

2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

题 目 基于 SVAR 模型的经济社会可持续发展研究

摘 要

本文针对全面建成小康社会的系列问题，依次建立了聚类模型、秩和比综合评价模型、向量自回归模型、区域合作计划模型，给出了各省之间的经济合作计划，并进行了模型的评价和相应的改进。

针对问题一，要求总结归纳过去 20 年我国全面建成小康社会历程中的成功经验，并提出未来 20 年的我国可持续发展思路。首先，我们总结了过去 20 年建成小康社会的经验，具体从始终坚持党的集中统一领导、坚持以人民为中心的发展思想、坚持以经济建设为中心、坚持循序渐进的目标导向、坚持改革开放的根本途径五个方面进行总结叙述。然后针对未来 20 年我国可持续发展思路，从气候变暖方面、环境资源方面、人口问题方面进行分析，最后并提出未来 20 年我国可持续发展问题的措施。

针对问题二，要求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。首先，我们选用贫困人口比例、城镇失业率、基尼系数、环境质量指数等 10 个指标作为各省全面建成小康社会的合理指标，通过国家统计局年鉴和地方统计年鉴等渠道搜集 34 个省市 2019 年的相关数据。然后通过 Q 型聚类分析法将 34 个省市建成小康社会的情况进行分类，最后建立秩和比综合评价模型对每个种类的代表省市建成小康社会的总体情况进行评价，给出 34 个省市的排序。

针对问题三，要求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。首先，我们搜集了近 20 年来中国的 21 个比值指标去代替四川省的指标。利用熵权法确定指标权重，得到新指标可持续发展综合评价。然后将 21 个指标随机分为三个阶段建立 SVAR 模型，依次进行 ADF 检验、无约束 VAR 模型估计、构建 SVAR 模型并进行实证结果分析。最后计算出未来 20 年每一阶段可持续发展对每个指标的冲击以及每个指标在短期和长期内对可持续发展的贡献度，

针对问题四，要求提供一个各省之间的合作计划。首先我们制定各省之间的合作要求：一是各省份之间要优势互补，二是地域临近。然后我们选用人均 GDP、居民可支配收入作为经济社会发展状况指标，选用耕地面积指数、水资源指数、煤石油天然气指数作为拥有资源状况，通过搜集数据然后确定各省的经济资源指数，最后根据地域相邻制定各省之间的合作计划。

最后，针对本文所建立的模型进行了综合评价，指出了每个模型的优点和不足，对今后的改进方向提出了大致思路。

关键词：熵权法； Q 型聚类分析；秩和比综合评价；SVAR 模型；区域合作计划

目录

一、 问题重述.....	3
1.1 问题背景.....	3
1.2 问题的提出.....	3
二、 模型的假设.....	3
三、 问题的分析.....	3
3.1 问题I的分析.....	3
3.2 问题II的分析.....	3
3.3 问题III的分析.....	4
3.4 问题IV的分析.....	4
四、 符号说明.....	4
五、 模型的建立与求解.....	4
5.1 问题I的准备.....	4
5.1.1 过去 20 年建成小康社会的经验总结.....	4
5.1.2 未来 20 年我国可持续发展思路.....	5
5.2 问题II的模型建立与求解.....	6
5.2.1 模型的准备.....	6
5.2.2 聚类模型的建立与求解.....	7
5.2.3 秩和比综合评价模型的建立与求解.....	9
5.3 问题III的模型建立与求解.....	11
5.3.1 模型的准备.....	11
5.3.2 指标选择.....	13
5.3.3 向量自回归模型的建立与求解.....	15
5.3.4 实证检验步骤.....	19
5.4 问题IV的求解.....	26
5.4.1 模型的准备.....	26
5.4.2 区域合作模型的建立与求解.....	27
六、 模型的评价与改进.....	28
6.1 模型的评价.....	29
6.1.1 问题I模型的评价.....	29
6.1.2 问题II模型的评价.....	29
6.1.3 问题III模型的评价.....	29
6.1.4 问题IV模型的评价.....	29
6.2 模型的改进.....	29
参考文献.....	30
附录.....	31

一、问题重述

1.1 问题背景

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。为此需要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。

1.2 问题的提出

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：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、模型的假设

为使解题过程得到简化，本文做出如下假设以规定模型的适用范围。

- (1) 假设所统计的数据真实可靠且都在误差允许范围之类；
- (2) 假设未考虑因素遵循相应的经济学理论；
- (3) 假设可持续发展是我国坚持发展的国策；
- (4) 假设疫情期间经济不再受其它自然因素的影响；

三、问题的分析

3.1 问题I的分析

针对问题一，本文首先总结了过去 20 年建成小康社会的经验，具体从始终坚持党的集中统一领导、坚持以人民为中心的发展思想、坚持以经济建设为中心、坚持循序渐进的目标导向、坚持改革开放的根本途径五个方面进行总结叙述。针对未来 20 年我国可持续发展思路，本文从气候变暖方面、环境资源方面、人口问题方面进行分析，并提出未来 20 年我国可持续发展应该问题的措施。

3.2 问题II的分析

问题二要求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。首先，本文认为本题的难点主要在于选用合理指标，应该多方面考虑合理建成小康社会总体情况的合理指标，因此，本文选用贫困人口比例、城镇失业率、基尼系

数、基本社会保障覆盖率、人均 GDP、城镇人口比重、恩格尔系数、环境质量指数、常用耕地面积指数、财政性节能环保支出占 GDP 总重这 10 个指标作为各省全面建成小康社会的合理指标，通过国家统计局年鉴和地方统计年鉴等渠道搜集 34 个省市 2019 年的相关数据。然后通过 Q 型聚类分析法将 34 个省市建成小康社会的情况进行分类，最后建立秩和比综合评价模型对每个种类的代表省市建成小康社会的总体情况进行评价，给出 34 个省市的排序。

3.3 问题III的分析

问题三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。我们搜集了近 20 年来中国的 21 个比值指标去代替四川省的指标。利用熵权法确定指标权重，得到新指标可持续发展综合评价。然后将 21 个指标随机分为三个阶段建立 SVAR 模型，依次进行 ADF 检验、无约束 VAR 模型估计、构建 SVAR 模型并进行实证结果分析。最终得到未来 20 年每一阶段可持续发展对每个指标的冲击以及每个指标在短期和长期内对可持续发展的贡献度，结合以上操作得到最终的模型。

3.4 问题IV的分析

问题四要求提供一个各省之间的合作计划，而且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。首先我们认为各省之间的合作要求应该考虑满足两点要求：一点是各省份之间要优势互补，即两者合作要有一者经济发展状况较好，但是要想迅速发展需要物资提供，而后者是具有一定的资源，但是不易推动经济发展。另外一点要求是地域要相临近，这样交通便捷，更容易相互合作。本着这两点要求，我们只需要划分出各省是经济发达一类还是资源丰富一类即可。因此，我们选用人均 GDP、居民可支配收入作为经济社会发展状况指标，选用耕地面积指数、水资源指数、煤石油天然气指数作为拥有资源状况，通过搜集数据然后确定各省情况，最后根据地域相邻制定各省之间的合作计划。

四、符号说明

本文所用主要符号变量符号及意义在文中引用时会加以说明。

符号	说明	符号	说明
P_i	贫困人口比例	E_c	恩格尔系数
G	基尼系数	C_i	常用耕地面积指数
\overline{GDP}	人均 GDP	E_q	环境质量指数
P_u	城镇人口比重	F_i	财政性节能环保支出占 GDP 总重

五、模型的建立与求解

5.1 问题I的分析

5.1.1 过去 20 年建成小康社会的经验总结

20 年的小康社会建设经历了从总体到全面，从低水平到高水平、从量的积累到质的飞越的发展过程。我国全面建成小康社会的成功经验主要包括：

(1) 始终坚持党的集中统一领导

在过去 20 年间，我国的工业化、城镇化、信息化、农业现代化进程快速推进，经济保持高速发展，经济总量跃升至世界第二，制造业规模跃居师姐第一，人均 GDP 近 1 万美元并成功步入世界中高收入国家行列，关键在于中国共产党的正确领导。党对小康社会建设的领导主要表现在三个方面：方向指引、理论武装和组织保证。正是坚持党的集中统一领导这一社会制度优势，才使得我们在这 20 年间减贫 5 亿多人口，贫困发生

率降低到 1%左右，创造了一个人类奇迹。

(2) 始终坚持以人民为中心的发展思想

坚持发展为了人民，是小康社会建设能够始终找准时代方位的根本保证，是小康社会建设能够始终获得不竭动力的重要源泉。国家在义务教育、医疗卫生、社会保障、住房市场、公共交通、食品安全、社会治安等领域出台了一系列的民生工程和惠民举措，着力解决发展不平衡、不充分问题，全方位满足人民日益增长的美好生活需要，真正做到民之所望，施政所向。

(3) 始终坚持以经济建设为中心

全面建成小康社会的目标把握住了马克思主义的基本原理，与改革开放后“以经济建设为中心”这个党的基本路线始终保持一致。经济建设在全面建成小康社会“五位一体”的总布局中处于核心地位。经过两个“三步走”前两步的完成，三个 GDP“翻番”目标的实现，中国在经济总量上已稳居世界第二，在人均收入水平上即将跨越中等收入门槛。坚持经济建设为中心不动摇，是我国小康社会建设过程中能够不断克服艰难险阻和跨越发展陷阱的重要法宝。

(4) 始终坚持以循序渐进的目标导向

从最初作为“中国式的现代化”的“小康”目标的设立，到后来从总体小康到全面小康的目标调整，再到对小康社会和社会主义现代化国家阶段性目标的设定和调整，处处体现了我国在建设小康社会进程中遵循发展规律的正确工作方式。两个“三步走”、三个“翻番”，循序渐进地推动小康社会向更高水平升级。

(5) 始终坚持以改革开放的根本途径

十八届三中全会以来，全面深化改革多点突破，推动全面建成小康社会达到新高度。全面深化改革以国家治理体系和治理能力现代化为目标，以经济体制为重点，供给侧结构性改革、农村土地“三权分置”改革、户籍制度改革的进展，提出了一系列新理念、新思想、新战略，为全面建成小康社会的目标能够如期完成提供了决定性保证。

5.1.2 未来 20 年我国可持续发展思路

在全球变暖背景下，近 20 年来我国年平均气温明显升高，达到 0.5~0.8℃，比同期全球气温平均值略高。华北和东北地区干旱趋重，长江中下游流域和东南地区洪涝加重。专家预测 2020 年中国年均气温将比 2000 年增加 1.3-2.1℃，2050 年增加 2.3-3.3℃，预计 2050 年年均降水量增加 5-7%。未来我国的极端天气气候事件发生频率可能增大，将对我国经济社会的可持续发展和人们生产生活造成很大影响。气候变换对农业中的农作物生长发育、农作物品质、种植制度、农业灾害，对水资源中的分布变化、水质，对生态环境中的森林和草原、海岸带环境和生态系统、对交通运输中的交通设施、交通运输，对人类健康都有一定影响。未来 20 年我国应对气候变化的对策措施如下：

