



国家尺度面源污染业务评估 与应用示范

王雪蕾 王 桥 等 著
吴传庆 王 谦



科学出版社

中国高分辨率对地观测系统重大专项“高分水环境监测
业务化应用研究”(05-Y30B02-9001-13/15-4)

国家水体污染控制与治理科技重大专项“辽河流域水生
态完整性观测模拟平台建设关键技术”(2014ZX07508)

共同资助

环境保护部水污染综合防治项目“水环境保护综合管理
平台”(2110302)

国家尺度面源污染业务评估 与应用示范

王雪蕾 王 桥 吴传庆 王 谦 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

面源污染问题复杂,而模型技术是当前相对有效的面源监测和评估方法,但是由于我国地形复杂,数据共享方面存在一定难度,使得管理部门无法开展常规面源污染评估工作。本书重点介绍了基于遥感像元的 DPeRS 遥感分布式面源污染模拟核算算法、能够满足管理部门常规面源污染总量评估需求的面源污染业务评估系统的研发过程,包括 DPeRS 模型原理和业务监测系统的关键技术、系统软件开发思路。同时,本书还给出了面源污染业务平台在辽河、海河面源污染的应用示范案例,重点介绍了应用该系统完成的我国重点流域农田氮磷面源污染变化评估的最新成果。本书所涉面源污染业务系统尚属国内首个原创面源污染业务系统,其为我国尽快实现农业面源污染总量控制提供了技术支持。

本书可供环境科学、农学、生态学和土壤学等专业科研人员及相关管理部门参考。

图书在版编目(CIP)数据

国家尺度面源污染业务评估与应用示范/王雪蕾等著. —北京:科学出版社,2015. 11

ISBN 978-7-03-046318-0

I. ①国… II. ①王… III. ①面源污染-评估-中国 IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 268776 号

责任编辑:朱 丽 杨新改 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖 兴 / 封面设计:耕者设计工作室

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

*

2015 年 11 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 11 月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:250 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

国内外学者研究已经证实,面源污染是导致水环境恶化的主要原因之一。当前基于面源污染理论和模型方法的研究非常广泛,在国际上也有许多面源污染管理的成功案例,但是对于中国,至今没有一套行之有效的面源污染管理技术体系和模式,面源污染始终是管理部门一个无法进入业务监测和管理的难题。

随着新《中华人民共和国环境保护法》的诞生,尤其是“水十条”的诞生,面源污染已是不能再回避的客观问题。中国的面源污染始于 20 世纪 80 年代,作为一个农业大国,面源污染形势十分严峻。迄今为止,我国在面源污染管理方面还缺少一套成形的管理体系,尚无法实现全国面源污染总量评估,因此在当前的总量控制政策中一直没有涵盖农田面源污染总量指标。

国际上存在较多官方推荐的面源污染模型工具,但是由于我国地形复杂,气候条件区域性差异显著,土地所有制、耕作措施和经济发展程度复杂多样,在世界其他地区具有很好适用性的模型在中国的应用存在各种问题。因此非常需要结合我国学者面源污染的研究成果和经验,发展一套适用于我国国情的面源污染管理体系,探索一套能够准确提供污染物空间分布、污染源及其污染物数量等信息的面源污染快速评估系统。本书介绍了一套服务于我国面源污染管理需求的软件平台系统——DPeRS 面源污染业务监测平台。这个平台融合了遥感模型和生态水文过程模型,兼顾科学性、适用性和业务性对面源污染产污过程进行概化,最大限度实现了农田、畜禽养殖、农村生活和城镇径流四种类型地表径流面源污染特征的业务化评估。为满足我国面源污染业务化的管理需求,本平台设计为开放平台,即根据获取参数的详细程度可以按需实现流域尺度、省级尺度、地市级尺度和县级尺度的污染评估。同时该平台主要开发了遥感数据、降水数据和农业数据等处理模块、模型运行模块和统计分析模块,最终实现国家尺度 1km 面源污染常规监测业务报告自动生产功能。

DPeRS 平台系统基于之前提出的经验统计模型和机理过程模型,考虑了中国面源污染的特点,采用“二元结构”,体现面源污染过程中人类活动和自然要素的影响。同其他面源污染模型相比,本模拟系统能够基于空间信息完成国家尺度的逐像元面源污染负荷估算,并可以满足面源污染监测和评估的业务化要求,是我国相关部门进行面源污染业务化管理的有效工具。该软件平台已经试运行了两年,基本实现了国家尺度面源污染常规业务监测。

