

分类号 _____
U D C _____

密级 _____ 公开
编号 _____ 10741



硕士学位论文

论文题目：我国省域可持续发展能力综合评价分析

研究生姓名：蔡雨峰

指导教师姓名、职称：艾明要 教授

学科、专业名称：统计学 数理统计学

研究方向：复杂数据分析

提交日期：2023 年 5 月 30 日

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 蔡雨峰 签字日期： 2023.5.30

导师签名： 艾明要 签字日期： 2023.5.30

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定，同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

- 1.学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；
- 2.学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 蔡雨峰 签字日期： 2023.5.30

导师签名： 艾明要 签字日期： 2023.5.30

Analysis of Comprehensive Evaluation of Sustainable Development Capability of Provinces in China

Candidate :Cai Yufeng

Supervisor: Ai Mingyao

摘 要

自工业革命以来,人类科学技术得到了突飞猛进的发展,随着科技的进步,人类生产、生活方式也产生了翻天覆地的变化,随之而来的是对各种自然资源的需求与日俱增,亟待一种新的可持续发展模式来解决人类社会与自然环境之间的冲突。我国拥有着约九百六十万平方公里的国土面积,幅员辽阔,包含多种地势地貌,拥有着丰富的自然资源,各省应当主动探索切合自身实际情况的可持续发展战略。如何在发展过程中及时评估现状,进一步提高政府的现代化管理水平,就需要一种行之有效的方法来衡量各省域的可持续发展水平。这对各省乃至全国提高可持续发展能力具有重要意义。

本文首先介绍了可持续发展理念提出的背景及其发展历程,并介绍了如何衡量可持续发展的水平。接着,对国内外可持续发展研究现状进行了分析,总结了一些具有参考价值的观点,重点强调了可持续发展能力的核心在于实现经济、社会和环境三方面的全面发展。根据现有专家学者研究表明,在对人类日常经济社会活动的研究中,会经常出现极端观测值,如果直接用于研究可能会对结果产生影响,为了消除这些极端值带来的影响,本文从几种最优尾部选择方法中选取了最合适的两种方法来确定阈值;再用基于Oja中位数向量的修正中值标准化方法来抵抗数据分布的不对称性,主要是数据分布的正偏态性;最后用优劣解距离法(TOPSIS)得出各省份可持续发展能力指标,使最终结果较为科学、可靠。

本文引入全国范围内各省份 2009-2020 年十二年的数据进行研究,然后基于各省份地区目前发展现状以及指标体系结果进行综合评价,揭示各省份在 2009-2020 年发展情况,分析各地区在持续发展过程中的优势与不足。从结果看来,我国东南沿海地区发展水平较高,包括经济、社会两个方面,然而从环境方面看来由于发达的工业以及人口高度集中等因素,这些地区面临的环境治理压力也更大,总的来说,我国省域可持续发展能力呈现出由东南沿海向内陆逐渐降低的趋势。随后探讨性地为部分地区给出提高可持续发展水平的对策建议,制定合理的城市可持续发展规划,有助于更好的提高地区可持续发展的水平。

关键词: 可持续发展能力 最优尾部选择 阈值选取 TOPSIS

Abstract

Since the Industrial Revolution, human science and technology have made remarkable advances. With technological progress, there have been tremendous changes in human production and lifestyle. Alongside these changes, the demand for various natural resources has increased exponentially, necessitating a new sustainable development model to address the conflicts between human society and the natural environment. China, with its vast land area of approximately 9.6 million square kilometers, diverse topography, and abundant natural resources, should actively explore sustainable development strategies that are tailored to its own circumstances. To assess the current situation during the development process and further improve the government's modern management capabilities, an effective method is needed to measure the sustainable development level of each province. This is of great significance for enhancing the overall sustainable development capacity of each province and the entire country.

This article first introduces the background and development process of the concept of sustainable development and discusses how to measure the level of sustainable development. It then analyzes the current research status of sustainable development both domestically and internationally, summarizing some valuable viewpoints. It emphasizes that the core of sustainable development capacity lies in achieving comprehensive

development in the economic, social, and environmental aspects. Based on existing research by experts and scholars, it is evident that extreme outliers frequently appear in the study of human daily economic and social activities. Using them directly in research may affect the results. To eliminate the influence of these extreme values, this article selects the most suitable methods from several optimal tail selection methods to determine the threshold. It then uses the Modified Median Standardization method based on the Oja median vector to address the asymmetry of data distribution, primarily the positive skewness of data distribution. Finally, the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is used to derive the sustainable development capacity indicators for each province, ensuring that the final results are scientific and reliable.

This article introduces data from all provinces in China for the twelve-year period from 2009 to 2020. Based on the current development status of each province and the results of the indicator system, a comprehensive evaluation is conducted to reveal the development situation of each province from 2009 to 2020 and analyze the strengths and weaknesses of each region in the process of sustainable development. The results show that the southeastern coastal regions of China have higher levels of development in terms of economy and society. However, in terms of the environment, these regions face greater pressure in terms

of environmental governance due to factors such as developed industries and high population concentration. Overall, the sustainable development capacity of provincial regions in China exhibits a gradual decrease from the southeastern coastal areas to the inland regions. Subsequently, this article provides some exploratory recommendations to improve the level of sustainable development in certain regions, such as formulating rational urban sustainable development plans, which will contribute to enhancing the level of sustainable development in those areas.

Keywords:Sustainable Development Capability;Optimal tail selection ; Threshold selection;TOPSIS.

目 录

摘 要	I
1 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	2
1.3 研究目的与内容	3
1.3.1 研究目的	3
1.3.2 研究内容	3
1.4 研究方法	4
1.5 技术路线	5
2 可持续发展研究现状	6
2.1 可持续发展	6
2.1.1 可持续发展概念的内涵	6
2.1.2 区域可持续发展水平的评价意义	9
2.2 国内外研究现状	10
2.2.1 国外研究现状	10
2.2.2 国内研究现状	11
2.3 可持续发展能力的理论依据	13
2.4 研究述评	14
3 可持续发展水平指标体系	15
3.1 指标体系构建的原则	15
3.2 原始指标的选取	16
3.3 原始指标的阈值选取方法	17
3.3.1 自动眼球法	18

3.3.2 GH	19
3.3.3 dAMSE	21
3.3.4 PS	23
3.3.5 RT	24
3.4 原始指标的标准化方法	25
3.4.1 原始指标定性	26
3.4.2 基于 Oja 的空间中位数向量的标准化	25
3.5 可持续发展水平指标计算	27
3.6 本章小结	28
4 各省份可持续发展水平指标计算	29
4.1 各省份发展水平现状	29
4.2 原始指标数据获取	35
4.3 阈值的选取	35
4.4 原始指标的标准化	38
4.5 各省份地区可持续发展水平计算	39
4.6 本章小结	47
5 结论与不足	49
5.1 结论	49
5.2 创新点与不足	50
参考文献	52
附 录	56
致 谢	59

1 绪 论

1.1 研究背景

人类社会几千年的发展历程，也是人类从自然不断索取、改造的过程，同时，两者的关系也在一直发展与变化中。近两个世纪，随着科学技术的突飞猛进，人类社会也得到了空前发展，相应地也给自然环境带来了巨大的负担，如自然资源被过度使用，生态环境遭到破坏。然而仍有企业乃至政府为了在经济社会取得突破，对这些问题视若无睹，使其进一步加剧，殊不知人类社会与自然环境是相互依存的关系，破坏自然引发的一系列生态、社会、能源、经济、环境问题已经在向世人敲响警钟，人类也意识到对于自然资源的过度开采或是对生态环境的破坏最终将造成严重的灾难，直至威胁到人类自身的生存环境。尤其是二十世纪出现的八大公害事件，推动了人们对于传统发展模式中的不足的思考，并开始探索更加科学的发展模式，在这样的背景下，“可持续发展”观念被提出，又在各国学者的探讨下得到充分发展，成为了世界各国的发展共识，成为了全世界的一个发展理念。

1987年2月，在日本东京召开了第八次世界环境与发展委员会，会议通过了《我们共同的未来》这一报告，报告中“可持续发展”的概念被首次提出；1992年6月，在巴西里约热内卢召开的世界环境与发展委员会上，又通过了《21世纪议程》，该文件是一份全球范围内的可持续发展规划，提出了未来的发展模式应是可持续的均衡发展；1994年3月，我国政府以《21世纪议程》为基础，在国务院第十六次常务会议上审议通过了《中国21世纪议程》，明确指出了我国要实现可持续发展在经济、社会以及环境等方面需要落实的工作；在2002年的世界首脑大会上，通过“约翰内斯堡执行计划”将可持续发展战略推向全球范围，明确了要实现可持续发展，就要实现经济、社会以及资源环境三大分支的协调发展；2012年6月，世界各国领导人再度聚首在里约热内卢，召开了“里约+20”峰会，会议就如何有效减少贫困地区，实现人类社会与自然环境的和谐发展展开了深入的探讨，在可持续发展上达成了新的承诺，并指出了现有的不足以及时刻做好准备应对新的挑战，为世界各国在可持续发展上的合作提供了一个重要契机；

2015年9月,在纽约联合国总部召开的会议通过了《变革我们的世界:2030年可持续发展议程》,文件包含了多个可持续发展目标,为人类社会未来15年指出了发展方向;在我国党的二十大上,习近平总书记作了报告,报告指出推动可持续、高质量的发展是新时代发展的主旋律,探索出经济社会与自然环境均衡发展的发展模式,对于中国乃至世界的可持续发展至关重要。

可持续发展的核心思想就是寻求经济层面、社会层面和环境层面的均衡协调发展,我国自改革开放以来,社会水平得到了显著提高,人民生活水平也取得了显著进步,然而对于资源的过度使用也给生态环境带来了与日俱增的巨大压力,这直接影响到了自然环境对于人类社会发展的支撑能力。在这样的背景下,全国各地政府开始将高可持续性作为发展的基本要求,在提高贫困地区收入、维系社会稳定、完善居民日常生活设施、保护环境作出努力,为全国范围实现可持续发展添了一份力。

1.2 研究意义

(1) 理论意义

目前,国内学术界对于可持续发展水平的研究多集中在对单个市级地区或是单个省级地区,鲜有文章从全国角度对各省份地区可持续发展水平进行衡量评价。并且在对于经济社会的统计指标中,往往会出现一些极端观测值,对整体的发展水平评估产生影响,进而影响对其他地区的评估,本文采用了六种基于最优尾部选择的阈值选取方法,选择最佳阈值以替代出现的极端值,可以有效减小极端值对总体水平指标产生抬高或拉低的影响,在标准化上采用基于Oja空间中心的标准化方法也能有效对抗数据分布的不对称性^[1]。本文期望在研究全国可持续发展水平方向上提供一个新视角。

(2) 实际意义

自改革开放以来,我国坚持探索符合我国国情的可持续发展道路,至今已有40多年,习近平总书记在党的二十大报告中也再次强调了:“必须牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念,站在人与自然和谐共生的高度谋划发展。”这表明了中国特色的现代化道路就是要正确处理好发展人类社会与保护生态环境之间的关系,在实现人与自然的和谐共生的基础上谋发展。自党的十八大以来,

我国在可持续发展道路上的实践证明建设生态文明、推动绿色低碳的发展模式,不但可以满足人民日益增长的美好生活需要,也可以推动国家实现更高质量、更强可持续性、更加有效率、更加安全的发展,走出一条具有中国经济繁荣、社会安定、环境美好型可持续发展道路。

1.3 研究目的与内容

1.3.1 研究目的

2009-2020 年是全面建成小康社会最关键的十一年,尤其是在 2020 年,在全党全国各族各界人民的共同努力之下,在我们党成立一百年的重要时刻,我国的脱贫攻坚战取得了全面胜利。在这样的背景下,本文根据前人所总结的对于“可持续发展”相关理论,科学地从经济、社会和环境三个方面选取 15 个指标,立足这关键 12 年全国各省份数据,对各省份地区发展情况进行分析评价,为研究“可持续发展”添一份力,已达到如下目的:

(1) 本文以全国各省份 2009-2020 年数据为基础,在使用合适的阈值选取方法以减少极端观测值的影响并用基于 Oja 空间中位数向量的标准化方法抵抗数据分布的不对称性后,计算出了全国各省份地区在这十一年里的综合可持续发展水平以及在经济、社会、环境三个方面的子指标,进而可以横向对比同时期其他地区或是纵向对比同一地区不同时期指标,更方便、直观地了解各地区发展情况。

(2) 利用相关资料和已构建的指标体系对各地区可持续发展状况作出较为科学的解释,对排序后的各地区可持续发展水平进行分析,揭示各地区在可持续发展中的优势或是劣势,并以此为依据探讨性地提出一些发展建议。

1.3.2 研究内容

本文拟在文献研读、相关理论学习以及对全国各省份目前发展现状和特点进行分析的基础上,结合本文运用的指标体系算得的结果对各地区可持续发展能力进行评估,以了解各地区可持续发展能力趋势以及地区之间的差异,从而揭示出该地区可持续发展目前所面临的一些问题,并提出相应的方案与对策,为各地政

府制定决策提供参考。

本文分为五章，第一章为绪论，介绍研究背景，研究意义，研究目的及研究方法等；第二章为研究现状综述，介绍了可持续发展的内涵以及对可持续发展能力进行评价的意义，并列举了国内外研究现状，为后文提供理论依据；第三章为指标体系原理，介绍从原始指标的选取到标准化到最终指标结果的计算过程；第四章为各省份数据代入指标体系实际结果，并结合各省份发展现状，分析各省份发展优势与不足；第五章为结论，并阐述了本文的创新点与不足。

1.4 研究方法

本文所用研究方法大体有如下几种：

（1）文献搜集法

本文所采用数据大部分来源于国家统计局、各地政府网和各地统计年鉴，缺失值采用线性插值法进行填充；文献资料来源于各类期刊数据库和学校图书馆，国内外有关可持续发展的最新研究成果和发展动态，主要通过参阅相关期刊、杂志，浏览相关网站等途径获得。

（2）基于最优尾部选择的六种阈值选取方法

在对于全国各省份地区十一年来数据进行观测时，势必会出现极端值，为了有效减少这些极端值对总体水平指标产生的影响，本文采用了 eye-ball、GH、dAMSE、PS、RT1 和 RT2 六种阈值选取方法，对极端值进行限制，最后对结果进行比较，选择合适的阈值选取方法。

（3）基于 Oja 的中位数向量的标准化

Oja 的中位数向量具有仿射等变的性质，是对 k 维指标进行位置统计的一个有效方法，与常见的几种数据标准化方法相比较，通过它来进行数据的标准化，可以有效抵抗数据分布的强不对称情况。

（4）TOPSIS

即优劣解距离法，在求出正理想解与负理想解以后，通过 TOPSIS 聚合公式构建各省份地区在经济、社会以及环境三个方面的子指标，进而算得最终可持续发展水平总指标。有了这些指标，便可对研究地区进行线性排序或是聚类等操作，便于进行下一步研究。

1.5 技术路线

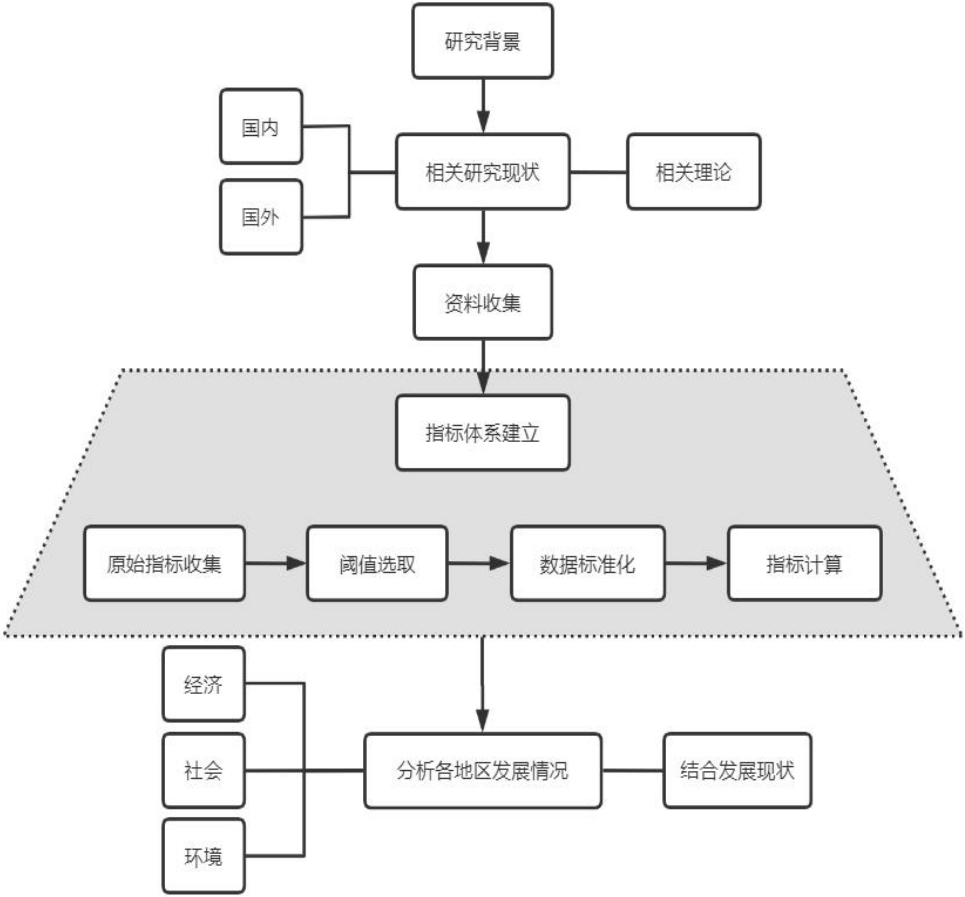


图 1.1 技术路线图

2 可持续发展研究现状

2.1 可持续发展

2.1.1 可持续发展概念的内涵

人类社会从石器时代到信息时代，每一次科学技术的进步都使得生活方式发生巨大的变化，尤其是工业革命以来，人类的生产、生活方式产生了翻天覆地的变化，社会生产力得到了质的飞跃。然而盲目地追求城市化与工业化也对人类赖以生存的环境造成了极大的破坏，不仅仅有生态环境上的污染、透支，还包括人口膨胀、粮食短缺等一系列经济社会问题，人类也逐渐认识到传统的盲目发展模式不再可取，并开始主动寻求全新的发展道路，“可持续发展”就此应运而生。

“可持续发展”这一概念，是在 1987 年的联合国世界环境与发展委员会上，由挪威首相 Gro Harlem Brundtland 在《我们共同的未来》一报告中首次提出的，她对“可持续发展”进行了系统的阐述，并将其定义为：“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”，这一定义一经提出便产生了广泛的影响，并在随后举行的 1992 年联合国环境与发展大会上得到了世界各国的认可^[13]。后又由我国学者叶文虎、栾胜基等将可持续发展的定义拓展为：“不断提高人群生活质量和环境承载能力的，满足当代人需求又不损害子孙后代满足其需求的，满足一个地区或国家的人群需求又不损害别的地区或国家的人群满足其需求的发展”^[54]。也有学者从“三维结构复合系统”的角度出发定义可持续发展。美国知名学者莱斯特·r. 布朗则认为，可持续发展是一种具有经济含义的生态概念，一个可持续发展的社会的经济与社会结构，应该是一个自然资源与生命系统能够持续维持的结构。

“可持续发展”包含的两个重要概念是“需要”和“限制”。“需要”是指要既能满足当代社会世界各国人民的基本需要，其中特别优先考虑贫困地区的需要；“限制”是指人类在发展过程中要顾及当代人以及后代人的基本需要而对当下的发展施加的限制，如果无视这些“限制”盲目谋求发展，必定严重破坏到支撑地球生命生存的根本，如水源、土地、气温、大气、生物等。可持续发展不是

简单的和保护环境划等号，生态环境的保护只是可持续发展其中重要一环，但它的核心是发展，即在严格控制人口、提高人口素质、保护生态环境、资源持续可用的基础上寻求经济与社会的发展。所以说发展是“可持续发展”的前提，并且要秉承“以人为本”的思想，实现可以持续长久的发展。

可持续发展涉及到人类社会的方方面面，包括经济、社会、科技、政治、自然等，当其成为当今社会主要发展模式势必吸引来各个领域的学者进行研究，由于研究者所属领域不同也提供了许多不同的角度，对可持续发展的定义也就不尽相同，主要有以下观点：

（1）经济领域视角

许多经济学领域学者认为，近代以来对生态环境造成破坏的原因，究其根本是因为传统的经济学系统中存在不足。这种观点的缺陷主要体现在并未就破坏生态环境的一些外部因素作出合理的解释。经济学领域学者认为，可持续发展就是保持社会经济与社会福利持续增长，保持自然资源的质量不变并且能为人类社会提供服务。

