

环境规划法规模型 遴选及标准化应用技术指南

吴文俊 卢亚灵 蒋洪强 张 静 / 编著

Selection and Standardization Application Guideline for
Environmental Planning Regulatory Models

中国环境出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

环境规划法规模型遴选及 标准化应用技术指南

**Selection and Standardization Application Guideline for
Environmental Planning Regulatory Models**

吴文俊 卢亚灵 蒋洪强 张 静 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

环境规划法规模型遴选及标准化应用技术指南/吴文俊等
编著. —北京: 中国环境出版社, 2017.10

ISBN 978-7-5111-3203-1

I. ①环… II. ①吴… III. ①环境规划—环境保护
法—研究—中国 IV. ①D922.604

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 130220 号

出版人 王新程
责任编辑 葛莉 宾银平
责任校对 尹芳
封面设计 岳帅

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67113412 (第二分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2017 年 10 月第 1 版
印 次 2017 年 10 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 30.5
字 数 650 千字
定 价 145.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编著委员会

顾 问 黄润秋

组 长 邹首民

副组长 刘志全

成 员 禹 军 陈 胜 刘海波

项目及课题组成员

项目组组长	李时蓓			
课题组组长	蒋洪强			
课题组副组长	吴文俊 卢亚灵			
课题组成员	蒋洪强	吴文俊	卢亚灵	张 静
	徐 敏	陈 岩	赵琰鑫	姚瑞华
	薛文博	喻朝庆	张 杰	黄 逍
	倪少强	王庆改	丁 峰	张 伟
	刘年磊	程 曦	杨 勇	武跃文

《国家环境质量模型法规化与标准化研究》项目（编号：201309062）

《环境规划法规模型标准化应用研究》课题

序 言

目前，全球性和区域性环境问题不断加剧，已经成为限制各国经济社会发展的主要因素，解决环境问题的需求十分迫切。环境问题也是我国经济社会发展面临的困难之一，特别是在我国快速工业化、城镇化进程中，这个问题变得更加突出。党中央、国务院高度重视环境保护工作，积极推动我国生态文明建设进程。党的十八大以来，按照“五位一体”总体布局、“四个全面”战略布局以及“五大发展”理念，党中央、国务院把生态文明建设和环境保护摆在更加重要的战略地位，新修订了《环境保护法》，又先后出台了《关于加快推进生态文明建设的意见》《生态文明体制改革总体方案》《大气污染防治行动计划》《水污染防治行动计划》《土壤污染防治行动计划》等一批法律法规和政策性文件，我国环境治理力度前所未有，环境保护工作和生态文明的进程明显加快，环境质量有所改善。

在党中央、国务院的坚强领导下，环境问题全社会共治的局面正在逐步形成，环境管理正在走向系统化、科学化、法制化、精细化和信息化。科技是解决环境问题的利器，科技创新和科技进步是提升环境管理系统化、科学化、法制化、精细化和信息化的基础，必须加快建立和持续改善环境质量的科技支撑体系，加快建立科学有效防控人群健康和环境风险的科技基础体系，建立开拓进取、充满活力的环保科技创新体系。

“十一五”以来，中央财政加大对环保科技的投入，先后启动实施水体污染控制与治理科技重大专项、清洁空气研究计划、蓝天科技工程专项，同时设立了环保公益性行业科研专项。根据财政部、科学技术部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》《国家创新驱动发展战略纲要》《国家科技创新规划》和《国家环境保护科技发展规划》，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研

究。“十一五”以来，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 479 项，涉及大气、水、生态、土壤、固体废物、化学品、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，已验收的项目中，共提交各类标准、技术规范 997 项，各类政策建议与咨询报告 535 项，授权专利 519 项，出版专著 300 余部，专项研究成果在各级环保部门中得到了较好的应用，为解决我国环境问题和提升环境管理水平提供了重要的科技支撑。

为广泛共享环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，不断提高环境治理能力的现代化水平，为持续改善我国环境质量提供强有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

