

Design Flood for Reservoir Operation

Shanxu Wang

Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei
Email: wangxabc@sina.com

Received: Feb. 5th, 2015; accepted: Feb. 12th, 2015; published: Feb. 16th, 2015

Copyright © 2015 by author 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

To calculate the design flood for reservoir operation, we first need to analyze the regularity of annual runoff process's stochastic probability of the reservoir, and take the characteristics and the requirements of reservoir operation decision into account. A theoretical framework for development of design flood forecast probability model has been provided in this paper and validated with the Three Gorges Reservoir. The results indicate that the dynamic design flood forecast of the Three Gorges Reservoir based on this probability model is reasonable and reliable.

Keywords

Design Flood for Reservoir Operation, Annual Unsteady Stochastic Process of Runoff, Dynamic Design Flood

论水库运用设计洪水

王善序

长江水利委员会水文局, 湖北 武汉
Email: wangxabc@sina.com

收稿日期: 2015年2月5日; 录用日期: 2015年2月12日; 发布日期: 2015年2月16日

摘要

计算水库运用设计洪水必须首先分析水库运用面临径流年内随机过程概率规律, 并考虑水库调度决策特
作者简介: 王善序(1938-), 男, 浙江宁波人, 教授级高级工程师, 主要从事水文频率分析, 概率水文预报等研究。

点、要求。本文为水库运用设计洪水预报概率模型提供了理论框架。并以三峡水库为例予以验证。结果表明，概率模型给出的三峡水库动态设计洪水预报是合理的，可靠的。

关键词

水库运用设计洪水，径流年内不平稳随机过程，动态设计洪水

1. 引言

我国已建成数百座大型水库。但是，由于各种原因，我国的水库调节程度较低，而来水大多集中于汛期。水库汛期运用至为主要。传统设计规则的局限和相关技术研究的滞后，“我国的水库在工程设计洪水和调度运用中都存在一些值得进一步研究的问题”[见：水库设计运用专题研究招标文件，国家防汛抗旱总指挥部办公室、水利部水利水电规划设计总院，2002年4月]。其中一个重要问题是：水库在汛期经常控制水位过低，弃水较多、蓄水不多，汛后又常不能及时蓄满，严重制约了水库综合利用效益的发挥。显然，造成这一现象的直接原因是水库汛限水位设置过低。而后者与水库运用仍采用年最大设计洪水有关。于是，水库运用设计洪水成了优化水库运用的技术瓶颈。“水库运用采用年最大设计洪水是不合理的”逐渐成为业内人士的共识。但为什么是不合理的？怎样的设计洪水才是合理？仍众说纷纭。

水库是一种高风险产业。在汛期，它随时可能遭遇特大洪水袭击。水库运用需要水文学提供未来一段时间内的水情信息。现代水文预报技术发展为改善水库运用调度提供了重要信息。遗憾的是预见期过短，通常无法覆盖水库调洪时段。水库运用调度面临决策时段的水情仍是不确定的。为保证防洪安全，仍需要设计洪水。按[1][2]所述，在水库运用时，汛限水位主要取决于设计洪水。此时，研究设计洪水的目的是为了合理确定水库汛限水位。显然，只有当设计洪水符合汛期径流过程的概率规律时，才有可能获得科学合理的水库汛限水位。重而改变目前水库汛期水位控制的不合理状况，实现在保证防洪安全前提下，提高水库兴利效益。

现在的问题是：被人们使用了一个多世纪，作为水库防洪设计重要依据的年最大设计洪水为什么如今在水库运用时会引起人们的不满？水库运用究竟应采用什么样的设计洪水才既能保证水库防洪安全又能提高兴利效益呢？但有一点是很显然的，只有能反映水库运用面临的实时径流演变概率规律的设计洪水才可能是合格的水库运用设计洪水。本文的目的是为水库运用寻求合格的设计洪水。

早在上世纪中叶，我国水文界就关注水库运用设计洪水问题。有人提出以汛期分期设计洪水取代年最大设计洪水，以考虑汛期洪水“季节性”演变规律。并被少数水库采用。进入本世纪以来，由于官方的重视，汛期分期设计洪水得到了广泛的研究和应用。汛期洪水演变非常复杂。“季节性”演变仅是汛期洪水演变的一个侧面，以它来反映汛期设计洪水变化显然是不全面的。何况水库运用调度也非仅按季节调度。尤其是它是否能反映汛期实时径流演变概率规律？回答显然是否定的。

本文将从分析水库运用面临实际径流随机过程概率规律出发，并考虑水库实时运用特点和要求，研究水库运用设计洪水预报概率模型。并以长江三峡水库为例予以验证

2. 河流径流随机过程与设计洪水概率模型

河流径流过程受众多因素影响、非常复杂，通常可视作为以年为周期的随机过程。大量资料分析表明，它的以年为时间间隔的各种时间系列，如年、月径流量，年最大洪水(如最大洪峰流量，最大时段洪流量)等是相互独立的；据此估计的统计特征值，只要系列足够长，是稳定的。说明径流多年(年间)过程是平稳的。因此，可以视径流年系列为简单样本。只要采用单变量分布或频率就可以完整地表述径流多年(或

年间)变化过程的概率规律。

设以 X 表示径流, 则其频率可写成

$$p(x) = p_r \{X \geq x\} \quad (1)$$

其中 x 为一正实数。它们的统计特征, 如均值

$$m = E(X) \quad (2)$$

和方差

$$D = E\{(X - m)^2\} \quad (3)$$

都与时间无关。式中 $E(\cdot)$ 表示求数学期望。

设与防洪标准对应的频率为 p_d , 则设计洪水 x_d 可由

$$p(x_d) = p_d \quad (4)$$

求得。

这些看似简单的表达式构成了传统水文设计中估计年最大设计洪水频率分析的理论基础。世界各国水文工程师在此基础上, 尽管采用的具体计算方法, 如抽样、频率曲线线型及其参数估计方法等可能不同, 只要系列较长, 估计的年最大设计洪水却不会有显著差别。

一个多世纪来, 洪水频率分析虽屡遭非议, 在我国甚至多次险被“打倒”。但随着观测资料累积, 越来越多的人接受了它。洪水频率分析已成为不可取代的水库设计洪水主要计算方法。其根本原因是: 频率分析成果能反映水库设计所涉及径流多年过程的概率规律。

然而, 与年间过程不同, 径流年内过程却要复杂得多。地球上大多数河流在一个水文年内有枯期和汛期之分。即使在汛期也不是天天有汛、有洪水期和非洪水期(平水期)之别, 在洪水期, 涨水段和退水段也不一样。径流年内过程变化多端。它是一种前后时段径流相关、统计特征随时间而变的不平稳随机过程[3]。

