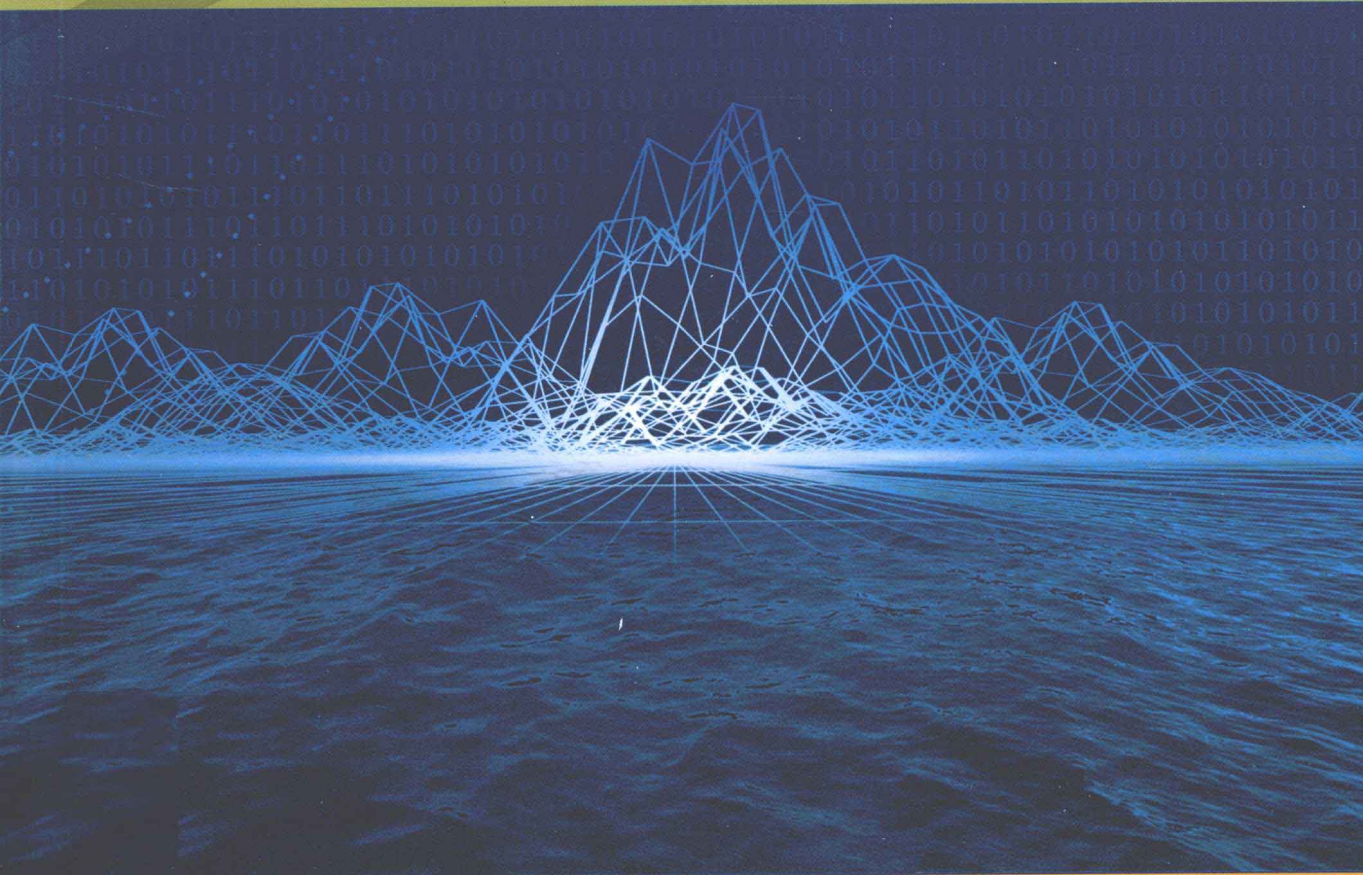


The Application and Research  
of Mathematical Model  
in Ecology

17

# 数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 陈 豫 编著



 海洋出版社

# 数学模型在生态学 的应用研究

张 明 著

科学出版社

# 数学模型在生态学的应用及研究(17)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(17)

杨东方 陈 豫 编著

海洋出版社

2011 年 · 北京

## 内 容 提 要

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,定量化地展示了生态系统中环境因子和生物因子的变化过程,揭示生态系统的规律和机制以及其稳定性、连续性的变化,使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。在科学技术迅猛发展的今天,通过该书的学习,可以帮助读者了解生态数学模型的应用、发展和研究的过程;分析不同领域、不同学科的各种各样生态数学模型;探索采取何种数学模型应用于何种生态领域的研究;掌握建立数学模型的方法和技巧。此外,该书还有助于加深对生态系统的量理解,培养定量化研究生态系统的思维。

本书主要内容为:介绍各种各样的数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅,也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

数学模型在生态学的应用及研究. 17/杨东方,陈豫编著. —北京:海洋出版社,2011. 10  
ISBN 978 - 7 - 5027 - 8111 - 8

I. ①数… II. ①杨… ②陈… III. ①数学模型 - 应用 - 生态学 - 研究 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 196820 号

责任编辑:方 菁

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:20

字数:580 千字 定价:60.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

# 前 言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性和定量的,要定性地研究,提出的问题是:“发生了什么?或者发生了没有?”,要定量地研究,提出的问题是“发生了多少?或者它如何发生的?”。前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2) 量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3) 能够动态的模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1) 建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量了解。(2)模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3)与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面所取得材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1) 模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测1年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚;(2) 模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数是说明尺度、大小、范围而已;(3) 模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题;(4) 解决生态问题时,所提出的观点,不仅从数学模型支持这一观点,还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力,以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。认真掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程和生态数学模型预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书是在浙江海洋学院出版基金、浙江海洋学院承担的“舟山渔场渔业生态环境研究与污染控制技术开放”和“近海水域预防环境污染养殖模型”项目以及国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、浮山湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海环境监测中心崔文林主任和上海海洋大学的李家乐院长;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筭院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供的良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心间。

