

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2024. 08. 014

# 东南沿海城市小流域排涝计算方法探讨

刘 鑫

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘 要:** 针对东南沿海城市小流域排涝出口少,排涝期出现抽排流量与河道过流能力不匹配的问题,总结了国内常用的排涝计算方法,结合区域特征提出了改进的水量平衡法,选择典型区域对各方法进行定量计算比较,并探讨其适用性。结果表明,平均排除法对水面率较低的城市化涝区适用性较弱;河网水动力模型法精度较高,但对资料要求很高且工作量大;改进的水量平衡法因考虑到泵站抽排规模与河道过流能力的匹配关系,与常规水量平衡法相比计算精度明显提高,计算成果与河网水动力模型法接近,计算相对简单,且具有较好的适用性。研究成果可为类似城市小流域的排涝计算提供参考。

**关键词:** 排涝计算; 城市小流域; 东南沿海城市; 水量平衡法; 平均排除法; 河网水动力模型法

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2024)08-0080-07

## Discussion on Drainage Calculation Methods of Small Watersheds in Southeast Coastal Cities

LIU Xin

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** This paper summarized the commonly-used drainage calculation methods in China, proposed a modified water balance method combined with regional characteristics, and compared the performance of each method quantitatively in typical regions to discuss its applicability, so as to solve the problems of few available drainage outlets and incompatibility between drainage flow and river flow capacity in small watersheds in southeast coastal cities. The average exclusion method was not suitable for urban drainage areas with low surface water region ratio. The river network hydrodynamic model method exhibited a higher accuracy, but this method highly relied on data acquisition and data volume. The modified water balance method considered the coordination between the pumping station flow and the river flow capacity, and significantly improved the calculation accuracy compared with the conventional water balance method. In addition, the calculation results were close to the river network hydrodynamic model method, and the calculation was relatively simple and showed good applicability. The results aim to provide reference for drainage calculation in similar small urban watersheds.

**Key words:** drainage calculation; small urban watershed; southeast coastal city; water balance method; average exclusion method; river network hydrodynamic model method

基金项目: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司启明星计划(K2023N032)

东南沿海城市小流域地处流域性河道下游入海处,片区内部上游有山洪水汇入,下游地势低洼,汛期受外围流域洪水和海潮的顶托影响,区域水文形势极为复杂,加之近年来台风等极端气候频发,导致洪涝灾害越发频繁<sup>[1-2]</sup>,损失严重。随着城市化进程加快,东南沿海城市小流域的水面率普遍较低,排涝通道较少,而由于两岸的高密度开发,排涝主通道的拓宽难度极大,片区往往通过建设调蓄湖和增大末端抽排规模来提高排涝标准。在暴雨初期河道达到起抽水水位后,排涝通道的过流能力在一段时间内无法与排涝泵站的设计抽排规模相匹配,导致抽排的涝水量不及预期,片区水安全仍无法得到保障。因此,选择合适的排涝计算方法,科学合理地确定排涝泵站规模,对沿海城市小流域的防洪排涝安全显得尤为重要。

目前,国外广泛使用的排涝计算方法有连续法、运动法和综合流量过程线法<sup>[3]</sup>等,国内常用的主要有平均排除法、水量平衡法及河网水动力模型法等,排涝计算方法研究关注的重点是涝区调蓄能力<sup>[4]</sup>、排水方式<sup>[5]</sup>、下垫面类型<sup>[6]</sup>等因素,却忽略了抽排规模与河道过流能力的衔接问题带来的影响。为此,总结了几种常用的排涝计算方法,针对东南沿海城市小流域的典型特征对水量平衡法进行了改进,并选取典型区域将改进的水量平衡法与其他常用方法的精度、实施难易程度、适用性等进行了对比,旨在为类似区域的排涝工程布局和方案设计提供参考。