设以 $\{X(t), t\}$ 表示汛期径流过程, 其中 T 表示汛期时长。则它的统计特征需要它的有限维分布或频率全体

$$\{p(t_1, t_2, \dots, t_s; x_1, x_2, \dots, x_s) \mid t_1, t_2, \dots, t_s \in T\} \quad (5)$$

来描述[4], 其中 s 为大于 1 的整数, 并随流域而变。特别地, 当 $s = 1$ 就有任一时间的频率

$$p(t, x) = p_r \{X(t) \geq x\} \quad t \in T \quad (6)$$

及其参数, 如均值函数 $m(t)$ 和方差函数 $D(t)$

$$m(t) = E\{X(t)\} \quad (7)$$

和

$$D(t) = E\{(X(t) - m(t))^2\} \quad (8)$$

显然, 一维频率不足以描述汛期径流过程。如为了研究它任意两个时间径流变量之间的关系, 需要引入二维频率

$$p(t_1, t_2; x_1, x_2) = p_r \{X(t_1) \geq x_1; X(t_2) \geq x_2\}, \quad t_1, t_2 \in T \quad (9)$$

与此有关还要引入协方差函数

$$R(t_1, t_2) = \text{cov}\{X(t_1); X(t_2)\} = E\{(X(t_1) - m(t_1))(X(t_2) - m(t_2))\} \quad (10)$$

显然有

$$D(t) = R(t, t) \quad (11)$$

上述诸式为分析径流年内不平穩随机过程概率规律提供了基本数学工具。

由此可见，径流随机过程具有多重特性。径流年内过程和年内过程是不同性质的随机过程。与它们相关联的，估计设计洪水的概率模型也应是不同的。

在传统水文设计中，只论及或研究了在水库设计阶段要求的、与径流多年(即年间)过程相关联的年最大设计洪水。而与径流年内过程相关联的、不平穩过程的设计洪水计算问题迄今仍是空白。

3. 水库运用设计洪水

迄今，水库设计洪水通常指的是在水库规划设计阶段估计的年最大设计洪水。在水库设计阶段，设计者需要保证他们设计的水库在建成后长期运行中的防洪安全[5]。水库长期运用可达数十年、一百年、或更长。因此，设计阶段估计设计洪水必须分析径流多年(即年间)演变概率规律。如上所述，径流年内过程是独立、平穩过程。它的统计特征是时不变的。为保证安全，人们采用年最大洪水系列估计设计洪水(常称年最大设计洪水)，如式(4)所示。显然，在设计阶段采用年最大设计洪水是合乎径流年内随机过程规律的。它能满足设计水库防洪能力的要求。

然而，与设计阶段不同，水库运用实时防洪调度的特点是在既成工程条件下，通过优化调度决策发挥工程效益。而且，“每次只要作出一个时段(面临时段)的决策”[6]。由于面临时段(或称决策时段)水情是不确定的，调度决策者需要决策时段设计洪水。当然，为保证防洪安全，决策时段不应短于水库调洪时段。更重要的是，水库运用调度面临的(或要调节的)是径流年内过程。不同于径流多年(年间)过程，径流年内过程是一种前后时间径流相关、不平穩随机过程。它的统计特征随时间推移而变。因此，决策时段设计洪水，不同于设计阶段使用的年最大设计洪水，一定随时间和入库水情状态而变。

设在水库运用决策时间 t ，这时水库当时及前期入库流量是已知的。未来决策时段 $t, t + dt$ 径流量的条件频率可写成

$$p(t, t + dt, x | x_0) \quad (12)$$

其中， x_0 表示当前和前期入库流量状态，笔者称之为前期影响流量或水量； t 为决策时段长。则决策时段设计洪水 x_d 可由条件频率

$$p(t, t + dt, x_d | x_0) = p_d(t, dt) \quad (13)$$

求得。式中 p_d 为与防洪标准、决策时间和时段长有关的频率。

以上各式为径流年内不平穩随机过程的频率分析和水库运用设计洪水计算概率模型奠定了基础。

近 20 多年来，水文学中多变量频率分析已有了长足进展。现在，已有可能通过多变量频率分析估计水库运用决策时段设计洪水。

由式(13)可知，水库运用决策时段设计洪水的基本特点是：a) 随时间推移而变，即它是时变的；b) 与当时和前期入库水情有关，是动态的。笔者称之为“动态设计洪水”。

4. 三峡水库动态设计洪水

在这一小节，笔者将应用上节提出的水库运用动态设计洪水概率模型，研制、分析三峡水库运用动态设计洪水。

三峡水库控制长江上游、集水面积 100 万平方公里，是一座以防洪为主，兼有发电、航运等综合利用水库。

长江上游暴雨洪水集中在每年 6~9 月。雨季开始时间一般从南往北，从东向西逐步推进。南岸乌江 6 月中下旬可能出现较大洪水，到 7 月嘉陵江进入汛期，川西岷、沱江及金沙江要到 7 月下旬、8 月才先后入汛。年最大洪水大多出现在 7~8 月份。入秋后，长江上游也常出现较大暴雨洪水。一般认为，7 月上旬至 9 月上旬是长江上游洪水最盛时期

根据多年分析，长江上游洪水一般由多次暴雨形成。宜昌站汛期流量过程线形状大体可分单峰型，双峰型和多峰型三种类型。单峰型一般为大水年。在实测系列中，最著名的是 1954 年和 1998 年，由多次连续洪水先后迭加而成。其最大流量多出现在 7 月下旬至 8 月中旬。双峰型即所谓前后期洪水。前峰多出现在 7 月上中旬，后峰多出现在 9 月上中旬。多峰型一般为小水年，每次洪水都很小。

根据文献[7]，按不同洪水类型，三峡水库调洪时段约 7~15 天。以下，本文论述三峡水库 7 日动态设计洪水。

4.1. 汛期径流过程统计特征简述

根据宜昌站日平均流量系列，计算了宜昌站汛期主要统计特征，以分析长江上游汛期径流过程的特点。图 1~图 4 分别为宜昌站汛期 7 日水量相关系数，均值，变差系数(cv)和偏差系数(cs)图。它们反映了宜昌站汛期径流过程的一般统计特征。

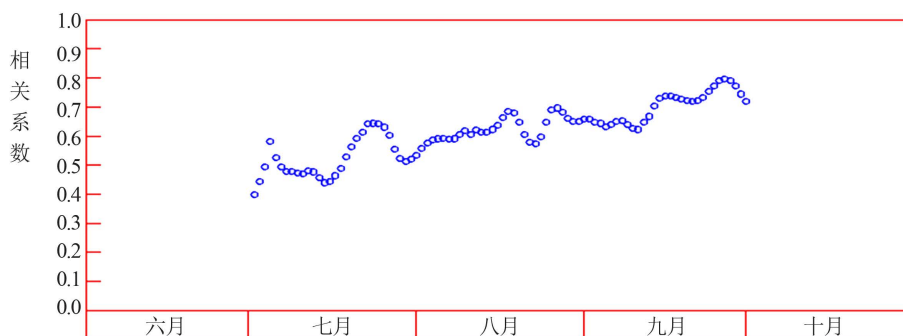


Figure 1. Correlation coefficient of flow volume within 7 days before and after flood season at Yichang Station

