

分类号 F74/255  
U D C

密级  
编号 10741



# 硕士学位论文

论文题目 智能化对中国制造业出口产品  
技术结构的影响研究

研究生姓名: 杜湮馨

指导教师姓名、职称: 蔡文浩 教授

学科、专业名称: 应用经济学 国际贸易学

研究方向: 国际贸易理论与政策

提交日期: 2024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： 杜理馨 签字日期： 2024年5月31日

导师签名： 蔡文浩 签字日期： 2024年5月31日

## 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：

- 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；
- 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： 杜理馨 签字日期： 2024年5月31日

导师签名： 蔡文浩 签字日期： 2024年5月31日

**Research on the impact of intelligence on the  
technical structure of China's  
manufacturing exports**

**Candidate: Du Lixin**

**Supervisor: Cai Wenhao**

## 摘要

随着经济进入新常态，增长速度呈现出放缓趋势，而经济结构的优化与调整则上升为国家经济发展的重点工作。在此背景下，改进出口产品的技术含量及其结构，对于促进中国经济的结构性转型具有关键作用。同时，随着新一轮科技革命和产业变革的到来，智能化日益成为助力各国制造业高质量出口的新动能，为中国制造业出口转型升级提供了重要机遇。因此，研究智能化对中国制造业出口产品技术结构的影响，可以为各地制定符合当地实际的智能化发展策略、优化出口产品技术结构提供依据，对促进中国制造业高质量出口、推进新常态下经济结构改革具有重要意义。

本文借鉴刘军（2022）对智能化的测算方法构建智能化评价指标体系，选取出口复杂度指标作为出口产品技术结构的代理变量，同时基于《中国高技术产业统计年鉴》、各省统计年鉴、中国海关总署进出口数据库以及国研网数据库测算 2010-2022 年 30 个省（市）的智能化发展水平与制造业出口产品技术结构。现状分析结果显示：全国智能化发展整体呈上升态势，且东部地区智能化水平始终高于中西部以及东北地区，存在地区发展不平衡的现象；制造业出口产品技术结构虽然在某些时期发展速度放缓，部分省份还在个别年份出现了下降情况，但整体仍呈现上升趋势，且东部地区出口产品技术结构优于其他三个地区。基于此框架，本文运用固定效应模型进行了实证研究，旨在探讨智能化进程如何影响制造业出口产品技术结构。研究结果显示：（1）研究期间观察到，智能化显著地推动了制造业出口产品技术结构的优化。（2）智能化对制造业出口产品技术结构的影响表现出明显的地域差异性和时间变化特点：相较于西部和东北地区，智能化发展对中部和东部地区的促进作用更加显著；相较于政策出台后，政策出台前智能化的发展对制造业出口产品技术结构的促进作用更加显著。（3）智能化能够通过技术溢出和人力资本积累效应对制造业出口产品技术结构产生促进作用。

基于上述研究结论，本文提出如下对策建议：一是提高对智能化促进产品技术结构转型升级的重视程度，把握智能技术应用优势，稳步推进制造业智能化转型；二是结合不同地区的制造业发展优势，因地制宜、因势利导，有序推动地区、行业智能化发展；三是重视人才培养，推进人才更新换代，不断积累人力资本，优化劳动力技术结构，加速智能技术的吸收和转化；四是各地区协同发展，最大限度发挥智能技术的溢出效应与辐射带动作用。

**关键词：**智能化 制造业出口产品技术结构 技术溢出 人力资本积累 异质性

## Abstract

With the economy entering the new normal, the growth rate has shown a slowing trend, and the optimization and adjustment of economic structure has become the focus of national economic development. In this context, improving the technical content and structure of export products plays a key role in promoting the structural transformation of China's economy. At the same time, with the arrival of a new round of scientific and technological revolution and industrial transformation, intelligence has increasingly become a new driving force for high-quality exports of manufacturing industries in various countries, providing important opportunities for the transformation and upgrading of China's manufacturing exports. Therefore, the study of the impact of intelligence on the technical structure of China's manufacturing export products can provide a basis for all localities to formulate intelligent development strategies in line with local realities and optimize the technical structure of export products, and is of great significance for promoting high-quality exports of China's manufacturing industry and promoting economic structural reform under the new normal.

This paper uses the intelligent measurement method proposed by Liu Jun (2022) for reference to build an intelligent evaluation index system, and selects the export complexity index as the proxy variable of the technical structure of export products. At the same time, based on the "China High-tech Industry Statistical Yearbook", provincial statistical yearbook, the import and export

database of the General Administration of Customs of China and the National Research network database, the intelligent development level and the technical structure of manufacturing export products in 30 provinces (municipalities) from 2010 to 2022 are estimated. The results show that the development of intelligence is on the rise in the whole country, and the intelligence level in the eastern region is always higher than that in the central and western regions and the northeast region, and there is an unbalanced phenomenon of regional development. Although the technological structure of manufacturing export products has slowed down in some periods, and some provinces have also declined in individual years, the overall trend is still upward, and the technological structure of export products in the eastern region is better than that in the other three regions. Based on this framework, this paper uses the fixed-effect model to conduct an empirical study, aiming to explore how the intellectualization process affects the technical structure of manufacturing export products. The results show that: (1) During the study period, it was observed that intelligence significantly promoted the optimization of the technical structure of manufacturing export products. (2) The influence of intelligence on the technical structure of manufacturing export products shows obvious regional differences and time changes: compared with the western and northeastern regions, intelligent development has a more significant promoting effect on the central and eastern regions; Compared with before the introduction of the policy, the development of intelligence after the introduction of the policy has a more

significant role in promoting the technical structure of manufacturing export products. (3) Intelligence can promote the technical structure of manufacturing export products through the effect of technology spillover and human capital accumulation.

Based on the above research conclusions, this paper puts forward the following countermeasures and suggestions: First, pay more attention to the transformation and upgrading of product technology structure promoted by intelligence, grasp the advantages of intelligent technology application, and steadily promote the intelligent transformation of manufacturing industry; The second is to combine the advantages of manufacturing development in different regions, adapt to local conditions and take advantage of the situation, and orderly promote the intelligent development of regions and industries; The third is to attach importance to personnel training, promote the replacement of talents, continuously accumulate human capital, optimize the technical structure of labor force, and accelerate the absorption and transformation of intelligent technology; The fourth is the coordinated development of all regions to maximize the spillover effect and radiation driving role of smart technology.

**Keywords :** Intelligence ; Technical structure of manufacturing exports ; Technology spillover; Human capital accumulation; Heterogeneity

# 目 录

<b>1 引言</b> .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的与意义.....	2
1.2.1 研究目的.....	2
1.2.2 研究意义.....	2
1.3 研究内容与方法.....	3
1.3.1 研究内容.....	3
1.3.2 研究方法.....	5
1.4 创新与不足.....	5
1.4.1 创新点.....	5
1.4.2 不足之处.....	6
<b>2 文献综述</b> .....	7
2.1 关于智能化的相关研究.....	7
2.1.1 智能化内涵的界定.....	7
2.1.2 智能化的测算方法.....	8
2.1.3 智能化的经济影响.....	9
2.2 关于出口产品技术结构的相关研究.....	11
2.2.1 出口产品技术结构的测算方法.....	11
2.2.2 出口产品技术结构的影响因素.....	13
2.3 关于智能化对出口产品技术结构影响的相关研究.....	15
2.4 文献评述.....	15
<b>3 智能化影响出口产品技术结构的理论基础与作用机制</b> .....	17
3.1 智能化影响出口产品技术结构的理论基础.....	17
3.1.1 技术差距理论.....	17
3.1.2 内生增长理论.....	17
3.1.3 产品空间理论及比较优势演化理论.....	18
3.2 智能化影响出口产品技术结构的机制分析.....	19
3.2.1 技术溢出机制.....	19

3.2.2 人力资本积累机制 .....	20
3.3 本章小结 .....	21
<b>4 中国各地区智能化与制造业出口产品技术结构的现状分析 .....</b>	<b>23</b>
4.1 中国各地区智能化现状 .....	23
4.1.1 智能化指数体系构建 .....	23
4.1.2 智能化指数测算结果 .....	24
4.2 中国各地区制造业出口产品技术结构现状 .....	29
4.2.1 制造业出口产品技术结构测算方法 .....	29
4.2.2 制造业出口产品技术结构测算结果 .....	30
4.3 本章小结 .....	32
<b>5 智能化对中国制造业出口产品技术结构影响的实证分析 .....</b>	<b>33</b>
5.1 模型设定与变量选取 .....	33
5.1.1 模型设定 .....	33
5.1.2 变量选取 .....	34
5.2 基准回归分析 .....	36
5.2.1 描述性统计 .....	36
5.2.2 相关性分析 .....	36
5.2.3 基准回归结果 .....	37
5.2.4 稳健性检验 .....	39
5.2.5 内生性检验 .....	40
5.2.6 中介效应检验 .....	41
5.2.7 异质性检验 .....	44
5.3 本章小结 .....	47
<b>6 研究结论及对策建议 .....</b>	<b>49</b>
6.1 研究结论 .....	49
6.2 对策建议 .....	50
<b>参考文献 .....</b>	<b>52</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>59</b>

# 1 引言

## 1.1 研究背景

自加入世界贸易组织以来，中国已经逐步崛起为全球最大的贸易国和出口国。在新的经济发展阶段，随着经济增长速度的放缓，经济结构的优化改革变得至关重要，其中，优化出口产品技术结构是推动中国经济转型的一个重要方面。在国际分工格局的不断深化过程中，中国的出口结构逐渐以工业制成品为主导。尽管这些产品在技术层面取得了长足进步，但仍然遭遇一系列问题：加工贸易在出口中所占比重依旧较高，出口产品中高能耗类型仍占有较大份额，且这些出口产品的附加值普遍偏低，致使中国长期以来在国际产业链条中常局限于较低端的环节。在新时代背景下，要促进制造业的持续发展，优化出口产品技术结构就显得尤为迫切。尽管如此，中国在将制造业出口向技术更高层次迈进的道路上，不得不面对两大严峻考验：首先在低端市场，新兴经济体之间的价格竞争异常激烈，同时，由于人口红利与资源优势的减退，中国制造业正失去其劳动成本上的优势；其次在高端市场，发达国家凭借其强大品牌和优质产品保持领先地位，牢牢掌握着关键核心技术，同时在国际规范的制定上具有决定性的影响力。因此，对于如何改善和提升出口产品技术结构的研究确有意义。当前，探索中国制造业如何在出口方面实现技术结构的提升已成为一个亟待讨论的课题。

计算机技术与人工智能技术的快速发展，使各行各业都开始向智能化方向转变。全球范围内，一场以工业化与信息化紧密融合为主导的工业技术革新正在兴起。智能化技术正在逐步演变为驱动各国制造业高质量出口的新兴力量。美国出台《智能制造振兴计划》，日本提出建设“超智能社会”，德国通过“工业 4.0”计划……主要发达国家通过“制造业回归”计划争先打造制造业智能化新模式，振兴本国中高端制造业。

中国紧跟全球步伐，实施智能制造战略。习近平总书记在中国科学院第十九次院士大会及中国工程院第十四次院士大会上强调：“要以智能制造为主攻方向推动产业技术变革和优化升级，推动制造业产业模式和企业形态根本性转变”<sup>①</sup>。为了响应新常态下对制造业的更高标准和质量需求，同时提升中国在全球产业链中的地位，相关部门制定了“中国制造 2025”规划和智能制造战略部署，先后出台《新一代人工智能发展规划》、

<sup>①</sup> 宋之杰,肖寒.积极推动制造业智能化发展.《河北日报》,2019.08.23.

人民日报：向智能制造要质量要增量，中华人民共和国工业和信息化部，<https://www.miit.gov.cn/>.

《“十四五”智能制造发展规划》、《推进贸易高质量发展三年行动计划》等一系列文件。这一系列举措致力于利用智能化技术，增强中国出口产品的技术含量和市场竞争力，推动出口产品技术结构朝着更加优化的方向发展。

目前，智能制造发展初见成效。截至 2022 年底，中国已建成 2100 多个高水平的数字化车间和智能工厂，建成具有一定区域和行业影响力的工业互联网平台 248 家，智能制造示范工厂的生产效率平均提升 32%，资源综合利用率平均提升 22%，产品研发周期平均缩短 28%，运营成本平均下降 19%<sup>①</sup>，制造业正加快迈向智能化时代。

## 1.2 研究目的与意义

### 1.2.1 研究目的

鉴于当前中国制造业出口产品技术结构亟待进行转型和升级，同时智能化正逐渐成为推动制造业出口质量提升的关键因素，如何厘清智能化对制造业出口产品技术结构的影响，探究其内在影响路径和作用机制，便成为本文研究的重点内容。基于此，本文着重分析智能化如何影响制造业出口产品技术结构，并通过技术溢出和人力资本累积两个视角，深入剖析其作用机制，为更有效地发挥智能化在提高中国制造业出口产品技术结构及推动外贸高质量发展方面的积极作用提供了理论框架和实践建议。

### 1.2.2 研究意义

#### (1) 理论意义

随着科技进步和产业结构的持续优化，人工智能在经济层面的应用成为热议的焦点，智能化所引发的变革亦逐步成为学术界研究的热点。尽管如此，现有研究大多集中在人工智能对劳动市场造成的冲击和对生产效能的增强等方面，同时对制造业出口产品技术结构的影响因素研究也忽略了智能化这一重要因素。因此，本文关注智能化与制造业出口产品技术结构之间的关系，着重分析智能化如何影响制造业出口产品技术结构，并探索优化这一影响的可能途径，同时对不同情境下的差异性进行探讨和验证，对于深化和拓展该领域的理论研究具有重要意义。

<sup>①</sup> 数据来源：中华人民共和国工业和信息化部。

## (2) 现实意义

当前,全球经济下行伴随价值链调整凸显出提升出口产品技术结构的紧迫性。因此,将目光投向制造业智能化的进程,既顺应了时代的发展潮流,也是实现可持续发展的必然选择。本文构建多维度智能化评价指标体系并选取代表性指标测算分析中国各地区(省)智能化以及制造业出口产品技术结构的发展现状,通过理论与实证检验的结合,全面探索智能化如何作用于制造业出口产品技术结构,从而对促进中国制造业的高水平出口和推动经济新常态下的结构性改革具有一定的现实意义。

## 1.3 研究内容与方法

### 1.3.1 研究内容

本文共分为六个部分。

第一部分,引言。主要描述研究背景、研究目的及意义,阐述本文的研究框架。基于中国制造业出口产品技术结构面临转型升级挑战以及新一轮的工业技术变革引发的各国智能战略部署这一时代背景,本文从理论和实践的视角出发,揭示智能化对中国制造业出口产品技术结构产生的深远影响。

第二部分,文献综述。文献研究主要从三个层面进行:首先,了解国内外在智能化领域的最新进展;其次,分析关于出口产品技术结构研究的研究态势;最后,梳理智能化如何影响出口产品技术结构的现有文献。在此基础上了解本研究的讨论空间和前景,同时为智能化与制造业出口产品技术结构的量化研究提供坚实的方法论支持,以此为整篇文章的研究方向提供明确的指引。

第三部分,理论基础与作用机制。本章主要在技术差距理论、内生增长理论以及产品空间及比较优势演化理论的基础上,分析智能化对出口产品技术结构的作用机制,并考察在这一影响过程中可能存在的异质性,进而形成相应的假设。

第四部分,现状分析。通过综合现有文献,构建智能化指数体系,同时采用合适的测算方法作为代理变量以反映不同地区制造业出口产品的技术结构。随后,对各个区域(省)的智能化发展程度和制造业出口产品技术结构进行具体量化,进而分析其地区分布特征、发展演变趋势及其原因。

第五部分,实证分析。首先,构建计量模型,并详细说明模型涉及的变量选取、数据来源以及数据处理的具体方法。其次,运用描述性统计和相关性分析方法,初步揭示

智能化与制造业出口产品技术结构之间的关系。再次，通过采用固定效应模型，实证检验智能化对制造业出口产品技术结构的积极作用。为了确保研究结果的稳健性，进行一系列稳健性检验，包括更换被解释变量和运用工具变量法等方式，以检验模型是否存在内生性问题。此外，本章还从技术溢出和人力资本积累两个方面，深入挖掘智能化对制造业出口产品技术结构的影响机制，并进一步探讨智能化在不同地区和时期对出口产品技术结构的差异化影响。

第六部分，结论与对策建议。对本文的主要观点和研究结论进行梳理和归纳，综合考虑智能化对制造业出口产品技术结构的影响路径及其异质性表现，提出与智能化赋能制造业出口结构转型升级相适应的政策性建议。

