

论设计洪水计算

芮孝芳¹, 张超²

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要:论述了作为随机现象的洪水的致灾率和风险率,以及防洪工程措施减小洪水致灾率或风险率的功能。认为防洪计算的任务是:基于洪水的统计规律,建立调洪库容-调节流量-频率(重现期)的关系,而不是直接推求洪水的多维联合分布。证明了基于概率论和数理统计的防洪计算途径理论上的正确性和实用上的不可能性,分析了同倍比法和同频率法产生的背景,通过与数理统计途径的对比,揭示了借助于“设计洪水过程线”概念建立起来的这两个方法的理论基础。指出峰量频率计算在同倍比法和同频率法中的关键作用,以及对旨在依据小样本推估无限总体统计特性的峰量频率计算,提高其成果稳定性的重要性和可能性。

关键词:设计洪水;洪水计算;致灾率;风险率;同倍比法;同频率法;峰量频率计算

中图分类号:TV122⁺.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)01-0020-07

Research on design flood calculation//RUI Xiaofang¹, ZHANG Chao² (1. College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taken flood as a random phenomenon, the probability of failure due to flood and the probability of risk due to flood were discussed. To reduce them, the function of flood control engineering was also discussed. The task of flood control calculations is to establish the relations among the flood regulation storage, regulated flow and frequency (i. e. recurrence period) by means of statistical law of flood rather than the solution of the multidimensional joint distribution of the flood. The flood control calculation with probability theory and mathematical statistics is theoretically correct and practically impossible. The background of the method of enlarging by the same ratio and the method of enlarging in the same frequency was analyzed, and their theoretical bases, founding on the concept of design flood hydrograph, were revealed through the comparison with the approach of mathematical statistics. The critical role of the frequency computation of peak discharge and flood volume used in both the methods is indicated, as well as the importance and possibilities to strengthen its research, which rely on a small sample to calculate statistical characteristics of infinite population.

Key words: design flood; flood control calculation; probability of failure due to flood; probability of risk due to flood; method of enlarging by the same ratio; method of enlarging in the same frequency; frequency computation of peak discharge and flood volume

暴雨诱发的洪水灾害是常见的自然灾害之一,暴雨洪水又是水利工程及其他涉水工程破坏失事的主要自然力量。因此,对未来发生的洪水进行科学估计,是保障地区防洪安全和运行期工程安全的重要前提。

科学发展到今天,科学家将自然界发生的现象分为确定性和不确定性两类。根据初始状态能确知其未来状态的称为确定性现象,不能确知其未来状态的称为不确定性现象。自然界洪水随时间变化主要有两种表现^[1]:一是流域上一场具有一定时空分布的降雨经产流和汇流形成的流域出口断面流量或

水位随时间的变化,表现为随时间连续变化的洪水过程线;二是由一年一轮回的地球系统水文循环造成的洪水特征值的年际演变,表现为离散时间的洪水时间序列。对于由降雨形成的洪水过程线,利用物理定律和水文本构关系可寻求其动态变化规律,因而是一种确定性现象。对于由地球系统水文循环造成的洪水时间序列,由于至今无法就其影响因子一一加以揭示,也没有发现哪个物理定律可以用来揭示它们之间的定量关系,因而只能视为一种不确定性现象。不确定性现象可能有不同的表现形式,当其为随机现象时,则服从统计规律。

设计洪水问题,就是为着科学估计未来洪水,保障地区防洪体系安全和运行期工程安全而提出的一个工程水文问题。对于设计洪水问题,主要涉及对洪水时间序列的预测。在现代科学技术条件下,水文学家认为洪水时间序列的演变是随机的^[2],可以借助概率论与数理统计的理论和方法,通过水文学分析,实现结合工程实际的洪水概率预估,从而达到满足工程建设需求的目的。

1 致灾率和风险率

洪水之所以会酿成灾害或使挡水堤坝失事,是因为它可能造成水体漫溢,或者导致挡水堤坝溃决。若用 Y 表示水体或挡水堤坝抗御洪水的能力,它相当于不致造成水体漫溢或挡水堤坝溃决的水位或流量;用 X 表示洪水破坏力,它相当于暴雨诱发洪水的水位或流量,则洪水导致水体漫溢或挡水堤坝溃决的条件是

$$X \geq Y \tag{1}$$

在式(1)中,若 X 为发生的洪水流量,用 Q 表示, Y 为河流某断面或某河段的安全泄流量,用 $q_{安}$ 表示,则可得地区发生洪水灾害的概率为

$$D = P\{Q \geq q_{安}\} \tag{2}$$

称 D 为洪水致灾率。因为 $q_{安}$ 一般为常量,所以只要求得洪水流量 Q 的概率分布函数,就可按式(3)计算洪水致灾率:

