

张秉祥,陈静,韩军彩,等. 石家庄市城区暴雨强度公式修正方法对比分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 671-676, [ZHANG Bingxiang, CHEN Jing, Han Juncai, et al. Comparison of Method of Revising Urban Storm Intensity Formula in Shijiazhuang[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(4): 671-676], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-04-0671

石家庄市城区暴雨强度公式修正方法对比分析

张秉祥,陈静,韩军彩,李丽燕

(河北省石家庄市气象局,河北 石家庄 050081)

摘要:利用石家庄市国家基本气象站1961~2012年近52 a降水资料,基于年多个样法和年最大值法进行选样,采用皮尔逊-Ⅲ型分布对暴雨进行理论频率分析,得出暴雨强度-历时-重现期关系曲线,并利用高斯-牛顿迭代法对暴雨强度公式进行求解,以绝对标准差和相对标准差作为暴雨强度公式评价指标。结果表明:基于年多个样法推算的暴雨强度公式精度比年最大值法高,且满足暴雨强度公式评价指标。新编制的暴雨强度公式计算的暴雨强度值大部分比1978年编制的大,且随着降水历时的增长,其偏大的幅度呈增加趋势,与近30 a来石家庄市极端降水事件呈增加趋势基本相符。

关键词:暴雨强度公式;皮尔逊-Ⅲ型;对比分析

文章编号:1006-7639(2014)-04-0671-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-04-0671

中图分类号:TU992.03

文献标识码:A

引言

近年来在全球气候变暖背景下,极端强降水事件频率和强度均呈增大趋势^[1-3],给区域防洪排涝和城市市政排水带来了更大的潜在压力。石家庄市作为河北省省会,是河北经济技术文化中心,城市发展迅速的同时,城市排水管网设计与城市发展不匹配带来的问题日益突出,如2011年8月9日2个多小时降雨量达127.7 mm,造成了市区30多处路段和道桥严重积水、断交,积水深度普遍在30 cm左右,个别积水深度达到70~80 cm,给居民出行和城市交通造成严重影响。提升城市排水设施能力,减少或避免城市“内涝”发生,提高基础设施承载力已成为当前城市管理急需解决的问题。暴雨强度公式是计算地面径流量和确定雨水工程设计规模以及科学、合理制定城市和重大工程区域给排水规划和工程设计的基础^[4-5]。因此,修订暴雨强度公式以适应新的气候状况势在必行。目前国内外专家学者已有许多相关方面的研究^[6-10],但对于不同城市,暴雨强度公式及适用范围不尽相同。

2013年前,石家庄使用的城市暴雨强度公式为1978年应用1956~1975年的降雨资料,采用数理

统计法所编制。由于观测资料有限,编制使用时间较长,已无法全面真实反映降水变化规律和适应城区排涝工程设计与建设,而暴雨观测资料的积累和暴雨强度推算方法研究的深入^[11-13],为精细化完善推算暴雨强度公式提供了良好的基础。本文依据《室外排水设计规范》^[14](GB 50014-2006),参照中国气象局下发的《城市排水工程设计—暴雨强度公式编制技术指南》,分别利用年最大值法和年多个样法编制了石家庄城区暴雨强度公式,并对其精度进行对比检验分析,以确定最优的编制方法,为城市排水设计等提供参考。

1 资料及处理

所用降水资料为石家庄市气象局提供的石家庄站1961~2004年4~10月的自记纸雨量记录和2005~2012年4~10月的自动站逐分钟降水量,从中分别提取5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min等11个降水历时资料。

采用年最大值法和年多个样法进行暴雨选样,即以24 h降水量 ≥ 10.0 mm为场次暴雨选取指标,每年选8个过程。采用滑动统计法每年分

收稿日期:2014-03-11;改回日期:2014-04-17

基金项目:河北省气象局科研开发项目(10KY21)、2012年中国气象局山洪地质灾害防治气象保障工程业务项目“市级山洪地质灾害和小河流洪水精细化预报系统改进完善建设”(SH-2012-02-07)共同资助

作者简介:张秉祥(1958-),男,河北沧州人,本科,工程师,主要从事气象预报服务工作. E-mail:han6812@sina.com

别挑取各降水历时的 8 个最大值和年最大值。其中年最大值法,将各降水历时暴雨强度的逐年最大值按从大到小顺序进行排序,共 52 个样本;年多个样法,不论年次将各降水历时暴雨强度按从大到小顺序进行排序,并从大到小选取年数 4 倍的最大值,共 208 个样本。

