

拓扑克里格法与普通克里格法 在区域洪水频率分析中的比较研究

顾西辉¹, 张强¹, 黄国如²

(1. 中山大学地理科学与规划学院水资源与环境系, 广东 广州 510275;

2. 华南理工大学土木与交通学院, 广东 广州 510641)

摘要:依据北江(珠江流域支流)流域6个水文测站年最大洪峰流量资料,分别用Top-kriging(拓扑克里格法)和普通克里格法进行区域洪水频率估计。采用均方根误差作为频率分布线型拟合优度指标。运用线性矩法进行单站洪水频率分析,确定10、50、100、1000年一遇设计洪水值。在此基础上,从Top-kriging和普通克里格法设计洪水估计不确定性和相对线性矩法单站洪水频率的估计误差两个方面比较Top-kriging和普通克里格法。结果表明:(1)Top-kriging法是更好的线性无偏估计,相比普通克里格法更适合于区域洪水频率估计;(2)Top-kriging法设计洪水估计不确定性明显小于普通克里格法;(3)Top-kriging法设计洪水估计结果更接近线性矩法单站洪水频率分析结果。

关键词:极值分布;Top-kriging;普通克里格;线性矩

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)05-0006-06

1 引言

自1998年长江大水之后,防洪安全再次成为人们关注的问题,防洪标准、设计洪水与工程安全密切相关^[1]。水文学中,推求设计洪水的方法,主要有三种:频率法(统计途径)、可能最大降水(PMP)或洪水(PMF)法和工程所承担的风险和工程费用之间的经济平衡研究^[2]。

国内在设计洪水研究方面取得了大量成果。张丽娟等基于线性矩法研究了武江站超定量(POT)和年最大值取样(AMS)在洪水频率分析中的优缺点^[3]。杨涛等基于线性矩法对珠江三角洲地区进行了区域洪水频率分析^[4]。李天元等建立了基于Copula函数的非连续序列洪水频率分析模型,并以长江三峡水库设计洪水为例验证该模型的可行性和合理性^[5]。郭文娟采用6种频率分布线型,对新疆地区6个分区38个水文测站年最大洪峰流量系列进行了频率分布模型的优选^[6]。董洁给出了非参数统计在洪水频率分析中参数估计中的

应用^[7]。

国外关于洪水频率的研究,主要分为三个方面:时间信息扩展、空间信息扩展和因果信息扩展^[8]。Merz等对澳大利亚575个流域分别采用指标洪水和地统计学中普通克里格(Ordinary Kriging)插值法进行区域洪水频率估计,认为:克里格插值由于良好的线性无偏性,设计洪水的估计结果总体优于指标洪水法^[9]。Skøien等则提出Top-kriging(Topological Kriging)法并在实际应用中与普通克里格插值法进行比较,认为:Top-kriging由于考虑了流域面积和流域巢状结构,比普通克里格法具有更好的线性无偏性^[10]。基于此,本文分别采用Top-kriging法和普通克里格插值法对北江流域6个测站进行区域洪水频率分析,并将结果与线性矩法计算的单站洪水频率进行比较以找出更好的进行区域洪水频率分析的方法,为区域洪水频率研究提供重要理论依据与实证研究案例。

收稿日期:2013-08-15

基金项目:国家自然科学基金项目(41071020)与新世纪优秀人才支持计划共同资助成果

作者简介:顾西辉(1990-),男,河南信阳人,硕士,主要从事气象水文学研究工作。E-mail:guxihui421@163.com

通讯作者:张强(1974-),男,山东沂水人,博士,教授,博士生导师,主要从事流域气象水文学研究、旱涝灾害机理、流域地表水文过程及其对气候变化的响应机制与机理以及流域生态需水等领域的研究工作。E-mail:zhangq68@mail.sysu.edu.cn