论文主要研究思路见图 1.1。

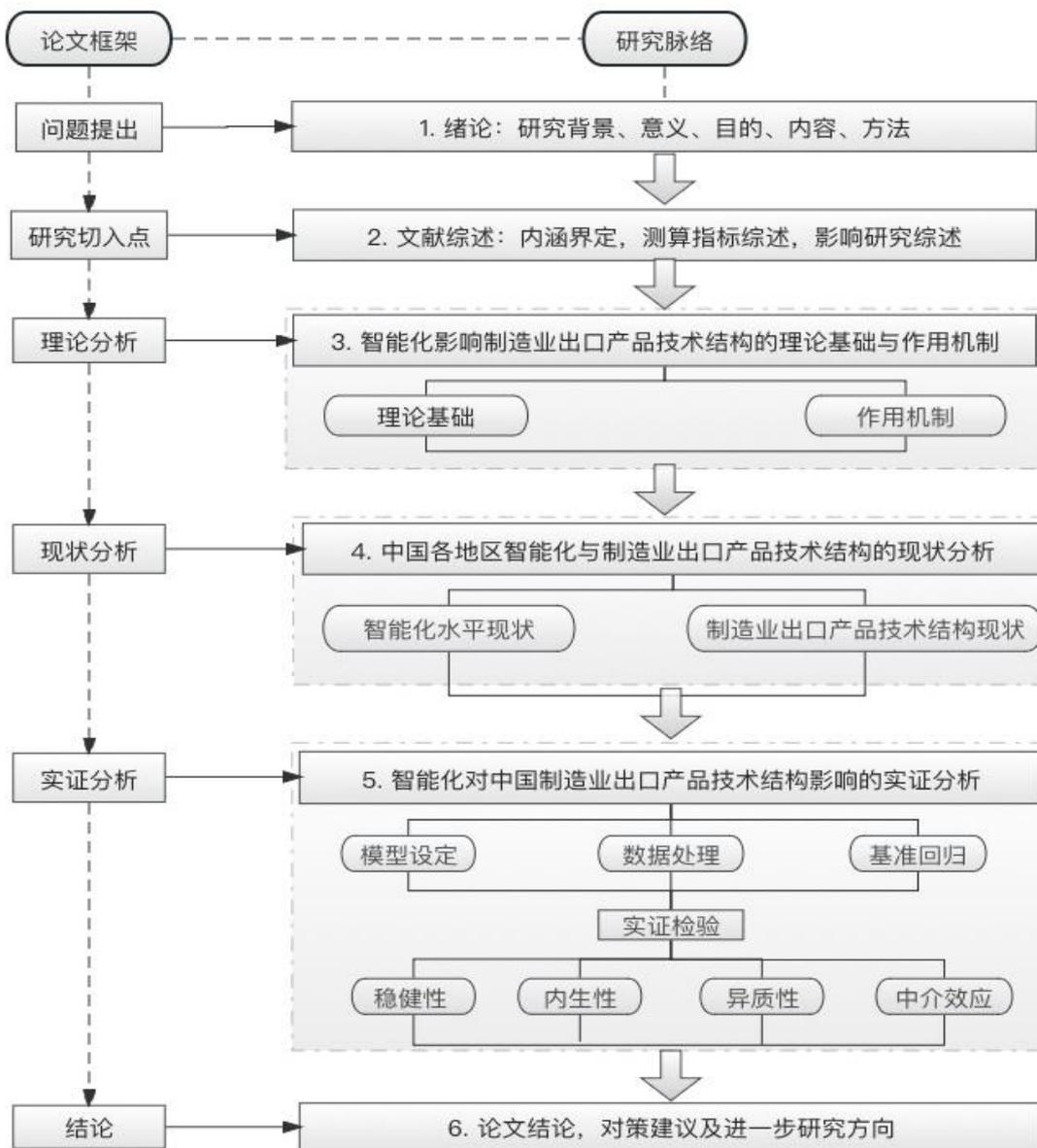


图 1.1 技术路线图

## 1.3.2 研究方法

本文充分运用现代统计方法，结合经济学、国际贸易学、智能制造工程、计量经济学的相关知识，采取客观赋权的熵值法构建智能化指标体系，选取EXPY模型计算出口产品技术结构，采用省级面板数据，使用固定效应模型，加入相关控制变量，全面评价智能化对制造业出口产品技术结构的影响并分析这一影响机制。

论文采用以下三种研究方法：

第一，文献研究法。文献研究法广泛应用于各个学科中，主要作用是了解有关问题的发展历史和研究现状，有助于研究人员更好地了解事物的全貌。本文通过知网、图书馆数据库、网页等渠道将智能化与制造业出口产品技术结构的关系进行了梳理，为之后的分析研究奠定理论基础。

第二，比较分析法。在现状分析部分，本文对智能化程度和制造业出口产品技术结构进行了系统的测算，不仅关注其在不同时期的发展趋势，同时还进行了区域间的对比研究，全面分析了中国各地区在智能化转型和出口产品技术结构升级上的现实进展。在实证分析部分，本研究进一步比较揭示了在不同因素的影响下，智能化对制造业出口产品技术结构产生的差异化作用效果。

第三，计量回归法。本文首先通过 hausman 检验确定选取固定效应 FE 模型进行基准回归分析，并通过替换变量、工具变量法来进行稳健性和内生性问题检验。其次通过中介效应模型分析两者的内在作用机制，最后基于异质性检验分析智能化赋能制造业产品技术结构升级的地区和时期差异性。

## 1.4 创新与不足

### 1.4.1 创新点

本文的创新点主要有以下三点：

第一，当前的学术讨论多将注意力放在智能化的细分领域，例如机器人技术和互联网的应用对全要素生产率和劳动力市场产生的具体经济影响上。此外，关于出口产品技术结构的影响因素，现有研究多集中在探讨诸如外商直接投资、技术进步和要素禀赋等传统因素，然而，对于智能化与制造业出口产品技术结构之间的直接联系及其整体效应，尚未形成广泛而深入的研究探讨。本论文以智能化为研究焦点，深入探讨其对中国制造

业出口产品技术结构产生的影响，旨在填补现有研究的空白，并为更好地厘清智能化与制造业出口技术结构之间的关系提供经验借鉴。

第二，现有研究更多关注技术创新在智能化对出口技术结构影响中的作用机制，本研究则从技术溢出效应和人力资本累积两个视角，深入分析了智能化对出口产品技术结构的作用机理，并在此基础上，为智能化时代制造业出口产品技术结构的优化提供新的理论依据和实践指导。

第三，本文除借鉴较新的指标测算体系并比较选取合适的测算方法以探讨智能化对制造业出口产品技术结构的总体影响外，还从区域和时间层面考察智能化制造业出口产品技术结构的异质性影响特征。

### 1.4.2 不足之处

本文的不足之处有以下两点：

第一，考虑到一些子行业数据的不完整性以及制造业内部尚未建立一致的分类标准，这些问题有可能对实证分析的结果产生负面效果。为了提升研究的可信度和有效性，本研究决定聚焦于中国省级层面的制造业总体出口产品技术结构，而并未针对智能化对不同子行业出口产品技术结构所产生的影响差异进行详细的分析。

第二，基于智能化指标测算中数据的可得性，在构建智能化指数评价体系时，本研究对其中的个别指标进行了调整和替换，因此所得测算结果可能与各地区真实智能化水平存在一定程度的偏差。

## 2 文献综述

### 2.1 关于智能化的相关研究

#### 2.1.1 智能化内涵的界定

智能化的发展经历了数字化制造、网络化制造和智能制造三个阶段，智能制造为智能化的成熟阶段（李廉水，2019）。智能制造概念的首次提出可追溯至1988年，在《Manufacturing Intelligence》一书中，P.K.Wright 和 D.A.Bourne 定义智能制造为一个自动化生产流程，其中包括了整合的知识工程方法、先进的制造软件解决方案以及机器人视觉系统，这些技术共同协作，无需人类直接参与，就能够让智能机器自主地执行制造任务。在工业4.0的浪潮推动下，新兴技术如工业互联网、大数据处理和云计算的崛起极大地扩展了智能制造的边界。Helen Gill 博士（2006）在由美国国家科学基金会支持的研究中提出了智能制造的新观点，她从提升制造系统能力的视角出发，将智能制造视为一种集成计算机模拟人脑活动的制造模式。这种模式涵盖了信息的收集、分析、决策的制定以及决策的自动执行，目的在于减轻人的体力工作负担并扩展人的认知。根据 Davis（2016）等人的研究，智能制造的核心目标是优化产品的制造与流通过程，通过采用尖端信息技术和智能化手段来提升生产过程的适应性和灵活性，以便更好地应对全球化竞争带来的挑战。

国内学者也从不同的维度对智能化内涵作出了界定。在王喜文（2015）的论述中，其从制造活动的相互联系角度出发，将智能化理解为在企业内部构建“信息物理系统”以实现高效运作，在企业之间推动“互联制造”以促进资源共享，以及在企业外部通过“数据制造”来拓展服务范围和价值创造。在韩江波（2017）的研究中，他从制造业的价值链角度出发，提出智能制造即智能技术广泛应用于价值链各个部分，并打破了传统的界限划分。在这一变革过程中，原本由人工承担的体力工作正在被智能化技术所替代，这样不仅促进了制造业价值链的创新，还提高了整个产业链的效率。在2019年的研究中，陈彦斌和林晨等学者将智能化视为信息技术在实体经济中的深度渗透。认为智能化促进了生产技术革新、生产流程优化以及管理决策效率的提升。

在学界对智能制造的多维度内涵进行广泛讨论之际，工信部与财政部于2016年共同发布了《智能制造发展规划（2016-2020年）》（以下简称《规划》）指出：“智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、

管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式<sup>①</sup>”。结合国内外学者与《规划》对智能制造的描述，可以认为，智能化是信息化和工业化的有机融合，是将大数据、云计算等新一代信息通讯技术融入基础制造技术体系，促进企业内部互联互通、外部数据制造，并逐渐取代传统制造业体力脑力劳动以提高生产效率、推动制造业价值链创新的过程。

### 2.1.2 智能化的测算方法

多数现有的文献在探讨如何评估智能化程度时，通常会从两个主要的方面来衡量智能化的水平：

一是选取单一指标作为智能化的代理变量。其优点在于数据可获得性强、计算简便。在生产效率方面，国内部分学者选取是否应用工业机器人（王兵、王启超，2019）、核心零部件国际采购额占工业产值的比重（韩会朝、徐康宁，2020）作为智能化的代理变量，证明智能化对全要素生产率的促进作用。其他学者则采用工业机器人投入（孙早、侯玉琳，2021）、工业机器人安装密度（王文，2020）、制造业信息化产出（杨飞、范从来等，2020）、上市公司年报中与智能化相关的词频数（温湖炜、钟启明，2021）等指标代表智能化水平开展研究。国际上对智能化水平的评价常常侧重于依赖如自动化技术或工业用机器人的部署数量这样的单一指标。比如，在 Graetz 和 Michaels (2018) 的研究中，就采用了电子信息化程度作为衡量智能化程度的一个关键指标；在 2019 年的研究中，Acemoglu 和 Restrepo (2019) 通过引入自动导引车、机械传感器、工业用机器人等元素刻画智能化技术<sup>②</sup>；Acemoglu 与 Restrepo (2018) 以及 Kromann 等 (2020) 的研究中，均选择了工业机器人密度作为衡量企业或产业智能化程度的指标。

二是创建一个包含多个维度的智能化指标评估框架，其优势在于能够全面地评价一个区域的智能化发展情况。思路大多是先从不同的维度构建分级指标，再利用熵权法给各指标赋予权重加权计算得到地区智能化水平，区别在于不同学者选取的维度有所不同。刘军等 (2019)、李廉水等 (2020) 均从投入的角度来衡量智能化的水平，具体包括智能化研发的资金投入、购买相关设备的成本，以及智能化技术相关专业人员的投入等指标。而孙早与侯玉琳于同年设计的中国工业智能化指数，则从三个不同维度进行了考量：

<sup>①</sup> 资料来源：工业和信息化部《智能制造发展规划（2016—2020年）》。

<sup>②</sup> 赵星.中国工业智能化对全要素生产率的影响研究[D].华东师范大学,2021.

首先是基础设施的完善程度，其次是智能化技术在生产实践中的应用状况，最后是由此提升的市场竞争能力和经济效益。2020年，刘欢、王书斌以及张万里与宣旸均采纳了与其类似的指标用以衡量智能化的发展水平。同年，刘亮等提出了一个包含三个关键要素的智能化水平框架：即智能化的基础、智能化的技术以及智能化带来的成效。李健旋则依据智能化概念构建了一个涵盖智能技术、智能应用及智能效益三大要素的变量模型，其研究结果表明，智能化的发展水平在不同区域间呈现出鲜明的不平衡性，其中东部区域在所有相关维度上均领先于中西部区域。2022年，祝树金等在先前研究成果的基础上，对智能化水平的评价维度进行了深化，确立了包括基础设施完善度、服务保障能力、平台发展状况和综合效益在内的四大评价指标。其中在综合效益的评价上，他们特别纳入了地方经济与社会影响两大效益指标，极大地丰富和拓宽了智能化水平的评估方法和维度。

智能化进程代表了将尖端的科技信息技术与制造业领域相融合的动态发展过程。若仅仅选用单一指标来衡量一个地方的智能化水平，会显得相对片面，缺乏可靠性。相反，通过构建一个包含多种维度的智能化评价体系，可以获得更为坚实且全面的评估效果。基于此，本文沿用了刘军在2022年提出的测算方法，以基础投入、生产应用和市场效益为核心，构建了一个全面的智能化评价指标框架。进一步地，应用熵值法对各指标进行客观权重的分配，并据此得出了2010至2022年间中国除西藏外的30个省级行政区制造业智能化发展程度的详细数据。

### 2.1.3 智能化的经济影响

#### (1) 智能化对全要素生产率的影响

在现有的学术讨论中，对于智能化技术与全要素生产率之间的关联存在两种截然不同的看法。

一方面，在2020年的研究中，陈永伟与曾昭睿基于当前工业机器人普及程度不高的背景，提出了他们的见解：尽管现在智能化技术对提高生产率的影响尚不显著，但随着技术的不断革新，未来智能化对提升全要素生产率的积极影响预期将会逐步扩大。同年，韩会朝和徐康宁着眼于企业层面的实际状况，揭示了智能化对提高全要素生产率的效果并非存在普遍的一致性，而是会因地理区位、企业规模及所有制差异而有所不同。他们观察到，位于东部地区的企业从智能化中获得的生产率提升尤为突出；同时，对于规模较大的公司来说，运用智能化技术能够带来更为显著的生产效率增益；此外，相较

于私营企业，国有企业在智能化投入上所带来的生产率提升效果更为显著。

另一方面，部分研究者则持有相反的看法，他们主张智能化可能会导致全要素生产率的增长放缓，并就此提出了多种理论依据来支持这一观点。Acemoglu 和 Restrepo 在 2018 年的研究中指出，如果企业在生产活动中过度依赖自动化，可能会引起资源的不当配置和成本的不必要上升，这些因素共同作用可能会抑制全要素生产率的提高。在国内学术界，蔡跃洲与陈楠于 2019 年指出，人工智能技术的实施和应用面临多重挑战，包括对高技能人才的需求、配套硬件与软件的完备性、技术兼容性以及政策环境的支持等。鉴于上述条件的限制，人工智能与员工及其使用的技术工具之间需要经历一段时间的磨合和适应。同样地，资本的积累达到能够支撑人工智能大规模部署的水平，以及智能技术在生产流程中的深度融合和效能释放，均伴随一定程度的滞后效应，并非短期内所能实现。基于此，虽然从长远视角看，智能化技术有助于促进全要素生产率的提高，但在初期阶段，它可能反而会对全要素生产率的提升产生抑制作用。

## (2) 智能化对劳动就业的影响

智能化技术对劳动力市场的影响既体现在就业数量上，也表现在就业结构的变化上。

### ① 智能化对就业总量的影响

智能化技术对就业规模的影响主要体现在它对人力资源的替代作用和补充作用上。一方面，随着智能化技术与传统经济的紧密结合，智能化设备开始接管人类的简单劳动甚至部分复杂劳动，这可能导致工作岗位的缩减，进而可能引起大规模的就业危机。另一方面，智能化技术推动的创新和生产效率的提升，有助于开拓新的行业领域，由此带来新的就业机会。

闫雪凌等人在 2020 年的研究中采用了工业机器人的持有量来代表智能化水平，探讨了智能制造技术如何影响劳动市场。其研究结果表明随着工业机器人数量的增加，智能制造技术将逐步取代人工劳动力而直接引起就业岗位的增加。同年，王永钦和董雯通过工业机器人的渗透度来衡量企业在人工智能方面的应用强度。他们的研究揭示了，尽管企业内既存在智能化技术导致的工作岗位流失（替代效应），也存在生产效率提升带来的劳动力需求增加（补充效应），但目前智能化对劳动力的替代作用仍占主导地位。而关于对此现象成因的解释，陈彦斌等人（2019）与 Abeliansky 和 Algur（2020）的研究指出，这主要是基于现如今中国经济社会的特定环境，即主要受三方面因素影响：一是人口老龄化速度加快；二是劳动力成本不断攀升；三是市场上缺乏足够的熟练智能技

术工人。

理论上智能技术对劳动力的补充效应可追溯至古典经济学派的充分就业均衡理论，该理论认为在一个竞争无阻的经济体系中，市场这只“无形的手”终会调节至充分就业的均衡。蔡跃洲和陈楠（2019）通过分析工业革命以来的史料发现，尽管一些岗位因技术革新被淘汰，但总会有新的岗位产生以保持劳动力市场供需平衡，由此推断智能化技术发展不会引起广泛的失业问题。同年，沈春苗与郑江淮的在研究中指出自动化技术并非独立于劳动力存在，而是与之共同参与生产活动，二者相互依存。这种共生关系保证了技术不会彻底替代人类在生产中的职能，即便智能化技术会淘汰掉那些不再适应生产需要的工作岗位，但同时也会带来全新的就业机会。

## ② 智能化对就业结构的影响

当前学术界对于智能化如何影响就业结构的探讨仍处在起步阶段，研究者们提出了诸多不同的见解，包括对知识技能劳动者的需求增加而对传统体力劳动者的需求缩减、就业形态日趋丰富以及就业模式趋向多元等。Kopytov 和 Roussanov（2018）将人力资本分为高技能与低技能两类进行实证研究，验证了人工智能技术发展会导致企业增加高技能人力资本而减少低技能劳动力，从而改变就业结构<sup>①</sup>。同年，程承坪和彭欢深入探究了技术创新如何作用于劳动力市场。在 2020 年的研究中，赵放与刘雨佳分析了第四次工业革命——以人工智能为主导——对劳动力市场的影响，他们认为市场现已分化为两个不同的领域：传统的实体劳动交易空间与新兴的在线劳动交易平台。同年，隆云滔等人探讨了“工业 4.0”背景下的就业形态并指出人类与机器之间的协同合作将成为贯穿整个生产过程的基础劳动方式，其中人类的学习和认知功能将与机器实现紧密的结合。

## 2.2 关于出口产品技术结构的相关研究

### 2.2.1 出口产品技术结构的测算方法

出口产品技术结构（Technical Structure of Export）是一定时期内一国出口产品的全部技术水平，是出口产品结构、技术含量和生产率的综合指标。其衡量方法大致归结为两大类：

第一类是按照贸易品分类。出口产品技术结构表现为一国不同技术水平产品出口在

<sup>①</sup> 刘遇洁.智能化对中国制造业出口技术复杂度的影响研究[D].广东财经大学,2023.

