

文章编号:1673-8411 (2017) 01-0074-03

基于 FLOORAREA 模式的南宁市城市内涝区划

古明悦

(南宁市气象局, 南宁 530029)

摘要:以南宁市现行使用的暴雨强度公式为依据,计算出南宁市城市内涝排水能力,以及南宁市 7 个不同强降雨重现期降雨量,结合南宁市致涝强降雨天气过程个例,利用南宁市高程、城市道路网分布等数据,采用 FLOORAREA 模式进行计算,得出不同重现期城市内涝淹没区划,及其对不同承灾体的影响,为南宁市城市建立内涝综合防御对策提供依据。

关键词:FLOORAREA 模式;城市内涝;防御对策。

中图分类号:P49

文献标识码:A

Classification of Urban Water Logging in Nanning City Based on FLOORAREA Model

Gu Ming-yue

(Nanning Municipal Meteorological Service, Nanning 530029)

Abstract: Based on the current rainstorm intensity formula of Nanning city, the water capacity of Nanning city and the rainfall of seven different heavy rainfall in Nanning city are calculated. Combined with Nanning city flooding rainy weather process, Elevation, and urban road network distribution, the FLOORAREA model is used to calculate the flooding in different cities, and its impact on different disaster - bearing bodies is provided, which provides the basis for establishing comprehensive countermeasures for flood control in Nanning city.

Key Words: FLOORAREA model; urban logging; counter measurement

城市内涝是指由于强降水或连续性降水超过城市排水能力致使城市内产生积水灾害的现象^[1]。造成内涝的客观原因是降雨强度大,范围集中。降雨特别急的地方可能形成积水,降雨强度比较大、时间比较长也有可能形成积水。同时,城市的整体规划、城市下垫面绿化率、地下空间防涝措施的设置、排水管网的质量及淤积等综合因素对内涝也有不同程度的影响^[2]。

在南方,夏季暴雨天气频发,常出现洪涝灾害^[7-13]。南宁市地处亚热带季风气候区,气候温暖、夏长冬短、降雨充沛,夏湿冬春干,光照丰富。年降雨

日数 138 天,年平均暴雨日数 5 天,每年 3-12 月均有暴雨发生,其中 5 到 10 月为暴雨多发时段,暴雨日数占全年的 87.5%,以 8 月份暴雨发生次数最多,占全年暴雨日数的 16.7%。在全球和区域气候变化背景下,南宁市的局地强降雨特征也发生了变化,最新资料分析发现,南宁市暴雨呈上升趋势。同时,城市中有的地方排水设施不健全,不完善,排水系统建设滞后,都是造成内涝的重要原因。城市大量的硬质铺装,如柏油路、水泥路面,降雨时水渗透性不好,不容易入渗,也容易形成路面的积水。FLOORAREA 模式由德国 Geomer 公司开发,该模型

收稿日期:2016-10-16

基金项目:广西气象局重点项目(桂气科 201302)和南宁市科技局项目(20153257)共同资助

作者简介:古明悦(1987--),男,广西荔浦人,助理,从事天气预报研究。

内嵌于 ARCGIS 平台,计算基于水动力方法,同时考虑了一个栅格的周围八个单元。对邻近栅格单元的泻入量由 manning-stricker 公式计算,通过栅格形式计算相应淹没范围和水深^[3]。

本文采用 FLOORAREA 模式对南宁市城市内涝进行区划。

1 资料来源与数据处理

1.1 资料来源

降雨量采用南宁市城区范围内 2009 年至 2015 年间的自动站雨量记录。

致涝强降雨天气过程采用南宁市内涝办对 2009 年至 2015 年 7 年间南宁市出现的致涝强降雨天气过程实地勘测记录。

地理信息采用南宁市勘察测绘地理信息院提供

下垫面资料,包括南宁市 1:1 万高程地理数据、南宁市主要城市道路网分布数据、南宁市主要医院地理位置数据、南宁市排水管网分布及其排量数据。

1.2 南宁市 7 个强降雨重现期雨量确定

强降雨重现期雨量的确定依据收录在《给水排水设计手册》的最新南宁市暴雨强度公式制定。《南宁市暴雨强度公式修编》是根据《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》等技术规范进行编制,公式的精度符合《室外排水设计规范》(GB50014—2006,2014 年版)的要求。

通过暴雨公式计算,可得出南宁市 7 个重现期内涝区划计算所需要的 3 小时的逐小时雨量数据(表 1)。

根据暴雨强度公式及南宁市管网排水能力评估结果,将管网设计重现期及降雨历时带入暴雨强度

表 1 南宁市 7 个重现期小时雨量(单位:mm·h⁻¹)