2 研究区域与数据

北江是珠江流域第二大水系,干流全长约 468km,总落差约 300m,流域面积 46 800km²(图 1)。北江主要有四大支流:桷水,流域面积 7 200km²;武水,流域面积 7 000km²;连江,流域面积 10 200km²;翁江,流域面积 4 930km²。北江降水充沛,年平均雨量在 1 300~2 400mm 之间,但是降水时空分布不均匀。空间上,降水分布大致有自南向北递减的规律。南部怀集、佛岗、清远一线以南,年雨量达 1 800mm 以上,中部连县、曲江、翁源一带年雨量约为 1 500~1 800mm,北部 1500mm 以下。流域中,英德-清远间干流附近地区是一个稳定的降雨中心地带,最大年雨量及最短历时最大暴雨均集中在这个地区。

时间上,每年 4~9 月的汛期集中了全年 80% 的降水量^[11]。

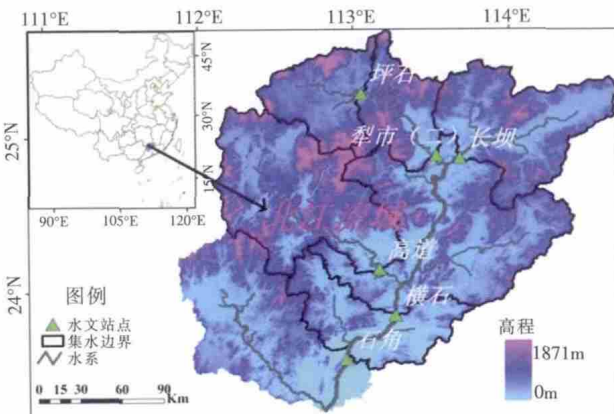


图 1 北江流域水文站点和集水区域分布示意图

Fig.1 The location of the hydrological stations and catchment areas in the Beijiang River basin

选取北江流域 6 个主要水文控制测站的日流量年最大值观测数据(长坝、高道、石角均为 1951~2010 年,坪石为 1964~2008 年,犁市(二)为 1955~2009 年,横石为 1956~1998 年)。流量数据由广东水文局提供,数据经过系统整编,质量可靠。

3 研究方法

北江流域 6 个站点属于同一个流域,地理位置相近,流域内地形、气候等相似,流域内径流系列具有空间相关性,可以认为满足区域洪水频率估计中要求的一致性,进行区域洪水频率分析。本文按照以下步骤验证拓扑克里格法和普通克里格法的区域洪水频率估计的合理性与准确性:(1)用线性矩法进行单站洪水频率

分析;(2)假设 6 个测站其中一个测站为未知资料测站,分别用普通克里格法和 Top-kriging 法进行频率分析;(3)分别将普通克里格法和 Top-kriging 法频率分析结果与线性矩法单站分析结果进行比较;(4)分别计算出普通克里格法和 Top-kriging 法设计洪水估计的不确定性。

普通克里格法主要基于距离权重插值估计无资料或者缺乏资料站点的洪水频率,拓扑克里格法考虑了自然水系的拓扑结构,将相似流域形状、面积纳入权重估计中,估计无资料或者缺乏资料站点的洪水频率。因此本文适用于估计区域内自然条件(各站点集水面积、高程、集水面积形状、站点之间的距离)具有相似性和空间相关性的区域洪水频率,流域内大型水利工程对本文估计结果的影响没有纳入本文的考虑之中,将成为下一步研究的重点。

3.1 极值分布线型及参数估计

目前极值分布线型主要有广义极值分布(Generalized Extreme Value Distribution, GEV)、广义逻辑斯谛分布(Generalized Logistic Distribution, GLO)、广义正态分布(Generalized Normal or 3-Parameter Log-Normal Distribution, GNO)、皮尔逊型分布(Pearson Type Distribution, PE3)以及极值一型-耿贝尔分布^[12](Gumbel distribution)。本文选用这 5 种分布线型,为选择最适合的极值分布线型,采用均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)作为拟合优度检验指标^[13]。并采用线性矩法^[14]对单站洪峰样本进行分布线型的参数估计。

