

分类号 C8/288  
U D C \_\_\_\_\_

密级 公开  
编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

## 硕士学位论文

论文题目 中国水权交易政策对水资源利用效率  
的影响研究

研究生姓名: 闫瑞雯

指导教师姓名、职称: 王永瑜、教授

学科、专业名称: 应用经济学、统计学

研究方向: 环境与能源统计

提交日期: 2022年5月30日

## 独创性声明

本人声明所提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： 闫瑞雯 签字日期： 2022.5.25

导师签名： 孙瑞 签字日期： 2022.5.25

## 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： 闫瑞雯 签字日期： 2022.5.25

导师签名： 孙瑞 签字日期： 2022.5.25

# **Research on the Impact of China's Water Rights Trading Policy on Water Resource Utilization Efficiency**

**Candidate : Yan Ruiwen**

**Supervisor: Wang Yongyu**

## 摘 要

水是人类生存、经济发展和社会进步的生命线，是可持续发展的重要物质基础。随着经济的高速发展、人口的增加和城镇化进程的加快，我国水资源供需矛盾日益加剧，水资源与经济社会可持续发展的要求越来越迫切。加强水资源管理，推进水资源合理开发，提高水资源利用效率、效益和实现水资源可持续利用是当代水利工作的重要任务。在市场经济条件下，开展行政管理与市场机制相结合的水权交易工作，是优化水资源配置，加强水资源节约和保护的重要措施。我国在2015年正式开始水权交易试点工作，目前该工作已经基本完成。通过对我国水权交易试点政策效果及其作用机制的实证分析，可以深入认识水权交易试点政策对水资源利用效率的影响路径，对进一步完善水权交易机制，建立健全水权交易市场，提高水资源利用效率和充分发挥市场在资源配置中的决定性作用具有现实意义。

本文首先梳理了近年来学者们在水资源利用效率、水权交易和我国水权交易试点三方面的研究，重点总结了水资源利用效率的测度方法和我国水权交易试点作用实证研究的不足；之后在深入分析水权交易概念和理论基础、可交易水资源利用效率提升机理的基础上，提出水权交易对水资源利用效率的可能影响机制；然后介绍我国水权交易试点省份的水权交易相关制度和具体实践，并运用考虑非期望产出的超效率全局SBM模型测算我国大陆31省（区）2005-2019年的水资源利用效率，同时从时空两个维度分别分析了我国整体水资源利用效率和水权交易试点省份水资源利用效率变化情况；基于水资源利用效率测算结果，运用回归控制法对水权交易政策进行了反事实分析，并运用中介效应模型对水权交易政策提升水资源利用效率的可能影响机制进行检验，得出以下结论：

1. 水资源利用效率测算结果显示，从时间变化趋势来看，近十几年我国整体水资源利用平均水平不高，提升空间较大。从空间分布特征来看，各省水资源利用效率地区差异悬殊，整体呈现“东高西低、沿海高内陆低”的分布状态。试点省份水资源利用效率的时间变化趋势和异质性变化表现一定程度反映了水权交易政策对水资源利用效率的提升作用。

2. 基于回归控制法的水权交易政策效果评估结果表明，水权交易政策具有显著提高试点省（区）水资源利用效率的作用，且安慰剂检验结果显示4个试点省

(区)水权交易政策对水资源利用效率的提升效果均在 10% 的统计水平下显著,且这种提升作用具有区域差异性,其中广东的政策效果显著高于其他 3 个试点省份,河南和内蒙古的政策效果较好,甘肃的政策效果最小,可能与试点省份的水资源利用水平和水权交易开展的具体形式有关。

3. 通过对水权交易政策影响水资源利用效率的作用机制检验,发现水权交易政策能够有效促进用水结构调整、激励节水和提高中水回用,进而提升水资源利用效率。其中,中水回用的中介效应最高,具有完全中介作用,节水中介效应次之,用水结构调整中介效应最低。

**关键词:** 水权交易 水资源利用效率 非期望产出超效率全局SBM模型 回归控制法 中介效应

## Abstract

Water is the lifeline of human survival, economic development and social progress, and an important material basis for sustainable development. With the rapid development of economy and society, the increase of population and the acceleration of urbanization, the contradiction between the supply and demand of water resource in China is becoming increasingly serious, and the demand for sustainable development of water resource, economy and society is becoming more and more urgent. Strengthening water resource management, promoting the rational development of water resource, improving the efficiency and benefit of water resource utilization and realizing the sustainable utilization of water resource are the important tasks of contemporary water conservancy work. Under the condition of market economy, it is an important measure to optimize the allocation of water resource and strengthen the conservation and protection of water resource to carry out the trade of water rights with the combination of administrative management and market mechanism. China officially started the pilot work of water rights trading in 2015, and this work has been basically completed. Through the empirical analysis of water rights trading pilot policy's effect and its mechanism of action in our country, we can deeply understand the path of water rights trading policy impacting on water resource utilization efficiency, and this has a realistic significance to further improve water

rights trading mechanism, establish and improve water rights trading market, improve water resource utilization efficiency and make the market play a decisive role in the allocation of resources.

This paper firstly reviews the recent researches on water resource utilization efficiency, water rights trading and pilot water rights trading in China, and mainly summarizes the shortcomings of the measurement methods of water resource utilization efficiency and empirical researches on the role of pilot water rights trading in China. Then, based on the in-depth analysis of the concept and theoretical basis of water rights trading and the mechanism of improving the utilization efficiency of tradable water resource, the possible influence mechanism of water rights trading on water resource utilization efficiency is proposed. Then, the relevant system and practices of water rights trading in pilot provinces of China are introduced, and the water resource utilization efficiencies of 31 provinces in mainland China from 2005 to 2019 are calculated by using super-efficiency global SBM model of undesirable output. At the same time, the changes of water resource utilization efficiency in China and the water rights trading pilot provinces are analyzed from the spatio-temporal dimensions. Based on the calculation results of water resources utilization efficiency, the regression control method is used to conduct counterfactual analysis on the water rights trading policy, and the mediation effect model is used to test the possible influence mechanism of water rights trading

policy to improve water resource utilization efficiency. The conclusion is drawn as follows:

1. The calculation results of water resource utilization efficiency show that the average level of water resource utilization in China is not high in recent decades in terms of time, and there is a large space for improvement. From the perspective of spatial distribution characteristics, the regional differences of water resource utilization efficiency in each province are great, and the overall distribution state is “high in the east and low in the west, high in the coastal areas and low in the inland areas”. Temporal variation trend and heterogeneity variation of water resource utilization efficiency in pilot provinces reflect the improvement of water rights trading policy on water resource utilization efficiency to a certain extent.

2. Water rights trading policy evaluation results based on regression control method show that water rights trading policy has a significantly positive role in water resource utilization efficiency of pilot provinces, and the results of placebo test show that the effects of water rights trading policies in four pilot provinces promoting water resource utilization efficiency are significant under the 10% level of statistical level, and the promotion effects are regional differences, Guangdong's policy effect is significantly higher than the other three pilot provinces, Henan and Inner Mongolia's policy effects are better than Gansu's, which may be related to

the level of water resource utilization and the specific form of water rights trading in the pilot provinces.

3.By examining the mechanism of water rights trading policy's influence on water resource utilization efficiency, it is found that water rights trading policy can effectively promote adjustment of water use structure, encourage water saving and improve reclaimed water reusing, and then improve water resource utilization efficiency. The mediating effect of reclaimed water reusing is the highest, followed by adjustment of water use structure, and the mediating effect of water saving was the lowest.

**Keywords:** Water rights trading; Water resource utilization efficiency; Super-efficiency global SBM model of undesirable output; Regression control method; Mediating effect

# 目 录

<b>1 绪论</b>	1
1.1 研究背景与研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 水资源利用效率研究现状	3
1.2.2 水权交易研究现状	6
1.2.3 我国水权交易试点研究现状	9
1.2.4 文献述评	9
1.3 研究内容与创新之处	10
1.3.1 研究内容	10
1.3.2 论文主要创新之处	11
1.4 研究方法与技术路线	12
1.4.1 研究方法	12
1.4.2 技术路线	13
<b>2 水权交易影响水资源利用效率的理论基础</b>	15
2.1 水权交易基本理论	15
2.1.1 水权及水权交易概念	15
2.1.2 水权交易理论基础：科斯定理	15
2.2 可交易水资源利用效率提升机理分析	16
2.3 水权交易对水资源利用效率的影响机制	18
2.3.1 水权交易对水资源利用效率的影响	18
2.3.2 用水结构调整中介效应	18
2.3.3 节水中介效应	19
2.3.4 中水回用中介效应	19
<b>3 我国水权交易试点实践和水资源利用效率测算</b>	21
3.1 我国水权交易试点实践	21
3.2 水资源利用效率测算	22

3.2.1 测算方法.....	22
3.2.2 指标选择与数据说明.....	24
3.3 测算结果分析.....	25
3.3.1 时间趋势变化分析.....	26
3.3.2 空间分布特征分析.....	28
<b>4 水权交易政策对水资源利用效率实施影响的实证分析 .....</b>	<b>31</b>
4.1 水权交易政策对水资源利用效率实施影响分析.....	31
4.1.1 评估方法.....	31
4.1.2 指标选择与数据说明.....	32
4.1.3 实证结果分析.....	33
4.1.4 安慰性检验.....	37
4.2 水权交易政策影响水资源利用效率的作用机制检验.....	41
4.2.1 模型设定与变量选取.....	41
4.2.2 结果分析.....	44
<b>5 研究结论与建议.....</b>	<b>48</b>
5.1 研究结论.....	48
5.2 政策建议.....	49
<b>参考文献 .....</b>	<b>51</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>59</b>

# 1 绪论

## 1.1 研究背景与研究意义

### 1.1.1 研究背景

水是生命之源。中国产业研究院发布的《2020-2025 年中国水务行业发展分析与投资战略研究报告》统计数据显示,虽然地球上水储量十分丰富,但人类可利用的淡水资源仅占全球水总量的 2.53%,且大部分淡水以永久性冰雪的形式封存于南极,能被人类利用的水源非常有限,主要是湖泊、河流、土壤湿气和埋藏相对浅的地下水。限于目前的技术条件,地下水资源和海洋咸水还不能被大规模开发利用,因此人类容易利用的淡水仅占淡水总量的 1%左右,约占全球水总量的 0.026%<sup>[100]</sup>。

在全球人口增长和经济发展的背景下,人类对自然水资源的需求日益增加,但人类可利用的自然水资源供应却由于污染、地下水下沉和气候变化等因素正在萎缩。全球都面临着水资源短缺、水资源时空分布不均和水环境污染等问题。

具体到我国,《中国水利统计年鉴》(2020)统计数据显示,2019 年我国水资源总量为 29041.0 亿立方米<sup>[99]</sup>,占全球水资源总量的 6%,居世界第四位。但我国水资源的人均占有量较低,仅为 2078 立方米<sup>[99]</sup>,约为世界人均的 1/4。依据国际标准,人均水资源占有量低于 3000 立方米即为缺水,加之水资源地区分布和年内年际分配不均衡,我国水资源缺乏情况比较普遍。同时,随着我国经济社会发展和城镇化进程推进,排放到环境中的工业废水、生活污水量日益增多,造成水环境质量迅速恶化,加剧了水资源短缺的矛盾。在中国 600 多个城市中,有一半以上的城市缺水。

作为典型的缺水型国家,我国十分重视水资源管理,特别将节水置于水利水务工作的优先位置。2011 年,国家印发了“中央一号文件”《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》,明确要求实行最严格的水资源管理制度,并确立用水效率控制红线,坚决遏制用水浪费,把节水工作贯穿于经济社会发展和群众生产生活全过程<sup>[85]</sup>。2012 年 1 月,国家印发了《关于实行最严格水资源管理制

度的意见》，进一步提出加强用水效率控制红线管理，全面推进节水型社会建设<sup>[49]</sup>。2013年，国家印发了《实行最严格水资源管理制度考核办法》<sup>[48]</sup>，切实将用水效率控制作为一项考核内容，考察各地区对最严格水资源管理制度的落实情况。随着这些政策相继出台和落实以及节水工作不断深入，我国水资源利用效率和效益不断提高。

尽管我国的节水工作取得了一定成果，但水资源利用情况还存在一些问题，如不同地区之间水资源利用水平不平衡，一些地区的产业布局与水资源承载力不匹配等。我国水资源利用效率虽然有所提高，但与发达国家和地区相比仍有差距。2017年全国万美元GDP用水量为570立方米，是OECD国家平均水平的2.5倍<sup>[76]</sup>。即使是代表国内较高水资源利用水平的北京和天津，虽然其万美元GDP用水量均优于高收入国家的平均水平，但与英国、法国等发达国家相比还有一定差距<sup>[76]</sup>。

随着经济发展，水资源管理不仅涉及用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污等方面，而且要求在包括农业、工业在内的多领域中动态分配有限的水资源，许多水资源专家主张进行水权交易。党的十八届三中全会确立了使市场在资源配置中发挥决定性作用的改革方向，同时明确提出推行水权交易制度。2014年7月，水利部印发《水利部关于开展水权试点工作的通知》，明确在宁夏、江西、湖北、内蒙古、河南、甘肃和广东等7省（区）分别开展水权确权 and 交易试点工作<sup>[70]</sup>。其中内蒙古、河南、甘肃和广东4省（区）重点进行水权交易试点。水权交易可以推动水资源依据市场规则、市场价格和市场竞争配置，实现水资源使用的效益最大化和效率最优化。水资源利用效率作为反映“经济-社会-水环境”协调发展程度的综合评价指标，其有效提高是解决水资源可持续利用问题的关键。目前水权交易试点工作已基本完成，且除国家提出的试点省份外，其他省份也在自发探索水权交易实践，但相比而言，国家水权交易试点更具代表性。因此，本文重点研究2014年我国提出的水权交易试点政策对提高水资源利用效率是否有效？如果有效，其作用机制是什么？通过研究这些问题，期望为提高我国水资源利用效率提出更有价值的政策建议，同时为我国进一步完善水权交易机制、建设水权水市场以及在全国推行水权交易政策提供科学依据。

### 1.1.2 研究意义

2021年是“十四五”开局之年，我国进入新发展阶段，开启全面建设社会主义现代化国家新征程。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出，要全面提高资源利用效率，在水资源利用方面实施国家节水行动，建立水资源刚性约束制度，强化农业节水增效、工业节水减排和城镇节水降损，鼓励再生水利用，单位GDP用水量下降16%左右<sup>[86]</sup>。正确发挥政府和市场在水资源配置中的重要作用，可以更充分合理利用水资源。本研究对我国水权交易试点政策效果进行评估，在理论和现实方面均具有重要意义。

#### (1) 理论意义

首先，准确测算水资源利用效率是进行政策效果评估的前提。目前测算水资源利用效率的方法众多，不同方法各有优劣。通过梳理和比较各种水资源利用效率测算方法，可以明确各方法的适用条件，为今后相关研究提供方法选择方面的参考；其次，目前鲜有文献研究我国水权交易试点政策效果，在水资源利用效率的影响因素识别上也很少涉及政策因素，而政策效果评估对进一步完善水权交易机制十分重要，因此本文试图充实相关理论研究内容。

#### (2) 现实意义

提高水资源利用效率有利于水资源可持续利用，是实现“经济-社会-水环境”协调发展的有效途径。通过对我国水权交易试点政策效果及其作用机制的实证分析，可以深入认识水权交易试点政策对水资源利用效率的影响路径，对我国进一步完善水权交易机制、建立健全水权交易市场、提高水资源利用效率和充分发挥市场在资源配置中的决定性作用具有现实意义。

## 1.2 国内外研究现状

围绕本文主题，现有文献主要从水资源利用效率、水权交易和我国水权交易试点三个方面进行研究，接下来主要从以上三方面进行文献梳理和述评。

### 1.2.1 水资源利用效率研究现状

#### (1) 关于水资源利用效率基本内涵

当前国内外学者对水资源利用效率的定义主要分为两种,一种认为水资源利用效率是指在水资源供给有限而社会生产、生活和生态需水与日俱增的条件下,单位水资源在经济、社会和生态环境等方面的效率<sup>[87]</sup>;另一种则基于 Hu 等(2006)<sup>[18]</sup>提出的全要素水资源利用效率思想,认为在评估用水效率时需要同时考虑其他投入要素在产出中的贡献,将水资源利用效率定义为在达到最佳技术效率时最优与实际用水量的比值。

## (2) 关于水资源利用效率测度方法

基于上述两种对水资源利用效率的不同定义,形成两种不同的测算思路:构建水资源利用效率综合评价指标体系<sup>[36,83]</sup>和构建全要素投入产出系统。其中,多数学者基于全要素水资源利用效率思想,通过构建全要素投入产出系统测度水资源利用效率。此类测度方法主要有两种:以 SFA(随机前沿分析)为代表的参数方法和以 DEA(数据包络分析)为代表的非参数方法。

SFA 方法通过构造参数模型测算生产前沿面,测度绝对效率值。与传统 DEA 方法相比,SFA 同时考虑生产前沿面的具体形式与随机因素对产出的影响,被广泛用于测度水资源利用效率。Ferro 等(2011)<sup>[11]</sup>基于普查数据对拉丁美洲各地区工业水行业效率进行前沿分析,试图提出适合区域用水效率提升的路径;张凯等(2021)<sup>[93]</sup>将水资源承载力作为投入要素,构建了 SFA 效率测算模型测度 2003-2017 年中国 31 个省份的水资源利用效率;任玉芬等(2020)<sup>[64]</sup>采用基于面板数据的随机前沿面模型计算了我国 283 个主要城市 2000-2014 年的水资源利用效率和水环境压力,发现我国主要地级市水资源利用效率普遍不高并给出相关建议;张峰等(2017)<sup>[90]</sup>将非强制性幅度调整测定方法(RAM)与 SFA 结合,构建了 RAM-SFA-RAM 三阶段工业水资源利用组合效率测度模型,同时引入影响工业用水效率的环境要素,测度了中国 30 个省市 2002-2014 年的工业水资源利用效率;尹庆民等(2016)<sup>[88]</sup>利用反事实计量方法和包含距离函数的 SFA 模型,测算了我国 2008-2013 年的水资源利用效率及其提升空间。

由于水资源的使用和处理存在环境与生产过程之间比较复杂的交互关系,通常很难用准确的函数形式对水资源利用效率进行参数方法评价,因此学者们更多使用以 DEA(数据包络分析)为代表的非参数方法测算水资源利用的相对效率。Thanassoulis(2000)<sup>[30]</sup>首次使用 DEA 方法测度了英国的用水效率,之后国外学

