

北京大学学报(自然科学版)
Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis
doi: 10.13209/j.0479-8023.2015.095

城市新区环境规划的“响应-调控”模型研究

都小尚^{1,2} 阳平坚² 盛虎³ 刘慧² 郭怀成² 刘永^{2,†} 于鲁冀⁴

1. 郑州市环境保护科学研究所, 郑州 410100; 2. 北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871; 3. 南京大学环境学院, 南京 210093; 4. 郑州大学水利与环境学院, 郑州 450001; † 通信作者, E-mail: yongliu@pku.edu.cn

摘要 针对城市新区社会经济环境系统所具有的整体性、不确定性、综合性和动态性特点,构建了不确定性的新区社会经济环境系统“响应-调控”模型,包括 4 个关键步骤:系统动态响应模拟;情景分析与评价;优化调控模型构建;决策偏好与优化调控方案生成。设计 3 个子情景来比较分析不同新区发展模式下的环境压力,包括经济结构调整型发展情景(I)、资源环境约束型发展情景(II)、资源环境协调型发展情景(III)。以郑州新区为例开展实证研究,结合情景分析和决策者偏好,对新区规划实施所产生的社会经济发展及环境压力响应进行模拟预测。模型结果显示,新区 COD 排放量将由 2008 年的 19693 t/a 提高到 2020 年的 33806 t/a;在未来偏好现代装备制造业和高新技术产业的情景下,相同环境容量条件下能产生更高的工业总产值,相同工业产值条件下可减少污染物的排放和水资源的消耗。

关键词 社会经济环境系统;情景;优化;决策偏好;郑州新区

中图分类号 X321

An Integrated Simulation and Optimization Modeling Approach for Environmental Planning in New Urban Areas

DU Xiaoshang^{1,2}, YANG Pingjian², SHENG Hu³, LIU Hui², GUO Huaicheng², LIU Yong^{2,†}, YU Luji⁴

1. Zhengzhou Institute of Environmental Sciences, Zhengzhou 410100; 2. College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871; 3. School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093; 4. School of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001; † Corresponding author, E-mail: yongliu@pku.edu.cn

Abstract Based on the holistic, integrated and dynamic characteristics of new urban areas, the uncertainty-based scenario optimization method was used, combined with the preferential decision-making of the industrial development, to stimulate the areas' socio-economic and environmental system. Four steps were involved in the proposed modeling framework, including (a) systematic response modeling; (b) scenarios analysis and evaluation; (c) optimal model development; and (d) final decision schemes determination. Three scenarios were designed according to the socio-economic development, emissions of major pollutants and the main constraint resources consumption. A case study in Zhengzhou New District, Henan Province was carried out and optimized socio-economic development scheme was proposed. The model results show that the COD discharge will increase from 19693 t/a in 2008 to 33806 t/a in 2020.

Key words social economy and environment system; scenario; optimization; preferential decision-making; Zhengzhou New District

自 20 世纪 90 年代中期以来,城镇化已成为引领中国社会经济快速发展的重要支撑。尤其是近年来,城市新区建设被各地决策部门认为是进一步提

高城镇化率和社会经济发展水平的重要载体,如:无锡、兰州、郑州、太原等,均在建或拟建城市新区。在快速的工业化和城市扩张下,到 2012 年底,

中国的城镇化率已达 52.57%^[1]。在这一进程中,城市人口的急剧增加和城市用地的快速扩张带来严重的“城市病”,对资源、生态、环境、公众健康等方面造成严重的胁迫和干扰^[2-3]。因此,如何在城市新区规划和建设的初期,判断分析新区的社会经济发展及环境响应并开展优化调控研究,就成为新区环境规划的重要内容。

与已经开发的老城区不同,新区的产业布局和土地利用尚在规划之中,对其开展预防性研究,将为从源头解决城市社会经济发展与资源环境的矛盾提供预防途径,并有效降低环境风险,节约后期的环境治理投资^[4]。但在新区的社会-经济-环境系统分析中,由于新区特殊的发展阶段,其发展进程受制于多方面的因素影响,存在极大的不确定性^[5]。同时,区域内的社会、经济和环境系统间相互作用,任一子系统的变化均会导致系统内部及系统对外界环境干扰的响应发生变化。为此,必须要对系统的不确定性、动态性和综合性进行有效的表征。具体而言,不确定性的根源在于动态性^[6],由于新区大多处于规划和开放的初期,其发展模式会随着时间的推移而发生变化,而某些变化是事先无法精确预料的。在方法上,城市(区域)环境规划的研究经历了由简单定性和单项技术方法尝试发展到多项方法耦合集成应用阶段^[7-18];在国际上,不确定性优化

技术在环境规划中得到广泛的应用^[19-23]。但针对新区的不确定性社会经济环境系统响应分析和优化调控的研究较为少见。

本文以郑州新区为例,采用系统模拟和情景优化相结合的方法,分析和预测新区社会经济发展与环境污染间的响应关系,并辅以决策偏好,提出符合资源环境与社会经济协调发展的优化调控方案,从而为环境决策提供科学依据。

1 新区社会-经济-环境系统“响应-调控”模型构建

城市新区开发面对的是一个社会、经济、政策、环境等众多因素相耦合的复杂系统,具有综合性、复杂性和动态性的特征。对这样一个复杂系统进行规划,必须充分考虑到各系统间及系统内部的相互关联,分析各组分之间的因果关系,建立符合实际情况的因果链及动态反馈环,构建适当的模型^[4]。因此如何对区域环境系统及区域经济发展间的关系进行定量研究和仿真模拟,逐时段地展现出系统内部多变量之间相互作用、相互影响的动态行为,提出生态环境对经济发展较高支撑能力的方案,从而协调规划区内各系统之间的关系,一直是规划制定者和决策者面对的一个难题。为解决上述问题,本文提出 4 个关键步骤: 1) 系统动态响应模拟;

