

粤港澳大湾区“四链”融合发展评价探索性研究:基于耦合协调度与灰色关联度的分析

■ 喻锋 桃娜尔·赛力克

摘要:面对当前要素驱动向创新驱动转型的现实发展需求,粤港澳大湾区已初步构筑起创新链、产业链、资金链、人才链“四链”深度融合的基础生态,但融合的状态、水平和层次都存在可以优化提升的空间。文章采用耦合协调度与灰色关联度对粤港澳大湾区“四链”融合发展水平进行实证分析,研究发现:“创新—产业—资金—人才”四个子链已逐渐从低水平均衡向高水平均衡过渡,从极度不协调发展向高度协调状态过渡发展。“创新链—产业链”子系统耦合对整体“四链”融合水平贡献度最高。

关键词:“四链”融合;耦合协调度;灰色关联度;协同;粤港澳大湾区

【中图分类号】F272.92;F127 **doi:**10.3969/j.issn.1674-7178.2024.01.002



开放科学(资源服务)标识码(OSID)

2017年10月,习近平总书记在会见清华大学经济管理学院顾问委员会海外委员和中方企业家委员时强调,“人才是创新的根基,是创新的核心要素。”^①2020年习近平总书记在陕西考察时指出,“要围绕产业链部署创新链、围绕创新链布局产业链,推动经济高质量发展迈出更大步伐。”^②党的二十大报告指出,“推动创新链产业链资金链人才链深度融合”“加快实施创新驱动发展战略”。^③这一系列讲话精神和政策部署表明,推动产业链、创新链、资金链、人才链(以下简称“四链”)融合发展在实现经济高质量发展中具有重要地位,需要厘清其内在逻辑和

实践路径。随着我国改革开放进入深水区,产业系统作为创新与增长的需求侧,与教育系统作为人才与知识的供给侧之间的结构性矛盾日益凸显,创新链与产业、资金、人才等供需脱节、失配甚至错配的现象屡见不鲜。面对当前要素驱动向创新驱动转型的现实发展需求,国内有许多城市积极探索机制创新,推动“四链”融合,促进教育系统与创新系统、产业系统与金融系统等系统的结构耦合、要素匹配与界面交互,为高质量发展蓄势增效。重点城市群持续深入建设,为“四链”深度融合提供了发展“试验田”。城市高质量发展作为一种跨组织共生式协同创

新发展新范式,其核心是“四链”相互融合、相互作用,盘活整个区域城市高质量发展体系,提高区域增长效率,形成多态产业蓬勃发展、创新赋能显著增强、资金流动高效稳健、人才集聚成效显著等发展导向。

《粤港澳大湾区发展规划纲要》提出打造“具有全球影响力的国际科技创新中心”“打造教育和人才高地”,这是粤港澳大湾区建设从要素驱动向创新驱动、从高速增长向高质量发展转变的战略抉择。目前,粤港澳大湾区已初步构筑起“四链”深度融合的基础生态,特别是广州南沙区于2022年6月率先发布首个国家级新区“四链”融合政策体系^④,推出以“共性核心政策+特色领域专项政策”为主要框架的升级版产业政策体系。通过打造稳定、公平、透明、可预期的产业发展环境,构筑起创新链产业链资金链人才链深度融合互促的产业新高地。尽管如此,面对外部压力风险增大和内部协同动能不足的发展形势,粤港澳大湾区“四链”融合还存在顶层设计有待完善、产业链短板未能补齐、创新性关键技术有待突破、人才驱动创新的动能不足、教育供给与产业创新人才需求不匹配等问题,对标国内其他城市群乃至具有全球标杆意义的成熟湾区,“四链”融合的状态、水平和层次都存在可以优化提升的空间。因此,本文采用耦合协调度与灰色关联度对粤港澳大湾区“四链”融合发展水平进行实证分析,进一步挖掘粤港澳大湾区“四链”融合未来发展的重点难点,以期为实现“四链”深度融合提供有益思考。

