

水 科 学 前 沿 丛 书

珠三角地区城市雨洪调控技术

黄国如 冯 杰 著



科学出版社

水科学前沿丛书

珠三角地区城市雨洪调控技术

黄国如 冯 杰 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍了城市雨洪模型及其在珠三角城市雨洪调控中的应用。以广州市为研究区域,分别从不同暴雨选样、设计暴雨及设计流量等进行市政排水与水利排涝标准衔接关系研究,基于 PCSWMM 模型构建适用于广州市荔湾区典型社区的城市雨洪模型,分析各种 LID 方案对减缓该社区洪涝灾害和城市面源污染的效果。基于 ArcGIS 和 SWMM 模型构建深圳市民治片区城市雨洪模型和内涝预警预报系统,评估城市化和工程整治措施对洪水的效应,在对珠三角城市暴雨内涝成因进行综合分析的基础上,结合国内外其他国家和地区内涝整治经验,提出珠三角城市内涝的综合应对措施。

本书可供从事水利、水务、市政、规划、环保等的科研工作者和工程技术人员参考,也可供相关专业的大学本科生和研究生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

珠三角地区城市雨洪调控技术/黄国如,冯杰著. —北京:科学出版社, 2017.8

(水科学前沿丛书)

ISBN 978-7-03-054012-6

I. ①珠… II. ①黄…②冯… III. ①珠江三角洲—城市—防洪工程—研究 ②珠江三角洲—降雨—水资源利用—研究 ③珠江三角洲—洪水—水资源利用—研究 IV. ①TU998.4②TU991.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 181121 号

责任编辑:杨帅英 白 丹/责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 8 月第一次印刷 印张: 15 1/4 插页: 8

字数: 362 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《水科学前沿丛书》编委会

(按姓氏汉语拼音排序)

顾	问	曹文宣	陈志恺	程国栋	傅伯杰
		韩其为	康绍忠	雷志栋	林学钰
		刘鸿亮	卯智	孟伟	王超
		王浩	王光谦	薛禹群	张建云
		张勇传			
主	编	刘昌明			
		徐宗学			
		蔡崇法	常剑波	陈求稳	陈晓宏
		陈永灿	程春田	方红卫	胡春宏
		黄国和	黄介生	纪昌明	康跃虎
		雷廷武	李怀恩	李义天	林鹏
		刘宝元	梅亚东	倪晋仁	牛翠娟
		彭世彰	任立良	沈冰	王忠静
		吴吉春	吴建华	徐宗学	许唯临
		杨金忠	郑春苗	周建中	

《水科学前沿丛书》编写说明

随着全球人口持续增加和自然环境不断恶化，实现人与自然和谐相处的压力与日俱增，水资源需求与供给之间的矛盾不断加剧。受气候变化和人类活动的双重影响，与水有关的突发性事件也日趋严重。这些问题的出现引起了国际社会对水科学研究的高度重视。

在我国，水科学研究一直是基础研究计划关注的重点。经过科学家们的不懈努力，我国在水科学研究方面取得了重大进展，并在国际上占据了相当地位。为展示相关研究成果、促进学科发展，迫切需要我们过去几十年国内外水科学不同分支领域取得的研究成果进行系统性的梳理。有鉴于此，科学出版社与北京师范大学共同发起，联合国内重点高等院校与中国科学院知名中青年水科学专家组成学术团队，策划出版《水科学前沿丛书》。

丛书将紧扣水科学前沿问题，对相关研究成果加以凝练与集成，力求汇集相关领域最新的研究成果和发展动态。丛书拟包含基础理论方面的新观点、新学说，工程应用方面的新实践、新进展和研究技术方法的新突破等。丛书将涵盖水力学、水文学、水资源、泥沙科学、地下水、水环境、水生态、土壤侵蚀、农田水利及水力发电等多个学科领域的优秀国家级科研项目或国际合作重大项目的成果，对水科学研究的基础性、战略性和前瞻性等方面的问题皆有涉及。

为保证本丛书能够体现我国水科学研究水平，经得起同行和时间检验，组织了国内多位知名专家组成丛书编委会，他们皆为国内水科学相关领域研究的领军人物，对各自的分支学科当前的发展动态和未来的发展趋势有诸多独到见解和前瞻思考。

