

山东半岛城市群发展模式仿真研究

艾 华¹, 张广海², 李 雪²

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中国海洋大学管理学院, 山东 青岛 266071)

摘要: 改革开放以来, 山东半岛各城市迅速发展, 极大推动了全省国民经济的发展, 但与此同时, 经济、环境与社会效益之间的矛盾也日趋激化。在分析该区主要人地关系问题的基础上, 探讨生态环境与经济发展之间的相互关系, 利用系统动力学模型进行多方案动态仿真模拟, 进而利用协调发展度模型对各方环境与经济协调发展程度进行定量评判, 得出相对较优的发展方案, 为该区协调发展提供战略决策依据。

关 键 词: 可持续发展; 系统动力学; 协调发展度模型

中图分类号: F291 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2006)02-0144-07

1 山东半岛城市群人地关系问题

山东半岛城市群包括济南、青岛、淄博、潍坊、烟台、威海、日照、东营 8 个设区城市, 土地面积 $7.33 \times 10^4 \text{ km}^2$, 2004 年底总人口为 3 941.41 万人。GDP 的总量为 10 187.56 亿元, 占山东省的 65.8%, 比 1988 年增长了 14.9 倍; 人均 GDP 为 25 847.5 元, 比 1988 年增长 11.8 倍。与此同时, 产业结构不断优化, 第三产业发展迅猛, 第三产业增加值为 3 450.43 亿元, 比 1988 年增长 24.1 倍; 所占 GDP 比重由 1988 年 21.4% 上升 33.9%。然而, 随着经济快速发展及工业化、城市化进程的加快, 山东半岛城市群在发展过程中, 经济、环境与社会效益之间的矛盾日趋激化, 突出表现为:

1.1 人口基数大、增长快、密度大

人口基数大、增长快、密度大是山东半岛城市群经济发展和生态环境改善的重要制约因素。虽然人口自然增长率较低, 但由于人口基数大, 且机械增长率较高, 人口的总体增长速度快于省内其他地区, 人口密度较大。从 1990 年到 2000 年这两次人口普查期间, 该区总人口的增长率为 8.69%, 比全省平均水平 (6.54%) 高出 2 个百分点。2000 年, 山东半岛城市群地区总人口为 3 862.81 万人, 到 2004 年, 达到 3 941.41 万人, 人口密度高达 538 人 / km^2 , 大大高于 134 人 / km^2 的全国平均水平。人口激增与需求的扩大势必对资源环境产生巨大

压力, 使环境的承载力下降, 不利于经济和社会的协调发展。

1.2 资源问题

1.2.1 水土资源供需矛盾加剧

随着山东半岛城市群工业化和城市化进程的加快, 现已相对短缺的土地、水资源供需矛盾进一步加剧。该区土地总面积 $73\,311 \text{ km}^2$; 2003 年年初耕地的面积约为 $27\,953.5 \text{ km}^2$, 土地的开发率为 38.13%; 城市建设用地为 945.87 km^2 , 约占土地总面积的 1.29%; 年内新增耕地为 207 km^2 , 而减少 805 km^2 , 实际减少耕地 598 km^2 ; 土地开发后备资源不足, 城市建设用地紧张。水资源短缺已成为制约山东半岛城市群地区经济和社会发展的主要瓶颈。该区多年平均水资源量 $135\,36 \times 10^8 \text{ m}^3$, 人均 350 m^3 , 不足全国人均占有量的 $1/6$ ^[1], 青岛市更是严重缺水的城市。同时水资源的不合理利用、浪费和污染更加剧了这种状况。

1.2.2 能源供应不足, 森林覆盖率低

由于山东半岛城市群是山东省重要的制造业基地, 重化工业比例大且发展快, 本区煤、热、电等二次能源供应不足, 而且能源以煤炭为主, 结构单一, 电力供应全部依靠火力发电, 在能源消费总量中, 工业消费占 84.2%, 这种以煤为主的能源结构不但使该区能源供应较为匮乏, 而且带来酸雨等一系列环境问题。半岛城市群地区森林资源不足, 2003 年森林覆盖率为 17.8%, 人均森林资源不到全

