

新质生产力背景下 中国新型基础设施的测度与分析

张自然 马 原 杨玉玲

内容提要:本文基于信息基础设施、融合基础设施及创新基础设施共3个子系统29个具体指标,采用熵权法核算中国新型基础设施指数,并根据达格姆基尼系数、重心法以及马尔可夫链方法刻画新型基础设施及组成部分的时空分布特征及演进趋势。研究结果显示,中国新型基础设施指数整体呈上升趋势,逐渐形成以东部沿海地区及四川为密集区的双核心结构,总体空间差异的最主要来源是区域间差异,区域内差异次之,超变密度差异最小。重心以向西南方向迁移为主,发展水平存在路径依赖,但随着跨期延长,低水平省份在跨期3年后呈跨越式迁移。本文的研究为掌握中国新型基础设施发展水平,缩小区域发展差异提供了政策参考。

关键词:新质生产力 新型基础设施 信息基础设施 融合基础设施 创新基础设施

中图分类号:F283

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2024)08-0017-23

一、问题提出

新质生产力是对马克思生产力构成理论的深化与发展,为优化生产力要素、推动社会生产与生活方式变革提供了新方向。2024年1月,习近平总书记在中共中央政治局第十一次集体学习时提出,“新质生产力是创新起主导作用,摆脱传统经济增长方式、生产力发展路径,具有高科技、高效能、高质量特征,符合新发展理念的先进生产力质态。它由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生”。作为新质生产力劳动资料之一的新型基础设施是新技术和新生产要素在全社会范围内广泛普及和应用的必要物质基础。2021年3月,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》(简称“十四五”规划纲要)对新型基础设施建设提出了具体要求,为新型基础设施的相关研究指明了方向。在一系列政策的支持下,近年来中国在新型基础设施领域的投资增长明显。信息传输、软件和信息技术服务业的投资额侧面衡量了新型基础设施投资,2012—2019年信息传输、软件和信息技术服务业投资额由2834亿元增长至7782亿元,2019年后年均增速超过了传统基础设施投资。在传统生产力向新质生产

收稿日期:2024-01-04;修回日期:2024-05-17

基金项目:国家社会科学基金重大项目“基于中国实践的经济增长理论创新研究”(22&ZD053)

作者简介:张自然 中国社会科学院经济研究所研究员、博士生导师,北京,100836;

马 原 中国社会科学院大学经济学院博士研究生,通信作者,北京,102488;

杨玉玲 浙江省发展规划研究院助理研究员,杭州,310030。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

力过渡的背景下,科学构建新型基础设施发展水平的评价体系,测度各地区新型基础设施发展的实际水平,寻找各地区新型基础设施发展的优势和短板,对促进新质生产力形成以及赋能经济高质量发展具有重要意义。

本文研究的出发点是区分新型基础设施和传统基础设施的不同特征。首先是在涉及的行业层面,已有研究集中在传统基础设施的存量核算以及影响因素分析等方面,归纳发现传统基础设施的分类方法基本没有分歧,主要包括交运仓储、水利设施和电热供应三个制造业^[1-3]。但是对于新型基础设施领域所涉及的行业尚未达成一致。目前新型基础设施的具体内涵接受度较广的划分方法包括三类:一是强调传统基础设施的技术升级与转型^[4-5];二是划分为新能源汽车充电桩、大数据中心、5G 基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、人工智能、工业互联网七大领域^[6-7];三是根据传统基础设施转型与新兴技术需求划分为信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施^[8-10]。其次是在生产技术的层面。相比于传统基础设施,新型基础设施的技术属性凸显,呈现深度学习、自主操控、万物互联、人机交互等特征。根据阿西莫格鲁和雷斯特雷波(Acemoglu & Restrepo, 2018)^[10]以及格雷茨和迈克尔斯(Graetz & Michaels, 2018)^[11]的理论模型,信息技术、人工智能、机器人等新技术提高了资本或机器的技术,也就是说新型基础设施表现为资本扩展型技术,能够提高资本相对于劳动的边际产出。总体来看,新型基础设施来源于传统基础设施^[12-13],主要由信息和科技化驱动,与传统基础设施在核心、主体、动力、主要形态及载体五个方面有鲜明区别^[14],二者不是割裂的,而是交叉融合的。在区分传统基础设施与新型基础设施内涵的基础上,部分研究从实证角度进行了具体分析,其中自然涉及选取何种指标衡量新型基础设施的讨论。在衡量方法上,以上研究可划分为两类。一是采用“宽带中国”战略作为准自然实验^[15-16]。2013年8月,《国务院关于印发“宽带中国”战略及实施方案的通知》印发。此后,工业和信息化部、国家发展和改革委员会于2014年、2015年和2016年遴选“宽带中国”示范城市(群)。这一准自然实验在一定程度上避免了指标的测量误差问题,相关研究发现新型基础设施能够影响包容性绿色增长^[17]、促进经济高质量发展^[18-19]、推动企业转型升级^[20]、提高全要素生产率^[21-22]。二是以数字基础设施作为新型基础设施的核心领域^[23-24],但这一测算角度较为片面且在指标选取上存在争议,具体指标主要涉及5G规模化部署、互联网协议第六版(IPv6)商用部署、移动电话交换机容量、移动互联网用户、光缆线路长度等内容。学者们在指标组合上存在些许差别,研究内容集中于区域能源效率、城市创新、劳动力工资、金融包容性发展等方面^[25-27]。赵星(2022)以地区长途光缆线路长度、移动电话交换机容量、工业机器人数量和互联网接入端口数4个指标构建新型基础设施的测度体系,发现数字基础设施有助于提升地区技术创新水平^[28]。李治国等(2023)以每百人移动电话数、每百人互联网宽带接入用户数、电信相关行业从业人员数、人均电信业务量等指标进行衡量,并从理论层面探讨了数字基础设施建设对包容性绿色增长的影响效果及作用路径^[29]。尹西明等(2023)从互联网普及率、移动互联网发展情况、互联网使用情况3个维度构建评价指标,并探究了数字基础设施对区域高质量发展的影响及作用机制^[30]。逯海勇等(2023)以信息传输、软件和信息技术服务业资本存量作为数字基础设施的代理变量,从信息摩擦视角阐明数字基础设施对国内市场一体化的作用机理^[31]。

与已有研究相比,本文的边际贡献在于:第一,指标构建方面,在原有成果的基础上优化新型基础设施指标体系,使得所构建的指标体系能够对各省份的新型基础设施水平进行科学的综合评估;第二,研究内容方面,对新型基础设施的考察进行补充,特别是对其差异演变和分布动态的刻画,这有助于准确理解中国新型基础设施发展空间的差异特征;第三,应用价值方面,基于对中国31个省份(不含港澳台地区)新型基础设施建设水平全方位、多角度的考察结果提出政策建议,对于推动新型基础设施建设、促进区域协调发展具

有重要意义。

二、新型基础设施内涵及指标体系构建

(一) 新型基础设施内涵及测度指标

现阶段学界关于新型基础设施的内涵并未达成一致,目前主要集中于两个角度。一是窄口径范围。该标准主要基于2018年中央经济工作会议阐述的5G、人工智能、互联网、工业互联网等内容。二是宽口径范围。根据2020年国家发展和改革委员会对“十四五”规划纲要中新型基础设施的解读,新型基础设施包括信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施。相较于窄口径统计范围,宽口径角度体现了新型基础设施的新领域、新模式^[32]以及兼备公益属性和经济属性的特点,基于该口径核算能够较为全面地反映新型基础设施综合水平。各关键指标构建说明如下。

1. 信息基础设施

信息基础设施以信息网络为基础,以数据要素为核心。早期研究常采用电话数量、光纤长度、广播作为信息基础设施的代理变量^[33-35],随着信息技术的发展,移动电话普及率和互联网普及率被纳入信息基础设施的衡量指标^[36-38]。也有学者从资本存量核算的角度,用信息传输、软件和信息技术服务业资本存量表征信息基础设施^[13]。信息基础设施发展至今,包括网络设施、算力设施和新技术设施^[39],然而鲜有研究将算力设施纳入评价体系。考虑算力基础设施在实现新旧动能转换、推动经济高质量发展方面发挥的重要作用,在参照上述研究的基础上,本文从网络设施、算力设施和新技术设施三个方面综合衡量信息基础设施。其中,网络基础设施主要包括工业互联网、移动通信、固定宽带等内容,算力基础设施以发展数据中心、超算和人工智能计算中心等领域而使用的硬件产品衡量,新技术基础设施主要包括信息通信领域的人力资本和固定资产投资。

2. 融合基础设施

传统基础设施涉及交通运输、仓储和邮政业,水利、环境和公共设施管理业,电力、热力、燃气及水的生产和供应业三个行业^[40-41]。融合基础设施主要指采用新技术对传统基础设施的升级改造,尤其是在社会民生领域。为了区别传统基础设施,本文采用智慧气象、智能家居和智能交通衡量融合基础设施。对融合基础设施的测度,主要有以下典型方法:一是构建耦合协调度模型,以融合因子与传统基础设施的乘积来表征,该方法受标准化方式的影响^[42-43];二是以智慧城市基础设施、智慧交通基础设施、智能气象基础设施等维度来表征^[44-45],而采用智慧城市作为融合基础设施代理变量的研究,常常采用智慧城市这一准自然实验^[46-48],但这种方法难以量化,因此,本文将智慧家居这一指标纳入评价体系。

3. 创新基础设施

创新基础设施主要涉及能为激发社会科技创新和成果落地提供支持且具有公益属性的基础设施。已有研究对创新基础设施的衡量如下:一是侧重于基础设施方面,包括重大科技、科教基础设施以及产业^[49-51];二是侧重于科技研发方面,包括研发(R&D)经费投入、高等学校数量、技术市场成交额等指标^[52-54]。本文在现有研究上进行改进,考虑科技产品研究、开发与落地的全流程,并将具有公益属性行业的固定资本投资纳入评价指标,其中,具有公益性质的行业包括教育、卫生和社会工作以及公共管理、社会保障和社会组织。