杨东方 陈 豫

2011年1月13日

# 目 次

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 工业园系统的协调发展模型 .....  | (1)   |
| 城镇绿色空间的生态评价模型 ..... | (10)  |
| 城市发展的评价指标计算 .....   | (14)  |
| 大麦发育模型 .....        | (18)  |
| 冠层导度的响应模型 .....     | (22)  |
| 流域生态的水文过程模式 .....   | (27)  |
| 中国人均生态足迹的预测模型 ..... | (31)  |
| 艾滋病人群的传播模型 .....    | (35)  |
| 生态径流量的计算 .....      | (39)  |
| 生境对水鸟的影响模式 .....    | (44)  |
| 桃树冠层的蒸腾模型 .....     | (47)  |
| 林冠截留的解析模型 .....     | (50)  |
| 巢湖水华的突变模型 .....     | (53)  |
| 森林群落的结构和格局计算 .....  | (56)  |
| 土壤的入渗模型 .....       | (58)  |
| 森林土壤的蒸发估算 .....     | (60)  |
| 土壤侵蚀模型 .....        | (62)  |
| 棉花的氮浓度稀释模型 .....    | (65)  |
| 城市绿地的生态功能指标计算 ..... | (69)  |
| 区域生态安全的评价指标计算 ..... | (71)  |
| 水资源承载能力的指标计算 .....  | (74)  |
| 小流域土地的物元模型 .....    | (77)  |
| 鹤望兰叶面积的指数模型 .....   | (80)  |
| 土壤粒径的分形维数模型 .....   | (83)  |
| 流域土地利用的空间概率模型 ..... | (85)  |
| 坡面树冠的投影模型 .....     | (89)  |
| 对外贸易的生态足迹模型 .....   | (95)  |
| 阔叶林生态系统的退化模型 .....  | (99)  |
| 城市生态环境的需水量计算 .....  | (104) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 小流域植被的生产模型 .....       | (108) |
| 城市景观的空间格局模型 .....      | (115) |
| 发病率与抗病率之间的转换 .....     | (119) |
| 甜槠林群落的多样性指数计算 .....    | (121) |
| 榕树凋落物分解的衰减模型 .....     | (123) |
| 作物水分利用效率的计算 .....      | (126) |
| 水资源—城市人口—农业用水的模型 ..... | (128) |
| 农业生态脆弱性的指标计算 .....     | (131) |
| 毛竹林整齐度与均匀度的计算 .....    | (133) |
| 农业生态安全的评价指标计算 .....    | (135) |
| 控释肥料的释放速度计算 .....      | (139) |
| 枸杞总糖含量的计算 .....        | (141) |
| 生态空间的占用公式 .....        | (144) |
| 土地评价的指标计算 .....        | (147) |
| 生态示范区的评价指标计算 .....     | (151) |
| 黄叶率与绿叶率的计算 .....       | (155) |
| 湿地生态系统的评价指标计算 .....    | (157) |
| 活性污泥微生物种群的指数计算 .....   | (160) |
| 自然脆弱性的评价公式 .....       | (162) |
| 种子活力的计算公式 .....        | (164) |
| 芒果品种间相似系数的计算 .....     | (167) |
| 中子仪标定方程的精度计算 .....     | (170) |
| 作物的水分利用效率公式 .....      | (173) |
| 生态系统的功能计算 .....        | (175) |
| 檫树群落的分布格局模型 .....      | (178) |
| 种子的萌发公式 .....          | (181) |
| 干旱等级的计算 .....          | (184) |
| 斜纹夜蛾的喜食指数计算 .....      | (186) |
| 植被净化大气污染物模型 .....      | (189) |
| 鸟类分布格局的相对多度模型 .....    | (192) |
| 土壤积盐的通径计算 .....        | (196) |
| 污水灌溉的经济损失模型 .....      | (199) |
| 区域农业资源的预警模型 .....      | (202) |
| 腐殖酸复合肥施用量的计算 .....     | (204) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 冬小麦同化产物的积累模型 .....    | (207) |
| 食物链的物质流和能量流计算 .....   | (211) |
| 环境质量的评价公式 .....       | (215) |
| 生态增量的经济模式 .....       | (218) |
| 柑橘叶片的气孔导度模型 .....     | (220) |
| 光-光合速率响应模型 .....      | (223) |
| 景观生态的物元评判模型 .....     | (226) |
| 长苞铁杉群落的多度分布模型 .....   | (230) |
| 种间的竞争方程 .....         | (233) |
| 丝栗栲群落的物种一个体计算式 .....  | (238) |
| 生态环境质量的评价公式 .....     | (243) |
| 沙波迁移速度的计算 .....       | (247) |
| 南半球平均地转的西风指数计算 .....  | (249) |
| 浅海桶形基础的失效模式 .....     | (251) |
| 胶州湾溢油轨迹的模式 .....      | (254) |
| 长江冲淡水的均质与双层模型 .....   | (256) |
| 水色的色度公式 .....         | (260) |
| 南黄海深度与温度的计算式 .....    | (263) |
| 潮汐调和分析 .....          | (266) |
| 单绪纆丝试验机工作效率的计算 .....  | (268) |
| 松土机构的运动模型 .....       | (270) |
| PAPI 用量的计算 .....      | (272) |
| 生物质的热解方程 .....        | (274) |
| 硫酸软骨素酶法的提取模型 .....    | (277) |
| 亚硝基血红蛋白发色率的计算 .....   | (281) |
| 大米发泡蛋白的指标计算 .....     | (283) |
| 抗脂质过氧化物活性的计算 .....    | (286) |
| 黄瓜光合作用的类卡方模型 .....    | (289) |
| CPC 空隙及光能损失的计算 .....  | (293) |
| 划分中国气候区的 P-M 公式 ..... | (299) |
| 灌溉水量的模型 .....         | (302) |
| 车辆防翻滚的有限元模型 .....     | (305) |

