

流域水污染防治规划决策支持系统 ——方法与实证

蒋洪强 吴文俊 刘年磊
卢亚灵 张 伟 李红华 著
于 森



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

流域水污染防治规划决策支持系统

——方法与实证

蒋洪强 吴文俊 刘年磊
卢亚灵 张 伟 李红华 著
于 森



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书全面系统介绍了流域水污染防治规划决策的模型方法和应用研究成果。全书共分8章,第1章对流域水污染防治规划和规划决策支持系统的概念、特点、分类、内容等进行了总结分析,对规划决策支持系统的科技需求及研究框架进行了细致阐述。第2章着重介绍了流域水环境形势诊断与预警模型的理论基础、研究思路,以及模型指标体系建立、基础数据来源和实证研究测算结果分析。第3章着重介绍了流域水环境压力预测与分析模型的研究思路、预测方法、参数系数确定以及实证研究的测算结果分析。第4章着重介绍了流域水污染物总量目标分配模型的理论基础、分配思路、指标体系及实证研究的分配结果分析。第5章着重介绍了流域水环境质量模拟预测模型的理论基础、研究思路、模拟方法和实证研究的模拟结果分析。第6章着重介绍了流域城镇污水处理厂建设方案优选评估模型的理论基础、研究思路、污水处理厂费用函数和相关参数以及实证研究的优化结果分析。第7章着重介绍了流域水污染防治规划投入效益测算的研究思路、投入产出模型、环境效益模型、基础数据来源和实证研究的测算结果分析。第8章着重从各子模块集成的角度,详细介绍了流域水污染防治规划决策一体化平台开发的框架、功能和开发成果。

本书适合水污染防治领域相关管理、研究、规划等人员参考,也适合高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

流域水污染防治规划决策支持系统:方法与实证 /
蒋洪强等著. — 北京:中国水利水电出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5170-5062-9

I. ①流… II. ①蒋… III. ①流域污染—水污染防治
—决策支持系统 IV. ①X52

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第322143号

书 名	流域水污染防治规划决策支持系统——方法与实证 LIUYU SHUIWURAN FANGZHI GUIHUA JUECE ZHICHI XITONG——FANGFA YU SHIZHENG
作 者	蒋洪强 吴文俊 刘年磊 卢亚灵 张伟 李红华 于森 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 23.25印张 551千字
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
定 价	98.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

在我国流域水污染防治工作起步于 20 世纪的 70 年代，以流域为对象的水污染治理以“九五”治淮为先导，标志着我国对流域水污染进行宣战，而我国的水污染防治规划也始于淮河，以 1993 年应对淮河水污染事故为标志。流域水污染防治规划是水环境防治的一个重要组成部分，1996 年修订的《中华人民共和国水污染防治法》明确提出“防治水污染应当按流域或者区域进行统一规划，水污染防治规划是防治水污染的基本依据”，这标志着我国以流域为对象的水污染防治方略基本建立。近 30 年来，我国的经济社会经历快速的发展，环境污染防治水平日益提升，对流域水污染防治的认识也逐步深入，截至目前我国已经历了 4 个“五年”规划期，流域水污染防治规划思路基本实现了由以往的单纯治理污染向污染治理和生态保护并重而转变，规划主战场由点源控制向点面源结合的方式转变，控制重点由末端治理向全过程控制转变，规划分区由单纯区域或流域管理向区域与流域相结合的方式转变，规划导向由污染物总量控制向环境质量控制转变。

水污染防治规划决策是众多环境规划决策（EPDSS）中的一种类型，它从识别水污染问题入手，制定治理目标和可行方案，并对方案进行优化筛选。经过 30 年的发展，我国水污染防治规划的理论方法取得了重要进展，加上决策支持技术在水污染防治规划中得到了深入的研究和大量应用，使得我国水污染防治规划的编制和实施也取得了前所未有的成绩，规划基础信息越来越扎实、模型方法越来越科学、指标分配越来越合理、方案和工程措施越来越优化、规划实施评估考核越来越加强、规划在环境保护和经济社会发展中的地位越来越高，规划决策支持技术总体呈现了由定性“拍脑袋”向定量科学决策发展、由简单线性模型向复杂非线性模型发展、由单目标决策向多目标决策发展的转变过程。但同时，仍可看到目前国内关于水污染防治规划决策技术的相关研究以及应用在层次性、代表性、系统性、表达性、集成性和权威性等方面还有待进一步提高，流域水

污染防治规划和决策的不同技术方案还缺乏充分比较和论证,水污染现状分析-未来压力预测-水污染控制目标制定-水污染控制方案筛选-水环境保护投资之间的关系缺乏系统综合考虑。目前国内研究单个水环境决策模型的多,如水环境承载力预警、水环境质量模拟、多目标优化决策等,对于将环境系统和经济系统全面打通,耦合环境-经济模型研究来实现一体化模拟决策的研究少,互动模型难以建立,尤其是面向流域规划编制全过程的决策模拟更少,因而开发流域水污染防治规划决策支持系统有着重要的现实意义。