（2）社会领域视角

可持续发展在社会学领域具有代表性的定义是在由国际自然与自然资源保护同盟、世界自然基金会以及世界自然保护同盟共同编写的《保护地球——可持续生存战略》中提出，定义为：在生态系统承载范围内，提高人类的生活质量。该观点除了关注到了经济方面的因素，也考虑到了传统和文化等多方面人文社科的因素。

（3）科技领域视角

科技领域的学者认为，可持续发展作为一种发展模式，是由政府制定和实施的，但仅仅依靠政策和管理是远远不足的，还需要进一步提高科技水平，提升现有的工艺或是技术系统，改进传统技术中存在的不足，寻找并使用更加清洁、安全的能源技术以减少对资源的消耗。该观点侧重于发展科技水平以更好地为人类会提供服务。

（4）政治领域视角

1989年5月，联合国环境规划署举行的第十五届理事会上，通过了《关于可持续发展的声明》，声明表示实施可持续发展的战略应该包含如下四个要素：

①国际关系平等化；②建设支援型国际经济环境；③合理开发自然资源；④各国政府应将环境保护列入发展计划中。这一观点表明全球范围的可持续发展需要国际间的合作，平等互助的国际关系是可持续发展战略的应有之义。

（5）自然领域视角

“持续性”这一概念是由生态学领域的学者最先提出，1991年11月，国际生态学联合会和国际生物科学联合会联合举办的研讨会上，从生态学的角度将可持续发展定义为：“保护和加强环境系统的生产和更新能力”。这一定义也是保护生态环境视角下具有代表性的观点，强调了自然环境对人类社会进步发展的支撑能力。

可持续发展是一条不同于传统发展模式的道路，它涵盖了人类社会与自然的多个方面，也并不是一成不变的“死规矩”，而是在人类与自然关系不断变化中动态调整的科学发展模式。虽然不同研究领域的专家学者对其定义不尽相同，但究其根本是要秉承三个发展原则：

（1）公平性原则

公平性原则指的是当代人之间是平等的，不同的地区享有同样的发展权利，任何地区都不能将自身的发展建立在损害其他地区发展权益的基础上，全球范围均衡发展；当代人与后代人之间是平等的，当代人与后代人对于发展的需要是平等的，既要满足当代人的生存发展需要，又不能损害满足后代人发展需要的条件；人类赖以生存的地球只有一个，各代人在享用地球上的自然资源和社会福利上都拥有着平等的权力。

（2）持续性原则

持续性原则指的是人类社会在发展进步的历程中不应超出生态环境的承载力，也就是在满足发展进步需要的同时必须遵循相应的限制条件，这些限制主要体现在人口、资源、环境以及技术水平等方面，如果肆意突破这些限制，将对地球的自然环境与资源造成不可逆的破坏，威胁到后代甚至当代人的生存需要。

（3）共同性原则

世界各国因为所处地区不同或是意识形态差异，采取了不同的发展模式，然而在全球关系日益密切的21世纪，各国之间应该突破这隔阂，放下成见，朝着实现全人类的可持续发展共同努力。

综上所述,可持续发展并不只是一个简单的时间跨度较长的连续性发展,而是在考虑到生态环境与自然资源对人类社会发展需要的承载能力大小的基础上,一种更加科学,更加安全,更加有效的发展战略。本文基于以上内涵,借鉴其他优秀学者的成果,在研究中选取经济、社会以及环境方面的指标,以求较科学地衡量我国各省份可持续发展能力。

2.1.2 区域可持续发展水平的评价意义

区域内是否实现可持续发展离不开各级政府的政策或是管控引导,而制定的可持续发展规划是否达到了期望的成效,则体现在区域内人类社会与自然环境的各个方面。当发展规划能够有效地使社会经济稳步增长,社会福利日益提高,居民生活质量得到保障,生态环境得到有效维系时,我们可以认为发展规划的实施是成功的^[24];然而当制定的可持续发展规划脱离了区域内发展能力的真实情况,往往会达到不理想甚至相反的效果。因此,在区域内各级政府制定发展规划时,需要考究当地真实的可持续发展能力,明确在当前阶段存在的优势和劣势,才能因地制宜地制定更加高效的可持续发展规划。所以,建立一套科学、客观的可持续发展能力评价体系对区域的真实发展能力进行评估是十分有必要的。快速、准确地获取区域真实发展能力可以为政府在当前或是下一发展阶段制定发展规划提供可靠参考。所以评价区域可持续发展能力的意义有:

(1) 了解区域内在持续发展中存在的优势及劣势

通过对区域内可持续发展水平进行评价分析,可以了解区域在发展中具有的优势或者存在的缺陷。再对其进行科学、全面的解析,有助于掌握地区实现可持续发展需要重点规划的方面,首先,可以了解到各区域在发展中存在的不足,采取有效措施改善或是避免在对应方面状况恶化;其次,可以了解到各区域在发展中具有竞争力的优势,方便各级政府量身定制地去制定扬长避短的可持续发展规划,降低本身存在的不足对总体可持续发展能力的影响,提升发展水平和质量。

(2) 了解影响区域内可持续发展能力的主要因素

人类社会是一个复杂的系统,影响一个地区可持续发展能力的因素也是繁杂且多变的,建立科学有效的可持续发展评价体系,再对影响区域可持续发展能力的各项指标进行量化,通过对评价体系结果及量化后的各项指标进行计算分析,

可以明确各因素对可持续发展能力的影响大小,有助于各级政府在制定发展规划时明确重点工作安排方向,将重点落实到具体行业或是部门,使发展规划更具可执行性,也有助于取得更接近发展规划的预期效果,加快区域实现可持续发展进程。

(3) 提升各级政府制定决策的效率

使用科学有效的可持续发展水平评价体系可以快速、直观地了解到区域各时期的发展水平,方便政府作为根据来及时准确地制定相应对策:对不同时期的结果进行分析,了解在发展道路上各方面发展水平及发展速度,根据预期达到的发展结果及时调整发展重点,是侧重于巩固优势还是将社会资源向弱势方面倾斜以弥补缺陷;将区域的评价体系结果与其他区域的进行对比,了解与情况相仿的其他地区比较下的优缺点,或是以“见贤思齐,见不贤而内自省也”的思维及时调整发展战略,提升制定决策的速度与准确性。

2.2 国内外研究现状

2.2.1 国外研究现状

可持续发展的概念是在国外提出的,最早的研究是从对可持续发展的概念及内涵阐释开始。从整体上来看大致可以分为如下几个阶段:第一阶段是对发展模式的反思和对新模式的探索,1962年美国生态学家蕾切尔·卡森撰写的《寂寞的春天》引起了广泛关注,推动了民众对于环境污染和生态系统破坏的思考,成为了环境保护运动的重要标志之一,1972年联合国召开的首届人类环境会议通过了《人类环境宣言》这一重要文件,文件就环境保护的重要性作出了解释,并指出了在保护环境方面人们应当承担的责任,同样在1972年由美国麻省理工学院系统动力学家团队写出的一份名为《增长的极限》的报告中,分析了在有限的自然资源条件下,人类传统的发展模式将导致资源的枯竭及环境的恶化,引发了人们对于新发展模式的思考和探索;第二阶段是可持续发展概念雏形的初步形成,1980年国际自然保护联盟提出了《世界保护战略》,该战略强调了生物多样性的重要性,提出了保护自然资源和可持续利用的原则并且呼吁世界各国政府、国际组织、私营部门及公民社会参与到保护环境的工作中来,是一项全球性的保护

战略，是全球保护领域的重要里程碑之一，极大推进了可持续发展进程，1987年联合国世界环境与发展委员会发布了《我们共同的未来》报告，该报告在可持续发展领域提出了许多重要概念和原则，正是定义了“可持续发展”、“公平与公正”、“经济与生态系统的相互依存性”等，对推动全球可持续发展进程产生了深远影响；第三阶段为可持续发展相关研究的飞速发展和具体落实阶段，代表作是联合国环境与发展委员会发布的《21世纪议程》和联合国教科文组织发布的《地球宪章》，《21世纪议程》旨在推进全球可持续发展进程，并呼吁人们要同时注意对全球环境和自然资源的保护，《地球宪章》旨在呼吁人类尊重和保护生命，促进国际间的和平与公正，推广环境保护意识。

由于在研究一个地区的可持续发展情况时，需要考虑到多种因素，因此国外学者集中于从多准则决策角度在该领域作出了广泛研究。Cochrane J L 和 Zeleny M 详细介绍了多准则决策问题的属性及特点^[6]。而 Velasquez M 和 Hester P T 则进一步分析了在分析多准则决策问题时，所采用方法应当注意的方面^[12]。又根据 K Szopik-Depczyńska, Cheba K, Iwona Bąk 等人对于欧盟可持续发展指标层次结构中的关系进行的研究，将可持续发展能力的测度变得更加实际可行^[8]。Natalie Rosales 论述了在城市规划中的可持续性建模，如何选用指标来建设可持续型城市^[10]。而 Charnes A 和 Cooper W W 对线性规划的管理模型进行了研究，并介绍了其在工业领域的应用^[5]。在此基础上，有学者从人类社会的实际情况触发对可持续发展能力进行了研究，如：A G E, B S G, C M K 使用了一种基于专家判断的方法对美国及加拿大大都市的环境可持续性标准进行了研究^[4]；波兰学者 Aleksandra Łuczak 和 Małgorzata Just 考虑到极端观测值带来的影响，在 2020 年的研究中他们选用平均超额函数（MEF）来识别人类经济社会中的极值，并用改进的 Oja 中位数向量标准化来对数据进行处理，在此基础上，二人又用不同方法分别对波兰不同时期的社会进行了研究^[3]。

2.2.2 国内研究现状

我国国内对于可持续发展的概念最早在 1991 年 9 月，由我国政府举办的全国可持续发展研讨会上发布的《乌鲁木齐宣言》中，提出了“以人为本，坚持可持续发展”的发展理念，随后在 1994 年 11 月，我国政府又发布了一份关于可持

续发展的纲领性文件《中国 21 世纪议程》，该文件旨在进一步完善我国的可持续发展战略和行动计划，提出了一系列新的政策和措施，强调了可持续发展的重要性和紧迫性，并提出了实现可持续发展的具体目标和任务。近年来，可持续发展领域研究也吸引了许多国内学者，开展了大量研究：

（1）关于理论层面的探讨

如刘培哲从对《中国 21 世纪议程》进行阐明入手，结合我国学者对可持续发展理论的理解与探讨对可持续发展的内涵进行了剖析^[33]；潘存德等阐述了多位学者对于可持续发展概念的认识，并以此为根据为我国可持续林业研究提供参考^[41]；张志强等对区域可持续发展的概念等进行剖析，采用计算机辅助决策支持系统对区域可持续发展进行研究^[59]。

（2）多角度的实证研究

如欧阳志云等人，从城市生态系统服务与生态经济价值进行研究^[40]；陈诗一从能源消耗及二氧化碳的排放进行研究^[19]；李晓西等人从绿色金融角度进行研究^[52]；鲍健强从低碳经济角度进行研究^[15]；也有学者从城市的可持续发展路径和策略、生态文明建设、能源发展战略和环境治理等就可持续发展进行了多角度的研究。

（3）在研究方法上的相应研究

刘丽英等人使用了基于主成分分析（PCA）和数据包络分析模型（DEA）方法的城市可持续发展评价研究^{[31][55]}；王慧亮等使用基于能值理论的方法对黄河流域水资源生态系统的可持续性进行了评价^[47]；还有杨开忠介绍了生态足迹法的理论与应用，刘家旗等使用该方法对黄河流域的可持续发展进行了研究，鲁洋等也使用该方法对休宁县可持续发展进行了分析评价^{[53][30][36]}；可以看出我国学者在对研究方法的研究上作出了许多贡献和证实。

（4）关于指标体系的建立与实证研究

我国颁布了《中国 21 世纪议程》之后便立马投入实施，并首次提出了用于评估可持续发展能力的指标，之后许多专家学者在该领域的研究也取得了不错的成果，如朱卫未等使用基于网络结构 DEA 模型对区域可持续发展能力进行评估分析^[62]；曹辉等使用熵权灰色关联模型，乔旭宁等使用 DPSIR 模型及张翔等使用熵权-耦合协调模型对不同尺度地区可持续发展进行评价研究^{[17][44][57]}。

（5）对于政策的探讨和对发展规划的研究

如由我国国家环境保护总局和世界自然基金会共同发布的《2002 中国可持续发展战略报告》中，分析了我国可持续发展的现状、挑战和机遇，也提出了中国可持续发展的目标、原则和行动方案，李天星、王伟中等也就我国发展现状进行了研究，并与世界上发达国家数据进行对比，提出了相应的建议以供参考^{[29][49]}。

总体来说，我国专家学者对于可持续发展的研究虽然起步较晚，但成果更具我国特色，也更符合我国发展现状，如建设生态示范区，可持续发展试验区，科学发展观和“两型”社会建设等都是基于我国国情提出的新发展模式^[61]。

2.3 可持续发展能力的理论依据

可持续发展是一种涵盖经济、社会、环境等多个方面的发展理念，它强调的是人类与自然环境的和谐共处，要求在满足当前需求的同时，不会损害未来世代的利益^[35]。为了实现可持续发展，需要建立相应的指标体系来对可持续发展的各个方面进行评价和监测^[10]。建立可持续发展指标体系的理论依据是可持续发展三重目标的理念。

可持续发展三重目标包括经济发展、社会进步和环境保护三个方面。其中，经济发展是指以增加经济产出为目标，实现国民经济的可持续增长；社会进步是指以提高民生水平为目标，促进社会公正和文明进步；环境保护则是指保护和改善自然环境，防止环境恶化和破坏。这三个方面相互依存，相互促进，缺一不可。

首先，可持续发展的理论基础可以追溯到生态学领域。生态学认为，生态系统是一个复杂的自然系统，由各种生物体和环境因素相互作用而形成。在生态系统中，各个组成部分之间是相互依存、相互制约的。这种自然系统的复杂性为人类的发展带来了挑战，因此我们需要探索一种可以实现人类发展同时又不会对生态系统造成过度破坏的发展方式。可持续发展正是基于这样的考虑而提出的。

其次，可持续发展理论从社会学和政治学角度得到解释。社会学认为，人类社会是一个复杂的社会系统，由各种社会组成部分相互作用而形成。在这个系统中，各个组成部分之间也是相互依存、相互制约的。因此，实现可持续发展需要协调各方面的利益和需求，达成社会的共识。政治学认为，政治体系是实现可持续发展的重要因素之一。政治体系的设计和运行方式会对可持续发展的实现产生

重要的影响。因此,可持续发展的实现还需要从政治学角度对政治体系进行分析。

最后,可持续发展的实现还需要涉及到经济学方面的因素。经济学认为,经济发展是实现可持续发展的基础。但是,传统的经济发展模式过于注重经济增长而忽略了环境和社会等因素。因此,需要建立一种新的经济发展方式,既能实现经济增长,又能保护环境和社会。可持续发展理论就是为实现这样的经济发展方式提供了理论依据。

因此,建立可持续发展指标体系的理论依据是可持续发展三重目标的理念,即通过衡量经济、社会和环境三个方面的指标来评估可持续发展的水平。这一指标体系不仅能够反映出经济、社会、环境三个方面的发展水平,还能够反映出它们之间的关系和相互作用,从而为实现可持续发展提供科学的依据。

2.4 研究述评

可持续发展是当今世界最为关注的问题之一,也是人类社会发展的必然趋势。随着可持续发展理念的不断深入,相关的研究也越来越受到学术界和政府部门的重视。在可持续发展研究方面,目前主要有以下几个方向:

第一,可持续发展理念的探讨和阐释。这个方向的研究主要聚焦在可持续发展的基本理念和核心概念的定义、内涵和演变上。同时,还探讨了可持续发展与其他相关概念之间的关系,例如环境保护、社会公正等。

第二,可持续发展指标体系的研究。这个方向的研究主要围绕如何建立可持续发展指标体系展开,包括指标的选取、构建和评价等方面。同时,还研究了不同领域、不同地区可持续发展指标的差异和特点。

第三,可持续发展的政策研究。这个方向的研究主要关注政策制定、实施和评估等方面,旨在探讨如何制定和实施有助于推动可持续发展的政策和措施,同时还研究了政策效果的评估和调整等问题。

第四,可持续发展能力建设的研究。这个方向的研究主要聚焦于如何提升不同主体的可持续发展能力,包括企业、政府、社会组织等。这个方向的研究还涉及到可持续发展教育和宣传的方法和策略^[39]。

在未来的研究中,我们需要进一步深入探讨可持续发展的核心理念和实现路径,并建立更加完善和科学的可持续发展指标体系和政策体系。

3 可持续发展水平指标体系

3.1 指标体系构建的原则

建立可持续发展评价指标体系为研究可持续发展提供了一种科学的、系统的、综合的评价方法，可以客观地反映出一个地区或国家的可持续发展水平。其次，评价指标体系可以指导各级政府、企业和社会各界在实现可持续发展的过程中，采取有效的措施和行动。最后，评价指标体系的构建过程本身也是一种理论研究和实践探索，可以为其他相关领域的研究提供经验和参考。

在具体应用中，可持续发展评价指标体系可以用于对各地区或国家的可持续发展状况进行评估和比较，了解其发展优势和劣势，从而制定出针对性的政策和措施。在建立评价指标体系时，一般要遵循如下几个原则：

（1）科学性原则

指标体系应符合科学规律和逻辑关系，根据现有的国内外专家学者的研究成果，科学地选取可以用来地区可持续发展水平的指标，还要确保各指标数据来源真实可靠，使结果能够得到科学的解释，同时在数据处理和指标选取中也要做到客观公正，避免主观性原因对结果造成干扰，最后要减少信息遗漏或是冗余信息的干扰，提高指标体系的科学性。

（2）综合性原则

可持续发展能力评价指标体系需要考虑经济、社会、环境等多个方面，综合考虑评价对象的全面性和综合性，而不是局部或单一的，选取的指标应尽可能包含区域发展的多个维度，综合考量，这有助于更准确地反映评价对象的可持续发展水平。

（3）可操作性原则

可持续发展能力评价指标体系需要具有可操作性，可以指导评价对象的可持续发展实践和实现。所以评价指标体系的建立要注重初始指标的可获取度，指标内容简洁易懂，使指标体系在使用过程中便于操作；同时也要注重各项初始指标项数据的来源是否可靠，确保数据没有大规模缺失，以便于得出更为客观的结论。

（4）可比性原则

可比性原则是指在运用可持续发展能力指标体系研究本地区或本地区与其他地区发展能力时，可以对不同时间、不同空间和不同对象之间的指标进行对比和评价。还包括了从宏观上来看各项指标在评价中存在的数值变化对总体可持续发展的影响；从微观上来看各个指标项无量纲化后的对比分析。为了保证可比性，需要选择一些具有普遍意义和适用性的指标，并且要统一指标的定义、计算方法和数据来源。

3.2 原始指标的选取

本文从三大维度，即经济、社会和环境维度选取指标来对各省份地区可持续发展能力进行科学衡量。借鉴层次分析法思维，将最终研究目标即地区综合可持续发展能力分成四个层面^[42]：从人类经济社会中获取原始指标数据构成指标层；指标层共包含 15 个指标，分别对应准则层的 8 个部分，依次为：经济总量，经济结构，人口，就业，素质，健康，环境污染，环境保护；准则层的 8 个部分对应影响可持续发展的三大维度，即系统层的经济、社会和环境 3 个方面；再由系统层 3 个子指标共同得出地区可持续发展能力综合指标，详细如下图所示：

