

2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

题目 全面建成小康社会进程研究

摘 要

本文以我国全面建设小康社会为背景，通过建立科学合理的综合评价体系、区域可持续发展模型和结合现实进行分析，就各省全面建成小康社会的总体情况及未来可持续发展等相关问题进行了研究。

针对问题 1，我们首先阅读党的十九大报告等相关政府文件和相关研究文献，充分了解我国全面建成小康社会中的成功经验；其次，我们结合现阶段的世界形势，从经济、生态、人口三方面提出了未来 20 年的我国可持续发展思路。

针对问题 2，首先，我们结合相关政府报告和研究文献，选取人均 GDP、城镇常住居民可支配收入等九个小类作为评价全面建成小康社会的指标，并根据定义式和各小类的小康标准，分别计算出我国各省份关于每个小类全面建成小康社会的难度系数、完成率和未来发展前景；然后，我们建立系统聚类模型，将九个小类分成国民经济、社会发展和生态环境三大类；其次，我们建立 AHP 层次分析体系，得到每个小类所占比重，分别乘以第一步所得结果即可计算出我国各省全面建成小康的总完成率、总难度系数和总发展前景；最后，我们以总完成率、总难度系数和总发展前景为新指标，构建 TOPSIS 评价模型，对各省全面建成小康社会总体情况进行合理的评价与排序，其中，得分前十城市分别为北京、上海、福建、江苏、浙江、海南、广东、安徽和湖南。

针对问题 3，我们建立系统动力模型对江苏省可持续发展状况进行了分析。首先，我们根据江苏省统计年鉴等地方数据，进行了资料收集和数据获取；然后，我们依据实际系统情况确定人口、经济、资源和环境四个子系统，确定总体和局部的主要反馈机制与反馈回路；其次，根据系统结构、反馈机制与反馈回路，我们建立水平方程和速率方程，利用线性拟合，非线性拟合和平均值法确定调控参数值；最后，我们利用 Vensim 建模软件进行仿真模拟，通过对参数变量的适当调控，得出江苏省经济发展的不同发展模式，即经济高速增长模式、资源环境保护模式和协调性发展模式。

针对问题 4，我们从经济和环境两个角度出发，提出了区域经济合作和建立跨省碳排放机制的重要举措。

关键词 系统动力学建模；TOPSIS；AHP；系统聚类

目 录

一、问题重述.....	2
二、问题分析.....	3
2.1 问题 1 的分析	3
2.2 问题 2 的分析	2
2.3 问题 3 的分析	2
2.4 问题 4 的分析	2
三、模型假设.....	3
四、定义与符号说明.....	3
五、模型的建立与求解.....	4
5.1 问题 1 的求解.....	4
5.1.1 全面建成小康社会历程中的成功经验.....	4
5.1.2 我国可持续发展思路.....	5
5.2 问题 2 的模型建立与求解.....	6
5.2.1 系统聚类模型的建立.....	7
5.2.2 系统聚类模型的求解.....	8
5.2.3 AHP 模型的建立	10
5.2.4 AHP 模型的求解	10
5.2.5 利用 TOPSIS 模型计算各省得分	12
5.2.6 问题 2 结果.....	14
5.3 问题 3 的模型建立与求解	15
5.3.1 SD 模型的建立——以江苏省为例	15
5.3.2 SD 模型的求解.....	19
5.3.3 问题 3 结果	20
5.4 问题 4 的模型建立与求解	21
六、模型的评价及推广.....	21
6.1 模型的优点	21
6.2 模型的缺点	22
6.3 模型的推广	22
参考文献.....	23
附录.....	24

一、问题重述

2020 年是我党提出的“两个百年奋斗目标”中的第一个百年奋斗目标之中国共产党成立 100 年时（2021 年）全面建成小康社会的决战之年。从十九大到二十大，是“两个一百年”奋斗目标的历史交汇期。我们既要全面建成小康社会、实现第一个百年奋斗目标，又要乘势而上开启全面建设社会主义现代化国家新征程，向第二个百年奋斗目标进军。然而新冠病毒疫情的爆发却对我国经济发展造成了重要的影响，虽然国内疫情已经得到有效控制，但尚未得到有效控制的全球性新型冠状病毒疫情正在更大规模蔓延以及世界处于百年未有的大变局的总体形式使得我国经济内外部环境变得更加恶劣。为此，我们综合了国内各地发展的统计年鉴以及当前国际形势，研究如下问题：

（1）总结归纳过去 20 年间我国全面建成小康社会历程中的成功经验，并结合全球气候变暖、生态环境与人口压力倍增等现状提出未来 20 年的我国可持续发展思路。

（2）结合国家统计局年鉴、地方统计年鉴等官方数据，结合包括全面建成小康社会完成难度系数、完成比率及未来可持续发展能力等多重指标，对我国各省全面建成小康社会的总体情况进行评价及排序。

（3）针对世界处于百年未有的大变局及新型冠状病毒疫情全球性蔓延的大环境，充分结合诸如人口变化、老龄化趋势、城乡居民收入、资源禀赋及生态环境承载力等关键性因素，建立以某省为代表的短期及长远的经济社会可持续发展模型。

（4）在充分考虑各省份经济社会发展状况及资源禀赋下，提供一个各省之间的合作计划，对合作双方产生积极的促进作用和总体效率的提升。

二、问题分析

2.1 问题 1 的分析

问题 1 要求我们总结归纳过去 20 年间我国全面建成小康社会历程中的成功经验，并结合全球气候变暖、生态环境与人口压力倍增等现状提出未来 20 年的我国可持续发展思路，属于综述类问题。我们可以首先广泛阅读相关文献和政府报告，从中提炼出相关信息，对结果进行综述，完成问题 1 的作答。

2.2 问题 2 的分析

问题 2 属于综合评价类数学问题，对于解决此类问题一般建立综合评价模型，计算每个样本得分。考虑到问题 2 中所涉及的各省全面建成小康社会完成难度系数、完成率及未来可持续发展能力均为大指标类别，没有直接数据，我们须先进行数学定义，然后选定相关自变量，如人均 GDP 等，通过计算间接得出结果。

基于以上原因，我们可以将首先建立一个系统聚类的数学模型 I，对选定的九个指标进行聚类；然后将建立一个 AHP 的模型 II，得到各指标的权重，从而根据定义式子，计算得出每个省全面建成小康社会的总难度系数，总完成率和总发展前景；最后将这三者作为评价指标，对各省全面建成小康社会总体情况进行合理的评价与排序。

2.3 问题 3 的分析

问题 3 要求充分考虑诸如人口变化、老龄化趋势、城乡居民收入、资源禀赋及生态环境承载力等关键性因素，建立短期及长远的经济社会可持续发展模型，变量较多，且相互影响，模型较为复杂。

由于以上原因，我们将建立反映区域经济发展的系统动力模型。首先，可以依据实际系统情况确定人口、经济、资源和环境四个子系统，确定总体和局部的主要反馈机制与反馈回路；其次，根据系统结构、反馈机制与反馈回路，建立水平方程和速率方程，利用线性拟合，非线性拟合和平均值法确定调控参数值，最后，利用 Vensim 进行仿真模拟，得出最终结果。

2.4 问题 4 的分析

问题 4 提供一个各省之间的合作计划。首先，我们可以从第二问各省全面建成小康社会的总体情况得到各省份之间完成小康程度的差距，从而可以提出加强区域经济合作的方针；其次考虑到可持续发展的战略，我们还要充分考虑各省份资源禀赋和生态环境状况，最后作出合理的计划。