黄润秋

前 言

环境规划制度是我国现行重要的环境管理制度之一，而经济社会—污染排放—环境质量预测模拟又是环境规划特别是流域水污染防治规划、大气污染防治规划、污染物总量控制规划的关键技术环节之一，环境经济预测模型和环境质量模型作为规划决策支撑的重要工具，可以在很大程度上节省试验过程中耗费的人力、物力等资源；同时，由于一些环境污染问题的特殊性，有些情况下不允许也不可能进行现场试验，在这种情况下，模型技术如环境质量模型就成为识别环境问题、研究污染物在环境中演化规律不可或缺的工具。科学、合理、低误差的环境模拟对于规划政策的制定非常重要，这就要求在统一标准下使用环境模型进行模拟，从而降低模拟的偏差，同时也为不同流域区域、不同时段规划以及相同流域区域内不同规划间的衔接打好坚实的基础。

近年来环境规划相关模型不断发展，模型计算越来越科学，模型种类也在不断增加，其复杂程度不断加大，同时也使模型的通用性和易用性无法满足要求。目前，我国环境规划相关模型的建立和应用还处于各自为政，互不共享的阶段，由此导致：一方面，投入分散，浪费大量人力、物力与财力；另一方面，出现大量冗余与不一致，特别是我国重点治理的三河、三湖以及大气污染防治的重点地区，不同部门都在建自己的模型。由于模型筛选、参数设置随意性较大，缺乏统一的筛选标准和规范等问题，导致诸如环境经济预测结果、环境质量预测结果可比性和可靠性不断降低等问题。另外，由于缺乏统一可靠的模式认证、评估与验证方法，很多模型的模拟结果不能被相互借鉴、参考与比较。不同的模型模拟结果差异较明显，这在一定程度上影响了环境规划管理的科学决策。为此建立中国环境规划管理法规化模型体系，开展法规模型的标准化应用研究，是一项急需的基础性研究工作，对于规范环境规划相关模型的使用，从而最终为国家环境规划、

总量控制、流域区域规划等提供科学的技术支撑和服务，具有十分重要的意义。

法规模型的确定，往往需要通过多种途径，如国家建立模型评估指标和验证系统、公开发表的科学论文、研讨会等。例如，美国 EPA 为确定和更新环境质量法规模型，会定期举行环境质量模型的学术会议，欧盟同样定期召开环境质量模型一致性研讨会来确立模型的应用地位。鉴于法规模型的特点，大部分法规环境质量模型是由政府研究机构开发或政府委托公司开发。这些模型一般为免费模型和开放源码，如 AERMOD、CMAQ、CALPUFF。法规模型的软件、技术文档、用户使用手册以及相关数据一般可从网上公众平台中获得，如美国法规模型可以从 EPA 的法规模型支持中心获得。与此同时，为保证科学性和公平性，法规模型也往往是开放系统，对能够实现法规模型目的的所有模型系统开放。对于私人公司开发的模型，政府或技术支持部门应建立一套模型验证体系，用于检验法规模型以外其他模型的可行性和合理性，这些商业模型经过模型验证后可获得同等的法规地位。例如，英国剑桥环境公司开发的 ADMS，这些商业模型同样也具备了标准化运行程序、技术文件、用户使用说明、更新说明等开放性文档。为帮助各级政府方便和正确地应用法规模型，环保部门往往还建立模型的技术支撑体系，如提供模型技术培训、标准化的经济社会数据、污染源数据、气象数据、水文数据等及其统一的前处理/后处理软件和图形软件，有些还包括进一步的分析软件如环境质量达标评估、环境健康风险评估等功能。

环境规划法规模型是编制具有法律效力的规划文件的一项重要技术手段，需要模型具备上述一致性和标准化特征，为解决模型选择与应用中存在的的不统一问题，更科学有效地服务环境管理，国家环保公益性行业科研专项项目设置了“国家环境质量模型法规化与标准化研究”项目（编号：201309062），旨在建立我国的环境质量法规模型体系框架与发展规划，提出水环境和空气环境质量模型的评价指标和验证数据，建立我国法规模型认证制度，形成首批典型水质和空气质量法规模型，并实现法规模型在环境影响评价、环境污染防治规划、总量控制等环境管理领域中的应用指南或技术规范（导则）。在此项目基础上，环境保护部环境规划院国家环境规划与政策模拟重点实验室进一步结合环境规划模型部分成

果,撰写了《环境规划法规模型遴选及标准化应用技术指南》专著。本书的出版将有利于形成我国的环境规划法规模型清单和研究计划,有利于规范模型在环境规划管理中的使用及避免模型的重复建设,由此可以大大节约相应投入,还将为国家相关技术导则、标准的制定和修订提供必需的基础性研究工作,为流域水污染防治规划和区域大气污染防治规划等实际工作提供技术支撑,最终为进一步推动环保科技创新、推进我国环境规划管理工作的科学化进程奠定坚实的理论和实践基础。

