

Application of Pre-Storage and Pre-Discharge Model on Dynamic Control in Three Gorges Reservoir

Huijuan Bo¹, Xiaohua Dong¹, Yinghai Li¹, Yue Li²

¹College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang

²Guiyang Engineering Corporation Limited, Power China, Guiyang

Email: bohuijuan027@126.com

Received: Sep. 26th, 2014; revised: Oct. 10th, 2014; accepted: Oct. 17th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The Three Gorges Reservoir is located at Yichang, Hubei province. Inflow of the reservoir from middle ten days of June to late September is about 61% in the whole year, and flood concentrates in the main flood season on July and August. In order to avoid no water storage after the flood season and make full use of flood resources, the dynamic control of the limited flood water level model during the main flood season was used. The flood control benefit can be maximum than a single water level scheduling. With the development of the hydrological forecast method, it extends forecasting period effectively and provides preliminary time for pre-storage and pre-discharge scheduling. In this study, the main flood season and the dynamic control range of the limited flood water level were determined based on the daily data at the Yingchang station. The pre-storage and pre-discharge model was applied for regulating unimodal, bimodal and multimodal floods. The results show that power generation benefit can increase by about 1%.

Keywords

Three Gorges Reservoir, Flood Control Water Level, Pre-Storage and Pre-Discharge Model

预蓄预泄模型在三峡水库动态控制中的应用

薄会娟¹, 董晓华¹, 李英海¹, 李悦²

作者简介: 薄会娟(1987-), 女, 山西怀仁人, 实验师, 研究方向为水文水资源。

¹三峡大学水利与环境学院, 宜昌

²中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵阳

Email: bohuijuan027@126.com

收稿日期: 2014年9月26日; 修回日期: 2014年10月10日; 录用日期: 2014年10月17日

摘要

三峡水库位于湖北宜昌三斗坪, 6月中旬至9月下旬来水量约占全年来水量的61%, 洪水则主要集中在7月、8月的主汛期。为了避免出现汛后无水可蓄和充分利用洪水资源, 汛期调度时, 采用汛期水位动态控制比单一水位调度更能够充分发挥水库的防洪发电效益。随着水文气象预报手段的发展, 延长了预报的有效预见期, 为预蓄预泄调度提供时间。本文利用宜昌站的汛期日流量资料作为基本资料, 对汛期进行分期和确定汛期水位动态控制变幅范围, 进而对有代表性的单峰型、双峰型、多峰型洪水在变幅范围内分别采用预蓄预泄模型进行调度, 结果显示发电效益增加1%左右。

关键词

三峡水库, 汛限水位, 预蓄预泄模型

1. 三峡水库概况

三峡水库是长江上的综合水利枢纽工程, 具有防洪、发电、航运等效益。正常蓄水位为 175.0 m, 枯水期消落水位为 155.0 m, 汛限水位为 145.0 m, 兴利调节库容 165 亿 m^3 , 防洪库容 221.5 m^3 , 库容系数不足 4% [1]。采用三斗坪站的资料并用宜昌站同步系列作对比来分析坝址气候特征, 得出坝区年降水量为 1232 mm, 主要集中在 5~9 月份, 降水量占年降水量的 69%, 其中 6~8 三个月占年降水量的 48%。年降水量的年际变化较小。

三峡坝址多年平均流量为 14,300 m^3/s , 多年平均径流量为 4510 亿 m^3 , 年径流比较稳定, 6月中旬至9月下旬水量约占全年来水量的 61%, 洪水则主要集中在 7 月、8 月的主汛期[2]。整个汛期以单一的汛限水位调度导致弃水过多, 浪费了大量的水资源, 故对三峡水库汛期实施动态控制是必要的。

