

城市雨水管理

# 雨水管网设计中数学模型法与推理公式法的对比

王浩坦<sup>1</sup>, 薛 齐<sup>2</sup>

(1. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 南京市市政设计研究院有限责任公司, 江苏 南京 210008)

**摘 要:** 分别采用数学模型法和推理公式法对同一雨水管网进行设计计算, 比较异同。结果表明, 两种方法的理论基础、计算工况都存在显著差异, 在城市雨水管网系统规划设计中, 应该差别化应用。数学模型法在城市易涝点模拟及评估、成片雨水管网优化设计、雨水调蓄设施和雨水泵站的规划设计等方面有明显优势, 但在具体的雨水管道规模设计方面, 为不降低现有设计标准, 建议采用推理公式法进行计算, 数学模型法的应用尚需进一步研究。

**关键词:** 雨水管网设计; 推理公式法; 数学模型法; 降雨历时; 汇流时间; 雨水流量  
**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)05-0110-04

## Comparison of Mathematical Model Method and Rational Method in Design of Stormwater Pipe Network

WANG Hao-tan<sup>1</sup>, XUE Qi<sup>2</sup>

(1. JSTI Group, Nanjing 210019, China; 2. Nanjing Municipal Design and Research Institute Co. Ltd., Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Mathematical model method and rational method were applied in the design of the same stormwater pipe network respectively, and the similarities and differences were compared. The results indicated that there were significant differences in the theoretical basis and calculation conditions of the two methods. Therefore, the application should be differentiated in the planning and design of urban stormwater pipe network system. The mathematical model method had distinct advantages when it was applied in the simulation and evaluation of urban local flooding point, optimization design of large-scale stormwater pipe networks, planning and design of stormwater storage facilities and stormwater pumping station, etc. In terms of designing the scale of specific stormwater pipe networks, however, the rational method should be applied in order to avoid lowering the existing design standard, and further research was needed for the application of mathematical model method.

**Key words:** design of stormwater pipe network; rational method; mathematical model method; rainfall duration; confluence time; stormwater flow

2016年版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)规定:当汇水面积超过 $2\text{ km}^2$ 时,宜考虑降雨在时空分布的不均匀性和管网汇流过程,采用数学模型法计算雨水设计流量。对于这一规定,业内存

在一定争议,如邓培德教授从理论上论证数学模型法在城市雨水管道设计中要慎用<sup>[1]</sup>。也有业内同仁认为数学模型法更接近雨水的产、汇流过程,比推理公式法更准确,应该推广应用。鉴于此,笔者分别

采用数学模型法和推理公式法对同一汇水区域的雨水管网系统进行计算,通过对比分析结果,总结规律,以期能为业内同行提供一定参考。

## 1 研究对象

本研究选取兰州市某片区的雨水管网系统为研究对象,该片区地势平坦,雨水管道出水口出水方式为自由出流。同时由于地块较为规整,为便于计算和分析,本研究将雨水管网汇水分区概化为不同面积的矩形。管网内管渠包括圆形管道和矩形方涵两种,管道管径范围为 DN800 ~ 1 200,方涵尺寸(宽 × 高)范围为(1 200 mm × 1 200 mm) ~ (4 600 mm × 2 500 mm)。

## 2 模型的建立

### 2.1 模型工具及计算原理

本研究采用 InfoWorks ICM 模型软件。产流模型选用固定比例径流系数法,地块综合径流系数取 0.65;地面汇流模型选用非线性水库法,地面糙率取 0.02;管流模型采用完全求解的圣·维南方程模拟管道明渠流。

### 2.2 设计雨型

依据兰州市暴雨强度公式  $q = 1\,140(1 + 0.96\lg P)/(t + 8)^{0.8}$ ,参考《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》,采用芝加哥雨型作为短历时设计降雨雨型,雨峰位置系数  $r$  取 0.4。建立兰州市重现期为 3 年,步长为 5 min,历时 30、60、90、120、150 和 180 min 的 6 种雨型,降雨量分别为 16.27、20.43、22.88、24.64、26.02、27.17 mm。