根据上文关于新型基础设施及其子系统的内涵阐述,将子系统划分为信息基础设施、融合基础设施、创

新基础设施三类,共 29 个细分指标,具体内容见表 1。

表 1 中国新型基础设施评价体系

系统层	准则层	一级指标层	二级指标层	指标单位
新型基础设施	信息基础设施	网络设施	移动电话普及率	部/百人
			长途光缆线路长度	万千米
			每平方千米光缆长度	千米/平方千米
			互联网普及率	%
		算力设施	人均域名	个/人
			局用交换机容量	万门
			互联网宽带接入端口	万个
			网页	万个
		新技术设施	集成电路产量	万块
			信息传输、计算机服务和软件业固定资产投资	亿元
			信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员	万人
			信息传输、软件和信息技术服务业法人单位	个
	融合基础设施	智慧气象	农业气象观测业务站点	个
			自动气象站站点	个
		智能家居	数字电视用户	万户
			有线广播电视用户	万户
		智能交通	公共汽车运营	辆
			农村投递路线	千米
	创新基础设施	科学研究	城市投递路线	千米
			R&D 人员全时当量	人/年
			基础研究投入金额	万元
			应用研究投入金额	万元
		技术开发	技术市场成交额	亿元
			试验发展	万元
		产品研制	高等学校 R&D 课题	项
			企业有效发明专利情况	件
		公益投资	教育固定资产投资	亿元
			卫生和社会工作固定资产投资	亿元
			公共管理、社会保障和社会组织固定资产投资	亿元

(二) 数据处理及测算

根据表 1 各个层级指标内涵,本文核算了 2010—2020 年 31 个省份新型基础设施整体及其子系统水平。关于数据作以下说明:缺失数据(例如城市投递路线、域名数及网页数)采用插补法补齐数据;在后续使用熵权法计算新型基础设施的过程中,为满足算法要求,将对数值为 0 的指标进行非负平移。数据来源于国家统计局和《中国统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》《中国电子信息产业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》等年鉴。熵权法是信息理论在经济学方面的应用,可以用来计算信息的不确定性和随机性^[55]。相比于其他研究方法,该方法能够客观地反映不同指标间的差异性和重要程度,尽可能地减少主观因素的影响。具体步骤如下:第一,为了克服主观权重的主观性,本文首先对选取的变量进行标准化处理,然后计算得到各省份每年第 j 项指标的比重 p_{ij} ;第二,根据 p_{ij} 得到第 j 项指标的熵值 f_j ,该指标越大,第 j 项指标的信息熵越大,所含的信息量越少;第三,根据熵值 f_j 得到第 j 项指标的信息冗余度;第四,将信息冗余度归一化,得到每个指标的熵权,并得到 i 省份的测算结果。

$$\begin{cases}
 r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{1j}, \dots, x_{nj})}{\max(x_{1j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, \dots, x_{nj})} \\
 p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \\
 f_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \\
 g_j = 1 - f_j \\
 w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \\
 y_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij}
 \end{cases} \quad (1)$$

三、中国新型基础设施测算结果分析

(一) 中国新型基础设施水平及子系统分析

图1和表2为2010—2020年中国新型基础设施及三类子系统的测算结果。根据测算结果,中国新型基础设施指数位于13.2485~26.1895,从2010年到2020年增长了97.68%,年增长率达7.05%,表明中国新型基础设施建设水平不断提高。从具体演变过程来看,其变化趋势呈现明显的快速增长、小幅波动的两阶段特征。中国新型基础设施指数在2011年后增长明显,这在很大程度上是由于2011年工业和信息化部等五部门印发的《关于加快推进信息化和工业化深度融合的若干意见》的推动。2014—2016年中国新型基础设施指数的增长同样明显。为加强信息与通信技术建设,工业和信息化部、国家发展和改革委员会于2014年、2015年、2016年分三批选择117个城市作为“宽带中国”示范城市,这推动了中国新型基础设施建设以及传统基础设施升级改造。此后,中国新型基础设施进入小幅波动阶段,说明现阶段新型基础设施的建设与政策倾斜力度挂钩。

从子系统核算结果来看,融合基础设施指数位于7.5085~10.4712,从2010年的7.5085到2020年的10.4712,增长了39.46%,年均增长率为3.38%。后期整体发展较为平稳,说明2016年后传统基础设施的数字化转型已基本完成。在国家大数据战略、“互联网+”行动计划等政策支持下,信息基础设施发展较快,与融合基础设施差距快速缩小,整体位于3.2582~7.8864,从2010年的3.2582到2020年的7.8864,增长了1.42倍,年均增长率为9.24%,这意味着目前推进信息基础设施建设是重点方向。创新基础设施指数较低,整体位于2.4818~7.8319,2010—2012年呈倒V型发展,之后稳定上升,2020年略超2011年峰值水平,2010—2020年增长了2.16倍,年均增长率为12.18%,这很大程度上是由于其涉及创新研发过程,对资金需求大且研发周期长。另外,由于创新基础设施强调公益性,对民间资本的吸引力有限。从直观上看,各年融合基础设施指数最大,信息基础设施次之,创新基础设施最小,但三者差距呈缩小态势,说明中国新型基础设施建设很大程度上依赖于对传统基础设施的升级改造,但随着时间的推移,融合基础设施和创新基础设施的带动作用凸显。

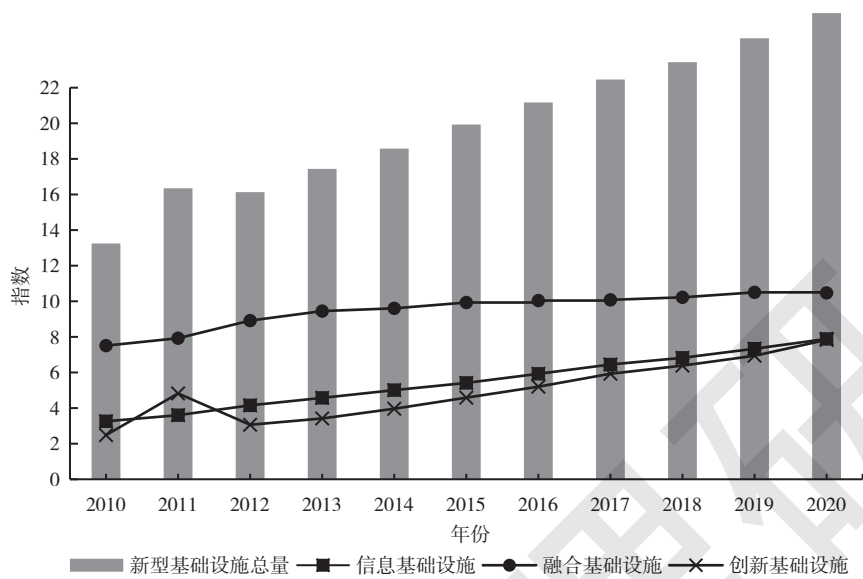


图1 新型基础设施及其子系统的演变趋势

表2 新型基础设施及其子系统测算结果

年份	信息基础设施	融合基础设施	创新基础设施	新型基础设施总量
2010	3.258 2	7.508 5	2.481 8	13.248 5
2011	3.601 9	7.925 9	4.822 1	16.349 9
2012	4.154 1	8.915 6	3.062 1	16.131 8
2013	4.573 7	9.449 0	3.417 5	17.440 2
2014	5.009 2	9.604 6	3.963 4	18.577 3
2015	5.413 7	9.930 4	4.585 4	19.929 6
2016	5.925 9	10.040 6	5.202 1	21.168 6
2017	6.447 9	10.080 7	5.928 8	22.457 5
2018	6.825 1	10.222 1	6.385 6	23.432 8
2019	7.335 3	10.501 8	6.939 7	24.776 8
2020	7.886 4	10.471 2	7.831 9	26.189 5

(二) 中国新型基础设施省际测算结果

图2为2020年中国31个省份新型基础设施的测算结果,表3列示了2010年、2015年、2020年各省份测算结果。

1. 各省份新型基础设施分布情况

如图2所示,2020年新型基础设施总量位于0.214 9~2.133 9,均值为0.844 8,各省份之间差异较大,标准差为0.436 6。参照陈景华等(2020)^[56]的研究,根据均值(E) ± 0.5 标准差(SD)以及均值(E),将结果由高到低划分为先进组(1.063 1, ∞]、高标组(0.844 8,1.063 1]、进步组(0.626 5,0.844 8]和一般组(0,0.626 5]。新型基础设施指数处于先进组的省份有广东、江苏、山东、四川、北京、浙江、河南、湖南、湖北、河

北;高标组包括3个省份,得分结果由高到低分别为福建、安徽、陕西;新型基础设施指数位于进步组的共有上海、广西、云南、江西、贵州、辽宁、黑龙江7个省份;新型基础设施指数位于一般组的包括吉林、内蒙古、重庆、山西、新疆、甘肃、天津、青海、海南、宁夏、西藏共11个省份。这10个省份处于先进组的主导因素有所差别:广东、江苏、山东、四川、北京、浙江主要归因于高新技术发展,河南、湖南、湖北和河北主要归因于对交通、能源、水利等传统基础设施的升级改造。可以发现,技术优势和传统基础设施存量优势是推动新型基础设施建设的关键因素。

2. 各省份新型基础设施子系统分布趋势

信息基础设施指数均值为0.2544,高于均值的省份有10个,排名前五的省份为广东、北京、江苏、浙江、上海,小于均值的省份共有21个,排名后10位的省份信息基础设施均小于0.2,说明绝大部分省份信息基础设施存在较大的提升空间。融合基础设施指数均值为0.3378,高于均值的省份占比为35.48%,其中位于东、中和西部地区的省份分别为5个、4个和2个。后三名分别为青海、宁夏、海南,说明这三个省份现阶段传统基础设施存量不足,仍应重点推进传统基础设施建设。创新基础设施指数均值为0.1167,排名前三的省份为广东、北京、江苏,高于均值的省份有10个,其中东部地区占50%。后五名为新疆、海南、宁夏、青海、西藏,这几个省份的主导产业以农业、旅游业为主,缺乏技术支持,并且创新基础设施的公益性加大了吸引民间资金的难度,因此,应在考虑当地禀赋的基础上加大财政支持力度。从图2可以看出,各省份子系统波动较大,对应的标准差分别为创新基础设施(0.1920)、融合基础设施(0.1694)、信息基础设施(0.1084)。