本书系统地介绍了 DPeRS 遥感分布式面源污染评估系统的发展过程,具体包

括6章;第1章介绍了面源污染的研究背景和当前管理现状,由王雪蕾、王桥和王谦撰写;第2章介绍了DPeRS模型原理和业务监测关键技术,由王雪蕾、卫新峰、仲波、穆西晗、李静、杨爱霞撰写;第3章介绍了DPeRS业务软件平台开发技术,由冯爱萍、潘圣林、郑东海和姚延娟撰写;第4章介绍了DPeRS业务系统在辽河流域面源污染评估工作中的应用,由冯爱萍、王雪蕾、吴迪、朱利撰写;第5章介绍了DPeRS业务系统在海河流域面源污染评估工作中的应用,由冯爱萍、吴传庆、姚延娟撰写;第6章介绍了DPeRS业务系统在重点流域农田氮磷面源污染评估工作中的应用,由王雪蕾、冯爱萍、吴迪撰写。全书由王雪蕾统稿,冯爱萍负责全书校稿工作。

面源污染是一个极其复杂的物理化学过程,涉及科学领域较多,非常感谢参与本项工作的各行各业专家,在这里由衷地感谢遥感反演专家仲波老师、水文专家张永勇和叶爱中老师、气象专家郭建平老师、农水专家刘忠老师。此外,由衷感谢环境保护部卫星环境应用中心的领导和水环境遥感部同事对这项工作的支持。

由于作者水平所限,加之多学科综合研究和地面监测研究的时间较短,书中难免存在不足甚至错误之处,诚挚欢迎读者批评指正。

作 者

2015年9月于北京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 面源污染研究背景	1
1.2 面源污染防治管理现状	2
1.2.1 面源污染模型研究现状	2
1.2.2 面源污染政策现状	7
1.2.3 我国面源污染管理存在的问题	8
第 2 章 DPeRS 模型原理和业务监测关键技术	10
2.1 DPeRS 模型概况	10
2.2 农田氮磷平衡数据处理技术	13
2.2.1 缺失数据的处理方法	13
2.2.2 输入数据检验与修正	14
2.2.3 农田氮磷平衡核算系统开发	15
2.3 植被覆盖度提取技术	17
2.3.1 MODIS 数据简介	18
2.3.2 NDVI 产品生产	18
2.3.3 植被覆盖度提取	18
2.4 面源污染源遥感识别技术	20
2.5 降水空间插值技术	22
第 3 章 DPeRS 业务软件开发	23
3.1 开发环境和总体设计	23
3.1.1 建设目标和功能要求	23
3.1.2 总体架构	24
3.2 业务流程工具模块介绍	26
3.2.1 数据库管理	26
3.2.2 数据处理分析	30
3.2.3 业务模块集成	30
3.3 关键技术	37
3.3.1 统一地理坐标系的可视化综合分析技术	37
3.3.2 多文件大数据量处理与显示技术	38

3.3.3	大文件矢量数据显示分析技术	38
3.3.4	海量遥感影像数据并行处理技术	38
3.4	DPeRS 业务软件平台特色	39
3.4.1	模型并行处理	39
3.4.2	一键式业务处理模式	40
3.4.3	参数灵活定制	40
3.4.4	一体化 GIS/RS 平台	41
3.4.5	业务数据配置与数据库表同步管理	44
3.4.6	支持多国语言	47
第 4 章	辽河流域面源污染业务应用示范	48
4.1	辽河流域现状	48
4.2	辽河流域面源污染数据库构建	49
4.2.1	土地利用和植被覆盖度	49
4.2.2	土壤数据	51
4.2.3	降水数据	51
4.2.4	农田氮磷平衡空间特征	52
4.2.5	坡度坡长数据	56
4.2.6	入河系数	56
4.2.7	主要模型参数	56
4.3	辽河流域面源污染负荷结果与分析	58
4.3.1	溶解态氮磷面源污染负荷空间分布	58
4.3.2	吸附态氮磷面源污染负荷空间分布	58
4.3.3	辽河流域面源污染物的时空分布	61
4.3.4	辽河流域面源污染类型特征分析	64
4.3.5	辽河流域土壤侵蚀及泥沙空间特征	66
4.3.6	辽河流域面源污染物贡献率分析	68
第 5 章	海河流域面源污染业务应用示范	69
5.1	海河流域现状	69
5.2	海河流域面源污染数据库构建	69
5.2.1	土地利用和植被覆盖度	69
5.2.2	土壤数据	69
5.2.3	降水数据	74
5.2.4	农田氮磷平衡空间特征	76
5.2.5	坡度坡长数据	78
5.2.6	入河系数	78