# 工业园系统的协调发展模型

## 1 背景

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,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,并及时通过政策或宏观战略决策的调整来控制和引导园区的健康发展。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<sup>[1]</sup>。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<sup>[2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。汤洁等<sup>[4]</sup>对吉林省大安市生态环境规划的研究;宋学锋等<sup>[5]</sup>对江苏省城市化与生态环境耦合的研究;陈六君等<sup>[6]</sup>对环境系统的临界性分析都采用了系统动力学方法。杨养锋等<sup>[7]</sup>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的动力学模型;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。

## 2 公式

### 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。大系统演化和发展状态需要人为地设计和干预,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(图 1),杨养锋等<sup>[7]</sup>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,杨养锋等<sup>[7]</sup>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,三角形的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与不重要之分。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,而且六种流也存在于管理系统和其他3个子系统之间<sup>[8]</sup>。

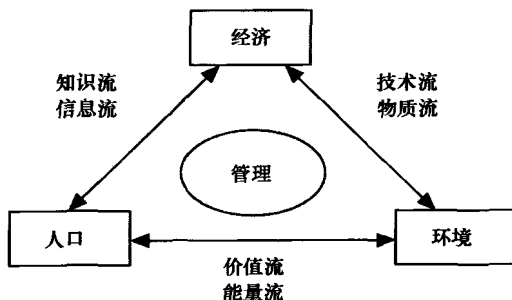


图1 能源重化工工业园区复合生态系统结构

## 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(图2)。主要反馈回路如下:

区域人口 $\rightarrow$ +废水(废气、固废)排放 $\rightarrow$ +废水(废气、固废)污染度 $\rightarrow$ +环境相对污染度 $\rightarrow$ -区域人口

园区工业总产值 $\rightarrow$ +废水(废气、固废)排放 $\rightarrow$ +废水(废气、固废)污染度 $\rightarrow$ +环境相对污染度 $\rightarrow$ -园区工业总产值

园区工业总产值 $\rightarrow$ +环保总投资 $\rightarrow$ -废水(废气、固废)污染度 $\rightarrow$ -环境相对污染度 $\rightarrow$ -园区工业总产值

环保总投资 $\rightarrow$ -废水(废气、固废)排放 $\rightarrow$ +环境相对污染度 $\rightarrow$ +环保总投资

## 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。

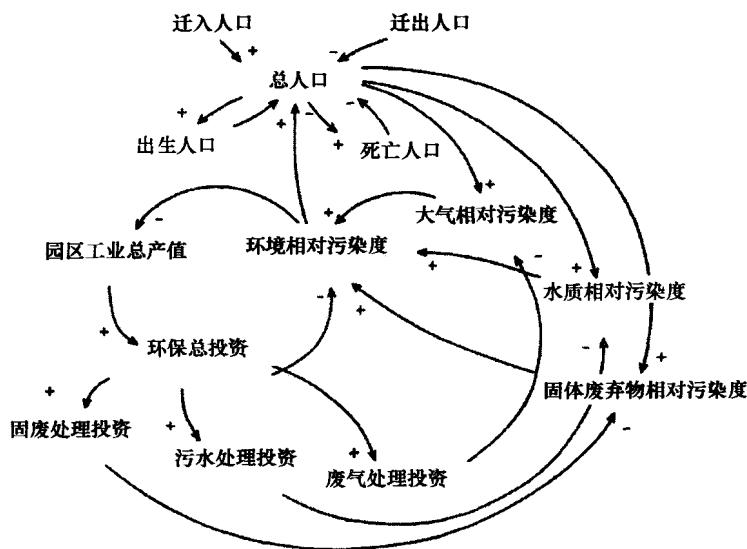


图2 能源重化工工业园因果关系回路

### 2.3.1 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:

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

$$\text{园区年出生人口}(BP) \quad BP.JK = P.K \times csl \times jy$$

$$\text{园区年死亡人口}(DP) \quad DP.JK = P.K \times swl \times hy$$

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

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

式中, $P.J$ 为过去人口总数; $P.K$ 为现在人口总数; $csl$ 为出生率; $swl$ 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。

