

面向太湖水环境管理的 数据库设计与实现

林晨 许金朵 马荣华 等◎著



南京大学出版社

面向太湖水环境管理的 数据库设计与实现

林晨 许金朵 马荣华 等◎著



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

面向太湖水环境管理的数据库设计与实现 / 林晨等

著. — 南京 : 南京大学出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-305-20507-1

I. ①面… II. ①林… III. ①太湖—水环境—环境管理—数据库系统 IV. ①X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 153267 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮编 210093

出版人 金鑫荣

书 名 面向太湖水环境管理的数据库设计与实现

著 者 林 晨 等

责任编辑 刘 洋 吴 汀

照 排 南京理工大学资产经营有限公司

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 11.5 字数 159 千

版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-20507-1

定 价 78.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

在中共十九大的引领下,“水十条”、“湖长制”、“生态文明建设”等政策措施不断深入人心,也更突显了科学技术与实际管理结合的必要性及紧迫性。太湖流域作为长三角,乃至全国社会经济最为发达、人地矛盾最为突出的地区之一,其湖泊水环境的科学化治理和管控已经成为举国关注的环境与社会问题。

水质目标管理体系,强调的是对特定水质标准下流域污染控制单元的排放浓度与总量进行分区、分期、分类约束。其中 TMDL 以及欧盟水环境框架在内的水质目标管理标准体系已经在欧美等发达国家得到了广泛应用。而其在国内的应用需要解决的关键问题在于:(1)多元异构数据的一致性、标准化问题;(2)利用数字化、集成化手段,推进湖泊与流域、流域与区域间的协同化管理。在此方面,“十二五”期间由中国科学院科技促进发展局资助的重点部署项目“太湖水质目标管理平台研制与应用(KZZD-EW-10)”项目做了一些探索性的研究,尝试通过湖泊水质目标、水环境容量、入湖污染物分配、流域污染削减等六大模型的集成与耦合,打破目前流域减排目标与湖体水质目标脱节的现状。

湖泊水质目标管理需要将湖泊、入湖、河口、河网、流域污染控制单元等多个关键节点逐一打通,才能真正实现不同水质目标下流域污染减排方案的逐级化、一体化的模拟、遴选与管理。其中涉及流域土地利用、点面源污染、社会经济、水文气象以及湖泊藻类生物量、藻华面积、氮磷营养盐等海量、多源、异构数据。而这些数据更是存在标准不一、来源不一、形式不一的问题,

如何通过数据整编与挖掘,构建一套满足湖泊水质目标管理的研究与业务需要的太湖水环境标准化时空数据库,是平台建设过程中意义最为重大同时也最为艰辛的工作。

在近五年的平台研发过程中,课题组全体成员协同努力,形成了一套数据量超过 200GB、数据条目近 200 万条的太湖水环境统一时空数据库,包含基础数据库、情景数据库、模型运行库、决策支撑库等 8 个子库。同时完成湖底水深、入湖河道与河口格网化等 20 个空间数据集的转换、抽取、插补、整理加工和网络发布,并实现了水质水文监测站点、排污口、入湖河道与流域河道及太湖网格的拓扑关系对应与关联,为模型的集成与联动计算提供了丰富、有效的数据基础。为此,课题组以太湖水水质目标管理中的数据库建设为内容,参考国内外相关研究规范与精髓,精心编写了《面向太湖水环境管理的数据库设计与实现》一书。根据数据库建设体系,本书包含 5 个章节。其中第一章绪论,介绍数据库建设背景、目的与重要性;第二章详细介绍数据库的需求,包括模型需求、模型数据需求以及数据库数据需求;第三章描述按照数据库建设规范的数据库设计,包含数据库概念设计、逻辑设计、物理设计以及运行环境设计;第四章介绍了数据的规范化整编,包括数据规范、规范化加工以及整编;第五章介绍了标准化整编数据的入库。本书各章撰写人员如下:第一章由胡维平撰写,第二章由许金朵、彭兆亮、罗淑葱、韩涛、赖锡军、李叙勇、郝少楠撰写;第三章由林晨、马荣华、许金朵、胡佳俊撰写;第四章由林晨、许金朵、李飞、王贞、胡佳俊撰写;第五章由林晨、王贞、胡佳俊撰写。全书由林晨、许金朵负责整理统稿,林晨负责定稿,许雪敏参与了部分书稿整理工作,在此向全体参与编著的科技工作者们真诚致谢。

