

2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

题 目 全面建成小康社会进程研究

摘 要

本文采用了层次分析法和德尔菲法以及向量自回归模型并利用 Stata, Matlab, Python 软件进行求解,总结了全面建成小康社会的经验,提出了可持续发展的思路;对各省的建设小康总体情况进行排序;建立了江西省受疫情影响未来短期和长期的经济模型;并在前面问题的基础上,提出了各省之间的合作计划。

针对问题一:选取了中经网和国家统计局官网的数据作为参考,依据实现小康社会的要求,从六个层面:经济,社会,生活,法治,教育,环境,总结了我国过去 20 年全面建成小康社会的成功经验。其次,依据我国现有的可持续发展政策,结合人口压力,环境资源,全球变暖现状,提出了未来我国可持续发展的思路。

针对问题二:比较了德尔菲赋权法和改进型的层次分析法对我国各省的可持续发展能力的评估结果,利用综合分析法分析和比较了各省小康社会完成比率和难度系数。通过加权综合可持续发展能力和完成程度,得出最终各省建成小康社会的总体情况排名;利用 Python 对排名进行空间可视化;结果表明,沿海省份和东部省份的排名基本靠前,西北的一些省份如甘肃,新疆的排名靠后。

针对问题三:基于江西省的时间序列数据建立 VAR(向量自回归)模型来讨论疫情和经济变化的关系。将人口密度,城乡收入差距,人均 GDP,失业率作为解释变量;疫情的感染人数作为控制变量,经济发展程度作为被解释变量。对数据的平稳性进行了单位根检验、数据正态分布的假设检验,联合显著性检验最后根据 Stata 得出的经济发展模型的数学表达式,预测未来江西省经济在今后两年会出现下滑,从 2023 年起开始复苏,2025 年之后恢复正常趋于稳定。

针对问题四:建立了近邻省份经济-资源合作的数学模型,利用 Python 编写随机优化算法计算模型对应的合作计划。模型根据各省经济状况和资源禀赋定义各省经济效益、合作条件、合作后变化函数,利用合作前后的经济-资源变化定义计算合作带来的好处。算法给出的合作计划利用 Python 的 Pyecharts 作图可视化。结果表明此模型给出“经济强省提供经济效益,弱省提供资源,共促发展”形式的西部、华北、东部沿海、南方以及西北-东北几个区域间的大型合作网络。

关键词 改进的层次分析法;德尔菲赋权;综合分析;随机优化算法;经济-资源合作模型

目 录

| | |
|------------------------------------|----|
| 一、问题重述..... | 1 |
| 1.1 问题背景..... | 1 |
| 1.2 重述..... | 1 |
| 二、问题分析..... | 1 |
| 2.1 问题 1 的分析..... | 1 |
| 2.2 问题 2 的分析..... | 2 |
| 2.3 问题 3 的分析..... | 2 |
| 2.4 问题 4 的分析..... | 2 |
| 三、模型假设..... | 2 |
| 四、定义与符号说明..... | 3 |
| 五、模型的建立与求解..... | 3 |
| 5.1 问题 1 的分析与求解..... | 3 |
| 5.1.1 过去 20 年我国全面建设小康社会成功经验分析..... | 3 |
| 5.1.2 我国可持续发展的思路..... | 5 |
| 5.2 问题 2 的模型建立与求解..... | 7 |
| 5.2.1 改进型层次分析赋权..... | 7 |
| 5.2.2 德尔菲法赋权..... | 10 |
| 5.2.3 综合评价法..... | 12 |
| 5.2.4 综合结果..... | 14 |
| 5.3 问题 3 的模型建立与求解..... | 15 |
| 5.3.1 VAR 模型理论..... | 15 |
| 5.3.2 模型求解..... | 16 |
| 5.4 问题 4 的模型建立与求解..... | 18 |
| 5.4.1 建立两省经济-资源合作模型..... | 18 |
| 5.4.2 求解合作方案的随机优化算法..... | 19 |
| 5.4.3 合作方案..... | 19 |
| 六、模型的评价及优化..... | 20 |
| 6.1.层次分析法的优缺点..... | 21 |
| 6.2 德尔菲赋权法的优缺点..... | 21 |
| 6.3 向量自回归模型的优缺点..... | 21 |
| 6.4 问题 4 模型的优缺点改进之处..... | 21 |
| 参考文献..... | 23 |
| 附录..... | 24 |

一、问题重述

1.1 问题背景

2020 年是我国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，但疫情必然对我国的经济造成重要影响。另外，在全球范围内，全球性新型冠状病毒疫情尚未得到有效控制，仍正在更大规模蔓延，再加上世界处于百年未有的大变局的总体形式，我国经济内外部环境变得更加恶劣。

1.2 重述

根据上述背景：

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,结合全球气候变暖、生态环境与人口压力倍增现状提出未来 20 年的我国可持续发展思路。

2.结合官方数据，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，并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。

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

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

二、问题分析

2.1 问题 1 的分析

问题一属于统计描述问题，对于解决此类问题一般采用一些指标分析，利用指标数据进行统计描述。

因此，为了描述全面建设小康社会成功经验，我们可查阅文献寻找全面建设小康社会的指标，然后搜集数据总结成功经验。为提出未来 20 年的我国可持续发展思路，需描述全球气候变暖、生态环境与人口压力倍增现状。可同样选取合理指标来描述气候、生态与人口现状。再根据现状，参考大量文献和现有政策，提出未来 20 年的我国可持续发展思路。

2.2 问题 2 的分析

第二问属于决策分析数学问题，官方数据相当于决策信息，而各省情况相当于不同方案。对于这类问题，首先需决策信息，即可利用的数据信息，对于不同数据指标采用的权重；之后通过一定方式对决策信息进行集结，根据综合结果对不同方案排序。

由于以上原因，为了描述我国和各省全面建成小康社会完成比率和难度系数，可在参考全面建成小康社会指标体系的基础上，选取经济发展、社会和谐、生活质量、民主法制、文化教育和资源环境6个一级指标进行描述，各个一级指标用二级指标加权计算。针对未来可持续发展能力，可采用德尔菲赋权法衡量二级指标的权重得出总完成率；对于可持续发展能力可采用改进型层次分析法，因为待评估的二级指标个数多并且指标之间存在空间相互关联即服从效应，为了简化计算过程同时得出各个指标的权重采用了改进型层次分析法，最后可以通过综合两种方法得出的综合排序结果。

2.3 问题 3 的分析

根据问题三，考虑到某个省份的经济发展状况会受到疫情影响，同时经济发展也会影响疫情的变化。因此这两个变量之间相互影响，存在互为因果关系，而向量自回归模型恰好是用来估计互为因果的多个变量之间的动态关系，不带有任何约束条件，它把系统中每一个内生变量作为系统中所有内生变量的滞后值的函数来构造模型，同时它也是处理多个相关经济指标的分析与预测最容易操作的模型之一。

2.4 问题 4 的分析

第四问需提出各省之间的合作计划，属于一种最优化及规划数学问题，解决此类问题一般通过优化算法计算出最优化方案。

基于以上原因，我们将首先建立各省之间合作的数学模型，通过提出合理假设将各省经济状况、资源禀赋等状况变成模型数据，合理定义最优化函数和合作条件就能将模型输入计算机进行编程求解出最佳方案。

三、模型假设

- 1.国家统计局和中经网提供的我国各省社会经济发展数据真实可靠。
- 2.不考虑境外输出病例的影响即接壤国对某些省份病情影响。
- 3.对于经济发展、社会和谐、生活质量、民主法制、文化教育和资源环境等指标的综合描述可以衡量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，进而评价我国全面建成小康社会的总体情况。
- 4.两省合作发生在近邻省份之间，若非临近省份之间发生合作必然是通过两者之间的相邻省份实现
- 5.A 与 B 省合作的一般形式为：A 省给予 B 省经济援助或资源援助
- 6.合作一般只在双方都有促进作用时才发生；但当某省过于落后时，即使与其合作得不到好处，为了实现共同富裕，相邻的先进省份也会采取经济上的“帮扶援助”。

四、定义与符号说明

表 4-1 名词解释与变量说明

| 符号定义 | 符号说明 |
|---------------|----------------|
| x_i | 第 i 个指标因子 |
| w_i | 第 i 个指标因子的权重 |
| s_{ij} | 目标估计系数 |
| ω_{ij} | 改进的目标估计系数 |
| s | 层次分析法的各个省份最终得分 |
| W | 改进的目标估计矩阵 |
| C | 目标比较矩阵 |
| c_{ij} | 目标比较系数 |

五、模型的建立与求解

5.1 问题 1 的分析与求解

5.1.1 过去 20 年我国全面建设小康社会成功经验分析

表 5-1 为从附件中抽取的过去 10 年间，我国小康社会主要评价指标的数据。主要从经济发展，社会和谐，生活质量，民主法治，文化教育，资源环境的角度出发，探寻我国全面建设小康社会的成功经验。具体总结如下：

经济层面：大力推进供给侧结构性改革大刀阔斧地实施“三去一降一补”并将经济发展的目标从追求高速增长调整为追求高质量发展。虽然我国的经济增速有所放缓，但是坚持以经济建设为中心依然是主要任务。人均 GDP 从 7229 元/人增加至 70892 元/人，几乎翻了十倍；失业率在过去 20 年中也有所下降，其中城镇失业率降低了 0.4%。

社会层面：城乡居民收入比提高，保险覆盖率增大，医疗卫生机构数增加使得覆盖城乡居民的社会保障体系基本建立，人人享有基本生活保障。合理有序的收入分配格局基本形成，中等收入者占多数，绝对贫困现象基本消除。人人享有基本医疗卫生服务，社会管理体系更加健全。

