

# 2019 数维杯大学生数学建模竞赛论文

论文题目：基于耦合协调度模型的生态环境与经济交互状况综合评价

队伍编号：20191530

# 基于耦合协调度模型的生态环境与经济交互状况的综合评价

## 摘 要：

本文以生态与经济的关系为着眼点，在保证经济发展的基础上，对我国各省的生态环境与经济发展状况进行评价，并提出各省之间协同治理的具体方式和策略。

针对问题一：第一步，数据预处理，将附件一中缺失数据剔除，并将附件一中数据进行无量纲化处理；第二步，主成分分析法对原始数据降维处理；第三步，运用层次分析法、决策权系数以及熵值法对各指标进行权重分析，再对其三种权重方法进行综合权重分析；第四步，结合耦合协调度模型求解出各个省市中经济和生态环境之间的耦合度，对所有省份排序并将其划分为了四个等级。结果显示：以山东省为代表等区域一直维持在高级协调-生态环境滞后阶段；以新疆省为代表等区域从基本协调阶段；以河南省为代表等区域经济系统和生态环境系统越来越协调；以北京市为代表等区域一直保持在严重不协调—城市化发展受阻阶段。

针对问题二：本文采用因子分析，分别对各省的经济和生态环境求解其综合评价结果，绘制各省的经济—生态环境图，依据此图将其划分为四种类型（高经济水平高生态环境、高经济水平低生态环境、低经济水平高生态环境、低经济水平低生态环境），并引入有效性指标求得各省的有效性，结合各省自身的位置对其进行协作治理，例如京津冀采用“管理局”式治理模式，以长三角地区采用“委员会”式治理模式，以四大自治区采用协会式治理模式。

针对问题三：本文首先从国家统计局以及各省统计局的国家统计年鉴以及各省统计年鉴中搜集到 2010—2016 年的数据（由问题一筛选后剩下的 23 个指标）。针对问题一，本文从四种类型的经济—生态环境中各取一个省份作为代表；结合问题一流程，绘制其从 2010 年至 2017 年的耦合协调度变化规律，并以其为代表对各个类型的耦合协调度进行分析。最后针对所有省市，将其 2010 年至 2017 年的耦合度求取平均值，只有贵州省从第一等级降到了第二等级，可能是由于数据误差或者突发灾害引起，而其他省市的等级均没变化，避免了数据的偶然性，提高了结果的可信度和信服力。针对问题二，本文依据问题二流程，求解出各省之间自 2010—2017 年的生态环境协作治理的具体方式或策略。并对各省的生态环境协作治理的具体方式动态变化进行分析。只有重庆、河南的等级发生了变化，大部分省市的分类情况没有发生变化，所以可以说明依据此分类结合地理位置进行划分的方法是有迹可循的。

**关键词：**主成分分析法；耦合协调度模型；熵权法；层次分析法；决策权系数

# 一、问题重述

## 1.1 问题的背景与意义

城市化与生态环境的交互耦合关系已成为地理研究和区域发展研究的一个核心问题。改革开放 30 多年来，中国加快发展方式转变，工业化和城市化进程快速推进，经济增长率平均超过 9.9%，经济规模仅排在美国之后，位列全世界第二位<sup>[1]</sup>。然而快速工业化根植于能源的巨大需求和消耗，快速城市化来源于对生态环境和资源的剥夺，过大的需求和侵占势必对生态系统和资源环境承载力带来巨大压力，损伤生态服务功能。所以追求经济发展和生态环境保护是一对矛盾体，如何协调二者之间的发展将会对推动区域经济、社会、生态的协调、稳定与可持续发展至关重要<sup>[2,3]</sup>。本文以生态与经济的关系为着眼点，在保证经济发展的基础上，对我国各省的生态环境与经济发展状况进行评价，并提出各省之间协同治理的具体方式和策略。

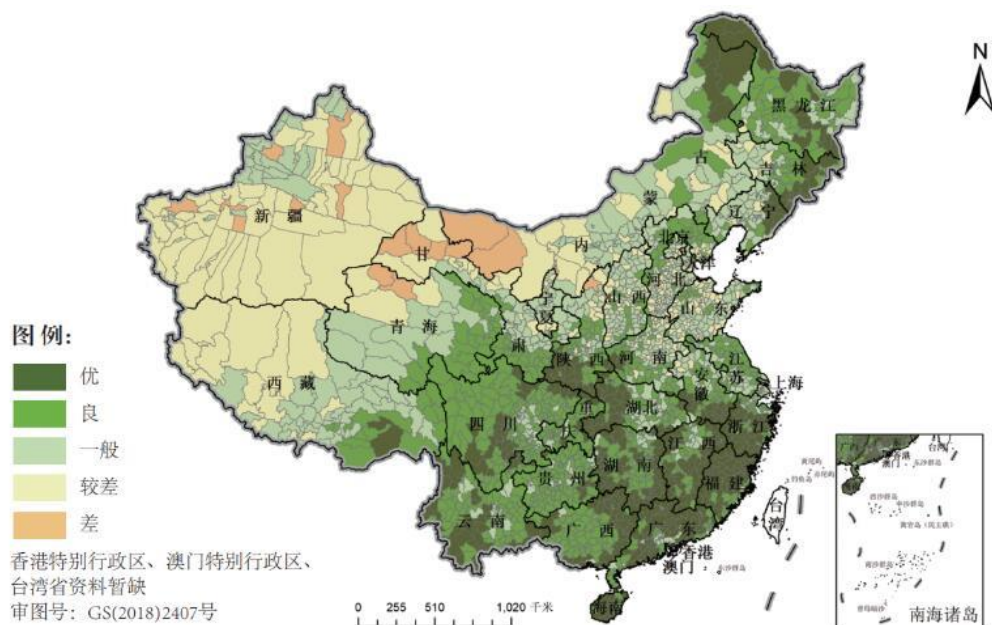


图 1：全国生态环境质量分布示意图

## 1.2 问题的提出

本文以生态与经济的关系为着眼点，在保证经济发展的基础上，对我国各省的生态环境与经济发展状况进行评价，并提出各省之间协同治理的具体方式和策略。

- (1) 对 2017 年各省生态环境与经济交互状况进行合理的评价与排序；
- (2) 通过合理的数据建模方法提供在保障 2017 年各省经济发展的同时如何展开各省之间生态环境协作治理的具体方式或策略；
- (3) 请通过国家统计年鉴整理获得更多年份的生态与经济相关数据，并重新回答问题 1 和问题 2。

# 二、问题分析

## 2.1 问题一的分析

问题一要求对 2017 年各省生态环境与经济交互状况进行合理的评价与排序；针对此问题，本文第一步对数据进行预处理，首先将附件一中缺失数据剔除，并将附件一中数据进行无量纲化处理；第二步结合主成分分析法对原始数据进行处理，达到降维的目的；第三步运用层次分析法、决策权系数以及熵值法对各指标进行权重分析，之后对其三种权重方法进行综合权重分析，最后结合耦合

协调度模型求解出各个省市中经济和生态环境之间的耦合度，并对各省生态环境与经济交互状况进行合理的评价与排序。

## 2.2 问题二的分析

问题二要求通过合理的数据建模方法提供在保障 2017 年各省经济发展的同时如何展开各省之间生态环境协作治理的具体方式或策略；针对此问题，本文采用因子分析，分别对各省的经济和生态环境求解其综合评价结果，之后将各省的经济—生态环境值绘制出来，依据此图将其划分为四种类型（高经济水平高生态环境、高经济水平低生态环境、低经济水平高生态环境、低经济水平低生态环境），并引入有效性指标求得各省的有效性，结合各省自身的位置对其进行协作治理，依据有效性指标提供在保障 2017 年各省经济发展的同时如何展开各省之间生态环境协作治理的具体方式或策略。

## 2.3 问题三的分析

问题三要求通过国家统计局年鉴整理获得更多年份的生态与经济相关数据，并重新回答问题 1 和问题 2；针对此问题，本文首先从国家统计局以及各省统计局的国家统计年鉴以及各省统计年鉴中搜集到 2010-2016 年的数据（由问题一筛选后剩下的 23 个指标）。针对问题一，本文从四种类型的经济—生态环境中各取一个省份作为代表；依据问题一流程，绘制其从 2010 年至 2017 年的耦合度变化规律，并以其为代表对各个类型进行分析。最后针对所有省市，将其 2010 年至 2017 年的耦合度求取平均值，并进行合理的评价与排序。针对问题二，本文依据问题二流程，求解出各省之间自 2010 年至 2017 年的生态环境协作治理的具体方式或策略。并对各省的生态环境协作治理的具体方式动态变化进行分析。

## 三、符号说明

符号	意义	单位
$N_0$	待建类型 2 机组投资成本	\$
$P$	当前等效金额	\$
$F$	未来等效金额	\$
$r$	贴现率	/
$W$	投建机组资金成本	\$
$C$	机组投资成本矩阵	/
$X$	机组投建数量矩阵	/
$P_{总}$	总机组容量	MW
$P_i$	第 i 台机组容量	MW
$C_{ot}$	电厂运行成本	\$
$X'$	增装机组数量矩阵	/
$\lambda$	故障率	次/h
$\mu$	修复率	次/h
$P_A$	机组正常运行概率	/
$P_U$	机组故障概率	/
$OUT$	最大输出功率	MW

$\beta_k$	为机组系统状态概率	/
$lost(k,t)$	系统状态失负荷	MW

## 四、问题假设

- 假设主成分贡献率大于 85%的情况下带来的误差可以忽略不计；
- 假设协作治理仅需考虑地理和经济—环境状况，不需考虑人为影响因素；
- 假设数据来源真实可靠；
- 假设未来几年中国不会发生大的自然灾害。

## 五、模型的建立与求解

### 5.1 问题一模型的建立与求解

题目要求对 2017 年各省生态环境与经济交互状况进行合理的评价与排序。本文第一步对数据进行预处理，首先将附件一中缺失数据剔除，并将附件一中数据进行无量纲化处理；第二步结合主成分分析法对原始数据进行处理，达到降维的目的；第三步运用层次分析法、决策权系数以及熵值法对各指标进行权重分析，之后对其三种权重方法进行综合权重分析，最后结合耦合协调度模型求解出各个省市中经济和生态环境之间的耦合度，并对各省生态环境与经济交互状况进行合理的评价与排序。

