

中国数字生态指数的测算与分析*

王娟^① 张一^① 黄晶^① 李由君^② 宋洁^{①③⑤} 张平文^{**①④}

①北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室 北京 100871

②北京大学社会学系 北京 100871

③北京大学工学院 北京 100871

④北京大学数学科学学院 北京 100871

⑤北京大学数字治理研究中心 北京 100871

摘要: 数字时代悄然来临, 数字中国建设成为国家战略, 而营造良好的数字生态, 是建设数字中国的内在要求。基于数字经济、数字社会和数字政府等相关内涵及发展态势的研究, 从数字基础、数字能力、数字应用三个维度, 构建衡量区域数字生态发展的测评体系, 并创新性地应用大数据分析技术, 依托全国领域内代表性机构海量数据研制的分项指数, 运用熵值法综合测算2020年中国数字生态指数。通过全面、深度刻画中国省级和城市级不同地区数字生态的发展水平、驱动模式、区域格局、发展韧性等基本情况, 为各地发展数字生态、落地数字中国战略提供决策支持。

关键词: 数字中国; 数字社会; 数字生态; 数字经济; 数字治理; 数字政府

DOI: 10.16582/j.cnki.dzzw.2022.03.001

一、引言

近年来, 全国各地高度重视数字经济发展, 并使之成为带动经济高质量发展的新引擎^[1]。同时, 各地数字政府的建设也进入快车道, 智慧城市、城市大脑等综合政务信息化普遍发展^[2]。普惠金融、数字乡村等领域的快速发展也极大促进了数字社会的发展水平^[3-4]。与此同时, 数字基础设施、数据资源开放、数字人才创新、网络信息安全等领域发展不平衡、不充分、不协调的问题也逐渐引起重视^[5-8]。以大数据、人工智能、区块链等为代表的数字技术, 正在对产业经济、社会发展和政府治理等领域产生广泛而深刻的影响, 由于数字技术具有显著的跨界融合、价值溢出、网络效应等特征^[9-10], 数字经济、数字社会乃至数字政府等发展之间密切关联、相互影响、难以剥离, 从整体上构成了更为宏观的数字生态。《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》明确提出, 要“打造数

字经济新优势, 加快数字社会建设步伐, 提高数字政府建设水平, 营造良好的数字生态”。这是“数字生态”概念首次出现在国家战略规划文件中。因此, 仅仅衡量数字经济规模已不能够全面评估数字中国的建设水平, 数字中国需要从更为宏观和广阔的数字生态视角进行评估^[11], 对现阶段中国不同地区数字生态发展格局进行整体上和系统性比较分析更具有重要意义。

现有相关指数研究主要从数字经济或智慧城市的角度来研究数字技术对经济社会的影响、作用与意义等^[12-13], 尚无一套从“投入→转化→产出”逻辑构建包含数字经济、数字政府和数字社会等内涵的数字生态指数。自2019年起, 北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室(以下简称“国家工程实验室”)研制并于2020年首次发布“数字生态指数”, 以多源、多方、多维、多视角的动态方式和大数据的方法手段对各地数字生态进行全面、充分和精准刻画。本文旨在介绍数字生

*基金项目: 中国科学院学部工作局“中美欧数字治理格局研判关键问题研究”(项目编号: 2021-ZW07-B-014)。

**通讯作者 收稿日期: 2022-03-03 修回日期: 2022-03-05

态指数的指标构建、测算方法以及全国数字生态指数分析,从而将分散在不同研究领域的指数研究进行综合,为国家数字化全面建设尤其是数字中国战略落地提供指数工具与决策支撑。

本文剩余部分结构安排如下:第二部分梳理国内外相关指数研究,并进行简要评述;第三部分结合现阶段中国数字经济、数字社会、数字政府等快速发展的实际情况,在“数字基础—数字能力—数字应用”框架下构建中国数字生态指标体系,并介绍数据来源,陈述测算方法;第四部分呈现数字生态指数计算结果,深刻反映中国数字生态发展水平、驱动模式、区域格局、发展韧性等基本情况;最后对全文进行总结,为政策制定者和从业者提出治理启示。

二、数字经济与智慧城市相关指数梳理

数字经济是世界各国实现高质量发展和竞争力提升的新引擎,也是学术界重点关注的前沿问题。有效发展数字经济的首要前提是加深对数字经济的认识,对其实现科学全面评估。现有研究比较统一的看法是,由于数字经济内涵不断丰富、范围不断延伸,以GDP框架来核算数字经济规模存在诸多缺陷,有必要建立新的评价体系与计算方法^[14]。综合指数是通过环境、经济、社会或技术发展等多个维度对广泛存在的复杂对象进行简单排名与比较的实用工具,在政策分析和公众沟通等方面卓有成效^[15]。为了更加全面地评估数字技术对经济社会的影响程度,国内外机构构建了很多有关数字经济、智慧城市等综合指数。

(一) 全球数字经济指数梳理

1. 数字经济和社会指数

欧盟委员会为促进形成统一的欧盟数字市场,从2014年开始对外发布数字经济和社会指数(DES),对欧盟28国和包含中国在内的17个国家进行监测。该指数包含五个维度:①数字连接程度,衡量宽带等基础设施

及其服务质量;②数字人力资本,衡量消费、创造、高等教育等领域利用数字技术的人群数量;③公民互联网使用,衡量公民在线开展资讯、社交、金融、购物等应用活动的多样性;④数字商业技术,衡量企业在商业活动中采用数字化技术的程度;⑤数字公共服务,衡量政府在线提供公共服务和数据公开的程度。数字经济和社会指数是以政策为导向的数字化发展效果评估指数,重点关注各国政府、企业和个体的数字化应用场景的多样性、公平性(群体分布)和兼容性(国际往来)水平。

2. ICT发展指数

联合国国际电信联盟(ITU)于2009年开始发布《衡量信息社会报告》,从ICT接入、ICT使用和ICT技能三个维度对187个国家(或地区)的ICT基础硬件设施接入情况、互联网和移动手机应用程度以及最基础的数字能力情况进行评估。ICT发展指数衡量一个国家实现数字经济发展的基础条件,并不反映在这些基础条件之上实现了哪些领域应用,以及产生了哪些社会经济影响,比较适合分析发展中国家和最不发达国家的对比情况。

