

水 科 学 前 沿 丛 书

流域非点源污染负荷核算

黄国如 李开明 曾向辉 著
胡海英 任秀文



科学出版社

水科学前沿丛书

流域非点源污染负荷核算

黄国如 李开明 曾向辉 胡海英 任秀文 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍了流域非点源污染负荷核算方法,介绍了城市和农村非点源污染负荷核算研究进展,归类整理了城市和农村非点源污染负荷核算通用方法体系。以广州市新河浦社区和校园区为例,研究了城市降雨径流非点源污染特征,构建基于GIS平台的SWMM模型,计算城市非点源污染负荷量。利用HSPF模型研究流溪河流域和潭江流域农业非点源污染负荷,分析各种不同土地利用类型的污染物负荷量。

本书可供从事环境、水利、水务、市政、规划等领域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

流域非点源污染负荷核算/黄国如等著. —北京:科学出版社,2014.3
(水科学前沿丛书)

ISBN 978-7-03-040038-3

I. ①流… II. ①黄… III. ①流域污染-污染负荷-研究 IV. ①X52

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第042951号

责任编辑:朱海燕 李秋艳 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:钱玉芬 / 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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



2014年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年3月第一次印刷 印张:15 插页:8

字数:355 000

定价:89.00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
	茆智	孟伟	王超	王浩
	王光谦	薛禹群	张建云	张勇传
主编	刘昌明			
常务副主编	徐宗学			
编委	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》出版说明

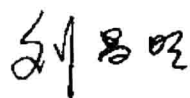
随着全球人口持续增加和自然环境不断恶化，实现人与自然和谐相处的压力与日俱增，水资源需求与供给之间的矛盾不断加剧。受气候变化和人类活动的双重影响，与水有关的突发性事件也日趋严重。这些问题的出现引起了国际社会对水科学研究的高度重视。

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，迫切需要对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

• i •

前 言

河流水库的水体污染从形式上可分为点源污染和非点源污染两种，由于点源污染具有排污特征明显、污染强度大等特点，早已成为世界水环境领域研究的重要课题，并已建立了较为全面的监测、评价、控制体系。由于我国面临着极其严重的工业废水和生活污水的污染问题，长期以来政府的工作重点也主要放在点源污染治理上。非点源污染是指在降雨的驱动下，随着水文过程将累积在地表的污染物质携带、溶解，并随着径流进入水体的过程，包括城市地表雨水径流引起的水体污染，以及农村地区等地表雨水径流引起的水体污染。随着我国点源污染治理工作的深入开展，点源污染已基本得到初步控制。由于降雨径流冲刷和挟带地表污染物，导致地表径流含有悬浮物、耗氧物质、富营养化物质、有毒物质、金属离子和油脂类物质等，并在很多时候超标严重，这些污染物随径流通过排水通道排入或直接进入江河湖泊，污染地表水。非点源污染对河流、水库水体具有很大危害，国际上尤其是欧美国国家已对其进行数十年研究，对非点源污染控制研究也比较全面。与点源污染不同，由降雨径流引起的非点源污染由于其污染强度相对较小，排污成因又复杂多变，且排污范围广泛，无固定的排污口，使得所带来的水污染具有随机性、滞后性、不确定性和长期性等特点，因而监控与预测难度较大，相应的研究与控制工作因不被人们所重视而相对滞后，急需相关的技术支撑。鉴于此，本书对流域非点源污染进行了较为系统深入的研究。

本书共分 9 章。第 1 章为绪论，主要介绍流域非点源污染研究的目的和意义、流域非点源污染研究进展等。第 2 章为城市非点源污染负荷核算方法，对城市非点源污染负荷核算通用方法进行分类整理。第 3 章为农村非点源污染负荷核算方法，对农村非点源污染负荷核算通用方法进行分类整理。第 4 章为 SWMM 模型，主要介绍 SWMM 模型的基本原理、结构及基本计算方法。第 5 章为 HSPF 模型，主要介绍 HSPF 模型的基本原理、结构及基本计算方法。第 6 章为广州城市非点源污染特征，以新河浦社区和华南理工大学五山校区为例，进行同步水量水质监测，研究降雨径流非点源污染特征。第 7 章为广州城市非点源污染负荷核算，构建基于 SWMM 的城市非点源污染模型，估算城市非点源污染负荷量。第 8 章为流溪河流域农业非点源

