

【建构中国自主知识体系】

# 中国商业银行数字化转型： 指数构建与演进趋势<sup>\*</sup>

宋科 陈醒 李振 徐蕾

**内容提要** 本文基于手动整理、文本挖掘以及实地调研等收集的海量微观数据，构建了中国商业银行数字化转型指数（Digital Transformation Index of Banks in China, DTIB），并据此分析了2014—2020年中国商业银行数字化转型的演进趋势与空间特征。研究表明：（1）中国商业银行数字化转型指数整体呈上升趋势但存在显著的结构差异。国有大型商业银行数字化转型指数始终保持领先，上升趋势最为显著；股份制商业银行发展趋势良好，数字化转型指数持续增长且增速稳定；城市商业银行整体表现一般；农村商业银行数字化转型无论在整体水平还是在增速上均相对落后。银行间数字化转型差距随时间推移逐渐扩大，呈现一定程度的“马太效应”。（2）从分指数来看，数字化战略指数和数字化组织指数均有较为显著的增长，但数字化客户指数、数字化产品指数、数字化技术指数的增速趋缓。这表明相对于数字化战略与组织的“软”行为，数字化转型进程中的客户、产品与技术等“硬”行为调整相对迟滞。（3）空间特征分析表明，无论在省级层面还是区域层面，中国商业银行数字化转型指数的结构差异明显。Moran指数结果表明，各省级指数呈现出明显的空间聚集性，表示为“高高”“低低”的空间分布特征。从Theil指数及其分解可以看到，东部、中部、西部和东北地区的银行数字化转型总体差异、地区间差异和地区内差异均呈现逐渐降低趋势。本文为在新发展阶段，科学客观地刻画并持续跟踪中国商业银行的数字化转型进程，充分发挥银行在推动高质量发展当中的重要作用提供了明确的经验证据和决策参考。

**关键词** 数字化转型；商业银行；指标构建；空间特征

**作者** 宋科，中国人民大学财政金融学院教授，中国财政金融政策研究中心、中国人民大学国际货币研究所研究员；陈醒（通讯作者），中国人民大学财政金融学院、中国人民大学国际货币研究所副研究员；李振，北京雁栖湖应用数学研究院助理研究员、中国人民大学国际货币研究所研究员；徐蕾，中国人民大学国际货币研究所副研究员。

<sup>\*</sup> 本文受到教育部人文社科基地重大项目“银行业数字化转型的经济效应与影响机制研究”（20231JY0070）的资助。

## 一、问题提出

近年来,随着我国经济由高速增长转向高质量发展,数字化转型在动能转换中发挥着越来越重要的作用。2020年,《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二〇三五年远景目标的建议》提出“加快数字化发展,推进数字产业化和产业数字化,推动数字经济和实体经济深度融合”,也为商业银行数字化转型指明了方向。在数字经济时代,商业银行应积极主动迎接数字化浪潮,拥抱金融科技,加快数字化转型,不仅可以提升自身核心竞争力,而且能够推动高质量发展。2019年8月,中国人民银行发布《金融科技(FinTech)发展规划(2019—2021年)》,明确将金融科技作为金融高质量发展的“新引擎”,建立健全我国金融科技发展的“四梁八柱”,进一步增强金融业科技应用能力,实现金融与科技深度融合、协调发展。2022年1月,中国人民银行再次印发《金融科技发展规划(2022—2025年)》,进一步明确我国金融科技发展从“立柱架梁”全面迈入“积厚成势”新阶段的总体定位,提出以加快金融机构数字化转型为主线,健全科技治理体系、夯实数字基础底座、加强技术创新引领、激活数字化经营功能、强化金融科技审慎监管、践行数字普惠金融,将数字元素注入金融服务全流程,将数字思维贯穿业务运营全链条,注重金融创新的科技驱动和数据赋能。

在数字经济时代,数据作为生产要素参与生产分配,数字化把原有要素全部更新为数字的价值,使工业时代原有要素出现了新的组合。利用 ABCD(即人工智能 Artificial Intelligence、区块链 Block Chain、云计算 Cloud、大数据 Big Data)等代表性技术,数字化企业在数字孪生、无限收敛性、自我迭代性这三个维度上体现着数字化特征。<sup>①</sup>数字化连接打破了组织内部和外部的边界,包括银行在内的诸多企业面临来自不同领域的颠覆式创新和替代式竞争。<sup>②</sup>银行数字化转型不仅仅是在银行运行中加入或改进数字化渠道,更是让银行业务的效用和体验完全脱离物理网点和以物理网点为基础的渠道延伸。通过数字化转型,银行服务可以无需依附具体金融产品,而是直接嵌入用户的日常生活或生产场景中,客户可以随时随地获得银行服务,个性化需求能够得到极大满足。针对当前数字化转型的测度,大部分文献基于企业层面展开。例如,依

---

<sup>①</sup> 陈冬梅、王俐珍、陈安霓:《数字化与战略管理理论——回顾、挑战与展望》,《管理世界》2020年第5期。

<sup>②</sup> 戚聿东、肖旭:《数字经济时代的企业管理变革》,《管理世界》2020年第6期。

托单一信息来源来衡量企业数字化转型水平,<sup>①②③</sup> 以及基于多维度视角对企业数字化转型进行评估。<sup>④⑤</sup> 少量文献对银行数字化转型程度进行了测度。<sup>⑥⑦</sup> 事实上, 银行数字化转型是一个涉及战略管理、组织架构、客户服务、产品创新、技术和风险控制的全面系统性工程, 既有文献对于上述指标普遍只关注其中一个或几个侧面, 涵盖的数字化信息相对有限。如果进行银行数字化转型的横纵向比较, 并据此探寻数字化转型经济效果及其作用机制, 需要建立一个更为全面系统、科学可行、准确可比的银行数字化转型指标体系。

鉴于此, 本文基于手动整理、文本挖掘以及实地调研等收集的海量微观数据, 秉持科学性、全面性、代表性、可持续性和可比性等原则, 构建中国商业银行数字化转型指数 (Digital Transformation Index of Banks in China, DTIB)。该指数可能的创新之处在于: 一是系统构建包括数字化战略、数字化组织、数字化客户、数字化产品和数字化技术等5个一级指标、28个二级指标以及诸多三级指标等在内的综合指标体系, 涵盖国有大型商业银行、股份制商业银行、城市商业银行和农村商业银行等在内的200余家商业银行, 具有较强的覆盖面和代表性。二是指标原始数据综合文本分析、网络爬虫以及手动整理等线上线下相结合的方法, 获取来自银行财务报告、互联网平台和权威机构数据库的权威数据, 能够有效避免数据偏差, 确保指标体系更具科学性、全面性、代表性、可持续性和可比性。三是基于指标体系的时间趋势、结构差异以及空间特征进行了综合分析, 客观展现了中国商业银行数字化转型的整体趋势, 为在新发展阶段进一步加强商业银行的金融科技应用, 加快推动银行数字化转型提供了明确的经验证据和决策参考。

---

① 杨震宁、侯一凡、李德辉、吴晨:《中国企业“双循环”中开放式创新网络的平衡效应——基于数字赋能与组织柔性的考察》,《管理世界》2021年第11期。

② 刘淑春、闫津臣、张思雪、林汉川:《企业管理数字化变革能提升投入产出效率吗》,《管理世界》2021年第5期。

③ 袁淳、肖土盛、耿春晓、盛誉:《数字化转型与企业分工:专业化还是纵向一体化》,《中国工业经济》2021年第9期。

④ Gamache, S., G. Abdul-Nour, and C. Baril, “Development of a Digital Performance Assessment Model for Quebec Manufacturing SMEs”, *Procedia Manufacturing*, vol. 37 (2022), pp. 1085-1094.

⑤ Chouaibi, S., J. Chouaibi, and M. Rossi, “ESG and Corporate Financial Performance: The Mediating Role of Green Innovation: UK Common Law versus Germany Civil Law”, *EuroMed Journal of Business*, vol. 12, no. 1 (2022), pp. 46-71.

⑥ Cheng, Maoyong, and Yang Qu, “Does Bank FinTech Reduce Credit Risk? Evidence from China”, *Pacific-Basin Finance Journal*, vol. 63, 2020.

⑦ 谢绚丽、王诗卉:《中国商业银行数字化转型:测度、进程及影响》,《经济学(季刊)》2022年第6期。

## 二、经验事实与文献述评

### (一) 经验事实

伴随着信息经济向互联网经济,再向数字经济的转型,<sup>①</sup>我国数字金融发展也历经了金融IT阶段、互联网金融阶段和金融科技数字化阶段。<sup>②</sup>与此同时,中国银行业数字化转型也经历了三个主要阶段。第一阶段为20世纪80年代末期的自动柜员机(ATM)服务阶段。作为机电一体化的智能装置,ATM机使用了附有技术加成的智能卡进行银行日常业务交易,如查询余额、自动存取款、转账、更改服务密码等,实现了部分银行服务的自助化。ATM取代了过去顾客与服务人员的直接接触和互动,同时也为服务商节约劳动力成本、提高工作效率,提供更一致的服务环境。<sup>③</sup>ATM普及提高了银行处理业务的效率与精度,降低了银行的营业成本。但在使用ATM跨行交易的初期却有着不可忽视的使用成本,只是随着时间推移逐步降低。例如,寇宗来和王学斌发现,在考虑跨行费制、额外费制和混合费制三种不同ATM收费制的情况下,福利分析结果表明,不管采用何种费制,市场都导致了过高的ATM费率,其中混合制费率的向上扭曲程度最高。<sup>④</sup>在此阶段,银行经营以实体网点为基础,ATM自助设施高度依赖实体网点,对客户的服务受限于客观物理条件限制,并没有完全突破时间与空间的局限性,是银行数字化转型的初级阶段。

第二阶段为20世纪90年代末期电话银行与网上银行服务阶段。电话银行是利用电话网络与计算机集成技术实现银行与客户之间安全、方便连接,通过电话网络,借助语音和人工方式提供银行服务的电子银行业务产品。电话银行不仅在功能上强调全面,涵盖个人、企业等金融业务和咨询,在方式上注重标准化和规范化,而且还注重全面、简捷、友好的特性。网上银行是利用互联网技术实现银行与客户之间安全、方便、友好的连接,并通过网络为客户提供各种金融服务的一类电子银行业务产品。从使用方式上看,客户只要具备上网的条件,就可以获得网上银行服务;从服务内容看,

<sup>①</sup> 许宪春、张美慧:《中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角》,《中国工业经济》2020年第5期。