图 1. 宜昌站汛期前后 7 日水量相关系数图

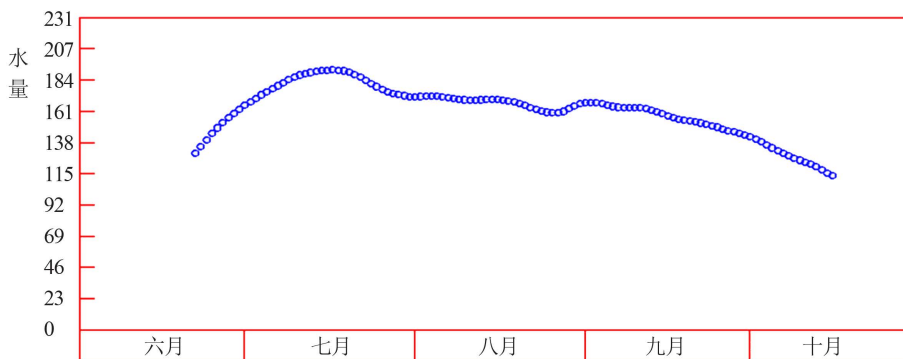


Figure 2. Average flow volume within 7 days of flood season at Yichang Station (unit: 100 million m³)

图 2. 宜昌站汛期 7 日水量平均值 (水量单位: 亿立方米)

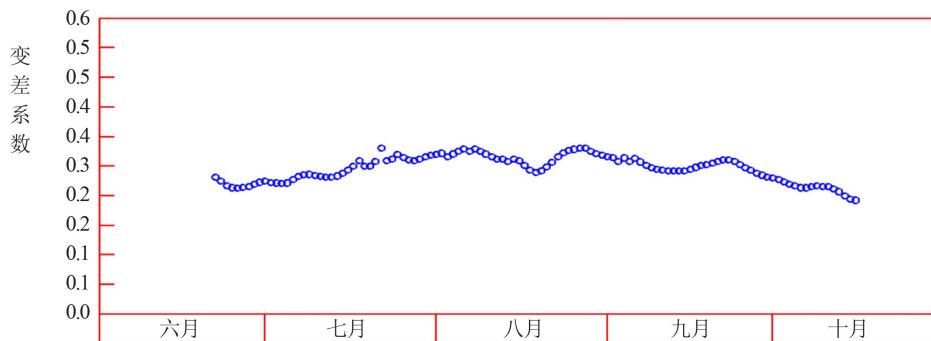


Figure 3. Variation coefficient of flow volume within 7 days of flood season at Yichang Station
图 3. 宜昌站汛期 7 日水量变差系数

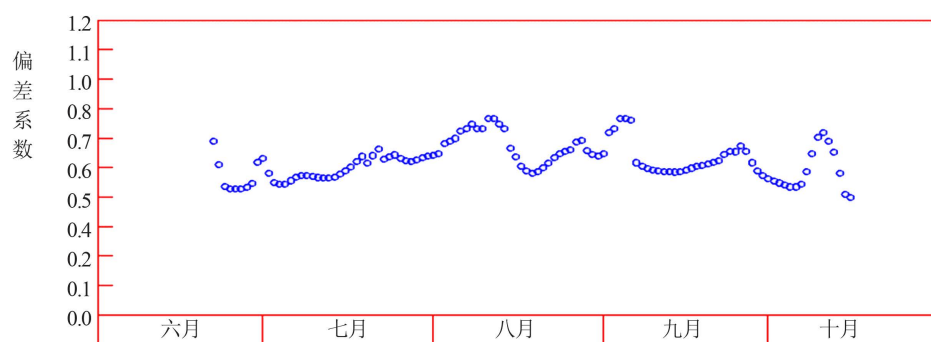


Figure 4. Deviation coefficient of flow volume within 7 days of flood season at Yichang Station
图 4. 宜昌站汛期 7 日水量偏差系数

这些图显示：宜昌汛期径流过程明显相关。7 日水量相关系数普遍大于 0.5，而且，入汛后有逐步增大趋势，至 9 月底竟接近 0.8。在三个最重要的统计参数中，均值随时间变化最为明显。它入汛后迅速增大，至 7 月中下旬达到峰值，然后又缓慢递减。它们显示，宜昌站汛期径流统计特征随时间而变。

由此可见，三峡水库运用所面临的长江上游径流年内过程是前后时段水量相关、统计特征随时间而变的不平稳随机过程。

4.2. 动态设计洪水

根据上述有关水库运用设计洪水概率模型，采用宜昌站 1877~2000 年日平均流量系列，笔者制作了三峡水库动态设计洪水预报概率模型。现应用此模型，对三峡水库动态设计洪水作一简短分析。

4.2.1. 时变性

三峡水库动态设计洪水的时变规律可用它的时变设计洪水表达。时变设计洪水是笔者于本世纪初提出的一种水库运用设计洪水[8]，旨在改进分期设计洪水。早期采用超定量系列计算。近年曾予以改进。缺点是它没有考虑入库流量的影响。图 5 是三峡水库同频率(年风险率接近 0.001)7 日设计水量随时间变化过程，或时变设计水量图。由图可见：6 月中旬以来设计水量逐渐走强，由不足 250 亿立方米至 7 月中旬逼近、等于同频率年最大 7 日设计洪量，并一直维持至 8 月上、中旬。8 月中旬略作下探后又被拉起、至 9 月上旬再次逼近年最大 7 日设计洪量。以后逐步下降，汛期也渐结束。它完整地表述了三峡水库汛期设计洪水由弱趋强、维持强势、再逐步变弱的全过程。可以认为，从 6 月中旬至 7 月中旬为入汛过渡期；9 月上旬至 10 月中旬为汛期结束(从汛期至枯期)过渡期。其间设计洪水是明显变化的。7 月上旬

至9月上旬为典型的汛期。历年大洪水最大流量都出现在这个时期。

应该指出的是，上述三峡水库设计洪水汛期时变性反映的是一种“气候性”的时变规律。在任何一年实际年汛期，由于实际入库水情的影响，当年实际设计洪水变化与之仍会有相当的差异。

4.2.2. 动态性

三峡水库运用动态设计洪水还与入库水情状态有关。

图6和图7分别是1942年和1998年三峡水库汛期1000年一遇相应7日设计水量及据此推算的动态汛限水位预报成果(假定下泄流量为50,000立方米/秒)。1942年和1998年分别是宜昌站观测系列中有名的枯水年和大水年。这二年汛期水情相差特大，动态设计洪水-动态汛限水位也大相径庭。反映了入库水情对动态洪水-动态汛限水位的影响。