收稿日期: 2005-06-14 修订日期: 2006-01-12
基金项目: 山东省科技攻关项目 (2004GG3206003)、山东省社科规划项目 (04BJZ44)。
作者简介: 艾 华 (1962-), 女, 吉林省集安市人, 博士, 副教授, 主要从事区域经济方面研究。E-mail: ah041@163.com

国的 1/5

1.3 环境污染

1.3.1 水污染

山东半岛城市群河流污染源主要来自城市工业废水和生活污水。据环境部门 2003 年统计, 该区年废水总排放量为 12.69×10^8 t, 占山东省总排放量的一半以上, 废水中化学需氧量为 33.6×10^8 t, 氨氮排放量为 3.68×10^8 t。

半岛八市中废水排放总量以青岛市为最多, 但工业废水以潍坊、淄博等传统工业城市为主。工业废水中主要污染物排放情况见表 1, 其中威海市污染最小, 潍坊工业废水中所含化学需氧量最多, 东营石油类污染物最多, 淄博市氨氮类污染物在工业废水中比重最大。

表 1 山东半岛城市群工业废水中主要污染物排放

Table1 Main wastewater pollution in Shandong Peninsula megapolis (unit: t)

城市名称	化学需氧量 (t)	石油类 (t)	氨氮 (t)
济南	10116.2	47.4	222.9
青岛	10715.9	36.3	761.6
潍坊	28422.1	57.6	1149.4
淄博	20443.8	218.7	4581.9
烟台	13662.5	17.6	242.8
威海	3778	4.0	103.7
日照	11580.5	0.8	104.1
东营	23589.7	249.8	2642.4

资料来源: 2003 年《山东省环境质量报告书》

1.3.2 大气污染

山东半岛城市群大气污染以煤烟型污染为主。2003 年各城市空气中 SO_2 、 NO_2 和可吸入颗粒物的平均值分别为 0.044 mg/m^3 、 28 mg/m^3 和 0.087 mg/m^3 。其中, 可吸入颗粒物是影响环境空气质量的首要污染物。从污染负荷的系数来看, NO_2 占 17.6%, SO_2 和可吸入颗粒物的污染负荷系数之和达 82%。

1.3.3 固体废弃物污染

山东半岛城市群 2003 年工业固体废弃物产生量高达 3.245×10^4 t, 比 2000 年增加 530×10^4 t, 其中, 烟台市固体废弃物产生量最多, 为 979.1×10^4 t; 其次为济南、淄博、青岛三市, 东营最少, 为 106.2×10^4 t。同时, 各城市工业固体废弃物的综合利用率均在 80% 以上。这些固体废气物不仅占用土地空间, 还可能造成二次污染。

1.3.4 水土流失与土壤污染

由于气候原因和人为影响, 水土流失已成为土壤环境污染的问题之一。山东半岛城市群各城市都存在不同程度的水土流失, 如 2003 年济南市水土流失面积达 4189 km^2 , 主要集中在济南市区、长清、平阴、章丘等山区; 青岛市水土流失以水蚀型为主, 占土地总量的 89.6%, 年平均侵蚀深度为 1.58 mm。山东半岛城市群土壤污染的主要来源为工业和城市污水以及固体废弃物、农药和化肥、畜禽排泄物、生物残体和大气沉降物等, 其中, 工业固体废弃物的影响最大。

