

2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

题 目 关于全面建成小康社会进程数学模型分析

摘 要

针对问题 1, 首先, 采用熵-GE 矩阵来建立可持续性的度量, 并使用基于 Lanchester 方程构建的状态方程来预测可持续性趋势。建立可持续发展指标体系, 规范指标数据。为了评估综合绩效, 我们采用熵-GE 矩阵来建立发展指数 (DI), 合作指数 (CI) 和最终得分的概念。基于 Lanchester 方程, 我们还构建了一个状态方程来预测可持续性。最终获得了中国未来 20 年的预测结果并给出建议。我国该朝着更好的方向调整政策, 而不是专注于经济发展。

针对问题二, 选取德菲尔法模型, 通过查找国家统计局年鉴与地方统计年鉴所得各项指标, 根据各种因素的影响情况赋予其权重值, 再将各项比率与拟定的标准比率进行比较, 计算出相对比率, 然后将相对比率与权重相乘, 从而计算出每项比率的得分, 进而加总得出最终的综合评价得分, 评估全国各省全面建成小康社会总体情况。结果显示: 上海、北京、浙江、天津、江苏处于第一梯级的小康社会水平。

针对问题 3, 我们用 BP 神经网络模型, 以河南省为例, 选取流动人口、人口老龄化趋势、城乡居民收入、人口禀赋、环境承载力分析经济可持续发展能力。根据可持续发展综合指数进行相关判定梯度为 0.2, 由 0 到 10 分别表示可持续发展能力由低到高: [0,2] 表示不可持续发展, [2,4] 表示可持续发展能力较低, [4,6] 表示可持续发展能力一般, [6,8] 表示可持续发展能力较高, [8,10] 表示高度可持续发展能力。综合考虑各项影响因素, 结果为人口流动对于河南省经济可持续发展能力影响最大, 河南省应该加大人口流动, 以便加速经济发展。

针对问题 4, 运用层次分析法和聚类分析法对我国 2019 年各省域的循环经济发展水平进行综合评价和区域比较, 结果表明中国循环经济发展水平基本处于初期阶段, 且东、中、西部地区发展程度依次减弱; 并对各省地区提出了合作计划。

关键词 熵-GE 矩阵 ; 可持续发展模型 ; BP 神经网络 ; 聚类分析

目 录

| | |
|-------------------------|----|
| 一、问题重述..... | 2 |
| 二、问题分析..... | 2 |
| 2.1 问题 1 的分析..... | 3 |
| 2.2 问题 2 的分析..... | 3 |
| 2.3 问题 3 的分析..... | 4 |
| 三、模型假设..... | 4 |
| 四、定义与符号说明..... | 4 |
| 五、模型的建立与求解..... | 4 |
| 5.1 问题 1 的模型建立与求解..... | 6 |
| 5.1.1 熵-GE 矩阵模型的建立..... | 6 |
| 5.1.2 熵-GE 矩阵模型的求解..... | 9 |
| 5.1.3 结果..... | 11 |
| 5.2 问题 2 的模型建立与求解..... | 13 |
| 5.2.1 德菲尔法模型的建立..... | 13 |
| 5.2.2 德菲尔模型的求解..... | 14 |
| 5.2.3 结果..... | 17 |
| 5.3 问题 3 的模型建立与求解..... | 18 |
| 5.3.1 BP 神经网络模型的建立..... | 18 |
| 5.3.2 BP 神经网络模型的求解..... | 19 |
| 5.3.3 结果..... | 20 |
| 5.4 问题 4 的模型建立与求解..... | 22 |
| 5.4.1 聚类分析模型的建立..... | 22 |
| 5.4.2 聚类分析模型的求解..... | 23 |
| 5.4.3 结果..... | 24 |
| 六、模型的评价及优化..... | 24 |
| 6.1 模型的优点..... | 24 |
| 6.2 模型的缺点..... | 25 |

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。党和国家通过又一个二十多年的艰苦奋斗，即将由 20 世纪末的我国人民生活水平总体达到小康水平迈向全面建成小康社会的胜利道路。这即将成为中华民族发展史上的又一项新的里程碑。然而在这关键性的一年的初期新型冠状病毒疫情首先在我国武汉开始大规模爆发，之后向全国蔓延传播。虽然目前我们已经很好地控制住了疫情，但对我国的经济发展必然造成了重要的影响。另外，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。为此请您结合数学建模方法对如下问题进行合理的优化建模与规划。

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。

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

针对问题 1，采用熵-GE 矩阵来建立可持续性的度量^[1]，并使用基于 Lanchester 方程构建的状态方程来预测可持续性趋势。建立可持续发展指标体系，规范指标数据。为了评估综合绩效^[2]，我们采用熵-GE 矩阵来建立发展指数（DI），合作指数（CI）和最终得分的概念。基于 Lanchester 方程，我们还构建了一个状态方程来预测可持续性。获

得了中国的未来 20 年预测。然后，研究控制元素 c_i ， b_i 在控制矩阵中的有效性，并利用动态规划方法为中国设计 20 年计划^[3]。

2.1 问题 1 的分析

针对问题 1，采用熵-GE 矩阵来建立可持续性的度量，并使用基于 Lanchester 方程构建的状态方程来预测可持续性趋势。建立可持续发展指标体系，规范指标数据。为了评估综合绩效，我们采用熵-GE 矩阵来建立发展指数 (DI)，合作指数 (CI) 和最终得分的概念。基于 Lanchester 方程，我们还构建了一个状态方程来预测可持续性。获得了中国的未来 20 年预测。然后，研究控制元素 c_i ， b_i 在控制矩阵中的有效性，并利用动态规划方法为中国设计 20 年计划。

2.2 问题 2 的分析

该问的目的为对各省的全面建成小康社会总体情况进行合理的评价与排序，该问是一问指标评价题，本文采用目前主流评价方法，建立分层次、多维度的指标体系综合评价，依据综合评价的逻辑顺序，综合评价通常由三个方面构成：一是单指标评价，二是指标权重确定，三是将多指标“综合”成一个整体评价。首先我们必须规定若干个指标对，比如：人口总数、人均消费水平、人均可支配收入、人口老龄化、资源禀赋、生态环境承载力等。

为了增加建模的精准性，每个指标将其大概分为两级，比较重要的作为二级指标，不太重要的作为三级指标，最后收集资料，整理数据。本题中要求总结归纳面建成小康社会完成度系数、完成率以及未来可持续发展能力等，我们先把制定的若干指标运用 SPSS 进行主成分分析，将重复的变量（关系紧密的变量）删去多余，建立尽可能少的新变量，使得这些新变量是两两不相关的，而且这些新变量在反映课题的信息方面尽可能保持原有的信息。然后再对主成分分析后的新变量组合进行分类分析，因为题目中已给出三个类别，即：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。采用如下三种方式，即“分层构权法+德尔菲法+循环法”，计算出每项指标对三个类别的所占权重，最后就以三个最终指标来对各省的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

首先，我们将继续制定几个指标，而且这几个指标能够大概表示新型冠状病毒疫情对续发展的影响，比如：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，并运用BP神经网络分析出这些指标如何影响新型冠状病毒疫情对续发展造成的影响，然后继续运用将以上指标在新型冠状病毒疫情对可持续发展造成的影响所占权重求得，我们知道这些指标对可持续发展造成的影响程度后，可根据所得的权重表达式来决定河南省未来发展的侧重点，那么我们就可以根据这个模型决定河南省未来的发展方向。

三、模型假设

- 1、假设外部因素对我们模型的影响服从高斯分布；
- 2、假设搜集的数据全部可靠真实。

四、定义与符号说明

| 符号定义 | 符号说明 |
|-----------|-----------------|
| i | 指标 |
| w_i | 权重 |
| H_i | 熵值 |
| x_{ij} | 国家 j 的指标 i 的原始值 |
| f_{INF} | 通货膨胀的归一化值 |
| CI | 协调指数 |
| DI | 发展指数 |
| T | 离散时间 |
| t | 连续时间 |