3.2 普通克里格法

普通克里格法认为已知样本点的测量误差或者不确定性为 0,因此,已知样本点对未知样点的权重可以通过克里格方程组求解:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: μ 为拉格朗日乘数; $\gamma(x_i, x_j)$ 为两实测值的半变异函数值-伽玛值; $\gamma(x_i, x)$ 为未知样点与第 i 个实测值的半变异函数值-伽玛值。

相对于其他插值方法,克里格插值法可以提供插值估计的不确定性—克里格方差:

$$\sigma_k^2 = \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \gamma(x, x) + \mu \quad (2)$$

式中: σ_k^2 为克里格方差。

3.3 Top-kriging 法

Skphiem 等^[10]认为影响径流的变量主要有两种:一种为降水量、蒸发量、土壤特性等;另一种为流域河网结构和流域面积等。前一种可以概化为点变量,在计算半变异函数时,欧几里得几何距离是适用的。后一种在计算半变异函数时,欧几里得几何距离不适用。Top-kriging 将这两种变量信息结合起来,具体表现在:

$$\begin{aligned} \gamma_{12}(x_1, x_2) &= 0.5 \times \text{Var}(z(A_1) - z(A_2)) \\ &= \frac{1}{A_1 A_2} \int_{A_1} \int_{A_2} \gamma(x_1, x_2) dx_1 dx_2 - 0.5 \\ &\times \left[\frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_1} \gamma(x_1, x_2) dx_1 dx_2 + \frac{1}{A_2} \int_{A_2} \int_{A_2} \gamma(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $\gamma_{12}(x_1, x_2)$ 为流域面积分别为 A_1 和 A_2 之间的半变异函数值; Var 表示方差; $\gamma(x_1, x_2)$ 为点变异函数值。

公式(3)难以求出数值解,在实际应用中,把流域进行栅格化,用近似求和进行近似计算:

$$\begin{aligned} \gamma_{12}(x_1, x_2) &\approx \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \gamma(x_{1i}, x_{2j}) \\ &- 0.5 \left[\frac{1}{NN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma(x_{1i}, x_{1j}) + \frac{1}{MM} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \gamma(x_{2i}, x_{2j}) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

式中: M, N 分别为两个流域栅格点数。

公式(3)和公式(4)中包含的点变异函数 $\gamma(x_1, x_2)$ 的块金常数计算方法如下:

$$C_0(A_1, A_2) = 0.5 \left(\frac{C_0}{A_1} + \frac{C_0}{A_2} - \frac{2C_0 \times (A_1 - A_2)}{A_1 A_2} \right) \quad (5)$$

式中: $C_0(A_1, A_2)$ 为不同流域面积之间的块金常数; A_1, A_2 为两个流域之间重合的面积。

Top-kriging 法考虑了样本点的测量误差或者不确定性,并将其引入到样本点对未知样点权重的求解中:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma_{ij}(x_i, x_j) - \lambda_i \sigma_i^2 + \mu = \gamma_{i0}(x_i, x_0) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (6)$$

式中: σ_i^2 为第 i 个实测值的测量误差或者不确定性。

3.4 Gumbel 分布设计洪水估计误差

对 T 年一遇设计洪水进行对数转换,作为区域化

变量:

$$z = \ln(Q_T) \quad (7)$$

根据 Plate 的研究^[15], Gumbel 分布的 T 年一遇设计洪水的估计误差为:

$$\sigma_{Q_T}^2 = \frac{S_Q^2}{n} [1 + 1.1396K_T + 1.100K_T^2] \quad (8)$$

式中: $\sigma_{Q_T}^2$ 为估计误差; S_Q^2 为洪峰序列样本方差; n 为样本容量; K_T 是重现期 T 的函数:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} (\ln(-\ln(1-1/T)) + 0.5772) \quad (9)$$

