

陈丹,袁华江,吕洋. 南疆阿克苏市短历时强降水特征及暴雨强度公式推算[J]. 陕西气象, 2022(5):47-51.

文章编号:1006-4354(2022)05-0047-05

南疆阿克苏市短历时强降水特征及暴雨强度公式推算

陈丹¹,袁华江¹,吕洋²

(1. 阿克苏地区气象局,新疆阿克苏 843000;2. 拜城县气象局,新疆拜城 842300)

摘要:基于阿克苏市 1956—2020 年的逐分钟降雨数据,采用年最大值法样本选择,分别选取近 65 年中逐 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 等 11 个降水历时的逐年最大值作为样本数据。采用一元线性拟合方法分析各历时降水年际变化特征,并使用耿贝尔分布、皮尔逊-Ⅲ型分布、指数分布曲线对各历时降水资料进行拟合,对比三种分布曲线拟合结果的理论频率和经验频率后,采用最小二乘法和高斯牛顿法计算暴雨强度公式参数,并进行暴雨强度公式精度检验。结果表明:阿克苏市近年来短历时的城市暴雨特征愈加明显;阿克苏市降水数据使用指数分布拟合、高斯牛顿方法推算所得的暴雨强度公式精度最高。

关键词:短历时最大降水量;暴雨强度公式;阿克苏

中图分类号:P333.2 **文献标识码:**A

20 世纪 50 年代以来,国内外诸多学者对极端降水事件开展研究,IPCC 第五次工作报告指出,1950 年以来气候系统观测到的许多变化是过去几十年甚至千年以来史无前例的^[1],多地极端降水特性发生明显变化^[2-7]。研究发现,中国暴雨强度增强且遭受异常强降水影响地区增多,极端强降水事件发生频次增加^[8-9]。近年来中国西北地区趋于湿润化,区域极端降水造成城市内涝事件时常发生,严重影响城市经济和人民生活^[10-12]。加快对极端暴雨的特征研究,完善城市排水设计,编制、更新暴雨强度公式,为城市排水管网设计提出科学、可靠的依据愈加重要。西方国家自记雨量数据资料时间序列长,能达到城市排水设计高重现期的要求,20 世纪 70 年代就已经使用年最大值法编制城市暴雨强度公式^[13-15],90 年代国外一些研究开始尝试使用年超大值选择样本数据^[16]。我国城市自记雨量仪器开始使用时间相

对较晚,20 世纪 70 年代起学者才开展暴雨强度公式编制研究分析,80 年代才开始陆续开展 27 个省份暴雨强度公式的编制工作。近年国内学者多使用年最大值法选择,并使用遗传算法计算暴雨强度公式参数,调整精度^[17-19]。

阿克苏地区位于新疆南部,天山山脉中部南麓。南疆暴雨突发性强,降水强度大^[20],近年来南疆降水增多、极端性增强^[21],位于南疆中部的阿克苏地区降水也发生明显的变化,加强对阿克苏地区的短历时暴雨强度研究极为重要。阿克苏市作为阿克苏地区人口、经济集中区,在城市快速发展的前提下,新的城市规划设计急需精确的暴雨强度公式作为暴雨强度技术支撑,故有必要编制阿克苏市暴雨强度公式。

1 资料和方法

1.1 资料样本选择

阿克苏市降水资料完善,具有长时间序列的

收稿日期:2021-09-12

作者简介:陈丹(1992—),女,汉族,四川绵阳人,硕士,工程师,从事气候与气候变化研究。

通信作者:袁华江(1992—),男,汉族,四川达州人,学士,工程师,从事气象服务工作。

基金项目:新疆维吾尔自治区气象局青年基金项目(Q202017)

样本资料,编制暴雨强度公式时,样本选择采用年最大值法。选取阿克苏市气象站 1956—2020 年 11 个降水历时逐年最大值作为暴雨强度公式编制数据样本,降水历时分别为:5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min。

1.2 暴雨频率与重现期计算

暴雨重现期指暴雨平均重现间隔期,重现期常表达为多少年一遇;频率为年频率,指暴雨发生的年频率。计算公式为

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

$$P = \frac{1}{F} = \frac{N+1}{M}. \quad (2)$$

式中 F 是年频率, M 是样本序号, N 为记录年数, P 为重现期。

年最大值法推算暴雨重现期,按《室外排水设计规范》(以下简称《规范》)的要求使用 2、3、5、10、20、30、50、100 a 统计,重点使用 2~20 a 的重现期进行精度检验。

