

文章编号: 1001-6791 (1999) 03-0319-09

水文频率分析述评

金光炎

安徽省水利科学研究院, 安徽 蚌埠 233000
(水利部淮河水利委员会)

摘要: 对水文频率分析研究进行了回顾与评述, 分别对常遇的几个问题——频率曲线线型、经验频率公式、统计参数估计和特殊水文资料应用等作了叙述, 总结了我国近 50 年来在频率分析上的主要成就以及对分析思路、研究探索、实际应用和实践经验等作出剖析。可以认为, 现在已发展成一套具有中国特色的水文频率分析方法, 为工程所需提供了科学依据, 为水文学科的发展作出了贡献。

关键词: 水文频率分析; 频率曲线; 经验频率; 统计参数; 资料模拟

中图分类号: P333 **文献标识码:** A

建设各类水利水电、土木建筑等工程, 需要为其提供一定设计标准的水文值。这类水文设计值可以从不同途径获得, 其中的统计途径, 已广为应用, 卓有成效。

早期, 对以防洪为目标的工程, 水文设计值大都取实测或调查洪水系列中的最大值。可是, 关系到人民生命财产安全的防洪工程, 仅用出现过的或调查到的洪水作设计的依据, 犹感不够安全, 于是采用了在这种最大值上加一个安全系数(常称最大值加成)。然而, 对于长短不一的水文系列、变化幅度有大小的系列、研究比较充分和不够充分的系列以及重要性不同的工程类别等, 如何分别加成, 又加成后的设计值将来出现的风险怎样? 为要解决这些问题, 水文统计法应运而生, 即用频率分析法来推求设计值。其优点是: 可以根据水文系列的统计规律进行计算和分析, 得到不同情况下的安全系数或加成值。这样采取的安全系数, 就有了一个比较客观的尺度, 能按统计规律自动反映出来, 为统一取用水文设计值提供了科学依据。

增加安全系数法, 实际上是用频率分析法对水文系列进行外延的问题。现在, 通用以一定数学模型(频率分布曲线)作为外延的工具。外延有误差, 其与外延的远近成正比。同时, 加上其他误差(如水文测验、方法性和系列代表性等误差)的交织与干扰, 使外延误差复杂化。为减少这类误差, 积累了许多经验, 如详细审查资料、设法展延系列、增加历史洪水和对频率计算结果进行合理性分析等。这些都是为提供可靠设计值的有效措施。

由于实践需要, 水文频率分析法得以不断发展, 成为水文学中一支不可缺少的力量。近半个世纪以来, 我国在水文频率分析领域内, 做了大量的理论研究、方法探索 and 实际应用工作, 积

收稿日期: 1999-04-10; 修订日期: 1999-06-20

作者简介: 金光炎(19 -), 男, 浙江绍兴人, 安徽省水利科学研究院教授级高级工程师。主要从事水文分析和计算、水资源评价和计算、城市水文学研究。主要著作有《水文统计原理与方法》《平原地下水资源评价》《城市水文学》等 7 部, 发表学术论文 70 余篇。

累了许多经验;对频率计算成果,采用多种方法、综合分析、合理选定的原则,提高了成果的客观性和精度。这是具有中国特色的水文频率分析的实践结果。特别是近几十年来,由于信息的扩大和计算机技术的普及,使这方面的工作更有新的进展、新的认识和新的成功。

本文将回顾水文频率分析的发展历史,叙述和比较各种方法的应用,着重于我国在这一领域中的成就。

1 水文频率分析的历史回顾

应用水文频率分析方法,已有百年左右的历史,为实际应用的需要,不断得到发展和充实。现粗分为两个时期加以叙述。

1.1 发展初期和简单应用时期^[1,2]

水文频率分析法约始于 1880~1890 年,美国的 Herschel 和 Rafter 首先应用了频率曲线(当时称为历时曲线)。1896 年, Horton 把频率分析法用于径流研究中,多为正态分布的应用。到了 1913~1914 年, Fuller 和 Hazen 相继发表论文,叙述频率方法的应用。Hazen 提出用纵坐标为对数分格的概率格纸,于 1921 年开始在这种格纸上图解适线,这是对数正态分布的最早应用。

1921 年, Hall 设想用皮尔逊曲线族来配适水文资料。1924 年, Foster 提出了应用皮尔逊 III 型曲线的方法,并制成了离均系数 Φ 值表,给频率计算带来了方便,并得到广泛应用。

