

能源重化工工业园环境系统动力学仿真与调控

杨养锋 ,薛惠锋

(西北工业大学 自动化学院 陕西 西安 710072)

摘要 :以锦界工业园环境系统为对象 ,在系统结构分析基础上 ,构建其系统动力学模型 ,并确定生产性投资比例、科技投资比例、环保投资比例、污水处理投资率、废气处理投资率、固废处理投资率为调控参数进行仿真。结果表明 ,当生产性投资比例由 0.14 提高到 0.16 ,科技投资比例由 0.02 提高到 0.04 ,环保投资比例由 0.04 提高到 0.08 ,污水处理投资率由 0.4 下调为 0.36 ,废气处理投资率由 0.2 提高到 0.34 ,固废处理投资率由 0.4 下调为 0.3 时 ,园区年均工业总产值增长率达到 21% ,环境相对污染度年均降幅为 8.1% ,人口年增长率为 4.7% ,系统达到相对最优状态。因此 ,锦界工业园在环境管理中应采取以下措施 :一是合理的调整生产、科技和环保的投资比例 ,适当降低生产性投资比例 ,增加科技投资和环保投资比例 ;二是合理的调整污水、废气和固废处理的投资比例 ,加强三废处理的基础设施建设 ,为构建完整的三废回收和处理系统奠定基础。

关键词 :能源重化工工业园 ,环境系统 ,系统动力学 ,仿真 ,调控

文章编号 :1000-0933 (2007)09-3801-10 中图分类号 :F424.1 X142 文献标识码 :A

System dynamics simulation and adjustment on environment system of energy and heavy chemical industrial park

YANG Yang-Feng ,XUE Hui-Feng

College of Automation , Northwestern Polytechnical University , Xi'an 710072 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (9) 3801 ~ 3810.

Abstract :Taking the environment system of Jinjie Industrial Park as object , this paper builds its system dynamics model based on structural analysis and chooses six adjustment parameters for simulation , including investment proportion of production (scetzl) , investment proportion of science and technology (kjtzl) , investment proportion of environment protection (hbztzl) , investment ratio of waste water treatment (wstzl) , investment ratio of waste gas treatment (scltzb) and investment ratio of solid waste treatment (gfcltzl) . The simulation results show that , when scetzl is changed from 0.14 to 0.16 , kjtzl from 0.02 to 0.04 , hbztzl from 0.04 to 0.08 , wstzl from 0.4 to 0.36 , scltzb from 0.2 to 0.34 and gfcltzl from 0.4 to 0.3 , the average growth rate of the park's gross industry production per year will be 21% , the average decrease rate of relative environment pollution degree per year 8.1% , and the average growth rate of population per year 4.7% , which means the system reaches its optimal state. Therefore , at least two important measures of environment management should be taken by JinJie Industry Park. One is to properly decrease production investment proportion and to increase investment proportion of science and technology and environment protection ; and the other is to reasonably adjust investment ratio of waste water , gas and solid waste for strengthening relative infrastructure construction , which can be the foundation of collection and treatment system of the "three wastes" .

基金项目 :陕西省自然科学基金资助项目 (2005ZK65)

收稿日期 :2006-08-28 ;修订日期 :2007-04-01

作者简介 :杨养锋 (1972 ~) 男 ,陕西乾县人 ,博士生 ,主要从事环境系统工程研究。 E-mail :yyf136499@sohu.com

Foundation item :The project was financially supported by Natural Science Foundation of Shaanxi Province (No. 2005ZK65)

Received date 2006-08-28 ; **Accepted date** 2007-04-01

Biography :YANG Yang-Feng , Ph. D. candidate , mainly engaged in Environment Systems Engineering. E-mail :yyf136499@sohu.com

Key Words :energy and heavy chemical industrial Park ;environment system ;system dynamics ;simulation ;adjustment

能源重化工工业园是指以当地丰富的资源储备为依托 ,以发展能源重化工产业为核心 ,以产业集聚为载体 ,以产业链网的构建为途径 ,以制造系统的生态化改造为动力 ,以实现物质闭路循环和能量梯级利用为追求目标的工业园区 ,其发展的最高形式是生态工业园区。它具有如下特征 :区域内资源储备丰富 ,园区开发面积较大 (一般在 10hm² 以上) ;基础设施共享 ;功能分区明确 ,核心企业一般投资规模大 ,污染严重 ,对资源依赖性强 ,消耗量大 ,集聚企业之间以物质、能量的流动、承接为纽带联系紧密 ;具有严格的园区环境执行标准和限制条件 ;共同拥有一个对入园企业提供必要的基础设施、服务、管理等的主管单位。

环境系统作为能源重化工工业园复合系统的一个重要内生系统 ,它具有发现、控制、引导园区良性发展的重要功能 ,同时 ,它也是园区不同发展阶段的重要评价和观控系统 ,通过对环境系统的分析和评价有助于管理者发现园区发展中存在的问题 ,并及时的通过政策或宏观战略决策的调整来控制 and 引导园区的健康发展。同时 ,对环境系统的定量研究 ,有助于管理者更为科学的规划和建设园区公共基础设施 ,从而促进园区环境系统的持续改善。