2 方法

2.1 皮尔逊-Ⅲ型曲线拟合

目前在我国应用比较广泛的暴雨强度频率曲线有指数分布和皮尔逊-Ⅲ型^[15]分布 2 种,由于采用指数分布进行拟合,其相关性稍差^[16],故本文选用皮尔逊-Ⅲ型频率曲线,其计算步骤为:

(1) 根据原始资料处理后所得的暴雨强度资料,求出 11 个降水历序列的变差系数 C_v 和偏态系数 C_s 。

(2) 根据求得的 C_s ,在离均系数表上查出频率为 0.1%、0.5%、1%、2%、3%、5%、10%、20%、50%、75%、90%、95%、99.9% 的离均系数 Φ ,代入式(1)。

$$Y = (1 + \Phi \times C_v) \bar{x} \quad (1)$$

式(1)中, Y 为理论降水强度, \bar{x} 为原始暴雨强度的均值。求得上述频率的理论降水强度,以 Y 为纵坐标,以频率为横坐标,即可得到频率曲线,绘在有原始暴雨强度点据的图上,看与原始暴雨强度点据的拟合情况,若不理想,则不断调整 C_v 、 C_s ,直至理论频率曲线与原始暴雨强度点据拟合达最佳为止。

(3) 根据确定的频率曲线,得出暴雨强度、降水历时和重现期三者的关系式,确定 i 、 t 、 p 的关系值,它们是推算暴雨强度公式的基本资料。

2.2 暴雨强度公式及参数求解

《室外排水设计规范》(GB50014-2006)2011 修订版暴雨强度公式定义为:

$$q = \frac{167 A_1 (1 + C_l \lg p)}{(t + b)^n} \quad (2)$$

式(2)中: q 为暴雨强度(单位: mm/min), p 为重现期(单位: a), t 为降水历时(单位: min)。 A_1 、 C 、 b 、 n 是与地方暴雨特性有关的参数: A_1 为雨力参数(单位: mm), C 为雨力变动参数, b 为降水历时修正参数(单位: min), n 为暴雨衰减指数。采用高斯-牛顿迭代法对暴雨强度公式进行求解。

暴雨强度公式参数求解的优劣需用一定标准来衡量。《室外排水设计规范》规定:采用年多个样法时,计算重现期在 0.25 ~ 10 a 时,在一般强度的地方,平均绝对标准差不宜 > 0.05 mm/min;在较大强

度的地方,平均相对标准差不宜 > 5%。采用年最大值法时,计算重现期在 2 ~ 20 a 时,在一般强度的地方,平均绝对标准差不宜 > 0.05 mm/min;在较大强度的地方,平均相对标准差不宜 > 5%。本文选用这 2 种评价标准进行计算比较。绝对标准差用 σ 表示,相对标准差用 ω 表示,表达式分别为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{R' - R}{t} \right)^2}{N}} \quad (3)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{R' - R}{R} \right)^2}{N}} \times 100\% \quad (4)$$

式(3)和式(4)中, R' 为理论降水量(单位: mm), R 为实际降水量(单位: mm), t 为降水历时(单位: min), N 为样本数。

3 结果与分析

3.1 暴雨频率分布曲线拟合

对采用年多个样法和年最大值法 2 种方法统计的暴雨强度样本进行皮尔逊-Ⅲ型频率分布曲线拟合(图略),并采用最小二乘法对参数进行估计,求得石家庄市城区 11 个降水历时暴雨强度频率分布参数,见表 1。利用表 1 参数,即可得到暴雨强度频率分布函数,从而求出各重现期对应的暴雨强度,制作反映暴雨强度-历时-重现期三者关系的 $i-t-p$ 表(表 2)。

3.2 石家庄市暴雨强度公式及精度检验

采用年多个样法推算的石家庄市暴雨强度公式为:

$$q = \frac{2614.051(1 + 0.8921 \lg p)}{(t + 13.15)^{0.784}} \quad (5)$$

采用年最大值法推算的石家庄市暴雨强度公式为:

$$q = \frac{2361.814(1 + 1.7221 \lg p)}{(t + 19.9)^{0.838}} \quad (6)$$

表 3 是采用年多个样法和年最大值法推算的暴雨强度公式精度检验。可以看出,利用年多个样法推算的暴雨强度公式算得的重现期 0.25 ~ 10 a 暴雨强度平均绝对标准差和平均相对标准差分别比 0.05 mm/min 和 5% 偏小,均满足《室外排水设计规范》规定的精度要求。利用年最大值推算的暴雨强度公式算得的重现期 2 ~ 20 a 暴雨强度平均绝对标准差和平均相对标准差分别比 0.05 mm/min 和 5% 偏大,均不满足《室外排水设计规范》提出的精度要求。说明采用年多个样法求得的暴雨强度公式比年最大值法求得的暴雨强度公式精度高。

