

2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

题 目 对我国可持续发展思路和趋势的研究以及预测分析

摘 要

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的决战之年，然而在这关键性的一年的初期新型冠状病毒疫情开始大规模爆发，对我国的经济发展、外部环境必然造成了重要的影响。结合此情况对生态可持续发展进行研究具有重要意义。

针对问题一：本文基于 DPSIR 和灰色关联法，探究生态可持续发展变化并提出一种动态预测模型。采用 DP-SIR 模型构建评价指标体系，利用灰色关联法计算生态可持续发展；此外，考虑到新旧历史数据对预测结果影响程度不同，引入时间权重，构建动态预测模型。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

针对问题二：本文首先采用单指标评价法和多指标综合评价法对我国全面建成小康社会进程作综合评价分析，并作简单的比较分析。然后，采用变权重组合预测模型对 2020 年我国全面建成小康社会总体水平以及经济发展、民主法治、文化建设、人民生活、资源环境五个方面的实现水平进行预测分析，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。

针对问题三：以可持续发展理论为基础，以广东省 2000—2015 年期间城市发展数据为研究对象，利用嫡值法对广东省环境，经济和社会可持续发展进行了综合评价和预测分析，结合系统优化思想,综合考虑城市人口变化、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要素建立多目标优化模型，设计出优化方案。

针对问题四：根据上述问题的模型结果和分析，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。

最后，给出了模型的优缺点以及改进方案。

关键词 DP-SIR 模型、灰色关联法、权重组合预测模型、多目标优化模型、嫡值法

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，但对我国的经济必然造成了重要的影响。另外，尚未得到有效控制的全球性新型冠状病毒疫情正在更大规模蔓延以及世界处于百年未有的大变局的总体形式使得我国经济内外部环境变得更加恶劣。为此请您结合数学建模方法对如下问题进行合理的优化建模与规划。

1.2 问题提出

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：您能否提供一个各省之间的合作计划。这一计划在充分考虑各省份经济社会发展状况及资源禀赋，同时也能够对合作双方产生积极的促进作用和总体效率的提升。

二、问题分析

2.1 问题一的分析

为了解决问题一，可以基于 DPSIR 和灰色关联法，探究生态可持续发展变化并提出一种动态预测模型。结合全球气候变暖、生态环境与人口压力倍增等现状，采用 DP-SIR 模型构建评价指标体系，利用灰色关联法计算生态可持续发展；此外，考虑到新旧历史数据对预测结果影响程度不同，引入时间权重，构建动态预测模型。经济发展水平与产业结构、自然资源与生态环境、污染控制与科技创新为重要影响因子；动态预测模型平均相对误差为 0.0091，最大误差不超过 2.4%，满足预测精度要求；利用动态预测模型与传统曲线模拟预测我国未来二十年生态可持续发展结果，该研究建立的动态预测模型具有更强的可行性与可操作性，并据此提出未来 20 年的我国可持续发展思路。

2.2 问题二的分析

对于问题 2，本文首先采用单指标评价法和多指标综合评价法对我国全面建成小康社会进程作综合评价分析，并作简单的比较分析。然后，采用变权重组合预测模型对 2020 年全面建成小康社会总体水平以及经济发展、民主法治、文化建设、人民生活、资

源环境五个方面的实现水平进行预测分析。最后，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。

2.3 问题三的分析

针对问题三，以可持续发展理论为基础，以广东省 2000—2015 年期间城市发展数据为研究对象，利用嫡值法对广东省环境，经济和社会可持续发展进行了综合评价和预测分析，结合系统优化思想，综合考虑城市人口变化、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要素建立多目标优化模型，设计出优化方案。

2.4 问题四的分析

为了解决问题四，根据上述问题的模型结果和分析，提供一个各省之间的合作计划。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。

三、模型假设

假设 1：假设文中数据真实有效，能正确反应我国可持续发展道路的趋势。

假设 2：现实中影响我国可持续发展道路因素错综复杂，本文仅考虑部分原因，假设其他因素影响小，忽略不计。

假设 3：假设没有人口迁移，能准确反映经济状况。

假设 4：假设模型四中仅考虑人口变化、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。

四、定义与符号说明

符号定义	符号说明
x_j	评价指标的数值
x'_{ij}	标准化数值
m	为评价年份
n	为指标数

五、模型的建立与求解

5.1 问题 1 的模型建立与求解

5.1.1 数据分析：我国发展历程中的成功经验

2019 年 11 月 21 日，第三方机构竞争力智库和中国信息协会信用专业委员会在京联合发布《中国城市全面建成小康社会监测报告 2019》。《报告》显示，2018 年中国全面小康指数为 99.18，连续 8 年上升，总体达到预期点。监测结果表明，我国已基本实

现全面建成小康社会目标。

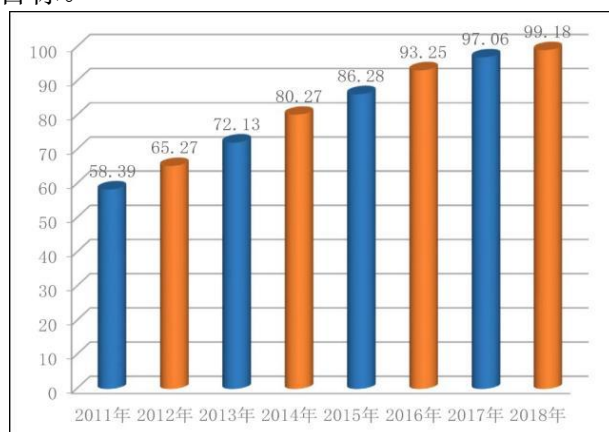


图 5-1 2011-2018 年中国全面小康指数变化图

全面建成小康社会指数（简称全面小康指数）以 100 为预期点。《报告》显示，在 31 个省（自治区、直辖市，不含港澳台地区）中，有 13 个全面小康指数超过预期点，数量比 2017 年增加 4 个。全面小康指数超过预期点的城市数量比 2017 年增加 89 个，达到 264 个，占全国城市总数的 39.52%。其中，地级市数量比 2017 年增加 44 个，达到 129 个，占全国地级市总数的 44.03%；县级市数量比 2017 年增加 45 个，达到 135 个，占全国县级市总数的 36.00%。《报告》同时公布了“2019 中国地级市全面小康指数前 100 名（含副省级城市）”、“2019 中国县级市全面小康指数前 100 名”和“中国率先全面建成小康社会范例城市”。

中国城市小康分项指数等级为 A+级,表示城市在该领域表现突出。取得 3 个以上 A+ 级的城市即“中国城市小康分项指数等级 A+A+A+级以上城市”，是全面建成小康社会中全面发展的优秀代表。在中国地级市全面小康指数前 100 名和中国县级市全面小康指数前 100 名中，小康分项指数 A+A+A+级以上城市有 33 个。

表 5.1 我国达到小康社会的城市水平

城市类别	地级市	县级市
A ⁺ A ⁺ A ⁺ A ⁺ A ⁺	江苏无锡市、常州市、镇江市、湖南长沙市、广东中山市	江苏张家港市
A ⁺ A ⁺ A ⁺ A ⁺	广东深圳市、广州市、东莞市、浙江杭州市、江苏南京市、苏州市、湖北武汉市	江苏江阴市、常熟市
A ⁺ A ⁺ A ⁺	广东珠海市、佛山市、惠州市、山东青岛市、烟台市、威海市、福建泉州市	江苏昆山市、扬中市、太仓市、宜兴市、丹阳市、山东荣成市、乳山市、附件石狮市

5.1.2 模型的建立与验证

5.1.2.1 模型的介绍

DPSIR 模型：DPSIR 是一种由 PSR 模型演化而来的概念模型，其将环境系统指标分为驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个部分，根据不同评价体系的需求各个部分又被分成若干个评价指标。参考前人建立的生态综合评价指标体系，基于 DPSIR 概念模型，重点立足生态环境与自然资源的角度选取评价指标来构建生态可持续发展评价指标体系，详情如表 5-2 所示。