水污染防治规划是一项复杂的系统工程,涉及的学科种类多、基础数据多、目标指标多、任务层次多,是一项在时间、空间、目标、任务、进度等方面多位一体化的综合系统集成工程。“十三五”我国更加注重以流域水环境质量改善为导向,将总量削减与质量改善挂钩对编制流域水污染防治规划提出更高要求,这就需要用系统论、控制论、信息论等理论方法和计算机模拟技术,在规划决策支持平台框架内加以解决。为了适应新时期水污染防治工作对流域规划编制的要求,破解长时期以来规划决策支撑方法不强的难题,规范规划编制的决策模型和决策技术体系,“十二五”国家水体污染控制与治理科技重大专项“战略与政策研究”主题设立了“流域水污染防治规划决策支持平台研究”课题(课题编号 NO.2012ZX601002)。课题由环境保护部环境规划院牵头,松辽流域水环境保护所、黑龙江省环境保护科学研究院、中科宇图天下科技有限公司共同参与承担。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以此课题成果为基础,成立了蒋洪强研究员和吴文俊博士等牵头的《流域水污染防治规划决策支持系统——方法与实证》专著编写组,历经近2年时间对课题成果进行总结和梳理,由课题组全体骨干成员参与编撰并辛苦完成。本书全面介绍了水污染防治规划决策模型理论方法和应用研究成果,紧扣“水污染防治规划编制过程(现状—预测—目标—方案—投入—实施)”这一主线,结合松花江流域水环境基础数据库的建立,开展流域一体化决策模拟实证研究,既体现了国家重大科技专项的需求意愿,也代表了国家环境规划与政策模拟重点实验室对当前我国水污染防治规划决策的思考,体现了其对我国环境规划学科中水污染防治规划决策发展的创造性贡献。

全书共分8章,第1章对流域水污染防治规划和规划决策支持系统的概念、特点、分类、内容等进行了总结分析,对规划决策支持系统的科技需求及研究框架进行了细致阐述。第2章着重介绍了流域水环境形势诊断与预警模型的理论基础、研究思路,以及模型指标体系建立、基础数据来源和实证研究测

算结果分析。第3章着重介绍了流域水环境压力预测与分析模型的研究思路、预测方法、参数系数确定以及实证研究的测算结果分析。第4章着重介绍了流域水污染物总量目标分配模型的理论基础、分配思路、指标体系及实证研究的分配结果分析。第5章着重介绍了流域水环境质量模拟预测模型的理论基础、研究思路、模拟方法和实证研究的模拟结果分析。第6章着重介绍了流域城镇污水处理厂建设方案优选评估模型的理论基础、研究思路、污水处理厂费用函数和相关参数以及实证研究的优化结果分析。第7章着重介绍了流域水污染防治规划投入效益测算的研究思路、投入产出模型、环境效益模型、基础数据来源和实证研究的测算结果分析。第8章着重从各子模块集成的角度，详细介绍了流域水污染防治规划决策一体化平台开发的框架、功能和开发成果。

鉴于流域水污染防治规划的复杂性，其理论和方法仍需进一步深入研究，加之时间和作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

全书由蒋洪强研究员提出框架和撰写方案，指导主笔者完成各个章节初稿，然后进行逐章逐节数次修改、讨论、完善和最终统稿定稿。第1章，由吴文俊、蒋洪强负责；第2章，由卢亚灵负责；第3章，由吴文俊、于森、蒋洪强负责；第4章，由吴文俊、董战峰负责；第5章，由吴文俊、姚艳玲、姚瑞华负责；第6章，由刘年磊、邢佳负责；第7章，由张伟负责；第8章，由李红华、谢涛、郭晓、田恬负责。在本书撰写过程中，自始至终得到了国家水专项办以及环境保护部环境规划院王金南副院长的指导，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歉意和感谢。

作 者

2016年9月20日

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 水污染防治规划	1
1.2 水污染防治规划决策支持系统	6
1.3 科技需求与框架路线	14
参考文献	24
第 2 章 流域水环境形势诊断与预警模型	26
2.1 研究背景	26
2.2 水环境形势分析研究进展	27
2.3 指标体系构建	31
2.4 形势诊断与预警方法	33
2.5 实证研究——松花江流域水环境形势诊断与预警	39
2.6 结论与建议	66
参考文献	68
第 3 章 流域水环境压力预测与分析模型	71
3.1 研究背景	71
3.2 研究思路与框架	72
3.3 水资源压力预测	73
3.4 废水及污染物产排放压力预测	81
3.5 实证分析	99
参考文献	130
第 4 章 流域水污染物总量目标分配模型	133
4.1 研究背景	133
4.2 分配思路与技术路线	134
4.3 总量分配的指标体系	136
4.4 总量分配的理论及模型方法	139
4.5 实证研究——以松花江流域为例	152
参考文献	169
第 5 章 流域水环境质量模拟预测模型	172
5.1 研究背景	172