3. 网络化准备指数

世界经济论坛自2002年起开始发布网络化准备指数,2019年将相关工作移交给波特兰研究所,该指数从技术、主体、治理与影响四个维度对134个国家的数字发展准备条件与竞争能力进行评估。其中,技术维度旨在衡量各国在信息技术上的接入、内容和未来发展情况,主体维度旨在衡量个体、企业、政府分别使用数字技术的程度,治理维度旨在评估数字技术使用过程中的信任、规制和包容等问题与制度建设情况,影响维度旨在评估数字技术对经济发展、生活质量、可持续发展等方面产生的效应。网络化准备指数构建了从信息技术基础设施到社会主体应用程度、从制度建设再到社会经济效应的长逻辑链条,意在表明信息技术是实现经济增长和社会进步最重要的驱动力,并且一个国家/地区需要构建有利于数字化全面应用发展的基础设施和制度环境。

4. 国家数字进化指数

Chakravorti和Chaturvedi^[6]将数字化定义为政府、企业以及个人在商品、服务、信息和思想方面发生互动和交易的过程,并从供给条件、需求条件、制度环境和创新变革四个维度对全球60个国家的数字化进程进行评价。其中,供给条件包括信息基础设施、交易基础设施和实体基础设施,需求条件包括顾客消费意愿、电子货币使用、电子设备使用,制度环境包括营商环境、商业生态系统、制度有效性和信用程度,创新变革包括创新要素、创新过程、创新应用等。国家数字进化指数从发展的视角构建了一个地区数字化升级发展的基本条件框架,强调供需市场和制度等发挥的系统性作用。

5. 全球数字经济竞争力指数

上海社科院于2017年12月首次发布全球数字经济竞争力指数,从数字基础设施、数字产业、数字创新和数字治理4个维度对120多个国家的数字经济竞争力进行评估。其中,数字基础设施包括云、管、端方面的竞争力,数字产业包括经济产出、国际贸易、平台企业的竞争力,数字创新包括技术研发、人才支撑、创新转化方面的竞争力,数字治理包括公共服务、治理体系和安全保障的竞争力。全球数字经济竞争力指数是从国家竞争力的角度来评估数字经济发展情况,反映区域在数字经济领域中的产业发展和技术创新等方面的优势或领先程度,以及在数字基础设施和数字治理体系上的完善和完备水平。

6. 全球数字经济发展指数

2018年阿里研究院联合KPMG发布《2018全球数字经济发展指数》,从数字基础设施、数字消费者、数字商业生态、数字公共服务、数字教育科研五个方面对全球150个国家进行评估。该指数从信息技术的使用程度进行评估,反映个人、企业和政府对信息技术的依赖程度,但不反映信息技术对社会和经济产生的影响程度。

7. 国家数字竞争力指数

腾讯研究院和中国人民大学统计学院国家数字竞争

力指数研究课题团队共同发布了《国家数字竞争力指数研究报告2019》,从数字基础设施、数字资源共享、数字资源使用、数字安全保障、数字经济发展、数字服务民生、数字国际贸易、数字驱动创新、数字服务管理、数字市场环境等十个维度对50个国家的数字竞争力进行评估。该指数根据钻石模型设计指标体系,反映一国围绕数字化技术在基础建设、技术创新、经济发展、制度建设等领域的竞争优势。

(二) 中国数字经济指数梳理

1. 中国信息社会发展指数

国家信息中心自2010年起开始发布信息社会发展指数,从信息经济、网络社会、在线政府、数字生活四个维度对省份和城市进行评估。该指数从信息社会的角度对国家数字化进程进行评估,并认为信息社会是以信息活动为基础的新型社会形态,或者新的社会发展阶段。由此可见,信息社会发展指数主要反映一个地区的个人、企业和政府等主体对信息技术的应用程度以及促使社会所达到的一种福利状态。

2. 中国数字经济指数(信通院)

中国信息通信研究院在《中国数字经济发展白皮书(2017)》中提出数字经济指数,从宏观经济、基础能力、基础产业、融合应用四个维度对其进行评估。该指数充分考虑数字经济发展所必需的经济条件、设备和用户、ICT产业等发展基础,以及数字技术在购物、交通、制造、能源、金融、物流等领域的应用。该指数选取了许多具有中国特色、时代特色的指标,但是理论框架不够完善,指标之间的逻辑联系和科学依据不是很清晰,有些指标属于当下热点,但不一定有长期观测的可持续性和代表性。

3. 中国数字经济指数(赛迪顾问)

赛迪顾问于2017年开始发布中国数字经济指数白皮书,从基础指标、资源指标、技术指标、融合指标和服务指标五个维度对全国31个省级行政区域进行测算。2019年指标体系发生改变,调整为基础指标、产业指

标、融合指标和环境指标四个维度,弱化了数字技术创新但强化了数字产业,同时删除了服务行业用户渗透率而增加了数字政府相关内容,该变化使得数字经济指数能够全面反映数字产业、传统产业和当地政府在数字基础设施之上的数字化转型发展程度。

4. 中国数字经济指数(财新智库)

2017年5月,财新智库等机构发布中国数字经济指数,从生产能力、融合程度、溢出能力、全社会利用能力四个维度,关注数字经济对整个社会效率的提升。数据来源于智联、猎聘等互联网平台,每月动态更新。由于三级指标旨在测量各行业的“劳动/资本/创新投入”,而大数据平台数据难以直接转换为经济学的抽象指标数据,因而存在以偏概全或名不副实的潜在问题。

5. 中国城市数字经济指数

新华三集团数字经济研究院自2017年起开始发布“中国城市数字经济指数”,从数据及信息化基础设施、城市服务、城市治理、产业融合四个维度评价113个城市的数字经济建设情况。该指数特点是与国家 and 地方的相关政策规划重点结合,并着重评估当地政府在城市运营、城市服务、城市治理等方面的数字化程度,对个人和商业的数字化应用和技能创新等则关注不够。

6. 数字中国指数

腾讯研究院自2014年起发布“互联网+”指数,2019年改名称为“数字中国”指数,从数字产业、数字文化、数字生活、数字政务四个维度衡量全国各地的互联网应用广度与深度。该指数侧重于衡量个人对互联网App的使用程度,能够体现消费互联网的发展情况,但是对信息基础设施、制造业等各行业企业的数字化应用几乎没有涉及。

(三) 智慧城市指数梳理

智慧城市的概念非常广泛,从经济和就业角度来看,主要包括信息通信技术及其应用产业,从教育来看包括对居民的智慧教育,从政务来看包括对政府提供的

智慧公共服务,从日常生活来看还包括智慧交通、智慧物流,以及安全、绿色、高效、可持续、节能等各方面内容^[13]。现代智慧城市强调商业主体、政府部门、城市居民、技术公司等之间通过大型项目合作,并引进新型智慧技术来改善城市的居住环境、社会进步和经济发展情况,可以体现一个城市的数字化发展水平。

