



## 目 录

一、问题重述.....	2
1.1 问题背景.....	2
1.2 问题重述.....	2
二、问题分析.....	2
2.1 问题 1 的分析.....	2
2.2 问题 2 的分析.....	2
2.3 问题 3 的分析.....	3
2.4 问题 4 的分析.....	3
三、模型假设.....	3
四、定义与符号说明.....	3
五、问题 1 模型的建立与求解.....	4
六、问题 2 模型的建立与求解.....	13
6.1 研究指标的确定.....	13
6.2 全面建成小康社会的纵向研究.....	14
七、问题 3 模型的建立与求解.....	21
7.1 系统动力学的原理与计算步骤.....	21
7.2 安徽省社会经济系统分析.....	21
7.3 安徽省经济社会可持续发展的系统动力学模型.....	22
7.4 安徽社会经济可持续发展思路.....	23
八、问题 4 模型的建立与求解.....	23
8.1 模型的建立.....	23
九、模型的评价及优化.....	25
9.1 模型的优点.....	25
9.2 模型的缺点.....	26
9.3 模型的优化与推广.....	26
十、参考文献.....	27
十一、附录.....	27

## 一、问题重述

### 1.1 问题背景

随着我国全面建成小康社会的任务即将完成，人们更多的关注如何走可持续发展之路，就此我们对以下四个问题展开了研究。

### 1.2 问题重述

问题 1:

总结归纳过去我国 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。

问题 2:

结合国家统计局年鉴、地方统计年鉴等官方数据，总结归纳诸如我国各省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在内的多重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。

问题 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，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。这一模型需要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。

问题 4:

您能否提供一个各省之间的合作计划。这一计划在充分考虑各省份经济社会发展状况及资源禀赋，同时也能够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 20 年间全面建成小康社会的成功经验，对此我们可以通过查阅相关新闻报道的资料，获取我国取得的成功经验有哪些。然后我们可以建立评价我国可持续发展的评价指标，进而就能计算我国的可持续发展指数，通过静态分析对我国各省份的可持续发展情况做出评价，从而提出具有针对性的可持续发展建议。

## 2.2 问题 2 的分析

对于问题 2，我们可以根据已有的评价我国全面建设小康社会进程的模型，对其进行改进，再选取一些合适的评价指标，通过合理的打分赋权，得到评价指标的权值，从而就能根据综合评价法得出我国各省份建成全面小康的总体进程。

## 2.3 问题 3 的分析

对于问题 3，由于经济社会的可持续发展是一个系统工程，因此我们可以建立系统地动力学模型，对影响经济社会可持续发展的因素进行系统性探究，从而为选定省份未来的经济社会可持续发展提出合理的思路。

## 2.4 问题 4 的分析

对于问题 4，我们可以先把各省份根据经济发展程度总体竞争力强弱，划分为两个集合，即一个集合里面是相对发展程度高的省份，另一个省份是相对发展较为落后的省份。从而就能根据 0-1 规划对各省份的合作做出规划，并根据优化搜索算法得出合作效益最高的模式。

## 三、模型假设

1. 假设问题 1 的研究中暂不考虑不同省份二级指标对一级指标影响的差异性，即所有指标对一级指标的影响因子都是相同的。
2. 假设除本文确定的评价体系中的指标外，其他指标对我国及各省份的影响可以忽略。
3. 假设本文研究中所采用的数据都是准确的，并且能够反映出相关要素的实际意义。

## 四、定义与符号说明

符号定义	符号说明
$x_{ij}$	指标数据原始值
$r_{ij}$	指标数据标准化值
$H_i$	指标的信息熵
$w_i$	指标权重
$s_{ij}$	二级指标评价指

$F_{ij}$	基础指标得分
$D$	雷达图四边形面积
$\theta$	理想发展方向与实际发展方向的夹角
$b$	重要性程度判断值
$RI$	层次排序中的随机一致性指标
$CR$	层次排序中的随机一致性比例
$\bar{x}_j$	每个指标的平均数
$S_j$	每个指标的标准差
$V_j$	每个指标的标准差系数
$w_{cj}$	指标组合权重
$Q$	系统动力学方程
$G$	加权完全二分图

## 五、问题 1 模型的建立与求解

对于我国未来 20 年可持续发展思路的研究，我们只有在了解我国可持续发展的现状后才能提出具有针对性的规划建议。

本文通过选择合适的影响因素来量化分析和判断我国可持续发展或不可可持续发展的程度，根据全球变暖总这个大的全球背景和我国目前面对的生态环境压力和人口压力等角度出发，从自然资源、经济环境、社会环境和政治环境四个方面来创建一个我国未来 20 年可持续发展的规划，使我国走向更可持续发展的未来。

### 5.2.1 指标体系的建立

#### 5.2.1.1 选取指标体系的原则

本文以社会、经济、环境与资源和人民生活水平作为基础指标，具体选取原则为：

- 指标数据可由当前官方公开的数据库或年鉴等途径查询
- 同一指标的数据必须来源于同一个数据库，除非有个别数据存在缺失的情况
- 每个指标的定义都是清楚、通用的，并且具有完整性

#### 5.2.1.2 二级指标体系的建立

基于上节中指标的选取原则，在考虑避免指标选取的主观性和偏重性的后，具有一般性的指标体系如表 5-1 所示。

表 5-1 可持续发展的评价

一级指标	二级指标
经济发展	第三产业占国内生产总值比重

	城镇人口比重 失业率 GDP
人民生活水平	恩格尔系数 人均可支配收入 分地区产品合格情况 文教娱乐服务支出占比
社会发展程度	文盲人口占 15 岁及以上人口比重 人口密度 人均城市道路面积(平方米) 人均城市道路面积 城乡收入比
环境与资源	废水中污染物的比重 生活垃圾无害化处率 森林覆盖率 人均公园绿地面积(平方米)

### 5.2.2 数据的标准化处理

将表 2 中指标的数据分为 3 个类别：对经济社会可持续发展产生积极影响的积极指标、对经济社会可持续发展产生消极影响的消极指标、特殊指标。

在模型中, 假设有  $n$  个 ( $n = 20$ ) 指标和  $m$  个省份样本, 以下方程中  $x_{ij} (x_{ij} > 0)$  代表省份样本  $j$  的指标  $i$  的原始值,  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

接下来分别对 3 类指标进行标准化处理:

- 积极指标

因为积极指标的绝对值越大对可持续发展越好, 所以其标准化公式为:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j(x_{ij})}$$

上式中,  $\max_j(x_{ij})$  是积极指标的最佳值, 即所有  $m$  个样本省份中指标  $i$  的最大值。

- 消极指标

因为消极指标的绝对值越小对可持续发展越好, 所以其标准化公式为:

$$r_{ij} = \frac{\min_j(x_{ij})}{x_{ij}}$$

上式中,  $\min_j(x_{ij})$  是消极指标的最佳值, 即所有  $m$  个省份样本中指标  $i$  的最小值。

基于上述公式, 可得每个指标数值的比值计算公式为:

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^m r_{ij}}$$

### 5.2.3 基础指标值的计算

为计算 4 个基础指标值,就要对每个二级指标赋予相应的权重值。考虑到本文中指标的选取原则以及各种权方法的特点,本文采用熵值法对各指标进行赋权。这是因为熵值法是根据各评价指标值之间的差异程度来确定权重系数的方法,在确定权重系数的过程中可以避免人为因素的干扰、较为客观的反映各评价指标在综合评价指标体系中的重要性。

定义第 $i(i = 1, 2, \dots, n)$ 个指标的信息熵为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m f_{ij} * \ln f_{ij}$$