<sup>②</sup> 谢治春、赵兴庐、刘媛:《金融科技发展与商业银行的数字化战略转型》,《中国软科学》2018年第8期。

<sup>③</sup> 曹忠鹏、赵晓煜、代祺:《顾客继续使用自助服务技术影响因素研究》,《南开管理评论》2010年第3期。

<sup>④</sup> 寇宗来、王学斌:《ATM收费、银行竞争和社会福利》,《世界经济》2006年第1期。

网上银行作为一种服务渠道、一个银行业务创新平台，基本涵盖了账户管理、转账汇款、金融理财等金融业务。对于银行而言，网上银行不仅能够帮助银行控制成本，提升银行利润，也能够使顾客充分享用自我服务，符合银行与客户的利益需求。<sup>①</sup> 电话银行与网上银行的出现突破了银行金融服务在时间和空间上的限制，满足了客户金融服务需求，提升了银行经营效率，但其发展也受潜在的安全风险和客户信赖危机制约。例如，朱军林认为，网上银行在发展过程中会面临网址不稳定、客户业务处理出现错误、业务操作系统不稳定、客户的资料不保密等不少问题。就客户对于网上银行信赖度的问题，银行要以网上银行的信赖性和相互作用性因素为前提条件提供服务，通过重视服务质量的共感性因素满足消费者的个性化服务需求，同时也有必要开发各种安全系统、降低改善措施的信息不对称性，以减少顾客对网上安全交易的不安情绪。<sup>②③</sup>

第三阶段为2010年以来的移动数字银行服务阶段（即数字化服务阶段）。手机银行也称移动银行，是利用移动网络以及移动技术实现银行与客户之间安全、方便、友好连接，通过移动网络为客户提供各种金融服务的电子银行业务产品。手机银行操作便捷、私密性强，可以实现“任何时间、任何地点、任何方式”的全天候金融服务，客户可凭随身携带的个人手机及时、安全地进行各项交易。相较于以往银行物理与客观上的诸多障碍，手机银行因其成本低廉、使用便利、无须开设分支行、同样可提供广泛服务，有着巨大的竞争优势。<sup>④</sup> 手机银行的出现使得个性化服务高度发展，金融与科技更加深入融合，银行服务更加系统化与智能化，大数据、云计算等科技的应用极大提升了银行服务可得性。传统金融部门在支持实体经济活动中暴露了包括“属性错配”“领域错配”“阶段错配”在内的三大结构性问题，而数字金融的发展能够较好地校正金融部门在匹配金融资源时出现的“流动性分层”。<sup>⑤</sup>

近年来，伴随着人工智能的蓬勃发展，银行数字化转型进行嵌入式的智能服务阶段。嵌入式的智能服务阶段也称数字化服务阶段，指依托大数据、人工智能、云计算、区块链、现实增强（AR）、语音识别设备、穿戴智能设备、无人驾驶、5G通信等新兴科技，银行业务可以实现实时智能、嵌入式的、无处不在的金融服务的银行模式，银

① 吴晓云、焦勇兵：《顾客采用网络银行的影响因素研究》，《南开管理评论》2008年第6期。

② 朱军林：《金融创新—网络银行—未来银行业发展的方向》，《国际经济评论》2000年第3期。

③ 金文姬、沈哲：《中国网络银行服务质量的五纬度分析》，《金融评论》2011年第4期。

④ 何光辉、杨咸月：《手机银行模式与监管：金融包容与中国的战略转移》，《财贸经济》2011年第4期。

⑤ 唐松、伍旭川、祝佳：《数字金融与企业技术创新——结构特征、机制识别与金融监管下的效应差异》，《管理世界》2020年第5期。

行业务更加线上化、数字化、自动化、个性化和智能化,银行逐渐演变为一种行为,而不是客户要去的地方,这也意味着当客户有资金需求时,可以随时随地获得量身定制的银行服务,银行业务的效用和体验完全脱离物理网点和以物理网点为基础的渠道延伸,也不再依附某个具体的金融产品。依托人工智能等技术,银行可以搭建智能化金融科技平台,提供无摩擦的交互体验,银行业务更加专注于将传统的“存贷汇”等核心功能融入客户生活场景中,实现无感知的综合金融服务。在此阶段,银行秉持“第一原理设计”,即从无到有的新业务形态,具象到目前的银行业务上,指重塑了业务流程和底层技术架构,创造了更贴近客户的产品银行。开放银行的出现和发展成为重要标志。银行从以前的核心系统驾驭的流程产品,向基于中间件的用户体验模型转变,就是“银行即服务”平台的主要方向,这些转变植根于银行服务矩阵以及未来发展的中心。嵌入式智能服务阶段能够快速高效地运用中间层技术,赋能传统银行的诸多特点,而且还能实现传统银行未能实现的功能。

## (二) 文献综述

### 1. 银行数字化转型的界定与演进

当前,社交媒体、移动设备、物联网、大数据引发的数字化改变了居民生活方式,迫使企业重新思考原有的运营模式和价值创造过程,<sup>①</sup>数字化转型逐渐呈现不可阻挡的发展趋势。数字化转型由“数字化”和“转型”两部分构成,其中数字化是动力,转型则是最终目标。Vial认为,数字化转型是指企业使用信息计算、人工智能、云计算和互联网等数字技术改变价值创造过程以应对外界环境变化的行为。<sup>②</sup>从性质看,数字化转型是企业为顺应数字时代所必需的组织特性的变革,包括企业定位、价值创造系统等方面;从内容看,数字化转型意味着重构组织及其运行系统的过程,包括企业战略、组织结构、人力资源、业务流程和产品等,其目标是成为数据智能驱动的数字企业;从实现手段看,数字化转型是企业基于各类数字技术的充分应用,应对数字时代挑战和机遇的战略行动。陈冬梅等认为,数字化把原有要素全部更新为数字的价值,使工业时代原有要素的组合出现了新的组合。利用“ABCD”等技术发展,数字化企业

---

<sup>①</sup> Rindfleisch, A., M. O'Hern, and V. Sachdev, "The Digital Revolution, 3D Printing, and Innovation as Data", *Journal of Product Innovation Management*, vol. 5, no. 34 (2017), pp. 681-690.

<sup>②</sup> Vial, G., "Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda", *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 28, no. 2 (2019), pp. 118-144.

在数字孪生、无限收敛性、自我迭代性这三个维度上体现着数字化特征。<sup>①</sup> 姚小涛等将数字化转型成功的关键因素总结为个体、组织和产业三个方面。其中，个体层面要求企业拥有数字化专业团队，包括具备数字领导才能的管理者以及数字化思维能力的员工；组织层面要求企业在组织层面与数字化转型相匹配，包括拥有自主的数字化转型决策权、与转型战略相适应的组织架构以及能够被有效利用的数据等；产业层面则需要企业具备数字化生产能力、顾客价值和生态系统。<sup>②</sup>

不难看出，尽管对数字化转型内涵的界定并未有一致意见，但可以取得一定共识的是，数字化转型作为企业将外部竞争和不可预测外部环境内部化的一种方式，<sup>③</sup> 并非一个简单的互联网技术后端技术应用，更重要的是要求企业从整个组织和商业模式层面重新定义自身战略，涉及经营理念，产品创新、业务营销、公司治理、员工管理等方方面面，是一个复杂的系统性工程，<sup>④</sup> 具有鲜明的“不破不立”“破而后立”的创新特征，既需要企业摆脱传统经营管理模式的路径依赖，也对其组织架构变革和生产要素流动形式提出更高要求。<sup>⑤</sup>

数字化连接打破了组织内部和外部的边界，包括银行在内的诸多企业面临来自不同领域的颠覆式创新和替代式竞争。<sup>⑥</sup> 就商业银行而言，以大数据、人工智能为代表的新型科技创造了一场金融信息革命，促使银行服务逐步向移动化、无形化和场景化发展。为应对金融科技对自身市场地位的冲击，越来越多的银行提出数字化转型战略。King 认为，目前商业银行正处于主动拥抱数字技术，向数字化转型的银行 4.0 时代，这一阶段银行服务以人工智能等技术为驱动力，不再依赖传统实体线下机构，而是内嵌进各类业务场景，向客户提供一种即时、无障碍和情境式的金融服务。<sup>⑦</sup> 谢治春等指出，数字化对商业银行影响的深度和广度都较大，不单是渠道增加和业务的线上转移，

---

① 陈冬梅、王俐珍、陈安霓：《数字化与战略管理理论——回顾、挑战与展望》，《管理世界》2020年第5期。

② 姚小涛、亓晖、刘琳琳、肖婷：《企业数字化转型：再认识与再出发》，《西安交通大学学报（社会科学版）》2022年第3期。

③ Zhu, Xiaoteng, Shilun Ge, and Nianxin Wang, “Digital Transformation: A Systematic Literature Review”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 162, 2021.

④ 马赛、李晨溪：《基于悖论管理视角的老字号企业数字化转型研究——以张弓酒业为例》，《中国软科学》2020年第4期。

⑤ 王永贵、汪淋淋：《传统企业数字化转型战略的类型识别与转型模式选择研究》，《管理评论》2021年第11期。

⑥ 戚聿东、肖旭：《数字经济时代的企业管理变革》，《管理世界》2020年第6期。

⑦ King, B., *Bank 4.0: Banking Everywhere, Never at a Bank*, New York: John Wiley & Sons, 2018, pp. 219–242.