- 1、优化能源结构，控制温室气体排放。
- 2、加强科学研究与技术开发，增强对气候变化的适应能力。
- 3、加强机构机制建设，加大资金投入。
- 4、加大宣传，增强公众意识与管理水平。

环境资源方面，我国煤烟型大气污染和城市交通污染严重，水资源短缺，人均水资源量仅及世界人均水资源量的 1/4。垃圾处理率较低，工业固体废物年产量达 8 亿多吨，并以每年 8%的速度增加。并且我国水土流失面积较大、荒漠化与沙尘暴形式严峻、生物多样性减少、战略性矿产资源短缺、能源利用技术有待改进和海洋资源亟待合理开发与保护等问题也日益增强。

未来 20 年我国应对环境资源方面的对策措施如下：

- 1、发展电动汽车和轨道交通作为今后交通发展战略。

- 2、加强水资源管理政策，制定多种制度，严格管控水资源的每个环节。
- 3、提高工业固体废物利用率，管控减少城镇生活垃圾。
- 4、遏止长江上游的水土流失，增加植被覆盖率。
- 5、防沙止漠从单纯植树造林转到促进沙漠化地区经济社会可持续发展上来，实行“防治结合，以防为主，治沙与治穷并重”的战略。
- 6、在立法、科研、宣传和建立自然保护区方面做工作，遏止破坏野生动植物资源的现象。
- 7、推广太阳能、风能、潮汐能应用，推动其研究。
- 8、加强海洋排污的管理，通过各种行政的、法律的和经济的措施予以解决。
- 9、清洁生产循环经济为有效解决我国可持续发展面临的环境与资源问题，今后工作要在约束机制与投入机制上下功夫。
- 10、加强居民环保意识、环境成本意识，加强推广环保产品。清洁生产和循环经济是解决可持续发展的必由之路。
- 11、建立良好机制，善待环境，顺应自然，与自然界和谐相处。

人口问题是影响中国可持续发展的问题。目前我国人口的现状是：人口规模庞大、城市化进程加快、性别比偏高、人口老龄化等。而且由于人口剧增，导致资源短缺、环境恶化。

未来 20 年我国针对人口压力的对策措施如下：

- 1、加大人力资本投入。
- 2、发展教育和科学事业。
- 3、针对人口结构的变化采取各种与市场经济相适应的社会保障制度。

5.2 问题II的模型建立与求解

5.2.1 模型的准备

我们选用贫困人口比例 (P_i)、城镇失业率 (U)、基尼系数 (G)、基本社会保障覆盖率 (S)、人均 GDP (\overline{GDP})、城镇人口比重 (P_u)、恩格尔系数 (E_c)、环境质量指数 (E_q)、常用耕地面积指数 (C_i)、财政性节能环保支出占 GDP 总重 (F_i) 这 10 个指标作为各省全面建成小康社会的合理指标,通过国家统计局年鉴和地方统计年鉴等渠道搜集 34 个省市 2019 年的相关数据,使用 Excel 整理汇总绘制表格,以便用于后续模型的建立与求解,部分数据如表 1 所示。

表 5-1 部分省市建成小康社会总体情况指标数据

省市	P_i	U	G	S	\overline{GDP}	P_u	E_c	E_q	C_i	F_i
北京	0.33	3.62	0.553	92.81	98293	71.28	21.66	73.6	83.97	1.23
上海	0.26	3.83	0.449	94.26	112738	68.39	19.87	78.7	91.28	1.92
辽宁	1.17	4.12	0.356	88.97	71368	58.52	28.9	80.8	93.64	0.89
吉林	0.81	4.03	0.450	90.62	66875	59.58	26.97	81.8	92.18	0.97
.....
福建	0.58	3.97	0.281	89.67	68283	61.22	29.34	75.7	93.92	0.82

5.2.2 聚类模型的建立与求解

(1) Q 型聚类模型的建立

聚类分析法又称群分析，是对多个样本或指标进行定量分类的一种多元统计分析方法^[2]。该方法可用 Q 型聚类分析对样本进行分类，从而帮助我们划分不同省市全面建成小康社会的总体情况。有关该模型的介绍如下：

1) 样本的相似性度量

要用数量化的方法对事物进行分类，就必须要用数量化的方法描述事物间的相似程度。一个事物常常需要用多个变量来刻画，如果对于一群有待分类的样本点需用 p 个变量描述，则每个样本点可以看作是 R^p 空间中的一个点。因此，很自然得想到可以用距离来度量样本点间的相似程度。

记 Ω 是样本点集，距离 $d(\cdot, \cdot)$ 是 $\Omega \times \Omega \rightarrow R^+$ 的一个函数，且满足条件：

- ① $d(x, y) \geq 0, x, y \in \Omega$;
- ② $d(x, y) = 0$, 当且仅当 $x = y$;
- ③ $d(x, y) = d(y, x), x, y \in \Omega$;
- ④ $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y), x, y, z \in \Omega$ 。

这一距离的定义是我们所熟知的，它满足正定性、对称性和三角不等式。在聚类分析中，对于定量变量，最常用的就是闵氏 (Minkowski) 距离，即：

$$d_{ij}(q) = \left(\sum_{k=1}^p |X_{ik} - X_{jk}|^q \right)^{\frac{1}{q}} \quad (5-1)$$

通过变换 Minkowski 距离中的 q 值，可以产生以下几种不同的距离：

① 绝对距离 ($q=1$)

$$d_{ij}(1) = \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}| \quad (5-2)$$

② 欧氏 (Euclidian) 距离 ($q=2$)

$$d_{ij}(2) = \left(\sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-3)$$

③ 切比雪夫 (Chebychev) 距离 (∞)

$$d_{ij}(\infty) = \max_{1 \leq k \leq p} |x_{ik} - x_{jk}| \quad (5-4)$$

由于欧氏距离是常用的距离，所以为了寻求普遍规律，本文在使用 SPSS 进行系统聚类分析时便选用欧氏距离。

2) 类与类之间的相似性度量

如果有两个样本类 G_1 和 G_2 ，存在多种方法度量它们之间的距离。常用的类间距离定义有 8 种，分别是最近距离法、最远距离法、中间距离法、重心法、类平均法、可变类平均法、可变量和离差平方合法，与之对应的系统聚类方法也有 8 种。这里我们用类间平均连接法进行系统聚类，类间平均连接法定义类间距离平方为两类中元素两两之间

距离平方的平均值，即：

$$D_{pq}^2 = \frac{1}{n_p n_q} \sum_{x_i \in G_p} \sum_{x_j \in G_q} d_{ij}^2 \quad (5-5)$$

设类 G_p 和类 G_q 合并为新类 G_r ，则任意类 G_k 和 G_r 的距离为：

$$\begin{aligned} D_{kr}^2 &= \frac{1}{n_k n_r} \sum_{x_i \in G_p} \sum_{x_j \in G_q} d_{ij}^2 \quad (5-6) \\ &= \frac{1}{n_k n_r} \left(\sum_{x_i \in G_k} \sum_{x_j \in G_p} d_{ij}^2 + \sum_{x_i \in G_k} \sum_{x_j \in G_q} d_{ij}^2 \right) \\ &= \frac{n_p}{n_r} D_{kp}^2 + \frac{n_q}{n_r} D_{kq}^2 ; \end{aligned}$$

3) 聚类图生成

具体生成步骤如下：

- ①计算 n 个样本点两两之间的距离 $\{d_{ij}\}$ ，记为矩阵 $D = (d_{ij})_{n \times n}$ 。
- ②构造 n 个类，每一个类中只包含一个样本点，每一类的平台高度均为 0。
- ③合并距离最近的两类为新类，并且以这两类间距离值作为聚类图中的平台高度。
- ④计算新类与当前各类的距离，若类的个数等于 1，转入步骤 5，否则回到步骤 3。
- ⑤画聚类图。
- ⑥决定类的个数和类。

(2) Q 型聚类模型的求解

根据贫困人口比例 (P_i)、城镇失业率 (U)、基尼系数 (G)、基本社会保障覆盖率 (S)、人均 GDP (\overline{GDP})、城镇人口比重 (P_u)、恩格尔系数 (E_c)、环境质量指数 (E_q)、常用耕地面积指数 (C_i)、财政性节能环保支出占 GDP 总重 (F_i) 这 10 个指标对 34 个省市全面建成小康社会总体情况进行聚类分析。首先对每个变量的数据分别进行标准化处理，样本间相似性采用欧氏距离度量，类间距离的计算选用类平均法。