三、模型假设

1. 假设国家统计局年鉴、地方统计年鉴等官方数据数据真实可靠；
2. 假设未来无特殊情况，对经济发展造成重大影响。
3. 假设主要相关指标能够充分反映全面建成小康社会的总体情况。

四、定义与符号说明

符号定义	符号说明
r_{ij}	第 <i>i</i> 个省份第 <i>j</i> 个指标难度系数
p_{ij}	第 <i>i</i> 个省份第 <i>j</i> 个指标完成比率
k_{ij}	第 <i>i</i> 个省份第 <i>j</i> 个指标可持续发展
R_i	第 <i>i</i> 个省份总难度系数
P_i	第 <i>i</i> 个省份总完成率
K_i	第 <i>i</i> 个省份总可持续发展能力
pop	江苏省总人口/万人
gdp	江苏省生产总值/亿元
$3rd$	江苏省第三产业产值/亿元
ind	江苏省工业产值/亿元
wst	江苏省工业废水排放量/亿吨
im	江苏省进口总额/亿美元
out	江苏省出口总额/亿美元
inv	江苏省工业投资/亿元
est	江苏省房地产开发/亿元
ele	江苏省发电总量/亿千瓦时
gre	江苏省建成区绿化覆盖率

五、模型的建立与求解

5.1 问题 1 的求解

5.1.1 全面建成小康社会历程中的成功经验

全面建成小康社会是党和国家到 2020 年的奋斗目标，今年是全面建成小康社会的收官之年，在党坚强有力的领导下，全党全国各族人民正在为取得最后的胜利而奋斗搏击。在过去 20 年间我国全面建成小康社会历程里，我们在实践的过程中总结了一定的历史经验，这对我们全面建设社会主义现代化国家有重要意义^[1]。

始终坚持党的集中统一领导。正如习近平总书记所指出：“我国经济社会发展之所以能够取得世界罕见的巨大成就，我国人民生活水平之所以能够大幅度提升，都同我们坚定不移坚持党的领导、充分发挥党组织和全体党员作用是分不开的”，党的历届全国代表大会，都把加快实现社会主义现代化及小康社会建设作为奋斗目标和最重要的工作部署，给予了人民坚定的信心和明确的方向^[2]。

(1) 始终坚持以人民为中心的发展思想。

“国以民为本，社稷亦为民而立”。全面建成小康社会，在保持经济增长的同时，更重要的是落实以人民为中心的发展思想。党始终把人民对美好生活的向往作为奋斗目标，不断加大民生投入力度，着力提高民生保障水平。从织密民生保障网到推进脱贫攻坚战，从扩大就业到深化教育、医疗、养老等领域改革，一系列实实在在的民生举措增强了人民的获得感，凝聚了人心，坚定了信心。

(2) 始终坚持以经济建设为中心。

发展仍然是我们党执政兴国的第一要务。全面建成小康社会的进程中，党始终坚持以经济建设为中心，坚决贯彻新发展理念，推动新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展，加快建设现代化经济体系，全面提高发展的质量和效益。在继续推动经济发展的基础上，始终抓住人民群众最关心最直接最现实的利益问题，着力解决好发展不平衡不充分的问题^[3]。

(3) 始终坚持改革开放的根本途径。

始于 1978 年底的改革开放几乎与小康社会的建设同步发展。应该说，正是改革开放推动小康社会建设持续向前展，而全面小康社会的建成也正是改革开放的最重要成果。党中央支持农村实行家庭联产承包责任制，创办经济特区，建立社会主义市场经济体制，

改革政治体制，改革生态文明体制，改革开放步步推进、创新发展，为全面建成小康社会的目标能够如期完成提供了决定性保证^[4]。

5.1.2 我国可持续发展思路

(1) 气候学家们认为，与工业革命（人类开始使用化石燃料）前的平均气温相比，如果全球平均气温上升超过了 2°C 以上，那么将会带来灾难性的后果。所以，在面对气候变暖这一难题上面，我国未来可持续发展应走推动绿色发展方式，加快转变经济发展方式的道路。深入理解并贯彻习近平总书记所强调的，把生态文明建设摆在全局工作的突出地位，坚持节约资源和保护环境的基本国策，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式，努力实现经济社会发展和生态环境保护协同共进。将技术创新政策的制定与气候变化对策相结合，利用我国自然资源条件，着重发展重大清洁能源和可再生能源的转换和利用技术、智能管理技术，鼓励替代传统能源和原材料的创新发展路径，制定低碳标准体系，抢占核心技术制高点，产生未来我国的低碳转型动力和竞争优势；

(2) 环境生态问题，既是中国的严重问题，又是世界性的重大问题；环境生态的破坏和恶化，严重制约和危及着中国与世界的持续发展。错误走向是危险之路，错误发展是危机之源。解决环境生态矛盾问题，实现环境生态良性循环、持续发展的正确抉择，就是走能动自觉、战略统筹、协调平衡、和谐发展之道路。要在可持续发展的过程中，站在历史发展的高度，正确认识环境生态矛盾问题，能动地寻求解决方案，自觉地致力正确发展，既遵循社会主义经济社会发展规律，又尊重生态自然演化规律，依照人类社会和生态自然规律，促进经济社会和环境生态协调平衡发展；

(3) 国家需要未雨绸缪，在可持续发展的过程中，尽早研究制定新人口政策。新人口政策要着眼于解决低生育水平时期的新人口问题，其核心内容是鼓励结婚、怀孕和生育，要健全养老机制、完善养老服务，促进社会性别平等与公正，稳妥推进人口城镇化进程。新人口政策要加强计划生育、孕产期保健、婴幼儿护理等工作，协调有关部门把新材料、新技术、新成果及时引入到计划生育服务中。新人口政策要进一步推动人口理论研究，加强对人们生育意愿变化情况、人口与社会、经济、资源、环境协调发展等问题的研究^[5]。

5.2 问题 2 的模型建立与求解

为选取评价实现全面小康的主要指标，对各省全面建成小康社会总体情况进行合理的评价与排序，我们查阅参考文献[4]，选取了人均生产总值、第三产业占比、城镇化率、人均住宅面积、单位 GDP 能耗、建成区绿化覆盖率、城镇常住居民人均可支配收入、农村常住居民人均可支配收入和高等教育毛入学率九项数据作为评价指标。由于在 2020 年实现全面小康的目标是党在 2012 年十八大报告中首次提出，考虑到 2012 年和 2019 年作为两个关键时间点，充分反映了问题 1 中所涉及的小康社会完成难度系数、完成比率及未来可持续发展能力，所以我们结合国家统计局年鉴、地方统计年鉴等官方数据，得到了 2012 年和 2019 年两年内我国各省（港澳台除外）九个指标全部数据和各指标达到小康水平的标准数据，其中，各省人均 GDP 如图 5-1 所示，其他数据见附件。

