

城市暴雨公式样本不同采样方法的偏差及处理方法

邵丹娜

(浙江财经大学 中国政府管制研究院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 2004年以来,我国气象部门大部分站点普遍采用精度为0.1或0.2 mm的翻斗式雨量器,而水文部门相继在2010年普及精度为0.5 mm的翻斗式雨量器,国家级站点基本同时保留国际通行的虹吸式雨量器进行辅助校验。样本采集均按5 min的时长读取降雨过程,滑动截取5 min数据统计各指定历时年最大值,公布于《水文年鉴》。基于水文部门公布的《水文年鉴》或气象部门整编的不同时长滑动样本,选择典型雨型、暴雨强度及降雨变化过程,比较不同滑动时长样本得出,各指定历时样本存在一定的差率;通过比较不同滑动时长暴雨强度得出,随着降雨历时及重现期的不断增大,雨强差率变小,逐渐接近实际值;采取插值法在保证暴雨样本统计精度的同时,可大大提高排水设计的精度。

关键词: 滑动时长; 城市暴雨强度; 插值法; 统计精度

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)07-0149-04

Discussion on Bias of Different Sampling Methods and Processing Approaches for Urban Rainstorm Formula

SHAO Dan-na

(China Institute of Regulation Research, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Since the year of 2004, most of observation sites from meteorological department in China adopted tipping bucket rain gauge, whose measurement precision was 0.1 mm or 0.2 mm. In 2010, the instrument with the precision of 0.5 mm was widely used in hydrological department. Furthermore, state-run observation sites adopted the siphon rain gauge to carry out the assistant test. The amount of rainfall during the 5-min period was collected as the samples. Maximum values of specified rainfall durations based on the sliding intercepted during the whole 5 minutes are published in the *Hydrological Year Book*. According to the samples from the *Hydrological Year Book* and other meteorological departments, typical rainfall patterns, rainstorm intensity and precipitation alteration process were selected. Results showed that by comparing the samples of different sliding durations, each sample of specified duration had a certain margin. By comparing the rainstorm intensity of different sliding durations, rainstorm intensity margin became much smaller when the duration and reoccurrence expended, which was also much closer to the true value. Results also showed that interpolation would enhance the statistical precision of sampling as well as the design precision of urban water drainage.

Key words: sliding duration; urban rainstorm intensity; interpolation; statistical precision

基金项目: 浙江省钱江人才资助计划项目(2012R0002); 中国博士后科学基金面上资助项目(2016M591970)

雨量站的选择、降雨样本的选取以及降雨数据的采集应当以具有适合本地区降雨规律的暴雨强度公式为前提,而暴雨强度公式的研究应当以充分了解和掌握城市暴雨的基本情况和规律为前提。

雨量观测是获取城市暴雨研究基础数据的重要手段之一。当前,随着计算机网络信息技术的不断普及推广应用,自 2004 年起我国气象部门的大部分站点普遍采用了无线自动雨量站(由翻斗式雨量传感器、雨量微电脑采集器和 GPRS 无线数传模块构成),但水文部门仅将翻斗式雨量传感器用于日常的防汛工作,流域控制性站点仍保留虹吸式雨量器同时观测,其中浙江省和江苏省水文部门管辖的国家级观测站同时采用虹吸式平衡观测和总雨量校验措施。由于翻斗式结构上的原因,翻斗必须和雨水接触,城市空气中的霾或尘土会被雨夹带而沉积在量水斗,这会影响雨量计的正常工作或降低其测量的准确性。由于气象部门采用的翻斗式雨量计分辨率多为 0.1 mm,大暴雨时翻斗翻转水的损失,直接影响 5、10、15、20、30 min 五个历时,较难满足城市暴雨公式样本的精度需求。水文部门普遍采用的翻斗式雨量计的分辨率为 0.5 mm,基本适用于暴雨的观测要求,仪器产生的误差虽能减少但无法根除。称重式自记雨量计可以消除或者至少可以减少人工测量方法的某些潜在误差,也可以减少与人工观测误差或某种系统误差相关的随机误差,特别是蒸发误差和沾湿误差,是将来雨量观测仪器的发展趋势。

上述观测仪器处于试验和校正阶段,经过近 10 年的观测对比、分析验证,发现在短历时高强度暴雨数据及观测总时长方面存在一定的偏差,并且观测系列只有近 10 年左右。雨量记录方式应优先采用自记型虹吸式雨量数据,降雨自记过程曲线完整准确,无中断或大的虹吸误差,若自记曲线存在一些小的缺陷时,每年实测降雨量都按国家技术规范要求进行整编、录入降雨信息数据库成果,足以支撑插补或调整的条件。为此,必须充分收集气象和水文部门的数据进行综合分析,并对降雨资料系列在趋势性、周期性、相关性、代表性等方面进行对比分析。

1 不同滑动时长采样法的影响性分析

传统的雨量数据采集从自记雨量记录纸上读取最小时长滑动,摘录各指定历时的雨量数据,以 1 min 滑动读取整编资料。目前水文部门规范采集均按 5 min 的时长读取降雨过程,滑动截取 5 min 数据统计各指定历时年最大值,公布于《水文年鉴》。

