

毛明策,吴素良,范婧儿.基于遗传算法的暴雨强度公式参数计算[J].陕西气象,2020(4):50-52.

文章编号:1006-4354(2020)04-0050-03

基于遗传算法的暴雨强度公式参数计算

毛明策^{1,2},吴素良¹,范婧儿³

(1.陕西省气候中心,西安 710014;

2.陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710014;

3.临潼区气象局,西安 710600)

摘要:暴雨强度公式是城市排水防洪设计和规划的基础,收集陕西某县 1961—2017 年分钟降水资料,质量控制后按照年最大值法取样,对比分析不同分布曲线模拟误差,选择耿贝尔分布拟合实测资料,采用遗传算法求得暴雨强度公式,计算得到的公式精度满足国标要求。

关键词:遗传算法;暴雨强度公式;参数估计

中图分类号:P333.2

文献标识码:B

随着全球气候变化,陆地、海洋和大气之间的水汽循环加剧,暴雨极端事件频繁发生,尤其是暴雨中的短时强降水是造成城市积涝的主要原因^[1],已成为影响城市健康发展、威胁城市安全的突出问题,西安等城市多次出现内涝^[2],给城市排水防涝带来了严峻的挑战。暴雨强度公式是城市排水防洪设计和规划的基础,陕西省目前使用的暴雨强度公式多数是 20 世纪 80 年代编制,不能准确反映暴雨强度增强的实况。早期城市管网设计标准偏低,近 20 年来陕西大部分城市硬化面积大幅扩张,进一步加大了城市内涝的不利影响。因此,科学修编城市暴雨强度公式,客观反映城市降雨特征与规律,是完善缓解城市洪涝问题,应对气候变化,加强城市排水防涝基础设施建设的当务之急。

暴雨强度公式计算多采用适线法求解,对大部分站点资料可以得到满足规范精度要求的参数,适线法的关键在于如何判别频率曲线与经验数据“最佳配合”,适线随适线者的主观意志变化,存在普遍的主观随意性^[3],还与判断时专家的经验 and 耐心有很大的关系,对少量站点难以达到国

标要求的计算精度。遗传算法是一种优化算法,可以较好避免参数计算陷于局部最优解^[4],而获得全局最优解,成功地应用在北京^[4-5]、合肥^[6]等城市暴雨强度公式计算中。本文通过在 Python 上建立遗传算法程序,计算暴雨强度公式参数,为全省各市县暴雨强度公式编制提供业务支持。

1 暴雨强度公式与遗传算法

根据国家标准^[7]《室外排水设计规范》(GB 50014—2006))规定,采用年最大值法编制暴雨强度公式,一般的计算过程分三步:资料处理—确定概率分布—拟合暴雨强度公式。

1.1 暴雨强度公式的定义及参数

暴雨强度公式就是符合当地降水规律的重现期(recurrence interval, P)、暴雨强度(rainfall intensity, i)和降水历时(duration of rainfall, t)三者关系值,即 $P-i-t$ 关系表,根据国家标准^[7],暴雨强度公式的定义为:

$$i = \frac{A_1 \times (1 + C \lg P)}{(t + b)^n}, \quad (1)$$

式(1)中, i 为暴雨强度(单位:mm/min)。 P 为重现期,指某一强度的暴雨重复出现的统计平均时

收稿日期:2020-02-27

作者简介:毛明策(1977—),男,汉,陕西西安人,硕士,高工,从事气候应用和气候资源保护与利用。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究课题基金(2019M-12)

间间隔,以年(a)计。 t 为降雨历时,指连续降雨的时段,为累积雨量的时间长度,以分钟(min)计。 A_1 、 b 、 C 、 n 是需求解的参数。

1.2 资料处理

利用陕北某县 1966—2017 年共计 52 年的逐分钟自记雨量记录为降雨资料样本,自记雨量记录为 5 月 1 日—10 月 31 日。暴雨公式编制的降雨历时采用 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 共 11 个历时。采用逐分钟滑动统计法,按“不漏场次、不漏最大”原则,选取降雨资料样本中各降雨历时雨量的逐年最大值,作为暴雨强度公式编制的有效暴雨资料样本。对数据进行质量控制和最大值审查^[8],均满足数据质量要求。

