

# 江西省生态文明建设的系统仿真与优化

张振东 张延飞 唐鑫

(1. 东华理工大学地球科学学院, 江西南昌 330013:

2. 东华理工大学理学院, 江西南昌 330013:

3. 江西打生态文明建设制度研究中心, 江西南昌 330013)

**【摘要】**区域生态文明建设是以社会—经济—资源—环境为核心的动态复合巨系统。运用系统动力学的理论与方法, 系统分析江西省生态文明建设诸要素间的相互作用, 构建江西省生态文明建设系统动力学模型, 以历史数据为基础进行仿真检验, 证明模型结构、行为与实际状况是一致的。模拟维持现状、经济优先、资源环境优先和协调发展等4种方案条件下, 2011~2030年间江西省生态文明建设发展现状及其演变趋势, 并对系统仿真方案进行优化分析, 结果表明: 到2030年, 在协调发展模式下, 其能源供需平衡指数为-0.113, 环境污染程度为0.083, 既使社会经济高效发展, 又促进资源集约利用、生态环境友好, 是江西省生态文明建设发展的较优方案。研究为江两省开展生态文明先行示范区建设提供决策参考。

**【关键词】**江西省; 生态文明建设; 系统仿真; 优化

**【中图分类号】**X171.1 **【文献标识码】**A

**【文章编号】**1004-8227(2016)09-1403-09

**【DOI】**10.11870/cjlyzyyhj201609011

十八大报告中把生态文明建设纳入中国特色社会主义建设“五位一体”的总体布局, 标志着我国正在努力进入社会主义生态文明新时代。江西省作为我国首批全境列入生态文明先行示范区建设的省份之一, 是国家在选取不同发展阶段、不同资源环境禀赋、不同主体功能要求的地区开展生态文明先行示范区建设的一个重要举措, 也是国家对江西省生态文明建设现状的一种高度认可。如何全面、系统、动态的分析评价区域生态文明建设发展现状及其演变趋势, 让生态文明先行示范区建设卓有成效, 变为有的放矢, 进而总结实践经验, 提炼推广模式, 完善政策机制, 是生态文明先行示范区建设亟待解决的问题。

近年来, 众多学者主要以省域、城市以及其他区域为评价主体, 以生态文明建设的社会、经济、资源与生态环境等要素为评价内容, 采用综合评价、指标要素评价等方式对区域生态文明建设水平进行评价, 在一定程度上反映出了区域生态文明建设水平, 有助于了解和把握生态文明建设过程中的薄弱环节。然而, 我国尚未有系统完善的区域生态文明建设评价标准与方法, 且现有研究多立足于区域生态文明建设的静态分析和现状评价, 缺乏对区域生态文明建设内部要素之间的相互作用、相互影响的衡量, 更难以呈现区域生态文明建设的动态发展进程及其演进趋势。

区域生态文明建设是一个动态的复合过程，其核心在于社会—经济—资源—环境复合巨系统的协调发展。系统动力学(systemdynamics)是一种分析信息反馈系统的科学方法，强调系统之间的相互联系、相互作用，以及系统自身发展与动态演变过程，并通过对复合巨系统的定性定量相结合的模型模拟，来剖析系统发展现状及其演变趋势，近年来系统动力学在城市系统动态模拟领域取得了较大进展。本文拟用系统动力学方法对江西省的生态文明建设进行分析，构建江西省生态文明建设系统动力学模型，研究区域生态文明建设现状，并调整相关参数与控制变量，模拟分析江西省生态文明建设动态进程及未来发展趋势，为江西省开展生态文明先行示范区建设提供决策参考。

## 1 系统结构与模型构建

### 1.1 系统因果关系

生态文明建设与社会、经济、资源和环境发

展相互影响、相辅相成，贯穿于社会、经济、资源和环境发展的各方面和全过程。本文对生态文明建设的社会经济发展水平、资源供应状况和生态环境等方面展开研究，分别构建了社会、经济、资源、生态环境 4 个子系统，各子系统间相互影响、相互制约形成社会—经济—资源—环境复合系统，具有多重反馈的因果关系结构如图 1 所示。