图7还显示，当入库流量接近、达到高水(约等于、大于50,000立方米/秒)时，动态设计洪水逼近、等于年最大7日设计洪量。说明，动态设计洪水能保证防洪安全。在此过程中，动态汛限水位则快速下行靠近设计阶段确定的汛限水位。只是动态7日设计水量与年最大设计洪水过程线是有差别的，而且用的调洪演算的方法也不同，此处动态汛限水位高于145米。

这些图中还可看到：在一次洪水从起涨、涨至洪峰，再退水消落的过程中，动态设计洪水与流量过

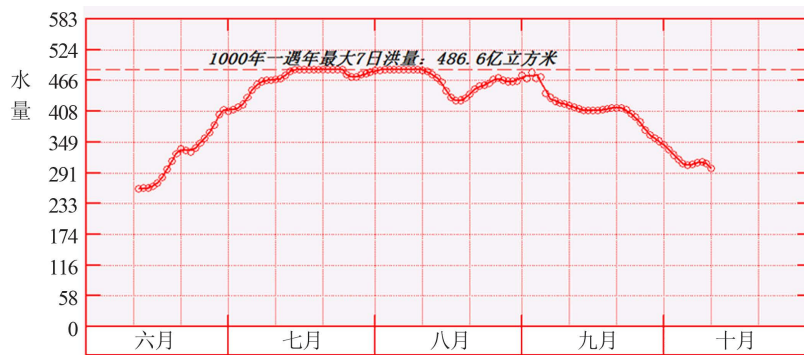


Figure 5. Time-varying design flow volume within 7 days at the same frequency in the Three Gorges Reservoir

图5. 三峡水库同频率7日时变设计水量(水量单位: 亿立方米)

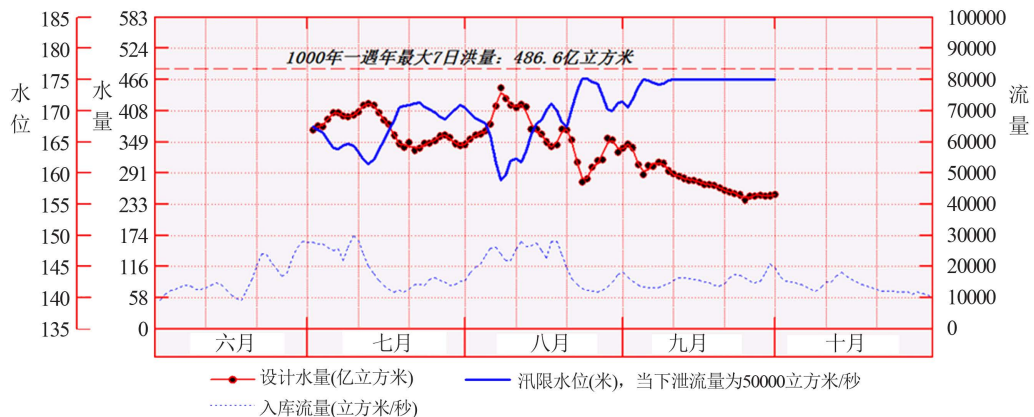


Figure 6. Design flow volume and limiting level during flood season within 7 days corresponding to a flood of a 1000 years in return period in Three Gorges Reservoir during the flood season in 1942 (design flow volume: 100 million m^3 ; limiting level during flood season (m); current discharging rate is 50,000 m^3/s ; inflow (m^3/s))

图6. 三峡水库1942年汛期1000年一遇相应7日设计水量及汛限水位

程演变相向而行；而动态汛限水位则背向而行。

2012年7月长江上游曾出现三峡水库建成后最大一次洪峰，最大流量近70,000立方米/秒。在图8中给出了这次洪水过程中、逐日计算的三峡水库未来7日洪灾风险率，或频率演变过程。其间，入库洪水出现二次洪峰，与之对应，洪灾风险率(7日水量大于480亿立方米的概率)也出现二次峰。说明水库运用面临的实际径流过程中，洪灾风险率也是动态的。这也符合人们的经验。

在水文学中，传统的设计观念认为，对应于同一防洪标准，设计洪水是唯一的。显然，这种观点仅当设计涉及的是径流多年演变过程时才正确。然而，对于水库运用，它涉及径流年内不平稳随机过程，对应同一防洪标准的设计洪水，汛限水位和洪灾风险率都随时间和入库水情而变。当一次洪水起涨，预示洪灾风险来临、并随洪水增大而增加，设计洪水也随之增大；反之，洪峰过后退水开始，洪水渐消退，洪灾风险、设计洪水随之渐减。这些说明，动态设计洪水是符合客观实际径流演变规律，因而能为水库科学处理防洪与兴利矛盾提供依据。

4.2.3. 合理性和可靠性

在分析设计洪水合理性和可靠性时，人们首先会关注洪水经验点据与洪水频率曲线间的拟合情况。

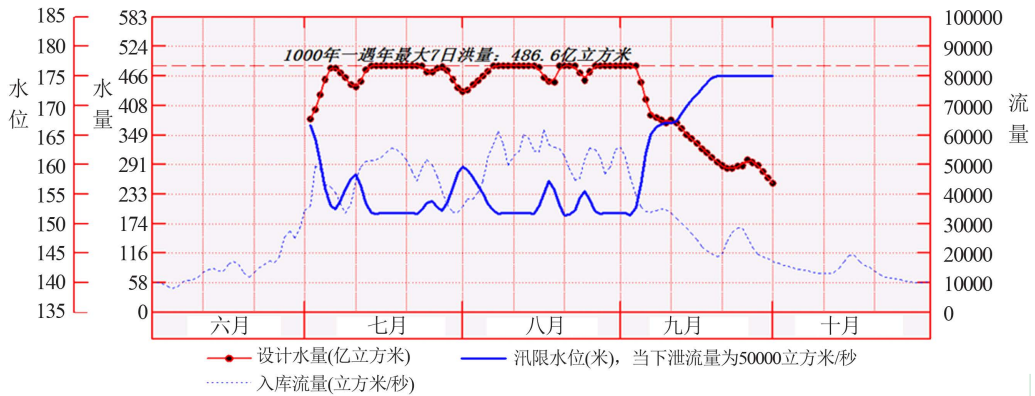


Figure 7. Design flow volume and limiting level during flood season within 7 days corresponding to a flood of a 1000 years in return period in Three Gorges Reservoir during the flood season in 1998 (design flow volume: 100 million m³; limiting level during flood season (m); current discharging rate is 50,000 m³/s; inflow (m³/s))

