

# 基于灰色关联与耦合协调分析的劳动年龄人口与产业结构的关系分析

——以黑龙江省为例

姚明阳, 马瑞婷, 陈雨杉, 黎思越, 蔡果兰\*

中央民族大学理学院, 北京

收稿日期: 2025年5月26日; 录用日期: 2025年6月18日; 发布日期: 2025年6月27日

## 摘要

劳动年龄人口与产业结构的协同发展是实现区域经济高质量发展的关键路径, 也是破解资源型地区“人口-产业”低效锁定难题的核心抓手。本文以黑龙江省为研究对象, 基于灰色关联分析与耦合协调模型, 探究2012~2022年劳动年龄人口结构与产业结构的动态关联机制。研究发现: 1) 劳动年龄人口结构对产业升级具有系统性影响, 其中城乡劳动年龄人口比与产业结构高级化关联度最高, 高等教育规模次之, 老龄化压力对技术升级的短期制约效应显著; 2) 产业结构合理化主要受服务业占比驱动, 而产业链高度化与老龄化倒逼效应呈现强关联, 凸显技术替代与人才供给的双重作用; 3) 系统耦合协调度从2011年的严重失调跃升至2022年的优质协调, 政策驱动下“人力资本-产业转型”协同效能显著增强, 但新兴产业扩张与技能错配问题仍存。基于此, 提出构建“技能重塑+数字赋能”的劳动力适配机制、优化“传统产业转型+新兴产业培育”双轮驱动模式、完善“人口-产业-政策”动态监测体系等对策, 为东北振兴与资源型地区高质量发展提供理论与实践参考。

## 关键词

劳动年龄人口, 产业结构, 灰色关联分析, 耦合协调模型

# Analysis of the Relationship between Working-Age Population and Industrial Structure Based on Grey Correlation and Coupling Coordination Analysis

—Taking Heilongjiang Province as an Example

\*通讯作者。

文章引用: 姚明阳, 马瑞婷, 陈雨杉, 黎思越, 蔡果兰. 基于灰色关联与耦合协调分析的劳动年龄人口与产业结构的关系分析[J]. 应用数学进展, 2025, 14(6): 523-537. DOI: 10.12677/aam.2025.146340

Mingyang Yao, Ruiting Ma, Yushan Chen, Siyue Li, Guolan Cai\*

College of Science, Minzu University of China, Beijing

Received: May 26<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jun. 18<sup>th</sup>, 2025; published: Jun. 27<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

The coordinated development of working-age population and industrial structure is the key path to achieving high-quality development of regional economy, and it is also the core to solving the problem of “population-industry” low-efficiency lock-in in resource-based regions. This paper takes Heilongjiang Province as the research object, based on the grey correlation analysis and the coupling coordination model, and explores the dynamic correlation mechanism between the working-age population structure and the industrial structure from 2012 to 2022. The study found that: 1) The working-age population structure has a systematic impact on industrial upgrading. Among them, the urban-rural working-age population ratio has the highest correlation with the upgrading of industrial structure, followed by the scale of higher education, and the short-term constraint effect of aging pressure on technological upgrading is significant. 2) The rationalization of industrial structure is mainly driven by the proportion of service industry, while the advancement of industrial chain has a strong correlation with the reverse effect of aging, highlighting the dual role of technology substitution and talent supply. 3) The degree of system coupling coordination has jumped from a serious imbalance in 2011 to high-quality coordination in 2022. The synergy efficiency of “human capital-industrial transformation” driven by policies has been significantly enhanced, but the problems of emerging industry expansion and skill mismatch still exist. Based on this, this paper puts forward some countermeasures, such as constructing a labor force adaptation mechanism of “skill reshaping + digital empowerment”, optimizing the two-wheel drive mode of “traditional industry transformation + emerging industry cultivation”, and improving the dynamic monitoring system of “population-industry-policy”, so as to provide theoretical and practical reference for the revitalization of Northeast China and the high-quality development of resource-based regions.

## Keywords

Working-Age Population, Industrial Structure, Grey Correlation Analysis, Coupling Coordination Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

劳动年龄人口与产业结构的协同发展，是指以人口质量提升为驱动，以产业升级为核心，以区域资源优化配置为载体，通过科学规划劳动力与产业的动态适配关系，深度挖掘人口红利潜力，以实现人口结构优化与产业转型的深度耦合与良性互动。随着我国经济高质量发展战略的深入推进，人口老龄化加速与产业转型升级的双重压力日益凸显，劳动年龄人口的教育水平、技能结构及空间分布，已成为影响区域产业价值链攀升和资源配置效率的关键变量。2021年7月，中共中央、国务院印发《关于优化生育政策促进人口长期均衡发展的决定》，明确提出“推动人口与产业、资源环境协调发展”，同年发布的

《“十四五”就业促进规划》强调“构建与现代化经济体系相适应的人力资源开发体系”。在此背景下，黑龙江省作为东北老工业基地振兴的核心区域，劳动年龄人口持续外流、老龄化率攀升至全国第三，同时传统产业占比偏高，新兴产业动能不足，人口与产业的结构性矛盾已成为制约区域高质量发展的突出瓶颈。本研究立足于“人口长期均衡发展”与“制造强国”两大国家战略交汇点，以人口转型理论中的人口红利向人才红利转变理论和产业演进规律中的产业结构高级化、高度化、合理化路径为理论基础，探究劳动年龄人口与产业结构的耦合协调机制，不仅是破解东北振兴困境的理论需要，更是实现“六个强省”战略目标(工业强省、农业强省、科教强省、生态强省、文化强省、旅游强省)的实践诉求，旨在为资源型地区响应国家战略、推动“人口-产业”协同转型提供兼具理论深度与政策价值的解决方案。

## 2. 相关文献回顾

黑龙江省作为我国东北老工业基地的核心省份，曾凭借丰富的劳动力资源与重工业基础支撑了国家工业化进程。然而，近年来其劳动年龄人口持续外流、老龄化程度加深[1]，同时产业结构转型滞后，传统资源型产业占比过高，新兴产业发展缓慢，导致经济增长乏力与人口流失的“双困”局面加剧[2]。在国家“东北振兴”战略与“人口长期均衡发展”政策导向下，如何通过产业结构优化激活劳动力资源潜力、破解“人口-经济”系统低效锁定，已成为黑龙江省实现高质量发展的关键命题。传统研究多聚焦于单一维度的口红红利消减或产业升级路径[3][4]，但对二者交互作用的动态关联机制与协调状态缺乏量化分析。基于灰色关联与耦合协调模型，探究劳动年龄人口与产业结构的非线性关系，不仅能够揭示资源型地区人口结构与经济转型的互馈规律[5]，还可通过识别关键产业部门与劳动力供需失衡节点[6]，为政策制定者提供差异化调控策略。