本书是中国科学院科技促进发展局资助的重点部署项目“太湖水质目标管理平台研制与应用示范(KZZD-EW-10-03)”课题研究成果总结,需要感谢项目组成员胡维平研究员、马荣华研究员、李恒鹏研究员、赖锡军研究员、罗淑葱副研究员为本书提供的数据支持,感谢太湖流域管理局水文局(信息中心)、太湖流域水资源保护局与常州市环保局等单位为本书提供大量的基础数据支

撑。同时,本书在数据需求梳理、数据采集、数据标准建库过程中也得到了中科院领导、湖泊所领导、项目首席以及全体项目成员的无私帮助与大力支持,在此一并致谢!

感谢国家地球系统科学数据共享服务平台湖泊一流域科学数据中心为本书提供的基础数据支撑以及数据库设计、数据加工、数据整编与入库服务。感谢江苏省遥感与地理信息系统学会提供的技术支持。

作为一项探索性的研究,本书所用的许多资料属于首次发表,同时作者水平有限,时间仓促,书中疏漏难免,恳请各位读者批评指正,以求再版时改正。

著 者

2018 年 3 月于南京

目 录

第 1 章 绪 论	1
第 2 章 太湖水质目标管理统一本底数据库数据需求	3
2.1 太湖水质目标管理模型需求	3
2.1.1 太湖藻类和水生植物对水质变化响应与水质目标模型	3
2.1.2 太湖生态系统净化污染物能力与目标水质环境容量模型	4
2.1.3 入湖污染物输移扩散过程与环境容量入湖河道分配模型	4
2.1.4 太湖流域平原区河网污染物质输移模型	4
2.1.5 入河污染排放通量追溯模型	5
2.1.6 污染通量削减空间分配优化模型	5
2.2 模型数据需求	6
2.2.1 太湖藻类和水生植物对水质变化响应与水质目标模型	6
2.2.2 太湖生态系统净化污染物能力与目标水质环境容量模型	12

2.2.3	入湖污染物输移扩散过程与环境容量入湖河道分配模型	13
2.2.4	太湖流域平原区河网污染物质输移模型	14
2.2.5	河网污染物通量追溯模型	15
2.2.6	污染通量削减空间分配优化模型	16
2.3	太湖水质目标管理数据需求	17
2.3.1	基础数据	17
2.3.2	空间数据	18
2.3.3	业务数据	21
2.3.4	情景数据	25
第3章	太湖水质目标管理统一本底数据库设计	26
3.1	数据库设计技术	26
3.1.1	采用面向对象方法和 UML 统一建模语言开展数据库设计	26
3.1.2	基于 Geodatabase 模型的空间数据建库	27
3.1.3	各种数据集中统一存储于 ORACLE 数据库	27
3.2	数据库概念设计	28
3.2.1	基础数据库概念模型设计	28
3.2.2	空间数据库概念模型设计	30
3.2.3	情景数据库概念模型设计	31
3.2.4	业务数据库概念模型设计	32
3.3	数据库逻辑设计	32
3.3.1	逻辑模式设计	32
3.3.2	逻辑模式规范化	34
3.3.3	模式评价与修正	35
3.3.4	数据库逻辑模型	36