系统动力学理论与方法是 20 世纪 50 年代美国麻省理工学院 J . W . 福雷斯特创立的^[1]。运用系统动力学仿真对能源重化工工业园环境管理决策提供支持是一种新方法^[2]。它集系统论、控制论和信息论于一身 ,融会了组织管理理论的精髓 ,并采用计算机模拟技术 ,对于认识和处理高阶次、非线性、多重反馈的时变系统是一种极为有效的工具^[3]。孙玉峰对矿区环境系统的研究^[4] ;汤洁等对吉林省大安市生态环境规划的研究^[5] ;宋学锋和刘耀彬对江苏省城市化与生态环境耦合的研究^[6] ;汪彦博等对水环境承载力的研究^[7] ;陈六君等对环境系统的临界性分析^[8] 都采用了系统动力学方法。本文运用系统动力学方法分析了锦界工业园区的人口、经济、环境等各子系统之间的关系 ,建立了侧重于环境管理系统的能源重化工工业园各子系统协调发展动力学模型 ,确定生产性投资比例、科技投资比例、环保投资比例、污水处理投资率、废气处理投资率、固废处理投资率等指标作为调控参量 ,进行了模拟调控 ,得出了园区环境管理相对最佳的方案。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区

锦界工业园区是陕北能源重化工基地的重要组成部分 ,面积为 16km² ,区域内富含丰富的煤炭、石英砂、天然气等自然资源。该区域位于陕北黄土高原腹地与陕北毛乌素沙漠过渡地带 ,风沙草滩区 ,属半干旱大陆性气候 ,年均降水量约 441.2mm ,平均蒸发量 2111.2mm。其独特的地形地貌和气候特征 ,造成生态环境非常脆弱。

1.2 研究方法

1.2.1 模型总体结构

能源重化工工业园是一个包括人口、经济、资源和环境等系统构成的地域综合体 ,各子系统之间相互作用 ,相互影响共同推动大系统的演化和发展 ,大系统演化 and 发展的状态需要人为的设计和干预 ,使其向着人们所期望的方向和状态演化 ,工业园区的管理系统是约束和控制各子系统之间的作用关系和强度 ,决定着各子系统演化的路径 ,从而以人的愿望和意志引导和影响大系统演化方向的重要功能系统。因此能源重化工工业园从结构上看它是由人口、经济、资源、环境和管理系统构成的具有一定功能的复杂系统 (如图 1) ,本文所建立的能源重化工工业园复合系统中 ,并未将资源系统作为一个子系统独立出来 ,主要基于以下考虑 :从系统的外部

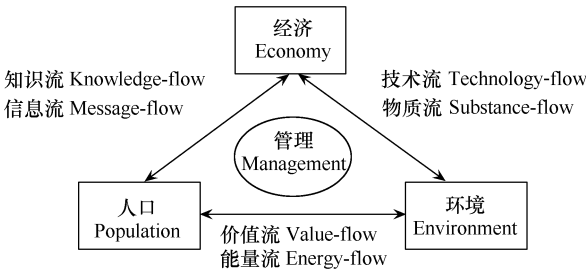


图 1 能源重化工工业园区复合生态系统结构

Fig.1 Compound eco-system structure of energy and heavy chemical industrial park

环境来看 ,资源系统是能源重化工工业园建立和发展的基础 ,是一个重要的功能系统 ,但从系统内部环境来看 ,能源重化工工业园是一个资源消耗系统 ,资源对系统影响主要体现在资源消耗过程中排放的污染物对环境系统的影响 ,而这种影响含化在废气、污水和固废 3 个子系统中 ,为了后面实证研究的需要 ,本文将资源的影响因素分解在这 3 个子系统中。

图 1 中以管理系统为中心的三角形表示能源重化工工业园复合系统 ,三角形 3 个顶点分别代表工业园区复合系统中的经济、人口和环境子系统 ,之所以用三角形表示这 3 个子系统 ,是因为 3 个子系统之间没有明显重要不重要之分。其次 ,管理子系统之所以置于三角形的中间 ,主要是从管理子系统在大系统中所处的地位和功能考虑的。工业园区复合系统的 4 个子系统不是孤立的 ,每个子系统都与其他子系统相互交错 ,共成一体。需要注意的是 ,这里的某一种 “流 ”并不表示三角形的这一条边上只有该种 “流 ”存在 ,而是任何一边都代表着各种 “流 ”均存在 ,而且六中流也存在于管理系统和其他 3 个子系统之间^[9]。

1.2.2 模型因果关系图

在分析了能源重化工工业园各子系统之间相互联系、相互影响复杂关系的基础上 ,构建了锦界工业园各子系统之间的因果关系流程图 ,如下图 2 所示。主要反馈回路如下 :

