

论文编号：A0063

天津市经济可持续发展能力综合评价研究 ——基于数据包络法下的实证分析

论文题目：天津市经济可持续发展能力综合评价研究
——基于数据包络法下的实证分析

参赛学校：天津商业大学

参赛成员（作者）：温仕龙、刘可馨、郭乐音

指导老师：滕树军 刘冬

摘要

经济可持续发展是指经济高效率、可持续发展,是“既能满足当代人的需求,又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”。中国经济持续多年高速发展,但伴随着经济快速发展的同时,环境污染、资源消耗等问题也再不断抵制着经济发展所带来的成果。因此,经济可持续发展能力的统计测度研究就显得尤为重要。本文选取天津市经济可持续发展能力作为研究对象,通过对研究对象进行探索分析以求合理描述天津市当前经济可持续发展状况,并试图找到制约其发展的因素,提出合理有效的建议措施。

本文采用主成分分析法、数据包络分析法,构建 DEA-C²R 模型,通过 Python、DEAP 2.1 等程序处理软件进行编程、解模,最终实现研究目的。

首先我们依据科学性原则选取一系列指标,并依据其投入性产出性不同进行划分,构建出共七个子系统的天津市经济可持续发展能力评价体系。依据评价体系我们通过政府官方网站收集可靠数据并对其进行处理,大致分为三步:数据无量纲化、负影响指标处理、主成分分析,最终得出七个综合评价指标。随后搭建 DEA-C²R 模型,利用 DEAP 2.1 解模,对结果进行分析得:天津市近十年来有六年显示 DEA 有效,投入产出达到最优,资源得到最大化利用,走在可持续发展道路上。对于 DEA 无效年份,天津市应统筹发展,实时调整劳动力、资源消耗、的投入量,重点关注社会发展问题,具体表现为:大力发展教育、科研事业,完善人才引进计划;加强对第二产业监管力度,推进循环高效型产业;加强公共产业建设,从而提高效率指数。

本文针对经济可持续发展能力的统计测度研究为城市规划与发展提供了一种新的思路,具有一定意义的参考价值。

关键词: 可持续发展 数据包络分析法 DEA-C²R 模型 主成分分析 评价指标体系

目录

摘要.....	I
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究内容及意义	1
1.3 研究方法	2
1.4 文章结构	3
第二章 文献综述.....	4
2.1 经济可持续发展的相关研究	4
2.2 经济可持续发展能力评价体系相关研究综述	5
2.3 DEA 方法在评价问题中的应用.....	5
第三章 研究区域概况.....	6
3.1 地理环境概况	6
3.2 社会经济现状	7
3.3 经济结构概况	8
3.4 资源环境现状	9
第四章 评价指标体系构建.....	10
4.1 指标筛选原则	10
4.2 指标选择	11
4.3 评价体系搭建	12
第五章 数据优化处理.....	14
5.1 数据归一化处理	14
5.1.1 无量纲化处理.....	14

5.1.2 负影响指标处理.....	15
5.2 主成分分析	15
第六章 数据包络分析 (DEA-C ² R) 模型建立及求解	18
6.1 DEA 方法基本原理.....	18
6.1.1 DEA 方法概念	18
6.1.2 DEA—C ² R 模型原理及含义.....	19
6.2 使用 DEA 方法求解	20
6.3 DEA 评价分析/DMU 有效性影响因素分析	21
第七章 结论及建议.....	22
7.1 研究结论	22
7.2 对策建议	23
7.3 发展展望	24
参考文献.....	24
致谢.....	25
附录.....	26

图表清单

图 1	技术路线图	3
图 2	天津市 2010-2019 年经济发展状况	7
图 3	天津市 2010-2019 年人均消费与支出状况	7
图 4	天津市 2010-2019 年三大产业生产总值情况	8
图 5	天津市 2010-2019 年三大产业 GDP 占比	9
图 6	可持续发展能力评价体系	13
图 7	天津市 2010-2019 年投入综合指数变化趋势	17
图 8	天津市 2010-2019 年产出综合指数变化趋势	17
图 9	DEA-C ² R 模型纵向研究思路图	19
表 1	可持续发展能力评价体系	13
表 4	DEA—C ² R 模型求解结果	20
表 2	子系统综合评价指数表达式	26
表 3	综合评价指数表	26
表 5	不同方案下的 DEA 评价结果（表中为 值）	27
表 6	天津市投入冗余及产出不足状况	27

第一章 绪论

1.1 研究背景

可持续发展的经济增长模式指的是自然、经济、社会的统一协调发展。最初这个概念只用于对自然环境的保护方面。今天，可持续发展已经成为全世界、全人类的共同理念，但是如何实现资源环境与人类社会的经济发展、社会进步可持续性，在理论与实践上仍需开展长期深入的研究与探索。

我国可持续发展战略包括经济可持续发展、生态可持续发展、社会可持续发展。其中经济可持续发展是重要的一部分，我们要在经济发展中注重保护生态环境、节约资源，形成社会、生态和经济的良性循环，使得各方面的发展都能够持续、有后劲。形成这个良性循环的可持续发展系统需要综合性考量各个方面内容，不断挖掘经济可持续发展的潜力。

国家根据我国的实际国情制定了可持续发展战略，但是在各个地区、各个省市的实际情况与区域特点却并不相同，所以无法制定一种全国通用的发展模式与评价标准。因此，在各地区探寻一种最佳的结合地区特点与可持续理念的发展道路，实现各地区生态环境、资源利用、经济发展、社会进步协同发展，使经济、生态、社会均达到效益最大化，即各地区走可持续发展道路是当今需进行研究探索的一个重要问题。本文以城市为地区的区分单位，选取天津市为研究对象，在以上的研究背景下，对天津市的可持续发展能力进行研究。

1.2 研究内容及意义

本文针对研究对象天津市，进行可持续发展能力评估的实例研究。通过研究其近年来经济、环境、资源、社会的发展情况，对其各方面现状进行分析探究其走可持续发展道路的能力。

天津市作为国家中心城市,是我国典型的港口工业城市。天津市在经济发展的同时,伴随着环境问题的加重,因此可持续发展问题是摆在天津市面前的重大问题。本文对天津市可持续发展能力的研究所建立的评价指标体系与模型不仅对天津市本地制定下一步可持续发展战略具有重要意义,也对带动周边整个华北地区的经济发展具有意义。同时,本文的研究思路对我国其他工业城市的可持续发展能力的探究也具有一定的借鉴与参考价值,提供了可以操作的思路模式。

1.3 研究方法

国内外学者针对经济可持续发展能力的研究以逐渐深入,学者们运用多种方式分析数据并建立模型使之达到自己的研究目的,经过整理我们总结了几种常用的分析方式:层次分析法(AHP)、模糊综合评价法(FUZZY)、BP神经网络评价法(ANN)、熵权法(EWM)、灰色关联分析法(GRAM)、主成分分析法(PCA)、数据包络分析法(DEA)等。由于不同的研究方法侧重点存在差异,这将会造成了其适用对象也并不相同。因此适当的选取研究方式是尤为重要的。

数据包络分析法(DEA)具有以下优点:(1)DEA方法能够完成多项投入与多项产出的效率评价,即处理多投入与多产出问题,很好地适合了我们的研究目标要求。(2)DEA方法所产生的权重不受人主观因素的干扰,使得该方法具有一定的客观性。(3)DEA方法不会受到投入产出量纲不同的干扰,在不保证所有的决策单元(DMU)使用相同的计量单位下,仍能够求出效率值并给出效率评价结果。(4)DEA方法针对非效率的DMU能够通过松弛变量分析了解其资源使用情况,提出了合理的改善方式,从而提供出一条合理的改善效率的途径。基于以上四点优势,我们最终决定采用DEA分析法,展开对天津市经济可持续发展能力的研究。

由于经济可持续发展能力水平评价指标体系所涉及的指标因素众多,难以排除指标之间的重复性对评价结果的科学性及其合理性造成的干扰,本文考虑采用主

成分分析法,利用主成分分析法将众多具有相关性的评价指标进行降维处理从而降低或消除信息重复对评价结果产生的影响,在保证数据失真较小的前提下,将众多的指标集降维成几个综合指标,并将其分别作为 DEA 分析法的成本型与效益型指标,从而达到简化模型的作用。

