

算力驱动贸易保护主义

王永进 谢芳 王文斌

目录

附录 I 正文补充内容.....	1
附录 II 特征事实分析.....	18
附录 III 稳健性检验：考虑国内外原始数据的异质性.....	26
附录 IV 稳健性检验：关于原始数据跨境流动政策的不同设定.....	33
附录 V 稳健性检验：原始数据作为生产的副产品.....	37
附录 VI 稳健性检验：考虑国内外加工数据的异质性或者加工数据政策限制.....	41
附录 VII 稳健性检验：考虑加工数据在国家间不能自由流动时的竞争模式.....	48
附录 VIII 稳健性检验：数据中间商市场结构为寡头模式与垄断模式.....	50
附录 IX 稳健性检验：考虑原始数据分享下的隐私成本负外部性.....	54
附录 X 稳健性检验：考虑贸易不平衡.....	63
附录 XI 稳健性检验：考虑计价物部门.....	67
附录 XII 稳健性检验：从数据中校准模型关键参数.....	76
附录 XIII 稳健性检验：加工数据替代弹性.....	81
附录 XIV 稳健性检验：生产函数中加工数据份额.....	89
附录 XV 稳健性检验：商品部门为完全竞争市场.....	95
附录 XVI 稳健性检验：垄断模式下数据中间商市场势力 μ	99
参考文献.....	101

附录 I 正文补充内容

由于文章篇幅限制，我们对正文中部分内容进行了精简。为了便于读者对文章内容的理解，我们在此汇报了正文中未呈现的内容，以起到补充说明的作用。

（一）关于算力背景与模型假设的说明

1. 算力

算力是指计算能力，即处理数据的能力。自古以来，无论是结绳计数、算盘，还是如今的超级计算机，均承载着人类的算力。在大数据时代，从狭义上来看，算力指的是计算机系统或网络在处理大规模数据和执行复杂计算任务方面的能力；而从广义上来看，算力不仅取决于硬件，也取决于软件与人力资本。本文所指的算力便同时包含了两种情形。

习近平总书记 2021 年 11 月在亚太经合组织第二十八次领导人非正式会议指出：“要加强数字基础设施建设，加快数字转型，努力弥合‘数字鸿沟’”。2022 年 2 月，国家发改委等四部门共同推动“东数西算”工程全面启动，全国一体化大数据中心体系完成了 8 个国家算力枢纽节点和 10 个国家数据中心集群的总体布局设计。其中，8 个国家算力枢纽节点是指京津冀枢纽、长三角枢纽、粤港澳枢纽、成渝枢纽、内蒙古枢纽、贵州枢纽、甘肃枢纽和宁夏枢纽。在 8 大算力枢纽内，进一步规划设立 10 个国家数据中心集群，分别是张家口集群、芜湖集群、长三角生态绿色一体化发展示范区集群、韶关集群、天府集群、重庆集群、和林格尔集群、贵安集群、庆阳集群和中卫集群。2023 年 10 月，工业和信息化部等六部门进一步印发《算力基础设施高质量发展行动计划》，并专门对增强算力赋能成效作出部署。

美国也高度重视算力和新兴技术进展，近年来陆续出台了《芯片与科学法案》和《国家量子计划》，旨在强化算力基础设施应用和协同创新，持续巩固其在半导体和前沿计算领域的全球领导地位。芯片是算力的基础，芯片的性能直接影响着计算设备的算力。近年来，中国高端芯片制造遭遇的严重“卡脖子”问题（渠慎宁等，2023）。

2. 模型假设

受限于文章篇幅，我们在此对文章中的关键假设做出如下解释与说明：

（1）原始数据是消费的副产品

随着传感器技术、物联网设备和智能系统的普及，商品在生产、运输、销售等各个环节产生的数据规模不断扩大。例如，当消费者购买商品时，其交易行为、商品偏好、消费频率等信息都会以数据的形式生成，这些原始数据成为企业了解市场需求、优化产品和服务的重要渠道，为商业决策提供宝贵的信息资源。

（2）数据中间商可以免费获得原始数据

本文假定数据中间商无需直接向消费者进行隐私费用补偿，从而可以无成本地获取消费者产生的原始数据。这一假设的合理性在于，现实中鲜有企业因使用消费者数据而直接付费给消费者的案例。相反，企业通常能够以近乎零的边际成本获取消费者的数据。一方面，单个消费者的数据通常是琐碎且价值不高的，因此企业缺乏为这些数据付费的动力。同时，正如“隐私悖论”揭示的那样，人们在隐私保护的态度和实际行为之间存在明显的反差，许多消费者愿意为了享受基本的在线服务而提供个人信息（Carrière-Swallow and Haksar, 2019; Chen et al., 2021）。另一方面，消费者之间存在的隐私负外部性也是一个重要因素，即某些消费者的数据分享可能会无意间暴露其他消费者的个人信息，这也在一定程度上削弱了消费者保护个人隐私的意愿。这些因素共同导致了单个消费者数据价值的降低，进而促使企业或数据中间商过度收集消费数据（Acquisti et al., 2016; Choi et al., 2019; Ichihashi, 2021a; 2021b; Acemoglu et al., 2022）。

（3）未引入数据中间商搜集数据的固定成本

数据中间商搜集原始数据需要支付固定成本，包括特定的设备和技术投资（例如，传感器、检测设备和数据采集系统等），数据搜集的系统开发、软件编程和其他研发工作，操作、监控和维护数据收集系统的人员培训，以及实施数据安全和隐私保护措施等。由于引入这一固定成本并不会影响本文的结论，同时为了保证模型相对简洁，故本文未引入这一固定成本。

（4）效用函数中未纳入隐私成本

本文未将隐私成本纳入效用函数，原因在于：第一，“隐私悖论”指出人们在日常生活中对隐私的态度和实际行为之间存在矛盾。尽管很多人在调查（主观评价）中表示非常关注和重视隐私，但在实际行为中却频繁地分享个人信息，即对隐私的价值实际上给出较低的评估（Carrière-Swallow and Haksar, 2019; Chen et al., 2021）。第二，隐私问题的复杂性表明构建一个单一而全面的隐私经济理论具有挑战性。同时，隐私成本也并非本文分析的重点。第三，本文后续假设数据中间商需要雇佣劳动将原始数据进行脱敏，从而不会造成隐私泄露问题。基于上述考量，故本文并未考虑隐私成本对消费者效用的影响。

（5）数据在商品生产中的作用

数据在生产中发挥着重要的作用。例如，特斯拉（电动汽车制造商）通过搜集全球消费者使用其车辆的数据，例如行驶习惯、充电行为等数据，优化其车辆性能、增加新功能，并调整未来车型，以满足不同市场的消费者需求。耐克（运动鞋和运动服装制造商）通过全球市场需求的数据搜集，了解不同国家和地区对运动鞋和运动服装的需求和趋势，从而及时调整产品设计和营销策略等。

（6）一国的商品生产者可以同时购买来自本国和外国的加工数据

本国数据和外国数据对企业的生产通常是相互交织、相互影响的，而非简单的替代或完全互补关系。我们在此从不同角度举例说明该假设的合理性。例如，对于全球供应链管理而言，许多制造业企业依赖于跨国供应链，可能在不同国家采购原材料和零部件。企业需要分析来自本国和外国的供应链数据，以确保及时、高效地获取必要的资源，并优化库存管理。再如，一家国际性的零售企业可能需要根据不同国家和地区的市场需求来调整其产品组合。通过分析本国和外国的市场数据，企业可以更好地了解消费者趋势，提供更符合当地需求的产品。以创新和研发为例，创新通常需要广泛的信息和数据，包括国内外市场的趋势、竞争情况等。企业可能会在全球范围内寻找最新的技术和研究成果。高科技和研发型企业通常需要全球范围内的技术信息和研究成果。通过获取来自不同国家的科研数据，企业可以更好地了解全球技术前沿，促进创新。综合来说，企业通常需要综合利用本国和外国数据，以更好地了解全球经济环境，满足不同市场的需求，提高生产效率，降低风险，并在全球范围内寻找创新和发展机会。受限于文章篇幅，我们在此仅列举部分示例。

（7）原始数据跨境流动政策

对跨境数据流动的严格限制主要有三类：本地存储要求、本地存储和处理要求以及禁止数据传输（Cory and Dascoli, 2021）。其中，本地存储要求是指在政策执行国境内存储原始数据副本后，原始数据可跨境传输。本地存储和处理要求是指原始数据不仅需要在政策执行国境内存储，还需要在该国处理，处理后的加工数据可以传输到国外。禁止数据传输是指原始数据必须在政策执行国境内存储、处理，其处理后的加工数据也只能在该国境内访问。

（8）不考虑数据的动态积累

考虑到数据的时效性非常高，即实时数据反映特定情境下的信息，其价值随时间的推移而迅速下降，甚至可能“转瞬即逝”。因此，本文参考 Jones and Tonetti（2020）假设数据完全折旧，即不存在动态积累过程。

（二）第二部分“理论模型”

1. 竞争模式下商品生产者的最优化决策

在竞争模式下，商品生产者的最优化问题分为两步。第一，生产者根据来自两国的加工数据价格，决定从各国购买的最优加工数据量（ φ_{CC} 和 φ_{CU} ）；第二，给定工资与总加工数据的价格，生产者选择最优生产要素投入（ l_C 与 φ_C ）。^①

给定加工数据的价格，国家C商品生产者的最优化问题为：

$$\min_{\varphi_{CC}, \varphi_{CU}} r_{CC}\varphi_{CC} + r_{CU}\varphi_{CU}.$$

其中， r_{CC} 和 r_{CU} 分别为国家C购买的来自本国和国家U的加工数据价格。根据最优化问题，可求得国家C商品生产者对两国加工数据的需求函数分别为：

$$\varphi_{CC} = \chi_{CC} \left(\frac{r_{CC}}{R_C} \right)^{-o} \varphi_C,$$

$$\varphi_{CU} = \chi_{CU} \left(\frac{r_{CU}}{R_C} \right)^{-o} \varphi_C.$$

其中， R_C 为总加工数据 φ_C 的价格，具体如下：

$$R_C = [\chi_{CC}(r_{CC})^{1-o} + \chi_{CU}(r_{CU})^{1-o}]^{\frac{1}{1-o}},$$

且满足 $R_C\varphi_C = r_{CC}\varphi_{CC} + r_{CU}\varphi_{CU}$ 。

2. 数据中间商的刻画

数据、算法和算力构成了大数据时代不可或缺的三要素。数据是指任何可以输入到计算机中进行处理的信息，以数字、文字和图形等形式呈现。算法是一系列解决问题、实现特定功能的有序指令和步骤，其设计、实现和优化通常需要人类工程师的参与。算力则是计算机设备执行算法和处理数据的能力，直接影响系统的运行效率和任务完成速度。数据中间商在数据、算法和算力之间搭建了桥梁，通过整合三者为商品生产者提供数据分析服务。具体而言，数据中间商从商品生产者处收集原始数据，并雇佣专业人员开发和应用各种算法，对原始数据进行清洗、脱敏、挖掘和分析等操作，而后向商品生产者提供加工数据服务。在执行复杂的算法和处理大规模数据时，数据中间商依赖算力的支撑。

（1）竞争模式

加工数据具有非竞争性，数据中间商可以将同一单位加工数据销售至一国所有的商品生产者。此外，经过处理后的加工数据实现脱敏，因此可跨境自由贸易，且不存在传输成本。因此，国家C数据中间商的利润最大化问题为：

$$\max_{l_{CC}, l_{UC}} r_{CC}\varphi_{CC} + r_{UC}\varphi_{UC} - w_C l_{CC} - w_C l_{UC}.$$

由于国家U的数据中间商提供完全相同的服务，因此两国的数据中间商在国际市场上便呈现竞争形式。根据上述最优化问题，可得国家C数据中间商有关劳动力投入的一阶条件：

$$\frac{o-1}{o} B_C(1-\gamma) r_{CC} D_C^\gamma l_{CC}^{-\gamma} = w_C,$$

$$\frac{o-1}{o} B_C(1-\gamma) r_{UC} D_C^\gamma l_{UC}^{-\gamma} = w_C.$$

由上述一阶条件可知，算力将影响劳动力在商品部门和数据部门之间的分配。具体而言，当国家C数据中间商的算力提升时，其数据部门的比较优势和工资上升，劳动力将从商品部

^① 与国家C相同，国家U商品生产者的最优化问题也分为两步。国家U生产者对两国的数据需求函数分别为 $\varphi_{UC} = \chi_{UC} \left(\frac{r_{UC}}{R_U} \right)^{-o} \varphi_U$ 和 $\varphi_{UU} = \chi_{UU} \left(\frac{r_{UU}}{R_U} \right)^{-o} \varphi_U$ 。此外，国家U加工数据的价格为 $R_U = [\chi_{UC}(r_{UC})^{1-o} + \chi_{UU}(r_{UU})^{1-o}]^{\frac{1}{1-o}}$ 。

门流入数据部门，因此该国数据部门规模扩大而商品部门规模减小。此外，结合上述一阶条件与加工数据生产函数，可知国家 C 的数据中间商对劳动的支付为 $\frac{o-1}{o}(1-\gamma)(r_{CC}\varphi_{CC} + r_{UC}\varphi_{UC})$ ，其利润进一步表示为 $\left(\frac{o\gamma-\gamma+1}{o}\right)(r_{CC}\varphi_{CC} + r_{UC}\varphi_{UC})$ 。^①注意，数据中间商的利润由两部分组成，其一是数据中间商凭借其免费获得的原始数据占有的生产利润 $\frac{o-1}{o}\gamma(r_{CC}\varphi_{CC} + r_{UC}\varphi_{UC})$ ，其二是数据中间商凭借其垄断势力从商品生产者处获取的超额利润 $\frac{1}{o}(r_{CC}\varphi_{CC} + r_{UC}\varphi_{UC})$ 。

（2）垄断模式

垄断模式下，假定国家 U 数据中间商的生产函数以及可获得的原始数据均与竞争模式相同，因此其利润最大化问题也保持一致。此外，尽管数据中间商在市场上处于垄断地位，但它仍然面临潜在进入者的竞争，无法完全随意定价，因此假定垄断者以外生给定的成本加成率 μ 进行定价，这种定价策略体现了垄断者在保持市场份额与限制新进入者之间进行权衡。由于“垄断模式”下数据中间商通常拥有更高的成本加成率，我们设定 $\mu > \frac{o}{o-1}$ 。具体地，其关于劳动力投入的一阶条件为：

$$\begin{aligned}\frac{1}{\mu}(1-\gamma)r_{CU}B_UD_U^\gamma l_{CU}^{1-\gamma} &= w_U, \\ \frac{1}{\mu}(1-\gamma)r_{UU}B_UD_U^\gamma l_{UU}^{1-\gamma} &= w_U.\end{aligned}$$

结合上述一阶条件与数据中间商的生产函数，可知国家 U 数据中间商的劳动支付为 $\frac{1}{\mu}(1-\gamma)(r_{CU}\varphi_{CU} + r_{UU}\varphi_{UU})$ 。因此，可进一步得到数据中间商免费占有原始数据获得的利润为 $\frac{1}{\mu}\gamma(r_{CU}\varphi_{CU} + r_{UU}\varphi_{UU})$ 。

（3）说明

与已有文献相比，本文对数据中间商的设定更贴近现实。一方面，现有文献假设数据中间商需要为消费者隐私泄露的风险而付费，因此数据中间商需要以一定的边际成本从消费者处购买原始数据（Jones and Tonetti, 2020; Chang et al., 2023）。本文则假设数据中间商以零边际成本获取消费者数据，不会主动承担消费者的隐私成本。原因如下：第一，单个消费者的数据通常是零散的且缺乏价值，企业缺乏为单个消费者的数据付费的动机。由于数据中间商在市场上的地位和消费者所面临的信息不对称问题，消费者难以了解到数据中间商收集数据的目的与用途。大多数消费者愿意为基本的“免费”在线服务与企业分享他们的个人信息（Carrière-Swallow and Haksar, 2019），因此数据中间商通常能够以极低或零边际成本获取消费者数据。第二，消费者之间存在隐私负外部性：一些消费者的数据分享将同时揭示其他消费者的个人信息。这种负外部性降低了单个数据的价值，因为一旦某些消费者泄露了其个体数据，其他消费者保护他们的数据和隐私的动机将下降。随着其他人披露更多信息，保护自己数据的成本也会增加。因此，企业可以以零边际成本获得消费者数据，并且导致数据收集过度（Acquisti et al., 2016; Choi et al., 2019; Ichihashi, 2021a; 2021b; Acemoglu et al., 2022）。

^① 于国家 U ，其加工数据的生产函数分别为 $\varphi_{CU} = B_UD_U^\gamma l_{CU}^{1-\gamma}$ 和 $\varphi_{UU} = B_UD_U^\gamma l_{UU}^{1-\gamma}$ 。根据数据中间商的最优化问题，可得一阶条件为： $\frac{o-1}{o}B_U(1-\gamma)r_{CU}D_U^\gamma l_{CU}^{1-\gamma} = w_U$ 与 $\frac{o-1}{o}B_U(1-\gamma)r_{UU}D_U^\gamma l_{UU}^{1-\gamma} = w_U$ 。最终，我们可求得国家 U 数据中间商的利润为 $\frac{o\gamma+1-\gamma}{o}(r_{CU}\varphi_{CU} + r_{UU}\varphi_{UU})$ 。

另一方面,已有文献通常假设数据中间商需要从单个消费者处付费购买原始数据,并将其市场结构设定为完全垄断市场,同时自由进入条件将导致数据中间商实现零利润(Jones and Tonetti, 2020; Chang et al., 2023)。本文关于数据中间商的设定试图刻画以下事实。第一,以谷歌、脸书和亚马逊等大型平台为例,他们通过搜索引擎记录、社交媒体跟踪和网络购买记录等方式免费收集消费者的数据,而后将这些数据组合起来出售给其他企业。这些大型平台(数据中间商)往往凭借其会员数量众多(网络外部性)和市场地位优势(信息不对称),将个性化展示的商品、服务的展示浏览功能与用户协议捆绑,要求消费者默认同意平台收集处理消费者的信息,从而免费收集大量消费者数据,并且利用这些原始数据获得额外的收益。第二,本文刻画了数据中间商通过其市场地位获取超额利润的情形,凸显了大型数据中间商在生产和贸易中的地位与作用,使模型与现实更为贴切。

3. 市场结构设定

参考 Firooz and Heins (2024), 本文假定商品生产者进入市场分为两个阶段: 第一, 生产者进入本国市场和外国市场需分别支付固定成本 f_d 和 f_x (以出口国劳动力为单位)。企业进入各个目的地市场为独立决策, 只有当该市场的可变利润大于固定成本时, 企业才会进入并向其出口(Chaney, 2008; Eaton et al., 2011; Edmond et al., 2015)。参考 Atkeson and Burstein (2008) 与 Edmond et al. (2015) 的设定, 本文假定企业考虑进入某一目的地市场的顺序与其在该目的地市场的边际成本相反。第二, 进入目的地市场的企业同时以非合作的方式确定价格, 并生产商品。为保证所有种类在各个目的地国家均可销售, 我们假定进入市场的固定成本不高于在该市场的垄断可变利润, 即最低边际成本的企业在该市场成为垄断者时所获得的可变利润高于固定成本。^①在此设定下, 商品生产者存在市场势力和利润。

根据上述假定可知, 当所有企业的边际成本均为公开信息, 并且所有市场的决策都是独立做出时, 唯一的纳什均衡便是国家 C 的最低成本供应商按照其边际成本的 Dixit-Stiglitz 成本加成率 $\frac{\sigma}{\sigma-1}$ 进行定价。此外, 由于第二阶段为 Bertrand 竞争, 两国的企业均有动机通过降低价格来占领市场, 因此只有生产效率更高的企业才能销售商品, 而其他生产者均退出该市场。此时, 国家 C 消费商品 ω 的价格为: $p_C(\omega) = \frac{\sigma}{\sigma-1} \times \min \left\{ \frac{c_C}{c_U}, \frac{c_U \tau_{CU}}{z_U(\omega)} \right\}$ 。

4. 竞争模式下的贸易收支平衡条件

贸易收支平衡条件是决定两国工资以及国际分工地位的关键。具体而言, 当两国完全对称且不存在进口关税时, 两国的均衡工资相等, 福利相同。此时, 两国的商品贸易和加工数据贸易均不存在失衡, 即 $Y_C = Y_U = Y_C^D = Y_U^D = 0$ 。然而, 当国家 C 对进口商品征收单边关税时, 国家 C 将出现商品贸易顺差和加工数据贸易逆差, 国家 U 则出现商品贸易逆差和加工数据贸易顺差。原因如下: 随着国家 C 进口关税的上升, 进口商品的价格上升, 对国家 C 消费者而言本国商品更具有价格优势, 因此国家 C 商品生产者的规模扩大, 利润增加。此时, 国家 C 商品部门对劳动力和加工数据的需求增加, 从而国家 C 商品部门的工资和加工数据价格上升, 贸易条件改善, 福利上升。由于国家 C 商品部门相较于数据部门的工资更高, 劳动力由数据部门流入商品部门, 因此国家 C 更多的生产和出口商品。另一方面, 由于加工数据在国家间可以自由流动, 随着国家 C 商品部门的扩张, 国家 C 的商品生产者将从国家 U 进口价格相对低廉的加工数据以替代国内昂贵的加工数据, 因此国家 U 将更多的生产和出口数据, 即国家 U 成为加工数据的净出口方。贸易收支平衡条件意味着国家 C 成为商品的净出口方。

同理, 当国家 U 对进口商品征收单边关税时, 国家 U 将出现商品贸易顺差和加工数据贸易逆差, 而国家 C 将出现商品贸易逆差和加工数据贸易顺差。这说明, 一国对商品市场的关

^① 本文放松了完全竞争市场的假设, 考虑了商品生产者不完全竞争情形下企业存在利润的可能, 使模型更贴合现实世界。

税保护将扭曲两国在商品部门和数据部门的比较优势。当国家 U 征收进口关税时，其数据部门的比较优势将下降，从而带来该国的加工数据贸易逆差。

同样的，我们也能够通过逻辑演绎简要介绍算力如何通过贸易收支平衡条件影响国家间的贸易格局。具体来看，当两国完全对称时，两国的工资与福利均保持相同。此时，两国的商品贸易和加工数据贸易不存在失衡。然而，当国家 C 的算力提升之后，国家 C 将出现商品贸易逆差与加工数据贸易顺差，而国家 U 则相反。原因在于，随着国家 C 的算力提升，该国在数据部门的生产优势得到相应提升，能够生产更多的加工数据用于两国的商品生产，进而降低了该国的加工数据价格。由于加工数据在国家间可以自由流动，随着国家 C 数据部门的扩张，两国将使用更多国家 C 价格相对低廉的加工数据以替代国家 U 昂贵的加工数据，因此国家 C 将更多的生产并出口加工数据，即成为加工数据的净出口方。此外，国家 C 数据部门的扩张导致其对劳动力的需求增加，进而推升劳动力的工资，因此国家 C 的劳动力将从商品部门流入数据部门，这便导致该国商品部门生产的收缩，进而成为商品的净进口方。综上所述，贸易收支平衡条件表明，一国算力的进步将使该国在数据部门拥有比较优势，进而带来加工数据贸易顺差与商品贸易逆差。

5. 垄断模式下的贸易收支平衡条件

垄断模式下，国际收支平衡条件也是决定两国工资和国际分工的关键。当国家 C 征收单边进口关税时，其加工数据贸易逆差和商品贸易顺差将进一步扩大。具体而言，当国家 C 对进口商品征收单边关税时，国家 C 商品生产者规模扩大，对劳动和加工数据需求的增加推升了工资和加工数据价格，进而改善了贸易条件。此外，由于国家 C 不存在数据中间商，其商品生产中用到的加工数据只能依赖于从国家 U 进口，这导致加工数据贸易逆差进一步扩大。然而，当国家 U 对进口商品征收单边关税时，将进一步降低其商品贸易逆差的幅度。具体地，随着国家 U 单边进口关税的上升，同理其商品部门的工资和加工数据价格上升。由于国家 U 商品部门的工资高于数据部门，因此劳动力将由数据部门流入商品部门，从而扩大商品生产，这便降低了其商品贸易逆差。此外，国家 U 商品生产者规模的扩张加大了其对于加工数据的需求，因此国家 U 数据部门将减少加工数据的出口以用于本国商品生产者的生产，从而降低了其加工数据贸易顺差。^①根据国际贸易收支平衡条件可知，国家 U 加工数据贸易顺差和商品贸易逆差的下降也意味着国家 C 加工数据贸易逆差和商品贸易顺差的下降。

6. 垄断模式下成本加成率设定的微观基础^②

Dinopoulou and Unel (2013) 通过引入完全竞争的潜在模仿者来约束在位企业的定价行为。具体而言，Cobb-Douglas 形式的效用函数意味着消费者对每一类产品 ω 的支出份额是固定的，从而在无约束情况下，企业会倾向于“高价低量”，甚至价格将趋于无穷大，成为实质上的垄断者。为避免出现上述结果，Dinopoulou and Unel (2013) 假设存在能够以相同单位成本生产较低质量产品的完全竞争模仿者，从而迫使在位企业采取限制性定价（limit pricing），使其价格刚好足以阻止进入。此外，在无质量差异的情形下，也可以假设潜在模仿者的单位成本为在位企业的 μ 倍，从而迫使在位企业采取限制性定价的策略，形成固定的成本加成 μ 。由此可见，解决 Cobb-Douglas 框架下垄断者定价问题的关键在于引入潜在进入者的威胁，其方式可以是：（1）相同成本、质量差异，即潜在进入者生产成本与在位企业相同，但质量较低；（2）相同质量、成本差异，即潜在进入者产品质量与在位企业相同，但生产成本较高。

^① 注意，当国家 U 单边征收进口关税时， $r_{CU}\varphi_{CU}$ 的变动幅度将小于 $\frac{\pi_{UC}X_U}{1+t_{UC}}$ 的变动幅度。原因在于，当国家 U 单边征收进口关税时，国家 C 的贸易条件恶化，将更多消费本国商品。根据（13）式可知，国家 U 单边进口关税上升导致 $\frac{\pi_{UC}X_U}{1+t_{UC}}$ 下降的幅度将大于 $r_{CU}\varphi_{CU}$ 下降的幅度。

^② 作者在此非常感谢第三位匿名审稿专家的宝贵建议，帮助我们详细梳理了文章中关于垄断模式下相关设定的微观机制。

于 Dinopoulou and Unel (2013) 一文而言，产品需求方是消费者，效用函数为 Cobb-Douglas 形式，因此对每种产品 ω 的支出份额为常数；产品供给方是企业 ω 。而在本文的理论模型中，加工数据需求方是企业，其生产函数同样为 Cobb-Douglas 形式，即 $q_c(\omega) = z_c(\omega)[\varphi_c]^{b_c}[l_c(\omega)]^{1-b_c}$ 。因此，企业对加工数据的支出份额恒为 β_c 。在“垄断模式”下，加工数据的唯一供给方是国家 U ，这一设定在逻辑上等同于 Dinopoulou and Unel (2013) 的情形。

本文的理论模型正是借鉴前述第 (2) 种思路，即通过引入存在成本差异的潜在进入威胁来约束在位企业定价，这与 Dinopoulou and Unel (2013) 的核心逻辑一致。具体地，参考 Dinopoulou and Unel (2013) 的思路，我们做出如下假设：(1) 尽管数据中间商在市场上处于垄断地位，但它仍然面临潜在进入者的竞争，且潜在进入者可以通过承担合理的成本快速进入市场；(2) 在位企业的决策受潜在进入厂商的影响，其对数据价格形成下限约束，使垄断厂商无法完全随意定价。不妨假定垄断者以外生给定的成本加成率 μ 进行定价，这种定价策略体现了垄断者在保持市场份额与限制新进入者之间进行权衡。

(三) 第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”

1. 参数校准

本文主要依据现有文献校准模型中使用的参数，但鉴于现有关于跨境数据流动与国际贸易研究的局限性，部分模型参数难以从文献中获得。因此，我们根据模型性质和经验来合理选择数值。同时，为了体现本文的模型不依赖于这些特定参数，我们进行了稳健性检验。在此基础上，本文将进行反事实分析，即在保持其他参数不变的情况下，改变进口关税或数据部门的算力，分析两国的贸易量、福利等相关变量如何变化。

表 I1 汇报了本文数值模拟分析中使用参数的校准过程。第一，商品替代弹性 (σ) 的大小在 Eaton and Kortum (2002) 这一支文献中对量化结果的影响较小，因此我们参照现有文献将其设定为 2。第二，为简化分析，我们假定 Fréchet 分布的位置参数 (T_i) 为 1，并参照 Simonovska and Waugh (2014) 将其形状参数 (即贸易弹性) 设定为 4。第三，根据卡尔多事实 (Kaldor facts)，劳动收入占国民收入的份额大致稳定，因此设定生产中的劳动要素投入份额 ($1 - \beta_i$) 为 $2/3$ 。第四，数据部门的生产率 (B_i) 标准化为 1；加工数据生产函数中原始数据的份额 (γ) 设定为 0.5；加工数据之间的替代弹性 (ϕ) 设定为 5 (Chang et al., 2023)；根据亚马逊云服务 2023 年的主营业务收入和营业利润数据，计算得到 $\mu = 1.37$ 。^{①②}第五，参考 Jones and Tonetti (2020) 有关人口规模和进入成本的设定，假设经济体中人口规模 (L_i) 为 1，市场进入成本 (f_a, f_x) 为 0.0001。第六，对于加工数据的权重 χ_{ij} ，我们在正文中将其取值为 1；在后续分析中我们进一步放松该设定，以检验模型结论的稳健性。最后，为简化分析，本文在基准模型中将冰山贸易成本 (d_{ij}) 与进口关税 (t_{ij}) 分别设定为 1 和 0。

表 I1 模型参数

参数	参数描述	参数值	参数来源
σ	商品替代弹性	2	文献
T_i	Fréchet 分布位置参数	1	标准化
θ	Fréchet 分布形状参数 (贸易弹性)	4	Simonovska and Waugh (2014)
$1 - \beta_i$	商品生产中的劳动投入份额	$2/3$	标准

① 本文在附录 XIII 中呈现了加工数据的不同替代弹性的结果，结论依然保持稳健。

② 2023 年，亚马逊云服务 (Amazon Web Services, AWS) 的主营业务收入为 908 亿美元，营业利润为 246 亿美元，由此有： $\frac{r\varphi}{c\varphi} = 1.37$ ，故 $\mu = \frac{r}{c} = 1.37$ 。数据来源：https://s2.q4cdn.com/299287126/files/doc_financials/2024/ar/Amazon-com-Inc-2023-Annual-Report.pdf。

γ	加工数据生产中的原始数据份额	1/2	标准
B_i	数据部门的生产率	1	标准
χ_{ij}	加工数据的权重	1	标准
σ	数据替代弹性	5	标准
μ	数据中间商成本加成率	1.25	标准
d_{ij}	冰山贸易成本	1	标准
t_{ij}	关税	0	标准
f_d, f_x	市场进入的固定成本	0.0001	Jones and Tonetti (2020)
L_i	人口规模	1	Jones and Tonetti (2020)

2. 福利分析

表 1 第三列报告了不同数据中间商市场结构和不同原始数据政策下的福利。结果表明，在竞争模式下，当原始数据无法在国家间自由流动时，两国的福利均为 1.17；当原始数据可以跨境流动时，两国的福利则为 1.34。由于该模式下两国为完全对称情形，因此两国的福利在两种原始数据政策下都将保持一致。然而，在垄断模式下，当两国禁止原始数据流动时，国家 C 与国家 U 的福利分别为 0.88 和 1.03；当原始数据可以自由流动时，国家 C 与国家 U 的福利分别为 0.99 和 1.16。可见，垄断模式下国家 U 的福利始终高于国家 C 。

本文首先分析数据中间商市场结构如何影响两国福利。给定原始数据流动政策，对比竞争模式和垄断模式可以发现：于两国而言，竞争模式下的福利始终高于垄断模式下的福利。通过表 1 中的渠道分解可知，就数据中间商利润来看，垄断模式下由于仅有国家 U 拥有搜集并处理数据的能力，因此只有国家 U 可以获得这部分收入，但此时其利润低于竞争模式下总的的数据中间商利润。原因在于，垄断模式下的数据中间商为制定垄断价格和获取超额利润，将控制加工数据的生产，因此垄断模式下一家数据中间商提供的加工数据量将低于竞争模式两家数据中间商提供的总数据量。然而，由于商品生产需要投入加工数据，因此商品生产者在垄断模式下面临的生产成本更高，导致其在常数成本加成设定下的定价也更高，其生产的商品产量更低。相应地，这将提高消费者面临的价格指数，进一步减少可消费的商品数量，从而导致两国福利的下降。

进一步地，我们在此继续分析垄断模式下为何国家 U 的福利始终高于国家 C 。具体而言，垄断模式下，国家 U 拥有独占数据中间商的优势，其向两国提供生产中所需的加工数据投入。根据贸易收支平衡条件可知，国家 U 数据中间商的存在将使国家 C 在商品部门的出口额高于其进口额，即国家 C 为商品贸易顺差，这将导致国家 C 商品部门的贸易条件恶化，从而降低该国福利。具体地，一国福利变化可以分解为收入变化和价格指数变化。由于本文假定不存在贸易成本，因此两国的价格指数相同且不存在关税收入。此时，两国的福利差异仅取决于商品生产者利润、数据中间商利润和工资。就数据中间商利润而言，垄断模式下仅有国家 U 拥有搜集并处理原始数据的能力，两国的加工数据均来源于国家 U ，因此国家 U 相较于国家 C 便增加了一项数据中间商利润。就商品生产者利润来看，为了维持贸易收支平衡条件，国家 C 必须更多地生产和出口商品，因此国家 C 的商品生产者利润要略高于国家 U 。此外，为了实现商品贸易顺差，国家 C 必须通过降低工资从而降低企业边际成本，提高其商品的国际竞争力以出口更多商品。综上，在自由贸易导致两国价格指数相同的前提下，国家 U 由于工资以及数据中间商利润的上升幅度足够大，因此其实际收入始终高于国家 C 。

上述结果表明，随着数据成为重要的生产要素之一，一国在数据部门的算力日渐成为国际贸易中新的比较优势来源，其关乎国家的竞争力。垄断模式下拥有数据中间商国家的福利更高，且竞争模式下两国的福利均高于垄断模式下的福利，这一结果对我国的算力提出了更高要求。鉴于此，我国要全面加强数字基础设施布局 and 夯实数据资源基础，健全数据资源体系，激活数据要素潜能。此外，我国也应该进一步提高算力质量，持续推进深化“东数西算”

工程。在保障数据安全和隐私前提下，推动数据中间商健康发展，并依托算力“赋能”国际贸易。

最后，我们将分析原始数据跨境流动政策将如何影响两国福利。由表1可以看出，给定数据中间商的形态，相较于禁止原始数据流动这一政策而言，原始数据可以自由跨境流动时两国的福利更高。原因在于，当原始数据可以自由跨境流动时，数据中间商将拥有更多的原始数据投入，从而可以生产更多的加工数据，由数据需求函数可知这将使加工数据的价格下降，进而降低商品生产者的生产成本以及消费者面临的价格指数。在名义收入不变的情况下，价格指数的下降便意味着两国实际收入的提升。根据上述结果，我们可知跨境数据流动已然成为开放经济的新要素流动，并成为国际贸易新的福利来源。然而，各国针对数据跨境流动出台了迥然不同的政策，这有可能形成非关税贸易壁垒，因此我国需要积极推动数据跨境流动的治理，降低数据跨境流动成本，以充分发挥数据要素在生产与贸易中的作用。

（四）第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”