表 5-1 我国小康社会主要评价指标

| 一级指标 | 二级指标 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 经济发展 | 人均 GDP | 30808 | 36302 | 39874 | 43684 | 47173 | 50237 | 54139 | 60014 | 66006 | 70892 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------|
| | 失业率 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.05 | 4.09 | 4.05 | 4.02 | 3.9 | 3.8 | 3.62 |
| | R&D 经费支出 | 7062.58 | 8687 | 10298.41 | 11846.6 | 13015.63 | 14169.88 | 15676.75 | 17606.13 | 19677.93 | 21737 |
| 社会和谐 | 社会保险基金收入 | 19276.13 | 25153.3 | 30738.76 | 35252.95 | 39827.74 | 46012.12 | 53562.72 | 67154.5 | 79254.76 | 82368 |
| | 恩格尔系数 | 35.7 | 36.3 | 36.23 | 35.02 | | | 29.3 | 27.7 | 27.6 | |
| 生活质量 | 人均可支配收入 | 12519.51 | 14550.75 | 16509.55 | 18310.76 | 20167.12 | 21966.19 | 23820.98 | 25973.79 | 28228.05 | 30732.8 |
| 民主法制 | 公安机关立案的刑事案件 | 5969892 | 6004951 | 6551440 | 6598247 | 6539692 | 7174037 | 6427533 | 5482570 | 5069242 | |
| 文化教育 | 教育经费收入 | 19561847 0.7 | 23869293 5.6 | 28655305 1.9 | 30364718 1.5 | 32806460 9.3 | 36129192 7 | 38888385 0 | 42562006 9.1 | 46143000 0 | |
| 资源环境 | 环境污染治理投资总额 | 7612.19 | 7114.03 | 8253.46 | 9037.2 | 9575.5 | 8806.3 | 9219.8 | 9538.95 | | |
| | 自然保护区数量 | 2588 | 2640 | 2669 | 2697 | 2729 | 2740 | 2750 | 2750 | | |

生活层面：积极而又稳妥地推进城镇化战略，提高城镇化水平。增加农民收入，加速推进农业发展。因此，千方百计地增加农民收入，是关系整个国家全面建设小康社会的关键因素。从 1999 年起，我国城镇常住人口从 43748 万人增加到 84843 万人，城镇化水平显著提高；同时农村恩格尔系数也从 52.56% 降低至 30%，农民生活有了很大提高。

法治层面：法治观念的普及，公安机关刑事立案数目的降低以及法律从业者人数的增加都标志着，在全面建成小康社会中，民主法治所取得的巨大成果，同时，民主法治也推动着小康社会的建成。1999 年至 2019 年间，法律从业者人数增加了 3.12 万人；刑事案件立案数也降低至 5069242 起。

教育层面：积极推进实施科教兴国战略，提高全民族的思想道德、科学文化素质，以形成比较完善的国民教育体系、科技和文化创新体系。过去的 20 年间，国家教育投资金额从 3349 亿元增加至 46143 亿元；同时，在读研究生人数和工人中高中以上学历占比都有了显著提升。科研经费支出从 678.9 亿元增加至 21737 亿元。

环境层面：增加环境污染治理的投资同时增加自然保护区的数目，扩大自然保护区的面积，已经使得我国生态文明建设取得了极大进步，大力推动了全面建成小康社会的任务。从 1999 年起，环境污染治理投资从 1014.9 亿元增加到 2017 年的 9538.95 亿元。在过去 20 年间，国家自然保护区的数目从 1146 个增长到 2250 个。

5.1.2 我国可持续发展的思路

(一)全球变暖,生态环境,人口压力现状

(1).指标选取

对于全球气候变暖趋势,可采取历年全球平均温度作为指标。对于国内生态环境现状,我们可选取生态环境污染、对污染的治理,以及国内的生态环境质量不同方面的指标进行综合评价。国内生态环境污染主要表现在工业污染,选取全国废水排放量,废水中化学需氧量(COD)排放量和一般工业固体废物产生量作为污染指标;对污染的治理方面选取一般工业固体废物综合利用量和国内环境污染治理投资总额作为污染治理指标;对于国内的生态环境质量,采取国内自然保护区数量作为生态环境建设衡量指标。对于人口现状,用近 20 年总人口数描述人口压力,用城乡人口数和男性、女性人口数作为对人口结构方面进行人口现状描述的指标。

(2).全球变暖现状

全球气候变化是国际环境外交和一个国家可持续发展的重大问题之一。自图 5-1 中可以看出,近几十年来全球平均温度呈不断上升的趋势,最近几年的全球年平均气温比 1980 年的平均气温升高了约 0.6°C ,且全球变暖的增速还有上升趋势。世界气象组织(WMO)和联合国环境规划署(UNEP)联合建立的政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007 年出版的气候变化评估报告中同样指出近百年来全球温度升高了 0.6°C - 0.8°C ,与图中的数据吻合。全球温度升高将对水资源、能源、海洋、人类健康、自然生态系统和农业生产等方面带来巨大冲击,造成许多目前仍无法估计的重要影响。

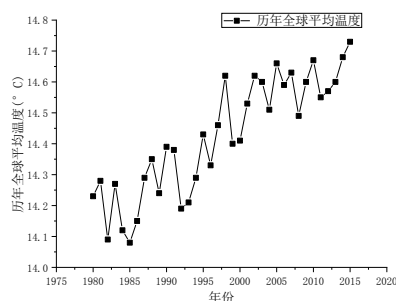


图 5-1 历年全球平均温度

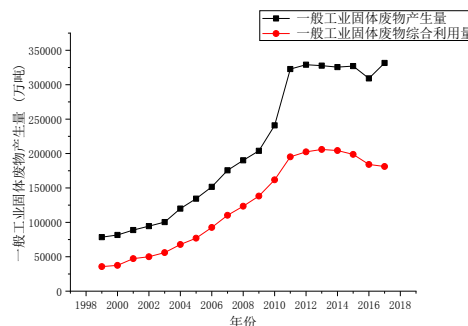


图 5-2 工业固体废物排放

(3).生态环境现状

长期以来,我国实行的是粗放型和非可持续发展型的经济发展模式,再加上资金、体制、管理等方面的问题,我国生态环境的恶化目前非常严重。就水污染而言,从图 5-3 中可以看出,我国废水排放总量自 2000 年以来逐年上升,直至 2016 年以后才有所下降,但仍处于一个很高的水平上。2000 年至 2010 年废水中化学需氧量(COD)在 1300-1400 万吨附近,2011-2015 年上升至 2200 万吨以上,2015 年以后减少到 1000 万吨附近,与 2015 年后废水排放总量有所减少相吻合。自然的净化能力和对污染的承受能力是有限的,大量废水的排放,超出了自然河流水系的污染承载力,我国著名的“三河三湖”(淮河、海河、辽河;太湖、滇池、巢湖)已成为污染最严重的水域。就工业固体废物而言,从图 5-2 中可以看出,工业固体废物产生量近 20 年来同样呈上升趋势,且直至

2011年前，产生量上升速度随年份增长越来越快，更是在2009年后急剧上升，在2011年后增长减缓，稳定在320000万吨左右，而工业固体废物综合利用率虽也在上升，但依旧远低于产生量，2011年后综合利用率仅大约为产生量的一半，造成了大量工业固体废物的积累。工业固废的堆积，也将对周围的社区、土地、人和动物健康等产生很大的影响。这些事实证明，我们正面临着严峻的生态环境恶化，生态环境问题是我国实现可持续发展过程中的巨大的挑战。

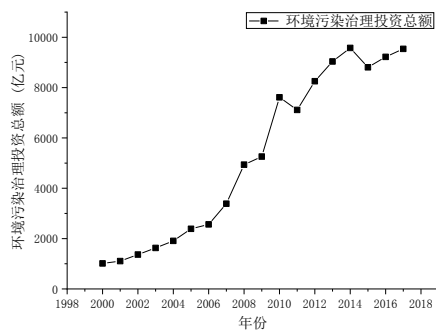


图 5-3 环境治理投资

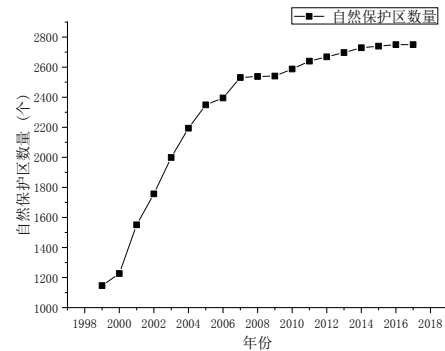


图 5-4 自然保护区数量

(4).人口压力现状

从图 5-5 中可以看出，我国人口总量在近 20 年来平稳增长，全国总人口已经超出 14 亿人，这将给中国社会各个方面和可持续发展带来巨大的压力。近 20 年来，城镇人口不断上升，而乡村人口持续下降，表明了中国的城市化进程和自农村到城市的人口的大规模迁移，大量流动人口对传统的社会管理体制和人口政策带来巨大冲击。由抚养比曲线图 5-6 可以看出，少儿抚养比从 2000 至 2010 年不断下降，2010 年后保持平稳，有缓慢上升的趋势，表明我国的出生率从过去的高水平降到计划生育实施后的较低水平。

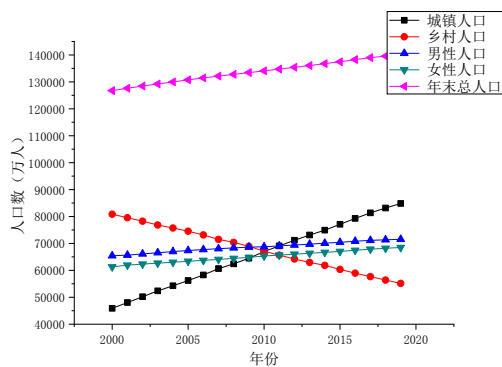


图 5-5 人口结构

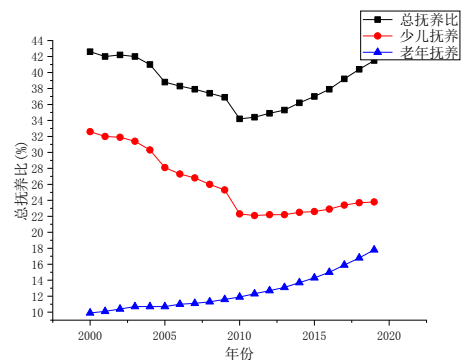


图 5-6 养老比例

(二) 未来 20 年可持续发展思路

1、加强组织机构建设，优化能源结构，控制温室气体排放

为了缓解全球变暖的现状，需要控制温室气体的排放。国家有关部门可通过政策引导和资金投入，加强水能、核能、石油、天然气的开发和利用。加大对生物质能、太阳能、地热、风能等新型可再生能源的投资和技术研究，使优质清洁能源比重提高。