我们相信，通过丛书编委会、编著者和科学出版社的通力合作，会有大批代表当前我国水科学相关领域最优秀科学研究成果和工程管理水平的著作面世，为广大水科学研究者洞悉学科发展规律、了解前沿领域和重点方向发挥积极作用，为推动我国水科学研究和水管理做出应有的贡献。



2012年9月

前 言

在全球气候变化背景下,城市化水平提高在一定程度上使得城市暴雨洪水频率增加,城市洪涝灾害影响程度加深,影响范围不断加大。珠三角地区城市暴雨内涝频发,城市洪涝风险呈不断上升趋势,频繁发生的城市洪涝灾害给社会经济生产造成了巨大损失,对城市居民生命财产和安全生产造成威胁。面对日益严峻的城市洪涝灾害,除了加强必要的工程措施建设外,模拟和预报城市洪水也是防洪减灾措施中重要的甚至是必不可少的非工程措施,同时也是当前城市水文学研究的前沿课题之一。因此,为了减少城市洪涝灾害造成的损失及提升对突发性强暴雨洪水事件作出快速反应和应急处置水平,需建立一套高效、稳定的数学模型用以模拟计算城市暴雨洪水过程,研制城市暴雨内涝预警预报系统,分析评估工程建设措施的水文效益;从不同暴雨选样方法、设计暴雨和设计流量等方面分析市政排水与水利排涝设计重现期标准的衔接关系,试图解决因两者设计标准不同所导致的排水困局;在对近年珠三角城市内涝进行充分调研的基础上,分析珠三角城市内涝的发生原因,探讨城市内涝的综合防治技术,制定珠三角城市内涝防治对策,提出城市内涝防治的工程措施和非工程措施,为珠三角地区城市内涝解决提供科学依据。

本书共分6章。第1章为绪论,主要介绍城市内涝研究背景和意义、研究的主要内容等。第2章为城市雨洪模型,主要介绍SWMM模型、PCSWMM模型和InfoWorks ICM模型的基本原理、结构及其基本计算方法,阐述SWMM模型构建的ArcGIS技术方法、ArcGIS与SWMM模型的系统集成途径等,论述基于ArcGIS和SWMM模型的地面淹没水深计算方法。第3章为市政排水与水利排涝设计标准衔接关系,以广州市为研究对象,从不同暴雨选样、设计暴雨和设计流量等对市政排水与水利排涝设计重现期标准进行相关衔接分析,并基于InfoWorks ICM模型构建东濠涌流域一维管道、一维河道及二维地面耦合模型,分析计算管道与河道不同标准组合的衔接情况。第4章为低影响开发雨水利用系统雨洪调控效应评估,构建基于PCSWMM模型的广州市荔湾区典型社区城市雨洪模型,评估该典型社区各种LID方案对减缓洪涝灾害和城市面源污染的效果,优化得出该典型社区的各类低影响开发措施。第5章为深圳市龙华民治片区雨洪调控技术,基于ArcGIS和SWMM模型构建深圳市民治片区城市雨洪模型,研制城市内涝预警预报系统,评估城市化和工程整治措施对洪水的影响。第6章为珠三角城市内涝成因及解决对策,介绍珠三角城市暴雨内涝成因,梳理国内外城市暴雨内涝防治措施,据此提出珠三角城市暴雨内涝解决对策。全书由黄国如统稿。文中部分彩图附后。

本书的研究成果是华南理工大学水资源及水环境科研团队多年相关科研成果的总结和提炼,本书其他作者主要为黄纪萍、曾娇娇、张灵敏、吴海春等,研究生李彤彤、王欣在本书撰写过程中也提供了很多帮助,本书也参考和引用了国内外许多专家和学者的研究成果,在此一并表示衷心的感谢。

本书的研究得到了水利部公益性行业科研专项经费项目(201301093)、广东省科技计划项目(2016A020223003)、广东省水利科技创新项目(2016-32)、广州市科技计划项目(201707020020)、广州市水务科技创新项目(GZSW-201401)及华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室自主研究课题项目(2014ZC09)等的大力资助,在此一并表示感谢。限于作者的研究水平,书中难免存在不足和疏漏之处,恳请同仁批评指正。