3.4 数据库物理设计	41
3.4.1 基础数据库	41
3.4.2 空间数据库	49
3.4.3 情景数据库	62
3.4.4 业务数据库	64
3.4.5 系统数据库	67
3.4.6 模型库	71
3.4.7 方案运行库	74
3.4.8 结果库	76
3.5 数据库运行环境设计	80
3.5.1 云计算环境架构	80
3.5.2 GIS Servers 模型架构	81
3.5.3 系统硬件环境	82
3.5.4 系统软件环境	83
第4章 太湖水质目标管理数据规范化整编	85
4.1 数据规范	85
4.2 数据搜集加工方法	86
4.2.1 流域河网概化	86
4.2.2 流域下垫面数据解译	90
4.2.3 流域骨干河道断面搜集与查勘	101
4.2.4 流域水利工程及实况调度运行规程资料更新	102
4.2.5 流域水文、水环境资料收集与更新	103
4.2.6 社会经济数据调查	104
4.2.7 流域面源污染相关数据调查与更新	104
4.3 数据规范化整编	105
4.3.1 太湖水质目标管理全集数据集	105

- 4.3.2 太湖水质目标管理统一共享数据集 110
 - 4.3.3 太湖水质目标管理模型独占数据集 141
 - 4.3.4 数据加工与关联挖掘 143
- 第 5 章 数据库建设 155
 - 5.1 数据入库 155
 - 5.2 业务数据 161
- 参考文献 163

第1章 绪 论

浅水湖泊水质目标管理平台中涉及的成套多维模型驱动数据存在时空分辨率不一、对应源数据采集手段不一、存储格式不一等问题,导致水环境管理过程中各模型的运行初始场、强迫函数、边界条件、参数集等的生成和配置均需要专业人员,模型数据准备难度大,驱动效率低,不利于多工况多情景方案生成以及多模型联合和快速运行,更难以使管理人员掌握和使用。

因此本书针对浅水湖泊如太湖水环境管理过程中涉及的河网水量水质模型、湖泊水动力水质水生态模型、水质目标与水环境容量管理模型、入湖污染物追溯模型、污染物减排方案优化模型与流域三类空间管制等多维异构模型,梳理出模型共享数据集、独占数据集,按照数据库工程规范构建模型模拟统一本底数据库,为浅水湖泊水环境管理提供标准化的数据集。

对水环境管理各模型的边界条件、动态配置参数、外部强迫函数、初始场等的输入数据,以及模型的状态变量、物质通量、时间变率、动态参数等输出数据的结构、维度、时空分辨率、存取方式等进行梳理分析,按照时间静态/动态、维度一维/二维/三维、模型拥有共享/独占、数据源生/再生对各模型的输入及输出数据进行归纳分类,并配置各模型对应输入数据和输出数据的字段属性信息,厘清水环境管理平台运行的全集数据、基础共享数据、独占数据;依据模型输入数据的属性与分类,开展数据需求调研与数据库设计,以数据库属性要求

为指引进行规范化整编,并依据输入数据属性,构建基础共享、独占数据集,形成一套面向湖泊水质目标管理的大数据规范化太湖流域模型模拟统一本底数据库,为多模型耦合计算、趋势模拟、空间规划与管制等功能提供标准化、可更新的数据服务。

第 2 章 太湖水质目标管理统一 本底数据库数据需求

太湖水质目标管理统一本底数据库,服务于太湖水质目标管理的六大模型,包括:太湖藻类和水生植物对水质变化响应与水质目标模型、太湖生态系统净化污染物能力与目标水质环境容量模型、入湖污染物输移扩散过程与环境容量入湖河道分配模型、太湖流域平原区河网污染物质输移模型、入河污染排放通量追溯模型、污染通量削减空间分配优化模型,厘清各模型输入输出数据,进而梳理出各模型的统一共享数据、独占数据,构建面向湖泊水质目标管理的太湖流域模型模拟统一本底数据库。