#### 5.1.1 数据预处理

由于附件中存在一定量的异常数据，且其会在较大程度上影响评价效果；故本文首先进行数据预处理：

**Step1:** 针对附件一，首先对于其中含有缺失数据的省份，讲所有省份的此指标去除；

**Step2:** 针对附件一，依据下式对其进行无量纲化处理：

$$r_{ij} = \left( X_{ij} - \min \{ X_{ij} \} \right) / \left( \max \{ X_j \} - \min \{ X_j \} \right) \quad (1)$$

$$r_{ij} = \left( \left\{ \max X_{ij} \right\} - X_{ij} \right) / \left( \max \{ X_j \} - \min \{ X_j \} \right)$$

经此两步即完成数据的预处理过程，得到处理后的数据见附表所示。

#### 5.1.2 主成分降维处理

以废气排放为例说明主成分降维处理过程，各指标及其符号如表 1 所示：

表 1：废气动态评价指标

指标	单位	指标意义	指标	单位	指标意义
X1	万吨	废水排放总量	X8	千克	铅排放量
X2	万吨	化学需氧量排放量	X9	千克	汞排放量
X3	万吨	氨氮排放量	X10	千克	镉排放量
X4	万吨	总氮排放量	X11	千克	总铬排放量
X5	万吨	总磷排放量	X12	千克	砷排放量
X6	吨	石油类排放量	X13	千克	六价铬排放量
X7	吨	挥发酚排放量			

针对筛选后剩余的指标，本文采用主成分分析法，对其进行降维处理：经收集和整理得到了用于进行河南省水资源使用情况动态分析的 10 项指标的原始数据见附表 1，借助 MATLAB 实现对原始数据的主成分分析，为了消除量纲和数量级造成的影响，首先对原始数据进行标准化处理，10 个指标的标准化数据见附表 2。计算各指标之间的相关系数，进而得到河南省水资源使用情况动态分析中各评价指标的相关系数矩阵，这是进行主成分分析的基础和条件，表中相关系数值反映了各指标之间的相关程度及其显著性。相关系数矩阵如表 2 所示：

表 2：相关系数矩阵

指标	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>
X <sub>1</sub>	1												
X <sub>2</sub>	-0.31	1											
X <sub>3</sub>	-0.52	0.82	1										
X <sub>4</sub>	-0.55	-0.28	-0.28	1									
X <sub>5</sub>	0.52	0.53	0.39	-0.82	1								
X <sub>6</sub>	-0.48	0.86	0.93	-0.3	0.47	1							
X <sub>7</sub>	-0.47	-0.27	-0.3	0.96	-0.77	-0.32	1						
X <sub>8</sub>	-0.6	-0.33	-0.2	0.94	-0.82	-0.24	0.91	1					
X <sub>9</sub>	0	-0.61	-0.29	0.19	-0.33	-0.3	0.11	0.29	1				
X <sub>10</sub>	-0.43	0.8	-0.97	-0.35	0.5	0.98	-0.35	-0.26	0.24	1			
X <sub>11</sub>	-0.46	0.45	0.45	-0.78	0.48	0.94	-0.12	0.45	0.35	-0.66	1		
X <sub>12</sub>	-0.5	0.63	-0.63	-0.82	0.82	0.92	0	0.65	0.65	0.64	0.52	1	
X <sub>13</sub>	-0.47	0.34	-0.36	0.64	0.97	0.63	0.96	0.78	0.24	-0.32	0.65	0.25	1

观察相关系数矩阵表 2，可以发现所选取指标之间存在着一定的相关关系，其中 X<sub>3</sub> 和 X<sub>6</sub>、X<sub>4</sub> 和 X<sub>7</sub>、X<sub>7</sub> 和 X<sub>8</sub> 分别存在着较强的相关性，相关系数分别为 0.96、0.96、0.91，这进一步验证了对所选指标做主成分分析的科学性和必要性。计算相关系数矩阵的特征值、贡献率及累计贡献率如表 3 所示：

表 3：主成分贡献率

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
Y <sub>1</sub>	5.18	51.80	51.78
Y <sub>2</sub>	3.23	32.30	84.10
Y <sub>3</sub>	1.00	10.00	94.10
Y <sub>4</sub>	0.32	3.23	97.33
Y <sub>5</sub>	0.22	2.40	99.73
⋮	⋮	⋮	⋮
Y <sub>13</sub>	0.01	0.10	100.00

主成分碎石图如下所示：

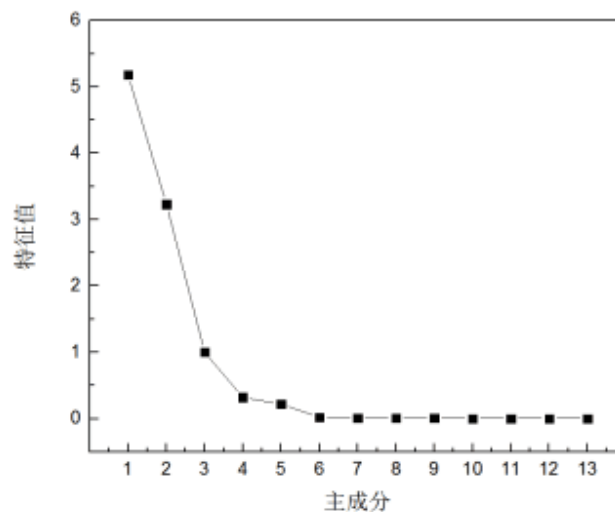


图 2：主成分碎石图



确定提取的主成分个数可综合考虑 3 个方面:(1)提取的所有特征值大于某一特定特征值,一般特定值设为 1,本文同样以 1 为标准; (2) 提取的主成分的累计贡献率要大于 85%,即所提取的主成分要能够概括原有指标的绝大部分信息;由表 3 可知,前 3 个主成分的累计贡献率已经达到了 94.01%,满足按照累计贡献率大于 85% 确定主成分个数的原则; (3) 以做主成分分析时生成的碎石图 (Scree Plot) 做参考,碎石图是按照特征值大小排列的,以特征值为纵坐标、因子数为横坐标生成的主成分散点图,有明显的拐点,一般取拐点前所有的因子及拐点后第一个因子作为主成分 [4]。观察图 4 可得,第一、第二个主成分的特征值较大,其余几个均较小,碎石图在第三个特征值出现拐点。

根据上述分析,在本研究中选取前 3 个主成分对河南省水资源使用情况进行动态分析,从表 3 和 4,我们可以看出前 3 个主成分已经能够概括绝大部分的原始信息,因此提取 3 个主成分因子是合理的. 提取 3 个主成分用于概括原有 10 个指标的绝大部分信息,这既达到了降维、简化的目的,又在一定程度上保证了后续研究结果能准确有效地反映出河南省水资源使用情况动态变化的基本特征。计算主成分的载荷矩阵,主成分载荷是指提取的 3 大主成分与各变量指标之间的相关系数如表 4 所示:

表 4: 主成分载荷矩阵

变量	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
主成分1	0.03	0.35	0.34	-0.34	0.37	0.36	-0.33	-0.32	-0.20	0.36	0.45	0.65	0.65
主成分2	-0.53	0.25	0.32	0.33	-0.23	0.31	0.31	0.35	-0.07	0.28	-0.35	0.72	-0.36
主成分3	-0.15	-0.28	0.18	-0.15	-0.05	0.15	-0.25	0.03	0.86	0.17	0.32	0.30	-0.35

依据主成分选择出其中主要影响指标: 废水排放总量(万吨)、化学需氧量排放量(万吨)和氨氮排放量(万吨); 针对剩下的几个一级指标使用主成分分析法选择出其中的主要影响指标共 25 个如下图 3 所示:



图 3: 主成分筛选出的指标

5.1.3 各指标权重的确定

针对各指标的权重，考虑到每一种赋权法都有一定局限性，为了降低赋权法所带来的差异性，本文综合选择了一种主观赋权法模糊层次分析法(AHP)、两种客观赋权法熵值法和决策权系数进行评价，然后求其权重的均值得到综合权重，在一定程度上相应的缩小了单一赋权法带来的局限性和弊端。

Step1: 层次分析法

应用层次分析法解决问题时，首先要将问题条理化、层次化，构造出一个有层次的结构模型。这些层次可分为三类：最高层：经济对环境的影响。中间层：GDP、人口、地方财政支出、地方财政收入以及居民收支情况。最底层：严重、轻度、基本无影响。建立层次结构如图 4 所示：

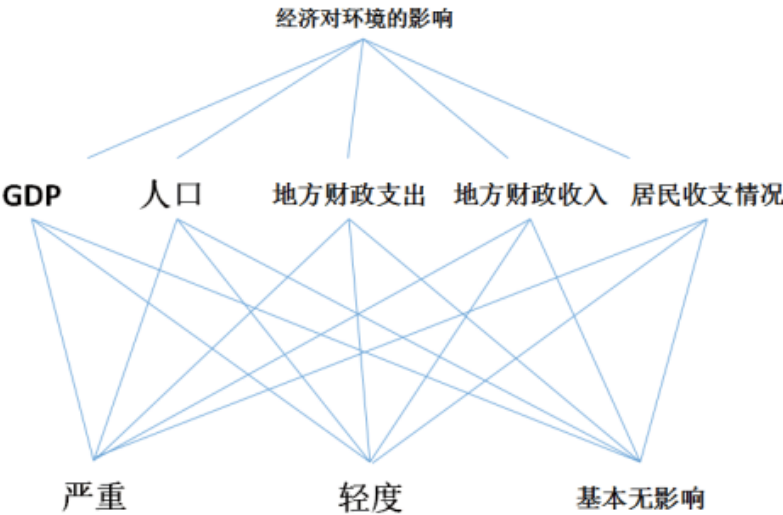


图 4：层次分析层次结构图

建立准则层判断矩阵：

表 5：准则层判断矩阵

A	B1	B2	B3	B4	B5
B1	1	5	4	6	2
B2	1/4	2	1/2	2	1/3
B3	1/4	2	1	2	1/2
B4	1/6	1/2	1/2	1	1/3
B5	1/2	3	2	3	1

建立方案层判断矩阵：

表 6：方案层判断矩阵

B1	C1	C2	C3	B2	C1	C2	C3	B3	C1	C2	C3
C1	1	5	7	C1	1	1/4	1/2	C1	1	1/3	1/2
C2	1/5	1	3	C2	4	1	3	C2	3	1	4
C3	1/7	1/3	1	C3	2	1/3	1	C3	1/4	1/4	1
B4	C1	C2	C3	B5	C1	C2	C3				
C1	1	1/4	1/5	C1	1	2	5				
C2	4	1	1	C2	1/2	1	4				
C3	5	2	2	C3	1/5	1/4	1				

