参赛队号：

2023年(第九届)全国大学生统计建模大赛参 赛 作 品

|  |  |
| --- | --- |
| 参赛学校： | 南昌大学科学技术学院 |
| 论文题目： | 基于三阶段DEA-Malmquist指数区域数字经济驱动共同富裕的效率测度 |
| 参赛队员： | 黄志林 张振 丁静 |
| 指导老师： | 甘小文 陈芳琴 |

基于三阶段DEA-Malmquist指数区域数字经济驱动共同富裕的效率测度

摘要

共同富裕是中国式现代化的特征之一。随着信息技术的高速发展，数字经济作为中国式现代化建设的关键工具之一，可以促进全体人民共同富裕。数字经济发展对共同富裕具有正向驱动作用，并带来了巨大的机遇和挑战，如何适应新科技，推进数字经济赋能共同富裕成为当前国家和社会普遍关心的重要问题。

本文首先在数字经济与共同富裕的现状认知为切入点，介绍了数字经济和共同富裕的研究以及对两者之间关系的研究，虽然数字经济的发展对共同富裕具有正向驱动作用，但其驱动效率方面的研究还比较缺乏。其次通过熵权法对指标评价体系的构建和聚类分析，对数字经济和共同富裕发展水平进行了描述。然后利用三阶段DEA-Malmquist指数模型对数字经济驱动共同富裕的效率进行测算，研究发现，我国数字经济发展成效显著，人们的生活水平正在稳步提高；数字经济赋能共同富裕的效率总体上呈现出波动上升的趋势，但还存在着驱动效率不高的问题；在发展的空间布局方面，东部地区发展效率高，经济发展较差的地区更能依托数字经济驱动共同富裕的实现。

最后，本文提出了几点对策建议，包括消除“数字鸿沟”、推动数字经济发展战略的施行、实施有差异的数字经济发展战略以及增强数字经济发展的协调性。

关键词：数字经济；共同富裕；三阶段DEA；Malmquist指数；效率测度

目录

[一、前言 1](#_Toc135563076)

[（一）研究背景 1](#_Toc135563077)

[（二）研究意义 1](#_Toc135563078)

[（三）研究思路 2](#_Toc135563079)

[二、文献综述 2](#_Toc135563080)

[（一）数字经济的相关研究 2](#_Toc135563081)

[（二）共同富裕的相关研究 3](#_Toc135563082)

[（三）数字经济与共同富裕关系研究 3](#_Toc135563083)

[三、概念界定及方法介绍 4](#_Toc135563084)

[（一）概念界定 4](#_Toc135563085)

[1.关于数字经济的概念 4](#_Toc135563086)

[2.关于共同富裕的概念 4](#_Toc135563087)

[（二）方法介绍 4](#_Toc135563088)

[1.熵权法 4](#_Toc135563089)

[2. k-means聚类 5](#_Toc135563090)

[3.三阶段DEA-Malmquist模型 5](#_Toc135563091)

[四、评价指标体系构建 7](#_Toc135563092)

[（一）指标筛选原则 7](#_Toc135563093)

[（二）指标体系构建 7](#_Toc135563094)

[1.数字经济指数 7](#_Toc135563095)

[2.共同富裕指数 9](#_Toc135563096)

[五、中国数字经济与共同富裕的测度以及两者关系分析 10](#_Toc135563097)

[（一）数字经济发展描述 10](#_Toc135563098)

[（二）数字经济与共同富裕 12](#_Toc135563099)

[六、基于三阶段DEA-Malmquist模型的效率分析 14](#_Toc135563100)

[（一）变量选取与流程说明 14](#_Toc135563101)

[（二）第一阶段DEA-BCC模型 15](#_Toc135563102)

[（三）第二阶段SFA回归分析 17](#_Toc135563103)

[（四）第三阶段DEA-BCC模型 18](#_Toc135563104)

[（五）基于Malmquist指数的动态分析 19](#_Toc135563105)

[七、对策建议 22](#_Toc135563106)

[八、结论 24](#_Toc135563107)

[参考文献 24](#_Toc135563108)

[附录 27](#_Toc135563109)

[致谢 32](#_Toc135563110)

表格与插图清单

[表 1 数字经济指数评价体系 8](#_Toc135562999)

[表 2 共同富裕指数评价体系 10](#_Toc135563000)

[表 3 DEA变量说明 14](#_Toc135563001)

[表 4 2015-2021年各地区综合效率值 15](#_Toc135563002)

[表 5 SFA回归结果 17](#_Toc135563003)

[表 6 2021年各地区第三阶段效率值 18](#_Toc135563004)

[表 7 分年度Malmquist指数 20](#_Toc135563005)

[表 8 分地区Malmquist指数 21](#_Toc135563006)

[表 9 2015年第一阶段与第三阶段效率对比 27](#_Toc135563007)

[表 10 2016年第一阶段与第三阶段效率对比 27](#_Toc135563008)

[表 11 2017年第一阶段与第三阶段效率对比 28](#_Toc135563009)

[表 12 2018年第一阶段与第三阶段效率对比 29](#_Toc135563010)

[表 13 2019年第一阶段与第三阶段效率对比 30](#_Toc135563011)

[表 14 2020年第一阶段与第三阶段效率对比 31](#_Toc135563012)

图 1 研究思路流程图 2

图 2 2015-2021中国30省数字经济年平均指数值 11

图 3 2015-2021年中国30省数字经济年平均指数值地区分布情况 12

图 4 2015-2021年中国平均数字经济及共同富裕指数 13

图 5 聚类结果 13

图 6 三阶段DEA-Malmquist模型流程 15

图 7 2021年各地区一阶段与三阶段综合效率对比 19

图 8 各年Malmquist指数变动图 21

基于三阶段DEA-Malmquist指数区域数字经济驱动共同富裕的效率测度

# 一、前言

## （一）研究背景

共同富裕是社会主义的本质要求，是中国式现代化的重要特征(习近平，2021)。截止2020年底，我国脱贫攻坚取得重大胜利，全面建成了小康社会，共同富裕的内涵不断丰富。2021年浙江省部署建设全国首个共同富裕示范区，共同富裕迈出一大步。

在推进共同富裕进程中，数字经济也在不断发展。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视发展数字经济，将其上升为国家战略。目前，数据成为新的生产要素(李海舰、赵丽，2021)，数字经济正逐渐成为把握新一轮科技革命和产业变革新机遇的战略选择。信息化向纵深化发展，以数字经济为代表的新发展格局正成为我国新发展阶段最鲜明特征。在这个过程中，数字经济也为推进共同富裕带来了巨大的机遇和挑战。

当前，中国正逐渐迈入数字化时代，数字经济的发展给生产力注入了全新的内涵和活力，使其实现了巨大的生产力解放，并为实现共同富裕提供了一条新的途径。“数字经济”与“共同富裕”已成为中国未来经济发展的重要战略，而“共同富裕”的实现离不开数字经济的有力支撑。在2022年政府工作报告中，对“扎实推进共同富裕”和“推动数字经济发展”的工作目标进行了详细阐述。如何更好地适应新科技革命带来的变化，推进数字经济赋能共同富裕，成为当前国家、社会普遍关心的重要理论和现实问题之一。因此，侧重于数字经济赋能共同富裕的效率测度的研究具有十分重要的现实意义。

## （二）研究意义

数字经济正日益成为推动中国经济增长的主要动力，对其在共同富裕中的作用进行深入的探讨，是当前亟待解决的问题。数字经济能从多个维度推动经济发展，并且具有区域不对称性。通过对数字经济驱动共同富裕的效率研究能发现现存的效率不足问题，从而更好的配置数字资源，更好的推进共同富裕目标的实现。

## （三）研究思路

当前，在国家层面，数字经济与共同富裕建设已上升到国家战略层面；在社会层面，构建数字经济与共同富裕的测量与评估框架也是当前我国相关研究的热点。然而，由于数字经济与共同富裕是两个巨大而复杂的系统，两者的测量与评估都比较困难。为此，本文以数字经济发展水平、互联网发展水平和数字交易发展水平三个维度为基础，构建了相应的指标体系，并利用熵权法测量了各地区的数字经济发展水平；以整体富裕和共享程度两个维度为基础，构建了相应的指标体系，并利用DEA模型测度了各地区的共同富裕发展效率。具体而言，本文以全国30个省份2015—2021年的相关数据为研究对象，基于三阶段DEA-Malmquist模型测算了数字经济发展对共同富裕发展的作用效率。具体框架如图1所示。