五、模型的建立与求解

数据的预处理：考虑到 SDI 数据的测量范围不同，有必要将其标准化为概念上通用的尺度。因此，在模型中使用之前，我们需要对研究中的所有数据进行调整。我们研究的所有 17 个指标在归一化的过程中可以分为三类：对可持续性产生积极影响的积极指标，对可持续性产生负面影响的消极指标和特殊指标。在我们的模型中，假设考虑了 n 个 ($n=17$) 指标。在以下等式中， x_{ij} ($x_{ij} > 0$) 代表样本国家 j 的指标 i 的原始值，对于积极指标的值，越大越好。因此，获得以下方程式：

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j(x_{ij})} \quad (5.1)$$

其中 $\max_j(x_{ij})$ 是正指标 i 的最佳值，这意味着在所有 m 个样本国家中指标 i 的最大值。相反，对于阴性指标的绝对值，越小越好。因此，我们有：

$$r_{ij} = \frac{\min_j(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (5.2)$$

其中 $\min_j(x_{ij})$ 是负指标 i 的最佳值，这意味着在所有 m 个样本国家中指标 i 的最小值。基于公式 (5.1) - (5.1)，我们获得样本 j 的归一化值 f_{ij} 正或负指标 i ：

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^m r_{ij}} \quad (5.3)$$

但是，有些特殊指标无法分为正面指标或负面指标。一个条件是，指标的最佳值为固定的一个，或者指标的原始值为负或 0。当值为 0 时，我们将其替换为 0.0001，这对最终结果几乎没有影响。另一个条件是一个指标的归一化值受其他指标影响。我们的 SDI 系统中有 3 个特殊指标，其规范化流程如下：

1) 通货膨胀率（年百分比）

由于通货膨胀值可以为负（相当于通货紧缩为正值），并且通货膨胀的最佳值为 0，因此其归一化方程可以表示为：

$$f_{INF} = 1 - \frac{|INF|}{|INF|_{\max}} \quad (5.4)$$

其中 f_{INF} 通货膨胀的归一化值； INF 是通货膨胀的原始值； $|INF|$ 是所有样本中最大绝对值。

2) 人口密度（每平方千米）

根据阿尔贝托·马丁里 (Alberto Martilli) 的研究[13], 过高和过低的人口密度都会损害社会发展, 并且不利于环境和能源效率。适当的人口密度应为每平方公里 60-100。来自郝湖的另一项研究 Karima Nigmatulina [14]也表明, 当人口密度低于 $100 / \text{km}^2$ 时, 疾病传播速度可降低。归一化公式为:

$$f_{DP} = 1 - \frac{|DP - DP_{AP}|}{|\Delta DP|_{\max}} \quad (5.5)$$

其中 f_{DP} 表征人口密度的归一化值; DP 是人口密度的原始值; DP_{AP} 是人口密度的最佳值; $|\Delta DP|_{\max}$ 表示 DP 和 DP_{AP} 之间的最大绝对值。

3) 人口增长 (%)

Ross 的研究[15]指出, 人口增长与人口密度有关, 其归一化方式为:

$$f_{PG} = \begin{cases} \frac{1}{PG - \left| \frac{DP - DP_{AP}}{DP} \right| + 1} & DP \leq DP_{AP} \\ \frac{1}{PG + \left| \frac{DP - DP_{AP}}{DP} \right| + 1} & DP > DP_{AP} \end{cases} \quad (5.6)$$

其中 f_{PG} 是人口增长的标准化值; PG 是其原始值。

5.1 问题 1 的模型建立与求解

5.1.1 熵-GE 矩阵模型的建立

(1) 可持续性的衡量

我们提供衡量可持续性的完整方法。首先, 介绍数据标准化方法。然后采用熵值法确定指标的权重, 并计算环境, 社会和经济方面的综合绩效。因此, 我们定义了发展指数和协调指数来描述国家的可持续发展。最后, 使用 GE 矩阵对可持续性进行评分。

表 5-1 可持续发展指标体系

| 一级 | 二级 | 三级 |
|----|----|--------------|
| | | 人口增长 |
| 环境 | 人口 | 人口密度 老龄化率 |

| | | |
|----|--------|---------------|
| | | 森林租金占 GDP 的比重 |
| | 资源 | 人均能源使用量 |
| | 污染 | 人均二氧化碳排放 |
| | | 预期寿命 |
| | 卫生 | 死亡率 |
| | | 人均卫生支出 |
| 社会 | 教育 | 高等教育入学率 |
| | | 国内生产总值中的教育支出 |
| | | 粮食短缺的程度 |
| | 生计 | 水源改善进程 |
| | | 人均家庭支出 |
| 经济 | 人均 GDP | |
| | 通货膨胀 | |
| | 第三产业率 | |

(2) 综合表现

熵方法适合我们的研究，因为我们原始的指标数据是微不足道的，因此难以分析。通过采用熵方法，我们可以将数据（归一化后）处理为三个主要变量，分别代表环境，社会和经济方面。因此，对数据的分析可以更容易理解。

首先，通过方程得到指标 i 和熵值 H_i

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m f_{ij} \cdot \ln f_{ij} \quad (5.7)$$

$$\text{其中 } i=1, 2, 3, \dots, n; \quad k = \frac{1}{\ln m}$$

因此，我们用方程确定指标 i 的权重 w_i

$$w_i = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^n (1 - H_i)} \quad (5.8)$$

因此，通过考虑指标 1 到 n 样本 j 的综合性能可以定义为

$$F_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot f_{ij} \quad (5.9)$$

由于我们在建立的 SDI 系统具有三个主要方面，因此我们得到三个 F 来描述一个国家（等式中省略的 j ）在环境（en），社会（so）和经济（ec）方面的综合绩效方面。说明如公式（5.10）所示

$$\begin{aligned} F_{en} &= \sum_{i=1}^{n_{en}} w_{i(en)} \cdot f_{ij(en)} \quad i = 1, 2, \dots, n_{en} \\ F_{so} &= \sum_{i=1}^{n_{so}} w_{i(so)} \cdot f_{ij(so)} \quad i = 1, 2, \dots, n_{so} \\ F_{ec} &= \sum_{i=1}^{n_{ec}} w_{i(ec)} \cdot f_{ij(ec)} \quad i = 1, 2, \dots, n_{ec} \end{aligned} \quad (5.10)$$

（3）发展指数和协调指数

可持续发展是一个既需要发展又需要协调的概念。要进行协调，就要求国家不仅要在一个方面，而且要在所有方面同时提高自己。在我们的模型中，我们使用发展指数（DI）来描述总体发展状况，并使用协调指数（CI）来描述环境（en），社会（so）和经济（ec）方面发展的一致性和协调性。两项指标均基于各个方面的综合表现（en, so, ec）。只有当 DI 和 CI 都很高时，我们才能将国家视为可持续的国家。

在这里，我们将发展指数（DI）定义为

$$\begin{aligned} DI &= CF \\ \text{其中 } C &= \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \end{bmatrix}^T; F = \begin{bmatrix} F_{en} \\ F_{so} \\ F_{ec} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5.11)$$

C 中的参数 γ_1 , γ_2 和 γ_3 表示组成 DI 时 F_{en} , F_{so} , F_{ec} 的权重。

协调指数（CI）定义为

$$\begin{aligned} CI &= 1 - \frac{S}{\bar{F}} \\ \text{其中 } S &= \sqrt{\frac{1}{3} \left[(F_{en} - \bar{F})^2 + (F_{so} - \bar{F})^2 + (F_{ec} - \bar{F})^2 \right]} \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{3} (F_{en} + F_{so} + F_{ec})$$

S 是这三个性能值的标准偏差，而 \bar{F} 是这三个性能值的算术平均值。

（4）评估可持续性的 GE 矩阵

GE 矩阵（麦肯锡矩阵）最初用于评估公司在二维框架中的竞争力和吸引力。该矩阵可以为公司提供管理和发展策略。在这里，我们考虑使用 GE-Matrix 来描述国家的可持续性。

尽管公司和国家/地区在运营，管理和利润方面存在差异，但仍然可以做出相当合理的类比。一方面，公司吸引力描述了公司盈利的实力。相应地，国家发展指数描述了一个国家在发展方面的实力。另一方面，公司竞争力和国家协调指数都反映了全面的能力。因此，采用 GE 矩阵。图 5-1 显示了我们采用的矩阵。根据 Li, Zhang 和 Song 的研究，DI 和 CI 都可以分为三个级别，如表 5-2 所示。

