

文章编号:1673-8411 (2018) 02-0024-05

黄山市暴雨强度公式的研制

鲁俊¹, 金飞胜², 陶寅¹, 邱阳阳¹, 张恬¹

(1.安徽省气象灾害防御技术中心, 合肥 230061; 2.黄山市气象局, 安徽 黄山 245021)

摘要:利用黄山市屯溪气象站 1987~2016 年连续 30a 的降水观测资料,获得降水量统计样本;采用“年最大值法”进行资料选样,按照 P—Ⅲ 分布、耿贝尔分布和指数分布进行分布曲线拟合得到雨强—重现期—历时 (i—P—t) 三联表;采用最小二乘法、高斯牛顿法求解暴雨强度分公式和总公式参数,根据误差最小原则确定最优方法,得到黄山市暴雨强度公式。结果表明:耿贝尔分布和指数分布各降水历时下的相对均方根误差比 P—Ⅲ 分布较小;采用最小二乘法参数组合方法计算分公式和总公式误差比高斯牛顿法较小,精度满足国标要求,是目前较为合适的暴雨强度公式计算方法,推荐为最优的暴雨强度公式。

关键词:暴雨;暴雨强度公式;最小二乘法;高斯牛顿法

中图分类号:P451

文献标识码:A

Research on the rainstorm intensity formula of Huangshan City

Lu Jun¹, Jin Feisheng², Tao Yin¹, Qiu Yangyang¹, Zhang Tian¹

(1.Anhui Meteorological Disaster Defense Technology Center, Hefei Anhui 230061;

2. Huangshan Meteorological Bureau, Huangshan Anhui 245021)

Abstract: Based on the rainfall observation data of 30 consecutive years from 1987 to 2016 of Tunxi meteorological observatory in Huangshan city, the precipitation statistics were obtained. The annual maximum value method was used to select the data, and the distribution curve of P—Ⅲ distribution, Gengbeier distribution and Index distribution were fitted to obtain the three-linked table of intensity—period repeated—time interval (i—P—t). The least square method and Gaussian Newton method were used to calculate the parameters of divisional and total rainfall intensity formula. The results showed that the relative mean root errors of Gengbeier distribution and Index distribution were smaller than that of P—Ⅲ distribution. The least square method is the most suitable method for calculating rainstorm intensity formula, which has smaller error and higher precision than Gauss Newton method, which was recommended as the best rainstorm intensity formula of Huangshan city.

Keywords: rainstorm; rainstorm intensity formula; least squares method; Gaussian Newton method

1 引言

受全球气候变化影响,区域性极端暴雨事件呈现出增多增强的趋势,暴雨的趋势性变化对城市的防灾减灾提出挑战。城市水灾害主要是由短历时暴雨引起,暴雨强度公式是反映一定频率的暴雨在规

定时段最不利时程分配的平均强度的计算公式,是排水规划、排水管道大小设计的主要依据,对优化城市排水渠道和地下管网规划、预防大面积渍涝灾害起着非常重要的作用。因此,利用最新降水资料开展暴雨公式编制工作具有重要的现实意义。