者运用此方法相继测算了西班牙<sup>[21]</sup>、意大利<sup>[25]</sup>等国的用水效率。国内研究中,张娜娜等(2015)<sup>[95]</sup>基于传统 DEA 方法中最重要的 CCR 和 BCC 两种模型,对江苏省 2002-2011 年的农业水资源利用效率进行评价;Wang 等(2019)<sup>[34]</sup>应用 DEA 方法测算了北京市 1990-2010 年 25 个代表性工业的相对用水效率,结果显示综合效率、纯技术效率和规模效率均得到显著提高。随着研究不断深入,传统 DEA 方法由于其缺陷已无法满足研究需要,近年来学者们相继扩展或改进此方法并将其应用于研究中。传统 DEA 是静态分析方法,为了同时对水资源利用效率进行动态分析,张永凯和孙雪梅(2021)<sup>[97]</sup>采用 DEA-BCC 模型和 Malmquist 指数,分别从静态和动态角度分析了黄河流域 68 个地级行政单元的水资源利用效率,结果表明 2009-2017 年黄河流域水资源利用效率呈现“先上升、后下降、且波动大”的特点。针对传统 DEA 方法在测算效率时因径向和角度选择可能产生的偏差问题,有学者运用非径向、非角度的数据包络分析方法——SBM 测度水资源利用效率。任玉芬等(2020)<sup>[65]</sup>在采用 CCR 模型分析全国 283 个城市 2000-2014 年水资源利用投入产出效益的基础上,运用 SBM 模型逐年计算了水资源利用效率,发现我国主要地级市普遍存在投入过剩、产出不足的问题,且各研究城市水资源利用效率普遍不高。鉴于传统 DEA 方法无法对同处于有效状态的决策单元效率进行评价,任俊霖等(2016)<sup>[63]</sup>利用 Andersen 和 Petersen(1993)<sup>[2]</sup>提出的超效率 DEA 模型测度了 2011-2013 年长江流域 11 个省会城市的水资源利用效率,结果表明各研究城市的用水效率总体均呈现较好态势。丁绪辉等(2018)<sup>[42]</sup>采用既可以避免传统 DEA 方法的上述缺陷又可以兼顾资源利用负外部效应的非期望产出 SE-SBM 模型对我国 31 省份 2003-2015 年的水资源利用效率进行测算。针对 DEA 模型仅能够测算单部门或单阶段的水资源利用效率,无法识别系统缺乏效率的具体来源这一缺陷,学者们又尝试进行多部门或多阶段的水资源利用效率分析。Corrado(2018)<sup>[9]</sup>从成本——运营——收益三阶段分析了意大利 53 家水厂的运营效率。张国基等(2020)<sup>[91]</sup>构建了一种综合考虑多阶段与多部门的、基于水资源系统混合网络结构的 DEA 模型,并测算了 2006-2015 年中国省级水资源利用效率,同时对我国水资源利用的空间交互及相关性进行分析。考虑到传统 DEA 模型无法评估随机误差与外界环境对效率值测算产生的影响,而 SFA 方法可能产生函数形式设定偏误等问题,Fried 和 Lovell(2002)<sup>[12]</sup>提出综合运用

DEA 和 SFA 的三阶段 DEA 方法。卢曦和许长新（2017）<sup>[57]</sup>运用三阶段 DEA 方法并结合 Malmquist 指数分别从静态和动态角度分析了长江经济带的水资源利用效率。

### （3）关于水资源利用效率实证研究

基于水资源利用效率测度结果，学者们对水资源利用效率的影响因素和空间差异等问题进行了丰富的研究。关于水资源利用效率影响因素研究，张黎鸣等（2021）<sup>[94]</sup>在运用 Shannon 熵改进的 DEA 方法测度 2003-2017 年我国 10 个资源型地区水资源利用效率的基础上，构建面板回归模型研究了资源型地区产业结构调整对水资源利用效率的影响，并寻求提升水资源利用效率的有效路径；孙才志等（2020）<sup>[72]</sup>利用超效率 SBM 方法测度了 2000-2016 年中国水资源绿色效率，并基于地理加权回归模型（GWR）探究了中国水资源绿色效率的驱动机理。虽然现有研究表明影响水资源利用效率的因素具有地区差异，但从研究成果来看，经济发展水平和产业结构基本均会显著影响水资源利用效率。关于水资源利用效率空间差异研究，孙才志和刘玉玉（2009）<sup>[71]</sup>在采用改进的 DEA 方法测算我国 31 省（区）1997-2007 年水资源利用效率的同时，基于探索性空间数据分析（ESDA）法研究了我国水资源利用效率的时空差异特征和变化规律；巩灿娟等（2020）<sup>[47]</sup>基于黄河流域中下游 25 个沿线城市 2010-2017 年的经济社会和资源环境面板数据，在采用超效率 DEA 方法测度各城市水资源利用效率并运用 GIS 方法分析其时空分布格局的基础上，运用动态面板系统 GMM 方法分析了影响水资源利用效率的因素；高新才和殷颂葵（2021）<sup>[46]</sup>以西北地区 33 个地级市为研究对象，运用考虑非期望产出的 SE-SBM 模型测度了 2010-2018 年各城市的水资源利用效率，同时运用标准差椭圆等方法对水资源利用效率的时空变化和俱乐部趋同性进行分析。

## 1.2.2 水权交易研究现状

### （1）关于水权交易的提出及概念

当前学术界对水权交易产生的动因观点比较一致，认为随着水资源稀缺性显现，高效合理利用水资源变得越来越重要，水权交易可以通过量化水的价值将对水资源评价最高的买者与成本最低的卖者组成买卖双方，实现水资源有效配置

[54], 因此这一水资源配置新手段应运而生。

合理界定水权是水权交易的关键之一。关于水权的定义, 国内外学者尚未形成明确、清晰的共识, 且各国由于不同的政治、经济和法律制度背景, 对水权的理解不尽相同。在美国, 水权主要指用水权或取水权<sup>[28]</sup>。在俄罗斯, 水权则指对水体的所有、使用和其他各种权利总和<sup>[77]</sup>。我国学者在界定水权内涵上也各抒己见, 主要形成了“一权说”、“二权说”、“三权说”、“四权说”及“衍生说”等观点, 其中, 关于“一权说”, 周霞等(2001)<sup>[101]</sup>认为水权一般指水资源使用权; 关于“二权说”, 傅春等(2001)<sup>[45]</sup>认为水权为水资源的所有权和使用权; 关于“三权说”, 姜文来(2000)<sup>[53]</sup>认为水权最终可归结为水资源的所有权、经营权和使用权; 关于“四权说”, 沈满洪和陈锋(2002)<sup>[67]</sup>认为水权是水资源的所有权、占有权、支配权和使用权等组成的权利束, 曹明德(2004)<sup>[37]</sup>则从民法的视角将水权分解为权利主体对水资源的占有、使用、收益和处分四项权能; 关于“衍生说”, 熊向阳(2002)<sup>[84]</sup>认为水权是水资源所有权及其衍生的使用、经营、转让、受益和财产安全等权利的权益综合体。虽然目前学者们对水权定义观点不一, 但在研究可交易水权时, 主要探讨的是除所有权之外的其他水资源权利, 如使用、转让及收入享用等权利。Rosegrant 和 Schleyer(1994)<sup>[27]</sup>将水权交易看作是与土地转让相分离的、对水资源使用权的部分或全部转让; 窦明等(2014)<sup>[43]</sup>则将水资源使用权进一步细分为取水权(又称汲水权、引水权)、用水权和排污权, 认为水权交易特指用水权交易。

## (2) 关于水权交易机制研究

自从水权交易的概念被提出后, 水权交易的具体机制便成为学者们十分关注的话题。沈满洪和陈锋(2002)<sup>[67]</sup>认为, 水权交易是一个十分综合的问题, 不仅涉及制度而且涉及技术, 不仅涉及经济学理论而且涉及法学理论。自浙江省东阳义乌之间发生首例水权交易案后, 学者们集中展开了对水权交易机制的研究。沈满洪(2005)<sup>[68]</sup>基于水资源的物品和产权两种属性构建水权交易函数, 运用规范分析方法论证得出具有“多层次水权交易制度”特征的中国水权制度改革目标模式; 李海红和王光谦(2005)<sup>[54]</sup>则通过探讨水权交易的前提、基础、依托、原则和形式, 运用实例对水权交易的机理进行解析; 田贵良等(2016)<sup>[73]</sup>从水权交易主体、程序及保障措施 3 个方面详细探究了水权交易的具体机制; 吴凤平等(2018)

[82]通过参考国内外先进的水权交易价格确定理论和实践,提出以市场为导向的水权交易价格形成机制理论框架。

### (3) 关于水权交易作用研究

由于国外较早进行了水权交易实践,且如澳大利亚<sup>[6]</sup>、美国西部<sup>[7]</sup>等地区已经建立了比较发达的水市场并实现了水权交易,因此关于水权交易作用的研究相对较早且丰富。Bauer(1997)<sup>[4]</sup>认为政治或理论信念是促使水权交易形成的主要原因,由于不同地区政治或理论信念具有差异,因此水权交易的影响在不同地区会存在明显的不均衡性和复杂性,应用效果具有不确定性;John和Warren(2006)<sup>[19]</sup>以澳大利亚水市场为研究对象,发现水权交易能够使澳大利亚农业和其他产业获得可观的经济效益,并且在促进区域经济发展的同时有效改善了当地的生态环境;Luo(2003)<sup>[22]</sup>基于不确定性规划法构建了水权交易模型,通过研究证明了水权交易是实现水资源高效率配置的有效途径;Nieuwoudt和Armitage(2004)<sup>[24]</sup>深入分析实际案例,得出水权交易对水资源配置具有积极作用的结论;Rosegrant和Binswanger(1994)<sup>[26]</sup>通过研究澳大利亚和美国西部等地区建立的水权市场,提出可交易水权在提高用水效率、保证用水公平性和可持续性等方面具有重要作用。

近年来,国内学者对水权交易作用的研究也比较广泛。部分学者的研究结果显示,水权交易在实现水资源优化配置方面具有积极作用,胡晓寒等(2010)<sup>[51]</sup>研究发现水权交易能够促进农业用水户间的水资源优化配置;陆文聪和覃琼霞(2012)<sup>[58]</sup>通过比较水权交易在不同状态下对水资源配置的效率 and 节水效果,发现政府主导的交易机制效率更高;曾雪婷和李永平(2013)<sup>[89]</sup>运用不确定规划法研究发现开孔河流域的水权交易在保证收益同时具有一定节水效果;张晓军和侯汉坡(2010)<sup>[96]</sup>通过构建跨行业水权交易体系模型,分析得出工业和农业间水权交易对实现水资源最优配置具有积极作用。还有部分学者关注水权交易对第三方的影响,马晓强和韩锦绵(2011,2012)<sup>[50,60]</sup>分析了水权交易对不同客体可能产生的三种正效应和七种第三方负效应,另外在探讨水权交易第三方效应内涵的基础上,从作用主体、作用机理等不同角度对其进行分类,并分析水权交易第三方效应产生的原因。

### 1.2.3 我国水权交易试点研究现状

当前关于我国水权交易试点研究的文献相对较少,已有成果主要是对试点工作经验的总结,田贵良(2018)<sup>[75]</sup>总结和比较了各试点省(区)水权改革的做法和经验,从水权改革推广、水资源监控计量体系完善、水权交易平台建立和水权交易价格形成机制等方面提出了对策和建议。关于我国水权交易政策对水资源利用效率实施效果的研究也屈指可数,田贵良等(2020)<sup>[74]</sup>对我国水权交易政策实施前后的水资源利用效率进行了简单对比分析,结果表明总体上看水权交易政策对水资源利用效率具有积极促进作用;Chen等(2021)<sup>[8]</sup>通过构建基于水资源系统的混合网络结构DEA模型测度了水资源利用效率,并利用双重差分(DID)模型检验了水权交易政策对水资源利用效率的效果,发现水权交易政策可以有效促进水资源系统的综合水效率;吴凤平等(2022)<sup>[81]</sup>在采用考虑非期望产出的超效率SBM模型测算我国30个省(区、市)水资源利用效率的基础上,运用双重差分模型检验发现水权交易政策能够显著提升水资源利用效率。

### 1.2.4 文献述评

通过梳理近年来测度水资源利用效率的文献,发现已有研究从不同角度对水资源利用效率展开分析。首先,水资源利用效率的测度方法越来越完善。基于全要素投入产出思想的SFA和DEA方法是当前测度水资源利用效率的主流方法,在此基础上学者们进一步发展和完善,提出超效率SBM方法、混合网络结构DEA模型和多阶段DEA模型等改进方法,越来越完善的测度方法使测度水资源利用效率更加合理和准确。其次,从研究内容来看,学者们不仅注重改进水资源利用效率测度方法,而且对水资源利用效率的变化趋势、空间差异和影响因素等问题进行了大量研究。再次,从研究尺度上,已有研究分别从全国、省域、流域以及行业(如农业、工业)等尺度对水资源利用效率展开不同程度的研究。总之,当前对水资源利用效率的研究已比较成熟,为本文测度水资源利用效率提供了坚实的理论依据和方法基础。

通过大量阅读关于水权交易的文献,发现国内外水权交易实践的增加推动了学者们对水权交易问题的研究。总体来看,随着美国、澳大利亚和智利等地区不

断发展水权交易市场,国外学者对水权交易开展了深入的理论和实证研究,国内学者借鉴国外水权交易理论分析经验,在水权交易方面也相继展开大量研究,如对水权及水权交易的概念进行广泛探讨,对中国水权交易实践、水权交易运行机制及水权交易作用等问题进行了深入研究并取得丰富成果,为我国进一步研究和推进水权交易制度提供了理论指导。

综上所述,现有文献虽然在水资源利用效率、水权交易和我国水权交易试点研究等方面成果显著,但由于水权交易及其对水资源利用效率影响的复杂性,在以下三个方面尚存在不足,需继续深入研究:

第一,关于多期水资源利用效率的测算,学者们主要利用以 DEA 为代表的方法,均以决策单元各期投入产出数据分别构造当期生产前沿面,而参照不同时期生产前沿面测算得到的水资源利用效率缺乏跨期可比性。

第二,在研究水资源利用效率影响因素的文献中,学者们更多探讨的是经济发展水平、产业结构、水资源禀赋和用水情况等经济、社会和水环境因素与水资源利用效率的关系,较少有研究讨论政策因素对水资源利用效率的影响。

第三,在对我国水权交易试点工作的研究中,现有成果更多是对试点工作的经验总结,鲜有研究关注我国水权交易试点政策实施对水资源利用效率的影响,关于水权交易政策影响水资源利用效率的作用机制研究更是少之又少。

鉴于以上三方面研究空缺,本文主要对现有研究进行如下改进和补充:第一,改进水资源利用效率测度方法,运用考虑非期望产出的超效率全局 SBM 模型测度水资源利用效率,有效避免了测度结果跨期不可比问题;第二,丰富水权交易影响水资源利用效率的实证研究,将水权交易试点政策作为一项“自然实验”,基于目前在国内外研究中较少应用的回归控制法进行反事实分析,评估水权交易政策对试点省份水资源利用效率的影响,同时运用中介效应模型深入分析水权交易试点政策对水资源利用效率的影响机制。

## 1.3 研究内容与创新之处

### 1.3.1 研究内容

本文在测度中国大陆 31 省(区)2005-2019 年水资源利用效率的基础上,重

点研究我国水权交易试点对水资源利用效率的政策效果,并分析水权交易政策对水资源利用效率的影响机制,具体分为以下五个章节:

第一章为绪论,首先介绍研究背景和意义,引出本文要研究的主题。其次对国内外研究现状进行文献综述,分别梳理国内外在水资源利用效率、水权交易和我国水权交易试点研究方面的研究现状,并对现有文献进行述评,提出本文研究方向。再次介绍本文研究的主要内容和可能存在的创新点。最后介绍本文运用的研究方法和技术路线。

第二章为水权交易影响水资源利用效率的理论基础。首先介绍水权交易基本理论,主要从水权及水权交易概念、水权交易的理论基础两方面展开。其次分析了水权交易提高水资源利用效率的经济原理。最后在对水权交易相关文献和国家政策梳理分析的基础上,从用水结构调整、节水和中水回用三个角度提出水权交易对水资源利用效率的理论影响机制。

第三章为我国水权交易试点实践和水资源利用效率测算。首先介绍我国水权交易试点省份的水权交易相关制度和具体实践;其次说明本文测算水资源利用效率的方法和所选指标的含义、原因及数据来源;之后基于中国大陆 31 省(区) 2005-2019 年水资源利用效率的测算结果,分析我国水资源利用效率的整体分布特征,并对水权交易试点省份水资源利用效率的变化趋势进行分析。

第四章为水权交易试点政策对水资源利用效率实施影响的实证检验。在测算水资源利用效率的基础上,首先评估我国水权交易政策对试点省份水资源利用效率的政策效果,具体包括评估方法介绍(本文运用回归控制法)、指标选择与数据说明、评估结果分析和政策效果可靠性检验(安慰剂检验)。其次采用中介效应模型分别从用水结构调整、节水和中水回用三种传导路径检验水权交易对水资源利用效率的作用机制。

第五章为研究结论和建议,综合理论分析和实证结果,对本文主要内容和研究结果进行总结,并为水权交易政策全国推广和水资源利用效率提高提出相关建议。

### 1.3.2 论文主要创新之处

- (1) 研究内容具有一定创新性。

本文在研究水权交易政策对水资源利用效率实施影响的同时,提出水权交易可能通过用水结构调整、节水和中水回用三种中介效应影响水资源利用效率的理论作用机制,并通过实证检验了水权交易政策对水资源利用效率的这三种中介作用路径。现有文献中尚无相关研究成果,本文期望为水权交易制度的全国推广提出有效政策建议。

(2) 方法应用具有一定创新性。

第一,水资源利用效率测算方法的应用具有一定创新性。本文运用基于规模报酬可变的非期望产出全局超效率 SBM 方法测算水资源利用效率。当前学者们在利用以 DEA 为代表的方法测算多期水资源利用效率时,均以决策单元的各期投入产出数据分别构造当期生产前沿面,使参照不同时期生产前沿面测算得到的水资源利用效率缺乏跨期可比性。本文运用的全局 SBM 方法有效避免了测度结果跨期不可比问题,因此在测算方法的应用上具有创新性。