2 半岛城市群发展模式仿真

拟采用系统动力学方法, 将人口、资源、环境与经济等因子统一到一个体系中进行研究^[2], 仿真模拟山东半岛城市群地区生态环境与社会经济发展的相互关系, 定量探讨其发展模式, 并对各模式进行定量评判, 为该区协调发展提供战略决策依据。本文选取 151 个指标 (其中状态变量 7 个、速率变量 11 个、辅助变量 76 个、表函数 15 个、参数 42 个), 借助 VENSIM 软件^[3] 构建该区生态环境与经济发展系统动力学模型。综合分析历年统计资料, 多次调试、修改、验证, 完善仿真模型, 对山东半岛城市群未来 20 年的协调发展问题进行研究。其中, 总体因果关系如图 1 所示:

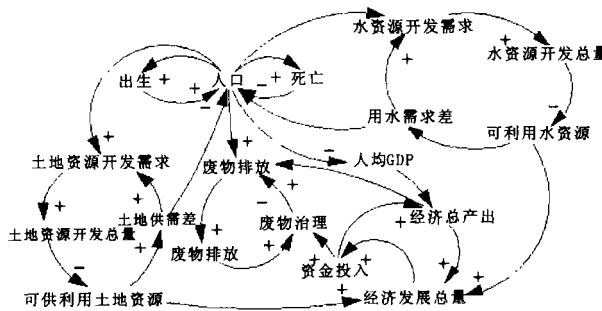


图 1 总体因果关系图

Fig 1 General causation

根据系统因果关系和山东半岛城市群的现状区情, 选择人口自然增长率、GDP 增长率、R&D 经费占 GDP 比重的增长率、环保与治理投资占 GDP 比重、人均生活需水量、人均绿地等六项指标作为控制参数, 确定该区生态环境与社会经济发展的四种仿真方案。

2 1 方案 1

通过分析半岛城市群的发展过程,各参数按其平均水平取值:人口自然增长率为 3 4‰, GDP 增长率为 12%, R&D 经费占 GDP 比重的增长率为 4%, 人均生活需水量为 70 m³, 人均绿地面积为 13 m², 环保与治理投资占 GDP 比重为 1%。

该方案仿真结果,到 2023 年半岛城市群地区人口将达到 4 197. 8 万人,比 2003 年增加了 285 万人,年人口净增量平均为 14 3 万人;国内生产总值与高科技产业产值均呈指数增长,到 2023 年内生产总值将达到 114 606 亿元,高科技产业产值达到 20 342 亿元,但高科技产业产值从 2009 年开始,其增长幅度小于国内生产总值的增长(见图 2);伴随着该区经济发展总量的提高,固定资产投资也持续快速增长,到 2023 年将达到 60 741 亿元,且从 2009 年开始其增长幅度高于国内生产总值的增长幅度。但可利用水资源呈现明显的递减趋势,水资源不足势必会影响人类正常的生活生产活动。环境质量日益下降,模拟期内三废排放量持续增长。虽然方案 1 并非 4 个方案中经济发展速度最快的,但由于环保力度不够,该区向环境排放的三废最多,尤其是废水排放量呈现明显的指数型增长趋势,由此造成的环境质量下降趋势比其它方案更为明显。

2 2 方案 2

为了进一步推动山东半岛城市群的经济发 展,扩大规模,各控制参数值调整为:人口自然增长率为 5‰,在 4 个方案中最高;根据该区实际发展情况和资源环境潜力,确定 GDP 增长率为 19%,在 4 个方案也是最高;而经济的发展与科技进步是密不可分的, R&D 经费占 GDP 比重的增长率取 6%;考虑到随着经济发展、人民生活质量的不断提高,用水水平也会相应提高,因此取人均生活需水量为 90 m³;经济的发展必然会使建设用地的规模不断扩大,进而用于环境绿化的土地将逐渐减少,在此,人均绿地面积取为 8 m²;环保与治理投资占 GDP 比重为 2%。