表 5-2 生态可持续发展评价指标体系

准则层 Criteria layer	指标 Index	性质 Property	序号 No.
驱动力 Driving force	人均 GDP // 元	正向	X_1
	城镇居民可支配收入 // 元	正向	X_2
	常住人口城镇化率	正向	X_3
	人口密生态可持续发展 // 人/km ²	正向	X_4
压力 Pressure	单位地区 GDP 能耗(标准煤)	逆向	X_5
	资源消耗压力		
	人均日用水量 // L	逆向	X_6
	人均社会用电情况 // k W·h	逆向	X_7
	工业废水排放量 // t	逆向	X_8
	工业固废排放量 // t	逆向	X_9
	生态破坏压力		
	工业废气排放量 // t	逆向	X_{10}
状态 Status	城市污水处理率	正向	X_{11}
	生活垃圾无害化处理率 // %	正向	X_{12}
	第二产业占生产总值比重 // %	逆向	X_{13}
	第三产业占生产总值比重 // %	正向	X_{14}
	规模以上工业企业工业增加值额 // 10 ⁸	正向	X_{15}
	受过高等教育人口比例 // %	正向	X_{16}
	绿化覆盖面积 // m ²	正向	X_{17}
	城市空气优良天数比例 // %	正向	X_{18}
响应 Response	每万人拥有公共汽车数 // 辆	正向	X_{19}
	投资建设响应		
	科学技术支出	正向	X_{20}
	一般公共服务支出	正向	X_{21}
	教育支出	正向	X_{22}
	污染控制响应		
工业废气治理设施	正向	X_{23}	
废水治理设备数	正向	X_{24}	

因 DPSIR 模型中每个指标的量纲重要程度不同, 该研究采用主观层次分析法、客观熵值法进行评价且计算综合权重时主观与客观评价系数均为 0.5。

灰色关联度分析法: 该研究采用灰色关联法计算生态可持续发展, 该方法能够较好地反映城市可持续发展的实际情况, 对明确下一步城市发展规划的方向具有较好的参考意义。建立指标分析数列和参考数列。分析数列是根据相应指标收集的数列, 其中, m 为综合评价指标的数目, n 为进行评价的年数。记 $Y_i(K)$ ($i=1, 2, \dots, m$) 为分析数列; $Y_0(K)$ 为参考数列。

(1) 标准化处理:

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\{x_j\}}$$

$$\text{逆向指标: } X_{ij} = \frac{\min\{x_j\}}{x_{ij}}$$

(2) 计算标准化数列与其最优数列的绝对值。构成的新数列计算公式是:

$$x_i(k) = \max\{y_i(k)\} - y_i(k)$$

(3) 对于灰色关联度的计算用以下公式:

$$\xi_i = \frac{\min|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max|x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max|x_0(k) - x_i(k)|}$$

式中, ρ 为分辨系数, 取值为 0~1, 一般取值是 0.5。该研究取值为 0.6。计算加权灰色关联度(即生态可持续发展能力)。分别计算 2008—2016 年的加权灰色关联度, 以反映各年份的生态可持续发展。加权灰色关联度为:

$$d_j = \sum_{i=1}^m w_i \xi_{ij}$$

5.1.2.2 建立可持续发展变化动态模型、

时间权重的确定: 虑到历史数据距离预测时间点越近, 对于数据在预测过程中的时间权重越大, 该研究引入时间权重并参考时间权重计算方法计算各年份的时间权重:

$$W_t = \frac{2 \arctan(t)}{\pi} (t = 1, 2, \dots, n)$$

动态预测模型的计算方法: 设生态可持续发展能力的历史数据为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 根据数据变化趋势选择相应的拟合阶数, 设最终的预测模型为:

$$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots + a_m t^m$$

其中, y_t 为 t 时刻的回归预测值, t 为时刻, a_0, a_1, \dots, a_m 为未知参数, m 为回归预测阶数。

动态回归预测模型未知参数计算公式:

$$a = (W \bullet B \bullet D) \cdot (D^T \bullet B \bullet C \bullet B \bullet D)^{-1}$$

其中, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,

$$W^T = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & x_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & x_n \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w_n \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 1^0 & 1^1 & \dots & 1^m \\ 2^0 & 2^1 & \dots & 2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n^0 & n^1 & \dots & n^m \end{bmatrix}$$

通过以上分析, 得到动态预测模型为:

$$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots + a_m t^m$$

5.1.2.3 模型的验证

为检测预测模型的实用性, 需对模型的精度进行检测。常用的检验指标有相对误差和平均相对误差:

$$\text{相对误差: } e_t = (x_t - \hat{x}) / x_t$$

$$\text{平均相对误差: } e(\text{avg}) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t|$$

平均相对误差小于可接受程度阈值, 则认为该模型是满足精度的, 可作为预测工具。

5.1.3 模型的结果与分析

5.1.3.1 模型结果

基于指标原始数据计算我国生态可持续发展评价指标权重，结果如表 5-3 所示。

5-3 生态可持续发展评价指标的权重

指标 Index	主观 Subjective	客观 Objective	综合 Comprehensive
X_1	0.50	0.20	0.35
X_2	0.05	0.15	0.25
X_3	0.35	0.20	0.25
X_4	0.55	0.10	0.30
X_5	0.25	0.25	0.25
X_6	0.10	0.15	0.35
X_7	0.25	0.20	0.50
X_8	0.15	0.15	0.30
X_9	0.10	0.15	0.25
X_{10}	0.25	0.20	0.25
X_{11}	0.45	0.25	0.30
X_{12}	0.55	0.25	0.30
X_{13}	0.35	0.25	0.35
X_{14}	0.60	0.30	0.65
X_{15}	0.35	0.10	0.25
X_{16}	0.25	0.20	0.25
X_{17}	0.25	0.20	0.30
X_{18}	0.25	0.20	0.25
X_{19}	0.30	0.15	0.45
X_{20}	0.40	0.15	0.35
X_{21}	0.45	0.30	0.35
X_{22}	0.10	0.25	0.25
X_{23}	0.25	0.10	0.50
X_{24}	0.25	0.15	0.35

根据公式(1)、(2)进行指标的标准化处理，并按照上述相应指标收集分析数列，最优数列则是选取每个指标的最优值得到的数据列，根据公式(3)、(4)、(5)计算出我国生态可持续发展各评价指标关联系数和加权灰色关联度，其中加权灰色关联度即为生态可持续发展能力，我国各年份生态可持续发展能力如表 5-4 所示。

表 5-4 未来 20 年年我国各年份生态可持续发展能力

年份 Year	d(C)	d(D)	d(P1)	d(P2)	d(S)	d(I)	d(R1)	d(R2)
2022	0.625	0.573	0.701	0.886	0.700	0.647	0.374	0.493
2024	0.647	0.656	0.686	0.925	0.751	0.701	0.385	0.490
2026	0.659	0.685	0.685	0.853	0.732	0.730	0.409	0.519

2028	0.672	0.691	0.628	0.774	0.737	0.781	0.479	0.615
2030	0.718	0.798	0.699	0.768	0.778	0.731	0.615	0.633
2032	0.740	0.772	0.668	0.757	0.824	0.803	0.692	0.665
2034	0.777	0.827	0.694	0.767	0.907	0.894	0.657	0.696
2036	0.809	0.827	0.771	0.781	0.903	0.948	0.639	0.797
2038	0.897	0.908	0.830	0.780	0.958	0.922	0.880	1.000