一、概念界定与文献综述

(一)“四链”融合的概念

2016年5月,习近平总书记在全国科技创新大会、中国科学院第十八次院士大会、中国工

程院第十三次院士大会暨中国科学技术协会第九次全国代表大会上指出:“创新是一个系统工程,创新链、产业链、资金链、政策链相互交织、相互支撑,改革只在一个环节或几个环节搞是不够的,必须全面部署,并坚定不移推进。”^⑤这是官方层面首次提出创新链、产业链、资金链和政策链“四链”融合的相关内容。此后,关于“四链”融合的研究主要以其中的“二链”“三链”融合研究居多,不同研究领域对“二链”融合、“三链”融合的分析已较成熟,但它们的内涵略有不同。比如在高等教育研究领域,“三链”融合主要指创新链、人才链、产业链发展融合,融合的结果是构建创新人才培养模式^⑥。而在企业创新研究领域中则更倾向于关注产业链、创新链、资金链“三链”融合,以产业链需求为导向探索“三链”协同机制^⑦。综上可见,“四链”融合的概念发展主要基于“二链”“三链”融合及发展路径的研究基础。基于此,本文主要围绕产业链、创新链、资金链以及人才链“四链”如何相互融合、推动高质量发展进行实证分析。从“四链”融合的内涵来看,有学者认为“四链”融合的实质是知识、技术、能力、资金、人才、政策等要素的加快集聚并实现共享互通,形成相互促进相互作用的良性循环^⑧。也有学者认为“四链”深度融合的本质是由企业、院校类科研机构、政府和相关服务机构等创新主体强相互作用构成的区域创新生态。国际和区域科技创新中心通过“四链”相互融合、相互协同、相互作用,提升在全球创新网络中的枢纽层级或节点地位。^⑨结合政界和学界已有的讨论,本文认为“四链”融合的内涵可以界定为:围绕创新链布局产业链、围绕产业链部署创新链,围绕产业链创新链精准配置资金链和人才链,从而促进各链条间的创新要素协同发展,实现多链条深度对接、融合聚变,促进各要素流动、耦合匹配和精准对接,



助力区域性城市群高质量发展。

（二）关于“四链”融合系统机制的研究述评

整体而言，现有聚焦“四链”融合的研究较少，随着“单链”（如产业链上下游相关问题），“双链”（如创新链与产业链协同），“三链”（如创新链与产业链、资金链的关系等），“多链”（如政策链与其他多链条的协同）的研究逐步深入，相关理论分析和实证研究也日渐丰富。其中，理论分析主要聚焦各链条的概念和结构、链条间的逻辑建构、系统建设以及各主体之间的利益分配等内容。

1. 关于创新链与产业链“双链”融合的研究，主要聚焦创新链与产业链融合形态。如产业链依托创新链实现价值增值，创新链通过产业链实现价值转化，两者构成螺旋式发展态势。^[5]又如，创新链依托产业主体带动创新活动，融入并提升产业链价值；产业链凭借资源集聚和驱动优势，支撑创新链有序运转和优化升级。^[6]一方面，创新链依附于产业链。产业链的各个节点都可能成为创新爆发点，衍生出创新点，串成创新链，带动产业链各环节共同创新。另一方面，创新链赋能产业链。创新需求来源于产业链，通过创新活动最终成果的有效转化和赋能，构筑产业链价值增值基础，进而整体提升产业链的价值水平。因此，创新过程嵌入产业发展的每一个环节，产业的升级发展又为创新提供新的需求，二者相辅相成，呈系统性、耦合性、全面性的融合趋势。

2. 关于创新链、产业链与资金链“三链”融合的研究。科技创新和产业升级换代离不开资金支撑。资金作为催化剂和生产要素，在科技创新中发挥着不可替代的作用。资金链能够促进高科技企业打通从启动研发到产业化的创新链条，融通创新路径，从而满足高科技企业多样化的融资需求。正如有研究认为资金链是“四

链”融合的血脉，可以打通构建新发展格局中各环节的堵点、卡点、断点^[7]。可见，资金链融通于“四链”融合的每一个环节，为各个融合环节提供动力。同时，高科技企业的研发资金还需要政府、科研机构、企业研发部门的共同支持。如有学者以浙江高新技术企业及科技型中小企业为样本数据，对智慧健康的产业链、创新链、资金链状况分别展开分析，并提出应重点加大财政支持力度^[8]。

3. 关于创新链、产业链、资金链与人才链等“多链”融合的研究。有学者认为“多链”融合的核心在于人才链创新链协同，以强化人才培养为方向，聚焦产业链重点领域和薄弱环节，建立以产业链需求为导向的统筹协调机制^[9]。人才因产业而聚，产业因创新而强，聚焦创新链激活人才链，应通过打造高水平创新高地、人才高地等创新平台，探索和实践人才汇聚模式机制，从而实现人才驱动发展，以产业链吸引人才链，以人才链反哺产业链。

（三）关于“四链”融合方法和路径的研究述评

从“四链”融合的模式来看，学界对“四链”融合模式的认识不断加深。张庆民和顾玉萍从网络链接视角分析“四链”之间的内在关联性，探究促进产教融合“四链”有机衔接的政策补链、收益强链、服务延链与生态固链的网络链接结构，进而建立产教融合的协同机制^[10]。张弛基于经济与教育的双重论域分析，深入分析产教融合中的产业链、创新链和人才链、教育链的融合性要素与结构，搭建“四链”互通的产教融合逻辑框架^[11]。此外，分析和理解“四链”融合的逻辑框架有助于推进建设国际和区域科技创新中心，正如杨明和林正静基于创新生态系统理论和产业链、创新链、资金链、服务链“四链”融合模式，构建粤港澳大湾区国际科技创新的