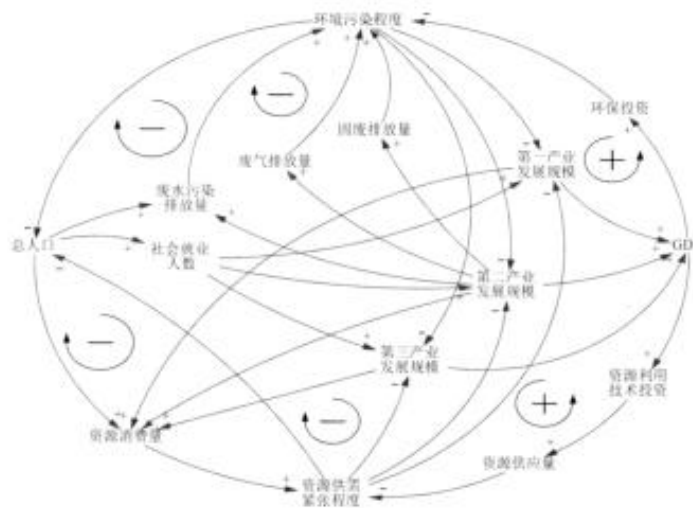


图 1 江西省生态文明建设系统因果关系及反馈回路

Fig.1 Casual Relationship and Feedback Loop of Ecological Civilization Construction in Jiangxi Province

江西省生态文明建设系统主要因果关系与反馈回路如下：

①总人口→+资源消费量→+资源供需紧张程

度→总人口；

②总人口→+废水排放量→+环境污染程度  
→总人口；

③环境污染程度→-总人口→+社会就业人数  
→+第二产业发展规模→+废水、废气、固废排放量  
→+环境污染程度；

④资源供需紧张程度→-总人口→+社会就业  
人数→+产业发展规模→+资源消费量→+资源供需  
紧张程度；

⑤产业发展规模→+GDP→+环保投资→-环境  
污染程度→-产业发展规模；

⑥产业发展规模→+GDP→+资源利用技术投  
资→+资源供应量→-资源供需紧张程度→-产业发  
展规模；

其中因果关系链①和②为负反馈回路，表示伴随人口的快速增长，居民资源消费量持续增长使得资源约束趋紧，生活废水排放量的增长加剧了环境污染程度，将会制约人口增长；因果关系链③和④也是负反馈回路，表示环境污染加剧、资源约束趋紧，严重影响了人口的可持续增长与产业发展规模的扩大，阻碍了社会经济发展步伐，限制了“三废”排放量与资源消费量的增加，这在一定程度上降低了环境污染与资源供需紧张程度；因果关系链⑤和⑥是正反馈回路，表示产业发展推动着地区生产总值增加，使得环保投资、资源技术利用投资也随之增多，生态环境治理能力与资源供给能力得到提升，有助于降低资源消耗和改善生态环境，从而推动产业规模扩张。

## 1.2 系统结构分析

社会子系统。社会子系统是江西省生态文明建设的重要基础，主要由总人口、社会就业人数及人均能源消费量等组成。社会子系统主要研究在工业化进程中人口总量与社会就业人数的变化对社会经济发展、资源供给以及生态环境保护的影响。

经济子系统。经济子系统是江西省生态文明建设的最基本条件，主要由江西省GDP、工业产值以及环保投资等方面构成。其中三大产业产值体现了江西省经济结构及发展水平，这对江西省资源供需和生态环境产生重要影响，但经济发展也受到资源供需与生态环境状况的制约。

资源子系统。资源子系统是江西省生态文明建设的支撑，主要由需水总量、供水总量、能源消费量、能源供应量与水资源、能源供需平衡指数等组成。资源约束不仅会影响经济社会的和谐发展，还会对生态环境质量产生重要影响。

生态环境子系统。生态环境子系统是江西省生态文明建设系统的主体，也是江西省生态文明建

设成果的直接体现，主要由环境污染程度、“三废”排放量和“三废”污染率等组成。伴随社会经济的发展，生态环境问题日益严峻，这势必会影响江西省的生态文明建设。

### 1.3 模型构建

面对着日益严峻的环境污染、生态退化与资源短缺等问题，江西省深入推进生态文明先行示范区建设，有利于巩固长江中下游生态安全屏障，提升发展质量，为加快全面建成小康社会提供保障。本文根据江西省生态文明建设状况、社会经济发展、资源能源供给以及生态环境保护的特点，以江西省统计局、水利厅和环保厅发布的 2010~2013 年《江西省统计年鉴》、《江西省水资源公报》和《江西省环境年报》相关数据为依据，以 2010 年为初始年，运用系统动力学方法，构建江西省生态文明建设系统模型。具体系统模型如图 2 所示。

