

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2021.12.025

# 海绵城市径流控制模型研究

王 永, 赵 萍, 梁振凯, 郝新宇  
(浙江省城乡规划设计研究院, 浙江 杭州 310012)

**摘 要:**通过模型可以精细化地计算海绵城市的核心指标——年径流总量控制率,但建立模型时需要关注其参数、边界,并对概化以及率定进行相应的规范化。为此,在建模过程中,对降雨序列长短、步长影响以及模型概化过程中的管网考虑进行了分析,同时比较了渗透速度、不透水率、硬化面积收集率、蒸发量的不同设置方式等建模敏感参数,并对率定方式进行了初步探索。所归纳出的结论可为其他海绵城市径流模型搭建提供借鉴。  
**关键词:**海绵城市;径流控制模型;年径流总量控制率;降雨;概化;参数;率定  
**中图分类号:** TU992      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-7716(2021)12-0084-03

## 0 引 言

海绵城市理念体系中,年径流总量控制率作为重要指标和关键性抓手,在推动海绵城市建设中起到了重要作用。

年径流总量控制率的常用计算方法有径流系数估算法、容积法和模型法,而复核方法包括了监测法等。根据相关研究比较,目前最为科学合理的计算方法仍是模型法。但模型法准确的前提是建模的科学性保证,而模型本身就是对客观存在的一种近似模拟,并且构成比较复杂,因此建模过程中的一系列假设、概化以及模型采用的边界条件、参数取值等必然会对其模拟结果产生显著影响。

本文从降雨边界、概化程度、建模参数、率定方式 4 个方面阐述对模型法建模的一些经验和探索。

## 1 降雨边界

年径流总量控制率的计算对降雨最为敏感。而采用模型法计算年径流总量控制率时需加载多年连续降雨资料,因此涉及到降雨步长和时间序列长短。一般来说理想的情况是时间序列尽可能长一些、降雨步长尽可能短一些。根据杭州、绍兴等地的研究结论<sup>[1-2]</sup>,降雨步长越短则建模结果越精确,但降雨步长的数据往往准确性较低(如气象部门对日降雨量进行整编,但对分钟数据未必核准),而且降雨步长较短的降雨其时间序列往往较短。因此需要取得一

个平衡,建议偏顶层设计的专项规划等采用日降雨资料,而实施方案或者建设规划用小时或者分钟步长,项目评估方面则采用分钟步长的数据。一般来说降雨步长越短,结果越精确;降雨步长越长,结果越保守。这主要是因为步长较长的降雨拉平了雨峰,让模型中的浸润-饱和-干燥过程简化成了持续饱和,结果一直产生径流,使渗透量缩减。因此若采用日降雨量直接加载到模型中,就会使模型产生特别保守的计算结果。表 1 为绍兴市上虞区某公园项目采用日降雨量和分钟降雨量进行计算的结果。由表 1 可见,根据日降雨量数据计算的年径流总量控制率明显偏低。

表 1 2007 年~2017 年根据日降雨量和分钟降雨量计算的年径流总量控制率      单位: %

| 开发模式         | 降雨资料 |       |
|--------------|------|-------|
|              | 日降雨量 | 分钟降雨量 |
| 传统开发模式       | 52   | 66    |
| 低影响开发(LID)模式 | 87   | 98    |

通常的降雨时间序列长短包括有 30 a、8~10 a、3 a、1 a 等,一般采用 8~10 a 的数据。一般而言,时间序列越长越好,但考虑数据的可获取性,一般日降雨量可以获得 30 a 左右的时间序列,而小时和分钟降雨量往往只能获得 10 a 左右的时间序列。之所以要获取尽可能长的时间序列,是为了保证选取的序列中包含丰、平、枯等不同的年份,从而获取更为客观的数值。为验证时间序列长短对结果的影响,仍以上述绍兴市上虞区的降雨为例,通过将 11 a(2007 年~2017 年)中 1 min 间隔降雨量加载到某公园项目传统开发模式下,得到的年径流总量控制率见表 2。

由表 2 可知,11 a 中,年径流总量控制率最高值

收稿日期: 2021-03-19  
作者简介: 王永(1985—),男,硕士,高级工程师,从事排水防涝、海绵城市、综合管线、工程规划、给排水水力水质建模研究工作。