我国最早研究,始于 30 年代初期。1933 年,周镇伦应用正态分布和皮尔逊 III 型分布对美国雨量资料作了计算。1937 年,陈椿庭把我国长江、黄河、永定河、泾河和淮河的洪水流量,用对数正态分布和皮尔逊 III 型分布进行频率分析。

到了 40 年代,水文频率分析法的应用愈来愈多,出现了其他一些频率分布型式,如极值 I 型分布、 β 分布(简称克-门分布)和对数皮尔逊 III 型分布等,使频率曲线有更多的备选线型。

1.2 继续发展期和普遍应用期

新中国成立(1949 年)后,为了适应水利事业蓬勃发展的需要,我国水文工作者在吸取国外有关经验的同时,结合当地水文资料,做了许多水文频率分析工作。1955~1956 年,林平一、陈志恺组织一批水利技术人员,进行洪水频率计算方法的研究,结合我国的水文资料和实际情况,对已有的方法进行比较和择优。1956 年 11 月,在全国水文计算学术讨论会上,对水文频率分析中的选样方法、经验频率公式、统计参数估计、频率曲线线型、抽样误差和研究方向等,进行了讨论,并有技术总结^[3]。1957 年,原北京水利科学研究所印发了《暴雨及洪水频率计算方法的研究》报告,这是我国最早一部比较系统叙述水文频率分析问题的文献。

1954 年,淮河流域发生了特大洪水,治淮委员会开展了全面的流域规划工作。在此期间内,做了大量的频率分析计算。特别是,通过众多的频率计算适线,得到了 1d、3d、7d 等的短历时暴雨的统计参数:偏态系数 C_s 为离差系数 C_v 的 3.5 倍。这是这个关系的首次发现,经过以后几十年的实践,表明暴雨系列 $C_s = 3.5C_v$ 在我国有普遍的意义。

到了 50 年代和 60 年代初,《水文计算经验汇编》两集^[3,4]和《水文统计原理与方法》^[1]的出版和有关论文的发表,对水文频率分析方法有了较为全面的认识,并为今后应用提供了指导性意见。例如推荐:用年最大值法取样,以皮尔逊 III 型作为频率曲线的线型,用 $m/(n+1)$ 公式计算经验频率,加入历史洪水进行频率计算,通过适线法调整频率曲线的统计参数和设计值,以

及用合理性分析方法来综合所计算的结果。几十年的实践表明, 这些意见是符合我国实际情况的, 并已为有关规范(如《水利水电设计洪水规范》等)所采纳。

把频率分析方法用于水文学科上, 历来的争论是不断的。有代表性的较大两次争论是: 50年代初期苏联学者们的讨论^[5], 1958年及其以后几年中我国水文界对频率分析的争论。通过这些争论和经过多年的实践, 表明了水文学中正确应用频率方法是不可缺少的, 作为一种技术途径而存在是合适的。

1976年华东水利学院等单位 and 1980年丛树铮等相继发表了应用统计试验法于水文频率分析中的研究成果^[6,7], 他们用大量模拟资料对经验频率公式和各类统计参数估计法(包括适线法中适线准则)等作了比较和讨论。1981年, 华东水利学院主编了《水文学中的概率统计基础》^[8], 这是我国第一部高等院校水文统计类的教材。

80年代之后, 水文频率分析方面的研究成果愈来愈多, 提出了更多的方法, 对水文学科的发展起到了很大的作用。

2 频率曲线线型

水文频率分析, 不仅要设计值在已有的资料系列范围内进行内插, 而更主要的是作外延计算。频率曲线实际上是一种资料分布统计规律表达形式的模型, 是一种外延或内插的频率分析工具。

水文系列总体的频率曲线线型是未知的, 通常选用能较好拟合多数水文系列的线型。很多分析表明, 水文资料的分布是偏态的, 应该选取偏态分布类的线型。自20世纪初期对数正态分布和皮尔逊Ⅲ型分布提出和应用以来, 各国学者对线型选择、分布特性、曲线拟合、各型曲线比较和水文应用等, 做了大量的探索和分析工作。

2.1 Γ 分布(皮尔逊Ⅲ型)曲线

三参数 Γ 分布曲线是国内外最多应用的一种, 它能较好地拟合水文资料系列, 但仍有一部分得不到满意的结果。由于各地的水文情势差别很大, 水文成因各异, 致使其有一定的局限性。特别在偏态系数较大($C_s > 2$)时, 频率曲线尾部趋平, 不符合多数干旱、半干旱地区中小河流的水文特征。

