

线性矩法与常规矩法 对太湖流域降雨频率分析的比较研究

梁玉音¹,刘曙光¹,钟桂辉¹,周正正¹,胡艳²

(1.同济大学土木工程学院,上海 200092;2.太湖流域管理局水文局(信息中心),上海 200434)

摘要:介绍了线性矩法的基本理论,并与常规矩法进行了初步的比较与分析,说明了其理论上的优越性;以太湖流域的雨量资料为例,选取4个站点分别应用线性矩法和常规矩法估计其不同重现期下年极值降雨频率设计值;最后,利用 Monte Carlo 方法对太湖流域内96个站点数据进行模拟,比较线性矩法和常规矩法所估计的统计参数。结果表明:线性矩法估计的参数在精确性、不偏性及稳健性方面较常规矩法更优。

关键词:参数估计;线性矩法;常规矩法;水文统计

中图分类号:P333 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2013)04-0016-06

1 引言

洪水灾害是经济损失最严重、人口伤亡最多和社会影响最大的自然灾害之一^[1]。中国大部分地区的洪水由暴雨所致^[2],根据暴雨资料推算设计洪水,是我国设计洪水计算的重要途径之一。在利用设计暴雨推算设计洪水时,假定二者具有相同的频率,因而用流量资料推求设计洪水所采用的频率分析计算原理和方法基本上都适用于设计暴雨^[3]。在实际应用中,频率分析计算是推求设计洪水时最为常用和有效的方法^[4]。

20世纪60年代以来,根据我国洪水资料的验证,认为皮尔逊型(P-型)分布曲线可能适合我国大多数洪水系列,因而《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL44—2006)中规定“频率曲线的线型采用P-型。对特殊情况,经分析论证后也可采用其他线型”^[5]。此外,由于各地洪水特征有所不同,国内外还推荐使用广义极值分布(GEV),对数正态分布(GNO)等分布曲线进行洪水频率分析^[6]。

频率分析中,合理准确地估计分布曲线的相关参数,是后续计算工作的前提与基础。目前,主要的参数估计方法有常规矩法、极大似然法、权函数法、适线法、概率权重矩法以及线性矩法等。在我国设计洪水计算工作中,通常应用常规矩法、极大似然法及适线法配合

P-型曲线进行水文频率分析^[7]。

极大似然法由于其计算方法的繁琐,而且对于包括P-型分布在内的某些分布曲线无法得出解析解,使得其应用存在着局限性;适线法在应用中受人为因素影响较大,计算结果有较大出入^[8-9];常规矩法是数理统计中最常用的参数估计方法,刘光文^[10],金光炎^[8],丛树铮^[7],林炳章^[11]等许多国内外专家学者在研究中指出,该方法所得估计参数的均值较总体均值偏小,因而影响其对设计洪水(暴雨)估计值的准确性。

线性矩法作为一种新的参数估计方法,自1990年 Hosking^[12]提出以来,已在美国、英国等工程项目设计中广泛应用。美国国家海洋大气管理总署(NOAA)下属的水文局(OHD)从1990年起开展分区线性矩法在防洪设计标准应用的研究^[13],并于2006年提出了一套应用线性矩法结合地区分析法进行暴雨频率分析的完整(End to end)系统。目前,该系统已经在美国全国范围内推广,其在水文气象一致区的分区基础上,对美国全国进行暴雨频率计算,并提供了估算时段从30min至60d、重现期为1~1000a的暴雨频率估计值,计算了估计值置信度为90%的置信区间,同时提供了网上的图表查询;目前,该成果已纳入美国国家防洪设计标准中^[14]。近年来,中国学者如陈元芳^[15-16]等对线性矩法进行了理论分析与实际应用方面的研究。刘曙光

收稿日期:2012-02-21

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201001047);中央高校预研项目“村镇区域防洪和防汛灾害综合防治关键技术与示范”(NO.0290219007)

作者简介:梁玉音(1988-),女,北京人,博士研究生,研究方向为水文计算。Email: lyy_001988@sina.com

等^[17]应用区域线性矩法对黄河下游进行洪水频率分析。随着线性矩在国内的发展,金光炎^[18],李太星^[19]等学者^[20]相继对线性矩法与其他参数估计方法进行了比较分析。本文对线性矩法与常规矩法,在理论上进行比较分析,并应用太湖流域的降雨资料,配合我国最具代表性的P-型曲线,对线性矩法与常规矩法的估计结果进行分析与评价。

