

数字贸易规则与人工智能硬件产品出口

刘 斌 朱晓梅 李川川*

内容提要 数字贸易规则不仅与服务贸易密切相关,还对嵌入数字服务的货物贸易具有重要影响。本文探索构建了从“人工智能专利”到“人工智能硬件产品”的识别方案,利用人工智能专利数据库和我国人工智能企业调研数据等,创建了“人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库”。然后,基于数字贸易规则生效这一准自然实验,采用双重差分模型研究其对人工智能硬件产品出口的影响和机制。研究结果表明:数字贸易规则显著促进人工智能硬件产品出口,主要通过数据跨境流动效应、数字知识产权保护效应、数字贸易成本降低效应以及标准国际协调效应4条路径实现。此外,数字贸易规则对人工智能硬件产品出口的促进效应因人工智能硬件产品类型、产业类别及数字贸易模板不同而不同。因此,数字贸易规则的完善和治理对人工智能硬件产品的出口具有重要意义。

关键词 数字贸易规则 人工智能硬件产品 双重差分

DOI:10.19985/j.cnki.cassjwe.2026.01.002

一 引言

近年来,人工智能正加速成为引领新一轮科技革命和产业变革的核心技术引擎。

* 刘斌:对外经济贸易大学中国世界贸易组织研究院 政府管理学院;朱晓梅(通讯作者):对外经济贸易大学中国世界贸易组织研究院 北京市朝阳区惠新东街10号 100029;李川川:对外经济贸易大学经济学院中国开放经济理论研究院。电子邮箱:liubin2004boy@126.com(刘斌);xiaomei_zhu05@163.com(朱晓梅);lcc1616@163.com(李川川)。

作者感谢对外经济贸易大学国际经贸规则科研实验室培育项目(KYSYS-06)、国家自然科学基金面上项目“贸易开放、国内运输成本与南北经济差距”(72173020)、教育部人文社会科学研究一般项目“数字贸易规则与国际直接投资:理论重构与经验证据”(24YJC790088)的资助,感谢匿名审稿专家的意见和建议。当然,文责自负。

世界经济* 2026年第1期 · 34 ·

在全球人工智能技术和产业博弈日益激烈的背景下,如果一国率先掌握核心人工智能硬件产品的设计制造能力,并将相关产品和解决方案输出至他国,不仅有助于其在全球范围内较早建立技术路径依赖,更意味着其在全球人工智能产业链的关键环节占据了战略主导地位。党的二十大报告强调的“推动战略性新兴产业融合集群发展,构建新一代信息技术、人工智能、生物技术、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等一批新的增长引擎”^①,为我国人工智能产业的发展方向提供了明确指引。相较传统货物贸易以有形商品的跨境流动为核心,人工智能硬件产品的国际贸易呈现“有形商品+数字服务”高度融合的特征,其国际贸易不仅受到传统货物贸易规则的约束,也受到数字贸易规则的深度影响。

具体而言,人工智能硬件产品作为支撑人工智能系统运行的实物载体与计算平台,是连接算法与现实世界的关键桥梁,通常软件内嵌于硬件设备,服务与产品捆绑交易,能够根据不同情境和用户需求,灵活地学习和适应,提供个性化、智能化的服务,如工业机器人与专家系统、智能穿戴装备与应用软件、汽车与智能驾驶系统等。这种软硬件高度融合、服务集成的产品形态使人工智能硬件产品既是有形商品,也是数字服务的机载硬件,其国际贸易不仅是产品本身的跨境流动,还与训练数据的合规流动、算法模型的授权部署、算力服务的协同供给等数字服务深度绑定。因此,现有数字贸易规则对人工智能硬件产品货物贸易的影响来自多条条款,包括促进跨境数据流动类条款、数字知识产权保护条款以及数字贸易自由化与便利化条款等(史丹等,2023),还有新近的“人工智能等新兴技术”条款,如《数字经济伙伴关系协定》(DEPA)第8.2条提出人工智能技术应符合“透明、公正、可解释和以人为本的价值观”。那么数字贸易规则的实施如何影响人工智能硬件产品的国际贸易?厘清这一问题不仅对人工智能硬件产品的贸易合规、国际战略布局至关重要,而且对各国科学制定与人工智能相关的数字贸易规则具有重要现实意义。

本研究与两支文献密切相关。一支文献关注数字贸易规则,相关研究主要分为两个维度。从定性分析看,关于数字贸易规则国别特征、发展趋势、规则博弈、治理分歧等研究主题是近年学者探讨的重点(沈玉良等,2022)。从定量分析看,主要是关于数字贸易规则对国际贸易的影响研究。主流观点认为数字贸易规则能显著提升数字贸易便利化,减少数字贸易摩擦,进而促进跨境数字产品和ICT产品贸易、加

^① 党的二十大报告,网址为https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm。

速研发要素跨境流动、延长出口持续期以及提升中国企业全球价值链地位等(张天顶和龚同,2023;施炳展和熊治,2023)。更进一步,数字贸易规则细分条款对数字产品贸易的影响各异。无纸化贸易、电子支付、电子海关等数字贸易便利化条款简化了跨境贸易的程序和手续,能显著降低数字贸易成本,因此在数字贸易规则谈判中更易达成共识(周念利和陈寰琦,2020)。另一支文献聚焦人工智能,相关研究主要分为3个方向。其一,多数研究围绕人工智能的“经济效应”展开,重点探讨其对经济增长和企业出口、就业结构、收入等方面的影响(Agrawal *et al.*,2019)。其二,部分研究聚焦人工智能技术(产品)发展的驱动因素及其伴生的治理挑战,指出人工智能技术的演进是算法创新、数据革命、产业需求、政策扶持等多要素协同作用的结果(Acemoglu and Restrepo,2022),其中数据作为“新石油”,对人工智能产品优化发挥着关键驱动作用(McAfee and Brynjolfsson,2012)。与此同时,算法黑箱引发的信任危机、自主系统失控带来的物理风险、数据垄断导致的算法霸权等问题,也使人工智能的全球治理面临挑战(高奇琦,2019)。其三,与本研究主题关联最为紧密的领域,即人工智能相关产品出口影响因素。但现有研究却较为有限,核心探讨主要集中于两个方面。一是出口管制、关税等贸易政策显著影响人工智能相关产品的出口。例如,美国以国家安全为由限制对我国出口先进芯片、加征关税等一系列措施可能引发全球半导体供应链障碍(宋国友和张继腾,2023)。二是目标市场用户需求适配与合规要求直接影响人工智能相关产品的市场进入。《欧盟人工智能法案》的实施可能导致人工智能产品合规成本上升或功能受限,若市场对此高度敏感,将引发市场萎缩,促使跨国企业倾向退出该区域(Siegmann and Anderljung,2022)。

从既有研究可知,随着以人工智能为代表的数字技术的迅速崛起,数字贸易规则也在不断迭代与创新。然而遗憾的是,关于数字贸易规则对人工智能硬件产品国际贸易影响的文献较为少见。主要原因可能在于:其一,人工智能硬件产品的研究存在边界模糊、海关编码归类分歧等测度难题,导致相关研究面临方法论挑战。一方面,人工智能硬件产品具有“货物-服务”二分法困境,目前学界和业界对人工智能硬件产品皆无明确分类;另一方面,作为进出口产品分类标识的HS编码的更新速度滞后于人工智能硬件产品的更新迭代,部分新兴的人工智能硬件产品使用旧的HS编码,导致人工智能与普通智能的界限不清、分类困难。其二,数字贸易规则对于人工智能货物贸易的影响渠道较为复杂。由于人工智能硬件产品的国际贸易与数据、算法及其集成的数字服务密切相关,数字贸易规则影响人工智能硬件产品的相关渠道来自不

同的细分条款,也加剧了解析这一作用过程的难度。

与既有研究相比,本文可能的改进之处在于:其一,探索性地构建了“人工智能专利-‘泛’人工智能企业-所有进出口产品-人工智能硬件产品”的识别方案,对“哪些HS6位码是人工智能硬件产品”进行了明确的划分和归类,建立了“人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库”,在一定程度上解决了人工智能硬件产品识别难的问题。其二,从数据的传输与管理、数字知识产权治理、数字贸易自由化与便利化以及数字技术治理4个维度系统梳理了现有数字贸易规则中与人工智能相关的条款,进一步通过跨境数据流动效应、数字知识产权保护效应、数字贸易成本降低效应以及标准国际协调效应4个维度探索数字贸易规则影响人工智能硬件产品国际贸易的机制机理,为人工智能全球治理提供新思路。其三,较早从人工智能硬件产品视角研究了数字贸易规则对货物贸易领域的人工智能硬件产品出口的影响,不仅为数字贸易规则的研究拓宽了边界,还为理解和推动人工智能硬件产品在全球贸易中的健康发展提供了理论指导和实践参考。

二 典型事实

(一)数字贸易规则的发展特征

1. 数字贸易规则的演变。数字贸易规则伴随数字贸易新业态与数字技术发展逐渐深化和扩展,具体条款的演进主要分为两个方向。一是传统货物和服务贸易条款升级迭代为数字贸易条款。如传统货物和服务的市场准入衍生为数字产品市场准入、数字产品国民待遇、数字企业的本地进入等规则;消费者保护、隐私保护等传统贸易规则衍生为在线消费者权益保护、个人信息隐私保护等数字贸易规则;传统货物、服务贸易便利化规则衍化为无纸化贸易、电子认证、电子签名、电子支付、电子发票等数字贸易便利化规则。二是伴随数字服务、数字化转型产生的新兴条款,涉及数字贸易领域的关键新兴议题。这些条款主要围绕数字基础设施、数字平台和数据与新兴技术展开,或归入传统议题板块或置于新增平行章节中,如以源代码、算法加密等为代表的数字知识产权条款,人工智能等新兴技术条款以及数据跨境流动条款等。图1展示了2000-2023年全球签订的区域贸易协定和数字贸易规则的发展演变趋势。总体来看,数字贸易规则与区域贸易协定的数量增长趋势较为一致。从当年签订的区域贸易协定中数字贸易规则的占比看,数字贸易规则的占比整体呈上升趋势,尤其是2021-2023年数字贸易协定占比达到100%。