- 区域人口→+ 废水 (废气、固废)排放→+ 废水 (废气、固废)污染度→+ 环境相对污染度→- 区域人口
- 园区工业总产值→+ 废水 (废气、固废)排放→+ 废水 (废气、固废)污染度→+ 环境相对污染度→- 园区工业总产值
- 园区工业总产值→+ 环保总投资→- 废水 (废气、固废)污染度→- 环境相对污染度→- 园区工业总产值
- 环保总投资→- 废水 (废气、固废)排放→+ 环境相对污染度→+ 环保总投资

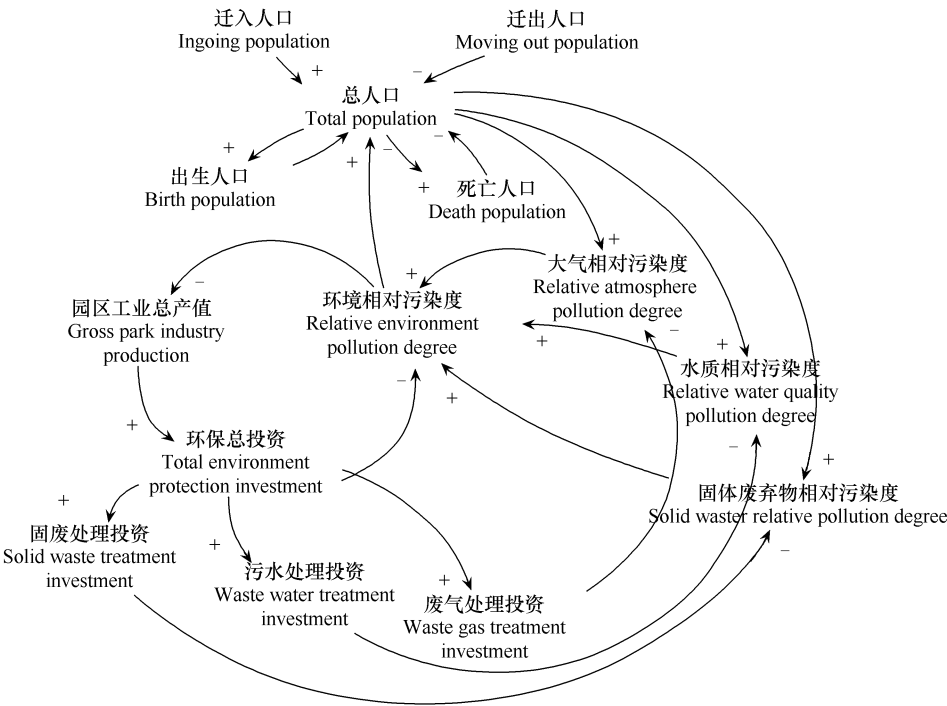


图 2 能源重化工工业园因果关系回路

Fig. 2 Causality loop in energy and heavy chemical industrial park

1.2.3 各子系统流图及方程式

在分析系统因果关系回路的基础上 ,建立各子系统的流图和方程式。

(1)人口子系统

人口子系统 (图 3)属于发展子系统 ,通过人口数量的增加和人口素质的提高影响着园区发展、资源利用和生态环境的改善 ,同时又受制于园区经济发展水平和环境质量。人口的资源属性通过社会劳动力与经济系统连接 ,直接参与到区域经济变化过程中 ;人口的环境属性通过生活排泄及生态环保意识与环境系统连接 ,直接参与到区域生态环境演化过程中。该子系统用区域人口作为状态变量 ,园区年出生人口、园区年死亡人口、园区年迁入人口、园区年迁出人口作为速率变量。通过生育影响因子、环境生态影响因子综合反映计划生育政策、区域保健水平、环境生态质量对人口子系统的影响。下面为人口子系统方程 :

园区总人口 (P)
$$P.K = P.J + DT \times (BP.JK - DP.JK + QC.JK - QR.JK)$$

园区年出生人口 (BP)
$$BP.JK = P.K \times cs1 \times jy$$

园区年死亡人口 (DP)
$$DP.JK = P.K \times sw1 \times hy$$

园区年迁出人口 (QC)
$$QR.JK = P.K \times qrl$$

园区年迁入人口 (QR)
$$QC.JK = P.K \times qcl$$

式中 P_j 为过去人口总数 P_k 为现在人口总数 , $cs1$ 为出生率 , $sw1$ 为死亡率 , qrl 为迁入率 , qcl 为迁出率 , jy 为生育影响因子 , hy 为环境生态影响因子。

(2)经济子系统

经济子系统 (图 4)属于动力子系统 ,它通过各产业之间建立生态产业链网 ,实现物质闭路循环、能量的梯级利用 ,废气达标排放 ,废水循环利用 ,固体废物资源化。同时 ,它又通过环保投资系统 ,对园区内整体的环境系统进行管理和调控 ,使环境系统和经济系统协调发展。该子系统用园区工业总产值作为状态变量 ,工业总产值增加值、工业总产值减少值作为速率变量。下面为经济子系统方程 :

