

# 江西省推理公式求解小流域设计洪峰流量的优化算法

陈 兴

(江西省九江市水利电力规划设计院,江西 九江 332001)

**摘 要:**根据2010年版《江西省暴雨洪水查算手册》推荐的江西省暴雨洪水推理公式,一般对小流域的设计洪峰流量采用图解法进行求解。图解法虽然求解直观、易理解,但在找两条曲线交点时也容易出现读数误差,且不易利用计算机语言编程实现。本文根据当前水文手册中采用的图解法,将其计算方法进行优化,使得原有的曲线方程组转化为线性方程组,提出一种可行的、易编程实现的优化算法,可供水文设计人员参考。

**关键词:**推理公式;图解法;优化算法;编程实现

**中图分类号:**TV122+.5 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2017)01-0035-03

## 0 引言

在工程设计中,对于小流域设计洪水的计算,常采用各地区的水文手册进行暴雨洪水的计算。《水利水电工程设计洪水规范》(SL-2006)中也有相关说明,流域面积较小可用推理公式计算。1958年,陈家琦等人提出水利科学研究院推理公式,该公式在我国水利、城建、交通等部门计算相应的设计洪水中得到了广泛的应用。其公式的求解方法<sup>[1]</sup>,主要有图解法及牛顿迭代法,若结合计算机求解计算,具有易操作、速度快、精度高等特点。

一方面,图解法是将离散的数据点拟合成曲线,在同一坐标下读出两条曲线的交点;另一方面,牛顿迭代法则利用计算机的超强的计算能力,通过若干次的试算,最终得到在允许误差内的数值。结合这两方面,对于求解该方程组,图解法更直观、易理解,却难以用数值计算的方式表达出来,与之相反,牛顿迭代法则采用的是迅速有效的数值分析方法。因此,综合这两种方法,本次将对图解法进行优化,使得优化的算法不仅直观、易理解,而且可用计算机编程,实现程序化的计算。

## 1 推理公式

### 1.1 推理公式

$$\begin{cases} \tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}Q_{\tau,m}^{1/4}} & (1) \\ Q_{t,m} = 0.278 \frac{h_t F}{t} & (2) \end{cases}$$

式中, $t$ 为产流历时, $\tau$ 为汇流历时。 $L$ 为主河道长, $m$ 为汇流参数, $J$ 为主河道平均比降, $Q_t$ 、 $Q_{\tau}$ 为产汇流洪峰流量, $h_t$ 为 $t$ 时段内的净雨, $F$ 为流域面积。

### 1.2 参数计算

#### 1.2.1 $F$ 、 $J$ 和 $L$ 的计算

对于公式(1)和(2),流域面积 $F$ 、河道比降 $J$ 和主河道长度 $L$ 三个参数可通过工程流域的地形图量算得到,一般为保证一定精度,可采用五万分之一和万分之一的地形图量算。

(1)流域面积 $F$ 量算:确定下游断面位置,勾绘流域分水线。分水线包围面积为流域集水面积。

(2)流域主河道长度 $L$ :从地形图上出口断面起沿着主河道至最远分水岭一点之间的长度。

(3)主河道平均比降 $J$ :自分水岭起根据沿主河道的比降变化转折点高程,采用河道平均比降计算公式

$$J = \frac{h_1 l_1 + l_2 (h_1 + h_2) + \dots + l_n (h_{n-1} + h_n)}{l^2} \quad (3)$$

式中, $h_n$ 为各转折点至出口断面处高差(m); $l_n$ 为各转折点之间的距离(km); $L$ 为河长(km)。

#### 1.2.2 汇流参数 $m$ 的计算

根据《江西省暴雨洪水查算手册》(2010版),汇流参数 $m$ <sup>[2]</sup>是根据参数综合分单站综合和地理综合两个环节,其中地理指标为 $L/J^{1/3}$ ,全省共划分九个计算区(见表1)。

#### 1.2.3 净雨 $h_t$ 的计算

在产流过程中,《江西省暴雨洪水查算手册》(2010版)推荐采用的是以60 min为时段共24 h的雨型分配

表,再根据附表提供的全省九个地区降雨径流表,查算各个时段的径流量,扣除下渗雨量后,得到各时段的  $h_t$  值。

表1 汇流参数  $m$  计算公式表

区号	江西省暴雨洪水查算手册(2010版)
I	$m = 0.380(L/J^{1/3})^{0.208}$
II	$m = 0.492(L/J^{1/3})^{0.164}$
III	$m = 0.245(L/J^{1/3})^{0.260}$
IV	$m = 0.150(L/J^{1/3})^{0.315}$
V	$m = 0.221(L/J^{1/3})^{0.286}$
VI	$m = 0.231(L/J^{1/3})^{0.312}$
VII	$m = 0.100(L/J^{1/3})^{0.417}$
VIII	$m = 0.128(L/J^{1/3})^{0.391}$
IX	$m = 0.165(L/J^{1/3})^{0.299}$

