

城镇圩区排涝模数计算方法及其与河道调蓄库容关系研究^{*}

高成¹, 刘俊¹, 崔韩¹, 徐红娟²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098;

2. 南京市栖霞区水利局, 江苏南京 210046)

摘要: 农业圩区原有的排涝模数计算方法已不适用于城镇圩区。针对城镇圩区的排涝特殊性, 通过分析排涝计算的原理, 充分考虑圩区内河道的调蓄能力, 得到适应城镇圩区排涝计算的方法。以南京市江宁区为例, 对城镇圩区的排涝模数进行计算, 得到排涝模数与调蓄库容之间的定量关系。

关键词: 城镇圩区; 排涝模数; 调蓄库容; 相关关系; 南京江宁区

中图分类号: P333.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)03-0007-03

随着我国经济的快速发展和城市化进程加剧, 不少农业圩区城市化现象明显, 固有的天然河道排水系统遭到破坏, 建立了新的管道与河道相结合的排水系统。因此原有的排涝模数已经不能满足变化了的圩区排涝要求, 计算方法亦不再适用, 需重新对城镇圩区的排涝模数计算方法进行探求^[1-3]。

1 城镇圩区排涝模数计算方法研究

城镇区域是通过管道及地面排水系统排除地面径流直接汇入河道, 城镇圩区河道应该将入流涝水及时排出, 以保证沿河地区的安全以及城区在排水设计标准条件下不积水^[4]。

汇入河道的涝水受到管道排水能力的限制, 城市管道排水系统设计采用的暴雨公式形式为:

$$i = \frac{A(1 + C \lg T)}{(t + B)^n}, \quad (1)$$

式中: i 为暴雨强度 (mm/min); T 为设计重现期 (a); t 为设计暴雨历时 (min); A, B, C, n 为暴雨公式参数。由式(1)计算出一定重现期的设计暴雨强度 i , 结合综合径流系数计算设计净雨强度。以管道的设计排水能力为上限, 推求在圩区河道排涝标准条件下的河道入流过程。

排涝模数与河道调蓄能力有关, 假定不同的调蓄水面率及预降水深可得到不同的调蓄库容, 采用以下调度原则: 当河道水位大于或等于起调

水位时, 若河道入流流量小于设计排涝能力, 则全部排出; 若河道入流流量大于或等于设计排涝能力, 则按设计排涝能力抽排, 余水蓄在河道里, 抬高水位。根据水量平衡原理, 计算得到城镇圩区不同调蓄库容下的排涝流量^[5,6]。

对于每个以设计排涝能力排涝的时段 $\Delta t = 1\text{h}$ 而言,

$$V_2^i = V_1^i + Q_i \Delta t - q \Delta t, \quad (2)$$

式中: V_1^i, V_2^i 分别为圩内河道第 i 时段初、末的蓄水量 (m^3); Q_i 为第 i 时段河道入流流量 (m^3/s); q 为设计排涝能力 (m^3/s)。设 m 为余水量开始持续存在并达到最大时的时段数。

$$V_2 - V_1 = \sum_{i=1}^m Q_i \Delta t - m q \Delta t, \quad (3)$$

式中: V_1, V_2 分别为圩内河道 m 个时段初、末的蓄水量 (m^3); 其它意义同上。若转化为单位面积上的计算公式, 并考虑单位换算, 则:

$$\Delta V = \sum_{i=1}^m R_i - 3.6 m M, \quad (4)$$

$$\text{即: } M = \frac{\sum_{i=1}^m R_i - k \Delta h}{3.6 m}, \quad (5)$$

式中: ΔV 为圩内河道个时段前后的蓄水量变化 (mm); R_i 为圩内第 i 时段河道入流量 (mm); M 为圩区排涝模数 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$); k 为圩区水面率; Δh 为圩

^{*} 收稿日期: 2007-12-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (50239030)

作者简介: 高成 (1983-), 男, 安徽宿州人, 博士研究生, 主要从事城市防洪与减灾方面的研究. E-mail: gch1983@hhu.edu.cn

内河道预降水深(m); $\sum_{i=1}^m R_i$ 为 m 时段内的河道入流总量, 亦为最大 m h 的河道入流量(mm)。

纯粹从数学上看(5)式, 在 k 和一定时, M 只与 m 有关, 因此 $m=1, 2, 3, \dots, 24$ 时, 可得到一系列 M_m 值; 而对排涝计算而言, 排涝应将涝水尽快排除出去, 故 $M = \max(M_m)$, 以满足不同时段排涝要求。