### 2.3.2 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

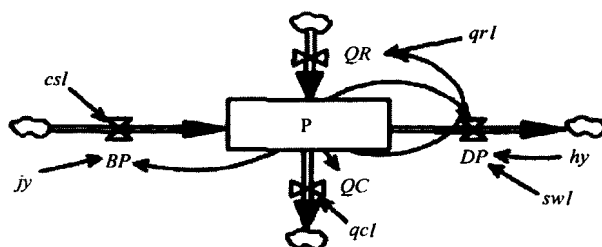


图3 人口子系统流图

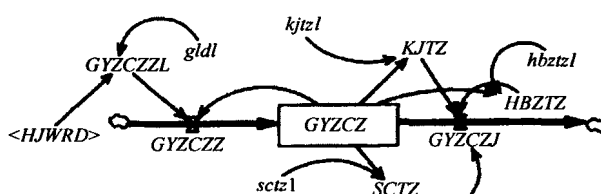


图4 经济子系统流图

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( $GYCZ$ )  $GYCZ.K = GYCZ.J + DT \times (GYCZZ.JK - GYCZJ.JK)$

工业总产值增加值( $GYCZZ$ )  $GYCZZ.JK = GYCZ.K \times GYCZZL.K$

工业总产值增长率( $GYCZZL$ )  $GYCZZL.K = -0.7 \times \ln HJWRD.K + gdl.K^2$

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

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

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

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

式中, $gdl$ 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。

### 2.3.3 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(图5)。资源对环境的影响因素也含化在这3个子系统当中。

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他子系统相连。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  $22\ 590 \text{ m}^3$ 。废水中主要污染物为  $\text{BOD}_5$ 、 $\text{COD}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{SS}$ 、石油类等,还含有少量的  $\text{F}^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  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。

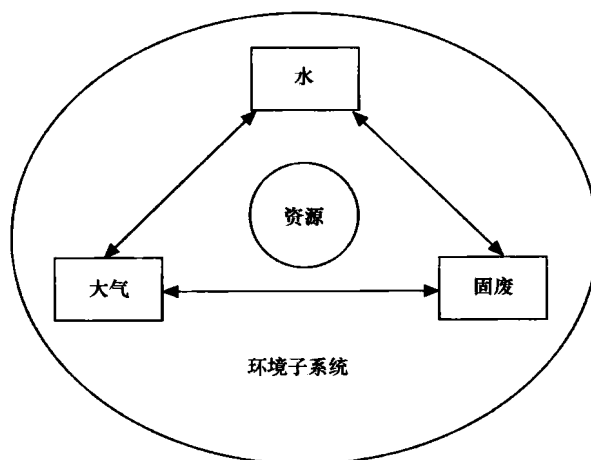


图5 环境子系统结构

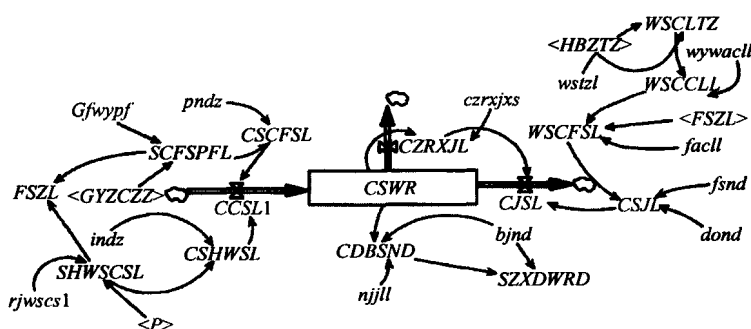


图6 污水处理子系统流图

污水处理子系统方程:

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

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)  $SCFSPFL.JK = GYZCZZ.JK \times gfwypfl.k$

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

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

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)  $WSCFSL.JK = IF \ THEN \ ELSE(FSZL.K \times fscll.k > = WSC-  
CLL.K, \ FSZL.K \times fscll.k)$