5.2	模拟预测思路与框架	174
5.3	国内外研究进展	175
5.4	水质预测理论与模型方法	178
5.5	典型流域水质模拟模型	192
5.6	实证研究——以松花江流域为例	208
	参考文献	224
第6章	流域城镇污水处理厂建设方案优选评估模型	228
6.1	研究背景	228
6.2	国内外研究进展	229
6.3	研究思路与框架	233
6.4	流域规划决策理论基础	235
6.5	规划方案评估模型方法	243
6.6	实证研究	253
	参考文献	263
第7章	流域水污染防治规划投入效益测算模型	266
7.1	研究思路	266
7.2	测算方法与数据来源	269
7.3	测算结果分析	293
7.4	结论与建议	303
	参考文献	304
第8章	流域水污染防治规划决策支持平台系统	305
8.1	平台概述	305
8.2	典型流域规划决策支持平台框架设计	306
8.3	流域规划决策支持平台开发技术路线	310
8.4	数据库系统	314
8.5	水环境形势诊断分析模型系统	316
8.6	水污染物预测模拟模型系统	322
8.7	污染总量目标分配模拟模型系统	330
8.8	水质预测模拟系统	336
8.9	污水处理厂规划方案评估系统	349
8.10	水环境规划投入贡献度测算系统	352
	参考文献	363

第 1 章 概 述

我国流域水污染防治规划的制定和实施历史并不长,但随着水污染问题的日益突出以及人们对水环境保护认识的不断深化,对水环境问题的健康影响不断重视,将流域水污染防治规划作为协调水污染防治和人类发展的纽带已越来越被世人所接受。从“九五”治淮开始,中国的流域水污染防治规划由起步慢慢走向成熟,对于流域水污染防治规划的决策支持技术也日益丰富和多种多样,沿着整个规划的全流程,逐步覆盖了规划形势分析、压力预测、目标确定、任务制定、规划绩效后评估等流域规划编制、实施和考核的全过程。规划决策支持技术总体呈现了由定性“拍脑袋”向定量科学决策发展、由简单线性模型向复杂非线性模型发展、由单目标决策向多目标决策发展的转变过程。

1.1 水污染防治规划

水环境是人类赖以生存的重要资源,是社会和经济持续发展的基础。目前,水体污染已成为我国面临的最主要的水环境问题之一,作为协调水环境与经济、社会可持续发展的水污染防治规划,越来越引起人们的重视。在我国的环境规划体系中,水污染防治规划一直是规划的重中之重。我国的水污染防治工作起步于 20 世纪 70 年代,而水污染防治规划则始于淮河,以 1993 年应对淮河水污染事故为标志,我国制定了“三河三湖”水污染防治“九五”计划,截至目前已经历了 4 个“五年”规划,我国水污染防治规划经历了曲折向前的发展历程,规划明确规定地方政府对当地的水环境质量负责,这对于治理地区水污染发挥了积极的作用^[1,2]。本章结合水污染防治规划的编制,主要介绍水污染防治规划概念、特点、分类和规划主要内容等。

1.1.1 概念

水污染防治规划是指在水污染排放和环境质量现状评估以及水环境压力预测基础上,制定特定时期和范围水环境保护目标,确定实现水环境保护目标的任务、工程和政策措施的过程。目前,水污染防治规划是全国环境保护专业规划之一,同时也是全国环境保护规划的重要组成部分,在实践中与水污染防治规划相关的还有水环境保护规划、水环境综合整治规划、水质达标规划、主要水污染物排放总量控制规划、水资源环境保护规划、水生生态保护规划等形式。同时,一些综合性的环境规划中,水污染防治规划往往是重要的规划内容。这些与水污染防治相关的规划目标间存在着一些差异,但它们之间也存在着相互关联。从规划的内涵来看,广义角度的水环境保护规划通常要宽于水污染防治规划,它还可以包含水资源保护和水生态保护的内容,但目前在国家层面的主要形式是水污染防治规划,本章也主要以水污染防治规划作为主要类型给予分析和介绍。

水污染防治规划目的在于实施水污染物总量控制和水环境质量目标管理,制定保证水



环境质量达标的经济结构调整方案、污水处理厂建设方案、污染源治理方案等^[3]。通过分析和协调水污染系统各组成要素间的关联关系,并综合考虑与水质达标有关的自然、技术、社会、经济诸方面的联系,对排污行为在时间、空间上进行合理的安排,以达到预防水污染问题发生,促进水环境与经济、社会可持续发展的目的。水污染防治规划可以是针对当前的水体严重污染现状所做出的补救性规划,也可以是面向未来经济与社会发展所进行的预防性规划,前者侧重于污染控制,后者侧重于污染预防。

1.1.2 范围

1.1.2.1 空间范围

水污染防治规划的空间范围是指规划所涉及的地域的广度,它与水污染控制区、水污染控制单元相对应。由于水污染防治规划属于政府行为,规划的空间范围通常与行政区的地域管辖范围相互对应。从行政资源利用及责任落实的角度,特别是对污染源的控制管理,将规划区与行政区相对应是较为有利的。但是水环境的污染与治理是一项系统性很强的工程,任何一个区域或地区的规划都与水污染防治规划息息相关。一个地域的水环境质量改善受到上游区域水污染控制状况的影响,同时也必然会对下游区域产生影响,这种影响可能是正面的,也可能是负面的。因此,与其上下游的相关区域进行协商是必要的。