通过 SPSS 进行聚类分析，得到的聚类树形图如图 1 所示。

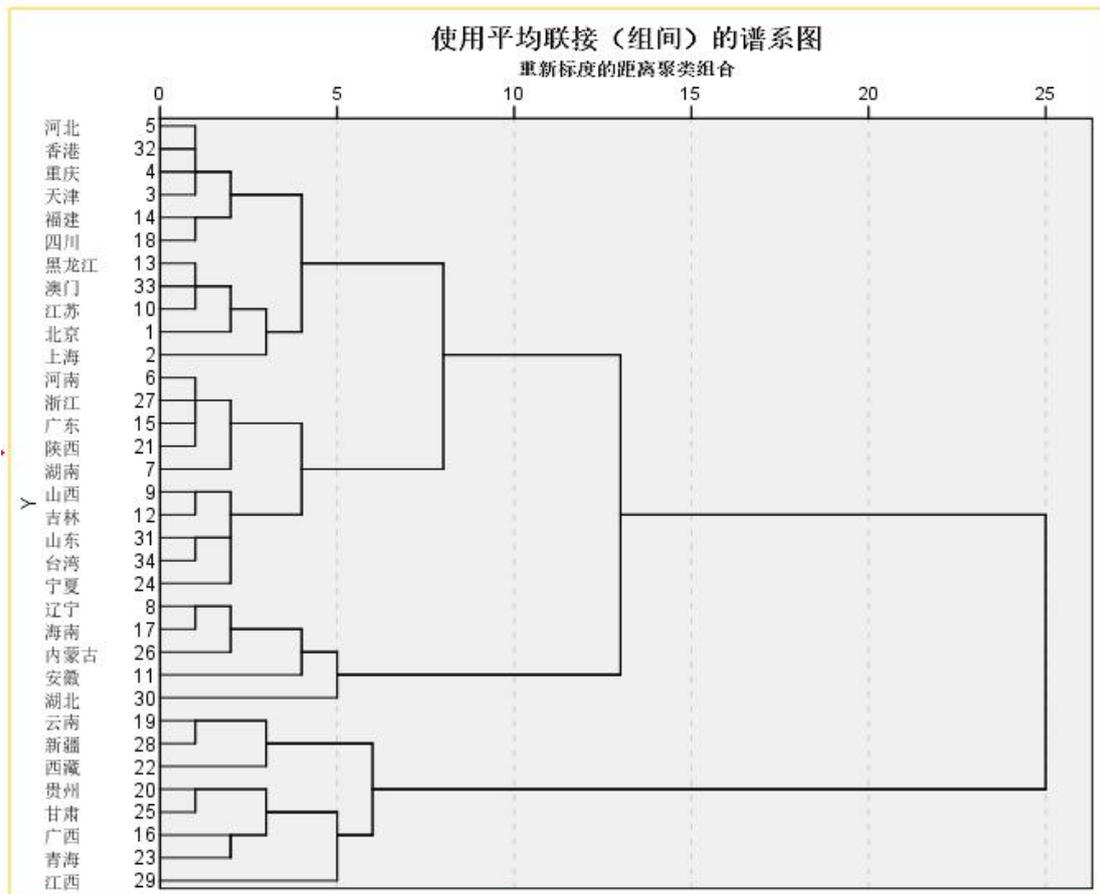


图 5-1 我国 34 个省市全面建成小康社会总体情况树形图

通过图 2 的聚类结果，我们对不同省市的全面建成小康社会总体情况进行统计分析，具体分类结果见表 2 所示。

表 5-2 各省市建成小康社会情况分类

序号	省份代号	代表省市
第 1 类	29、23、16、25、20	江西
第 2 类	22、28、19	西藏
第 3 类	30、11、26、17、8	湖北
第 4 类	24、34、31、12、9、7、21、15、27、6	宁夏
第 5 类	2、1、10、33、13、18、14、3、4、32、5	上海

从以上结果可以看出各省市全面建成小康社会总体情况总共分为了五类，其中的代表省市分别为江西、西藏、湖北、宁夏以及上海。每一类省市通过与实际情况进行比较，发现建成小康社会情况基本一致，说明了本模型具有较高的精度。

5.2.3 秩和比综合评价模型的建立与求解

(1) 模型的建立

秩和比法 (RSR) 指的是表中行 (或列) 秩次的平均值，是一个非参数变量，具有 0-1 区间连续变量的特征。在综合评价中，秩和比综合了多项评价指标的信息，表明多个评价指标的综合水平，一般来说，RSR 越大模型越优^[3]。下面则建立由聚类分析得出的几个代表省市全面建成小康社会总体情况的的秩和比综合评价模型。

1) 列出原始数据表并编秩

将 5 个代表省市的 10 个评价指标排列成 5 行 10 列的原始数据表，编出每个指标各评价对象的秩，其中股票收益大小和收益与风险比值由小到大编秩，股票风险大小和亏损概率由大到小编秩，得到秩矩阵，记为：

$$R = (R_{ij})_{5 \times 10} \quad (5-7)$$

2) 计算加权秩和比并直接排序

由于各指标的权重各不相同，所以需要计算加权秩和比（WRSR），根据公式计算可得：

$$WRSR_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^{10} w_j R_{ij} \quad (5-8)$$

其中， W_j 为第 j 个指标的权重， $\sum_{j=1}^{10} w_j = 1$ 。

通过秩和比值的大小，就可对股票进行综合排序，这种利用 RSR 综合指标进行排序的方法称为直接排序。综合排序后的结果如表 3 所示。

3) 确定 RSR 的分布

RSR 的分布是指用概率单位 Probit 表示的值特定的累计频率，其方法为：

【Step1】编制 RSR 频数分布表，列出各组频数 f ，计算各组累计频数 f ；

【Step2】确定各组 WRSR 的秩次范围 R 及平均秩次 \bar{R} ；

【Step3】计算累计频率 $(\bar{R}/10) \times 100\%$ ，最后累计按照 $(1 - 1/10k)$ 校正；

【Step4】将百分率 P 换算为概率单位 Probit，Probit 为百分率 P 对应的标准正态离差 u 加 5 个单位。

表 5-3 WRSR 值的分布

WRSR	f	\bar{R}	$(\bar{R}/10) \times 100\%$	Probit
0.523	1	1	20.0	3.72
0.689	1	2	40.0	4.75
0.771	1	3	60.0	5.44
0.835	1	4	80.0	5.84
0.910	1	5	100.0	6.69

4) 计算直线回归方程

以累积频率所对应的概率单位 $Probit_i$ 为自变量，以 $WRSR_i$ 值为因变量，计算直线回归方程，即：

$$WRSR = a + b \times probit \quad (5-9)$$

(2) 模型的求解

按照回归方程推算出所对应的 WRSR 估计值对评价对象进行分档排序。其中，使用标准正态离差作为分档依据，将评价对象分为 5 组。

表 5-4 代表省市建成小康社会的得分分档排序

序号	Probit	WRSR	分档排序结果
1	3.72	7.225	4
2	4.75	6.239	5

3	5.44	8.993	2
4	5.84	7.863	3
5	6.69	9.553	1

经过上述表格，我们可以看出 5 个代表省市建成小康社会的分档排序结果，其中，以上海为代表省市建成小康社会情况最佳，接下来建成小康社会的总体情况较好的代表省市依次为湖北、宁夏、江西、西藏。34 个省市全面建成小康社会的排序如表 5 所示。

表 5-5 34 个省市全面建成小康社会总体情况排序

建成级别	代表省市	其余省市
一级	上海	北京、江苏、澳门、黑龙江、四川、福建、天津、重庆、香港、河北
二级	湖北	安徽、内蒙古、海南、辽宁
三级	宁夏	台湾、山东、吉林、山西
四级	江西	青海、广西、甘肃、贵州、
五级	西藏	新疆、云南

5.3 问题III的模型建立与求解

5.3.1 模型的准备

通过问题二中的统计分析以及查阅有关资料^[4]我们认为最能代表中国的省份为四川省。第一，人口众多，符合国情。第二有比较发达城市成都，但是更多的确实贫困地区，与国情中国基本上东部还可以，中西部不行相似。第三，沿海看四川，就好比欧美看中国。第四，依然还是由农业转向工商业为主的经济体制。因此，我们以中国的数据代表四川省，在实际的数据中主要以比重、比例为主，理论上能够以中国的概率数据代替四川省的概率数据由此建立得到四川省短期和长期的经济社会可持续发展模型。

在研究经济社会的发展趋势时，向量自回归（Vector Auto-regression, VAR）是常用的经济数学模型，但由于传统的 VAR 模型并没有给出变量之间当期相关关系的确切形式，即在模型的右端不含有当期相关的内生变量，只反应动态相关，而这些当期相关关系隐藏在误差项的相关结构中，是无法解释的。仅仅建立一个 VAR 模型，这样的结构关联性却被转移或者说掩藏到了随机扰动向量的方差-协方差矩阵中了^[5]。

因此我们可以考虑将一定的基于经济、金融理论的变量之间的结构性关系引入 VAR 模型得到结构向量自回归（Structural-VAR）模型。它可以捕捉模型系统内各个变量之间的即时的结构性关系，因此 SVAR 模型的建立一般都是基于一定的经济理论基础所构建的动态系统。

一般的 VAR(p)模型为:

$$y_t = \theta_1 y_{t-1} + \theta_2 y_{t-2} + \cdots + \theta_p y_{t-p} + Hx_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (3-1)$$

其中 y_t 为 k 维内生变量列向量, x_t 为 d 维外生变量列向量, p 是滞后阶数。

k 个变量, 滞后 p 阶的 SVAR 模型可以表示为

$$C_o y_t = M_1 y_{t-1} + M_2 y_{t-2} + \cdots + M_p y_{t-p} + u_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (3-2)$$

其中

$$C_o = \begin{bmatrix} 1 & -c_{12} & \cdots & -c_{1k} \\ -c_{21} & 1 & \cdots & -c_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -c_{k1} & -c_{k2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, M_i = \begin{bmatrix} m_{11}^{(i)} & m_{12}^{(i)} & \cdots & m_{1k}^{(i)} \\ m_{21}^{(i)} & m_{22}^{(i)} & \cdots & m_{2k}^{(i)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ m_{k1}^{(i)} & m_{k2}^{(i)} & \cdots & m_{kk}^{(i)} \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, p, u_t = \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \\ \cdots \\ u_{kt} \end{bmatrix}$$

将其写成滞后算子形式:

$$\begin{aligned} C(L)y_t &= u_t \\ E(u_t u_t') &= I_k \end{aligned} \quad (3-3)$$

在这里 $C(L) = C_0 - M_1 L - M_2 L^2 - \cdots - M_p L^p$, $C(L)$ 是滞后算子 L 的 k 阶方阵的参数矩阵, C_0 是其 k 阶同期系数矩阵, 主对角元素都为 1, 由于结构式误差项(结构冲击) u_t 的方差-协方差矩阵标准化为单位矩阵 I_k 。

假设矩阵多项式 $C(L)$ 可逆, 则可以表示出 SVAR 的无穷阶的 VMA(∞)形式为:

$$y_t = D(L)u_t \quad (3-4)$$

其中

$$D(L) = C(L)^{-1} \quad (3-5)$$

$$D(L) = D_0 + D_1 L + D_2 L^2 + \cdots, D_0 = C_0^{-1} \quad (3-6)$$

所有内生变量都表示为 u_t 的分布滞后形式。由于结构冲击 u_t 是不可直接观测得到, 因此需要通过 y_t 各元素的响应才可观测到。可以公式 5-2, 转变简化式的误差项得到结构冲击 u_t 。

又因为无穷阶的向量动平均(VMA(∞))形式为

$$y_t = \theta(L)\varepsilon_t \quad (3-7)$$

其中

$$\theta(L) = \psi(L)^{-1} \quad (3-8)$$

$$\theta(L) = \theta_0 + \theta_1 L + \theta_2 L^2 + \cdots, \theta_0 = I_k \quad (3-9)$$

因此, 根据公式 5-4 和公式 5-7, 我们可以得到典型的 SVAR 模型为

$$\theta(L)\varepsilon_t = D(L)u_t \quad (3-10)$$

上式对于任意的 t 都是成立的。

又因为 $\theta_0 = I_k$, 则有

$$\theta_0 \varepsilon_t = \varepsilon_t = D_0 u_t \text{ 或者 } D_0^{-1} \varepsilon_t = u_t$$