总出口中的比重<sup>①</sup>。依据研究视角和标准的差异，不同学者和机构将出口产品分为不同的类别。1994年的OECD报告将制造业出口产品按照研发投入的高低划分为四个层次：高科技、中高科技、中低端科技和低端科技。这一分类揭示了各国在国际市场上各类科技水平产品出口的比例情况。Lall于2000年基于技术含量，将SITC分类的237种产品细分为初级（PP）、资源型（RB）、低技术（LT）、中技术（MT）和高技术（HT）五类，考量了技术活动、学习效应、规模经济及市场准入壁垒等因素。

第二类为Hausmann等人在2005年提出的出口复杂度指数（EXPY），即通过分析出口产品的技术复杂程度来评价一个国家的出口产品技术结构。EXPY指数是通过将各国的人均GDP与各出口项目在整体出口中所占比例相结合来构建的，以前者为基础，以后者为权重，能够从国家、行业 and 商品三个层面来评估出口产品的技术结构水平。Michaely于1984年首次运用出口数据作为研发投入数据的替代创建了贸易专业化指数（TSI），即出口复杂度指数的雏形，为之后深入分析出口产品的复杂程度提供了理论支撑。2005年，Hausmann等研究者对贸易专业化指数（TSI）进行了创新，将其指标中的绝对权重转换为相对权重，进而提出了“出口复杂度”（Export Sophistication）这一新概念，以此来评估产品的技术含量。紧接着，中国学者樊纲、关志雄和姚枝仲于2006年应用了这一方法，开展了相关研究。然而，全球价值链分工的深化导致出口数据反映的不仅仅是一国的生产价值还夹杂着国外部分的附加值，这削弱了Hausmann出口复杂度指数的精确度。为了解决这一问题学术界对该指数进行了优化和修正。在此情境下，姚洋等研究者于2008年针对全球价值链所引发的估算误差，引入了产品的国内技术含量作为修正策略。2013年，丁小义借助OECD提供的投入—产出数据进行了研究，得到了中国国内生产总值中的纯国内增加值，并据此量化了中国出口产品的复杂度。

不同测度方法各有优劣。第一类方法便于观察不同技术水平产品的出口表现，且使用起来较为便捷。然而，由于其分类标准常常涉及主观判断，不同类别间可能会有所重叠，因此难以客观地反映各产品技术结构的实际变动。为了从总体上更好地衡量一个国家的制造业出口产品技术结构在全球市场中的地位。学术界更偏向于使用第二类指标方法来研究制造业出口产品的技术结构问题。因此，本文最终采用以修正后的出口复杂度指标作为实证分析中制造业出口产品技术结构的衡量指标。

<sup>①</sup> 孙玉琴,郭惠君.中日制造业出口技术结构:衡量与比较.《国际经济合作》,2018.03.20.

## 2.2.2 出口产品技术结构的影响因素

### (1) 外商直接投资 (FDI)

国家层面，Wang & Wei 在 2008 年的研究中发现，特定国家通过有效吸引外资，尤其是来自先进国家的直接投资，对提高其出口品技术结构有重要促进作用。Fontagne 等人在 2007 年的研究中强调，中国的制造业之所以能实现爆炸性增长和庞大的规模，与其大量接纳外商直接投资有着直接的关系。从数据来看，自 2001 年之后，外资企业已成为中国高端技术产品出口的主力军。在 2009 年的研究中，XU 借鉴了 Hausmann 于 2005 年构建的分析框架，深入探讨了各行业出口商品的复杂度问题。研究结果揭示了中国出口商品的技术含量正逐步向更为先进的产业倾斜，出口产品的技术结构正逐步优化，而这种转变背后的关键因素之一便是对外商直接投资的积极吸纳，其中来自经济合作与发展组织 (OECD) 成员国的投资发挥了显著作用。

根据学术界的研究成果可知，外商直接投资 (FDI) 对出口产品技术结构的影响可以分为两个渠道：一是直接影响，即 FDI 带来的技术溢出能够直接提升出口产品的技术含量进而优化产品技术结构；二是间接影响，即 FDI 通过促进出口和推动经济增长进而对出口产品的技术结构产生影响。

### (2) 人力资本

在 20 世纪早期，经济学家欧文·费雪 (I.Fisher) 对资本的范畴进行了界定并将任何产生收益的要素都纳入其中，这实质上奠定了人力资本概念的基础。后来学者们将人力资本作为变量引入了市场均衡模型 (Stokey, 1991)、经济增长模型 (Lucas, 1988)，分别指出人力资本禀赋较高的发达国家生产高质量差异产品，新古典经济成长模型中要素边际产出递减的限制因人力资本的引入而得到放松，使得经济实现长期稳定的增长态势成为可能。关于人力资本对制造业出口产品技术结构的影响，Wang 和 Wei (2010)、祝树金等 (2010)、姚洋和张晔 (2008) 均通过实证分析证实了人力资本对出口产品技术结构的正向作用。此外，还有学者将金融发展 (齐俊妍等, 2011)、地区专业化 (李磊等, 2012) 作为核心变量，而将人力资本作为控制变量，同样得出类似的结论。

### (3) 金融发展水平

金融发展是一国金融机构和金融市场效率不断提升以及金融体系功能不断完善的动态过程 (张志文, 2008)，具体表现为金融规模扩大、金融结构优化、市场效率提高

等<sup>①</sup>。无论是企业在初期的创新研发，还是在后续的生产过程中，金融的有力支持都是至关重要的，金融发展成为一种独特的竞争优势这一论断已得到学界普遍认同。

国外方面，Rajan 与 Zingales 于 1998 年首次阐明了金融发展相对优势假说，指出在信息不对称背景下，金融发展能够帮助企业应对道德风险和逆向选择，有效降低企业融资成本。对于外部融资依赖度较高的企业，成熟的金融环境无疑是一种比较优势，意味着可以获得更强的竞争力，这类企业在金融体系健全的国家中能扩大其出口业务并占据较高的出口份额，进而获得更多的贸易利润。Beck 也于 2003 年提出了相似观点，他认为金融发展水平是构成国家竞争力的关键因素之一，体现在金融服务具有比较优势的国家，其制造业出口总值往往占据了 GDP 的显著部分。此外金融体系的发展水平对贸易模式的调整和升级起着至关重要的作用，良好运作的金融市场能够有效推动贸易结构朝着更加优化的方向发展。

国内方面，2016 年齐俊妍与王晓燕着眼于金融服务效率、商业银行相对集中度以及证券市场的相关指标，分别验证了金融发展与贸易结构和出口产品技术结构改善的影响关系，同时均得出了较高外部金融依赖行业的影响更为显著的结论。

#### (4) 其他因素

关于出口产品技术结构的其他影响因素，主要集中于进出口贸易、经济发展水平、要素禀赋等方面。根据盛斌和毛其淋 (2017) 以及徐洁香与宋国豪 (2019) 的研究成果显示，发展中国家应利用国际贸易平台来激活国内的技术创新机制，这被视为加快提升国内制造业出口产品技术结构的重要渠道。一方面，高端机器设备的引进和半成品的进口活动为进口国带来了技术知识的吸收、仿效和二次创新的可能；另一方面，竞争的不断加剧激励企业不断推进技术进步，这样不仅提升了产品的科技含量也促进了出口产品技术结构的提升。张海波和李东在 2015 年的研究中运用出口复杂度指标来评估中国制造业出口产品的技术含量，研究成果显示扩大对外开放对中国制造业出口产品的技术含量有着显著的正向影响。在 2012 年的研究中邱斌等人利用出口复杂度作为评价标准分析了中国制造业在全球价值链中地位的提升情况。研究结果显示参与国际生产网络对提升中国制造业在全球价值链的层级具有正面影响。同时资本及高技术资本的积累也对中国制造业在全球价值链中获得更好的立足点起到了关键性的推动作用。

<sup>①</sup> 郭惠君.中国制造业出口贸易技术结构研究[D].对外经济贸易大学,2018.

## 2.3 关于智能化对出口产品技术结构影响的相关研究

根据前文所述，智能化技术的应用在显著增强生产效率和改善劳动力配置的同时，也促进了技术创新和交易成本的降低，进而可以从全球价值链地位、出口复杂度等角度促进进出口产品技术结构的优化升级。2020年，吕越等人阐明了人工智能在塑造国家核心竞争力方面扮演的重要角色，并强调了其作为产业升级和价值链优化的关键驱动力。他们采用机器人相关数据从企业和行业层面进行了深入的实证分析以评估人工智能对中国企业融入全球价值链所产生的实际影响，验证了人工智能主要通过替代低技术劳动力和提高企业的生产率来促进中国参与全球价值链分工。De Backer团队在2018年的研究中指出，人工智能及其他尖端科技正重塑生产和管理的基本框架，驱动着全球产业链与价值链的持续演进。将智能制造技术融入生产环节，不仅能够提升企业的生产效能，还能帮助它们在全球价值链中获得更强的竞争力和更高的战略地位。此外，根据相关研究，信息化技术的迅猛发展大幅度减少了贸易活动中的各种成本，包括运输费、寻找供应商的费用以及沟通协调的开支等，并由此推动了贸易量的增长，这一点在Anderson与Wincoop (2003) 以及Meijers (2014) 的研究中得到了证实。而钞小静等人在2020年的研究中，聚焦于城市层面，研究了新型数字基础设施对外贸升级的影响。研究结果显示，这类基础设施不仅能通过技术溢出效应提升贸易效率，还能促进生产要素在更广阔范围内的流动，从而有效地支持外贸的进一步发展，并且这种促进效果还可在空间范围内扩散。

## 2.4 文献评述

通过对文献的梳理可以发现：一方面，现有的学术文献大多聚焦于探讨工业机器人和互联网等智能化技术的特定分支，深入分析了这些技术对国内就业格局及全要素生产率的作用，取得了一系列宝贵的研究成果。尽管如此智能化发展所带来的诸多新问题和挑战依然有待深入研究，特别是智能化对出口产品技术结构所产生的影响这一关键议题。另一方面，在全球贸易格局演变及智能化浪潮的推动下，学者们在探讨出口产品的技术结构时普遍聚焦于诸如外商直接投资、技术革新、资源禀赋及开放政策等传统要素对制造业出口产品技术结构的作用，而智能化这一新型要素对出口产品技术构成的潜在影响，尚未在现有研究中得到应有的重视和明确的实证支持。

综上，基于学界在此领域所取得的研究成果，本文对智能化与制造业出口产品技术

结构指标进行测算，重点探讨智能化对制造业出口产品技术结构的影响及其优化路径，同时将考察智能化影响的潜在差异性并对此进行检验，以期对现有的研究领域作出有益的补充和扩展。

### 3 智能化影响出口产品技术结构的理论基础与作用机制

#### 3.1 智能化影响出口产品技术结构的理论基础

##### 3.1.1 技术差距理论

Posner 于 1961 年在其著作《国际贸易与技术变化》中将技术定位为一个与劳动和资本相独立的第三生产要素，并将其作为外生给定的变量引入模型研究，进而提出了技术差距论。该理论阐释了技术创新和模仿活动在不同时间段及空间位置上所引发的技术差异，这些差异源自各国经济发展程度的不同。由此技术上具有比较优势的国家便会更倾向于出口那些技术含量高的产品。而国家之间技术水平的差异则源于其在技术发展中投入的不同，这种不同主要表现在研发支出和对人力资本的培养上。在全球贸易中，那些掌握高端技术的发达国家往往能够凭借其技术上的比较优势建立起显著的国际竞争优势，并倾向于出口那些技术密集的产品。相对地，发展中国家则试图通过吸引外资以及获取技术授权来减小与发达国家之间的技术差距。尽管如此，由于存在一定时期的模仿时滞效应，发展中国家在短时间内无法立即复制那些高技术产品，因此在此期间原技术创新国家能够维持其在出口市场上的领导地位。而一旦各国都掌握了这种技术，之前由于技术水平不同而产生的比较优势便会消失。相同地，智能技术作为一种特殊的生产要素，其技术发展差距使得智能化发展具有比较优势的地区会更多地出口技术密集型产品，进而促进当地出口产品技术结构的优化。

##### 3.1.2 内生增长理论

内生增长理论将技术进步内生变量纳入经济增长的理论分析框架，强调经济发展并非仅受外部条件影响，而是由经济体系内部的因素所驱动，从而能够在缺乏外部刺激的情况下维持持续的增长态势。推动长期增长的根本在于内生的技术进步，表现为生产效率的提升、知识及人才储备的增长、产品种类的多元化以及产品质量的改善，而这些均得益于企业有组织的 R&D 活动。

Lucas 在 1988 年的经济增长理论中提出，人力资本在其中扮演着知识产品传递载体的核心角色。其对经济的贡献既包括通过提高其他生产要素，如劳动和资本的使用效率而产生的间接效应，同时也包括增强人力资本本身生产效能的直接效应。人力资本的形成，除了到学校学习外，还可以通过边干边学的方式，教育之外的经验也是形成人力资本的关键途径。据 Lucas (1988 年) 的观点，不同国家因其知识累积和技术发展水

平的差异会倾向于专业化生产各自具有优势的产品。Stokey (1991 年) 则指出人力资本较为缺乏的国家通常生产低质量同质品, 反之人力资本禀赋较丰裕的国家则生产高质量差异品。

### 3.1.3 产品空间理论及比较优势演化理论

Hausmann 与 Klinger (2007) 以及 Hidalgo 团队 (2007) 在内生增长理论基础上, 将产业升级和比较优势的演化发展相融合, 提出了产品空间及比较优势演化的概念 (以下简称产品空间理论)<sup>①</sup>, 指出产品是一个国家知识积累和技术能力的载体, 反映了该国在设计、营销、管理、运作等多个领域的能力和水平。

产品空间理论包含两种评估模式: 其一是依据复杂度所构建的评估体系, 其二是依据邻近度建立的评估体系。产品的复杂度是依据人均收入来衡量的, 它揭示了产品生产所涉及的技术深度。当一个区域主要出口技术含量高的产品时意味着该地区在技术先进的产品制造上具备显著的优势。邻近度可从两个维度理解, 从产品来看, 该指数衡量了不同产品间的距离, 具体体现在生产这些产品时技术上的相近程度<sup>②</sup>。从国家来讲, 该指数展示了各国出口产品间的相似程度。

产品空间与比较优势演化的理论架构为探讨出口产品技术结构改善的潜在可行性与优化路径奠定了理论基石。在此基础上, 一个国家提升其出口产品技术结构的关键在于其产品所蕴含的知识与技能水平的持续深化与积累, 在于该国内部的技术创新及其溢出效应。通过将机器学习算法整合进制造企业的生产与控制流程, 同时借助互联网技术和大数据工具来扩展信息与技术网络, 企业得以强化各业务环节的知识反馈机制, 降低研发创新过程中的错误风险并节省创新资源。有助于企业的技术进步与有效的研发投入, 加速知识和技术在产品中的积累, 进而对出口产品的技术结构产生积极影响。

基于上述分析, 提出如下假说:

假说 1: 智能化的发展能够促进制造业出口产品技术结构的优化。

与此同时, 中国地域广阔, 各地区智能化发展所依赖的互联网、光缆线路、高技术制造业机器设备等基础设施建设水平参差不齐。中西部及东北地区的智能化发展慢于东部沿海地区, 因此其对出口产品技术结构的促进潜能大于东部沿海地区。同样地, 智能

<sup>①</sup> 郭惠君. 中国制造业出口贸易技术结构研究[D]. 对外经济贸易大学, 2018.

<sup>②</sup> 郭惠君. 中国制造业出口贸易技术结构研究[D]. 对外经济贸易大学, 2018.

化的发展在不同时期、不同阶段对出口产品技术结构的影响程度也不尽相同。

基于上述分析，提出如下假说：

假说 2：智能化对制造业出口产品技术结构的影响作用在不同区域和不同发展阶段具有异质性。

## 3.2 智能化影响出口产品技术结构的机制分析

### 3.2.1 技术溢出机制

研究智能技术特性的学者们发现智能技术的运用具有很强的溢出效应，能显著促进相关领域的技术发展和经济增长。一方面，智能技术的发展和应用本质上是一种通用性技术创新，具有广泛的技术溢出效应。2019 年，郭凯明在研究人工智能对产业结构的优化作用中观察到基础设施具有扩散效应，而智能技术设备作为一种新型基础设施也展现出了相似的外溢特性。

智能化的这种技术外溢特性具体表现在以下两个方面：其一，企业在智能化程度高的情况下通常具备较强的能力去吸收和采纳新兴技术。通过持续升级其生产设施及采纳最新的智能技术，这些企业能够不断提升自身的技术实力。在产品生产上，智能技术的引入提升了产品在制造阶段对资本与技术的依赖度，增加了产品的资本和技术要素投入；在整个产品生命周期中，智能技术贯穿于产品开发、成本控制、管理和服务等多个价值链环节，有效地提高了产品的国际竞争力和市场价值。此外，智能技术与生产活动的紧密结合会激励企业投身于创新和研发活动之中，增强其内在创新能力。这种能力的提升，伴随着技术的不断进步而推动高端技术产品的生产和对外出口。其二，高智能化程度的地区其创新要素市场的成熟度也较高，而完善的创新要素市场资金要素也相对丰裕，为所在区域企业的技术创新提供必要的物质基础。完善的要素市场一方面为要素的无障碍流通创造条件，另一方面通过吸引众多高技术和创新型人才加速知识技术的溢出和推广。

通过上述理论机制推导可知，提升智能化程度有助于加强技术的外溢效应，那么智能化的溢出效应又是否能对提升出口产品技术结构产生作用呢？Acemoglu et al. (2010) 结合理论与实证分析验证了这一点。他指出智能技术全面渗透企业生产各环节，通过低素质劳动替代以及部门协同运作等功能显著提升生产效能，进而提高出口产品技术含量。与此同时，创新要素的自由流动加速了知识技术的广泛共享，这不仅激发了行业和地区的创新活力也提高了生产效率。最终使得制造业出口产品在质量上得到改善，技

术结构也更加优化。

总之，智能技术的溢出特性促进了企业内部不同技术的有效结合与协同发展。尤其是在那些智能技术领先的地区，其创新要素市场体系通常更为发达且新技术的传播速度也更快，从而加速技术革新的步伐。这样的环境有利于推动企业、产业乃至整个区域的技术发展，提高全要素生产效率进而促进出口产品技术结构的优化。技术溢出机制的传导路径见图 3.1。