2、加强生态环境建设投入，建立和完善生态环境有关的法律及机构

加大环境污染治理力度，建立同一的环保管理体制，逐步完善环保管理制度和方法，建立环保方面的法律法规体系，通过制度和法律制约企业的污染排放。

3、加大宣传，增强公众意识

利用现代信息传播技术和手段，加强气候变化方面的宣传教育，提高全民保护气候意识；加强环境保护方面的宣传，使全体人们树立环保观念，引导人们节能减排。学校加强对青少年的教育，培养学生对气候变化的意识，培养学生对环境保护的意识。

4、加强科学研究与技术开发

加强气候变化领域的基础研究，加强对相关专业与管理人才的培养，进一步开发和完善研究分析方法。依靠科技进步和科技创新应对气候变化，扶持和鼓励开发减缓和适应气候变化的先进适用技术。

5、发展经济，完善经济政策，加强教育

针对人口数量的持续增长带来的压力，要采取经济策略，发展经济防止因人口压力带来的经济失调。只有提高大多数人的整体收入，才能减轻由于抚养比增高带来的青壮年劳动力的抚养压力。

由于采取计划生育导致少儿抚养比的降低，青少年占总人口比例降低将导致未来人口红利趋于消失，为实现“人口红利”加速向“人才红利”转变，必须提升广大劳动者的素质和技能水平。教育是提高人口素质的根本途径，高素质的劳动力是国民经济持续稳定发展的源泉。用人力资本代替自然资本，提高人口素质，才能实现可持续发展。

6、改善民生，加强社会保障，改善养老政策制度

针对养老压力的提升，应当建立健全老年人社会保障制度，积极应对人口老龄化，改善民生减轻年轻人的养老压力。加大对养老产业的投入，发展社区养老机构，加强养老护理培训，发展专业养老护理服务。完善养老服务体系，促进人口长期均衡发展，是社会可持续发展的重要保证。

5.2 问题 2 的模型建立与求解

5.2.1 改进型层次分析赋权

可持续发展能力的评估是一个迭代的过程，通过最后一步结论的校正对可持续发展的分析进行调整。改进型的层次分析法分为六步，分别为定性分析，确定一级指标，确定二级指标因子，确定指标测度，综合，校正。

1、定性分析

在第一步的分析中，需要在社会环境的背景之下考虑，可持续发展对建成小康社会的空间和时间的的影响。尽管，可持续发展的定义很宽泛，但是这也成为了分析时的优点，因为宽泛的定义更加容易给出不同角度的结论，综合考虑得到最佳结果。

2、确定一级指标

一级指标的确定是确定二级指标测度的前提。因此，选好一级指标对于后面的分析

至关重要。在考虑选取一级指标时应该考虑：可持续发展的主要目标是什么，现阶段突出的问题是什么，可持续发展容易受到干扰的因素是什么。所以，结合第一问的部分数据以及部分指标，综合考虑建成小康社会的参考指标，在第二问中选取了经济发展(ED)，社会发展(SD)，资源开发(RE)，环境污染(ET)和保护四个主要层面作为一级指标代理。

3、确定二级指标

确定完一级指标之后，就需要确定二级指标代理。但是尽可能多的选取指标不一定代表着能够得到正确的模型。因此需要结合问题背景，首先二级指标要能够反应一级指标对可持续发展的影响，其次能够揭露出可持续发展和建成小康社会的关系，最后，要具备足够的鲁棒性。例如对于经济发展和社会发展，选取了人均 GDP 和就业率等作为二级指标。其他的指标如表 5-2 所示。

表 5-2 其他指标

| 一级指标 | 二级指标 | 指标测度 | |
|-------------|-----------|------------|-------------|
| 可持续发展能力 | 经济发展(ED) | (ED1)GDP | 人均 GDP |
| | | (ED2)经济增长 | GDP 增速 |
| | 社会发展(SD) | (ED3)利润 | 税收/不动产 |
| | | (ED4)非农业股份 | 第二产业 GDP 占比 |
| | | (ED5)财政收入 | 财政收入/总人口 |
| | | (ED6)国际贸易 | 输入输出/GDP |
| 资源开发(RE) | (SD1)城镇化 | 非农业人口/总人口 | |
| | (SD2)教育 | 大学以上学历人口 | |
| | (SD3)寿命 | 保险 | |
| | (SD4)医疗 | 医生和可用医疗设施 | |
| | (SD5)就业 | 就业率 | |
| | (SD6)住房 | 住房面积 | |
| | (RE1)土地资源 | 住房面积/总人口 | |
| 环境污染和保护(ET) | (RE2)能量供给 | 水资源 | |
| | (RE3)水资源 | 工业用地 | |
| | (RE4)森林覆盖 | 森林面积 | |
| | (ET1)空气污染 | 空气污染/GDP | |
| | (ET2)水污染 | 水污染/GDP | |
| | (ET3)固体污染 | 固体污染 | |
| | (ET4)空气污染 | 空气污染改良 | |
| (ET5)水污染 | 水污染改良 | | |
| (ET6)固体污染 | 固体污染改良 | | |
| (ET7)环境投资 | 环境投资/总投资 | | |

4、二级指标的测度

二级指标的测度可以通过多种方式实现。考虑到在全面建成小康社会的基础下，必须考虑建成小康社会的相关指标。同时，也直接引入了人均 GDP 和经济增长速度等指标。

其次，要综合二级指标得到最后各个省份的可持续发展能力的结果们就必须考虑每个指标都可能具备不同的单位。因此通过归一化消除不同单位带来的影响，归一化函数如式。。所示。

$$f(x_i) = x_i / \max(i) \quad x_i \text{ 是正因子} \quad (5.1)$$

$$f(x_i) = \min(i) / x_i \quad x_i \text{ 是负因子} \quad (5.2)$$

其中， x_i 表示第 i 个指标因子。

5、综合结果

传统的层次分析法或者 Delphi 法都是通过专家系统分析指标，并且传统的层次分析

法会涉及到高维的评估系统非常不利于计算方便，因此，在本文中采用改进型的层次分析法；利用三维评估系统对指标赋值权重。改进的层次分析法模型如下：

(1) 目标比较矩阵

$$C = |c_{ij}|_{m \times n} \quad (5.3)$$

其中， c_{ij} 可以有三个取值，当为 1 的时候表明 i 所代表的指标重要性大于 j 的指标；当 c_{ij} 为 0 的时候 i 和 j 具有相同的重要性。

(2) 目标估计矩阵

$$S = |s_{ij}|_{m \times n} \quad (5.4)$$

其中 $s_{ij} = d_i - d_j, d_i = \sum_j c_{ij}$

(3) 改进的目标估计矩阵

$$W = |w_{ij}|_{m \times n} \quad (5.5)$$

$w_{ij} = p^{(s_{ij}/s_m)}, s_m = \max_{i,j} S_{ij}$ ，其中 p 是调节因子，一般可以定义为 p=3 或者 p=7，本文选择 p=3。

(4) 综合公式

$$s = \sum_i^n (w_i \times f(x_i)) \quad (5.6)$$

s 表示各个省份的总评分， w_i 表示 x_i 指标因子的权重， $f(x_i)$ 代表着归一化的 x_i 的结果。

6. 权重结果

通过使用改进的层次分析法的到了各个二级指标的权重如表 5-3 所示。

表 5-3 二级指标权重

| | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 二级指标 | ED1 | ED2 | ED3 | ED4 | ED5 | ED6 | SD1 | SD2 |
| 权重 | 0.1836 | 0.2592 | 0.2261 | 0.0998 | 0.1218 | 0.1493 | 0.0795 | 0.1693 |
| 二级指标 | SD3 | SD4 | SD5 | SD6 | RE1 | RE2 | RE3 | RE4 |
| 权重 | 0.1636 | 0.1138 | 0.2462 | 0.1293 | 0.2665 | 0.1117 | 0.3788 | 0.1229 |
| 二级指标 | ET1 | ET2 | ET3 | ET4 | ET5 | ET6 | ET7 | |
| 权重 | 0.1234 | 0.1337 | 0.0672 | 0.1708 | 0.1628 | 0.0927 | 0.2316 | |

通过综合分析法，对各个指标进行加权求和。各个省份的可持续发展能力的数值分析结果如表 5-4 所示。其中将各省的发展能力分为了四个等级：高水平，中高水平，中低水平和低水平。

表 5-4 各省可持续发展能力综合值

| 水平 | 省份 | ED | SD | RE | ER | 综合值 |
|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 高 | 北京 | 0.8972 | 1.0000 | 0.1576 | 0.7735 | 0.8035 |
| | 上海 | 1.0000 | 0.8571 | 0.0385 | 0.8046 | 0.7951 |
| | 浙江 | 0.8019 | 0.7626 | 0.6832 | 0.7939 | 0.7736 |
| | 江苏 | 0.7629 | 0.8195 | 0.0954 | 1.0000 | 0.7352 |
| | 广东 | 0.6809 | 0.7762 | 0.4992 | 0.8399 | 0.7135 |
| | 重庆 | 0.6363 | 0.7366 | 0.7006 | 0.8228 | 0.7074 |
| | 天津 | 0.6301 | 0.6900 | 0.6689 | 0.7470 | 0.6742 |

