

# 教育科技人才耦合协调度的时空特征、 互动关系和影响因素研究

黄海刚, 张伊华

(对外经济贸易大学全球创新与治理研究院, 北京 100029)

**摘要:**教育科技人才一体发展是经济高质量发展和科技自立自强的基础支撑。本文基于2011—2022年中国276个城市的面板数据,系统分析我国教育科技人才耦合协调度的时空特征、互动关系和影响因素。研究发现:第一,教育科技人才的耦合协调度总体处于上升趋势,但仍处于瓶颈阶段,三系统协同水平有待提升,科技子系统发展水平最高、增速最快,但未能与耦合协调度实现同步增长;第二,空间收敛性分析显示,教育科技人才耦合协调度存在显著的绝对 $\beta$ 收敛和条件 $\beta$ 收敛,意味着教育科技人才耦合协调度的空间差异将收敛至稳态;第三,面板向量自回归分析显示,教育是科技和人才的单向格兰杰原因,教育子系统对科技和人才子系统具有正向脉冲影响,表明教育是科技与人才发展的基础驱动力;第四,影响因素分析显示,高校数量、专精特新企业数量和科研综合技术服务业从业人员数量是驱动耦合协调度提升的关键因素,验证了创新主体协同对于教育科技人才耦合协调度提升的重要性。研究结论为提升教育科技人才一体发展水平提供了参考依据。

**关键词:**教育科技人才一体发展;耦合协调;空间收敛性;异速增长;面板向量自回归

**中图分类号:**C964.2;G521;G322 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2025)11-0213-12

## Research on the spatiotemporal characteristics, interactive relationships and influencing factors of the coupling coordination degree of education, science and technology, and talent

HUANG Haigang, ZHANG Yihua

(Academy of Global Innovation and Governance, University of International Business and Economics, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Based on panel data from 276 cities in China from 2011 to 2022, this paper systematically analyzes the spatiotemporal characteristics, interactive relationships, and influencing factors of the coupling coordination degree of education, science and technology, and talent. The main research findings are as follows: First, the coupling coordination degree of education, science and technology, and talent is generally on an upward trend but remains in the developmental stage, with the level of synergy among the three systems needing improvement. Among them, the development level of the science and technology subsystem is the highest and has the fastest growth. However, it has not achieved synchronized growth with the coupling coordination degree. Second, the spatial convergence analysis shows significant absolute  $\beta$  convergence and conditional  $\beta$  convergence in the coupling coordination degree of education, science and technology, and talent, indicating that spatial differences in the coupling coordination degree of education,

收稿日期:2025-05-21 修回日期:2025-09-30

基金项目:国家社会科学基金重点项目“新时代全方位培养引进用好人才国际经验及战略体系构建研究”(22AZD025)。

作者简介:黄海刚(1978—),女,对外经济贸易大学全球创新与治理研究院教授、博士生导师,研究方向为科教战略、教育科技人才一体发展。通信作者:张伊华。

science and technology, and talent will converge to a steady state. Third, the analysis of panel vector autoregression shows that education is a unidirectional Granger cause of technology and talents, with the education subsystem having a positive impulse effect on the technology, and talent subsystems, suggesting that education is the fundamental driving force behind the development of technology and talent. Fourth, the analysis of influencing factors indicates that the number of universities, the number of specialized and innovative enterprises, and the number of employees in the comprehensive scientific research and technical service industry are key factors driving the improvement of the coupling coordination degree, validating the importance of cooperative innovation entities for the integrated development of education, science and technology, and talent. This paper provides reference for optimizing the integrated development level of education, technology, and talents.

**Key words:** integrated development of education, science and technology, and talent; coupling coordination; Spatial convergence; allometric growth model; panel vector autoregression model

党的二十大报告指出,“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑”<sup>[1]</sup>,首次将教育、科技、人才进行“三位一体”统筹安排。党的二十届三中全会进一步指出,要“深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略,统筹推进教育科技人才体制机制一体改革”<sup>[2]</sup>,再次强调三者的一体部署,深刻体现了对高质量发展和强国建设规律的深刻洞察。从系统观的视角看,教育、科技、人才构成了一个典型的“共轭环流”系统:教育是根本,在系统中发挥着基础性、战略性支撑作用;科技是关键,是系统效能的最大动力机制;人才是纽带,是生产力中最活跃的要素,通过其能动作用实现教育链、创新链与人才链之间的有机衔接。这一链条通过相互支撑、相互赋能,产生推动高质量发展的倍增效应,最终汇聚为强国建设的强大合力<sup>[1]</sup>。因此,有必要从系统协同的角度对教育科技人才一体推进展开深入研究。

目前,关于教育科技人才一体推进的研究大多集中在政策解读和战略阐释层面,对三者相互影响、相互赋能的定量研究大多聚焦于两两关系,而对教育科技人才协同发展的时空特征、互动机制及影响因素的系统性分析仍显不足,这也给本文留下了必要的探讨空间。为此,本文利用2011—2022年中国276个城市的面板数据,运用多种方法系统考察教育科技人才的协同发展问题。首先,基于耦合协调模型测度教育科技人才协同发展水平,在此基础上利用空间杜宾模型分析耦合协调度的空间收敛特征,揭示协同发展的

时空规律;其次,进一步结合异速增长模型分析各子系统贡献差异,并通过面板向量自回归模型(PVAR)揭示系统间的相互支撑关系;最后,采用随机森林模型识别耦合协调度的关键影响因素。研究旨在系统揭示教育科技人才协同发展的演化规律与内在作用机制,为推进教育科技人才体制机制一体改革、提升国家创新体系效能提供理论支撑与实证依据。

## 一、文献综述

当前,教育科技人才一体推进的相关研究主要集中在以下3个方面。

一是探讨教育科技人才一体推进的着力点。现有研究强调,教育科技人才是中国式现代化的基础性、战略性支撑,需要统筹推进教育科技人才体制机制改革<sup>[2]</sup>,破除教育、科技、人才良性循环的堵点,实现“三位一体”协同发展<sup>[3]</sup>。政策组合视角的研究进一步指出,优化高等教育与科技创新的政策协同,不仅有利于促进各主体的协同互动,更能显著提升国家创新体系效能<sup>[4]</sup>。也有学者认为,我国科技成果转化相关政策主要聚焦于资金投入和基础设施建设,但科技人才培养工作仍然滞后<sup>[5]</sup>,人才链对高水平创新活动的支撑作用亟待加强<sup>[6]</sup>,需通过完善教育体系建设加强拔尖人才培养。