## 2 推理公式求解的优化算法

根据前面的介绍,两个推理公式只剩  $\tau, t, Q_{\tau, m}$  和  $Q_{t, m}$  四个未知量。一般而言,由于公式(1)和(2)所绘制出为曲线,是非线性方程组,工程计算中常采用图解法进行求解。图解法则令  $\tau = t$ ,将两方程绘制在同一坐标中,以确定汇流时间  $\tau$  和洪峰流量  $Q_{\tau, m}$ ,即寻找  $Q_{\tau, m} \sim \tau$  曲线和  $Q_{t, m} \sim t$  曲线的交点<sup>[3]</sup>。考虑到图解法在对交点时,易出现读数误差,且不利于利用编程语言对其程序化计算,加上历时和流量皆为大于0的数,因此对两公式两边同时取自然对数,则可得到以下两方程:

$$\begin{cases} \ln Q_{\tau, m} = 4\ln \tau - 4\ln 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}} & (4) \\ \ln Q_{t, m} = \ln 0.278h_tF - \ln t & (5) \end{cases}$$

在令  $\tau = t$  后,重新将  $\ln Q_m, \ln \tau$  设为新的因变量和自变量,则将原有的曲线方程组,转化为线性方程组,不仅简化了求解方法,更提高的计算精度。

## 3 工程算例

本次采用《江西省暴雨洪水查算手册》(2010版)所提供的工程算例。赣东北某工程断面地点,东经  $117^{\circ}09'$ ,北纬  $29^{\circ}10'$ ,设计历时为 24 h,设计频率百年一遇,工程流域特性值和如表2。

查询水文手册中所提供的附图和附表,可知 1 h、6 h 及 24 h 的暴雨均值及  $C_v$  值(变差系数),同时利用暴雨公式计算 3 h 暴雨量。手册实例中选用的是以 60 min 为一个时段的雨型分配表,经过雨量径流查算和扣除下渗量,最终可得到 24 个时段的净雨值  $h_t$ 。

表2 工程流域特性表

参数	分区	$F/\text{km}^2$	$L/\text{km}$	$J$	$m$
特征值	VII	16.3	5.35	0.018 0	0.352

在产流过程中,对 24 个净雨值  $h_t$  进行从大到小的排序,按公式  $Q_t = 0.278F \sum h_t/t$  计算各个时段相应流量(表3)。

表3 某流域时段流量表

时段 $t$ ( $\Delta t =$ 60 min)	$\ln t$	流量 $Q_t$ /( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$\ln Q_t$	时段 $t$ ( $\Delta t =$ 60 min)	$\ln t$	流量 $Q_t$ /( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$\ln Q_t$
1	0	505	6.22	12	2.48	85.2	4.45
2	0.69	309	5.73	13	2.56	79.8	4.38
3	1.10	230	5.44	14	2.64	75.7	4.33
4	1.39	186	5.23	15	2.71	71.1	4.26
5	1.61	159	5.07	16	2.77	67.1	4.21
6	1.79	140	4.94	17	2.83	63	4.14
7	1.95	126	4.84	18	2.89	59.4	4.08
8	2.08	115	4.74	19	2.94	56.6	4.04
9	2.20	104	4.64	20	3.00	53.5	3.98
10	2.30	97.4	4.58	21	3.04	51.2	3.94
11	2.40	91.1	4.51				

对表3中各个时段  $t$  和  $Q_t$  同时取对数,可得到  $\ln t$  和  $\ln Q_t$  的值。根据公式(4),将现有离散的数据进行线性拟合,选用一元线性回归模型,可得

$$\ln Q_t - \overline{\ln Q_t} = r \frac{S_{\ln Q_t}}{S_{\ln t}} (\ln t - \overline{\ln t}) \quad (6)$$

$$\text{式中, } \overline{\ln t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln i;$$

$$\overline{\ln Q_t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln Q_i;$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln i - \overline{\ln t})(\ln Q_i - \overline{\ln Q_t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\ln i - \overline{\ln t})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\ln Q_i - \overline{\ln Q_t})^2}};$$

$$S_{\ln t} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln i - \overline{\ln t})^2};$$

$$S_{\ln Q_t} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln Q_i - \overline{\ln Q_t})^2}。$$

将  $n=21$  及各个时段的  $\ln t$  和  $\ln Q_t$  代入公式(6)计算,且结合已知参数算出公式(4),则最终优化的线性方程组为

$$\begin{cases} \ln Q_t = -4\ln \tau + 11.122 & (7) \\ \ln Q_t = -0.744\ln t + 6.261 & (8) \end{cases}$$