## 1 排涝计算方法

### 1.1 常用计算方法

#### 1.1.1 平均排除法

平均排除法是以设计暴雨产生的净雨在一定时间内排除为原则,确定排涝模数,从而计算排涝流量。东南沿海城市小流域用地主要为旱地,结合《治涝标准》(SL 723—2016),平均排除法计算公式如下:

$$Q = M_h F \quad (1)$$

$$M_h = \frac{R_h}{86.4T} \quad (2)$$

$$R_h = R_t - W \quad (3)$$

式中: $Q$ 为设计排涝流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $M_h$ 为圩区排涝模数, $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ;  $F$ 为排涝片集水面积, $\text{km}^2$ ;  $R_h$ 为设计暴雨产生的净雨深, $\text{mm}$ ;  $T$ 为涝水排除时间, $\text{d}$ ;  $R_t$

为设计暴雨产生的径流深, $\text{mm}$ ;  $W$ 为调蓄水深, $\text{mm}$ 。

平均排除法计算相对简单,所需资料较少,目前在我国平原地区已被广泛应用<sup>[7-8]</sup>。但是该方法没有考虑汇流过程的影响,难以分析排水区不同时刻的水位过程,只能计算区域所需要的总排涝流量,目前主要应用于面积较小的农田排水区。

#### 1.1.2 水量平衡法

水量平衡法又称“平湖法”,根据总水量平衡原理确定排涝流量,其计算如下式所示:

$$\frac{Q_{t+1} + Q_t}{2} \Delta t - \frac{q_{t+1} + q_t}{2} \Delta t = V_{t+1} - V_t \quad (4)$$

式中: $\Delta t$ 为计算时段, $\text{h}$ ;  $Q_t$ 、 $q_t$ 分别为 $t$ 时段入流、出流流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $V_t$ 为 $t$ 时段河道蓄水量, $\text{m}^3$ 。

当 $\max(V_t, t=1, 2, 3, \dots) \neq V_m$ (最高控制水位对应的河道蓄水量)时,则调整 $q_{t+1}$ ,通过试算,直至满足 $\max(V_t, t=1, 2, 3, \dots) = V_m$ 为止,此时的设计排涝流量 $Q = \max(q_t, t=1, 2, 3, \dots)$ 。

相较于平均排除法,水量平衡法考虑了不同时刻来水和排水的水量,可以反映不同时刻的水位过程,原理明确且计算也较为简单,对资料的要求不高,在多排涝出口的平原河网区计算精度较高<sup>[9]</sup>,但计算过程中一方面只能得到片区总排涝规模<sup>[10]</sup>,另一方面从启排到停排过程中,当来水流量超过总排涝流量时,每个时刻的 $q_t$ 均为排涝泵站的总规模,无法体现每个时刻各泵站抽排规模与相应排涝河道过流能力的衔接关系,因此在东南沿海城市小流域的计算过程中对确定排涝工程规模会产生一定的影响。

#### 1.1.3 河网水动力模型法

河网水动力模型法主要通过求解圣维南方程组获得河网一维非恒定水动力过程(即水位和流量)。控制方程组由质量守恒方程、动量守恒方程组成。其计算过程为:根据片区河道及调蓄水面的特征参数构建河网模型,设置片区排涝的初始条件、边界条件、排涝泵闸的规模和运行调度方式,进行模型排涝演算,不断调整各水利设施的规模进行试算,直至满足最高控制水位的要求,此时排涝泵闸规模即为最优设计方案。

河网水动力模型法多用于较大区域的排水河道和泵站规模分析,相较于水量平衡法能够更好地模拟河网水流实际情况<sup>[11-13]</sup>,其机理明确、计算精确,但过程复杂,尤其对基础资料要求很高,需要收

集详细的河道断面、水系布局、河道糙率、边界条件等资料,建模和计算均需要花费大量的时间。

## 1.2 改进的水量平衡法

针对上述常规水量平衡法不能反映每个时刻抽排流量与河道过流能力的衔接问题,本研究对每个时刻的出流流量 $q_t$ 的确定提出改进,通过计算对应时刻不同排涝河道的过流能力 $Q_n$ 来约束各河道末端排涝泵站的出流流量 $q_t$ ,使每个时刻的抽排规模更符合东南沿海城市小流域排涝的实际过程,同时能够确定不同排涝通道末端排涝泵站的规模,可以显著提高常规水量平衡法的计算精度和成果丰富度。

