

分类号 \_\_\_\_\_  
U D C \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_  
编号 10741



## 硕士学位论文

论文题目 环境规制视角下产业结构升级对  
黄河流域生态效率的影响研究

研究生姓名: 祝蓉

指导教师姓名、职称: 万永坤 教授

学科、专业名称: 应用经济学 产业经济学

研究方向: 企业理论与战略管理

提交日期: 2023年5月31日

## 独创性声明

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

学位论文作者签名： 祁磊 签字日期： 2023年5月31日

导师签名： 万中 签字日期： 2023.5.31

## 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： 祁磊 签字日期： 2023年5月31日

导师签名： 万中 签字日期： 2023.5.31

**Research on the impact of industrial  
structure upgrading on eco-efficiency in the  
Yellow River Basin from the perspective of  
environmental regulation**

**Candidate : Zhu Rong**

**Supervisor: Wan Yong kun**

## 摘要

黄河自古以来被誉为中华民族的母亲河,拥有天然生态廊道和多个重点生态功能区,在国家经济发展和生态安全方面占据重要地位,建设好这道安全屏障尤为关键。在过去的四十多年里,工业化的飞速发展带来了显著的社会进步和区域经济繁荣,但也造成流域产业层次水平低下和环境污染等问题。

党的二十大报告强调,实现高质量发展的关键是推动经济社会往绿色低碳方向发展,生态环境保护的重要着力点要落在持续推进产业结构、能源结构等的调整优化上。换言之,三次产业的比例结构和产业内生产要素的配置状态决定了生态效率的高低。环境监管作为政府主要的生态管理措施,不仅能够改善生态质量提升绿色发展水平,还可以通过合理配置资源和技术创新引导产业结构向合理化与高级化方向升级,形成环境、产业与经济多赢的局面。因此,以产业结构合理化和高级化对生态效率的影响为基础,如何充分发挥环境规制的调节效应值得深入探索。

首先,本文界定了环境规制、产业结构升级、生态效率三者的内涵,在理论上厘清产业结构合理化与高级化对生态效率的传导机制以及环境规制在产业结构升级影响生态效率过程中的调节效应。其次,重点分析了黄河流域9省区环境规制、产业结构升级的演变趋势,采用包含非期望产出的 Super-SBM 模型和 GML 指数详细测算了各区域生态效率的静态变化趋势。再次,通过莫兰指数检验生态效率的空间相关性,分析生态效率的集聚状态。实证部分构建空间杜宾模型,用以检验黄河流域9省区2000-2020年产业结构合理化与高级化对生态效率的空间影响,加入交互项来检验环境规制的调节效应如何。最后,将黄河流域分为上中下游,探究产业结构升级对生态效率是否存在区域异质性。

本文的主要研究结论是:(1)产业结构合理化显著促进了本地和邻地的生态效率,表现出“正外溢性”。(2)产业结构的高级化可以明显提高本区域生态效率,对周边地区的影响不显著。(3)环境规制对生态效率的直接效应显著为正,间接效应不显著。(4)环境规制与产业结构合理化的交互项为正但不显著,且环境规制削弱了产业结构合理化对周边地区生态效率的促进作用。(5)环境规制在产业结构高级化影响生态效率的过程中存在显著负向调节效应,且强

化了产业结构高级化对邻近地区生态效率的抑制作用。最后，本文从优化产业结构、完善环境规制政策、建立区域统筹协调机制，加强对外经济合作等角度提出切实可行的政策建议。

**关键词：**产业结构升级 生态效率 空间杜宾 环境规制调节效应

## Abstract

Since ancient times, the Yellow River has been known as the mother river of the Chinese nation, with natural ecological corridors and multiple key ecological function areas. It occupies an important position in national economic development and ecological security, and building this safety barrier is particularly crucial. In the past forty years, the rapid development of industrialization has brought significant social progress and regional economic prosperity, but it has also caused problems such as low industrial level and environmental pollution in the river basin.

The report of the 20th National Congress of the Communist Party of China emphasizes that the key to achieving high-quality development is to promote the development of the economy and society towards a green and low-carbon direction, and the important focus of ecological environmental protection should be on continuously promoting the adjustment and optimization of the industrial structure and energy structure. In other words, the proportional structure of the three industries and the allocation of production factors within the industry determine the level of ecological efficiency. As the main ecological management measure of the government, environmental supervision can not only improve ecological quality and promote green development level, but also guide the industrial structure to upgrade towards rationalization and

advancement through rational allocation of resources and technological innovation, forming a win-win situation for the environment, industry, and economy. Therefore, based on the impact of rationalization and upgrading of industrial structure on ecological efficiency, it is worth exploring how to fully exert the regulatory effect of environmental regulations.

Firstly, this article defines the connotation of environmental regulation, industrial structure upgrading, and ecological efficiency. On the theoretical basis, it clarifies the transmission mechanism of industrial structure rationalization and upgrading on ecological efficiency, as well as the regulatory effect of environmental regulation in the process of industrial structure upgrading affecting ecological efficiency. Secondly, the evolution trend of environmental regulations and industrial structure upgrading in 9 provinces and regions of the Yellow River Basin was analyzed, and the static and dynamic changes in ecological efficiency in each region were calculated in detail using the Super-SBM model including unexpected outputs and the GML index. Thirdly, the spatial correlation of ecological efficiency is tested through the Moran index, and the agglomeration state of ecological efficiency is analyzed. The empirical part constructs a spatial Durbin model to test the spatial impact of rationalization and upgrading of industrial structure on ecological efficiency in the nine provinces and regions of the Yellow River Basin

from 2000 to 2020, and adds interactive terms to test the regulatory effect of environmental regulation. Finally, divide the Yellow River basin into upper, middle, and lower reaches to explore whether there is regional heterogeneity in the impact of industrial structure upgrading on ecological efficiency.

The main research conclusions of this paper are as follows: (1) The rationalization of industrial structure has significantly promoted the ecological efficiency of local and neighboring regions, showing "positive spillover". (2) The upgrading of industrial structure can significantly improve the ecological efficiency of the region, but its impact on surrounding areas is not significant. (3) The direct effect of environmental regulation on ecological efficiency is significantly positive, while the indirect effect is not significant. (4) The interaction between environmental regulation and industrial structure rationalization is positive but not significant, and environmental regulation weakens the promotion of industrial structure rationalization on the ecological efficiency of neighboring areas. (5) Environmental regulation has a significant negative regulatory effect on the impact of industrial structure upgrading on ecological efficiency, and environmental regulation has strengthened the inhibition effect of industrial structure upgrading on ecological efficiency in neighboring areas. Finally, this article proposes practical and feasible policy recommendations from the perspectives of

optimizing industrial structure, improving environmental regulatory policies, establishing regional coordination mechanisms, and strengthening foreign economic cooperation.

**Key words:** Industrial structure upgrading; Ecological efficiency; Spatial dubin model; Regulatory effect of environmental regulation

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景与意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	2
1.2 研究的主要内容与方法 .....	3
1.2.1 研究的主要内容 .....	3
1.2.2 研究方法 .....	4
1.2.3 研究技术路线图 .....	5
1.3 国内外研究现状及综述 .....	6
1.3.1 生态效率相关研究 .....	6
1.3.2 产业结构升级与生态效率 .....	8
1.3.3 环境规制与生态效率 .....	9
1.3.4 文献述评 .....	10
1.4 可能的创新点与不足之处 .....	11
<b>2 理论基础与机理分析</b> .....	12
2.1 相关概念界定 .....	12
2.1.1 环境规制 .....	12
2.1.2 产业结构升级 .....	12
2.1.3 生态效率 .....	13
2.2 相关理论基础 .....	14
2.2.1 环境规制相关理论 .....	14
2.2.2 产业结构升级相关理论 .....	15
2.2.3 生态效率相关理论 .....	17
2.3 环境规制视角下产业结构升级影响生态效率的作用机理 .....	18
2.3.1 产业结构合理化对生态效率的影响 .....	18
2.3.2 产业结构高级化对生态效率的影响 .....	19

2.3.3 环境规制通过调节产业结构升级影响生态效率的作用机理 .....	20
<b>3 黄河流域环境规制、产业结构升级与生态效率趋势分析 .....</b>	<b>22</b>
3.1 环境规制政策分析 .....	22
3.2 环境规制强度分析 .....	23
3.2.1 环境污染物排放量 .....	23
3.2.2 环境污染治理 .....	28
3.3 产业结构升级趋势分析 .....	29
3.3.1 产业结构合理化测度与分析 .....	29
3.3.2 产业结构高级化测度与分析 .....	32
3.4 黄河流域生态效率趋势分析 .....	36
3.4.1 测度方法选择 .....	36
3.4.2 评价指标体系 .....	37
3.4.3 基于超效率 SBM 模型的生态效率评价 .....	39
3.4.4 GML 指数及其分解 .....	42
<b>4 空间计量模型构建与实证分析 .....</b>	<b>44</b>
4.1 数据来源与变量设定 .....	44
4.1.1 数据来源 .....	44
4.1.2 变量设定 .....	44
4.1.3 样本选择 .....	47
4.2 生态效率的空间相关性检验 .....	47
4.2.1 空间权重矩阵 .....	48
4.2.2 全局空间自相关 .....	48
4.2.3 局部空间自相关 .....	49
4.3 空间面板模型 .....	50
4.3.1 空间面板模型的设定 .....	50
4.3.2 空间面板模型适配性检验 .....	51
4.4 空间杜宾模型的估计与实证结果分析 .....	51
4.4.1 产业结构升级对生态效率影响的实证研究 .....	52
4.4.2 空间杜宾模型效应分解结果分析 .....	54

4.4.3 稳健性检验 .....	56
4.5 环境规制的调节效应检验 .....	57
4.6 区域异质性检验 .....	59
<b>5 研究结论与政策建议 .....</b>	<b>61</b>
5.1 研究结论 .....	61
5.2 政策建议 .....	62
5.2.1 优化产业结构，促进能源资源配置利用效率 .....	63
5.2.2 完善环境规制政策，发挥对产业结构升级的调节作用 .....	63
5.2.3 建立区域统筹协调机制，全方位推进生态文明建设 .....	64
5.2.4 加强对外经济合作，提升开放型经济发展水平 .....	64
<b>参考文献 .....</b>	<b>66</b>
<b>后记 .....</b>	<b>73</b>

# 1 绪 论

黄河的治理自古被赋予“安民兴邦”的重要作用。在历史发展进程中，人为破坏、生产力低下以及自然地理等主客观原因，导致黄河流域经济发展相对落后于发达地区，发展不平衡、不充分问题主要表现为产业结构单一、资源损耗严重，生态问题突出。因此，黄河流域在产业转型升级的同时，注重生态建设、提升生态效率是重中之重，这对黄河流域经济整体高质量发展、巩固脱贫攻坚成果、保障黄河岁岁安澜具有重要意义。

## 1.1 研究背景与意义

### 1.1.1 研究背景

黄河流域包含了青海、四川、甘肃、宁夏、山西、内蒙古、陕西、山东、河南 9 个省份，既是我国重要的生态屏障，也是经济转型发展的重点区域，对推进地区经济可持续、生态保护和高质量发展发挥代表作用。在政策扶持下，近年来黄河流域整体经济实力逐渐增强，2020 年 GDP 产值达 25.26 万亿元，二、三产业增加值分别为 99613.90 亿元、129396.5 亿元，工业增加值 79005.1 亿元，分别占 GDP 比重 36.38%、51.22%，31.28%。此外，黄河流域有丰富的能矿资源，也是重点能源化工基地和原材料基地。正因如此，沿黄各省在经济发展过程中严重依赖资源，上中游地区以传统产业为主，“两高一资”企业集中在黄河干支流，产业结构同质化现象突出，下游产业缺乏绿色技术创新，竞争乏力。这种以重化工为主的产业结构和高污染高排放的经济增长方式，使得流域生态底子脆弱，环境污染问题积重较深。上游地区存在草场退化、土地荒漠化趋势加剧现象，生态功能退化；中游水土流失严重，植被覆盖率低，易造成沙尘暴危害；下游水沙关系不协调，泥沙堆积形成“地上河”，威胁防洪安全。亟需解决发展与保护的矛盾关系，转变经济发展模式，走生态保护与高质量发展道路。

在此背景下，着眼于我国经济高质量发展和生态可持续目标，2022 年习近平总书记主持召开了深入推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会。他强调，要科学研判黄河流域发展形势，不断推进流域治理与保护，坚持走生态优先、绿

色发展的现代化之路。产业结构被视为“资源转换器”和“污染控制器”，产业结构的调整升级有助于优化资源配置、推动产业高技术化和绿色化，是我国经济发展的重要战略之一。从2020年到2035年，将是我国产业结构调整迅猛的十五年，国家颁布的“十四五”规划中就指出，针对轻重工业应注重产业转型而不是削弱，结合第三产业发展释放经济发展活力，对生产率低下的企业予以装备和技术方面的支持，促进企业的转型升级。环境规制作为生态治理的政策保障，可以通过改变需求结构、技术创新和设置准入壁垒来推动产业结构升级进而促进经济绿色增长，实现经济与环境“双赢”。2020年3月，中共中央联合印发了《关于构建现代环境治理体系的指导意见》，提出政府和企业要形成良性互动，从源头加强治理，牢固树立绿色发展理念来合力优化生态环境质量。

进入新时代，如何平衡好经济发展、资源优化和环境保护三者间的关系是学界一直热切关注的议题。生态效率是衡量可持续发展的重要指标，它注重经济产出与环境污染双向协调。产业结构升级作为经济发展中的关键环节，通过合理配置资源提高环境效益从而提高生态效率。同时，通过环境规制调整需求结构、调整企业生产方式、激励创新，促进产业结构优化升级和绿色化发展。因此，研究黄河流域的环境规制、产业结构升级与生态效率就具有重要意义。本文主要研究黄河流域生态效率如何？产业结构合理化和高级化对生态效率影响如何？环境规制在其中是抑制还是促进了生态效率的发展？旨在为黄河保护、治理、高质量发展以及产业政策调整提供思路和建议。

### 1.1.2 研究意义

本文通过查阅国内外学者对环境规制、产业结构升级与生态效率的研究成果，总结梳理三者之间的关系和作用路径，围绕“环境规制视角下黄河流域产业结构升级对生态效率的影响研究”为主题，探索环境规制的调节效应与产业结构升级对生态效率的影响，为黄河流域产业结构升级与生态保护提供基本思路。

#### (1) 理论意义

现有文献对环境规制与生态效率、产业结构升级与生态效率的两两研究较多，缺乏对这三个因素进行统一分析的相关研究。同时，由于黄河流域内不同地区之间存在密切往来，具有一定的关联性，故有必要运用空间计量经济学的内容。

鉴于此,本文运用空间杜宾模型研究产业结构升级对生态效率的影响,同时从调节效应检验环境规制在产业结构升级对生态效率的影响中发挥何种作用。这将有助于拓展环境政策、产业结构升级和生态效率相关研究,丰富了产业经济学、规制经济学和生态经济学,并为黄河流域经济高质量发展,制定科学的产业结构优化政策提供理论支撑。

## (2) 实践意义

环境规制与产业结构升级的协同作用可以实现资源合理配置,产业结构的合理化与高级化不仅能提高经济产出,还能改善生态环境。因此,制定科学合理的产业结构调整和环境规制政策,能够使黄河流域发展不平衡、不充分问题得到有效解决。鉴于此,一方面,本文通过探索黄河流域环境规制、产业结构升级和生态效率现状及演变趋势,可以深入了解黄河流域存在的现实问题和发展差异。另一方面,运用实证方法分析产业结构升级对生态效率的影响,环境规制与产业结构的协同效应,有助于为黄河流域产业绿色转型、经济可持续发展建言献策,同时对中国环境污染严重、产业结构亟待调整的其他区域也具有一定借鉴意义。

## 1.2 研究的主要内容与方法

### 1.2.1 研究的主要内容

本文主要分为五个章节:

第一部分,绪论。本章通过研究背景阐述了本文的研究意义,确定了研究内容与方法并绘制技术路线图。通过梳理国内外研究现状提出本文可能的创新点与不足。

第二部分,理论基础及机理分析。首先,对本文研究的对象进行内涵界定;随后,回顾了环境规制、产业结构升级和生态效率相关理论。最后,以概念研究和理论基础为支撑,分析了黄河流域产业结构合理化与高级化两个方面影响生态效率的内在机理,以及环境规制视角下的调节作用并提出本文的研究假说。

第三部分,黄河流域环境规制、产业结构升级与生态效率演变趋势分析。首先,简单梳理黄河流域 2012 年以来相关的环境规制政策,并从环境污染物排放量和环境治理来分析黄河流域环境规制现状及演变趋势。其次,利用改进的产业

结构偏离度系数和产业结构层次系数来表征产业结构合理化、高级化,分析产业结构现状及演变趋势。最后选取投入产出评价指标体系,采用包含非期望产出的超效率 SBM 模型和 GML 指数,从静态和动态角度客观分析黄河流域各省区及上中下游生态效率的发展现状与演变趋势。

第四部分,空间计量模型构建与实证分析。首先根据全局和局部 Moran' s I 指数、Moran' s I 散点图分析黄河流域生态效率的空间集聚状态。其次以产业结构高级化、合理化为核心解释变量,环境规制为调节变量,生态效率为被解释变量,运用空间杜宾模型研究变量间的空间效应。再次,构建产业结构升级与环境规制交互项来检验环境规制的调节效应。最后,通过分区域来检验产业结构合理化和高级化对生态效率的影响在上、中、下游之间是否具有异质性。

第五部分,研究结论与政策建议。对研究现状和实证结果进行整合归纳,针对研究成果提出科学合理的政策建议。

## 1.2.2 研究方法

### (1) 文献研究法

通过对国内外环境规制、产业结构升级、生态效率相关文献的整理和归纳,进一步明晰了本文的研究方向,通过梳理三者间的影响关系为本文奠定理论基础。

### (2) 定性定量相结合的分析方法

定性分析的任务是对黄河流域环境规制、产业结构升级和生态效率的概念和影响机制进行梳理,定量分析的任务是通过测度指标来分析三者的演变趋势,并通过空间杜宾模型检验产业结构合理化、高级化对区域生态效率的影响以及环境规制的调节效应,验证研究假说是否成立,进而提出相应的政策建议。

### (3) 比较分析法

本文的比较分析法体现在第三章,对黄河流域环境规制、产业结构升级与生态效率水平在不同时间段进行对比。在第四章,利用空间计量模型分别对比了黄河流域以及上中下游产业结构升级对生态效率的影响差异,从而因地制宜,为各经济主体提出更为有效的治理政策。

### 1.2.3 研究技术路线图

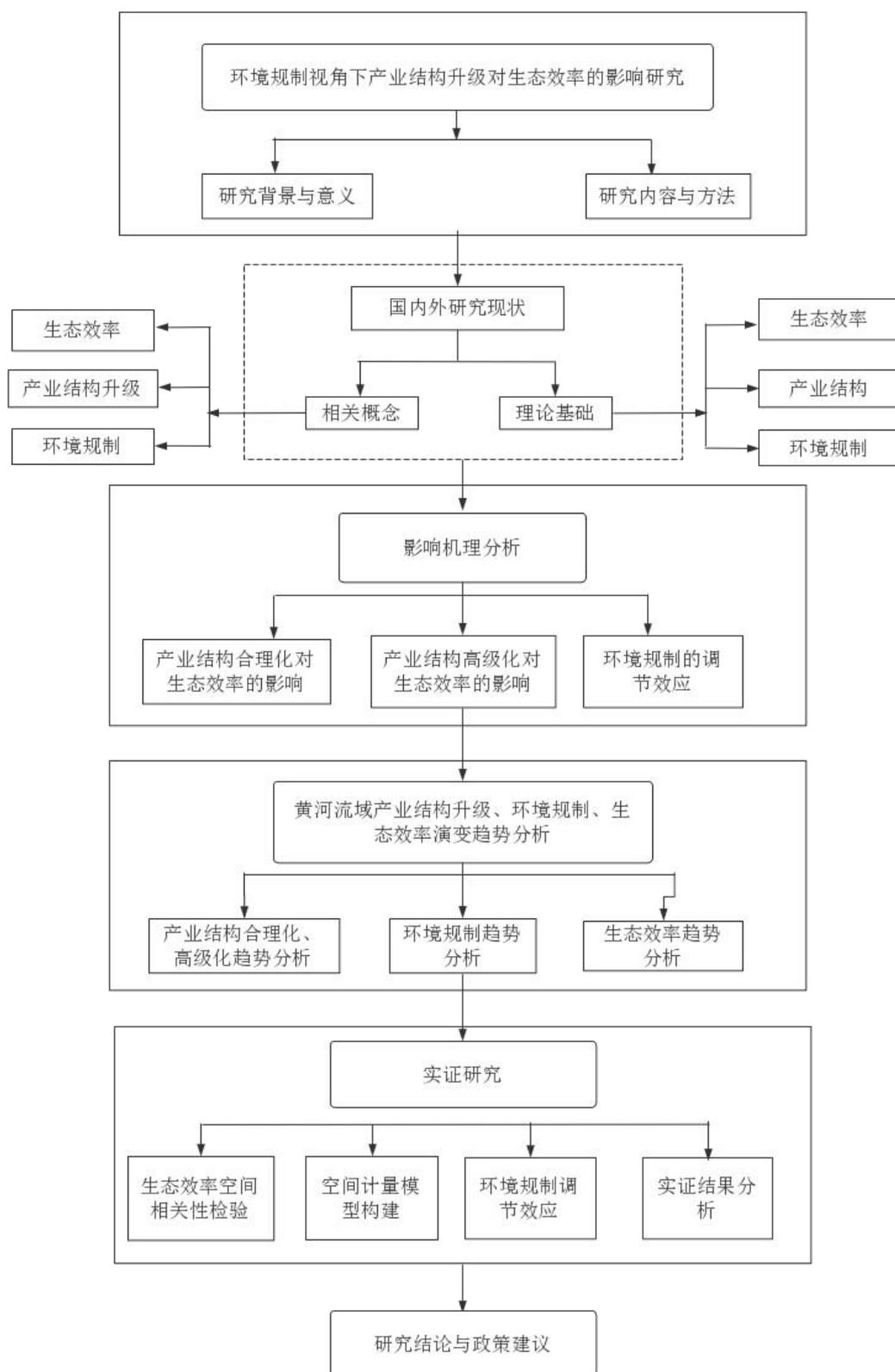


图 1.1 技术路线图

## 1.3 国内外研究现状及综述

### 1.3.1 生态效率相关研究

(1)生态效率的概念。“生态效率”这一概念由德国学者 Schaltegger 和 Sturm 首次提出,他们用生产活动所创造的新增价值和由此带来的环境变化的比值来定义生态效率<sup>[1]</sup>。1992年,世界可持续发展工商业委员会(WBCSD)对“生态效率”概念作出了一个较为明确的界定:在满足人类需求并提高生活质量前提下,对服务和商品实行竞争性定价,在地球可承载力范围之内使得生态影响最小,从而实现环境与社会协调发展目标<sup>[2]</sup>。随后,世界经合组织(OECD)提出“生态效率”就是一种投入产出,“投入”指消耗的环境资源,“产出”指生产出来的产品和服务的价值,以此来描述生态资源的效率<sup>[3]</sup>。Meier(1997)、Schaltegger 和 Burritt(2001)都从投入产出视角出发,如果一定的自然资源的占用可带来更多的经济、福利的总产出,则表示生态效率优化<sup>[4-5]</sup>。Desimone(2000)认为生态效率优化就是要实现经济社会发展与环境的并重<sup>[6]</sup>。Muller 和 Sturm(2001)则直接用公式定义为:生态效率=环境绩效/经济绩效,要平衡环境与经济增长才能达到最优效率<sup>[7]</sup>。诸大建(2005)认为循环经济和生态效率在本质上相同,他将 GDP/DMI 表示为资源效率指标,将 GDP/DPO 表示为环境效率指标,通过生态效率指标来测度循环经济,这一公式与 Muller 和 Sturm 提出的互为倒数,但原理一致,也是为了追求更少的投入带来更大的产出<sup>[8]</sup>。通过上述国外各机构和学者们对“生态效率”的概念界定可以发现,资源损耗/环境破坏越小,经济效益越高,生态效率就越高。