到 2023 年,该方案总人口将达到 4 323 万人,比同期方案 1 高出 125 1 万人。总人口的增加为经济发展提供了劳动力和需求这两个增长因素,各产业产值均有所提高。该方案是所有方案中,经济总量最大,经济增长幅度最快的一个。到 2008 年, 2013 年, 2018 年和 2023 年,该区 GDP 将分别达到 19 900 亿元, 47 487 亿元, 113 322 亿元和 370 426 亿元(按 2003 年不变价)。该方案三次产业增长率分别为 5%, 20 4% 和 20 6%,明显高于其他方案。而从投资效果系数来看,到 2023 年该方案中三次产业投资效果系数分别为 0 5, 0 41, 0 3 而

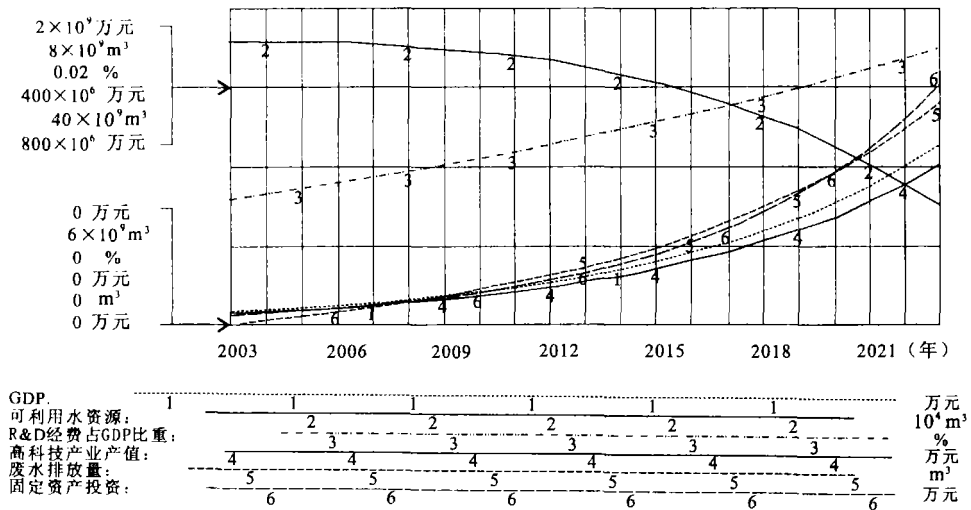


图 2 山东半岛城市群方案 1 中经济与环境发展趋势分析图

Fig 2 Developing tendency of economics and environment in Pattern 1 of Shandong Peninsula megapolis

方案 3 仅为 0 16 0 13 0 09, 显然, 该方案的经济运行效益相对较好。

在水资源利用方面,随着人口规模扩大和经济不断发展,该区需水量不断增长,但由于水资源开

发利用程度的限制,加剧了该区水资源短缺,到2023年水资源缺口达到 $144.19 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在土地利用方面,到2012年该区的用地总量为土地资源总量的90%,同时,受可利用土地资源的限制,2015年土地开发量仅为 4.7 km^2 ,到2016年土地开发即达到饱和状态,到2023年土地供需缺口达到 $6.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

方案2在使山东半岛城市群取得经济高速增长的同时,不断向环境排出大量的废水、废气和固体废弃物。到2023年,该区的三废排放量分别为 $270.7 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $285.080 \times 10^8 \text{ Nm}^3$ 、 $90.914.2 \times 10^4 \text{ t}$,仅次于方案1。同时,废水治理率也相应提高,到仿真期末,该方案废水治理率为 $90.23 \times 10^8 \text{ t}$,而方案1仅为 $28.2 \times 10^8 \text{ t}$,这主要是因为适度加大了环保投资,使得环境治理的成效较为明显。

2.3 方案3

分析方案1、2的仿真结果,环境资源已成为山东半岛城市群社会经济发展面临的关键问题。为了节约资源、保护环境,各控制参数调整如下:人口自然增长率控制在 1.5‰ ,在4个方案中最低;考虑到环境质量恶化和资源消耗与生产发展密切相关,把GDP增长率和人均生活需水量分别控制在 6% 、 50 m^3 ;考虑到高科技产业对国民经济的贡献,加大研发投入力度——R&D经费占GDP比重的增长率为 9% ;考虑到环保成效与投资密不可分,