以下为本文的技术路线图

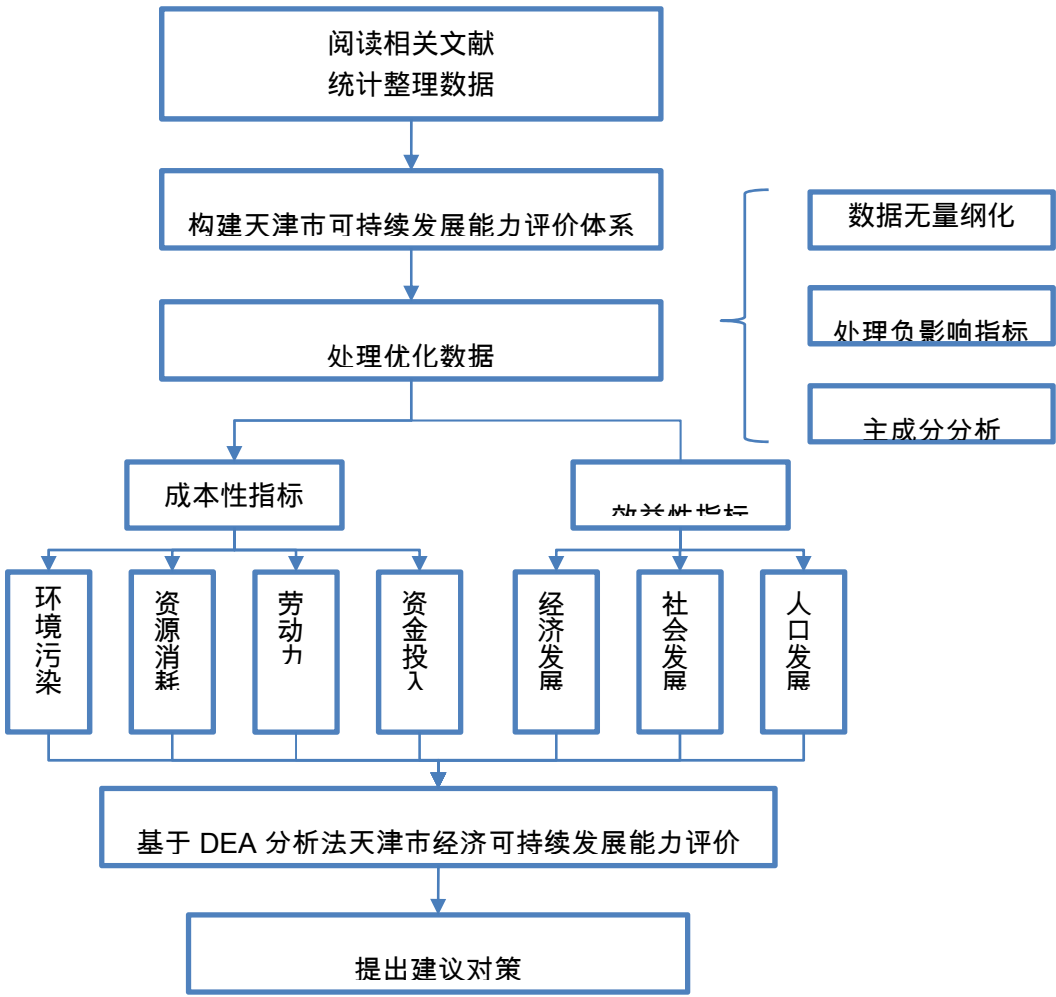


图 1 技术路线图

1.4 文章结构

第一章,本章简要介绍了选题背景、研究内容及意义、研究方法三方面内容,表明了我们的研究内容是天津市经济可持续发展能力评估,研究方法是主成分分

析法与数据包络分析法。

第二章，本章主要探究了可持续发展能力评价体系相关研究、DEA 模型在研究中的重要应用，文献的查阅是我们展开研究的基础性的一步，给予了我们一定的灵感与启发。

第三章，本章从天津市的地理环境、社会现状、经济结构、资源环境四个方面着手，全方面多角度地介绍了我们所研究的区域概况，并着重分析了天津市目前经济发展的现状与面临的瓶颈。

第四章，本章进行了评价体系搭建，在保证科学性与数据获取可操作性的前提下首先进行了五个层面的指标选取，接着基于 DEA 方法将指标分为两大类：投入与产出，并划分为七个子系统，搭建了城市可持续发展能力评价指标体系。

第五章，本章介绍了我们初步处理数据的具体步骤，大致分为以下三步：数据无量纲化、负影响指标处理、主成分分析。依据以上三个步骤对数据进行处理，我们可以将复杂，重合度较高的数据简化为 7 个综合评价指数，为构建 DEA 模型奠定基础。

第六章，本章进行了模型的搭建与求解，我们使用 DEAP 2.1 完成 DEA-C²R 模型的构建与求解，分析 10 个决策单元的 DEA 有效性、技术有效性、规模有效，在此基础上，我们使用对比分析进行了 DMU 有效性影响因素分析。

第七章，本章基于以上分析，归纳总结，整理出本文的研究结果并从结论出发提出相应的建议，最后提出发展展望。

第二章 文献综述

2.1 经济可持续发展的相关研究

游绍立运用层次分析法及特尔斐法对重庆经济可持续发展能力展开研究，作者认为一个区域的良性发展最终可以归结为该区域经济的可持续发展，而经济的

可持续发展也不仅仅只局限于经济体系内部。

高原,黄诗曼通过构建 VAR 模型展开对广东省经济可持续发展能力的研究,研究表明广东省环境保护与产业升级对经济发展都有明显的影响。

随着对经济可持续发展的认识不断深化,国内外关于此类的研究著作也越来越多。学者们依据自己的研究目标,选取适当的研究方式并合理地将研究方法调整修改与结合。因研究要求的不同,所构建的模型差异化也越来越显著。

2.2 经济可持续发展能力评价体系相关研究综述

联合国可持续发展指标体系是在社会、环境、经济、制度四个方面设立“领域——子领域”框架指标体系,共计 15 个领域、38 个子领域、58 个核心指标的评价体系。该指标体系需要根据各国实际情况进行更新替换。

汪涛、张家明等从示范导向的角度构建了示范区评估指标体系,其中六个一级指标分别为发展基础、发展经验、重视性、创新性、辐射性和可塑性,该体系实现了在不同城市进行数据收集与评价的过程简化,评价体系是实用性与可操作性提高了。

翟璐遵循循环经济的 3R 原则构建的经济可持续发展评价指标体系包含六个子系统,分别为经济子系统、环境子系统、社会子系统、资源子系统、人口子系统和科技子系统,利用线性综合评价法对辽宁省经济可持续发展能力进行了综合评价。

2.3 DEA 方法在评价问题中的应用

通过构建 DEA 模型,企业管理者可以了解其中的无效单位及严重程度,在比较不同生产单位的过程中发现解决方案。由于其具有的特殊优势,例如:能够处理多投入与多产出的指标集,使之逐渐应用于不同的行业中。

于丽英、刘宏筭、陈子璇通过构建广义面板三阶段 DEA 评价模型展开对投入要素的投影分析,以此为基础从预先设定的投入、产出、环境三个维度针对提高长江经济带绿色治理效率提出了参考意见。

胡玫、郑伟通过运用 DEA-Malmquist 指数模型并结合时事政治进行了中国对东盟直接投资的效率研究与分析,由研究结论给出导致效率不同的原因及具体的发展建议。为优化中国对东盟各国投资质量提供了宝贵意见。

王俊瑛选用了假定规模报酬不变条件下提出的 DEA-CCR 模型与假定规模报酬可变条件下提出的 DEA-BCC 模型,通过对综合效率、纯技术效率、规模效率及规模报酬四个方面对高职院校科研绩效进行分析评价,并针对不同角度分析原因。为其提供借鉴意义。

第三章 研究区域概况

3.1 地理环境概况

天津市地处太平洋西岸,华北平原东北部,海河流域下游,总面积共计 11919.7 平方公里。东临渤海,北依燕山,西靠中国政治、文化、国际交流中心北京,距北京仅 120 公里,其独特的地理位置使之成为了海上通往北京的交通咽喉以及北京连接东北、华北地区铁路的重要枢纽,故享有“京师门户”之称。天津拥有着北方最大的人工港口—天津港,是中国北方十几个省市对外交流的重要通道,成为了连接国内外,沟通南北方不可或缺的重要枢纽。

