

# 基于 Morris 筛选法的 SWMM 参数敏感性分析

张 伟<sup>1</sup>, 张 江<sup>2</sup>, 张 曼<sup>1</sup>

(1. 睢宁县水务局, 江苏 徐州 221000; 2. 徐州市黄河北闸管理处, 江苏 徐州 221000)

**摘要:**以徐州市某一住宅小区为例,选用修正的 Morris 筛选法,利用(storm water management model)模型中 11 个参数为变量,研究参数的变化对径流系数及洪峰流量的影响。研究结果显示,不渗透性/(imperv)、最小渗入速率(minrate)、漫流宽度(width)的变化对径流系数影响较大;漫流宽度(width)、不渗透性/(imperv)、渗透性粗糙系数(N-perv)对洪峰流量影响较大。研究结果可为 SWMM 模型参数的取值提供参考。

**关键词:**修正的 Morris 筛选法; SWMM 模型; 敏感性

中图分类号:TV87

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2021)03-0035-05

## Sensitivity analysis of SWMM model parameters based on Morris method

ZHANG Wei<sup>1</sup>, ZHANG Jiang<sup>2</sup>, ZHANG Man<sup>3</sup>

(1. Suining County Water Affairs Bureau, Xuzhou 221000, China;

2. Xuzhou Yellow River North Gate Management Office, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** Taking a residential district in Xuzhou City as an example, the modified Morris screening method was used, and 11 parameters in the SWMM model were used as variables to study the influence of parameter changes on runoff coefficient and peak flow. The results showed that the changes of Imperv, minRate and width had great influence on the runoff coefficient and width, imperv and N - perv had great influence on peak flow. The research results could provide reference for the selection of SWMM model parameters.

**Key words:** modified Morris screening method; SWMM model; sensibility

随着城市化进程的快速推进,城市地区发生内涝的概率越来越大,发生的范围越来越广,内涝持续时间及积水深度也越来越长。据调查,2008—2010 年在全国 349 个调查样本城市中,有 289 个城市发生了内涝,占比 80%。北京 2012 年 7 月 21 号特大洪水,造成受灾人口高达 160.2 万人,116.4 亿元直接经济损失;上海市 2013 年 10 月 7—8 日,受强台风影响,全市平均降水量高达 152.9 mm,造成全市大范围内涝<sup>[1-2]</sup>。可见,洪水内涝问题给城市

造成了巨大的财产损失和人员伤亡。暴雨管理模型(storm water management model,以下简称 SWMM)能够动态模拟城市地区遭遇不同重现期暴雨时内涝发生的时间、地点、范围,在城市地区内涝管理和控制中起了很大作用<sup>[3-4]</sup>。

SWMM 模拟机理主要是根据地形地貌将研究区分为各个子流域,其径流模块将该研究区所发生的降水等进行处理,汇流模块通过管道、河道、水泵、水闸等进行水量、污染负荷输送。用户只需将

收稿日期:2020-11-05

作者简介:张伟(1988—)男,本科,工程师,主要从事供排水行业监管,供排水设施建设、运行管理等方面工作。E-mail: 464690863@qq.com

基础资料输入模型,就可以得到各相关断面的污染工程线及流量过程线。在这一过程中,进行模型的参数率定是非常关键的,参数的变化对模拟结果影响非常大,因此有必要对模型参数进行分析,识别出敏感参数和非敏感参数<sup>[5-6]</sup>。根据参数敏感性分析结果,需要对敏感性参数取精确值,非敏感参数取经验值即可,这样既可以提高模型参数取值的效率,又能提高模型的精确度。近年来,随着 SWMM 模型用户的增多,很多学者都对模型的敏感度进行了研究,不同研究方法也得到了不同的结果。本文在前期学者研究成果的基础上,采用应用最为广泛的 Morris 筛选法,以江苏省徐州市某小区为例,研究 SWMM 模型的敏感性,为模型率定提供参考。