| | | | | | | |
|----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 中高 | 山东 | 0.6690 | 0.7691 | 0.3336 | 0.6831 | 0.6547 |
| | 湖北 | 0.5909 | 0.7041 | 0.2385 | 0.8750 | 0.6298 |
| | 安徽 | 0.5059 | 0.7310 | 0.5431 | 0.7855 | 0.6266 |
| | 福建 | 0.4879 | 0.7505 | 0.7176 | 0.6244 | 0.6172 |
| | 河南 | 0.6466 | 0.7042 | 0.1534 | 0.7432 | 0.6172 |
| | 湖南 | 0.4974 | 0.6610 | 1.0000 | 0.5174 | 0.6132 |
| | 海南 | 0.5143 | 0.6452 | 0.8417 | 0.6054 | 0.6116 |
| 中低 | 广西 | 0.4498 | 0.7632 | 0.7431 | 0.5961 | 0.6032 |
| | 江西 | 0.5126 | 0.6647 | 0.5860 | 0.6977 | 0.5998 |
| | 贵州 | 0.4988 | 0.6731 | 0.5984 | 0.6600 | 0.5911 |
| | 河北 | 0.5039 | 0.6737 | 0.5842 | 0.6235 | 0.5844 |
| | 云南 | 0.4872 | 0.761 | 0.2968 | 0.684 | 0.5733 |
| | 内蒙古 | 0.4821 | 0.6671 | 0.3899 | 0.7323 | 0.5689 |
| | 陕西 | 0.5085 | 0.6997 | 0.4465 | 0.5671 | 0.5643 |
| | 四川 | 0.488 | 0.7204 | 0.2354 | 0.7023 | 0.5597 |
| | 辽宁 | 0.5537 | 0.7065 | 0.2455 | 0.6001 | 0.5566 |
| | 陕西 | 0.4985 | 0.6255 | 0.3539 | 0.6845 | 0.5500 |
| | 宁夏 | 0.446 | 0.6689 | 0.573 | 0.5536 | 0.5416 |
| | 甘肃 | 0.4432 | 0.5984 | 0.4589 | 0.7136 | 0.5405 |
| | 新疆 | 0.4632 | 0.7043 | 0.3689 | 0.5416 | 0.5324 |
| 低 | 黑龙江 | 0.4302 | 0.609 | 0.3754 | 0.6558 | 0.5155 |
| | 青海 | 0.4343 | 0.6189 | 0.5548 | 0.4627 | 0.5067 |
| | 吉林 | 0.4663 | 0.6511 | 0.3306 | 0.4919 | 0.5042 |
| | 西藏 | 0.2797 | 0.597 | 0.8854 | 0.5011 | 0.4903 |

5.2.2 德尔菲法赋权

(1) 算法流程

德尔菲赋权法本质上是一种反馈匿名函询法，其大致流程是在对所预测的问题征得专家的意见之后，进行整理、归纳、统计，再匿名反馈给各专家，再次征求意见，再集中，再反馈，直至得到一致的意见。流程如图 5-7 所示：

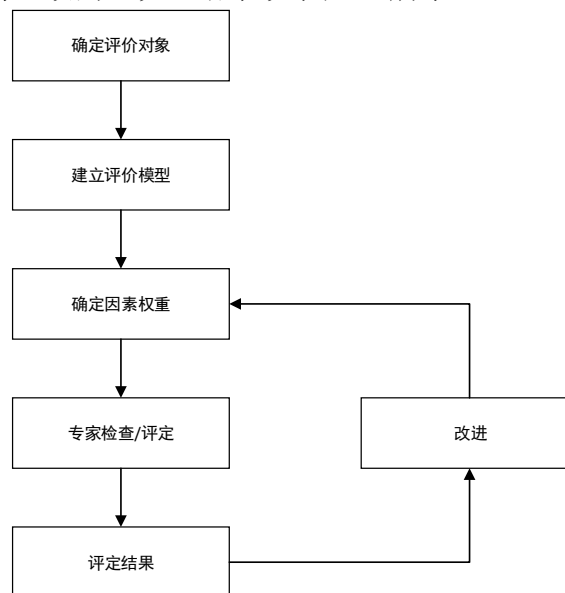


图 5-7 德尔菲赋权法流程图

(2) 专家评定

德尔菲法赋值通过对待赋值因子的多轮专家评定得到最终的权重。其中具体分为三步：

- a. 给出初始赋值因子，计算均数

$$M_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^m C_{ij} \quad (5.7)$$

其中, m_j 表示参加 j 指标评定的专家个数; 表示第 i 个专家对第 j 个指标的权值。

b. 计算满分比, 满分比越大则对初试因子赋权的修正越大

$$k_j = \frac{m'_j}{m_j} \quad (5.8)$$

其中 m'_j 表示给指标 j 满权值的专家个数。

c. 修改赋权因子, 重新计算均属和满分比, 直到满足一致性检验条件。一般德尔菲法采用肯德尔协调系数或者指标变异系数完成一致性检验。本文采取肯德尔协调系数进行检验; 并且得到的最终权重如表 5-5 所示。

表 5-5 一级和二级指标权重

| A 层 | B 层 | C 层 |
|------------|-------------|-------------------|
| 经济发展 0.35 | 经济总量 0.15 | GDP:0.37, |
| | 经济均量 0.19 | 人均 GDP: 0.38 |
| | 经济结构 0.18 | 产业结构指数: 0.55 |
| | 经济增量 0.15 | GDP 增长率: 0.4 |
| 社会发展 0.33 | 经济技术 0.14 | 每万元 GDP 耗电量: 0.52 |
| | 经济效益 0.19 | 工业全员劳动生产率: 0.55 |
| | 人口发展 0.16 | 人口密度: 0.38 |
| | 基础设施 0.14 | 公路密度: 0.35 |
| | 生活质量 0.19 | 恩格尔系数: 0.38 |
| 资源与环境 0.32 | 科技教育 0.18 | 万人拥有专业技术人员: 0.3 |
| | 城市化 0.17 | 城镇密度: 0.45 |
| | 社会文明进步 0.16 | 社保覆盖率: 0.33 |
| | 区位交通条件 0.15 | 综合区位与交通优势: 1 |
| | 自然资源 0.22 | 人均水资源: 0.33 |
| | 自然灾害 0.18 | 年均灾害损失: 1 |
| | 生态系统 0.21 | 绿化覆盖率: 0.55 |
| | 环境质量 0.24 | 三废处理达标率: 0.32 |

(3) 排序结果

计算表明(见表 5-6): 通过德尔菲赋权的结果跟层次分析法的结果相似。从空间分布看, 北京上海以及一些沿海省份的可持续发展能力较强, 中部和西部的省份发展弱于沿海省份。各省份可持续发展能力在一定程度上和经济增长能力正相关, 这和发展中国家的一般规律相吻合。可持续发展较强的可持续发展区, 它们的社会经济发展水平较高, 能为生态环境治理保护提供有力的经济、技术支持。一般可持续发展区次之, 弱可持续发展区再次之。弱可持续发展区的地市经济相对落后, 既需要消耗大量的资源来推动社会经济快速增长, 又需要大量的资金投入以治理保护生态环境, 人口、资源、环境与发展经济的矛盾比较尖锐, 协调的难度较大。

表 5-6 各省可持续发展能力排名

| 省份 | 可持续发展能力 | 省份 | 可持续发展能力 |
|------|---------|--------|---------|
| 1.北京 | 94.74 | 16.江西 | 77.89 |
| 2.上海 | 93.69 | 17.贵州 | 77.20 |
| 3.浙江 | 92.77 | 18.河北 | 76.50 |
| 4.江苏 | 91.23 | 19.云南 | 74.98 |
| 5.广东 | 89.50 | 20.内蒙古 | 72.46 |
| 6.重庆 | 87.32 | 21.陕西 | 69.36 |
| 7.天津 | 86.60 | 22.四川 | 66.21 |

| | | | |
|-------|-------|--------|-------|
| 8.山东 | 85.97 | 23.辽宁 | 64.26 |
| 9.湖北 | 85.93 | 24.陕西 | 57.60 |
| 10.安徽 | 84.78 | 25.宁夏 | 57.02 |
| 11.福建 | 84.56 | 26.甘肃 | 56.45 |
| 12.河南 | 82.45 | 27.新疆 | 55.71 |
| 13.湖南 | 81.32 | 28.黑龙江 | 53.14 |
| 14.海南 | 80.26 | 29.青海 | 48.53 |
| 15.广西 | 79.63 | 30.吉林 | 48.09 |

5.2.3 综合评价法

为评价全国各省全面建成小康社会的实现比率和难度系数，我们以国家统计局监测方案为依据，遵循全面建成小康社会的“五位一体”总体要求，同时考虑统计数据的权威性与可获得性，建立包括 5 个一级指标，15 个二级指标的监测模型，采用综合评价法计算小康社会实现程度。具体步骤如下：

(1) 计算各指标相对于上一层指标的权重

通过一致矩阵法计算各指标相对于上一层指标的权重，成对比较矩阵的元素用 Santy 的 1-9 标度方法给出。矩阵元素 a_{ij} 代表第 i 个因素相对于第 j 个因素的重要性，采用数字 1-9 对前者与后者相比同等重要到前者与后者相比极端重要的情况进行标度。当后者比前者重要时，采取后者比前者的重要程度之倒数。

经过计算，及一致性检验后，最后得出的各指标权重列于表 5-7 中。

表 5-7 小康社会实现程度指标及权重

| 目标 | 一级指标 | 相对上层指标权重 | 二级指标 | 相对上层指标权重 |
|--------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|
| 全面建成 小康社会 实现程度 (G) | 经济发展(R1) | 0.31 | 人均 GDP(Z1) | 0.53 |
| | | | 城镇人口比重(Z2) | 0.22 |
| | | | 规模以上工业企业 R&D 经费支出(Z3) | 0.13 |
| | | | 第三产业增加值占 GDP 比重(Z4) | 0.12 |
| | | | 城乡居民人均可支配 收入比(Z5)n | 0.30 |
| | 社会和谐(R2) | 0.20 | 城镇登记失业率(Z6)n | 0.51 |
| | | | 单位人口拥有执业(助 理)医师数(Z7) | 0.19 |
| | | | 居民人均可支配收入 (Z8) | 0.62 |
| | | | 平均预期寿命(Z9) | 0.38 |
| | 生活质量(R3) | 0.20 | 普通高校师生比(Z10) | 0.33 |
| | | | 15 岁及以上文盲人口 占比(Z11) | 0.45 |
| | | | 单位人口拥有公共图 书馆藏量(Z12) | 0.22 |
| | 文化教育(R4) | 0.19 | 自然保护区占辖区面 积比重(Z13) | 0.20 |
| | | | 人均废水排放量 (Z14)n | 0.49 |
| | | | 人均水资源量(Z15) | 0.31 |
| | | | | |
| | | | | |
| 资源环境(R5) | 0.10 | | | |
| | | | | |