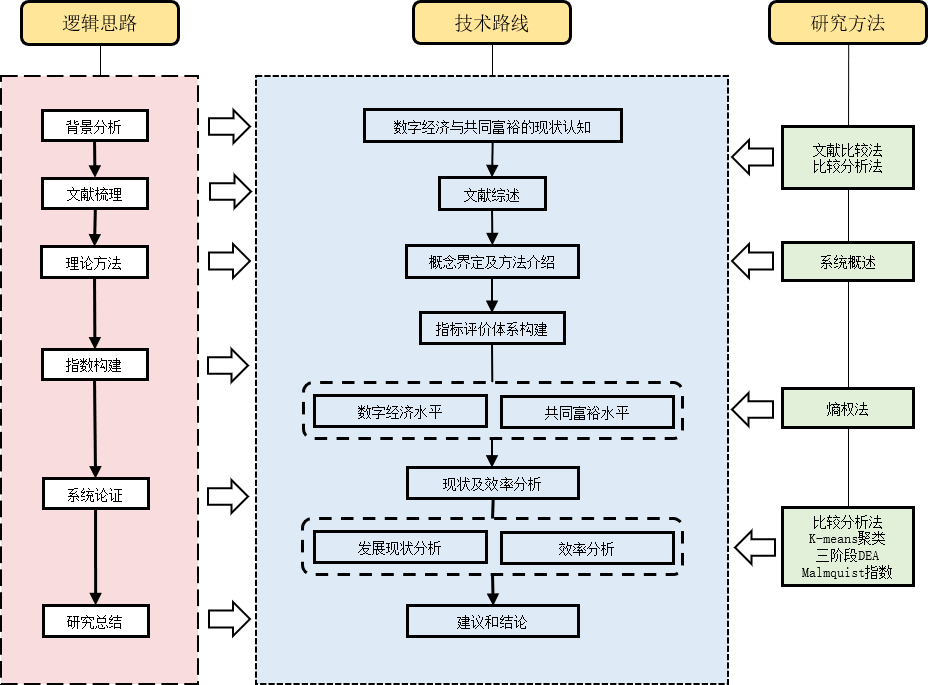


图 1 研究思路流程图

# 二、文献综述

## （一）数字经济的相关研究

裴长洪等(2018)运用政治经济学原理分析数字信息产品与数字产业的特点，认为数字经济会冲击传统经济学理论。张勋等(2019)指出落后地区的数字金融发展较于发达地区更快，且能显著提高家庭收入，促进中国的包容性增长。许宪春、张美慧(2020)从区域角度进行分析，发现数字经济的发展呈现出显著的地域分异，从整体上看，“数字鸿沟”问题比较突出，省级层次的数字经济发展具有“阶梯式”分布的特点，地域差异也比较显著。刘军等(2020)运用SAR模型发现地区经济增长水平、人力资本水平、外资依存度、政府干预度和居民工资水平是数字经济的驱动因素。周磊、龚志民(2022)运用Malmquist-Luenberger指数测算中国各地级市的数字经济和绿色发展水平，发现数字经济总体上有助于提升城市绿色高质量发展水平并存在地区异质性。

## （二）共同富裕的相关研究

刘培林等(2021)指出实现共同富裕要在高质量发展中提高人均收入水平，缩小人群、城乡以及地区差距，提出了构建共同富裕指标体系的六原则，并从总体富裕和发展成果共享程度两维度展开构建评价体系。肖若石(2022)从经济社会高质量发展、收入分配格局优化、精神文明建设、公共服务供给提升、群众满意度主观评价5个维度26个指标构建共同富裕评价体系。周广澜(2023）构建了三阶段DEA模型对浙江省的共同富裕效果进行了测度。李瑞松等(2023）从经济、收入消费、社会、文化、生态五方面构建共同富裕水平评价体系并运用PCA、K聚类、CNN等模型对中国省域共同富裕水平进行评价预测。

## （三）数字经济与共同富裕关系研究

夏杰长、刘诚(2021)认为数字时代中共同富裕要依托于数字经济，数字经济能“做大蛋糕”、“分好蛋糕”，但也存在“数字鸿沟”等问题。刘儒、张艺伟(2022)运用Bootstrap有调节的中介效应分析法实证了数字经济对共同富裕具正向的中介效应及直接效应。向云等(2022)运用空间计量模型实证了数字经济赋能共同富裕水平的效果存在显著的空间异质性。郑月明等(2023)运用耦合协调度等模型对湖北省各地级市数字经济与共同富裕的关系进行研究，实证了数字经济能驱动共同富裕水平。

种种研究表明，数字经济发展对共同富裕具有正向驱动作用，但研究者主要是对影响路径和影响效应以及异质性进行分析，对其驱动效率研究比较缺乏。

# 三、概念界定及方法介绍

## （一）概念界定

### 1.关于数字经济的概念

数字经济指的是将数字化的知识和信息作为主要的生产要素，以数字技术为核心的驱动力量，以现代信息网络为主要的载体，利用数字技术与实体经济进行了深度的融合，从而持续提升经济社会的数字化、网络化、智能化水平，加快对经济发展与治理模式进行重构的一种新兴经济形态。是实施国家重大战略的坚定力量，具有高创新性、强渗透性、广覆盖性等特征，能够有力地引领建设现代化经济体系，推动经济高质量发展。

### 2.关于共同富裕的概念

共同富裕指的是所有的人经过努力，互相帮助，最终实现小康社会的目标，消除两极分化和贫穷基础的普遍富裕。共同富裕指的是人们物质生活丰富与精神生活丰富并存的一种状态，不仅仅是少部分人的富裕，也不是一视同仁的平均主义。这是一个需要所有人坚持不懈，团结一致的历史过程。

## （二）方法介绍

### 1.熵权法

熵权法作为一种客观定权方式，能有效避免主观因素的干扰，使评价结果更精确。在多指标综合评价中，通过计算各指标的熵值，能得到相应的权重，为评价提供依据（周曙东、董倩，2022）。其具体步骤如下：

（1）构建评价矩阵，其中为评价对象数量，为评价指标数量。

（2）数据归一化。在评价中，为消除不同指标的量纲以及性质间的差异带来的影响，需要对数据进行无量纲化处理。

（3）计算信息熵及其冗余度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 公式（1） |
|  |  | 公式（2） |

其中，， 。

（4）计算各指标权重及综合指数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ， | 公式（3） |
|  |  | 公式（4） |

### 2. k-means聚类

k-means是一种无监督学习模型，用于将数据集分为k个不同的簇或组，其中每个数据点都属于最接近其质心的簇，其具有易实现、适用范围广、易解释、鲁棒性强等优点（何选森等，2022）。在k的确定上，一般寻找SSE学习曲线的拐点或开始趋向稳定的位置。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 公式（5） |

其中，代表第簇，为样本点，为簇中心。

具体算法流程为：首先随机选取类中心，其次计算每一样本点与质心的欧式距离（），对样本进行归类，再重新计算类中心，依次循环直至类中心稳定。

### 3.三阶段DEA-Malmquist模型

三阶段DEA作为一种相对效率综合评价模型，由Fried等(2002)提出，其考虑到外部环境、随机误差和管理无效率对效率值的影响，使得评价结果更为准确可信。

（1）第一阶段：传统DEA-BCC模型分析初始效率

在这一阶段，本文使用投入导向的规模报酬可变模型。对于任一决策单元，投入导向下对偶形式的BCC模型可表示为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 公式（6） |

其中，表示决策单元（DMU），分别是投入、产出向量。若，则DMU强DEA有效；若，则DMU弱DEA有效；若，则DMU非DEA有效。

BCC模型计算出来的效率值为综合技术效率（crste），可以进一步分解为规模效率（vrste）和纯技术效率（scale），即。

为弥补只能测度静态效率的缺陷，本文引入Malmquist指数描述动态效率。Malmquist指数可以深入了解效率变动趋势及原因(Fuentes,2015)。其具体公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 公式（7） |
|  |  | 公式（8） |

其中，和分别表示期和期评价对象的生产距离函数。*TEP*为全要素生产率，*TE*为技术进步变化，*TP*为技术效率变化，*PE*为纯技术效率变化，*SE*为规模效率变化。当TEP＞1时，说明该决策单元技术水平处于上升阶段；当TEP＜1时，说明该决策单元技术水平处于下降阶段。

（2）第二阶段：SFA回归剔除环境因素和统计噪声

该阶段主要将松弛变量分解为环境因素、统计噪声和管理无效率。本文仅对投入松弛变量运用SFA模型对第一阶段的松弛变量进行回归分解来移除环境效应和随机噪声、保留管理无效率来调整投入变量。具体公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 公式（9） |

其中，，，是第个决策单元第项投入的松弛值；是环境变量，是环境变量的系数；是混合误差项，是随机干扰，，表示随机干扰因素对投入松弛变量的影响；是管理无效率，，表示管理因素对投入松弛变量的影响。

SFA回归的目的是剔除环境因素和随机因素对效率测度的影响，以便将所有决策单元调整于相同的外部环境中。调整公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 公式（10） |

其中， ，是调整后的投入；是调整前的投入；是对外部环境因素进行调整；是将所有决策单元置于相同运气水平下，使得随机误差相同。

（3）第三阶段：调整后的投入产出变量的DEA效率分析

运用调整后的投入变量和产出变量再次利用BCC模型测算的效率，此时的效率值已经剔除环境因素和随机因素的影响。

# 四、评价指标体系构建

## （一）指标筛选原则

1.科学性与可靠性

在数字经济与共同富裕评价体系的构建中，应坚持科学性与可靠性原则。选取的指标应遵循客观规律，充分反映目标的评价，且数据的来源要真实可靠，符合测量标准，本文研究数据均来自统计局与权威数据库。

2.可度量性与可理解性

在对目标进行评价时，指标应具有可度量性，即指标能够以数字形式呈现，有明确的可度量对象。在理解方面，指标需避免使用复杂的定义和计算方式，尽可能使用通俗易懂的语言进行解释。

3.相关性与时效性

指标的选取应与指数体系相关，本文选取的数字经济指标以及共同富裕指标均与指数评价相关，且选取的研究时间段为2015-2021年，2015年为政府开始重视数字经济发展的节点，具有很强的时效性。

## （二）指标体系构建

### 1.数字经济指数

依据刘军等(2020)的研究，本文从信息化发展、互联网发展和数字交易发展三个维度展开构建数字经济发展指数。

（1）信息化发展

信息化发展是数字经济发展的基础。信息化发展水平可从以下4个指标进行衡量：光缆密度（公里/平方公里）、移动电话基站密度（万个/万人）、信息化从业人员数（万人）、软件业务收入（亿元）。

（2）互联网发展

互联网发展是数字经济发展的载体。互联网发展水平可从以下4个指标进行衡量：互联网接口密度（万个/万人）、移动电话普及率（部/百人）、宽带互联网用户人数占比（%）、移动互联网用户人数占比（%）。

（3）数字交易发展

数字交易发展是数字经济的体现。数字交易发展水平可从以下5个指标进行衡量：企业网站占比（百家/个）、企业使用计算机数占比（百人/个）、电子商务交易企业占比（%）、电子商务销售额（亿元）、网上零售额（亿元）。