$\sigma_{Q_T}^2$ 同样需要进行对数转换:

$$\sigma_i^2 = \ln(1 + \sigma_{Q_T}^2 / \mu_{Q_T}^2) \quad (10)$$

式中: μ_{Q_T} 为洪峰系列样本均值。

4 研究结果

4.1 北江区域极值分布函数的选取

基于线性矩法,对上述 5 种极值分布函数,进行参数估计,并以 RMSE 作为检验指标。以长坝站和高道站为例,研究结果表明(见图 2): GLO 分布曲线上端尾部相对最陡,大重现期设计洪水估计值相对较高, P- 分布曲线上端尾部相对最平,大重现期设计洪水估计值相对较低, Gumbel 分布曲线上端尾部介于 GLO 分布和 P- 分布之间,大重现期设计洪水估计值既不会较高,也不会较低。为了满足区域频率分布线型一致化,消除不同频率分布线型带来的误差影响,北江 6 个测站选择总体表现占优的 Gumbel 分布作为区域分布线型。

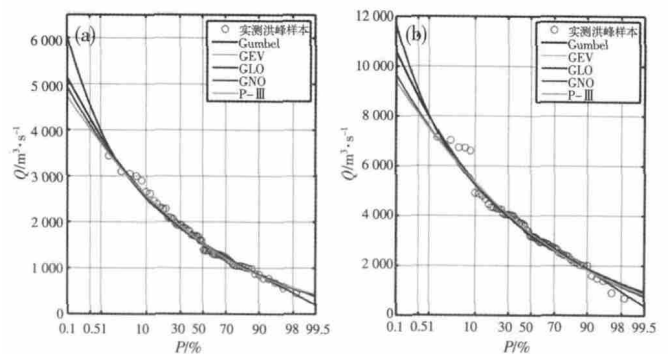


图 2 5 种极值分布拟合洪峰序列样本图。(a)长坝站;(b)高道站
Fig.2 Five kinds of extreme value distribution fitting peak sample sequence diagram. (a) Changba; (b) Gaodao.

4.2 半变异函数拟合

采用线性矩法,对北江 6 个水文测站进行单站洪水频率分析,选定 Gumbel 分布作为频率分布线型,估

计出 10、50、100、1 000 年一遇的设计洪水值, 并进行对数转换, 分别作为区域化变量。根据区域化变量, 求出实测半变异函数值(实测伽玛值), 用球状模型作为理论伽玛值的拟合模型, 采用非线性最小二乘法进行参数估计(图 3, 以 100 年一遇为例)。

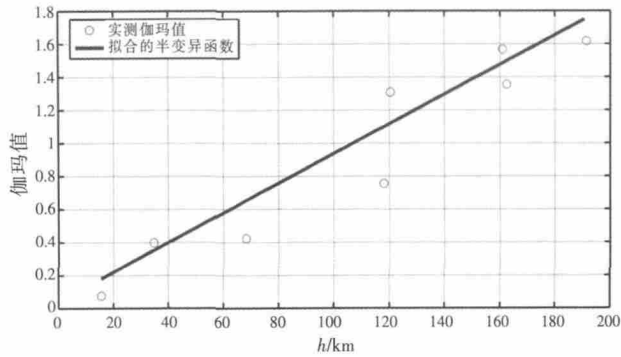


图 3 百年一遇实测伽玛值和拟合的半变异函数
Fig.3 The measured gamma value and fitting semivariogram for 100-year return

从图 3 可以看出, 大部分实测伽玛值位于拟合的半变异函数附近, 只有个别实测伽玛值偏离较远。图 4 比较了 10、50、100 年和 1 000 年一遇的实测伽玛值和理论伽玛值。从图 4 可以看出: 10、50、100 年和 1 000 年一遇的理论伽玛值大部分都高于实测伽玛值, 显示半变异函数对实测伽玛值有过高估计的趋势。可能因为分析中采用的测站数量偏少, 径流变量的区域化变异性和随机性代表性不足。但是从绝对误差条可以看出, 大部分理论伽玛值和实测伽玛值绝对误差较小, 显示半变异函数对实测伽玛值的过高估计程度不大。因此, 本文认为球状模型对实测伽玛值的拟合是适合的。