图7. 三峡水库1998年汛期1000年一遇相应7日设计水量及汛限水位

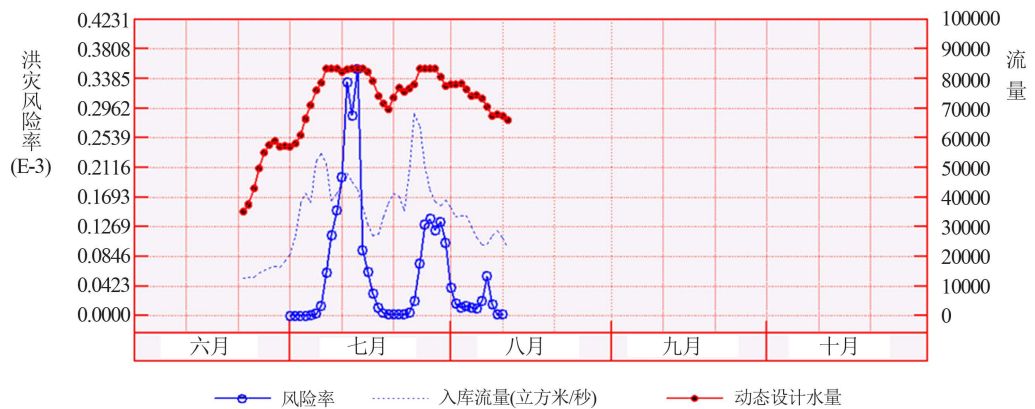


Figure 8. Risk ratio diagram for flow volume exceeding 48 billion m³ within 7 days in the Three Gorges Reservoir in 2012 (risk ratio; inflow; dynamic design water flow)

图8. 三峡水库2012年7日水量超过480亿立方米风险率图

类似地，在考察动态设计洪水的合理性和可靠性时，自然也会关心条件频率曲线(如式(13)所示)与经验点据的拟合情况。不过，应该指出的是：首先，与一般洪水频率分析不同，这里的条件频率曲线不是通过与经验点据拟合而得的，而是根据模型计算的；其次，也与一般洪水频率分析不同，这里的经验点据是近似的。这是因为，在历史系列中，前期水情状态与当前的前期水情相同的几乎是没的。只能在一定的允许误差范围内选取经验点据；所以最后，经验点据的个数一般少于观测系列长。而不同时间的经验点据的个数一般也是不相同的。

图9~图14反映了2012年从6月中下旬入库流量起涨、至7月下旬出现最大洪峰(期间出现二次洪峰)，此后整个8月持续退水(详见图16中入库流量过程)。上述过程中各代表性时间条件频率曲线与相应近似经验点据拟合情况如下。图8~图11四图代表从汛初起涨后经二次洪峰至7月下旬达年最大洪峰阶段。期间条件频率曲线是上行的，虽二峰间曾略有回落如图10。图12、图13则代表退水后，7日水量条件频率曲线逐渐下行。

由图可见：概率模型计算的三峡水库7日水量条件频率曲线与近似经验点据的拟合是良好的。这意味着三峡水库动态设计洪水概率模型能较好模拟长江上游汛期径流年内过程概率规律。由此估计的三峡水库动态设计洪水是合理、可靠的。

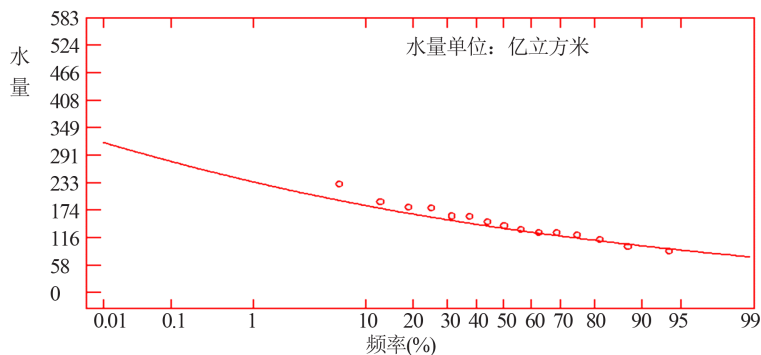


Figure 9. Conditioned frequency curve of flow volume in the Three Gorges Reservoir within 7 days from July 1 to July 7 in 2012 (discharge error from antecedent impact at empirical point $\leq \pm 10\%$) made on: June 30

图9. 三峡水库2012年07月01日~07月07日7日水量条件频率曲线(经验点对应的前期影响流量误差 $\leq \pm 10\%$)，制作日期：06月30日

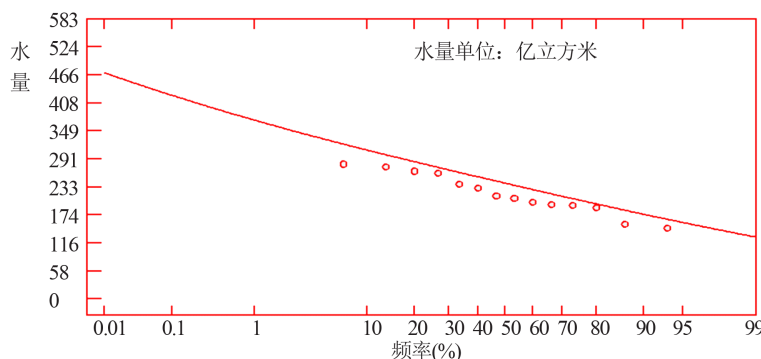


Figure 10. Conditioned frequency curve of flow volume in the Three Gorges Reservoir within 7 days from July 8 to July 14 in 2012 (discharge error from antecedent impact at empirical point $\leq \pm 10\%$) made on: July 7

图10. 三峡水库2012年07月08日~07月14日7日水量条件频率曲线(经验点对应的前期影响流量误差 $\leq \pm 10\%$)，制作日期：07月07日

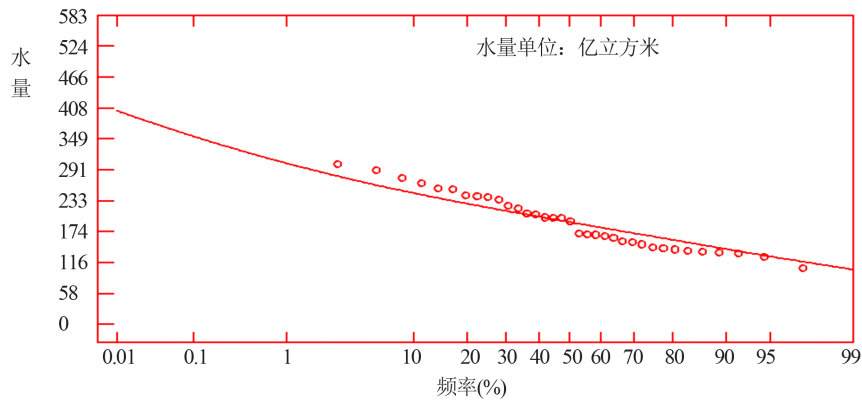


Figure 11. Conditioned frequency curve of flow volume in the Three Gorges Reservoir within 7 days from July 20 to July 26 in 2012 (discharge error from antecedent impact at empirical point $\leq \pm 10\%$) made on: July 19