表 2 绍兴上虞单年降雨模拟值比较

| 年份   | 年径流总量控制率 /% | 降雨量 /mm |
|------|-------------|---------|
| 2007 | 66          | 1 462   |
| 2008 | 68          | 1 262   |
| 2009 | 68          | 1 406   |
| 2010 | 69          | 1 362   |
| 2011 | 67          | 1 174   |
| 2012 | 64          | 2 101   |
| 2013 | 58          | 1 698   |
| 2014 | 68          | 1 437   |
| 2015 | 67          | 1 944   |
| 2016 | 66          | 1 765   |
| 2017 | 67          | 1 604   |
| 多年平均 | 66          | 1 565   |

达到 69%,最低值为 58%,平均值为 66%,大部分数值偏差不大;2013 年数值最低,可能与该年杭州湾一带有较强的台风暴雨(如菲特台风)有关,因为大雨、暴雨中的大多数雨水是直接产流的;此外,2012 年也是这个系列中雨水最丰沛的 1 年(超过了 2 100 mm),导致雨水总量较大,土壤渗透能力有限,年径流总量控制率数值偏低。

2 概化程度

降雨要加载到模型的下垫面上,根据排水管网是否纳入模型中,模型概化方式一般分为两种:一种是下垫面作为汇水区,同时与管道耦合;另一种简化的办法是只做汇水区的源头计算,管道不予列入。考虑到管网对水量控制仅起到临时储存作用,管网的下渗量几乎可以忽略(否则就应检查管网的完好度),而且在多年连续降雨的情景下,管网只是一个雨水的途经环节,而非控制环节,控制关键在于进入管网之前的下垫面特征(包括土质、蒸发、LID 设施面积、LID 设施的收集比例、相对竖向高程等),因此不将管网纳入到模型模拟计算中。此举可简化建模复杂程度,加快建模速度,将精力集中在源头控制中,避免管网数据误差等对建模进程的干扰。

对只做源头汇水区的模拟计算,可再分成两类概化方式:(1)将 1 个项目作为 1 个整体的汇水区,对其中的 LID 设施部分、非设施部分作为参数输入;(2)将不同的下垫面、不同的设施作为多个独立的汇水区,分别赋予参数计算。根据相关研究<sup>[2]</sup>,在编制实施方案或者建设详细规划时,可简化成单个汇水区,LID 对硬化面积的收集率取值作适当保守估计,以

形成偏安全的结果;而在单个项目的具体实施过程中,可考虑细分汇水区,LID 对硬化面积的收集率取值作精细化估算,以形成更科学的结果。当然,单个项目一般在预估时可概化成 1 个汇水区建模;如有详细的汇水分区后,可按详细子汇水区再建模计算。

3 建模参数

建模参数千差万别,与建模理论、建模软件等均密切相关。本文以常用的 SWMM(Storm Water Management Model,暴雨洪水管理模型)为例,从除降雨外,对年径流总量控制率计算影响最为显著的渗透系数、不透水率、硬化面积收集率、蒸发量 4 个参数进行分析。

一般项目的地勘资料反映,土质表层为杂填土或者素填土,再往下为原生土层,因此对渗透系数通常存在两种认识:一种认为土壤渗透性能受下层(深层)原生土质的渗透能力影响,例如砂土易渗、黏土难渗;另一种认为 LID 设施浸润、干燥过程的影响范围都是在种植土层中,因此可忽略不同原生土质的影响,土壤渗透性能可统一按壤土处理,从而简化建模过程。事实上若种植 LID 绿色设施过程中进行了换土,那么第二种认识或具有合理性,但毕竟种植土层深度有限(一般埋深 1.0~1.5 m),再往下渗透时仍会受原生土质影响;另外,对于部分下层非种植土的情况,如多年未开发建设用地,可能下层的土质并非如壤土般具有蓬松结构,渗透性能也千差万别,而且年径流总量控制率的取值对渗透系数非常敏感,因此建议按原生下层土质区别进行分类判断更为客观一些。对于具体取值,相关研究表明<sup>[1]</sup>:初设渗透速度对年径流总量控制率影响不显著;稳定(饱和)渗透速度对年径流总量控制率影响更为显著,渗透速度参考值为砂土类 11 mm/h,壤土类 3 mm/h,黏土类 0.5 mm/h;若表层土层较厚(例如达到 5~6 m),一般 LID 渗透可能不会进入到更下层土壤时,可直接按照表层壤土稳定渗透速度 3 mm/h 取值。