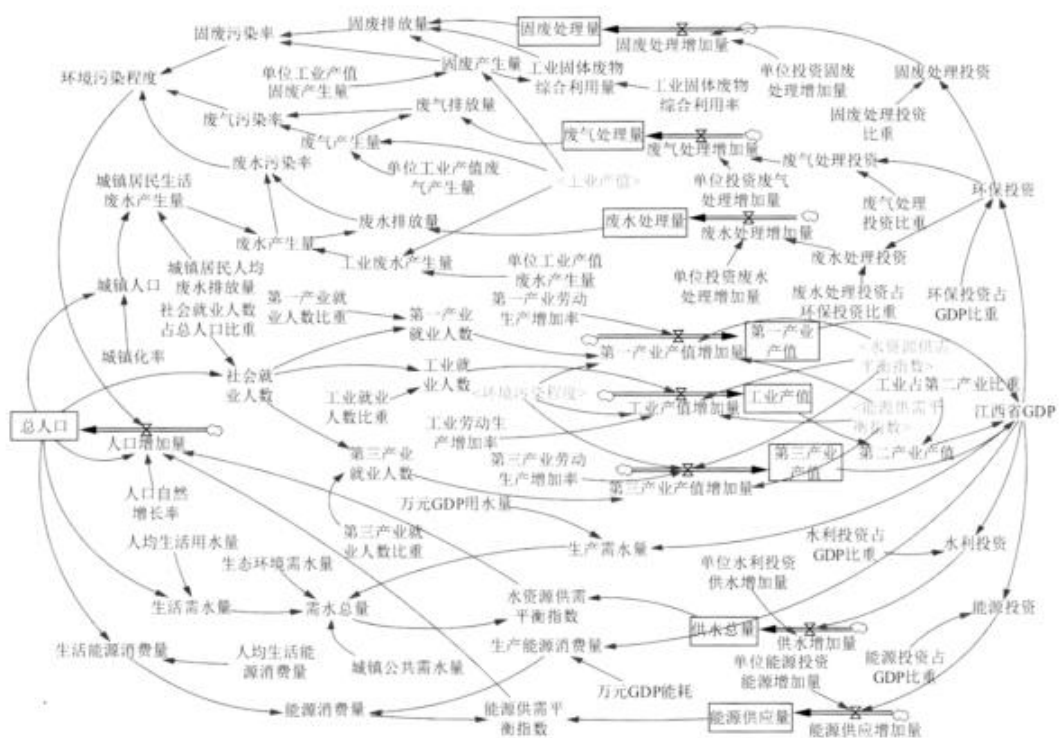


图 2 江西省生态文明建设系统模型

Fig.2 System Model of Ecological Civilization Construction in Jiangxi Province

江西省生态文明建设系统仿真模型主要涉及的变量有 81 个，其中状态变量与速率变量各 9 个，辅助变量 31 个，常量 32 个。具体见表 1 所示。

表 1 江西省生态文明建设系统模型的主要变量

Tab.1 Main Variables of Ecological Civilization Construction in Jiangxi Province

变量类型	变量解释	变量名称及数量
状态变量	表示累积效应的变量。	总人口、第一产业产值、工业产值、第三产业产值、供水总量、能源供应量、废水处理量、废气处理量、固废处理量等9个。
速率变量	表示累积效应变化快慢的速度变量。	人口增加量、第一产业产值增加量、工业产值增加量、第三产业产值增加量、供水增加量、能源供应增加量、废水处理增加量、废气处理增加量、固废处理增加量等9个。
辅助变量	表示从状态变量到速率变量及变化速度之间的中间变量。	城镇人口、需水总量、能源消费量、水资源及能源供需平衡指数、环保投资、江西省GDP、社会就业人数、废水、固废、废气排放量、固废综合利用量、环境污染程度等31个。
常量	表示模拟仿真时段内变化甚微或相对较小的系统参数。	人口自然增长率、城镇化率、社会就业人数占总人口比重、工业占第二产业比重、工业劳动生产增加率、万元GDP用水量、人均生活能源消费量、万元GDP能耗等32个。