图 11. 三峡水库 2012 年 07 月 20 日~07 月 26 日 7 日水量条件频率曲线(经验点对应的前期影响流量误差 $\leq \pm 10\%$)，制作日期：07 月 19 日

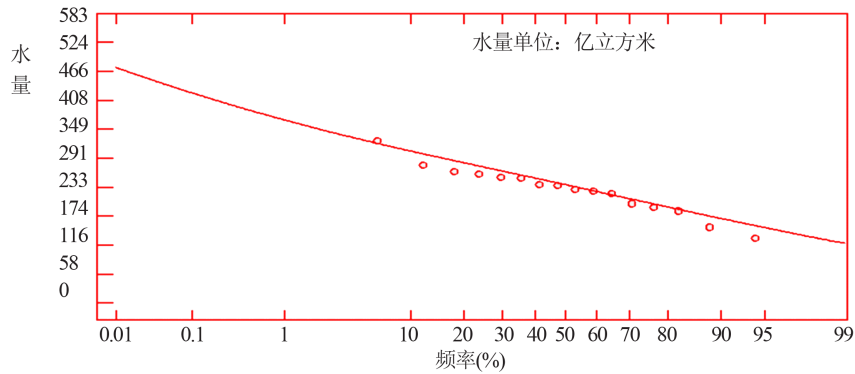


Figure 12. Conditioned frequency curve of flow volume in the Three Gorges Reservoir within 7 days from July 26 to August 1 in 2012 (discharge error from antecedent impact at empirical point $\leq \pm 10\%$) made on: July 25

图 12. 三峡水库 2012 年 07 月 26 日~08 月 01 日 7 日水量条件频率曲线(经验点对应的前期影响流量误差 $\leq \pm 10\%$)，制作日期：07 月 25 日

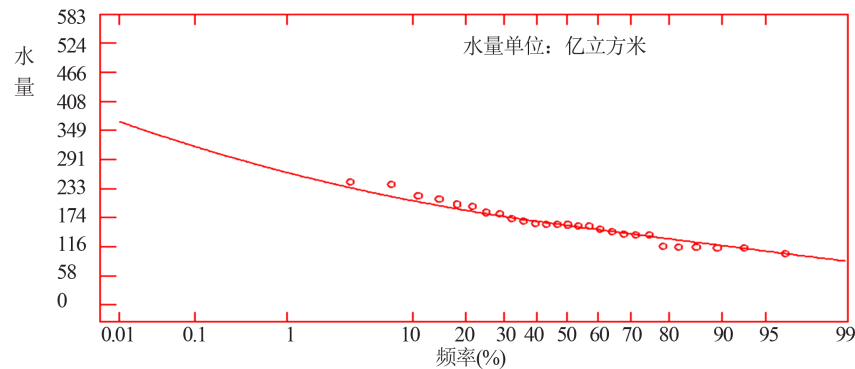


Figure 13. Conditioned frequency curve of flow volume in the Three Gorges Reservoir within 7 days from August 11 to August 17 in 2012 (discharge error from antecedent impact at empirical point $\leq \pm 10\%$) made on: August 10

图 13. 三峡水库 2012 年 08 月 11 日~08 月 17 日 7 日水量条件频率曲线(经验点对应的前期影响流量误差 $\leq \pm 10\%$)，制作日期：08 月 10 日

4.3. 动态设计洪水 - 汛限水位试验预报

在估计了动态设计水量后，水库调度决策者就可按当时下游容许安全泄量得到决策时段所需防洪库容。由于防洪高水位是确定的，利用库容曲线即得决策时段相应的动态汛限水位。

自 2010 年以来，笔者利用三峡公司网页公布的逐日入库流量资料，进行三峡水库逐日 1000 年一遇相应 7 日动态设计洪水 - 动态汛限水位试验预报。图 15~图 19 是最近五年的试验结果(其中 2010 年资料不完整)。由这些图可见，三峡水库现行预报调度是比较保守的，有待优化的空间是比较大的。

这些试验结果表明，本文上述有关水库运用设计洪水 - 汛限水位的论述是合理的。

5. 结论

通过以上各节叙述可以得出：

水库汛期运用的基本问题是处理防洪与兴利矛盾。为保证水库防洪安全水库必须随时预留有足够的

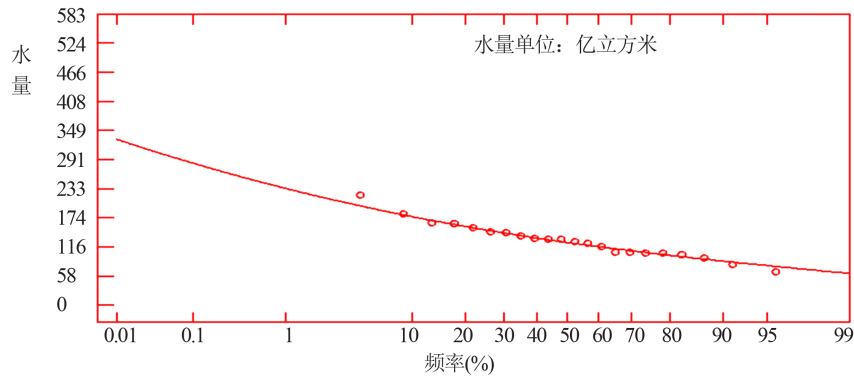


Figure 14. Conditioned frequency curve of flow volume in the Three Gorges Reservoir within 7 days from August 20 to August 26 in 2012 (discharge error from antecedent impact at empirical point $\leq \pm 10\%$) made on: August 19

图 14. 三峡水库 2012 年 08 月 20 日~08 月 26 日 7 日水量条件频率曲线(经验点对应的前期影响流量误差 $\leq \pm 10\%$)，制作日期：08 月 19 日