改进方法的计算公式同式(4),分为以下5个步骤:

① 根据调蓄湖等深线及河道特征参数,计算片区调蓄湖及参与调蓄河道的水位库容曲线,得到水位与总蓄水量( $H_{\text{滞}} \sim V$ )关系表。

② 根据不同排涝泵站所在排涝河道的断面要素,先假设排涝泵站前池水位,采用明渠均匀流公式,根据河道断面水深和平均水面比降计算河道的过流能力,得到调蓄湖位置的水位和对应 $n$ 个不同排涝通道过流能力( $H_{\text{滞}} \sim Q_{\text{Hn}}, n=1, 2, 3, \dots$ )关系表。

③ 先假设 $n$ 个排涝通道末端泵站的抽排总规模为 $q_{\text{泵}n}$ ,当内河水位低于外江水位时, $q_{t+1} \leq \sum q_{\text{泵}n} (n=1, 2, 3, \dots)$ 。

④ 当 $V_{t+1}$ 对应调蓄湖水位达到泵站抽排条件时,每个时段出流流量 $q_{t+1}$ 不能超过该时段 $V_{t+1}$ 对应调蓄湖水位下的各河道过流流量之和。具体操作为先假设出流流量 $q_{t+1}$ 为 $\sum q_{\text{泵}n}$ ,代入水量平衡计算公式后得到该时段末的蓄水量 $V_{t+1}$ ,根据步骤①计算得到的水位库容曲线确定 $V_{t+1}$ 对应的 $H_{\text{滞}}$ ,再根据步骤②中的( $H_{\text{滞}} \sim Q_{\text{Hn}}$ )关系表,通过查表插值确定不同河道的过流能力 $Q_{\text{Hn}}$ ,若 $q_{\text{泵}n} \leq Q_{\text{Hn}} (n=1, 2, 3, \dots)$ ,则该时段 $q_{t+1}$ 取 $\sum q_{\text{泵}n}$ ,若 $q_{\text{泵}n} > Q_{\text{Hn}} (n=1, 2, 3, \dots)$ ,则减少泵站开启的台数,重新确定泵站实际开启的规模 $q'_{\text{泵}n}$ ,再代入水量平衡公式重复上述计算,直至满足 $q'_{\text{泵}n} \leq Q_{\text{Hn}} (n=1, 2, 3, \dots)$ 为止, $q_{t+1}$ 则取 $\sum q'_{\text{泵}n}$ 。

⑤ 当 $\max(V_t, t=1, 2, 3, \dots) \neq V_m$ 时,则调整各排涝泵站总规模 $q_{\text{泵}n}$ ,进行试算,直至满足 $\max(V_t, t=1, 2, 3, \dots) = V_m$ 为止,相应的设计排涝流量 $Q = \sum q_{\text{泵}n}$ 。

## 2 案例研究

### 2.1 研究区选择

东南沿海城市小流域大小不一,不同流域内部的下垫面条件以及排涝工程布局等特征均有所差别,选择的研究区应具备复杂的水文特性且对排涝计算精度要求较高。流域面积越小,泵闸调控工程的影响越显著,流域排涝过程的模拟精度更加难以保证,因此未来小流域算法应用于大流域中,将其可能计算优势更为突出。本研究选择泉州西华洋片区作为典型小流域进行案例分析。

西华洋片区地处泉州中心城区北部、晋江金鸡闸下游北岸,金鸡闸以下为感潮河段,是典型的东南沿海城市小流域。该片区周边地势高,中间地势低平,大部分区域标高为7~8 m,汇水面积为23.1 km<sup>2</sup>。由于周边的山洪无法截排,暴雨期山洪水迅速进入中间低洼处,需经中部城市水面调蓄后外排。排涝期间外围受晋江洪水和外海潮位顶托,北渠潘山节制闸关闭,因此片区只有晋江沿线的新亭水闸和招贤水闸两个排涝出口强排涝水入晋江(见图1)。