(2)生态效率的测度。生态效率的测度除了概念中所体现的比值法外,还有指标体系法和模型法等。指标体系法将能够表征生态效率特征及相互联系的多个指标建立起评价体系,但主观因素较强。刘子怡等(2017)用模糊综合评价法对 2008-2014 年全国 30 省份的生态效率进行全面测算,发现总体呈递增趋势,但地区差异明显,存在东部高、中西部低的现象<sup>[9]</sup>。彭迪云,李莎(2017)运用考虑了动态激励因素的 G1-TOPSIS 法对东部 11 省份的生态效率进行测度,研究发现各省份的生态效率存在明显差异<sup>[10]</sup>。Rashidi 和 Saen(2015)将劳动力、水资源、能源消耗作为投入指标,期望产出为单位 GDP 能耗,非期望产出为 CO<sub>2</sub>

排放量,评价了 OECD 国家的生态效率<sup>[11]</sup>。还有学者将生态足迹作为生态投入,纳入指标体系进行测度。生态足迹法起源于学者 Ree W E(1992)<sup>[12]</sup>。Yue 等(2017)采用此方法,对 G20 国家和中国省域的全要素生态效率进行实证分析<sup>[13]</sup>。国内学者史丹(2016)、胡姚雨(2016)、邢贞成(2018)、李姣(2019)等都将生态足迹表征生态投入与劳动力、资本一同作为投入指标,对中国省域、流域、经济带的全要素生态效率值进行测度,发现大体上都呈现由西向东逐渐递增态势<sup>[14-17]</sup>。

模型法主要是数据包络分析法(DEA)、随机前沿(SFA)等。现在运用最多的 DEA 方法最早是由 Charnes 等(1978)提出的,可分为 CCR 和 BCC 模型<sup>[18]</sup>。付丽娜等(2013)采用超效率 DEA 模型评价 2005-2010 年长株潭“3+5”城市群生态效率值,后通过 Malmquist 指数进行分解,最后通过 Tobit 模型进行生态效率影响因素分析<sup>[19]</sup>。李胜兰、初善冰(2014)通过 DEA 方法测算了中国 30 省份的生态效率值,而韩永辉(2016)利用 Bootstrap-DEA 方法进行测量<sup>[20]</sup>。Tone 随后提出了 SBM 模型与超效率 SBM 模型,周茂竹(2020)运用该模型测算了 2004-2017 西部地区各省份生态效率,发现差距较大<sup>[21]</sup>。王前前(2021)进一步对 2005-2017 年黄河流域的省会城市生态效率进行测度,结果发现流域生态效率整体呈先升后降趋势<sup>[22]</sup>。邢贞成等(2018)运用基于 Shephard 生态距离函数的 SFA 模型,测度了 2000-2014 年中国区域全要素生态效率,结果发现各省份存在明显差异<sup>[17]</sup>。杨勇和邓祥征(2019)基于柯布-道格拉斯生产函数,采用随机前沿模型对中国城市生态效率进行了测算<sup>[23]</sup>。

(3) 生态效率的影响因素。Liu et al.(2020)评价了 2004-2014 年中国 285 个城市的生态效率,采用空间自相关面板数据模型分析了生态效率的影响因素。研究表明,区域经济发展水平、在产业结构中的第二产业水平、进出口贸易总量和信息水平都对生态效率产生了显著的积极影响。相比之下,地方政府支出、社会消费品零售销售和基础设施建设均对城市生态效率产生了负面影响<sup>[24]</sup>。孙振清等(2021)利用 Tobit 回归模型研究省级区域生态效率的内部驱动因素,得出的结论是地区 GDP、产业结构、城镇化水平正向影响生态效率<sup>[25]</sup>。徐峰、李想(2022)在探究影响黄河流域生态效率的因素中发现,经济发展对生态效率的拉动作用非常显著,科技创新对生态效率存在非线性影响,前期为正向,后期转为负向,区

域间存在差异性<sup>[26]</sup>。而杨东阳、张晗（2023）等人基于空间杜宾模型分析黄河流域 2009-2018 年地级市影响因素时发现，人均 GDP、对外开放和技术创新对生态效率表现出正向影响，不同的科技创新水平、规模和类型条件下，其对生态效率的影响有所差异，城镇化水平的系数显著为负，表明当前黄河流域的城镇化发展对其有负向影响，财政支出水平尚未能有效提升生态效率<sup>[27]</sup>。

### 1.3.2 产业结构升级与生态效率

Grossman 和 Krueger（1995）认为，经济增长通过结构效应对生态环境产生影响，结构效应表现为经济和产业两个层面。现有文献对二者间的研究主要从产业间、部门内要素重置、技术创新影响生态环境等方面出发<sup>[28]</sup>。一些学者认为产业结构升级改善了生态环境，提高了生态效率，其中第二产业的影响效应受关注较多。蔡惠光等（2009）发现工业增加值占比越高，环境污染越严重，两者呈正相关关系<sup>[29]</sup>。随着产业结构从第二产业逐渐向第三产业转型，单位国民经济产出的污染排放随之减少（Janicke, 1997; Oketola, 2007）<sup>[30-31]</sup>。李姝（2011）采用 GMM 方法研究产业结构与生态环境之间的关系，发现第三产业占比增加可以显著抑制废气排放<sup>[32]</sup>。潘兴侠等（2015）通过灰色关联度法对中部六省三次产业与生态效率的关联度进行了分析，发现第二产业可以对生态效率产生强烈影响，其次是第三产业<sup>[33]</sup>。Lan 等（2012）利用投入产出表分析得出技术进步可以有效减少 CO<sub>2</sub> 排放<sup>[34]</sup>。国内学者付丽娜（2013）通过构建 Tobit 模型发现，产业结构高级化正向促进生态效率，且通过 Malmquist 指数分解发现技术进步是驱动生态效率进步的内在因素<sup>[20]</sup>。韩永辉，黄亮雄等（2015, 2016）研究指出中国省域的产业结构合理化和产业结构高级化对生态效率产生显著正向影响，且存在本地和外部双重正面效应，在随后的研究中从产业结构升级与生态文明出发，进一步验证了两者之间的空间正外溢效应。但地区之间存在差异性，区域不同，产业结构对生态效率的影响可能不同<sup>[35-36]</sup>。郑慧等（2017）发现产业结构能促进东部地区的生态效率、对中部地区的效率影响不明显，而对西部地区的影响是负向的；技术水平提升了东部和中部地区的生态效率，对西部无显著影响<sup>[37]</sup>。马晓翱、郭力（2022）以黄河流域 34 座城市为研究对象，运用动态面板 GMM 模型得出产业升级对生态质量提升有积极影响，并且产业结构合理化的作用更显著的结论<sup>[38]</sup>。

另有一些学者们发现产业结构在优化升级过程中对生态效率的作用表现为抑制或并不明显。李鹏（2015）指出产业结构调整对环境污染的影响从抑制转为促进<sup>[39]</sup>。王艳（2018）通过构建 Tobit 模型分析丝绸之路经济带沿线省份产业结构优化升级与生态效率关系时也证明了这一观点<sup>[40]</sup>。杨勇，邓祥征（2019）发现第三产业占 GDP 的比重只对中小城市的生态效率起正向作用，对较大规模城市而言作用不显著<sup>[23]</sup>。杨玉春、岳立（2021）研究黄河流域全要素生态效率的驱动因素时发现，第三产业抑制了生态效率提升<sup>[41]</sup>。

### 1.3.3 环境规制与生态效率

关于环境规制对生态效率的影响，结论一是环境规制在一定程度上会促进区域生态效率的提升。就环境效应而言，De Bruyn（1997）通过 *divisia* 指数方法分析了经合组织国家和前社会主义经济体的 SO<sub>2</sub> 污染变化，发现环境政策发挥了重要作用<sup>[42]</sup>。钱争鸣（2014）认为环境规制通过筛选、技术共享，产生扩散效用，提升生态效率<sup>[43]</sup>。在调节效应上，韩永辉等（2016）、蔡玉蓉和汪慧玲（2020）认为环境规制能有效改善区域生态效率，且产业结构合理化、高度化与环境规制的协同作用随规制强度增大愈发显著<sup>[44]</sup>。在研究 FDI 与生态效率的关系时发现，环境规制强度的提高在 FDI 对生态效率的积极影响中起正向调节作用，从而改善生态环境（韩晓涵，2020；张鹏，2020）<sup>[45-46]</sup>。

二是环境规制对生态效率产生负面影响。许多学者的观点与“成本假说”一致，认为环境规制会限制生产要素自由流动，使得价格提高，企业需要支付额外的费用来治理污染，挤占了部分创新投入的资金，不利于企业提高创新性和竞争力（Wally&Whitehead, 1994；傅京燕、李丽莎，2010）<sup>[47-48]</sup>。李胜兰等（2014）认为地方政府面对规制政策会出现“逐底竞争”行为，对生态效率产生消极影响<sup>[20]</sup>。陈真玲（2016）在研究城镇化与生态效率的关系时发现排污费征收并不能显著促进生态效率<sup>[49]</sup>。陈雯（2017）、易杏花和刘锦钿（2020）用环境污染治理投资额与 GDP 之比来衡量规制强度，结果对生态效率的影响表现为负相关<sup>[50-51]</sup>。周茂竹（2020）通过研究 2004-2017 年西部地区省级面板数据发现，环境规制与区域生态效率有显著负向关系，且环境规制与产业结构高级化交互系数显著为正，与产业结构合理化的交互项不显著为正，表明产业结构合理化与环境规制的

协同作用不强<sup>[22]</sup>。

三是环境规制对生态效率的作用具有明显的阶段性、非线性特征。李胜兰（2014）基于 1997-2010 中国 30 省份的面板数据，检验环境规制对生态效率的影响时发现，2003 年地方政府环境规制会抑制区域生态效率，在 2003 年之后，由“抑制”转为“促进”，究其原因在于地方政府环境政策制定行为从相互模仿转为因地制宜、独立制定政策<sup>[20]</sup>。张子龙等（2015）利用 Tobit 面板数据分析环境规制与生态效率关系时发现，短期内，环境规制对生态效率的提升表现为负效应，这正验证了“遵循成本”假说，长期而言，一定会产生促进作用<sup>[52]</sup>。宋德勇（2017）、邢贞成等（2018）发现随着环境规制水平的提高，生态效率呈现出倒“U”型趋势，长期来看，加强环境规制可以提高生态效率<sup>[53]</sup>。

还有部分学者从环境规制类型出发，不同的环境规制可以对生态环境产生不同的影响。原毅军和刘柳（2013）对经济型环境规制分为费用型环境规制和投资型环境规制，认为前者对经济增长没有显著影响，而后者能够显著促进经济增长<sup>[54]</sup>。罗能生、王玉泽（2017）发现以工业污染治理投资额为代表的“治理投入型”环境规制与生态效率之间存在倒“U”型关系，而以排污费收入为代表的“经济激励型”环境规制对改善生态效率并不显著<sup>[55]</sup>。王竹君（2019）研究表明命令控制型环境规制有效促进了绿色经济效率，而市场激励型对绿色经济的效率没有显著作用<sup>[56]</sup>。党静（2020）通过构建正式环境规制、非正式环境规制与产业结构的交互项发现，前者提升了能源利用效率，而后者降低了全国和西部地区的能源利用效率<sup>[57]</sup>。

### 1.3.4 文献述评

通过归纳整理国内外学者的研究发现，环境规制、产业结构升级与生态效率两者间的作用机制，或是将环境规制、产业结构作为生态效率的影响因素方面的研究较多，而结合三者进行综合探讨的文献较少。总结研究不足可以归纳为：一是现有文献侧重于全国研究，对区域研究较少，而黄河流域作为重要的生态安全屏障，研究其生态效率具有重要意义；二是方法上，主要采用传统计量回归方法，较少文章采用空间计量模型。三是从环境规制的视角出发，研究其在产业结构升级对区域生态效率影响中的作用较少。

基于此,本文首先梳理出产业结构升级、环境规制、生态效率相关理论,建立产业结构升级对生态效率影响的理论桥梁,通过测度黄河流域9省生态效率,并结合超效率SBM模型和GML指数来分析静态和动态变化,深入分析产业结构升级对生态效率的影响,并检验环境规制在其中起到怎样的调节作用,这对于为黄河流域因地制宜地进行资源开发利用和环境治理,促进经济社会高质量发展提供参考。

## 1.4 可能的创新点与不足之处

本文可能的创新点主要有两个方面:

在研究视角上,选取黄河流域为代表做深入研究,旨在树立典型案例。其次,已有研究分析环境规制在产业结构合理化、高级化对生态效率中的调节效应较少,大多是研究环境规制对FDI的调节效应。因此,本文在研究产业结构升级影响生态效率的基础之上,探究环境规制的调节效应,补充了现有的生态效率相关研究,以期更准确地厘清环境规制在产业结构升级与生态效率二者之间的作用关系。

在研究方法上,大部分学者都采用产业结构偏离度系数和三产占二产比重来衡量产业结构合理化和产业结构高级化,本文将产业产值所占比例考虑在指标内,采用改进的产业结构偏离度系数和产业结构层次系数来测度。对于生态效率的测算,运用非期望产出Super-SBM模型和GML指数全面分析其静态和动态变化,考察省级尺度和区域间生态效率的演变趋势和差异。其次,从空间层面,通过莫兰指数和莫兰散点图分析生态效率的空间相关性,利用空间杜宾模型检验产业结构合理化、高级化对生态效率的空间效应,从而全面反映二者间的关系。

本文研究的不足之处在于:

一是受数据可获得性限制,在黄河流域生态效率的评价指标上还存在一定的缺陷和不足,待后续研究指标和环保数据的更新,可以增加一些投入产出指标,对黄河流域生态效率水平进行更全面、科学的测度与评价。

二是本文没有详细区分环境规制政策,政策不同,可能对生态效率产生的影响也不同。未来需要进一步细分环境规制工具类型,深入探究环境规制工具在产业结构升级与生态效率间发挥的调节效应。

## 2 理论基础与机理分析

本章主要阐述环境规制、产业结构升级与生态效率的概念和相关理论基础，环境规制相关理论：市场失灵理论、“遵循成本说”与“波特假说”、“污染避难所假说”；产业结构升级相关理论：产业结构演进理论、产业生态学理论；生态效率相关理论：环境库兹涅茨曲线、可持续发展理论，为后续研究提供理论支持。

### 2.1 相关概念界定

#### 2.1.1 环境规制

环境规制是政府为保护环境质量而对经济主体采取限制性措施的行为。环境作为一种公共物品若不当使用易出现市场失灵，政府需要出面进行干预，维护经济、生态可持续发展目标。本小节对环境规制的研究主要从五个方面进行：（1）环境规制目标，通过约束和限制不良行为达到减少环境污染、改善生态环境治理的目的；（2）环境规制主体，一般来说以政府为主体进行管控的方式称为正式环境规制，反之则为非正式环境规制；（3）环境规制客体，主要对企业（生产者）和个人（消费者）进行规制；（4）环境规制工具，大致分为命令控制型、市场激励型和公众参与型，比如国家和地方政府颁布的法律法规、政府制定的排放标准、排污费征收、征税和财政补贴，公众监督平台等等。（5）环境规制的性质，既是社会性规制，也是经济性规制的重要内容，本质上是一种约束。

结合本文的研究内容，本文认为环境规制是政府、社会团体或社会公众出于保护环境的目的，通过对产生负外部性的组织或个人采取限制性措施，引导经济主体正确认识经济与环境的关系，实现人与自然和谐相处。

#### 2.1.2 产业结构升级

经济学家罗斯托（1960）最早提出了产业结构升级这一概念<sup>[58]</sup>。产业结构描述了经济社会中产业间和产业内部间的比例关系及其关联性。目前对产业结构的

划分较为认可的是三次产业分类法,第一产业是指主要产品出自自然界的生产部门,第二产业是加工来源于自然界产物的部门,第三产业是为生产和消费提供服务的部门。产业结构既描述了三次产业在国民经济体系中的权重比例,也表现为产业间比例关系和产业内部生产资源优化配置互相作用的变化过程,通过不断地调整变化实现资源配置最优和经济效益最大化状态。在研究过程中,“产业结构升级”、“产业结构调整”,“产业结构优化升级”等概念都有相似之处,本文不做具体区分。

目前为止,大多数学者对产业结构升级的衡量标准都统一为产业结构合理化和高级化。何德旭、姚战琪(2008)认为产业结构变动的本质就是生产要素在部门间的再配置,其对生产率的影响体现在高度化和合理化<sup>[59]</sup>。干春晖、郑若谷(2011)以及顾典、徐小晶(2020)都认为一个经济体的产业结构变迁包含了合理化和高级化两个方面<sup>[60-61]</sup>。产业结构合理化表现为产业之间的聚合程度以及资源配置的效率,经过生产要素在各部门之间的流转,产业结构由不合理状态向合理转变,实现均衡化合理化。产业结构高级化是指产业结构由低水平向高水平的动态演变,主要表现为以下三个方面:即第一、二产业逐步向第三产业转移,由劳动集聚、资本集聚到技术知识密集型集聚,由生产初级产品向生产最终产品转变。结合学者们对产业结构升级的定义,本文认为产业结构升级就是逐渐实现产业结构数量比例和内部质量的提高,主要从合理化和高级化两个维度进行度量。

### 2.1.3 生态效率

生态效率(Eco-efficiency)这一概念既关注经济发展也重视环境保护,体现了两者的协同发展。这一指标的提出,对于生态文明建设与可持续发展有着非常重大的战略意义,为世界各国和区域制定行之有效的发展政策提供了参考和科学依据。结合第一章对生态效率的文献梳理发现,各组织及国内外学者们对生态效率内涵的界定都有不同的理解,但究其本质都是少投入、少排放、多产出。因此,本文将生态效率定义为在特定区域内生态资源投入和环境破坏最小化前提下,实现经济产出最大化。生态效率衡量了资源利用率和经济产出的有效性,将资源投入、环境污染、经济发展纳入统一分析框架,相较于用简单的污染排放指标来衡量生态环境,内容更全面、更精准。

## 2.2 相关理论基础

### 2.2.1 环境规制相关理论

#### (1) 市场失灵理论

在现实的市场环境下,有多重因素导致资源配置效率低下,这些因素包括外部性、垄断、公共物品及不完全信息。马歇尔(1890)最早提出了“外部经济”一词,某一经济主体会对其他经济主体的福利产生溢出效应,这种溢出效应存在“外部经济”与“外部不经济”两种状态。显然,环境污染和生态破坏属于负的外部效应,此时,市场机制在解决资源配置问题时失灵,需要通过政府干预以弥补这一缺陷<sup>[62]</sup>。庇古(1920)提出对外部成本如“污染征税”(庇古税),将外部成本通过税收方式转变为私人成本,并且对正外部性的经济主体予以补贴,这一理论得到进一步完善<sup>[63]</sup>。科斯(1960)在《社会成本问题》一书中表明,外部性问题的核心在于产权不清晰。只要产权明确,通过市场交易就可以解决一部分问题。外部性理论为解决环境污染问题以及环境规制政策制定提供了理论依据。在经济发展过程中,人们不可避免地会对环境造成负担,产生外部不经济,单纯依靠市场的力量无法得到有效解决,需要政府与市场双管齐下,通过一定约束条件使外部性问题内部化,解决环境污染困境。

公共物品因其消费的非竞争性和非排他性,只能由政府根据社会成员的共同需求来提供。资源与环境是公共物品或公共资源的典型,人们在消费公共物品时,不需要支付相应的成本,做一个“免费乘车者”就可以使用公共资源。因此,政府需要强化监管,对公共资源采取私有化、强制性手段,拔高资源使用门槛。因此,市场失灵理论为环境规制政策提供了理论基础。

#### (2) 新古典经济学“遵循成本效应”和波特“创新补偿效应”

新古典经济学派的“遵循成本说”建立在外部性理论之上,主张政府控制企业的污染排放会导致企业生产成本增加,产生外部不经济。即企业在面对繁重的环境规制标准(规制成本)时,需要投入较多的资金去治理污染排放,生产成本的增加会部分或完全挤占用于研发投入、技术创新的资金,导致企业生产率下降,进一步丧失企业在市场上的创新力和竞争力。特别是高污染和小规模企业,规制成本过高会导致这类企业“关停并转”,不利于产业结构升级和经济增长。

1995年迈克尔·波特提出了“波特假说”，他认为不能将环境规制与经济发展视为简单的对立关系，合理有效的环境规制（例如环境税、污染排放许可交易机制等）能让企业意识到短期的污染排放不能获得长远利益，只有通过调整资源配置、主动进行技术创新，形成“先动优势”，才能从根本上提升企业竞争力。也就是说，这种技术创新带来的收益从长期来看可以部分或完全抵消因环境规制带来的短期治污成本，产生“创新补偿效应”<sup>[64]</sup>。在这种机制下，环境规制引致的技术创新必定会推动我国产业结构的优化和升级。