还包括了基础支持系统、组织架构、内部流程、风险控制体系、客户管理方式等的变革,已经渗透到商业银行前、中、后台的大部分范围。<sup>①</sup>王勋等认为,金融机构商业模式数字化转型的核心是以数据为基础、以技术为驱动、以场景为切入,在渠道布局上实现“线上+线下”融合互通发展,包括在风控模式上加强数字化风控,服务范式上实现精细化,运营模式上促进智能服务,生态构建上实现共建共赢发展等。<sup>②</sup>在转型内容方面,中国银保监会2022年发布的《关于银行业、保险业数字化转型的指导意见》对银行业数字化转型的实现路径给出了方向指引,一是积极发展产业数字金融,打造数字化金融服务平台,推进开放银行建设,加强场景聚合、生态对接。二是大力推进个人金融服务数字化转型,拓展线上渠道,丰富服务场景,完善数字化经营管理体系,提高金融产品和服务可获得性,推动解决“数字鸿沟”问题。三是提升金融市场交易业务数字化水平,加强线上交易平台建设,有效提升投资交易效率和风险管理水平。四是建设数字化运营服务体系,不断提高服务内容运营、市场活动运营和产品运营能力。五是构建安全高效、合作共赢的金融服务生态,强化系统集成,加强内外部资源整合,建立健全面向开放平台的安全管理机制。六是加强数字化风控能力建设,提升风险监测预警智能化水平。

整体上讲,与广义企业数字化转型一致,银行数字化转型同样是一个综合性概念,要求银行从战略、组织、技术、产品、服务等方面寻求数字化变革,逐渐脱离原有的线下物理网点及其在此基础上的渠道延伸,将金融产品与服务直接嵌入各类应用场景,从而为客户提供更加便捷的服务。可以看到,银行数字化转型不仅仅是在银行运行中加入或改进数字化渠道,更是让银行业务的效用和体验完全脱离现有物理网点和以物理网点为基础的渠道延伸。随着银行数字化转型逐步深入,银行服务可以无须依附某个具体金融产品,而是直接嵌入到用户的日常生活场景中、嵌入银行客户的世界中,客户可以随时随地获得银行服务,个性化需求能够得到极大满足。

## 2. 银行数字化转型度量与指数构建

关于银行数字化转型指数构建的文献主要涉及指标体系设定与测度方法选取两个方面。指标体系层面,主要可归纳为选取代理变量法、文本分析法和指数体系法三类。一是选取代理变量法。将能够反映企业数字化转型投入或者成果价值的相关指标当作

<sup>①</sup> 谢治春、赵兴庐、刘媛:《金融科技发展与商业银行的数字化战略转型》,《中国软科学》2018年第8期。

<sup>②</sup> 王勋、黄益平、苟琴、邱晗:《数字技术如何改变金融机构:中国经验与国际启示》,《国际经济评论》2022年第1期。

数字化转型的代理变量。例如，王永进等通过问卷调查的方式获取企业信息技术人员占比，并以此作为企业数字化应用程度的衡量指标，然而，使用计算机可能只是简单的网络应用行为，与数字化存在较大距离，且问卷调查数据本身样本量有限、代表性不高。<sup>①</sup> 考虑到企业以ERP、ES/DCS、PLM等数字化转型投资项目作为推行数字化管理的关键嵌入方式。刘淑春等分别选取ERP投资量、MES/DCS投资量、PLM投资量进行量化分析。<sup>②</sup> 但是以单一技术投入指标作为代理变量具备片面性，难以反映企业数字化转型整体情况。

二是文本分析法。企业通常在年报中披露数字化信息，部分研究通过文本分析法，借助网络爬虫等智能技术统计数字化相关关键词在财务报告中出现的词频，作为企业数字化转型衡量指标。该方法的关键之处在于确定数字化词谱。例如，吴非等和黄大禹通过查阅与数字化发展相关的政策文件与研究报告，从人工智能、区块链、云计算、大数据以及上述数字技术的应用这五个具有普适性的层次出发构建关键词列表。<sup>③④</sup> 赵宸宇等从互联网商业模式、数字技术应用、现代信息系统和智能制造四个层次选取关键词。<sup>⑤</sup> 袁淳等以国家政策语义体系为基础构建企业数字化术语词典，通过对中央人民政府、工业和信息化部网站进行检索，人工筛选得到若干国家层面数字经济相关政策文件，从中提取企业数字化相关关键词。<sup>⑥</sup> 总的来看，这类指标维度较为单一，仅关注某类特定信息技术的应用，难以反映企业数字化全貌，而且仅仅依靠文本挖掘对关键词进行提取，缺乏专业的主观判断。

三是指数体系法。鉴于数字化转型的复杂性和系统性，国外部分研究通过构建指数法从多个维度对企业数字化转型进行评估。例如，Gamache等通过实地调查，对促进中小企业数字化转型的相关绩效指标进行评估，主要包括管理服务、技术获取与开发、

---

① 王永进、匡霞、邵文波：《信息化、企业柔性产能利用率》，《世界经济》2017年第1期。

② 刘淑春、闫津臣、张思雪、林汉川：《企业管理数字化变革能提升投入产出效率吗》，《管理世界》2021年第5期。

③ 吴非、胡慧芷、林慧妍、任晓怡：《企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据》，《管理世界》2021年第7期。

④ 黄大禹、谢荻宝、孟祥瑜、张秋艳：《数字化转型与企业价值——基于文本分析方法的经验证据》，《经济学家》2021年第12期。

⑤ 赵宸宇、王文春、李雪松：《数字化转型如何影响企业全要素生产率》，《财贸经济》2021年第7期。

⑥ 袁淳、肖土盛、耿春晓、盛誉：《数字化转型与企业分工：专业化还是纵向一体化》，《中国工业经济》2021年第9期。

数字架构、自动化、数据质量和电子商务等方面。<sup>①</sup> Stich 等从资源、信息系统、组织结构、文化四个方面构建了指标体系,采用定性方法对中小企业数字化转型水平进行评价。<sup>②</sup> Ottesjob 等尝试使用等级树(Hierarchical Tree)结构法对中小企业整体数字化能力进行评估。Yang 等从数字化转型资源投入与企业原有资源水平的匹配度、企业接受所需的数字化战略规划和组织变革的程度、数字化转型解决方案的预期应用水平、数字转换解决方案预期价值四个维度选择二级指标,通过 T-球形模糊云算法(T-spherical Fuzzy Cloud Algorithm)构建企业数字化转型评价体系。<sup>③</sup> Chouaibi 等从 ICT(信息技术)使用倾向、知识构建、合作开放和创新密度四个维度构建多维指标体系衡量样本企业数字化转型程度。<sup>④</sup> 上述方法为合理量化我国商业银行数字化转型提供了思路,在构建指数体系之前,明确界定数字化转型的内涵是关键的基础性工作,考虑到我国银行数字化转型的内容、模式以及信息披露的差异性,构建适用我国商业银行实际的数字化转型指标体系仍需做进一步探讨。

商业银行与其他实体企业生产模式、业务内容等方面均存在较大不同,因此企业数字化转型的度量方式不适合完全照搬到商业银行上。从既有文献看,国内外有关银行数字化转型的量化研究相对较少,将视域放宽到银行个体维度科技应用情况。例如,Cheng 和 Qu 通过爬取百度搜索引擎中与银行五种科技应用(即人工智能、智能、人脸识别、实时监测、指纹识别)有关的新闻篇数,构建银行金融科技发展总指数及其子维度指数,<sup>⑤</sup> 但该方法侧重于在技术维度衡量银行科技使用水平,无法作为数字化转型的代理变量。同样采用文本挖掘法,徐晓萍等使用银行与金融科技企业合作情况衡量数字化水平。<sup>⑥</sup> 然而,基于上市银行年报使用文本挖掘法的研究,往往局限于上市银行,

---

<sup>①</sup> Gamache, S., G. Abdul-Nour, and C. Baril, "Development of a Digital Performance Assessment Model for Quebec Manufacturing SMEs", *Procedia Manufacturing*, vol. 37, 2022, pp. 1085-1094.

<sup>②</sup> Stich, V., V. Zeller, J. Hicking, and A. Kraut, "Measures for a Successful Digital Transformation of SMEs", *Procedia Cirp*, vol. 93, 2020, pp. 276-291.

<sup>③</sup> Yang, Zaoli, Jinping Chang, Lucheng Huang, and A. Mardani, "Digital Transformation Solutions of Entrepreneurial SMEs Based on an Information Error-driven T-spherical Fuzzy Cloud Algorithm", *International Journal of Information Management*, vol. 69, 2023.

<sup>④</sup> Chouaibi, S., J. Chouaibi, and M. Rossi, "ESG and Corporate Financial Performance: The Mediating Role of Green Innovation: UK Common Law versus Germany Civil Law", *EuroMed Journal of Business*, vol. 12, no. 1 (2022), pp. 46-71.

<sup>⑤</sup> Cheng, Maoyong, and Yang Qu, "Does Bank FinTech Reduce Credit Risk? Evidence from China", *Pacific-Basin Finance Journal*, vol. 63, (2020).

<sup>⑥</sup> 徐晓萍、李弘基、戈盈凡:《金融科技应用能够促进银行信贷结构调整吗?——基于银行对外合作的准自然实验研究》,《财经研究》2021年第6期。

且只能衡量银行数字化转型的主观意愿，而非客观水平。目前，国内相对较为全面的银行数字化转型指标由北京大学数字金融研究中心编制，该指数从战略、管理和业务三个层面构建数字化转型指数。其中，战略层面通过抓取商业银行年报中与数字技术相关关键词词频获得。管理层面关注银行为实施数字化转型在组织架构层面做出的转变，包括数字化相关部门数量、信息科技背景高管与董事比例，以及银行数字金融相关合作情况等。业务层面考虑三个数字化业务板块，包括数字化产品、数字化渠道和数字化研发。<sup>①</sup>

测度方法层面，主要涉及数据的无量纲化和指标赋权两个方面。从无量纲化处理方法来看，目前主要的无量纲化方法包括线性无量纲化方法、指数型无量纲化方法、对数型无量纲化方法、幂函数型无量纲化方法等，这些方法之间最主要的区别在于所使用的无量纲化的函数形式不同，由此导致生成的无量纲指标在单调性、凸性、接近上下限时的增长速度等方面存在不同程度的差异。彭非等在对无量纲化方法进行系统地优缺点梳理对比的基础上，提出了“改良型指数型功效函数法”。<sup>②</sup> 基于该方法，正向指标与逆向指标具有统一的功效函数形式，弥补了指数记分模型的缺点，且由于其本身下凸的性质能够很好解决正向指标和逆向指标越接近满意值，无量纲化后数值上升越快的问题。该方法在含有互补型指标较多的指标体系，特别是当部分指标值呈现边际收益递减的特征时，在构建关于社会经济发展综合评价指标体系方面具有较好的适应性。从权重设定来看，主要包括主成分分析法、熵值法、纵横向拉开档次法、层次分析法、等权法等。<sup>③④⑤⑥⑦</sup> 其中，主成分分析法中主成分的含义往往带有模糊性，难以准确界定，而且会经常出现负数权重的情况，权重意义难以解释；纵横向拉开档次法忽略了指标本身的重要程度，指标权数可能会与预期的结果相差甚远；层次分析法由于采取专家评分的方式，过于主观往往不具有代表性；等权法对于各个指标的重要