因而该方案环保与治理投资占GDP的比重增加到 3.5% ;为突出环境效益,人均绿地面积 25 m^2 。

仿真结果表明,该方案人口与经济发展规模最小、速度最慢,因而对资源环境产生的影响也相对较小。同时,加大环保与治理投资,使得该区的生态环境得到明显改善,所产生的三废污染最轻。从图3可以看出,该方案废水排放量曲线在2003~2016年期间曲线斜率一直在减小,表明废水排放量增长速度持续减少,在2016~2019年期间,曲线的斜率约为零,表明废水排放量基本保持在同一个水平上,而从2019年以后,废水排放量持续减少,直至2021年,达到一个新的较低水平,从总体上看,该方案废水排放量呈现寻的指数型增长趋势。而废气排放量从2003到2012年一直呈直线型增长趋势,之后的五年中,增长的幅度越来越小,且其曲线的驻点出现在2017年,之后废气排放量呈现下降的趋势,直到2021年开始有所回升,但增长的幅度不大;与废气排放量相比,固体废弃物变化趋势的不同之处在于2003到2018年间呈寻的指数型增长趋势,而2018年之后,二者的变化趋势基本一致。

同时,该方案属于保守型方案,忽视区域经济和 社会的发展。2023年人口仅比基期增加147.2万人,到2013、2018和2023年,半岛城市群人口将分别达到39.861万人、4.022.9万人和4.060万人;

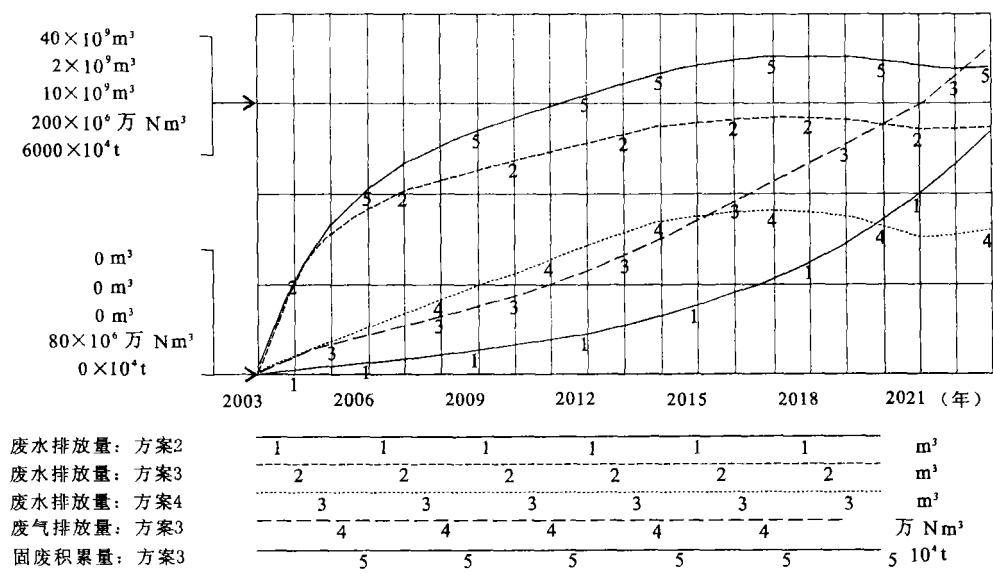


图 3 山东半岛城市群不同方案环境质量趋势图

Fig 3 Developing tendency of environmental quality among different patterns of Shandong Peninsula megacities

从经济发展状况看,由于经济发展不是所追求的目标,所以无论是经济总量还是经济增长指标,均是4个方案中最低的;三次产业增长率分别为1.5%、6.4%、6.5%,明显低于其它方案。