第二,水权交易试点影响水资源利用效率的政策评估方法应用上具有一定创新性。目前研究水权交易政策对水资源利用效率实施效果的文献采用普通双重差分法定量分析政策效果,而回归控制法作为合成控制法的改进方法,既可以避免普通双重差分法因主观选择控制组可能造成的实证结论偏差,又在估计效果方面优于合成控制法,且具有更高的可靠性和稳健性。然而目前国内学者较少运用该方法进行政策评估研究,基于该方法的优点且适用于本研究,本文采用回归控制法研究水权交易试点对水资源利用效率的政策影响。本文在政策评估方法应用方面具有一定创新性。

## 1.4 研究方法与技术路线

### 1.4.1 研究方法

本文主要采用文献分析和实证分析相结合的研究方法,对水权交易试点影响水资源利用效率的政策效果进行研究。具体研究方法如下:

(1) 文献分析法

通过研读现有文献,本文主要梳理了水资源利用效率、水权交易和我国水权交易试点研究等三个方面的研究成果。在水资源利用效率研究方面,明确了目前

学者们对水资源利用效率基本内涵的界定,并基于此归纳了水资源利用效率的测度方法及学者们对水资源利用效率影响因素和空间差异等方面的相关研究;在水权交易研究方面,梳理了国内外学者对水权交易概念、机制和作用的研究成果;在我国水权交易试点研究方面,发现鲜有研究关注我国水权交易试点政策对水资源利用效率的实施影响。基于上述文献梳理,提出本文研究内容。

## (2) 计量分析方法

本文采用基于规模报酬可变的非期望产出全局超效率 SBM 方法测算我国大陆 31 省(区)的水资源利用相对效率,并从时空两个维度对我国整体水资源利用效率现状进行分析。本文所用水资源利用效率测算方法在解决跨期可比性问题的同时,规避了经典 DEA 模型径向和角度问题,引入非期望产出更具严谨性,同时可以进一步比较效率值为 1 的决策单元。

基于测算得到的水资源利用相对效率数据,将水权交易政策视为一项“自然实验”,采用目前国内研究中较少运用的回归控制法探究水权交易政策对我国试点省份水资源利用效率的实施影响,该方法作为合成控制法的改进方法,既可以避免双重差分法因主观选择控制组可能造成的实证结论偏差,又在估计效果方面优于合成控制法且具有更高的可靠性和稳健性。

最后利用中介效应模型分别从用水结构调整、节水和中水回用三种传导路径检验水权交易对水资源利用效率的作用机制。

## 1.4.2 技术路线

本文技术路线如图 1.1 所示。

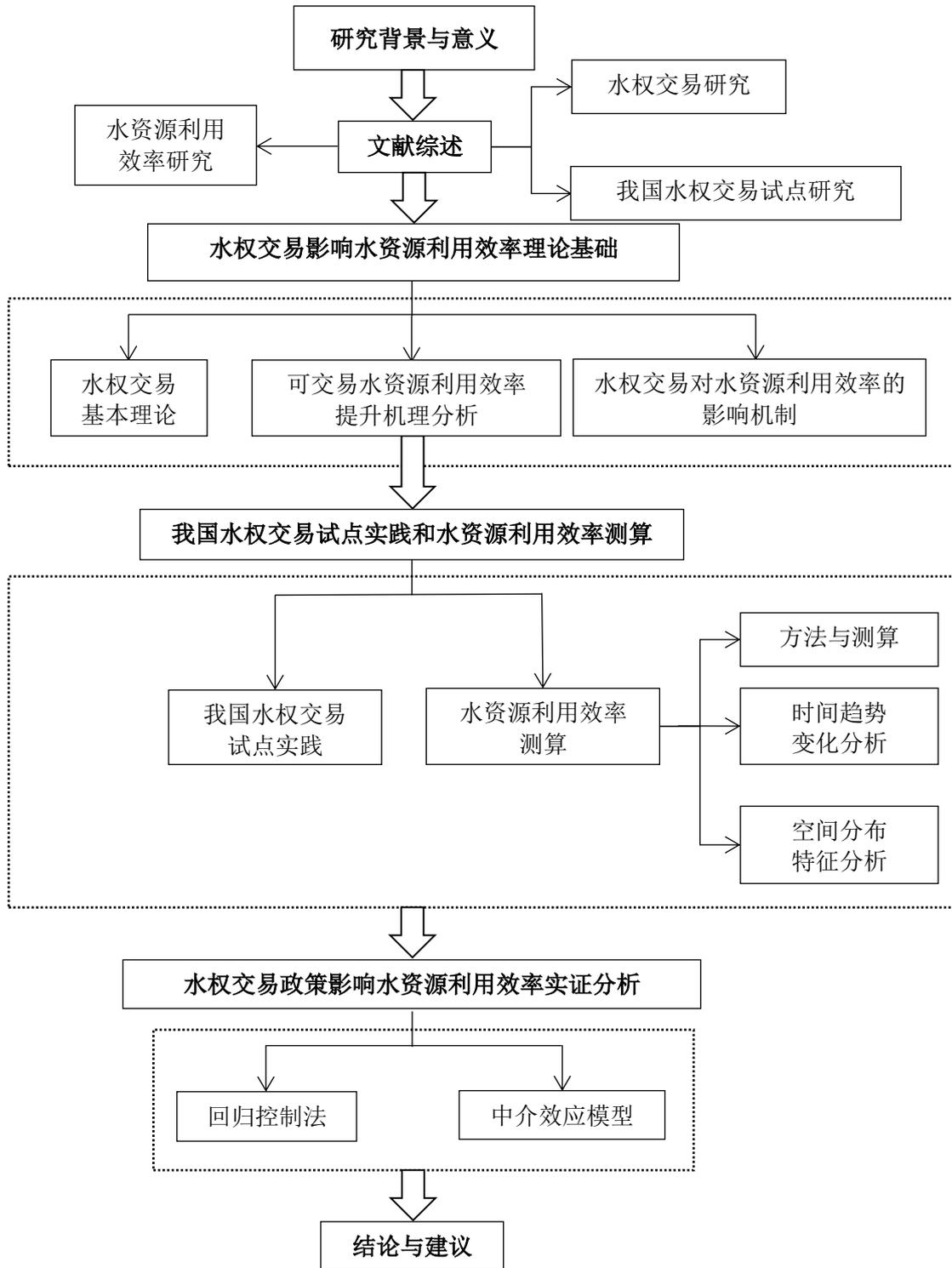


图 1.1 技术路线图

## 2 水权交易影响水资源利用效率的理论基础

### 2.1 水权交易基本理论

#### 2.1.1 水权及水权交易概念

随着水资源供需矛盾日益突出，水资源产权问题越来越受到关注。水资源产权简称水权，广义上指水资源所有权、占有权、支配权和使用权等组成的权利束<sup>[68]</sup>。我国《水权交易管理暂行办法》规定，水权包括水资源的所有权和使用权<sup>[69]</sup>。由于我国《宪法》、《水法》明确规定“水资源属于国家所有”，因此在我国可交易水权主要指除所有权以外的其他水资源权利，包括水资源使用权、支配权等。

现代水权制度包括水权配置制度（分配与确权）、水权交易制度和水权监督管理制度三个子体系<sup>[78]</sup>。鉴于我国的水资源国有性质，在水资源配置上通常由中央政府委托地方各级政府进行水资源配置和管理。水权交易则是指在合理界定和分配水资源使用权基础上，通过市场机制实现水资源使用权在地区间、流域间、流域上下游、行业间和用水户间流转的行为<sup>[69]</sup>，其本质是通过量化水权价值，由对水资源评价不同的用水主体根据最大化经济利益选择合适的用水量并进行买卖，从而实现水资源有效配置。水权交易类型多样，根据交易期限的不同可分为临时性水权交易和永久性水权交易；根据交易主体的不同可分为区域水权交易、取水权交易和灌溉用水户水权交易；根据交易形式的不同，水权交易可以在转让方与受让方之间直接进行，而对于区域水权交易或交易量较大的取水权交易，一般通过水权交易平台进行。

#### 2.1.2 水权交易理论基础：科斯定理

科斯定理是产权经济学研究的基础，其核心是产权界定和交易成本，学者们通过总结科斯研究的主要思想，将科斯定理分为三组定理。其中，科斯第一定理表述为如果交易成本为零，无论初始产权如何界定，市场机制均可使经济资源实现最优配置，经济活动达到帕累托最优。由于现实中不存在交易成本为零的情况，进一步推导出科斯第二定理，即在交易成本大于零的情况下，不同的产权界定会

导致资源配置的不同效率，从而对经济效益产生影响。因此，为优化资源配置，产权界定尤其关键。在此基础上，科斯第三定理描述了不同产权制度的选择方法：第一，如果不同产权制度下交易成本相同，则制度本身成本的高低决定了产权制度的选择；第二，当某种产权制度必需时，要考虑该制度不同的设计和实施方法产生的不同成本；第三，如果某项制度的设计和实施成本大于收益，则不应被选择；第四，在现行产权制度不合理的情况下，如果制度变革的成本无限大或收益小于成本，则无需变革。科斯定理表明，只要产权界定明晰，在交易成本为零或很小的情况下，运用市场机制可以实现资源有效配置。其中，政府可通过界定、分配产权，并保证市场机制运行稳定来最小化交易成本。

水权交易正是科斯定理应用于水资源管理领域的一种水资源配置手段。首先，水权界定是水权交易的前提。当水资源充足时，不存在竞争性消费问题，随着水资源稀缺程度不断加大，其使用的排他性和竞争性特征逐渐显现，产权模糊必然会产生水资源使用的外部性问题，因此水资源产权界定成为水权交易的前提。其次，交易成本是水权交易顺利进行的关键。根据科斯定理，只有在交易成本为零或很小的情况下，运用市场机制才可以实现资源有效配置。因此当交易成本过高，超过交易带来的收益或效用时，水权交易将难以进行。显然水资源产权界定和分配难度较大，要充分考虑社会效率和公平，且仅依靠市场本身难以保证较低的水权交易成本，国内外研究成果和改革实践表明，政府和市场结合是解决这一问题的有效途径，即政府通过制定水权管理相关制度合理界定和分配初始水资源使用权，同时完善水权交易相关政策、制定水权交易规则以降低交易成本，规范水权交易市场，推动水权交易顺利进行，此外政府及时有效的水权交易市场监督管理也能逐渐降低交易协商成本。因此以行政手段为基础，将水资源纳入市场配置机制中，可以充分利用市场手段优化水资源再分配，实现水资源经济效益。

## 2.2 可交易水资源利用效率提升机理分析

根据科斯定理，在市场经济条件下，可以通过市场转移水资源使用权，实现水资源有效配置，提高水资源利用效率。关于其作用机理，黄锡生和黄金平(2005)<sup>[52]</sup>认为由于不同用水主体间用水效益存在差异，在节水前提下用水主体可通过比较用水收益和成本，利用水权交易获得节水收益，同时水资源实现了用水效益



## 2.3 水权交易对水资源利用效率的影响机制

### 2.3.1 水权交易对水资源利用效率的影响

水资源利用效率是反映“经济-社会-水环境”协调发展程度的综合评价指标，我国水资源问题的核心是利用效率问题<sup>[55]</sup>，提高水资源利用效率是解决水资源可持续利用问题的有效途径。在初始水权分配明晰的条件下，水权交易通过交易价格体现水资源的稀缺程度，改变用水主体的水资源利用行为，促进水资源合理配置，进而影响水资源利用效率，因此被认为是水资源利用效益最大化、效率最优化的有效途径之一。通过对水权交易相关文献和国家政策的梳理分析，本文提出水权交易通过调整用水结构、激励节水和促进中水回用三种中介效应影响水资源利用效率的传导路径，如图 2.2 所示。

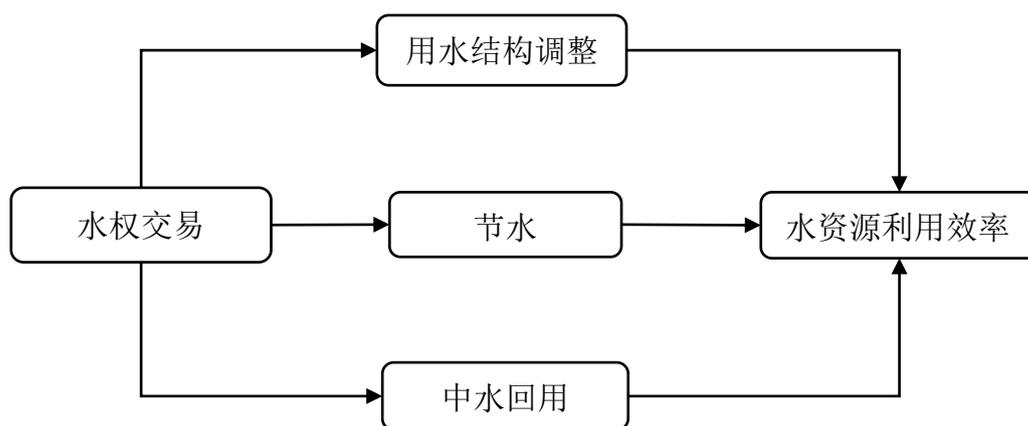


图 2.2 水权交易影响水资源利用效率作用路径

### 2.3.2 用水结构调整中介效应

用水结构一般指不同用水主体之间用水量的比较关系。在我国的用水统计中，一般从农业、工业、生活和生态 4 个方面对用水进行划分。由于生产用水更具节水空间，因此对生产用水及生产用水结构的关注较多，在有限的水资源供给前提下，必须平衡各产业的生产用水分配。与工业生产用水相比，农业用水效率偏低，

因此合理调整农业和工业用水量，可以有效提高水资源利用效率，实现水资源优化配置。基于此，本文将用水结构定义为农业用水和工业用水的比值。

2014年7月，水利部印发的《水利部关于开展水权试点工作的通知》中提出，因地制宜探索地区间、流域间、流域上下游、行业间、用水户间等多种形式的的水权交易流转方式<sup>[70]</sup>。自此，行业间水权交易实践成为水权交易方式的重要选择之一。水权交易可以促使水资源从用水效率较低的农业向用水效率较高的工业流转，从而提高水资源利用效率。具体而言，在水权交易政策下，水权确权使农民真正明确自己拥有的水资源使用权，有限的水权无法满足粗放型用水需求，而水权交易价格由市场决定，因此水价会较大程度得到提高，为减少额外用水成本，农民将提高节水积极性，寻求更加节水的灌溉和用水方式，节余的水资源可以通过水权交易市场在农户间、产业间出售，进而提高水资源利用效率，优化水资源配置。

### 2.3.3 节水中介效应

2016年7月，水利部印发的《水权交易管理暂行办法》鼓励开展多种形式的水权交易，促进水资源的节约、保护和优化配置<sup>[69]</sup>。可见，水资源节约利用是水权交易机制运行的效果之一。

传统的水资源管理从水资源供给角度解决水资源利用问题，不断兴建的水利工程不仅使可供开发的水资源存量越来越少，而且产生了大量生态环境问题。而水权交易强调水资源是一种稀缺性经济资源，激励用水主体对现有水资源合理利用和优化配置，鼓励节水。通过水权交易，节水成本低的用水主体可以出售多余的水资源获得节水收益，由于用水主体从节水行为中得到了相应的经济补偿，因此一定程度可以提高其节水意识和节水积极性，促使其为降低因大量用水而付出的额外经济成本，主动寻求更加节水的用水方式，减少用水量，提高用水效率。因此，本文认为节水效应是水权交易影响水资源利用效率的关键传导路径。

### 2.3.4 中水回用中介效应

中水主要指污水经处理后达到一定水质标准的，可用于灌溉、洗涤、环卫等方面的非饮用水，因其水质处于清洁水（上水）和排入地下管道的污水（下水）

之间，故称为“中水”。对中水进行重复利用即为中水回用，关键取决于污水处理能力。因此本文用污水处理能力衡量中水回用潜力。

长期以来，我国水资源配置不合理，清洁水利用率低，同时忽视污水再生利用，因此污水处理设施落后，污水排放量与日俱增，水环境污染问题愈发严峻。水权明晰后，水权交易机制下的交易价格充分体现了水资源的稀缺程度，优质水环境价值将被提升，这会促使水权拥有者严格管理属于自己的水环境，规范污水排放行为。同时，水权交易使清洁水价格提高，中水较低的价格优势得以显现，这将有力推动污水处理行业快速发展，为了追求利润最大化，这类企业将积极改进污水处理技术，降低污水处理成本，提高污水处理率，从而促进中水回用，节省清洁水使用量，有效提高水资源利用效率。

### 3 我国水权交易试点实践和水资源利用效率测算

#### 3.1 我国水权交易试点实践

我国从 2014 年下半年开始在内蒙古、河南、甘肃和广东 4 省（区）开展水权交易试点工作，探索了流域间、流域上下游、区域间、行业间和用水户间等多种水权交易模式。在制度建设上，水利部 2016 年印发的《水权交易管理暂行办法》和《关于加强水资源用途管制的指导意见》等文件，明确规定了水权交易的类型、程序和水资源用途管制等。同时，各试点省（区）也相继出台了试点方案和水权交易规则或管理（试行）办法：甘肃省 2014 年制定《疏勒河流域水权交易管理试行办法》、河南省 2015 年制定《河南省南水北调水量交易管理办法（试行）》、广东省 2016 年制定《广东省水权交易管理试行办法》、内蒙古自治区 2017 年制定《内蒙古自治区水权交易管理办法》。在水权交易具体实践上，2016 年我国成立了首个国家级水权交易平台——中国水权交易所，对规范有序开展水权交易具有重要作用。4 个试点省（区）则根据各自不同的水资源禀赋和经济社会发展对水资源的不同需求，进行了各具特色的水权交易。

内蒙古重点开展了跨区域水权交易，主要在跨盟市的工农业间，通过工业企业投资节水工程，将农业灌溉节约的水量在偿还超引黄河水量后，部分转让给投资节水的企业。自 2016 年 11 月 30 日内蒙古水权中心在中国水权交易所平台完成自治区首批水权公开交易以来，截至 2021 年 12 月 23 日，内蒙古通过中国水权交易所共成交 81 单交易，交易水量达 28.41 亿立方米。

