

# 倍比搜索法推求城市暴雨强度公式

许拯民, 荆燕燕, 胡珊景, 韩倩 (华北水利水电大学, 河南郑州 450011)

**摘要** 倍比搜索法是在计算机搜索法的基础上, 添加了倍比系数, 通过 matlab 软件来实现对多重现期暴雨强度公式参数的推求。以北京市降雨资料为例, 利用该方法可以在极短时间内推算出城市暴雨强度公式的参数, 并且误差控制在规范要求内。

**关键词** 城市暴雨强度公式; 倍比系数; 重现期; matlab 软件

**中图分类号** S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)34-13291-02

## 1 暴雨强度公式概述

暴雨强度公式是重现期( $P$ )、暴雨强度( $i$ )、降雨历时( $t$ )三者间关系的数学表达式。《给水排水设计手册》(第二版第五册)给出了适合我国的暴雨强度公式, 分为总公式(1)和分公式(2)两种形式:

$$i = \frac{A_1(1 + ClgP)}{(t+b)^n} \quad (1)$$

$$i = \frac{A}{(t+b)^n} \quad (2)$$

式中;  $i$  为暴雨强度;  $t$  为降雨历时;  $P$  为重现期;  $A$  为雨力;  $A_1$ 、 $C$  为公式参数。其中分公式的精度高于总公式, 但是由于每个重现期是单独的公式, 应用起来不方便, 市政设计上利用较多的是包含多个重现期的总公式。

笔者介绍一种新的推求暴雨强度公式参数的方法: 倍比搜索法。这是在原有的计算机搜索法上改进的方法, 通过增加倍比参数来缩放搜索范围, 在确定最优解时大大缩短了计算时间, 通常可以控制在十几秒内。国内常用的方法如图解结合最小二乘法、南京法、同济大学法等都是利用数学公式方法对参数进行求解, 对数学公式作了简化处理, 在推求大范围的暴雨强度总公式时, 其平均绝对均方差较大<sup>[1]</sup>。倍比搜索法利用倍比系数对搜索范围进行缩放, 在较短的时间内可以推求出 4 个参数同时最优的结果。

## 2 倍比搜索法的原理

这个算法程序是通过数学工具 MATLAB 实现的。通过对原始降雨资料进行频率分析, 可以得到降雨历时( $t$ )、降雨强度( $i$ )以及重现期( $P$ )的关系表。然后统计我国暴雨强度公式, 得出 4 个参数  $A$ 、 $c$ 、 $n$ 、 $b$  的经验范围, 通过适当扩展后确定 4 个参数的初始范围  $F_0$ 。在  $F_0$  范围基础上, 随机生成上万个解向量, 然后一一试算, 按照平均绝对均方差最小的原则选取最优解。经过一次循环后, 选取方差最小的前  $a$  组参数并记录在矩阵  $Z$  里, 同时统计出 4 个参数的新范围  $F_1$ , 左右扩展后再次赋值给  $F_0$  进行下一轮循环, 如此反复 10 次, 最后对矩阵  $Z$  排序, 选取误差最小的作为最终参数值。程序流程见图 1。

