

# 以流域水生态承载力评估与调控支撑环境和经济协调发展



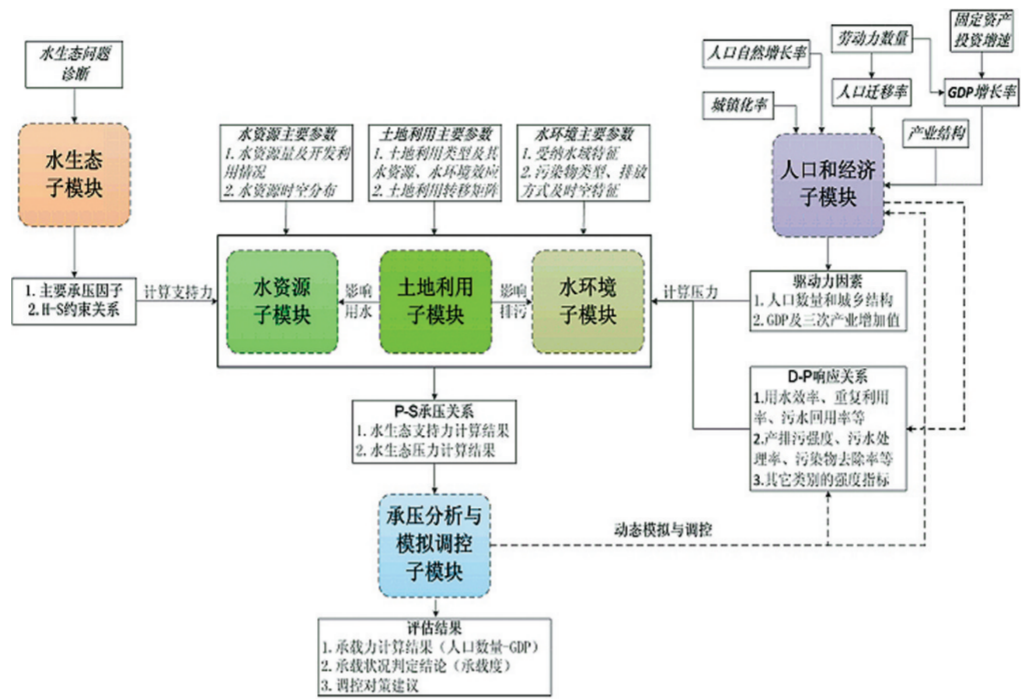
控制单元水生态承载力与污染物总量控制技术研究与示范课题现场会。

党的十八大以来,我国加快推进生态文明建设进程,提出了“绿水青山就是金山银山”、“山水林田湖是一个生命共同体”等一系列新理念新思想新战略,我国水环境保护进入了一个新的阶段。十八届三中全会《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》提出建立资源环境承载力监测预警机制,对水土资源、环境容量超载区域实行限制性措施,以此推动发展方式和模式的转变,促进水生态系统和经济系统良性循环。

2017年9月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于建立资源环境承载力监测预警长效机制的若干意见》,进一步将这个工作推向规范化、常态化、制度化。对于水环境而言,水生态承载力表征水生态系统对社会经济发展的承受和支撑能力,因此,

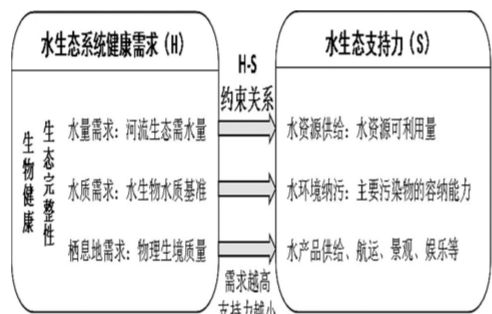
开展流域水生态承载力评估技术研究,提出基于流域水生态承载力约束的产业结构和布局优化的技术路径和对策方案,对于完善流域水环境保护和管理技术体系,落实主体功能区规划,有效规范空间开发秩序,合理控制空间开发强度,促进流域地区人口、经济和资源、环境的空间均衡发展具有重大实践指导意义。

中国环境科学研究院承担了国家水体污染控制与治理科技重大专项(以下简称水专项)课题“控制单元水生态承载力与污染物总量控制技术”研究。课题组在解析水生态承载力内涵的基础上,建立了水生态问题诊断方法,构建了水生态承载力评估模型,提出了产业结构和布局优化的技术方案,并提出了辽河流域铁岭市、太湖流域常州市水生态承载力评估与优化调控方案。



WECC-SDM模型结构框架示意图

这个课题围绕复合生态系统中的驱动因素、承接载体和受迫对象三种角色,根据水生态系统健康需求——水生态支持力约束关系、社会经济驱动力——水生态压力响应关系和水生态压力——支持力承压关系三个主要作用关系,搭建子模块之间的相互作用关系。