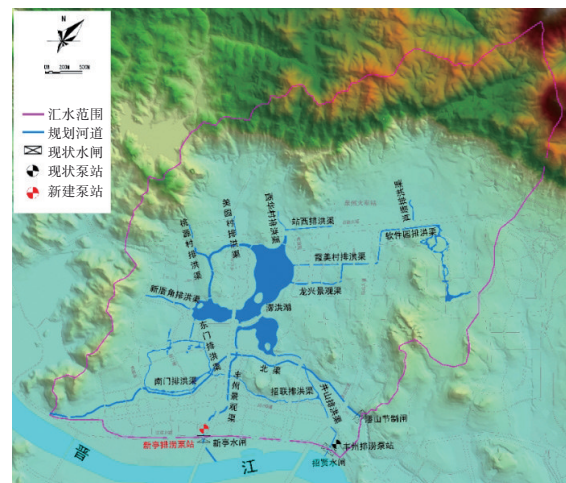


图1 西华洋片区水系布局

Fig.1 Layout of water system in Xihuayang area

片区现状井山排洪渠和末端丰州排涝泵站为已建工程,井山排洪渠宽度为8~12 m,丰州排涝泵站规模为45 m<sup>3</sup>/s,共8台机组,现状丰州泵站排涝期达到起抽水位后存在较长时间内无法全部开启的问题。由于拓宽井山排洪渠难度极大,为满足规划排涝要求,拟采取新建调蓄湖(66.6 hm<sup>2</sup>)、整治丰州景观渠(宽18 m)和新建末端的新亭排涝泵站等措施。



2.2 排涝标准

根据规范要求,城市地区排涝标准中,设计暴雨历时和涝水排除时间可采用 24 h 降雨于 24 h 排除,要求排除时间内最高内涝水位控制在设计水位以下。目前东南沿海城市普遍排涝标准为 20~50 年一遇,本次选取 20、30、50 年一遇三种排涝标准,采用不同排涝计算方法进行对比分析。

2.3 排涝流量计算

2.3.1 平均排除法

① 设计暴雨。采用邻近的泉州大桥水文站 1953 年—2020 年共 68 年最大 24 h 降雨资料进行频率分析,得到片区不同重现期的最大 24 h 设计暴雨量,根据规划用地类型采用径流系数法计算片区设计净雨量。

② 排涝流量计算。按照平均排除法计算排涝模数,再利用式(3)得到片区不同重现期来水 24 h 排干的总排涝流量,计算结果见表 1。

表 1 平均排除法计算结果

Tab.1 Results calculated by the average exclusion method

| 重现期    | 24 h 暴雨量/mm | 24 h 净雨量/mm | 排涝模数/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) | 总排涝流量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|--------|-------------|-------------|--|--|
| 20 年一遇 | 243.2       | 182.5       | 2.11   | 48.8   |
| 30 年一遇 | 263.0       | 210.4       | 2.44   | 56.3   |
| 50 年一遇 | 287.3       | 244.3       | 2.83   | 65.3   |

2.3.2 两种水量平衡法

① 设计来水流量。根据设计暴雨成果及片区特征参数,按照《福建省推理公式计算设计洪水手册》及城市涝水计算方法,计算不同重现期下山区及城市涝片的来水同频叠加过程,作为入流边界。

② 水位库容曲线。结合西华洋片区调蓄湖及河道的规模特征参数,计算出片区调蓄水面水位及库容关系。

③ 边界及水位控制条件。外边界采用规划批复的晋江 5 年一遇洪水遭遇外海多年平均高潮位的水位过程。片区内部调蓄湖预降水位为 4.0 m,排涝泵站起抽水位为 4.5 m,片区最高控制水位为 6.5 m。

④ 排涝通道水位流量关系。根据改进水量平衡法步骤②,计算丰州景观渠和井山排洪渠两个排涝通道的水位及流量关系(见表 2),用以约束不同时刻新亭排涝泵站和丰州排涝泵站的抽排规模。