该型曲线使用方便, 可利用离均系数 Φ 值表计算频率 P 时的设计值 x_p , 即 $x_p = \bar{x}(1 + \Phi C_v)$ 。 Φ 值表最早由Foster于1924年发表, 后经多次修订与扩展, 其中较大修订的几次是: 60年代初期, 笔者将该表增订至 $C_s = 0.0 \sim 6.4$ 及 $P = 0.001\% \sim 100\%$ ^[11]; 1969年, Harter发表了 $C_s = -9.0 \sim 9.0$ 及 $P = 0.01\% \sim 99.99\%$ 的表^[9]; 90年代初期, 笔者订正了Harter表中个别微差, 发表了有更广范围的 $C_s = 0.0 \sim 10.0$ 及 $P = 0.000001\% \sim 100\%$ 的表^[10], 借此使应用更为方便, 特别是用于资料模拟当 P 为非常小时的情况。

2.2 广义(指数) Γ 分布曲线

该型分布是将三参数 Γ 分布中的变数 $x - a_0$ 变换成指数型 $(x - a_0)^b$ 而得, 其中 b 为指数。当曲线起点坐标值 $a_0 = 0$ 时为克-门分布的特例, 并有 $C_s/C_v = 1 \sim 6$ 的模比系数 $K_p = X_p/\bar{X}$ 的表。它在苏联应用较多, 在我国北方少数地区对洪水系列适线较好。

用克-门分布拟合资料, 由于 a_0 固定为零, 使适线弹性不足。广义 Γ 分布中增加了指数 b , 适线弹性增大了。孙济良、李松仕等对该型分布的统计特性和水文应用作了较多的研究^[11,12]。

广义 Γ 分布有 4 个参数, 计算时要比三参数 Γ 分布多估计一个参数 b , 无疑是增加了分析的难度。

2.3 对数 Γ 分布曲线

该型分布曲线是将 Γ 分布中的变数取对数转换而得。1982 年, 美国《确定洪水流量频率指南》^[13] 中将其作为洪水频率计算的基本分布。1985 年, 李松仕对该型分布的统计特性作了详细分析^[14]。此指南经我国水文界在各地适线验证后, 一般情况为, 在北方地区频率曲线呈正偏, 而对南方多数洪水资料, 曲线呈负偏, 且有上限。

该指南中, 变数是取对数 ($\ln x$) 后进行计算的, 其偏态系数 C_{SL} 规定用单站资料的矩法计算值 C_{S1} 与地区综合值 C_{S2} 的加权平均值。然而, 若无足够长的资料, 偏态系数的不确定度较大, 使最终结果有偏。

2.4 极值分布曲线

极值分布分为三种型式: (1) 极值 I 型, 曲线两端无限, 国内外对其研究较多, 因它仅有两个参数, C_s 固定为 1.14, 适线弹性较差; (2) 极值 II 型, 曲线的下端有限和上端无限; (3) 极值 III 型, 曲线的下端无限和上端有限。

最近, 笔者对上述各型作了详细研究^[15], 并首次制订了离均系数 Φ 值表。当 C_s 较大时, 频率曲线下部有一定坡度, 较用 Γ 分布适线好。

2.5 对数正态分布曲线

变数取对数后服从正态分布者为对数正态分布。据文献 [1], 该分布的离均系数 Φ 表, 1921 年由 Hazen 制成, 后经数位学者修订与扩展^[10]。

2.6 小 结

目前, 常用的频率曲线, 多为上端无限型。按照水文物理概念, 曲线应有上限。1936 年, Slade 提出用两端有限的对数正态曲线^[16], 其上限用水文现象的物理性质来确定, 但他没有具体说明如何确定法。1958 年, 谢家泽建议^[17], 上限可取一定的极限重现期, 如万年、十万年或百万年, 经分析比较后选定。但在现有的技术水平下, 确定上限有难度, 故此类曲线尚未得到采用。

频率曲线的参数个数该取多少, 2 个参数, 计算容易, 但适线弹性差; 4 个或更多个参数, 在已有的资料条件下, 确定比较困难。现多采用 3 个参数, 通过合理性分析, 可以得到比较合适的结果, 成为最流行的原因。