3.2 社会经济现状

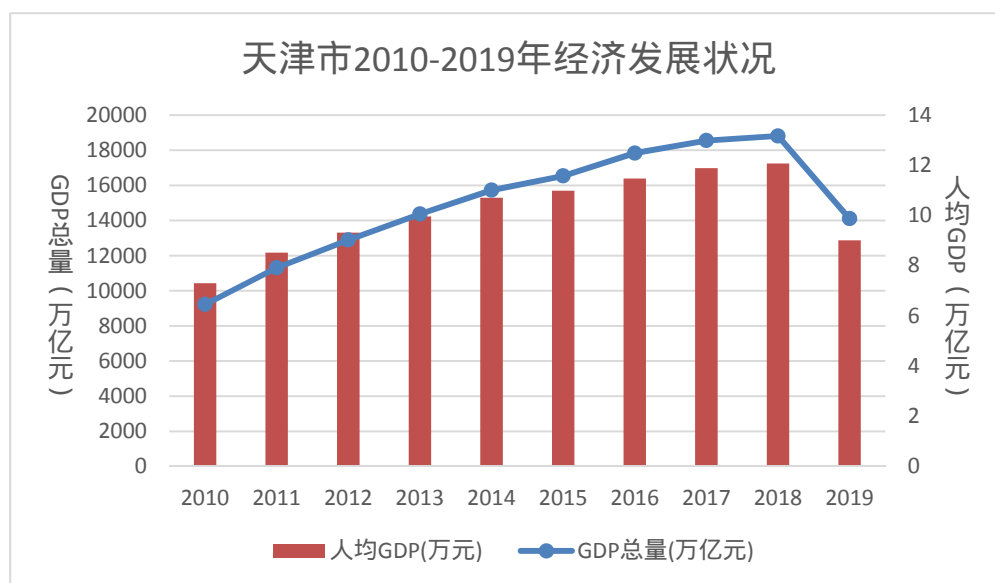


图 2 天津市 2010-2019 年经济发展状况

在 2010 年到 2018 年，天津市 GDP 呈现稳步上升的态势，在 2019 年，天津市经济出现明显下滑，由 GDP 总值 18809 万亿元降至 14104 万亿元。人均 GDP 与 GDP 总值变化呈现相同趋势，2019 年骤减至 9.01 万亿元。这同样也反映出天津市经济状况可能存在一定问题。

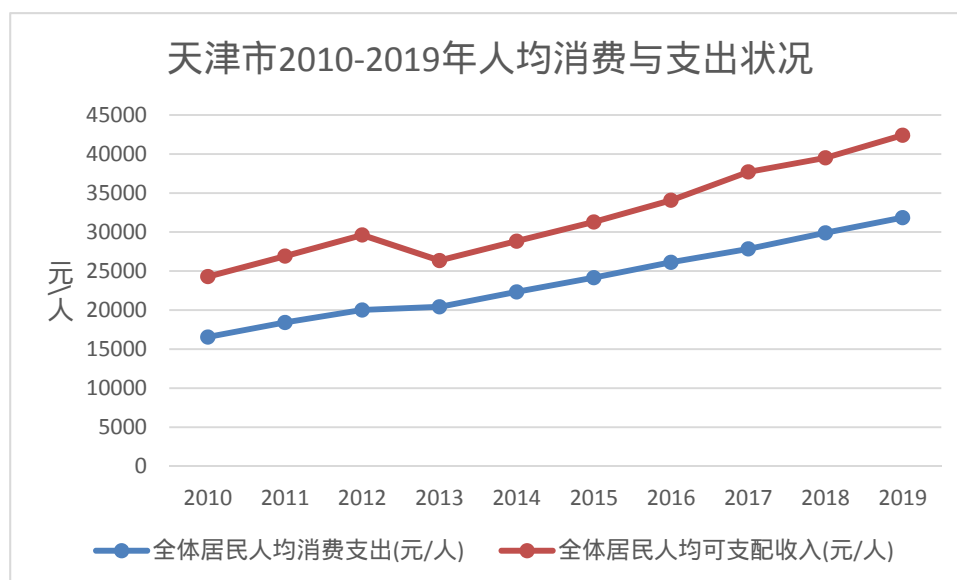


图 3 天津市 2010-2019 年人均消费与支出状况

如图为天津市 2010 年-2019 年全体居民人均消费支出与人均可支配收入曲线，由图可知，全体居民人均消费支出与人均可支配收入都呈逐年增加的趋势，

在 10 年间，全体居民人均可支配收入由 24292 元增长至 42404 元，全体居民人均消费支出由 16561 元增长至 31854 元，由此可知天津市人民生活水平逐步提高，居民生活质量得到了明显改善。

3.3 经济结构概况

天津市 2010-2018 年三大产业生产总值显著提升，尤其是第二、三产业生产总值增长迅速。第一、二、三产业的生产总值分别由 2010 年的 131.71 亿元、4937.5 亿元、4274.56 亿元增长至 2018 年的 172.71 亿元、7609.81 亿元、11027.12 亿元。2019 年，天津市生产总值出现下滑现象，相比 2018 年下滑将近 25%，发生经济下滑的原因是多方面的。首先，自从经济进入新常态起，北方地区经济整体低迷，多个省市出现了 GDP 下滑。作为传统港口城市，经济的发展离不开自身及周边城市的购买力，天津市也饱受周边港口城市如唐山港、秦皇岛港和黄骅港等的竞争，自身工贸优势不再保持其唯一性。天津市近十年来三大产业生产总值变化如图所示。

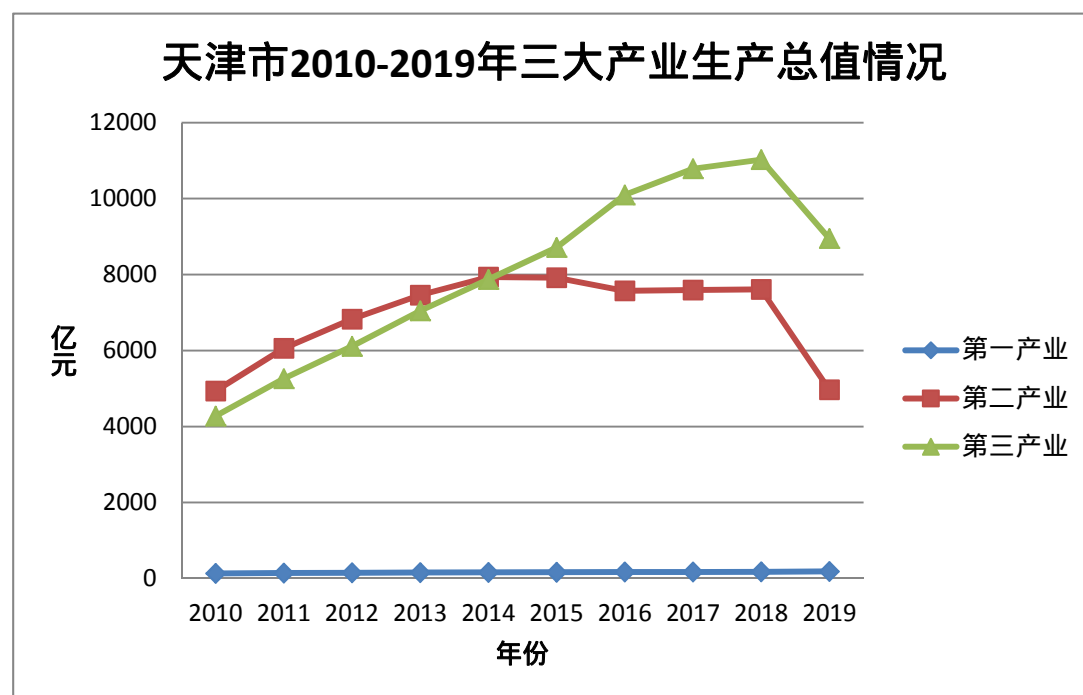


图 4 天津市 2010-2019 年三大产业生产总值情况

从三大产业生产总值占比来看,天津市经济结构转型为经济发展中的重中之重,第二产业由 2010 年的 52.84%下降到 2019 年的 35.32%,而第三产业由 2010 年的 45.74%上升至 2019 年的 63.45%,如图。