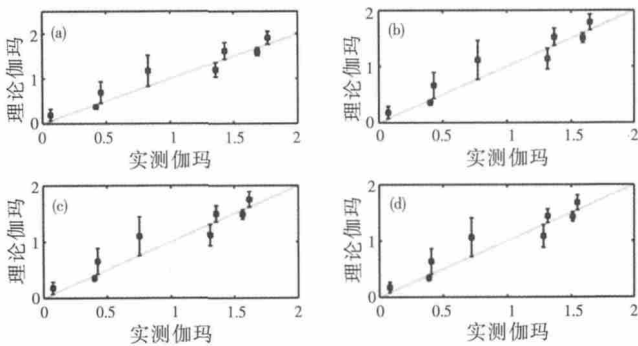


图 4 实测伽玛值和理论伽玛值比较图(方块表示理论伽玛值、误差条表示理论伽玛值和实测伽玛值的绝对偏差, 灰色线表示实测伽玛值和理论伽玛值相等)
(a) 10 年一遇; (b) 50 年一遇; (c) 100 年一遇; (d) 1 000 年一遇
Fig.4 The comparison between measured and the theoretical gamma value (Box represent theory gamma value, the error bars represent the absolute deviation of theoretical and measured gamma value, gray line indicates 1:1)
(a) 10-year return; (b) 50-year return; (c) 100-year return; (d) 1 000-year return.

4.3 交叉验证

为了验证普通克里格插值和 Top-kriging 插值的合理性, 采用交叉验证法对插值结果进行分析(图 5)。

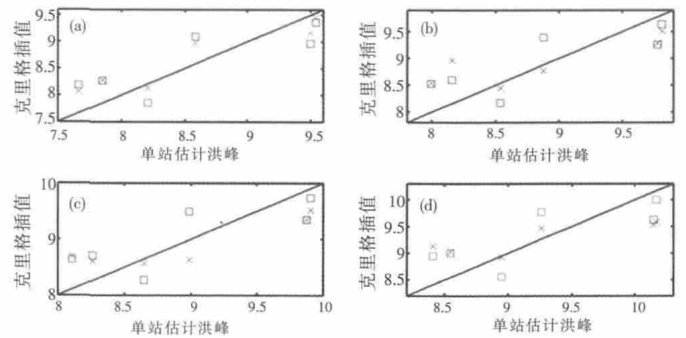


图 5 普通克里格法和 Top-kriging 法对北江 6 个测站频率分析结果(方块表示普通克里格插值结果, 叉表示 Top-kriging 插值结果, 灰色线表示线性矩法单站频率分析结果与克里格插值结果相等)。
(a) 10 年一遇; (b) 50 年一遇; (c) 100 年一遇; (d) 1 000 年一遇
Fig.5 The frequency analysis results of six stations used Ordinary Kriging and Top-kriging in Beijing, respectively (Box and fork represent interpolation results of Ordinary Kriging and Top-kriging, respectively, gray line indicates 1:1)
(a) 10-year return; (b) 50-year return; (c) 100-year return; (d) 1 000-year return.

从图 5 可以看出: 10、50、100 和 1 000 年一遇, 大部分测站, Top-kriging 法估计的设计洪水值比普通克里格法更要接近线性矩法估计的单站设计洪水值。个别测站, Top-kriging 法估计的设计洪水值几乎与线性矩法估计的单站设计洪水值相等。为了更清晰的看出 Top-kriging 法和普通克里格法设计洪水估计的差异, 从两方面分析: Top-kriging 法和普通克里格法设计洪水估计的不确定性(图 6); Top-kriging 法和普通克里格法相对线性矩法单站设计洪水估计的误差(图 7)。