将上式进行变形, 两端平方取期望, 则有

$$\sum = D_0 D_0' \quad (3-11)$$

我们可以通过对 D_0 施加约束来识别 SVAR 模型。则有 $D_0 = C_0^{-1}$ 。在这里, 我们假定了 A, B 矩阵是 k 阶的可逆矩阵, 并且满足条件

$$A\varepsilon_t = Bu_t \quad (3-12)$$

$$E(u_t) = 0_k \quad (3-13)$$

$$E(u_t u_t') = I_k \quad (3-14)$$

因此我们可以进一步将模型修改为 AB-型 SVAR 模型

$$A\theta(L)y_t = A\varepsilon_t, t=1,2,\dots,T \quad (3-15)$$

特别地，我们可以发现对于 $D_0 = C_0^{-1}$ 而言，则有

$$D_0^{-1}\varepsilon_t = u_t \quad (3-16)$$

其中 $A = D_0^{-1}, B = I_k$ 。

然而，VAR 模型存在参数过多的问题，如上述模型，一共有 $k(kp+d)$ 个参数，只有所含经济变量较少的 VAR 模型才可以通过 OLS 和极大似然估计得到满意的估计结果，因此本题所涉及的各个指标行业的未来发展估计不能做出很好的预测。

恰好 SVAR 模型很多地解决了这个问题。它可以通过对参数空间施加约束条件从而减少所估计的参数。对于 k 元 p 阶简化 VAR 模型，利用极大似然方法，需要估计的参数个数为 $\frac{k^2 p + (k+k^2)}{2}$ ，但是对于相应的 k 元 p 阶的 SVAR 模型来说，需要估计的

参数个数为 $k^2 p + k^2$ ，因此对结构式施加的限制条件个数为式 $k^2 p + k^2$ 和 $\frac{k^2 p + (k+k^2)}{2}$ 的差，即施加 $k(k-1)/2$ 个限制条件才能估计出结构式模型的参数。

特别的，对于式子 5-15 表示的 AB-型的 SVAR 模型，其满足

$$E(A\varepsilon_t \varepsilon_t' A') = E(Bu_t u_t' B')$$

进而得到 $A \Sigma A' = B B'$ 。如果 Σ 的形式已知，则 $A \Sigma A' = B B'$ 是对矩阵 A 、 B 的参数施加了 $\frac{(k+1)k}{2}$ 个非线性限制条件，剩下 $\frac{2k^2 - k(k+1)}{2}$ 个自由参数。

在本题中，由于研究的是 20 年的统计数据，因此在这里只考虑可持续发展对于我国各个社会指标的短期约束。

短期约束我们使用经济学中的伍德因果链，即 WCC 约束，对矩阵 B_0 施加约束使其成为下三角型矩阵的递归结构，此时任意两个变量的同期影响方式都是单向的，前一个变量对后一个变量具有即时影响，而后一个变量对前一个变量没有即时影响，因此模型的约束条件为 $\frac{n(n-1)}{2}$ 。

5.3.2 指标选择

Kim(2001)提出了使用 VAR 模型的三个值得借鉴的标准：第一，要使 VAR 模型关于经济政策冲击的脉冲响应结果与理论预期结果相近；第二，当存在多个可选模型，其包含的变量不同、但生成的动态响应结果相近时，基准模型的选择标准是变量尽可能少；第三，基准的 VAR 系统应易于扩展，以便用来研究可持续性发展综合评价对其他社会变量的影响。

本文所选取的近 20 年来我国可持续性发展模型指标体系结构完善，涵盖了可持续性发展研究的各个方面，包括 5 个一级指标和 21 个二级指标，涵盖经济发展、社会民生、环境治理、消耗排能和资源环境能反应可持续性发展情况的所有方面。本文以该指标体系为基础开展我国可持续性发展的测度和预测研究。具体的指标如表所示：

表 3-1 中国可持续发展指标体系

一级指标	二级指标	单位	指标属性	指标简记
经济发展	第三产业增加值	%	+	指标 1
	占 GDP 比重	%	+	
	财政性科学技术	%	+	指标 2

	支出占 GDP 比重			
	城镇登记失业率	%	-	指标 3
	全员劳动生产率	%	+	指标 4
	GDP 增长率	%	+	指标 5
社会民生	房价收入比	%	+	指标 6
	人均社会保障和就业财政支出	元	+	指标 7
	财政性教育支出占 GDP 比重	%	+	指标 8
	每万人拥有卫生技术人员数	个	+	指标 9
	人均城市道路面积	平方米	+	指标 10
	环境治理	国家财政环境保护支出	亿元	+
城市污水日处理能力		万立方米	+	指标 12
治理固体废物项目完成投资		万元	+	指标 13
生活垃圾无害化处理率		%	+	指标 14
消耗排能	单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	-	指标 15
	二氧化硫排放量	吨	-	指标 16
	每亿元 GDP 水耗	亿立方米/亿元	+	指标 17
	废水排放总量	万吨	-	指标 18
资源环境	人均公园绿地面积	平方米/人	+	指标 19
	人均水资源量	立方米/人	+	指标 20
	环境质量指数	--	+	指标 21

为了更好地评价中国可持续发展的基本情况，本文采用熵权法对 2000 年到 2019 年共 21 个指标进行权值确定，得到每一年的中国可持续发展的打分情况，即本文提到的可持续发展综合评价。将得到的数据进行下一步 SVAR 的处理。

选取 2000 年到 2019 年共 21 个指标记为 $x_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ ，即第 i 年第 j 个指标的数值。首先对指标进行归一化处理，进行异质指标同质化，将指标绝对值转换为相对值，并令 $x_{ij} = |x_{ij}|$ 。然后对正向指标和负向指标用不同的算法进行数据标准化处理，具体方法如下：

正向指标：

$$x_{ij}' = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (5-10)$$

负向指标：

$$x_{ij}' = \frac{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (5-11)$$

则 x_{ij}' 为第 i 年第 j 个指标的数值，为了方便起见，归一化后的数据仍记为 x_{ij} 。

然后计算第 j 项指标下第 i 年占该指标的比重：

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (5-12)$$

计算第 j 项指标的熵值：

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (5-13)$$

其中 $k = 1/\ln(n) > 0$, 满足 $e_j \geq 0$

然后计算信息熵冗余度: $d_j = 1 - e_j$, 并计算各项指标的权值:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (5-14)$$

最后计算每一年中国可持续发展综合评分:

$$s_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot p_{ij} \quad (5-15)$$

通过 MATLAB 软件, 得到的权重 w 为:

表 3-2 各指标权重

指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	指标 5	指标 6
0.0543	0.0310	0.0329	0.0402	0.0407	0.0327
指标 7	指标 8	指标 9	指标 10	指标 11	指标 12
0.0712	0.0567	0.0627	0.0430	0.0742	0.0457
指标 13	指标 14	指标 15	指标 16	指标 17	指标 18
0.0566	0.0461	0.0497	0.0454	0.0625	0.0444
指标 19	指标 20	指标 21			
0.0495	0.0358	0.0246			

计算得到的 2000 到 2019 年中国可持续发展综合评分为:

表 3-3 中国可持续发展综合评分

2000	2001	2002	2003	2004	2005
10.8346	12.7840	15.1804	14.4940	15.9431	18.9878
2006	2007	2008	2009	2010	2011
23.0903	27.9273	32.4540	36.3633	43.5159	46.1283
2012	2013	2014	2015	2016	2017
52.7072	53.8039	57.0132	62.1971	74.2705	72.9215
2018	2019				
81.4145	85.3058				

我们将得到的中国可持续发展综合评分添加为新的指标, 使用 SVAR 模型建模得到中国可持续发展综合评分对每个变量的冲击和各个拟合参数, 进而提出我国未来 20 年可持续发展思路。由于指标有 21 个, 数据量为近 20 年的数据, 进行 SVAR 模型建模会导致数据量少无法拟合方程的问题, 所以本模型分为三个阶段, 首先将变量随机打乱, 第一阶段选取前 7 个变量和中国可持续发展综合评分进行建模, 第二阶段将后 7 个变量和中国可持续发展综合评分进行建模, 第三阶段将其余变量和中国可持续发展综合评分进行建模。综合分析三个阶段。下面将详细描述第一个阶段模型建立过程。

5.3.3 向量自回归模型的建立与求解

(1) 模型的介绍

向量自回归模型的一般的 VAR(p)模型为:

$$y_t = \theta_1 y_{t-1} + \theta_2 y_{t-2} + \dots + \theta_p y_{t-p} + Hx_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (5-16)$$

其中, y_t 为 k 维内生变量列向量, x_t 为 d 维外生变量列向量, p 是滞后阶数。

k 个变量, 滞后 p 阶的 SVAR 模型可以表示为

$$C_o y_t = M_1 y_{t-1} + M_2 y_{t-2} + \dots + M_p y_{t-p} + u_t, t = 1, 2, \dots, T \quad (5-17)$$

其中,

$$C_o = \begin{bmatrix} 1 & -c_{12} & \cdots & -c_{1k} \\ -c_{21} & 1 & \cdots & -c_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -c_{k1} & -c_{k2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \quad M_i = \begin{bmatrix} m_{11}^{(i)} & m_{12}^{(i)} & \cdots & m_{1k}^{(i)} \\ m_{21}^{(i)} & m_{22}^{(i)} & \cdots & m_{2k}^{(i)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ m_{k1}^{(i)} & m_{k2}^{(i)} & \cdots & m_{kk}^{(i)} \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, p, \quad u_t = \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \\ \cdots \\ u_{kt} \end{bmatrix}$$

将其写成滞后算子形式:

$$\begin{aligned} C(L)y_t &= u_t \\ E(u_t u_t') &= I_k \end{aligned} \quad (5-18)$$

在这里 $C(L) = C_0 - M_1 L - M_2 L^2 - \cdots - M_p L^p$, $C(L)$ 是滞后算子 L 的 k 阶方阵的参数矩阵, C_0 是其 k 阶同期系数矩阵, 主对角元素都为 1, 由于结构式误差项(结构冲击) u_t 的方差-协方差矩阵标准化为单位矩阵 I_k 。

假设矩阵多项式 $C(L)$ 可逆, 则可以表示出 SVAR 的无穷阶的 VMA(∞)形式为:

$$y_t = D(L)u_t \quad (5-19)$$

其中

$$D(L) = C(L)^{-1} \quad (5-20)$$

$$D(L) = D_0 + D_1 L + D_2 L^2 + \cdots, D_0 = C_0^{-1} \quad (5-21)$$

所有内生变量都表示为 u_t 的分布滞后形式。由于结构冲击 u_t 是不可直接观测得到, 因此需要通过 y_t 各元素的响应才可观测到。可以公式 5-2, 转变简化式的误差项得到结构冲击 u_t 。