对判断矩阵的一致性检验。

(i) 计算一致性指标 CI

$$CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \tag{2}$$



(ii) 查找相应的平均随机一致性指标 RI 。用随机方法构造 500 个样本矩阵：随机地从 1~9 及其倒数中抽取数字构造正互反矩阵，求得最大特征根的平均值  $\max \lambda'$ ，并定义

$$RI = \frac{\lambda'_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

(iii) 计算一致性比例 CR

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

当  $CR < 0.1$  时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，否则对应判断矩阵作适当修正。

对层次总排序作一致性检验。检验仍象层次总排序那样由高层到低层逐层进行。这是因为虽然各层次均已经过层次单排序的一致性检验，各成对比较判断矩阵都已具有较为满意的一致性。但当综合考察时，各层次的非一致性仍有可能积累起来，引起最终分析结果较严重的非一致性。

设 B 层中与  $A_j$  相关的因素的成对比较判断矩阵在单排序中经一致性检验，求得 单排序一致性指标为  $CI(j)$ ，（ $j = 1, \dots, m$ ），相应的平均随机一致性指标为  $RI(j)$ （ $CI(j)$ 、 $RI(j)$  已在层次单排序时求得），则 B 层总排序随机一致性比例为

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^m CI(j)a_j}{\sum_{j=1}^m RI(j)a_j} \quad (5)$$

当  $CR < 0.1$  时，认为层次总排序结果具有较满意的一致性并接受该分析结果。

结合决策权系数法和熵权法，并对三者求得权重进行均值处理；求解出经济因素以及生态环境因素的权重值如表 7 及表 8 所示：

表 7：生态环境综合评价指标及权重

一级指标	AHP	熵值法	决策权系数	综合权重	二级指标	AHP	熵值法	决策权系数	综合权重
废气	0.41	0.14	0.22	0.26	二氧化硫排放量（吨）	0.41	0.12	0.22	0.25
	0.3	0.4	0.21	0.30	烟（粉）尘排放量（吨）	0.31	0.37	0.22	0.30
废水	0.5	0.11	0.26	0.29	氮氧排放量（万吨）	0.57	0.02	0.33	0.31
	0.17	0.27	0.07	0.17	化学需氧量排放量（吨）	0.2	0.22	0.1	0.17
废渣	0.02	0.21	0.23	0.15	废水排放总量（万吨）	0.04	0.15	0.27	0.15
	0.5	0.01	0.26	0.26	生活垃圾清运量（万吨）	0.51	0.02	0.27	0.25
	0.33	0.12	0.19	0.21	无害化处理厂数（座）	0.33	0.1	0.19	0.21
	0.12	0.23	0.21	0.19	生活垃圾无害化处理率（%）	0.12	0.21	0.21	0.18

表 8：生态环境综合评价指标及权重

一级指标	AHP	熵值法	决策权系数	综合权重	二级指标	AHP	熵值法	决策权系数	综合权重
GDP	0.41	0.332	0.352	0.37	地区生产总值（亿元）	0.45	0.27	0.39	0.37
	0.42	0.112	0.042	0.19	人均地区生产总值（元/人）	0.43	0.08	0.05	0.19
	0.05	0.312	0.232	0.20	住宿和餐饮业增加值（亿元）	0.10	0.24	0.28	0.21
	0.25	0.052	0.722	0.34	其他行业增加值（亿元）	0.26	0.02	0.73	0.34
人口	0.02	0.132	0.102	0.08	年末常住人口（万人）	0.01	0.10	0.11	0.07
	0.2	0.212	0.312	0.24	城镇人口	0.22	0.17	0.33	0.24
	0.25	0.302	0.402	0.32	乡村人口	0.25	0.28	0.40	0.31
地方财政支出	0.26	0.402	0.222	0.30	地方财政一般预算支出（亿元）	0.28	0.36	0.24	0.29
	0.14	0.202	0.262	0.20	地方财政其他支出（亿元）	0.16	0.16	0.28	0.20
地方财政收入	0.22	0.352	0.332	0.30	地方财政税收收入（亿元）	0.28	0.27	0.39	0.31
	0.03	0.002	0.312	0.12	地方财政一般预算收入（亿元）	0.04	0.01	0.32	0.12
居民收支情况	0.33	0.132	0.172	0.21	居民人均可支配收入（元）	0.38	0.06	0.22	0.22
	0.04	0.282	0.152	0.16	城镇居民人均消费支出（元）	0.06	0.24	0.17	0.16
	0.35	0.182	0.222	0.25	农村居民人均消费支出（元）	0.36	0.15	0.23	0.25

#### 5.1.4 耦合协调度的确定

耦合度是指两个(或两个以上的)系统通过受自身和外界的各种相互作用而彼此影响的现象，耦合度模型即<sup>[3-6]</sup>:

$$C_n = \{(m_1, m_2, m_3) / [\prod(m_i + m_j)]\}^{1/n} \quad (6)$$

由于系统之间的耦合关系存在相似性，耦合现在被广泛地应用到研究城市化与生态环境交互胁迫关系之中，即：

$$C = \{f(U)g(E)/[f(U) + f(E) 1/2]^2\}^{1/2} \quad (7)$$

进一步构造城市化与生态环境的耦合协调度模型，来判别城市化与生态环境的协调程度，即：

$$\begin{cases} T = \alpha f(U) + \beta g(E) \\ D = \sqrt{CT} \end{cases} \quad (8)$$

式中，C 是耦合度，f( U) 是城市化子系统，g( E) 是生态环境子系统；在城市化与生态环境综合系统中， C 代表城市化与生态环境的耦合度， D 是城市化与生态环境的耦合协调度， T 代表城市化与生态环境综合调和指数； $\alpha$  和  $\beta$  分别代表城市化和生态环境的贡献份额。根据耦合协调度 D 及城市化子系统 f( U) 和生态环境子系统 g( E) 的大小，同时借鉴物理学关于协调类型的划分，可以将城市化与生态环境的耦合类型分为 3 大类 (表 9)：

表 9：经济与环境的耦合协调类型划分

类型		亚类型	子类型	
协调发展	$0.8 < Q \leq 1$	高级协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	高级协调-经济滞后
			$f(U) - g(E) > 0.1$	高级协调-环境滞后
			$0 \leq  f(U) - g(E)  \leq 0.1$	高级协调
转型发展	$0.5 < Q \leq 0.8$	基本协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	基本协调-经济滞后
			$f(U) - g(E) > 0.1$	基本协调-环境生态滞后
			$0 \leq  f(U) - g(E)  \leq 0.1$	基本协调
不协调发展	$0.3 < Q \leq 0.5$	基本不协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	基本不协调-经济受阻
			$f(U) - g(E) > 0.1$	基本不协调-环境生态滞后
			$0 \leq  f(U) - g(E)  \leq 0.1$	基本不协调
	$0 < Q \leq 0.3$	严重不协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	严重不协调-经济受阻
			$f(U) - g(E) > 0.1$	严重不协调-环境生态滞后
			$0 \leq  f(U) - g(E)  \leq 0.1$	严重不协调

探求经济与生态环境子系统对城市化与生态环境耦合协调度的影响，本文分析了  $\alpha=1/2$ ， $\beta=1/2$  经济与生态环境所占贡献份额的情况，基于此类型经济和生态环境子系统的贡献份额，从而测算经济与生态环境耦合协调度的变化情况如图 4 所示：

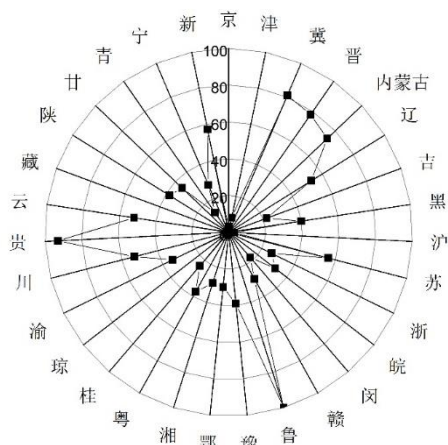


图 4：各省份经济和生态环境的偶联值

各省份经济与生态环境耦合协调度的变化情况部分数据如表 5 所示（全部数据见附件）：

表 10：各省份经济与生态环境耦合协调度的变化情况

次序	省份	经济与生态环境耦合协调度
1	山东省	1.00
2	贵州省	0.93
3	河北省	0.81
4	山西省	0.78
5	内蒙古自治区	0.74
6	新疆维吾尔自治区	0.57
7	江苏省	0.56
8	辽宁省	0.53
⋮	⋮	⋮
31	西藏自治区	0.01

由图 4 和表 10 可以看出：以山东省为代表的山东省、贵州省等区域一直维持在高级协调-生态环境滞后阶段。这一时期经济水平继续增加，但生态环境却开始出现波动变化，究其原因部分污染性行业企业逐步开始运行，环境质量开始下降，进而出现各种极端天气，影响该地区整体的生态经济系统的协调发展。

以新疆省为代表的新疆省江苏省等区域从基本协调逐步过渡到高级协调-生态环境滞后阶段。经济水平在这一阶段呈线性上升，生态环境综合水平稳步提高。

以河南省为代表的河南省、安徽省等区域城市化子系统和生态环境子系统越来越协调，协调类型从严重不协调-经济发展受阻逐步过渡到基本协调阶段。这一时期的城市化经济水平快速增加，城市人口逐渐增加，生态环境开始受到了城市化快速发展的影响，出现了生态响应。这一时期京津冀地区的经济发展以高耗能发展模式为主，产业结构以二产为主，资源消耗过快，但仍在资源环境承载力范围之内。

以天津市为代表的天津市、北京市等区域的经济与生态环境耦合协调度呈下降趋势，但一直保持在严重不协调—城市化发展受阻阶段。这一时期的生态环境子系统的综合水平明显高于城市化子系统的综合水平，生态环境综合水平呈上升趋势，其对生态环境并没有构成严重影响。

## 5.2 问题二模型的建立与求解

### 5.2.1 基于因子分析的生态环境综合评分

#### 1) 对原始数据进行标准化处理

进行因子分析<sup>[7]</sup>的指标变量有 8 个，分别为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_8$ ，共有 31 个评价对象，第  $i$  个评价对象的第  $j$  个指标的取值为 $a_{ij}, i = 1, 2, \dots, 32; j = 1, \dots, 8$ 。将各指标值 $a_{ij}$ 转化成标准化指标 $\bar{a}_{ij}$ ，有

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij} - \bar{\mu}_j}{s_j}, i = 1, 2, \dots, 32; j = 1, \dots, 8 \quad (9)$$