2.1 太湖水质目标管理模型需求

2.1.1 太湖藻类和水生植物对水质变化响应与水质目标模型

太湖藻类和水生植物对水质变化响应与水质目标模型(以下简称“模型一”),针对藻类水华与水质的关系,分析太湖不同时期水质和藻类水华暴发规模、频率特征,开展不同时空尺度的受控试验,进行藻类、水生植物等种群与群落对污染物含量变化的响应过程与特征研究,分析浮游植物和水生植物内禀增长率、呼吸速率、吸收氮磷速率、半饱和常数等参数与植物体尺寸、叶面积指数等关系,以及植物体尺寸、叶面积指数等与水质关系,创建太湖生态系统响应水质变化的结构动力学模型,进行模型的校验和验证。开展不同污

染物浓度情景下藻类水华和沉水植物群落变化数值试验,确定太湖不同阶段分区水质目标。

2.1.2 太湖生态系统净化污染物能力与目标水质环境容量模型

太湖生态系统净化污染物能力与目标水质环境容量模型(以下简称“模型二”),进行不同湖区季节盛行风作用下太湖水文条件、污染物大气沉降通量和底泥污染释放,以及生物群落吸收转化污染物等特征的调查和监测,综合分析太湖不同类型生态区在不同水文条件下污染物的收支、转化与滞留特征,研究污染物收支、转化和滞留等在不同水文条件下与生态系统结构、目标水质的关系,构建太湖分区水质目标容量模型,建立各区各月在各水质目标下水环境容量的计算方法,确定太湖各分区分期水质目标条件下的水环境容量。

2.1.3 入湖污染物输移扩散过程与环境容量入湖河道分配模型

入湖污染物输移扩散过程与环境容量入湖河道分配模型(以下简称“模型三”),基于 GPS 定位、拉格朗日水质点运动追踪技术,开展太湖入湖河水与污染物输移扩散混合试验,研究主要入湖河道水体和污染物在湖面风场以及吞吐流作用下的运动、混合、沉降、降解特征,确定入湖污染物在风生流和吞吐流作用下的降解、弥散、沉降速率,修正完善太湖入湖污染物输移对流扩散衰减模型,揭示不同流量与污染负荷条件下污染物由河道入湖后的输移扩散降解过程和太湖中滞留与分布特征,确定不同水情条件下各分区中外来污染物来自的河道及其贡献,建立计算主要入湖河道允许入湖通量与河道入湖污染物控制浓度模型。

2.1.4 太湖流域平原区河网污染物质输移模型

太湖流域平原区河网污染物质输移模型(以下简称“模型四”),根据太湖流域平原河网区水质过程模拟的要求,有针对性地研究太湖流域平原河网区污染物在水体中的生物地球化学循环过程与其影响因素,确定污染物降解、滞留和转化系数,获取具有不同生态类型和服务功能的典型河网及湖荡中碳、氮、磷循环主要过程的关键参数及可能的取值范围。构建河网污染物质输移模块,基于

典型河网及湖荡污染物质迁移转化规律研究成果,优化模型结构,完善太湖河网水量水质耦合模型,基于典型年观测数据率定并验证模型,并实现河网各河段逐月污染物自净系数的空间插值。实现与太湖水质目标管理平台的对接运行。

2.1.5 入河污染排放通量追溯模型

入河污染排放通量追溯模型(以下简称“模型五”),针对太湖流域河道纵横交错,社会经济发展及水文过程存在显著空间差异,流域向河湖排放污染物点线众多且过程复杂,污染排放空间分布情景设计困难等问题,围绕污染入湖通量的空间排放追溯,根据太湖流域水文水动力及污染分布特征,结合水利分区及行政区划确定监控太湖全流域河网污染物排放的断面布设方案及监控分区。开展流域代表性断面污染物通量的大规模观测,研究入湖污染通量的空间分布特征及各监控分区污染物质衰减系数。采用逆推法建立入湖污染通量排放追溯计算方法,构建流域污染物入湖通量追溯模型,选择典型年份进行追溯模型验证,计算分析太湖流域各监控区间入河污染排放量的动态变化。并运行于太湖水质目标管理平台,追溯计算入太湖污染通量来源及各控制分区占比。