在对指标评价上，本文采用熵权法定权。首先对指标数据进行线性无量纲化，考虑到熵权法要避免0值的影响，参考张彬等(2017)建立的信息化水平指数，具体公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 公式（11） |

其中为基期2015年的指标数据，目的是使数据实现纵向可比，同时也会使无量纲化后的数据大于7。

在熵权法赋权后，对所有指标进行线性加和，得出数字经济指数（DEI）。具体指标体系如表1所示。

表 1 数字经济指数评价体系

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 维度 | 指标 | 属性 | 权重 |
| 信息化发展 | 光缆密度 | + | 0.0808 |
| 移动电话基站密度 | + | 0.0675 |
| 信息化从业人员数 | + | 0.0928 |
| 软件业务收入 | + | 0.1874 |
| 互联网发展 | 互联网接口密度 | + | 0.0342 |
| 移动电话普及率 | + | 0.0298 |
| 宽带互联网用户人数占比 | + | 0.0413 |
| 移动互联网用户人数占比 | + | 0.0278 |
| 数字交易发展 | 企业网站占比 | + | 0.0156 |
| 企业使用计算机数占比 | + | 0.0444 |
| 电子商务交易企业占比 | + | 0.0445 |
| 电子商务销售额 | + | 0.1502 |
| 网上零售额 | + | 0.1837 |

注：指标属性效益型记为“+”，成本型记为“-”。

### 2.共同富裕指数

参照刘培林等(2021)的研究，本文从整体富裕和共享程度两方面展开构建共同富裕指数，主要包括以下指标。

（1）整体富裕水平

整体富裕的共同富裕的基本前提。具体衡量指标包括：人均可支配收入（元）、人均消费支出（元）、地方财政社会保障和就业支出（亿元）、金融业附加值占GDP的比重（%）、每百户汽车拥有量（辆）、每万人拥有卫生技术人员数（人）。

（2）共享程度水平

共享程度是共同富裕的深化。具体衡量指标包括：城乡恩格尔系数比、城乡居民收入差距、区域差距。其中区域差距为各省各年度人均可支配收入与上海市的比值。

在对指标数据处理方面，本文依旧采用线性无量纲法进行无量纲化，消除不同量纲的影响。具体公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 正向指标： |  | 公式（12） |
| 负向指标： |  | 公式（13） |

其中为基期2015年的指标数据，无量纲化的数据可能会大于1。由于共享程度衡量的是相对差距，故共享程度指标的为当年数据。

在权重分配上，由于“共同”与“富裕”存在一定的先后顺序，故给整体富裕、共享程度分别赋予0.6、0.4的权重，再利用熵权法分别赋权后，对所有指标进行线性加和，得出共同富裕指数（CWI）。具体指标体系如表2所示。

表 2 共同富裕指数评价体系

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 维度 | 指标 | 属性 | 权重 |
| 整体富裕 | 人均可支配收入 | + | 0.105 |
| 人均消费支出 | + | 0.100 |
| 地方财政社会保障和就业支出 | + | 0.080 |
| 金融业附加值占GDP的比重 | + | 0.105 |
| 每百户汽车拥有量 | + | 0.055 |
| 每万人拥有卫生技术人员数 | + | 0.055 |
| 共享程度 | 城乡恩格尔系数比 | - | 0.060 |
| 城乡居民收入差距 | - | 0.110 |
| 区域差距 | + | 0.330 |

注：指标属性效益型记为“+”，成本型记为“-”。

本文分析研究的数据均来源于国家统计局、国家数据、《中国统计年鉴》、地方统计局、RESSET宏观数据库、国家知识产权局。

# 五、中国数字经济与共同富裕的测度以及两者关系分析

## （一）数字经济发展描述

2015-2021年我国分省和分地区的数字经济年平均指数如图2和图3所示。从各省发展来看，如图2所示，7年中数字经济指数以广东、北京、浙江、上海、江苏5省市较高，其中广东（8.5910）居于榜首；广西、甘肃、贵州、黑龙江、吉林5省数字经济发展水平较低，其中黑龙江仅为2.0101，由此可以看出，省份间数字经济发展差距较大，存在一定的“数字鸿沟”。从地区发展来看，如图3所示，东部地区发展最好，中部与西部地区发展相当，东北地区发展较慢，主要是由于东部地区是改革开放的先行地区，拥有良好的经济基础、数字基础，且人口密度大，市场规模大以及拥有政策扶持，而东北地区以传统制造业为主，数字经济发展的基础设施落后，以及缺乏资金与人才投入，使得东部地区与东北地区出现较大的差距。



图 2 2015-2021中国30省数字经济年平均指数值



图 3 2015-2021年中国30省数字经济年平均指数值地区分布情况

## （二）数字经济与共同富裕

在影响路径上，数字经济的发展能降低交易成本、激发数据需求，以推动社会经济的增长，助于实现共同富裕中“富裕”的基本前提，其次也能通过跨越地域约束配置资源缩小地区以及城乡间的差距，并且能激发新业态，创造就业岗位，缩小人群收入差距，助力共同富裕中“共同”的目标实现（艾小青、高洪桥，2022）。

从图4可以看出，2015-2021年中国数字经济指数与共同富裕指数均稳步上升，表明经济发展和社会进步正在取得成效，人们的生活水平正在提高。其中DEI由2.2862增长至4.4015，年均增长率为11.56%，意味着数字技术的应用正在促进经济增长和创造就业机会，CWI由0.3226增长至0.5262，年均增长率为8.51%，反映了贫富差距正在缩小，更多的人可以分享到经济发展的成果。



图 4 2015-2021年中国平均数字经济及共同富裕指数

在对省域发展协调分析上，本文采用K-means模型进行聚类分析，具体分类结果如图5所示。根据SSE学习曲线，k=2时为拐点，k=4时趋于稳定，本文折衷考虑，选取k=3进行聚类分析。Ⅰ类的类中心为（8.3830，0.7760），包括北京和广东，该类的特征主要表现为高数字水平、高富裕度，协调度高；Ⅱ类的类中心为（5.5842，0.6768），包括浙江、上海、江苏、山东，该类的特征主要表现为较高数字水平、较高富裕度，较为协调；Ⅲ类的类中心为（2.5155，0.3537），包括天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、安徽、福建、江西、河南、湖北、湖南、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆，该类的特征主要表现为低数字水平、低富裕度，协调度低。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) 肘状图 | (b) k-means聚类图 |

图 5 聚类结果

# 六、基于三阶段DEA-Malmquist模型的效率分析

## （一）变量选取与流程说明

本文选取信息化发展水平、互联网发展水平、数字交易发展水平为投入变量，以富裕程度和共享程度为产出变量。选取地区生产总值、地区受教育程度、地区高质量发展程度为环境变量，其中地区受教育程度以6周岁以上专科生以上学历占比衡量、地区高质量发展程度以发明专利数衡量。

表 3 DEA变量说明

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 变量 | 维度 | 指标 | 属性 |
| 投入变量 | 数字经济水平 | 信息化发展水平 | + |
| 互联网发展水平 | + |
| 数字交易发展水平 | + |
| 产出变量 | 共同富裕水平 | 富裕程度 | + |
| 共享程度 | + |
| 环境变量 |  | 地区生产总值 | + |
| 地区受教育程度 | + |
| 地区高质量发展程度 | + |