长期以来水文气象工作者对暴雨强度公式进行

收稿日期:2018-02-08

基金项目:安徽省气象局新技术集成项目(AHXJ201605)资助。

作者简介:鲁俊(1981-),男,安徽芜湖人,硕士,高级工程师,从事气候研究工作。

了不懈的探索和研究,陈正洪等^[1]提出了一种客观的、最优化的暴雨强度公式参数估算方法;许沛华等^[2]设计开发了“深圳分钟降水数据预处理系统”,并实现与该软件的“无缝衔接”;陈正洪等^[3]利用深圳市气象局 1954~2003 年 50a 间的暴雨记录,用指数分布和 P—Ⅲ分布进行分布曲线拟合和选优,得到了理论上的“雨强—历时—重现期”三联表,在此基础上再分别采用最优法、二分搜索法和广义逆法等 3 种方法求解分公式和总公式参数,根据误差最小的原则确定最优方法;任伯帜等^[4]应用二元插值理论细化及扩展离均系数表,用最小二乘法适线确定皮尔逊—Ⅲ型分布统计参数;宁静等^[5]通过对上海同一时期中心城区和区县设计雨量的对比,结合气候和地理因素的影响分析,揭示了上海中心城区与市郊短历时设计暴雨强度的差异及其与重现期的关系;邓培德^[6]论证了不同选样方法的关系及其相应频率分布计算;夏宗尧^[7]从理论分析和大量实例计算结果说明,在编制暴雨强度公式中,应用 P—Ⅲ曲线优于应用指数曲线;周绍毅^[8]利用南宁气象站降水数据拟合得到重现期—降雨强度—降雨历时(P—i—t)三联表,计算得到南宁市暴雨强度公式计算方法,并用芝加哥法推求确定南宁市重现期 2a 历时 30、60、90、120、150、180min 以 5min 为单位时段的设计暴雨雨型。这些成果对于研究编制黄山市暴雨强度公式提供了思路和方法,有较好的借鉴意义。

近年来由于受到快速发展的城市化进程和气候变化的影响,黄山市暴雨总体呈上升趋势,高强度降水造成城市浸水的主要外在原因,由于城市的发展使防洪排涝难度增大,气候变化导致的高强度降水频率的增大,城市遭受水浸的自然风险不断增加。目前黄山市采用的暴雨强度公式是参考杭州的暴雨强度公式^[9],经检验该公式的平均绝对均方差为 0.203,已远大于国标要求的 0.05mm/min;平均相对均方差为 7.5%,也大于国标要求的 5%。吴昊^[10]利用屯溪水文站 1965~2013 年降雨资料,推求黄山市暴雨强度公式,平均绝对均方差为 0.0038,平均相对均方差为 2.34%,符合国标要求,但统计样本缺少 150min 时段的最大降水值,且未使用屯溪气象站最新降水数据,已经不能代表黄山市当地现状及长期以来的暴雨特性。

本文基于黄山市屯溪气象站 1987~2016 年近 30 年连续观测降水资料建立暴雨统计样本,依据最

新国标^[28]和技术导则^[29],研制得到黄山市新一代暴雨强度公式,为黄山市暴雨内涝防灾减灾工程设计提供依据与支持。

2 资料来源与方法

2.1 资料来源

降雨量资料来源于屯溪气象站(国家基准站),资料年代为 1987~2016 年。根据国家标准规定的“年最大值法”建立统计样本,降雨历时按 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180min,每年选取每个历时的最大雨量记录,该资料已经安徽省气象信息中心人工审核和修正。利用 30a 每年 11 个历时值共 330 个降水量建立的统计样本满足可靠性、一致性、代表性、随机性。

2.2 方法与原理

2.2.1 暴雨强度频率

暴雨发生次数以频率或重现期表示,年重现期指暴雨出现 1 次的平均间隔时间,年频率指每年发生暴雨的机率,二者互为倒数。即重现期为 0.25 时,相对应的频率为 4 年。

在进行频率计算时,将某个降雨量或雨强的累计频率称之为经验频率,常用的计算方法是将 n 项的随机变量从大到小排列后,某项实测值的经验频率为:

$$p = \frac{m}{(n+1)} \times 100\% \quad (1)$$

式中 p 为经验频率, m 为样本的序号(样本按从大到小排序), n 为样本总数。暴雨强度重现期是指相等或超过它的暴雨强度出现一次的平均时间,单位为年。

2.2.2 年最大值法推算暴雨强度公式

利用屯溪气象站 1987~2016 年分钟降水数据,根据新规范要求,首先采用“年最大值法”进行资料选样,然后分别利用指数分布、耿贝尔分布和 P—Ⅲ分布对降水样本进行曲线拟合,得到 i — p — t 三联表,即降水强度、重现期、降水历时三者的关系。再采用最小二乘法、高斯牛顿法两种方法求解黄山市暴雨强度分公式和总公式各参数,在此基础上得到 6 套暴雨强度总公式和 6 套暴雨强度分公式,根据误差最小的原则选择最优组合得到暴雨强度总公式和暴雨强度分公式。

