

# 石泉水库主汛期拦蓄洪尾运用方式研究\*

席秋义<sup>1</sup>, 黄 强<sup>1</sup>, 黄灵芝<sup>1</sup>, 李万绪<sup>2</sup>, 姚正平<sup>2</sup>

(1 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2 石泉水力发电厂, 陕西 石泉 725200)

[摘 要] 针对现阶段石泉水库主汛期洪水调度方式的不合理之处, 提出了主汛期拦蓄洪尾超蓄运用的调度方式, 并分析了其在石泉水库应用的可行性, 且在风险分析的基础上, 结合气象有雨无雨定性预报, 制定了具体实施的操作流程。

[关键词] 石泉水库; 洪水调度; 主汛期; 拦蓄洪尾

[中图分类号] TV 212.5+3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)04-0112-05

石泉水库来水主要集中在主汛期 7~9 月, 此期间来水量约占全年来水量的 75%~80%, 抓住主汛期这个关键时期多蓄水, 对于兴利来说至关重要, 但汛期为了预防大洪水的发生, 调度上往往不敢多蓄甚至长期保持低水位运行, 与兴利存在矛盾。过去石泉水库汛期对洪水的调节作法是: 在洪水的退水段, 保持较大的泄量使库水位迅速回落到汛限水位, 腾出库容迎接下场洪水的到来。这样做虽保证了防洪安全, 但造成了汛期大量弃水。如果下场洪水相隔很长时间才发生, 此种调度方式显然不合理。石泉水库自投入运行以来, 由于上游自然条件的改变和人类活动的影响, 入库径流及洪水特性发生了变化, 年径流量总体上呈下降趋势, 已对正常的发电兴利产生影响。为适应新情况, 保障正常兴利效益的发挥, 本着科学合理的观点, 需要对现有的调洪方式加以改进。

预蓄的调洪方式, 即拦蓄洪尾超汛限水位蓄水, 并使超蓄水量在下场洪水到来前能完全消落, 既能保证防洪安全, 又达到充分利用洪水资源的目的<sup>[1]</sup>, 不失为一种合理的调度方式。其实施难点是下场洪水的发生时刻和量级事先不能准确预知, 因而超蓄运用将带来一定风险。20 世纪 60~70 年代, 预蓄预泄的调洪方式在我国就已被提出来, 由于当时的降雨径流预报水平不高, 且风险理论尚未引入到水库防洪调度中, 无法定量评估调度风险, 因而研究并不深入。随着水库风险理论的逐步完善和降雨径流预报精度的提高, 预见期的增长, 这种调度方式又为专

家们所重视。本研究即是在预蓄预泄调洪方式的基础上, 结合水库风险调度理论, 研究了石泉水库主汛期实施拦蓄洪尾风险运用的可行性和具体运用方式, 在保证石泉大坝安全的前提下, 实现洪水资源化, 达到多发季节性电量、提高电厂经济效益的目的。

## 1 石泉水库概况

石泉水库位于汉江上游陕西省境内, 是一座以发电为主, 兼有灌溉、养殖等综合效益的中小型水利枢纽, 坝址位于石泉县城城西峡谷下口。石泉水电站为陕西省的骨干电源之一, 在电网中担任调峰、调频、事故备用的作用。电站总装机容量 225 MW (5 × 45 MW), 多年平均发电量为 7.28 亿 kW·h。石泉水库为不完全年调节, 属狭长的河道型水库, 主要由汉江及牧马河支流河谷组成, 总库容 3.98 亿 m<sup>3</sup>, 其中死库容为 0.97 亿 m<sup>3</sup>, 有效调节库容为 2.27 亿 m<sup>3</sup>。石泉水库大坝按百年一遇洪水标准(洪峰流量 2.15 万 m<sup>3</sup>/s)设计, 五百年一遇洪水标准(洪峰流量 2.64 万 m<sup>3</sup>/s)校核, 经大坝补强加固, 洪水标准为“百年设计, 千年校核”, 校核洪峰 2.84 万 m<sup>3</sup>/s。水库死水位 400 m, 汛限制水位 405 m, 设计洪水位与正常蓄水位相同, 均为 410 m, 校核洪水位 413.5 m。泄洪设施有 5 台机组, 5 个表孔(四大一小)、5 个中孔、2 个底孔(一大一小), 大表孔底高程 393.3 m, 最大泄量 2.650 m<sup>3</sup>/s; 小表孔底高程 395 m, 最大泄量 1.411 m<sup>3</sup>/s; 中孔底高程 387 m, 最