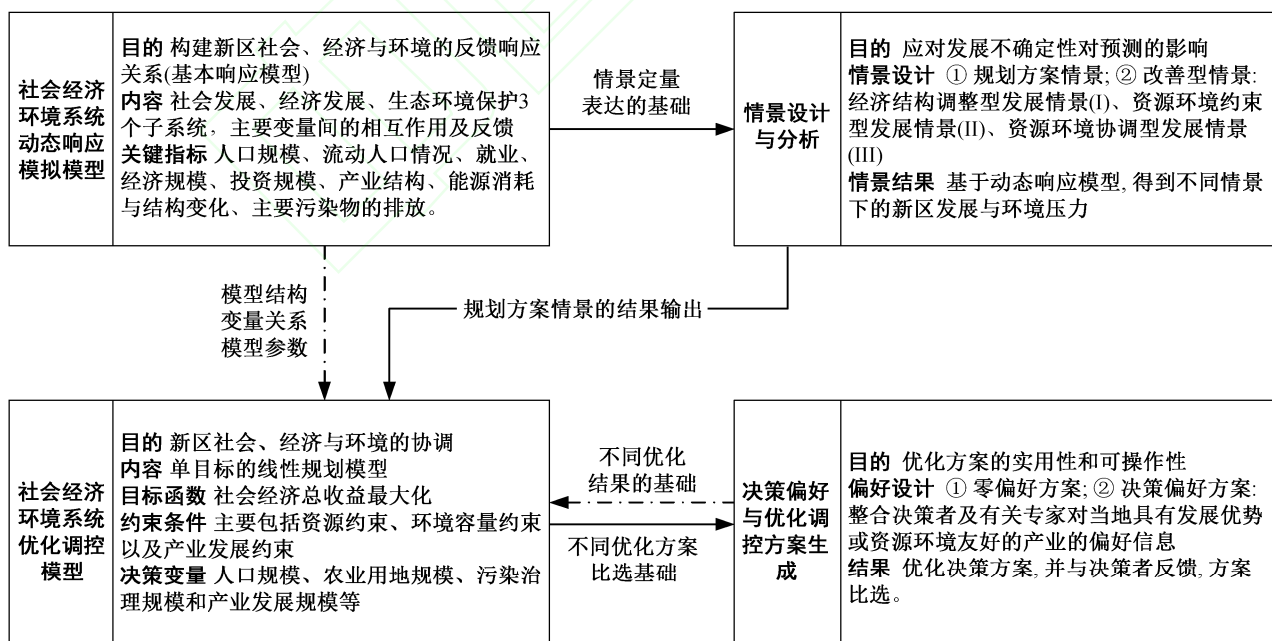


图 1 新区社会经济环境系统“响应-调控”模型

Fig. 1 Methodology framework

2) 情景分析与评价; 3) 优化调控模型构建; 4) 决策偏好与优化调控方案生成(图 1)。

1.1 新区社会-经济-环境系统动态响应模拟模型

以新区产业发展规划及城市总体规划为基础, 以系统动力学(SD)方法为核心, 构建社会-经济-环境系统动态响应模拟模型。模型主要涵盖 3 个子系统: 社会发展、经济发展、生态环境保护, 利用人口与资源、人口与环境、人口与产业、产业与资源、产业与环境等的相互作用及反馈环来表征现实系统中各变量之间的相关关系, 通过对关键变量的识别、分析和调整, 预测新区社会经济系统的演化规律及环境响应^[6]。其中, 社会发展子系统的指标为人口规模、流动人口情况、就业状况; 经济发展子系统的指标为经济发展规模、投资规模及分配、产业结构与发展状况; 生态环境保护子系统的指标为能源消耗与结构变化、主要污染物的排放总量。模型对应的主要压力响应变量为: 资源消耗、主要环境污染物产生量、排放量及变化规律; 其响应指标为绿地等生态设施的建设面积、主要环境污染治理设施的投资等。

1.2 情景设计与分析

由于新区发展的不确定性, 无法在预测时对其未来的变化情况做出精确预测, 为此, 可以采用情景分析的方法来处理由于不确定性对未来预测带来的问题^[24-25]。通常, 情景设计可分为两类: 规划方案情景、改善型情景。在改善型情景中, 为了体现不同的社会经济发展与环境目标导向, 将其分为 3 个子情景: 经济结构调整型发展情景(I)、资源环境约束型发展情景(II)、资源环境协调型发展情景(III), 其中前两个情景分别体现发展优先和环境优先, 第 3 个情景更关注二者间的平衡。在社会-经济-环境系统动态响应模拟模型校正和验证的基础上, 从模型中筛选出敏感性较高且能反映不同情景间差异的核心参数, 并通过对参数的合理变换来模拟不同情景下的结果, 比较分析不同新区发展模式下的环境压力。