表1 石家庄市暴雨强度频率皮尔逊-III型分布参数

Tab.1 Parameters of P-III distribution of storm intensity frequency in urban area of Shijiazhuang

选样方法	参数	历时/min										
		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
年多个样法	\bar{x}	1.407	1.116	0.955	0.837	0.673	0.518	0.427	0.318	0.258	0.219	0.191
	C_v	0.406	0.450	0.458	0.465	0.497	0.512	0.516	0.520	0.525	0.525	0.544
	C_s	1.352	2.009	1.829	1.823	1.968	2.016	2.016	2.113	2.172	2.213	2.483
年最大值法	\bar{x}	1.910	1.600	1.370	1.210	1.000	0.770	0.630	0.470	0.390	0.330	0.290
	C_v	0.350	0.400	0.400	0.400	0.420	0.440	0.450	0.450	0.470	0.480	0.510
	C_s	0.994	1.416	1.188	1.228	1.286	1.179	1.067	0.977	0.949	1.042	1.239

表2 石家庄市暴雨强度频率皮尔逊-III型分布 $i-t-p$ 表

Tab.2 $I-t-p$ of P-III distribution of storm intensity frequency in urban area of Shijiazhuang

选样方法	重现期 /a	历时/min										
		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
年多个样法	0.25	0.59	0.56	0.48	0.41	0.33	0.26	0.21	0.16	0.13	0.12	0.11
	0.33	0.99	0.75	0.64	0.56	0.43	0.33	0.27	0.20	0.16	0.14	0.12
	0.5	1.28	0.97	0.83	0.73	0.57	0.44	0.36	0.27	0.21	0.18	0.15
	1	1.69	1.33	1.14	1.00	0.80	0.62	0.51	0.38	0.31	0.26	0.22
	2	2.08	1.69	1.46	1.28	1.05	0.82	0.68	0.50	0.41	0.35	0.30
	3	2.28	1.89	1.63	1.44	1.19	0.93	0.77	0.57	0.47	0.39	0.35
	5	2.51	2.11	1.82	1.61	1.34	1.05	0.87	0.65	0.53	0.45	0.40
	10	2.85	2.45	2.12	1.87	1.58	1.24	1.03	0.77	0.63	0.54	0.48
	20	3.18	2.79	2.42	2.14	1.82	1.43	1.19	0.89	0.73	0.62	0.57
	30	3.36	2.98	2.59	2.29	1.95	1.54	1.27	0.96	0.79	0.67	0.62
年最大值法	50	3.57	3.20	2.78	2.46	2.10	1.66	1.38	1.04	0.86	0.73	0.67
	100	3.91	3.56	3.09	2.74	2.36	1.87	1.55	1.17	0.97	0.83	0.77
	1	0.71	0.70	0.50	0.46	0.37	0.23	0.14	0.09	0.05	0.049	0.05
	2	1.80	1.45	1.26	1.11	0.91	0.71	0.58	0.44	0.36	0.30	0.26
	3	2.10	1.74	1.51	1.33	1.10	0.86	0.71	0.53	0.44	0.37	0.33
	5	2.42	2.05	1.77	1.56	1.30	1.02	0.84	0.63	0.53	0.45	0.40
	10	2.81	2.46	2.10	1.86	1.56	1.22	1.01	0.75	0.64	0.54	0.49
	20	3.16	2.84	2.42	2.14	1.81	1.42	1.17	0.87	0.73	0.63	0.57
	30	3.37	3.07	2.60	2.30	1.95	1.53	1.26	0.93	0.79	0.68	0.62
	50	3.61	3.34	2.81	2.49	2.12	1.66	1.36	1.01	0.85	0.74	0.68
100	3.93	3.70	3.09	2.74	2.34	1.83	1.50	1.11	0.94	0.81	0.76	

表3 采用年多个样法和年最大值法推算的暴雨强度公式精度检验

Tab.3 The accuracy test of storm intensity formula derived by annual multisampling method and maximum method