上式中,  $0 \leq H_i \leq 1$ ,  $k = \frac{1}{\ln m}$

各指标的权重 $w_i$ :

$$w_i = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^n (1 - H_i)}$$

由此得到各省 $j$ 的二级指标 $i$ 的评价值为:

$$s_{ij} = w_i * f_{ij}$$

但考虑到不同省份在区位、人口、经济发展程度等存在差异,从而不同的省份其二级指标对一级指标的影响程度也会不同。因此针对不同省份的情况,本文对每个二级指标定义不同的影响因子对原始数据进行标准化。由此可得省份 $j$ 的 4 个基础指标值为:

$$F_{ij} = \sum_{i=i_{r-1}+1}^{i_r} \alpha_{ijr} * s_{ij}$$

上式中,  $r = 1, 2, 3, 4$ 分别代表经济、社会、环境与资源、制度这 4 个一级指标,  $i_r$ 代表第 $r$ 个一级指标中最后一个二级指标对应的标号。本文 $i_0 = 0$ ,  $i_1 = 5$ ,  $i_2 = 10$ ,  $i_3 = 15$ ,  $i_4 = 20$ 。 $\alpha_{ijr}$ 为第 $i$ 个二级指标对第 $j$ 个省份的第 $r$ 个一级指标的影响因子,其取值因省份而不同。

## 5.2.4 静态分析模型

### 5.2.4.1 雷达图模型

在本文给出可持续发展综合指数之前,我们先利用雷达图模型来分析不同省份在 4 个基础指标上的强弱,以此来直观地描述和比较各省份当下的可持续发展情况。利用熵值法计算各省份的基础指标值<sup>[1]</sup>,并将各省份的基础指标值画在雷达图上,如图 5-1 所示。

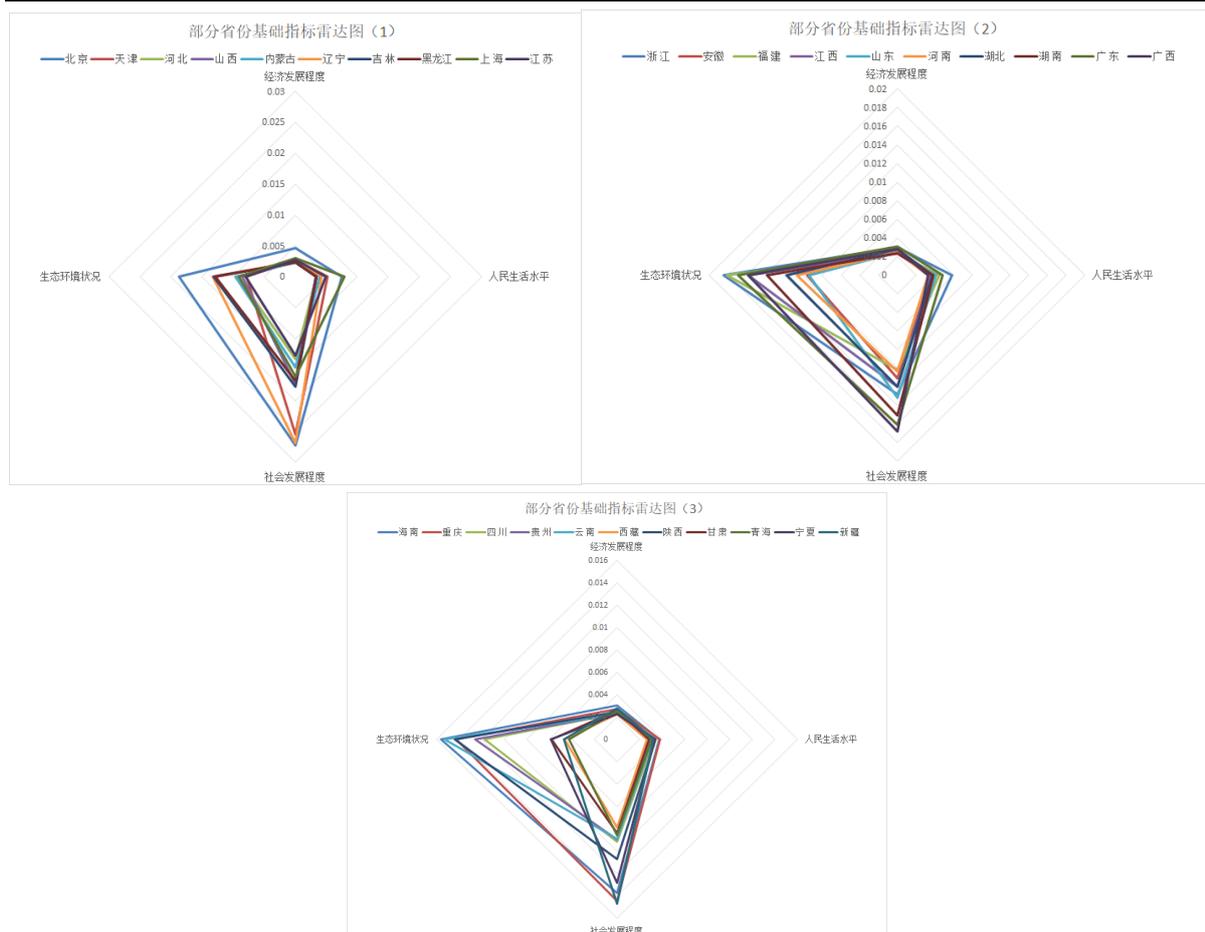


图 5-1 各省份基础指标的雷达图

图 5-1 中, 某个基础指标的值越小就说明这个省份在这方面越差, 该方面为该省份发展的短板; 若某个基础指标的数值远大于其他指标, 则说明该方面是该省份发展的优势。针对这种现象, 在制定可持续发展规划时应有所偏重, 着重增强短板。

#### 5.4.2.2 可持续发展综合指数

本文中所有基础指标都为 1 的点为可持续发展的理想状态点, 在雷达图中以 4 个为 1 的点连成四边形, 四边形中面积最大的就是经济社会可持续发展最为理想的情况<sup>[1]</sup>。以此我们以 4 个基础指标值为顶点的四边形面积作为该省份的可持续发展的综合指数, 四边形面积越大说明该省份的经济社会可持续发展程度越好, 反之越差。四边形面积的计算, 本文采用计算公式:

$$D = \frac{d_1 * d_2}{2}$$

上式中,  $d_1$ ,  $d_2$  是四边形对角线的长度, 两条对角线的夹角为直角, 利用上述模型, 分别计算各省份的基础指标值, 再利用四边形面积的计算公式, 计算每个省份的雷达图对应的四边形面积, 并对其进行排序, 结果见表 5-2。

表 5-2 我国各省份的基础指标值及四边形面积

省份	经济发展程度	人民生活水平	社会发展程度	生态环境状况	面积
北京	0.080944	0.130273	0.468089	0.320695	0.123798
天津	0.067818	0.12549	0.616667	0.190026	0.107983
河北	0.084375	0.11953	0.469424	0.326672	0.123553
山西	0.078149	0.105191	0.548532	0.268128	0.116976
内蒙古	0.079123	0.130602	0.477505	0.31277	0.123397
辽宁	0.051806	0.089333	0.574465	0.284396	0.117028
吉林	0.06436	0.092964	0.483869	0.358806	0.123837
黑龙江	0.065858	0.095734	0.476583	0.361824	0.124099
上海	0.082569	0.218845	0.448304	0.250283	0.124523
江苏	0.095997	0.175471	0.446515	0.282018	0.124096
浙江	0.073562	0.146137	0.31981	0.46049	0.119315
安徽	0.095792	0.132118	0.414561	0.35753	0.124946
福建	0.067898	0.12662	0.289245	0.516236	0.114796
江西	0.069062	0.105455	0.355764	0.46972	0.122174
山东	0.084124	0.140296	0.451352	0.324228	0.124371
河南	0.090783	0.122851	0.388287	0.398079	0.124781
湖北	0.091584	0.122814	0.395902	0.3897	0.124922
湖南	0.066383	0.10843	0.429925	0.395263	0.124993
广东	0.075597	0.118046	0.393351	0.413006	0.124518
广西	0.072271	0.085333	0.432941	0.409454	0.124986
海南	0.083615	0.103747	0.380057	0.432581	0.12434
重庆	0.07629	0.108237	0.410185	0.405288	0.124909
四川	0.086905	0.124836	0.346584	0.441674	0.122788
贵州	0.085807	0.109367	0.33568	0.469146	0.121918
云南	0.075538	0.105882	0.301851	0.516729	0.117483
西藏	0.12935	0.150401	0.452278	0.267971	0.121668
陕西	0.078158	0.109588	0.346169	0.466085	0.122137
甘肃	0.129886	0.144314	0.429744	0.296055	0.123222
青海	0.134635	0.168193	0.466756	0.230415	0.11986
宁夏	0.092572	0.13837	0.527245	0.241813	0.117822
新疆	0.108016	0.127446	0.579402	0.185137	0.107437