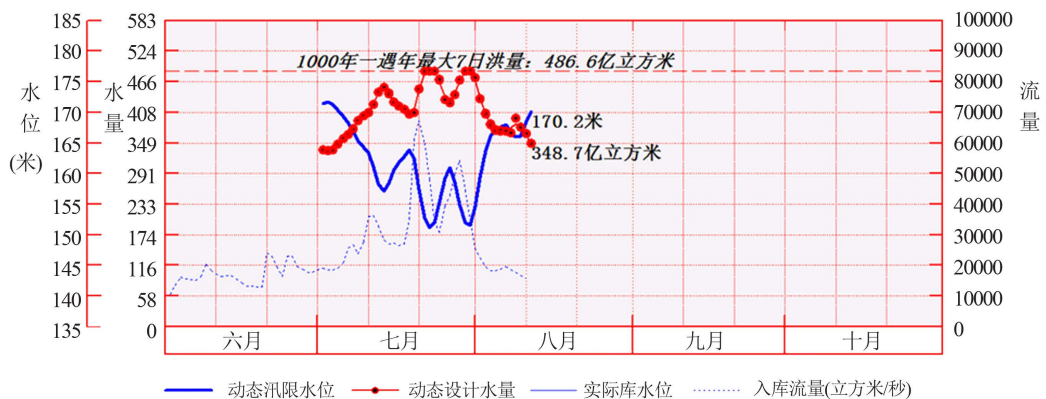


Figure 15. Daily dynamic water level forecasts corresponding to a flood of a 1000 years in return period during the flood season in 2010 in the Three Gorges Reservoir (current discharging rate is $50,000 \text{ m}^3/\text{s}$) made on: August 11 (dynamic limiting level during flood season, dynamic design flow volume, actual water level of reservoir, intake discharge m^3/s)

图 15. 三峡水库 2010 年汛期逐日 1000 年一遇相应动态汛限水位预报(当下泄流量 = $50,000 \text{ 立方米/秒}$)，制作日期：08 月 11 日

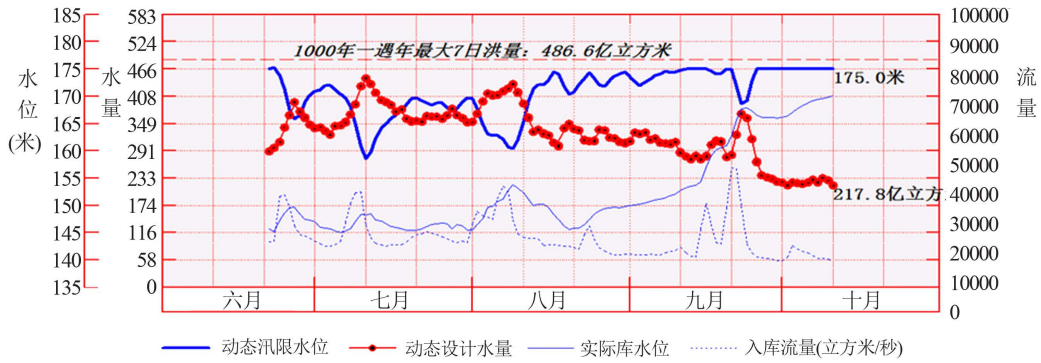


Figure 16. Daily dynamic water level forecasts corresponding to a flood of a 1000 years in return period during the flood season in 2011 in the Three Gorges Reservoir (current discharging rate is 50,000 m³/s) made on: October 10 (dynamic limiting level during flood season, dynamic design flow volume, actual water level of reservoir, intake discharge m³/s)

图 16. 三峡水库 2011 年汛期逐日 1000 年一遇相应动态汛限水位预报(当下泄流量 = 50,000 立方米/秒时), 制作日期: 10 月 10 日

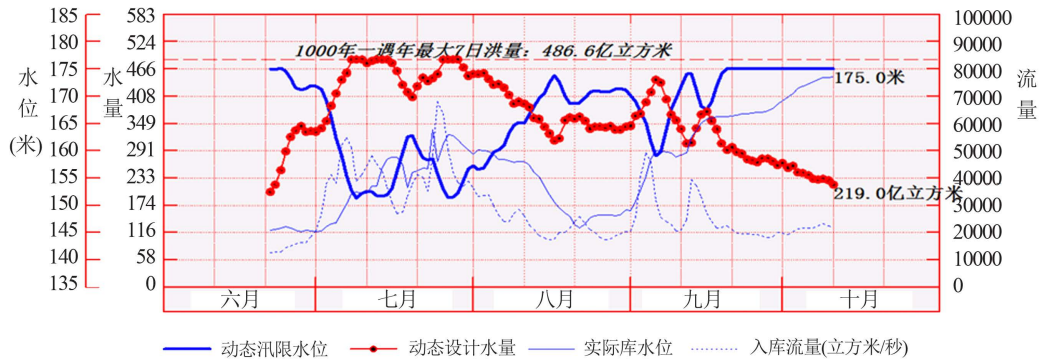


Figure 17. Daily dynamic water level forecasts corresponding to a flood of a 1000 years in return period during the flood season in 2012 in the Three Gorges Reservoir (current discharging rate is 50,000 m³/s) made on: October 10 (dynamic limiting level during flood season, dynamic design flow volume, actual water level of reservoir, intake discharge m³/s)

图 17. 三峡水库 2012 年汛期逐日 1000 年一遇相应动态汛限水位预报(当下泄流量 = 50,000 立方米/秒时), 制作日期: 10 月 10 日

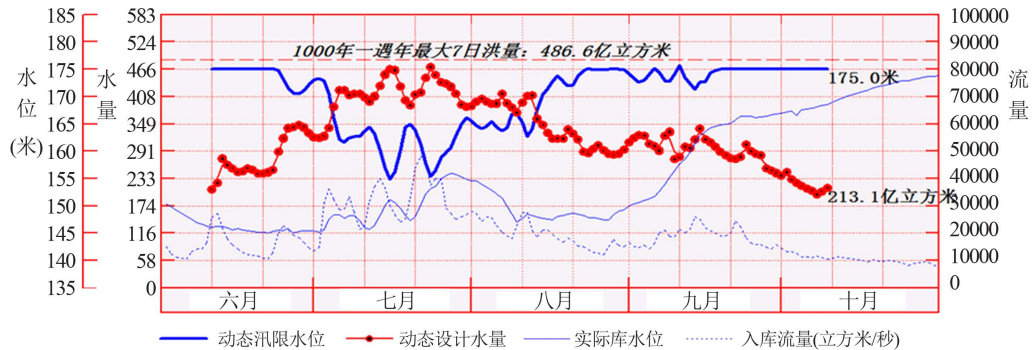


Figure 18. Daily dynamic water level forecasts corresponding to a flood of a 1000 years in return period during the flood season in 2013 in the Three Gorges Reservoir (current discharging rate is 50,000 m³/s) made on: October 9 (dynamic limiting level during flood season, dynamic design flow volume, actual water level of reservoir, intake discharge m³/s)