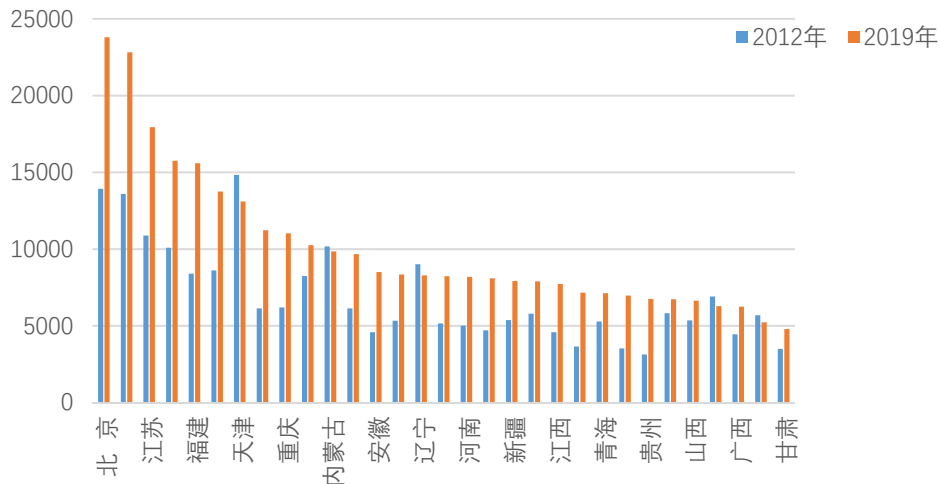


图 5-1 我国各省人均 GDP/美元

另外，为求解各省小康社会完成难度系数、完成比率及未来可持续发展能力，我们做出如下定义。

定义 1:

$$r_{ij} = \frac{\hat{x}_j - x_{ij(2012)}}{\hat{x}_j}$$

其中， $x_{ij(2012)}$ 表示 2012 年第 i 个省份第 j 个指标值， \hat{x}_j 表示第 j 个指标实现小康水平的标准值。

定义 2:

Step3. 不断重复上述步骤，如图 5-2 所示：

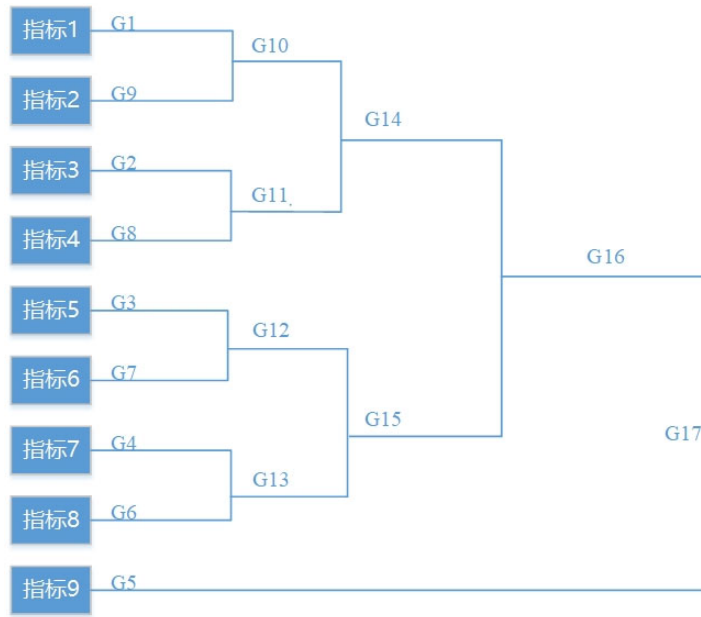


图 5-2 聚类原理图

5.2.2 系统聚类模型的求解

Step1. SPSS 求解

考虑到 2012 年和 2019 年各省各项指标数据具有类似性，所以我们决定采用 2019 年数据，利用 SPSS 对模型进行求解，如图 5-3 所示：

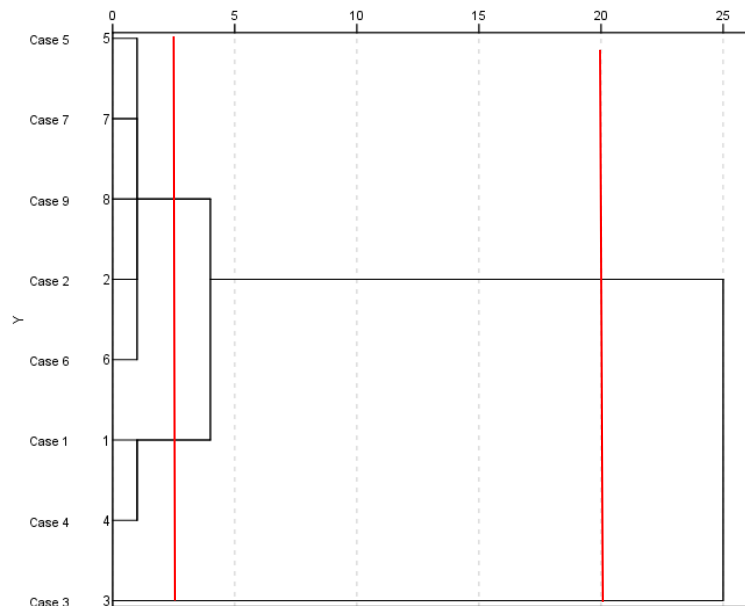


图 5-3 聚类结果图

Step2. 肘部法则

各个类畸变程度等于该类重心与其内部成员位置距离的平方和，我们假设一共将 n 个样本划分到 K 个类中 ($K \leq n-1$, 即至少有一类中有两个元素)，用 C_k 表示第 k 个类，且该类重心的位置即为 u_k ，那么第 k 个类的畸变程度为：

$$\sum_{i \in C_k} |x_i - u_k|^2$$

定义所有类的总畸变程度：

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{i \in C_k} |x_i - u_k|^2$$

将聚类所得系数粘贴到 Excel 表格中，并按照降序排好，如下图 5-4 所示：

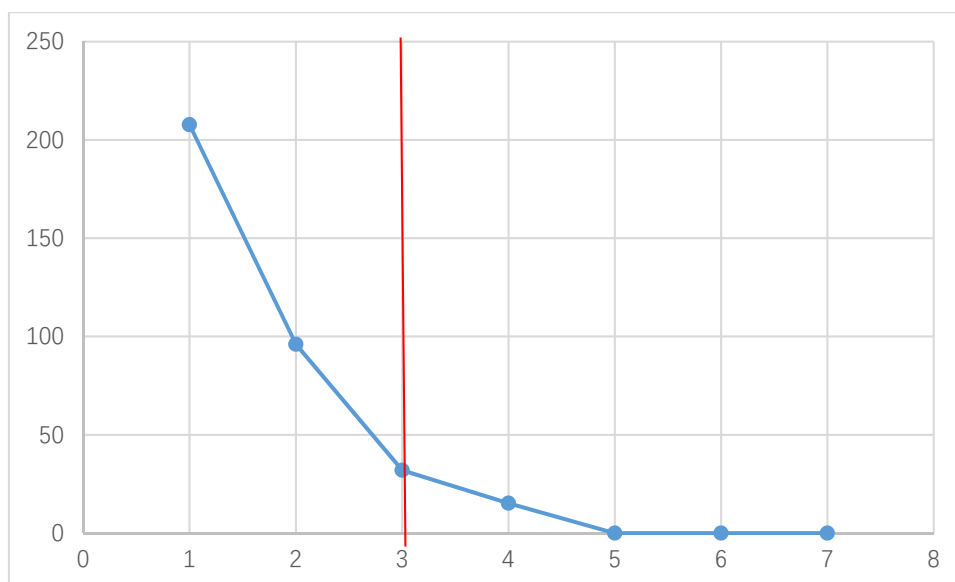


图 5-4 肘部法则图

从图中可以看出， K 值从 1 到 3 时，畸变程度变化最大。超过 3 以后，畸变程度变化显著降低。因此肘部就是 $K=3$ ，故可将类别数设定为 3。

Step3. 保存聚类结果

根据最终聚结果，首先，人均生产总值、第三产业占比、城镇常住居民人均可支配收入、农村常住居民人均可支配收入为一类，我们将其定义为国民经济类。其次，城镇化率、人均住房建筑面积、高等教育毛入学率为一类，我们将其定义为社会发展类。最后，单位 GDP 能耗和建成区绿化覆盖率为一类，我们将其定义为生态环境类。如表 5-1 所示：