作者

2017年3月10日

目 录

《水科学前沿丛书》编写说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.1.1 城市化水平提高	1
1.1.2 城市洪涝灾害频发	2
1.2 主要研究内容	4
第 2 章 城市雨洪模型	6
2.1 SWMM 模型	6
2.1.1 概述	6
2.1.2 SWMM 模型结构	6
2.1.3 降雨计算	7
2.1.4 集水区域概化	8
2.1.5 地表产流计算	10
2.1.6 地表汇流计算	11
2.1.7 管网水动力计算	12
2.1.8 地表溢流计算	15
2.1.9 SWMM 模型中地表污染物累积与冲刷原理和计算	16
2.1.10 传输子系统的水质计算方程	18
2.1.11 SWMM 模型中的 LID 措施模拟	19
2.1.12 SWMM 模型参数	24
2.2 SWMM 模型构建的 GIS 技术方法	25
2.2.1 ArcGIS 平台概述	25
2.2.2 数据管理	26
2.2.3 地形表面分析及属性计算提取	36
2.3 ArcGIS 与 SWMM 模型的系统集成	41
2.3.1 ArcGIS 与 SWMM 模型的集成优势	41
2.3.2 ArcGIS 与 SWMM 集成开发方式	42
2.3.3 SWMM 模型嵌入	43
2.3.4 ArcGIS Engine 组件式的系统构建	45
2.3.5 地表淹没水深计算模块开发	48
2.4 PCSWMM 城市雨洪模型	49
2.4.1 PCSWMM 模型概述	49

2.4.2	PCSWMM 模型建模步骤	49
2.5	InfoWorks ICM 模型	53
2.5.1	概述	53
2.5.2	InfoWorks ICM 模型结构	53
2.5.3	地表产流计算	55
2.5.4	地表汇流计算	57
2.5.5	管网水力计算方法	61
2.5.6	二维城市洪涝淹没计算	67
2.6	小结	68
第 3 章	市政排水与水利排涝设计标准衔接关系	69
3.1	暴雨选样分析	69
3.1.1	概述	69
3.1.2	雨量资料整理	70
3.1.3	暴雨资料频率适线分析	73
3.1.4	暴雨公式参数求解及精度分析	80
3.1.5	两种选样方法的衔接关系	85
3.2	设计暴雨重现期衔接分析	90
3.2.1	市政排水与水利排涝设计暴雨雨量相关结构	90
3.2.2	市政排水与水利排涝设计暴雨雨峰衔接关系	94
3.3	设计排涝流量计算衔接关系	98
3.3.1	概述	98
3.3.2	流域概况	99
3.3.3	水利部门方法推求设计洪峰流量	100
3.3.4	室外排水公式法推求设计洪峰流量	102
3.3.5	不同方法计算结果对比分析	105
3.4	基于城市雨洪模型的流量衔接关系分析	106
3.4.1	东濠涌流域洪涝模型构建	107
3.4.2	东濠涌流域洪涝模拟结果	111
3.5	小结	118
第 4 章	低影响开发雨水利用系统雨洪调控效应评估	120
4.1	低影响开发雨水利用技术	120
4.1.1	低影响开发内涵	120
4.1.2	低影响开发雨水利用技术	122
4.2	现场监测	127
4.2.1	研究区域	127
4.2.2	水质监测	127
4.2.3	水质数据	128
4.3	初期冲刷效应分析及量化	130