## 1 案例研究

### 1.1 模型建立及参数设置

本次以江苏省徐州市某成熟小区为研究区域,研究区面积约 5 hm<sup>2</sup>,其中透水面积占 40%,不透水面积占 60%。根据该研究区地下管线资料,结合该区域地形条件,将该研究区概化为雨水管线 70 条,检查井 65 个,出水口 3 个。根据管线和检查井的汇水范围,基于泰森多边形法,该研究区概化为 69 个子集水区。该研究区经 SWMM 模型概化后具体情况见图 1 所示。

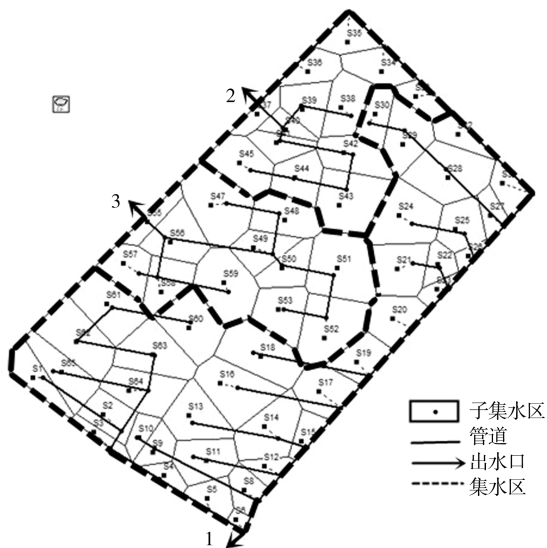


图 1 研究区域概化图

SWMM 模型设置参数的原则如下:

不透水面积:根据研究区土地利用情况确定,可通过实地测量确定准确值;稳定下渗率:查《江苏省暴雨洪水查算图表》,并按照徐州市土壤下垫面条件取值;最大下渗率:根据 SWMM 模型手册及徐

州市土壤类型取值,具体与土壤种类、含水量和植被覆盖率有关;入渗衰减系数:主要指霍顿曲线入渗衰减系数,具体指土壤浸水达到饱和状态,到土壤处于干燥状态所需要的时间,一般取值为 2 ~ 14 d;渗透性洼地蓄水/不透水性洼地蓄水:主要指降水的初始损失,即植被截留、洼地蓄水等损失;渗透性/不透水性粗糙系数:根据 SWMM 模型手册取经验值;坡度:根据徐州市地形资料取值。

SWMM 模型中主要参数取值,见表 1。

表 1 SWMM 模型主要参数取值范围

参数物理意义	模型中参数表示方法	取值范围
漫流宽度(m)	width	38 ~ 5 000
不透水性(%)	imperv	4 ~ 69
坡度(%)	slope	0.1 ~ 40.5
洼地蓄水(渗透性)(mm)	S-perv	4.5 ~ 5.5
洼地蓄水(不透水性)(mm)	S-imperv	0.9 ~ 1.1
渗透性粗糙系数	N-perv	0.18 ~ 0.23
入渗衰减系数	decay	2.7 ~ 3.3
最小渗入速率/(mm · h <sup>-1</sup> )	minrate	0.5 ~ 2.2
最大渗入速率/(mm · h <sup>-1</sup> )	maxrate	3 ~ 50.8
干燥时间(d)	drytime	2 ~ 14

### 1.2 设计暴雨过程

研究区的涝水主要来源于降水。综合考虑徐州市近几年降雨特性,取暴雨控制时段最大 24 h,统计时段选择 1 h、3 h、6 h、12 h、24 h 5 个时段。以当地代表雨量站降水资料为基础,以《江苏省暴雨洪水图集》可查的点面折减系数,采用同频率法可得暴雨时程分配过程,不同重现期的设计雨型见图 2 ~ 4。