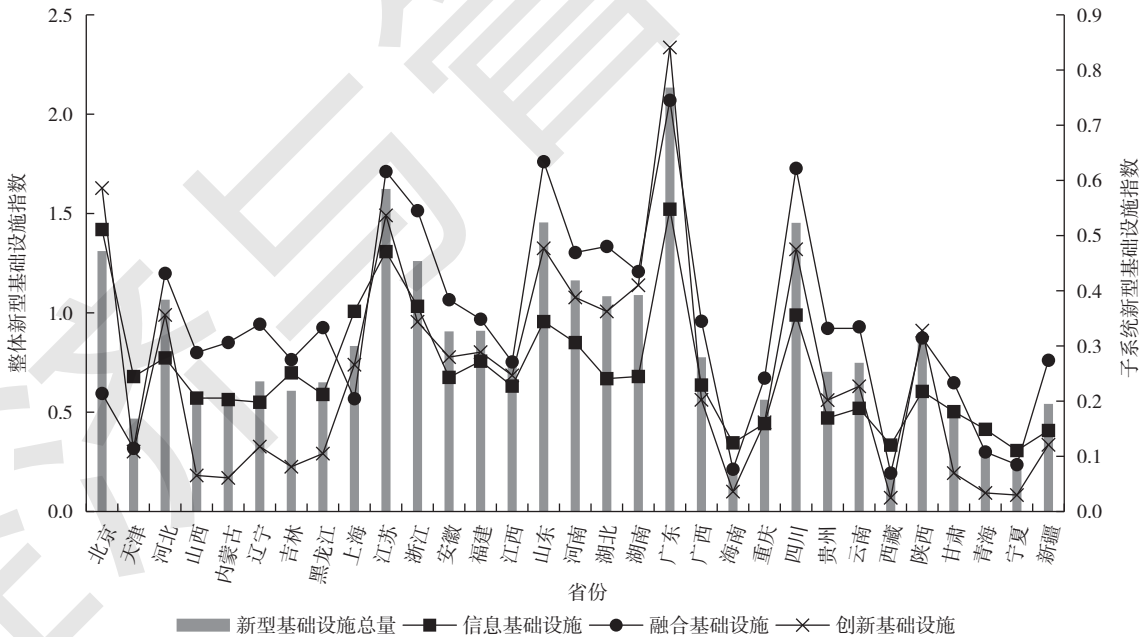


图2 2020年各省份新型基础设施及其子系统分布

表3 各省份新型基础设施子系统测算结果

省份	2010 年			2015 年			2020 年		
	信息	融合	创新	信息	融合	创新	信息	融合	创新
北京	0.229 3	0.145 8	0.194 4	0.432 9	0.181 2	0.343 2	0.511 0	0.213 9	0.586 1

表3(续)

省份	2010 年			2015 年			2020 年		
	信息	融合	创新	信息	融合	创新	信息	融合	创新
天津	0.103 9	0.073 6	0.049 7	0.152 2	0.105 3	0.109 6	0.244 6	0.114 5	0.108 6
河北	0.098 0	0.352 7	0.074 1	0.171 8	0.436 1	0.121 5	0.278 4	0.431 5	0.356 2
山西	0.087 3	0.234 4	0.051 8	0.143 9	0.276 7	0.063 7	0.205 6	0.288 0	0.065 3
内蒙古	0.088 1	0.213 9	0.057 2	0.145 4	0.278 5	0.086 6	0.202 9	0.306 3	0.060 9
辽宁	0.130 1	0.277 9	0.104 5	0.196 7	0.366 1	0.116 0	0.198 0	0.339 4	0.117 6
吉林	0.073 0	0.208 4	0.047 3	0.130 5	0.269 8	0.094 9	0.251 3	0.275 3	0.081 2
黑龙江	0.081 8	0.275 6	0.064 4	0.150 8	0.348 1	0.089 2	0.212 2	0.333 3	0.104 9
上海	0.224 0	0.128 7	0.086 0	0.309 6	0.179 2	0.155 1	0.362 8	0.204 4	0.266 0
江苏	0.217 6	0.499 5	0.156 8	0.349 0	0.626 6	0.362 2	0.471 0	0.616 1	0.536 6
浙江	0.192 4	0.346 0	0.096 8	0.287 5	0.503 4	0.224 2	0.371 9	0.545 2	0.343 8
安徽	0.074 1	0.251 3	0.091 9	0.145 2	0.342 3	0.168 3	0.243 1	0.383 8	0.279 8
福建	0.139 9	0.233 5	0.058 6	0.212 9	0.315 8	0.149 0	0.272 4	0.348 5	0.288 8
江西	0.050 3	0.189 2	0.047 1	0.108 2	0.271 8	0.105 7	0.227 3	0.271 1	0.246 6
山东	0.130 1	0.462 5	0.239 6	0.222 5	0.596 1	0.419 2	0.344 2	0.633 9	0.477 0
河南	0.098 0	0.352 0	0.092 3	0.162 5	0.455 9	0.182 5	0.306 1	0.469 3	0.387 9
湖北	0.094 6	0.367 7	0.139 6	0.154 8	0.455 0	0.184 5	0.240 8	0.480 4	0.362 6
湖南	0.094 4	0.338 9	0.082 7	0.148 0	0.477 1	0.230 7	0.244 7	0.434 9	0.410 0
广东	0.272 4	0.523 9	0.158 5	0.384 4	0.665 9	0.346 6	0.547 8	0.745 2	0.840 9
广西	0.077 8	0.228 3	0.057 3	0.135 7	0.301 5	0.121 3	0.229 1	0.344 8	0.202 4
海南	0.048 3	0.045 7	0.013 3	0.097 8	0.067 3	0.013 3	0.124 5	0.076 6	0.036 1
重庆	0.071 8	0.155 5	0.057 5	0.109 1	0.209 8	0.083 8	0.159 3	0.241 7	0.161 7
四川	0.104 1	0.404 6	0.134 3	0.188 3	0.581 7	0.209 8	0.356 0	0.621 9	0.475 2
贵州	0.057 8	0.165 9	0.019 0	0.106 8	0.241 1	0.058 4	0.169 5	0.331 9	0.201 9
云南	0.059 0	0.248 7	0.055 1	0.118 5	0.335 8	0.116 3	0.187 0	0.334 7	0.226 9
西藏	0.031 7	0.064 0	0.008 1	0.074 3	0.064 8	0.027 7	0.120 3	0.069 6	0.024 9
陕西	0.093 2	0.243 7	0.136 9	0.146 8	0.282 5	0.186 8	0.217 6	0.314 6	0.327 8
甘肃	0.055 6	0.170 0	0.064 4	0.107 7	0.261 0	0.097 9	0.181 0	0.233 3	0.069 6
青海	0.055 2	0.063 4	0.007 7	0.108 3	0.094 9	0.032 9	0.148 9	0.107 9	0.033 7
宁夏	0.048 5	0.040 0	0.010 2	0.092 8	0.074 7	0.017 4	0.110 5	0.084 9	0.029 8
新疆	0.076 1	0.203 1	0.024 9	0.118 7	0.264 5	0.067 5	0.146 8	0.274 1	0.120 9

四、新型基础设施区域差异及分解

为进一步反映中国新型基础设施的区域差异并揭示其来源,本文采用达格姆(Dagum)基尼系数及其按子群体分解的方法,对2010—2020年中国四大区域新型基础设施的地区差距进行分解。达格姆(Dagum, 1997)^[57]提出的基尼系数及其分解方法最初应用在衡量收入不平等问题上,随后扩展至度量区域发展差异。

相比于传统基尼系数和泰尔指数,该方法通过将总体差异 G 分解为区域内差异贡献 G_{within} 、区域间净值差异贡献 G_{between} 以及超变密度贡献 G_{overlap} , 有效克服样本数据重叠问题,并能直接反映分解结果的动态变化。可通过以下计算求得:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^k |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2\mu} \quad (2)$$

$$G_{jj} = \frac{1}{2\mu_j n_j^2} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}| \quad (3)$$

$$G_{\text{within}} = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (4)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\mu_j + \mu_h)} \quad (5)$$

$$G_{\text{between}} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (6)$$

$$G_{\text{overlap}} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (7)$$

其中, G_{jj} 为区域内基尼系数, G_{jh} 为区域间基尼系数。 y_{ji} (y_{hr}) 是地区 j (h) 内任意省份的新型基础设施水平, μ 为全国该指标的均值, n_j (n_h) 为地区 j (h) 内省份的个数, n 和 k 分别表示划分区域的个数和省份的数量, i 、 r 分别代表不同的省份。 $p_j = \frac{n_j}{n}$, $s_j = \frac{n_j \mu_j}{n \mu}$, $j = 1, 2, \dots, k$, $D_{jh} = (d_{jh} - p_{jh}) / (d_{jh} + p_{jh})$ 表示两区域间新型基础设施之间的交互作用。 $d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x)$ 为区域间新型基础设施发展差值, 即 $y_{ji} - y_{hr} > 0$ 条件下样本值加总的数学期望。 $p_{jh} = \int_0^\infty dF_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x)$, 表示 $y_{hr} - y_{ji} > 0$ 条件下样本值加总的数学期望。具体测算结果如表 4 所示。

(一) 各区域内部的新型基础设施差异

首先,从全国层面看,中国新型基础设施指数的整体基尼系数较高,总体呈现四轮“上升—下降”的增长态势,说明中国各省份新型基础设施建设水平存在着较为明显的不均衡现象,且程度不断加深。从具体表现看,新型基础设施指数在 2010—2011 年大幅上升,在 2012—2013 年快速下降;接着在 2014 年快速攀升,此后维持小幅波动直至 2019 年再次攀升,在 2020 年小幅下降。其次,从不同区域看,所有区域的地区内基尼系数均未超过全国的整体基尼系数,说明区域内的不均衡程度较低,更需关注区域间差异。

由表 4 可以看出,中国新型基础设施指数存在明显的区域差异。从演化过程来看,东部地区基尼系数在波动中呈现增长趋势,具体表现为:在 2011 年达到样本期间的峰值,随后在 2012—2017 年呈现波动下降态势,于 2017 年达到最低,2018 年后出现反弹趋势,在样本期间基尼系数增加了 0.021 2,年平均增长率为 -0.07%。中部地区基尼系数在两轮“上升—下降”过程中呈下降趋势,具体表现为:2010—2011 年、2014—2018 年为上升趋势;2011—2013 年、2018—2020 年为下降趋势。在此期间,基尼系数增加了 0.024 8,年平均增长率为 -0.43%。西部地区在经历“两升一降”过程中表现为上升趋势,具体表现为:在 2010—2013 年

呈“急速上升—急速下降”趋势,此后该地区基尼系数由2013年的0.2529降至2015年的0.2444,在2016年后呈上升态势,年平均增长率为0.18%。东北部地区在急剧上升后呈明显下降趋势,具体表现为:在2011年达到最高值后,除在2019年微弱上升外,其余年份均呈下降趋势,在观测期间基尼系数下降了0.1036,年平均增长率为-16.23%。整体而言,东、西部区域内差异在波动中扩大,中、东北部地区差异呈明显缩小趋势。从数值大小来看,观测期间内东部地区的样本均值最高,西部地区次之,中部地区位居第三,东北部地区最低,其均值分别为0.2627、0.2592、0.1285、0.0704,表明新型基础设施建设水平区域内不均衡问题较为突出的是东、西部地区,其次是中部地区,最后是东北部地区。可能的原因在于,东部地区内部资源集中在沿海地区,西部地区内部资源集中在成渝地区双城经济圈,技术要素产生的虹吸效应使得沿海地区的技术创新和技术吸纳能力方面都领先于其他地区,而中部地区和东北部地区处于内部发展水平较低且相差不大的均衡发展阶段。