1.3 新区社会-经济-环境系统优化调控模型

动态响应模拟模型的目的在于提供未来不同发展情景下的区域经济规模、产业结构及环境压力, 分析可能遇到的环境问题。在此基础上, 依据响应

模型确立的模型结构、不同变量间的关系及基本参数值, 构建新区社会-经济-环境系统优化调控模型。在本文中, 基于规划方案情景的输出结果, 确立单目标的线性规划模型, 主要包括目标函数、约束条件和决策变量 3 个部分。其中, 目标函数主要是以社会经济总收益最大化为目标, 约束条件主要包括资源约束、环境容量约束以及产业发展约束 3 部分, 决策变量包括不同发展阶段中有关行为的规模, 如: 人口规模、农业用地规模、污染治理规模和产业发展规模等(图 2)。在本文建立的模型框架中, 情景分析中包含决策过程, 而优化调控中则同时包括决策和不确定性, 但二者之间有根本的区别。情景分析主要反映系统自身的发展惯性及其在不同的已知调控途径下的变化状况, 而优化调控的情景主要反映决策偏好, 因此更多考虑在强环境、资源约束下, 新区未来应该如何发展。

将新区的发展规划年限划为 m 个阶段, 设待选行业有 g 个, 则新区社会经济环境系统优化模型^[6]如下。

1) 目标函数:

$$\begin{aligned} \max F = & \sum_{j=1}^m (NY_j \cdot AB_j \cdot AG_j) + \sum_{j=1}^g \sum_{k=1}^g (NY_j \cdot IN_{jk}) \\ & - \sum_{j=1}^m (NY_j \cdot WDC_j \cdot WDM_j) - \sum_{j=1}^g (NY_j \cdot SO_2C_j \cdot SO_2M_j) \\ & - \sum_{j=1}^m (NY_j \cdot PM_{10}C_j \cdot PM_{10}M_j) - \sum_{j=1}^m (NY_j \cdot NOxC_j \cdot NOxM_j) \\ & - \sum_{j=1}^m (NY_j \cdot SWC_j \cdot SWM_j) \end{aligned} \quad (1)$$

2) 约束条件:

水资源供需

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot WRIN_{jk}) + AG_j \cdot GWR_j + \\ & P_j \cdot LWR_j + EWR_j - RWR_j \leqslant AWAT_j \end{aligned} \quad (2)$$

污水排放量

$$\sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot WDIN_{jk}) + P_j \cdot LWD_j \leqslant WDM_j \quad (3)$$

$$WDM_j \leqslant MAXWDM_j \quad (4)$$

COD 排放量

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot CODIN_{jk}) + P_j \cdot LCOD_j + AG_j \cdot GCOD_j \\ & - CODM_j \cdot REMCOD_j \leqslant MAXCOD_j \end{aligned} \quad (5)$$

氨氮排放量

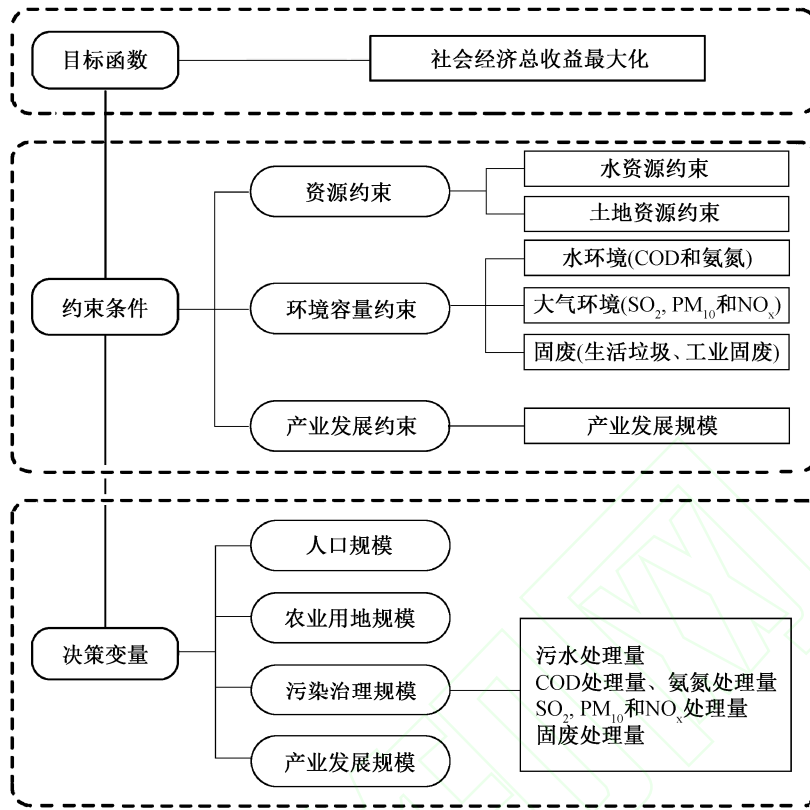


图 2 新区社会经济环境优化调控模型结构

Fig. 2 Framework for optimal modeling

$$\sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot NH_4N_{jk}) + P_j \cdot LNH_4N_j + AG_j \cdot GNH_4N_j - NH_4NM_j \cdot REMNH_4N_j \leq MAXNH_4N_j \quad (6)$$

SO₂ 排放量

$$\sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot SO_2IN_{jk}) + NPSO_{2j} + OPSO_{2j} - SO_2M_j \cdot REMSO_{2j} \leq MAXSO_{2j} \quad (7)$$

PM₁₀ 排放量

$$\sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot PM_{10}IN_{jk}) + NPPM_{10j} + OPPM_{10j} - PM_{10}M_j \cdot REMPM_{10j} \leq MAXPM_{10j} \quad (8)$$

NO_x 排放量

$$\sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot NO_xIN_{jk}) + NPNO_{xj} + OPNO_{xj} - NO_xM_j \cdot REMNO_{xj} \leq MAXNO_{xj} \quad (9)$$

固体废物产生量

$$\sum_{k=1}^g (IN_{jk} \cdot SWIN_{jk}) + P_j \cdot LSW_j \leq \frac{SWM_j}{(1 - REMSW_j)} \quad (10)$$