Porter和Linde（1995）的观点可以概括为以下五点：①环境规制让企业正视自身资源利用效率低下的问题，并通过政策导向分析技术改进的方向；②在国家宏观政策引导以及监管下，企业环保意识将得到提升；③政府为企业提供环保技术信息，缓解信息不对称和环境投资的不确定性；④环境规制可以保证企业处在一个公平的竞争环境中，企业不用通过规避治污成本去获得竞争优势；⑤环境规制迫使企业不断地技术创新，形成良性循环。

### （3）污染避难所假说

Copeland et al.,（1994）年提出“污染避难所假说”<sup>[65]</sup>，该理论基于国际贸易中的比较优势理论。发达国家为了保护本国的环境质量，通过自由贸易将污染密集型和高能耗产业转移至监管力度较为宽松的发展中国家，这些国家为了吸引外资被迫降低环境规制标准，成为了“污染避难所”。对于发达国家来说，不仅将污染密集型产业转移出去使本地区产业结构优化升级，还抢占了发展中国家的市场份额并进一步发展壮大产业链。对于发展中国家来说，一开始承接产业转移可以增加就业促进经济发展，产业结构呈现工业化。随着经济的不断发展，政府环保意识逐渐加强，会通过制定环境规制政策迫使当地污染密集型企业进行技术创新，产业结构实现转型升级。

## 2.2.2 产业结构升级相关理论

### （1）产业结构演进理论

十七世纪，威廉·配第首次发现收入差距与产业结构有关，产业产值由农业逐渐转移至工业和服务业，这一发现揭示了产业结构的演变规律<sup>[66]</sup>。1940年，科林·克拉克在配第的研究基础之上重点分析了劳动力投入产出层面的数据，他

发现劳动力转移方向与产业产值存在正向相关关系,即劳动力从低附加值产业流向高附加值产业<sup>[67]</sup>。1966年,美国经济学家西蒙·库兹涅茨沿着配第-克拉克定理对国民经济体系中的劳动力与GDP数据进行分析时发现:(1)第一产业中GNP比重逐渐降低,劳动力人数和劳动生产率也在下降;(2)第二产业中GNP比重逐渐上升,劳动力人数基本保持不变,劳动生产率在提高;(3)第三产业中GNP、劳动力人数及劳动生产率在不断攀升<sup>[68]</sup>。著名经济学家钱纳里深入分析发达国家的经济和工业化数据后发现,推动经济发展的关键因素正是产业结构升级,而人均国民收入是影响制造业的主要原因。他进一步将经济发展历程分为六个阶段,分别是前工业化阶段(农业为主)、工业初期(轻工业为主)、工业化中期(重工业为主)、工业化后期(第三产业为主)、后工业化阶段(技术密集型产业)、现代化(知识密集型产业)。罗斯托教授提出的“经济成长理论”六阶段与钱纳里的六阶段具有相似性,他主张主导产业可以通过回顾、旁侧与前向的扩散效应带动相关联产业的发展,换句话说,经济腾飞离不开主导产业的不断升级<sup>[69]</sup>。

## (2) 产业生态学理论

产业生态学是一门综合学科,囊括经济学、生态学与社会学等理论知识,以生态发展为视角,运用生态学方法体系,考察环境对产业系统带来的影响,为产业结构优化升级指明可能的改进方向。经济的迅猛发展给环境带来不可逆转的损害,党中央在十七大之后就高度重视生态环境保护,学界对自然系统与经济系统的研究热情也日渐高涨,丰富完善了产业生态学理论。产业生态学聚焦产业系统与生态系统的协同发展,产业生态学中的产业系统与传统的意义上的产业结构区别在于,将生态因素考虑进产业结构。在一个大环境中,整个产业系统形成一个物质内循环系统,各生产要素在内部流动和交换,实现资源的再利用,废物产出减少有效降低了对自然生态的破坏。因此,产业生态化的目标可以概括为:在物质生产过程中通过减少资源损耗、降低环境污染的同时,达到物质再循环、提高资源使用效率,实现可持续发展目标。产业生态学的实际应用体现在微观(企业)、中观(园区)、宏观(产业生态园区)层面,生态产业园可以实现园区间企业副产品交换和物质循环利用。鉴于上述产业生态化促进产业与生态的良性互动机制,政府要推行产业生态化奖惩措施,企业要重视清洁技术的研发,公众要加强

生态化理念，形成多方位监管体系保障产业与生态的协同发展。

### 2.2.3 生态效率相关理论

#### (1) 环境库兹涅茨曲线

美国经济学家 Kuznets 发现收入差距与经济增长之间有倒“U”型曲线的关系。基于这一假设，Grossman 和 Krueger 在《经济增长与环境》一书中提出环境库兹涅茨曲线假说，该假说分析了环境污染与经济增长之间的倒“U”型曲线关系：即一地区在经济发展水平较低时，收入水平的上升会使污染排放量增大，从而对环境质量造成严重破坏；当经济发展到一定水平时，收入水平的提高会缓解环境污染程度。此外，他还提出产业结构变化是环境库兹涅茨曲线成立的关键影响因素。国内学者也对环境库兹涅茨曲线展开了深入研究，顾典（2021）研究发现，环境库兹涅茨曲线在中国可能呈现“玛雅金字塔”形态<sup>[70]</sup>。葛艳芳，马骏等（2019）将长江经济带 33 个城市作为研究对象，通过新型 EKC 曲线验证了产业升级与生态效率之间存在“U”型曲线关系，库兹涅茨曲线存在<sup>[71]</sup>。由此可见，环境库兹涅茨曲线假说在环境保护与经济发展领域具有很重要的理论研究价值，在理论层面也对环境规制与产业结构升级之间的关系具有指导意义。环境库兹涅茨曲线假说揭示了一个重要的道理：虽然经济发展与环境污染之间存在倒“U”型曲线关系，但生态承载力是有限的，黄河流域在发展初期大力发展工业经济破坏了生态环境，需要花费大量人力、物力以及财力去修复的。此时，政府的环境规制政策应运而生，只有出台相关环境规制的政策手段进行干预，在环境阈值范围内发展经济，才能实现共赢。

#### (2) 可持续发展理论

在可持续发展理论产生之前，人们重点关注的是经济产出，忽视了环境保护的重要性，随着资源枯竭与环境破坏问题愈加严重，人们开始思考经济、社会与环境间的长足发展，可持续发展理念引起了更多学者的注意。它的目标是既考虑当代人的生活需求，也要保障后代的需要，包括了经济、社会与生态的共同可持续发展。经济可持续关注经济发展的量和质；社会可持续关注公平；生态可持续关注生态承载力。可持续发展还具备了公平性、共同性和持续性，即人们应当共同承担起保护生态的责任，实现经济、人类社会、生态环境的可持续发展，保证

主体间、当代与后代的需求与权利平等。可持续发展理论指明了生态效率的本质，为研究黄河流域生态效率提供了理论基础。

## 2.3 环境规制视角下产业结构升级影响生态效率的作用机理

环境规制通过增加企业污染治理投资成本，排除一部分高污染高耗能企业，保证了在位企业的质量和数量，落后企业的退出必然会对产业结构产生积极影响。长期来看，激发企业主动技术改革与创新，产生“创新补偿”效应，进而对产业结构升级产生影响，推动经济与产业发展绿色生态化。与此同时，加强环境规制也会改变消费者的消费倾向、投资者的投资倾向，需求结构调整带动产业生产方向的调整。在需求结构、企业准入和技术创新的共同调节下，产业结构的升级提高了资源配置效率和使用效率，最终提升区域生态效率。

### 2.3.1 产业结构合理化对生态效率的影响

产业结构合理化过程具有动态特征，通过生产要素在产业间与产业内部间的重新配置（要素重组）来优化产业体系的协调度，产生协调效应与集聚效应提高资源的配置效率和利用效率。也就是说，产业结构合理化经由要素重组、产业间结构协调、功能集聚影响区域生态效率。

要素重组效应使得投入要素在重组过程中产生两方面的影响。一是在“资源配置论”下，生产要素在各部门间以及部门内部间不断地调整，形成要素最优组合。这一过程是动态的经济增长与资源优化配置互促过程，最终实现产业间聚合质量提高、结构趋向合理化，资源能源达到高效率配置、高效率利用、低损耗状态，整体上改善生态环境质量；二是生产要素遵循低生产率部门-高生产率部门、低附加值-高附加值的规律，生产率提高后经济产出会增加，产生“结构红利”。

产业结构的协调要求产业需求与供给结构相辅相成，需求结构会受经济的影响时刻变化，此时要求三大产业能够灵活应对。一方面，通过生产要素的流动与资源的重新配置，使产业之间比例关系与生产要素分配相适应，供给方调整自己的供给结构与投资结构以满足消费结构的变化，从不合理状态调整至合理状态，促进经济的健康发展；另一方面，在可持续发展理念下，生产要素也逐渐向环保集约型产业转移，使资源的开发利用更加合理高效，达到社会发展与资源优化良

性循环，改善生态环境。

以降低生产成本，提高资源利用效率为目的，企业间通过加强沟通，推动形成产业集聚，产生集聚效应。因此，在一定程度上可以说集聚是一种必然现象，也是实现生态文明建设的重要途径。集聚效应可通过规模经济、资源共享，知识交换等途径，带来外部经济，改善生态效率。规模效应不仅可以减少商品单位生产成本，且同一行业劳动力的集聚，有利于地区内部专业化劳动分工形成，还能降低劳动力搜索成本，促使企业的生产经营更专业化、集中化，提升企业经营绩效，实现更好的经济效益。集聚效应给周边地区带来资本、劳动、先进装备、信息与技术的共享成果。经济发展落后地区可以受到发达地区带来的正向辐射，促进资源使用效率，减少资源能源的损耗、闲置，能够缓解环境污染。由此，生产率得到了进一步的提高。知识交换是指专业化劳动分工有助于加速劳动力在企业之间的配置效率与流动速度，通过劳动力交换来促进知识与技术交流，在学习吸收先进技术后，达到正向外溢效果，由此促进区域生态效率的提高。

因此，提出假设 1：产业结构合理化正向影响生态效率。

### 2.3.2 产业结构高级化对生态效率的影响

产业结构高级化主要表现为主导产业和支柱产业的不断更替、新旧技术革新以及传统工业内部转型升级，通过这三个途径增加经济产出、提升资源配置效率、减少污染物排放从而促进生态效率改善。

从主导产业的更替来看，第三产业带来的经济增长效应已被学者们广泛认可，要素的逐利性决定了生产要素将逐渐向第二、三产业转移，以此增强第三产业（例如服务业、技术密集型产业）对整个产业体系的经济贡献度。可见，产业重心从劳动密集型向资本密集型和技术密集型转移，形成主导产业的不断更替，使得金融、信息等第三产业和咨询、人工智能和新能源等新兴产业逐步发展壮大，推动新一轮经济增长，最终提高社会整体经济产出。此外，主导产业的优化升级使得经济社会整体资源配置效率以及能源的有效利用程度得到提高，高附加值产业与环境友好型产业比例增加也会显著减少污染物排放，生态效率得到了改善。

从新旧技术革新来看，一方面，现代信息技术与技术进步催生新产业以及高新企业的发展，当生产部门将先进的技术用于生产时，取代了传统意义上的生产

要素（资金、人力等），企业生产率和资源利用率自然而然提高，对生态的破坏较小。而生产率较低的传统产业将面临转型升级或被淘汰，整个社会的资源能源利用结构得到优化。也就是说，技术创新在推进资源优化配置过程中起着至关重要的作用，改变了高耗能、高污染企业不合规的生产方式，产业结构向环境友好和绿色环保型转变；另一方面，当某些部门掌握了技术密码和专利知识，就能提升自己的核心竞争力。这些生产部门的快速发展必然会带来相关产业和新兴产业的蓬勃旺盛，规模不断扩大，通过部门间的关联效应改变其他产业的低层次形态，带动消费与生产需求。

从传统工业内部转型升级来看，黄河流域能矿资源丰富，通过先进的绿色技术改进生产工艺和落后设备，使得生产流程趋于清洁化。一方面，对资源循环利用和环境保护产生积极影响；另一方面，降低了生产成本并提升了产品质量，在绿色市场上的地位、竞争力和企业利润都能得到改善。

综上所述，本文提出假设 2：产业结构高级化正向影响生态效率。

### 2.3.3 环境规制通过调节产业结构升级影响生态效率的作用机理

环境规制主要是通过需求结构、企业准入、技术创新渠道发挥调节作用。从需求结构角度来看，消费者越来越重视环保产品，对于“非绿色”产品的需求下降。生产者和投资者为适应消费需求的变化，转而生产或投资高技术、环保型产品。在此过程中，资源向环境友好型产业流动，一方面这些产业降低了能源资源损耗，非期望产出随之减少；另一方面，绿色环保型产业的兴起成为经济增长新动力，推动产业结构和经济健康发展。从企业准入角度来看，一方面，政府为了经济绿色可持续发展，对绿色产业和高新技术企业给予税收优惠和补贴，使产业内部往清洁化、绿色化方向转变，生产资源必然流向这类环保新兴产业，使资源配置更加合理；另一方面，对已进入市场的传统产业实施严厉的监管，迫使企业淘汰落后产能，提高了能源资源的配置效率。从技术创新角度来看，由于地区间产业结构具有关联性，同一行业或产业会在地理和功能上产生集聚。企业间会通过技术交流、资源共享共同成长，整个行业的生产率得到提高，资源利用率也得到提升，最终降低能源消耗、提高区域生态效率。

因此，提出假设 3：环境规制在产业结构合理化对生态效率的影响中起到调

节作用。

环境规制主要是通过需求结构、企业准入、技术创新渠道发挥调节作用。从需求结构角度来看,随着国家制定的环境规制政策日渐完善和多样化,平均受教育程度也在逐年提高,这意味着在正式与非正式环境规制下,公众环保理念变得更清晰化,消费观念逐渐转向绿色环保型产品,需求规模的改变和扩大使得新产业取代旧产业,推动产业结构趋向高级化。从企业准入角度来看,政府为了发展生态友好型产业,会对企业实施严格的排污环保标准,通过拔高门槛筛选优质企业,对传统产业和高污染、高能耗产业形成“绿色壁垒”,从而减少“三高”企业和产业的比重,改变能源消耗结构,促进产业结构的高级化。有助于降低污染密集型产业或行业的占比,带来能源消费结构的变化,推动产业结构高级化。从技术创新角度来看,技术创新是经济可持续发展的内在动力。“波特假说”的核心观点认为环境规制引致的技术创新,必然会间接地推动产业结构的优化和升级。环境规制的实施在一定程度上会给企业施加适当的压力,尽管短期内造成治污成本上升,但最终会倒逼企业进行技术创新,通过技术进步使原产业转型升级并催生新技术和新产业,激发企业的创新补偿效应。长期来看,这一效应不仅弥补了生产成本的增加,还可以产生技术溢出效应,经济体系中的各个行业会因科技进步的普及和推广去改变自己的生产结构,并依靠主导产业的扩散效应不断推动产业结构高级化。

因此,提出假设 4: 环境规制在产业结构高级化对生态效率的影响中起到调节作用。

### 3 黄河流域环境规制、产业结构升级与生态效率趋势分析

西部大开发战略促进区域经济又快又好发展的同时,给自然环境带来严峻挑战。本章将从黄河流域整体层面和区域层面对环境规制政策、环境规制强度、产业结构升级和生态效率演变趋势做详尽描述。本文参照有关学者的研究(杨玉春,岳立;2021)<sup>[41]</sup>,将黄河流域9省区分组:上游(青海、四川、甘肃、宁夏)、中游(山西、陕西、内蒙古)、下游(河南、山东)。

#### 3.1 环境规制政策分析

随着黄河流域生态保护与高质量发展上升到国家战略高度,环境规制政策也受到越来越多的重视。本节将梳理2012年党的十八大以来黄河流域和地方主要的政策法规,简要概括近年来环境规制政策在黄河流域的实施状况。

2012年党的十八大将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局。《关于全面推进资源税改革的通知(2016年)》补充完善了市场型环境规制。2015年出台了《环境保护法》,该法案提出实行排污许可证管理制度,加强了对企业环境违法行为的处罚力度,并形成了更为全面的监督体系。2016年“十四五”规划指出要推动黄河流域健全生态补偿机制建设,积极开展横向补偿,鼓励社会各方共同参与生态治理。2021年河南省发布了《关于促进黄河流域生态保护和高质量发展的决定》,文件指出要制定流域污染排放地方标准,加强农业源污染防治,实施环保责任险制度。2021年《甘肃省黄河流域生态保护和高质量发展规划》指出,要密切关注上游的水源涵养功能、加强陇中、陇东地区水土保持、强化防控意识,持续推进环境综合治理、建设特色优势现代产业体系。2022年生态环境部等印发《黄河流域生态环境保护规划》,提出要建立绿色产业体系,关注水环境修复问题,强化地区合作,促进减污降碳协同增效。《中华人民共和国黄河保护法(2022年)》规定严格按照职责分工,建立健全黄河流域水资源生态保护与修复制度;强化农业工业水资源的节约集约利用;鼓励加强协同创新,发挥科技引领作用;严防“三高”项目在黄河沿线开展,对高污染高排放行业及企业实施清洁化改造。2022年《陕西省黄河流域生态保护和高质量发展规划》提出要改善能源利用结构,以生态保护为优先,倡导绿色生产与消费。为治理好渭河

流域建立创新体制机制，打造“标杆河流”。2022年《山西省黄河流域生态保护和高质量发展规划》提出要加强“两带两屏”区生态建设力度，实现环境综合治理；加快传统产业绿色化转型，推动产业高层次高质量发展，为建设重要实验区夯实基础。2022年《内蒙古自治区黄河流域生态保护和高质量发展规划》提出要推进环境污染系统治理，重点治理水环境污染、做到水资源的节约集约利用。2022年《黄河青海流域生态保护和高质量发展规划》提出要承担好源头责任和干流担当，调整好水资源利用结构，把提升水涵养能力作为重中之重，发展绿色清洁产业，坚持走绿色发展路子。2022年《宁夏回族自治区建设黄河流域生态保护和高质量发展先行区促进条例》突出生态优先发展战略，要根据实际情况制定有针对性的政策，加强全方位污染治理形成生态友好型产业结构。2022年《四川省黄河流域生态保护和高质量发展规划》中指出提升水源涵养功能、保障水安全、提升环境污染综合治理能力、发展特色生态产业。2023年《山东省黄河生态保护治理攻坚战行动计划》计划要加强河口海湾污染防治、工业污染治理、推进污水污泥处置利用等。

从近几年出台的政策方针可以看出，国家、黄河流域以及各省区从各方面提出环境保护的综合性方案，使规制工具与手段更加多样化，将“绿水青山就是金山银山”的发展理念根植在心中。

## 3.2 环境规制强度分析

环境规制的强度体现在环境治理资金投入和规制效果上，即污染治理投资额和主要污染物排放量。因此，本小节对黄河流域环境规制强度的衡量，也将从这两方面进行。主要工业污染物排放量是衡量环境污染程度最常用、最具代表性的指标，可以客观反映环境污染现状，工业环境污染治理投资总额是环境监管的衡量指标之一，一定程度上体现了政府对环保和治污投入。

### 3.2.1 环境污染物排放量

#### （1）工业化学需氧量排放量

2000-2020年黄河流域及上、中、下游地区的工业化学需氧量排放量均值为126151.485吨、95865.506吨、99314.054吨和226979.588吨。由图3.1可知，从

趋势来看,研究期间各区域的工业化学需氧量排放量处于波动下降状态。黄河流域 2000 年工业化学需氧量排放量为 240877.222 吨,2020 年排放量为 13377.889,年均降幅 13.5%,上游地区 2000 年工业化学需氧量排放量为 190982.5 吨,2020 年为 8737 吨,年均降幅 14.3%,中游 2000 年工业化学需氧量排放量为 7675 吨,2020 年为 149605.667 吨,年均降幅 13.8%,下游 2000 年排放总量为 477574 吨,2020 年为 31214 吨,年均降幅 12.7%。在 2011 和 2016 年出现大幅下降后处于平稳状态。随着污水处理技术的应用,各地区配合严格执行水污染控制规章制度,可以看到工业化学需氧量排放总量不断减少,水污染现象逐年好转。



图 3.1 2000-2020 年黄河流域分区域工业化学需氧量排放量均值的变化趋势

由图 3.2 可以看出,山西、内蒙古、山东、河南、四川、陕西、宁夏在 2000-2020 年期间,工业化学需氧量排放量逐年下降,在 2020 年达到最低状态。第一阶段:在 2000-2010 年间,山东、河南、四川减排力度是 9 省区中最强的,可见这三省对环境污染的重视程度,而青海相反,排放量增大 23.97 倍,在经济发展过程中忽略了环境保护,导致环境污染严重,政府应敲响警钟,严格执行污染减排政策,加大监管力度,同时注重清洁技术的创新与应用。第二阶段:2010-2020 年,9 省的工业化学需氧量排放量明显下降,证明环境污染治理有所改善,环境质量向好发展。

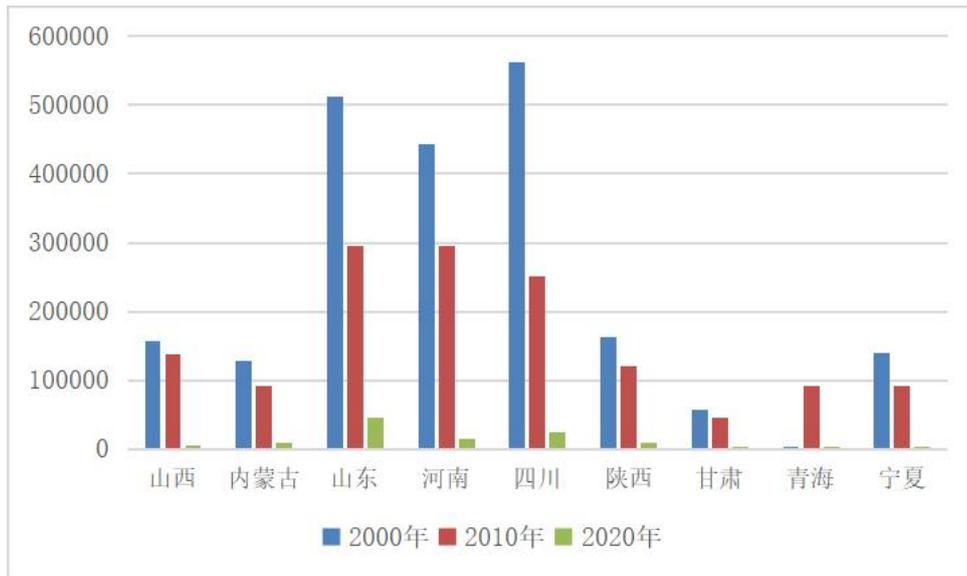


图3.2 黄河流域各省工业化学需氧量排放量 (吨)