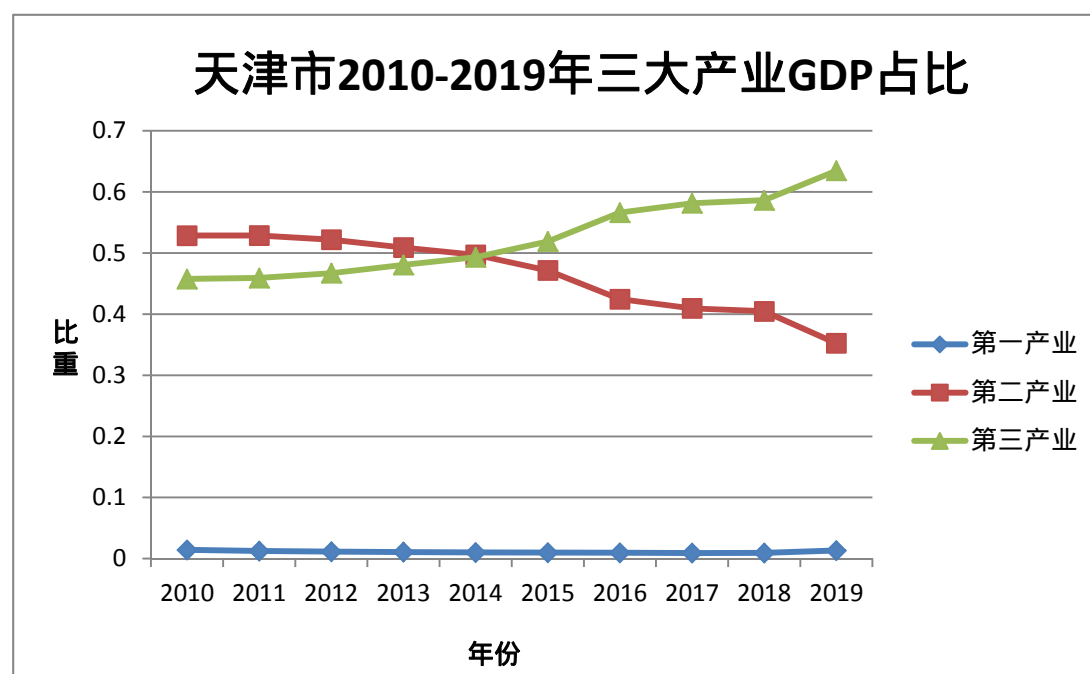


图 5 天津市 2010-2019 年三大产业 GDP 占比

天津市是我国传统的港口工业城市,交通发达,依托强大的物流能力让天津建立了强大的石化和汽车工业,这两者是天津市的支柱产业,所以以往第二产业对全市的生产总值贡献最大,而近来两大支柱产业处于近几十年最大的产业寒冬,纷纷遭遇滑铁卢,并且随着环保政策的收紧,工业排污成本也大幅度提高,这无疑为天津市第二产业经济发展雪上加霜。天津市产业结构调整优化,转型升级步伐加快,第三产业服务业支撑作用加强,特别是交通运输、仓储和邮政业务增长较快。

3.4 资源环境现状

天津市作为传统工业城市,与其他工业城市一样,在城市经济快速发展进程中无可避免地对自然环境造成了严重破坏,引发严重的生态化环境问题。天津市

工业污染物排放严重，据统计天津市 2018 年工业废气排放量达到了 10300 亿标立方米，工业固体废物产生量达到 1523 万吨，废水总排放量达到了 90381 万吨。大气污染问题也不可忽视。

水资源问题已经成为天津市经济可持续发展面临的紧迫、直接和主要的资源约束条件。其供水量不足，城乡供水矛盾突出，并且水环境污染严重，水质不断恶化。而由于水资源的短缺，天津市对水资源开发过度，造成了生态环境的破坏。

总之，天津市在当前资源环境条件下要谋求经济实现健康、永续发展必须改变传统经济模式，注重资源环境保护，使经济系统与生态环境系统和谐共存。因此，天津市必须转变发展方式，走经济可持续发展道路。

第四章 评价指标体系构建

4.1 指标筛选原则

1. 科学性与合理性原则

在经济可持续发展能力评价体系的构建中，我们必须坚持科学性与合理性原则，即在正确认识经济发展客观规律的基础上，挑选出能够合理体现天津市经济可持续发展能力的指标。从经济发展的客观实际出发，探究其内在的客观规律，把握理论与实际之间的关系是我们进行指标筛选的基础。

2. 针对性与代表性原则

任何研究都是基于特定的研究目的与一定的研究背景对研究对象展开探究。我们应在充分考虑到研究对象、研究目的等因素的基础上有针对性的进行指标筛选，使得指标集更加具有代表性。本文从经济、社会、资源、环境、人口共五个方面选取具有代表性的一级投入与产出指标，进而选取更加详细的二级指标，达到完善数据筛选构建评价指标体系的目的。

3. 可获取性与简便性原则

该原则要求所选取的指标的相关数据必须是可以通过科学的方法和手段得到的,且指标应简洁明了,便于统计计算。本文以天津市经济可持续发展能力为分析对象,相关数据均来自于历年天津市统计年鉴,从而确保数据来源的真实可靠,使得结论更具有可信度。

4.2 指标选择

将实现城市可持续发展为总目标,考虑到实际操作中数据收集的可操作性,将影响该总目标的指标因素归纳为五个层面,分别为:经济层面、环境层面、资源层面、社会层面、人口层面。以下为五个层面的指标选取:

(1) 经济层面

经济层面影响城市可持续发展的指标因素可从以下三个方面进行考虑:经济总量,产业结构与财政收支。经济总量可直观反映出这个城市的经济发展状况,衡量城市经济水平。其次,产业结构也是重要的一方面,一个城市产业结构合理才能让经济持续健康发展。最后就是城市的财政收支,财政收支水平能体现出政府机构调控经济的能力。根据以上分析,在经济层面提取的指标有:GDP 总量、人均 GDP、一般公共预算收入、政府性基金收入、第一产业增速、第二产业增速、第三产业增速、一般公共预算支出、政府性基金支出、研究与试验发展经费支出。

(2) 环境层面

生态环境是经济实现可持续发展的重要一环,城市生态环境的评价可从对污染城市生态环境和城市绿化水平两方面进行指标选取,本文在环境层面提取了以下指标:废水排放总量、化学需氧量排放量、可吸入颗粒物、工业废气排放总量、道路交通噪声平均声级、中心城区区域环境噪声平均声级、工业固体废物产生量、危险废物产生量、城市绿地面积。

(3) 资源层面

城市的资源分为生存资源与矿产资源,能够体现出城市基础资源保有量与工业产业发展水平水平,可持续发展观念倡导对资源的合理开采。本文在资源层面选取了以下指标:供用水总量、液化石油气销售量、天然气销售量、平均每人生活消费能源、一次能源生产量。

(4) 社会层面

城市社会层面的可持续发展主要体现在社会服务与保障的进步、居民生活水平的提高,本文在社会层面选取了以下指标:恩格尔系数、全体居民人均消费支出、全体居民人均可支配收入、每千人口医院床位、供热面积、用气户数、年末公共交通工具运营数。

(5) 人口层面

城市可持续发展离不开人口,劳动力是城市经济发展的基石,人口发展体现了一个城市的未来,当地人口的思想素质体现了一个城市的素质。本文在人口层面提取了以下指标:常住人口、人口自然增长率、人均受教育年限、科研人员总数、社会从业人员合计、劳动力资源总数。

本文在五个层面共计提取了 37 个指标,接下来将使用这 37 个指标搭建适用于 DEA 模型的评价指标体系。

4.3 评价体系搭建

城市可持续发展的评价需要考虑整个城市各个层面的协同发展,由于指标较多,指标性质也不同,一部分指标体现了城市为了实现经济发展而消耗、投入因素,另一部分指标则体现了城市经济发展的结果和成就,所以评价一个城市的可持续发展能力是一个多输入—多输出的评价问题,因此我们选择了对该类问题具有自身突出优点的 DEA 方法。在该方法下,将城市发展过程中有消耗的指标作为投入指标,而把城市发展过程中产生效益的指标称为产出指标。所以第一步我们