表 5-1 聚类结果表

类别	指标
国民经济	人均生产总值
	第三产业占比
	城镇常住居民人均可支配收入
	农村常住居民人均可支配收入
社会发展	城镇化率
	人均住房建筑面积
	高等教育毛入学率
生态环境	单位 GDP 能耗
	建成区绿化覆盖率

5.2.3 AHP 模型的建立

将决策问题分解为三个层次，最上层为目标层 M，即选择取评价小康指标的三大类别；最下层为方案层 P，即九个评价指标 P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9；中间层为准则层，即评价小康指标的三大类别，包括国民经济 C1、社会发展 C2、生态环境 C3 三个指标（如图 5 所示）：

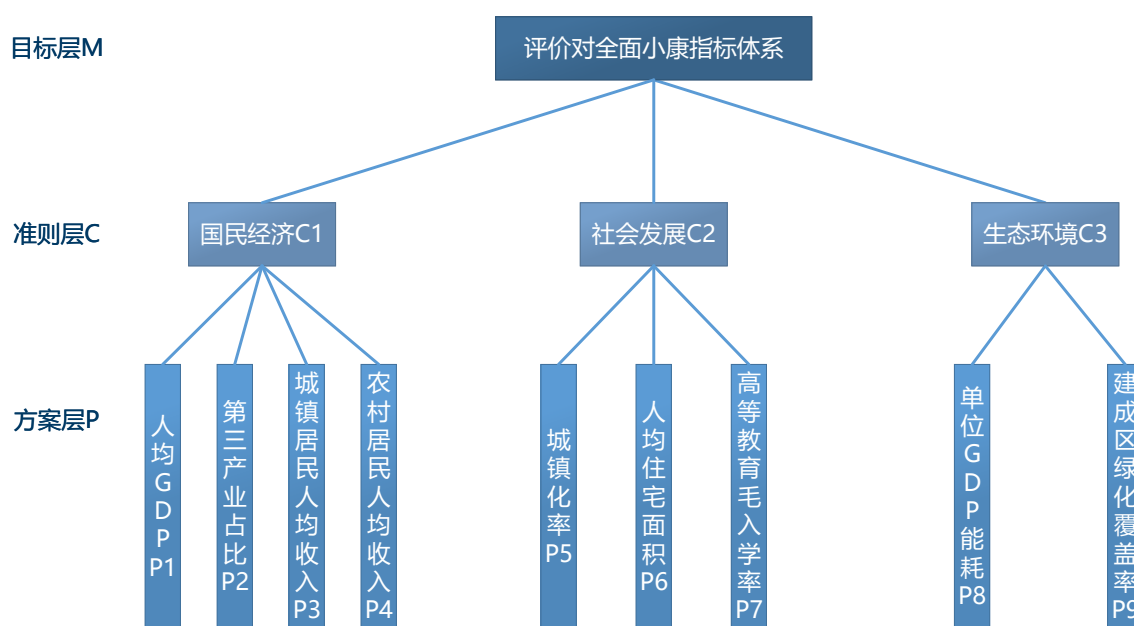


图 5-5 层次分析图

5.2.4 AHP 模型的求解

Step1. 建立判断矩阵

判断矩阵表示针对上一层的某元素，本层次与它有关的元素之前相对重要性的比

较。这里的判断矩阵采用九分制标度法，如表 5-2 所示：

表 5-2 九分制标度表

标度	含义
1	同样重要
3	稍微重要
5	明显重要
7	强烈重要
9	极端重要
2、4、6、8 倒数	上述相邻判断中值 不重要

下面构造判断矩阵 M-C、C1-P、C2-P 及 C3-P 并进行一致性检验，如表 5-3 所示。

表 5-3 判断矩阵组 C-P

	C1	C2	C3		P5	P6	P7
C1	1.000	8.000	9.000	P5	1.000	5.000	7.000
C2	0.125	1.000	3.000	P6	0.200	1.000	3.000
C3	0.111	0.333	1.000	P7	0.143	0.333	1.000

	P1	P2	P3	P4		P8	P9
P1	1.000	9.000	7.000	8.000	P8	1.000	3.000
P2	0.111	1.000	0.333	0.500	P9	0.333	1.000
P3	0.143	3.000	1.000	2.000			
P4	0.125	2.000	0.500	1.000			

Step2. 一致性分析

求解四个矩阵特征值，再根据 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 求得 CI ；于是根据 $CR = \frac{CI}{RI}$ ，计算得到 CR ，

若 $CR < 0.1$ 则判断矩阵通过一致性检验。

表 5-4 平均随机一致性指标 RI

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

将上述的四个判断矩阵进行一致性检验， CR 求解结果分别为 0.0765、0.0626、0.0340、0.0254，均小于 0.1，皆通过一致性检验，判断矩阵无需修正。

Step3. 计算比重

根据 Step2 和 Step3，我们用三种方法：算数平均值法、几何平均值法以及特征值

法求均值计算出 P 层每个影响因素所占的总权重，最终汇总如图 5-6 所示。

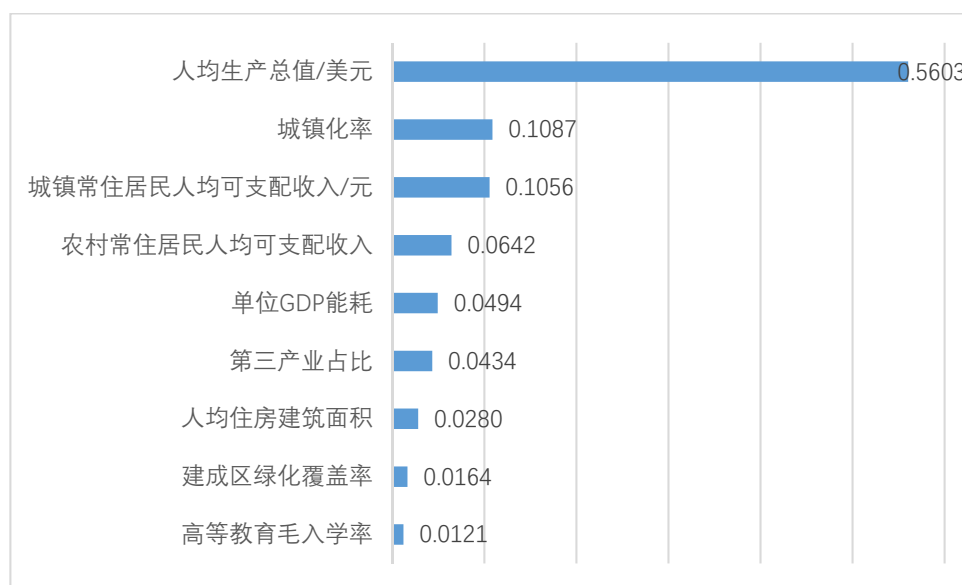


图 5-6 影响权重图

根据定义 1, 2, 3, 我们即可求得 31 个省份九个指标的难度系数, 完成率和未来发展前景, 分别乘以层次分析模型所得的每个指标权重, 即可求得各省份总难度系数, 总完成率和总未来发展前景 (详细数据见附件), 下面以各省份总难度系数, 总完成率和总未来发展前景为新指标, 对各省全面建成小康社会总体情况进行合理的评价与排序。