从表 5-2 可以看出, 31 个省份的可持续发展水平排序结果为(由高到低):。结果与公众认知基本一致, 即于我国各省份经济发展水平的排序基本一致, 由此也说明该模型是有效的。

#### 5.2.4.2 静态趋势分析图

上节中本文给出的雷达图只能描述某个省份目前的可持续发展状况, 而无法给出未来的发展趋势。为了描述各省份可持续发展程度的变化过程, 尤其是相关政策与突发事

件对可持续发展指标的影响, 本文引入矢量表示法进行问题研究。

本文为了评价某个省份的可持续性, 把基础指标分为两组, 从两个方面和谐发展(环境与资源指标)与有效发展(社会、经济、人民生活水平指标)来衡量每个省份的可持续性。以环境与资源指标作为纵坐标, 以社会、经济、人民生活水平指标作为横坐标建立坐标系<sup>[2]</sup>, 如图 5-2 所示。

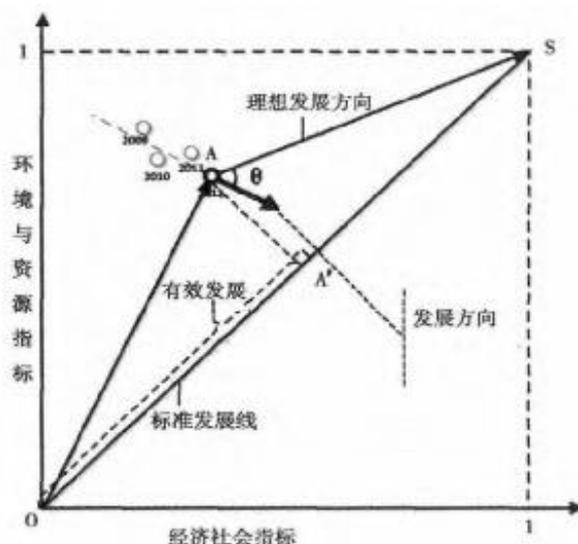


图 5-2 可持续发展测量

在图 5-2 中, 点  $S(1,1)$  称为可持续发展理想点, 对角线  $\overrightarrow{OS}$  代表发展相对平衡的状态, 我们称为标准发展方向。显然  $A$  点的坐标越趋近于  $S$  点, 可持续性越好。由此, 省份当前的可持续性发展水平和最终所要达到的最佳点  $S$  之间的向量  $\overrightarrow{AS} = (1-x, 1-y)$  即为这个省份理想的发展方向。本文用  $\theta$  来描述理想发展方向与实际发展方向之间的夹角。

从  $A$  点到  $S$  点的详细发展过程如图 3 所示, 在  $A_0$  点时, 理想的发展方向和实际发展方向之间的夹角用  $\theta_0$  表示, 为了提高可持续发展水平, 应该采取一定的措施。对  $A$  点采取措施时, 措施不会立即起效, 而会保持  $\theta_0$  角度, 发展成为  $|\overrightarrow{A_0A_1}|$  的距离, 本文把  $|\overrightarrow{A_0A_1}|$  称为第一阶段可持续发展的惯性距离。同理, 每一阶段都会有一个理想的发展方向和实际发展方向之间的夹角  $\theta_i (i = 0, 1, \dots, n)$  可持续发展的惯性距离  $|\overrightarrow{A_{i-1}A_i}| (i = 0, 1, \dots, n)$ , 当环境与资源指标和社会、经济、制度指标有一项达到最大值时, 即当  $A$  点横纵坐标有一项或一项以上为 1 时, 措施就不会使其向比当前好的状态发展, 此时停止增加措施。另外为简单起见, 本文假设惯性距离  $|\overrightarrow{A_{i-1}A_i}|$  为  $\Delta\theta_i = \theta_{i-1} - \theta_i$  的线性函数  $|\overrightarrow{A_{i-1}A_i}| = \alpha\Delta\theta_i + \beta, i = 0, 1, \dots, n$ , 其中, 系数  $\alpha$  与  $\beta$  的值可以通过历史数据拟合得到<sup>[3]</sup>。

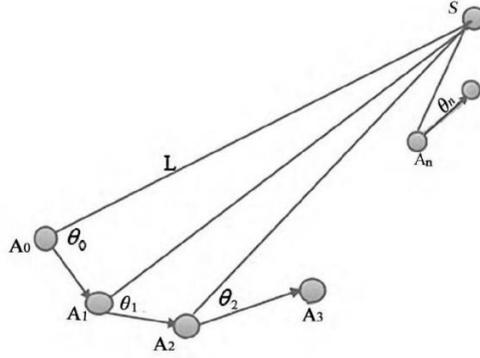


图 5-3 理想的发展方向与实际的发展方向夹角的关系

由此，我们得到了一个国家可持续发展的优化模型为：

$$\min |\overrightarrow{SA_n}|$$

$$\begin{cases} |\overrightarrow{A_{i-1}A_i}| = \alpha\Delta\theta_i + \beta, & i = 0, 1, \dots, n \\ \Delta\theta_i = \theta_{i-1} - \theta_i, & i = 0, 1, \dots, n \\ 0 \leq \Delta\theta_{\min} \leq \Delta\theta_i \leq \Delta\theta_{\max}, & i = 0, 1, \dots, n \\ 0 \leq x_i, y_i \leq 1, & i = 0, 1, \dots, n \end{cases}$$

上式中， $\Delta\theta_{\max}$ ， $\Delta\theta_{\min}$ 是理想发展方向和实际发展方向之间夹角变化量的最大值和最小值，即 $\Delta\theta_i$ 的变化是有限制的， $[\Delta\theta_{\min}, \Delta\theta_{\max}]$ 为 $\Delta\theta_i$ 的变化区间，且一个省份的发展是遵循一定发展规律，因此可以通过该省份以往若干年数据估计得到。本文取以往 $\Delta\theta$ 的最大值作为 $\Delta\theta_{\max}$ ，最小值作为 $\Delta\theta_{\min}$ ； $x_i, y_i, i = 0, 1, \dots, n$ 为A点的坐标， $n$ 表示添加措施的次数。

假设 $A_i$ 点坐标为 $(x_i, y_i)$ ， $S$ 点的坐标为 $(1, 1)$ ，则 $\overrightarrow{A_iS} = (1 - x_i, 1 - y_i)$

$$\overrightarrow{A_{i-1}A_i} = (x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1})$$

于是得到以下联立方程组：

$$\begin{cases} \cos \theta_{i-1} = \frac{\overrightarrow{A_{i-1}S} \cdot \overrightarrow{A_{i-1}A_i}}{|\overrightarrow{A_{i-1}S}| \cdot |\overrightarrow{A_{i-1}A_i}|} \\ |\overrightarrow{A_{i-1}A_i}| = \alpha(\theta_i - \theta_{i-1}) + \beta \end{cases}$$