污染负荷核算，利用 HSPF 模型研究流溪河流域非点源污染负荷，并分析了不同土地利用类型情形下的污染物负荷量。第 9 章为潭江流域非点源污染负荷核算，利用 HSPF 模型研究了潭江流域非点源污染负荷，并分析了不同土地利用类型情形下的污染物负荷量。全书由黄国如统稿。

本书的研究成果是我们水资源及水环境科研团队长期努力的结晶，本书其他作者主要为喻海军、姚锡良、聂铁锋、陈子宇、何泓杰等。本书在研究过程中，有幸得到了华南环境科学研究所陈中颖研究员等大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。另外，在资料收集和水质采样分析等工作中，有幸得到了华南理工大学张太平副教授、利锋副教授，广东省水文局黎裕文高工、广东省水文局江门分局白少华高工、陈文乐高工等人的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢；本书在撰写过程中，参考和引用了国内外许多专家和学者的研究成果，在此表示衷心的感谢。

本书的研究得到了“国家水体污染控制与治理科技重大专项”（2009ZX07528-001）和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（2012CZ09）等项目的大力资助，在此一并表示感谢。限于作者的研究水平，书中难免存在疏漏之处，恳请同仁批评指正。

作 者

2013 年 11 月 10 日

目 录

《水科学前沿丛书》出版说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 城市非点源污染研究进展	3
1.2.1 国外研究进展	3
1.2.2 国内研究进展	4
1.2.3 目前存在的主要问题	4
1.3 农村非点源污染研究进展	5
1.3.1 农业非点源污染	5
1.3.2 农村生活污染	11
1.3.3 畜禽养殖污染	12
1.3.4 存在的主要问题及展望	12
第 2 章 城市非点源污染负荷核算方法	14
2.1 城市非点源污染特征	14
2.2 城市非点源污染影响因素	15
2.3 城市非点源污染类型	15
2.4 城市非点源污染物种类	17
2.5 城市非点源污染监测	17
2.5.1 城市非点源污染资料收集	17
2.5.2 汇水单元调查	18
2.5.3 水质采样点设置的基本原则	19
2.5.4 采样技术	19
2.5.5 分析方法	20
2.6 城市降雨径流计算方法	21
2.7 城市非点源污染负荷核算	25
2.7.1 平均浓度法	25
2.7.2 相关关系法	26
2.7.3 机理性方法	29
2.8 小结	31
第 3 章 农村非点源污染负荷核算方法	32
3.1 农业非点源污染负荷核算方法	32
3.1.1 监测调查条件下的负荷核算方法	32

3.1.2	有限资料条件下的负荷估算方法	37
3.1.3	基于机理性模型的负荷估算方法	39
3.2	农村生活污染源负荷核算方法	39
3.2.1	研究方法	39
3.2.2	研究内容	40
3.2.3	农村居民非点源污染负荷估算	41
3.3	散养畜禽养殖污染源负荷核算方法	42
3.3.1	研究方法	42
3.3.2	资料收集与处理	43
3.3.3	畜禽污染负荷估算	43
3.4	农村非点源污染总负荷估算	46
3.5	小结	47
第 4 章	SWMM 模型	48
4.1	SWMM 模型基本原理及结构	48
4.2	SWMM 中地表产汇流原理和计算	49
4.2.1	地面产流原理及计算	49
4.2.2	地面汇流原理及计算	50
4.3	SWMM 中地表污染物累积与冲刷原理和计算	51
4.3.1	地表污染物累积模拟	51
4.3.2	地表污染物冲刷模拟	52
4.3.3	SWMM 中街道清扫模拟	53
4.4	SWMM 中传输子系统模拟原理和计算	53
4.4.1	传输子系统的基本元素	53
4.4.2	管道控制方程和节点控制方程	54
4.4.3	传输子系统的水质计算方程	57
4.5	SWMM 模型参数	58
4.6	SWMM 模型的非点源污染负荷模拟适用性分析	59
4.7	基于 GIS 平台的 SWMM 二次开发	60
4.7.1	SWMM 模型与 ArcGIS 平台的集成原理	60
4.7.2	系统数据库设计	61
4.7.3	SWMM 模型输入文件生成	64
4.7.4	SWMM 模型的数据接口	64
4.7.5	ArcGIS Engine	65
4.7.6	集成系统界面及使用	65
4.8	小结	69
第 5 章	HSPF 模型	70
5.1	HSPF 模型功能	70
5.1.1	降水径流模拟	70
5.1.2	水质模拟	71