又因为无穷阶的向量动平均(VMA(∞))形式为

$$y_t = \theta(L)\varepsilon_t \quad (5-22)$$

其中,

$$\theta(L) = \psi(L)^{-1} \quad (5-23)$$

$$\theta(L) = \theta_0 + \theta_1 L + \theta_2 L^2 + \cdots, \theta_0 = I_k \quad (5-24)$$

因此, 根据公式 5-4 和公式 5-7, 我们可以得到典型的 SVAR 模型为

$$\theta(L)\varepsilon_t = D(L)u_t \quad (5-25)$$

上式对于任意的 t 都是成立的。

又因为 $\theta_0 = I_k$, 则有

$$\theta_0 \varepsilon_t = \varepsilon_t = D_0 u_t \text{ 或者 } D_0^{-1} \varepsilon_t = u_t$$

将上式进行变形，两端平方取期望，则有

$$\Sigma = D_0 D_0' \quad (5-26)$$

我们可以通过对 D_0 施加约束来识别 SVAR 模型。则有 $D_0 = C_0^{-1}$ 。在这里，我们假定了 A, B 矩阵是 k 阶的可逆矩阵，并且满足条件

$$A\varepsilon_t = Bu_t \quad (5-27)$$

$$E(u_t) = 0_k \quad (5-28)$$

$$E(u_t u_t') = I_k \quad (5-29)$$

因此我们可以进一步将模型修改为 AB-型 SVAR 模型

$$A\theta(L)y_t = A\varepsilon_t, t=1,2,\dots,T \quad (5-30)$$

特别地，我们可以发现对于 $D_0 = C_0^{-1}$ 而言，则有

$$D_0^{-1}\varepsilon_t = u_t \quad (5-31)$$

其中 $A = D_0^{-1}, B = I_k$ 。

然而，VAR 模型存在参数过多的问题，在这个模型中一共有 $k(kp+d)$ 个参数，只有所含经济变量较少的 VAR 模型才可以通过 OLS 和极大似然估计得到满意的估计结果，因此本题所涉及各个指标行业的未来发展估计不能做出很好的预测。

恰好 SVAR 模型很好地解决了这个问题。它可以通过对参数空间施加约束条件从而减少所估计的参数。对于 k 元 p 阶简化 VAR 模型，利用极大似然方法，需要估计的参数个数为 $\frac{k^2 p + (k+k^2)}{2}$ ，但是对于相应的 k 元 p 阶的 SVAR 模型来说，需要估计的参数个数为 $k^2 p + k^2$ ，因此对结构式施加的限制条件个数为 $k^2 p + k^2$ 和 $\frac{k^2 p + (k+k^2)}{2}$ 的差，即施加 $k(k-1)/2$ 个限制条件才能估计出结构式模型的参数。

特别的，对于式子 5-15 表示的 AB-型的 SVAR 模型，其满足

$$E(A\varepsilon_t \varepsilon_t' A') = E(Bu_t u_t' B') \quad (5-32)$$

进而得到 $A \Sigma A' = BB'$ 。如果 Σ 的形式已知，则 $A \Sigma A' = BB'$ 是对矩阵 A, B 的参数施加了 $\frac{(k+1)k}{2}$ 个非线性限制条件，剩下 $\frac{2k^2 - k(k+1)}{2}$ 个自由参数。

在本题中，由于研究的是 20 年的统计数据，因此在这里只考虑可持续发展对于我国各个社会指标的短期约束。短期约束我们使用经济学中的伍德因果链，即 WCC 约束，对矩阵 B_0 施加约束使其成为下三角型矩阵的递归结构，此时任意两个变量的同期影响方

式都是单向的，前一个变量对后一个变量具有即时影响，而后一个变量对前一个变量没有即时影响，因此模型的约束条件为 $\frac{n(n-1)}{2}$ 。

(2) 指标的选择

本文所选取的近 20 年来我国可持续性发展模型指标体系结构完善，涵盖了可持续性发展研究的各个方面，包括 5 个一级指标和 21 个二级指标，涵盖经济发展、社会民生、环境治理、消耗排能和资源环境能反应可持续性发展情况的所有方面。本文以该指标体系为基础开展我国可持续性发展的测度和预测研究。具体的指标如表所示：

表 3-1 四川省可持续发展指标体系

一级指标	二级指标	单位	指标属性	指标简记
经济发展	第三产业增加值 占 GDP 比重	%	+	指标 1
	财政性科学技术 支出占 GDP 比 重	%	+	指标 2
	城镇登记失业率	%	-	指标 3
	全员劳动生产率	%	+	指标 4
	GDP 增长率	%	+	指标 5
社会民生	房价收入比	%	+	指标 6
	人均社会保障和 就业财政支出	元	+	指标 7
	财政性教育支出 占 GDP 比重	%	+	指标 8
	每万人拥有卫生 技术人员数	个	+	指标 9
	人均城市道路面 积	平方米	+	指标 10
环境治理	国家财政环境保 护支出	亿元	+	指标 11
	城市污水日处理 能力	万立方米	+	指标 12
	治理固体废物项	万元	+	指标 13

	目完成投资			
	生活垃圾无害化 处理率	%	+	指标 14
	单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	-	指标 15
	二氧化硫排放量	吨	-	指标 16
消耗排能	每亿元 GDP 水 耗	亿立方米/亿元	+	指标 17
	废水排放总量	万吨	-	指标 18
	人均公园绿地面 积	平方米/人	+	指标 19
资源环境	人均水资源量	立方米/人	+	指标 20
	环境质量指数	--	+	指标 21

为了更好地评价四川省可持续发展的基本情况，本文采用熵权法对 2000 年到 2019 年共 21 个指标进行权值确定，得到每一年的四川省可持续发展的打分情况，即本文提到的可持续发展综合评价。将得到的数据进行下一步 SVAR 的处理。

选取 2000 年到 2019 年共 21 个指标记为 $x_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ ，即第 i 年第 j 个指标的数值。首先对指标进行归一化处理，进行异质指标同质化，将指标绝对值转换为相对值，并令 $x_{ij} = |x_{ij}|$ 。然后对正向指标和负向指标用不同的算法进行数据标准化处理，具体方法如下：

正向指标：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}{\max \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (5-33)$$

$$x'_{ij} = \frac{\max \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - x_{ij}}{\max \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}$$

5.3.4 实证检验步骤

第一阶段选取的变量为：

表 5-6 第一阶段模型指标

指标简记	指标英文名 (EViews 变量名)
变量 12	Daily sewage treatment capacity (10,000 cubic

	metres)
变量 15	Energy consumption per unit of GDP
变量 21	Environmental quality index
变量 2	Fiscal science and technology spending as a proportion of GDP
变量 8	Fiscal spending on education as a proportion of GDP
变量 14	Harmless disposal rate of household garbage
变量 9	Number of health technicians per 10,000 people
四川省可持续发展综合评分	sustainable development

(1) ADF 检验

本文采用 ADF 方法对各个时间序列进行平稳性检验，检验结果如表所示，除了变量 7 和变量 3 是一阶单整的，其他各个时间序列在 5%或 1%的水平下是平稳的。

表 5-7 变量平稳性检验结果

变量	(常数项, 趋势项, 滞后阶数)	ADF 检验值
变量 12	(C,0,1)	-3.123317***
变量 15	(C,0,0)	-4.145276**
变量 21	(C,0,1)	-3.281012**
变量 2	(C,0,0)	-1.742123
变量 8	(C,0,0)	-0.837042
变量 14	(C,0,0)	-0.481553
变量 9	(C,0,0)	-1.248953
中国可持续发展综合评分	(C,0,0)	-5.287552***

注：C 为常数项，T 为时间趋势项，***、**分别表示在 1%和 5%的显著性水平下显著。

(2) 估计无约束 VAR 模型

由表 8 可见，根据 FPE 准则、SC 准则和 HQ 准则，结合各个时间序列规模的大小，可以确定模型的最优滞后阶数为 1。

表 5-8 VAR 模型滞后阶数项选择标准统计量

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-422.7780	NA	6.82e+09	45.34506	45.74271	45.41235
1	-246.3708	185.6918*	95579.15*	33.51272*	37.09165*	34.11842*

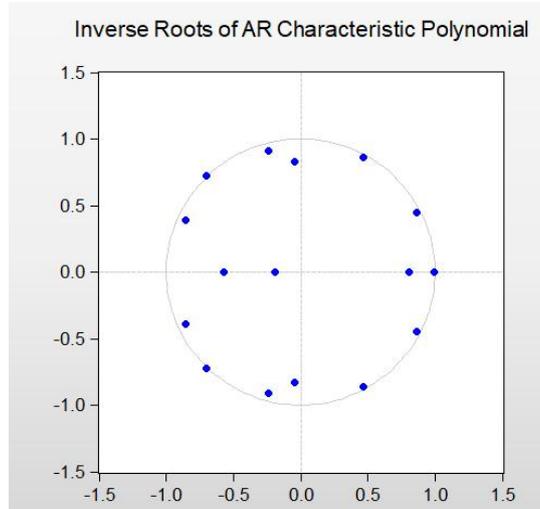
注：*表示由这一标准选择的滞后期数。

滞后期数选择 1，估计无约束 VAR 模型，由表 5-9 和图 5-2 可见，特征根几乎都落在单位圆内，对应的模几乎都小于 1，说明 VAR 模型满足平稳性条件，模型稳定，从而确保了下一步脉冲响应与方差分解的有效进行。

表5-9 特征多项式的根分布

Root	Modulus
-0.700347 - 0.724063i	1.007349
-0.700347 + 0.724063i	1.007349
0.997036	0.997036
0.463846 - 0.864320i	0.980919
0.463846 + 0.864320i	0.980919
0.859813 - 0.450508i	0.970689
0.859813 + 0.450508i	0.970689
-0.236590 - 0.912767i	0.942931
-0.236590 + 0.912767i	0.942931
-0.852280 - 0.389200i	0.936941
-0.852280 + 0.389200i	0.936941
-0.041291 - 0.825802i	0.826833
-0.041291 + 0.825802i	0.826833
0.809284	0.809284

图 5-2 无约束 VAR 模型单位根图



(3) 构建 SVAR 模型

SVAR 模型在 VAR 模型的基础上，根据经济学理论设定约束条件，并通过放松变量当期影响为 0 的假定，全面考虑自身滞后变量以及其他变量当期与滞后期对主要研究对象的影响，一定程度上弥补了 VAR 模型在理论上的欠缺。