即：

$$\begin{cases} \cos \theta_{i-1} = \frac{(1 - x_{i-1}, 1 - y_{i-1})(x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1})}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \cdot \sqrt{(1 - x_{i-1})^2 + (1 - y_{i-1})^2}} \\ |\overrightarrow{A_{i-1}A_i}| = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \end{cases}$$

由方程组可解出用 $\theta_i, \theta_{i-1}$ 表示的 $A_i (i = 0, 1, \dots, n)$ 点的坐标，其中 $\overrightarrow{A_0A_1}$ 为以往数据做出的拟合曲线<sup>[4]</sup>在 2019 年这一点的切线，可由以往数据求出，由公式(1)和(2)即可求得最优可持续发展路线。

### 5.2.4.3 优化的4维静态趋势分析模型

上述模型将社会、经济、制度加权作为一个方面研究,而每个省份社会、经济、制度所占权值也不尽相同,加之没有权威性研究来支持各省份经济社会可持续发展指标的权值取值,因此对指标加权的做法存在很强的主观性。

根据之前的研究,本文将上述模型推广到4维空间,既能全面考虑到社会、经济、环境与资源和制度的4个方向,也可以避免主观因素的干扰。

我们假设当前可持续发展水平点 $A$ 的坐标为 $(x_1, x_2, x_3, x_4)$ ,可持续发展最佳点 $S$ 的坐标为 $(1, 1, 1, 1)$ ,则省份当前的可持续性水平与最终所要达到的最佳点 $S$ 之间的连接向量,则理想的发展方向为 $\overrightarrow{AS} = (1 - x_1, 1 - x_2, 1 - x_3, 1 - x_4)$ 。记 $\theta$ 为 $A$ 点处的实际发展方向与理想的发展方向 $\overrightarrow{AS}$ 的夹角,并假设惯性距离 $|\overrightarrow{A_{i-1}A_i}|$ 为 $\Delta\theta_i$ 的线性函数,则得到的优化模型为:

$$\min |\overrightarrow{SA_n}|$$

$$\begin{cases} |\overrightarrow{A_{i-1}A_i}| = \alpha\Delta\theta_i + \beta, & i = 0, 1, \dots, n \\ \Delta\theta_i = \theta_{i-1} - \theta_i, & i = 0, 1, \dots, n \\ 0 \leq \Delta\theta_{min} \leq \Delta\theta_i \leq \Delta\theta_{max}, & i = 0, 1, \dots, n \\ 0 \leq x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i} \leq 1, & i = 0, 1, \dots, n \end{cases}$$

上式中,  $\theta_i, \Delta\theta_i, \Delta\theta_{max}, \Delta\theta_{min}, |\overrightarrow{A_{i-1}A_i}|, \alpha$ 与 $\beta$ 的计算方法以往数据的拟合得到。 $x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}, i = 0, 1, \dots, n$ 为 $A_i$ 的坐标。

由上述方法求得的 $A_n$ 点是为离标准点 $S$ 的最小距离点,也是最优点。由求得的每一段 $|\overrightarrow{A_{i-1}A_i}|$ 和 $\theta_i$ 就可表示出每一点 $A_i$ ,最终也能得到最优的可持续性发展规划。

### 5.2.5 未来20年我国可持续发展规划

由雷达图不难看出,我国目前四个方面的发展因此,我国的可持续发展思路应该包括两个阶段:第一阶段为提升阶段,通过相关政策,使我国达到可持续发展状态;第二阶段为发展阶段,在达到可持续状态之后,使其尽可能快地朝可持续的理想状态发展<sup>[4]</sup>。

对于可持续发展规划思路的制定,策略如下:

首先,利用我国前20年的历史数据,通过线性拟合可得惯性距离 $|\overrightarrow{A_{i-1}A_i}|$ 与 $\Delta\theta_i$ 的线性关系为:

将上述关系式代入4维静态分析优化模型,我国前20年角度变化的最小值与最大值。因为这个规划的实施需要一定的时间来实现,所以本文参照中国五年规划的思想,取 $n = 4$ 进行求解,可求得未来20年的最优发展路线,如表5-3所示。

表5-3 N=4时的发展点坐标

$A_i$ 的坐标	$x_{1i}$	$x_{2i}$	$x_{3i}$	$x_{4i}$
$A_1$	0.3237	0.2360	0.2342	0.3518

$A_2$	0.3483	0.2639	0.2621	0.3754
$A_3$	0.5942	0.4083	0.4792	0.5422
$A_4$	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999

根据发展线路中点的 4 维坐标的变化,可得到每一阶段在经济、社会、环境与资源、人民生活水平这四方面的投入力度。

表 5-4 时各阶段的投入比例

基础指标	阶段	投入比例
经济发展	第 1 阶段	0.1487
	第 2 阶段	0.2369
	第 3 阶段	0.2317
	第 4 阶段	0.2390
人民生活水平	第 1 阶段	0.3145
	第 2 阶段	0.2677
	第 3 阶段	0.2770
	第 4 阶段	0.2369
社会发展程度	第 1 阶段	0.2751
	第 2 阶段	0.2271
	第 3 阶段	0.2135
	第 4 阶段	0.2325
环境与资源	第 1 阶段	0.2612
	第 2 阶段	0.2683
	第 3 阶段	0.2778
	第 4 阶段	0.2645

由此,本文制定的未来 20 年我国可持续发展的思路具体实现方式及其比值如下表 5-5 所示。

表 5-5 我国未来 20 年可持续发展计划及其所占比值

基础指标	计划实施的措施	所占比重
社会发展程度	建立公共交通系统	0.23
	提供住宅用地并控制个人住房购买	0.13
	加强污水处理	0.23
	通过新的供水公司和管道保证供水	0.13
	增加对当地政府的投资	0.26
经济发展	利用社会力量和资本增加就业	0.13
	增加在当地政府的投资	0.26
	通过修改行业法规引导其发展	0.10

	加强财务组织管理	0.19
	规整行业分布	0.19
	提供技术支持	0.23
环境和资源	减少居住区的空气污染	0.20
	保护农田和森林	0.24
	将突出的工业项目转移到工业城镇	0.13
	预防水污染	0.17
	加强对保护区的保护	0.13
	减少除居民区的空气污染	0.13
人民生活水平	加强基础设施建设	0.08
	创建可持续发展部门并认清城市发展	0.38
	加强非正式居住点的管理	0.54

最后,对所制定的未来 20 年可持续发展计划的思路进行评价。将得到的每一阶段的 4 个基础指标值带入到雷达图中,如图 4 所示,可以发现随着的增大,四边形的面积逐渐增大,说明其可持续发展性在不断增强<sup>[5]</sup>。

#### 4. 我国未来 20 年发展过程的雷达图

本文利用静态模型,根据雷达图模型的分析结果,借助静态趋势分析图模型,根据我国的实际情况,为其制定了未来 20 年的发展规划策略及制定计划所要采取的具体方式和比值,并根据雷达图模型验证了规划的有效性。

## 六、问题 2 模型的建立与求解

### 6.1 研究指标的确定

#### 6.1.1 构建指标体系

根据我国全面建成小康社会的内涵与基本特征,本文精选 18 个评价指标,指标见表 6-1,指标各年份原始数据见附录。

表 6-1 全面建成小康社会的评价指标体系

总指标	一级指标	二级指标	单位	指标性质
全面建成	经济发展程度	分地区年末城镇人口比重	%	正指标
		第三产业占国内生产总值比重	%	正指标
		人均 GDP 指数	-	正指标
		失业率	%	负指标

小康社会综合评价指标体系	人民生活水平	恩格尔系数	%	正指标
		人均可支配收入	元	正指标
		分地区产品合格情况	%	正指标
		文教娱乐服务支出占比	%	正指标
	社会发展程度	文盲人口占 15 岁以上人口比重	%	负指标
		人口密度		负指标
		人均城市道路面积		正指标
		城乡收入比	-	正指标
		基本医疗保险覆盖率	%	正指标
	政治文明程度	收入预算占 GDP 比重	%	负指标
	生态环境状况	废水中污染物的比重	%	负指标
		生活垃圾无害化处率	%	正指标
		森林覆盖率	%	正指标
人均公园绿地面积			正指标	