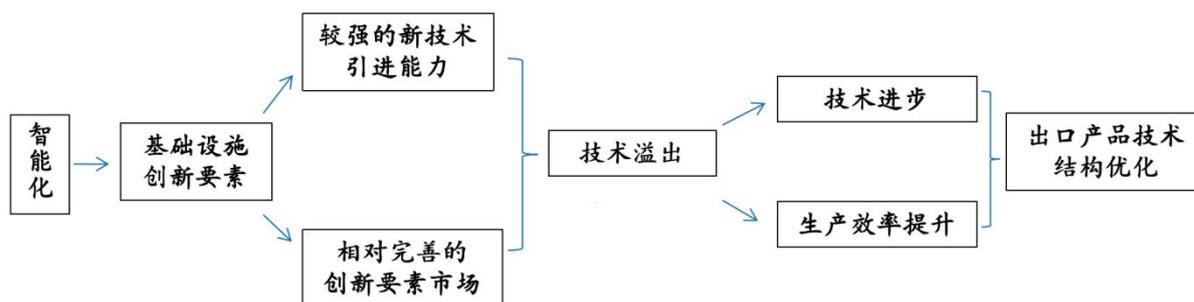


图 3.1 技术溢出机制传导路径

基于上述分析，提出如下假说：

假说 3：智能化可以通过技术溢出效应实现对出口产品技术结构的优化作用。

### 3.2.2 人力资本积累机制

在前文研究智能化对劳动市场的影响时可以发现，智能化不仅改变了就业的总量还对就业结构及形态产生深远影响。具体来说，智能化会加速劳动力市场需求分化，从替代低技能劳动力和增加高技能劳动力需求两个方面加速人力资本积累，从而最大限度发挥高技能人才“技术载体”的功能，提高出口产品的技术含量，改善出口产品技术结构。

一方面，智能化的快速发展产生了就业替代效应，“机器换人”成为一种新趋势，这是技术革新带来的必然结果。随着技术的不断进步，资本的相对成本降低促使企业纷纷引入人工智能和自动化技术，而智能化技术的引入使得制造业企业减少对低技能劳动力的需求，形成对普通资本和劳动要素的替代；另一方面，智能化在制造业各生产环节的应用使得企业转变传统的生产模式。这一变革不仅促使产业向更加精细化和专业化方向的演进，同时智能化技术带来的生产效率的提高和产品质量的改善也增强了企业生产更复杂产品的能力和动机，从而扩大对技术研发、智能设备与系统运行的维护、管

理等专业性技能人才的需求，一定程度上创造出更多就业岗位和机会，产生就业补充效应。为了与智能化技术应用相关的技术或管理岗位相匹配，并满足对新技术消化吸收能力提出的更高要求，各行各业会组织针对性的教育和培训项目以提升现有员工的技能水平，或者直接招募技能更为精湛的劳动力。长此以往，高技能劳动力的比例将逐渐提升，同时整体劳动力技能结构也将得到改善。由此，智能化提升了整体劳动力的技能水平，提高生产效率并推动出口产品技术结构优化。

与此同时，智能化在发展过程中所具有的这种技能偏向性，会随着对高技能劳动力需求和薪酬的增长，激励低技能工人通过参与更多的技能培训和教育活动以此提高自身技术能力和知识积累，适应社会生产生活的需要。因此，智能化技术的发展和有助于推动地区劳动要素高级化，促进人力资本积累。技能娴熟的劳动力是知识要素的重要承载者，高技术人才的集聚能够为地方的技术创新带来必要的人力和知识资本积累，从而促进技术的进步和发展，提升产品的技术含量并改善出口产品的技术结构。

综上所述，智能技术通过改变劳动力需求结构，对劳动力进行替代和补充，加速了人力资本积累，提升了劳动生产率和技术进步，从而使制造业出口产品技术结构得到优化。人力资本积累机制的传导路径见图 3.2。

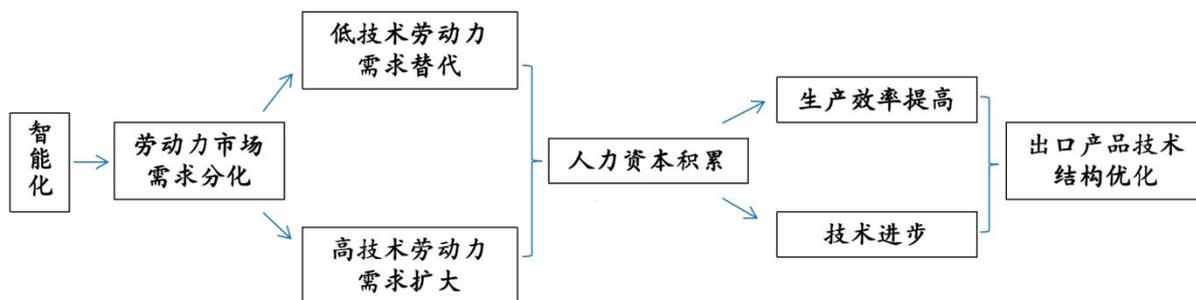


图 3.2 人力资本积累机制传导路径

基于上述分析，提出如下假说：

假说 4：智能化可以通过人力资本积累实现对出口产品技术结构的优化作用。

### 3.3 本章小结

本章以技术差距理论、内生增长理论、产品空间与比较优势演化理论为基础，探讨智能化如何作用于制造业出口产品技术结构，旨在为下文实证研究部分的影响机制检验奠定理论基础。首先，智能技术作为一种生产要素，其技术发展差距使得智能化发展具

有比较优势的地区会更多地出口技术密集型产品；其次，智能技术和设备作为一种技术创新要素和特殊的基础设施，随着企业或行业智能化程度的提升，其技术溢出效应也愈发显著，这将促进区域内技术创新成果的快速扩散，进而优化产业出口产品的技术结构；最后，智能化使劳动力市场需求产生分化，加速人力资本积累，推动行业技术进步与生产效率提高，进而优化制造业出口产品技术结构。

## 4 中国各地区智能化与制造业出口产品技术结构的现状分析

### 4.1 中国各地区智能化现状

#### 4.1.1 智能化指数体系构建

文章采用刘军（2022）提出的智能化评估框架法，从基础投入维度、生产运用维度和市场效能维度来综合构建智能化指数框架体系，同时对各分指标赋予基于层次分析法与熵值法计算的综合权重，最终得出各地区智能化水平。智能化指数的构建及详细说明如表 4.1 所示。

表 4.1 智能化指数各级指标及其权重

主指标	一级指标 (权重)	二级指标	测度指标	层次分析法	熵值法	综合权重
智能化指数	基础投入层 (0.37)	研发经费投入	高技术制造业 R&D 经费	0.14	0.10	0.12
		智能设备投入	电信固定资产投资	0.02	0.02	0.02
			高技术制造业机器设备投入	0.03	0.04	0.04
		互联网基础投入	光缆线路长度/省域面积	0.02	0.07	0.05
		人员投入	高技术制造业从业人员数	0.06	0.10	0.08
			信息传输、信息技术服务业人员数	0.05	0.06	0.06
	生产应用层 (0.42)	软件开发与服务情况	软件业务收入	0.02	0.09	0.06
		数据处理与运营情况	信息技术服务收入	0.04	0.12	0.08
		智能技术产业化程度	高技术制造业新产品产值	0.16	0.12	0.14
			高技术制造业有效发明专利	0.11	0.16	0.14
	市场效益层 (0.23)	试点企业市场效益	高技术制造业总资产利润率	0.14	0.02	0.08
		智能设备市场利润	高技术制造业利润总额	0.04	0.08	0.06
		智能设备市场效率	高技术制造业主营业务收入/ 从业人员数	0.15	0.02	0.09

资料来源：刘军（2022）关于智能化指数的构建方法。

基础设备、研发经费、人员等要素投入是制造业增长的基础以及动力来源。其中，研发投入是智能化发展的资金来源，互联网设施是企业发展智能化的重要物质基础，工业机器人等智能设备的使用是衡量企业智能化程度的重要维度，分别用高技术制造业

R&D 经费、电信固定资产投资、光缆线路长度/省域面积等指标来衡量。而智能设备的管理、维护所要求的人力资本也与一般劳动力不同，更多强调对知识、技术、经验的灵活运用，甚至需要人员持有一定的创新思维和自主学习能力，因此选取高技术制造业从业人员数、信息传输、信息技术服务业人员数来衡量。

智能技术的开发和应用是智能化水平提升的关键环节，奠定了智能化发展的基础。通过利用“互联网+”、云计算、物联网等信息分析技术，搭建匹配的智能算法，一方面使得联网的机器能够部分取代人的脑力劳动，减少生产过程对低级劳动力的过度依赖，另一方面能够提高边际产出，提高技术附加值。为了衡量各省在软件开发与服务、数据处理与运营、智能技术的产业化进程，分别采用软件业务收入、信息技术服务收入、高技术制造业的新产品产值以及有效的发明专利数量作为相应的衡量指标。

市场绩效和社会效益的实现是智能化发展的最终目标和价值体现。本文选取高技术制造业总资产利润率、利润总额以及高技术制造业人均主营业务收入来衡量。利润率与利润总额表明制造业智能化转型可通过降低成本、吸引更多的生产要素涌入、提高制造效率给企业价值和产品附加服务效益带来显著提升；高技术制造业主营业务收入占从业人员数的比重可以衡量即每一位从业人员带来的收入情况，即智能设备市场效率。

#### 4.1.2 智能化指数测算结果

在前文构建的智能化指数基础上，搜集 2010 年至 2022 年间中国 30 个省份（不包括西藏）的数据。通过应用熵值法为各级指标确定权重得以评估该时期各省份的智能化水平。表 4.2 结果显示，2010-2022 年间全国各省智能化总体水平呈现稳固上升趋势，全国智能化平均水平由 7.90 增至 23.80。广东、江苏和北京等地的智能化发展一直走在前列，显著超过了全国的平均水平。与之相反的则是甘肃、新疆和青海等省份，智能化进程的推进步伐显得较为缓慢。

表 4.2 智能化综合测度结果

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
北京	17.69	20.29	22.05	23.36	25.01	26.78	28.55	35.20	38.25	42.06	48.76	57.36	62.34
天津	9.72	10.42	12.29	14.77	15.64	16.62	17.68	16.42	15.57	16.95	18.39	18.65	18.74
河北	5.09	5.37	5.80	6.71	7.51	8.30	8.86	8.86	8.97	9.78	10.71	12.12	13.39
山西	2.05	2.73	4.51	4.04	4.47	4.91	5.22	5.83	6.29	6.74	6.44	6.37	6.35

续表 4.2 智能化综合测度结果

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
内蒙古	5.32	6.12	5.13	6.38	6.82	5.93	5.66	5.90	6.17	6.12	6.83	7.80	8.05
辽宁	8.79	10.43	11.67	12.72	13.11	11.74	10.07	11.56	12.22	12.70	12.96	12.73	12.86
吉林	4.74	5.86	5.86	7.31	8.29	9.14	9.77	8.78	7.20	7.13	6.96	6.83	6.69
黑龙江	4.36	4.98	5.09	5.77	5.93	6.30	6.24	6.51	6.55	8.81	5.68	4.61	2.72
上海	15.25	15.83	18.62	20.91	24.41	26.70	29.43	31.10	33.78	34.78	38.02	40.95	43.86
江苏	22.14	29.11	30.87	35.96	39.58	41.43	46.03	49.17	54.26	53.16	59.58	66.26	73.50
浙江	12.29	11.21	13.25	15.10	17.18	19.60	22.24	25.61	28.53	30.37	35.78	40.53	46.45
安徽	4.63	6.21	7.45	8.59	9.46	11.31	12.51	13.48	14.43	14.75	15.91	17.51	19.00
福建	10.24	11.28	10.24	12.15	13.03	14.54	16.97	19.59	22.14	22.36	23.26	24.85	26.41
江西	4.64	5.51	6.47	7.74	8.77	8.94	9.71	10.94	11.69	12.29	13.74	14.95	16.14
山东	13.31	15.20	17.11	20.23	22.84	26.21	28.71	28.28	27.76	28.12	31.14	35.57	41.15
河南	5.53	6.48	7.60	9.31	10.62	12.08	13.44	13.50	13.48	14.01	15.03	16.24	17.63
湖北	6.66	7.41	8.25	9.80	10.77	12.54	14.88	15.98	17.08	18.47	19.06	19.87	20.89
湖南	5.31	7.01	7.41	8.92	9.47	10.49	11.24	11.05	10.76	11.62	12.34	13.05	13.88
广东	37.15	41.99	46.17	52.86	58.84	62.59	69.87	77.17	88.19	96.13	110.39	120.18	129.92
广西	3.82	5.02	6.17	7.23	8.02	9.39	10.74	9.41	8.35	9.64	8.94	8.34	7.85
海南	4.15	3.93	5.69	4.07	4.96	5.54	6.04	6.98	7.90	8.40	7.32	6.57	5.98
重庆	4.60	6.80	7.76	9.00	10.59	12.04	13.91	14.66	15.51	16.60	17.34	19.15	21.02
四川	7.40	8.50	10.75	14.08	14.98	14.35	17.33	19.19	20.20	22.27	23.84	25.90	28.23
贵州	3.20	3.31	4.46	5.22	5.48	6.03	6.66	7.04	7.53	7.98	8.57	19.84	7.34
云南	3.85	4.76	4.82	5.53	5.06	4.96	5.92	6.87	7.69	9.17	11.93	14.32	16.53
陕西	5.70	6.54	6.32	7.46	8.68	9.80	11.31	12.50	13.84	15.48	16.32	17.09	16.49
甘肃	1.98	2.21	2.60	3.24	3.83	3.95	4.20	4.66	5.10	6.11	6.06	6.00	6.02
青海	2.08	2.35	3.54	4.47	4.27	5.84	6.82	5.62	4.70	5.22	6.07	7.10	8.48
宁夏	3.03	3.84	2.35	3.79	2.53	5.00	6.93	6.54	6.25	6.51	6.90	7.23	7.52
新疆	2.16	2.37	2.69	2.62	2.01	3.46	3.45	4.79	6.08	4.51	6.17	7.48	8.50
全国均值	7.90	9.10	10.10	11.65	12.74	13.88	15.35	16.44	17.55	18.61	20.35	22.52	23.80

数据来源：作者根据《中国电子信息产业统计年鉴》、《中国高技术产业统计年鉴》等计算整理。

### (1) 分省份测算结果

2010年至2022年期间，全国30个省份智能化水平均有所提高，本文根据各省均值排名划分为上中下游三个梯队，上游梯队均值在20以上，远高于全国均值14.88；中游梯队均值范围在10-20；下游梯队均值则低于10。各省份智能化水平差异如图4.1所示。

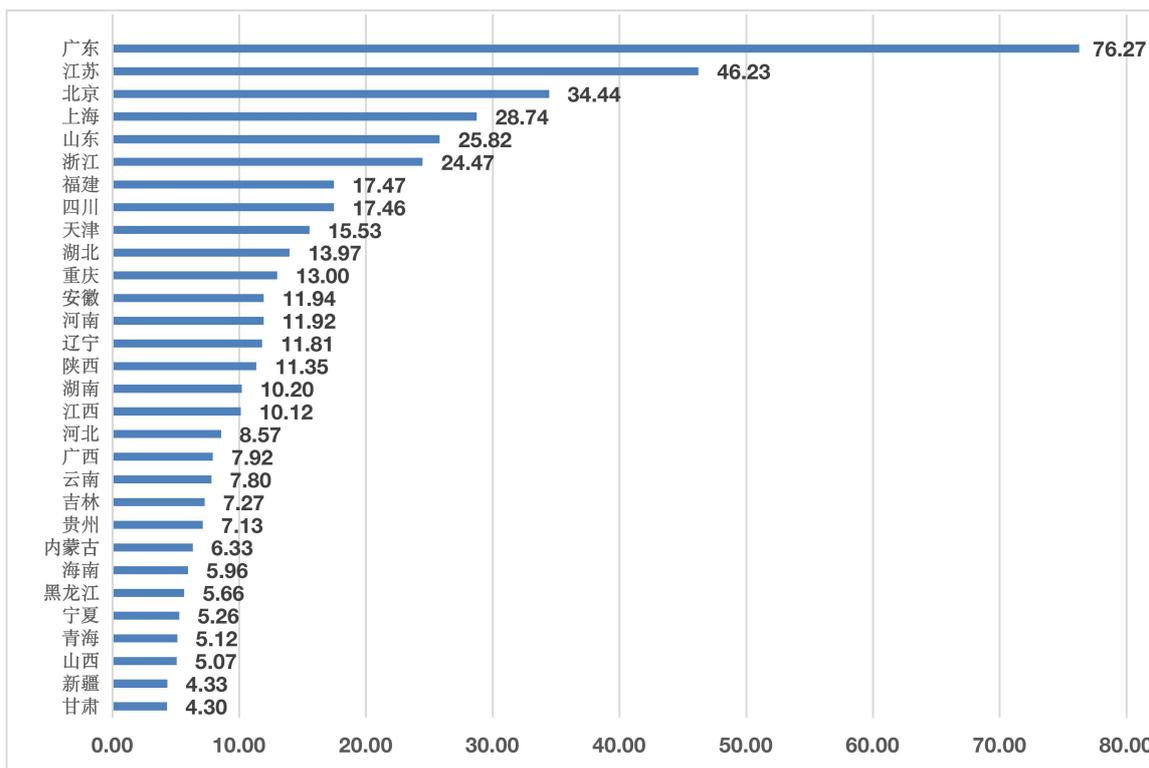


图 4.1 2010-2022 年各省市智能化平均水平

数据来源：作者根据《中国电子信息产业统计年鉴》、《中国高技术产业统计年鉴》等计算整理。

广东、江苏、北京、上海、山东、浙江属于第一梯队，是中国智能化水平最高的6个省（市）。得益于其得天独厚的地理区位优势、良好的政策环境、雄厚的经济实力、充足的高技术劳动力以及高质量的金融发展水平，这些东部地区的智能化发展处于领先态势。其中，排名第一的广东均值为76.27，远高于全国平均水平，在国内高端新型电子信息和智能制造领域处于领先地位；而排名在第三的北京则依靠其雄厚的科技人才基础，大力发展国家级的创新中心和示范区，从而保持其智能化进程的快速推进态势；排名第二、四、六位的江苏、上海、浙江则依靠长江经济带，着力打造领先的智能化产业集群。

处于第二梯队的是福建、四川、天津、湖北、重庆、安徽、河南、辽宁、陕西、湖南、江西 11 个省份，其智能化进程正处于快速发展阶段，近年来，青海、新疆、宁夏等省份大力发展制造业，并专注于将智能化技术广泛应用于生产的各个环节。通过政府政策的有力支持，这些地区成功破除了技术与生产之间的阻碍，在基础设施投入以及智能技术开发与应用方面均取得显著进展，但市场和社会效益的显现还需要时日。