### (2) 工业二氧化硫排放量

2000-2020年黄河流域及上、中、下游地区的工业二氧化硫排放量均值为655300.754吨、362562.153吨、785139.220吨和1046020.257吨。图3.3显示，在整个走势上呈“上升-下降-上升-下降-平稳”趋势。发展初期，黄河流域为提高生产总值，大肆破坏环境，工业二氧化硫排放量持续上升，发展中期波动下降，到发展后期，排放量骤减，达到较为理想的状态。2000年黄河流域整体工业二氧化硫排放量为630143.129吨，2020年排放量为101981.152吨，年均降幅8.7%，上游、中游、下游地区2000年工业化学需氧量排放量分别为375068.398吨、654242.857吨和1104143吨，2020年分别为74403.997吨、136797.130吨及104911.495吨，年均降幅分别为7.8%、7.5%以及11.1%。纵向看，2016年工业二氧化硫排放量总大幅降低，随后保持平稳。得益于国家出台的《生态文明体制改革总体方案》以及“十三五”生态环保规划政策助推大气污染治理进程，大气环境质量取得积极成效。

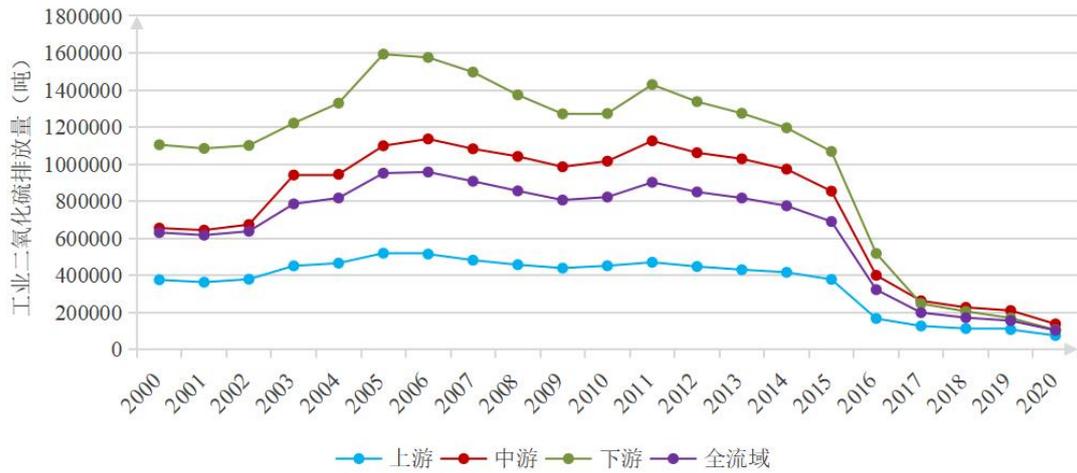


图 3.3 2000-2020 年黄河流域分区域工业二氧化硫排放量均值的变化趋势

由图 3.4 可以看出，黄河流域各省区在 2000-2020 年期间，工业二氧化硫排放呈倒“U”型曲线。第一阶段：在 2000-2010 年间，山东、四川工业二氧化硫排放总量减少但基数仍然很大，其余 7 省市都是上升状态。第二阶段：2010-2020 年，上游地区的甘肃、青海、宁夏治污能力和环境污染排放监管有待加强，排名倒数，河南工业二氧化硫排放量下降 95%，排名第一。从空间上来看，山东每年的工业二氧化硫排放量均远高于其他 8 个省区，山西、内蒙古、河南的工业二氧化硫排放量也高于其他省区，陕西和四川的排放量比甘肃、青海、宁夏高，青海的排放量最低。我们可以发现，黄河流域东部地区的工业二氧化硫排放量较高，越往西逐渐减少。



图 3.4 黄河流域各省工业二氧化硫排放量 (吨)

### (3) 一般工业固体废物产生量

2000-2020 年黄河流域上、中、下游地区及全流域的一般工业固体废物产生量均值分别为 6119.769 万吨、16204.512 万吨、14432.92 万吨和 11313.899 万吨。图 3.5 展示了黄河流域上、中、下游地区以及全流域一般工业固体废物产生量的变化趋势。从趋势上看，都呈现出波动中上升趋势，到 2020 年开始下降。2000 年全流域一般工业固体废物产生量 3217.919 万吨、2020 年 19260.161 万吨，年均增长率为 9.4%，上游地区 2000 年一般工业固体废物产生量为 1808.55 万吨、2020 年为 10703.85 万吨，年均增长 9.3%，中游 2000 年产生量为 4231.693 万吨、2020 年 30060.683 万吨，年均增长 10.3%，下游地区 2000 年产生量为 4515.995 万吨、2020 年为 20172 万吨，年均增长 7.8%。

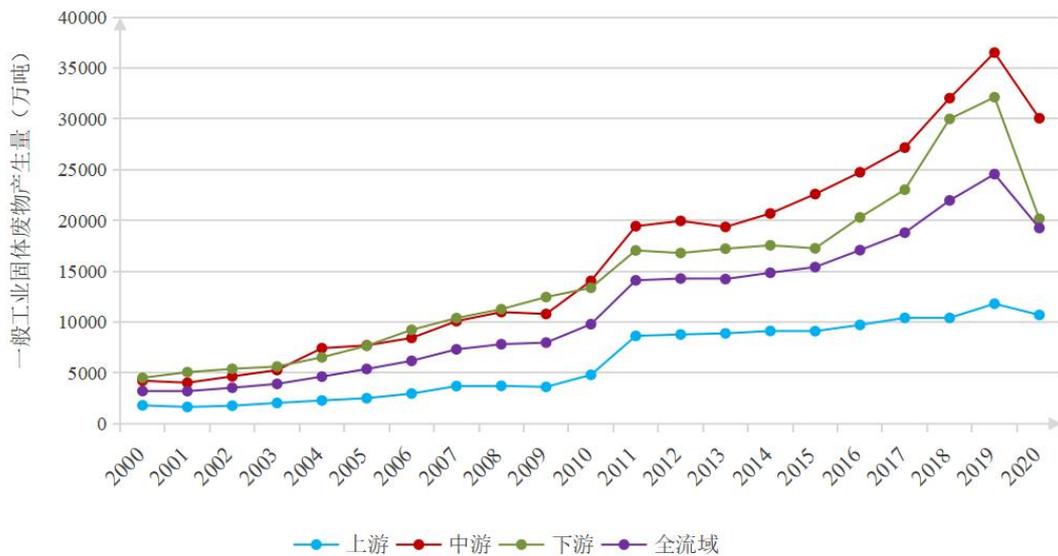


图 3.5 2000-2020 年黄河流域分区域一般工业固体废物产生量均值的变化趋势

从图 3.6 上我们可以得知，黄河流域 9 省区这 20 年间一般工业固体废物产生量一直处于上升趋势，在 2020 年有所下降。2020 年一般工业固体废物产生量最大的是山西，高达 42635 万吨，并且根据图示我们可以看出山西主要年份的固体废物产生量都高于其他的省区。这源于山西煤炭资源丰沛，在开采和加工过程中产生大量的工业固体废物；其次为内蒙古和山东，分别为 35117 万吨和 24989 万吨，内蒙古从后十年开始固废产生量超过了山东。青海的固废产生量在 2010

年以前一直较低，但在 2010 年之后有了明显增长。宁夏地区在调查期内呈小幅增长，但总体保持在一个很低的水平。从 2010 年-2020 年增长速度来看，排名第一的是青海省，增长了 7.82 倍，增长最慢的是四川，增长了 0.33 倍。青海省要提高重视，建立健全固体废物环境监管体系，同时提高固体废物利用处置能力，推动西宁市“无废城市”试点建设。



图 3.6 黄河流域各省一般工业固体废物产生量（吨）

### 3.2.2 环境污染治理

工业发展过程中产生大量的环境污染物，危害生态系统。工业污染治理投资完成额用于治理这些废弃物，投入额度越高能更好的实现生态文明建设，有利于经济的健康发展。

2000 年黄河流域工业污染治理投资完成额总额为 702332 万元，截至 2020 年增长到 1639922 万元，增长近 2.33 倍，说明黄河流域近些年来逐渐重视环境保护和治理。图 3.7 展示了 2000-2020 年各省区工业污染治理完成投资平均额，山东的投资额一直位于第一并超过了黄河流域平均投资水平，远高于黄河流域其他 8 个省区，反观青海的投资额却一直不理想。对各省年均工业污染治理完成投资额从高到低依次排序，结果为：山东、山西、河南、内蒙古、陕西、四川、甘肃、宁夏、青海。可以看出，黄河流域东部投资额高于西部，呈现“东高西低”趋势。

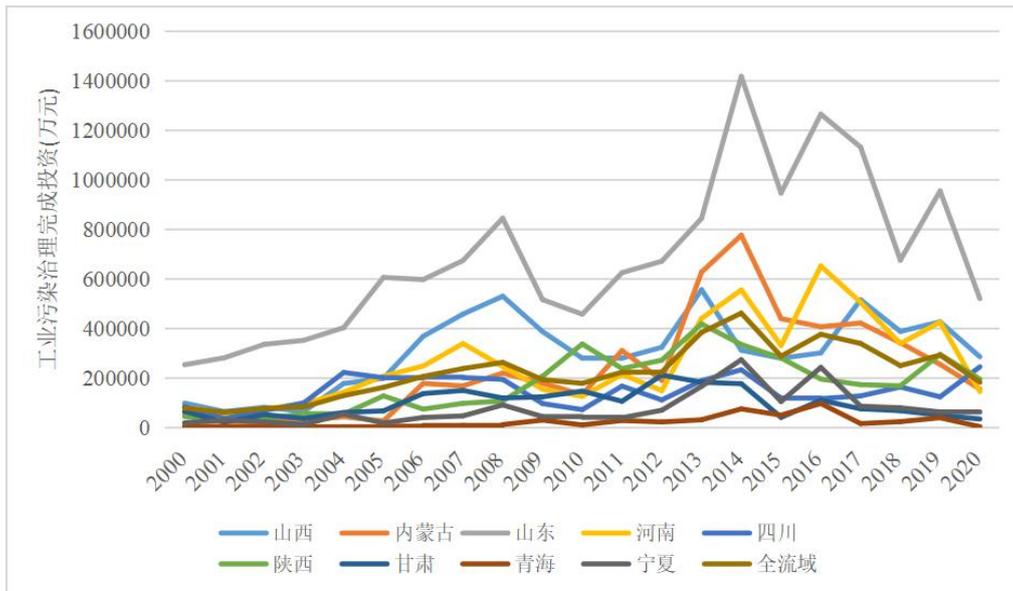


图 3.7 2000-2020 年黄河流域各省工业污染治理投资完成额的变化趋势

### 3.3 产业结构升级趋势分析

#### 3.3.1 产业结构合理化测度与分析

##### (1) 产业结构合理化测度

从结构协调论出发，产业结构合理化（IR）是一种测量要素投入结构与产出结构的匹配程度的方法，用以表示投入产出比。学术界通常用产业结构偏离度系数以及泰尔指数来度量，公式如下：

$$E = \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i/Y}{L_i/L} - 1 \right| \quad (3.1 \text{ 式})$$

其中，Y 是总产值，L 为就业人口总数，i=1、2、3 代表一、二、三产。Y<sub>i</sub>/Y 表示产业结构，L<sub>i</sub>/L 为就业结构。E 越小，表明产业结构越合理，E 越大，表明越不合理，当 E=0，经济达到均衡。由于产业结构偏离度系数没有考虑各产业对经济发展的贡献程度，干春晖（2011）提出了泰尔指数来衡量产业结构合理化，这一指标既考虑了产业权重，又避免了绝对值计算<sup>[6]</sup>，泰尔指数如下：

$$T = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left( \frac{Y_i/L_i}{Y/L} \right) \quad (3.2 \text{ 式})$$

Y<sub>i</sub>/L<sub>i</sub> 表示第 i 产业的劳动生产率，T 为 0，代表经济达到均衡状态。但泰尔

指数忽略了绝对值的影响,可能会导致偏差抵消,产生“假合理”情况<sup>[72]</sup>。因此,本文借鉴韩永辉,黄亮雄,王贤彬(2016)的做法<sup>[36]</sup>,产业合理化指数计算公式为:

$$IR = 1/R, \text{ 其中: } R = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{Y} \left| \frac{Y_i/L_i}{Y/L} - 1 \right| \quad (3.3 \text{ 式})$$

其中,IR表示产业结构合理化水平,分母为含有各产业权重的产业结构偏离度的加权和。IR值越大,表明产业结构越合理;反之,越不合理。

## (2) 产业结构合理化指数分析

如表3.1所示,黄河流域2000-2020年产业结构合理化均值为1.576,还有进一步提升空间。研究期间,产业结构合理化指数整体逐年稳步上升,表明产业结构合理化程度在提升,由2000年的1.162到2020年的2.643。在2001年、2005年和2010年出现了负增长,分别为-2%、-2%、-3%,下降幅度较小且通过及时调整要素投入和产出之间的比例关系,实现了正增长。

表 3.1 2000-2020 年黄河流域各省区产业结构合理化指数

地区	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
山西	1.394	1.334	1.314	1.270	1.270	1.195	1.237	1.191	1.178	1.322	1.193
内蒙古	1.438	1.367	1.273	1.178	1.170	1.111	1.047	1.124	1.177	1.196	1.050
山东	1.240	1.285	1.316	1.343	1.365	1.416	1.465	1.561	1.657	1.798	1.957
河南	0.905	0.934	0.929	0.932	1.052	1.108	1.138	1.267	1.329	1.479	1.581
四川	1.380	1.386	1.464	1.455	1.483	1.402	1.440	1.595	1.606	1.579	1.605
陕西	0.967	0.949	0.956	1.037	1.042	1.080	1.030	1.086	1.137	1.414	1.591
甘肃	1.038	1.034	1.023	1.023	1.038	0.782	0.745	0.712	0.715	0.745	0.702
青海	1.068	0.933	1.002	1.090	1.246	1.268	1.372	1.582	1.586	1.680	1.820
宁夏	1.028	1.067	1.108	1.227	1.263	1.337	1.423	1.336	1.439	1.748	1.030
上游	1.128	1.105	1.149	1.199	1.257	1.197	1.245	1.306	1.337	1.438	1.289
中游	1.266	1.217	1.181	1.162	1.160	1.129	1.105	1.134	1.164	1.310	1.278
下游	1.073	1.110	1.123	1.138	1.208	1.262	1.302	1.414	1.493	1.638	1.769
全流域	1.162	1.143	1.154	1.173	1.214	1.189	1.211	1.273	1.314	1.440	1.392

续表 3.1 2000-2020 年黄河流域各省区产业结构合理化指数

地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	均值
山西	1.207	1.419	1.745	1.719	2.332	2.539	2.301	2.365	2.392	2.797	1.653
内蒙古	1.291	1.479	1.615	1.708	1.777	1.807	1.823	1.825	1.743	1.586	1.418
山东	2.103	2.283	2.459	2.631	2.794	2.927	3.075	3.247	3.460	3.697	2.147
河南	1.683	1.802	1.978	2.089	2.357	2.669	2.972	3.326	3.510	3.866	1.853
四川	1.682	1.767	1.783	1.892	2.013	2.186	2.316	2.383	2.471	2.689	1.789
陕西	1.659	0.561	0.635	0.705	0.821	0.891	0.940	0.945	1.085	1.914	1.069
甘肃	0.713	0.750	0.809	0.849	0.941	1.002	1.055	1.082	1.139	1.665	0.932
青海	1.946	2.123	2.129	2.177	2.218	2.180	2.118	2.091	2.165	2.881	1.746
宁夏	1.015	1.161	1.383	1.704	1.908	2.031	2.241	2.435	2.569	2.689	1.578
上游	1.339	1.451	1.526	1.656	1.770	1.850	1.933	1.998	2.086	2.481	1.511
中游	1.385	1.153	1.332	1.377	1.643	1.746	1.688	1.712	1.740	2.099	1.380
下游	1.893	2.042	2.218	2.360	2.576	2.798	3.023	3.287	3.485	3.781	2.000
全流域	1.478	1.483	1.615	1.719	1.907	2.026	2.093	2.189	2.282	2.643	1.576

如图 3.8 所示,从省域来看,黄河流域 9 省区产业结构协调度越来越高,生产要素在部门间和部门内的配置趋向更合理,能源资源利用率逐步提升。黄河流域各省市合理化均值由高到低依次排序为:山东(2.147)、河南(1.853)、四川(1.789)、青海(1.746)、山西(1.653)、宁夏(1.578)、内蒙古(1.418)、陕西(1.069)、甘肃(0.932),表明山东、河南、四川等地产业结构合理化程度较好,主要是由于这三省的经济的发展较好,第三产业投入资本大,劳动生产率较高。

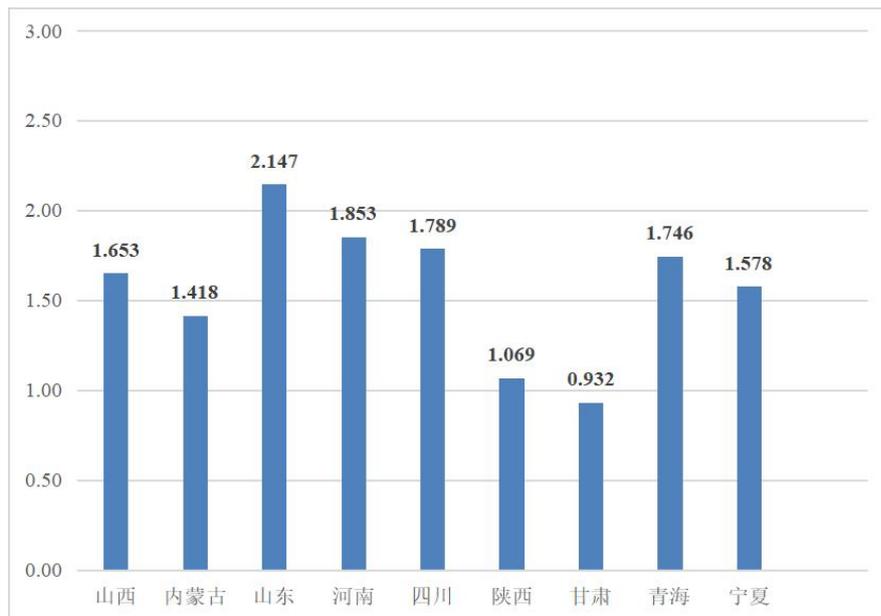


图 3.8 2000-2020 年黄河流域各省产业结构合理化指数均值

位于黄河流域产业结构合理化均值以下的省份有内蒙古、陕西和甘肃，由于自然地理因素，农牧业一直是主要产业，劳动力就业人数始终较高，加上近年来旅游产业的发展使得第三产业的就业人数也在上升，就业结构呈现“两头大、中间小”的趋势，而产出结构是“两头小、中间大”，综合之下产业结构合理化程度较低。截至2020年，河南（3.866）最高、内蒙古（1.586）最低，差距显著。

由图3.9可知，从区域层面看，三大流域在2005年之前差异不大，05年之后逐步拉开差距，整体呈上升态势。下游地区合理化指数增长快速且一直居首位，上游次之，中游最低。上游与中游增长速度大体相似，而下游明显高于上游、中游地区，差距愈来愈大，带动了整个黄河流域的产业合理化程度的提升。这表明产业结构合理化程度与地区资源禀赋、生产要素配置水平息息相关，因此，各省区要了解本省优劣势，制定差异化政策促进产业结构协调、均衡发展。

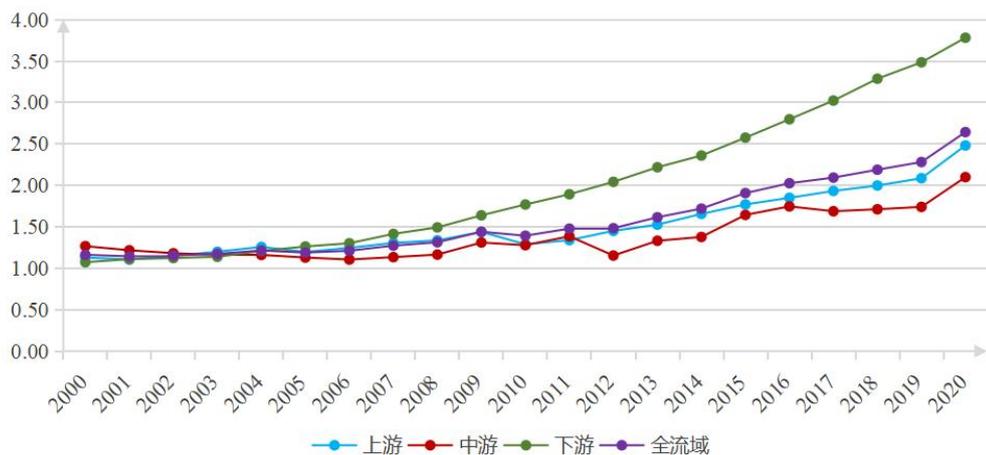


图 3.9 2000-2020 年黄河流域分区域产业结构合理化指数

### 3.3.2 产业结构高级化测度与分析

#### (1) 产业结构高级化测度

产业结构高级化 (IA) 在经济发展过程中表现为产业重心向第三产业、知识与技术密集型产业的转移。已有研究对产业结构高级化的测度方法包含产业比例关系与劳动生产率的乘积、产业产值占 GDP 比重，第三产业增加值/第二产业增加值等，这些指标仅反映产业结构变动的情况。本文借鉴徐敏 (2015) [73] 的研究选择产业结构层次系数法，它反映了产业间相对结构的变动以及产业结构升级状

态。对第一产业的系数赋值为 1、第二产业赋值为 2、第三产业赋值为 3，如公式 3.4 所示：

$$IA = \sum_{i=1}^n i * \frac{Y_{it}}{Y_t} \quad (3.4 \text{ 式})$$

其中， $i=1、2、3$ ， $t$  是年份； $IA$  代表产业结构层次系数，其值介于 1-3； $Y_{it}/Y_t$  表示第  $t$  年第  $i$  产业总产值占 GDP 的比重， $IA$  在 1 附近表示产业结构高级化程度越低，越接近 3 表示产业结构越高级，第三产业的占比较高。

## (2) 产业结构高级化指数分析

如表 3.2 和图 3.10 所示，2000-2020 年黄河流域产业结构高级化均值为 2.28，产业高级化水平还有提升空间。二十年发展历程中，黄河流域产业结构高级化指数整体在波动中上升，由 2000 年的 2.181 上升到 2020 年的 2.413，这说明黄河流域经济发展重点向第三产业转移，产业结构不断升级优化。