暴雨强度公式是已知关系式的非线性方程,反映的是一定重现期的暴雨在规定时段的最不利历时

分配的平均暴雨强度。依据国标,暴雨强度公式的表达形式为:

$$q = \frac{167A(1+Clgp)}{(t+b)^n} \quad (2)$$

式中: q 为设计暴雨强度 (单位: $L/(s \cdot hm^2)$), P 为重现期 (单位: 年), t 为降雨历时 (单位: min)。 A 、 b 、 c 、 n 是与地方暴雨特性有关且需求解的参数, 根据统计方法进行计算确定。

对该式两端求对数, 得到:

$$\ln q = \ln 167A + \ln(1+ClgP) - n \ln(t+b) \quad (3)$$

设: $y = \ln q - \ln(1+ClgP)$, $b_0 = \ln 167A$, $b_1 = -n$, $x = \ln(t+b)$, 则上式可写为:

$$y = b_0 + b_1 x \quad (4)$$

采用最小二乘法求出式中的 b_0 、 b_1 。再采用“数逼近法”来处理: 先给定一个 b 值, 采用最小二乘法进行计算, 得出相应的 A_1 、 n 以及 q' (拟合值), 同时求出公式的平均绝对均方差 $\bar{\sigma}$:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{m_0} \sum_{j=1}^{m_0} \left(\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (q_{ij} - q'_{ij})^2} \right) \quad (5)$$

式中 m 为 11 个历时, m_0 为重现期。不断调整 b 值, 直至使其 $\bar{\sigma}$ 值达到最小。选取使 $\bar{\sigma}$ 最小的一组参数 A_1 、 b 、 n , 即为最佳拟合参数。

2.2.3 精度检验

为确保计算结果的准确性, 在合理取舍有效参数的同时, 需对暴雨强度计算结果进行精度检验, 按国标要求, 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 年时, 在一般降雨强度的地方, 平均

绝对均方差不宜大于 0.05mm/min; 在较大降雨强度的地方, 平均相对均方差不宜大于 5%。

$$\text{平均绝对均方误差: } X_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{t_i} \right)^2} \quad (6)$$

$$\text{平均相对均方误差: } U_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{R_i} \right)^2} \times 100\% \quad (7)$$

上式中, R' 为理论降水量, R 为 i - P - t 曲线确定的降雨量。

3 暴雨强度公式推算结果

文献^[29]中指出: “当拟合精度差异不大时推荐采用皮尔逊-Ⅲ型分布函数。从理论上讲, 耿贝尔型分布是皮尔逊-Ⅲ型分布的特例。皮尔逊-Ⅲ型分布的总体参数 C_v 、 C_s 具有较清晰的物理意义”。

根据国标要求, 采用年最大值法计算曲线拟合误差和暴雨强度公式参数推求误差, 应统计的重现期为 2~20a, 在一般降水强度的地方, 平均绝对均方差不宜大于 0.05mm/min。在降水强度较大的地方, 相对均方根误差不宜大于 5%。从表 1 中可以看出, 利用“最小二乘法”求解参数方法, 采用 P -Ⅲ型、指数分布、耿贝尔频率曲线中任意一种, 公式精度均符合国标要求。综合来看, 按照屯溪气象站历史雨量资料, 利用耿贝尔频率分布曲线拟合, 采用最小二乘法求参而推算出的黄山市暴雨强度公式, 结果精度高, 平均绝对均方差为 0.029, 平均相对均方差为 2.88%, 符合国家标准规定的精度, 推荐为最优的暴雨强度公式。