1.3 暴雨频率分布曲线拟合

暴雨强度公式编制时采用理论频率分布曲线(耿贝尔分布、P-Ⅲ型分布、指数分布)适线外延,对比原始降水资料数据同使用的函数分布曲线拟合程度,选择拟合程度最好、曲线拟合误差小、拟合精度高的曲线分布;通过平均绝对方差和平均相对方差两个参数辨识拟合精度,误差值越小拟合精度越高。

1.4 暴雨强度公式计算

暴雨强度公式计算公式为

$$q = \frac{167 A_1 \times (1 + C \times \lg P)}{(t+b)^n}. \quad (3)$$

式(3)中: q 为暴雨强度(L/(s·hm²)); t 为降雨历时(min),取值范围为 1~180 min; P 为重现期(a),取值范围通常为 2~100 a。 A_1 、 b 、 C 、 n 是需要求解的暴雨强度公式参数; A_1 为雨力参数(mm); C 为雨力变动参数; b 为降雨历时修正参数(min); n 为暴雨衰减指数。

1.5 精度检验

采用“年最大值法”计算平均绝对方差和平均相对方差,重点检验重现期 2~20 a 的精度误差。根据《规范》要求,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%。

平均绝对方差:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (x_i - x'_i)^2}. \quad (4)$$

平均相对方差:

$$f = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left(\frac{x_i - x'_i}{x'_i} \right)^2} \times 100\%. \quad (5)$$

式(4)和式(5)中, x_i 为暴雨强度公式计算出的雨强, x'_i 为频率曲线拟合的降水强度值, I 为参与误差计算的样本数。

2 结果分析

2.1 各历时最大降水量的时间变化特征

对阿克苏市 1956—2020 年暴雨样本选择的 11 个降水历时数据进行趋势拟合,并对变化趋势进行显著性检验,结果见表 1。阿克苏市各历时最大降水量的年际变化均呈增加趋势(通过 0.01 的显著性检验);随着降水历时的增长,其最大降水量的线性倾向率也增大,其中 150 min 最大降水量的线性倾向率最大(1.53 mm/10 a),5 min 最大降水量的线性倾向率则最小(0.40 mm/10 a)。

表 1 1956—2020 年阿克苏市各历时最大降水量年际变化线性倾向率 单位:mm/10 a

降水历时/min	1956—2020 年	1956—1990 年	1981—2020 年
5	0.40**	0.43	0.58*
10	0.69**	0.65	0.99*
15	0.88**	0.89	1.16
20	1.00**	1.05*	1.23
30	1.15*	1.41*	1.15
45	1.21**	1.73*	0.92
60	1.26**	1.76*	0.98
90	1.43**	1.77*	1.09
120	1.52**	1.75*	1.12
150	1.53**	1.8*	1.10
180	1.47**	1.9*	0.98

注:** 为通过 0.01 显著性检验,* 为通过 0.05 显著性检验。

从 1956—1990 年和 1981—2020 年阿克苏市各历时暴雨量的变化趋势来看,1956—1990 年暴雨量的增加主要集中在历时 20~180 min 降水量,降水历时越长,降水量增加越快,历时 5、10、15 min 最大降水量的线性倾向率未通过显著性检验。1981—2020 年,阿克苏市各历时最大降水量的线性倾向率较 1956—1990 年更大,且历时 5 min 和 10 min 最大降水量呈显著增加趋势,表明近年来短历时的城市暴雨特征愈加明显。

2.2 阿克苏市暴雨强度公式

使用 3 种曲线分布拟合 11 个历时降水资料,对比曲线拟合结果的理论频率和经验频率,计算其平均绝对方差和平均相对方差值。曲线拟合误差结果见表 2。

表 2 1956—2020 年阿克苏市各历时最大降水量
曲线拟合样本误差

分布类型	误差种类	2~20 a
指数分布	平均绝对方差 σ	0.009 mm/min
	平均相对方差 f	3.29%
耿贝尔分布	平均绝对方差 σ	0.063 mm/min
	平均相对方差 f	20.27%
P-III 分布	平均绝对方差 σ	0.271 mm/min
	平均相对方差 f	42.96%