一个水污染控制区的范围可能对应一个行政区或多个行政区,也可能一个行政区包含两个或多个水污染控制区。由于水的流向遵从自然流域属性,所以水污染控制区范围须兼顾流域汇水单元与行政区划。行政区是水污染防治规划的基础,为了处理好与上下游行政区之间、行政区与水污染控制区之间的关系,在规划过程中要做好各方面的协调工作,协调的主要内容在于确定区域边界的水质目标和共同的污染控制措施。这项工作要由相关行政区的政府主管部门通过协商的办法解决。

1.1.2.2 时间范围

水污染防治规划的时间范围是指规划的年限,通常分为基准年、近期目标年和远期目标年,有的项目还设有规划远景年。

基准年的数据是规划的基础,一般选择具备比较完整数据资料的最近年份,如采用某一“五年规划”的末年作为基准年。近期目标年和远期目标年由决策者给定,一般近期规划强调对具体工程措施与项目的安排与配置,突出实践操作性,除年度规划按年设定目标外,近期目标年距基准年应不小于5年。五年规划由于同我国国民经济与社会发展规划体系同步,是应用较多的规划。远期规划具有宏观性、战略性,远期目标年距基准年一般应不小于10~15年。

1.1.3 特点

水污染防治规划以水环境和水污染防治为主要研究对象,和环境规划类似,水污染防治规划具有综合性、动态性、区域性和约束性的特点^[4-6]。

1.1.3.1 综合性

水污染防治规划的综合性反映在其涉及的学科领域广泛、信息来源多、影响因素众多、对策措施综合、部门协调复杂。随着人类对水环境保护认识的提高和实践经验的积累,水污



染防治规划的综合性及其集成性正在越来越显著的加强。当代环境保护的兴起和发展是从治理污染、消除公害开始的,并大体经历了三个阶段:以单纯运用工程技术措施治理污染为特征的第一阶段,以污染防治相结合为核心的第二阶段,以环境系统规划与综合管理为主要标志的第三阶段,水污染防治也大体遵循这一发展历程,21世纪的水污染防治规划将是自然、工程、技术、经济、社会相结合的综合体,同时也是水利、环保等多部门的集成产物。

水污染防治规划的综合性反映在它的方法学和支撑软件环境的需求方面。水污染防治规划涉及水污染排放现状调查、水环境质量评价、水环境趋势预测、水环境保护方案等制定工作,要综合运用到地理学、水文气象、水环境物理学等反映污染物规律的学科理论来描述水污染物的运动轨迹、建立污染源与水环境质量之间的关系,此外也要用到环境经济学、环境法、环境管理等知识进行水环境政策设计、水环境规划方案的分析,还要用到数学模型工具、计算机技术进行水环境信息管理与规划方案的优化。那种单纯注重数学模型的复杂演算,只注重工程措施,只对某局部环节作分散的研究,或者只对宏观对策做理论上的论述,都是难以解决问题的;系统工程学在解决规划系统的分解和综合的问题上可以发挥其十分重要的作用;同时在各环节上需要发挥多学科技术的综合优势,特别是要逐渐建立起一套对定性因素或定性定量交织结合因素的处理方法、手段和工具。需要指出,除了传统学科的作用外,以博弈论为核心的环境冲突分析方法在解决环境规划所面临的经济与环境保护、环境资源分配等的矛盾冲突问题上将起越来越重要的作用。未来的环境规划的支撑软件将向着能提供综合和集成信息,便于各类人员参与又便于更新、调整的方向发展。

水污染防治规划的综合性还反映在规划过程的各个技术环节之间关系紧密,各环节互相影响、相互制约。因而规划工作应当从水污染防治规划的整体出发进行全面考察研究,单一从某一环节或者污染物要素入手,进行串联叠加难以获得有价值的系统结果。

1.1.3.2 动态性

水污染防治规划具有较强的动态性。它的影响因素在不断变化着,无论是水环境问题(包括现存的和潜在的)还是社会经济条件等都在随时间发生着难以预料的变动,基于一定条件(现状或预测水平)制订的水污染防治规划,随着社会经济发展方向、发展政策、发展速度以及实际水环境状况的变化,势必要求水污染防治规划工作具有快速的响应和更新能力。因此,连续的决策过程是水污染防治规划的重要内在特征。

目前的水污染防治规划缺乏动态的编修机制,基本上是静态的、应付的。很多想法只存在于领导或管理者的头脑中,并没有以一个动态编修机制来明确和体现,指导具体的水环境保护和水环境管理活动,水污染防治规划应该具有的动态性体现不足,亟须要从理论、方法、原则、工作程序、支撑手段、工具等方面逐步建立起一套滚动式水污染防治规划管理系统以适应规划不断更新、调整、修订的需求,水污染防治规划不只是蓝图,还要成为水环境保护工作活动的指南。

滚动修订模式的目的是为了缓解和抵消未来的不确定因素,不确定因素的来源有三个:一是由规划所不能控制的外部变化引起的经济活动不确定性和水环境问题不确定性;二是由规划实施的内部环节产生,可能由不当的干预行动所引起,但归根结底,后者在很大程度上是由前者所引起的;三是由于规划环境的改变主生,包括政策环境的改变等。