表 1 不同方法推算的黄山市暴雨强度公式精度检验

样本资料延长方法		P-Ⅲ型	指数分布	耿贝尔分布
最小二乘法	平均绝对均方误差/mm·min ⁻¹	0.029*	0.027*	0.029*
	平均相对均方误差	3.11%*	2.92%*	2.88%*
高斯牛顿法	平均绝对均方误差/mm·min ⁻¹	0.077	0.045*	0.047*
	平均相对均方误差	9.14%	6.55%	5.41%

注: * 表示符合国标精度标准

对屯溪气象站 1987~2016 年降水资料进行选择, 并采用耿贝尔分布对 11 个降水历时 (5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180min) 分别进行拟合,

结果如表 2 所示, 曲线拟合得出的 i - P - t 表详见表 3。

表 2 屯溪站耿贝尔分布曲线调整结果

参数	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
a	102.182	69.991	57.429	51.791	49.103	42.198	36.501	29.798	24.606	19.042	15.420
b	359.145	278.489	230.319	200.184	163.159	125.384	104.165	81.308	68.251	60.827	54.749

表 3 屯溪站耿贝尔分布拟合得出的 i-P-t 表

重现期	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
100	24.826	39.956	44.416	52.507	69.887	86.093	97.752	117.692	130.378	133.314	135.467
50	22.690	33.029	40.815	48.176	63.729	78.154	88.595	106.479	118.033	121.372	123.863
20	19.840	29.124	36.008	42.397	55.510	67.559	76.376	91.516	101.559	105.436	108.377
10	17.637	26.107	32.295	37.932	49.160	59.374	66.936	79.957	88.831	93.124	96.413
5	15.342	22.962	28.424	33.278	42.541	50.842	57.095	67.906	75.563	80.289	83.940
3	13.515	20.459	25.344	29.573	37.273	44.051	49.263	58.315	65.004	70.075	74.014
2	11.874	18.212	22.578	26.247	32.543	37.954	42.231	49.704	55.523	60.904	65.102
1	8.969	14.232	17.679	20.357	24.166	27.155	29.776	34.453	38.731	44.660	49.318

经计算,黄山市暴雨强度总公式为:

$$q=\frac{1159.530\times(1+0.841LgP)}{(t+3.770)^{0.597}} \tag{8}$$

总公式与分公式的侧重点不同,总公式是用于城市的统筹规划,分析区域降雨分布规律的重要参考,分公式更多的是在城市排水系统尤其是雨水排水管渠的设计中使用。因总公式精度不及分公式,其它重现期设计暴雨强度时使用分公式见表 4。

不同重现期的暴雨强度,可查阅相关表格(本文略),也可直接从图 1 的曲线图中查找。

表 4 重现期分公式

重现期 P(年)	区间	参数	分 公 式
2 ~ 10	I	A	10.298+0.714Ln(P - 0.509)
		b	5.685 - 1.249Ln(P - 0.378)
		n	0.655 - 0.035Ln(P - 0.706)
11 ~ 100	II	A	9.465+1.102Ln(P - 0.107)
		b	3.524 - 0.348Ln(P - 6.185)
		n	0.594 - 0.010Ln(P - 7.290)

