

吴素良,蔡新玲,张文静,等. 汉中市暴雨强度公式推算与适用性分析[J]. 陕西气象, 2021(2): 38-43.

文章编号:1006-4354(2021)02-0038-06

# 汉中市暴雨强度公式推算与适用性分析

吴素良,蔡新玲,张文静,张 侠

(陕西省气候中心,西安 710014)

**摘 要:**汉中市原暴雨强度公式为利用 1980 年前资料推算所得,为科学、合理地制定汉中城市总体规划、排水专业规划和排水防涝工程设计,有必要推算满足现阶段设计需求的暴雨强度公式。利用汉中 1961—2013 年逐年逐分钟降水资料,采用多种算法得到皮尔逊Ⅲ型分布曲线拟合,应用最小二乘法求参推算的暴雨强度公式,精度满足《室外排水设计规范》要求。暴雨强度的皮尔逊Ⅲ型频率分布表明,暴雨历时越短暴雨强度越大,重现期越短暴雨强度越小,长历时降水强度的相对变幅比短历时更大,低重现期降水强度的相对变幅比高重现期更大。适用性分析表明:原公式计算的暴雨强度均显著小于新公式计算值,而且短历时偏小较多,长历时偏小相对较少;将前后两个时段暴雨强度公式的计算值进行对比发现,随着历时缩短,在一定重现期下,1981—2013 年比 1961—1980 年暴雨强度增强,反之随着历时延长,暴雨强度减弱;2014—2019 年暴雨强度统计值小于新公式推算值,但大于原公式的强度。总体上,新的暴雨强度公式具有较好的适用性和安全性。

**关键词:**暴雨强度公式;皮尔逊Ⅲ型;适用性;汉中

**中图分类号:**TU992.02

**文献标识码:**A

设计暴雨是城市室外排水系统规划、设计和建设的重要标准,它的可靠性是城市安全的基础<sup>[1]</sup>。汉中市原暴雨强度公式是西北建筑工程学院利用 20 世纪 60—70 年代 19 a 资料,采用数理统计方法编制的。在过去二十多年使用中,有效地指导了城市雨水排水规划设计工作,在城市雨水灾害防治管理、预警和应急处置及城市建设等方面起到了重要作用。由于区域暴雨频发致灾<sup>[2]</sup>,降水年际变化大<sup>[3]</sup>,为科学、合理地制定汉中城市总体规划、排水专业规划和排水防涝工程设计,按照《室外排水设计规范》<sup>[4]</sup>和《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》<sup>[5]</sup>推求出满足现阶段设计需求的暴雨强度公式,提升城市排水设施能力,减少城市内涝发生。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据

所用降水数据为汉中国家基准气候站

1961—2013 年逐年逐分钟降水资料和 2014—2019 不同历时年最大降水量。所有资料均经过质量控制。

按照《室外排水设计规范》<sup>[4]</sup>和《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》<sup>[5]</sup>的要求,暴雨公式的降雨历时采用规定的 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 共 11 个历时,暴雨雨型确定的降雨历时采用 30、60、90、120、150、180 min 共 6 个历时。

样本的选取可分为年最大值法和非年最大值法<sup>[6]</sup>,也有对不同时段暴雨公式做了计算与分析<sup>[7]</sup>。由于观测时间超过 30 a,因此暴雨选样方法采用年最大值法,选取不同历时最大降水量,雨量大而降雨历时不足时,将降雨历时按零雨量外延至降雨历时。

### 1.2 暴雨强度公式及参数求解

采用《暴雨强度公式编制技术指南》<sup>[8]</sup>推荐和

收稿日期:2020-12-08

作者简介:吴素良(1963—),男,陕西咸阳人,汉族,本科,高工,从事应用气象、气候分析等方面研究。

基金项目:陕西省气象局科学技术研究项目(2017Z—1)

广泛使用的皮尔逊Ⅲ型分布曲线、耿贝尔和指数分布曲线对样本的概率分布进行分析,选取拟合效果好的概率分布函数进行公式拟合。依据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)(2011年修订版)暴雨强度公式:

$$q = \frac{167A_1(1+C_lgP)}{(t+b)^n} \quad (1)$$

式中, $q$ 为暴雨强度(单位:L/(s·hm<sup>2</sup>)), $P$ 为重现期(单位:a), $t$ 为降雨历时(单位:min), $A_1$ 、 $b$ 、 $C$ 、 $n$ 为与地方暴雨特性有关且需求解的参数。