(2) 计算各省份二级指标相对程度

设 Z_i 为第 i 个二级指标的评价值，对于第 j 个省份的正向指标计算公式为：

$$Z_{ij} = x_{ij} / \max_j(x_{ij}) \quad (5.9)$$

对于逆指标计算公式为：

$$Z_{ij} = \min_j x_{ij} / x_{ij} \quad (5.10)$$

3) 计算各省份一级指标相对程度

$$R_{ij} = \sum_i Z_{ij} w_i \quad (5.11)$$

式中， R_{ij} 代表第 j 个省份的第 i 个指标的实现相对程度

4) 全面建成小康社会完成程度和难度系数

第 j 省份全面建成小康社会完成程度（由 G_j 表示）由下式给出：

$$G_j = \sum_i R_{ij} w_i \quad (5.12)$$

第 j 个省份的难度系数 L_j 由该省份相对最大完成程度省份的完成程度之差给出：

$$L_j = 1 - G_j / \max_j G_j \quad (5.13)$$

为计算完成比率，假设最大完成程度的省份为 100%，完成比率 P_j 由下式给出

$$P_j = G_j / \max_j G_j \quad (5.14)$$

(3). 结果

经过计算，最终得到的各省份全面建成小康社会完成程度和难度系数如表 5-8 所示，表中由上至下按完成比率降序排序，反映了各省之间全面建成小康社会相对完成程度高低。

表 5-8 全面建成小康社会完成指标，完成比率和难度系数

| 省份 | 经济发展 | 社会和谐 | 生活质量 | 文化教育 | 资源环境 | 完成比率 | 难度系数 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 北京 | 0.88 | 0.92 | 0.98 | 0.73 | 0.22 | 1.00 | 0.00 |
| 上海 | 0.87 | 0.57 | 1.00 | 0.75 | 0.15 | 0.91 | 0.09 |
| 天津 | 0.60 | 0.62 | 0.75 | 0.83 | 0.22 | 0.79 | 0.21 |
| 浙江 | 0.67 | 0.69 | 0.81 | 0.47 | 0.14 | 0.75 | 0.25 |
| 江苏 | 0.77 | 0.61 | 0.73 | 0.44 | 0.17 | 0.75 | 0.25 |
| 广东 | 0.69 | 0.61 | 0.71 | 0.57 | 0.18 | 0.74 | 0.26 |
| 辽宁 | 0.45 | 0.52 | 0.65 | 0.74 | 0.27 | 0.66 | 0.34 |
| 福建 | 0.61 | 0.53 | 0.68 | 0.42 | 0.19 | 0.65 | 0.35 |
| 湖北 | 0.50 | 0.63 | 0.61 | 0.47 | 0.26 | 0.64 | 0.36 |
| 山东 | 0.54 | 0.57 | 0.64 | 0.42 | 0.24 | 0.63 | 0.37 |
| 重庆 | 0.50 | 0.54 | 0.62 | 0.49 | 0.22 | 0.62 | 0.38 |
| 海南 | 0.41 | 0.64 | 0.60 | 0.48 | 0.27 | 0.61 | 0.39 |
| 内蒙古 | 0.46 | 0.53 | 0.63 | 0.47 | 0.32 | 0.60 | 0.40 |
| 湖南 | 0.43 | 0.52 | 0.60 | 0.53 | 0.28 | 0.60 | 0.40 |
| 吉林 | 0.36 | 0.58 | 0.58 | 0.56 | 0.32 | 0.59 | 0.41 |
| 山西 | 0.38 | 0.55 | 0.57 | 0.57 | 0.33 | 0.59 | 0.41 |
| 黑龙江 | 0.36 | 0.55 | 0.58 | 0.55 | 0.39 | 0.59 | 0.41 |
| 安徽 | 0.42 | 0.56 | 0.59 | 0.42 | 0.30 | 0.58 | 0.42 |
| 河北 | 0.38 | 0.57 | 0.58 | 0.46 | 0.33 | 0.58 | 0.42 |
| 广西 | 0.34 | 0.61 | 0.56 | 0.53 | 0.30 | 0.58 | 0.42 |
| 河南 | 0.41 | 0.58 | 0.57 | 0.45 | 0.27 | 0.58 | 0.42 |
| 江西 | 0.39 | 0.53 | 0.59 | 0.48 | 0.30 | 0.57 | 0.43 |
| 陕西 | 0.44 | 0.52 | 0.57 | 0.44 | 0.26 | 0.57 | 0.43 |
| 四川 | 0.41 | 0.53 | 0.57 | 0.43 | 0.35 | 0.57 | 0.43 |
| 新疆 | 0.37 | 0.53 | 0.55 | 0.51 | 0.33 | 0.57 | 0.43 |
| 西藏 | 0.31 | 0.54 | 0.50 | 0.30 | 1.00 | 0.57 | 0.43 |
| 宁夏 | 0.40 | 0.51 | 0.57 | 0.42 | 0.28 | 0.55 | 0.45 |
| 青海 | 0.36 | 0.54 | 0.53 | 0.37 | 0.45 | 0.54 | 0.46 |
| 甘肃 | 0.31 | 0.52 | 0.51 | 0.38 | 0.55 | 0.53 | 0.47 |
| 云南 | 0.35 | 0.48 | 0.53 | 0.44 | 0.32 | 0.52 | 0.48 |
| 贵州 | 0.34 | 0.49 | 0.52 | 0.38 | 0.35 | 0.51 | 0.49 |

5.2.4 综合结果

为评价各省全面建成小康社会总体情况，采取平均可持续发展能力和全面建成小康社会完成程度加权评分，权重分别为 0.4 和权重 0.6，python 画图结果列于图 5-8:

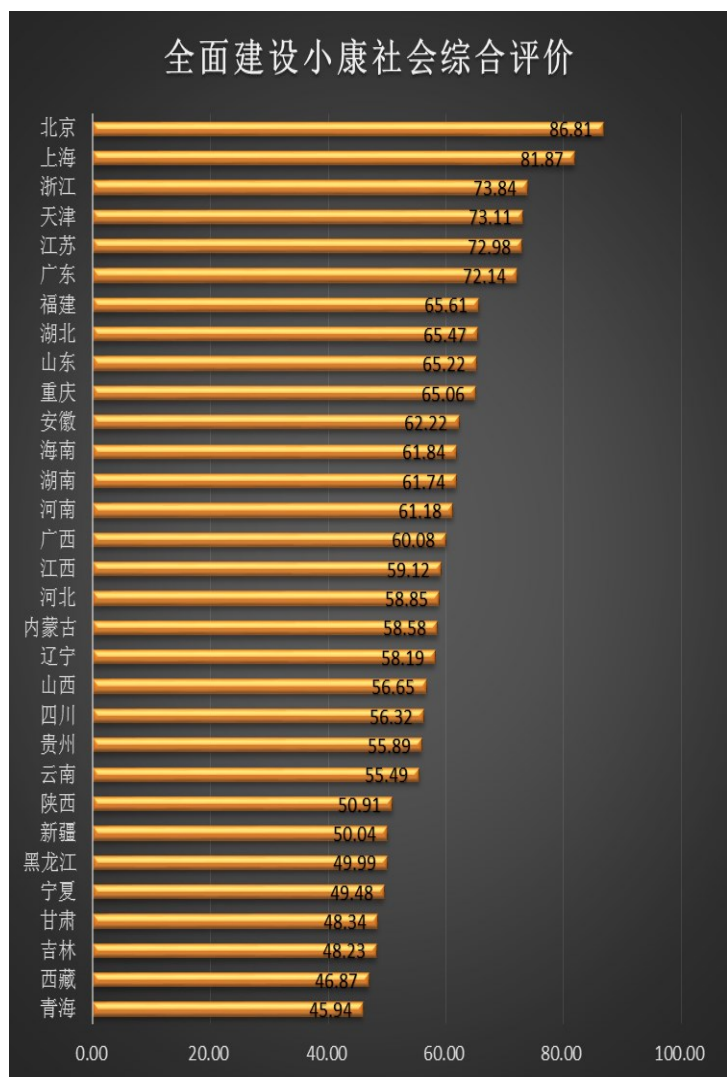


图 5-8 小康社会总体情况排名

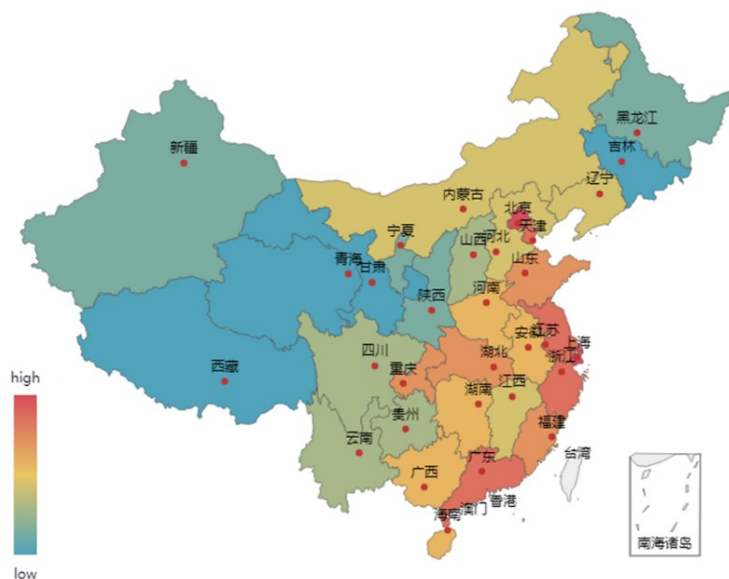


图 5-9 小康社会总体情况空间分布

据图 5-9 可以发现，北京上海直辖市全面建成小康社会程度最高，广东、浙江、江苏、福建等东部沿海地区的经济强省全面建成小康社会程度同样处于很高的水平。中部地区如江西、山西、河南全面建成小康社会处于中位水平。西部地区如宁夏、青海、西藏、云南、贵州等地在全面建设小康社会上较为弱后。此排序也与人们对于各个省份发展程度的认知相吻合，说明使用综合评价法来描述各省份全面建成小康社会的完成程度有一定的可靠性。

5.3 问题 3 的模型建立与求解

5.3.1 VAR 模型理论

向量自回归 (VAR) 常用于预测相互联系的时间序列系统以及分析随机扰动对变量系统的动态影响。VAR 方法通过把系统中每一个内生变量作为系统中所有内生变量的滞后值的函数来构造模型，从而回避了结构化模型的需要。一个 VAR(p) 模型的数学形式是：