样本按照降序排列,样本经验频率按以下公式计算:

$$p = \frac{m}{n+1}, \quad (2)$$

式(2)中, p 为经验频率(%), m 为排序数, n 为样本容量(52)。重现期(P)与经验频率关系为 $P = 1/p$ 。

1.3 频率分布曲线拟合与计算方法的选择

暴雨强度公式需要计算皮尔逊Ⅲ、耿贝尔和指数三种概率分布曲线,按照不同重现期和历时计算各分布对应的 $P-i-t$ 表,采用最小二乘法、高斯牛顿法和遗传算法三种计算方案对三种概率分布分别估算暴雨强度公式,用平均绝对方差和平均相对方差衡量暴雨强度公式与理论 $P-i-t$ 表的误差。

1.4 暴雨强度公式拟合精度检验

国家标准^[7]规定需计算抽样误差和暴雨公式均方差。宜按绝对均方差计算,也可以辅以相对均方差计算。计算重现期在 2~20 a 时,平均绝对均方差不宜大于 0.05 mm/min,平均相对均方差不宜大于 5%。

误差统计表达式:

平均绝对均方根误差为

$$X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{t_i} \right)^2}, \quad (3)$$

平均相对均方根误差为

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{R_i} \right)^2} \times 100\%, \quad (4)$$

式(3)、式(4)中, R' 为各分布对应 $P-i-t$ 表中的降雨强度, R 为暴雨强度公式确定的降雨量, t 为降雨量历时, n 为样本数。

1.5 遗传算法设计与计算

遗传算法是一种效率较高的全局优化算法,其计算的主要流程可简化为:①问题解的遗传表达,②创建解的初始种群的方法,③适当的评价函数,④合理的遗传算子,⑤遗传算法的参数值。暴雨强度公式解析式明确清晰,可直接作为遗传优化的对象写入程序。根据暴雨强度公式的参数特点选择二进制编码、数据长度为 7 位。种群数量经过对比计算可以选择 500~1 000,种群数量对迭代速度有一定的影响,并不是种群数量越大越好。考虑到陕北降水量较小,以式(1)作为评分函数,优化完成后再计算式(2)。经过对比,遗传算子杂交方法为精英保留,变异率为 0.1,惩罚函数为式 2, $U > 5\%$ 时评分为 0,评价每条染色体(参数解)的得分,根据得分赋予各条染色体不同的遗传权重,从而实现种群优化,最终得到最优解。

2 频率分布曲线拟合与计算方法的选择

各计算方法和概率分布的误差见表 1,对比以 2~20 a 重现期的相对均方差为控制目标,最小二乘法和高斯牛顿法拟合的暴雨强度公式平均绝对均方差均达到标准要求,平均相对均方差均未达到标准要求。利用遗传算法得到耿贝尔分布曲线拟合结果平均绝对均方差为 0.023 mm/min,平均相对均方差为 4.1%,比最小二乘法和高斯牛顿法拟合误差小,精度高,达到标准要求,是最优的暴雨强度公式。因此选用耿贝尔分布曲线来延长资料样本,遗传算法计算的方法得到陕北某县暴雨强度公式为:

$$i = \frac{7.368729 \times (1 + 1.12525 \lg P)}{(t + 8.6)^{0.765}}, \quad (5)$$

式(5)为最终确定的暴雨强度公式,各字母含义与式(1)相同。陕北某县暴雨耿贝尔分布的理论 $P-i-t$ 表与耿贝尔分布+遗传算法计算得到暴雨强度公式拟合频率值见表 2。