1. 国家U实施单边贸易保护政策的具体分析

（1）福利。图2（左）呈现了国家U对进口商品征收单边关税时两国的福利变化。结果表明，无论数据中间商的形态或数据政策如何，国家U的福利均是关于其单边进口关税的倒U函数，而国家C的福利则是关于国家U单边进口关税的减函数。与传统的贸易政策理论相同，这一结果表明引入数据中间商之后一国的单边贸易保护政策仍然有效，且一国福利的提升将以其他国家福利下降为代价，即存在“以邻为壑”效应。

根据福利表达式可知，单边进口关税通过影响一国的工资、商品生产者利润、数据中间商利润、关税收入以及价格指数影响该国福利。第一项体现为商品贸易条件效应，是指进口关税通过影响出口和进口商品的相对价格，进而影响福利。如图11所示，国家U征收进口关税显著推升了本国的相对工资。原因在于，国家U征收单边进口关税提高了进口商品的价格，消费者将扩大对本国商品的消费，这使得本国商品生产者的规模扩大且利润上升。由于国家U的工资被标准化为1，为了维持贸易收支平衡条件，国家C商品生产部门的要素价格将下降，即工资和加工数据价格下降。由于企业基于边际成本和不变的成本加成率定价，因此国家C出口商品的价格相较于其进口商品的价格更低，即贸易条件恶化。此时，国家U一单位出口可换取进口更多，对国家U的福利产生正向影响。贸易条件效应本质上体现为要素价格效应。

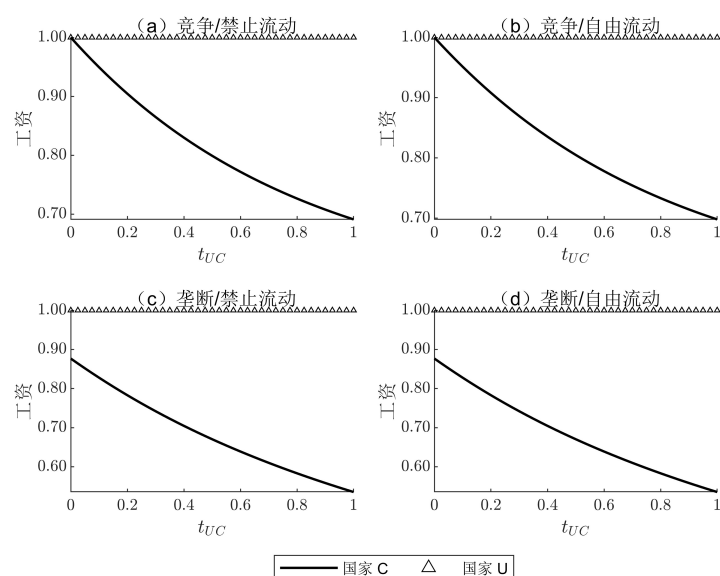


图 I1 国家U征收单边进口关税时两国的工资水平

第二项对应商品生产者利润转移效应,是指进口关税通过影响一国商品总产出来影响该国商品生产者的利润,进而影响该国福利。如图 I2 所示,国家U征收进口关税显著提高了本国商品生产者的利润,且降低了国家C商品生产者的利润。具体而言,国家U征收单边进口关税会提高该国商品价格,且该国商品生产者的规模扩大。由于一国商品生产者的利润与该国的商品的总收益成比例,因此国家U商品生产者的利润会上升。这说明,国家U的进口关税政策显著提高了本国产品的竞争力,部分利润由国家C出口商转移至本国生产企业,进而对其福利产生正向影响。

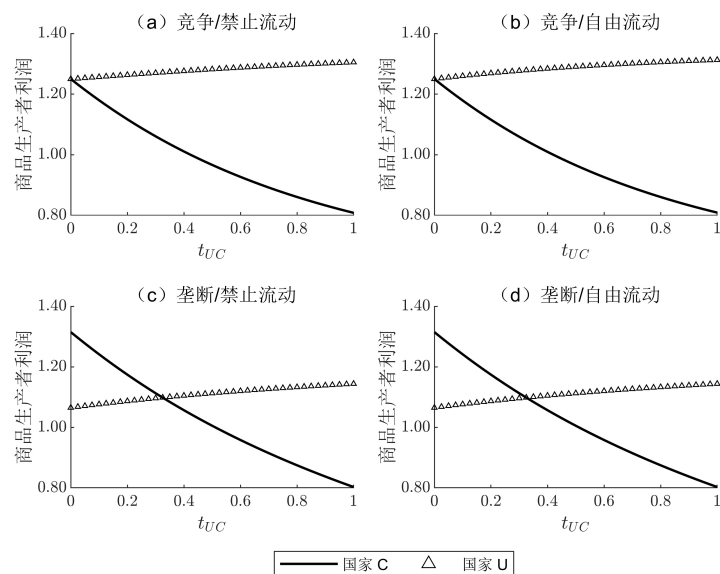


图 I2 国家U征收单边进口关税时两国的商品生产者利润

第三项对应数据中间商利润转移效应,是指进口关税通过影响两国商品生产者的总收益来影响数据中间商的利润。如图 I3 所示,国家U征收进口关税降低了本国数据中间商的利润的同时也小幅降低了国家C数据中间商的利润。其经济学直觉在于,国家U征收进口关税改善了其贸易条件,由贸易条件效应可知这使得该国商品部门的工资高于数据部门,因此劳动力将从数据部门流向商品部门,进而导致数据部门的产出下降。由于国家U进口关税将一部分商品生产从国家C转移至国家U,即国家C制造业规模下降,带来数据要素的收入下降,故数据中间商的利润也将下降。

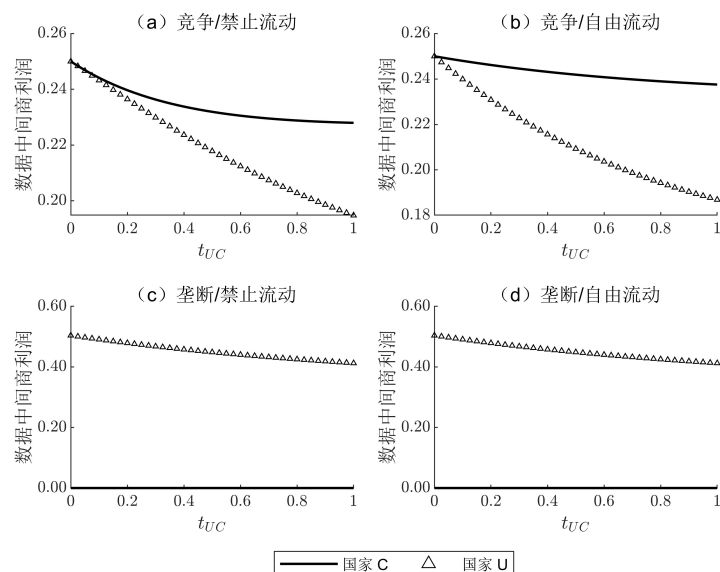


图 13 国家U征收单边进口关税时两国的数据中间商利润

第四项对应贸易量效应，是指进口关税通过影响一国进口贸易量来影响其关税收入，进而影响福利。如图 14 所示，在竞争模式下，国家U的关税收入是关于其进口关税的倒 U 型函数；而在垄断模式下，国家U的关税收入是关于其进口关税的递增函数，这与经典贸易政策理论的“贸易量效应”有所差别（Ossa, 2014; Caliendo and Parro, 2015）。产生这一差异的主要原因在于：在竞争模式下，两国均拥有数据中间商，即两国同时拥有生产数据和商品的能力。当国家U征收的进口关税过高时，国家C将大幅减少其商品的出口，因此国家U的进口关税收入反而下降。然而在垄断模式下，仅国家U拥有数据中间商，国家C的商品生产依赖于从国家U进口的加工数据。根据贸易收支平衡条件可知，无论国家U的关税水平如何，国家C为了进口加工数据必须出口商品，以此维持贸易收支平衡。因此，垄断模式下，国家C出口至国家U的商品贸易量不会因为国家U的商品进口关税而大幅下降，因此国家U的关税收入是关于其进口关税的递增函数。

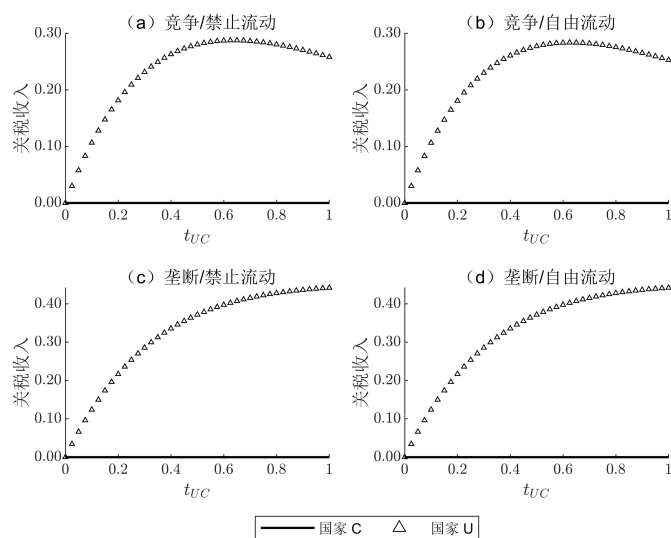


图 14 国家U征收单边进口关税时两国的关税收入

于价格指数，进口关税主要通过企业的定价和贸易量来影响两国的价格指数。如图 15 所示，国家U的价格指数随其进口关税的增加而增加，国家C的价格指数则随国家U的进口关

税的增加而下降。一方面，国家 U 征收进口关税提高了该国商品部门的要素价格，从而推升了该国商品生产者的定价，而国家 C 的要素价格和商品生产者定价则有所下降。另一方面，国家 U 征收进口关税增加了两国对本国商品的支出份额。因此，国家 U 更多消费 U 国商品，价格指数上升；而国家 C 更多地消费 C 国商品，价格指数下降。

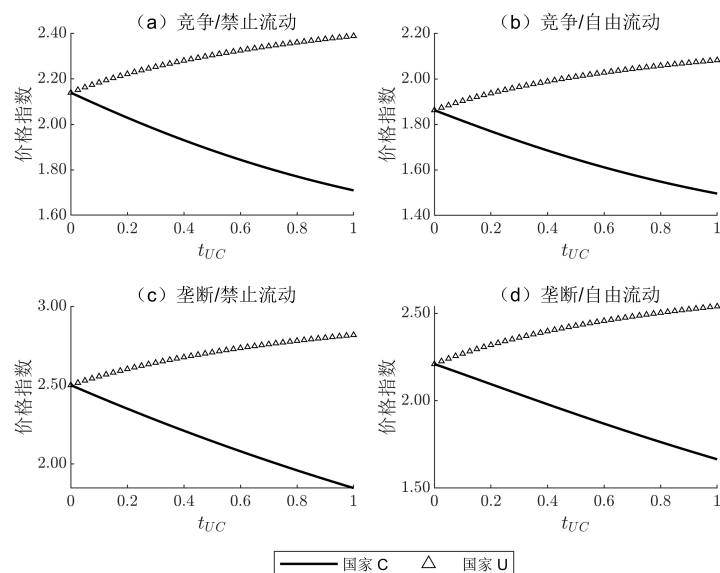


图 15 国家 U 征收单边进口关税时两国的价格指数

上述分析说明了进口关税引起两国福利变化的各个渠道。由于贸易条件效应、商品生产者利润转移效应、数据中间商利润转移效应以及贸易量效应均具有“以邻为壑”的特点，从而当其他国家不进行关税报复时，一国可以征收最优关税，即通过“损人利己”的方式实现其福利最大化。

我们继续求解了不同情形下的最优关税。结果表明：当禁止原始数据跨境流动时，竞争模式下国家 U 的最优关税为 0.33，而垄断模式下国家 U 的最优关税为 0.47；当原始数据可以自由跨境流动时，竞争模式下国家 U 的最优关税为 0.33，而垄断模式下国家 U 的最优关税为 0.40。可见，无论原始数据能否跨境流动，国家 U 在垄断模式下的最优关税始终高于竞争模式。

(2) 最优关税。对比福利变化的来源可以发现，两种模式下仅有国家 U 的关税收入存在较大差异。垄断模式下，国家 U 的关税收入随其进口关税的增加而上升，因此该模式下国家 U 表现出更强的贸易保护动机。这一现象的本质在于垄断模式下国家 U 独占数据中间商。具体而言，由于加工数据是商品生产者必要的要素投入，因此垄断模式下国家 C 必须购买国家 U 生产的加工数据，以实现本国商品生产者的生产。根据贸易收支平衡条件可知，国家 C 加工数据贸易逆差意味着其商品贸易顺差，即在贸易收支平衡条件的约束下国家 C 必须出口商品才能进口加工数据。因此，该模式下即使国家 U 征收较高的进口关税，国家 C 出口至国家 U 的贸易量下降幅度也较小，从而国家 U 可获得较高的关税收入和福利。当然，国家 U 的关税水平不能无限上升，原因在于其关税的增加同时受限于价格指数的提升。因此，我们可以发现垄断模式下国家 U 的最优关税要高于竞争模式下的最优关税。

下面，我们进一步分析数据政策如何影响两国的福利以及国家 U 的最优关税。首先，两种模式下均是原始数据可以自由跨境流动时两国的福利更高。直觉在于，当原始数据可以自由流动时，数据中间商能够免费获得两国的原始数据，从而可以生产更多的加工数据，由数据需求函数可知这将使加工数据的价格下降，进而降低了商品生产者的边际成本以及消费者的价格指数，最终提高了两国福利。其次，在垄断模式下，相较于原始数据可以自由跨境流

动这一政策，禁止原始数据跨境流动时国家 U 的最优关税明显更高。原因在于，垄断模式下仅国家 U 拥有数据中间商，在征收进口关税方面本身具有优势。当原始数据禁止流动时，国家 U 数据中间商的原始数据仅来源于国内消费，因此国家 U 将制定更高的进口关税以保护本国的生产和消费。

(3) 商品贸易赤字。图 2（右）汇报了国家 U 征收单边进口关税时两国的商品贸易赤字变化。贸易收支平衡条件意味着图 2（右）也刻画了两国的加工数据贸易情况。结果表明：首先，当进口关税为零时，竞争模式下两国的商品贸易赤字为零，而垄断模式下国家 U 则出现商品贸易逆差，国家 C 出现商品贸易顺差。其次，随着国家 U 进口关税的上升，竞争模式下国家 U 的商品贸易顺差持续扩大，而垄断模式下国家 U 的商品贸易逆差则逐渐下降。国家 C 则与之相反。原因在于，当进口关税为零时，竞争模式下两国完全对称，因此两国的商品贸易和加工数据贸易均实现收支平衡；而在垄断模式下，由于国家 C 没有数据中间商，其商品生产中所需的加工数据投入依赖于从国家 U 进口，因此国家 U 便出现加工数据贸易顺差和商品贸易逆差。随着国家 U 进口关税的上升，国家 U 的商品贸易条件逐渐改善，其商品部门的工资逐步上升，这导致劳动力从数据部门流入商品部门。基于此，国家 U 的商品出口规模将进一步扩大，这在竞争模式下表现为国家 U 的商品贸易顺差逐步扩大，在垄断模式下表现为国家 U 的商品贸易逆差逐渐下降。综上，国家 U 对商品部门实施的关税保护将扭曲该国在部门间的比较优势，表现为商品部门的比较优势逐步增强，而数据部门的比较优势则逐步下降。

2. 国家 C 实施单边贸易保护政策的具体分析

(1) 福利。图 3（左）呈现了国家 C 征收单边进口关税时两国的福利变化。结果显示，无论数据中间商的形态或数据政策如何，国家 C 的福利均是关于其单边进口关税的倒 U 函数，而国家 U 的福利则是关于国家 C 单边进口关税的减函数。与前文相同，一国的福利变化由工资、商品生产者利润、数据中间商利润、关税和价格指数的变动引起，详见图 I6-I10。在竞争模式下，两国为完全对称形式，此时国家 C 征收单边进口关税的影响与前文国家 U 征收单边进口关税相同，故在此不再赘述。

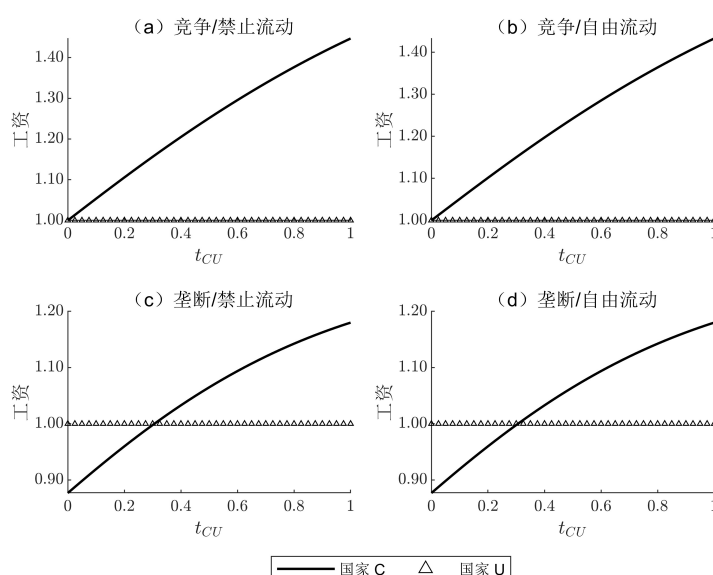


图 I6 国家 C 征收单边进口关税时两国的工资水平

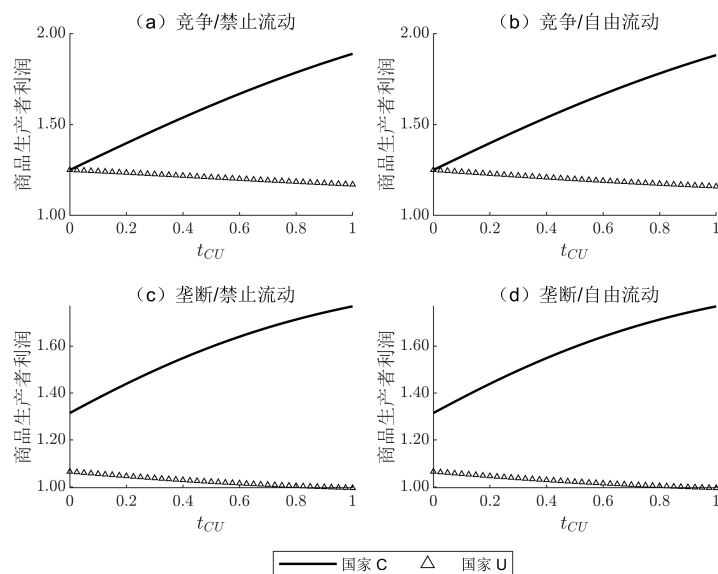


图 17 国家C征收单边进口关税时两国的商品生产者利润

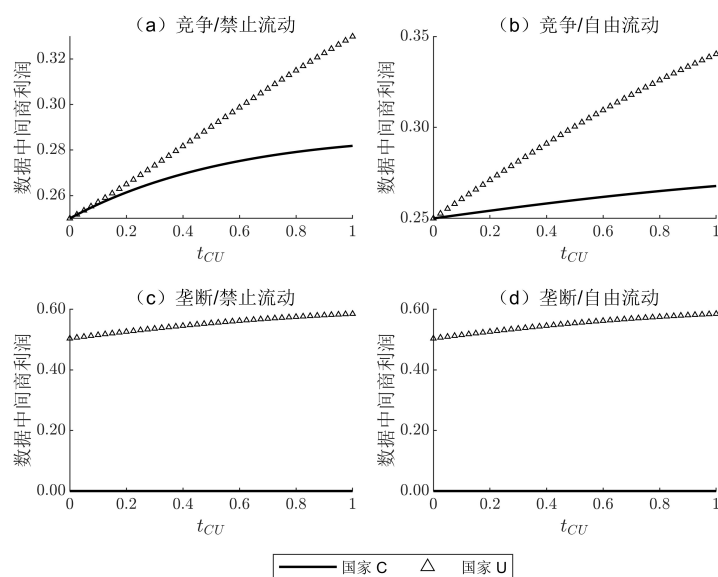


图 18 国家C征收单边进口关税时两国的数据中间商利润

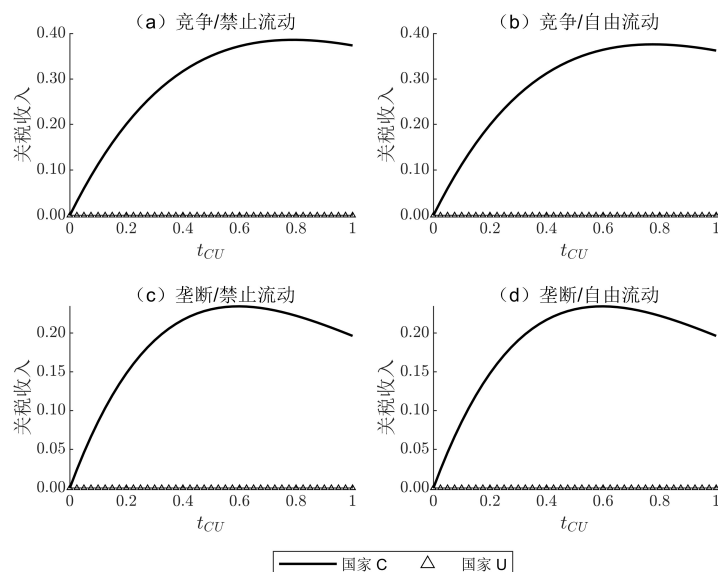


图 I9 国家C征收单边进口关税时两国的关税收入

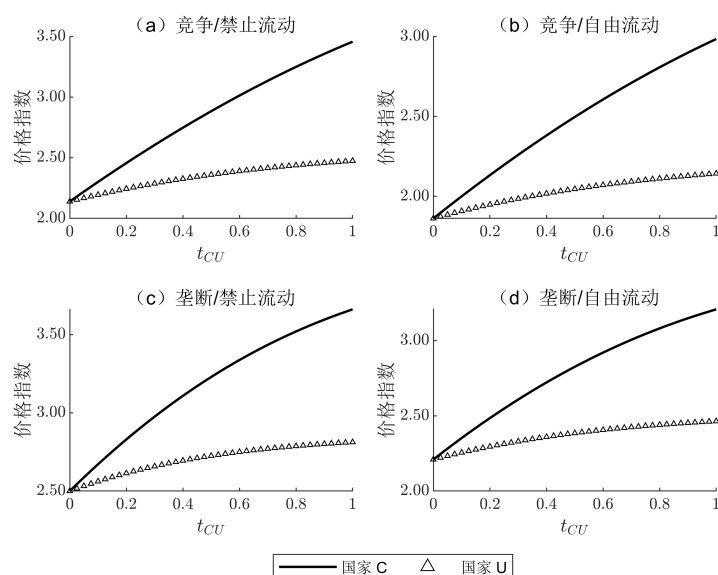


图 I10 国家C征收单边进口关税时两国的价格指数

(2) 最优关税。图 3（左）用虚线刻画了国家C的最优关税，该关税以牺牲国家U的利益为代价实现了国家C的福利最大化。具体而言，当禁止原始数据自由流动时，竞争模式下的最优关税为 0.335，而垄断模式下的最优关税则为 0.297；当允许原始数据自由跨境流动时，竞争模式下的最优关税为 0.326，而垄断模式下的最优关税也为 0.326。

不同数据中间商市场结构下，国家C征收单边进口关税对两国福利的影响不同，其征收的最优关税也存在差异。原因在于，当国家C征收较高的进口关税时，国家C对国家U商品的进口大幅下降，贸易收支平衡条件意味着国家C对国家U的商品出口也下降。然而，垄断模式下由于国家C的商品生产完全依赖于进口的加工数据，其商品出口的下降意味着其对加工数据的进口也下降，从而不利于国内商品的生产和福利提升。因此，当禁止原始数据自由流动时，相较于竞争模式，垄断模式下国家C征收的最优关税更低。

我们进一步分析数据政策如何影响两国的福利。根据图 3（左）可知，两种模式下均是原始数据可以自由跨境流动时两国的福利更高。逻辑在于，当原始数据可以自由跨境流动时，

一国的数据中间商可以获得全世界范围内的消费者数据,从而可以生产更多的加工数据,由数据需求函数可知这将使加工数据的价格下降。同时,由于加工数据是商品生产者的关键要素投入,因此加工数据价格的降低进一步降低了商品生产者的边际成本。在成本加成率为常数的设定下,商品生产者的商品定价将下降,进而降低消费者的价格指数,并提高一国的福利。

(3) 商品贸易赤字。图3(右)呈现了国家C征收单边进口关税时两国的商品贸易赤字变化。结果表明:首先,随着国家C征收单边进口关税的上升,国家C均出现了商品贸易顺差,而国家U均出现了商品贸易逆差。其背后的逻辑在于,国家C征收单边进口关税推升了该国进口商品的价格,消费者将更多地消费本国商品,减少对于国家U商品的消费。为了维持国际贸易收支平衡,国家C的商品贸易条件将得到改善,其商品部门的工资和加工数据两种要素价格均上升,而国家U的工资和加工数据价格则相对下降。在竞争模式下,由于加工数据可以跨境流动,且两国的加工数据可以相互替代,因此国家C将更多地进口低价加工数据来部分替代本国昂贵的加工数据,从而该国出现加工数据贸易逆差。此外,由于劳动只能在一国内部流动而不能跨境流动,因此国家C的劳动将从数据部门流向商品生产部门。相应地,国家C将出现商品贸易顺差。国家U则与之相反。

相较于竞争模式,垄断模式下国家C的商品贸易顺差更加突出。原因在于,垄断模式下由于国家C不存在数据中间商,因此该国商品生产中所需的加工数据投入依赖于国家U,且为此需要出口商品以换取数据进口。该模式下,即使国家C没有征收进口关税,该国的商品贸易顺差也已经凸显。因此,当国家C征收进口关税时,与前文逻辑相同,此时国家U商品部门的工资将下降,从而吸引劳动力从商品部门流入数据部门,这进一步扩大了国家U的加工数据贸易顺差和国家C的商品贸易顺差。

3. 贸易战与纳什关税

表2列出了不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下两国征收的纳什关税、福利及其分解。

首先,由于竞争模式下两国完全对称,因此两国征收的纳什关税以及两国福利均保持相同。当禁止原始数据跨境流动时,两国征收的纳什关税为0.28,相应的福利为1.12;当原始数据可以自由跨境流动时,两国征收的纳什关税为0.27,相应的福利为1.29。此时,两国的商品贸易和加工数据贸易均保持平衡。其次,在垄断模式下,由于国家U具有垄断数据中间商的优势,因此无论数据政策的形式如何,国家U制定的纳什关税以及相应的福利均高于国家C。此时,国家U存在商品贸易逆差和加工数据贸易顺差,国家C则存在商品贸易顺差和加工数据贸易逆差。具体来看,当禁止原始数据跨境流动时,国家C的纳什关税和福利分别为0.17和0.79,明显低于国家U的纳什关税0.50和福利1.04;当原始数据可以跨境流动时,国家C的纳什关税和福利分别为0.23和0.90,明显低于国家U的纳什关税0.40和福利1.15。

对比两种数据中间商模式可以发现,垄断模式下两国的福利均低于竞争模式下的福利;垄断模式下,国家U的纳什关税和福利均更高。进一步,我们通过对比两种数据政策可以发现,原始数据可以自由跨境流动时两国的福利均更高。产生这一现象的原因与前文的逻辑一致:一是垄断模式下国家U由于独享数据中间商,其具备征收更高关税的能力和拥有更高福利的优势;二是当原始数据可以自由跨境流动时,这能够降低数据中间商的成本,进而降低商品生产者的成本和消费者面临的价格指数,因此两国福利均更高。

我们通过对表1和表2可以发现,相较于基准模型,纳什均衡下国家C的福利有所下降,且在垄断模式下下降幅度更为明显。于国家U而言,其在竞争模式下福利有所下降,而在垄断模式下则取决于原始数据流动政策。具体地,当禁止原始数据跨境流动时,即便国家C进行最优关税报复,纳什均衡下国家U的福利也没有下降,甚至高于基准情形下的福利。

这一结果进一步强调了一国拥有数据中间商的重要性,尤其是在禁止原始数据跨境流动的情形下。

进一步地,表2第5至9列对福利进行了结构分解。可以看出,竞争模式下,相较于基准情形,纳什均衡下的商品生产者利润、数据中间商利润以及工资水平均保持不变,福利的变化仅来自于关税收入与价格指数的变化。对此可能的解释为,该模式下两国为完全对称形式,纳什均衡下两国征收相同的关税,因此不存在贸易条件效应和利润转移效应。然而,两国征收进口关税虽然提高了其关税收入,但贸易成本的增加推升了两国进口商品的价格,这便导致两国的贸易量下降和价格指数增加,从而导致两国的福利下降。而在垄断模式下,相较于基准情形,两国商品生产者的利润差异较小,而国家 U 的数据中间商利润、关税收入和工资收入这三项则在纳什均衡下均更高,因此其福利也将更高。其原因在于,该模式下由于仅国家 U 拥有数据中间商,因此该国在独享数据中间商利润的基础上,可以进一步征收较高的关税来改善其贸易条件并获取高额关税收入。

(五) 第五部分“突破路径模拟:算力比较优势与贸易政策”

图4(a)和(b)汇报了国家 C 算力进步的福利变化。结果表明,国家 C 算力的进步显著提高了该国福利,并对国家 U 的福利产生了正向的外溢效应。具体来看,国家 C 数据生产技术的提高通过工资、数据中间商利润和价格指数提高了该国福利,并通过商品生产者利润和价格指数对国家 U 产生正向的外溢效应。其背后的直觉是:首先,国家 C 算力的提高降低了该国的加工数据价格,从而降低了商品生产者的边际成本乃至价格。为了维持国际贸易收支平衡,国家 C 的工资将上升。其次,随着国家 C 算力的提高,该国在数据部门的比较优势增强,因此该国劳动力将由商品生产部门流向数据生产部门,从而提高其数据中间商利润。于国家 U 而言,其在商品部门更具比较优势,故该国劳动力将从数据部门流向商品部门,这便使得该国商品生产者的利润提高。最后,国家 C 数据部门算力的提高降低了数据中间商的生产成本,进而降低了两国商品生产者的成本以及价格指数。综上,国家 C 数据生产技术的提高通过工资、数据中间商利润和价格指数提高了该国福利,并通过商品生产者利润和价格指数对国家 U 产生正向的外溢效应。

图4(c)和(d)汇报了国家 C 算力进步对商品贸易赤字的影响。从图中可以看出,随着国家 C 算力的提高,该国逐渐由商品贸易顺差转变为贸易逆差,而国家 U 则由商品贸易逆差转变为贸易顺差,且转折点在 $B_C = 1$ 处(此时两国完全对称,商品贸易和加工数据贸易均保持平衡)。产生这一变化的原因在于,当国家 C 的算力劣于国家 U 时,国家 C 在商品生产部门具有比较优势,此时会更多地出口商品以进口生产所需的加工数据,故存在商品贸易顺差和加工数据贸易逆差。随着国家 C 的算力逐步提高并优于国家 U 时,国家 C 的比较优势发生转变,此时会更多地生产并出口加工数据,故转变为商品贸易逆差和加工数据贸易顺差。

附录 II 特征事实分析

（一）中国各行业对数据部门的需求

通过分析 OECD 于 2023 年更新的国家间投入产出（Inter-Country Input-Output, ICIO）数据库，^①我们发现不同行业的企业在生产过程中需要投入来自本国和其他国家的加工数据。以行业代码为“62T63”为例，该代码表示信息技术和信息服务部门，这一部门可以被视为数据服务部门的重要组成部分。具体来说，信息技术（IT）主要涉及信息的处理、存储和传输技术，而信息服务则致力于提供包括数据管理、分析、存储、传输等在内的多样化信息服务。为了更深入地了解信息技术和信息服务部门在中国的应用情况，我们分别计算了中国本土以及从其他国家进口的信息技术和信息服务在中国各部门的投入。具体如图 II1 和图 II2 所示。

根据图 II1 可以发现，中国可贸易部门的生产均依赖本国信息技术和信息服务部门的投入，投入程度在不同部门之间存在异质性。根据图 II2 可知，中国可贸易部门的生产也依赖于进口的信息技术和信息服务。基于对现实的观察和数据的支撑，文章假设“商品生产者的生产中需要投入数据”以及“一国商品的生产同时需要来自本国和外国的加工数据”。

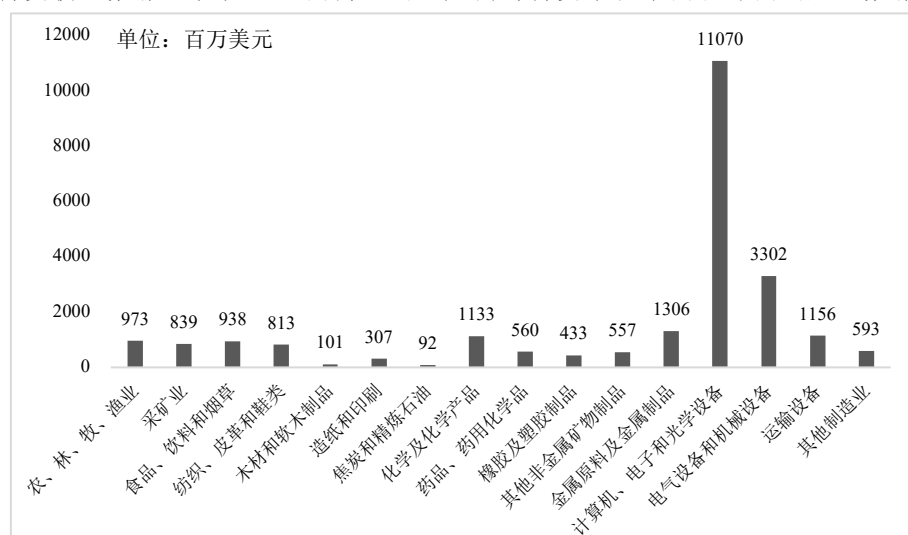


图 II1 中国各部门来自中国信息技术和信息服务部门的投入（2020 年）

^① OECD 国家间投入产出数据库的最新版本基于 ISIC Rev.4，包含 45 个行业，涵盖了 1995 年至 2020 年的 76 个国家（以及全球其余地区）的官方投入产出表。该投入产出表展示了一国各部门来自本国以及外国其他部门的投入。其中，前 22 个部门为可贸易部门，行业代码为“62T63”为信息技术和信息服务部门。

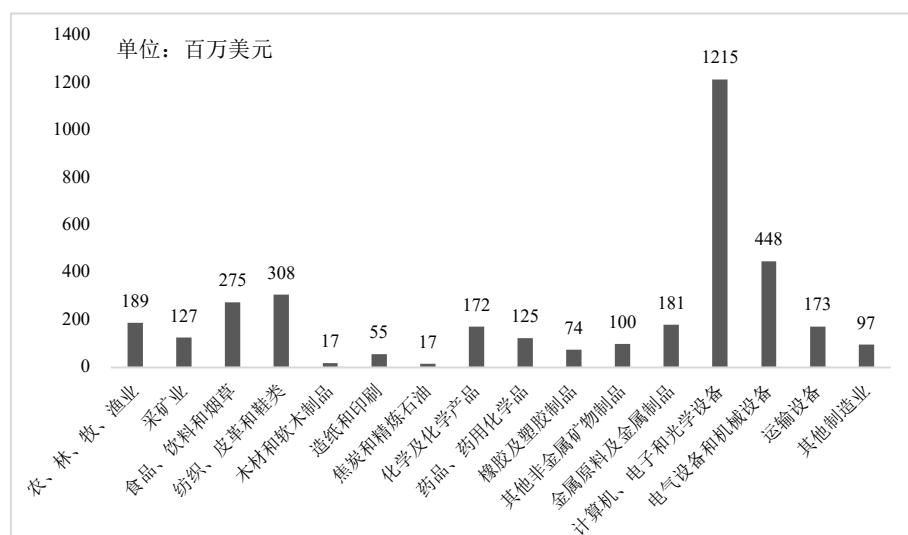


图 I12 中国各部门来自其他国家的信息技术和信息服务部门的投入（2020 年）

（二）数据中间商利用国外原始数据进行加工的现实案例

1. 数据在企业生产中的重要性

自二十世纪后半叶起，统计控制方法逐渐成为质量管理和业务优化的关键工具。众多知名企业，如福特、索尼、波音、丰田，纷纷采纳此方法，通过搜集和分析数据来监控和改进生产过程，以确保产品和服务的质量。