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + Bx_t + \varepsilon_t \quad (5.15)$$

这里 y_t 是一个 k 维的内生变量， x_t 是一个 d 维的外生变量。 A_1, \dots, A_p 和 B 是要被估计的系数矩阵。 ε_t 是扰动向量，它们相互之间可以同期相关，但不与自己的滞后值相关及不与等式右边的变量相关。

内生变量滞后二阶的 VAR(2) 模型是：

$$\begin{pmatrix} IP_t \\ M1_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} IP_{t-1} \\ M1_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} IP_{t-2} \\ M1_{t-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{pmatrix} \quad (5.16)$$

其中， a_{ij}, b_{ij}, c_i 是要被估计的参数。也可表示成：

$$\begin{pmatrix} IP_t \\ M1_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} IP_{t-1} \\ M1_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} IP_{t-2} \\ M1_{t-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{pmatrix} \quad (5.17)$$

为了更直观地表示发病增长率和经济增长之间的关系，考虑这两个变量之间的长期影响效果，引入脉冲响应函数的概念。由于对第 i 个变量的冲击不仅直接影响第 i 个变量，并且通过 VAR 模型的动态结构传导给所有的其它内生变量。脉冲响应函数刻画的是在一个扰动项上加上一次性的一个冲击，对内生变量的当前值和未来值所带来的影响。设 VAR(p) 模型为

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (5.18)$$

这里 y_t 是一个 k 维内生变量向量， ε_t 是方差为 Ω 的扰动向量。 y_t 的 VMA(∞) 的表达式

$$y_t = (\psi_0 I + \psi_1 L + \psi_2 L^2 + \dots) \varepsilon_t \quad (5.19)$$

假如 VAR(p) 可逆， y_t 的 VMA 的系数可以由 VAR 的系数得到。设 $\psi_q = (\psi_{q,ij})$ ， $q = 1, 2, 3, \dots$ ，则 y 的第 i 个变量 y_{it} 可以写成：

$$y_{it} = \sum_{j=1}^k (\psi_{0,ij} \varepsilon_{jt} + \psi_{1,ij} \varepsilon_{jt-1} + \psi_{2,ij} \varepsilon_{jt-2} + \psi_{3,ij} \varepsilon_{jt-3} + \dots) \quad (5.20)$$

其中 k 是变量个数。下面仅考虑两个变量($k=2$)的情形:

$$\begin{pmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \psi_{0,11} & \psi_{0,12} \\ \psi_{0,21} & \psi_{0,22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \psi_{1,11} & \psi_{1,12} \\ \psi_{1,21} & \psi_{1,22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \psi_{2,11} & \psi_{2,12} \\ \psi_{2,21} & \psi_{2,22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t-2} \\ \varepsilon_{2,t-2} \end{pmatrix} + \dots \quad (5.21)$$

5.3.2 模型求解

首先, VAR 模型要求所使用的数据是平稳的(分析数据采用了江西省年度数据)。先对数据做平稳性检验。检验结果如表 5-9 所示。

表 5-9 传统单位根检验

| 指标 | 序列 | T 统计值 | 1%临界值 | 5%临界值 | 10%临界值 |
|---------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 城镇登记失业率 | CUE | -3.019 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | D1_CUE | -2.780 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | D2_CUE | -5.700 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| 城乡收入差距 | DCR | -1.607 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | D_DCR | -3.446 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | D2_DCR | -7.050 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| 人口密度 | PD | 0.445 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | D_PD | -19.505 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| 生态 | E | -3.102 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | D_E | -3.327 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | D2_E | -6.682 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| GDP | LNGDP | -1.218 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | DLNGDP | -2.995 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |
| | DLNGDP | -6.445 | -3.750 | -3.000 | -2.630 |

从表中可以看出, 城镇登记失业率得二阶差分大于临界值, 城乡收入差距得二阶差分大于临界值, 人口密度得一阶差分大于临界值, 生态环境数据的二阶差分大于临界值。因此在接下来的分析中采用大于临界值的指标进行正态分布假设检验, 并得到最后的模型。

表 5-10 残差正态分布检验

| 指标 | | Jarque-Bera test | | Skewness test | | Kurtosis test | |
|---------|-------------------|------------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|
| | | 卡方 | P 值 | 卡方 | P 值 | 卡方 | P 值 |
| 城镇登记失业率 | CUED ₂ | 0.039 | 0.84405 | 0.301 | 0.58297 | 0.038 | 0.84618 |
| 城乡收入差距 | DCR2 | 0.131 | 0.93648 | 0.001 | 0.97717 | 0.130 | 0.71799 |
| 人口密度 | PD | 0.480 | 0.78678 | 0.238 | 0.62572 | 0.242 | 0.62298 |

| | | | | | | | |
|---------|------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 生态 | ED2_ | 0.823 | 0.66250 | 0.805 | 0.36972 | 0.019 | 0.89080 |
| LnpeGDP | | 3.021 | 0.22080 | 2.717 | 0.09926 | 0.304 | 0.58164 |
| All | | 4.794 | 0.90448 | 4.062 | 0.54049 | 0.732 | 0.98115 |

计算表明，两阶滞后都没有办法拒绝“无自相关”的原假设，表明可以认为扰动项为白噪声。表 5-10 中，大部分检验都不能拒绝“正态分布”的原假设，说明扰动项是服从正态分布的。

表 5-11 联合显著性检验

| 指标 | 滞后阶数 | F 值 | P 值 |
|---------|------|---------|--------|
| 城乡登记失业率 | 1 | 4.93455 | 0.0656 |
| | 2 | 5.36913 | 0.0569 |
| 城乡收入差距 | 1 | 4.83485 | 0.0956 |
| | 2 | 5.46515 | 0.0669 |
| 人口密度 | 1 | 4.93653 | 0.0687 |
| | 2 | 5.36853 | 0.0459 |
| 生态 | 1 | 4.93455 | 0.0645 |
| | 2 | 5.36845 | 0.0485 |
| LNGDP | 1 | 4.9575 | 0.0584 |

由表 5-11 可以看出两列数据显著的拒绝了单位根的原假设，说明数据是平稳的。其次，对模型拟合，本文通过各信息准则和模型样本数量两个角度反复试验最终选择二阶滞后。在去除不显著的变量之后，最终拟合出的模型如下：

$$IGR_t = -2.953 + 0.431IGR_{t-2} + 2.195\ln cgd p_{t-1} - 1.924 \ln cgd p_{t-2} \quad (7.8)$$

(0.152^{***})
(0.699^{**})
(0.609^{**})

图 5-10 为此经济模型的冲击响应，从图中可以看出生态环境指标的二阶差分，城镇失业率的二阶差分对经济的影响最大，其次城乡收入差距的二阶差分对经济的影响较小。

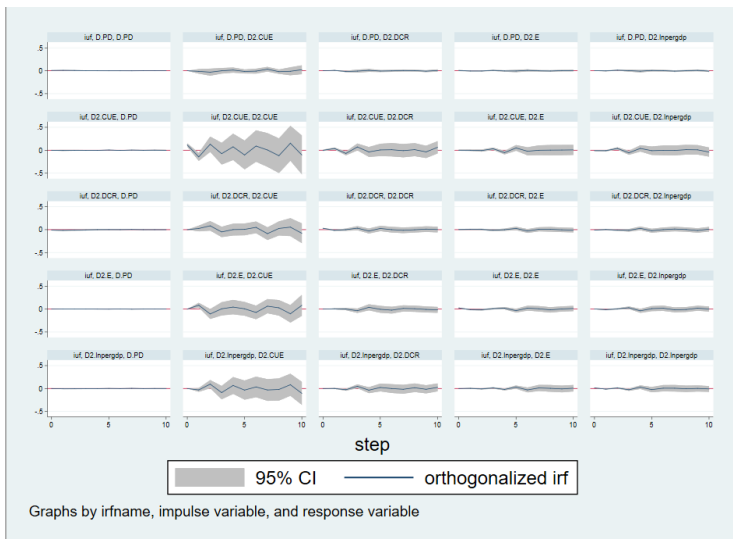


图 5-10 经济模型的冲击响应

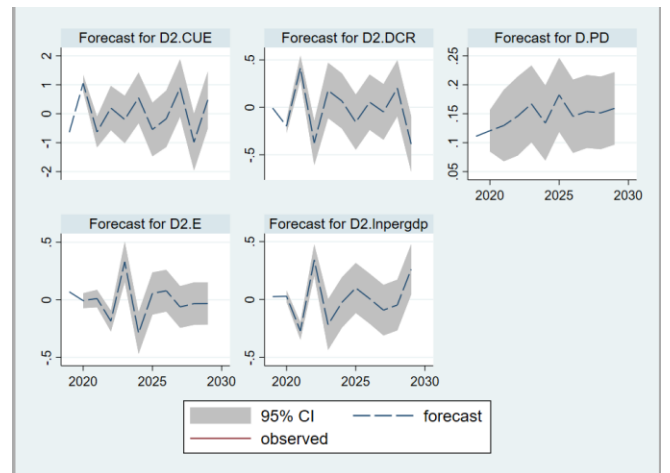


图 5-11 经济短期和长期预测结果

经济的短期和长期预测结果，如图 5-11 所示。从图中可以看出，人均 GDP 在 2020 年之后的 2 年内将会出现下滑，主要是因为收到了疫情的影响；从 2023 年开始国民经济出现复苏，人均 GDP 开始迅猛增长；之后从 2025 年到 2030 年经济逐渐趋于平稳。

5.4 问题 4 的模型建立与求解

5.4.1 建立两省经济-资源合作模型

设第 i 个省的经济社会发展状况可用 x_i 描述，全国全体省份的经济发展状况定义为 $X_0 = \{x_1, x_2, \dots, x_{31}\}$ ，设第 i 个省的资源禀赋用 y_i 描述，全国全体省份的资源禀赋状况 $Y_0 = \{y_1, y_2, \dots, y_{31}\}$ ，定义 i 省的经济效益： $z_i = f(x_i, y_i)$ ，说明 i 省单位资源禀赋能提供的经济量。此模型中我们取 $f(x_i, y_i) = \frac{x_i}{y_i}$ 。