2.4 方案4

方案3考虑了半岛城市群地区资源与环境的保护,对维持该区生态环境的良性循环起到了一定作用,但由于人口经济发展较慢,会使得该区总体发展水平滞后。因此,为了既注重环境资源又强调社会经济的可持续发展,方案4把控制参数调整如下:人口自然增长率为4‰,GDP增长率为16%;R&D经费占GDP比重的增长率为10%;人均生活需水量为75 m³;人均绿地为15 m²;环保与治理投资占GDP比重为3%。

该方案山东半岛城市群人口以年均近16.6万人的速度增长,到2023年人口总数将达到4245.3万人,比方案1与方案3分别多47.5万人和159万人;GDP(按2003年不变价)到2008年,2013年,2018年和2023年将分别达到18283亿元,40084亿元,87881亿元和192675亿元,其绝对量分别为同期方案1的1.1~1.7倍。仿真结果表明,尽管经济发展较快,但对环境造成的影响却相对较小,到2023年,该方案所产生的废气排放量为 $90860 \times 10^8 \text{ Nm}^3$,废水排放量曲线在2007年左右出现拐点,在2007年以前,废水排放量呈寻的指数增长趋势,增长速度趋于减小,而2007年之后,其增长速度逐渐变大(见图3)。总体上来说,该方案经济与环境发展状况在4方案中较优。

3 城市群发展模式定量评判

针对上述4种仿真结果,为了进一步确定山东半岛城市群生态环境与社会经济协调发展方案,这里拟提取2005年,2010年,2015年,2020年4个时间截面的仿真数据,利用廖重斌提出的协调发展度模型^[4]对上述仿真方案进行定量分析与评价。其中反映该区社会经济发展状况的指标有人均GDP、农业总产值、工业总产值、一产投资效果系数、二产投资效果系数、三产投资效果系数、固定资产投资、R&D经费等;反映生态环境状况的指标有废水排放量、废气排放量、人均绿地、人均生活需水量、环保与治理投资占GDP比重等;各指标的评价标准为四年中的最优值。经计算,未来20年4个方案的环境与经济协调发展趋势如图4所示。

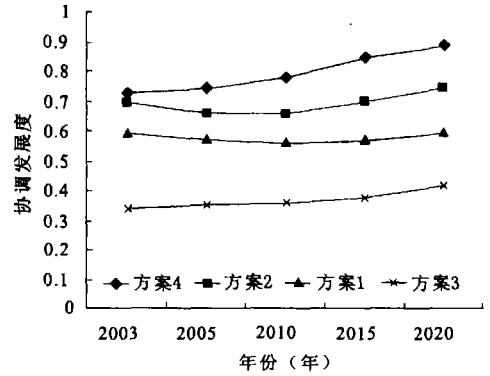


图4 不同方案环境与经济协调发展趋势图

Fig. 4 Trend of coordinative development between environment and economy among different patterns

3.1 方案1——一般增长模式

在未来的20年中,方案1的协调发展度最高仅为0.596,其发展趋势呈现开口向上的抛物线形状(如图4),在2003年至2010年期间,协调发展度一直呈下降趋势,到2010年达到0.558的低谷水平,之后发展状况有所好转,但并无实质上的转变。从图5可看出,在整个模拟期内,该方案综合环境效益函数 $f_1(x)$ 呈现递减的趋势,而综合经济效益函数 $g_1(y)$ 随时间的推移递增,且在2003~2010年期间,前者大于后者,到2011年左右,二者相等,达到环境经济同步勉强协调发展水平,之后的几年中,综合环境效益开始小于综合经济效益。依据杨士弘提出的判别标准^[4],未来20年间,该区具有从初级协调发展类经济滞后型向环境滞后型转变的趋势,原因在于目前该区仍属于资源消耗型经济,经济高效快速发展的潜力没有发挥出来,而且资源的有效利用和环境保护没有得到充分重视,从而导致了经济与环境发展的不同步。