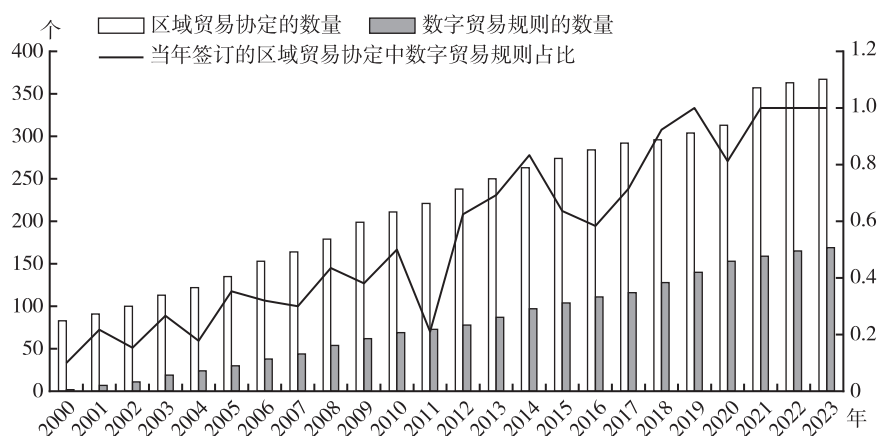


图1 数字贸易规则签订数量

说明:数据来自 WTO 官网,网址为 <http://rtais.wto.org/UI/PublicSearchByCrResult.aspx>, 2025 年 4 月 18 日访问。

2. 人工智能相关条款的特征。随着人工智能技术创新加速及其应用逐渐广泛,该领域面临一系列涉及安全、隐私、技术标准、知识产权及伦理道德等多方面的挑战,亟需有效的治理措施和规范性框架以确保人工智能技术的健康发展。数字贸易规则包含与人工智能相关的多个条款,主要分为数据的跨境传输与管理、数字知识产权治理、数字贸易自由化与便利化和数字技术治理 4 个方面。在数据的跨境传输与管理规则方面,相关条款的治理目标主要有两个:实现数据价值和维护数据隐私与安全。这一治理目标包含跨境数据自由流动、政府数据开放、在线消费者及个人信息保护等条款。在数字知识产权治理规则方面,人工智能领域的创新往往涉及复杂算法、软件与技术转让等,因此需要强有力的知识产权保护机制,一方面保障技术开发者和所有者的权益,另一方面鼓励基于双方互利的产权合作。这一治理目标包含数据产权、数字内容、网络域名、源代码和算法等条款。在数字贸易自由化与便利化规则方面,其主要目标是促进产品的市场准入,简化国际贸易程序,削减贸易壁垒。这一治理目标包含数字产品非歧视、电子支付、电子合同、无纸化、数字身份、电信互联互通等条款。在数字技术治理方面,新兴技术的发展兼具利弊。人工智能技术治理类规则的目标是主张人工智能技术向善,促进发展可信、可解释以及以人为本的人工智能。这一治理目标包含人工智能等新兴技术、国际标准、技术合作及协调等条款^①。

① 限于篇幅,人工智能相关条款分类详见本刊网站(www.jweonline.cn)本文补充材料附录 1。

(二)人工智能硬件产品及其贸易特征

1.人工智能硬件产品定义和功能。现有研究普遍认为,人工智能是通过计算机程序模拟人类认知功能(如学习、推理、感知、语言理解等)的技术体系。它依托数据驱动驱动的算法(如机器学习、深度学习)、算力支撑及特定场景的知识建模,让机器能够自主处理信息并做出决策,而非仅执行预设的机械指令。与传统硬件不同,人工智能硬件产品不仅具备执行固定任务的物理功能,还能通过嵌入算法模型、接入数据流和云端服务,实现“感知-计算-决策-反馈”的全流程智能化。如在制造业领域,工业机器人具备自主识别工件、优化路径、柔性操作等智能生产功能;在交通领域,智能传感器和自动驾驶控制系统支持车辆环境感知、动态路径规划与辅助驾驶;在消费领域,智能穿戴设备与家庭终端通过语音交互、人脸识别等功能提供定制化服务。目前,学界与业界对人工智能硬件产品的范围并未有统一明确的定义,但普遍认同人工智能硬件产品包含专门为运行人工智能应用程序而设计和优化的器件以及集成前述人工智能技术的智能终端设备^①。因此,本文讨论的人工智能硬件产品主要包括高端电子元器件(中间品)和人工智能终端设备产品(最终品),如智能芯片、智能机器人、智能无人机、智能汽车等。

2.人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库。由于人工智能硬件产品体系庞大、涉及范围广泛,“什么产品是人工智能硬件产品”以及“哪些HS6位码产品属于人工智能硬件产品”这一问题仍是难点。为精确筛选人工智能硬件产品,本文构建了“人工智能专利-‘泛’人工智能企业-进出口的所有产品-人工智能硬件产品”的识别方案,创建了人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库。具体有以下3个步骤。

第一步,通过人工智能专利识别“泛”人工智能企业。本文借鉴世界知识产权组织发布的人工智能专利识别方法^②,利用“人工智能关键词”^③通过文本分析方法抓取人工智能专利,通过专利文本识别专利申请企业,即“泛”人工智能企业。这一过程共识别出我国2000-2023年435 846件人工智能专利文本和105 994家“泛”人工智能企

① 依据《智能硬件产业创新发展专项行动(2016-2018年)》和《关于支持建设新一代人工智能示范应用场景的通知》等文件综合定义。

② 具体依据世界知识产权组织的报告《2019技术趋势:人工智能》。

③ 人工智能关键词来自国家标准化管理委员会、中央网络安全和信息化委员会办公室、国家发展和改革委员会、科学技术部及工业和信息化部5部门联合印发的《国家新一代人工智能标准体系建设指南》,包括“人工智能、大数据、智能运算平台、智能数据存储、智能感知设备、芯片操作系统、智能芯片”等涉及基础层、技术层和应用层的全体关键词。

业。需要说明的是,由于全球人工智能专利数据有数亿条,识别出的全球“泛”人工智能企业(包括母公司与子公司)有数千万家,且大多数企业为非进出口企业,通过全球层面的“泛”人工智能企业精确筛选人工智能硬件产品较为困难。依据《人工智能指数报告》^①,中国是全球最大的人工智能硬件产品出口国之一,因此以我国专利数据筛选出的人工智能硬件产品能够较全面地覆盖全球的人工智能硬件产品。其中,我国人工智能专利数据来自国家知识产权局国家重点产业专利信息服务平台发布的人工智能专利数据库,该数据库包含详细的人工智能专利摘要、说明书、申请人、企业等重要信息。此外,考虑到不同国家出口产品种类异质性,以我国的人工智能硬件产品作为全球人工智能硬件产品的代表可能以偏概全。为避免识别偏误,本文在后续使用全球“泛”人工智能企业筛选全球层面的人工智能硬件产品构建了两个替代数据库,同时与本数据库进行比较,发现本数据库的人工智能硬件产品覆盖度最广。

第二步,通过“泛”人工智能企业识别人工智能硬件产品。一般认为,“泛”人工智能企业更可能从事人工智能硬件产品的贸易。本文利用环球慧思和瀚闻资讯数据库提供的企业海关提单数据,获取了2012–2023年“泛”人工智能企业所有的进出口产品、产品名称及其相应的HS6位码。然后对数据进行清洗,删去重复值,最终获取307个HS6位码产品,这一步骤能初步确定人工智能硬件产品的范围。

第三步,筛选人工智能硬件产品,构建人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库。首先,根据HS6位码的产品描述和前文提到的人工智能概念、技术产业体系及产品特征,在307个HS6位码产品中手工剔除非人工智能硬件产品。其次,为避免前文提到的产品名称与HS6位码的产品描述难以匹配、普通智能与人工智能难以区分等问题,本文进一步匹配了美国国际贸易委员会(USITC)提供的10类先进技术产品库^②和我国人工智能企业实地调研的产品数据库,最终归类出110个HS6位码层面的人工智能硬件产品。最后,与UN Comtrade贸易数据合并构建出完整的人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库。本数据库包含的主要数据条目有出口国、进口国、产品编码、产品名、产品描述、年份以及产品年度交易额等。

为确保识别方法的科学性,本文还做了如下处理:第一,步骤一的测度偏误可能来自遗漏部分未申请人工智能专利但产出了人工智能硬件产品的“泛”人工智能

^① 人工智能指数报告是斯坦福大学人工智能百年研究(AI100)的一个开放的、非营利的项目,旨在跟踪人工智能的活动和进展。

^② 10类先进技术产品(ATP)属于生物技术、生命科学、光电等10个领域,网址为<https://www.census.gov/foreign-trade/reference/codes/atp/index.html>。

企业。对此,我们综合使用分层抽样与判断抽样的方法,目的是证明当前的样本企业足够筛选出较全面的人工智能硬件产品^①。具体来说,本文将105 994家“泛”人工智能企业按照国民经济行业3位码分类,再根据不同行业企业的经营情况分为大型、中型、小型、微型4类企业进行分层抽样,每行业每类型抽取3家企业。为覆盖足够多的人工智能硬件产品,在判断抽样中加入所有大型、专精特新和隐形冠军企业,防止遗漏个别的人工智能硬件产品。我们发现代表性企业的进出口产品能够覆盖所有的110种人工智能硬件产品,说明本文的识别方法能够较为精准全面地筛选出人工智能硬件产品,这一步骤并未产生较大识别偏误。第二,步骤二的测度偏误可能来自数据库本身的系统差异,因此我们使用Panjiva数据库^②作为替代获取“泛”人工智能企业在国际贸易中交易的所有进出口产品、产品名称及其相应的HS6位码,未发现有较大识别偏误。第三,步骤三的测度偏误可能来自手工剔除非人工智能硬件产品导致的主观偏误。因此本文利用python文本相似度方法将剔除掉的非人工智能硬件产品的产品名称及HS6位码的产品描述与前文构建的“人工智能关键词”进行对照,结果发现二者相似度较低,说明这一步骤并未产生较大测度偏误。