### 2.3 边界条件和研究思路

出水口工况:自由出流。

研究思路:先讨论确定数学模型法的设计降雨历时,然后在不同汇水面积及汇水区形状工况下,对比分析推理公式法与数学模型法在雨水管道设计中的差异。降雨历时设为 30、60、90、120、150 和 180 min;汇水面积设定为  $(3 \times 3)\alpha$ 、 $(5 \times 5)\alpha$ 、 $(8 \times 8)\alpha$ 、

$(12 \times 12)\alpha$  ( $\alpha$  为最小汇流单元,  $0.05 \text{ km}^2$ );汇水区形状设为  $(8 \times 8)\alpha$ 、 $(16 \times 4)\alpha$ 、 $(4 \times 16)\alpha$ ,见图 1。

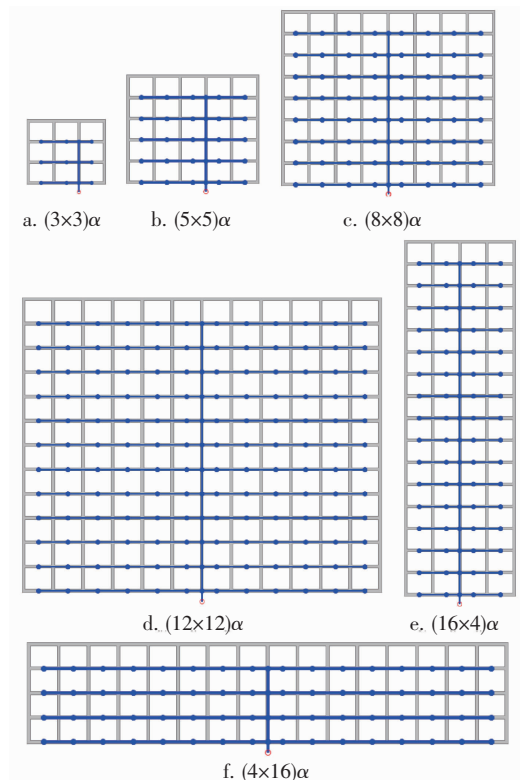


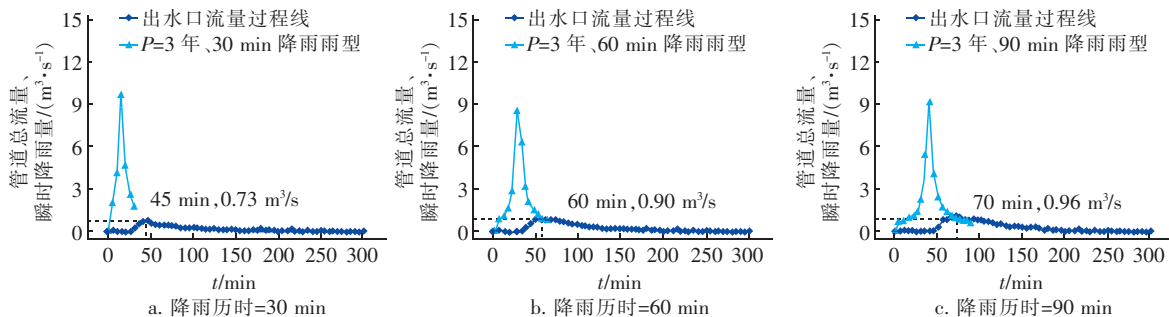
图1 汇水区域示意

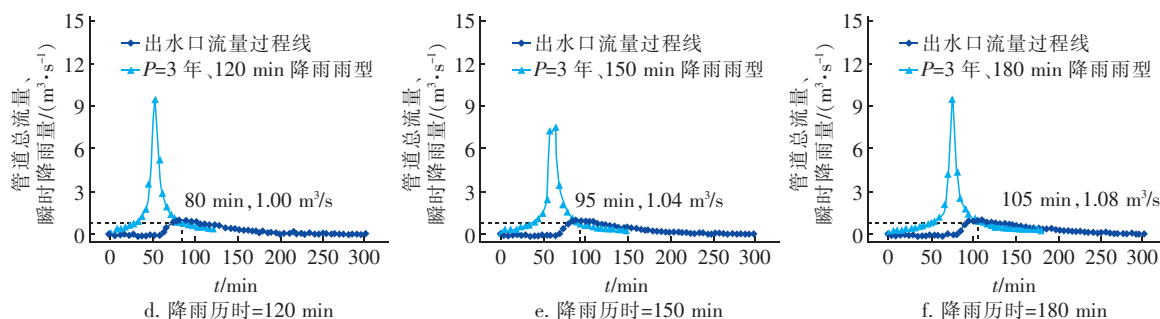
Fig.1 Schematic diagram of catchment area

