

# 排水系统水力模型建模导则有关规定的探讨

陶贤成<sup>1</sup>, 孙晓峰<sup>2</sup>, 曹燕东<sup>2</sup>, 刘雨新<sup>1</sup>

[1.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.上海市城市排水有限公司,上海市 200030]

**摘 要:**排水系统水力模型在排水工程项目中的应用越来越广泛,制定一套关于排水系统水力模型的标准和规范是必要的。根据编制《排水系统水力模型建模及交付技术导则》中的要求,以集水区和降雨作为研究对象,采用水力模型对集水区和降雨进行建模模拟,分析研究集水区和降雨对排水系统水力模型的影响,证明《排水系统水力模型建模及交付技术导则》中关于集水区和降雨在排水系统水力模型中的建模要求的合理性,为导则的后续应用提供了有力的技术支持,也为后续排水系统水力模型的建设提供相应的指导。

**关键词:**水力模型;建模;集水区;降雨;模拟

**中图分类号:** TU992

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)08-0148-03

## 0 引言

排水数学模型越来越广泛地应用在排水管网设计规划和排水管网运行调度等方面,排水数学模型也得到了长足发展。国内外近些年明确了排水数学模型在排水工程中的应用,我国《室外排水设计标准》中规定大于 2 km<sup>2</sup> 的排水系统宜采用数学模型计算雨水设计流量<sup>[1]</sup>。同时,各地区也针对排水模型颁布了相应的排水模型导则、指南和标准,例如英国最早制定了《职业工程师技术指南》<sup>[2]</sup>,我国于 2020 年实施的《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》<sup>[3]</sup> 为各地区和行业的排水数学模型建设提供相应的指导并提出了排水数学模型建设的相关规定。

上海城市排水有限公司较早运用排水数学模型服务公司业务,基于自身公司业务需求和实际情况,制定了关于排水系统模型导则。本文根据新编制《排水系统水力模型建模及交付技术导则》过程中所遇到的问题以及结合以往排水系统模型建模的经验,制定导则的有关规定以更好地指导排水系统模型的建设,并就其中的相关条款和规定进行分析研究。

在排水系统水力模型构建过程中,集水区和降雨是模型构建的重要对象,关系到后续排水系统水力模型率定和应用。在本次导则的编制过程中,通过

实际对集水区和降雨在模型构建和应用中的测试和研究,明确集水区和降雨在本导则中的要求。

## 1 集水区

在构建雨水排水系统水力模型时,集水区是雨水排水模型构建中的重要因素,如何准确合理地设置集水区涉及到雨水排水模型计算的准确性,其中集水区划分的面积尺寸是影响模型模拟结果的关键因素。

雨水排水管网在规划设计阶段所设计的管网相对比较粗略,检查井点位相对实际施工图较稀疏,管道长度通常按街区长度设定,中途不设定相应的检查井,造成管道长度上百米。每个检查井收集的集水区面积相对较大,普遍都超过 2 hm<sup>2</sup>,因此在雨水排水系统模型构建时必然会造成集水区过大的问题。除了雨水排水管网在规划设计时容易造成集水区的划分过大外,在现状雨水排水系统模型构建的过程中,雨水排水系统模型对部分管网简化、管网缺失和集水区按节点自动分配等因素都会造成集水区划分过大。在排水系统水力模型中集水区面积到底采用多少才合理?在导则的编制过程中,以不同集水区面积进行案例分析,最终确定排水系统水力模型中合理的集水区面积。

案例分别以 0.5 hm<sup>2</sup>、1 hm<sup>2</sup>、2 hm<sup>2</sup>、3 hm<sup>2</sup> 和 4 hm<sup>2</sup> 的集水区面积进行模型建模分析研究,按 A 和 B 两种方式汇入检查井,其中 A 方式是整个集水区整体直接汇入检查井,B 方式是将同等面积的集水分成 2~4 部分后依次经下一个集水区后由最后一个集水区汇入检查井,如图 1 所示。0.5 hm<sup>2</sup>、1 hm<sup>2</sup> 和 2 hm<sup>2</sup>

收稿日期: 2022-11-03

基金项目: 城投集团科技创新计划项目(KY.PS.22.0010)