频率曲线线型, 从正态分布、对数正态分布和皮尔逊曲线族开始, 将近一个世纪以来, 细分之已有几十种。有的学者希望能在物理概念上得到解释的线型, 看来未能如愿, 因而多倾向于以适线为主。各类频率曲线, 一般在资料系列范围内适线结果相近, 但外延部分常有较大差别, 慎选是必要的。可以认为, 计算简便, 统计概念明晰, 参数和设计值易于比较和综合, 且乐为广工作者采用者, 是可取的。

3 经验频率公式

水文频率计算中, 常采用适线法推求频率曲线的参数和设计值, 因而需要确定绘点位置的经验频率公式。迄今, 已有多种公式^[24], 有的含一定理论依据, 有的是经验性的。通过综合, 多数经验频率公式可表达如下列通式:

$$P = \frac{m - a}{n + b} \quad (1)$$

式中 n 为系列的项数; m 为各项自大而小排列的序次; a 和 b 为由指定条件而定的常数或可变的数。例如, 当 $a = b = 0$ 时为 1923 年的 California 公式。如果经验频率对称于中值, 则有 $b = 1 - 2a$, 式 (1) 成为

$$P = \frac{m - a}{n + 1 - 2a} \quad (2)$$

例如, $a = 0.5$ 为 1930 年的 Hazen 公式, $a = 0$ 为 1939 年的 Weibull 公式 (数学期望公式) 和 $a = 0.3$ 为 1953 年的 Beard 公式 (中值公式)。

经验频率公式, 除了纯经验性的之外, 主要从下列两个途径来考虑。

第一途径是把很大很大的样本系列 (近似作为总体) 划分成 k 个子样 (容量各为 n , k 亦很大)。取各子样第 m 个序位变数值 x_m 在总体中对应的概率 P_m , 可得一系列 P_{mi} ($i = 1, 2, \dots, k$)。研究此系列的某些特征值, 如数学期望或中值, 可导出相应的公式, 它们与分布型式无关。

第二途径与上一途径相似, 不同的是将各子样的 x_m , 组成一系列 x_{mi} ($i = 1, 2, \dots, k$), 求其与特征值对应的概率。例如, 取数学期望或均值 \bar{x}_m , 再计算 $P = P(\bar{x}_m)$, 此 P 值一般与分布型式有关。

各种经验频率公式已有详述^[18]。近期, 我国学者对 Γ 分布的数学期望公式作了不少研究。例如: 1984 年, 季学武等用统计试验等方法^[19], 得到 $n = 30, 50, 100$ 及 $C_s = 0 \sim 2$ 间若干个 C_s 时式 (2) 中的 a 值; 1984 年, 华家鹏主要用数值积分法计算得 $C_s = 1 \sim 4$ 时的 a 值 (见水文, 1984 年第 4 期); 1991 年, 朱元生等对这个问题进行了讨论, 并示例说明其绘点问题 (见水文, 1991 年第 5 期); 1994 年, 笔者详细地计算了式 (1) 中的 a 和 b 值^[18]。

到目前为止, 水文经验频率公式已有数十个, 其精度各异。对于同分布有关的公式, 如果分布是对称型的, 可用对称性公式 (2) 做分析, 否则用对称性的公式就会有误差。

4 统计参数的估计

对常用的频率曲线, 需要估计 3 个参数, 既 \bar{x} 、 C_v 及 C_s 。估计这些参数的方法较多。已经知道, 矩法中三阶矩有较大误差, 影响 C_s 的精度, 一般不单独使用。极大似然法只用到 3 个一阶矩, 所得结果不够灵敏, 且其计算与分布形式有关, 求解较繁, 亦未普遍应用。现将通用的适线法和其他几种方法简述于后。

4.1 适线法

适线法是将所选的频率曲线配适经验点的方法, 使其拟合最佳。不同拟合准则会有不同的结果。

(1) 目估适线法 这种方法的经验性很强, 适线灵活, 不受频率曲线线型的限制。适线时可以照顾重要的点子 (如历史洪水和精度较高的点) 以及有些只能定性不能定量的点据。特别地, 其结果在时空上作综合平衡时, 适线灵活的优点更为突出。另一方面, 有人认为此法的任意性较大, 不同工作者会得到不同的结果。