① 谢绚丽、王诗卉：《中国商业银行数字化转型：测度、进程及影响》，《经济学（季刊）》2022年第6期。

② 彭非、袁卫、惠争勤：《对综合评价方法中指数功效函数的一种改进探讨》，《统计研究》2007年第12期。

③ 王劲松、任宇航：《中国金融稳定指数构建、形势分析与预判》，《数量经济技术经济研究》2021年第2期。

④ 杨翰方、王祎帆、王有鑫：《中国输入性金融风险：测算、影响因素与来源》，《数量经济技术经济研究》2020年第7期。

⑤ 聂长飞、简新华：《中国高质量发展的测度及省际现状的分析比较》，《数量经济技术经济研究》2020年第2期。

⑥ 孙文凯、赵忠、单爽、刘问鼎：《中国劳动力市场化指数构建与检验》，《经济学（季刊）》2020年第4期。

⑦ 王青、刘烁：《进城农民工多维贫困测度及不平等程度分析——基于社会融合视角》，《数量经济技术经济研究》2020年第1期。

程度差异难以准确衡量。相比较而言,熵值法在构建经济社会指标体系时具有更广泛的适用性。

### 三、指标体系与构建方法

#### (一) 指标体系

##### 1. 构建原则

本文在构建指标体系时,遵循以下原则:一是科学性原则。遵循经济规律和科学发展规律,科学选取包括数字化战略、数字化组织、数字化产品、数字化服务和数字化技术等5个维度的指标,更加客观、真实地反映数字化的科学内涵。原始数据的处理、指标权重确定等尊重基本原理,以确保构建方法科学性。二是全面性原则。作为多维指标体系,全面性原则要求指数的指标选取要充分考虑指数可能包含的各个维度,每个指标都应该能够客观反映中国商业银行数字化的一个侧面,同时综合考虑各指标层级、各要素之间的联系,进而基于整个系统进行有机合成,以全面、准确反映数字化特征。三是代表性原则。指数的每个维度都有海量的指标可以反映,指标的无穷性和指数构建的有限性存在二元矛盾,指数构建不可能穷尽所有指标,因此在构建数字化转型指数过程中必须选取代表性最强的指标,保证重要和关键指标可得性。四是可持续性原则。数字化转型指数构建是个动态化、长期性过程,因此指标设计和选取要充分考虑多维数据的可得性、真实性和可靠性,以确保指数编制的长期可持续性。五是可比性原则。为了使不同类型和规模的银行具有可比性,在指标设计和选取时要做充分考虑时间维度和空间维度的异质性,以保证同一银行的数字化状况在不同年份上的纵向可比,也要保证同一时点上不同银行的横向可比。

##### 2. 指标选取

本文构建的指标体系包括以下五个一级指标:(1)战略是银行推动数字化转型的基础,长期的战略规划更有利于银行推进数字化。作为银行数字化顶层设计的重要体现,本文以数字化战略提出时间、数字化奖项数量、与外部科技公司合作数量以及数字化战略词频等作为衡量数字化战略的具体指标。(2)组织体现的是银行数字化的结构化特征,是对战略层面的具体实施。本文以金融科技子公司成立时间、直销银行成立时间、董事长和行长科技背景人数、董事会科技背景人数占比等来衡量数字化组织。(3)当前银行的经营理念逐渐由以产品为中心转向以客户为中心,重视客户的实际感

受对于银行数字化转型至关重要。本文以智能客户服务词频、网上银行使用人数、手机银行日均活跃用户数、手机银行人均单日使用时长、手机银行人均单日使用次数等作为衡量数字化客户的具体指标。(4) 产品是银行数字化转型的最终成果，是维系银行和客户关系的纽带。伴随着产品的日益创新、应用场景和营销渠道的不断丰富，数字化产品能深刻反映生产者与消费者亲密互动。一方面，生产者即银行通过大数据、云计算等技术手段精准刻画用户画像，并通过数字化产品为消费者提供更好的实际服务；另一方面，消费者通过对产品使用情况的反馈深度参与产品设计与创新，也有利于银行优化产品服务。因此，本文以数字化零售产品词频、数字化批发产品词频、线上理财产品占比等来衡量数字化产品。(5) 技术体现了银行数字化底层逻辑，是银行开展数字化的关键。本文选取银行科技专利的申请数量和授权数量、银行参加国家数字化标准制定的数量、银行软件著作权数量、固定资产电子设备净值、无形资产中的计算机软件数额、数字技术相关关键词在财务报告中出现词频等作为衡量数字化技术的具体指标。具体指标情况如表1所示。<sup>①</sup>

表1 指标体系

总指数	一级指标	二级指标
中国商业银行数字化转型指数	数字化战略	数字化战略提出
		数字化奖项
		与外部科技公司合作
		数字化战略词频
	数字化组织	金融科技子公司
		直销银行
		董事长和行长科技背景人数占比
		董事会科技背景人数占比
	数字化客户	智能客户服务词频
		网上银行使用人数
		手机银行日均活跃用户数
		手机银行人均单日使用时长

<sup>①</sup> 限于篇幅，指数二级指标的数据来源、处理方法等信息备考。

续表 1

总指数	一级指标	二级指标
中国商业银行数字化转型指数	数字化客户	手机银行人均单日使用次数
	数字化产品	数字化零售产品词频
		数字化批发产品词频
		线上理财产品占比
	数字化技术	区块链词频
		云计算词频
		大数据词频
		人工智能词频
		物联网及 5G 词频
		专利申请数量
		专利授权数量
		软件著作权数
		数字化标准数
		固定资产中电子设备净值
		无形资产中软件净值
数字化风控词频		

## (二) 构建方法

### 1. 无量纲处理

中国商业银行数字化转型指数是涉及众多指标的综合评价体系。为便于指数合成,要将性质和计量单位不同的指标去除单位限制,进行无量纲处理。无量纲处理方法主要包括线性无量纲化方法、指数型无量纲化方法、对数型无量纲化方法、幂函数型无量纲化方法等,其主要区别在于无量纲化的函数形式不同,由此导致生成的无量纲指标在单调性、凸性、接近上下限时的增长速度等方面存在不同程度差异。经过分析比较,结合数据特征,本文主要选取改良型功效函数方法进行标准化处理。<sup>①</sup> 参照彭非等提出的改

<sup>①</sup> 本文还使用极差变换法进行无量纲处理,详见附录。

良型功效函数方法,<sup>①</sup>对性质和计量单位不同的指标进行无量纲处理。具体公式如下:

$$d = Ae^{\frac{x-x^h}{x^s-x^h}}B \quad (1)$$

其中,  $d$  为单项评价指标的评价值, 即功效分值;  $x$  为单项指标的实际值;  $x^s$  为不允许值;  $x^h$  为满意值;  $A$ 、 $B$  为正的待定参数。改良型指数型功效函数法具有单调性和下凸性, 正向指标与逆向指标具有统一的函数形式, 方法应用不受样本变动的影 响, 可以进行历史对比。对于公式中的待估参数  $A$  和  $B$ , 可以通过临界点定分来确定, 当  $x=x^s$  时, 即  $x$  达到了不允许值, 按照直线型功效函数做法, 取  $d=60$ , 此时  $A=60$ ; 当  $x=x^h$  时, 即  $x$  达到了满意值, 取  $d=100$ , 此时  $B=-\ln(0.6)$ 。

因此, 原公式可以改写为:

$$d = 60e^{-\ln 0.6 \frac{x-x^h}{x^s-x^h}} \quad (2)$$

为缓解极端值影响, 保持指数平稳性以及数据的横纵向可比性, 参考郭峰等的阈值确定方法, 将各项指标数据实际值的 5% 分位数记为  $x^h$ , 95% 分位数记为  $x^s$ 。<sup>②</sup>此外, 为了平滑指数趋势, 本文对超过指标上限的地区进行缩尾处理。当某数据的指标值超过该指标的上限  $x^h$  时, 则令该指标值为上限值  $x^h$ , 当某指标值小于其下限  $x^s$  时, 则令该指标值为其下限值  $x^h$ 。

根据上述方法, 本次编制指数所使用的各数据的无量纲化数值得分区间在 60 和 100 之间, 得分越高, 相应指标的发展水平就越高。在未来更新数据时, 指标的 功效分值有可能小于 60 或大于 100, 这代表了发展水平的整体差异。

## 2. 权重确定

权重对于指标构建至关重要。按照赋权的主观程度, 可分为主观赋权法与客观赋权法; 按照数据的信息, 赋权可分为四大类, 即利用数据的信息浓缩原理的因子分析和主成分分析法, 利用数据信息的相对大小的 AHP 层次法和优序图法, 利用数据信息量大小的熵值法, 利用数据的波动性或相关关系的 CRITIC、独立性权重和变异系数法。为了更好地刻画中国商业银行数字化转型指数, 本文选择客观赋权法, 用熵值法确定二级指标相对于一级指标的权重以及一级指标相对于总指标的权重来编制指数 (具体权

① 彭非、袁卫、惠争勤:《对综合评价方法中指数功效函数的一种改进探讨》,《统计研究》2007年第12期。

② 郭峰、王靖一、王芳、孔涛、张勋、程志云:《测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征》,《经济学(季刊)》2020年第4期。

重见表 2)。① 熵值赋权法的基本步骤如下:

构建原始数据矩阵,用  $x_{ij}$  表示第  $i$  年的第  $j$  指标值,那么原始数据矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

令  $p_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  指标值的贡献程度,  $s_j$  表示指标体系中第  $j$  项指标的贡献程度,

令  $K = \frac{1}{\ln(n)}$ , 则初步计算公式如下:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (4)$$

$$s_j = -K \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (5)$$

进一步,令  $d_j = 1 - s_j$ , 就可以按照公式计算求得权重  $W_j$ :

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (6)$$

各指标的权重如表 2 所示:

表 2 权重方法

一级指标	熵值法	二级指标	熵值法
数字化战略	0.158	数字化战略提出	0.058
		数字化奖项	0.031
		与外部科技公司合作	0.036
		数字化战略词频	0.033
数字化组织	0.176	金融科技子公司	0.021
		直销银行	0.073
		董事长和行长科技背景人数占比	0.043
		董事会科技背景人数占比	0.039

① 为方便指数交叉验证,本文将一级指标采用等权法、二级指标采用熵值法进行指标处理和指数合成。同时,还将一级指标、二级指标均采用等权法进行指标处理和指数合成。限于篇幅,详情备索。