将 37 个指标分成了两大类：投入指标和产出指标。此时由于每类指标的性质都较混乱，所以第二步分别将两大类指标依据其所属层面再次进行划分。将投入指标内的划分结果记为四个子系统，分别为：劳动力子系统、环境污染子系统、资金投入子系统、资源消耗子系统。将产出指标内划分为三个子系统，分别为：经济发展子系统、人口发展子系统、社会发子系统。



图 6 可持续发展能力评价体系

具体可持续发展能力评价指标体系如下所示：

表 1 可持续发展能力评价体系

一级指标	二级指标	三级指标
成本性指标系统 X	劳动力指标子系统 X ₁	科研人员总数(万人)x ₁
		社会从业人员合计(万人)x ₂
		劳动力资源总数(万人)x ₃
	环境污染指标子系统 X ₂	废水排放总量(万吨)x ₄
		化学需氧量排放量(吨)x ₅
		可吸入颗粒物(毫克/立方米)x ₆
		工业废气排放总量(亿标立方米)x ₇
		道路交通噪声平均声级(分贝)x ₈
		中心城区区域环境噪声平均声级(分贝)x ₉
		工业固体废物产生量(万吨)x ₁₀
		危险废物产生量(万吨)x ₁₁
	资金投入指标子系统 X ₃	一般公共预算支出(亿元)x ₁₂
		政府性基金支出(亿元)x ₁₃
		研究与试验发展经费支出(亿元)x ₁₄
	资源消耗指标子系统 X ₄	供用水总量(万立方米)x ₁₅
		液化石油气销售量(吨)x ₁₆
		天然气销售量(万立方米)x ₁₇
		平均每人生活消费能源(千克标准

效益性指标变量 Y		煤)x ₁₈
		一次能源生产量(万吨标准煤)x ₁₉
	经济发展指标子系统 Y ₁	GDP 总量(万亿元)y ₁
		人均 GDP(万元)y ₂
		一般公共预算收入(亿元)y ₃
		政府性基金收入(亿元)y ₄
		第一产业增速(百分比)y ₅
		第二产业增速(百分比)y ₆
		第三产业增速(百分比)y ₇
	人口发展指标子系统 Y ₂	常住人口(万人)y ₈
		人口自然增长率(%%)y ₉
		人均受教育年限 y ₁₀
	社会发展指标子系统 Y ₃	恩格尔系数 y ₁₁
		全体居民人均消费支出(元/人)y ₁₂
		全体居民人均可支配收入(元/人)y ₁₃
		每千人口医院床位 y ₁₄
		供热面积(万平方米)y ₁₅
		用气户数(万户)y ₁₆
		城市绿地面积(平方公里)y ₁₇
		年末公共交通工具运营数(辆)y ₁₈

第五章 数据优化处理

5.1 数据归一化处理

5.1.1 无量纲化处理

根据以上所述我们构建了评价体系并从天津市统计年鉴获取数据 ,但是由于不同指标所选取的量纲不同 ,这些指标所产生的影响也不相同 ,这会影响分析结果的准确性。因此 ,数据进行无量纲化处理是必要的。

处理步骤如下 :

设 $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)'$ 为 p 维随机变量 , $X(t) = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tp})$ 为总体的样本。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad i = 1, 2, \dots, p$$

其中 x'_{ij} 为第 i 个变量第 j 个样本经过无量纲化后的数据 , \bar{x}_i 为第 i 个变量的

样本均值， σ_i 为第 i 个变量的样本标准差，具体计算公式如下：

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n-1}}$$

经过以上处理可以去除量纲之间的差异，使得结论更加科学有效。

5.1.2 负影响指标处理

除了对样本进行标准化之外，我们还将进行负影响指标处理。

我们可以将数据大体分为两大类：一类是对综合评价指数具有正影响作用，例如经济发展指标子系统中的 GDP 总值，人均 GDP；另一类是对综合评价指数具有负影响作用，例如环境污染指标子系统中的废水排放总量，废水排放量越多，资源子系统的综合评价指数则应越低，产生的负影响则越大，除此之外还有社会发展指标子系统中的恩格尔系数指标，恩格尔系数是指食品支出额占个人消费总额的比例，该比例越低，社会经济发展指标子系统则应越高，可见恩格尔系数对社会经济发展呈现负影响。由于主成分分析法是运用线性加权进行综合评估，若将负影响指标与正影响指标采用权数线性相加显然是不对的，因此我们对废水排放总量、恩格尔系数等九类指标数据全部进行变号处理使数据满足我们的要求。

5.2 主成分分析

主成分分析的具体步骤如下：

对经过标准化、负影响指标处理后的指标数据求相关矩阵 $R = (r_{ij})_{p \times p}$ ，其中

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(x_{ti} - \bar{x}_i)(x_{tj} - \bar{x}_j)}{\sigma_i \sigma_j}$$

再次求相关系数矩阵 R 的特征根 $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ 及相应的特征向量 u_1, u_2, \dots ，

第 m 个主成分分析得分为

$$F_m = u'_m X \quad m = 1, 2, \dots, p$$

计算贡献率, 将特征值从小到大排列, 以此为顺序求出各主成分对应的贡献率 $e_m = \frac{\lambda_m}{p}$ 及累计贡献率 $E_s = \sum_{m=1}^s \frac{\lambda_m}{p}$, 最终选取累计贡献率大于 90% 的前 s 个主成分作为参考指标。并对前 s 个参考指标进行综合评价。

$$F = \sum_{m=1}^s F_m \quad m = 1, 2, \dots, s$$

根据上述方法我们利用 Python 软件, 基于 4.3 节搭建的评价体系对 7 个子系统依次进行主成分分析, 子系统 X1 包含的变量较少, 经过处理发现其各自对应的第一主成分累计贡献率大于 90%, 所以子系统 X1 的第一主成分可作为其综合评价指数记作 X_1^* 。

$$X_1^* = (F_1)_{X_1} = 0.573x'_1 + 0.581x'_2 + 0.578x'_3$$

在处理子系统 X2 时发现其第一主成分、第二主成分、第三主成分贡献率分别为 55.4%、27.2%、8.8%, 前三个主成分累计贡献率共计 91.4%, 满足要求的 90% 以上, 故提取前三各主成分。表达式分别为:

$$(F_1)_{X_2} = 0.228x'_4 - 0.4x'_5 - 0.329x'_6 + 0.365x'_7 - 0.446x'_8 + 0.117x'_9 - 0.357x'_{10} + 0.454x'_{11}$$

$$(F_2)_{X_2} = -0.527x'_4 - 0.008x'_5 - 0.419x'_6 + 0.159x'_7 + 0.107x'_8 + 0.607x'_9 + 0.37x'_{10} + 0.066x'_{11}$$

$$(F_3)_{X_2} = -0.284x'_4 - 0.58x'_5 - 0.093x'_6 - 0.677x'_7 - 0.265x'_8 - 0.031x'_9 - 0.069x'_{10} - 0.2x'_{11}$$