4.3.1	无量纲累积曲线 $M(V)$	130
4.3.2	初期冲刷系数 b 量化	133
4.3.3	MFF 指数初期冲刷效应	136
4.3.4	MFF 指数初期冲刷污染物负荷量	139
4.4	PCSWMM 城市雨洪模型构建	141
4.4.1	研究区域概化	141
4.4.2	模型参数率定	141
4.5	LID 组合措施方案雨洪调控效应	144
4.5.1	LID 组合措施方案设计	144
4.5.2	LID 雨洪调控效应评估	146
4.6	小结	152
第 5 章	深圳市龙华民治片区雨洪调控技术	153
5.1	民治片区概况	153
5.1.1	地理位置	153
5.1.2	水文气象	153
5.1.3	河流水系	153
5.1.4	防洪工程现状	155
5.1.5	民治辖区下垫面情况	156
5.1.6	社会经济概况	157
5.2	暴雨内涝灾害情况	157
5.2.1	民治片区历史内涝灾害情况	157
5.2.2	民治片区 2014 年内涝情况	159
5.2.3	内涝灾害成因分析	161
5.3	SWMM 排水管网水力模型构建	162
5.3.1	研究区数据资料概况	162
5.3.2	研究范围确定	163
5.3.3	排水系统概化	163
5.3.4	子汇水区概化及参数确定	165
5.3.5	实测降雨模拟结果分析	169
5.3.6	不同重现期降雨模拟结果分析	175
5.4	城市暴雨内涝预警预报系统	179
5.4.1	系统主界面	179
5.4.2	系统主要功能	180
5.5	深圳市民治片区城市化对洪水的影响分析	191
5.5.1	城市化对洪水影响的影响因子	191
5.5.2	民治片区城市化对洪水影响特征分析	192
5.5.3	城市化对实测暴雨洪水的影响	192
5.5.4	城市化对设计暴雨洪水的影响	194

5.6	民治片区内涝整治效果评估	195
5.6.1	工程措施	195
5.6.2	工程整治措施对实测暴雨洪水的影响	200
5.6.3	工程整治措施对设计暴雨洪水的影响	201
5.7	小结	203
第6章	珠三角城市内涝成因及解决对策	205
6.1	珠三角城市内涝成因分析	205
6.1.1	自然原因	205
6.1.2	人为原因	206
6.2	国内外城市内涝控制标准比较	210
6.2.1	国内城市排水防涝标准	210
6.2.2	国外城市排水防涝标准	211
6.2.3	我国与国外城市排水防涝标准比较	212
6.3	国内外其他城市内涝应对措施	214
6.3.1	美国纽约存雨桶和芝加哥深隧	214
6.3.2	法国巴黎下水道工程	214
6.3.3	英国可持续排水系统	215
6.3.4	德国柏林分立式排水系统	216
6.3.5	日本东京地下河道	216
6.3.6	深层隧道排水系统	217
6.4	珠三角城市内涝解决对策	219
6.4.1	工程措施	219
6.4.2	非工程措施	222
6.5	小结	227
	参考文献	229
	彩图	

第1章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 城市化水平提高

城市化是从以农业为主的农村社会向以工业、服务业和信息产业为主的现代城市社会转化的过程，是人类社会发展和进步的必然趋势。根据联合国人口基金会发表的《2007世界人口状况报告》的数据显示：到2030年，全球城市人口预计将达到50亿人，约占同期世界总人口的60%，其中，发展中国家城市人口预计将占世界总城市人口的81%。根据中国国家统计局的数据，2011年年末我国城镇人口占总人口的比例已经达到51.27%，城镇人口比重首次超过非城镇人口，在统计学意义上，中国已经成为“城市化”国家。图1-1给出了我国自1978年以来历年城市化率的变化情况，由图1-1可以看出，自改革开放以来，中国城市化水平不断提升，特别是1996年以后，城市化进程进一步加快，根据中国社会科学院的研究成果，到2030年，中国城市化率预计将达到67.81%。