水生态系统健康需求——水生态支持力约束关系

水生态压力是指社会经济活动(驱动力因素)产生的水资源消耗、水污染物排放、生态空间挤占及水生态破坏的等各种压力。社会经济驱动力因素是产生水生态压力的根源,社会经济驱动力(D)与水生态压力(P)之间存在的数值关系简称为驱动力——压力响应关系(D-P响应关系)。

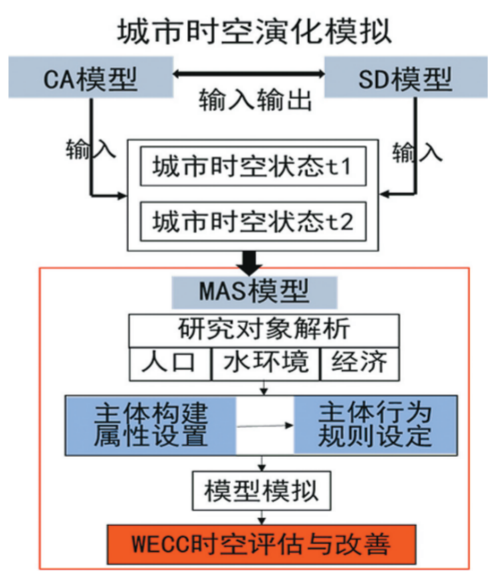
水生态承载力本质上反映的是社会经济系统与水生生态系统的承压关系,水生态压力与支持力二者之间的承压关系是衡量具体承载状况的核心内容,同时也是判定水生态承载力是否超载的重要依据。在水生态承载力评估过程中,通过社会经济驱动力——水生态压力响应关系来确定水生态压力,通过水生态系统健康需求——水生态支持力约束关系来计算水生态支持力,最后以前两个关系为基础进行水生态压力——支持力承压作用关系分析,进一步得出水生态承载力评估结论。

承压是水生态压力和支持力之间的差值或比值,反映在一定经济社会发展水平下水生态系统的压力和支持力之间的关系。采用SD模型计算水生态支持力和压力及其承压程度指数(承压比),根据水生态承载力评估技术路径输出结果是否超载的判定结论(超载、可承载),当承载程度指数大于1为超载状态,反之则为可承载状态。

在WECC-SDM模型基础上,构建了基于系统动力学模型、元胞自动机模型和多主体模型(SD-CA-MAS Model)耦合的水环境承载力

评估模型,用于水环境承载力的时空评估,从而揭示水环境承载力的时空格局。通过研究方法及其研究尺度的改进与创新,提高水环境承载力理论的可用性,实现水环境承载力理论不单能服务于管理,还能直接服务于以水环境质量改善为核心的产业、人口及土地利用、排污口等结构升级与布局优化方面的需求应用。

通过系统动力学模型(SD)、元胞自动机模型(CA)的耦合,开展水环境承载力的时空评估,SD模型采用VENSIM软件,CA模型采用SLEUTH模型,耦合模型示意图如下。系统动力学模型输出未来的人口、经济及污染排放变化趋势,元胞自动机模型输出未来的土地利用变化趋势,结合GIS网格化技术,从而揭示未来的水环境承载力时空变化格局。



系统动力学与元胞自动机耦合的水环境承载力时空评估模型示意图

通过搭建SD模型与CA模型的数据输入输出的接口建立耦合模型,CA模型主要模拟在多种因素驱动下的土地利用变化,并将输出的土地利用变化数据用来驱动SD模型运行,而SD模型输出的GDP、人口、城市面积增长率等数值则用来驱动CA模型运行。

在耦合模型输出结果基础上,基于土地利用数据,采用GIS网格化技术对每个格网的污染物排放系数、人口系数及三大产业系数进行赋值,从而实现污染物排放、人口及经济的空间格局的表达。

## 关注三 提出产业结构和布局优化调控的对策方案

这个课题在研究水资源、水环境和产业结构耦合机制基础上,构建了“产业结构优化情景方案设计——基于系统动力学的情景方案评估模型——情景方案模拟与优选——产业结构调控对策”的产业结构优化路线图和方法学框架。

首先,设计了基于产业发展规划和趋势的产业结构情景方案,依据相关规划和标准分别设计节水方案和污染物控制方案;将三类要素情景方案进行排列组合形成产业结构优化情景方案集。其次,基于水资源、水环境和产业结构的耦合关系,构建包含资源环境子系统、经济社会子系统和治理费用子系统的产业结构优化系统动力学模型。第三,建立以可利用水量和最大允许排放入河量为约束条件的情景方案比选判断,依此为依据进行情景方案比选,确定符

合约束条件的情景方案;采用投影寻踪法对比选所得的情景方案进行优选,确定最优化的产业结构优化情景方案并进行可行性评估。最后,针对最优产业结构优化情景方案提出调控对策。

