

设计洪水频率曲线的粒子群优化适线法研究

姚德仓¹, 宋松柏²

(1. 陕西省宝鸡市冯家山水库管理局, 陕西 宝鸡 721300;

2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 应用现代智能优化算法,按照不同适线准则进行了设计洪水的频率计算。根据我国水利水电工程设计洪水计算规范,应用粒子群算法按照离(残)差平方和最小,离(残)差绝对值最小和相对离(残)差平方和最小准则,进行了设计洪水频率曲线参数的优化估计研究。通过实例验证,认为粒子群算法进行设计洪水频率曲线参数估计优于传统的经验适线法。与传统优化方法相比,粒子群算法对优化目标函数要求低,避免了大量的求导计算,是一种推求设计洪水频率曲线统计参数的新途径。

关键词: 设计洪水频率; 粒子群算法; 适线法

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)06—0112—04

中图分类号: P333. 2

Curve Fitting Method of Design Flood Frequency Based on Particle Swarm Optimization

YAO De-cang¹, SONG Song-bai²

(1. Fengjiashan Reservoir Management Bureau of Shaanxi Province, Baoji, Shaanxi 721300, China;

2. College of Water Resources and Architecture Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The purpose of the study was to compute design flood frequency by the optimized algorithm. According to the regulations of design flood frequency computation for water resources and hydropower projects, a curve fitting method of design flood frequency was presented by using the particle swarm optimization and applying the WLS, ABS, and WLS. The method was then applied to the practical computation of design flood frequency. Results indicate that the method presented in the study is better than the empirical fitting method. Comparing with other conventional optimization methods, it requires a lower target function and need not compute the differential coefficient. The method is a new way of inferring statistical parameters of design flood frequency curve.

Keywords: design flood frequency; particle swarm optimization; curve fitting method

我国现行的水利水电工程设计洪水频率计算采用适线法。其基本原理是认为经验点据的位置固定不变,且取决于洪水频率和洪水序列特征值。但洪水频率计算值为估计值,存在估计误差;洪水序列特征值为实测值,存在测量误差。所以,经验点据的位置并不固定,其相应的适线法具有一定的不确定性。实际洪水频率计算通过目估适线,最终确定洪水频率曲线的统计参数,在很大程度上依赖于计算者的实际计算经验^[1]。因此,设计洪水频率曲线参数的优化估计法引起了许多学者的高度重视,如非线性规划求解和

模糊优化适线法等^[1]。由于我国现行的洪水频率计算大多采用皮尔逊Ⅲ型概率分布曲线,离均系数 $\Phi(P, \bar{x}, C_v, C_s)$ 是洪水序列均值 \bar{x} 、变差系数 C_v 和偏态系数 C_s 的复杂函数,难以表示频率对 C_s 的偏导数。粒子群算法(particle swarm optimization, PSO)是一种模仿生物社会性行的一种全局优化算法,对优化目标要求较低,一般只需要知道其数值关系,不受函数连续性、光滑性的限制,避免了大量的求导计算^[2-10]。文献则根据离(残)差平方和最小进行了粒子群优化适线研究,取得了良好的效果^[1]。本文根据

收稿日期:2007-07-21

修回日期:2007-11-24

资助项目:国家自然科学基金项目(50579065);西北农林科技大学青年学术骨干支持计划和优秀博士论文基金

作者简介:姚德仓(1965—),男(汉族),陕西省岐山县人,工程师,主要从事水资源工程管理研究。E-mail:Yaodecang@163.com。

我国水利水电工程设计洪水计算规范,采用粒子群算法按照离(残)差平方和最小,离(残)差绝对值最小以及相对离(残)差平方和最小准则^[1],研究不同适线准则下的适线方法。应用 Matlab 7.0 编制了相应的计算程序,以文献[5]计算结果作为对比,进行了设计洪水频率曲线参数的优化估计研究。通过实例验证,认为粒子群算法进行设计洪水频率曲线参数估计优于传统的经验适线法。