$$D = \int_{q_{安}}^{\infty} f(q) dq \tag{3}$$

式中: $f(q)$ 为洪水流量的概率密度。

水荷载是挡水堤坝承受的主要荷载,可根据水位来确定。在式(1)中,若 X 为洪水位,用 H 表示, Y 为挡水堤坝允许荷载所相当的水位,用 S 表示,则可得挡水堤坝失事的概率为

$$R = P\{H \geq S\} \tag{4}$$

称 R 为工程风险率^[3],称 $\bar{R} = 1 - R$ 为工程可靠度。因为 H 和 S 一般均为随机变量,所以必须按下式来计算工程风险率:

$$R = \iint_{\Omega: h \geq s} f(h, s) dh ds \tag{5}$$

式中: $f(h, s)$ 为随机变量 H 和 S 的二维联合密度函数; Ω 为满足 $h \geq s$ 的区域。

若挡水堤坝的允许荷载保持不变,为常数 c ,则式(5)变为

$$R = \int_c^{\infty} f(h) dh \tag{6}$$

式(6)表明,当挡水堤坝的允许荷载为常数时,仅根据挡水堤坝面临的洪水位的概率密度就可确定其风险率,或者说,这时的工程风险率只取决于挡水堤坝

面临的洪水位的概率密度。

地球系统水文循环的一年一轮回可视作一次随机试验。在一次这样的试验中,可以观测到一年中水体的水位或流量随时间的变化过程,取其中最大者就构成年最高水位或年最大流量的时间序列。当然也可以构成年最大 1 d 洪量、年最大 3 d 洪量、年最大 7 d 洪量等时间序列。对这些被认为具有随机独立性的洪水时间序列,通过水文频率计算可求得其超过几率制的分布函数,即频率曲线。图 1 所示为年最大流量 Q_m 的频率曲线,据此就可按已定的安全泄流量 $q_{安}$ 求得事件 $\{Q_m \geq q_{安}\}$ 发生的概率为 $P\{Q_m \geq q_{安}\}$ 。这个概率就是以一年为一次试验的洪水致灾率,表示在 $q_{安}$ 已定情况下每年发生洪水灾害的可能性,其倒数 $\frac{1}{P\{Q_m \geq q_{安}\}}$ 就是发生事件 $\{Q_m \geq q_{安}\}$ 的平均间隔年数,称为致灾重现期。

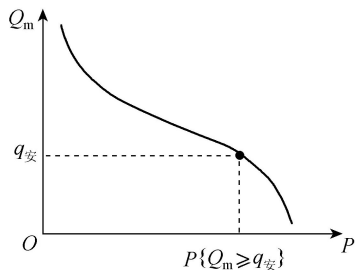


图 1 洪水致灾率

对于由式(6)表示的风险率,可与上述相类似的分析。但对于由式(5)表示的风险率则要涉及 H 和 S 的二维联合分布问题^[3]。

2 防洪的工程措施

一切能够减小洪水致灾率,延长洪水致灾重现期,或者减少洪水灾害损失,或者减轻洪水灾害损失负担的手段称为防洪措施。防洪措施有工程措施和非工程措施之分。工程措施旨在减小洪水致灾率,延长洪水致灾重现期;非工程措施旨在减少洪水灾害损失,或减轻洪水灾害损失负担。20 世纪 70 年代之前,人们似乎只重视通过工程措施达到防洪目的,20 世纪 70 年代美国学者提出了非工程措施的防洪理念,并越来越受到重视。

防洪的工程措施包括能够减小洪水致灾率,延长洪水致灾重现期的水利工程、城市排水治涝工程、水土保持工程、农业水土工程等。根据在防洪中所起的作用,可将这些工程分成两类:一类旨在通过提高河流断面或河段安全泄量 $q_{安}$ 达到减小洪水致灾率的工程。如图 2 所示,如果将安全泄量从 $q_{安}$ 提高到 $q'_{安}$,那么洪水致灾率就会从 $P\{Q_m \geq q_{安}\}$ 减小到 $P\{Q_m \geq q'_{安}\}$ 。属于这类的防洪工程有加高加固

