DOI:10.3969/j.issn.1001-5485.2013.01.002 2013,30(01):8-14

三峡水库提前蓄水的防洪风险与效益分析

李 雨[1],郭生练[1],郭海晋[2],张洪刚[2],丁胜祥[2]
(1.武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室,武汉 430072;2.长江水利委员会 水文局,武汉 430010)

摘要:在三峡水库现有优化调度和试验性蓄水方案的基础上,拟定了6组提前蓄水方案,开展提前蓄水的防洪风险和效益分析计算。选择1952和1964年为典型年,分别推求分期设计洪水过程线。研究结果表明:三峡水库9月1日从145 m开始起蓄,9月30日均匀蓄至160.0 m,其1 000年一遇分期设计洪水对应的风险率和风险损失率分别为0.39%和1.47%,防洪风险仍在可控范围内;与原方案相比,多年平均可增加发电量24.65亿kW·h,减少弃水量25.32亿m^3,汛后蓄满率和平均蓄水位分别提高到95.35%和174.8 m。

关 键 词:水资源;提前蓄水;防洪风险;效益分析
中图分类号:TV 697.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-5485(2013)01-0008-07

如何科学地制定三峡水库的蓄水方案,在防洪风险可控的条件下,优化汛末蓄水的运行方式,既可以充分发挥三峡水库的发电效益,又可提高三峡水库的航运和生态补水效益,具有重要的理论和现实意义。李义天等[1]在分析三峡水库洪水的基础上,提出了在9月份分旬控制蓄水的方案,针对不同频率的洪水组合进行了调洪演算,得到了9月各旬相应的防洪限制水位,并对其发电效益进行了比较。邓金运等[2]通过水库泥沙淤积计算,考虑了泥沙淤积造成的库容损失,对三峡水库9月份分旬控制水位进行了深入研究。彭杨等[3]研究表明:适当提前蓄水时间不会影响水库的防洪安全,且有利于综合利用效益的发挥,提前蓄水利大于弊。刘攀等[4]建立并改进了神经网络模型,从系统优化的角度对三峡水库运行初期的蓄水方式和时机选择进行了研究。刘心愿等[5]考虑了三峡水库的综合利用要求,建立了多目标蓄水调度模型,并优化汛末期防洪库容和蓄水调度图。上述研究对提前蓄水理论和方法进行了深入的分析和研究。考虑到长江上游梯级水库群建成后,三峡水库汛末蓄水期的入库流量和泥沙淤积量均明显减少的状况[6-7],本文依据《三峡水库优化调度方案》[8]和《三峡工程2010年度汛和试验性蓄水方案》[9],在现行的提前蓄水方案基础上,拟定出多组提前蓄水方案,进行防洪风险分析和效益分析计算,开展提前蓄水优选方案研究。

1 三峡水库蓄水调度模式

为实现对三峡水库提前蓄水时间与蓄水方案的优化选择,依据现有的优化调度方案和试验性蓄水方案,并在此基础上做适当抬升和均匀离散,拟定出多组提前蓄水方案,分防洪风险分析和效益分析2部分对各方案优化求解,其计算流程如图1所示。防洪风险分析模块主要通过选取典型年并放大其典型洪水过程,通过调洪演算和迭代计算,推求各频率分期设计洪水的坝前最高安全水位,并结合各实测年份水库的调洪高水位,选用风险率和风险损失率这2个评价指标,分析各提前蓄水方案的防洪风险;效益分析模块主要利用历史实测入库流量资料,按照拟定的提前蓄水方案,进行模拟蓄水调度,选用累积发电量、累积弃水量、发电保证率、通航率、蓄满率和年均蓄水位等评价指标,分析各提前蓄水方案的综合效益。最后通过综合分析各提前蓄水方案的防洪风险和综合效益,选取最优提前蓄水方案。

1.1 蓄水调度约束条件

为保证三峡水库的正常运行,在进行调洪演算以及模拟蓄水调度计算中,主要考虑以下约束条件。

(1) 水量平衡约束:

$$V_{i,j+1} = V_{i,j} + (Q_{\mathrm{in}(i,j)} - Q_{\mathrm{out}(i,j)})\Delta t\ ,\quad i = 1,\cdots,n;\quad j = 1,\cdots,m\ 。 \tag{1}$$

收稿日期:2011-12-28;修回日期:2012-03-19
基金项目:国家十一五科技支撑计划项目(2009BAC56B02,2009BAC56B04)
作者简介:李 雨(1986-),男,河南周口人,博士研究生,主要从事水文及水资源方向的研究,(电话)15377520376(电子信箱)liyuwhu@163.com。