5.2	HSPF 模型推广应用价值	72
5.3	HSPF 模型组织结构	72
5.3.1	BASINS GIS	73
5.3.2	WDMUtl	74
5.3.3	WinHSPF	76
5.3.4	GenScn	78
5.4	模型运行流程	79
5.5	小结	80
第 6 章	广州城市降雨径流非点源污染特征	81
6.1	研究区域基本概况	81
6.2	监测方案设计	81
6.2.1	监测点选取	81
6.2.2	水质监测资料分析方法	82
6.3	新河浦社区降雨径流水质监测结果分析	83
6.3.1	居住区结果分析	83
6.3.2	马路结果分析	84
6.3.3	草地结果分析	86
6.4	城市校园区降雨径流水质监测结果分析	87
6.4.1	降雨数据统计	87
6.4.2	水质监测结果统计	88
6.4.3	降雨径流污染平均浓度	89
6.4.4	可生化性分析	90
6.5	城市校园区降雨径流污染时空变化特征	91
6.5.1	降雨径流污染物浓度变化过程	91
6.5.2	降雨径流污染物浓度相关分析	98
6.5.3	污染物浓度回归分析	106
6.6	城市校园区降雨径流污染初期冲刷效应	109
6.6.1	初期冲刷效应研究方法	109
6.6.2	$M(V)$ 曲线定性分析结果	112
6.6.3	初期冲刷系数 b	114
6.6.4	MFF 指数分析结果	116
6.6.5	影响因素相关分析	118
6.6.6	初期雨水截流控制标准	122
6.7	小结	125
第 7 章	广州城市非点源污染负荷核算	126
7.1	新河浦社区 SWMM 模型构建	126
7.1.1	新河浦社区概化	126
7.1.2	SWMM 模型参数率定	129
7.1.3	模拟结果分析	133

7.2	新河浦社区城市非点源污染负荷	137
7.2.1	不同频率降雨条件下非点源污染负荷量	137
7.2.2	不同雨型条件下非点源污染负荷量	140
7.2.3	不同土地利用类型的非点源污染负荷量	147
7.2.4	枯水典型年下连续非点源污染负荷量分析	152
7.3	城市校园区非点源污染负荷估算	153
7.3.1	基于 SCS 模型的径流量计算	153
7.3.2	校园区降雨径流非点源污染负荷估算	154
7.4	小结	155
第 8 章	流溪河流域农业非点源污染负荷核算	156
8.1	流溪河流域基本概况	156
8.1.1	地形地貌	156
8.1.2	水文气象条件	157
8.1.3	土壤植被	157
8.1.4	水利工程	158
8.1.5	社会经济	158
8.2	流溪河流域 HSPF 模型前处理	158
8.2.1	DEM 数据处理	159
8.2.2	流域坡度图	159
8.2.3	河网水系图	160
8.2.4	土壤分类图	162
8.2.5	土地利用分类图	163
8.2.6	气象属性数据	164
8.3	流溪河流域 HSPF 模型构建	165
8.3.1	子流域划分	165
8.3.2	BASINS 跳转 WinHSPF	165
8.3.3	子流域与气象站点分配	166
8.3.4	HSPF 模型校验	166
8.4	流溪河流域非点源污染负荷估算与分析	168
8.4.1	流域非点源污染年负荷量估算	168
8.4.2	流域非点源污染时空变化分布	168
8.4.3	不同土地利用的产出对比分析	171
8.4.4	土地利用类型的变化对流域非点源污染负荷影响分析	171
8.5	小结	175
第 9 章	潭江流域非点源污染负荷核算	176
9.1	研究流域概况	176
9.2	典型小流域非点源污染输出特征	176
9.2.1	典型监测小流域概况	176
9.2.2	监测与分析方法	177