图 18. 三峡水库 2013 年汛期逐日 1000 年一遇相应动态汛限水位预报(当下泄流量 = 50,000 立方米/秒时), 制作日期: 10 月 09 日

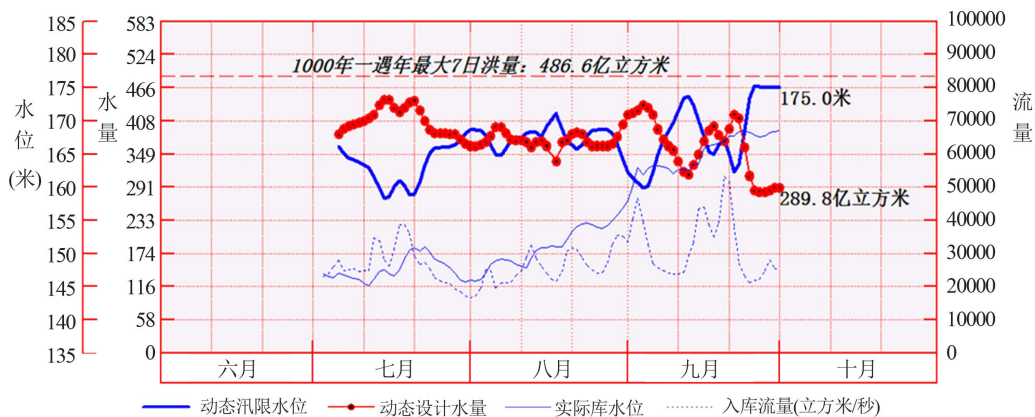


Figure 19. Daily dynamic water level forecasts corresponding to a flood of a 1000 years in return period during the flood season in 2014 in the Three Gorges Reservoir (current discharging rate is $50,000 \text{ m}^3/\text{s}$) made on: September 30 (dynamic limiting level during flood season, dynamic design flow volume, actual water level of reservoir, intake discharge m^3/s)

图 19. 三峡水库 2014 年汛期逐日 1000 年一遇相应动态汛限水位预报(当下泄流量 = 50,000 立方米/秒时), 制作日期: 09 月 30 日

防洪库容以调蓄可能发生的设计洪水。所以，水库运用欲合理处理防洪与兴利矛盾首先应合理采用设计洪水，使之反映实际径流过程概率规律。

河流径流随机过程具有多重概率规律或特性。径流多年过程是平稳随机过程。它的统计特征不随时间而变。但径流年内过程却是不平稳随机过程，它的统计特征随时间而变。研究水库设计洪水应该首先认清设计所涉及径流随机过程的概率规律或特性。

水库设计和运用涉及不同的径流随机过程。在水库设计阶段为保证水库长期运用防洪安全、需要确定水库防洪能力。设计洪水计算需分析径流多年演变概率规律。水库运用是在既定工程规模条件下，通过调度决策提高水库兴利。它面临实时径流过程，且只对未来一个时段制定运行决策。这时，就需要研究径流年内不平稳随机过程概率规律、计算设计洪水，以便在保证防洪安全前提下提高兴利效益。显然，年最大设计洪水，汛期分期设计洪水都不是合格的水库运用设计洪水。

本文根据随机过程理论，为构建径流年内不平稳随过程频率分析概率模型提供了理论框架。以构建相应的水库运用动态设计洪水预报概率模型。传统的水文设计认为，一个防洪标准对应一个设计洪水。这只有当设计涉及的是多年径流过程时才正确。在水库运用面临的不平稳过程，洪灾风险率、动态设计洪水都是时变的并和入库水情有关。这时，设计洪水也一定是时变的，并和入库水情有关。水库在汛期只有按动态设计洪水预留防洪库容(设置汛限水位)才能使水库顺应自然径流演变规律、合理处理防洪与兴利矛盾、既保证防洪安全，又能提高兴利。

总之，年最大设计洪水是为水库防洪能力设计服务的。动态设计洪水是为运用决策设定汛限水位而作。动态设计洪水模型能在任何决策时刻提供未来决策时段内动态设计洪水—汛限水位预报。作为水库设计洪水组成部分，两者皆不可或缺、不可替代。

三峡水库年内径流过程分析和动态设计洪水—汛限水位试验预报成果验证了上述论述。并证明三峡水库动态设计洪水是合理可靠的。

笔者还制作了长江流域大渡河瀑布沟，清江长阳站，汉江白河等水库(站)的动态设计洪水概率模型，都获得了良好成果。

随着大批水库建成运行，用好管好已建成水库已成为重大的科技、经济和社会问题。相当长时期来，

人们重视观测, 预报和优化技术应用, 但对水库运用设计洪水未必予以足够重视。近 20 年来, 笔者从研究汛期分期设计洪水到提出动态设计洪水, 才逐步认识到传统的, 以平稳随机过程为分析对象的频率分析已不能满足水库运用设计洪水计算的要求。设计洪水已成为优化水库运用的一大技术瓶颈。发展或开发年内径流不平穩随机过程的频率分析-动态设计洪水预报技术已成水文学当务之急。

水库设计洪水估计是水文学中最具争议、甚为艰难的领域。多年来也少有深入研究、缺乏创新。动态设计洪水为笔者在数年前才提出, 迄今了解者仍少。鲁迅先生说过: 路本来是没有的, 走的人多了也就成了路。希望有更多的水文学人来研究水库设计洪水新领域——动态设计洪水。

不当之处谨请批评指正!

参考文献 (References)

- [1] 水利部. 水利工程水利计算规范 SL104-95 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995.
Ministry of Water Resources. Regulation for water conservancy computation of water projects SL 104-95. Beijing: China Water & Power Press, 1995. (in Chinese)
- [2] 电力工业部. 水利水电工程动能设计规范 DL/T5015-1996 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
Ministry of Power Industry. Specification for water economy design of water resources and hydroelectric projects DL/T 5015-1996. Beijing: China Electric Power Press, 1996. (in Chinese)
- [3] 王善序. 为水库运用选择合格的设计洪水[J]. 水资源研究, 2014, 1: 3-6.
WANG Shanxu. Selection of suitable design flood for application of reservoir. Journal of Water Resources Research, 2014, 1: 3-6. (in Chinese)
- [4] 复旦大学. 随机过程 概率论(第三册) [M]. 北京: 人民教育出版社, 1982.
Fudan University. Stochastic process and probability theory (volume III). Beijing: People's Education Press, 1982. (in Chinese)
- [5] 刘光文, 主编. 水文分析与计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
LIU Guangwen, Ed. Hydrologic analysis and computation. Beijing: China Water & Power Press, 1989. (in Chinese)
- [6] 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.
The Changjiang River Water Recourse Commission. Study on integrated utilization and reservoir scheduling of the Three Gorges Project. Wuhan: Hubei Science & Technology Press, 1997. (in Chinese)
- [7] 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.
The Changjiang River Water Recourse Commission. Hydrologic research on the Three Gorges Project. Wuhan: Hubei Science & Technology Press, 1997. (in Chinese)
- [8] 王善序. 河流时变设计洪水[J]. 水文, 2001, 3: 18, 19, 29.
WANG Shanxu. Discussion on time-variant design flood events in flood season. Hydrology, 2001, 3: 18, 19, 29. (in Chinese)