1.1 不同滑动时长的样本比较

通过对浙江杭州、江苏镇江、甘肃兰州采用不同时长滑动采集样本方法,选择不同时长、典型雨型、暴雨强度及降雨变化过程,进一步分析时长 5 min 滑动样本的影响因素及分布规律,发现与样本所处的降雨时长及强度位置有关。时长 1 min 滑动比时长 5 min 滑动的暴雨量大,差率计算公式:差率 = (1 min 滑动 - 5 min 滑动)/1 min 滑动,比较结果详见表 1。

表 1 样本系列中不同滑动时长摘录雨量比较
Tab. 1 Comparison of rainfall under different sliding durations

站点	采样方法	历时/min								
		5	10	15	20	30	45	60	90	120
杭州	1 min 滑动/mm	18.7	26.8	34.9	41.5	60.7	75	77.1	82.8	83.9
	5 min 滑动/mm	16.0	24.8	33.2	41.0	60.0	74.6	77.1	82.8	83.9
	差率/%	14.44	7.46	4.87	1.20	1.15	0.53	0.00	0.00	0.00
镇江	1 min 滑动/mm	21.7	33	45.2	57.4	72.7	82.2	83.2	83.8	85.0
	5 min 滑动/mm	19.1	30.3	43.8	56.5	72.5	82.2	83.2	83.8	85.0
	差率/%	11.98	8.18	3.10	1.57	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
兰州	1 min 滑动/mm	14.4	26.2	35.6	44.5	50.73	53.38	53.99	60.15	67.26
	5 min 滑动/mm	14.1	25.8	35.2	44.1	50.73	53.2	53.95	59.66	66.7
	差率/%	2.08	1.53	1.12	0.90	0.00	0.34	0.07	0.81	0.83

由表 1 可知,当时段长度 > 30 min 时相对差率较小,而在 5 ~ 30 min 时段范围内存在一定差率,且随着历时的增大差率递减。样本在不同的场雨中选取,差率尤为明显,杭州站分别在 5 场暴雨中选取 5

~ 120 min 九个历时,其中 5 min 的样本来源于一场独立的暴雨,差率最大为 14.44%;镇江站 5 ~ 30 min 五个历时的样本在同一场暴雨中选取,样本具有较好的关联性,差率变化小;兰州站 5 ~ 60 min 七

个历时的样本在同一场暴雨中选取,数据具有连续性和降雨曲线过程变化小等特性,差率极小。

1.2 不同滑动时长的暴雨强度比较

通过时长 1 min 滑动和 5 min 滑动采样法整编的年最大值分别配合耿贝尔理论分布模型推求暴雨强度公式^[1],结果分别见式(1)、(2),对计算结果精度进行分析,绝对均方差分别为 0.035 和 0.046

mm/min,均达到了《室外排水设计规范》(2011 年版)的要求(0.050 mm/min)。不同滑动时长采样法的暴雨强度对比见表 2。

$$i = \frac{19.841\ 4 + 15.042\ 3\lg T}{(t + 15.215\ 0)^{0.819\ 8}} \quad (1)$$

$$i = \frac{38.644\ 6 + 30.696\ 3\lg T}{(t + 25.031\ 1)^{0.951\ 2}} \quad (2)$$

表 2 杭州站点不同滑动时长采样法的暴雨强度对比

Tab. 2 Comparison of rainfall intensity under different sliding durations in Hangzhou

历时/min	采样方法	重现期/a							
		2	3	5	10	20	30	50	100
5	1 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	2.07	2.30	2.58	2.97	3.35	3.58	3.86	4.25
	5 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	1.88	2.09	2.36	2.73	2.73	3.30	3.57	3.93
	差率/%	9.18	9.13	8.53	8.08	18.51	7.82	7.51	7.53
10	1 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	1.73	1.92	2.15	2.47	2.80	2.98	3.22	3.54
	5 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	1.63	1.81	2.04	2.35	2.35	2.85	3.08	3.40
	差率/%	5.78	5.73	5.12	4.86	16.07	4.36	4.35	3.95
15	1 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	1.49	1.65	1.86	2.13	2.41	2.57	2.78	3.05
	5 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	1.43	1.59	1.80	2.07	2.07	2.51	2.72	2.99
	差率/%	4.03	3.64	3.23	2.82	14.11	2.33	2.16	1.97
20	1 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	1.31	1.46	1.64	1.88	2.13	2.27	2.45	2.69
	5 min 滑动/(mm·min ⁻¹)	1.28	1.43	1.61	1.85	1.85	2.25	2.43	2.68
	差率/%	2.29	2.05	1.83	1.60	13.15	0.88	0.82	0.37

根据表 2 所示,在降雨历时和重现期相同的条件下,时长整 5 min 滑动摘录暴雨量推求的暴雨公式计算出的暴雨强度比时长 1 min 滑动摘录计算出的结果整体偏小。随着历时及重现期不断增大,雨强差率变小,逐渐接近真实值。