此外,考虑到不同国家人工智能硬件产品出口类型的异质性,仅使用我国人工智能专利筛选出的人工智能硬件产品,可能遗漏了部分在中国未出口、但在世界其他国家进出口的人工智能硬件产品。为解决这一问题,本文使用了两个替代性识别方案:其一,利用CB Insights每年公布的全球前100家人工智能企业名单^③,进一步借鉴上述步骤二识别全球人工智能硬件产品,得到替代数据库Ⅰ。同时这一方法能有效避免“人工智能产品专利-‘泛’人工智能企业”这一步骤可能带来的识别误差。其二,利用Orbis全球专利数据库筛选出50 083家来自全球申请了人工智能专利的“泛”人工智能企业,进而识别人工智能硬件产品,得到替代数据库Ⅱ。然后,将替代数据库Ⅰ和Ⅱ与人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库比较,使用Jaccard系数进行一致性检验^④。最终,一系列的检验表明,本文识别方法筛选的人工智能硬件产品覆盖度最广,

① 分层抽样适合总体样本情况复杂,单位较多且各单位间差异大的样本,更易抽出代表性企业。判断抽样是调查者根据主观经验和判断从总体中选取有代表性的个体构成样本的一种非概率抽样方法。

② Panjiva是全球高频提单数据库,收集了195个国家(地区)800多万家公司的超10亿笔提单数据。

③ CB Insights是全球知名的数据分析公司,已连续6年公布全球Top100人工智能企业名单。

④ Jaccard系数是两个集合的交集元素数量与它们并集元素数量之比,计算方法为 $J(A, B) = |A \cap B| / |A \cup B|$ 。这一系数越大,表示两个集合交集元素数量越多。

能够较全面地代表全球人工智能硬件产品。

3. 人工智能硬件产品出口规模。近年来,人工智能硬件产品在国际贸易中占据越来越重要的地位。图2展示了2012–2023年人工智能硬件产品全球出口市场动态。总体来看,人工智能硬件产品的出口规模在这10年间呈现稳定增长的趋势。这反映了人工智能技术的快速发展以及全球市场对人工智能硬件产品需求的不断扩大。具体来看,2012–2021年全球人工智能硬件产品出口规模总体上升,显示出人工智能技术在全球范围内的应用逐渐普及,各国对采用人工智能技术以提高生产效率、优化服务流程的意愿不断增强。这一时期,中国和欧盟作为人工智能硬件产品的主要出口国家(地区),其出口规模的增长趋势与全球整体趋势基本吻合,表明这两个国家(地区)在推动人工智能产业发展方面发挥了重要作用。2022年全球人工智能硬件产品出口规模较前几年出现一定程度下降,这一变化受多种因素的影响。主要原因可能在于,随着全球经济增长的放缓,企业和消费者对制造业产品需求减弱,对新技术和产品的投资和购买意愿都有所下降。随着2023年全球服务贸易的显著复苏,人工智能硬件产品的出口也显著增长。

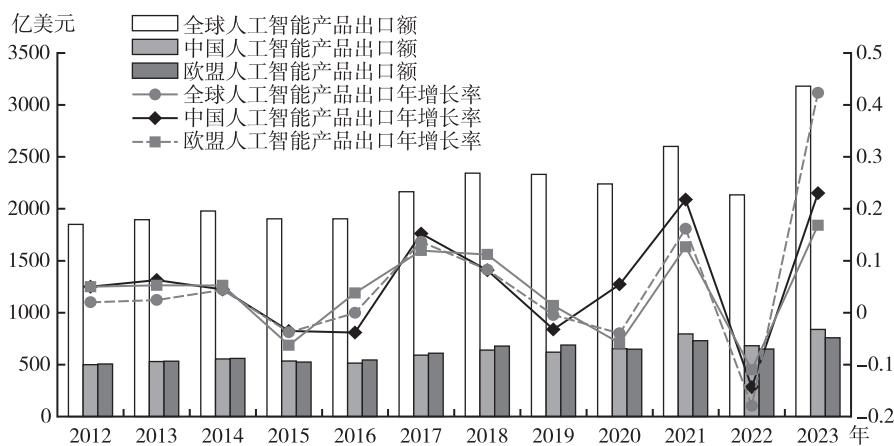


图2 人工智能硬件产品出口规模

三 理论机制

数字贸易规则通过促进数据跨境流动、加强数字知识产权保护、降低数字贸易成本、促进标准国际协调4个机制影响人工智能硬件产品的国际贸易。

(一)数据跨境流动效应

根据信息经济学的相关理论,信息的获取、传递和利用对经济决策和市场机制会产生重要影响(Machlup,1984)。在数字经济时代,数据在产品的设计、生产、交付和使用的各个阶段极为普遍,人工智能的本质就是提高从数据到思想的生产效率(杨虎涛和胡乐明,2023)。数字贸易规则中促进跨境数据流动、禁止数据本地化存储以及开放政府数据等条款都能够提升数据可用性与数据集中化,并通过以下两方面促进产品供给端与消费者偏好的匹配,进而促进人工智能硬件产品的国际贸易。一是提升跨国产品地域适配性。人工智能模型的预测精度与数据的规模、质量呈显著正相关(Beraja *et al.*,2023)。跨境数据流动等条款通过提升数据可用性与集聚程度,为人工智能模型训练提供覆盖多元应用场景的生产生活数据,不仅加速了人工智能算法优化与产品迭代,还通过深度解析目标市场的消费者偏好,提升人工智能硬件产品的技术适配性和市场契合度,最终促进出口(Martin *et al.*,2023)。以沃尔沃汽车人工智能视觉识别系统为例,其训练数据聚焦瑞典本土物种(如驼鹿)的图像特征与运动模式,而袋鼠作为澳大利亚特有物种,因未被纳入瑞典研发团队的训练数据集,导致系统在识别袋鼠时出现较大概率失误,直接影响了相关车型在澳大利亚市场的技术适配性。这一现象映射出人工智能领域的共性问题,跨区域场景的数据输入缺口需通过引入异质性数据资源予以弥合,从而提升产品在目标市场的技术兼容性。二是促进产品多元化。数据集聚催生的网络效应促使人工智能企业形成“数据-技术-多元化产品”的正反馈机制。具备大规模高质量数据储备的企业,通过构建精准预测模型与精细化服务体系增强用户黏性,能够积累多维度、细颗粒度的增量数据,持续推动算法升级和创新产品研发,进而产出更加多元化和差异化的产品,避开传统产品的同质化竞争,满足细分市场多样化消费需求,最终促进人工智能产品的市场拓展(姚加权等,2024)。基于以上分析,我们提出本文假说1。

假说1:数字贸易规则通过促进双边数据跨境流动,进而促进人工智能硬件产品的出口。

(二)数字知识产权保护效应

知识产权保护是保障企业在技术创新中获取合法利益的关键,这对易模仿、易复制的数字技术创新尤为重要(Teece,2018)。数字知识产权保护条款从禁止源代码和算法强制性转让,保护使用密码术的ICT产品,防止数字版权、商标、专利侵权,以及强化数字知识产权执法等多个维度提升缔约国数字知识产权保护水平,优化双边数字贸易制度环境,通过“市场扩张效应”形成正向激励,进而促进技术与知识密集型产

品的出口。具体来说,其一,源代码与算法保护,数字版权、商标、专利保护类条款不仅构建技术排他性的制度屏障,遏制海外盗版与模仿,以保障产品在出口市场的技术先发优势,助力企业占据出口市场(Branstetter and Foley, 2006),还通过降低研发风险与创新保护支出,激励企业持续投入前沿技术研发,提升专利质量,形成“创新投入-成果转化-市场回报”的闭环激励机制,最终促进人工智能硬件产品的出口。其二,专利信息共享平台(如电子商标系统)、数字知识产权执法等数字知识产权保护条款能促进双边知识产权制度协调和监管的一致性,在减少专利程序差异与海外纠纷的同时,为出口国融入进口国创新系统提供制度通道,促进双边联合研发与专利池共建,这种本地化创新有助于开发符合双方市场需求的产品,扩大出口空间(Maskus, 2015)。基于以上分析,我们提出本文假说2。

假说2:数字贸易规则通过提升双边数字知识产权保护水平,进而促进人工智能硬件产品的出口。

(三)数字贸易成本降低效应

数字贸易成本是数字经济时代跨境交易壁垒的综合体现,既包含传统货物贸易中常见的关税、配额等边境上的成本,又包括因货物产品上附加的数字产品跨境(电脑程序、视频、文本、图像)衍生的“边境后”制度性、技术性及功能性障碍(Pomfret and Sourdin, 2010)。因此在数字经济时代,数字贸易自由化和便利化成为政府政策和贸易协定的重要主题。从数字贸易自由化看,数字产品非歧视待遇条款防止货物产品附加的数字产品(服务)的市场准入歧视,促使消除制度性市场准入壁垒,降低企业的市场准入成本,进而促进人工智能硬件产品的国际贸易;公共电信服务的接入和使用、数字身份互认等数字基础设施互联互通条款使得出口商可按照合理和非歧视的条款和条件接入进口国公共网络,扩大跨境网络接入覆盖,降低市场准入成本,促进人工智能硬件产品的出口(Fernandes *et al.*, 2023)。从数字贸易便利化看,数字贸易便利化条款建立在数字基础设施建设和标准对接的基础上,数字化和电子化的使用简化贸易制度与程序,显著提升跨境贸易流程效率,降低了跨境贸易成本,最终促进国际贸易。其一,电子发票、电子签名、电子合同、在线支付等数字贸易便利化条款通过交换电子数据和文件实现贸易流程的自动化处理,减少人工介入导致的环节损耗,显著降低合同磋商、签订及执行的时间成本和菜单成本,促进双边贸易(Wilson *et al.*, 2005)。其二,贸易政策透明度条款能显著减少市场主体面临的信息不对称,避免因政策模糊导致的试错成本与机会损失,降低企业出口的不确定性成本,促进双边国家的国际贸易(Duval *et al.*, 2018)。基于以上分析,我们提出本文假说3。