园区工业总产值 (GYZCZ)
$$GYCZ.K = GYZCZ.J + DT \times (GYCZZ.JK - GYZCZJ.JK)$$

工业总产值增加值 (GYZCZZ)
$$GYCZZ.JK = GYZCZ.K \times GYZCZZL.K$$

工业总产值增长率 (GYZCZZL)
$$GYCZZL.K = -0.7 \times \ln HJWRD.K + gldl.K^9$$

工业总产值减少值 (GYZCZJ)
$$GYCZJ.JK = HBZTZ.K + SCTZ.K + KJTZ.K$$

生产性投资 (SCTZ)
$$SCTZ.K = GYZCZ.K \times sctzl.k$$

科技投资 (KJTZ)
$$KJTZ.K = GYZCZ.K \times kjtzl.k$$

环保总投资 (HBZTZ)
$$HBZTZ.K = GYZCZ.K \times hbztzl.k$$

式中 $gldl$ 为劳动力比例 , $sctzl$ 为生产性投资比例 , $kjtzl$ 为科技投资比例 , $hbztzl$ 为环保投资比例 , $HJWRD$ 为环境相对污染度。

(3)环境子系统

环境子系统属于约束系统 ,同时也是经济子系统、人口子系统和生态系统协调发展的评价子系统 ,资源是能源重化工工业园建立和发展的基础 ,是其核心的子系统 ,资源对系统的影响主要体现在由于三废排放对环境子系统的影响 ,因此环境系统的结构是以资源系统为核心 ,由污水处理子系统、大气污染处理子系统和固废污染处理子系统组成 (如图 5)。资源对环境的影响因素也含化在这 3 个子系统当中。

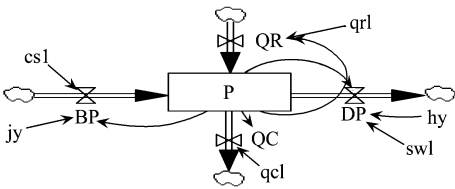


图 3 人口子系统流图

Fig. 3 Flow chart of population subsystem

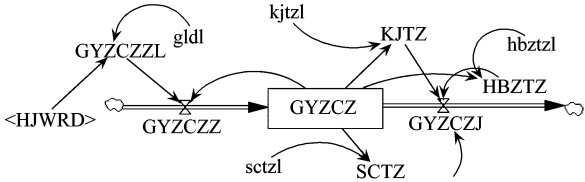


图 4 经济子系统流图

Fig. 4 Flow chart of economy subsystem

污水处理子系统 (图 6)是以水污染 (COD 存量)作为状态变量,以 COD 产生量、COD 减少量和 COD 自然降解量作为速率变量,同时以多个辅助变量与其它子系统相连。以水污染 (COD 存量)作为状态变量是基于对锦界工业园区目前排放废水中主要污染物的具体分析,锦界工业园区的总废水量为 $8.02 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$,每天排放污水 22590 m^3 。废水中主要污染物为 BOD_5 、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、SS、石油类等,还含有少量的 F^- 、 S^{2-} 、 Cl^- 等污染物,但从监测数据分析来看,除过 COD 含量超标外,其他污染物含量均在国家二级水质标准值范围内,COD 污染物背景平均浓度为 19,是国家二级水质标准的 1.26 倍,因此以水污染 (COD 存量)作为状态变量具有一定的代表性和针对性。

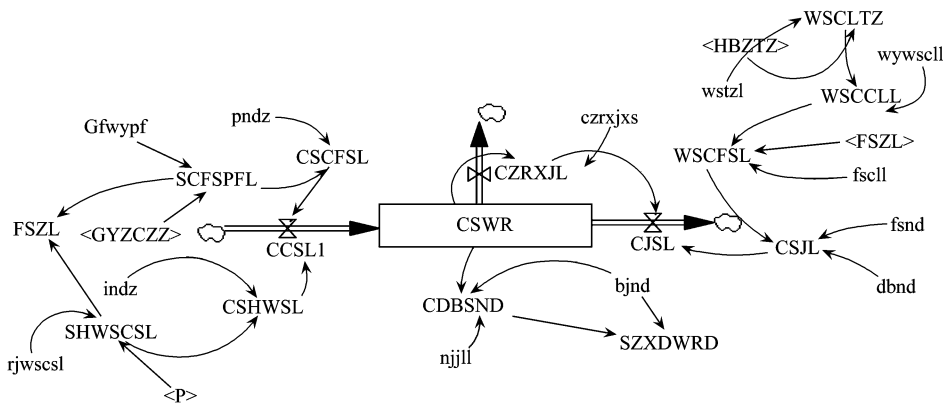
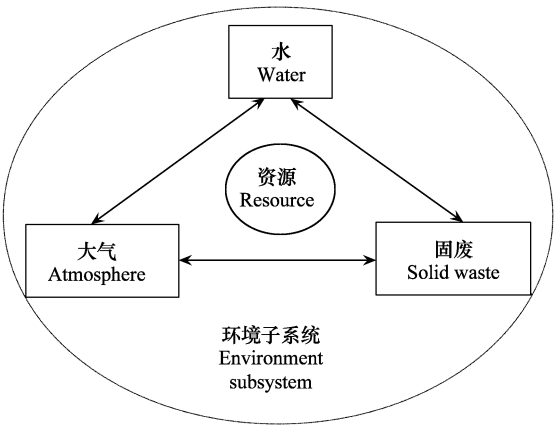