(2) 优化适线法 这种方法是取目标函数 F 为最小的估计方法, 即使

$$F = \sum_{i=1}^n |x_i - x_p|^k = \min \quad (3)$$

式中 x_i 为系列的各个值 ($i=1, 2, \dots, n$), x_p 为与 x_i 有相同频率 P 的频率曲线上相应的值, n 为系列项数, k 为幂次。取 $k=2$ 为最小二乘法; 取 $k=1$ 为最小一乘法。这是目前常见的两种方法, 它们的结果常有明显的差异。由于资料和计算过程均有误差, F 也有一定的误差。如果允许 F 有一个误差摆动范围, 则结果亦会有相应的变幅。据一些实例表明, 用最小二乘法适出的曲线是通过点群中心, 而最小一乘法所得的曲线必然通过 3 个点 (碰巧时可通过更多个点), 其结果偏向于所通过的点。

4.2 权函数法

1984 年, 马秀峰提出了单权函数法^[20], 其中引入了一个权函数 $\varphi(x)$, 利用由此组成的一阶和二阶权函数矩来推求 C_s , 系以 Γ 分布为例列出了计算公式, \bar{x} 和 C_v 用矩法计算。该法的要点是 $\varphi(x)$ 的选取, 经推导, 取了正态密度函数。该法避免了三阶矩的计算, 但因正态分布密度值在 $x = \bar{x}$ 处为最大, 离 \bar{x} 愈远则密度值愈小。显然, 用此法是增加了靠近均值部位变数的权重, 减弱了系列两端变数值 (如最大值和最小值) 的作用。

1990 年, 刘光文认为影响设计洪水精度的参数, 首先是 \bar{x} 和 C_v , 其次才是 C_s 。因而他提出了改进的权函数法——双权函数法^[21], 即引入第二个权函数来提高 C_v 的精度, 并用数值积分法计算权函数矩。取与单权函数法相似的导演, 得到 C_v 与 C_s 的计算公式。通过对一些理想系列的检验, 参数精度比单权函数法有所提高。由于此法中仍有似单权函数法中 $\varphi(x)$ 的项, 对结果有影响。

4.3 概率权重矩法

1979 年, Greenwood 等提出了此法^[22]。当时认为将此法用于 Γ 分布上, 由于无法将 x 表达为分布函数 $F(x)$ 的显式, 致不能应用。之后, 宋德敦、丁晶研究指出^[23], 在 x 与 $F(x)$ 为非显式时亦能应用。接着, 李松仕导出了一套比较简单的计算公式^[24]。

该法只用到与 x 有关的 3 个一阶矩, 推求参数常感不够灵敏。

4.4 模糊数学法

使用适线法时, 频率曲线拟合水文点据是否最优, 其判别是模糊的, 故可用模糊数学的方法, 取隶属函数作为权重来估计参数。

1997 年, 谢崇宝等提出了估计 Γ 分布参数 C_v 和 C_s (\bar{x} 用矩法计算)^[25]。基本思路是: 对于一系列, 当指定频率 P_i ($i=1, 2, \dots, n$) 时, 其相应的实测点 x_i 与频率曲线上的值 x_i^0 之差 (误差), 设服从正态分布, 以密度函数值 $f(x_i)$ 表示之:

$$f(x_i) = \frac{1}{\sin \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x_i - x_i^0)^2}{2s_i^2}\right\} \quad (4)$$

式中 s_i 为 x_i 的标准差。显然, 当 $x_i = x_i^0$ 时 $f(x_i)$ 有最大值 $1/s_i \sqrt{2\pi}$, 令其为相应的隶属函数 $\mu(x_i) = 1$ 。这样, 隶属函数为

$$\mu(x_i) = \exp\left\{-\frac{(x_i - x_i^0)^2}{2s_i^2}\right\} \quad (5)$$

使 $\prod_{i=1}^n \mu(x_i) = \max$ 或 $\prod_{i=1}^n |x_i - x_i^0|^k \mu(x_i) = \min$ ($k=1$ 或 2), 可以得到参数的解。

邱林、陈守煜等和邓育仁、丁晶等也提出了类似的方法 (分别见水利学报, 1998 年第 1 期和全国水文计算进展和展望学术讨论会论文选集, 河海大学出版社, 1998)。

4.5 小 结

(1) 对于三参数的分布而言, 只要给予3个条件, 一般均能解得结果。条件不同, 结果也不同。例如, 采用3个一阶矩来估计参数, 会显得结果不够灵敏。又如, 对均值附近的点子给予较大权重, 所得频率曲线很可能偏离大值点, 不利于曲线的外延。