方法	平均绝对标准差/(mm/min)	平均相对标准差/%
年多个样法	0.045	4.5
年最大值法	0.065	7.44

3.3 新旧暴雨强度公式比较

针对 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 11 个降水历时,利用石家庄市近 52 a 来降雨资料采用年多个样法新编制的暴雨强度公式和 1978 年版的暴雨强度公式对 0.25 ~ 100 a 共 12 个重现期进行计算比较(表 4)。可以发现,新编制的暴雨强度公式计算的暴雨强度值在较短降水历时比 1978 年版的值偏小,而较长降水历时其比 1978 年版的值要偏大,且随着降水历时的增长其偏大的幅度呈增加趋势,这与近 30 多 a 石家庄市极端降水事件呈增加趋势相符(图 1),11 个降水历时新暴雨强度公式计算的平均值偏大的幅度为 -2.48% ~ 14.59%,平均幅度为 10.5%。

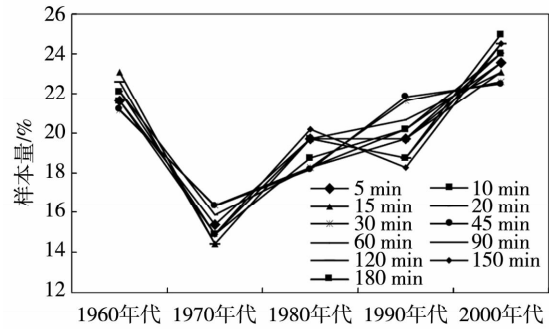


图 1 石家庄市各年代短历时强降雨样本占总样本的比例

Fig. 1 The proportion of short-duration strong precipitation to the total in different eras in urban area of Shijiazhuang

表 4 新、旧暴雨强度公式计算的暴雨强度值对比

Tab. 4 Comparison of storm intensity calculated by the new and old formulas

重现期 /a	差值										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.25	-1.63	4.78	8.47	10.79	13.36	14.99	15.54	15.58	15.15	14.61	14.06
0.33	-1.91	4.48	8.17	10.47	13.04	14.66	15.22	15.25	14.83	14.29	13.73
0.5	-2.16	4.22	7.89	10.20	12.76	14.37	14.93	14.96	14.54	14.00	13.45
1	-2.40	3.96	7.63	9.92	12.48	14.09	14.64	14.68	14.26	13.72	13.17
2	-2.54	3.81	7.47	9.77	12.32	13.93	14.48	14.52	14.09	13.56	13.00
3	-2.60	3.75	7.41	9.70	12.26	13.86	14.41	14.45	14.03	13.49	12.94
5	-2.65	3.69	7.35	9.64	12.19	13.79	14.35	14.38	13.96	13.42	12.87
10	-2.71	3.63	7.29	9.58	12.13	13.73	14.28	14.31	13.89	13.36	12.81
20	-2.75	3.59	7.24	9.53	12.08	13.68	14.23	14.27	13.84	13.31	12.76
30	-2.77	3.57	7.22	9.50	12.05	13.65	14.21	14.24	13.82	13.28	12.73
50	-2.79	3.54	7.19	9.48	12.03	13.63	14.18	14.22	13.79	13.26	12.71
100	-2.82	3.52	7.16	9.45	12.00	13.60	14.15	14.19	13.76	13.23	12.68
平均	-2.48	3.88	7.54	9.84	12.39	14.00	14.55	14.59	14.16	13.63	13.08

注:差值 1 ~ 11 为 5 ~ 180 min 11 个降水历时新、旧暴雨强度公式的计算差值

3.4 暴雨强度公式的区域代表性分析

石家庄市地处太行山东麓,西部被太行山半环绕着,东部为滹沱河冲积平原,地势西高东低,地貌由西向东依次为中山、低山、丘陵和平原,地形非常复杂,暴雨等灾害性天气时有发生^[17-19]。以日降雨量 ≥ 50 mm 为暴雨日,统计石家庄市及周边县(市)自建站以来至 2012 年年平均暴雨日数(图 2),可以看出,石家庄暴雨空间分布差异较大,由西北向东南呈多一少一多的分布特征,在西北部山区和东南部平原相对集中。受太行山迎风坡作用,地处西北部

山区的平山暴雨发生次数最多,为 1.7 d;其次是南部的元氏和高邑,分别为 1.6 d 和 1.5 d;东南部和东部平原的赵县、晋州和辛集暴雨发生次数相对也较多,达到了 1.4 d;而西部的井陘和北部的新乐、正定暴雨发生次数最少,不足 1.2 d。

根据上述分析,由于短历时暴雨局地性较强,空间差异明显,因此本次编制的石家庄市暴雨强度公式只适用于石家庄市范围,石家庄市所辖其他县(市)需根据各自的降雨资料编制暴雨公式,以满足当地排水设施建设需要。