(二) 各区域间的新型基础设施差异

根据达格姆(1997)^[57]提出的组间基尼系数测算中国区域间的差异程度,在演变过程方面,除了中-东北部地区间基尼系数核算结果,东-西部、东-中部、东-东北部、中-西部以及西-东北部地区间基尼系数发展趋势较为相似,总体呈现“急速升降—波动下降—短暂反弹”的特征,年平均增长率分别为0.02%、-0.15%、0.94%、0.27%、-0.40%。中-东北地区间基尼系数趋势呈现近似N型,年平均增长率为1.59%。在数值比较方面,样本观测期内东-西部地区间基尼系数远高于其他地区,东-东北部、东-中部、西-东北部、中-西部地区间基尼系数较为接近,而中-东北部地区间基尼系数明显低于其他地区,其样本期的均值分别为0.3209、0.2645、0.2397、0.2335、0.2398、0.1318,变化幅度分别为0.02%、9.80%、-1.52%、-3.92%、2.71%和17.07%。整体而言,地区间新型基础设施差异主要来源于东部地区与其他地区的差异,且差异有不断扩大的趋势,并以东—西部地区间差异最为明显。

(三) 新型基础设施的总体差异及分解

将整体样本差异分解为区域间贡献、区域内贡献以及区域间超变密度贡献,可以看出,观测期内中国新型基础设施指数的组间基尼系数最大,变动区间为48.25%~57.74%,平均贡献率为51.31%,具体而言,在2011年达到最高值后,以2013年为分界点表现出先降后升的趋势,在样本期末上升了0.38%。以上分析说明,区域间差异是中国新型基础设施指数总体差异的主要来源,与前文得出的结论一致。组内差异由样本初期的24.21%增至2013年的25.65%,之后缓慢降至2015年的25.04%,随后以2018年为分界点先升后降,在2019年以前区域内差异贡献小于区域间超变密度贡献,变动区间位于24.21%~25.69%,平均贡献率为25.36%,说明区域内差异对总体差异的贡献较小,不是造成区域差异的主要原因。区域间超变密度的贡献率演变趋势与区域间差异的贡献率形态呈水平对称,观测期内的贡献率为18.05%~25.92%,平均贡献率为23.33%。结合上文结论可见,中国新型基础设施建设水平总体空间差异的最主要来源是区域间差异,区域内差异次之,最后是超变密度差异。

区域间差异是导致新型基础设施指数区域差异的最主要因素,原因主要有:第一,资源禀赋是区域间差异的基本因素,决定了各地主导产业的先天差异,拉大了后续各地区技术水平与传统基础设施存量的差异;第二,资金要素的天然逐利性使得金融资本与社会资本集中于资本回报率高的东部地区,极大地促进了东部地区新型基础设施建设;第三,人力资本为各地技术创新以及基础设施改建提供了动能,目前人口流动仍然以东部地区为主要流入地;第四,根据前文的分析,政策倾斜与财政支持力度是新型基础设施建设的保障

和重要支撑,东部地区常作为政策先行试点地区,并且地方财政充足,因此拉大了与其他地区的差异。

表 4 中国新型基础设施的基尼系数及其分解

年份	整体	地区内基尼系数				地区间基尼系数						贡献率/%		
		东部	中部	西部	东北	东-中	东-西	东-东北	中-西	中-东北	西-东北	地区间	地区内	超变密度
2010	0.275 8	0.264 3	0.132 8	0.269 6	0.096 9	0.238 3	0.324 0	0.254 3	0.246 5	0.126 8	0.248 2	50.088 3	25.736 1	24.175 6
2011	0.307 7	0.278 5	0.136 9	0.273 3	0.120 1	0.265 8	0.357 8	0.282 2	0.253 4	0.135 9	0.256 3	57.736 4	24.213 2	18.050 5
2012	0.268 9	0.258 4	0.129 7	0.250 4	0.104 5	0.236 2	0.314 7	0.250 9	0.231 9	0.125 3	0.233 9	51.370 4	25.386 4	23.243 2
2013	0.267 6	0.262 8	0.115 2	0.252 9	0.092 6	0.236 7	0.314 7	0.253 5	0.229 4	0.113 2	0.234 2	50.095 2	25.650 8	24.254 0
2014	0.271 2	0.263 8	0.113 8	0.252 8	0.080 9	0.239 3	0.319 1	0.253 5	0.230 4	0.109 3	0.236 9	51.413 9	25.299 0	23.287 1
2015	0.268 6	0.257 2	0.120 3	0.244 4	0.069 4	0.235 7	0.313 6	0.255 3	0.229 2	0.118 8	0.219 7	52.594 1	25.042 1	22.363 9
2016	0.271 0	0.262 8	0.125 4	0.248 1	0.056 3	0.238 9	0.315 3	0.263 6	0.232 0	0.126 7	0.218 1	51.976 0	25.360 4	22.663 6
2017	0.268 6	0.257 8	0.136 6	0.251 6	0.054 8	0.234 2	0.308 7	0.263 2	0.236 5	0.142 2	0.220 1	50.163 3	25.694 0	24.142 8
2018	0.274 9	0.260 1	0.138 6	0.261 1	0.037 0	0.238 0	0.313 2	0.273 3	0.242 0	0.146 9	0.226 6	48.247 8	25.830 4	25.921 9
2019	0.285 8	0.261 3	0.137 3	0.271 6	0.045 4	0.238 7	0.324 4	0.281 0	0.253 7	0.155 9	0.236 4	50.303 6	25.316 2	24.380 2
2020	0.283 5	0.262 6	0.127 2	0.275 3	0.016 5	0.234 7	0.324 1	0.279 2	0.253 2	0.148 4	0.238 5	50.467 9	25.433 8	24.098 3

五、新型基础设施动态轨迹及稳态预测

(一) 测度方法

重心概念起源于力学,在经济学中的概念指区域内各方力量均衡的一点,是评估国家或区域发展水平、政策空间效果的指标之一,评估的维度包括重心的移动方向及移动距离^[58-59]。该方法能够直观地反映出新型基础设施建设的重点区域以及在空间上的移动特征。

1. 区域重心

本文假设一个区域由 n 个次级区域组成,其中第 i 个次级区域中心的坐标为 (x_i, y_i) , m_i 为区域 i 的某种属性的量值(本文为各省份新型基础设施指数),则该区域的重心坐标 $(\bar{X}, \bar{Y})$ 可以表示为:

$$\begin{cases} \bar{X} = \frac{\sum m_i x_i}{m_i} \\ \bar{Y} = \frac{\sum m_i y_i}{m_i} \end{cases} \tag{8}$$

2. 区域重心移动方向

在确定重心移动方向时,假设相对于第 k 年,第 $k + 1$ 年移动方向角度为 θ 。 θ 可由下式求得:

$$\theta = \arctan [(\bar{X}_{k+1} - \bar{X}_k) / (\bar{Y}_{k+1} - \bar{Y}_k)] + n\pi/2, n = 0, 1, 2 \tag{9}$$

式(9)中的计算结果为弧度,需转化为角度。参照冯宗宪和黄建山(2006)^[60]以正东方向为 0° ,逆时针旋转为正,顺时针旋转为负,则可将重心移动方向划为四个方向:第一象限($0^\circ, 90^\circ$)为东北方向,第二象限

(90°,180°)为西北方向,第三象限(-180°,-90°)为西南方向,第四象限(-90°,0°)为东南方向(见图3)。记经度上的变化 $\partial=\overline{X}_{k+1}-\overline{X}_k$,纬度上的变化 $\beta=\overline{Y}_{k+1}-\overline{Y}_k$,若 $\left|\frac{\partial}{\beta}\right|<1$,说明重心移动方向位于(-45°,45°)、(135°,180°)、(-135°,-180°);若 $\left|\frac{\partial}{\beta}\right|>1$,说明重心移动方向位于(45°,135°)、(-45°,-135°);若 $\left|\frac{\partial}{\beta}\right|=1$,说明重心沿着45°或135°对角线移动。

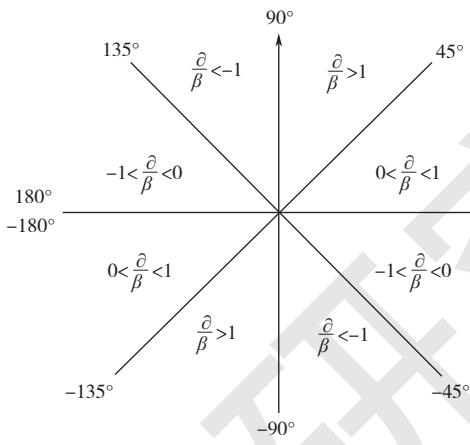


图3 重心移动方向坐标系

3. 区域重心移动距离

某区域第k+1年相对于第k年的移动距离用d表示,则:

$$d=c\times\sqrt{\partial^2+\beta^2}$$
 (10)

其中,c为常数111.111,用来将地球表面坐标单位(°)转化为平面距离(千米)。c×∂表示重心在经度上的实际移动距离,c×β表示重心在纬度上的实际移动距离。当二者比值绝对值大于1,即 $\left|\frac{\partial}{\beta}\right|>1$ 时,表示重心在纬度上的变化快于在经度上的变化,意味着等时间内相比于东西方向,重心在南北方向的移动距离更大。

(二) 测度结果

根据以上计算分析步骤,采用各省会城市所在的地理坐标作为各省份的重心所在,并认为在观测期省会城市的地理坐标不变,将估算的各省份新型基础设施指数作为属性值,可求得各省份新型基础设施指数重心移动方向及移动距离,结果如表5和图4所示。

表5 中国新型基础设施重心移动方向与距离

类别	年份	空间位置/°		移动方向/°		移动距离/千米
		经度	纬度	数值	形式	
总量	2010	113.363 7	33.565 6			
	2011	113.706 0	33.437 9	-20.460 1	↘	40.603 4
	2012	113.306 3	33.546 4	-15.187 7	↖	46.025 5
	2013	113.253 3	33.527 4	19.792 3	↙	6.256 6
	2014	113.355 4	33.551 0	13.017 6	↗	11.640 5
	2015	113.263 3	33.426 7	53.463 1	↙	17.180 2
	2016	113.203 7	33.338 0	56.116 0	↙	11.879 8
	2017	113.045 0	33.207 3	39.467 7	↙	22.847 3
	2018	112.951 1	33.029 9	62.103 3	↙	22.299 2
	2019	113.028 5	32.950 1	-45.840 4	↘	12.357 9
	2020	113.060 1	32.971 8	34.458 8	↗	4.259 2

表5(续)