第三梯队成员为河北、广西、云南、吉林、贵州、内蒙古、海南、黑龙江、宁夏、青海、山西、新疆、甘肃 13 个省份，其中广西、内蒙古、贵州、山西等省份依托当地机械制造、能源、烟草、煤炭等产业优势使其智能化水平有所提升；而青海、新疆、宁夏这些位于中国西北的省份则由于经济和科技人才等方面的局限，缺乏持续推动智能化进程的动力，因此这些地区的智能化发展速度较慢，甚至在某些时期智能化水平还有所倒退。

## (2) 分区域测算结果

根据国家统计局对经济带的最新划分方式，本文将中国 30 个省级行政区划分为四大经济区域，包括：东部 10 省、中部 6 省、西部 11 省以及东北 3 省，具体划分方式见表 4.3。

表 4.3 四大经济区域划分

经济区域	省份
东部	北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南
中部	山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南
西部	内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆
东北	辽宁、吉林、黑龙江

资料来源：国家统计局。

下图 4.2 展示了 2010 年至 2022 年间，中国东中西及东北四个区域在智能化方面的发展态势。观察可知东部地区的智能化水平显著超越了中部、西部和东北地区，而这三个区域的智能化发展进程则显得较为平缓，未能展现出强劲的发展态势。虽然中国各地区在智能化进程中的起点和速度不尽相同，其发展水平也有着明显的空间异质性，但总体来看无论是东部沿海还是内陆省份智能化的发展轨迹都表现为持续向好的趋势。

根据前文的分析，处于智能化水平上游梯队的 6 个省份均为东部地区省份，处于高

水平发展的领先态势，具体表现为：东部地区均值 25.27，远高于中部的 9.16、西部的 8.42 以及东北的 8.25。这主要源于东部地区智能化起步较早，数字基础设施较为完备、智能技术资源较为丰富、政策环境较为健全，为东部地区制造业高质量发展提供了坚实的基础；相较于东部地区，中部地区各省智能化发展条件较为欠缺，在智能化推进方面面临更多挑战，包括科技创新人才流失以及金融服务水平相对较低等问题，这些因素限制了对智能制造业的人才与融资支持；西部地区由于深居内陆，在地理位置和经济基础方面均不具优势，在智能化发展上面临基础设施、资金投入和人才支持的三重挑战，导致其发展速度落后于国家平均水平；东北地区虽然曾是国内主要的重工业中心，但迫于传统产业的转型动力缺乏以及技术更新环境的不利，其智能化的推进步伐也较为迟缓。于 2014 年和 2017 年先后被中部和西部地区反超。

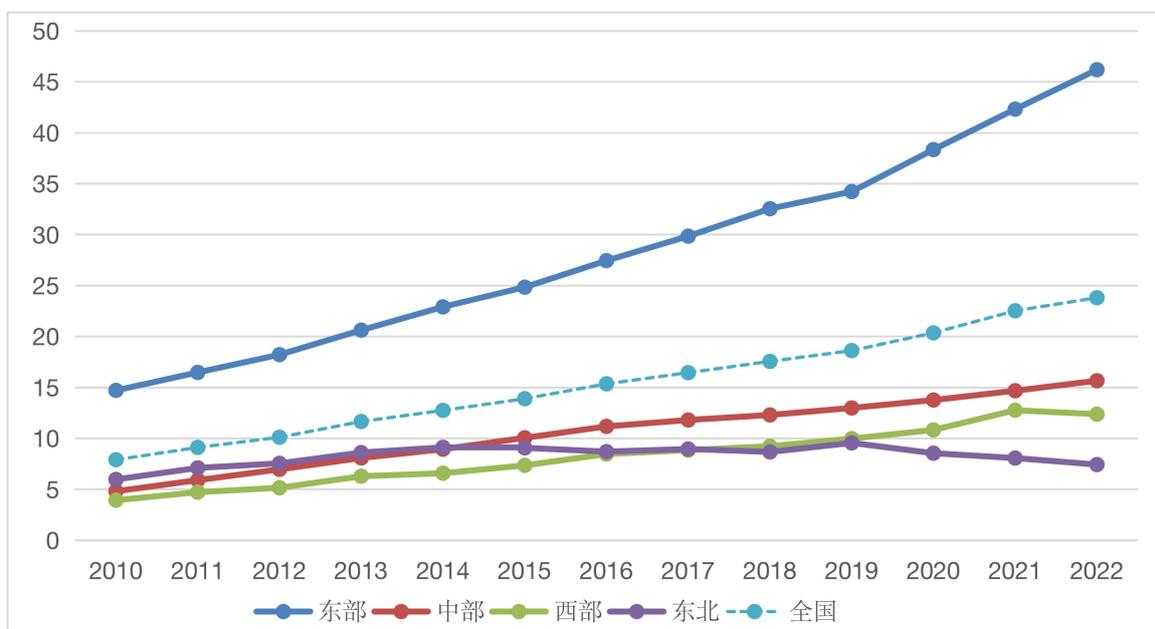


图 4.2 2010-2022 年各区域智能化水平发展趋势

数据来源：作者根据《中国电子信息产业统计年鉴》、《中国高技术产业统计年鉴》等计算整理。

整体而言，中国智能化水平在地域发展上存在不平衡性，但从时间发展趋势来看总体呈现上升态势。具体表现为东部地区的智能化水平大幅领先于全国整体水平，而中部、西部地区及东北地区的智能化水平则未达到全国的平均值，东部引领拉动中西部与东北地区的智能化发展格局基本形成。

## 4.2 中国各地区制造业出口产品技术结构现状

### 4.2.1 制造业出口产品技术结构测算方法

依据前文关于出口产品技术结构测算方法的梳理，本文在 Hausmann 等人 (2007) 提出的基于比较优势理论和 RCA 指数的出口复杂度计算模型基础上，借鉴 Xu 和 Lu (2009) 对其进行修正后的出口复杂度指数，构建地区出口产品技术结构指数。该方法分为如下两步：

第一步：结合国家统计局《国民经济行业分类》，选取中国海关 HS 两位编码下 16 个制造业细分行业<sup>①</sup>，采用如下公式计算某一制造业细分行业的出口复杂度 (PRODY<sub>i</sub>)：

$$\text{PRODY}_i = \sum_i \frac{x_{ci}/X_c}{\sum_i x_{ci}/X_c} Y_c \quad (4-1)$$

式 (4-1) 中， $x_{ci}$  表示 c 省份 i 细分行业的出口额， $X_c$  表示 c 省份全部制造业产品出口总额， $x_{ci}/X_c$  表示 c 省份 i 细分行业的出口份额， $Y_c$  为 c 省份的人均国内生产总值。值得注意的是， $\sum_i \frac{x_{ci}/X_c}{\sum_i x_{ci}/X_c}$  部分恰好可以得出显示性比较优势指数 (RCA)，因此，实际上制造业细分行业的出口复杂度是由各省人均 GDP 赋以 RCA 指数为权重的加权平均计算而来的。

第二步：通过赋予每个细分行业的出口复杂度以相应的出口份额作为权重，计算出 c 省所有出口产品的技术复杂度的加权平均值，从而得到该省制造业整体的出口产品技术结构指数 (EXPY<sub>c</sub>)：

$$\text{EXPY}_c = \sum_i \left( \frac{x_{ci}}{X_c} \right) \text{PRODY}_i \quad (4-2)$$

式 (4-2) 表明：一个地方的出口产品技术结构水平取决于出口产品的份额和技术含量。当具有高附加值的技术密集型产品的出口比重增加时，则表明该地区出口产品的复杂度提高，其出口产品技术结构亦趋向高端，该地区在全球出口贸易分工体系中的地

<sup>①</sup> 本文选取的 16 个制造业分类为：第 4 类（食品；饮料、酒及醋；烟草及其代用品制品）、第 6 类（化学工业及其相关工业产品）、第 7 类（塑料、橡胶及其制品）、第 8 类（皮革皮毛及其制品；马具和拉具；箱包；肠制丝线）、第 9 类（木及木制品；木炭；软木及其制品；稻草、秸秆、针茅或其他编结材料制品；篮筐及柳条编结品）、第 10 类（木浆及其他纤维素浆；回收（废碎）纸或纸板；纸、纸板及其制品）、第 11 类（纺织原料及纺织制品）、第 12 类（鞋、帽、伞、杖、鞭及其零件；已加工的羽毛及其制品；人造花；人发制品）、第 13 类（石材、石膏板、石棉制品、云母材料加工品）、第 14 类（贵金属制品）、第 15 类（贱金属制品）、第 16 类（工业机械、家用电器和电力装置及其组件；音频和视频播放装置、录制媒介及相应配件和补充品）、第 17 类（车辆、航空器、船舶及有关运输设备）、第 18 类（相机、电影放映设备、测量工具、检测仪器、医疗和手术器械以及精密测量设备在内的光学仪器；钟表、乐器及相关零部件和配件）、第 19 类（武器、弹药及其零件、附件）、第 20 类（杂项制品）。

位也随之提升。利用 EXPY 指数可以横向比较不同地区（省）制造业出口产品技术结构的差别，同时也可以纵向考察该地区（省）制造业出口产品技术结构水平的变迁。

### 4.2.2 制造业出口产品技术结构测算结果

#### (1) 分省份测算结果

图 4.3 展现了 2010 至 2022 年全国 30 个省份制造业出口产品技术结构的平均值, 样本选自国研网数据库以及中国海关总署进出口数据库。

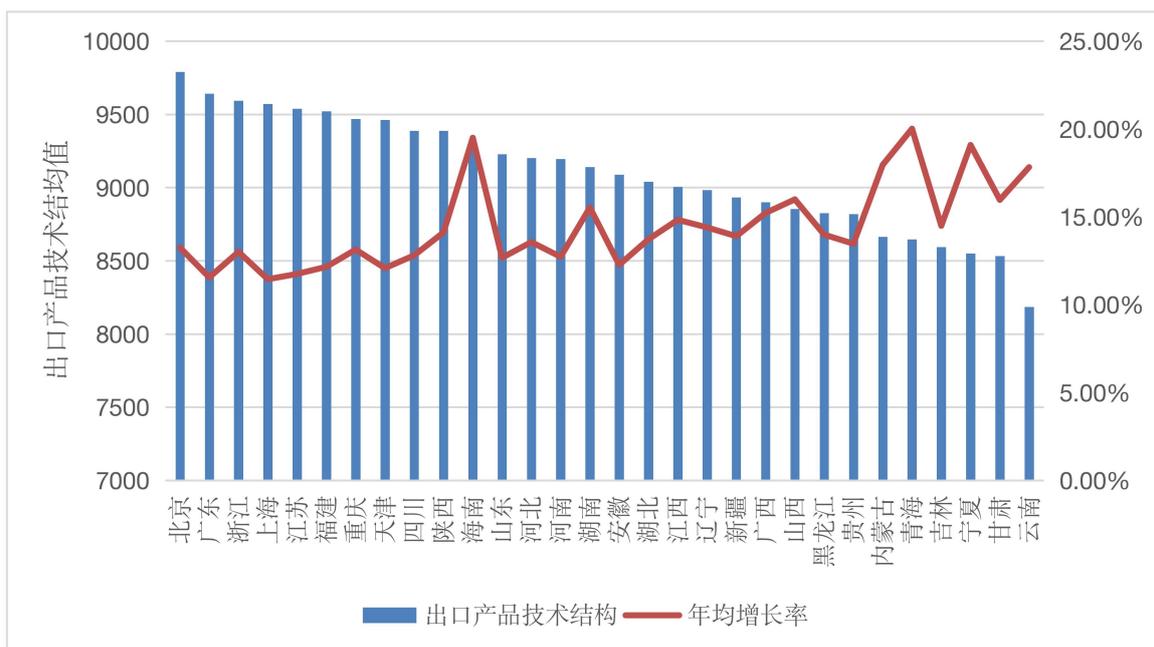


图 4.3 各省制造业出口产品技术结构均值及年均增长情况

数据来源：国研网数据库及中国海关总署进出口数据库。

从平均值来看，各省在制造业出口产品技术结构上存在显著差异。截止 2022 年，出口产品技术结构平均水平位居全国前列的五个省份依次是北京、广东、浙江、上海和江苏，这些省份的高技术产品出口份额均处于较高水平，有强大的经济实力和技术实力，资源相对集中，地理位置优越，出口贸易优势显著，可吸引人才和更多生产要素流入，因此当地技术结构水平也较高。青海、吉林、宁夏、甘肃和云南五个省份在出口产品的技术结构平均值水平上排名靠后。这些地区经济基础薄弱、科技发展水平相对落后，对外贸易的增长空间受限，主要以加工贸易为主导，其出口的产品多为未经过加工的原材料、初级产品以及资源密集型产品，而高技术产品的出口占比相对较少，因此这类省份的制造业出口产品在技术含量方面与其他地区相比较显不足，技术结构需要进一步提升和优化。个别省份如重庆、四川、陕西等虽地处中国内陆，但得益于其制造业的全面发

展和迅猛增长以及极具特色的优势行业，例如河南省的电子通信设备制造业，陕西的能源加工、装备制造业等，其制造业出口产品技术结构水平也相对靠前。

从年均增长率来看，排名前五位的分别是青海、海南、宁夏、内蒙古和云南，这些区域依托于其地理区域条件及自然资源优势，专注于资源密集型产业的发展，以此增强其经济实力并借此吸引外商投资和专业人才流入。通过对引进技术的消化和吸收及其技术的溢出效应，这些地区不断改善其出口产品的技术水平和结构。其中，海南的出口产品技术结构从 2010 年的 4560 上升到 2022 年的 15226，实现年均增长 19%，这主要得益于海南自由贸易试验区的建设和不断发展。

### (2) 分区域测算结果

图 4.4 报告了 2010 年至 2022 年东部、中部、西部、东北四大经济区域以及全国的制造业出口产品技术结构变化趋势。从结果来看，2010 年至 2022 年四大经济区域出口产品技术结构变化趋势基本一致，整体呈现稳步上升态势，从 2010 年的 5013.10 增长至 2022 年的 13532.09，提升了将近 2 倍。具体来看，制造业出口产品技术结构分别在 2016 年之前的 2 至 3 年、2018 至 2020 年以及 2021 至 2022 年三段时期稍显颓势，而在 2016 至 2018 年、2020 至 2021 年两个时期呈现较为快速的上升态势，这可能得益于《中国制造 2025》、《新一代人工智能发展规划》、《推进贸易高质量发展三年行动计划》等一系列关于智能化与制造业出口产品技术结构政策的出台，以及“十三五”规划和供给侧改革的积极落实与深化。

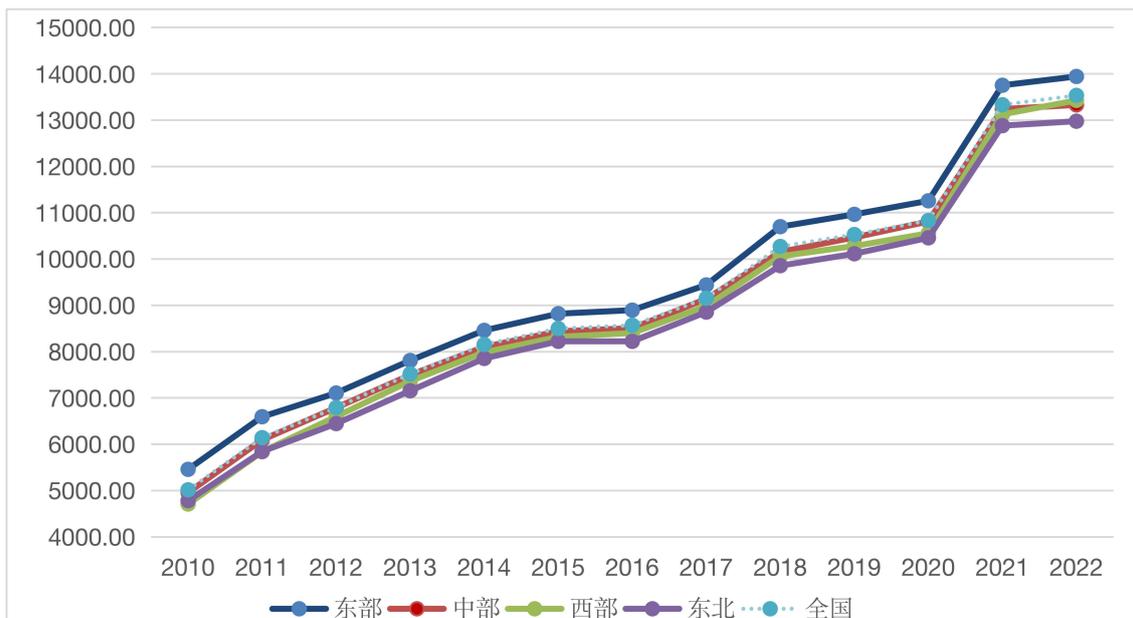


图 4.4 2010-2022 年各区域制造业出口产品技术结构发展趋势

数据来源：国研网数据库及中国海关总署进出口数据库。

然而，不同区域之间的技术结构和发展水平呈现出一定差异。东部沿海地区凭借其独特的地理位置优势和深厚的技术底蕴，大力开展对外贸易活动并持续提升出口产品的技术附加值。通过开放政策促进技术交流，有效吸纳整合全球领先的科技成果，并结合当地充足的人才资本储备加速本土技术的进步与革新，由此建立了一系列沿海综合经济开发区，其制造业出口产品技术结构水平始终处于领先地位；中西部以及东北地区的出口产品技术结构指数普遍低于国内平均水平，但得益于国家对这些地区经济发展的重视与扶持、“一带一路”的持续推进以及对外开放程度不断加深带来的发展机遇，中西部及东北地区凭借自身技术后发优势，依托本地的人力和资本优势积极培育和发展具有竞争力的主导产业，以此驱动制造业向更高端的产业链迈进，推动出口产品技术结构升级。

### 4.3 本章小结

本章完成了智能化和制造业出口产品技术结构的指标构建及测算。

首先，从基础投入、生产应用以及市场效益三个维度整合 13 个具体细分指标建立了一个较为全面的智能化评价框架，用以量化评估各省的智能化发展状况，测算结果显示：2010-2022 年中国智能化水平具有时间上发展速度快、空间上发展不平衡的特点。将全国 30 个省份依据智能化平均水平分为高、中、低三个层次，其中东部省份在智能化发展的水平上明显超越了中部、西部以及东北省份。