降雨历时(h)	重现期 P(单位: a)						
	5	10	20	25	30	50	100
1	65.886	73.386	80.352	82.26	84.168	88.71	94.368
2	77.448	87.168	96.48	99.102	101.724	108.12	116.376
3	82.26	92.988	103.392	106.362	109.332	116.622	126.198

公式计算出管网的设计暴雨强度,即视作该管网的排水能力。

1.3 面雨量雨强系数计算

由于实际降雨过程的不均匀性和不连续性,要将一次完整降雨过程的面雨量计算出来有一定难度。选取南宁市外环以内为计算范围(以下称计算范围),总计约 1100km²,共计 56 个雨量自动观测站的观测资料进行计算。

假定一个强降雨天气过程在计算范围内持续了 3 个小时。首先将以上 56 个自动站的 3 小时累积降雨量计算出来,设为 x_n(n=1,2,3,...,56),并排序,找出其中降雨量最大的值,设为 y,计算降雨权重系数 z_n:

$$z_n = x_n / y$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, 56$$

反距加权法(Inverse Distance Weighted):

(1)在 IDW 插值之前,我们可以事先获取一个离散点子集,用于计算插值的权重:

加权函数:

$$W_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}}$$

P 是一个任意正实数,通常,p=2;

h_i 是离散点到插值点的距离;

$$h_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}$$

(x,y)为插值点坐标;(x_i,y_i)为离散点坐标;

$$W_i = \frac{[\frac{R-h}{R_g}]^p}{\sum_{j=1}^n [\frac{R-h}{R_g}]^p}$$

R 为插值点到最远离散点的距离;n 为离散点的总数。

(2)IDW 计算步骤:

①计算未知点到所有点的距离;

② 计算每个点的权重:权重是距离的倒数的函数。

$$\lambda_i = \frac{1}{d_i} / (\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_j})$$

③计算结果:

$$z(X_0, Y_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i, Y_i)$$

使用 IDW 将降雨权重系数插值到所选的计算范围区域内,得出该次降雨过程的面雨量强度系数。以 56 个自动站中最大的小时降雨量,作为该小时的降雨量,代入 FLOORAREA 模式进行运算。

2 基于 FLOORAREA 模式的内涝过程模拟

模拟实例:

2015 年 7 月 24 日南宁市出现了一次致涝强降雨天气过程。突发强降雨致使城区多处出现了不同程度的内涝,在南湖隧道、青山英华路口、凤岭南路、英华路、五象大道、英华大桥北桥头、五一西路二桥头、银海大道玉洞收费站路段等 14 个点于下午 17 时左右均出现了淹没深度为 0.3m 左右的内涝情况。

将计算范围内降雨最强时段 15 至 17 时这三个小时自动站测雨数据通过 IDW 方法插值成栅格形式的面雨量数据,再通过叠加路网数据,截取出计算

范围内的面雨量。

将 15 时至 17 时三小时降雨数据直接输入到 FLOORAREA 模式中进行运算。再通过加入南宁市排水管网对城市内涝积水的排涝因素,将三小时面雨量数据处理后再放入模式运算

图 1(见彩页)为经 FLOORAREA 模式加入排水管网数据因素前后运算输出的淹没水深结果。其中,棕色线条表示城市道路的分布,浅蓝、黄色、橙色、红色 4 种色块表示 4 个不同程度的淹没水深,分别为 0.05m 到 0.15m、0.15m 到 0.4m、0.4m 到 0.8m 和 0.8m 以上。可以看出,直接用降雨量数据进行模拟计算,市区内很多区域出现 0.4m 以上深度内涝,通过管网减排内涝计算之后,大部分地区内涝深度在 0.15m 以下,只有部分低洼地带带有较深内涝情况出现,与实况基本吻合。以凤岭南路低洼处内涝点为例。通过管网排涝计算前,模拟出积水深度为 1.9m,在加入排水管网数据后积水深度为 0.2m,实地观测结果积水深度为 30cm 左右(图 2,见彩页)。可以看出,加入排水管网数据后进行运算,明显提高了模式

表 2 南宁市 7 个重现期小时雨量(单位:mm·h⁻¹)

降雨历时(h)	重现期 P(单位: a)						
	5	10	20	25	30	50	100
1	65.886	73.386	80.352	82.26	84.168	88.71	94.368
2	77.448	87.168	96.48	99.102	101.724	108.12	116.376
3	82.26	92.988	103.392	106.362	109.332	116.622	126.198