5.2.7 主要模型参数	78
5.3 海河流域面源污染负荷结果与分析	80
5.3.1 溶解态氮磷面源污染负荷空间分布	80
5.3.2 吸附态氮磷面源污染负荷空间分布	80
5.3.3 海河流域面源污染物的时空分布	80
5.3.4 海河流域面源污染类型特征分析	83
5.3.5 海河流域土壤侵蚀及泥沙空间特征	88
5.3.6 海河流域面源污染物贡献率分析	89
5.4 本章小结	90
第6章 我国重点流域农田氮磷面源污染变化评估	91
6.1 我国生态环境现状	91
6.1.1 地表水资源	91
6.1.2 生态系统质量和格局	92
6.2 我国农田氮磷养分平衡研究	93
6.2.1 农田土壤养分平衡研究进展	94
6.2.2 数据来源和处理	97
6.2.3 中国农业生产状况	98
6.2.4 国家尺度农田氮磷养分平衡状况	102
6.2.5 省级尺度农田氮磷平衡的区域差异	106
6.2.6 县级尺度农田氮磷平衡分析	117
6.3 2000 年农田氮磷面源污染负荷模拟分析	127
6.3.1 2000 年重点流域面源污染数据库	127
6.3.2 农田溶解态氮磷污染负荷空间分布	134
6.3.3 土壤侵蚀量空间分布	137
6.3.4 农田吸附态氮磷污染负荷空间分布	139
6.3.5 农田氮磷产生和入河量评估	141
6.4 2005 年农田氮磷面源污染负荷模拟分析	143
6.4.1 2005 年重点流域面源污染数据库	143
6.4.2 农田溶解态氮磷污染负荷空间分布	151
6.4.3 土壤侵蚀量空间分布	154
6.4.4 农田吸附态氮磷污染负荷空间分布	154
6.4.5 农田氮磷产生和入河量评估	157
6.5 2010 年农田氮磷面源污染负荷模拟分析	160
6.5.1 2010 年重点流域面源污染数据库	160
6.5.2 农田溶解态氮磷污染负荷空间分布	168

6.5.3 土壤侵蚀量空间分布	170
6.5.4 农田吸附态氮磷污染负荷空间分布	172
6.5.5 农田氮磷产生和入河量评估	174
6.6 主要结论	177
参考文献	182

第 1 章 绪 论

1.1 面源污染研究背景

进入 21 世纪,我国面临着严峻的水资源危机问题,具体包括三方面:水污染扩展、地下水超采和水量短缺。我国 2010 年重点流域环境污染统计结果表明:流域内 398 个河流国控断面,达到或优于Ⅲ类的断面 174 个,占 43.7%,Ⅳ至Ⅴ类断面 131 个,占 32.9%,劣Ⅴ类断面 93 个,占 23.4%,主要污染指标为氨氮、化学需氧量、总磷和高锰酸盐指数;城镇集中式饮用水水源地 1808 个,其中河流型水源地 377 个,湖(库)型水源地 318 个,地下水型水源地 1113 个,水质达到或优于Ⅲ类的比例分别为 93.4%、92.5%、88.0%,主要污染指标为氨氮、铁、锰等;化学需氧量排放量为 1431.2 万 t,其中工业污染来源占 11.8%,城镇生活污染来源占 33.5%,农业面源污染来源占 54.7%;氨氮排放量为 136.1 万 t,其中工业污染来源占 10.2%,城镇生活污染来源占 56.9%,农业面源污染来源占 32.9%。据世界银行估计,我国水污染和大气污染造成的经济与健康损失相当于 GDP 的 3.5%~8%。针对我国水资源的严峻形势,2005 年国务院办公厅颁布了《关于加强饮用水安全保障工作的通知》,强调要加强水源地水资源保护和水污染防治工作。2009 年,水利部部长陈雷在全国水资源工作会议上提出,我国将实行最严格的水资源管理制度,对水资源管理划定“红线”,预计到 2020 年,要初步形成与全面建设小康社会相适应的现代化水资源管理体系。2015 年 4 月国务院正式印发了《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)的通知,明确提出了河流等水体水质改善是今后环保工作考核的新标准,并特别强调了深化污染物排放总量控制,具体包括“完善污染物统计监测体系,将工业、城镇生活、农业、移动源等各类污染源纳入调查范围。选择对水环境质量有突出影响的总氮、总磷、重金属等污染物,研究纳入流域、区域污染物排放总量控制约束性指标体系”。“水十条”的提出,充分体现了当前我国环保工作的新思路,尤其是对面源污染防治工作提出了新的要求和挑战。