在数字经济时代，企业尤其是出口企业以及跨国公司，日益依赖跨境数据流动来支撑日常生产和运营活动，以提高效率、推动创新并增强市场竞争力。例如，特斯拉（电动汽车制造商）通过搜集全球消费者使用其车辆的数据，如驾驶习惯和充电行为等，不断优化其车辆性能、开发新功能，并针对不同市场调整车型，以满足消费者需求。此外，特斯拉还利用车辆传感器搜集来自不同销售市场的驾驶行为、路况、交通情况等数据，以改进其自动驾驶技术。耐克（运动鞋和运动服装制造商）通过收集全球市场需求数据，了解不同国家和地区对运动鞋和运动服装的需求和趋势，从而及时调整产品设计和营销策略等。同样地，抖音等社交媒体应用通过收集全球用户在平台上的行为数据，如浏览视频、点赞、分享、评论等，进行用户行为分析。这种数据可用于了解不同地区和群体的用户兴趣、趋势和使用习惯，从而调整推荐算法，提供更个性化、吸引人的内容。这些案例说明了企业如何借助来自国内外的数据，通过分析和运用这些信息，不断改进产品、服务和市场策略，以适应全球市场的变化。

2. 数据中间商利用国外原始数据生成加工数据

目前，许多数据服务企业已经将帮助中小企业应对数据问题作为自身战略的一部分。例如，亚马逊、谷歌、微软、Facebook 以及 IBM 等大型企业，近年来均重点推出了各自的大数据服务，同时让其他企业从他们收集的数据与建立的基础设施中获益，并收取相关的费用。这与本文关于“数据中间商”的设定也十分相符。下面，我们通过亚马逊云和阿里云的案例，为“数据中间商能利用国外原始数据进行加工”提供现实依据。

（1）AWS 作为全球领先的云计算服务商，其客户涵盖跨国企业、研究机构及政府组织，这些客户通常将全球业务产生的原始数据（如用户行为、交易记录、物联网设备数据等）上传至 AWS 分布在不同国家的数据中心进行存储和处理。例如：

（2）Netflix 作为 AWS 的长期客户，Netflix 将其全球用户（包括北美、欧洲、亚洲等地区）的观看行为、推荐算法训练数据等存储于 AWS 的海外数据中心，并依赖 AWS 的计算资源进行分布式处理，以优化其内容分发策略。

(3) 西门子医疗公司使用 AWS 的机器学习服务分析来自全球医院的医疗影像数据（如 X 光片、MRI 扫描），这些数据在合规前提下跨境传输至 AWS 云平台进行标准化分析和建模。

(4) 大众汽车集团与 AWS 合作，构建了工业云（Industrial Cloud），将其 124 个工厂站点迁移到单一架构，实现了制造和物流流程的数字化。通过该平台，大众汽车将设备连接起来，并与 1500 多家供应商协作，提高了供应链的生产率。

此外，阿里云也在全球范围内与多家国际企业合作，利用其云计算和数据处理能力，助力企业实现数字化转型。具体案例如下：

(1) 飞利浦（Philips Lighting）作为荷兰知名的照明公司，与阿里云的合作基于物联网技术。飞利浦通过阿里云的平台将其智能灯具和系统连接至云端，实现集中控制和监控。

(2) 大众集团（Volkswagen Group）作为德国顶尖汽车制造商，旗下的大众、奥迪、保时捷等品牌享誉全球。该公司与阿里云合作的项目涉及车联网和智能驾驶。Volkswagen Group 将自家的车联网和智能驾驶技术整合至阿里云平台，通过全球网络服务为用户提供更加便捷的智能汽车服务。

实际上，许多数据服务企业已经将帮助企业应对数据问题作为自身战略的一部分，我们从企业的角度出发，通过两个案例再次论证本文关于“数据中间商能利用国外的原始数据进行加工”假设的合理性。

案例 1：“上线了”这一初创公司将自己的原始数据提供给国外数据中间商进行加工，从而获得加工数据。

据「上线了」官网介绍（网址为：sxl.cn/），「上线了」隶属于上海鲸科信息科技有限公司，其致力于帮助小白用户通过「上线了」快速轻松地发布一个网站、小程序和电商平台。企业主、设计师、摄影师、学生等都可以轻松通过「上线了」经营品牌、展示自己。根据其技术 VP 龚凌辉在知乎上的回答可知，该公司虽然属于中小企业，但会同时使用 AWS Global 和 AWS 中国区的公司。技术 VP 龚凌辉也给出了为何选择 AWS 的原因，简单总结而言便是可靠、好用。其在回答中指出：“AWS 经过这么多年的发展，在数据中心建设、网络建设、服务高可用等方面已经领先其他云厂商不少，它提供的服务也覆盖到应用开发的方方面面，就像一个大而全的工具箱，想用的东西基本都有，而且很好用，作为一个开发者来说，实在是别无所求。”此外，他还提到：“我们是从 AWS Global 开始使用的，在把服务本土化到国内来的时候我们也选择了 AWS 中国区而不是其他厂商，主要的原因就是我们可以很方便的把整套 DevOps 系统直接克隆到中国区而不需要做任何修改。虽然中国区的服务目前还不多，据我所知主要原因是北京区域只有 2 个可用区，无法满足一些基础服务的可用性要求（至少 3 个可用区的要求），因此这些服务以及基于这些基础服务的其他服务就没法上线。规划中的宁夏区域（据说 2017 年要投入使用）有 3 个可用区，相信以后中国区除了部分中国法律不允许外资企业参与的领域之外，大部分服务都会有的。”

从「上线了」这一例子可以看出，中小企业会选择数据中间商帮助其处理数据，进而实现了加工数据的贸易。

案例 2：我们继续以“墨刀”这一公司为例，说明国外的数据中间商能够获取本国的原始数据。

根据「墨刀」官网介绍（网址为：modao.cc），其为创意软件 A 股上市公司万兴科技旗下产品，属于在线一体化产品设计协作平台。「墨刀」为新一代原型设计与协作工具，致力于简易高效的原型创作。根据其创始人张元一在知乎上的回答可知，该公司同样属于中小企业，但也会同时使用 AWS Global 和 AWS 中国区的公司。其在回答中指出：“墨刀和一楼的「上线了」一样，我们也是先用的 AWS 海外，后来开始做国内业务时正好遇上 AWS 在国内

上线了预览版，我们差不多从 14 年 7 月开始一直用到现在。”他还提到：“总的来说，我们对 AWS 还是很满意的，没有意外的话应该会一直用下去。”

从「墨刀」这一例子同样可以发现，企业的确会选择外国数据中间商帮助其处理数据，进而实现了加工数据的贸易。

此外，还有豌豆荚、木瓜移动、猎豹浏览器、海豚浏览器、小米科技、奇虎 360 等企业也均使用了亚马逊的云计算服务。

（三）国家间的算力分布

数据显示，我国算力与世界顶尖水平（美国）仍存在较大差距。具体而言，各国算力的竞争不仅是数量的竞争，也涉及到质量的竞争，并且质量往往是竞争的关键因素。国际 TOP500 项目针对全球已安装的超级计算机做出排名与详细介绍，此项目始于 1993 年，每年更新两次最新的超级计算机排名列表。图 II3 为该项目于 2023 年 11 月颁布的第 62 期全球超级计算机排名前 500 所属的国家情况。在超算数量方面，美国拥有 161 台超级计算机进入前 500，而中国则有 104 台，表明中国在算力竞争的数量上具有一定的优势。然而，若进一步关注名列前 10 的超级计算机，我们发现这些顶尖计算机主要分布在美国。具体而言，在这次评选中，中国暂未有一台超级计算机进入前十名，详细情况可见于表 II1。这说明，尽管中国在算力数量上有一定优势，但在算力质量方面存在较大差距。

表 II1 第四列详细刻画了全球前 10 台超级计算机的具体算力，图 II4 进一步展示了全球 TOP500 超级计算机在各国的总算力。需要注意的是，电脑计算能力的度量标准以 PFlop/s 为单位，取其峰值算力作为衡量指标。测试结果一栏反映实际测试中所取得的最高性能；理论峰值一栏为理论上的性能估值。可见，无论是在单个超级计算机的算力还是总算力方面，美国都遥遥领先于其他国家。这表明，我国在算力方面与世界顶尖水平仍存在相当大的差距。

鉴于此，正文第四部分旨在分析算力比较优势对于两国贸易格局和贸易政策制定的影响，并理清算力对福利影响的具体渠道和机制。进一步地，正文第五部分分析了两国的贸易政策制定与相应的福利水平如何随着两国算力优势的变化而变化。通过这一探讨，文章较为全面的探讨了“算力鸿沟”对国际贸易格局以及贸易政策的重要影响，突显了算力在国际贸易中的战略性地位。

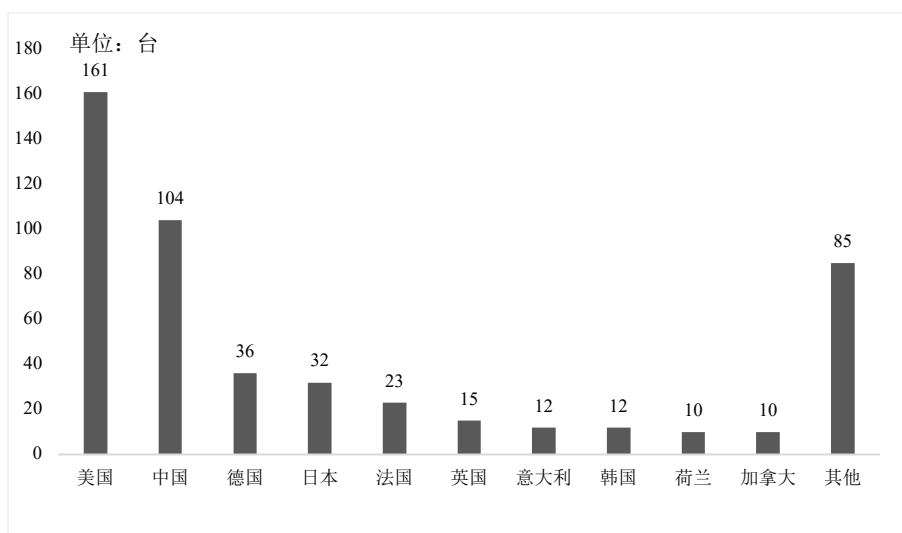


图 II3 全球 TOP 500 超级计算机国家和地区分布（2023 年 11 月）

表 II1 全球超级计算机前十排名（2023 年 11 月）

排名	名称	国家	算力 (TFlop/s)		处理器核心数
			测试结果	理论峰值	
1	Frontier	美国	1,194,000.00	1,679,818.75	8,699,904
2	Aurora	美国	585,340.00	1,059,325.75	4,742,808
3	Eagle	美国	561,200.00	846,835.20	1,123,200
4	Supercomputer Fugaku	日本	442,010.00	537,212.00	7,630,848
5	LUMI	芬兰	379,700.00	531,505.15	2,752,704
6	Leonardo	意大利	238,700.00	304,465.92	1,824,768
7	Summit	美国	148,600.00	200,794.88	2,414,592
8	MareNostrum 5 ACC	西班牙	138,200.00	265,574.40	680,960
9	Eos NVIDIA DGX SuperPOD	美国	121,400.00	188,645.02	485,888
10	Sierra	美国	94,640.00	125,712.00	1,572,480

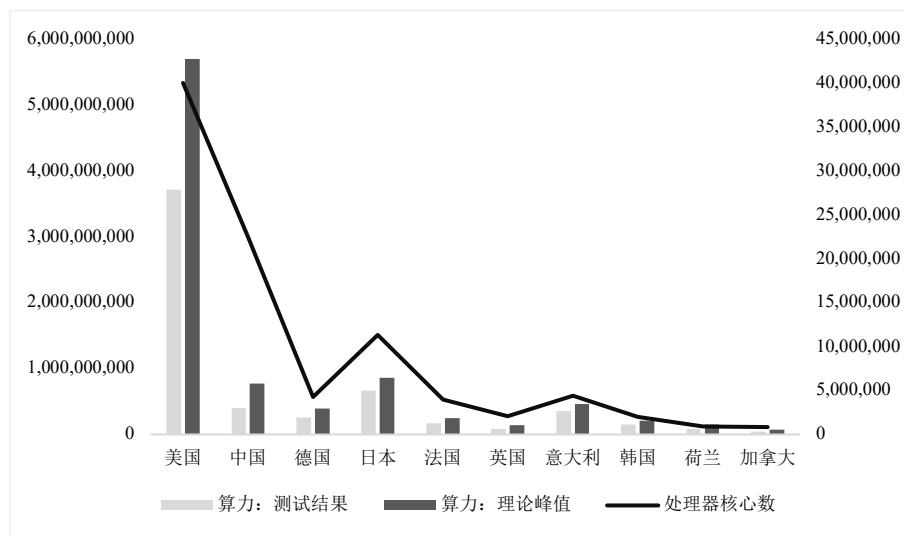


图 II4 全球 TOP500 超级计算机算力和处理器核心数

（四）数据中间商的市场结构

现实中，数据服务部门具有“赢者通吃”的特征，这决定了数据中间商偏向于垄断或竞争的市场结构。一方面，数据服务通常受益于网络效应和数据规模经济，一旦某个数据服务公司在市场上取得领先地位，它将吸引更多用户和合作伙伴，进一步增强其竞争力，形成一种自我强化的循环。另一方面，进入数据服务领域需要大量的技术支撑，一旦某个数据公司率先建立起先进的技术构架、数据分析能力和独有的数据资源，其他竞争者想要迎头赶上需要巨大的投资和时间，且难以达到相同的技术水平。例如，美国开发的 ChatGPT，凭借雄厚的数据资源、先进的算法和强大的算力，在自然语言处理领域取得显著优势，遥遥领先于其他国家的同类产品。

虽然中国的算力位于世界第二位，高于日本、新加坡、德国等发达国家，但与世界顶尖水平（美国）仍存在较大差距。由于数据服务部门具有“赢者通吃”的特征，世界排名第一和第二的国家在国际市场上具有显著不同的竞争优势和市场份额。我们搜集了 2021 年云计算全球市场份额的排行榜，如图 II5 所示。我们从图 II5 中可以发现，全球云计算市场主要由中美两国的企业主导，其中美国的亚马逊、谷歌云和微软公司占据绝大部分的市场份额，分别为 38.92%、21.07% 和 7.08%，总计占据全球 67.07% 的市场份额。于中国而言，阿里云、

华为云和腾讯云分别占据 9.55%、4.61% 和 2.84% 的市场份额,总计占据全球 17% 的市场份额。这清晰地显示出中美在全球计算服务领域的市场主导地位,同时也突显了中国和美国之间存在的算力差距,以及数据服务领域所具有的“赢者通吃”的特征。

基于数据中间商的上述现实特征,我们在模型中分别考虑了两种数据中间商市场结构:竞争模式和垄断模式。一方面,根据图 II5 可知,美国数据中间商云计算的市场份额高达 67%,中国仅占 17%,中国与美国数据中间商在国际市场存在明显的竞争差距,因此设定完全垄断的市场结构可能具有一定的合理性。我们也相信随着中国数据中间商竞争优势的不断上升,未来市场结构将向垄断竞争发展,因此也探讨了竞争这种模式。另一方面,两种模式下数据中间商均存在成本加成的能力,从而存在正的利润。不同于现有文献所刻画的数据中间商零利润特征(Jones and Tonetti, 2020; Chang et al., 2023),本文刻画了数据中间商通过其市场地位获取超额利润的情形,凸显了大型数据中间商在生产和贸易中的地位与作用,使模型与现实更为贴切。

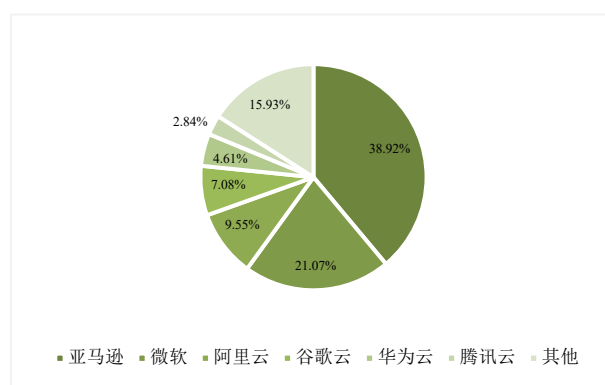


图 II5 云计算全球市场份额排行榜（2021 年）

（五）中美数据中心与“云计算”市场份额

1. 数据中心

数据中心作为存储和处理大量数据的基础设施,是提供数据存储、处理、计算和传输等相关服务的载体。中美两国在数据中心建设方面的差距在一定程度上反映了两国加工数据生产的差距,并间接体现了两国在加工数据贸易上的态势。在超大规模数据中心建设方面,美国相较于中国具有绝对优势。这一现象为我们了解两国在加工数据贸易方面的分工格局提供了重要的现实基础。

Statista 网站提供了全球数据中心数量与布局的统计数据。图 II6 展示了从 2017 年至 2020 年,全球超大规模数据中心在各国的分布比例。结果表明,美国在这一领域具有绝对优势,其在 2017 年占据全球 47% 的份额,在 2020 年仍保持着 39% 的份额。相比之下,我国在超大规模数据中心建设上虽然起步较晚,但呈现出持续增长趋势。2017 年,我国占据了全球 7% 的份额,而到了 2020 年这一比例提升至 10%。

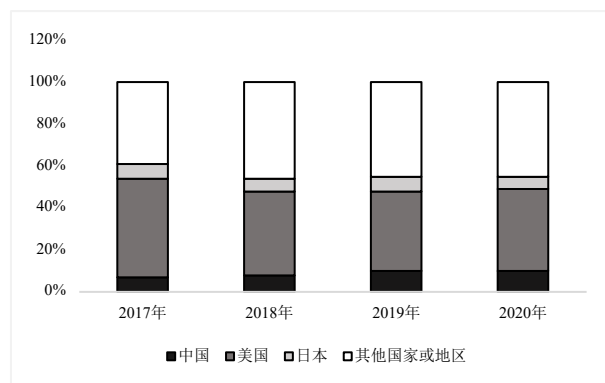


图 II6 超大规模数据中心所处国家的份额

2. “云计算”市场份额

中美两国在数据计算基础设施和算力方面的显著差异，影响到两国在全球云计算市场份额上竞争的竞争优势。具体而言，美国在全球云计算市场份额上非常高，中国则处于相对弱势的处境。在某种程度上，这也表现为“美国在加工数据的生产方面具有比较优势”这一设定提供了现实依据。

云基础设施服务（IaaS）是指通过互联网以即用即付的方式提供计算、存储和网络资源等基础设施服务的商业模式。

首先，Statista 网站在全球范围内受访了 2889 名云计算用户，调查其对云基础设施服务提供商的使用情况，结果如图 II7 所示。结果表明，美国的云计算设施提供商占据了主要受访用户群体的使用份额。例如，2023 年，有 62% 的全球受访者表示他们的组织正在使用或计划使用亚马逊提供的云基础设施服务；48% 的全球受访者表示使用微软提供的云基础设施服务；39% 的全球受访者表示使用谷歌提供的云基础设施服务；38% 的全球受访者表示使用 IBM 提供的云基础设施服务；20% 的全球受访者表示使用甲骨文提供的云基础设施服务；仅有 16% 的全球受访者表示使用阿里巴巴提供的云基础设施服务。

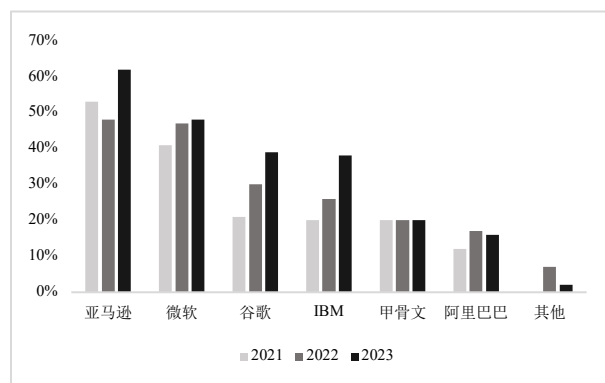


图 II7 受访者对云基础设施提供商使用的比例

其次，Statista 网站详细统计了 2023 年第四季度全球领先的云基础设施服务提供商的市场份额。图 II8 显示，美国服务提供商在当季占据了全球云基础设施高达 73% 的市场份额，而中国服务提供商仅占据 6% 的份额。具体而言，美国企业如亚马逊、微软、谷歌、赛富时、IBM 和甲骨文分别占据了 31%、24%、11%、3%、2% 和 2% 的全球市场份额。相比之下，中国企业的表现稍显逊色，阿里巴巴和腾讯仅分别占据 4% 和 2% 的全球市场份额。

综上所述，中美两国云基础设施服务提供商在全球市场份额方面存在明显差距。这一现实情况一定程度上为“中美在数据加工贸易方面，我国处于贸易逆差，而美国则处于贸易顺差”提供了现实依据。

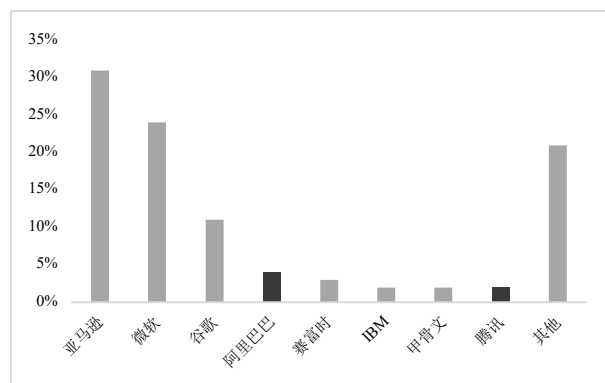


图 II8 云基础设施服务提供商的全球市场份额

（六）中美商品贸易和数据贸易现状

本附录呈现了中美两国商品贸易和数据贸易的现状。通过经济合作与发展组织(OECD)官网,我们分别搜集了中国对美国电信、计算机和信息服务行业进出口额以及中国对美国初级产品和制造品进出口额,如图 II9 和图 II10 所示。图 II9 表明,在大数据时代,中国对来自美国数据服务的进口迅速上涨,从 2010 年的 3.15 亿美元上涨到 2021 年的 18.96 亿美元,而中国对美国的数据服务出口总体呈现下降趋势。特别是,自 2016 年以后,中国对美国的电信、计算机和信息服务行业的进口额远超过出口额,且中国在这一行业的贸易逆差逐步扩大,从 2016 年的 0.11 亿美元扩大到 2021 年的 13.59 亿美元,如图 II9 所示。

图 II10 所示为中国对美国初级产品和制造品的进出口额。可以看到,中国对美国的商品贸易常年存在贸易顺差。由此,我们认为在与美国的双边贸易中,近年来,中国是以商品出口换取加工数据进口的。

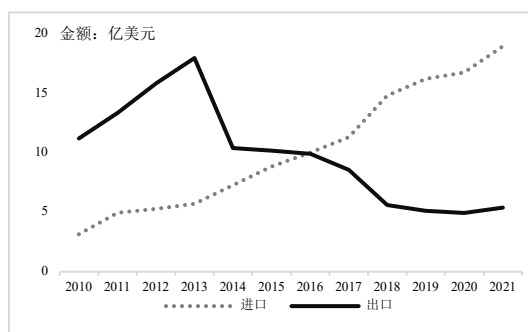


图 II9 中国对美国电信、计算机和信息服务行业进出口额

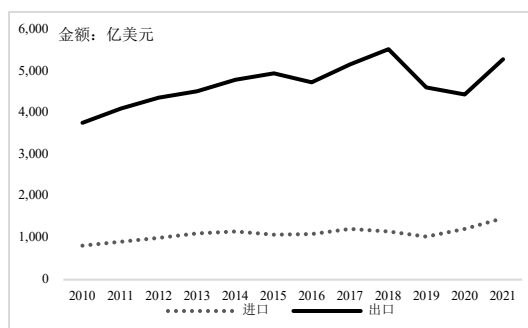


图 II10 中国对美国初级产品和制造品进出口额

附录 III 稳健性检验：考虑国内外原始数据的异质性

在本附录中，我们进一步考虑了本国与外国的原始数据在加工数据生产过程中的异质性作用。正文基准结果中，我们将本国与外国原始数据的权重均设定为 1。在此，我们假定外国原始数据的权重低于本国原始数据权重。与正文相同，我们仍然考虑两种原始数据跨境流动政策：禁止流动政策（禁止原始数据跨境流动）和自由流动政策（允许原始数据跨境流动）。

考虑国内外原始数据的异质性后，国家 C 在两种政策情形下可获得的原始数据 D_C 可以表述为：

$$D_C = \begin{cases} Q_C, & \text{禁止流动政策} \\ Q_C + \rho Q_U, & \text{自由流动政策} \end{cases},$$

其中， Q_C 和 Q_U 分别为国家 C 和国家 U 的总消费。 $\rho < 1$ 刻画了国家 U 消费数据在国家 C 企业生产过程中的重要性，其中国家 C 的影响要弱于本国的消费数据。

下面，我们分别模拟了 ρ 分别为 0.9/0.7/0.5 时的结果，其他参数取值与本文基准模型保持一致。我们在此复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”与第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

我们使用不同的原始数据权重复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容。结果如表 III1 所示，相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

表 III1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式 $\rho = 0.5$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家 U	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家 C	1.27	1.25	0.25	1.00	1.97
	国家 U	1.27	1.25	0.25	1.00	1.97
Panel B 垄断模式 $\rho = 0.5$						
原始数据禁止流动	国家 C	0.88	1.31	0	0.88	2.50
	国家 U	1.03	1.07	0.50	1	2.50
原始数据自由流动	国家 C	0.94	1.31	0	0.88	2.33
	国家 U	1.10	1.07	0.50	1	2.33
Panel C 竞争模式 $\rho = 0.7$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家 U	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家 C	1.30	1.25	0.25	1.00	1.92
	国家 U	1.30	1.25	0.25	1.00	1.92
Panel D 垄断模式 $\rho = 0.7$						

原始数据禁止流动	国家C	0.88	1.31	0	0.88	2.50
	国家U	1.03	1.07	0.50	1	2.50
原始数据自由流动	国家C	0.96	1.31	0	0.88	2.28
	国家U	1.13	1.07	0.50	1	2.28
Panel E 竞争模式 $\rho = 0.9$						
原始数据禁止流动	国家C	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家U	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家C	1.33	1.25	0.25	1.00	1.88
	国家U	1.33	1.25	0.25	1.00	1.88
Panel F 垄断模式 $\rho = 0.9$						
原始数据禁止流动	国家C	0.88	1.31	0	0.88	2.50
	国家U	1.03	1.07	0.50	1	2.50
原始数据自由流动	国家C	0.98	1.31	0	0.88	2.23
	国家U	1.15	1.07	0.50	1	2.23

（二）数据中间商市场结构和贸易政策

我们使用不同的原始数据权重复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家U实施单边贸易保护政策”与第二节“国家C实施单边贸易保护政策”。具体如表 III2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下国家U征收的最优关税高于竞争模式下的最优关税，而国家C征收的最优关税低于国家U的关税。

表 III2 不同原始数据权重下的最优关税与福利

		国家	$\rho = 0.5$		$\rho = 0.7$		$\rho = 0.9$	
			关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.33	1.21	0.33	1.21	0.33	1.21	
	国家U	0.33	1.21	0.33	1.21	0.33	1.21	
原始数据自由流动	国家C	0.33	1.31	0.33	1.35	0.33	1.38	
	国家U	0.33	1.31	0.33	1.35	0.33	1.38	
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.30	0.90	0.30	0.90	0.30	0.90	
	国家U	0.47	1.08	0.47	1.08	0.47	1.08	
原始数据自由流动	国家C	0.32	0.97	0.32	1	0.32	1.02	
	国家U	0.43	1.15	0.41	1.18	0.41	1.20	

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。具体如表 III3 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 III3 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

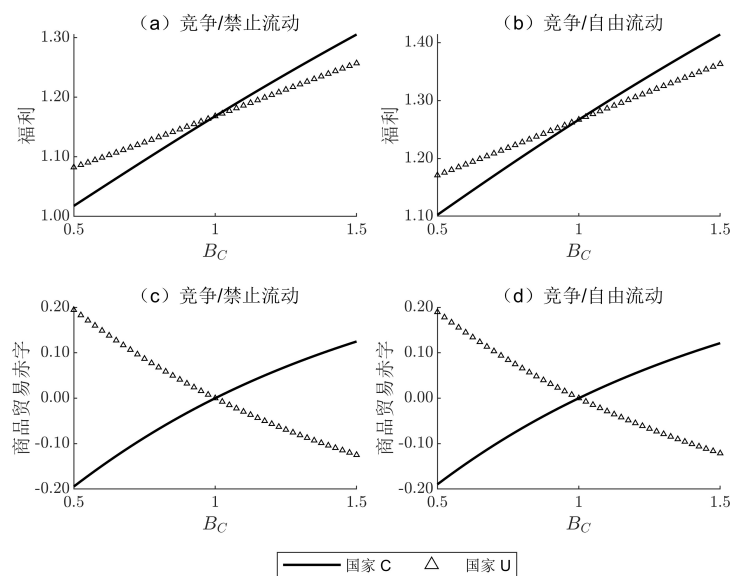
	国家	$\rho = 0.5$		$\rho = 0.7$		$\rho = 0.9$	
		关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式							
原始数据禁止流动	国家C	0.28	1.12	0.28	1.12	0.28	1.12
	国家U	0.28	1.12	0.28	1.12	0.28	1.12
原始数据自由流动	国家C	0.27	1.22	0.27	1.25	0.27	1.28
	国家U	0.27	1.22	0.27	1.25	0.27	1.28
Panel B 垄断模式							
原始数据禁止流动	国家C	0.17	0.79	0.17	0.79	0.17	0.79
	国家U	0.50	1.04	0.50	1.04	0.50	1.04
原始数据自由流动	国家C	0.21	0.85	0.22	0.87	0.22	0.89
	国家U	0.44	1.10	0.42	1.12	0.41	1.14

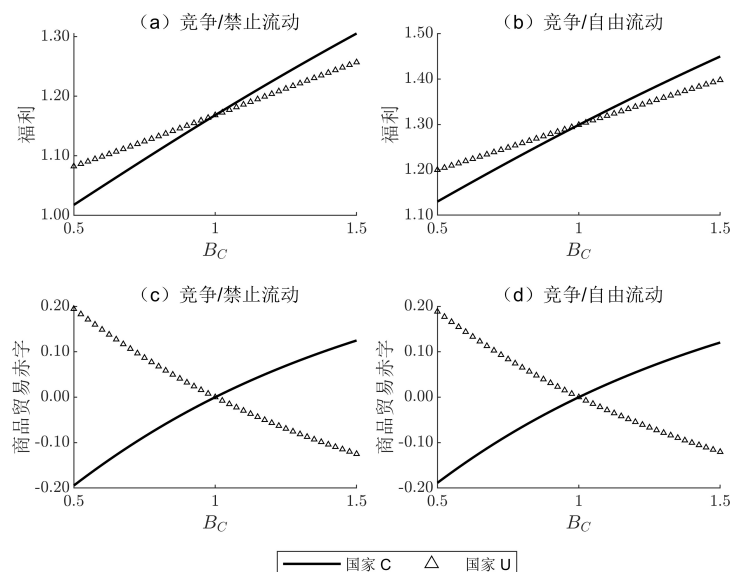
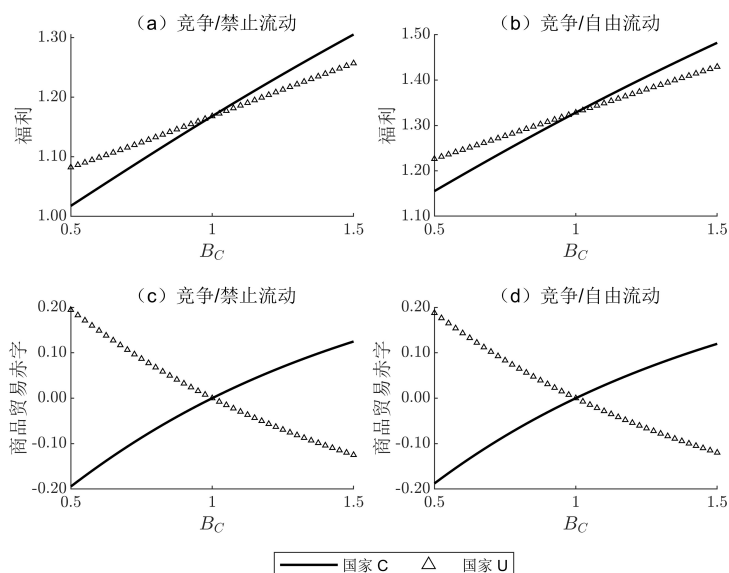
（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们使用不同的原始数据权重复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

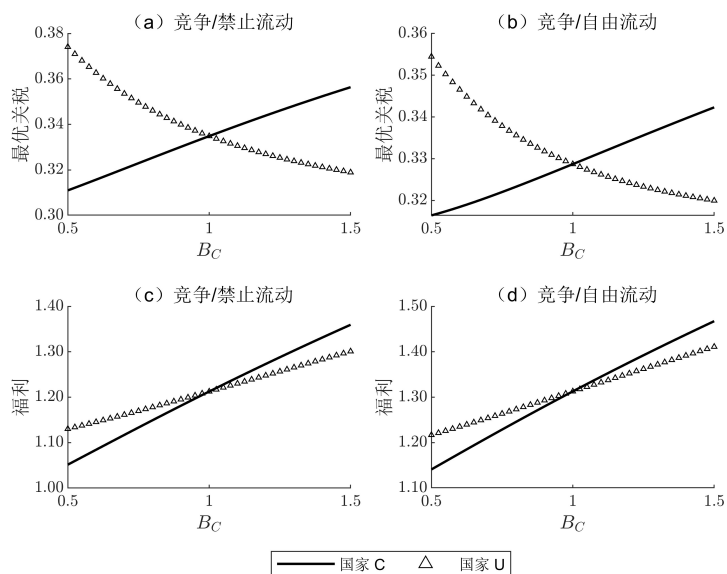
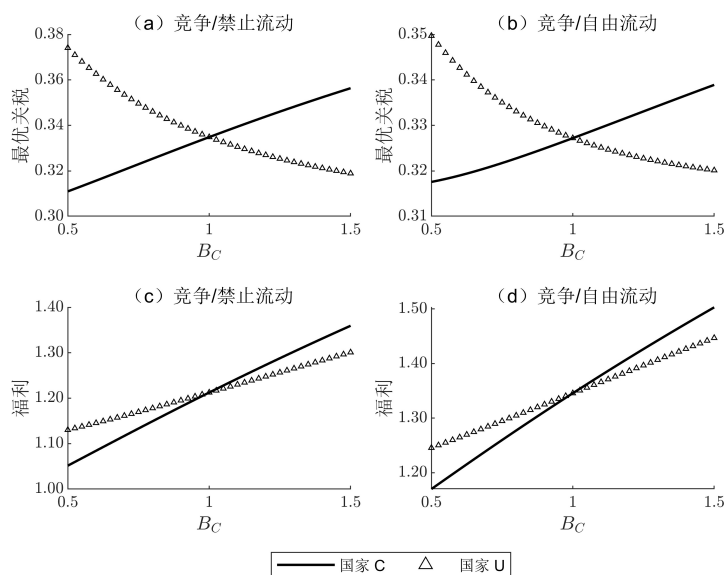
本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与最优关税”，呈现了当国家C算力进步时，两国的商品贸易赤字及相应的福利。具体结果详见图 III1 至 III3，本文核心结论依然保持稳健。