本文研究肺炎疫情对经济的影响，由于时间序列的规模比较小，参考以往的文献对 SVAR 模型施加短期约束。SVAR 模型与 VAR 模型的差异通过扰动项的关系反映，即通过 $A\varepsilon_t = B\mu_t$ 反映。矩阵 A 和 B 需要估计的参数个数为 $2k^2$ ，约束条件个数为 $k(k+1)/2$ ，则再需要施加 $2k^2 - k(k+1)/2$ 个短期约束条件，第一阶段模型为 8 个变量模型，因此需要施加 92 个短期约束条件。其中 A 矩阵是下三角矩阵，B 矩阵是对角矩阵，如公式 5-10 和公式 5-11 所示，NA 为待估元素。而后计算得到两个矩阵的解，并做脉冲响应和方差分解。

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ NA & (k_1 \times 1) & (k_1 \times k_2) \\ (1 \times k_1) & 1 & (1 \times k_2) \\ NA & NA & 1 \\ (k_2 \times k_1) & (k_2 \times 1) & 1 \end{pmatrix} \quad (5-34)$$

$$B = \begin{pmatrix} NA & 0 & 0 \\ 0 & (k_1 \times 1) & (k_1 \times k_2) \\ 0 & NA & 0 \\ 0 & 0 & (1 \times k_2) \\ 0 & 0 & NA \end{pmatrix} \quad (5-35)$$

图 5-2 无约束 VAR 模型单位根图

(4) 实证结果分析

4.1 约束值求解

构造 A、B 矩阵的约束后，使用 Eviews9.0 得到两个矩阵的解，得到的约束矩阵如下：

Estimated A matrix:							
1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
197.6805	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
-0.000373	-0.072482	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.004034	0.776240	-0.697695	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.002082	0.285363	0.382539	-0.045710	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000
-0.024408	0.594950	-0.545694	0.377594	-11.40501	1.000000	0.000000	0.000000
-0.003619	-1.103924	1.768683	-0.745110	0.316905	-1.286786	1.000000	0.000000
0.006998	1.425754	-2.255028	0.589428	-0.397026	0.455079	-2.953345	1.000000
Estimated B matrix:							
8.855801	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	181630.1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	2.147583	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	1.161093	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.872213	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.231596	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.514514	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	2.572016

4.2 脉冲响应图分析

脉冲响应函数反映了来自内生变量随机扰动项的一个标准差冲击，如何通过模型的动态结构，对自身和其他内生变量的当前和未来取值的影响轨迹，通过它可以获知这些变量之间的动态影响关系。疫情期间中国可持续发展综合评价对其他各社会变量的脉冲响应函数如图 5-3 所示。横轴表示冲击的滞后期数（一个时期表示一个年），纵轴表示反映程度，实线代表冲击下脉冲响应函数，虚线则代表正负两倍标准差偏离带。

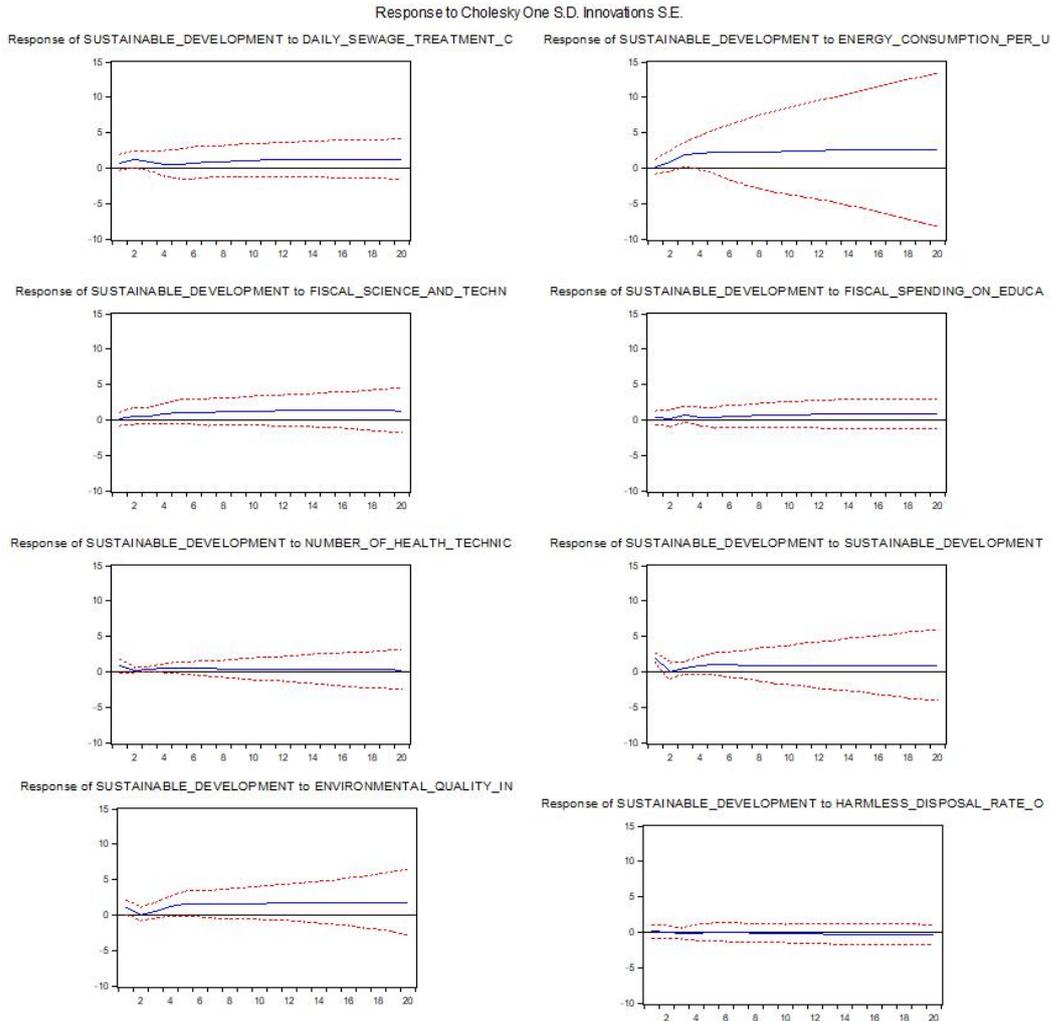


图 5-3 可持续发展对第一阶段社会指标冲击的结构脉冲响应图

图 5-3 展示了中国可持续发展在未来 20 年对第一阶段七个指标的冲击影响，由图我们可以得到，指标 12（污水排放）在近两年的正向冲击变大，后两年冲击减小并逐渐趋于平稳。其余多个指标，如指标 9 和指标 12 在短期的正向冲击会减小，然后在未来十多年正向冲击缓慢增长并逐渐趋于稳定，所对应的是每万人拥有卫生技术人员数和环境质量指数。这反应了可持续发展对卫生技术人员和环境质量指数都有正向的推动力量，并且在未来很长一段时间都会是正向的推动。除了上述三个指标，其余指标都是正向的冲击，表示可持续发展对社会的各个方面都有积极的推动力量。

(5) 方差分解

方差分解时通过分析每一个结构冲击对内生变量的贡献度来评价不同结构冲击的重要性，通过方差分解，考察变量被自身及其他变量的解释程度。中国可持续发展综合评价的方差分解如图 5-3 和表 5-10 所示。

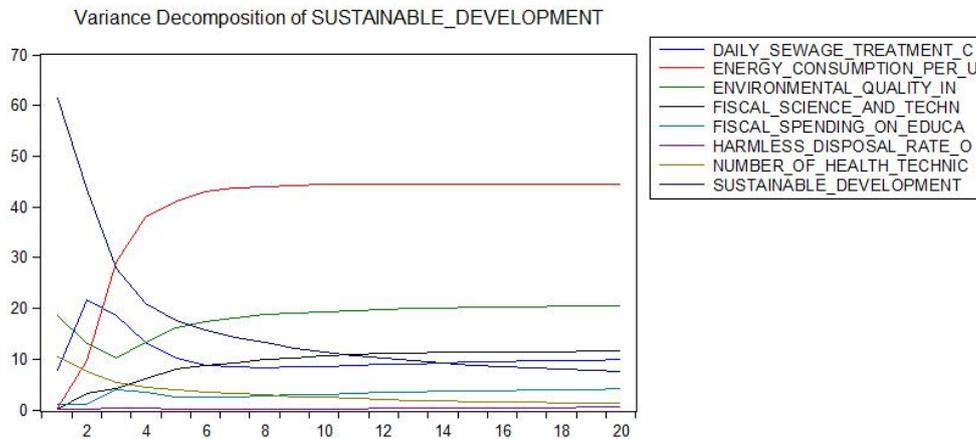


图 5-4 中国可持续发展综合评分第一阶段方差分解图

表5-10中国可持续发展综合评分第一阶段方差分解（单位%）

Period	DAILY_S ENERGY_ENVIRON FISCAL_S FISCAL_S HARMLE NUMBER SUSTAIN											
	S.E.	NT	C	R	U	IN	HN	CA	E	O	HNIC	NT
1	331.8150	7.724654	0.356679	18.65068	0.161466	0.978734	0.085341	10.43591	61.60654			
2	590.5957	21.66747	9.805565	13.14159	3.194666	1.055913	0.060555	7.665029	43.40922			
3	816.5832	18.51034	29.13461	10.20440	4.305525	4.046980	0.431609	5.448542	27.91801			
4	1020.262	13.38928	38.03739	13.29539	6.084770	3.363710	0.332926	4.472003	21.02453			
5	1192.581	10.23704	41.22601	16.09689	7.971064	2.636072	0.232919	3.894364	17.70564			
6	1324.692	8.856960	42.93000	17.42199	8.805350	2.501344	0.180275	3.499961	15.80413			
7	1434.911	8.397359	43.75003	18.19450	9.346066	2.595012	0.157078	3.176937	14.38302			
8	1536.170	8.342211	44.10250	18.71315	9.846035	2.749250	0.155709	2.889915	13.20123			
9	1632.581	8.443777	44.27343	19.08149	10.25376	2.934583	0.170781	2.634960	12.20722			
10	1725.393	8.596328	44.35519	19.37668	10.57613	3.113516	0.195489	2.411476	11.37518			
11	1814.958	8.761837	44.39104	19.62110	10.83254	3.272613	0.225187	2.216847	10.67884			
12	1901.153	8.927626	44.40966	19.81933	11.02990	3.414717	0.257647	2.047799	10.09333			
13	1983.847	9.087622	44.42283	19.97941	11.17882	3.541121	0.291464	1.901024	9.597717			
14	2062.968	9.237724	44.43553	20.10916	11.29050	3.652456	0.325598	1.773446	9.175583			
15	2138.437	9.375539	44.45061	20.21479	11.37314	3.750112	0.359302	1.662365	8.814145			
16	2210.170	9.500228	44.46902	20.30140	11.43311	3.835513	0.392037	1.565451	8.503229			
17	2278.099	9.612043	44.49064	20.37295	11.47557	3.910054	0.423448	1.480699	8.234594			
18	2342.181	9.711841	44.51493	20.43237	11.50450	3.975133	0.453331	1.406398	8.001500			
19	2402.405	9.800726	44.54122	20.48195	11.52298	4.032032	0.481584	1.341092	7.798418			
20	2458.793	9.879835	44.56882	20.52348	11.53347	4.081864	0.508176	1.283549	7.620805			