由表 5-4 可知，关联度 d 为 0.62~0.90，参考相关文献，最终将我国生态可持续发展能力划分为 4 个等级： $d < 0.63$ ，级别为差； $0.63 \leq d < 0.73$ ，级别为中； $0.73 \leq d < 0.83$ ，级别为良； $d \geq 0.83$ ，级别为优。由分级标准并结合表 5-4 得到我国生态可持续发展水平如表 5-5 所示。

表 5-5 未来 20 年我国生态可持续发展水平

年份 Year	d(C)	d(D)	d(P1)	d(P2)	d(S)	d(I)	d(R1)	d(R2)
2022	差	差	中	优	中	中	差	差
2024	中	中	中	优	良	中	差	差
2026	中	中	中	优	良	良	差	差
2028	中	中	差	良	良	良	差	差
2030	中	良	中	良	良	良	差	中
2032	良	良	中	良	良	良	中	中
2034	良	良	中	良	优	优	中	中
2036	良	良	良	良	优	优	中	良
2038	优	优	优	良	优	优	优	优

由表 3~4 可见，未来 20 年我国生态持续发展能力呈现上升的趋势，基本处于中或良水平，2032 年达到峰值优级别。

5.1.3.2 可持续发展未来思路分析

根据上述模型分析，驱动力(D)—经济发展水平为生态可持续发展提供动力，D 值由 2022 年 .573 的差级别上升到 2038 年 0.908 的优级别，其中 2024 年增长率最快，达 15.5%，说明我国经济实力明显增强，为我国生态可持续发展提供充足的动力；

压力—生态可持续发展与资源、生态环境及污染控制密切相关。资源消耗层总体变化幅度较小，2026 年最高，为 0.830，2032 年最低，为 0.628，总体呈现“V”字型变化，且大部分处于中良级别；

状态—产业结构与城市绿化影响生态可持续发展。除 2024、2036 年外，状态的贡献值逐年上升且大部分处于优良水平；

影响—城市建设水平与居民生活质量的提高减轻资源消耗压力。除 2034 与 2038 年之外，影响层贡献值逐年平缓增长且大部分处于优良水平，2032 年达到峰值 0.922；城镇登记失业率由 2.22 年的 3.92% 下降至 3.00%；人均住房面积由 19.36 m² 上升至 35.75m²，增长率为 84.7%；

响应—污染控制与科学技术投入促进生态可持续发展提升。响应反映了政府在推动城市生态可持续发展过程中采取的对策和制定的积极政策。从整体看，污染控制与投资建设逐年上升且增幅较大，但是大部分处于差级别；从局部看，两者起初贡献值很低，直至 2026 年左右才达到中等水平，2038 年达到优级别；

综上所述，驱动力、压力、状态、影响、响应 5 个部分的因子相互作用，且正向因

子贡献值大于负向因子，推动生态可持续发展的提升；其中经济发展水平与产业结构、自然资源与生态环境、污染控制与科技创新为主要影响因子。

因此未来的可持续发展思路应为：协调发展第一、第二、第三产业，积极促进第三产业发展，优先推动自然资源消耗少、生态破坏小的产业，争取发展成为以第三产业为主导的城市；淘汰落后的技术与工艺，同时大力发展先进制造业和高新技术产业，改善能源结构，提高废物综合利用率和处理率，实现资源可持续利用、降低环境破坏力度；节能减排、增加环保投入、提高污染物处理技术和监管力度。

5.2 问题 2 的模型建立与求解

5.2.1 数据的预处理

文章中实证分析部分采用的数据来自于 2011—2018 年国家统计年鉴、2011—2018 年我国发展年鉴、2011—2018 年中国卫生和计划生育年鉴、2010—2017 年我国环境状况公报、2011—2018 我国政府工作报告，我国通信管理局官方统计数据以及我国人民政府印发的相关文件。每万人口行政诉讼发案率数据获得的难度大，因此未纳入指标体系计算，制造业产品质量合格率指标数据来自国家质量监督检验检疫总局官方统计数据，仅有 2014-2016 年的数据，分别为 96.39%、95.20%、96.49%，连续三年均超过了 92%，完成了目标。在指标数据无法全部获得的情况下，可以用已知数据的均值来填补数据缺失值，称为均值填补法。因此，用 96.02% 来填补 2010-2013 年、2017 年我国制造业产品质量合格率。在数据搜集完毕后，对数据进行整理，得到 2010—2017 年 37 项指标的数据表。

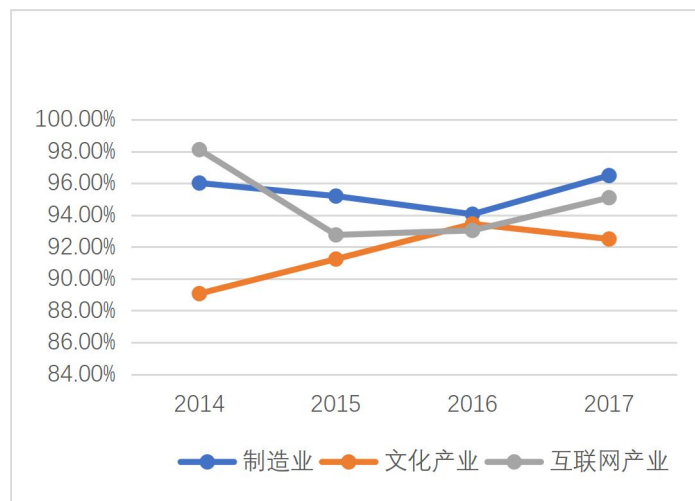


图 5-2 我国经济产业完成比例

5.2.2 模型的建立和验证

5.2.2.1 单指标评价法和多指标综合评价法

对全面建成小康社会实现程度的测算方法主要是单指标评价法和多指标综合评价法。单指标实现程度的计算公式如下所示。

$$\text{正指标: } z(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i}{x_i^*} \times 100\%, & \frac{x_i}{x_i^*} < 1 \\ 100\%, & \frac{x_i}{x_i^*} \geq 1 \end{cases}$$

$$\text{负指标: } z(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i^*}{x_i} \times 100\%, & \frac{x_i^*}{x_i} < 1 \\ 100\%, & \frac{x_i^*}{x_i} \geq 1 \end{cases}$$

其中, x_i^* 为目标值, x_i 为实际值, $z(x_i)$ 为指标 x_i 的实现程度。

然后, 进行多指标综合评价法。针对一级指标, 可以计算得到一级指标的实现程度, 计算公式如式 5-3 所示。

$$z(a_i) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} z(x_i)w_i}{\sum_{i=1}^{n_i} w_i} \times 100\%$$

其中, $z(a_i)$ 代表第 i 个指标的实现程度, w_i 为指标 x_i 的权重, n_i 为第 i 个一级指标所包含二级指标的个数。

最后, 可以计算得到我国全面建成小康社会实现程度, 计算公式如式 5-4 所示。

$$Z = \sum_{i=1}^5 (a_i)w_k \times 100\%$$

其中, Z 代表全面小康总体实现程度, w_k 代表所对应的一级指标的权重。

5.2.2.2 变权重组合预测模型原理

假设有 n 种预测方法 $\hat{y}_{it}(i = 1, 2, \dots, n)(t = 1, 2, \dots, T)$ 对同一预测问题都有好的预测结果, 由这 n 种预测方法组合的新的预测模型为:

$$\hat{y}_t = x_{1t}\hat{y}_{1t} + x_{2t}\hat{y}_{2t} + \dots + x_{nt}\hat{y}_{nt} = \sum_{i=1}^n x_{it}\hat{y}_{it}$$