其中： $\bar{\mu}_j = \frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} a_{ij}, s_j = \sqrt{\frac{1}{32-1} \sum_{i=1}^{32} (a_{ij} - \bar{\mu}_j)^2}$ ，即 $\bar{\mu}_j, s_j$ 为第  $j$  个指标的样本均值和样本标准差。

$$\bar{x}_j = \frac{x_j - \bar{\mu}_j}{s_j}, j = 1, \dots, 8 \quad (10)$$

称其为标准化指标变量。

#### 2) 计算相关系数矩阵 R

相关系数矩阵  $R = (r_{ij})_{8 \times 8}$ ，有：

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{32} \tilde{a}_{ki} \tilde{a}_{kj}}{32-1}, i, j = 1, \dots, 8 \quad (11)$$

其中： $r_{ij} = 1; r_{ij} = r_{ji}$ ,  $r_{ij}$  是第  $i$  个指标与第  $j$  个指标的相关系数。

### 3) 计算初等载荷矩阵

计算相关系数矩阵  $R$  的特征值  $\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_4 \geq 0$ ，及对应的特征向量  $\mu_1, \dots, \mu_4$ ，其中  $\mu_j = [\mu_{1j}, \dots, \mu_{4j}]^T$ ，初等载荷矩阵：

$$A = [\sqrt{\lambda_1} \mu_1, \sqrt{\lambda_2} \mu_2, \sqrt{\lambda_3} \mu_3, \sqrt{\lambda_4} \mu_4] \quad (12)$$

### 4) 选择 $m(m \leq 8)$ 个主因子

根据初等载荷矩阵，计算各个公共因子的贡献率，并选择  $m$  个主因子。对提取的因子载荷矩阵进行旋转，得到矩阵  $A_2 = A_1^{(m)T}$ （其中  $A_1^{(m)}$  为  $A_1$  的前  $m$  列， $T$  为正交矩阵），构造因子模型

$$\begin{cases} \tilde{x}_1 = \alpha_{11} F_1 + \dots + \alpha_{1m} F_m \\ \tilde{x}_8 = \alpha_{81} F_1 + \dots + \alpha_{8m} F_m \end{cases} \quad (13)$$

本例中，我们选取两个主因子，第一公共因子  $F_1$  为销售利润因子，第二公共因子  $F_2$  为资产收益因子。利用 Matlab 程序计算得到旋转后的因子贡献及贡献率见下表 3.5.2, 因子载荷阵见表 3.5.3。

表 6：贡献率数据

因子	贡献	贡献率	累计贡献率
1	1.7794	44.49	44.49
2	1.6673	43.68	88.17

表 7：旋转因子分析表

指标	主因子1	主因子2
二氧化硫排放量（吨）	0.7941	0.0181
烟（粉）尘排放量（吨）	-0.1302	0.7496
废水排放总量（万吨）	0.7082	0.1885
生活垃圾清运量（万吨）	-0.1432	0.4173
无害化处理厂数（座）	-0.2009	0.125
生活垃圾无害化处理能力（吨/日）	0.4231	-0.1542
生活垃圾无害化处理量（万吨）	0.2464	-0.2358
生活垃圾无害化处理率（%）	0.351	0.6179

### 5) 计算因子得分，并进行综合评价

用回归方法求各因子得分函数

$$\hat{F}_j = \beta_{j1} \tilde{x}_1 + \beta_{j2} \tilde{x}_2 + \beta_{j3} \tilde{x}_3 + \beta_{j8} \tilde{x}_8, j = 1, 2 \quad (14)$$

则有

$$\begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \vdots & \vdots \\ \beta_{18} & \beta_{28} \end{bmatrix} = R^{-1} A_2 \quad (15)$$

且

$$\hat{F} = (\hat{F}_{ij})_{16 \times 2} = X_0 R^{-1} A_2 \quad (16)$$

其中 $X_0 = (\tilde{a}_{ij})_{31 \times 8}$ 是原始数据的标准化数据矩阵；R 为相关系数矩阵；A2 是上一步骤中得到的载荷矩阵。

计算各个因子得分函数为

$$F_1 = 0.506\tilde{x}_1 + 0.1615\tilde{x}_2 + \cdots + 0.5015\tilde{x}_8 \quad (17)$$

$$F_2 = -0.045\tilde{x}_1 + 0.5151\tilde{x}_2 + \cdots + 0.0199\tilde{x}_8 \quad (18)$$

利用综合因子得分公式

$$F = \frac{44.49F_1 + 41.68F_2}{86.17} \quad (19)$$

计算出 31 个省份的生态环境综合得分见表 8：

表 8：生态环境综合得分

排名	省份	$F_1$	$F_2$	F
1	河北	0.0355	1.5691	0.9269
2	山西	0.0105	1.3587	0.8006
3	山东	0.997	0.4059	0.6967
4	陕西	0.4538	0.9048	0.6478
5	北京	-0.0663	1.4577	-0.1364
6	天津	-1.2891	-0.1584	-0.5931
7	宁夏	-1.5421	-0.5319	-0.5789
8	甘肃	-1.3567	-0.9737	-0.6745
...	...	...	...	...
31	西藏	-1.9567	-1.4249	-0.9736

### 5.2.2 基于因子分析的经济综合评分

依据与 5.2.1 相同的处理方法即可求得 31 个省份的经济综合得分见表 9：

表 9：经济综合得分

排名	省份	$F_1$	$F_2$	F
1	上海	0.1415	1.5734	0.7552
2	北京	0.1105	1.6523	0.7462
3	广州	0.9869	0.4031	0.6854
4	深圳	0.8678	0.3731	0.6831
5	天津	-0.1643	0.3657	-0.1547
6	成都	-1.3591	-0.1234	-0.5847
7	杭州	-1.6462	-0.4461	-0.6261
8	武汉	-1.7617	-0.6542	-0.6259
...	...	...	...	...
31	银川	-1.9563	-1.4312	-0.6943

将各省的经济—生态绘制如图 5 所示：

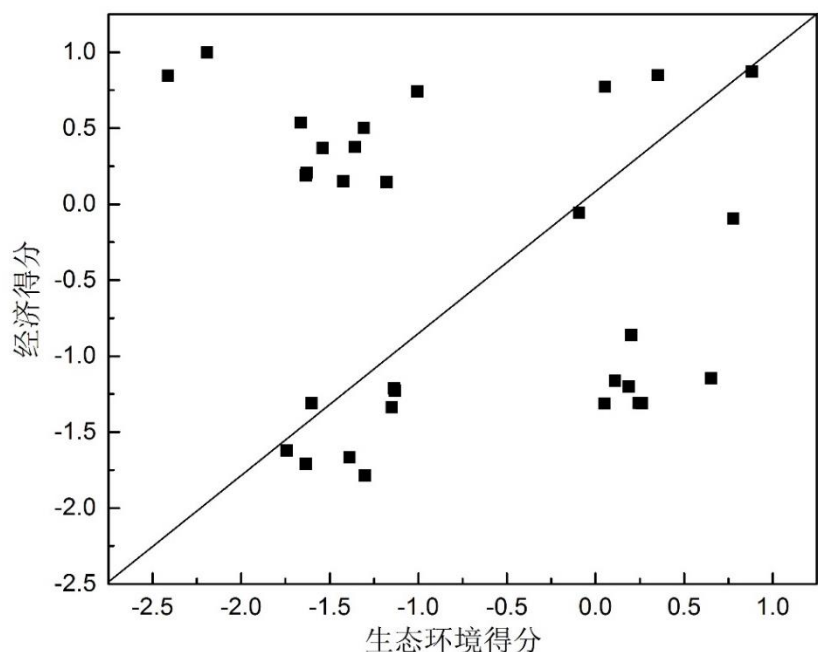


图 5：各省经济—生态分布图

为了更清楚地了解各省生态环境得分与经济得分，下面将所有省份按照生态环境得分与经济得分划分为四种类型（高经济水平高生态环境、高经济水平低生态环境、低经济水平高生态环境、低经济水平低生态环境），具体分类结果如表 10 所示：

表 10：2017 年各省市四种类型的划分

环境好-经济好	上海，海南，北京
环境好-经济差	江苏，福建，重庆，山西，湖北，浙江，甘肃，湖南，四川，天津
环境差-经济好	河南，辽宁，黑龙江，安徽，吉林，云南，广西，河北
环境差-经济差	青海，内蒙古，陕西，贵州，江西。广东，宁夏，山东，西藏，新疆

### 5.2.3 各省环境治理的成本-收益综合指数构建

为了更深入和清晰地了解一个地区的环境治理成本-收益，下面构建环境治理的成本-收益指数来分析治理的有效性：

$$P_i = \frac{\arctan(F_i) + \pi}{\arctan(F'_i) + \pi} (i = 1, 2, \dots, 31) \quad (20)$$

$$R_i = \frac{P_i - \min\{P_i, i = 1, 2, \dots, 31\}}{\max\{P_i, i = 1, 2, \dots, 31\} - \min\{P_i, i = 1, 2, \dots, 31\}} \quad (21)$$

$F_i$  代表的是环境治理的综合成本得分， $F'_i$  代表的是环境治理的综合收益得分， $R$  为环境治理的成本-收益综合指数，代表一个地区环境治理有效与否， $R$  的值在 0 至 1 区间变动。 $R$  值越大，说明该地区环境治理的水平越高，有效性越强。根据以上方程计算可以得到各省环境治理的成本-收益综合指数，如表 11 所示。

表 11：各省的经济—生态综合指数

排序	省份	得分	排序	得分	省份
1	上海	1	17	0.395	安徽



2	广州	0.934	18	0.347	吉林
3	北京	0.867	19	0.307	云南
4	深圳	0.812	20	0.245	广西
5	福建	0.795	21	0.225	河北
6	苏州	0.785	22	0.221	青海
7	杭州	0.732	23	0.208	内蒙古
8	湖北	0.684	24	0.185	陕西
9	浙江	0.652	25	0.166	贵州
10	海南	0.619	26	0.136	江西
11	湖南	0.591	27	0.083	广东
12	四川	0.569	28	0.073	宁夏
13	天津	0.511	29	0.035	山东
14	河南	0.481	30	0.023	西藏
15	辽宁	0.455	31	0.001	新疆
16	黑龙江	0.442			

实证结果发现，环境污染和环境治理都并非单一政府管理或是通过单一行政区就可以成功的，需要政府-市场-社会的全面协同努力。

#### （一）政府间协同治理模式

实证结果显示，我国环境治理的实际成本-收益具有明显区域性，不同的区域有各自不同的特点，根据这些差异，结合当前国际上环境污染治理采用的“管理局”式、“委员会”式和协会式三种典型的政府间协同治理模式。