1.1.3.3 区域性

水环境问题的区域性特征十分明显，因此水污染防治规划必须注重“因地制宜”。所谓地方特色，主要体现在：水环境及其污染控制系统的结构不同；主要污染物的特征不同；社会经济发展方向和发展现状、速度不同；水污染控制方案评价指标体系的构成及指标权重不同；各类模型中参数、系数的时地修正不同；各地的技术条件和基础数据条件不同。

不同地区具有不同的主要污染物，即使污染物相同其特征也不同；描述污染物迁移转化规律的不同，各类模型中参数、系数的地区修正也不同；由于水环境问题的社会经济影响不同，水污染控制技术水平也不相同，对环境保护投资支撑的力度也不同。因此水污染防治规划的决策、编制和实施必须要融入地方特征，鉴于我国的水环境管理主要是依靠行政手段，因此后续的流域水污染规划分区以综合考虑管理层次和流域、区域范围作为主要依据。

1.1.3.4 约束性

约束性是政府组织制定和实施水污染防治规划的一个显著特征。从规划的最初立项、规划编制直至最后的规划方案决策分析，制订实施规划的每一个技术环节中，经常会面临从各种可能性中进行选择的问题。完成这一选择的重要依据和准绳是我国现行的有关环境政策、法律、法规、制度、条例和标准。水污染防治规划一经制定，并经权力机构讨论通过和颁布，就具备法律效应，具有国家法律作后盾的强制性。水污染防治规划所规定的内容，对有关部门、有关单位、有关的人和事都具有约束力。也即国家机关、企业、团体、公民个人，在规划范围内，都相应地享受权利和承担义务，违背规划行事就要相应承担法律责任。

水污染防治规划的制定，既然是按照法定程序进行的，它的修改同样要按照法定程序进行。如果遇到客观情况发生重大变化，必须修改时，经过规划制定单位提出有科学依据的成熟修改方案，提请同级政府人大会议讨论通过，才有效力。水污染防治规划虽具有法律性质，但在具体执行中，主要是由相应行政部门执行，在必要时采取限期治理或关、停、并、转、迁等措施。对某些重大水污染事故，除追究责任人的法律责任之外，还应当根据实际可能和水环境需要，命令有关单位在一定期间内采取一定的补救措施。这些宣传教育和行政命令，都是执行水污染防治规划所不可缺少的。

1.1.4 分类

水污染防治规划的分类取决于规划的空间尺度、时间周期、水体类型、主控污染物及规划层级^[7]，各类型规划均有其特点。

(1) 按照空间尺度进行划分。按照空间尺度可以分为流域水污染防治规划、区域（城市）水污染防治规划、水污染控制设施规划三种类型。流域具有时间上的稳定性、空间上的可识性，是实施水污染防治规划最合理的单元，对其进行规划管理，既有利于综合考虑整个流域的水环境容量及水资源承载力，又有利于兼顾上下游、左右岸之间的关系。在全国重点流域水污染防治“十二五”规划中，明确了流域范围包括松花江、淮河、海河、辽河、黄河中上游、太湖、巢湖、滇池、三峡库区及其上游、丹江口库区及上游等10个流域。区域水污染防治规划一般以行政区划为单元，对某个地区（城市）内的污染源提出控制措施，在获取统计性资料及信息分析处理方面更为方便，但同区域自然属性的协调性



差。水污染控制设施规划是以某个具体的水污染控制系统为对象,对包括企业用水、污水处理、清洁生产、再生水循环利用、排污控制等在内的系统进行规划,规划应在充分考虑经济、社会和环境诸因素的基础上,寻求投资少、效益大的建设方案,它是流域与区域水污染防治规划的重要组成部分,属微观层面的规划与管理。

(2) 按照时间周期进行划分。水污染防治规划与管理按照时间周期不同可以划分为长期(>10年)、短期(5~10年)和年度规划三种。长期规划与管理具有宏观性、战略性,是一种战略性规划。五年规划与管理同我国国民经济与社会发展规划体系同步,是应用较多的规划。年度规划与管理强调对具体工程措施与项目的安排与配置,突出实践操作性,是一种近似于实施方案或行动计划的规划。由于我国环境管理总体上还比较粗糙,因此目前的水污染防治规划大多是中期(如5年)规划。国家层面以及一些地方层面(如上海)针对政府和地区需求,也往往制定一些时间周期为3年期的行动计划。

(3) 按照水体类型进行划分。按照水体类型可以分为饮用水水源地环境保护规划、地下水污染防治规划、河流水污染防治规划、湖库水污染防治规划以及近岸海域污染防治规划五种类型。饮用水水源地环境保护是重中之重,饮用水水源地环境保护规划以饮水安全为重点,旨在加强饮用水水源地污染防治和管理能力建设,建立完善水源地保护相关技术方法、法律法规,解决目前危害饮水安全的重大问题。地下水污染防治规划旨在通过边调查边治理,逐步建成以防为主的地下水污染防治体系,解决地下水污染突出问题。河流、湖泊水污染防治规划以及近岸海域污染防治规划旨在防治地表水体污染,相互衔接,一方面可针对海域水质和生态保护目标,对河流、湖泊等流域规划提出相应要求,另一方面河流、湖泊等流域规划任务可能在近岸海域规划区产生效应,因而其任务设置上可避免与流域规划相重复。