表 3 南宁市 7 个重现期内涝净贡献雨量(单位:mm·h⁻¹)

降雨历时(h)	重现期 P(单位: a)						
	5	10	20	25	30	50	100
1	4.722	12.222	21.096	19.188	23.004	27.546	33.204
2	2.418	4.638	7.698	6.984	8.412	10.266	12.864
3	1.122	2.13	3.57	3.222	3.918	4.812	6.132

的准确度,与实况更加吻合。

3 不同重现期城市内涝淹没区划

3.1 不同重现期降雨序列

FLOORAREA 模式以小时为步长计算淹没速度,依据南宁市暴雨强度公式的计算结果,得出南宁市不同重现期下降雨序列(表 2)。

假设某区域内由降雨落到地面上的积水量同由

管道排出去的积水量之差为该区域造成内涝的净贡献雨量 q。将以上各重现期降雨序列,通过加入排水管网数据处理,得出该时段内南宁市城市内涝面雨量净贡献量(表 3)。

3.2 南宁市城区内涝等级划分

通过不同内涝深度对市民日常生活的影响程度的划分,将内涝划分为 4 个等级(表 4)。

3.3 南宁市城区内涝叠加承灾体区划

表 4 南宁市内涝等级划分表

城市内涝等级	模拟淹没深度（m）	影响程度
四级（轻度内涝）	0.05-0.20	机动车尚可通行，但行车缓慢，影响道路交通畅通；影响居民生活，可能造成财产损失。
三级（中度内涝）	0.20-0.55	交通部分阻断，小车无法通行；影响居民生活，造成部分财产损失。
二级（重度内涝）	0.55-1.00	交通完全阻断，大部分车辆无法通行；严重影响居民生活，造成较严重财产损失。
一级（极重度内涝）	1.00 以上	交通完全中断，车辆无法通行，可造成人员被困；商店、住宅进水严重，造成严重财产损失，可造成人员伤亡。

表 5 各重现期内不同深度内涝对 GDP 影响计算结果列表

淹没水深	GDP 叠加（单位：万元）						
	5 年一遇	10 年一遇	15 年一遇	20 年一遇	30 年一遇	50 年一遇	100 年一遇
<0.05m	4053800	3720980	3735910	4011070	3988050	3923460	3816310
0.05-0.20m	487323	790625	752593	477169	478400	542856	650049
0.20-0.55m	10998.7	31519.8	54623.2	54885.8	76121.4	76253.5	66989.4
0.55-1.00m	-	-	-	-	548.327	548.327	9777.78
1.00m 以上	-	-	-	-	-	-	-

表 6 各重现期内不同深度内涝对人口影响计算结果列表

淹没水深	人口叠加（单位：人）						
	5 年一遇	10 年一遇	15 年一遇	20 年一遇	30 年一遇	50 年一遇	100 年一遇
<0.05m	721109	665684	667854	715565	710828	699612	681632
0.05-0.20m	85330	137595	131369	83108	83847	94792	112852
0.20-0.55m	1835	4995	9051	9601	12943	13214	13080
0.55-1.00m	-	-	-	-	656	656	710
1.00m 以上	-	-	-	-	-	-	-

3.3.1 南宁市城区内涝叠加 GDP、人口区划

通过将不同重现期里内涝淹没模拟结果图,与现有的人口、GDP 分布数据进行叠加,即可得出该重现期内城市内涝影响区划图。表 5 和表 6 是 100 年重现期内涝影响区划图以及各重现期内不同深度内涝对人口、GDP 影响计算结果表。图 3(见彩页)是 100 年重现期内涝影响 GDP 区划图和 100 年重现期内涝影响人口区划图,从浅蓝到深蓝 4 种色块表示 4 个不同程度的淹没水深,分别为 0.05m 到 0.2m、0.2m 到 0.55m、0.55m 到 1m 和 1m 以上;图 3a 和图 3b 里从浅绿到深绿 5 个色块分别表示由少到多的 GDP 和人口分布密集程度。

4 结论

- (1) 因为内涝观测样本不足,无法以实际内涝个例进行拟合与检验,所以以南宁市历史降雨资料作为样本,以基于南宁市暴雨强度公式的研究结论,得出南宁市不同重现期下降雨序列,用南宁市 1:1 万地理高程数据为下垫面,结合南宁市主要道路网和南宁市主要医院地理位置数据进行分析,计算出南宁市各重现期城市内涝淹没区划,并根据淹没深度将内涝分为四个等级。
- (2)依据 FLOORAREA 模式将降雨数据和下垫面数据高程数据转为栅格形式数据运算,而城市排