## 6.2 全面建成小康社会的纵向研究

### 6.2.1 指标数据的标准化处理

我们采用指数化变换法对原始数据进行标准化处理，指数化变换公式为：

$$z_i = \frac{x_i}{x_{i0}}$$

上式中， $x_i$ 为指标值， $x_{i0}$ 为对应的标准值。

对指标体系中正指标与逆指标的处理方法为：

- 正指标

$$z_i = \begin{cases} \frac{x_i}{x_{i0}} * 100\%, & \text{若 } \frac{x_i}{x_{i0}} < 1 \\ 100\%, & \text{若 } \frac{x_i}{x_{i0}} \geq 1 \end{cases}$$

- 逆指标

$$z_i = \begin{cases} \frac{x_{i0}}{x_i} * 100\%, & \text{若 } \frac{x_{i0}}{x_i} < 1 \\ 100\%, & \text{若 } \frac{x_{i0}}{x_i} \geq 1 \end{cases}$$

### 6.2.2 基于组合权方法的权重确定

为提高评价结果的全面性与合理性，本文采用组合赋权法。

#### 6.2.2.1 层次分析赋权法

层次分析法在确定指标权重的方法中较为科学，且简单易行，该方法的实现步骤是

[6]:

## 1) 构造判断矩阵

以矩阵来表示各指标间的相互比较关系，即判断矩阵为：

$$B = \begin{pmatrix} \frac{b_1}{b_1} & \frac{b_1}{b_2} & \cdots & \frac{b_1}{b_n} \\ \frac{b_2}{b_1} & \frac{b_2}{b_2} & \cdots & \frac{b_2}{b_n} \\ \frac{b_3}{b_1} & \frac{b_3}{b_2} & \cdots & \frac{b_3}{b_n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{b_n}{b_1} & \frac{b_n}{b_2} & \cdots & \frac{b_n}{b_n} \end{pmatrix}$$

对于质量向量  $b = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T$ ，显然有  $Bb = n * b$ ， $b$  是判断矩阵  $B$  的特征向量， $n$  是  $B$  的一个特征值，由线性代数知识可以证明， $n$  是矩阵  $B$  的唯一非零、也是最大的特征值。

其中， $b_{ij}$  表示对于上一目标层而言，元素  $b_i$  对  $b_j$  的相对重要性程度的判断值。显然，判断矩阵满足：

$$\begin{cases} b_{ij} = 1 \\ b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}} \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

其中判断矩阵的数值是通过相关文献中指标的对比赋权进行获取。

## 2) 特征值与特征向量的计算

为了确定出与上层次中某指标有联系的本层次各指标的重要性次序权重值，首先需要计算判断矩阵的特征值和特征向量。本文用方根法近似求解判断矩阵的最大特征值及其对应的特征向量。

对于判断矩阵  $B$ ，满足：

$$Bb = \lambda_{max} b$$

其中， $\lambda_{max}$  为判断矩阵  $B$  的最大特征值， $b$  为对应于  $\lambda_{max}$  的正规化特征向量， $b$  的分量  $b_{ij}$  就是对应元素单排序的权重值。在 AHP 法中，最根本的计算任务是求解判断矩阵的最大特征根及其所对应的特征向量，这些问题可以用线性代数<sup>[6]</sup>知识去求解。

首先计算判断矩阵每一行元素的乘积  $M_i$ ：

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

然后计算  $M_i$  的次方根：

$$\bar{b}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

将向量  $\bar{b} = [\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_n]^T$  归一化：

$$\begin{aligned} \bar{b} &= [\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_n]^T \\ b_i &= \frac{\bar{b}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{b}_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

则  $b = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T$  即为所求的特征向量。

计算最大特征值，其中  $(Ab)_i$  表示向量  $Ab$  的第  $i$  个分量：

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Ab)_i}{nb_i}$$

### 3) 一致性检验

为了考察 AHP 决策分析法得出的结果是否合理，我们对判断矩阵进行一致性检验，将  $k$  与比较的结果再和  $j$  与  $k$  比较的结果相比较，就可以得出  $i$  与  $j$  比较的结果，即：

$$b_{ij} = \frac{b_{ik}}{b_{jk}} \quad (i, j, k = 1, 2, 3, \dots, n)$$

如果判断矩阵具有完全一致性时， $\lambda_{max} = n$ 。但是，在一般情况下是不可能的。为了检验判断矩阵的一致性，需要计算它的一致性指标：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

当  $CI = 0$  时，判断矩阵具有完全一致性；反之， $CI$  绝对值愈大，就表示判断矩阵的一致性越差。为了检验判断矩阵是否具有令人满意的一致性，需要将一致性指标  $CI$  与平均随机一致性指标  $RI$  进行比较。其一致性指标  $CI$  与同阶的平均随机一致性指标  $RI$  之比，称为判断矩阵的随机一致性比例  $CR$ 。

一致性比例  $CR = \frac{CI}{RI}$ ，如果  $CR < 0.1$ ，则判断矩阵的一致性可以接受，否则需要对判断矩阵进行修正。在满足随机一致性检验后，计算各指标的权重结果见表 6-2。

表 6-2 基于层次分析法计算的各指标权重值

总指标	一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
全面建成小康社会社会综合评价	经济发展程度	0.3983	分地区年末城镇人口比重	0.0834
			第三产业占国内生产总值比重	0.1052
			GDP	0.1394
			失业率	0.0702
	人民生活水平	0.1590	恩格尔系数	0.0793
			人均可支配收入	0.0316
			分地区产品合格情况	0.0151
			文教娱乐服务支出占比	0.0331
	社会发展程度	0.2453	文盲人口占 15 岁以上人口比重	0.0568
			人口密度	0.0287
			人均城市道路面积	0.0107
			城乡收入比	0.0233

指标体系	政治文明程度	0.0219	基本医疗保险覆盖率	0.1257
			收入预算占GDP比重	0.0219
			废水中污染物的比重	0.0158
	生态环境状况	0.1754	生活垃圾无害化处理率	0.0447
			森林覆盖率	0.0660
			人均公园绿地面积	0.0489

### 6.2.2.2 变异权数赋权法

本文用标准差系数来衡量指标的变异程度，由此确定各指标权数，具体步骤为：

设有  $n$  个评价对象，指标体系中包含  $m$  个指标， $X$  是  $n \times m$  的原始数据矩阵  $X = (x_{ij})_{n \times m}$ ，其中  $x_{ij}$  为第  $i$  个评价对象的第  $j$  个指标值。

1) 计算每个指标的标准差和平均数

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}$$

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}}$$

上式中， $S_j$  为第  $j$  个指标的标准差， $\bar{x}_j$  为第  $j$  个指标的平均值。

2) 计算每个指标的标准差系数  $V_j$ ：

$$V_j = \frac{S_j}{\bar{x}_j}$$

3) 归一化处理标准差系数：

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}$$

由此得到每个指标的权重值见表 6-3。

表 6-3 基于变异权数计算的各项指标权重值

总指标	一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
全面建成小康	：经济发展程度	0.1973	分地区年末城镇人口比重	0.0384
			第三产业占国内生产总值比重	0.0834
			GDP	0.0438
			失业率	0.0317
	：人民生活水平	0.2073	恩格尔系数	0.0415
			人均可支配收入	0.0992

康 社 会 综 合 评 价 指 标 体 系			分地区产品合格情况	0.0408
			文教娱乐服务支出占比	0.0258
	：社会发展程度	0.307	文盲人口占15岁上人口比重	0.1247
			人口密度	0.0606
			人均城市道路面积	0.0362
			城乡收入比	0.0483
			基本医疗保险覆盖率	0.0372
	：政治文明程度	0.0928	收入预算占GDP比重	0.0928
	生态环境状况	0.1954	废水中污染物的比重	0.0532
			生活垃圾无害化处理率	0.0300
			森林覆盖率	0.0594
			人均公园绿地面积	0.0528