注：指标属性效益型记为“+”，成本型记为“-”。

本文进行三阶段DEA-Malmquist的具体流程如图6：

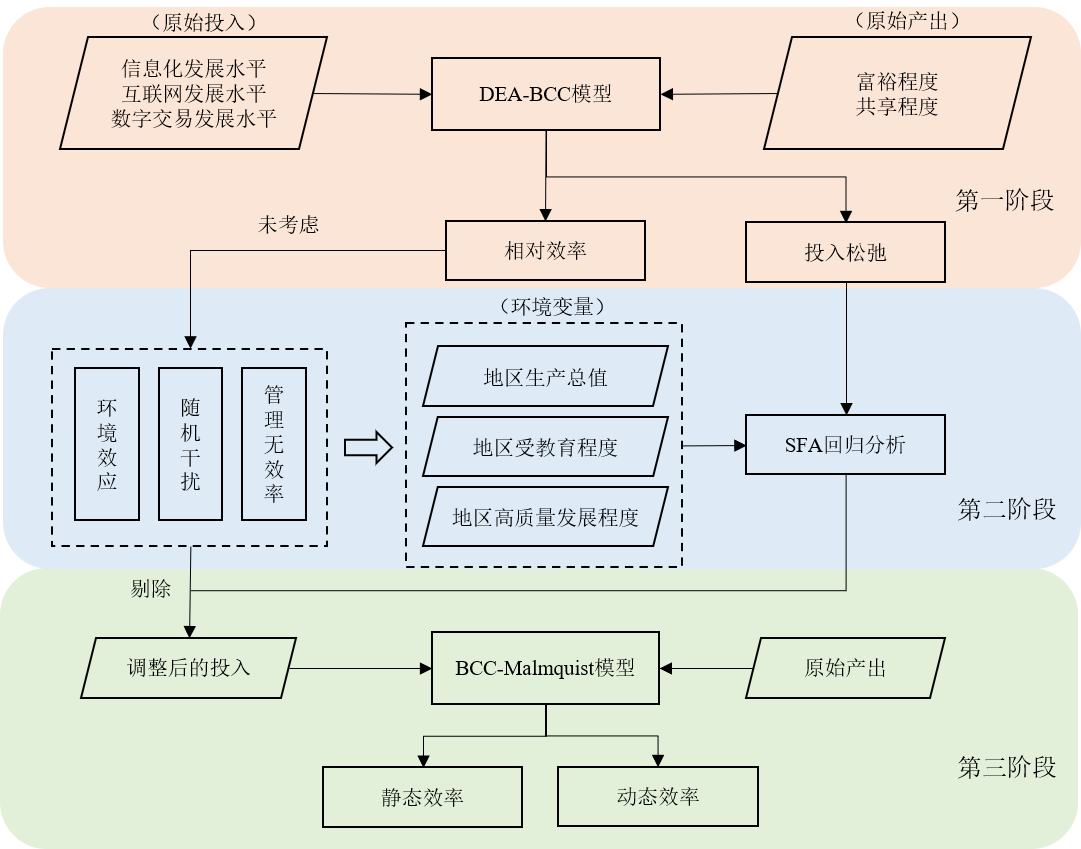


图 6 三阶段DEA-Malmquist模型流程

## （二）第一阶段DEA-BCC模型

运用deap2.1软件对我国30个省在2015-2021年数字经济对共同富裕效率的投入产出指标进行测算结果入表4所示，从表中可以看出在没有考虑环境因素和随机因素影响的情况下我国在7年间的数字经济驱动共同富裕的效率的综合技术效率的均值逐年上升，从0.669到0.879。从各省市来看，北京、天津、河北、辽宁、黑龙江省、上海、江西、河南8个省市均有年度实现了DEA有效，其中天津7年均DEA有效，上海有6年DEA有效、北京有3年DEA有效、河北和辽宁有2年DEA有效、吉林、黑龙江、江西和河南有1年DEA有效。从上述描述可以发现，地区间呈现随时间增长效率不断增长的趋势，且出现地区异质性，北京、上海、天津等地区和东北地区处于效率前沿，而中西部及南方地区驱动效率值相对较低。

表 4 2015-2021年各地区综合效率值

| 地区 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 北京 | 0.746 | 0.868 | 0.888 | 0.967 | 1 | 1 | 1 |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 河北 | 0.707 | 0.741 | 0.771 | 0.942 | 1 | 1 | 0.993 |
| 山西 | 0.677 | 0.659 | 0.647 | 0.59 | 0.705 | 0.738 | 0.672 |
| 内蒙古 | 0.857 | 0.806 | 0.796 | 0.788 | 0.885 | 0.901 | 0.888 |
| 辽宁 | 0.921 | 0.963 | 0.892 | 0.828 | 0.908 | 1 | 1 |
| 吉林 | 0.886 | 0.826 | 0.808 | 0.753 | 0.883 | 0.968 | 1 |
| 黑龙江 | 0.973 | 0.888 | 0.816 | 0.898 | 1 | 1 | 1 |
| 上海 | 0.897 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 江苏 | 0.601 | 0.594 | 0.615 | 0.679 | 0.742 | 0.805 | 0.869 |
| 浙江 | 0.531 | 0.526 | 0.59 | 0.652 | 0.708 | 0.775 | 0.873 |
| 安徽 | 0.647 | 0.635 | 0.629 | 0.744 | 0.831 | 0.841 | 0.943 |
| 福建 | 0.624 | 0.567 | 0.522 | 0.539 | 0.648 | 0.702 | 0.853 |
| 江西 | 0.649 | 0.632 | 0.694 | 0.78 | 0.877 | 0.94 | 1 |
| 山东 | 0.578 | 0.664 | 0.712 | 0.704 | 0.8 | 0.888 | 0.884 |
| 河南 | 0.646 | 0.675 | 0.692 | 0.864 | 0.953 | 0.954 | 1 |
| 湖北 | 0.633 | 0.685 | 0.779 | 0.809 | 0.907 | 0.91 | 0.97 |
| 湖南 | 0.730 | 0.755 | 0.818 | 0.852 | 0.908 | 0.93 | 0.962 |
| 广东 | 0.545 | 0.683 | 0.757 | 0.724 | 0.814 | 0.914 | 0.958 |
| 广西 | 0.599 | 0.658 | 0.696 | 0.807 | 0.851 | 0.843 | 0.798 |
| 海南 | 0.558 | 0.543 | 0.537 | 0.57 | 0.593 | 0.732 | 0.693 |
| 重庆 | 0.621 | 0.609 | 0.566 | 0.621 | 0.717 | 0.744 | 0.744 |
| 四川 | 0.574 | 0.646 | 0.69 | 0.694 | 0.789 | 0.855 | 0.871 |
| 贵州 | 0.351 | 0.485 | 0.556 | 0.561 | 0.646 | 0.711 | 0.703 |
| 云南 | 0.637 | 0.625 | 0.666 | 0.71 | 0.805 | 0.843 | 0.855 |
| 陕西 | 0.484 | 0.447 | 0.453 | 0.531 | 0.632 | 0.685 | 0.64 |
| 甘肃 | 0.513 | 0.554 | 0.636 | 0.678 | 0.782 | 0.812 | 0.759 |
| 青海 | 0.636 | 0.641 | 0.704 | 0.699 | 0.812 | 0.827 | 0.714 |
| 宁夏 | 0.608 | 0.631 | 0.631 | 0.664 | 0.813 | 0.79 | 0.791 |
| 新疆 | 0.633 | 0.771 | 0.784 | 0.778 | 0.899 | 0.9 | 0.938 |
| Mean | 0.669 | 0.693 | 0.712 | 0.748 | 0.83 | 0.867 | 0.879 |

## （三）第二阶段SFA回归分析

在这一阶段，以数字经济指标的松弛变量为因变量，以地区生产总值、居民受教育程度、地区高质量发展程度为自变量，以2015-2021年的面板数据建立SFA回归方程，为去除量纲影响，本文运用公式（12）对自变量进行无量纲化处理，Frontier4.1软件计算结果见表5。

表 5 SFA回归结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 变量 | 信息化发展指数松弛变量 | 互联网发展指数松弛变量 | 数字交易发展指数松弛变量 |
| 常数项 | 2.1100\*\*\* | 0.4300\*\*\* | 0.2170\*\* |
| 地区生产总值 | -0.0248 | -0.0252 | 0.6400\*\*\* |
| 居民受教育程度 | -0.3700\*\*\* | -0.0581\*\* | -0.4100\*\* |
| 地区高质量发展程度 | -0.5640\*\*\* | -0.1110\*\*\* | 0.2410\* |
|  | 2.6600 | 0.0971 | 0.2850 |
|  | 0.9910 | 0.9900 | 0.5630 |
| LR单边检验 | 117\*\*\* | 242\*\*\* | 13.7\*\* |

注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表在1%，5%和10%的水平上显著

由表5可知，三个松弛变量的LR单边似然比检验分别在1%和5%的水平上显著，并且在前两个投入变量的值都接近1说明SFA回归是合理的。

在地区生产总值和地区高质量发展程度这两个环境变量中，与信息化发展、互联网发展冗余值的回归系数为负，与数字交易发展冗余值的回归系数为正且显著，说明地区生产总值和地区高质量发展程度越高，信息化发展和互联网发展的冗余值越大，数字交易发展冗余值越小。在居民受教育程度这一环境变量中三个松弛变量的回归系数显著为负，说明居民受教育程度的提升会削弱投入变量的冗余，从而提升数字经济水平的驱动效率。

以上结果表明，三个环境变量对数字经济赋能共同富裕效率的影响方向有所不同，这可能导致有的决策单元被高估，有的决策单元被低估。

## （四）第三阶段DEA-BCC模型

根据二阶段SFA回归分析结果，将调整后的投入值与原始产出值再次带入DEA-BCC模型中进行效率测算，以下着重分析2021年效率值变化，其他结果见附录，具体结果如下表。

表 6 2021年各地区第三阶段效率值

| 地区 | 综合效率 | 技术效率 | 规模效率 | 规模报酬 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 北京 | 1 | 1 | 1 | - |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | - |
| 河北 | 0.871 | 1 | 0.871 | irs |
| 山西 | 0.625 | 0.998 | 0.626 | irs |
| 内蒙古 | 0.817 | 0.999 | 0.818 | irs |
| 辽宁 | 0.923 | 1 | 0.923 | irs |
| 吉林 | 0.768 | 1 | 0.768 | irs |
| 黑龙江 | 0.854 | 1 | 0.854 | irs |
| 上海 | 1 | 1 | 1 | - |
| 江苏 | 0.933 | 0.99 | 0.943 | irs |
| 浙江 | 0.928 | 0.999 | 0.929 | irs |
| 安徽 | 0.784 | 0.998 | 0.786 | irs |
| 福建 | 0.871 | 0.999 | 0.872 | irs |
| 江西 | 0.754 | 1 | 0.754 | irs |
| 山东 | 0.801 | 1 | 0.801 | irs |
| 河南 | 0.819 | 1 | 0.819 | irs |
| 湖北 | 0.821 | 1 | 0.821 | irs |
| 湖南 | 0.774 | 1 | 0.774 | irs |
| 广东 | 0.874 | 1 | 0.874 | irs |
| 广西 | 0.685 | 0.999 | 0.686 | irs |
| 海南 | 0.69 | 0.998 | 0.692 | irs |
| 重庆 | 0.825 | 0.994 | 0.83 | irs |
| 四川 | 0.858 | 1 | 0.858 | irs |
| 贵州 | 0.56 | 1 | 0.56 | irs |
| 云南 | 0.673 | 1 | 0.673 | irs |
| 陕西 | 0.687 | 0.994 | 0.692 | irs |
| 甘肃 | 0.623 | 1 | 0.623 | irs |
| 青海 | 0.642 | 0.995 | 0.645 | irs |
| 宁夏 | 0.597 | 0.994 | 0.601 | irs |
| 新疆 | 0.629 | 1 | 0.629 | irs |
| Mean | 0.79 | 0.999 | 0.791 |  |

注： irs表示规模递增，drs表示规模递减。

通过对一阶段与第三阶段得出的表对比后发现：在第二阶段剔除外部因素的影响后，各省市的效率值总体上有一定程度的下降。以全国均值为例，其中综合效率平均值由0.879下降到0.79，技术效率由0.946上升到0.999，规模效率由0.927下降到0.791。