由于该公式只有 $q$ 、 $t$ 、 $P$ 是已知数, $A_1$ 、 $C$ 、 $b$ 、 $n$ 是未知数,显然用常规的解方程方法无法求解,但可用遗传法<sup>[9]</sup>、非线性模型参数估计<sup>[10]</sup>、参数的搜寻计算<sup>[11]</sup>、群居蜘蛛优化算法<sup>[12]</sup>等求得。

暴雨强度的频率公式:

$$P_i = \frac{M}{N+1} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $P_i$ 为频率, $N$ 为样本总数( $N$ 为资料年限长度), $M$ 为样本的序号(样本按从大到小排序)。

暴雨强度重现期 $P$ 是指相等或超过它的暴雨强度出现一次的平均时间,单位为 $a$ 。由此得出重现期计算公式为:

$$P = \frac{N+1}{M} \quad (3)$$

### 1.3 暴雨公式精度检验

为确保计算结果的准确性,对暴雨强度计算结果进行了精度检验。计算重现期2~20 a的暴

雨强度及暴雨强度理论值与实测值的平均绝对均方误差和平均相对均方误差,并与《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)规定的精度对照检验。《室外排水设计规范》规定:“计算重现期在2~20 a时,在一般强度的地方,平均绝对方差不宜大于0.05 mm/min。在较大强度的地方,平均相对方差不宜大于5%。”

平均绝对均方误差:

$$X_m = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{R' - R}{t} \right)^2}{N}} \quad (4)$$

平均相对均方误差:

$$U_m = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{R' - R}{R} \right)^2}{N}} \times 100\% \quad (5)$$

式(4)和式(5)中, $R'$ 为理论降水量, $R$ 为实际降水量, $t$ 为降水历时, $N$ 为样本数。

## 2 汉中市暴雨强度公式推算

### 2.1 暴雨频率分布曲线拟合

利用汉中暴雨强度经验频率计算的皮尔逊Ⅲ型理论频率分布值见表1。很明显,对于同一重现期,历时越短,暴雨强度越大。如50 a重现期,5 min历时的暴雨强度为2.888 mm/min,是45 min的2.22倍,是180 min的5.19倍;10 a重现期,5 min历时的暴雨强度为2.14 mm/min,是45 min的2.22倍,是180 min的5.68倍;2 a重现期,5 min历时的暴雨强度为1.412 mm/min,是45 min的2.58倍,是180 min的6.39倍。

表1 汉中暴雨强度的皮尔逊Ⅲ型理论频率分布值

单位:mm/min

重现期/a	历时/min										
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
50	2.888	2.416	2.029	1.799	1.581	1.298	1.146	0.957	0.768	0.641	0.556
20	2.386	1.959	1.661	1.481	1.273	1.037	0.897	0.733	0.593	0.497	0.433
10	2.140	1.743	1.486	1.326	1.127	0.913	0.779	0.630	0.513	0.431	0.377
5	1.869	1.506	1.290	1.155	0.962	0.774	0.653	0.519	0.425	0.360	0.315
3	1.598	1.274	1.097	0.983	0.801	0.637	0.531	0.414	0.343	0.291	0.257
2	1.412	1.124	0.971	0.866	0.695	0.548	0.453	0.353	0.292	0.249	0.221

同一历时,重现期越短,暴雨强度越小。如5 min历时,50 a重现期暴雨强度是10 a的1.35

倍,是2 a的1.41倍;30 min历时,50 a重现期暴雨强度为1.581 mm/min,是10 a的1.40倍,是

2 a 的 2.28 倍;180 min 历时,50 a 重现期暴雨强度为 0.556 mm/min,是 10 a 的 1.48 倍,是 2 a 的 2.52 倍。

长历时降水强度小,但其不同重现期的相对变幅比短历时更大。如 5 min 历时 50 a 重现期暴雨强度是 2 a 的 2.05 倍,180 min 历时 50 a 重现期暴雨强度则是 2 a 的 2.52 倍;另一方面,低重现期的暴雨强度较小,但其不同历时降水强度的相对变幅比高重现期更大。如 2 a 重现期 5 min 暴雨强度是 180 min 的 6.39 倍,50 a 重现期 180 min 暴雨强度是 5 min 的 5.19 倍。