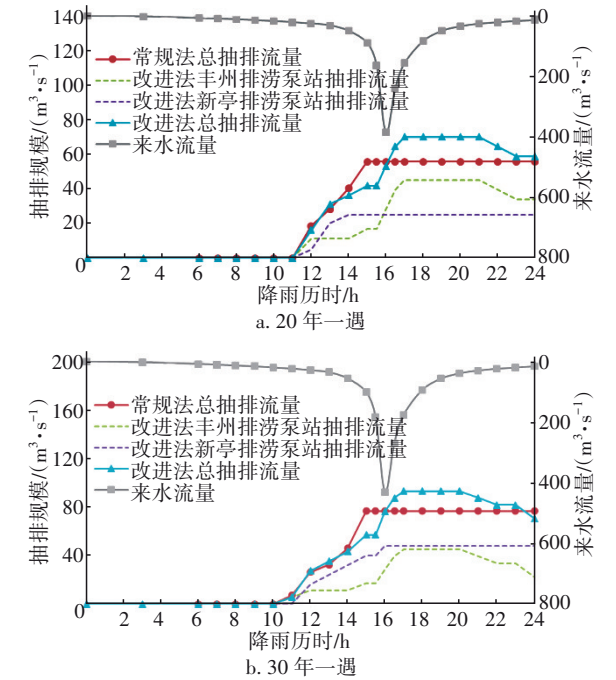
表 2 排涝通道的水位及流量关系

Tab.2 Relationship between water level and flow discharge along the drainage channel

| 丰州景观渠   |   | 井山排洪渠   |   |
|---------|---|---------|---|
| 调蓄湖水位/m | 过流流量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 调蓄湖水位/m | 过流流量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
| 6.60    | 86.7  | 8.14    | 79.8  |
| 5.71    | 65.5  | 7.51    | 68.9  |
| 5.44    | 58.8  | 6.93    | 58.4  |
| 5.18    | 52.3  | 6.38    | 48.2  |
| 4.56    | 37.1  | 5.98    | 40.9  |
| 3.99    | 23.7  | 5.37    | 29.5  |
| 3.46    | 12.5  | 4.79    | 19.1  |
| 2.95    | 4.1   | 4.22    | 10.2  |

⑤ 两种方法水量平衡计算。分别根据常规水量平衡法和改进的水量平衡法进行排涝计算。

不同重现期下两种方法的排涝过程见图 2。采用常规水量平衡法计算,在 20、30 和 50 年一遇工况下分别于 15、15 和 15.5 h 达到最大抽排规模,在此之前由于每个时刻来水量小于总排涝规模,片区水位始终维持在 4.5 m。而采用改进的水量平衡法计算,其不同重现期工况下的前期抽排规模与常规法相当,但由于考虑到不同水位下河道的过流能力,丰州排涝泵站和新亭排涝泵站在 20、30 和 50 年一遇工况下分别于 17 和 14 h、17 和 16 h、16.5 和 17 h 达到最大抽排规模,总抽排规模均在降雨历时为 17 h 时才能达到最大,相较常规方法晚 1.5~2 h。



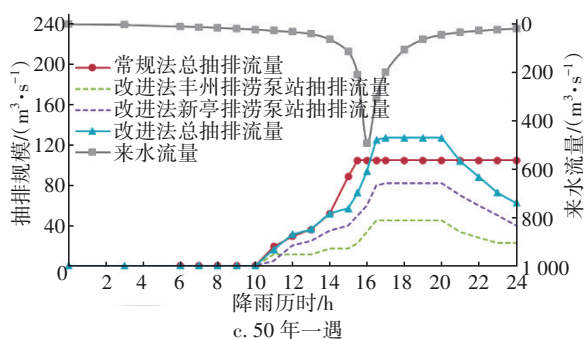


图2 两种水量平衡法的排涝过程对比

Fig.2 Comparison of the drainage process calculated by the two water balance methods