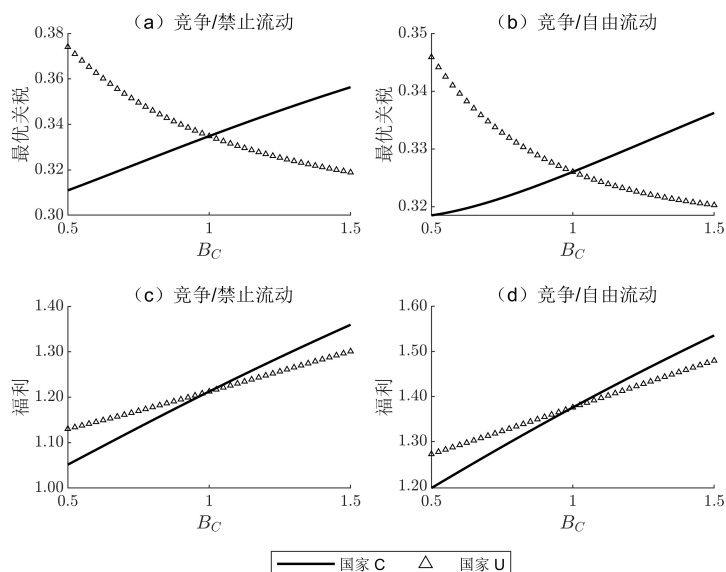
图 III1 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\rho = 0.5$)

图 III2 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\rho = 0.7$)图 III3 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\rho = 0.9$)

2. 算力比较优势与最优关税

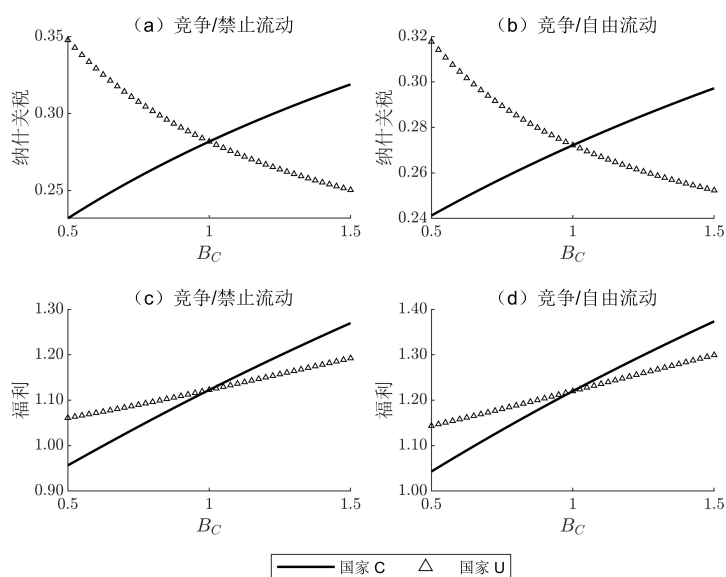
本小节对应正文中第五部分第(二)节“算力比较优势与最优关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 III4 至 III6，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

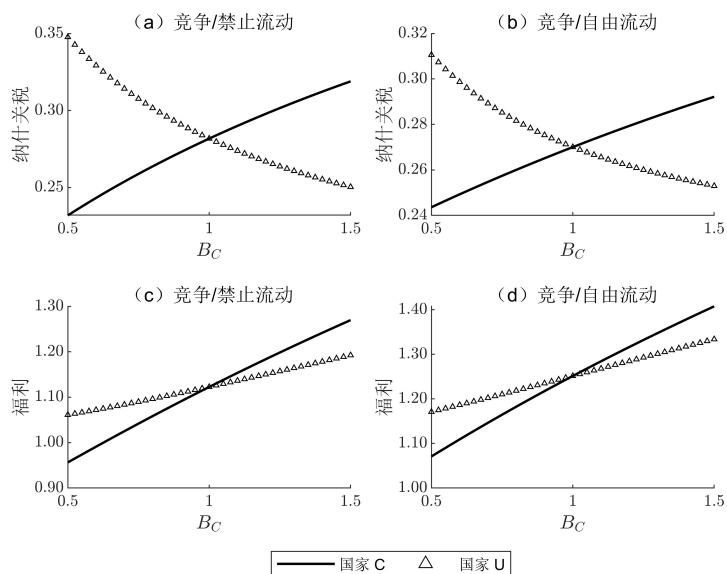
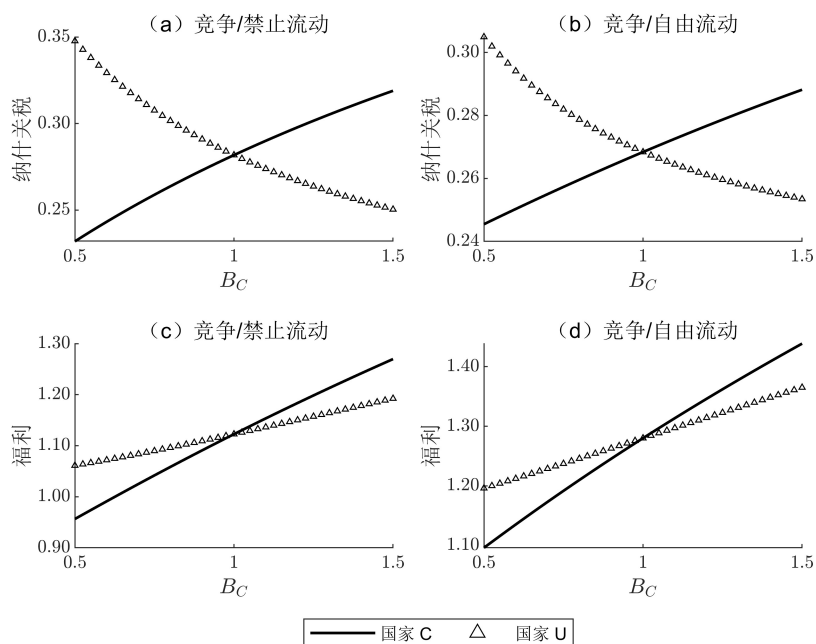
图 III-4 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\rho = 0.5$)图 III-5 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\rho = 0.7$)

图 III-6 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\rho = 0.9$)

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 III-7 至 III-9，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

图 III-7 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\rho = 0.5$)

图 III8 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\rho = 0.7$)图 III9 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\rho = 0.9$)

附录 IV 稳健性检验：关于原始数据跨境流动政策的不同设定

在本附录中，我们提供了关于原始数据跨境流动的另一种定义的分析结果。与正文相同，我们考虑原始数据跨境流动的两种政策：禁止流动政策（禁止原始数据跨境流动）和自由流动政策（允许原始数据跨境流动）。国家 C 在两种政策情形下可获得的原始数据 D_C 可以表述为：

$$D_C = \begin{cases} \frac{X_{CC}}{P_C}, & \text{禁止流动政策} \\ \frac{X_{CC}}{P_C} + \frac{X_{UC}}{P_U}, & \text{自由流动政策} \end{cases}.$$

对于“禁止流动政策”而言，国家 C 的数据中间商只能获得本国企业在本国销售的数据，即 $D_C = \frac{X_{CC}}{P_C}$ 。而于“自由流动政策”，此时国家 U 将允许原始数据跨境流动，国家 C 便可以获

得本国企业同时在本国和外国销售的数据，即 $D_C = \frac{X_{CC}}{P_C} + \frac{X_{UC}}{P_U}$ 。在该设定下，无论是国家 C 还是国家 U ，均无法获取其他国家企业销售的数据。

参数取值与本文基准模型保持一致。我们在此复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”与第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

表 IV1 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容，相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的大小。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

表 IV1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式						
原始数据禁止流动	国家 C	1.02	1.25	0.25	1.00	2.46
	国家 U	1.02	1.25	0.25	1.00	2.46
原始数据自由流动	国家 C	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家 U	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
Panel B 垄断模式						
原始数据禁止流动	国家 C	0.75	1.31	0	0.88	2.94
	国家 U	0.88	1.07	0.50	1	2.94
原始数据自由流动	国家 C	0.84	1.31	0	0.88	2.60
	国家 U	0.99	1.07	0.50	1	2.60

（二）数据中间商市场结构和贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家U实施单边贸易保护政策”与第二节“国家C实施单边贸易保护政策”。图 IV1 与 IV2 呈现了不同数据政策下，国家U和国家C分别征收单边进口关税时的福利变化。本文核心结论依然保持稳健：给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家U将征收更高的最优关税，且获得更高的福利。

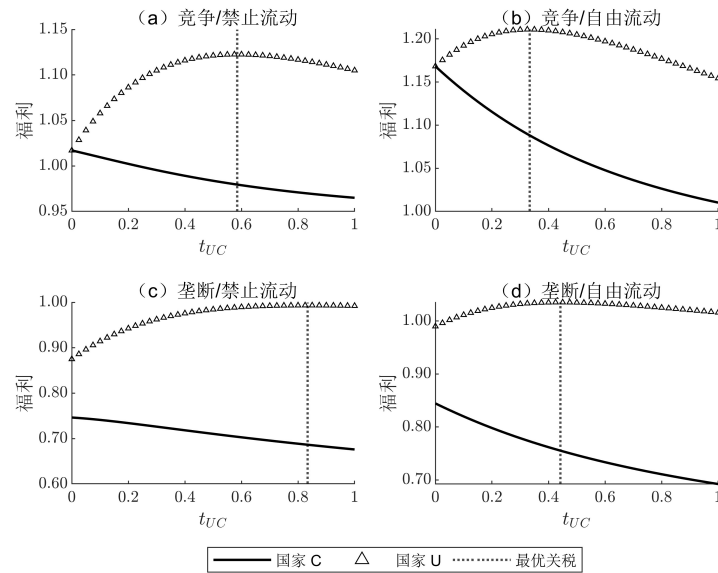


图 IV1 国家U征收单边进口关税时两国的福利变化

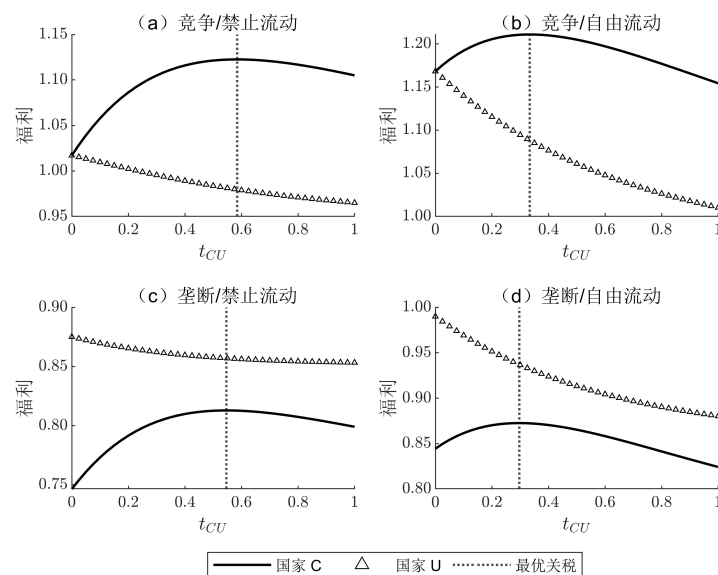


图 IV2 国家C征收单边进口关税时两国的福利变化

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。我们在此仅计算了国家C与国家U的纳什关税及其相应的福利。具体如表 IV2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 IV2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

国家	纳什关税	福利	商品利润	数据利润	关税	工资	价格指数
----	------	----	------	------	----	----	------

Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.49	1.04	1.25	0.25	0.65	1.00	2.56
	国家U	0.49	1.04	1.25	0.25	0.65	1.00	2.56
原始数据自由流动	国家C	0.28	1.12	1.25	0.25	0.57	1.00	2.36
	国家U	0.28	1.12	1.25	0.25	0.57	1.00	2.36
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.20	0.58	0.36	0	0.65	0.24	1.03
	国家U	3.55	0.96	1.21	0.33	1.19	1	3.10
原始数据自由流动	国家C	0.19	0.76	1.10	0	1.12	0.74	2.48
	国家U	0.46	0.99	1.10	0.47	1.12	1	2.90

（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与福利”。图 IV3 呈现了随着国家C算力提高时，两国的商品贸易赤字与福利变化。本文结论依然保持稳健。

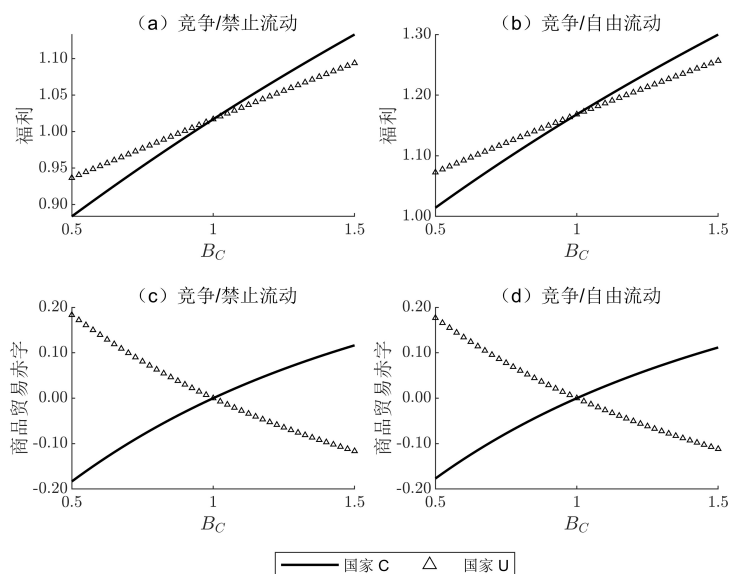


图 IV3 国家C算力进步的福利变化

2. 算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 IV4，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

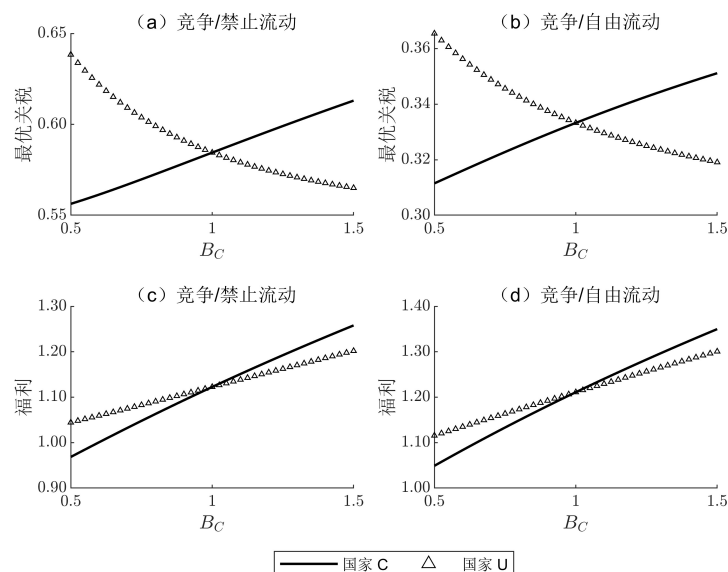


图 IV4 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 IV5，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

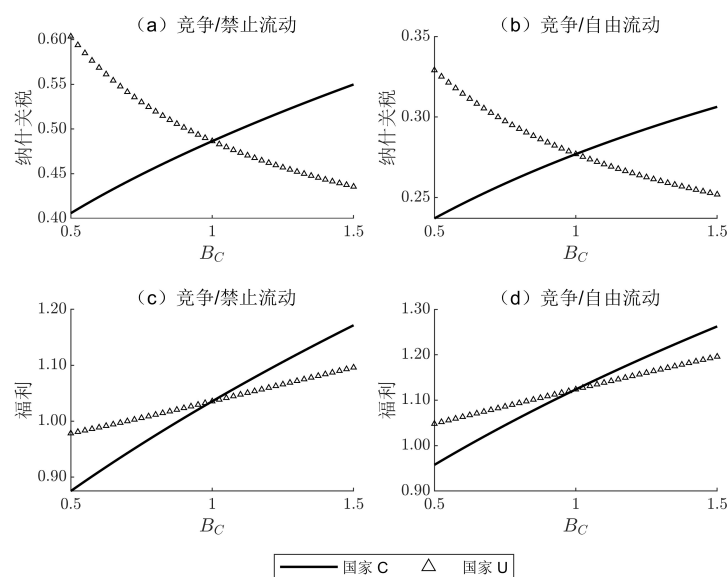


图 IV5 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利

附录 V 稳健性检验：原始数据作为生产的副产品

在本附录中，我们假定原始数据是生产的副产品，来源于商品生产者在其生产过程中的生产数据，一单位生产产生一单位原始数据。基于此，我们分析本文的核心研究结论是否稳健。我们考虑两种原始数据跨境流动政策：禁止流动政策（禁止原始数据跨境流动）和自由流动政策（允许原始数据跨境流动）。此时，国家C的数据中间商在两种政策情形下可获得的原始数据 D_C 可以表述为：

$$D_C = \begin{cases} \frac{X_{CC}}{P_C} + \frac{X_{UC}}{P_U}, & \text{禁止流动政策} \\ \left(\frac{X_{CC}}{P_C} + \frac{X_{UC}}{P_U} \right) + \left(\frac{X_{UU}}{P_U} + \frac{X_{CU}}{P_C} \right), & \text{自由流动政策} \end{cases}.$$

对于“禁止流动政策”而言，国家C的数据中间商只能获得本国商品生产者的生产数据，即 $D_C = \frac{X_{CC}}{P_C} + \frac{X_{UC}}{P_U}$ 。其中， $\frac{X_{CC}}{P_C}$ 为国家C为本国消费者生产所获得的生产数据， $\frac{X_{UC}}{P_U}$ 为国家C为国家U的消费者生产所获得的生产数据。而于“自由流动政策”，此时两国均允许原始数据跨境自由流动，国家C的数据中间商既可以获取本国的生产数据 $\left(\frac{X_{CC}}{P_C} + \frac{X_{UC}}{P_U} \right)$ ，也能获取国家U的生产数据 $\left(\frac{X_{UU}}{P_U} + \frac{X_{CU}}{P_C} \right)$ 。国家U同理。

参数取值与本文基准模型保持一致。我们在此复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”与第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

表 V1 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容，具体数值相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的大小。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

表 V1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式						
原始数据禁止流动	国家C	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家U	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家C	1.34	1.25	0.25	1.00	1.86
	国家U	1.34	1.25	0.25	1.00	1.86
Panel B 垄断模式						
原始数据禁止流动	国家C	0.84	1.31	0	0.88	2.60
	国家U	0.99	1.07	0.50	1	2.60
原始数据自由流动	国家C	0.99	1.31	0	0.88	2.21
	国家U	1.16	1.07	0.50	1	2.21

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。图 V1 与 V2 呈现了不同数据政策下，国家 U 和国家 C 分别征收单边进口关税时的福利变化。本文核心结论依然保持稳健：给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家 U 将征收更高的最优关税，且获得更高的福利。

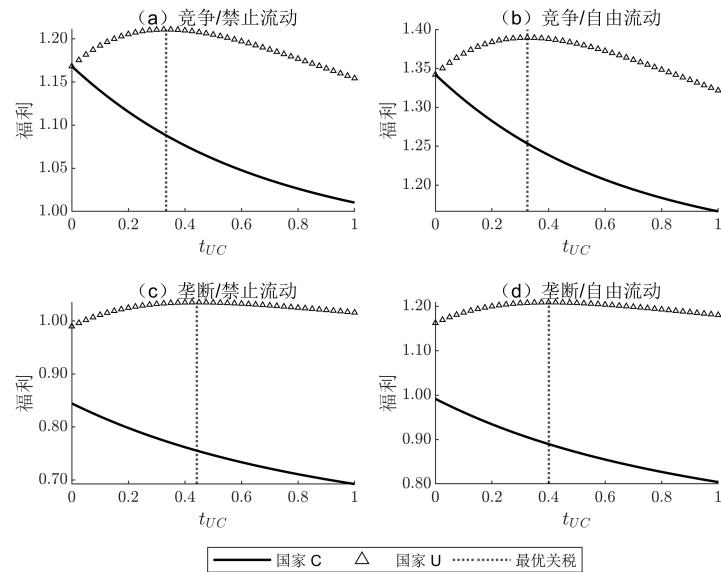


图 V1 国家 U 征收单边进口关税时两国的福利变化

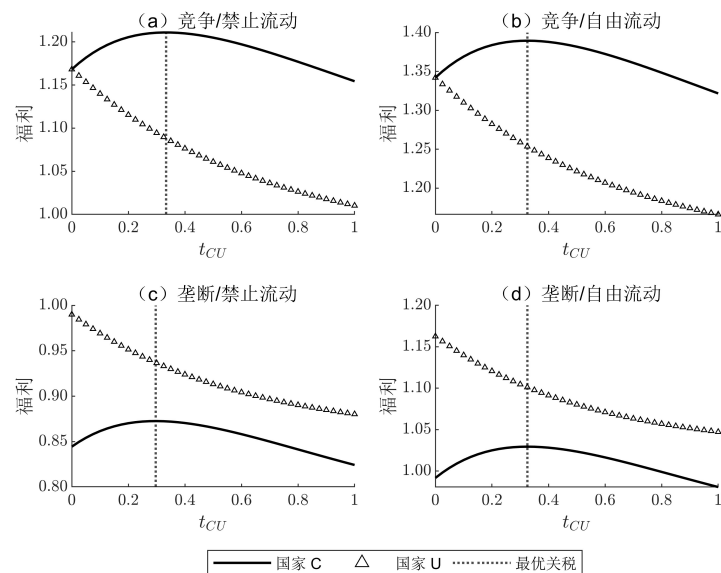


图 V2 国家 C 征收单边进口关税时两国的福利变化

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。我们在此仅计算了国家 C 与国家 U 的纳什关税及其相应的福利。具体如表 V2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给

定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 V2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

	国家	纳什关税	福利	商品利润	数据利润	关税	工资	价格指数
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.28	1.12	1.25	0.25	0.57	1.00	2.36
	国家U	0.28	1.12	1.25	0.25	0.57	1.00	2.36
原始数据自由流动	国家C	0.27	1.29	1.25	0.25	0.38	1.00	2.05
	国家U	0.27	1.29	1.25	0.25	0.38	1.00	2.05
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.19	0.76	1.10	0	1.12	0.74	2.48
	国家U	0.46	0.99	1.10	0.47	1.12	1	2.90
原始数据自由流动	国家C	0.23	0.90	1.15	0	0.72	0.77	2.20
	国家U	0.40	1.15	1.09	0.47	0.70	1	2.47

（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与福利”。图 V3 呈现了随着国家C算力提高时，两国的商品贸易赤字与福利变化。本文结论依然保持稳健。

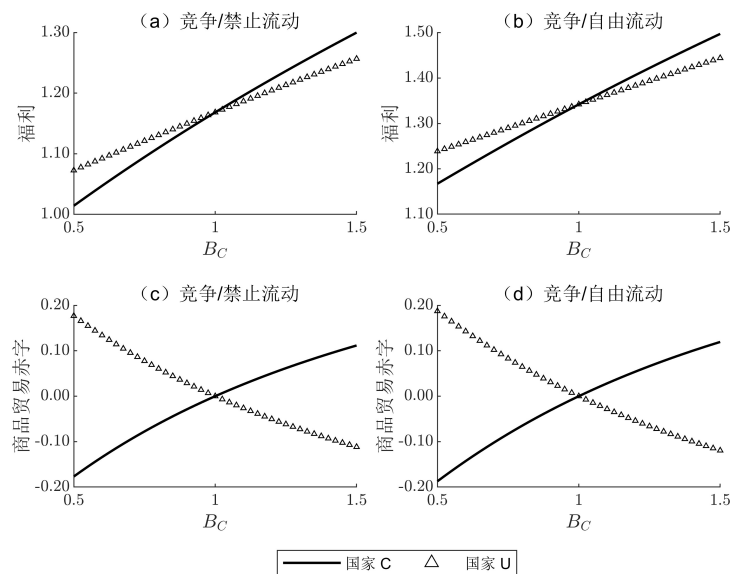


图 V3 国家C算力进步的福利变化

2. 算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 V4，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

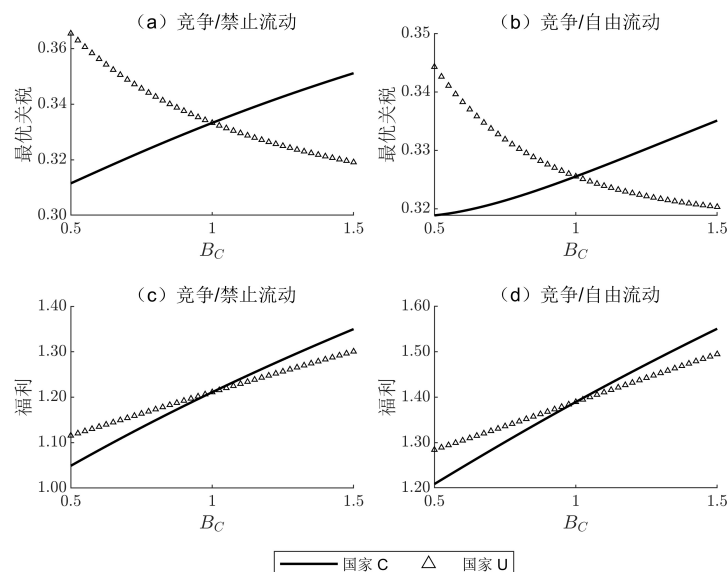


图 V4 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 V5，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

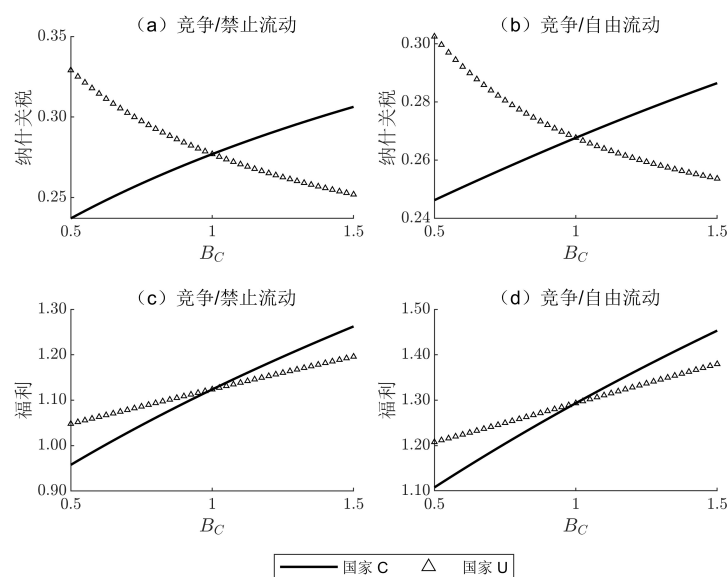


图 V5 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利

附录 VI 稳健性检验：考虑国内外加工数据的异质性或者加工数据

政策限制

在本附录中，我们检验了本文结论对外国加工数据在本国商品生产中的不同权重（ χ ）的稳健性结果。正文基准结果中，我们将本国与外国加工数据的权重均设定为 1。在此，我们假定外国加工数据权重低于本国加工数据权重，并模拟了 χ_{cu} 与 χ_{uc} 分别为 0.9/0.7/0.5 时的结果，其他参数均保持不变。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

我们使用不同的外国加工数据权重复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容。结果如表 VI1 所示，相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。注意，垄断模式下仅有国家 U 存在数据中间商，因此该模式下的结果不受外国加工数据权重的影响，故本文在此未呈现垄断模式的结果，具体详见正文表 2。

表 VI1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式 $\chi = 0.5$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.13	1.25	0.25	1.00	2.21
	国家 U	1.13	1.25	0.25	1.00	2.21
原始数据自由流动	国家 C	1.30	1.25	0.25	1.00	1.92
	国家 U	1.30	1.25	0.25	1.00	1.92
Panel B 竞争模式 $\chi = 0.7$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.15	1.25	0.25	1.00	2.18
	国家 U	1.15	1.25	0.25	1.00	2.18
原始数据自由流动	国家 C	1.32	1.25	0.25	1.00	1.90
	国家 U	1.32	1.25	0.25	1.00	1.90
Panel C 竞争模式 $\chi = 0.9$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.16	1.25	0.25	1.00	2.15
	国家 U	1.16	1.25	0.25	1.00	2.15
原始数据自由流动	国家 C	1.33	1.25	0.25	1.00	1.87
	国家 U	1.33	1.25	0.25	1.00	1.87

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们使用不同的外国加工数据权重复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。具体如表 VI2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始

数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下国家 U 征收的最优关税高于竞争模式下的最优关税，而国家 C 征收的最优关税仍低于国家 U 的关税。

表 VI2 不同外国加工数据权重下的最优关税与福利

		国家	$\chi = 0.5$		$\chi = 0.7$		$\chi = 0.9$	
			关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.34	1.17	0.34	1.19	0.34	1.21	
	国家 U	0.34	1.17	0.34	1.19	0.34	1.21	
原始数据自由流动	国家 C	0.33	1.34	0.33	1.37	0.33	1.38	
	国家 U	0.33	1.34	0.33	1.37	0.33	1.38	
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.30	0.85	0.30	0.87	0.30	0.89	
	国家 U	0.47	1.07	0.47	1.08	0.47	1.08	
原始数据自由流动	国家 C	0.32	0.96	0.32	0.99	0.33	1.02	
	国家 U	0.40	1.19	0.40	1.20	0.40	1.21	

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。具体如表 VI3 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 VI3 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

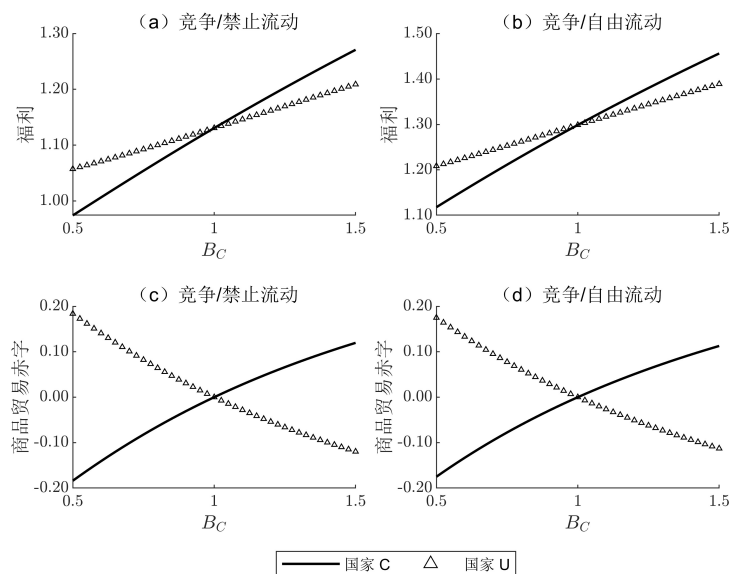
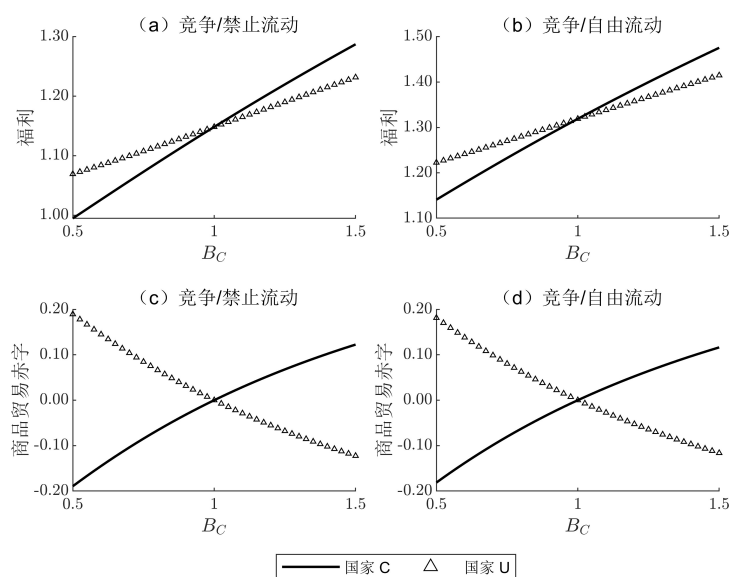
		国家	$\chi = 0.5$		$\chi = 0.7$		$\chi = 0.9$	
			关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.28	1.09	0.28	1.10	0.28	1.12	
	国家 U	0.28	1.09	0.28	1.10	0.28	1.12	
原始数据自由流动	国家 C	0.27	1.25	0.27	1.27	0.27	1.29	
	国家 U	0.27	1.25	0.27	1.27	0.27	1.29	
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.17	0.74	0.17	0.76	0.17	0.78	
	国家 U	0.50	1.02	0.50	1.03	0.50	1.03	
原始数据自由流动	国家 C	0.23	0.84	0.23	0.87	0.23	0.89	
	国家 U	0.40	1.13	0.40	1.14	0.40	1.15	

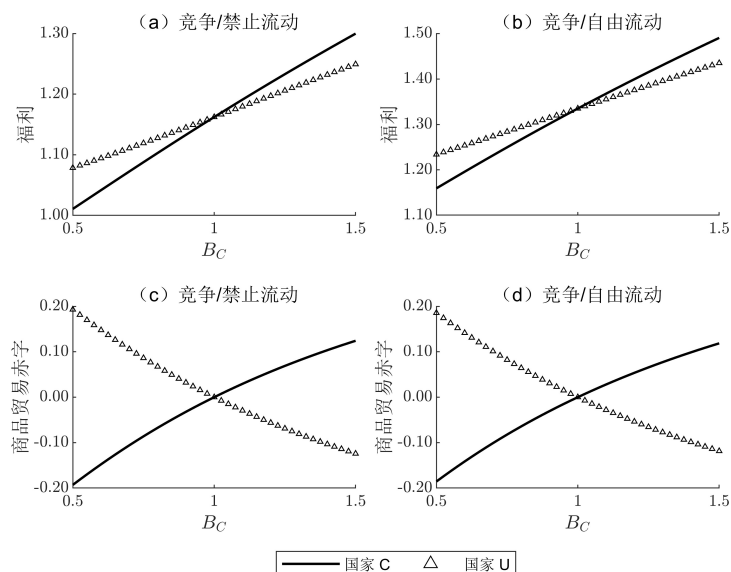
（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们使用不同的外国加工数据权重复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

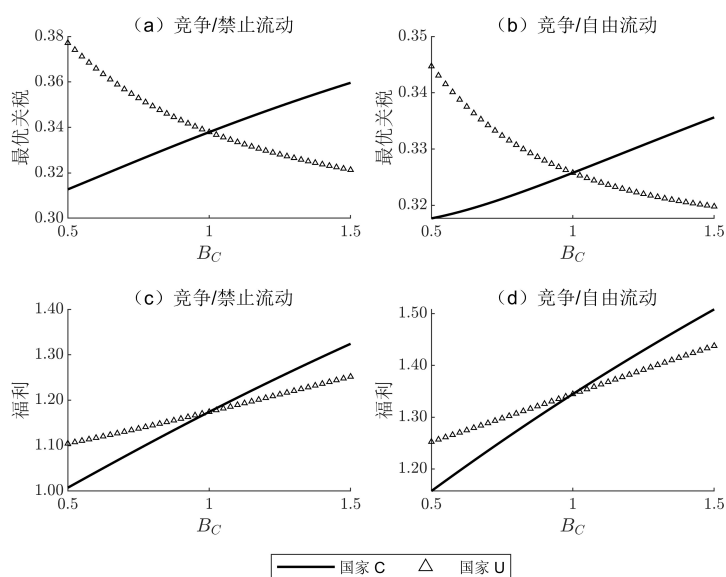
本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与最优关税”，呈现了当国家 C 算力进步时，两国的商品贸易赤字及相应的福利。具体结果详见图 VI1 至 VI3，本文核心结论依然保持稳健。