(4) 按照主控污染物类型进行划分。按照主控污染物类型可以分为主要污染物总量控制规划及专项污染防治规划。以“十一五”及“十二五”国家主要污染物总量控制规划为例,“十一五”期间国家水污染防治主控污染物为COD,“十二五”期间国家水污染防治主控污染物在“十一五”基础上增加一项指标,为COD及 $\text{NH}_3\text{-N}$;各专项污染防治规划则包括重金属污染综合防治规划等。一些地方在制定湖泊污染防治规划时,也把总氮和总磷作为规划控制污染物。

(5) 按照规划编制和管理隶属关系进行划分。按照隶属关系可以分为国家水污染防治规划、省(自治区)市水污染防治规划、水源保护区污染防治规划以及从部门到行业的不同层次,形成一个多层次的结构体系,在这个规划体系中上一层次的规划是下一层次规划的依据和综合,对下一层次的规划起指导和约束作用,而下一层次规划是上一层次规划的条件和分解,并且是其有机的组成成分和实现的基础。

1.1.5 编制内容

水污染防治规划包含一些一般性、共性的编制内容,但具体还需要根据规划问题和目标导向来确定规划内容。水污染防治规划编制内容总体涵盖形势诊断、压力预测、目标确定、重点任务识别、工程项目筛选和保障措施等,其中主要的一般性内容包括形势诊断、压力预测、目标确定和重点任务识别^[8]。下面简要的就水污染防治规划编制的一般性内容展开介绍。

(1) 水污染形势诊断与分析主要包含水环境数据收集与水环境问题诊断分析两部分内



容。其中,水环境状况数据收集和分析主要包括经济社会的数据分析、水体使用功能分析、水环境质量评价、废水及主要污染物识别、水污染治理水平评估、非点源污染影响评估、重点污染源筛选、生态水量及纳污能力调查等;水环境问题诊断分析则要求首先开展重点控制单元的筛选,并在筛选的基础上基于控制单元梳理水环境问题。

(2) 水污染预测与压力分析则主要包含经济社会发展压力预测与水环境压力预测两部分内容。其中,经济社会发展压力预测主要指的是人口预测和经济预测(如GDP预测)等;水环境压力预测主要未来的废水排放量、水污染物排放量、水环境质量、水环境监管压力及水环境风险压力的预测。

(3) 水污染防治规划目标指标包含两个方面,一个是规划目标的制定,另一个是规划指标体系。水污染防治规划目标的制定要结合当前最新的水环境保护战略思想、当期的国家环境保护规划、上一级的水环境保护规划以及当前我国水环境状况和未来水环境保护战略措施,充分借鉴发达国家经验的基础上,综合提出我国的水污染防治战略总体目标、阶段目标、领域目标以及相应的指标,具体又分为总体目标和阶段目标;水污染防治规划的指标体系包含内容较多,既包括代表水污染物总量控制的常规污染控制指标和特征污染物控制指标,也包括代表水环境质量安全的地表水环境质量指标和其他水环境质量指标、饮用水安全指标,代表水生态系统安全的水资源利用指标和水生物多样性指标,还包括代表水环境综合管理水平的城镇、工业、农业水环境管理指标。

(4) 水污染防治规划的重点任务可根据规划的各个时期以及不同规划重点领域进行设计,也可根据当前水环境保护重点工作的缓急程度进行设计。一般包括良好水体保护任务、重污染水体综合整治任务、城镇污水处理设施建设及运营任务、点源水污染控制任务、非点源水污染控制任务、控制单元水污染综合治理任务、水环境监管能力建设任务等。

1.2 水污染防治规划决策支持系统

1.2.1 概念

决策是指人们为了实现某一特定的目标,在拥有系统信息的基础上,根据各种客观条件和种种备选行动方案,借助于科学的理论和方法,进行必要的计算、分析和判断,从备选行动方案中选择一个有利于实现特定目标的最佳行动方案,或选择一个有利于实现特定目标的、决策者认为满意的行动方案。

决策支持系统(DSS)的概念最初由美国麻省理工学院的 Keen 和 Michael 于 1978 年首次提出,这也标志着决策支持系统作为一门学科的开端。对于决策支持系统,直到现在还没有严格的定义。Michael 指出:“DSS 为一种在线分析处理化的交谈式系统,协助决策者使用资料与模式,解决非结构化的问题”,Keen 与 Scott 认为“DSS 使用在线分析处理协助解决半结构化的问题,支援但不取代人类,目的是改善决策而不是决策效率”^[9]。Bonczek 等认为“DSS 可能为人类资讯处理器、机械处理器或人机资讯处理系统”^[10]。概括起来,DSS 是以运筹学、管理学、控制论及行为科学为基础,以决策主题为重心,以计算机技术、人工智能处理技术、互联网搜索技术和自然语言处理等多种技术为手段,建立