在我国,云南滇池、天津于桥水库、安徽巢湖、上海太湖和辽宁大伙房水库等水域,面源污染比例均超过点源污染,已上升为威胁人类饮用水安全的主要原因(许朋柱等,2007;颜昌宙等,2003;潘继征等,2004)。然而,面源污染是当前有待解决的一个世界性难题,根据美国、日本等国家的报道,即使点源污染得到全面控制以后,江河的水质达标率仅为 65%,湖泊的水质达标率为 42%,海域水质达标率为

78%。荷兰农业面源提供的总氮、总磷分别占水环境污染的 60% 和 40%~50% (毛玉娜等, 2013)。

20 世纪 70 年代以来, 国内外学者基于经典的物质迁移转化方程, 对面源做了大量研究, 并提出了较多估算模型, 对面源负荷的估算从简单的经验统计模型发展到机理过程模型, 模拟尺度也从对小型农田集水区的估算扩展到大流域, 这些模型虽对面源的研究提供了有力工具, 但是对于机理过程模型来说由于受到数据量需求较大且难获得、实施较难等原因, 一定程度上限制了其模拟的精度。20 世纪 90 年代以来, 地理信息系统-遥感(GIS-RS)技术的迅速发展带来了面源污染研究的一次革命, 在相当程度上解决了非点源污染模型的研究应用(Meiner, 1996; Tim, 1996), 尤其是机理过程模型和分散参数模型数据项繁多、难以收集与管理的难题, 大大推进了非点源污染研究的进程。一方面, GIS 具有强大的数据提取、管理、空间分析和可视化的功能; 另一方面, RS 可以实时、快速地记录大面积流域的空间信息及各种变化信息, 因此二者与面源模型结合促进了模型高效快速的运行, 逐渐成为对面源负荷进行定量化研究的主要手段。

中国的面源污染开始于 20 世纪 80 年代。中国作为一个农业大国, 面源污染形势十分严峻。但是中国具有复杂的地形和气候条件, 土地所有制、耕作措施和经济发展程度复杂多样, 导致世界其他地区具有很好适用性的模型在中国的模拟精度显著下降。因此非常需要结合我国学者面源污染的研究成果和经验, 发展一套适用于我国国情的面源污染管理体系, 探索一套能够准确提供污染物空间分布、污染源及其污染物数量等信息的面源污染快速评估系统。本书研究构建了一套融合了遥感数据和简单生态水文过程的、兼顾科学性和适用性的遥感分布式面源污染估算模型——DPeRS(Diffuse Pollution estimation with Remote Sensing)。该模型基于之前提出的经验统计模型和机理过程模型, 考虑了中国面源污染的特点, 采用“二元结构”体现了面源污染过程中人类活动和自然要素的影响。同其他面源污染模型相比, 本书研究提出的 DPeRS 模型能够基于空间信息完成国家尺度的逐像元面源污染负荷估算, 并可以满足面源污染监测和评估的业务化要求, 是我国相关部门进行面源污染业务化管理的有效工具。

1.2 面源污染防治管理现状

1.2.1 面源污染模型研究现状

面源模型的发展经历了经验统计模型(20 世纪 60~70 年代)、机理过程模型(20 世纪 70~90 年代)和基于 GIS-RS 的功能模型(20 世纪 90 年代至今)阶段。经验统计模型是通过建立面源负荷和区域特征之间的统计关系实现面源估算的,

此类模型多属于“黑箱”模型,所需数据量小,应用简单方便,但物理机制不够明确,受限于已有的观测信息,导致精度不高。典型的经验统计模型包括污染负荷概率模型、城镇暴雨污染统计模型等。机理过程模型是针对面源的降雨径流、土壤侵蚀和污染物迁移转化三个过程建立模型,能够完整系统地描述面源的机理过程,量化面源负荷,此类模型多属于“白箱”或“灰箱”模型,模拟精度提高,计算时间连续,但所需大量基础观测数据,导致模型应用存在一定困难。在此阶段,国外典型的模型主要有 CREAMS、ANSWERS、AGNPS、HSPF、EPIC、CNPS、SHE 和 GLEAMS 等模型。我国这一时期主要工作是对面源的宏观特征与污染负荷定量计算模型进行初步研究,代表模型有新安江模型等。