农业土地利用

$$AG_j \geq MINAG_j, AG_j \leq MAXAG_j \quad (11)$$

第二产业发展规模约束

$$IN_{jk} / \sum_{k=1}^g IN_{jk} \geq INRMIN_{jk}, IN_{jk} / \sum_{k=1}^g IN_{jk} \leq INRMAX_{jk} \quad (12)$$

人口约束

$$P_j \geq MINP_j, P_j \leq MAXP_j \quad (13)$$

技术约束

$$IN_{jk} \geq 0, AG_j \geq 0, P_j \geq 0 \quad (14)$$

其中: $j=1, 2, \dots, m$, 为年限阶段; $k=1, 2, \dots, g$, 为行业; AB_j 为 j 阶段农业单位面积产值($\text{¥}10^4/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$); AG_j 为 j 阶段农业面积(km^2); $AWAT_j$ 为 j 阶段可用的水资源总量(10^4t); $CODM_j$ 为 j 阶段 COD 的处理量(t/a); $CODIN_{jk}$ 为 j 阶段 k 行业单位产值 COD 排放量(t/a); EWR_j 为 j 阶段环境用水量(10^4t); $GCOD_j$ 为 j 阶段单位面积农田 COD 排放量(kg/km^2); GNH_4N_j 为 j 阶段单位面积农田氨氮排放量(kg/km^2); GWR_j 为 j 阶段农业用水量(10^4t); IN_{jk} 为 j 阶段第 k 种行业产值($\text{¥}10^4/\text{a}$); $INRMAX_{jk}$ 为 j 阶段 k 行业发展规模上限(%); $INRMIN_{jk}$ 为 j 阶段 k 行业

发展规模上限(%); $LCOD_j$ 为 j 阶段居民人均污水 COD 排放量($\text{kg}/(10^4 \text{人} \cdot \text{a})$); LNH_4N_j 为 j 阶段居民人均污水氨氮排放量($\text{kg}/(10^4 \text{人} \cdot \text{a})$); LSW_j 为 j 阶段居民人均生活垃圾排放量($\text{kg}/(10^4 \text{人} \cdot \text{a})$); LWD_j 为 j 阶段居民人均污水排放量($10^4 \text{t}/(10^4 \text{人} \cdot \text{a})$); LWR_j 为 j 阶段居民大生活人均需水量($10^4 \text{t}/(10^4 \text{人} \cdot \text{a})$); $MAXAG_j$ 为 j 阶段农业最大耕地面积(km^2); $MAXCOD_j$ 为 j 阶段 COD 最大容许排放量(t); $MAXNH_4N_j$ 为 j 阶段氨氮最大容许排放量(t); $MAXNO_{xj}$ 为 j 阶段 NO_x 最大容许排放量(t); $MAXP_j$ 为 j 阶段居民人口最大数量($10^4 \text{人}/\text{a}$); $MAXPM_{10j}$ 为 j 阶段 PM_{10} 最大容许排放量(t); $MAXSO_{2j}$ 为 j 阶段 SO_2 最大容许排放量(t); $MAXWDM_j$ 为 j 阶段最大的污水处理量(t/a); $MINAG_j$ 为 j 阶段农业最少耕地面积(km^2); $MINP_j$ 为 j 阶段居民人口最小数量($10^4 \text{人}/\text{a}$); NH_4NIN_{jk} 为 j 阶段 k 行业单位产值氨氮排放量(t/a); NH_4NM_j 为 j 阶段 NH_4 的处理量(t/a); NO_xC_j 为 j 阶段 NO_x 单位处理费用($\text{¥} 10^4/\text{a}$); NO_xIN_{jk} 为 j 阶段行业 k 单位产值 NO_x 排放量(t/a); NO_xM_j 为 j 阶段 NO_x 处理量(t/a); NPNO_{xj} 为 j 阶段非点源 NO_x 排放量(t); NPPM_{10j} 为 j 阶段非点源 PM_{10} 排放量(t); NPSO_{2j} 为 j 阶段非点源 SO_2 排放量(t); NY_j 为第 j 阶段长度(a); OPNO_{xj} 为 j 阶段其他点源 NO_x 排放量(t); OPPM_{10j} 为 j 阶段其他点源 PM_{10} 排放量(t); OPSO_{2j} 为 j 阶段其他点源 SO_2 排放量(t); P_j 为 j 阶段居民人口总量(10^4人); $\text{PM}_{10}C_j$ 为 j 阶段 PM_{10} 单位处理费用($\text{¥} 10^4/\text{a}$); $\text{PM}_{10}IN_{jk}$ 为 j 阶段行业 k 单位产值 PM_{10} 排放量(t/a); $\text{PM}_{10}M_j$ 为 j 阶段 PM_{10} 处理量(t/a); REMCOD_j 为 j 阶段 COD 处理去除率(%); REMNH_4N_j 为 j 阶段氨氮处理去除率(%); REMNO_{xj} 为 j 阶段 NO_x 处理去除率(%); REMPM_{10j} 为 j 阶段 PM_{10} 处理去除率(%); REMSO_{2j} 为 j 阶段 SO_2 处理去除率(%); REMSW_j 为 j 阶段固体废物处理处置率(%); RWR_j 为 j 阶段中水回用量(10^4t); SO_2C_j 为 j 阶段 SO_2 单位处理费用($\text{¥} 10^4/\text{a}$); SO_2IN_{jk} 为 j 阶段行业 k 单位产值 SO_2 排放量(t/a); SO_2M_j 为 j 阶段 SO_2 处理量(t/a); SWC_j 为 j 阶段固体废物单位处理费用($\text{¥} 10^4/\text{a}$); SWIN_{jk} 为 j 阶段 k 行业单位产值固体废物排放量(t/a); SWM_j 为 j 阶段固体废物处理量(t/a); WDC_j 为 j 阶段污水单位处理费用($\text{¥} 10^4/\text{a} \cdot \text{t}$); WDIN_{jk} 为 j 阶段 k 行业单位产值污水排放量($10^4 \text{t}/\text{a}$); WDM_j 为 j 阶段污水处理量(t/a); WRIN_{jk} 为

j 阶段 k 工业行业单位产值需水量($10^4 \text{t}/\text{a}$).

