

Analysis of Inflow Floods of the Three Gorges Reservoir

Yixuan Zhong¹, Shenglian Guo¹, Zhangjun Liu¹, Haijin Guo², Yanqing Li²

¹State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan Hubei

²Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

Email: zhongyx_92@163.com

Received: Jul. 21st, 2015; accepted: Aug. 5th, 2015; published: Aug. 19th, 2015

Copyright © 2015 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 runoff generation and confluence conditions at intervener basin have been changed after the completion of the Three Gorges Reservoir (TGR). Since the reservoir inflow has higher peak with larger flood volume in the rising limb compared to the floods at dam site, the original designed flood results at dam site can no longer satisfy the current requirement of operation and management for TGR. In this paper, a multiple inputs and single output linear system model was built to calculate the historical reservoir inflow series and then linear regressions were used to determine the quantitative relations of flood peaks, 3 d, 7 d and 15 d flood volumes between inflow series and flood series at dam site. Subsequently, the simulated inflow series combined with historical floods were obtained and used for inflow frequency analysis. Comparing the inflow frequency analysis results with the existing design flood at dam site, the flood peaks and 3d, 7 d flood volumes are increased significantly, while the change of 15 d flood volume is not evident. It is shown that 100-year designed inflow peak discharge, 3 d, 7 d and 15 d inflow volumes are 7.89%, 5.49%, 2.52% and 0.31% larger than those of designed floods at dam site, respectively. Therefore, it's more rational to take the designed inflow floods as scientific bases for TGR reservoir operation and management.

Keywords

Three Gorges Reservoir, Inflow Flood, Flood at Dam Site, Frequency Analysis, System Model

三峡水库入库洪水分析计算研究

钟逸轩¹, 郭生练¹, 刘章君¹, 郭海晋², 李妍清²

作者简介: 钟逸轩(1992-), 男, 江西宜春人, 硕士研究生, 主要从事水文分析与计算研究。

文章引用: 钟逸轩, 郭生练, 刘章君, 郭海晋, 李妍清. 三峡水库入库洪水分析计算研究[J]. 水资源研究, 2015, 4(4): 330-338.
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2015.44040>

¹武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉

²长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

Email: zhongyx_92@163.com

收稿日期: 2015年7月21日; 录用日期: 2015年8月5日; 发布日期: 2015年8月19日

摘 要

三峡水库建成蓄水后, 水库周边区间流域产汇流条件发生改变, 新形成的入库洪水较天然条件下的坝址洪水具有“洪峰增大, 涨水段洪量增大”等特性。本文基于多输入单输出系统模型模拟计算三峡建库前的入库流量系列, 定量分析了三峡入库与坝址的年最大洪峰、3、7、15 d洪量之间的关系, 整编得到三峡入库流量不连续序列, 据此开展三峡入库洪水频率分析, 并与坝址计算成果进行比较。结果表明, 入库系列与坝址系列的洪峰以及3 d、7 d洪量差异明显, 15 d洪量变化不大, 入库百年一遇设计洪峰较坝址设计洪峰增大7.89%, 入库百年一遇3 d、7 d、15 d洪量较坝址设计洪量分别增大5.49%、2.52%和0.31%, 现状条件下采用入库洪水设计值作为三峡水库防洪调度的科学依据更为合理。

关键词

三峡水库, 入库洪水, 坝址洪水, 频率分析, 系统模型

1. 引言

三峡工程是长江治理开发的关键性工程, 是长江综合防洪体系的骨干工程, 在长江中下游防洪体系中具有重要地位。研究表明, 水库建成后, 库区被淹没, 坝址以上形成了一个水面宽广的人工湖泊, 原有的河槽调蓄能力丧失, 使得原坝址洪水转变成具有传播时间缩短、洪峰出现时间提前、洪峰增高、峰形变瘦、洪水历时缩短、涨水段洪量增大等特点的入库洪水, 径流系列的一致性遭到破坏[1]-[3]。三峡水库是采用坝址洪水设计的[2], 2010年和2012年汛期三峡水库发生了两次预报洪峰流量超70,000 m³/s的入库大洪水, 均超过宜昌站实测最大值。长江流域频繁发生量级较大的洪水, 令公众对水库设计值的合理性产生了质疑。同时, 三峡水库下游有重要的防洪对象, 坝址洪水与入库洪水概念的混淆将不利于三峡水库的安全运行, 因此必须深入分析三峡水库入库洪水, 为水库调度运行提供科学依据[4]。然而三峡水库自2003年蓄水至今, 仅有十余年入库洪水资料, 远无法满足洪水频率分析对资料长度的要求。

