

基于SD模型的巢湖流域可持续发展研究

李少朋, 高良敏, 母玉敏, 叶圆圆

(安徽理工大学, 安徽 淮南 232001)

摘要: 根据生态经济理论, 利用SD模型方法, 基于经济增长、生态环境影响和社会变化之间的反馈关系, 构建了巢湖流域“环境—社会—经济”结构模型。通过设定环境、社会和经济3个子系统, 采用系统动力学模拟分析软件Vensim PLE, 对巢湖流域“环境—社会—经济”运行规律进行了研究, 包括经济发展优先模式、自然基准模式和环境协调发展模式; 通过比较得出最佳模式, 可为促进巢湖流域可持续发展提供借鉴。

关键词: 生态环境; 绿色GDP; SD模型; 巢湖流域; 可持续发展

中图分类号: X24

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)01-0112-05

Research on sustainable development of Chaohu lake basin based on system dynamic model

LI Shaopeng, GAO Liangmin, MU Yumin, YE Yuanyuan

(Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: According to ecological economic theory and using SD model approach, based on the feedback relationship between economic growth, ecological environment and social change, this paper built “environment-society-economy” structural model in Chaohu lake basin. Through setting the relationship of environment, society and economy, using system analysis software Vensim PLE, this paper discussed the operation law of “environment-society-economy” of Chaohu lake basin, which include the priority mode of economic development, the natural reference mode and the environmental development model. It finally reached the optimum mode through comparing these three models. The result can provide guidance for sustainable development of Chaohu lake basin.

Key words: ecological environment; green GDP; SD model; Chaohu lake basin; sustainable development

区域可持续发展是人类社会可持续发展过程中最具体、最现实、最有实际意义的部分, 由于区域社会经济活动环境的相对稳定性和独立性, 区域可持续发展的研究和实际调控过程便具有很强的针对性和实际意义^[1-3]。从系统的角度来衡量区域, 区域是开放的、处于不断动态演化过程中的复杂巨系统^[4]。运用系统动力学方法建模比传统数学模型更能充分反映系统的非线性结构和动态变化趋势, 有助于实现人口、环境与社会经济各子体系统之间的协调^[5-6]。

巢湖流域位于安徽省中部, 长江流域下游西岸,

湖区面积760 km², 流域总面积为1.3万 km²。2010年, 流域总人口约1 060万人, 其中, 城镇人口572万人, 城镇化率54.0%。巢湖流域是安徽省经济发展的中枢区域, 流域农业经济水平较高, 形成以种植业、水产业及畜牧业相结合的多种经营结构, 工业以机械、电子、化工、冶金、纺织、食品加工和建材工业等为主。区域GDP约3 359亿元, 人均GDP约3.2万元, 略高于全国平均水平, 三产结构比例为17.4: 47.0: 35.6。主要排污行业依次为化学原料及化学制品制造业, 黑色金属冶炼及压延加工业, 饮料制造业, 造纸及纸制品业, 化学纤维制造业。5个

收稿日期: 2013-10-08; 修回日期: 2013-11-05

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07103-007)

作者简介: 李少朋(1988-), 男, 河北保定人, 在读硕士研究生, 主要从事水污染治理、环境遥感等方面的研究。

通讯作者: 高良敏(1963-), 男, 安徽寿县人, 博士, 教授, 主要从事水文水资源与水污染控制、环境规划管理与评价等教学与研究工作。

行业废水排放量占全流域工业废水排放总量的 81.9%。

本文基于环境、社会和经济 3 个子系统,根据巢湖的基础数据,对巢湖流域“环境—社会—经济”运行规律进行研究,探讨经济发展优先模式、自然基准模式和环境协调发展模式,比较选出最佳模式,为促进巢湖流域可持续发展提供借鉴。

1 SD 模型构建

系统动力学(system dynamic, SD)是美国麻省理工学院 Jay W. Forrester 于 1956 年创立的,借助 SD 模型既可以进行时间上的动态分析,又可以进行部门间的协调,它能对系统内部、系统内部因素的互相关系予以明确的认识,对系统内外隐含的反馈回路予以清晰的体现^[7]。SD 模型通过设定系统各种控制因素,以观测输入的控制因素变化时系统的行为和发展,从而能对系统进行动态仿真实验。

SD 的基本构模过程包括:划定系统边界;确立系统指标体系;描述系统基本因果回路;设计系统流程图;编写动力学方程和系统程序;模型的调试和检验;模拟与仿真。本文采用 Vensim PLE 软件作为建模平台。