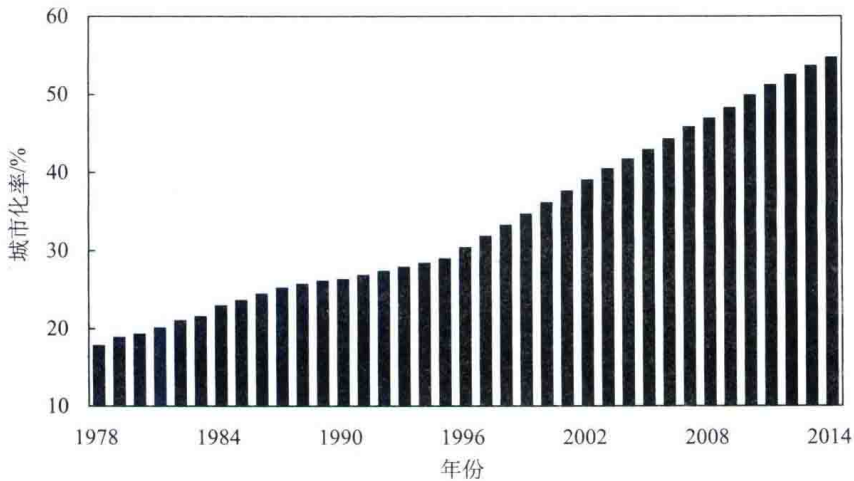


图 1-1 1978 年以来中国历年城市化率

城市化水平的提高推动了社会经济的迅猛发展，但同时也带来了地区人口密度的急剧加大，生态环境条件被改变，进而引起地区局部气候和水循环条件发生变化，即城市化的水文效应。从某种意义上讲，水文过程是气象要素与下垫面条件共同作用的结果，而城市化引起的土地利用变化、不透水面积增加正不断地改变着城市的气象要素与下垫面条件。城市化对水文过程的影响主要包括以下几个方面。

1) 对降雨的影响。城市密集的建筑群、大量的混凝土和柏油路面及相对较少的绿地和水体等特点使得城市地区具有更大的吸热率，在相同的太阳辐射下，城区较郊区温度

上升更快，与郊区形成温差，近地面风速递减，城区的绝对湿度和相对湿度逐渐减小，即“热岛效应”。受“热岛效应”、大量有利于降水的凝结核和众多高度不一的高层建筑物对气流扰动等因素的影响，城市“雨岛效应”明显。根据国内外众多研究成果，城市化能够明显诱发降水，增加降雨强度和降雨持续时间。

2) 对径流的影响。一方面，在城市化过程中，城市土地使用类型的改变和地表不透水率的增加使得区域下渗量、截留量和蒸发量减少，从而极大地影响区域产流量和产流过程。另一方面，城市河道形态的改变、地下管网排水和水工建筑物等因素的影响使得城市汇流条件和特性较自然流域有了很大不同。图 1-2 给出了城市化前后地表汇流过程对比的示意图，由图 1-2 可以看出，城市化对径流的影响主要表现为径流总量增加，汇流过程缩短，洪峰流量增大，洪峰时间提前。

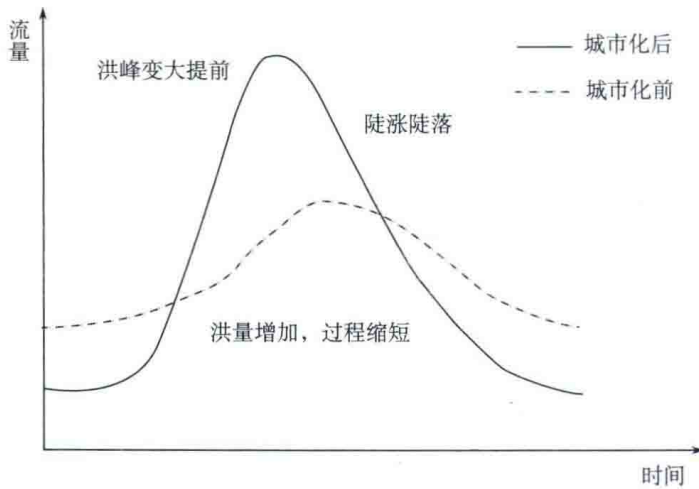


图 1-2 城市化对径流过程的影响

由上面的分析可知，一方面，城市化水平的提升是社会经济发展导致的一个不可逆转的趋势，无论是中国还是世界其他地区，都处于城市化水平不断提升的过程中；另一方面，由于城市化水平提升所带来的水文效应及全球气候变化、人口增长等，城市暴雨洪水的出现频率与潜在风险都在不断增大。城市化水平的不断提升使得人口、产业、财富快速地向城市地区聚集，即使在相同的洪涝灾害条件下，城市洪涝灾害造成的损失也明显比以前增加，间接损失和社会影响不断增大。