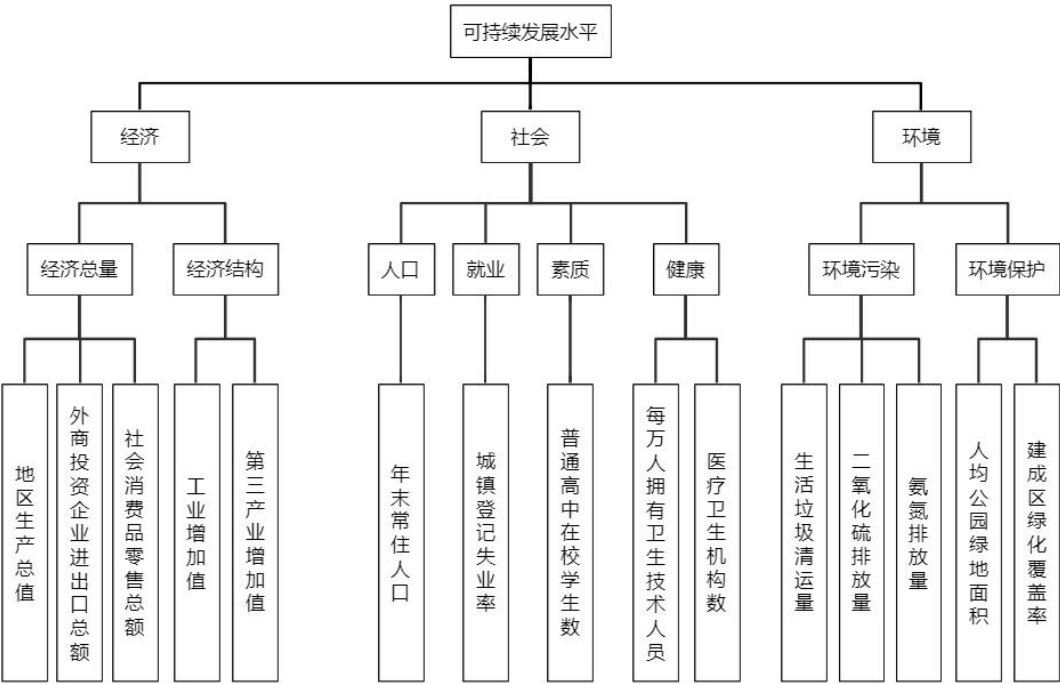


图 3.1 原始指标选取

可以看出,所选指标可以较为全面、有效地反应研究区域在各方面的发展情况,由此计算的可持续发展能力指标也较为科学。

3.3 原始指标的阈值选取方法

原始指标的获取就是对人类日常经济社会活动进行观测得到的数据记录,然而人类经济社会活动受到多种因素的影响^[56]。例如政治、经济、社会 and 自然等方面的因素,这些因素非常复杂,难以完全控制。人类经济社会活动的发展也可能引起非线性、非稳定和自适应的反馈效应,这些效应可能会加剧风险和不确定性,进而导致出现极端观测值。另外,人类经济社会活动中存在的一些突发事件,如自然灾害、社会事件、政治危机等,这些事件可能会破坏原有的经济、社会和政治秩序,导致极端的经济和社会现象的出现,如通货膨胀、失业率飙升等。

综上所述,人类经济社会活动受到多种因素的影响,这些因素可能会导致出现不确定性、风险、非线性反馈和突发事件等,从而可能导致出现极端观测值。在对多个地区可持续发展能力进行研究时,考虑到地区间差异,如所处地理位置、气候环境及自然资源等不同导致的影响,各地区发展水平不同,也可能出现极度发达地区或是极度不发达地区对整体指标体系造成影响,使最终结果偏离预期效果。

为了减少极端观测值带来的影响,本文拟采用最优尾部选择中几种阈值确定方法对原始指标进行限制。最优尾部选择是一种统计学方法,其目的是在大数据集中选择最相关的变量子集以提高计算效率和准确性。在实际应用中,数据集可能包含大量变量,其中大多数可能是不相关的或无用的,选择这些变量可能会降低计算效率和准确性。通过使用最优尾部选择方法,可以筛选出最相关的变量子集,从而在减少计算时间和计算成本的同时,保证了分析的准确性和可靠性。最优尾部选择在数据挖掘、机器学习、经济学、生物信息学等领域都有广泛的应用。在数据挖掘和机器学习领域,最优尾部选择可以用于选择最相关的特征子集,以提高分类和回归算法的准确性和性能。它也可以用于降低维度,以减少算法的计算时间和内存需求。在经济学领域:最优尾部选择可以用于筛选出最相关的经济变量,以进行经济预测和分析。它也可以用于构建经济模型,以探索经济变量之间的关系。在生物信息学领域:最优尾部选择可以用于筛选出最相关的基因或蛋

白质，以了解生物体的功能和疾病机制。它也可以用于分析基因表达数据或蛋白质互作网络数据。

除了以上这些，最优尾部选择也在医学领域和环境科学领域得到了应用，本文初采用 6 种基于最优尾部选择的阈值选取方法对原始指标数据进行加工，分别为 eye-ball、GH、dAMSE、PS 及 RT 方法（RT 方法包含两个表达式的求法，故分为 RT1 和 RT2），由于各方法原理不尽相同，得到的尾部阈值也并不一样，用阈值替换尾部极端值数据可能对研究产生不同程度影响，故分别计算 6 种方法结果后进行比较，选择其中比较合适的方法进行下一步研究。计算采用 R 中的 tea 拓展包。

3.3.1 自动眼球法

自动“眼球法”是通过定义一个移动窗口（Danielsson, Resnick 和 Stărică 等人）来寻找 Hill 图中的稳定区域的。它寻找 Hill 图方差随着 k 值增加而显著下降的位置，使用以下估计量来选择尾部数据中最佳的数据数量：

$$k_0^{eye} = \min \{k \in \{2, \dots, n^+ - w\} \mid h < \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w I\{\hat{\alpha}(k) - \varepsilon < \hat{\alpha}(k+i) < \hat{\alpha}(k) + \varepsilon\}\}$$

式中： w —移动窗口的大小（通常为全样本的 1%）， n^+ —正数据的数量， ε —估计值可能变化的范围大小， h —移动窗口内的数据百分比，应出现在容许范围内（通常约 90%）。

在 tea 拓展包中，自动眼球法对应函数如下图所示：

```

> library(tea)
> eye
function (data, ws = 0.01, epsilon = 0.3, h = 0.9)
{
  n = length(data)
  w = floor(ws * n)
  i = 1:(n - 1)
  x = sort(data, decreasing = TRUE)
  gamma = (cumsum(log(x[i]))/i) - log(x[i + 1])
  alpha = 1/gamma
  count = 0
  erg = c()
  for (k in 2:(length(alpha) - w)) {
    for (i in 1:length(w)) {
      if (alpha[k + i] < (alpha[k] + epsilon) && alpha[k +
        i] > (alpha[k] - epsilon)) {
        count = count + 1
      }
      else {
        count = count
      }
    }
    erg[k] = count/w
  }
  erg = erg > h
  k0 = min(which(erg == 1))
  u = x[k0]
  ti = alpha[k0]
  list = list(k0 = k0, threshold = u, tail.index = ti)
  list
}

```

图 3.2 自动眼球法函数

可以看到在使用 eye 算法时,可以对其参数进行设定,分别为移动窗口大小, ϵ 和移动窗口内的数据百分比,默认情况下移动窗口大小为 0.01, $\epsilon=0.3$, 窗口大小为 0.9, 运行结果会得到超出阈值的尾部值个数、阈值的值和尾部指数。

3.3.2 GH

Guillou 和 Hall 提出了一种基于偏差减少的过程,用于选择拟合极值数据的 Hill 估计器的最佳阈值。这种方法中的尾部数据的最佳数量 k_0 是通过以下三个步骤的过程确定的(参见 Caeiro 和 Gomes, 2016):

步骤 1 给定一个观测数据 (x_1, \dots, x_n) , 计算:

$$Q_n(k) = \left\{ \frac{1}{2 \lfloor k/2 \rfloor + 1} \right\} \sum_{j=k-\lfloor k/2 \rfloor}^{k+\lfloor k/2 \rfloor} T_n^2(j)^{1/2} (1 \leq k \text{ 且 } k + \lfloor k/2 \rfloor < n),$$

其中

$$Q_n(k) = \sqrt{\frac{3}{k^3}} \frac{\sum_{i=1}^k (k-2i+1)U_i}{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k U_i},$$

$$U_i = i \sum_{j=1}^k (\log x_{n-i+1:n} - \log x_{n-i:n}) (1 \leq i \leq k \leq n).$$

步骤 2 给定 $c_{crit} = 1.25$ ，考虑

$$k_0^{GH} = \inf\{k : |Q_n(j)| \geq c_{crit}, \forall j \geq k\}.$$

步骤 3 下一步计算 $\hat{\xi}^{GH} = \hat{\xi}_{k_0^{GH},n}^{GH}$ 。

GH 方法对应函数如下：

```
> GH
function (data)
{
  n = length(data)
  Qn = function(k) {
    Tn = function(k) {
      u = c()
      help = c()
      xstat = sort(data, decreasing = TRUE)
      for (i in 1:k) {
        u[i] = i * (log(xstat[i]) - log(xstat[i + 1]))
        help[i] = (k - 2 * i + 1) * u[i]
      }
      Z = sum(help)
      N = mean(u)
      T = sqrt(3/k^3) * (Z/N)
      T
    }
    start = k - floor(k/2)
    end = k + floor(k/2)
    y = start:end
    x = sapply(y, Tn)
    erg = 1/(2 * floor(k/2) + 1) * sum(x^2)
    erg2 = sqrt(erg)
    crit = 1.25
    as.numeric(erg2 >= crit)
  }
  kmax = floor(n/1.5)
  i = 1
  while (Qn(i) == 0) {
    i = i + 1
    if (i == kmax)
      break
  }
  u = sort(data, decreasing = TRUE)[i]
  helphill = function(k) {
    xstat = sort(data, decreasing = TRUE)
    xihat = mean((log(xstat[1:k]) - log(xstat[k + 1])))
    xihat
  }
  ti = 1/helphill(i)
  list = list(k0 = i, threshold = u, tail.index = ti)
  list
}
```

图 3.3 GH 函数

3.3.3 dAMSE

Caeiro 和 Gomes 在 2016 年研究中引入了渐近均方误差方法 (Asymptotic Mean Square Error, AMSE) 的最小化。在 dAMSE 方法中, 尾部数据的最优数量 k_0 是通过使 Hill 估计量的渐近均方误差关于 k 最小化来确定的。该算法包括五个步骤:

步骤 1 给定一个观察数据 (x_1, \dots, x_n) , 计算调整参数 $\tau = 0$ 和 $\tau = 1$ 时的 $\hat{\rho}_\tau(k)$ 值, 它们具有以下形式:

$$\hat{\rho}_\tau(k) = -\left| 3(W_{k,n}^{(\tau)} - 1) / (W_{k,n}^{(\tau)} - 3) \right|$$

根据统计数据:

$$W_{k,n}^{(\tau)} = \begin{cases} \frac{(M_{k,n}^{(1)})^\tau - (M_{k,n}^{(2)} / 2)^{\tau/2}}{(M_{k,n}^{(2)} / 2)^{\tau/2} - (M_{k,n}^{(3)} / 6)^{\tau/3}}, & \text{如果 } \tau \neq 0, \\ \frac{\log(M_{k,n}^{(1)}) - \log(M_{k,n}^{(2)} / 2) / 2}{\log(M_{k,n}^{(2)} / 2) / 2 - \log(M_{k,n}^{(3)} / 6) / 3}, & \text{如果 } \tau = 0, \end{cases}$$

其中

$$M_{k,n}^{(j)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\log x_{n-i+1:n} - \log x_{n-k:n})^j, (j=1, 2, 3).$$

步骤 2 考虑 $\mathcal{K} = ([n^{0.995}], [n^{0.999}])$ 。计算 $\{\hat{\rho}_\tau(k)\}_{k \in \mathcal{K}}$ 的中位数, 记为 χ_τ , 并计算 $I_\tau = \sum_{k \in \mathcal{K}} (\hat{\rho}_\tau(k) - \chi_\tau)^2, (\tau = 0, 1)$ 。然后选择调整参数, 如果 $I_0 \leq I_1$, 则选择 $\tau^* = 0$; 否则选择 $\tau^* = 1$ 。

步骤 3 计算 $\hat{\rho} = \hat{\rho}_{\tau^*}(k) = \hat{\rho}_{\tau^*}(k_{01})$ 和 $\hat{\beta} = \hat{\beta}_{\tau^*}(k) = \hat{\beta}_{\tau^*}(k_{01})$, 其中 $k_{01} = [n^{0.999}]$ 和

$$\hat{\beta}_{\hat{\rho}}(k) = \left(\frac{k}{n}\right)^{\hat{\rho}} \frac{d_k(\hat{\rho})D_k(0) - D_k(\hat{\rho})}{d_k(\hat{\rho})D_k(\hat{\rho}) - D_k(2\hat{\rho})}.$$

取决于 $\hat{\rho} = \hat{\rho}_{\tau^*}(k_{01})$, 其中, 任意 $\alpha \leq 0$,

$$d_k(\alpha) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (i/k)^{-\alpha}, D_k(\alpha) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (i/k)^{-\alpha} U_i$$

其中

$$U_i = i(\log x_{n-i+1:n} - \log x_{n-in})(1 \leq i \leq k \leq n),$$

是缩放的对数间隔。

步骤 4 根据估计器 $\hat{\beta}$ 和 $\hat{\rho}$ ，计算

$$\hat{k}_0^H = \left(\frac{(1-\hat{\rho})^2 n^{-2\hat{\rho}}}{-2\hat{\rho}\hat{\beta}^2} \right)^{1/(1-2\hat{\rho})}$$

步骤 5 最后计算 $\hat{\xi}^H = \hat{\xi}_{\hat{k}_0^H}^H$ 。

dAMSE 函数如下：

```
> dAMSE
function (data)
{
  n = length(data)
  k = c(floor(n^0.995), floor(n^0.999))
  helphill = function(k, j = 1) {
    xstat = sort(data, decreasing = TRUE)
    xihat = mean((log(xstat[1:k]) - log(xstat[k + 1]))^j)
    xihat
  }
  M11 = helphill(k[1], 1)
  M12 = helphill(k[1], 2)
  M13 = helphill(k[1], 3)
  M21 = helphill(k[2], 1)
  M22 = helphill(k[2], 2)
  M23 = helphill(k[2], 3)
  w.k1.t1 = (M11 - sqrt(M12/2))/(sqrt(M12/2) - (M13/6)^(1/3))
  w.k2.t1 = (M21 - sqrt(M22/2))/(sqrt(M22/2) - (M23/6)^(1/3))
  rho.k1.t1 = -abs(3 * (w.k1.t1 - 1)/(w.k1.t1 - 3))
  rho.k2.t1 = -abs(3 * (w.k2.t1 - 1)/(w.k2.t1 - 3))
  w.k1.t0 = (log(M11) - 0.5 * log(M12/2))/(0.5 * log(M12/2) -
    log(M13/6)/3)
  w.k2.t0 = (log(M21) - 0.5 * log(M22/2))/(0.5 * log(M22/2) -
    log(M23/6)/3)
  rho.k1.t0 = -abs(3 * (w.k1.t0 - 1)/(w.k1.t0 - 3))
  rho.k2.t0 = -abs(3 * (w.k2.t0 - 1)/(w.k2.t0 - 3))
  chi.t1 = median(c(rho.k1.t1, rho.k2.t1))
  chi.t0 = median(c(rho.k1.t0, rho.k2.t0))
  I.t1 = c((rho.k1.t1 - chi.t1)^2, (rho.k2.t1 - chi.t1)^2)
  I.t0 = c((rho.k1.t0 - chi.t0)^2, (rho.k2.t0 - chi.t0)^2)
  if (sum(I.t0) <= sum(I.t1)) {
    tau = 0
    rho = rho.k2.t0
  }
  else {
    tau = 1
    rho = rho.k2.t1
  }
  U = c()
  xstat = sort(data, decreasing = TRUE)
  for (i in 1:k[2]) {
    U[i] = i * (log(xstat[i]) - log(xstat[i + 1]))
  }
  i = 1:k[2]
  dk = mean((i/k[2])^(-rho))
  Dk = function(a) {
    D = mean((i/k[2])^(-a) * U[i])
  }
  beta = (k[2]/n)^rho * (dk * Dk(0) - Dk(rho))/(dk * Dk(rho) -
    Dk(2 * rho))
  Exp = 1/(1 - 2 * rho)
  Z = (1 - rho)^2 * n^(-2 * rho)
  N = -2 * rho * beta^2
  k0 = floor((Z/N)^Exp)
  u = xstat[k0]
  ti = 1/helphill(k0)
  list = list(second.order.par = c(beta, rho), k0 = k0, threshold = u,
    tail.index = ti)
  list
}
```

图 3.4 dAMSE 函数

3.3.4 PS

Path Stability 方法是由 Caeiro 和 Gomes 于 2016 年提出的一种启发式算法。该算法用于寻找路径稳定性的稳定区域（即尾指数关于 k 的 Hill 图）。该算法由六个步骤组成，通过这些步骤可以确定尾部数据的最优数量 k_0 。

步骤 1 给定观测数据 (x_1, \dots, x_n) ，使用 Hill 估计器计算

$$T(k) = \hat{\xi}_{k,n}^H (k=1, \dots, n-1).$$

步骤 2 取 j_0 作为 j 的最小值， j 为一个非负整数，使得第一步中估计值的舍入值在 j 个小数位上是不同的。定义 $a_k^{(T)}(j) = \text{round}(T(k), j) (k=1, \dots, n-1)$ ，即 $T(k)$ 的舍入值取 j 个小数位。

步骤 3 考虑与第二步中获得的 $a_k^{(T)}(j_0)$ 相等的连续值相关联的 k 值集合。设置 $k_{\max}^{(T)}$ 和 $k_{\min}^{(T)}$ 为集合的最大值和最小值。最大的运行大小为 $l_T = k_{\max}^{(T)} - k_{\min}^{(T)}$ 。

步骤 4 考虑所有这些估计值， $T(k) (k_{\min}^{(T)} \leq k \leq k_{\max}^{(T)})$ ，现在带有两个额外的小数位，即计算 $T(k) = a_k^{(T)}(j_0 + 2)$ 。获得 $T(k)$ 的模式，并用 \mathcal{K}_T 表示与该模式相关联的 k 值集合。

步骤 5 获得 \mathcal{K}_T 的最大值 \hat{k}_T 。

步骤 6 最后计算 $\hat{\xi}^{H|PS} = \hat{\xi}_{\hat{k}_T, n}^H$ 。

在 PS 中，假设 $j=0$ 或 $j=1$ 。

PS 函数如下：


```

> PS
function (data, j = 1)
{
  n = length(data)
  x1 = sort(data, decreasing = TRUE)
  i = 1:(n - 1)
  h = (cumsum(log(x1[i]))/i) - log(x1[i + 1])
  help = round(h, j)
  l = rle(help)$lengths
  Max = which(l == max(l))
  kmin = sum(l[1:(Max - 1)]) + 1
  kmax = kmin + max(l) - 1
  run = kmax - kmin
  K = round(h[kmin:kmax], j + 2)
  Mode <- function(x) {
    ux <- unique(x)
    ux[which.max(tabulate(match(x, ux)))]
  }
  if (sum(duplicated(K)) == 0) {
    modus = K[length(K)]
  }
  else {
    modus = Mode(K)
  }
  k0star = max(which(round(h, j + 2) == modus))
  u = x1[k0star]
  ti = 1/h[k0star]
  list = list(k0 = k0star, threshold = u, tail.index = ti)
  list
}

```

图 3.5 PS 函数

3.3.5 RT

Reiss 和 Thomas 在 2007 年提出了一种基于经验 Bayes 方法的极端值统计算法, 该算法用于确定风险指标的阈值。该方法结合了经验 Bayes 方法和假设测试, 以改进传统的极值统计方法。此过程通过最小化表达式 RT1 来选择最低的高阶统计量:

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k i^{\beta} \left| \hat{\xi}_i^H - \text{median}(\hat{\xi}_i^H, \dots, \hat{\xi}_k^H) \right|$$

或表达式 RT2

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k i^{\beta} (\hat{\xi}_i^H - \hat{\xi}_k^H)^2$$

式中: $\hat{\xi}_i^H$ 为 Hill 估计器, 调谐参数满足 $0 \leq \beta \leq 0.5$, 实际上, 通常使用 k 的最小值, 即 k_{\min} (Scarrott 和 MacDonald, 2012)。

RT 函数如下:

```

> RT
function (data, beta = 0, kmin = 2)
{
  n = length(data)
  x1 = sort(data, decreasing = TRUE)
  i = 1:(n - 1)
  j = i^beta
  h = (cumsum(log(x1[i]))/i) - log(x1[i + 1])
  med = c()
  for (i in 1:(n - 1)) {
    med[i] = median(h[1:i])
  }
  erg1 = c()
  erg2 = c()
  for (k in 1:(n - 1)) {
    erg1[k] = sum(j[1:k] * abs(h[1:k] - med[k]))/k
    erg2[k] = sum(j[1:k] * (h[1:k] - h[k])^2)/k
  }
  rt1 = which.min(erg1[kmin:(n - 1)])
  rt2 = which.min(erg2[kmin:(n - 1)])
  list = list(k0 = c(rt1, rt2), threshold = c(x1[rt1], x1[rt2]),
    tail.index = c(1/h[rt1], 1/h[rt2]))
  list
}