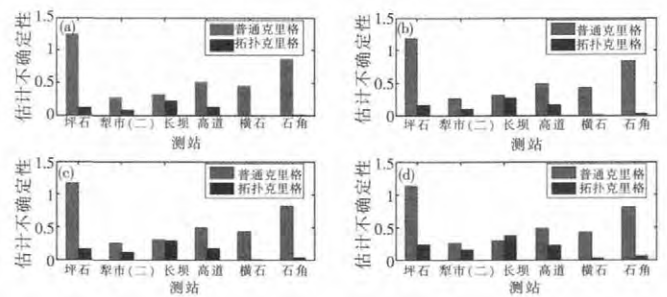


图 6 Top-kriging 法和普通克里格法设计洪水估计的不确定性
(a) 10 年一遇; (b) 50 年一遇; (c) 100 年一遇; (d) 1 000 年一遇
Fig.6 The design flood uncertainty estimated by Top-kriging and ordinary kriging, respectively
(a) 10-year return; (b) 50-year return; (c) 100-year return; (d) 1 000-year return.

图 6 说明, 10、50、100 和 1 000 年一遇设计洪水值, Top-kriging 法估计的不确定性都比普通克里格法

要小(除了高道站1000年一遇估计的设计洪水值),部分原因为Top-kriging法在确定估计权重时,考虑了样本测量值的误差 δ_i^2 。从趋势上看,普通克里格法设计洪水值估计的不确定性坪石站和石角站相对较大。从流域面积和水文测站地理分布上(图1)看,坪石站流域面积最小,位于北江流域最上端,石角站流域面积最大,位于北江流域最下端。Top-kriging法估计的不确定性,有随着流域面积增大而减小的趋势;从地理分布上(图1),坪石、犁市(二)、长坝和高道属于支流,不确定性明显大于位于主流的横石和石角两站。

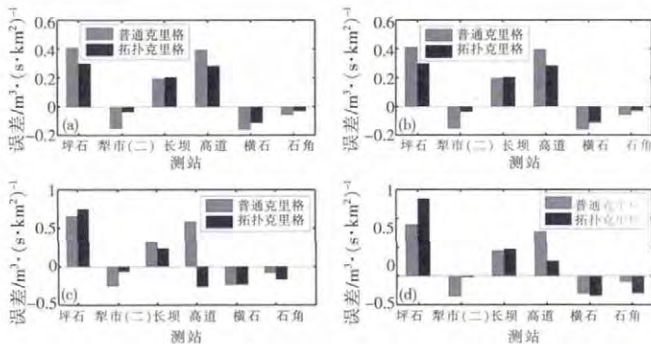


图7 Top-kriging法和普通克里格法相对线性矩法单站设计洪水估计的误差

(a)10年一遇;(b):50年一遇;(c)100年一遇;(d)1000年一遇

Fig.7 The design flood estimation error between L-moment single station and Top-kriging and ordinary kriging

(a) 10-year return; (b) 50-year return; (c) 100-year return; (d) 1000-year return.

假设线性矩法单站估计的设计洪水值为真实值,以Top-kriging法和普通克里格法估计的设计洪水值为估计值。用绝对误差除以面积消除分析中面积对误差的影响(图7)。图7显示:Top-kriging法相对线性矩法单站估计的误差,从总体上看,要比普通克里格法小或者优于普通克里格法。从水文测站地理分布上看,Top-kriging法和普通克里格法相对线性矩法单站估计的误差在北江流域下端表现优于上端。从设计洪水量级上看,Top-kriging法和普通克里格法相对线性矩法单站估计的误差,在10和50年一遇设计洪水表现优于100年一遇和1000年一遇设计洪水,趋势上,同一测站,误差随着设计洪水量级增加而增加。从权重上分析,普通克里格法赋予离估计测站距离更近的测站更高的权重,Top-kriging法赋予河网结构和流域面积相近的测站更高的权重(图8,以高道站50年一遇,坪石站1000年一遇为例)。图7中,50年一遇设计洪水,高道站Top-kriging法估计误差表现优于普通克里格法,从图8(a)、(b)中可以看出,Top-kriging法在估计高道站设计洪水