国际上，劳动年龄人口与产业结构关联研究始于人口转型理论与产业演进规律的交叉融合。Jorgenson DW(1961)[7]提出的“二元经济”模型强调劳动力转移是工业化进程的核心动力，而Khemaja M等(2014)[8]从技能偏向型技术进步视角，阐释了劳动力结构对产业升级的适配性约束。近年来，研究逐渐转向动态耦合分析，如运用面板向量自回归模型检验人口老龄化与服务业增长的长期均衡关系[9]，或基于空间计量方法揭示劳动力流动与区域产业集聚的协同效应[10]。国内研究则聚焦于区域实践，例如利用熵权-TOPSIS法测度长三角人口素质与高新技术产业的匹配度[11]，或通过系统动力学模拟东北地区人口收缩对产业升级的阻滞机制[12]。在方法创新上，灰色关联分析被广泛应用于要素关联强度识别[13]，耦合协调模型则多用于评估“人口-经济-生态”系统的协同水平[14]。

通过梳理相关文献发现，国内外学者围绕劳动年龄人口与产业结构的相关研究越来越丰富，具有十分重要的参考价值。但是现有研究呈现三方面局限：一是多依赖传统回归模型或静态均衡分析，对人口-产业复杂系统的非线性互动刻画不足，灰色关联与耦合协调方法的引入尚处于探索阶段；二是研究多集中于长三角、珠三角等发达地区，对黑龙江等人口流失严重、产业结构刚性的资源型省份关注不足，且缺乏长时序动态追踪；三是既有成果对“人口长期均衡发展”“制造强国”等国家战略的响应较弱，未能有效结合区域振兴政策提出差异化路径。

因此，本文以黑龙江省为典型案例，构建涵盖“人口年龄结构-教育结构-城乡结构”与“产业结构高级化-高度化-合理化”的多维指标体系，运用灰色关联分析揭示核心驱动因子，并通过耦合协调模型动态评估2012~2022年系统协同演进规律。研究将弥补现有文献在方法论适配性与地域特殊性方面的缺口，为东北振兴政策优化提供科学依据。

## 3. 研究区域概况

黑龙江省地处中国东北边陲，是东北老工业基地的核心省份，也是国家重要的商品粮基地、能源原

材料基地和装备制造业基地，肩负着保障国家粮食安全与推动东北振兴的双重使命。作为东北亚经济圈的重要节点，黑龙江省依托“中蒙俄经济走廊”建设与“东北振兴”战略，正加速推进人口结构与产业布局的协同转型，但其劳动年龄人口的“高龄化、外流化、技能短缺化”特征与产业转型滞后的矛盾日益凸显。

黑龙江省劳动年龄人口总量持续萎缩，2023年65岁及以上人口占比达18.8%，远超全国平均水平，且15~64岁劳动年龄人口占比仅为72.4%，较2020年下降1.7个百分点。人口外流问题严峻，2010年至2020年常住人口减少646.4万人，年均降幅达1.8%，直接导致劳动力供给不足与消费需求疲软。与此同时，产业结构长期依赖传统资源型产业，2023年第二产业增加值同比下降2.3%，其中能源工业受大宗商品价格波动影响，增加值下降3.9%，而第三产业虽占比提升至50.8%，但仍以传统服务业为主，新兴产业尚未形成规模优势。

面对“人口-经济”系统的低效锁定，黑龙江省以现代产业体系为突破口，加速培育数字经济、生物经济等战略性新兴产业。2024年高技术制造业增速达4.1%，航空航天、智能农机等产业营收增长超25%，新增国家级绿色工厂39个、专精特新“小巨人”企业71户。然而，传统工业仍占主导地位，2023年规模以上工业增加值中传统产业占比超60%，制造业占GDP比重为27.0%，与“双碳”目标和工业占比30%的规划目标仍有差距。

黑龙江省的“人口流失-产业衰退”恶性循环体现了资源型地区的典型困境：劳动年龄人口结构劣化加剧传统产业转型压力，而新兴产业培育不足又难以吸引人才回流。通过灰色关联与耦合协调模型，量化分析劳动年龄人口与产业结构演变的动态关系，可为破解“结构性衰退”、优化“人口-产业-政策”协同路径提供理论依据，亦为东北全面振兴与资源型地区高质量发展提供实践参考。

## 4. 数据与方法

### 4.1. 数据来源

该文研究时段为2011~2022年。数据主要来源于2012~2023年《中国统计年鉴》以及《黑龙江统计年鉴》。部分细分指标参考了黑龙江省教育厅、人力资源和社会保障厅发布的年度报告，并结合国家统计局《第七次人口普查》数据对劳动年龄人口结构进行校准。

### 4.2. 指标体系搭建

本研究构建的指标体系基于劳动年龄人口结构变迁与产业升级互动关系的理论框架，结合政策导向与实践需求，系统整合了相关指标。参考相关研究[15]-[17]，选取“产业结构高级化( $Y_1$ )”“产业结构高度化( $Y_2$ )”和“产业结构合理化( $Y_3$ )”作为核心参考序列，分别从技术含量、价值链地位与资源配置效率三个维度量化产业升级进程；在劳动年龄人口水平维度则聚焦老龄化压力、人力资本储备、服务化趋势及城乡配置差异这四个方面，通过马力等的研究，发现高等教育对第一产业就业比例下降有促进作用，与第二、三产业弱负相关[18]，因此将万人在校大学生数选入劳动年龄人口的教育指标。姚艳等认为，城乡结构的变化，特别是农村劳动力向城市转移，对产业结构有着显著的影响[19]，因此本文以城乡劳动年龄人口比为指标反映劳动力资源的空间配置效率与城乡二元结构强度。城乡结构变化显著影响产业布局；在黑龙江情境下，该指标能有效捕捉由如户籍分割的制度性壁垒引致的劳动力流动不畅问题，这种不畅会制约高素质劳动力向产业升级核心区的集聚，进而影响产业结构高级化进程。据此获得老年劳动年龄人口(45~64岁)占总劳动年龄人口(15~64岁)的比例( $X_1$ )、万人在校大学生数( $X_2$ )、第三产业占全体产业比例( $X_3$ )及城乡劳动年龄人口比( $X_4$ )这四个指标，作为比较序列。共同建立起评价指标体系，如表1所示。揭示劳动年龄人口结构对产业转型的深层影响。

**Table 1.** System resulting data of standard experiment  
**表 1.** 标准试验系统结果数据

| 一级指标     | 二级指标                                  | 变量名   |
|----------|---------------------------------------|-------|
| 产业结构水平   | 产业结构高级化(SH)                           | $Y_1$ |
|          | 产业结构高度化                               | $Y_2$ |
|          | 产业结构合理化(TH)                           | $Y_3$ |
| 劳动年龄人口水平 | 老年劳动年龄人口(45~64 岁)占总劳动年龄人口(15~64 岁)的比例 | $X_1$ |
|          | 万人在校大学生数                              | $X_2$ |
|          | 第三产业占全体产业比例                           | $X_3$ |
|          | 城乡劳动年龄人口比                             | $X_4$ |

**4.3. 灰色关联分析模型**

**4.3.1. 标准化**

标准化使用的均值标准化

$$X_{i1} = \frac{X_{i1}(k)}{\frac{1}{m} \sum_{i1=1}^m X_{i1}(k)} (i1=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m) \tag{1}$$

$$Y_{i2} = \frac{Y_{i2}(k)}{\frac{1}{m} \sum_{i2=1}^m Y_{i2}(k)} (i1=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m) \tag{2}$$