\* [收稿日期] 2004-06-03

[基金项目] 陕西省重点实验室基金项目(02JS37); 石泉水力发电厂科研项目

[作者简介] 席秋义(1978-), 男, 山西万荣人, 在读博士, 主要从事防洪风险调度研究。

大泄量  $2\ 335\ \text{m}^3/\text{s}$ ; 大底孔底高程  $375\ \text{m}$ , 最大泄量  $718\ \text{m}^3/\text{s}$ ; 小底孔底高程  $366.9\ \text{m}$ , 最大泄量  $167\ \text{m}^3/\text{s}$ , 合计最大泄量  $24\ 571\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

## 2 石泉水库拦蓄洪尾超蓄运用的可行性分析

为了充分利用汛期洪水资源, 石泉水库要求改变过去汛期的洪水调节方式, 实施拦蓄洪尾超蓄的运用方式, 但不是有需要就可行, 必须具备一定的前提条件。因此, 还要分析石泉水库实施这种运用方式的可行性。

(1) 石泉水库属不完全年调节水库, 是洪水风险调度的最佳实施对象。多年调节水库, 一般注重长期的风险调度策略制订, 只有在发生大洪水(洪量=库容量)时才考虑短期策略; 而周调节以下水库, 由于几乎没有防洪库容, 故也不适用风险调度方法; 介于多年调节和周调节之间的水库, 是洪水风险调度的最佳实施对象, 不完全年调节水库由于具有一定的调节性能, 洪水期风险调度更易获得收益, 尤其兴利库容与防洪库容部分结合, 容易灵活制订调度策略。

(2) 石泉水库水工建筑物状态良好, 运行设备运转正常。石泉水库水工建筑物运行状态良好, 闸门启闭灵活, 满足主汛期拦蓄洪尾动态运用的前提要求。

(3) 先进的科技手段在石泉水库降雨径流预报和洪水预报中的应用是有效保证。石泉水库现有的水情自动测报系统中, 降雨径流预报达到规范乙级水平, 洪水预报调度系统中的洪峰预报和洪量预报也均已达到规范乙级水平, 按照《水文情报预报规范-SL 250-2000》的规定, 能够用于水库预蓄预泄的风险调度中; 同时, 石泉水库的短期降雨预报利用了中央、地区气象预报成果和定时接收卫星云图传送成果, 每日提供滚动的 3 d 和 6 d 天气预报, 24 h 有雨无雨定性预报合格率在 90% 以上, 极大增长了降雨洪水预报的预见期和预报精度, 具备了考虑洪水预报修改原调度方式的基本条件, 实施风险调度成为可能。

(4) 石泉水库有足够的下泄能力预防突发事件所带来的风险。石泉水库水位从  $409\ \text{m}$  消落到  $405\ \text{m}$ , 仅靠发电泄流大约需用 3.5 d (来流按平均流量  $400\ \text{m}^3/\text{s}$  计), 若开启全部泄流底孔和表孔参与泄流, 在 0.9~3 h 内可迅速消落到汛限水位, 且最大下泄流量在下游石泉县城允许泄量以内, 不会对下游造成危害。根据石泉水库主汛期历年发生洪水的统计规律, 两场洪水间歇期在 3 d 以上的概率为

81.35%, 即使遇上最不利情况(牧马河流域突降局部暴雨, 降雨到洪水入库最短时间为 3~6 h), 也有足够的时间进行预泄, 使库水位迅速回落到调度图要求的范围内, 满足原设计的水库调洪原则。