图 6 污水处理子系统流图
Fig. 6 Flow chart of waste water treatment subsystem

污水处理子系统方程：

水污染 COD 存量 (CSWR) $CSWR.K = CSWR.J + DT \times (CCSL.JK - CJSL.JK)$

COD 产生量 (CCSL) $CCSL.JK = CSCFSL.JK + CSHWSL.JK$

生产废水 (COD)产生量 (CSCFSL) $CSCFSL.JK = SCFSPFL.JK \times pndz.k$

生产废水排放量 (SCFSPFL) $SCFSPFL.JK = GYZCZZ.J \times K \times gfwypfl.k$

生活污水 (COD)产生量 (CSHWSL) $CSHWSL.JK = SHWSCSL.JK \times indz.k$

生活污水产生量 (SHWSCSL) $SHWSCSL.JK = P.K \times rjwscsl.k$

COD 减少量 (CJSL) $CJSL.JK = CZRXJL.JK + CXJL.JK$

COD 自然消解量 (CZRXJL) $CZRXJL.JK = CSWR.K \times czrxjxs.k$

COD 自然消减量 (CXJL) $CXJL.JK = WSCFSL.JK \times (fsnd.k - dbnd.k)$

污水厂进废水量 (WSCFSL) $WSCFSL.JK = IF THEN ELSE (FSZL.K \times fsccl.k \geq WSCCLL.K, FSZL.K \times fsccl.k)$

废水总量 (FSZL) $FSZL.K = SCFSPFL.JK + SHWSCSL.JK$

污水厂污水处理能力 (WSCCLL) $WSCCLL.K = WSCLTZ.JK \times wywsccl.k$

污水处理投资 (WSCLTZ) $WSCLTZ.JK = HBZTZ.K \times wstzl.k$

区域地表水 COD 浓度 (CDBSND) $CDBSND.K = bjnd.k + CSWR.K \div njll.k$

水质相对污染度 (SZXDWRD) $SZXDWRD.K = CDBSND.K \div bjnd.k$

式中 $pndz$ 为生产废水 (COD) 浓度典型值 $lndz$ 为生活污水 COD 典型浓度值 $gfwpfpf$ 为工业废水万元产值排放量 f_{snd} 为废水浓度 p_{jwscsl} 为人均污水产生量 c_{zrxjxs} 为 COD 自然消解系数 $dbnd$ 为达标排放浓度 f_{scsl} 为废水处理率 w_{stzl} 为污水处理投资率 b_{jnd} 为区域地表水背景浓度 n_{jll} 为年均径流量 b_{jnd} 为区域地表水背景浓度 w_{ywscll} 为万元污水处理量。

大气污染处理子系统 (图 7) 是环境系统的一个子系统, 它是以大气污染 (SO_2) 存量作为状态变量, 以 SO_2 产生量和消减量作为速率变量, 以多个辅助变量和其他子系统相连。之所以选择以大气污染 (SO_2) 存量作为状态变量是基于对锦界工业园区大气质量的分析: 对大气环境质量有影响的污染物有 SO_2 、 NO_2 、TSP。 SO_2 在有风、小风和静风条件时叠加了背景值后的 1h 浓度最大值分别为 $0.48867\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.50529\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.47874\text{mg}/\text{m}^3$, 分别占标准值 (《环境空气质量标准》(GB3095-1996) 二级标准值) 的 97.8%、101.00% 和 95.8%, 基本接近标准值的上限。 NO_2 在有风、小风和静风条件时叠加了背景值后的 1h 浓度最大值分别为 $0.12956\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.14171\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.12657\text{mg}/\text{m}^3$, 分别占标准值的 54.1%、59.2%、52.7%。废气中 TSP 日均浓度贡献值为 $0.0005\text{mg}/\text{m}^3$, 叠加了背景值后最大日均浓度值为 $0.7735\text{mg}/\text{m}^3$, 超标 1.58 倍, 因 TSP 日均浓度贡献值占叠加了背景值后最大日均浓度值的 0.065%, 这说明园区工业生产排放的废气中 TSP 日均浓度贡献值对区域环境空气质量影响很小。因此, 目前对锦界工业园区大气质量影响最大的污染物是 SO_2 , 选择大气污染 (SO_2) 存量作为状态变量具有典型性和针对性。