在纯物理机制的模型发展遇到瓶颈时,GIS、RS 技术的发展为面源模型发展带来了新的契机,使面源模型发展更加强调其功能化、实用化,但同时具备相对明确的物理机制,即所谓的基于 GIS-RS 的功能模型。在此阶段,国外典型模型有 SWAT、WEPP、SWRRB、BASINS 和 AnnAGNPS 等。在参数形式方面,模型由集中式参数模型向分散式参数模型发展,这是由于集中式参数模型不考虑时空变异性,适用流域面积较小,因而提出了反映时空变异性的分布式参数模型,有利于提高面源模拟的精度。在空间尺度方面,模型从 20 世纪 90 年代以前的农田尺度发展到现在的流域尺度,尺度范围扩大,模型的应用能力提高;在时间尺度方面,模型也从 20 世纪 90 年代以前的单个事件发展到时间连续性模型,考虑了亚表面流、蒸散发、植物生长等水文因素,为面源长期监测、控制和管理提供了条件。GIS-RS 在模型中的应用越来越突出,与模型的集成方式由松散集成向紧密模型集成,通过充分挖掘 GIS-RS 技术在面源中的应用优势,使面源的研究向更高的层次完全集成发展。国外常见面源模型对比具体见表 1-1。

在我国,GIS-RS 在面源研究中的作用,主要表现在与一些国外模型结合进行模拟或者应用综合分析和统计方法对面源进行评估,而在适应国情条件下我国完全自主开发并且模拟效果较好的模型比较少。我国主要采用的模型有四种,第一种是不考虑污染物在地表的迁移转化,通过建立污染物输出量和区域特征的经验统计模型模拟面源。这一类模型得到了广泛应用,其中包括区域径流-污染负荷模型、暴雨径流污染概念模型、营养负荷和泥沙关系模型、改进的 Johnes 输出系数法、降雨量差值法等。第二种是通过对面源的三个过程进行模拟,估算面源的输出量,如应用于大尺度区域的二元结构溶解态面源负荷模型。第三种是李怀恩(2000)从我国实际出发,建立的一个完整的流域面源模型系统,如平均浓度法模型。第四种就是李家科等(2006,2007,2009,2011)基于支持向量机、偏最小二乘法、自记忆原理、灰色理论和神经网络等数学方法建立的模型。总的来看,我国相当部分都是应用统计模型,这种统计模型简单方便,但功能单一。因此基于 GIS-RS 技术开发出适合我国国情的机理模型仍是我国面源模型发展的一个研究趋势。我

表 1-1 国外常见面源模型对比

模型名称	发布时间 (年份)	参数形式	空间尺度	时间尺度	时间步长	模型结构	GIS RS应用	参考文献
HSPF	1980—2001	A	流域	L	60s, 1d	透水地面、不透水地面、河流或湖泊水库三部分。斯坦福模型；土壤侵蚀模型；污染物包括BOD、氮、磷和农药等	集成在 ArcView 中，自动提取地形、地貌、土地利用等数据	(Johanson and Kittle, 1983; Jeon et al., 2007)
ANSWERS	1977—2000	D	流域	S, L	60s, 1d	径流、入渗、泥沙、蒸发、磷子模型，复杂污染平衡	以 ArcInfo 为基础	(Beasley et al., 1980; Ahmadi et al., 2006)
SWRRB	1984—1993	A	流域	L	1d	SCS 水文模型，入渗，蒸发，融雪；改进 USLE；考虑氮、磷负荷，复杂污染物平衡	应用 GIS 将研究区域划分为子流域	(Williams et al., 1985)
AGNPS	1987—1998	D	流域	S, L	1d	水文、侵蚀、沉积和化学传输四大模块；SCS 水文模型；USLE；氮、磷采用 CREAM 模式，通过化学传输模块分为可溶性部分和泥沙结合态进行计算	GIS RS 可视化，RS 提供地表植被、作物的分布数据	(Young et al., 1989; Nugroho, 2003)
WEPP	1989—1995	D	小尺度坡面、流域	L	1d	气候、表面和亚表面的水文、冬季冻融过程、输送和沉积；泥沙的运动	基于 ArcView 软件平台上的二次开发模型。RS 土地覆被信息的获取	(Ascough et al., 1996)
CNPS	1996	D	流域	L	1d	SCS 水文模型，入渗、蒸发；改进 USLE；氮、磷负荷，简单污染物平衡	GIS 获得的空间数据估算营养物质含量	(Dikshit and Loucks, 1996)