(5) 石泉水库具有丰富的风险调度经验。石泉水库在过去的洪水调度中, 多次探索利用天气预报和水文预报进行防洪风险调度, 均取得了相当大的风险收益, 并积累了丰富的调度经验, 从实践上说明风险调度是可行的。

## 3 拦蓄洪尾运用方式分析

图 1 表示一场洪水退水段拦蓄洪尾的动态运用, 其中  $Q(t)$  为洪水过程线;  $q(t)$  为泄流孔的泄流过程线;  $Q_q$  为机组满发流量;  $t_0$  为决策时刻, 该时刻水库的蓄水量为  $V_0$ ;  $t_1$  为关闸时刻, 对应的水库蓄水量为  $V_1$ ;  $t_2$  为关闸后水库所能蓄达的最高水位  $Z_{is}$  出现的时刻, 该水位相应的水库蓄水量为  $V_2$ ;  $t_3$  为水库关闸后一直以满发流量  $Q_q$  泄水, 消落水库水位至汛限水位  $Z_{lim}$  的时刻;  $\Delta W_1$  为预计决策时刻到真正关闸时刻通过泄流孔和发电的总泄水量与此时段入库洪量之差;  $\Delta W_2$  为水库关闸后水库可拦蓄的水量;  $\Delta W_3$  为本次洪水水库实际超蓄水量, 大小即为超蓄水位与汛限水位之间的库容;  $Z_m$  为调洪最高水位;  $Z_{is}$  为拦蓄洪尾超蓄最高水位。

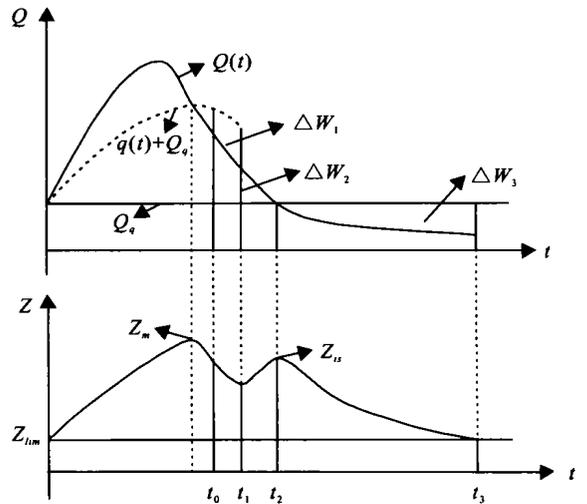


图 1 拦蓄洪尾运用方式

Fig 1 The operation manner of intercepting and storing flood tail

图 1 中, 泄流孔泄流过程  $q(t)$  可由水库调洪规则确定; 退水段拦蓄洪水回蓄的最高水位  $Z_{is}$  通常由决策给出; 在这种情况下结合退水过程预报, 根据水

量平衡原理,可得到回蓄最高水位对应的时刻  $t_2$  和闸门全关时刻  $t_1$ ,进一步能得到库水位回落到汛限水位时刻  $t_3$  [2]。

## 4 拦蓄洪尾运用方案操作流程

### 4.1 超蓄区间拟定

拦蓄洪尾超汛限水位蓄水不可以抬高超蓄水位过大,而存在一限制区间。通常超蓄水位上限值可取设计兴利最高水位,但由于石泉水库正常蓄水位与设计洪水水位同高,故上限值不能取正常蓄水位 410 m,本研究根据石泉水库风险运用的经验确定水位 409 m 为超蓄水位区间上限值;超蓄水位的下限值取汛限水位 405 m,所以超蓄水位决策范围为 405~409 m。

表 1 不同超蓄水位的极限风险率

Table 1 The extreme risk rate of the various over-impoundment level

水位/m Water level	重现期/年 Return period	风险率/% Risk rate	歇洪间期/d Interval between floods
405(设计)	100	0	
406	79.32	20.68	0.46~0.60
407	79.29	20.71	0.95~1.225
408	79.26	20.74	1.44~1.85
409	20~30	70~80	1.95~2.51