类别	年份	空间位置/°		移动方向/°		移动距离/千米
		经度	纬度	数值	形式	
信息	2010	113.843 4	33.497 6			
	2011	113.647 7	33.596 4	-26.781 8	↖	24.355 5
	2012	113.543 4	33.644 4	-24.706 9	↖	12.755 9
	2013	113.421 3	33.734 2	-36.338 0	↖	16.839 8
	2014	113.646 3	34.011 4	50.936 6	↗	39.673 6
	2015	113.484 2	33.683 1	63.724 0	↙	40.685 6
	2016	113.512 1	33.755 0	68.804 5	↗	8.574 4
	2017	113.458 0	33.720 6	32.451 1	↙	7.127 5
	2018	113.178 0	33.534 8	33.567 8	↙	37.342 7
	2019	113.067 1	33.433 8	42.311 5	↙	16.664 3
融合	2020	113.182 3	33.518 3	36.250 5	↗	15.870 6
	2010	112.963 8	33.482 6			
	2011	113.007 4	33.402 7	-61.405 3	↘	10.115 2
	2012	112.827 9	33.419 8	-5.465 0	↖	20.036 0
	2013	112.798 3	33.373 4	57.537 9	↙	6.121 6
	2014	112.905 4	33.337 4	-18.531 6	↘	12.557 2
	2015	112.879 1	33.360 1	-40.699 5	↖	3.861 0
	2016	112.890 5	33.294 5	-80.109 4	↘	7.393 0
	2017	112.847 6	33.220 1	60.053 7	↙	9.542 1
	2018	112.701 4	33.092 1	41.204 8	↙	21.598 4
创新	2019	112.757 9	33.094 6	2.525 0	↗	6.282 5
	2020	112.786 7	33.169 2	68.918 8	↗	8.892 1
	2010	113.947 5	33.900 4			
	2011	114.897 2	33.365 6	-29.383 9	↘	121.110 9
	2012	114.384 4	33.772 2	-38.405 7	↖	72.715 2
	2013	114.292 3	33.667 6	48.631 2	↙	15.479 3
	2014	114.083 3	33.481 1	41.742 0	↙	31.131 7
	2015	113.835 0	33.264 8	41.063 2	↙	36.585 6
	2016	113.457 9	32.945 4	40.268 5	↙	54.910 5
	2017	112.935 6	32.626 8	31.380 9	↙	67.976 9
	2018	113.108 1	32.391 0	-53.810 2	↙	32.464 6
	2019	113.392 8	32.220 3	-30.940 8	↘	36.875 2
	2020	113.299 8	32.158 4	33.652 3	↙	12.411 7

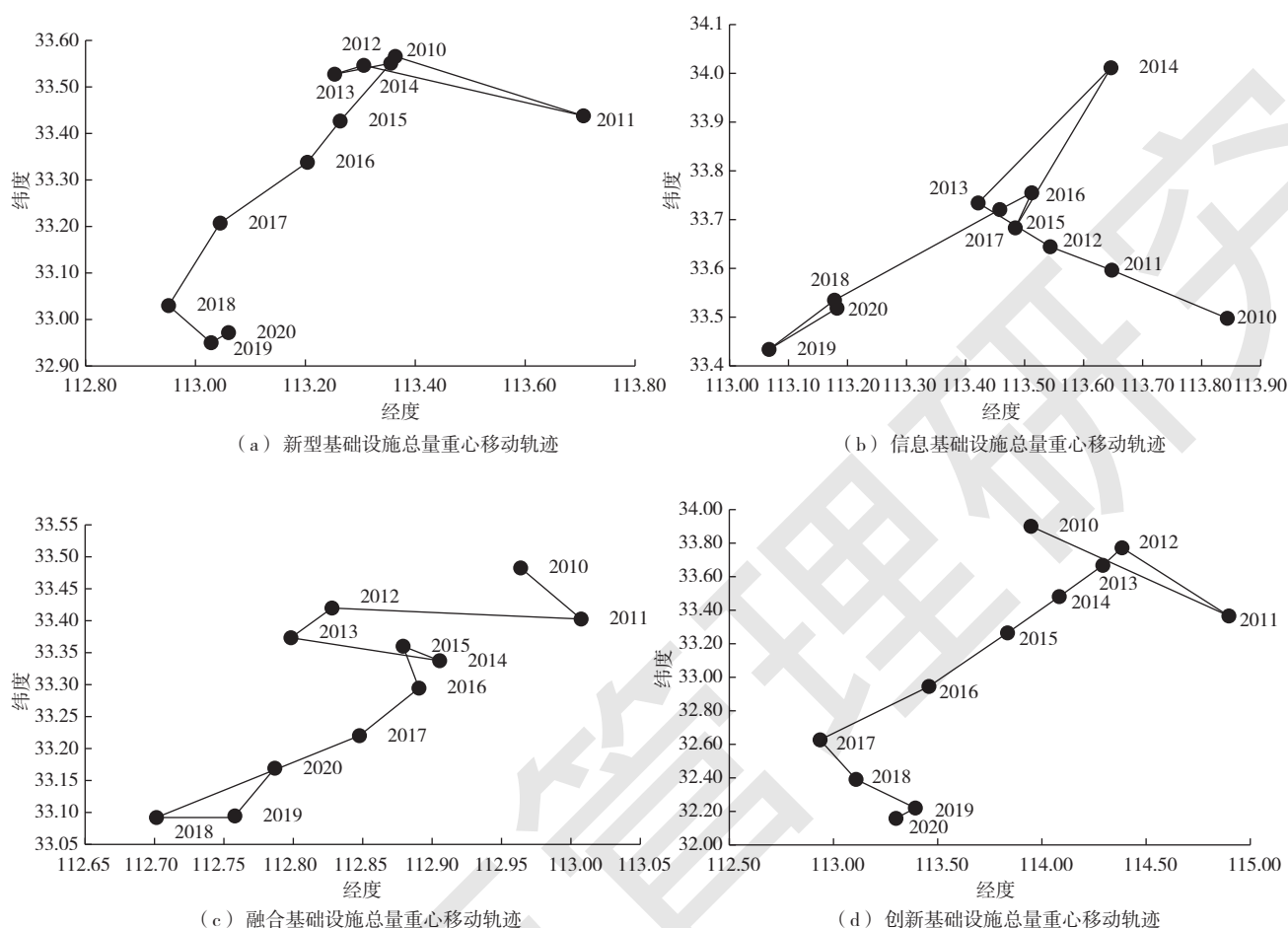


图4 新型基础设施及其子系统重心移动轨迹

首先,从整体来看,2010年以来,中国新型基础设施总量指数移动方向粗略呈现“第四象限→第二象限→第三象限”的移动特征,坐标重心由东经 113.363 7°、北纬 33.565 6°(河南省平顶山市叶县)变为东经 113.060 1°、北纬 32.971 8°(河南省南阳市社旗县),累计移动 195.349 7 千米,相对于基年向西南移动 74.102 4 千米,且向南移动的距离大于向西移动的距离。重心移动方向位于 $(45^{\circ}, 135^{\circ})$ 或 $(-135^{\circ}, -45^{\circ})$ 的占比 27.27%,而位于 $(-45^{\circ}, 45^{\circ})$, $(-180^{\circ}, -135^{\circ})$ 或 $(135^{\circ}, 180^{\circ})$ 内的占比 72.73%,说明中国新型基础设施指数整体以南北移动为主要方向、东西移动为次要方向。其次,从组成部分来看,各类新型基础设施移动重心均位于河南省。信息基础设施指数移动方向大致呈“第二象限→第一象限→第三象限”的特征,坐标重心由东经 113.843 4°、北纬 33.497 6°变为东经 113.182 3°、北纬 33.518 3°,累计移动 219.889 8 千米,相对于基年向西北移动 73.495 9 千米且以向西移动为主。融合基础设施指数移动方向呈“之”字形,坐标重心由东经 112.963 8°、北纬 33.482 6°向东经 112.786 7°、北纬 33.169 2°转移,累计移动 106.399 0 千米,相对于基年向西南移动 39.993 6 千米且以向南移动为主。创新基础设施指数以倒 V 型移动,坐标重心由东经 113.947 5°、北纬 33.900 4°变为东经 113.299 8°、北纬 32.158 4°,累计移动 481.661 5 千米,相对于基年向西南移动 206.501 0 千米,同样以向南移动为主。

总体来看,新型基础设施指数重心在中国中东部的河南省内且向西部和南部转移。为了更清晰地反映这一空间分布特点,本文以各省份为基本单元,分析 2010 年、2015 年和 2020 年的新型基础设施空间分布状态。

结果表明,中国新型基础设施分布整体逐渐形成以东部沿海地区及四川为密集区的双核心结构,具体而言:(1)2010年,处于高水平的省份仅包括广东。2015年开始,新型基础设施分布格局明显出现向南部和西部地区倾斜的特点,四川、湖北和湖南处于中高水平梯度,北京、山东、江苏、浙江、广东5个省份长期处于高水平梯度。2020年上海、河北、河南、安徽和福建进入中高水平梯度,此时处于中高水平及高水平的省份有北京、上海、山东、江苏、浙江、广东、四川、湖北、湖南、河北、河南、安徽、福建共13个省份。(2)从三个年份的分布情况来看,可以大致判断新型基础设施的地理分布特点。2010年以来中国新型基础设施布局变化明显,由东部沿海地区向内陆扩散,但整体来看仍呈现“东密西疏”的特点,得益于不断推进的西部大开发战略,四川自2015年后处于高水平,形成“东部沿海-四川”的双核心结构。具体原因在于,自1999年西部大开发战略提出以来,国家重大科研基础设施布局趋于完善,集聚了人力资本和具备比较优势的特色产业,在中央转移支付和专项资金的支持下,西部地区基础设施存量明显提高,从而具备传统基础设施向新型基础设施转型的存量基础。中国的市场化改革在空间上表现为由东部沿海向中西部推进的渐进式策略,使得东部地区的经济体量不断增长,加之具备的自然资源与区位优势,使得新技术不断聚集、迭代发展,而这一技术优势正是发展新型基础设施的关键要素。总体而言,新型基础设施呈“东部沿海-四川”的双核心结构的原因在于西部地区的存量优势和东部地区的技术优势。

以上分析表明新型基础设施在空间上存在明显的转移特征。本文进一步采用马尔可夫链揭示这一特征并将样本数据分为四组:\$(0,25\%]\$为低水平、\$(25\% \sim 50\%]\$为中水平、\$(50\%,75\%]\$为中高水平、\$(75\%,100\%]\$为高水平,并基于动态视角考察新型基础设施的转移结果。马尔可夫链在时间和状态离散的情况下,将连续的数据分为\$k\$个类型,并能反映每种类型的概率分布和变化趋势。若将\$T\$年的省际新型基础设施的概率分布表示为\$1 \times k\$的矩阵\$F_t = [F_{1t}, F_{2t}, \dots, F_{kt}]\$,观测期各省份新型基础设施指数可表示为\$k \times k\$的马尔可夫转移概率矩阵。