为获得足够长的入库流量系列以开展入库设计洪水研究, 有必要推求三峡水库建库前的入库洪水序列。已有的入库洪水计算方法大致可分为以下四种: 1) 流量叠加法。分别计算干支流入库断面流量过程与区间洪水过程, 并将二者同时刻叠加作为入库流量过程。2) 坝址流量反演法。采用马斯京根法、槽蓄曲线法或汇流曲线反演法中的一种或多种, 将宜昌站实测流量反演至入库点, 即可得到入库流量过程。3) 水量平衡法。根据水库的泄流及蓄变量变化过程反推入库洪水过程, 可分为考虑静库容或动库容两种情况。4) 相应关系法。通过已有入库洪水资料 and 实际来水资料, 建立坝址洪峰与入库洪峰及坝址流量与入库流量之间的经验关系。然而, 以上方法存在一些不足之处。流量叠加法需要获得未控区间的入流过程, 但实际上区间过程是一个较为模糊的概念, 无法直接观测得到, 区间过程计算的正确与否也直接影响入库过程的准确性。坝址流量反演法若采用马斯京根反演法, 可能出现锯齿状震荡的错误结果。水量平衡法则需要大量区间沿程水位过程数据, 无法应用于无水位资料地区。相应关系法虽简单易行, 却无法获得完整的入库洪水过程, 只能得到一系列特征值, 不利于水库调度及防汛工作的开展。

为准确获得三峡水库建库前的入库流量过程，增加已有数据的代表性，本文基于多输入单输出系统模型模拟得到三峡水库 1960~2002 年(共 43 年)的汛期入库洪水过程；建立入库系列与坝址系列的定量关系，插补得到三峡 8 场历史调查入库洪水与 1877~1959 年入库流量过程；根据得到的不连序入库洪水系列，开展入库洪水频率分析，并与坝址设计成果对比。

2. 三峡入库洪水模拟

2.1. 区间流域及数据

三峡水库位于湖北省宜昌市三斗坪镇，水库控制流域面积为 100 万 km²，坝址多年平均流量为 14,300 m³/s，多年平均径流量 4510 亿 m³。水库长度为 570~650 km，库面平均宽度约为 1.1 km，属河道型水库。三峡水利枢纽是具有防汛、抗旱、发电、航运等多项效益的大型水利水电工程，汛期为每年的 6~9 月。三峡水库区间呈东西向长条状分布，集水面积为 55,907 km²。区间流域的水文站和雨量站分布情况如图 1 所示，由图可知，三峡入库流量主要来源于三部分：上游寸滩、武隆控制站来水和水库区间入流。

研究数据来源于长江水利委员会水文局，包括三峡寸滩站、武隆站 1960~2013 年 6 h 流量，宜昌站 1877~2002 年 6 h 流量，三峡区间 71 个雨量站 1960~2013 年 6 h 降雨量，三峡水库 2003~2013 年动库容法计算得到的 6 h 入库过程。

三峡区间形状狭长，不宜直接采用面雨量作为输入。为考虑降水空间分布的不均匀性与不同地点河网汇流的影响[5]，将三峡水库区间分为六个子区间，各子区间雨量站分布见表 1。

2.2. 三峡入库洪水模拟模型

多输入单输出模型系统模型在洪水演进问题上应用效果良好[6] [7]，其基本方程可表述为：

$$y_i = \sum_{j=1}^m x_{i-j+1} h_j + e_i \quad (1)$$

式中：y 为输出序列；x_j 为第 j 个输入变量序列；h_j 为第 j 个输入的脉冲响应函数值；e_i 为误差项。

为获得三峡建库前的入库流量，本文基于多输入单输出模型建立了三峡入库洪水模拟模型。模型输入量为三峡上游寸滩、武隆站流量以及区间六个子分区的净雨过程。其中寸滩、武隆站已有实测 6 h 流量数据，可直接作为输入量；采用降雨径流关系法将三峡区间雨量站网 1960~2013 年 6 h 数据计算得到六个子分区的净雨过程。模型的计算形式如下：

$$y_t = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{m_{1,i}} Q_{i,t+j-m_{1,i}} h_{1,j} + \sum_{p=1}^{n_2} \sum_{k=1}^{m_{2,p}} \frac{1000A_p}{dt} R_{p,t+k-m_{2,p}} h_{2,k} \quad (2)$$