其中, \hat{y}_t 为变权重组合预测模型在 t 时间点上的预测值, x_{it} 为第 i 种方法在 t 时间点上变权重组合预测模型的权重, 且满足以下条件:

$$\sum_{i=1}^n x_{it} = 1, x_{it} \geq 0 (t = 1, 2, \dots, T)$$

设 e_t 和 e_{it} 分别为变权重组合预测模型和 n 种模型在 t 时间点上的预测残差, 则有:

$$e_{it} = y_t - \hat{y}_{it}$$

$$e_t = y_t - \hat{y}_t = \sum_{i=1}^n x_{it} e_{it}$$

变权重组合预测模型问题的关键是确定组合权重, 组合权重的确定是以预测残差绝对值最小化为原则, 具体优化模型如下:

$$\begin{cases} \min E_t = |e_t| = \left| \sum_{i=1}^n x_{it} e_{it} \right| \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^n x_{it} = 1, x_{it} \geq 0 \end{cases} (t = 1, 2, \dots, T)$$

5.2.2.3 变权重组合预测模型构成

时间序列预测模型有很多, 其中一次线性预测模型预测对象的线性发展趋势, 对数曲线预测模型预测对象的非线性发展趋势, 灰色预测模型不需要很多历史数据, 且适用于短期预测, 3 种模型各有利弊。3 种模型形式如下:

$$y_t = b_0 + b_1 t, \quad (\text{一次线性预测模型})$$

$$y_t = a + b \ln t, \quad (\text{对数曲线预测模型})$$

$$X^{(1)}(k+1) = \left[X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (\text{灰色预测模型})$$

将 3 种模型进行组合, 运用 Eviews 和 Matlab 统计软件对数据进行处理, 预测 2020 年我国全面小康社会总体实现程度及五大方面全面小康实现程度。

5.2.2.4 模型的误差分析与验证

接下来对模型的预测效果做简单地描述。由表 5-10 可知，用灰色预测模型对全面小康总体实现水平、经济发展等五方面全面小康实现水平建立的预测模型精度等级均在 2 级以上，包括 2 级。其中，仅文化建设方面预测模型的精度等级为 2 级，其他的预测模型精度等级均为 1 级，也就是说模型的预测效果非常好。

表 5-6 单预测模型预测效果评价指标

指标		一次线性预测模型	对数曲线预测模型
全面小康	Bias Proportion	0.055	0
	Variance Proportion	0.225	0.013
	Covariance Proportion	0.72	80.987
经济发展	Bias Proportion	0	0
	Variance Proportion	0.001	0.027
	Covariance Proportion	0.999	0.973
民主法治	Bias Proportion	0	0
	Variance Proportion	0.015	0.045
	Covariance Proportion	0.985	0.955
文化建设	Bias Proportion	0	0
	Variance Proportion	0.07	0.026
	Covariance Proportion	0.929	0.974
人民生活	Bias Proportion	0	0
	Variance Proportion	0.003	0.03
	Covariance Proportion	0.997	0.979
资源环境	Bias Proportion	0	0
	Variance Proportion	0.01	0.008
	Covariance Proportion	0.99	0.992

表 5-7 我国全面小康社会总体实现水平的预测误差

年份	灰色预测模型	一次线性预测模型	对数曲线预测模型	变权重组合预测模型
2010	-0.0762	0.0001	0.0256	0.0000
2011	-0.0461	-0.0001	-0.0192	-0.0000
2012	-0.0018	0.0023	-0.0233	-0.0018
2013	0.0066	0.0096	-0.0166	0.0006
2014	0.0053	0.007	-0.0111	0.005
2015	0.0158	0.0161	0.0123	0.0123
2016	0.0046	0.0034	0.0194	0.0034
2017	-0.0215	-0.0244	0.0157	-0.001

5.2.3 模型的结果与分析

5.2.3.1 全面建成小康社会进程测定

首先，图 5-3 展示的是 2010-2017 年我国全面建成小康社会总体实现水平的测定结果。从图 5-3 可以看出，全面小康总体实现水平在 2015-2017 年间的增长速度放缓。

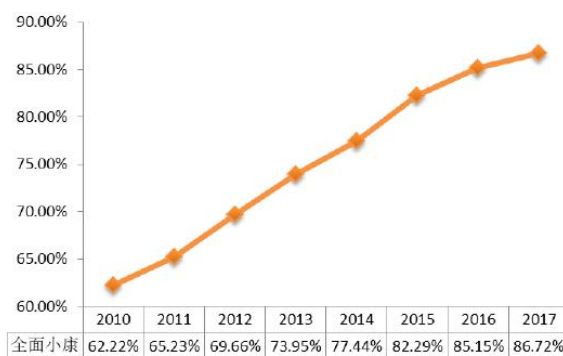


图 5-3 2010-2017 年全面建成小康社会总体实现水平变化趋势

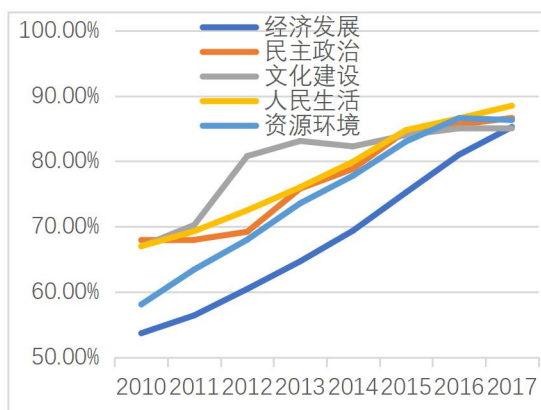


图 5-4 2010-2017 年全面建成小康社会各一级指标的的实现水平测定结果.

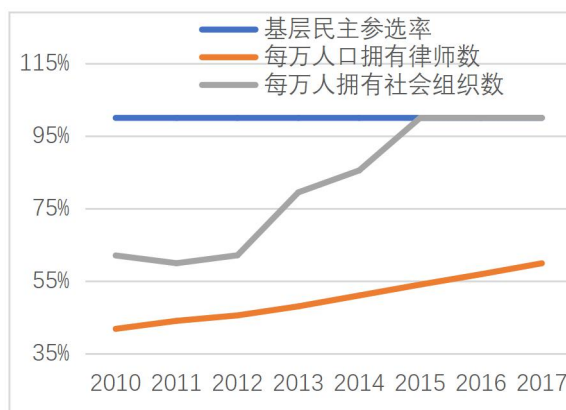


图 5-5 2010—2017 年我国民主法治方面全面小康实现水平测定结果

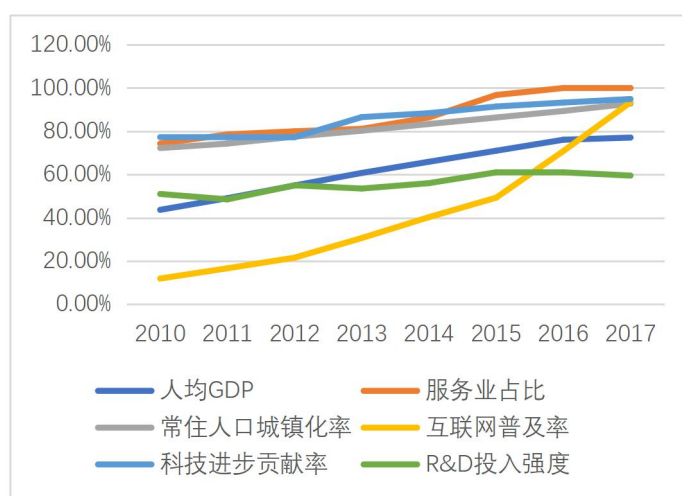


图 5-6 2010—2017 年经济发展方面全面小康实现水平测定结果

图 5-7 是 2010—2017 年我国文化建设方面全面小康实现水平测定结果。文化及相关产业增加值占 GDP 比重是文化建设方面实现全面建成小康社会目标的短板，除此之外的四项指标对文化建设方面实现目标产生消极影响的可能性极低。