5.2.5 利用 TOPSIS 模型计算各省得分

Step1. 原始矩阵正向化

由于各省实现全面小康总难度系数是极小型指标, 我们先利用如下公式将这一列数据进行正向化:

$$\hat{x} = \max - x$$

Step2. 矩阵标准化

共有 31 个省份, 三个评价指标, 构成 31 行 3 列矩阵 X

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{(31)1} & x_{(31)2} & x_{(31)3} \end{bmatrix}$$

那么对其标准化的矩阵即为 Z ， Z 中的每一个元素：

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

Step3. 计算得分并归一化

假设有 n 个要评价的对象， m 个评价指标的标准化矩阵：

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix}$$

定义最大值：

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_m^+) = (\max\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \max\{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{n2}\}, \dots, \max\{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\})$$

定义最小值：

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_m^-) = (\min\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \min\{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{n2}\}, \dots, \min\{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\})$$

定义第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个评价对象与最大值的距离：

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^+ - z_{ij})^2}$$

定义第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个评价对象与最小值的距离：

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - z_{ij})^2};$$

那么，我们可以计算得出第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个评价对象能够为归一化的得分：

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \text{ 很明显 } 0 \leq S_i \leq 1, \text{ 且 } S_i \text{ 越大 } D_i^+ \text{ 越小, 即越接近最大值。}$$

Step4. 计算信息熵

假设 x 表示时间 X 可能发生的某种情况， $p(x)$ 表示这情况发生的概率，我们可以定义： $I(x) = -\ln(p(x))$ ，因为 $0 \leq p(x) \leq 1$ ，所以 $I(x) \geq 0$ ，如果事件 X 可能发生的情况分别为： x_1, x_2, \dots, x_n

那么我们可以定义事件 X 信息熵为：

$$H(X) = \sum_{i=1}^n [p(x_i) I(x_i)] = - \sum_{i=1}^n [p(x_i) \ln(p(x_i))]$$

5.2.6 结果

利用带熵权法的 TOPSIS 算法程序，将矩阵导入（见附录 2），计算出 31 个省份全面建成小康社会总体情况得分，如图 5-7 所示：

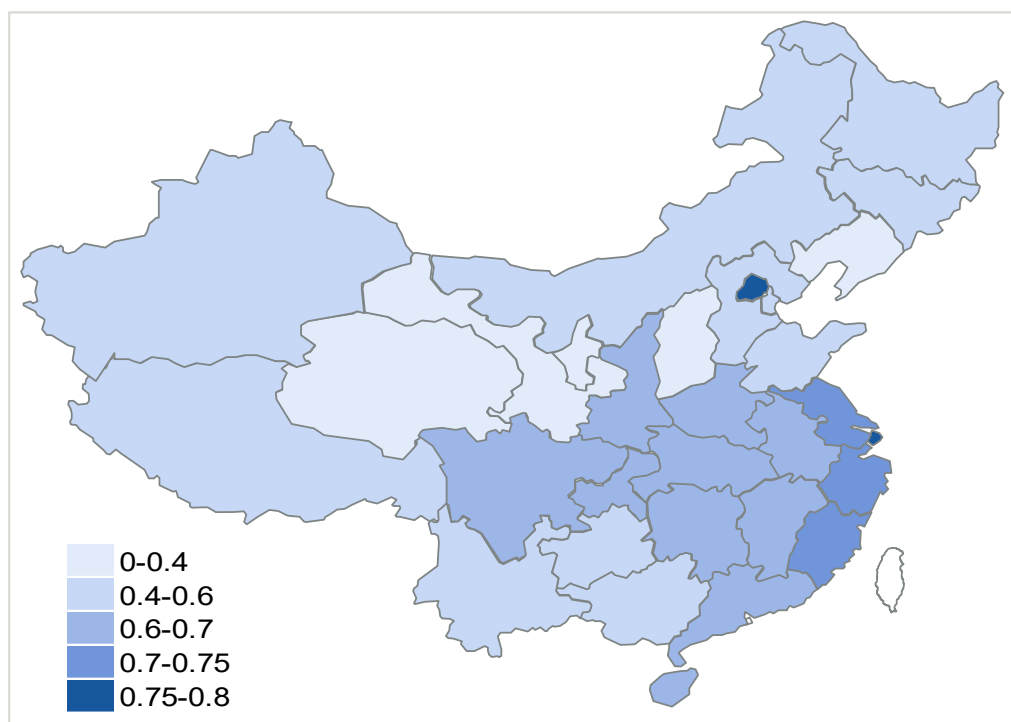


图 5-7 各省份小康得分图

其中，排名前十的省份得分如表 5-5 所示，其余省份得分见附录 4

表 5-5 前十省份排名表

省份	得分
北京	0.7589
上海	0.7527
福建	0.7297
江苏	0.7247
浙江	0.7050
海南	0.6955
广东	0.6917
安徽	0.6896
湖南	0.6653
河南	0.6638

5.3 问题 3 的模型建立与求解

系统动力学(System Dynamic)是美国麻省理工学院 Jay W. Forrester 创立的一门分析研究信息反馈、系统结构、功能与行为空间之间动态、辩证关系的科学,是认识系统间问题和沟通自然和社会科学等领域的桥梁。其以系统论、信息论、控制论和计算机技术为基础,依据系统的状态、控制和信息反馈等环节来反映实际系统的动态机制,并通过建立仿真模型,借助计算机进行仿真试验的一种科学方法。用系统动力学解决问题的过程,实质上是系统优化的过程:通过仿真试验,剖析系统,掌握系统各因素间的变化,以及对系统主体所表现的行为趋势,为改善系统、预测未来发展提供决策和科学依据,最终目标是寻找系统的优化结构,以求得较优的系统功能。并擅长处理复杂性、周期性、长期性、数据相对缺乏、高阶次、非线性、时变性等问题,能进行长期、动态、战略性的定量分析研究^[6]。

区域经济可持续发展的系统结构是系统各要素相互制约的综合反映,横向表现为因果反馈结构,纵向则表现为层次结构。区域经济可持续发展表现出来的特征,与系统动力学解决系统问题的性能具有较好的应对性。所以,借助系统动力学原理建立具有乘数效应的经济发展模型,来探讨区域经济的发展模式就具有重要的现实意义。区域可持续发展系统的功能取决于其内部结构,推动区域可持续发展系统演变的动力来源于内部的子系统的相互作用,区域系统的动力机制体现在构成区域可持续发展系统的人口、环境与经济等要素的相互推动与制约。

5.3.1 SD 模型的建立——以江苏省为例

Step1. 经济模型架构

构建系统模型的指导思想是用尽可能简单的模型来描述系统结构,而构造高层结构图的指导思想则是简单、概括,即抓住系统的关键性流程,建立系统内的高层关系。由于江苏省经济可持续发展系统包含的因素较多,为便于分析,可以将经济可持续发展系统划分为人口子系统、经济经济子系统、资源子系统和环境子系统 4 个子系统,每个子系统都有自己的结构特点和独特功能,其中一个子系统的输出是其他子系统的输入,子系统之间彼此联系^[7,10]。