1.1.2 城市洪涝灾害频发

城市洪涝灾害一般是指强降雨、外江洪水漫堤和城区溃坝等在地势低洼、排水不畅等情况下造成地表积水或者行洪的自然灾害，其中，短历时强降雨或过程雨量偏大是导致城市洪涝灾害的主要原因。世界上大部分城市都经常遭受不同程度的暴雨洪水的袭击，在西方发达国家城市多以局部排水不畅导致的小规模洪水为主，而在部分发展中国家，由于地下排水设施标准偏低以及城市管理水平较低，城市洪水问题则显得更严重。目前，中国城市数量已由改革开放初期的 190 多座发展至 600 多座，其中，人口在 500 万人以上的城市就有 80 多座，城区常住人口达 500 万人以上的特大或者超大城市也达到了 16

座以上。同时,我国长江三角洲、珠江三角洲、京津冀等地区的区域城市化建设也在迅速发展。据统计数据显示,城市集中了我国50%左右的国民收入、70%左右的工业产值、80%左右的工业税收和近90%的科教力量。由此可见,城市一旦遭受洪涝灾害,将对社会经济生产和城市居民生活产生巨大影响,造成不可估量的损失。城市洪涝造成的损失可以归结为3个方面:①直接损失。洪水给经过的地方所造成的生命财产损失。②间接损失。因洪水而造成的交通堵塞、工厂停工和疾病传播等损失。③社会影响。主要指洪水带来的长期社会负面影响,如洪水频繁区域财产贬值等。

近年来,我国城市洪涝问题也变得日益突出,发生严重城市洪涝灾害的频率也在不断增加。2007年7月18日,济南市遭遇特大暴雨,3小时最大降水量达到180mm,由于短时间降雨过大和排水能力不足,造成至少34人死亡,直接经济损失高达12亿元。2012年北京“7.21特大暴雨”,全市平均降水量为164mm,造成79人死亡,190万人受灾,经济损失近百亿元。根据住房和城乡建设部2010年的调研结果,2008~2010年的3年间,在调查范围内的351个城市中,发生过内涝问题的城市就达到了210多座,其中有137个城市发生过3次以上的内涝,近七成城市的最大积水深度超过50cm,内涝问题已经成为制约我国城市发展的重要因素。

在珠三角地区,城市内涝问题早在20世纪80年代就已非常严重。2014年5月11日,深圳市遭遇有气象记录以来最强的特大暴雨袭击。暴雨从早上6时开始,暴雨时间延续了22小时,暴雨中心主要集中在龙华、南山一带。全市平均最大24小时降水量为233.1mm,约20年一遇。其中,龙华站为暴雨中心点,最大6小时降水量为310mm,约180年一遇;最大24小时降水量为458.2mm,约125年一遇。龙华新区4个办事处防洪河堤水毁或坍塌点13个,其中最典型的为观澜河干流段,左岸护坡损毁,右岸截污箱涵铺砖损毁。共计内涝69处,其中有14处易涝区、55处积水点,局部区域积水严重,给人民的生产生活造成了较大影响。

近几年来,广州市的城市内涝问题也非常严重,2008年6月24日,一场暴雨使广州本田厂区受到严重水浸影响;2009年5月25日,全市发生水浸街0.20m以上的有15处,最大水浸深度为0.40m;2010年5月7日,五山雨量站观测到最大1小时和最大3小时降水量分别为99.1mm和199.5mm,广州市102个镇(街)受浸,中心城区118处地段出现内涝,其中,44处水浸较为严重,有35个地下停车场遭受不同程度的水淹,广州市经济损失为5.438亿元。

不同城市暴雨洪水灾害频繁发生的原因可能有所不同,但归结起来主要有以下几点。

1) 自然原因。近年来,全球气候变化影响和城市化导致的“雨岛效应”,部分城市暴雨强度和频率有加大的趋势。对于沿海城市感潮河网地区,排水受外江水位或者潮位影响,如暴雨时恰逢外江发生高水位时,会影响到城市排水能力,导致内河水无法及时外排,从而形成内涝积水。由于地形原因,城市一些低洼地区排水不畅,也极度容易造成积水。

2) 排水设施能力不足。有些城市老城区地下管网年代久远,排水标准严重偏低,调查显示我国70%以上排水系统的设计标准不到1年一遇。排水能力不足是导致暴雨时积水的最直接原因。有些地方甚至是雨污合流制,由于污染物沉淀和附着的原因,一些管