其次，以各省人均 GDP 为基础，采用“两步法”的方法来计算制造业出口产品的复杂度，以此作为制造业出口产品技术结构的代表性指标。从具体省份和地区角度看，尽管重庆、四川、陕西等几个位于中国中部和西部的省份通过重点培育具有地域特点的产业，使得其制造业出口产品技术结构在全国范围内占据领先地位，但整体而言，东部沿海省份的制造业出口产品技术结构普遍优于中部、西部以及东北地区；与此同时，中西部地区得益于其得天独厚的资源条件和内在潜力，吸引先进技术和优秀人才的流入，并利用溢出效应优化本地的出口产品技术结构，实现了较高的年均增长率。从时间角度看，样本期间内各省制造业出口产品技术结构水平整体呈现上升趋势，得益于一系列政策的出台，出口产品技术结构水平分别在 2016 年、2020 年实现快速且显著的提升。

## 5 智能化对中国制造业出口产品技术结构影响的实证分析

本章节运用第 4 章中详细计算得出的 2010 至 2022 年间中国 30 个省级行政单位(西藏除外)的智能化指数和制造业出口产品技术结构数据构建实证经济模型,并对该模型进行了全面的验证与分析,旨在检验智能化对制造业出口产品技术结构所带来的实际影响。

### 5.1 模型设定与变量选取

#### 5.1.1 模型设定

为了分析智能化如何影响制造业出口产品的技术结构,在此绘制 2010 至 2022 年期间中国各省智能化水平与制造业出口产品技术结构的散点图,并在图中添加了线性拟合趋势线,如图 5.1 所示。观察图中点的分布及趋势线的走向可以看出,智能化水平与制造业出口产品技术结构之间似乎存在着正相关的线性关系。这一初步分析结果为假说 1 提供了一定程度的支持。尽管如此,为确保分析结果的准确性和可靠性,仍需开展更严谨的实证分析来进一步验证这一假设。

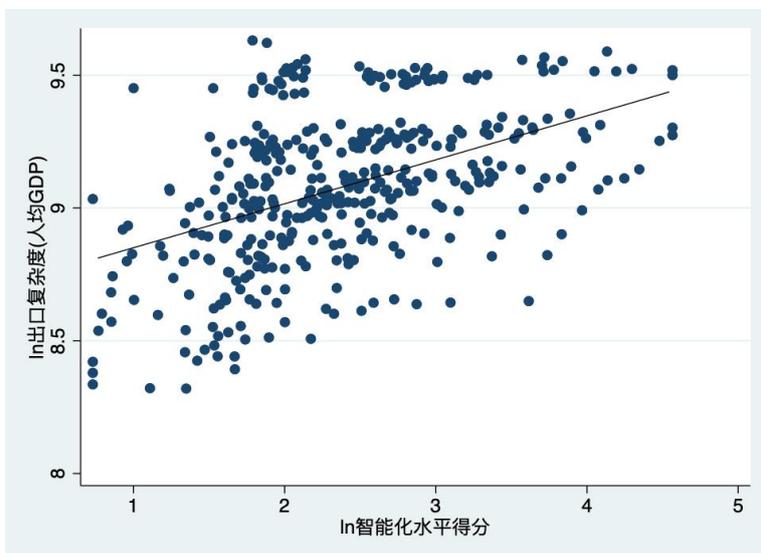


图 5.1 智能化水平与制造业出口产品技术结构的散点图

在先前章节对理论框架和发展现状的深入探讨基础上,利用散点图揭示的智能化与制造业出口产品技术结构之间的发展趋势建立地区层面的面板数据模型,并通过该模型实证检验不同省份智能化对制造业出口产品技术结构所产生的具体影响效果。构建相应的计量经济学模型作为分析工具如下:

$$\ln \text{expy}_{ct} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \text{intel}_{ct} + \sum \beta X_{ict} + \varepsilon_{ct} \quad (5-1)$$

其中,下标  $c$  和  $t$  分别代表省份 ( $c=1, 2, \dots, 30$ ) 和年份 ( $t=2010, 2011, \dots, 2022$ ),  $\ln\text{expy}_{ct}$  表示  $c$  地区在  $t$  年的制造业出口产品技术结构,  $\ln\text{intel}_{ct}$  表示  $c$  地区在  $t$  年的智能化水平,  $X_{ict}$  表示一系列控制变量, 分别为: 外商直接投资 (FDI)、金融发展水平 (Fin)、产业结构 (Str)、人力资本 (Hum)、对外开放程度 (Open),  $\varepsilon_{ct}$  为随机扰动项。

### 5.1.2 变量选取

(1) 被解释变量: 制造业出口产品技术结构 ( $\ln\text{expy}_{ct}$ )。所使用数据根据第 4 章的测算方法计算所得, 数据来源为中国海关总署进出口数据库以及国研网数据库。

(2) 核心解释变量: 智能化 ( $\ln\text{intel}_{ct}$ )。相关数据由第 4 章计算所得, 数据主要来源于《中国高技术产业统计年鉴》、《中国电子信息产业统计年鉴》、中华人民共和国工业和信息化部网站以及各省统计年鉴。

(3) 控制变量: 在探究制造业出口产品技术结构时必须考虑到多种可能的影响因素。为了有效地控制这些潜在的干扰变量, 并预防由于遗漏变量而引起的回归偏差或预测误差, 本文借鉴已有文献的做法, 选取如下五个变量作为控制变量。

外商直接投资 (FDI): 参考刘欢 (2020) 邵慰和吴婷莉 (2022) 的方法, 将外商直接投资额占生产总值的比例作为衡量各地外商直接投资水平的代表性指标。FDI 不仅为当地经济注入了资本, 还会带来先进的科技知识和高效的管理理念, 这些因素共同促进本地企业在技术领域的进步与革新; 同时, 生产要素在不同行业间的自由流动实现了技术知识的溢出和扩散, 推动生产方式的创新、生产效率的增强以及服务质量的提升, 改变出口品要素密集度并助推产业转型升级, 进而提升地区出口产品技术结构。

金融发展水平 (Fin): 选取各地区年末存贷款总额占 GDP 的比重衡量金融发展水平 (赵军等, 2021)。在内生经济增长的理论架构中, 金融发展的标志在于其规模的扩张、结构的合理化、市场运作的高效性以及体系与监管机制的日趋成熟。金融发展对出口产品技术结构的影响作用体现在如下几个方面: 一是通过多样化的金融资产组合有效分散风险 (Feeney and Hillman, 2001) 并降低融资成本, 从而改进生产技术, 提高生产效率, 促进技术密集型产品的出口; 二是通过解决信息不对称问题以降低企业融资信息搜寻成本, 扩大制造业部门外部融资水平, 实现出口产品技术结构升级; 三是通过优化信贷市场提升地区教育融资能力以培养更多熟练技术工人, 进而促进了出口产品技术结构的升级。

产业结构 (Str) : 产业结构经历优化和升级意味着各产业间的协同增长以及高科技产业的蓬勃发展能够促进传统生产方式的革新并提高出口产品的技术含量。本文选用了邵慰与吴婷莉 (2022) 的研究方法, 通过分析各省份第三产业增加值占 GDP 的比重来评价各地产业布局 and 结构特征。

人力资本 (hum) : Hausmann et al (2007) 认为人力资本是决定出口产品技术结构主要因素之一, 人力资本的丰裕程度直接关系到技术人员所具备的学识是否深厚、工艺是否熟练以及操作经验是否丰富等。具备人力资本优势的企业, 其员工能够迅速吸收和运用新技术, 有效缩短研发成果的商业化进程的同时, 也推动了出口产品技术含量向更高层次发展。本研究沿用了左壮于 2022 年提出的评价方法, 即通过分析教育支出在各省财政支出中所占的比重来衡量各地的人力资本水平。

对外开放程度 (Open) : 在评估不同地区的对外开放水平时, 可参考杨晶晶等人于 2013 年提出的方法, 采用该地区进出口总额占其生产总值 (GDP) 的比重作为衡量标准。经济的开放程度反映出生产要素和商品跨国界的自由流动, 进而促进了技术知识从一个国家向另一个国家的传播。对于发展中国家和新兴经济体而言, 对外开放是实现技术模仿、吸收以及本土化的重要途径, 有助于这些国家发挥其后来者优势, 推动国内技术的进步, 增加产品的科技附加值, 从而增强其在全球价值链中的竞争地位并优化出口产品的技术结构。根据 Baldwin 等人 (2003)、Fujita 等人 (1999) 的研究以及 Head 和 Mayer (2004) 的分析, 随着贸易的进一步开放和贸易壁垒的降低, 企业将更便捷地引进外国的先进技术和管理理念, 这有助于企业在全球化进程中吸取并应用先进的知识与技能。然而, 国际市场的激烈竞争有可能导致国内企业面临挤出效应的挑战, 从而不利于国内出口产品技术结构的优化和升级。各变量的具体说明见下表 5.1。

表 5.1 变量说明

变量类型	变量名称	变量含义	衡量方法
被解释变量	$\ln \text{expy}_{ct}$	出口产品技术结构	各省市制造业出口技术复杂度
解释变量	$\ln \text{intel}_{ct}$	智能化	智能化评价体系
控制变量	FDI	外商直接投资	外商直接投资/地区 GDP (亿元)
控制变量	Fin	金融发展水平	年贷款总额/地区 GDP (亿元)
控制变量	Str	产业结构	第三产业产值/第二产业产值
控制变量	hum	人力资本	高等学校在校学生人数 (万人)
控制变量	Open	对外开放程度	贸易进出口总额 (万元) /地区 GDP (亿元)

## 5.2 基准回归分析

### 5.2.1 描述性统计

本文利用数据分析方法对中国各地制造业出口产品复杂度进行了度量，进而分析了各地区制造业出口产品技术结构状况。同时构建综合了3个大类、10个中类和13个小类的评价指标用来评估智能化状况。在此基础上构建共计30个地区在13年的面板数据模型。由表5.2所列数据可知，经过对数变换后的制造业出口产品技术结构最小值为8.320，最大值为9.631，揭示了各地出口产品在技术结构上存在差异。此外，尽管已经过对数处理，智能化指数的波动范围仍然较大，从最小值的0.732到最大值的4.566，说明各个区域在智能化水平及其发展进程上存在差异，显示出区域发展的不均衡特征。

表 5.2 描述性统计

变量	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
lnexpy	390	9.077	0.286	8.320	9.631
lnIntel	390	2.376	0.789	0.732	4.566
FDI	390	0.0186	0.0150	6.19e-05	0.0796
Fin	390	3.241	1.151	1.518	8.131
Hum	390	0.0207	0.00588	0.00799	0.0437
Str	390	1.230	0.696	0.500	5.297
Open	390	0.270	0.297	0.00757	1.548

### 5.2.2 相关性分析

为排除多重共线性的干扰，在进行基准回归分析之前需要先对所有变量间的相互关联程度进行检测。初步评估自变量之间是否存在过强的相关性，从而保证回归分析的结果既可靠又精确。表5.3中呈现的皮尔逊相关矩阵汇报了各变量间的相互关联强度。从该矩阵可以看出大部分变量间的相关系数保持在0.5以下，这一现象说明存在多重共线性的可能性较小。尽管如此，产业结构（Str）和金融发展水平（Fin）之间的相关系数高达0.802，这一较高的相关性提示我们需要对多重共线性问题保持警惕，需用VIF检验进行进一步排查。

表 5.3 相关性分析

	lnexpy	lnintel	FDI	Fin	Hum	Str	Open
lnexpy	1						
lnintel	0.476***	1					
FDI	-0.167***	0.321***	1				
Fin	0.316***	0.312***	0.098*	1			
Hum	0.485***	0.358***	0.298***	0.277***	1		
Str	0.371***	0.326***	0.149***	0.802***	0.335***	1	
Open	0.0260	0.633***	0.447***	0.590***	0.215***	0.476***	1

从表 5.4 中可以得知, 各变量方差膨胀因子 (VIF) 的最大值为 3.72, 最小值为 1.35, 均值为 2.40, 均远小于 10, 因此可判定各变量独立, 模型设定较为合理。

表 5.4 VIF 检验

变量	VIF	1/VIF
Fin	3.72	0.269
Open	2.98	0.336
Str	2.98	0.336
lnintel	1.91	0.523
FDI	1.46	0.687
Hum	1.35	0.742
Mean VIF	2.40	

### 5.2.3 基准回归结果

本文从宏观经济层面, 利用省级面板数据考察智能化对制造业出口产品技术结构的影响, 使用的工具为 stata16。Hausman 检验的 P 值为 0, 这意味着强烈拒绝了随机效应模型的原假设而选择固定效应模型。同时为了尽可能避免多重共线性的干扰, 采取逐步回归的分析方法。回归结果见表 5.5。

表 5.5 基准回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
变量	lnexpy	lnexpy	lnexpy	lnexpy	lnexpy	lnexpy
lnintel	0.687*** (23.20)	0.644*** (19.37)	0.543*** (12.66)	0.392*** (8.94)	0.345*** (8.83)	0.336*** (8.81)
FDI		-6.405*** (-4.31)	-3.803** (-2.52)	-2.741** (-2.23)	-2.349** (-2.19)	-2.296** (-2.09)
Fin			0.168*** (4.01)	0.095*** (3.90)	0.051* (1.78)	0.052* (1.77)
Hum				33.476*** (6.75)	32.745*** (7.62)	34.369*** (7.09)
Str					0.148*** (2.84)	0.132* (2.02)
Open						-0.101 (-1.03)
Con	7.444*** (105.80)	7.664*** (81.18)	7.313*** (75.41)	7.196*** (90.76)	7.273*** (87.68)	7.305*** (91.93)
city fe	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	390	390	390	390	390	390
R <sup>2</sup>	0.720	0.757	0.810	0.873	0.884	0.885

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著；括号内数值为回归系数对应的 t 值。下文同。

表 5.5 显示了基准回归分析的结果，此结果是在固定了个体效应的基础上对基准模型所进行的参数估计。模型 1 在未包含任何其他控制变量的情况下，仅仅将智能化 (lnintel) 作为核心解释变量进行了回归分析。在该模型中智能化的初步估计系数达到 0.687，这意味着智能化对于提升制造业出口产品的技术结构具有显著的正面影响并且这种影响在统计上达到了 1%的显著性水平。模型 2 至模型 6 是逐步加入控制变量后的回归结果。结果显示，在控制了外商直接投资 (FDI)、金融发展水平(Fin)、人力资本 (Hum)、产业结构 (Str)、对外开放程度 (Open) 等变量的条件下，提升智能化水平依然能显

著且正向地影响制造业出口产品的技术结构，这种影响达到了统计学上 1%显著性水平。具体来说，智能化每提高一个单位，制造业出口产品技术结构将会增加 33.6%，影响作用极为显著。

在引入金融发展水平、人力资本以及产业结构等控制变量后，观察到外商直接投资估计系数绝对值降低，说明其原本对提升制造业出口产品技术结构的积极作用有所减少，甚至显现出更强的抑制作用，该发现违背了先前关于其正面推动效应的假设。可能的原因在于：首先，外商投资虽然能够通过提供资金和促进技术溢出来提高制造业的生产及产品技术水平，但其主要集中在技术门槛较低的加工贸易领域而非技术密集型的高端制造业。因此，罗伟和吴越在 2019 年的研究指出外资流入可能会使得制造业出口产品的技术结构受到负面影响，阻碍其发展。其次，从技术溢出效应来看，外商直接投资和产学研合作是两种重要的知识传递机制，其对中国地方创新能力的发挥存在一定程度的替代和挤出效应，从而限制中国制造业出口产品技术进步和结构升级（郭京京、眭纪刚、郭斌等，2021）。金融发展水平在统计上以 1%的显著性水平显著地助推了制造业出口产品技术结构的提升，与之前的预期保持一致。完善的金融服务体系减少了企业在技术创新过程中面临的融资障碍并给予了必要的资金支持，在一定程度上加快了制造业出口产品技术结构的优化步伐，进而使其在国际市场中更具竞争力。产业结构对出口产品技术结构的影响显著为正，这与之前的初步假设相吻合。产业间协同发展形成了有力的经济环境支撑，有助于推进制造业的整体转型进程和出口产品技术结构水平的进一步提升。人力资本对制造业出口产品技术结构升级具有显著的积极影响，这一影响在统计上达到了 1%的显著水平，意味着随着地区内人力资本的增加，技术转换效率得到提高，进而推动了当地制造业出口产品技术结构的优化。

#### 5.2.4 稳健性检验

为了确保基准回归结果的可靠性，本文通过变换被解释变量的方式来进行稳健性检验，将基于各地区人均 GDP 计算的制造业出口复杂度指数 ( $\ln\text{expy}$ ) 替换为基于制造业全要素生产率计算的出口复杂度指数 ( $\text{expy\_TFP}$ )，核心解释变量  $\ln\text{intel}$  和控制变量则与基准回归保持一致。表 5.6 中展示了替换变量前后的回归结果。与模型 1 相比，模型 2 中智能化的回归系数依然为正并在 5%的显著性水平上表明了其对制造业出口产品技术结构的积极影响作用。

表 5.6 稳健性检验—替换被解释变量

	模型 1	模型 2
变量	lnexpy	expy_TFP
lnintel	0.336*** (8.81)	0.003** (2.17)
FDI	-2.296** (-2.09)	0.013 (0.64)
Fin	0.052* (1.77)	-0.001 (-0.85)
Hum	34.369*** (7.09)	0.111 (0.92)
Str	0.132* (2.02)	0.003** (2.12)
Open	-0.101 (-1.03)	0.004 (1.27)
N	390	390
$R^2$	0.885	0.239

### 5.2.5 内生性检验

为解决由于变量选择遗漏以及测量误差而可能造成的内生性问题对实证研究准确度造成的负面影响，本次研究采用了两阶段工具变量法来进行内生性的检验工作。由于核心的解释变量——智能化指数是由多项指标综合形成的，很难找到合适的工具变量，因此，本研究采取滞后一期的智能化水平作为工具变量并将其纳入模型中进行内生性检验。

内生性检验结果如表 5.7 所示，智能化变量在第二阶段检验结果为正，且在极严格的 1% 的置信度下显著，这一结果与基准回归分析的发现保持一致。与此同时，所有的控制变量均展现了一致的稳健性，进一步巩固了研究结论的可信度，明确指出智能化对提升制造业出口产品技术结构存在显著的影响作用。