2. 汛期水位动态控制变幅确定

随着水文气象预报科学理论的发展, 短期洪水预报与降雨预报可信度的提高, 为科学的控制运用汛限水位提供了前所未有的便利条件, 也更有可能达到在不增加水库及上、下游防洪风险的同时, 提高水库的兴利蓄水效益的目的[3]。汛期水位动态控制研究的关键问题是确定汛限水位变幅值。

利用宜昌站的汛期日流量资料作为基本资料, 统计年最大洪峰出现的时间和 6 月 1 日~9 月 30 日的日最大流量, 初步确定汛前期为 6 月; 主汛期为 7 月上旬至 9 月上旬; 汛末期为 9 月中旬至 9 月底。采用矢量统计法和相对频率法进一步细化到日, 结果是 6 月 1~30 日为三峡水库前汛期, 7 月 1 日~9 月 10 日为水库的主汛期, 9 月 11~30 日为水库的后汛期。

根据上述汛期分期结果, 采用规范调洪演算方法和考虑年内洪水统计特性变化规律两种方法确定汛期水位动态控制变幅。结果是: 汛前期、主汛期、汛末期分别选取典型年进行调洪演算得出汛前期变幅为 145~149 m; 主汛期为 145~149m; 汛末期为 145~158 m。

3. 预蓄预泄模型

预蓄预泄实时汛期水位动态控制法是在设计的汛期限制水位动态域内, 保证水库本身及对上下游的原防洪设计指标不变的前提下进行的[4]。它能够使水量损失减少一部分, 从而增加兴利效益, 以解决防洪与兴利之间的矛盾。

在有效预见期内, 如何利用水库的泄流能力, 在满足下游防洪安全前提下, 根据实时洪水预报和降雨预报信息, 预报时留有余地(考虑预报误差及其他干扰)地确定预见期内的汛限水位控制值, 上浮的水位在下次洪水来临前降回到原来的汛限水位, 以确保水库和下游防洪安全。另外, 在大暴雨预报的有效预见期内的退水过程有多大的余富水量, 将汛限水位下调多少, 且留有余地, 故称为预泄回充法[5]。有效预见期是指降雨预报或洪水预报预见期减去信息传递、决策、闸门操作时间等[6]。

若收到大雨或大雨以上量级降雨预报信息时, 要求在有效预见期内可以从当前的汛限水位值降低到汛期水位变幅的下限值; 若收到中雨或中雨一下量级预报信息时, 且水库此时水位在汛期水位动态控制变幅范围内, 在有效预见期内, 可以从当前的汛限水位值增加到汛期水位变幅的上限值。

三峡水库具备高新的水情信息采集和调度自动化系统, 专业气象预报系统和水文水动力学模型等预报手段, 可以大大延长预报的有效预见期。综合水文气象预报的成果并考虑水情自动化监测系统预报技术的不断提高, 若降水中心在寸滩、武隆以上, 且降水集中, 预见期可达 3 d 以上, 其他可靠预见期为 24~36 h [7]。因此, 三峡水库具备预蓄预泄条件。

3.1. 预蓄预泄法原理

已知水库汛期水位动态控制域为 $[Z_d^-, Z_d^+]$, Z_d^- , Z_d^+ 分别为水库汛期水位动态控制域的下限和上限值。预蓄预泄法依据水量平衡原理, 基本公式为:

$$\omega_{yx} = \sum_{t=t_{cu}}^{t_{cu}+t_y} \{ [q_{out}(t) - Q_{in}(t)] \Delta t \} \quad (1)$$