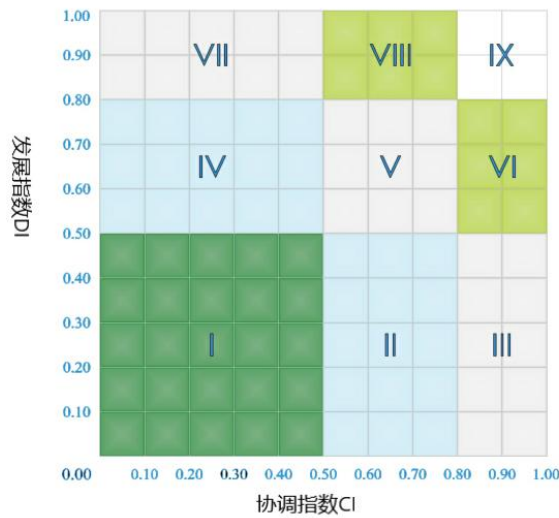


图 5-1 评估发展指数和协调指数的 GE 矩阵

表 5-2 DI 和 CI 的分类

| 发展指数 | 发展水平 | 协调指数 | 协调级别 |
|---------|------|---------|------|
| 0-0.5 | 发展较差 | 0-0.5 | 协调较差 |
| 0.5-0.8 | 发展中等 | 0.5-0.8 | 协调中等 |
| 0.8-1 | 发展较好 | 0.8-1 | 协调较好 |

利用任何给定年份的国家的 DI 值 y 和 CI 值 x ，我们可以确定我们在 GE 矩阵中的位置 (x, y) 。 (x, y) 与最佳位置 $(1,1)$ 之间的距离被视为我们对国家一年的可持续性评分。分数越低，国家就越可持续。

5.1.2 熵-GE 矩阵模型的求解

(1) 可持续发展预测

我们提供使用 Lanchester 方程预测国家可持续性的方法。最初，介绍了 Lanchester 方程的机理。稍后，我们将此方程式开发为自己的用途，并提供一个状态方程式。

Lanchester 方程最初用于战斗中以评估双方士兵的损失。它是一个非线性的一阶微分方程，可以在不同的战争策略下获得系统的动态变化。该方程式被描述为

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -ay - \alpha x + u(t) \\ \frac{dy}{dt} = -by - \beta x + v(t) \end{cases} \quad (5.13)$$

其中 a 和 b 是从一侧到另一侧的攻击强度； α 和 β 是攻击以外的其他原因造成的士兵损失； $u(t)$ 和 $v(t)$ 代表士兵的补充。

以我们的 SDI 系统中的社会方面为例，它包含 3 个二级方面（健康，教育，生计）和 8 个三级指标（预期寿命，教育支出，健康支出等）。所有第三级指标都反映了公民在一个国家的生活质量。但是，生活质量也将受到环境（森林覆盖率，二氧化碳排放等）和国家经济（通货膨胀，人均 GDP 等）的影响。兰切斯特方程式清楚地体现了环境，社会和经济方面的相互作用。

而且，像 ICM 提供的程序和帮助一样，它在国外也有影响。因此，我们将局外人对国家可持续性的影响 $U_i(t)$ 与原始 Lanchester 方程中的士兵补给进行了比较。我们使用拟合方法获得系数 β_i 。因此，我们得到了 Lanchester 的方程式

$$\begin{cases} \frac{dF_{en}(t)}{dt} = \alpha_{11}F_{en}(t) + \alpha_{12}F_{so}(t) + \alpha_{13}F_{ec}(t) + \beta_1U_1(t) \\ \frac{dF_{so}(t)}{dt} = \alpha_{21}F_{en}(t) + \alpha_{22}F_{so}(t) + \alpha_{23}F_{ec}(t) + \beta_2U_2(t) \\ \frac{dF_{ec}(t)}{dt} = \alpha_{31}F_{en}(t) + \alpha_{32}F_{so}(t) + \alpha_{33}F_{ec}(t) + \beta_3U_3(t) \end{cases} \quad (5.14)$$

使用状态空间理论中的表示方式，得到状态方程

$$\frac{dF}{dt} = AF + BU$$

$$\text{其中 } F = \begin{bmatrix} F_{en} \\ F_{so} \\ F_{ec} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}^T \quad (5.15)$$

在采用公式 (5.15) 时，我们将离散时间 T 转换为连续时间 t 。

$$t = kT \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.16)$$

也就是说，我们可以从原始输入离散数据中获得连续数据。因此，可以获得可持续性的动态变化以及在环境，社会和经济方面的综合绩效 F 的未来价值。

5.1.3 结果

我们使用 2015-2019 年的数据，根据第上节介绍的模型预测我国在环境，社会和经济方面的综合表现。解析最小二乘法和函数 ODE45 用于确定我们的预测模型中的系数。图 5-2 显示了未来我国 20 年的预测。

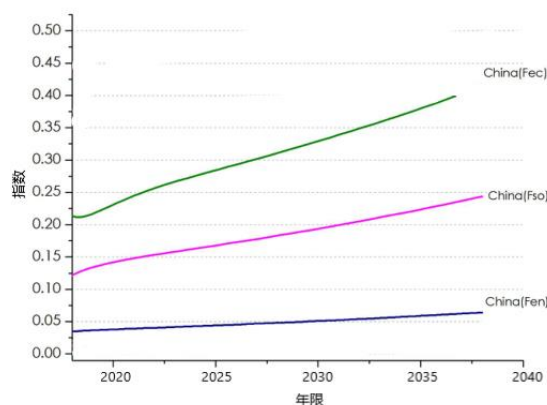


图 5-2 预测我国未来 20 年的综合表现

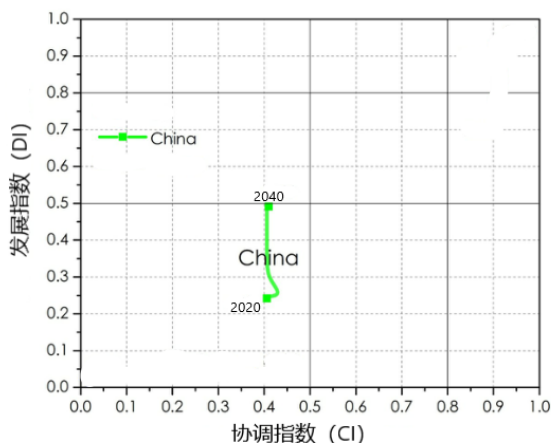


图 5-3 我国可持续发展的 GE 矩阵

在图 5-2 中，体现我国在环境，社会和经济方面的综合表现。我们可以发现，中国的经济绩效将在 20 年内大幅提高。GE 矩阵框架下的图 5-3 显示了我们 20 年预测的全面视图。关于表 5-2 中的分类方式，我们可以看到，中国正在朝着不平衡的方向发展。它的协调在 2040 年仍然很弱。

因此，我国应该朝着更好的方向调整政策，而不是专注于经济发展。

具体的政策和援助对于有效的可持续发展计划至关重要，而所有这些政策和援助都应同时考虑发展和协调。因此，在制定 20 年可持续发展计划时，应首先评估特定发展活动的有效性。只有这样，我们才能阐明该计划在矩阵 G_A 和 B 中的行为，以及其执行的好坏。有许多开发活动可以通过 ICM 提供的计划，政策和援助带来直接或间接的收益。其发展活动及其有效性得分为：

表 5-3 发展活动及其有效性得分表

| | 发展活动 | 得分 |
|------|-------------------------|------|
| 环境方面 | 减少市民和居民区的空气污染 | 0.20 |
| | 保护农田和森林 | 0.23 |
| | 减少空气污染 | 0.13 |
| | 将突出的产业转移到工业城镇 | 0.13 |
| | 防止水资源污染 | 0.17 |
| | 对保护区无损害 | 0.13 |
| | 加强基础设施 | 0.04 |
| | 改善污水处理 | 0.12 |
| 社会方面 | 创建可持续发展的社区并认识到城市发展 | 0.18 |
| | 更新非正式住区 | 0.26 |
| | 公共交通系统的可及性 | 0.12 |
| | 控制住房并提供住宅使用 | 0.07 |
| | 改善道路基础设施并修建新道路 | 0.14 |
| | 保证新的供水公司和管道的供水 | 0.07 |
| 经济方面 | 将突出的产业转移到工业城镇 | 0.19 |
| | 利用巨大的社会资本和积累的资本来扩大就业 | 0.13 |
| | 对当地公司的投资 | 0.16 |
| | 技术支持 | 0.23 |
| | 提供措施以根据家庭职业和家庭手工业法规进行修改 | 0.10 |
| | 为组织提供资金 | 0.19 |