由图 5-4 和表 5-10 可见,对中国可持续发展贡献度刚开始最高的仍然是其自身的滞后期,其次是环境质量指数。从第二年开始,城市污水日处理能力达到约 21%,显著高于其他经济指标。除此之外,其他经济变量的贡献率在长期时间内都呈现上升趋势,并逐渐保持平稳。其中生活垃圾无害化处理率和每万人拥有卫生技术人员数对可持续发展的贡献较小,单位 GDP 能耗对可持续发展的贡献最大,达到约 44%。

(6) 中国可持续发展对其他社会指标的影响

对其他两阶段的变量我们执行相同的操作,首先进行 ADF 检验,然后进行无约束 VAR 模型估计,然后进行约束值求解,并进行中国可持续发展对其他社会指标的未来 20 年的脉冲响应图和方差分解图。

第二阶段指标为:变量 7 (Per capita government expenditure on social security and employment)、变量 19 (Per capita Park Green Area)、变量 6 (Ratio of house price to income)、变量 3 (Registered urban unemployment rate)、变量 13 (Solid waste Treatment Project completed Investment)、变量 11 (State fiscal expenditure on environmental protection)、变量 16 (Sulfur dioxide emissions) 和中国可持续发展综合评价 (sustainable development)。

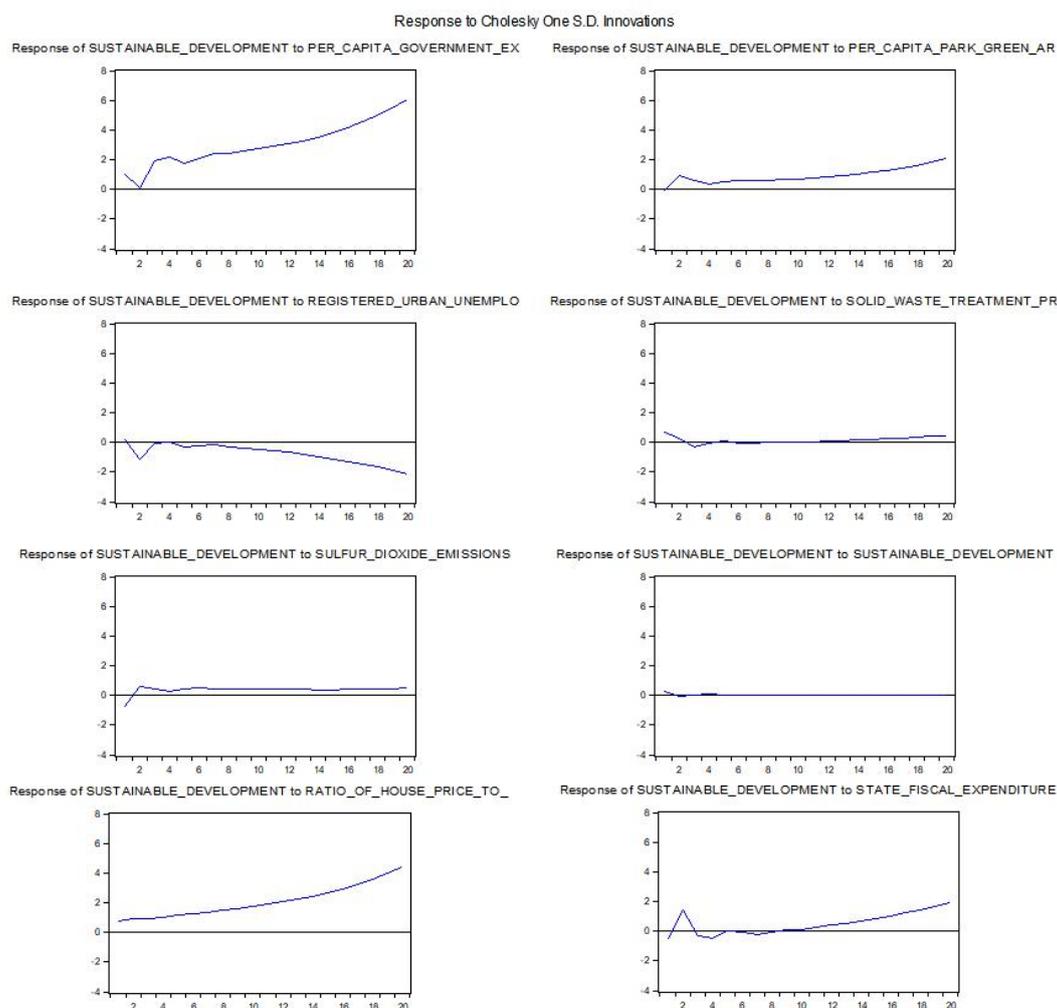


图 5-5 可持续发展对第二阶段社会指标冲击的结构脉冲响应图

图 5-5 展示了中国可持续发展在未来 20 年对第二阶段七个指标的冲击影响,由图可以明显看出,可持续发展对人均社会保障和就业财政支出、人均公园绿地面积和房价

收入比的冲击逐渐增大，人均社会保障在短期会有波动，但冲击从未来第 7 年开始稳定增加。全员劳动生产率和国家财政环境保护两个指标呈现相反的趋势，在短期内两个指标都产生波动，从第 7 年，可持续发展对全员劳动生产率有负面影响，对国家财政环境保护有正面积极影响。可持续发展需要地区投入大量财力，这也能反映这个现象。在未来很长一段时间，财政环境保护的投入都和可持续发展有正比关系。

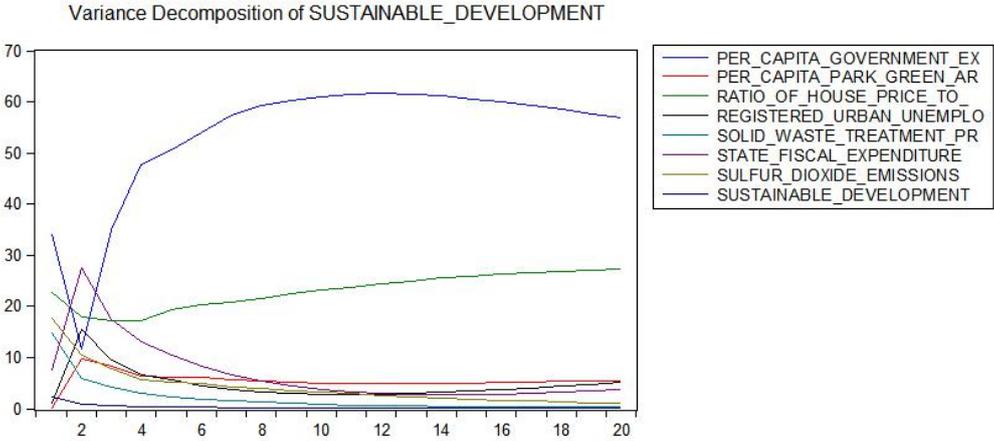


图 5-6 中国可持续发展综合评分第二阶段方差分解图

由图 5-6 可知，对中国可持续发展贡献度刚开始最高的仍然是其自身的滞后期，并且在短期共享度下降至 10%，在未来 10 年呈上升趋势，贡献度达到 60%后趋于稳定。其他指标中，房价收入比对可持续发展的贡献度明显高于其他 6 个指标，并且呈上升趋势，贡献度为 20%-30%。其余指标在短期都有降低，并且在第 10 年保持稳定，贡献度在 5%左右。国家省份应控制房价收入比，对第二阶段其余指标做出进一步的处理。

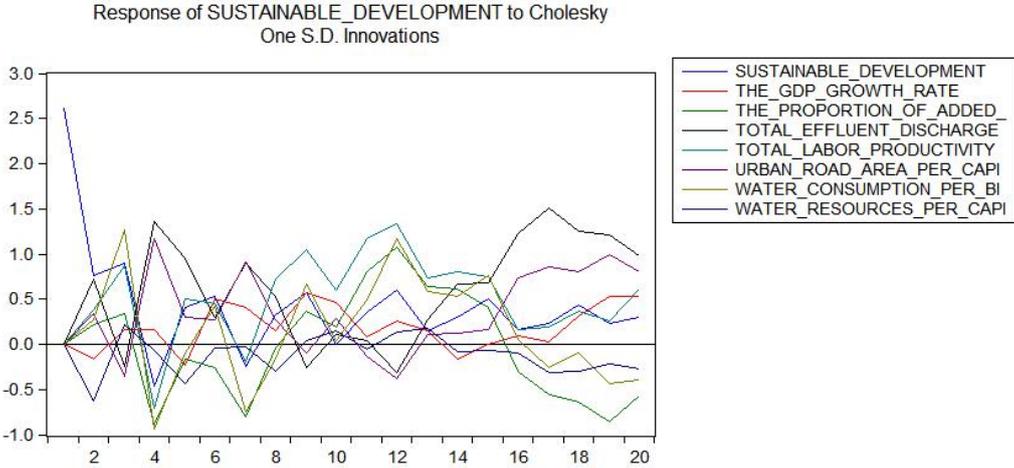


图 5-7 可持续发展对第三阶段社会指标冲击的结构脉冲响应图

图 5-7 展现第三阶段可持续发展对其余 7 个指标的影响。由图我们可以看出，可持续发展对指标的冲击处于波动状态，对每个指标都有正向的和负向的冲击。在未来很长一段时间，每亿元 GDP 水耗和人均水资源量等变量都与可持续发展处于动态平衡关系，我们应时刻关注其变化做出进一步的制度调整。