本书深入研究并界定了环境规划法规模型的概念,需要说明的是,这里并不能将全部的环境规划相关模型都予以囊括,而是只包含了目前相对较为成熟、应用较为广泛的环境经济预测模型、SWAT 流域水质预测模拟法规模型和 CALPUFF 空气质量预测模拟法规模型。本书系统梳理和总结了环境规划法规模型的发展历程、国内外先进经验、主要存在问题以及未来研究方向,详细阐述了环境规划法规模型的用户手册和应用技术指南,并开展了典型案例研究。全书共分 9 章:第 1 章简要介绍了模型法规化的意义和环境经济预测、地表水环境质量、空气质量法规模型的概况。第 2 章重点介绍了环境规划法规模型的遴选过程、遴选材料准备与综合评价指标体系(以流域水环境质量法规模型为例)。第 3 章提出了环境经济预测模型的用户手册,详细阐述了经济社会与资源环境预测模型原理,用水、废水和水污染物、能源消耗、大气污染物和固体废物预测模型方法,介绍了模型软件操作功能。第 4 章整理了 SWAT 流域水质法规模型的用户手册,详细阐述了 SWAT 模型原理及其水文过程子模块、土壤侵蚀子模块、污染负荷子模块,并选择兼容性最好的 ArcSWAT 作为 SWAT 模型的主要工具软件,详细介绍了从安装、启动、数据输入准备、输入修改、结果分析和示例数据库角度介绍了模型的一般性运行过程。第 5 章整理了 CALPUFF 空气质量法规模型的用户手册,详细阐述了 CALPUFF 模型原理及其诊断风场子模块、微气象子模块、CALPUFF 子模块,并从 Calmet、CALPUFF、Calpost 输入输出分别介绍了其操作流程与步骤。第 6 章从经济社会、资源能源、大气污染、水污染、固体废物、污染治理投入预测等子模块提出了环境经济预测法规模型的应用技术指南。第 7

章、第 8 章从模拟范围、网格设置、投影坐标、地形、子流域、土地利用、土壤和农业管理、气象、排放清单、模型参数、模型率定等方面梳理总结了 SWAT 和 CALPUFF 法规模型在环境规划中应用所面临的主要问题,提出标准化设置的解决方案,从可操作和运行角度提出了面向模型模拟实操过程的法规化模型应用技术指南。第 9 章分别以国家层面、松花江流域、太原市为案例,开展应用研究。

全书历经数次讨论、修改、完善和最终统稿定稿,其中,第 1 章由蒋洪强、吴文俊、卢亚灵、张静、姚瑞华、薛文博负责;第 2 章由吴文俊、王庆改负责;第 3 章由蒋洪强、张静、于森、张伟、刘年磊、程曦、武跃文、杨勇负责;第 4 章由吴文俊负责;第 5 章和第 8 章由卢亚灵负责;第 6 章由蒋洪强、张静、张伟、程曦、武跃文负责;第 7 章由吴文俊、张杰、黄逍负责;第 9 章由吴文俊、卢亚灵、蒋洪强、张静、张杰、黄逍、倪少强负责。在本书的撰写过程中,得到了环境保护部科技标准司、环境保护部环境规划院、环境保护部环境工程评估中心等领导的大力指导和支持。同时,对网络 QQ 论坛——SWAT 模型交流群:189641113 及其群主肖军仓老师、气象家园 WRF/CALPUFF/CALMET 交流群:176212282、Exponent 官网、国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室的广大行业同仁们表示衷心感谢。中国环境出版社有关工作人员为本书的出版付出了大量心血,在此一并表示感谢和致意。本书参考引用了大量的国内外研究成果和文献,但只列出了大部分文献,尚有部分未列出,在此向这些文献的作者表示感谢。

书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2017 年 5 月 27 日

目 录

第 1 章 环境规划法规模型概述	1
1.1 模型法规化的背景与意义	1
1.2 模型法规化的总体思路框架	3
1.3 环境质量模型的法规化现状	4
1.4 环境经济预测模型概况	6
1.5 地表水环境质量模型概况	25
1.6 空气质量模型概况	37
第 2 章 环境规划法规模型遴选	58
2.1 模型法规化申请	58
2.2 模型遴选的基本程序	59
2.3 模型遴选的材料要求	60
2.4 模型科学性评估	62
2.5 模型软件性能评估	63
2.6 模型综合评价	65
2.7 SWAT 流域水质法规模型遴选	66
第 3 章 环境经济预测法规模型用户手册	74
3.1 模型介绍	74
3.2 模型系统	76
3.3 操作功能介绍	84
3.4 模拟系统	90
3.5 GIS 系统	115
第 4 章 SWAT 流域水质法规模型用户手册	120
4.1 模型介绍	120