堤防、疏浚整治河道等。另一类是旨在通过改变年最大流量频率曲线达到减小洪水致灾率的工程。图3所示是不同防洪库容 V 或分洪口门 b 时其下游河道断面年最大流量频率曲线簇,其上包线为无水库或无分滞洪情况下的年最大流量频率曲线,其下包线为水库防洪库容或分滞洪口门大到任何大小洪水均滴水不下泄的年最大流量频率曲线。由图3可以看出,尽管安全泄流量未提高,但由于水库的调洪作用或分洪工程的分洪作用,改变了年最大流量频率曲线,从而使洪水致灾率减小。属于这类的防洪工程有修建水库、分滞洪工程和水土保持工程等。

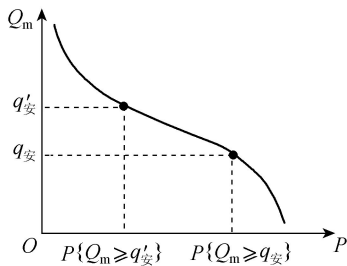


图2 提高安全泄量 $q'_{安}$ 的防洪效果

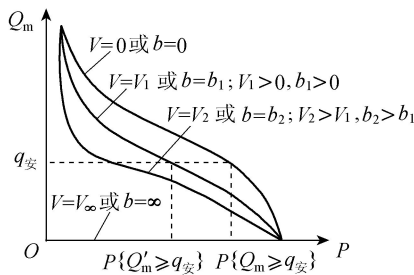


图3 不同 V 或 b 时的年最大流量频率曲线

在防洪工程体系建设中,很少有单独采用上述第一类工程措施或第二类工程措施的,一般都是根据技术、经济和防洪效果综合考虑,采用不同类型的工程措施的合理或最佳配合。

3 防洪计算的任务

因为现代科学认为洪水现象是一种服从统计规律的随机现象,因此,防洪工程规模越大,或涉水工程允许的水荷载越大,虽然可以使洪水致灾率或工程风险率减小越多,但工程投资也变得越大。这就表明,兴建防洪工程和其他涉水工程只能使洪水致灾率和工程风险率处于一个投资与效益关系可接受的水平或其他合理的期望水平,而不可能达到零致灾率和零风险率的极限水平。防洪工程保护对象的合理期望洪水致灾率称为防洪保护对象的防洪标准,简称防洪标准^[4]。涉水工程本身安全的合理期望风险率称为涉水工程的安全设计标准,简称设计标准。对于防洪工程,其设计标准不得低于其防洪

标准,因为防洪工程本身安全得不到保障就不可能对其保护对象的防洪安全起到保障作用。

对于旨在提高安全泄流量 $q_{安}$ 的第一类防洪工程,由图2可见,防洪计算的任务是:寻求河流年最大流量的频率曲线。据此,由拟定的防洪标准和设计标准就可推求出相应的安全泄流量。这类防洪工程的设计标准一般与防洪标准相同。

对于旨在通过水库调节或分滞洪作用改变年最大流量频率曲线的第二类防洪工程,由图3可见,防洪计算的任务是:根据选定的调洪方式,建立不同防洪库容或分洪口门时的年最大流量频率曲线簇,据此,由拟定的安全泄流量和防洪标准或设计标准就可推求所需的防洪库容或分洪口门;或者根据选定的防洪库容或分洪口门和防洪标准或设计标准就可推求相应的安全泄流量;或者根据已确定的防洪库容或分洪口门,以及安全泄流量核定其达到的防洪标准或设计标准^[5-7]。这类防洪工程的设计标准一般高于防洪标准。

比较图2和图3可以发现,第一类防洪工程的防洪计算任务实际上已包括在第二类防洪工程的防洪计算任务中,因为图2所示的年最大流量频率曲线就是图3中无水库或无分滞洪情况下的年最大流量频率曲线。

4 理论途径

4.1 概率论途径

由水库调洪演算方法可知,防洪库容一般为入库洪水过程线和由水库调洪方式决定的出库过程线的函数。如果选择削平头调洪方式(图4),则防洪库容就可以表达成下列函数:

$$V = g(Q_1, Q_2, \dots, q_{调}) \quad (7)$$

$$\text{或} \quad V = g(W_1, W_2, \dots, q_{调}) \quad (8)$$

式中: $Q_1, Q_2, \dots$ 为洪水过程线不同时刻的流量; $W_1, W_2, \dots$ 为洪水过程线按短到长不同历时的最大洪量; $q_{调}$ 为削平头调洪时的最大出库流量。式(7)或式(8)称为库容函数,由于 $Q_1, Q_2, \dots$ 或 $W_1, W_2, \dots$ 为多维随机变量, V 是该多维随机变量的函数,因此也必然