作者简介: 陶贤成(1983—),男,硕士,高级工程师,从事排水规划设计和模型工作。

的集水区分别等分为2部分,3 hm<sup>2</sup>集水区等分为3部分,4 hm<sup>2</sup>集水区等分为4部分。

根据排水模型采用1 a一遇2 h设计降雨模拟可知,A方式和B方式集水区产生的径流和峰值出现时间存在一定的差异,如图1和表1所示。当集水区面积为3 hm<sup>2</sup>时,A方式与B方式的峰值流量绝对差值百分比达到了5.70%,且峰值流量出现时间绝对差相差约5分钟;当集水区面积为4 hm<sup>2</sup>时,A方式与B方式的峰值流量绝对差值百分比达到了9.57%,且峰值流量出现时间绝对差相差约5分钟;当集水区面积不大于2 hm<sup>2</sup>时,A方式与B方式的峰值流量绝对差值百分比都在2%以下,且峰值流量出现时间绝对差相差在2分钟以下,且0.5 hm<sup>2</sup>、1 hm<sup>2</sup>和2 hm<sup>2</sup>峰值流量绝对差值百分比和出现时间绝对差之间的差异不明显,如表2所示。

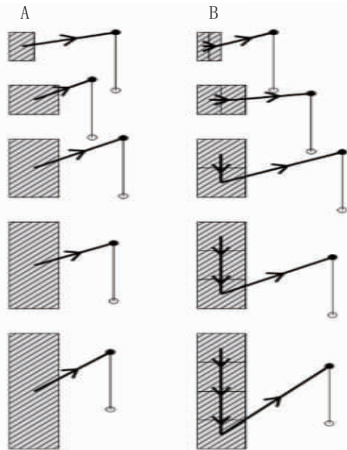


图1 集水区面积为0.5 hm<sup>2</sup>、1 hm<sup>2</sup>、2 hm<sup>2</sup>、3 hm<sup>2</sup>和4 hm<sup>2</sup>(从上至下)以A和B方式汇入检查井示意图

表1 不同方案峰值流量和峰值流量出现时间表

方案	峰值流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	峰值流量出现时间
4 hm <sup>2</sup> A	0.455 600	00:34:10
4 hm <sup>2</sup> B	0.411 995	00:42:00
3 hm <sup>2</sup> A	0.368 712	00:33:10
3 hm <sup>2</sup> B	0.347 698	00:38:00
2 hm <sup>2</sup> A	0.272 343	00:32:00
2 hm <sup>2</sup> B	0.267 572	00:34:00
1 hm <sup>2</sup> A	0.160 45	00:30:05
1 hm <sup>2</sup> B	0.158 728	00:32:05
0.5 hm <sup>2</sup> A	0.093 028	00:29:05
0.5 hm <sup>2</sup> B	0.092 496	00:30:05

在0.33 a一遇和5 a一遇2 h设计降雨条件,模拟结果与1 a一遇2 h设计降雨模拟结果有类似的表现,当集水区面积超过2 hm<sup>2</sup>时,绝对差值百分比

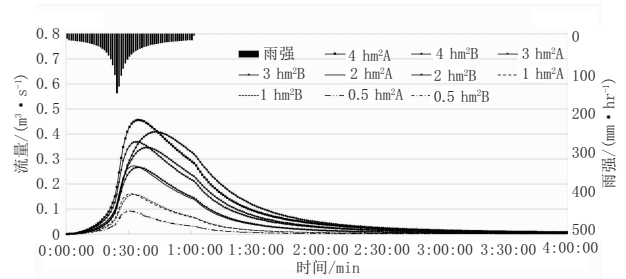


图2 不同面积集水区A和B方式的径流量曲线图

表2 不同方案峰值流量绝对差值百分比和时间绝对差表

方案	峰值流量绝对差值百分比/%	峰值流量出现时间绝对差
4 hm <sup>2</sup>	9.57	00:07:50
3 hm <sup>2</sup>	5.70	00:04:50
2 hm <sup>2</sup>	1.75	00:02:00
1 hm <sup>2</sup>	1.07	00:01:55
0.5 hm <sup>2</sup>	0.57	00:01:00

都接近或超过5%,将对整个模型的模拟结果造成较大影响,如表3所示。

表3 0.33 a和5 a一遇集水区径流绝对差值百分比表

方案	0.33 a一遇峰值流量绝对差值百分比/%	5 a一遇峰值流量绝对差值百分比/%
4 hm <sup>2</sup>	10.7	8.29
3 hm <sup>2</sup>	6.69	4.60
2 hm <sup>2</sup>	2.44	1.08
1 hm <sup>2</sup>	1.72	0.64
0.5 hm <sup>2</sup>	1.10	0.18