1.1 系统指标体系

本文设定巢湖的 COD、氨氮、生态环境、人口和 GDP 作为状态变量,来分别表征环境、社会和经济 3 个子系统。

表 1 系统指标体系

子系统	状态变量	速率
环境	COD	COD 产生量
		COD 削减量
	氨氮	氨氮产生量
		氨氮削减量
生态环境	湿地增减面积	
	林地增减面积	
社会	人口	出生 死亡
经济	GDP	第一产业投入产出
		第二产业投入产出
		第三产业投入产出

1.2 模型构建

可持续发展系统是一个研究人口、经济、环境等在内的错综复杂、相互影响的耦合大系统。在这个系统内,既有环境的影响,又有人口、经济等因素的影响,这个大系统之间的各个因素相互促进,相互制约。

(1)负反馈回路 GDP ↑ → 环境 ↓ → GDP ↓。经济的增长,会产生更多的污染物和环境质量的下降,而环境的恶化要求社会拿出更多的投入来制污和重建;反过来又削弱了经济的增长。

(2)负反馈回路人口 ↑ → 环境 ↓ → 人口 ↓。人口的增加会产生更多的生活垃圾和生活废水,加重环境的污染程度;反过来会影响到人们的身体健康,导致死亡率上升和人口的减少。

(3)正反馈回路 GDP ↑ → 人口 ↑ → GDP ↑。经济的发展能够改善人们的生活水平和健康状况,致使死亡率下降和人口增长;反过来可以向社会提供更多的劳动力供应,保障经济的继续增长。

基于各子系统之间存在以上相互制约、相互促进的复杂耦合关系,对区域可持续发展动力学系统进行研究时,必须充分考虑各个子系统的协调性和整体性,不能仅仅孤立地考虑某一个子系统。

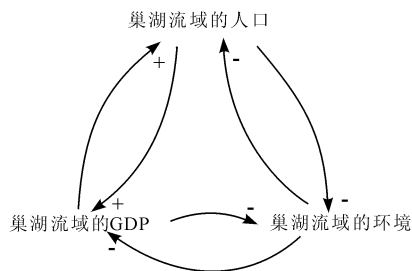


图 1 系统基本因果回路图

1.4 系统模型参数的确定

模型中所用到的参数全部取自巢湖流域所涉及的地区年鉴、环境年鉴、国民经济和社会发展统计公报,例如《安徽省统计年鉴》、《安徽省环境统计年鉴》和《巢湖统计年鉴》等等。采用 2009 年的数据作为模型运行基础年份的数据进行模拟。采用的基础数据包括:总人口数量、出生率、死亡率、国民生产总值等统计数据。

1.5 历史数据对比检验

将得到的模拟结果与历史实际数据进行对比,计算与实际数据的误差,以检验模型的正确性。如果误差太大,则模型的模拟结果不能应用,需要对模型的需求进行重新筛选,对要素之间的关系和方程也需要重新确定。如果误差在可接受的范围之内,那么模型的模拟结果可以应用。

检验的公式为:

$$D = \frac{X'_t - X_t}{X_t} \times 100\%$$

式中: D_t 为某参数在 t 时刻的预测值与实际值相比

的偏离度; X'_t 为某参数在 t 时刻的预测值; X_t 为某参数在 t 时刻的实际观测值。

本模拟以 2009 年为基准年,模拟时间间隔为 1a。将模型运行后得到 2009 - 2011 年的模拟值与同时期统计资料中的数据对比,检验运行结果是否

合理,几乎所有检验变量的误差全部在 10% 以内,全部变量中的 80% 误差在 8% 之内。表明模型运行正确,参数变化规律能代表变量的发展趋势,可以进行下一步对未来的情景分析与预测。