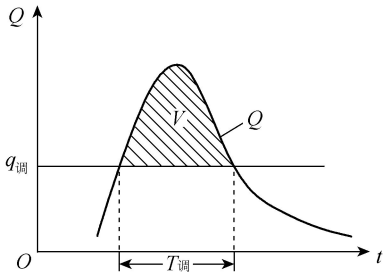


图4 削平头调洪方式

是一个随机变量。根据概率论中随机变量函数的概率分布理论,可得防洪库容的概率分布为

$$P(v) = \int\limits_{\Omega: g(q_1, q_2, \dots, q_{\text{调}}) \geq v} \dots \int f(q_1, q_2, \dots, q_{\text{调}}) dq_1 dq_2 \dots \quad (9)$$

或 $P(v) = \int\limits_{\Omega: g(w_1, w_2, \dots, q_{\text{调}}) \geq v} \dots \int f(w_1, w_2, \dots, q_{\text{调}}) dw_1 dw_2 \dots \quad (10)$

式中: $f(q_1, q_2, \dots, q_{\text{调}})$ 为 $q_1, q_2, \dots$ 的多维分布密度; $f(w_1, w_2, \dots, q_{\text{调}})$ 为 $w_1, w_2, \dots$ 的多维分布。

根据式(9)或式(10)解决前述防洪计算问题,理论之正确,概念之清楚,毋庸置疑,但要付之实用却存在极大困难。困难之一是库容函数难以给出数学描述;困难之二是洪水过程的多维分布密度几乎无法确定,困难之三是几乎不具有可操作性。

4.2 数理统计途径

如果已积累了 n 年洪水观测资料,那么以给定的防洪库容对每年洪水过程进行削平头调洪,就可得到 n 个年最大下泄流量,即可得到一个由 n 个年最大下泄流量构成的时间序列。 n 年洪水过程是从洪水过程总体中随机独立取出的一个容量为 n 的样本,因此,通过已知防洪库容,经削平头调洪得到的 n 个年最大下泄流量也应该是从其总体中随机独立抽取一个容量为 n 的样本,这样可以得出图 3。

这种由数理统计理论得到图 3 与前述概率论方法比较,不仅理论之正确,概念之清楚,完全一致,而且具有直观和可操作的特点。但作为实用方法仍有难以克服的困难,因为实测洪水系列较短,而防洪标准或设计标准一般较高,这种属于由小样本估计稀遇事件的问题,至今仍然是数理统计学的一个软肋。

由于数理统计途径比概率论途径可操作,因此可作为其他方法在理论上是否合理的判据或比较准则。

5 现行方法

上述防洪计算的理论途径可供将来继续研究。为解决实际问题,水文工程师早在 20 世纪 40—50 年代就曾提出了多种实用方法,据说有 11 种之多,但经过考验和筛选,截止 20 世纪 60 年代,只有同倍比法和同频率法得到保留和发展^[4-5,7],这里统称其为现行方法。

现行方法是建立在“设计洪水过程线”基础上的。所谓“设计洪水过程线”是一条经调洪演算得到的防洪库容能符合防洪标准或设计标准的洪水过程线。“设计洪水过程线”与“出现概率相当于防洪标准或设计标准的洪水过程线”,显然不是同一个

概念,因为作为随机过程的洪水过程线,出现概率相当于防洪标准或设计标准的洪水过程线有无数条,既无法保证对其中每一条经调洪演算得到的防洪库容均符合防洪标准或设计标准,也难以甚至无法从中找到一条洪水过程线就是所谓“设计洪水过程线”,但是现行方法却能在容易实现的条件下,找到这条或近似找到这条“设计洪水过程线”。

5.1 同倍比法

对于削平头调洪演算法(图 4),有

$$V = W_{T_{\text{调}}} - q_{\text{调}} T_{\text{调}} \quad (11)$$

式中: V 为防洪库容; $q_{\text{调}}$ 为削平头调洪流量; $T_{\text{调}}$ 削平头调洪历时; $W_{T_{\text{调}}}$ 为 $T_{\text{调}}$ 历时内最大洪量。