## 3 结果与讨论

### 3.1 数学模型法设计降雨历时的确定

$(3 \times 3)\alpha$  模型中出水口的雨水流量过程线随降雨历时的变化如图 2 所示。可以看出,在降雨重现期为 3 年,降雨历时为 30、60、90、120、150、180 min 的条件下,出水口流量峰现时间均滞后于降雨峰现时间(12、24、36、48、60、72 min),分别为 45、60、70、80、95、105 min;出水口峰值流量随降雨历时的增大而增大,分别为 0.73、0.90、0.96、1.00、1.04、1.08  $\text{m}^3/\text{s}$ ,峰值流量增加速率随降雨历时的增加而逐渐减小。



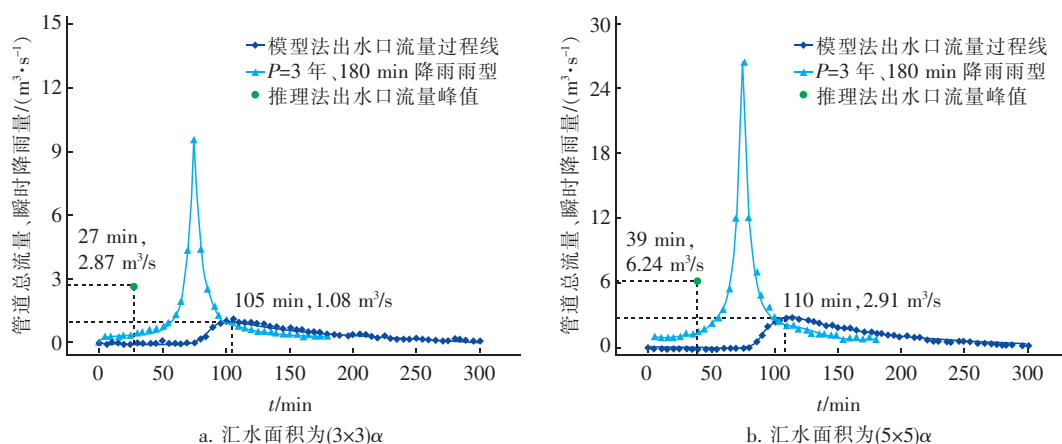
图2 汇水面积为 $(3 \times 3)\alpha$ 时出水口雨水流量过程线随降雨历时的变化Fig. 2 Change of outflow discharge with duration of rainfall under catchment area of  $(3 \times 3)\alpha$ 