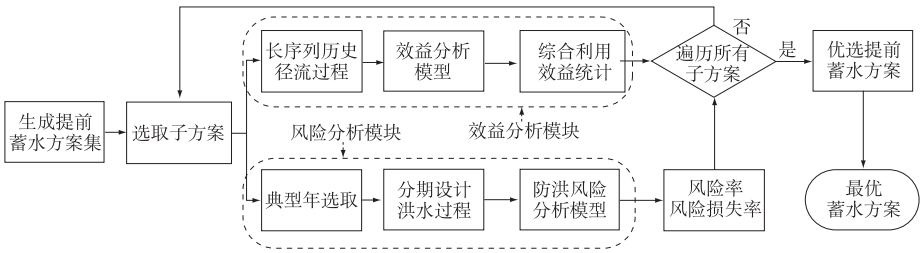


图 1　蓄水方案优选流程图

Fig. 1　Flowchart of deriving the optimal water impoundment schemes

（2）水库库容约束：

$$V_{j\min} \leqslant V_{i,j} \leqslant V_{j\max} \quad ,$$
$$i = 1,\cdots,n \ ; \quad j = 1,\cdots,m \ 。 \qquad (2)$$

（3）电站发电能力约束：2012 年汛期前，三峡电站 32 台 70 万 kW 机组将全部实现并网发电，再加上电源电站 2 台 5 万 kW 机组，最大出力 22 400 MW，保证出力 4 990 MW。

$$P_{\min} \leqslant AQ_{e(i,j)}H_{i,j} \leqslant P_{\max} ,$$
$$i = 1,\cdots,n \ ; \quad j = 1,\cdots,m \ 。 \qquad (3)$$

（4）下泄流量约束：根据三峡工程新增抗旱补水功能的要求，10 月上旬、中旬和下旬的最小下泄流量分别为 8 000，7 000，6 500 m^3/s。考虑到三峡库区地质灾害治理的要求，水位抬升期间，三峡库水位上升不超过 3 m/d，特殊情况下如需下降，则降幅不超过0.6 m/d。

$$Q_{\mathrm{out}(i,j)} > Q_{\min} ,$$
$$i = 1,\cdots,n \ ; \quad j = 1,\cdots,m \ 。 \qquad (4)$$
$$| Q_{\mathrm{out}(i,j)} - Q_{\mathrm{out}(i,j-1)} | \leqslant \Delta Q ,$$
$$i = 1,\cdots,n \ ; \quad j = 1,\cdots,m \ 。 \qquad (5)$$

（5）通航条件约束：蓄水期间，最小下泄流量应满足葛洲坝下游最低通航水位39.0 m（采用庙嘴水位）的要求，对应流量值约为 5 000 m^3/s。

$$Z_{\mathrm{dmin}} \leqslant Z_{\mathrm{d}(i,j)} \leqslant Z_{\mathrm{dmax}} ,$$
$$i = 1,\cdots,n \ ; \quad j = 1,\cdots,m \ 。 \qquad (6)$$
$$Z_{\mathrm{d}(i,j)} = f(Q_{\mathrm{out}(i,j)}) \ ,$$
$$i = 1,\cdots,n \ ; \quad j = 1,\cdots,m \ 。 \qquad (7)$$

式中：n 为计算总年数；i 为年份序号；m 为年内计算时段长度；j 为时段序号；A 为电站综合出力系数；$H_{i,j}$为平均水头；$V_{i,j}$ 为水库库容；$Q_{\mathrm{in}(i,j)}$，$Q_{\mathrm{out}(i,j)}$ 和 $Q_{e(i,j)}$ 分别为入库、出库和发电流量；$V_{j\min}$ 和 $V_{j\max}$ 分别为水库最小和最大库容；$P_{\min}$ 和 $P_{\max}$ 分别为电站最小和最大出力；$Q_{\min}$ 为下游综合利用所需最小流量；Z_{dmin} 和 Z_{dmax} 分别为下游通航所需最低和最高水位；$Z_{\mathrm{d}(i,j)}$ 为下游水位；Δt 为时间间隔；ΔQ 为最大出库流量变幅。

1.2　防洪风险分析模块

考虑到三峡水库汛末洪水出现的复杂性和不确定性，选取同频率的各分期设计洪水，通过调洪演算，迭代求解得到各分期防洪限制水位，取其交集部分即得到坝前最高安全水位，如图 2 所示。此水位是水库抵御相应频率分期设计洪水时，水库水位所能达到的上限值，若水库水位高于此值，则水库就不能完全调蓄该频率洪水，可能会造成上下游的洪灾损失。将三峡水库水位高于坝前最高安全水位事件，作为本次研究的非期望事件，分别从风险率和风险损失率 2 方面来探讨不同提前蓄水方式的防洪风险问题，具体计算步骤如下（如图 3）。