### 1.3 基于 Morris 的敏感性分析法

Morris 筛选法具体步骤为:(1)从若干个变量中先选定一个变量  $x_i$ ;(2)在变量  $x_i$  取值上下随机浮动若干百分比;(3)运用 Morris 模型得到不同取值  $x_i$  对应的函数  $y(x) = y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;(4)运用影响值系数  $e_i$  判断变量  $x_i$  取值变化对模型运行结果的影响<sup>[7]</sup>。

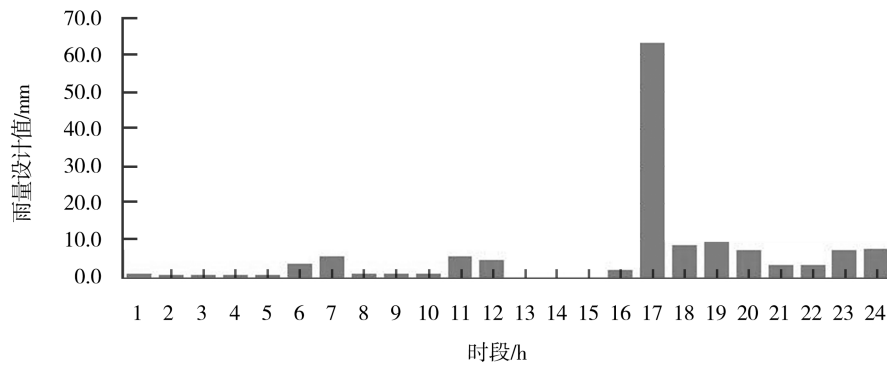


图2 10年一遇典型暴雨过程

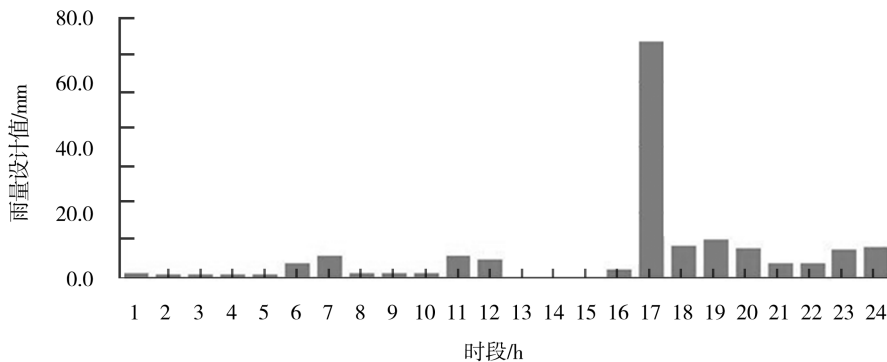


图3 20年一遇典型暴雨过程

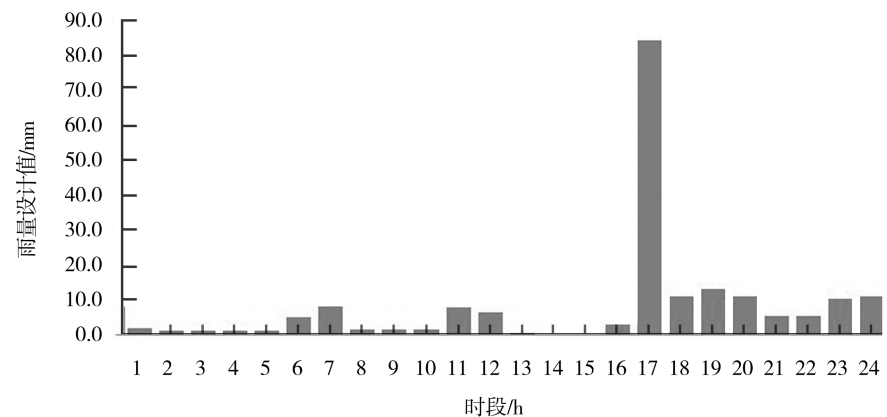


图4 50年一遇典型暴雨过程

$$e_i = (y^* - y) / \Delta_i \quad (1)$$

式中:  $y$  为变量  $x_i$  变化之前的运行结果;  $y^*$  为变量  $x_i$  变化之后的运行结果;  $\Delta_i$  为变量  $x_i$  的变化幅度。