决策主题相关的规则库、知识库、模型库、方法库,以人机交互方式辅助决策者解决半结构化和非结构化决策问题的信息系统。

环境规划决策支持系统(Environmental Planning Decision Support System, EPDSS)是决策支持系统应用最早的领域之一,是决策支持系统引入环境规划和决策的产物,从决策支持系统理论提出以来,国内外在水污染防治规划决策、大气污染防治规划决策、环境应急系统以及在研究环境与经济的协调发展等宏观环境决策方面都进行了大量的研究工作^[4]。水污染防治规划决策是众多环境规划决策(EPDSS)中的一种类型,水污染防治规划的决策分析是在识别水污染主要问题,制定水污染治理目标和可行性方案后,根据一定的决策和优化原则,对各种方案进行分析、优化和筛选,以期选择出各方满意或环境、经济、社会效益最优的对策和方案的过程。水污染防治规划决策是水污染防治规划制定过程的最后一个环节。

1.2.2 特点

水环境系统是一个复杂的人工和自然的复合系统,和环境规划决策系统类似,水污染防治规划决策问题也必然涉及环境、经济、政治、社会和技术等多种因素。因此,水污染防治规划决策也具有以下一般性决策问题的典型特征。主要表现在以下3个方面^[5,11]。

(1) 非结构化的特征。按照决策问题所具有的复杂性和解决问题的难易程度,大体可分为结构化决策、半结构化决策和非结构化决策3种类型。结构化决策又称为程序化决策,其基本表现在:决策问题结构良好、可以运用数学模型较精确地刻画描述;决策具有明确定义的目标并且存在着明确判断目标的准则,同时存在一个为人所公认的最佳方案;决策具有一定的决策规则,可按照某种通用的、固定的程序与方法进行;能够广泛地借助于数学方法和计算机、适宜自动化的方式进行。非结构化决策也称为非程序化决策。其主要特点在于:所涉及的信息知识具有很大程度的模糊性和不确定性;问题的性质无法以准确的逻辑判断予以描述;缺乏例行的决策规则,难以识别决策过程的各个方面;依据固定的程序方法,其结果重现性较差。这种非结构决策,其决策问题复杂,决策者的行为对决策活动的效果具有相当的影响,很难用数学方法和自动化方式进行。介于结构化决策和非结构化决策之间的决策问题,称之为半结构化决策。就水环境系统中的各类决策问题而言,既有结构化决策也有非结构化决策问题,但就水污染防治规划决策而言,往往更多地具有半结构化或非结构化的决策问题特征。

(2) 多目标的特征。水环境系统的决策问题普遍呈现出多个目标的特征,即目标间存在着冲突性或矛盾性,即某一个目标的改进往往会导致其他目标实现程度的降低;目标之间存在着不可公度性,即多个目标没有统一的度量标准。水污染防治规划的方案选择,往往涉及广泛的环境、经济、社会甚至政治等多种因素的考虑,各个目标之间普遍存在着冲突性和不可公度性。不同的规划决策主体对决策目标的理解也不尽相同。例如,一个流域的水污染防治目标选择中,作为平衡多种利益主体的政府方,其决策目标是既要实现流域内水环境质量改善的最大化,又要实现流域内水污染防治成本的最小化。但是,对流域内的公众来说,其决策目标通常只是水环境质量改善的最大化或者水污染物削减量的最大化,而相相对于流域内污染企业来说,决策目标往往是水污染削减成本的最小化。很显然,流域内公众和企业的决策目标表现出一定的冲突特点。



(3) 多价值观念的特征。在水污染防治规划决策现实社会中,人的价值观念在评价各种性质不同的问题、因素时将起到重要的作用,从而直接影响决策方案的选择。这里所谓的“价值”,它可泛指规划主体对评价对象所具有的作用、意义的认识和估计。价值观念是人们在各种各样的客观现实中对大量事物观察分析抽象得出的。一方面,在具体问题上,由于规划主体对评价对象的条件、目的、立场、观点等各有不同,从而造成对价值认识和估计的不同;另一方面,又由于人类的社会化,对于价值的主观认识估计又会不同程度地反映现实价值观念的共性和客观性。因此,基于价值评价来对复杂因素进行综合分析,就成为决策活动中的一个显著特征。在水污染防治规划的方案选择过程中,通常需要通过价值的估量来对各种行动的影响做出评价,从而才能做出满意的决策。实际上,水污染防治规划决策的多目标特征就是决策主体价值观念在不同维度上的直接反映。

1.2.3 分类

自20世纪70年代提出决策支持系统以来,其已经得到了很大发展。和一般性的决策系统类似,水污染防治规划决策支持系统总体上也分为12类^[12,13],从目前发展情况看,主要包括:

(1) 数据驱动的决策支持系统(Data-Driven DSS)。这种DSS强调以时间序列访问和操纵组织的内部数据,也有时是外部数据。它通过查询和检索访问相关文件系统,提供了最基本的功能。后来发展了数据仓库系统,又提供了另外一些功能。数据仓库系统允许采用应用于特定任务或设置的特制的计算工具或者较为通用的工具和算子来对数据进行操纵。再后发展的结合了联机分析处理(OLAP)的数据驱动型DSS则提供更高级的功能和决策支持,并且此类决策支持是基于大规模历史数据分析的。主管信息系统(EIS)以及地理信息系统(GIS)属于专用的数据驱动型DSS。