同理得到,在上述6种降雨历时条件下,汇水面积为 $(5 \times 5)\alpha$ 时,出水口流量峰现时间分别为50、65、75、85、100、110 min,出水口峰值流量分别为1.93、2.44、2.62、2.73、2.82、2.91  $\text{m}^3/\text{s}$ ;汇水面积为 $(8 \times 8)\alpha$ 时,出水口流量峰现时间分别为60、75、90、100、110、120 min,出水口峰值流量分别为4.19、5.58、6.04、6.28、6.47、6.54  $\text{m}^3/\text{s}$ ;当汇水面积为 $(12 \times 12)\alpha$ 时,出水口流量峰现时间分别为65、80、85、100、115、125 min,出水口峰值流量分别为9.3、12.54、13.55、14.14、14.63、15.01  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

从上述结果可以看出,在降雨重现期为3年、降雨历时为30~180 min、总汇水面积为0.45~7.20  $\text{km}^2$ 的条件下,出水口流量峰现时间均滞后于降雨峰现时间;出水口峰值流量均随降雨历时的增大而增加,且增加速率均随降雨历时的增加而逐渐减小。因在降雨历时为180 min的条件下,对应的峰值流量更大,采用该流量作为设计流量更为安全,又因芝加哥雨型由暴雨强度公式推导而来,而各地暴雨公式的统计基础资料最长降雨历时一般不超过180 min,故建议采用180 min作为数学模型法的设计降雨历时。

### 3.2 汇水面积的影响

对不同汇水面积地块分别采用推理公式法和数学模型法进行设计计算,重现期均取3年,推理公式法的径流系数取0.65、地面集水时间取10 min,数学模型法的降雨历时均取180 min,结果见图3。可知,当汇水面积为 $(3 \times 3)\alpha$ 时,推理公式法得到的出水口峰值流量为2.87  $\text{m}^3/\text{s}$ 、汇流时间为27 min,数学模型法得到的出水口峰值流量为1.08  $\text{m}^3/\text{s}$ 、峰现时间为105 min;当汇水面积为 $(5 \times 5)\alpha$ 时,推理公式法得到的出水口峰值流量为6.24  $\text{m}^3/\text{s}$ 、汇流时间为39 min,数学模型法得到的出水口峰值流量为2.91  $\text{m}^3/\text{s}$ 、峰现时间为110 min;当汇水面积为 $(8 \times 8)\alpha$ 时,推理公式法得到的出水口峰值流量为12.59  $\text{m}^3/\text{s}$ 、汇流时间为55 min,数学模型法得到的出水口峰值流量为6.54  $\text{m}^3/\text{s}$ 、峰现时间为120 min;当汇水面积为 $(12 \times 12)\alpha$ 时,推理公式法得到的出水口峰值流量为21.75  $\text{m}^3/\text{s}$ 、汇流时间为80 min,数学模型法得到的出水口峰值流量为15.01  $\text{m}^3/\text{s}$ 、峰现时间为125 min。综上可知,数学模型法得到的峰值流量均小于推理公式法,且峰现时间均比推理公式法计算的汇流时间延后。