(2) 目估适线法, 任意性和经验性较大, 但适线时容易考虑资料系列的具体情况作灵活调整, 并可在时空上对结果进行合理性分析, 得到比较合适的综合结果。

(3) 其他几种方法, 各有其特设的条件, 一般可得唯一解。然而, 在时空上作比较时, 常会出现一些不协调现象, 如各种时段的频率曲线在概率格纸上相交, 相似地区的结果相差较大等; 还有, 定性资料不能加入计算。不过, 在进行统计试验时, 由于工作量太大, 不可能用目估适线法, 这类方法则有其优点了。

5 特殊水文资料的应用

5.1 历史洪水(包括古洪水)的应用

洪水系列中常有一些特异值(特大洪水), 对其详细审查和考证后加入频率计算, 有助于频率曲线的外延。近10多年来, 我国对古洪水的研究有了较大进展^[26], 将古洪水加入频率分析, 有利于复核已有的频率计算成果。

将含有特大洪水系列点绘在概率格纸上, 常会出现脱节或重迭的现象。1963年, 钱铁提出了有特大洪水时实测系列的经验频率计算公式^[27], 即将实测系列各项按频率均匀缩放于特大洪水系列之后。此后, 文献[6]对其作了扩展。

实测系列经验频率如此计算后, 还会有两个问题: 一是特大洪水个数必须无一遗漏, 否则就会影响全部实测系列的频率值; 其次是仍然有特大洪水高挂或实测系列头部低垂的现象。因而, 笔者建议对特大洪水和实测系列分别计算经验频率, 先对实测系列适线, 再按特大洪水系列的分布情况配出一条线, 后者可由实测系列适出的线上加相应抽样误差而得, 以作为重要工程的保证安全设计值^[28]。

5.2 具有零值项资料的频率计算

在干旱地区, 有些水文系列中含有若干个零值资料, 可用比例法进行频率计算^[1]。此外, 毛赛珠提出用中值适线法(见水文, 1985年第6期)及杨力行介绍用II型乘法分布来拟合频率曲线(见水文, 1992年第3期)。

6 结 语

水文频率分析法的应用, 已有百年左右的历史, 从初期的简单分析计算发展到目前含有丰富内容的研究与实践, 从纯理论和经验处理发展到现阶段有实用价值的各种方法, 走过的道路是不平凡的。多少年来, 随着资料的增长、计算技术的普及以及信息和经验的积累, 都给合理提供频率分析成果创造了有利条件。

我国自50年代开始, 在水文频率分析工作中, 吸取各国经验但不囿于这些经验, 参照国外有关规范但不死搬这些规范, 创造性地做了大量分析研究, 不仅在理论探讨上、处理方法上、同实际资料的拟合验证上以及对成果的合理性分析上都做出了出色的贡献, 形成了一套符合中国

实情的、能基本上解决实际问题的理论和方法。当然,现在还不能说已是十分完善了,尚须继续努力,不断探索,以期更趋完善和实用。

水文频率分析的主要目的是频率曲线的外延,不论用那种方法,对于内插部分,所得结果一般不会有较大差别,但频率曲线常需外延。因此,尽量延长系列、增加可靠的历史洪水、缩短外延的幅度,是减少误差的一个途径。再则,结果必须通过合理性分析,做到时空上综合平衡,避免用单一时段和单一站点所得成果的片面性,使其在水文和统计意义均合情合理。同时,还应采取多种途径的结果相互比较和验证,以期得到更为合理的成果。

分析计算成功与否,关键是资料要可靠,方法要合理,避免机械地资料加统计。对大量的水文工作来说,应尽量方法简单、原理清晰、操作方便、易于检查,以有利于方法的推广和应用。对成果的合理性分析十分重要,需要集水文专家们的知识和经验才能完成。所以建立这方面的专家系统,应予以重视。

总之,在水文学科中正确应用频率分析法是卓有成效的。虽然,曾一时有过怀疑和异议,但通过争论和实践,更加认识到这种方法是解决水文问题的一个有效途径,具有远大的发展前景。

参考文献:

- [1] 金光炎 水文统计原理与方法[M] 北京: 中国工业出版社, 1964 1~ 338
- [2] 水利部水文司 中国水文志[M] 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 214~ 216, 267~ 271.
- [3] 水利部北京水利科学研究院水文研究所 水文计算经验汇编[C] 北京: 水利出版社, 1958 7~ 360
- [4] 水利水电科学研究院水文研究所 水文计算经验汇编, 第二集[C] 北京: 中国工业出版社, 1964 1~ 183
- [5] 陈家琦编译 苏联水文界关于水文学发展方向的学术争论 水利译丛[C] 1957, 6: 19~ 28
- [6] 华东水利学院水文系等 水文计算中参数估计方法的统计试验研究[J] 应用数学学报, 1976, 1: 39~ 48
- [7] 丛树铮, 谭维炎等 水文频率计算中参数估计方法的统计试验[J] 水利学报, 1980, 3: 1~ 14
- [8] 华东水利学院主编 水文学的概率统计基础[M] 北京: 水利出版社, 1981 1~ 461
- [9] Harter H L. A new table of percentage points of Pearson type III distribution[J] Technometrics, 1969, 11(1): 177~ 187.
- [10] 金光炎 水文水资源随机分析[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1993 1~ 408
- [11] 孙济良, 肖玉泉 指数 Γ 分布及其对洪水极值分布适应性的研究[C] 水利水电科学研究院论文集, 第 28 集 北京: 水利电力出版社, 1988 17~ 25
- [12] 李松仕 指数 Γ 分布及其在水文中的应用[J] 水利学报, 1990, 5: 30~ 37.
- [13] Interagency Advisory Committee on Water Data, et al Guide for Determining Flood Flow Frequency[C] Bulletin 17B of Hydrology Subcommittee, Mar 1982
- [14] 李松仕 对数皮尔逊III型频率分布统计特性分析[J] 水利学报, 1985, 9: 43~ 48
- [15] 金光炎 广义极值分布及其在水文中的应用[J] 水文, 1998, 2: 9~ 15
- [16] Slade J J. An asymmetric probability function[J] Trans ASCE 1936, 101: 35~ 61.
- [17] 谢家泽 关于合理解决水文频率计算方法的问题[J] 水利学报, 1958, 4: 15~ 32
- [18] 金光炎 水文分析中的经验频率[J] 水文, 1994, 1: 1~ 9
- [19] JIXuewu, et al Plotting positions for Pearson type-III distribution[J] Journal of Hydrology. 1984 74: 1~ 29.

- [20] 马秀峰 计算水文频率参数的权函数法[J] 水文, 1984, 4: 1~ 8
- [21] 刘光文 皮尔逊III型分布参数估计[J] 水文, 1990, 4: 1~ 15, 1990, 5: 1~ 14
- [22] Greenwood J A, et al Probability weighed moment: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form [J] Water Resources Research. 1979, 15(5): 1049~ 1054
- [23] 宋德敖, 丁晶 概率权重矩法及其在 P-III分布中的应用[J] 水利学报, 1988, 3: 1~ 11
- [24] 李松仕 概率权重矩法推求 P-IV型分布新公式[J] 水利学报, 1989, 5: 39~ 48
- [25] 谢崇宝, 袁宏源等 P-III型理论频率曲线参数估计——模糊极值法[J] 水文, 1997, 3: 1~ 7
- [26] 詹道江 洪水计算的新途径——古洪水研究[J] 河海大学学报, 1988, 3: 11~ 20
- [27] 钱 铁 在有历史洪水情况下洪水流量经验频率的确定[J] 水利学报, 1964, 2: 50~ 54
- [28] JN Guang-yan Problems in statistical treatment of flood series[J] Journal of Hydrology, 1987, 96(1~ 4): 173~ 184

A Review of Hydrologic Frequency Analysis

JN Guang-yan

(Anhui Water Resources Research Institute, Bengbu 233000, China)

Abstract: In this paper, the history of the hydrologic frequency analysis and research is reviewed, the commonly encountered problems, such as the type of frequency curves, the empirical frequency formulas, estimation of statistical parameters and application of special data, are described. The summary of main accomplishments for the frequency analysis in recent 50 years is emphasized, and the analysis idea, the exploring study, the practical application and the practical experience are dissected. It is considered that, now there are a set of hydrologic frequency methods having Chinese specialty are developed to provide the scientific grounds for engineering needs and to act as contribution for development of the hydrologic science.

Key words: hydrologic frequency analysis; frequency curves; empirical frequency formula; statistical parameters; data simulation