二是分析教育科技人才各系统之间的互动关系。一方面,教育在支撑科技发展与人才培养中具有关键作用。教育直接影响人力资本积累<sup>[7-8]</sup>,教育资源供给决定着创新人才的数量和质量<sup>[9]</sup>、人才

长期居留意愿<sup>[10]</sup>以及区域创新效能的提升<sup>[11]</sup>。其中,高水平研究型大学作为教育、科技、人才的交汇点,成为培养创新人才<sup>[12]</sup>、实现高水平科技自立自强的重要保证<sup>[13-14]</sup>。另一方面,人才的流动与集聚能够促进创新效能的提升。人才流动不仅是知识重组的重要途径<sup>[15]</sup>,更会通过知识溢出效应提升创新效率<sup>[16]</sup>。而高端人才的空间集聚,也能够对普通劳动力产生正外部性影响,进而提升整体创新产出<sup>[17]</sup>。

三是评价教育科技人才一体发展水平。主要通过构建教育科技人才评价指标体系,从全国和省级尺度分析了教育科技人才耦合协调度的时空演变趋势。研究表明,虽然我国教育科技人才的耦合协调度呈现增长趋势,但整体发展水平仍然较低,同时存在区域发展不均衡的问题<sup>[18-20]</sup>。此外,针对各子系统之间的相对增长态势,现有研究尚未形成一致结论。因此,有必要进行更为细致的分析,厘清各子系统的相对增长态势与互动机制。

综上,既有研究成果多从理论层面强调教育科技人才一体推进的战略意义和实施路径,但缺乏对三大系统内在互动机制的量化分析。部分研究通过定量方法探究了两两子系统间的单向影响,但难以揭示教育、科技、人才之间多向互动、非线性影响等复杂特征。为数不多的研究从耦合协调的角度对三系统的协同发展水平展开分析,但主要停留在整体耦合协调水平的测度和时空格局分析层面,对于各子系统之间的动态互动关系、子系统对整体耦合协调发展的影响等方面仍有待进一步探讨,这也是本文着力突破的方向。

## 二、研究方法 with 数据来源

### (一) 指标体系与数据来源

结合已有研究<sup>[21-24]</sup>,本文选取了教育、科技、人才3个维度共15个三级指标,构建教育科技人才耦合协调度的指标体系,具体呈现于表1。具体而言,教育子系统涵盖教育投入、教育规模、教育质量;科技子系统围绕科技投入、科技创新和科技应用选取指标;人才子系统涵盖人才规模和人才结构两个维度。本文以全国276个城市为研究对

象,将276个城市划分为东部、中部、西部和东北4个区域板块。数据来源于2011—2022年的《中国城市统计年鉴》《中国科技统计年鉴》以及教育部官网、国家知识产权局数据、国泰安数据库等。

表1 指标体系构建

一级指标	二级指标	三级指标	属性	权重
教育	教育投入	教育投入占GDP比重	+	0.107
		高校数量	+	0.455
	教育规模	普通高等学校毕业生数量	+	0.261
		生均经费	+	0.099
	教育质量	高等教育师生比	+	0.077
科技	科技投入	R&D投入占GDP之比	+	0.159
		地方财政科技支出占财政支出之比	+	0.178
	科技创新	专利申请数量	+	0.032
		发明专利授权数量	+	0.056
	科技应用	专精特新企业数量	+	0.575
人才	人才规模	R&D人员全时当量	+	0.014
		科研技术服务人员数量	+	0.333
	人才结构	每万人大学生数量	+	0.133
		R&D人员占人口之比	+	0.121
		科研技术服务人员占人口之比	+	0.399

### (二) 研究方法

#### 1. 熵权 TOPSIS

本文选取熵权TOPSIS方法测算教育科技人才各指标权重。该方法基于信息熵理论,通过量化各指标的信息贡献度确定客观权重,并结合理想解逼近思想构建综合评价模型,能够全面反映评价对象与最优方案的接近程度,是一种更科学可靠的综合评价方法。测算过程包括数据标准化处理、计算各指标信息熵、确定权重、构造加权决策矩阵、确定正负理想解、计算各方案到理想解的欧氏距离、计算贴近度等7个步骤,最后计算出教育科技人才各子系统的综合得分。

#### 2. 耦合协调度模型

本文选用耦合协调度模型量化教育科技人才的一体化发展水平。主要基于以下考虑。一是,耦合协调度模型综合选取各子系统的指标,能够有效反映各子系统的发展水平和整体系统的协调状况。耦合协调度高意味着三者发展相对均衡,契合“一体化”的核心要义,也避免了单一指标评价的片面性。二是,耦合协调度具备较好的可比性,这为我们后续进行时空演化特征分析、互动关系分析以及

影响因素分析提供了良好的基础。为此,本文根据教育、科技、人才的综合得分建立耦合协调度模型,计算三系统的耦合协调度( $D$ )。耦合协调度  $D$  值越大,表明教育科技人才协同发展水平越高,具体可以划分为表 2 所示 10 个类别,见表 2。

表 2 耦合协调等级划分标准

耦合协调度指数	协调等级	所处阶段
[0,0.1)	极度失调	低水平耦合
[0.1,0.2)	严重失调	
[0.2,0.3)	中度失调	
[0.3,0.4)	轻度失调	颤颤阶段
[0.4,0.5)	濒临失调	
[0.5,0.6)	勉强协调	磨合阶段
[0.6,0.7)	初级协调	
[0.7,0.8)	中级协调	
[0.8,0.9)	良好协调	较高水平耦合
[0.9,1]	优质协调	
		高水平耦合

### 3. 核密度估计

核密度估计是一种非参数密度估计方法,用于估计样本的概率密度函数。本文利用核密度分析教育科技人才耦合协调度的分布动态差异与演化过程,核密度函数选择高斯核密度函数进行估计。

### 4. 空间收敛性分析

本文运用  $\beta$  收敛模型分析不同地区的教育科技人才协同发展是否存在收敛态势,具体可以分为绝对  $\beta$  收敛模型和条件  $\beta$  收敛模型。其中,绝对  $\beta$  收敛是指在不考虑控制变量的情况下,初始水平较低地区的增长率更高,使得各地区之间的差异逐渐缩小。条件  $\beta$  收敛是指在控制了各地区的特征后,初始水平较低的地区增长更快。