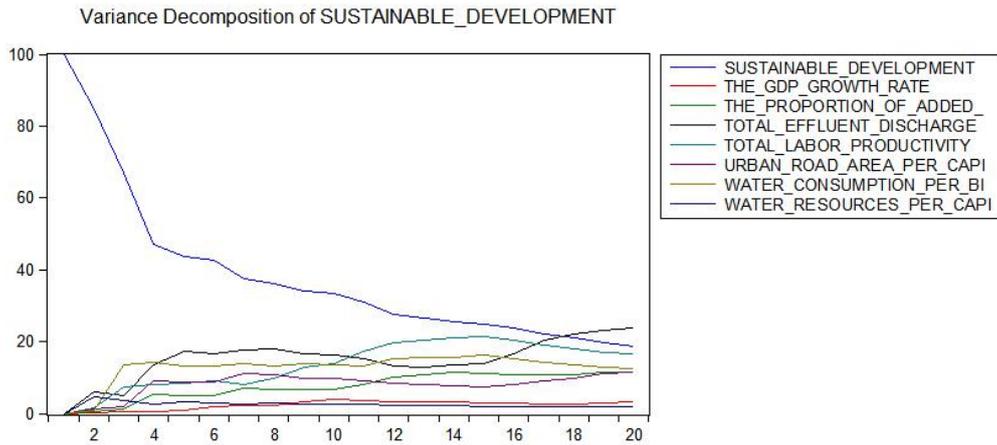


图 5-8 中国可持续发展综合评分第三阶段方差分解图

由图 5-8 可知,可持续发展自身之外的变量对可持续发展的贡献长期稳定在 0-20%,并且不会随着时间的推移产生很大的变化,相对稳定。

5.4 问题IV的求解

问题 4 要求提供一个各省之间的合作计划,而且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。首先我们认为各省之间的合作要求应该考虑满足两点要求:一点是各省份之间要优势互补,即两者合作要有一者经济发展状况较好,但是要想迅速发展需要物资提供,而后者是具有一定的资源,但是不易推动经济发展。另外一点要求是地域要相临近,这样交通便捷,更容易相互合作。本着这两点要求,我们只需要划分出各省是经济发达一类还是资源丰富一类即可。因此,我们选用人均 GDP、居民可支配收入作为经济社会发展状况指标,选用耕地面积指数、水资源指数、煤石油天然气指数作为拥有资源状况,通过搜集数据然后确定各省情况,最后根据地域相邻制定各省之间的合作计划。

5.4.1 模型的准备

通过各地区统计年鉴搜集人均 GDP (\overline{GDP})、居民可支配收入 (M_i)、耕地面积指数 (C_i)、水资源指数 (W_i)、煤石油天然气指数 (C_v) 这 5 个指标的数据。使用 Excel 汇总绘制表格,部分相关数据如表 6 所示。

表 5-11 部分省市合作指标相关数据

省市	\overline{GDP}	C_i	M_i	W_i	C_v
北京	98293	83.97	17483	1.23	1.23
上海	112738	91.28	18393	1.92	1.92
辽宁	71368	93.64	13638	0.89	0.89
吉林	66875	92.18	12738	0.97	0.97
.....
福建	68283	93.92	11893	0.82	0.82

贵州 62778 94.83 9890 0, 96 0, 96

5.4.2 区域合作模型的建立与求解

(1) 模型的建立

首先要计算出每个省市的经济发展状况 E_d , 计算公式如下:

$$E_d = (\overline{GDP} + M_i) / 2 \quad (5-36)$$

然后计算出每个省市的拥有资源状况 Re , 计算公式如下:

$$Re = \frac{1}{100} C_i + W_i + C_v \quad (5-38)$$

接着, 计算出经济资源指数

$$\varphi = \left(\frac{1}{10000} \times Ed / Re \right) \times 100\% \quad (5-39)$$

一般来说, 指数越大, 经济发展状况越好, 资源拥有量越低。通过上述公式可以求得每个省市的经济资源指数后将 34 个省进行排序, 结果如表所示。

表 5-12 各省市经济资源指数排序

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
江苏	重庆	天津	北京	黑龙江	辽宁	四川	上海	湖北	澳门	福建	吉林
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
上海	香港	内蒙古	青海	宁夏	安徽	江西	广西	山西	山东	台湾	海南
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
河北	西藏	湖南	陕西	浙江	新疆	海南	云南	贵州	甘肃		

不过合作计划为高指数省份与低指数省份进行合作, 所以我们还要考虑地域相邻这一要点。我国四大经济区所辖省、直辖市、自治区如下:

- 东北地区: 辽宁省、吉林省、黑龙江省;
- 东部地区: 北京市、天津市、河北省、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省、海南省;
- 中部地区: 山西省、安徽省、江西省、河南省、湖北省、湖南省;
- 西部地区: 内蒙古自治区、广西壮族自治区、重庆市、四川省、贵州省、云南省、西藏自治区、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。



图 5-9 中国地理区域划分

(2) 区域合作计划制定

通过上述区域划分，并根据区域合作模型的结果，我们制定了各省间相互合作的计划如下：

- 东北地区：东北三省的经济既有异质性和互补性，又有同构性和重叠性。例如，在工业的互补性方面，辽宁是钢铁和机床制造业大省；吉林是汽车生产基地；黑龙江则盛产石油和电机装备。相互之间的物流如果能纳入经济协作的轨道，必将提高这些互补产业的经营效率。关于三省经济的同构性，汽车业既是吉林的支柱产业，又是辽宁发展中的重点行业，黑龙江也有自己的汽车工业。又如，辽宁将建成全国先进装备的制造基地作为目标，黑龙江和吉林的装备制造业也很有潜力。这些正是开展三省间同行业内水平型分工与协作的重要前提。因此，与垂直型分工不同的是，东北地区的经济合作应更加重视工业和制造业内部的水平型分工。所以由经济发展相对较快的黑龙江带头更容易发展东北地区的经济。

- 东部地区：东部地区有着北京市、天津市、河北省、上海市等经济较发达的省市，对东部地区来说，目前关键是发现自己的不足，更好改进相关工作。比如在市场经济条件下如何更多利用经济、政策、法律等手段管理地方经济社会发展，尽可能少用行政手段，并通过上述“软合作”，使本地区干部进一步解放思想、转变观念。

- 中部地区：中部地区应充分利用地理优势，联合北部地区和南部地区的省份共同发展。在南水北调的过程中，中部省份也能获得一定的水资源。山西、河南山地较多，利用自身优势，植树造林发展农业和畜牧业。将经济作物和牲畜输入到临近省或者东部沿海城市，共同促进经济的发展。

- 西部地区：西部地区在水资源、经济和能源方面都更稀缺，所以我们应该因地制宜，发展西部的特色。并且将可持续发展融入发展历程，西部地区的内蒙古自治区近年来发展较快，而且内蒙古地大物博，由其领头，省与省之间加强合作交流，共同进步。

六、模型的评价与改进

6.1 模型的评价

6.1.1 问题I模型的评价

问题一采用理论分析方式总结了小康社会建成经验和可持续发展思路，较为全面地分析了关系我国可持续发展的各个方面。

6.1.2 问题II模型的评价

问题二使用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。通过 Q 型聚类分析法将 34 个省市建成小康社会的情况进行分类，建立秩和比综合评价模型对每个种类的代表省市建成小康社会的总体情况进行评价，模型具有实际的价值。

6.1.3 问题III模型的评价

问题三模型使用国家统计局颁布的可持续发展评价指标，引入了可持续发展综合评价指标，量化了可持续发展。将新得到的指标通过三个阶段进行 SVAR 模型，SVAR 模型考虑了系统内各个变量之间当期的相关关系，能够很好地解释变量之间的当期相关关系在误差项中的变动。

6.1.4 问题IV模型的评价

问题四建立区域合作模型，根据地域相邻制定各省之间的合作计划，各省帮扶考虑实际情况和统计数据情况。

6.2 模型的改进

(1) 模型一采用理论分析方式，未建立具体的模型量化可持续发展，可采用更多样的模型进行拟合分析。

(2) 影响我国可持续发展指标较多，需要长时间的年限才能更好地研究，由于某些指标数据无法获得，只选取了 2000-2019 年的数据，使得模型分为三个阶段进行研究。

(3) 由于时间和精力的有限性，只选取了其中具有典型的代表，未能在区域合作模型中考虑全面，获得的数据的覆盖面还是不能完全达到要求，分析有待深入。

参考文献

- [1]高铁梅.计量经济分析方法与建模（第二版）.北京：清华大学出版社.2009.
- [2]统计科学研究所宏观经济预测分析小组.2018、2019 年我国宏观经济主要指标分析预测 [J].调研世界, 2018, (12).
- [3]程建华, 许坤, 杨晓光.2016年物价走势分析及2017年物价预测.2017年中国经济预测与展望. 北京：科学出版社, 2017
- [4]王慧炯,李泊溪,李善同. 中国实用宏观经济模型. 北京：中国财政经济出版社,1999
- [5]高桂玲,张敖. 深圳可持续发展指标体系构建及评价方法研究[C]. 中国标准化协会.第十四届中国标准化论坛论文集.中国标准化协会:中国标准化协会,2017:1416-1422.
- [6]林长云. 我国人口对可持续发展的影响与对策研究[D].北京林业大学,2003.

附录

问题三程序

```
guiyi.m
function y=guiyi(x,type,ymin,ymax)
%实现正向或负向指标归一化，返回归一化后的数据矩阵
%x 为原始数据矩阵，一行代表一个样本，每列对应一个指标
%type 设定正向指标 1, 负向指标 2
%ymin, ymax 为归一化的区间端点
[n,m]=size(x);
y=zeros(n,m);
xmin=min(x);
xmax=max(x);
switch type
    case 1
        for j=1:m
            y(:,j)=(ymax-ymin)*(x(:,j)-xmin(j))/(xmax(j)-xmin(j))+ymin;
        end
    case 2
        for j=1:m
            y(:,j)=(ymax-ymin)*(xmax(j)-x(:,j))/(xmax(j)-xmin(j))+ymin;
        end
end

shang.m
function [s,w]=shang(x,ind)
%实现用熵值法求各指标(列)的权重及各数据行的得分
%x 为原始数据矩阵，一行代表一个样本，每列对应一个指标
%ind 指示向量，指示各列正向指标还是负向指标，1 表示正向指标，2 表示负向指标
%s 返回各行(样本)得分，w 返回各列权重
[n,m]=size(x); % n 个样本，m 个指标
%%数据的归一化处理
for i=1:m
    if ind(i)==1 %正向指标归一化
        X(:,i)=guiyi(x(:,i),1,0.002,0.996); %若归一化到[0,1], 0 会出问题
    else %负向指标归一化
        X(:,i)=guiyi(x(:,i),2,0.002,0.996);
    end
end
end
%%计算第 j 个指标下，第 i 个样本占该指标的比重 p(i,j)
for i=1:n
    for j=1:m
        p(i,j)=X(i,j)/sum(X(:,j));
    end
end
```

```

end
%%计算第 j 个指标的熵值 e(j)
k=1/log(n);
for j=1:m
    e(j)=-k*sum(p(:,j).*log(p(:,j)));
end
d=ones(1,m)-e; %计算信息熵冗余度
w=d./sum(d); %求权值 w
s=100*w*X'; %求综合得分

Q3.m
%% 熵权法求指标权重, x 为输入矩阵, 返回权重向量 w
clc, clear
filename='dataQ3.xlsx';%文件名字
x=xlsread(filename);

ind=[1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1];
[s, w]=shang(x, ind)

```