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

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

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; $gfwypfl$ 为工业废水万元产值排放量; $fsnd$ 为废水浓度; $rjwscsl$ 为人均污水产生量; $czrxjxs$ 为 COD 自然消解系数; $dbnd$ 为达标排放浓度; $fscll$ 为废水处理率; $wstzl$ 为污水处理投资率; $bjnd$ 为区域地表水背景浓度; $njll$ 为年均径流量; $bjnd$ 为区域地表水背景浓度; $wywsccll$ 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(二氧化硫)存量作为状态变量,以二氧化硫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(二氧化硫)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二氧化硫、二氧化碳、总悬浮颗粒物。二氧化硫在有风、小风和静风条件时叠加了背景值后的 1 h 浓度最大值分别为  $0.488\ 67\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $0.505\ 29\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $0.478\ 74\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,分别占标准值[《环境空气质量标准》(GB 3095-1996)二级标准值]的 97.8%、101.00%和 95.8%,基本接近标准值的上限。二氧化氮在有风、小风和静风条件时叠加了背景值后的 1 h 浓度最大值分别为  $0.129\ 56\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $0.141\ 71\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $0.126\ 57\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,分别占标准值的 54.1%、59.2%、52.7%。废气中总悬浮颗粒物日均浓度贡献值为  $0.000\ 5\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,叠加了背景值后最大日均浓度值为  $0.773\ 5\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,超标 1.58 倍,因总悬浮颗粒物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总悬浮颗粒物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二氧化硫,选择大气污染(二氧化硫)存量作为状态变量具有典型性和针对性。

大气污染处理子系统方程:

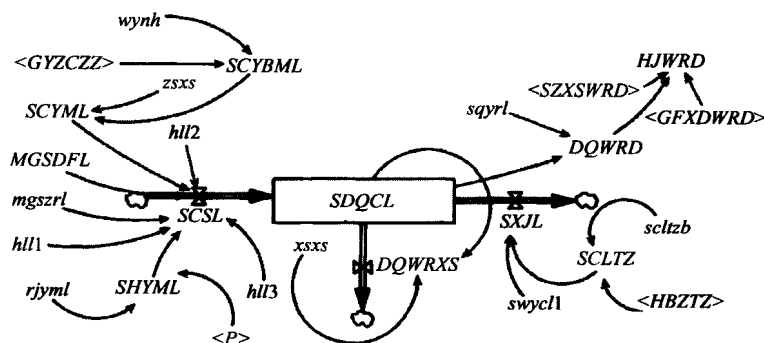


图7 大气污染处理子系统流图

大气污染(二氧化碳)存量( $SDQCL$ )  $SDQCL.K = SDQCL.J + DT \times (SCSL.JK - SXJL.JK - DQWRXS.JK)$

二氧化硫产生量( $SCSL$ )  $SCSL.JK = SCYML.K \times hll2.k + MGSDFL.K \times mgszrl.k \times hll1.k + SHYML.K \times hll3$

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( $SXJL$ )  $SXJL.JK = SCLTZ.K \times swycll.k$

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

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

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

环境相对污染度( $HJWRD$ )  $HJWRD.K = DQWRD.K + SZXDWRD.K + GFXDWRD.K$

式中, $rjymL$  为人均用煤量; $hll1$  为含硫率1; $hll2$  为含硫率2; $hll3$  为含硫率3; $mgszrl$  为煤矸石自燃率; $zsxs$  为折算系数; $wynh$  为万元 GDP 能耗; $MGSDFL$  为煤矸石堆放量; $xsxs$  为消散系数; $sqyrl$  为区域二氧化硫环境容量; $swycll$  为万元二氧化硫处理量; $scltzb$  为二氧化硫处理投资比率。

固废污染处理子系统(图8)属于环境系统的一个子系统,它以固体废弃物存量(煤矸石)为状态变量,以固废年产生量和固体废弃物年消减量为速率变量,有多个辅助变量与其他子系统相连。以固体废弃物存量(煤矸石)作为状态变量是因为锦界工业园区主要的能耗资源是煤炭,而煤矸石是其最主要的固体污染源,占固体废弃物年产生量的85%以上,因此选择该指标作为状态变量能够较为直观和真实地反映园区固体废弃物污染的现状。下面为固体废弃物污染处理子系统方程。

固体废弃物存量( $GFCL$ )  $GFCL.K = GFCL.J + DT \times (GFCSL.JK - GFJSL.JK -$