式中: ω_{yx} 为面临时刻 t_0 允许预蓄的水量; $Q_{in}(t)$ 为有效预见期 T_y 内、考虑预报误差后预报的入库流量过程; $q_{out}(t)$ 为有效预见期 T_y 内预报的可能下泄的流量过程, 即 $q_{out}(t) = [q_{an} - Q_{qi}(t)] \leq q_{an}$; q_{an} 为防护点安全流量; $Q_{qi}(t)$ 为考虑预报误差推求的下游区间流域预报洪水过程; Δt 为预报洪水过程的时段长; T_y 为考虑洪水与降雨预报信息的有效预泄时间, $T_y = T_j - T_{cu}$; $T_j = T_x + T_R$; T_x 为考虑洪水预报的极限预泄时间; T_R 为考虑短期降雨预报的极限预泄时间; T_{cu} 为信息传递时间、预报作业时间、决策时间、开闸时间之和; t_{cu} 为实施汛期水位动态控制的起始时刻, $t_{cu} = t_0 + T_{cu}$, 且假定 T_{cu} 期间水位持平。

求得 ω_{yx} 后, 由下式推求面临时刻允许预蓄的水位 $Z_d(t_0)$, 即

$$Z_d(t_0) = f [V(Z_d^-) + \omega_{yx}] \leq Z_d^+ \quad (2)$$

其中: $f[\cdot]$ 为库容与水位关系。

3.2. 调度原则

预蓄预泄调度模型考虑水库汛期水位动态控制变幅值, 下游安全泄量约束和水库泄流能力约束。将调度规则进一步细化, 具体如下:

1) 汛前期, 当预报入库流量大于 25,000 m³/s, 开启机组按预想出力发电; 当预报入库流量大于 35,000 m³/s, 按照 35,000 m³/s 预泄; 大于 39,900 m³/s, 按照 39,900 m³/s 预泄; 控制相邻日均流量差不超过 5000 m³/s。

2) 主汛期,当预报入库流量大于 25,000 m³/s, 开启机组按预想出力发电;当预报入库流量大于 35,000 m³/s, 按照 40,000 m³/s 预泄;当预报入库流量大于 45,000 m³/s, 按照 50,000 m³/s 预泄;当预报入库流量大于 53,900 m³/s, 按照 53,900 m³/s 预泄;控制相邻日均流量差不超过 10,000 m³/s。坝前水位超过 166.9 m, 控制水库下泄流量不超过 76,000 m³/s; 水位超过 175 m; 原则上按具备的全部泄流能力泄洪;

3) 汛末期,当预报入库流量大于 25,000 m³/s, 开启机组按预想出力发电;当预报入库流量大于 35,000 m³/s, 按照 35,000 m³/s 预泄;当预报入库流量大于 44,500 m³/s, 按照 44,500 m³/s 预泄;控制相邻日均流量差不超过 5000 m³/s。