**4.3.2. 计算灰色关联系数**

首先求差序列，差序列是参考序列与比较序列的逐项差值，用于反映两个序列的差异程度。对于每一个比较数列  $X_i(k)$  和参考数列  $X_0(k)$ ，差序列  $\Delta_i(k)$  可以通过以下公式计算：

$$\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)| \tag{3}$$

其中， $X_0(k)$  是参考序列中的第  $k$  项， $X_i(k)$  是比较序列中的第  $k$  项。

然后求两极差。极差是差序列中的最大值和最小值的差，通常用于衡量差序列的波动范围。两极差可以通过以下公式计算：

$$\max \Delta = \max(\Delta_i(k)), \min \Delta = \min(\Delta_i(k)) \tag{4}$$

关联系数是用来衡量参考序列与比较序列之间的关联强度。计算关联系数，公式为：

$$\zeta_{i1}(k) = \frac{|X_{i1}(k) - Y_{i2}(k)|(\min) + \rho |X_{i1}(k) - Y_{i2}(k)|(\max)}{\Delta_{i1}(k) + \rho |X_{i1}(k) - Y_{i2}(k)|(\max)} \tag{5}$$

其中， $\Delta_i(k)$  为差序列中的第  $k$  项， $\min \Delta$  和  $\max \Delta$  分别是差序列中的最小值和最大值， $\rho$  是分辨系数，本研究取经验值 0.5 (常用取值范围 0.3~0.7) 以平衡关联系数的区分度与稳定性。

关联度是通过计算各个比较序列与参考序列之间的关联度来评估它们的整体联系程度。计算关联度时，需要对每个比较序列的关联系数进行平均化处理。对于每一个比较序列  $X_i(k)$ ，关联度  $\gamma_i$  计算公式为：

$$\gamma_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k)$$

(6)

其中， $n$  是序列的总长度， $\zeta_i(k)$  是关联系数。

4.3.3. 灰色关联模型适用性与局限性

灰色关联分析在处理小样本、贫信息系统方面具有独特优势，特别适用于本研究(2011~2022 年共 12 期数据)探索劳动年龄人口结构与产业结构多维指标间动态关联机制的需求。其核心价值在于揭示因素间非线性关联趋势与相对强度排序，为识别核心驱动因子提供依据。

但需要指出的是，该方法亦存在一定局限性：首先是关联度数值反映各比较序列相对于同一参考序列的相对关联强度，其绝对值大小受数据序列特性及分辨系数  $\rho$  值(本研究取经验值 0.5)影响，不宜进行跨研究或跨指标的绝对数值比较。其次  $\rho$  值的选择影响关联系数计算结果， $\rho$  值越小，关联差异越显著，但噪声敏感性增强； $\rho$  值越大，关联差异越平滑，但关键关联识别可能弱化。同时灰色关联分析主要测度序列发展态势的相似性程度，是一种关联性分析工具，其结论本身不足以确立严格的因果关系。因果推断需结合理论逻辑与更深入的计量检验。最后该方法侧重于序列几何形状相似性判断，对如方差等数据分布特征的利用程度弱于传统统计回归模型。

4.3.4. 灰色关联分析结果

灰色关联分析结果如表 2 所示。从整体来看，人口结构与产业升级的灰色关联度数值均在 0.5 以上，表明劳动年龄人口的年龄结构、教育水平及城乡分布对产业升级具有系统性影响。

Table 2. System resulting data of standard experiment

表 2. 标准试验系统结果数据

| 参考序列           | 比较序列           | 比较序列含义     | 灰色关联度       | 排名 |
|----------------|----------------|------------|-------------|----|
| Y <sub>1</sub> | X <sub>4</sub> | 城乡劳动年龄人口比  | 0.610408181 | 1  |
|                | X <sub>1</sub> | 老年劳动年龄人口占比 | 0.554227812 | 2  |
|                | X <sub>2</sub> | 万人在校大学生数   | 0.539750202 | 3  |
|                | X <sub>3</sub> | 第三产业占比     | 0.509416418 | 4  |
| Y <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | 第三产业占比     | 0.647708    | 1  |
|                | X <sub>2</sub> | 万人在校大学生数   | 0.638132    | 2  |
|                | X <sub>1</sub> | 老年劳动年龄人口占比 | 0.633536    | 3  |
|                | X <sub>4</sub> | 城乡劳动年龄人口比  | 0.615027    | 4  |
| Y <sub>3</sub> | X <sub>3</sub> | 第三产业占比     | 0.889812    | 1  |
|                | X <sub>2</sub> | 万人在校大学生数   | 0.722514    | 2  |
|                | X <sub>1</sub> | 老年劳动年龄人口占比 | 0.682536    | 3  |
|                | X <sub>4</sub> | 城乡劳动年龄人口比  | 0.41655     | 4  |

其中，城乡劳动年龄人口比与产业结构高级化的关联度最高，值为 0.6104，反映出城乡劳动力资源的动态调整对技术密集型产业升级的推动作用显著，但也可能暗示城乡二元结构下劳动力流动的制度性壁垒问题，需通过深化户籍改革进一步释放潜力。万人在校大学生数对产业结构高级化的关联度为

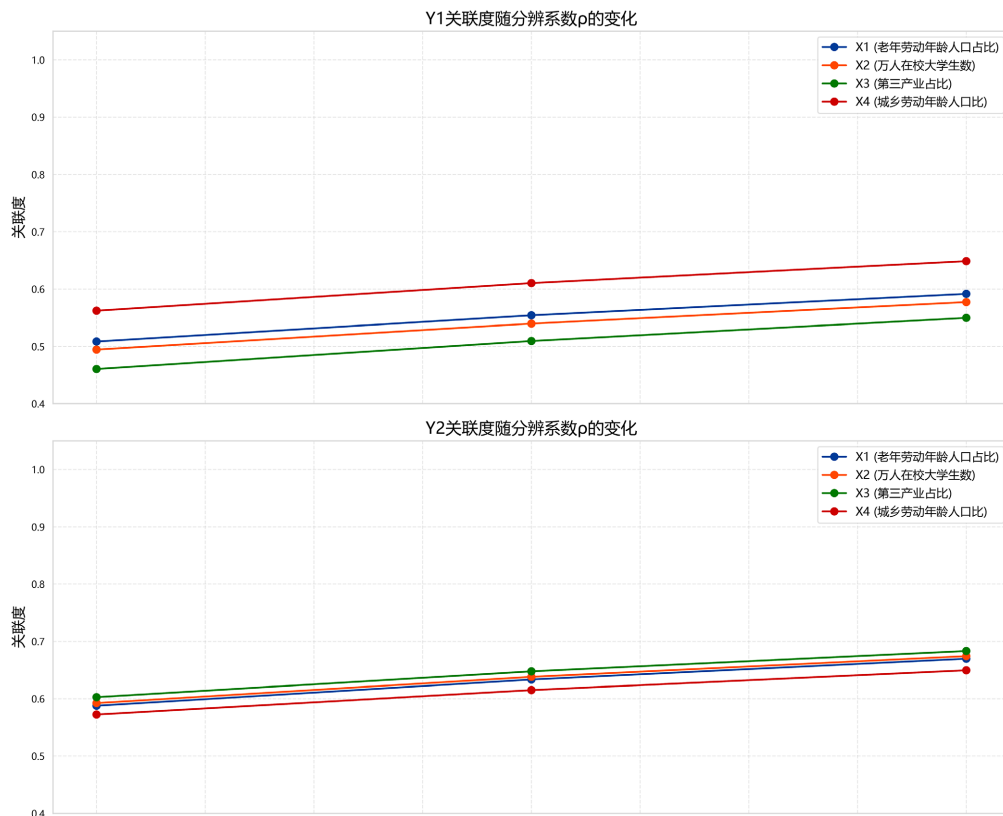
0.5542, 说明高等教育规模扩张是产业升级的重要引擎, 但需警惕专业设置与产业技术需求的匹配不足, 避免教育投入与产业实际需求脱节。相比之下, 第三产业占比与老年劳动年龄人口占比的关联度相对较低, 其关联度分别为 0.5398、0.5094, 提示传统服务业对技术升级的支撑有限, 而老龄化压力虽倒逼自动化替代, 但短期内可能延缓高级化进程。