假说3:数字贸易规则通过降低双边数字贸易成本,进而促进人工智能硬件产品的出口。

(四)标准国际协调效应

标准国际协调是指主权国家间通过协商、互认等方式,在技术流程、安全规范、质量要求等方面缩小差异或达成一致(Schmidt and Steingress, 2022)。贸易伙伴间的共享标准具有重要价值,可以通过统一信息基准(如芯片制程测试标准)、规范披露规则(如智能穿戴产品数据合规报告要求),有效缓解企业与目标市场间的信息不对称,减少因标准差异引发的贸易摩擦,增强贸易双方互信基础,最终对出口贸易规模产生显著正向影响(Blind *et al.*, 2023)。数字贸易规则中的人工智能等新兴技术条款和技术标准协调条款通过规范人工智能行业和技术,促进双边人工智能生态系统连接和技术兼容,以增进双边国际标准协调,降低技术信息不对称,减少技术性贸易壁垒,提升生产者和消费者对使用人工智能系统的信任,最终促进人工智能产品的国际贸易扩张。具体而言,从生产者视角看,标准化是实现技术密集型产品“兼容性”的前提。当不同国家采用统一的接口标准、数据格式或技术协议时,技术产品可跨区域无缝对接,市场边界随之扩大(沈同和邢造宇, 2005)。数字贸易规则中人工智能等新兴技术条款有助于人工智能企业在人工智能技术和产品的生命早期嵌入技术规范要求,提升人工智能产品与出口国市场基础设施的互操作和兼容性,降低技术性贸易壁垒和横向产品监管壁垒,进而推动人工智能产品的国际贸易。从消费者视角看,技术标准是产品获得认证和许可的基础和依据,是产品质量的重要保障(沈同和邢造宇, 2005)。通过制定统一的产品质量和安全标准、服务标准等,可使消费者获得关于产品的充分信息,降低产品质量风险,从而促进人工智能产品的出口。

假说4:数字贸易规则通过促进双边标准国际协调,进而促进人工智能硬件产品的出口。

四 研究设计

(一)计量模型建立

在经济科学研究中利用双重差分(Difference-in-Differences, DID)模型评估政策实施效果的有效性和准确性被证明是行之有效的。数字贸易规则的生效是良好的准自然实验。为精确评估其对人工智能硬件产品出口的影响,本文构建多期DID模型,根

据数字贸易规则生效时间差异,设置了不同的政策冲击时间,将签订数字贸易规则且已生效的双边国家定义为处理组,将未签订数字贸易规则和已签订数字贸易规则但未生效的双边国家归类为控制组。假设处理组与控制组的国家在数字贸易规则生效前人工智能硬件产品出口量的变化趋势相同,则在数字贸易规则生效后二者间的差距就是这一准自然实验的处理效应。由此,本文构建计量模型为:

$$\ln AI_{ijpt} = \beta_0 + \beta_1 did_{ijt} + \beta_2 Controls + v_{ij} + v_{pt} + \varepsilon_{ijpt} \quad (1)$$

其中, i 、 j 、 p 和 t 分别表示出口国、进口国、人工智能硬件产品和年份。被解释变量为 $\ln AI_{ijpt}$,表示出口国 i 与进口国 j 在 t 时期人工智能硬件产品 p 的出口贸易的对数值; did_{ijt} 为本文核心解释变量,如果出口国 i 和进口国 j 在 t 时期已签订数字贸易规则且已生效,则 did_{ijt} 从 t 年至2023年均为1,否则为0。**Controls**表示一系列产品和国家层面的控制变量。 v_{ij} 和 v_{pt} 分别表示国家对固定效应和产品 $\times$ 时间固定效应, ε_{ijpt} 为随机干扰项。

(二)核心指标

1. 人工智能硬件产品出口额($\ln AI_{ijpt}$)。这是本文的被解释变量,指 t 年 i 国出口到 j 国的人工智能硬件产品 p 贸易额的对数。数据来自本文构建的人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库。

2. 数字贸易规则(did_{ijt})。这是本文的核心解释变量,以数字贸易规则生效年份为政策冲击时间。如果出口国 i 和进口国 j 签订的数字贸易规则在 t 年生效,则 did_{ijt} 从 t 年至2023年均为1,否则为0。截至2023年,根据WTO官网数据,世界各国共生效的区域贸易协定(RTA)共367个。根据Monteiro和Robert(2017)的做法,本文采用以下两类方法作为判定是否含有数字贸易条款的依据,一是直接含有电子商务或数字贸易章节的RTA,二是包含数字贸易条款的关键词(计算机化、网络、数字、电子、电子商务、电子政务、信息和通信、信息和通信技术、互联网、在线、无纸化和电信)。

3. 控制变量。本文分别选取产品和国家层面的控制变量。在产品层面,我们控制进口国HS6位码产品层面税率。由于本文主要研究的是人工智能硬件产品的出口,所以进口国产品层面税率对人工智能硬件产品的出口尤为关键,税率数据来自WTO数据库。在国家层面,一是双边国家间是否有出口管制。人工智能技术属于行业领先科技,各国往往采取管控措施限制技术转移与出口,如基于数据分析的个性化信息推送服务技术等与人工智能相关的技术被列为美国限制出口的技术条目。《瓦森纳协定》是目前美国等发达国家规制两用物项和技术出口最为典型的多边机制,出口

管制方式主要采用“小院高墙”策略,高科技产品在成员国之间流动相对自由,在成员国外的流动受到限制,目前包括美国、日本、英国等42个成员。本文将出口国和进口国同属或都不属于《瓦森纳协定》成员定义为0、否则为1,衡量是否有出口管制(刘斌和甄洋,2022)。二是当年双边国家是否有签订的区域贸易协定。为区分区域贸易协定和数字贸易规则对人工智能硬件产品出口的影响,使本文因果识别更加清晰,我们加入了当年双边国家是否有签订区域贸易协定作为控制变量,数据来自世界银行全球优惠贸易协定数据库。

此外,本文还添加了其他国家层面的控制变量,以缓解国家层面的系统差异对结果造成的偏误,包括出口国和进口国经济发展水平(人均国内生产总值),数据来自世界银行数据库;出口国和进口国的人力资本水平(劳动参与率),数据来源于世界银行数据库;以及出口国和进口国的数字经济基础设施(安全互联网服务器数量),数据来源于国际电信联盟。

(三)描述性分析

根据人工智能指数报告,自2012年起人工智能技术取得巨大进步,与人工智能相关的学术活动、专业招生及人工智能行业风险投资急剧增长,人工智能技术应用也从实验室走向各行各业,实现了从单一领域到多元化行业的渗透。因此,本文选取的样本时间范围为2012–2023年。在剔除部分数据缺失较多的国家后,共包含179个出口国、135个进口国和110个HS6位码人工智能硬件产品。表1报告了主要变量的描述性统计。

表1 主要变量的描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
人工智能硬件产品出口额的对数	29 246 212	0.355	1.486	0	24.530
进口国HS6产品税率	29 246 212	0.705	0.890	0	16.700
双边是否有出口管制	29 246 212	0.299	0.458	0	1
双边是否签订区域贸易协定	29 246 212	0.240	0.427	0	1
出口国经济发展水平	29 246 212	8.784	1.414	5.268	11.803
进口国经济发展水平	29 246 212	8.447	1.319	5.268	11.597
出口国人力资本水平	29 246 212	6.080	1.297	0.028	9.791
进口国人力资本水平	29 246 212	6.121	1.329	0.054	9.770
出口国数字经济基础	29 246 212	0.028	0.270	0	6.288
进口国数字经济基础	29 246 212	0.029	0.310	0	6.288

五 主要计量结果

(一)基础回归结果

表2报告了基准回归的估计结果。第(1)列仅加入核心解释变量,结果显示双边国家数字贸易规则的估计系数显著为正。在此基础上,第(2)列中加入产品层面的控制变量即进口国HS6位码产品层面税率,核心解释变量的估计系数依然显著为正,而税率的系数显著为负,表明

双边国家出口与进口国产品关税显著负向相关。第(3)和(4)列加入了国家层面的控制变量,第(3)列的控制变量包括双边是否有出口管制以及当年双边国家是否有签订区域贸易协定;第(4)列的控制变量包括出口国和进口国的经济发展水平、人力资本水平,以及出口国和进口国的数字经济基础。此外,为了控制双边国家与产品-年份层面难以观测的因素对基准回归的影响,本文在所有回归中加入了国家对和产品×年份固定效应,具体回归结果见表2。从中可知,所有回归核心解释变量的系数均显著为正,表明数字贸易规则的生效对人工智能硬件产品的出口具有显著正向促进作用。

表2	基准回归结果			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>did</i>	0.081*** (6.504)	0.081*** (6.549)	0.083*** (6.705)	0.090*** (7.539)
进口国 产品关税		-0.027*** (-16.260)	-0.027*** (-16.240)	-0.027*** (-16.337)
双边是否有 出口管制			-0.567*** (-9.416)	-0.525*** (-9.113)
双边是否签订 区域贸易协定			0.014*** (2.822)	0.023*** (4.923)
出口国人均 国内生产总值				0.038*** (8.201)
进口国人均 国内生产总值				0.074*** (13.745)
出口国人力 资本水平				0.010*** (13.364)
进口国人力 资本水平				0.004*** (5.153)
出口国数字 经济基础				0.162*** (16.843)
进口国数字 经济基础				0.088*** (8.931)
常数项	0.353*** (1241.536)	0.372*** (314.103)	0.539*** (29.646)	-0.531*** (-7.883)
观测值	29 246 212	29 246 212	29 246 212	29 246 212
R ²	0.457	0.457	0.457	0.458