采用两种方法分别计算的排涝流量结果对比见表3。

表3 两种水量平衡法的排涝流量计算结果

Tab.3 Results of the drainage discharge calculated by the two water balance methods  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

| 重现期   | 排涝流量    |          |        |     |
|-------|---------|----------|--------|-----|
|       | 常规水量平衡法 | 改进的水量平衡法 |        |     |
|       |         | 丰州排涝泵站   | 新亭排涝泵站 | 总计  |
| 20年一遇 | 55.8    | 45       | 25     | 70  |
| 30年一遇 | 76.5    | 45       | 48     | 93  |
| 50年一遇 | 104.6   | 45       | 82     | 127 |

注：丰州排涝泵站为现状已建泵站，规划维持现状。

### 2.3.3 河网水动力模型法

选用MIKE 11建立西华洋片区水动力模型<sup>[14]</sup>，如图3所示。

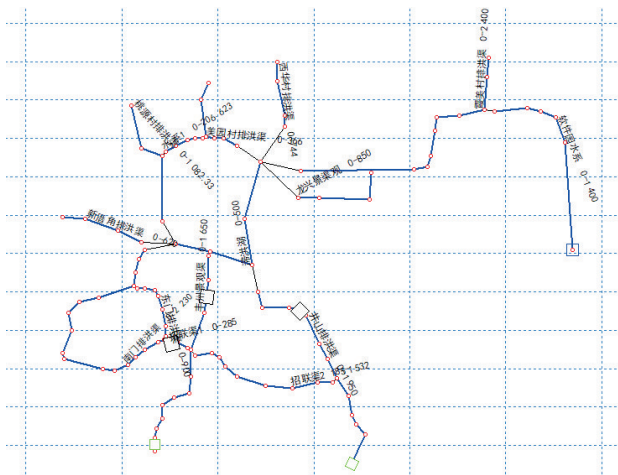


图3 西华洋片区水动力模型

Fig.3 Layout of the hydrodynamic model in Xihuayang area

① 模型构建。概化片区内共14条河道，总长约16.29 km，包括2座排涝泵闸，根据对应水位库容

曲线在断面文件中对调蓄湖进行概化。

② 模型参数和边界。结合东南沿海类似区域选取河道糙率为0.02~0.035<sup>[15]</sup>，模型上下游边界以及片区特征控制水位与水量平衡法一致。

③ 模型计算。根据最高控制水位的要求，调整不同重现期下泵站排涝规模进行试算，得到各排涝泵站规模和总排涝流量如表4所示。

表4 河网水动力模型法的排涝流量计算成果

Tab.4 Results of the drainage discharge calculated by the river network hydrodynamic model method  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

| 重现期   | 排涝流量   |        |     |
|-------|--------|--------|-----|
|       | 丰州排涝泵站 | 新亭排涝泵站 | 总计  |
| 20年一遇 | 45     | 26     | 71  |
| 30年一遇 | 45     | 47     | 92  |
| 50年一遇 | 45     | 80     | 125 |

### 2.4 不同计算方法成果对比

4种方法的计算结果对比见表5。

表5 4种方法的排涝流量计算成果对比

Tab.5 Comparison of the drainage discharge results calculated by the four different methods  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 

| 重现期   | 总排涝流量 |         |          |          |
|-------|-------|---------|----------|----------|
|       | 平均排除法 | 常规水量平衡法 | 改进的水量平衡法 | 河网水动力模型法 |
| 20年一遇 | 48.8  | 55.8    | 70       | 71       |
| 30年一遇 | 56.3  | 76.5    | 93       | 92       |
| 50年一遇 | 65.3  | 104.6   | 127      | 125      |

通过对比可知，平均排除法的计算结果最小，其次是常规水量平衡法，改进的水量平衡法和河网水动力模型法的结果最大，且两者较为接近。

① 平均排除法仅能从不同重现期的24 h暴雨于24 h排除的角度计算抽排规模，无法考虑到暴雨过程中片区是否满足控制水位的要求，且由于研究案例的水面率较低，其计算结果明显偏小。不同重现期结果与计算最大值相差31.3%~49.0%，偏差较大，说明其在东南沿海城市小流域的排涝计算中适用性较低。