表 5.7 内生性检验—替换核心解释变量

	第一阶段	第二阶段
变量	intel	lnexpy
FDI	12.6096* (7.146)	-4.0039*** (0.733)
Fin	-0.0734 (0.140)	0.0409*** (0.014)
Hum	-49.7817*** (16.027)	19.9722*** (1.646)
Str	0.1033 (7.09)	0.0601*** (0.021)
Open	1.2593** (0.509)	-0.3771*** (0.053)
L.Intel	1.0572*** (0.007)	
Intel		0.0074*** (0.001)
Con	0.9896** (0.409)	8.5503*** (0.042)
N	390	390
R <sup>2</sup>	0.990	0.536

本研究为了确保工具变量方法所得结果成立，对工具变量与内生变量是否具有足够的相关性进行了检验。应用普通标准误进行两阶段最小二乘法 (2SLS) 的估计，得到的 F 统计量高达 33420.2，这一数值远超过 10 的临界值，排除了弱工具变量的疑虑，进而能够确信所采纳的工具变量方法是合理有效的。

### 5.2.6 中介效应检验

基于前文的分析，本文重点关注技术溢出以及人力资本积累在智能化对制造业出口产品技术结构中的作用机制。本次研究采用了技术市场交易额和平均受教育年限分别作

为技术溢出与人力资本积累的替代指标，并对技术溢出变量进行了对数转换处理。所有相关数据均来源于 EPS 数据平台，各变量的详细说明可参考表 5.8。

表 5.8 变量说明

变量类型	变量	变量名称	衡量方法
中介变量	Intech	技术溢出	技术市场成交额
中介变量	HC	人力资本积累	平均受教育年限

参考温忠麟（2022）的中介检验方法构建如下模型并进行逐步回归：

技术溢出机制模型：

$$\ln \text{expy}_{ct} = a_1 \ln \text{intel}_{ct} + \alpha_{1j} \sum \beta X_{ict} + e_{11} \quad (5-2)$$

$$\ln \text{tech}_{ct} = b_1 \ln \text{intel}_{ct} + \gamma_{1j} \sum \beta X_{ict} + e_{12} \quad (5-3)$$

$$\ln \text{expy}_{ct} = a'_1 \ln \text{intel}_{ct} + c_1 \ln \text{tech}_{ct} + \delta_{1j} \sum \beta X_{ict} + e_{13} \quad (5-4)$$

人力资本积累机制模型：

$$\ln \text{expy}_{ct} = a_2 \ln \text{intel}_{ct} + \alpha_{2j} \sum \beta X_{ict} + e_{21} \quad (5-5)$$

$$\text{HC}_{ct} = b_2 \ln \text{intel}_{ct} + \gamma_{2j} \sum \beta X_{ict} + e_{22} \quad (5-6)$$

$$\ln \text{expy}_{ct} = a'_2 \ln \text{intel}_{ct} + c_2 \text{HC}_{ct} + \delta_{2j} \sum \beta X_{ict} + e_{23} \quad (5-7)$$

在上述模型（5-2）至（5-7）中， $a_1$ 、 $a_2$ 代表智能化在整体上对提升制造业出口产品技术结构的总效应； $b_1$ 、 $b_2$ 分别表示智能化对中介变量技术溢出和人力资本积累的影响系数； $a'_1$ 、 $a'_2$ 是指引入中介变量后智能化对制造业出口产品技术结构的直接作用； $b_1 \cdot c_1$ 、 $b_2 \cdot c_2$ 是间接效应； $e$ 是各模型的残差项。

### （1）技术溢出机制检验

技术溢出机制的检验结果如表 5.9 所示，第（1）列中智能化的回归系数在 5%的水平上显著为正，说明智能化水平的提高显著增强了技术溢出效应；第（2）列中技术溢出的回归系数为 0.03，且在 10%的水平上显著，且在加入中介变量之后，智能化的回归系数仍在 1%的水平上显著为正，这一结果表明技术溢出在智能化对制造业出口产品技术结构产生影响的过程中切实发挥着中介作用。

表 5.9 技术溢出机制检验结果

		(1)	(2)
	lnexpy	Intech	lnexpy
Intech			0.030* (1.77)
lnintel	0.336*** (8.81)	0.655** (2.25)	0.316*** (8.38)
FDI	-2.296** (-2.09)	5.978 (1.20)	-2.476** (-2.40)
Fin	0.052* (1.77)	0.220 (1.20)	0.045 (1.62)
Hum	34.369*** (7.09)	164.712*** (4.88)	29.396*** (5.01)
Str	0.132* (2.02)	0.315 (1.35)	0.122* (1.96)
Open	-0.101 (-1.03)	-0.284 (-0.47)	-0.093 (-0.94)
Con	7.305*** (91.93)	-1.182* (-1.74)	7.341*** (94.35)
N	390	390	390
R <sup>2</sup>	0.885	0.729	0.888

## (2) 人力资本积累机制检验

在表 5.10 中可以看到人力资本积累机制的验证结果: 第 (1) 列数据呈现了模型 (5-6) 的分析成果, 数据清晰地表明智能化对人力资本积累的影响在 1% 的置信水平显著, 并且其系数为正值, 从而证实了智能化水平的提升能够切实有效地促进人力资本的累积。第 (2) 列数据呈现了模型 (5-7) 的分析成果, 结果显示在控制智能化的影响后, 人力资本积累的回归系数为 0.313, 仍然在 1% 的水平上显著为正, 说明人力资本积累在智能化对中国制造业出口产品技术结构的优化中存在显著的中介作用。

表 5.10 人力资本积累机制检验结果

		(1)	(2)
	lnexpy	HC	lnexpy
HC			0.102*** (5.45)
lnintel	0.336*** (8.81)	0.225*** (2.92)	0.313*** (8.96)
FDI	-2.296** (-2.09)	-6.655** (-2.63)	-1.618 (-1.49)
Fin	0.052* (1.77)	-0.132** (-2.75)	0.066** (2.36)
Hum	34.369*** (7.09)	92.747*** (12.10)	24.931*** (5.00)
Str	0.132* (2.02)	-0.046 (-0.67)	0.137** (2.15)
Open	-0.101 (-1.03)	-0.695** (-2.65)	-0.031 (-0.94)
Con	7.305*** (91.93)	7.613*** (33.71)	6.531*** (45.75)
N	390	390	390
$R^2$	0.885	0.729	0.894

### 5.2.7 异质性检验

先前的讨论中提到中国各地区智能化发展状况可大致归为三个层次，且东部、中部、西部、东北四大经济区域发展不平衡。与此同时，智能化与出口产品技术结构的发展程度在不同时期存在明显的波动。为验证智能化对出口产品技术结构的影响是否存在地区和时间异质性，本文选择对中国 30 个地区（省）以及 2010 至 2022 年期间的样本进行分组回归，探究智能化对出口产品技术结构影响的区域和时期差异。

### (1) 地区异质性检验

前文第 4 章中对中国各省智能化水平及制造业出口产品技术结构进行了量化分析,结果显示各区域间的智能化和制造业出口产品技术结构水平存在明显的发展不平衡现象,暗示着智能化对制造业出口产品技术结构的影响可能因地域而异。为此,本节依据国家统计局对经济区域的划分标准,将 30 个省份细分为东部、中部、西部以及东北四个区域并针对每个区域执行分组回归分析,回归结果见表 5.11。

表 5.11 地区异质性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	东部	东北	中部	西部
lnexpy	lnexpy	lnexpy	lnexpy	lnexpy
lnintel	0.503*** (14.03)	0.319* (3.24)	0.593*** (9.33)	0.279*** (5.30)
FDI	-1.556 (-1.37)	-4.453** (-5.16)	-0.292 (-0.08)	-2.311 (-0.44)
Fin	-0.049 (-1.47)	-0.172* (-3.24)	-0.012 (-0.23)	0.145* (1.98)
Hum	36.193*** (6.78)	77.996** (6.52)	22.879** (3.22)	36.258*** (4.72)
Str	0.177* (2.06)	0.326*** (13.48)	-0.093 (-1.42)	0.015 (0.11)
Open	0.056 (0.45)	1.545 (2.31)	1.582 (1.69)	0.367 (1.37)
Con	6.708*** (42.20)	6.471*** (28.23)	7.189*** (34.41)	7.356*** (51.27)
N	130	39	78	143
R <sup>2</sup>	0.924	0.956	0.951	0.867

表 5.11 结果显示,无论是东中西部还是东北地区,智能化均能显著促进制造业出口产品技术结构的提升。除东北地区在 10%水平上显著外,其他三个地区的分组回归结果

均在 1%的水平下显著,回归系数最大值为中部地区的 0.593,最小值为西部地区的 0.279,由此可以做出如下结论:智能化技术对各地区制造业出口产品技术结构的影响各异,进而验证了前文提出的假说 2。其中,中部地区的制造业在智能化的推动下变化最为突出,紧随其后的是东部地区。相较之下,东北和西部地区的制造业出口产品技术结构受到智能化的影响则较为轻微且这两个地区间的差异并不明显。可能的原因在于:一方面,中部地区智能化水平尚处在迅速发展阶段,智能化对制造业出口产品技术结构的影响效果更加明显,更大的发展潜力尚待挖掘,而东部地区智能化已经处在相对较高的水平,其制造业出口产品技术结构也渐趋完善,从而智能化的影响作用较之会呈现逐渐放缓的趋势;另一方面,西部和东北地区智能化水平偏低,对制造业出口产品技术结构的影响作用有限。这在一定程度上启示我们要因地制宜推进智能化稳步发展,根据各地实际情况选择合适的路径,结合自身独特优势因势利导提高出口产品质量,最大限度发挥智能化对制造业出口产品技术结构的促进作用。

## (2) 时间异质性检验

在对智能化与制造业出口产品技术结构现状进行分析时发现,出口产品技术结构平均水平在 2016 年有明显快速的的增长,而正是在这一时期前后,中国政府颁布了一系列关于智能制造与外贸高质量发展相关的政策文件,同时开启了“十三五”规划这一新篇章,供给侧改革和对外开放不断深化,为了促进制造业的快速转型与升级,明确提出要紧紧依托于国家政策的引领和支持。在这一变革过程中,智能技术与设备被广泛应用于各类生产环节,其应用范围和规模也不断扩大。为了说明智能化发展对出口产品技术结构存在时间差异性,本文选取 2016 年为时间节点,进行样本回归,估计结果见表 5.12。

表 5.12 时间异质性检验结果

	时间阶段 1	时间阶段 2
	lnexpy	lnexpy
lnintel	0.397*** (4.11)	0.179*** (3.75)
FDI	-2.188 (-1.62)	-5.390*** (-5.19)
Fin	-0.074 (-1.33)	-0.022 (-0.88)

续表 5.12 时间异质性检验结果

	时间阶段 1	时间阶段 2
	lnexpy	lnexpy
Hum	75.745*** (3.67)	42.420*** (11.92)
Str	0.166 (1.56)	0.027 (0.76)
Open	-0.505** (-3.26)	0.314 (1.63)
Con	6.870*** (30.21)	7.893*** (61.59)
N	180	210
$R^2$	0.836	0.834

表 5.12 结果显示, 智能化估计系数在 2010-2015 年和 2016-2022 年两个时间阶段均显著为正, 但存在差异性。2016 年之后的智能化发展通过了 1% 的显著性水平检验, 且当其每提高 1 个单位, 出口产品技术结构就会提升 0.179 个单位, 促进作用相较于 2016 年以前的 0.397 有所下降, 这与预期结果不符。可能的原因有三: 一是 2016 年政策出台之后, 对智能化的监管和规范更加严格, 劳动力进入门槛变高, 符合技术要求的人力资源相对减少, 政策效果以及劳动力技能结构转型和人力资本积累需要时间, 对出口产品技术结构的影响存在滞后性; 二是 2019 年底 2020 年初开始的新冠肺炎疫情导致的全球整体经济下行, 影响智能设备基础设施建设与基础研究经费投入, 一定程度上对智能化政策的出台效果存在挤出效应, 使得智能化发展暂时放缓, 最终阻碍了智能化对出口产品技术结构影响效果的发挥。

### 5.3 本章小结

本章节聚焦于智能化对中国制造业出口产品技术结构的影响作用, 在前文理论基础与现状分析基础上, 合理选取控制变量与中介变量, 并采用 2010 至 2022 年间中国不同地区的面板数据, 构建了基准回归分析和中介效应检验的计量经济模型。首先, 对相关变量指标进行了描述性统计分析。接着为避免多重共线性可能导致的结果失真, 进行了

相关性分析及方差膨胀因子 (VIF) 检验, 建立了一个固定效应模型, 用以探讨智能化对出口产品技术结构的影响作用。研究成果表明智能化在促进出口产品技术结构优化过程中发挥了重要的积极作用, 证实了前文提出的假说 1。其次, 采用替换被解释变量的测量方法来进行模型稳健型检验, 并利用智能化的滞后一期数据作为其工具变量, 运用两阶段最小二乘法 (2SLS) 进行了回归分析。分析结果指出即便在控制了潜在的内生性问题的情况下, 智能化与出口产品技术结构的正向关联依然稳固。再次, 基于温忠麟所述的三步骤方法论构建了技术溢出和人力资本积累的中介作用机制模型并进行逐步回归。各中介变量的估计系数均显著呈现正值, 证明了智能化一方面对于提升区域创新能力进而推动整体技术水平有着积极作用, 另一方面可以替代低等技能劳动力并吸引高技术劳动力从而加速人力资本积累, 进而优化地区出口产品技术结构, 分别验证了假说 3 和 4。最后, 分地区和时段进行异质性分析, 结果表明智能化对出口产品技术结构的影响存在地区和时间异质性, 验证了假说 2。

## 6 研究结论及对策建议

### 6.1 研究结论

本文立足于智能技术迅速崛起的时代背景以及中国制造业出口产品技术结构急需进行转型提升的现实需求,基于省级层面面板数据研究智能化对制造业出口产品技术结构的影响。

通过对智能化和制造业出口产品技术结构的相关文献进行综述,对相关理论进行梳理,对测算指标进行构建和选择,对各省发展现状进行测算,以及对实证检验结果进行分析,最终得出以下几点结论:

第一,从现状分析情况看。中国各地区智能化和制造业出口产品技术结构水平在2010至2022年期间均经历了快速的发展,然而不同地区在这一进程中的发展速度和规模存在显著的不均衡现象,具体表现为智能化在东部区域的发展水平远超中西部以及东北地区,且在整体上形成了鲜明的空间梯度差异。尽管如此,该区域的出口产品技术结构年均增长率却落后于其他三个区域。

第二,从固定效应结果看。基准回归结果显示智能化对于制造业出口产品技术结构有着显著的积极影响,同时,替换变量的稳健性检验与两阶段工具变量的内生性检验确保了检验结果的稳健性。实证分析结果表明中国智能化技术的发展和能够促进出口产品技术结构的优化,对中国制造业高质量出口,经济结构转型具有重要意义。

第三,从中介检验结果看。中介效应分析验证了智能化在推动出口产品技术结构优化方面的作用机制,具体体现在智能化可以通过增强技术溢出和加速人力资本的累积两个途径实现这一目标。技术溢出变量对提升制造业产品的技术结构产生了积极影响,这意味着智能化在促进技术溢出和扩散方面发挥了重要作用,并由此改善出口产品技术结构;此外,人力资本积累同样显现出积极效应,说明智能化能够通过重塑劳动力市场需求结构、增强人力资本积累来促进出口产品技术结构的进一步优化。

第四,从异质性检验结果看。智能化对出口产品技术结构的优化作用受地区和发展时期的影响。地区分组回归结果均显著为正,表明存在地区异质性,且对于智能化发展水平较高的中部和东部地区,其智能化对出口产品技术结构呈现正向作用更加显著。时间分组回归结果显示,智能化与制造业出口产品技术结构的影响关系存在时间异质性,且由于政策时滞、劳动力进入门槛提升以及全球经济下行等因素的影响,2016-2022年间智能化的影响作用反而低于2010-2016年。

## 6.2 对策建议

上述结论表明智能化水平的提高是促进制造业出口产品技术结构优化的重要因素，在一定条件下具有显著推动作用。尽管各地区在智能化水平提高以及制造业出口产品技术结构优化方面都取得了一定发展，但这些进步在不同地域之间却表现出明显的差异性，从而加剧了地区之间发展的不平衡。为了充分挖掘智能化对提升制造业出口产品技术结构的巨大潜力，增强产品在国际市场上的竞争优势，助力中国制造业实现转型以及外贸的高质量发展，本文提出以下几点政策建议：

第一，提高重视意识。鉴于智能化在优化出口产品技术结构方面的积极影响，地方政府需加强对利用智能化手段推动出口产品技术结构升级的关注与支持，把握人工智能应用优势，稳步推进企业智能化转型，加快智能化建设，明晰智能化赋能制造业出口产品技术结构升级的实践路径。首先，鉴于智能化是一个需要长期不断投资的系统工程，为此相关部门需要坚持智能制造的发展路线，在制造业向更高质量发展迈进的过程中充分发挥智能化对推动出口产品技术结构升级的关键作用。其次，为加快推进智能化基础设施建设，政府应提高对智能化设施的资金投入并积极构建 5G 基站、数据中心等信息通信基础设施，打造联通性强且安全可靠的智能制造平台、信息共享平台及移动支付平台<sup>①</sup>，进而为智能化在制造业领域的融合奠定稳固的物质基础。再次，给予政策和资金支持。政府应对智能化技术开发和应用的核心领域建立完善与系统性的补贴政策和支持体系，保证稳定的研发资金投入，对企业利用人工智能实现智能化转型给予引导和支持，助力已有研究加快取得突破性进展并顺利融合应用到实体产业。最后，企业也必须深刻理解智能化对于自身成长的重要性，并将其纳入为企业发展蓝图的一部分。此外，企业还需积极寻找智能化技术在生产运作和管理流程中的运用方式与应用场景，以便有效应对市场环境的持续变化所带来的各种新需求和新考验。

第二，注重因地制宜。基于智能化与制造业出口产品技术结构地区分布不平衡的现状分析以及地区分组回归检验，各地需要依托其在制造业上的特色优势因地制宜、因势利导，并针对具体状况制定智能化发展的蓝图，有序推进区域与行业智能化发展。对于资本实力雄厚、政策环境良好、人力资本丰富、金融发展水平较高的东部地区，应持续深化产业结构改革、优化企业管理制度，并激发创新活力，积极探索产业前沿发展。同时推动企业在智能化核心技术的基础研究层面进行联合攻关，共同研发重要的部件和产

<sup>①</sup> 牟博远. 工业智能化对城市出口技术复杂度的影响研究[D]. 浙江工商大学, 2023.