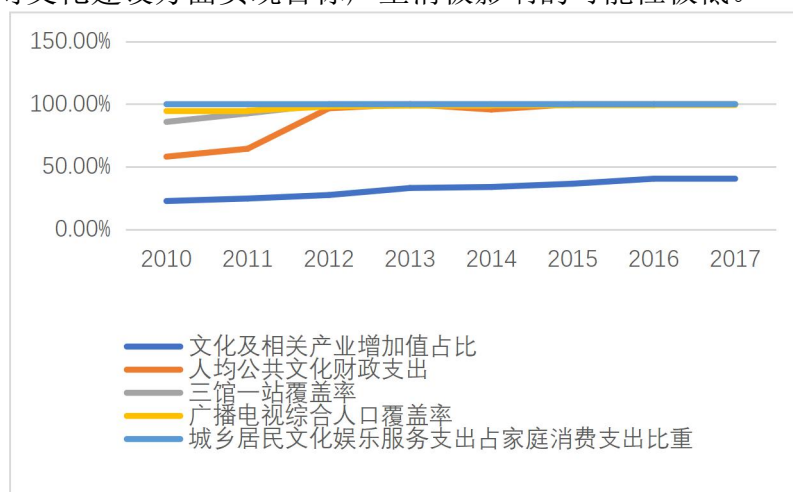


图 5-7 2010—2017 年我国文化建设方面全面小康实现水平测定结果

表 5-6 是 2010—2017 年我国人民生活方面全面小康实现水平测定结果。单位 GDP 生产安全事故死亡率是制约人民生活方面实现全面建成小康社会的第一短板，城乡居民人均收入、每千老年人口养老床位数、社区综合服务设施覆盖率指数、公共交通服务指

数四项指标对人民生活方面实现目标的消极影响较大，其余指标的消极作用较小。

表 5-8 2010—2017 年我国人民生活方面全面小康实现水平测定结果

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
城乡居民人均收入	34.76%	37.89%	43.26%	47.57%	52.45%	61.08%	66.26%	72.51%
失业率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
城乡居民收入比	85.70%	86.06%	86.69%	88.88%	90.99%	96.30%	95.78%	95.99%
城乡居民家庭人均居住面积	71.10%	76.70%	78.14%	81.00%	89.19%	94.94%	96.51%	99.23%
公共交通服务指数	71.47%	72.30%	71.61%	70.87%	69.90%	68.02%	68.16%	69.83%
平均预期寿命	97.61%	97.93%	98.27%	98.59%	98.93%	98.99%	99.09%	99.09%
劳动年龄人口平均受教育年限	78.57%	81.73%	84.49%	85.20%	84.90%	94.39%	93.06%	93.06%
每千人口执业(助理)医师数	74.36%	82.56%	86.15%	89.23%	94.36%	97.95%	100%	100%
每千老年人口养老床位数	20.29%	21.71%	28.00%	48.00%	68.00%	86.86%	86.29%	85.71%
社区综合服务设施覆盖率指数	74.19%	74.53%	75.04%	75.48%	75.98%	76.46%	76.95%	77.49%
基本养老保险参保率指数	86.22%	95.77%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
农村贫困人口累计脱贫率	59.88%	59.50%	66.80%	73.50%	79.88%	85.80%	87.03%	90.30%
单位 GDP 生产安全事故死亡率	18.94%	20.90%	24.93%	28.66%	31.94%	35.06%	58.60%	65.85%
制造业产品质量合格率	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

表 5-7 是 2010—2017 年我国资源环境方面全面小康实现水平测定结果。单位 GDP 用水量、一般工业固体废物综合利用率、单位 GDP 建设用地使用面积是制约资源环境方面实现全面建成小康社会目标的主要短板，环境质量指数、农村卫生厕所普及率对资源环境方面实现目标有一些消极影响，单位 GDP 能源消耗、农村自来水普及率对其消极影响更弱一些。

表 5-9 2010—2017 年我国资源环境方面全面小康实现水平测定结果

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
单位 GDP 建设用地使用面积	40.02%	45.03%	49.06%	65.66%	69.43%	73.46%	76.60%	77.14%
单位 GDP 用水量	39.05%	43.55%	48.93%	54.69%	60.24%	65.87%	71.36%	74.18%
单位能源消耗	67.40%	69.15%	72.19%	75.64%	79.79%	86.23%	95.17%	94.37%
环境质量指数	85.49%	86.26%	87.52%	88.57%	88.40%	88.61%	88.65%	89.825
污水集中处理率	33.08%	38.32%	49.44%	68.94%	88.76%	100%	100%	100%
垃圾无害处理率	22.15%	35.00%	53.44%	56.25%	68.43%	74.77%	82.18%	79.16%
一般工业固体废物综合利用率	61.73%	70.17%	73.79%	76.52%	68.85%	72.42%	70.71%	63.00%
农村自来水普及	56.67%	67.66%	68.33%	73.52%	78.04%	86.48%	94.44%	95.56%
农村厕所普及率	72.07%	76.47%	77.65%	78.65%	81.07%	84.46%	89.16%	89.62%

5.2.3.2 我国全面小康社会实现水平预测分析

通过预测得到 2010-2020 年我国全面小康指数实现水平的预测值,如表 5-8。从 2020 年预测结果看,经济发展、人民生活是提高我国全面小康社会总体实现水平的两个方面,资源环境、民主法治、文化建设是阻碍我国全面小康总体实现水平快速提高的三个方面,其中文化建设的阻碍作用最大。

表 5-10 2010—2020 年我国全面小康社会实现水平预测值 单位: %

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
实现水平	62.2	65.2	69.7	74.0	77.4	81.0	84.8	86.7	91.7	95.2	96.5
经济发展	53.7	56.4	60.5	64.9	69.6	74.9	80.2	85.8	91.0	96.9	97.8
民主法治	67.9	68.4	71.5	75.8	78.8	81.8	85.3	86.6	91.1	94.1	96.0
文化建设	67.0	73.5	77.8	80.3	82.3	84.0	85.3	86.9	88.9	90.4	91.5
人民生活	67.0	69.8	72.9	76.1	79.9	83.1	86.4	87.2	92.4	95.5	96.8
资源环境	58.1	63.7	68.0	73.6	77.8	81.4	85.7	86.4	93.2	95.9	96.3

5.2.3.3 各省全面小康社会完成排序

按照上述结果以及预测分析,总结归纳了诸如我国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,下面根据各省的权重比率,进行以下排序。

表 5-11 各省全面小康社会完成情况排序

城市类别	排序
$A^+ A^+ A^+ A^+ A^+$	广东省>江苏省>山东省>浙江省
$A^+ A^+ A^+ A^+$	河南省>四川省>湖北省>福建省>湖南省>安徽省>河北省
$A^+ A^+ A^+$	山西省>辽宁省>江西省>重庆市>云南省>陕西省>贵州省>黑龙江省>吉林省

5.3 问题 3 的模型建立与求解

5.3.1 问题背景

自新型冠状病毒感染的肺炎疫情发生以来,我国以及全世界面临了不可避免的短期冲击和挑战。基于全国新型冠状病毒肺炎疫情全球性蔓延的情况,并且为了保证广东省建设在综合发展进程中的地位,以免受疫情影响广东省的可持续发展,以可持续发展理论为基础,以广东省 2000—2015 年期间城市发展数据为研究对象,建立了环境、经济和社会城市可持续发展评价指标体系,参考国内外不同城市的发展共性,充分考虑广东省的环境和经济发展的个性,从社会统计角度出发,系统选取和建立了适合广东省可持续发展的指标体系。利用熵值法对广东省环境,经济和社会可持续发展进行了综合评价和预测分析,结合系统优化思想,综合考虑城市人口变化、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要素,采用多目标综合评价的方法,对城市环境、经济和社会可持续发展指标体系各方面开展了全面的分析。利用熵值法复合构造出经济发