3.2 方案2——经济快速增长模式

在未来的20年中,经济快速发展,环境与经济之间的协调发展程度优于同期方案1,协调发展度最高水平为0.741,但在整个模拟期内协调发展度的变化趋势同方案1一样,为开口向上的抛物线形状——2003年该区协调发展度为0.689,到2005年达到0.656的低谷水平,从2005年开始,协调发展度一直呈上升趋势:2005~2015年间,社会经济发展与生态环境处于初级协调发展水平,到2020年协调发展度达到最高值0.741,比2003年高出0.062,由图5看出,该区综合环境效益函数 $f_2(x)$ 与综合经济效益函数 $g_2(y)$ 的变化趋势同方案1

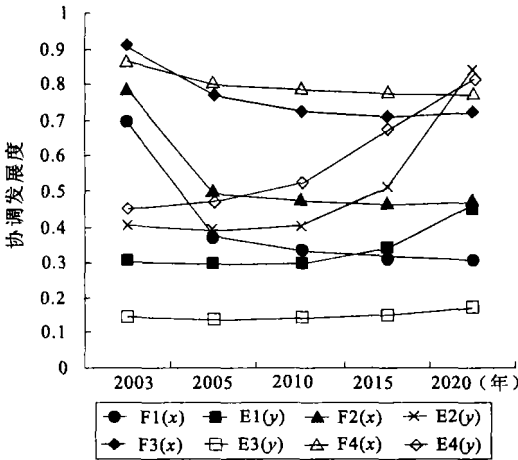


图 5 不同方案综合环境与经济效益函数发展趋势图

Fig 5 Developing trend of integrated environmental and economic benefit function among different patterns

一致,不同之处在于该区总体上由初级过渡到了中级协调发展水平。究其原因在于随着经济发展投入的加大,经济总量快速积累,使得在环保投资所占比重不变的情况下,环保治理力度加大,从而改善环境质量,在一定程度上缓和了环境与经济之间的矛盾。

3 3 方案 3——资源环保模式

该方案由于过分突出资源环保效应,尽管协调发展度具有不断上升趋势,但总体上最差,最高值仅为 0.416 该方案属于经济滞后型,综合环境效益函数与经济效益函数在整个模拟期内不存在交点,且 $f_3(x) > g_3(y)$ (如图 5),表明整个模拟期内均没有达到协调发展水平。

3 4 方案 4——经济与资源环境协调发展模式

该方案协调发展程度处于相对较优水平,且呈近似直线型增长趋势,增长的幅度在众多方案中相对最大(见图 4)。从 2005 年到 2015 年,协调发展度从 0.743 增长到 0.846,环境与经济协调发展程度由中级过渡到良好水平;从 2015 到 2020 年,协调发展度曲线继续上升,到 2020 年达到 0.888,接近 0.9 的优质协调发展水平。由图 5 进一步分析可以看出,该方案综合环境效益函数 $f_4(x)$ 与综合

经济效益函数 $g_4(y)$ 在 2017 年交于一点,达到环境与经济良好协调发展同步型水平。可见,随着半岛城市群的协调发展,该方案有望向优质协调发展类过渡。

4 结 语

综上所述,方案 1 经济发展速度较快,但由于环境保护的力度不够,且主要通过资源、资金和劳动力的高投入来支撑经济的增长,没有很好地实现资源的有效利用,不利于该区长期的发展。方案 2 更注重经济发展,经济总量及其发展速度在 4 个方案中均最高,协调发展度也较好,协调发展程度由初级向中级水平转变,但总体低于方案四,且在 2011 年之后明显地表现为环境滞后型。方案 3 则过分强调环境保护,而没有考虑经济效益,造成二者协调发展程度最低。方案 4 在整个仿真过程中呈现相对最优的状态——环境与经济的协调发展程度一直呈现渐好趋势,到 2020 年接近优质协调发展水平。这表明半岛地区未来 20 年内在大力发展经济的同时,必须注意资源环境开发与保护,按照减量化、再利用、资源化的原则,加强资源综合利用,完善再生资源回收利用体系,全面推行清洁生产,强化环境污染治理和生态保护,形成低投入、低消耗、低排放和高效率的节约型增长方式^[5],以尽量追求环境与经济发展的相对满意状态,逐步优化二者间的协调发展程度。