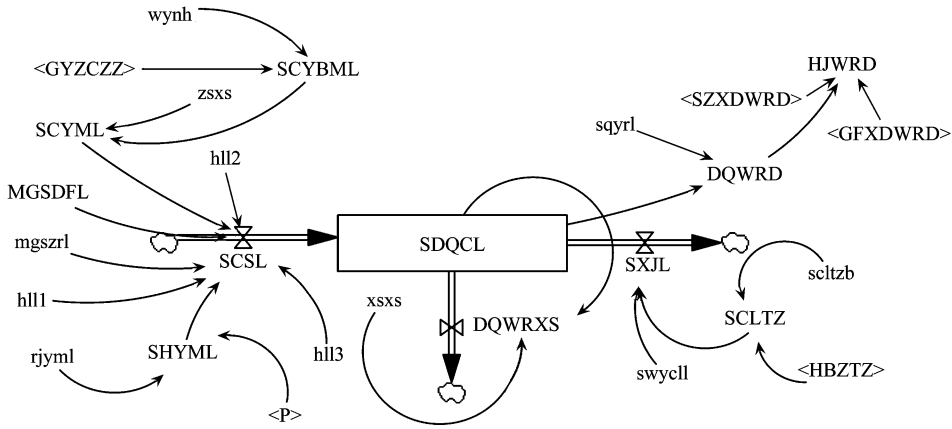


图 7 大气污染处理子系统流程图
Fig. 7 Flow chart of waste gas treatment subsystem

大气污染处理子系统方程：

大气污染 (SO_2) 存量 (SDQCL) $SDQCL.K = SDQCL.J + DT \times (SCSL.JK - SXJL.JK - DQWRXS.JK)$

SO_2 产生量 (SCSL) $SCSL.JK = SCYML.K \times hll2.k + MGSDFL.K \times mgszrl.k \times hll1.k + SHYML.K \times hll3$

生产用煤量 (SCYML) $SCYML.K = SCYBML.JK \times zsxs.k$

生产用标煤量 (SCYBML) $SCYBML.JK = GYZCZZ.JK \times wynh.k$

生活用煤量 (SHYML) $SHYML.K = rjyml.k \times P.K$

SO_2 消减量 (SXJL) $SXJL.JK = SCLTZ.K \times swycell.k$

SO_2 处理投资 (SCLTZ) $SCLTZ.K = HBZTZ.K \times sctzb.k$

大气污染消散 (DQWRXS) $DQWRXS.JK = SDQCL.K \times xsxs.k$

大气相对污染度 (DQWRD) $DQWRD.K = SDQCL.K \div sqyrl.k$

归法确定工业产值增长率和劳动力比例、环境相对污染度之间的关系。

2.2 模型检验

对系统动力学模型检验的目的是验证所建立的模型是否较好的反映系统的本质特征和某些主要特征^[10]。由于该园区建设和运行的时间较短,通过查阅年鉴和参考相关资料,本文选取园区总人口、园区工业总产值、生产废水排放量和废水总量等指标为代表,以2000年为起始,输出预测2005年的模拟结果,与历史数据比较误差<2%的概率为51.3%,误差<5%的概率为86.5%,误差<10%的概率为94.7%,说明模型有足够的有效性。

2.3 系统仿真

根据控制变量的确定原则,结合系统自然过程的模拟,选择了生产性投资比例、科技投资比例、环保投资比例(生产、科技和环保投资占园区GDP的比例);污水处理投资率、废气处理投资率、固废处理投资率(污水、废气和固废处理投资占环保投资的比例)等几项指标作为调控变量,设定时间边界为2005~2015年,2005年为模拟的基期^①,时间步长为1a,进行仿真模拟。调控参量及具有代表性的方案示于表1,其仿真结果见表2。具体调控思路:方案1是指现状方案,即保持现有状况不变,不采取任何措施;方案2是指在现状方案的基础上,通过调整生产、科技和环保的投资比例,实现对投资系统内部结构的优化,促进系统的良性发展;方案3是在方案2的基础上通过对三废投资率的调整,实现环保投资系统的结构优化,进一步促进系统整体的优化。

表1 锦界工业园环境系统仿真模拟调控参量及方案

Table 1 Adjustment parameters and projects of environment system simulation of Jinjie Industrial Park				
方案 Project	投资比例 (生产、科技、环保) Investment propotion (production :sci-tech : environment protection)	污水处理投资率 Investment ratio of waste water treatment	废气处理投资率 Investment ratio of waste gas treatment	固废处理投资率 Investment ratio of solid waste treatment
方案 1Project1	0.14 :0.02 :0.04	0.4	0.2	0.4
方案 2Project2	0.16 :0.04 :0.08	0.4	0.2	0.4
方案 3Project3	0.16 :0.04 :0.08	0.36	0.34	0.3