假设马尔可夫过程\$\{X(t), t \in T\}\$的状态空间为\$M\$,则由状态\$i\$到\$j\$的状态转移概率可表示为\$p_{ij} = p\{x_t + 1 = j | x_t = i, i, j \in M\}\$。\$p_{ij}\$可由\$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}\$求得,其中\$n_{ij}\$为观测期内在时刻\$t\$属于状态\$i\$的研究对象在\$t+1\$时刻转化为状态\$j\$的数量总和,\$n_i\$表示观测期内属于状态\$i\$的研究对象的数量。由于空间溢出效应对区域发展有重要的影响作用^[59,61],在传统马尔可夫链的基础上,引入空间滞后的概念,从而生成\$k\$个\$k \times k\$的条件转移矩阵,具体公式为:

$$L_a = \sum_{b=1}^n w_{ab} y_b \quad (11)$$

其中,\$L_a\$表示省份\$a\$的空间滞后项,\$n\$为省份个数,\$w_{ab}\$表示省份\$a\$和省份\$b\$的空间权重矩阵,本文采用经济地理距离空间权重矩阵。为检验是否有必要将空间因素纳入分析,本文采用卡方检验进行验证:

$$Q_b = -2 \log \prod_{l=1}^2 \prod_{i=1}^k \prod_{j=1}^k \left(\frac{p_{ij}^{t,t+m}}{p_{ij}^{t,t+m} l} \right)^{n_{ij} l} \quad (12)$$

其中,\$k\$为分组类型,\$Q\$渐进服从卡方分布,自由度为\$k \times (k-1)\$除去转移概率为0的个数。\$p_{ij}^{t,t+m}\$表示跨期为\$m\$的情况下对应的两种情况下的元素值,\$n_{ij}l\$为属于此转移的区域数量之和,\$p_{ij}^{t,t+m}l\$为两种情况合并后对应的概率值。

在转移达到某个时间节点后,系统将达到终极状态,该状态可借助下式求得:

$$\begin{cases} \lim_{k \rightarrow \infty} \pi(k) = \lim_{k \rightarrow \infty} \pi(k+1) = \pi \\ \pi(k) = \pi(k-1)P = \dots = \pi(0)P^k \end{cases}$$

(13)

其中, π 为终极状态矩阵。若满足 $\sum_{i=1}^n \pi_i = 1, 0 \leq \pi_i \leq 1$ 以及 $\pi = \pi P$, 则可得到终极状态概率。

代入本文估算数据,结果如表 6 和表 7 所示。表中对角线上的元素反映的是新型基础设施指数一定程度上维持不变的概率,而非对角线上的元素则表示新型基础设施指数在不同类型之间所发生转移的概率。分析表 6 传统马尔可夫转移概率矩阵可以发现以下特征。第一,在跨期为 1 年和 3 年的情况下,对角线上的元素大于非对角线,呈俱乐部收敛特征,维持稳定的概率为 53.73%~100%,按照稳定概率由小到大排序为中低水平地区、中高水平地区、低水平地区、高水平地区,说明新型基础设施建设存在一定的路径依赖和限制。第二,随着时间跨度提升,从第 4 年开始,对角线上的元素部分小于非对角线上的元素,当时间跨度为 7 年时,对角线上的元素全部小于非对角线上的元素,说明处于不同新型基础设施水平的省份之间出现跨越式迁移的概率增大。原因可能在于,区域经济发展具有连续性,短期内受资源禀赋、产业基础、经济活动等因素的制约,难以实现跨越式发展。随着区域自我发展以及生产要素的跨区流动,新型基础设施实现跨越式发展成为可能。第三,处于不同类别的省份向上跃迁的时间不同。对于跨越式迁跃而言,低水平地区在跨期 3 年实现跨越式迁移,而中低水平地区在跨期 5 年实现。对于邻近迁跃而言,跨期 1 年时,处于四个类别的省份均有向邻近类别转移的可能。直到跨期 5 年,向邻近类别转移的概率明显大于保持稳定的概率。未来 1 年、3 年和 5 年情况下低水平地区向中低水平转移的概率分别为 13.58%、36.11%、41.94%,中低水平地区向中高水平转移的概率分别为 18.75%、46.27%、63.46%,中高水平地区向高水平转移的概率分别为 15.38%、42.62%、72.09%。值得注意的是,高水平类别在不同跨期下表现出明显的俱乐部趋同现象,说明新型基础设施发展水平高的地区具有更强的稳定性。

表 6 传统马尔可夫转移概率矩阵

时期跨度 t /年	类别	低	中低	中高	高
1	低	0.864 2	0.135 8	0.000 0	0.000 0
	中低	0.000 0	0.800 0	0.187 5	0.012 5
	中高	0.000 0	0.012 8	0.833 3	0.153 8
	高	0.000 0	0.000 0	0.028 2	0.971 8
3	低	0.625 0	0.361 1	0.013 9	0.000 0
	中低	0.000 0	0.537 3	0.462 7	0.000 0
	中高	0.000 0	0.000 0	0.573 8	0.426 2
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
5	低	0.483 9	0.419 4	0.096 8	0.000 0
	中低	0.000 0	0.307 7	0.634 6	0.057 7
	中高	0.000 0	0.000 0	0.279 1	0.720 9
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0

表6(续)

时期跨度 t /年	类别	低	中低	中高	高
7	低	0.375 0	0.416 7	0.208 3	0.000 0
	中低	0.000 0	0.166 7	0.527 8	0.305 6
	中高	0.000 0	0.000 0	0.166 7	0.833 3
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0

式(12)结果为 $Q_b = 126.83$, 明显拒绝原假设, 证明新型基础设施存在明显的空间溢出效应。表 7 为将空间因素纳入传统马尔可夫链后的结果, 主要显示以下特征。第一, 相同跨期但不同空间滞后类型下, 同一类别转移概率不同, 表明在邻近省份新型基础设施不同水平的影响下, 本省份水平保持稳定或迁跃的概率不同。以低水平类型为例, 在时间跨度为 1 年时, 低水平省份向中低水平迁跃的概率分别为 21.43%、16.13%、6.45%和 20%, 说明新型基础设施的转移在空间上受周围地区的影响。在中高水平和高水平下的结果与表 6 同期结果有较大差异, 在外部环境为中高的条件下, 进一步加剧了低水平省份发展的路径依赖, 但在外部环境为高水平的条件下会打破这一限制, 使得低水平省份整体向更高水平迁移。第二, 相同跨期但不同空间滞后类型下, 不同类别转移概率也呈差异特征。同样, 在跨期 1 年的情况下, 中低水平省份向中高水平转移的概率分别为 50%、18.75%、16.67%、8.33%, 而中高水平省份向高水平转移的概率为 11.11%、22.22%、6.67%、25%。在跨期 5 年的情况下, 中低水平省份向中高水平转移的概率变为 83.33%、61.29%、72.73%、25%, 中高水平省份向高水平转移的概率分别为 77.78%、85.71%、36.36%、100%。第三, 相同空间滞后类型但不同跨期情况下, 随着跨期延长, 大部分对角线上的元素小于非对角线上的元素, 各类别新型基础设施水平保持稳定的概率递减, 而向上一等级转移的情况呈差异化特征, 说明新型基础设施具有等级迁跃潜力。以中低水平空间滞后环境为例, 除高水平类别外, 低、中低和中高类别新型基础设施水平呈下降趋势。整体来看, 与传统马尔可夫链的结果基本保持一致。

表 7 空间马尔可夫转移概率矩阵

空间滞后	类别	$t = 1$				$t = 3$			
		低	中低	中高	高	低	中低	中高	高
低	低	0.785 7	0.214 3	0.000 0	0.000 0	0.428 6	0.571 4	0.000 0	0.000 0
	中低	0.000 0	0.500 0	0.500 0	0.000 0	0.000 0	0.333 3	0.666 7	0.000 0
	中高	0.000 0	0.000 0	0.888 9	0.111 1	0.000 0	0.000 0	0.555 6	0.444 4
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
中低	低	0.838 7	0.161 3	0.000 0	0.000 0	0.612 9	0.354 8	0.032 3	0.000 0
	中低	0.000 0	0.781 3	0.187 5	0.031 3	0.000 0	0.531 3	0.468 8	0.000 0
	中高	0.000 0	0.000 0	0.777 8	0.222 2	0.000 0	0.000 0	0.440 0	0.560 0
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
中高	低	0.935 5	0.064 5	0.000 0	0.000 0	0.760 0	0.240 0	0.000 0	0.000 0
	中低	0.000 0	0.833 3	0.166 7	0.000 0	0.000 0	0.545 5	0.454 5	0.000 0
	中高	0.000 0	0.033 3	0.900 0	0.066 7	0.000 0	0.000 0	0.818 2	0.181 8
	高	0.000 0	0.000 0	0.047 6	0.952 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0

表7(续)

空间滞后	类别	t=1				t=3			
		低	中低	中高	高	低	中低	中高	高
高	低	0.800 0	0.200 0	0.000 0	0.000 0	0.500 0	0.500 0	0.000 0	0.000 0
	中低	0.000 0	0.916 7	0.083 3	0.000 0	0.000 0	0.714 3	0.285 7	0.000 0
	中高	0.000 0	0.000 0	0.750 0	0.250 0	0.000 0	0.000 0	0.200 0	0.800 0
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
空间滞后	类别	t=5				t=7			
		低	中低	中高	高	低	中低	中高	高
低	低	0.285 7	0.571 4	0.142 9	0.000 0	0.214 3	0.428 6	0.357 1	0.000 0
	中低	0.000 0	0.000 0	0.833 3	0.166 7	0.000 0	0.000 0	0.500 0	0.500 0
	中高	0.000 0	0.000 0	0.222 2	0.777 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
中低	低	0.580 6	0.290 3	0.129 0	0.000 0	0.520 0	0.280 0	0.200 0	0.000 0
	中低	0.000 0	0.354 8	0.612 9	0.032 3	0.000 0	0.190 5	0.666 7	0.142 9
	中高	0.000 0	0.000 0	0.142 9	0.857 1	0.000 0	0.000 0	0.153 8	0.846 2
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
中高	低	0.470 6	0.529 4	0.000 0	0.000 0	0.222 2	0.777 8	0.000 0	0.000 0
	中低	0.000 0	0.272 7	0.727 3	0.000 0	0.000 0	0.285 7	0.285 7	0.428 6
	中高	0.000 0	0.000 0	0.636 4	0.363 6	0.000 0	0.000 0	0.666 7	0.333 3
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
高	低	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	中低	0.000 0	0.500 0	0.250 0	0.250 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
	中高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