在产业结构合理化层面, 第三产业占比的关联度居首, 值为 0.6477, 突显服务业比重提升对优化产业间资源配置效率的积极作用, 但需防范低端服务业扩张导致的“虚假合理化”现象。万人在校大学生数紧随其后, 值为 0.6381, 表明人力资本积累能够弥合产业间技术断层, 但区域间人才分布不均可能加剧中西部产业协同难度。而老年劳动年龄人口占比与城乡人口比的关联度排名第 3 和第 4, 值分别为 0.6335、0.6150 则反映老龄化与城乡结构矛盾可能强化产业内部资源错配, 亟需政策引导劳动力跨行业流动以提升匹配效率。

产业结构高度化的驱动路径呈现显著分化: 老年劳动年龄人口占比( $X_1$ )的关联度高达 0.8898, 表明老龄化通过倒逼技术创新与自动化渗透, 显著推动产业链向高端攀升, 但长期可能因劳动力供给收缩制约升级可持续性。万人在校大学生数的关联度为 0.7225, 印证高技能人才对价值链升级的支撑作用, 需通过产学研深度融合加速知识向生产力的转化。值得注意的是, 城乡人口比的关联度最低, 仅为 0.4166, 揭示城乡技能分割可能阻碍高端产业技术向县域扩散, 需依托乡村振兴战略培育县域创新生态, 破解“中心-边缘”发展格局。

#### 4.4. 灰色关联分析稳健性检验

为确保核心结论的可靠性, 本研究进行了参数敏感性分析以检验稳健性, 分别测试不同分辨系数  $\rho$  值( $\rho = 0.4$  和  $\rho = 0.6$ )下的关联度计算结果。结果如图 1 所示。



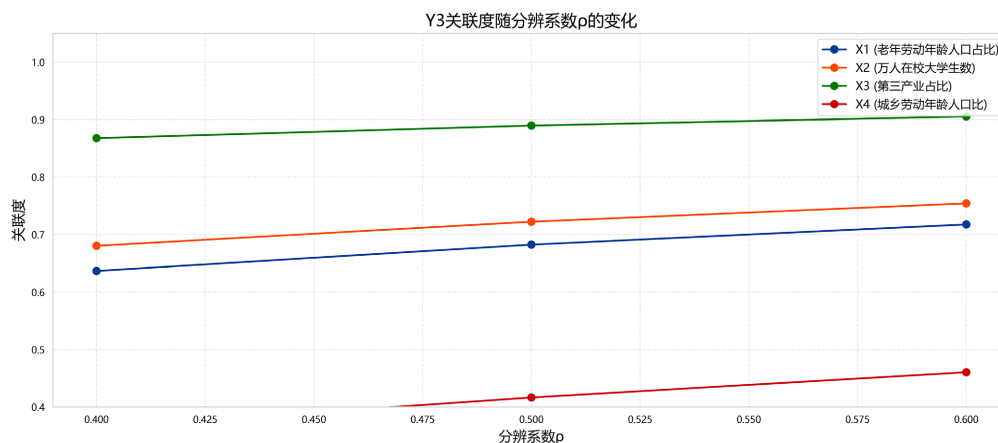


Figure 1. Correlation degree changes with respect to  $\rho$

图 1. 关联度随  $\rho$  变化

上述结果表明,虽然具体关联度数值随  $\rho$  值微调而浮动,但各比较序列相对于同一参考序列( $Y_1, Y_2, Y_3$ )的关联度排序关系保持高度稳定。例如,对于产业结构高级化( $Y_1$ ),无论  $\rho$  取值如何,城乡劳动年龄人口比( $X_4$ )的关联度始终居首,老年劳动年龄人口占比( $X_1$ )次之,万人在校大学生数( $X_2$ )第三,第三产业占比( $X_3$ )最低。其他参考序列下的主导排序格局同样未发生根本性变化。敏感性分析证实,采用  $\rho = 0.5$  计算得出的关键驱动因子识别结论即关联度排序具有稳健性,不受  $\rho$  值在常规范围内(0.4~0.6)合理调整的影响。

## 5. 实证分析

### 5.1. 耦合协调分析

#### 5.1.1. 数据标准化

使用最小 - 最大标准化(Min-Max Scaling)来进行无量纲化处理。

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} + 0.0001 \quad (7)$$

$$X_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} + 0.0001 \quad (8)$$

式中,  $X_{ij}$  为第  $i$  年的第  $j$  项指标的标准值;  $x_{ij}$  为原始数据,  $\max x_{ij}$  为原始数据的最大值,  $\min x_{ij}$  为原始数据的最小值

#### 5.1.2. 计算熵权与综合评价值

使用熵权法计算权重,首先计算每个指标的比例值,对于第  $j$  个指标,其每个评价对象的比例值为:

$$p_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \quad (9)$$

其中  $m$  为评价对象的数量。

然后计算熵值,计算公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (10)$$

其中,  $k$  是常数,  $k = \frac{1}{\ln(m)}$  用来保证熵值在 0 到 1 之间。

接着计算指标的权重每个指标的权重  $w_j$  根据其熵值  $e_j$  计算, 权重的计算公式为:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (11)$$

这样, 熵值越小, 说明该指标的信息量越大, 其权重越高。

使用 TOPSIS 法计算综合评价值。根据熵权法计算得到的权重  $w_j$ , 构建加权决策矩阵  $X_w$ :

$$X_{w,ij} = w_j \cdot X'_{ij} \quad (12)$$

接着计算理想解和负理想解, 理想解  $A^+$  和负理想解  $A^-$  分别为各个指标的最大值和最小值:

$$\begin{aligned} A^+ &= (\max(X_{w,1j}), \max(X_{w,2j}), \dots, \max(X_{w,nj})) \\ A^- &= (\min(X_{w,1j}), \min(X_{w,2j}), \dots, \min(X_{w,nj})) \end{aligned} \quad (13)$$