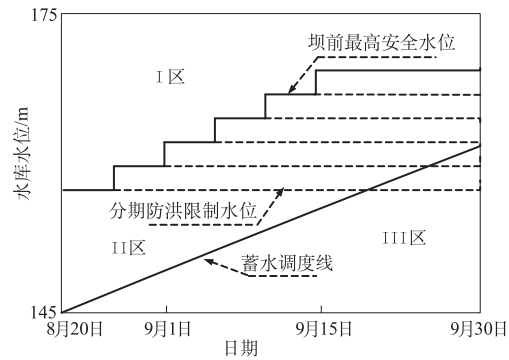


图 2　提前蓄水调度图

Fig. 2　Scheduling graph of impounding water in advance

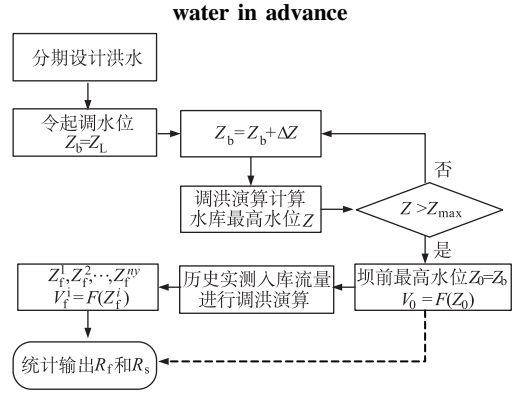


图 3　防洪风险分析计算流程图

Fig. 3　Flowchart of risk analysis for flood control

（1）从防洪最不利的角度选择历史典型洪水，推求不同频率的分期设计洪水过程。

（2）依据蓄水期防洪调度规则，分别对其进行调洪演算，推求各蓄水期内不同频率分期设计洪水相对应的坝前最高安全水位 Z_0，其与蓄水调度线将库容分为 3 个部分（见图 2），Ⅰ区是水库为调蓄设计洪水所预留的库容部分，属潜在风险区；Ⅱ区是水库调蓄实测洪水所需的库容部分，属正常防洪运用区；Ⅲ区是在枯水年份，水库不能完成正常的蓄水调度，水库水位所处区域，属蓄水调度破坏区。

(3) 选用不同蓄水期内历史上 N 年的实测入库流量资料,按拟定的蓄水方案模拟调度,计算各年蓄水调度的最高水库水位 Z_f,统计最高水库水位超过某频率分期设计洪水对应的坝前最高安全水位的年数(n),则该频率分期设计洪水相应的风险率 $R_f = n/N$。

(4) 风险损失是指非期望事件发生后造成的损失,其真实值的获得,需要通过大量的调查、分析和计算,因资料所限,这里采用风险损失率 R_s 间接表征,令 Z_0 和 Z_f 对应的库容分别为 V_0 和 V_f,水库最大调洪库容为 V_m,其数学表达式为

$$R_s = \begin{cases} \dfrac{(V_f - V_0)}{(V_m - V_0)}, & V_f \geq V_0 \\ 0, & V_f < V_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中:$(V_m - V_0)$ 为水库为抵御某一频率分期设计洪水所预留的防洪库容;$(V_f - V_0)$ 为预留防洪库容被占用部分;$R_s \in [0,1]$,$R_s = 1$ 即预留防洪库容全部被挤占,水库丧失调蓄洪水的能力,洪灾损失全部由下游地区承担,$R_s = 0$ 即水库有足够的预留库容调蓄洪水,不会给下游地区带来洪灾损失。

1.3 效益分析模块

该模块的主要功能是,按照拟定的提前蓄水方案,对历史实测入库流量过程进行模拟调度,统计各提前蓄水方案的综合效益,其计算流程如图 4 所示,具体步骤为:

(1) 根据各提前蓄水方案,初步确定时段末水位,然后结合起调水位、入库流量等,根据水量平衡原理计算本时段出库流量,如果出库流量大于下游防洪要求的安全泄量,则控制出库流量不超过安全泄量。

(2) 根据出库流量计算出力 N_s,如果小于保证出力 N_p,则通过试算使出力等于保证出力;如果大于预想出力 N_y,则按照机组的预想出力发电,多余的水量作为弃水流量 Q_s。