```

图 3.6 RT 函数

可以看到 RT 函数会得到两个结果，分别对应 RT1 与 RT2。

通过 tea 拓展包函数分别计算可以得到 6 种方法的极端值个数与尾部阈值，对其进行比对，选择最合适的方法来进行下一步研究。

3.4 原始指标的标准化方法

3.4.1 基于 Oja 的空间中位数向量的标准化

接下来是变量值的标准化，有许多不同的方法来规范变量的值，这些方法具有不同的属性，为复杂经济现象的变量选择最佳方法并不简单，需要创新的方法和方法。在评估复杂的单位现象的情况下，经常会观察到具有极值或其值不对称分布的变量。Oja 算法是由芬兰学者 Hannu Oja 提出的，他所提出的空间中位数对具有强烈不对称性的变量具有抵抗作用，这有助于提高模型的泛化能力和鲁棒性，也意味着在多研究对象、多指标情况下是一种有效的位置统计。因此，使用 Oja 的空间中位数提出了修正中值标准化。此外，为了限制变量极值的影响，变量 ul_k 和 ll_k ($k=1,2,\dots,K$) 的阈值应用于修正中值标准化公式：

$$z_{ik} = \begin{cases} \frac{ll_k - m\tilde{e}d_k}{1.4826 \cdot m\tilde{a}d_k} & \text{for } x_{ik} \leq ll_k, \\ \frac{x_{ik} - m\tilde{e}d_k}{1.4826 \cdot m\tilde{a}d_k} & \text{for } ll_k \leq x_{ik} \leq ul_k, \\ \frac{ul_k - m\tilde{e}d_k}{1.4826 \cdot m\tilde{a}d_k} & \text{for } x_{ik} \geq ul_k \end{cases}$$

其中： x_{ik} 表示第 i 个对象的第 k 个变量， $m\tilde{e}d(x_{1k}, \dots, x_{nk})$ —Oja 中位数向量对应第 k 个分量， $m\tilde{a}d(x_{1k}, \dots, x_{nk})$ —第 k 个变量值与 Oja 中位数向量第 k 个分量中位数分量的绝对偏差的中位数，1.4826—与正态分布数据相对应的一个常数比例因子。

3.4.2 原始指标定性

这一阶段主要是确定指标层的每个指标对地区可持续发展能力造成的影响，根据当前专家学者的研究成果，对这些指标进行分类：积极变量是具有促进作用的变量，有助于增加现象的水平，而消极变量是具有抑制作用的变量，有助于减少现象的水平。中性变量是一种可变类型，在某些可变范围内是一种积极变量，在另一可变范围内是一种消极变量。被认为是消极变量的变量可以用负系数变换转换成积极变量。

本文中选取的 15 项指标分别代表经济总量、经济结构；人口、就业、素质、健康；环境污染与保护几大方面。对这些指标进行如下分类：经济总量直接代表了地区的经济发达程度，越高的经济发的程度可以创造更好的社会福利保障地区居民的生活，也能有更高的财政投入保护环境，故将经济总量方面的 3 项指标均视为积极指标；代表经济结构的两项指标分别为工业增加值和第三产业增加值，虽然过度依赖工业增加值也可能会导致环境污染和资源消耗等问题，但考虑到我国仍属于发展中国家，工业化是经济发展的重要阶段，更多的工业增加值可以促进产业升级和经济增长所以也视为积极指标，而第三产业代表的是服务业、消费也等，这些领域具有高附加值和高创新性的特点，该项指标水平越高说明地区经济增长拥有更强动力，也视为积极指标；在人口方面，根据我国学者研究成果，即使在我国人口密度最高的东南沿海地区，人口尚未达到破坏生态环境或是影响

社会秩序的程度,仍然处于对地方发展水平具有促进作用阶段,故视为积极指标;就业指标代表着地区失业人口百分比,指标越大代表失业人口越多,自然而然地分为消极指标;而在素质、健康方面,指标越高代表着地区居民拥有更完善的生活设施,更高的居民素质不仅可以为经济发展赋能,还能提高环保意识,所以都是积极指标;在环境方面的指标分类就比较直观了,污染作为消极指标,保护作为积极指标。

3.5 可持续发展水平指标计算

Hwang 和 Yoon 在 1981 年首次提出了经典的 TOPSIS 方法,是解决多准则决策(MCDM)问题的最成熟技术。TOPSIS 的核心内容是:寻求有限个最优方案和最劣方案,分别计算每个研究对象到正理想解与负理想解的距离,求得各研究对象与理想解的相似程度,并可以依次对研究对象进行排序分类,进行有效的综合评价。

正理想解和负理想解的计算。正理想解 $(PIS)A^{(\bullet)+}$ 和负理想解 $(NIS)A^{(\bullet)-}$ 计算如下(Hwang 和 Yoon):

$$\begin{aligned} A^{(\bullet)+} &= (\max(z_{11}, \dots, z_{n1}), \max(z_{12}, \dots, z_{n2}), \dots, \max(z_{1K}, \dots, z_{nK}(\bullet))) \\ &= (z_1^+, z_2^+, \dots, z_{K(\bullet)}^+), \\ A^{(\bullet)-} &= (\min(z_{11}, \dots, z_{n1}), \min(z_{12}, \dots, z_{n2}), \dots, \min(z_{1K}, \dots, z_{nK}(\bullet))) \\ &= (z_1^-, z_2^-, \dots, z_{K(\bullet)}^-), \end{aligned}$$

计算每个地方行政单位与正负理想解的距离。 $PIS(d_i^{(\bullet)+})$ 和 $NIS(d_i^{(\bullet)-})$ 的每个对象的曼哈顿距离 (L_1 距离) 计算依据为:

$$\begin{aligned} d_i^{(\bullet)+} &= \sum_{k=1}^{K(\bullet)} |z_{ik} - z_k^+|, \\ d_i^{(\bullet)-} &= \sum_{k=1}^{K(\bullet)} |z_{ik} - z_k^-|. \end{aligned}$$

计算三个综合子指标(分别针对经济、社会和环境发展水平)和可持续发展水平的一般综合指标。

基于 TOPSIS 聚合公式构建综合子度量:

$$S_i^{(\bullet)} = \frac{d_i^{(\bullet)-}}{d_i^{(\bullet)+} + d_i^{(\bullet)-}} \quad i = 1, \dots, n.$$

可持续发展水平的一般衡量标准计算如下：

$$S_i = \frac{S_i^{(E)} + S_i^{(S)} + S_i^{(N)}}{3}.$$

综合指数 S_i 的值范围为 0 到 1。综合发展指标越高，相关地方行政单位的发展水平就越高。

3.6 本章小结

本章介绍了指标体系的构建及运行过程，首先借鉴层次分析思想将研究目标分为人类日常社会活动中可以得到的 15 项具体指标；接下来介绍了几种备选的阈值选取方法，并介绍了各方法在 \mathbf{R} 中对应的函数及其运行结果，由于未代入原始数据，各方法所得结果是否理想仍待考察；再用基于 Oja 的空间中位数向量对其进行标准化后由正负理想解距离法得出各地区可持续发展指标，为后文计算部分进行理论介绍。

4 各省份可持续发展水平指标计算

本章先对各省份发展现状进行分析,然后用第三章介绍的指标体系计算得到2009-2020年来各省在经济、社会、环境及总的可持续发展能力指标,再结合现状及指标体系结果进行综合分析。

4.1 各省份发展水平现状

为了可以直观观察各地发展现状,本文同样选取一些相关指标同样从经济、社会及环境三个方面来刻画各省份发展情况,为后文综合分析提供支持。

在经济方面,人均GDP(元)是指一个地区的GDP总量除以该地区的总人口数,它反映了一个地区的经济总量和人口数量之间的关系,第一产业增加值(亿元)、第二产业增加值(亿元)和地方财政税收收入(亿元)则分别反映了一个地区的农业、工业和财政收入情况。这些指标可以帮助我们了解一个地区的经济发展水平。

表 4.1 2020 年各省份经济情况

地区	人均 GDP (元)	第一产业增加值 (亿元)	第二产业增加值 (亿元)	地方财政税收收入 (亿元)
北京市	164158	108.3	5739.1	9881.95
天津市	101068	210.3	4911.8	7413.86
河北省	48302	3880.4	13765.1	6261.75
山西省	51051	1166.6	7703.2	5841.88
内蒙古自治区	71640	2028.8	6908.2	4757.62
辽宁省	58629	2284.8	9357.5	4643.87
吉林省	50561	1553	4319.9	2967.2
黑龙江省	42432	3445.1	3449.9	2764.73
上海市	156803	107.7	10258.6	2527.28
江苏省	121333	4537.6	44631.3	2199.52
浙江省	100738	2166.3	26361.5	2184.72
安徽省	62411	3185	15216.5	2057.98
福建省	105106	2730.8	20168.4	1923.45
江西省	57065	2243.8	11107.9	1879.06
山东省	71825	5364.4	28456.7	1752.14
河南省	54691	5354	22220.9	1701.92

续表 4.1 2020 年各省份经济情况

地区	人均 GDP (元)	第一产业增加值 (亿元)	第二产业增加值 (亿元)	地方财政税收收入 (亿元)
湖北省	73687	4133.2	15933.8	1625.99
湖南省	62537	4240.7	15949.2	1500.14
广东省	88521	4732.7	43868.1	1457.76
广西壮族自治区	44237	3645.9	7046.8	1453.07
海南省	55438	1136	1072.2	1430.72
重庆市	78294	1803.5	9969.6	1113.22
贵州省	46355	2539.9	6263	910.19
四川省	58009	5556.9	17505.6	1086.04
云南省	52047	3611.8	8387.5	811.92
西藏自治区	52280	150.3	714.9	771.95
陕西省	65867	2267.7	11222	567.93
甘肃省	35848	1188.1	2824.8	559.82
青海省	50845	338	1143.2	263.87
宁夏回族自治区	55021	338.1	1629.3	213.27
新疆维吾尔自治区	53606	1981.3	4786.7	143.24

从表 4.1 可以看出,在我国 31 省市自治区中,人均 GDP 水平较高地区主要为北京、上海、天津等直辖市以及江苏、福建、广东、山东等东南沿海省份,水平较低地区为甘肃、黑龙江、广西、贵州、河北等地区,这些地区有些因为地区生产总值较低,如甘肃、黑龙江等,有些虽然生产总值不低,但因为人口数量较大,也处于较低水平,如河北等;第一产业增加值较高地区为四川、山东、河南、广东等农业较发达省份,较低地区为上海、北京等直辖市以及西藏、青海、宁夏等处于不适合发展农业地区省份;第二产业增加值较高地区为江苏、广东、山东、浙江等工业发达省份,较低地区为西藏、海南、青海、宁夏等经济较落后省份或是工业不发达省份;地方财政税收收入较高地区为广东、江苏、浙江、山东等东南沿海省份,较低地区为西藏、青海、宁夏、海南等省份。

总体来看,东南沿海地区拥有较高经济发展水平,首先,地形较为理想,以丘陵、平原为主,使得无论是农业还是工业都可以得到有效发展,气候较为宜居,既能满足农作物等的生长需求,也能满足人类生活需要;其次,位置靠近亚太地区,便于与国际市场接轨,吸收外资与先进技术;最后,政府也通过一系列的政策措施来吸引外资、扶持民营企业等,促进产业结构转移,发展了一批具有竞争力的产业。而西北等靠内陆地区因受制于各方面因素,有着较低经济发展水平,

所以我国经济发展水平大体上呈现出由东南沿海向西北内陆逐渐降低的趋势。

在社会方面,全体居民人均可支配收入(元)是指居民可以用来自由支配的收入,标志着居民的购买力水平,可以用来衡量居民生活水平;教育经费(万元)反映了地区对教育事业重视程度和投入水平,是保障教育质量和效益的重要条件;城镇基本医疗保险参保人数(万人)反映了居民享有基本医疗服务权利和水平。这些指标可以帮助我们了解各省份社会发展水平。

表 4.2 2020 年各省份社会情况

地区	全体居民人均可支配收入 (元)	教育经费 (万元)	城镇基本医疗保险参保人数 (万人)
北京市	69434	15085043	10991.4
天津市	43854	6031844	10349.5
河北省	27136	21282804	9697.8
山西省	25214	10071575	8591.7
内蒙古自治区	31497	8510492	7967.7
辽宁省	32738	10988599	6938.8
吉林省	25751	7204781	6731.8
黑龙江省	24902	8422728	6704.6
上海市	72232	14427631	5583
江苏省	43390	33717331	5556.5
浙江省	52397	28846115	5217.2
安徽省	28103	17478565	4780
福建省	37202	14160989	4581.3
江西省	28017	15772884	4194.4
山东省	32886	31022594	3899.7
河南省	24810	28022275	3867.5
湖北省	27881	16783125	3840.5
湖南省	29380	18852587	3266.7
广东省	41029	53869558	3245.1
广西自治区	24562	15418302	2827
海南省	27904	4632077	2590.4
重庆市	30824	11823943	2461.9
四川省	26522	24660021	2316.8
贵州省	21795	14479368	2183.9
云南省	23295	16571342	2139.9
西藏自治区	21744	3164861	1943.2
陕西省	26226	13169806	1164.1
甘肃省	20335	8440554	934
青海省	24037	2931351	658.8

续表 4.2 2020 年各省份社会情况

地区	全体居民人均可支配收入 (元)	教育经费 (万元)	城镇基本医疗保险参保人数 (万人)
宁夏回族自治区	25735	2791933	563.3
新疆维吾尔自治区	23845	11029496	342.8

从表 4.2 可以看出,全体居民人均可支配收入水平较高地区为:上海、北京、天津直辖市地区以及浙江、江苏、广东、福建等经济较发达地区,可支配收入水平较低地区为:甘肃、西藏、贵州、云南、新疆等经济较为落后地区;教育经费投入较高地区为广东、江苏、山东、浙江等省份,投入较低地区为宁夏、青海、西藏、海南等省份;城镇基本医疗保险参保人数较多地区为:北京、天津市以及河北、山西等省份,较少地区为西藏、青海、宁夏等省份。

可以看出经济较发达地区居民也拥有着更高的可支配收入,生活水平较高,同时在教育、医疗等方面可投入经费多,使得居民生活可以得到更好的保障,居民生活水平高,生活福祉可以得到保障,社会结构更加稳固,也更能吸引人才流入;而经济较落后地区居民收入水平较低,社会配套设施也不够完善,人才容易向外流失。

在环境方面,工业污染治理完成投资(万元)反映了地区对于工业污染的治理力度,一方面和工业发达程度挂钩,一方面也和污染程度挂钩;废气氮氧化物主要有一氧化氮和二氧化氮等,其排放量(万吨)能反映地区排放废气中造成的部分污染;同理废水化学需氧量排放量(万吨)也能反映地区排放废水中造成的部分污染。

表 4.3 2020 年各省份环境情况

地区	工业污染治理完成投资 (万元)	废气氮氧化物排放 (万吨)	废水化学需氧量排放 (万吨)
北京市	5122	4.07	5.36
天津市	74511	5.39	15.63
河北省	129336	7.1	127.42
山西省	284910	8.67	61.98
内蒙古自治区	154407	11.7	70.88
辽宁省	98020	12.06	124.75
吉林省	8063	15.98	56.25

续表 4.3 2020 年各省份环境情况

地区	工业污染治理完成投资 (万元)	废气氮氧化合物排放 (万吨)	废水化学需氧量排放 (万吨)
黑龙江省	40805	16.7	149.17
上海市	90711	19.64	7.29
江苏省	531335	20.11	120.78
浙江省	505097	25.82	53.22
安徽省	243546	26.62	118.6
福建省	175766	27.33	62.3
江西省	93009	27.49	101.48
山东省	519487	28.33	153.48
河南省	144548	28.59	144.57
湖北省	198108	29.34	153.03
湖南省	33508	29.76	147.64
广东省	235470	34.44	161.31
广西自治区	35534	38.73	103.04
海南省	476	40.45	17.28
重庆市	40176	46.43	32.06
四川省	244414	47.56	130.46
贵州省	154911	48.5	116.78
云南省	142339	49.8	68.6
西藏自治区	2094	54.55	53.05
陕西省	194957	56.34	48.88
甘肃省	33844	57.96	59.54
青海省	2897	60.78	8.57
宁夏自治区	60458	62.47	22.03
新疆自治区	64729	76.97	69.34

表 4.1-4.3 数据来源：国家统计局

可以看出工业污染治理完成投资较多地区为：江苏、山东、浙江、山西等省份，完成投资较少地区为：海南、西藏、青海等，废气氮氧化合物排放量较多地区为：河北、山东、广东、辽宁等，氨氮化合物排放量较少地区为：海南、西藏、青海等；废水化学需氧量排放量较多地区为：广东、山东、湖北、黑龙江等；化学需氧量排放量较少为北京、上海等直辖市及青海、海南、宁夏等。

表 4.3 数据表明工业发达地区虽然经济较为发达，但污染物排放量也较高，所以地方政府和企业更应加大环境治理力度，加上经济发达、社会配套设施较为完善吸引外来人员，人口密度较大，环境负载较高，在环境方面应比其他地区更为注意；而经济较为落后，工业较为落后地区，部分由于所处地理环境较为苛刻，

本身生态环境就比较脆弱，也不能掉以轻心，以维稳为基础谋求改善。

再根据对现有研究成果及资料进行分析，我国各地区大致发展情况如下^[51]：

东部地区：东部地区是中国经济最发达的地区，包括沿海省份和周边的内陆省份。这个地区的经济总量占全国的比重最大，有着发达的制造业、金融业、高新技术产业等，是中国的经济引擎。同时，东部地区也是中国人口密度最大的地区之一，城市化水平较高，生活水平和消费水平也较高。但是高产业经济、高人口密度也对环境造成了较大压力，发达的工业水平势必导致高额的工业排放，人口的高度集中也造成了大量碳排放和环境治理压力。

南部地区：南部地区包括江南地区和福建、广东等省份。这个地区的经济发展较快，以制造业、出口业和服务业为主要产业，其中广东省是中国的经济大省之一。南部地区的气候温暖湿润，自然资源丰富，旅游业和农业也发展较好。近年来，随着城市化和工业化的加快发展，华南地区的环境问题也逐渐凸显。其中，空气污染是该地区最为突出的环境问题之一，尤其是在广州、深圳等城市，常常出现严重的雾霾天气。此外，水污染、土地污染、噪声污染等问题也在不断加剧。

西部地区：西部地区是中国经济相对较落后的地区，包括新疆、西藏、青海、甘肃、宁夏、陕西、重庆、四川、贵州、云南等省份。这个地区自然资源丰富，包括水力、煤炭、石油、天然气等，是中国能源和资源的主要产区。西部地区的发展重点是加强基础设施建设和推动产业升级，发展旅游业和农业也有很大潜力。西部地区地形地貌复杂多样，生态环境情况也存在差异，西部地区的生态环境问题主要包括：水资源短缺、草地退化、沙漠化、气候变化等方面。其中，西藏、青海和新疆等地的生态环境相对脆弱，需要加强保护和治理。

北部地区：北部地区包括东北、内蒙古、河北等省份。这个地区的经济总量在全国居中，以重工业和农业为主要产业。北部地区自然条件较为严酷，资源相对较为匮乏，但冬季雪景等自然风光吸引了大量游客。北部地区的主要生态环境问题包括：水资源短缺、土地荒漠化、水土流失、空气污染等方面。尤其是河北、山西等地的环境问题比较突出，这些地区的能源开发利用和大气污染治理面临着巨大的压力。

中部地区：中部地区包括河南、湖北、湖南、江西、安徽等省份。这个地区经济发展相对较快，以制造业、农业和服务业为主要产业，同时也是中国的粮食

生产基地之一。中部地区的发展重点是推动产业升级和扩大内需，提高科技创新能力和城市化水平。中部地区的主要生态环境问题包括：水资源短缺、土地荒漠化、水土流失、空气污染等方面。其中，湖南、江西等地的水资源问题比较突出，安徽、河南等地的土地荒漠化和水土流失问题比较严重，河北、山东等地的空气污染问题较为突出。

4.2 原始指标数据获取

本文研究指标数据来源于国家统计局，各省份政府网站以及各省份统计年鉴，缺失值采用线性插值法进行填充。研究对象为国内 31 省份、直辖市、自治区 2009-2020 年指标，分别从经济方面选取“地区生产总值（亿元）”，“外商投资企业进出口总额（元）”，“社会消费品零售总额（亿元）”，“工业增加值（亿元）”，“第三产业增加值（亿元）”；从社会方面选取“年末常住人口（万人）”，“城镇登记失业率（%）”，“普通高中在校学生数（万人）”，“每万人拥有卫生技术人员（人）”，“医疗卫生机构数（个）”；从环境方面选取“生活垃圾清运量（万吨）”，“二氧化硫排放量（万吨）”，“氨氮排放量（万吨）”，“人均公园绿地面积（平方米/人）”，“建成区绿化覆盖率（%）”共同组成指标体系原始数据。