② 常规水量平衡法可以模拟片区内河水位的变化，方法相对简单，但未考虑不同水位情况下河道过流能力与泵站抽排能力的衔接关系，且该方法只能通过计算给出片区总排涝规模，对有不同排涝出口的片区难以合理确定单个排涝泵站规模。

一旦来水量超过总抽排规模便视为所有泵站可以全负荷抽排,不符合河道实际过流情况,导致计算结果也偏小。不同重现期结果跟计算最大值相差17.7%~21.4%,在东南沿海城市小流域计算中存在一定程度的误差,精度不足。

③ 改进的水量平衡法在常规法的基础上考虑了各排涝泵站抽排规模与河道过流能力匹配的关系,抽排规模达到最大的时刻普遍比常规法晚1.5~2 h,可以通过试算确定两个排涝出口的泵站抽排规模,计算结果与河网水动力模型法接近,说明本次改进处理显著提高了常规水量平衡法的计算精度,在东南沿海小流域排涝计算中具有较好的适用性。

④ 河网水动力模型法较好地模拟了片区河网的实际水动力过程,但对基础资料要求最高,建模和计算均需要花费大量的人力与时间。

### 3 结论

① 对于典型东南沿海城市小流域,平均排除法计算结果误差较大;常规水量平衡法未考虑河道过流能力与泵站抽排能力的匹配关系,计算结果明显偏小;改进的水量平衡法计算量小、速度快,且计算所得的排涝规模与河网水动力模型法结果相当,可认为该方法也具有较高精度。当资料条件有限时,改进的水量平衡法是较好的选择。

② 针对东南沿海城市小流域,目前通过常用的排涝计算方法计算所得的排涝规模往往相差较大,在资料条件允许的情况下应选用多种方法计算对比并选取较大值以确定排涝规模。

③ 案例中现状井山排洪渠的规模限制了丰州排涝泵站的运行,导致丰州排涝泵站持续全力开启的时间较短,本研究提出的改进水量平衡法可以快速获得不同水位对应排涝泵站能够抽排的规模,为后续缓解新建排涝泵站规模与排涝通道过流能力明显不匹配的问题提供了参考。

### 参考文献:

[1] 张建云,王银堂,贺瑞敏,等. 中国城市洪涝问题及成因分析[J]. 水科学进展, 2016, 27(4): 485-491.  
ZHANG Jianyun, WANG Yintang, HE Ruimin, *et al.* Discussion on the urban flood and waterlogging and causes analysis in China [J]. *Advances in Water Science*, 2016, 27(4): 485-491 (in Chinese).

[2] 赵超辉, 王金红, 张云霞, 等. 城市内涝特征、成因及应对研究综述[J]. 灾害学, 2023, 38(1): 220-228.  
ZHAO Chaohui, WAN Jinhong, ZHANG Yunxia, *et al.* Review of the characteristics, causes and governance of urban flood in China [J]. *Journal of Catastrophology*, 2023, 38(1): 220-228 (in Chinese).

[3] 罗文兵, 王修贵, 罗强, 等. 四湖流域下垫面改变对排涝模数的影响[J]. 水科学进展, 2014, 25(2): 275-281.  
LUO Wenbing, WANG Xiugui, LUO Qiang, *et al.* Effects of underlying surface changes on drainage modulus in Four-lake Watershed [J]. *Advances in Water Science*, 2014, 25(2): 275-281 (in Chinese).

[4] 高成, 刘俊, 崔韩, 等. 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[J]. 灾害学, 2008(3): 7-9.  
GAO Cheng, LIU Jun, CUI Han, *et al.* Study on drainage-modulus-calculation method and its correlation with the regulation storage in urban diked area [J]. *Journal of Catastrophology*, 2008(3): 7-9 (in Chinese).

[5] 于畅, 郝曼秋, 高成, 等. 平原城市自排区排涝模数计算方法研究[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(6): 184-186, 192.  
YU Chang, HAO Manqiu, GAO Cheng, *et al.* Research on calculation method of drainage modulus in plain city [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2014, 25(6): 184-186, 192 (in Chinese).