(3) 如果水库水位已经达到正常高水位,则出库流量等于入库流量,保证水库水位不再升高。

(4) 验证是否满足替他约束条件,如果不满足,则转入步骤(1)重新调整出库流量,同时计算调整其他相关变量;如果满足,则转入步骤(5)。

(5) 根据水库入库流量、出库流量、库容和出力,计算得到累积发电量、累积弃水量、发电保证率、通航率、蓄满率和年均蓄水位等统计值。

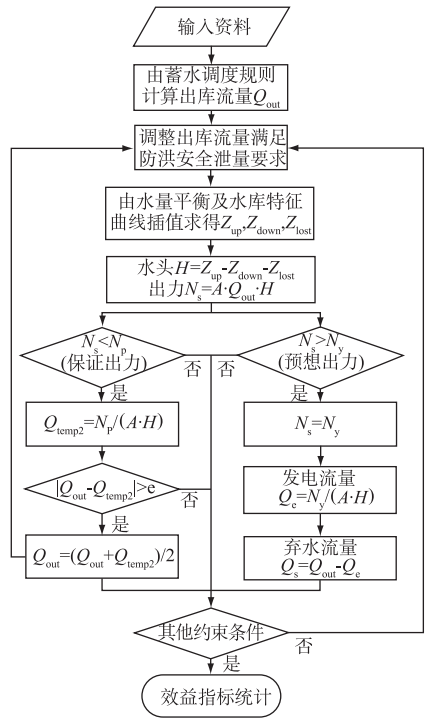


图 4 效益分析计算流程图

Fig. 4 Flowchart of benefit analysis

2 实例研究

2.1 提前蓄水方案

根据《三峡水库优化调度方案》,水库蓄水时间不早于 9 月 15 日,按分段控制原则,在保证防洪安全的前提下,均匀上升,9 月 25 日水位不超过 153.0 m,9 月 30 日水位不超过158.0 m。同时,在《三峡工程 2010 年度汛和试验性蓄水方案》中,允许水库可以提前至 9 月 10 日蓄水,同时 9 月底蓄水量可以达到约为防洪库容的一半(换算成水位约为 162.5 m)。综合以上考虑,本次拟定方案在已有获批方案基础上做适当抬升和均匀离散,拟定出以下 6 组提前蓄水方案,如表 1 所示。

表 1 各不同提前蓄水方案

Table 1 Different schemes of impounding water in advance

起蓄时间	水位控制/m							
	8 月 20 日	8 月 25 日	9 月 1 日	9 月 5 日	9 月 10 日	9 月 15 日	9 月 25 日	9 月 30 日
8 月 20 日	145.0	147.0	150.0	152.0	154.0	156.0	160.0	162.0
8 月 25 日		145.0	148.0	150.0	152.5	155.0	160.0	162.0
9 月 1 日			145.0	148.0	150.5	153.0	158.0	160.0
9 月 5 日				145.0	148.0	151.0	157.0	160.0
9 月 10 日					145.0	148.0	154.0	158.0
9 月 15 日						145.0	153.0	158.0

2.2　分期设计洪水

为与提前蓄水方案保持一致，根据宜昌站1877—2010 年洪水资料，对后汛期 6 个分期的设计洪水进行了分析，分别为 8 月 20 日之后、8 月 25 日之后、9 月 1 日之后、9 月 5 日之后、9 月 10 日之后和 9 月 15 日之后的最大日流量、最大 3 d 洪量、7 d 洪量、15 d 洪量和 30 d 洪量，并进行频率计算。用矩法计算参数初值，用经验适线法调整确定，理论频率曲线采用 P－Ⅲ型。洪水典型选择遵循以下原则：①峰高量大，洪量集中，洪峰形态及其时程分布对中下游防洪情势较为恶劣；②洪水发生在后汛期，并在洪水地区组成方面具有一定的代表性；③坝址上下游洪水遭遇严重；④资料完整可靠。综合以上因素，选取 1952 年（多峰型）与 1964 年（单峰型）洪水过程作为典型洪水，采用同频率方法放大典型洪水过程，如图 5 所示。

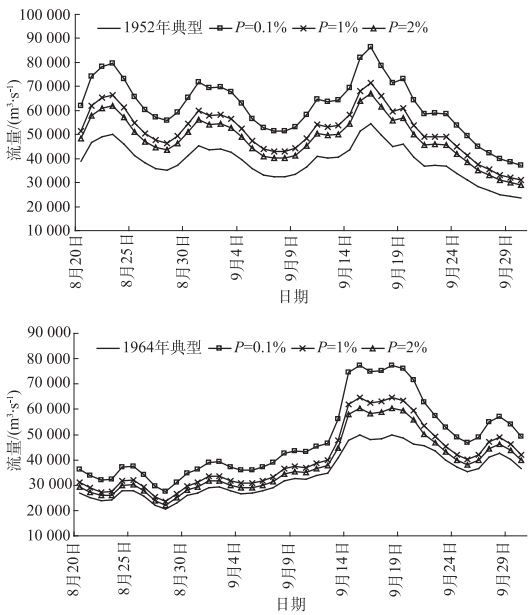


图 5　三峡水库 1952 年和 1964 年典型各频率（*P*）分期设计洪水成果图

Fig. 5　The seasonal design flood hydrographs of the Three Gorges Reservoir based on typical year 1952 and 1964