未来我国可持续发展思路为以上各项优先级从得分由大到小排列。

5.2 问题 2 的模型建立与求解

5.2.1 德菲尔法模型的建立

我们需要解决的问题是通过建立模型对大量数据进行分析进而得出各项数据的权重来量化全国各省全面小康社会的总体情况，题目要求是对各省的全面建成小康社会总体情况进行合理的评价与排序，因此我通过分层构权法、德菲尔法以及循环法三种方法进行建立模型分析。

对于全面建成小康社会的评价需要根据客观现象的发生搜集数据，进行构建相应的指标体系和评价模型。总体来说，就是通过对衡量小康社会各个领域的指标进行综合分析，以得出全面建成小康社会的评价值。

根据各种因素的影响情况赋予其权重值，再将各项比率与拟定的标准比率进行比较，计算出相对比率，然后将相对比率与权重相乘，从而计算出每项比率的得分，进而相加得出最终的综合评价得分，计算过程公式化表现如下：

$$\text{综合评价得分} = \sum \text{权重} \times (\text{实际比率} \div \text{标准比率})$$

当我们对一个评价对象进行评价时，需要一定的指标体系，多个指标则会构成一个多维空间，如果两个样本之间在某项指标上变差较大，则说明样本在指标维度上的距离较大，在这种情况下，单项变差综合为总变差会产生几个问题：一是评价指标量纲往往不同，变差不能够直接综合；二是指标间往往存在一定相关关系，即使消除量纲影响后再综合也会有信息重复；三是在综合时如何确定各指标的权重；四是如果评价指标过多，应该在自变差信息损失较少的前提下减少工作量，也就是降维，用较少的新变量代替较多的原变量。在上述情况下，主成分分析方法则较为实用，利用主成分分析法进行多指标综合评价的

步骤如下

- (1)原始指标数据的标准化；
- (2)求指标数据间的相关系数矩阵 R ；
- (3)求 R 的特征根、特征向量和贡献率等
- (4)确定主成分的个数 K ；
- (5)对主成分的社会经济含义作出解释；
- (6)合成各个主成分得到综合评价值。

5.2.2 德菲尔模型的求解

为了保持模型的较为精确性，全面小康社会拥有繁多的一级指标，以及一级指标下的多项二级指标。以河北省的全面小康社会建设为例，如表 5-4 所示。

表 5-4 河北省全面建成小康社会指标体系

| 一级指标 | 权重 | 二级指标 | 指标代码 | 目标值 | 单位 | 指标 | 权重 |
|------|------|------------------|------|----------|---------|----|------|
| 经济发展 | 0.27 | 河北省人均GDP | A1 | 58000 | 元 | 正向 | 0.07 |
| | | 第三产业增加值占GDP比重 | A2 | 50 | % | 正向 | 0.02 |
| | | 城镇化率 | A3 | 60 | % | 正向 | 0.04 |
| | | 互联网普及率 | A4 | 55 | % | 正向 | 0.04 |
| | | 人口自然增长率 | A5 | [4.8] | % | 区间 | 0.02 |
| | | 每万人发明专利拥有量 | A6 | >2.8 | 件 | 正向 | 0.05 |
| | | R&D经费占GDP比重 | A7 | >2.2 | % | 正向 | 0.03 |
| 民主法治 | 0.04 | 社会安定指数 | A8 | 100 | - | 正向 | 0.04 |
| 文化建设 | 0.13 | 文化及相关产业增加值占GDP比重 | A9 | >5 | % | 正向 | 0.04 |
| | | 公共图书馆藏书量 | A10 | 153400 | 千册 | 正向 | 0.05 |
| | | 广播综合人口覆盖率 | A11 | 100 | % | 正向 | 0.04 |
| 人民生活 | 0.41 | 城镇登记失业率 | A12 | [3.5] | % | 区间 | 0.03 |
| | | 恩格尔系数 | A13 | <40 | % | 逆向 | 0.04 |
| | | 城镇居民人均可支配收入 | A14 | 32000 | 元 | 正向 | 0.04 |
| | | 农村居民人均纯收入 | A15 | 13500 | 元 | 正向 | 0.04 |
| | | 农村卫生厕所普及率 | A16 | >80 | % | 正向 | 0.03 |
| 一级指标 | 权重 | 二级指标 | 指标代码 | 目标值 | 单位 | 指标 | 权重 |
| 人民生活 | 0.41 | 农村自来水普及率 | A17 | >85 | % | 正向 | 0.03 |
| | | 新型农村合作医疗参合率 | A18 | 100 | % | 正向 | 0.03 |
| | | 城市人均道路面积 | A19 | >17 | 平方米 | 正向 | 0.04 |
| | | 城镇人均住房建筑面积 | A20 | >35 | 平米/人 | 正向 | 0.04 |
| | | 农村人均住房面积 | A21 | >40 | 平米/人 | 正向 | 0.04 |
| | | 城乡居民收入比 | A22 | <2.7 | 以农为1 | 区间 | 0.05 |
| 资源环境 | 0.15 | 单位GDP能耗 | A23 | 1.1 | 吨标准煤/万元 | 逆向 | 0.02 |
| | | 森林覆盖率 | A24 | >30 | % | 正向 | 0.04 |
| | | 工业固体废物综合利用率 | A25 | >55 | % | 正向 | 0.02 |
| | | 生活垃圾无害化处理率 | A26 | >90 | % | 正向 | 0.02 |
| | | 化学需氧量排放量 | A27 | <2143.43 | 万吨 | 逆向 | 0.02 |
| | | 全年达到和好于二级天气的天数比重 | A28 | 100 | % | 正向 | 0.03 |

为了保持模型的较为精确性，我认定了经济发展、民主法治、文化建设、人民生活及资源环境五个一级指标，以及一级指标下的多项二级指标。基于指数评价法评价 2016-2017 年全面建成小康社会实现程度：将所有指标细分，除正向指标外，其中，逆向指标包括化学需要量排放量、单位 GDP 能耗、恩格尔系数。区间指标包括人口自然增长率、城镇登记失业率、城乡居民收入比。实现度计算公式为：

正向指标实程度计算公式

$$Z_i = \begin{cases} \frac{x_i}{x_{i1}} \times 100\%, & \text{若 } \frac{x_i}{x_{i1}} < 1 \\ 100\%, & \text{若 } \frac{x_i}{x_{i1}} \geq 1 \end{cases} \quad (5.17)$$

其中 Z_i 为 x_i 的评价值, x_i 为实际值, x_{i1} 为目标值。

逆向指标实程度计算公式

$$Z_i \begin{cases} \frac{x_i}{x_{i1}} \times 100\%, \text{ 若 } \frac{x_i}{x_{i1}} < 1 \\ 100\%, \text{ 若 } \frac{x_i}{x_{i1}} \geq 1 \end{cases} \quad (5.18)$$

其中 Z_i 为 x_i 的评价值, x_i 为实际值, x_{i1} 为目标值。

区间指标实程度计算公式

$$Z_i \begin{cases} 1, x_i \notin [m_1, m_2] \\ \left(-\frac{1}{(q_1 - m_1)^2} x^2 + \frac{2q_1}{(q_1 - m_1)^2} x + \frac{m_1^2 - 2m_1q_1}{(q_1 - m_1)^2} \right) \times 100\%, \text{ 若 } x_i \in [m_1, q_1] \\ 1, x_i \in [q_1, q_2] \\ \left(-\frac{1}{(q_2 - m_2)^2} x^2 + \frac{2q_2}{(q_2 - m_2)^2} x + \frac{m_2^2 - 2m_2q_2}{(q_2 - m_2)^2} \right) \times 100\%, \text{ 若 } x_i \in [q_2, m_2] \end{cases} \quad (5.18)$$