通过对江西省生态文明建设系统仿真模型结构及行为的适合性检验表明，模型中模型界限、变量设置、流图结构以及方程式都是合理的。本文以 2010 年为初始年份，时间步长为 1a，仿真计算江西省在 2011~2013 年总人口、社会就业人数、江西省 GDP、能源供应总量、工业固体废物处理量等参数，与其实际值进行一致性检验，仿真结果与历史数据的误差均小于 5%，部分参数拟合结果见表 2 所示，这说明模型结构和行为与江西省生态文明建设的实际发展状况是一致的，具有较高的真实度。

## 2 模型仿真与结果

### 2.1 模拟方案设计

在分析江西省生态文明建设现状的基础上，对模型变量进行灵敏度检验，选取 18 个控制变量，依据《江西省生态文明先行示范区建设实施方案》，并结合系统动力学模拟过程和状态变量的变化，赋予控制变量的不同数值，设计维持现状、经济优先、资源环境优先和协调发展模式等四种方案，具体见表 3 所示。

表 2 江西省生态文明建设系统模型检验结果

Tab.2 Validation Results of Ecological Civilization Construction in Jiangxi Province

主要变量	2011年			2012年			2013年		
	真实值	模拟值	误差率(%)	真实值	模拟值	误差率(%)	真实值	模拟值	误差率(%)
总人口(万人)	4 488.44	4 496.43	0.18	4 503.93	4 530.68	0.59	4 522.15	4 564.85	0.94
社会就业人数(万人)	2 532.60	2 518.00	-0.57	2 556.00	2 537.18	-0.74	2 588.70	2 556.32	-1.25
江西省GDP(亿元)	11 702.82	11 168.30	-4.56	12 948.88	12 847.10	-0.79	14 338.50	14 521.90	1.28
能源供应总量(万吨标准煤)	6 928.17	6 780.87	-2.13	7 232.92	7 288.72	0.77	7 672.72	7 872.90	2.61
工业固体废物处理量(万吨)	5 107.49	5 073.07	-0.67	5 067.96	5 140.31	1.43	5 098.33	5 217.65	2.34

表 3 江西省生态文明建设系统模型控制变量以及设计方案

Tab.3 Controlling Variables and Designing Options of Ecological Civilization Construction in Jiangxi Province

控制变量	方案一	方案二	方案三	方案四
人口自然增长率(%)	7.660	8.809	8.043	8.809
社会就业人数占总人口比重(%)	56.00	64.40	58.80	64.40
工业就业人数比重(%)	26.21	20.97	24.90	22.28
第一产业就业人数比重(%)	35.60	28.48	35.60	30.26
第三产业就业人数比重(%)	35.70	42.84	35.70	42.84
工业占第二产业比重(%)	83.00	78.85	78.856	78.85
环保投资占GDP比重(%)	0.20	0.20	0.24	0.24
能源投资占GDP比重(%)	1.45	1.60	1.45	1.66
水利投资占GDP比重(%)	0.55	0.61	0.55	0.63
工业劳动生产增加率(万元/人)	1.201 0	1.441 2	1.201 0	1.381 2
第一产业劳动生产增加率(万元/人)	0.157 0	0.188 4	0.157 0	0.180 1
第三产业劳动生产增加率(万元/人)	0.659 0	0.790 8	0.659 0	0.757 9
万元GDP用水量(立方米)	254.00	279.40	228.60	228.60
万元GDP能耗(吨标准煤)	0.672 0	0.739 2	0.604 8	0.604 8
工业固体废物综合利用率(%)	0.453 0	0.453 0	0.464 3	0.464 3
单位工业产值废水产生量(吨/万元)	0.001 7	0.001 7	0.001 5	0.001 5
单位工业产值固废产生量(吨/万元)	2.240	2.240	2.192	2.192
单位工业产值废气产生量(立方米)	2.36	2.36	2.29	2.29

方案一：维持现状发展模式。在现有的社会经济、资源供给和生态环境条件下，主要变量指标维持现有发展趋势，来分析社会经济发展与资源供给、生态环境间的相互影响、相互制约关系。

方案二：经济优先发展模式。突出经济社会发展，在方案一的基础上提高各产业劳动生产增加率，扩大产业规模，使得水资源与能源需求量的增加，从而加大资源投资和开发力度。

方案三：资源环境优先发展模式。以节约资源为目标，提高生产技术，提倡节能型生产和生活方式，提高水利与能源投资率，减少万元 GDP 用水量与万元 GDP 能耗等控制变量以提高资源利用效率，缓解资源供需矛盾；同时，以保护环境为重点，主要通过改进生产方式与技术，降低单位工业“三废”产生量等控制变量，来降低“三废”污染率，进而减轻环境污染程度。