说明:本文在国家对层面聚类,括号内的值为t值,*、**、***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著,所有回归都控制了国家对和产品×年份固定效应。后表同。

(二)稳健性检验

一是平行趋势假设评估。使用DID的前提是满足平行趋势假定(Angrist and Pischke, 2008),这要求处理组与控制组在数字贸易规则生效前有一致的出口贸易变化趋势。因此本文使用事件分析法进行了平行趋势检验,以数字贸易规则生效当期为基准,置信区间为90%,检验结果如图3所示。在数字贸易规则生效前,系数并不显著异于0,说明处理组和控制组之间不存在显著差异。在数字贸易规则生效后,系数基本显著为正,说明数字贸易规则的生效对人工智能硬件产品出口具有显著正向促进作用。

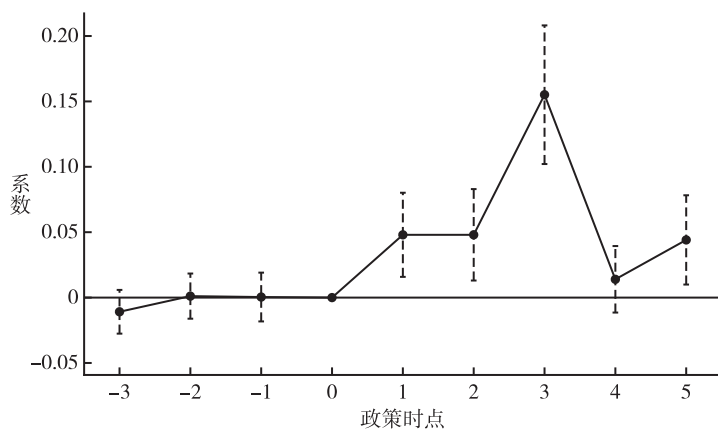


图3 平行趋势假设评估

二是安慰剂检验。安慰剂检验是政策评估的常用方法,原理在于虚构的政策变量不应有政策效果,所以可以排除某些无法观测或者随机的因素对处理组的影响,以检验处理效应是否准确。本文依据陈强等(2025)的做法,采用随机生成DID交互项作为模拟解释变量,依据模拟解释变量重新对基准模型进行估计,图4汇报了500次“伪处理组”的估计系数核密度以及对应p值的分

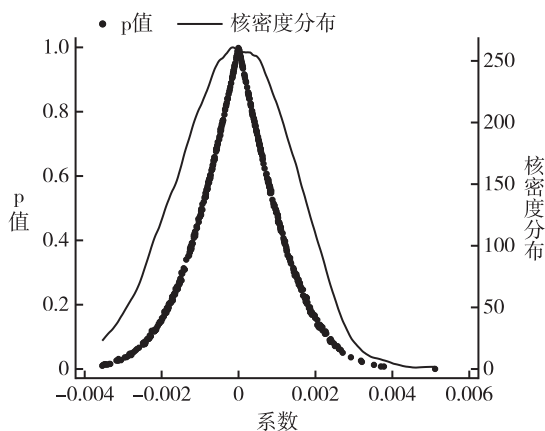


图4 安慰剂检验

布,回归系数显著异于基准回归中的实际值,表明本文基准回归结果稳健。

另外,参照 Callaway and Santanna(2021)与周茂等(2023)的研究,本文还从其他多个方面进行了稳健性检验,以确保基准回归结果的可靠性。一是更换估计方法,分别采用多期双重差分(Difference-in-Differences with Multiple Time Periods, CSDID)与倾向得分匹配-双重差分法(PSM-DID)对样本进行重新估计。二是删除 2020-2023 年数据重新回归以排除疫情影响。三是更换核心解释变量,根据电子商务和数据贸易协议条款数据库(Burri and Polanco, 2020)定义的更广泛的数字贸易条款,分别构建是否实施数字贸易规则和数字贸易规则深度指标来重新估计。四是采用国家对×产品和时间固定效应,以控制某些随进出口国和产品层面以及时间层面变化的不可观测因素。五是采用更为狭义的核心被解释变量,将核心被解释变量分别更换为工业机器人出口额对数和美国人工智能硬件产品出口额对数后进行稳健性检验。以上稳健性检验结果与基准回归结果相近,说明本文基准回归结果稳健^①。

(三)内生性处理

数字贸易规则与人工智能硬件产品的出口可能存在一定内生性问题,一方面,源于模型遗漏变量的影响(如两国间或产品层面无法被观测的因素等);另一方面,现有的数字贸易规则包括人工智能条款的签订往往建立在两国贸易基础和贸易潜力之上,可能使二者存在反向因果关系。因此,本文借鉴侯俊军等(2023)的方法,使用贸易伙伴国与第三国签署数字贸易规则数量作为工具变量进行内生性处理($Count_{ijt-IV}$)。然后,再借鉴杨连星等(2023)的方法构造合成工具变量,估计双边国家签订数字贸易规则的概率($Prob_{ijt-IV}$),以此作为工具变量进行两阶段最小二乘法估计。工具变量回归结果见表 3,其中 Kleibergen-Paap rk LM 和 Cragg-Donald Wald F 统计量分别拒绝了工具变量识别不足和工具变量弱识别的原假设,说明以上两个工具变量的选取是合理的。

表 3 内生性检验回归结果

	(1)	(2)
	$Count_{ijt-IV}$	$Prob_{ijt-IV}$
<i>did</i>	0.398*** (5.555)	0.539*** (10.988)
控制变量	控制	控制
Kleibergen-Paap rk LM 统计量	499.212 [0.0000]	470.117 [0.0000]
Cragg-Donald Wald F 统计量	870.082 [16.38]	1722.629 [16.38]
观测值	29 246 212	21 324 483

① 限于篇幅,稳健性分析具体结果详见本刊网站本文补充材料附录 2。

同时,核心解释变量的估计系数符号也与基准回归结果一致,表明在克服内生性问题后,双边国家实施数字贸易规则仍能促进人工智能硬件产品的出口。

(四)机制检验

本文进一步探究数字贸易规则对人工智能硬件产品国际贸易的可能影响渠道,参考Liu and Mao(2019)的研究思路和前文理论分析,数据跨境流动效应、数字知识产权保护效应、数字贸易成本降低效应以及标准国际协调效应4个机制的具体检验步骤如下^①:

1.数据跨境流动效应的机制检验。双边国家跨境数据流量难以测度,根据联合国贸发会议发布的《2021年数字经济报告》,最常用的测度标准是国际互联网带宽总使用量。国际互联网带宽是指跨越国家或地区边界的网络带宽,通常用来连接不同国家或地区的互联网服务提供商(ISP)或数据中心,是以字节为单位的数据流量,数据来自国际电信联盟。由于国际互联网带宽是单边变量,本文参考Herman and Oliver(2023)的做法,使用出口国和进口国间最低国际互联网带宽作为双边国家跨境数据流量的代理变量,检验数字贸易规则的生效是否通过提升跨境数据流量影响人工智能硬件产品的出口。从表4第(1)列结果可知,数字贸易规则对跨境数据流有显著正向影响,表明双边国家实施数字贸易规则能够提升跨境数据流动,最终正向影响人工智能硬件产品的出口。

表4 机制检验回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	数据跨境 流动效应	数字知识产权 保护效应	数字贸易成本 降低效应	数字贸易成本 降低效应	数字贸易成本 降低效应	标准国际 协调效应	标准国际 协调效应
	$\ln data_{ijt}$	$\ln IPRP_{ijt}$	$\ln pat_cp_{ijt}$	$dstri_{ijt}$	dif_{ijt}	$\ln stc_{ijt}$	$\ln stand_{ijt}$
<i>did</i>	0.189*** (5.935)	0.034** (2.445)	0.014*** (3.166)	-0.007* (-1.777)	0.047*** (3.502)	-0.080*** (-18.388)	0.019* (1.710)
常数项	8.783*** (30.705)	0.469*** (11.419)	-0.008 (-0.310)	0.493*** (8.695)	0.826*** (12.349)	-0.050 (-1.172)	-0.062 (-1.443)
观测值	176 458	131 161	271 370	52 171	190 442	271 370	160 331
R ²	0.926	0.254	0.644	0.860	0.877	0.570	0.935

说明:加入基准回归的国家层面控制变量,并控制了国家对和年份固定效应。

^① 在正文机制分析基础上,本文参照与人工智能相关的4类数字贸易规则,借鉴Burri and Polanco(2020)构建的TAPED数据库赋值逻辑,对4类数字贸易规则的细分条款逐一识别与量化打分,构建与4个理论机制相对应的4类数字贸易规则指数,然后通过该指数分别考察数字贸易规则对相应机制变量的影响,以增强理论机制分析的系统性与严谨性。限于篇幅,具体回归结果详见本刊网站本文补充材料附录3。