从地区上看，北京、上海、浙江等8省市综合效率值没有下降，甚至出现了上升，其中重庆效率值上升0.081；其余22个省市均出现下降，以新疆（-0.309）最为显著。如图7所示，西部地区、中部地区和东北地区受环境影响更为显著，而东部地区变化不显著。说明环境因素和随机因素对东部地区的数字经济驱动效率影响较弱，可能由于东部地区经济较为发达，具有较高的数字经济水平和共同富裕水平，而中西部和东北地区受地区发展和人才创新影响大，导致产生较高的投入冗余。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

图 7 2021年各地区一阶段与三阶段综合效率对比

## （五）基于Malmquist指数的动态分析

为了进一步分析全国30省域的数字经济驱动共同富裕的效率变动趋势，本文选取去除冗余后的投入变量和原始产出变量基于Malmquist指数模型运用deap2.1计算其全要素生产率及其分解指数，结果如表7和表8所示。

表 7 分年度Malmquist指数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| year | TE | TP | PE | SE | TFP |
| 2015-2016 | 1.015 | 0.998 | 1 | 1.016 | 1.013 |
| 2016-2017 | 1.057 | 0.968 | 1 | 1.057 | 1.023 |
| 2017-2018 | 1.021 | 1.023 | 0.999 | 1.022 | 1.044 |
| 2018-2019 | 1.069 | 0.986 | 1.001 | 1.067 | 1.054 |
| 2019-2020 | 1.069 | 0.975 | 1 | 1.068 | 1.042 |
| 2020-2021 | 1.08 | 0.972 | 1 | 1.08 | 1.05 |
| Mean | 1.051 | 0.987 | 1 | 1.051 | 1.038 |

从分年度测算结果上看，如表7所示，全国平均的全要素生产率（TFP）的平均年增长率为3.8%，主要是由于技术效率变化（TP）增长，其年均增长率为5.1%，但技术进步变化（TE）存在负增长（-1.3%），可能受大市场影响，创新出现停滞。不过当 TP＜1 时，不一定是技术水平本身的水平发生退步，也有可能是技术进步对全要素生产率的贡献下降了（蔡跃洲、付一夫，2017）；除此之外，全要素生产率本质上反映的是产出与投入的比率，可能会出现技术进步速度低于产出增长速度，从而导致 TP 小于 1。从TFP的分解值来看，如图8所示，TFP整体趋势上升，2018-2019年增长最快，增速为5.4%；TE与TP呈现出反向变化，其中TE每年都是呈现增长趋势，而TP每年都是呈现负增长趋势，只有2017-2018年出现增长（2.3%），总体上是往优化配置发展。从TE的分解值来看，TE、PE、SE均接近1，TE与SE呈现出同向变化，且SE变化幅度大于PE，说明SE在TE中的贡献更大，规模效率是引起技术效率变化的重要因素。

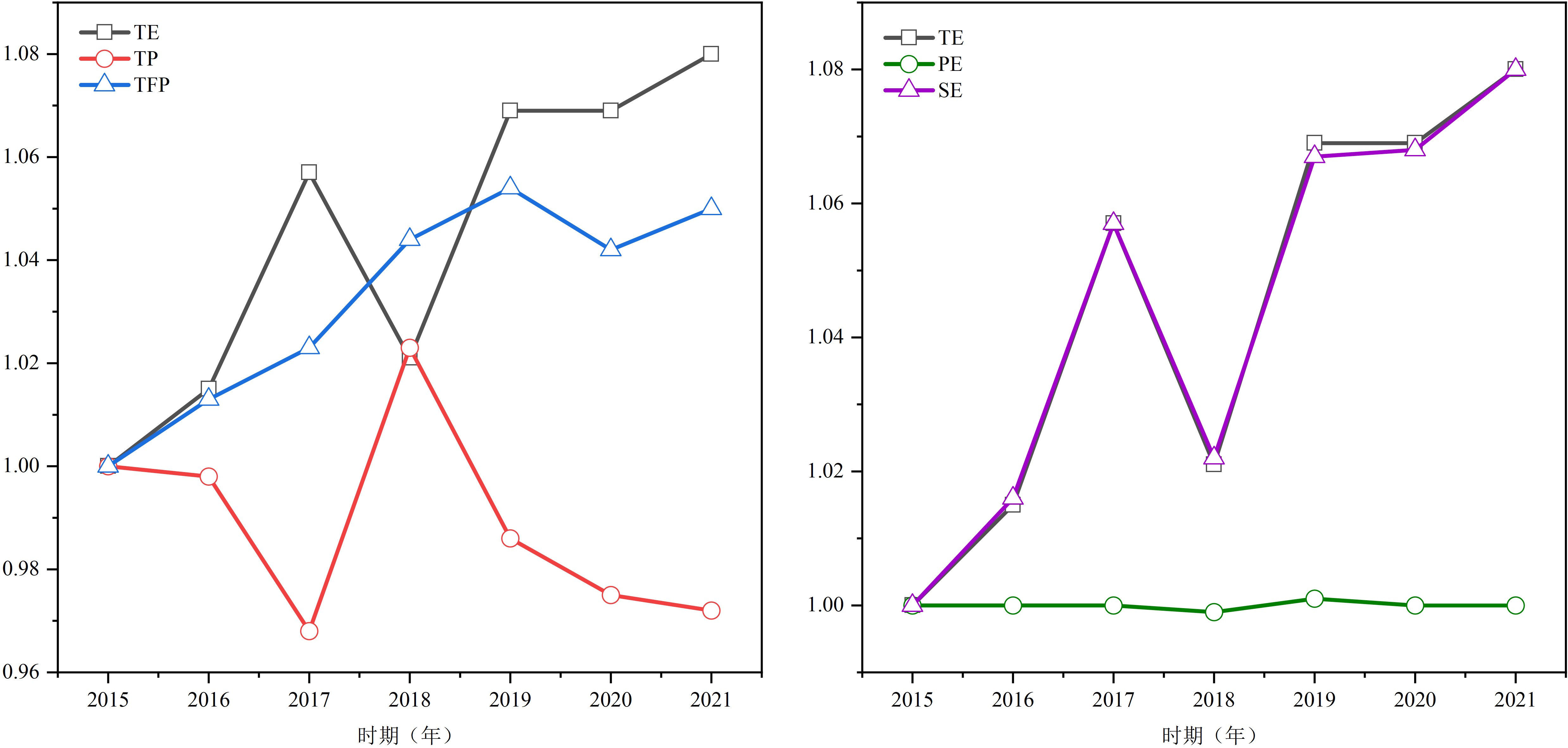


图 8 各年Malmquist指数变动图

从分地区测算结果上看，如表8所示，北京等24个省市TFP均大于1，其中增长率最高的是贵州（15.2%），而天津等6个省市TFP均小于1，其中负增长率最高的是浙江（-6.8%），从全要素生产率排名来看，增长率靠前主要是贵州、甘肃、云南等经济落后地区，而北京、上海、浙江等发达地区排名靠后，一定程度上说明了经济较落后的地区更有效率通过数字经济驱动共同富裕。

表 8 分地区Malmquist指数

| 地区 | TE | TP | PE | SE | TFP | 排名 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 北京 | 1 | 1.005 | 1 | 1 | 1.005 | 22 |
| 天津 | 1 | 0.978 | 1 | 1 | 0.978 | 27 |
| 河北 | 1.082 | 0.993 | 1 | 1.082 | 1.074 | 10 |
| 山西 | 1.065 | 1.012 | 1 | 1.065 | 1.078 | 8 |
| 内蒙古 | 1.053 | 1 | 1 | 1.053 | 1.053 | 12 |
| 辽宁 | 1.039 | 1.008 | 1 | 1.039 | 1.047 | 14 |
| 吉林 | 1.046 | 0.969 | 1 | 1.046 | 1.013 | 21 |
| 黑龙江 | 1.044 | 0.982 | 1 | 1.044 | 1.025 | 18 |
| 上海 | 1 | 0.973 | 1 | 1 | 0.973 | 28 |
| 江苏 | 1.013 | 0.992 | 0.999 | 1.014 | 1.005 | 22 |
| 浙江 | 0.989 | 0.942 | 1 | 0.989 | 0.932 | 30 |
| 安徽 | 1.068 | 0.957 | 1 | 1.068 | 1.022 | 19 |
| 福建 | 1.035 | 0.935 | 1 | 1.035 | 0.967 | 29 |
| 江西 | 1.06 | 0.938 | 1 | 1.06 | 0.994 | 25 |
| 山东 | 1.023 | 0.995 | 1 | 1.023 | 1.018 | 20 |
| 河南 | 1.071 | 0.972 | 1 | 1.071 | 1.041 | 15 |
| 湖北 | 1.044 | 0.962 | 1 | 1.044 | 1.004 | 24 |
| 湖南 | 1.055 | 0.976 | 1 | 1.055 | 1.029 | 16 |
| 广东 | 1.004 | 1.022 | 1.002 | 1.002 | 1.026 | 17 |
| 广西 | 1.078 | 0.98 | 1 | 1.078 | 1.056 | 11 |
| 海南 | 1.047 | 0.935 | 1 | 1.047 | 0.979 | 26 |
| 重庆 | 1.075 | 1.009 | 0.999 | 1.076 | 1.085 | 6 |
| 四川 | 1.073 | 1.019 | 1 | 1.073 | 1.093 | 4 |
| 贵州 | 1.152 | 1 | 1 | 1.152 | 1.152 | 1 |
| 云南 | 1.08 | 1.014 | 1 | 1.08 | 1.095 | 3 |
| 陕西 | 1.083 | 0.998 | 1 | 1.083 | 1.081 | 7 |
| 甘肃 | 1.101 | 1.021 | 1 | 1.101 | 1.123 | 2 |
| 青海 | 1.058 | 1.019 | 1 | 1.058 | 1.078 | 8 |
| 宁夏 | 1.048 | 1.001 | 0.999 | 1.049 | 1.049 | 13 |
| 新疆 | 1.076 | 1.01 | 1 | 1.076 | 1.087 | 5 |
| Mean | 1.051 | 0.987 | 1 | 1.051 | 1.038 |  |