1.“管理局”式治理模式：以京津冀为例前已述及，京津冀两市一省环境治理的经济—环境指数差异很大，首都北京享受了治理带来的大量正外部性，经济—环境指数远高于其它两地。河北作为三地自然资源最丰富的地区，是京津冀地区天然的水源地，承担了最大的治理成本却并未得到足够的补偿，导致治理动力不足，京津冀地区整体治理水平一般。因此，建议京津冀地区选择管理局式的治理模式。

具体思路如下：由中央政府建立一个管理局作为统一的跨区域环境治理机构，该机构只对中央政府负责，在处理京津冀环境治理问题时，三地相关部门在行政上完全听令于该管理局。这就要求京津冀三地都移交一部分权力和中央部委共同建立该管理局，对京津冀环境治理做出统一的决策、管理和协调。该管理局的具体职能是：设定统一的治理标准和规划，制定相应的法规和条例作为实施的保障；统一检测三地环境污染，统一监管环境治理开展；共享信息和基础设施以提高区域治理效率；通过技术转移和生态补偿实现公平。

2.“委员会”式治理模式：以长三角地区为例实证发现，长三角地区的治理投入和产出都比较接近而且在全国范围内居于前列，同时，江沪浙三地的治理能力都较强。因此，建议选择“委员会”式的治理模式。

具体思路如下：由中央政府和三地地方政府共同组建一个执行会议委员会，中央政府主要是规划和协调而非行使行政权力。执行会议委员会作为常设机关，在听取各方意见的情况下做出决策，实施委员会作为执行机关听令于执行会议委员会，同时听取中央政府的规划意见。中央政府对项目给予财政支持，由执行委员会上报预算。实施委员会下设次级委员会分别针对区域环境污染问题展开治理。

3.协会式治理模式：以四大自治区为例实证发现，四大自治区的治理水平都比较高，同时由于文化习俗等因素，这四个地区长期以来都处于自治状态。因此，建议这四大自治区选择协会式的治理模式。

具体思路如下：由中央政府牵头联合地方政府召开一定频率的区域环境治理会议，主要目的在于协调府际间的关系以及开展经验学习等。中央政府并不涉及到具体的实施过程，仅作为第三方联系各地方同时给出必要的建议。

## （二）政府-市场协同治理模式

除了构建政府间的协同治理模式，区域环境治理还应充分发挥市场和政府的作用。可通过产权界定和市场一体化推进政府-市场协同治理。

## （二）政府-社会协同治理模式

除了政府和市场外，社会团体和居民都是区域环境治理的主体，可通过鼓励公共参与和公众监督来实现政府-社会的协同治理。首先，环境污染不仅来源于生产，也有一部分来自于居民的生活。环保公益组织可以通过开展各种公益项目贡献自己的力量，同时通过倡议、宣传等方式将环保意识植根于每个居民的心中；每个人都可以尝试更健康更环保的生活方式，比如尽量使用公共交通以减少能源的消耗和尾气的排放；尽量使用清洁环保生产的产品等。公共参与也有助于居民认同国家的相关政策，比如退耕还林政策等，减少不必要的冲突。

# 5.3 问题三模型的建立与求解

问题三要求通过国家统计局年鉴整理获得更多年份的生态与经济相关数据，并重新回答问题 1 和问题 2。针对问题三，本文首先从国家统计局以及各省统计局的国家统计年鉴以及各省统计年鉴中搜集到 2010-2016 年的数据（由问题一筛选后剩下的 23 个指标）。针对问题一，本文从四种类型的经济—生态环境中各取一个省份作为代表；依据问题一流程，绘制其从 2010 年至 2017 年的耦合度变化规律，并以其为代表对各个类型进行分析。最后针对所有省市，将其 2010 年至 2017 年的耦合度求取平均值，并进行合理的评价与排序。针对问题二，本文依据问题二流程，求解出各省之间自 2010 年至 2017 年的生态环境协作治理的具体方式或策略。并对各省的生态环境协作治理的具体方式动态变化进行分析。

## 5.3.1 问题一的再分析

本文首先从国家统计局以及各省统计局的国家统计年鉴以及各省统计年鉴中搜集到 2010-2016 年的数据（由问题一筛选后剩下的 23 个指标）。

Step1：分别从高经济水平高生态环境、高经济水平低生态环境、低经济水平高生态环境、低经济水平低生态环境四种类型中选取上海、西藏、河南与湖北作为代表进行分析。

由问题一相同步骤即可分别求得上海、西藏、河南与湖北自 2010 至 2017 年的耦合协调度值，将其绘制如图 6 所示：

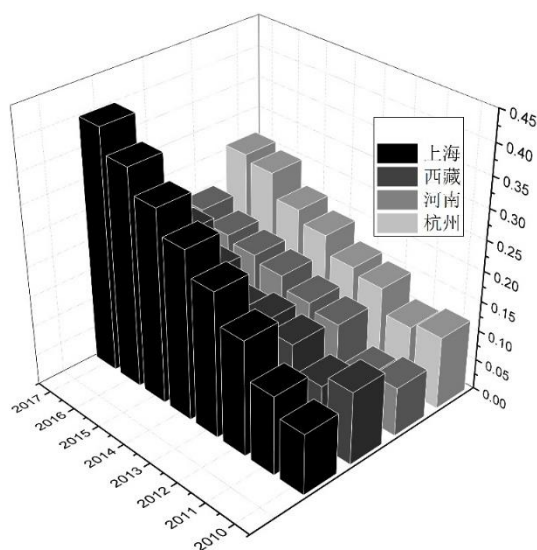


图 6：各式自 2010 至 2017 年的耦合协调度值

采用相同步骤求取 31 个省市自 2010 年至 2016 年的数据，并对 2010—2017 年的耦合度求取平均值，结果如表 12 所示：

表 12：各省市平均耦合协调度值

次序	省份	经济与生态环境耦合协调度
1	山东省	1
2	河北省	0.91
3	内蒙古自治区	0.79
4	山西省	0.76
5	贵州省	0.72
6	新疆维吾尔自治区	0.55
7	辽宁省	0.54
8	江苏省	0.51
⋮	⋮	⋮
31	西藏自治区	0.01

由表 12 可知：将所有省市自 2010 至 2017 年的生态环境与经济的偶联值求出后，求解其平均值，大部分省市的排序没有发生变化，只有贵州省从第一等级降到了第二等级，说明只有贵州省的数据发生了波动，可能是由于数据误差或者突发灾害引起，而其他省市的等级均没变化，证明了该模型的正确性，避免了数据的偶然性，提高了结果的可信度和信服力。

### 5.3.2 问题二的再分析

根据所搜寻 2010 年至 2016 年间各省的生态环境和经济数据，即可求得每年各省的分类情况，2010 年的分类情况见表 13，完整数据见附件：

表 13：2010 年各省市四种类型的划分

环境好-经济好	上海，重庆，北京
环境好-经济差	甘肃，山西，福建，江苏，杭州，湖北，浙江，吉林，湖南，四川
环境差-经济好	天津，河北，辽宁，内蒙古，安徽，海南，云南，江西
环境差-经济差	河南，青海，黑龙江，陕西，贵州，广西，广东，宁夏，山东，西藏，新疆

对比 2010 年—2017 年各省的分类情况可以发现，大部分省市的分类情况无明显变化，证明管理模式的有效性与准确性，部分省市如：重庆，河南的等级发生了变化，大部分省市的分类情况没有发生变化，所以可以说明依据此分类结合地理位置进行划分的方法是有迹可循的，具体各省之间生态环境协作治理的具体方式或策略见问题二。

## 六、模型的评价与推广

### 6.1 模型的优点

本模型在以主成分分析法进行降维处理，在保证精度的前提下大大降低了模型的复杂度，有利于模型的后处理过程，；且本文为了降低综合评价算法所带来的误差，采用了层次分析法、决策权系数和熵权法对各指标进行权重分析，之后对其三种权重方法进行综合权重分析。

问题二中采用因子分析，分别对各省的经济和生态环境求解其综合评价结果，之后将各省的经济—生态环境值绘制出来，依据此图将其划分为四种类型（高经济水平高生态环境、高经济水平低生态环境、低经济水平高生态环境、低经济水平低生态环境），并引入有效性指标求得各省的有效性，结合各省自身的位置对其进行协作治理，依据有效性指标提供在保障 2017 年各省经济发展的同时如何展开各省之间生态环境协作治理的具体方式或策略。

## 6.2 模型的缺点

对于主成分分析，当主成分的因子负荷既有正值也有负值时，综合评价意义就不明确，命名的清晰度较低。而因子分析在计算得分时采用的使最小二乘法，这个方法有时可能会发生失效。

虽然本文采用综合评价方法，但是也难以避免的会导致一些误差。

## 6.3 模型的推广

问题二中根据各省市经济—生态环境值绘制出来，依据此图将其划分为四种类型（高经济水平高生态环境、高经济水平低生态环境、低经济水平高生态环境、低经济水平低生态环境），引入有效性指标求得各省的有效性，结合各省自身的位置对其进行协作治理。使相邻几个省市依据有效性水平的差异使用政府间协同模式、政府—市场协同治理模式以及政府—社会协同治理模式，对实际地区经济—生态协作治理的具体方式或策略有一定的指导意义。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴.北京:中国统计出版社,2012.
- [2] 王振波,方创琳,王婧.1991 年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式.地理学报,2011,66( 12):1657-1668.
- [3] Wang Z B,Fang C L, Cheng S W.E. volution of coordination degree of eco-economic system and early-warning in the Yangtze River Delta. Journal of Geographical Sciences, 2013,23(1):147-162.
- [4] 方创琳,杨玉梅.城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J].干旱区地理,2006,29(1):1-8.
- [5] 乔标,方创琳.城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J].生态学报,2005,25(11):3003-3009.
- [6] 刘耀彬,李仁东,宋学锋.中国城市化与生态环境耦合度分析[J].地理学报,2005,20(1):105-112.
- [7] 林海明,张文霖.主成分分析与因子分析的异同和 SPSS 软件——兼与刘玉玫、卢纹岱等同志商榷[J].统计研究,2005(03):65-69.