考虑到 Morris 筛选法在变量  $x_i$  取值浮动上的随机性影响运行结果, 本次研究选用修正的 Morris 筛选法, 即变量  $x_i$  以固定步长百分率改变, 敏感性值可取多个 Morris 系数的平均值, 即,

$$S_N = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(Y_{i+1} - Y_i) / Y_0}{(P_{i+1} - P_i) / 100} / n \quad (2)$$

式中:  $S_N$  为变量敏感性判别系数;  $Y_i$  为 Morris 模型第  $i$  次输出值;  $Y_{i+1}$  为 Morris 模型第  $i+1$  次输出值;

$Y_0$  为变量按照固定步长百分率调整后模型运行结果;  $P_i$  为模型经第  $i$  次运行后, 变量对于初始变量的变化率;  $P_{i+1}$  为模型经第  $i+1$  次运行后, 变量对于初始变量的变化率;  $n$  为 Morris 模型的运行次数。

根据变量的  $S_N$  值, 修正的 Morris 筛选法将参数的敏感性划分为 4 种<sup>[8]</sup>: (1) 若  $|S_N| \geq 1$ , 则为高敏感参数; (2) 若  $0.2 \leq |S_N| < 1$ , 则为敏感参数; (3) 若  $0.05 \leq |S_N| < 0.2$ , 则为中等敏感参数; (4) 若  $0 \leq |S_N| < 0.05$ , 则为不敏感参数。

本次根据研究区实际情况, 选取稳定下渗率、曼宁宽度等 11 个变量进行敏感性分析, 每个参数的

固定步长百分率变化值为  $-30\%$ 、 $-20\%$ 、 $-10\%$ 、 $10\%$ 、 $20\%$ 、 $30\%$ , 主要分析研究区遭遇设计暴雨过程 10 年一遇、20 年一遇和 50 年一遇时, 参数对研究区径流系数和洪峰流量的敏感性。

## 2 结果分析

根据 Morris 筛选法, 对 11 个参数按照固定步长改变后, 模型运行结果进行分析, 分析参数对径流系数的敏感性, 具体分析结果见表 2。

表 2 参数的变化对研究区径流系数的敏感性排序

参数	10 年一遇		20 年一遇		50 年一遇	
	降雨敏感性值	参数敏感性排序	降雨敏感性值	参数敏感性排序	降雨敏感性值	参数敏感性排序
width	0.0568	3	0.0532	3	0.0542	3
imperv	0.1926	1	0.1721	1	0.1711	1
slope	0.0273	8	0.0256	8	0.0266	8
S-perv	-0.0322	6	-0.0285	6	-0.0275	6
S-imperv	-0.0024	10	-0.0019	10	-0.0009	10
N-perv	-0.0471	4	-0.0443	4	-0.0433	4
N-imperv	-0.0031	9	-0.0027	9	-0.0017	9
decay	0.0392	5	0.0343	5	0.0353	5
minRate	-0.1470	2	-0.1316	2	-0.1306	2
maxrate	-0.0277	7	-0.0257	7	-0.0247	7
drytime	0.0000	11	0.0000	11	0.0000	11

模型运行结果显示, 对 10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇 3 种降雨过程, 选取的 11 个参数敏感性差别较小, 但是暴雨设计年限越小, 参数的敏感性越高, 即 10 年一遇设计降雨过程参数的敏感性高于 20 年一遇, 20 年一遇设计降雨过程参数的敏感性高于 50 年一遇, 3 种降雨强度下参数敏感性排序一致。不渗透性敏感性最高, 最小渗入速率居第二位, 漫流宽度居第三位, 三者均是中等敏感度参数, 其余 8 个参数的敏感性较差。