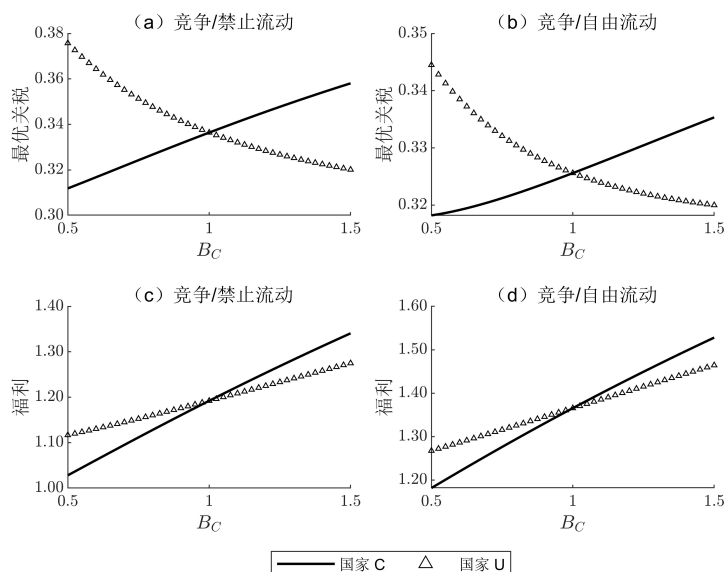
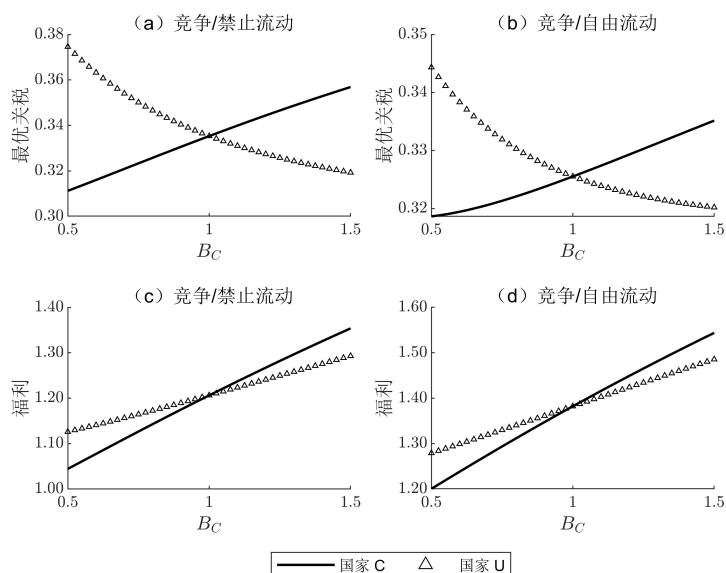
图 VII 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\chi = 0.5$)图 XII 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\chi = 0.7$)

图 VI3 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\chi = 0.9$)

2. 算力比较优势与最优关税

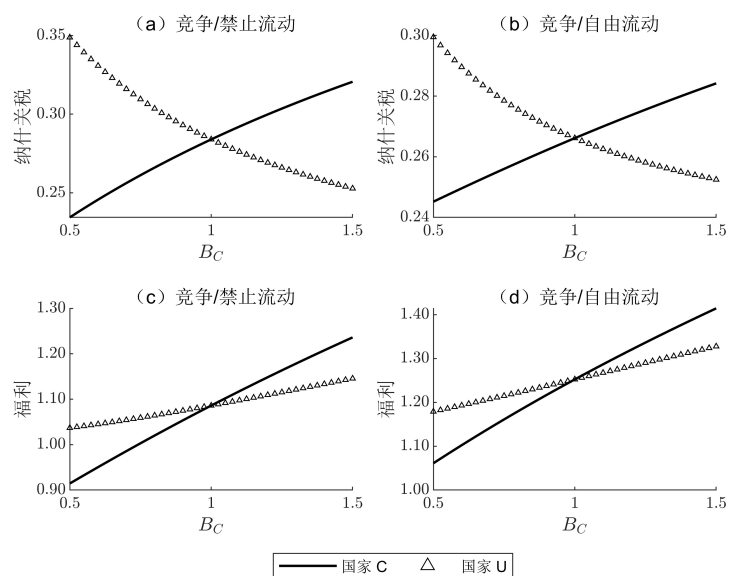
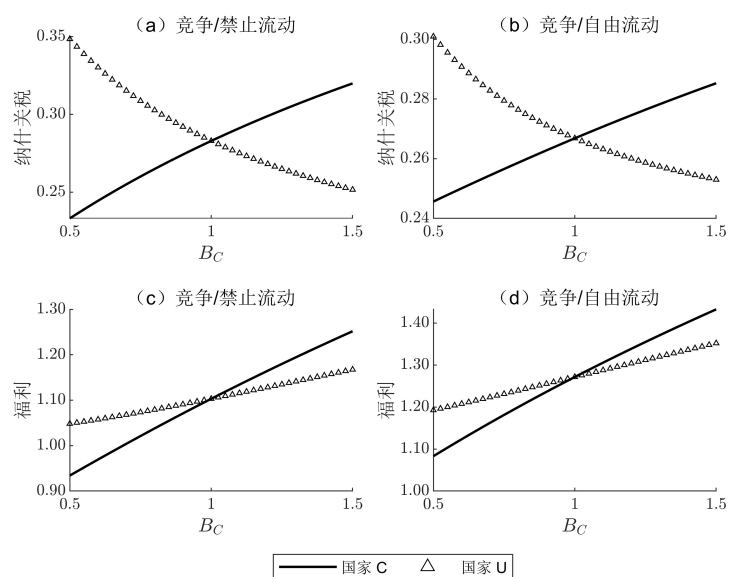
本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了不同外国加工数据权重下各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 VI4 至 VI6，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

图 VI4 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\chi = 0.5$)

图 VI5 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\chi = 0.7$)图 VI6 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\chi = 0.9$)

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了不同外国加工数据权重下各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 VI7 至 VI9，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

图 VI7 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\chi = 0.5$)图 VI8 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\chi = 0.7$)

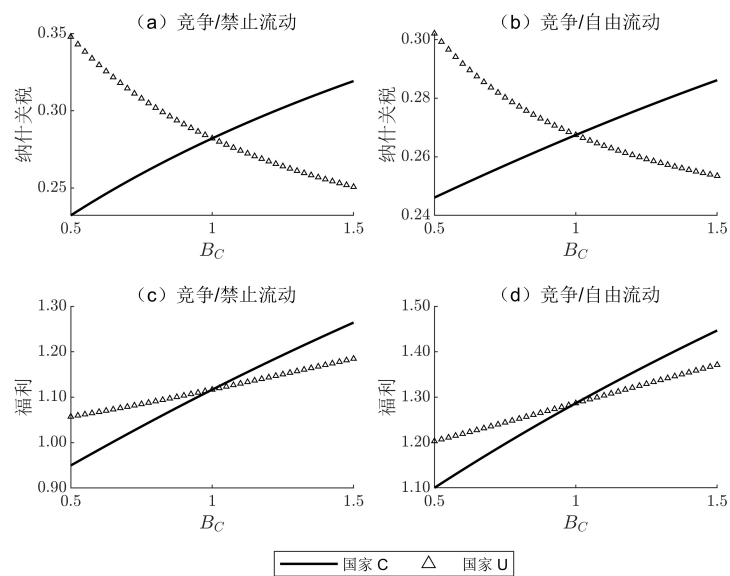


图 VI9 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\chi = 0.9$)

附录 VII 稳健性检验：考虑加工数据在国家间不能自由流动时的 竞争模式

在本附录中，我们考虑了加工数据在国家间不能自由流动时的情形。正文中“垄断模式”是指仅国家 U 存在一家数据中间商，其同时为国家 U 和国家 C 提供加工数据服务。由于垄断模式在加工数据不能跨境流动时无法进行讨论，因此我们在此仅聚焦于“竞争模式”的讨论。

在加工数据不能自由流动的设定下，我们将“竞争模式”中的参数 χ_{CU} 和 χ_{UC} 设定为 0，此时一国的加工数据仅由本国的数据中间商提供，而不依赖于国外市场。其他参数取值与本文基准模型保持一致。在此基础上，我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

（一）算力、商品贸易赤字与福利

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与福利”。图 VII1 呈现了随着国家 C 算力提高时，两国的商品贸易赤字与福利变化。本文结论依然保持稳健。

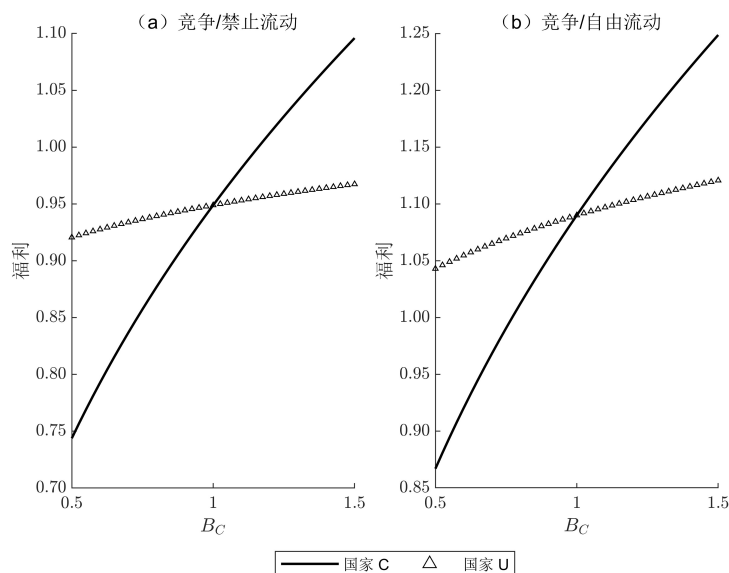


图 VII1 国家 C 算力进步的福利变化

（二）算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 VII2，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

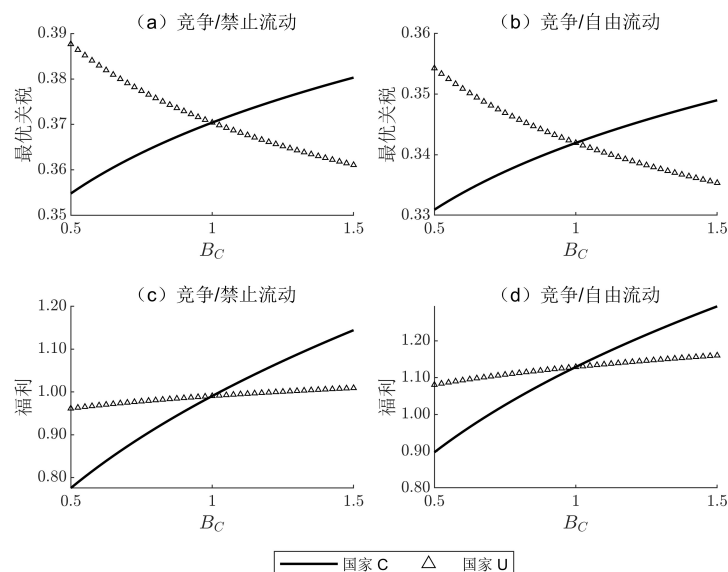


图 VII2 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利

(三) 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第(三)节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 VII3，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

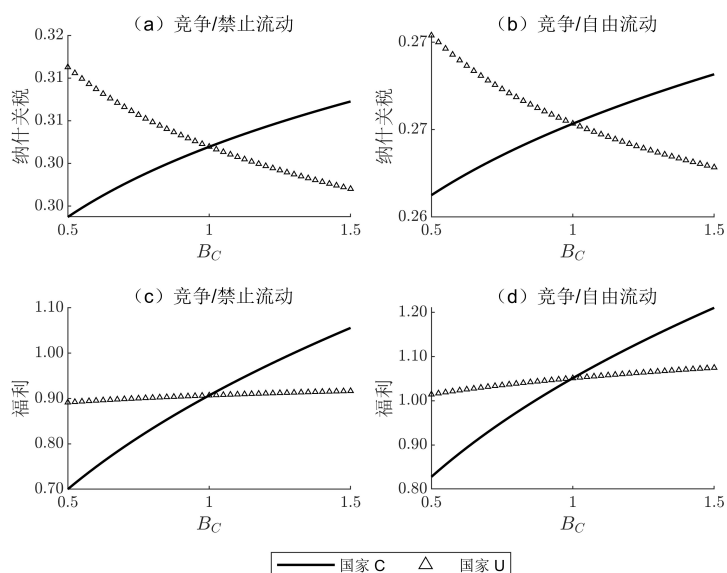


图 VII3 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利

附录 VIII 稳健性检验：数据中间商市场结构为寡头模式与垄断模式

在本附录中，我们提供了数据中间商市场结构的另一种设定：竞争模式下两国的数据中间商存在相互博弈的情形，故本文称之为“寡头模式”。出于简洁，我们在此仅呈现区别于正文理论模型设定部分的内容。

国家 C 数据中间商的利润最大化问题为：

$$\max_{t_{CC}, t_{UC}} (r_{CC} - M_C)\varphi_{CC} + (r_{UC} - M_C)\varphi_{UC},$$

其中， M_C 为数据中间商生产一单位加工数据的边际成本。假设国家 U 的数据中间商提供完全相同的服务，且两国的数据中间商在国际市场上呈现寡头竞争的形式。假设数据中间商进行 Bertrand 竞争，即单个数据中间商的行为将影响其他数据中间商的最优决策。借鉴 Burstein et al. (2020) 的思路，国家 C 数据中间商的最优定价可以表示为：

$$r_{CC} = \left(\frac{o - os_{CC}}{o - os_{CC} - 1} \right) M_C,$$

$$r_{UC} = \left(\frac{o - os_{UC}}{o - os_{UC} - 1} \right) M_C.$$

其中， $s_{CC} \equiv \frac{r_{CC}\varphi_{CC}}{r_{CC}\varphi_{CC} + r_{CU}\varphi_{CU}}$ 和 $s_{UC} \equiv \frac{r_{UC}\varphi_{UC}}{r_{UU}\varphi_{UU} + r_{UC}\varphi_{UC}}$ 分别表示国家 C 的数据中间商在本国和国家

U 的市场份额。不妨定义 $\varepsilon_{CC} = \left(\frac{o - os_{CC}}{o - os_{CC} - 1} \right)$ 和 $\varepsilon_{UC} = \left(\frac{o - os_{UC}}{o - os_{UC} - 1} \right)$ 分别为国家 C 的数据中间商在本国和国家 U 的成本加成率。不难发现，当数据中间商的市场份额越高或者加工数据的替代弹性越低时，其拥有的市场势力越大，成本加成率也随之更高，进而导致其制定的加工数据价格也越高。

在上述设定下，数据中间商的利润由两部分组成，其一是数据中间商凭借其免费获得的原始数据占有的生产利润 $\gamma \left(\frac{1}{\varepsilon_{CC}} r_{CC}\varphi_{CC} + \frac{1}{\varepsilon_{UC}} r_{UC}\varphi_{UC} \right)$ ，其二是数据中间商凭借其垄断势力从商品生产者处获取的超额利润 $\left(\frac{\varepsilon_{CC} - 1}{\varepsilon_{CC}} \right) r_{CC}\varphi_{CC} + \left(\frac{\varepsilon_{UC} - 1}{\varepsilon_{UC}} \right) r_{UC}\varphi_{UC}$ 。我们在此假设国家 C 数据中间商的利润以一次性转移支付的方式给到消费者。

寡头竞争情形下的市场势力取决于数据中间商的市场份额，因此市场出清条件有两方面的变化。一是国家 C 数据中间商的利润变化为：

$$M_C = \left(\frac{\varepsilon_{CC} - 1}{\varepsilon_{CC}} \right) r_{CC}\varphi_{CC} + \left(\frac{\varepsilon_{UC} - 1}{\varepsilon_{UC}} \right) r_{UC}\varphi_{UC} + \gamma \left(\frac{1}{\varepsilon_{CC}} r_{CC}\varphi_{CC} + \frac{1}{\varepsilon_{UC}} r_{UC}\varphi_{UC} \right).$$

二是国家 C 的劳动力市场出清条件变化为：

$$w_C L_C = \frac{\sigma - 1}{\sigma} (1 - \beta_C) \left(\pi_{CC} X_C + \frac{\pi_{UC} X_U}{1 + t_{UC}} \right) + (1 - \gamma) \left(\frac{r_{CC}\varphi_{CC}}{\varepsilon_{CC}} + \frac{r_{UC}\varphi_{UC}}{\varepsilon_{UC}} \right) + \pi_{CC} f_d w_C + \pi_{UC} f_x w_C.$$

模型在“垄断模式”情形下关于数据中间商的相关设定未发生变化，但“垄断模式”下数据中间商的成本加成率参数值变化为 $\mu = \left(\frac{o - os}{o - os - 1} \right)$ 。

基于上述设定，我们在此复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”与第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

表 VIII1 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容，具体数值相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，寡头模式下的两国福利均高于垄断模式下的大小。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

表 VIII1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 寡头模式						
原始数据禁止流动	国家C	1.15	1.30	0.30	1.00	2.27
	国家U	1.15	1.30	0.30	1.00	2.27
原始数据自由流动	国家C	1.32	1.30	0.30	1.00	1.97
	国家U	1.32	1.30	0.30	1.00	1.97
Panel B 垄断模式						
原始数据禁止流动	国家C	0.86	1.34	0.00	0.90	2.62
	国家U	1.03	1.13	0.58	1.00	2.62
原始数据自由流动	国家C	0.97	1.34	0.00	0.90	2.32
	国家U	1.17	1.13	0.58	1.00	2.32

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家U实施单边贸易保护政策”与第二节“国家C实施单边贸易保护政策”。具体如图 VIII1 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下国家U征收的最优关税高于寡头模式下的最优关税。

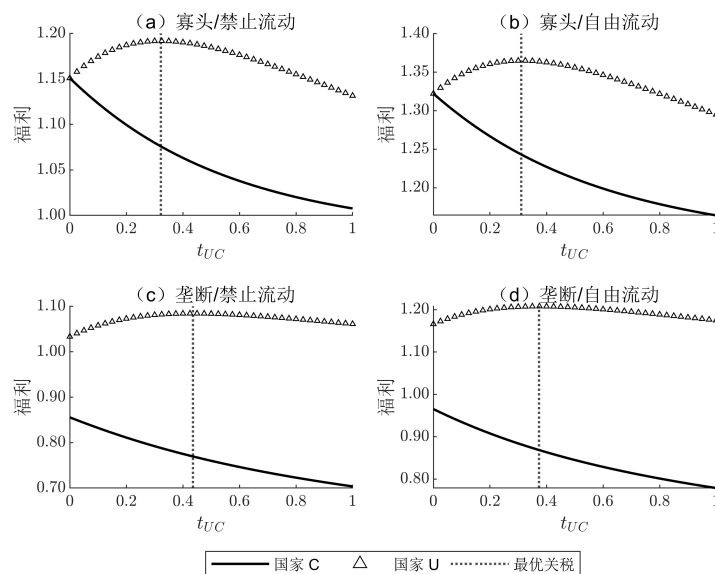


图 VIII1 国家U征收单边进口关税时两国的福利变化

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。具体如表 VIII2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 VIII2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

	国家	纳什关税	福利	商品利润	数据利润	关税	工资	价格指数
Panel A 寡头模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.26	1.11	1.30	0.30	0.68	1.00	2.5
	国家U	0.26	1.11	1.30	0.30	0.68	1.00	2.5
原始数据自由流动	国家C	0.25	1.28	1.30	0.30	0.45	1.00	2.16
	国家U	0.25	1.28	1.30	0.30	0.45	1.00	2.16
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.18	0.78	1.13	0.00	1.10	0.75	2.50
	国家U	0.45	1.04	1.16	0.53	1.12	1.00	2.89
原始数据自由流动	国家C	0.24	0.89	1.21	0.00	0.81	0.81	2.36
	国家U	0.35	1.15	1.15	0.55	0.79	1.00	2.57

（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与最优关税”，呈现了当国家C算力进步时，两国的商品贸易赤字及相应的福利。具体结果详见图 VIII2，本文核心结论依然保持稳健。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

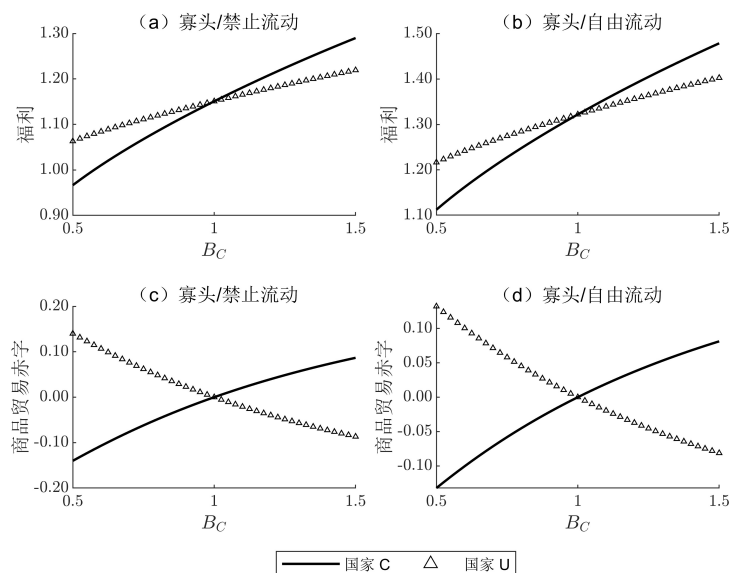


图 VIII2 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化

2. 算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 VIII3，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始

数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

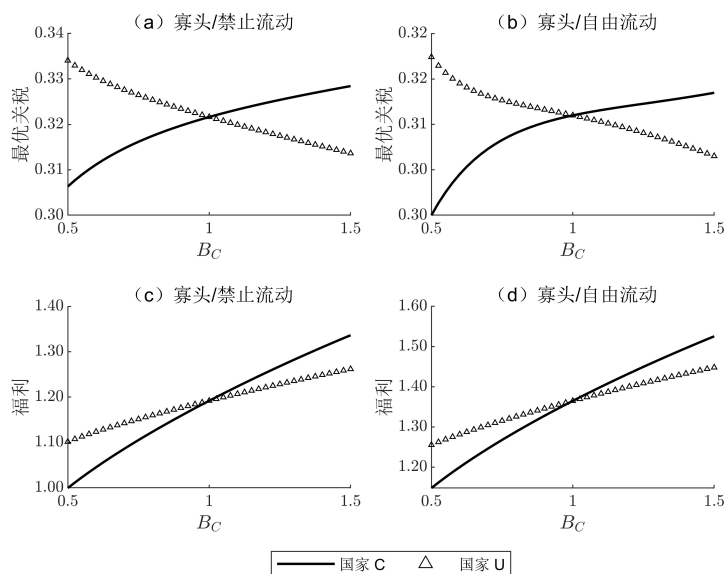


图 VIII3 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 VIII4，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

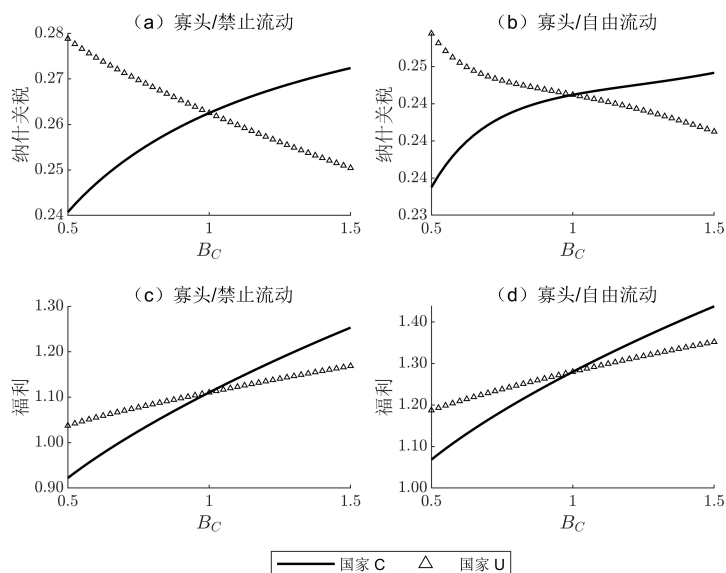


图 VIII4 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利

附录 IX 稳健性检验：考虑原始数据分享下的隐私成本负外部性

尽管我们在正文理论模型中设定数据中间商雇佣劳动力对原始数据进行脱敏,但考虑到现有脱敏技术可能不能完全实现对消费者隐私的保护,因此我们进一步假设数据中间商对消费者原始数据的使用会使其产生效用损失。

现有文献研究表明,消费者之间存在隐私负外部性,即一些消费者的数据分享将同时揭示其他消费者的个人信息。这种负外部性降低了单个数据的价值,因为一旦某些消费者泄露了其个体数据,其他消费者保护他们的数据和隐私的动机将下降。因此,企业可以以零边际成本获得消费者数据,并且导致数据收集过度(Acquisti et al., 2016; Choi et al., 2019; Ichihashi, 2021a; 2021b; Acemoglu et al., 2022)。基于此,我们并未刻画消费者和数据中间商之间原始数据的交易行为,而是假设数据中间商可以免费获得原始数据,但原始数据的使用将对消费者的效用函数带来负外部性。具体地,我们将国家C代表性消费者的效用函数设定如下:

$$U_C = \left[\int_0^1 x_C(\omega)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} d\omega \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \left[\frac{1}{1 + (\zeta^{-1} D_C^{\text{share}})^2} \right],$$

其中, $x_C(\omega)$ 为国家C消费者对连续商品 ω 的需求,其来源于两国成本最低的供应商。 σ 为商品间的替代弹性。 D_C^{share} 为国家C泄露的总原始数据。隐私因子 ζ 衡量了一国对减少原始数据分享的支付意愿,其数值越高,意味着该国对隐私泄露的承受能力越强,隐私泄露对居民产生的负面影响越小。上式第一个括号中的内容衡量消费者消费最终品的效用,第二个括号中的内容则为全国总原始数据的泄露给消费者带来的负效用(disutility)。对于每个消费者而言,隐私泄露是一种负外部性,因此在效用最大化的决策过程中可视为外生给定。

求解效用最大化问题，国家C消费者对商品 ω 的需求数量可以写作：

$$x_C(\omega) = \left[\frac{p_C(\omega)}{P_C} \right]^{-\sigma} Q_C,$$

其中， $p_C(\omega)$ 是国家C商品 ω 的价格。 $Q_C \equiv U_C$ 为国家C消费者消费连续商品的 CES 加总。 P_C 为国家C的价格指数，具体形式为：

$$P_C = \left[\int_0^1 p_C(\omega)^{1-\sigma} d\omega \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}.$$

本文以实际收入来衡量一国的福利。由 CES 效用函数的性质可知，国家C的间接效用函数与其实际收入相等，具体如下：

$$W_C = \frac{I_C}{P_C} \left[\frac{1}{1 + (\zeta^{-1} D_C^{\text{share}})^2} \right],$$

其中， I_C 为国家C的名义收入。上式说明国家C的福利水平取决于居民的实际收入 $\frac{I_C}{P_C}$ 以及数据

泄露的隐私损害程度 $\left[\frac{1}{1 + (\zeta^{-1} D_C^{\text{share}})^2} \right]$ 。为了便于表述，本文将 $\left[\frac{1}{1 + (\zeta^{-1} D_C^{\text{share}})^2} \right]$ 定义为隐私（负）外部性。

由于原始数据的隐私外部性仅直接影响消费者的效用，对商品生产者和数据中间商毫无影响，因此模型其他部分与正文保持一致，故在此不再赘述。

对于参数 ζ ，我们分别考虑了 $\zeta = 2$ （高隐私成本）、 $\zeta = 10$ （中等隐私成本）和 $\zeta = 100$ （低隐私成本）三种情形。值得注意的是，为了保证效用函数的良好性质， ζ 取值不能太小。其他参数设定与正文一致。在此基础上，我们在本附录中复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”和第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。研究结果表明，考虑隐私成本负外部性的稳健性后，定量结果仅在数值上与正文结果有细微差别，本文的核心研究结论依然保持稳健。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

我们使用不同程度的隐私成本复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容。结果如表 IX1 所示，相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，当 $\zeta > 2$ 时，给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利；给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。有趣的是，在隐私成本过高（ $\zeta = 2$ ）时，国家C在垄断模式下的福利反而高于竞争模式；同时，在垄断模式下，禁止原始数据跨境流动所带来的福利也高于自由流动情形。该结果表明，过高的隐私成本可能使数据自由流动和数据过多生产带来的隐私损失超过其潜在收益。

表 IX1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式 $\zeta = 2$						
原始数据禁止流动	国家C	0.87	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家U	0.87	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家C	0.93	1.25	0.25	1.00	1.86

	国家 U	0.93	1.25	0.25	1.00	1.86
Panel B 垄断模式 $\zeta = 2$						
原始数据禁止流动	国家 C	0.88	1.31	0	0.88	2.50
	国家 U	0.81	1.07	0.50	1	2.50
原始数据自由流动	国家 C	0.80	1.31	0	0.88	2.21
	国家 U	0.87	1.07	0.5	1	2.21
Panel C 竞争模式 $\zeta = 10$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.15	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家 U	1.15	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家 C	1.32	1.25	0.25	1.00	1.86
	国家 U	1.32	1.25	0.25	1.00	1.86
Panel D 垄断模式 $\zeta = 10$						
原始数据禁止流动	国家 C	0.88	1.31	0	0.88	2.50
	国家 U	1.02	1.07	0.50	1	2.50
原始数据自由流动	国家 C	0.98	1.31	0	0.88	2.21
	国家 U	1.15	1.07	0.50	1	2.21
Panel E 竞争模式 $\zeta = 100$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家 U	1.17	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家 C	1.34	1.25	0.25	1.00	1.86
	国家 U	1.34	1.25	0.25	1.00	1.86
Panel F 垄断模式 $\zeta = 100$						
原始数据禁止流动	国家 C	0.88	1.31	0	0.88	2.50
	国家 U	1.03	1.07	0.50	1	2.50
原始数据自由流动	国家 C	0.99	1.31	0	0.88	2.21
	国家 U	1.16	1.07	0.50	1	2.21

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们使用不同程度的隐私成本复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。具体如表 IX2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下国家 U 征收的最优关税高于竞争模式下的最优关税。

表 IX2 稳健性检验：不同原始数据权重下的最优关税与福利

		$\zeta = 2$		$\zeta = 10$		$\zeta = 100$	
		关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式							
原始数据禁止流动	国家 C	0.33	0.89	0.33	1.19	0.33	1.21
	国家 U	0.33	0.89	0.33	1.19	0.33	1.21

原始数据自由流动	国家C	0.33	0.94	0.33	1.36	0.33	1.39
	国家U	0.33	0.94	0.33	1.36	0.33	1.39
Panel B 垄断模式							
原始数据禁止流动	国家C	0.30	0.90	0.30	0.90	0.30	0.90
	国家U	0.47	0.84	0.47	1.07	0.47	1.08
原始数据自由流动	国家C	0.33	0.81	0.33	1.02	0.33	1.03
	国家U	0.40	0.89	0.40	1.19	0.40	1.21

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。具体如表 IX3 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 IX3 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

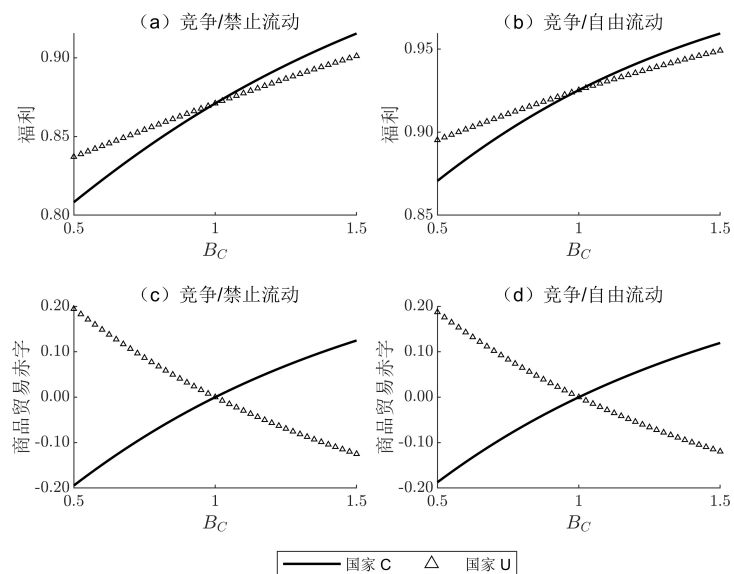
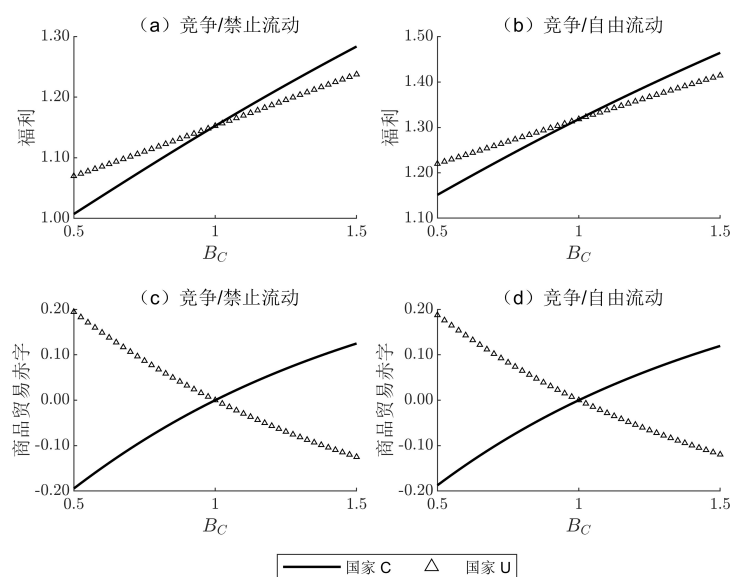
		国家	$\zeta = 2$		$\zeta = 10$		$\zeta = 100$	
			关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.28	0.85	0.28	1.11	0.28	1.12	
	国家 U	0.28	0.85	0.28	1.11	0.28	1.12	
原始数据自由流动	国家 C	0.27	0.91	0.27	1.27	0.27	1.29	
	国家 U	0.27	0.91	0.27	1.27	0.27	1.29	
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.17	0.79	0.17	0.79	0.17	0.79	
	国家 U	0.50	0.82	0.50	1.03	0.50	1.04	
原始数据自由流动	国家 C	0.23	0.75	0.23	0.90	0.23	0.90	
	国家 U	0.40	0.86	0.40	1.14	0.40	1.15	

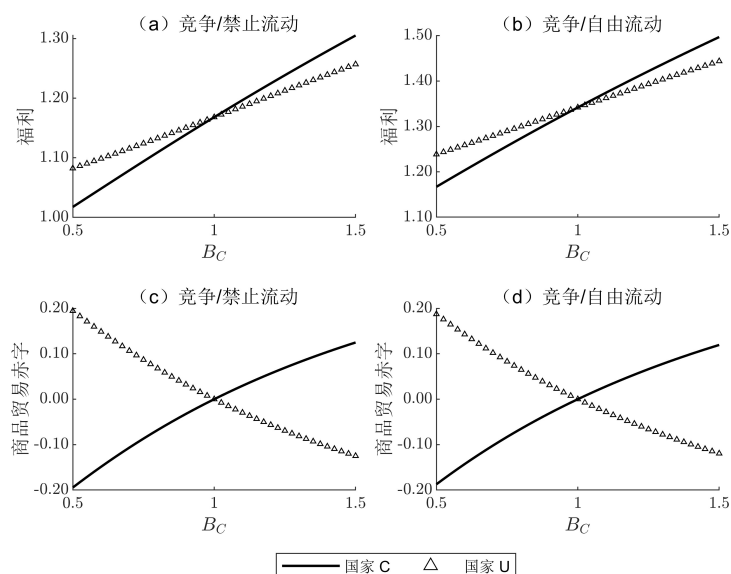
（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们使用不同程度的隐私成本复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