# 七、对策建议

通过上述分析可知，数字经济在实现共同富裕的过程上扮演着重要角色，要充分发挥数字经济对共同富裕的推动作用，就必须通过制度和机制的创新，加速共同富裕的实现。在此基础上，结合以上的分析和文献研究的结果，本文提出以下建议：

1.消除“数字鸿沟”。在数字化时代，数字鸿沟是数字时代中出现的一种新现象和新形态，是全球性的挑战，是实现全面发展与共同富裕所面临的新挑战。

（1）加大对核心技术研究和研发力度。在具体的实施过程中，要加大资金、人才的投入，加强体制的保障与扶持。

（2）加强信息化推进制度建设。在推进信息化过程中，政府要从宏观上对其进行指导，针对其发展进行整体的规划与布局，坚持适度超前的发展策略，并保证信息化体系的稳定与统一。

（3）调整产业结构，提高可信息化。从行业发展的角度，协调行业间的关系，以整体和整体的方式提升企业的信息化水平。除此之外，还要以不同的地区的不同状况为依据，分地区、分阶段、逐步推行信息化发展战略。

2.推进数字经济发展战略

（1）注重试点示范作用。政府应该在一些城市建立数字经济的创新实验区，并根据当地的实际情况来营造一个新的数字经济发展的生态环境。

（2）在科技开发中，各地要加强科技开发中的“短板”研究，增加针对该技术发展的资金支持力度，扩大多元化的投资渠道，推动企业进行数字化转型，推动数字科技与实体经济的融合。

（3）加强数字人才培养。面对数字技术的不断发展，实体经济的数字化转型，都需要具有一定的知识储备，能够对数字技术进行科学的分析和处理，具有一定的专业性和创造性的人才。要提高公共服务和社会治理的数字化和智能化，就必须培养数字型人才，提高群众的数字素养。

（4）提升数字经济监管力度。推动数字经济蓬勃发展，既要坚持促进发展，也要关注监管规范。要建全法律法规，完善协同监管机制和规律相适应的政策体系、监管规则，了解数字经济发展特点；依法依规，强化包容审慎监管。

3.针对性实施差异性数字经济发展战略，着力增强发展的协调性。

（1）完备数字经济的顶层设计，制定相关战略，加快新型基础设施建设。深入贯彻落实区域重大战略，促进东、中、西和东北地区协调发展，推动形成优势互补、高质量发展的区域协调发展新格局。

（2）引进各领域高端人才到中西部工作，在兼顾公平和教育的前提下，加强对东部数字经济的正面积极影响，弥补中西部的不足之处，推动构建数据资源的共享机制，以尽量消除“数字鸿沟”。

（3）遵循客观的经济规律，对区域政策体系进行调整和完善，不仅为发达地区和中心城市提供更多的支持，同时也对欠发达地区进行补足短板、增强弱项的工作，促进各地宜粮则粮、宜工则工、宜商则商，以自身的实际情况为根本，走出一条合理分工、优化发展的道路，从而达到更高层次的区域协调发展。

# 八、结论

本文基于对全国30个省份基本数据的分析情况，利用熵权法构建评价体系，并采用K-means模型对各省域的发展水平的协调性进行聚类分析，随后利用三阶段DEA-Malmquist模型进行效率分析。在对有关数据进行分析的同时，结合各地政府工作报告和经济运行情况，可以得出以下结论：

* 现阶段我国的数字经济发展成效显著，人们的生活水平正在稳步提高，不同类型的数字应用加快了落实速度，已经成为了各地扩大投资和促进消费的一种主要动力。
* 我国数字经济对共同富裕具有明显的正向促进作用，促进了共同富裕的发展，即数字经济赋能共同富裕的效率总体上呈现出波动上升的趋势。
* 我国数字经济对共同富裕的赋能效率并不高，且存在明显的地区差异，呈现出东部地区发展效率更高、中西部地区相当且相对较低的空间格局，在剔除了环境因素等外部因素的影响下该结论依旧成立。
* 经济较落后的地区更能通过数字经济发展驱动共同富裕的实现。

# 参考文献

1. 习近平.扎实推动共同富裕[J].求是,2021(20):4-8.
2. 李海舰,赵丽.数据成为生产要素:特征、机制与价值形态演进[J].上海经济研究,2021(08):48-59.
3. 裴长洪,倪江飞,李越.数字经济的政治经济学分析[J].财贸经济,2018,39(09):5-22.
4. 张勋,万广华,张佳佳等.数字经济、普惠金融与包容性增长[J].经济研究,2019,54(08):71-86.
5. 许宪春, 张美慧. 中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J]. 中国工业经济, 2020, (5): 23-41.
6. 刘军,杨渊鋆,张三峰.中国数字经济测度与驱动因素研究[J].上海经济研究,2020,No.381(06):81-96.
7. 周磊,龚志民.数字经济水平对城市绿色高质量发展的提升效应[J].经济地理,2022,42(11):133-141.
8. 刘培林,钱滔,黄先海等.共同富裕的内涵、实现路径与测度方法[J].管理世界,2021,37(08):117-129.
9. 肖若石. 我国共同富裕目标指标体系初探[J]. 价格理论与实践, 2022(9):6.
10. 周广澜.基于三阶段DEA模型的共同富裕效果测量研究——来自浙江的经验总结[J].中共杭州市委党校学报,2023(02):44-56.
11. 李瑞松,刘洪久,胡彦蓉.中国省际共同富裕水平评价研究[J].统计与信息论坛,2023,38(02):29-46.
12. 夏杰长,刘诚.数字经济赋能共同富裕：作用路径与政策设计[J].经济与管理研究,2021,42(09):3-13.
13. 刘儒,张艺伟.数字经济与共同富裕——基于空间门槛效应的实证研究[J].西南民族大学学报(人文社会科学版),2022,43(03):90-99.
14. 向云,陆倩,李芷萱.数字经济发展赋能共同富裕：影响效应与作用机制[J].证券市场导报,2022,No.358(05):2-13.
15. 郑月明,梅澳裕,陈家帅.数字经济与共同富裕的耦合协调及驱动机制——基于湖北省地级市的探讨[J].调研世界,2023,No.353(02):77-88.
16. 周曙东,董倩.区域数字经济发展指数测度方法及应用研究[J].调研世界,2022,No.351(12):68-78.
17. 何选森,何帆,徐丽等.K-Means算法最优聚类数量的确定[J].电子科技大学学报,2022,51(06):904-912.
18. 张彬,彭知岛,赵磊,等.中国信息化发展的国际比较研究[J].信息系统工程,2017(6):122-125.
19. 艾小青,高洪桥.数字经济与共同富裕[J].阅江学刊,2022,14(06):148-158+172.
20. 蔡跃洲,付一夫.全要素生产率增长中的技术效应与结构效应——基于中国宏观和产业数据的测算及分解[J]. 经济研究, 2017, 52(1): 72-88.
21. Fried H. O. , Lovell C. A. K. , Schmidt S. S. , et al. Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002, 17(1-2):157-174.
22. Fuentes R , Lillo-Banuls A . Smoothed bootstrap Malmquist index based on DEA model to compute productivity of tax offices[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(5):2442-2450.

# 附录

表 9 2015年第一阶段与第三阶段效率对比

| 地区 | 第一阶段效率 | | | 第三阶段效率 | | | 效率增幅 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| crste | vrste | scale | crste | vrste | scale |
| 北京 | 0.746 | 1 | 0.746 | 1 | 1 | 1 | 0.34 |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 河北 | 0.707 | 0.974 | 0.726 | 0.543 | 0.999 | 0.544 | -0.232 |
| 山西 | 0.677 | 0.939 | 0.721 | 0.427 | 0.998 | 0.428 | -0.369 |
| 内蒙古 | 0.857 | 0.988 | 0.867 | 0.599 | 0.998 | 0.6 | -0.301 |
| 辽宁 | 0.921 | 0.993 | 0.927 | 0.735 | 1 | 0.735 | -0.202 |
| 吉林 | 0.886 | 1 | 0.886 | 0.588 | 1 | 0.588 | -0.336 |
| 黑龙江 | 0.973 | 1 | 0.973 | 0.66 | 1 | 0.66 | -0.322 |
| 上海 | 0.897 | 1 | 0.897 | 1 | 1 | 1 | 0.115 |
| 江苏 | 0.601 | 0.615 | 0.976 | 0.866 | 1 | 0.866 | 0.441 |
| 浙江 | 0.531 | 0.606 | 0.877 | 0.99 | 0.997 | 0.993 | 0.864 |
| 安徽 | 0.647 | 0.936 | 0.692 | 0.53 | 0.998 | 0.531 | -0.181 |
| 福建 | 0.624 | 0.637 | 0.979 | 0.708 | 0.995 | 0.712 | 0.135 |
| 江西 | 0.649 | 0.956 | 0.679 | 0.532 | 1 | 0.532 | -0.18 |
| 山东 | 0.578 | 0.725 | 0.797 | 0.699 | 1 | 0.699 | 0.209 |
| 河南 | 0.646 | 0.938 | 0.689 | 0.542 | 1 | 0.542 | -0.161 |
| 湖北 | 0.633 | 0.85 | 0.745 | 0.636 | 1 | 0.636 | 0.005 |
| 湖南 | 0.73 | 1 | 0.73 | 0.563 | 1 | 0.563 | -0.229 |
| 广东 | 0.545 | 0.565 | 0.964 | 0.853 | 0.989 | 0.862 | 0.565 |
| 广西 | 0.599 | 1 | 0.599 | 0.437 | 1 | 0.437 | -0.27 |
| 海南 | 0.558 | 0.784 | 0.712 | 0.525 | 1 | 0.526 | -0.059 |
| 重庆 | 0.621 | 0.788 | 0.788 | 0.533 | 0.999 | 0.534 | -0.142 |
| 四川 | 0.574 | 0.794 | 0.723 | 0.562 | 0.999 | 0.563 | -0.021 |
| 贵州 | 0.351 | 1 | 0.351 | 0.239 | 1 | 0.239 | -0.319 |
| 云南 | 0.637 | 1 | 0.637 | 0.423 | 1 | 0.423 | -0.336 |
| 陕西 | 0.484 | 0.746 | 0.649 | 0.427 | 0.995 | 0.429 | -0.118 |
| 甘肃 | 0.513 | 1 | 0.513 | 0.35 | 1 | 0.35 | -0.318 |
| 青海 | 0.636 | 0.897 | 0.709 | 0.457 | 0.997 | 0.458 | -0.281 |
| 宁夏 | 0.608 | 0.921 | 0.66 | 0.451 | 0.997 | 0.452 | -0.258 |
| 新疆 | 0.633 | 0.94 | 0.674 | 0.405 | 0.995 | 0.407 | -0.36 |
| mean | 0.669 | 0.886 | 0.763 | 0.609 | 0.999 | 0.61 | -0.09 |