4.2	模型原理与公式方法	121
4.3	ArcSWAT 的安装	141
4.4	启动 ArcSWAT	147
4.5	流域划分	152
4.6	气象资料创建	159
4.7	土地利用数据输入	161
4.8	土壤数据输入	163
4.9	点源排放数据的编辑	169
4.10	ArcSWAT 模拟及率定	170
4.11	ArcSWAT 运行案例	173
第 5 章	CALPUFF 空气质量法规模型用户手册	193
5.1	模型介绍	193
5.2	模型原理	194
5.3	模型公式方法	196
5.4	操作模块介绍	210
第 6 章	环境预测法规模型应用技术指南	220
6.1	总体思路	220
6.2	经济社会预测子模块	221
6.3	能源消费预测子模块	225
6.4	水资源预测子模块	230
6.5	大气污染预测子模块	234
6.6	水污染预测子模块	243
6.7	固体废物预测子模块	249
6.8	污染治理投入预测子模块	254
第 7 章	SWAT 流域水质法规模型应用指南	261
7.1	SWAT 法规模型应用中的问题	261
7.2	SWAT 法规模型标准化方案	269
7.3	SWAT 法规模型应用指南	280

第 8 章	CALPUFF 空气质量法规模型应用指南	319
8.1	空气质量法规模型应用中存在的问题	319
8.2	空气质量法规模型标准化方案	322
8.3	空气质量法规模型应用指南	333
第 9 章	法规模型在环境规划中应用的典型案例	347
9.1	环境经济预测应用案例	347
9.2	松花江水质模拟预测应用	413
9.3	松花江水污染物总量控制应用	436
9.4	太原市空气质量预测应用案例	455

第 1 章

环境规划法规模型概述

环境规划主要在于调控人类自身的生产和生活活动,减少污染、资源浪费和生态破坏,保护人类生存、经济和社会持续稳定发展所依赖的环境。由此可见,环境规划是一种克服人类活动盲目性和主观随意性的科学决策活动,环境规划模型则是进行科学决策的重要工具。环境规划模型面向从规划编制到规划实施后评估的全过程,其研究与应用直接影响环境规划编制与实施的科学性和前瞻性。在我国,环境规划模型虽然较多,但是称得上法规模型的极少。环境规划模型在应用中面临标准化程度不高、使用不规范等问题,亟须进行法规化建设。与国外相比,我国的环境规划法规模型建设还处于初步探索阶段,本章首先从模型法规化的背景和意义入手,介绍模型法规化的必要性,以环境质量模型为例阐述了国内外法规模型的建设现状,随后重点介绍环境规划领域中应用较为广泛、相对成熟的环境经济预测模型概况、地表水环境质量模型概况和空气质量模型概况,对国内外主要模型进行了对比,在此基础上梳理总结了模型在环境规划中应用所存在的问题,并对模型未来的发展方向进行展望。

1.1 模型法规化的背景与意义

环境规划是人类为使环境与社会经济协调发展而对自身活动和环境所做的在时间和空间上的合理安排,环境规划以“社会—经济—环境”这一复合生态系统为研究对象,是在经济社会发展与环境形势分析及压力预测的基础上,提出的环境保护指导思想和基本原则,制定的未来环境保护目标指标,并对未来环境保护主要任务方案所做的合理安排,制定实施的主要工程和保障措施,以便使经济发展和环境保护双赢。从环境规划的定义中可以看出,其包含了对科学性的高要求。

环境规划模型是环境规划决策的重要支撑工具,通过模型模拟以期正确判断未来社会—经济—环境的发展趋势,识别未来环境面临的压力,从而为环境规划目标的制定和规划方案优化筛选提供科学依据,环境规划模型主要涉及环境规划调查评价、环境规划