9.2.3	监测结果分析	178
9.3	潭江流域 HSPF 模型数据库建立	188
9.4	潭江流域 HSPF 模型构建	193
9.4.1	子流域划分	193
9.4.2	BASINS 跳转 WinHSPF	194
9.4.3	子流域与气象站点分配	195
9.5	潭江流域 HSPF 模型校验	197
9.5.1	泗合水流域的率定及验证	197
9.5.2	泗合水流域日过程模拟	199
9.6	潭江圣堂断面控制流域非点源污染负荷	201
9.6.1	农业非点源污染负荷量	201
9.6.2	农村生活非点源污染负荷量	206
9.6.3	散养畜禽非点源污染负荷量	207
9.6.4	城市非点源污染负荷量	209
9.6.5	非点源污染负荷总量	211
9.7	潭江牛湾断面控制流域非点源污染负荷	213
9.7.1	基于输出系数法的农业非点源污染负荷量	213
9.7.2	农村生活非点源污染负荷量	214
9.7.3	散养畜禽非点源污染负荷量	216
9.7.4	城市非点源污染负荷量	218
9.7.5	非点源污染负荷总量	218
9.8	小结	220
参考文献		221
彩图		

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

随着社会经济的快速发展和人口的不断增加，水资源日益匮乏，同时水环境污染已成为全球性问题。按照污染源的发生类型，水环境污染可分为点源污染（Point Source Pollution）和非点源污染（Non-point Source Pollution）。点源污染是指工业废水和城市污水的集中排放而对水体造成的污染。按美国清洁水法修正案定义（Lee, 1979），非点源污染为“污染物以广域的、分散的、微量的形式进入地表及地下水体”，包括大气干湿沉降、暴雨径流、底泥二次污染和生物污染等诸多方面引起的水体污染。通常意义（狭义）下的非点源污染是指伴随着降水过程进行的地表径流污染，具体为溶解的或固体的污染物从非特定地点，在降水淋溶和径流冲刷作用下，通过径流过程而汇入受纳水体（如河流、湖泊、水库、海湾等）所引起的水体污染（Novotny and Chesters, 1981；郝芳华，2006），其主要来源包括水土流失、农业化学品的过量施用、城市径流、畜禽养殖和农业农村废弃物等。

与点源污染相比，非点源污染具有许多显著特点，主要为以下几个方面（阮晓红等，2002）。

（1）随机性

非点源污染主要受水文循环过程（主要为降雨以及降雨形成的径流过程）的影响和支配，此外，非点源污染形成还受其他许多因素影响，如土壤结构、农作物类型、气候、地质地貌等。由于降水的随机性和其他影响因子的不确定性，决定了非点源污染形成成具有较大的随机性。

（2）广泛性

随着社会经济发展，人工生产的许多为自然环境所无法接受的化学物质逐年增多，广泛分布在地球表层，随着径流进入水体的污染物遍地可见，其所产生的生态环境影响更是深远而广泛。

（3）滞后性

农田中农药和化肥的施用所造成的污染在很大程度上由降雨和径流决定，同时也与农药和化肥的施用量有关。当刚施用化肥后，若遇到降雨，造成的非点源污染将会十分严重，并且农药和化肥在农田存在的时间长短也将决定非点源污染形成的滞后性的长短，通常一次农药或化肥施用所造成的非点源污染将是长期的。

(4) 模糊性

排放途径及排放污染物具有不确定性。影响非点源污染的因子复杂多样,从而使其排放途径及排放污染物具有不确定性。以农业非点源污染为例,农药和化肥的施用是非点源污染的主要来源,但农药施用量、生长季节、农作物类型、使用方式、土壤性质和降水条件不同时,所导致的农药和养分的流失将会有巨大的差异,而不同因子之间又相互影响,因而使得非点源污染的形成机理具有较大的模糊性。