4.3 阈值的选取

在对原始数据进行阈值选取前，先观察各指标大致分布情况进行分析：

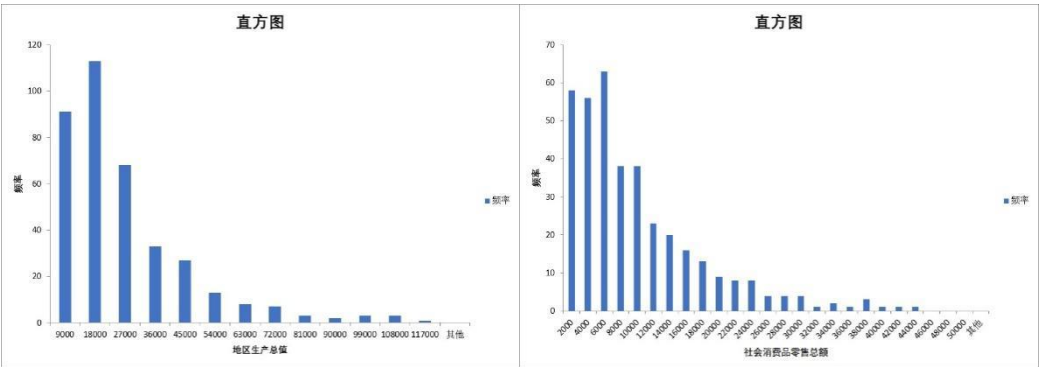


图 4.1 地区生产总值和社会消费品零售总额分布情况

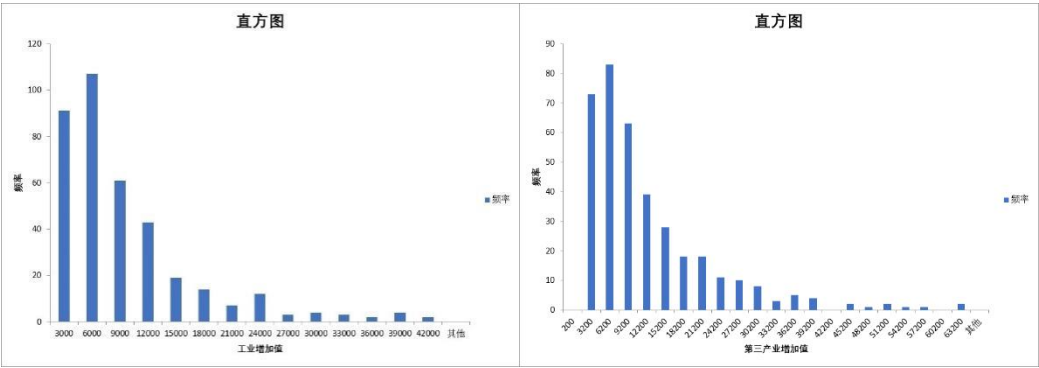


图 4.2 工业增加值和第三产业增加值分布情况

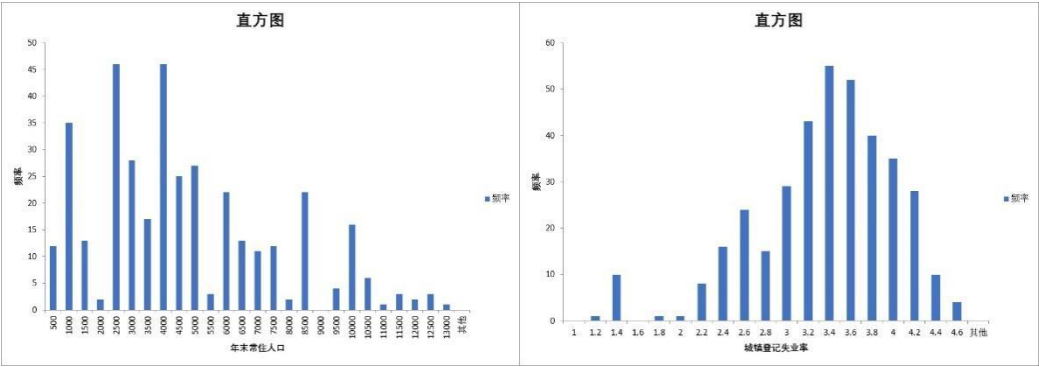


图 4.3 年末常住人口和城镇登记失业率分布情况

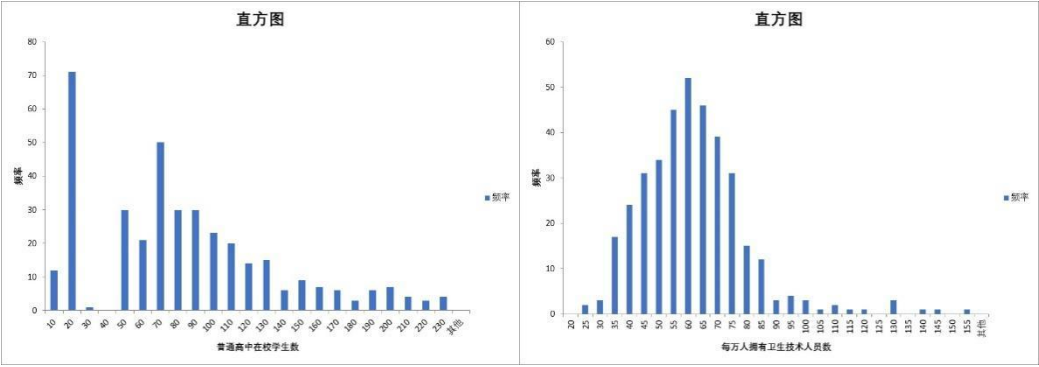


图 4.4 普通高中在校学生数和每万人拥有卫生技术人员数分布情况

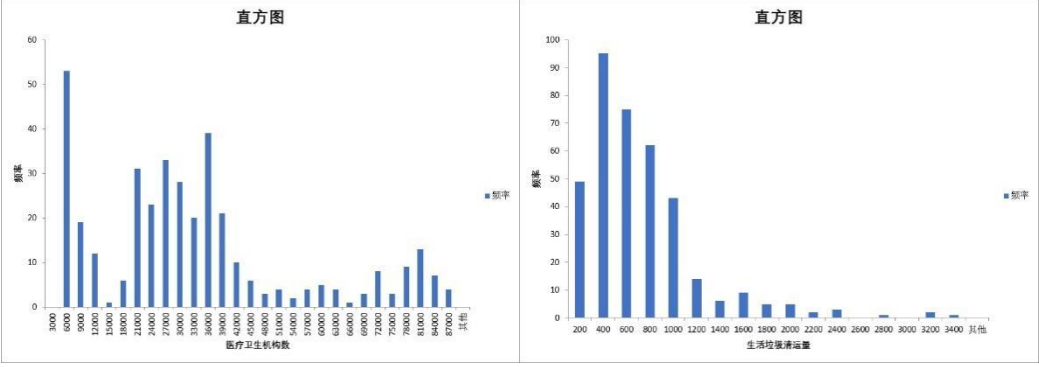


图 4.5 医疗卫生机构数和生活垃圾清运量分布情况

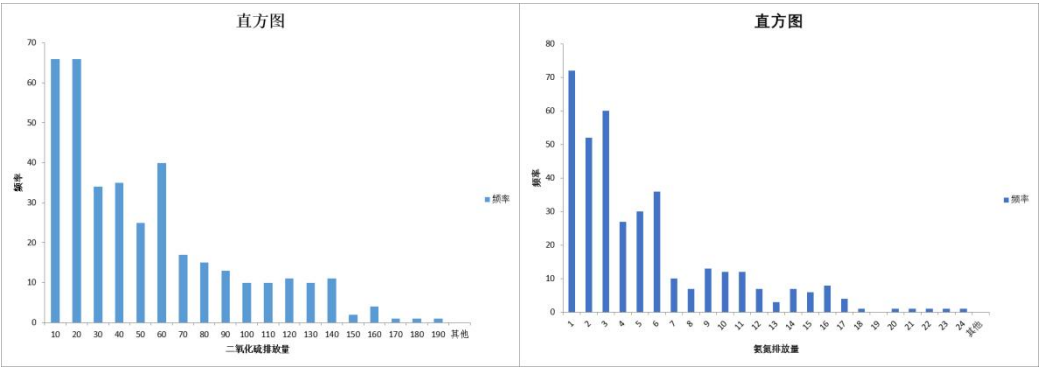


图 4.6 二氧化硫排放量和氨氮排放量分布情况

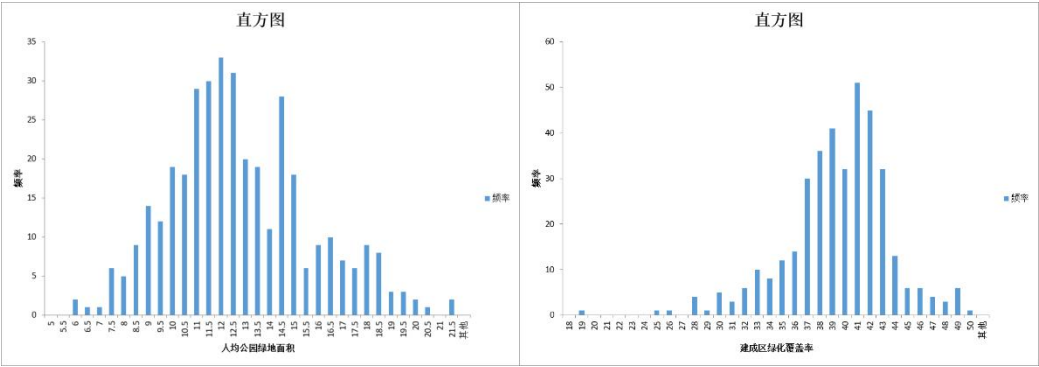


图 4.7 人均公园绿地面积和建成区绿化覆盖率分布情况

根据直方图展示的 14 项指标数据分布情况（外商投资企业进出口总额指标数据跨度过大，且每一区间内频率都很低，无明显特征，故不做展示），可以看出在描述地区经济、社会及环境各方面的指标数据分布大多数服从正态分布且表现出强烈的正偏态，即右侧尾部延伸更长，更多数据聚集在左侧的特征。这意味着数据集的均值通常会大于中位数，并且可能存在一些非常大的极端值或异常值。故为了抵消这些极端观测值造成的影响，本文对存在明显正偏态的几项指标进行阈值选取，而无明显正偏态或无明显分布特征的外商投资企业进出口总额(e2)，城镇登记失业率(s2)，人均公园绿地面积(n4)和建成区绿化覆盖率(n5)四项指标均采用原始数据，不进行阈值选取操作，以防破坏原始数据特征。

各方法阈值选取结果如下：

表 4.4 阈值选取结果

方法	指标	e1	e3	e4	e5	s1	s3	s4	s5	n1	n2	n3
eye-ball	个数	10	10	17	10	16	26	12	29	7	13	7
	阈值	77350.9	30326.8	25526.2	38977.2	10033	171.27	99	76128	2214.23	138.49	16.86
GH	个数	6	6	5	7	5	7	52	17	22	24	4
	阈值	93207.6	36598.6	37225.7	46936.5	11908	210.06	74	80037	1530.24	125.54	20.82
dAMSE	个数	42	41	132	43	37	39	50	23	43	39	38
	阈值	43608.6	19289.1	7969.6	23288.3	8477	151.6	75	78594	1019.62	112.06	11.43
PS	个数	115	131	104	133	199	232	175	226	109	128	126
	阈值	25011.4	9346.7	9665.1	10685.6	3724	60.82	60	24181	739.34	55.18	5.13
RT1	个数	3	4	3	4	1	2	1	4	1	5	1
	阈值	102807.7	37672.5	38198.1	53638.9	12624	224.86	155	84651	3347.32	159.02	23.09
RT2	个数	3	4	1	2	1	2	1	4	1	5	1
	阈值	102807.7	37672.5	39353.9	60268.1	12624	224.86	155	84651	3347.32	159.02	23.09

表 4.4 中个数为每种方法下被认为是极端值的样本个数，阈值为各方法下各指标阈值的具体数值。本文使用的是全国 31 省市地区 12 年，每项指标 372 个数据，在现有的专家学者研究中表明，样本的极端值数量应当控制在合理范围内，极端值数量过高或过低都不能视作一个好的阈值选取。

从上表结果可以看出，dAMSE 方法和 PS 方法将阈值设置得过低，在多数指标甚至全部指标上都将超出样本量 10%的样本数量作为极端值,这是不太合理的，故进行排除；而 RT1 和 RT2 方法则是将阈值设置得过高，在多数指标上极端值数量达不到总样本量的 1%，本文认为并不能有效地减小极端值带来的影响，所以也进行排除；而剩下的 eye-ball 方法和 GH 方法计算结果总体较为合理，绝大多数指标的极端值数量控制在 1%-10%区间内，本文认为可以有效降低极端值带来的影响以达到研究目的。

4.4 原始指标的标准化

在计算各省份地区在经济、社会、环境各方面可持续发展水平之前，需要先对数据进行标准化以消除各原始指标单位、量纲不同导致的影响,改善模型效果。

这一步用到了 Oja 的空间中位数向量,其计算通过 R 中的 OjaNP 拓展包来实现，函数详见附录 1^[7]。由于计算出的空间中位数向量并不唯一，故列出本文所使用的向量：

表 4.5 本文所使用 Oja 空间中位数向量

e1	e2	e3	e4	e5	s1	s2	s3	s4	s5	n1	n2	n3	n4	n5
16863.34	25547895.22	7010.39	5941.69	7851.99	4026.71	3.29	73.19	56.12	30718.35	471.34	43.82	4.16	12.46	38.54

我们将上一步得到的阈值对极端值进行替换操作，得到了消除极端值的样本，接下来可以直接套用下列公式对原始指标进行标准化：

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - m\tilde{e}d_k}{1.4826 \cdot m\tilde{a}d_k}$$

R 代码见附录 2。

4.5 各省份地区可持续发展水平计算

根据前文所述，将指标分为积极指标和消极指标，组合积极指标最大值与消极指标最小值构成正理想解；同理积极指标最小值与消极指标最大值组合成负理想解。根据 3.4.1 中对指标的定性，积极指标有：e1（地区生产总值），e2（外商投资企业进出口总额），e3（社会消费品零售总额），e4（工业增加值），e5（第三产业增加值），s1（年末常住人口），s3（普通高中在校学生数），s4（每万人拥有卫生技术人员），s5（医疗卫生机构数），n4（人均公园绿地面积）和 n5（建成区绿化覆盖率），消极指标有 s2（城镇登记失业率），n1（生活垃圾清运量），n2（二氧化硫排放量），n3（氨氮排放量）。有了正负理想解就可以进而求得不同时期各地区到正负理想解距离，分别计算经济、社会、环境三个方面与总体可持续发展水平，以下为自动眼球法下的指标体系结果，GH 方法结果展示于附录。

表 4.6 eye-ball 方法 2017-2020 年结果

	2020				2019				2018				2017			
	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总
北京	0.3257	0.4234	0.8559	0.5350	0.3259	0.5190	0.8254	0.5568	0.3083	0.5110	0.8269	0.5487	0.2826	0.5117	0.8326	0.5423
天津	0.1382	0.2743	0.7191	0.3772	0.1404	0.2473	0.7052	0.3643	0.1408	0.2382	0.7126	0.3638	0.1349	0.2330	0.7594	0.3757
河北	0.2651	0.6833	0.7416	0.5633	0.2612	0.6885	0.7240	0.5579	0.2436	0.6545	0.7145	0.5375	0.2313	0.6088	0.7152	0.5184
山西	0.1427	0.4812	0.7788	0.4676	0.1396	0.4921	0.7472	0.4596	0.1318	0.4406	0.7308	0.4344	0.1194	0.4299	0.7146	0.4213
内蒙古	0.1156	0.3586	0.8188	0.4310	0.1171	0.3467	0.8152	0.4263	0.1102	0.3474	0.8173	0.4250	0.1018	0.3395	0.8236	0.4216
辽宁	0.2073	0.3482	0.6925	0.4160	0.2154	0.3710	0.6702	0.4189	0.2098	0.3966	0.6663	0.4242	0.1917	0.3973	0.6718	0.4202
吉林	0.0887	0.4049	0.7511	0.4149	0.0879	0.3668	0.7339	0.3962	0.0862	0.3324	0.7307	0.3831	0.0838	0.3114	0.6820	0.3591
黑龙江	0.0910	0.3823	0.6918	0.3883	0.0942	0.3390	0.6902	0.3745	0.0896	0.2968	0.6833	0.3566	0.0859	0.2837	0.6642	0.3446
上海	0.5424	0.2970	0.6392	0.4929	0.5300	0.2972	0.6389	0.4887	0.5260	0.2952	0.6253	0.4822	0.4907	0.2535	0.6528	0.4656
江苏	0.8335	0.5988	0.6156	0.6826	0.8438	0.5979	0.6198	0.6872	0.8675	0.5723	0.6180	0.6859	0.8448	0.5508	0.6105	0.6687
浙江	0.5618	0.5734	0.6447	0.5933	0.5548	0.6023	0.6552	0.6041	0.5216	0.5765	0.6528	0.5836	0.4750	0.5542	0.6386	0.5559
安徽	0.3066	0.5366	0.7343	0.5258	0.2970	0.5075	0.7610	0.5219	0.2744	0.4755	0.7594	0.5031	0.2399	0.4590	0.7503	0.4831
福建	0.3711	0.3763	0.7379	0.4951	0.3698	0.3922	0.7523	0.5048	0.3461	0.3671	0.7549	0.4894	0.3075	0.3395	0.7515	0.4662
江西	0.2002	0.4832	0.7895	0.4910	0.1933	0.4848	0.7822	0.4867	0.1786	0.4302	0.7973	0.4687	0.1600	0.4315	0.7833	0.4583
山东	0.5968	0.8046	0.6405	0.6806	0.5874	0.7801	0.6491	0.6722	0.5669	0.7585	0.6532	0.6595	0.5380	0.7456	0.6637	0.6491
河南	0.4432	0.7660	0.6781	0.6291	0.4418	0.7458	0.6790	0.6222	0.4133	0.7534	0.6668	0.6112	0.3764	0.7557	0.6523	0.5948
湖北	0.3308	0.4962	0.6648	0.4973	0.3708	0.5591	0.6522	0.5273	0.3423	0.5411	0.6417	0.5084	0.3037	0.5373	0.6346	0.4919
湖南	0.3067	0.6623	0.6557	0.5415	0.3012	0.6549	0.6821	0.5461	0.2758	0.5522	0.6621	0.4967	0.2562	0.5205	0.6533	0.4767
广东	0.8637	0.7526	0.5720	0.7294	0.8866	0.7704	0.6174	0.7581	0.9267	0.7503	0.6201	0.7657	0.9130	0.7271	0.6094	0.7498
广西	0.1561	0.5492	0.6929	0.4660	0.1538	0.5430	0.7425	0.4798	0.1474	0.5483	0.7311	0.4756	0.1331	0.5415	0.7195	0.4647
海南	0.0362	0.3071	0.7658	0.3697	0.0373	0.3356	0.7659	0.3796	0.0358	0.3237	0.7543	0.3713	0.0314	0.3147	0.7743	0.3735
重庆	0.2245	0.3032	0.7947	0.4408	0.2148	0.4386	0.7999	0.4844	0.1974	0.3918	0.7970	0.4621	0.1817	0.3446	0.7945	0.4403

续表 4.6 eye-ball 方法 2017-2020 年结果

	2020				2019				2018				2017			
	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总
四川	0.4159	0.6978	0.6436	0.5858	0.3966	0.7076	0.6695	0.5912	0.3637	0.6772	0.6604	0.5671	0.3183	0.6331	0.6504	0.5340
贵州	0.1278	0.4260	0.7925	0.4488	0.1210	0.4759	0.7767	0.4579	0.1129	0.4513	0.7546	0.4396	0.1008	0.4371	0.7352	0.4244
云南	0.1685	0.4351	0.7154	0.4397	0.1649	0.4483	0.7151	0.4428	0.1493	0.4120	0.7174	0.4262	0.1320	0.4146	0.7060	0.4175
西藏	0.0092	0.2467	0.7702	0.3420	0.0083	0.2400	0.7399	0.3294	0.0074	0.2327	0.7245	0.3215	0.0062	0.2228	0.6648	0.2980
陕西	0.2119	0.4766	0.7272	0.4719	0.2151	0.5075	0.6996	0.4741	0.2043	0.4939	0.6937	0.4640	0.1795	0.4796	0.7414	0.4668
甘肃	0.0626	0.3792	0.7616	0.4012	0.0620	0.3929	0.7461	0.4004	0.0578	0.3911	0.7123	0.3871	0.0522	0.3929	0.7278	0.3910
青海	0.0173	0.3732	0.7454	0.3786	0.0175	0.3516	0.7349	0.3680	0.0162	0.2803	0.7150	0.3372	0.0144	0.2612	0.7032	0.3263
宁夏	0.0258	0.2332	0.9109	0.3900	0.0254	0.2440	0.8998	0.3898	0.0238	0.2201	0.8841	0.3760	0.0217	0.2084	0.8656	0.3652
新疆	0.0854	0.4291	0.7593	0.4246	0.0882	0.4545	0.7585	0.4338	0.0832	0.4253	0.7403	0.4163	0.0728	0.4121	0.7282	0.4044