## 附录

### 附录 A：问题三 Matlab 源程序

%%%函数一

function [fff] = f3\_20(T,X)

%F3\_20

a0=[0.064 48 401

0.014 43 212

0.053 42 781

0.007 40 832

0.328 37 86

0.008 44 382

0.001 35 595

0.023 41 284

0.005 36 665

0.008 34 600

0.042 43 350

0.054 38 250

0.217 33 200

];% ??a,b,c

b0=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];

b0=[b0;T];

%limited number

cot=zeros(length(a0),1);%??? hangxiangliang

for k=1:length(a0)

cot(k)=(a0(k,1).\*(X(k)^2)+a0(k,2).\*X(k)+a0(k,3)).\*b0(k);

end

fff=sum(cot);

end

%%%函数二

function [costy] = f3\_21(T)

%F3\_2 %???2030????????????????????????????

costy=0;

%????????????\

P=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91 0.82  
0.73 0.63 ];

P1=1.3\*1.2\*2850.\*P;P2=2850.\*P\*1.3+400;PP=sort([P1,P2]');PP=PP(2,:);PP=PP';

a0=[0.064 48 401

0.014 43 212

0.053 42 781

0.007 40 832



```

0.328    37    86
0.008    44   382
0.001    35   595
0.023    41   284
0.005    36   665
0.008    34   600
0.042    43   350
0.054    38   250
0.217    33   200
];% ??a,b,c
b0=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];
b0=[b0;T];
%limited number
lb0=[10 15.2 40 69 4 54.3 150 20 140 100 40 25 15];
ub0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
A=-1.*b0';
for l=1:24
b=-PP(l);
costly=0;
[costlx,costly]=fmincon(@(X) f3_20(T,X),ones(length(lb0),1),A,b,[],[],lb0,ub0);
costy=costy+costly;
end
%???????????
SS0=0.08882743.*10^6.*[220 90 60 50];
costy=365*costy+SS0*T;
end

%%%执行函数
clear all,clc
T=[];Costy0=inf;
for i=1:4
    for j=1:7
        for k=1:11
            for m=1:11
                if (i-1). *250+(j-1). *100+65. *(k-1)+50. *(m-1)>4446-3405
                    T=[T;i-1,j-1,k-1,m-1];
                end
            end
        end
    end
end
T=T';
for o=1:2297
    o

```

```

o
[Costy1]=f3_21(T(:,o));
%Costy1=Costy1+([220 90 60 50].*10^6)*T(:,o);
if Costy1<Costy0
    Costy0=Costy1;
    TT=T(:,o);
end
end
end

```

## 附录 B：问题四 Matlab 源程序

%%%%%%%%函数一

function [fff] = f3\_20(T,X)

%F3\_20

a0=[0.064 48 401

0.014 43 212

0.053 42 781

0.007 40 832

0.328 37 86

0.008 44 382

0.001 35 595

0.023 41 284

0.005 36 665

0.008 34 600

0.042 43 350

0.054 38 250

0.217 33 200

];% ??a,b,c

b0=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];

b0=[b0;T];

%limited number

cot=zeros(length(a0),1);% ??? hangxiangliang

for k=1:length(a0)

cot(k)=(a0(k,1).\*(X(k)^2)+a0(k,2).\*X(k)+a0(k,3)).\*b0(k);

end

fff=sum(cot);

end

%%%%%%%%函数二

function [costy] = f3\_21(T)

%F3\_2 %???2030????????????????????

costy=0;

%??????????\

P=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91 0.82

```

0.73 0.63 ];
P1=1.3*1.2*2850.*P;P2=2850.*P*1.3+400;PP=sort([P1,P2]');PP=PP(2,:);PP=PP';
a0=[0.064    48    401
0.014    43    212
0.053    42    781
0.007    40    832
0.328    37    86
0.008    44    382
0.001    35    595
0.023    41    284
0.005    36    665
0.008    34    600
0.042    43    350
0.054    38    250
0.217    33    200
];% ??a,b,c
b0=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];
b0=[b0;T];
%limited number
lb0=[10 15.2 40 69 4 54.3 150 20 140 100 40 25 15];
ub0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
A=-1.*b0';
for l=1:24
b=-PP(l);
cost1y=0;
[cost1x,cost1y]=fmincon(@(X) f3_20(T,X),ones(length(lb0),1),A,b,[],[],lb0,ub0);
costy=costy+cost1y;
end
%??????????
SS0=0.08882743.*10^6.*[220 90 60 50];
costy=365*costy+SS0*T;
end

%%%%%%%%函数三
function [costy] = f42(T,PP)
%F42
N=sum(T)+32;%?????

%%%%%%%%Part1???????????
M%%%%%%%%
M0=zeros(1,N);
M1=eye(N);
%2

```

```

t2=combntns(N,2);R2=zeros(t2,2);h2=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N

        R2(h2,:)= [i,j];
        h2=h2+1;
    end
end
M2=zeros(t2,N);
for i=1:t2
    M2(i,R2(i,1))=1;
    M2(i,R2(i,2))=1;
end
%3

t3=combntns(N,3);R3=zeros(t3,3);h3=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            R3(h3,:)= [i,j,k];
            h3=h3+1;
        end
    end
end
M3=zeros(t3,N);
for i=1:t3
    M3(i,R3(i,1))=1;
    M3(i,R3(i,2))=1;
    M3(i,R3(i,3))=1;
end
%4

t4=combntns(N,4);R4=zeros(t4,4);h4=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            for l=k+1:N
                R4(h4,:)= [i,j,k,l];
                h4=h4+1;
            end
        end
    end
end
M4=zeros(t4,N);

```

```

for i=1:t4
    M4(i,R4(i,1))=1;
    M4(i,R4(i,2))=1;
    M4(i,R4(i,3))=1;
    M4(i,R4(i,4))=1;
end
MM=[M0;M1;M2;M3;M4];
M=abs(MM-1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part2 ???????? P%%%%%%%%
PA0=[0.899845917 0.979865772 0.96 0.95010846 0.979865772 0.960105217 0.879518072 0.99005425
0.920168067 0.911930044 0.966887417 0.978552279 0.967741935];
PU0=[0.100154083 0.020134228 0.04 0.04989154 0.020134228 0.039894783 0.120481928 0.00994575
0.079831933 0.088069956 0.033112583 0.021447721 0.032258065];
PMax0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
PMax=zeros(N,1);
PA=zeros(N,1);
PU=zeros(N,1);
b00=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];
b00=[b00;T];
fl=1;
for i=1:13
    for j=1:b00(i)
        PA(fl)=PA0(i);
        PU(fl)=PU0(i);
        PMax(fl)=PMax0(i);
        fl=fl+1;
    end
end
PMax=PMax';
PMax= repmat(PMax,size(M,1),1);
PA=PA';
PA= repmat(PA,size(M,1),1);
PU=PU';
PU= repmat(PU,size(M,1),1);
Pp=M.*PA+abs(M-1).*PU;
P=prod(Pp,2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part3%%%%%%%%
p=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91 0.82
0.73 0.63 ];
p=p';
stdd0=PP.*p;
stdd= repmat(stdd0,size(M,1),1);
A1=M.*PMax;
A2=sum(A1,2);

```

```

A3= repmat(A2,1,24);
A=A3-stdd;

aa0=find(A>0);
A(aa0)=0;
Su=sum(A,2).*P;
costy=-sum(Su).*365.*10^4;

%%%%%%执行程序
clear all,clc
T=[];Costy0=inf;PMAX=2850.*1.3;
for i=1:4
    for j=1:7
        for k=1:11
            for m=1:11
                if (i-1).*250+(j-1).*100+65.*(k-1)+50.*(m-1)>4446-3405
                    T=[T;i-1,j-1,k-1,m-1];
                end
            end
        end
    end
end
T=T';
for o=202:2297
    o
    o
    [Costy1]=f3_21(T(:,o));
    [Costy3]=f42(T(:,o),PMAX);
    %Costy1=Costy1+([220 90 60 50].*10^6).*T(:,o);
    Costy=Costy1+Costy3;
    if Costy<Costy0
        Costy0=Costy;
        TT=T(:,o);
    end
end
end

```

#### 附录 C：问题五第一问 Matlab 源程序

%%%%%%%%%%%%函数一

```

function [costy] = f3_21(T)
%F3_2 %???2030????????????????????????????
costy=0;
%????????????\
P=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91 0.82
0.73 0.63 ];

```



```

P1=1.3*1.2*2850.*P;P2=2850.*P*1.3+400;PP=sort([P1,P2]');PP=PP(2,:);PP=PP';
a0=[0.064    48    401
0.014    43    212
0.053    42    781
0.007    40    832
0.328    37    86
0.008    44    382
0.001    35    595
0.023    41    284
0.005    36    665
0.008    34    600
0.042    43    350
0.054    38    250
0.217    33    200
];% ??a,b,c
b0=[4 4 3 3 5 4 2 6 1 ];
b0=[b0;T];
%limited number
lb0=[10 15.2 40 69 4 54.3 150 20 140 100 40 25 15];
ub0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
A=-1.*b0';
for l=1:24
b=-PP(l);
cost1y=0;
[cost1x,cost1y]=fmincon(@(X) f3_20(T,X),ones(length(lb0),1),A,b,[],[],lb0,ub0);
costy=costy+cost1y;
end
%??????????
SS0=0.08882743.*10^6.*[220 90 60 50];
costy=365*costy+SS0*T;
end
function [costy] = f42(T,PP)

%%%%%%%%%%%%函数二
%F42
N=sum(T)+32;%?????

%%%%%%%%%%%%Part1??????????
M%%%%%%%%
M0=zeros(1,N);
M1=eye(N);
%2

```

```

t2=combntrns(N,2);R2=zeros(t2,2);h2=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N

        R2(h2,:)= [i,j];
        h2=h2+1;
    end
end
M2=zeros(t2,N);
for i=1:t2
    M2(i,R2(i,1))=1;
    M2(i,R2(i,2))=1;
end
%3

t3=combntrns(N,3);R3=zeros(t3,3);h3=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            R3(h3,:)= [i,j,k];
            h3=h3+1;
        end
    end
end
M3=zeros(t3,N);
for i=1:t3
    M3(i,R3(i,1))=1;
    M3(i,R3(i,2))=1;
    M3(i,R3(i,3))=1;
end
%4

t4=combntrns(N,4);R4=zeros(t4,4);h4=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            for l=k+1:N
                R4(h4,:)= [i,j,k,l];
                h4=h4+1;
            end
        end
    end
end
M4=zeros(t4,N);