理论框架,并结合大湾区现状对建设国际科技创新中心建言献策^[12]。

从“四链”融合的方法路径来看,多数研究基于不同城市“四链”融合现状进行个案分析,如陈敏玉等学者立足无锡发展现状,认为应通过整体规划产业链布局、提升多链互融互促、建设合理的人才链、加大政策供给等措施来促进“四链”融合^[13]。有的研究则是以其中某一链或者某两链为观察点,进而探究对接其他链融合发展。董慧紧扣“创新能力”基本内涵,分析创新能力培养中政策、产业、教育、资本所起到的不同作用,提出基于“创新链”对接“人才链”的培养过程,形成包括创新意识、创新思维、创新知识、创新实践,从而实现政策链、产业链、教育链和资本链“四链”的深度融合^[14]。又如杨院等学者认为应以人才链创新链协同为核心,围绕产业链和创新链精准配置学科链和人才链,建立以产业链需求为导向的统筹协调机制,实现人力资源开发与产业发展深度对接、融合聚变,推动产业基础高级化和产业链现代化^[15]。

(四)关于对“四链”融合评价的研究述评

现有关于对“四链”融合情况进行评价的研究主要从城市经济等角度进行,对“四链”融合的水平、“四链”之间的协调度等方面进行相关评价。这些研究主要运用了主成分分析、聚类分析、复合系统协同度模型等方法测量多链体系的有序度变化方向和变化幅度。如盛彦文等学者对我国区域产学研创新耦合协调度模型展开系统评价,发现存在级差化、阶梯化和集聚化特征^[16]。周江综合运用扎根理论、灰色关联分析、回归分析等工具,对“四链”融合的概念、机制、成因和区域创新绩效的概念、维度以及两者的影响机制等方面进行分析^[17]。陈雄辉等学者基于区域经济理论,构建“四链”融合评价指标体系,以2017年广东省21个地级市的数据为样

本,采用主成分分析法计算各地级市“四链”融合发展指数,比较分析广东地区各地级市的“四链”融合水平^[18]。梁文良和黄瑞玲利用复合系统协同度模型测度2010—2019年江苏高技术产业资金链产业链创新链“三链”融合度,发现江苏高技术产业“三链”协同度较低的主要原因是受到“三链”子系统有序度变化方向和变化幅度的影响,特别是资金链有序度的波动性对“三链”融合造成了负向影响^[19]。陈秋玲等学者使用耦合协调度模型来估计创新链和资金链的耦合,运用动态面板系统广义矩方法分析政府支持对两链耦合的影响,并进行动态面板阈值回归,探讨政府支持对耦合协调度影响中人才的阈值效应,发现两条链耦合的严重不平衡,政府支持大大降低了耦合协调度^[20]。梁龙武等学者基于协同和系统性原则构建评估指标体系,探讨技术创新与区域经济协同演进机制,利用动态耦合模型研究复合系统协同演化规律,揭示影响它们之间协调程度的主要因素^[21]。人才具有显著的门槛效应,当人才数量低于阈值时,政府支持会产生负面影响。一旦人才数量达到一定水平,政府扶持可以显著增强两条链条的耦合。刘星等学者为研究目前我国职业教育中“人才链”与“产业链”双链整合的效率,以中国31个省级行政单位为例,采用DEA-BPNN计算模型计算2010—2019年中国职业教育效率,研究结果表明,我国大部分省份实施“双链”一体化政策后,“双链”融合效应尚未得到充分体现,现有技术和资源尚未得到充分利用,以增加投资为主的粗放发展模式并未发生根本改变^[22]。

(五)小结

综上所述,目前有关“四链”融合的研究主要关注“四链”融合的影响因素、融合机制以及方法路径三个方面。随着研究逐渐深入,学界积极探索“四链”融合模式在实践中的具体运

用。一方面,一些学者从理论层面提出了一些具有参考价值的新理论和新模型;另一方面,不少学者也在积极探索“四链”融合的具体实现路径和方法。总的来看,“四链”融合的研究现状仍处于初级阶段,“四链”融合的机制仍需在理论和实践层面上进一步深入探讨。

二、粤港澳大湾区“四链”融合评价指标体系构建

围绕推动粤港澳大湾区建设这一战略目标,本文从“四链”融合评价机制着手,探索建立粤港澳大湾区“四链”融合评价指标体系,运用熵值法、耦合协调度分析等方法测量创新链、产业链、资金链、人才链“四链”之间的关联强度;运用灰色关联度模型分析研究“四链”各子系统中的“双链”与“四链”整体之间的相互作用机制,进而尝试为“四链”融合赋能城市区域高质量发展提出相关建议。

(一)数据来源与样本选择

本研究所获取的数据主要来自 EPS 全球统计数据分析平台、《中国统计年鉴》《教育统计年

鉴》《人口与就业统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》《中国人口年鉴》,以及国家及地方政府统计局、财政部、教育部等官方网站。考虑到全口径数据的完整性和可得性,故选取 2013—2021 年作为研究年份。本研究中的原始数据共有 12 个代理指标,均采用 Excel 软件进行数据标准化处理,并对相关变量进行取对数处理(即 $X' = \ln(X+1)$),以此保证样本数据的稳定性。本文采用 Stata 软件(16.0 版本)以及 Excel 软件(2016 版本)进行相关数据的处理与分析。