表 10 2016年第一阶段与第三阶段效率对比

| 地区 | 第一阶段效率 | | | 第三阶段效率 | | | 效率增幅 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| crste | vrste | scale | crste | vrste | scale |
| 北京 | 0.868 | 1 | 0.868 | 1 | 1 | 1 | 0.152 |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 河北 | 0.741 | 0.928 | 0.798 | 0.564 | 1 | 0.564 | -0.239 |
| 山西 | 0.659 | 0.94 | 0.701 | 0.424 | 0.998 | 0.425 | -0.357 |
| 内蒙古 | 0.806 | 0.965 | 0.835 | 0.605 | 0.998 | 0.606 | -0.249 |
| 辽宁 | 0.963 | 1 | 0.963 | 0.738 | 1 | 0.738 | -0.234 |
| 吉林 | 0.826 | 1 | 0.826 | 0.57 | 1 | 0.57 | -0.31 |
| 黑龙江 | 0.888 | 1 | 0.888 | 0.629 | 1 | 0.629 | -0.292 |
| 上海 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 江苏 | 0.594 | 0.611 | 0.972 | 0.874 | 0.997 | 0.877 | 0.471 |
| 浙江 | 0.526 | 0.528 | 0.996 | 0.972 | 0.994 | 0.978 | 0.848 |
| 安徽 | 0.635 | 0.926 | 0.685 | 0.554 | 0.999 | 0.554 | -0.128 |
| 福建 | 0.567 | 0.657 | 0.863 | 0.691 | 0.998 | 0.692 | 0.219 |
| 江西 | 0.632 | 1 | 0.632 | 0.542 | 1 | 0.542 | -0.142 |
| 山东 | 0.664 | 0.752 | 0.884 | 0.669 | 0.999 | 0.67 | 0.008 |
| 河南 | 0.675 | 0.916 | 0.737 | 0.561 | 1 | 0.561 | -0.169 |
| 湖北 | 0.685 | 0.889 | 0.77 | 0.648 | 0.999 | 0.649 | -0.054 |
| 湖南 | 0.755 | 1 | 0.755 | 0.568 | 1 | 0.568 | -0.248 |
| 广东 | 0.683 | 0.706 | 0.969 | 0.772 | 0.995 | 0.776 | 0.13 |
| 广西 | 0.658 | 1 | 0.658 | 0.467 | 1 | 0.467 | -0.29 |
| 海南 | 0.543 | 0.739 | 0.734 | 0.529 | 0.998 | 0.53 | -0.026 |
| 重庆 | 0.609 | 0.77 | 0.791 | 0.535 | 1 | 0.535 | -0.122 |
| 四川 | 0.646 | 0.795 | 0.812 | 0.602 | 1 | 0.602 | -0.068 |
| 贵州 | 0.485 | 1 | 0.485 | 0.298 | 1 | 0.298 | -0.386 |
| 云南 | 0.625 | 0.982 | 0.636 | 0.411 | 1 | 0.411 | -0.342 |
| 陕西 | 0.447 | 0.724 | 0.617 | 0.42 | 0.993 | 0.423 | -0.06 |
| 甘肃 | 0.554 | 1 | 0.554 | 0.385 | 1 | 0.385 | -0.305 |
| 青海 | 0.641 | 0.945 | 0.679 | 0.456 | 0.997 | 0.458 | -0.289 |
| 宁夏 | 0.631 | 0.908 | 0.695 | 0.449 | 0.994 | 0.452 | -0.288 |
| 新疆 | 0.771 | 1 | 0.771 | 0.45 | 1 | 0.45 | -0.416 |
| mean | 0.693 | 0.889 | 0.786 | 0.613 | 0.999 | 0.614 | -0.115 |

表 11 2017年第一阶段与第三阶段效率对比

| 地区 | 第一阶段效率 | | | 第三阶段效率 | | | 效率增幅 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| crste | vrste | scale | crste | vrste | scale |
| 北京 | 0.888 | 1 | 0.888 | 1 | 1 | 1 | 0.126 |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 河北 | 0.771 | 0.959 | 0.804 | 0.614 | 1 | 0.614 | -0.204 |
| 山西 | 0.647 | 0.941 | 0.688 | 0.468 | 1 | 0.468 | -0.277 |
| 内蒙古 | 0.796 | 0.937 | 0.849 | 0.646 | 0.999 | 0.646 | -0.188 |
| 辽宁 | 0.892 | 0.947 | 0.942 | 0.806 | 1 | 0.806 | -0.096 |
| 吉林 | 0.808 | 1 | 0.808 | 0.572 | 1 | 0.572 | -0.292 |
| 黑龙江 | 0.816 | 1 | 0.816 | 0.609 | 1 | 0.609 | -0.254 |
| 上海 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 江苏 | 0.615 | 0.637 | 0.966 | 0.917 | 0.991 | 0.925 | 0.491 |
| 浙江 | 0.59 | 0.599 | 0.985 | 0.972 | 0.994 | 0.979 | 0.647 |
| 安徽 | 0.629 | 0.93 | 0.676 | 0.57 | 1 | 0.571 | -0.094 |
| 福建 | 0.522 | 0.656 | 0.796 | 0.708 | 0.997 | 0.71 | 0.356 |
| 江西 | 0.694 | 1 | 0.694 | 0.586 | 1 | 0.586 | -0.156 |
| 山东 | 0.712 | 0.808 | 0.882 | 0.714 | 0.999 | 0.715 | 0.003 |
| 河南 | 0.692 | 0.934 | 0.741 | 0.579 | 1 | 0.579 | -0.163 |
| 湖北 | 0.779 | 0.981 | 0.794 | 0.649 | 1 | 0.649 | -0.167 |
| 湖南 | 0.818 | 1 | 0.818 | 0.57 | 1 | 0.57 | -0.303 |
| 广东 | 0.757 | 0.805 | 0.941 | 0.803 | 0.995 | 0.807 | 0.061 |
| 广西 | 0.696 | 1 | 0.696 | 0.483 | 1 | 0.483 | -0.306 |
| 海南 | 0.537 | 0.776 | 0.692 | 0.537 | 0.999 | 0.538 | 0 |
| 重庆 | 0.566 | 0.738 | 0.767 | 0.593 | 0.999 | 0.594 | 0.048 |
| 四川 | 0.69 | 0.783 | 0.881 | 0.676 | 1 | 0.676 | -0.02 |
| 贵州 | 0.556 | 1 | 0.556 | 0.363 | 1 | 0.363 | -0.347 |
| 云南 | 0.666 | 1 | 0.666 | 0.447 | 1 | 0.447 | -0.329 |
| 陕西 | 0.453 | 0.746 | 0.607 | 0.453 | 0.997 | 0.454 | 0 |
| 甘肃 | 0.636 | 0.989 | 0.643 | 0.445 | 0.998 | 0.445 | -0.3 |
| 青海 | 0.704 | 0.934 | 0.754 | 0.529 | 0.994 | 0.532 | -0.249 |
| 宁夏 | 0.631 | 0.965 | 0.654 | 0.477 | 0.993 | 0.48 | -0.244 |
| 新疆 | 0.784 | 1 | 0.784 | 0.508 | 1 | 0.508 | -0.352 |
| mean | 0.712 | 0.902 | 0.793 | 0.643 | 0.998 | 0.644 | -0.097 |