在式(11)中,即使保持削平头的调洪流量不变,各年洪水的削平头调洪历时也是不同的。如果能找到一个调洪历时,使得该历时内的洪量与防洪库容相关关系最为密切,那么库容函数式(8)就简化为如下近似公式:

$$V = W_{T_{\text{设}}} - q_{\text{调}} T_{\text{设}} \quad (12)$$

式中: $T_{\text{设}}$ 为与防洪库容相关关系最密切的调洪历时,为常数,称为设计时段。式(12)表明,只要能找到所谓“设计时段”,那么库容函数就可视为单值函数:

$$V = g(w_{T_{\text{设}}}) \quad (13)$$

由概率论中随机变量函数的分布理论,可得

$$P(v) = \int\limits_{\Omega: g(w_{T_{\text{设}}}) \geq v} f(w_{T_{\text{设}}}) dw_{T_{\text{设}}} \quad (14)$$

同倍比法之所以要选择设计时段,就是为了使式(13)成立。显然,设计时段的选择与工程的调洪能力有关。调洪能力大的,必须选择长一些的设计时段。对于无调洪能力的堤防工程,设计时段就为瞬时。在理论上,只要式(10)成立,式(11)就必成立。而式(11)成立,就表明由符合防洪标准或设计标准的 $w_{T_{\text{设}}}$ 即 $(w_{T_{\text{设}}})_p$ 求得的防洪库容 v_p 也一定符合同样的防洪标准或设计标准。选典型洪水过程线,将典型洪水过程线按比例 $(w_{T_{\text{设}}})_p / (w_{T_{\text{设}}})_{\text{典}}$ 放大的实质,是为了实施式(11)的积分计算,以达到由 $(w_{T_{\text{设}}})_p$ 推求 v_p 的目的。由于式(10)一般只可能是相关关系(图 5),所以选择与 $(w_{T_{\text{设}}})_p$ 相近的典型洪水过程线难以唯一,一般都会多于一个。不同典型洪水过程线经同倍比放大求得的设计洪水过程线有别,经调洪求得的 v_p 不相同,在这种情况下,为了得到唯一的 v_p ,一般有两种选择:一是选择其中最大者,二是它们的平均值,因前者偏于安全,故在工程实践中使用居多。

不难看出,对于同倍比法,其结果小于、等于和大于数理统计途径结果均有可能。

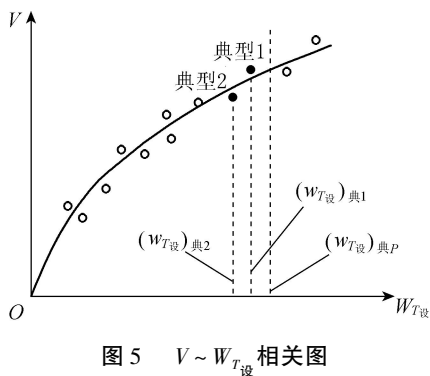


图5 $V \sim W_T$ 相关图

5.2 同频率法

在式(11)中,事实上不仅 $W_{T调}$ 随不同次洪水而变,而且 $T_{调}$ 也随不同次洪水而变。同频率法就是适应这一特点的推求“设计洪水过程线”的方法。这种按照不同历时洪量均同频率设计出的洪水过程线,对于任一取出的 $w_{T调}$ 的频率都是相同的。同频率法这一个核心概念能解决 $T_{调}$ 可变情况下的防洪计算问题是因为任一流域发生的洪水过程线虽千变万化,但若按洪峰对准加以分类,则只有两种可能:一是互不相交(图6(a));另一是出现相交(图6(b))。当出现互不相交情况时, $w_{T调}$ 必与 v 同频率,即任一年的 $w_{T调}$ 与相应的 v 总是具有相同的排序。而当出现有相交的情况时, $w_{T调}$ 与 v 就不同频率,即其中有些年份 $w_{T调}$ 与相应 v 的排序不一定相同。