1. 欧洲智慧城市排名

Giffinger等^[17]从智慧经济、智慧居民、智慧政府、智慧移动、智慧环境和智慧生活六个方面,对欧洲70个中小城市的智慧城市进行排名。其中,智慧经济包括创新精神、企业家精神、就业灵活性、国际化程度等,智慧居民包括人口质量、社会和民族多样性、创业程度、社会参与度等,智慧治理包括决策参与度、公共服务满意度、治理透明程度等,智慧移动包括交通出行、宽带覆盖率等,智慧环境包括自然环境吸引力、环境污染与保护等,智慧家居包括文化设施、健康医疗、人身安全、居住条件、教育、旅游等情况。可见欧洲智慧城市排名强调城市运行过程中各方主体和各个领域的最终效果,而不强调达到理想效果所要具备的条件和发展过程。

2. 智慧城市战略指数

罗兰贝格管理咨询公司对153个发布智慧城市官方战略的城市进行打分。该指数包括12项指标,其中六项指标是智慧城市的行动范围,包括建筑(智能施工)、能源与环境(智能管理)、出行(智能交通)、教育(数字化学习与技能)、医疗健康(健康信息系统、远程医疗)、政府管理(电子政务、公共行政管理等);其他六项指标是智慧城市的推动因素,包括预算(资金)、规划(量化目标)、协调(优先级、行政协调)、利益相关方(市民接受与合作)、政策与法律框架(法律法规、财政支持、数据安全)、基础设施(开放数据、网速、互联技术等)。智慧城市战略指数将智慧城市视为一项综合工程,并从项目管理的角度进行全面评估,在一定程度上能够反映智慧城市建设的投入产出效果。

3. 新型智慧城市评价指标

智慧城市评价指标体系由发改委、网信办联合发起,第一版本发布于2016年,主要由基础评价指标和市民体验指标两部分组成。基础评价指标包含惠民服务、精准治理、生态宜居、智能设施、信息资源、网络安全、改革创新七个维度,市民体验指标旨在突出公众满意度和社会参与度。国家新型智慧城市评价指标重点评价城市发展现状、发展空间和发展特色,侧重衡量为达到智慧城市目标而实施一系列工作的落实过程和情况,而不考虑目前智慧城市建设的成效水平。

(四) 相关指数归纳与分类

为评估数字技术对社会经济各个领域的影响程度,国内外研究机构在构建数字经济与智慧城市指数时,在研究视角、理论框架、指标体系等方面存在很多共性。

以上指数内涵维度及测量指标可归纳为九大类(参见表1):①基础设施,衡量信息基础设施的覆盖率与接入性;②数据资源,衡量公共和政府数据的开放与利用水平;③政策环境,衡量数字经济规范发展的法律政策条件;④数字人才,衡量高等教育和信息技术人员构成;⑤数字创新,衡量研发投入和专利等产出水平;⑥数字安全,衡量网络安全的保障程度和发展水平;⑦数字政府,衡量政府组织的数字技术应用程度;⑧数字经济,衡量企业组织的数字技术应用程度;⑨数字社会,衡量社会个人的数字技术应用水平。

三、指标体系与指数计算

(一) 数字生态指标体系

生态系统这一概念首次被引入社会经济领域的学术

表1 数字经济与智慧城市相关指数梳理

指标维度	测量指标	相关研究机构
基础设施	宽带普及率和价格、4G覆盖率、出口宽带、下载速度、数据中心、网站数量、时空信息平台	欧盟委员会、世界经济论坛、上海社科院、阿里研究院、腾讯研究院、赛迪顾问、新华三、发改委与网信办
数据资源	公共数据公开、数据交易中心数量、政务数据共享交换平台、政企对基础信息资源的开发	欧盟委员会、赛迪顾问、新华三、发改委与网信办
政策环境	数字经济政策规划/专题政策/法律法规/竞争环境、数字治理机构/体制机制、营商环境	新华三、发改委与网信办、罗兰贝格、腾讯研究院、上海社科院、世界经济论坛
数字人才	知识密集型员工、ICT高等教育者、高等教育毛入学率、人均开发App数量、数字素养、数字创新人才培养、数学/计算机数学高引论文	欧盟委员会、ITU、世界经济论坛、上海社科院、阿里研究院、国家信息中心
数字创新	企业研发支出/投入、知识产权收入、ICT专利申请、创新产出(专利、期刊、商标)	世界经济论坛、上海社科院、阿里研究院、腾讯研究院、国家信息中心
数字安全	软件盗版率、安全的互联网服务器数量、安全产业、安全人才、关键信息基础设施备案、等级保护要求、监管情况、网络安全服务	世界经济论坛、上海社科院、腾讯研究院、发改委与网信办
数字政府	电子政务、政府线上服务、城市大数据平台、gov.cn域名、政府网站、政务类公众号/微信/微博/头条号、政府先进产品采购	欧盟委员会、赛迪顾问、新华三、腾讯研究院、罗兰贝格
数字经济	电子信息制造、软件和信息服务业、有网站公司比例、平台企业/独角兽数量、数字广告、电子商务、两化融合、智能制造、机器人密度、智慧供应链、共享经济、金融科技	欧盟委员会、世界经济论坛、上海社科院、阿里研究院、赛迪顾问、财新智库
数字社会	网民比例、移动电话用户、宽带和移动电话支付能力、网上购物人数、电子设备个人/家庭拥有量、即时通信、数字支付、电子货币、数字娱乐、社交网络、数字出行、互联网医疗、数字生活、数字文化、惠民服务、数字鸿沟	欧盟委员会、国家信息中心、ITU、国家数字进化指数团队、赛迪顾问、阿里研究院、腾讯研究院、发改委与网信办、罗兰贝格

研究是在1993年, Moore将包括消费者、供应商、竞争者和其他利益相关者在内的主体共同纳入对组织与环境相互作用关系的讨论中。^[18]同时, 生态系统也存在于更大范围的巨型社区中, 包括企业、政府、非营利组织等跨越部门和行业的组织。人类正在进入数字时代, 必然要求构建新型的数字生态系统与之适应。根据对国内外相关指数的综述结果与归纳分析, 按照经济学视角的“投入→转化→产出”逻辑, 我们从“数字基础—数字能力—数字应用”三个维度构建数字生态指数理论框架(参见图1)。