### 4.3 超蓄水位风险率计算

以超蓄水位能抗御洪水的重现期与汛限水位能抗御洪水的重现期差的比值表示不同超蓄水位的风险率值,此种定义仅关注超蓄带来的风险,若不超蓄,即水位在汛限水位或汛限水位以下水位,风险率为 0。用公式表示如下:

$$P_f(Z) = \frac{T_{\text{汛限}} - T_Z}{T_{\text{汛限}}} \times 100\%, \quad (1)$$

式中,  $P_f(Z)$  表示超蓄水位  $Z$  的极限风险率,取值范围为  $[0, 1]$ , 当  $Z < Z_{\text{汛限}}$  时,令  $P_f(Z) = 0$ ;  $T_{\text{汛限}}$  表示在风险控制指标下汛限水位最大能抗御洪水的重现期;  $T_Z$  表示在风险控制指标下超蓄水位最大能抗御洪水的重现期,可通过调洪演算不同频率的设计洪水内插得到 [3~5]。

在超蓄区间分别取 406, 407, 408 和 409 m 作为超蓄水位,计算各自的风险率,结果如表 1 所示。为安全起见,根据石泉水库实际情况,计算中极限控制水位取设计洪水水位 410 m,认为调洪最高水位超过此水位已危及大坝安全,水库达到极限承受状态。

### 4.4 拦蓄洪尾运用方案操作流程

主汛期运用方案在实施过程中应确保水库安全和下游的防洪安全。因此,主汛期洪水风险调度的操作流程必须注重安全原则,既有利于洪水资源化,同

### 4.2 超蓄水位决策

拦蓄洪尾是为了充分利用水量,进行风险超蓄再将超蓄水量以弃水的方式泄掉,既冒风险又不获利,显然不合理,因此将超蓄水量全部发电是最理想的泄流方式。假定在退水段蓄水至最高水位后,入库流量按平均流量  $200 \sim 300 \text{ m}^3/\text{s}$  计,机组满发泄流,根据水位-库容曲线和水量平衡方程,即可分析出从超蓄区间不同水位消落到汛限水位的时间。

一场洪水退水段超蓄运用的允许蓄洪量,是根据歇洪间期的下泄能力确定的,消落时间可看作是歇洪间期,从而可由歇洪间期反推出可超蓄水位。表 1 最后 1 列是歇洪间期,可作为决策超蓄水位的依据,例如歇洪间期预估为 0.46~0.6 d,可决策超蓄水位至 406 m。

时又能反映石泉水库自身的特点。

依据短期降雨预报和洪水预报进行预报调度,是当今水库调度的发展方向。本文结合退水预报和降雨定性预报,制定了退水段实时风险运用流程,石泉水库主汛期拦蓄洪尾的风险调度流程如图 2 所示。下面就图 2 所示的操作流程进行说明。

Step 1 汛前,对该年的年型进行预估,预估年型的运用原则将作为该年度汛期动态运用的宏观指导原则。各个年型超蓄运用原则如下:枯水年来水少,应偏于兴利,即决策超蓄水位时在可行范围内适当选择较高方案;丰水年洪水次数较多且峰量较大,应偏于防洪,决策超蓄值时应倾向于较低方案;平水年取折中方案。

Step 2 进入主汛期后,针对每场洪水的退水段,判断是否实施风险调度。首先检查发、送电,泄、排水设备的工作状态和安全性能,若工作系统出现无法修复的致命故障,水库则按常规调度进行;若仅为一般故障,应立即进行维修,确保工作状态可靠后方可考虑实施风险调度。

Step 3 洪水的退水段,根据退水预报,能得到本场洪水结束时刻和有效拦蓄时间内可拦蓄的剩余洪量(有效蓄洪量),再根据库容曲线及当前库水位,

进一步推算出将剩余洪量全部拦蓄可回蓄的最高水位  $Z$ 。这里有效拦蓄时间是指当前时刻到本场洪水结束时间减去决策时间、调令传递时间和闸门操作时间后所得的退水段洪水实际可拦蓄时间。