续表 2

一级指标	熵值法	二级指标	熵值法
数字化客户	0.174	智能客户服务词频	0.031
		网上银行使用人数	0.030
		手机银行日均活跃用户数	0.029
		手机银行人均单日使用时长	0.039
		手机银行人均单日使用次数	0.045
数字化产品	0.121	数字化零售产品词频	0.032
		数字化产品批发词频	0.035
		线上理财产品占比	0.054
数字化技术	0.372	区块链词频	0.032
		云计算词频	0.040
		大数据词频	0.035
		人工智能词频	0.033
		物联网及5G词频	0.033
		专利申请数量	0.028
		专利授权数量	0.024
		软件著作权数	0.032
		数字化标准数	0.031
		固定资产中电子设备净值	0.025
		无形资产中计算机软件净值	0.029
		数字化风控词频	0.031

### (三) 样本选择

根据上述指标体系与指数编制方法，本文初步编制了中国商业银行数字化转型指数（下文均简称为“总指数”）以及全国29个省级行政单位的29家省级城市商业银行指数（下文均简称为“省指数”），涵盖6家国有大型商业银行、12家股份制商业银行、数百家城市商业银行和农村商业银行。同时，本文还编制了中国商业银行数字化转型指数数字化战略指数（下文均简称为“数字化战略指数”）、中国商业银行数字化转型指数数字化组织指数（下文均简称为“数字化组织指数”）、

中国商业银行数字化转型指数数字化客户指数（下文均简称为“数字化客户指数”）、中国商业银行数字化转型指数数字化产品指数（下文均简称为“数字化产品指数”）和中国商业银行数字化转型指数数字化技术指数（下文均简称为“数字化技术指数”）等5个一级指标的分指数。指数时间跨度为2014—2020年共计7年的年度数据（见表3）。

表3 2014—2020年样本银行数量 (单位:家)

时间	全国银行	国有大型商业银行	股份制商业银行	城市商业银行	农村商业银行
2014年	109	6	12	67	24
2015年	125	6	12	75	32
2016年	147	6	12	84	45
2017年	158	6	12	88	52
2018年	205	6	12	90	97
2019年	208	6	12	92	98
2020年	206	6	12	91	97

## 四、演进趋势与转型特征

### （一）总指数演进趋势

第一，整体趋势。图1报告了中国商业银行数字化转型指数的总指数变化情况。中国商业银行数字化转型指数总指数（年度均值）为67.84，83家商业银行位于均值以上，仅占样本银行的39.90%。其中，中国工商银行数字化转型指数最高，为91.37。6家国有大型商业银行全面领先，数字化转型处于第一梯队；12家股份制商业银行优势明显，招商银行表现最好，中国民生银行、平安银行、中国光大银行、兴业银行、中信银行、华夏银行、浦发银行、广发银行、浙商银行、恒丰银行的数字化转型指数均高于全国平均水平，处于第二梯队；92家城商行整体高于全国平均水平，其中北京银行表现最好，整体处于第三梯队；98家农商行中，上海农村商业银行表现最好，但整体低于全国平均水平，处于第四梯队。

第二，不同类型银行的时序变化。图2汇报了不同类型银行的数字化转型指数的

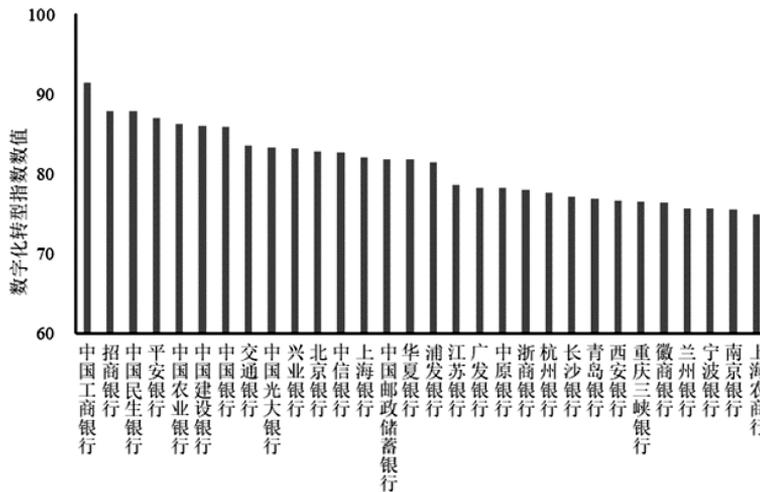


图1 中国商业银行数字化转型总指数 (均值)

时序变化情况。整体上看,国有大型商业银行数字化转型指数始终保持领先,上升趋势最为显著;股份制商业银行发展趋势良好,数字化转型持续增长且增速稳定;城市商业银行整体表现一般;农村商业银行整体数字化转型相对落后。

分时间段看,2014—2015年四类商业银行的数字化转型指数基本稳定,国有大型商业银行短暂收敛调整,股份制商业银行、城市商业银行和农村商业银行呈现缓慢增长的趋势,但整体波动较小。可能的原因在于,2015年《政府工作报告》中提出“互联网+”计划,要推动科技创新,实现科技与传统业务融合,金融行业需要在供给端与金融科技紧密融合。在这一时期,各类银行都处于数字化转型的探索阶段,战略调整、组织架构、客户管理、产品供给和技术开发都处于相对不稳定时期。2015—2018年,商业银行数字化转型速度显著加快,各类商业银行在数字化转型摸索中逐步找到了一条适合自身发展的道路。2016年,国务院发布的《推进普惠金融发展规划(2016—2020年)》提出,要提升金融机构科技运用水平,通过鼓励金融机构运用大数据、云计算等新型信息技术,打造互联网金融服务平台方式,为客户提供全方位金融服务,以此来推进普惠金融发展,提高金融服务覆盖率。利用金融科技实现数字化,促进金融产品创新,提高金融服务效率,满足不同的金融服务需求,有助于金融业实现供给与需求的平衡,实现数字金融协调发展。<sup>①</sup>正是基于国家顶层设计的多期政策叠加,各

<sup>①</sup> 钱海章、陶云清、曹松威、曹雨阳,《中国数字金融发展与经济增长的理论与实证》,《数量经济技术经济研究》2020年第6期。

类商业银行基于自身比较优势,走出了符合自身实际的差异化数字化转型道路。2015—2016年,国有大型商业银行在摆脱数字化转型调整的阵痛期后,数字化转型步伐显著加快。值得一提的是,市场化程度相对较高的股份制商业银行数字化转型显著提升,数字化转型指数增幅远高于其他三类商业银行,股份制商业银行与国有大型商业银行数字化转型指数差距整体呈现逐年收敛的趋势。同期,城市商业银行数字化转型缓慢提升,而农村商业银行整体发展滞后。自2016年以来,国有大型商业银行数字化转型指数大幅增加,增速超过股份制商业银行,而城市商业银行和农村商业银行的数字化转型指数整体变化较小,甚至呈现向下收敛的趋势。2018年以来,国有大型商业银行的数字化转型指数大幅超越股份制商业银行,形成显著的领先优势。随着中国人民银行发布《金融科技(FinTech)发展规划(2019—2021年)》,各类商业银行进一步优化数字化战略,数字化转型程度稳步提升。

整体上讲,虽然四类商业银行的数字化转型指数整体上呈现逐年增长的趋势,但是各类银行在数字化转型过程中仍存在显著差距,且这一差距随时间逐渐扩大,呈现一定程度的“马太效应”。

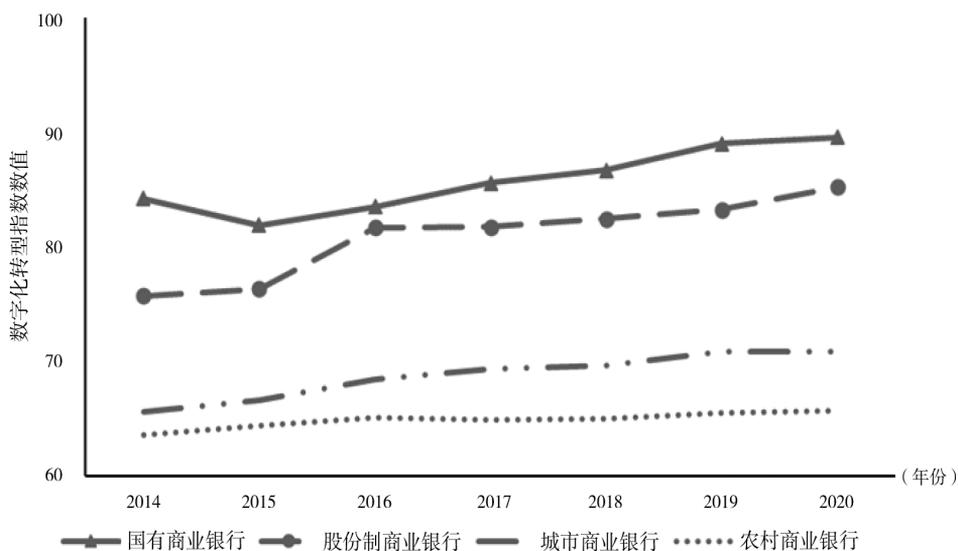


图2 不同类型银行数字化转型指数的时序变化

## (二) 分指数演进趋势

第一,整体趋势。图3报告了中国商业银行数字化转型指数的五项一级指标分指数情况。2014—2020年,中国建设银行、交通银行、中国农业银行和中国工商银

行分别在数字化战略、数字化客户、数字化产品和数字化技术等方面处于领先地位，长沙银行在数字化组织方面表现最为突出。具体来看，数字化战略指数年度均值为73.34，国有大型商业银行和股份制商业银行在数字化战略发展方面处于领先地位。数字化组织指数年度均值为69.48，城市商业银行在数字化组织发展方面优势明显。数字化客户指数年度均值为68.27，国有大型商业银行和股份制商业银行在数字化客户发展方面表现良好。数字化产品指数年度均值为67.50，国有大型商业银行、股份制商业银行和城市商业银行在数字化产品发展方面均具有一定优势。数字化技术指数年度均值为64.62，国有大型商业银行和股份制商业银行在数字化技术发展方面全面领先。