表 3.2 2000-2020 年黄河流域各省区产业结构高级化指数

地区	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
山西	2.278	2.292	2.267	2.259	2.238	2.311	2.306	2.306	2.300	2.327	2.311
内蒙古	2.102	2.131	2.148	2.156	2.135	2.243	2.242	2.232	2.216	2.285	2.269
山东	2.206	2.219	2.233	2.227	2.207	2.214	2.229	2.237	2.239	2.252	2.274
河南	2.078	2.091	2.104	2.144	2.114	2.121	2.134	2.155	2.140	2.151	2.145
四川	2.104	2.159	2.171	2.171	2.164	2.183	2.193	2.172	2.159	2.207	2.207
陕西	2.223	2.248	2.247	2.261	2.235	2.259	2.245	2.239	2.219	2.290	2.266
甘肃	2.159	2.165	2.175	2.172	2.153	2.248	2.248	2.241	2.245	2.255	2.228
青海	2.275	2.277	2.285	2.291	2.264	2.273	2.266	2.252	2.232	2.270	2.249
宁夏	2.202	2.218	2.219	2.214	2.197	2.298	2.284	2.272	2.253	2.323	2.322
上游	2.185	2.205	2.213	2.212	2.195	2.251	2.248	2.234	2.222	2.264	2.252
中游	2.201	2.224	2.221	2.225	2.203	2.271	2.264	2.259	2.245	2.301	2.282
下游	2.142	2.155	2.169	2.185	2.161	2.168	2.182	2.196	2.190	2.202	2.210
全流域	2.181	2.200	2.205	2.211	2.190	2.239	2.239	2.234	2.223	2.262	2.252

续表 3.2 2000-2020 年黄河流域各省区产业结构高级化指数

地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	均值
山西	2.293	2.329	2.339	2.383	2.470	2.494	2.471	2.490	2.466	2.460	2.352
内蒙古	2.258	2.263	2.270	2.303	2.314	2.348	2.397	2.403	2.388	2.373	2.261
山东	2.295	2.314	2.325	2.354	2.374	2.394	2.413	2.430	2.458	2.460	2.303
河南	2.167	2.182	2.194	2.252	2.288	2.312	2.340	2.363	2.395	2.390	2.203
四川	2.194	2.207	2.220	2.263	2.314	2.353	2.382	2.404	2.421	2.410	2.241
陕西	2.250	2.252	2.252	2.280	2.319	2.336	2.344	2.351	2.379	2.392	2.280
甘肃	2.256	2.264	2.270	2.308	2.352	2.377	2.426	2.438	2.429	2.418	2.277
青海	2.230	2.236	2.229	2.276	2.328	2.342	2.375	2.378	2.405	2.395	2.292
宁夏	2.322	2.334	2.333	2.355	2.363	2.378	2.395	2.404	2.430	2.415	2.311
上游	2.251	2.260	2.263	2.301	2.339	2.363	2.395	2.406	2.421	2.410	2.280
中游	2.267	2.281	2.287	2.322	2.368	2.393	2.404	2.415	2.411	2.408	2.298
下游	2.231	2.248	2.260	2.303	2.331	2.353	2.377	2.397	2.427	2.425	2.253
全流域	2.252	2.265	2.270	2.308	2.347	2.371	2.394	2.407	2.419	2.413	2.280

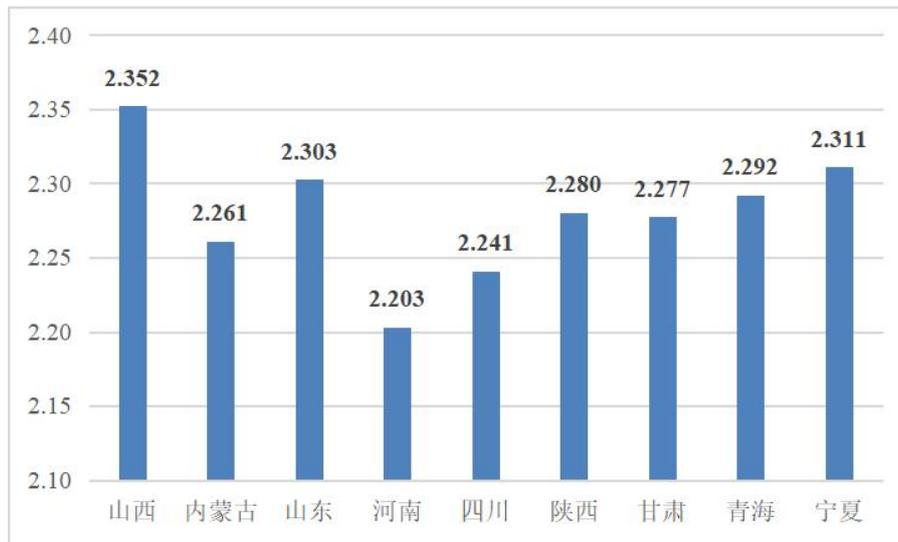


图 3.10 2000-2020 年黄河流域各省产业结构高级化指数

从省域来看，黄河流域 9 省区产业结构都有不同程度的提升，但增速较慢。2000-2020 年间，9 省区的产业结构高度化水平由高到低依次排序为：山西（2.352）、宁夏（2.311）、山东（2.303）、青海（2.292）、陕西（2.280）、甘肃（2.277）、内蒙古（2.261）、四川（2.241）、河南（2.203）。山西近年来整合农业优质资源，往优质现代化农业方向发展，并且大力发展旅游业，推动科技并行。青海、甘肃地区第二产业发展底子薄，很大程度上依赖旅游业等服务型

产业来推动经济发展,在今后更应该注重第三产业质的优化,经济发展脱虚向实。排名最后的三省内蒙古、四川和河南,其工业化程度近年来快速提高,但第三产业含新量、含绿量、含金量偏低,仍有很大的发展前景。应重视科技创新,加快工业向生态化、绿色化转型,增强第三产业质的优化,发挥新型绿色产业的引领效应。

由图 3.11 可知,从区域层面看,产业结构高度化在走向上是上升的。黄河流域上中下游区域于 2014 年至 2016 年产业结构高级化有显著上升趋势,2016 年后上升趋势变缓。中游地区的高级化程度一直处于领先地位,高于全流域平均水平,主要是由于中游山西省产业高级化调整力度强劲,有显著上升趋势,但在 2019 和 2020 年处于落后状态。黄河流域下游产业高级化指数低于黄河流域平均水平,主要是由于下游河南省产业结构处于较低水平,但发展势头显著,与周边地区的差距也在逐渐拉近,在 2019 和 2020 年跃居第一。因此,黄河流域各省应以国家发展战略为指引,综合考虑各区域、各省实际情况,完善协调发展机制,缩短产业结构高级化水平差距。

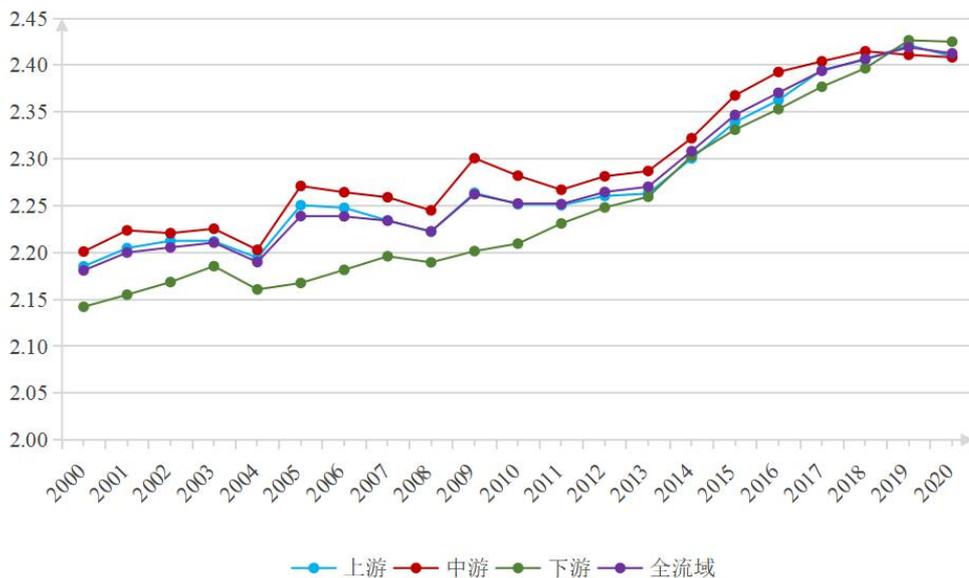


图 3.11 2000-2020 年黄河流域分区域产业结构高级化指数

### 3.4 黄河流域生态效率趋势分析

#### 3.4.1 测度方法选择

(1) 考虑非期望产出的超效率 SBM 模型

DEA 是测度效率的主要方法之一,可以分为 CCR 与 BCC 模型。Tone(2001) 基于传统模型因忽略松弛变量而导致测算误差角度的考量,提出非径向和非角度的 SBM 模型,该模型综合考虑了投入产出要素的松弛性、非径向改进问题,效率值可信度较高<sup>[74]</sup>。为了使有效决策单元可以排序、可比,同时把生产行为产生的环境负外部性纳入模型研究, Tone(2002) 又提出了超效率 SBM 模型,此模型能够综合考虑资源投入、期望产出和非期望产出间的关系。本文利用该模型来测算黄河流域 9 省区生态效率,假设有  $n$  个评价单元 (DUM), 每个单元有  $m$  种投入要素,  $s$  种期望产出和  $t$  种非期望产出,则具体模型如下<sup>[75]</sup>:

$$\min \theta = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{(s+t)} \sum_{r=1}^s s_r^{g+} / y_{rk}^g + \sum_{p=1}^t s_p^{b-} / y_{rk}^b} \quad (3.5 \text{ 式})$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} & i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_i^{g+} \geq y_{rk}^g & r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{pj} \lambda_j - s_p^{b-} \geq y_{rk}^b & p = 1, 2, \dots, t \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j = 1 & i = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \\ s_i^-, s_r, s_p \geq 0, \quad \lambda > 0 \end{cases} \quad (3.6 \text{ 式})$$

式中,  $\theta$  是各省区生态效率值。 $X_{ik}$ 、 $y_{rk}^g$  和  $y_{rk}^b$  分别代表投入要素、期望产出和非期望产出量,  $\lambda$  为权重系数,  $s^-$ 、 $s^g$ 、 $s^b$  分别表示投入、好产出和坏产出的松弛变量。

(2) GML 指数

1953 年, Sten Malmquist 提出生产率指数这一概念<sup>[76]</sup>, Malmquist 指数可以分解为技术进步 (TC) 与技术效率 (EC)。为了研究非期望产出, Chung (1997) 将传统的 Malmquist 指数与方向性距离函数相结合,构造了 Malmquist-Luenberger

指数<sup>[77]</sup>。但由于 ML 指数具有不可传递性并存在线性规无解的可能, Oh 将全局生产技术与 ML 指数相结合, 提出了基于全局生产前沿面作为同一参考集测度效率的 GML 指数<sup>[78]</sup>, 这一指数的优势在于可累乘、可传递, 并且可以跨期比较生态效率值。因此本文选择 GML 指数分析黄河流域生态效率的动态变动及其分解项, 具体公式如 3.7:

$$\begin{aligned} GML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) &= \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \\ &= \frac{1 + D^t(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \left[ \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^t(x^t, y^t, b^t)} \times \frac{1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \right] \\ &= GEFFCH^{t,t+1} \times GTECH^{t,t+1} \end{aligned} \quad (3.7 \text{ 式})$$

在上式中,  $D^G(x, y, b) = \max\{\beta | y + \beta y, b - \beta b \in P^G(x)\}$  为依赖全局生产可能性集合  $P^G(x)$  的全局方向性距离函数,  $GML^{t,t+1}$  指的是相邻两期生态效率的变化,  $GML > 1$  ( $< 1$ ) 表示效率提升 (下降);  $GEFFCH^{t,t+1}$  指的是相邻两期技术效率变化,  $EC > 1$  ( $< 1$ ) 表示技术效率改善 (恶化);  $GTECH^{t,t+1}$  指的是相邻两期技术进步变化,  $TC > 1$  ( $< 1$ ) 表示存在技术创新 (退步)。为了测算和分解 GML 指数, 用以下 DEA 线性规划模型对 (3.7) 式函数求解得到。

$$\begin{aligned} D^t(x^t, y^t, b^t) &= \max \beta & (3.8 \text{ 式}) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} x_\gamma \leq x_k^t \\ y_\gamma \geq (1 + \beta) \times y_k^t \\ b_\gamma = (1 - \beta) \times b_k^t \\ \gamma \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D^G(x^t, y^t, b^t) &= \max \beta & (3.9 \text{ 式}) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} x_\gamma \leq x_k^t \\ y_\gamma \geq (1 + \beta) \times y_k^t \\ b_\gamma = (1 - \beta) \times b_k^t \\ \gamma \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

按照上述思路, 即可求出  $t+1$  时期的方向性距离函数  $D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})$  和全局方向性距离函数  $D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})$ 。

### 3.4.2 评价指标体系

本文以黄河流域 9 个省区 2000-2020 年的数据为研究样本, 在厘清生态效率内涵和相关理论的基础后我们知道, 生态效率追求资源投入、资源消耗最小化, 经济产出最大化。本文参考韩永辉 (2016)、陈晓兰等 (2022)<sup>[79]</sup> 等的研究成果,

结合黄河流域具体情况，构建适宜的生态效率指标体系，选取各省区劳动、资本作为经济投入要素，土地、水资源、能源消耗作为资源类投入要素，产出包含期望产出与非期望产出。期望产出指标选取地区 GDP 和表征环境质量的绿化覆盖面积，非期望产出为增加的环境污染，以废气、废水及固体废物排放来衡量。生态效率评价指标体系如表 3.3 所示。

(1) 资本投入：本文采用基于永续盘存法推导的资本存量衡量资本投入，计算公式参考张军（2004）<sup>[80]</sup>，具体为  $K_{it}=K_{it-1}(1-\delta)+I_{it}$ 。公式中，K 为资本存量、 $\delta$  赋值为 9.6%、I 为当年投资，i 表示第 i 个省份，t 则表示第 t 年。引用张军 2000 年测算的数值作为基期资本存量，并利用 2000 年为基期的固定资产投资价格指数对固定资本形成总额进行平减。(2) 劳动力投入：选择三产就业人数之和表示。(3) 资源投入：以用水总量、能源消耗总量与城市建设用地面积表征资源投入。(4) 期望产出：以黄河流域各省区实际 GDP 衡量经济效益，选取 2000 年为基期，利用 GDP 平减指数进行平减以剔除价格变动影响；绿化覆盖面积用以衡量环境效益。(5) 非期望产出：研究生产活动对环境造成的破坏，本文选取各省区工业化学需氧量排放量、工业二氧化硫排放量、一般工业固体废物产生量来表示。

表 3.3 生态效率评价指标体系

指标	类别	名称	单位
投入	资本投入	资本存量	亿元
	劳动投入	劳动力	万人
	资源投入	用水总量	亿立方米
		能源消耗总量	万吨标准煤
		城市建设用地面积	平方公里
产出	期望产出	实际 GDP	亿元
		绿化覆盖面积	公顷
	非期望产出	工业化学需氧量排放量	吨
		工业二氧化硫排放量	吨
		一般工业固体废物产生量	万吨

### 3.4.3 基于超效率 SBM 模型的生态效率评价

本节采用包含非期望产出的超效率 SBM 模型，通过 MaxDEA 软件测度 2000-2020 年黄河流域 9 省区为决策单元的生态效率静态值，计算结果如表 3.4 和图 3.12 所示。

表 3.4 2000-2020 年黄河流域各省区生态效率值

地区	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
山西	1.004	0.835	1.004	1.002	1.002	0.607	0.548	0.602	0.530	0.464	0.399
内蒙古	1.003	1.009	1.005	1.003	0.706	0.505	0.494	0.454	0.409	0.445	0.346
山东	1.013	1.031	1.003	1.007	1.021	1.009	0.970	1.002	1.009	1.002	0.922
河南	1.004	1.002	1.001	1.005	1.003	1.004	0.822	0.748	0.645	0.526	0.511
四川	1.011	0.949	1.026	0.581	1.024	1.032	0.871	0.871	0.841	0.923	0.913
陕西	0.521	0.543	0.545	0.353	0.526	0.495	0.574	0.561	0.522	0.476	0.433
甘肃	1.006	1.005	1.002	0.797	1.007	0.608	1.004	0.631	0.655	0.630	0.580
青海	0.343	0.351	0.337	0.244	0.293	0.267	0.263	0.253	0.247	0.246	0.229
宁夏	0.444	0.479	0.531	0.292	0.567	0.554	0.658	1.010	1.071	0.846	1.042
上游	0.701	0.696	0.724	0.479	0.723	0.615	0.699	0.691	0.703	0.661	0.691
中游	0.843	0.796	0.851	0.786	0.745	0.536	0.539	0.539	0.487	0.462	0.393
下游	1.009	1.017	1.002	1.006	1.012	1.006	0.896	0.875	0.827	0.764	0.716
全流域	0.817	0.800	0.828	0.698	0.794	0.675	0.689	0.681	0.659	0.617	0.597

续表 3.4 2000-2020 年黄河流域各省区生态效率值

地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	均值
山西	0.360	0.332	0.335	0.346	0.347	0.404	1.003	0.518	0.547	1.139	0.635
内蒙古	0.341	0.358	0.378	0.409	0.442	0.503	0.752	0.690	0.836	1.079	0.627
山东	1.005	0.946	1.005	1.004	0.896	0.851	1.217	1.000	0.923	1.158	1.000
河南	0.473	0.465	0.455	0.481	0.511	0.625	1.022	0.780	1.005	1.246	0.778
四川	1.003	0.977	1.001	0.909	1.000	1.005	1.059	1.001	1.003	1.045	0.954
陕西	0.421	0.423	0.433	0.436	0.533	0.625	0.770	0.816	0.671	1.008	0.556
甘肃	0.494	0.499	0.525	0.466	0.441	0.487	0.561	0.538	0.673	1.069	0.699
青海	0.205	0.204	0.215	0.216	0.219	0.291	0.318	0.337	0.355	0.435	0.280
宁夏	0.871	1.002	1.008	1.005	1.015	1.020	1.110	0.695	0.789	1.112	0.815
上游	0.643	0.670	0.687	0.649	0.669	0.701	0.762	0.643	0.705	0.915	0.687
中游	0.374	0.371	0.382	0.397	0.441	0.511	0.842	0.675	0.684	1.075	0.606
下游	0.739	0.705	0.730	0.743	0.703	0.738	1.119	0.890	0.964	1.202	0.889
全流域	0.575	0.578	0.595	0.586	0.600	0.646	0.868	0.708	0.756	1.032	0.705

研究期内，黄河流域整体生态效率平均值为 0.705，小于 1，即生态效率处

于较低水平，还有上升潜力，要持续推进绿色经济发展。2000-2020年黄河流域生态效率均值呈现波动上升趋势，其中，2000-2005波动明显，在工业化与城镇化飞速发展背景下，点源、面源与内源多重污染交织、农业、工业与生活污染排放日益增加，尤其是西部大开发战略的实施，过度消耗了能源资源，经济与生态严重失衡，生态效率逐渐下降；2005-2016年变化较平稳，受国际金融危机影响，自2008年生态效率逐年降低，主要原因是为了缓解经济受挫，国家出台积极的产业政策鼓励经济建设，并降低了环境管控标准。2012-2017年间，内需以及投资需求的增加改变了经济增长结构，党的十八大会议重点突出生态文明建设，让地方政府意识到环境保护、走生态可持续发展道路的重要性，因此生态效率开始缓慢上升，但效果仍然欠佳；生态效率在2017和2018年出现倒“V”型态势，2018-2020年生态效率值增长快速。当前，地方政府工作报告中频频出现“环境规制”、“环境约束”等关键词，政绩考核机制使政府或主动或被动推进环境治理进程，公众生态保护理念进一步加强。在正式与非正式双重规制下，黄河流域2016年后生态效益明显提高。由此可见，生态效率高与地区实行的产业政策、经济发展政策、环境规制政策密切相关。

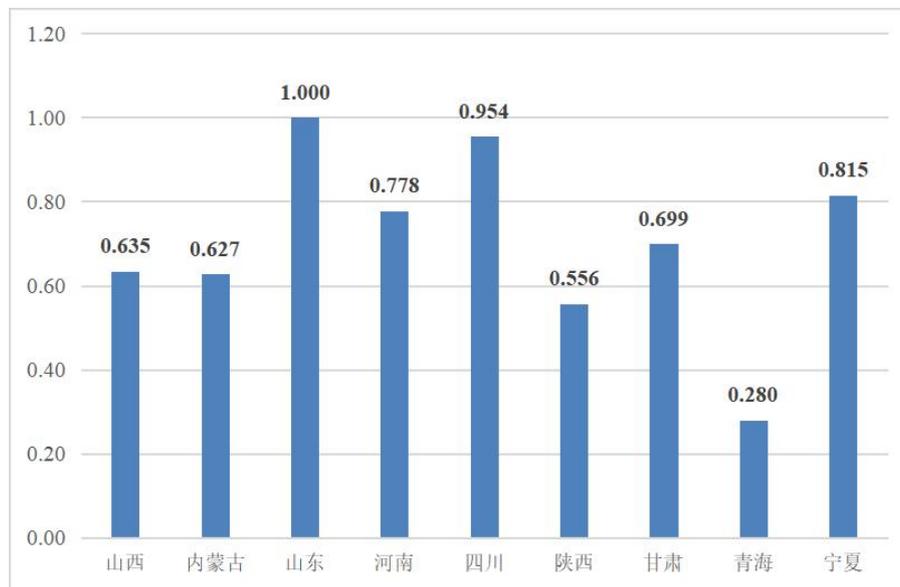


图 3.12 2000-2020 年黄河流域各省生态效率均值

从省域层面看，图 3.12 显示 2000-2020 年生态效率均值排名从高到低依次为

山东 (1.000)、四川 (0.954)、宁夏 (0.815)、河南 (0.778)、甘肃 (0.699)、山西 (0.635)、内蒙古 (0.627)、陕西 (0.556)、青海 (0.280)。其中,处于平均水平之上的省区是山东、河南、四川、宁夏,而山西、内蒙古、陕西、甘肃、青海在平均线以下。发展水平较高的地区与发展水平较低的地区在经济基础、资源禀赋和生态保护等方面存在显著差异,前者经济发展水平较高、资源禀赋较充足,产业结构较为健全,环境规制更加严格;而后者经济产值相对较低,产业结构单一,生态环境脆弱。这些省份发展经济主要依靠自身资源,一方面,资源型产业的发展对能源、资源消耗量较大,污染物产出也较多,另一方面,产业结构的转型升级速度滞缓,总体来看制约生态效率的提升。