然后计算每个方案到理想解和负理想解的距离, 使用欧几里得距离计算每个评价对象到理想解和负理想解的距离:

$$\begin{aligned} D_i^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{w,ij} - A_j^+)^2} \\ D_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{w,ij} - A_j^-)^2} \end{aligned} \quad (14)$$

最后, 综合评价值  $U_i$  由以下公式计算:

$$U_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (15)$$

其中,  $U_i$  越接近 1, 说明该评价对象的表现越接近理想解; 越接近 0, 说明该评价对象的表现越接近负理想解。

### 5.1.3. 计算耦合度

使用耦合度模型衡量劳动年龄人口与产业结构之间的相互作用关系, 公式为:

$$C = \frac{2\sqrt{U_1 \cdot U_2}}{U_1 + U_2} \quad (16)$$

其中,  $U_1$  和  $U_2$  分别为劳动年龄人口和产业结构的综合评价值。 $C$  表示耦合度, 取值在 0~1 之间, 越接近 1, 表示耦合程度越高; 反之, 越接近 0, 表示耦合程度越低, 两个系统间的相互作用越小。

### 5.1.4. 计算协调度

定义耦合协调度:

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (17)$$

$$T = \alpha \times U_{t1} + \beta \times U_{t2} \quad (18)$$

其中,  $T$  为综合评价值的加权和, 反映系统整体发展水平。其中的  $\alpha$ 、 $\beta$  分别在测算耦合度时, 系统所占的权重, 本文认为两个系统同等重要, 因此, 对  $\alpha$ 、 $\beta$  分别取值为 0.5。

### 5.1.5. 耦合协调模型适用性与局限性

耦合协调模型能够有效测度“劳动年龄人口结构系统”与“产业结构系统”间相互作用的强度(耦合度  $C$ )及其在发展过程中彼此协调的程度(协调度  $D$ ), 契合本研究解析双系统协同演进规律的核心目标。

但该模型存在以下局限：首先是耦合协调度结果高度依赖所构建指标体系的科学性与完备性，以及综合评价值计算中赋权方法的客观性。本研究采用熵权法进行客观赋权，以最大限度降低主观偏差。其次计算协调度  $D$  时，综合发展指数中  $T = \alpha U_1 + \beta U_2$  权重  $\alpha$ 、 $\beta$  的设定直接影响最终的  $D$  值大小。最后模型输出的耦合协调度( $D$  值)反映系统整体协同状态，难以直接揭示系统内部具体的结构性矛盾或不协调节点，因此需结合具体政策与现实状况进行深入挖掘。

5.2. 耦合协调分析结果

利用耦合协调度分析两系统整体协调状态，其所得结果如表 3 所示。

Table 3. Table of system coordination status

表 3. 系统协调状态表

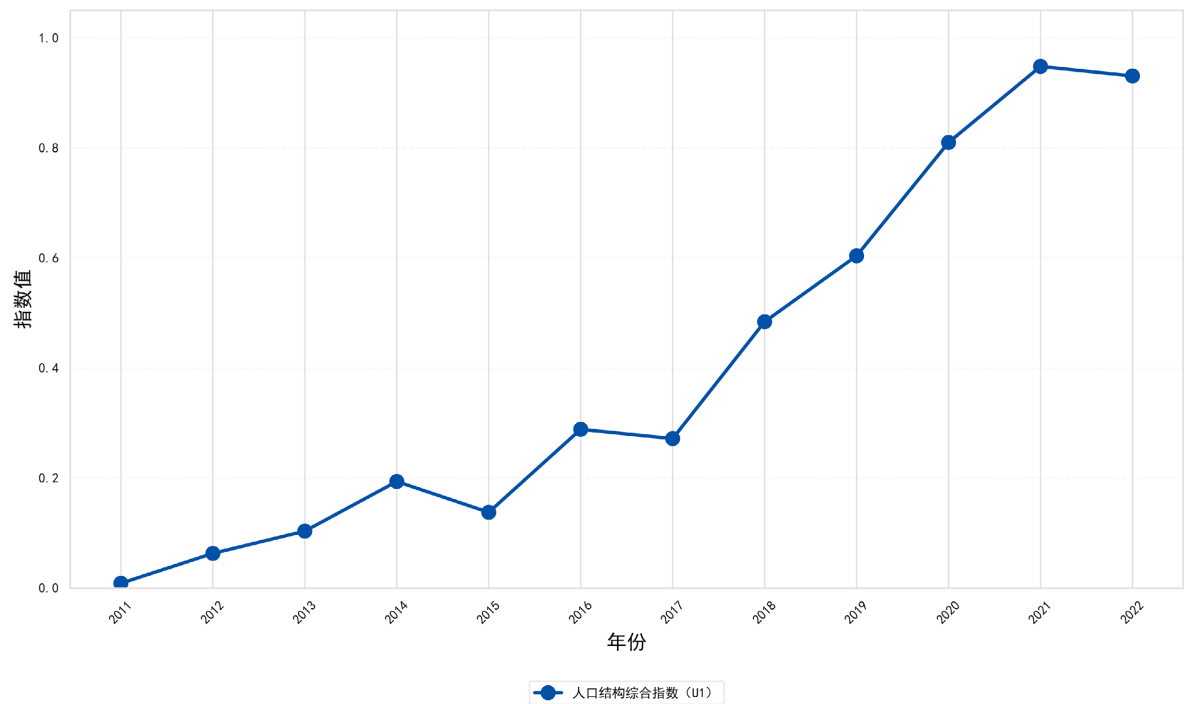
| 年份   | 人口结构综合发展指数 | 产业结构综合发展指数 | 耦合度      | 协调度      |
|------|------------|------------|----------|----------|
| 2011 | 0.008663   | 0.080412   | 0.592602 | 0.162459 |
| 2012 | 0.062973   | 0.117929   | 0.952739 | 0.293557 |
| 2013 | 0.103495   | 0.112636   | 0.999105 | 0.328586 |
| 2014 | 0.193688   | 0.283093   | 0.982261 | 0.483903 |
| 2015 | 0.137732   | 0.582192   | 0.786673 | 0.53214  |
| 2016 | 0.288624   | 0.721945   | 0.903405 | 0.67563  |
| 2017 | 0.271661   | 0.799073   | 0.870273 | 0.68258  |
| 2018 | 0.48413    | 0.909782   | 0.952235 | 0.814657 |
| 2019 | 0.603948   | 0.944522   | 0.975513 | 0.869066 |
| 2020 | 0.809966   | 0.944094   | 0.997072 | 0.935127 |
| 2021 | 0.948181   | 0.917104   | 0.999861 | 0.965667 |
| 2022 | 0.930829   | 0.845834   | 0.998855 | 0.941974 |