道有效过水面积减少现象很严重。同时由于更新改造不及时,有的地方虽然设计标准很高,但由于局部管道老化或者管径偏小,导致整体排水能力达不到设计标准。

3) 人为因素。城市化进程使得城区面积增大及不透水比例增加,这些直接导致径流系数增大及汇流时间变短,从而导致内涝加剧。街面垃圾清理不及时,城市施工工地泥浆、油污违章排放等导致进水口或者管道堵塞,甚至损坏,使管道排水不畅,雨水径流无法排除,有时甚至会影响整个排水管网的效率。

4) 城市规划的不合理。一个是政府优先发展社会经济,着眼于城市的迅速扩张而忽略了生态保护,没有平衡城市发展用地和生态用地需求,缺乏对城市水利和水环境规划的重视,许多生态绿地、湖泊都逐渐转化为建设用地,河道用地一缩再缩,降低了城市对降雨的调蓄能力,也使河道没有足够的空间及时排除涝水;另一个是城市规划过程中很少针对地势相对低洼的区域制定相应的排水规划或者高程规划,许多建设商只是将自己用地的地势填高,造成路面相对低洼,逢雨就涝。

5) 职能部门的管理水平还有待加强。主要体现在长期以来,我国市政、水利、环境等职能部门缺乏必要的沟通合作。例如,市政部门可能出于利益考虑,管网资料不愿共享,水利部门难以准确把握相关信息,在河道防洪排涝规划中只能选择简化处理;环境部门则长期处于弱势地位,在城市建设中无法施展自身保护环境的职能权利。还有就是相关规范和标准的缺失难以统一,让市政、水利工作者在实际的设计衔接上难以操作。

6) 雨洪管理技术和观念落后。国外许多发达国家从很早以前就开始研究城市雨洪模型,并且已经成功广泛应用于城市排水、规划等领域,提供许多可供参考的有益信息;国内由于资料不全、技术相对落后等原因起步较晚,相关成果不多。建立预警预报系统、“源头控制”思维、低影响开发、海绵城市等观念的普及还不到位。

1.2 主要研究内容

珠三角城市内涝频发不仅对城市居民生命财产和安全生产造成威胁,也严重影响了城市经济的正常发展。为了减少内涝灾害的发生频率,确保人民生命财产安全,有必要对珠三角地区城市内涝产生的根源进行分析研究,并提出相应的对策措施。本书主要研究城市雨洪模型及其在珠三角城市雨洪调控中的应用,主要研究内容如下。

1) 介绍暴雨管理模型(storm water management model, SWMM)、PCSWMM 模型和 InfoWorks ICM 模型各个模块的基本原理、结构及其基本算法,包括降雨产流、地面汇流和管网水动力汇流方法;由 SWMM 模型在地表水流计算方面的欠缺,提出开发地面积水水深计算模块,研究将一维溢流流量转化为积水水深及积水范围的方法。

2) 阐述 SWMM 模型构建的 ArcGIS 技术方法,研究基于 ArcGIS 对城市下垫面进行概化,主要包括子汇水区划分、子汇水区相关属性计算和提取方法;对比分析 ArcGIS 和 SWMM 模型系统集成的各种开发方式,构建城市内涝预警系统的基本框架,并在框架的基础上研究集成 SWMM 模型和 ArcGIS Engine 组件调用的技术方法,优化 ArcGIS 与 SWMM 模型的系统集成途径。

3) 分别对年多个样本及年最大值选样采用不同的频率分布模型适线,拟合暴雨强度

公式, 探求两种选样方法拟合所得暴雨强度公式的设计重现期衔接对比关系; 对同场次实测降雨分别按不同的长短设计降雨历时进行雨量重现期统计分析, 分别推求市政排水与水利排涝的设计暴雨过程线, 对比分析两者设计暴雨雨峰的衔接关系; 分别采用市政排水与水利排涝标准的流量计算方法推求各分区最大设计流量, 对比分析两种排涝标准的设计流量衔接关系。

4) 采用 InfoWorks ICM 模型, 构建东濠涌流域一维管道、一维河道和二维地面耦合模型, 分析验证市政排水与水利排涝不同标准组合情况下流域的排水状况, 论证市政排水与水利排涝标准衔接关系的合理性。