数字基础维度体现发展数字生态的要素投入情况, 包括基础设施、数据资源和政策环境等。首先, 数字时代要求建立新型基础设施, 包括信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施。根据2020年4月国家发展改革委解读, 信息基础设施能够增强数据感知、传输、存储和运算能力, 包括5G、物联网、工业互联网等通信网络基础设施, 人工智能、云计算、区块链等新技术基础设施, 以及数据中心、超算中心等算力基础设施; 融合基础设施指的是数字化改造后的传统基础设施, 如智能交通和智慧能源基础设施等; 创新基础设施是支撑科学研究和技术开发的基础设施, 包括重大科技基础设施、产业技术创新基础设施等。其次, 数据作为新的生产要素必然成为数字生态不可或缺的基础资源。2020年4月《中共中央国务院关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》提出, 加快培育数据要素市场关键在于推进政府数据开放共享和提升社会数据资源价值。再次, 数字生态的政策环境也是数字基础的重要部分, 包括建立健全数据要素市场规则和营造规范有序的政策环

境等。活跃数据要素市场亟待建立统一规范的数据管理制度, 只有数据产权性质、数据隐私保护、安全审查、分类分级安全保护等规则的完善, 共享经济、平台经济和新个体经济等管理的规范, 数字经济垄断和不正当竞争行为的有效规制, 才能真正夯实数字生态的制度基础。

数字能力维度体现数字生态将投入要素转化为应用产出的质量与效率, 包括数字人才、技术创新和数字安全等。首先, 数字人才是挖掘数据价值的第一生产力, 这与数据具有高知识密度有关。缺乏数字战略管理、深度分析、产品研发、先进制造、数字运营和数字营销等领域人才, 数据的价值就无从被发现、开发和实现。其次, 数字技术创新是支撑数字生态向高质量发展的核心驱动力, 大数据、人工智能、量子信息、集成电路、区块链等科技前沿领域的攻关已被纳入国家创新驱动发展战略。再次, 数字安全也是稳定数字生态的重要基石, 其中网络安全最为关键, 要加强重要领域数据资源、重要网络和信息系统的安全保障。

数字应用维度体现数字生态在政府、经济和社会等领域的影响程度, 包括数字政府、数字经济和数字社会等。数字政府旨在促进数字技术广泛应用于政府管理服务, 推动政府治理流程再造和模式优化, 不断提高决策科学性和服务效率。数字经济旨在充分发挥海量数据和丰富应用场景优势, 促进数字技术与实体经济深度融合, 赋能传统产业转型升级, 催生新产业新业态新模式, 壮大经济发展新引擎。数字社会旨在促进数字技术全面融入社会交往和日常生活, 促使公共服务和社会运行方式创新, 构筑全民畅享的数字生活。

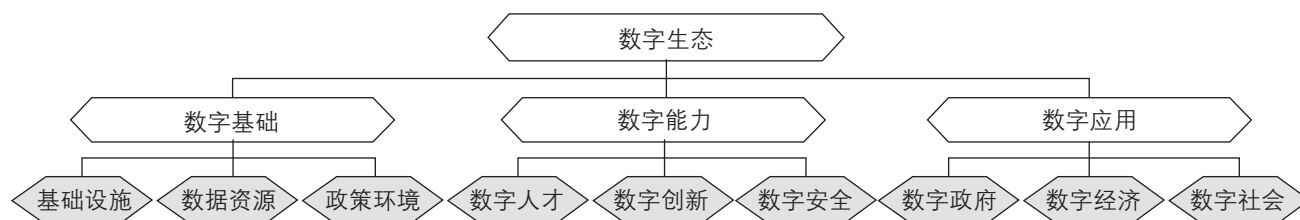


图1 数字生态指数理论框架

(二) 测量指标与数据来源

数字生态指数(2021)是基于多渠道来源的分指数逐级构建而成的总指数。分指数除了个别选取公开发表的成熟指数,多数来自国家工程实验室及其数字生态协同创新平台合作单位针对2020年度全国31个省级行政区(不包括港、澳、台地区)以及重点城市所研制的专项指数(参见表2)。

(三) 指数计算与方法

为便于对比,我们将测量指标进行标准化。对于部分缺失值,结合相关经济统计数据通过回归进行补充。测量指标和二级指标的得分采用熵值法确定权重,一级指标权重在综合听取多位专家意见后确定。数字生态总

指数与一级指标采用几何加权平均的方式计算,体现子指标发展均衡性。二级指标采用算术加权平均的方式进行计算,体现子指标彼此可替代性。具体计算步骤如下:

①标准化。数据使用Min-Max方法统一标准化:

$$Z = \frac{X - \min X}{\max X - \min X} \times 90 + 10$$

②熵值权重法。采用熵值法来确定二级指标和测量指标的权重,指标的离散程度越大,其熵值越小,权重越大。首先我们将指标进行如下处理:

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

表2 数字生态指数指标体系及其测量指标

一级指标	二级指标	测量指标	数据来源
数字基础	基础设施	新基建竞争力指数	清华大学互联网产业研究院
		云栖指数	阿里云研究院
		乡村数字基础设施	北京大学新农村发展研究院
	数据资源	开放数林指数	复旦大学数字与移动治理实验室
		数据流通指数	国家工程实验室
	数字政策	数字政策指数	国家工程实验室、北大法宝
数字能力	数字人才	数字人力指数	北京大学重庆大数据研究院、猎聘网
		AI开发者指数	国家工程实验室、百度飞桨
	技术创新	数字专利指数	国家工程实验室、佰腾科技
	数字安全	网络安全生态发展指数	中国信息安全研究院
数字应用	数字政府	网上政务服务能力指数	中央党校(国家行政学院)电子政务研究中心
		智慧环保指数	公众环境研究中心
		乡村治理数字化指数	北京大学新农村发展研究院
	数字经济	大数据产业发展指数	北京大数据研究院
		人工智能产业发展指数	中关村数智人工智能产业联盟、北京大学中国社会科学调查中心
		数字产业电力消费指数	国家电网大数据中心
		企业数字化转型指数	北京国信数字化转型技术研究院、中关村信息技术和实体经济融合发展联盟
		数字经济投资者信心指数	北京大学数字金融研究中心
		乡村经济数字化指数	北京大学新农村发展研究院
	数字社会	数字普惠金融指数	北京大学数字金融研究中心
		数字生活指数	中国联通智慧足迹数据科技有限公司
		社会纠纷搜索指数	国家工程实验室、华院计算技术(上海)股份有限公司
		乡村生活数字化指数	北京大学新农村发展研究院