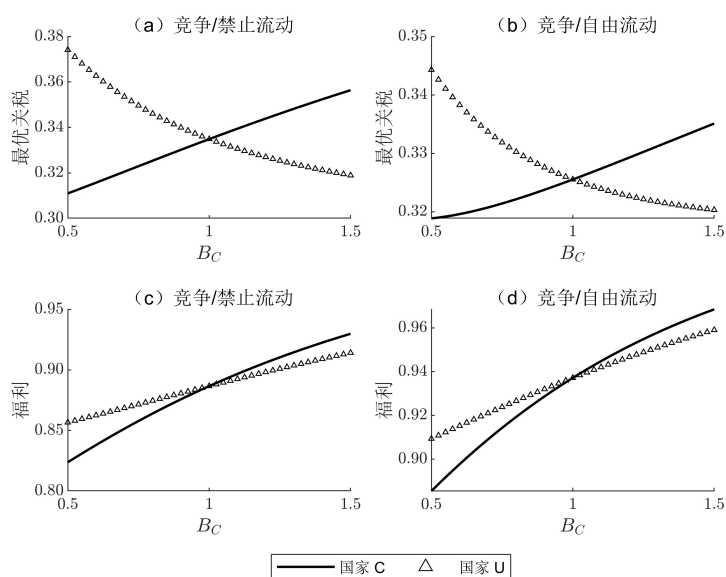
本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与最优关税”，呈现了当国家C算力进步时，两国的商品贸易赤字及相应的福利。具体结果详见图 IX1 至 IX3，本文核心结论依然保持稳健。

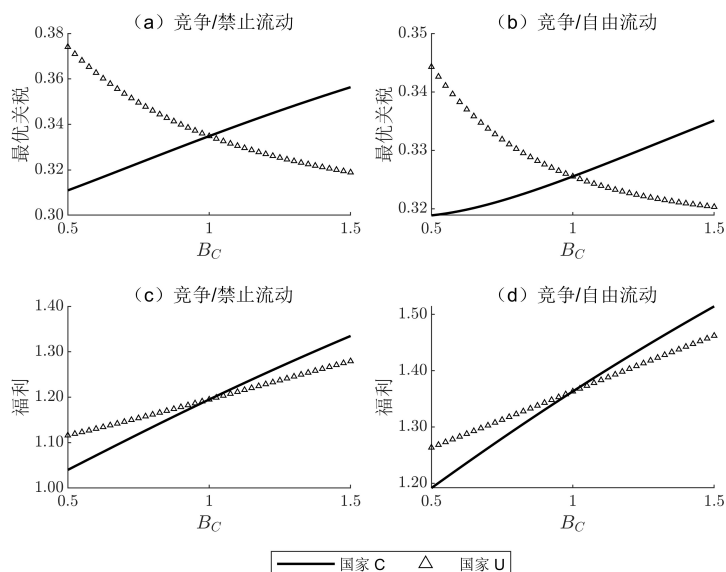
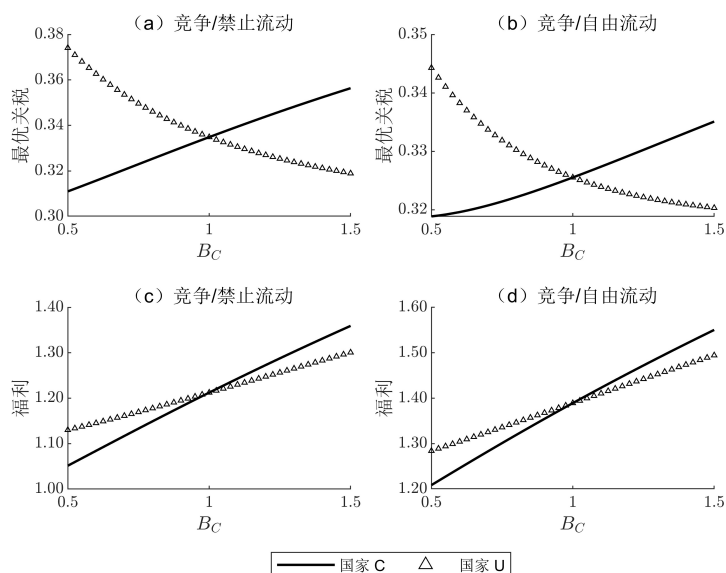
图 IX1 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\zeta = 2$)图 IX2 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\zeta = 10$)

图 IX3 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\zeta = 100$)

2. 算力比较优势与最优关税

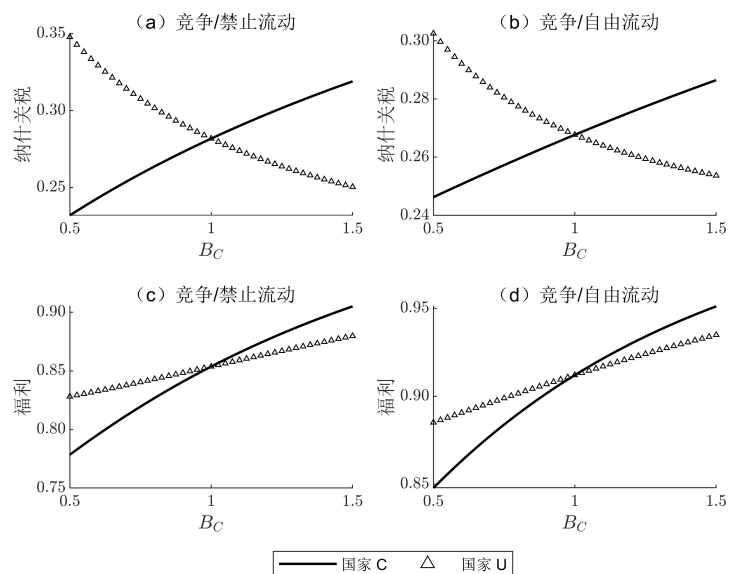
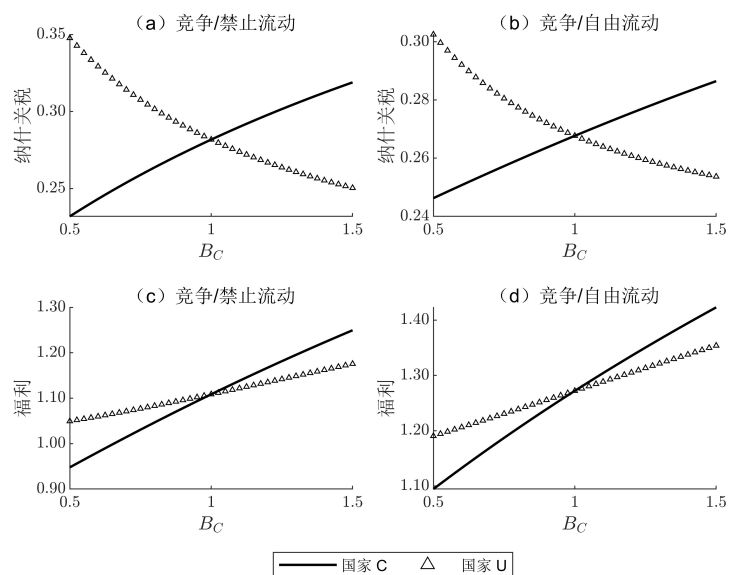
本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 IX4 至 IX6，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

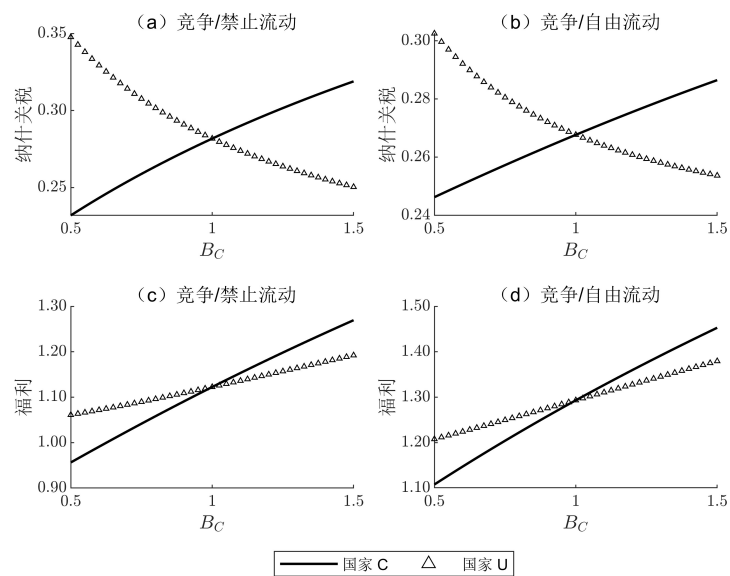
图 IX4 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\zeta = 2$)

图 IX5 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\zeta = 10$)图 IX6 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\zeta = 100$)

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 IX7 至 IX9，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

图 IX7 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\zeta = 2$)图 IX8 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\zeta = 10$)

图 IX9 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\zeta = 100$)

附录 X 稳健性检验：考虑贸易不平衡

本附录在正文的基础上，进一步考虑了国际收支不平衡这一现实问题。出于简洁，我们在此仅呈现区别于正文理论模型设定的内容。

假设存在外生的国际收支不平衡 Y_U ，其与国家 U 的收入相关，满足 $Y_U = vX_U > 0$ 。因此，国家 C 的商品市场出清条件变化为：

$$X_C = I_C = w_C L_C + \Pi_C + M_C + R_C + Y_C.$$

国家 U 的商品市场出清条件变化为：

$$X_U = I_U = w_U L_U + \Pi_U + M_U + R_U + Y_U.$$

参考 Caliendo and Parro (2015)，假设全球收支平衡，因此 $Y_C = -Y_U$ 。在此背景下，国家 C 的贸易收支平衡条件变化为：

$$\frac{\pi_{CU} X_C}{1 + t_{CU}} + r_{CU} \varphi_{CU} + Y_U = \frac{\pi_{UC} X_U}{1 + t_{UC}} + r_{UC} \varphi_{UC}.$$

国家 U 的贸易收支平衡条件变化为：

$$\frac{\pi_{CU} X_C}{1 + t_{CU}} + r_{CU} \varphi_{CU} + Y_U = \frac{\pi_{UC} X_U}{1 + t_{UC}}.$$

对于参数 v ，我们参考实际数据进行校准。美国普查局数据显示，2022 年美国对中国的商品贸易逆差约为 3829 亿美元，占美国 GDP（约 25.5 万亿美元）的 1.5%。鉴于此，我们设定参数 v 的取值为 0.015。其他参数设定与正文保持一致。在此基础上，我们在本附录中复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”和第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。研究结果表明，考虑国际收支不平衡后，定量结果仅在数值上与正文结果有细微的差别，本文的核心研究结论依然保持稳健。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

表 X1 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容，相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

表 X1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式						
原始数据禁止流动	国家 C	1.15	1.25	0.25	1.00	2.14
	国家 U	1.19	1.25	0.25	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家 C	1.32	1.25	0.25	1.00	1.86
	国家 U	1.36	1.25	0.25	1.00	1.86
Panel B 垄断模式						
原始数据禁止流动	国家 C	0.86	1.31	0	0.88	2.49
	国家 U	1.05	1.07	0.50	1	2.49
原始数据自由流动	国家 C	0.97	1.31	0	0.88	2.21
	国家 U	1.18	1.07	0.50	1	2.21

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。图 X1 与 X2 呈现了不同数据政策下，国家 U 和国家 C 分别征收单边进口关税时的福利变化。本文核心结论依然保持稳健：给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家 U 将征收更高的最优关税，且获得更高的福利。

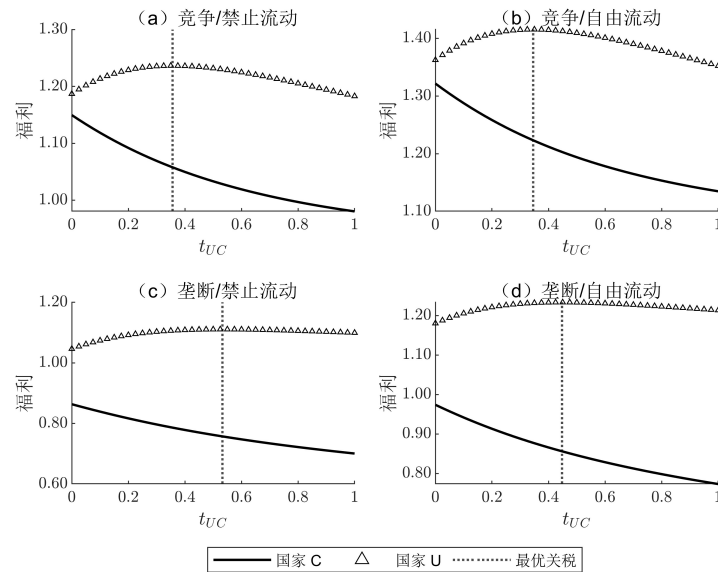


图 X1 国家 U 征收单边进口关税时两国的福利变化

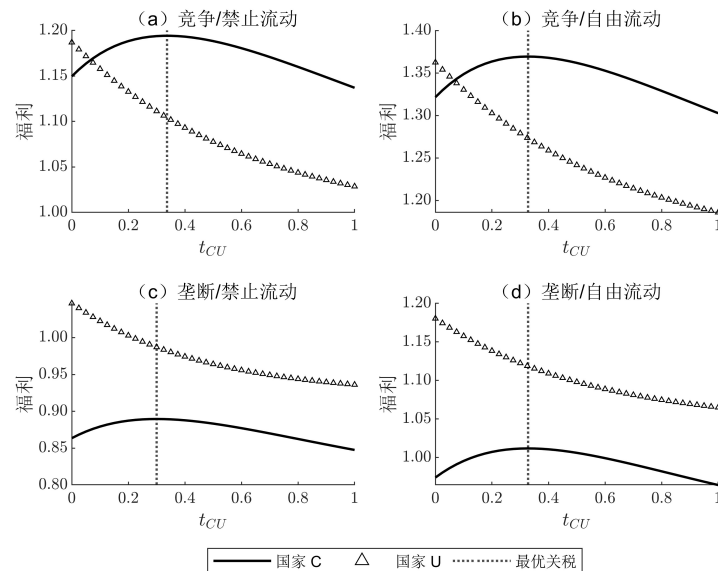


图 X2 国家 C 征收单边进口关税时两国的福利变化

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。具体如表 X2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家 U 将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 X2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

	国家	纳什关税	福利	商品利润	数据利润	关税	工资	价格指数
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.29	1.09	1.23	0.25	0.57	0.98	2.34
	国家U	0.31	1.14	1.25	0.25	0.57	1.00	2.37
原始数据自由流动	国家C	0.27	1.26	1.23	0.25	0.37	0.99	2.04
	国家U	0.29	1.32	1.25	0.25	0.38	1.00	2.06
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.17	0.75	0.99	0	0.92	0.66	2.18
	国家U	0.64	1.07	1.12	0.45	0.98	1	2.79
原始数据自由流动	国家C	0.22	0.86	1.09	0	0.70	0.72	2.11
	国家U	0.49	1.18	1.1	0.46	0.70	1	2.48

（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与福利”。图 X3 呈现了随着国家C算力提高时，两国的商品贸易赤字与福利变化。本文结论依然保持稳健。

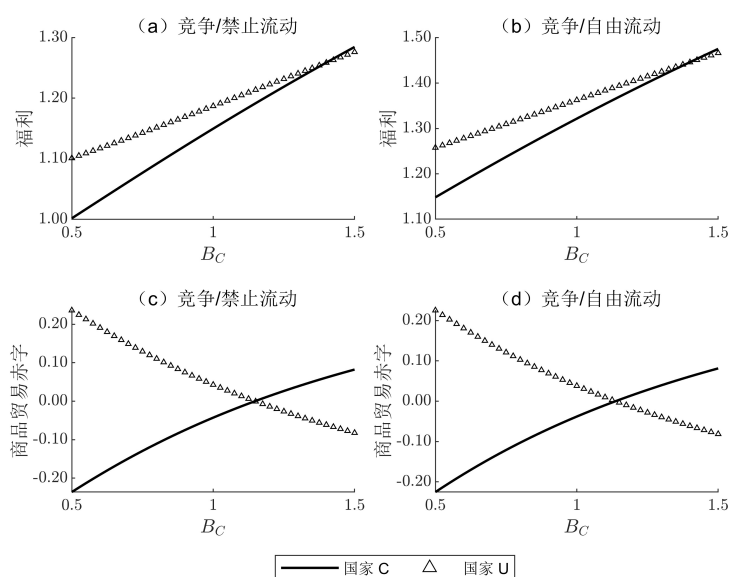


图 X3 国家C算力进步的福利变化

2. 算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 X4，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

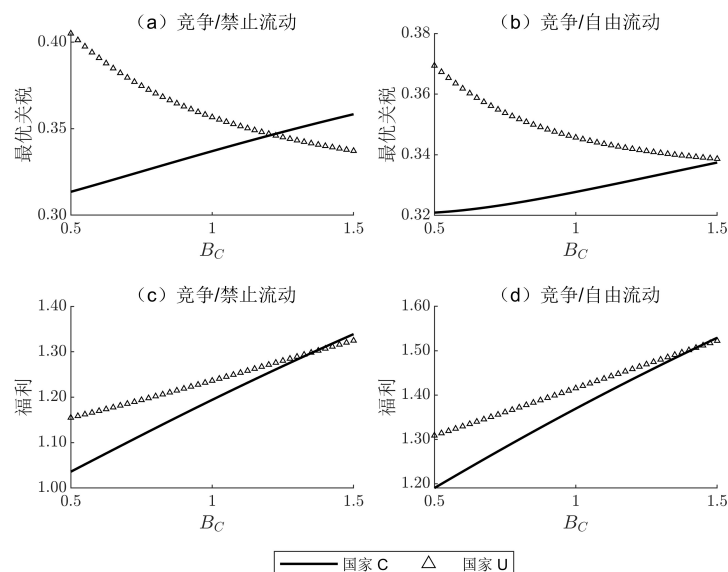


图 X4 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 X5，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

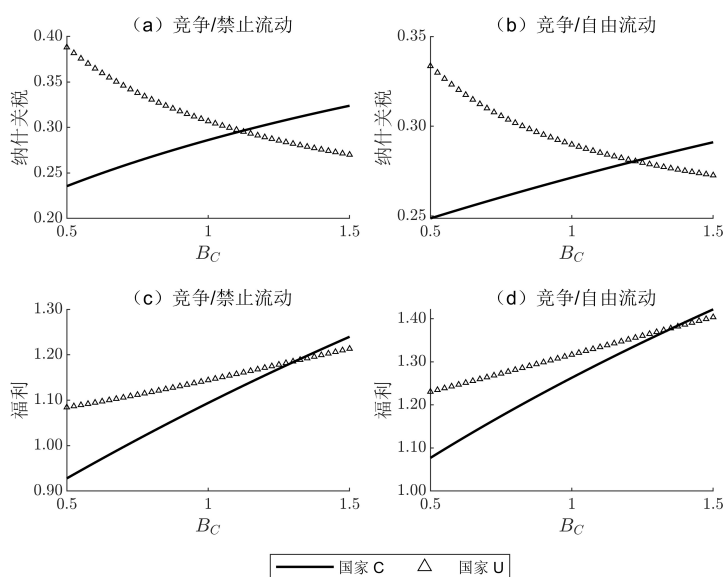


图 X5 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利

附录 XI 稳健性检验：考虑计价物部门

本附录通过引入可自由贸易的计价商品（numeraire）部门，进一步检验文章结论的稳健性。出于简洁，我们在此仅呈现区别于正文理论模型设定的内容。

消费者的偏好为 Cobb-Douglas 形式，包括制造业商品与非制造业商品。其中，制造业商品由连续的差异化商品构成，非制造业商品则为单一的同质性产品。国家 C 代表性消费者效用函数的具体形式为：

$$U_C = \left[\int_0^1 x_C(\omega)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} d\omega \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} Y_C^{1-\alpha},$$

其中， $x_C(\omega)$ 为国家 C 消费者对连续制造业商品 ω 的需求，其来源于两国成本最低的供应商。 Y_C 为非制造业商品的数量。 $\sigma > 1$ 为制造业商品间的替代弹性。 α 和 $1 - \alpha$ 分别为制造业商品和非制造业商品的 Cobb-Douglas 消费份额。

国家 C 消费者对商品 ω 的需求数量为：

$$x_C(\omega) = \frac{[p_C(\omega)]^{-\sigma}}{P_C^{1-\sigma}} \alpha I_C,$$

其中， $p_C(\omega)$ 是国家 C 商品 ω 的价格。 I_C 为国家 C 的名义收入， αI_C 为国家 C 消费者消费制造业商品的支出。 P_C^M 为国家 C 制造业商品的价格指数，具体形式为：

$$P_C^M = \left[\int_0^1 p_C(\omega)^{1-\sigma} d\omega \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}.$$

本文以实际收入来衡量一国的福利。由 CES 效用函数的性质可知，国家 C 的间接效用函数与其实际收入相等，具体如下：

$$W_C = \frac{I_C}{P_C^F},$$

其中， $P_C^F = \alpha^{-\alpha} (1 - \alpha)^{(\alpha-1)} (P_C)^\alpha (P_C^Y)^{1-\alpha}$ 表示最终品的价格， P_C 和 P_C^Y 分别为国家 C 制造业和非制造业商品的价格。

本文以非制造业商品作为计价物，假设非制造业商品生产中仅投入劳动要素，具有规模报酬不变的特征，可以在国家间自由贸易，且两国对其需求量足够大。这一假定意味着两国的工资均为 1。在此设定下，国家 C 在两种政策情形下可获得的原始数据 D_C 可以表述为：

$$D_C = \begin{cases} Q_C, & \text{禁止流动政策} \\ Q_C + Q_U, & \text{自由流动政策} \end{cases},$$

其中， $Q_C = \frac{\alpha X_C}{P_C}$ 表示制造业的总产出。

国家 C 的总收入 I_C 由工资、商品生产者利润 Π_C 、数据中间商利润 M_C 与关税 R_C 构成。因此，国家 C 的商品市场出清条件为：

$$X_C = I_C = w_C L_C + \Pi_C + M_C + R_C.$$

基于上述定义可知，国家 C 花费在两国制造业商品上的支出分别为 $X_{CC} = \pi_{CC} \alpha X_C$ 与 $X_{CU} = \pi_{CU} \alpha X_C$ 。此外，由于企业的成本加成率为 $\frac{\sigma}{\sigma-1}$ ，因此国家 C 的商品生产者销售至两国的

的利润分别为 $\frac{1}{\sigma} \alpha X_{CC}$ 和 $\frac{1}{\sigma(1+t_{UC})} \alpha X_{UC}$ 。进一步地，国家 C 商品生产者的总利润 Π_C 可写作：

$$\Pi_C = \frac{1}{\sigma(1+t_{UC})} \alpha X_{UC} - \pi_{UC} f_x w_C + \frac{1}{\sigma} \alpha X_{CC} - \pi_{CC} f_d w_C.$$

由于国家 C 的进口为 $\frac{\pi_{CU} \alpha X_C}{1+t_{CU}}$ ，因此国家 C 的关税收入为：

$$\mathcal{R}_C = \frac{t_{CU}}{1+t_{CU}} \pi_{CU} \alpha X_C.$$

国家 C 数据部门的出清条件为：

$$\begin{aligned} R_C \varphi_C &= \beta_C \frac{\sigma-1}{\sigma} \left(\pi_{CC} \alpha X_C + \frac{\pi_{UC} \alpha X_U}{1+t_{UC}} \right), \\ r_{CC} \varphi_{CC} &= \frac{r_{CC} \varphi_{CC}}{r_{CC} \varphi_{CC} + r_{CU} \varphi_{CU}} \times R_C \varphi_C = \chi_{CC} \left(\frac{r_{CC}}{R_C} \right)^{1-\sigma} \times \beta_C \frac{\sigma-1}{\sigma} \left(\pi_{CC} \alpha X_C + \frac{\pi_{UC} \alpha X_U}{1+t_{UC}} \right), \\ r_{CU} \varphi_{CU} &= \frac{r_{CU} \varphi_{CU}}{r_{CC} \varphi_{CC} + r_{CU} \varphi_{CU}} \times R_C \varphi_C = \chi_{CU} \left(\frac{r_{CU}}{R_C} \right)^{1-\sigma} \times \beta_C \frac{\sigma-1}{\sigma} \left(\pi_{CC} \alpha X_C + \frac{\pi_{UC} \alpha X_U}{1+t_{UC}} \right). \end{aligned}$$

国家 C 用于生产加工数据和制造业商品的劳动力收入为：

$$w_C(l_C^M + l_C^D) = \frac{\sigma-1}{\sigma} (1-\beta_C) \left(\pi_{CC} X_C + \frac{\pi_{UC} X_U}{1+t_{UC}} \right) + (1-\gamma) \left(\frac{r_{CC} \varphi_{CC}}{\varepsilon_{CC}} + \frac{r_{UC} \varphi_{UC}}{\varepsilon_{UC}} \right) + \pi_{CC} f_d w_C + \pi_{UC} f_x w_C,$$

其中， l_C^M 和 l_C^D 分别表示国家 C 用于生产制造业产品和加工数据的劳动力投入。进而，国家 C 用于生产非制造业商品的劳动力收入可以表示为：

$$w_C(L_C - l_C^M - l_C^D) = w_C l_C^Y.$$

因此，国家 C 生产非制造业商品与消费非制造业商品的差额为：

$$H_C = w_C l_C^Y - (1-\alpha) X_C.$$

国际贸易由制造业商品贸易、非制造业商品贸易和加工数据贸易和三部分组成。假设贸易收支平衡，因此国家 C 对制造业商品、非制造业商品和加工数据的总进口额等于总出口额，具体如下：

$$\frac{\pi_{CU} \alpha X_C}{1+t_{CU}} + r_{CU} \varphi_{CU} = \frac{\pi_{UC} \alpha X_U}{1+t_{UC}} + r_{UC} \varphi_{UC} + H_C.$$

我们模拟了 α 分别为 0.9/0.8/0.7 时的结果，其他参数取值与本文基准模型保持一致。在本附录中，我们复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”和第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。研究表明，考虑计价物部门后，定量结果仅在数值上与正文结果有细微的差别，本文的核心研究结论依然保持稳健。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

我们使用不同的 Cobb-Douglas 消费份额复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容。结果如表 XI1 所示，相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

表 XI1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式 $\alpha = 0.7$						
原始数据禁止流动	国家 C	0.55	0.60	0.12	1.00	2.14
	国家 U	0.55	0.60	0.12	1.00	2.14

原始数据自由流动	国家C	0.61	0.60	0.12	1.00	1.86
	国家U	0.61	0.60	0.12	1.00	1.86
Panel B 垄断模式 $\alpha = 0.7$						
原始数据禁止流动	国家C	0.44	0.61	0	1	2.64
	国家U	0.51	0.61	0.26	1	2.64
原始数据自由流动	国家C	0.48	0.61	0	1	2.34
	国家U	0.56	0.61	0.26	1	2.34
Panel C 竞争模式 $\alpha = 0.8$						
原始数据禁止流动	国家C	0.63	0.77	0.15	1.00	2.14
	国家U	0.63	0.77	0.15	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家C	0.71	0.77	0.15	1.00	1.86
	国家U	0.71	0.77	0.15	1.00	1.86
Panel D 垄断模式 $\alpha = 0.8$						
原始数据禁止流动	国家C	0.50	0.78	0	1	2.64
	国家U	0.59	0.78	0.33	1	2.64
原始数据自由流动	国家C	0.55	0.78	0	1	2.34
	国家U	0.65	0.78	0.33	1	2.34
Panel E 竞争模式 $\alpha = 0.9$						
原始数据禁止流动	国家C	0.79	0.98	0.20	1.00	2.14
	国家U	0.79	0.98	0.20	1.00	2.14
原始数据自由流动	国家C	0.90	0.98	0.20	1.00	1.86
	国家U	0.90	0.98	0.20	1.00	1.86
Panel F 垄断模式 $\alpha = 0.9$						
原始数据禁止流动	国家C	0.60	0.99	0	1	2.63
	国家U	0.73	0.99	0.42	1	2.63
原始数据自由流动	国家C	0.67	0.99	0	1	2.34
	国家U	0.81	0.99	0.42	1	2.34

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家U实施单边贸易保护政策”与第二节“国家C实施单边贸易保护政策”。具体如表 XI2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下国家U征收的最优关税高于竞争模式下的最优关税，而国家C征收的最优关税仍低于国家U的关税。

表 XI2 不同原始数据权重下的最优关税与福利

表 11 不同原始数据禁止流动下的关税与福利							
国家	$\alpha = 0.7$		$\alpha = 0.8$		$\alpha = 0.9$		
	关税	福利	关税	福利	关税	福利	
Panel A 竞争模式							
原始数据禁止流动	国家C	0.35	0.57	0.37	0.66	0.40	0.83

原始数据自由流动	国家 U	0.35	0.57	0.37	0.66	0.40	0.83
	国家 C	0.35	0.62	0.36	0.74	0.38	0.94
	国家 U	0.35	0.62	0.36	0.74	0.38	0.94
Panel B 垄断模式							
原始数据禁止流动	国家 C	0.33	0.45	0.33	0.51	0.34	0.62
	国家 U	0.37	0.53	0.41	0.61	0.44	0.77
原始数据自由流动	国家 C	0.34	0.50	0.36	0.57	0.37	0.70
	国家 U	0.35	0.58	0.37	0.67	0.39	0.85

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。具体如表 XI3 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 XI3 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

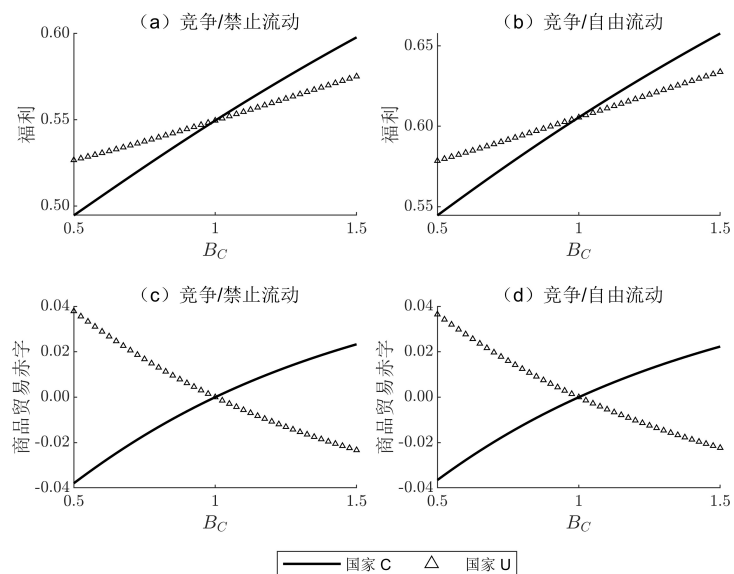
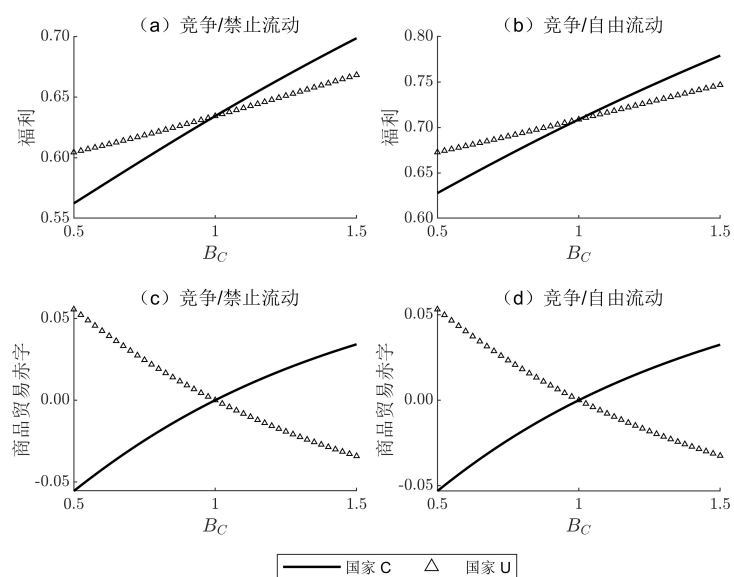
		国家	$\alpha = 0.7$		$\alpha = 0.8$		$\alpha = 0.9$	
			关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.42	0.52	0.45	0.59	0.45	0.59	
	国家 U	0.42	0.52	0.45	0.59	0.45	0.59	
原始数据自由流动	国家 C	0.41	0.57	0.43	0.66	0.43	0.66	
	国家 U	0.41	0.57	0.43	0.66	0.43	0.66	
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.39	0.41	0.40	0.45	0.40	0.45	
	国家 U	0.44	0.49	0.49	0.56	0.49	0.56	
原始数据自由流动	国家 C	0.40	0.45	0.42	0.50	0.42	0.50	
	国家 U	0.42	0.53	0.45	0.62	0.45	0.62	

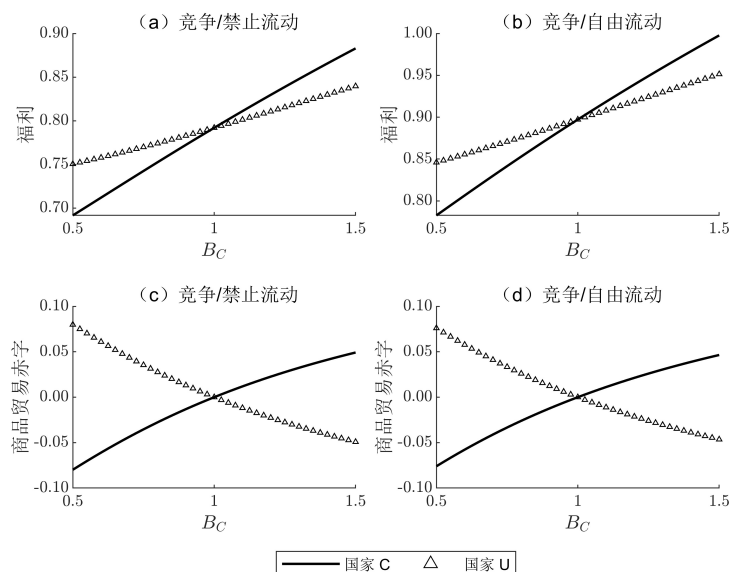
（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

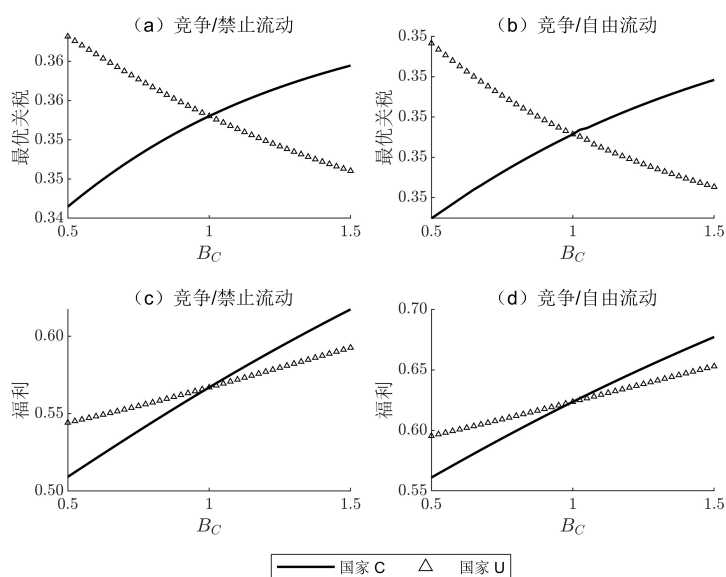
本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与最优关税”，呈现了当国家 C 算力进步时，两国的商品贸易赤字及相应的福利。具体结果详见图 XI1 至 XI3，本文核心结论依然保持稳健。