展指数、社会进步指数和资源环境支持指数三个复合指标,并以此构建出评价城市可持续发展的两个综合评价系数:城市可持续发展可持续系数和城市可持续发展协调系数"评价过程是一个多目标的决策问题,单一指标不能全面、客观评价一个城市低碳经济发展水平,因此必须建立一套综合评价指标体系。为了建立一套普遍被接受的评价指标体系,首先所选取的指标之间尽可能要相互独立,并具有明确的经济含义。

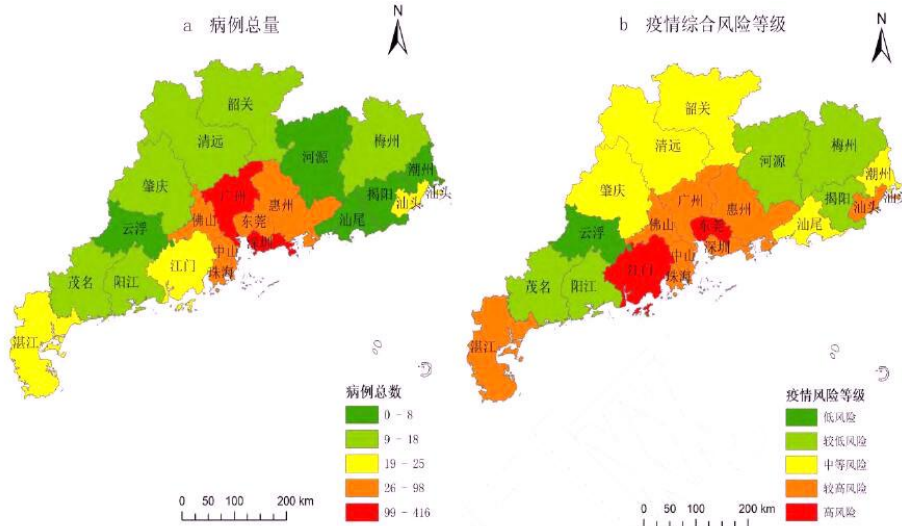


图 5-8 广东省疫情情况

5.3.2 模型的建立与验证

5.3.2.1 建立多目标规划模型

建立城市可持续发展理论的优化模型根据其研究目标的多少可分为单目标优化模型和多目标优化模型,城市可持续发展要求,综合考虑城市人口变化、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要素,采用多目标综合评价的方法,因此我们往往需要建立一个多目标优化模型"而解决多目标问题的基本途径是把求解多目标问题转化为求解单目标问题。

信息系统中的信息熵是信息无序度的度量,熵值越大,信息的无序度越高,其信息的效用值越小;反之,信息熵越小,信息的无序度越低,其信息效用值越大。根据熵的特性,通过计算熵值来判断一个事件的随机性及无序程度,也可以用熵值来判断某个指标的离散程度,指标的离散程度越大,该指标对综合评价的影响越大。在城市发展综合评价中,熵值法能够深刻地反映出指标信息熵值的效用价值。由于各指标的量纲、数量级及指标的正负取向均有差异,需对初始数据做标准化处理。指标值越大对系统发展越有利时,采用正向指标计算方法;指标值越小对系统发展越好时,采用负向指标计算方法处理。计算公式如下:

$$\text{正向指标: } x'_{ij} = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\text{负向指标: } x'_{ij} = \frac{x_{\max} - x_j}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中, x_j 表示第 j 项评价指标的数值; x_{\min} 和 x_{\max} 分别为第 j 项评价指标的最小值和最大值; x'_{ij} 为标准化值。计算第 j 项指标第 i 年份指标值的比重, 公式为:

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} (0 \leq y_{ij} \leq 1)$$

以此，构建比重矩阵 $Y = \{y_{ij}\}_{m \times n}$ ，其中 m 为评价年份， n 为指标数。通过对原始数据进行标准化处理后，采用熵值法，计算出指标权重。计算公式如下：第 j 项指标信息熵：

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad (K \text{ 为常数, } K = 1/\ln m)$$

第 j 项指标的信息熵效用值：

$$d_j = 1 - e_j$$

第 j 项指标的权重为：

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$$

用加权求和公式计算广州城市经济、社会和环境的综合评价值,公式为：

$$U = \sum_{i=1}^n y_{ij} w_j, \text{ 由此可对广东省持续发展情况进行综合评价。}$$

(1) 经济发展指数

2015 年广州城市低碳经济发展指数、基本经济发展指数和总经济发展指数分别为 2000 年的 2.44、7.56 和 4.28 倍。2000—2015 年期间，广东省经济发展指数主要受基本经济发展指数带动，占总经济发展指数比重的 56.22%，与地区 GDP 和地均、人均 GDP 指标密切相关；广东省经济发展在整个城市可持续发展进程中的优先度有所降低。经济发展指数时间序列图显示广州城市总体经济发展与其基本经济发展指标演变态势一致，呈较稳定增长；可持续发展经济发展远落后于整体经济发展态势（图 5-4）。显然，加强低碳经济发展是广州未来城市经济发展的首要任务和保持经济健康发展的新动力。

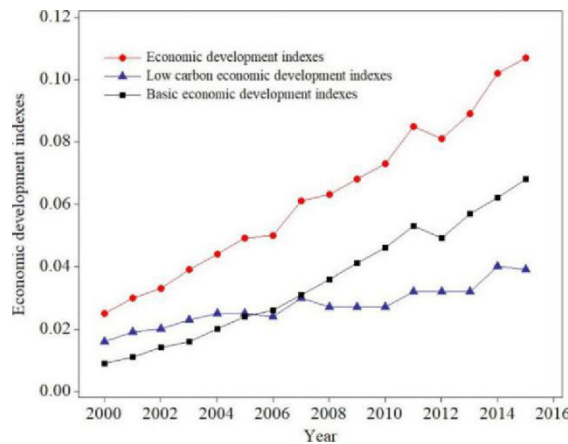


图 5-9 广东省 2000-2015 年城市经济发展指数时间序列图

(2) 社会进步指数

城市社会进步对可持续发展系数表明广东省发展进程中，在追求经济高速发展的同时，更注重社会民生的进步。社会进步指数时间序列图显示广州低碳社会进步指数呈较稳定的增长态势，与总社会进步指数和基本社会进步指数演变趋势一致（图 5-5）。此外，低碳社会进步指数在 2003 年后低于基本社会进步指数，而低碳经济指数于 2005 年后也低于基本经济发展指数，这一现象表明：在人民健康、生活质量、社会安全和基础设施水平日趋完善的基础上，如何可持续发展是广东省未来发展的方向。

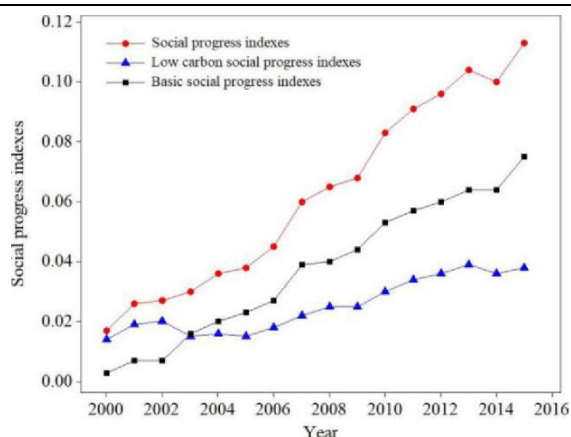


图 5-10 广东省 2000-2015 年城市社会进步指数时间序列图

(3) 环境质量指数

2015 年广东省总环境质量指数和基本环境质量指数与 2000 年相比无显著变化，可持续发展数为 2000 年的 1.64 倍。从环境质量指数时间序列图可见，广东省总环境质量指数和基本环境质量指数在 2000—2007 年期间呈降低趋势，之后逐渐好转，至 2013 年达到最高；环境质量指数 16 年来增长缓慢（图 5-6），表明在这一期间，广东省环境质量并未有明显改善。