表1 不同计算方法暴雨强度公式误差表

方法	平均绝对均方差/(mm/min)			平均相对均方差/%		
	皮尔逊Ⅲ型	指数分布	耿贝尔分布	皮尔逊Ⅲ型	指数分布	耿贝尔分布
最小二乘法	0.028	0.057	0.027	6.20	11.00	5.67
高斯牛顿法	0.039	0.027	0.027	9.21	8.10	5.95
遗传算法	0.042	0.033	0.023	6.60	9.60	4.10

表2 陕西某县暴雨重现期-历时-强度表

单位:mm/min

方法	重现期/a	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
耿贝尔分布	20	2.44	1.89	1.59	1.37	1.12	0.92	0.77	0.57	0.45	0.40	0.35
	10	2.14	1.65	1.38	1.19	0.97	0.79	0.66	0.49	0.39	0.34	0.30
	5	1.83	1.41	1.17	1.01	0.81	0.65	0.54	0.40	0.32	0.28	0.25
	3	1.58	1.21	1.01	0.86	0.69	0.54	0.44	0.33	0.27	0.23	0.20
	2	1.36	1.03	0.86	0.73	0.58	0.44	0.36	0.27	0.22	0.19	0.16
暴雨强度公式	20	2.47	1.94	1.62	1.40	1.11	0.86	0.72	0.54	0.44	0.38	0.33
	10	2.13	1.67	1.40	1.20	0.96	0.75	0.62	0.47	0.38	0.33	0.28
	5	1.79	1.41	1.17	1.01	0.81	0.63	0.52	0.39	0.32	0.27	0.24
	3	1.54	1.21	1.01	0.87	0.69	0.54	0.45	0.34	0.28	0.24	0.21
	2	1.34	1.05	0.88	0.76	0.60	0.47	0.39	0.29	0.24	0.21	0.18

3 讨论

暴雨强度公式本质上是一个超定非线性方程,可以通过迭代或者最优化的方法来近似求解,各种不同的方法适用于不同的城市,实际工作中根据城市降水的不同规律,选择多种方法进行对比分析^[9],选择精度达到国标要求即可。

研制陕北某县暴雨强度公式时,采用适线法多次调整计算无法达到精度要求,建立了遗传算法计算流程,编制了相关程序,试验了不同的杂交方法和遗传编码方案,最终得到最优化遗传算法优化暴雨强度公式参数,计算效果达到国标要求,满足城市排水管网的设计和需要,为其它城市在适线法不能满足计算精度时提供技术支持和新思路。

参考文献:

[1] 高维英,李明,李菁. 西安城市内涝分布特征及其

与降雨量的关系[J]. 陕西气象, 2014(2):17-20.

[2] 程肖侠,方建刚,雷向杰,等. 2016年陕西气候影响评价[J]. 陕西气象, 2017(5):27-29.

[3] 刘俊,周宏,鲁春辉,等. 城市暴雨强度公式研究进展与述评[J]. 水科学进展, 2018, 29(6):898-910.

[4] 林林,樊建军,陈鹏飞. 遗传算法在暴雨强度公式参数优化中的应用及 Matlab 实现[J]. 水科学与工程技术, 2008(6):1-2.

[5] 李祚泳,彭荔红. 基于遗传算法的暴雨强度公式参数的优化[J]. 高原气象, 2003, 22(6):637-639.

[6] 王睿,徐得潜. 合肥市暴雨强度公式的推求研究[J]. 水文, 2016, 36(1):71-74.

[7] 室外排水设计规范:GB 50014—2006[S].

[8] 马玉峰. 特大值对暴雨强度公式计算精度的影响分析[J]. 内蒙古气象, 2015(4):23-26.

[9] 蒋柱武,王晟,郭娜妹,等. 不同拟合方法推求城市暴雨强度公式研究[J]. 给水排水, 2019, 45(S1):166-170.