## 2.2 暴雨强度公式推算

顾骏强等<sup>[13]</sup>认为某个概率分布拟合对暴雨强度样本拟合的精度高,其对应的暴雨强度公式拟合的精度不一定也高。任恒钦等<sup>[14]</sup>研究指出多数情况下单一重现期公式更接近拟合实测值,但应用不方便。对于个别情况如城市大型或重要的雨水泵站、排水泵站等,可考虑采用单一重现期公式。

采用高斯牛顿法求参,皮尔逊Ⅲ型分布曲线拟合,重现期 2~20 a 的暴雨强度算得的平均绝对均方差为 0.043 mm/min,平均相对均方差为 6.36%;指数分布曲线拟合的平均绝对均方差为 0.028 mm/min,平均相对均方差为 6.97%;耿贝尔分布曲线拟合的平均绝对均方差为 0.031 mm/min,平均相对均方差为 5.19%。采用高斯牛顿法求参所得三种拟合曲线推求的暴雨强度公式误差不满足《室外排水设计规范》要求。

采用最小二乘法求参,汉中不同概率分布拟合暴雨强度总公式的误差见表 2。由表 2 可见,采用最小二乘法求参,皮尔逊Ⅲ型和耿贝尔分布曲线拟合得到的暴雨强度公式均通过精度检验,而指数分布曲线拟合的平均相对均方差不满足《室外排水设计规范》要求。考虑到皮尔逊Ⅲ型分布适用性广,因此着重讨论皮尔逊Ⅲ型曲线拟合,最小二乘法求参得到的暴雨强度公式:

$$q = \frac{1.075.713 \times (1 + 0.971 \lg P)}{(t + 9.740)^{0.663}} \quad (6)$$

表 2 最小二乘法求解汉中三种拟合曲线暴雨强度公式误差

概率分布拟合	平均绝对均方差	平均相对均方差
皮尔逊Ⅲ型	0.030	4.44%
指数分布	0.030	9.31%
耿贝尔分布	0.029	4.53%

## 3 暴雨强度公式适用性分析

### 3.1 与原暴雨强度公式的比较

汉中市原暴雨强度公式是西北建筑工程学院 1979 年编制的。针对 11 个降水历时 7 个重现期新旧公式计算的暴雨强度值进行比较(表 3,见第 41 页)。可以看出,新编制公式计算的暴雨强度值比原公式的计算值均偏大,偏大 0.028~0.567 mm/min,平均 0.214 mm/min。短历时、长重现期的误差均较大,长历时、短重现期误差较小。新旧公式间相对误差在 9.1%~33.6%,平均 18.7%。短历时、短重现期的相对误差较大,长历时、长重现期相对误差较小。同一历时的相对误差差别不大,其中 10、15、20 min 历时不同重现期平均相对误差大,高于 30%,180 min 历时平均误差小,为 10.4%。由于新暴雨公式所用资料年代长,计算的强度更大,其代表性更好、安全性更高。

### 3.2 不同时段暴雨强度的比较

为了分析不同时期的暴雨强度变化特征,首先推算 1961—1980 年和 1981—2013 年两个时段的暴雨强度公式,然后分别计算暴雨强度并进行对比分析。表 4(见第 42 页)给出了两个时期 11 个历时在各个重现期的降雨强度和差值。由表 4 可看出,1981—2013 年与 1961—1980 年的暴雨强度差值在 -0.033~0.545 mm/min 之间,平均 0.098 mm/min。总体上 1981—2013 年时期的偏大,历时越短,重现期越长则差别越明显。当重现期缩短、历时变长时,1981—2013 年的暴雨强度值小于 1961—1980 年。例如在 100 a 重现期时,5 min 历时在 1961—1980 年为 2.802 mm/min,在 1981—2013 年为 3.347 mm/min,差值为 0.545 mm/min,而 180 min 历时在 1961—1980 年为 0.582 mm/min,在 1981—2013 年为 0.577 mm/min,差值转为负值,为 -0.005 mm/min。5 a 重现期下 5 min 历时的降雨强度差值为 0.196 mm/min,在 90 min 历时