方案四：协调发展模式。在前三种方案基础上进行调整，既考虑社会经济发展和资源的高效利用，又注重生态环境保护。主要通过增加就业、提高各产业劳动生产增加率来推动经济发展；通过提高水利、能源投资率和资源利用效率，来保障资源供给平衡，增加环保投资、降低工业“三废”产排量等来保护环境，以期推动江西省生态文明建设的发展。

## 2.2 仿真结果分析

据方案设计结果图 3 显示，在方案一的模式下，到 2030 年，江西省的总人口为 5175.37 万人，社

会就业人数占总人口比重是 56.58%，达到 2898.21 万人，GDP 为 44444 亿元，水资源供需平衡指数为 0.268，能源供需平衡指数为 0.032，环境污染程度为 0.363。这说明在现有的社会经济与资源供给条件下，江西省的社会经济发展缓慢，供需矛盾较为突出，且环境污染较为严重，最终会制约江西省生态文明先行示范区建设。

在方案二的模式下，到 2030 年，江西省总人口为 5269.54 万人，社会就业人数为 3393.59 万人，占总人口比重为 64.40%，GDP 为 55542 亿元，说明社会经济得到了快速发展。然而，在资源与生态环境方面，其需水总量达到 1583.35 亿 m<sup>3</sup>，需水缺 P 不断加大，水资源供需平衡指数为 0.336；能源需求不断加剧，能源消费量为 41832.7 万吨标准煤，能源供需平衡指数为 0.1Hh 以牺牲环境为代价的经济优先发展模式使得环境污染程度高达

0.282，环境污染造成当年人 U 增加量减少了 6.41 万人，当年 GDP 年增加量减少了 725.25 亿元。这表明粗放的经济优先发展模式，不能够促进人与自然和谐发展。

在方案三的模式下，在 2030 年，江西省需水总量超过 1100 亿 m<sup>3</sup>，水资源供需平衡指数仍为 0.206，水资源仍较紧张；能源供需平衡指数为 -0.054，能源供需矛盾得到有效缓解；环境污染问题虽得到缓解但并未得到解决，环境污染程度仍达到 0.118。与此同时，2011~2030 年间江西省社会就业年平均增长率仅为 0.79%，2030 年时社会就业人数仅为 3073.23 万人，占总人口比重为 58.80%；GDP 年增长率逐渐下降，2030 年时仅为 4.53%，这说明单独地限制节能降耗、提高污染排放标准，并不能解决资源与生态环境问题，却会导致江西省社会就业不足，经济发展缓慢，影响人民生活水平地提高。

在方案四的模式下，到 2030 年，江西省总人口为 5303.82 万人，社会就业人数占总人口比重为 64.4%，GDP 为 57110 亿元，GDP 年增长率为 9.33%，人均 GDP 超过 10 万元，说明其社会经济发展较快，人民生活水平显著提高。在社会经济发展良好的同时，2030 年其水资源供需平衡指数仅为为 0.180，能源供需平衡指数为 -0.113，既满足了社会经济发展，又达到了平衡；环境污染程度只为 0.083，环境污染较轻，且在四种方案中最低。