2.1.6 污染通量削减空间分配优化模型

污染通量削减空间分配优化模型(以下简称“模型六”),收集流域社会经济发展和水环境、水资源变化数据,开展流域河网各河段净化污染物的潜力利用程度、功能区水质状况、减排成本,以及与社会经济发展水平的关系等分析,制定人与自然和谐相处的污染通量削减分配优化原则,遴选污染通量削减分配优化的控制指标,建立污染物通量削减分配优化目标函数的定量表达式,进行污染通量削减优化的各控制指标的约束条件分析,并确定相关参数,建立污染通量削减优化方程组的数值求解方法,创建入湖污染物通量削减空间分配的多目标优化模型,并运行于太湖水质目标管理平台。选择代表性区域进行削减通量空间优化分配,开展合理性分析,校准优化模型。

2.2 模型数据需求

2.2.1 太湖藻类和水生植物对水质变化响应与水质目标模型

1. 模型输入

(1) 边界条件

- 太湖分区概化数据:分区名称、分区代码;
- 太湖格网概化数据:格网行号、格网列号;
- 太湖湖底地形概化数据:格网行号、格网列号、水深;
- 河网数据:环湖出入湖河道的流速、流量、总磷、总氮、氨氮、化学需氧量等指标项,监测周期:天。

(2) 初始条件

湖体格网初始水质数据:以格网为单位进行描述,为模型提供计算初始点水质数据,指标项主要包括:日期,总磷,总氮,氨氮,化学需氧量,亚硝酸盐,磷酸盐,碎屑氮,叶绿素 a,底泥可交换氮、磷,间隙水氮、磷、悬浮物的监测值,浮游动植物氮、磷,水生植物氮、磷,鱼类。

(3) 外部函数

太湖气象数据:以格网为单位进行描述,主要包括蒸发(天)、太阳辐射(小时)、降雨(天)、气温(天)、风速(小时)、风向(小时)等信息。

(4) 参数

➤ 湖底参数:

- 张弛系数,无量纲;
- DX—东西向水平网格步长,单位 cm;
- DY—南北向水平网格步长,单位 cm;
- AR—水平扩散系数,单位 cm^2/s ;
- RR_0 —分子扩散系数,单位 cm^2/s ;
- DT—时间步长,单位 s;

- AK_0 —卡门常数;
- AZ_0 —湖底糙度,单位 cm;
- AS_0 —湖面糙度,单位 cm;
- PPPW—水的密度;
- PPA—空气密度;
- ALatitude—湖泊所处纬度,单位度;

➤ 藻类参数:

- Algrow—藻类生长速率,单位 1/d;
- Aldeath—藻类死亡速率,单位 1/d;
- alRadioS—藻类生长半饱和光强,单位 W/m^2 ;
- alTop—藻类能够生长最适温度, $^{\circ}C$;
- alTmax—藻类能够生长最高温度, $^{\circ}C$;
- alTSita—温度影响藻类生长系数,1/ $^{\circ}C$;
- altakNHv—藻类吸收氨氮速率,单位 1/d;
- altakN₃v—藻类吸收硝酸盐氮速率,单位 1/d;
- altakPOv—藻类吸收磷酸盐磷速率,单位 1/d;
- altakSNH—藻类吸收氨氮半饱和常数,单位 mg/l;
- altakSN₃—藻类吸收硝酸盐氮半饱和常数,单位 mg/l;
- altakSPO—藻类吸收磷酸盐磷半饱和常数,单位 mg/l;
- alNmax—藻类细胞液内氮最大百分比含量,单位 gN/gW;
- alNmin—藻类细胞液内氮最小百分比含量,单位 gN/gW;
- alPmax—藻类细胞液内磷最大百分比含量,单位 gN/gW;
- alPmin—藻类细胞液内磷最小百分比含量,单位 gN/gW;
- alsink—藻类下沉速度,单位 cm/s;
- ALFLOATV—静风条件下藻类上浮速度,单位 cm/s;
- AlupWindC—风速影响藻类上浮系数,无量纲;