综合 X2 的前三个主成分可是得到 X2 的综合评价指数 X_2^*

$$X_2^* = (F_1)_{X_2} + (F_2)_{X_2} + (F_3)_{X_2}$$

以相同的方法处理剩余的子系统, 最终结果表 3 详见附件。

将数据带入表 3 中的表达式, 可得出经过主成分处理后的综合评价指数结

果表 4 详见附录。

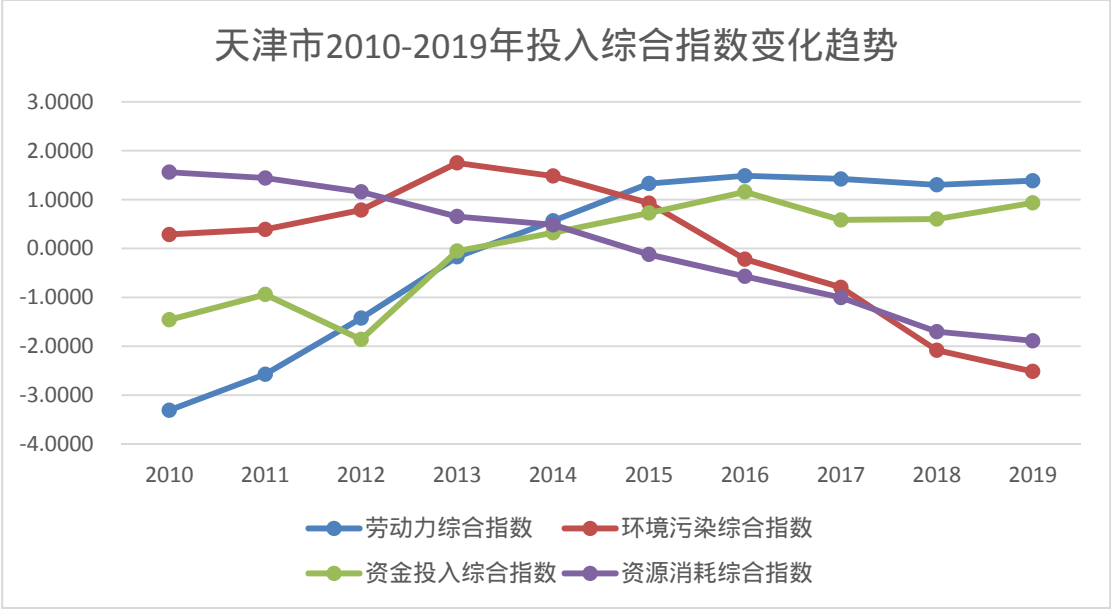


图 7 天津市 2010-2019 年投入综合指数变化趋势

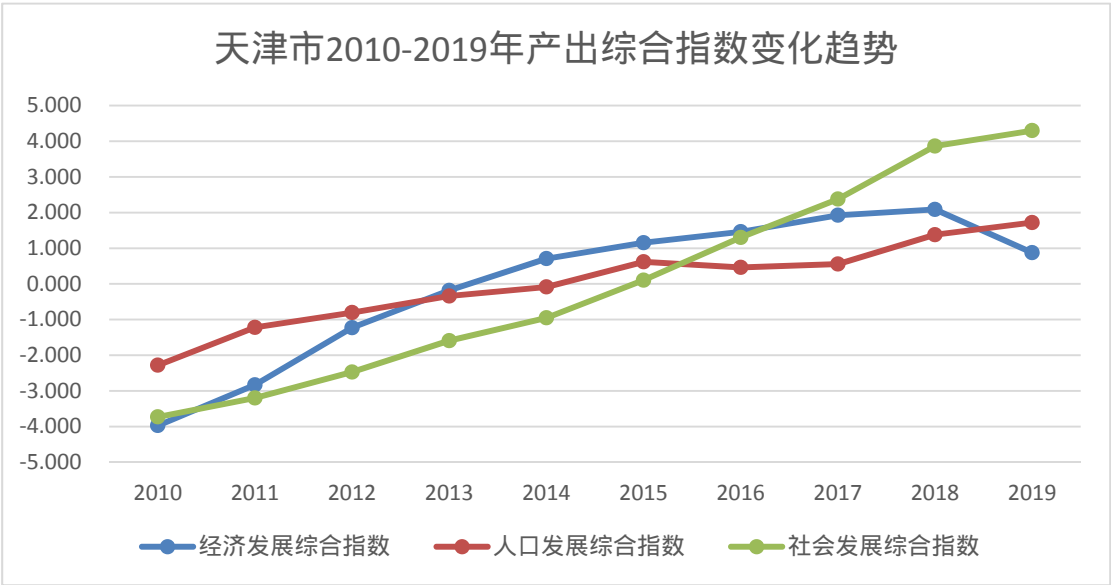


图 8 天津市 2010-2019 年产出综合指数变化趋势

由以上两图我们可以了解到 ,天津市资源消耗综合指数与环境污染综合指数总体上呈现逐年递减的趋势 ,在 2010 年-2013 年环境污染指数略有上升 ,由于近年来天津市政府将注意力集中于环境改善治理方面 ,以上两个综合指数也随之下降。劳动综合指数、资金投入综合指数、经济发展综合指数、人口发展综合指数以及社会发展综合指数在该 10 年间总体上逐年增加。其中经济发展综合指数在 2019 年有稍许降低 ,这与天津市汽车产业、石化产业两大支柱产业遭遇经济

寒冬有密切联系。但是从综合指数的角度来看，这 10 年来天津市经济整体的可持续发展能力呈良性发展。

第六章 数据包络分析（DEA-C²R）模型建立及求解

6.1 DEA 方法基本原理

6.1.1 DEA 方法概念

数据包络分析法(DEA)，是一种常见的评价模型，这种方法是计量学、运筹学、统计学、经济学等多种学科综合运用，适用范围非常广泛的一种评价方法。它在处理多投入—多产出的有效性综合评价问题方面具有绝对优势。这种方法源于 1978 年，著名运筹学家、美国德克萨斯大学教授 A.Charnes 及 W.W.Cooper 和 E.Rhodes 发表了一篇名为《Measuring the efficiency of decision making units》(决策单元的有效性度量) 的重要论文，在这篇论文中正式提出了一个运筹学的新领域——数据包络分析。

数据包络分析的原理主要是通过对生产决策单元 (DMU) 的输入与输出数据进行研究，从相对有效性的角度出发，对具有可比性的 DMU 进行相对有效性评价的一种分析方法。通过对各决策单元观察的数据判断其是否为 DEA 有效，它不需要以参数形式表现具体的生产前沿函数，并且允许这个函数可以因单位的不同而不同。DEA 不需要弄清楚各个 DMU 的输入与输出间的关联方式，只需用极值的方法最终意向对手以这个变量作为总体的衡量标准。

该方法目前已经成为一种运用广泛的数学分析工具，DEA 方法下有非常多模型，依据本文的研究内容我们选取了经典的 C²R 模型。

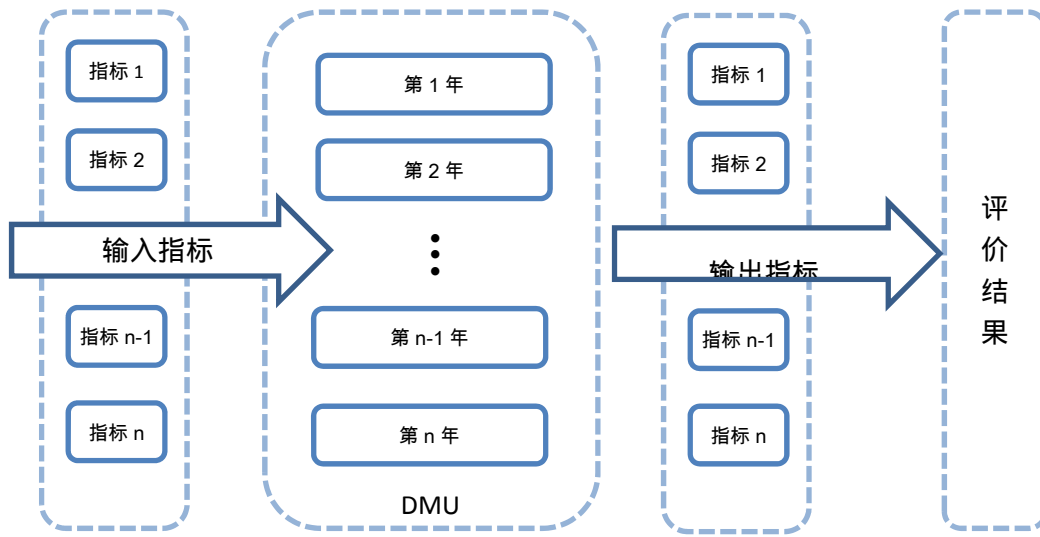


图 9 DEA-C²R 模型纵向研究思路图

6.1.2 DEA—C²R 模型原理及含义

本文选择 DEA 中的 C²R 模型进行城市可持续发展问题分析，判断其有效性的模型如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} \min[\theta - \varepsilon(\sum_{r=1}^t S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^-)] \\ \sum_{j=1}^n X_{ij}\lambda_j + S_i^- - \theta X_{ij0} = 0 \\ \sum_{j=1}^n Y_{rj}\lambda_j - S_r^+ = Y_{rj0} \\ \lambda_j \geq 0 \\ S_r^+ \geq 0, S_i^- \geq 0 \\ r = 1, 2, 3, \dots, t \\ i = 1, 2, 3, \dots, m \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \end{array} \right.$$

在这个 DEA 指标评价体系中， n 表示决策单元 DMU， m 表示投入指标数量， t 表示产出指标数量。 X_{ij} 表示第 j 个决策单元对第 i 种投入性指标的投入量，并要求 $X_{ij} > 0$ 。 Y_{rj} 表示第 j 个决策单元对第 r 种产出性指标的产出量，并要求