(二)指标选取

为准确衡量粤港澳大湾区“四链”融合的综合协调水平,较全面了解影响城市区域高质量发展的主要因素,笔者参考了前人研究中有关统计指标选取,同时兼顾指标全面性和数据可得性,最终构建“四链”融合指标体系(表 1)。

如表 1 所示,本文把创新链、产业链、资金链、人才链作为四个一级指标,将其通过各自的耦合要素产生相互作用、彼此影响的程度定义为“四链”融合协调度。在一级指标创新链中,选择 R&D 经费支出占 GDP 的比重、R&D 人员全时当量以及专利授权量作为二级指标。在一级

表 1 “四链”融合评价指标体系

一级指标	二级指标	指标单位
创新链	研究与试验发展经费(R&D)支出占国内生产总值(GDP)比重	%
	R&D 人员全时当量	人年
	专利授权量	件
产业链	产业结构服务化程度(第三产业增加值占 GDP 比重)	%
	规模以上工业企业固定资产	亿元
	高新技术产业投资额	亿元
资金链	科学技术支出占地方财政支出比重	%
	技术市场成交合同金额	万元
	生均教育经费支出	元
人才链	高等学校 R&D 人员数量	人
	研究生在校生数	人
	本、专科在校生数	人



指标产业链中,以产业结构服务化程度、规模以上工业企业固定资产以及高新技术产业投资额作为二级指标指标。在一级指标资金链中,选择科学技术支出占地方财政支出比重、技术市场成交合同金额以及生均教育经费支出作为二级指标。在一级指标人才链中,选择高等学校R&D人员数量、研究生及本专科生在校生数作为二级指标。

三、基于耦合协调度的粤港澳大湾区

“四链”融合发展整体评价

(一) 粤港澳大湾区“四链”融合发展评价

设计

1. 数据标准化处理

功效系数法可作为一种独立的综合评价方法,但很多时候是被运用在无量纲化的研究中。功效系数法也叫功效函数法,根据多目标规划的原理先对每项评价指标确定一个满意值和不允许值,以满意值为上限、不允许值为下限,然后计算各项指标实现满意值的程度,并以此确定各指标分数,后面经过加权平均就可以用于评价研究对象的情况。计算公式如下:

$$x'_{ij} = c + \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \times d \quad (1)$$

在公式(1)中, $\max(x_{ij})$ 、 $\min(x_{ij})$ 分别指标

表2 基于变异系数比重法的功效系数无量纲化

年份	R&D经费支出占GDP比重	R&D人员全时当量/人年	专利授权量/件	产业结构服务化程度	规模以上工业企业固定资产/亿元	高新技术产业投资额/亿元	科学技术支出占地方财政支出比重	技术市场成交合同金额/万元	生均教育经费支出/元
2013	0.045689	0.057650	0.137058	0.015462	0.025047	0.093551	0.389609	0.220954	0.084549
2014	0.077930	0.067202	0.148768	0.059810	0.302969	0.121289	0.047043	0.194189	0.400613
2015	0.142410	0.058016	0.224050	0.183986	0.458953	0.260455	0.495493	0.248691	0.475018
2016	0.200442	0.098163	0.246007	0.308162	0.485058	0.369086	0.834945	0.269585	0.242173
2017	0.232683	0.213581	0.336534	0.503296	0.420562	0.545077	0.819374	0.308694	0.638651
2018	0.297163	0.692863	0.515362	0.565384	0.391192	0.692160	0.978200	0.402326	0.765208
2019	0.406780	0.795978	0.575993	1.000000	0.611958	0.682563	1.000000	0.589806	0.971812
2020	0.948416	0.721244	0.800202	0.618602	0.789498	0.748118	0.582692	0.818044	1.000000
2021	1.000000	1.000000	1.000000	0.024332	1.000000	1.000000	0.557778	1.000000	0.629473

年份	高等学校R&D人员数量/人	研究生在校生数/万人	本、专科在校生数/万人	人均地区生产总值	全社会劳动生产率/万元/人	人均可支配收入/元	平均每人年生活用能源	进出口总额/亿元
2013	0.040999	0.063714	0.019063	0.040891	0.518183	0.213941	0.022852	0.030538
2014	0.069920	0.078426	0.253048	0.153596	0.596409	0.250399	0.293049	0.515070
2015	0.055381	0.107849	0.385128	0.251665	0.052288	0.449821	0.291944	0.434207
2016	0.309381	0.144628	0.416758	0.410002	0.786090	0.029416	0.826217	0.419333
2017	0.513918	0.429402	0.461887	0.578135	0.802704	0.208212	0.881566	0.572742
2018	0.404427	0.506112	0.638435	0.711358	1.000000	0.393552	0.929092	0.681488
2019	0.868436	0.599635	1.000000	0.900010	0.966079	0.605163	0.769423	0.671245
2020	0.942910	0.795089	0.225917	0.755069	0.352731	0.738182	0.897635	0.652570
2021	1.000000	1.000000	0.410141	1.000000	0.476647	1.000000	1.000000	1.000000