### 5. 异速增长模型

异速增长模型最初源于生物学,用于描述生物体不同部分在生长过程中的相对速度。这一模型被引入到社会科学中,可以用于分析不同系统之间的相对增长态势<sup>[25-26]</sup>。为了分析教育( $E$ )、科技( $T$ )、人才( $H$ )与耦合协调度( $D$ )之间的相对增速,借助异速增长模型这一增速关系分析模式,分别建立异速增长模型为:

$$D = \alpha E^{b_E} \quad (1)$$

$$D = \beta T^{b_T} \quad (2)$$

$$D = \gamma H^{b_H} \quad (3)$$

取对数得:

$$\ln D = \ln \alpha + b_E \ln E \quad (4)$$

$$\ln D = \ln \beta + b_T \ln T \quad (5)$$

$$\ln D = \ln \gamma + b_H \ln H \quad (6)$$

通过比较标度系数  $b_E$ 、 $b_T$ 、 $b_H$  的大小,可以判断各子系统与耦合协调度之间的异速增长关系,具体划分标准见表 3。

表 3 异速增长关系分级

	等级	划分标准	关系类型
正异速增长	正异速增长 3 级	$3 \leq b$	耦合协调增长强
	正异速增长 2 级	$1 \leq b < 3$	耦合协调增长弱
	正异速增长 1 级	$0.85 \leq b < 1$	子系统与耦合协调度增长基本协调
负异速增长	负异速增长 1 级	$0.50 \leq b < 0.85$	子系统增长弱
	负异速增长 2 级	$0 \leq b < 0.50$	子系统增长强
	负异速增长 3 级	$b < 0$	子系统或耦合协调度负增长

### 6. 面板向量自回归

采用面板向量自回归(PVAR)模型刻画教育科技人才各子系统之间的互动关系。主要包括以下步骤:一是面板数据的平稳性检验,二是最优滞后阶数的选择,三是格兰杰因果检验,四是构建 PVAR 模型并运用 GMM 方法进行参数估计,五是绘制脉冲响应图。

### 7. 随机森林

本文运用随机森林算法识别教育科技人才耦合协调度的关键影响因素并量化其贡献度。

作为一种基于决策树集成的机器学习方法,随机森林通过 Bootstrap 抽样技术构建多棵决策树,在节点分裂时随机选取特征子集,通过基尼指数最小化准则确定最优特征分割点,最终通过集成投票得出结果。这种集成策略显著提升了模型的预测准确性和泛化能力,同时通过特征随机性有效抑制了过度拟合现象,能够客观评估各因素对协同发展的相对重要性,为厘清教育科技人才协同发展的驱动机制提供可靠依据。

## 三、结果分析

### (一)教育科技人才耦合协调度的时空演变特征分析

1. 教育科技人才耦合协调度的总体特征分析  
基于前文的研究方法,计算得出 2011—2022

年各城市教育科技人才耦合协调度,进一步分析整体耦合协调度和3个子系统的时空演变特征,如图1所示。研究发现,我国教育科技人才耦合协调度呈现上升趋势,但观测期内仍处于轻度失调阶段,说明教育科技人才协同效应有待进一步释放。从子系统来看,子系统的增速和发展水平均呈现“科技>教育>人才”的态势。科技系统表现出最为强劲的增长势头,东部、东北地区科技水平增幅更为明显,反映出创新驱动发展战略的实施成效。教育系统方面,各地区教育发展水平呈现出波动上升的趋势,东部地区教育发展水平处于领先地

位,西部和东北地区则实现了对中部地区的赶超,反映出西部和东北地区在教育领域取得的阶段性成效。人才系统方面,各地区人才发展水平在2012—2013年明显增长。东部地区人才发展保持领先优势,但其他地区无明显增长甚至停滞,表明人才流动的马太效应显著。值得注意的是,科技系统发展水平在2019—2022年迅速提升,但教育发展水平却在同期呈现出下降趋势,人才系统增长则基本停滞,意味着子系统之间仍未形成良好的互动关系,制约了教育科技人才长期的协同发展。

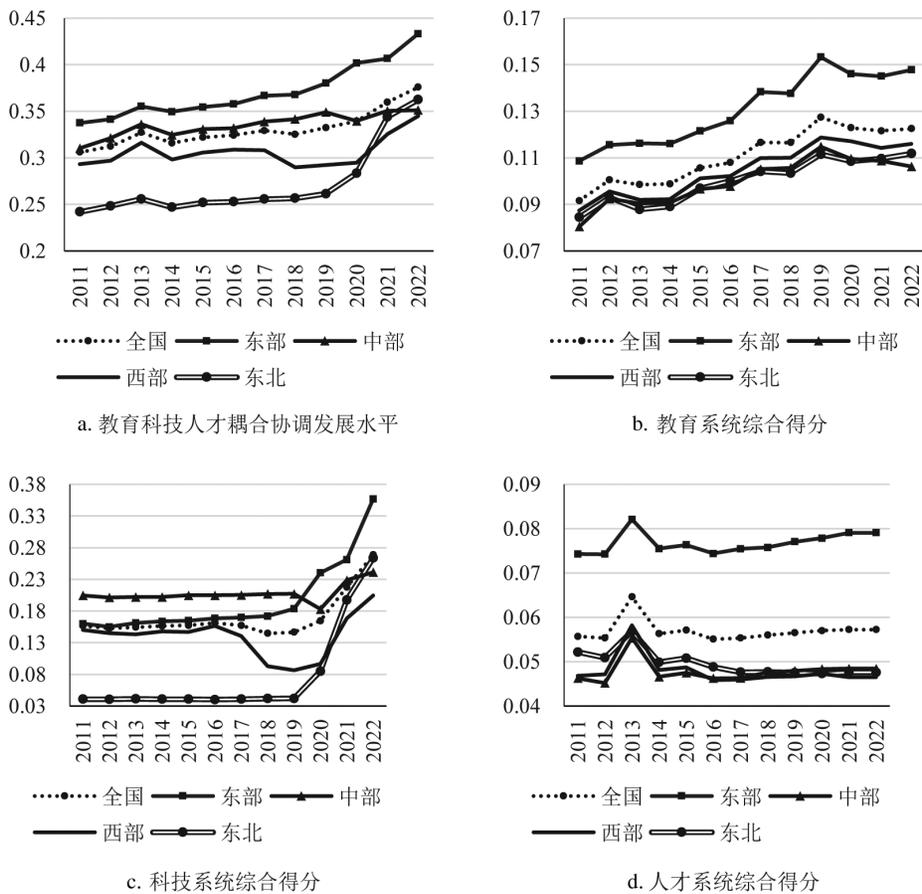


图1 2011—2022年各地区教育科技人才耦合协调度及各子系统变化趋势

表4 报告了2011—2022年各地区教育科技人才耦合协调度的测算结果。结果显示,教育科技人才耦合协调发展水平呈现出“东部>中部>西部>东北”的梯度格局。第一,东部地区的耦合协调度呈上升趋势,观测期内绝对水平保持领先。表明东部地区依托高水平大学、创新型产业集群