其中 Z_i 为评价值, x_i 为实际值, $[q_1, q_2]$ 为指标 x_i 目标区间值, m_1, m_2 为指标 x_i 的允许下、上界值, 允许下界值为 0, 允许上界值为 12‰; 城镇登记失业率的目标区间值为 [3,5], 允许下界值为 0, 允许上界值为 8。

全面建成小康社会总实现度公式

$$F_j = c \quad (5.19)$$

各大子目标 (5 个) 全面建成小康社会实现度公式

$$F_j = \frac{\sum_{i=a_j}^{b_j} w_i z_i}{\sum_{i=a_j}^{b_j} w_i} \quad (5.20)$$

其中 Z_i 为 x_i 的评价值, x_i 为实际值, w_i 为 x_i 指标权重 (计算时将单位换算为小数), F_j 为第 j 个子目标实现度, a_j 为第 j 个子目标中第一个评价指标在整个评价指标体系中的序数, b_j 为第 j 个子目标中最后一个评价指标在整个评价指标体系中的序数。

综上所述, 确定指标目标值后, 评判指标实现程度, 依据全面建成小康社会实现度评价方法进一步汇总, 得到 2016-2017 年河北省全面建成小康社会实现度, 如表 5-5。

表 5-5 2016-2017 年河北省全面建成小康社会实现程度

| 一级指标 | 二级指标 | 权重 | 2016年实现程度 | 2017年实现程度 |
|------------------|------------------|------|-----------|-----------|
| 经济发展 | 河北省人均GDP | 0.07 | 0.74 | 0.78 |
| | 第三产业增加值占GDP比重 | 0.02 | 0.84 | 0.88 |
| | 城镇化率 | 0.04 | 0.89 | 0.92 |
| | 互联网普及率 | 0.04 | 0.97 | 1 |
| | 人口自然增长率 | 0.02 | 1 | 1 |
| | 每万人发明专利拥有量 | 0.05 | 0.75 | 1 |
| | R&D经费占GDP比重 | 0.03 | 0.55 | 0.6 |
| 子目标实现程度 | | 0.27 | 0.8 | 0.88 |
| 民主法治 | 社会安定指数 | 0.04 | 1 | 1 |
| 子目标实现程度 | | 0.04 | 1 | 1 |
| 文化建设 | 文化及相关产业增加值占GDP比重 | 0.04 | 0.83 | 0.84 |
| | 公共图书馆藏书量 | 0.05 | 0.13 | 0.14 |
| | 广播综合人口覆盖率 | 0.04 | 0.99 | 0.99 |
| 子目标实现程度 | | 0.13 | 0.61 | 0.62 |
| 人民生活 | 城镇登记失业率 | 0.03 | 1 | 1 |
| | 恩格尔系数 | 0.04 | 1 | 1 |
| | 城镇居民人均可支配收入 | 0.04 | 0.88 | 0.95 |
| | 农村居民人均纯收入 | 0.04 | 0.88 | 0.9 |
| | 农村卫生厕所普及率 | 0.03 | 0.65 | 0.74 |
| | 农村自来水普及率 | 0.03 | 1 | 1 |
| | 新型农村合作医疗参合率 | 0.03 | 0.98 | 0.98 |
| | 城市人均道路面积 | 0.04 | 1 | 1 |
| | 城镇人均住房建筑面积 | 0.04 | 0.96 | 0.94 |
| | 农村人均住房面积 | 0.04 | 0.95 | 0.93 |
| 子目标实现程度 | | 0.41 | 0.94 | 0.95 |
| 资源环境 | 单位GDP能耗 | 0.02 | 1 | 1 |
| | 森林覆盖率 | 0.04 | 1 | 0.78 |
| | 工业固体废物综合利用率 | 0.02 | 1 | 1 |
| | 生活垃圾无害化处理率 | 0.02 | 1 | 1 |
| | 化学需氧量排放量 | 0.02 | 1 | 1 |
| | 全年达到和好于二级天气的天数比重 | 0.03 | 1 | 1 |
| 子目标实现程度 | | 0.15 | 1 | 0.94 |
| 河北省全面建成小康社会的实现程度 | | 1 | 87.21 | 88.9 |

由表 5-5 可知，河北省全面建成小康社会于 2016 和 2017 年实现程度为 87.21% 和 88.92%。2017 年，各子目标实现度分别为 88%、100%、62%、95%、94%。从 2015 年到 2017 年，经济发展实现度由 75% 提升为 88%；文化建设实现程度由 60% 增长到 62%；人民生活方面实现程度由 93% 上升为 95%；万人发明专利拥有量实现度由 2016 年的 75% 增加到 2017 年 100%；到 2017 年，文化及相关产业增加值占 GDP 比重实现程度为 84%。全面小康社会实现度的提升，表明经济发展有向好趋势，人民生活水平不断提升，人们的环保意识增强，社会和谐程度在不断上升，接近河北省实现全面建成小康社会的目标。但是，实现程度相对来说比较低的指标包括 R&D 经费占 GDP 比重、公共图书馆藏书量、农村卫生厕所普及率、森林覆盖率等，说明实现河北省实现全面建成小康社会的目标还有一定距离。提高科研经费，加大创新力度，提升人与自然和谐指数，才是实

现全面建成小康社会的关键。综上分析，我们可以看出河北省各方面发展不均衡。我们可以看出河北省各方面发展不均衡。

5.2.3 结果

同理，与 5.2.2 中的处理方式相同，可以得出全国各省的全面小康建设指标，经过 SPSS 进行分析，最后得出全国各省小康社会总体情况排名，如表 5-6

表 5-6 全国各省小康社会总体情况

| 省区市 | 排序 | 全面小康指数 | 小康经济指数 | 小康生活指数 | 小康文化指数 | 小康生态指数 |
|-----|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 上海 | 1 | 142.06 | A+级 | A+级 | A+级 | A 级 |
| 北京 | 2 | 138.52 | A+级 | A+级 | A+级 | A 级 |
| 浙江 | 3 | 122.56 | A+级 | A+级 | A 级 | A 级 |
| 天津 | 4 | 117.39 | A+级 | A+级 | A 级 | A 级 |
| 江苏 | 5 | 113.59 | A+级 | A+级 | A 级 | A 级 |
| 广东 | 6 | 108.41 | A+级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 福建 | 7 | 104.86 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 山东 | 8 | 101.02 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 重庆 | 9 | 100.11 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 湖北 | 10 | 97.34 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 内蒙古 | 11 | 95.05 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 海南 | 12 | 94.98 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 西藏 | 13 | 93.48 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 江西 | 14 | 92.1 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 湖南 | 15 | 91.67 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 宁夏 | 16 | 91.64 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 辽宁 | 17 | 91.32 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 安徽 | 18 | 90.69 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 吉林 | 19 | 89.99 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 陕西 | 20 | 89.77 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 四川 | 21 | 89.73 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 新疆 | 22 | 89.48 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 河北 | 23 | 87.69 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 贵州 | 24 | 87.57 | A 级 | A-级 | A 级 | A 级 |
| 广西 | 25 | 87.07 | A-级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 河南 | 26 | 86.91 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 青海 | 27 | 86.63 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 云南 | 28 | 85.82 | A-级 | A 级 | A 级 | A 级 |

| | | | | | | |
|-----|----|-------|-----|-----|-----|-----|
| 黑龙江 | 29 | 84.96 | A-级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 山西 | 30 | 84.73 | A 级 | A 级 | A 级 | A 级 |
| 甘肃 | 31 | 84.64 | A-级 | A-级 | A 级 | A 级 |

5.3 问题 3 的模型建立与求解

5.3.1 BP 神经网络模型的建立

BP (Back propagation) 神经网络是人工神经网络的一种, 克服了人工智能的缺陷, 模仿动物神经网络行为进行分布式并行信息处理的数学算法模型, 具有自适应、自组织能力。BP 算法通过输入、

输出数据样本集, 根据误差反向传递的原理对网络进行训练, 其学习过程包括信息的正向传播以及误差的反向传播两个过程, 对其反复训练, 连续不断地在相对误差函数梯度下降的方向上对网络权值和偏差的变化进行计算, 逐渐逼近目标。BP 神经网络是基于 BP 算法的多层前馈神经网络, BP 神经网络算法简单、易行、计算量小、并行性强、适用范围广, 并具有良好的鲁棒性和容错性。对于一个大规模的网络来说, 个别神经元和连接的损坏不会影响整体的结果, 它具有很强的学习能力, 网络可在学习过程中不断自行完善。