### 6.2.2.3 基于最小二乘的组合赋权法

组合赋权法是一种综合赋权法，可结合多种赋权方法的优点，达到优化指标权重的目的，本文采用线性加权组合方确定组合权数。

线性加权组合方法指标是将种赋权方法计算所得的权数进行加权算术平均，从而得到组合权重，计算公式为：

$$w_{cj} = \frac{\prod_{k=1}^q w_j(k)}{\sum_{j=1}^m \prod_{k=1}^q w_j(k)} \quad (k = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, m)$$

上式中， $w_j(k)$ 为第 $k$ 种方法的加权系数。

本文采用基于最小二乘法的组合赋权方法来确定权系数，求解过程为：

设组合权数向量为 $W_c = (w_{c1}, w_{c2}, \dots, w_{cm})^T$ ，层次分析法与变异权数法计算得到的权数向量分别为 $W_z = (w_{z1}, w_{z2}, \dots, w_{zm})^T$ ， $W_k = (w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km})^T$ 。

基于最小二乘的组合赋权法构建的优化组合评价模型为：

$$\begin{aligned} \min H(w) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{ [(w_{zj} - w_{cj}) * z_{ij}]^2 + [(w_{kj} - w_{cj}) * z_{ij}]^2 \} \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j=1}^m w_{cj} = 1, w_{cj} \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \end{aligned}$$

求解前，首先构建 Langrange 函数：

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{ [(w_{zj} - w_{cj}) * z_{ij}]^2 + [(w_{kj} - w_{cj}) * z_{ij}]^2 \} + \lambda (\sum_{j=1}^m w_{cj} - 1)$$

有：

$$\frac{\partial L}{\partial w_{cj}} = - \sum_{i=1}^n 2(w_{zj} + w_{kj} - 2w_{cj}) * z_{ij}^2 + \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{j=1}^m w_{cj} - 1 = 0$$

将上式表示为矩阵形式：

$$\begin{bmatrix} A & e \\ e^T & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_c \\ \frac{1}{4}\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ 1 \end{bmatrix}$$

上式中， $A$ 是 $m * m$ 的对角矩阵， $A = \text{diag}[\sum_{i=1}^n z_{i1}^2, \sum_{i=1}^n z_{i2}^2, \dots, \sum_{i=1}^n z_{im}^2]$

$e$ 是 $m * 1$ 向量， $e = [1, 1, \dots, 1]^T$

$W_c$ 是 $m * 1$ 向量， $W_c = [w_{c1}, w_{c2}, \dots, w_{cm}]^T$

$M$ 是 $m * 1$ 向量，

$$M = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (w_{z1} + w_{k1}) * z_{i1}^2, \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (w_{z2} + w_{k2}) * z_{i2}^2, \dots, \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (w_{zm} + w_{km}) * z_{im}^2 \right]^T$$

求解矩阵方程可得：

$$W_c = A^{-1} * \left[ M + \frac{1 - e^T A^{-1} M}{e^T A^{-1} e} * e \right]$$

计算就可以得到组合赋权法计算的权重向量<sup>[7]</sup>：

$$W_c = [w_{c1}, w_{c2}, \dots, w_{cm}]^T$$

最终的各指标权重值参见表 6-4。

表 6-4 全面建成小康社会的综合评价权重值

总指标	一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
全面建成小康社会社会综合	经济发展程度	0.3982	分地区年末城镇人口比重	0.0609
			第三产业占国内生产总值比重	0.0943
			GDP	0.0916
			失业率	0.0510
	人民生活水平	0.1591	恩格尔系数	0.0604
			人均可支配收入	0.0654
			分地区产品合格情况	0.0279
			文教娱乐服务支出占比	0.0295
	社会发展程度	0.2454	文盲人口占 15 岁及以上人口比重	0.0908
			人口密度	0.0448

评价 指 标 体 系			人均城市道路面积	0.0235
			城乡收入比	0.0358
	政治文明程度	0.0219	基本医疗保险覆盖率	0.0815
			收入预算占 GDP 比重	0.0574
			废水中污染物的比重	0.0345
	生态环境状况	0.1754	生活垃圾无害化处理率	0.0374
			森林覆盖率	0.0627
			人均公园绿地面积	0.0509

### 6.2.3 我国全面建成小康社会进程的综合评价

由先前确定的指标以及确定的组合权重，对 2000-2019 年我国各省全面建设小康社会进程进行综合评估，我国各省全面建成小康社会进程的排名结果见表 6-5。

表 6-5 我国各省全面建成小康社会进程的排名

省份	2019 年总进程 (%)	排名
北京	99.99%	1
天津	96.28%	29
河北	96.83%	26
山西	97.26%	24
内蒙古	97.35%	22
辽宁	97.57%	18
吉林	95.97%	30
黑龙江	96.57%	28
上海	99.24%	5
江苏	97.57%	18
浙江	98.15%	12
安徽	97.84%	16
福建	99.32%	4
江西	99.57%	2
山东	97.34%	23
河南	97.42%	21
湖北	97.53%	20
湖南	98.41%	9
广东	98.58%	6
广西	97.18%	25
海南	98.10%	13
重庆	98.35%	11
四川	98.54%	8

贵州	99.44%	3
云南	98.56%	7
西藏	98.41%	10
陕西	98.00%	15
甘肃	97.65%	17
青海	96.60%	27
宁夏	98.08%	14
新疆	95.15%	31

## 七、问题 3 模型的建立与求解

### 7.1 系统动力学的原理与计算步骤

在制订各期发展规划的策略和政策时系统动力学模型被广为使用，其基本的系统动力学方程为<sup>[7]</sup>：

$$Q = f(q, u, t)$$

上式中， $q$ 是各状态变量， $u$ 是控制变量， $t$ 是时间。

系统动力学处理大致可分为六步，分别是：

- 1) 系统分析阶段
- 2) 结构分析阶段
- 3) 建立方程阶段
- 4) 模型模拟
- 5) 模型评估
- 6) 模型修改

### 7.2 安徽省社会经济系统分析

#### 7.2.1 自然资源分析



图 7-1 安徽省人均耕地面积和土地资源变化

#### 7.2.2 人力资源分析

人力资源在社会的可持续发展中起着重要的作用，人力是一切工作开展的前提，但

近年来我国人口老龄化加速，安徽也不例外，安徽省的劳动力质量状况见图 7-2。

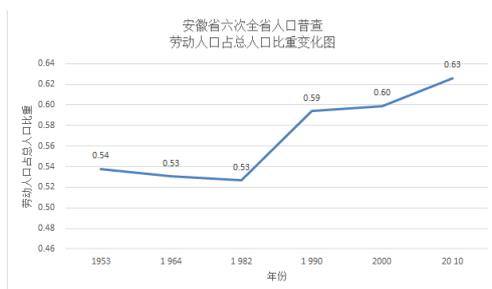


图 7-2 安徽省劳动力与劳动力质量状况

### 7.2.3 第三产业结构分析

第三产业的发展可以促进社会的分工及企业内部的分工发展，可以加速商品周转、节省物流时间，还可以大量的吸收劳动力进行就业。如果提高第三产业在国民经济中的比重，可以尽快形成优化、合理、协调的产业结构。