品。此举旨在突破包括计算机技术和高精度传感技术在内的关键智能技术，克服发达国家在高端技术上所设置的障碍。通过这样的合作机制，能够有效地发挥智能技术的外溢带动效应，进而增强区域或行业的创新能力和竞争力。而对于基础设施不足、劳动力配置亟需改进的中西部和东北地区，一是应当加快智能化基础设施的建设步伐，为智能化技术在生产过程中的全面应用奠定坚实基础。二是通过专项补贴、税收优惠等方式激励科创企业对智能技术的应用。三是通过提高研发支出占 GDP 的比例，引导对基础科学研究的广泛重视，并吸引创新资源向这些领域集聚，从而提高自主创新实力和科技成果吸收转化能力，使智能技术应用切实赋能制造业，进而推动区域内产业转型升级和制造业高质量发展。四是推进高端制造业企业融资渠道多样化，激励金融机构以市场需求为导向，提供更加专业和差异化的金融产品及服务，搭建更高效率、更低成本的金融服务平台，以减少企业面临的融资壁垒。

第三，加强人才培养。基于人力资本积累机制的分析与检验，政府需要重视人才培养政策，推进人才更新换代，提高劳动力技能和素质，不断积累人力资本，优化劳动力技术结构，从而加速智能技术的吸收和转化。一是根据制造业行业发展需要，引导高等学校动态调整智能技术领域的学科布局和人才培养规划，创新高技能人才的培训体系，鼓励制造业公司与高等教育机构开展深度协作，共同搭建产学研实践平台，旨在培育出一支能够促进制造业智能化发展进程的研究型人才队伍。二是注重高端人才引进政策制定，以完善的制度设计和良好的政策环境吸引优质人才，为智能化赋能制造业出口产品技术结构的转型升级储备人力资本，推动外贸高质量发展。

第四，促进协同发展。基于技术溢出效应的分析与检验，各地区应协同发展。首先，东区地区应通过产学研深度融合、智能化基础技术的合作等途径力争成为破解发展瓶颈的先行者，通过技术扩散与人才流动最大限度发挥智能技术的外溢效应，助力中西部和东北地区提升智能化水平。其次，中西部与东北各省需紧抓技术及产业转型的宝贵机遇，推动智能技术与当地制造业的深度融合。在有效吸收东部地区技术溢出效益的同时发挥本土制造业出口特色优势，加快推进对外贸易的优化与升级进程。最后，吸引不同行业向智能化程度较高的地区迁移，以促进制造业与其他行业间的协同合作，增强智能化的技术溢出效应与辐射带动作用，逐步形成以中心城市为核心、众多城市产业协同发展的智能化新格局<sup>①</sup>。

<sup>①</sup> 刘遇洁.智能化对中国制造业出口技术复杂度的影响研究[D].广东财经大学,2023.

## 参考文献

- [1] Alexandr Kopytov, Nikolai Roussanov, Mathieu Taschereau-Dumouchel. Short-Run Pain, Long-Run Gain? Recessions and Technological Transformation[J]. Journal of Monetary Economics, 2018, 97.
- [2] Ana L. ABELIANSKY, Eda ALGUR, David E. BLOOM, Klaus PRETTNER. The future of work: Meeting the global challenges of demographic change and automation[J]. International Labour Review, 2020, 159(3).
- [3] Bin XU, Jiangyong LU. Foreign direct investment, processing trade, and the sophistication of China's exports [J]. China Economic Review, 2009, 20(3):425-439.
- [4] Credit is Due: Tracing Value Added in Global Production Chains[J]. Nber Daron Acemoglu, Pascual Restrepo. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets[J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6).
- [5] Davis J, Edgar T, Porter J, et al. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance[J]. Computers & Chemical Engineering, 2012, 47: 145-156.
- [6] Georg Graetz, Guy Michaels. Robots at Work[J]. Review of Economics and Statistics, 2018, 100(5).
- [7] Gordon, H. Hanson G. 中国的出口模式: 似曾相识 [J]. 经济学(季刊), 2016, 15(04):1275-1302.
- [8] Hausmann R, Hwang J, Rodrik D. What You Export Matters[J]. Journal of Economic Growth, 2007, 12(1):1-25.
- [9] Hausmann R, Klinger B. The Structure of the Product Space and the Evolution of Comparative Advantage[J]. 2007.
- [10] Hausmann R. Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage in the Product Space[J]. SSRN Electronic Journal, 2006.
- [11] Lall S. The Technological Structure and Performance of Developing Country Manufactured Exports, 1985-98[J]. Oxford Development Studies, 2000, 28(3):337-369.
- [12] Lall S, Weiss J, Zhang J. The "sophistication" of exports: A new trade measure[J]. World Development, 2006, 34(2): 222-237.

- [13] Lu H, Li Y, Chen M, et al. Brain intelligence: go beyond artificial intelligence[J]. Mobile Networks and Applications, 2018, 23(2): 368-375.
- [14] Michaely M. Exports and growth: an empirical investigation[J]. Journal of development economics, 1977, 4(1): 49-53.
- [15] Robert Koopman, Powers W M, Zhi Wang, et al. Give Credit Where Working Papers, 2010.
- [16] Wang Z, Wei S J. What accounts for the rising sophistication of China's exports?[M].China's growing role in world trade. University of Chicago Press, 2010: 63-104.
- [17] Xu B. The sophistication of exports: Is China special?[J]. China Economic Review, 2010, 21(3): 482-493.
- [18] 蔡跃洲,陈楠.新技术革命下人工智能与高质量增长、高质量就业[J].数量经济技术经济研究,2019,36(05):3-22.
- [19] 曾玲玲,肖雅南.制造业智能化水平测度及其对企业投资效率影响的研究[J].工业技术经济,2022,41(09):69-78.
- [20] 陈晓华,黄先海,刘慧.中国出口技术结构演进的机理与实证研究[J].管理世界,2011,No.210(03):44-57.
- [21] 陈彦斌,林晨,陈小亮.人工智能、老龄化与经济增长[J].经济研究,2019,54(07):47-63.
- [22] 陈永伟,曾昭睿.机器人与生产率:基于省级面板数据的分析[J].山东大学学报(哲学社会科学版),2020,No.239(02):82-97.
- [23] 程承坪,彭欢.人工智能影响就业的机理及中国对策[J].中国软科学,2018,No.334(10):62-70.
- [24] 杜晓英.金融发展对出口复杂度的影响机制[J].当代经济研究,2015,No.233(01):86-92.
- [25] 樊纲,关志雄,姚枝仲等.国际贸易结构分析:贸易品的技术分布[J].经济研究,2006(8):70-80.
- [26] 冯根福,王珏帅,郑明波.“动态国家综合要素竞争优势理论”与中国长期经济增长[J].当代经济科学,2022,44(06):1-12.
- [27] 顾国达,郭爱美.金融发展与出口复杂度提升——基于作用路径的实证[J].国际经贸探索,2013,29(11):101-112.
- [28] 郭凯明.人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动[J].管理世

- 界,2019,35(07):60-77+202-203.
- [29] 郭梦迪,郭江,卫平.技术创新对中国高技术产业出口竞争力的影响[J].首都经济贸易大学学报,2018,20(03):21-29.
- [30] 郭惠君.中国制造业出口贸易技术结构研究[D].对外经济贸易大学,2018.
- [31] 韩会朝,徐康宁.智能化改造对中国企业生产率的影响研究[J].南京社会科学,2020,No.390(04):32-37+54.
- [32] 韩江波.智能工业化:工业化发展范式研究的新视角[J].经济学家,2017(10):21-30.
- [33] 侯建,刘青.数字经济时代下智能化、科技人力资源与产业转型升级[J].研究与发展管理,2022,34(05):123-135.
- [34] 黄晖.内生比较优势理论的发展及中国外贸结构的转换[J].经济体制改革,2009,No.158(05):166-169.
- [35] 吉亚辉,杨鹏宇,尹昱霖.智能化对制造业结构优化升级的影响研究[J].价格理论与实践,2021,No.446(08):150-153+187.
- [36] 贾瑛.中国对外直接投资与出口贸易结构关系研究——基于逆向技术溢出效应[J].金融经济,2015,No.414(12):30-32.
- [37] 李琛,赵军,刘春艳.双向 FDI 协同与制造业出口竞争力升级:理论机制与中国经验[J].产业经济研究,2020,No.105(02):16-31.
- [38] 李福柱,曹友斌,李昆泽.中国制造业出口技术复杂度的区域差异及收敛性研究[J].数量经济技术经济研究,2022,39(04):107-126.
- [39] 李健旋.中国制造业智能化程度评价及其影响因素研究[J].中国软科学,2020(01):154-163.
- [40] 李磊,刘斌,郑昭阳等.地区专业化能否提高中国的出口贸易技术复杂度?[J].世界经济研究,2012(6):30-37.
- [41] 李廉水,石喜爱,刘军.中国制造业 40 年:智能化进程与展望[J].中国软科学,2019,No.337(01):1-9+30.
- [42] 李昕,关会娟,谭莹.全球生产链嵌入与中国制造业出口竞争力测算[J].当代经济科学,2018,40(01):43-54+125-126.
- [43] 刘斌,李磊,郑昭阳.金融发展与中国出口贸易技术复杂度提升[J].当代经济研究,2012(6):87-92.
- [44] 刘军,钱宇,曹雅茹等.中国制造业智能化驱动因素及其区域差异[J].中国科技论

- 坛,2022,No.309(01):84-93.
- [45] 刘亮,李廉水,刘军等.智能化与经济发展方式转变:理论机制与经验证据[J].经济评论,2020,No.222(02):3-19.
- [46] 刘遇洁.智能化对中国制造业出口技术复杂度的影响研究[D].广东财经大学,2023.
- [47] 刘钻石,张娟.中国出口贸易品技术结构的测算[J].世界经济研究,2010(3):68-72.
- [48] 隆云滔,刘海波,蔡跃洲.人工智能技术对劳动力就业的影响——基于文献综述的视角[J].中国软科学,2020,No.360(12):56-64.
- [49] 陆菁,陈飞.金融创新对中国高技术产业出口复杂度的影响分析[J].国际经贸探索,2015,31(05):47-61.
- [50] 牟博远.工业智能化对城市出口技术复杂度的影响研究[D].浙江工商大学,2023.
- [51] 齐俊妍,王岚.贸易转型、技术升级和中国出口品国内完全技术含量演进[J].世界经济,2015,38(03):29-56.
- [52] 齐俊妍,王晓燕.金融发展对出口净技术复杂度的影响——基于行业外部金融依赖的实证分析[J].世界经济研究,2016(2):34-45.
- [53] 齐俊妍,王永进,施炳展等.金融发展与出口技术复杂度[J].世界经济,2011(7):91-118.
- [54] 齐俊妍.基于产品技术含量和附加值分布的国际贸易结构分析方法研究[J].现代财经-天津财经大学学报,2006,26(8):64-68.
- [55] 齐俊妍.金融发展与贸易结构——基于 HO 模型的扩展分析[J].国际贸易问题,2005(7):15-19.
- [56] 冉茂盛,毛战宾.人力资本对经济增长的作用机理分析[J].重庆大学学报(社会科学版),2008,No.70(01):56-59.
- [57] 邵慰,吴婷莉.智能化、要素市场与工业经济高质量发展[J].经济问题探索,2022,No.475(02):112-127.
- [58] 孙玉琴,郭惠君.中日制造业出口技术结构:衡量与比较[J].国际经济合作,2018(03):20-24.
- [59] 孙玉琴,郭惠君.金融发展与我国制造业出口贸易技术结构升级[J].国际商务(对外经济贸易大学学报),2018(03):27-37.
- [60] 孙早,侯玉琳.人工智能发展对产业全要素生产率的影响——一个基于中国制造业的经验研究[J].经济学家,2021,No.265(01):32-42.
- [61] 孙致陆,李先德.世界农产品出口贸易技术结构收敛了吗——基于主要农产品出口国

- 1995-2012 年数据的检验[J].国际贸易问题,2015,No.389(05):41-52.
- [62] 唐晓华,迟子茗.工业智能化对制造业高质量发展的影响研究[J].当代财经,2021,No.438(05):102-114.
- [63] 唐晓华,李静雯,邱国庆.工业智能化技术对产业结构升级影响研究[J].统计与信息论坛,2022,37(07):36-44.
- [64] 汪前元,魏守道,金山等.工业智能化的就业效应研究——基于劳动者技能和性别空间计量分析[J].管理世界,2022,38(10):110-126.
- [65] 王兵,王启超.全要素生产率、资源错配与工业智能化战略——基于广东企业的分析[J].广东社会科学,2019(05):17-26.
- [66] 王煌,张秀英.技术创新、产业结构升级与国际贸易效应的实证分析[J].统计与决策,2017,No.477(09):122-126.
- [67] 王明益,毕红毅,张洪.外商直接投资、技术进步与东道国出口产品结构[J].世界经济文汇,2015,No.227(04):61-76.
- [68] 王文.数字经济时代下工业智能化促进了高质量就业吗[J].经济学家,2020(04):89-98.
- [69] 王喜文.智能制造:新一轮工业革命的主攻方向[J].人民论坛·学术前沿,2015(19):68-79+95.
- [70] 王永进,盛丹,施炳展等.基础设施如何提升了出口技术复杂度?[J].经济研究,2010(7):103-115.
- [71] 王永钦,董雯.机器人的兴起如何影响中国劳动力市场?——来自制造业上市公司的证据[J].经济研究,2020,55(10):159-175.
- [72] 王咏梅.比较优势理论的演义与拓展[J].求索,2010,No.218(10):39-40+229.
- [73] 魏玮,张万里,宣旻.劳动力结构、工业智能与全要素生产率——基于中国2004—2016年省级面板数据的分析[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2020,49(04):143-155.
- [74] 温忠麟,方杰,谢晋艳等.国内中介效应的方法学研究[J].心理科学进展,2022,30(08):1692-1702.
- [75] 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.
- [76] 闫雪凌,朱博楷,马超.工业机器人使用与制造业就业:来自中国的证据[J].统计研究,2020,37(01):74-87.

- [77] 杨飞,范从来.产业智能化是否有利于中国益贫式发展?[J].经济研究,2020,55(05):150-165.
- [78] 杨玲,徐舒婷.生产性服务贸易进口技术复杂度与经济增长[J].国际贸易问题,2015, No.386(02):103-112.
- [79] 杨思莹,王冰冰.工业智能化对劳动者职业伤害的影响研究[J].经济经纬,2023,40(01):78-87.
- [80] 杨洒洒.中国工业智能化对出口贸易技术结构的影响分析[D].华东师范大学,2021.
- [81] 姚洋,张晔.中国出口品国内技术含量升级的动态研究——来自全国及江苏省、广东省的证据[J].中国社会科学,2008(2):67-82.
- [82] 袁红林,许越.增加值贸易视角下中国制造业出口竞争力的再测算[J].当代财经,2017, No.397(12):98-107.
- [83] 袁其刚,嵇泳盛,于舒皓.人工智能促进了制造业企业出口产品升级吗?——基于技术复杂度视角的分析[J].产业经济评论,2022, No.50(03):69-82.
- [84] 张可云,庄宗武,韩峰.国内超大规模市场、人工智能应用与制造业出口产品质量升级[J].经济纵横,2022, No.440(07):1-12+137.
- [85] 赵春明,刘珊珊,谷均怡.工业智能化助推外贸高质量发展:机理与路径[J].新视野,2022, No.234(06):98-105.
- [86] 赵放,刘雨佳.人工智能时代中国劳动关系变革的趋势、问题与应对策略[J].求是学刊,2020,47(05):58-65.
- [87] 赵军,姚笛.人口老龄化、工业智能化与制造业高水平“走出去”[J].华东经济管理,2021,35(02):48-56.
- [88] 周佳军,姚锡凡.先进制造技术与新工业革命[J].计算机集成制造系统,2015,21(08):1963-1978.
- [89] 朱兰亭,杨蓉.研发投入、技术创新产出与企业国际竞争力——基于中国高新技术企业的实证研究[J].云南财经大学学报,2019,35(07):105-112.
- [90] 朱智洺,李红艳,姚婷.智能化对制造业出口贸易高质量发展的影响研究[J].工业技术经济,2023,42(02):125-133.
- [91] 朱钟棣,李小平.中国工业行业资本形成、全要素生产率变动及其趋异化:基于分行业面板数据的研究[J].世界经济,2005(09):51-62.
- [92] 祝树金,陈艳,谢锐.“龙象之争”与“龙象共舞”基于出口技术结构的中印贸易关系分析

- [J].统计研究,2009,26(4):25-32.
- [93] 祝树金,奉晓丽.中国进口贸易技术结构的变迁分析与国际比较:1985-2008[J].财贸经济,2011(8):87-93.
- [94] 祝树金,彭雅,王娟.新兴七国进口贸易技术结构的度量及比较研究[J].湖南大学学报(社会科学版),2013,27(4):44-50.
- [95] 祝树金,谈晓静,李丹.劳动力需求视角下智能化影响制造业价值链攀升的实证研究[J].国际贸易问题,2022,No.473(05):51-68.
- [96] 宗良,吴丹.国际贸易理论的创新思维与动态综合竞争优势转换——历史演进、理论创新和模型构建[J].武汉金融,2019,No.235(07):16-22.

## 致 谢

行文至此，感慨万千。硕士生涯始于 2021 年初秋，止于 2024 年盛夏，三载悠悠，感恩遇见。

师恩难忘，牢记于心，感谢我敬爱的导师——蔡文浩老师。老师学识渊博，治学严谨，谦恭和蔼，德才兼备，并非局限于专业知识，而是延伸至相关经济、历史，甚至是医疗、饮食、美酒等文化……他从未刻意地教导过我们什么，但每一次交谈却又总是收获满满。毕业在即，心存感激，祝愿老师身体健康，事事顺遂!

萍水相逢，三生有幸，感谢我可爱的舍友、同门、以及陪我一起玩剧本杀的同好们。忘不了和舍友们一起“开小灶”、复习考证、游历四方；忘不了和同门一起打羽毛球、吃喝玩乐、答疑解惑；忘不了和剧本杀伙伴们一起沉浸推理、头脑风暴、揭秘真相……感恩遇到如宝藏一般的你们，让我的青春绚烂热烈，有幸与你们同行!

兰财之三年，有幸得到老师关心、学校教育、同窗力助、父母支持，既有学术之得，亦有心智之实，虽有憾，止于善。感恩学校、感谢恩师、感恩父母、感谢同学。道阻且长，行则将至；行而不辍，未来可期。与君共勉之!