在经济可持续发展系统中,①要考虑的是人口因素。人是进行生产活动的主体,人口的消费需求是刺激和推动经济生产的根本原因,提高人口生活质量和生活水平是经济

可持续发展的根本目的，人口在经济可持续发展中处于核心地位。②经济是推动社会可持续发展系统演变和进化的第一动力，是实现可持续发展的核心。③资源是进行经济生产的物质基础，资源承载力直接影响经济生产活动。④经济可持续发展系统中还应包括环境因素。良好的生态环境可以提高人民的生活质量和幸福指数，反过来刺激经济增长。

(1) 人口子系统

人口子系统把总人口、人口自然增长率和社会劳动力作为状态变量，出生率、死亡率、迁入率、迁出率、人口老龄化比例作为速率变量，城镇人均收入、人均 GDP 作为辅助变量，同时把高新技术人才引进、社会劳动力人口和人口老龄化与经济子系统接口，总人口和人口自然增长率与资源、环境子系统接口。

(2) 经济子系统

经济子系统把省内总 GDP、人均 GDP、城镇居民收入作为状态变量，进出口总额、各产业投资总量、各产业产出量作为速率变量，通过与人口子系统中社会劳动力人口、人口老龄化和高新技术人才引进作为辅助变量，表现江苏不断优化产业结构，经济发展不断升级的新思路。

(3) 环境子系统

环境子系统把空气质量指数、建成区绿化覆盖率和自然保护区面积作为水平变量，工业废水排放量、生活污水排放量、二氧化硫排放量和发电量作为速率变量，通过各产业一次能源消产量、人口自然增长率、省内总 GDP、第三产业比重等多种辅助变量与经济、人口、资源等子系统接口，表达环境与经济、人口、资源子系统动态制约关系。

(4) 资源子系统

资源子系统把水资源储量、原煤储量、发电量作为状态变量，降水量、主要能源消费量和一次能源产量作为速率变量，并与各产业工业投资、人口自然增长率、总 GDP、第三产业比重、总人口等多种辅助变量接口。

子系统动力学流程图如图 5-8 所示：

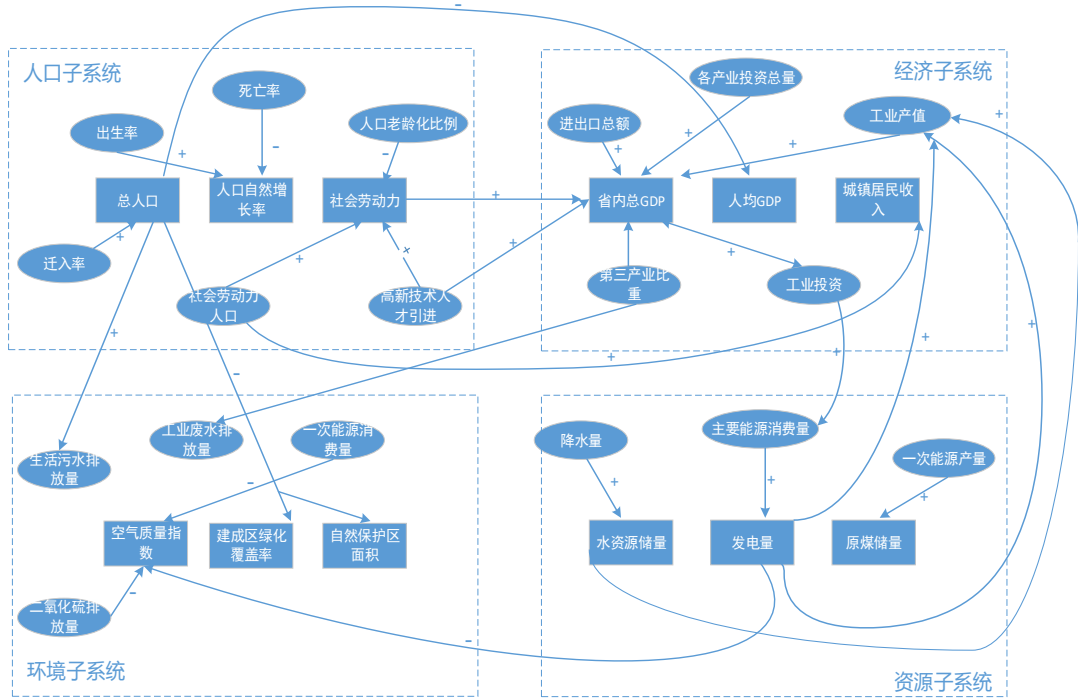


图 5-8 子系统动力学流程图

其中，箭头表示反馈，正负区分正负反馈，例如：

省内总 GDP→工业投资→主要能源消费量→电量→工业产值→省内总 GDP。该回路说明：省内总 GDP 的增长刺激了工业投资，工业投资的增加加大了主要能源的消费量和发电量，从而工业产值也随之增加，省内总 GDP 增加。

Step2.模型参数设计

通过具体分析江苏经济区域系统的主要反馈关系和各子系统变量的关联方式，从中选出 12 个状态变量、17 个速率量、35 个辅助变量，并借鉴文献中的公式和参数，建立该区域系统动力学模型。模型建立的主要数据涉及 2001 年-2019 年江苏省统计年鉴。采用 Excele 和 SPSS 软件进行数据分析，确定系统模型的相关参数。根据参考文献[7]，给出各参量的计算公式如下：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$P = P_0 \cdot e^{\tau(t-t_0)}$$

其中，

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n i\theta_i}{\sum_{i=1}^n i^2}, \theta_i = \ln G_i - \ln G_0$$

根据历年统计资料，按照算术平均法得到的相关参量值如下，出生率：0.0932；死亡率：0.0703；人口自然增长率 0.0236；GDP 增速：0.069，自然保护区面积：8200 平方公里；发电量：5229.63 亿千瓦时 单位 GDP 能耗下降率：0.067；一次能源产量：2745.62 万吨标准煤。

(1) 线性拟合

社会总产值与工业产值、金融业产值、建筑业产值和商业产值间的系数都可以通过线性回归得到，相关系数如表 5-6 所示：

表 5-6 线性拟合系数表

GDP	Coef.	Std. Err.	t	Sig.
工业	1.477506	.1224098	12.07	0.000
建筑业	.7206222	.8530099	0.84	0.412
金融业	4.34866	.2849949	15.26	0.000
房地产业	.375615	.7325807	0.51	0.616
_cons	1029.958	315.562	3.26	0.006

该模型联合显著性检验 $P > F = 0.0000$ ，小于 0.05，则模型在 95% 的置信水平下拒绝原假设，联合显著性检验通过，调整后的 R^2 为 0.9998，说明拟合优度较好。

(2) 非线性拟合

GDP 和老龄化人口，劳动力人口，原煤消费量和二氧化硫排放量、工业废水排放量等方程参数都是通过非线性回归确定的。如利用指数函数拟合 GDP 和劳动力人口之间的关系：