```

```

for i=1:t4
    M4(i,R4(i,1))=1;
    M4(i,R4(i,2))=1;
    M4(i,R4(i,3))=1;
    M4(i,R4(i,4))=1;
end
MM=[M0;M1;M2;M3;M4];
M=abs(MM-1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part2 ???????? P%%%%%%%%%
PA0=[0.899845917 0.979865772 0.96 0.95010846 0.979865772 0.960105217 0.879518072 0.99005425
0.920168067 0.911930044 0.966887417 0.978552279 0.967741935];
PU0=[0.100154083 0.020134228 0.04 0.04989154 0.020134228 0.039894783 0.120481928 0.00994575
0.079831933 0.088069956 0.033112583 0.021447721 0.032258065];
PMax0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
PMax=zeros(N,1);
PA=zeros(N,1);
PU=zeros(N,1);
b00=[4 4 3 3 5 4 2 61];
b00=[b00;T];
fl=1;
for i=1:13
    for j=1:b00(i)
        PA(fl)=PA0(i);
        PU(fl)=PU0(i);
        PMax(fl)=PMax0(i);
        fl=fl+1;
    end
end
PMax=PMax';
PMax= repmat(PMax,size(M,1),1);
PA=PA';
PA= repmat(PA,size(M,1),1);
PU=PU';
PU= repmat(PU,size(M,1),1);
Pp=M.*PA+abs(M-1).*PU;
P=prod(Pp,2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part3%%%%%%%%%
p=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98
1.00 1.00 0.95 0.91 0.82 0.73 0.63 ];
p=p';
stdd0=PP.*p;
stdd= repmat(stdd0,size(M,1),1);
A1=M.*PMax;
A2=sum(A1,2);

```

```

A3= repmat(A2,1,24);
A=A3-stdd;

aa0=find(A>0);
A(aa0)=0;
Su=sum(A,2).*P;
costy=-sum(Su).*365.*10^4;
%%%%%%%%%%
function [y] = f51(TT)

%%%%%%%%%%函数三
%F51
TT1=reshape(TT,11,4);
T=zeros(11,4);
for i=1:11
    tu=sum(TT1(1:i,:),1);
    T(i,:)=tu;
end

CRF=0.14;
y2=F52(T);
y3=F53(T);

m1=220.*10^6.*ones(1,11);
m2=90.*10^6.*ones(1,11);
m3=60.*10^6.*ones(1,11);
m4=50.*10^6.*ones(1,11);
M=[m1,m2,m3,m4];
y1=M*TT.*0.8882743;
y=y1+(y2+y3).*CRF;
end
%%%%%%%%%%函数四
function [y2] = F52(T)

%each year ???

p=[387.24    49.92
187.5    44.274
537.73    49.42
716.8836667 41.862
67.19466667 42.248
300.6    45.68
524.625 35.55
257.665 42.61

```

```

383.425 38.45
370.2    36.8
157.22   48.88
148.21   42.86
-5.788333333    47.105
];
p0=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91
0.82 0.73 0.63 ];
b00=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];

lb0=[10 15.2 40 69 4 54.3 150 20 140 100 40 25 15];
ub0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
y=0;
for i=1:11

PMax=2850.*1.03^i;
aaa=T(i,:);
aaa=aaa';
b0=[b00;aaa];

Y=0;
for j=1:24
    Pmax=PMax.*p0(j).*1.152;
    ff=b0.*p(:,1);
    bb=sum(b0.*p(:,2));

    [~,fval]=linprog(ff,-b0',-Pmax,[],[],lb0,ub0);
    fval=fval+bb;
    Y=Y+fval;

end
y=y+Y;
end
y2=y*365;
end
%%%%%%%%%%
function [y3] = F53(T)
%     ???
y=0;
for i=1:11
    Pmax=2850.*1.03^i;

```

```

        t=T(i,:);
        [costy]=f42(t',Pmax);
        y=y+costy;

end
y3=y;
end

%%%%%%%%%%%%函数五
clear all
X=[0;0;1;0;0;0;0;0;0;1;0;0;0;3;1;0;1;0;0;0;0;2;0;0;0;0;0;5;0;0;0;3;0;0;0;0;4];
f51(X)
pc=0.7;
pr=0.1;
d=1000;
pop=50;
%%%%%%%%
clear all
f0=inf;S=[];
for v=1:50
    v
    A=zeros(11,4);
    flag=0;flag2=0;
    while flag2==0
        flag=0;
    while flag==0
        %rand('state',sum(clock))
        a0=rand(11,4);
    for i=1:11
        if a0(i,1)>0.5
            A(i,1)=1;

        else
            A(i,1)=0;
        end

        if a0(i,2)<1/3
            A(i,2)=0;
        elseif a0(i,2)>2/3
            A(i,2)=2;
        else
            A(i,2)=1;
        end
    end
end

```



```

if a0(i,3)<1/4
    A(i,3)=0;
elseif (a0(i,3)>1/4)&&(a0(i,3)<0.5)
    A(i,3)=1;
elseif a0(i,3)>3/4
    A(i,3)=3;
else
    A(i,3)=2;
end

```

```

if a0(i,4)>0.5
    A(i,4)=1;

else
    A(i,4)=0;
end

```

```

end
M=sum(A,1);
a=(M<[3 6 10 10]);
b=sum(a);
if b==4
    flag=1
    break

```

```

end
end
for i=1:11
    Aa(i,:)=sum(A(1:i,:),1);
end

```

```

P=[250 100 65 50];
PP=repmat(P,11,1);
D=Aa.*PP;
DD=sum(D,2);
g=zeros(11,1);
for i=1:11
    g(i)=1.2*2850.*1.03^i-3405;

```

```

end
f1=[];
f1=(DD>g);
f1=sum(f1);
if f1==11

```

```

        flag2=1
        break
    end
end
AA=reshape(A,44,1);

f=f51(AA);
if f<f0
    f0=f;
    S=A;
end
end

```

#### 附录 D： 问题五第二问 Matlab 源程序

```

function [r] = decide(T)
TT=reshape(T,11,4);T0=zeros(11,4);flag1=1;
for i=1:11
    t=sum(TT(1:i,:),1);
    T0(i,:)=t;
end
if T0(11,:)<[3 6 10 10];
    flag1=1;
else
    flag1=0;
end
a1=(TT(:,1)<1);
a1=sum(a1)-11;
a2=(TT(:,2)<2);
a2=sum(a2)-11;
a3=(TT(:,3)<3);
a3=sum(a3)-11;
a4=(TT(:,4)<2);
a4=sum(a4)-11;
a=a1*a2*a3*a4;
if a==0
    flag2=1;
else
    flag2=0;
end
P=[250 100 65 50];
PP=repmat(P,11,1);
D=TT.*PP;
DD=sum(D,2);
g=zeros(11,1);

```

```

for i=1:11
    g(i)=1.2*2850.*1.03^i-3405;
end
f1=[];
f1=(DD>g);
f1=sum(f1);
if f1==11
    flag3=1;
else
    flag3=0;
end
r=flag1.*flag2.*flag3;
end

function [fff] = f3_20(T,X)
%F3_20
a0=[0.064    48    401
0.014    43    212
0.053    42    781
0.007    40    832
0.328    37    86
0.008    44    382
0.001    35    595
0.023    41    284
0.005    36    665
0.008    34    600
0.042    43    350
0.054    38    250
0.217    33    200
];% ??a,b,c
b0=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];
b0=[b0;T];
%limited number
cot=zeros(length(a0),1);%??? hangxiangliang
for k=1:length(a0)
    cot(k)=(a0(k,1).*(X(k)^2)+a0(k,2).*X(k)+a0(k,3)).*b0(k);
end

fff=sum(cot);
end
function [costy] = f3_21(T)
%F3_2 %???2030????????????????????????????
costy=0;
%????????????\

```

```

P=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91
0.82 0.73 0.63 ];
P1=1.3*1.2*2850.*P;P2=2850.*P*1.3+400;PP=sort([P1,P2]');PP=PP(2,:);PP=PP';
a0=[0.064    48   401
0.014    43   212
0.053    42   781
0.007    40   832
0.328    37    86
0.008    44   382
0.001    35   595
0.023    41   284
0.005    36   665
0.008    34   600
0.042    43   350
0.054    38   250
0.217    33   200
];% ??a,b,c
b0=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];
b0=[b0;T];
%limited number
lb0=[10 15.2 40 69 4 54.3 150 20 140 100 40 25 15];
ub0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
A=-1.*b0';
for l=1:24
b=-PP(l);
costly=0;
[costlx,costly]=fmincon(@(X) f3_20(T,X),ones(length(lb0),1),A,b,[],[],lb0,ub0);
costy=costy+costly;
end
%????????????
SS0=0.08882743.*10^6.*[220 90 60 50];
costy=365*costy+SS0*T;
end
function [costy,Lolp] = f42(T,PP)
%F42
N=sum(T)+32;%??????
%%%%%%%%%%%%Part1????????????
M%%%%%%%%
M0=zeros(1,N);
M1=eye(N);
%2
t2=combtntns(N,2);R2=zeros(t2,2);h2=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N

```

```

        R2(h2,:)= [i,j];
        h2=h2+1;
    end
end
M2=zeros(t2,N);
for i=1:t2
    M2(i,R2(i,1))=1;
    M2(i,R2(i,2))=1;
end
%3
t3=combntrns(N,3);R3=zeros(t3,3);h3=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            R3(h3,:)= [i,j,k];
            h3=h3+1;
        end
    end
end
M3=zeros(t3,N);
for i=1:t3
    M3(i,R3(i,1))=1;
    M3(i,R3(i,2))=1;
    M3(i,R3(i,3))=1;
end
%4
t4=combntrns(N,4);R4=zeros(t4,4);h4=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            for l=k+1:N
                R4(h4,:)= [i,j,k,l];
                h4=h4+1;
            end
        end
    end
end
M4=zeros(t4,N);
for i=1:t4
    M4(i,R4(i,1))=1;
    M4(i,R4(i,2))=1;
    M4(i,R4(i,3))=1;
    M4(i,R4(i,4))=1;
end
end

```

```

MM=[M0;M1;M2;M3;M4];
M=abs(MM-1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part2 ???????? P%%%%%%%%
PA0=[0.899845917 0.979865772 0.96 0.95010846 0.979865772 0.960105217 0.879518072 0.99005425
0.920168067 0.911930044 0.966887417 0.978552279 0.967741935];
PU0=[0.100154083 0.020134228 0.04 0.04989154 0.020134228 0.039894783 0.120481928
0.00994575 0.079831933 0.088069956 0.033112583 0.021447721 0.032258065];
PMax0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
PMax=zeros(N,1);
PA=zeros(N,1);
PU=zeros(N,1);
b00=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];
b00=[b00;T];
fl=1;
for i=1:13
    for j=1:b00(i)
        PA(fl)=PA0(i);
        PU(fl)=PU0(i);
        PMax(fl)=PMax0(i);
        fl=fl+1;
    end
end
PMax=PMax';
PMax=repmat(PMax,size(M,1),1);
PA=PA';
PA=repmat(PA,size(M,1),1);
PU=PU';
PU=repmat(PU,size(M,1),1);
Pp=M.*PA+abs(M-1).*PU;
P=prod(Pp,2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part3%%%%%%%%
p=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95
0.91 0.82 0.73 0.63 ];
p=p';
stdd0=PP.*p;
stdd=repmat(stdd0,size(M,1),1);
A1=M.*PMax;
A2=sum(A1,2);
A3=repmat(A2,1,24);
A=A3-stdd;
aa0=find(A>0);
A(aa0)=0;
vb=sum(A2,2)
b=find(vb==0);