分区域来看,图 3.13 显示,下游生态效率明显高于中上游,且差距有缩小趋势,中游生态效率最低。下游地区的山东和河南省都属于经济大省,高新技术产业比重多于中上游,可以利用先进的技术设备,提高生产要素的使用效率。因此,生态效率状况比中上游良好;中游的经济发展程度仅次于下游,而山西、陕西都是能矿资源大省,产业发展以资源开采和初加工为主,在经济增长中所付出的资源环境代价最大,导致中游生态效率排在最后,生态效率均值介于 0.5-0.6 之间,效率低下;上游地区以农牧业为主,技术水平落后,因此,对资源的利用和环境的开发较少,生态效率均值为 0.69,居中水平。随着黄河流域“共抓大保护、协同推进大治理”理念的提出,近年来生态效率差距正在逐渐缩短。

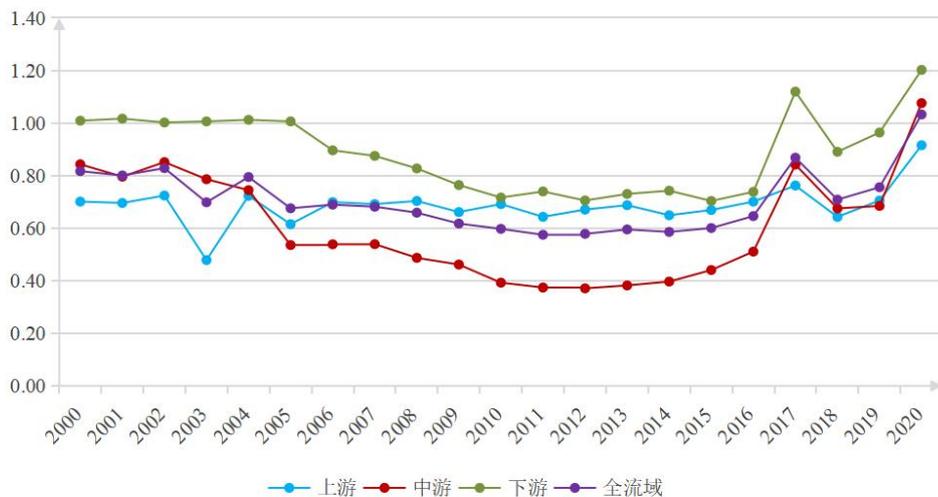


图 3.13 2000-2020 年黄河流域分区域生态效率值

### 3.4.4 GML 指数及其分解

为了考察生态效率动态变化,本文利用 GML 指数对黄河流域整体和各省区 2000-2020 年生态效率的变化率进行测度,并将其分解为技术进步指数 (TC) 和效率变化指数 (EC)。其中,EC 还可分解为纯技术效率指数值 (PEC)、规模效率指数值 (SEC),从而全面比较和分析生态效率的内部变动成因。

#### (1) 黄河流域整体生态效率动态演进趋势分析

表 3.5 2000-2020 年黄河流域 GML 指数及其分解

年度	GML	TC	EC	PEC	SEC
2000-2001	1.058	1.07	0.989	0.988	1.001
2001-2002	1.031	1.025	1.006	1.01	0.996
2002-2003	0.744	0.741	1.004	1.002	1.002
2003-2004	1.394	1.39	1.003	1.001	1.002
2004-2005	0.917	0.939	0.976	1	0.976
2005-2006	1.026	1.025	1.001	1	1.001
2006-2007	1.045	1.04	1.004	1	1.004
2007-2008	1.04	1.038	1.002	1	1.002
2008-2009	1.026	1.03	0.996	1	0.996
2009-2010	1.029	1.03	0.998	1	0.998
2010-2011	1.077	1.091	0.987	0.987	1
2011-2012	1.042	1.039	1.003	0.997	1.005
2012-2013	1.029	1.045	0.985	0.996	0.989
2013-2014	1.017	1.011	1.006	1.003	1.003
2014-2015	1.041	1.056	0.986	0.996	0.989
2015-2016	1.312	1.322	0.992	1.002	0.991
2016-2017	1.41	1.393	1.012	1.019	0.994
2017-2018	0.806	0.791	1.02	1	1.02
2018-2019	1.047	1.043	1.004	1	1.004
2019-2020	1.247	1.245	1.002	1	1.002
平均值	1.055	1.056	0.999	1	0.999

由表 3.5 可以看出在研究期内,有 17 个年份的生态效率处于改善状态,生态效率几何平均值在 2016-2017 年达到峰值 1.41,意味着在 2016-2017 年增幅最大,增长了 41%;GML 最小值在 2002-2003 年为 0.744,意味着在 2002-2003 年降幅最大,下降了 25.6%。从历年变动均值来看,黄河流域的 GML 效率值为 1.055,表明黄河流域在二十年间的生态效率是正向提高的,且年均增长率为 5.5%,

分解成技术效率指数和技术进步指数分别为 0.999 和 1.056，即技术效率指数下降了 0.1%、技术进步指数增长了 5.6%，进一步可以分解为纯技术效率 1 和规模效率 0.999，由此可以看出黄河流域生态效率的提高是技术进步贡献的，因此，黄河流域要继续发展绿色环保低碳相关的技术创新及其生产力转化。

## (2) 黄河流域各省区生态效率动态演进趋势分析

GML 指数进一步分解结果如表 3.6 所示：

表 3.6 2000-2020 年黄河流域各省区 GML 指数及其分解

地区	GML	TC	EC	PEC	SEC
山西	1.048	1.048	1	1	1
内蒙古	1.061	1.061	1	1	1
山东	1.099	1.099	1	1	1
河南	1.094	1.094	1	1	1
四川	1.046	1.046	1	1	1
陕西	1.052	1.047	1.005	1	1.005
甘肃	1.018	1.018	1	1	1
青海	1.024	1.041	0.984	1	0.984
宁夏	1.055	1.055	1	1	1
平均值	1.055	1.056	0.999	1	0.999

从表 3.6 可以看出研究期内，黄河流域 9 省区的 GML 指数全部大于 1，说明 2000-2020 年黄河流域的生态效率都有不同程度的提升。从分解项来看，9 省区的技术进步指数均值都在 1 以上，表示这 21 年中黄河流域的技术进步均有所提高。对于技术效率指数和规模效率指数，除了青海的技术效率指数和规模效率指数略小于 1，其他 8 省区的都达到了 1 以上。这表明流域生态效率的提高主要得益于技术进步。GML 指数均值排名由高到低分别为山东(1.099)、河南(1.094)、内蒙古(1.061)、宁夏(1.055)、陕西(1.052)、山西(1.048)、四川(1.046)、青海(1.024)、甘肃(1.018)，可知，增幅最大的山东，为 5.2%，增幅最小的是甘肃，为 1.8%。

## 4 空间计量模型构建与实证分析

本章主要对产业结构升级与生态效率之间的作用机理进行实证检验。主要流程如下：第一，根据莫兰指数和莫兰散点图判断黄河流域生态效率的空间相关性。第二，选择合适的空间计量模型，分析产业结构合理化和高级化对生态效率的影响。第三，在模型中分别加入环境规制与产业结构合理化、产业结构高级化的交互项，探究环境规制在产业结构升级对生态效率影响中的调节效应。最后，将黄河流域分成上、中、下游，探究产业结构合理化和高级化对生态效率是否存在区域异质性。

### 4.1 数据来源与变量设定

#### 4.1.1 数据来源

本文研究的时间线为 2000-2020 年，数据来源途径有：《中国环境统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、EPS 平台、环境统计公报及各省份历年统计年鉴等，本文采用线性插补法对缺失值进行处理。

#### 4.1.2 变量设定

本文以生态效率（EFF）为被解释变量，产业结构合理化（IR）、产业结构高级化（IA）为解释变量，环境规制（ER）为调节变量，经济发展水平（PGDP）、外资利用程度（FDI）、对外开放程度（Open）、政府干预（Gov）、环保意识（Edu）、人口密度（Pop）为控制变量。

##### （1）被解释变量

生态效率（EFF）。由于 GML 指数各期参考共同前沿，具备循环累积性。借鉴邱斌等（2008）<sup>[81]</sup>的方法体系，假设 2000 年的生态效率值（EFF）为 1，则 2001 年 EFF 等于 2000 年 EFF 乘 2001 年 GML 指数，以此类推得到其余年份的生态效率值。

## （2）解释变量

产业结构合理化（IR）：采用改进后的产业结构偏离度系数衡量产业结构合理化水平，将其取对数消除异方差影响。

产业结构高级化（IA）：采用产业结构层次系数测算得出的指数来衡量产业结构高级化水平，将其对数化处理。

## （3）调节变量

环境规制（ER）。对于环境规制的度量有多种方法，主要包含三个方面：①环境规制强度。环境规制力度越大，企业就要花费更多的时间和资金来治理污染排放，侧面体现出政府对环境保护的重视程度。Morgenstern（2002）用工业污染治理投资总额与工业增加值之比来衡量环境规制强度<sup>[82]</sup>。陈真玲（2016）和程都等（2017）认为排污费征收额也可以作为衡量标准<sup>[83]</sup>。②环境规制效果。有效的环境规制政策必然会减少环境污染物的排放，基于此，学者们用工业废水排放达标率、工业烟尘去除率等指标来表征强度。③综合指数法。如程钰（2016）等采用熵值法对工业SO<sub>2</sub>去除率、工业烟（粉）尘去除率、工业固体废物综合利用率等指标赋权，综合评价环境规制水平<sup>[84]</sup>。本文借鉴刘荣增（2021）的做法，用工业污染治理投资完成额/第二产业增加值之比表征环境规制强度<sup>[85]</sup>。

## （4）控制变量

经济发展水平（PGDP）：地区的经济发展水平在某种程度上可以体现当地的生产要素丰沛程度，经济基础越雄厚，用于生态文明建设的资金、技术、人力越充足。同时，政府用于环境治理的投资更全面，不会出现资金占用或投资额不够现象。因此，对于经济发展水平要明晰其发展模式，如果只关注量的增长，造成资源损耗、环境恶化，则不利于生态效率改进。反之，在经济发展的同时注重质的提升，会提高资源使用率有利于生态效率提升。本文选取人均GDP，以2000年为基期进行平减来衡量经济发展水平。

外资利用程度（FDI）：外商直接投资会影响地区生态环境。有学者赞成“污染光环”说，认为FDI可以带来技术外溢效应，给当地企业传播先进的技术及设备，这些企业吸收借鉴绿色生产技术改变自身生产方式，提高资源使用率和生产率，减少污染物排放。而另一些学者则支持“污染天堂假说”，认为FDI通过国际贸易将污染产业转移至落后国家（地区），从而对转移地区生态环境产生

不利影响。因此，本文选取实际利用的外商投资额占 GDP 比重来度量，并按当年平均汇率折算为人民币。

对外开放程度（Open）：开放型经济是推动我国经济高质量发展的重要一环。国家之间的贸易往来为生产要素的流通提供渠道。随着贸易规模的扩大，交易过程产生的污染也越多，此外，资源的流动有利于产业结构调整，最终促进经济发展。所以，本文用进出口贸易总额度量对外开放程度。

政府干预（Gov）：在现实情况下，政府干预对生态效率的影响存在不确定性。若政府合理调控市场可以引导产业往绿色、生态化发展，促进生态效率。反之，不恰当的干预则会造成资源错配，进而对生态效率造成不利影响。因此，本文选用政府财政支出与 GDP 之比来表征。

表 4.1 相关变量的定义及说明

变量类别	变量名称	衡量方法
被解释变量	生态效率（EFF）	通过 GML 指数累乘计算得出
解释变量	产业结构合理化（IR）	$IR = 1/R$ , 其中: $R = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{Y} \left  \frac{Y_i/L_i}{Y/L} - 1 \right $
	产业结构高级化（IA）	$IA = \sum_{i=1}^n i * \frac{Y_{it}}{Y_t}$
调节变量	环境规制（ER）	工业污染治理投资额/第二产业增加值
	经济发展水平（PGDP）	人均 GDP
	外资利用程度（FDI）	实际利用的外商投资额/GDP
	对外开放程度（Open）	进出口贸易总额
控制变量	政府干预（Gov）	政府财政支出/GDP
	环保意识（Edu）	人均受教育年限
	人口密度（Pop）	年末常住人口数/行政面积

环保意识（Edu）：本文用人均受教育年限来衡量环保意识，一个人的环保意识与受教育程度呈现正相关。消费者在购买商品时秉持绿色消费理念，会影响其偏好，从而可循环可回收类商品销售量增加。面对消费需求的转变，生产者和

投资者闻风而动，此时需求结构呈现绿色化，资源利用率的提升推动产业结构升级，有利于生态效率改进。因此计算义务教育阶段依次到高等教育阶段的累计年限（6年、9年、12年、16年）。

人口密度（Pop）：人口与环境质量之间存在非线性关系。一方面，人口流动可以带来知识与技术传播，提高生产率的同时产业结构往高技术化发展，对生态效率产生积极影响。另一方面，人口集中如果超过资源环境承载力，将对环境产生破坏、污染物排放也会增加。本文对人口密度的度量采用每平方公里的人口数来反映。

### 4.1.3 样本选择

以黄河流域9省区2000-2020年为研究样本，各变量的描述性统计结果如表4.2所示：

表 4.2 变量描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
EFF	189	1.597	1.040	0.440	7.191
lnIR	189	0.377	0.391	-0.577	1.352
lnIA	189	0.823	0.040	0.731	0.914
ER	189	0.555	0.424	0.025	2.451
PGDP	189	1.8438	1.1336	0.4186	5.4781
FDI	189	1.5180	1.1200	0.0110	5.4110
lnOpen	189	15.605	1.701	11.792	19.208
Gov	189	26.115	14.227	7.406	75.829
Edu	189	8.2580	0.8940	5.5860	10.4500
lnPop	189	4.683	1.375	1.971	6.472

## 4.2 生态效率的空间相关性检验

传统计量经济学认为各变量是独立的，而地理经济学认为统计变量具有空间效应，当两个区域空间距离较近时，存在强关联性，反之存在弱关联性。黄河流域各省区间的经济贸易往来是必然存在的，且距离较近地区产业结构具有相似

性,可能对生态环境产生影响,因此,将空间因素纳入实证研究中十分必要。衡量地区间的空间相关性一般用 Moran' s I 指数,表达形式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4.1 \text{ 式})$$

其中,  $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}$  是样本方差,  $W_{ij}$  为标准化的空间矩阵。莫兰指数 I 的取值范围介于 (-1,1),  $I > 0$  说明存在空间正相关性,即高-高集聚与低-低集聚;  $I = 0$ , 即无空间相关性;  $I < 0$ , 存在空间负相关关系,即高-低相邻。

#### 4.2.1 空间权重矩阵

空间权重矩阵衡量了地区间依赖程度<sup>[86]</sup>,常见形式有以下两种:

(1) 邻接权重矩阵。判断两地区是否相邻,若存在相同的顶或边,则  $W_{ij}=1$ ; 否则,  $W_{ij}=0$ 。具体公式如 4.2:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 和 } j \text{ 区域相邻} \\ 0, & i \text{ 和 } j \text{ 区域不相邻} \end{cases} \quad (4.2 \text{ 式})$$

(2) 地理距离矩阵。根据样本地区的省会经纬度构建空间权重矩阵,并做标准化处理,如公式 4.3 所示:

$$W_{ij} = \begin{cases} W_{ij}^* = \frac{1}{d_{ij}}, W_{ij} = \frac{W_{ij}^*}{\sum_j W_{ij}^*}, & i \neq j \\ W_{ij} = 0, & i = j \end{cases} \quad (4.3 \text{ 式})$$

#### 4.2.2 全局空间自相关

表 4.2 展示了黄河流域全局莫兰指数,从整体和近几年的显著性来看,本文主要研究生态效率空间相关性,邻接区域更能直接刻画区域生态效率的关联性,因此本文采用 Rook 相邻来构建空间权重矩阵<sup>[87]</sup>。在 4.1.2 节中我们假定 2000 年生态效率值为 1,所以本节主要研究 2001-2020 年全球莫兰指数。由表 4.2 可以发现,2001-2011 年全球莫兰指数逐渐变小,表明生态效率的相关性在减弱,可

能的原因是地区间环境保护机制相对独立,2012-2020 年全球莫兰指数逐年递增,说明空间依赖性在加强。总体来说,生态效率的相关性显著为正,反映了各省区之间的相互作用,相邻地区在资源共享、技术溢出方面更具优势。

表 4.2 2000-2020 年生态效率 Moran' s I 指数

年份	邻接权重矩阵		
	Moran's I	Z 值	P 值
2001	0.504	3.281	0.001
2002	0.492	3.77	0.000
2003	0.441	2.998	0.003
2004	0.325	1.693	0.090
2005	0.217	2.149	0.032
2006	0.261	2.478	0.013
2007	0.241	3.677	0.000
2008	0.277	3.881	0.000
2009	0.231	2.457	0.014
2010	0.181	3.542	0.000
2011	0.036	2.101	0.036
2012	0.041	2.495	0.013
2013	0.063	2.001	0.045
2014	0.167	2.702	0.007
2015	0.177	2.805	0.005
2016	0.213	3.097	0.002
2017	0.322	2.479	0.013
2018	0.443	2.711	0.007
2019	0.497	2.986	0.003
2020	0.591	3.378	0.001

注: \*\*、\*\*、\*表示通过 1%、5%和 10%下的显著性检验

### 4.2.3 局部空间自相关

Moran' s I 指数显示了黄河流域整体的空间相关性,在此基础上,通过局部莫兰指数可以观察 9 省区的集聚情况。基于邻接权重矩阵,2020 年 9 省区生态效率局部莫兰散点图如图 4.1。空间集聚状况为内蒙古、山东、河南省区高高集聚;山西、陕西省份低高集聚;四川、宁夏、甘肃、青海省区低低集聚。

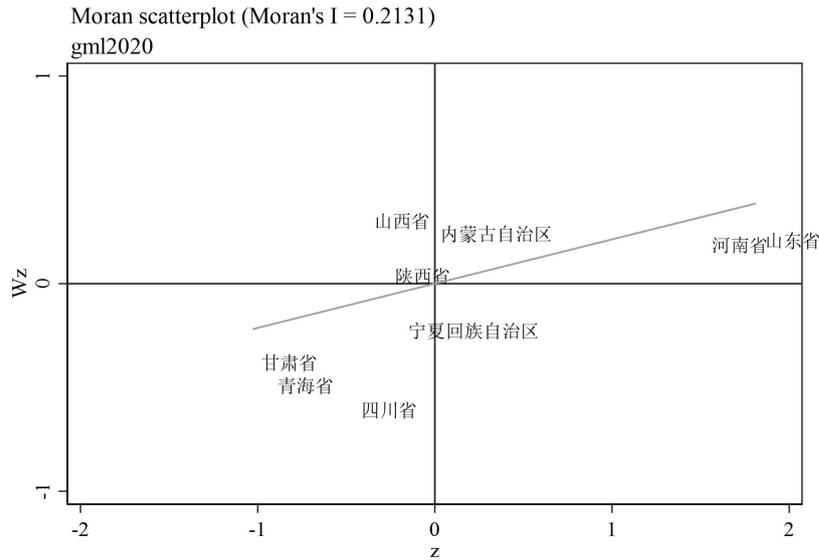


图 4.1 2020 年黄河流域生态效率局部莫兰散点图

## 4.3 空间面板模型

### 4.3.1 空间面板模型的设定

空间计量模型的独特优势在于考虑了地区间存在的关联性，解决了一部分传统模型可能存在的计量误差，应用领域广泛。主要模型类别如下：

(1) 空间滞后模型 (SLM)

$$Y = \rho WY + X\beta + \mu, \mu \sim N(0, \sigma^2 I_n) \quad (4.5 \text{ 式})$$

(2) 空间误差模型 (SEM)

$$Y = X\beta + \mu, \mu = \lambda W\mu + \varepsilon \quad (4.6 \text{ 式})$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

(3) 空间杜宾模型 (SDM)

$$Y = \rho WY + X\beta + WX\theta + \mu \quad (4.7 \text{ 式})$$

在 4.7 式中， $\rho$  为空间效应系数， $W$  为空间权重矩阵， $X\beta$  为本地区自变量对本地区因变量的影响， $WX\theta$  为周边地区自变量对本地区生态效率的影响， $\mu$  为误差扰动项。

### 4.3.2 空间面板模型适配性检验

为了选取合适的模型，本节依次采用 LM 和 Robust LM 检验、LR 检验以及 Wald 检验，确保模型合理性。再经豪斯曼检验（Hausman），分析选定模型倾向随机效应还是固定效应，结果见表 4.4。

分析 LM 检验与 Robust LM 显著性可知，LM spatial error 与 Robust LM spatial error 都在 1%水平上显著为正，而 LM spatial lag 未通过检验，模型选择偏向空间误差模型。但根据 LeSage and pace（2010）的研究，若 LR 和 Wald 检验均通过，可选择空间杜宾模型<sup>[88]</sup>。结合下表可知，Wald 与 LR 检验均在 1%水平上拒绝原假设，因此 SDM 模型更适合后续的实证研究，且 SDM 模型不会退化成 SLM 或 SEM 模型。最后，豪斯曼检验显示本文更适用固定效应模型。

表 4.4 LM、Wald、LR 及 Hausman 检验

	检验方法	邻接权重矩阵	地理距离矩阵
模型选择	LM spatial lag	9.052	18.270***
	Robust LM spatial Lag	37.160***	27.589***
	LM spatial error	23.315***	15.793***
	Robust LM spatial error	10.516***	52.902***
SDM 退化检验	Wald Test (SAR)	386.42***	83.17***
	LR Test (SAR)	159.47***	130.39***
	Wald Test (SEM)	663.58***	295.76***
	LR Test (SEM)	152.44***	129.46***
固定效应检验	Hausman	285.18***	130.94***

注：\*\*\*、\*\*、\*表示通过 1%、5%和 10%下的显著性检验

## 4.4 空间杜宾模型的估计与实证结果分析

综合上述检验结果，本文采用时间个体双固定的 SDM 模型进行回归，构建的实证模型（1）为：

$$EFF_{it} = \rho W EFF_{it} + \beta_0 + \beta_1 \ln IR_{it} + \beta_2 \ln IA_{it} + \beta_3 X_{it} + \theta_1 W \ln IR_{it} + \theta_2 W \ln IA_{it} + \theta_3 W X_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中，EFF 是生态效率；IR 为产业结构合理化、IA 为产业结构高级化；ER 是环境规制；X 是控制变量（分别是经济发展水平、外资利用程度、对外开放程度、政府干预、环保意识、人口密度）；i 代表省份、t 为年份； $\rho$  是空间溢出系数、 $\beta$  是待估参数； $W_{it}$  代表空间权重矩阵、 $\mu_i$  是个体固定效应、 $\nu_t$  是时间固定效应、 $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。