以及人才集聚等优势,形成了教育科技人才良性互动的协同发展格局。第二,中部地区的耦合协调度呈波动上升趋势,但增速最为缓慢,三系统的协同效应未能充分释放。第三,西部地区的耦合协调度从中度失调进入轻度失调阶段,增速快于中部地区,2022年西部地区耦合协调度已接近中

部地区,区域差距正在逐步缩小。第四,东北地区耦合协调度增速最快,后发追赶显著,排名从未位提升至第二位。可能得益于近年来东北高校集群优化、科技资源整合、人才回流政策等举措的协同发力,使得教育科技人才的协同发展水平显著提升。

表 4 2011—2022 年各地区教育科技人才耦合协调度

年份	全国	东部	中部	西部	东北
2011	0.306	0.338	0.310	0.293	0.242
2012	0.312	0.341	0.321	0.297	0.248
2013	0.327	0.355	0.336	0.316	0.256
2014	0.316	0.349	0.325	0.298	0.247
2015	0.322	0.355	0.331	0.306	0.252
2016	0.324	0.358	0.332	0.309	0.253
2017	0.329	0.367	0.339	0.308	0.256
2018	0.325	0.368	0.342	0.290	0.257
2019	0.332	0.380	0.349	0.292	0.261
2020	0.339	0.402	0.340	0.295	0.284
2021	0.360	0.407	0.350	0.326	0.344
2022	0.376	0.433	0.351	0.345	0.362
均值	0.331	0.371	0.335	0.306	0.272
年均增速/%	2.08	2.55	1.20	1.61	4.51

2. 教育科技人才耦合协调度的时空特征分析

采用核密度估计法,系统考察 2011—2022 年全国城市教育科技人才耦合协调度的分布动态,核密度曲线呈现于图 2。可以发现以下内容。第一,从峰值特征来看,核密度曲线的峰型呈现出明显的收敛趋势。初期呈现宽峰特征,观测末期向尖峰形态转变,说明区域间绝对差距呈现收敛态势。可能的原因在于,区域协调发展等战略的实施促进了创新要素的跨区域流动,使得欠发达地区得以加速追赶。第二,从极化特征来看,两极分化现象逐渐减弱。2011—2021 年,曲线呈现“1 主峰+1 侧峰”的双峰结构,反映出全国范围内存在明显的两极分化现象,即部分城市耦合协调水平提升,但多数城市仍处于失调状态。而 2022 年双峰首次过渡为单峰形态且峰高显著增加,表明两极分化趋势得到缓解。第三,从分布形态来看,样本期内始终存在低值集聚特征。核密度曲线表现出右偏分布特征,右侧拖尾的高值区域明显长于左侧的低值区域,且在低值区间形成持续的密度堆积。这种分布格局意味着尽管整体协调水平有所提升,但仍有相当比例的城市发展滞后,呈现出

“少数领先、多数追赶”的空间格局。

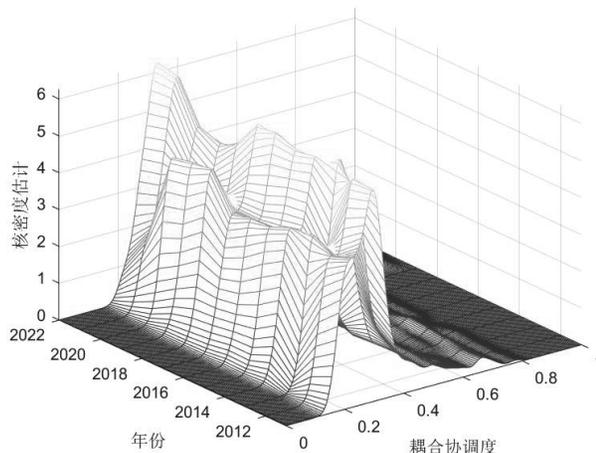


图 2 核密度分析结果

利用自然断点法 (nature breaks) 将各城市的教育科技人才耦合协调度分为高水平、中高水平、中低水平和低水平 4 个等级,分析 2011 年和 2022 年高水平城市分布格局,具体列于表 5。由此可以看出:首先,东部保持绝对数量优势但内部竞争加剧,上海、北京、广州等核心城市的领先地位进一步巩固,南京跻身高水平行列,而石家庄、福州则退出高水平梯队;其次,中部高水平城市数量有所减少,武汉、太原未能维持高水平地位,表明中部崛起仍面临挑战;最后,西部地区和东北地区的高水平城市均实现数量上的增长,反映出地方政策的积极成效。

表 5 2011 年、2022 年高水平耦合协调度分布情况

发展水平	区域	2011 年	2022 年
高水平	东部	上海、天津、北京、济南、石家庄、福州、广州	北京、上海、广州、南京、天津、济南
	中部	郑州、太原、南昌、合肥、武汉	郑州、合肥、南昌
	西部	西安、成都、重庆、贵阳	西安、重庆、成都、昆明、兰州
	东北	无	哈尔滨、沈阳

(二)教育科技人才耦合协调度的空间收敛性分析

1. 教育科技人才耦合协调度的空间相关性分析

在进行空间收敛性分析之前,需要进行空间相关性检验。教育科技人才耦合协调度的全局莫兰指数的检验结果如表 6 所示,经济地理权重矩阵

下,耦合协调度的莫兰指数均大于0,除了2020年和2022年,全局莫兰指数均通过了10%水平的显著性检验,表明样本期内我国城市的教育科技人才耦合协调发展水平呈现显著的空间集聚特征,因此在收敛性分析中需要考虑空间溢出效应。

表6 2011—2022年全局莫兰指数

年份	Moran'	z 值	$\rho$ 值
2011	0.058	1.949	0.026
2012	0.064	2.152	0.016
2013	0.069	2.317	0.010
2014	0.068	2.294	0.011
2015	0.068	2.284	0.011
2016	0.060	2.012	0.022
2017	0.058	1.952	0.025
2018	0.046	1.593	0.056
2019	0.054	1.822	0.034
2020	0.025	0.907	0.182
2021	0.044	1.514	0.065
2022	0.035	1.237	0.108