1.4 决策偏好与优化调控方案生成

在优化调控模型求解过程中,为使优化方案更具实用性和可操作性,在本研究中引入决策偏好,主要包括 2 种。零偏好方案:不考虑决策者偏好的前提下,仅从系统本身的环境经济相互作用关系及规划设计的发展情景出发,以系统的环境和经济发展的自然均衡为目标,对模型进行分析和求解;决策偏好方案:考虑到当地社会经济环境实际状况,将决策者及有关专家对当地具有发展优势或资源环境友好的产业的偏好信息整合到了模型中进行求解,然后生成优化备选方案并反馈给决策者。

2 案例:郑州新区社会经济环境系统优化分析

2.1 案例区域特征与模型需求分析

本研究的案例区域为郑州新区,包括郑东新区、郑州经济技术开发区、郑州国际航空港区及中牟县,总面积 1840 km^2 。规划基准年为 2008 年,期限为近期 2015 年、中远期 2020 年^[26]。根据规划,新区是在原来除郑州市区和中牟县已有建成区外、开发程度较低的区域进行大规模产业化和综合性开发建设。郑州新区的发展定位是中原城市群农业现代化、新型工业化、城镇化“三化”协调的科学先导示范区。郑州新区发展的社会目标是 2020 年人口达到 394 万;主要经济目标是 GDP 达到 3940 亿元;环境目标是建设成为环境优美宜居区、现代复合型新区和生态城区^[26]。规划同时提出,通过构建国家特色现代服务业基地、高端先进制造业基地和生态农业示范基地,将新区建设成城乡产业协同联动、共生共荣、生态发展的产业集聚区。在郑州新区,先进制造业是其传统优势产业,具备良好的发展基础和产业聚集条件;而高新技术产业在电子信息、超硬材料及机械等领域内优势明显,并具备产业链向上下游延伸的条件。区域的社会经济发展模式将随着政策导向、技术进步和发展过程而被改变或调整,进而间接对环境产生不可避免的影响。根据分析,郑州新区发展面临的重要制约因素是:大气环境和水环境污染短期内呈加重趋势,水环境容量和大气环境容量十分有限,资源和生态环境约束压力加大,经济社会发展与资源环境的矛盾将日益突出。因此,需要科学、合理的预测区域社会经济发展状况,在人口、资源、环境等约

束条件下,最大限度优化调控区域社会经济发展和生态环境,从而实现郑州新区的发展定位和目标。

2.2 社会-经济-环境系统动态响应的模拟结果

基于以 SD 为基础构建的社会-经济-环境系统动态响应模拟模型,依据郑州市第一次全国污染源普查、郑州市环境统计及郑州市统计年鉴确定模型参数^[27],并开展模型敏感性分析和校正、验证,在此基础上模拟郑州新区在未来的发展变化和环境压力响应。限于篇幅,在此不再细述。按照规划方案,2020 年郑州新区人均 GDP 将达到 10 万元,第三产业比重达到 50%以上。根据郑州新区总体规划分析的产业发展规律和确定的产业发展优先名录、产业结构,工业化的初期第二产业发展迅速,占 GDP 的比重将大幅上升,而工业化的中后期第三产业则会有较快发展并成为区域经济的主体。基于此,本研究模拟的新区 GDP2015 年和 2020 年将分别达到 1910 亿元和 3944 亿元,其中,二产比重将在 2015 年达到最高值约 60%,之后逐步下降到 2020 年的 40%;第二产业增加值的规模则保持稳步提升的趋势,到 2020 年将达到约 1600 亿元。随着工业发展速度的放缓,第三产业的比重呈现出先降低后提高的态势。

产业的快速发展和人口的增长增加了污染物的产生,对区域环境质量造成一定的压力。根据预测,新区 COD 排放量将由 2008 年的 19693 t/a 提高到 2020 年的 33806 t/a,年均增长 4.6%。其中,工业的 COD 排放量增长速度最快,年均增速高达 18.9%,而生活 COD 排放量由于人口增加和处理水

平的上升而呈现出先增加、后减少的趋势。同时,随着技术改进和产业结构调整,万元产值的 COD 排放量将在 2015 年之后下降。新区氨氮排放量将由 2008 年的 1931 t/a 提高到 2020 年的 2590 t/a,年均增长 4.4%。其中,工业的氨氮排放量增长速度很快,年均增速高达 19.6%,而生活氨氮排放量则略有下降,但后者仍是区域氨氮排放的主要来源,占氨氮排放总量的比重由 95%降至 73%。规划方案下的人口、水资源需求及其他主要污染物的排放量如表 1 所示。

2.3 社会-经济-环境系统优化调控模型结果

在建立郑州新区社会经济环境系统优化调控模型时,考虑其在先进制造业和高新技术产业方面的发展需求,从而在资源和环境约束的条件下,实现社会经济的最优化。在本研究中,将对这 4 类工业行业在零偏好和决策偏好 2 种条件下、2 个规划阶段内分别加以优化分析。并在此前提下,建立优化模型。将 SD 模型所确定的初始参数和相关数据输入优化模型,对模型进行交互式求解。因篇幅所限,本文无法列出全部的优化结果,仅对郑州新区的产业结构, COD, 氨氮, SO₂, NO_x, 固体废弃物, PM₁₀ 和水资源等的优化结果进行分析(表 2 和图 3)。