三峡电站机组预想出力表, 如表 1 所示。

3.3. 调度结果

选择有代表性的实际发生洪水作为典型, 进行汛期水位动态控制, 验证方案可行性和合理性。6 月 1 日起调水位为 149 m。

1) 单峰型洪水

单峰型洪水, 峰高、段时段洪量集中的单峰, 洪峰形态尖瘦, 如 1905 年、1981 年洪水(见图 1、图 2)。

2) 双峰型洪水

洪峰及洪量较大的双峰, 双峰之间的时间间隔较短, 主峰靠后, 如 1908 年、1982 年洪水(见图 3、图 4)。

3) 多峰型洪水

洪峰不很高、单峰量较大, 洪水过程连续且形态肥胖, 如 1954 年、1998 年洪水(见图 5、图 6)。

Table 1. Expected output of the Three Gorges power station units

表 1. 三峡电站机组预想出力表

发电水头(m)	62	67	72	77	80.6	110
预想出力(MW)	461	525	589	655	700	700

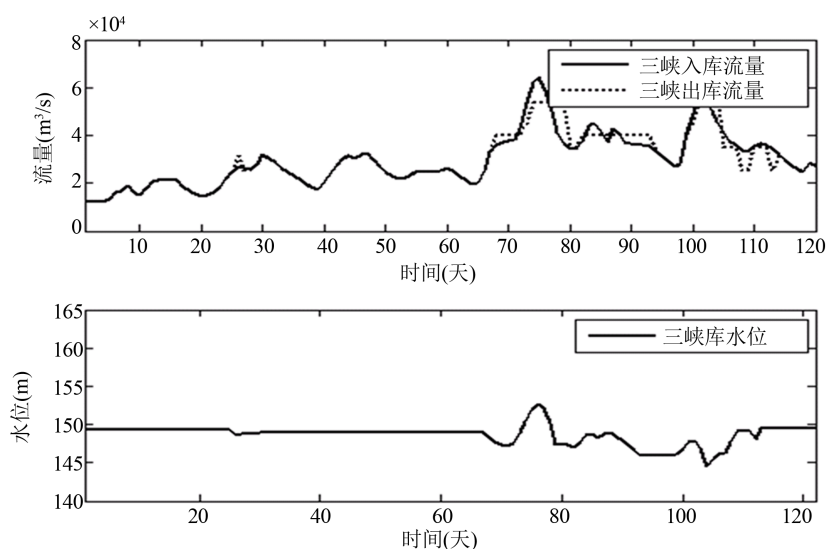


Figure 1. The results of dynamic control of water level in 1905

图 1. 1905 年汛期水位动态控制计算结果

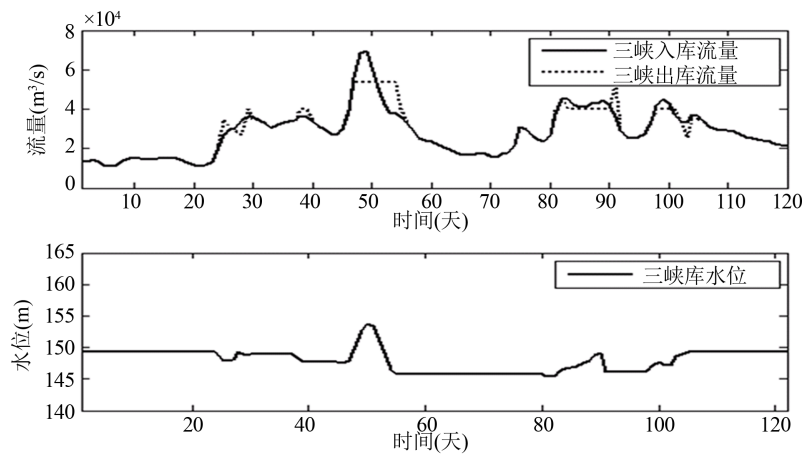


Figure 2. The results of dynamic control water level in 1981

图 2. 1981 年汛期水位动态控制计算结果

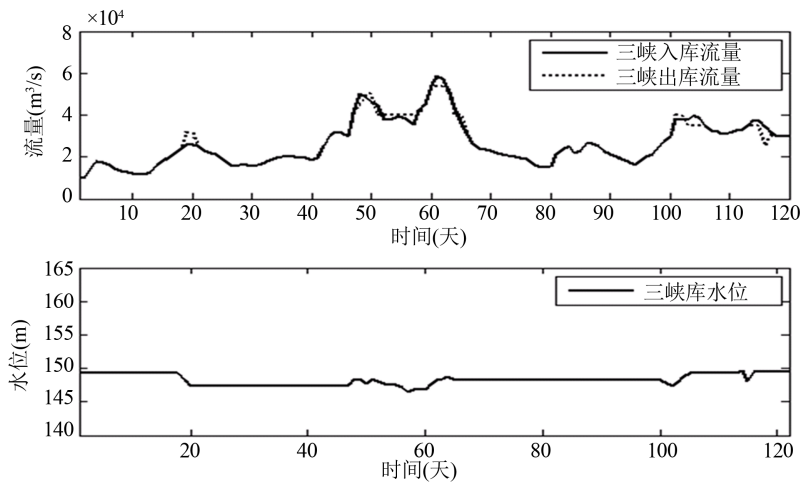


Figure 3. The results of dynamic control water level in 1982

图 3. 1982 年汛期水位动态控制计算结果

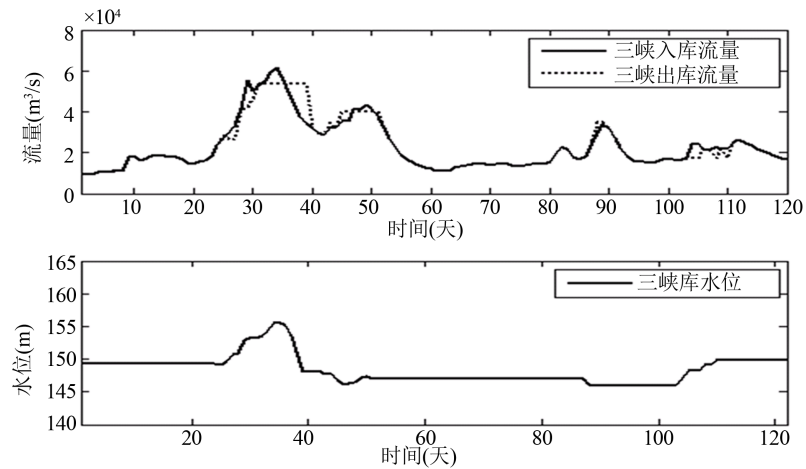


Figure 4. The results of dynamic control water level in 1988

图 4. 1988 年汛期水位动态控制计算结果

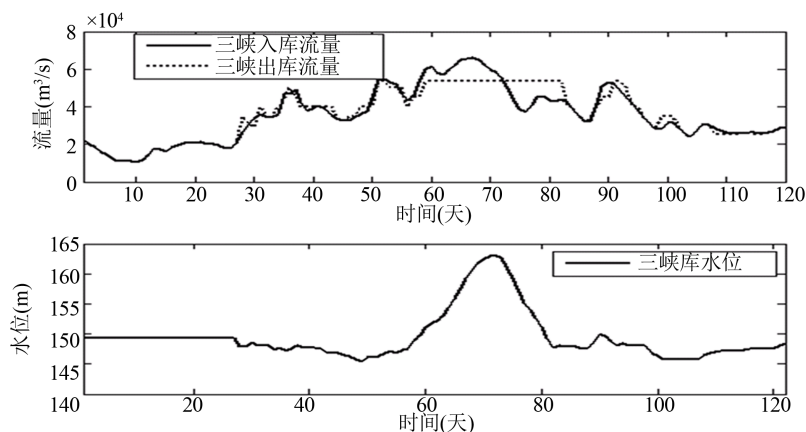


Figure 5. The results of dynamic control water level in 1954

图 5. 1954 年汛期水位动态控制计算结果

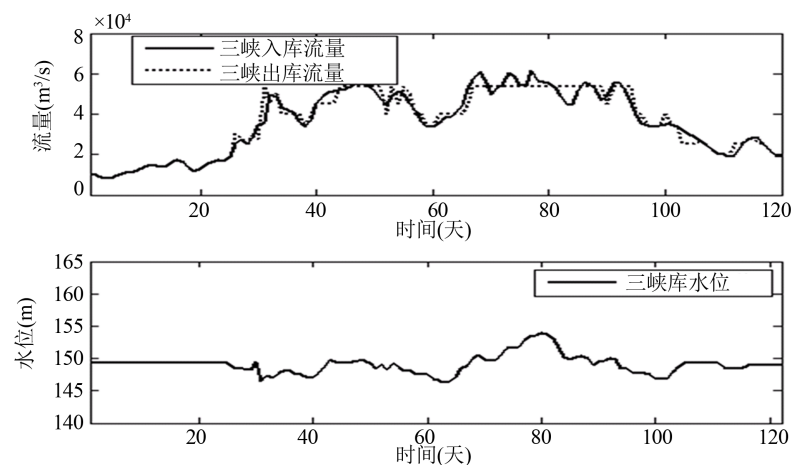


Figure 6. The results of dynamic control water level in 1998

图 6. 1998 年汛期水位动态控制计算结果

Table 2. The comparison results of power generation in TGR

表 2. 三峡水库发电量结果比较表