表2 3种仿真方案的结果

Table 2 Simulation results of the different projects											
指标 Index	方案 Project	年份 Year									
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
总人口 (万人) Total population (10 thousand)	1	3.38	3.47	3.59	3.62	3.71	3.79	3.88	3.97	4.07	4.16
	2	3.61	3.69	3.78	3.86	3.95	4.04	4.13	4.31	4.43	4.49
	3	3.4	3.62	3.79	3.98	4.17	4.37	4.58	4.79	5.03	5.27
总产值 (亿元) Gross production (100 million yuan)	1	27.23	26.19	26.39	27.65	30.02	33.71	39.14	46.96	58.29	74.89
	2	27.23	26.25	26.55	27.98	30.61	34.69	40.71	49.47	62.27	81.2
	3	26.63	25.83	26.85	29.62	34.54	42.54	55.43	76.55	112.21	173.65
环境相对污染度 Relative environmentpollution degree	1	0.836	0.836	0.84	0.848	0.858	0.872	0.888	0.907	0.93	0.956
	2	0.787	0.744	0.708	0.675	0.645	0.615	0.586	0.556	0.528	0.5
	3	0.763	0.703	0.653	0.606	0.561	0.516	0.471	0.426	0.387	0.362

2.4 结果分析

方案1。由仿真结果可知,若按现状发展,园区经济发展相对滞后(图9),年均工业总产值增长率仅有10.2%,环境污染趋势进一步恶化(图10),环境相对污染度逐年提高,年均增幅为1.3%;人口增长缓慢(图

① 基期数据来源:锦界工业园统计资料

11) ,年均人口增长率仅为 2.4%。人均工业总产值增长率的增速呈现逐年下降的趋势 ,年均降幅为 1.23% ,可见环境污染的进一步恶化已经严重制约了经济和人口子系统的良性发展 ,使系统之间的发展不相协调。

方案 2。生产性投资比例由 0.14 提高到 0.16 ;科技投资比例由 0.02 提高到 0.04 ;环保投资比例由 0.04 提高到 0.08 ;其他参数保持不变。园区经济发展速度加快 (图 9) ,年均工业总产值增长率 16.3% ;环境污染得到控制和改善 (图 10) ;环境相对污染度逐年降低 ,年均降幅为 5.1% ;总人口随着经济的增长和环境的改善适度增长 (图 11) ,年均人口增长率为 3.2% ;人均工业总产值增长率的增速呈现逐年上升趋势 ,年均增幅为 3.4% ,经济、环境和人口子系统进入良性和协调发展状态。

方案 3。在方案 2 的基础上 ,对环保投资比例进行调整 ,使系统得到进一步优化。污水处理投资率由 0.4 下调为 0.36 ,废气处理投资率由 0.2 提高到 0.34 ,固废处理投资率由 0.4 下调为 0.3。结果显示 ,园区经济快速发展 (图 9) ,年均工业总产值增长率 21% ;环境污染得到持续改善 (图 10) ;环境相对污染度年均降幅为 8.1% ;总人口增速加快 (图 11) ,人口年增长率为 4.7% ,经济、环境和人口子系统实现协调发展。可见方案 3 是锦界工业园环境管理的相对最佳方案。

3 结语

通过仿真研究 ,可以看出方案 3 是锦界工业园环境管理相对最佳方案 ,它既能使经济实现较快的发展 ,又能促进经济、人口和环境系统协调发展。而且 ,各种变量都限制在适度的范围之内 ,经过努力能够实现。因此 ,锦界工业园在环境管理中必须采取以下措施 :一是合理的调整生产、科技和环保的投资比例 ,适当降低生产性投资比例 ,增加科技投资和环保投资比例。科技投资比例的提高 ,在宏观层面有利于水技术进步因子和资源利用技术进步因子的提高 ,从而增加水资源存量和供给能力 ,同时也提高了资源利用效率 ;微观层面能够激励企业研发和实施先进的循环经济技术 ,提高资源循环利用率 ,减少三废的排放 ,使环境系统得到持续改善 ;环保投资比例的提高有利于园区控制和改善环境污染。二是合理的调整污水、废气和固废处理的投资比例 ,加强三废处理的基础设施建设 ,为构建完整的三废回收和处理系统奠定基础。

制造业尤其是能源重化工行业的生态化改造是 21 世纪人类实现可持续发展的关键领域 ,生态工业园则是制造业生态化改造的最高形态 ,能源重化工工业园作为制造业生态化改造的初级形态 ,在其建立和发展过程中必须积极引入环境管理的理念 ,构建科学规范的环境管理决策机制 ,从而为园区的生态化改造建立基础性平台 ,以便能够控制和引导园区生态化改造的良性发展 ,本文以锦界工业园为例 ,在此方面进行了一定的探索性研究。研究结果表明 :能源重化工工业园可以通过对投资系统的调控 ,实现园区复合系统的优化和良性

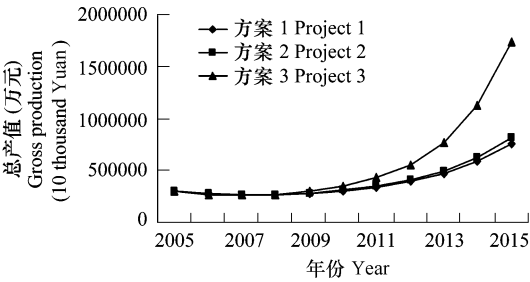


图 9 总产值指标模拟曲线 (3 种方案中)