## 3 算例

### 3.1 资料

**作者简介** 许拯民(1964-), 男, 河南长葛人, 副教授, 从事水文及水资源的科研和教学工作。

**收稿日期** 2013-11-04

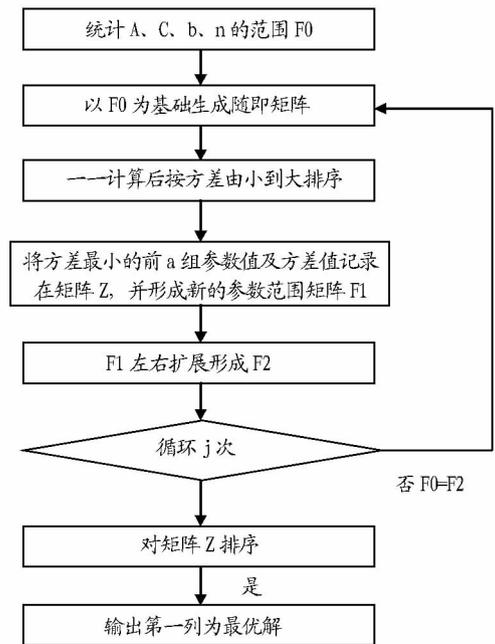


图 1 倍比搜索法程序流程

样法,  $P$ -III 频率分析后的  $p$ - $i$ - $t$  关系表 1。

**3.2 计算结果** 根据我国暴雨强度公式特点, 参数的选取范围一般为:  $A \in [5, 50]$ ,  $C \in [0.5, 1.6]$ ,  $n \in [0.4, 1.0]$ ,  $b \in [5, 40]$ 。将降雨强度  $i$ 、降雨历时  $t$  和重现期  $P$  输入到 MATLAB 后开始运行程序。经计算后得到的参数值  $A = 14.01$ ,  $C = 0.764$ ,  $n = 0.729$ ,  $b = 13.36$ , 运行时间为 11 秒, 公式的平均绝对均方差为 0.037 7 mm/min, 平均相对均方差为 4.29%, 均满足规范要求。推求公式如下:

$$i = \frac{14.01(1 + 0.764 \lg P)}{(t + 13.36)^{0.729}}$$

**3.3 参数设置** 参数的选取均是经过大量数据实验后得到的经验数值, 在实际应用过程中可以根据需要进行修改。

每次循环后, 选取方差最小的个数  $a$  一般取值在 10 ~ 20, 此次计算为 10。 $F_1$  向两侧扩展形成  $F_2$  时的倍比系数  $q$ , 建议在 0.15 ~ 0.3, 它是确保最优解在范围内的关键, 不可太小, 否则可能错过最优解, 造成算法的不稳定。循环的次数  $j$  一般在 10 ~ 20, 实验数据表明, 当  $j = 15$  次循环结束时, 各参数范围均缩小达 8 000 倍以上, 该次计算在  $j = 10$  时也可以求得相同的最优解, 并且用更短的时间。表 2 为北京市计算的示例。

表1 p-i-t 关系

mm/min

历时 t min	重现期 P//年										
	0.25	0.33	0.5	1	2	3	5	10	20	50	100
5	1.03	1.17	1.39	1.75	2.11	2.32	2.58	2.94	3.3	3.78	4.14
10	0.811	0.918	1.1	1.41	1.74	1.93	2.17	2.5	2.83	3.27	3.6
15	0.682	0.779	0.94	1.22	1.5	1.67	1.88	2.17	2.46	2.84	3.13
20	0.599	0.686	0.827	1.07	1.32	1.46	1.65	1.9	2.15	2.48	2.73
30	0.467	0.536	0.656	0.868	1.09	1.22	1.38	1.6	1.83	2.13	2.35
45	0.364	0.418	0.513	0.681	0.853	0.955	1.08	1.26	1.44	1.68	1.85
60	0.301	0.341	0.419	0.562	0.713	0.803	0.918	1.08	1.23	1.45	1.61
90	0.225	0.252	0.311	0.426	0.55	0.624	0.719	0.851	0.984	1.16	1.3
120	0.184	0.204	0.252	0.348	0.453	0.516	0.597	0.709	0.822	0.974	1.09
150	0.157	0.174	0.215	0.298	0.388	0.443	0.513	0.61	0.709	0.841	0.942
180	0.137	0.151	0.187	0.26	0.341	0.39	0.453	0.541	0.63	0.75	0.841

表2 缩放比列

参数	最初范围 F0		15 次循环后范围		缩小比例
	5	50	14.021 209	14.025 479	
A	5	50	14.021 209	14.025 479	10 538
c	0.5	1.6	0.763 837 1	0.763 873 7	30 063
n	0.4	1	0.728 919 7	0.728 987	8 914
b	5	40	13.362 142	13.364 881	12 780