表 4.7 eye-ball 方法 2013-2016 年结果

	2016				2015				2014				2013			
	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总
北京	0.2614	0.5110	0.8326	0.5350	0.2449	0.5115	0.8252	0.5272	0.2328	0.5191	0.8344	0.5288	0.2154	0.5269	0.7798	0.5074
天津	0.1265	0.2220	0.7223	0.3569	0.1295	0.2159	0.6785	0.3413	0.1392	0.2070	0.6591	0.3351	0.1359	0.2692	0.6757	0.3603
河北	0.2153	0.5894	0.6931	0.4993	0.2007	0.5825	0.5903	0.4578	0.2063	0.5713	0.5912	0.4563	0.1948	0.5509	0.5708	0.4388
山西	0.1011	0.4193	0.6993	0.4066	0.0974	0.4115	0.6104	0.3731	0.1018	0.4189	0.5963	0.3723	0.0983	0.4449	0.5940	0.3791
内蒙古	0.0937	0.3243	0.8070	0.4083	0.0877	0.3169	0.7054	0.3700	0.0901	0.3168	0.6969	0.3679	0.0833	0.3043	0.6297	0.3391
辽宁	0.1807	0.3869	0.6093	0.3923	0.1804	0.4069	0.5278	0.3717	0.2012	0.4039	0.5232	0.3761	0.1889	0.4130	0.5105	0.3708
吉林	0.0794	0.3084	0.6928	0.3602	0.0753	0.3003	0.6386	0.3381	0.0882	0.2987	0.6260	0.3376	0.0809	0.2777	0.5798	0.3128
黑龙江	0.0821	0.2760	0.6606	0.3396	0.0800	0.2506	0.5902	0.3069	0.0955	0.2517	0.5857	0.3110	0.0914	0.2628	0.5787	0.3110
上海	0.4442	0.2297	0.6442	0.4394	0.4324	0.2258	0.6105	0.4229	0.4197	0.2127	0.6031	0.4118	0.3883	0.3068	0.5830	0.4261
江苏	0.8023	0.5426	0.6050	0.6500	0.7686	0.5322	0.5059	0.6023	0.7359	0.5288	0.5034	0.5894	0.6928	0.5262	0.5052	0.5747
浙江	0.4303	0.5243	0.6393	0.5313	0.4054	0.5111	0.5413	0.4859	0.3889	0.4874	0.5435	0.4733	0.3666	0.5036	0.5388	0.4697
安徽	0.2105	0.4296	0.7426	0.4609	0.1893	0.4380	0.6472	0.4248	0.1692	0.4309	0.6435	0.4145	0.1528	0.4008	0.6194	0.3910
福建	0.2715	0.3340	0.7368	0.4475	0.2550	0.3427	0.6694	0.4224	0.2376	0.3548	0.6603	0.4176	0.2194	0.3493	0.6612	0.4100
江西	0.1439	0.4144	0.7535	0.4373	0.1318	0.4080	0.7078	0.4159	0.1209	0.4083	0.7153	0.4148	0.1104	0.3990	0.7122	0.4072
山东	0.5037	0.7268	0.6517	0.6274	0.4818	0.7294	0.4871	0.5661	0.4818	0.7351	0.5317	0.5829	0.4457	0.7388	0.5148	0.5664
河南	0.3393	0.7292	0.6176	0.5620	0.3149	0.7226	0.4406	0.4927	0.2879	0.7125	0.4412	0.4805	0.2617	0.6765	0.4236	0.4539
湖北	0.2713	0.5460	0.6255	0.4809	0.2476	0.5273	0.5225	0.4325	0.2262	0.4792	0.5293	0.4116	0.2027	0.4319	0.5217	0.3854
湖南	0.2331	0.5003	0.6551	0.4628	0.2152	0.5003	0.5144	0.4100	0.1980	0.4842	0.5007	0.3943	0.1788	0.4600	0.4739	0.3709
广东	0.9122	0.7164	0.5874	0.7387	0.9540	0.7058	0.4299	0.6966	0.9488	0.7042	0.4115	0.6882	0.9152	0.7288	0.4189	0.6876
广西	0.1173	0.4780	0.6973	0.4309	0.1085	0.4641	0.6249	0.3992	0.1024	0.4306	0.6352	0.3894	0.0925	0.3903	0.6253	0.3694
海南	0.0288	0.3011	0.7766	0.3688	0.0290	0.2999	0.7507	0.3599	0.0284	0.2890	0.7862	0.3678	0.0249	0.2878	0.7894	0.3674
重庆	0.1623	0.3143	0.7980	0.4249	0.1493	0.3111	0.7318	0.3974	0.1380	0.3091	0.7352	0.3941	0.1219	0.2896	0.7623	0.3913

续表 4.7 eye-ball 方法 2013-2016 年结果

	2016				2015				2014				2013			
	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总
四川	0.2733	0.6096	0.6523	0.5117	0.2478	0.6128	0.5177	0.4594	0.2392	0.6005	0.4925	0.4441	0.2185	0.5847	0.5000	0.4344
贵州	0.0858	0.4206	0.7340	0.4135	0.0762	0.3987	0.6404	0.3718	0.0606	0.3814	0.6084	0.3501	0.0531	0.3390	0.5971	0.3297
云南	0.1166	0.3607	0.6734	0.3836	0.1060	0.3169	0.6175	0.3468	0.0939	0.3044	0.6273	0.3418	0.0855	0.2955	0.6181	0.3330
西藏	0.0051	0.2187	0.6686	0.2974	0.0042	0.2232	0.8140	0.3471	0.0032	0.2144	0.8152	0.3443	0.0025	0.2026	0.5448	0.2500
陕西	0.1561	0.4697	0.7171	0.4476	0.1459	0.4482	0.6453	0.4131	0.1383	0.4519	0.6376	0.4093	0.1217	0.4362	0.6312	0.3964
甘肃	0.0490	0.4196	0.6956	0.3881	0.0462	0.4229	0.5989	0.3560	0.0464	0.4155	0.6117	0.3578	0.0423	0.3890	0.6092	0.3468
青海	0.0129	0.2380	0.6815	0.3108	0.0111	0.2243	0.6518	0.2958	0.0099	0.2184	0.6735	0.3006	0.0091	0.2069	0.6557	0.2906
宁夏	0.0183	0.1888	0.8501	0.3524	0.0167	0.1707	0.7988	0.3287	0.0148	0.1652	0.7968	0.3256	0.0137	0.1464	0.7964	0.3188
新疆	0.0625	0.4161	0.6892	0.3893	0.0603	0.3759	0.6231	0.3531	0.0594	0.3437	0.6025	0.3352	0.0535	0.3175	0.5925	0.3212

表 4.8 eye-ball 方法 2009-2012 年结果

	2012				2011				2010				2009			
	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总
北京	0.1996	0.5078	0.7616	0.4897	0.1865	0.5104	0.7494	0.4821	0.1645	0.5094	0.7774	0.4837	0.1356	0.5090	0.7832	0.4760
天津	0.1260	0.1957	0.6705	0.3307	0.1133	0.2458	0.6617	0.3403	0.0944	0.2397	0.6229	0.3190	0.0758	0.2322	0.6124	0.3068
河北	0.1845	0.5558	0.5612	0.4338	0.1714	0.5476	0.5674	0.4288	0.1434	0.5408	0.6399	0.4413	0.1202	0.5328	0.5636	0.4055
山西	0.0938	0.4221	0.5709	0.3622	0.0854	0.4076	0.5480	0.3470	0.0694	0.4024	0.5685	0.3468	0.0552	0.3668	0.5372	0.3197
内蒙古	0.0760	0.2932	0.6048	0.3247	0.0684	0.2764	0.5751	0.3066	0.0585	0.2629	0.5546	0.2920	0.0500	0.2687	0.5386	0.2858
辽宁	0.1771	0.3889	0.5016	0.3559	0.1628	0.3787	0.4906	0.3440	0.1379	0.3851	0.5449	0.3560	0.1215	0.3566	0.5239	0.3340
吉林	0.0739	0.2743	0.5879	0.3120	0.0645	0.2723	0.5845	0.3071	0.0535	0.2633	0.6105	0.3091	0.0439	0.2400	0.5903	0.2914
黑龙江	0.0845	0.2719	0.5535	0.3033	0.0765	0.2802	0.5394	0.2987	0.0644	0.2637	0.5766	0.3016	0.0551	0.2508	0.5359	0.2806
上海	0.3748	0.2689	0.5814	0.4084	0.3662	0.3425	0.5771	0.4286	0.3179	0.2694	0.5852	0.3908	0.2535	0.2698	0.5951	0.3728
江苏	0.6621	0.5103	0.4883	0.5536	0.6430	0.5021	0.4847	0.5433	0.5603	0.4957	0.5827	0.5462	0.4456	0.4944	0.5832	0.5077
浙江	0.3434	0.4694	0.5357	0.4495	0.3248	0.4741	0.5105	0.4365	0.2772	0.4526	0.5757	0.4352	0.2250	0.4246	0.5716	0.4071
安徽	0.1345	0.3837	0.5992	0.3725	0.1190	0.3614	0.6020	0.3608	0.0954	0.3584	0.6313	0.3617	0.0760	0.3544	0.6167	0.3490
福建	0.2006	0.3296	0.6508	0.3937	0.1796	0.3170	0.6433	0.3800	0.1510	0.2960	0.6911	0.3794	0.1214	0.2769	0.6740	0.3574
江西	0.0994	0.4146	0.7190	0.4110	0.0903	0.3943	0.7178	0.4008	0.0731	0.3502	0.7693	0.3975	0.0567	0.3424	0.7285	0.3759
山东	0.4101	0.6865	0.4918	0.5295	0.3804	0.6547	0.4925	0.5092	0.3311	0.6374	0.5815	0.5167	0.2810	0.6231	0.5720	0.4920
河南	0.2365	0.6808	0.4065	0.4413	0.2020	0.6485	0.3953	0.4152	0.1662	0.6436	0.4737	0.4278	0.1405	0.6347	0.4695	0.4149
湖北	0.1813	0.4165	0.5229	0.3736	0.1597	0.3842	0.5053	0.3498	0.1296	0.3763	0.5624	0.3561	0.1038	0.3711	0.5623	0.3457
湖南	0.1597	0.4482	0.4680	0.3586	0.1399	0.4356	0.4628	0.3461	0.1135	0.4295	0.5384	0.3605	0.0914	0.4211	0.5235	0.3453
广东	0.8640	0.6782	0.4066	0.6496	0.8145	0.6962	0.4004	0.6370	0.7105	0.6848	0.4339	0.6097	0.5845	0.6673	0.4046	0.5521
广西	0.0843	0.3890	0.6224	0.3652	0.0745	0.3530	0.6150	0.3475	0.0612	0.3261	0.5806	0.3227	0.0499	0.3207	0.5662	0.3123
海南	0.0231	0.2970	0.7765	0.3655	0.0199	0.3090	0.7882	0.3724	0.0143	0.1991	0.7956	0.3363	0.0095	0.1584	0.7740	0.3140
重庆	0.1017	0.3020	0.7741	0.3926	0.0823	0.2593	0.7472	0.3629	0.0607	0.2201	0.7122	0.3310	0.0487	0.1976	0.6666	0.3043

续表 4.8 eye-ball 方法 2009-2012 年结果

	2012				2011				2010				2009			
	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总	经济	社会	环境	总
四川	0.1966	0.5946	0.4956	0.4289	0.1696	0.5527	0.4878	0.4034	0.1343	0.5422	0.5379	0.4048	0.1086	0.5176	0.5223	0.3828
贵州	0.0448	0.3279	0.5515	0.3081	0.0371	0.2640	0.5157	0.2723	0.0292	0.2494	0.5089	0.2625	0.0243	0.2268	0.4701	0.2404
云南	0.0741	0.2729	0.6316	0.3262	0.0637	0.2520	0.6221	0.3126	0.0518	0.2377	0.6514	0.3136	0.0425	0.2205	0.6364	0.2998
西藏	0.0018	0.1747	0.6878	0.2881	0.0011	0.1462	0.6249	0.2574	0.0005	0.0756	0.5765	0.2175	0.0000	0.0931	0.6402	0.2444
陕西	0.1051	0.4394	0.6260	0.3902	0.0898	0.3897	0.6006	0.3600	0.0726	0.3550	0.6317	0.3531	0.0573	0.3431	0.6216	0.3407
甘肃	0.0374	0.3583	0.5583	0.3180	0.0330	0.3171	0.5165	0.2889	0.0262	0.3033	0.5295	0.2863	0.0209	0.2818	0.5326	0.2784
青海	0.0078	0.1821	0.6712	0.2870	0.0066	0.1465	0.6538	0.2690	0.0051	0.1349	0.6251	0.2550	0.0039	0.1325	0.6178	0.2514
宁夏	0.0123	0.1294	0.7699	0.3039	0.0109	0.1020	0.7639	0.2923	0.0083	0.0956	0.7943	0.2994	0.0062	0.0897	0.7854	0.2938
新疆	0.0472	0.3069	0.5887	0.3143	0.0417	0.3124	0.5928	0.3156	0.0332	0.3007	0.6173	0.3170	0.0260	0.2446	0.6158	0.2955

对指标体系结果进行分析如下：

根据 2020 年的计算结果，在经济方面子指标，排名靠前的 5 个省市分别是广东、江苏、山东、浙江和上海，排名靠后的 5 个省份分别是西藏、青海、宁夏、海南和甘肃。大致呈现出由东南沿海向内陆递减的趋势，基本与 4.1 中现状分析和其他学者研究、文献资料等得出结论一致：东南沿海地区由于地理位置、政策扶持等因素发展水平领先于内陆地区，直辖市地区受限于行政区占地面积导致各方面容纳量不同，导致评分较低，由高到低为上海市、北京市、重庆市、天津市，也符合实际情况，其中上海作为我国最发达地区之一更是在与各省份比较中排进前 5。

在社会方面子指标上，山东、河南、广东、四川和河北排名较靠前，宁夏、西藏、天津、上海和重庆排名靠后。可见经济发达地区在社会子指标上也有着不错表现，因为经济发达带来了更加完善的社会设施，也与 4.1 分析相符。而直辖市地区由于占地面积较小，人口、在校学生数、医疗设施数等不能与省份相提并论，所以评分也较低，排名依次为北京、天津、上海和重庆。

在环境子指标上，宁夏、北京、内蒙古、重庆和贵州靠前，广东、江苏、上海、浙江和山东靠后。应当注意的是，这里算得的环境可持续发展能力指标并不是代表的现实生活中环境的好坏，而是根据指标算得，人类社会活动如工业排放和绿化保护算得的对环境造成的压力程度。像广东省和江苏省，拥有很高的经济可持续发展水平，环境方面的指标却很低，是因为经济发达地区的经济活动和人口密度较高，会对自然环境和资源产生更大的压力，以下是一些具体原因：

资源短缺：经济发达地区的人口众多，消耗资源的速度更快，资源短缺的问题更加突出。如果不注重资源保护，可能会出现资源枯竭的情况，给经济和社会发展带来很大的困难。

环境污染：经济发达地区的工业和交通运输等活动产生的废气、废水和废弃物等污染物质更多。如果不注重环境保护，这些污染物质可能会对环境造成严重的破坏，危害人类健康。

生态平衡：经济发达地区的城市化和工业化过程中，很多自然生态系统被破坏，生物多样性受到严重威胁。如果不注重生态保护，可能会导致生态系统崩溃，引发更加严重的环境问题。

因此,相较于经济较为落后的地区,经济发达地区需要更加注重资源环境保护,采取积极的政策和措施,促进经济的可持续发展,维护人类的生存环境和未来发展的空间。同样的,对于一些本就处于生态环境比较脆弱地区的省份,例如高原地区和黄河流域等,也要追求更高的指标水平使当地的生态环境得到更好的维系。

按总指标排名前 5 为广东、山东、江苏、河南和浙江,后 5 为西藏、海南省、天津、青海和黑龙江。可以看出中部偏东南等沿海地区有着更高评分,而内陆如西藏、青海、黑龙江以及产业结构较为单一地区如海南等评分较低,也与实际情况相符,东南沿海地区作为我国发达地区,有着完善的社会配套设施,有着更多的财政支出用于维系社会与资源环境,更能吸引人才流入以形成良性循环,而评分较低地区经济较为落后,又或是地理环境较为偏远,限制因素较多。而由于直辖市在多方面指标较其他省份而言稍低,应另外排名,由高到低依次为:北京、上海、重庆、天津。

整体来看,各地区在 2009-2020 年,经济、社会、环境各方面都处在逐步发展中,但发展速度根据地方资源差异、政策优惠力度等因素有所不同,其中东南沿海地区有着良好的发展基础,加上其他多方面外界因素,有着较高的发展速度,当然也存在例外,如广东省在 2019 年、2020 年,经济、环境及总指标都出现了负增长现象,根据原始指标数据发现主要是由于外商投资企业进出口总额较 2018 年有所减少导致。内陆地区如西藏自治区由于本就处于落后阶段,加上可利用资源有限、人口较少等因素,发展速度较为缓慢。

从结果上来说,本文使用的指标体系可以有效地评估各地可持续发展水平,对各地政府了解地区发展情况制定发展战略具有一定意义。

4.6 本章小结

本章先从 10 项额外的指标直观地分析了各地区发展现状,又基于第 3 章指标体系,代入原始指标后分析了 6 种阈值选取方法的优劣,并从中选取了自动眼球法和 GH 法继续下一步操作,并列出了此次研究所使用的空间中位数向量,罗列了自动眼球法和 GH 法下的研究结果,从结果表明,自动眼球法和 GH 法的差异不大,产生差异的原因在于两种方法对阈值设定不同,在多数指标上,自动眼

球法对于阈值的设定较低,但也存在例外,如 s4(每万人拥有卫生技术人员数), n1 (生活垃圾清运量) 和 n2 (二氧化硫排放理昂) 三项指标 GH 法选取的阈值较低,被认定为极端值的个数更多,且从表 4.4 中可以看出,两种方法下被认定为极端值的样本个数绝大部分保持在样本数(372)的 10%以下,只有一个例外是 GH 方法下 s4(每万人拥有卫生技术人员数)指标的极端值个数达到了 52 个,约占样本数量的 13.98%,并未达到 15%,故本文认为两种方法都可以达到本次研究预期目的,其他方法虽然也可以得到结果,但由于对阈值的设定不太理想,破坏原始数据程度较为严重,故进行排除。本章所得结果为下章得出结论并尝试性地对部分地区提出发展建议提供参考。

5 结论与不足

5.1 结论

近年来,“可持续发展”这一理念已经日渐深入人心。随着全球经济的快速发展和人口的增长,资源环境的压力也日益加剧。因此,实现可持续发展已成为各国共同的任务。这种发展模式要求不仅要满足当前的需求,还要考虑到未来的需求和环境保护的问题。因此,可持续发展不是一朝一夕的事情,而需要长期的努力和坚定的信念。

要实现可持续发展,单靠某一个或几个区域的努力是不够的,需要全国各地甚至全球共同参与。在这个过程中,需要许多要素的支持。其中,最重要的是可持续发展能力的保障。这种发展能力包含了多个方面,需要实现社会、经济以及资源环境系统的持续稳定演进,以获得整体的高增益。在这个过程中,需要坚持创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,以达到持续发展的目标。本文基于对国内外可持续发展及区域可持续发展能力的研究进展的梳理和参考,根据各省份的发展现状,结合可持续发展能力测度体系,在对极端值进行限制后,用基于 Oja 的空间中位数向量的标准化抵抗数据分布的强不对称情况,最后用 TOPSIS 聚合公式求得各地区在经济、社会、环境方面的发展能力子指标以及可持续发展能力总指标,对各省份的可持续发展能力现状和发展趋势进行了较为客观的评价,得出的主要结论有:

(1) 可持续发展能力大致与经济水平情况呈正相关关系,总体上呈现出由东南沿海向西北内地逐渐降低的趋势,其中以广东省、江苏省最高,内地如四川省等省份也保持着不错的发展能力。

(2) 经济发达地区如广东省和江苏省等也因其发达的工业及高度集中的人口数量,在环境方面承受着高于其他地区的压力,因此地方政府在制定发展战略时要充分考虑当地环境治理方面。

(3) 大部分地区的各项发展指标都在逐年稳步提升中,除了个别重大公共事件发生,如 2020 年爆发的新冠疫情对湖北省的经济、社会方面造成了相当大的冲击。

(4) 在使用本文介绍指标体系进行分析时, 还应考虑各行政区占地面积、社会容量等尺度, 如直辖市地区多项指标不可与省份地区同日而语, 若直接从结果进行排名将有失偏颇, 但也可为了解其发达程度提供参考。

本文就目前发展现状及指标体系结果对部分地区给出如下建议:

广东省和江苏省等经济较为发达的地区, 具有优越的地理位置、人力资源和先进的产业基础, 在下一阶段的发展中应当注重加强创新能力, 虽然作为较发达地区, 本身就拥有着不错的创新能力, 但在未来的发展中需要更加注重技术创新和产业升级, 加强知识产权保护, 推动新技术、新产品和新模式的研发和应用, 提升整个地区的科技含量和经济效益; 发展服务业, 随着人们生活水平的提高和城市化进程的加速, 服务业已经成为经济发展的重要引擎; 促进区域协调发展, 发达地区也需要注重区域协调发展, 加强区域间的合作和交流, 推动资源优势互补, 促进区域共同发展。

青海、西藏和甘肃等较为落后的西北地区, 是我国经济较为薄弱地区, 在下一阶段发展中应当注重加强基础设施建设, 西北地区地域广阔但交通不便, 需要加强公路、铁路、航空等建设提高地区互联互通能力, 促进经济发展; 发展旅游业, 西北地区拥有丰富的旅游资源和独特的文化底蕴, 发展旅游业可以增加地方经济收入和就业机会, 改善民生; 加强人才培养, 西北地区教育资源相对不足, 需要加强人才培养, 特别是高层次人才的培养和引进, 为经济发展提供有力的智力支持; 加强生态保护, 西北地区地处内陆干旱带, 水资源和生态环境脆弱, 需要加强生态保护, 保护生态环境, 改善生态质量, 实现可持续发展。

也有其他类似山西省、海南省产业结构较为单一的, 应当注重产业的转型升级, 在维持传统优势产业的基础上发展新兴产业来提高产业附加值, 增加经济活力, 同时也要注意推进人才培养、外资引进以更好推动可持续发展。

5.2 创新点与不足

可能的创新点有: 本文对城市可持续发展相关理论与实践进行分析和阐述, 从而使可持续能力的评测有坚实的科学理论做基础。文中的理论运用、指标选取以及指标体系的建立, 使文章结果的评析较科学。综合评价了各省份 2009-2020 年十二年的城市可持续发展能力水平和趋势, 为各地区的经济、社会及环境的建

设提供科学理论支撑以及决策依据,具备一定的理论和实践意义。以往的可持续发展能力研究大多集中在定性工作上,且以全国为范围的研究较少,从而使可持续发展能力的提高缺少参考目标,本文以各省份为评价和研究单元的可持续发展能力研究更能直观地反映各地区发展情况在国内是什么水平,并较以往的研究做了一些创新,有效减小了极端值或数据分布的强不对称性对指标体系的影响。从经济、社会、环境三个大方面出发,又分为了经济总量,经济结构,人口,就业,素质,健康,环境污染与环境保护八个小层面选取指标,使整个评价及分析更加客观科学且严谨有据。可以更加直观地看出各地区在发展经济中是否有损害社会、环境的可持续性情况发生,有利于真正实现可持续发展目标,走上科学发展道路。对各区域的可持续发展可以带来研究参考,并充实城市可持续发展研究的理论与实践体系。在相关国内外研究的基础之上采取一定研究模型和方法的可持续发展能力进行计算研究并得出有用结论。

但因研究时间及条件还有自身水平的限制,文中的分析和结果仍存有待进一步提高完善之处。首先,所建立的综合评估模型在求正负理想解及距离时候并未计算熵值或权重,由此可能低估或高估某项指标对最终结果的影响;其次,因统计资料的限制,可持续发展能力指标体系的科学性与客观性仍需进一步加强。指标方面可更多更客观更具代表性,本文所选指标肯定有所偏失和疏漏,缺乏制度保障方面指标设计,也有很多指标未采用。部分指标还需进一步细化体现,应进一步探索和改进城市的可持续发展能力数学研究模型;在以省域为研究对象的情况下,直辖市的指标结果虽然仍可用于观察其发达程度,但在分析时应尽量单独讨论。

参考文献

- [1]Adrián Barrera-Roldán,Américo Saldvar-Valdés.Proposal and application of a Sustainable Development Index[J].Ecological Indicators,2002,2(3):251-256.
- [2]Advancing sustainable development:The World Bank and Agenda 21(M).World Bank,1997.
- [3]Aleksandra Łuczak,Małgorzata Just. The positional MEF-TOPSIS method for the assessment of complex economic phenomena in territorial units[J]. Statistics in Transition New Series,2020,21(2):157-172
- [4]A G E,B S G,C M K.Environmental sustainability benchmarking of the U.S. and Canada metropolises:An expert judgment-based multi-criteria decision making approach [J].Cities, 2015,42:31-41.
- [5]Charnes A,Cooper W W.Management models and industrial applications of linear programming[J].Management Science,1957,4(1):38-91
- [6]Cochrane J L,Zeleny M.Multiple Criteria Decision Making[M].Columbia:University of South Carolina Press,1973.
- [7]Fischer D , Mosler K , Mttnen J ,et al.Computing the Oja Median in R : The Package OjaNP[J].Journal of Statistical Software, 2020(8).DOI:10.18637/JSS.V092.I08.
- [8]Katarzyna Szopik-Depczyńska,Katarzyna Cheba,Iwona Bąk,Maciej Stajniak,Alberto Simboli,Giuseppe Ioppolo. The study of relationship in a hierarchical structure of EU sustainable development indicators[J]. Ecological Indicators,2018,90:120-131.
- [9]Łuczak Aleksandra,Just Małgorzata.Sustainable development of territorial units: MCDM approach with optimal tail selection[J]. Ecological Modelling,2021,457.
- [10]Natalie Rosales.Towards the Modeling of Sustainability into Urban Planning:Using Indicators to Build Sustainable Cities[J].Procedia Engineering,2011,21:641-647.
- [11]Oja Hannu. Descriptive statistics for multivariate distributions[J]. Statistics & Probability Letters,1983,1(6):327-332.
- [12]Velasquez M,Hester P T.An analysis of multi-criteria decision making methods[J]. International Journal of Operations Research,2013,10(2):56-66.
- [13]World Commission on Environment&Development,Our Common future[M],Oxford,1987.

- [14] Xu Zeshui. Two Methods of Maximizing Deviations of Multi-attribute Decision Making[J]. Journal of Industrial Engineering and Management, 2001, 15(2): 11-14.
- [15] 鲍健强, 苗阳, 陈锋. 低碳经济: 人类经济发展方式的新变革[J]. 中国工业经济, 2008(04): 153-160.
- [16] 曹飞. 丝绸之路经济带城市可持续发展能力测度、预警与提升对策[J]. 西安财经学院学报, 2015, 28(1): 83-88.
- [17] 曹辉. 基于熵权灰色关联模型的陕西省可持续发展能力探究[J]. 科技进步与对策, 2014, 31(9): 51-55.
- [18] 陈皓, 郑垂勇. 基于 DEA-PCA 模型的地区可持续发展能力测算[J]. 统计与决策, 2013, 11(015): 38-40.
- [19] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009, 44(04): 41-55.
- [20] 陈套. 长江经济带经济可持续发展能力动态评价研究[J]. 调研世界, 2015, (7): 18-22.
- [21] 崔盼盼, 赵媛, 夏四友, 等. 黄河流域生态环境与高质量发展测度及时空耦合特征[J]. 经济地理, 2020, 40(5): 49-57, 80.
- [22] 方芳, 梁旭, 李灿, 熊紫倩. 空间多准则决策研究概述[J]. 测绘科学, 2014, 39(07): 9-12+39.
- [23] 葛世帅, 曾刚, 杨阳, 等. 黄河经济带生态文明建设与城市化耦合关系及空间特征研究[J]. 自然资源学报, 2021, 36(1): 87-102.
- [24] 黄思铭, 欧晓昆, 杨树华等. 可持续发展的评判[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [25] 黄天能, 韦丁莹, 王德光. 基于生态足迹理论的马山县可持续发展能力研究[J]. 资源节约与环保, 2016, (4): 154-159.
- [26] 霍小光, 张旭东, 王敏等. 千年大计, 国家大事——以习近平同志为核心的党中央决策雄安新区规划建设纪实[J]. 新湘评论, 2017(11): 4-5.
- [27] 纪荣婷, 陈梅, 刘溪, 苏良湖, 刘臣炜. 基于能值生态足迹分析的宁海县可持续发展潜力评价[J]. 环境科学研究, 2020, 33(12): 2753-2760.
- [28] 柯丽娜, 王权明. 海岛可持续发展评价模型及其应用——以长海县为例[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(4): 529-533.
- [29] 李天星. 国内外可持续发展指标体系研究进展[J]. 生态环境学报, 2013, 22(06): 1085-1092. DOI:10.16258/j.cnki.1674-5906.2013.06.019.

- [30]刘家旗,茹少峰.基于生态足迹理论的黄河流域可持续发展研究[J].改革,2020(9):139-148.
- [31]刘丽英.基于 PCA 和 DEA 方法的北京市可持续发展能力的评价研究[J].数理统计与管理,2013,32(2):202-210.
- [32]刘琳轲,梁流涛,高攀,等.黄河流域生态保护与高质量发展的耦合关系及交互响应[J].自然资源学报,2021,36(1):176-195.
- [33]刘培哲.可持续发展理论与《中国 21 世纪议程》[J].地学前缘,1996(01):1-9.
- [34]刘曙光,许玉洁,王嘉奕.江河流域经济系统开放与可持续发展关系——国际经典案例及对黄河流域高质量发展的启示[J].资源科学,2020,42(03):433-445.
- [35]刘颖.人与自然和谐统一与经济可持续发展的思考[J].知识经济,2014(19):5-6.
- [36]鲁洋,沈宜菁,黄素珍,杨晓英,李小港.基于生态足迹理论的休宁县可持续发展评价研究[J].复旦学报(自然科学版),2019,58(6):756-763.
- [37]毛静.永州市可持续发展能力综合评价[D].湖南师范大学,2015.
- [38]宁朝山,李绍东.黄河流域生态保护与经济发展协同度动态评价[J].人民黄河,2020,42(12):1-6.
- [39]牛文元.可持续发展的能力建设[J].中国科学院院刊,2006,21(1):7-13.
- [40]欧阳志云,王如松.生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J].世界科技研究与发展,2000(05):45-50.
- [41]潘存德.可持续发展研究概述[J].北京林业大学学报,1994,16(S1):42-78.
- [42]彭倩,黄鹍,孙伟华.上海可持续发展评价体系构建及现状分析[J].上海城市管理,2021,30(03):84-90.
- [43]戚红年,方遥,王维,陈伟.长江经济带可持续发展能力综合评价及其影响因素[J].环境与发,2020,32(03):1-8.
- [44]乔旭宁,杨娅琳,杨永菊,冯德显.基于 DPSIR 模型与 Theil 系数的河南省可持续发展评价[J].地域研究与开发,2017,26(1):18-28.
- [45]邱海平.新发展理念的重大理论和实践价值——习近平新时代中国特色社会主义经济思想研究[J].政治经济学评论,2019,10(06):42-55.
- [46]史习习,杨力.黄河流域 2008-2018 年可持续发展评价与系统协调发展分析[J].水土保持通报,2021,41(04):260-267.
- [47]王慧亮,申言霞,李卓成,等.基于能值理论的黄河流域水资源生态经济系统可持续性评价

- [J].水资源保护,2020,36(6):12-17.
- [48]汪克亮,严慧斌,孟祥瑞.煤炭资源型城市可持续发展能力评价研究——基于熵权因子分析法[J].工业技术经济,2013.12(242):108-117.
- [49]王伟中.国际可持续发展战略比较研究[M].北京:商务印书馆,2000.
- [50]温胜强.宁南山区县域可持续发展能力综合评价[J].环境保护与循环经济,2017,50-55.
- [51]吴鸣然,赵敏.中国不同区域可持续发展能力评价及空间分异[J].上海经济研究 2016,(10):84-92.
- [52]西南财经大学发展研究院、环保部环境与经济政策研究中心课题组,李晓西,夏光等.绿色金融与可持续发展[J].金融论坛,2015,20(10):30-40.
- [53]杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹分析理论与方法[J].地球科学进展,2000(06):630-636.
- [54]叶文虎,栾胜基.论可持续发展的衡量与指标体系[J].世界环境,1996(01):7-10.
- [55]岳思羽,胡仪元,李强.基于主成分分析法的汉江上游山区县可持续发展能力的研究[J].环境科学与管理,2013,38(11):142-146.
- [56]张辽,杨成林.城市群可持续发展水平演化及其影响因素研究——来自中国十大城市群的证据[J].统计与信息论坛,2014,29(1):87-93.
- [57]张翔,李金燕,郭娇.基于熵权—耦合协调度模型的水源地可持续发展能力评价[J].生态经济 2020,36(9):164-168.
- [58]张协奎,安晓明.北海市城市可持续发展能力分析[J].中国人口·资源与环境,2011,21(6)37-43.
- [59]张志强.区域可持续发展的理论与方法[J].中国人口·资源与环境,1994(03):23-29.
- [60]赵建吉,刘岩,朱亚坤,等.黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J].资源科学,2020,42(1):159-171.
- [61]中国 21 世纪议程管理中心,中国科学院地理科学与资源研究所.可持续发展指标体系的理论与实践[M].北京:社会科学文献出版社,2004.
- [62]朱卫未,王海静.区域可持续发展能力综合评估方法与应用研究:基于网络结构 DEA 模型[J].环境科学与技术,2017,40(6):192-199.

附录

附录 1

```

> ojaMedian
function (X, alg = "evolutionary", sp = 1, na.action = na.fail,
  control = ojaMedianControl(...), ...)
{
  x <- y <- 1
  X <- na.action(X)
  if (!all(sapply(X, is.numeric)))
    stop("'X' must be numeric")
  if (is.data.frame(X))
    X <- as.matrix(X)
  alg <- match.arg(alg, c("evolutionary", "exact",
    "bounded_exact", "grid"))
  args = list(...)
  if (is.null(args$debug))
    debug = 0
  else if (args$debug == TRUE)
    debug = bitwNot(as.integer(0))
  else if (!is.numeric(args$debug))
    debug = 0
  else debug = args$debug
  rows <- dim(X)[1]
  cols <- dim(X)[2]
  outvec <- c(1:cols)
  storage.mode(rows) <- "integer"
  storage.mode(cols) <- "integer"
  storage.mode(X) <- "double"
  storage.mode(outvec) <- "double"
  if (alg != "exact")
    SEED <- sample(1:5000, sp)
  if (alg == "evolutionary") {
    icsX <- ics(X, S1 = control$S1, S2 = control$S2, slargs = control$slargs,
      S2args = control$S2args)
    Z <- as.matrix(ics.components(icsX))
    B.inv <- solve(coef(icsX))
    output <- c(rep(0, cols))
    for (i in 1:sp) {
      solution <- .Call("ojaEvo", Z, as.numeric(control$sigmaInit),
        as.numeric(control$sigmaAda), control$adaFactor,
        as.numeric(control$iter), control$useAllSubsets,
        as.numeric(control$nsSubsetsUsed), as.numeric(control$sigmaLog10Dec),
        control$storeSubDet)
      solution.X <- as.vector(solution$best %>% t(B.inv))
      output <- output + solution.X
    }
    RES <- output/sp
  }
  else if (alg == "grid") {
    icsX <- ics(X, S1 = control$S1, S2 = control$S2, slargs = control$slargs,
      S2args = control$S2args)
    Z <- as.matrix(ics.components(icsX))
    B.inv <- solve(coef(icsX))
    action <- 2
    param4 <- debug <- 0
    output <- c(rep(0, cols))
    for (i in 1:sp) {
      solution <- .C("r_oja", rows, cols, Z, vec = outvec,
        y, as.integer(action), as.double(control$seps),
        as.double(control$chi2), as.integer(control$samples),
        as.integer(param4), as.integer(debug))
      solution.X <- as.vector(solution$vec %>% t(B.inv))
      output <- output + solution.X
    }
    RES <- output/sp
  }
  else if (alg == "exact") {
    action <- 1
    param2 <- param3 <- param4 <- 0
    res <- .C("r_oja", rows, cols, X, vec = outvec,
      y, as.integer(action), as.double(control$maxlines),
      as.double(param2), as.integer(param3), as.integer(param4),
      as.integer(debug), 1)
    RES <- res$vec
  }
  else if (alg == "bounded_exact") {
    action <- 6
    param2 <- control$volume
    param3 <- control$boundedExact
    param4 <- 0
    res <- .C("r_oja", rows, cols, X, vec = outvec,
      y, as.integer(action), as.double(control$maxlines),
      as.double(param2), as.integer(param3), as.integer(param4),
      as.integer(debug), 1)
    RES <- res$vec
  }
  names(RES) <- colnames(X)
  return(RES)
}

```

附录 2

```
for (i in 1:372) {
  eyezb[i,1] = (eyez1[i,1]-16863.34)/(1.4826*median(abs(eyez1[,1]-16863.34)))
  eyezb[i,2] = (eyez1[i,2]-25547895.22)/(1.4826*median(abs(eyez1[,2]-25547895.22)))
  eyezb[i,3] = (eyez1[i,3]-7010.39)/(1.4826*median(abs(eyez1[,3]-7010.39)))
  eyezb[i,4] = (eyez1[i,4]-5941.69)/(1.4826*median(abs(eyez1[,4]-5941.69)))
  eyezb[i,5] = (eyez1[i,5]-7851.99)/(1.4826*median(abs(eyez1[,5]-7851.99)))
  eyezb[i,6] = (eyez1[i,6]-4026.71)/(1.4826*median(abs(eyez1[,6]-4026.71)))
  eyezb[i,7] = (eyez1[i,7]-3.29)/(1.4826*median(abs(eyez1[,7]-3.29)))
  eyezb[i,8] = (eyez1[i,8]-73.19)/(1.4826*median(abs(eyez1[,8]-73.19)))
  eyezb[i,9] = (eyez1[i,9]-56.12)/(1.4826*median(abs(eyez1[,9]-56.12)))
  eyezb[i,10] = (eyez1[i,10]-30718.35)/(1.4826*median(abs(eyez1[,10]-30718.35)))
  eyezb[i,11] = (eyez1[i,11]-471.34)/(1.4826*median(abs(eyez1[,11]-471.34)))
  eyezb[i,12] = (eyez1[i,12]-43.82)/(1.4826*median(abs(eyez1[,12]-43.82)))
  eyezb[i,13] = (eyez1[i,13]-4.16)/(1.4826*median(abs(eyez1[,13]-4.16)))
  eyezb[i,14] = (eyez1[i,14]-12.46)/(1.4826*median(abs(eyez1[,14]-12.46)))
  eyezb[i,15] = (eyez1[i,15]-38.54)/(1.4826*median(abs(eyez1[,15]-38.54)))
}
```