2 样本插值及公式均值处理方法

为确保暴雨强度公式,样本的正确性是保证统计精度的必要条件,直接采用 5 min 滑动采样法对暴雨强度公式精度具有一定的限制,整体偏小致使排水工程存在安全隐患。采用样本滑动插值法及公式适线主要参数均值的适当放大调整,可弥补时长

5 min 滑动法对超短历时小样本存在的统计弊端。

2.1 时长 5 min 滑动样本插值法统计

编制城市暴雨强度公式需要的是各指定历时样本,采用水文部门公布的《水文年鉴》或气象部门整编的整 5 min 滑动样本进行必要的样本插值法处理,确保暴雨样本统计精度。

样本插值法:真实值 = 样本 5 min 滑动 + 相邻样本 5 min 滑动差值取平均,或是:真实值 = 样本 5 min 滑动 + 相邻样本 5 min 滑动 × 比例分配系数。处理后的各指定历时样本与真实值基本一致,达到统计样本的要求,结果详见表 3。

表 3 整 5 min 滑动样本插值处理的精度分析

Tab. 3 Statistical precision of sampling under sliding duration of 5 min by interpolation

站点	采样方法	历时/min								
		5	10	15	20	30	45	60	90	120
杭州	1 min 滑动/mm	18.7	26.8	34.9	41.5	60.7	75.0	77.1	82.8	83.9
	5 min 滑动插值法/mm	18.3	26.9	34.8	41.3	60.7	74.4	77.1	82.8	83.9
	差率/%	2.56	-0.04	0.54	0.48	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00
镇江	1 min 滑动/mm	21.7	33.0	45.2	57.4	72.7	82.2	83.2	83.8	85.0
	5 min 滑动插值法/mm	21.6	33.0	45.0	57.4	72.7	82.2	83.2	83.8	85.0
	差率/%	0.46	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

根据表 3 所示,通过对杭州和镇江站进行 5 min 滑动插值法处理,样本基本接近真实值,差率均小于

2.56%,均能达到暴雨强度公式样本统计要求精度。

2.2 时长5 min 滑动样本公式均值调整法

若所收集的年最大值各指定历时样本,无条件收集分钟滑动数据及时长整5 min 降雨过程,且无法进行滑动插值法处理时,可以通过适线主要参数中的均值进行适当放大调整。根据2014版《室外排水设计规范》的要求^[2],设计重现期一般为2~20年一遇,进行目标适线,关键历时依据3.2.5条明确规定取消了折减系数 m ,一般城市的汇水时间在5~40 min,分析不同滑动时长暴雨公式均值差率,详见表4。

表4 杭州站点不同滑动时长暴雨公式均值对比

Tab.4 Results comparison of rainfall intensity formula under different sliding durations in Hangzhou

项 目	历时/min					
	5	10	15	20	30	40
1 min 滑动/mm	11	17.9	22.7	27.7	32.69	40.02
5 min 滑动/mm	10	16.8	22	26.9	32.49	39.93
差率/%	9.09	6.15	3.08	2.97	0.63	0.23

由表4可知,不同时长滑动均值差率吻合于公式强度成果差率的变化趋势,当历时>30 min时趋于接近真实值,当历时为5、10 min时,通过暴雨适线将均值分别放大调整10%和6%左右,当历时为15和20 min时调整4%左右,可使得编制的暴雨强度公式更接近真实值。

3 结论

① 编制城市暴雨强度公式需要特别关注5~30 min超短历时样本,也是一般城市排水设计的关键性历时过程;时长整5 min滑动且主要影响5~30 min各个历时的暴雨样本,致使排水设计精度受到严重限制,采取插值法等技术措施可进一步提升暴雨强度公式的样本统计精度。

② 通过时长1 min滑动和5 min滑动采样法分别配合耿贝尔理论分布模型推求的暴雨强度公式

差率与暴雨样本统计的均值差率基本一致,根据经验调整适线主要参数的均值范围,均值5 min放大10%左右,均值10 min增大6%左右,均值15和20 min分别调整4%左右是比较可行的。

③ 通过杭州站点不同采样方法的暴雨强度公式计算结果比较分析,在暴雨历时、重现期相同的条件下,5 min滑动摘录暴雨公式计算出的暴雨强度比1 min滑动摘录的计算结果整体偏小,主要在5~30 min历时区间和2~10年重现期的设计暴雨强度差异明显。因此,在设计城市新区以及改造老城市排水管网的过程中,为了有效防止或尽量减少城市积水现象,保障城市安全,应当考虑适当提高重现期的标准。

参考文献:

- [1] 邵丹娜,邵尧明. 我国城市设计暴雨计算方法的创建及应用[J]. 给水排水,2015,41(8):29-32.
- [2] GB 50014—2006,室外排水设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.



作者简介:邵丹娜(1986—),女,浙江余姚人,博士,高级工程师,主要从事水务管理方面研究。

E-mail:sdn2012@126.com

收稿日期:2016-09-15