2.4 结果解译与讨论

选择模型结果中的产业结构、COD 排放和水资源配置结果进行分析。

2.4.1 产业结构优化分析

就总产值而言,由表 2,零偏好方案的近、远期比决策偏好方案要低很多。具体到产业类型,新

表 1 郑州新区各情景下的预测结果
Table 1 Prediction results under different scenarios

情景	年份	总人口/ (10 ⁴ 人)	总需水量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	污染物排放总量/(t·a ⁻¹)		
				SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
规划方案情景	2008	108	46184.76	3768.31	3676.11	6021.40
	2015	275	79489.00	16934.40	17243.20	19983.50
	2020	395	108129.10	29544.30	30207.00	33128.00
改善型情景 I	2015	258	59339.60	14732.80	14729.90	18648.30
	2020	370	60198.90	21250.10	24879.00	26617.40
改善型情景 II	2015	275	55308.90	12835.30	13760.20	15856.90
	2020	394	57448.20	19912.80	20575.40	23322.70
改善型情景 III	2015	275	51840.10	11434.40	11478.30	14991.40
	2020	394	49636.70	13140.70	15572.60	17293.90

表 2 郑州新区社会经济环境系统优化结果
Table 2 Model results under different scenarios and periods

优化项目	决策偏好方案			
	近期零偏好	近期决策偏好	远期零偏好	远期决策偏好
行业产值/万元	农业	3089220	3089220	6393937
	新型食品加工业	4456742	5601398	11237214
	现代装备制造业	9804831	13653408	31036116
	高新技术产业	4991551	10502621	24079745
	其他产业	5526360	5251311	8026582
污水排放量/(t·a ⁻¹)	生活污水	120304223	120304223	226042504
	新型食品加工业	15104332	18983685	32890742
	现代装备制造业	12867940	17918842	35640542
	高新技术产业	6247603	13145456	25521292
	其他产业	318022902	302194793	398528919
氨氮排放量/(t·a ⁻¹)	生活点源	2493	2493	1720
	新型食品加工业	105	132	236
	现代装备制造业	9	13	26
	高新技术产业	22	46	89
	其他产业	473	450	763
	氨氮处理量	2930	2965	2490
NOx排放量/(t·a ⁻¹)	新型食品加工业	1477	1856	3723
	现代装备制造业	6968	9703	22057
	高新技术产业	338	712	1633
	其他产业	6083	5781	8836
	生活源	8224	8224	18754
	锅炉	319	319	319
固体废物排放量/(t·a ⁻¹)	生活垃圾	9264	9264	14112
	新型食品加工业	1979	2488	4991
	现代装备制造业	1291	1798	4087
	高新技术产业	106	223	511
	其他产业	297359	282559	431889
	垃圾处理量	309999	296331	455590

型食品加工业所占工业总产值的比重并不太高,在近期和远期分别为 18.0%和 15.1%,从长远看呈下降趋势,对环境的影响相对较小(图 3)。现代装备制造业是新区重点发展的行业,其近期和远期占工业总产值的比重分别为 39.6%和 41.7%。高新技术产业具有能耗低、资源消耗少、环境污染小的竞争优势,其近期和远期所占工业总产值的比重比较高,分别为 20.1%和 32.4%。从长远来看,高新技术产

业具有高速发展的潜力。而其他产业相对而言就是那些高能耗、水耗和高污染的行业。但在郑州新区建设的初期,这些行业已经具备一定的规模。从零偏好方案计算的结果上看,其他产业在近期和远期内占工业总产值的比重分别为 22.3%和 10.8%。虽然这些落后的产业会逐步淘汰掉,但在零偏好方案下,退出的速度较慢,因此可以通过加快淘汰落后产业从而实现产业结构的最优化、工业产值的最大