2. 数字知识产权保护效应的机制检验。双边人工智能领域数字知识产权保护水平不仅取决于国家整体层面知识产权保护强度,还与出口国在进口国该领域的知识产权保护需求高度相关。一方面,企业在申请专利时面临专利文本披露导致的关键技术泄露和可能的侵权取证难等问题,只有当目的国知识产权保护程度较高时,企业才更愿意“以公开换保护”,为其新技术和新产品申请专利(Teece *et al.*, 2018);另一方面,出口国在进口国的人工智能专利申请数量越多,在一定程度上说明该出口国在进口国的专利保护需求越多,受数字知识产权保护的范围也越广。知识产权保护指数是衡量一国知识产权保护强度的常用指标,是 Ginarte-Park 专利权指数(G-P 专利指数)、世界经济论坛(WEF)的知识产权保护(IPP)以及商业软件联盟(BSA)的盗版指数的未加权平均值,总得分在0-10之间,分数越高,表明该国知识产权保护水平越高,数据来自国际产权联盟。知识产权保护需求指标使用出口国在进口国人工智能领域的国际专利申请数量衡量,数据来自世界知识产权组织(WIPO)和全球专利统计数据库(PATSTAT Global 2023)。据此,本文借鉴余骁等(2023)的方法,构建了双边人工智能领域数字知识产权保护的代理变量,同时为控制各国国际专利授权总量的规模差异,采用出口国在进口国人工智能领域国际专利授权数量占当年专利授权总量的比重作为权重,对双边知识产权保护指数进行调整。另外,本文参照刘金科和肖翊阳(2022)的研究,对这一变量进行对数化处理以消除潜在的数据结构漂移问题。具体指标构建方法为:

$$IPRP_{ijt} = \frac{(IPRP_{jt} + IPRP_{it})}{2} \times \frac{patent_{ijt}^{AI}}{patent_{ijt}} \quad (2)$$

其中, $IPRP_{jt}$ 、 $IPRP_{it}$ 分别为进口国、出口国的知识产权保护指数, $patent_{ijt}^{AI}/patent_{ijt}$ 代表 t 年出口国 i 在进口国 j 授权的人工智能领域国际专利数量占当年专利授权数量的比重, $IPRP_{ijt}$ 数值越大表明出口国在进口国人工智能产品受到的数字知识产权保护水平越高,反之反是。关于人工智能领域专利的识别方法同前文典型事实部分,专利数据来自 PATSTAT Global 2023 数据库,估计结果见表4第(2)列。其中,核心解释变量的系数显著为正,表明双边国家间数字贸易规则的生效能显著提升人工智能领域知识产权保护程度,进而促进人工智能硬件产品的国际贸易。

另外,数字知识产权条款促进数字知识产权领域监管一致性,有助于双边合作专利申请,最终促进人工智能硬件产品的贸易,因此本文直接选用双边国家人工智能领域国际合作专利授权数量的对数值^①作为数字知识产权保护效应的机制变量

① 国际合作专利指多名专利发明人或申请人不属于同一国家。

($\ln pat_cp_{ijt}$)再次进行检验。这一数值越大表示双边国家在人工智能领域的专利合作授权数量越多,其在该领域的知识产权保护程度也越高,国际合作专利授权数据来自 PATSTAT Global 2023 数据库。关于合作申请专利的识别,本文借鉴乔治城大学安全与新兴技术中心提供的合作申请专利分类号识别人工智能领域专利,然后与 PATSTAT Global 2023 数据库提供的专利申请(授权)号、申请(授权)人和发明人所在的国家、年份、专利摘要等数据匹配,获得双边国家人工智能领域合作专利授权数据。估计结果见表4第(3)列,核心解释变量的系数显著为正,表明双边国家间数字贸易规则的实施能显著促进人工智能领域双边国际合作专利授权,进而促进了人工智能硬件产品的出口。

3. 数字贸易成本的机制检验。鉴于较难获取数字贸易成本的数据,本文分别从数字贸易自由化程度和数字贸易便利化程度两个角度考量数字贸易成本。就数字贸易自由化而言,本文使用 OECD 数字服务贸易限制指数(DSTRI)作为数字贸易自由化程度的代理变量($dstri_{ijt}$),指数取值区间为 0-1,指数越小代表双边国家数字贸易自由化程度越高,数字贸易成本越低,数据区间为 2014-2023 年^①。选取这一代理变量的理由在于:一方面,数字服务贸易限制指数主要衡量影响数字服务贸易发展的主要限制措施,包括网络互联监管框架、电子商务监管机制、争议解决与支付体系以及其他数字贸易限制性措施等模块,各模块下设多条评估细则,更具体地包括“电子商务市场准入的要求”“跨境服务商业存在要求”“跨境服务本地实体存在要求”“跨境服务提供商在线税务登记申报制度”等对数字服务贸易自由化的评估,数字服务贸易限制指数越低,则数字贸易成本越低。另一方面,人工智能硬件产品通常内嵌软件于硬件设备中,技术服务与产品捆绑交易,其国际贸易与数字服务密不可分,双边数字服务贸易限制指数越低,贸易成本就越低。核心解释变量的回归结果见表4第(4)列,表明数字贸易规则的生效能显著降低数字贸易成本,最终促进人工智能硬件产品的出口。就数字贸易便利化而言,本文使用联合国发布的数字贸易便利化指数衡量数字贸易便利化程度,数据来自联合国全球数字与可持续贸易便利化调查数据库,该调查每2年进行1次,涵盖 2015、2017、2019、2021 及 2023 年全球 163 个国家的数据和 60 项具体措施,共分为 4 组:一般贸易便利化、数字贸易便利化、可持续贸易便利化及其他贸

① 限于数据可得性,本文使用 2014 年的数据代替 2012 和 2013 年的数据对机制回归进行稳健性检验。其原因在于:该指数通过对各国数字服务贸易相关政策评分得到,而国家政策具有较强稳定性和持续性,导致各年份间指数差异较小或无差异。检验结果的核心解释变量依然显著为正,说明本机制检验结果较稳健。

易便利化,并且提供每项措施的实施阶段信息及特定贸易便利化措施组的实施率数据,取值在0%-100%之间,0%表示完全没有实施,100%表示完全实施。其中,数字贸易便利化调查包括“自动化海关系统”“电子单一窗口系统”“电子化海关申报”“进出口许可电子化申领与签发”“电子交易法律法规”“单一窗口提供融资便利化服务”“跨境电商贸易便利化措施”“电子版CITES证书的在线申领、签发及交换”等17项具体调查。根据 Duval 等(2018)的做法,双边数字贸易便利化水平(dtf_{ij})为双边国家数字贸易便利化水平的几何平均值^①,这一数值越高表示数字贸易成本越低,缺失年份数据采用线性插值法补齐,共获取了2015-2023年的数据^②。估计结果见表4第(5)列,核心解释变量的系数显著为正,说明数字贸易规则的实施有助于提升数字贸易便利化水平,降低数字贸易成本,进而促进人工智能硬件产品的出口。

此外,由于数字贸易成本广泛存在于服务和货物贸易的各个环节,因此本文将这一贸易成本考量扩展至更广的领域,使用广义双边国家贸易成本数据($cost_{ij}$)作为数字贸易成本替代机制变量,数据来自 ESCAP-世界银行贸易成本数据库。这一定义的代理变量反映了更广义的贸易成本,既包括国际运输和关税等直接成本,又涵盖进出口程序、语言壁垒等间接成本。回归结果中核心解释变量的系数显著为负,说明双边国家数字贸易规则生效能够明显降低国家间贸易成本,进而促进人工智能硬件产品的出口^③。

4. 标准国际协调的机制检验。技术标准协调对于保障产品质量与性能、确保兼容性、规范行业标准等方面具有关键作用。若缺乏有效的技术标准协调,双边贸易中更易因技术要求差异而产生技术性贸易壁垒,从而增加人工智能产品跨境流通的制度性阻碍。为衡量双边标准国际协调程度,本文选取世界贸易组织技术性贸易壁垒委员会(TBT Committee,下称TBT委员会)每年公布的人工智能产品领域TBT特别贸易关注次数(TBT Specific Trade Concern)作为代理变量。TBT特别贸易关注是指在世界贸易组织框架下,某一成员国在TBT委员会正式会议上,依据《技术性贸易壁垒协定》相关条款,就另一成员国拟议或已实施的技术法规、标准或合格评定程序等措施,明确提出其可能构成不必要贸易障碍的关切、质疑或反对意见,并在会议记录中正式

① 具体的双边数字贸易便利化程度的指标计算方法为: $dtf_{ij} = \sqrt{dtf_{ii} \times dtf_{jj}}$,其中, dtf_{ii} 表示出口国数字贸易便利化程度, dtf_{jj} 表示进口国数字贸易便利化程度。

② 同样地,受限于数据的可得性,本文使用2015年的数据代替2012-2014年的数据再次进行机制检验,回归结果详见本刊网站本文补充材料附录3。

③ 限于篇幅,具体回归结果详见本刊网站本文补充材料附录3。

登记。例如,如果我国出口企业认为美国的BVLOS无人机法规设定了过高的技术门槛或测试要求,导致我国无人机更难进入美国市场,我国可以在TBT委员会上提出“特别贸易关注”,要求美国解释、修改或调整相关规定。TBT特别贸易关注数据来源于WTO ePing SPS & TBT平台,相关文件信息包括提出成员国、被关注成员国、支持成员国、产品类别(HS编码)、提出异议时间等。基于此文本文件,本文将其提供的HS2位码和HS4位码产品类别与本文人工智能硬件产品库匹配,并在双边国家层面加总^①,得到双边国家人工智能硬件产品特别贸易关注数量,作为标准国际协调($\ln stc_{ijt}$)的机制变量。双边国家人工智能硬件产品特别贸易关注数量越多,反映出双方技术标准协调上的一致性越低。与前述变量类似,我们对这一变量进行对数化处理以消除潜在的数据结构漂移问题。回归结果见表4第(6)列,其中核心解释变量显著为负,说明数字贸易规则的实施有助于降低双边人工智能硬件产品的特别贸易关注数量,促进标准国际协调,进而促进人工智能硬件产品的出口。