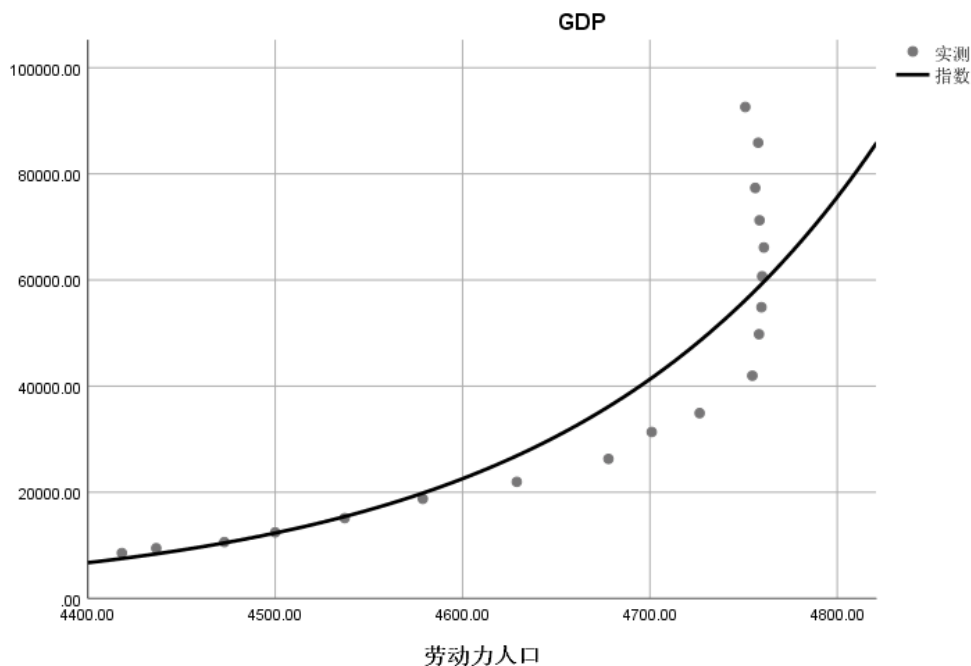


图 5-9 GDP 与劳动力人口拟合图

相关参数和检验如表 5-7 所示:

表 5-7 相关参数表

R 方	F	显著性	常量	b1
0.91	172.45	0.000	1.8E-8	0.006

其中 $P=0<0.5$, 在 95% 置信水平下拒绝原假设, 通过显著性检验, $R^2>0.9$, 说明拟合优度良好。

5.3.2 SD 模型的求解

依据系统结构、反馈机制与反馈回路, 水平方程、速率方程和已求得方程参数, 我们利用 Vensim 建立系统动力模型。此外, 江苏省可持续发展系统行为还受产业投资比例、生产性投资系数、工业用电系数、等政策性参数影响较大。在本论文中, 我们通过对系统有重要影响的政策性参数调整与组合, 仿真模拟多种发展模式并重点探讨了 3 种区域经济发展模式^[8,9]: 经济高速增长模式 I; 资源环境保护模式 II; 协调性发展模式 III, 其中, 仿真结果见表 5-8:

表 5-8 各模式仿真结果表

	2025			2030			2035		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
pop	8245	8209	8179	8365	8322	8296	8410	8436	8429
gdp	142149	131596	129962	174562	162813	163426	205829	198753	195623
3rd	87585	81750	82365.	113172	100682	100928	145686	138956	137895
ind	50622.5	49222	49002	59587	58587	58234	67952	62952	63952
wst	11.26	8.91	9.56	9.89	7.06	7.18	7.55	5.32	5.96
im	4029	3985	3756.23	4986.2	4825.9	4598.6	5689.2	5529.8	5303.2
out	5082.7	4933.7	4926.2	5789.2	5678.6	5598.5	6423.5	6274.5	6259.8
inv	40381	38652	38983	49028	47298	47956	57674	55945	55685
est	3029.2	2915.2	2815.8	5068.2	4658.9	4356.2	7021.5	6523.6	6595.2
ele	6371	6179.5	6256.2	7328.2	7136.7	7196.3	8285.4	8094.0	8159.2
gre	43.86	43.95	43.9	44.02	44.31	44.3	44.77	45.62	44.22

5.3.3 结果

江苏经济发展系统是复杂多变的巨型耦合系统，存在错综复杂的关系，基于区域可持续发展的目标，运用解决非线性问题的系统动力学模型，从人口、经济、资源和环境等方面进行仿真模拟，通过对参数变量的适当调控，得出区域发展的不同发展模式即经济高速增长模式 I、资源环境保护模式 II 和协调性发展模式 III。

I. 经济高速增长模式

经济高速增长模式调控的主要思路是加大工业生产和工业投资；加大科技人员投入，增强企业创新机制；同时考虑工业发展和规模效应，增加工业用地；增加工业用水等资源的投入。一般情况下，经济高速增长模式下的工业产值和国内生产总值大幅度增长是建立在资源消耗和生态环境破坏的基础之上的，未达到可持续发展的目标。

II. 资源环境保护发展模式

资源环境保护模式的思路是合理开发利用资源；减少人口膨胀对环境的压力，降低生产发展造成的资源极大浪费和环境的破坏；加大环保投资力度，增强污染治理能力，最大限度地改善生态环境，提高生态承载力。但是该种发展模式由于过度强调环境资源的保护而忽视了社会经济的发展。

III. 协调型发展模式

协调型发展模式是指社会、经济和生态和谐发展，是一种理想的发展模式。其模型中的参数调整地基本思路是最大限度的减少资源与环境的压力；同时合理调整和优化产业结构，加大第三产业投资比例，大力发展第三产业，合理控制人口数量；加大环境治理力度，强化节水降耗等措施，确实提高区域经济整体效益。

5.4 问题 4 的模型建立与求解

我国宏观经济在过去三十年里大体保持了良好运行状态，发展速度和经济总量都一直保持快速增长。但是,在宏观经济发展背景下，从第二问我们给出的各省份的排名可以看出，各省份之间的完成小康的程度存在差距，东部地区和中西部地区经济差距较大，区域之间经济发展出现了明显不平衡状态。因此，我们给出下列各省之间的合作计划：

(1) 采取区域经济合作的策略，以缩短经济差距为目的鼓励和指导东部地区和中西部地区之间实施各种形式的区域经济合作与经济扶助。区域经济合作，一般是指发达地区与欠发达地区立足于各自的区位优势而实现优势互补，资源共享的经济合作；而区域经济扶助，起源于我国长期以来的对口支援工作，表现为对中西部地区实施无偿援助。建立起区域经济合作和扶助法律制度,并不是以强行性法律规范将这种合作与扶助作为一种义务和职责强行施加于东部地区的投资主体,而是通过任意性和提倡性法律规范来指导和鼓励东部地区的这类行为，从而缩短东部地区和中西部地区的经济差距，实现各大区域的协调发展^[1]。

(2) 在经济发展的同时，生态环境也是不容忽视的一环，其极大程度影响了各省可持续发展的程度。中国各省域生态经济文明和生态环境文明可以影响到周边省域的碳排放强度，中国相邻省域之间需要进一步强化合作，确立共同的生态经济文明目标，减少不必要的恶性竞争，建立跨省域减少碳排放合作机制，实现生态文明建设水平提高的同时共同致力于碳排放强度降低。

六、模型的评价及推广

6.1 模型的优点

(1) 问题二先利用系统聚类模型对影响因素进行聚类，再进行层析分析，提高了各指标比重计算的效果和准确性。

(2) 为了保证结果的稳健性，问题二层次分析模型最终采用算数平均法、几何平均

法和特征值法三种方法分别求出权重后计算平均值，再根据得到的权重矩阵计算各方案的得分，并进行排序和综合分析，这样避免了采用单一方法所产生的偏差，得出的结论将更全面、有效。