Step 4 结合陕西省气象台和汉中气象台提供的滚动 6 d 有雨无雨定性预报信息, 预估歇洪间期。若在退水段回蓄期间预报有雨, 则按常规要求控制调度; 若预报无雨, 初步决策超蓄水位, 并进行风险评估, 风险较大时, 适当降低一级超蓄水位进行运用或放弃风险调度。

Step 5 超蓄水位选定后, 与前面估算的退水段洪水余量可回蓄的最高水位  $Z$  作比较, 若大于  $Z$ , 则选取  $Z$  作为最终超蓄水位; 若小于  $Z$ , 则要根据退水预报计算闸门关闭时刻  $t_1$ , 执行风险调度。要注意的是: 由于退水曲线由预报给出, 故实际调度时, 在  $t_2$

时刻回蓄的水位可能超过最高拦蓄水位  $Z_{is}$ , 因此要在具体实施退水段拦蓄方案时注意灵活调度, 根据实时情况选择开启闸门, 以保证在  $t_2$  时刻回蓄水位不超过最高拦蓄水位  $Z_{is}$ 。

Step 6 气象预报信息发布的第 2 天, 陕西省气象台和汉中气象台滚动发布后面 6 d 的降雨信息, 因此要根据新的降雨信息修正风险调度。若在退水期预报有雨, 则中止风险调度, 加大泄流降低风险; 若无雨, 继续风险调度。若在水位消落期预报有雨, 且已蓄达原决策水位, 适当加大泄流以弥补预报失误; 若预报与上次一致, 则按原风险调度策略继续实施调度, 利用机组满发泄流消落库水位到汛限水位。