式中：y 为输出流量系列，单位 m³/s；Q 为输入流量系列，单位 m³/s；R 为输入子区间净雨，单位 mm；n₁、n₂ 分别表示输入流量和子区间净雨的个数；m_{1,i}、m_{2,p} 分别表示第 i 个输入流量和第 p 个子区间净雨量的记忆长度；h₁、h₂ 分别为输入流量和子区间净雨量的脉冲响应函数值；A_p 表示第 p 个子区间的面积，单位 km²；dt 为计算时间步长。

若以矩阵形式表示，则上式可简化为：

$$Y = X_1 H_1 + X_2 H_2 + \dots X_j H_j + e \quad (3)$$

其中：

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_T]^T \quad (4)$$

$$H = [H_1, H_2, \dots, H_j]^T \quad (5)$$

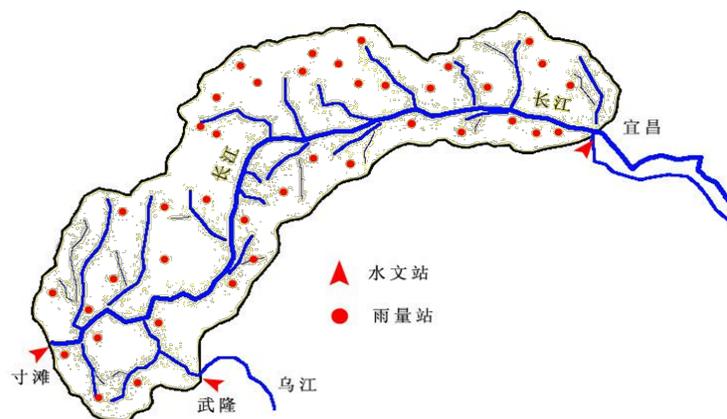


Figure 1. Distribution of gauged stations in TGR intervening basin

图 1. 三峡区间流域站点分布示意图

Table 1. Division of precipitation stations in TGR intervening basin

表 1. 三峡区间流域雨量站分区表

| 区间名称 | 集水面积(km ²) | 站名 |
|--------|------------------------|---|
| 寸~清(左) | 8449 | 寸滩、坛同、大洪河、长寿(二)、狮子滩、高碛、梅市 |
| 寸~清(右) | 7819 | 太平、沿塘、清溪场(三)、武隆 |
| 清~万 | 9023 | 两河、忠县、丰都、石柱、桥头、黄水、沙子 |
| 万~奉 | 12828 | 合兴、余家、南门、南雅、临江、正坝、温泉、大进、岩水、沙沱、盐渠、万县、临溪、走马、建南、谋道、龙驹、龙角、云阳 |
| 奉~巴 | 9731 | 奉节(二)、明水、龙门、塘坊、红池坝、建楼、高楼、中良、土城、万古、巫溪、福田、巫山、大昌、长安、西宁、徐家坝、双阳、寻乐坪、堆子、庙宇、吐祥 |
| 巴~宜 | 8057 | 巴东、秭归、兴山、九冲、郑家坪、张官店、水月寺、黄陵庙、杨林桥、石板坪、三斗坪、宜昌 |

由模型的矩阵形式容易看出，求解模型参数的关键在于求解脉冲响应函数值 h 及确定记忆长度 m 。研究过程中发现， m 的取值时参考输入量至假定入库点的传播时间能得到较好的初值，再由试算法确定，但不宜过长；脉冲响应函数 H 通过最小二乘法进行估计：

$$\hat{H} = [X^T X]^{-1} X^T Y \quad (6)$$

2.3. 模拟效果评价

三峡水库目前具有 2003~2013 年共 11 年采用动库容槽蓄曲线法计算得到的汛期入库流量，取 2003~2010 年作为模型率定期，2011~2013 年为模型检验期，并选用 Nash-Sutcliffe 效率系数 NSE 、水量平衡系数 RE 与洪峰相对误差 QE 三项指标评价模型模拟效果。 NSE 、 RE 与 QE 的计算公式分别为：

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (7)$$

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs,i}} \quad (8)$$

$$QE = \frac{\sum_{i=1}^n |QM_{obs,i} - QM_{sim,i}|}{\sum_{i=1}^n QM_{obs,i}} \quad (9)$$