附录 3

	2020				2019				2018				2017			
	e	s	n	t	e	s	n	t	e	s	n	t	e	s	n	t
北京市	0.2825	0.3608	0.8486	0.4973	0.2826	0.4586	0.8166	0.5193	0.2674	0.4504	0.8181	0.5120	0.2451	0.4511	0.8241	0.5068
天津市	0.1199	0.2573	0.7049	0.3607	0.1218	0.2528	0.6902	0.3549	0.1221	0.2434	0.6980	0.3545	0.1170	0.2381	0.7471	0.3674
河北省	0.2299	0.7097	0.7285	0.5560	0.2265	0.7151	0.7100	0.5505	0.2113	0.6803	0.7000	0.5305	0.2006	0.6336	0.7007	0.5116
山西省	0.1238	0.4832	0.7676	0.4582	0.1211	0.5030	0.7343	0.4528	0.1143	0.4503	0.7171	0.4272	0.1036	0.4394	0.7001	0.4143
内蒙古自治区	0.1003	0.3378	0.8096	0.4159	0.1016	0.3457	0.8059	0.4177	0.0956	0.3551	0.8080	0.4196	0.0883	0.3470	0.8147	0.4166
辽宁省	0.1798	0.3559	0.6768	0.4042	0.1868	0.3792	0.6534	0.4065	0.1820	0.4054	0.6493	0.4122	0.1663	0.4061	0.6551	0.4091
吉林省	0.0770	0.3736	0.7385	0.3963	0.0762	0.3749	0.7204	0.3905	0.0748	0.3397	0.7170	0.3772	0.0727	0.3183	0.6658	0.3523
黑龙江省	0.0789	0.3850	0.6762	0.3800	0.0817	0.3464	0.6745	0.3676	0.0777	0.3034	0.6672	0.3494	0.0745	0.2900	0.6471	0.3372
上海市	0.4704	0.2691	0.6208	0.4535	0.4597	0.2750	0.6206	0.4518	0.4562	0.2816	0.6063	0.4480	0.4256	0.2505	0.6351	0.4371
江苏省	0.8556	0.5977	0.6350	0.6961	0.8645	0.5996	0.6324	0.6988	0.8756	0.5850	0.6200	0.6935	0.8080	0.5629	0.6141	0.6617
浙江省	0.4873	0.5545	0.6266	0.5561	0.4813	0.5724	0.6376	0.5638	0.4525	0.5576	0.6351	0.5484	0.4120	0.5463	0.6202	0.5262
安徽省	0.2660	0.5485	0.7208	0.5118	0.2577	0.5188	0.7489	0.5084	0.2380	0.4860	0.7472	0.4904	0.2081	0.4692	0.7376	0.4716
福建省	0.3219	0.3846	0.7246	0.4770	0.3208	0.4008	0.7397	0.4871	0.3002	0.3752	0.7425	0.4726	0.2667	0.3470	0.7389	0.4509
江西省	0.1737	0.4939	0.7788	0.4821	0.1676	0.4955	0.7711	0.4781	0.1550	0.4397	0.7870	0.4606	0.1388	0.4411	0.7722	0.4507
山东省	0.5176	0.8211	0.6386	0.6591	0.5095	0.7972	0.6606	0.6557	0.4917	0.7866	0.6551	0.6445	0.4667	0.7706	0.6536	0.6303
河南省	0.3845	0.7829	0.6617	0.6097	0.3832	0.7623	0.6627	0.6027	0.3585	0.8085	0.6499	0.6056	0.3265	0.8064	0.6346	0.5892
湖北省	0.2869	0.5071	0.6478	0.4806	0.3216	0.5714	0.6345	0.5092	0.2969	0.5531	0.6235	0.4912	0.2634	0.5492	0.6161	0.4762
湖南省	0.2660	0.6740	0.6382	0.5261	0.2613	0.6694	0.6660	0.5322	0.2393	0.5644	0.6450	0.4829	0.2223	0.5321	0.6357	0.4633
广东省	0.8818	0.7882	0.6285	0.7662	0.9016	0.7998	0.6762	0.7925	0.9364	0.7792	0.6790	0.7982	0.9131	0.7610	0.6679	0.7807
广西壮族自治区	0.1354	0.5613	0.6773	0.4580	0.1334	0.5550	0.7294	0.4726	0.1279	0.5605	0.7174	0.4686	0.1154	0.5535	0.7052	0.4580
海南省	0.0314	0.3139	0.7539	0.3664	0.0323	0.3430	0.7540	0.3765	0.0311	0.3308	0.7418	0.3679	0.0273	0.3217	0.7628	0.3706
重庆市	0.1947	0.3099	0.7843	0.4296	0.1863	0.4483	0.7897	0.4748	0.1712	0.4005	0.7867	0.4528	0.1576	0.3522	0.7841	0.4313
四川省	0.3607	0.7188	0.6255	0.5684	0.3440	0.7345	0.6527	0.5771	0.3155	0.7035	0.6431	0.5540	0.2761	0.6585	0.6327	0.5224
贵州省	0.1109	0.4325	0.7820	0.4418	0.1050	0.4864	0.7654	0.4523	0.0980	0.4613	0.7421	0.4338	0.0874	0.4468	0.7218	0.4186
云南省	0.1462	0.4332	0.7009	0.4268	0.1430	0.4582	0.7006	0.4339	0.1295	0.4211	0.7031	0.4179	0.1145	0.4237	0.6910	0.4098
西藏自治区	0.0080	0.2521	0.7585	0.3395	0.0072	0.2453	0.7267	0.3264	0.0064	0.2378	0.7105	0.3182	0.0054	0.2277	0.6478	0.2936
陕西省	0.1838	0.4354	0.7133	0.4442	0.1865	0.4698	0.6843	0.4469	0.1772	0.4732	0.6781	0.4428	0.1557	0.4700	0.7282	0.4513
甘肃省	0.0543	0.3876	0.7495	0.3972	0.0538	0.4016	0.7332	0.3962	0.0501	0.3998	0.6977	0.3825	0.0453	0.4016	0.7140	0.3870
青海省	0.0150	0.3556	0.7325	0.3677	0.0151	0.3479	0.7215	0.3615	0.0141	0.2865	0.7005	0.3337	0.0125	0.2670	0.6882	0.3225
宁夏回族自治区	0.0224	0.2182	0.9064	0.3823	0.0220	0.2322	0.8947	0.3830	0.0206	0.2164	0.8782	0.3717	0.0188	0.2130	0.8588	0.3635
新疆维吾尔自治区	0.0741	0.4386	0.7471	0.4199	0.0765	0.4646	0.7462	0.4291	0.0722	0.4347	0.7271	0.4113	0.0632	0.4212	0.7144	0.3996

附录 4

	2016				2015				2014				2013			
	e	s	n	t	e	s	n	t	e	s	n	t	e	s	n	t
北京市	0.2268	0.4504	0.8241	0.5004	0.2124	0.4509	0.8163	0.4932	0.2019	0.4587	0.8260	0.4955	0.1869	0.4666	0.7686	0.4740
天津市	0.1097	0.2269	0.7082	0.3483	0.1123	0.2206	0.6622	0.3317	0.1208	0.2116	0.6418	0.3247	0.1179	0.2550	0.6592	0.3440
河北省	0.1868	0.6102	0.6775	0.4915	0.1741	0.6026	0.5695	0.4487	0.1790	0.5920	0.5705	0.4471	0.1690	0.5699	0.5515	0.4301
山西省	0.0877	0.4286	0.6840	0.4001	0.0845	0.4205	0.5907	0.3652	0.0883	0.4282	0.5758	0.3641	0.0853	0.4547	0.5734	0.3711
内蒙古自治区	0.0813	0.3314	0.7972	0.4033	0.0760	0.3239	0.6905	0.3635	0.0781	0.3238	0.6863	0.3628	0.0723	0.3111	0.6197	0.3343
辽宁省	0.1567	0.3954	0.5894	0.3805	0.1565	0.4159	0.5039	0.3588	0.1745	0.4129	0.4990	0.3621	0.1638	0.4221	0.4857	0.3572
吉林省	0.0689	0.3152	0.6772	0.3538	0.0653	0.3070	0.6202	0.3309	0.0765	0.3053	0.6070	0.3296	0.0701	0.2838	0.5584	0.3041
黑龙江省	0.0712	0.2821	0.6433	0.3322	0.0694	0.2561	0.5693	0.2983	0.0828	0.2573	0.5646	0.3016	0.0793	0.2686	0.5574	0.3017
上海市	0.3853	0.2348	0.6261	0.4154	0.3750	0.2308	0.5907	0.3988	0.3641	0.2174	0.5829	0.3881	0.3368	0.2417	0.5618	0.3801
江苏省	0.7181	0.5546	0.5886	0.6204	0.6820	0.5440	0.4808	0.5689	0.6459	0.5405	0.4782	0.5549	0.6011	0.5378	0.4801	0.5397
浙江省	0.3732	0.5272	0.6210	0.5071	0.3517	0.5224	0.5180	0.4640	0.3373	0.4982	0.5203	0.4520	0.3180	0.5147	0.5154	0.4494
安徽省	0.1826	0.4391	0.7295	0.4504	0.1642	0.4476	0.6292	0.4137	0.1467	0.4405	0.6254	0.4042	0.1325	0.4097	0.6000	0.3808
福建省	0.2355	0.3414	0.7234	0.4335	0.2212	0.3503	0.6526	0.4080	0.2061	0.3626	0.6431	0.4039	0.1903	0.3571	0.6439	0.3971
江西省	0.1248	0.4235	0.7410	0.4298	0.1143	0.4170	0.6930	0.4081	0.1049	0.4173	0.7008	0.4077	0.0957	0.4078	0.6976	0.4004
山东省	0.4369	0.7454	0.6341	0.6055	0.4179	0.7488	0.4721	0.5463	0.4179	0.7539	0.5190	0.5636	0.3866	0.7551	0.5011	0.5476
河南省	0.2943	0.7734	0.5982	0.5553	0.2731	0.7614	0.4121	0.4822	0.2497	0.7463	0.4128	0.4696	0.2270	0.7093	0.3943	0.4435
湖北省	0.2353	0.5580	0.6064	0.4666	0.2148	0.5390	0.4982	0.4173	0.1962	0.4898	0.5054	0.3971	0.1758	0.4415	0.4974	0.3716
湖南省	0.2022	0.5114	0.6376	0.4504	0.1866	0.5114	0.4897	0.3959	0.1717	0.4950	0.4753	0.3807	0.1551	0.4701	0.4472	0.3575
广东省	0.8583	0.7581	0.6447	0.7537	0.8544	0.7553	0.4490	0.6862	0.8414	0.7197	0.4214	0.6609	0.8013	0.7449	0.4152	0.6538
广西壮族自治区	0.1018	0.4886	0.6819	0.4241	0.0941	0.4744	0.6058	0.3914	0.0888	0.4401	0.6166	0.3818	0.0802	0.3990	0.6063	0.3618
海南省	0.0250	0.3078	0.7652	0.3660	0.0251	0.3065	0.7380	0.3566	0.0246	0.2954	0.7753	0.3651	0.0216	0.2942	0.7787	0.3648
重庆市	0.1408	0.3213	0.7877	0.4166	0.1295	0.3180	0.7181	0.3885	0.1197	0.3159	0.7218	0.3858	0.1057	0.2960	0.7502	0.3840
四川省	0.2371	0.6329	0.6346	0.5015	0.2150	0.6376	0.4932	0.4486	0.2075	0.6252	0.4668	0.4331	0.1895	0.6090	0.4747	0.4244
贵州省	0.0745	0.4299	0.7205	0.4083	0.0661	0.4075	0.6221	0.3652	0.0525	0.3898	0.5885	0.3436	0.0461	0.3465	0.5766	0.3231
云南省	0.1011	0.3687	0.6569	0.3755	0.0919	0.3239	0.5981	0.3380	0.0814	0.3111	0.6084	0.3336	0.0742	0.3020	0.5987	0.3250
西藏自治区	0.0044	0.2236	0.6517	0.2932	0.0036	0.2282	0.8045	0.3454	0.0028	0.2192	0.8058	0.3426	0.0022	0.2071	0.5217	0.2436
陕西省	0.1354	0.4743	0.7027	0.4375	0.1266	0.4581	0.6273	0.4040	0.1199	0.4619	0.6192	0.4004	0.1056	0.4459	0.6125	0.3880
甘肃省	0.0425	0.4289	0.6802	0.3838	0.0401	0.4322	0.5786	0.3503	0.0402	0.4247	0.5919	0.3523	0.0367	0.3976	0.5893	0.3412
青海省	0.0112	0.2433	0.6653	0.3066	0.0097	0.2292	0.6342	0.2910	0.0086	0.2232	0.6569	0.2962	0.0079	0.2115	0.6383	0.2859
宁夏回族自治区	0.0159	0.1929	0.8425	0.3504	0.0145	0.1745	0.7885	0.3258	0.0129	0.1689	0.7864	0.3227	0.0119	0.1496	0.7861	0.3159
新疆维吾尔自治区	0.0542	0.4253	0.6734	0.3843	0.0523	0.3842	0.6039	0.3468	0.0516	0.3513	0.5823	0.3284	0.0464	0.3245	0.5718	0.3142

附录 5

	2013				2012				2011				2010				2009			
	e	s	n	t	e	s	n	t	e	s	n	t	e	s	n	t	e	s	n	t
北京市	0.1869	0.4666	0.7686	0.4740	0.1731	0.4586	0.7495	0.4604	0.1617	0.4497	0.7367	0.4494	0.1427	0.4487	0.7661	0.4525	0.1176	0.4484	0.7722	0.4461
天津市	0.1179	0.2550	0.6592	0.3440	0.1093	0.2000	0.6538	0.3210	0.0983	0.2512	0.6445	0.3314	0.0819	0.2450	0.6038	0.3102	0.0657	0.2374	0.5928	0.2986
河北省	0.1690	0.5699	0.5515	0.4301	0.1600	0.5767	0.5462	0.4276	0.1487	0.5711	0.5505	0.4254	0.1244	0.5640	0.6216	0.4367	0.1042	0.5559	0.5414	0.4005
山西省	0.0953	0.4547	0.5734	0.3711	0.0813	0.4314	0.5530	0.3553	0.0740	0.4166	0.5361	0.3422	0.0602	0.4113	0.5466	0.3394	0.0479	0.3749	0.5148	0.3125
内蒙古自治区	0.0723	0.3111	0.6197	0.3343	0.0659	0.2997	0.5958	0.3205	0.0593	0.2825	0.5946	0.3021	0.0508	0.2687	0.5431	0.2875	0.0433	0.2747	0.5262	0.2814
辽宁省	0.1638	0.4221	0.4857	0.3572	0.1536	0.3975	0.4763	0.3425	0.1413	0.3870	0.4648	0.3310	0.1196	0.3937	0.5218	0.3450	0.1054	0.3645	0.4997	0.3232
吉林省	0.0701	0.2838	0.5584	0.3041	0.0641	0.2804	0.5669	0.3038	0.0560	0.2784	0.5634	0.2992	0.0464	0.2692	0.5907	0.3021	0.0381	0.2454	0.5695	0.2943
黑龙江省	0.0793	0.2686	0.5574	0.3017	0.0733	0.2780	0.5308	0.2940	0.0663	0.2864	0.5160	0.2896	0.0559	0.2696	0.5551	0.2935	0.0478	0.2564	0.5123	0.2722
上海市	0.3368	0.2417	0.5618	0.3801	0.3251	0.2749	0.5601	0.3867	0.3176	0.2781	0.5556	0.3838	0.2757	0.2092	0.5641	0.3497	0.2199	0.2153	0.5745	0.3366
江苏省	0.6011	0.5378	0.4801	0.5397	0.5743	0.5216	0.4623	0.5194	0.5578	0.5132	0.4585	0.5098	0.4860	0.5067	0.5615	0.5181	0.3865	0.5053	0.5620	0.4846
浙江省	0.3180	0.5147	0.5154	0.4494	0.2979	0.4797	0.5121	0.4299	0.2817	0.4846	0.4857	0.4173	0.2404	0.4626	0.5541	0.4191	0.1952	0.4340	0.5498	0.3930
安徽省	0.1325	0.4097	0.6000	0.3808	0.1167	0.3922	0.5788	0.3626	0.1032	0.3694	0.5818	0.3515	0.0827	0.3663	0.6126	0.3539	0.0659	0.3623	0.5973	0.3418
福建省	0.1903	0.3571	0.6439	0.3971	0.1740	0.3369	0.6331	0.3813	0.1558	0.3240	0.6252	0.3683	0.1310	0.3026	0.6754	0.3696	0.1053	0.2831	0.6574	0.3486
江西省	0.0957	0.4078	0.6976	0.4004	0.0863	0.4237	0.7047	0.4049	0.0783	0.4030	0.7035	0.3949	0.0634	0.3579	0.7576	0.3930	0.0492	0.3500	0.7147	0.3713
山东省	0.3866	0.7551	0.5011	0.5476	0.3557	0.7017	0.4770	0.5115	0.3300	0.6692	0.4736	0.4909	0.2872	0.6515	0.5712	0.5033	0.2438	0.6368	0.5613	0.4806
河南省	0.2270	0.7093	0.3943	0.4435	0.2051	0.7170	0.3781	0.4334	0.1752	0.6809	0.3744	0.4102	0.1441	0.6786	0.4541	0.4256	0.1219	0.6784	0.4511	0.4171
湖北省	0.1758	0.4415	0.4974	0.3716	0.1572	0.4257	0.4987	0.3605	0.1386	0.3927	0.4802	0.3371	0.1124	0.3846	0.5402	0.3457	0.0900	0.3793	0.5401	0.3365
湖南省	0.1551	0.4701	0.4472	0.3575	0.1385	0.4581	0.4410	0.3459	0.1214	0.4452	0.4355	0.3340	0.0985	0.4390	0.5149	0.3508	0.0793	0.4304	0.4993	0.3363
广东省	0.8013	0.7449	0.4152	0.6538	0.7495	0.6932	0.4074	0.6167	0.7065	0.7116	0.3827	0.6003	0.6163	0.7373	0.4518	0.6018	0.5070	0.7030	0.4236	0.5446
广西壮族自治区	0.0802	0.3990	0.6063	0.3618	0.0731	0.3976	0.6033	0.3580	0.0646	0.3608	0.5954	0.3403	0.0531	0.3334	0.5593	0.3153	0.0433	0.3278	0.5441	0.3051
海南省	0.0216	0.2942	0.7787	0.3648	0.0200	0.3036	0.7652	0.3629	0.0172	0.3158	0.7774	0.3702	0.0124	0.2035	0.7852	0.3337	0.0082	0.1619	0.7626	0.3109
重庆市	0.1057	0.2960	0.7502	0.3940	0.0882	0.3087	0.7626	0.3965	0.0714	0.2850	0.7344	0.3569	0.0527	0.2250	0.6976	0.3251	0.0422	0.2020	0.6496	0.2979
四川省	0.1895	0.6090	0.4747	0.4244	0.1705	0.6090	0.4700	0.4165	0.1471	0.5649	0.4618	0.3913	0.1165	0.5542	0.5144	0.3950	0.0942	0.5290	0.4981	0.3738
贵州省	0.0461	0.3465	0.5766	0.3231	0.0389	0.3351	0.5288	0.3009	0.0321	0.2699	0.4911	0.2644	0.0253	0.2549	0.4839	0.2547	0.0211	0.2319	0.4432	0.2321
云南省	0.0742	0.3020	0.5987	0.3260	0.0643	0.2790	0.6128	0.3187	0.0552	0.2575	0.6029	0.3052	0.0450	0.2429	0.6337	0.3072	0.0368	0.2254	0.6179	0.2934
西藏自治区	0.0022	0.2071	0.5217	0.2436	0.0015	0.1785	0.6719	0.2840	0.0010	0.1494	0.6059	0.2521	0.0004	0.0773	0.5550	0.2109	0.0000	0.0951	0.6219	0.2390
陕西省	0.1056	0.4459	0.6125	0.3880	0.0912	0.4491	0.6070	0.3824	0.0779	0.3983	0.5803	0.3522	0.0630	0.3629	0.6130	0.3463	0.0497	0.3507	0.6023	0.3342
甘肃省	0.0367	0.3976	0.5893	0.3412	0.0325	0.3662	0.5358	0.3115	0.0286	0.3241	0.4919	0.2815	0.0228	0.3100	0.5056	0.2795	0.0181	0.2880	0.5089	0.2717
青海省	0.0079	0.2115	0.6383	0.2859	0.0067	0.1861	0.6545	0.2825	0.0058	0.1497	0.6362	0.2639	0.0044	0.1379	0.6060	0.2494	0.0034	0.1354	0.5983	0.2457
宁夏回族自治区	0.0119	0.1496	0.7861	0.3159	0.0107	0.1322	0.7583	0.3004	0.0095	0.1043	0.7520	0.2886	0.0072	0.0977	0.7839	0.2963	0.0054	0.0917	0.7746	0.2905
新疆维吾尔自治区	0.0464	0.3245	0.5718	0.3142	0.0410	0.3137	0.5678	0.3075	0.0362	0.3193	0.5722	0.3092	0.0288	0.3074	0.5978	0.3113	0.0225	0.2500	0.5963	0.2896

致 谢

时间有如白驹过隙，合上双眼还是当时拖着行李箱踏入校门的场景，然而不久以后，从五湖四海汇聚于兰财的我们又要奔赴向四面八方。在毕业论文完成之际，我感慨万千。硕士论文的写作是艰辛漫长的，固然，这是我个人努力的结晶，但这仅仅是其中一环——如若写作路上没有老师、同学及亲朋好友的指导与鼓励，这篇文章也将难以完成，所以在此我要向他们表示诚挚的感激之情。

首先要感谢我的导师 XXX 教授，他是我学习的榜样，同时也要感谢兰州财经大学 XXX、XXX、XXX 等各位任课老师，如果没有他们在学习上的谆谆教导，对各种定理定律的详尽阐述，在校期间我就学习不到这么多的知识，虽然没能做到将老师教的全部学会，但我个人能力欠缺，也让本人感到十分愧疚。

其次要感谢兰财统计学院的 XX、XX、XX、XXX、XXX 等同学还有师兄师姐以及各位好友对我的指导和帮助，感谢他们不仅在学术上拉着我前行，也在三年的校园生活中给予了我许多帮助，支持着我度过了很多难关。

最后还要感谢始终陪伴着我的父母，感谢他们一直对我无私的关爱与理解，还有弟弟在我码字时送来的小零食。家人们的关心是我坚持学习道路最重要的支柱。

此外，本篇论文参阅了大量国内外可持续发展方面的著作和资料，如果没有前人在这方面的优秀研究成果，是不可能完成的，所以在这里也要向这些资料的作者表示诚挚的感谢以及深深的敬佩，衷心感谢他们所付出的辛勤科研，为社会带来这么多先进理论知识。

对所有曾经给予过我帮助和支持的人们，道一声感谢！

每念离别，心有万千。师恩浩荡、同学情深、亲朋常念，我将永远铭记这三年来的生活和学习经历，这是一段可贵、充实的时光，更是一笔独一无二的财富！