表3 汉中市新、旧暴雨强度公式计算的暴雨强度对比

单位:mm/min

计算方法	重现期/a	历时/min										
		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
原公式	50	2.305	1.833	1.565	1.387	1.158	0.958	0.834	0.684	0.592	0.529	0.483
	30	2.113	1.681	1.435	1.271	1.061	0.878	0.765	0.627	0.543	0.485	0.443
	20	1.960	1.559	1.331	1.179	0.985	0.815	0.710	0.581	0.504	0.450	0.411
	10	1.699	1.352	1.154	1.022	0.854	0.706	0.615	0.504	0.437	0.390	0.356
	5	1.439	1.144	0.977	0.866	0.723	0.598	0.521	0.427	0.370	0.330	0.301
	3	1.246	0.991	0.846	0.750	0.626	0.518	0.451	0.370	0.320	0.286	0.261
	2	1.094	0.870	0.743	0.658	0.549	0.455	0.396	0.324	0.281	0.251	0.229
新公式	50	2.872	2.366	2.036	1.802	1.487	1.202	1.024	0.807	0.678	0.591	0.527
	30	2.639	2.173	1.871	1.655	1.366	1.104	0.940	0.742	0.623	0.543	0.484
	20	2.454	2.021	1.739	1.539	1.270	1.027	0.874	0.690	0.579	0.505	0.450
	10	2.137	1.760	1.515	1.340	1.106	0.894	0.761	0.601	0.504	0.439	0.392
	5	1.820	1.499	1.290	1.142	0.942	0.761	0.648	0.511	0.430	0.374	0.334
	3	1.586	1.306	1.124	0.995	0.821	0.664	0.565	0.446	0.374	0.326	0.291
	2	1.401	1.154	0.993	0.879	0.725	0.586	0.499	0.394	0.331	0.288	0.257
差值	50	0.567	0.532	0.471	0.415	0.329	0.244	0.189	0.124	0.086	0.061	0.044
	30	0.526	0.493	0.436	0.384	0.304	0.226	0.176	0.115	0.080	0.057	0.042
	20	0.493	0.461	0.408	0.360	0.285	0.212	0.165	0.108	0.075	0.054	0.040
	10	0.437	0.408	0.361	0.318	0.252	0.188	0.146	0.096	0.068	0.049	0.036
	5	0.381	0.354	0.313	0.276	0.219	0.163	0.128	0.085	0.060	0.044	0.033
	3	0.340	0.315	0.278	0.245	0.195	0.146	0.114	0.076	0.054	0.040	0.030
	2	0.307	0.284	0.250	0.221	0.176	0.132	0.103	0.069	0.050	0.037	0.028

注:差值=新公式计算值-原公式计算值

时差值变负,为 $-0.005$  mm/min,180 min 历时差值为 $-0.026$  mm/min。2 a 重现期下5 min 历时的降雨强度差值为 $0.089$  mm/min,在60 min 历时时差值变负,为 $-0.011$  mm/min,180 min 历时差值为 $-0.033$  mm/min。

因此,在一定的重现期下,随着暴雨历时的延长,1981—2013年暴雨强度值较1961—1980年有所减小。表明汉中暴雨在1980—2013年期间短历时暴雨强度增加,长历时暴雨强度在减小。

### 3.3 近6 a 暴雨强度公式适用性分析

利用近6 a(2014—2019年)暴雨强度实际统计值对汉中暴雨强度公式进行验证。根据近6 a不同历时的暴雨强度,通过排序计算出重现期,根

据暴雨公式计算不同历时暴雨强度,再计算暴雨强度实际统计值与公式计算值的差值,以分析暴雨强度公式的适用性。由于《室外排水设计规范》规定最小重现期不低于2 a,因此只计算2 a以上重现期的统计值(表5,见第43页)。

可以看出,表5中的误差值介于 $0.08 \sim -0.27$  mm/min之间,平均 $-0.10$  mm/min,大多数小于0,即近几年暴雨强度低于计算值。短历时误差较大,长历时误差较小,长历时的相对误差却比较大。只有30~60 min 历时、7 a 重现期的误差值大于0,即统计值大于计算值。近6 a 汉中降水偏少,城市较为安全。