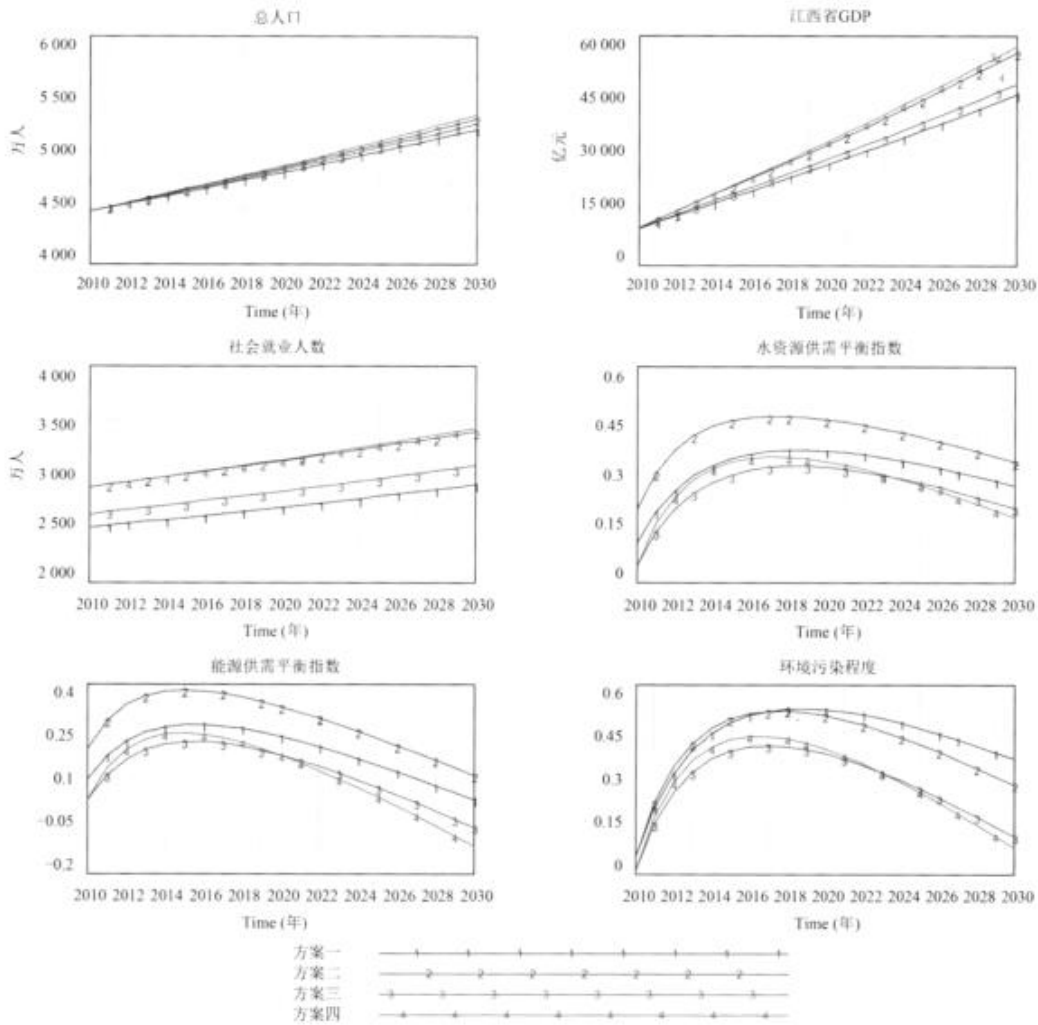


图3 江西省生态文明建设系统不同方案的仿真结果

Fig.3 Four Simulated Results of Ecological Civilization Construction in Jiangxi Province

表4 江西省生态文明建设系统模拟方案对比

Tab.4 Four Projects Comparison of Ecological Civilization Construction in Jiangxi Province

参量	方案一		方案二		方案三		方案四		
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030	
社会经济发展	总人口( $10^4$ 人)	4 804.05	5 175.37	4 844.92	5 269.54	4 827.49	5 226.58	4 861.37	5 303.82
	社会就业人数( $10^4$ 人)	2 690.27	2 898.21	3 120.13	3 393.59	2 838.56	3 073.23	3 130.72	3 415.66
	江西省GDP( $10^8$ 元)	26 245	44 444	31 464	55 542	27 673	47 241	32 219	57 110
资源节约利用	需水总量( $10^8$ m <sup>3</sup> )	696.07	1 159.98	908.72	1 583.35	662.14	1 111.24	766.21	1 337.20
	水资源供需平衡指数	0.365	0.268	0.453	0.336	0.319	0.206	0.336	0.180
	能源消费量( $10^4$ 吨标准煤)	18 344.5	30 628.9	23 971.9	41 832.7	17 447.7	29 340.9	20 201.9	35 321.2
	能源供需平衡指数	0.232	0.032	0.326	0.110	0.173	-0.054	0.170	-0.113
生态建设与环境保护	环保投资( $10^8$ 元)	52.49	88.89	62.93	111.08	66.42	113.38	77.32	137.06
	环境污染程度	0.520	0.363	0.500	0.282	0.381	0.118	0.396	0.083
	废水排放量( $10^3$ t)	15.32	11.99	15.02	9.01	10.78	1.01	11.02	-1.31
	废水污染率	0.499	0.261	0.473	0.185	0.379	0.024	0.367	-0.029
	废气排放量( $10^4$ m <sup>3</sup> )	10 262.0	12 985.2	10 356.4	11 111.7	7 504.8	5 306.4	8 535.6	4 941.1
	废气污染率	0.358	0.266	0.344	0.213	0.267	0.110	0.281	0.093
	固废排放量( $10^4$ t)	8 850.21	17 258.1	9 417.99	18 383.8	8 115.25	15 741.5	9 131.69	17 699.2
固废污染率	0.325	0.372	0.330	0.371	0.302	0.342	0.314	0.348	