式中： $Q_{sim,i}$ 和 $Q_{obs,i}$ 分别为模拟流量和实测流量的第 i 个值； \bar{Q}_{obs} 为实测流量均值； n 为流量系列长度； $QM_{obs,i}$ 与 $QM_{sim,i}$ 分别为第 i 年的实测洪峰与模拟入库洪峰。

模型率定期与检验期的性能指标见表 2。其中，率定期与检验期 NSE 达到了 98% 左右， RE 绝对值小于 0.8%，洪峰相对误差 QE 很小。参考水文情报预报规范的评价标准[8]，本文建立的三峡入库洪水模拟模型精度很高，满足径流模拟的需要。

2.4. 合理性分析

入库过程实际上无固定入流点，通常可认为集中入流处位于水库回水末端，本文假定三峡水库入库点位于清溪场水文站，并提出以下检验模型模拟结果合理性的方法。采用马斯京根法将模拟得到的入库流量系列演算至宜昌，并与宜昌实测坝址流量系列作对比。由图 2 中部分展示的典型年对比结果可知，模拟入库流量演算至宜昌后，与实测坝址过程线基本重合，其 NSE 为 94.92%，综上，本文模拟得到的入库流量结果合理。

3. 三峡入库洪水与坝址洪水系列比较

3.1. 入库与坝址系列定量关系

入库洪水与坝址洪水之间的关系常通过建库前后的峰量关系体现。以坝址系列为横坐标、入库系列为纵坐标，将两系列 1960~2013 年的年最大日洪峰、年最大 3、7、15 d 洪量绘制于散点图上(图 3)，由散点分布可初步确定坝址与入库系列之间符合线性关系。

对图 3 各子图中的散点进行线性回归，计算得到入库与坝址年最大日洪峰、年最大 3、7、15 d 洪量的比值依次为 1.11、1.08、1.02 与 1.01，相关系数 ρ 分别为 0.9623、0.9657、0.9747 与 0.9798，线性关系显著。随着变量统计时段增大，直线的相关系数不断增大，即入库系列与坝址系列之间相关性也随之增大，且回归直线的系数逐渐减小并趋近于 1，符合水量平衡原理以及入库洪水“涨水段洪量增大”的特性。

三峡设计规划时为增加资料的代表性，除采用宜昌站坝址系列外，还用到了经现场调查与文献考证结合的方法得到的 8 场历史洪水资料，由于长时段洪量难以确定，15 d 洪量仅采用 1788、1860 和 1970 年的历史调查成果[9]。若只需推算部分入库洪水，可依据建立的坝址洪水与入库洪水关系将坝址洪水转化为入库洪水，与已有入库洪水资料的年份共同组成入库洪水系列。依据入库与坝址统计量的比值，可将宜昌站 8 场历史洪水及 1877~1959 年坝址实测系列对应的特征值转化为入库特征值。宜昌站 8 场历史洪水信息及转化后的入库特征值见表 3。

通过以上工作，可将三峡水库的入库流量系列由原来的 2003~2013 年共 11 年，延长为 1877~2013 年共 137 年与 8 年历史洪水入库特征值组成的不连序入库系列，其中年最大洪峰流量与年最大 3、7 d 洪量在调查考证期内最大值出现年份为 1870 年，可调查最远年份为 1153 年，距今约 860 余年；年最大 15 d 洪量可调查最远年份为 1788 年，距今约 220 余年。可见，对三峡入库洪水系列进行模拟计算后，极大地延长了系列长度，增加了资料的代表性，使入库系列满足开展入库洪水频率分析的数据要求。

3.2. 三峡入库洪水频率分析

参考三峡原计算成果，采用不连序序列统一处理法，计算各年洪峰值对应的经验频率[9]。样本前 a 场特大洪水的经验频率为：

$$P_M = \frac{M}{N+1} \quad M=1,2,\dots,a \quad (12)$$

式中： P_M 为特大洪水经验频率； M 为洪水序号，按降序排列； N 为不连序样本长度； a 为特大洪水样本数。
实测洪水经验频率为：

$$P_m = P_a + (1 - P_a) \frac{m - l}{n - l + 1} \quad m = l + 1, l + 2, \dots, l + n \quad (13)$$