河南重点开展的是省内位于不同流域的地市间水量交易。2016 年 6 月 28 日河南省新密市和平顶山市在中国水权交易所完成了全省首宗跨区域水量交易。2017 年 4 月 18 日，河南省成立了继内蒙古之后国内第二个省级水权收储转让交易平台——河南水权收储转让中心，主要负责南水北调结余水指标的收储转让。由于该平台承担了河南全省的水权收储和转让工作，河南省通过中国水权交易所完成的水权交易相对较少，截至 2021 年 12 月 23 日，河南通过中国水权交易所共成交 4 单交易，交易水量达 3.46 亿立方米。另外，2019 年河南省印发《河南省农业水权交易管理办法（试行）》，进一步推进农业水权交易。

甘肃重点是在疏勒河流域开展行业 and 用水户间水权交易，即在“三条红线”用水总量控制指标范围内，将农业节水向工业和服务业转让以及在灌溉用水户间进行水权交易。截至 2021 年 12 月 23 日，甘肃通过中国水权交易所累计成交 435 单交易，其中区域水权/取水权交易 2 单，灌溉用水户水权交易 433 单，总交易水量达 0.093 亿立方米。

广东重点开展的是流域上下游间水权交易。该省以广东省产权交易集团为依托，通过广东省环境权益交易所在东江流域开展流域上下游水权交易。2017 年 11 月 14 日，东江流域上游的惠州市通过广东省环境权益交易所将部分用水总量控制指标和东江流域取水量分配指标转让给下游的广州市，交易量共计 1.08 亿立方米，实现了广东省乃至华南地区水权交易零突破。

## 3.2 水资源利用效率测算

### 3.2.1 测算方法

传统 DEA 是径向、角度模型，在计算效率时会忽略投入或产出，不符合客观实际，且可能高估决策单元的效率值。为克服上述问题，Tone (2001)<sup>[31]</sup>构建了非径向、非角度 DEA 模型，即 SBM 模型。SBM 模型中有效率的决策单元值均为 1，为比较有效率决策单元，Tone (2002)<sup>[32]</sup>进一步构建了超效率 SBM 模型。随着绿色生产方式成为社会生产追求的目标，对生产效率的研究也由只考虑期望经济产出转向同时关注非期望产出。

本文基于 Tone (2004)<sup>[33]</sup>提出的非期望产出 SBM 模型，参考成刚 (2014)<sup>[41]</sup>推导的非期望产出超效率 SBM 模型公式，构建考虑非期望产出的超效率全局 SBM 模型。尽管该模型的经济学基础较弱，但在应用上不仅规避了传统 DEA 模型径向和角度的缺陷，而且有效解决了水资源利用效率跨期不可比问题，同时考虑了非期望产出并能进一步比较有效决策单元。当规模报酬不变的效率计算结果与可变条件下结果不同时，Zheng 等 (1998)<sup>[35]</sup>研究表明规模报酬可变的效率值更符合实际，因此本文在规模报酬可变条件下构建相关模型。

假设有  $n$  个决策单元，每个决策单元均由投入、期望产出和非期望产出三种要素构成，分别用  $X = (x_{ij}) \in \mathbb{R}^{m \times n}$ 、 $Y = (y_{kj}) \in \mathbb{R}^{s_1 \times n}$  和  $Z = (z_{lj}) \in \mathbb{R}^{s_2 \times n}$  表示投入、期

望产出和非期望产出向量,  $m$ ,  $s_1$ ,  $s_2$  分别代表投入、期望产出和非期望产出变量个数。生产可能集为:  $P = \{(x, y, z) | x \geq X\Lambda, y \leq Y\Lambda, z \geq Z\Lambda, X > 0, Y > 0, Z > 0, \Lambda > 0\}$ , 前三个不等式分别表示实际投入水平不小于前沿水平, 实际期望产出水平不高于前沿水平和实际非期望产出水平不小于前沿水平,  $\Lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n] \in \mathbb{R}^n$  表示权系数向量。

在规模报酬可变条件下, 考虑非期望产出的超效率全局 SBM 模型 (Global\_Un\_Super\_SBM\_VRS) 如下:

$$\begin{aligned}
 E_c^G(x^t, y^t, z^t) &= \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^x}{x_{i0}^t}}{1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{k=1}^{s_1} \frac{s_k^y}{y_{k0}^t} + \sum_{p=1}^{s_2} \frac{s_p^z}{z_{p0}^t} \right)} \\
 \text{s.t. } x_{i0}^t &\geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_{ij}^t - s_i^x, \forall i; \\
 y_{k0}^t &\leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_{kj}^t + s_k^y, \forall k; \\
 z_{p0}^t &\geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j z_{pj}^t - s_p^z, \forall p; \\
 1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{k=1}^{s_1} \frac{s_k^y}{y_{k0}^t} + \sum_{p=1}^{s_2} \frac{s_p^z}{z_{p0}^t} \right) &> 0; \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1; \\
 s_i^x \geq 0, s_k^y \geq 0, s_p^z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \forall i, j, k, p;
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$s^x \in \mathbb{R}^m$  和  $s^z \in \mathbb{R}^{s_2}$  分别表示投入和非期望产出过剩量,  $s^y \in \mathbb{R}^{s_1}$  表示期望产出短缺量,  $E$  表示决策单元效率值, 在规模报酬可变条件下满足  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 。超效率模型针对有效决策单元, 故式 (3.1) 所得  $E$  均大于等于 1。其他决策单元效率值可通过规模报酬可变条件下的非期望产出全局 SBM 模型 (Global\_Un\_SBM\_VRS) 计算所得, 公式如下:

$$\begin{aligned}
E_c^G(x^t, y^t, z^t) &= \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^x}{x_{i0}^t}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{k=1}^{s_1} \frac{s_k^y}{y_{k0}^t} + \sum_{p=1}^{s_2} \frac{s_p^z}{z_{p0}^t} \right)} \\
\text{s. t. } x_{i0}^t &= \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_{ij}^t - s_i^x, \forall i; \\
y_{k0}^t &= \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_{kj}^t + s_k^y, \forall k; \\
z_{p0}^t &= \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j z_{pj}^t - s_p^z, \forall p; \\
\sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1; \\
s_i^x \geq 0, s_k^y \geq 0, s_p^z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \forall i, j, k, p;
\end{aligned} \tag{3.2}$$

### 3.2.2 指标选择与数据说明

本文基于中国大陆 31 个省份 2005-2019 年的面板数据，运用考虑非期望产出的超效率全局 SBM 模型测度水资源利用效率。在样本期选取上，考虑到本文之后运用回归控制法评估水权交易政策实施对水资源利用效率的影响，而政策发生前较长的样本期有利于提高回归控制法中“反事实结果”和处理对象的拟合效果，进而提高回归控制法政策评估的有效性，因此在综合参考各指标数据的可得性的基础上，选择 2005-2019 年作为本研究的样本期跨度。在指标选取上，现有文献在运用考虑非期望产出的 DEA 方法测算地区水资源利用效率时，大多基于劳动、资本和水资源消耗的三要素投入-产出框架，同时考虑水资源利用对环境的污染，将劳动力、资本和用水量三种生产要素作为投入指标，将地区生产总值作为期望产出指标，将废水排放作为非期望产出<sup>[42,59,98]</sup>，本文参考上述文献，将劳动、资本和用水量作为投入指标，将地区生产总值作为期望产出指标，同时将废水排放作为非期望产出。具体指标说明如下：

(1) 投入指标：为劳动力、资本和用水量。其中，劳动力投入采用我国大陆 31 省（区）2005-2019 年全社会年末从业人数表示；资本投入用资本存量表示，而相关年鉴和统计资料并未直接公布我国大陆 31 省（区）的资本存量数据，一般采用永续盘存法估算，为使结果更切合实际，本文基于张军等（2004）<sup>[92]</sup>的方法得到各省 2003 年资本存量，以此为初始值，以 2005 年为基期，借鉴陈普和

万科(2021)<sup>[39]</sup>的处理方法利用我国大陆31省(区)2005-2019年固定资本折旧数据计算各省2005-2019年的资本存量值;用水量采用我国大陆31省(区)2005-2019年用水总量表示。

(2) 期望产出指标: 本文采用以2005年为基期剔除价格因素的实际地区生产总值作为期望产出指标。

(3) 非期望产出指标: 为保证样本期内数据可得且完整, 本文采用废水中排放的化学需氧量(COD)作为衡量废水排放的非期望产出指标, 该指标用我国大陆31省(区)2005-2019年废水中化学需氧量排放总量表示。

本文数据均来自我国大陆31省(区)2006-2020年统计年鉴和国家统计局网站。为研究方便, 部分缺失数据利用线性插值算法插补得到。

### 3.3 测算结果分析

运用考虑非期望产出的超效率全局SBM模型测算我国大陆31个省份2005-2019年的水资源利用效率, 由于篇幅限制, 表3.1列出我国大陆31省(区)部分年份的水资源利用效率测算结果。基于测算结果, 本文分别从时空两个维度分析了我国整体水资源利用效率和水权交易试点省份水资源利用效率。

表 3.1 中国大陆 31 省份水资源利用效率

省份	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	平均值
北京	1.0060	1.0306	1.0007	1.0014	0.9749	1.0135	1.0705	1.0058
天津	1.0287	1.0176	0.8738	1.0014	0.9828	0.9267	1.0503	0.9900
河北	0.3416	0.3186	0.2948	0.3224	0.3366	0.3539	0.3808	0.3219
山西	1.0020	0.3931	0.3436	0.3510	0.3644	0.3857	0.4131	0.4377
内蒙古	0.3614	0.3389	0.2883	0.3158	0.3274	0.3506	0.3760	0.3303
辽宁	0.3845	0.3580	0.3370	0.3565	0.3651	0.3774	0.3949	0.3576
吉林	0.3437	0.2781	0.2565	0.2729	0.2780	0.2849	0.2888	0.2865
黑龙江	0.3555	0.3184	0.2765	0.2995	0.3043	0.3079	0.3304	0.3142
上海	0.6855	1.0021	1.0024	1.0031	1.0003	1.0015	1.0361	0.9347
江苏	0.4058	0.5371	0.6436	0.7906	0.8623	0.9410	1.0305	0.6181
浙江	0.4401	0.5405	0.5589	0.6494	0.7346	0.8448	1.0217	0.5835

续表 3.1 中国大陆 31 省份水资源利用效率

省份	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	平均值
安徽	0.3847	0.3256	0.3196	0.3264	0.3265	0.3297	0.3376	0.3363
福建	0.4804	0.3806	0.3591	0.3689	0.3796	0.4037	0.4336	0.4009
江西	0.3437	0.3046	0.2983	0.3069	0.3142	0.3229	0.3299	0.3100
山东	0.3812	0.4374	0.5574	0.7375	0.8295	0.9258	1.0329	0.5669
河南	0.4376	0.3087	0.3125	0.3606	0.3947	0.4437	0.5025	0.3549
湖北	0.3108	0.3097	0.3059	0.3132	0.3170	0.3260	0.3374	0.3127
湖南	0.3429	0.2967	0.2919	0.2976	0.3046	0.3148	0.3302	0.3104
广东	0.7249	1.0334	1.0018	1.0078	1.0021	1.0029	1.0339	0.9735
广西	0.3069	0.2378	0.2130	0.2204	0.2264	0.2362	0.2510	0.2463
海南	0.5307	0.5353	0.4399	0.4813	0.4692	0.4629	0.4573	0.4926
重庆	0.4573	0.3986	0.4381	0.4639	0.4718	0.4716	0.4760	0.4258
四川	0.3021	0.3049	0.3187	0.3284	0.3391	0.3567	0.3850	0.3208
贵州	0.3166	0.3040	0.2794	0.2776	0.2728	0.2696	0.2687	0.2931
云南	0.3116	0.2768	0.2331	0.2349	0.2382	0.2415	0.2452	0.2633
西藏	1.1755	0.6285	0.6301	0.5944	0.5797	0.5861	0.6124	0.7637
陕西	0.3658	0.3394	0.3357	0.3605	0.3604	0.3644	0.3656	0.3468
甘肃	0.3566	0.3221	0.2922	0.3051	0.3107	0.3377	0.3751	0.3253
青海	0.6393	0.5754	0.7657	0.8729	1.0054	0.9812	1.0311	0.7689
宁夏	0.3912	0.3651	0.3347	0.3468	0.3456	0.3499	0.3529	0.3602
新疆	0.2842	0.2725	0.2300	0.2322	0.2296	0.2297	0.2307	0.2547
平均值	0.4903	0.4545	0.4462	0.4775	0.4919	0.5079	0.5414	0.4712

注：由于篇幅限制，只列举部分数据。

### 3.3.1 时间趋势变化分析

表 3.1 中测算结果显示，近十几年我国水资源利用效率平均值约为 0.47，且水资源利用效率平均变化呈现先降后升的趋势，以 2015 年为拐点，我国水资源利用效率平均值从 2005 年的 0.49 下降到 2015 年的 0.44，之后逐年显著上升，在 2019 年达到 0.54。总之，我国整体水资源利用效率仍有较大提升空间。

绘制内蒙古、河南、甘肃和广东 4 省（区）水资源利用效率变化趋势图（图

3.1), 进一步分析水权交易试点省份的水资源利用效率变化趋势。如图 3.1 所示, 各试点省(区)水资源利用效率变化存在显著差异。测算期内, 广东省水资源利用效率明显高于其他 3 个试点省份, 从 2007 年开始基本处于有效水平。与广东省相比, 内蒙古、河南和甘肃的水资源利用效率均处于较低水平, 且变化情况较为相似, 基本呈现先降后升的变化趋势。

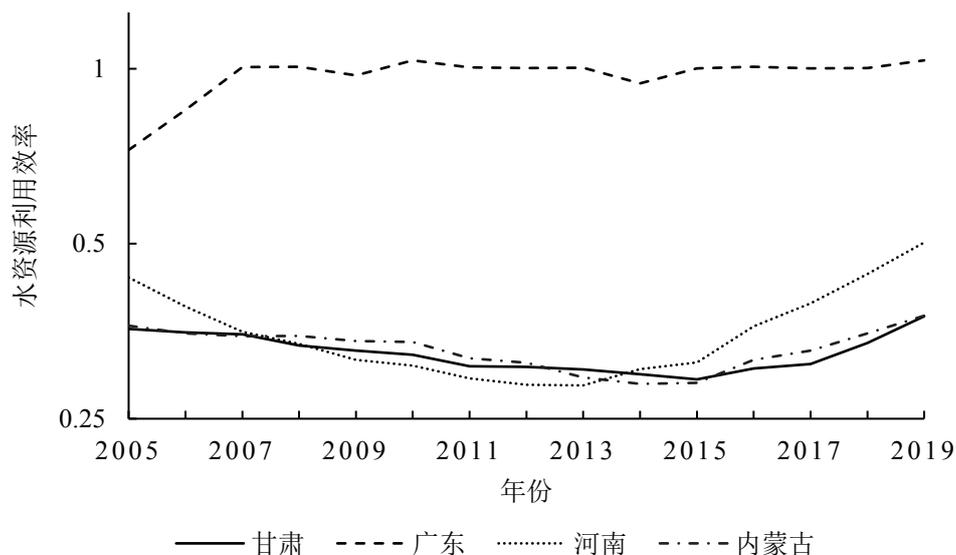


图 3.1 水权交易试点省(区)水资源利用效率变化趋势

具体来看, 广东省水资源利用效率在 2005-2007 年间显著提升, 从 2005 年的 0.72 增长至 2007 年的 1.01, 达到水资源利用有效水平, 且从 2007 年开始基本维持有效水平, 虽然在 2014 年出现显著下降趋势, 由 2013 年的 1.00 下降至 2014 年的 0.94, 但 2015 年又提升至有效水平, 之后长期保持在有效水平, 并呈现缓慢波动上升的趋势。2015 年水权交易试点工作已正式开始, 可见水权交易政策可能对水资源利用效率具有提升作用。

河南省水资源利用效率在测算期内变化显著, 2005-2013 年间呈逐年下降趋势, 从 2005 年的 0.44 下降至 2013 年的 0.29, 8 年间下降幅度为 34.09%, 从 2014 年开始转降为升, 先由 2013 年的 0.29 缓慢上升至 2015 年的 0.31, 之后从 2016 年开始增长幅度明显提高, 增长至 2019 年的 0.50, 6 年间增长幅度为 72.41%。总体来看, 河南省水资源利用效率从 2005 年的 0.44 增长至 2019 年的 0.50, 增

长幅度为 13.64%。进一步分析,河南省 2016 年完成了首宗全省水权交易,可能对水资源利用效率的大幅提升具有显著作用。

内蒙古的水资源利用效率在 2005-2014 年间主要呈现下降趋势,其中 2005-2010 年缓慢下降,从 2005 年的 0.36 下降至 2010 年的 0.34,5 年间下降幅度为 5.56%,从 2011 年开始下降趋势变大,由 2010 年的 0.34 减少至 2014 年的 0.29,4 年间减少了 14.71%。从 2015 年开始,水资源利用效率转为逐年递增的增长趋势,由 2014 年的 0.29 增长至 2019 年的 0.38,5 年间增长幅度为 31.03%。可见 2015 年正式开始的实施水权交易试点政策可能有效提高了内蒙古的水资源利用效率。

甘肃省的水资源利用效率则在 2005-2015 年间呈现平稳下降趋势,从 2005 年的 0.36 下降至 2015 年的 0.29,10 年间下降幅度为 19.44%。从 2016 年开始转为上升趋势,且先由 2015 年的 0.29 缓慢上升至 2017 年的 0.31,2 年间上升幅度为 6.90%,之后由 2017 年的 0.31 大幅上升至 2019 年的 0.38,2 年间上升幅度为 22.58%。可见 2015 年正式开始的水权交易试点政策对甘肃省水资源利用效率的提升作用可能具有一定滞后性,且政策效果逐步显著。

### 3.3.2 空间分布特征分析

从各省水资源利用效率数据变化来看,我国水资源利用效率地区差异悬殊,主要呈现三种变化趋势:以北京、天津、广东和上海为代表的经济较发达省份水资源利用效率远高于其他省份,近年来一直维持在较高水平;以江苏、浙江和山东为代表的东部沿海省份水资源利用效率变化趋势较为一致,在 2013 年之前逐年平稳增长,从 2013 年开始增长幅度明显提升,2019 年均达到水资源利用有效水平;其他各省水资源利用效率多数低于全国平均水平,虽近年来均得到不同程度提升,但效果不甚明显,水资源利用效率提升空间较大。

根据各省水资源利用效率测算结果,绘制 2005-2019 年各省水资源利用效率平均值排名图(图 3.2)。如图 3.2 所示,北京、天津、广东、上海、江苏、浙江和山东等经济发达地区水资源利用效率排名靠前,其原因在于经济发展有效推动了产业结构优化和节水技术投资,有利于提高水资源利用效率。另外,青海和西藏水资源利用效率平均值排名位于前列,且两省近十几年水资源利用水平仅次于