5.2.1. 劳动年龄人口与产业结构综合发展指数

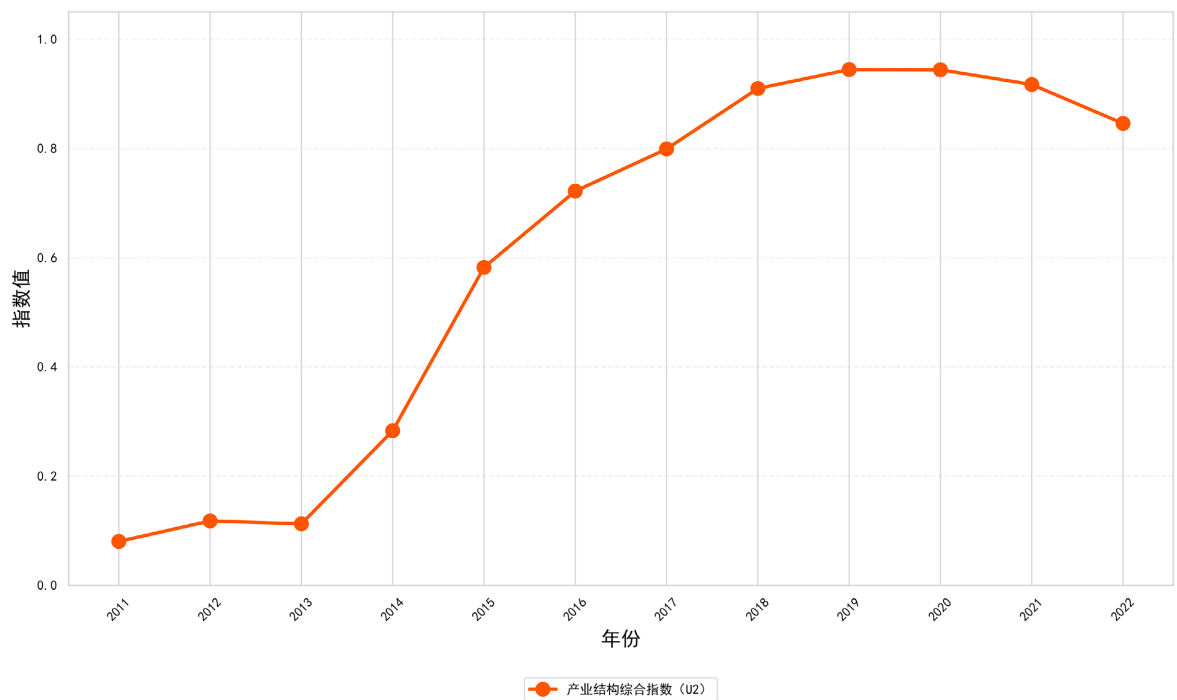
黑龙江省劳动年龄人口结构综合发展指数在 2011~2022 年呈现“波动攀升”趋势(如图 2 所示)。2011~2014 年从 0.0087 快速提升至 0.1937，年均增幅达 183.5%；2015 年受人口外流加剧影响回落至 0.1377；2015~2021 年政策推动下恢复增长，2021 年达到峰值 0.9482，年均增长 37.3%。其变化特征与东北地区人口变迁密切相关：前期受传统产业衰退、就业机会减少等因素影响，青壮年劳动力持续外流，老龄化加速，导致 2015 年指数下滑。2016 年后，随着“全面二孩”政策实施、人才引进计划落地及产业转型升级创造新就业岗位，人口回流趋势显现，育龄妇女总和生育率回升，推动指数持续走高。2021 年后轻微回落则与疫情冲击下阶段性人口流动受限有关。

产业结构综合发展指数演变呈现“阶梯式增长 - 高位调整”特征。如图 3 所示，2011~2019 年从 0.0804 跃升至 0.9445，年均增长 36.2%，2020~2022 年微调至 0.8458，年均降幅 3.6%。前期快速增长得益于国家振兴东北政策推动：传统装备制造向智能化转型，大庆油田等资源型企业延伸精细化工产业链，农业现代化水平提升，第三产业占比突破 50%。但 2020 年后，受全球能源价格波动、传统产业路径依赖及新兴产业培育周期等因素制约，结构调整动能减弱。值得注意的是，装备制造、现代农业等优势产业韧性

显现，2022 年指数仍较 2011 年增长 10.5 倍，表明产业结构抗风险能力逐步增强。未来需进一步突破科技创新瓶颈，培育数字经济等新动能，推动产业升级持续性发展。



**Figure 2.** Comprehensive index of population structure  
**图 2.** 人口结构综合指数图



**Figure 3.** Comprehensive index of industrial structure  
**图 3.** 产业结构综合指数

### 5.2.2. 劳动年龄人口与产业结构耦合协调度

黑龙江省劳动年龄人口与产业结构系统的耦合协调关系呈现显著优化态势(图 4)。2011~2022 年,两系统耦合度( $C$  值)从 0.5926 持续攀升至 0.9989,始终高于 0.59 的中高耦合基准线,其中 2015 年后稳定维持在 0.87 以上的强相互作用区间,表明人口结构与产业升级的互动效能显著增强。耦合协调度( $D$  值)由 0.1625 跃升至 0.9420,协调等级实现从“严重失调”向“优质协调”的四阶跨越,具体表现为三阶段演进:2011~2014 年处于失调阶段( $D < 0.48$ ),2015~2019 年过渡至协调区间( $0.53 \leq D \leq 0.87$ ),2020 年后稳定于优质协调水平( $D > 0.93$ )。