续表

模型名称	发布时间 (年份)	参数形式	空间尺度	时间尺度	时间步长	模型结构	GIS RS应用	参考文献
SWAT	1994—2009	D	流域	L	1d	SCS 水文模型,入渗、蒸发;改进 USLE;氮、磷负荷,复杂污染物平衡	ArcView 与 SWAT 形成 AVSWAT。RS 在 SWAT 中的应用主要是提供土地覆被数据	(Arnold et al., 1998)
BASINS	1998	D	流域	L	1d	稳态水质模型(QUAL2E);流域模型(HSPF,SWAT);污染物负荷模型(PLOAD)	在 GIS 集成地形数据、环境背景数据、监测数据	(Whittemore, 1998)
SPARROW	1997	D	流域	L	年	基于不同土地利用的污染传输特征进行污染负荷通量计算	将水质监测数据和流域属性的 GIS 数据与河流河段网络空间对应	(Smith et al., 1997)
GWLF	1987	半 D	流域	L	月	溶解态和吸附态氮磷模拟原理	无	(Haith and Shoemaker, 1987)

注: ①发布时间格式为:第一版时间—最新版时间;②参数形式:A 为集中式参数,D 为分布式参数;③时间尺度:L 为单次暴雨,L 为长期连续;④时间步长:s=秒,d=天。

国 GIS-RS 集成的面源污染模型列表见表 1-2(毛玉娜等,2013)。

表 1-2 遥感技术与面源模型的集成成果列表

RS 数据	流域	目标	特色	参考文献
彩红外遥感航片	邛海流域	从彩红外遥感航片判读来率定土地利用、地形等重要参数	基于 RS 数据率定土壤侵蚀模型参数	(施为光,1994)
TM 影像	湖南省平江县	从 TM 影像获取水土流失强度信息和土地利用类型	采用遥感影像信息,为面源模型拟定参数	(朱华,2005)
SPOT 卫星影像	台湾高屏溪河流域	从 RS 影像获取土地利用分类图	利用 RS 影像获取土地利用类型和土地利用变化情况	(Ning et al. , 2006)
TM、Land-sat ETM + 2000	三峡流域	从 RS 数据获得土地覆盖、植被覆盖度和土壤侵蚀强度	基于 RS 数据提取 NPS 影响因子	(高龙华,2006)
TM 影像	乐安河流域	利用 TM 影像准确获取流域土地利用情况	基于 RS 获取土地利用	(万兴等,2006)
SPOT5、QuickBird	官厅水库库滨带	利用两幅影像获取不同植被类型的覆盖区面积和植被覆盖度	基于 SPOT5 遥感数据的遥感计算模型而建立	(王雪蕾等, 2007)
QuickBird	Gyeongan-cheon 流域	结合 SWAT 模型和 Quick-Bird 高分辨率影像评价最佳管理措施(BMP)对 NPS 的影响	基于 QuickBird 获取研究区域土地利用	(Lee et al. , 2010)
TM	艾比湖流域	基于 TM 影像获得艾比湖流域影像图并作为景观类型的分类和分析的基图	基于 RS 影像获取研究区域图像	(弥艳,2010)
Landsat TM	杭嘉湖区域	基于 RS 影像和研究区域地形图进行人机交互式目视解译,得到土地利用现状图	基于 RS 影像获取研究区域土地利用现状图	(张秋玲,2010)
多源 RS 数据	恒河平原	基于 RS 影像获得的季节性水稻种植区域、土壤类型图数据和施肥量强度数据估算通过过滤和氨挥发的氮流失	基于多源 RS 影像获取研究区域水稻种植区域氮流失量	(Chhabra et al. ,2010)