其中, x_{ij} 为个案*i*在指标*j*上的水平, 它是指标原始取值经标准化处理后的结果。 P_{ij} 是对它们进行标准化得到的结果, 进而我们能将其看作 [0, 1] 区间上的一个离散分布, 利用这一点计算指标的信息熵。在信息论中, 如果一个随机变量分布集中, 不确定性较小, 熵越小; 反之, 若随机变量分布越分散, 不确定性较大, 熵越大。

根据熵的这一特性, 计算指标*j*的离散程度:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

然后, 结合熵值和离散程度的结果, 计算指标的权重:

$$W_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^m 1-e_j}$$

③分指数聚合方法。总指标和一级指标分指数得分采用几何平均的方式进行如下计算:

$$Y = \prod_{k=1}^K X_k^{W_j}$$

④总指数按照修正权重聚合。熵权法会将数据差异较大的指标赋予更大的权重, 实际上使得数据源较好和稳定的指数(如数字经济二级指标下的测量指标数据)权重普遍偏小, 而缺失值比较多的指数反而获得最多权重, 不能够客观反映数字生态的发展分布状态。为此, 一级指标合成时使用多位专家研讨并修正后的权重进行算术平均计算, 具体而言, 数字基础0.3, 数字能力0.3, 数字应用0.4。

四、中国数字生态现状分析

(一) 数字生态发展水平

数字生态发展水平指的是一个地区的数字生态在数字基础、数字能力和数字应用各个维度的综合发展程度与领先水平。中国省级的数字生态呈现出四型联动的发展格局(参见表3)。第一, 全面领先型。不仅总指数

表3 数字生态一级指标和总指数得分

省份	数字基础	数字能力	数字应用	总指数	发展类型
北京	84.63	80.44	76.38	80.00	全面领先
广东	70.74	84.80	66.01	72.66	全面领先
上海	86.85	46.07	76.06	68.10	全面领先
浙江	81.88	44.53	61.78	60.94	全面领先
江苏	52.91	54.68	58.21	55.52	全面领先
山东	62.02	33.03	41.38	43.67	赶超壮大
福建	45.54	25.42	46.94	38.70	赶超壮大
天津	45.67	21.14	53.27	38.55	赶超壮大
湖北	45.07	27.17	42.32	37.76	赶超壮大
四川	43.74	31.06	37.06	36.94	赶超壮大
安徽	40.20	26.64	41.13	35.86	赶超壮大
重庆	35.84	21.60	43.58	33.29	赶超壮大
河南	33.36	24.34	37.33	31.74	赶超壮大
贵州	53.44	15.97	34.68	31.29	赶超壮大
江西	35.09	19.27	38.08	30.29	发展成长
陕西	31.17	24.17	34.75	30.16	发展成长
广西	46.27	18.29	28.75	28.95	发展成长
河北	28.70	20.46	35.87	28.35	发展成长
湖南	26.81	22.86	33.59	27.97	发展成长
山西	29.75	15.84	32.22	25.42	发展成长
海南	28.77	14.06	30.63	23.80	发展成长
辽宁	20.86	19.86	28.25	23.20	发展成长
云南	20.86	16.15	30.42	22.46	发展成长
吉林	19.92	15.40	31.17	22.06	发展成长
黑龙江	22.91	16.20	25.21	21.45	发展成长
内蒙古	17.27	14.72	24.55	18.95	蓄势待发
宁夏	18.45	12.42	25.69	18.71	蓄势待发
甘肃	18.77	13.98	21.65	18.19	蓄势待发
青海	17.53	10.14	19.62	15.56	蓄势待发
新疆	12.85	12.85	17.49	14.53	蓄势待发
西藏	10.64	12.42	15.95	13.10	蓄势待发

国内领先, 分指数也没有明显的弱环。例如江苏, 总指数排名全国第五, 在九个二级分指数维度中即使是相对最缺乏优势的数字经济, 也能在国内排到第十二名。第二, 赶超壮大型。各项维度发展较好, 但部分维度存在较大发展空间。例如山东, 数字基础和数字能力都比较扎实, 但数字应用的全国排名相对较低。第三, 发展成长型。虽然各项维度普遍有所发展, 但存在明显短板。

例如江西，数字社会已经排进前十，但是数字能力仍然较为欠缺。第四，蓄势待发型。总指数均值在全国以下，但部分维度已经有突出表现。

中国的城市数字生态形成了中心城市优势领跑、临近城市稳步跟随、周边城市活力初现的发展格局。表4具体列举了数字生态指数和三个一级指标得分前30位的城市。北京、上海、深圳、杭州、广州、武汉、成都、

重庆、南京、天津登上了指数得分榜的前十名。这些城市数字基础、数字能力、数字应用形成了较好合力，没有明显短板，构建了较为健全的数字生态。

(二) 数字生态驱动模式

数字生态驱动模式反映一个地区的数字基础、数字能力和数字应用三个维度中哪个维度最为突出，存在能力驱动、应用驱动、基础驱动三种模式。首先针对全国省级数字生态的细分维度进行分析。分别从一二级指标横向对比发现(参见图2、图3)，在一级指标维度上，主要表现为数字应用相对领先，数字基础次之，数字能力最为欠缺。数字能力只有全面领先型地区得分均值在全国均值以上，表明其他类型省份发展数字生态普遍存在数字能力短板。在二级指标维度上，数据资源、数字政府、数字政策等方面表现一般较好，但在数字创新和数字安全方面差异悬殊，存在明显的数字能力鸿沟。

其次针对全国城市级数字生态的驱动模式进行分析。从全国来看，约有一半的城市在数字生态建设方面

表4 数字生态指数排名前30城市列表

排名	数字基础	数字能力	数字应用	数字生态
1	上海	北京	北京	北京
2	北京	上海	上海	上海
3	深圳	深圳	广州	深圳
4	杭州	广州	深圳	广州
5	广州	杭州	天津	杭州
6	天津	南京	杭州	天津
7	武汉	成都	南京	武汉
8	重庆	武汉	重庆	成都
9	成都	苏州	武汉	南京
10	宁波	重庆	成都	重庆
11	厦门	天津	苏州	苏州
12	苏州	合肥	合肥	合肥
13	合肥	西安	厦门	厦门
14	青岛	长沙	福州	宁波
15	南京	济南	东莞	西安
16	济南	无锡	郑州	长沙
17	贵阳	青岛	长沙	福州
18	无锡	宁波	西安	青岛
19	东莞	厦门	宁波	济南
20	珠海	郑州	佛山	无锡
21	福州	福州	青岛	东莞
22	南宁	南宁	无锡	郑州
23	绍兴	沈阳	济南	佛山
24	佛山	石家庄	贵阳	贵阳
25	温州	佛山	珠海	珠海
26	银川	东莞	嘉兴	沈阳
27	湖州	常州	沈阳	南昌
28	西安	贵阳	南昌	常州
29	常州	南昌	中山	南宁
30	金华	珠海	芜湖	嘉兴