#### 4 结论

添加了倍比系数的倍比搜索法具有计算速度快、搜索效率高且不易陷入局部最优解等优点。在暴雨强度公式参数的推求过程中,结合 MATLAB 强大的数学计算功能,在编制程序时,可以通过三种标准来选择最优解,分别是总方差最小、平均绝对均方差最小和平均相对均方差最小,这只需要

在程序运行前选择即可。经算例验证,当计算重现期在 0.25 ~ 100 年的多重重现期暴雨强度公式时,该方法可以将平均绝对均方差控制在 0.05 mm/min,平均相对均方差小于 5%,均满足规范的要求<sup>[3]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 邓卫东,李萍,李艺,待.暴雨强度公式的简便推求方法[C]//2011 年全国给水排水技术信息网年年论文集.苏州,2011.
- [2] 朱春龙,薄丽洁,王明生.确定多重重现期暴雨公式参数的二次优化算法[J].水文,2012,32(4):13-15.
- [3] 北京市市政设计院.给水排水设计手册(第五册)[K].北京:中国建筑工业出版社,1986.
- [4] 谢五三,程智.暴雨强度公式推求研究[J].安徽农业科学,2007,35(25):7750-7751,7766.

(上接第 13290 页)

区域制作发布释用产品。

表1 黄冈市区域气象站、水文监测站建设分布

地名	地址	气象站数	水文站数
尾斗山	红安县永河	2	1
金沙河	红安县城关	2	1
浮桥河	麻城市中驿	3	1
三河口	麻城市三河口	3	1
天堂	罗田县九资河	3	1
跨马墩	罗田县白庙河	2	1
张家咀	英山县石头咀	3	1
詹家河	英山县陶河	2	1
白莲河	浠水县白莲	5	2
大同	蕲春县大同	3	1
鹞鹰岩	蕲春县漕河	2	1
梅川	武穴市梅川	2	1
垅坪	黄梅县五祖	3	1
古角	黄梅县停前	2	1
牛车河	团风县贾庙	3	1

白莲河、大同、鹞鹰岩、梅川、垅坪、古角、牛车河;流动人工增雨(蓄)作业点 24 个,分别为谢店、新庙、朝阳店、西长岭岗、何家畈、周家湾、河西畈、九资河、枫树铺、吴家山、凉水井、白果树湾、白羊山、方家咀、匡河、石桥铺、何铺、柳林河、彭祖、荷叶林、卢府、古田、柳林、贾庙。

**4.4 黄冈市人工增雨作业效果评估系统** 根据区域气象站、水文监测站等对人工增雨作业前后所观测的数据,建立黄冈市人工增雨作业效果评估系统。

#### 5 保障措施

(1) 设立黄冈市人工增雨(蓄)作业基地建设领导小组和技术小组,组织协调和指导基地建设工作。

(2) 基地建设经费由所在县(市)政府和水库管理处保障。

(3) 加强气象与水利、发电企业的协调合作,与受益单位(企业)签订人工增雨作业合作协议,明确合作单位的权利和义务。

(4) 加强人工增雨技术开发,提高人工增雨作业服务能力和效益。

(5) 组织技术培训,提高业务素质,做好人工增雨基地人员的规范化管理。

(6) 加强基地设备维护保养,保障人工增雨作业安全。

#### 参考文献

- [1] 齐群生.人工增雨是缓解农业旱情的有效途径[J].天津农林科技,2004(5):14-15.

(3) 配备移动性人工增雨业务服务平台,随时调用人工增雨业务产品,进行外场人工增雨作业指挥。

(4) 配备移动气象站,进行现场观测与指挥。

**4.3 黄冈市人工增雨作业基地建设** 根据各地水资源需求,拟定黄冈市建设人工增雨作业基地 15 个,分别为尾斗山、金沙河、浮桥河、三河口、天堂、跨马墩、张家咀、詹家河、