2 线性矩

2.1 定义

线性矩(L-moment)定义为次序统计量的某种线性组合的期望值^[12,21-22]。

设 $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq X_{3:n} \leq \dots \leq X_{n:n}$ 为样本容量为 n 的随机序列的次序统计量,定义变量 X 的 r 阶线性矩为^[21]:

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} EX_{r-k:r} \quad r=1,2,\dots \quad (1)$$

式中: $EX_{r-k:r}$ 为样本容量为 r ,排在第 $r-k$ 位的次序统计量的期望值。

因此,根据线性矩的定义,前四阶线性矩可以表示如下:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= EX \\ \lambda_2 &= \frac{1}{2} E(X_{2:2} - X_{1:2}) \\ \lambda_3 &= \frac{1}{3} E(X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}) \\ \lambda_4 &= \frac{1}{4} E(X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}) \end{aligned} \quad (2)$$

对应样本的前四阶线性矩可表示为^[12]:

$$\begin{aligned} l_1 &= n^{-1} \sum_{i=1}^n x_{i:n} \\ l_2 &= \frac{1}{2} \binom{n}{2}^{-1} \sum_{i=j+1}^n \sum_{j=1}^{n-1} (x_{i:n} - x_{j:n}) \\ l_3 &= \frac{1}{3} \binom{n}{3}^{-1} \sum_{i=j+1}^n \sum_{j=k+1}^{n-1} \sum_{k=1}^{n-2} (x_{i:n} - 2x_{j:n} + x_{k:n}) \\ l_4 &= \frac{1}{4} \binom{n}{4}^{-1} \sum_{i=j+1}^n \sum_{j=k+1}^{n-1} \sum_{k=l+1}^{n-2} \sum_{l=1}^{n-3} (x_{i:n} - 3x_{j:n} + 3x_{k:n} - x_{l:n}) \end{aligned} \quad (3)$$

一般地,其 r 阶样本线性矩可表示为^[21]:

$$l_r = r^{-1} \binom{n}{r}^{-1} \sum_{n \geq i_1 \geq i_2 \geq \dots \geq i_r = 1}^n \dots \sum_{i_2=i_1+1}^{n-r+2} \sum_{i_1=1}^{n-r+1} \left[\sum_{k=1}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} x_{i_{r-k}:n} \right] \quad r=1,2,\dots \quad (4)$$

为了更好地描述分布曲线的统计特征,类似于常规矩法中的 C_V 、 C_S 和 C_k ,将线性矩系数定义为:

$$\text{样本线性离差系数}(L-C_V): \quad t = \frac{l_2}{l_1} \quad (5)$$

$$\text{样本线性偏态系数}(L-C_S): \quad t_3 = \frac{l_3}{l_2} \quad (6)$$

$$\text{样本线性峰度系数}(L-C_k): \quad t_4 = \frac{l_4}{l_2} \quad (7)$$

2.2 实用表达式

由式(1)可以发现,线性矩可以利用次序统计量线性组合的期望值表示,这种线性组合依据的是变换的勒让德多项式:

$$\lambda_r = \int_0^1 x P_{r-1}^* [F(x)] dF(x)$$

式中: $P_r^*(u) = \sum_{k=0}^r \frac{(-1)^{r-k} (r+k)!}{(k!)^2 (r-k)!} u^k$ 是变换的 r 阶勒让德多项式。它和传统意义上的勒让德多项式(P)之间的转化关系为: $P_r^*(x) = P_r(2x-1)$ 。具体可将前几阶的转化关系表示如式(8)(参见林炳章,NOAA/NWS/OHD, Seminar on Regional L-moments Anglysis Method, “地区线性矩分析法讲习班”报告,水利部水文局,2004年12月,南京):

$$\begin{aligned} P_0(x) &= 1 & P_0^*(x) &= 1 \\ P_1(x) &= x & P_1^*(x) &= P_1(2x-1) = 2x-1 \\ P_2(x) &= \frac{1}{2}(3x^2-1) & P_2^*(x) &= P_2(2x-1) = 6x^2-6x+1 \\ P_3(x) &= \frac{1}{2}(5x^3-3x) & P_3^*(x) &= P_3(2x-1) = 20x^3-30x^2+12x-1 \end{aligned} \quad (8)$$