1 设计洪水频率曲线适线准则

按照我国水利水电工程设计洪水计算规范,设计洪水频率曲线适线准则有:离(残)差平方和最小准则 OLS,离(残)差绝对值和最小准则(ABS)以及相对离(残)差平方和最小准则(WLS)。

OLS 适线准则,也称最小二乘法,设计洪水频率曲线适线的目标函数为^[1]:

$$S_L(\hat{\theta}) = \min \left\{ \sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}(1 + C_v \Phi(C_s, P_i))]^2 \right\} \quad (1)$$

ABS 适线准则为^[1]:

$$S_A(\hat{\theta}) = \min \left\{ \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}(1 + C_v \Phi(C_s, P_i))| \right\} \quad (2)$$

WLS 适线准则为^[1]:

$$S_w(\hat{\theta}) = \min \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{x}(1 + C_v \Phi(C_s, P_i))^2}{x_i} \right\} \quad (3)$$

式中: $\hat{\theta}$ ——参数, $\hat{\theta} = [\bar{x} C_v C_s]$, \bar{x} ——均值; C_v ——变差系数; C_s ——偏态系数; P_i ——频率; n ——系列长度; Φ ——离均系数,为频率 P_i 和 C_s 的函数,可查皮尔逊 III 型离均系数或数值计算。

2 粒子群优化算法

粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)是由 Eberhart 博士与 Kennedy 博士根据鸟类捕食行为而发明的一种新的全局优化进化算法。PSO 算法首先初始化一群随机粒子,然后通过迭代找到最优解。在每一次叠代中,粒子通过跟踪两个“极值”来更新自己。一个是粒子个体极值 pBest,另一个是整个种群的全局极值 gBest^[7-9]。

粒子在找到上述两个极值后,就根据下面两个公式来更新自己的速度与位置。

$$V = W * V + c_1 * \text{rand}() * (d - p) + c_2 * \text{rand}() * (d - p) \quad (4)$$

式中: V ——粒子速度; P ——粒子当前位置; d ——粒子个体极值; $\text{rand}()$ ——(0, 1)间的随机数; c_1 , c_2 ——学习因子, $c_1 = c_2 = 0.2$; W ——加权系数,取

值为[0.1, 0.9],按式(6)计算。

$$P = P + V \quad (5)$$

$$\omega = \omega_M - i \frac{\omega_M - \omega_i}{i_m} \quad (6)$$

式中: ω_M ——最大加权因子,取 0.9; ω_i ——最小加权因子,取 0.1; i ——当前迭代次数; i_m 最大迭代次数,取 100。

3 粒子群优化算法应用

本文以文献[5]洪峰流量系列为例,按式(1)——(3)适线准则,进行设计洪水频率曲线参数计算。

3.1 离均系数 Φ 计算

皮尔逊 III 型分布曲线密度为:

$$y = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} \quad (7)$$

式中: $\alpha = \frac{4}{C_s^2}$; $\beta = \frac{2}{x C_v C_s}$; $a_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{2C_v}{C_s}\right)$;

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx.$$

令 $t = \beta(x - a_0)$, 则 $P = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt$,

$t_P = \beta(X_P - a_0)$ 。经推导有^[10-15]

$$\Phi_P = \Phi(P, C_s) = \frac{C_s}{2} t_P - \frac{2}{C_s} \quad (8)$$

式中: Φ_P ——频率 P 和 C_s 对应的离均系数; $\Phi(P, C_s)$ 表示离均系数为频率 P 和 C_s 的函数。

根据文献[11-16] Φ 计算方法,本文采用 Matlab 不完全伽玛函数, t_p 的计算公式如式(9)。

$$t_p = \begin{cases} \text{gaminv}(1 - P, a, 1); & \text{当 } C_s > 0 \\ \text{norminv}(1 - P, 0, 1); & \text{当 } C_s = 0 \\ \text{gaminv}(P, a, 1); & \text{当 } C_s < 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中, gaminv 为 Matlab 不完全伽玛函数的逆函数; norminv 为 Matlab 为 Matlab 正态分布函数的逆函数。