参考文献:

[1] 周一星,杨焕彩. 山东半岛城市群发展战略研究(第 1 版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
[2] 郭文启. 我国沿海地区城市群可持续发展问题探析——以山东半岛城市群为例 [J]. 地理科学, 2000, 20(3): 274~ 278.
[3] 贾仁安. 系统动力学——反馈动态性复杂分析(第 1 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
[4] 杨士弘(编著). 城市生态环境学(第 1 版) [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
[5] 方创琳,余丹林. 区域可持续发展 SD 规划模型的试验优控——以干旱区柴达木盆地为例 [J]. 生态学报, 1999, 19(6): 767~ 774.

Simulation Research on Development Pattern of Shandong Peninsula

AI Hua¹, ZHANG Guang-Hai², LI Xue²

(1. Institute of Geographical science and research, chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;

2 Management College, Ocean University of China, Qingdao Shandong 266071)

Abstract The coordinative development between eco-environment and economy is very important for area's progress. The Shandong Peninsula Megalopolis develops rapidly since the reform and open-door policy greatly promoting the national economic growth of Shandong Province. But coincidentally, problems among economy, environment and social benefit become more and more acute, especially those about resources and environment pollution. There is a large number of population in Shandong Peninsula megalopolis, and at the same time, more people immigrate into this area with the pace of development and economic expansion, which will exert huge pressure on resources and environment, resulting into the descending of environment carrying capacity. As far as the resources problems are concerned, water resources has become the main bottleneck of regional economic and social development in this area—the water possessed by each person is less than one sixth of the average level in China. The energy consumption in Shandong Peninsula megalopolis is mainly relying on coal, and thus will not only accelerate the scarcity of energy but also bring about a series of environment problems such as water pollution, air pollution, etc. The realization of sustainable development of megalopolism must be on the basis of the coordinative development of urban economy, population, resources and environment. So it is necessary to take the Shandong Peninsula megalopolis into account as one system composed of four subsystems mentioned above. Based on the analysis on the central problems between human beings and the earth, this paper studies the interrelationship among these subsystems, establishes the multipattern simulation model by use of the System Dynamics, which consists of 151 indexes including 7 level variables, 11 rate variables, 76 auxiliary variables, 15 table variables and 42 parameters. According to the present situation and the interrelationship of Shandong Peninsula megalopolis, the model selects six indexes as dominant parameters to determine the patterns simulating the process of eco-environment and social economy development in this area. There are four patterns in all. In the first one, the original value of the dominant parameters is the natural state of this area in 2003, while the other three are regulated to different extent. In order to attain the relatively sustainable development pattern of Shandong Peninsula patterns in the following 20 years, the paper quantitatively judges each pattern according to the coordinative degree model. In the model, 8 indexes such as the gross domestic product per capita, total production value of agriculture, total production value of industry, the investment efficiency of the three industries, the capital asserts investment, the outlay of research and development, etc., are selected to reflect the social economy development situation, while five counterparts, such as waste water, are chosen to reflect the eco-environment situation in this area. After the evaluation by the coordinative degree model, we can intuitively find that the fourth patterns is the relatively better one, which not only attaches importance to economic development but also thinks much of the resources and environment, while the other three regards only one aspect. Furthermore, the paper gives several brief measures to guide how to realize the relatively better pattern in the following 20 years.

Key words sustainable development; system dynamics; coordinative degree