在 31 个省份间任取两省 A 与 B，若 A 省经济效益强于 B 时，表明 A 省对资源的利用程度高，则 A 省同 B 省合作 B 省将从合作中学习到更先进的生产经验，进而提升 B 省的经济效益。若 A 省资源更多时，则 A 省同 B 省合作时 B 省能利用 A 省所提供的资源。若 A 与 B 合作对两省都有好处时，则合作可以建立；若只对一方有好处时，则根据假设，只有在先进经济省份帮扶弱后经济省份的条件下才能建立扶助性质的合作。

为了定量描述省份间合作，定义合作成立时经济落后省份学习经济先进省份生产经验带来的效益提升：

$$z'_i = \max\{w_1 * z_j, z_i + w_2(z_j - z_i)\} \quad (5.22)$$

z'_i 为合作后的 i 省的经济效益， w_1 表示若第 i 省经济效益十分落后时，第 j 省的援助或合作会给 i 省带来改革性的提升，使得 i 省的经济效益达到 j 省的 w_1 。 w_2 表示 i 省经济效益非过于落后时，合作会给经济落后省份带来两省份效益之差乘上因子 w_2 的提升。

定义一个单位的合作中，资源强省 i 对资源弱省 j 输入一单位资源：

$$y_i = y_i + h, y_j = y_j - h \quad (5.23)$$

表示合作深度为一个单位时，资源强省给予资源弱省 h 份资源。

定义合作好处：

$$\text{benf}_{ij} = (y'_i z'_i - y_i z_i) \quad (5.24)$$

y'_i 为 i 与 j 省合作后的 i 省的资源禀赋， benf_{ij} 说明与 j 省合作给 i 省带来的好处。

定义省份间的邻接矩阵：

$$\text{ADJ} = \{a_{ij}\} = \begin{cases} 1 & \text{若 } i \text{ 与 } j \text{ 省份相邻} \\ 0 & \text{若 } i \text{ 与 } j \text{ 省份不相邻} \end{cases} \quad (5.25)$$

定义省份间的合作矩阵：

$$\text{Collab} = \{c_{km}\} = \begin{cases} 1 & \text{若 } k \text{ 给 } m \text{ 省提供经济} \\ i & \text{若 } k \text{ 给 } m \text{ 省提供资源} \end{cases} \quad (5.26)$$

这里 i 是虚数单位，即 $\sqrt{-1}$ 。

有了模型的数学描述后，就可以用计算机求解可能的合作情况，从中找到好处最大的一种合作方案，再输出结果。

5.4.2 求解合作方案的随机优化算法

算法基本思想如图 5-12:

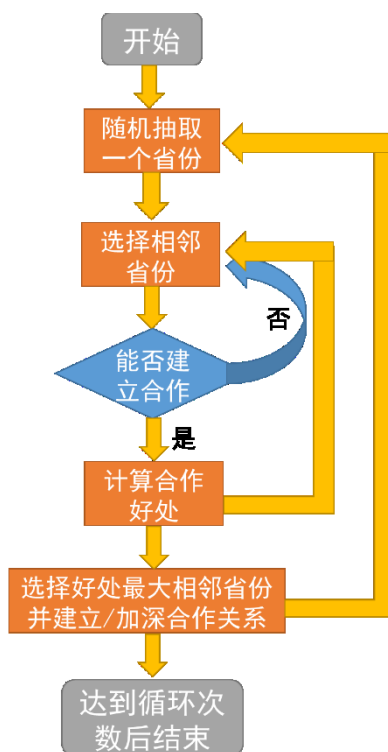


图 5-12 求解合作方案的算法

为求解合作方案，我们任取一个省份，遍历其相邻省份寻找能建立合作关系并且合作带来的效益最大的最佳相邻省，与该相邻省建立或加深合作关系，之后再任取下一个省份，进行下一循环，到达循环次数后输出合作指数结果。

5.4.3 合作方案

我们利用 python 语言编辑算法程序，各省之间的资源禀赋和经济状况数据利用问题 2 中的经济发展(R1)和资源环境(R5)指标数据，并对数据进行尺度变换：

$$X_0 = \frac{R1 - \min(R1) * 0.5}{\max(R1) - \min(R1)} * 100, Y_0 = R5 * 110 \quad (5.27)$$

这样，资源禀赋状况 Y_0 和经济发展状况 X_0 都在合适的区间之内，选取单位资源 $h=5$ ，选取效益提升因子 $w1=1/3$ 和 $w2=0.2$ ，循环步数设为一万步。得到合作方案列于下表：

表 5-12 建立合作省份与合作方案

| 提供经济省份 | 合作省份 | 合作程度 | 提供资源省份 | 合作省份 | 合作程度 |
|--------|------|------|--------|------|------|
| 北京 | 河北 | 1 | 山东 | 江苏 | 1 |
| 天津 | 河北 | 2 | 海南 | 广东 | 1 |
| 浙江 | 安徽 | 1 | 湖南 | 广东 | 1 |
| | 江西 | 2 | | | |
| 江苏 | 山东 | 1 | 安徽 | 浙江 | 1 |
| | 安徽 | 1 | | 江苏 | 1 |

| | | | | | |
|-----|-----|---|-----|-----|---|
| 广东 | 海南 | 1 | 西藏 | 四川 | 6 |
| | 湖南 | 1 | | 新疆 | 1 |
| | 广西 | 2 | | 青海 | 1 |
| | | | | 云南 | 1 |
| 重庆 | 四川 | 3 | 河北 | 北京 | 1 |
| | 贵州 | 2 | | 天津 | 2 |
| 内蒙古 | 黑龙江 | 1 | 青海 | 四川 | 3 |
| | 甘肃 | 1 | 贵州 | 重庆 | 2 |
| 陕西 | 甘肃 | 3 | 黑龙江 | 内蒙古 | 1 |
| 四川 | 西藏 | 6 | 甘肃 | 内蒙古 | 1 |
| | 青海 | 3 | | 陕西 | 3 |
| 新疆 | 西藏 | 1 | 广西 | 广东 | 2 |
| 青海 | 西藏 | 1 | 江西 | 浙江 | 2 |
| 云南 | 西藏 | 1 | 四川 | 重庆 | 3 |

根据上表的，利用 python 的 pyecharts 作图对合作方案可视化，结果如下：



图 5-13 各省间合作连接图

由上图可以看出，依据模型的模拟结果，可以看出方案由几个合作网络组成。西部省份新疆、西藏、青海、四川、重庆、贵州及云南可以形成合作网络，重庆作为直辖市提供给贵州和四川经济效益，四川和贵州为重庆提供资源；四川作为更为西部省份西藏和青海中的经济强省，获得西藏和青海的资源的同时给它们提供先进的生产经验；同样青海-西藏，新疆-西藏，云南-西藏也可建立合作关系。同样，横跨西北-东北的陕西、甘肃、内蒙古、黑龙江之间也可建立合作关系网络。华北地区，北京、河北、天津有京津冀合作连接。东部省份山东、江苏、安徽、浙江之间可取长补短，浙江可将沿海经济的影响力输运给内部较为落后的江西省。另外，南方经济强省广东也可对海南、广西、湖南提供经济援助同时利用这些地方的资源促进自身的发展，形成南方的合作网络。

六、模型的评价及优化

6.1.层次分析法的优缺点

a.系统性的分析方法，可用于对无结构特性的系统评价以及多目标、多准则、多时期等的系统评价。

b.简洁实用的决策方法，计算简便，并且所得结果简单明确，容易为决策者了解和掌握。

缺点

a. 不能为决策提供新方案

对于大部分决策者来说，如果一种分析工具能替我分析出在我已知的方案里的最优者，然后指出已知方案的不足，又或者甚至再提出改进方案的话，这种分析工具才是比较完美的。

b.定量数据较少，定性成分多，不易令人信服

层次分析法是一种带有模拟人脑的决策方式的方法，因此必然带有较多的定性色彩。

c.指标过多时，数据统计量大，且权重难以确定

由于一般情况下我们对层次分析法的两两比较是用 1 至 9 来说明其相对重要性，如果有越来越多的指标，我们对每两个指标之间的重要程度的判断可能就出现困难了。

6.2 德尔菲赋权法的优缺点

a.各专家能够在不受干扰的情况下，独立、充分地表明自己的意见；

b.预测值是根据各位专家的意见综合而成的，能够发挥集体的智慧；

缺点

a.在综合预测值时，仅仅是根据各专家的主观判断，缺乏客观标准，而且显得强求一致。

b.有的专家由于一些主客观原因，对表格的填写未经过很深入的调查和思考，从而影响到评价结果的准确性。

6.3 向量自回归模型的优缺点

a. VAR 模型中参数的估计比较容易。

b. VAR 模型形式的通用性。由于 VAR 模型不以金融经济理论为基础,因而可以在很大程度上去任意添加其它的解释变量。

c. VAR 模型常常可以避免为了保证结构模型的可识别性而施加的施加的限制的影响。

6.4 问题 4 模型的优缺点改进之处

优点

a.充分定义了近邻省份经济-资源合作模型中各省经济效益、合作条件、合作后变化等函数，数学上定量了各省之间的合作，从而可以通过算法得到最佳方案。

b.利用复数矩阵表示各省之间的合作结果，降低了代码和算法的复杂程度。

c.计算简便，该模型思想也可以推广到复杂的合作模型中，具有一定潜力。

不足

- a.为简化模型，假设中仅包含邻接省份，因而像北京、上海等高度发达的地区难以越过它们的邻接省河北及江苏浙江对地理距离不算远的安徽山西等省份施加它们的影响力建立合作。
- b.模型运算算法具有随机因素，全局最佳方案不一定能得到。
- c.模型设计时效益提升函数及其因子，合作好处函数，单位资源大小如何选取如何确定不够明确。

可改进的地方：

- a.改进假设，考虑非邻接省份合作，由各省之间中心城市的相对距离大小控制合作可能性。
- b.考虑更多指标因素，设计更复杂的合作方案
- c.改进模型的基础上，改进算法，可考虑应用蒙特卡罗算法、AI 算法等更成熟的算法。
- d.寻找效益提升函数等函数及因子的更好定义。

参考文献

- [1] 中国国家统计局网站, <http://www.stats.gov.cn/>
- [3] 中经网统计数据库, <https://db.cei.cn/>
- [4] 郭萌, 王怡. 全面建成小康社会进程监测及路径优化[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(24): 283-288.
- [5] 许谨. 全面建成小康社会基本指标分析[J]. 经济界, 2012(6):75-79. [6] 林长云. 中国人口对可持续发展的影响及对策研究[J]. 林业经济, 2003(05):30-32.
- [7] 周文魁, 苗洁. 气候变化对我国可持续发展的影响及应对策略[J]. 齐齐哈尔工程学院学报, 2009, 003(002):P.54-58.
- [8] 韩保江, 邹一南. 中国小康社会建设 40 年:历程、经验与展望[J]. 管理世界, 2020(1).
- [9] Jia Ruoxiang, Hou Xiaoli, Liu Yi. Evaluating Chinas Provincial Sustainability by Integrated Indicators[J]. journal of the graduate school of the chinese academy of science, 2004, 42(1):63-70.
- [10] 张倩, 马秋华. 全面建成小康社会指标体系构建[J]. 统计与管理, 2018, 000(010):114-116.
- [11] 陈强, 高级计量经济学及 Stata 应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.10.
- [12] 张延群. 向量自回归模型理论及其应用研究[M]. 中国社会科学出版社, 2013.8.