预测、环境规划目标、环境规划方案和环境规划实施后评估等环境规划和决策的重要环节。具体而言包括环境形势分析与预警模型、环境规划分区模型、环境经济预测模型、环境质量预测模型、环境规划目标制定模型、环境规划费用效益模型、环境规划方案优化决策模型和环境规划实施评估模型，此外，针对各污染要素防治规划还包括环境容量计算模型和环境承载力核定模型等。本书因篇幅和时间限制，并不能将全部的环境规划模型予以囊括，而是只包含了目前相对较为成熟、应用较为广泛的环境经济预测模型和环境质量预测模拟模型，其他环境规划模型尚未包含在内。

对环境规划模型进行法规化和标准化设置是为了规范模型在环境规划管理中的使用，避免模型的重复建设，由此可以大大节约相应投入，并为国家相关技术导则、标准的制定和修订提供必需的基础性研究工作，为流域水污染防治规划和区域大气污染防治规划等实际工作提供技术支撑，其最终目的是确立我国推荐模型（也称法规模型）的认证制度，增强法规模拟工作的科学性、有效性和一致性，从而为推动环保科技创新、推进我国环境规划工作的科学化进程奠定坚实的理论和实践基础。环境规划模型在用于编制具有法律效力的文件（如环境保护规划、总量控制规划）时，需要具备可靠性、标准化、成熟易用性、可免费获得等特性。为了保证法规性文件的一致性，减少因采用的模型差异而造成差别管理等不公平因素，环境规划模型通常需要在国家层面上由政府部门通过公众平台予以发布或推荐。

除了国家建立模型评估指标和验证体系以外，模型法规化的确定往往还需要通过多种途径实现，如公开发表科学论文、召开学术研讨会议等。为帮助各级政府方便和正确地应用法规模型，环保部门往往还建立模型的技术支持体系，提供技术培训、标准化污染源数据、气象数据、水文数据等，以及统一的前处理/后处理软件和图形软件，有些还包括进一步的分析软件，如环境质量达标评估、环境健康风险评估等功能。目前国内已具备法规地位的模型有引自欧美主流的稳态烟雨模型（AERMOD）、非稳态拉格朗日烟卤模型（ADMS）和三维高斯型大气扩散模型（CALPUFF）等空气质量模型，并已被广泛应用于各环境管理领域。从整体上看，中国的环境规划法规模型体系基本上还处于空白，缺少地表水、地下水等领域的法规模型，虽然这些领域研究人员所使用的模型众多，但是法规化和标准化程度不高。此外，即使是大气领域的法规模型也存在很多问题：①大气领域的法规模型不健全，缺乏评估区域复合空气污染问题的区域空气质量模型（如臭氧、酸沉降），有毒污染物爆炸、泄漏等风险模型，人体健康评价模型，还有一些特殊的模型（如冷却塔排烟模型、岸边熏烟模型等）；②推荐模型直接采用美国 EPA 或欧洲等发达国家的法规模型，只与 1993 年版导则针对预测结果的衔接性进行了一些对比研究，没有采用我国实测数据进行验证，对模型在我国应用的不确定性没有评估；③由于我国特殊的地理特征和工业布局，复杂地形的应用远比国外常见和复杂，现有模

型的复杂地形处理不能满足需求；④缺乏标准化的污染源数据格式、移动源、无组织排放、扬尘风沙等排放模型及数据格式体系；⑤没有长期的发展和更新计划，没有我国原发的研究成果，模型导则不够灵活，特别是缺乏新模型的准入和应用规范；⑥法规模型的开发和技术支持队伍薄弱。

鉴于我国当前环境规划领域法规模型基础较为薄弱，尤其是水环境规划法规模型欠缺、大气环境规划法规模型的标准化程度不够，以及缺乏标准化的模型数据等现状，可以看出，目前我国的法规模型体系很难适应环境规划与管理的需求。因此，开展我国法规模型的科学技术研究，是国家环境保护规划中急需的基础性研究项目，将可以为国家环境规划、总量控制规划等提供技术支撑和服务，具有十分重大的意义和紧迫性。

1.2 模型法规化的总体思路框架

通过分析国内外有关环境法规模型的建设现状，结合我国在环境保护规划、总量控制等管理过程中对法规模型的具体需求，提出我国环境规划模型标准化与法规化建设的总体思路框架。模型法规化总体上需要经过初筛、模型遴选、编写指南、模型验证等流程，如图 1-1 所示，在成为推荐模型以后，应编写法规模型用户手册和应用技术指南，并收集整理数据开展相应案例研究，从而进行模型的验证。



图 1-1 环境规划法规模型建设的总体思路框架