3.2 设计洪水频率曲线参数优化计算

应用矩法计算洪峰系列参数值为 $\bar{x} = 1\ 246$, $C_{v0} = 0.46$ 。分别以式(1)——(3)适线准则为目标函数,离均系数 Φ 用式(7)——(8)计算。粒子群规模 $\text{pop}_{\text{size}} = 100$, 搜索区间为 $\bar{X} = [\bar{x}_0 - 0.1 \bar{x}_0, \bar{x}_0 + 0.1 \bar{x}_0]$, $C_v = [C_{v0} - 0.3 C_{v0}, C_{v0} + 0.3 C_{v0}]$, $\frac{C_s}{C_v} = [1, 10]$, 即 $\bar{\theta} = [\bar{x} C_v C_s]$ 。粒子最大速度 $\text{speed}_{\text{max}} = 100$, 最小速度 $\text{speed}_{\text{min}} = -100$, $\text{iter}_{\text{max}} = 100$ 。其它参数取值见(5)——(6)。

根据图 1 计算流程,应用 Matlab 7.0 编制了相应的计算程序,计算结果如表 1 所示。Present——

粒子当前位置; pBest——粒子个体极值; gBest——种群的全局极值迭代计算过程见图 2—4。
文献[5]目估适线结果均值 $\bar{x} = 1\ 246$, $C_v =$

0.60, $C_s/C_v = 2/5$, 这 3 种适线准则误差值见表 1。
本文优化适线结果均优于目估适线结果, 粒子群算法进行设计洪水频率曲线参数估计是可行的。

表 1 优化适线计算结果

适线准则	\bar{x}	C_v	C_s/C_v	目标函数值	目估适线结果
OLS	1 287.05	0.52	3.18	183 431.721 0	319 910
ABS	1 326.26	0.51	4.05	1 552.945 2	2 192
WLS	1 245.53	0.48	1.79	0.140 8	0.335 0