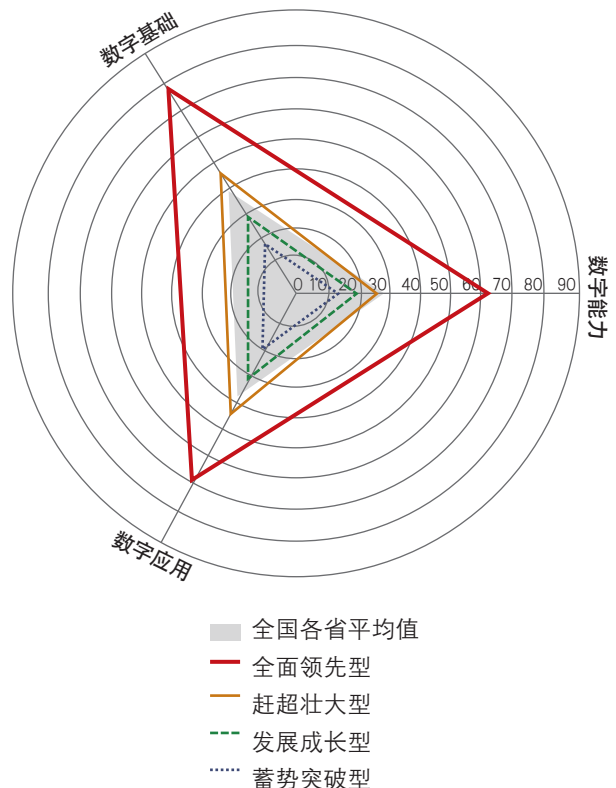


图2 中国省级数字生态一级指标均值雷达图

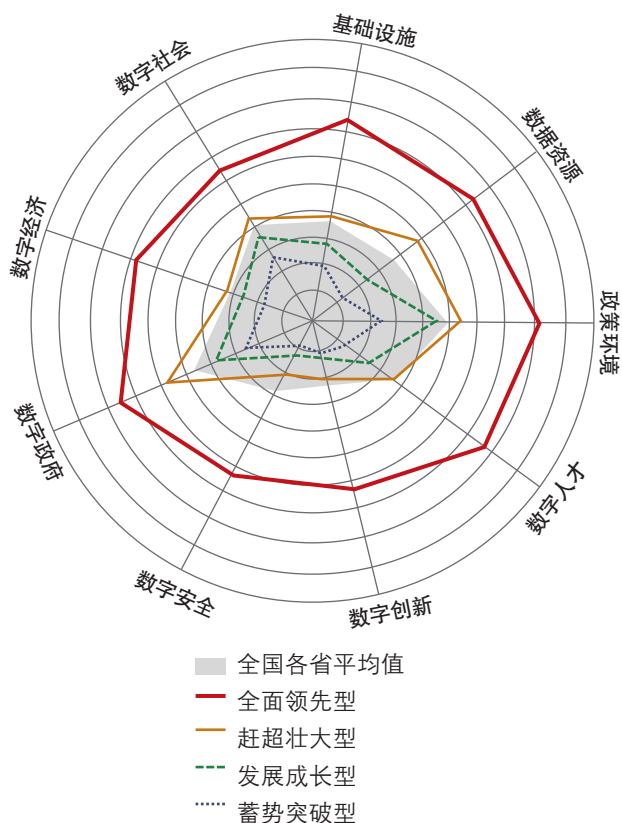


图3 中国省级数字生态二级指标均值雷达图

尚未有突出维度，属于蓄势待发地区。数字生态发展较好的城市中，数字应用驱动型的城市仍占大多数，其次是基础驱动型，能力驱动型城市最少。

基础驱动型城市在数据资源及数字政策环境等指标得分较高，具有较强的政策驱动特征。天津、杭州、贵阳等城市属于基础驱动型。以贵阳为例，其围绕“中国数谷”建设目标，积极布局数字新基建，朝着建成国家大数据中心的方向奋力迈进。再如杭州，在数字基础设施和数据资源等方面得分位于全国城市前列，数字生态政策环境良好，当地政府在夯实数字基础的背景下全面推动数字生态建设。

能力驱动型城市的数字能力指数位居全国前列，且各项一、二级指标无明显短板，数字生态发展较为全面。北京、上海、广州、深圳等属于能力驱动型城市，该类型城市的数字人才和数字技术创新指数均非常高，表现出强劲的数字创新能力和人才聚集效应，推动了数

字应用各维度的发展。例如北京，致力于打造国际科技创新中心，依托中关村科学城孵化出全国最多的独角兽公司。

应用驱动型城市在数字产业、社会生活、数字政府等应用场景方面表现突出，以数字应用驱动数字生态发展。重庆是典型的应用驱动型城市，作为首批国家数字经济创新发展试验区，其数字应用产业蓬勃发展，工业互联网国家顶级节点已上线并稳定运行，带动西部地区工业互联网发展及产业数字化转型。

综上所述，数字生态驱动模式在省级与城市级上的分布具有一致性，并且在蓄势待发的省份地区，已有部分城市率先通过应用驱动发展模式取得突破。

（三）数字生态区域格局

数字生态区域格局是指地方基于要素禀赋和发展战略所形成的区域差异化发展结构。

从区域发展水平看，珠三角数字生态最为成熟，不仅拥有两个能力驱动型城市，而且没有蓄势待发地区；长三角和京津冀数字生态最为完备，分别形成了以上海和北京为能力驱动，杭州和天津等为基础驱动，其他城市为应用驱动的区域发展格局；成渝及长江中游城市群数字生态整体水平较低，缺乏能力驱动型城市引领，而且大部分城市处于蓄势待发状态。

从区域发展动力看，数字能力是驱动经济增长的核心引擎，也决定了数字应用维度的发展高度。数字应用包括数字经济、数字社会和数字政府，对数字能力的依赖程度和敏感程度各有不同。如图4所示，当数字能力处于较低水平时，鲜有城市的数字经济发展水平能超过均值，但很多城市数字政府实现了高水平发展，也有少数城市数字社会实现了较好发展。由于数字经济的发展高度依赖数字能力，分别拥有北京、上海、广州、深圳四个能力驱动型城市的京津冀、长三角、珠三角城市群，已经率先成为拉动全国的经济增长极。相较而言，成渝城市群和长江中游城市群由于尚无能力驱动型城