Fig. 9 Simulation curves of gross production index

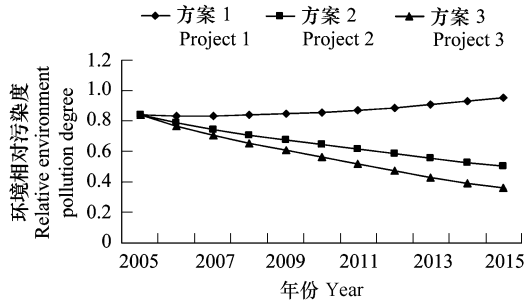


图 10 环境相对污染度指标模拟曲线 (3 种方案中)

Fig. 10 Simulation curves of relative environment pollution degree index

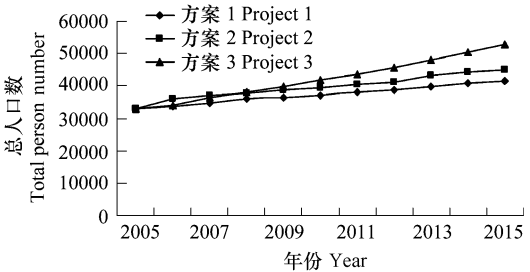


图 11 总人口指标模拟曲线 (3 种方案中)

Fig. 11 Simulation curves of total population index

发展 ;其次 ,对投资系统的调控可以分为两个层面 ,一是对投资系统结构的优化 ;二是对环保投资子系统结构的优化。

References :

[1] Reid B , Bert B , Janet K A. Using response surfaces to improve the search for satisfactory behavior in system dynamics models . *System Dynamics Review* 2000 ,16 (2) :75 — 90.

[2] Wu J H , Zeng K H. A study on system dynamics model of water resources carrying capacity in city. *Journal of Economics of Water Resources* , 2003 ,21 (3) :42 — 44.

[3] Wang Q F. *System Dynamic*. Beijing : Qinghua University Press ,1994. 95 — 117.

[4] Sun Y F. Establishment of system dynamic simulation model for environment of mining area. *Journal of Liaoning Technical University* ,2006 25 (2) :308 — 311

[5] Tang J , She X Y , Lin N F. A study on system dynamics model in eco-environment planning for Da'an of Jilin Province. *Acta Ecologica Sinica* , 2005 25 (5) :1178 — 1183.

[6] Song X F , Liu Y B. Scenarios Simulation of Urbanization and Ecological Environment Coupling in Jiangsu Province by System Dynamic Model. *Systems Engineering-Theory & Practice* ,2006 (3) :124 — 130.

[7] Wang Y B , Wang S F , Zhou P J. A study on system dynamics model of water resources carrying capacity in shijiazhuang city. *Environmetal Science & Technology* ,2006 29 (3) :25 — 27.

[8] Chen L J , Wang D H , Fang F K. Criticality Analysis on Environmental System. *Systems Engineering-Theory & Practice* ,2004 (8) :12 — 17.

[9] Yan Z W , Bi J , *et al* . Theory and control mechanism of eco-industrial parks , *Acta Ecologica Sinica* ,2004 24 (11) :3 — 5.

[10] Sun Z F. Application of System Dynamics to water resources management. *Water Resources and Hydropower Engineering* ,2005 36 (6) :14 — 16.

参考文献 :

[2] 吴九红 ,曾开华. 城市水资源承载力系统动力学研究. *水利经济* ,2003 ,21 (3) :42 ~ 44.

[3] 王其藩. 系统动力学. 北京 :清华大学出版社 ,1994. 95 ~ 117.

[4] 孙玉峰. 矿区环境系统动力学仿真模型的建立. *辽宁工程技术大学学报* 2006 25 (2) :308 ~ 311

[5] 汤洁 ,余孝云 ,林年丰. 吉林省大安市生态环境规划系统动力学仿真模型. *生态学报* 2005 25 (5) :1178 ~ 1183.

[6] 宋学锋 ,刘耀彬. 基于 SD 的江苏省城市化与生态环境耦合发展情景分析. *系统工程理论与实践* 2006 , (3) :124 ~ 130.

[7] 汪彦博 ,王嵩峰 ,周培疆. 石家庄市水环境承载力的系统动力学研究. *环境科学与技术* 2006 29 (3) :25 ~ 27.

[8] 陈六君 ,王大辉 ,方福康. 环境系统的临界性分析. *系统工程理论与实践* 2004 (8) :12 ~ 17.

[9] 袁增伟 ,毕军 ,等. 生态工业园区生态系统理论及调控机制. *生态学报* 2004 24 , (11) 3 ~ 5.

[10] 孙宗凤. 系统动力学在水资源管理中的应用. *水利水电技术* ,2005 36 (6) :14 ~ 21.