由此可以得到不同的水面率或者预降水深下, 即不同的调蓄库容所对应的 M 值, 探求排涝模数与调蓄库容之间的定量关系, 以作为当地或相近地区城镇圩区排涝能力计算的依据。

2 应用实例

南京市江宁区是城市化进程和经济发展迅速的地区, 不少农业圩区在向城镇圩区转变, 改变了下垫面情况, 原有的排涝能力已经不适应城镇圩区的排涝需求, 因此应对江宁区城镇圩区的排涝模数进行重新计算^[7]。

2.1 排涝模数计算

根据江宁区东山站的降雨资料, 以 1、3、6、24 h 为控制时段, 选取典型计算得到江宁区圩区设计暴雨过程, 并进行产流计算。采用南京市综合暴雨公式^[8]作为江宁区设计暴雨计算的依据:

$$i = \frac{14.18(1+0.878\lg T)}{(t+25.5)^{0.74}}, \quad (6)$$

式中: i 为暴雨强度(mm/min); T 为设计重现期(a); t 为设计暴雨历时(min)。

由式(6)得到在综合径流系数 $\alpha = 0.7$, $t = 60$ min时管道 1 年一遇排水能力 $r = 22.1$ mm。以此为控制, 根据新安江模型进行产流计算, 并推出 20 年一遇设计暴雨的逐时河道入流过程(表 1)。如以 $k=6\%$ 、 $\Delta h=0.5$ m, 计算排涝模数 M (表 2)。

表 1 江宁区 24 h 设计暴雨、产流及河道入流过程

mm							
时段	设计暴雨	设计净雨	河道入流	时段	设计暴雨	设计净雨	河道入流
1	12.4	6	6	13	8.7	8	12.6
2	1.2	1	1	14	10.6	10	10
3	0	0	0	15	5.6	6	6
4	0.8	0	0	16	1.2	2	2
5	1	1	1	17	1.2	1	1
6	0	0	0	18	1.2	1	1
7	0	0	0	19	1.2	1	1
8	12	6	6	20	1.8	2	2
9	73	54	22.1	21	1.4	1	1
10	21.3	25	22.1	22	12.6	10	10
11	4.6	9	22.1	23	1.2	3	3
12	4.1	5	22.1	24	1.2	2	2

表 2 排涝模数计算例表

m	$\sum_{i=1}^m R_i$ /mm	M_m / $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	m	$\sum_{i=1}^m R_i$ /mm	M_m / $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$
1	22.1	-2.19	13	130	2.14
2	44.2	1.97	14	135	2.08
3	66.3	3.36	15	141	2.06
4	88.4	4.06	16	144	1.98
5	101	3.94	17	146	1.9
6	111	3.75	18	146	1.79
7	117	3.45	19	146	1.7
8	123	3.23	20	147	1.63
9	125	2.93	21	147	1.55
10	126	2.67	22	149	1.5
11	127	2.45	23	152	1.47
12	128	2.27	24	154	1.44

由表 2 得 $k=6\%$ 、 $\Delta h=0.5$ m 时的排涝模数 $M=4.06 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 。通过改变水面率和预降水深, 计算各种情况下的排涝模数(表 3), 其中, 最小排涝模数不小于 24 h 涝水全部排出圩内河道的相应数值, 即 $1.78 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 。

表 3 江宁区不同水面率及预降水深下的排涝模数预降水深

预降水深 m	水面率/%						
	2	4	6	8	10	12	14
0.25	5.79	5.44	5.1	4.75	4.4	4.06	3.71
0.5	5.44	4.75	4.06	3.39	2.83	2.36	1.9
0.75	5.1	4.06	3.11	2.36	1.78	1.78	1.78
1	4.75	3.39	2.36	1.78	1.78	1.78	1.78

2.2 排涝模数与调蓄库容的关系

圩区排涝模数与水面率和预降水深, 即与调蓄库容关系密切, 调蓄库容越大, 排涝模数越小^[9,10]。二者关系为非线性关系, 可采用指数方程进行拟合。根据公式(5)得表 4。