不透水率是直接反映下垫面硬化比例的参数,一般有不同的计算方法。以住宅为例:一种认为按下垫面中绿地透水、硬化地面和屋顶不透水、水面透水的方式处理;另一种认为绿地中也有部分不透水、屋面也有部分透水等。实际建模中按前者更易操作,因此常采用简单估算方式:不透水率=(1-绿化率-水面率)。需要注意的是,LID 设施添加后,SWMM 软件中不透水率要进行相应的调整,新的不透水率是去

除 LID 设施后,其余构成部分内硬化面积的占比。

SWMM 中 LID 模型不仅需要给出 LID 设施面积,还需获取汇水子流域内硬化部分的雨水汇入该 LID 设施的面积比例,即硬化面积收集率,该参数对年径流总量控制率计算也影响显著。根据相关研究<sup>[1]</sup>,一般设计过程中容易忽略收集率的因素而一味增加设施规模,导致事倍功半;若通过竖向以及管网系统优化来提高收集率,则可起到事半功倍的效果,如某调蓄池收集率从 6% 提高到 52%,则年径流总量控制率可由 61% 提高至 73%。因此建议尽量提高收集率,使得 LID 设施充分发挥作用。

蒸发量是另外一个重要参数,可参考相关导则规范等,如《浙江省海绵城市规划设计导则》(建规发〔2017〕1 号)中提供了浙江省各县市区月平均蒸发量。蒸发量一般按年均蒸发量或月均蒸发量设置,例如某市全年总蒸发量为 822 mm/a,日均蒸发量为 2.25 mm/d,经模拟计算比较后发现,按月均蒸发量和年均蒸发量计算的年径流总量控制率相差不大,两者差别约 0.1%。由此可见,两种设置皆可。

#### 4 率定方式

模型率定方式包括场次(降雨数据)率定方式和连续(降雨数据)率定方式。研究认为,应该集中精力在连续率定上。因为年径流总量控制率是针对总体控制的,而非单个的降雨,何况在不同大小的降雨下,率定出来的模型参数相差很大,不求“场场准”,但求“常常准”(总体准)。若用场次率定,则要求很高,参数只能适用于某一重现期;而用连续降雨率

定,则可以从总体出发,得到相对科学的率定结果。

率定可以采用 1 个项目的若干排放口连续多年的排放水量与降雨量之比核算出年径流总量控制率的实测值,并与模拟值进行比较。对于不透水率、硬化面积收集率等敏感参数进行多次试算,对普遍性的经验参数取值更要慎重。由于年径流总量控制率是多年平均数值,具有全局性,因此计算时可针对不同年份单独计算其年径流总量控制率,分析各年降雨的影响,然后从多方面进行统筹分析,从全局出发进行率定。切忌为了某一年的精确匹配而片面地调整参数,或者为了结果完全匹配而过分地调整某一参数。

#### 5 结 语

本文结合实践,总结海绵城市径流控制模型的年径流总量控制率计算参数、模型概化程度、降雨边界条件以及率定方式设置的经验,希望为其他海绵城市建设模型搭建提供一定的参考。由于目前率定过程存在原始数据匮乏的缺陷,因此参数率定工作仍存在较大的困难,但从长期来看,模型仍是未来精细化建设的重要抓手,对模型建模实践的不断探索,必然会促进未来海绵城市的建设更加科学合理及客观。

#### 参考文献:

- [1] 王永,周珺如,周文.海绵城市低影响开发模型应用探究[C]//2018 年海绵城市国际研讨会论文集.西安:484-492.
- [2] 夏可,周文,王永.杭州经济技术开发区海绵城市实施方案若干问题探讨[J].给水排水,2018(2):18-22.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)