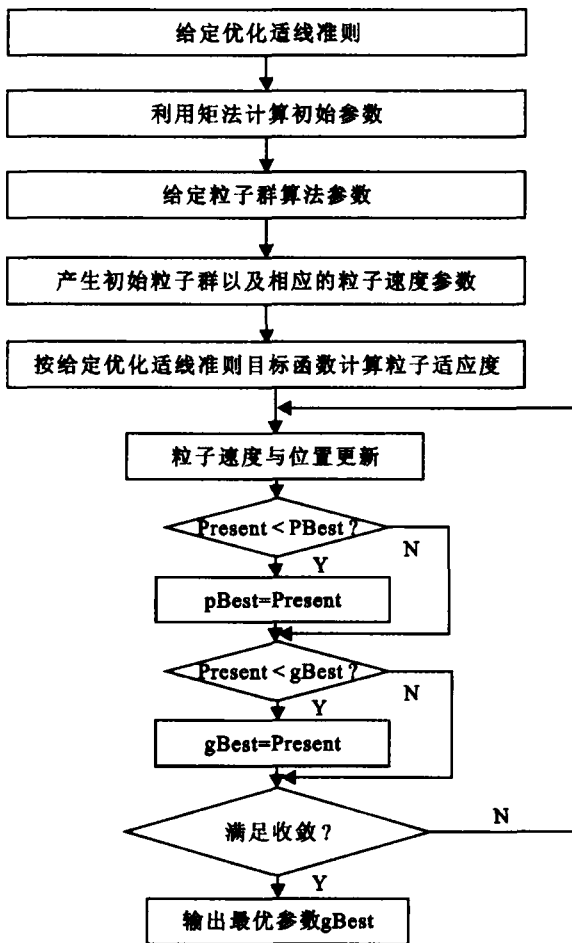


图 1 设计洪水频率曲线参数优化计算流程

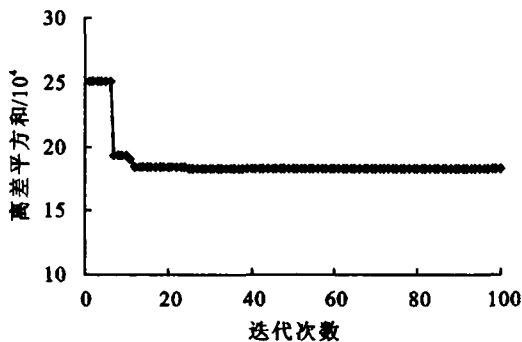


图 2 OLS 准则迭代过程

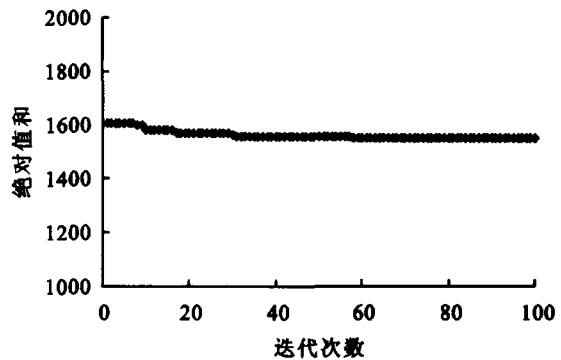


图 3 ABS 准则迭代过程

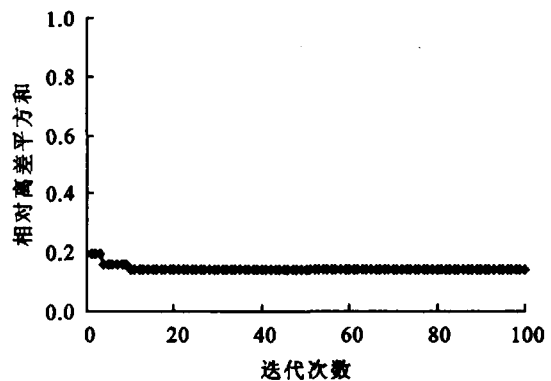


图 4 OLS 准则迭代过程

4 结论

本文基于粒子群优化算法进行了设计洪水频率曲线统计参数优化计算研究, 取得了较好适线效果。

(1) 按照我国现行的洪水频率计算规范中 OLS, ABS 和 WLS 这 3 种适线准则, 只要给出 3 种适线准则的适应度函数和皮尔逊 III 型概率分布参数 \bar{x} , C_v 和 C_s/C_v 的计算初值, 可直接通过迭代计算求解获得其统计参数。

(2) 给出了应用 Matlab 进行离均系数 Φ 计算的数值计算公式, 避免了离均系数 Φ 查表, 提高了计算精度。离均系数 Φ 计算也可适用正态分布和负偏态皮尔逊 III 型的水文要素频率计算。

(3) 文中算法具有较强的实用性, 对目标函数要

求低。按照粒子群算法,在迭代次数达到20次后,可收敛到最优参数值,是一种推求设计洪水频率曲线统计参数的新途径,具有通用性,也可用于其它水文要素值的频率曲线的优化适线计算。

[参 考 文 献]

- [1] 水利部长江水利委员会水文局,水利部南京水文水资源研究所. 水利水电工程设计洪水计算手册[M]. 北京:水利电力出版社,1994:56—84.
- [2] 郭生练. 设计洪水研究进展[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005:132—133.
- [3] 中华人民共和国水利部,能源部. 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. 中华人民共和国行业标准 SL44—93,1993:20—22.
- [4] 金光炎. 水文频率分析述评[J]. 水科学进展,1999,10(3):319—327.
- [5] 叶守泽,詹道江. 工程水文学(第三版)[J]. 北京:中国水利水电出版社,2000:196—197.
- [6] 宋松柏,蔡焕杰,栗晓玲. 专门水文学概论[M]. 西安:西北农林科技大学出版社,2005:197—230.
- [7] 陈大春,雷晓云. 基于粒子群算法的水文适线法研究

[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(4):29—31.