2. 教育科技人才耦合协调度的空间收敛性分析

表7展示了教育科技人才耦合协调度绝对 $\beta$ 收敛和条件 $\beta$ 收敛的回归结果。总体来看,各个区域耦合协调度的 $\beta$ 值均在1%水平下显著为负,表明存在显著的绝对 $\beta$ 收敛和条件 $\beta$ 收敛,且条件收敛速度更大。这意味着初始协调度较低的城市具有更快的增长速度,各城市间的教育科技人才协同发展的差异将随时间推移逐渐缩小。分地区来看,收敛速度排序依次为“东北>西部>中部>东部”。东北地区初始差异缩小得最快,东部地区收敛速度较慢,可能由于东部地区整体教育科技人才耦合协调度较高,进一步收敛的空间有限。此外,各地区空间自相关系数 $\rho$ 和空间溢出系数 $\lambda$ 显著为正,表明教育科技人才一体发展水平会受到邻近地区增长率和初始发展水平的正向溢出影响,需要充分发挥高水平地区的引领作用。

(三)教育、科技、人才三系统的异速增长关系识别

1. 教育、科技、人才三系统的纵向异速关系分析

利用异速增长模型分析整体耦合协调度与教

表7  $\beta$ 收敛回归结果

绝对 $\beta$ 收敛					
变量	全国	东部	中部	西部	东北
$\beta$	-0.484*** (0.017)	-0.316*** (0.032)	-0.589*** (0.030)	-0.663*** (0.032)	-0.746*** (0.053)
$\rho$	0.615*** (0.022)	0.648*** (0.034)	0.658*** (0.034)	0.548*** (0.058)	0.781*** (0.060)
$\lambda$	0.518*** (0.029)	0.349*** (0.039)	0.458*** (0.043)	0.630*** (0.035)	0.783*** (0.034)
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制
收敛速度	0.060	0.035	0.081	0.099	0.125
N	3 036	935	880	880	341
R <sup>2</sup>	0.163	0.133	0.211	0.131	0.371
条件 $\beta$ 收敛					
变量	全国	东部	中部	西部	东北
$\beta$	-0.493*** (0.017)	-0.340*** (0.032)	-0.610*** (0.030)	-0.690*** (0.032)	-0.838*** (0.053)
$\rho$	0.520*** (0.026)	0.618*** (0.036)	0.573*** (0.040)	0.537*** (0.043)	0.545*** (0.059)
$\lambda$	0.348*** (0.038)	0.343*** (0.058)	0.245*** (0.064)	0.542*** (0.064)	0.480*** (0.082)
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
收敛速度	0.062	0.038	0.086	0.106	0.165
N	3 036	935	880	880	341
R <sup>2</sup>	0.162	0.231	0.183	0.118	0.325

注:\*\*\*为1%水平显著,\*\*为5%水平显著,\*为10%水平显著,括号内为标准误。

育、科技、人才三个子系统之间的相对发展速度,估计结果列于表8。从纵向异速分析结果来看,各子系统增长呈现差异化特征。科技系统的标度系数 $b_T$ 最低,处于负异速2级到负异速1级之间,拟合优度 $R^2$ 也低于其他两个系统。意味着科技系统自身增长最强,但对教育科技人才耦合协调度的拉动作用较弱,科技系统与教育、人才系统之间存在衔接不畅的问题。相比之下,教育和人才子系统的标度系数在大部分年份处于正异速1级,表明

表8 纵向异速增长拟合模型

年份	教育		科技		人才	
	$b_E$	$R^2$	$b_T$	$R^2$	$b_H$	$R^2$
2011	0.837	0.680	0.508	0.382	0.946	0.661
2012	0.791	0.658	0.487	0.357	0.915	0.659
2013	0.718	0.635	0.528	0.497	0.944	0.546
2014	0.882	0.652	0.504	0.408	0.914	0.665
2015	0.879	0.657	0.507	0.414	0.896	0.661
2016	0.825	0.619	0.478	0.404	0.919	0.648
2017	0.931	0.636	0.516	0.440	0.928	0.649
2018	0.822	0.620	0.530	0.457	0.936	0.657
2019	0.834	0.594	0.536	0.491	0.932	0.650
2020	0.902	0.657	0.586	0.565	0.985	0.678
2021	0.903	0.689	0.558	0.544	0.996	0.709
2022	0.909	0.797	0.551	0.579	1.027	0.729

教育和人才子系统基本能够与整体耦合协调度同步提升。因此,单纯依靠科技系统增长难以实现系统整体协同发展,需要通过科教融合、优化人才生态环境等举措,持续提升教育科技人才一体发展水平。

## 2. 教育、科技、人才三系统的横向异速关系分析

教育、科技、人才之间的横向异速分析结果呈现于表 9。从横向异速分析结果来看,教育科技人才的协同发展呈现出显著的区域差异。中部、西部和东北地区教育的标度系数略低于人才,意味着教育资源的转化效率仍有提升空间,可能存在学科设置与产业需求错配、科研成果转化率低等问题。相比之下,东部地区教育标度系数最高,反映出其教育系统对耦合协调度提升具有更强的支撑力。而科技在各年份、各地区的标度系数处于 0.442~0.672,几乎为教育和人才子系统的一半,表明科技子系统虽然自身增速最快,但各个地区的科技子系统未能反哺教育和人才,单纯追求科技指标的快速增长难以实现三大系统的整体优化。

表 9 横向异速增长拟合模型

区域	教育		科技		人才	
	$b_E$	$R^2$	$b_T$	$R^2$	$b_H$	$R^2$
总体	0.844	0.645	0.518	0.492	0.944	0.640
东部	0.816	0.689	0.488	0.456	0.775	0.646
中部	0.704	0.627	0.442	0.403	1.209	0.683
西部	0.971	0.661	0.583	0.494	1.001	0.690
东北	0.897	0.768	0.672	0.404	1.034	0.685

### (四) 教育、科技、人才三系统的互动关系分析

#### 1. 教育、科技、人才三系统的格兰杰因果检验

本文采用格兰杰因果关系检验方法对各子系统间的互动关系进行实证考察,结果列于表 10。通过 ADF-Fisher 检验、LLC 检验以及 IPS 检验等面板单位根检验方法确认各变量满足平稳性要求,并基于信息准则确定最优滞后阶数为 1 阶。结果显示,教育是科技发展和人才发展的格兰杰原因,且分别通过 1% 和 5% 水平的显著性检验。这凸显了教育作为基础性子系统在创新体系中的重要地位,表明教育发展能够通过人力资本积累、知识扩