式中： P_M 为实测洪水经验频率； m 为洪水序号，按统计量降序排列； l 为前 a 场特大洪水中的实测洪水个数； n 为实测洪水样本长度；其余各项意义同前。

参考三峡初设成果[2]及相关规范手册[10] [11]对三峡入库洪水进行频率分析，并将入库频率分析结果与原坝址设计结果列于表 4 中进行对比。分析曲线均值，年最大入库洪峰较坝址增大 2800 m³/s，年最大 3 d 洪量增大 4 亿 m³，年最大 7 d、15 d 洪量则分别减少了 5 亿 m³ 与 9 亿 m³，各统计量变幅依次为 5.38%、3.08%、-1.82% 和 -1.72%，可见年最大洪峰与年最大 3 d 洪量均值变化较大，见图 4。曲线的变差系数 C_v 反映了随机变量的离

Table 2. Simulation results of multiple inputs and single output system model

表 2. 多输入单输出系统模型模拟效果

| 时期 | NSE | RE | QE |
|----------------|--------|--------|-------|
| 率定期(2003~2010) | 97.88% | 0.13% | 2.86% |
| 检验期(2011~2013) | 98.58% | -0.74% | 1.30% |

Table 3. The paleoflood information of Yichang station

表 3. 宜昌站历史洪水信息

| 历史年份 | 年最大洪峰(m ³ /s) | | 年最大 3 d 洪量(亿 m ³) | | 年最大 7 d 洪量(亿 m ³) | | 年最大 15 d 洪量(亿 m ³) | |
|------|--------------------------|---------|-------------------------------|-----|-------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| | 坝址 | 入库 | 坝址 | 入库 | 坝址 | 入库 | 坝址 | 入库 |
| 1870 | 105,000 | 116,600 | 265 | 286 | 537 | 548 | 975 | 985 |
| 1860 | 92,500 | 102,700 | 232 | 251 | 474 | 483 | 828 | 836 |
| 1788 | 86,000 | 95,500 | 216 | 233 | 442 | 451 | 785 | 793 |
| 1153 | 92,800 | 103,000 | 233 | 251 | 475 | 485 | — | — |
| 1227 | 96,300 | 106,900 | 242 | 261 | 493 | 502 | — | — |
| 1560 | 93,600 | 103,900 | 235 | 254 | 479 | 489 | — | — |
| 1796 | 82,200 | 91,200 | 206 | 222 | 423 | 432 | — | — |
| 1613 | 81,000 | 89,900 | 203 | 219 | 417 | 426 | — | — |

Table 4. Flood frequency analysis results of TGR

表 4. 三峡洪水频率分析结果日均洪峰：m³/s 洪量：亿 m³

| 统计量 | | 统计参数 | | | 设计值 | | | |
|-------------|----|--------|-------|-----------|---------|---------|--------|--------|
| | | Ex | C_v | C_s/C_v | 0.01% | 0.10% | 1% | 5% |
| 年最大洪峰 | 坝址 | 52,000 | 0.21 | 4 | 113,000 | 98,800 | 83,700 | 72,300 |
| | 入库 | 54,800 | 0.22 | 4 | 123,300 | 107,400 | 90,300 | 77,200 |
| | 变幅 | 5.38% | — | — | 9.12% | 8.70% | 7.89% | 6.78% |
| 年最大 3 d 洪量 | 坝址 | 130 | 0.21 | 4 | 282.1 | 247 | 209.3 | 180.7 |
| | 入库 | 134 | 0.22 | 4 | 301.6 | 262.5 | 220.8 | 188.7 |
| | 变幅 | 3.08% | — | — | 6.91% | 6.28% | 5.49% | 4.43% |
| 年最大 7 d 洪量 | 坝址 | 275 | 0.19 | 3.5 | 547.2 | 486.8 | 420.8 | 368.5 |
| | 入库 | 270 | 0.21 | 3.5 | 573.5 | 505.4 | 431.4 | 373.5 |
| | 变幅 | -1.82% | — | — | 4.81% | 3.82% | 2.52% | 1.36% |
| 年最大 15 d 洪量 | 坝址 | 524 | 0.19 | 3 | 1022 | 911.8 | 796.3 | 702.2 |
| | 入库 | 515 | 0.20 | 3 | 1034.9 | 922.4 | 798.8 | 700.1 |
| | 变幅 | -1.72% | — | — | 1.26% | 1.16% | 0.31% | -0.30% |

*注：变幅 = (入库值 - 坝址值)/坝址值。

散程度[12], 入库系列各曲线的 C_v 值均大于坝址设计成果, 说明入库洪量较为集中, 符合流域产汇流原理。

对 $P = 0.01\%$ 、 0.1% 、 1% 和 5% 的入库设计洪水与坝址设计洪水进行比较, 结果表明, 除年最大 15 d 洪量的 5% 设计值略小于坝址设计值外, 入库设计值均大于坝址设计值。以洪峰为例, 三峡水库各重现期的入库设计洪峰较坝址设计值增大 $6.78\% \sim 9.12\%$, 其中 0.01% 入库设计洪峰较坝址设计值增大 $10,300 \text{ m}^3/\text{s}$, 增幅高达 9.12% ,