根据 Morris 筛选法, 对 11 个参数按照固定步长改变后, 模型运行结果进行分析, 分析参数对洪峰流量的敏感性, 具体分析结果见表 3。

模型运行结果显示, 对 10 年一遇、20 年一遇、

50 年一遇 3 种降雨过程, 选取的 11 个参数敏感性差别较小, 但对不同的设计暴雨过程, 参数的敏感性排序有细微差别。10 年一遇设计暴雨过程, 参数敏感性相对较大的是不渗透性、渗透性粗糙系数、漫流宽度; 20 年一遇设计暴雨过程, 参数敏感性相对较大的是漫流宽度、不渗透性、渗透性粗糙系数; 50 年一遇设计暴雨过程, 参数敏感性相对较大的漫流宽度、不渗透性、渗透性粗糙系数。干燥时间为最不敏感参数, 它的变化对洪峰流量完全没有影响。

## 3 结 论

本次研究选用修正的 Morris 筛选法, 利用 SWMM 模型中 11 个参数的变化对徐州市某小区遭遇 10 年、20 年、50 年一遇设计暴雨时, 径流系数及洪峰流量的影响。

(1) 不同设计暴雨重现期, 11 个参数的敏感性排序大体相同; (2) 11 个参数的变化对径流系数和洪峰流量的影响不同。其中不渗透性、最小渗入速率、漫流宽度的变化对径流系数影响较大; 漫流宽度、不渗透性、渗透性粗糙系数对洪峰流量影响较大; (3) 干燥时间 drytime 的敏感性最低, 取值的变化不会影响模拟结果。

表 3 参数的变化对研究区洪峰流量的敏感性排序

参数	10 年一遇		20 年一遇		50 年一遇	
	降雨敏感性值	参数敏感性排序	降雨敏感性值	参数敏感性排序	降雨敏感性值	参数敏感性排序
width	0.0425	3	0.0462	1	0.04611	1
imperv	0.0515	1	0.0461	2	0.0461	2
slope	0.0232	4	0.0208	4	0.0207	4
S-perv	-0.0044	7	-0.0022	8	-0.0021	8
S-imperv	-0.0012	10	-0.00005	10	-0.00003	10
N-perv	-0.0435	2	-0.0419	3	-0.0421	3
N-imperv	-0.0016	9	-0.0016	9	-0.0016	9
decay	0.0046	6	0.0042	6	0.0039	7
minrate	-0.0087	5	-0.011	5	-0.0091	5
maxrate	-0.0039	8	-0.0042	7	-0.0041	6
drytime	0	11	0	11	0	11

参考文献:

[1] 赵冬泉,王浩正,陈吉宁,等. 城市暴雨径流模拟的参数不确定性研究[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 45-51.

[2] 董欣,杜鹏飞,李志一,等. SWMM 模型在城市不透水区地表径流模拟中的参数识别与验证[J]. 环境科学, 2008, 29(6):1495-1501.

[3] 曾家俊,麦叶鹏,李志威,等. 广州天河智慧城 SWMM 参数敏感分析[J]. 水资源保护, 2020, 36(3):15-21.

[4] 陆海明,邹鹰,孙金华,等. 基于 SWMM 的铁心桥实验基地内涝防治效果模拟[J]. 水资源保护, 2020,

36(1):58-65.

[5] 王浩昌,杜鹏飞,赵冬泉,等. 城市降雨径流模型参数全局灵敏度分析[J]. 中国环境科学, 2008, 28(8):725-729.

[6] 赵冬泉,王浩正,陈吉宁,等. 城市暴雨径流模拟的参数不确定性研究[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 45-51.

[7] 朱嘉祺,徐向阳,何爽. 基于 LH-OAT 的 SWMM 模型参数敏感性分析[J]. 中国农村水利水电, 2014(3):84-87.

[8] 黄金良,杜鹏飞,何万谦,等. 城市降雨径流模型的参数局部灵敏度分析[J]. 中国环境科学, 2007, 27(4):549-553.