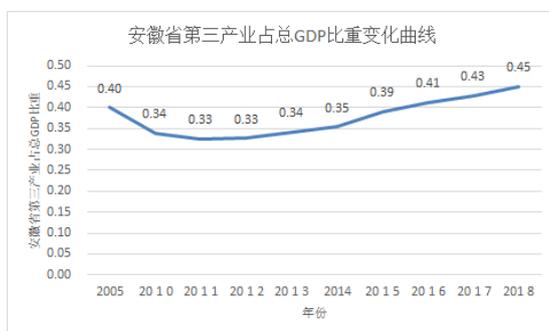


图 7-3 安徽省产业结构发展变化

由图 7-3 可以看出，安徽省的第三产业发展比较快，这与它的地理位置有很大的关系，尤其是 2019 年，第三产业已经占到其生产总值的三分之一。

### 7.2.4 安徽的生态环境分析

安徽省气候属于亚热带气候<sup>[8]</sup>，雨量丰富，气候宜人。境内森林的覆盖率高，土地绿化率达到 86%，境内水土保持良好。在经济环境方面，安徽靠近长三角经济带，具有优越的经济环境条件。

## 7.3 安徽省经济社会可持续发展的系统动力学模型

### 7.3.1 动力学系统主要因果关系分析

本文在安徽省社会经济系统详细分析的基础上，概括出反映安徽社会经济系统的要素。整个系统只有一条主回路：社会总产值→国民收入→投资→固定资产→社会总产值。这个回路代表了社会的主体活动，是我们研究的核心所在。其因果关系见图 7-4。

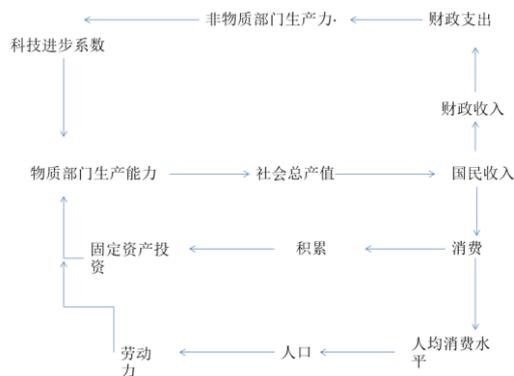


图 7-4 安徽社会经济因果关系图

### 7.3.2 安徽社会经济发展中环境系统的研究

影响可持续发展的因素中环境是极为重要的一个，生态环境比较恶化的城市甚至已经成为制约社会经济发展的负面因素。由此安徽社会经济可持续发展规划中环境是必须考虑的因素。

## 7.4 安徽社会经济可持续发展思路

根据以上模型，我们制订的发展方案为：

### 7.4.1 人口发展方案

人既是可持续发展的主体，又是实现发展的要素之一。适度的人口可以给社会提供充足的劳动力资源，因此控制人口增长，提高人口素质，是适合安徽的人口发展策略。具体规划为：

运用 SD 模型<sup>[9]</sup>，对安徽人口所做的未来规划为：到 2020 年，控制好人口自然增长率，且人口自然增长率平均每年以 1% 的速度下降较为合理。

### 7.4.2 第三产业发展规划

第三产业的发展水平是衡量现代社会经济发达程度的重要指标，发展第三产业能够大量吸纳剩余劳动力，促进经济协调发展，

## 八、问题 4 模型的建立与求解

当下区域合作问题已成为各级政府、企业及社会各界关注的热点问题。

### 8.1 模型的建立

根据 2019 年各省 GDP 数据及发展程度，本文对我国 31 个省份（港澳台除外）进行了划分，由此我们建立的集合为：

$A = \{\text{广东, 江苏, 山东, 浙江, 河南, 四川, 湖北, 福建, 湖南, 上海, 安徽, 北京, 河北, 陕西, 辽宁, 江西, 重庆, 天津}\}$

$B = \{\text{云南, 广西, 内蒙古, 山西, 贵州, 黑龙江, 吉林, 新疆, 甘肃, 海南, 宁夏, 青海, 西藏}\}$

由最大距离法:

对于集合 A 中的省份 i 建立一个向量(省份 i 人均 GDP, 一产业, 二产业, 三产业), 同理, 对于省份集合 B 中的省份 j 也建立一个向量(城市 j 人均 GDP, 一产业, 二产业, 三产业), 其中的一、二、三产业的数值可以是比重值。

由以上问题的分析, 我们可以知道, 产业差异明显、经济互补性强的两省份之间的经济带动作用较明显。而产业差异明显、经济互补性强的直观反映就是两省份三个产业比重有明显的差距。我们用两个向量之间的关系来表示效益, 这种关系就是向量之间的距离。距离越大说明产业差异明显、经济互补性强, 总效益越大。

我们对 A 中的省份与 B 中的省份进行一一配对, 由于各地区的经济规模、产业结构、地缘关系、生态地理环境、资源与市场互补性、交通便利程度等的不同, 不同的配对方式产生的经济带动作用不同。我们需要研究一个分配方案, 使总效益(总经济带动作用)达到最大。这就是所谓最佳分配问题。

我们引入带权二分图的最优匹配 Kuhn-Munkres 算法:

G 是加权完全二分图,  $V(G)$  的二分图划分为 A, B。

,  $x \geq 0$  是 A 中省份 i 与 B 中省份 j 配对的效益, 求权最大的完备匹配, 这种完备匹配称为最佳匹配。

我们需要建立一个中的省份与中的省份的一一对应关系使总效益(总经济带动作用)达到最大, 而中的省份与中的省份的是否对应可以用 0 和 1 来判断, 即

要使总效应最大, 其中约束条件为省份一一对应, 我们列出线性规划模型为:

## 8.2 模型的求解:

由上面的分析, 我们通过编写了程序, 求出了 A 中任意省份与 B 中任意省份之间的效益, 以及使总效益最大的一一对应关系<sup>[10]</sup>。根据总效益最大原则, 我们可以得到各省份之间的各项经济效益。根据城市间的产业效益的最大值, 我们可以知道今后的合作重点。分析结果如表 8-1 所示:

表 8-1 省际合作效益

内蒙古→山东	重点在第一产业的合作, 合作效益不好
广东→黑龙江	重点在第二产业的合作, 合作效益良好
辽宁→山西	重点在第一、二产业的合作, 合作效益良好
浙江→安徽	重点在第二产业的合作, 合作效益不好
内蒙古→江西	重点在第一产业的合作, 合作效益良好

江苏→江西	重点在第二产业的合作，合作效益不好
安徽→河南	重点在第二产业的合作，合作效益良好
湖北→湖南	重点在第一、二产业的合作，合作效益不好
北京→江西	重点在第三产业的合作，合作效益很好
天津→四川	重点在第二产业的合作，合作效益良好
上海→海南	重点在第二、三产业的合作，合作效益很好
山东→贵州	重点在第一产业的合作，合作效益不好
浙江→贵州	重点在第一、二产业的合作，合作效益良好
湖南→云南	重点在第一、二产业的合作，合作效益不好
辽宁→西藏	重点在第一产业的合作，合作效益良好
广东→甘肃	重点在第二、三产业的合作，合作效益良好
浙江→青海	重点在第一、二产业的合作，合作效益良好
四川→青海	重点在第一产业的合作，合作效益良好
山东→宁夏	重点在第一产业的合作，合作效益良好

## 九、模型的评价及优化

### 9.1 模型的优点

本文在各指标权重的打分过程中采用了组合赋权法，因此有效的避免了主观赋权的随意性和客观赋权考虑不周的问题，综合两种打分方法确定的指标权重对于提高计算精度等都有一定帮助。

## 9.2 模型的缺点

由于系统动力学比较复杂，因此在实际应用中有一定的局限性，还有就是模型在确定各省合作方式时考虑的因素较少，因此对实际合作效果产生一定的影响。

## 9.3 模型的优化与推广

本文模型通过细致的指标权重处理得到了我国可持续发展的思路和各省目前所处的全面建成小康社会的进程，从而对于指导接下来最为关键的全面建成小康社会的攻坚战、我国社会的可持续发展发展有一定的参考价值。