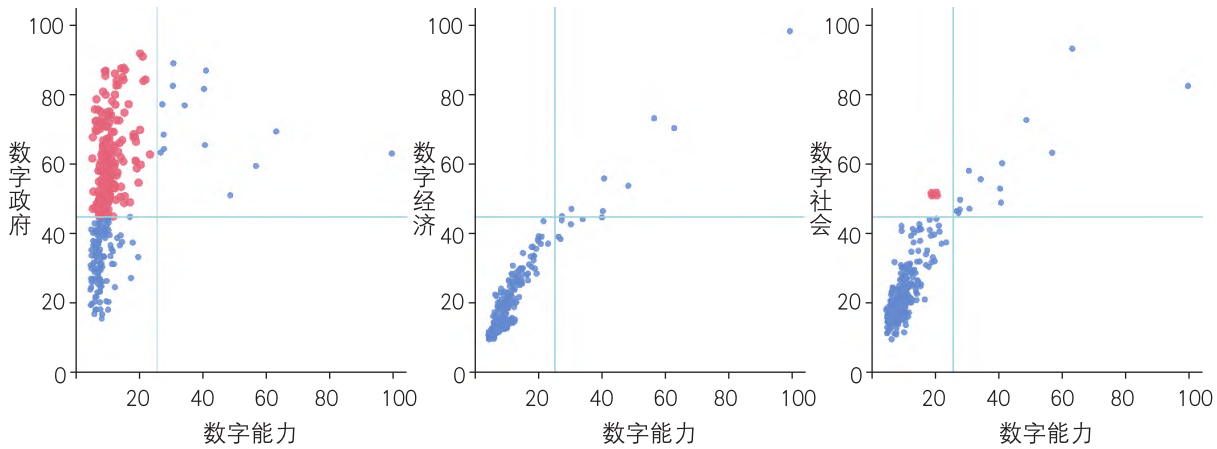


图4 中国城市级数字能力与数字政府、数字经济和数字社会的关系

市，距离成为国家的经济增长极仍有一定差距。

(四) 数字生态发展韧性

数字生态发展韧性指的是系统结构具有持续性，结构变化轨迹可预测，变异更新渐进而有限，等等^[19]。在数字生态中，决定生态韧性的主要动能因素包括数字基础因素和数字能力因素，具体有基础设施、数据资源、数字政策、数字人力和基础创新等（数字安全本身是韧性的体现，故不纳入分析）。根据这5个因素在过去两年的排名变化方向和变化程度，我们可以对每个地区的数字生态韧性进行描述。图5对北京、上海、四川和福

建四个地区的数字生态韧性进行表征，横坐标代表2020年指标排名相比2019年的变动程度，纵坐标代表指标排名的变动方向。具体而言，北京市核心要素较多呈现正向发展，并且发展程度比较一致，说明数字生态核心要素整体呈现协同发展，反映了数字生态韧性较强。上海市数据资源和数字人力要素出现负向发展，其他动能要素在得分上存在较大差距，反映了数字生态韧性相比于北京而言较弱。四川省数字生态动能要素全部呈现正向发展，但各要素变动程度相差较大，反映了四川省数字生态发展韧性一般。福建省数字生态动能要素得分差异

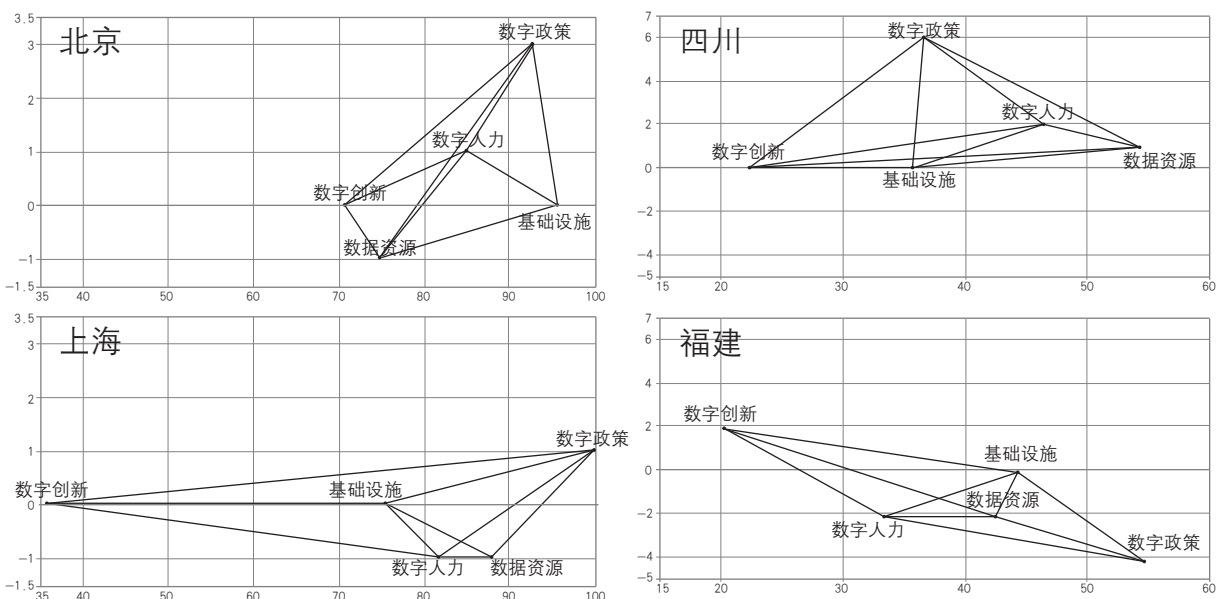


图5 数字生态发展韧性的地区案例

较大,数字人力、数据资源和数字政策三个要素出现负向发展,基础设施维持现状,只有数字创新是正向发展,说明动能要素之间没有协同发展,数字生态发展韧性存在明显不足。

五、结论

国家“十四五”规划给出明确指引,要营造良好的数字生态,助力数字政府、数字经济和数字社会等各领域数字化转型发展。营造良好数字生态的先决条件是能够对数字生态进行科学评估。本文在参考国内外有关数字经济和智慧城市指数编制相关文献的基础上,深入分析数字生态内在发展机制,并构建了由“数字基础—数字能力—数字应用”三个维度构成的数字生态指数理论框架,每个维度下又分设三个二级指标,即数字基础中的基础设施、数据资源和政策环境,数字能力中的数字人才、数字创新和数字安全,以及数字应用中的数字政府、数字经济和数字社会。在上述指标体系指引下,本文创新性地应用大数据分析方法,依托全国领域内代表性机构海量数据研制的分项指数,运用熵值法对2020年度31个省级和337个地市级的数字生态指数进行测算,并从发展水平、驱动模式、区域格局、发展韧性等方面进行深入分析。