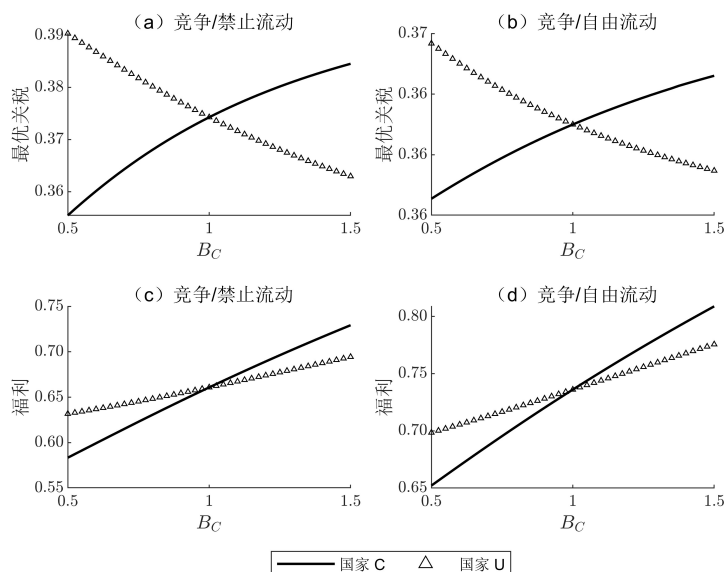
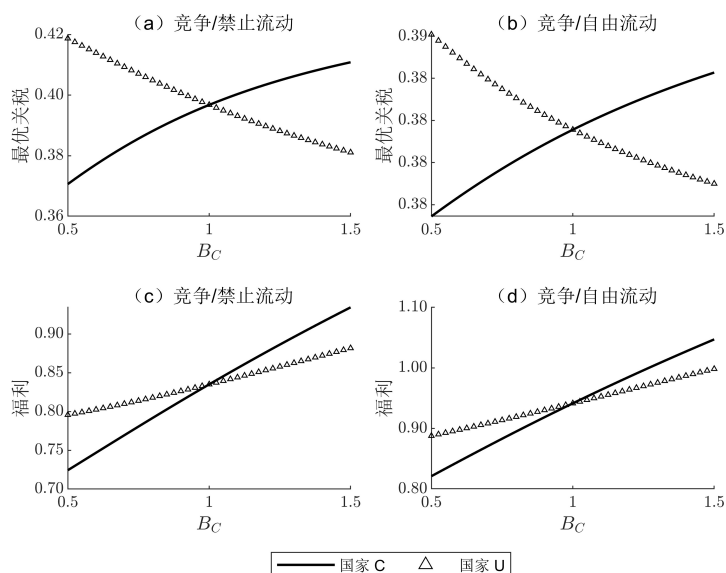
图 XI1 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\alpha = 0.7$)图 XI2 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\alpha = 0.8$)

图 XI3 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\alpha = 0.9$)

2. 算力比较优势与最优关税

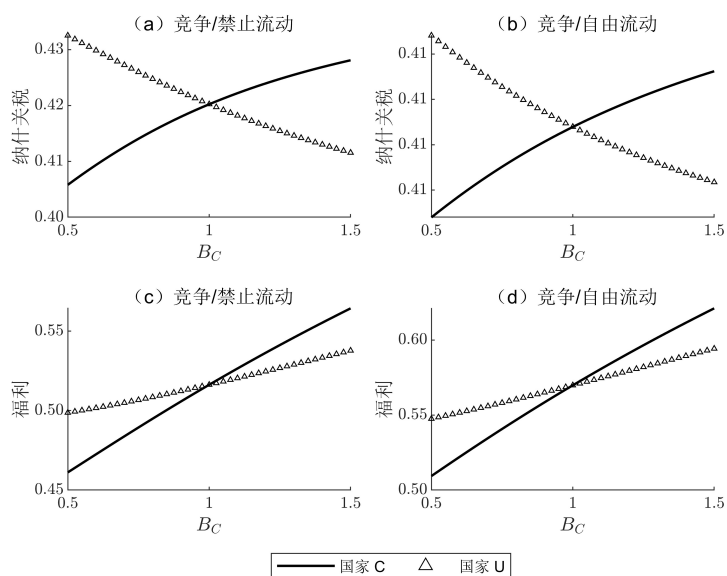
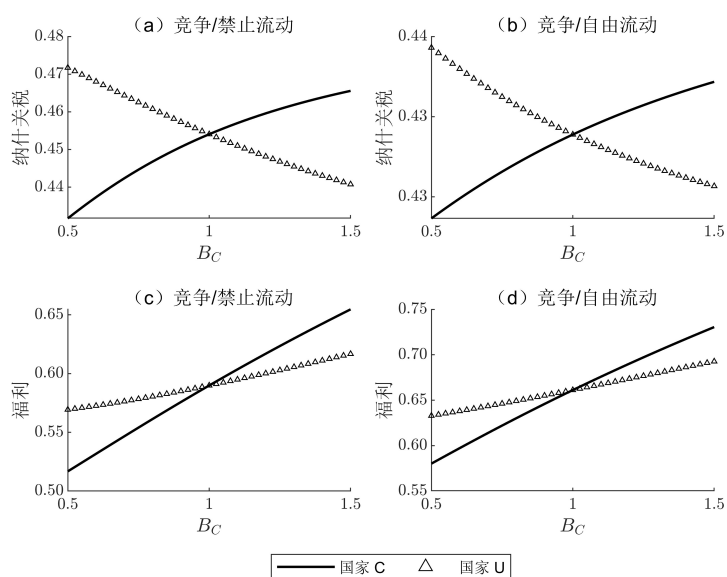
本小节对应正文中第五部分第(二)节“算力比较优势与最优关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 XI4 至 XI6，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

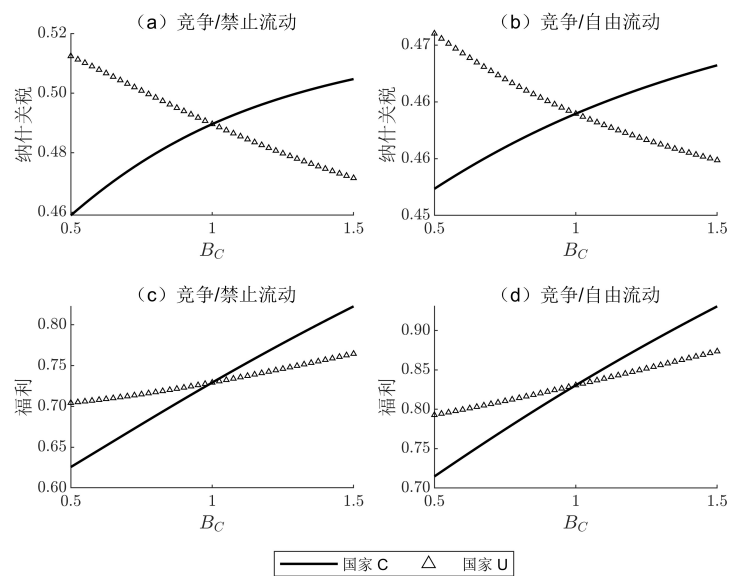
图 XI4 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\alpha = 0.7$)

图 XI5 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\alpha = 0.8$)图 XI6 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($\alpha = 0.9$)

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 XI7 至 XI9，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

图 X17 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\alpha = 0.7$)图 X18 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\alpha = 0.8$)

图 X19 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($\alpha = 0.9$)

附录 XII 稳健性检验：从数据中校准模型关键参数

为了更清晰地解读研究结果，因此我们在正文中采用对称的参数设定，而并未依据现实数据校准模型参数。这一处理方式的优势在于，文章中图片和表格的结果更具有可比性，从而便于呈现模型的核心机制以及经济学直觉。出于上述考量，我们在正文中进行了详实的定量分析，并在附录中汇报了丰富的稳健性检验结果，以论证文章研究结论的稳健性。在此，我们进一步使用现实数据来校准模型参数，使文章结论与现实更为贴合，以增强文章结论的稳健性、可靠性以及现实性。

本文的外生变量为 L_i ，需要校准的模型参数包括：商品部门劳动要素和加工数据的投入份额 $\{1 - \beta_i, \beta_i\}$ ，数据部门劳动要素和原始数据的投入份额 $\{1 - \gamma_i, \gamma_i\}$ ，数据部门的算力 B_i ，加工数据的替代弹性 σ ，市场进入的固定成本 f 以及冰山贸易成本 d_{ij} 。

关于商品部门劳动要素的投入份额 β ，我们根据实际数据进行计算。一方面，根据中国国家统计局公布的中国 2017 年投入产出表，计算得到中国商品部门劳动者报酬占增加值的份额 $1 - \beta_C = 0.514$ ，故设定加工数据的投入份额为 $\beta_C = 0.486$ 。同时，根据美国经济分析局公布的美国 2017 年投入产出表，计算得到其劳动投入份额 $1 - \beta_U = 0.552$ ，故设定加工数据的投入份额 $\beta_U = 0.448$ 。

对于数据部门劳动要素的投入份额 γ ，我们同样根据上述投入产出表数据进行计算。计算得到中国数据部门劳动者报酬占增加值的份额 $1 - \gamma_C = 0.371$ ，故加工数据的投入份额 $\gamma_C = 0.629$ ；计算得到美国数据部门劳动者报酬占增加值的份额 $1 - \gamma_U = 0.737$ ，故加工数据的投入份额 $\gamma_U = 0.263$ 。

对于算力 B_i ，我们依据现实数据进行校准。国际 TOP500 项目针对全球已安装的超级计算机做出排名与详细介绍，此项目始于 1993 年，每年更新两次最新的超级计算机排名列表。表 XIII1 为该项目于 2023 年 11 月颁布的第 62 期全球超级计算机排名前 500 所属的国家情况。我们依据算力的测试结果数据，将美国的算力 B_U 标准化为 1，得到中国的算力 $B_C = 0.11$ 。

表 XIII1 全球 TOP500 超级计算机算力和处理器核心数

排名	国家	数量	算力：测试结果	算力：理论峰值	处理器核心数
1	美国	161	3725850800	5711149171	40077020
2	中国	104	407239784	770545405	22605992
3	德国	36	256265750	391132706	4292044
4	日本	32	669834060	866458051	11374380
5	法国	23	173226000	249513264	3967832
6	英国	15	81707084	142086064	2048112
7	意大利	12	351758330	463799978	4427376
8	韩国	12	151323000	207845410	2021812
9	荷兰	10	86851320	150917140	921120
10	加拿大	10	41208360	71911529	845984

对于加工数据的替代弹性 σ ，我们依据数据中间商的定价表达式和实际数据进行校准。在“竞争模式”下，数据中间商的最优定价满足 $r = \frac{\sigma}{\sigma-1}c$ ，其中 c 为数据中间商生产单位加工

数据的成本，进而可以得到 $\frac{r\varphi}{c\varphi} = \left(\frac{\sigma}{\sigma-1}\right)$ ，其中 $r\varphi$ 和 $c\varphi$ 分别表示数据中间商的总收入和总成本。

一方面，根据公开数据，近年来阿里云的整体毛利率约为 30%~40%，据此可以推导加工数据的替代弹性 $\sigma \in [2.5, 3.33]$ 。此外，亚马逊云服务（Amazon Web Services, AWS）2023 年主

营业务收入 908 亿美元，营业利润 246 亿美元，同理推导得到替代弹性 $\sigma \approx 3.69$ 。鉴于此，我们将加工数据的替代弹性设定为 3。

对于劳动力规模 L_i 和市场进入的固定成本 f 。首先，我们依据世界银行的数据，得到 2017 年中国的人口规模为 13.96 亿，美国为 3.25 亿，因此设定 $L_C = 13.96$ ， $L_U = 3.25$ 。其次，我们参考 Jones and Tonetti（2020），假定企业进入市场需要投入 $f = 0.01$ 单位劳动力，由于劳动力单位以亿人计，这相当于 100 万人。

对于冰山贸易成本 d_{ij} ，我们参考 Tombe and Zhu（2019）进行计算。具体而言，我们利用 2017 年 OECD 贸易数据构建了国家间的贸易份额 π_{in} ，根据 $d_{CU} = \left(\frac{\pi_{CC}\pi_{UU}}{\pi_{CU}\pi_{UC}} \right)^{\frac{1}{2\theta}}$ 计算得到贸易成本 $d_{CU} = 3.156$ 。

在此基础上，我们在本附录中复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”和第五部分“突破路径模型：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。研究结果表明，使用现实数据重新计算后，研究结果仅在数值上与正文结果有细微的差别，本文的核心研究结论依然保持稳健。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

表 XII2 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容，具体数值相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

表 XII2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式						
原始数据禁止流动	国家C	5.37	5.03	0.92	0.21	1.64
	国家U	2.48	3.41	1.40	1.00	3.25
原始数据自由流动	国家C	6.37	5.08	0.91	0.21	1.40
	国家U	2.90	3.39	1.41	1.00	2.78
Panel B 垄断模式						
原始数据禁止流动	国家C	3.97	4.17	0.00	0.15	1.59
	国家U	2.19	2.90	1.69	1.00	3.58
原始数据自由流动	国家C	4.64	4.22	0.00	0.16	1.38
	国家U	2.52	2.89	1.70	1.00	3.11

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家U实施单边贸易保护政策”与第二节“国家C实施单边贸易保护政策”。图 XII1 呈现了不同数据政策下，国家U征收单边进口关税时的福利变化。本文核心结论依然保持稳健：给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家U将征收更高的最优关税，且获得更高的福利。

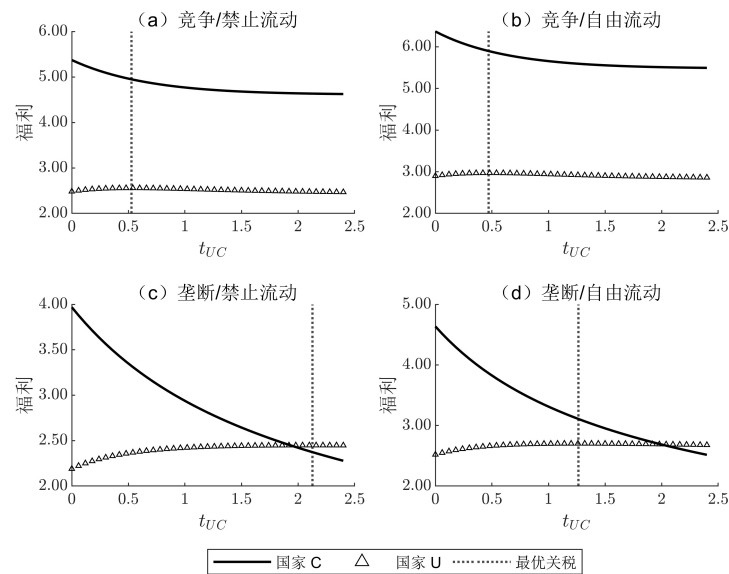


图 XII1 国家U征收单边进口关税时两国的福利变化

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。我们在此仅计算了国家C与国家U的纳什关税及其相应的福利。具体如表 XII3 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 XII3 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

	国家	纳什关税	福利	商品利润	数据利润	关税	工资	价格指数
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.34	4.95	3.37	0.85	1.1	0.14	1.26
	国家U	0.53	2.56	3.87	1.14	1.12	1	3.33
原始数据自由流动	国家C	0.33	5.90	3.55	0.88	0.8	0.15	1.11
	国家U	0.47	2.97	3.84	1.16	0.8	1	2.86
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家C	0.99	2.37	0.95	0	1.09	0.04	0.61
	国家U	2.13	2.45	3.89	1.13	1.55	1	3.78
原始数据自由流动	国家C	0.32	3.11	1.49	0	0.98	0.05	0.73
	国家U	1.26	2.70	3.73	1.22	1.22	1	3.37

（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与福利”。图 XII2 呈现了随着国家C算力提高时，两国的商品贸易赤字与福利变化。本文结论依然保持稳健。

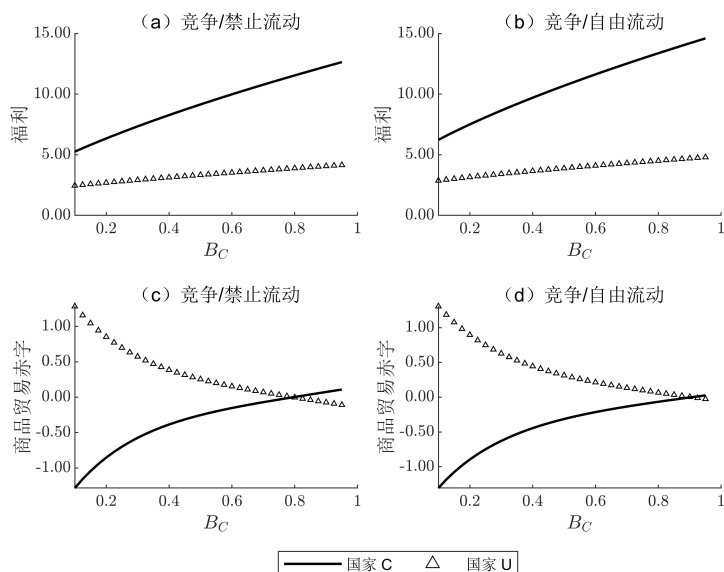


图 XII2 国家C算力进步的福利变化

2. 算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 XII3，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

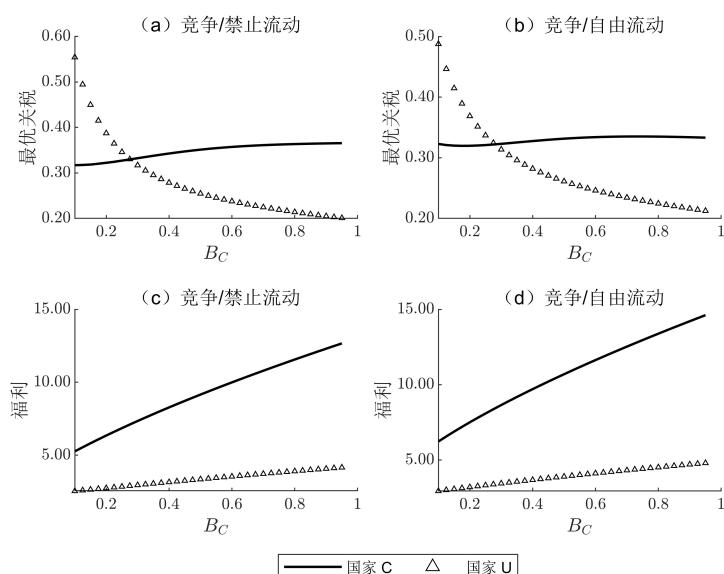


图 XII3 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 XII4，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

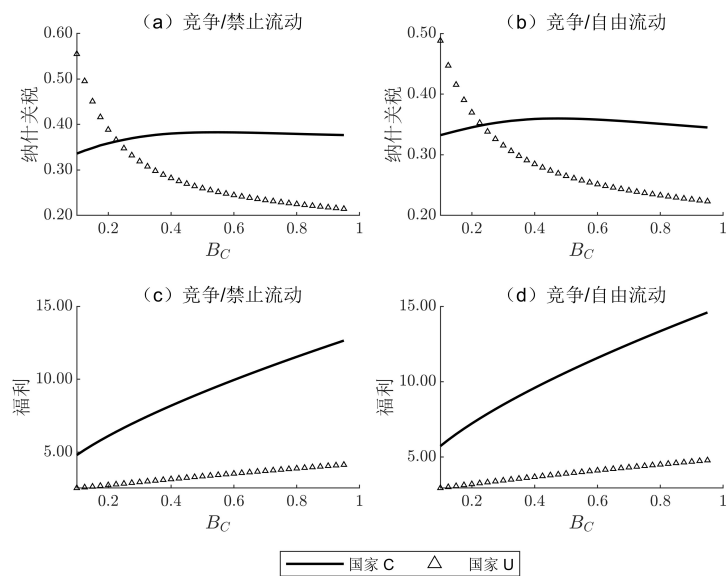


图 XII4 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利

附录 XIII 稳健性检验：加工数据替代弹性

在本附录中，我们检验了本文结论对不同加工数据替代弹性（ σ ）的稳健性结果。正文基准结果中，我们将本国与外国加工数据之间的替代弹性设定为 5。在此，我们呈现了加工数据替代弹性不同取值的结果，其他参数均保持不变。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

我们使用不同的加工数据替代弹性复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容。结果如表 XIII1 所示，相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。注意，垄断模式下仅有国家 U 存在数据中间商，因此该模式下的结果不受加工数据替代弹性的影响，故本文在此未呈现垄断模式的结果，具体详见正文表 2。

表 XIII1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式 $\sigma = 2$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.40	1.33	0.33	1.00	1.91
	国家 U	1.40	1.33	0.33	1.00	1.91
原始数据自由流动	国家 C	1.60	1.33	0.33	1.00	1.66
	国家 U	1.60	1.33	0.33	1.00	1.66
Panel B 竞争模式 $\sigma = 3$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.24	1.29	0.29	1.00	2.07
	国家 U	1.24	1.29	0.29	1.00	2.07
原始数据自由流动	国家 C	1.43	1.29	0.29	1.00	1.80
	国家 U	1.43	1.29	0.29	1.00	1.80
Panel C 竞争模式 $\sigma = 7$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.14	1.24	0.24	1.00	2.16
	国家 U	1.14	1.24	0.24	1.00	2.16
原始数据自由流动	国家 C	1.31	1.24	0.24	1.00	1.88
	国家 U	1.31	1.24	0.24	1.00	1.88
Panel D 竞争模式 $\sigma = 9$						
原始数据禁止流动	国家 C	1.13	1.23	0.23	1.00	2.17
	国家 U	1.13	1.23	0.23	1.00	2.17
原始数据自由流动	国家 C	1.30	1.23	0.23	1.00	1.89
	国家 U	1.30	1.23	0.23	1.00	1.89

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们使用不同的加工数据替代弹性复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。具体如表 XIII2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原

始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下国家 U 征收的最优关税高于竞争模式下的最优关税，而国家 C 征收的最优关税仍低于国家 U 的关税。

表 XIII2 不同加工数据替代弹性下的最优关税与福利

		国家	$\sigma = 2$		$\sigma = 3$		$\sigma = 7$		$\sigma = 9$	
			关税	福利	关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式										
原始数据禁止流动	国家C	0.33	1.45	0.33	1.29	0.34	1.19	0.34	1.18	
	国家U	0.33	1.45	0.33	1.29	0.34	1.19	0.34	1.18	
原始数据自由流动	国家C	0.32	1.66	0.32	1.48	0.33	1.36	0.33	1.35	
	国家U	0.32	1.66	0.32	1.48	0.33	1.36	0.33	1.35	
Panel B 垄断模式										
原始数据禁止流动	国家C	0.31	0.86	0.30	0.89	0.29	0.92	0.29	0.92	
	国家U	0.41	1.08	0.45	1.08	0.50	1.08	0.51	1.07	
原始数据自由流动	国家C	0.33	0.98	0.33	1.02	0.32	1.05	0.32	1.05	
	国家U	0.35	1.20	0.39	1.21	0.43	1.20	0.44	1.20	

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。具体如表 XIII3 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 XIII3 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

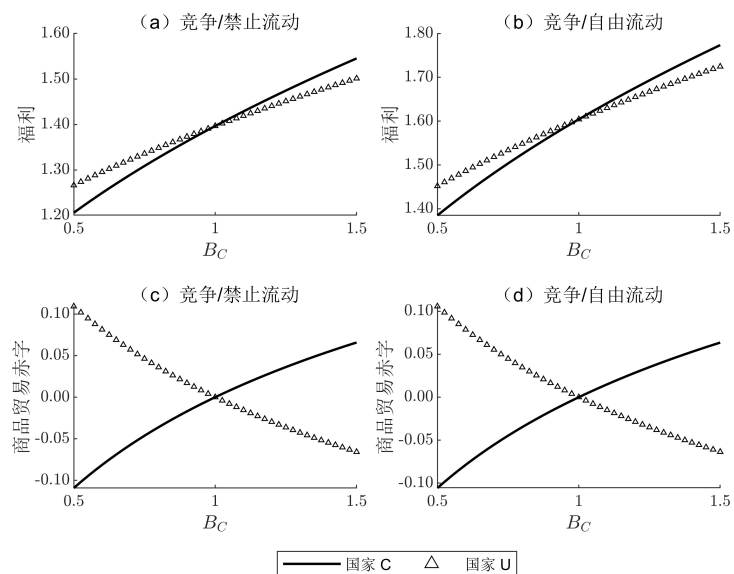
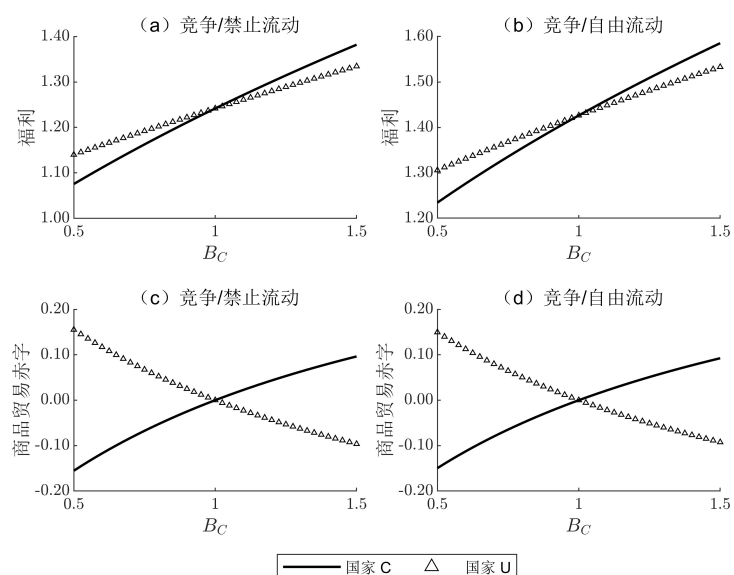
		国家	$o = 2$		$o = 3$		$o = 7$		$o = 9$	
			关税	福利	关税	福利	关税	福利	关税	福利
Panel A 竞争模式										
原始数据禁止流动	国家 C	0.26	1.35	0.27	1.20	0.29	1.10	0.29	1.09	
	国家 U	0.26	1.35	0.27	1.20	0.29	1.10	0.29	1.09	
原始数据自由流动	国家 C	0.26	1.55	0.26	1.38	0.27	1.27	0.27	1.25	
	国家 U	0.26	1.55	0.26	1.38	0.27	1.27	0.27	1.25	
Panel B 垄断模式										
原始数据禁止流动	国家 C	0.20	0.76	0.18	0.78	0.16	0.80	0.16	0.80	
	国家 U	0.41	1.03	0.47	1.04	0.55	1.03	0.57	1.03	
原始数据自由流动	国家 C	0.25	0.87	0.23	0.90	0.22	0.91	0.21	0.91	
	国家 U	0.31	1.14	0.38	1.15	0.45	1.15	0.47	1.14	

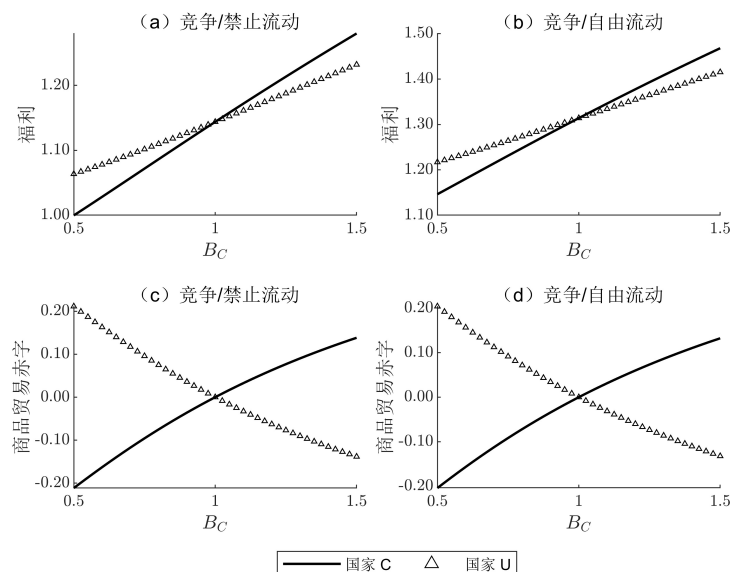
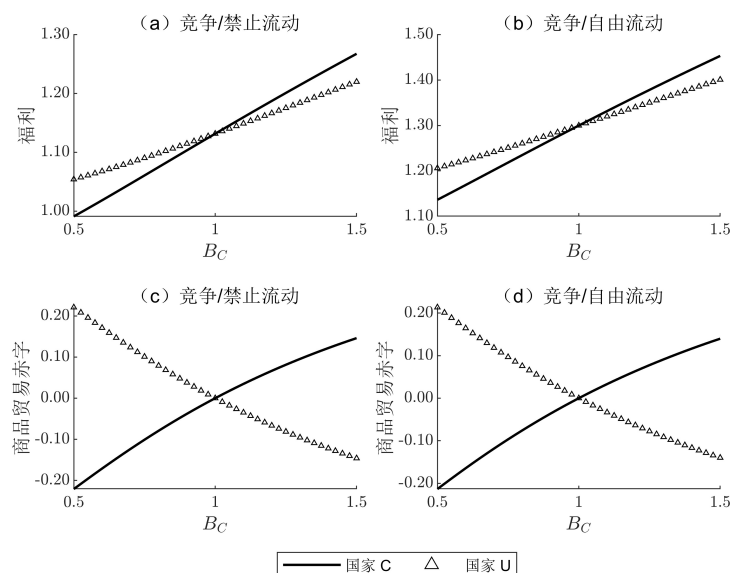
（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们使用不同的加工数据替代弹性复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

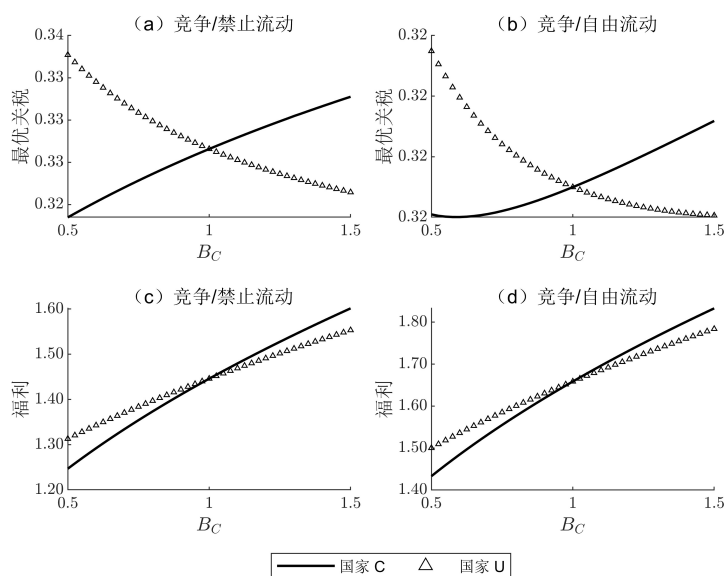
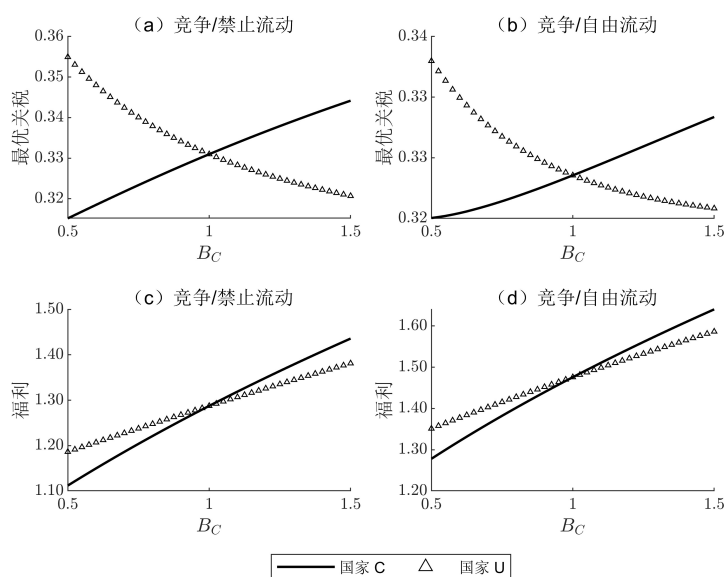
本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与最优关税”，呈现了当国家 C 算力进步时，两国的商品贸易赤字及相应的福利。具体结果详见图 XIII1 至 XIII4，本文核心结论依然保持稳健。

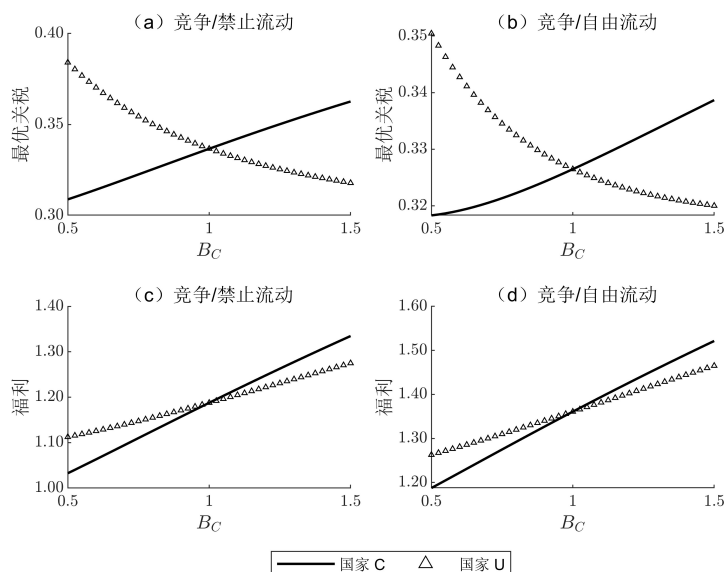
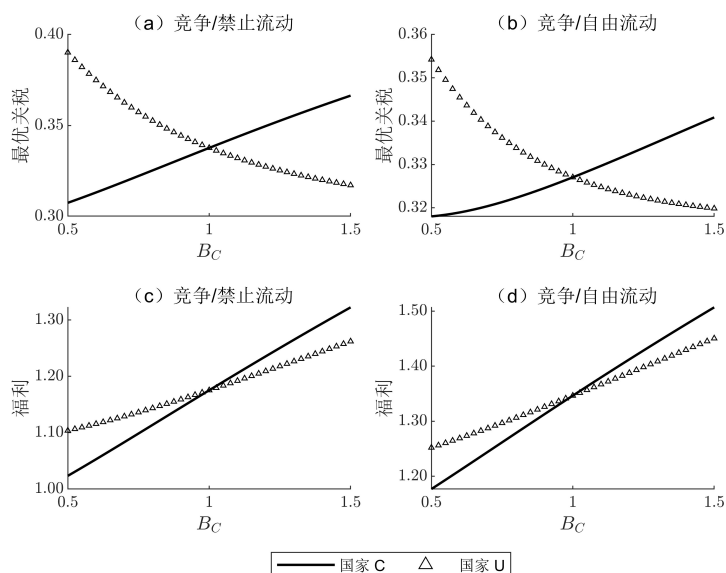
图 XIII1 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\sigma = 2$)图 XIII2 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($\sigma = 3$)

图 XIII3 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($o = 7$)图 XIII4 国家C算力进步的福利和商品贸易赤字变化 ($o = 9$)