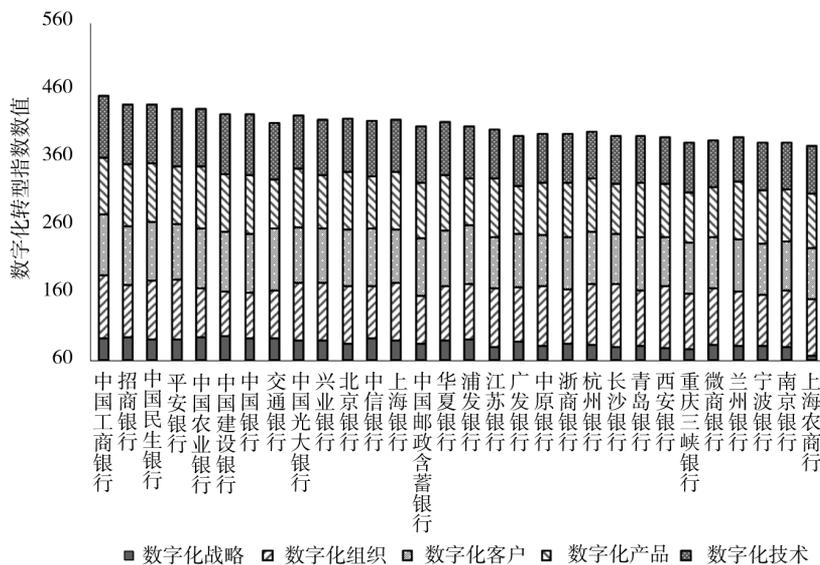


图3 五项一级指标分指数（均值）

整体上讲，国有大型商业银行在数字化转型领域处于绝对领先地位，特别是在数字化战略、数字化客户和数字化技术层面，依托先天优势，国有大型商业银行率先响应国家号召进行数字化变革，将 ABCD 等新技术贯穿银行发展全流程，依托丰富的数字化专利和先进的数字化发展标准，既进行银行数字化发展的战略远景规划，又推进数字化产品设计与服务、智能风控系统架构与实施、智能服务组织与供给等，最终实现在数字化转型中的领先地位。作为市场化程度更高的股份制商业银行，无论在数字化战略蓝图规划、高级管理层人员架构、客户关系管理，还是在数字化产品供给、数字化技术支持和数字化成果展现方面，都具有一定优势。城市商业银行具有浓厚的地方色彩，注重服务地方经济、服务中小企业和服务城市居民，其数字化发展不仅取决

于地区经济发展程度，也深受地方政府的影响。城市商业银行的“小”使得其难以同国有大型商业银行和股份制商业银行进行潜在客户竞争和存量客户维系，更难以通过巨额资金投入发展数字化技术，而城市商业银行的“灵活”则天然适合进行“软”行为，相对而言更容易优化董事会、董事长等高级管理层人才的科技背景，更灵活调整对特定目标客户的数字化产品服务，实现特定范围内数字化产品的精耕细作。对于众多农村商业银行，天然的弱势属性使其较难推动数字化转型，在银行数字化转型浪潮中处于相对弱势地位。

第二，不同类型分指数的时序变化。如表4所示，中国商业银行数字化转型指数随时间推移逐年增长，呈现向好发展的态势，由2014年的67.34增长到2020年的69.86。从不同类型的分指数来看，数字化战略指数和数字化组织指数均有较为显著的增长，分别从2014年的70.13、66.11增长到2020年的77.17、72.63。这意味着中国商业银行更加注重在数字化战略层面的规划与实践，深入挖掘自身比较优势，逐步加强与外部科技公司的对外合作，不断优化人才结构，强化数字化组织层面的董事长、行长和董事会等高级管理层的科技背景，着力发展金融科技子公司和直销银行，实现顶层设计与经营实践的有机统一。相比较而言，数字化客户指数、数字化产品指数、数字化技术指数的发展较为缓慢，这也表明众多商业银行在网络银行、手机银行、智能客服、数字化产品和线上理财产品设计、与区块链、物联网、大数据、云计算、AI相关的技术、服务和成果发展相对滞后。不难看出，相对于数字化发展的顶层“口号”设计与高级管理层的人事变动等“软”行为，中国商业银行在客户挖掘与培养、产品设计与实践、技术应用与发展等“硬”行为层面存在明显的短板，“木桶效应”使得中国商业银行数字化转型面临诸多困境，未来亟须打破在客户、产品和技术端的桎梏。

表4 不同类型分指数的时序变化

	总指数	数字化战略	数字化组织	数字化客户	数字化产品	数字化技术
2014年	67.338	70.135	66.114	68.145	69.091	65.782
2015年	67.758	71.760	68.640	68.218	69.561	64.840
2016年	69.213	71.828	70.482	71.183	69.916	66.356
2017年	69.510	73.402	72.546	71.141	69.043	65.813
2018年	68.792	74.365	71.004	69.367	67.962	65.381

续表 4

	总指数	数字化战略	数字化组织	数字化客户	数字化产品	数字化技术
2019年	69.646	76.542	71.801	70.027	69.108	65.695
2020年	69.859	77.169	72.632	69.722	68.526	65.940

## 五、空间特征分析

为进一步分析数字化转型指数的空间聚集性，本文优先选取地处省会的省级城市商业银行（如北京银行、上海银行、中原银行等）作为该省城市商业银行的代表（详见表5）。省级城市商业银行一般历史悠久，业务经营和发展相对于其他城市商业银行具有独特的优势，最能代表该省的城商行发展水平。<sup>①</sup>

表 5 省级城市商业银行 (n=29)

省级行政区	银行	省级行政区	银行	省级行政区	银行
安徽	徽商银行	黑龙江	哈尔滨银行	山西	晋商银行
北京	北京银行	湖北	湖北银行	陕西	西安银行
福建	厦门银行	湖南	湖南银行	上海	上海银行
甘肃	甘肃银行	吉林	吉林银行	四川	成都银行
广东	广州银行	江苏	江苏银行	天津	天津银行
广西	广西北部湾银行	江西	江西银行	新疆	乌鲁木齐银行
贵州	贵州银行	辽宁	盛京银行	云南	富滇银行
海南	海南银行	宁夏	宁夏银行	浙江	杭州银行
河北	河北银行	青海	青海银行	重庆	重庆银行
河南	中原银行	山东	齐鲁银行		

<sup>①</sup> 如果某省样本期间内没有省级城市商业银行，那么则选取样本银行中相对能够较好代表该省的城市商业银行，如厦门银行等。

图4报告了29家省级城市商业银行的数字化转型指数情况。可以看到,按照年度均值最高省份与最低省份之间的差值进行三等分,大致可分为三个梯度。其中,位于第一梯度的省份为北京、上海、江苏、河南、浙江和陕西,省级指数明显高于其余省份;第二梯队为安徽、重庆、黑龙江、山西、江西、云南、河北、广东和四川;第三梯队则大多为中西部省份,其中最低的为广西、宁夏、湖北、新疆四省份。值得一提的是,对于广东、天津、山东和福建而言,由于四省市均存在全国性质的股份制商业银行(分别是广发银行、渤海银行、恒丰银行和兴业银行),其经营发展往往会对同一地区的城商行产生挤出效应,数字化转型的技术溢出效应、示范效应并没有被城商行吸收与利用,反而导致广州银行、天津银行、齐鲁银行等数字化转型相对落后。

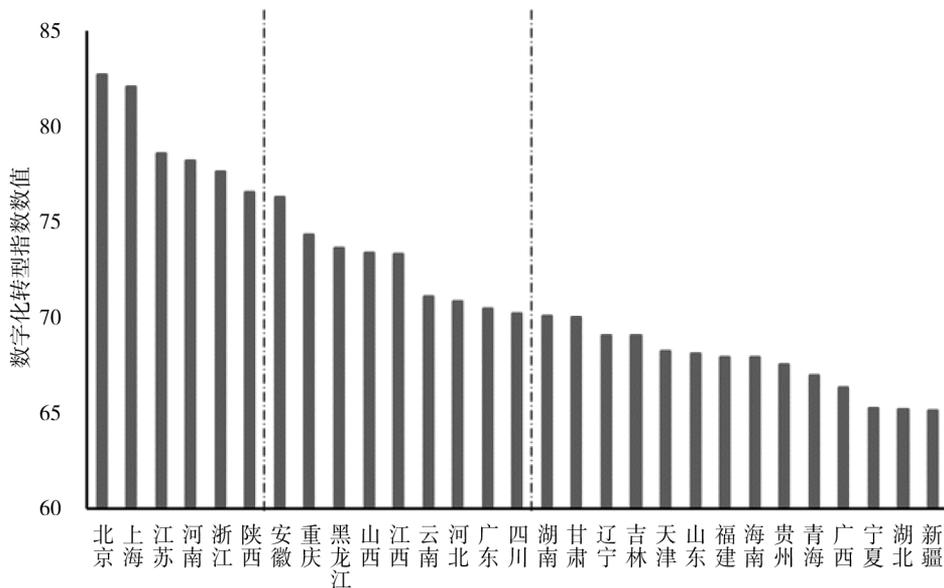


图4 全国各省代表性城市商业银行的数字化转型指数对比

具体地,本文采用 Moran 指数 (Moran's I) 进行空间聚集性分析。Moran 指数是研究变量在同一个分布区内观测数据之间潜在相互依赖性的一个重要指标,经过方差归一化之后,数值位于  $[-1, 1]$  区间。具体计算公式如下:

$$I = \frac{n}{S_0} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (C_i - \bar{C})(C_j - \bar{C})}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \quad (7)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \quad (8)$$

其中,  $\omega_{ij}$  为空间权重值,  $n$  为省份数量,  $C_i$  和  $C_j$  分别表示第  $i$  个省份和第  $j$  个省份的省级指数, 而  $\bar{C}$  表示全国 29 省份的省级指数均值。  $I$  为本文最终计算所得的 Moran 指数。

通过计算所获得的 Moran 指数, 若 Moran's  $I > 0$  表示空间正相关性, 其值越大, 空间相关性越明显; 而 Moran's  $I < 0$  表示空间负相关性, 其值越小, 空间差异越大, 否则 Moran's  $I = 0$ , 空间呈随机性。此外, 局域 Moran 指数可用来进一步观察具体地域的空间聚集现象, 具体计算公式为:

$$I_i = \frac{Z_i}{S^2} \sum_{j \neq i}^n \omega_{ij} Z_{ij} \quad (9)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2 \quad (10)$$

与全局 Moran 指数相似, 公式中  $\omega_{ij}$  为空间权重值,  $n$  为省份数量,  $C_i$  和  $C_j$  分别表示第  $i$  个省份和第  $j$  个省份的省级指数, 而  $\bar{C}$  表示全国 29 省份的省级指数均值。  $Z_i = C_i - \bar{C}$ ,  $Z_j = C_j - \bar{C}$ ,  $I_i$  为计算所得第  $i$  个省份的省级指数的局域 Moran 指数。