由表 2 可见,指数分布曲线拟合效果最好,平均绝对方差和平均相对方差值较符合《规范》要求。耿贝尔曲线分布拟合、皮尔逊-III 型曲线分布拟合效果差,精度检验不能达到《规范》的精度要求。故对阿克苏市 11 个降水历时不同重现期的降水数据曲线拟合选择拟合效果较好的指数分布函数。

2.2.1 $i-t-P$ 三联表 根据频率的指数分布曲线,得出降水强度(i)、降水历时(t)、降水重现期(P)三者的关系表($i-t-P$ 三联表)(见表 3)。

2.2.2 暴雨强度公式 基于 $i-t-P$ 三联表,利用最小二乘法和高斯牛顿法计算阿克苏市暴雨强度公式的各个参数,不同重现期暴雨强度公式如表 4。

通过计算,指数分布拟合情况下,利用最小二乘法计算的暴雨强度总公式为

$$q = \frac{1\ 619.939 \times (1 + 0.997 \lg P)}{(t + 14.469)^{0.96}},$$

利用高斯牛顿法计算暴雨强度总公式为

$$q = \frac{543.834 \times (1 + 4.690 \lg P)}{(t + 13.508)^{0.949}}。$$

暴雨强度单位为 $L/(s \cdot hm^2)$ 。

2.2.3 暴雨强度总公式精度检验 采用平均绝对方差和平均相对方差对指数分布最小二乘法 and 指数分布高斯牛顿法计算的暴雨强度总公式进行精度检验(表 5)。

表 3 指数分布函数拟合情况下阿克苏市 $i-t-P$ 三联表

单位: mm/min

t/min	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5	0.49	0.66	0.87	1.16	1.45	1.62	1.83	2.12
10	0.39	0.53	0.7	0.93	1.16	1.29	1.46	1.69
15	0.33	0.44	0.58	0.77	0.96	1.07	1.22	1.41
20	0.28	0.38	0.50	0.66	0.83	0.92	1.04	1.21
30	0.22	0.29	0.39	0.52	0.64	0.72	0.81	0.94
45	0.17	0.22	0.29	0.39	0.49	0.54	0.61	0.71
60	0.13	0.18	0.24	0.31	0.39	0.44	0.49	0.57
90	0.10	0.13	0.17	0.23	0.28	0.32	0.36	0.41
120	0.08	0.10	0.13	0.18	0.22	0.25	0.28	0.32
150	0.06	0.08	0.11	0.15	0.18	0.20	0.23	0.27
180	0.05	0.07	0.09	0.13	0.16	0.17	0.20	0.23

表4 阿克苏市不同重现期暴雨强度分公式一览表

重现期 P/a	暴雨强度分公式(最小二乘法)	暴雨强度分公式(高斯牛顿法)
$P=2$	$q=681.36/(t+5.776)^{0.774}$	$q=1311.565/(t+13.508)^{0.949}$
$P=3$	$q=1135.934/(t+7.667)^{0.821}$	$q=1760.659/(t+13.508)^{0.949}$
$P=5$	$q=1698.557/(t+9.662)^{0.870}$	$q=2326.451/(t+13.508)^{0.949}$
$P=10$	$q=2614.051/(t+12.002)^{0.920}$	$q=3094.182/(t+13.508)^{0.949}$
$P=20$	$q=3912.977/(t+13.613)^{0.952}$	$q=3861.913/(t+13.508)^{0.949}$
$P=30$	$q=4670.155/(t+14.173)^{0.964}$	$q=4311.007/(t+13.508)^{0.949}$
$P=50$	$q=5622.723/(t+14.772)^{0.976}$	$q=4876.799/(t+13.508)^{0.949}$
$P=100$	$q=6913.466/(t+15.501)^{0.991}$	$q=5644.530/(t+13.508)^{0.949}$

表5 暴雨强度总公式精度检验表

误差类型	最小二乘法	高斯牛顿法	《规范》标准
平均绝对方差 σ	0.088 mm/min	0.009 mm/min	≤ 0.05 mm/min
平均相对方差 f	29.44%	3.29%	$\leq 5\%$

