

SWMM 模型在城市排水系统规划中的应用

董欣 陈吉宁 赵冬泉

(清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘要 对城市排水系统进行系统的模拟计算,可以为城市排水系统规划方案的调整与优化提供理论指导。以深圳河湾地区的排水系统规划为例,讨论了美国环保局开发的暴雨径流管理模型 SWMM(Storm Water Management Model)的应用情况。案例研究以典型降雨年的排污状况为参考,用 SWMM 分析和评价了深圳“布局规划方案”在近期(2010年)和远期(2020年)的环境影响。研究中所应用的方法和过程具有一定的通用性,可以用于其他地区排水系统的模拟。

关键词 SWMM 城市排水系统 暴雨径流 城市非点源

城市排水系统是城市水污染防治和城市排渍防涝、防洪的骨干工程,担负着收集城市生活和工业生产等污水、及时排除城区内雨水和流经市区雨水的任务。排水工程设施的建设直接影响着城市的发展格局、景观和环境卫生,甚至关系到城市的安全。在城市排水系统的规划过程中对排水系统进行详细模拟,可以系统地评估规划方案对城市水环境的影响,从而为规划方案的调整和优化提供理论性的指导,这一实践在国际上已经成为排水系统规划的重要内容^[1~3]。本文以深圳河湾地区的排水系统规划为例,讨论了美国环保局开发的暴雨径流管理模型的应用情况。

1 SWMM 模型概述

SWMM 是美国环保局为解决日益严重的城市排水问题而推出的暴雨径流管理模型,此模型可以对单场暴雨或者连续降雨而产生的暴雨径流进行动态模拟,进而解决与城市排水系统相关的水量与水质问题。目前,该模型在北美地区被广泛用于城市

水系统的设计、规划和运行^[4]。

SWMM 由 4 个计算模块和 1 个服务模块组成。4 个计算模块分别为径流模块(Runoff),输送模块(Transport),扩充输送模块(Extran)和储存/处理模块(Storage/Treatment),通过计算模块的运行,SWMM 可以对地面径流,排水管网以及污水处理单元等的水量水质进行动态模拟。服务模块的主要功能是进行一些计算后的处理,如统计、绘图等^[5]。

SWMM 模型中的径流模块、输送模块和储存/处理模块可以分别实现对城市排水系统中地表径流、管网输送和污水处理单元的模拟,这为 SWMM 模型对城市排水系统的整体模拟提供了可能。城市产生的污水和降雨资料作为 SWMM 模型的管道结点属性(Inflow)和降雨属性(Rain Gages)分别输入到输送模块和径流模块,这些属性数据作为模型的输入,为计算模拟提供了基础;而模拟的核心是利用 SWMM 中的径流模块、输送模块和储存/处理模块依次对城市排水中的地表径流、管网输送和污水处

参考文献

- 1 刘秋生. 供水系统信息管理和信息系统. 给水排水, 2004, 26(4): 1~2
- 2 何建邦, 闫国年, 吴平生, 等. 地理信息共享法研究. 北京: 科学出版社, 2000. 3~5
- 3 张友生. 系统分析师常用工具. 北京: 清华大学出版社, 2004. 57~58
- 4 David M Kroenke. 数据库处理——基础、设计与实现. 第 7 版. 施伯乐, 顾宁, 刘国华, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2001. 61~63

- 5 严煦世, 赵洪宾. 给水管网理论与计算. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986. 116~156

通讯处: 200127 上海浦东陆家嘴软件园峨山路 91 弄 98 号 1 号楼 407

电话: (021) 50908310

E-mail: h_tp@sohu.com

收稿日期: 2005-12-15

修回日期: 2006-03-07

理进行模拟计算,最终得到输入城市接纳水体中的水量和水质的动态结果。

2 SWMM 模型对城市排水系统的模拟分析

本文以深圳河湾地区为研究区域,利用 SWMM 模型对其城市排水系统规划方案进行了模拟分析,得出了该规划方案对深圳河湾地区近期和远期水环境质量的影响,充分展示了 SWMM 模型在区域排水分析计算中的功能,同时也描述了该模型对城市排水系统模拟分析的过程。

2.1 研究区域简介

深圳河湾地区位于珠江口东侧,总面积 348.56 km²,占深圳全市面积的 17%,2003 年人口为 265.4 万,约占全市人口的 40%。该区域多年平均降水量为 1 981 mm,最大年降水量 2 721.9 mm,最小年降水量 849.7 mm,其中,汛期 4~9 月降水量占全年降水量的 85.3%。