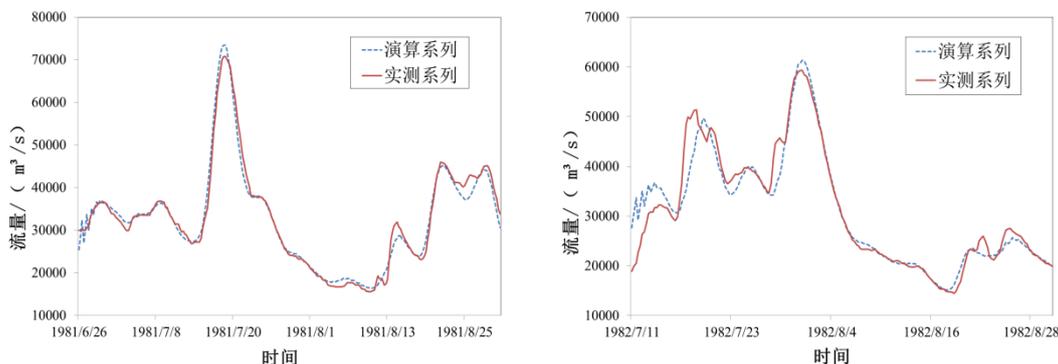


Figure 2. Comparison between calculated and observed flows discharge at Yichang station during flood seasons of 1981 and 1982