5) 建立基于 PCSWMM 模型的广州市荔湾区典型社区城市雨洪模型, 评估各类 LID 措施对减缓该典型社区洪涝灾害和城市面源污染的效果, 优化得出该典型社区的各类低影响开发措施。

6) 利用 ArcGIS 和 SWMM 模型构建城市排水管网水力模型, 并利用 ArcGIS 组件 Engine 和 SWMM 模型开源的计算模块, 实现 ArcGIS 和 SWMM 模型的系统集成, 构建深圳市民治片区城市内涝模型, 建立基于 ArcGIS 的民治片区暴雨内涝预警预报系统, 动态地模拟民治片区各个节点的淹没水深、流速、流量变化过程。

7) 介绍城市化对洪水影响的影响因子, 主要包括降雨和产汇流条件对洪水的影响等, 定性分析深圳市民治片区城市化对洪水的影响特征, 利用已经构建的城市雨洪模型进行对比分析, 定量地给出城市化前后暴雨洪水特征值变化规律, 以此判别城市化对洪水的影响。提出民治片区城市内涝综合整治措施, 基于已经构建的城市雨洪模型评估工程措施的实施效果。

8) 对珠三角地区城市内涝成因进行整理与分析, 介绍国内外发达国家和地区的排水防涝标准, 并对国内外城市内涝控制标准进行比较, 论述发达国家在城市内涝治理方面的经验, 从工程措施和非工程措施两方面分别探讨内涝防治技术, 提出珠三角城市内涝的解决对策, 为珠三角城市内涝的防治提供参考。

第2章 城市雨洪模型

目前,国内外应用较为广泛的城市雨洪模型主要有 SWMM、PCSWMM、DigitalWater 和 InfoWorks 等(黄国如等, 2011, 2013; 汉京超, 2014; 黄纪萍, 2014; 石赟赟等, 2014; 陈小龙等, 2015; 黄国如等, 2015a, 2015b; 曾娇娇, 2015; 张灵敏, 2015; 黄维, 2016)。在众多排水管网水力模型软件中,除了 SWMM 模型之外,其他模型软件基本都是商业软件。SWMM 模型应用最为广泛,尤其在模拟地下排水管网方面具有显著优势,在全世界拥有庞大的用户群,模型功能不断更新以适应用户需求,其水文水动力计算内核与其他软件基本类似;另外,由于该模型计算代码完全开源,有利于将该模型与 ArcGIS 功能有机集成,从而便于实现 SWMM 模型的二次开发,因此,选用 SWMM 5.1 模型进行排水管网水力模型的建模分析及与 GIS 的集成开发。

2.1 SWMM 模型

2.1.1 概述

暴雨管理模型最早于 1971 年由美国国家环境保护局(EPA)牵头,联合 M&E 公司(梅特-卡夫-埃迪)、WRE(美国水资源公司)和 UOF(佛罗里达大学)三家单位开发,是一个动态的降雨径流模拟软件,至今已推出 SWMM 5.1 版本。最新版本软件具有良好的系统兼容性和友善的操作界面,易于理解操作。功能也不断强大,能模拟各种时段降雨条件下完整的城市降雨径流过程,包括地表径流、排水管网水流以及管网系统在添加各种水利设施(如水泵、堰闸、蓄水池)条件下的水力特征值,同时能模拟伴随着产汇流过程产生的水体污染物负荷量。

2.1.2 SWMM 模型结构

SWMM 5.1 由两大模块构成,分别为计算模块和服务模块。两大模块中又各自包含子模块,各个子模块都有独立功能。其中,计算模块是模型的最主要部分,包括 4 个核心的水文水力模块,分别为径流模块(RUNOFF BLOCK)、输送模块(TRANSPORT BLOCK)、扩展输送模块(EXTENDED TRANSPORT BLOCK)、储存/处理模块(STORAGE/TREATMENT BLOCK),各个模块功能独立,而除了径流模块不能接收其他模块的输出结果外,其他都可接收其他模块的输出作为自身模块的输入数据。服务模块主要承担模型前期降雨、水文等边界数据输入、数据处理及后期模拟结果的显示、统计和分析,主要包括统计、图表、合并、降雨和温度 5 个子模块。各子模块之间的关系见图 2-1。