上述经济发达地区，高于全国多数省份，深入分析发现两省人均水资源量居于全国前两位，可见水资源禀赋对水资源利用效率提升具有积极促进作用。

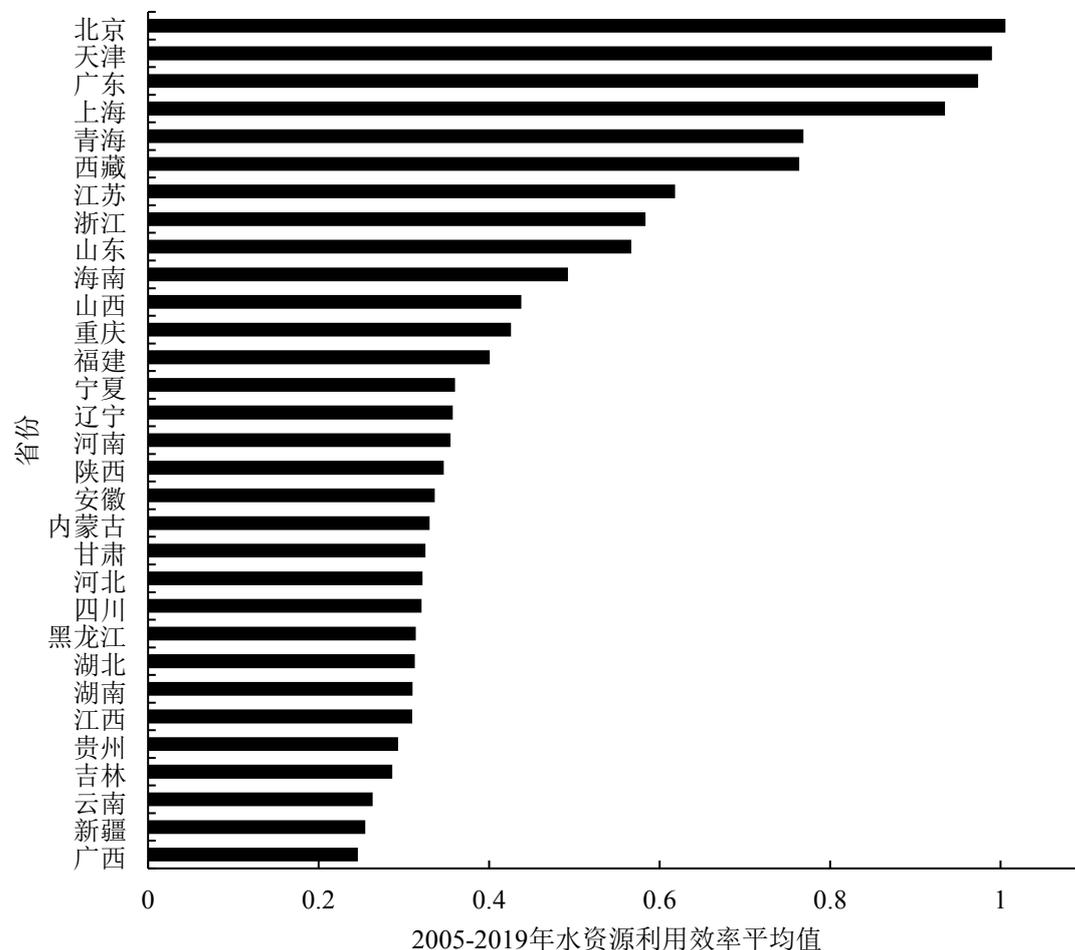


图 3.2 2005-2019 年各省水资源利用效率平均值排名

为深入比较水权交易政策对各试点省（区）水资源利用效率可能存在的空间异质性影响，进一步计算各试点省（区）从 2015 年开始历年的水资源利用效率增长率和全国平均增长率，结果如表 3.2 所示。

表 3.2 2015-2019 年水权交易试点省（区）水资源利用效率增长情况（%）

省份	2015	2016	2017	2018	2019
内蒙古	0.4492	9.5452	3.6847	7.0901	7.2227
河南	2.6983	15.3855	9.4547	12.4043	13.2463
甘肃	-1.9610	4.4426	1.8158	8.7067	11.0722

续表 3.2 2015-2019 年水权交易试点省（区）水资源利用效率增长情况（%）

省份	2015	2016	2017	2018	2019
广东	6.1251	0.5990	-0.5653	0.0729	3.0957
全国平均	-1.6947	6.9984	3.0163	3.2586	6.5876

其中，内蒙古和河南水资源利用效率增长率从 2015 年起始终高于全国平均增长率，主要原因在于两试点省（区）重点开展的是跨区域、跨流域水权交易，单次水权交易量大，效果比较明显；而甘肃水资源利用效率从 2016 年开始转降为升，且在 2017 年后水资源利用效率增长率高于全国平均增长率，这主要在于一方面甘肃地理区位相对封闭，经济发展较落后，水权交易政策推进具有一定迟滞性，另一方面甘肃主要开展的是灌溉用水户间的水权交易，单次水权交易量较小，对水资源利用效率的提升作用需要一定累积量才能显现；广东水资源利用效率增长率在 2015 年显著高于全国平均增长率，一定程度体现了水权交易政策效果，之后各年水资源利用效率增长率虽然均较低，但基本呈现增长趋势，可能由于一方面广东省水资源利用效率已处于有效水平，进一步提升效率需要更多技术和机制创新，另一方面广东省水权交易实践开始较晚，首次水权交易在 2017 年底才完成，水资源利用效率增长效果显现需要一段时间。以上分析与各试点省（区）水资源利用效率的时间变化趋势分析一定程度具有一致性。

总之，以上对各试点省（区）水资源利用效率变化的分析可以初步表明，我国 2015 年进行的水权交易试点政策以及之后中国水权交易所建立等一系列完善水权制度、推行水权交易、培育水权市场的政策和措施在指导并推进水权交易实践的同时，对提升我国试点省份水资源利用效率可能具有一定积极作用。然而上述分析并不足以证明水权交易政策对试点省份水资源利用效率的积极影响，接下来本文运用回归控制法定量评估水权交易政策对各试点省份水资源利用效率的实施影响，并基于中介效应模型检验可能存在的影响机制。

## 4 水权交易政策对水资源利用效率实施影响的实证分析

本章研究重点是评估水权交易试点政策对水资源利用效率的实施影响以及检验可能存在的作用路径。水权交易政策是一种实现水资源利用效益最大化和效率最优化的市场配置水资源手段,对我国水资源可持续利用和发展具有重要作用,正确评估水权交易试点政策效果对提高我国水资源利用效率以及在全国范围推广水权交易具有重要的现实意义。

### 4.1 水权交易政策对水资源利用效率实施影响分析

#### 4.1.1 评估方法

当前主流政策评估方法有双重差分(DID)法和合成控制法(Synthetic Control Method)。尽管这两种方法被广泛应用,但各自均存在一定局限性,其中双重差分法需要各种假设条件,复杂的现实情况往往难以满足,因此很多研究无法运用;合成控制法最大的局限是要求合成控制权重在 0-1 之间,当无法找到合适的权重对控制组进行加权平均拟合时该方法失效。Hsiao 等(2012)<sup>[16]</sup>提出一种利用面板数据估计平均处理效果的新方法,名为回归控制法(Regression Control Method)。该方法对合成控制法进行改进,特别适用于试点较少的政策效果评估,陈浩耀和吴国维(2021)<sup>[38]</sup>通过研究表明回归控制法不仅在估计效果上优于合成控制法,而且具有更高的可靠性和稳健性。本文运用回归控制法进行水权交易政策效果评估。

回归控制法的基本思想是:将政策实施对象作为处理组,其余未实施政策的对象作为控制组,由于一些影响不同经济体的潜在“共同因子”使得不同个体间存在截面相关性,因此可以利用政策发生前的相关数据构造处理组未实施政策的“反事实结果”,以此估计政策效应。具体而言,假设某地区( $i=1$ )实施了一项政策, $k-1$ 个地区没有实施该政策, $P_i^N$ 和 $P_i^Y$ 分别表示地区 $i$ 在未实施政策和实施政策条件下被解释变量取值,政策在 $T_0+1(1 \leq T_0 < T)$ 实施,研究地区为 $i=1, \dots, k$ ,样本时间为 $t=1, \dots, T$ 。政策实施地区的政策效果: $\Delta_{it} = P_{it}^Y - P_{it}^N (t = T_0 + 1, \dots, T)$ ,其

中  $P_{it}^Y$  为观测值,  $P_{it}^N$  无法被观测。由于可构造因子模型表示地区  $i$  在没有实施政策条件下的被解释变量<sup>[17]</sup>, 即:

$$P_{it}^N = \mathbf{x}_{it}'\boldsymbol{\beta} + \mathbf{b}_i'\mathbf{f}_t + \varepsilon_{it} \quad (i=1, \dots, k; t=1, \dots, T) \quad (4.1)$$

其中,  $\mathbf{x}_{it}$  表示  $M \times 1$  维可观测控制变量,  $\boldsymbol{\beta}$  为  $M \times 1$  维常数向量,  $\mathbf{f}_t$  表示同时影响不同个体的  $N \times 1$  维“共同因子”,  $\mathbf{b}_i$  为对应的  $N \times 1$  维“因子载荷”, 表示“共同因子”对不同个体的影响水平,  $\varepsilon_{it}$  是随机扰动项。通过适当变换可消除不可观测项  $\mathbf{b}_i'\mathbf{f}_t$ , 得到:

$$P_{it}^N = \delta_1 + \boldsymbol{\delta}'\mathbf{z}_t^* + v_{it} \quad (4.2)$$

其中,  $\delta_1$  是常数项,  $v_{it}$  是随机扰动项,  $\mathbf{z}_t^*$  是  $\mathbf{z}_t = (P_{2t}, \dots, P_{kt}, \mathbf{x}_{1t}, \dots, \mathbf{x}_{mt})$  中的任一子集,  $\mathbf{z}_t$  中的元素均可观测, 因此可根据一定方法选择最优的  $\mathbf{z}_t^*$ , 并通过回归拟合得到处理组未实施政策的“反事实结果”  $P_{it}^N$ , 进而估计政策处理效应。

本研究数据量较大, 鉴于 Lasso 方法在计算上比许多传统的变量选择方法效率更高, 且 Li 和 Bell (2017)<sup>[20]</sup> 的研究表明在高维数据下使用 Lasso 方法选择  $\mathbf{z}_t^*$  更稳定可靠, 因此本文首先运用 Lasso 方法选择得到次优的  $\mathbf{z}_t^*$ , 然后根据 AICC 信息准则选取最优  $\mathbf{z}_t^*$ , 之后基于政策实施前 ( $t=1, \dots, T_0$ ) 的数据对方程 (4.2) 进行回归拟合, 得到政策实施后处理对象的“反事实结果”:

$$\hat{P}_{it}^N = \hat{\delta}_1 + \hat{\boldsymbol{\delta}}'\mathbf{z}_t^* \quad (T_0 + 1 \leq t \leq T) \quad (4.3)$$

在回归方法的选取上, 由于 post-lasso OLS 方法综合使用 Lasso 和 OLS 方法进行回归, 拟合效果更好<sup>[20]</sup>, 而政策发生前“反事实结果”和处理对象拟合效果良好是回归控制法准确评估政策效应的关键, 因此本文运用 post-lasso OLS 方法估计“反事实结果”。最后, 可得政策实施的处理效应估计值:

$$\hat{\Delta}_{it} = P_{it}^Y - \hat{P}_{it}^N \quad (t = T_0 + 1, \dots, T) \quad (4.4)$$

#### 4.1.2 指标选择与数据说明

为提高政策发生前“反事实结果”和处理对象的拟合效果, 本文选取影响水资源利用效率的因素作为控制变量。通过梳理研究水资源利用效率影响因素的文

献,发现经济发展水平、人口、水资源禀赋和产业结构等因素均会影响水资源利用效率<sup>[40,56,61,62,66,98]</sup>。基于相关研究成果,控制变量相关指标说明如下:

(1) 经济发展水平:多数研究表明,经济发展水平是影响水资源利用效率最重要的因素,且一般认为经济发展水平对水资源利用效率具有正向促进作用<sup>[40,55]</sup>。为控制经济发展水平对水资源利用效率的影响,本文采用以2005年为基期剔除价格变动的实际地区生产总值表示地区经济发展水平。

(2) 人口:随着城镇化进程的推进,人口集聚将导致用水总量提高,对水资源利用效率提升造成压力,但是城镇化率的提升会提高水资源利用效率<sup>[61]</sup>,为控制人口因素对水资源利用效率的影响,本文选择城镇化率和年末常住人口表示人口因素。

(3) 水资源禀赋:水资源禀赋对水资源利用效率的影响因地区不同而有所差异,一般认为我国水资源禀赋和水资源利用效率呈负相关<sup>[56]</sup>,而我国西北干旱地区的水资源禀赋与水资源利用效率呈正相关<sup>[98]</sup>,为充分控制水资源禀赋对水资源利用效率的影响,本文选择用水总量和水资源总量表示地区水资源禀赋。

(4) 产业结构:首先地区用水量会受到产业结构调整的影响,而产业结构合理化程度则直接影响了水资源利用效率,降低高水耗产业,将有利于提高水资源利用效率<sup>[62,66]</sup>。为控制产业结构对水资源利用效率的影响,同时避免多重共线性,本文选取第一、二产业分别占地区生产总值的比重表示地区产业结构。

以上相关指标数据均来自我国大陆31省(区)2006-2020年统计年鉴和国家统计局网站。

最后关于回归控制法处理组和水权交易政策作用时点的确定,尽管2014年我国提出在7省(区)开展水权交易试点工作,但2014年10月底前各省具体工作方案得以批复,且仅在内蒙古、河南、甘肃和广东4省(区)进行水权交易试点。故本文将内蒙古、河南、甘肃和广东作为处理组,其余27个省份作为控制组,以2015年为水权交易作用时点开展研究。

### 4.1.3 实证结果分析

回归控制法的核心是构造在政策发生前与处理对象真实值拟合效果良好的“反事实结果”。基于水权交易政策发生前的相关数据,本文首先运用Lasso方

法分别选择 4 个水权交易试点省（区）的“反事实结果”次优模型，然后根据 AICC 信息准则确定最优模型，之后分别以 4 个试点省（区）水资源利用效率为被解释变量，各自最优模型为解释变量，采用 post-lasso OLS 方法拟合得到水权交易政策发生前各试点省（区）水资源利用效率的“反事实结果”，最优模型及拟合结果如表 4.1 所示。

表 4.1 水权交易政策实施前各试点省（区）水资源利用效率“反事实结果”拟合效果

被解释变量	解释变量	系数	P 值	R <sup>2</sup>
内蒙古水资源利用效率	云南水资源利用效率	0.2086	0.514	0.9949
	山西地区生产总值	-0.0000	0.746	
	新疆水资源利用效率	1.1408***	0.001	
	常数项	-0.0227	0.860	
河南水资源利用效率	天津第一产业占地区生产总值比重	0.0806***	0.000	0.9699
	常数项	0.1825***	0.000	
	北京常住人口	0.0000	0.824	
甘肃水资源利用效率	宁夏水资源利用效率	0.3345	0.107	0.9922
	江西常住人口	-0.0002	0.448	
	福建水资源利用效率	0.0631	0.315	
	常数项	1.1080	0.316	
广东水资源利用效率	宁夏用水总量	-0.0067	0.246	0.9370
	江西第二产业占地区生产总值比重	0.0149	0.159	
	辽宁用水总量	0.0158**	0.037	
	常数项	-1.5677	0.120	

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%的水平下显著。

水权交易政策实施前，试点省（区）水资源利用效率“反事实结果”与真实值拟合良好是回归控制法准确评估政策效果的关键前提，因此与“反事实结果”最优模型中单个解释变量的显著性相比，最优模型的整体拟合情况对评估政策效

果更重要。从表 4.1 可以看出,在水权交易政策实施前,内蒙古、河南、甘肃和广东 4 个水权交易试点省(区)“反事实结果”最优模型的拟合优度  $R^2$  分别为 0.9949、0.9699、0.9922 和 0.9370,表明各水权交易试点省(区)水资源利用效率的“反事实结果”与真实值拟合度均较高,最优模型选取合适,回归控制法可以较为准确评估水权交易政策的效果。

在水资源利用效率“反事实结果”与真实值拟合良好的前提下,进一步采用 post-lasso OLS 方法估计水权交易政策实施后各试点省(区)水资源利用效率的反事实预测值,由于反事实预测值是假设试点省(区)在未实施水权交易政策情况下水资源利用效率的估计值,因此反事实预测值和真实值的差距显示了水权交易政策的作用效果。各试点省(区)水权交易政策效应值如表 4.2 所示,各试点省(区)水资源利用效率真实值和反事实预测值的变化趋势如图 4.1 所示,其中实线表示试点省(区)水资源利用效率真实值,虚线表示反事实预测值,为更清晰显示水权交易政策作用效果,用垂直点线表示政策作用时点前一期。

表 4.2 水权交易试点省份政策效果

时间	内蒙古	河南	甘肃	广东
2015	0.0141	0.0283	0.0015	0.0694
2016	0.0394	0.0789	0.0156	0.1620
2017	0.0543	0.1389	0.0275	0.2264
2018	0.0779	0.1871	0.0577	0.2628
2019	0.1023	0.2152	0.0962	0.3546
平均政策效果	0.0576	0.1297	0.0397	0.2151

具体来看,在水权交易政策正式实施前,内蒙古水资源利用效率“反事实结果”的拟合优度  $R^2$  为 0.9949,拟合效果非常好,图 4.1 更直观显示了拐点部分也得到了很好拟合,表明“反事实结果”充分再现了内蒙古水资源利用效率逐年下降的趋势,用水情况不容乐观。2015 年水权交易政策正式实施后,“反事实结果”与真实水资源利用效率逐渐背离,“反事实结果”继续保持下降趋势后平稳变化,真实水资源利用效率开始由降转升并大幅上扬,表明水权交易政策有效提高了内蒙古水资源利用效率。表 4.2 数据显示,水权交易试点在内蒙古产生的政策效果