2002 年,针对深圳湾水环境日益恶化,深圳市市政工程设计院对《深圳市污水系统布局规划》进行了修编,提出了“布局规划方案”,对深圳湾地区的排水系统进行了重新规划。在“布局规划方案”中,要求深圳河湾地区共建 9 座污水处理厂,并且不断改造现有的合流制管网,逐步实现雨污分流,在改造过程中的过渡阶段,使用截流式分流制作为主要的排水体制,见图 1。

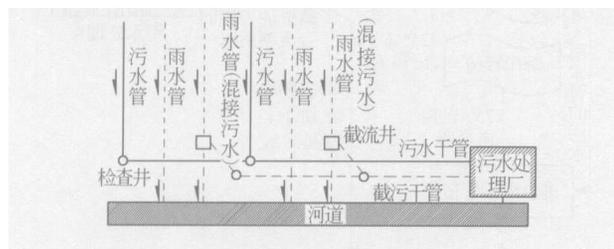


图 1 截流式分流制排水体制

2.2 模拟技术路线

本研究以深圳河湾地区典型降雨年(2000 年)的逐小时降雨数据和“布局规划方案”为基础,利用 SWMM 模型对深圳河湾地区排水系统的规划方案进行模拟,得到该地区 2010 年(近期)和 2020 年(远期)情景的排污时空分布,进而评价该规划方案对深圳湾水环境的影响。图 2 为本研究的技术路线,主要包括以下 4 个阶段:

(1) 根据 SWMM 模型的数据输入需求和格

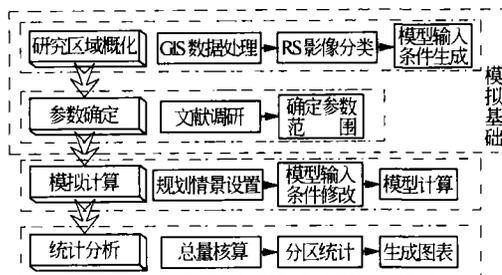


图 2 排水系统模拟分析工作流程

式,利用该研究区域已有的基础数据进行概化,得到模型输入文件;

(2) 在模型概化的基础上,结合文献调研和现场监测数据,确定模型中的未知参数;

(3) 针对不同规划年份构建不同的模拟情景,并利用 SWMM 进行模拟;

(4) 对模型的输出结果进行统计分析,评价规划方案对该区域水环境的影响。

2.3 SWMM 模型的模拟基础工作

在使用 SWMM 模型对城市排水系统进行模拟时,模拟基础工作主要包括管网概化、提取各个汇水区的土地利用信息和模型参数确定 3 部分。管网概化过程要提取城市雨污水管网的分布特征和管道的长度、流向、管径等属性数据,为 Transport 模块提供计算依据;土地利用信息的提取可为 Runoff 模块提供计算依据;而模型参数的确定是模拟结果真实有效的必需步骤。

2.3.1 管网概化

从已有的 CAD 图层中提取研究区域的管网数据信息,其中包括代表管道图形要素的空间位置,以及管道的长度、流向、管径等属性信息。然后依据图 3 所示的流程进行概化,通过 GIS 的拓扑关系和空间分析得到与管道对应的管网节点和汇水区信息,最终得到模型的输入文件。

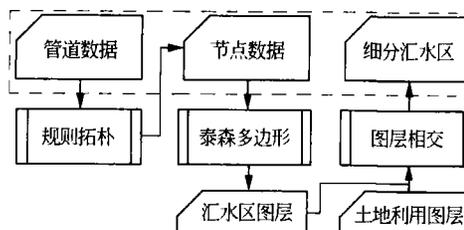


图 3 管网概化流程

2.3.2 土地属性提取

根据深圳 2003 年遥感影像图,建立土地利用分类模板,利用 ERDAS 的监督分类功能将深圳河湾地区的土地分为城市、郊区、水体、其他(山地、林地、公园和未分类)四类。同时利用深圳特区 1:10 000 地形图,提取等高线图层,利用 GIS 中的 3D 分析功能和栅格数据统计分析工具,获得各个汇水区中地面坡度的平均值、各个管道节点的地面高程。

2.3.3 模型参数确定

需要确定参数的模型主要是 Runoff 模块中的污染物冲刷、累积模型的参数。在一场降雨过程中,依据降雨的强度及历时,累积于地表的污染物中的一部分或全部在径流过程中会被冲刷掉,然后地表将以此场降雨结束时残留于地表的污染物质作为起始值,开始下一场降雨前的累积。