由最小二乘法可以得到拟合方程:

$$M = 6.68e^{-0.0174\Delta V}. \quad (7)$$

用确定相关性系数 R^2 反映拟合关系的精度, $R^2=0.995$, 因此排涝模数与调蓄库容的关系较好, 有了上述关系, 类似地区的排涝模数可以通过关系式求得。

表 4 江宁区不同河道调蓄库容下的排涝模数

ΔV /mm	M / $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	ΔV /mm	M / $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	ΔV /mm	M / $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$
5	5.79	28	4.19	51	2.78
6	5.72	29	4.13	52	2.73
7	5.65	30	4.06	53	2.69
8	5.58	31	3.99	54	2.64
9	5.51	32	3.92	55	2.59
10	5.44	33	3.85	56	2.55
11	5.38	34	3.78	57	2.50
12	5.31	35	3.71	58	2.45
13	5.24	36	3.64	59	2.41
14	5.17	37	3.57	60	2.36
15	5.10	38	3.50	61	2.31
16	5.03	39	3.44	62	2.27
17	4.96	40	3.39	63	2.22
18	4.89	41	3.33	64	2.18
19	4.82	42	3.28	65	2.13
20	4.75	43	3.22	66	2.08
21	4.68	44	3.17	67	2.04
22	4.61	45	3.11	68	1.99
23	4.54	46	3.06	69	1.94
24	4.47	47	3.00	70	1.90
25	4.40	48	2.94	71	1.85
26	4.33	49	2.89	72	1.81
27	4.26	50	2.83	73	1.76

3 结论

城镇圩区排涝特性与农业圩区不同,前者先是经过管道排入圩内河道,然后用泵站排除涝水,因此其排涝模数计算方法与后者不同。城镇圩区圩内河道入流取决于管道排水系统的排水能力,通过确

定在一定的河道调蓄库容下不同 m 时段的河道总入流即 $\sum_{i=1}^m R_i$, 根据式(5) 计算 m 对应的排涝模数 M 值,取最大值。计算得到排涝模数与圩内河道调蓄库容之间的定量关系,虽然不同地区的相关关系可能不同,但对于当地其他圩区或类似地区圩区的排涝模数计算也同样适用。

参考文献:

- [1] 谢华, 黄介生. 城市化地区市政排水与区域排涝关系研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 10-13.
- [2] 谢华, 黄介生. 平原河网地区城市两级排涝标准匹配关系[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2007, 40(5): 39-41.
- [3] 兰荣华, 刘冠军. 辽宁省中部平原及东南沿海涝区排水模数分析[J]. 水利水电工程设计, 2005, 24(2): 26-28.
- [4] 河海大学. 江苏省太仓市水资源综合规划报告[R]. 南京: 河海大学, 2005.
- [5] 丁光浩, 阎伟, 程吉林. 苏南城市化进程中圩区排水标准关系研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(1): 30-32.
- [6] 周健康, 朱春龙, 罗国平. 太湖流域小圩区设计排涝模数计算[J]. 中国给水排水, 2004, 20(12): 64-66.
- [7] 汪广丰. 南京市城市排涝设施现状与对策[J]. 中国市政工程, 2001, (3): 44-46.
- [8] 河海大学. 江苏省城市排涝计算专题研究[R]. 南京: 河海大学, 2004.
- [9] 周健康, 朱春龙, 罗国平. 平原圩区设计排涝流量与水面率关系研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(4): 64-66.
- [10] 朱岳明, 刘立军. 从排涝角度论平原河网地区水域调蓄能力的重要性[J]. 浙江水利科技, 2005, (5): 26-27.

Study on Drainage-modulus-calculation Method and Its Correlation with the Regulation Storage in Urban Diked Area

Gao Cheng¹, Liu Jun¹, Cui Han¹ and Xu Hongjuan²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Qixia Water Conservancy Bureau, Nanjing 210046, China)

Abstract: The calculation method of drainage modulus in agricultural diked area is inapplicable in urban diked area. Aiming at the drainage specialties of urban diked area, we analyze the principle of drainage calculation and obtain a drainage-modulus-calculation method for the urban diked area with full consideration of river-storage capacity. Taking Jiangning District in Nanjing City as an example, the drainage modulus of its urban diked area is calculated, then the correlation between drainage modulus and regulation storage is educed.

Key words: urban diked area; drainage modulus; regulation storage; correlation; Jiangning District of Nanjing City