从 2015 年的 0.0141 逐年增加到 2019 年的 0.1023, 2015-2019 年间平均政策效果为 0.0576。

河南在水权交易政策实施前, 水资源利用效率逐年下降, “反事实结果”的拟合优度  $R^2$  为 0.9699, 拟合效果良好, 说明“反事实结果”很好地复制了水权交易政策实施前河南水资源利用效率的下降趋势。由图 4.1 所示, 2014 年水权交易试点提出已促使真实水资源利用效率转降为升, 且在 2015 年水权交易政策真正落实后, 真实水资源利用效率大幅提升, 而“反事实结果”则一直呈现下降趋势, 说明水权交易政策对提高河南水资源利用效率具有显著积极作用。与内蒙古类似, 表 4.2 中水权交易试点在河南产生的政策效果也表现为逐年递增, 从 2015 年的 0.0283 逐年增加到 2019 年的 0.2152, 2015-2019 年间平均政策效果为 0.1297。

与内蒙古和河南相似, 甘肃在水权交易政策实施前, 水资源利用效率同样呈现逐年下降趋势, “反事实结果”的拟合优度  $R^2$  为 0.9922, 拟合度较高, 表明“反事实结果”良好复制了真实水资源利用效率逐年下降的趋势。图 4.1 显示, 2015 年水权交易政策实施后, “反事实结果”仍维持逐年下降趋势, 而真实水资源利用效率在 2015 年后显著增长, 说明水权交易政策虽然对甘肃水资源利用效率的影响具有一定滞后性, 但有效提升了水资源利用效率。由表 4.2 数据可知, 水权交易试点在甘肃产生的政策效果从 2015 年的 0.0015 逐年增加到 2019 年的 0.0962, 平均政策效果为 0.0397。

如图 4.1 所示, 广东水资源利用效率变化趋势与其他 3 个试点省(区)截然不同, 从 2005 年显著提升后, 广东水资源利用效率基本维持在水资源利用有效水平。水权交易政策实施前, “反事实结果”的拟合优度  $R^2$  为 0.9370, 拟合效果较好, “反事实结果”基本复制了广东水资源利用效率的变化趋势。2015 年水权交易政策正式实施后, “反事实结果”呈现逐年下降趋势, 而真实水资源利用效率虽然在 2014 年出现明显降低, 但 2015 年水权交易政策的实施使其迅速提升到有效水平并呈现出平稳上升的变化趋势, 说明水权交易政策对广东水资源利用效率具有一定提升作用。同样, 表 4.2 数据展示了水权交易试点对广东水资源利用效率产生的逐年递增政策效果, 从 2015 年的 0.0694 逐年增加到 2019 年的 0.3546, 平均政策效果为 0.2151。

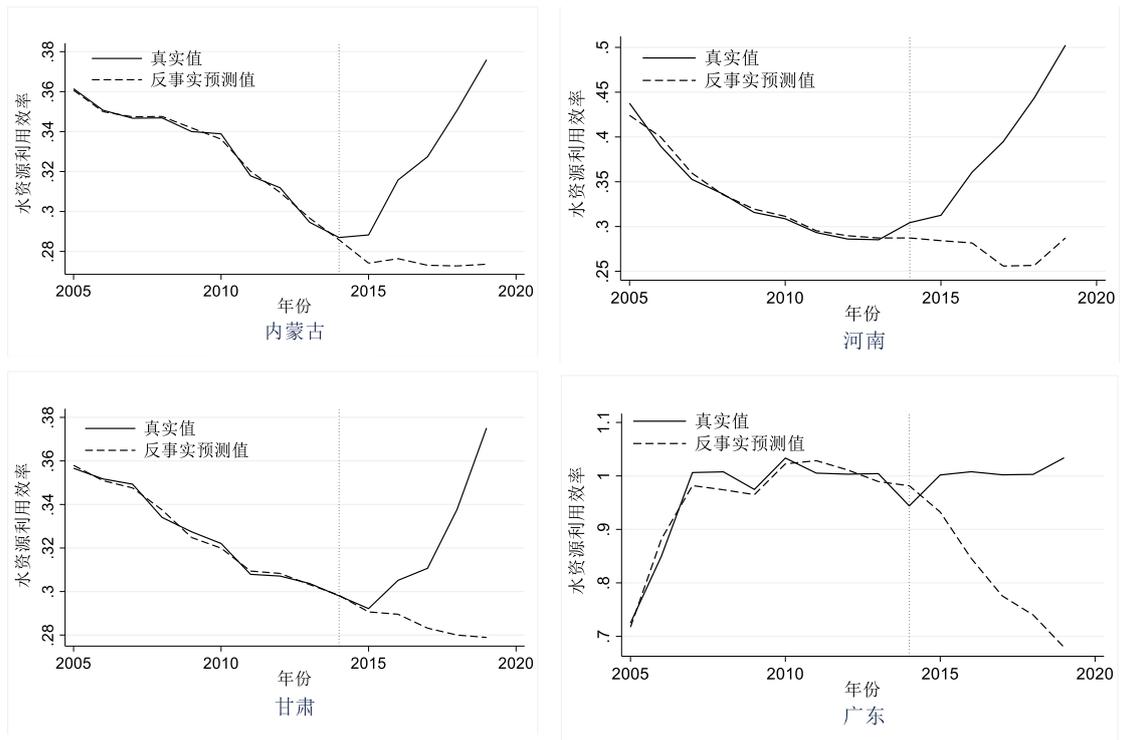


图 4.1 水权交易试点省（区）水资源利用效率真实值和反事实预测值变化趋势

#### 4.1.4 安慰性检验

研究结果初步表明水权交易政策有效提高了各试点省(区)水资源利用效率。然而，水权交易政策实施后，一些未观测因素同样可能导致真实水资源利用效率与“反事实结果”背离。为了排除其他因素干扰和偶然性，本文对上述结果进行安慰剂检验。

安慰剂检验是 Abadie 等 (2010)<sup>[1]</sup>提出的一种类似秩检验的排序检验法，基本思想是：假设所有省份在 2015 年均实施了水权交易政策，使用回归控制法构造每个省的“反事实结果”，估计各省在假设条件下的政策效果，并与试点省份政策效果进行比较，若非试点省份政策效果均小于试点省份政策效果，则表明水权交易政策对试点省份水资源利用效率的提升效果显著。为了检验试点省份政策效果的统计显著性，可以进一步计算检验政策效果统计显著性的指标，公式如下：

$$p-value(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k I\left(\left|\hat{\Delta}_{it}\right| \geq \left|\hat{\Delta}_{it}\right|\right), t = T_0 + 1, \dots, T \quad (4.5)$$

式中， $k$  为研究地区的个数， $I(\cdot)$  为示性函数，括号内条件表示所有省份的

政策效果与试点省份真实政策效果的比较，遍历所有省份，当某个省份的政策效果不小于试点省份政策效果时，示性函数取值为 1，否则为 0，即如果非试点省份政策效果均小于试点省份政策效果，则 P 值为  $\frac{1}{k}$ ，本文将根据 P 值的大小判断水权交易政策对试点省份水资源利用效率提升效果的显著性水平。

回归控制法要求政策发生前“反事实结果”和真实值具有良好的拟合效果，在安慰剂检验中，一般以均方预测误差（MSPE）值衡量这一拟合效果大小，为了提高安慰剂检验分析的准确性，排除拟合效果较差的假处理地区对检验结果的干扰，需要剔除具有较大 MSPE 值的地区。因此本文根据各试点省（区）水权交易政策实施前不同的拟合情况，剔除 MSPE 值较大的省份，最终安慰剂检验结果如图 4.2 所示。其中黑线表示水权交易政策对试点省（区）的政策处理效应，灰线表示水权交易政策对非试点省份的安慰剂效应，垂直点线表示政策作用时点前一期。为检验水权交易政策对试点省份水资源利用效率提升效果的显著性水平，本文进一步计算了检验政策效果统计显著性的指标 P 值，结果如表 4.3 所示。

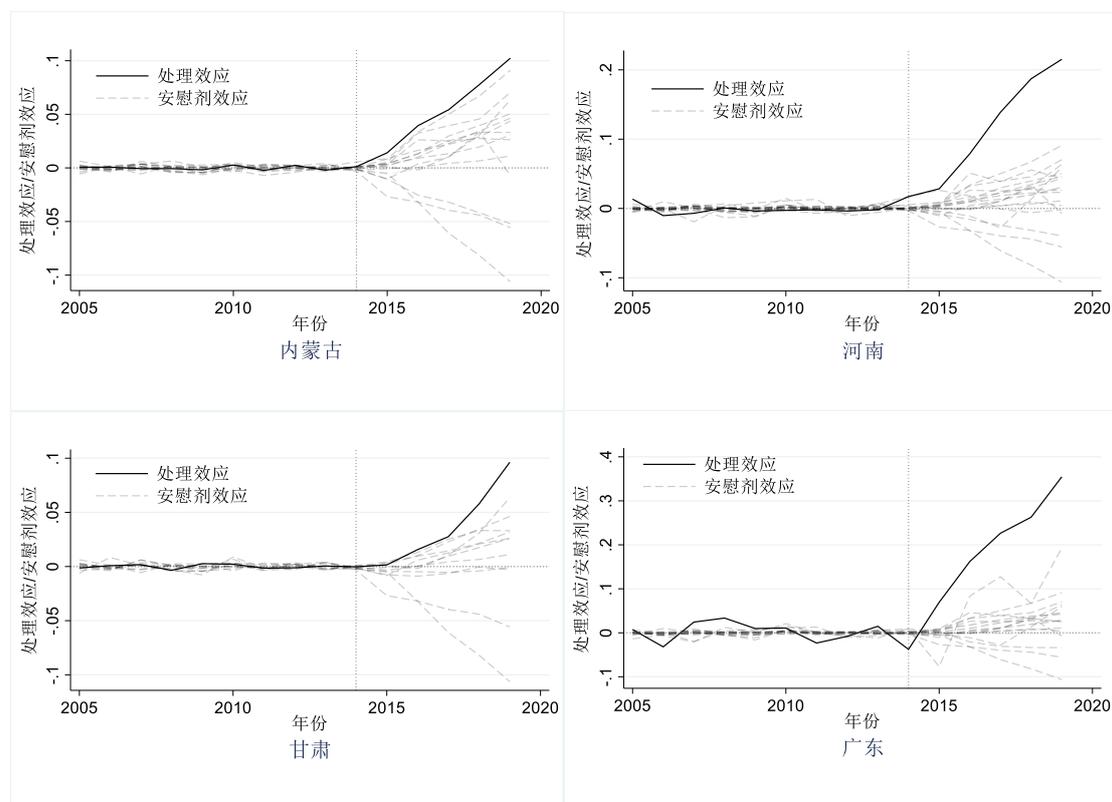


图 4.2 水权交易试点省（区）安慰剂检验

具体来看，水权交易政策实施前，内蒙古的“反事实结果”和真实值拟合效

果非常好, MSPE 值较小, 因此剔除 MSPE 值超过内蒙古 10 倍的省份 (共 12 个)。由图 4.2 可知, 2015 年前各省水资源利用效率的差距变动程度相差不大, 但水权交易政策实施后, 内蒙古与其他省份差距开始逐渐变大, 且水权交易政策处理效应高于其他省份, 表明水权交易政策提升内蒙古水资源利用效率作用显著, 结合表 4.3 结果, 水权交易政策处理效应逐年递增, 且只有 1/16, 即 6.25% 的概率会出现内蒙古水资源利用效率真实值和“反事实结果”之间的显著变动差距, 可见水权交易政策提高内蒙古水资源利用效率的效应在 10% 的水平下显著。

河南在水权交易政策实施前“反事实结果”和真实值拟合的 MSPE 值为 0.0001, 在剔除超过河南 2 倍的省份 (共 8 个) 后结果如图 4.2 所示。2015 年前各省水资源利用效率差距变动均基本在 0 附近波动且差距较小, 2015 年水权交易政策实施后, 河南与其他省份变化趋势形成鲜明对比, 处理效应远高于其他省份安慰剂效应, 表明水权交易政策对河南水资源利用效率具有显著积极影响, 结合表 4.3 结果, 水权交易政策效果显著逐年增大且只有 5% 的概率会出现河南水资源利用效率真实值和“反事实结果”之间明显变动差距, 故水权交易提高河南水资源利用效率的效应在 5% 的水平下显著。

甘肃在水权交易政策实施前 MSPE 值很小, 与内蒙古类似, 同样剔除超过甘肃 10 倍的省份 (共 16 个), 结果如图 4.2 所示。2015 年前甘肃“反事实结果”和真实值拟合效果非常好, 各省水资源利用效率变动程度十分接近, 均平稳在 0 附近波动, 2015 年水权交易政策实施后, 甘肃水权交易政策处理效应很快高于安慰剂效应且差距越来越大, 明显位于各省份安慰剂效应上方, 表明水权交易政策显著提高了甘肃水资源利用效率, 结合表 4.3 结果, 虽然 2015 年处理效应不显著, 但从 2016 年开始处理效应逐年递增且有 8.33% 的概率会出现甘肃水资源利用效率真实值和“反事实结果”之间如此变动差距, 因此甘肃水资源利用效率提高在 10% 的水平下显著。

对广东而言, 水权交易政策实施前, “反事实结果”和真实值拟合的 MSPE 值为 0.0009, 拟合效果较好, 剔除 MSPE 值超过广东 2 倍的省份 (共 7 个) 后结果参见图 4.2。2015 年前各省水资源利用效率的差距变动基本维持在 0 附近, 水权交易政策实施后, 处理效应显著高于安慰剂效应且差距逐渐变大, 表明水权交易政策提升广东水资源利用效率作用显著, 结合表 4.3 结果, 水权交易政策处理

效应逐年递增，且只有 4.76% 的概率会出现广东水资源利用效率真实值和“反事实结果”间显著变动差距，可见水权交易政策在 5% 的水平下具有提高广东水资源利用效率的显著效应。

表 4.3 水权交易试点省份政策效果显著性检验

时间	内蒙古		河南		甘肃		广东	
	政策效果	P 值	政策效果	P 值	政策效果	P 值	政策效果	P 值
2015	0.0141*	0.0625	0.0283**	0.0500	0.0015	0.3333	0.0694**	0.0476
2016	0.0394*	0.0625	0.0789**	0.0500	0.0156*	0.0833	0.1620**	0.0476
2017	0.0543*	0.0625	0.1389**	0.0500	0.0275*	0.0833	0.2264**	0.0476
2018	0.0779*	0.0625	0.1871**	0.0500	0.0577*	0.0833	0.2628**	0.0476
2019	0.1023*	0.0625	0.2152**	0.0500	0.0962*	0.0833	0.3546**	0.0476

注：\*、\*\*分别表示在 10%和 5%的水平下显著。

总体来看，水权交易政策对提高内蒙古、河南、甘肃和广东 4 个试点省（区）水资源利用效率的效果均在 10% 的统计水平下显著。进一步对比表 4.2 中各试点省（区）的政策效果大小，并结合表 4.3 中各试点省（区）历年政策效果的显著性水平，发现水权交易政策对试点省份水资源利用效率的政策效果具有区域差异性，其中广东的政策效果显著高于其他 3 个试点省份，河南和内蒙古的政策效果较好，甘肃的政策效果最小，可能与试点省份的水资源利用水平和水权交易开展的具体形式有关。广东经济发展水平较高，市场开放程度较好，创新意识和能力较强，取水用水技术较先进，故社会对市场配置水资源的制度和机制反应敏感，且广东水资源利用效率已处于有效水平，水权交易政策对广东水资源利用效率的影响与其他 3 个试点省份不同，更多是防止水资源利用效率降低，因此与其他 3 个试点省份政策效果表现有差异。河南和内蒙古的水权交易政策效果比甘肃好，可能是由于河南和内蒙古重点开展的是跨区域、跨流域水权交易，单次水权交易量大且水资源优化配置力度强，而甘肃主要开展的是灌溉用水户间的水权交易，交易量较小，且水资源只限于农业领域再分配，故对水资源利用效率的提升作用相对较小。这一结论与上文中对试点省份水资源利用效率增长率的分析比较一致。

## 4.2 水权交易政策影响水资源利用效率的作用机制检验

上述实证研究表明水权交易政策对提高试点省份水资源利用效率具有显著效应，根据本文理论机制分析，水权交易可能通过用水结构调整、节水和中水回用三种传导路径影响水资源利用效率，本节重点识别这三种影响路径是否存在。

### 4.2.1 模型设定与变量选取

#### (1) 中介效应模型及检验方法

中介效应最早由 Baron 和 Kenny (1986) [3]提出，具体可表述为：在研究自变量  $X$  对因变量  $Y$  的影响时，如果  $X$  以变量  $M$  为中介来影响  $Y$ ，则称  $M$  为中介变量<sup>[80]</sup>，这种自变量  $X$  通过中介变量  $M$  对因变量  $Y$  产生作用的效果即为中介效应。在所有变量中心化的条件下，可用如下方程组描述简单的中介效应模型：

$$Y = cX + e_1 \quad (4.6)$$

$$M = aX + e_2 \quad (4.7)$$

$$Y = c'X + bM + e_3 \quad (4.8)$$

其中，方程 (4.6) 系数  $c$  表示自变量  $X$  对因变量  $Y$  的总效应；方程 (4.7) 系数  $a$  表示自变量  $X$  对中介变量  $M$  的影响；方程 (4.8) 系数  $b$  表示在控制自变量  $X$  的影响后，中介变量  $M$  对因变量  $Y$  的影响；系数  $c'$  是在控制中介变量  $M$  的影响后，自变量  $X$  对因变量  $Y$  的直接效应； $e_1-e_3$  是随机扰动项。显然，中介效应等于系数乘积项  $a \times b$ ，其与直接效应之和是总效应，可表示为：

$$c = c' + a \times b \quad (4.9)$$

目前检验中介效应最常用的方法是检验系数乘积项  $a \times b$ ，一般可分为间接检验和直接检验两种。间接检验法即运用 Baron 和 Kenny (1986) [3]提出的逐步因果法检验中介效应，该方法首先检验方程 (4.6) 系数  $c$  的显著性，然后依次检验方程 (4.7) 系数  $a$  和方程 (4.8) 系数  $b$  的显著性，如果系数  $c$ 、 $a$  和  $b$  都显著，且系数  $|c'| < |c|$ ，则中介效应成立。进一步，可以根据  $c'$  的取值将中介效应分为完全中介与部分中介，如果  $c'$  等于 0，表明直接效应为 0，即自变量  $X$  通过完全影响中介变量  $M$  来影响因变量  $Y$ ，被称为完全中介；如果  $c'$  不等于 0，表明直接