2.3　防洪调度规则

采用对荆江进行防洪补偿调度的方式[10]，通过对分期历史洪水进行统计分析，其 1 000 年一遇和 100 年一遇分期设计洪水仅分别相当于年最大 100 年和 20 年一遇设计洪水，故进行防洪调度时，按以下方式进行控制：

（1）分期遇 100 年一遇及以下设计洪水，按年最大 20 年一遇洪水标准控制，按控制沙市水位 43.0～44.5 m进行补偿调度。

（2）分期遇 100 年一遇以上至 1 000 年一遇设计洪水，按年最大 100 年一遇洪水标准控制，按控制沙市水位44.5～45.0 m进行补偿调度，当水库水位在171.0～175.0 m之间时，补偿枝城站流量不超过 80 000 m^3/s，在采取分蓄洪措施条件下控制沙市站水位不高于45.0 m。

3　结果分析与讨论

3.1　坝前最高安全水位

表 2 给出了不同提前蓄水方案 1952 和 1964 典型年各频率分期设计洪水，调洪演算得到的坝前最高安全水位，由于篇幅所限，仅列出各方案 1 000 年一遇分期设计洪水对应的坝前最高安全水位。

表 2　1 000 年一遇分期设计洪水调洪演算得到的坝前最高安全水位

Table 2　The maximum safe water levels by flood routing corresponding to seasonal design flood once in 1 000 years

起蓄时间	典型年	坝前最高安全水位/m					
		8 月 20 日	8 月 25 日	9 月 1 日	9 月 5 日	9 月 10 日	9 月 15 日
8 月 20 日	1952	154.6	161.6	166.6	167.1	168.8	170.4
	1964	161.9	163.3	167.1	168.0	169.4	170.8
8 月 25 日	1952		161.6	166.6	167.1	168.8	170.4
	1964		163.3	167.1	168.0	169.4	170.8
9 月 1 日	1952			166.6	167.1	168.8	170.4
	1964			167.1	168.0	169.4	170.8
9 月 5 日	1952				167.1	168.8	170.4
	1964				168.0	169.4	170.8
9 月 10 日	1952					168.8	170.4
	1964					169.4	170.8
9 月 15 日	1952						170.4
	1964						170.8

从表 2 可以看出，坝前最高安全水位与水库起蓄时间呈反比关系，与分期设计洪水频率呈正比关系，即各频率分期设计洪水对应的坝前最高安全水位，随着水库起蓄时间的推迟，入库流量逐渐减小，故调洪得到的最高安全水位值逐渐增大；随着分期设计洪水频率的逐渐减小，相应的入库流量逐渐增大，故调洪得到的最高安全水位值逐渐减小。

对于某蓄水方案的某频率分期设计洪水，其坝前最高安全水位呈阶梯状分布。以 1952 年典型 8 月 20 日起蓄方案对应的 1 000 年一遇分期设计洪水为例，8 月 20 日、8 月 25 日、9 月 1 日、9 月 5 日、9 月 10 日、9 月 15 日之后各分期设计洪水，经调洪演算得到的各分期防洪限制水位分别为：154.6，161.6，166.6，167.1，168.8，170.4 m，取其交集部分，即得到呈阶梯状分布的坝前最高安全水位。

3.2 防洪风险分析

利用三峡水库1882—2010年(129 a)8月20日至9月30日的实测日均入库流量资料,以及不同频率分期设计洪水所对应的坝前最高安全水位,代入防洪风险分析模型进行计算,结果如表3所示。

表3 不同提前蓄水方案风险率和风险损失率对比表

Table 3 Flood control risk ratios and risk loss ratios for different schemes of impoundment in advance

起蓄时间	项目	风险率/%		风险损失率/%	
		$P=0.2\%$	$P=0.1\%$	$P=0.2\%$	$P=0.1\%$
8月20日	1952典型年	1.55	2.33	38.29	48.44
	典型年均值	1.55	2.33	35.89	45.42
	原方案均值	1.55	2.33	32.72	42.72
8月25日	1952典型年	1.55	1.55	29.17	40.83
	典型年均值	1.55	1.55	26.42	37.36
	原方案均值	1.55	1.55	22.67	34.16
9月1日	1952典型年	0	0.78	0	2.93
	典型年均值	0	0.39	0	1.47
	原方案均值	0	0.39	0	1.47