(5) 潜伏性

非点源污染主要来源于降水和灌溉形成的地表径流。农药、化肥的施用在无降水或灌溉时,形成的非点源污染十分微弱,在更多的情况下,农业非点源污染直接起因于降水和灌溉的时间。土壤和农作物中剩余的农药化肥和其他附着于地表的污染物均是潜在的非点源污染源,非点源污染的发生具有潜伏性。

(6) 隐蔽性

由于点源活动是人类活动的直接产物,一般情况下点源负荷会随着人类活动加剧而急剧增加,故点源负荷更容易引起人们的注意。而非点源污染并非单一的人类活动所致,其负荷随人类活动变化也不像点源污染那样剧烈,所以不易引起人类重视。

正因为非点源污染具有上述的几个特点,因而监控与预测难度较大,相应的研究与控制工作因不被人们所重视而相对滞后,相关的技术支撑不足。而且非点源污染特别是农村非点源污染控制难度大,目前已经成为影响水体环境质量的重要污染源。据文献报道,美国非点源污染占河流和湖泊污染总量的 2/3,丹麦 270 条河流 94% 的总氮负荷、52% 的总磷负荷是由农村非点源污染引起的 (US EPA, 1995; 杨爱玲和朱颜明, 1998)。我国东部湖泊污染负荷的 50% 以上来源于农村非点源污染,其造成的农业生产经济损失十分惊人,仅粮食一项,每年受“三废”和农药污染就达 4000 万吨以上,年经济损失达 230 亿~260 亿元 (苑韶峰和吕军, 2004)。湖泊富营养化和饮用水源污染等农村非点源污染问题给生态环境和人类健康带来了严重的危害。非点源污染造成大量泥沙、氮磷营养物、有毒有害物质进入江河、湖库,引起水体悬浮物浓度升高,有毒有害物质含量增加,溶解氧减少,水体出现富营养化和酸化趋势。不仅直接破坏水生生物的生存环境,导致水生生态系统失衡,还影响人类的生产和生活,威胁人体健康。众所周知,水是人类社会得以存在和发展的基础和命脉,与地表水环境密切相关的非点源污染研究就显得尤为重要。

本书是基于国家水体污染控制与治理科技重大专项“流域水污染源风险管理技术研究”课题“流域水污染负荷综合核定技术研究”和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“珠三角地区城市雨水径流非点源污染特征及其控制技术研究”背景下进行研究的。该课题拟在典型调查、监测与模拟试验的基础上,开展流域不同类型污染负荷核算与总量核定技术研究。本书是该课题的主体内容,主要在介绍农村非点源污染负荷、城市非点源污染负荷通用估算方法的基础上,对流域非点源污染负荷进行计算,并在流溪河、潭江等典型流域加以验证。

1.2 城市非点源污染研究进展

1.2.1 国外研究进展

在西方发达国家,城市非点源污染研究起始于 20 世纪 70 年代,早期的模型研究集中以土地利用对河流水质产生影响的认识为基础,对降水径流污染特征、影响因子、单场暴雨和长期平均污染负荷输出等方面进行了研究,以统计模型为主,建立污染负荷与流域土地利用或径流量之间的统计关系 (Haith, 1976),著名模型有城市雨水管理模型 (Storm Water Management Model, 即 SWMM)、城市地表径流数学模型 (STORM) 等,这些模型的建立使得城市径流非点源污染研究得到进一步发展 (杨爱玲和朱颜明, 1998)。

到 20 世纪 80 年代,美国农业部开发了化学污染物径流负荷和流失模型 (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management System, 即 CREAMS),采用了美国农业部水土保持局开发的 SCS 水文模型来计算暴雨径流,充分考虑了污染物在土壤中的物理、化学形态和分布状况 (McCuen, 1982; 胡雪涛等, 2002),为城市径流污染模型的发展提供了很好的经验。到 80 年代末,非点源污染模型重点加强了“3S” (RS、GIS、GPS) 技术在非点源污染定量负荷计算、管理和规划中的应用研究,该时期最为突出的成果是将 GIS 软件应用于潜在的非点源污染的三维图形输出 (Gilliland and Baxter-Potter, 1987)。随着城市径流污染研究的深入,大量的研究表明由城市径流所引起的非点源污染是造成受纳水体水质恶化的主要原因,该时期研究的重点开始转向如何把已有的模型应用到城市径流污染的管理中,从而开发新的实用模型。