水管道数据形式类似于城市道路路网数据,以管道走向和单根管道的排水能力想要将城市面排水能力计算成栅格数据有较大难度,所以以暴雨公式的计算结果作为城市的理论面排水量加入计算。在对实况个例的模拟情况显示,加入暴雨公式计算后,对模拟结果有较好的订正作用。

(3) 通过使用模式模拟计算出南宁市各重现期内涝淹没深度的分布情况,叠加到南宁市地理信息数据中,得出南宁市各重现期内涝灾害影响区划。

参考文献:

- [1] 蒋运志,陈宙国,范方福.城市内涝的原因与预防[J].气象研究与应用.2012(S2):80-81
- [2] 施斯,林开平,陈荣让,陈刘凤.厦门市城市内涝成因研究与对策分析[J].气象研究与应用.2014(04):44-48
- [3] Geomer.2003.Floodarea -Arcviewextensionforcalculating flooded areas (User manual Version 2.4).Heidelberg.
- [4] 张维,欧阳里程.广州城市内涝成因及防治对策[J].广东气象.2011(03)
- [5] 叶斌,盛代林,门小瑜.城市内涝的成因及其对策[J].水利经济.2010(04)
- [6] 黄常斌.城市防洪排涝标准探讨[J].水利科技.2009(04)
- [7] 谭敏玲,何如,罗红磊.近55年广西融水县降水气候特征分析[J].气象研究与应用,2014,35(03):27.
- [8] 林宗桂,林墨,林开平,等.一类降水过程多尺度天气系统结构特征[J].气象研究与应用,2014,35(03):1-4.
- [9] 叶朗明,徐碧裕.两次不同类型暖区暴雨的对比分析[J].气象研究与应用,2014,35(04):5-10
- [10] 黄忠,林钢,曾沁,等.影响北江流域暴雨面雨量的环流形势和主要系统[J].广东气象,2002,(3):11-13,41.
- [11] 高安宁,林开平,赵江洁.广西大范围致洪暴雨暴雨天气模型[J].广西气象,2001,22(1):21-24.
- [12] 刘晓梅,陈见,李向红,等.一次广西东部季风爆发前夕短历时强降水分析[J].气象研究与应用,2014,35(02):14-18.
- [13] 孙崇智,郑凤琴,林开平.南宁致洪暴雨面雨量特征分析[J].广西气象,2003,24(2):7-9.

(上接第67页)

(3) 回波具有明显的三体散射回波、旁瓣回波等,其出现高度接近地面,则几乎可以预示地面将有大冰雹出现。

(4) 超级单体常伴有低层的强烈辐合辐散、较强的的发展高度和强度,即使该单体或环境场不利于产生强对流的条件(春季探空物理量值对强对流指示不强的情况下),也有出现冰雹的可能性。

参考文献:

- [1] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[Z].中国气象局培训中心,2006:185.
- [2] 姚胜芳,黄治逢,等.广西冰雹气候统计分析及减灾对策[J].气象研究与应用,2007,28(4).
- [3] 刘丽君,程鹏.广西冰雹云的预测和识别[J].气象研究与应用,2009,30(s1):28-29.
- [4] 郝建平,曹刚,刘子文,等.广东冰雹天气个例的雷达产品特征分析[J].广东气象,2005,37(1):75-80.
- [5] 覃艳秋,赖雨薇,刘蕾.柳州夏季一次雨夹冰雹的天气过程分析[J].气象研究与应用,2015(1):63-65.
- [6] 吴乃庚,林良勋,冯业荣,等.年初华南“高架雷暴”天气过程成因分析[J].气象,28(7):51-54.
- [7] 唐熠,冯晓玲,王娟.2012年广西一次高架对流冰雹过程分析[J].气象研究与应用,2013,34(S1):26-25
- [8] 罗碧瑜,贺汉清.3.22 飑线在多普勒雷达产品中的特征[J].广东气象.2007,29(1):38-39.
- [9] 张羽,吴小芳,胡胜,汪瑛.2009年广州第一场强对流天气的强对流单体雷达特征[J].广东气象 2009,31(4):8-10.
- [10] 乔琪,汤俊.春季两次强对流天气过程多普勒雷达回波中尺度特征分析[J].气象研究与应用.2011,32(3):42-45.
- [11] 郑艳,刘丽君,吴春娃.近10a海南岛冰雹天气统计特征与概念模型[J].气象研究与应用.2015,36(4):15-20.