表3 各项指标权重

创新链子系统权重			产业链子系统权重			资金链子系统权重			人才链子系统权重		
X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Z_1	Z_2	Z_3	V_1	V_2	V_3
0.3162	0.3897	0.2941	0.4728	0.1979	0.3292	0.1809	0.5819	0.2372	0.3850	0.4168	0.1982

的最大值和最小值, c 、 d 是已知常数。 d 的作用是对变换后数值进行“放大”或“缩小”, c 的作用是对变换后数值进行“平移”。

功效系数法的本质在于通过“平移”来得到研究所需的一个合理量纲范围, 但是由上表可知数据之间同样存在很大的数量级差异, 这样指标的可比性就很弱。如果要保留原始的差异信息就必须使 c 值尽量接近 0。然而, 当 c 值越趋向 0, 式子 $\frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \times d$ 就相当于极

值法的变异, 计算结果还是会出现零值。因此, 为尽可能地减少数据的波动, 本文尝试用变异系数比重的思想对 c 、 d 取值做改进。

变异系数是原始数据的标准差与原始数据的平均数之比, 表征数据本身的离散程度。基于比重法的处理去除了量纲的影响, 能够进行不同组别数据之间差异化的功效系数设置, 进行客观比较。据此。为保证数据的变换是稳定在一个合理的范围之内, 并且能达到归一化的目的, 把 c' 取为 CV 的比重值, d 取为 $(1-c')$, 计算公式如下。

$$x'_{ij} = c' + \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \times (1 - c') \quad (2)$$

测算结果如表 2 所示。在表 2 中, 以上计算结果均为正数, 且不存在极端值的现象。同时实现归一化, 数据结构较为稳定, 保证了本研究的科学性、合理性及可靠性。这样处理的指标评价值不仅具有实际意义, 其方向和结构也一致, 符合无量纲化和客观赋权的要求。

2. 指标赋权

本文选择熵值赋权法, 该方法通过评价指标的取值变化、波动程度以及所提供的信息量的大小来计算最优权重, 从而避免人为因素的影响。具体计算步骤如下。

(1) 经过公式(2)的标准化处理后, 得到了同质化指标矩阵 $(Z_{ij})_{n \times m}$ 。其中 n 表示年份, m 表示评价指标的个数。计算第 j 项指标在第 i 个年份的比重 P_{ij} 。

(2) 计算第 j 项指标的信息熵值 e_{ij} 。

(3) 计算第 j 项指标的信息效用值 h_j 。若 h_j 越大, 说明第 j 项指标在整个指标体系中越重要。

(4) 计算第 j 项指标的权重 W_j 。

(5) 表 3 为熵值法赋权结果。

3. 耦合协调度分析

耦合是一个物理学概念, 是指两个及以上的系统相互作用、彼此影响的现象。对“四链”耦合度 C 测算公式如下:

$$C = 4 \sqrt[4]{U_1 U_2 U_3 U_4} / (U_1 + U_2 + U_3 + U_4) \quad (3)$$

在公式(4)中, C 为“四链”的耦合度, $C \in (0, 1)$, C 越接近 1, 说明二者的耦合程度越高, U_1 、 U_2 、 U_3 及 U_4 分别表示四个系统测算的综合水平。

继续引入耦合协调度评价模型, 耦合协调是指耦合系统之间或内部要素之间相互促进、和谐一致的良性循环关系, 其测算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (4)$$

在公式(5)中, D 为“四链”的耦合协调度, T 为反映两个子系统整体协同效应的综合评价指



数,即 $T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3 + \delta U_4$ 。假定“四链”同等重要,即 $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 0.25$ 。

(1)各子系统综合水平指数。

基于熵值赋权法所得权重数,乘以各年各指标标准化数据,可得创新链、产业链、资金链及人才链四个系统综合水平指数如表4所示。

(2)“四链”耦合协调度。

从耦合协调度分析结果(表5)可知,耦合度 C 和耦合协调度 D 在 2013—2021 年中呈逐年缓慢上升态势,而耦合度 C 则呈现“前期小幅度下降、后期趋于稳定”的发展趋势。在 2013 年,耦合协调度 D 仅为 0.1044。到了 2020 年,耦合度 C 达到最大值,为 0.9971;到了 2021 年,耦合协调度 D 达到最大值,为 0.9415,二者均为良性耦

合、结构有序的状态。这说明:2013 年粤港澳大湾区创新链、产业链、资金链及人才链呈低度协调。经过 8 年时间的进步与发展,“四链”已逐步迈入协调发展和良性互动的发展轨道。

从图 1 中可以看到,“四链”的耦合协调度大体上呈现上升趋势。从 2013 年至 2019 年,“四链”的耦合度协调度 D 与耦合度 C 快速上升,到了 2019 年,“四链”的耦合协调度达到最大值,呈优质协调发展态势。2020 年以后,“四链”的耦合协调度趋于平缓。综上可大体上判断:粤港澳大湾区的“四链”已逐渐从低水平均衡向高水平均衡过渡,从极度不协调向高度协调状态过渡发展。