20 世纪 90 年代后,在对过去城市径流非点源污染模型多年应用经验进行总结的基础上,不断地完善已建立的模型,推出新的模型,如城市地表径流大肠杆菌数学模型。同时,与非点源污染负荷估算相关的流域开发、非点源污染管理模型和风险评价成为本时期应用模型研究的最新突破点。随着计算机技术的飞速发展,以及“3S”技术的广泛应用,一些功能强大的基于流域尺度的具有空间数据信息处理、数据库技术、数学计算、可视化表达等功能的超大型模型被开发出来,其中比较著名的有美国环保局开发的 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources)、Arnold 等 (1993) 开发的 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 以及美国自然资源保护局和农业研究局联合开发的 AnnAGNPS (Annualized Agricultural Non-point Source) 模型等。经过 30 多年研究,城市非点源污染模型逐步从统计模型过渡到机理模型和连续时间序列响应模型,这些模型不仅从城市本身的特性出发,而且采用农业非点源污染研究的经验,借鉴其参数和子模型如水文子模型、侵蚀子模型和污染物迁移子模型等,其应用范围从小区域逐步扩大到整个城市河网水系,从单次暴雨扩大到了长期连续模拟,“3S”技术的应用使得城市非点源模型的应用性和精度得到了很大的提高。为实现城市排水的可持续发展,此时开始重视对城市径流污染控制与管理的研究。如英国伦敦将城市径流引至市郊,利用自然与人工湿地处理后再排入河道 (Scholes et al., 1999);德国柏林在分流制排水地区进行试验,就地取材,采用分散性处理方法处理径

流污染 (Sieker and Klein, 1998)。

近些年来, 国外在非点源污染研究领域除了推出新模型外, 还开始对以往提出的模型进行了大量的检验和验证。Nouh 和 Al-Noman (2009) 采用两组回归模型预测干旱地区城市非点源污染物中重金属浓度, 发现固体颗粒直径对结果的影响要比沙尘暴中尘土浓度对结果的影响更为突出, 因此, 确定合适的沙粒直径对结果影响很重要。Behera 等 (2006) 利用暴雨径流累积和冲刷指数函数生成的概率分析模型模拟降雨径流水质, 可以模拟冲刷事件的污染负荷期望、年平均冲刷负荷量、冲刷事件的概率分布以及长期的污染物平均浓度。Froehlich (2009) 构建了一种简单的基于降雨径流计算方法的初次冲刷速率图表法, 超出的降水用基于 24 小时设计暴雨的径流曲线数法 (Runoff Curve Number Method, 即 SCS 模型) 转变成可以用三角单元表进行计算的径流。该方法将众多的参数转化成一个无量纲的数, 然后制成一个简单的表, 估算出的径流量精度较高。

1.2.2 国内研究进展

从 20 世纪 80 年代初期开始, 国内研究主要涉及城市降水径流污染负荷评价、模型构建及模型与 GIS 技术结合等。在模型研究上, 大部分是采用国外现成模型, 再结合国内实际情况加以修正, 基本上没有自己建立的模型。在整个 80 年代, 我国城市非点源污染研究仅局限于城区径流污染的宏观特征和污染负荷定量计算模型的初步研究, 其中污染负荷定量计算模型研究主要有三个方面内容, 即径流量与污染负荷相关性分析、水量单位线和污染物负荷研究以及地表物质累积规律研究 (夏青, 1982; 温灼如等, 1986; 吴林祖, 1987)。同时, 由于研究的需要, RS 和 GIS 技术以及人工模拟实验技术都运用到城市非点源污染研究领域。