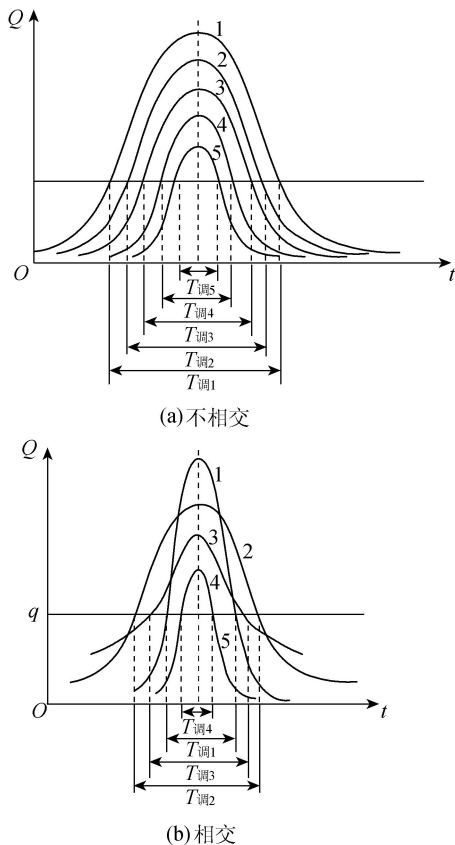


图6 同一流域不同洪水过程线洪峰对准时的相互关系

图7任意给出了两次发生相交的洪水的累积曲线: $OADF$ 和 $ODBE$,并同时给出了削平头调洪时调节流量的累积曲线 OS 。根据削平头调洪原理,由累积曲线 $OADF$ 求得防洪库容为 v_1 ,由累积曲线 $ODBE$ 求得防洪库容为 v_2 。这就是说按数理统计途径求得的防洪库容从大到小排序为: v_1, v_2 。若根据同频率法的核心概念,则得排序为1和2的同频率过程线分别为 $OADBE$ 和 ODF 。由 $OADBE$ 求得的防洪库容与 v_1 相同,而由 ODF 求得的防洪库容则变为 v'_2 ,小于 v_2 。因此,结论是:同频率法求得的防洪库容等于或小于数理统计途径求得的防洪库容。

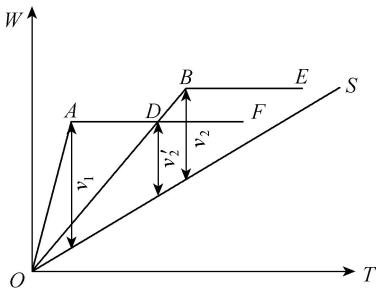


图7 削平头调洪的防洪库容计算

图8和图9分别为长江宜昌站和黄河陕县站同频率法与数理统计法的比较图(绘在几率格纸上)^[6],可见,上述结论是正确的。同时还可以发现,同频率法用于长江宜昌站比用于黄河陕县站更接近于数理统计途径的结果,这显然是与各自的洪水特点有关。

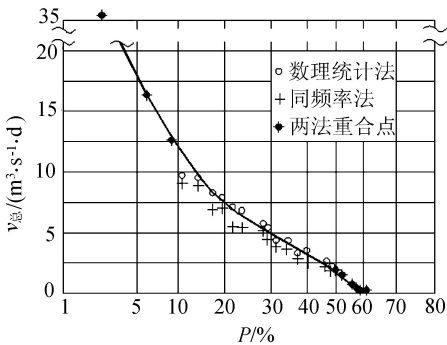


图8 黄河陕县站同频率法与数理统计法的比较

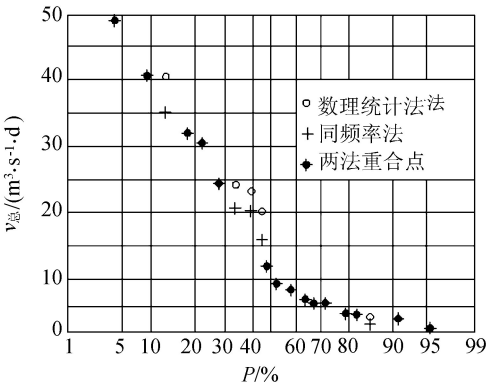


图9 长江宜昌站同频率法与数理统计法的比较

6 峰量频率计算

通过以上理论分析可以看出,水文学家和水文工程师利用自己的智慧,采用同倍比法和同频率法,将一个十分困难的构建库容函数和随机过程多维分布函数问题,转化为相对容易的峰量频率计算问题;将一个看似不可能解决的问题变成了一个现实可行的方法,在这里,峰量频率计算成果的合理可靠性是十分重要的^[8-10]。

笔者认为,从历史上看,峰量频率计算是催生水文统计学形成的主要原因之一。水文统计学是水文学与数理统计学交叉形成的边缘学科,是面向水文学的数理统计学,是运用数理统计的科学思维和方法处理水文现象统计规律的水文学,否则就不宜称为水文统计学。