在本研究中需要对 COD、SS、TN、TP 4 种污染物进行模拟,采用暴雨径流平均浓度模型(EMC)来描述冲刷过程中 4 种污染物浓度的变化,需要确定的参数为各种不同用地类型中各种污染物的 EMC 值和清扫效率;采用 Sartor 和 Boycl(1972)提出的固体物质累积估算模型来描述累积过程,需要确定的参数为污染物的最大累积量和半饱和常数^[6]。具体参数依照深圳市已有的相关监测数据来确定。

2.4 排水系统的模拟

2.4.1 情景设计

本研究采用深圳湾地区典型降雨年 2000 年的逐小时降雨数据作为情景模拟的降雨条件,全年降雨量合计 2 421.7 mm,雨量变化见图 4。

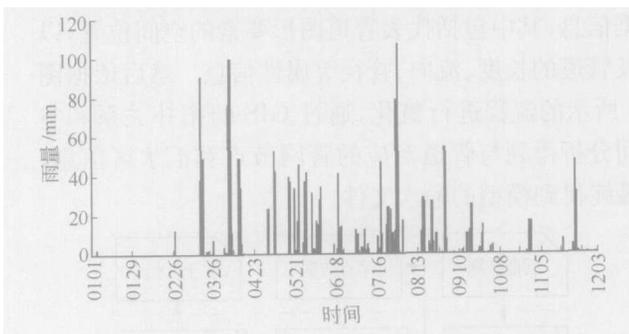


图 4 2000 年典型降雨年降雨过程曲线

2.4.1.1 污水收集与输送情景

根据“布局规划方案”要求,研究区域在近期(2010 年)内实现截流式的分流制排水体制,区域内 15% 的污水通过沿河截流管进入污水处理厂,75%

的污水通过污水管道进入污水处理厂,污水收集率达到 90%;在远期(2020 年)通过对特区排水管网的改造,完全实现分流制的排水体制,区域内 5% 的污水通过沿河截流管进入污水处理厂,其余 90% 的污水通过污水管道进入污水处理厂,污水收集率达到 95%。对于未收集的污水部分,其中 50% 因为雨污管错接导致直接通过雨水管道排入河流中,另外 50% 在管道的输送过程中渗漏或在管道中累积滞留而不直接进入河流。

2.4.1.2 雨水收集与输送情景

规划方案中的截流管道在旱季截流污水,在雨季不仅截流污水,还要截流一定量的雨水,此时管道中输送的是混合后的雨污水(合流污水)。依据目前的管网建设和规划状况,设定截流管道的雨水服务区面积为整个区域面积的 1/4,也就是说,当该区域降雨时,产生的地表径流中 25% 是通过截流管道收集的;截流管道的截流倍数设为 2,如果合流制的污水量超过了管道的截流能力将发生溢流,溢流点选在污水处理厂附近。研究区域内的雨水管道将收集降雨产生的其余 75% 的径流,这部分雨水通过雨水管道最终排入河流中,见图 5。

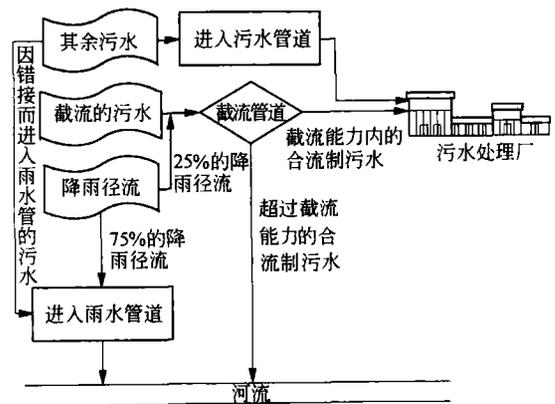


图 5 雨季的排水情景假设

2.4.1.3 污水和雨水处理情景

旱季时污水处理厂的进水水量、水质及出水水质可以根据《深圳市污水规划布局规划》确定。雨季时,通过雨水管道直接排放的雨水量和水质可以通过 SWMM 模型模拟雨水管网得到;而截流管道按照截流能力收集雨水和污水,截流能力内的合流污水通过截流管道送至污水处理厂,截流能力外的合流污水发生溢流,水量和水质也由 SWMM 模型模

拟截流管网得到。雨季中的污水处理厂来水包括污水管道输送的污水和截流管道输送的合流污水,两部分水进入污水处理厂后按照污水处理厂的净化能力进行处理,根据规划方案要求,处理效果与旱季相同。