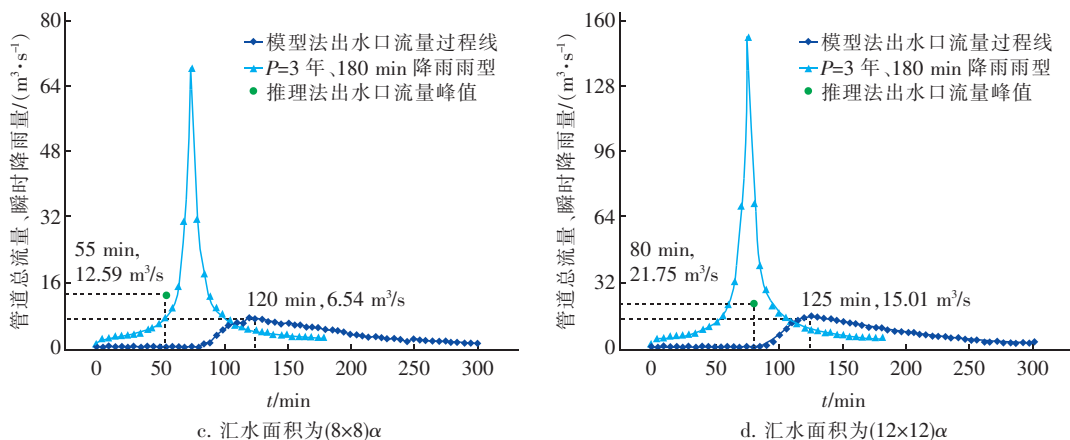


图3 不同汇水面积下两种方法计算结果的对比

Fig. 3 Results comparison of two methods under different catchment areas

汇水面积分别为 $(3 \times 3)\alpha$ 、 $(5 \times 5)\alpha$ 、 $(8 \times 8)\alpha$ 、 $(12 \times 12)\alpha$ 时,将数学模型法模拟得到的出水口峰值流量代入暴雨强度公式进行计算,仅仅相当于0.34、0.47、0.56、1.03年一遇的峰值流量。

### 3.3 汇水区形状的影响

对 $(16 \times 4)\alpha$ 、 $(4 \times 16)\alpha$ 、 $(8 \times 8)\alpha$ 这3个面积相同但形状不同的地块分别采用推理公式法和数学模型法进行设计计算和模拟,考虑到汇水面积形状对径流时间的影响,数学模型法的降雨历时均采用推理公式法计算出的汇流时间,即以上3个地块的降雨历时分别采用56、76、55 min。结果表明,推理公式法得到的出水口峰值流量分别为12.41、9.97、12.59  $\text{m}^3/\text{s}$ ,数学模型法得到的出水口峰值流量分别为5.85、5.81、5.44  $\text{m}^3/\text{s}$ ,可知推理公式法的计算结果受汇水区形状的影响较大,而数学模型法所受影响较小。

## 4 结论与建议

① 在短历时降雨(降雨时间 $\leq 180$  min)情况下,数学模型法计算得到的出水口峰值流量受降雨历时影响显著,随着降雨历时的增大而增大,推荐采用180 min作为数学模型法的设计降雨历时。

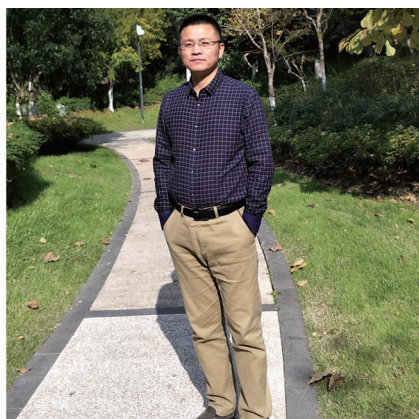
② 对于面积相同、形状不同的汇水区域,推理公式法计算得到的出水口峰值流量存在显著差异,而数学模型法计算得到的峰值流量差异较小。

③ 对于0.45、1.25、3.20、7.20  $\text{km}^2$ 这4种不同的汇水面积,在3年一遇降雨条件下,数学模型法计算得到的峰值流量仅相当于推理公式法中0.34、0.47、0.56、1.03年一遇的峰值流量,明显低于推理公式法,并且峰现时间均大于推理公式法。

④ 数学模型法与推理公式法的理论基础、计算工况存在显著差异。数学模型法在城市易涝点模拟及评估、成片雨水管网优化设计、雨水调蓄设施和雨水泵站规划设计等方面有明显优势,但在具体的雨水管道规模设计方面,为不降低现有设计标准,建议采用推理公式法进行计算,数学模型法的应用尚需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 邓培德. 论城市雨水道设计中数学模型法的应用[J]. 给水排水, 2015, 41(1): 108-112.  
Deng Peide. Probe into the application of mathematical model in municipal stormwater drainage network design [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(1): 108-112 (in Chinese).



作者简介:王浩坦(1974—),男,江苏连云港人,本科,高工,从事市政给排水规划设计工作。

E-mail: 623154575@qq.com

收稿日期: 2018-08-02