表4 各子系统综合水平指数

年份	创新链 $f_{1(x)}$	产业链 $f_{1(y)}$	资金链 $f_{1(z)}$	人才链 $f_{1(v)}$
2013	0.07722516	0.04306865	0.21910259	0.04611993
2014	0.09458568	0.12818234	0.21654134	0.10976133
2015	0.13353811	0.26359092	0.34702181	0.14260759
2016	0.17398973	0.36323820	0.36534493	0.26198722
2017	0.25578619	0.50068049	0.47933823	0.46837580
2018	0.51553641	0.57264881	0.59257329	0.49319375
2019	0.60821122	0.81869116	0.75462117	0.78246496
2020	0.81629801	0.69507615	0.81863729	0.73918411
2021	1.00000000	0.53867495	0.83211443	0.88308987

表5 “四链”耦合度及耦合协调度

年份	耦合度 C 值	耦合协调度 D 值	协调等级	耦合协调程度
2013	0.988494720	0.104367628	2	严重失调
2014	0.681880437	0.202477878	3	中度失调
2015	0.871941866	0.390386978	4	轻度失调
2016	0.905215878	0.484424216	5	濒临失调
2017	0.927828019	0.631751185	7	初级协调
2018	0.991040676	0.754347844	8	中级协调
2019	0.980433682	0.899736301	9	良好协调
2020	0.997054367	0.923132453	10	优质协调
2021	0.983184340	0.941482681	10	优质协调

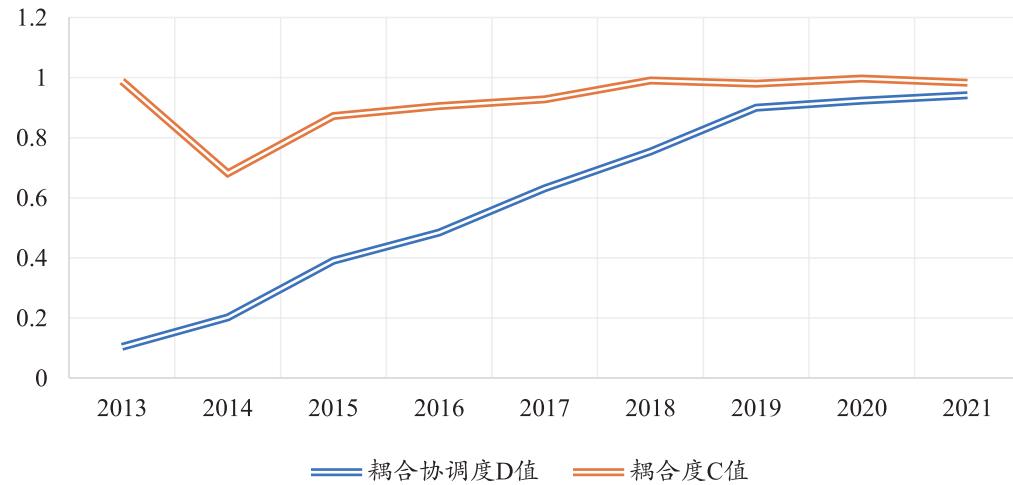


图1 2013—2021年“四链”耦合度C与耦合协调度D变化情况

四、基于灰色关联度的粤港澳大湾区 “四链”融合子系统贡献度分析

前文通过耦合协调度模型对“四链”融合的整体图景做了全面描摹。“四链”作为一个由多个“双链”融合交互作用形成的动态体系,其整体融合水平必然受到各子链的影响。因此,探索多个“双链”融合如何作用于整体“四链”融合,成为厘清这一协同体系内部运作机理的重要路径。

本文采用灰色关联度分析方法对粤港澳大湾区“四链”融合子链的贡献度展开分析。灰色关联分析主要通过确定参考数据列(母序列)和若干个比较数据列(子序列)的几何形状相似程度来判断其联系是否紧密,反映了曲线间的关联程度。具体来说,主要采用灰色关联度分析方法对粤港澳大湾区“四链”融合中核心两链(创新链—产业链)的耦合关系及其程度进行单独测量,并且通过与其他链两两比较分析,从而进一步判断哪两个子链的耦合度对“四链”融合贡献度最大。分析步骤如下:

第一步,确定反映系统行为特征的参考数

列(“四链”协调度)及影响系统行为的比较数列(“双链”协调度)。

第二步,无量纲化。由于在上文分析中已完成数据的无量纲化处理,故该步骤在此处略。

第三步,计算各被评价对象指标序列(“双链”协调度)和与参考序列(“四链”协调度)对应元素的绝对差值,即差序列。

第四步,计算两级的最大差和最小差。

第五步,计算灰色关联系数。式中 ρ 为分辨系数,在(0,1)内取值,若 ρ 越小关联系数间差异越大,区分能力越强, ρ 一般取0.5。

第六步,计算灰色关联度。对各“双链”分别计算其各指标与参考序列对应元素的均值以反映各“双链”协调度与“四链”协调度的关联关系。值越接近于1,相关性越高,反之越低。