### 3 优化与决策

通过对江西省生态文明建设系统模型 4 种模拟方案结果的比较衡量(结果见表 4 所示),发现在不同的发展模式下,江西省生态文明建设系统的演进趋势有所不同。

从社会经济发展来看,4 种发展方案下江西省的总人口、社会就业人数与经济总量是持续增长的(图 3),但协调发展模式的不论是在发展速度上还是在质量上都明显尚于其他方案,在 2011-2030 年间其总人口、社会就业人数与经济总量的年平均增长率为 0.87%、0.868%、9.33%。而且在资源供给相同条件下,其他发展模式的社会就业人数与经济增长速度明显低于协调发展模式,2030 年协调发展模式的经济总量高于其他 3 种模式 20.89%、2.82%、28.50%,并且在不影响经济快速发展的情况下,通过增加水利与能源投资,提高资源利用效率,协调发展模式的资源消耗相比其他方案要少得多。

从资源供给来看,4 种方案下江西省的水资源与能源供需平衡指数并不是持续增长的,而是在达到峰值后开始下降(图 3),这说明资源供需矛盾会制约经济社会发展,迫使其抑制资源消耗以缓解资源供需矛盾。另一方面,江西省在维持现状与经济优先发展模式下,其产业结构仍以高能耗的有色金属工业为主,资源利用效率低,导致其能源消费量与需水量持续上升,资源供需紧张。虽然资源环境优先发展模式的水资源供需矛盾趋缓,能源供需平衡指数在 2030 年时为-0.054,实现平衡,但这是在其限制经济发展,抑制社会消费的前提下进行的,具有不可持续性。而在协调发展模式下,以建设资源节约型社会为目标,着力构建集约型经济结构、节约型消费方式,不仅实现了资源供需平衡,而且其水资源与能源供需平衡指数分别在 2019 年、2023 年以后低于资源环境优先发展模式。

从生态环境保护来看,4 种发展方案下江西省的环境污染程度在 2011~2030 年并不是持续上升的,而是先升后降的(图 3),表明环境污染程度的加重会阻碍经济社会发展步伐,限制生态环境破坏的行为的加剧,进而在一定程度上改善了生态环境。另外,在维持现状和经济优先的发展模式下,随着经济的增长,工业“三废”排放量快速增力口,2030 年废水排放量超过 10 亿 t,污染现象日益加重,生态环境保护压力不断增大,严重威胁江西省的生态功能,阻碍区域的可持续发展。而在资源节约、生态环境建设与社会经济和谐发展的协调发展模式下,环境污染程度在 2023 年后逐渐低于资源环境优先模式,显示出其在实现社会经济地快速发展地同时,又能减轻环境污染,使江西省的生态环境得到有效保护,从而实现人与自然的和谐发展。

从系统整体来看,协调发展模式相比其他三种模式,其资源供给既能满足社会经济发展的需要,又能以最少的资源消耗,获取较高的国民生产总值和良好的生态文明建设效果。而在实际工作中,要真正加强生态文明建设,实现人与自然和谐发展的目标,还须在以下几个方面继续努力:①调整产业结构,促进产业转型升级。江西省要大力发展金融业、电子商务、旅游业、养老服务业等第三产业,促进有色金属、能源、化工等支柱产业向高效高质方向发展,实现产业结构绿色转型升级。②加强节能降耗,优化能源消费结构。江西省要强化“三条红线”管理,实施梯度水价制度以降低万元 GDP 用水量及人均生活用水量;加强节能降耗和强化能源消费双管控,提高能源利用效率,降低万元 GDP 能耗与能源需求总量。③强化工业“三废”治理,加强生态环境保护。江西省政府、企业要严把生产关