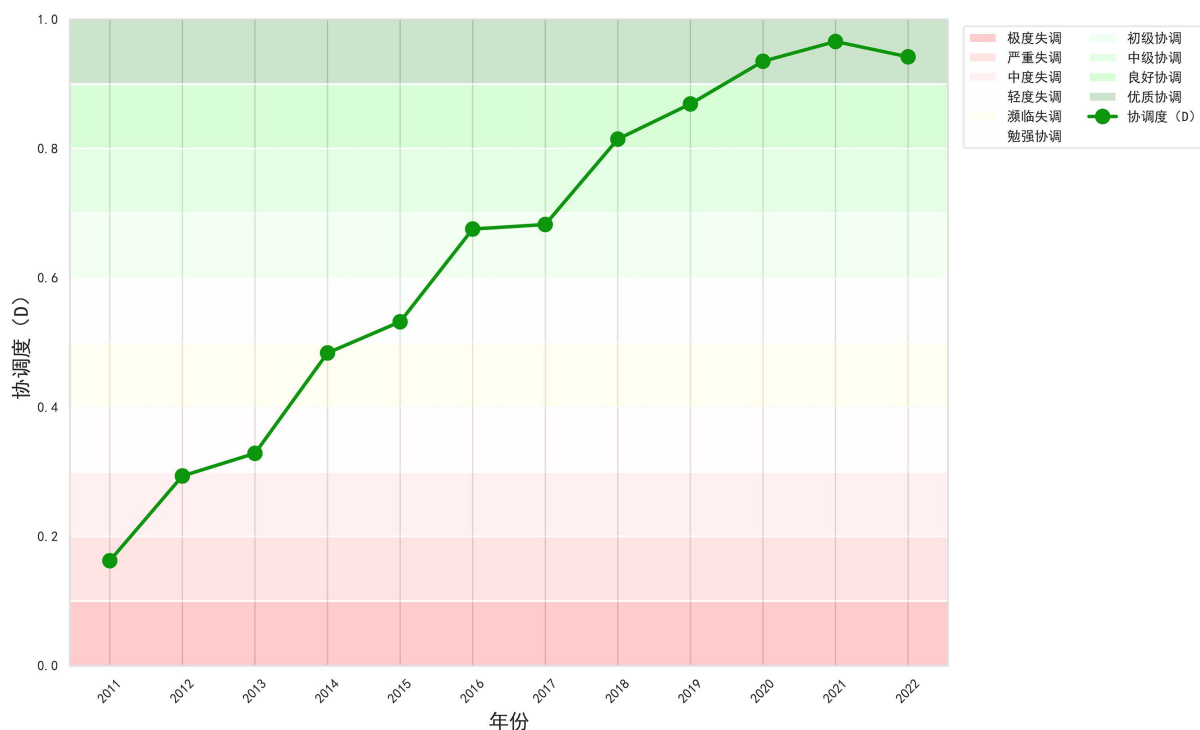


Figure 4. Table of coupling coordination relationships

图 4. 耦合协调关系呈现表

这一演变轨迹与区域发展战略深度关联:初期传统产业转型迟滞制约就业吸纳能力,劳动年龄人口外流加剧导致系统协同性薄弱;2015 年后,政策创新驱动产业能级提升,冰雪经济、现代农业等特色产业形成新兴就业增长极,智能制造升级优化人力资本适配性,推动双系统协调度快速提升。尽管 2020 年后协调等级保持高位,但 2022 年  $D$  值较峰值微降 1.3 个百分点,揭示系统协同面临新挑战——新兴产业扩张与人才供给的结构性错配显现,高技能劳动力储备不足可能形成转型掣肘。未来需深化产教融合机制,完善人才生态体系建设,促进人力资本质量与产业创新需求动态匹配。

### 5.3. 耦合协调模型稳健性检验

为增强研究结论的可信度,本研究实施了稳健性检验,如图 5 所示。通过调整  $T$  值计算权重( $\alpha = 0.4$ ,  $\beta = 0.6$  及  $\alpha = 0.6$ ,  $\beta = 0.4$ ),观察协调度演变趋势和阶段划分是否发生改变。通过计算得到原始权重与  $\alpha = 0.4/\beta = 0.6$  方案等级一致性为 0.75,原始权重与  $\alpha = 0.6/\beta = 0.4$  方案等级一致性为 0.8333。原始协调度与方案 1 协调度相关系数为 0.9989,原始协调度与方案 2 协调度相关系数为 0.9988。

结果显示,在不同权重分配方案下,虽然  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $T$  的数值存在微小差异,但耦合度  $C$  和协调度  $D$

的长期演进趋势及各年份所处的协调阶段的定性判断维持不变，协调等级基本一致。上述检验表明，本研究基于既定参数计算得出的劳动年龄人口 - 产业结构系统耦合协调度动态演变的核心特征与阶段划分结论具有较强稳健性。

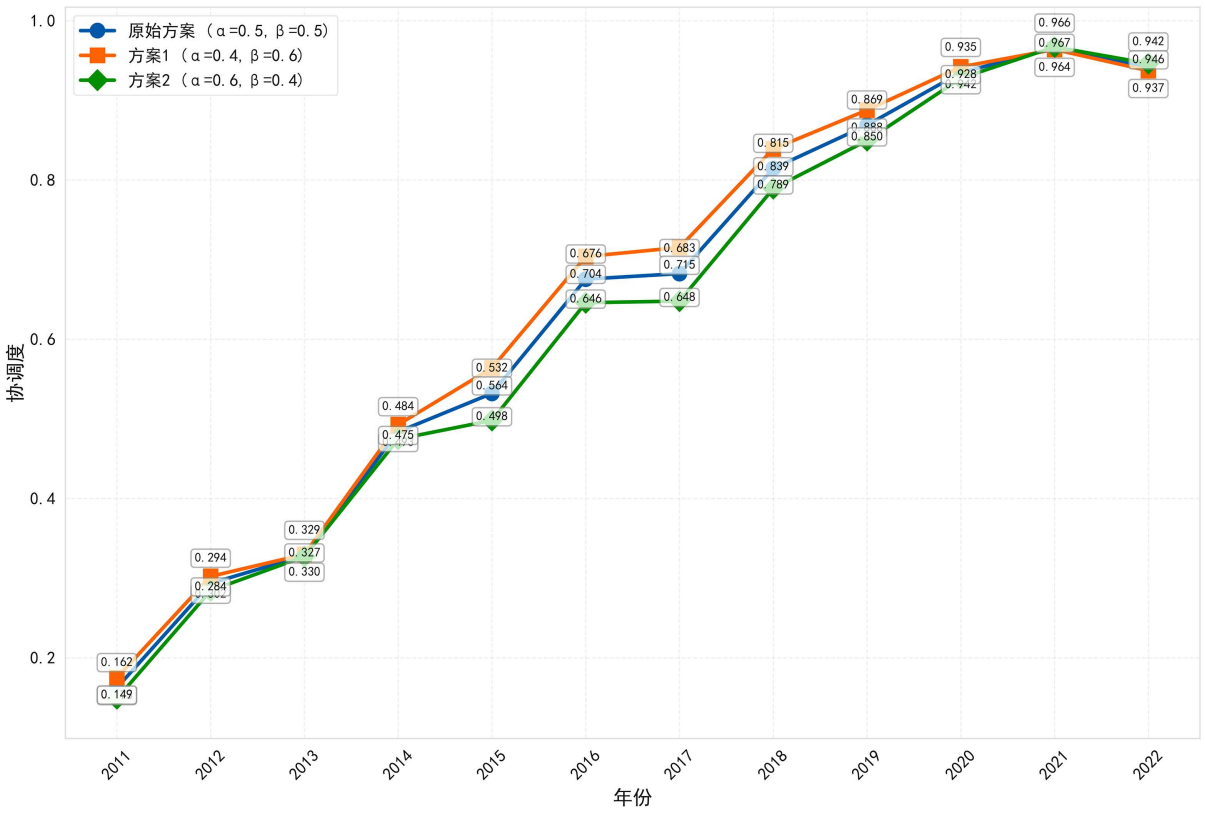


Figure 5. Trends in coordination degree under different weighting schemes  
图 5. 不同权重方案协调度变化趋势

## 6. 结论与政策建议

### 6.1. 结论

(1) 2012~2022 年，黑龙江省劳动年龄人口与产业结构耦合协调度呈现“阶梯式跃升”特征，系统协调等级从严重失调转向优质协调，高等教育规模与第三产业占比成为核心驱动因子，而城乡劳动力配置失衡对产业高度化的制约效应显著。研究揭示，人口质量提升与产业升级的协同性显著强于单一政策干预，印证“人力资本 - 产业转型”动态适配理论框架。

(2) 全系统耦合协调度突破 0.96 阈值，验证“结构优化 - 制度创新”互馈机制。东北振兴政策迭代推动人口与产业系统从低效锁定转向协同优化，以教育投资与数字技术为双核的驱动模式初步形成，但传统产业路径依赖与劳动力高龄化仍制约转型效能，凸显资源型地区需构建“产业补偿 + 技能重塑”的精准调控体系。