(3) 问题二模型在运用 TOPSIS 模型计算各省份得分时，利用熵权法客观赋权，使得分更合理，避免带来的较大误差。

(4) 问题三模型在建立区域经济可持续发展模型时，基于方程，建立了系统动力学模型，考虑了多因素的相互影响，更好的模拟了区域经济发展状况，且大大减少了计算量。

6.2 模型的缺点

(1) 问题二模型层次分析法具有一定的主观性，计算所得权重具有一定误差；

(2) 问题三系统动力模型虽然已经较为全面，但是因为模型中各水平方程与速率方程是人为写入，所以仍然存在一定机械性，对于未来情况变化的预测具有一定的误差。

6.3 模型的推广

系统动力学仿真模型是对现实系统结构和功能的模拟，模型的建立是一个不断向真实系统逼近的过程。Vensim 系统仿真软件是目前比较常用的系统动力模型建模软件，它把系统内的一系列反馈关系用图形化表示出来，表现直观、易于理解，显示出系统模拟在处理可持续发展系统问题上的优越性。但限于我们水平和经验，以及资料来源的局限性，在构建江苏省经济可持续发展的系统动力学模型时，我们只对人口、经济、资源和环境四个子系统的主要因素做出分析，而区域经济可持续发展系统是非常复杂的大系统，模型有待于在实际应用中不断细化和完善。同时，鉴于应用仿真软件能力还比较肤浅，未能开展江苏省经济可持续发展系统动力学实证分析，这需要在以后的工作中进一步研究完成。此外，相关政府还可以通过引入群组决策中的模糊层次分析法对不同发展模式进行综合评判，最后给出适合江苏经济发展的最优模式。

参考文献

- [1] 韩保江, 邹一南. 中国小康社会建设 40 年: 历程、经验与展望[J]. 经济学文摘, 2020, 38(4): 102-117.
- [2] 《习近平谈治国理政》, 外文出版社, 2014 年.
- [3] 《习近平谈治国理政》(第二卷), 外文出版社, 2017 年.
- [4] 《决胜全面建成小康社会夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告》, 人民出版社, 2017.
- [5] 樊艳华, 袁建华, 史正等. 论我国未来人口可持续发展[J]. 科学决策, 2014, (3): 1-29.
- [6] 王光净, 杨继君, 李庆飞等. 区域经济可持续发展的系统动力学模型及其应用[J]. 改革与战略, 2009, 25(1): 128-132.
- [7] 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]. 系统工程理论与应用, 2004, 24(12): 14-18.
- [8] 秦耀辰. 区域系统模型原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [10] 黄振中, 黄艳, 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.
- [11] 刘凯, 吴怡, 陶雅萌等. 中国省域生态文明建设对碳排放强度的影响[J]. 中国人口资源环境, 2019, 29(7): 50-56.

附录

1. 层次分析法代码

```

1. disp('请输入判断矩阵 A')
2. A=input('A= ');
3. [n,n] = size(A);
4. %% 方法 1: 算术平均法求权重
5. Sum_A = sum(A);
6. SUM_A = repmat(Sum_A,n,1);
7. Stand_A = A ./ SUM_A;
8.
9. disp('算术平均法求权重的结果为: ');
10. disp(sum(Stand_A,2)./n)
11. %% 方法 2: 几何平均法求权重
12. Prduct_A = prod(A,2);
13. Prduct_n_A = Prduct_A .^ (1/n);
14. disp('几何平均法求权重的结果为: ');
15. disp(Prduct_n_A ./ sum(Prduct_n_A))
16. %% 方法 3: 特征值法求权重
17. [V,D] = eig(A);
18. Max_eig = max(max(D));
19. [r,c]=find(D == Max_eig , 1);
20. disp('特征值法求权重的结果为: ');
21. disp( V(:,c) ./ sum(V(:,c)) )
22.
23. %% 计算一致性比例 CR
24. CI = (Max_eig - n) / (n-1);
25. RI=[0 0.0001 0.52 0.89 1.12 1.26 1.36 1.41 1.46 1.49 1.52 1.54 1.56 1.58
    1.59];
26. CR=CI/RI(n);
27. disp('一致性指标 CI=');disp(CI);
28. disp('一致性比例 CR=');disp(CR);
29. if CR<0.10
30.     disp('可以接受!');
31. else
32.     disp(' CR >= 0.10 ');
33. end

```

2、正向化代码

```

1. function [posit_x] = Positivization(x,type,i)
2.     if type == 1
3.         posit_x = max(x) - x;
4.     end

```

3、综合评价代码

```

1. %% 判断是否需要正向化
2. [n,m] = size(X);
3. disp(['共有' num2str(n) '个评价对象, ' num2str(m) '个评价指标'])

```

```

4. Position = input('输入需要正向化处理的指标所在的列 '); %[2,3,4]
5. disp('1: 极小型, 2: 中间型, 3: 区间型 ')
6. Type = input(); %[2,1,3]
7.     for i = 1 : size(Position,2)
8.         X(:,Position(i)) = Positivization(X(:,Position(i)),Type(i),Positi
           on(i));
9.     end
10.    disp('正向化 X = ')
11.    disp(X)
12.
13.%% 对正向化后的矩阵进行标准化
14.Z = X ./ repmat(sum(X.*X) .^ 0.5, n, 1);
15.disp('标准化矩阵 Z = ')
16.disp(Z)
17.
18.%% 算出得分
19.D_P = sum([(Z - repmat(max(Z),n,1)) .^ 2 ],2) .^ 0.5;
20.D_N = sum([(Z - repmat(min(Z),n,1)) .^ 2 ],2) .^ 0.5;
21.S = D_N ./ (D_P+D_N);

```

4、TOPSIS 模型运行结果

省份	总难度系数	总完成率	总发展前景	最后得分
北京	0.000	0.988	0.576	0.759
上海	0.001	0.987	0.568	0.753
福建	0.013	0.984	0.663	0.730
江苏	0.007	0.988	0.539	0.725
浙江	0.007	0.988	0.507	0.705
海南	0.014	0.987	0.512	0.695
广东	0.006	0.986	0.485	0.692
安徽	0.029	0.988	0.709	0.690
湖南	0.034	0.988	0.553	0.665
河南	0.039	0.985	0.578	0.664
重庆	0.022	0.986	0.641	0.661
湖北	0.018	0.987	0.695	0.651
陕西	0.032	0.976	0.515	0.648
江西	0.032	0.957	0.492	0.634
四川	0.061	0.987	0.641	0.616
山东	0.012	0.988	0.326	0.592
云南	0.089	0.960	0.736	0.554
广西	0.050	0.985	0.452	0.548
贵州	0.117	0.979	0.894	0.526
天津	0.005	0.986	0.092	0.510
西藏	0.124	0.944	0.828	0.489
黑龙江	0.029	0.985	0.139	0.469
吉林	0.031	0.963	0.076	0.442
河北	0.058	0.986	0.303	0.442
新疆	0.100	0.985	0.529	0.411
内蒙古	0.055	0.984	0.203	0.407
山西	0.090	0.983	0.336	0.331
甘肃	0.112	0.978	0.453	0.328

Team#202019090

辽宁	0.075	0.986	0.132	0.307
宁夏	0.112	0.963	0.410	0.299
青海	0.136	0.967	0.438	0.270