从数理统计的视角看,水文统计学不同于其他数理统计学的特点是:水文总体是一个无限总体;水文样本相对于其总体总是一个小样本;水文样本是自然赋予的;水文样本易受人类活动影响。针对水文统计学的这些特点,笔者认为在峰量频率计算中应注重的问题是:

a. 多途径推求设计洪水。在目前主要通过流量资料和降雨资料推求设计洪水进行更深入研究的同时,尤其要着重研究由设计暴雨推求设计洪水所涉及的降雨空间分布问题和产汇流问题。对通过气象资料推求设计暴雨要进行探索性研究。

b. 加强水文样本一致性论证。用于频率计算的样本应来自同一总体。由于人类活动的影响,流量资料系列的一致性较易遭到破坏,遇此情况必须对流量资料系列做一致性改正。要研究可用于改正资料一致性的方法。降雨资料相对不易受人类活动影响,利用降雨资料推求设计洪水,其一致性较易得到满足。

c. 加强水文样本代表性论证。代表性指的是样本的统计特性反映总体统计特性的程度。一般来说,样本容量越大,包括的洪水信息越丰富,其代表性就越高。但由实测资料构成的水文样本一般只能是一个小样本,所以提高或论证水文样本的代表性,对推求设计洪水,尤其是稀遇频率的设计洪水是十分重要的。历史洪水的调查、考证^[11]以及统计参数地区规律的运用^[12]都是行之有效的提高或论证样本代表性的方法。笔者认为,PMP/PMF^[13]、古洪水^[14]等在某种意义上也是一些提高或论证水文样本代表性的方法。

d. 努力构建适用于水文样本特点的数理统计方法。由中心极限定理可知,如果影响洪水时间序

列的无穷多个因子呈和式影响,那么其服从正态分布;如果影响洪水时间序列的无穷多个因子呈乘积影响,那么其服从对数正态分布。如果影响洪水时间序列的无穷多个因子既非呈和式影响,也非呈乘积影响,那么该如何确定其概率分布呢?水文样本不仅是小样本,而且有的水文样本会出现不确定的多个零项,当将历史洪水、PMP/PMF、古洪水等信息加入后,样本不但成为不连续样本,而且不同来源的资料也不具有同等的精度和可靠性,对这样一些特殊样本,该如何进行频率计算呢?在数理统计学中虽然新的参数估计方法不断涌现^[15],但该如何寻找到最适合水文样本的参数估计方法呢?

7 结论与启示

a. 科学发展到今天,将洪水时间序列的演变,即洪水峰、量、过程线的逐年变化视作随机变化,用概率论与数理统计理论来揭示和描写其统计规律是合适的。

b. 当采用工程措施达到防洪目的时,防洪计算的任务是遵循洪水的统计规律,建立调洪库容-调洪流量-频率(重现期)之间的关系。概率论途径和数理统计途径是建立这个关系的理论途径,理论上是正确的,概念上是清晰的。但由于概率论途径存在库容函数和洪水多维概率分布难以确定的问题,数理统计途径缺乏论证防洪库容系列代表性的方法,因此,概率论途径至今难以应用。数理统计法也只能作为评判其他方法理论上是否合理的判据。

c. 经过近半个世纪生产实践的考验和筛选,水文科学家和工程师终于找到了同倍比法和同频率法,从而绕过了直接寻找库容函数和洪水多维概率分布,以及论证防洪库容系列代表性的困难,通过峰量频率计算推求所谓“设计洪水过程线”,达到了建立调洪库容-调节流量-频率(重现期)之间关系的目的,并且证明了对于同倍比法,只有找到了合适的典型洪水过程线,才能使结果比较接近数理统计途径的结果,而对于同频率法,其结果总是等于或者略小于数理统计途径的结果,这虽与典型洪水过程线的选择无关,但与一个流域洪水过程线的变化特点有联系。

d. 由同倍比法或同频率法按一定防洪标准或设计标准得到的“设计洪水过程线”的发生概率与防洪标准或设计标准相应的洪水致灾率或工程风险率不仅不是同一个概念,而且数值上也不相等。“设计洪水过程线”,尤其是同频率“设计洪水过程线”,其发生概率是远小于防洪标准或设计标准相应的洪水致灾率或工程风险率的。但按照这种“设

计洪水过程线”设计的防洪工程规模却能达到防洪标准或设计标准。

e. 在水文学发展史上,曾多次出现过先有方法后有理论的事件^[16],同倍比法和同频率法也经历了这样的发展过程。同倍比法和同频率法的提出是水文学理论与工程实践的产物,概率论与数理统计在其中起着工具的作用。有了正确的实践,产生了精妙的思想,又找到了合适的好工具,就一定会有所创新。同倍比法和同频率法的提出是水文学史上一个值得称奇的创举。

f. 峰量频率计算对同倍比法和同频率法举足轻重,其合理性和可靠性决定着同倍比法和同频率法的合理性和可靠性。峰量频率计算虽然必须以概率论与数理统计为理论基础,但作为以小样本推估无限总体统计特性的峰量频率计算,仅仅停留在概率论与数理统计理论和方法的移用上是不够的,还必须通过水文规律的揭示和其他科技手段的运用,实施多元信息融合以增加样本容量;实施水文统计特性时空综合分析论证以提高资料的代表性。历史洪水的调查应用和统计参数区域规律的揭示已在增加样本容量,提高资料代表性方面起到很大作用。PMP/PMF 和古洪水作为一种独立的洪水估计方法,其成果的不稳定性也是显而易见的,但作为一种增加样本容量,提高资料代表性的方法却不仅可取,而且十分必要。PMP/PMF 和古洪水只有与频率计算相辅相成才会有更强的生命力。