因此,若随机变量的分布为 $F(x)$,则其前四阶线性矩为:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \int_0^1 x dF(x) \\ \lambda_2 &= \int_0^1 x [2F(x)-1] dF(x) \\ \lambda_3 &= \int_0^1 x [6F^2(x)-6F(x)+1] dF(x) \\ \lambda_4 &= \int_0^1 x [20F^3(x)-30F^2(x)+12F(x)-1] dF(x) \end{aligned} \quad (9)$$

3 线性矩与常规矩的比较

3.1 理论比较

统计学中可以证明,在常规矩法(C-moment)中,对于随机变量 X 的 p 阶原点矩,当 $p=1$ 时:

$$E(\bar{X}) = E\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(X_i) = \mu \quad (10)$$

即样本均值 \bar{X} 是总体均值 μ 的一个无偏估计。然而,当 $p>1$ 时, $(\bar{X})^p$ 便不是 μ^p 的无偏估计。例如,当 $p=2$ 时:

$$E(\bar{X}^2) = D(\bar{X}) + [E(\bar{X})]^2 = \frac{\sigma^2}{n} + \mu^2 \neq \mu^2 \quad (11)$$

对于随机变量 X 的 p 阶中心矩。当 $p=2$ 时,

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}^2 &= E(\bar{X}^2) - [E(\bar{X})]^2 = E\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2\right] \\ &= \frac{1}{n} E\left\{\sum_{i=1}^n [(X_i - \mu) - (\bar{X} - \mu)]^2\right\} \\ &= \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n E(X_i - \mu)^2 - nE(\bar{X} - \mu)^2\right] \\ &= \frac{n-1}{n} \sigma^2 < \sigma^2 \end{aligned} \quad (12)$$

可见, 样本二阶中心矩 S^2 不是总体方差 σ^2 的无偏估计, 同时估计量 $\hat{\sigma}^2 < \sigma^2$ 。可以证明, 当 $p > 2$ 时, 样本的 p 阶中心矩也并非总体 p 阶中心矩的无偏估计, 并且当 p 越大, 估计量 $\hat{\sigma}^p$ 偏小的程度也随之增大。

在水文频率分析中, 常常需要利用样本对总体变差系数 (C_V) 和偏态系数 (C_S) 进行估计, 然后进行水文频率计算与预测。其中变差系数 (C_V) 和偏态系数 (C_S) 的计算公式如式 (13) (14) 所示:

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (13)$$

$$C_S = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3} \quad (14)$$

在利用常规矩法进行参数估计时, 需要用到二阶、三阶、甚至更高阶的中心矩。由于 σ^2 偏小, 使得利用常规矩法所计算的样本偏态系数 (C_S) 估计值会偏大。

在进行水文频率分析时, 常用的分布函数是 P-型分布曲线式 (15)。

$$\begin{aligned} P &= \frac{\left(\frac{2}{\bar{x} C_V C_S}\right)^{\frac{4}{C_S}}}{\Gamma\left(\frac{4}{C_S}\right)} \int_x^\infty \left(x - \bar{x} + \frac{2C_V}{C_S} \bar{x}\right)^{\frac{4}{C_S}-1} \\ &\quad \cdot \exp\left[-\frac{2}{\bar{x} C_V C_S} \left(x - \bar{x} + \frac{2C_V}{C_S} \bar{x}\right)\right] dx \end{aligned} \quad (15)$$

注意到偏态系数 (C_S) 的估计值偏大, 变差系数

(C_V) 的估计值偏小, 而乘积 $C_V C_S = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot \bar{x} \cdot \sigma^2}$ 也同

样偏大。由于式 (15) 较为复杂, 证明较为繁琐, 故简要对其进行定性分析。由于幂函数的变化程度远大于指

数函数, 因而式中的 $\left(\frac{2}{\bar{x} C_V C_S}\right)^{\frac{4}{C_S}}$ 和 $\left(x - \bar{x} + \frac{2C_V}{C_S} \bar{x}\right)^{\frac{4}{C_S}-1}$ 项对式子的影响更大, 由于这两项的估计值均偏小, 进而会使得估计值偏小, 即设计洪水 (暴雨) 的估计值偏小, 从而产生较大的估计误差。