因此,在排水模型构建过程中,集水区应该先结合地形、用地等情况按照实际情况进行划分,在此基础上,应控制集水区面积的尺寸,尽量保证不超过2 hm<sup>2</sup>。

## 2 降雨

降雨是排水系统水力模型构建中重要的因素,如何在模型中正确设定降雨关系到排水系统水力模型的准确性和后续应用。降雨空间分布的不均匀性是实际存在的,在以往的模型建设中该影响并未在模型中体现。香港渠务署规定当汇水区域大于25 km<sup>2</sup>时,需要考虑降雨空间分布的影响<sup>[4]</sup>。结合本次模型导则编制,从实例中分析和研究降雨空间分布对排水系统水力模型的影响。实例以上海龙华区域的漕河泾、桂平、吴中、康健和漕溪5个排水系统为研究对象,分析研究单一降雨和降雨空间分布不均因素两种情况对排水系统模型率定的影响。5个排

水系统的服务面积约为 13.5 km<sup>2</sup>,且每个排水系统都有相应的雨量计进行雨量记录。

降雨空间分布以 5 个排水系统的雨量计按泰森多边形的原理进行降雨空间分布范围的划分,确保所划定的降雨空间区域内的降雨采用区域内的雨量计数据,每个雨量计覆盖的平均范围为 2.7 km<sup>2</sup>,如图 3 所示。同时,选择其中一个雨量计数据作为龙华区域 5 个排水系统的降雨进行对比研究。



图 3 5 个雨量计所涵盖的范围示意图

模拟结果表明,考虑降雨空间分布因素的模型在水位率定时更加接近实测水位,且整体趋势也与实测水位较为一致;未考虑降雨空间分布因素的模型在水位率定时其水位峰值偏离监测水位更大一些,且整体趋势相对监测水位在模拟末段存在一定的偏差,如图 4 所示。

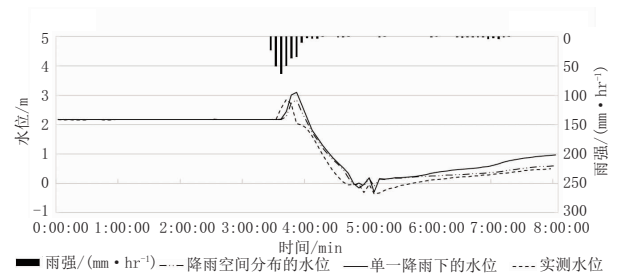


图 4 实测水位、单一降雨和考虑降雨空间分布的模拟水位图

### 3 结论

本文根据排水系统水力模型导则编制过程中所遇到的问题,对集水区和降雨的排水系统水力模型进行分析研究,研究表明在模型构建时,集水区面积不应过大,最好不要超过 2 hm<sup>2</sup> 以确保模型模拟的准确性;同时,对于排水系统面积过大或者多个排水系统时,应考虑降雨空间分布的影响,如有条件时可以考虑多个雨量计数据进行降雨空间范围分布的划分。

#### 参考文献:

[1] GB 50014—2021, 室外排水设计标准[S].  
 [2] Code of Practice for the Hydraulic Modelling of Sewer Systems[S].  
 [3] T/CECS 647—2019, 城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程[S].  
 [4] Stormwater Drainage Manual[S].

(上接第 147 页)

二是对于泵站突发故障情景,在降雨初始时发生故障,会产生较大的浪涌和气穴,但泵站前池提供了足够的存储空间,水位波动在较低位置,不会产生很大影响。在洪峰流量时发生故障,由于隧道中的水位已经达到稳定状态,因此不会产生浪涌现象。

#### 参考文献:

[1] 刘家宏,夏霖,王浩,等. 城市深隧排水系统典型案例[J]. 科学通报, 2017, 62(27): 3269-3276.

[2] 门绚,李冬,张杰. 国内外深隧排水系统建设状况及其启示[J]. 河北工业科技, 2015, 32(5): 438-442.  
 [3] Politano M, Odgaard A J, Klecan W. Case Study: Numerical Evaluation of Hydraulic Transients in a Combined Sewer Overflow Tunnel System [J]. Journal of Hydraulic Engineering. 2007, 133 (10): 1103-1110.  
 [4] YOVANNI A. CATANO-LOPERA, TALIA E. TOKYAY, J. EZE-QUIEL MARTIN, et al. Modeling of a Transient Event in the Tunnel and Reservoir Plan System in Chicago, Illinois [J]. Journal of hydraulic engineering, 2014, 140(9): 5014005.1-5014005.12.