[6] 陈璇, 果利娟, 管桂玲, 等. 平原混合圩区排涝模数理论模型的研究与改进[J]. 中国农村水利水电, 2018(12): 8-12.  
CHEN Xuan, GUO Lijuan, GUAN Guiling, *et al.* Research and improvement of the theoretical model of drainage modulus in the plain mixed area [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2018(12): 8-12 (in Chinese).

[7] 崔韩, 刘俊, 高成. 圩区排涝模数计算方法研究[J]. 灾害学, 2008(2): 15-18.  
CUI Han, LIU Jun, GAO Cheng. Study on drainage modulus calculation method of diked area [J]. *Journal of Catastrophology*, 2008(2): 15-18 (in Chinese).

[8] 王凤瑞, 王慧. 排涝模数计算方法分析评价[J]. 人民黄河, 2018, 40(3): 149-152, 156.  
WANG Fengrui, WANG Hui. Analysis and evaluation of drainage modulus calculation method [J]. *Yellow River*, 2018, 40(3): 149-152, 156 (in Chinese).

- [9] 罗文兵, 王修贵, 孙怀卫, 等. 平原湖区排涝模数计算方法的比较研究[J]. 中国农村水利水电, 2016(12): 24-28.  
LUO Wenbing, WANG Xiugui, SUN Huaiwei, *et al.* A comparison of methods for calculating drainage modulus in the plain lake areas [J]. China Rural Water and Hydropower, 2016(12): 24-28 (in Chinese).
- [10] 曾娇娇, 李立成, 张灵敏, 等. 平原河网城市排涝流量计算方法探讨[J]. 水电能源科学, 2015, 33(1): 56-59.  
ZENG Jiaojiao, LI Licheng, ZHANG Lingmin, *et al.* Discussion on calculation method of urban drainage for plain river networks [J]. Water Resources and Power, 2015, 33(1): 56-59 (in Chinese).
- [11] 张凯铭, 董增川, 樊孔明, 等. 平原河网区排涝计算研究[J]. 中国农村水利水电, 2012(12): 152-157.  
ZHANG Kaiming, DONG Zengchuan, FAN Kongming, *et al.* Research on the calculation of drainage of river networks in plains [J]. China Rural Water and Hydropower, 2012(12): 152-157 (in Chinese).
- [12] 曾台衡, 谢文俊, 曹国良. 平原河网地区城市排涝泵站设计流量分析方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2021(9): 44-47.  
ZENG Taiheng, XIE Wenjun, CAO Guoliang. Research on the design flow analysis method of urban drainage pumping station in plain river network areas [J]. China Rural Water and Hydropower, 2021(9): 44-47 (in Chinese).
- [13] 杨海燕, 黄明阳, 周广宇, 等. 基于流域的沿海山地城市防洪排涝规划方案设计[J]. 中国给水排水, 2023, 39(5): 133-138.  
YANG Haiyan, HUANG Mingyang, ZHOU Guangyu, *et al.* Design of flood control and drainage planning scheme for coastal mountainous cities based on watershed [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(5): 133-138 (in Chinese).
- [14] 周宏, 刘俊, 刘鑫, 等. MIKE 11 模型在望虞河西控工程排涝计算中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2016(1): 39-43.  
ZHOU Hong, LIU Jun, LIU Xin, *et al.* The application of MIKE 11 model to drainage calculation in west bank control project of Wangyu River [J]. China Rural Water and Hydropower, 2016(1): 39-43 (in Chinese).
- [15] 刘鑫. 传统与现代水文方法相结合在水系规划中的应用研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(2): 113-116.  
LIU Xin. Study on application of combination of traditional and modern hydrological methods in water system planning [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2019(2): 113-116 (in Chinese).

作者简介: 刘鑫(1991- ), 男, 江苏如皋人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为城市防洪与排水。

E-mail: lx\_smedi@163.com

收稿日期: 2023-06-28

修回日期: 2023-08-03

(编辑: 沈靖怡)

像保护眼睛一样保护生态环境,  
像对待生命一样对待生态环境