从表3中可以看出,各提前蓄水方案随着起蓄时间的提前,风险率和风险损失率均逐渐增大;随着分期设计洪水频率的逐渐减小,各提前蓄水方案的风险率和风险损失均逐渐增大。9月5日及以后起蓄的各提前蓄水方案的风险率和风险损失均为0;100年一遇及以下分期设计洪水,各提前蓄水方案的风险率和风险损失率均为0,故均未在表中列出。

对于8月20日和8月25日2起蓄水方案,其1 000年一遇的风险率典型年均值分别为2.33%和1.55%,风险损失率典型年均值分别为45.42%和37.36%。较原设计方案,虽然没有增加防洪风险率,但防洪风险损失率均有所增加。对于9月1日起蓄方案,其1 000年一遇分期设计洪水的风险率和风险损失率典型年均值,较原设计方案均未增加。

3.3 蓄水方案效益分析

为全面计算各提前蓄水方案的综合利用效益,将整个蓄水调度过程分为2部分。第一部分:8月20日至9月30日,按拟定的6种提前蓄水方案,进行模拟蓄水调度;第二部分(原方案):10月1日至12月31日,按在满足水位变幅及下游抗旱补水最小下泄流量要求的前提下,尽量提前蓄满水库的方式,进行模拟蓄水调度。

利用三峡水库1882—2010年(129 a)8月20日至12月31日的实测日均入库流量资料,进行模拟蓄水调度,结果如表4所示。较原设计方案,提前蓄水方案可增加发电量和减少弃水量。以9月1日起蓄方案为例,多年平均可增加发电量24.65亿kW·h,增幅为7.19%;减少弃水量25.32亿m^3,降幅为25.07%;蓄满率由原方案的93.02%,提高到95.35%;蓄水期末年均蓄水位由原方案的174.32 m,提高到174.8 m。由于6种提前蓄水方案以及原方案的发电保证率和通航率均为100%,故均未在表中给出。

3.4 2010年蓄水调度实例分析

选用2010年9月1日至12月31日实际入库流量过程,分别按拟定的9月1日起蓄方案、2010年试验性蓄水方案(9月10日起蓄)以及原方案(10月1日起蓄)进行模拟蓄水调度,将调度结果列于表5和图6。3种方案的风险率和风险损失率均为0,发电保证率和通航率为100%,故均未在表5中列出。

从表5可以看出,与原方案相比,9月10日起蓄方案,累积发电量从232.55亿kW·h增加到264.75亿

表4 各提前蓄水方案多年平均综合利用效益对比表

Table 4 Annual average comprehensive utilization benefits for different schemes of impoundment in advance

起蓄时间	项目	累积发电量/(10^8kW·h)	累积弃水量/(10^8 m^3)	蓄满率/%	年均蓄水位/m
原方案	计算值	342.74	100.98	93.02	174.32
8月20日	计算值	375.2	69.83	96.9	174.87
	增量(增幅)	32.46(9.47%)	-31.15(-30.85%)	3.88(4.17%)	0.55(0.31%)
8月25日	计算值	372.44	72.17	96.9	174.85
	增量(增幅)	29.7(8.66%)	-28.81(-28.53%)	3.88(4.17%)	0.53(0.3%)
9月1日	计算值	367.39	75.66	95.35	174.8
	增量(增幅)	24.65(7.19%)	-25.32(-25.07%)	2.33(2.5%)	0.47(0.27%)
9月5日	计算值	364.31	79.65	95.35	174.73
	增量(增幅)	21.57(6.29%)	-21.33(-21.12%)	2.33(2.5%)	0.41(0.23%)
9月10日	计算值	359.34	85.1	95.35	174.64
	增量(增幅)	16.6(4.84%)	-15.88(-15.73%)	2.33(2.5%)	0.32(0.18%)
9月15日	计算值	357.25	88.56	95.35	174.59
	增量(增幅)	14.51(4.23%)	-12.42(-12.3%)	2.33(2.5%)	0.27(0.15%)

表 5　2010 年各蓄水方案综合利用效益对比表

Table 5　The comprehensive utilization benefits of different impoundment schemes in 2010

起蓄时间	项目	累积发电量/(10^8 kW·h)	累积弃水量/(10^8 m^3)	蓄满日期
原方案	计算值	232.55	188.49	11—21
9 月 1 日	计算值	277.46	83.11	10 月 22 日
	增量(增幅)	44.91 (19.31%)	−105.38 (−55.91%)	−
9 月 10 日	计算值	264.75	111.01	10 月 24 日
	增量(增幅)	32.20 (13.85%)	−77.48 (−41.11%)	−