，降低工业“三废”的产生量，持续推进工业“三废”的治理，完善相关处理设施和配套工程，降低工业“三废”的排放量，以改善城乡生态环境。

## 4 结语

本文针对静态分析区域生态文明建设的不足，运用系统动力学的理论与方法，构建了江西省生态文明建设系统动力学模型，并通过调整控制变量和相关参数，模拟了江西省在 2011~2030 年间生态文明建设的动态发展及未来发展趋势。设计维持现状、经济优先、资源环境优先和协调发展等 4 种发展模式，通过对比分析，优选协调发展为江西省生态文明建设的最优发展模式。

系统分析方法不仅可以弥补静态分析的不足，还可以较为准确地刻画区域生态文明建设现状以及其未来演进趋势。然而，鉴于区域生态文明建设系统的复杂性，要想真正解决区域生态文明建设制约问题，实现区域人与自然和谐发展的目标，还须做到以下几点：一是强化系统动力学建模的综合性。由于研究者的研究侧重点不同，因而在区域生态文明建设系统诸要素相互关系的量化分析、变量选取以及方程式构建等方面存在较大差异，需要在建模前对区域生态文明建设所涉及的社会、经济、资源、生态环境之间的关系作更为深入的剖析，进一步综合考量资源供需平衡、环境污染以及生态问题对社会经济的影响机制；二是加强系统模拟的集成性。区域生态文明建设系统包含社会、经济、资源以及生态环境等多个具有相对独立但又相互关联的子系统，需要根据区域生态文明建设的发展实际，重点探讨各子系统的影响因子，对相关指标和数据进行长期系统研究，如何有机结合各子系统并实现有效合理的交互以反映各要素间的相互作用机制仍需深入研究。

### 参考文献：

[1] 岛珊, 黄贤金. 基于绩效评价的 K 域生态文明指标体系构建—以江苏省为例[J]. 经济地理, 2010, 35(5): 823-828.

[2] 刘某承, 苏宁, 伦飞, 等. 区域生态文明建设水平综合评估指标 [J]. 生态学报, 2014, 34(1): 97-104.

[3] 李茜, 胡吴, 李名升, 等. 中国生态文明综合评价及环境. 经济与社会协调发展研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1444-1454.

[4] 马文斌, 杨莉华, 文传浩. 生态文明示范区评价指标体系及其测度 [J]. 统计与决策, 2012(6): 3942.

[5] 陈晓丹, 车秀珍, 杨硕颖, 等. 经济发达城市生态文明建设评价方法研究[J]. 生态经济

, 2012(7): 52-56.

[6]张欢, 成金华, 冯银, 等. 特大城市生态文明建设评价指标体系及应用-以武汉市为例 [J]. 生态学报, 2015, 35(2): 547-556.

[7]何天祥, 廖杰, 魏晓. 城市生态文明综合评价指标体系的构建 [J]. 经济地理, 2011, 31(11): 1897-1900.

[8]成金华, 陈军, 易杏花. 矿 K 生态文明评价指标体系研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(2): 1-10.

[9]曲商闽, 郑鹅. 基于 TPSR 模型的辽河辽宁打内流域下. 态文明建设评价研究 [J]. 环境保护, 2014, 42(8): 36-40.

[10]尚东, 刘自忠, 成金华. 广州市生态文明建设评价研究 [J]. 统计与决策, 2013(17): 61-63.

[11]成金华, 陈军, 李悦. 中国生态文明发展水平测度与分析 [J]. 数字经济技术经济研究, 2013, 30(7): 36-50.

[12]连上明. 中国生态文明发展报告 [M]. 北京: 当代中国出版社, 2014.

[13]秦伟山, 张义丰, 袁境. 生态文明城市评价指标体系与水平测度 [J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1677-1684.

[14]李平, 陈莹, 高金龙. 江苏省生态文明建设水平指标体系构建 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(1): 295-302.

[15] 王其潘系统动力学 [M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2009.

[16]钟永光, 贾晓符, 钱颖, 等. 系统动力学 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2013.

[17]曹平, 杨中明. 系统动力学的两维社会评价与预测集成模型 [J]. 系统工程, 2012, 30(2): 61-67.

[18]汪德根, 宋玉芹, 刘昌茸. 商务旅游城市发展的系统动力学仿真研究 -以苏州工业园区为例(1). 地理科学, 2013, 32(3): 48-96.

[19]刘承良, 颜琪, 罗旆. 武汉城市圈经济资源环境耦合的系统动力学模拟 [M]. 地理研究, 2013, 32

(5) : 857-869.