根据式(13),当 $k \rightarrow \infty$ 时可求得新型基础设施状态类型的极限分布,能够有效预测新型基础设施在长期演变过程中的稳态特征。在初始状态下,处于低水平的概率为48.39%,而处于中低、中高和高水平的概率分别为32.26%、9.68%、9.68%。采用传统马尔可夫过程进行预测的结果下,对比初始状态和终极状态,可以发现,在终极状态下83.76%的省份将处于高水平阶段。考虑空间滞后的结果也呈现向中高水平及高水平迁跃的态势,具体表现为:跨期1年条件下,若与低水平、中低水平类型省份相邻,最终结果为省份将处于高水平类型,与中高水平类型省份相邻,最终结果为53.85%省份将处于高水平类型,而高水平类型表现出明显的俱乐部趋同效应。跨期7年条件下,与低水平类型省份为邻情况下的概率分别为2.30%、4.59%、14.54%和78.57%,意味着新型基础设施类型由低级向高级逐渐转移;与中低水平及中高水平类型省份为邻使得两种类型下的省份整体迁跃至高水平;而邻域类型为高水平则出现“高水平→中高水平”转移的结果。

表 8 新型基础设施分布的稳态预测

空间滞后情况	状态类型	类别	低	中低	中高	高
不考虑空间滞后	初始状态		0.483 9	0.322 6	0.096 8	0.096 8
	终极状态		0.000 0	0.009 8	0.152 6	0.837 6
考虑空间滞后($t=1$)	终极状态	低	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
		中低	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
		中高	0.000 0	0.076 9	0.384 6	0.538 5
		高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
考虑空间滞后($t=7$)	终极状态	低	0.023 0	0.045 9	0.145 4	0.785 7
		中低	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
		中高	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0
		高	1.000 0	0.000 0	0.000 0	1.000 0

上述分析表明,中国新型基础设施发展水平呈现俱乐部收敛特征,具有一定的稳定性,高水平和低水平地区经济类型保持不变的概率较大,而中低、中高类型向相邻转移的概率相对较大。新型基础设施存在空间溢出效应,在外部环境为高水平的条件下会使低水平省份整体向更高水平迁移。随着跨期延长,无论是否考虑空间滞后因素,保持某种水平不变的概率减小。这意味着今后要着重拉动中等水平地区的新型基础设施建设,重视地区间的空间联动,打破要素流动阻碍,实现各地区新型基础设施均衡、协调发展。

六、研究结论与政策建议

作为体现新型劳动对象、新型劳动者等要素的新质生产力,其作用强度、辐射范围以及传播速度都需要新型基础设施的有力支撑,因此有必要详细刻画新型基础设施的整体水平及分布特征。本文基于信息基础设施、融合基础设施及发展基础设施共 3 个子系统 29 个具体指标构建了中国新型基础设施综合评价体系,利用熵权法测算了 2010—2020 年中国省际新型基础设施及其子系统指数,在初步描述其时空趋势的基础上,采用达格姆基尼系数及其分解方法基于四大区域解释了中国新型基础设施水平的区域差异及来源,运用重心移动法和马尔可夫链法展示中国新型基础设施及其子系统的分布动态、演进规律和稳态特征,结论如下。

第一,中国新型基础设施指数整体及子系统呈上升趋势,且各子系统中,融合基础设施>信息基础设施>创新基础设施。测算结果显示,中国新型基础设施指数从 2010 年的 13.248 5 到 2020 年的 21.975 6,增长了 87.32%。其中,融合基础设施指数从 2010 年的 7.508 5 到 2020 年的 10.471 2,增长了 39.46%,年均增长 3.38%;信息基础设施指数发展较快,与融合基础设施指数差距快速缩小,从 2010 年的 3.258 2 到 2020 年的 7.886 4,增长了 1.42 倍,年均增长为 9.24%;创新基础设施指数较低,2010—2020 年增长了 2.16 倍,年均增长率为 12.18%。新型基础设施总量水平处于先进组的有广东、江苏等 10 个省份;高标组包括福建、安徽、陕西 3 个省份;位于进步组的共有 7 个省份,相较于先进组和高标组有较大提升空间;其余 11 个省份处于一般组,与其他地区有明显差距。

第二,中国新型基础设施的整体基尼系数较高,总体呈现四轮“上升—下降”的增长态势,区域之间存在较为明显的不均衡现象,且程度不断加深。分区域看,新型基础设施建设区域内不均衡问题较为突出的是

东、西部地区,其次是中部地区,最后是东北部地区。东部地区基尼系数在波动中呈增长趋势,西部地区在经历“两升一降”中表现为下降趋势,中、东北部地区差异呈明显缩小趋势。观测期内地区间差异的主要来源为东部地区与其他地区的差异,且差异有不断扩大的趋势,并以东-西部地区差异最为明显。中部、西部和东北部地区间基尼系数呈下降态势,三者之间的差异逐渐缩小。从区域差异来源和贡献来看,区域间差异为主要来源,平均贡献率为 51.31%;区域内差异次之,平均贡献率为 25.43%;最后是超变密度差异,平均贡献率为 23.33%。

第三,中国新型基础设施指数重心移动方向以向西南方向转移为主,在观测期内逐渐形成以东部沿海及四川为密集区的双核心结构。从组成部分来看,信息基础设施指数移动方向大致呈现“第二象限→第一象限→第三象限”的特征,相对于基年向西北移动 73.495 9 千米且以向西移动为主;融合基础设施指数移动方向呈“之”字形,相对于基年向西南移动 39.993 6 千米且以向南移动为主;创新基础设施指数以倒 V 型移动,相对于基年向西南移动 206.501 0 千米,同样以向南移动为主。

第四,就各类新型基础设施转移概率与稳态结果而言,低水平省份在跨期 3 年实现跨越式迁移,中低水平省份在跨期 5 年实现。高水平类别在不同跨期下表现出稳定的俱乐部趋同现象。考虑空间溢出效应后,在邻近省份新型基础设施不同水平的影响下,本省份水平保持稳定或迁跃的概率不同。新型基础设施水平在长期将向高水平聚集。

基于上述结论,为提高新型基础设施及其子系统建设水平,推动区域协调发展,本文提出以下政策建议。

第一,在中国经济走向高质量发展的过程中,必须从战略高度审视并推进新型基础设施建设。一方面,建立系统的政策支持体系,在市场发挥资源配置决定性作用的情况下提高政府治理能力,引导各方有序参与,形成“政府引导—市场主导—企业先行”的投资格局,并推进供给侧结构性改革以提高有效供给。促进新型基础设施与传统基础设施合理转化、协调发展。当前中国新型基础设施固定资产投资占比低但乘数效应明显,因此要合理分配资金投入比例,在保障传统的“铁公基”项目资本回报率的前提下,通过带动多个投资主体推动 5G 基站、云计算、物联网、区块链、量子互联网和数字孪生体等设施,依托新型基础设施自然垄断性低的特点对传统基础设施进行升级改造,通过产业变革、技术创新、能源转型等多种方式提高基础设施整体服务质量和效率。另一方面,依据各省份新型基础设施中三类子系统的分布特征、现实条件及资源禀赋,因地制宜制定发展政策。当前中国信息基础设施、融合基础设施、创新基础设施发展不同步,要培育与各省份定位相适应的新技术和新业态,持续推动各子系统均衡协调发展,处理好扬优势和补短板之间的关系。

第二,分类规划和分层推动四大区域新型基础设施建设,解决区域之间的发展不平衡问题。当前新型基础设施存在明显的区域间差异和区域内差异,而根据达格姆基尼系数及分解结果可知,区域间差异是造成各省份差异的主要来源,且以东西部差异最为明显。因此,缩小区域间差异是推动新型基础设施协调发展的关键手段。各级政府应通过高效沟通,因地制宜地构建联动合作机制,考虑到各省份新型基础设施建设需求和紧迫性的差异,根据区域内部禀赋优势,有序开展新型基础设施建设。发挥高水平区域的正向空间溢出效应,打破要素流动限制,以缓解虹吸效应的负面影响。东部地区具备产业优势、市场优势及技术优势,应重点推动 5G 基站、人工智能、卫星互联网、物联网、边缘计算等技术深度应用。其他地区与东部地区存在梯度差距且东部地区虹吸效应明显,因而需要继续落实中部崛起、西部大开发以及东北振兴发展战略,给予缺乏区位优势、社会资本、贸易渠道等资源的地区政策倾斜,在统筹好各区域存量投资和增量投资关系的基础上,着重提升传统基础设施建设短板,促进新旧基础设施协调发展,结合民生需求和产业需求推动传

统基础设施利用新技术实现数字化、智能化转型,从而提高地区民生服务水平和资本回报率,推动经济高质量发展。

第三,探索新型基础设施监管机制,坚持包容审慎原则。一方面,新型基础设施仍处于兴起阶段,在技术和应用层面尚不成熟,此外,由于新型基础设施的自然垄断性下降使得其初始投资门槛降低,从而需要关注由企业进入带来的投资运营和制度创新问题。另一方面,由于新型基础设施具有物质要素投入低、技术要素投入高的特征,数据要素监管的重要性进一步凸显。因此,在建立完善的数据生产要素核算的基础上,需要进一步加快健全包括技术规范、参与主体、市场准入、融资模式、产权保护等在内的数字治理体系。

参考文献:

- [1] 金戈. 中国基础设施资本存量估算[J]. 经济研究, 2012, 47(4): 4-14.
- [2] 张军, 高远, 傅勇, 等. 中国为什么拥有了良好的基础设施? [J]. 经济研究, 2007(3): 4-19.
- [3] 胡李鹏, 樊纲, 徐建国. 中国基础设施存量的再测算[J]. 经济研究, 2016, 51(8): 172-186.
- [4] 黄群慧. 从高质量发展看新型基础设施建设[N]. 学习时报, 2020-03-18(3).
- [5] 潘雅茹, 顾亨达. 新型基础设施投资对服务业转型升级的影响[J]. 改革, 2022(7): 94-105.
- [6] 刘艳红, 黄雪涛, 石博涵. 中国“新基建”: 概念、现状与问题[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2020, 20(6): 1-12.
- [7] 薛桂芝, 李建军, 董旭. 传统基础设施建设还能提升城市全要素生产率吗——基于 223 个城市市政基础设施的研究[J]. 南开经济研究, 2023(8): 199-220.
- [8] 汤铎铎, 刘学良, 倪红福, 等. 全球经济大变局、中国潜在增长率与后疫情时期高质量发展[J]. 经济研究, 2020, 55(8): 4-23.
- [9] 季凯文, 罗璐慧, 齐江波. 新基建赋能高新技术产业的异质性影响研究——基于空间面板计量模型的实证检验[J]. 管理评论, 2023, 35(2): 28-37.
- [10] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment[J]. American Economic Review, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [11] GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at work[J]. The Review of Economics and Statistics, 2018, 100(5): 753-768.
- [12] 潘教峰, 万劲波. 构建现代化强国的十大新型基础设施[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(5): 545-554.
- [13] 李晓华. 面向智慧社会的“新基建”及其政策取向[J]. 改革, 2020(5): 34-48.
- [14] 张涛, 李均超. 网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距——基于双重机器学习的因果推断[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(4): 113-135.
- [15] 宋美婧, 胡丕吉. 数字基础设施对地方财政可持续的影响机制及效果研究[J]. 首都经济贸易大学学报, 2023, 25(5): 20-35.
- [16] 常向东, 尹迎港. 网络基础设施建设促进了区域经济的协调发展吗? [J]. 首都经济贸易大学学报, 2022, 24(6): 45-58.
- [17] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [18] 刘国武, 李君华, 汤长安. 数字经济、服务业效率提升与中国经济高质量发展[J]. 南方经济, 2023(1): 80-98.
- [19] 金环, 魏佳丽, 于立宏. 网络基础设施建设能否助力企业转型升级——来自“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 产业经济研究, 2021(6): 73-86.
- [20] 刘传明, 马青山. 网络基础设施建设对全要素生产率增长的影响研究——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. 中国人口科学, 2020(3): 75-88.
- [21] 裴馨, 高远东. 数字基础设施建设如何影响劳动力工资——基于搜寻与匹配模型的分析[J]. 山西财经大学学报, 2024, 46(2): 16-28.
- [22] 王奇, 牛耕, 李涵. 数字基础设施建设与金融包容性发展: 中国经验[J]. 财贸经济, 2023, 44(7): 91-107.
- [23] 范合君, 吴婷. 新型数字基础设施、数字化能力与全要素生产率[J]. 经济与管理研究, 2022, 43(1): 3-22.
- [24] 刘洋, 陈晓东. 中国数字经济发展对产业结构升级的影响[J]. 经济与管理研究, 2021, 42(8): 15-29.
- [25] 沈和斌, 邓富华. 数字基础设施建设对出口产业升级的影响研究[J]. 中国软科学, 2023(12): 59-69.
- [26] 李斯林, 余红心, 武文博, 等. 数字基础设施对产业升级的影响机制研究[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(12): 99-107.

- [27] 孙倩倩, 鞠方, 周建军. 数字基础设施建设与城市创新: 基于技术分工视角的分析[J]. 中国软科学, 2023(7): 178-192.
- [28] 赵星. 新型数字基础设施的技术创新效应研究[J]. 统计研究, 2022, 39(4): 80-92.
- [29] 李治国, 李兆哲, 孔维嘉. 数字基础设施建设赋能包容性绿色增长: 内在机制与经验证据[J]. 浙江社会科学, 2023(8): 15-24.
- [30] 尹西明, 陈泰伦, 金珺, 等. 数字基础设施如何促进区域高质量发展: 基于中国 279 个地级市的实证研究[J]. 中国软科学, 2023(12): 90-101.
- [31] 逯海勇, 宋培, 李琳, 等. 数字基础设施与国内市场一体化——对加快建设国内统一大市场的启示[J]. 南方经济, 2023(12): 128-142.
- [32] 郭朝先, 王嘉琪, 刘浩荣. “新基建”赋能中国经济高质量发展的路径研究[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2020, 20(6): 13-21.
- [33] ROLLER L H, WAVERMAN L. Telecommunications infrastructure and economic development: a simultaneous approach[J]. American Economic Review, 2001, 91(4): 909-923.
- [34] KOUTROUMPIS P. The economic impact of broadband on growth: a simultaneous approach[J]. Telecommunications Policy, 2009, 33(9): 471-485.
- [35] 刘生龙, 胡鞍钢. 基础设施的外部性在中国的检验: 1988—2007[J]. 经济研究, 2010(3): 4-15.
- [36] 阮荣平, 周佩, 郑风田. “互联网+”背景下的新型农业经营主体信息化发展状况及对策建议——基于全国 1394 个新型农业经营主体调查数据[J]. 管理世界, 2017(7): 50-64.
- [37] 纪雯雯. 信息基础设施建设、人力资本密度与创新[J]. 经济与管理研究, 2023, 44(3): 109-130.
- [38] 李江龙, 杨秀汪, 郭小叶. 数字经济发展赋能城市绿色经济绩效——来自中国 282 个城市的经验证据[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2023, 73(4): 30-41.
- [39] 陈亮, 李杰伟, 徐长生. 信息基础设施与经济增长——基于中国省际数据分析[J]. 管理科学, 2011, 24(1): 98-107.
- [40] 郭凯明, 王藤桥. 基础设施投资对产业结构转型和生产率提高的影响[J]. 世界经济, 2019, 42(11): 51-73.
- [41] 姚毓春, 李冰. 城乡融合助力农业农村高质量发展的机理、挑战与路径[J]. 天津社会科学, 2023(3): 99-106.
- [42] 王亚飞, 王玺, 石铭. 新基建对产业结构变迁的影响研究——兼论产业集聚的调节效应[J]. 当代金融研究, 2023, 6(11): 15-36.
- [43] 孔芳霞, 刘新智, 周韩梅, 等. 中国新型基础设施建设的绿色发展效应及其收敛性[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(5): 160-171.
- [44] 王雨辰. “新基建”视域下的基础设施供给方式研究[J]. 经济体制改革, 2021(5): 194-200.
- [45] 黄群慧. “双循环”新发展格局: 深刻内涵、时代背景与形成建议[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2021, 21(1): 9-16.
- [46] 周记顺, 宋颜希. 新型基础设施建设对地区出口的影响——来自国家智慧城市试点的证据[J]. 产业经济研究, 2022(5): 115-128.
- [47] 宋德勇, 李超, 李项佑. 新型基础设施建设是否促进了绿色技术创新的“量质齐升”——来自国家智慧城市试点的证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(11): 155-164.
- [48] 陈明生, 郑玉璐, 姚笛. 基础设施升级、劳动力流动与区域经济差距——来自高铁开通和智慧城市建设的证据[J]. 经济问题探索, 2022(5): 109-122.
- [49] 姚璐, 王书华, 范瑞. 智慧城市试点政策的创新效应研究[J]. 经济与管理研究, 2023, 44(2): 94-111.
- [50] 张佩, 王姣娥, 孙勇, 等. 中国省域创新基础设施与创新产出水平的耦合协调发展及其影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(9): 11-21.
- [51] 唐玲玲, 冯华. 创新基础设施对经济高质量发展的影响——基于协同效应视角[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(6): 63-74.
- [52] 程雁, 李平. 创新基础设施对中国区域技术创新能力影响的实证分析[J]. 经济问题探索, 2007(9): 51-54.
- [53] 茹少峰, 刘惠子. 新基建、产业虚拟集聚与区域经济协调发展[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2022(6): 104-115.
- [54] 宋福铁, 杨雨, 张杰. 长三角地区金融网络嵌入对城市创新水平的影响研究[J]. 经济体制改革, 2023(5): 183-192.
- [55] SHANNON C E. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [56] 陈景华, 陈姚, 陈敏敏. 中国经济高质量发展水平、区域差异及分布动态演进[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(12): 108-126.
- [57] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4): 515-531.
- [58] 杨玉玲, 郭鹏飞. 省际第三产业资本存量: 框架、检验及动态轨迹[J]. 数量经济技术经济研究, 2017, 34(10): 78-93.
- [59] 陈明华, 张晓萌, 刘玉鑫, 等. 绿色 TFP 增长的动态演进及趋势预测——基于中国五大城市群的实证研究[J]. 南开经济研究, 2020(1): 20-44.
- [60] 冯宗宪, 黄建山. 1978—2003 年中国经济重心与产业重心的动态轨迹及其对比研究[J]. 经济地理, 2006(2): 249-254.
- [61] 张学良. 中国交通基础设施促进了区域经济增长吗——兼论交通基础设施的空间溢出效应[J]. 中国社会科学, 2012(3): 60-77.

Measurement and Analysis of China's New Infrastructure in the Context of New Quality Productive Forces

ZHANG Ziran¹, MA Yuan², YANG Yuling³

- (1. Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100836;
2. University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488;
3. Zhejiang Development and Planning Institute, Hangzhou 310030)

Abstract: New infrastructure is a crucial tool for fostering new quality productive forces and high-quality economic development. In the context of transitioning from traditional productive forces to new quality ones, it is of great significance to scientifically construct an evaluation system for the development level of new infrastructure, measure the actual level in each region, and identify their strengths and weaknesses, in order to foster the emergence of new quality productive forces and enable high-quality economic development.

Based on 29 specific indicators in three subsystems, namely information infrastructure, integration infrastructure, and innovation infrastructure, this paper adopts the entropy weight method to calculate the index of China's new infrastructure. Then, it portrays the spatial and temporal distribution characteristics of the new infrastructure and its components, as well as their evolution trends based on the Dagum Gini coefficient, the center of gravity method, and the Markov chain method. The findings reveal that the index of China's new infrastructure exhibits an overall upward trend, gradually forming a double-core structure with the eastern coastal regions and Sichuan as the dense areas. Inter-regional differences are identified as the primary source of overall spatial differences, followed by intra-regional and hyper-variable density differences. The center of gravity mainly shifts towards the southwest, showing path dependence in terms of the development level. However, with the prolongation of the intervals, provincial-level regions with low levels undergo a leapfrog shift after three years of the interval. The findings provide valuable insights into the promotion of the construction of new infrastructure and the development of new quality productive forces.

This paper makes the following marginal contributions. First, in terms of indicator construction, it optimizes the new infrastructure indicator system on the basis of the original results, which makes the constructed indicator system able to provide a comprehensive and scientific assessment of the level of new infrastructure in each region. Second, in terms of research content, it enriches the examination of new infrastructure, especially the portrayal of the evolution of differences and the dynamics of its distribution, which helps to accurately understand the characteristics of the spatial differences in the development of new infrastructure in China. Third, in terms of application value, it puts forward policy recommendations based on the results of an all-round and multi-faceted examination of the level of new infrastructure construction in 31 provincial-level regions in China, which holds great significance for promoting the construction of new infrastructure and the coordinated development of regions.

Keywords: new quality productive forces; new infrastructure; information infrastructure; integration infrastructure; innovation infrastructure

责任编辑:宛恬伊