河南省经济可持续利用评价 BP 神经网络模型采用由输入层、隐含层和输出层构成的 3 层网络结构, 根据河南省可持续发展能力评价指标体系, 确定输入层的神经元个数为 5 个, 输出层的神经元个数为 1 个。经多次模拟学习, 证明隐含层神经元数目是合适的。这样就确定了河南省可持续发展能力评价 BP 神经网络模型的拓扑结构。依据评价指标选取的原则, 结合可持续发展能力的内涵, 选取 28 项指标构建河南省区域可持续发展能力评价指标体系。

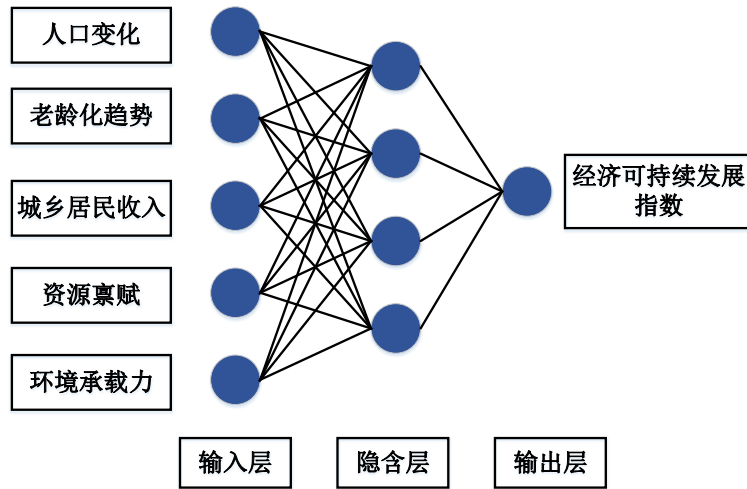


图 5-4 BP 神经网络模型的建立

表 5-7 河南省可持续发展能力评价指标体系

| 目标层 | 准则层 | 指标层 |
|---------|------|--|
| 可持续发展能力 | 经济系统 | 人口变化 老龄化趋势 城乡居民收入 资源禀赋 环境承载力 |

5.3.2 BP 神经网络模型的求解

根据计算工作的特点，网络训练数据通常是由各种研究对象的评价标准构成，但人均固定资产投资和人均公共绿地面积等，区域可持续发展评价研究方面尚没用统一的判断标准。参照有关文献的选取方法，使用线性内插法，通过构建所有指标的原始数据的最大值和最小值区间，线性设定影响等级。设区域可持续发展综合指数为 10 分，梯度为 0.2，由 0 到 10 分别表示可持续发展能力由低到高：[0,2]表示不可持续发展，[2,4]表示可持续发展能力较低，[4,6]表示可持续发展能力一般，[6,8]表示可持续发展能力较高，[8,10]表示高度可持续发展能力。

将梯度为 0.2 的 13 个得分值作为 BP 神经网络的输出数据，并将评价指标通过线性内插法处理为 51 个等级，最后得到 5 组共 65 个训练用的样本数据，作为输入数据。按照 BP 神经网络计算流程，设置隐含层神经元个数为 57 个，神经网络的拓扑结构为 5-13-1。隐含层和输出层网络分别采用 Sigmoid 型激活函数和 Purelin 型激活函数，学习速率 Lr 设置为 0.01，最大循环次数设置为 2000，均方误差 MSE 为 10^{-4} 。

仅经过 4 次训练后，网络均方误差达到设定的精度（图 2），采用 Scaled 共轭梯度算法对 BP 网络进行仿真验证，主要考察网络输出结果和期望结果，图中纵轴为实际结果输出，横轴为期望结果， $\text{Output}=0.99 \times \text{Target}+0.0042$ 。

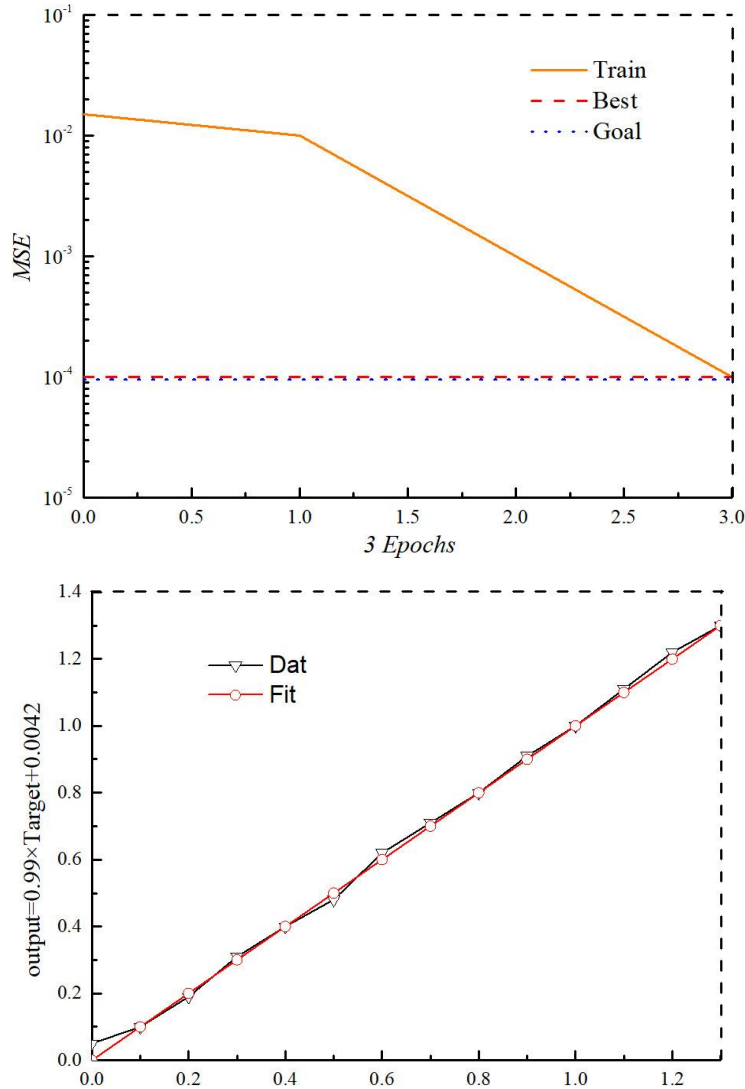


图 5-5 神经网络训练过程

5.3.3 结果

将河南省区域可持续发展评价指标标准化的数据导入训练好的网络，得到 2001—2020 年河南省区域可持续发展综合指数(表 5-8)。由表 5-8 可以看出，2000—2020 年河南省可持续发展能力经历了由不可可持续发展阶段、可持续发展能力较低阶段、可持续发展能力一般阶段、可持续发展能力较高阶段到高度可持续发展阶段的连续提升。河南省可持续发展综合指数总体呈上升趋势，2004、2010—2019 年出现波动，说明可持续发展综合能力为波动上升。2000-2007 年，河南省可持续发展能力处于整体较低阶

段，2008年后进入可持续发展阶段，在提升初期出现不稳定起伏，2013年后稳步上升。由于收到新冠疫情的影响，各行各业遭受巨大打击，河南省经济可持续发展综合指数降低。

表 5-8 2001-2020 年河南省经济可持续发展综合指数

| 年份 | 综合指数 | 等级 | 年份 | 综合指数 | 等级 |
|------|-------|------|------|-------|----|
| 2001 | 1.030 | 不可持续 | 2011 | 8.504 | 高度 |
| 2002 | 1.222 | 不可持续 | 2012 | 7.673 | 较高 |
| 2003 | 1.788 | 不可持续 | 2013 | 6.432 | 较高 |
| 2004 | 1.577 | 不可持续 | 2014 | 7.418 | 较高 |
| 2005 | 2.090 | 较低 | 2015 | 8.479 | 高度 |
| 2006 | 4.944 | 一般 | 2016 | 8.900 | 高度 |
| 2007 | 5.977 | 一般 | 2017 | 9.447 | 高度 |
| 2008 | 6.156 | 较高 | 2018 | 9.520 | 高度 |
| 2009 | 6.838 | 较高 | 2019 | 9.731 | 高度 |
| 2010 | 4.814 | 一般 | 2020 | 2.031 | 较低 |