首先,从发展水平来看,中国省级数字生态存在四种发展水平,即全面领先型、赶超壮大型、发展成长型、蓄势待发型,其中,北京、上海、广东、浙江和江苏属于第一梯队。中国城市级数字生态发展更为多元,其中,北京、上海、深圳、杭州、广州名列前茅。由此可见,中国数字生态呈现纵深多元、层次分明的空间发展格局,而这种多样性特征有助于营造良好的国内数字生态。

其次,从驱动模式来看,中国省级和城市级数字生态均有三种驱动模式,其中能力驱动型最为稀缺,部分地区是基础驱动,应用驱动型地区最为普遍。因此,对

于广大驱动模式仍未清晰的蓄势待发地区,最有可能先从数字应用方面实现突破,但由于数字经济要比数字政府和数字社会更加受到数字能力水平的限制,因此对于短期内无法快速提升数字人才质量和技术创新水平的地区,可以率先从数字政府或数字社会中寻求突破。

第三,从区域格局来看,珠三角、长三角和京津冀城市群的区域数字生态发展水平较高,并且都有能力驱动型城市作为增长引擎;而成渝及长江中游城市群的数字生态整体水平较低,也缺乏能力驱动型城市来引领区域发展。

第四,从发展韧性来看,各地数字生态发展韧性有很大不同,比如相比于上海和福建,北京和四川两地数字生态的动能要素以增长为主,而且各要素间排名波动更为接近,系统结构具有持续性和可预测性,发展韧性较好。因此各地在发展数字生态时需要统筹规划,力求各维度协同发展。

数字生态内外部环境正在发生深刻变化,做大做强数字生态已成为各地抢抓发展新机遇的战略选择。打造理想数字生态的路径不是唯一的。各地现况和禀赋结构的差异决定了发展数字生态要切合实际、因地制宜。从空间格局来看,理想的数字生态需要实现优质的省级地方小循环,带动完善的跨省区域中循环,引导健康的国内大循环,融入共赢的国际外循环,最终实现“以国内大循环为主体,国内国际双循环相互促进的新发展格局”。数字生态指数旨在为社会各界提供一套可以全面反映全国各地数字生态发展现状和基本模式的指数工具,以促进相关领域研究,指导实践发展。然而,数字生态指数建设是一项需要长期迭代的复杂系统工程,其理论体系、测量数据、计算与分析方法等都处于不断优化的改进状态。因此,构建数字生态指数需要打造多方共建机制。北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室将联合各方持续建设数字生态协同创新平台,加强数字生态理论研究,增加数据资源覆盖广度,长期动态

监测中国各区域数字生态发展现状,为各地方落实数字中国战略作出贡献。

参考文献:

- [1]江小涓,孟丽君.内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环——国际经验与中国实践[J].管理世界,2021(01):1-19.
- [2]黄璜,孙学智.中国地方政府数据治理机构的初步研究:现状与模式[J].中国行政管理,2018(12):31-36.
- [3]邱泽奇.三秩归一:电商发展形塑的乡村秩序——菏泽市农村电商的案例分析[J].国家行政学院学报,2018(01):47-54.
- [4]郭峰,王靖一,王芳,等.测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征[J].经济学(季刊),2020(04):1401-1418.
- [5]郑磊.中国地方政府开放数据研究:技术与法律特性[J].公共行政评论,2017(10):53-73.
- [6]陈煜波,马晔风.数字人才——中国经济数字化转型的核心驱动力[J].清华管理评论,2018(1/2):30-40.
- [7]Baller S, Dutta S, Lanvin B. The global information technology report 2016: Innovating the digital economy[R]. World Economic Forum, 2016: 9.
- [8]赵惟,傅毅明.推进网络安全生态的协同发展[J].网络空间安全,2020(11):91-97.
- [9]Moshiri S, Nikpoor S. International ICT Spillover[M/OL]// ICTs and Sustainable Solutions for the Digital Divide: Theoretical Issues, Forthcoming, 2010. <https://ssrn.com/abstract=1695273>.
- [10]Afuah A. Are network effects really all about size?[J]. Strategic Management Journal, 2013, 34: 257-273.
- [11]OECD. Measuring the digital economy: A new perspective[R]. OECD, 2014: 18.
- [12]徐清源,单志广,马潮江.国内外数字经济测度指标体系研究综述[J].调研世界,2018(11):52-58.
- [13]Benamrou B, Mohamed B, Bernoussi A, et al. Ranking models of smart cities[C]. 2016 4th IEEE International Colloquium on Information Science and Technology, 2016: 872-879.
- [14]IMF. Measuring the digital economy, international monetary fund[EB/OL]. 2018. <http://www.imf.org/external/pp/ppindex.aspx>.
- [15]OECD. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide[EB/OL]. [2022-03-05]. OECD Statistics Working Paper. 2005. <https://dx.doi.org/10.1787/533411815016>.
- [16]Chakravorti B, Chaturvedi R S. Digital planet 2017: How competitiveness and trust in digital economies vary across the world[R]. The Fletcher School, Tufts University, 2017: 16).
- [17]Giffinger R, Fertner C, Kramar H, et al. City-ranking of European medium-sized cities[J]. Cent. Reg. Sci. Vienna UT, 2007, 9: 1-12.
- [18]Moore J F. Predators and Prey: A New Ecology of Competition[J]. Harvard business review, 1993, 71(03): 75-86.
- [19]McCarthy I P, Lawrence T B, Wixted B, et al. A multidimensional conceptualization of environmental velocity[J]. The Academy of Management Review, 2010, 35(04): 604-626.

作者简介:

王娟,北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室特聘副研究员,研究方向为数字经济、企业数字化转型。

张一,北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室特聘副研究员。

黄晶,北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室大数据工程师。

李由君,北京大学社会学系博士研究生,研究方向为城乡社会学、国家治理。

宋洁,北京大学工学院副院长,工业工程与管理系博士生导师。

张平文,中国科学院院士,发展中国家科学院院士,北京大学副校长,北京大学科学与工程计算中心主任,大数据分析与应用技术国家工程实验室主任。