Step 7 库水位消落至汛限水位后, 转入实施常规洪水调度方式, 并评估本次洪水调度, 总结调度经验。

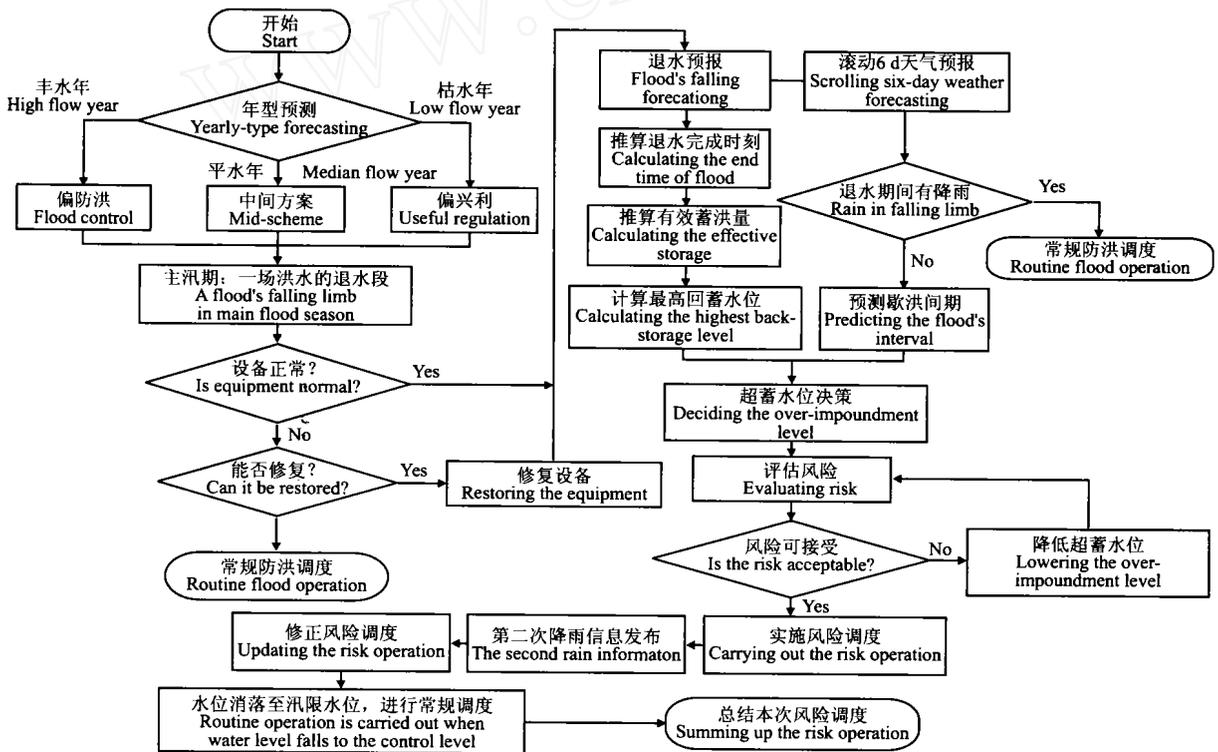


图 2 石泉水库主汛期风险运用方案操作流程

Fig. 2 Risk operation flow chart for Shiquan reservoir in main flood season

### 5 结 语

主汛期采用拦蓄洪尾超蓄运用方式, 将降雨径流预报与洪水调度相结合, 减少了汛期弃水, 充分利用了洪水资源且不影响防洪安全, 比严格按照汛限水位运用的调洪方式更为科学。本文首先针对石泉水库汛期原调洪方式的不合理之处, 提出了主汛期

拦蓄洪尾超蓄运用的调洪方式; 分析了石泉水库运行状况和实施风险调度具备的条件, 论证了其在汛期进行拦蓄洪尾超蓄运用的可行性; 最后从风险的角度, 进一步探讨了其实施的具体操作流程。本研究制定的操作流程紧密结合石泉水库现有的精度较高的气象二级定性预报信息, 操作简便, 适合于水库调度人员的文化层次水平, 为石泉水库汛期调度提供

了一定的指导。但同样存在着不足,如操作流程中未对可接受风险予以准确界定。可接受风险由于涉及水文水力学、社会学、心理学、经济学和生态学等多个学科,其中一些难以定量表示<sup>[6]</sup>,迄今在风险理论

方面还是个未解决的难题,因此只能做一些简化界定,本文可接受风险就是基于此做出的,有待今后进一步研究完善。

### [参考文献]

- [1] 陈惠源,陈森林,高似春. 水库防洪问题探讨[J]. 武汉水利电力大学学报, 1998, 31(1): 42- 45
- [2] 万俊,陈惠源,杨小冬,等. 白盆珠水库汛期蓄水运用风险分析[J]. 水电能源科学, 2000, 18(1): 25- 27.
- [3] 大连理工大学, 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 水库防洪预报调度方法及应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996
- [4] By James C Guo, William Hughes. Storage volume and overflow risk for infiltration basin design[J]. Irrigation and Drainage Engineering, 2001, (3): 170- 175.
- [5] James C Y Guo. Overflow risk analysis for storm water quality control basins[J]. Hydrologic Engineering, 2002, (6): 428- 434
- [6] 岑慧贤,房怀阳,吴群河. 可接受风险的界定方法探讨[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(3): 18- 19.

## Research on operation manner of intercepting and storing flood tail for Shiquan reservoir in main flood season

XI Qiu-yi<sup>1</sup>, HUANG Qiang<sup>1</sup>, HUANG Ling-zhi<sup>1</sup>, LI Wan-xu<sup>2</sup>, YAO Zheng-ping<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

<sup>2</sup> Shiquan Hydro-power Station, Shiquan, Shaanxi 725200, China)

**Abstract:** In view of the unreasonableness of the existing flood tail operation manner for Shiquan reservoir in main flood season, an improved flood tail operation manner is presented, i.e. the manner of intercepting and storing flood tail. The paper analyzes the feasibility of the manner applied in the Shiquan reservoir, and based on risk analysis and combined with the qualitative forecasting information on rainfall or no rainfall, the paper further establishes the retained risk operation flow.

**Key words:** Shiquan reservoir; flood operation; main flood season; intercepting and storing flood tail