续表

RS 数据	流域	目标	特色	参考文献
ETM、TM 和 MODISndvi	三亚库区	利用 ETM 和 TM 数据获取研究区域土地利用, MODISndvi 研究植被变化情况, 以便于研究土壤侵蚀量	基于 RS 影像获取研究区域土地利用数据, 利用修正通用土壤流失方程估算土壤侵蚀量	(范建荣等, 2011)
NOAA-AVHRR 的 NDVI 和 Terra-MO-DIS 的 EVI	江西省	基于 USLE 模型和 RS 数据的耦合定量评价研究区域土壤侵蚀空间分布	利用 RS 数据和通用土壤流失方程模型相耦合, 获取土壤侵蚀空间分布	(齐述华等, 2011)
环境卫星数据 (HJ-1A/B CCD)	新安江流域	基于二元结构核算模型对研究区 NPS 负荷估算	基于 RS 数据实现像元尺度模拟, 具有很好的空间可视化功能	(Wang et al., 2012)

1.2.2 面源污染政策现状

美国等发达国家的发展历程表明, 基于流域的面源污染管理是必然的发展趋势, 而我国流域面源污染管理尚处于起步阶段, 还没有较为成熟的面源污染管理政策。发达国家面源污染政策框架和行动计划为我国流域面源污染管理提供了宝贵的经验。表 1-3 列出了欧美国家和地区主要的面源污染管理政策条例。

表 1-3 欧美主要面源污染框架和行动计划列表

管理政策	国家 (地区)	年份	核心内容
《清洁水法》	美国	1977	第 319 条款专门规定了农业面源污染治理的相关事宜。在《清洁水法》的框架下, 基于自愿和奖励的最佳管理措施 (BMP) 成为控制农业面源的主要手段之一, BMP 是指任何能够减少或预防水污染的方法、措施或操作程序
《联邦农业促进和改革法案》	美国	1996	设定环境质量激励项目, 其目标是为使生产者实现提高农产品产量和环境质量的双重目标提供资金和技术方面的支持
《国家规划手册: 综合养分管理规划技术指南初稿》	美国	2000	包括《国家养分管理通用手册》(GM, Part 402, 2011 年)、《精准养分管理规划技术文件》(TN 190-AGR-3, 2011 年)、《国家保护实践标准: 养分管理法令》(Code 590, 2012 年 1 月), 为养分管理的重要法律基础。根据美国农业部的养分管理, 要求对作物种植进行养分预算、供给和储存; 将农业面源对地表水和地下水的污染降到最低; 合理使用畜禽粪便或有机副产品作为作物营养源; 减少大气中的臭气、氮排放 (氨气、一氧化二氮) 及大气颗粒物的形成; 以及保持和提高土壤的生化特性

续表

管理政策	国家 (地区)	年份	核心内容
《硝酸盐控制指令》	欧盟	1991	为欧盟颁布的第一个控制农业面源污染的指令,要求各成员国在指令颁布后两年之内对水体进行水质监测,识别出脆弱区,并根据各成员国的环境条件以及农业氮源和其他氮源的具体情况制定相应的行动计划,在全欧范围推广最佳农业实践,降低农业活动中的氮排放

1979 年我国颁布了《中华人民共和国环境保护法(试行)》,开启了我国水污染防治的新篇章。2014 年 4 月新《中华人民共和国环境保护法》的推出,将环境保护提升到前所未有的政治高度,至今,中国已形成较为完整的以《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国水污染防治法》为基础的水污染防治管理体系。水污染防治政策主要包括命令控制型政策、经济激励型政策和自愿参与型政策三类(吴荻和武春友,2006)。我国现有政策工具如表 1-4 所示(邱君,2007)。

表 1-4 现行水污染防治政策工具分类

类型	工业点源	农业面源		城市源
		规模化畜禽养殖	其他农业面源	
命令控制型政策	流域水污染防治规划	流域水污染防治规划	流域水污染防治规划	流域水污染防治规划
	环境影响评价和“三同时”	环境影响评价和“三同时”		环境影响评价和“三同时”
	总量控制	总量控制		总量控制
	排放标准	排放标准		
	排污许可证	排污许可证		排污许可证
	限期治理	限期治理		
经济激励型政策	排污收费	排污收费	生态补偿	排污收费
	排污交易			
自愿参与型政策	产业布局和结构调整	产业布局和结构调整		
	技术改造	技术改造		技术改造
	环境标志与 ISO14000	环境标志与 ISO14000		环境标志与 ISO14000
	清洁生产	清洁生产		清洁生产

1.2.3 我国面源污染管理存在的问题

我国面源污染的管理更多集中在农业面源污染管理方面,《中华人民共和国环