此外,标准协调保证了产品特征的一致性与产品质量,双边标准协调的数量越多,越有利于双边国家的国际贸易。借鉴Schmidt and Steingress(2022)的方法,本文还选取双边国家人工智能领域标准协调数量作为标准国际协调的代理变量($\ln stand_{ijt}$),数据来自赛尔中心(Searle Center)数据库。通过该数据库可以获得各国标准制定组织(Standard Setting Organization, SSO)的标准版本,包含标准的等效代码、发布年份、ICS类别和发布标准的SSO国籍等信息。人工智能领域的标准协调数量由国际标准分类法(ICS)与HS4位码匹配得出,并在国家层面加总,构建成为双边国家标准协调数量指标。囿于数据可得性,这一机制变量的年份为2012–2018年,使用上述指标进行估计的回归结果见表4第(7)列,核心解释变量的系数显著为正,说明数字贸易规则的实施能够促进双边人工智能领域标准协调数量,进而促进人工智能产品的国际贸易。

(五)异质性分析

1. 区分数据采集与非采集类人工智能硬件产品。围绕人工智能硬件产品的核心

^① 双边国家人工智能硬件产品特别贸易关注次数统计规则为:无论由出口国或进口国哪一方提出,每提出一次针对人工智能硬件产品的特别贸易关注,即计为当年该双边国家间有1次该产品的特别贸易关注。例如,出口国A对进口国B于2012年就人工智能硬件产品提出1次特别贸易关注,同年B国对A国就人工智能产品提出1次特别贸易关注,则认为当年双边国家间有2次人工智能硬件产品特别贸易关注。另外,支持成员国是指在会议上对提出国的关切表示支持的其他成员。在数据处理中,特别贸易关注支持成员国等同于特别贸易关注提出成员国。

贸易问题许多都涉及数据的访问和获取。数据采集产品包括“硬感知”和“软感知”，“硬感知”产品主要利用设备或装置进行数据的收集，收集对象为物理世界中的物理实体，或者是以物理实体为载体的信息、事件及流程等。“软感知”产品主要指的是软件、操作程序及系统等。部分人工智能硬件产品属于数据采集产品，如手机、电脑、智能穿戴装备、人脸扫描装备等。鉴于数据安全和隐私保护等方面的考虑，公众对于数据采集类人工智能硬件产品的使用更为敏感和警惕。譬如，2020年欧洲各国为了加强保护欧洲居民隐私和数据安全，宣布在公共场所内使用面部识别技术的5年限时禁令，并在此期间确定和开发一种评估该技术影响的合理方法及可能的风险管理措施。数字贸易规则的实施可能会对数据采集类人工智能硬件产品和非数据采集类人工智能硬件产品的国际贸易产生差异化影响。本部分在人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库的基础上，根据数据采集产品的定义，将样本按照数据采集类和非数据采集类人工智能硬件产品进行划分，即 $dummy=1$ 表示数据采集类人工智能硬件产品， $dummy=0$ 为非数据采集类人工智能硬件产品，采用虚拟变量方法探究数字贸易规则对不同类型人工智能硬件产品国际贸易的影响。回归结果如表5所示，第(1)和第(2)列分别报告了未纳入控制变量与纳入控制变量下的回归结果。其中，核心解释变量与虚拟变量的交互项($did \times dummy$)皆显著为正，表明相较非数据采集类人工智能硬件产品，数字贸易规则的生效对数据采集类人工智能硬件产品的出口具有更强促进作用。

表5 数据采集与非采集类人工智能硬件产品

	(1)	(2)
<i>did</i>	0.069*** (5.872)	0.079*** (6.920)
<i>did</i> × <i>dummy</i>	0.115*** (6.030)	0.117*** (6.122)
常数项	0.353*** (1241.542)	-0.531*** (-7.882)
控制变量	未控制	控制
观测值	29 246 212	29 246 212
R ²	0.457	0.458

说明：所有回归都控制了国家对和产品×年份固定效应，后表同。

2. 区分不同产业类别的人工智能硬件产品。十四届全国人大二次会议首次将“人工智能+”写入政府工作报告，提出要加快促进形成以人工智能为引擎的新质生产力，突显了国家对人工智能领域发展的重视。根据《全部经济活动的国际标准产业分类》(ISIC rev3)，人工智能硬件产品涉及多种具体的产业类别，而数字贸易规则的实施对不同产业的人工智能硬件产品的影响存在差异。因此，本部分将人工智能硬件

产品国际贸易追踪数据库中的产品按照国际标准产业分类分为6个种类:家用器具类;办公室、会计和计算机设备类;交通运输类;电视机、通信设备与装置类;医疗器械、精密仪器和光学仪器类;机械和设备类,以探讨数字贸易规则对不同产业类别的人工智能硬件产品出口的影响。具体回归结果见表6第(1)–(6)列,数字贸易规则对所有产业类别的人工智能产品都有促进作用,但对不同产业类别的人工智能硬件产品出口的促进作用不同。为稳健起见,第(7)列是本文使用虚拟变量回归的结果,具体而言,按照上述产业分类构造6个产业类别虚拟变量(D_1 – D_6)^①,以机械和设备类人工智能硬件产品(D_6)为基准组,将剩余5个分组虚拟变量与核心解释变量形成三重交互项,并将它们加入模型中进行估计,结果与前述结果基本一致。

表6 区分不同产业类别人工智能硬件产品

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	家用器具类	办公室、会计和计算机设备类	交通运输类	电视机、通信设备与装置类	医疗器械、精密仪器和光学仪器类	机械和设备类	产业类别
<i>did</i>	0.129*** (5.714)	0.129*** (6.461)	0.099*** (4.510)	0.031** (2.421)	0.120*** (7.424)	0.086*** (7.427)	0.001 (0.054)
<i>did</i> × D_1							0.184*** (6.671)
<i>did</i> × D_2							0.388*** (9.616)
<i>did</i> × D_3							0.195*** (5.447)
<i>did</i> × D_4							0.165*** (6.574)
<i>did</i> × D_5							0.076*** (3.765)
常数项	-0.810*** (-6.872)	-0.786*** (-6.555)	-1.073*** (-8.924)	-0.585*** (-8.897)	-0.457*** (-5.185)	-0.386*** (-6.252)	-0.531*** (-7.884)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	800 927	2397 448	2928 055	3726 325	4806 632	14 586 648	29 246 212
R^2	0.553	0.631	0.522	0.578	0.565	0.401	0.458

① D_1 – D_6 分别对应家用器具类;办公室、会计和计算机设备类;交通运输类;电视机、通信设备与装置类;医疗器械、精密仪器和光学仪器类;机械和设备类6类人工智能硬件产品。

3. 区分数字贸易规则模板。根据数字贸易规则中具体条款的内容差异、核心理念以及发展演变特征,现有研究将数字贸易规则归纳为美式模板、欧式模板及新式模板。本文借鉴盛斌和陈丽雪(2023)的研究,将样本中的数字贸易规则划分为美式模板、欧式模板、新式模板和其他,分别纳入回归模型分析不同模板对人工智能硬件产品出口的影响,估计结果见表7。从中可知,这3类模板对人工智能硬件产品的出口都具有明显的正向影响。第(4)列是将不同规则模板同时纳入回归的估计结果,可以看出美式模板相较欧式与新式模板具有更强促进作用。可能因为人工智能技术的更新与迭代需要海量生产生活数据,而美式模板尤其强调数据跨境自由流动,因此能够更显著地促进人工智能硬件产品的出口。

表 7 区分数字贸易规则模板

	(1)	(2)	(3)	(4)
	美式模板	欧式模板	新式模板	不同规则模板
<i>did</i>	0.086*** (7.214)	0.082*** (6.869)	0.054*** (4.898)	0.037*** (3.506)
<i>did</i> ×美式模板	0.268* (1.903)			0.317** (2.255)
<i>did</i> ×欧式模板		0.254*** (3.025)		0.300*** (3.572)
<i>did</i> ×新式模板			0.283*** (5.820)	0.300*** (6.199)
常数项	-0.530*** (-7.861)	-0.529*** (-7.841)	-0.510*** (-7.583)	-0.504*** (-7.490)
控制变量	控制	控制	控制	控制
观测值	29 246 212	29 246 212	29 246 212	29 246 212
R ²	0.458	0.458	0.458	0.458

六 结论与政策建议

本文通过匹配人工智能专利数据库、我国人工智能企业调研数据以及 UN Comtrade 贸易数据库,构建出人工智能硬件产品国际贸易追踪数据库。在此数据库的基础上利用双重差分模型探索数字贸易规则的生效对人工智能硬件产品出口的影响和机制。研究结果表明,第一,数字贸易规则的生效明显促进了全球人工智能硬件产品的出口,且在更换估计方法、排除疫情影响、更换核心解释变量度量方法、

安慰剂检验、更换固定效应、更换核心被解释变量、使用更窄口径人工智能硬件产品、遗漏变量等稳健性检验后该结论仍然稳健。第二,机制检验结果表明,数字贸易规则主要通过数据跨境流动效应、数字知识产权保护效应、数字贸易成本降低效应以及标准国际协调效应促进双边经济体的人工智能硬件产品出口规模。第三,异质性分析结果显示,数字贸易规则对人工智能硬件产品的出口促进效应具有显著异质性。从人工智能硬件产品类型看,数字贸易规则对数据采集类人工智能硬件产品的促进效应较大;从不同产业类别的人工智能硬件产品看,数字贸易规则对各产业人工智能硬件产品均有不同程度促进作用;从不同数字贸易规则模板看,新式、欧式与美式模板都对人工智能硬件产品的国际贸易具有显著促进作用,且美式模板作用更显著。

人工智能产业的发展直接关系到对高端产业链的控制权、标准体系的话语权以及数据生态的主导权。基于本文研究视角,我们提出如下政策建议:第一,积极推动在数字贸易规则中纳入人工智能条款,制定契合我国国情且兼顾发展中国家关切的人工智能条款方案,深度参与新一代数字贸易规则体系中人工智能治理框架的构建。第二,持续完善现有数字贸易规则条款。在跨境数据流动方面,通过协议性安排降低数据流动壁垒,打造可预期的跨境数据治理环境;在数字知识产权方面,加强源代码、算法等专有信息的法律保护,加快推动数字产品标识化,提升数字贸易法制化水平;在数字贸易成本降低方面,促进软硬件集成产品在分类、认证、通关等环节便利化,切实降低企业的合规成本与市场进入门槛;在标准国际协调方面,着重关注人工智能等新兴技术条款,紧跟技术发展趋势制定可行的治理路径和规划。第三,强化国内立法与国际规则的衔接,系统评估现行政策在数据出境、安全认证、算法备案等方面与数字贸易规则的协调性,推动形成“国内规制-国际规则”双轨联动的制度基础,全面提升我国在全球人工智能治理中的制度话语权与市场主动权。