附录

1. VAR 代码

```

tsset year
dfuller CUE
dfuller d.CUE
dfuller d.d.CUE
dfuller DCR
dfuller d.DCR
dfuller d.d.DCR
dfuller PD
dfuller d.PD
dfuller E
dfuller d.E
dfuller d.d.E
dfuller lnpergdp
dfuller d.lnpergdp
dfuller d.d.lnpergdp
varsoc d.d.CUE d.d.DCR d.PD d.d.E d.d.lnpergdp ,maxlag(4)

var d.d.CUE d.d.DCR d.PD d.d.E d.d.lnpergdp , small
varnorm
varstable,graph
varwle
vargranger
irf create iuf,set(macrover) step(10)
irf graph oirf,yline(0)
fcst compute f_ ,step(10)
fcst graph f_D2_CUE f_D2_DCR f_D_PD f_D2_E f_D2_lnpergdp ,o lpattern("_ ")

```

2. 问题 4 的随机优化算法源程序

文件: MC0606.py

```

import random as ra
import numpy as np
import adj_matrix_china as adj
import copy

```

```
num=31
```

#x0:经济 y0:禀赋 z0:初始效益

```

x0=np.array([126.79 ,123.88 ,77.94 ,89.61 ,107.80 ,\
            93.44 ,51.66 ,79.30 ,60.81 ,67.49 ,60.97\
            ,45.34 ,52.71 ,48.78 ,36.09 ,39.45 ,\
            35.02 ,46.81 ,39.78 ,31.86 ,44.70 ,41.86 \
            ,49.26 ,44.20 ,\

```

```
38.12 ,26.79 ,42.00 ,36.61 ,27.14 ,34.22 ,32.75])
```

```
"""
```

```
x0=np.array([100.00 ,95.91 ,55.10 ,65.62 ,75.37 ,57.42 ,34.87 ,65.33 ,47.19 ,\
43.08 ,46.24 ,34.46 ,41.37 ,35.09 ,26.51 ,27.88 ,22.06 ,\
35.67 ,28.26 ,26.20 ,34.38 ,32.42 ,40.64 ,34.01 ,33.10 ,\
29.82 ,33.06 ,29.87 ,20.12 ,29.23 ,28.31])
```

```
"""
```

```
y0=np.array([0.21900552,0.150779763,0.224193101,0.143499445,0.169196543,0.178010654
,0.272209386,\
0.194657663,0.262827531,0.23860188,0.220629418,0.270156393,0.320706923,0.276874761
,\
0.317457365,0.32817422,0.391237114,0.303330628,0.331573028,0.298208533,0.27237412,\
0.303493275,0.26215307,0.348405972,0.329620889,1,0.279305443,0.44507755,0.55094282
4,\
0.324156628,0.352843656])
```

```
y0=y0*110
```

```
z0=x0/y0
```

```
x1=np.copy(x0)
```

```
y1=np.copy(y0)
```

```
z1=np.copy(z0)
```

```
#中间变量
```

```
x2=np.zeros(num)
```

```
y2=np.zeros(num)
```

```
z2=np.zeros(num)
```

```
#单位步长
```

```
h=5
```

```
#效益权重
```

```
w1=1/3
```

```
w2=0.2
```

```
#合作矩阵 aij:i 对 j 提供效益帮助 1 单位: 1 i 对 j 提供资源帮助 1 单位: 1j
```

```
A=np.zeros((num,num),dtype=complex)
```

```
#邻接矩阵
```

```
B=np.zeros((num,num))
```

```
B=copy.deepcopy(adj.A)
```

```
print('测试邻接矩阵')
```

```
print('江西','湖北',adj.Is_adj('江西','湖北'))
```

```
print('江西','北京',adj.Is_adj('江西','北京'))
```

```
print('江苏','河南',adj.Is_adj('江苏','河南'))
```

```
print('江西','贵州',adj.Is_adj('江西','贵州'))
```

```
"""
#test num=3
B[0,1]=B[1,0]=1
B[1,2]=B[2,1]=1
B[0,2]=B[2,0]=1
"""

#test num=8
"""
B[0,1]=B[1,2]=B[2,4]=B[4,7]=1
B[6,7]=B[5,6]=B[3,5]=B[0,3]=1
"""

for i in range(0,num):
    for j in range(i+1,num):
        B[j,i]=B[i,j]

def cal_benkm(zk1,yk1,zk0,yk0):#m 对 k 带来的好处
    return zk1*yk1-zk0*yk0
def cal_zm1(zm,zk):#k 对 m 的效益提升 返回 zm'
    zm1=max(w1*zk,zm+w2*(zk-zm))
    return zm1

def judge1(k,m):
    zk0=z1[k]
    yk0=y1[k]
    zm0=z1[m]
    ym0=y1[m]
    if(y0[k]<y0[m]-h):#m 可以给 k 提供资源
        ym1=ym0-h
        zm1=cal_zm1(zm0,zk0)
        ben_m=cal_benkm(zm1,ym1,zm0,ym0)
        if(ben_m>0):
            return 1#双方有益
    if(zm0<zk0*w1):#k 帮扶 m,无需代价
        return -1#单方帮扶
    return 0#拒绝合作

def add_collab(k,m,s):#增强合作
    #参数 s:s=2 k 经济帮 m, m 资源帮 k;s=-2 k 与 m 调换
    #      s=1 k 经济帮扶 m    s=-1 m 经济帮扶 k
```

```

zk0=z1[k]
yk0=y1[k]
zm0=z1[m]
ym0=y1[m]
if(s==2):
    A[k,m]+=1
    A[m,k]+=1j
    y1[m]=ym0-h
    y1[k]=yk0+h
    z1[m]=cal_zm1(zm0,zk0)#k 帮 m 对 m 的效益提升
elif(s==-2):
    A[k,m]+=1j
    A[m,k]+=1
    z1[k]=cal_zm1(zk0,zm0)
    y1[k]=yk0-h
    y1[m]=ym0+h
elif(s==1):
    A[k,m]+=1
    z1[m]=cal_zm1(zm0,zk0)
elif(s==-1):
    A[m,k]+=1
    z1[k]=cal_zm1(zk0,zm0)

```

#返回 k 对 m 的合作状态

s=2 k 经济帮 m, m 资源帮 k;s=-2 k 与 m 调换

s=1 k 经济帮扶 m s=1 s 经济帮扶 k)

```

def stats(k,m):
    a=A[k,m]
    b=A[m,k]##?会不会 a b 都有实虚部?
    if(a.real>0 and b.imag>0):
        return 2
    elif(b.real>0 and a.imag>0):
        return -2
    elif(a.real>0 and abs(b)<1e-5):
        return 1
    elif(b.real>0 and abs(a)<1e-5):
        return -1

    return 0

```

#main program:

```

def find():
    i=ra.randint(0,num-1)#任选一省份
    zi0=z1[i]
    yi0=y1[i]
    max_benf_m=0
    flag=0

```

```

s=0
#参数 s:s=2 i 经济帮 k, k 资源帮 i;s=-2 k 与 i 调换
#      s=1 i 经济帮扶 k    s=-1 k 经济帮扶 i
for k in range(0,num):

    if(B[i,k]!=0):
        yk0=y1[k]
        zk0=z1[k]
        benf_ik=0
        benf_ki=0
        if(zi0>zk0):#i 可经济帮 k
            status=judge1(i,k)
            if(status==1):
                zk1=cal_zm1(zk0,zi0)#后者对前者的效益提升 返回前者修改值
                yk1=yk0-h
                yi1=yi0+h
                benf_ik=cal_benkm(zi0,yi1,zi0,yi0)
                benf_ki=cal_benkm(zk1,yk1,zk0,yk0)
                ss=2
            elif(status==-1):
                zk1=cal_zm1(zk0,zi0)
                benf_ki=cal_benkm(zk1,yk0,zk0,yk0)
                ss=1
        else:#k 可经济帮 i
            status=judge1(k,i)
            if(status==1):
                z1=cal_zm1(zi0,zk0)
                yi1=yi0-h
                yk1=yk0+h
                benf_ik=cal_benkm(z1,yi1,zi0,yi0)
                benf_ki=cal_benkm(zk0,yk1,zk0,yk0)
                ss=-2
            elif(status==-1):
                z1=cal_zm1(zi0,zk0)
                benf_ik=cal_benkm(z1,yi0,zi0,yi0)
                ss=-1
        if((benf_ik+benf_ki)>max_benf_m):
            max_benf_m=benf_ik+benf_ki
            flag=k
            s=ss
        #end if
    #end if of B[i,k]!=0
if(flag!=0):
    add_collab(i,flag,s)

def cal_ben_improv(z0,z1):
    s=0
    for i in range(0,num):
        s+=cal_benkm(z1[i],y1[i],z0[i],y0[i])

```

```
print(s)

for i in range(0,10000):
    find()
cal_ben_improv(z0,z1)
```