图 2. 1981 和 1982 年宜昌站汛期演算流量与坝址流量对比

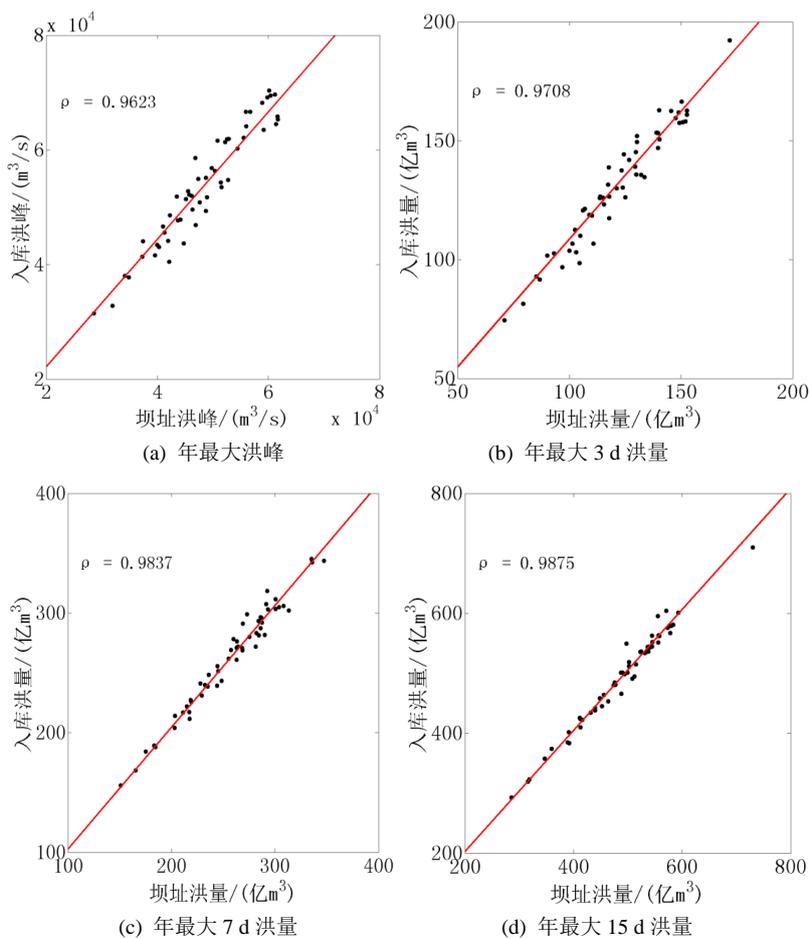


Figure 3. Correlations between TGR inflow series and dam site series

图 3. 三峡入库系列与坝址系列相关图

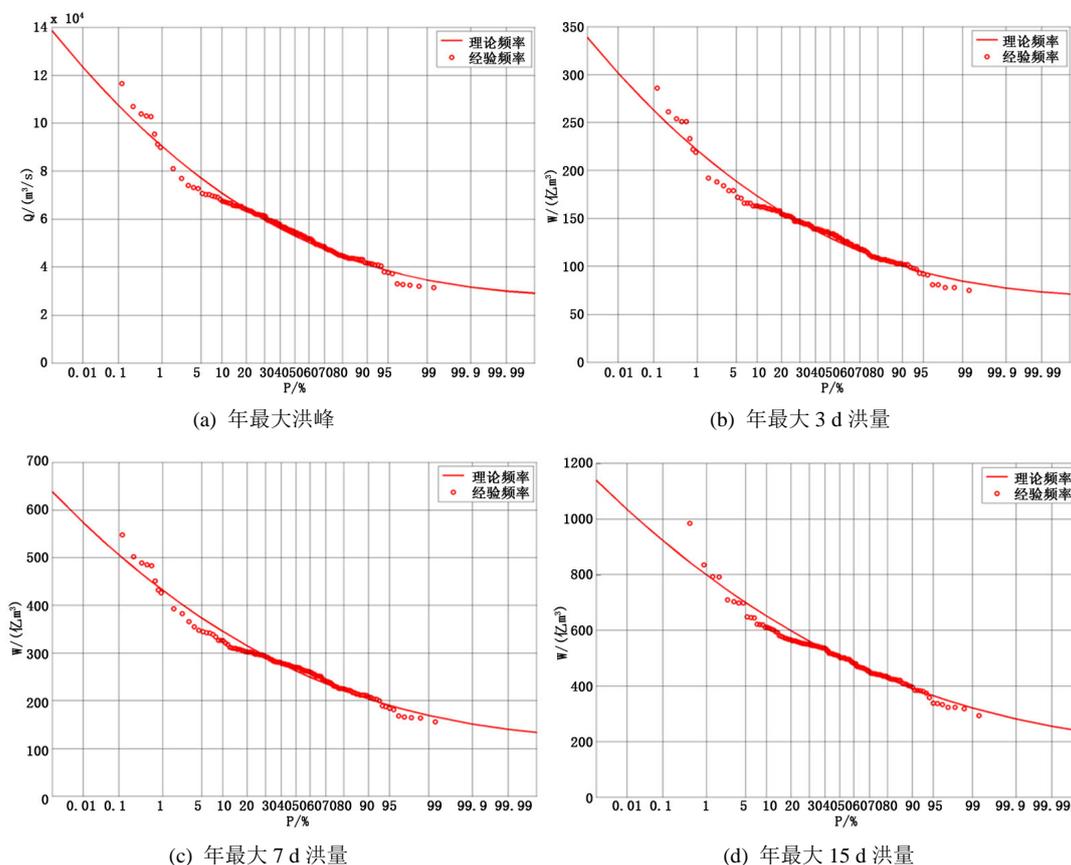


Figure 4. Flood frequency curves of TGR inflow
图 4. 三峡入库洪水频率曲线

5%设计洪峰较坝址设计值增大 $4900 \text{ m}^3/\text{s}$, 增幅为 6.78%, 入库年最大洪峰设计值增加显著。各重现期年最大入库 3 d 洪量增幅为 4.43%~6.91%, 年最大 7 d 洪量增幅为 1.36%~4.81%, 洪量增幅均较为明显。年最大 15 d 洪量变化不大, 变幅位于-0.30%~1.26%之间。

由以上分析可知, 三峡建库后, 入库洪水分布相比原坝址洪水均有着不同程度的改变, 其中年最大洪峰与年最大 3 d、7 d 洪量的设计值变化显著, 年最大 15 d 洪量分布无明显变化。因此, 采用入库洪水系列推求三峡建库后的设计洪水, 更符合建库后的实际情况, 并保证水库的安全高效运行, 也更加科学合理。

4. 结论

本文基于多输入单输出模型计算得到三峡建库前的入库流量, 并检验了模拟结果的合理性与可靠性; 定量统计了入库流量系列与坝址流量系列之间的经验关系, 据此得到宜昌站历史坝址洪水对应的入库特征值; 对得到的不连序入库系列进行频率分析, 将结果与三峡坝址设计成果进行对比。得到的主要结论如下:

1) 三峡入库 MISO 模型模拟效果良好, 率定期与检验期模型效率系数分别达到 97.88%与 98.58%, 水量平衡系数分别为 0.13%与-0.74%, 洪峰相对误差分别为 2.86%与 1.30%, 模型精度达到水文情报预报规范的甲等精度。采用马斯京根法将模拟入库流量演算至宜昌站并与实测坝址洪水流量对比, 二者高度相符, 演算系列的确定性系数达 93.73%, 模型模拟结果很高。

2) 三峡入库洪水与坝址洪水统计量之间存在显著的线性关系, 相关系数均高于 0.96。据此延长三峡入库洪水资料, 得到三峡 1877~2013 年入库流量系列与 8 年历史入库特征值组成的入库洪水不连序系列。

3) 对得到的三峡入库洪水不连序系列进行频率分析, 并与原三峡坝址设计成果对比。结果表明, 建库前后年最大 15 d 洪量分布变化不大, 年最大洪峰与年最大 3 d、7 d 洪量分布则发生了显著改变, 因此采用入库洪水系列推求三峡建库后的设计洪水, 更符合建库后的实际情况, 并更好地为三峡水库防洪调度提供科学依据。

参考文献 (References)

- [1] 郭一兵, 杨远东. 入库洪水分析及计算[J]. 人民长江, 1980, 5: 56-63.
GUO Yibing, YANG Yuandong. Analysis and calculation of inflow floods. Yangtze River, 1980, 5: 56-63. (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. Hydrological research on Three Gorges Reservoir. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1997. (in Chinese)
- [3] 梁忠民, 胡义明, 王军. 非一致性水文频率分析的研究进展[J]. 水科学进展, 2011, 22(6): 864-871.
LIANG Zhongmin, HU Yiming and WANG Jun. Advances in hydrological frequency analysis of non-stationary time series. Advances in Water Science, 2011, 22(6): 864-871. (in Chinese)
- [4] 岳中明. 长江三峡工程的水文工作[J]. 人民长江, 2003, 34(8): 21-28.
YUE Zhongming. Hydrological work in the construction of Three Gorges Reservoir. Yangtze River, 2003, 34(8): 21-28. (in Chinese)
- [5] 李春红, 王建平, 王玉华, 等. 三峡特大流域洪水预报方案运用与分析[J]. 水利学报, 2011, 42(50): 624-630.
LI Chunhong, WANG Jianping, WANG Yuhua, et al. Operation and analysis of flood forecasting scheme for the Three Gorges project. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(50): 624-630. (in Chinese)
- [6] 秦毅, 沈冰, 李怀恩, 等. 基于物理成因概念的水文系统模型及其应用[J]. 水利学报, 2004, 7: 52-56.
QIN Yi, SHEN Bing, LI Huaen, et al. Hydrological system model based on concept of physical cause of formation and its application. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 7: 52-56. (in Chinese)
- [7] LIANG, G. C., KACHROO, R. K., KANG, W., et al. River flow forecasting. Part 4. Applications of linear modelling techniques for flow routing on large catchments. Journal of Hydrology, 1992, 133(1-2): 99-140.
[http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90149-P](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(92)90149-P)
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 水文情报预报规范(GB/T 22482-2008)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Standard for hydrological information and hydrological forecasting (GB/T 22482-2008). Beijing: Standards Press of China, 2008. (in Chinese)
- [9] 郭一兵, 熊明. 三峡水利枢纽设计洪水[J]. 水利水电快报, 1997, 18(6): 1-7.
GUO Yibing, XIONG Ming. Designed floods of Three Gorges Reservoir project. Express Water Resources & Hydropower Information, 1997, 18(6): 1-7. (in Chinese)
- [10] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程设计洪水计算规范(SL 44-2006)[S]. 北京: 中国水利电力出版社, 2006.
Ministry of Water Conservancy of the People's Republic of China. Regulation for calculating design flood of water resources and hydropower projects (SL 2006). Beijing: China Water Resources & Hydropower Press, 2006. (in Chinese)
- [11] 水利部长江水利委员会水文局, 水利部南京水文水资源研究所. 水利水电工程设计洪水计算手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
Bureau of Hydrology under Changjiang Water Resources Commission, Nanjing Hydrology and Water Resources Department. Design flood calculation manual for water conservancy and hydropower projects. Beijing: China Water Power Press, 2001. (in Chinese)
- [12] 郭生练. 设计洪水研究进展与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
GUO Shenglian. Design flood research and evaluation. Beijing: China Water Power Press, 2005. (in Chinese)