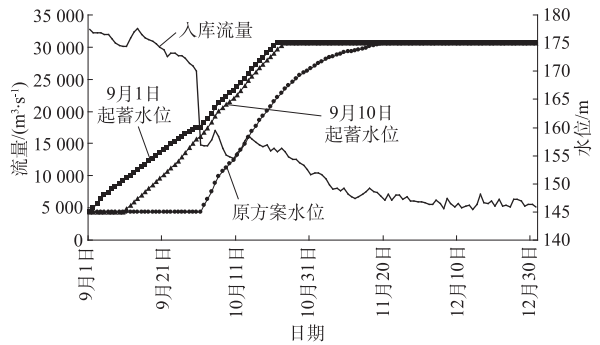


图 6　2010 年各蓄水方案模拟蓄水调度过程图

Fig. 6　The simulated scheduling processes of different impoundment schemes in 2010

kW·h;弃水量从188.49亿 m^3 降低至111.01亿 m^3;水库蓄满时间从 11 月 21 日提前到 10 月 24 日。如果起蓄时间提前到 9 月 1 日,则累积发电量增加到277.46亿 kW·h;弃水量降低至83.11亿 m^3;水库蓄满时间提前到 10 月 22 日。

从图 6 可以看出,由于原方案要求 10 月 1 日前水库水位维持在汛限水位,经常造成汛期弃水量较大而蓄水期又无水可蓄的尴尬局面。而 9 月 1 日和 9 月 10 日起蓄方案均能在满足防洪安全以及下游抗旱补水要求的前提下,有效地利用 9 月中、下旬的洪水资源,充分地发挥水库的综合利用效益。

4　结　论

建立了三峡水库提前蓄水防洪风险分析模型,选取 1952 年和 1964 年为典型年,分别推求分期设计洪水过程线,从风险率和风险损失率 2 方面,分析计算各提前蓄水方案对下游地区防洪安全的影响。研究结果表明:较原设计方案,9 月 1 日及以后起蓄的各提前蓄水方案,不会增加下游地区的防洪风险;8 月 20 日和 8 月 25 日起蓄方案,则会不同程度上增加下游地区的防洪风险;

建立了三峡水库提前蓄水效益分析模型,利用 129 a 历史实测日均入库流量资料,模拟计算蓄水调度过程。分别从累积发电量、累积弃水量、发电保证率等方面进行统计分析。计算结果表明:较原设计方案,随着蓄水时间的提前,累积发电量逐渐增大,累积弃水量逐渐减小,蓄满率逐渐提高,蓄水期末年均蓄水位逐渐抬高。9 月 1 日从 145 m 起蓄,9 月 30 日库水位均匀蓄至160.0 m,可增加发电量24.65亿 kW·h(增幅为7.19%);减少弃水量25.32亿 m^3(降幅为25.07%);蓄满率由原方案的93.02% 提高到95.35%;蓄水期末平均蓄水位逐渐抬高,由原方案的174.32 m提高到174.8 m。

参考文献:

[1] 李义天,甘富万,邓金运. 三峡水库 9 月分旬控制蓄水初步研究[J]. 水力发电学报,2006,25(1):61 − 66. (LI Yi-tian, GAN Fu-wan, DENG Jin-yun. Preliminary Study on Impounding Water of Three Gorges Project in September [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2006,25(1):61 − 66. (in Chinese))

[2] 邓金运,李义天,陈　建,等. 泥沙淤积对三峡水库 9 月分旬蓄水的影响[J]. 水力发电学报, 2006,25(1): 61 − 66. (DENG Jin-yun, LI Yi-tian, CHEN Jian, *et al.* Study on the Controlled Water Levels of Three Gorges Reservoir in September with Considering the Impact of Sediment Deposition [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2006, 25(1): 61 − 66. (in Chinese))

[3] 彭　杨,李义天,谢葆玲,等. 三峡水库汛后提前蓄水方案研究[J]. 水力发电学报,2002,(3):12 − 20. (PENG Yang, LI Yi-tian, XIE Bao-ling, *et al.* Study on an Ahead of Schedule Impounding Scheme of the Three Gorges Project (TGP) in the Flood Recession Period[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2002,(3):12 − 20. (in Chinese))

[4] 刘　攀,郭生练,庞　博,等. 三峡水库运行初期蓄水调度函数的神经网络模型研究及改进[J]. 水力发电学报,2006,25(2):83 − 89. (LIU Pan, GUO Sheng-lian, PANG Bo, *et al.* A Modified Approach for Deriving Storage Operating Rules of the Three Gorges Reservoir with Artificial Neural Network[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2006,25(2):83 − 89. (in Chinese))