效应不为 0，即自变量  $X$  通过部分影响中介变量  $M$  来影响因变量  $Y$ ，被称为部分中介。而直接检验法是直接检验  $H_0: a \times b = 0$ ，Sobel (1982) [29] 提出的方法即用于直接检验这一非线性约束，且有模拟研究发现，Sobel 法的检验力高于逐步因果检验 [23]。但是该方法基于大样本理论，在有限样本条件下，其检验结果可能不准确，因此大多数学者推荐使用 Bootstrap 法替代 Sobel 法检验中介效应 [5, 14, 15]。Bootstrap 法是一种反复在样本中抽样的方法，该方法将原始样本作为 Bootstrap 总体，从中反复抽取一定数量类似原始样本的 Bootstrap 样本，从而得到相同数量的系数乘积项估计值，将它们按数值从小到大排列，根据 2.5% 和 97.5% 分位数可以得到一个系数乘积项  $a \times b$  的置信度为 95% 的置信区间，如果置信区间不包含 0，则表示系数乘积项显著 [44]。该方法称为非参数百分位 Bootstrap 法，适用于样本量不大的情况，且检验力高于 Sobel 检验 [13]。由于非参数百分位 Bootstrap 法的计算结果可能存在偏差，Efron 和 Tibshirani (1993) [10] 建议使用偏差校正与加速 (BCa, Bias-Corrected and accelerated) 的非参数百分位 Bootstrap 法对中介效应实施检验。

## (2) 模型设定与检验流程

本文利用中介效应模型分析水权交易影响水资源利用效率的作用机制，分别探讨用水结构调整 (WS)、节水 (TW) 和中水回用 (ST) 在作用机制中发挥的作用。为了缓解遗漏变量偏差，在构建模型时同时控制个体固定效应和时间固定效应，并加入控制变量以保证方程不存在内生性问题。具体模型构建如下：

$$WUE_{it} = a_0 + a_1 \text{treat}_{it} + \sum \text{control}_{it} + \alpha_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (4.10)$$

$$M_{it} = b_0 + b_1 \text{treat}_{it} + \sum \text{control}_{it} + \alpha_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (4.11)$$

$$WUE_{it} = c_0 + c_1 \text{treat}_{it} + \theta M_{it} + \sum \text{control}_{it} + \alpha_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (4.12)$$

其中，被解释变量为水资源利用效率  $WUE_{it}$ ；核心解释变量为水权交易政策虚拟变量  $\text{treat}_{it}$ ，即试点省份虚拟变量和水权交易政策实施时间虚拟变量乘积，试点省份  $i$  在时期  $t$  实施水权交易政策则该变量为 1，否则为 0； $M_{it}$  表示中介变量，包括用水结构 (WS) 变量、节水 (TW) 变量和中水回用 (ST) 变量； $a_0$ 、 $b_0$  和  $c_0$  为常数项； $\text{control}_{it}$  表示影响水资源利用效率的其他控制变量； $\alpha_i$  和  $\delta_t$  分别表示个体固定效应和时间固定效应， $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

参考温忠麟等学者的研究成果<sup>[79,80]</sup>，本文中介效应的具体检验流程如下：

第一步，检验方程（4.10）系数  $a_1$  的显著性， $a_1$  表示水权交易政策对水资源利用效率的总效应，如果显著为正，表明水权交易政策对提高水资源利用效率具有积极影响；如果不显著，则进一步检验是否存在遮掩效应。

第二步，依次检验方程（4.11）系数  $b_1$  和方程（4.12）系数  $\theta$ ，其中系数  $b_1$  表示水权交易政策对中介变量的影响，系数  $\theta$  表示中介变量对水资源利用效率的影响，如果两者都显著，表明存在中介效应，进行第四步；如果系数  $b_1$  和  $\theta$  至少有一个不显著，进行第三步检验。

第三步，用 BCa 非参数百分位 Bootstrap 法检验  $H_0 : b_1 \times \theta = 0$ ，如果显著，表明中介效应显著，进行第四步；否则不存在中介效应，停止分析。

第四步，检验方程（4.12）系数  $c_1$  是否显著，如果不显著，表明水权交易政策对水资源利用效率的直接效应不显著，只有中介效应；如果显著，表明直接效应显著，进一步比较系数乘积项  $b_1 \times \theta$  和  $c_1$  的符号，如果同号，表明存在部分中介效应；如果异号，则水权交易政策通过影响中介变量对水资源利用效率产生的作用属于遮掩效应。

### （3）变量说明及数据来源

进行中介效应检验的具体各变量选取如下：

① 被解释变量水资源利用效率  $WUE_{it}$ ，采用上文测算的 4 个试点省（区）2005-2019 年的水资源利用效率值；

② 核心解释变量水权交易政策虚拟变量  $treat_{it}$ ，为试点省份虚拟变量和水权交易政策实施时间虚拟变量乘积，试点省份  $i$  在时期  $t$  实施了水权交易政策则该变量为 1，否则为 0；

③ 中介变量  $M_{it}$ ，包括用水结构（WS）变量、节水（TW）变量和中水回用（ST）变量，根据本文 2.3 节中关于水权交易对水资源利用效率影响机制的分析，用水结构（WS）变量用农业用水量与工业用水量的比值衡量，节水（TW）变量用节约用水量衡量，中水回用（ST）变量用污水处理总能力衡量；

④ 控制变量  $control_{it}$ ，为可能影响水资源利用效率的其他变量，基于水资源

利用效率影响因素相关研究成果<sup>[40,56,61,62,66,98]</sup>,选取经济发展水平、人口、水资源禀赋和产业结构作为控制变量,各控制变量对水资源利用效率的影响见4.1.2节的相关说明。具体指标选取如下:经济发展水平指标用以2005年为基期剔除价格变动的实际人均地区生产总值表示;人口指标用城镇化率表示;水资源禀赋指标用人均水资源总量、用水总量、工业用水量和农业用水量表示;产业结构用第一、三产业分别占地区生产总值的比重表示。

以上相关指标数据均来自4个试点省(区)2006-2020年统计年鉴和国家统计局网站。

## 4.2.2 结果分析

首先进行Hausman检验,结果显示拒绝原假设,表明固定效应模型优于随机效应模型,因此本文选择双向固定效应模型进行中介效应检验。

运用2005-2019年我国4个水权交易试点省(区)的面板数据,分别以用水结构(WS)、节水(WC)和中水回用(ST)作为中介效应变量,通过方程(4.10)-(4.12)对水权交易政策提升水资源利用效率的作用机制进行检验,结果如表4.4所示。

表4.4 水权交易政策对水资源利用效率的作用机制检验

	模型1	M: WS		M: WC		M: ST	
		模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7
被解释变量	WUE	WS	WUE	WC	WUE	ST	WUE
$treat_{it}$	0.5197** (0.1979)	-2.1122* (1.0743)	0.4093** (0.2033)	4.6761* (2.6140)	0.3544** (0.1858)	4509.157*** (448.9603)	-0.3913 (0.3556)
WS	-	-	-0.0523* (0.0308)	-	-	-	-
WC	-	-	-	-	0.0353** (0.0117)	-	-
ST	-	-	-	-	-	-	0.0002*** (0.0001)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
个体固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
时间固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
常数项	4.6405** (2.0245)	-26.5867** (10.9898)	3.2506 (2.1334)	107.6076*** (26.7405)	0.8375 (2.2081)	35793.91*** (45793.811)	-2.5912 (3.0488)
中介效应	-	0.1104		0.1653		0.9110	

续表 4.4 水权交易政策对水资源利用效率的作用机制检验

模型 1	M: WS		M: WC		M: ST		
	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	
中介效应/ 总效应	-	21.24 %	31.81 %			完全中介	
Adj.R <sup>2</sup>	0.9760	0.9933	0.9773	0.5647	0.9807	0.9784	0.9805
N	60	60	60	60	60	60	60

注：括号中是估计系数的标准误差；\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%的水平下显著。

### (1) 水权交易政策对水资源利用效率的影响检验

模型 1 是基于方程 (4.10) 的水权交易对水资源利用效率总效应回归模型，回归结果显示，在未加入中介变量时， $treat_{it}$  的估计系数在 5%的水平下显著为正，表明水权交易政策对试点省份水资源利用效率的提升具有正向促进作用，与上文运用回归控制法进行水权交易政策对水资源利用效率实施影响分析的结果一致。

### (2) 用水结构 (WS) 调整中介效应检验

模型 2 和模型 3 检验的是用水结构 (WS) 调整的中介效应。模型 2 基于方程 (4.11) 检验水权交易对用水结构的影响，结果显示，系数在 10%的水平下显著为负，表明水权交易政策对用水结构调整具有显著作用，能显著减少农业用水和工业用水的比例，这主要是因为农业用水效率低于工业用水效率，水权交易政策有效促进了水资源从农业的低效率用水向工业的高效率用水流动。模型 3 是根据方程 (4.12) 进行的水权交易政策和用水结构对水资源利用效率的影响检验，其中用水结构的系数估计值为负且在 10%的水平下显著，表明农业用水和工业用水比例的降低显著提高了水资源利用效率，由于系数  $b_1$  和  $\theta$  同时显著，表明用水结构调整中介效应存在。模型 3 同时引入用水结构变量和水权交易政策虚拟变量后，水权交易政策虚拟变量的系数估计值变为 0.4093，在 5%的水平下显著，与模型 1 中系数 0.5197 相比，减少了 0.1104，表明水权交易政策对水资源利用效率的直接提升作用显著，用水结构调整具有部分中介效应，且中介效应为 0.1104，占总效应的 21.24%。

### (3) 节水 (WC) 中介效应检验

模型 4 和模型 5 检验的是水权交易政策对水资源利用效率的节水 (WC) 中介效应。模型 4 基于方程 (4.11) 检验水权交易对节约用水量的影响，结果显示，系数在 10%的水平下显著为正，表明水权交易政策显著增加了节约用水量，这是

由于水权交易有效提高了用水主体的节水意识和节水积极性,促使其主动寻求更加节水的用水方式,从而有效减少了用水量,节水效果显著。模型 5 是根据方程 (4.12) 进行的水权交易政策和节约用水量对水资源利用效率的影响检验,其中节约用水量的系数估计值为正且在 5%的水平下显著,表明节约用水对提高水资源利用效率具有显著正向促进作用,主要原因是节水技术的发展和提高在减少用水总量的同时,使水资源利用更加高效。模型 4 和模型 5 满足系数  $b_1$  和  $\theta$  同时显著的条件,表明水权交易政策有效促进了试点省份节水,且通过节水中介效应提高了水资源利用效率。另外,在同时引入节约用水量和水权交易政策虚拟变量后,水权交易政策虚拟变量的系数估计值由模型 1 中的 0.5197 减少为模型 5 中的 0.3544,且在 5%的水平下显著,表明水权交易政策对水资源利用效率的直接提升作用显著,节水产生了部分中介作用,中介效应为 0.1653,占总效应的 31.81%。

#### (4) 中水回用 (ST) 中介效应检验

模型 6 和模型 7 检验的是水权交易政策对水资源利用效率的中水回用中介效应。模型 6 基于方程 (4.11) 检验水权交易对污水处理能力的影响,结果显示,系数在 1%的水平下显著为正,表明水权交易政策显著提高了污水处理能力,主要原因是水权交易促使水权所有者严格管理属于自己的水环境,规范污水排放行为,同时推动污水处理行业更新污水处理技术,提高污水处理能力。模型 7 是根据方程 (4.12) 进行的水权交易政策和污水处理能力对水资源利用效率的影响检验,其中污水处理能力的系数估计值为正且在 1%的水平下显著,表明污水处理能力对提高水资源利用效率具有显著正向促进作用,主要原因是提高污水处理能力可以促进中水循环再利用,进而提高水资源利用效率。系数  $b_1$  和  $\theta$  同时显著,可见存在中水回用中介效应。模型 7 同时引入污水处理能力变量和水权交易政策虚拟变量,水权交易政策虚拟变量的系数估计值不再显著,说明在此传导路径下,水权交易政策完全通过中水回用中介效应影响水资源利用效率,不存在直接影响作用,中水回用中介效应为 0.9110。

综上所述,用水结构调整、节水和中水回用在水权交易政策提高水资源利用效率的过程中发挥了不同程度的中介作用,其中,中水回用中介效应最高,具有完全中介的作用,节水中介效应次之,占比 31.81%,用水结构调整的中介效应

最低，占比 21.24%，总之，三种中介效应传导路径均可有效解释水权交易政策对水资源利用效率的提升作用。

## 5 研究结论与建议

### 5.1 研究结论

作为水资源利用效益最大化、效率最优化的有效途径之一，水权交易试点政策对提高区域水资源利用效率是否产生了理想的作用效果？本文梳理了近年来学者们在水资源利用效率、水权交易和我国水权交易试点三方面的研究，重点总结了水资源利用效率的测度方法和我国水权交易试点作用实证研究的不足；第二部分在深入分析水权交易概念和理论基础、可交易水资源利用效率提升机理的基础上，提出水权交易对水资源利用效率的可能影响机制；然后介绍我国水权交易试点省份的水权交易相关制度和具体实践，并运用考虑非期望产出的超效率全局SBM模型测算了我国大陆31省（区）2005-2019年的水资源利用效率，同时从时空两个维度分别分析了我国整体水资源利用效率和水权交易试点省份水资源利用效率变化情况；基于水资源利用效率测算结果，运用回归控制法对水权交易政策进行反事实分析，并对水权交易政策提升水资源利用效率的可能影响机制进行检验，得到如下结论：

（1）水资源利用效率测算结果显示，从时间变化趋势来看，近十几年我国整体水资源利用平均水平不高，提升空间较大。从空间分布特征来看，各省水资源利用效率地区差异悬殊，整体呈现“东高西低、沿海高内陆低”的分布状态。试点省份水资源利用效率的时间变化趋势和异质性变化表现一定程度反映了水权交易政策对水资源利用效率的提升作用。

（2）基于回归控制法的水权交易政策效果评估结果表明，水权交易政策具有显著提高试点省（区）水资源利用效率的作用，且安慰剂检验结果显示4个试点省（区）水权交易政策对水资源利用效率的提升效果均在10%的统计水平下显著，且这种提升作用具有区域差异性，其中广东的政策效果显著高于其他3个试点省份，河南和内蒙古的政策效果较好，甘肃的政策效果最小，可能与试点省份的水资源利用水平和水权交易开展的具体形式有关。

（3）通过对水权交易政策影响水资源利用效率的作用机制检验，发现水权交易政策能够有效促进用水结构调整、激励节水和提高中水回用，进而提升水资

源利用效率。其中，中水回用的中介效应最高，具有完全中介作用，节水中介效应次之，用水结构调整中介效应最低。

## 5.2 政策建议

结合我国目前水权交易市场的发展状况，本文分别从水权交易政策的全国推广和我国水资源利用效率的提高两方面提出以下建议。

第一，因地制宜推进水权交易政策。

虽然水权交易政策在 4 个试点省份的实施效果具有差异，但各试点省份均根据自身水资源禀赋和经济社会发展需要，积极探索了适合本地区的水权交易模式，初步建立了水权交易制度，且水权交易政策有效提高了当地的水资源利用效率。除 4 个试点省份外，目前江西、安徽、湖南、江苏、山东、河北和山西等各省也在进行水权交易探索，各省政府要灵活借鉴试点省份的水权交易经验，切不可生搬硬套。

例如，确定水权交易模式和建立水权交易平台是水权交易机制的重要部分。在水权交易模式的确定上，虽然试点省（区）的水权交易实践均有效提高了当地水资源利用效率，但这些水权交易政策均是针对各自不同的经济、社会及水资源环境，并非“放之四海而皆准”，因此各地区必须从各自实际发展情况出发，切不可套用试点省份的水权交易实践，而应当因地制宜，使水权交易政策更具有针对性，以充分发挥其对水资源利用效率的提升作用。在水权交易平台的建立上，试点省（区）已积累了丰富的经验，探索了三种途径，分别是依托中国水权交易所开展水权交易、以当地产权交易平台为基础开展水权交易和由新建立的本地水权收储转让中心负责开展水权交易。因此各省可以充分参考试点省份的水权交易平台建立经验，并结合各地的水权交易模式，建立适合本地的水权交易平台。

第二，多种途径提高水资源利用效率。

我国水资源利用平均水平提升空间较大，且多数省份水资源利用效率偏低，除在全国推进水权交易政策外，各地区可从调整用水结构、促进节水和提高中水回用三个角度出发提升水资源利用效率。

在调整用水结构方面，优化产业用水结构，特别是促进水资源从农业用水向工业用水转移对提高水资源利用效率具有重要作用。因此未来各地区应积极优化

产业用水结构，特别在农业用水方面，根据当地水资源具体情况优化农业种植和农产品结构，在保证粮食生产安全的前提下，农业用水管理应着力发展高效节水型农业，持续大规模增加和推广喷灌、微灌等一系列高效节水的灌溉技术，创新农业用水管理体制机制，推动农业节余水向工业、服务业等其他高效用水行业转移。

在促进节水方面，除发展节水型农业外，工业节水和城镇节水同样是提高水资源利用效率的重要途径。在工业节水上，各地区要坚持“以水定产，量水而行”的原则，强化对水资源水环境承载力的约束，合理规划工业发展布局和规模，优化调整产业结构；在水资源超载地区应禁止开发和建设高耗水项目，在水资源短缺地区应缩减高耗水产业规模，所有地区要培育发展高产出低耗水型产业；对必须存在的高耗水行业，各地区应强化用水定额管理，积极应用先进适用的节水技术设施，推进相关企业完成节水改造，实现高耗水企业内部用水梯级、循环利用，提高水资源重复利用率。在城镇节水上，各地要因水制宜、集约发展，合理规划和布局城镇空间，坚决遏制当地不合理的用水需求，加快推动节水型生产生活方式形成，全面建设节水型城市；要严格管理高耗水服务业定额用水，对其实行超定额累进加价制度，鼓励高耗水服务业应用循环用水技术；加强科技创新对节水技术研发的支撑，全面推广节水产品，培育和发展节水行业；提升节水监管能力，严格考核管理，确保各项节水措施落实落地，同时强化政策激励，不断增强全社会节水的内生动力，提高水资源利用效率。

中水回用是提高水资源利用效率的有效途径。在提高中水回用方面，各地区要加大对污水处理领域的投资，实施区域再生水循环利用工程，促进中水利用和污水处理工艺升级改造，着力推进中水优先用于工业生产、市政杂用和生态用水等非饮用方面，缓解清洁水短缺问题，提高水资源利用效率。