相比于常规矩法, 线性矩法在参数估计方面要稳健得多。从式 (2) 可以得知, 线性矩法的各阶矩是样本本次序统计量的某种线性组合的期望值。从式 (3) 也可以看出, 在据定义, 各种线性矩系数, $L-C_V, L-C_S, L-C_k$ 是对应的线性矩的商 (式 5~7), 这就降低了常规矩法在计算偏态系数时利用三阶矩所产生的误差。因此, 线性矩法在理论上比常规矩法更优。

3.2 实例分析

本文以太湖流域为例, 应用两种参数估计方法, 从降雨量估计值以及参数估计值两个角度进行比较。

3.2.1 太湖流域概况

太湖流域地处长江三角洲的南翼, 北抵长江, 东临东海, 南滨钱塘江, 西以天目山、茅山等山区为界, 总流域面积达 $3.69 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国经济最发达、大中城市最密集的地区之一。太湖流域湖泊众多, 河道总长约 $12 \times 10^4 \text{ km}$, 河道密度达 3.25 km/km^2 , 河流水系纵横交错, 湖泊星罗棋布, 是全国河道密度最大的地区, 也是我国著名的水网地区。该地区经济的快速发展促进了水利工程水平的迅速提升, 对水文频率分析的要求也日益提高, 如何确定更好的参数估计方法, 进而使得估计结果更加准确, 成为水文频率分析的重点与难点。

本文选取太湖地区 96 个雨量站的降雨资料, 按暴雨季节水汽入流方向、地形地貌以及极值降雨的统计特性, 将太湖流域划分为 7 个水文气象一致区: 太湖区 (I)、杭嘉湖区 (II)、武澄锡虞区 (III)、阳澄淀泖区 (IV)、湖西区 (V)、浙西区 (VI) 和浦东浦西区 (VII), 对其进行降雨频率分析。站点分布情况如图 1 所示。



图 1 太湖流域雨量站点分布图

Fig.1 Distribution of the rainfall stations in the Taihu Lake basin

3.2.2 实际数据检验

为了更加准确地将线性矩法与常规矩法对不同重现期降雨量估计值的差异进行比较,本文选取了96个

站点中系列长度较长的4个站点,配合P-型分布曲线,分别应用以线性矩法和常规矩法,对4个站点进行降雨量估计,绘制成点图,如图2所示。

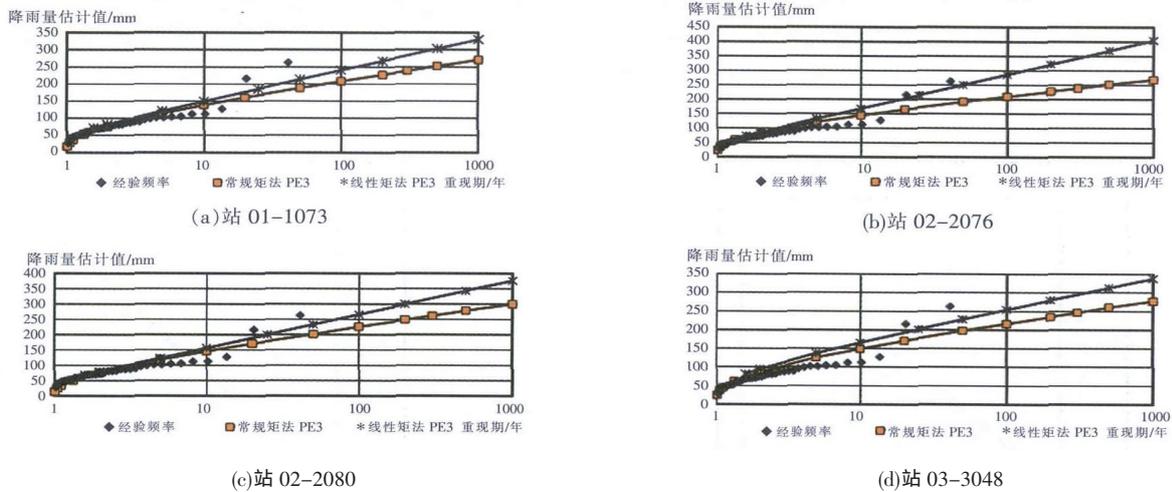


图2 线性矩法与常规矩法降雨量估计值对比
Fig.2 Estimates of rainfall by methods of L-moments and C-moments