时,赋予和高道站河网结构和流域面积相近的犁市(二)站更高的权重0.51,普通克里格法赋予离高道站距离最近的横石站更高的权重0.62。图7中,千年一遇设计洪水,坪石站Top-kriging法和普通克里格法估计误差表现较差,从图8(c)、(d)中可以看出,Top-kriging法和普通克里格法在估计设计洪水时都赋予离坪石站距离最近的犁市(二)站更高的权重,分别为0.76、0.81,这导致了坪石站1000年一遇的设计洪水值的过高估计。

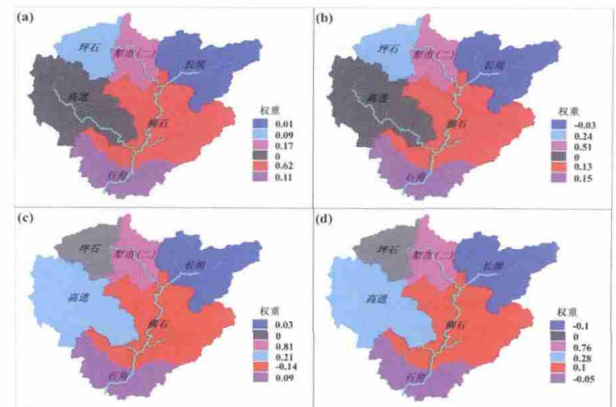


图8 普通克里格法和Top-kriging法估计设计洪水时的权重

(a)普通克里格法,高道站,50年一遇;(b)Top-kriging法,高道站,50年一遇;(c)普通克里格法,坪石站,1000年一遇;(d)Top-kriging法,坪石站,1000年一遇

Fig.8 The weight of the design flood estimated by ordinary kriging and Top-kriging, respectively

(a) Ordinary kriging, Gaodao, 50-year return; (b) Top-kriging, Gaodao, 50-year return; (c) Ordinary kriging, Pingshi, 1000-year return; (d) Top-kriging, Pingshi, 1000-year return

5 结论

本文以北江流域6个水文测站为例,分别用Top-kriging法和普通克里格法进行区域洪水频率估计;假设6个测站中其中一个测站为未知资料测站,用其余5个测站估计未知资料测站的洪水频率。并用线性矩法估计的单站洪水频率进行估计结果的验证。根据以上分析可以看出:

(1)Top-kriging法在区域洪水频率分析中是适用的,并且优于普通克里格法,是更好的线性无偏估计。

(2)从设计洪水估计的不确定性上,Top-kriging法表现明显优于普通克里格法。在不确定性的规律上,两者有着明显的不同:Top-kriging法,其估计的不确定性随着流域面积的增加而减小,干流测站不确定性小于支流测站不确定性;普通克里格法,其估计的不确定性,河流两端(最上端和最下端)最大,中间最小。

(3)从相对线性矩法单站洪水频率估计的误差上,Top-kriging法表现基本优于普通克里格法(个别测站除外)。从误差的规律上,两者既有相同点也有不同点:

两者相对线性矩法单站洪水频率估计的误差北江流域下端表现优于上端,同一测站,误差随着设计洪水的量级增加而增大(相同点);Top-kriging 法赋予流域面积相近和河网结构相似测站更高的权重,普通克里格法赋予距离更近的测站更高的权重(不同点)。

参考文献:

- [1] 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 Design Flood [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))
- [2] 王剑锋.洪水超定量序列频率分析计算[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010. (WANG Jianfeng. The Peak over Threshold Flood Series Frequency and Calculation [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2010. (in Chinese))
- [3] 张丽娟,陈晓宏,叶长青,等. 考虑历史洪水的武江超定量洪水频率分析 [J]. 水利学报,2013,44 (3):268-275. (ZHANG Lijuan, CHEN Xiaohong, YE Changqing, et al. POT flood frequency analysis with historical floods in Wujiang River [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013,44(3):268-275. (in Chinese))
- [4] 杨涛,陈喜,杨红卫,等. 基于线性矩法的珠江三角洲区域洪水频率分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2009,37(6):615-619. (YANG Tao, CHEN Xi, YANG Hongwei, et al. Regional flood frequency analysis in Pearl River delta region based on L-moments approach [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2009,37(6):615-619. (in Chinese))
- [5] 李天元,郭生练,粟飞,等. 基于 Copula 函数的非连续序列洪水频率分析[J]. 武汉大学学报(工学版),2011,44(6):681-684. (LI Tianyuan, GUO Shenglian, LI Fei, et al. Multivariate discontinuous flood frequency analysis using copulas [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2011,44(6):681-684. (in Chinese))
- [6] 郭文娟. 新疆洪水频率线型选择研究 [D]. 长沙:长沙理工大学, 2011. (GUO Wenjuan. The Research on Linetype Selection of Frequency Analysis about Design Discharge of Xijiang [D]. Changsha: Changsha University of Science, 2011. (in Chinese))
- [7] 董洁. 非参数统计理论在洪水频率分析中的应用研究 [D]. 南京:河海大学,2004. (Dongjie. Application and Research on Nonparametric Statistics Theory in Flood Frequency [D]. Nanjing: Hohai University, 2004. (in Chinese))
- [8] Merz R, Blöschl G. Flood frequency hydrology: 1. temporal, spatial and causal expansion of information [J]. Water Resources Research, 2008, 44(W08432):1-17.
- [9] Merz R, Blöschl G. Flood frequency regionalisation—spatial proximity vs. catchment attributes [J]. Journal of Hydrology, 2005,302:283 - 306.
- [10] Skøien J O, Merz R, Blöschl G. Top-kriging - geostatistics on stream networks [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2006,10:277-287.
- [11] 王琳. 北江中下游防洪体系优化调度策略及科学管理模式研究[D]. 广州:暨南大学,2003. (WANG Lin. Optimal Dispatch Strategy of Flood Control System of Middle-lower Reaches of Beijiang and Research on Scientific Management Mode [D]. Guangzhou: Jinan University, 2003. (in Chinese))
- [12] 朱惠玲. 区域线性矩法在黄河下游洪水频率分析中的应用研究[D]. 上海:同济大学, 2006. (ZHU Huiling. Flood Frequency Design in the Lower of Yellow River by Regional L-moments Method [D]. Shanghai: Tongji University, 2006. (in Chinese))
- [13] 顾文,陈葆德,杨玉华,等. IPCC-AR4 全球气候模式在华东区域气候变化的预估能力评价与不确定性分析 [J]. 地理科学进展, 2010,29(7):818-826. (GU Wen, CHEN Baode, YANG Yuhua, et al. Simulation evaluation and uncertainty analysis for climate change projections in east China made by IPCC-AR4 models [J]. Progress in Geography, 2010, 29(7):818-826. (in Chinese))
- [14] Hosking J RM. L-moments: analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics [J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1990,52:105-124.
- [15] Plate E J. Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure [M]. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1993.

Compare Top-kriging and Ordinary Kriging in Area Flood Frequency Analysis

GU Xihui¹, ZHANG Qiang¹, HUANG Guoru²

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. College of Civil and Transportation Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Based on the annual maximum peak flow data from the 6 hydrometry stations in the Beijiang River Basin, Top-kriging and ordinary kriging for regional flood frequency methods were respectively used to estimate area flood frequency. Root mean square error was used as a goodness of fit index of frequency distribution. Linear moment as a single station flood frequency analysis method was used to determine the design flood values of 10-year, 50-year, 100 year, 1000-year. Based on the above-mentioned, Top-kriging and ordinary kriging were compared in two aspects: design flood estimation uncertainty and single station flood frequency estimation error which based on linear moment method. The results show that: (1) Top-kriging is a better linear unbiased estimation, comparing to ordinary kriging method it is more suitable for area flood frequency estimation; (2) Top-kriging method of design flood estimation uncertainty is significantly less than the ordinary kriging; (3) Top-kriging method of design flood estimation is closer to the linear moment method single station flood frequency analysis.

Key words: extreme value distribution; Top-kriging; ordinary kriging; linear moment