通过局域 Moran 指数, 可以进一步绘制 Moran 散点图来观察各个省份省级指数的空间聚集情况。散点图将各区域所研究对象分为 4 个象限的集群模式 (分别为“高高”“高低”“低低”“低高”), 展现了各个省份省级指数与邻近地区之间的空间关系模式。本文选取邻近空间矩阵 (0 ~ 1) 矩阵, 相邻省份赋值为 1, 不相邻省份赋值为 0, 所绘制的起止时间点的 Moran 散点图 5 所示。可以看到, 2014 年与 2020 年的 Moran 指数均为正值, 这表明省级城市商业银行的数字化转型指数在省份之间存在着空间正相关的关系。Moran 散点图显示, 在起止时间点的两张图中绝大多数省级城市商业银行均落在了第一象限和第三象限, 处于“高高”型集聚区或“低低”型集聚区, 整体上呈现较为明显的空间集聚特征。具体来看, 2014 年与 2020 年均处于第一象限“高高”型集聚区的为江苏、浙江、上海、安徽等经济发展水平较高的省份, 而新疆、青海、甘肃、海南等经济发展水平相对较低的中西部地区则大多处于第三象限“低低”型集聚区, 这意味着其自身和周边省份的数字化转型指数均处于较低水平。零散于二、四象限的为河南、湖北、四川、陕西等处于两者之间的中间省份, 数字化转型指数呈现的空间聚集性相对复杂。

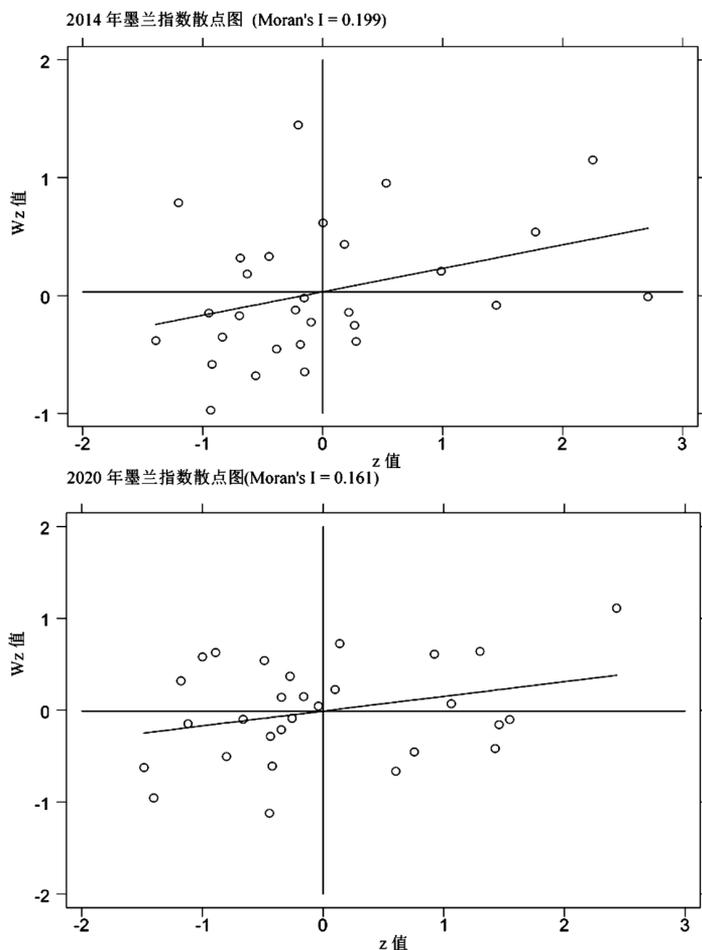


图5 2014年和2020年省级城市商业银行数字化转型指数 Moran 散点图

进一步, 本文研究数字化转型指数是否存在空间收敛性。本文将全国各省份分为东部、中部、西部和东北地区,<sup>①</sup> 来分析各省商业银行数字化转型指数在四大区域的空间差异情况。基于此, 本文采用 Theil 指数 (Theil Index) 将省级指数的总体差异分解为组内差异和组间差异, 以此分析指数的区域差异及其来源。Theil 指数最早由 Theil 与 Henri 提出, 常被用来表示区域经济差异状况, 数值越大则差异程度越高, 反之亦反。具体计算公式如下:

<sup>①</sup> 根据国家统计局关于四大区域的划分, 东部地区包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南 10 省 (市), 中部地区包括山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南 6 省, 西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 12 省 (市), 东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江 3 省。

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{\bar{C}} \times \ln \frac{C_i}{\bar{C}} \right) \quad (11)$$

$$T_p = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} \left( \frac{C_{pi}}{\bar{C}_p} \times \ln \frac{C_{pi}}{\bar{C}_p} \right) \quad (12)$$

$$T = T_w + T_b = \sum_{p=1}^4 \left( \frac{n_p}{n} \times \bar{C}_p \times T_p \right) + \sum_{p=1}^4 \left( \frac{n_p}{n} \times \frac{\bar{C}_p}{\bar{C}} \times \ln \frac{\bar{C}_p}{\bar{C}} \right) \quad (13)$$

其中， $T$ 为中国商业银行数字化转型指数总指数（为各省份商业银行数字化转型指数简单加总，与前文测算方法不同；下同）的 Theil 指数，数值介于  $[0, 1]$  之间， $T_p$  分别表示东部地区（ $p=1$ ）、中部地区（ $p=2$ ）、东北地区（ $p=3$ ）、西部地区（ $p=4$ ）的 Theil 指数，而  $C_i$  则表示各省城市商业银行数字化转型指数（其中  $i$  表示省份）。同样， $C_{pi}$  用来表示  $p$  地区  $i$  省份的城市商业银行数字化转型指数。 $\bar{C}$  和  $\bar{C}_p$  分别表示全国总体和  $p$  地区的省级城市商业银行数字化转型指数均值。 $n$  代表全国省份总数（本文  $n=29$ ）， $n_p$  代表  $p$  地区的省份总数。公式  $T=T_w+T_b$  是对中国商业银行数字化转型指数总指数的 Theil 指数的拆分，其中  $T_w$  表示地区内差异 Theil 指数， $T_b$  表示地区间差异 Theil 指数。经过测算，可以得到各时间段内的 Theil 指数及其结构分解，详见表 6。

表 6 中国商业银行数字化转型指数总指数的 Theil 指数及其分解

时间	总体差异	地区间差异	地区内差异				
			总体	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
2014 年	0.942%	0.489%	0.454%	0.899%	0.365%	0.197%	0.002%
2015 年	0.599%	0.301%	0.298%	0.295%	0.113%	0.361%	0.292%
2016 年	0.593%	0.301%	0.293%	0.403%	0.218%	0.326%	0.107%
2017 年	0.492%	0.255%	0.238%	0.087%	0.488%	0.156%	0.067%
2018 年	0.415%	0.209%	0.206%	0.150%	0.285%	0.214%	0.031%
2019 年	0.790%	0.386%	0.403%	0.097%	0.757%	0.339%	0.050%
2020 年	0.405%	0.205%	0.200%	0.119%	0.164%	0.317%	0.087%

从 Theil 指数及其结构分解中可以看出，在省级指数演进过程中，代表各地总体差异的 Theil 指数由 2014 年的 0.009 减少到 2020 年的 0.004，整体上呈现逐渐降低态势，这意味着各地区之间的代表性城市商业银行的数字化转型差异性逐渐缩小。从地区间差异来看，与总体差异的整体趋势大致相同，地区间差异 Theil 指数从 2014 年的 0.005 减少到 2020 年的 0.002，逐渐收敛。从地区内差异来看，其总体趋势与总体差异和地区间差异基本保持一致。分区域来看，东部地区的地区内差异收敛的速度明显高于其他地区。可能的原因在于，东部地区整体上经济水平比较高，虽然各省份之间发展存

在差异,但经济协调发展与数字化技术的溢出效应使得区域内银行间形成良性互动,数字化转型共同向好发展,而其余三个区域则表现不一。具体来看,东部地区的地区内差异 Theil 指数从 2014 年 0.009 减少到 2020 年的 0.001,最低点出现在 2017 年 0.0008,整体差异显著缩小但相对波动较大,且新冠疫情的冲击拉大了该地区内的结构差异。中部地区的地区内差异相对稳定,呈现波动减小的趋势,Theil 指数从 2014 年的 0.004 减少到 2020 年的 0.002。与东部和中部地区不同,西部和东北地区省级指数的地区差异最小,但地区内差异整体逐年增加,Theil 指数分别从 2014 年的 0.002、0.00002 增加到 2020 年的 0.003、0.00087。可能的原因在于,西部地区幅员辽阔,区域内存在较强的结构性差异,诸如四川、重庆等地区的城市商业银行数字化转型程度较高,且随时间推移优势更加显著,地区间存在显著的“马太效应”。而东北地区只有三个省份,黑龙江省的指数显著高于辽宁和吉林省,导致这一差距在有限的省份间难以被平抑,尽管样本期间辽宁和吉林的城市商业银行数字化转型有所提高,但发展速度远低于黑龙江,使得东北地区的地区内差异整体呈现波动增长的态势。

在 Theil 指数基础上,本文进一步使用  $\sigma$  收敛模型来检验中国商业银行数字化转型指数的空间收敛性。 $\sigma$  收敛模型主要通过研究对象的对数标准差来判断其收敛性情况。如果对数标准差为逐步缩小,则认为存在  $\sigma$  收敛,反之亦反。具体计算公式如下:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln C_{it} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln C_{it})^2} \quad (14)$$

其中,  $n$  表示样本中省份的数量,  $\ln C_{it}$  表示第  $i$  省份在第  $t$  期的中国商业银行数字化转型指数,  $\sigma_t$  为第  $t$  期的  $\sigma$  系数。图 6 报告了四大区域省级指数的  $\sigma$  系数。可以看出,东北地区和西部的  $\sigma$  系数整体上呈现波动上升的趋势,在 2020 年回归到与 2016 年大致相当的水平,并不存在  $\sigma$  收敛。东部地区  $\sigma$  系数整体上呈现显著下降的趋势,且