表 12 2018年第一阶段与第三阶段效率对比

| 地区 | 第一阶段效率 | | | 第三阶段效率 | | | 效率增幅 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| crste | vrste | scale | crste | vrste | scale |
| 北京 | 0.967 | 1 | 0.967 | 1 | 1 | 1 | 0.034 |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 河北 | 0.942 | 1 | 0.942 | 0.676 | 1 | 0.676 | -0.282 |
| 山西 | 0.59 | 0.91 | 0.649 | 0.496 | 0.994 | 0.499 | -0.159 |
| 内蒙古 | 0.788 | 0.939 | 0.839 | 0.661 | 0.999 | 0.661 | -0.161 |
| 辽宁 | 0.828 | 0.922 | 0.898 | 0.827 | 1 | 0.827 | -0.001 |
| 吉林 | 0.753 | 1 | 0.753 | 0.547 | 1 | 0.547 | -0.274 |
| 黑龙江 | 0.898 | 1 | 0.898 | 0.634 | 1 | 0.634 | -0.294 |
| 上海 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 江苏 | 0.679 | 0.73 | 0.93 | 0.834 | 0.993 | 0.84 | 0.228 |
| 浙江 | 0.652 | 0.69 | 0.945 | 0.873 | 0.981 | 0.89 | 0.339 |
| 安徽 | 0.744 | 0.905 | 0.822 | 0.559 | 1 | 0.559 | -0.249 |
| 福建 | 0.539 | 0.676 | 0.798 | 0.705 | 0.996 | 0.708 | 0.308 |
| 江西 | 0.78 | 0.992 | 0.787 | 0.577 | 1 | 0.577 | -0.26 |
| 山东 | 0.704 | 0.879 | 0.801 | 0.688 | 1 | 0.688 | -0.023 |
| 河南 | 0.864 | 0.995 | 0.868 | 0.601 | 1 | 0.601 | -0.304 |
| 湖北 | 0.809 | 1 | 0.809 | 0.632 | 1 | 0.632 | -0.219 |
| 湖南 | 0.852 | 1 | 0.852 | 0.577 | 1 | 0.577 | -0.323 |
| 广东 | 0.724 | 0.829 | 0.873 | 0.784 | 1 | 0.784 | 0.083 |
| 广西 | 0.807 | 1 | 0.807 | 0.527 | 1 | 0.527 | -0.347 |
| 海南 | 0.57 | 0.798 | 0.714 | 0.504 | 0.989 | 0.509 | -0.116 |
| 重庆 | 0.621 | 0.735 | 0.845 | 0.629 | 0.994 | 0.633 | 0.013 |
| 四川 | 0.694 | 0.8 | 0.868 | 0.717 | 1 | 0.718 | 0.033 |
| 贵州 | 0.561 | 1 | 0.561 | 0.398 | 1 | 0.398 | -0.291 |
| 云南 | 0.71 | 1 | 0.71 | 0.504 | 1 | 0.504 | -0.29 |
| 陕西 | 0.531 | 0.805 | 0.66 | 0.516 | 0.991 | 0.521 | -0.028 |
| 甘肃 | 0.678 | 1 | 0.678 | 0.49 | 0.997 | 0.491 | -0.277 |
| 青海 | 0.699 | 0.937 | 0.746 | 0.544 | 0.993 | 0.548 | -0.222 |
| 宁夏 | 0.664 | 0.99 | 0.67 | 0.499 | 0.996 | 0.501 | -0.248 |
| 新疆 | 0.778 | 1 | 0.778 | 0.525 | 1 | 0.525 | -0.325 |
| mean | 0.748 | 0.918 | 0.816 | 0.651 | 0.997 | 0.652 | -0.13 |

表 13 2019年第一阶段与第三阶段效率对比

| 地区 | 第一阶段效率 | | | 第三阶段效率 | | | 效率增幅 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| crste | vrste | scale | crste | vrste | scale |
| 北京 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 河北 | 1 | 1 | 1 | 0.723 | 1 | 0.723 | -0.277 |
| 山西 | 0.705 | 0.92 | 0.767 | 0.53 | 0.998 | 0.532 | -0.248 |
| 内蒙古 | 0.885 | 0.938 | 0.943 | 0.694 | 0.999 | 0.694 | -0.216 |
| 辽宁 | 0.908 | 0.974 | 0.933 | 0.82 | 1 | 0.82 | -0.097 |
| 吉林 | 0.883 | 1 | 0.883 | 0.605 | 1 | 0.605 | -0.315 |
| 黑龙江 | 1 | 1 | 1 | 0.694 | 1 | 0.694 | -0.306 |
| 上海 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 江苏 | 0.742 | 0.774 | 0.959 | 0.852 | 0.994 | 0.858 | 0.148 |
| 浙江 | 0.708 | 0.744 | 0.952 | 0.867 | 0.988 | 0.877 | 0.225 |
| 安徽 | 0.831 | 0.933 | 0.891 | 0.627 | 0.998 | 0.628 | -0.245 |
| 福建 | 0.648 | 0.715 | 0.907 | 0.732 | 0.994 | 0.736 | 0.13 |
| 江西 | 0.877 | 0.98 | 0.896 | 0.623 | 0.999 | 0.623 | -0.29 |
| 山东 | 0.8 | 0.895 | 0.894 | 0.746 | 1 | 0.746 | -0.068 |
| 河南 | 0.953 | 1 | 0.953 | 0.652 | 1 | 0.652 | -0.316 |
| 湖北 | 0.907 | 1 | 0.907 | 0.69 | 1 | 0.69 | -0.239 |
| 湖南 | 0.908 | 1 | 0.908 | 0.631 | 1 | 0.631 | -0.305 |
| 广东 | 0.814 | 0.923 | 0.882 | 0.794 | 0.993 | 0.8 | -0.025 |
| 广西 | 0.851 | 1 | 0.851 | 0.58 | 1 | 0.58 | -0.318 |
| 海南 | 0.593 | 0.786 | 0.755 | 0.524 | 0.992 | 0.528 | -0.116 |
| 重庆 | 0.717 | 0.773 | 0.927 | 0.699 | 0.994 | 0.703 | -0.025 |
| 四川 | 0.789 | 0.852 | 0.927 | 0.753 | 0.999 | 0.754 | -0.046 |
| 贵州 | 0.646 | 1 | 0.646 | 0.461 | 1 | 0.461 | -0.286 |
| 云南 | 0.805 | 1 | 0.805 | 0.555 | 1 | 0.555 | -0.311 |
| 陕西 | 0.632 | 0.82 | 0.77 | 0.58 | 0.997 | 0.581 | -0.082 |
| 甘肃 | 0.782 | 0.972 | 0.804 | 0.538 | 0.998 | 0.539 | -0.312 |
| 青海 | 0.812 | 0.938 | 0.866 | 0.597 | 0.994 | 0.6 | -0.265 |
| 宁夏 | 0.813 | 0.996 | 0.816 | 0.546 | 0.996 | 0.548 | -0.328 |
| 新疆 | 0.899 | 1 | 0.899 | 0.566 | 1 | 0.566 | -0.37 |
| mean | 0.83 | 0.931 | 0.891 | 0.689 | 0.998 | 0.691 | -0.17 |

表 14 2020年第一阶段与第三阶段效率对比

| 地区 | 第一阶段效率 | | | 第三阶段效率 | | | 效率增幅 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| crste | vrste | scale | crste | vrste | scale |
| 北京 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 天津 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 河北 | 1 | 1 | 1 | 0.787 | 1 | 0.787 | -0.213 |
| 山西 | 0.738 | 0.894 | 0.826 | 0.588 | 0.999 | 0.589 | -0.203 |
| 内蒙古 | 0.901 | 0.965 | 0.934 | 0.745 | 0.999 | 0.746 | -0.173 |
| 辽宁 | 1 | 1 | 1 | 0.903 | 1 | 0.903 | -0.097 |
| 吉林 | 0.968 | 1 | 0.968 | 0.659 | 1 | 0.659 | -0.319 |
| 黑龙江 | 1 | 1 | 1 | 0.768 | 1 | 0.768 | -0.232 |
| 上海 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 江苏 | 0.805 | 0.842 | 0.957 | 0.877 | 0.997 | 0.88 | 0.089 |
| 浙江 | 0.775 | 0.84 | 0.923 | 0.884 | 0.994 | 0.889 | 0.141 |
| 安徽 | 0.841 | 0.942 | 0.893 | 0.683 | 1 | 0.683 | -0.188 |
| 福建 | 0.702 | 0.753 | 0.933 | 0.727 | 0.996 | 0.73 | 0.036 |
| 江西 | 0.94 | 1 | 0.94 | 0.648 | 1 | 0.648 | -0.311 |
| 山东 | 0.888 | 0.985 | 0.901 | 0.769 | 1 | 0.769 | -0.134 |
| 河南 | 0.954 | 1 | 0.954 | 0.711 | 1 | 0.711 | -0.255 |
| 湖北 | 0.91 | 0.998 | 0.911 | 0.739 | 0.998 | 0.74 | -0.188 |
| 湖南 | 0.93 | 0.995 | 0.935 | 0.71 | 1 | 0.71 | -0.237 |
| 广东 | 0.914 | 1 | 0.914 | 0.818 | 1 | 0.818 | -0.105 |
| 广西 | 0.843 | 0.964 | 0.874 | 0.638 | 1 | 0.638 | -0.243 |
| 海南 | 0.732 | 0.817 | 0.896 | 0.612 | 0.994 | 0.616 | -0.164 |
| 重庆 | 0.744 | 0.797 | 0.934 | 0.753 | 0.993 | 0.758 | 0.012 |
| 四川 | 0.855 | 0.898 | 0.952 | 0.815 | 0.995 | 0.819 | -0.047 |
| 贵州 | 0.711 | 1 | 0.711 | 0.522 | 1 | 0.522 | -0.266 |
| 云南 | 0.843 | 1 | 0.843 | 0.617 | 1 | 0.617 | -0.268 |
| 陕西 | 0.685 | 0.822 | 0.833 | 0.661 | 1 | 0.661 | -0.035 |
| 甘肃 | 0.812 | 0.968 | 0.839 | 0.58 | 0.995 | 0.583 | -0.286 |
| 青海 | 0.827 | 0.941 | 0.879 | 0.636 | 0.997 | 0.638 | -0.231 |
| 宁夏 | 0.79 | 0.973 | 0.812 | 0.56 | 0.996 | 0.562 | -0.291 |
| 新疆 | 0.9 | 1 | 0.9 | 0.582 | 1 | 0.582 | -0.353 |
| mean | 0.867 | 0.946 | 0.915 | 0.733 | 0.998 | 0.734 | -0.155 |

# 致谢

感谢大赛组委会提供的平台，感谢团队的配合，感谢指导老师的指导。