人口变化、老龄化趋势、城乡居民收入、资源禀赋和环境承载力五个系统对于可持续发展能力的变化作用各异，以年份为横坐标，以各子系统综合指数为纵坐标，得到相应变化曲线（图 3）。由图 3 可以看出，三个子系统指数整体变化都为上升趋势，其中人口变化、城乡居民收入、资源禀赋除一两个特殊年份外均为稳步上升，老龄化趋势对于可持续发展的影响逐渐变效，而资源环境子系统在 2013 年前起伏波动，呈现不稳定状态，2013 年后较为稳定，稍有提升。

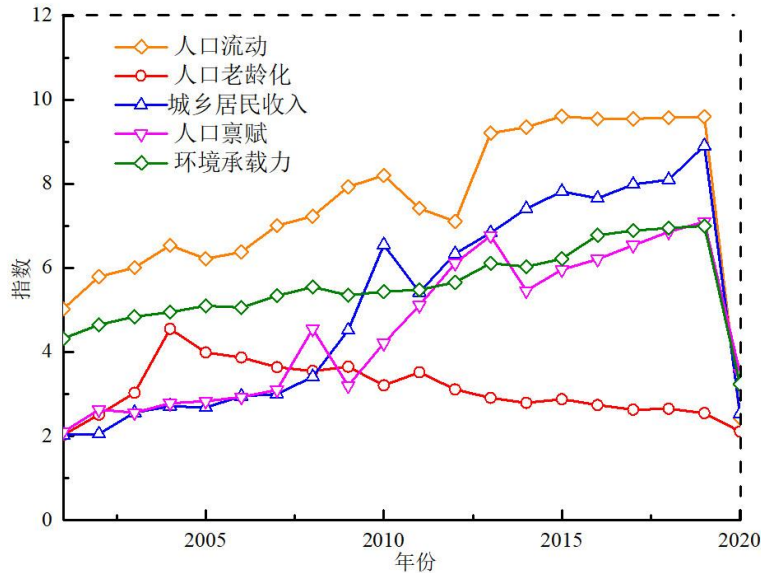


图 5-6 变化趋势

5.4 问题 4 的模型建立与求解

5.4.1 聚类分析模型的建立

(1) 指标处理和评价方法

1. 指标处理。从表 1 的指标属性一列中可以看出，微观指标分为正向指标和负向指标。正向指标是指标值越大越好；负向指标是指标值越小越好。除此之外，指标的单位及量级也不同，这些都影响评价结果的准确性。因此，在进行评价之前，要对指标进行类型一致化处理和无量纲化处理。本文采用的极值处理法，不但可以消除指标属性、量纲及数量级的影响，而且经标准化后不丧失原始数据所包含的信息，保证了评价结果的准确性。处理方法如下：

$$\text{正向指标: } X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j(\min)}{X_j(\max) - X_j(\min)}$$

$$\text{负向指标: } X'_{ij} = \frac{X_j(\max) - X_{ij}}{X_j(\max) - X_j(\min)}$$

式中： X_{ij} 、 X'_{ij} 为第 i 个省第 j 个指标的原始指标值及无量纲处理后的指标值， $X_j(\min)$ 、 $X_j(\max)$ 为第 j 个指标的原始指标最大值和最小值。经无量纲化处理，指标值都规范在 $[0, 1]$ 内。

2. 评价方法。本章采用层次分析法进行综合评价。层次分析法的基本原理是将复杂的决策问题层次化，本文将循环经济发展水平测度分为三个层次，微观指标、中观指数及宏观指数。其核心是确定各个指标的权重，一般确定权重有主观赋权法、客观赋权法和主客观相结合赋权法三种方法，本文采用客观赋权法，能够保证权重的赋值不受主观影响。客观赋权法是运用“差异驱动法”中的“突出局部差异方法”确定各个指标的权重。中观指数和综合指数采用线性加权法进行计算。具体计算方法如下：

$$\text{权重: } \bar{X}'_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{X}'_{ij}, \quad \sigma_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X'_{ij} - \bar{X}'_j)^2, \quad W_j = \frac{\sigma_j^2}{\sum_{j=1}^m \sigma_j^2}$$

$$\text{指数: } Y_i = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij}$$

式中 \bar{X}'_j 、 σ_j^2 、 W_j 为 \bar{X}'_{ij} 平均值、方差、权重。经过计算，各级指标的权重如表 1

所示。

表 5-9 循环经济发展水平测度指标体系和权重表

| 中观指数 | | 微观指标 | | 指标属性 | 权重 |
|----------------------------------|------------------|------|-----------------------------------|------|--------|
| 循环 经济 发展 水平 综合 指数 | 经济发展 (0.2199) | 实力 | X ₁ 人均地区生产总值 (元) | + | 0.0623 |
| | | | X ₂ 地区生产总值增长率 (%) | + | 0.0517 |
| | | | X ₃ 全社会固定资产投资总额增长率 (%) | + | 0.0385 |
| | | 效率 | X ₄ 第三产业占 GDP 比重 (%) | + | 0.0287 |
| | | | X ₅ 居民消费价格指数 | - | 0.0377 |
| | 人文发展 (0.3344) | 社会 | X ₆ 城镇登记失业率 (%) | - | 0.0338 |
| | | | X ₇ 恩格尔系数 (%) | - | 0.0436 |
| | | | X ₈ 社会保障覆盖率 (%) | + | 0.0527 |
| | | | X ₉ 城镇居民收入基尼系数 | - | 0.0453 |
| | | | X ₁₀ 城乡收入水平差异 | - | 0.0675 |
| | | 人居环境 | X ₁₁ 人均公园绿地面积 (平方米/人) | + | 0.0527 |
| | | | X ₁₂ 人均道路面积 (平方米/人) | + | 0.0387 |
| | 绿色发展 (0.4456) | 减量化 | X ₁₃ 万元产值能耗 (吨标准煤/万元) | - | 0.0437 |
| | | | X ₁₄ 万元产值水耗 (立方米/万元) | - | 0.0717 |
| | | | X ₁₅ 万元产值废水排放下降率 (%) | + | 0.0272 |
| | | 再利用 | X ₁₆ 万元产值废气排放下降率 (%) | + | 0.0239 |
| | | | X ₁₇ 万元产值固废排放下降率 (%) | + | 0.0362 |
| | | | X ₁₈ 工业废水排放达标率 (%) | + | 0.0511 |
| | | 资源化 | X ₁₉ 工业固废综合利用率 (%) | + | 0.0857 |
| | | | X ₂₀ 城市污水处理率 (%) | + | 0.0453 |
| | | | X ₂₁ 城市垃圾无害化处理率 (%) | + | 0.0610 |