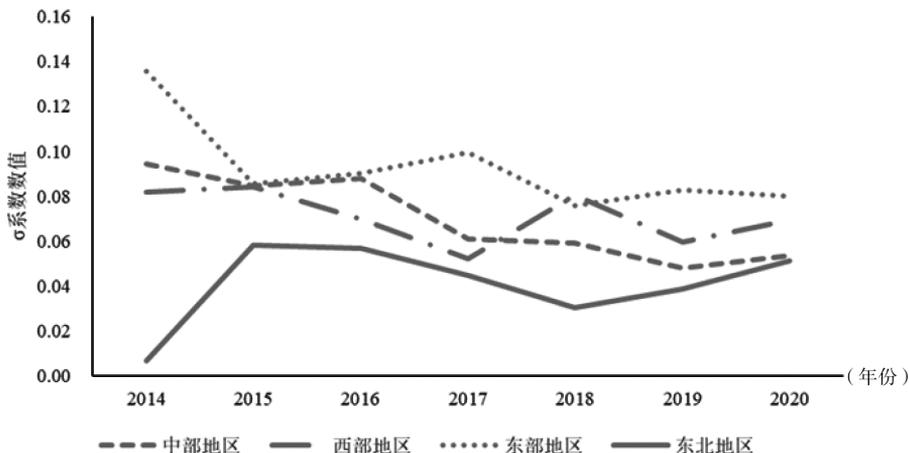


图 6 2014—2020 年四大地区省级指数  $\sigma$  系数

新冠疫情的冲击并没有影响到东部地区的整体趋势，存在 $\sigma$ 收敛。除了遭受2020年新冠疫情的重大冲击导致 $\sigma$ 系数有所增长外，中部地区中的 $\sigma$ 系数整体表现出较为显著的下降趋势，即存在 $\sigma$ 收敛。从 $\sigma$ 系数的具体数值来看，相比较而言，东部地区的 $\sigma$ 系数较大且始终保持在高位，西部和中部地区紧随其后，西部地区的 $\sigma$ 系数整体上高于中部地区，而东北地区始终保持在较低水平。这与Theil指数分析结果基本保持一致。

## 六、主要结论与政策启示

本文基于手动整理、文本挖掘以及实地调研等收集的海量微观数据，秉持科学性、全面性、代表性、可持续性和可比性等原则，构建了一个针对全国范围的中国商业银行数字化转型指数（*Digital Transformation Index of Banks in China, DTIB*），并在此基础上分析了2014年至2020年全国与各省商业银行数字化转型趋势及其空间特征。研究发现：（1）整体趋势方面，中国商业银行数字化转型指数（年度均值）为67.84，39.90%的商业银行位于均值以上。从五项一级指标的分指数来看，国有大型商业银行和股份制商业银行在数字化战略、数字化客户、数字化产品和数字化技术等方面优势明显，城市商业银行在数字化组织方面表现最为突出。整体上讲，无论总指数还是分指数，国有大型商业银行全面领先，股份制商业银行优势明显，领先于城市商业银行和农村商业银行。（2）时间趋势方面，总指数逐年增加，呈现向好发展的态势，而且疫情初期的冲击并未改变增长趋势。从分指数来看，数字化战略指数和数字化组织指数均有较为显著的增长，数字化客户指数、数字化产品指数、数字化技术指数的发展较为缓慢。整体上讲，国有大型商业银行数字化转型始终保持领先，上升趋势最为显著，股份制商业银行发展趋势良好，数字化转型持续增长且增速稳定，城市商业银行和农村商业银行整体数字化转型相对缓慢。从时间截面来看，在数字化转型的早期，国有大型商业银行数字化转型指数显著高于股份制商业银行，城市商业银行和农村商业银行数字化转型指数差距极小，而各类银行的内部分化差异相对较小。在数字经济快速发展阶段，股份制商业银行数字化转型逐渐加速，与国有大型商业银行的差距显著缩小，城市商业银行数字化转型有了一定进步，略高于农村商业银行数字化转型指数。（3）空间特征方面，中国商业银行数字化转型的省级指数整体上逐年增加，但是各省间差异明显。其中，北京、上海、江苏等省级指数明显高于其他省份，宁夏、湖北、新疆和广西四省相对较低。从空间聚集性来看，*Moran*指数结果表明，各省级指数呈现出明显的空间聚集性，表现出“高高”“低低”的空间分布特征。从空间收敛性来看，四大区域的银行数字化转型存在显著的结构差异。从*Theil*指数及其分解可以看到，总体差异整体上逐渐降低，各地区之间的差异性逐渐缩小，地区间差异和地区内差异的趋势与总体差异基本类似。东部地区的地区内差异显著缩小，东北地区的地区内差异最小，但东北地区内差异整体逐年增加，

同样西部地区内差异也逐年增加。此外,东北地区和西部地区的 $\sigma$ 系数整体上呈现波动上升的趋势,并不存在 $\sigma$ 收敛,中部和东部地区存在 $\sigma$ 收敛。

本文为在新发展阶段,通过金融科技赋能银行,推动商业银行数字化转型,进而提升银行服务高质量发展方面提供了明确的经验证据和决策参考。第一,要充分重视数字化技术的开发与应用,将数字化转型理念贯穿银行经营始终,依托丰富的数字化专利和先进的数字化发展标准,既要进行银行数字化发展的战略远景规划、高级管理层人员架构和客户关系管理的优化,又要推进数字化产品设计与服务、智能风控系统架构与实施、智能服务组织与供给等,不断提升银行数字化水平。第二,要充分认识到不同类型银行数字化转型过程中的结构性差异。国有大型商业银行和股份制商业银行具有数字化转型的天然优势,这对城市商业银行和农村商业银行产生一定的挤出效应。基于此,要充分发挥国有大型商业银行和股份制商业银行数字化转型的正向外外部性作用,形成积极的示范效应和溢出效应,帮助城市商业银行和农村商业银行进行更高效的数字化转型,进而全面提升中国商业银行数字化转型的整体水平。第三,要充分认识到银行数字化转型过程中的地区差异,更加关注区域间与区域内的银行数字化的协调发展,防止不同区域的银行数字化水平差距进一步扩大,以提升金融服务可得性,更好地让各地区人民共享数字化发展成果。要充分发挥区域间的协调带动作用,对于银行数字化转型较高的东部地区,要进一步发挥其在数字化转型方面的先发优势,带动中部、西部以及东北地区等加快数字化转型。第四,要重视银行数字化转型所产生的效率与公平问题,对于银行容易忽略的“尾端”用户,要充分将银行数字化转型的服务下沉,在更好地服务发达地区的同时,更多关心下沉人群以及农村等偏远贫困地区的数字化服务可得性,让数字化成果更好惠及更广大的群体。

## 附录

附表 1

指标权重(熵值法)

(单位:%)

一级指标	功效函数法	极差变换法	二级指标	功效函数法	极差变换法
数字化战略	15.79	11.99	数字化战略提出	5.76	1.27
			数字化奖项	3.14	5.74
			与外部科技公司合作	3.63	4.57
			数字化战略词频	3.26	0.41
数字化组织	17.59	22.09	金融科技子公司	2.09	10.33
			直销银行	7.32	2.77
			董事长和行长科技背景人数占比	4.28	6.84
			董事会科技背景人数占比	3.90	2.15

续表 1

一级指标	功效函数法	极差变换法	二级指标	功效函数法	极差变换法
数字化客户	17.35	7.59	智能客户服务词频	3.05	0.38
			网上银行使用人数	3.04	1.40
			手机银行日均活跃用户数	2.89	1.94
			手机银行人均单日使用时长	3.91	1.94
			手机银行人均单日使用次数	4.46	1.93
数字化产品	12.08	7.94	数字化零售产品词频	3.23	2.36
			数字化产品批发词频	3.50	2.52
			线上理财产品占比	5.35	3.06
数字化技术	37.20	50.42	区块链词频	3.22	5.59
			云计算词频	3.95	4.65
			大数据词频	3.46	1.71
			人工智能词频	3.27	3.27
			物联网及 5G 词频	3.31	3.72
			专利申请数量	2.78	7.63
			专利授权数量	2.37	8.97
			软件著作权数	3.22	5.39
			数字化标准数	3.07	7.89
			固定资产中电子设备净值	2.54	0.41
			无形资产中计算机软件净值	2.89	0.96
数字化风控词频	3.12	0.23			

## Digital Transformation of Chinese Commercial Banks: Index Construction and Trend

*Song Ke      Chen Xing      Li Zhen      Xu Lei*

**Abstract:** This paper provides a comprehensive examination of the digital transformation of

Chinese commercial banks between 2014 and 2020. The study utilizes a robust dataset gathered through manual collation, text mining, and field research. To assess the trend and spatial characteristics, the study introduces the Digital Transformation Index of Banks in China (DTIB). The research reveals that state-owned commercial banks lead the upward trend of DTIB, followed by joint-stock commercial banks, while urban and rural commercial banks show comparatively slower progress. Additionally, the study finds that the gap in digital transformation between banks has widened over time, indicating a certain degree of the “Matthew Effect”. Furthermore, the paper analyzes sub-index data, highlighting significant increases in the indexes for digital strategy and digital organization, although the growth rates of the digital customer index, digital product index, and digital technology index have decelerated. In this context, the digital strategy index and digital organization index have showcased substantial growth, signifying a positive shift in banks’ “soft” behavior towards digitalization. However, the growth rates of the digital customer index, digital product index, and digital technology index have been comparatively sluggish, indicating a relatively delayed adjustment in banks’ “hard” behavior. The analysis of DTIB shows significant structural disparities at both provincial and regional levels. The Moran index results indicate a clear spatial aggregation in provincial indexes, with a high-high and low-low spatial distribution pattern. Additionally, the Theil index and its decomposition reveal a gradual decrease in overall, inter-regional, and intra-regional differences across the eastern, central, western, and northeast regions. However, the  $\sigma$  coefficient fluctuations in the northeast and western regions indicate a lack of  $\sigma$  convergence, while the central and eastern regions exhibit  $\sigma$  convergence. This paper provides empirical evidence and insights that can help objectively depict the digital transformation process of Chinese commercial banks. It highlights the crucial role that banks can play in promoting high-quality development by utilizing digital transformation to their advantage.

**Key words:** digital transformation; commercial banks; index construction; spatial characteristics

**Authors:** Song Ke, Professor of School of Finance, Renmin University of China, China Financial Policy Research Center, International Monetary Institute; Chen Xing (corresponding author), Associate Research Fellow of International Monetary Institute, Renmin University of China; Li Zhen, Assistant Research Fellow of Yanqi Lake Beijing Institute of Mathematical Sciences and Applications, Research Fellow of International Monetary Institute, Renmin University of China; Xu Lei, Associate Research Fellow of International Monetary Institute, Renmin University of China.