参考文献:

- 陈强、齐霁、颜冠鹏(2025):《双重差分法的安慰剂检验:一个实践的指南》,《管理世界》第2期。
- 高奇琦(2019):《全球善智与全球合智:人工智能全球治理的未来》,《世界经济与政治》第7期。
- 韩剑、蔡继伟、许亚云(2019):《数字贸易谈判与规则竞争——基于区域贸易协定文本量化的研究》,《中国工业经济》第11期。
- 侯俊军、王胤丹、王振国(2023):《数字贸易规则与中国企业全球价值链位置》,《中国工业经济》第4期。
- 刘斌、甄洋(2022):《数字贸易规则与研发要素跨境流动》,《中国工业经济》第7期。
- 刘金科、肖翊阳(2022):《中国环境保护税与绿色创新:杠杆效应还是挤出效应?》,《经济研究》第1期。

- 沈同、邢造宇(2005):《标准化理论与实践》,北京:中国计量出版社,第3-5页。
- 沈玉良、彭羽、高疆、陈历幸(2022):《是数字贸易规则,还是数字经济规则?——新一代贸易规则的中国取向》,《管理世界》第8期。
- 盛斌、陈丽雪(2023):《区域与双边视角下数字贸易规则的协定模板与核心议题》,《国际贸易问题》第1期。
- 施炳展、熊治(2023):《人员跨境流动、“软信息”与国际贸易》,《世界经济》第2期。
- 史丹、聂新伟、齐飞(2023):《数字经济全球化:技术竞争、规则博弈与中国选择》,《管理世界》第9期。
- 宋国友、张纪腾(2023):《战略竞争、出口管制与中美高技术产品贸易》,《世界经济与政治》第3期。
- 杨虎涛、胡乐明(2023):《不确定性、信息生产与数字经济发展》,《中国工业经济》第4期。
- 杨连星、王秋硕、张秀敏(2023):《自由贸易协定深化、数字贸易规则与数字贸易发展》,《世界经济》第4期。
- 姚加权、张锟澎、郭李鹏、冯绪(2024):《人工智能如何提升企业生产效率?——基于劳动力技能结构调整的视角》,《管理世界》第2期。
- 余骁、黄先海、陈航宇(2023):《知识产权保护、技术距离与出口国内增加值率》,《中国工业经济》第6期。
- 张天顶、龚同(2023):《“数字鸿沟”对RTA数字贸易规则网络发展的影响:从“信息鸿沟”到治理壁垒》,《中国工业经济》第10期。
- 周茂、武家辉、李雨浓、李丁(2023):《共建“一带一路”与互联互通深化——基于沿线国家间的视角》,《管理世界》第11期。
- 周念利、陈寰琦(2020):《RTAs框架下美式数字贸易规则的数字贸易效应研究》,《世界经济》第10期。
- Acemoglu, D. and Restrepo, P. “Tasks, Automation, and the Rise in US Wage Inequality.” *Econometrica*, 2022, 90(5), pp.1973–2016.
- Agrawal, A.; Gans, J. S. and Goldfarb, A. “Artificial Intelligence: the Ambiguous Labor Market Impact of Automating Prediction.” *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33(2), pp.31–50.
- Angrist, J. D. and Pischke, J. S. *Mostly Harmless Econometrics: an Empiricist's Companion*. Princeton: Princeton University Press, 2008, pp.221–248.
- Beraja, M.; Kao, A.; Yang, D. and Yuchtman, N. “AI-Tocracy.” *The Quarterly Journal of Economics*, 2023, 138(3), pp.1349–1402.
- Branstetter, L. G.; Fisman, R. and Foley, C. F. “Do Stronger Intellectual Property Rights Increase International Technology Transfer? Empirical Evidence from U.S. Firm-Level Data.” *The Quarterly Journal of Economics*, 2006, 121(1), pp.321–349.
- Burri, M. and Polanco, R. “Digital Trade Provisions in Preferential Trade Agreements: Introducing a New Dataset.” *Journal of International Economic Law*, 2020, 23(1), pp.187–220.
- Callaway, B. and Santanna, P. H. “Difference-in-Differences with Multiple Time Periods.” *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2), pp.200–230.
- Duval, Y.; Utoktham, C. and Kravchenko, A. “Impact of Implementation of Digital Trade Facilitation on Trade Costs.” ARTNeT working paper, No.174, 2018.
- Fernandes, A. M.; Klenow, P. J.; Meleshchuk, S.; Pierola, M. D. and Rodríguez-Clare, A. “The Intensive Margin in Trade: How Big and How Important?” *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2023, 15(3), pp.320–335.

- Herman, P. R. and Oliver, S. “Trade, Policy, and Economic Development in the Digital Economy.” *Journal of Development Economics*, 2023, 164(2), pp.103–135.
- Liu, Y. and Mao, J. “How Do Tax Incentives Affect Investment and Productivity? Firm-Level Evidence from China.” *American Economic Journal: Economic Policy*, 2019, 11(3), pp.261–291.
- Machlup, F. *The Economics of Information and Human Capital*. Princeton: Princeton University Press, 1984.
- Martin, B.; David, Y. Y. and Noam, Y. “Data-intensive Innovation and the State: Evidence from AI Firms in China.” *The Review of Economic Studies*, 2023, 90(4), pp.1701–1723.
- Maskus, K. E. “Intellectual Property in a Globalizing World: Issues for Economic Research.” *Asia-Pacific Journal of Accounting and Economics*, 2015, 22(3), pp.1–20.
- McAfee, A. and Brynjolfsson, E. “Big Data: the Management Revolution.” *Harvard Business Review*, 2012, 90(10), pp.66–68.
- Monteiro, J.; Teh R. “Provisions on Electronic Commerce in Regional Trade Agreements.” WTO staff working papers, 2017.
- Pomfret, R. and Sourdin, P. “Trade Facilitation and the Measurement of Trade Costs.” *Journal of International Commerce, Economics and Policy*, 2010, 1(1), pp.145–163.
- Schmidt, J., and Steingress, W. “No double standards: Quantifying the impact of standard harmonization on trade.” *Journal of International Economics*, 2022, 137, pp.1–25.
- Siegmann, C. and Anderljung, M. “The Brussels Effect and Artificial Intelligence: How EU Regulation will Impact the Global AI Market.” ArXiv working paper, No. 12645, 2022.
- Teece, D. J. “Profiting from Innovation in the Digital Economy: Enabling Technologies, Standards, and Licensing Models in the Wireless World.” *Research Policy*, 2018, 47(8), pp.1367–1387.
- Wilson, J. S.; Mann, C. L. and Otsuki, T. “Assessing the Benefits of Trade Facilitation: a Global Perspective.” *World Economy*, 2005, 28(6), pp.841–871.

Digital Trade Rules and the Export of AI Hardware Products

Liu Bin; Zhu Xiaomei; Li Chuanchuan

Abstract: Digital trade rules are not only closely related to services trade but also exert a significant influence on trade in goods that embed digital services. This paper examines the impact of such rules on the international trade of artificial intelligence (AI) hardware products from a goods trade perspective. First, it exploratively constructs an identification framework of “AI patents – ‘broadly-defined’ AI enterprises – all import and export products – AI hardware products”, and by leveraging AI patent databases, survey data on Chinese AI enterprises, and the UN Comtrade database, it constructs a “Tracking Database for International Trade of AI Hardware Products”. Second, the paper systematically

reviews AI-relevant provisions within existing digital trade rules across four dimensions: data transmission and management, digital intellectual property governance, digital trade liberalisation and facilitation, and digital technology governance. It then explores the mechanisms through which these rules affect trade in AI hardware via four pathways: cross-border data flow effects, digital intellectual property protection effects, digital trade cost-reduction effects, and international standards harmonisation effects. Finally, utilising the enactment of digital trade rules as a quasi-natural experiment, a difference-in-differences (DID) model is employed to analyse their impact on AI hardware product trade and the underlying mechanisms.

The findings indicate that enacting digital trade rules significantly promotes the international trade of AI hardware products. This result remains robust after a series of robustness checks, including changing estimation methods, replacing core explanatory variables, adjusting fixed effects, substituting the core dependent variable, testing for omitted variable bias, and excluding the impact of the pandemic. Mechanism analysis reveals that digital trade rules influence exports primarily through the four hypothesised channels. Specifically: (i) cross-border data flows enhance product regional adaptability and diversification; (ii) digital intellectual property protection improves the bilateral digital trade institutional environment; (iii) reductions in digital trade costs lower both market access barriers and efficiency losses in cross-border transactions; and (iv) international standards harmonisation mitigates information asymmetry and reduces trade frictions. Collectively, these factors are key drivers through which digital trade rules promote AI hardware exports.

Further analysis demonstrates that the trade-promoting effects exhibit significant heterogeneity according to the type of AI hardware product, industry category, and digital trade agreement template. Regarding product types, the rules have a more pronounced facilitating effect on data acquisition AI hardware, which is more sensitive to trade costs. Across industries, the promotional effect varies in extent. Concerning different rule templates, the US-style template demonstrates a stronger facilitating effect compared to the European-style and emerging templates. Therefore, improving and effectively governing digital trade rules is of considerable importance for promoting the international trade of AI hardware products.

Key words: digital trade rules, artificial intelligence (AI) hardware products, difference-in-differences (DID)

JEL codes: F10, F13, F19

(截稿:2025年10月 责任编辑:王 徽)