```

```

Lolp=sum(P(b));
Su=sum(A,2).*P;
costy=-sum(Su).*365.*10^4;
function [costy,Lolp] = f42(T,PP)
%F42
N=sum(T)+32;%?????
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part1???????????
M%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
M0=zeros(1,N);
M1=eye(N);
%2
t2=combntrns(N,2);R2=zeros(t2,2);h2=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N

        R2(h2,:)=[i,j];
        h2=h2+1;
    end
end
M2=zeros(t2,N);
for i=1:t2
    M2(i,R2(i,1))=1;
    M2(i,R2(i,2))=1;
end
%3

t3=combntrns(N,3);R3=zeros(t3,3);h3=1;
for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            R3(h3,:)=[i,j,k];
            h3=h3+1;
        end
    end
end
M3=zeros(t3,N);
for i=1:t3
    M3(i,R3(i,1))=1;
    M3(i,R3(i,2))=1;
    M3(i,R3(i,3))=1;
end

%4
t4=combntrns(N,4);R4=zeros(t4,4);h4=1;

```

```

for i=1:N
    for j=i+1:N
        for k=j+1:N
            for l=k+1:N
                R4(h4,:)= [i,j,k,l];
                h4=h4+1;
            end
        end
    end
end
end
M4=zeros(t4,N);
for i=1:t4
    M4(i,R4(i,1))=1;
    M4(i,R4(i,2))=1;
    M4(i,R4(i,3))=1;
    M4(i,R4(i,4))=1;
end
MM=[M0;M1;M2;M3;M4];
M=abs(MM-1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Part2 ???????? P%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PA0=[0.899845917 0.979865772 0.96 0.95010846 0.979865772 0.960105217 0.879518072
0.99005425 0.920168067 0.911930044 0.966887417 0.978552279 0.967741935];
PU0=[0.100154083 0.020134228 0.04 0.04989154 0.020134228 0.039894783 0.120481928
0.00994575 0.079831933 0.088069956 0.033112583 0.021447721 0.032258065];
PMax0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50 ];
PMax=zeros(N,1);
PA=zeros(N,1);
PU=zeros(N,1);
b00=[4 4 3 3 5 4 2 6          1];
b00=[b00;T];
fl=1;
for i=1:13
    for j=1:b00(i)
        PA(fl)=PA0(i);
        PU(fl)=PU0(i);
        PMax(fl)=PMax0(i);
        fl=fl+1;
    end
end
PMax=PMax';
PMax=repmat(PMax,size(M,1),1);
PA=PA';
PA=repmat(PA,size(M,1),1);
PU=PU';

```



```

PU= repmat(PU,size(M,1),1);
Pp=M.*PA+abs(M-1).*PU;
P=prod(Pp,2);
%%%%%%%%%%Part3%%%%%%%%%
p=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91
0.82 0.73 0.63 ];
p=p';
stdd0=PP.*p;
stdd=repmat(stdd0,size(M,1),1);
A1=M.*PMax;
A2=sum(A1,2);
A3=repmat(A2,1,24);
A=A3-stdd;

aa0=find(A>0);

A(aa0)=0;
nb=sum(A,2);
jk=find(nb~=0);
Lolp=sum(P(jk));

Su=sum(A,2).*P;
costy=-sum(Su).*365.*10^4;

function [y,Lolp] = f51(TT)
%F51
TT1=reshape(TT,11,4);
T=zeros(11,4);
for i=1:11
    tu=sum(TT1(1:i,:),1);
    T(i,:)=tu;
end

CRF=0.14;
y2=F52(T);
[~,Lolp]=F53(T);

m1=220.*10^6.*ones(1,11);
m2=90.*10^6.*ones(1,11);
m3=60.*10^6.*ones(1,11);
m4=50.*10^6.*ones(1,11);
M=[m1,m2,m3,m4];
y1=M*TT.*0.8882743;

```

```

y=y1+(y2+0).*CRF;
end

```

```

function [y2] = F52(T)

```

```

%each year ???

```

```

p=[387.24    49.92
187.5    44.274
537.73    49.42
716.8836667  41.862
67.19466667  42.248
300.6    45.68
524.625    35.55
257.665    42.61
383.425    38.45
370.2    36.8
157.22    48.88
148.21    42.86
-5.788333333  47.105
];
p0=[0.67 0.63 0.59 0.58 0.59 0.60 0.74 0.86 0.95 0.96 0.96 0.95 0.94 0.95 0.95 0.96 0.98 1.00 1.00 0.95 0.91
0.82 0.73 0.63 ];
b00=[4 4 3 3 5 4 2 6 1];
lb0=[10 15.2 40 69 4 54.3 150 20 140 100 40 25 15];
ub0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50];
y=0;
for i=1:11

PMax=2850.*1.03^i;
aaa=T(i,:);
aaa=aaa';
b0=[b00;aaa];
Y=0;
for j=1:24
    Pmax=PMax.*p0(j).*1.152;
    ff=b0.*p(:,1);
    bb=sum(b0.*p(:,2));
    [~,fval]=linprog(ff,-b0',-Pmax,[],[],lb0,ub0);
    fval=fval+bb;
    Y=Y+fval;
end
end

```

```

y=y+Y;
end
y2=y*365;
end

```

```

function [y3,Lolp] = F53(T)
%      ???
y=0;Lolp0=inf;
for i=1:11
    Pmax=2850.*1.03^i;
    t=T(i,:);
    [costy,Lolp1]=f42(t',Pmax);
    y=y+costy;
    Lolp<

end
y3=y;
end

```

```

function [y3,Lolp0] = F53(T)
%      ???
y=0;Lolp0=inf;
for i=1:11
    Pmax=2850.*1.03^i;
    t=T(i,:);
    [costy,Lolp]=f42(t',Pmax);
    y=y+costy;

    if Lolp<Lolp0
        Lolp0=Lolp;
    end

end
y3=y;
end

```

```

clear all,clc
a0=[0.064    48   401
0.014    43   212
0.053    42   781
0.007    40   832
0.328    37   86

```

```

0.008    44    382
0.001    35    595
0.023    41    284
0.005    36    665
0.008    34    600
0.042    43    350
0.054    38    250
0.217    33    200
];% ??a,b,c
lb0=[10 15.2 40 69 4 54.3 150 20 140 100 40 25 15];
ub0=[20 76 100 197 12 155 400 50 350 250 100 65 50 ];
P=[];W=[];
for i=1:13
    X0=lb0(i):0.05:ub0(i);
    Y=X0.*X0.*a0(i,1)+X0.*a0(i,2)+a0(i,3);
    p=polyfit(X0,Y,1);
    P=[P;p];
    Y1=polyval(p,X0);
    C=Y1-Y;
    %C=C./Y
    w=[max(C),min(C)];
    W=[W;w];
end
    W=W.*10^(2);

clear all

X=[0;0;1;0;0;0;0;0;0;0;1;0;0;0;0;3;1;0;1;0;0;0;0;2;0;0;0;0;0;0;5;0;0;0;0;3;0;0;0;0;4];
f51(X)
pc=0.7;
pr=0.1;
d=1000;
pop=50;

clear all
f0=inf;S=[];
for v=1:50
    v
    A=zeros(11,4);
    flag=0;flag2=0;
    while flag2==0
    while flag==0
        %rand('state',sum(clock))

```

```

    a0=rand(11,4);
for i=1:11
    if a0(i,1)>0.5
        A(i,1)=1;

    else
        A(i,1)=0;
    end

    if a0(i,2)<1/3
        A(i,2)=0;
    elseif a0(i,2)>2/3
        A(i,2)=2;
    else
        A(i,2)=1;
    end

    if a0(i,3)<1/4
        A(i,3)=0;
    elseif (a0(i,3)>1/4)&&(a0(i,3)<0.5)
        A(i,3)=1;
    elseif a0(i,3)>3/4
        A(i,3)=3;
    else
        A(i,3)=2;
    end

    if a0(i,4)>0.5
        A(i,4)=1;

    else
        A(i,4)=0;
    end
end
M=sum(A,1);
a=(M<[3 6 10 10]);
b=sum(a);
if b==4
    flag=1
    break
end
end
end

```

```

for i=1:11
    Aa(i,:)=sum(A(1:i,:),1);
end

P=[250 100 65 50];
PP= repmat(P,11,1);
D=Aa.*PP;
DD=sum(D,2);
g=zeros(11,1);
for i=1:11
    g(i)=1.15*2850.*1.03^i-3405;

end
f1=[];
f1=(DD>g);
f1=sum(f1);
if f1==11
    flag2=1
end
end
AA=reshape(A,44,1);
[f,Lolp]=f51(AA);
if f<f0
    f0=f;
    S=A;
end
end

clear all
f0=inf;S=[];
for v=1:50
    v
    A=zeros(11,4);
    flag=0;flag2=0;flag3=0;
    while flag3==0
    while flag2==0

while flag==0
    %rand('state',sum(clock))
    a0=rand(11,4);
for i=1:11
    if a0(i,1)>0.5
        A(i,1)=1;

```

```

else
    A(i,1)=0;
end

if a0(i,2)<1/3
    A(i,2)=0;
elseif a0(i,2)>2/3
    A(i,2)=2;
else
    A(i,2)=1;
end

if a0(i,3)<1/4
    A(i,3)=0;
elseif (a0(i,3)>1/4)&&(a0(i,3)<0.5)
    A(i,3)=1;
elseif a0(i,3)>3/4
    A(i,3)=3;
else
    A(i,3)=2;
end
if a0(i,4)>0.5
    A(i,4)=1;

else
    A(i,4)=0;
end
end
M=sum(A,1);
a=(M<[3 6 10 10]);
b=sum(a);
if b==4
    flag=1
    break
end
end
for i=1:11
    Aa(i,:)=sum(A(1:i,:),1);
end
P=[250 100 65 50];
PP=repmat(P,11,1);
D=Aa.*PP;
DD=sum(D,2);
g=zeros(11,1);

```

```

for i=1:11
    g(i)=1.15*2850.*1.03^i-3405;
end
f1=[];
f1=(DD>g);
f1=sum(f1);
if f1==11
    flag2=1
end
end
AA=reshape(A,44,1);
[f,Lolp]=f51(AA);

if Lolp<0.005
    flag3=1
end
end
if f<f0
    f0=f;
    S=A;
end
end
end

```