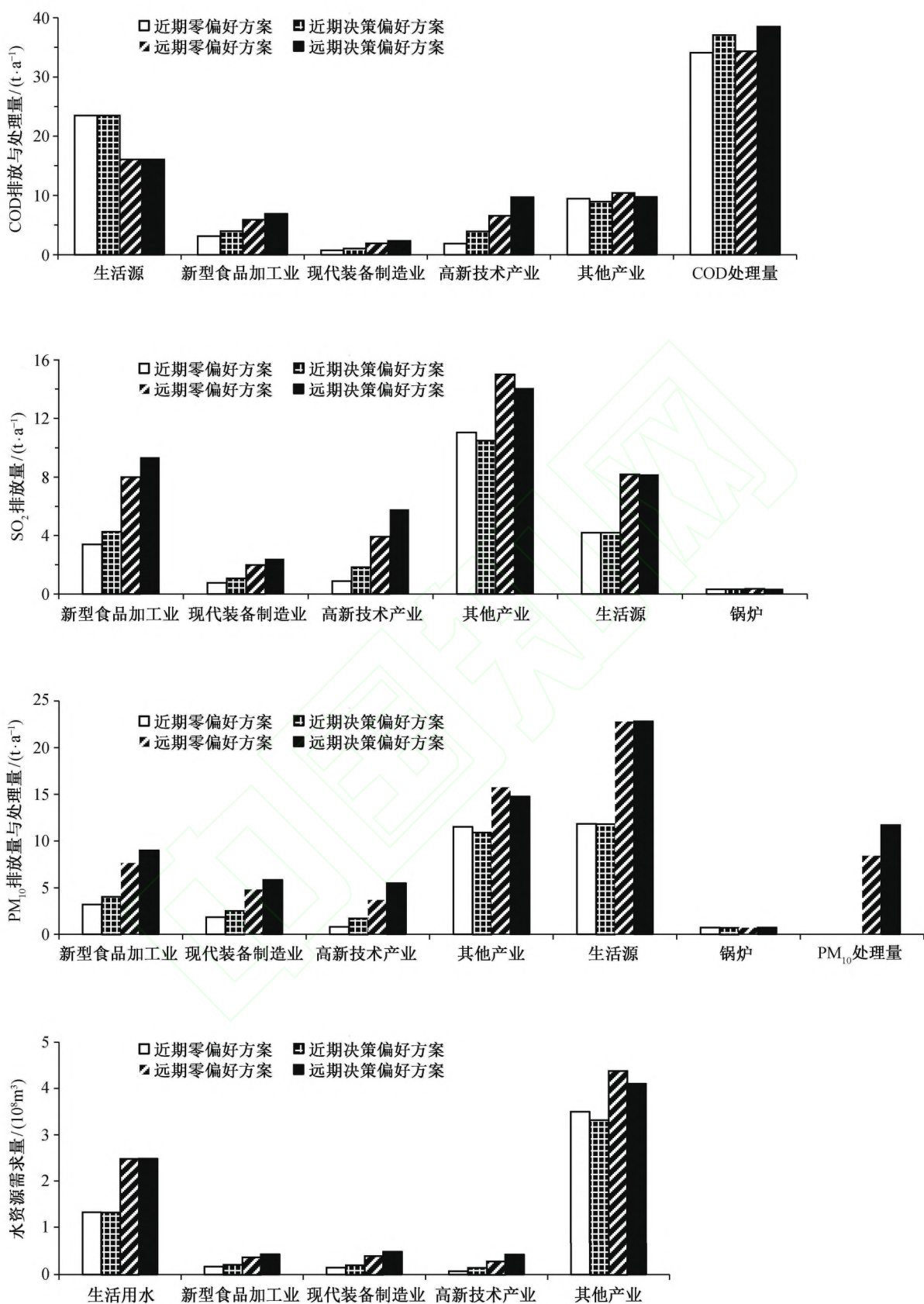


图 3 郑州新区社会经济环境优化结果

Fig. 3 Optimization results

化和环境污染与损害的最小化。对于决策偏好方案条件下,新型食品加工业在近期和远期内所占工业总产值的比重比原来要小,分别降为 16.0%和 14.0%,可见决策偏好方案下的工业总产值要高于零偏好方案下的工业总产值。现代装备制造业在决策偏好方案有较大的发展,但其在近期占工业总产值的比重却略有下降,分别为 39.0%和 40.0%。高新技术产业由于决策偏好,在近期和远期占工业总产值的比重由原来的 20.1%和 32.4%上升到 30.0%和 38.0%。在有限的资源和环境容量及承载力下,应大力发展高新技术产业。其他产业由于高能耗、高水耗和高污染的特性,在决策偏好方案中明显受到抑制,在近期和远期占工业总产值的下降到了 15.0%和 8.0%。

2.4.2 COD 排放分析

由图 3,无论是近期还是远期,COD 排放的最大源都是其他产业,且在这 2 个时段内分别占 COD 排放总量的 62%和 42%。处于第二位的是新型食品加工业,分别占 COD 排放总量的 20.7%和 23.8%;现代装备制造业和高新技术产业排放则要低很多。从 COD 排放份额来看,生活源排在近期要高于工业源,远期要低于工业源。可见,由于人口剧增带来的污染问题在郑州新区发生的可能性很小,但前提在于要保障一定的污水处理能力。决策偏好方案排放的 COD 总量要高于零偏好方案,因此,决策偏好方案需要加大对 COD 的处理能力。事实上,决策偏好方案是将 COD 排放量高的其他产业排放份额转移到了低排放量的高新技术产业上,这样尽管高新技术产业总的 COD 排放量有所上升,其在近期和远期占 COD 排放总量的份额分别为 22.0%和 33.8%,但 COD 的容量资源得到了更加充分和有效的利用。从而能够在控制 COD 排放量小幅增加的条件下更好发展经济,实现经济与环境的协调。

2.4.3 不同产业的水资源消耗分析

水资源是我国当前城镇化发展的瓶颈;在郑州新区,无论是近期还是远期,水资源消耗的最大工业源是其他产业。在零偏好方案中,其在近期和远期占水资源消耗总量的比重分别是 67.3%和 64.0%,从总体上看是属于下降趋势的,但却占有绝对的主导优势。排在第二位的是新型食品加工业,在近期和远期占水资源消耗总量的比重分别是 3.2%和 4.0%,其发展趋势是上升的;排在第三位的是现代

装备制造业,其在近期和远期占水资源消耗总量的比重分别是 2.7%和 3.8%,呈上升趋势。决策偏好方案中,水资源消耗最多依然是其他工业;其次是现代装备制造业,近远期分别占 5.0%和 6.0%;现代食品加工业退居第三,近远期分别占 4.6%和 5.4%;高新技术产业虽然因为产值大幅增长而使得水资源消耗量大幅上升,但其比例依然最小。可见,在近期内水资源消耗比较大的行业在远期内处于下降的趋势,而相对消耗比较小的行业在远期内则要高于近期,对整个系统的优化是有利的。