[5] 刘心愿,郭生练,刘　攀,等. 考虑综合利用要求的三峡水库提前蓄水方案研究[J]. 水科学进展,2009,20(6): 851 − 856. (LIU Xin-yuan, GUO Sheng-lian, LIU Pan, *et al.* Scheme of Impounding in Advance for the Three Gorges Reservoir by Considering the Comprehensive Utilization Benefits [J]. Advance in Water Science, 2009, 20(6): 851 − 856. (in Chinese))

[6] 李　响,郭生练,赵云发,等. 三峡水库汛限水位动态控制可行性研究[J]. 水力发电,2011,37(8): 73 − 76. (LI Xiang, GUO Sheng-lian, ZHAO Yun-fa, *et al.* Feasibility Study on Dynamic Control of Flood Control Level of Three Gorges Reservoir [J]. Water Power, 2011, 37(8): 73 − 76. (in Chinese))

[7] 陈　建,李义天,邓金运,等. 水沙条件变化对三峡水

库泥沙淤积的影响[J]. 水力发电学报,2008,27(2):97 – 102. (CHEN Jian, LI Yi-tian, DENG Jin-yun, *et al*. Influence on Deposition of the Three Gorges Reservoir Caused by the Change of Water Silt Conditions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008,27(2):97 – 102. (in Chinese))

[8] 中华人民共和国水利部. 三峡水库优化调度方案[R]. 北京:中华人民共和国水利部,2009. (Ministry of Water Resources of PRC. Scheme of Optimal Operation for the Three Gorges Reservoir[R]. Beijing: Ministry of Water Resources of PRC, 2009. (in Chinese))

[9] 长江水利委员会. 三峡工程 2010 年度汛和试验性蓄水方案[R]. 武汉:长江水利委员会, 2010. (Changjiang Water Resources Commission. Scheme of Flood Control and Experimental Impounding Water for the Three Gorges Reservoir in 2010[R]. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 2010. (in Chinese))

[10] 长江水利委员会. 三峡工程综合利用与水库调度研究[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1997:169 – 171. (Changjiang Water Resources Commission. Comprehensive Utilization and Reservoir Operation of the Three Gorges Project [M]. Wuhan: Hubei Technology Press, 1997:169 – 171. (in Chinese))

(编辑:周晓雁)

Flood Control Risk and Benefit of Impounding Water in Advance for the Three Gorges Reservoir

LI Yu[1], GUO Sheng-lian[1], GUO Hai-jin[2], ZHANG Hong-gang[2], DING Sheng-xiang[2]

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resource Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: On the basis of optimal operation and experimental water impoundment scheme for the Three Gorges Reservoir, 6 different schemes of impounding water in advance were proposed. The flood control risk and comprehensive utilization benefits were calculated to determine the optimal impoundment schemes for the Three Gorges Reservoir. Two typical years of 1952 and 1964 were selected to obtain the seasonal design flood hydrographs. Results show that the best scheme is to impound water from 145m on September 1 to 160.0m on September 30 with a continuous and uniform process. The flood control risk ratio and risk loss ratio of seasonal design flood once in 1 000 years are 0.39% and 1.47% respectively, which are within controllable range; compared with the original scheme, the optimal schemes can generate 2.465 billion kW · h extra hydropower and save 2.532 billion m^3 flood water resource. The full storage ratio and average storage level at the end of impounding period increase to 95.35% and 174.8m, respectively.

Key words: water resources; impounding water in advance; flood control risk; benefit analysis

长江科学院参加国家“十二五”科技支撑计划项目“重大水利工程建设信息数字化标准化专项技术开发研究”启动暨专家咨询会

2012 年 12 月 14 – 16 日,长江科学院仪器所贾宝良所长、黄跃文和白静雯在北京参加了由科技部组织、中国水利水电科学研究院承办的 国家“十二五”科技支撑计划项目“重大水利工程建设信息数字化标准化专项技术开发研究”的启动暨专家咨询会。

参加会议的领导有科技部高新司问斌副处长、科技部高技术发展研究中心相红主管、水利部国科司朱寿峰处长等,参加会议的专家有清华大学张楚汉院士、中国长江三峡集团公司陆佑楣院士等。项目组相关人员对项目总体情况及示范工程概况进行了介绍,并对下一步的工作进行了讨论和安排。

该项目组由中国水利水电科学研究院陈祖煜院士牵头,由中国水利水电科学研究院、水利部水利水电规划设计总院、中国科学院数学与系统科学研究院、黄河勘测规划设计有限公司、长江水利委员会长江科学院、北京交通大学组成。长江科学院仪器所在该项目中承担子课题“水利水电灌浆工程标准化数字化管理及基于物联网技术的工程建设信息管理示范工程关键技术专项研究”。

(摘自:长江水利科技网)