散等渠道显著促进科技创新和人才发展。然而,科技与人才均未构成对其他子系统的格兰杰原因,反映出当前科技创新成果反哺教育的效率偏低,人才流动与效能释放仍存在一定的隐性障碍。因此,应当重点加强教育体系与科技创新、人才培养的有机衔接,着力破除制约创新要素跨系统流动的壁垒。

表 10 格兰杰因果检验结果

因变量	自变量	$Chi^2$	$p$ 值	检验结果
教育	科技	0.482	0.488	科技不是教育的格兰杰原因
教育	人才	0.792	0.373	人才不是教育的格兰杰原因
科技	教育	23.560	0.000	教育是科技的格兰杰原因
科技	人才	0.049	0.826	人才不是科技的格兰杰原因
人才	教育	4.328	0.037	教育是人才的格兰杰原因
人才	科技	1.926	0.165	科技不是人才的格兰杰原因

#### 2. 教育、科技、人才三系统的脉冲响应分析

本文进一步采用脉冲响应函数分析子系统之间的动态交互影响,结果列于图 3。根据格兰杰因果检验结果,教育对科技和人才存在显著影响,且对科技的影响更大,因此在脉冲响应分析中将变量排序设定为教育、科技、人才。图 3 展示了蒙特卡罗模拟 200 次、各变量滞后 10 期的脉冲响应结果,横坐标代表滞后期数,纵坐标代表响应值,中间黑色实线代表脉冲响应函数,两侧虚线代表模拟所产生的 95% 的置信区间。结果显示:首先,就各子系统对自身冲击的响应而言(见图 3a、图 3e、图 3i),3 个子系统均呈现出短期显著正响应特征,但动态路径存在明显差异。人才子系统的正向响应快速衰减,而教育和科技子系统则呈现缓慢收敛态势,科技系统收敛速度最慢,表明科技子系统具有显著的自我增强效应,这与前文总体特征分析、异速增长分析的结论相呼应。其次,在教育子系统的传导效应方面(见图 3b、图 3c),教育对科技和人才均产生显著正向影响,但作用时效存在差异。教育对科技呈现出长期促进作用,而对人才的影响则在第 2 期达到峰值后逐步衰减。再次,科技子系统的对教育和人才存在正向边际影响(见图 3d、图 3f),反映了科技创新通过技术扩散和知识溢出等渠道产生的带动作用。最后,人才子系统对教育和科技的影响

呈现类似的特征(见图 3g、图 3h),在短期表现为负向抑制,随后过渡为长期微弱的正向影响,表明人才系统积极效应的释放存在一定适应期。这些发现与

格兰杰因果检验结果相互印证,进一步验证了教育的基础性支撑地位,同时揭示了创新体系中各要素间复杂的非线性互动关系。

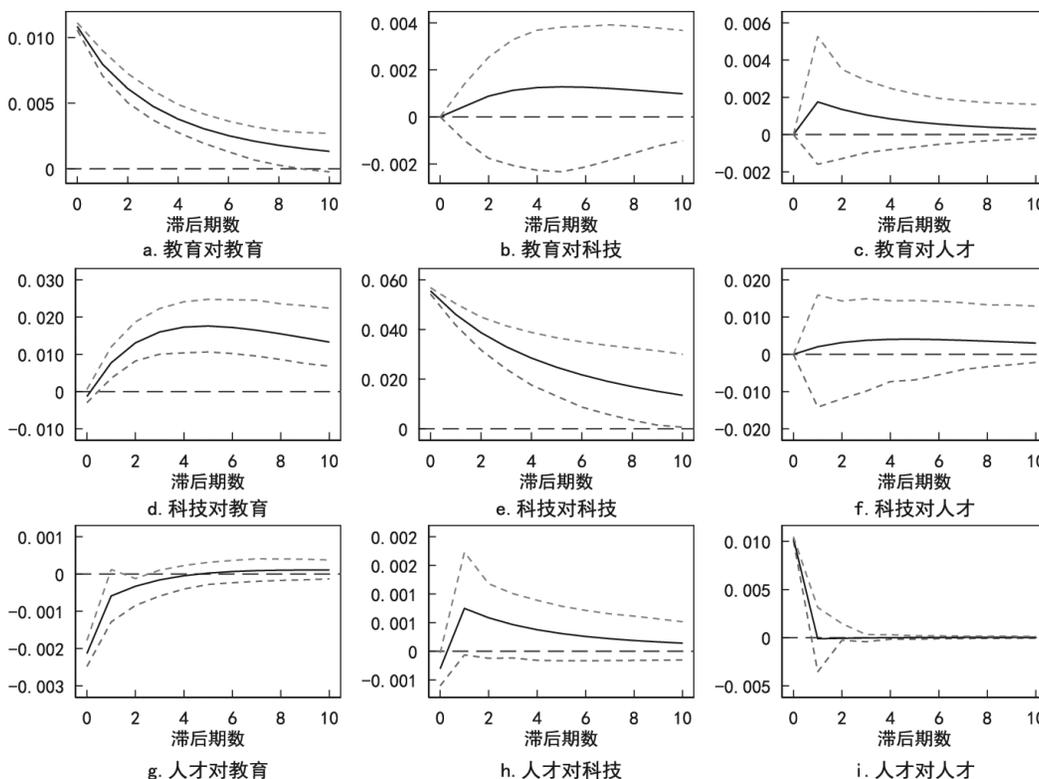


图3 脉冲响应分析结果

### (五)教育科技人才耦合协调度的影响因素分析

#### 1. 单因素分析

本文采用随机森林回归模型对教育科技人才系统协同发展的驱动因素进行量化分析,结果列于表 11。模型以耦合协调度作为因变量,各子系统三级指标作为自变量,通过基尼系数分解法计算变量重要性,采用 Bootstrap 抽样方法重复 500 次,训练集占比 70%,测试集 30%,确保结果稳健性。结果显示,高校数量、专精特新企业数量和科研技术服务人员数构成影响耦合协调度的三大核心要素,贡献率分别达到 23.44%、17.4% 和 10.0%,意味着高校、企业和创新人才作为重要的创新主体,是提升教育科技人才一体发展水平的关键力量。值得注意的是,科技投入类指标的重要性排序普遍靠后,贡献度均小于 1%,表明尽管科技投入持续增加,但科技创新体系的效率仍有待提升,