$Y_{rj} > 0$ 。 S_r^+ 和 S_i^- 分别为松弛变量， θ 、 λ_j 为待估计参量， θ 表示第 j 个 DMU 的技术效率值， ε 为一非负阿基米德无穷小量。可以根据以下规则判断 DEA 有效性：

(1) 当 $\theta = 1$,且 $S_r^+ = S_i^- = 0$ 时 ,认为当前 DMU_{j_0} 为 DEA 有效 ,并且该 DMU_{j_0} 同时为技术有效和规模有效；

(2) 当 $\theta = 1$,但 $S_r^+ \neq 0$,或 $S_i^- \neq 0$,认为当前 DMU_{j_0} 仅为弱 DEA 有效；

(3) 当 $\theta < 1$,认为当前 DMU_{j_0} 为 DEA 无效，可能为技术无效，也可能为规模无效。当 $S_r^+ = S_i^- = 0$ 时，认为当前 DMU_{j_0} 技术有效，令 $K = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j}{\theta}$ ，当 $K=1$ 时，认为当前 DMU_{j_0} 为规模有效，当 $K>1$ 时，规模收益递减，当 $K<1$ 时，规模收益递增。

6.2 使用 DEA 方法求解

本文选取天津市 2010-2019 年这十年作为决策单元 ,结合主成分分析确定的多个综合指数，运用 DEA—C²R 模型展开探究。其中：输入变量为：资金投入综合指数、劳动力综合指数、环境污染综合指数、资源消耗综合指数；输出变量为：经济发展综合指数、人口发展综合指数、社会发展综合指数。

为满足 DEA—C²R 模型要求的输入与输出指标均大于 0 ,我们将七大类综合评价指标均取指数即利用 $X^{*'} = e^{X^*}$ 求得 $X^{*'}$ 。

对数据进行正值化后 ,我们利用 DEAP 2.1 进行模型求解 ,求解结果如下表：

表 2 DEA—C²R 模型求解结果

年份	θ 值	K	相对有效性	技术有效性	规模有效性
2010	1	<1	DEA 有效	有效	规模递增
2011	1	1	DEA 有效	有效	规模恰当
2012	1	1	DEA 有效	有效	规模恰当
2013	1	<1	DEA 有效	有效	规模递增
2014	0.584	<1	DEA 无效	无效	规模递增
2015	0.441	>1	DEA 无效	无效	规模递减
2016	0.535	>1	DEA 无效	无效	规模递减
2017	0.864	<1	DEA 无效	无效	规模递增

2018	1	1	DEA 有效	有效	规模恰当
2019	1	1	DEA 有效	有效	规模恰当

由表可知,天津近十年来的可持续发展状况为:DEA 有效的年份为 2010、2001、2012、2013、2018、2019 年,其中 2011、2012、2018、2019 年的投入产出状态为技术有效和规模有效,而 2010、2013 年的投入产出状态为技术有效和规模递增,说明在这两年不需要调整投入产出,但需要缩小其规模;DEA 无效的年份为 2014、2015、2016、2017 年,其投入产出状态均为非技术有效,其中 2014、2017 年为规模递增,说明若在这两年发展中适当增加输入量,可以带动输出量的提高,2015、2016 年为规模递减,说明在这两年发展中输入量过大,技术效率不足,无法充分利用输入量。

6.3 DEA 评价分析/DMU 有效性影响因素分析

我们将输入 X 的劳动力用 1 表示,环境污染用 2 表示,资金投入用 3 表示,资源消耗用 4 表示;将输出 Y 的经济发展用 1 表示,人口发展用 2 表示,社会发展用 3 表示。接下来通过调整输入输出指标来改变方案,以此来对可持续发展进行多方面的分析比较。

由表 5 (详见附录)可知,2010,2012,2018 和 2019 年均为 DEA 有效,故这四年相对来说可持续发展能力最强。由方案 1 和方案 5 对比,其中 2011 年和 2013 年由 DEA 有效转为 DEA 无效,且各年技术效率均有下降,可知劳动力输入在天津经济可持续发展中占比较重要的地位。由方案 1 和方案 3,4 对比,各年的技术效率无较大变化,可知环境污染和资金投入在可持续发展中地位不高。由方案 1 和方案 2 比较,2013 年由 DEA 有效转为 DEA 无效,可知资源消耗在可持续发展中地位一般。

接下来我们仍使用 DEAP 2.1 对该模型进行冗余度分析,分析结果如表 6(详见附录)。

由表 6 可知,对于 2014,2015,2016 和 2017 年,技术效率、规模效率偏离最优状态最直接的表现就是出现了投入冗余与产出不足。要想从 DEA 无效转为 DEA 有效,需要大力提高社会发展的效率指数,其次可以减少一些在环境污染方面的输入。

第七章 结论及建议

7.1 研究结论

本文主要运用了数据包络分析法对天津市近十年来经济可持续发展能力进行评价,反映了天津市 2010-2019 这十年来的可持续发展能力变化趋势,通过对比不同投入产出指标组合的 5 种方案 DEA 分析结果,确定了对决策单元的有效性产生显著影响的因素,我们得出以下结论:

1. 基于可持续发展问题多输入多输出的特征,结合天津市自身区域特点,遵循科学合理的原则,搭建了基于 DEA 方法下的天津市可持续发展能力评价指标体系,以此对天津市十年来的可持续发展能力进行真实客观地评价。

2. 基于 DEA 评价结果显示:2010、2011、2012、2013、2018、2019 年为 DEA 有效,说明这六年内天津市做到了用更少的资源获取更大的价值,即资源得到了最大利用。近十年中有 6 年经过分析得出 DEA 有效,投入与产出比达到最优,天津市经济、人口、社会都走在可持续发展道路上,可见天津市整体发展较为协调。2014-2017 年天津市投入性指标资源量从过低到过高再到过低,导致对投入性资源的利用效率不高,要想从 DEA 无效转为 DEA 有效,天津市应统筹发展,实时调整对于劳动力、环境污染、资源消耗和资金投入的投入量,提高效率指数。

3. 通过将 5 种不同投入产出指标组合进行对比分析结果可知,对于四个投入性子系统,天津市应最重视劳动力子系统,集中精力发展教育事业、科研事业,统筹发展高教育型人才计划并合理提供社会就业岗位,进一步完善人才引进计划,

为天津市吸引更多高质量人才，对高质量人才给予政策倾斜与社会福利保障；其次是资源消耗子系统，优化产业结构，对化工产业等第二产业加强监管，鼓励技术性进步，大力推进高新技术产业、循环高效型产业、低碳清洁型产业发展，例如：IT 产业、大数据信息产业、绿色轻工业等；对于三个产出性子系统，社会发展对天津市可持续发展影响最大，天津市应重点并全面地关注社会发展问题，及时修正方向，加快公共产业即公共设施与公共事业发展，例如：加强基础设施建设、完善医疗保障体系、提供便民利民服务。注重人民生活质量，以提高可持续发展能力。

7.2 对策建议

1. 优化产业结构。优化产业结构重点是要发展高新技术产业、促进第三产业发展。大力推进经济结构转型，构建现代产业体系，将可持续发展理论与循环经济体系的建立结合起来，实现真正的科学发展。

2. 控制人口增长、提高人口素质。城市人口规模大、增长快会对城市的资源环境带来巨大压力从而会影响城市经济的可持续发展，因此控制人口规模是至关重要的。同时，人才是一个城市甚至是国家发展的核心，提高人口素质便会促进经济发展从而增强城市的可持续发展能力。

3. 完善城市基础设施建设，提高人民的生活质量。在稳步推进城市化建设的过程中，进一步缩小城乡交通、医疗、文化、教育等基础设施服务质量差距。

4. 优化能源消费结构。结合产业结构转型推动高碳产业低碳化，限制高耗能产业发展，形成清洁能源与传统能源相结合的模式，构造高效高能的可持续新能源消耗体系

7.3 发展展望

现如今,国内外各种风险挑战显著提升,全球经济形势更趋向错综复杂,所以作为港口城市的天津更应坚定不移地走经济可持续发展道路,贯彻落实新发展理念,明确战略路径。不断深化的京津冀协同发展国家战略和党中央规划的新发展格局为天津市提供了新的历史机遇与磅礴动力。2021 年是“十四五”规划的开局之年,在这个重要关头,天津市也明确了新的发展目标,那就是全面建设社会主义现代化大都市,面对新的目标、新的挑战、新的征程天津市必须坚定走经济可持续发展道路,推动全市经济社会实现高质量的发展。