调度年份	动态控制法发电量 (亿 kw·h)	145m 固定水位发电量 (亿 kw·h)	增加电量 (亿 kw·h)	增加率(%)
1905	453.1	446.7	6.4	1.4
1981	432.6	425.5	7.1	1.6
1982	425.1	419.5	5.6	1.3
1908	382.5	376.6	5.9	1.5
1954	456.2	452.2	4	0.9
1998	429.4	425.8	3.6	0.8

3.4. 效益分析

分别对 6 个年份汛期采用汛期水位动态控制和汛期固定 145 m 运行两种方案调度，比较其发电量，结果如下表 2。

4. 结语

随着水文气象技术的发展和人们认识水平的提高,对水库汛期实施汛期水位动态控制调度方式能够最大可能地发挥水库的综合效益是必要和可行的。

本文采用预蓄预泄模型对三峡水库汛期实时动态控制调度,结果表明预蓄预泄汛期水位动态控制比汛期固定汛限水位 145 m 调度增加了发电效益。

基金项目

国家自然科学基金项目(51409152); 三峡大学青年科学基金(KJ2011A002)。

参考文献 (References)

- [1] 赵云发, 刘志武, 张继顺. 三峡水库动态汛限水位控制范围探讨[J]. 水电自动化与大坝监测, 2007, 31(1): 38-41.
ZHAO Yunfa, LIU Zhiwu and ZHANG Jishun. Discussion on dynamic flood water level control of three gorges reservoir. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2007, 31(1): 38-41. (in Chinese)
- [2] 长江水利委员会. 三峡工程水文研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997.
Changjiang Water Resources Commission. The study of hydrology in Three Gorges project. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1997. (in Chinese)
- [3] 王国利, 梁国华, 王本德, 何斌. 基于预报信息和泄流能力约束的库水位动态控制方法与应用[J]. 水力发电学报, 2010, 29(4): 28-31.
WANG Guoli, LIANG Guohua, WANG Bende and HE Bin. Dynamic operation of reservoir normal elevation based on rainfall forecast and constrained pre-discharge capacity and its application. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(4): 28-31. (in Chinese)