用表3原暴雨强度公式计算的2 a 重现期与

表4 不同时段暴雨公式计算的暴雨强度及差值对比

mm/min

时段	重现期/a	历时/min											
		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	
1961年	100	2.802	2.303	1.990	1.771	1.479	1.217	1.052	0.850	0.727	0.644	0.582	
	50	2.548	2.094	1.809	1.610	1.344	1.106	0.956	0.772	0.661	0.585	0.529	
	20	2.211	1.817	1.570	1.397	1.167	0.960	0.830	0.670	0.574	0.508	0.459	
	—	10	1.956	1.608	1.389	1.236	1.032	0.849	0.734	0.593	0.508	0.449	0.406
	1980年	5	1.701	1.398	1.208	1.075	0.898	0.738	0.638	0.516	0.441	0.391	0.353
		3	1.513	1.244	1.075	0.956	0.799	0.657	0.568	0.459	0.393	0.347	0.314
		2	1.364	1.121	0.969	0.862	0.720	0.592	0.512	0.414	0.354	0.313	0.283
1981年	100	3.347	2.746	2.354	2.076	1.701	1.364	1.154	0.901	0.751	0.650	0.577	
	50	3.012	2.471	2.118	1.868	1.530	1.227	1.038	0.811	0.675	0.585	0.519	
	20	2.568	2.107	1.806	1.593	1.305	1.047	0.885	0.691	0.576	0.499	0.442	
	—	10	2.233	1.832	1.570	1.384	1.135	0.910	0.770	0.601	0.501	0.433	0.385
	2013年	5	1.897	1.556	1.334	1.176	0.964	0.773	0.654	0.511	0.425	0.368	0.327
		3	1.650	1.353	1.160	1.023	0.838	0.672	0.569	0.444	0.370	0.320	0.284
		2	1.453	1.192	1.022	0.901	0.739	0.592	0.501	0.391	0.326	0.282	0.250
差值	100	0.545	0.443	0.364	0.305	0.222	0.148	0.102	0.051	0.023	0.006	-0.005	
	50	0.464	0.377	0.309	0.258	0.186	0.121	0.082	0.038	0.014	0.000	-0.010	
	20	0.357	0.290	0.237	0.196	0.138	0.087	0.056	0.021	0.002	-0.009	-0.016	
	10	0.277	0.224	0.181	0.149	0.102	0.061	0.036	0.008	-0.007	-0.016	-0.021	
	5	0.196	0.158	0.126	0.101	0.066	0.035	0.016	-0.005	-0.016	-0.022	-0.026	
	3	0.136	0.110	0.086	0.067	0.040	0.015	0.001	-0.015	-0.023	-0.027	-0.030	
	2	0.089	0.071	0.054	0.039	0.019	0.000	-0.011	-0.022	-0.028	-0.031	-0.033	

注:差值=(1981—2013年)计算值-(1961—1980年)计算值

3 a 重现期暴雨强度内插出 2.33 a 不同历时的值,并与近 6 a 实际统计值的差值进行比较,则近 6 a 实际统计值 10 个历时中,有 9 个不同历时的值大于相应原暴雨强度公式的暴雨强度,平均大 7.1%。说明新的暴雨强度公式具有更好的适用性与安全性。

#### 4 结论

(1)汉中暴雨强度理论频率分布值,对于同一重现期,历时越短暴雨强度越大;对于同一历时,重现期越短暴雨强度越小。长历时降水强度小,但其不同重现期的相对变幅比短历时更大;低重现期的暴雨强度较小,但其不同历时降水强度的相对变幅比高重现期更大。

(2)采用年最大值取样法、皮尔逊Ⅲ型分布曲线拟合、应用最小二乘法求参推算的强度公式,在重现期在 2~20 a 时,暴雨强度的平均绝对方差为 0.030 mm/min,平均相对均方差为 4.44%。计算结果误差满足《室外排水设计规范》“计算重现期在 2~20 a 时,平均绝对方差不宜大于 0.05 mm/min;在较大降雨强度的地方,平均相对均方差不宜大于 5%”的要求。

(3)新推算的暴雨强度公式与原暴雨强度公式比较发现,各个历时、各个重现期实际值比原公式的计算值均偏大,特别是短历时各个重现期的误差均较大;对比发现,原公式计算值整体偏小。短历时偏小较多,长历时偏小相对较少,原公式已