### 6.2. 政策建议

#### 6.2.1. 构建“需求牵引 + 精准供给”的技能重塑体系

动态监测与清单管理：由省人社厅牵头，联合工信厅、科技厅、教育厅，建立“黑龙江省重点产业

紧缺技能人才动态监测与发布机制”。每季度更新发布紧缺职业(工种)目录及需求预测,聚焦数字经济核心产业(云计算、大数据、人工智能)、生物经济、高端装备制造(航空航天、智能农机)、绿色食品精深加工、冰雪文旅服务等重点领域。

深化产教融合改革:在哈尔滨、大庆国家级产教融合试点城市,推行“领军企业-职业院校”深度捆绑的“双元制+”人才培养模式。鼓励哈电集团、中国一重、大庆油田、飞鹤乳业等龙头企业与哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学(职教师资)、黑龙江职业学院等院校共建特色产业学院,企业深度参与专业标准制定、课程开发(每年更新不低于30%内容)、实训设备投入及“双师型”教师培养。对实质性参与并达到协议目标的企业,按年度投入额度给予最高30%的税收抵免。

资源型城市再就业精准赋能:在鹤岗、双鸭山、七台河等转型压力突出地区,设立省级财政专项支持的“再就业技能提升中心”。对本地户籍的煤炭等传统行业下岗职工、转岗矿工,参加省级紧缺目录内技能培训并获得相应职业资格证书的,给予培训费用80%的补贴(省级财政承担50%,市级财政配套30%)。建立“培训-认证-就业”一站式服务链,培训后优先对接本地“风光储氢”一体化项目、石墨烯材料产业园、生物医药项目等新兴岗位,或通过劳务协作机制输送到哈尔滨、大庆等都市圈相关企业。

### 6.2.2. 实施“普惠+高端”并重的数字赋能工程

全民数字素养筑基:升级“龙江人社”线上平台,嵌入“数字技能普惠学习模块”,面向农业转移人口、4050人员、社区待业人员等群体,免费提供涵盖基础办公软件应用、互联网信息检索、政务服务在线办理、电子商务基础、网络安全常识等内容的“数字生存技能”微课程。联合各地市开放大学、社区学院设立线下辅导点,完成学习并通过考核者可获得省级认证的“数字素养通识证书”。

建设高水平数字技能公共实训平台:在哈尔滨新区数字经济产业园,由省级财政投入主导建设“黑龙江省数字技能公共实训基地”。引入虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、数字孪生等前沿技术,搭建智能制造单元、智慧农业场景、工业互联网平台运维、大数据可视化分析等模拟仿真实训环境。基地面向全省高校、职业院校、社会培训机构及中小企业开放预约使用,对公益性培训项目和中小企业员工技能提升给予使用费用50%~70%的补贴。

释放“银龄数字工匠”潜能:在大庆、齐齐哈尔等老工业基地城市,试点实施“银龄数字工匠”计划。由省工信厅、人社厅联合遴选一批身体健康、经验丰富(具有高级工程师、高级技师资格)的退休高技能人才。政府设立专项资金,资助其参加为期3~6个月的智能制造技术、数控编程与操作、工业机器人应用等定向技能更新培训。鼓励省内装备制造、精密加工等领域的专精特新“小巨人”企业,以技术顾问、项目导师、弹性工作制员工等形式返聘受训合格的“银龄工匠”,企业每成功返聘一人并稳定工作满一年,可获得不超过该人员年度薪酬总额20%的补贴(最高5万元/人/年)。

## 基金项目

中央民族大学本科生创新训练计划项目(URTP2024110729)。

## 参考文献

- [1] 熊郭子豪. 人口老龄化对共同富裕的影响研究[D]:[硕士学位论文]. 太原:山西财经大学,2024.
- [2] 屈永恒. 数字经济背景下我国人口老龄化对产业结构高级化影响研究[D]:[硕士学位论文]. 太原:山西财经大学,2024.
- [3] 翟福驰. 人口质量红利与经济增长[D]:[硕士学位论文]. 杭州:浙江财经大学,2024.
- [4] 周明洋. 人口老龄化对科技创新的影响研究[D]:[硕士学位论文]. 长春:吉林大学,2024.
- [5] 王月英. 陕西省资源型城市转型能力评价与转型模式选择研究[D]:[博士学位论文]. 西安:西北大学,2020.

- 
- [6] 丁春毅. 突破两难困境: 我国劳动力市场供需失衡的政府治理研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中师范大学, 2009.
- [7] Jorgenson, D.W. (1961) The Development of a Dual Economy. *The Economic Journal*, **71**, 309-334. <https://doi.org/10.2307/2228770>
- [8] Khemaja, M. and Mastour, T. (2014) Skill Oriented Training Activity as a Service: An Approach Based on the E-Competence Framework to Overcome the Fast Changing IT Profession. *International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals*, **5**, 55-78. <https://doi.org/10.4018/ijhctip.2014100104>
- [9] Sun, C. (2020) The Impact of Population Ageing and Labor Supply on Economic Growth—Analysis Based on Panel Autoregressive Model. *HOLISTICA—Journal of Business and Public Administration*, **11**, 51-58. <https://doi.org/10.2478/hjbpa-2020-0004>
- [10] Brunow, S. and Blien, U. (2015) Agglomeration Effects on Labor Productivity: An Assessment with Microdata. *Region*, **2**, 33-53. <https://doi.org/10.18335/region.v2i1.24>
- [11] 彭晓曼. 长三角一体化背景下安徽省建筑业高质量发展研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽建筑大学, 2022.
- [12] 张倩, 陈婉莹, 彭亦廷. 基于系统动力学的东北三省可持续发展策略研究[J]. *煤炭经济研究*, 2020, 40(9): 34-41.
- [13] 张曼琳. 安徽省新经济发展及其创新驱动因素研究——基于灰色关联度分析[J]. *西部金融*, 2019(7): 80-85.
- [14] 舒婷, 雷思友. 人口-经济-生态环境耦合协调发展研究[J]. *中国环境管理干部学院学报*, 2019, 29(3): 60-63.
- [15] 杨菊华, 闫紫菊. 从人力资源大国迈向人力资源强国: 基于劳动年龄人口的分析[J]. *北京行政学院学报*, 2025(2): 1-12.
- [16] 邵红梅, 丁洪宇, 李通屏, 等. 人口老龄化影响中国产业结构升级的作用机制研究[J]. *西南石油大学学报(社会科学版)*, 2025, 27(3): 37-52.
- [17] Mao, R., Xu, J. and Zou, J. (2018) The Labor Force Age Structure and Employment Structure of the Modern Sector. *China Economic Review*, **52**, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2018.05.010>
- [18] 马力, 张连城. 高等教育结构与产业结构、就业结构的关系[J]. *人口与经济*, 2017(2): 77-89.
- [19] 姚艳, 范英兵, 柳迪, 等. 中国人口年龄结构对就业结构影响的研究[J]. *黑河学院学报*, 2023, 14(12): 43-46.