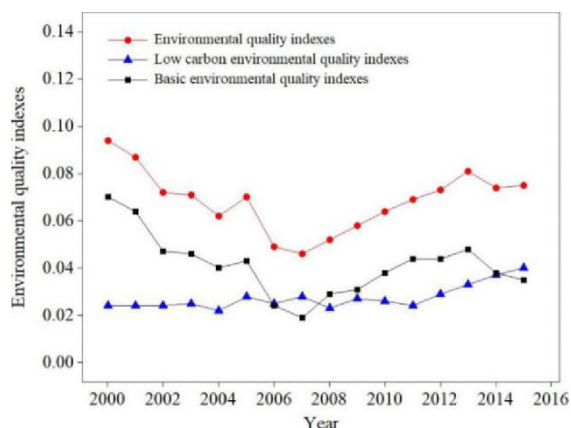


图 5-11 广东省 2000-2015 年城市环境质量指数指数时间序列图

(4) 综合发展指数

广东省这一期间的发展可以划分为两个主要阶段：2000—2007 年，经济发展和社会进步指数与环境质量指数负相关阶段（图 5-7）。该阶段环境质量指数显著下降，环境空气质量优良率降至较低水平，与工业活动密切相关的酸雨频率指标达到了历史最高点 82.6%。环境质量指数在 2007 年降至最低。期间，经济发展和社会进步指数稳步增加，且经济发展指数高于社会进步指数。

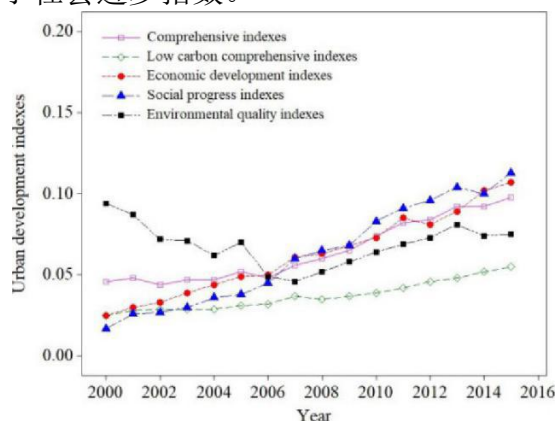


图 5-12 广东省 2000-2015 年城市综合发展指数指数时间序列图

5.3.2.2 模型的验证

表 5-12 模型主要指标 2003 年实际值与模拟值比较

指标	总人口 (万人)	GDP (亿元)	社会劳动生产率 (元/人)	人均公共绿地 (平米)
实际值	722.9	3496.88	527335	9.44
模拟值	730.9	3601.98	55455	9.36
误差	1.11%	3.01%	5.16%	-0.85%
指标	人均住房使用面积 (平米)	人均日生活用水量	储蓄存款与 GDP 比值	人均社会消费品零售总额
实际值	17.23	503	1.07	20671
模拟值	15.02	575	1.139	20243
误差	-12.83%	14.31%	6.45%	-2.07%

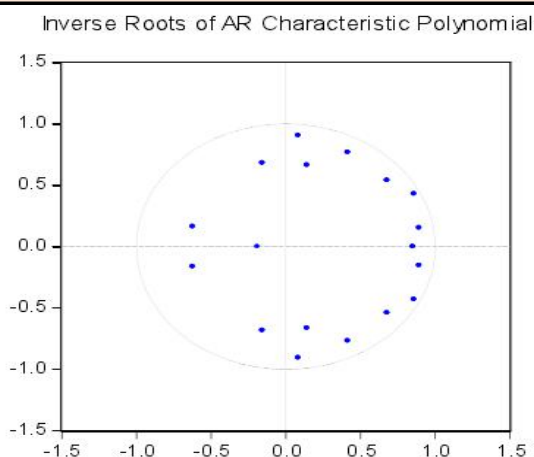


图 5-13 模型稳定性检验

从上面检验可以看出,多目标优化模型对的拟合效果较好,建立起该系统的多目标优化模型,模型共包括 86 个方程式和 101 个变量,为了检验模型的有效性,把模型运行的 2003 年的指标模拟值与实际值进行了误差分析对比,如表 5-12,总误差绝对值平均为 67%,说明模拟值与实际值基本吻合。

5.3.3 模型的求解与结果分析

对模拟得到了城市可持续发展评价指标各个时点的指标值,经导入评价体系计算,重新确定了各指标权重,得到其社会进步、环境支持!经济发展指数,进而得到可持续发展可持续系数和协调系数。

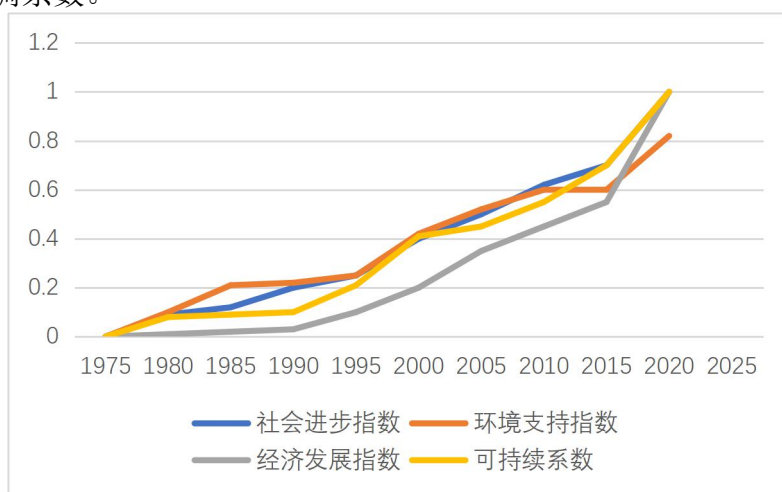


图 5-14 演变型各指数变化状况

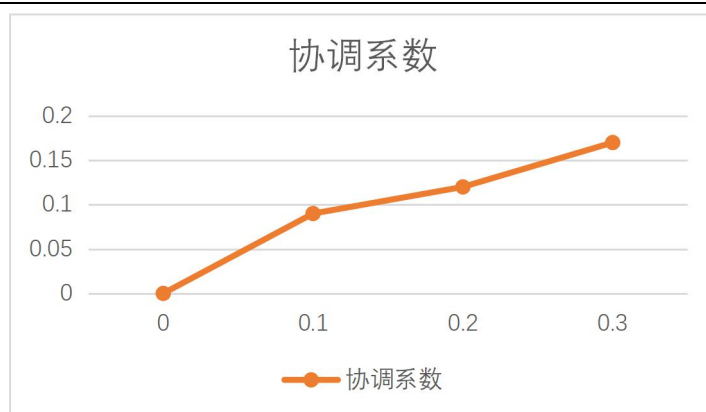


图 5-15 发展可持续系数和协调系数的演变状况

基于此多目标优化模型，实现广东省短期及长期目标规划。假设 GDP 增长率按照 15% 的速度高速发展，在经济发展的带动下，广东省 2020 年的社会进步，环境支持、经济发展指数分别比自然演变型增长 0.2%、14.3% 和 69% 形成这个趋势的原因是广东省的社会进步水平(指数)原本比环境、经济发展水平高"按照历史数据推测的城市社会进步变化速率低于环境、经济的发展速率，说明经济高速发展为城市发展带来巨大的活力，有加速城市可持续发展进程的一面；同时也要注意在经济实力增强之后，更大力度地改善人民生活，加快城市设施的建设，这已成为城市可持续发展的必然选择。通过调控试验模拟结果比较中发现，在确定城市后续发展策略时，强调经济的高速发展和适度控制城市人口规模是促进广东省可持续发展的主要动力。