参考文献:

[1] RUI Xiaofang, LIU Ningning, LI Qiaoling, et al. Present and future of hydrology [J]. Water Science and Engineering, 2013, 6(3) : 241-249.

[2] LINSLEY R K, KOHLER M A, PAULHUS J L H. Hydrology for engineers[M]. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1982.

[3] CHOW V T. Applied hydrology[M]. New York: McGraw-Hill, 1988.

[4] 水利部长江水利委员会. 水利水电工程设计洪水计算规范[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.

[5] 叶永毅. 根据流量资料绘制设计洪水过程线的方法问题[G]//水文计算经验汇编, 第二集. 北京: 中国工业出版社, 1964: 102-120.

[6] 芮孝芳. 中国大坝建设的水文水利计算综述[M]//中国大坝 50 年. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 173-209.

[7] 叶永毅. 根据水文资料计算设计洪水[J]. 中国水利, 1957(1) : 7-18, (2) : 31-35. (YE Yongyi. Design flood calculation base by means of hydrological data[J]. China Water Resources, 1957 (1) : 7-18, (2) : 31-35. (in Chinese))

[8] 芮孝芳. 关于设计洪水频率分析中几个问题的讨论

[G]//水文学研究进展. 南京: 河海大学出版社, 2007: 323-332.

[9] 叶永毅. 洪水频率分析问题[G]//水文计算经验汇编: 第二集. 北京: 中国工业出版社, 1964: 56-68.

[10] 刘光文. 水文频率计算评议[J]. 水文, 1986(3) : 10-18. (LIU Guangwen. Translation of hydrological frequency calculation[J]. Journal of China Hydrology, 1986(3) : 10-18. (in Chinese))

[11] 胡明思, 骆承政. 中国历史洪水[M]. 北京: 中国书局, 1992.

[12] HOSKING J R M, WALLIS J R. Regional frequency analysis[M]. Combridge: Cambridge University Press, 1997.

[13] 詹道江, 邹进上. 可能最大暴雨与洪水[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.

[14] 詹道江. 古洪水研究[G]//河海大学科技进展. 南京: 河海大学出版社, 1995: 1-4.

[15] 丛树铮. 水科学技术中的概率统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[16] 芮孝芳. 文学的研究方法与理论创新[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(3) : 46-50. (RUI Xiaofang. Hydrology research methods and theoretical innovation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2003, 23(3) : 46-50. (in Chinese))

(收稿日期: 2013 - 12 - 03 编辑: 熊水斌)

· 简讯 ·

河海大学 10 项成果获 2013 年大禹水利科学技术奖

2013 年大禹水利科学技术奖(即原水利部科技进步奖)获奖项目近日揭晓,共评出获奖成果 49 项,其中特等奖 1 项、一等奖 9 项、二等奖 17 项、三等奖 22 项。河海大学有 10 项成果获奖,其中特等奖 1 项、一等奖 1 项、二等奖 5 项、三等奖 3 项。

河海大学获得的 10 项奖分别是:朱岳明教授为主要完成人的“强涌潮河口曹娥江大坝工程建设关键技术研究与实践”获特等奖;余钟波教授主持的“水文全要素实验与模拟预测理论及应用”获一等奖;郑源教授主持的“低扬程低水头水力机械节能关键技术研究与应用”、蒋亚清教授主持的“特种高性能外加剂研究与应用”、钟平安教授为主要完成人的“淮河洪水多元协同调控技术与实践”、胡凤彬教授为主要完成人的“长江入海控制站水沙通量实时监测关键技术研究”以及郝振纯教授为主要完成人的“土壤大孔隙流机理及产汇流模型研究”获二等奖;郑金海教授主持的“闽江口潮流泥沙运动特性与船坞码头优化布置研究”、束龙仓教授为主要完成人的“淮河流域地下水安全开采及控制技术综合研究与应用”以及许峰教授为主要完成人的“江苏省防汛防旱监测预警系统”获三等奖。

(本刊编辑部供稿)