3 结论

1) 城市新区的社会经济环境发展是一个综合、不确定、复杂、动态的巨系统,在进行规划方案制定和实施时需要统筹考虑各子系统之间的因果关系和相互影响,以有效缓解社会经济发展与资源环境之间的矛盾。

2) 社会-经济-环境系统动态响应模拟和基于决策偏好的社会经济环境系统优化调控模型,能有效模拟规划区域不同发展情景下的社会经济发展、主要污染物排放以及主要资源消耗等状况,从而能够对区域的社会经济环境协调发展起到良好的协调作用。

3) 根据郑州新区社会经济环境系统优化结果,该区未来偏好于现代装备制造业和高新技术产业的情景下,相同环境容量条件下,能产生更高的工业总产值;相同工业产值条件下,能减少污染物的排放和水资源的消耗。

4) 针对新区的不确定性、动态性和复杂性,未来应进一步深入研究全过程的不确定性“响应-调控”模型;并充分利用规划的动态性和阶段性,开发动态规划的优化调控技术;更好服务于不确定性的城市新区环境规划决策。

参考文献

- [1] 潘家华,魏后凯.中国城市发展报告.北京:社会科学文献出版社,2012: 1-5
- [2] 段小梅.城市规模与“城市病”:对我国城市发展方针的反思.中国人口·资源与环境,2001, 11(4): 133-135
- [3] Hezria A A, Dovers S R. Sustainability indicators, policy and governance: issues for ecological economics. Ecological Economics, 2006, 60(1): 86-

- [4] 郭怀成, 邹锐, 刘磊. 不确定性条件下经济开发区环境规划方法与应用研究(II): 厦门海沧投资区环境经济系统规划研究. 北京大学学报: 自然科学版, 1999, 35(6): 802-808
- [5] 王吉华, 刘永, 郭怀成, 等. 基于不确定性多目标的规划环境影响评价研究. 环境科学学报, 2004, 24(5): 922-929
- [6] 郭怀成. 环境规划方法与应用. 北京: 化学工业出版社, 2006: 34-36
- [7] Huang G H, Baetz B W, Patry G G. A grey fuzzy linear programming approach for waste management and planning under uncertainty. Civil Engineering Systems, 1993, 10: 123-146
- [8] Huang G H, Baetz B W. Grey quadratic-programming and its application to municipal solid-waste management planning under uncertainty. Engineering Optimization, 1995, 23(3): 201-223
- [9] Huang G H, Loucks D P. An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Civil Engineering and Environmental Systems, 2000, 17(2): 95-118
- [10] Zou R, Lung W S, Guo H C, et al. An independent variable controlled grey fuzzy linear programming approach for waste load allocation. Engineering Optimization, 2000, 33(1): 87-111
- [11] Liu Y, Qin X S, Guo H C, et al. ICCLP: an inexact chance-constrained linear programming model for land-use management of lake areas in urban fringes. Environmental Management, 2007, 40(6): 966-980
- [12] 李方义, 李光耀, 郑刚. 基于区间的不确定多目标优化方法研究. 固体力学学报, 2010, 31(1): 86-93
- [13] 段虞荣, 刘思泽, 洪贵渝. 红水河龙滩水电工程库周区种植业灰色线性规划预测模型. 运筹与管理, 1993, 2(1): 37-45
- [14] 李敏. 线性规划在水土保持规划中应用的探讨. 中国水土保持, 1987, 7(8): 44-47
- [15] 陈文明. 混合整数线性规划在环境规划中的应用前景分析. 环境科学研究, 1993, 6(6): 52-54, 59
- [16] 曾思育, 傅国伟, 刘志明, 等. 推进 GIS 在环境规划中应用的探讨. 城市环境与城市生态, 1996, 9(1):

- [17] 邹锐, 郭怀成, 刘磊. 不确定性条件下经济开发区环境规划方法与应用研究(I): 不确定性多目标混合整数规划模型及算法研究. 北京大学学报: 自然科学版, 1999, 35(6): 794-801
- [18] 王金南, 潘向忠. 线性规划方法在环境容量资源分配中的应用. 环境科学, 2005, 26(6): 197-200
- [19] Lin Q G, Huang G H. Interval-fuzzy stochastic optimization for regional energy systems planning and greenhouse-gas emission management under uncertainty —a case study for the Province of Ontario, Canada. Climatic Change, 2011, 104: 353-378
- [20] Abou Najm M, El-Fadel M, Ayoub G et al. An optimisation model for regional integrated solid waste management I. Model formulation. Waste Management & Research, 2002, 20(1): 37-45
- [21] Ahmadi A, Karamouz M, Moridi A, et al. Integrated planning of land use and water allocation on a watershed scale considering social and water quality issues. Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE, 2012, 138(6): 671-681
- [22] Niknam T, Azizipanah-Abarghooee R, Narimani M R. An efficient scenario-based stochastic programming framework for multi-objective optimal micro-grid operation. Applied Energy, 2012, 99: 455-470
- [23] Van Delden H, Hurkens J. A generic Integrated Spatial Decision Support System for urban and regional planning // 19th International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2011). Perth, 2011: 127-139
- [24] 盛虎, 刘慧, 王翠榆, 等. 滇池流域社会经济环境系统优化与情景分析. 北京大学学报: 自然科学版, 2012, 48(4): 648-656
- [25] 刘永, 郭怀成, 王丽婧, 等. 环境规划中情景分析方法及应用研究. 环境科学研究, 2005, 18(3): 82-87
- [26] 郑州市人民政府. 郑州新区总体规划[R]. 郑州, 2009: 1-10
- [27] 郑州市统计局, 国家统计局郑州调查队. 郑州统计年鉴(2010). 北京: 中国统计出版社, 2010