## 十、参考文献

- [1]叶劲松,钟昌标.我国各省份协调内贸与外贸关系的模型研究[J].数量经济技术经济研究,2003(02):90-95.
- [2]赵国浩,王浣尘,陈忠,金纬.可持续发展系统要素分析[J].数量经济技术经济研究,1998(02):18-20.
- [3]胡健,张维群,邢方,耿宏强.“一带一路”国家经济社会发展水平测度与评价研究——基于丝路沿线64国指标数据的分析[J].统计与信息论坛,2018,33(06):43-53.
- [4]李俊杰,程婉静,梁媚,严晓辉,杨靖东,张岳玲,冯连勇,田亚峻,谢克昌.基于熵权-层次分析法的中国现代煤化工行业可持续发展综合评价[J].化工进展,2020,39(04):1329-1338.
- [5]李崇阳.建立福建经济社会系统可持续发展自组织动态仿真模型[J].福建学刊,1996(03):10-12.
- [6]胡健,王命宇,张维群,焦兵,张爱婷.经济社会发展测度指标体系的理论演变[J].统计与信息论坛,2016,31(09):3-8.
- [7]周长城,谢颖.经济社会发展综合评价指标体系研究[J].社会科学研究,2008(01):89-94.
- [8]曾珍香,顾培亮,张闽.可持续发展系统及其定量描述[J].数量经济技术经济研究,1998(07):34-37.
- [9]沈先荣,徐福缘.临淄区经济社会可持续发展系统分析[J].科学与管理,2000(02):25-27.
- [10]王乖虎,万继伟,穆安林.社会最优可持续发展模型的建立与分析[J].环境科学导刊,2007(02):12-14.

## 十一、附录

附录:

Q1: 获取相关四个一级指标归一化数据以及雷达图面积 (Python 代码):

```
import numpy as np
import pandas as pd

m = 31

if __name__ == '__main__':

    # 读取文件
    Path = '18 指标数值.xlsx'
    data = pd.read_excel(Path, headers=0, index_col=0, skiprows=[1])
```

pos\_val = ['分地区年末城镇人口比重', '第三产业占国内生产总值比重', 'GDP', '恩格尔系数', '人均可支配收入',

'分地区产品合格情况', '文教娱乐服务支出占比', '人均城市道路面积(平方米)', '城乡收入比', '基本医疗保险覆盖率',

'生活垃圾无害化处理率', '森林覆盖率', '人均公园绿地面积(平方米)']

neg\_val = ['失业率', '文盲人口占 15 岁及以上人口比重', '人口密度(人/平方公里)', '废水中污染物的比重']

```
num = [1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4]
```

```
r = []
for i in data.columns:
    if i in pos_val:
        r.append(np.array(data[i]) / np.max(data[i]))
    elif i in neg_val:
        r.append(np.max(data[i]) / np.array(data[i]))
```

```
f = []
for i in range(len(r)):
    f.append(r[i]/np.sum(r[i]))
f = np.array(f)
```

```
H = []
for i in range(len(r)):
    H.append(-(1/np.log(m))*np.sum(f[i]*np.log(f[i])))
H = np.array(H)
```

```
w = []
for i in range(len(r)):
    w.append((1-H[i])/np.sum(1 - H))
w = np.array(w)
```

```
s = []
for i in range(f.shape[0]):
    s.append(f[i]*w[i])
s = np.array(s)
```

```
F = [[[[] for j in range(4)] for i in range(m)]
for i in range(len(num)):
    for j in range(len(F)):
        if num[i] == 1:
            F[j][0].append(s[i][j])
        elif num[i] == 2:
            F[j][1].append(s[i][j])
        elif num[i] == 3:
            F[j][2].append(s[i][j])
        elif num[i] == 4:
            F[j][3].append(s[i][j])
```

```
for i in range(len(F)):
    for j in range(4):
        F[i][j] = np.sum(F[i][j])
```

```
for i in range(len(F)):
```

```
    for j in range(4):
        n = np.sum(F[i])
        F[i][0] = F[i][0] / n
        F[i][1] = F[i][1] / n
        F[i][2] = F[i][2] / n
        F[i][3] = F[i][3] / n

sq = []
for i in range(len(F)):
    sq.append((F[i][0]+F[i][2])*(F[i][1]+F[i][3])/2)

F = pd.DataFrame(np.array(F), index=data.index)
```

Q2: 使用层次分析法取得各二级指标权重（Python 代码）：

```
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn import preprocessing

n = 18

if __name__ == '__main__':

    Path = '2.十八项重要指标判断矩阵.xlsx'
    judge_data = pd.read_excel(Path, headers=0, index_col=0)
    A = np.array(judge_data).T

    W = []
    for i in range(A.shape[0]):
        w = 1
        for j in range(A.shape[0]):
            w = w * A[i][j]
        W.append(np.power(w, 1/n))
    W = W/np.sum(W)
    print(W)

    AW = []
    for i in range(A.shape[0]):
        AW.append(np.sum(A[0] * W))
    AW = np.array(AW)

    la = np.average(AW/W)

    CI = (la - n) / (n - 1)
```

Q2: 使用变异法取得各二级指标权重（Python 代码）：

```
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn import preprocessing

n = 18

if __name__ == '__main__':

    Path = '1.十八项重要指标数值.xlsx'
```

```
data = pd.read_excel(Path, headers=0, index_col=0, skiprows=[1])
data = np.array(data).T
```

```
Mean = []
for i in range(data.shape[0]):
    Mean.append(np.mean(data[i]))
Mean = np.array(Mean)
```

```
Std = []
for i in range(data.shape[0]):
    Std.append(np.std(data[i]))
Std = np.array(Std)
```

```
a = Std/Mean
a = a/np.sum(a)
```

Q2: 计算综合权重 (Python 代码) :

```
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn import preprocessing
```

```
n = 18
```

```
if __name__ == '__main__':
    w1 = [0.0834, 0.1052, 0.1394, 0.0702, 0.0793, 0.0316, 0.0151, 0.0331,
          0.0568, 0.0289, 0.0107, 0.0233, 0.1257, 0.0219, 0.0158, 0.0447, 0.0660, 0.0489]
```

```
w2 = [0.0384, 0.0834, 0.0438, 0.0317, 0.0415, 0.0992, 0.0408, 0.0258,
       0.1247, 0.0606, 0.0362, 0.0483, 0.0372, 0.0928, 0.0532, 0.03, 0.0594, 0.0528]
```

```
# 读取文件
```

```
Path = '1.十八项重要指标数值.xlsx'
data = pd.read_excel(Path, headers=0, index_col=0, skiprows=[1])
```

```
# 数据归一化
```

```
pos_val = ['分地区年末城镇人口比重', '第三产业占国内生产总值比重', 'GDP', '恩格尔系数', '人均可支配收入',
           '分地区产品合格情况', '文教娱乐服务支出占比', '人均城市道路面积(平方米)', '城乡收入比', '基本医疗保险覆盖率',
           '生活垃圾无害化处理率', '森林覆盖率', '人均公园绿地面积(平方米)']
```

```
neg_val = ['失业率', '文盲人口占 15 岁及以上人口比重', '人口密度(人/平方公里)', '废水中污染物的比重', '收入预算占 GDP 比重']
```

```
data_tr = []
for i in data.columns:
    data_tr.append(np.array(data[i]) / np.mean(data[i]))
data_tr = np.array(data_tr).T
```

```
A = []
for i in range(data_tr.shape[1]):
    a = 0
    for j in range(data_tr.shape[0]):
        a = a + data_tr[j][i] * data_tr[j][i]
    A.append(a)
```

```
A = np.array(A)

M = []
for i in range(data_tr.shape[1]):
    a = 0
    for j in range(data_tr.shape[0]):
        a = a + (w1[i] + w2[i]) * data_tr[j][i] * data_tr[j][i] / 2
    M.append(a)
M = np.array(M)

trA = 1 / A

W = trA * (M + (1 - np.sum(trA * M)) / np.sum(trA))

# 计算进程
kk = []
for i in range(data_tr.shape[0]):
    kk.append(np.sum(data_tr[i] * W))
```