从图2可以看出,线性矩法与常规矩法对于不同重现期降雨量的估计值存在一定差异。当重现期在10a以内,两种参数估计方法的差异不大,且都与实际数据的拟合程度较好;当重现期大于10a,二者的估计值开始有所不同;当重现期为100a以上,差异明显增大。当重现期较长时,传统的常规矩法的估计值明显偏小,当改用线性矩法进行估计时,估计情况有所好转。由于所利用的样本序列长度仅为30a左右,用来估计重现期超过100a的降雨量可靠性较差。因而,仅比较重现期小于100a的情况,应用线性矩法得到的估计值仍优于常规矩法的估计值。所以,应用线性矩法可以适当降低常规矩法产生的估计误差所带来估计值偏小的隐患。

3.2.3 估计参数的比较

影响和评价参数估计好坏的因素很多,例如不偏性,有效性,稳健性等等。本文利用太湖流域96个雨量站的年极值降雨系列对线性矩法与常规矩法进行不偏性及稳健性的比较。

林炳章^[1]等在美国NOAA进行全国暴雨频率图集的更新研究工作中,提出应用Monte Carlo方法进行不偏性及稳健性的比较。该方法首先对原始数据应用Monte Carlo方法进行1000次模拟,然后分别应用线性矩法与常规矩法求出生成数据的平均线性偏态系数 $SL-C_s$ 和平均偏态系数 SC_s ,将他们与原始数据的线性偏态系数 $L-C_s$ 和偏态系数 C_s 进行比较。本文作者在对太湖流域的研究中,进行了类似的分析,结果如图3~4所示。

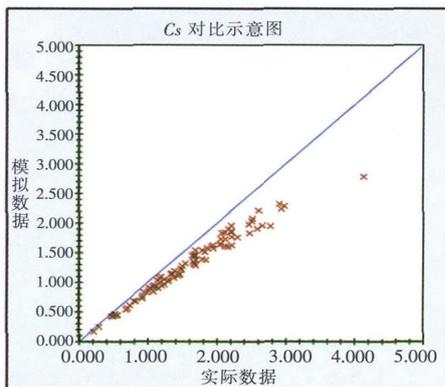


图3 常规矩法实际与生成数据 C_s 不偏性比较
Fig.3 Comparison of unbiasedness between real data C_s and simulated C_s

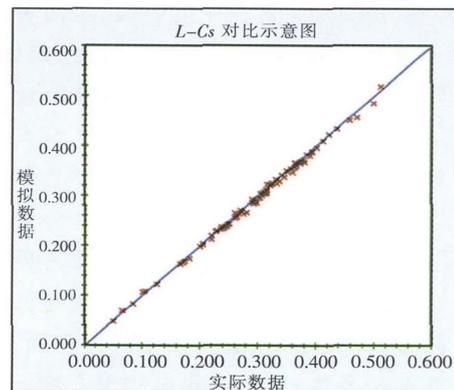


图4 线性矩法实际与生成数据 $L-C_s$ 不偏性比较
Fig.4 Comparison of unbiasedness between real data $L-C_s$ and simulated $L-C_s$

从图3~4可以看出,应用常规矩法所估计的偏态系数 C_s 与对角线偏离较远,呈现了很大的偏态性特征,而应用线性矩法估计的线性偏态系数 $L-C_s$ 不偏性良好。

稳健性是衡量参数估计方法平稳与否的重要指标,反映了该估计方法对奇异值的模拟程度。同时,样本容量的大小也在一定程度上影响参数估计的准确性,一般的,样本容量越大,奇异值的影响越小,参数

估计越准确,参数估计的稳健性越好;反之,参数估计方法的稳健性越差。为了比较线性矩法与常规矩法的稳健性,本文应用 Monte Carlo 方法,保持样本参数估计值不变,将每个站点的降雨资料模拟延长至100a,再利用线性矩法与常规矩法分别比较模拟资料系列的相关参数: $L-C_s$ 和 $SL-C_s$, C_s 和 SC_s ,结果见图5~6。

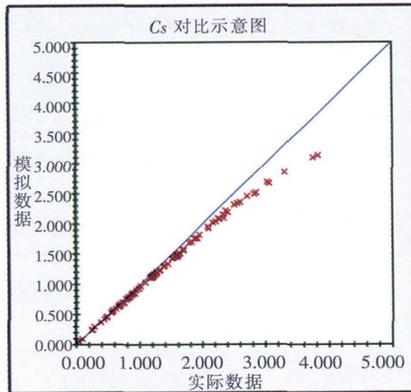


图5 常规矩法实际与生成数据 C_s 稳健性比较
Fig.5 Comparison of robustness between real data C_s and simulated C_s