表5 近6 a不同历时在各个重现期暴雨强度与暴雨公式的计算强度及差值对比 单位:mm/min

暴雨强度	重现期/a	历时/min										
		5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	平均
实际值	2.33	1.24	1.00	0.89	0.81	0.59	0.51	0.42	0.33	0.32	0.24	0.63
	3.50	1.38	1.27	1.15	0.89	0.68	0.58	0.50	0.37	0.32	0.25	0.74
	7.00	1.74	1.45	1.23	1.23	1.08	0.91	0.72	0.48	0.36	0.25	0.94
计算值	2.33	1.47	1.21	1.04	0.92	0.76	0.62	0.52	0.41	0.35	0.27	0.76
	3.50	1.65	1.36	1.17	1.04	0.86	0.69	0.59	0.47	0.39	0.30	0.85
	7.00	1.97	1.62	1.40	1.24	1.02	0.83	0.70	0.55	0.47	0.36	1.02
差值	2.33	-0.23	-0.21	-0.16	-0.12	-0.17	-0.10	-0.10	-0.08	-0.03	-0.03	-0.12
	3.50	-0.27	-0.09	-0.02	-0.15	-0.18	-0.11	-0.09	-0.09	-0.07	-0.06	-0.11
	7.00	-0.23	-0.17	-0.16	-0.01	0.06	0.08	0.01	-0.08	-0.11	-0.11	-0.07

注:差值=实际值-计算值

不能反映汉中暴雨强度的实际状况,需要修订。将前后两个时段暴雨强度公式的计算值进行对比发现,与1961—1980年相比,1981—2013年暴雨强度在一定重现期下,随着历时缩短,强度增强,反之随着历时延长,强度减弱。总体上,新的暴雨公式计算的强度更大,代表性更好,安全性更高。

(4)2014—2019年暴雨强度实际统计值与暴雨公式计算值的差值介于0.08~ -0.27 mm/min之间,大多数小于0,即近几年暴雨强度大多低于计算值,暴雨强度处在偏弱期;近6 a实际统计值的平均值大于原暴雨强度公式的对值,说明新的暴雨强度公式具有更好的适用性和安全性。

#### 参考文献:

- [1] 上海市建设委员会. 室外排水设计规范:GB 50014—2006[S]. 北京:中国计划出版社,2006.
- [2] 唐晋,王小霞. 汉中市暴雨灾害情况分析[J]. 产业与科技论坛,2017,16(21):112-113.
- [3] 黄先超,王晓峰,康丽玮,等. 陕西秦岭地区暴雨时空分布特征研究[J]. 江西农业学报,2016,28(3):103-108.
- [4] 室外排水设计规范:GB 50014—2006(2014版)[S].
- [5] 住房和城乡建设部,中国气象局. 城市暴雨强度公

式编制和设计暴雨雨型确定技术导则:建城[2014]66号[A]. 2014-05-04.

- [6] 梅超,刘家宏,王浩,等. 城市设计暴雨研究综述[J]. 科学通报,2017,62(33):3873-3884.
- [7] 叶姗姗,俞芳琴,刘俊,等. 不同资料年限下城市暴雨公式型式研究[J]. 水电能源科学,2020,38(5):18-21.
- [8] 城市排水工程设计—暴雨强度公式编制技术指南[EB/OL]. (2013-08-16)[2020-11-12]. <http://ishare.iask.sina.com.cn/f/60776325.html>.
- [9] 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.
- [10] 顾骏强,陈海燕,徐集云. 瑞安市暴雨强度概率分布公式参数估计研究[J]. 应用气象学报,2000,11(3):355-363.
- [11] 吴素良,范建勋,陈建文,等. 洛川暴雨强度公式参数的搜寻计算[J]. 陕西气象,2010(1):31-33.
- [12] 苍隋鑫,雷冠军,梁云,等. 群居蜘蛛优化算法在暴雨强度公式参数估计中的运用[J]. 人民珠江,2019,40(1):47-51.
- [13] 顾骏强,徐集云,陈海燕,等. 暴雨强度公式参数估计及其应用[J]. 南京气象学院学报,2000(1):63-67.
- [14] 任恒钦,伍立群,李学辉,等. 昆明市城市暴雨强度公式拟合研究[J]. 人民长江,2009,40(15):21-23+76.