参考文献

- [1]天津市统计局.天津统计年鉴[J].北京:中国统计出版社,2020.
- [2]游绍立.重庆经济可持续发展能力研究[D].重庆师范大学.2004
- [3]高原,黄诗曼.基于 VAR 模型的广东经济可持续发展路径探究[J].科技和产业, 2021,21(05)
- [4]赵书茂.基于 GIS 的区域可持续经济发展研究——以河南省为例[D].解放军信息工程大学.2004
- [5]彭惜君.联合国可持续发展指标体系的发展[J].四川省情,2004(12):32-33
- [6]汪涛,张家明,刘炳胜.国家可持续发展议程创新示范区评价指标体系研究[J].中国人口·资源与环境. 2020,30(12)
- [7]彭倩,黄鹂,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)
- [8]翟璐.辽宁省经济可持续发展能力评价与对策研究[D].东北师范大学.2013
- [9]于丽英,刘宏笕,陈子璇.长江经济带绿色治理效率测度与分析——基于广义面板三阶段 DEA 模型[J].华东经济管理, 2021,35(06)

- [10]胡玫,郑伟.中国对东盟直接投资的效率研究——基于 DEA 模型[J].山西大学学报(哲学社会科学版),2021,44(03)
- [11]汪俊瑛.基于 DEA 方法的高职院校科研绩效评价——以某国家示范高职院校为例[J].科技经济导刊,2021,29(14)
- [12]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(02)
- [13]刘瑞霞.实现我国城市经济可持续发展的对策探讨[J].2008(6):26-28
- [14]程鹏.基于 PCA 和 DEA 方法的山西省可持续发展能力的评价研究[D].山西大学.2011
- [15]陈美林.天津市城市可持续发展综合评价研究[D].天津财经大学.2012
- [16]曹继萍.基于数据包络分析的资源型城市可持续发展评价研究[D].成都理工大学.2009
- [17]罗慧,霍有光.可持续发展理论综述[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2004(1):35-38
- [18]王龙.基于 dea 方法下的资源型城市循环经济效率综合比较评价[D].内蒙古大学.2014

致谢

在论文撰写完成之际,回首过往种种,内心感慨万千。在统计建模比赛期间,是因为老师的帮助与支持,同学的鼓励与陪伴让我们度过这艰难的两个月。

在此我们要特别感谢两位指导老师,感谢他们在论文写作过程中各个方面给予我们莫大的帮助。感谢院校负责人的辛勤付出,在论文提交的过程中为我们提供帮助。

同时,我们要感谢自己在比赛过程中的团结努力,共同完成比赛,在这个过

程中我们都收获了很多。

最后，我要感想本次比赛的评审老师，感谢你们付出时间与精力为我们评审论文，在此表示我们最真挚的谢意！

附录

表 3 子系统综合评价指数表达式

子系统综合评价	表达式
劳动力指标子系统 X_1	$X_1^* = (F_1)_{X_1} = 0.573x'_1 + 0.581x'_2 + 0.578x'_3$
环境污染指标子系统 X_2	$X_2^* = (F_1)_{X_2} + (F_2)_{X_2} + (F_3)_{X_2}$ $= -0.583x'_4 - 0.988x'_5 - 0.841x'_6$ $- 0.153x'_7 - 0.604x'_8 + 0.693x'_9 - 0.056x'_{10}$ $+ 0.32x'_{11}$
资金投入指标子系统 X_3	$X_3^* = (F_1)_{X_3} + (F_2)_{X_3} = 0.803x'_{12} - 0.475x'_{13} + 1.063x'_{14}$
资源消耗指标子系统 X_4	$X_4^* = (F_1)_{X_4} + (F_2)_{X_4} + (F_3)_{X_4}$ $= -0.717x'_{15} + 0.096x'_{16} - 1.012x'_{17}$ $- 0.761x'_{18} + 0.935x'_{19}$
经济发展指标子系统 Y_1	$Y_1^* = (F_1)_{Y_1} + (F_2)_{Y_1}$ $= 0.623y'_1 + 0.706y'_2 + 0.631y'_3 - 0.662y'_4$ $- 0.366y'_5 - 0.19y'_6 - 0.325y'_7$
人口发展指标子系统 Y_2	$Y_2^* = (F_1)_{Y_2} + (F_2)_{Y_2} = 0.767y'_8 + 0.3y'_9 + 1.15y'_{10}$
社会发展指标子系统 Y_3	$Y_3^* = (F_1)_{Y_3} = 0.345y'_{11} + 0.365y'_{12} + 0.355y'_{13} + 0.355y'_{14}$ $+ 0.365y'_{15} + 0.361y'_{16} + 0.333y'_{17}$ $+ 0.349y'_{18}$

表 4 综合评价指数表

指标\年份	2010	2011	2012	2013	2014
劳动力综合指数 X_1^*	-3.3093	-2.5739	-1.4257	-0.1731	0.5645
环境污染综合指数 X_2^*	0.2839	0.3889	0.7845	1.7498	1.4808
资金投入综合指数 X_3^*	-1.4589	-0.9418	-1.8623	-0.0550	0.3210
资源消耗综合指数 X_4^*	1.5591	1.4391	1.1573	0.6524	0.4836
经济发展综合指数 Y_1^*	-3.9711	-2.8282	-1.2274	-0.1819	0.7079
人口发展综合指数 Y_2^*	-2.2797	-1.2197	-0.8040	-0.3407	-0.0857
社会发展综合指数 Y_3^*	-3.7284	-3.1961	-2.4710	-1.5919	-0.9531
指标\年份	2015	2016	2017	2018	2019
劳动力综合指数 X_1^*	1.3264	1.4864	1.4201	1.3003	1.3842
环境污染综合指数 X_2^*	0.9259	-0.2192	-0.7958	-2.0831	-2.5156

资金投入综合指数 X_3^*	0.7246	1.1572	0.5820	0.6001	0.9331
资源消耗综合指数 X_4^*	-0.1226	-0.5711	-1.0053	-1.7034	-1.8891
经济发展综合指数 Y_1^*	1.1546	1.4613	1.9225	2.0873	0.8751
人口发展综合指数 Y_2^*	0.6179	0.4602	0.5551	1.3777	1.7191
社会发展综合指数 Y_3^*	0.1034	1.3027	2.3760	3.8634	4.2950

表 5 不同方案下的 DEA 评价结果（表中为 θ 值）

方案\年份			2010	2011	2012	2013	2014
编号	X	Y					
1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	1	1	1	1	0.584
2	1, 2, 3	1, 2, 3	1	1	1	0.614	0.53
3	1, 2, 4	1, 2, 3	1	1	1	1	0.584
4	1, 3, 4	1, 2, 3	1	1	1	1	0.584
5	2, 3, 4	1, 2, 3	1	0.447	1	0.334	0.339
方案\年份			2015	2016	2017	2018	2019
编号	X	Y					
1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	0.441	0.535	0.864	1	1
2	1, 2, 3	1, 2, 3	0.441	0.535	0.864	1	1
3	1, 2, 4	1, 2, 3	0.441	0.535	0.848	1	1
4	1, 3, 4	1, 2, 3	0.441	0.535	0.848	1	1
5	2, 3, 4	1, 2, 3	0.441	0.535	0.864	1	1

表 6 天津市投入冗余及产出不足状况

	2014		2015		2016		2017	
	投入冗余	产出不足	投入冗余	产出不足	投入冗余	产出不足	投入冗余	产出不足
Y1	1.444	0	4.029	0	3.751	0	1.073	0
Y2	0.653	0.323	2.356	0	1.378	1.003	0.273	1.881
Y3	0.274	17.882	1.408	49.012	3.201	40.745	1.689	34.245
X1	0	0	0	-0.048	0	-0.751	0	-0.534
X2	0	-1.883	0	-2.406	0	-0.679	0	-0.286
X3	0	-0.328	0	-0.132	0	-1.359	0	0
X4	0	0	0	-0.707	0	-0.383	0	-0.125