求解式(7)与(8),且  $\tau = t$  得  $\tau = 4.45, Q_m =$

172.48。本次计算结果与暴雨手册所给出的计算值几乎一致,因此本次优化算法可行。为直观对比优化前后的计算方法,将原有图解法(图 1)与优化后图解法(图 2)进行比较。

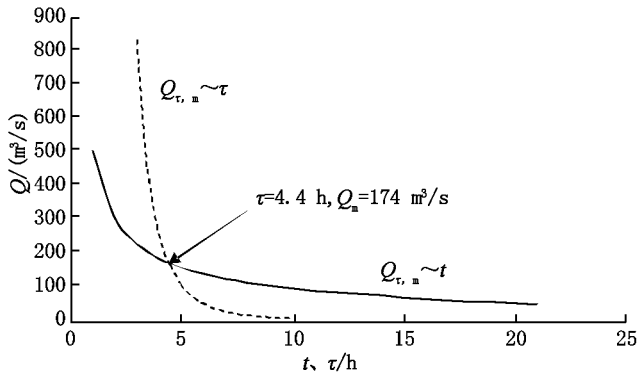


图 1 图解法求解某流域百年一遇洪峰流量

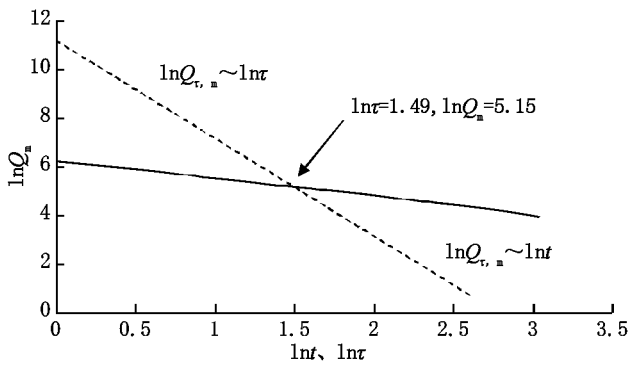


图 2 优化后图解法求解某流域百年一遇洪峰流量

## 4 结 语

在工程设计中,常常涉及到小流域无资料地区的设计洪水推求,而各个地区采用当地水文部门编制的水文手册中推理公式进行推求。水文手册是由大量的实测资料分析计算而成,在水利水电工程规划设计中发挥着重要作用。推理公式推求设计洪峰流量从过去手绘推求洪峰流量的图解法,到如今利用计算机进行多次试算的牛顿迭代法,都是一个不断寻找更加便捷、计算精度更高的过程。

本文结合图解法与牛顿迭代法的特点,将原有的曲线方程组进行线性化,转变为更加容易理解、更加容易计算的优化算法。为了便于编程实现程序化计算,综合公式(4)和公式(6)可得  $\tau$  和  $Q_m$  计算公式:

$$\tau = e^{\frac{4 \ln 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}} + \ln Q_t - r \frac{S_{\ln Q_t}}{S_{\ln t}}}{4 - r \frac{S_{\ln Q_t}}{S_{\ln t}}}}$$

$$Q_m = e^{4 \left( \frac{4 \ln 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}} + \ln Q_t - r \frac{S_{\ln Q_t}}{S_{\ln t}}}{4 - r \frac{S_{\ln Q_t}}{S_{\ln t}}} - \ln 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}} \right)}$$

### 参考文献:

- [1] 田景环,梁文涛.应用 matlab 求解小流域推理公式的方法[J].水文,2013,33(1):79~81.
- [2] 江西省水文局.江西省暴雨洪水查算手册[M].南昌:江西省水文局,2010:6~7.
- [3] 邱林,孙元元,周生通.一种基于 VB 求解小流域设计洪峰流量的图解方法[J].水文,2012,32(1):18~21.

编辑:张绍付

## An optimized algorithm for calculating peak flood discharge in small watershed based on reasoning formula of Jiangxi province

CHEN Xing

(Jiujiang Municipal Planning and Designing Institute of Water Conservancy & Hydro - Electric Power of Jiangxi Province, JiuJiang 332001, China)

**Abstract:** According to the rainstorm flood reasoning formula recommended by the Jiangxi Provincial Rainstorm Flood Calculation Manual in 2010, the design peak flow of small watershed is generally solved by the graphical method. Although the Graphic method is easy to understand, but in finding the intersection of two curves are also prone to reading errors, and difficult to use computer language programming. In this paper, according to the current hydrological manual used in the graphical method to optimize its calculation method, making the original curve equations into linear equations, proposed a feasible and easy to implement programming optimization algorithm for hydrological designers.

**Key words:** Reasoning formula; Graphical method; Optimization algorithm; Computer programming

翻译:陈 兴