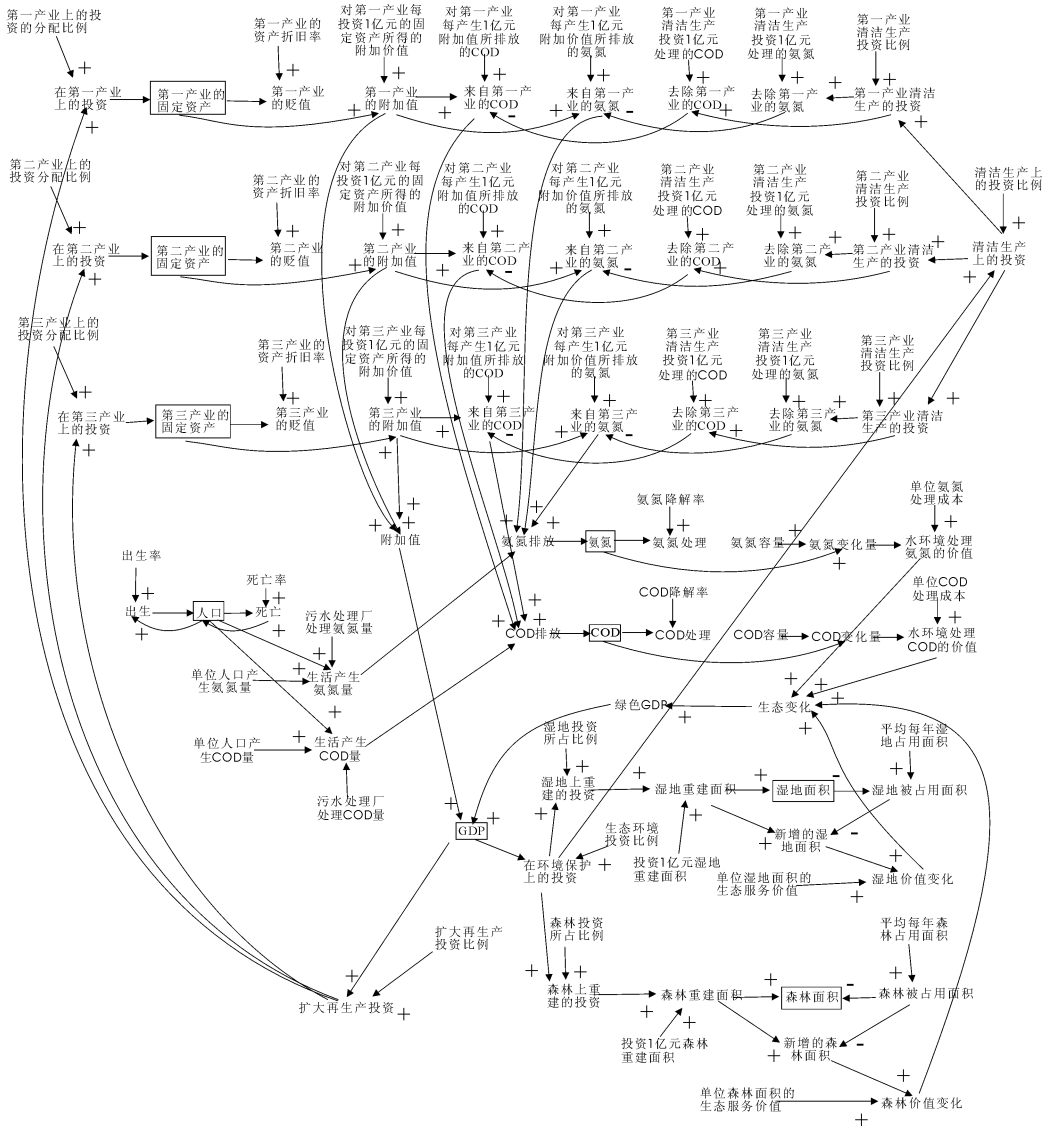


图2 模型构建图

2 情景模拟结果的评价

本文设定 3 种情景模式,经济发展优先模式、自然基准模式和环境协调发展模式。根据上述 3 种不同的方案,分别设定模型中状态变量的初始值。将巢湖流域多年的原始数据输入模型,调整不同方案下的各种控制变量,运行模型。

在 3 种情境下,会分别得到不同的模拟结果。对比 3 种不同情景下的模拟结果,找出在不同的条件下,巢湖流域社会经济与生态环境发展变化的影

响因子,提出适合区域发展的最佳方案。

2.1 经济发展优先模式评价

在这种情况下,设定扩大再生产上的投资比例和生态保护上的投资比例分别为 100% 和 0%,在所建的 SD 模型上分别对 GDP、绿色 GDP、和生态环境情况进行模拟,见图 3。