#### 4.4.1 产业结构升级对生态效率影响的实证研究

本文采用时间个体双固定效应的空间杜宾模型分析产业结构合理化和产业结构高级化对黄河流域生态效率的影响，具体回归结果如表 4.4：

##### （1）解释变量实证结果

由下表可以看出，在邻接权重矩阵中，产业结构合理化指数（IR）在 10% 的显著性水平下正向促进生态效率，IR 每提高 1%，生态效率水平会提高  $0.269 \times 0.01$  个单位。在地理距离矩阵中，合理化系数为 0.741 且通过 1% 水平显著性检验，验证了假说 1。产业结构合理化的过程也是生产要素重新配置过程，通过优质生产要素在各部门间的流动促使产业结构协调合理，提升了资源配置效率，从而促进生态效率。

邻接矩阵下，产业结构高级化（IA）在 1% 的水平上显著为正，IA 每提高 1%，生态效率就会提高  $11.375 \times 0.01$  个单位。地理距离矩阵下通过 5% 水平显著为正，系数为 6.036，假设 2 得到验证。产业结构高级化在改善能源资源利用结构的同时增加经济产出，促进生态效率提升。在对 IA 和 IR 的系数进行比较后可以发现，产业结构高级化（IA）对生态效率的改善作用更明显。原因可能在于近年来以数字经济为代表的第三产业蓬勃发展，带动了技术进步在各行各业的应用和推广。如此一来，改变了整个社会的要素利用结构，污染破坏更小，产业向绿色化转型升级。从第三章产业结构升级演变趋势也反映出黄河流域的产业结构高度化程度一直在提升。

表 4.4 空间 SDM 回归结果

Main	(1)	(1)
	邻接权重矩阵	地理距离矩阵
lnIR	0.269* (0.16)	0.741*** (0.19)
lnIA	11.375*** (2.39)	6.036** (2.44)
PGDP	0.564*** (0.128)	0.577*** (0.095)
FDI	-0.057 (0.05)	-0.071 (0.06)
Gov	0.004 (0.01)	-0.018* (0.01)
lnOpen	0.299*** (0.08)	0.333*** (0.09)
lnPop	6.224*** (1.29)	6.456*** (2.02)
Edu	-0.280* (0.16)	-0.466 (0.17)
个体固定	Y	Y
时间固定	Y	Y
rho	0.359*** (0.08)	22.783*** (3.40)
Sigma <sup>2</sup>	0.093***	0.162***
R <sup>2</sup>	0.01	0.74

注：\*\*\*、\*\*、\*表示通过 1%、5%和 10%下的显著性检验；（）为标准误

#### (2) 控制变量实证结果

①两种权重矩阵下，人均 GDP 的系数 1%显著为正，这表明随着经济发展水平的提高，对生态效率的提升有正向促进作用，当经济发展状态较好时，人们会更倾向于购买绿色环保、循环低碳类商品，迫使企业更新改造技术的同时向生态友好型产业转型。同时，人均 GDP 的提高能在环境治理上投入更多资本，绿色生产技术得以改进，经济水平的提高能够使更多的资金投入产业升级、技术创新、环境保护等领域，为提高生态效益创造必要条件；②FDI 系数都为负且不显著，表明现阶段外商直接投资会恶化生态效率，一定程度上证明“污染避难所”在黄河流域存在；③政府干预的系数为正但不显著，表明政府采取了有效措施治理环境，但效果并不明显。④对外开放程度（Open）显著提高了黄河流域生态

效率水平。一方面,对外贸易不仅能发展经济,还带来要素共享与流通,技术的扩散效应使得企业主动适应技术革新;另一方面,进出口产品的质量也随之提升,生态效率改善。⑤人口密度系数在 1%的水平下显著为正,人口集中带来专业化分工,不仅降低企业成本还带来生产率的提升。⑥环保意识(Edu)在 10%的水平上显著为负,这意味着黄河流域地区整体受教育程度尚未达到标准水平,要鼓励公众参与环境监督,进行宣传教育加深环保理念,“主动+被动”相结合,共筑良好的生态治理大环境。

#### 4.4.2 空间杜宾模型效应分解结果分析

依据 LeSage and pace (2010) 的研究结论,空间回归模型得到结果有偏差,因此需要通过求偏微分的方法将系数分解为直接效应、间接效应和总效应<sup>[88]</sup>。细致考察黄河流域各省区产业结构升级对本地及相邻地区生态效率的影响,依据表 4.4 中 SDM 回归结果将空间效应进行分解,分解结果如表 4.5 所示。

##### (1) 解释变量效应分解

在邻接距离空间权重矩阵下,产业结构合理化(IR)对生态效率的回归系数在 5%的水平下显著为正,系数为 0.434,表明产业结构合理化提高了本省生态效率,这一结论在地理距离权重矩阵下更为显著,说明近年来黄河流域积极调整产业结构,生产要素在三次产业之间的分配逐渐趋向合理,产业结构合理化进一步提高,演变趋势分析中也体现出这一点,生产要素结构性浪费减少使得资源配置效率提高从而提升生态效率;产业结构合理化对生态效率的间接效应分别为 1.471、4.301,均通过 1%的显著性水平检验并且明显高于直接效应的系数,表明产业结构合理化具有显著的省际互动效应,即本省份(其他相邻省份)的产业结构协调均衡对其他相邻省份(本省份)生态效率水平有“正外部性”。这是因为,生产要素不仅在产业间流动,在地区间也存在要素转移。资源能源的合理配置使高附加值以及环保集约型产业比重增加,淘汰“三高”产业,有利于改善生态环境质量。同时也证明了周边地区对本省生态效率的影响产生了竞争效用,充分发挥了“逐顶竞争”的积极影响,有利于生态环境保护和生态效率水平提升。

产业结构高级化(IA)的直接效应在邻接距离和地理距离下系数为 11.896 和 5.291,且通过 1%和 5%显著性水平,表明产业结构高级化显著提升本省生态

效率；在邻接矩阵下，产业结构高级化对其他省份的生态效率为正但不显著，说明产业结构高级化能正向影响其他省份生态效率，各省份在提高本省产业高级化的同时忽略了区际间交流合作的重要性，要加强技术交流与产业合作增强关联。

表 4.5 空间 SDM 模型效应分解

变量	(1) 邻接权重矩阵			(1) 地理距离矩阵		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
lnIR	0.434** (0.17)	1.471*** (0.37)	1.905*** (0.46)	1.065*** (0.28)	4.301*** (1.65)	5.367*** (1.88)
lnIA	11.896*** (2.89)	5.851 (8.46)	17.747* (10.67)	5.291** (2.57)	-8.522 (8.75)	-3.232 (10.07)
PGDP	0.412** (0.17)	-1.523*** (0.48)	-1.111* (0.63)	0.521*** (0.12)	-0.899 (0.62)	-0.378 (0.71)
FDI	-0.080 (0.06)	-0.224 (0.14)	-0.304* (0.18)	-0.052 (0.08)	0.225 (0.41)	0.174 (0.47)
Gov	0.002 (0.01)	-0.021 (0.02)	-0.018 (0.03)	-0.017* (0.01)	0.004 (0.03)	-0.014 (0.04)
lnOpen	0.408*** (0.09)	0.959*** (0.23)	1.367*** (0.26)	0.347*** (0.09)	0.162 (0.43)	0.508 (0.47)
lnPop	4.941*** (1.67)	-12.176*** (4.23)	-7.235 (5.56)	5.808* (3.16)	-9.502 (17.22)	-3.693 (20.17)
Edu	-0.429*** (0.18)	-1.323*** (0.45)	-1.752*** (0.57)	-0.474*** (0.16)	0.071 (0.41)	-0.403 (0.43)

注：\*\*\*、\*\*、\*表示通过 1%、5%和 10%下的显著性检验；（）为标准误

#### (2) 控制变量效应分解

在直接效应下，经济发展水平（PGDP）系数分别为 0.412 和 0.521，且通过了 5%和 1%显著性水平检验，经济发展水平提高使公众追求高品质生活环境，对环境保护的关注度提升。人均 GDP 间接效应为负相关，一方面，地方政府将

生产要素投入到经济发展方面，忽视了生态治理；另一方面，本地区用于经济建设的生产要素挤占了相邻省份的资源，抑制生态效率改善；对外开放（Open）在 1%水平上显著提升本省生态效率，黄河流域通过“一带一路”战略，依靠“海上丝绸之路”黄金地理位置，与沿线国家经济往来密切，通过商品和要素流通使效率得到提升。对外开放间接效应显著为正且取值为 0.959，大于直接效应。黄河流域各省区要大力发展开放型经济，调整经济结构转变发展方式；人口密度（Pop）在两种矩阵下对本省生态效率的影响都显著为正，适度的人口的流动和集聚会提高区域劳动生产率促进生态优化。但人口集聚也会给邻近省份带来巨大压力，破坏自然环境；环保意识（Edu）显著为负，表明环保意识仍然要加强，需要加大教育及宣传力度。政府干预（Gov）对本地和周围地区生态效率的影响具有不确定性；外商直接投资（FDI）对生态效率水平的直接效应为负，系数值分别为-0.080 和-0.052，表明现阶段外商直接投资的增加恶化了黄河流域生态效率水平。

#### 4.4.3 稳健性检验

##### （1）更换空间权重矩阵

本文采用地理距离权重矩阵进行稳健性检验，结果如上表 4.4 和 4.5 所示。

##### （2）改变回归方法

选用随机效应模型考察结果是否具有可信度，检验结果如表 4.6 所示：

表 4.6 随机效应回归结果

Main	(1) 随机效应		
lnIR	0.955*** (0.16)	lnOpen	0.080 (0.09)
lnIA	4.713** (2.09)	lnPop	0.058 (0.11)
PGDP	0.414*** (0.10)	Edu	-0.251* (0.15)
FDI	-0.125** (0.05)	rho	0.519*** (0.06)
Gov	-0.034*** (0.01)	Sigma <sup>2</sup>	0.157***
		R <sup>2</sup>	0.70

注：\*\*\*、\*\*、\*表示通过 1%、5%和 10%下的显著性检验；（）为标准误

通过更换空间权重矩阵，采用随机效应模型，核心解释变量总体结果与前文研究结果基本一致，具有稳健性。

#### 4.5 环境规制的调节效应检验

本节考察黄河流域环境规制强度在产业结构升级改善区域生态效率中，是否存在调节作用，基于温忠麟等（2005）的检验方法<sup>[89]</sup>，构建如下模型（2）：

$$EFF_{it} = \rho WEFF_{it} + \beta_0 + \beta_1 \ln IR_{it} + \beta_2 \ln IA_{it} + \beta_3 ER_{it} + \beta_4 (ER_{it} * \ln IR_{it}) + \beta_5 (ER_{it} * \ln IA_{it}) + \beta_6 X_{it} + \theta_1 W \ln IR_{it} + \theta_2 W \ln IA_{it} + \theta_3 W ER_{it} + \theta_4 W (ER_{it} * \ln IR_{it}) + \theta_5 W (ER_{it} * \ln IA_{it}) + \theta_6 W X_{it} + \mu_i + \nu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

EFF 为生态效率；IR 为产业结构合理化；IA 为产业结构高级化。在模型（1）的基础上，加入环境规制（ER）这个调节变量以及环境规制与产业结构合理化（ER\*lnIR）、高级化的交互项（ER\*lnIA）。具体结果如表 4.7 所示：

环境规制对生态效率的直接效应显著为正，即对生态效率具有正向促进作用，说明加大环境污染治理投资额能有效提升生态效率。黄河流域现阶段环境规制政策所技术创新带来的“创新补偿效应”部分或完全弥补了企业用于治污的成本，这有助于鼓励创新，加快产业绿色转型发展。政府通过加强环境约束和管制，对污染密集型企业制定较高排污标准，倒逼企业自主革新，研发绿色技术提高生产率减少污染排放，获得经济产出增加和环境保护共赢。从间接效应来看，环境规制对区域生态效率虽有促进作用但不显著，说明目前区域生态效率的“搭便车效应”还未实现，本省减少固体废物、废气及废水排放对邻省有正向环境效应。

环境规制与产业结构合理化的交互项系数为正，表明环境规制正向调节产业结构合理化与生态效率的关系，但不显著。主要原因可能在于，地方政府目前采取“事后治理”的治理方案，对已产生的环境污染和企业进行末端处理，但并未重视“事前治理”和“事中治理”的重要性，对源头治理和可能潜在的污染行为尚未形成完善的预防和治理体系。从间接效应来看，环境规制弱化了产业结构合理化对邻近地区生态效率的促进作用。

环境规制对产业结构高级化影响生态效率存在显著负向调节作用，即随着环境规制强度增加，产业结构高级化对生态效率的正效应逐渐减弱。说明产业结构

高级化对生态效率的影响依赖于环境规制，在加大环境治理投入过程中，通过创新补偿效应改善技术水平，促进了绿色经济发展，同时也弱化了产业结构高级化对生态效率的促进作用。因此，环境规制和产业结构高级化交互项对区域生态效率的作用，主要是通过加强环境规制实现的。换言之，环境规制通过“绿色壁垒”以及“创新补偿”，促进了地区生态效率提升，而产业结构高级化在其中的作用甚微。从间接效应来看，环境规制加强了产业结构高级化对生态效率的抑制作用。

表 4.7 环境规制的调节效应

(2)				
变量	Main	直接效应	间接效应	总效应
lnIR	1.210*** (0.24)	0.953*** (0.28)	6.017*** (1.32)	6.970*** (1.49)
lnIA	12.600*** (4.21)	12.771*** (3.80)	-5.934 (11.81)	6.837 (14.23)
ER	5.565* (2.85)	5.521** (2.61)	6.049 (10.24)	11.570 (11.64)
lnIR*ER	0.072 (0.40)	0.203 (0.40)	-2.840*** (1.08)	-2.637** (1.28)
lnIA*ER	-6.803* (3.54)	-6.806** (3.25)	-6.120 (12.61)	-12.926 (14.32)
PGDP	0.543*** (0.19)	0.615*** (0.19)	-1.393** (0.63)	-0.778 (0.78)
FDI	0.009 (0.07)	0.001 (0.06)	0.219 (0.27)	0.220 (0.31)
Gov	0.014 (0.01)	0.013 (0.01)	0.028 (0.03)	0.041 (0.03)
lnOpen	0.597*** (0.10)	0.514*** (0.11)	2.040*** (0.53)	2.554*** (0.57)
lnPop	5.050** (2.24)	6.142*** (1.87)	-19.047** (7.74)	-12.905 (9.16)
Edu	-0.698*** (0.18)	-0.664*** (0.18)	-0.820 (0.51)	-1.484*** (0.55)

注：\*\*\*、\*\*、\*表示通过 1%、5%和 10%下的显著性检验；（）为标准误

## 4.6 区域异质性检验

为考查产业结构升级对生态效率影响的区域异质性,根据研究需要,引入虚拟变量  $S$ , 如果子样本为上游则取 1, 否则取 0; 同理, 如果子样本为中游则  $Z$  取 1, 否则取 0; 如果子样本为下游则  $X$  取 1, 否则取 0。构建模型 (3)、(4)、(5), 通过调节效应检验<sup>[90-91]</sup>, 考察产业结构合理化、产业结构高级化对黄河流域生态效率的影响是否存在区域差异。具体分类和实证结果如表 4.8 所示:

$$EFF_{it} = \rho W EFF_{it} + \beta_0 + \beta_1 \ln IR_{it} + \beta_2 \ln IA_{it} + \beta_3 S + \beta_4 (\ln IR_{it} * S) + \beta_5 X_{it} + \theta_1 W \ln IR_{it} + \theta_2 W \ln IA_{it} + \theta_3 WS + \theta_4 W (\ln IR_{it} * S) + \theta_5 WX_{it} + \mu_i + \nu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$EFF_{it} = \rho W EFF_{it} + \beta_0 + \beta_1 \ln IR_{it} + \beta_2 \ln IA_{it} + \beta_3 Z + \beta_4 (\ln IR_{it} * Z) + \beta_5 X_{it} + \theta_1 W \ln IR_{it} + \theta_2 W \ln IA_{it} + \theta_3 WZ + \theta_4 W (\ln IR_{it} * Z) + \theta_5 WX_{it} + \mu_i + \nu_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$EFF_{it} = \rho W EFF_{it} + \beta_0 + \beta_1 \ln IR_{it} + \beta_2 \ln IA_{it} + \beta_3 X + \beta_4 (\ln IR_{it} * X) + \beta_5 X_{it} + \theta_1 W \ln IR_{it} + \theta_2 W \ln IA_{it} + \theta_3 WX + \theta_4 W (\ln IR_{it} * X) + \theta_5 WX_{it} + \mu_i + \nu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$EFF$  为生态效率;  $IR$  为产业结构合理化;  $IA$  为产业结构高级化。在模型 (1) 的基础上, 加入虚拟变量 ( $S$ 、 $Z$ 、 $X$ ) 与产业结构合理化和高级化的交互项。本节重点关注产业结构合理化、产业结构高级化与上中下游的交互项系数与显著性, 根据表 4.8 显示:

产业结构合理化在 5% 的水平上显著抑制了黄河流域上游的生态效率, 产业结构高级化对生态效率的影响不显著为负。上游地区以农业、牧业为主, 但实际上传统农业的产业链单一且短, 未实现农业生产、农业加工以及农产品市场。再者可接触到的销售渠道较少, 因此特色农业附加值提升缓慢, 经济效益低, 需结合自身特征紧跟国家政策, 运营媒体网络平台拓宽销售渠道, 提高农牧业产业链竞争力。

产业结构合理化对生态效率的影响系数为正, 但不显著。产业结构高级化在 1% 的水平上显著抑制中游的生态效率, 原因可能是黄河流域中游地区的山西、陕西、内蒙古长期以来发展以能源基础性原材料为主的工业结构和能矿资源开采为主的传统产业, 包括以煤炭消费为主的能源消费结构, 高新技术产业和现代服务业发展相对滞缓, 这些环境污染、产业转型滞缓等多重因素导致短期内产业结

构升级未有效促进中游地区的生态效率提升。

产业结构合理化对生态效率的影响为正，但不显著，产业结构高级化在 1% 的水平上显著提升了下游地区的生态效率。原因可能在于下游流域内部的产业结构高级化程度差别较大，比如下游的以青岛、济南、郑州为代表的城市经济较为发达，第三产业逐步成为该地区的主导产业，而较高的产业高级化指数又预示着较高的经济效率，从而使得生态效率的经济产出比较理想。

表 4.8 按照上、中、下游分组回归结果

变量	(3)			(4)			(5)		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
lnIR	0.200 (0.17)	0.023 (0.38)	5.415 (0.41)	0.418* (0.25)	1.440*** (0.51)	1.858*** (0.69)	0.050* (0.14)	-0.323 (0.24)	-0.581* (0.30)
lnIA	6.507** (2.92)	-1.233 (5.97)	5.274 (7.42)	9.570*** (2.77)	1.178 (7.92)	10.747 (10.09)	2.181 (2.07)	-14.168*** (4.75)	-11.987** (5.95)
S	6.E-10 (5.E-09)	2.E-10 (1.E-09)	8.E-10 (6.E-09)						
lnIR*S	-0.830** (0.34)	-1.338** (0.56)	-2.168*** (0.70)						
lnIA*S	-1.607 (2.81)	-23.688*** (5.41)	-25.295*** (6.23)						
Z				-5.E-04 (5.E-03)	-5.E-03 (4.E-02)	-5.E-03 (5.E-02)			
lnIR*Z				-0.390 (0.32)	-0.591 (0.73)	-0.981 (0.95)			
lnIA*Z				-11.593*** (3.36)	-1.183 (9.23)	-12.777 (11.48)			
X							2.E-09 (2.E-08)	1.E-10 (2.E-09)	2.E-09 (2.E-08)
lnIR*X							0.280 (0.55)	0.118 (0.93)	0.399 (1.10)
lnIA*X							14.597*** (4.99)	21.566** (8.54)	36.162*** (9.67)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
rho		0.133 (0.09)		0.354*** (0.08)				0.427*** (0.04)	
Sigma <sup>2</sup>		0.067***		0.074***				0.090***	
R <sup>2</sup>		0.37		0.57				0.05	

注：\*\*\*、\*\*、\*表示通过 1%、5%和 10%下的显著性检验；（）为标准误

## 5 研究结论与政策建议

### 5.1 研究结论

首先,本文在回顾了环境规制、产业结构升级与生态效率的相关概念和理论基础之上,分析了产业结构升级对区域生态效率的影响机理,并考察了环境规制在产业结构升级与生态效率之间的调节机理。其次,通过构建包含非期望产出超效率 SBM 生态效率指数、GML 指数、产业结构合理化指数、产业结构高级化指数,从时序和流域上对 2000-2020 年黄河流域环境规制、产业结构合理化与高级化程度、生态效率静态与动态演变趋势进行测量与分析。再次,以产业结构高级化和合理化为核心解释变量,生态效率指数为被解释变量,环境规制为调节变量,并引入相关控制变量,选取 2000-2020 年黄河流域省级面板数据,运用空间杜宾模型从产业结构高级化和合理化两个方面考察了产业结构升级对生态效率提升的影响,以及环境规制的调节作用。最后,分区域检验了产业结构合理化和高级化对生态效率的影响是否具有异质性,通过实证分析得到如下结论:

(1) 环境规制趋势分析。从污染物排放来看,工业化学需氧量排放量处于波动下降状态,工业二氧化硫排放量呈倒“U”型曲线,一般工业固体废物产生量趋势为波动上升。从工业污染治理完成投资总额来看,黄河流域环境治理力度逐渐加强,地方政府越来越重视生态保护,下游治理力度大于中游,中游大于上游;各省年平均污染治理投资总额排名前两位的是山东和山西,宁夏和青海倒数。

(2) 产业结构升级趋势分析。产业结构合理化程度在改善,但上升速度缓慢;下游明显高于上游、中游地区;2000-2020 年各省区的产业结构合理化指数均值排名前三的是山东、河南、四川,而甘肃的合理化指数最低。产业结构高级化指数整体在波动中上升,经济发展重点向第三产业转移,产业结构不断升级优化;中游高级化指数大于上游和下游;2000-2020 年各省区的产业结构高级化指数均值排名前三的是山西、宁夏、山东,而河南排在最后一位。