1.子系统“双链”耦合协调度测算

首先,应用耦合协调度模型分别对“四链”中可能组合的两个子链进行测度和分析,即对“创新链—产业链”(A1)、“创新链—资金链”(A2)、“创新链—人才链”(A3)、“产业链—资金链”(B1)、“产业链—人才链”(B2)以及“资金链—人才链”(C1)共6条子链的耦合协调度进



表6 各子链耦合协调度结果

年份	A1	A2	A3	B1	B2	C1
2013	0.10000000	0.10892602	0.10000000	0.10892602	0.10000000	0.10892602
2014	0.24044680	0.12985881	0.22141528	0.18516017	0.31570665	0.17050462
2015	0.37675351	0.35111526	0.30438790	0.50068348	0.43405118	0.40451380
2016	0.46497984	0.40848202	0.41488952	0.56561280	0.57448507	0.50468171
2017	0.58538125	0.54077310	0.56332093	0.70849411	0.73803516	0.68179424
2018	0.75383004	0.73346171	0.70968297	0.80182377	0.77582873	0.75486600
2019	0.86820173	0.83978913	0.841113032	0.96242568	0.96396272	0.93241627
2020	0.90228970	0.93671784	0.89894082	0.94797511	0.90974410	0.94445667
2021	0.89085511	0.99498744	0.99498744	0.89085511	0.89085511	0.99498744

行测度和分析,测算结果如表6所示。

2. 子系统“双链”与整体“四链”的灰色关联度分析

接着,对表6中数据结果进行灰色关联度分析,可以得到6条子链与母链间的灰色关联度及其排名结果(表7)。

由表7的分析结果可见,关联度值介于0~1之间,关联度值越大表示其与母序列之间的相关性越强,也意味着其评价越高、关系越紧密。其中,针对本次6个评价项,A1(即“创新链—产业链”耦合度)的评价最高(关联度为0.731),其次是C1(即“资金链—人才链”耦合度,关联度为0.729)。评价最低是B2(即“产业链—人才链”耦合度)。可以认为,创新链与产业链的耦合对“四链”融合的贡献度最大。因此,需要从政策层面进一步强化创新链和产业链间的耦合,以此驱动和加强其他多链之间的有机融合。

表7 灰色关联度结果及排名

评价项	关联度	排名
A1	0.731	1
C1	0.729	2
A2	0.594	3
A3	0.588	4
B1	0.573	5
B2	0.571	6

五、发现与结论

2023年,习近平总书记在主持召开深入推进长三角一体化发展座谈会时强调,“重点领域、重点区域一体化尚需努力,产业链供应链分工协作水平有待提升,建立全国统一大市场的龙头带头作用有待进一步发挥”“要加强科技创新和产业创新跨区域协同”^⑥。技术升级和由技术升级产生的产业升级是一个国家实现高质量发展的关键与核心^[23]。

根据前文对粤港澳大湾区“四链”融合发展水平的实证分析可知,随着这一特定城市区域的整体协同发展,“创新—产业—资金—人才”四个子链已逐渐从低水平均衡向高水平均衡过渡,从极度不协调发展向高度协调状态过渡发展。进一步通过灰色关联度分析发现,“创新链—产业链”子系统耦合对整体“四链”融合水平贡献度最高。基于这一研究结果,结合当前我国“四链”融合发展情况,可以认为:在“四链”的各子链中,创新链—产业链耦合在“四链”整体融合中发挥着重要的驱动作用。相比以人为主导与产业和资金资源的匹配,未来粤港澳大湾区的发展仍需更加关注技术创新(创新链)与产业经济(产业链)的打通和融合,以此实现和加强其他多链间的融通与协同效应最大化。



展望未来，“四链”深度融合作为人才第一资源和创新第一动力的重要结合点，其最优状态应该是相关要素聚合成为有机生态而非板块式组团。不同类型的创新形态和不同层次的产业、人才、资金子链在“有为政府、有效市场”的环境下实现实质性交互赋能，促进人力和知识供给侧与创新和增长需求侧全方位融合。其中，“创新—产业”双链耦合是核心。在一个国家、两种制度、三个法域和关税区、流通三种货币的条件下，粤港澳大湾区发展潜力巨大，“四链”深度融合相关要素在粤港澳大湾区的耦合配置更具潜力、更具开放性。因此，有必要以城市群为载体推动创新要素与产业资源有机结合、有序流动、集结共生。以“四链”融合项目为点，以产业链为主线，以城市群为开放边界，集聚优质要素资源，最终促进知识生产和物质生产协同，担负起“四链”融合高质量发展示范区的光荣使命。