在对上述各指标进行单独分析的基础上,综合图 3,对该模式下的 GDP、绿色 GDP、生态变化进行对比分析。

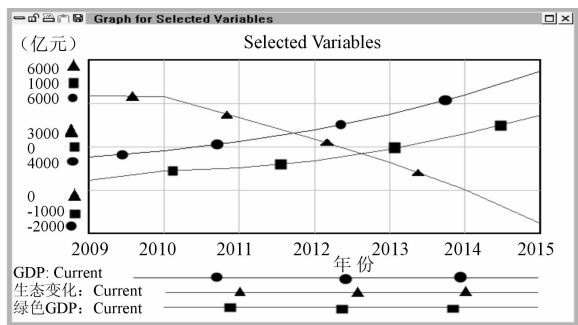


图 3 经济发展模式下 GDP、绿色 GDP、生态变化发展情况数值模拟界面

在该模式下, 2009 - 2015 年, GDP 由 2 631. 72 亿元上升至 5 614. 83 亿元, 表明 GDP 呈现明显的上升趋势, 在模拟年份内, 经济发展呈现暂时的繁荣现象。生态由 585 亿元下降至 -891. 216 亿元, 可见, 生态环境受到严重的破坏。绿色 GDP 由 3 216. 72 亿元上升至 4 723. 62 亿元, 上升趋势明显小于 GDP, 绿色 GDP 上升趋势并不明显。分析结果表明, 在对经济发展大比例投入的情况下, 有利于经济发展的参数提高, 经济指标 (GDP) 呈现明显的上升趋势, 会促进经济的发展; 但与此同时, 由于农药化肥等的投入, 水中的 COD、氨氮等污染物增多; 由于对自然资源的需求明显增大, 森林和湿地面积减少, 生态环境严重恶化; 由于不注意环境的保护, 土地严重退化。生态功能的受损会反过来极大程度的制约经济的发展, 生态功能已经不能支持经济的发展。

2.2 自然基准模式评价

在自然基准模式下, 设定扩大再生产上的投资比例和生态保护上的投资比例分别为 92. 7% 和 7. 3%, 在所建的 SD 模型上分别对 GDP、绿色 GDP、和生态变化情况进行模拟, 见图 4。

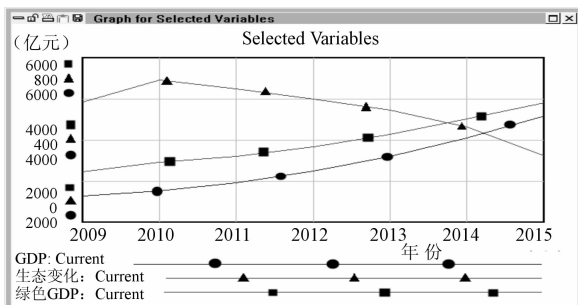


图 4 自然基准模式下 GDP、绿色 GDP、生态变化发展情况数值模拟界面

在对上述各指标进行单独分析的基础上, 综合图 4, 对该模式下的 GDP、绿色 GDP、生态变化进行对比分析。

在该模式下, 2009 - 2015 年, GDP 由 2 631. 72 亿元上升至 4 576. 64 亿元, 表明 GDP 呈现一定的上升趋势, 在模拟年份内, 经济发展保持现有的发展速度。生态变化由 585 亿元下降至 321. 87 亿元, 可见, 生态环境受到一定的破坏, 对经济发展产生不利影响。绿色 GDP 由 3 216. 72 亿元上升至 4 898. 51 亿元, 存在一定的上升趋势, 但并不明显。分析结果表明, 经济指标 (GDP) 呈现一定的上升趋势; 但由于该模式不考虑对环境保护投入增加比例, 因此在该模式下, 随着工业规模的增大, 水中的污染物 (COD、氨氮) 增多; 此外, 由于工业用地和居住用地的增加, 湿地、森林的面积均有一定的减小。虽然绿色 GDP 呈现上升趋势, 但是仅存的 321. 87 亿元的生态系统功能能否在 2015 年之后支撑 4576. 64 亿元的 GDP 规模将是巢湖流域可持续发展的最大隐患。

2.3 环境协调发展模式评价

在环境协调发展模式下, 设定扩大再生产上的投资比例和生态保护上的投资比例分别为 86. 4% 和 13. 6%, 在所建的 SD 模型上分别对 GDP、绿色 GDP、生态变化情况进行模拟, 见图 5。

在对上述各指标进行单独分析的基础上, 综合图 5, 对该模式下的 GDP、绿色 GDP、生态变化进行对比分析。

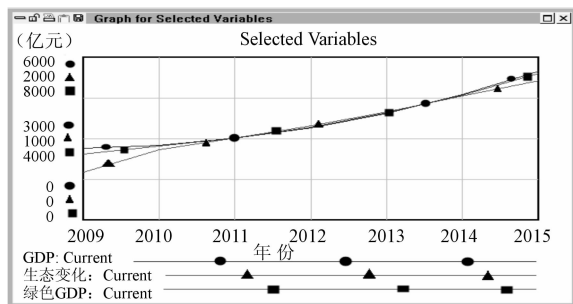


图 5 协调发展模式下 GDP、绿色 GDP、生态变化发展情况数值模拟界面

在该模式下, 2009 - 2015 年, GDP 由 2 631. 72 亿元上升至 5 482. 71 亿元, 表明 GDP 呈现明显的发展趋势, 在模拟年份内, 经济发展状况良好。生态变化由 585 亿元上升至 1 710. 2 亿元, 由此可见, 对环境的投入使环境得到明显的改善, 好转趋势显著。绿色 GDP 由 3 216. 72 亿元上升至 4 898. 51 亿元, 增长趋势极为显著, 表明在该模式下, 经济和环境取得了协调发展, 且效果显著。分析结果表明, 由于高水平的投入, 经济发展和环境保护协调进行。由于在该模式下考虑到了环境的保护, 用于扩大在生产