5.4.2 聚类分析模型的求解

省域循环经济发展水平指数的梯度情况结果如表 5-10 所示。

表 5-10 2019 年中国省域循环经济发展水平综合评价指数

| 地区 | 综合评价 | | 经济发展 | | 人文发展 | | 绿色发展 | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| | 指数 | 排名 | 指数 | 排名 | 指数 | 排名 | 指数 | 排名 | |
| 东部 | 天津 | 0.7799 | 1 | 0.8217 | 1 | 0.6139 | 3 | 0.8840 | 1 |
| | 北京 | 0.7761 | 2 | 0.6139 | 2 | 0.7928 | 1 | 0.8167 | 5 |
| | 山东 | 0.6957 | 3 | 0.4650 | 15 | 0.6650 | 2 | 0.8328 | 4 |
| | 江苏 | 0.6755 | 4 | 0.4939 | 9 | 0.6139 | 4 | 0.8116 | 7 |
| | 浙江 | 0.6694 | 5 | 0.4296 | 20 | 0.5948 | 6 | 0.8438 | 3 |
| | 福建 | 0.6295 | 7 | 0.5529 | 6 | 0.4311 | 21 | 0.8164 | 6 |
| | 上海 | 0.6217 | 8 | 0.4965 | 8 | 0.5589 | 7 | 0.7308 | 10 |
| | 广东 | 0.6019 | 9 | 0.4896 | 11 | 0.5372 | 10 | 0.7060 | 12 |
| | 海南 | 0.5664 | 13 | 0.4819 | 12 | 0.4377 | 20 | 0.7048 | 13 |
| | 河北 | 0.5611 | 15 | 0.3957 | 25 | 0.6099 | 5 | 0.6062 | 22 |
| 辽宁 | 0.5455 | 18 | 0.5711 | 4 | 0.5303 | 12 | 0.5443 | 25 | |
| 中部 | 江西 | 0.5988 | 10 | 0.4653 | 14 | 0.5559 | 8 | 0.6970 | 14 |
| | 安徽 | 0.5761 | 11 | 0.4614 | 16 | 0.4617 | 15 | 0.7187 | 11 |
| | 河南 | 0.5722 | 12 | 0.3327 | 27 | 0.4580 | 16 | 0.7764 | 8 |
| | 湖北 | 0.5529 | 16 | 0.5351 | 7 | 0.4138 | 22 | 0.6665 | 18 |
| | 湖南 | 0.5475 | 17 | 0.4817 | 13 | 0.3438 | 25 | 0.7330 | 9 |
| | 吉林 | 0.5277 | 20 | 0.4273 | 22 | 0.5394 | 9 | 0.5685 | 24 |
| | 山西 | 0.5197 | 22 | 0.4491 | 18 | 0.4405 | 19 | 0.6141 | 20 |
| | 黑龙江 | 0.4797 | 24 | 0.4277 | 21 | 0.5231 | 13 | 0.4730 | 26 |
| 西部 | 重庆 | 0.6595 | 6 | 0.5750 | 3 | 0.4500 | 18 | 0.8586 | 2 |
| | 内蒙古 | 0.5642 | 14 | 0.5626 | 5 | 0.5339 | 11 | 0.5880 | 23 |
| | 广西 | 0.5284 | 19 | 0.4915 | 10 | 0.3500 | 24 | 0.6806 | 16 |
| | 四川 | 0.5235 | 21 | 0.4132 | 24 | 0.4095 | 23 | 0.6636 | 19 |
| | 陕西 | 0.5054 | 23 | 0.4437 | 19 | 0.3153 | 26 | 0.6787 | 17 |
| | 云南 | 0.4465 | 25 | 0.3123 | 29 | 0.2052 | 29 | 0.6939 | 15 |
| | 宁夏 | 0.4259 | 26 | 0.4494 | 17 | 0.5188 | 14 | 0.3445 | 29 |
| | 贵州 | 0.4200 | 27 | 0.4138 | 23 | 0.1705 | 30 | 0.6079 | 21 |
| | 新疆 | 0.4017 | 28 | 0.2595 | 30 | 0.4546 | 17 | 0.4322 | 27 |
| | 甘肃 | 0.3324 | 29 | 0.3275 | 28 | 0.3028 | 27 | 0.3571 | 28 |
| 青海 | 0.2703 | 30 | 0.3681 | 26 | 0.2090 | 28 | 0.2681 | 30 | |

5.4.3 结果

本文根据循环经济内涵，从经济发展、人文发展和绿色发展构建了循环经济发展评价指标体系，选取 2018 年的相关数据，采用层次分析和聚类分析法对我国 30 个省域的循环经济发展水平进行综合评价和区域比较，在此基础上，进一步采用障碍度分析进行病理诊断，找出循环经济发展差异的原因。得到以下结论：

(1) 中国循环经济发展水平基本处于初级阶段，全国 30 个省域中两位省域循环经济发展水平处于中期阶段，21 位处于初期阶段，7 位位于准备阶段；在综合指数、经济、人文和绿色发展指数方面，省域间极差较大，发展不均衡，呈现出东部地区较好，中部地区次之，西部地区最差。

(2) 在经济发展方面。和中西部地区相比，东部地区人均生产总值位居全国前列，但全社会固定资产投资增长率和地区生产总值增长率却较低。因此，东部地区要加强固定资产投资，以保证地区生产总值增长率与全国平均水平持平，而中西部地区要继续加强全社会固定资产投资和提高地区生产总值增长率，以人均地区生产总值赶上东部地区，同时调整产业结构，使第三产业占 GDP 的比重达到最优水平，以保证经济又好又快发展。

(3) 在人文发展方面。全国各地区应把人居环境，尤其是人均公园绿地面积作为发展循环经济的重点之一。除此之外，东部地区应加强道路交通建设，中部地区要增加社会保障投入，西部地区要调整贫富差距、区域收入差距，克服人均道路面积、社会保障覆盖率、城乡收入水平差异对东、中、西部地区循环经济发展的制约。

(4) 在绿色发展方面。全国各地区的工业固废综合利用率和城市垃圾无害化处理率都低，表明我国要加强“变废为宝”技术创新，使资源和能量反复利用，效用达到最大。西部地区除此之外，还要向东部地区学习，引进水资源节约技术和废水处理技术，使万元产值水耗和废水排放达标率达到东部地区水平或其以下。

六、模型的评价及优化

6.1 模型的优点

层次分析法把定性和定量方法结合起来，能处理许多用传统的最优化技术无法着手

的实际问题，应用范围很广，同时，这种方法使得决策者与决策分析者能够相互沟通，决策者甚至可以直接应用它，这就增加了决策的有效性。

BP 神经网络是基于 BP 算法的多层前馈神经网络，BP 神经网络算法简单、易行、计算量小、并行性强、适用范围广，并具有良好的鲁棒性和容错性。对于一个大规模的网络来说，个别神经元和连接的损坏不会影响整体的结果，它具有很强的学习能力，网络可在学习过程中不断自行完善。

6.2 模型的缺点

层次分析法中的比较、判断以及结果的计算过程都是粗糙的，不适用于精度较高的问题。从建立层次结构模型到给出成对比较矩阵，人主观因素对整个过程的影响很大，这就使得结果难以让所有的决策者接受。当然采取专家群体判断的办法是克服这个缺点的一种途径。

BP 神经网络结构选择不一：BP 神经网络结构的选择至今尚无一种统一而完整的理论指导，一般只能由经验选定。网络结构选择过大，训练中效率不高，可能出现过拟合现象，造成网络性能低，容错性下降，若选择过小，则又会造成网络可能不收敛。而网络的结构直接影响网络的逼近能力及推广性质。因此，应用中如何选择合适的网络结构是一个重要的问题。

参考文献

- [1] Ina Ehnert: Sustainable Human Resource Management: A Conceptual and Exploratory Analysis from a Paradox Perspective; Springer, 2009; pp. 35-36
- [2] Brundtland Commission (1987). "Report of the World Commission on Environment and Development". United Nations.
- [3] Danut Mosteanu, Elisabeta-Emilia HALMAGHI. The Sustainable Development-Human Development. Management and Economics, 2014, 73(1):106-113.
- [4] Paula Bocarova, Stanislav Kolosta. Assessment of sustainable development in the EU 27 using aggregated SD index. Ecological Indicators, 2015, 73(48):699-705.
- [5] Viorel Cornescu, Roxana Adam. Considerations regarding the role of indicators used in the analysis and assessment of sustainable development in the E.U. Procedia Economics and Finance, 2014(8):10-16.
- [6] Zeljka Tonkovic, Jelena Zlatar. Sustainable Development in Island Communities: The Case Study of Postira. European Countryside, 2014(3):254-269.
- [7] Liu Dan. Resource-based city sustainable development ability evaluation method utilizing BP neural network. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014, 8(6):488-494.
- [8] Jiali Huang, Bobert Ulanowicz. Ecological Network Analysis for Economic Systems: Growth and Development and Implications for Sustainable Development. PLOS ONE, 2014, 9(6):1-9.
- [9] 田卫民. 省域居民收入基尼系数测算及其变动趋势分析[J]. 经济科学, 2012 (2): 48-59.
- [10] 刘云忠. 中国循环经济评价体系构建及实证分析[J]. 统计与信息论坛, 2011 (9): 34-40.
- [11] 王良健. 地方循环经济发展评估指标体系及评估方法研究[J]. 煤炭经济研究, 2006 (2): 6-9.
- [12] 刘文菡, 刘丽英, 邱双月, 郑燕. 河北省全面建成小康社会的统计监测指标体系的构建[J]. 统计与管理, 2016(10).
- [13] 李春根. 全面建成小康社会: 理论分析、进度检查与政策优化[J]. 湖南师范大学社会科学报, 2018(4).