5.4 问题四的解决

本文根据上述模型的结果和预测分析，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。

一味地强调完全的市场型区域发展模式，对区域经济发展采取放任的态度，往往会导致市场失灵而造成区域差距的进一步扩大，使得落后地区处于不平等的地位，经济合作的成果在区域间不能公平分配。具体来讲，合作计划中主要应做好以下几方面的工作：

第一，建立政府间交流合作。在区域产业发展布局、政策与合作等方面政府首脑和有关部门要建立定期交流制度，形成跨区域的合作体系，推动区域产业的快速发展。高明作为西江产业带的发起者和组织者，已经在高明设立西江产业论坛，邀请专家学者对西江产业带的产业发展与产业布局、工业化发展模式和区域合作模式等方面进行深入探讨，在此基础上，建立西江产业带政府间协作交流，将非常有利于协调各省区的产业发展与经济合作。

第二，推动重大基础设施项目的联合建设。基础设施与经济增长有很强的正相关关系，但基础设施投资大、周期长的特点，需要调集各种资源，包括国家、地方政府和民间资本，联合促进重大基础设施项目的建设。

第三，完善政策法规，建立起一体化的大市场。在政府与企业关系上，转变政府职能，依照法律规范政府行为，赋予企业更多自主权。继续推进经济体制改革，加强法制建设，为企业营造一个公平竞争的环境。打击造假、侵犯专利权等各种犯罪行为，保护企业的正当权益。

第四，推动地区间产业合作。目前珠江三角洲的经济正从劳动密集、资金密集型产业向资本密集和技术密集型产业转换、升级，在政府引导下，通过积极与上游地区的企业合作，形成上下游完整的产业链条和横向链条，建立紧密的区域经济合作网络，有利于加快资产结构重组和资源优化配置的步伐。

六、模型的评价及优化

6.1 模型的优点

(1) 模型 1 在选取子系统的指标时，既考虑到了系统状态在量上的发展，又考虑到了系统状态在面上的发展，使其在研究系统的状态上更加全面和科学。

(2) 模型 2 对单个模型与变权重组合预测模型的预测误差进行对比，用变权重组合预测模型来对我国全面小康总体实现水平来做预测，有其优于其它模型的优点，其他方面的情况与之类似。变权重组合预测模型预测方法通过取长补短能够将预测误差降低，提高预测准确性，使预测结果更具说服力。

表 6-1 灰色预测模型模型精度结果

	均方差比值	等级	小误差概率	等级	模型等级
全面小康	0.116<0.35	1 级（好）	1>0.95	1 级（好）	1 级（好）
经济发展	0.038<0.35	1 级（好）	1>0.95	1 级（好）	1 级（好）
民主政治	0.225<0.35	1 级（好）	1>0.95	1 级（好）	1 级（好）
文化建设	0.35<0.419<0.5	2 级（合格）	0.8<0.875<0.95	2 级（合格）	2 级（合格）
人民生活	0.124<0.35	1 级（好）	1>0.95	1 级（好）	1 级（好）
资源环境	0.138<0.35	1 级（好）	1>0.95	1 级（好）	1 级（好）

(3) 选用多目标优化模型来对问题 3 进行分析，该评价方法广泛而实用，将复杂的问题分层次进行量化处理，结果非常准确。

6.2 模型的缺点

(1) 由于模型一中影响可持续发展的因素较多，存在着经济数据搜集的困难，难以全面反映对可持续发展的影响。

(2) 模型二未能对我国的全面实现小康发展差距进行更长时间的考察，做进一步的计量实证分析。

(3) 模型 3 只选用了 12 个指标层，还可以添加更多的准则层和指标层，以使结果更为准确。

6.3 模型的推广

可持续发展是实现全面小康社会的重要组成部分，如何抓住关键因素，有效提高可持续发展是一个值得研究的课题。然而影响可持续发展的原因有很多，各个因素随时空不断变化，因此针对相关数据的搜索工作非常困难，再加上影响因素考虑不够完善，本文建模过程还有很多不足，以下工作需要进一步改进：

(1) 数据处理过程中，有许多影响可持续发展的文本数据、缺失数据没有考虑在内，因此对研究区域经济活力的影响因素有一定影响。后续工作应尝试将数据搜索更加宽泛，对经济数据进行更深入的分析。

(2) 广东地区的研究中未能对区域经济发展差距进行更长时间的考察，以及做进一步的计量实证分析，如果进一步分析经济政策转型数据，将对于东北地区的经济活力影响分析有更多的发现。

(3) 选用多目标分析法，在选定目标层的基础上，通过添加更多的准则层和指标层的数量，可以做到使结果更加准确。

参考文献

- [1] 夏业领, 朱艳娜, 何刚, 等. 基于 DPSIR—加权 TOPSIS 模型的安徽省生态承载力评价 [J]. 淮南师范学院学报, 2018, 20(1): 65—70.
- [2] 吴涛. 安徽省生态足迹与可持续发展研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [3] 曹慧, 胡锋, 李辉信, 等. 南京市城市生态系统可持续发展评价研究 [J]. 生态学报, 2002, 22(5): 787—792.
- [4] 巩芳, 庞雪倩. 基于能值理论的内蒙古农业生态系统可持续发展评价研究 [J]. 内蒙古统计, 2018(6): 25—28.
- [5] 蒋志华, 漆宇, 彭强军. 成都城市生态系统可持续发展能力评价 [J]. 合作经济与科技, 2018(24): 12—14.
- [6] 熊鸿斌, 刘进. DPSIR 模型在安徽省生态可持续发展评价中的应用 [J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2009, 32(3): 305—309.
- [7] 陈楚琳, 石磊. 基于 AHP 的湘西自治州绿色生态小城镇可持续发展评价指标体系研究 [J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2017, 11(5): 8—13.
- [8] 肖腊珍, 刘有章. 全面小康社会进程评价系统探讨 [J]. 中南财经政法大学学报, 2003(05): 133-136.
- [9] 田红娜, 佟光霁. 关于完善全面小康社会评价指标体系的思考 [J]. 商业研究, 2005(24): 4-6.
- [10] 陈友华. 全面小康的内涵及评价指标体系构建 [J]. 人民论坛·学术前沿, 2017, 05: 80-89.
- [11] 仇保兴. 中国城市发展模式转型趋势——低碳生态城市 [C]//中国城市科学研究会. 中国低碳生态城市发展战略. 北京: 中国城市出版社
- [12] 付允, 刘怡君, 汪云林. 2010. 低碳城市的评价方法与支撑体系研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 20(8): 44-47.
- [13] 广州市统计局. 2000. 广州统计年鉴 (广州五十年) [M]. 广州: 广州出版社.
- [14] 黄艳雁, 冯时. 2016. 基于气候特征的低碳城市评价指标体系构建 [J]. 地域研究与开发, 35(6): 77-80.
- [15] 朱丽, 夏斌, 徐建华. 2006. 广东省韶关市耕地资源态势及宏观驱动力研究. 农业科学, 45(1): 8—11(中文核心)
- [16] 潘家华, 庄贵阳, 郑艳, 等. 2010. 低碳经济的概念辨识及核心要素分析 [J]. 国际经济评论, (4): 88-101.
- [17] BAEUMLER A, IJJASZ-VASQUEZ E, MEHNDIRATTA S. 2012. Sustainable low-carbon city development in China [M]. Washington: The World Bank.
- [18] TAN S T, YANG J, YAN J Y, et al. 2017. A holistic low carbon city indicator framework for sustainable development [J]. Applied Energy, 185(Part 2): 1919-1930.
- [19] ZHUANG G Y. 2008. How will China Move towards Becoming a Low Carbon Economy [J]. Journal of China & World Economy, 16(3): 93-105.