的投资减少,短期内经济发展的速度低于经济优先发展模式,然而,从长期来看,在该模式下,经济将会持续稳定的增长,且由于对污水治理、森林保护等环境方面的投资加大,人类的生存环境也不断改善,有利于巢湖流域的可持续发展。在该模式下,呈现出经济增长与生态建设协调、健康发展的态势,有利于巢湖流域的可持续发展。

3 结 语

根据巢湖流域 SD 模型模拟的结果,按照当前经济发展趋向的自然基准模式,该流域的未来经济发展速度较慢,生态环境受到了一定的破坏,难以支撑巢湖流域可持续发展的要求。在经济发展优先模式下,前期经济发展速度快,但生态环境受到严重的破坏,生态环境反过来极大程度的制约经济的发展,生态环境已经不能支持经济的发展。在环境协调发展模式下,经济增长与生态建设协调健康的发展态势,有利于巢湖流域的可持续发展。

巢湖流域可持续发展存在的问题就是流域内的经济发展、人口问题与环境承载力之间的矛盾,实践已经证明:“高增长、高污染”的经济增长模式不符

合可持续发展的理念。需要从自然基准模式逐步过渡到环境协调模式。调整巢湖流域的经济结构,加速发展第三产业,对于第二产业中高污染行业要进行限制,倡导循环经济。同时,要进一步加大对巢湖环境保护和治理的投资力度,更好地促进经济和环境协调发展。

参考文献:

- [1] 吕鸣伦,刘卫国. 区域可持续发展的理论探讨[J]. 地理研究,1998,17(2):131-137.
- [2] 钱学森,等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社,1994.
- [3] 方创琳. 区域发展规划论[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [4] 程叶青,李同升,张平宇. SD 模型在区域可持续发展规划中的应用[J]. 系统工程理论与实践,2004,24(12):13-18.
- [5] 黄震中,王艳,李思一,等. 中国可持续发展系统动力学模型[J]. 计算机仿真,1997,14(4):3-7.
- [6] 王其藩. 系统动力理论与方法的新进展[J]. 系统工程理论方法应用,1995,14(2):6-12.
- [7] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994.

(上接第 111 页)

表层,使得反滤层表层形成一层透水能力非常小的“泥膜”,“泥膜”厚度越大,则其渗透系数就越小,导致反滤层渗透系数迅速减小;另一部分进入反滤层内部的细颗粒,由于原来的反滤层颗粒较细,吸附能力比较强,再加上其“排水”能力较差,不能及时排出,被吸附在孔隙本来就很小的反滤层颗粒表面,使得反滤层内部的孔隙大幅度减小,导致渗透系数降低。这两者最终导致反滤层的淤塞,渗水能力降低。

4 结 语

通过对新疆某引水工程渗管反滤料渗透特性试验研究得出两种试验在渗透作用下都存在明显的细料(1 mm 以下)下沉现象,但不影响反滤料排水作用。

在清水试验中渗流相对浑水试验较稳定,出水清澈,由于渗淤层的作用,渗透系数略有下降;在浑水试验中由于受泥膜的影响,滤料的渗透系数随着落淤厚度的增加而明显减小,并且有部分泥土堵塞或透过了反滤层,水质稍有浑浊。

建议考虑采用混合反滤料或减小 1~5 mm 粒组的粒径,增大反滤料的滤土作用,如果对水质要求较高,还可采用二次反滤或进行水处理工艺。

参考文献:

- [1] 阎士勤,牛富敏,翟建,等. 中条山供水工程渗渠设计研究[J]. 人民黄河,2001,23(4):13-14.
- [2] 李晓,杨立中,于苏俊. 重庆白沙渗流井渗透水水质特征研究[J]. 西南交通大学学报,2002,37(6):610-614.
- [3] 李晓. 天然河床渗滤取水技术研究[D]. 成都:西南交通大学,2003.
- [4] 程琨,刘焕芳,周银军. 砂石反滤层设计方法探讨[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2006,24(2):241-244.
- [5] 刘杰. 土的渗透稳定与渗流控制[M]. 北京:水利电力出版社,1992:32-34.
- [6] 南京水利科学研究院. SL/T 237-1999. 土工试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,1999:430-436.