- [8] 侯志荣,吕振肃. 基于 MATLAB 的粒子群优化算法及其应用[J]. 计算机仿真,2003,20(10):68—70.
- [9] 吴建生,秦发金. 基于 MATLAB 的粒子群优化算法程序设计[J]. 柳州师专学报,2005,20(4):97—100.
- [10] 侯志荣,吕振肃. 基于模拟退火的粒子群算法求解约束优化问题[J]. 吉林大学学报(工学版),2007,37(1):136—140.
- [11] 吴明官,李彦兴. 不完全伽玛函数的快速算法[J]. 水文,1994(1):38—140.
- [12] 王建刚,刘亚萍. P—Ⅲ型分布 Φ 值数值计算方法比较[J]. 山西水利科技,1996,114(增刊):35—40.
- [13] 王建刚,刘亚萍. P—Ⅲ型分布 Φ 值数值计算方法比较[J]. 水文,1997(5):10—14.
- [14] 李世才. P—Ⅲ型分布 Φ P 值通用算法的研究[J]. 水文,1997(2):70—76.
- [15] 李世才,彭月英,魏文展. 皮尔逊Ⅲ型曲线新的数值算法及其应用研究[J]. 广西水利水电,2001(1):18—23.
- [16] 林莺,李世才. 水文频率曲线简捷计算和绘图技巧[J]. 水利水电技术,2002,33(7):52—5.

(上接第44页)

(2) 云雾山不同退耕年限和不同演替阶段封育草地土壤含水量和土壤水吸力之间存在显著的幂函数关系,经验模型 $\theta=AS^{-b}$ 对该区土壤具有很好的模拟效果,相关关系极显著。

[参 考 文 献]

- [1] 吴文强,李吉跃,张志明,等. 北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):51—55.
- [2] 杨弘,李忠,裴铁璠,等. 长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林的土壤水物理性质[J]. 应用生态学报,2007,18(2):272—276.
- [3] 赵世伟,周印东,吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报,2002,16(4):119—122.

- [4] 邹厚远,关秀琦,张信. 云雾山草原自然保护区的管理途径探讨[J]. 草业科学,1997,14(1):3—4.
- [5] 刘娜娜,赵世伟,杨永辉,等. 云雾山封育草原对表土持水性的影响[J]. 草地学报,2006,14(4):338—342.
- [6] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988.
- [7] 沈思渊,席承藩. 淮北主要土壤持水性能及其与颗粒组成的关系[J]. 土壤学报,1990,27(1):34—42.
- [8] 李开元,韩仕峰,李玉山,等. 黄土丘陵区农田水分循环特征及土壤水分生态环境[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1991,13:83—93.
- [9] 陈志雄,汪仁真. 中国几种主要土壤的持水性质[J]. 土壤学报,1979,16(3):277—281.
- [10] 姚贤良,程云生. 土壤物理学[M]. 北京:农业出版社,1986.

(上接第49页)

[参 考 文 献]

- [1] 李玉山. 黄土区水分循环特征及其对陆地水循环的影响[J]. 生态学报,1983,3(2):91—101.
- [2] 王孟本,李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报,1995,15(2):178—184.
- [3] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000:30—114.
- [4] 孙长忠,黄保龙,陈海滨,等. 黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究[J]. 北京林业大学学报,1998,20(3):7—14.

- [5] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报,2001,16(5):427—432.
- [6] 杨文治,田均良. 黄土高原土壤干燥化问题探源[J]. 土壤学报,2004,41(1):1—6.
- [7] 王进鑫,黄宝龙,罗伟祥. 黄土高原人工林地水分亏缺的补偿与恢复特征[J]. 生态学报,2004,24(11):2395—2401.
- [8] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 黄土丘陵小流域水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. 生态学报,2000,20(5):741—747.