注:根据上表求出的 A、b、n 参数,代入 $q=\frac{A}{(t+b)^n}$,即可求出暴雨强度 q。

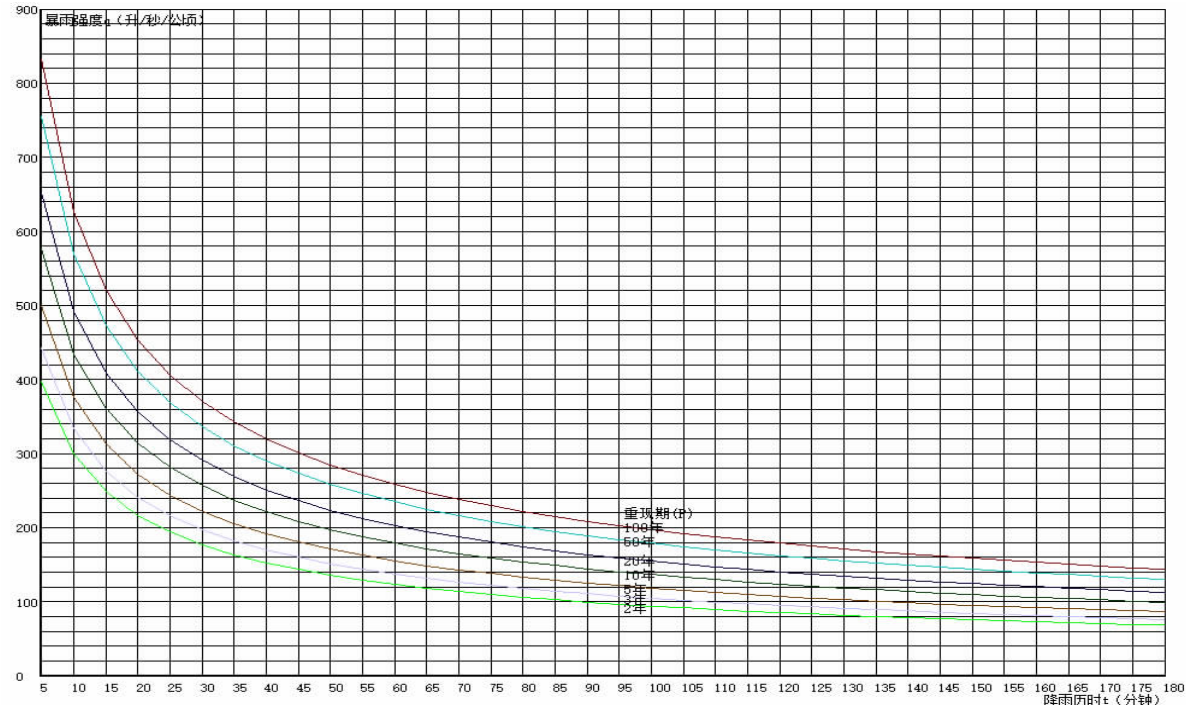


图 1 不同降雨历时(0~180min)不同暴雨强度(L/s/hm²)曲线图

4 结论

本文采用屯溪气象站 1987~2016 年共 30a 各个历时暴雨数据,通过数据预处理建立准确可靠的暴雨统计样本,采用最大值法研制得到黄山市新一代暴雨强度公式,有以下主要结论与总结:

(1)利用耿贝尔频率分布曲线拟合,采用最小二乘法求参而推算出的黄山市暴雨强度公式,结果精度高,符合国家标准规定的精度,推荐为最优的暴雨强度公式。

(2)建议在使用新编暴雨强度公式时,优先从 $i-P-t$ 三联表中直接查找,对于重现期、降水历时不在 $i-P-t$ 三联表范畴内的,通过暴雨强度分公式查算,如果暴雨强度分公式不能查算的,再考虑使用暴雨强度总公式计算。

(3)在气候变化的背景下,各地极端降水特点不断变化,建议每隔 5~10a 或任一历时雨强突破历史纪录时,对黄山市暴雨强度公式进行修编。

参考文献:

- [1] 陈正洪,李兰,刘敏,等.湖北省 2008 年 7 月 20—23 日暴雨洪涝特征及灾害影响[J].暴雨灾害,2009,28(4):345-348.
- [2] 许沛华,陈正洪,李磊,等.深圳分钟降水数据预处理系统设计与应用[J].暴雨灾害,2012,31(1):83-86.
- [3] 陈正洪,王海军,张小丽,等.深圳市新一代暴雨强度公式的研制[J].自然灾害学报,2007,16(3):29-34.
- [4] 任伯帜,许仕荣,王涛.皮尔逊-Ⅲ型分布统计参数的确定[J].中国给水排水,2001,17(1):40-43.
- [5] 宁静,李田.城市化效应对上海短历时设计暴雨强度的影响[J].中国给水排水,2007,23(15):51-57.
- [6] 邓培德.暴雨选样与频率分布模型及其应用[J].给水排水,1996,22(2):5-9.
- [7] 夏宗尧.编制暴雨强度公式中应用 $P-III$ 曲线与指数曲线的比较[J].中国给水排水,1992,18(2):32-38.
- [8] 周绍毅,罗红磊,苏志,等.南宁市新一代暴雨强度公式与暴雨雨型研究[J].气象研究与应用,2017,38(2):1-9.
- [9] 朱宏,孟玉.黄山市暴雨强度公式评估[J].中国资源综合利用,2014,33(2):57-59.
- [10] 吴昊.黄山市暴雨强度公式的推求方法研究[J].合肥工

业大学硕士学位论文,2016.

- [11] 黄明策.广西暴雨时空分布特征[J].气象研究与应用,2006,27(3):9-13.
- [12] 黎建春,蒙昭臻,古秋红.藤县暴雨的统计特征分析[J].气象研究与应用,2011,32(3):31-35.
- [13] 谢东,刘洲荣,贾显锋.柳州市暴雨强度公式修订研究[J].气象研究与应用,201738(3):61-64.
- [14] 林开平,姚才,赵江洁,等.广西致洪暴雨的影响系统及暴雨落区分析[J].气象研究与应用,2001,22(1):17-20.
- [15] 覃卫坚,李耀先,廖雪萍,等.大气低频振荡对广西持续性区域性暴雨的可能影响[J].气象研究与应用,2015,36(3):1-7.
- [16] 覃卫坚,李耀先,覃志年.广西暴雨的区域性和连续性研究[J].气象研究与应用,2012,33(4):1-4.
- [17] 黄丽康,韦彩色,赵玉红.合浦县暴雨气候特征及成因分析[J].气象研究与应用,2012,33(4):32-34.
- [18] 黄翠银,陈剑飞.2011 年 10 月一次广西区域性暴雨特征分析[J].气象研究与应用,2012,33(4):22-26.
- [19] 覃卫坚,李耀先,廖雪萍.广西热带气旋的暴雨统计分析及数值模拟[J].气象研究与应用,2013,34(1):1-6.
- [20] 卢伟萍,梁维亮,李菁.北部湾海风锋暴雨气候特征分析[J].气象研究与应用,2010,31(3):1-4.
- [21] 彭尚永,刘小容,李恒宇,等.大埔县 50 年暴雨气候统计特征[J].气象研究与应用,2009,30(S2):53-54.
- [22] 黄增俊,黄芳.来宾市暴雨时空分布特征[J].气象研究与应用,2009,30(S1):12-13.
- [23] 翟志宏,何健.华南区域 1961~2008 年暴雨变化趋势统计特征[J].广东气象,2011,33(1):24-27.
- [24] 陈新光,潘蔚娟,张江勇,等.气候显著变暖使广州极端气候事件增多[J].广东气象,2007,29(2):24-25.
- [25] 陈特固,曾侠,张江勇,等.全球变暖背景下的广东省降水量及旱、涝变化趋势[J].广东气象,2007,29(1):5-10.
- [26] 郑浩阳,王丽文.珠海市暴雨天气的气候特征及影响形势分析[J].广东气象,36(2):19-23.
- [27] 梁巧倩,林良勋,谢健标,等.广东前汛期西风槽暴雨两个例的强度及落区[J].广东气象,2007,29(2):32-34.
- [28] 室外排水设计规范[M].(GB50014-2006,2016).
- [29] 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[M].2014.