在研究水资源、水环境和产业布局耦合机制基础上,以化学需氧量容量和氨氮容量表征水环境约束指标,以水资源可利用量表征水资源约束指标,对研究区域进行水生态约束分区,分为水生态约束高区、水生态约束中区、水生态约束低区。

这个课题分析了各类约束区产业布局演变情况,并采用承压度指标(水资源承压度和水环境承压度)对各类约束区内现状产业发展对水资源和水环境的影响进行分析,提出了不同约束区产业布局优化的方向和对策。

本版撰稿:傅泽强 雷坤 鄂娜 杨俊峰 周锡尧 乔飞 刘晓星

## 关注四 以铁岭市和常州市为案例开展示范应用研究

这个课题对辽河流域铁岭市承载力评估结果显示,基于铁岭市水生态问题诊断和主要因子承压关系,计算现状水生态承载力为1.52,现状判定结果为超载。

课题提出对产业结构优化方案及对策,在最优情景方案中,铁岭市2020年经济总量为1184亿元,年均增长率为5.3%。三产结构从2014年的23.9:41.7:34.4调整为21.6:36.6:41.8。从节水指标看,最优方案的单位GDP用水量明显下降,从污染治理调控指标看,表现出铁岭市环境友好性增强,体现工业和农业清洁生产水平的提高,单位产值COD排放量为40吨/亿元,符合国家生态建设标准,在可达范围之内。并依据产业结构方案,节水方案和污染物控制方案中的调控指标提出相对应的调控对策。

课题提出产业布局调控方案,常州市水生态约束分区:水生态约束高区(城区)、水生态约束中区(溧阳市)、水生态约束低区(金坛市)。

2014年水生态约束低区的水资源承载力超载,水环境容量超载,这类区域产业布局优化的重点是进行减量置换,扩容提质、增效。进一步淘汰落后产能,严格产业准入,进一步提高区域的经济活动效率和主导产业水资源利用效率,控制氨氮排放强度;水生态约束中区的水资源承载力和水环境容量均未超载,这个区域产业布局优化的重点是提高区域的水资源承载力,提高高附加值、层次高的产业。在开发过程中加强水资源、水环境的保护,确保用水量在水资源可利用量范围内, COD、氨氮的排放量不超过区域的环境容量。充分发挥山水生态优势,努力建成南京都市圈和苏锡常都市圈的后花园;水生态约束高区的水资源承载力和水环境容量均未超载,这类区域产业布局优化的重点是严格产业环境准入,淘汰经济效率低、水生态影响大的行业企业,强化新建项目总量控制和排污许可证制度等从源头上控制新增污染物排放,确保用水量在这个区域的水资源可利用量范围内, COD、氨氮排放量在水环境容量内。

这个课题围绕水生态功能分区的保护目标,以水生态系统健康需求为约束条件,以水生态问题诊断和承压关系分析为主线,建立了水生态承载力动态、时空评估模型。在水生态承载力评估的基础上,提出了产业结构和产业布局优化的方法,并在辽河流域铁岭市和太湖流域常州市进行了技术应用。

课题产出的水生态承载力评估及调控技术是建立资源环境承载力监测预警长效机制的必然途径,也是助推流域绿色发展和生态文明建设的有效抓手。

太湖流域常州市承载力评估结果显示,常州市整体的2010年的水环境承载力处于超载情况,2025年超载趋势加重,到2050年水环境承载力处于可承载状态。但从空间格局上分析,如2010年,存在整体超载,但局部可承载的情况,如控制单元4、7、8、12及13,同时2050年总体水环境承载力可承载情况下,控制单元1、2、5、6、7、9及11均存在不同程度的超载情况。

课题提出,在最优方案下,常州市2020年的经济总量达到7400亿元,年均增长率为7.1%,三次产业结构调整为2:44:54。

研究区	控制单元	水环境容量	COD 排放 (t)			水环境承载力(t)		
			2010	2025	2050	2010	2025	2050
溧阳	1	1,984	3,754	3,809	2,630	1,770	1,825	646
	2	4,280	4,974	6,705	6,600	694	2,425	2,320
	3	1,748	1,754	2,215	1,515	6	467	-233
	4	1,109	77	143	101	-1,032	-966	-1,008
	5	526	2,042	1,156	998	1,516	630	382
金坛	6	4,944	7,316	7,229	5,691	2,372	2,285	747
	7	847	741	1,736	1,122	-1,06	889	275
	8	13,821	11,710	11,233	7,945	-2,111	-2,588	-5,876
市区	9	1,055	4,396	5,624	4,215	3,341	4,569	3,160
	10	1,974	2,283	1,600	1,039	309	-374	-935
	11	3,882	6,460	6,768	4,500	2,578	2,886	618
	12	2,343	2,007	999	627	-336	-1,344	-1,716
	13	1,583	732	924	472	-851	-659	-1,111
合计		40,097	48,247	50,141	37,365	8,150	10,044	-2,732

常州市水环境承载力变化



课题组成员进行现场监测与记录。