科技成果转化率低、产学研协同不足等问题制约了科技子系统对整体协同发展的带动效应,这些问题的突破也是提升国家创新体系效能的重点所在。

表 11 单因素的重要性程度排序

影响因素	重要性程度
高校数量	0.234
专精特新企业数量	0.174
科研技术服务人员数量	0.100
发明专利授权数量	0.087
科研技术服务人员占比	0.087
每万人在校大学生数	0.080
R&D 人员全时当量	0.076
专利申请数量	0.050
R&D 人员占比	0.035
普通中学和高等教育普通高等学校毕业生数万人	0.034
生均经费	0.011
地方财政科技投入强度	0.009
R&D 投入强度	0.009
教育投入强度	0.008
高等教育师生比	0.007

## 2. 交互因素分析

选取表 11 中重要性排名前 4 的核心影响因素形成两两交互项,分析要素组合对教育科技人才耦合协调度的影响效应,结果列于表 12。可以发现,高校数量与科研综合技术服务业从业人员数量的交互项重要性程度最高,其次为发明专利授权数量与科研从业人员数量的组合、高校数量与专精特新企业数量的组合,前三大交互项的贡献度达到 85.4%,表明教育科技人才的耦合协调度主要由高校、人才、企业之间的协同作用驱动。而专精特新企业与科研人员、专利产出的交互项影响偏弱,表明可能存在人才流动壁垒、专利成果转化难等问题。此外,虽然发明专利授权数量的单因素重要性排名第 4,但其与科研技术人员数量交互的重要性却升至第 2,说明要素之间的协同能够显著放大单一要素的作用,也印证了教育科技人才系统一体推进的重要意义。

表 12 交互因素的重要性程度排序

影响因素	重要性程度
高校数量 × 科研综合技术服务业从业人员数量	0.325
发明专利授权数量 × 科研综合技术服务业从业人员数量	0.274
高校数量 × 专精特新企业数量	0.255
高校数量 × 发明专利授权数量	0.114
专精特新企业数量 × 发明专利授权数量	0.027
专精特新企业数量 × 科研综合技术服务业从业人员数量	0.004

## 四、主要研究结论及政策启示

### (一) 研究结论

本文以全国 2011—2022 年各城市教育科技人才耦合协调发展水平以及各子系统发展水平为研究对象,分析了教育科技人才耦合协调水平的时空演变趋势和空间收敛性特征,进一步建立异速增长模型和 PVAR 模型,探究子系统的增长规律和互动关系,最后基于随机森林算法分析耦合协调度的影响因素。

第一,时序演进特征显示,全国教育科技人才耦合协调度呈稳步上升趋势,但整体仍处于轻度失调阶段。子系统发展呈现非均衡特征,科技子系统增长最快,但并未与耦合协调度同步提升,而教育和人才子系统发展滞后于科技系统,反映出

当前科技创新与教育人才体系的衔接机制有待完善。

第二,空间格局分析表明,耦合协调度呈现“东部 > 中部 > 西部 > 东北”的梯度分布,莫兰指数证实存在显著的空间集聚效应。收敛性检验发现,耦合协调度存在绝对  $\beta$  收敛和条件  $\beta$  收敛,且收敛速度呈现“东北 > 西部 > 中部 > 东部”的倒挂格局,表明欠发达地区可通过加速追赶缩小区域发展差距。

第三,互动机制分析显示,教育对科技和人才发挥着基础性、支撑性作用,但科技和人才反哺其他系统的能力尚未充分显现,3 个子系统之间的互动水平仍有待提升。这一结果验证了教育在创新体系中的基础性地位,同时也反映出当前系统间互动存在明显的非对称性特征。

第四,影响因素分析表明,高校数量、专精特新企业和科研服务人员是驱动系统协同发展的核心要素。交互因素分析进一步显示,高校数量与科研人员、发明专利与科研人员、高校数量与专精特新企业三大交互项的重要性占比高达 85.4%。这一发现从微观层面揭示了创新主体协同的重要性。

### (二) 政策启示

第一,强化教育的先导性、基础性支撑,加快推进教育强国建设。针对科技子系统增长较快而教育与人才发展相对滞后的发展态势,以及教育子系统显著支撑其他两个系统的研究结论,亟须强化教育体系对科技和人才系统的支撑能力。一方面,推动高等教育主动对接创新发展的战略要求。充分发挥高校作为教育科技人才结合点的独特优势,以区域产业发展需求为导向,通过动态优化专业结构、创新产学研协同育人模式,促进科教资源转化为创新动能。另一方面,充分利用教育赋能作用,系统优化人才“引育聚用”全链条机制,实现人才培养质量的全面提升。重点完善青年人才的培养、选拔与支持体系,培养大批拔尖创新人才。通过加快补齐发展短板,避免因子系统发展

滞后而制约整体创新效能的提升,推动形成教育支撑人才、人才驱动创新、创新反哺教育的良性发展格局,释放教育科技人才一体推进的倍增效应。

第二,增强区域科技创新中心的辐射带动作用,破解教育科技人才协调发展水平的空间失衡格局。针对耦合协调度东高西低的空间分布与收敛速度的“倒挂”特征,分区域精准施策,重点解决创新要素跨区域流动的制度性障碍,缩小教育科技人才协调发展的区域差异。首先,东部地区应进一步发挥创新要素集聚优势,加快建成具有全球影响力的创新中心和人才高地。在京津冀、长三角、粤港澳等城市群构建更加紧密的区域创新共同体,围绕创新链进行有效分工与合作,强化东部地区的辐射带动作用。其次,积极探索跨区域协同发展模式。通过引入“科创飞地”等机制,实现人才、技术、资本等创新资源的跨区域共享,有效带动技术研发和成果转化。最后,中西部和东北地区应强化制度供给和政策支持力度,紧密结合自身的资源禀赋和产业基础,加快培育区域新增长极。

第三,统筹推进教育科技人才体制机制一体改革,破除教育、科技、人才之间的双向互动壁垒。针对教育科技人才子系统之间单向支撑多、双向互动少的问题,需深化教育科技人才体制机制一体改革,切实破除阻碍创新效能提高的体制性障碍和结构性矛盾,形成各系统相互赋能、同频共振的动态关系。在深化教育领域改革方面,要协同推进办学模式与管理体制创新,健全以国家战略需求为导向的学科专业动态调整机制,解决当前高校人才供给与创新需求不匹配的矛盾。在深化科技体制改革方面,要优化科技力量布局和创新要素配置,推动科技成果使用权、处置权和收益权改革方案的落地落实,破除科技成果转移转化的制度约束,提高国家科技创新体系的整体效能。在深化人才体制机制改革方面,构建覆盖人才发现、培养、使用的全周期机制,强化以创新能力和实际贡献为导向的评价与激励机制。充分发