2.4.2 模拟结果及分析

在上述情景假设的基础上,利用 SWMM 模型进行模拟,可以得到 2010 和 2020 年规划方案的排污模拟数据,对这些数据进行统计分析,可以得到规划方案一年内排放污染物总量的模拟结果,见图 6。从图中可以看出,由截流溢流而产生的污染物排放量都比较小,说明布局规划方案的截流措施是有效的。对于污染物 COD 来说,暴雨径流带来的负荷小于污水处理厂带来的负荷,污水厂出水 COD 浓度虽然低,但是由于水量大,所以污染负荷总量比较大;对于污染物 SS 来说,由于其在暴雨径流中的浓度较大,而污水处理厂对城市污水 SS 的去除效率很高,因此,城市非点源成为 SS 排放的重要来源,污水处理厂出水所带出的 SS 总量相比之下较小;而污染物 TN、TP 在城市暴雨径流中的浓度很低,其排放总量中大部分来自污水处理厂的出水。

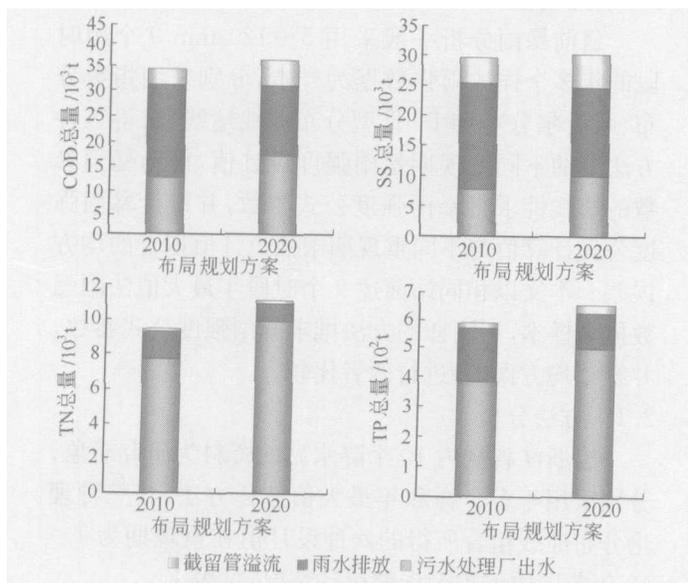


图 6 深圳湾区域污染物排放总量统计

图 7 给出了深圳湾区域全年污染物排放的平均浓度,可以看出,2020 年深圳湾的水质在 COD 和 SS 两项指标上要明显优于 2010 年的水质,这说明布局规划方案对深圳湾水环境的改善具有一定的积

极作用。但是由于城市的发展,2020 年的用水量大于 2010 年的用水量,因此图 6 中 2020 年的污染物排放总量大于 2010 年的总量。

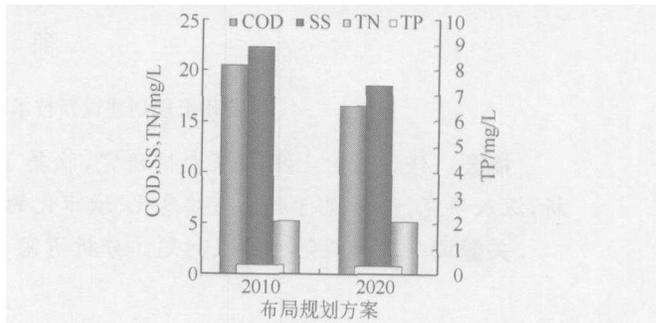


图 7 排入深圳湾的污染物平均浓度

从模拟结果可以发现,城市暴雨径流是深圳湾地区水环境的一个重要的污染源,要想改善城市水环境的质量,除了要提高城市污水的收集率和处理率外,还应该建设相应的雨水处理系统,使得雨水经过处理后再排入受纳水环境中,以减轻城市非点源对城市水环境的影响。

3 结论

从上述对深圳湾地区排水系统的规划方案模拟的过程可以看出,SWMM 模型可以对城市排水系统进行全过程的模拟,定量分析区域的排污情况,是区域排水分析计算的有效工具之一。同时,基于 SWMM 模型较为强大的排水系统模拟功能,该模型还可以用于城市排水系统规划方案的改进和评估,为城市排水系统的规划管理提供强有力的技术支持。

参考文献

- 孙慧修. 排水工程. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996
- 戴慎志, 陈践. 城市给水排水工程规划. 安徽: 安徽科学技术出版社, 1999
- 镜雨霖, 任周宇, 陈忠正. 城市给水排水. 第 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986
- Lewis A Rossman. Storm Water Management Model User s Manual Version 5. 0
- Kyung-sook Choi, James E. Ball. Parameter estimation for urban runoff modeling. UrbanWater, 2002, (4): 31 ~ 41
- 赵剑强. 城市地表径流污染与控制. 北京: 中国环境科学出版社, 2002

电话: (010) 62785610 - 19

E-mail: dx00@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2005 - 11 - 12

修回日期: 2006 - 02 - 22