- [4] 邱瑞田, 王本德, 周惠成. 水库汛期限制水位动态控制理论与观念的更新探讨[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 68-72.
QIU Ruitian, WANG Bende and ZHOU Huicheng. New idea for controlling the limited elevation of reservoirs in the flood season. Advance in Water Science, 2004, 15(1): 68-72. (in Chinese)
- [5] 大连理工大学, 国家防汛抗旱总指挥部办公室编著. 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.
Dalian University of Technology, State Flood Control and Drought Relief Headquarters Office. Method and application of reservoir flood forecasting. Beijing: China Water Power Press, 1996. (in Chinese)
- [6] 牟宝权, 单连君, 吴岳岷, 曲艺. 汛期水位动态控制方法在碧流河水库的应用分析[J]. 水文, 2010, 30(1): 31-34.
MU Baoquan, SHAN Lianjun, WU Yuemin and QU Yi. Application of dynamic control of limited level before flood in Biliuhe Reservoir. Journal of China Hydrology, 2010, 30(1): 31-34. (in Chinese)
- [7] 朱永英, 袁晶瑄, 王国利, 金英学, 张春波. 实时预蓄预泄法汛限水位动态控制与应用[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2008, 27(4): 606-609.
ZHU Yongying, YUAN Jingxuan, WANG Guoli, JIN Yingxue and ZHANG Chunbo. Real-time pre-storage & pre-discharge method of dynamic control range of reservoir limited elevation and its application. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2008, 27(4): 606-609. (in Chinese)