参考文献：

- [1] 李滋阳、李洪波、范一蓉：《基于“教育链—创新链—产业链”深度融合的创新型人才培养模式构建》[J]，《高校教育管理》2019年第6期，第95—102页。
- [2] 梁文良、黄瑞玲：《江苏高技术产业“三链”融合度的测度与评价——基于复合系统协同度模型的实证研究》[J]，《现代管理科学》2022年第1期，第51—60页。
- [3] 黄涛、樊艳萍、王慧：《推动创新链产业链资金链人才链深度融合》[J]，《中国人才》2023年第1期，第12—15页。
- [4] 胡彦玲、肖雯：《构建“四链”深度融合的开放创新生态》[N]，《光明日报》2022年12月1日第16版。
- [5] 林柳琳：《基于协同驱动的产业链和创新链共融路径研究》[J]，《探求》2023年第5期，第100—107页。
- [6] 张晓兰、黄伟熔：《我国产业链创新链融合发展的趋势特征、经验借鉴与战略要点》[J]，《经济纵横》2023年第1期，第93—101页。
- [7] 周跃辉、高涌智：《以资金链推进“四链”深度融合》[J]，《中国金融》2023年第18期，第87—88页。
- [8] 袁继新、王小勇、林志坚、叶璟：《产业链、创新链、资金链“三链融合”的实证研究——以浙江智慧健康产业为例》[J]，《科技管理研究》2016年第14期，第31—36页。
- [9] 史秋衡、王春：《高校三职能推进“三融”的结构方略与逻辑建构》[J]，《江苏高教》2023年第12期，第31—36页。
- [10] 张庆民、顾玉萍：《链接与协同：产教融合“四链”有机衔接的内在逻辑》[J]，《国家教育行政学院学报》2021年第4期，第48—56页。
- [11] 张弛：《高等职业教育产教融合的“四链”逻辑建构——基于经济与教育的论域考证》[J]，《职业技术教育》2019年第7期，第6—13页。
- [12] 杨明、林正静：《用创新生态理论和“四链”融合研究建设粤港澳大湾区国际科技创新中心》[J]，《科技管理研究》2021年第13期，第87—93页。
- [13] 陈敏玉、冯臻、金宏源：《推动无锡市经济高质量发展的路径研究——基于产业链、创新链、人才链深度融合的视角》[J]，《中国市场》2022年第34期，第25—27页。
- [14] 董慧：《大学生创新能力培养路径探索——基于“两链对接‘四链’融合”的实践思考》[J]，《中国高校科技》2022年第3期，第62—67页。
- [15] 杨院、翟慧：《研究型大学推动四链深度融合的发展对策与治理方式》[J]，《中国高等教育》2023年第7期，第9—13页。
- [16] 盛彦文、马延吉：《区域产学研创新系统耦合协调度评价及影响因素》[J]，《经济地理》2017年第11期，第10—18、36页。
- [17] 周江：《四链融合对区域创新绩效影响的研究》[D]，硕士学位论文，武汉理工大学管理科学与工程专业，2019年。
- [18] 陈雄辉、陈铭聪、孙熹寰、罗歲、吕春甜：《“四链”融合发展水平评价研究——以广东地区为例》[J]，《中国科技论坛》2021年第7期，第107—114页。
- [19] 同[2]。
- [20] Qiuling Chen and Tianchi Wang, “Government Support, Talent, Coupling of Innovation Chain and Capital Chain: Em-

pirical Analysis in Integrated Circuit Enterprises” [J], *Chinese Management Studies*, 2023, 17 (4):883–905.

[21] Longwu Liang, Zhen Bo Wang, Dong Luo, Ying Wei and Jingwen Sun, “Synergy Effects and It’s Influencing Factors of China’s High Technological Innovation and Regional Economy” [J], *Plos One*, 2020, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231335>.

[22] Xing Liu, Zhen Li, Jing Wang and Jiankun Chu, ‘Research on the Efficiency of “Dual-Chain” Integration of Talent Chain and Industrial Chain of Vocational Education Based on Big Data Technology’ [J], *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/8751815>.

[23] 郑永年:《中国跨越“中等技术陷阱”的策略研究》[J],《中国科学院院刊》2023年第11期,第1579–1592页。

注释:

①《习近平会见清华大学经济管理学院顾问委员会海外委员和中方企业家委员》[N/OL], 2017年10月31日, https://china.cnr.cn/news/20171031/t20171031_524006180.shtml, 访问日期:2023年1月15日。

②《习近平在陕西考察时强调 扎实做好“六稳”工作落实“六保”任务 奋力谱写陕西新时代追赶超越新篇章》

[N/OL], 2020年4月23日, http://www.qstheory.cn/yaowen/2020-04/23/c_1125896567.htm, 访问日期:2023年1月15日。

③习近平:《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》[M], 人民出版社, 2022年。

④《广州南沙发布“四链”融合政策体系》[N],《人民日报》2022年6月15日第16版。

⑤《全国科技创新大会两院院士大会中国科协第九次全国代表大会在京召开 习近平发表重要讲话》[N/OL], 2016年5月31日, <http://cpc.people.com.cn/n1/2016/0531/c64094-28394355.html>, 访问日期:2023年1月15日。

⑥《习近平主持召开扎实推进长三角一体化发展座谈会并发表重要讲话》[N/OL], 2023年11月30日, https://news.cnr.cn/native/gd/sz/20231130/t20231130_526504260.shtml, 访问日期:2023年1月15日。

作者简介:喻锋,华南理工大学公共管理学院教授。桃娜尔·赛力克,华南理工大学行政管理专业硕士研究生。

责任编辑:刘颖