由表5可看出,使用最小二乘法参数检验暴雨强度精度,不能满足《规范》中的精度要求。指数分布曲线拟合阿克苏市降雨样本资料,并运用高斯牛顿法计算的暴雨强度总公式,在重现期2~20 a的情况下,利用平均绝对方差和平均相对方差检验暴雨强度公式精度,符合《规范》提出的精度检验要求,故阿克苏市暴雨强度总公式为高斯牛顿法计算所得的暴雨强度总公式。

3 结论与讨论

(1)阿克苏市1956—2020年各历时最大降水量年际变化呈极显著增加,且近年来增加速率加快,20世纪80年代至今短历时城市暴雨特征愈加明显。

(2)利用年最大值法选取阿克苏市11个降水历时资料,采用皮尔逊-Ⅲ型、耿贝尔分布和指数分布型函数进行各历时降水分布拟合,利用最小二乘法和高斯牛顿法计算暴雨强度公式并进行精度检验。结果显示阿克苏市使用指数高斯推算的暴雨强度公式拟合效果最优,精度检验符合《规范》要求。阿克苏市暴雨强度总公式为

$$q = \frac{543.834 \times (1 + 4.690 \lg P)}{(t + 13.508)^{0.949}}$$

(3)本文暴雨强度公式推算主要针对阿克苏市城区暴雨,本暴雨强度公式推算结果以研究为主,

具体暴雨强度公式应以地方政府公开发布为准。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013:37.
- [2] 辛格,赵卫. 流域模拟[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2000.
- [3] ALEXANDER L V, ZHANG XB, PETERSON T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 111(5): D05109.
- [4] ALEXRULDER L V, TAPPER N, ZHANG X, et al. Climate extremes: progress and future directions [J]. International Journal of Climatology, 2009, 29(3):317-319.
- [5] BAI A, ZHAI P, LIU X, et al. Climatology and trends in wet spell of in China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2007, 88(3):139-148.
- [6] RICHARD E, WHEATER H S. Analysis of rainfall variability using generalized linear models: A case

- study from the west of Ireland[J]. *Water Resources Research*, 2002, 38(10):1-11.
- [7] CHOI G, COLLINS D, REN G, et al. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asian-Pacific network region, 1955-2007[J]. *International Journal Climatology*, 2009, 29(13):1906-1925.
- [8] 李树平,刘遂庆,黄延林.用麦夸尔特法推求暴雨强度公式参数[J]. *给水排水*, 1999, 25(2):26-28.
- [9] 贾艳青,张勃.近 57 年中国北方气候干湿变化及与太平洋年代际振荡的关系[J]. *土壤学报*, 2019, 1(4):1445-1460.
- [10] 陈峪,高歌,任国玉,等.中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(5):637-643.
- [11] 常远勇,侯西勇,于良巨,等.基于 TRMM3B42 数据的 1998—2010 年中国暴雨时空特征分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2013, 24(3):105-112.
- [12] 贾艳青,张勃.近 57 年北方气候干湿变化及与太平洋年代际振荡的关系[J]. *土壤学报*, 2019, 1(4):1445-1460.
- [13] FROEHLICH, DAVID C. Short-duration rainfall intensity equations for drainage design[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2010, 136(8):519-526.
- [14] ALILA, YOUNES. Regional rainfall depth-duration-frequency equations for Canada[J]. *Water Resources Research*, 2007, 36(7):1767-1778.
- [15] NGUYEN V-T-V, DESRAMAUT N, NGUYEN T-D. Optimal rainfall temporal patterns for urban drainage design in the context of climate change[J]. *Water Science and Technology*, 2010, 62(5):1170-1176.
- [16] 顾春新.城市短历时暴雨强度公式及参数的确定方法研究[D].南京:河海大学,2007.
- [17] 室外排水设计规范:GB 50014—2006[S].北京:中国计划出版社,2016.
- [18] 吴素良,蔡新铃,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.
- [19] 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.
- [20] 杨霞,赵逸舟,王莹,等.近 30 年新疆降水量及雨日的变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(8):82-87.
- [21] 张新.新疆近 50 a 极端降水气候变化研究[J]. *水利技术监督*, 2017, 25(1):115-117.