挥创新型人力资本的主体价值,从而畅通教育、科技和人才系统,形成服务于区域经济社会发展、以市场为导向的创新发展新格局。

第四,聚焦创新主体协同联动,释放教育科技人才一体发展的整体效能。针对高校、企业、科研人员等教育科技人才耦合协调度的关键影响因素,需要从多方面构建各主体协同发力的创新体系。一是强化高等教育的龙头作用。支持高水平研究型大学围绕国家重大战略需求和前沿科技领域建设一批国家实验室和前沿交叉学科研究院,推动高校聚焦基础研究和原始创新能力,以跨学科、大团队、长周期的有组织科研,为实现高水平科技自立自强提供坚实支撑。二是激发企业创新主体作用。构建企业主导的产学研协同创新体系,引导专精特新企业与高校、科研机构共建创新联合体,通过“揭榜挂帅”加速攻关行业共性技术难题和“卡脖子”技术,加速科技成果向新质生产力转化。三是激活人才的纽带功能。我国拥有规模庞大的科技工作者队伍和持续增长的研发投入基础,应充分发挥这一优势,建立常态化、制度化的人才互动通道。通过打造高校教师与行业专家双向流动的“旋转门”机制,以人才流动带动知识共享、技术转移与成果转化,为国家创新体系提供持续动能。

#### 参考文献:

- [1] 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗:在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[N]. 人民日报,2022-10-17(2).
- [2] 中共中央关于进一步全面深化改革推进中国式现代化的决定[N]. 人民日报,2024-07-22(1).
- [3] 黄海刚. 教育、科技、人才一体推进的四重要义[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2025(2): 12-22.
- [4] 程文银,李兆辰,陈劲. 中国式创新现代化与科技自立自强:自主性引进的视角[J]. 中国软科学, 2024(11): 12-22.
- [5] 王小飞,张明广. 教育、科技、人才战略布局的百年竞逐与中国进路[J]. 教育研究, 2025, 46(7): 134-146.
- [6] 寇明婷,梁奕,杨一帆,等. 国家创新体系效能的政策组合支持路径仿真研究[J]. 科研管理, 2025, 46(8):

13-26.

[7]刘仁济,杨得前,许露. 政策工具视角下的中国科技成果转化政策变迁 [J]. 科研管理, 2025, 46 (9): 126-135.

[8]徐洪,黄璐,刘明熹,等. 人才链创新链产业链深度融合:理论逻辑、融合现状与提升路径 [J]. 科学学研究, 2025, 43 (8): 1666-1675.

[9]梁超,王素素. 教育公共品配置调整对人力资本的影响:基于撤点并校的研究 [J]. 经济研究, 2020, 55 (9): 138-154.

[10]BONACCORSI A, BARIN L, BELINGHERI P, et al. Is higher education more important for firms than research? Disentangling university spillovers [J]. The journal of technology transfer, 2024, 49(3): 900-925.

[11]田浩然,李立国. 高等教育集聚布局及其对区域创新的影响:基于中美数据的实证研究 [J]. 教育研究, 2024, 45 (7): 92-107.

[12]张锦华,龚钰涵,陈博欧. 教育准入、长期留城意愿与流动人口市民化 [J]. 管理世界, 2024, 40 (10): 36-55.

[13]杨博旭,柳卸林,王宁. 区域创新效能的提升路径研究:功能观视角 [J]. 科学学研究, 2025, 43 (3): 560-570,672.

[14] AKCIGIT U, PEARCE J, PRATO M. Tapping into talent: coupling education and innovation policies for economic growth [J]. Review of economic studies, 2025, 92 (2): 696-736.

[15] DE ZUBIELQUI G C, JONES J, SEET P S, et al. Knowledge transfer between actors in the innovation system: a study of higher education institutions (HEIS) and SMES [J]. Journal of business & industrial marketing, 2015, 30 (3/4): 436-458.

[16]包信和. 中国特色世界一流大学建设是教育、科技、人才一体化部署的有效实践:以中国科学技术大学为例 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38 (5): 676-684.

[17]LIU X, JI X, GE S. Does the complexity and embeddedness of knowledge recombination contribute to economic development?: observations from prefecture cities in China [J]. Research policy, 2024, 53(2): 104930.

2024, 53(2): 104930.

[18]余长林,左佳. 高校人才流动与基础研究创新产出 [J]. 中国软科学, 2024(8): 60-70.

[19]余振,李锦坡,蒋盛君. 高端人才空间集聚与后发国家创新发展:来自中国个体专利数据的证据 [J]. 经济研究, 2024, 59 (8): 151-168.

[20]黄永春,钱春琳,钱昕怡,等. 教育-科技-人才耦合协调度研究:基于 30 个省级区域的实证分析 [J]. 中国科技论坛, 2024(10): 12-24.

[21]蔡文伯,龚杏玲. 我国高等教育、人力资本与科技创新的耦合协调研究 [J]. 高校教育管理, 2024, 18 (4): 13-29,59.

[22]杨硕,陈劲,张可人. 中国区域教育、科技、人才耦合协调发展及时空演变研究 [J/OL]. 科学学与科学技术管理, 1-22[2025-05-12].

[23]陈维涛,王永进,毛劲松. 出口技术复杂度、劳动力市场分割与中国的人力资本投资 [J]. 管理世界, 2014(2): 6-20.

[24]杨帆,杜云啥. 创新与高端服务业人才集聚对经济增长影响的共轭效应研究:基于西部地区城市面板数据的分析 [J]. 中国软科学, 2021(10): 82-91.

[25] WANG S J, KONG W, REN L, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China [J]. Journal of natural resources, 2021, 36 (3): 793-810.

[26]王守文,郭蕊,王树斌. 中国能源韧性与科技创新的协调演化及影响因素研究 [J]. 中国软科学, 2025(1): 208-224.

[27]王成新,王波涛,王翔宇. 基于结构视角的中国人口城市化与土地城市化异速增长研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26 (8): 135-141.

[28]马小宾,章锦河,周乐莹,等. 长三角区域经济与旅游规模异速关系的时空识别及成因分析 [J]. 地理研究, 2023, 42 (11): 2984-3002.

(本文责编:默 黎)