(3) 生态效率趋势分析。黄河流域整体生态效率水平偏低,呈现波动上升趋势;下游生态效率明显高于中上游,且差距有缩小趋势,中游生态效率最低;各省份的生态效率水平也存在明显差异。从动态角度来看,黄河流域 9 省区及整

体生态效率都处于正向提高,技术进步指数均值都在 1 以上,说明技术进步是推动生态效率增长的主要内在因素;除青海的技术效率指数和规模效率指数略小于 1,其他 8 省区的都达到了 1 以上。这表明黄河流域在继续加大科技投入研发、改善生产方式的基础上,还需要关注纯技术效率和规模效率的变化,提高生产的技术效率和规模效率,注重区域差异。

(4) 环境规制对生态效率的直接效应显著为正,间接效应不显著;产业结构合理化显著促进了本地和邻地的生态效率,表现出“正外溢性”;产业结构高级化对本地区生态效率有显著促进作用,对邻近地区不显著,产业结构在优化升级过程中,通过要素配置和资源优化,实现了生产效率提升和生态环境改善。不仅如此,还通过产业转移、产业关联和技术扩散效应提升了区域产业生产技术和污染治理水平。

(5) 环境规制与产业结构合理化的交互项为正但不显著,且环境规制弱化了产业结构合理化对邻近地区生态效率的促进作用;环境规制对产业结构高级化影响生态效率存在显著负向调节作用,即随着环境规制力度加强,产业结构高级化对生态效率的正效应逐渐减弱。说明环境规制弱化了产业结构高级化改善生态效率的作用;环境规制加强了产业结构高级化对邻近地区生态效率的抑制作用。

(6) 经济发展水平(PGDP)提高了本省生态效率,抑制了邻近地区生态效率改善;外商直接投资(FDI)与生态效率负相关但不显著;对外开放(Open)与本地与邻地生态效率显著正相关,进出口贸易带来各生产要素的流通,有利于发挥区位优势、技术外溢的作用;政府干预(Gov)对生态效率的影响具有不确定性;人口密度(Pop)对本地和邻近地区的生态效率都有显著促进作用,要充分利用人口集聚带来的红利;环保意识(Edu)显著为负,表明环保意识仍然要加强,需要加大教育及宣传力度。

## 5.2 政策建议

基于本文的研究结论,并结合黄河流域环境规制、产业结构升级与生态效率演变趋势,为提高区域生态环境质量,实现经济发展与环境保护协同并进,尝试提出以下政策建议:

### 5.2.1 优化产业结构，促进能源资源配置利用效率

黄河流域内的各省区在资源禀赋、经济基础、环境破坏、生产力水平等方面存在差异性，要明晰本省潜在问题和优势，制定有针对性的产业结构优化政策，推动地区产业向绿色环保化、高技术化转变，实现资源能源的合理配置与利用。

第一，提升资源配置效率，促进产业发展协调化。经分析发现，黄河流域产业结构合理化程度逐年上升，但其对生态效率的作用机制还有待加强。因此，各省区应紧密结合产业扶持政策，合理配置生产资源，引导资源能源向环保产业、清洁生产产业、新能源产业等环保集约型产业流动，提升第三产业在国民经济体系中的占比，注重生产要素配置与产业间的耦合协调；加快传统工业绿色转型升级进程，引进绿色生产技术改善工艺流程和产品质量，削减环境污染物排放量，转变高能耗、高污染、低效率生产模式。第二，产业结构高级化显著促进了黄河流域生态效率改善，要重视技术进步与创新带来的外溢效应。因此，对于第一产业，通过应用先进农业生产技术，发展现代化生态农业。其次，对于传统工业制造业，加大科研投入，提升自主创新能力，改进工业生产技术水平，淘汰落后产能，向高端制造业转型。最后，培育高新技术产业与新兴产业，尤其是以数字经济为首的生态友好型产业，发挥产业结构高级化的经济增长和污染减排效应，提升生态效率水平。第三，打破地区间以及行业间的壁垒，为人才、技术和生产要素的跨区域跨行业自由流动提供良好的环境。第四，因地制宜，制定适宜本省的产业调整政策。对于黄河流域下游地区要进一步加强自主研发能力，增强产业活力。上、中游地区有选择性承接产业转移的同时，通过技术和人才的交流，学习借鉴发达地区的产业布局和发展政策，提升自己的综合实力。

### 5.2.2 完善环境规制政策，发挥对产业结构升级的调节作用

黄河流域各省区要结合自身存在问题，完善环境规制政策，积极发挥创新补偿效应。第一，提高工业污染治理投资效率，研究表明现阶段黄河流域加大工业污染治理投资额可以有效提升生态效率。首先，地方政府与环保部门应根据地区经济环境发展形势，及时准确出台有效的环境规制方案并推行，缩短政策时滞。其次，政府要重视绿色技术创新的重要性，结合排污费征收以及税收补贴制

度,鼓励企业主动创新,实行清洁化、绿色化生产,从源头减轻环境污染。再次,加大环保理念宣传力度,从需求结构入手,形成新型绿色消费模式和产品生产模式,引导绿色投资,改善消费结构、生产结构和投资结构。最后,严控把手外资引入及企业准入标准,对绿色优质外资予以政策优惠。第二,推进环境规制体制改革。首先,要坚持系统思维综合治理,环境政策的实施涉及各个部门,因此,要注重部门间的团结协作,实现综合治理。其次,强化中央政府对环境保护的监测、监察、执法的垂直管理,在各地方建立环保机构,实现自上而下的统一管理。将环境绩效指标纳入政府绩效考核体系中,引导地方政府牢固树立“绿水青山就是金山银山”的发展理念。最后,对不同地区实施合理的环境规制。对于环境规制高水平地区,鼓励社会公众和企业自主参与环境监管,创新社会治理模式。探索建立以政府为主导,公众广泛参与、多方共抓的多元共治机制。对于规制力度较低的地区,继续加强命令控制型环境规制辅以市场化手段改善生态质量,促进经济绿色可持续发展。

### 5.2.3 建立区域统筹协调机制,全方位推进生态文明建设

黄河流域是一个整体,因此各省区应加强生态环境共保共治,通过流域间的统筹协调,促进资源整合一体化,逐步缩小生态效率差距。首先,生态效率较高的山东、四川地区,要发挥其示范作用和扩散效应,积极引入先进的科学技术水平、人才和科学的经营管理模式,向周边地区传输环境规制经验与技术创新理念。在此基础上,推动技术、资本等生产要素在区域间的自由流动,特别是向青海等生态效率较低、环境质量脆弱的地区进行转移和扩散,形成由核心省份向外逐步辐射的生态保护大网。最后,加强交流合作形成区域一体化,完善人才引进政策,通过线上平台等方式大力宣传环保意识,推动绿色发展和生态文明建设的理念在全国范围内传播,营造全民参与、推进节能减排的良好氛围。

### 5.2.4 加强对外经济合作,提升开放型经济发展水平

在加快构建新发展格局背景下,黄河流域各省区应立足本省比较优势,发挥山东、西安、郑州等地卓越的地理区位优势,扩大东西双向开放,同时打造海上合作示范区和内陆开放发展高地,大力发展外向型经济。其次,营造良好的外资

以及投融资环境，在引进外资时加强资质审核，为绿色环保、低污染低能耗产业和高技术产业的发展保驾护航。深度融入“一带一路”与“海上丝绸之路”建设，与沿线国家之间形成优势互补型产业结构。一方面，与沿线国家加强对外贸易的过程中，可以实现产品、人力、信息技术、资本互联互通，通过优质资源再整合，使整个黄河流域在优势互补的基础上形成良性循环，推动经济高质量发展；另一方面，通过对外贸易加强国际交流，引进国外先进设备和技术，加强自主研发创新能力，以技术作为经济发展的内驱动力，实现产业高附加值、高技术化，达到经济绿色可持续发展目的。

## 参考文献

- [1] Schaltegger S, Sturm A. Ökologische rationalität: ansatzpunkte zur ausgestaltung Von öko logieorientierten management instrumenten[J]. Die Unternehmung, 1990(4):273=290.
- [2] WBCSD. Eco-efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance [M]. Geneva :WBCSD,1996:3-16.
- [3] Deiters R M . Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)[J]. Monumenta Nipponica, 1994, 23(3/4):533.
- [4] Meier M A . Eco-efficiency evaluation of waste gas purification systems in the chemical industry[J]. reproductive biology & endocrinology, 1997, 2(25):35.
- [5] Stefan Schaltegger,Roger Burritt. BOOKS Contemporary Environmental Accounting: Issues, Concepts and Practice[J]. International Journal of Sustainability in Higher Education,2001,2(3).
- [6] Desimone L D , Popoff F . Eco-Efficiency: The Business Link to Sustainable Development[J]. MIT Press Books, 2000, 1(2):220-2.
- [7] Muller K, Stern A. Standardized Eco-efficiency Indicators-report 1: Concept paper[R]. Basel: Ellipson Ag, 2001: 6-8.
- [8] 诸大建,邱寿丰.生态效率是循环经济的合适测度[J].中国人口·资源与环境,2006,(05):1-6.
- [9] 刘子怡,郝红霞.基于组合式多元统计模型的区域生态效率评价[J].统计与决策,2017,(04):113-115.
- [10] 彭迪云,李莎.区域生态效率动态评价模型的改进与实证——基于G1-TOPSIS 法的研究 [J]. 云南民族大学学报(哲学社会科学版),2017,34(03):92-99.
- [11] Kamran Rashidi,Reza Farzipoor Saen. Measuring eco-efficiency based on green indicators and potentials in energy saving and undesirable output abatement[J]. Energy Economics,2015,50.
- [12] Wackernagel, Mathis. Our ecological footprint : reducing human impact on the

- earth[M]. New Society Publishers, 1996.2-17.
- [13] ShujingYue,YangYang,ZhengningPu.Total-factor ecology efficiency of regions in China[J].Ecological Indicators,2017,73.
- [14] 史丹,王俊杰.基于生态足迹的中国生态压力与生态效率测度与评价[J].中国工业经济,2016,(05):5-21.
- [15] 胡姚雨.基于生态足迹视角的中国全要素生态效率研究[D].东南大学,2016.
- [16] 李姣,周翠烟,张灿明,刘富国,汪杰.基于生态足迹的湖南省洞庭湖生态经济区全要素生态效率研究[J].经济地理,2019,39(02):199-206.
- [17] 邢贞成,王济干,张婕.中国区域全要素生态效率及其影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(07):119-126.
- [18] Charnes A.,Cooper W.W.,Rhodes E.. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research,1978,2(6).
- [19] 付丽娜,陈晓红,冷智花.基于超效率 DEA 模型的城市群生态效率研究——以长株潭“3+5”城市群为例[J].中国人口·资源与环境,2013,23(04):169-175.
- [20] 李胜兰,初善冰,申晨.地方政府竞争、环境规制与区域生态效率[J].世界经济,2014,37(04):88-110.
- [21] 周茂竹.西部地区产业结构优化、环境规制与生态效率[D].西南大学,2020.
- [22] 王前前.黄河流域产业结构升级、制度资本与区域生态效率研究[D].郑州大学,2021.
- [23] 杨勇,邓祥征.中国城市生态效率时空演变及影响因素的区域差异[J].地理科学,2019,39(07):1111-1118.
- [24] Liu Qianqian,Wang Shaojian,Li Bo et al. Dynamics, differences, influencing factors of eco-efficiency in China: A spatiotemporal perspective analysis[J]. J Environ Manage, 2020, 264: 110442.
- [25] 孙振清,鲁思思,刘保留.省级区域生态效率评价及提升路径研究——基于超效率 SBM 模型和 Tobit 回归[J].生态经济,2021,37(01):124-129.
- [26] 徐峰,李想,舒畅,相楠.黄河流域生态效率时空分异特征及其影响因素研究[J].中国环境管理,2022,14(05):70-78.
- [27] 杨东阳,张晗,苗长虹,王相彪,张静.黄河流域生态效率与产业结构转型驱动作

- 用研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2023,51(01):1-11+171.
- [28] Gene M. Grossman, Alan B. Krueger. Economic Growth and the Environment [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2).
- [29] 蔡惠光,李怀政.人均收入、产业结构与环境质量——基于 EKC 曲线的分析[J]. 经济与管理,2009,23(01):15-17+34.
- [30] Martin Jänicke, Manfred Binder, Harald Mönch. ‘Dirty industries’: Patterns of change in industrial countries[J]. Environmental Resource Economics, 1997, 9(4).
- [31] Oketola A A, Osibanjo O. Estimating sectoral pollution load in Lagos by Industrial Pollution Projection System (IPPS).[J]. The Science of the total environment, 2007, 377(2-3).
- [32] 李姝.城市化、产业结构调整与环境污染[J].财经问题研究,2011(06):38-43.
- [33] 潘兴侠,何宜庆.中部六省生态效率评价及其与产业结构的时空关联分析[J]. 统计与决策,2015,(03):127-130.
- [34] JunLan, Manfred Lenzen, Erik Dietzenbacher, Daniel Moran, Keiichiro Kanemoto, Joy Murray, Arne Geschke. Structural Change and the Environment[J]. Journal of Industrial Ecology, 2012, 16(4).
- [35] 韩永辉,黄亮雄,王贤彬.产业结构升级改善生态文明了吗——本地效应与区际影响[J].财贸经济,2015,(12):129-146.
- [36] 韩永辉,黄亮雄,王贤彬.产业结构优化升级改进生态效率了吗?[J].数量经济技术经济研究,2016,33(04):40-59.
- [37] 郑慧,贾珊,赵昕.新型城镇化背景下中国区域生态效率分析[J].资源科学,2017,39(07):1314-1325.
- [38] 马晓翱,郭力.黄河流域产业升级对生态环境影响研究[J].合作经济与科技,2022,(09):9-11.
- [39] 李鹏.产业结构调整与环境污染之间存在倒 U 型曲线关系吗?[J].经济问题探索,2015,(12):56-67.
- [40] 王艳.丝绸之路经济带沿线省份生态效率测定及影响因素——基于 FDI 与产业结构优化视角[J].华东经济管理,2018,32(11):44-51.

- [41] 杨玉春,岳立.黄河流域全要素生态效率测度及影响因素分析[J].统计与决策,2021,37(19):121-124.
- [42] De Bruyn, S. M. Explaining the Environmental Kuznets Curve: Structural Change and International Agreements in Reducing Sulphur Emissions[J]. Environmental and Development Economics, 1997,(2):485-503.
- [43] 钱争鸣,刘晓晨.环境管制、产业结构调整与地区经济发展[J].经济学家,2014,(07):73-81.
- [44] 蔡玉蓉,汪慧玲.产业结构升级对区域生态效率影响的实证[J].统计与决策,2020,36(01):110-113.
- [45] 韩晓涵. FDI、环境规制对生态效率的影响研究[D].桂林理工大学,2020.
- [46] 张鹏,李莨铭.环境规制视角下 FDI 对生态效率的影响机制[J].对外经贸,2020,(04):12-17.
- [47] Walley N . It's Not Easy Being Green[J]. Harvard Business Review, 1994, 72(3):págs. 46-51.
- [48] 傅京燕,李丽莎.环境规制、要素禀赋与产业国际竞争力的实证研究——基于中国制造业的面板数据[J].管理世界,2010,(10):87-98+187.
- [49] 陈真玲.生态效率、城镇化与空间溢出——基于空间面板杜宾模型的研究[J].管理评论,2016,28(11):66-74.
- [50] 陈雯,王湘萍.我国工业行业的技术进步、结构变迁与水资源消耗——基于 LMDI 方法的实证分析[J].湖南大学学报(社会科学版),2011,25(02):68-72.
- [51] 易杏花,刘锦钿.我国西部地区生态效率评价及其影响因素分析[J].统计与决策,2020,36(01):105-10
- [52] 张子龙,王开泳,陈兴鹏.中国生态效率演变与环境规制的关系——基于 SBM 模型和省际面板数据估计[J].经济经纬,2015,32(03):126-131.
- [53] 宋德勇,邓捷,弓媛媛.我国环境规制对绿色经济效率的影响分析[J].学习与实践,2017,(03):23-33.
- [54] 原毅军,刘柳.环境规制与经济增长:基于经济型规制分类的研究[J].经济评论,2013,(01):27-33.
- [55] 罗能生,王玉泽.财政分权、环境规制与区域生态效率——基于动态空间杜宾

- 模型的实证研究[J].中国人口·资源与环境,2017,27(04):110-118.
- [56] 王竹君.异质型环境规制对我国绿色经济效率的影响研究[D].西北大学,2019.
- [57] 党静.环境规制视角下产业结构升级对能源效率的影响研究[D].西安石油大学,2020.
- [58] 罗斯托.经济增长理论[M].杭州:浙江大学出版社,2016:3-55.
- [59] 何德旭,姚战琪.中国产业结构调整的效率、优化升级目标和政策措施[J].中国工业经济,2008,(05):46-56.
- [60] 顾典,徐小晶.中国产业结构优化升级对生态效率的影响[J].生态经济,2020,36(06):58-67.
- [61] 干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011,46(05):4-16+31.
- [62] Marshall, A. Principles of Economics[M]. London: Macmillian and Co, 1890: 38-44.
- [63] Pigou, A. C. The economics of Welfare[M]. London: Macmillian and Co., 1920: 185-217.
- [64] Paul Lanoie, Michel Patry, Richard Lajeunesse. Environmental regulation and productivity: testing the porter hypothesis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2008, 30(2).
- [65] Copeland B R , Taylor M S . North-South trade and the environment. Q J Econ 109: 75-787[J]. Quarterly Journal of Economics, 1994, 109(3):755-787.
- [66] 威廉·配第著,陈冬野.经济学名著译丛:政治算术 [Political Arithmetick][M].商务印书馆,2014.
- [67] L. F., Clark Colin. The Conditions of Economic Progress[J]. Population (French Edition), 1960, 15(2).
- [68] Dehem Roger, Kuznets Simon. Modern Economic Growth: Rate, Structure, and Spread[J]. The Canadian Journal of Economics and Political Science, 1967, 33(3).
- [69] 罗斯托.经济增长的阶段[M].中国社会科学出版社,2001.
- [70] 顾典.产业结构优化升级对中国生态经济的影响研究[D].上海社会科学院,2021.

- [71] 葛艳芳,马骏,王改芹等.环境库兹涅茨曲线框架下产业升级对生态效率的影响——基于长江经济带市级面板数据的分析[J].资源与产业,2019,21(04):12-19.
- [72] 张林.中国双向 FDI、金融发展与产业结构优化[J].世界经济研究,2016,(10):111-124+137.
- [73] 徐敏,姜勇.中国产业结构升级能缩小城乡消费差距吗?[J].数量经济技术经济研究,2015,32(03):3-21.
- [74] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European journal of operational research,2001,130(3):498—509.
- [75] Tone K. A slacks: Based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
- [76] Malmquist, S. Index Numbers and Indifference Surfaces[J]. Econometrica. 1953, 21: 189.
- [77] Chung, Y. H., Färe, R., Grosskopf, S. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Management. 1997, 51(3): 183-197.
- [78] Oh D. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. Journal of Productivity Analysis. 2010, 34(3): 183-197.
- [79] 陈晓兰,孟庆港,史佳凝,沈万芳.中国八大综合经济区生态效率测度及时空演进分析[J].经济与管理评论,2022,38(02):109-121.
- [80] 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.
- [81] 邱斌,杨帅,辛培江.FDI 技术溢出渠道与中国制造业生产率增长研究:基于面板数据的分析[J].世界经济,2008,No.360(08):20-31.
- [82] Richard D. Morgenstern,William A. Pizer,Jhih-Shyang Shih. Jobs Versus the Environment: An Industry-Level Perspective[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2002, 43(3).
- [83] 程都,李钢.环境规制强度测算的现状与趋势[J].经济与管理研究,2017,38(08):75-85.

- [84] 程钰,任建兰,陈延斌,徐成龙.中国环境规制效率空间格局动态演变及其驱动机制[J].地理研究,2016,35(01):123-136.
- [85] 刘荣增,何春.环境规制对城镇居民收入不平等的门槛效应研究[J].中国软科学,2021,(08):41-52.
- [86] 张可云,王裕瑾,王婧.空间权重矩阵的设定方法研究[J].区域经济评论,2017,No.25(01):19-25.
- [87] 胡月.空间视角下环境规制、产业结构调整对生态效率的影响[D].西南大学,2020.
- [88] James LeSage , Robert Kelley Pace . Introduction to Spatial Econometrics[M]. Taylor and Francis;CRC Press:2010-12-12.
- [89] 温忠麟,侯杰泰,张雷.调节效应与中介效应的比较和应用[J].心理学报,2005,(02):268-274.
- [90] 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济,2022,No.410(05):100-120.
- [91] 沈永建,于双丽,蒋德权.空气质量改善能降低企业劳动力成本吗?[J].管理世界,2019,35(06):161-178+195-196.

## 后 记

岁月不居，时节如流。当我意识到在兰州财经大学的求学生涯即将结束时，内心有对未来的期待，但更多的是对青葱岁月的不舍。感谢导师、师门挚友、同学、室友以及家人的关心，让我度过了非常愉快的三年。

在兰财有诸多美好的经历，见证了建校 70 周年，希望母校越办越好，再创辉煌。非常庆幸能够加入校研究生会这个大家庭，作为文宣部一员，不仅学会了运营公众号，令人记忆深刻的是疫苗接种和校园疫情防控的那些日子，深刻体会到奉献是一种乐趣。

非常感谢我的导师——万永坤教授。涓涓师恩，铭记于心。每每看到老师的专业态度，都让我受益颇深，时刻告诫自己警惕懒惰思维。犹记得第一次接触老师的课题，内心既欣喜又忐忑，想尽自己最大的努力做好。跟随万老师求学三年，我建立了良好的思维方式、学到了为人处世的道理。师者，传道授业解惑也。从我的论文选题开始到毕业论文的修改，老师一直与我耐心沟通细致讲解，对我的论文提出了非常宝贵的修改建议，衷心祝愿老师和师母身体健康，学术长青！

感谢同门挚友郜睿同学，我总能在她身上看到蓬勃向上的力量，积极乐观的心态也时刻感染着我。也谢谢我的师兄师姐们对我学习上的指导和帮助。感谢董佳宁、李虎虎等产业经济学专业的同学们，非常想念在一起上课学习，研读论文的日子。感谢我的室友，曹月露和宋岚清，让我在兰州感受到家的温暖。感谢我的父母，让我能无忧无虑地度过校园时光，给了我无限的包容和支持。

行文至此，皆为终章，是硕士三年学习生活的结束，也是人生新起点的开始。春风有信，花开有期。希望我们都能大胆地往前走，永远不要失去发芽的心境！