由图5~6看出,当降雨资料延长至100a,常规矩法仍然无法准确地估计所有偏态系数 C_s ;对比之下,线性矩法估计的线性偏态系数 $L-C_s$ 在估计参数的稳健性方面效果更好。

由此可见,在不偏性和稳健性方面,线性矩法比常规矩法具有更大的优越性,线性矩法所估计的参数较常规矩法更为准确、可靠。

4 结论与展望

本文从理论上介绍了线性矩法与常规矩法的差异,同时利用水文频率分析中最常用的P-型分布曲线,应用太湖流域的年极值降雨资料,对两种参数估计方法进行了分析比较,得到了以下结论与建议:

(1)理论方面,线性矩作为样本次序统计量线性组合的期望值,相比于常规矩法,从理论上大大降低了常规矩法在计算时用到的样本三阶以上中心矩所带来的估计误差。

(2)实际数据比较方面,在对不同重现期下极值降雨估计值的比较过程中,线性矩法比常规矩法的估计值更准确。在参数估计的不偏性和稳健性方面,常规矩法估计的样本偏态系数 C_s 具有明显的偏态性,当样本中出现特大值时表现得尤为显著;而线性矩法估计的样本

线性偏态系数 $L-C_s$ 偏态性很小,对特大值的模拟能力也很强,因此线性矩法在不偏性和稳健性方面表现得更优。

(3)工程设计应用中,需要对数据进一步处理,剔除一致区中站点间的相关性,以确保估计的准确性。

(4)线性矩法作为一种新的参数估计方法较传统的参数估计方法有着更好的统计性能,并已被广泛应用于美国、英国等工程项目中。线性矩法在我国的水文频率分析及相关工程项目的设计中具有广阔的发展前景,以及很高的学术与应用价值。

参考文献:

- [1] 王家祁. 中国设计暴雨和暴雨特性的研究 [J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 328-336. (WANG Jiaqi. Research on design storm and characteristics of rainstorms in China [J]. Advances in Water Science, 1999, 10(3): 328-336. (in Chinese))
- [2] 王家祁, 骆承政. 中国暴雨和洪水特性的研究 [J]. 水文, 2006, 6(3): 33-36. (WANG Jiaqi, LUO Chengzheng. Research on the characteristics of rainstorms and floods in China [J]. Journal of China Hydrology, 2006, 6(3): 33-36. (in Chinese))
- [3] 长江水利委员会水文局, 南京水利科学研究所水文水资源研究所. 水利水电工程设计洪水计算手册 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995. (Bureau of Hydrology, CWRC, Hydrology and Water Resources Department, NHRI. Handbook of Design Flood Calculation in Hydraulic and Hydropower Engineering [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1995. (in Chinese))
- [4] 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. Research and Evaluation of Design Flood [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))
- [5] SL44-2006, 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. (SL44-2006, Regulation for Calculating Design Flood of Water Resources and Hydropower Projects [S]. (in Chinese))
- [6] 孙济良. 关于洪水频率分析中的线型问题[J]. 水利水电技术, 1987, (6). (SUN Jiliang. Problems on distribution functions in frequency analysis [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1987, (6). (in Chinese))
- [7] 丛树铮, 谭维炎. 水文频率计算中参数估计方法的统计试验研究[J]. 水利学报, 1980, 6(3): 1-14. (CONG Shuzheng, TAN Weiyan. Statistical testing research on the methods of parameter estimation in hydrological computation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1980, 6(3): 1-14. (in Chinese))
- [8] 金光炎. 水文频率分析述评[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 319-327. (JIN Guangyan. A review of hydrologic frequency analysis [J]. Advances in Water Science, 1999, 10(3): 319-327. (in Chinese))
- [9] 梁忠民. 水文频率分析稳健性统计方法述评[J]. 河海科技进展, 1992, (4): 36-42. (LIANG Zhongmin. A review of robust statistical methods for hydrological frequency analysis [J]. Advances in Science and Technology of Hohai University, 1992, 12(4): 36-42. (in Chinese))
- [10] 刘光文. 皮尔逊型分布参数估计 [J]. 水文, 1990, (4,5). (LIU Guangwen. Parameter estimate of the P- distribution [J]. Hydrology, 1990, (4,5). (in Chinese))
- [11] Lin B. et al. Regional frequency studies of annual extreme precipitation in the United States based on regional L-moments analysis [A]. EWRI Proceedings [C]. Omaha, Nebraska, U.S.A.. 2006, 12.
- [12] J.R.M. Hosking. L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics [J]. Journal of the Royal Statistical Society, Series B 52(1990) 105-124.
- [13] Bingzhang Lin, John L.Vogel. A comparison of L-moments with method of moments [A]. ASCE Proceedings of the Symposium, San Francisco [C]. 1993: 443-448.
- [14] B. Lin, G. M. Bonnin and D. L. Martin et al. Regional frequency studies of annual extreme precipitation in the United States based on regional L-moments analysis [A]. Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress [C]. 2006.
- [15] 陈元芳, 沙志贵, 顾圣华, 等. 可考虑历史洪水对数正态分布线性矩法的研究[J]. 河海大学学报, 2003, (1): 80-83. (CHEN Yuanfang, SHA Zhigui, GU Shenghua, et al. Study on L-moment estimation method with consideration of historical floods for log-normal distribution [J]. Journal of Hohai University, 2003, 31(1): 80-83. (in Chinese))
- [16] 陈元芳, 沙志贵, 陈剑池, 等. 具有历史洪水时 P- 分布线性矩法的研究[J]. 河海大学学报, 2001, 29(4): 25-29. (CHEN Yuanfang, SHA Zhigui, CHEN Jianchi, et al. Study on L-moment estimation method for P- distribution with historical flood [J]. Journal of Hohai University, 2001, 29(4): 25-29. (in Chinese))
- [17] LIU Shuguang, ZHU Huiling, MA Gangfeng. Flood frequency study in the lower reach of the Yellow River by regional L-moments analysis method [J]. Methodology in Hydrology, 2007, 311: 257-263.
- [18] 金光炎. 矩、概率权重矩与线性矩的关系分析[J]. 水文, 2005, (5): 1-6. (JIN Guangyan. Relationship between moment, probability-weighted moment and linear-moment [J]. Journal of China Hydrology, 2005, 25(5): 1-6. (in Chinese))
- [19] 李太星, 宋萌勃, 皮尔逊型分布参数估计方法的对比分析[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2008, (3): 44-47. (LI Taixing, SONG Mengbo. Comparative analysis of parameter estimating methods of Pearson Type- distribution [J]. Journal of Changjiang Engineering Vocational College, 2008, 25(3): 44-47. (in Chinese))
- [20] 李宏伟. 水文频率参数计算方法与应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009. (LI Hongwei. Methods and Application of Estimating Parameters in Hydrologic Frequency Analysis [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2009. (in Chinese))
- [21] Hosking, J.R.M., and Wallis J.R.. Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [22] J. R. M. Hosking. Some theory and practical uses of trimmed L-moments [J]. Journal of Statistical Planning and Inference, 2007, 137: 3024-3039.
- [23] 张玉刚. 对太湖流域及东南诸河水土保持规划的思考[A]. 中国水土保持学会规划设计专业委员会2011年年会论文集 [C]. 2011: 82-84. (ZHANG Yugang. How to make soil and water conservation planning for Taihu basin and southeastern rivers [A]. Proceedings of Planning and Design Committee of Chinese Soil and Water Conservation Society [C]. 2011: 82-84. (in Chinese))

Comparison between Conventional Moments and L-moments in Rainfall Frequency Analysis for Taihu Lake Basin

LIANG Yuyin¹, LIU Shuguang¹, ZHONG Guihui¹, ZHOU Zhengzheng¹, HU Yan²

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Bureau of Hydrology (Information Center) of Taihu Basin Authority, MWR, Shanghai 200434, China)

Abstract: This paper investigated the differences between conventional moments (C-M) and L-moments (L-M), when being applied to estimate parameter and design rainfalls in the Taihu Lake Basin. It introduced to the theory of L-moments, and provided the advantages of L-moments over conventional moments by comparison. With data of the Taihu Lake Basin, the performance of these tests was taken via a series of Monte Carlo simulation experiments. The four stations with longer rainfall data series were chosen to estimate design rainfalls by fitting the P- distributions based on the conventional moments and L-moments, respectively. The results show that L-M-based tests are more reasonable on annual extreme precipitation estimation and have better performance in terms of unbiasedness and robustness on parameter estimation over the C-M.

Key words: parameter estimations; L-moments; frequency analysis; conventional moments; hydrologic statistics