(2) 模型驱动的决策支持系统(Model-Driven DSS)。模型驱动的DSS强调对于模型的访问和操纵,比如:统计模型、金融模型、优化模型和/或仿真模型。简单的统计和分析工具提供最基本的功能。一些允许复杂的数据分析的联机分析处理系统(OLAP)可以分类为混合DSS系统,并且提供模型和数据的检索,以及数据摘要功能。一般来说,模型驱动的DSS综合运用金融模型、仿真模型、优化模型或者多规格模型来提供决策支持。模型驱动的DSS利用决策者提供的数据和参数来辅助决策者对于某种状况进行分析。模型驱动的DSS通常不是数据密集型的,也就是说,模型驱动的DSS通常不需要很大规模的数据库。模型驱动的DSS的早期版本被称作面向计算的DSS。这类系统有时也称为面向模型或基于模型的决策支持系统。

(3) 知识驱动的决策支持系统(Knowledge-Driven DSS)。知识驱动的DSS可以就采取何种行动向管理者提出建议或推荐。这类DSS是具有解决问题的专门知识的人—机系统。“专门知识”包括理解特定领域问题的“知识”,以及解决这些问题的“技能”。与之相关的概念是数据挖掘工具,一类在数据库中搜寻隐藏模式的用于分析的应用程序。数据挖掘通过对大量数据进行筛选,以产生数据内容之间的关联。构建知识驱动的DSS的工具有时也称为智能决策支持方法。

(4) 基于Web的决策支持系统(Web-Based DSS)。基于Web的DSS通过“瘦客户



端” Web 浏览器（诸如 Netscape Navigator 或者 Internet Explorer）向管理者或商情分析者提供决策支持信息或者决策支持工具。运行 DSS 应用程序的服务器通过 TCP/IP 协议与用户计算机建立网络连接。基于 Web 的 DSS 可以是通讯驱动、数据驱动、文件驱动、知识驱动、模型驱动，或者混合类型。Web 技术可用以实现任何种类和类型的 DSS。“基于 Web”意味着全部的应用均采用 Web 技术实现。“Web 启动”意味着应用程序的关键部分，比如数据库，保存在遗留系统中，而应用程序可以通过基于 Web 的组件进行访问，并通过浏览器显示。

(5) 基于仿真的决策支持系统 (Simulation - Based DSS)。基于仿真的 DSS 可以提供决策支持信息和决策支持工具，以帮助管理者分析通过仿真形成的半结构化问题。这些种类的系统全部称为决策支持系统。DSS 可以支持行动、金融管理，以及战略决策。包括优化以及仿真等许多种类的模型均可应用于 DSS。

(6) 基于 GIS 的决策支持系统 (GIS - Based DSS)。基于 GIS (地理信息系统) 的 DSS 通过 GIS 向管理者或商情分析者提供决策支持信息或决策支持工具。通用目标 GIS 工具，如 ARC/INFO、MAPInfo 以及 ArcView 等是一些有特定功能的程序，可以完成许多有用的操作，但对于那些不熟悉 GIS 以及地图概念的用户来说，比较难于掌握。特殊目标 GIS 工具是由 GIS 程序设计者编写的程序，以易用程序包的形式向用户组提供特殊功能。以前，特殊目标 GIS 工具主要采用宏语言编写。这种提供特殊目标 GIS 工具的方法要求每个用户都拥有一份主程序（如 ARC/INFO 或者 ArcView）的拷贝用以运行宏语言应用程序。现在，GIS 程序设计者拥有较从前丰富得多的工具集来进行应用程序开发。程序设计库拥有交互映射以及空间分析功能的类，从而使得采用工业标准程序设计语言来开发特殊目标 GIS 工具成为可能，这类程序设计语言可以独立于主程序进行编译和运行（单机）。同时，Internet 开发工具已经走向成熟，能够开发出相当复杂的基于 GIS 的程序让用户通过客户端网络进行使用。

(7) 通信驱动的决策支持系统 (Communication - Driven DSS)。通信驱动型 DSS 强调通信、协作以及共享决策支持。简单的公告板或者电子邮件就是最基本的功能。组件比较 FAQ (常见问题解答) 定义诸如“构建共享交互式环境的软、硬件”，目的是支撑和扩大群体的行为。组件是一个更广泛的概念——协作计算的子集。通信驱动型 DSS 能够使两个或者更多的人互相通讯，共享信息，以及协调他们的行为。

(8) 基于数据仓库的决策支持系统 (DataWare - Based DSS)。数据仓库是支持管理决策过程的、面向主题的、集成的、动态的、持久的数据集合。它可将来自各个数据库的信息进行集成，从事物的历史和发展的角度来组织和存储数据，供用户进行数据分析，并辅助决策，为决策者提供有用的决策支持信息与知识。基于数据仓库理论与技术的 DSS 的主要研究课题包括：①数据仓库 (DW) 技术在 DSS 系统开发中的应用以及基于 DW 的 DSS 的结构框架；②采用何种数据挖掘技术或知识发现方法来增强 DSS 的知识源；③DSS 中的 DW 的数据组织与设计及 DW 管理系统的设计。总的说来，基于 DW 的 DSS 的研究重点是如何利用 DW 及相关技术来发现知识并向用户解释和表达，为决策支持提供更有力的数据支持，有效地解决了传统 DSS 数据管理的诸多问题。

(9) 群体决策支持系统 (Group Decision Supporting System, 简称 GDSS)。群体决策支