2335	3948.70	10271.3	78.97	95.4	878.53	76.47	51	10814	2118

5 运行方式论证

进一步分析方案五的调度方式下,回水对嘉陵江干流位于库区范围内嘉陵江干流十(堰)天(水)高速公路桥的影响。嘉陵江 1 号桥位于 J31—J32

断面间,桥梁底最低高程约 745.6 m,嘉陵江 2 号桥位于 J33—J34 断面间,桥梁底最低高程约 734.9 m,嘉陵江 3 号桥位于 J34—J36 断面间,桥梁底最低高程约 715.3 m,嘉陵江 4 号桥位于 J36—J37 断面间,桥梁底最低高程约 699.9 m,嘉陵江 5 号桥位于

J40—J51 断面处,桥梁底高程 700.5 m ~ 705.4 m^[17]。

回水对嘉陵江干流十(堰)天(水)高速公路桥的影响见表5,根据方案五的调度方式,对干支流天然及建库运行30年后回水进行计算,结果表明:嘉陵江干流回水尖灭位置在J42断面,距坝里程19.33 km,水位695.14 m。说明:目前库区十(堰)天(水)高速1—5号桥梁均满足原设计防洪标准要求,无需对库区淹没段进行抬高改建。

表5 回水对嘉陵江干流十(堰)天(水)高速公路桥的影响

序号	桥梁名称	回水影响桥梁总长/m	附近水文断面编号	水文断面处桥梁底高程/m	水位/m	水位+壅高+浪高+安全超高+漂浮物高度/m
1	十天高速1号桥	330	J31	745.6	688.75	691.05
2	十天高速2号桥	360	J34	734.9	689.54	691.84
3	十天高速3号桥	540	J35	715.3	689.89	692.19
4	十天高速4号桥	270	J37	699.9	690.92	693.22
5	十天高速5号桥	750	J41 J42	698.7 700.3	694.16 695.14	696.46 697.44
合计		2250				

6 结论

本文利用泥沙冲淤模型对嘉陵江干流水库的运行方式进行研究,计算并对比了不同运行方式下水库减淤效果和水库兴利效益,提出了优化调度方案,并针对敏感性淹没对象论证了方案的安全性。主要结论如下:

(1) 针对嘉陵江干流水库减淤调度提出了汛期7—9月降低至汛限水位,并在入库流量 $\geq 320 \text{ m}^3/\text{s}$,或者入库含沙量 $\geq 20 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时进行敞泄排沙的调度方案,实现了防洪库容、生态流量、发电量的综合保障。

(2) 上述确定的水库调度运行方式,对嘉陵江干流库尾淹没对象十(堰)天(水)高速公路防洪不产生影响。

参考文献:

[1] 邓安军,陈建国,胡海华,等. 水库淤损控制与库容恢复研究综述[J]. 人民黄河,2019,41:(1-5).

- [2] 杨露,侯精明,王新宏,等. 延河龙安水库合理运行方式初步研究[J]. 泥沙研究,2022,47(4):60-67.
- [3] 魏国梁,祖安君,李小果,等. 基于巴家咀水库库区淤积和清淤的思考[J]. 中国水能及电气化,2025,238(1):22-28.
- [4] 任实,高宇,等. 三峡工程泥沙问题研究进展与展望[J]. 湖泊科学,2024,36(6):1611-1625.
- [5] 陈翠霞,赵东晓,王振凡,等. 小浪底水库排沙规律及调控指标[J]. 人民黄河,2025,47(2):36-40.
- [6] 裴柯雄,史红玲,陈建国,等. 三门峡水库汛期壅水排沙影响因素分析[J]. 泥沙研究,2025,50(1):61-67.
- [7] 黄仁勇,王敏,张细兵,等. 三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方式计算研究[J]. 长江科学院院报,2020,37(1):7-12.
- [8] 李巍. 水库调度运行方式对水库泥沙淤积的影响[J]. 水利建设与管理,2017,9:65-67.
- [9] 叶辉辉,高学平,负振星,等. 水库调度运行方式对水库泥沙淤积的影响[J]. 长江科学院院报,2015,32(1):1-5,10.
- [10] 夏力哈尔. 水库调度方式与水库泥沙淤积关系[J]. 黑龙江水利科技,2014,42(5):63-64.
- [11] 胡茂银,李胜双,等. 老鹰岩一级水电站水库泥沙淤积及汛期运行调度方式研究[J]. 四川水利发电,2024,43(6):72-83.
- [12] 王瑜. 水库敞泄冲刷过程中滩岸冲刷及崩塌过程数值模拟研究[D]. 西安:西安理工大学,2023:33-36.
- [13] 薛承文. 多沙河流水库泄洪排沙洞几个水力学问题的研究——以亭口水库为例[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2011:26-30.
- [14] 涂启华,杨赉斐. 泥沙设计手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006:43-55.
- [15] 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社,1983:105-110.
- [16] 王新宏,龚立尧,吴巍,等. 高含沙河流供水水库运用方式研究——以王瑶水库为例[J]. 泥沙研究,2018,43(2):33-39.
- [17] 燕荔,庞辉,等. 陕西省略阳县徐家坪水库项目建议书报告[R]. 西安:陕西水利电力勘测设计研究院,2024:5-34-84.