## 参考文献

- [1] Abadie A, Diamond A, Hainmueller J. Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 2010, 105(490): 493-505.
- [2] Andersen P, Petersen N C. A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis[J]. *Management Science*, 1993, 39(10): 1261-1264.
- [3] Baron R M, Kenny D A. The Moderator-mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations[J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1986, 51(6): 1173-1182.
- [4] Bauer C J. Bringing Water Markets Down to Earth: the Political Economy of Water Rights in Chile, 1976-1995[J]. *World Development*, 1997, 25(5): 639-656.
- [5] Biesanz J C, Falk C F, Savalei V. Assessing Mediation Models: Testing and Interval Estimation for Indirect Effects[J]. *Multivariate Behavioral Research*, 2010, 45(4): 661-701.
- [6] Bjornlund H. Farmer Participation in Markets for Temporary and Permanent Water in Southeastern Australia[J]. *Agricultural Water Management*, 2003, 63(11): 57-76.
- [7] Brajer V, Martin W E. Allocating A "Scarce" Resource, Water in the West: More Market-like Incentives Can Extend Supply, but Constraints Demand Equitable Policies[J]. *American Journal of Economics and Sociology*, 1989, 48(3): 259-271.
- [8] Chen S J, Cao Y Y, Li J. The Effect of Water Rights Trading Policy on Water Resource Utilization Efficiency: Evidence from A Quasi-Natural Experiment in China[J]. *Sustainability*, 2021, 13(9): 5281-5297.
- [9] Corrado L S. Efficiency, Conflicting Goals and Trade-Offs: A Nonparametric Analysis of the Water and Wastewater Service Industry in Italy[J]. *Sustainability*, 2018, 10(4): 919-940.
- [10] Efron B, Tibshirani R J. An Introduction to the Bootstrap[M]. 1993, 184-187.
- [11] Ferro G, Romero C A, Covelli M P. Regulation and Performance: A Production Frontier Estimate for the Latin American Water and Sanitation Sector[J]. *Utilities Policy*, 2011, 19(4): 211-217.
- [12] Fried H O, Lovell C A K, Schmidt 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.
- [13] Fritz M S,Mackinnon D P.Required Sample Size to Detect the Mediated Effect[J]. Psychological Science,2007,18(3):233-239.
- [14] Fritz M S,Taylor A B,Mackinnon D P.Explanation of Two Anomalous Results in Statistical Mediation Analysis[J].Multivariate Behavioral Research,2012,47(1):68-87.
- [15] Hayes A F,Scharkow M.The Relative Trustworthiness of Inferential Tests of the Indirect Effect in Statistical Mediation Analysis: Does Method Really Matter?[J]. Psychological Science,2013,24(10):1918-1927.
- [16] Hsiao C,Ching H S,Wan S K.A Panel Data Approach for Program Evaluation:Measuring the Benefits of Political and Economic Integration of Hong Kong with Mainland China[J].Journal of Applied Econometrics,2012,27(5):705-740.
- [17] Hsiao C,Zhou Q K.Panel Parametric,Semiparametric,and Nonparametric Construction of Counterfactuals[J].Journal of Applied Econometrics,2019,34(4):463-481.
- [18] Hu J L,Wang S C,Yeh F Y.Total-factor Water Efficiency of Regions in China[J].Resources Policy,2006,31(4):217-230.
- [19] John J P,Warren F M.Transferability of Water Entitlement in Australia[J].Regulated Rivers:Research&Management.2006,5(5):391-399.
- [20] Li K T,Bell D R.Estimation of Average Treatment Effects with Panel Data:Asymptotic Theory and Implementation[J].Journal of Econometrics,2017,197(1):65-75.
- [21] Lorenzo-Toja Y,Vázquez-Rowe I,Chenel S,et al.Eco-Efficiency Analysis of Spanish WWTPs Using the LCA Plus DEA Method[J].Water Research,2014,68(2015): 651-666.
- [22] Luo B.Adaption to Climate Change through Water Trading under Uncertainty-An Inexact Two-Stage Nonlinear Programming Approach[J].Journal of Environmental Informatics,2003,2(2):58-68.
- [23] MacKinnon D P,Lockwood C M,Hoffman J M,et al.A Comparison of Methods to Test Mediation and Other Intervening Variable Effects[J].Psychological Methods,2002,7(1):83-104.
- [24] Nieuwoudt W L,Armitage R M.Water Market Transfers in South Africa:Two Case Studies[J].Water Resources Research,2004,40(9):9-5.
- [25] Romano G,Molinos-senante M,Guerrini A.Water Utility Efficiency Assessment in Italy by Accounting for Service Quality:An Empirical Investigation[J].Utilities

- Policy,2017,45:97-108.
- [26] Rosegrant M W,Binswanger H P.Markets in Tradable Water Rights:Potential for Efficiency Gains in Developing Country Water Resource Allocation[J].World Development,1994,22(11):1613-1625.
- [27] Rosegrant M W,Schleyer R G.Tradable Water Rights:Experiences en Reforming Water Allacations Policy[J].Chile,1994.
- [28] Roy W J,Catherine G,Walter B.The Value of Private Water Rights:from A Legal and Economic Perspective[J].Albany Law Environmental Outlook Journal,2004(9), 313.
- [29] Sobel M E.Asymptotic Confidence Intervals for Indirect Effects in Structural Equation Models[J].Sociological Methodology,1982(13):290-312.
- [30] Thanassoulis E.The Use of Data Envelopment Analysis in the Regulation of UK Water Utilities:Water Distribution[J].European Journal of Operational Research,2000,126(2):436-453.
- [31] Tone K.A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J].European Journal of Operational Research,2001(130):498-509.
- [32] Tone K.A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis[J].European Journal of Operational Research,2002(143):32-41.
- [33] Tone K.Dealing with Undesirable Outputs in DEA:A Slacks-based Measure (SBM) Approach[J].The Operations research Society of Japan,2004,44-45.
- [34] Wang H R,Liu H L,Wang C,et al.A Study of Industrial Relative Water Use Efficiency of Beijing:An Application of Data Envelopment Analysis[J].Water Policy,2019,21(2):326-343.
- [35] Zheng J H,Liu X X,Bigsten A.Ownership Structure and Determinants of Technical Efficiency:An Application of Data Envelopment Analysis to Chinese Enterprises (1986-1990)[J].Journal of Comparative Economics,1998,26(3):465-484.
- [36] 操信春,崔思梦,吴梦洋,等.水足迹框架下稻田水资源利用效率综合评价[J].水利学报,2020,51(10):1189-1198.
- [37] 曹明德.论我国水资源有偿使用制度——我国水权和水权流转机制的理论探讨与实践评析[J].中国法学,2004(01):79-88.
- [38] 陈浩耀,吴国维.非参数模型合成控制法的应用[J].统计与决策,2021,37(13):15-19.

- [39] 陈普, 万科. 中国分省资本存量算法的改进及 R 包应用[J]. 统计与决策, 2021, 37(09): 37-40.
- [40] 陈素景, 孙根年, 韩亚芬, 等. 中国省际经济发展与水资源利用效率分析[J]. 统计与决策, 2007(22): 65-67.
- [41] 成刚. 数据包络分析方法与 MaxDEA 软件[M]. 知识产权出版社, 2014.
- [42] 丁绪辉, 贺菊花, 王柳元. 考虑非合意产出的省际水资源利用效率及驱动因素研究——基于 SE-SBM 与 Tobit 模型的考察[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(01): 157-164.
- [43] 窦明, 王艳艳, 李胚. 最严格水资源管理制度下的水权理论框架探析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(12): 132-137.
- [44] 方杰, 张敏强. 中介效应的点估计和区间估计: 乘积分布法、非参数 Bootstrap 和 MCMC 法[J]. 心理学报, 2012, 44(10): 1408-1420.
- [45] 傅春, 胡振鹏, 杨志峰, 等. 水权、水权转让与南水北调工程基金的设想[J]. 中国水利, 2001(02): 29-30+5.
- [46] 高新才, 殷颂葵. 西北地区城市水资源利用效率时空演变及俱乐部趋同分析[J]. 经济经纬, 2021, 38(02): 5-13.
- [47] 巩灿娟, 徐成龙, 张晓青. 黄河中下游沿线城市水资源利用效率的时空演变及影响因素[J]. 地理科学, 2020, 40(11): 1930-1939.
- [48] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发实行最严格水资源管理制度考核办法的通知[EB/OL]. (2013-01-06)[2021-07-09]. [http://www.gov.cn/zwggk/2013-01/06/content\\_2305762.htm](http://www.gov.cn/zwggk/2013-01/06/content_2305762.htm).
- [49] 国务院办公厅. 国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见[EB/OL]. (2012-02-16)[2021-07-09]. [http://www.gov.cn/zwggk/2012-02/16/content\\_2067664.htm](http://www.gov.cn/zwggk/2012-02/16/content_2067664.htm).
- [50] 韩锦绵, 马晓强. 水权交易第三方效应的类型和成因初探[J]. 生态经济, 2012(04): 35-38.
- [51] 胡晓寒, 纪昌明, 王丽萍. 基于优化和博弈理论的农业用户间水权交易分析[J]. 水利学报, 2010, 41(5): 608-612.
- [52] 黄锡生, 黄金平. 水权交易理论研究[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2005(01): 111-114.

- [53] 姜文来.水权及其作用探讨[J].中国水利,2000(12):13-14+4.
- [54] 李海红,王光谦.水权交易机理分析[J].水力发电学报,2005(04):104-109.
- [55] 李世祥,成金华,吴巧生.中国水资源利用效率区域差异分析[J].中国人口·资源与环境,2008(03):215-220.
- [56] 刘毅,贾若祥,侯晓丽.中国区域水资源可持续利用评价及类型划分[J].环境科学,2005(01):42-46.
- [57] 卢曦,许长新.基于三阶段 DEA 与 Malmquist 指数分解的长江经济带水资源利用效率研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(01):7-14.
- [58] 陆文聪,覃琼霞.以节水和水资源优化配置为目标的水权交易机制设计[J].水利学报,2012,43(3):323-332.
- [59] 马海良,黄德春,张继国.考虑非合意产出的水资源利用效率及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2012,22(10):35-42.
- [60] 马晓强,韩绵绵.水权交易第三方效应辨识研究[J].中国人口·资源与环境,2011,21(12):85-91.
- [61] 马远.干旱区城镇化进程对水资源利用效率影响的实证研究——基于 DEA 模型与 IPAT 模型[J].技术经济,2016,35(04):85-90.
- [62] 钱文婧,贺灿飞.中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2011,21(02):54-60.
- [63] 任俊霖,李浩,伍新木,等.长江经济带省会城市用水效率分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(05):101-107.
- [64] 任玉芬,方文颖,欧阳志云,等.基于面板数据的我国城市水资源水环境随机前沿面分析[J].环境科学学报,2020,40(07):2638-2643.
- [65] 任玉芬,方文颖,王雅晴,等.我国城市水资源利用效率分析[J].环境科学学报,2020,40(04):1507-1516.
- [66] 任玉芬,苏小婉,贺玉晓,等.中国生态地理区城市水资源利用效率及影响因素[J].生态学报,2020,40(18):6459-6471.
- [67] 沈满洪,陈锋.我国水权理论研究述评[J].浙江社会科学,2002(05):173-178.
- [68] 沈满洪.水权交易与政府创新——以东阳义乌水权交易案为例[J].管理世界,2005(06):45-56.

- [69] 水利部.水利部关于印发《水权交易管理暂行办法》的通知[EB/OL].(2016-04-19)[2021-07-09].[http://www.gov.cn/zhengce/2016-05/22/content\\_5075679.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2016-05/22/content_5075679.htm).
- [70] 水利部.水利部召开水权试点工作启动会[EB/OL].(2014-07-23)[2021-07-09].[http://www.gov.cn/xinwen/2014-07/23/content\\_2723073.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2014-07/23/content_2723073.htm).
- [71] 孙才志,刘玉玉.基于 DEA-ESDA 的中国水资源利用相对效率的时空格局分析[J].资源科学,2009,31(10):1696-1703.
- [72] 孙才志,马奇飞,赵良仕.基于 GWR 模型的中国水资源绿色效率驱动机理[J].地理学报,2020,75(05):1022-1035.
- [73] 田贵良,杜梦娇,蒋咏.水权交易机制探究[J].水资源保护,2016,32(05):29-33+52.
- [74] 田贵良,盛雨,卢曦.水权交易市场运行对试点地区水资源利用效率影响研究[J].中国人口·资源与环境,2020,30(06):146-155.
- [75] 田贵良.国家试点省(区)水权改革经验比较与推进对策[J].环境保护,2018,46(13):28-35.
- [76] 王浩,李海红,赵勇,等.落实新发展理念 推进水资源高效利用[J].中国水利,2021(06):49-51.
- [77] 王树义.俄罗斯联邦水权研究[J].法商研究,2003(05):131-136.
- [78] 王亚华,舒全峰,吴佳喆.水权市场研究述评与中国特色水权市场研究展望[J].中国人口·资源与环境,2017,27(06):87-100.
- [79] 温忠麟,叶宝娟.中介效应分析:方法和模型发展[J].心理科学进展,2014, 22(05): 731-745.
- [80] 温忠麟,张雷,侯杰泰,等.中介效应检验程序及其应用[J].心理学报,2004(05):614-620.
- [81] 吴凤平,邱泽硕,邵志颖,等.中国水权交易政策对提高水资源利用效率的地区差异性评估[J].经济与管理评论,2022(1):23-32.
- [82] 吴凤平,于倩雯,沈俊源,等.基于市场导向的水权交易价格形成机制理论框架研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(07):17-25.
- [83] 邢霞,修长百,刘玉春.黄河流域水资源利用效率与经济发 展的耦合协调关系研究[J].软科学,2020,34(08):44-50.
- [84] 熊向阳.水权的法律和经济内涵分析[M].中国人民大学出版社,2002.616.
- [85] 新华社.中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定(2010年12月31

- 日)[EB/OL].(2011-01-29)[2021-07-09].[http://www.gov.cn/jrzq/2011-01/29/content\\_1795245.htm](http://www.gov.cn/jrzq/2011-01/29/content_1795245.htm).
- [86] 新华社.中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[EB/OL].(2021-03-14)[2021-07-09].[http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/14/content\\_5592884.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/14/content_5592884.htm).
- [87] 许新宜,王红瑞,刘海军,等.中国水资源利用效率评估报告[M].北京:北京师范大学出版社,2010.
- [88] 尹庆民,邓益斌,郑慧祥子.要素市场扭曲下我国水资源利用效率提升空间测度[J].干旱区资源与环境,2016,30(11):92-97.
- [89] 曾雪婷,李永平.基于节水目标的干旱地区水权交易模型研究[J].水利水电技术,2013,44(7):91-93.
- [90] 张峰,薛惠锋,王海宁.基于幅度随机前沿的工业水资源利用效率测度[J].华东经济管理,2017,31(01):74-82.
- [91] 张国基,吴华清,刘业政,等.中国水资源综合利用效率测度及其空间交互分析[J].数量经济技术经济研究,2020,37(08):123-139.
- [92] 张军,吴桂英,张吉鹏.中国省际物质资本存量估算:1952-2000[J].经济研究,2004(10):35-44.
- [93] 张凯,吴凤平,成长春.三重属性的承载力约束下中国水资源利用效率动态演进特征分析[J].环境科学,2021,42(12):5757-5767.
- [94] 张黎鸣,王红瑞,潘成忠,等.资源型地区产业结构调整对水资源利用效率影响的实证分析——来自中国十个资源型省份的经验证据[J].北京师范大学学报(自然科学版),2021,57(03):353-362.
- [95] 张娜娜,王海涛,吴颖超,等.基于数据包络分析模型的江苏省农业水资源利用效率评价[J].水土保持通报,2015,35(04):299-303.
- [96] 张晓军,侯汉坡.基于跨行业水权交易的北京市水资源优化配置研究[J].首都经济贸易大学学报,2010,12(03):68-73.
- [97] 张永凯,孙雪梅.黄河流域水资源利用效率测度与评价[J].水资源保护,2021,37(04):37-43+50.
- [98] 张振龙,孙慧,苏洋,等.中国西北干旱地区水资源利用效率及其影响因素[J].生

态与农村环境学报,2017,33(11):961-967.

[99] 中华人民共和国水利部.中国水利统计年鉴 2020[M].北京:中国水利水电出版社,2020.

[100] 中研网.全球水资源基本情况分析及全球水资源利用情况分析[EB/OL].(2020-01-08)[2021-07-09].<https://www.chinairn.com/news/20200108/170104292.shtml>.

[101] 周霞,胡继连,周玉玺.我国流域水资源产权特性与制度建设[J].经济理论与经济管理,2001(12):11-15.

## 致 谢

时光荏苒，三年的硕士学习生活已接近尾声。本论文从选题到终稿，离不开恩师的悉心指导，父母的鼎力支持和同学朋友的倾力相助，在此深表感激。回首过往，颇感时光匆匆，一路林林总总，依稀历历在目。

何其幸运，拜于王永瑜老师门下。恩师谦和温厚，治学严谨，孜孜不倦传道授业解惑，亦师亦父。“太上立德，其次立功，其次立言”，恩师身体力行诠释了这一人生准则。承蒙师恩，此生也必将遵循恩师的谆谆教诲和师德师风，踏实做人，认真做事，严谨做学问。

“父母之恩，云何可报，慈如河海，孝若涓尘”。从咿呀学语到风华正茂，父母始终是自己最强大可靠的支撑和依赖。迷茫时指引，失落时安慰，进步时称赞，失败时鼓励，在自己前行的道路上，父母给予了莫大的关怀，感恩不尽。然多年求学在外，无法长期于父母身旁恪守尽孝道，对此深感愧疚。为报父母恩，定继续不懈努力，望早日令父母安享其年，不辜负父母期望。

此一路走来，所遇皆良人。幸得天眷顾，与善良可亲的舍友牛改萍、王曦婷和刘雅楠结下三年亲密无间的舍友情；与师门各位可亲可敬的兄弟姐妹们有缘相伴学习，共同进步；另逢同学、好友众多，在生活和学术上皆给予各种帮助。对所有人的支持和帮助，感谢之情溢于言表。

离别之际，恰逢母校七秩华诞，深感荣幸。在此，祝愿母校承丝路精神，育更多优秀人才；祝愿恩师身体健康，阖家幸福；祝愿各位同窗前程似锦，心想事成！