到了 20 世纪 90 年代后, 分雨强计算城区径流污染负荷为城市径流污染负荷定量计算提供了新的研究方法 (施为光, 1993)。方红远 (1998) 提出了城市径流质量分析中污染物累积、冲刷模型的参数率定方法, 使模型实用性增加, 精度得到提高。陈西平 (1993) 在夏青 (1982) 提出的地表物质累积规律的基础上, 对城市非点源污染模型进一步完善, 提高了模拟精度。李怀恩 (2000) 提出了一种简单实用的流域非点源污染负荷估算方法——平均浓度法, 可以利用有限的资料计算出多年平均或不同频率代表年的年负荷量。车武等 (2001, 2002) 对北京市城市建筑屋面径流水质进行了测试, 研究发现城区屋面雨水径流尤其是初期径流的污染物浓度较高, 主要污染物为 COD 和 SS, 沥青油毡屋面初期雨水中 COD 浓度每升可高达上千毫克。近些年来, 国内很多学者对城市降雨径流非点源污染问题开展了较为系统的研究, 取得了较多成果 (韩娇, 2011; 侯培强等, 2012; 黄国如和聂铁锋, 2012; 马英, 2012; 聂铁锋, 2012; 张倩等, 2012; 谷雨和张乃明, 2013; 廖义善等, 2013)。

1.2.3 目前存在的主要问题

国外在城市非点源污染研究方面虽然起步较早, 但在模型构建方面仍不够成熟, 时

常会出现模拟结果与实际偏差过大的情况。在各种资料都能获得的良好条件下,应尽量多地对模型进行检验和校核,以确定比较通用且精度符合实际的参数,该项工作仍将是一段漫长的路程。另外,模型仍然过于复杂,参数过多,增加了模型的不确定性。模型今后应综合各方所长,使模型具有大尺度上的统一适用性和微观尺度上的差异针对性,即模型将会向着模块化方向发展。

国内对城市非点源污染的认识不够统一、重视程度还远远不够,有些地方还没有城市非点源污染概念,更缺乏开展相关工作的技术条件。对城市非点源污染大规模的调查取样工作还没能实现,只是在部分城市进行过研究,使得研究资料缺乏系统性和代表性。

1.3 农村非点源污染研究进展

农村非点源污染主要分为农业非点源污染、农村生活非点源污染和畜禽养殖污染。综合国内外研究成果,农村非点源污染负荷核定技术的研究重点是农业非点源污染负荷核定,且主要包括非点源污染产生机理和计算模型两方面。

1.3.1 农业非点源污染

1. 农业非点源污染机理

自 20 世纪 80 年代以来,随着我国国民经济快速发展,人多地少的矛盾日益突出,农业化肥施用量一直以较快的速度增长。而不同土壤条件、耕作制度和管理水平下的模拟和野外实验结果都证明土壤施肥量与径流中各种形态营养盐含量呈显著相关关系(Romkens and Nelson, 1974; Olness et al., 1975; Sharpley, 1995; Pote et al., 1999),可见,农业非点源污染将随化肥施用量增加呈不断上升态势。因此,有关农业非点源污染物产生、转化和迁移的机理研究已成为国内外学者关注的焦点。

对非点源污染的产生、迁移及转化机理的研究主要采用如下几种方法:①选择代表性小流域进行小区实验。由于降雨径流形成的非点源污染物来源于地表,各种地理特征及耕作制度都将影响污染物流失过程,所以选择有代表性的实验小区,分析研究在自然降雨条件下非点源污染的产生、迁移及转化规律的方法已被广泛应用。②人工降雨模拟非点源污染物的产生、迁移及转化。在现场或实验室进行人工降雨条件下污染物流失规律研究,该方法多用于模拟暴雨条件下径流中污染物流失规律。③研究受纳水体水质的变化。各种非点源污染物最终要汇入河流等天然水体,通过研究受纳水体的水质变化规律可以反映出非点源污染的影响。

农业非点源污染物来自于土壤圈中的农业化学物质,农业非点源污染的产生迁移转化过程实质上是污染物从土壤圈向其他圈层尤其是水圈扩散的过程。农业非点源污染本质上是一种扩散污染,对其机理的研究包括两个方面:一是污染物在土壤圈中的行为;二是污染物在外界条件下(降水、灌溉等),从土壤向水体扩散的过程。前者是研究的基础,后者是研究的重点和关键。

非点源污染的迁移转化机制是进行模型定量研究及控制治理的基础,近年来许多学