2. 算力比较优势与最优关税

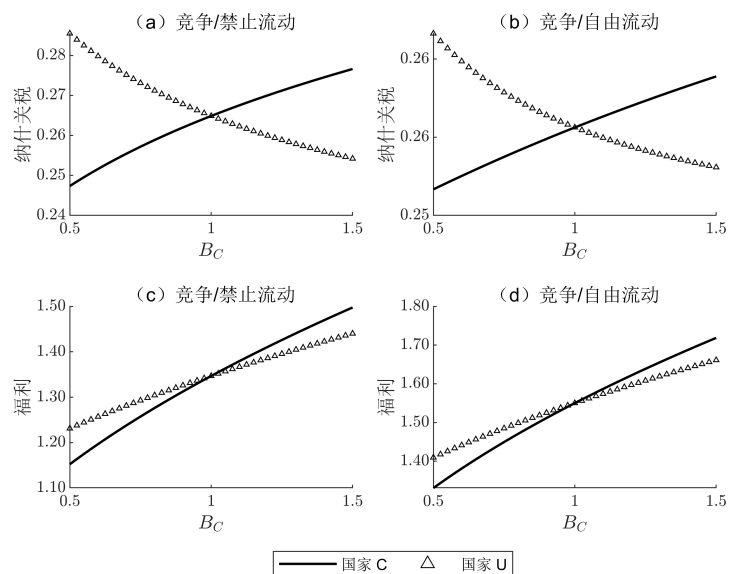
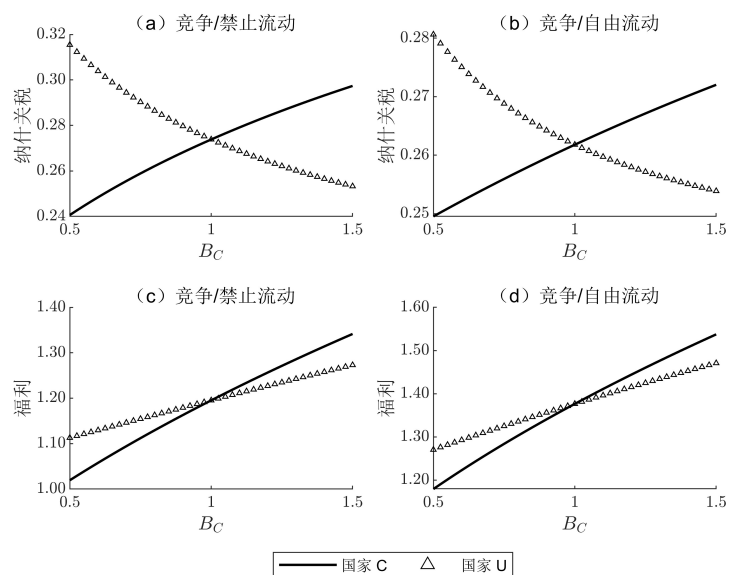
本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 XIII5 至 XIII8，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

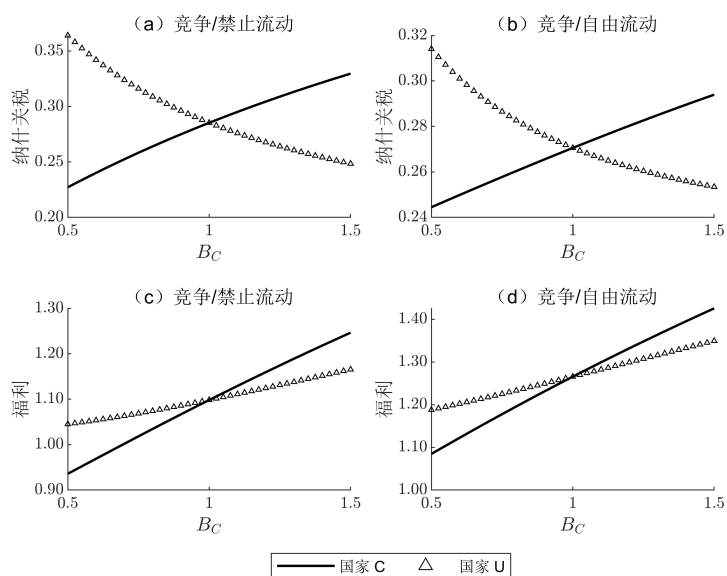
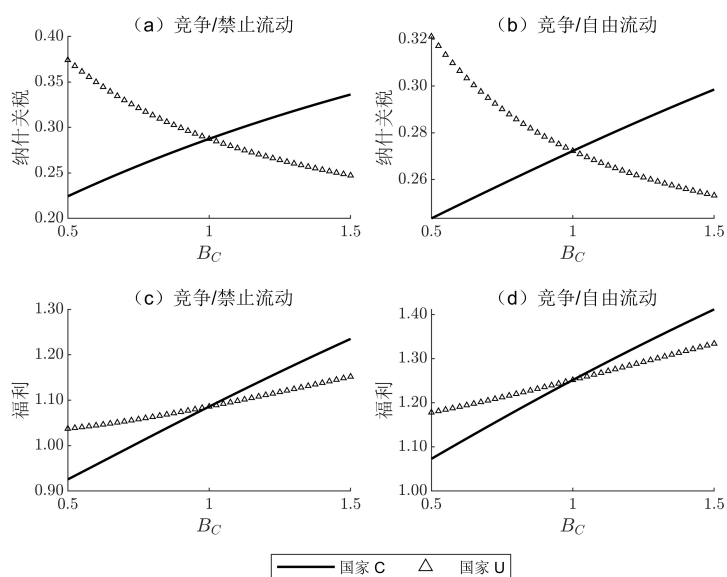
图 XIII5 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($o = 2$)图 XIII6 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($o = 3$)

图 XIII7 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($o = 7$)图 XIII8 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利 ($o = 9$)

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了不同加工数据替代弹性下各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 XIII9 至 XIII12，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

图 XIII9 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($o = 2$)图 XIII10 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($o = 3$)

图 XIII11 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($o=7$)图 XIII12 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利 ($o=9$)

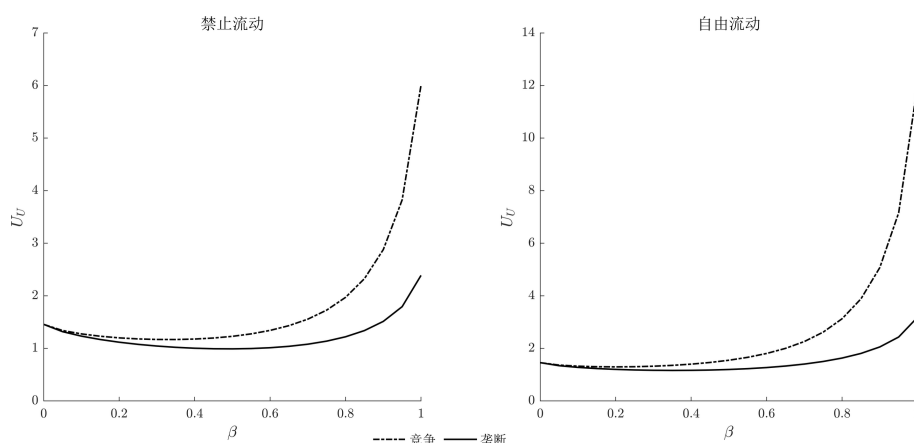
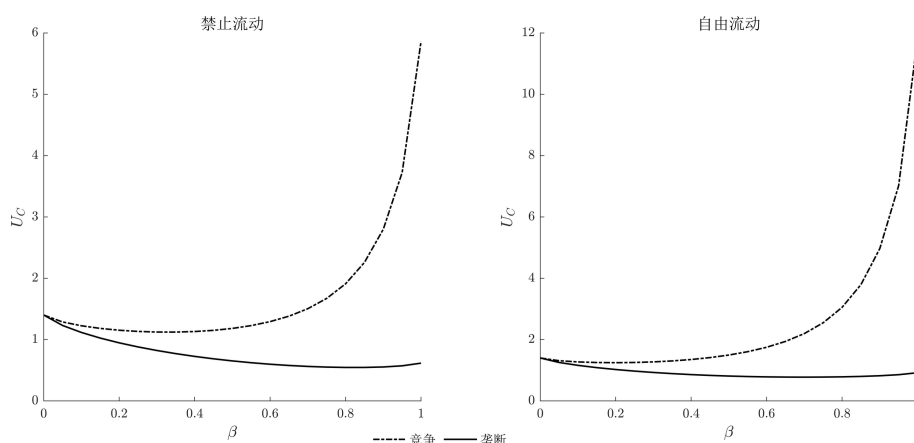
附录 XIV 稳健性检验：生产函数中加工数据份额

加工数据在商品生产中的重要性是否会影响本文结论的稳健性？其权重大小又将如何与算力共同作用，影响两国贸易政策的制定？为回答这一问题，本附录围绕生产函数中加工数据份额参数 β_C ，详细考察了其取值在 $[0,1]$ 区间内对本文核心结论的影响。基于此，我们分别复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”以及第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

在参数设定上，我们假定 $\beta_C = \beta_U = \beta$ ，其他参数则与正文保持一致。研究结果表明：只要 $\beta_C > 0$ ，即数据要素在生产中被使用，无论其占比高低，本文核心结论便始终成立。这一发现表明，本文的研究结论关键在于数据要素的“存在性”，而非其在生产中的“权重大小”。换言之，只要数据参与了生产过程，就会影响市场配置与政策效果，从而支撑本文关于数据要素在国际经济政策分析中不可忽视的重要性的结论。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

图 XIV1 和图 XIV2 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容，分别呈现了不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家 U 和国家 C 的福利。当 $\beta > 0$ 时，有如下结论：第一，给定原始数据流动政策，对比竞争模式和垄断模式可以发现，于两国而言，竞争模式下的福利始终高于垄断模式下的福利。第二，垄断模式下，国家 U 的福利始终高于国家 C 。第三，给定数据中间商的形态，相较于禁止原始数据流动这一政策而言，原始数据可以自由跨境流动时两国的福利更高。这与正文的结论保持一致。

图 XIV1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家 U 的福利图 XIV2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家 C 的福利

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。图XIV3呈现了垄断模式下国家 U 和国家 C 的最优关税。结果表明，当 $\beta > 0$ 时，给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家 U 将征收更高的最优关税。这与正文的结论保持一致。

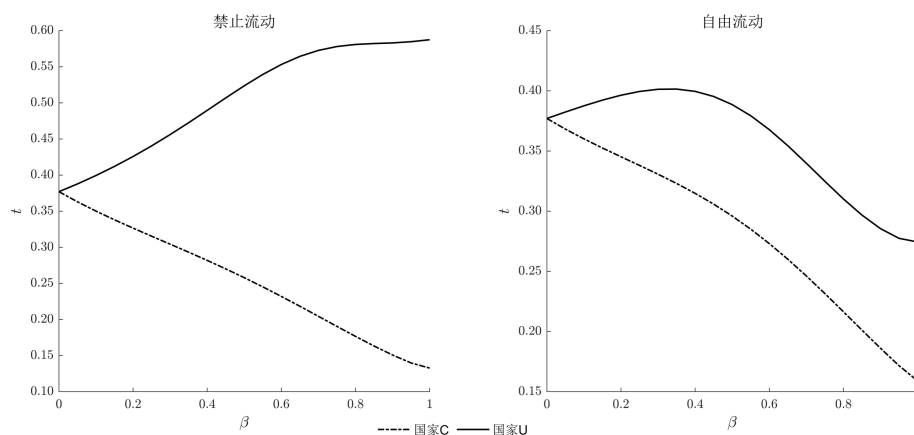


图 XIV3 垄断模式下国家 U 和国家 C 的最优关税

图XIV4和图XIV5进一步呈现了在不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下，两国所制定的最优关税随参数 β 的变动趋势。结果表明，当 $\beta > 0$ 时，有如下结论：第一，在给定的跨境数据流动政策的情况下，国家 U 在垄断模式下制定的最优关税始终高于竞争模式。第二，随着加工数据在生产中重要性 β 的提升，国家 U 在竞争模式下的最优关税持续下降；而在垄断模式下，其最优关税则呈现上升趋势。这表明当 β 较高时，国家 U 可借助其对数据中间商的垄断地位更有效地操控贸易条件，提升本国利益。第三，相较于国家 U ，无论是在垄断模式还是竞争模式下，国家 C 的最优关税均随着 β 的上升而持续下降。

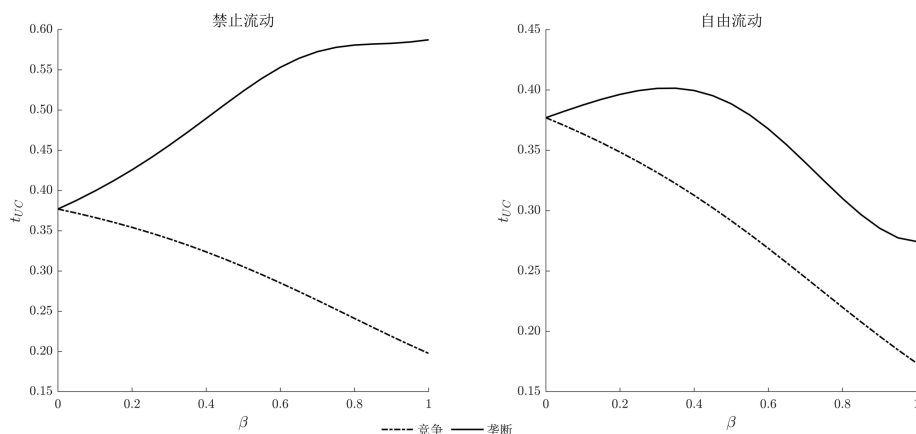


图 XIV4 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家 U 的最优关税

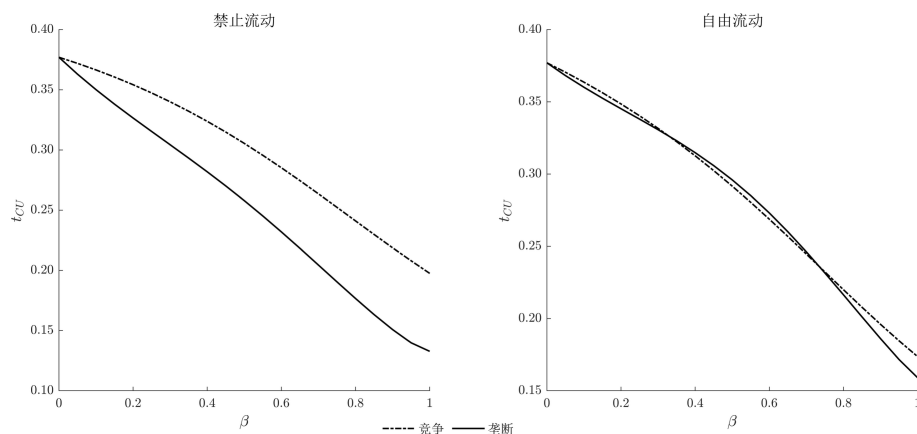


图 XIV5 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家C的最优关税

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。图 XIV6 呈现了垄断模式下国家U和国家C的纳什关税。结果表明，当 $\beta > 0$ 时，给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家U将征收更高的纳什关税。这与正文的结论保持一致。

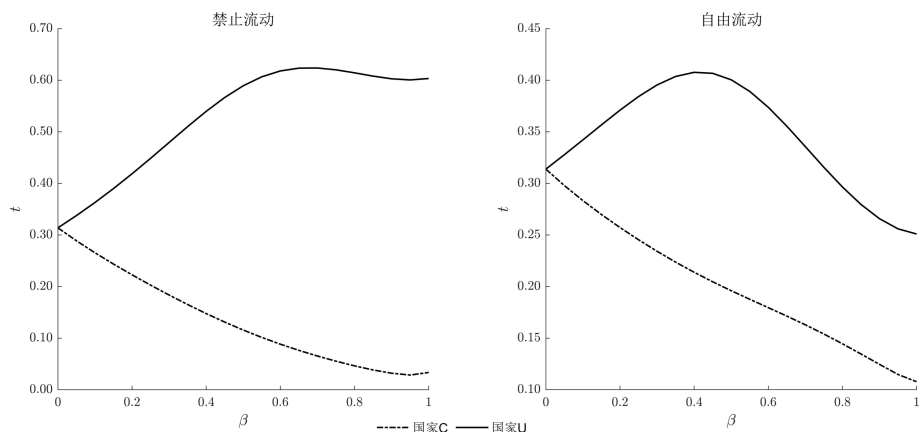


图 XIV6 垄断模式下国家U和国家C的纳什关税

图 XIV7 和图 XIV8 进一步呈现了在不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下，两国所制定的纳什关税随参数 β 的变动趋势。结果表明，当 $\beta > 0$ 时，有如下结论：第一，在给定跨境数据流动政策的情况下，国家U在垄断模式下制定的纳什关税始终高于竞争模式，而国家C则相反，在垄断模式下的纳什关税始终低于竞争模式。第二，随着加工数据在生产中重要性 β 的提升，国家U在竞争模式下的纳什关税持续下降；而在垄断模式下，其纳什关税在 β 较低时呈现上升趋势。这表明当 β 较高时，国家U可借助其对数据中间商的垄断地位更有效地操控贸易条件，提升本国利益。

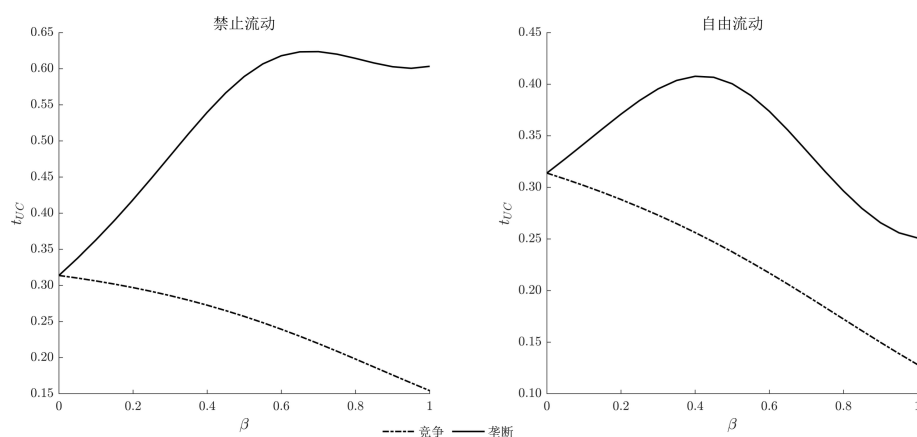


图 XIV7 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家U的纳什关税

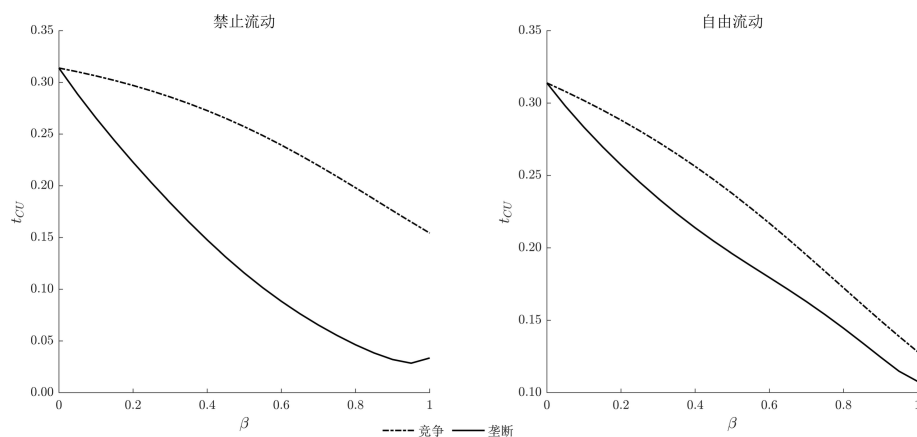


图 XIV8 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家C的纳什关税

基于上述发现，我们可以得到如下命题：

命题 6：当 $\beta > 0$ 时，在给定跨境数据流动政策的情况下，国家U在垄断模式下制定的最优关税与纳什关税始终高于竞争模式；而国家C在垄断模式下的纳什关税始终低于竞争模式。

命题 7：随着加工数据在生产中份额 β 的不断提升，国家U在竞争模式下的最优关税和纳什关税持续下降；而在垄断模式下，其最优关税和纳什关税在 β 较低时则呈现上升趋势。

（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与福利”。图 XIV9 和图 XIV10 呈现了随着国家C算力提高时，两国的福利变化。结果表明，给定原始数据跨境流动政策，竞争模式下，一国算力的进步将显著提高该国福利，并对贸易伙伴国的福利产生正向溢出效应。这与正文的结论保持一致。

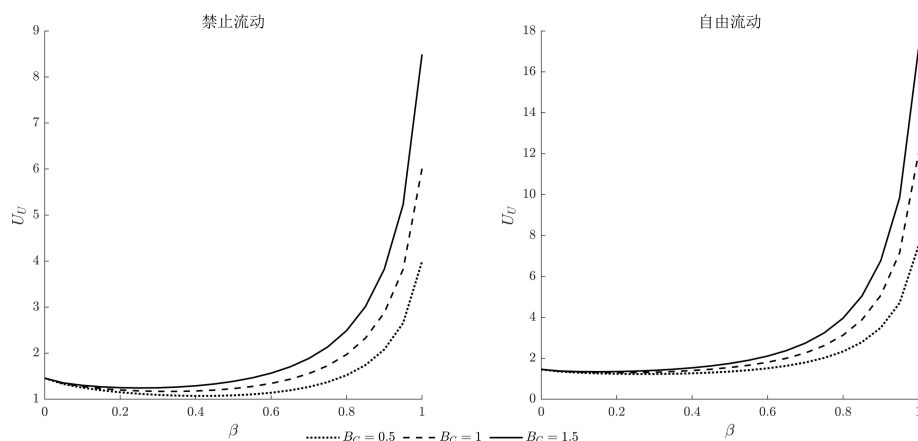


图 XIV9 竞争模式下国家C算力进步时国家U的福利变化

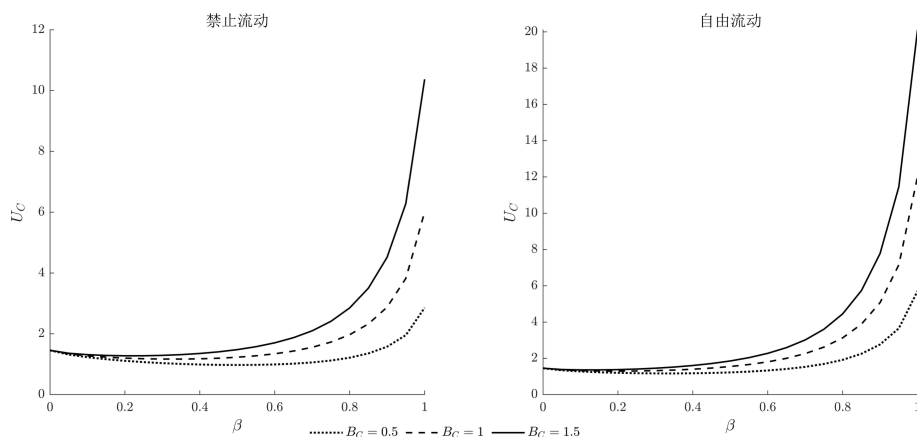


图 XIV10 竞争模式下国家C算力进步时国家C的福利变化

2. 算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税。图 XIV11 和图 XIV12 分别呈现了竞争模式下国家C算力进步时国家U和国家C的最优关税。结果表明，在竞争模式下，当 $\beta > 0$ 时，随着国家C算力的进步，国家U制定的最优关税将下降，而国家C制定的最优关税则上升。因此，我们可以得到与正文一致的命题：给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

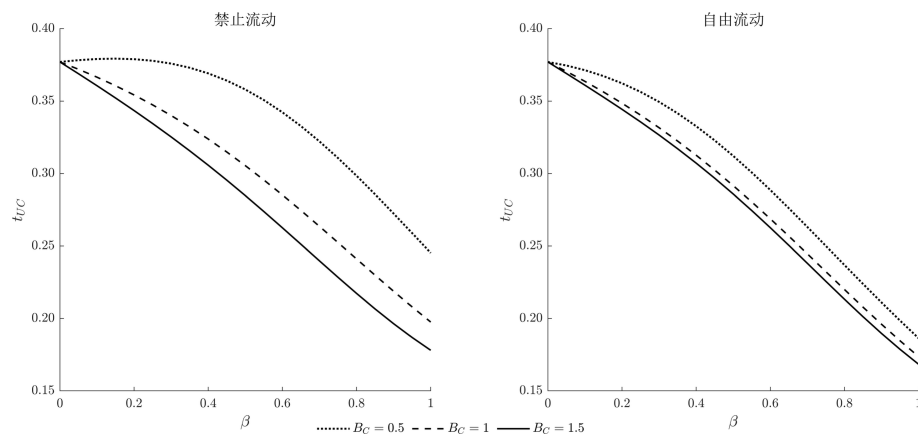


图 XIV11 竞争模式下国家C算力进步时国家U的最优关税

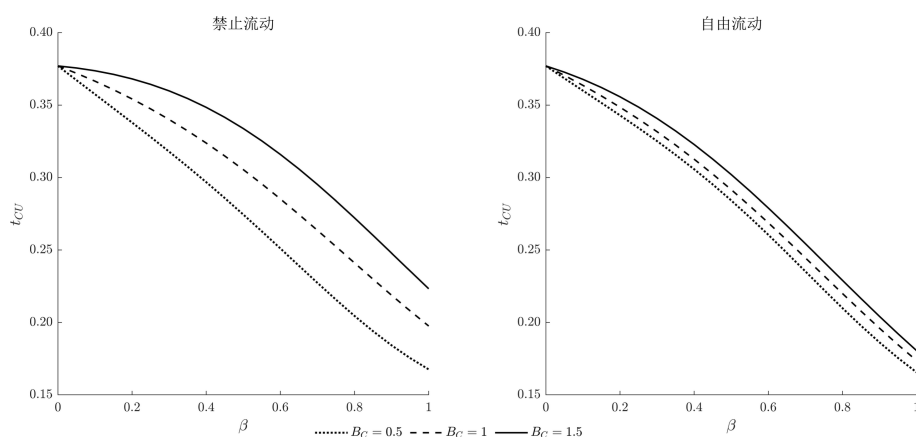


图 XIV12 竞争模式下国家C算力进步时国家C的最优关税

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税。图 XIV13 和图 XIV14 分别呈现了竞争模式下国家C算力进步时国家U和国家C的纳什关税。结果表明，在竞争模式下，当 $\beta > 0$ 时，随着国家C算力的进步，国家U制定的纳什关税将下降，而国家C制定的纳什关税则上升。因此，我们可以得到与正文一致的命题：给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

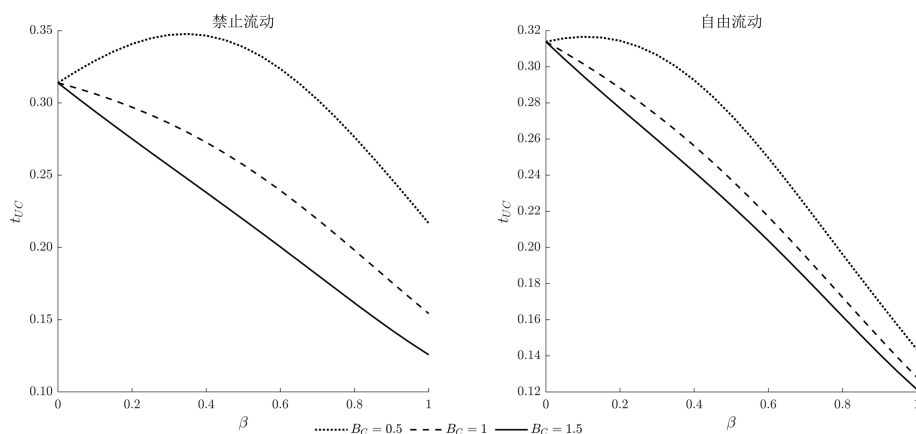


图 XIV13 竞争模式下国家C算力进步时国家U的纳什关税

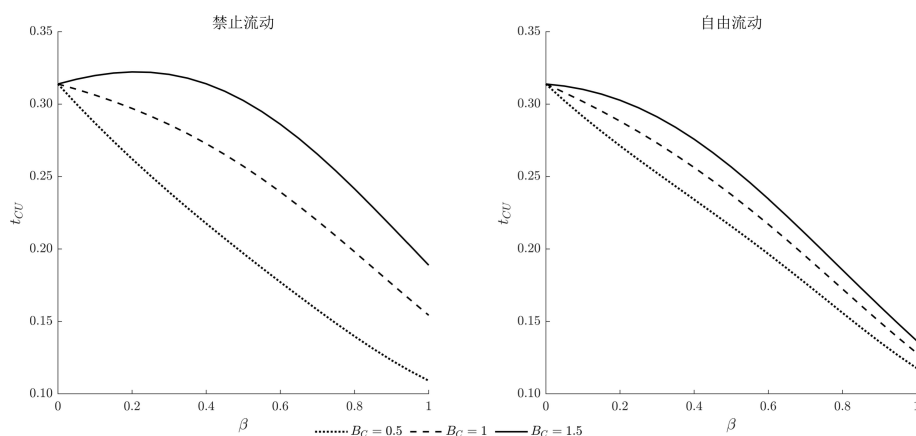


图 XIV14 竞争模式下国家C算力进步时国家C的纳什关税

附录 XV 稳健性检验：商品部门为完全竞争市场

本附录参考 Caliendo and Parro (2015) 的设定，假设商品部门为完全竞争市场。此时，企业按照边际成本定价，且不存在固定成本（ $f_d = f_x = 0$ ），其他设定则与正文保持一致。出于简洁，我们在此仅列出模型与正文设定的不同之处。

首先，国家 C 的价格指数为：

$$P_C = \kappa [T_C(c_C)^{-\theta} + T_U(c_U \tau_{CU})^{-\theta}]^{-\frac{1}{\theta}}.$$

其中， $\kappa = \Gamma\left(\frac{1+\theta-\sigma}{\theta}\right)^{\frac{1}{1-\sigma}}$ 。

其次，数据市场出清条件为：

$$R_C \varphi_C = \beta_C \left(\pi_{CC} X_C + \frac{\pi_{UC} X_U}{1 + t_{UC}} \right).$$

最后，国家 C 商品生产者的总利润 $\Pi_C = 0$ ，且劳动力市场出清条件为：

$$w_C L_C = (1 - \beta_C) \left(\pi_{CC} X_C + \frac{\pi_{UC} X_U}{1 + t_{UC}} \right) + (1 - \gamma) \left(\frac{r_{CC} \varphi_{CC}}{\varepsilon} + \frac{r_{UC} \varphi_{UC}}{\varepsilon} \right).$$

均衡定义与正文中的定义 1 保持一致，参数设定亦与正文保持相同。在此基础上，我们分别复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”和第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

表 XV1 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容。结果表明，给定原始数据跨境流动政策，国家 C 在竞争模式下的福利高于垄断模式；给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。然而，有趣的是，给定原始数据跨境流动政策，垄断模式下国家 U 的福利高于竞争模式。

表 XV1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的福利

	国家	福利	商品利润	数据利润	工资	价格指数
Panel A 竞争模式						
原始数据禁止流动	国家 C	1.17	0	0.25	1	1.07
	国家 U	1.17	0	0.25	1	1.07
原始数据自由流动	国家 C	1.34	0	0.25	1	0.93
	国家 U	1.34	0	0.25	1	0.93
Panel B 垄断模式						
原始数据禁止流动	国家 C	0.72	0	0	0.88	1.21
	国家 U	1.24	0	0.50	1	1.21
原始数据自由流动	国家 C	0.79	0	0	0.88	1.10
	国家 U	1.36	0	0.50	1	1.10

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。图 XV1 呈现了不同数据政策下，国家 U 征收单边进口关税时的福利变化。本文核心结论依然保持稳健：给定原始数据跨境流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家 U 将征收更高的最优关税，且获得更高的福利。

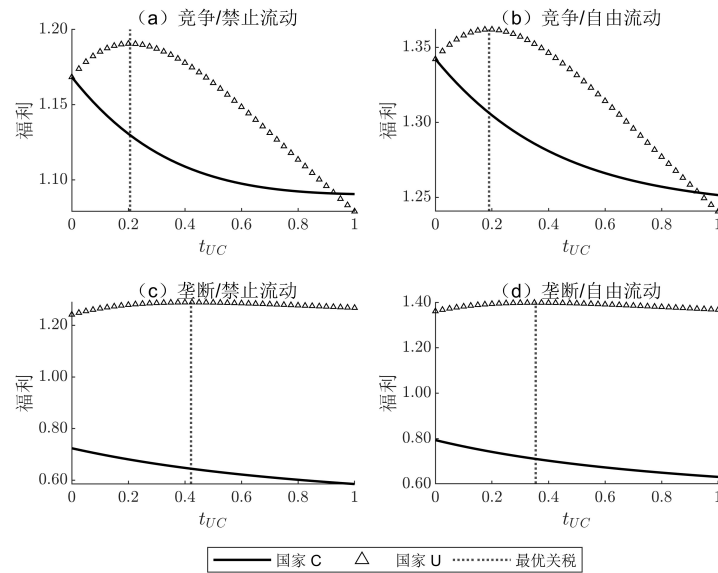


图 XV1 国家 U 征收单边进口关税时两国的福利变化

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。我们在此仅计算了国家 C 与国家 U 的纳什关税及其相应的福利。具体如表 XV2 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税，并获得更高的福利。

表 XV2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下的纳什关税与福利

	国家	纳什关税	福利	商品利润	数据利润	关税	工资	价格指数
Panel A 竞争模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.16	1.15	0	0.25	0.57	1	1.14
	国家 U	0.16	1.15	0	0.25	0.57	1	1.14
原始数据自由流动	国家 C	0.14	1.32	0	0.25	0.37	1	0.99
	国家 U	0.14	1.32	0	0.25	0.37	1	0.99
Panel B 垄断模式								
原始数据禁止流动	国家 C	0.11	0.65	0	0	0.87	0.69	1.09
	国家 U	0.43	1.27	0	0.45	0.89	1	1.31
原始数据自由流动	国家 C	0.14	0.72	0	0	0.70	0.74	1.05
	国家 U	0.33	1.37	0	0.47	0.69	1	1.19

（三）突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策

我们复现了正文中第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容。

1. 算力、商品贸易赤字与福利

本小节对应正文中第五部分第（一）节“算力、商品贸易赤字与福利”。图 XV2 呈现了随着国家C算力提高时，两国的商品贸易赤字与福利变化。结果表明，随着国家C算力的提高，国家C的福利提升明显，但对其对国家U的溢出效应不再明显。

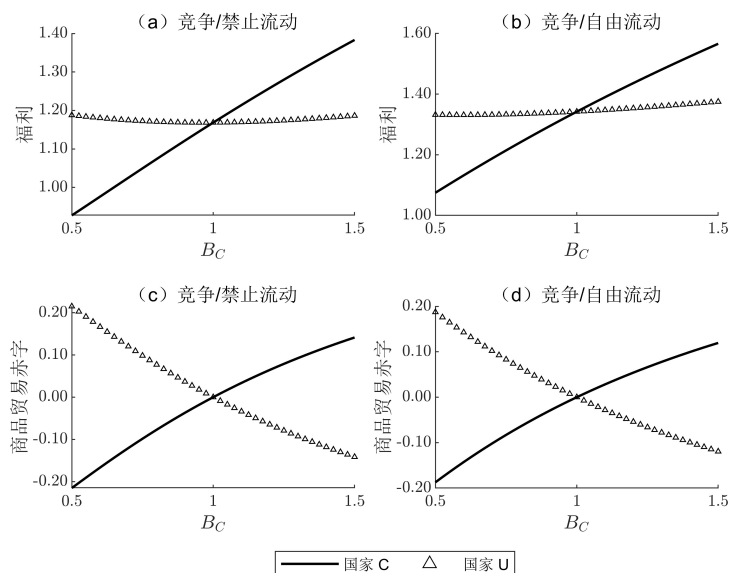


图 XV2 国家C算力进步的福利变化

2. 算力比较优势与最优关税

本小节对应正文中第五部分第（二）节“算力比较优势与最优关税”，呈现了各国的最优关税及相应的福利。具体结果详见图 XV3，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的最优关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

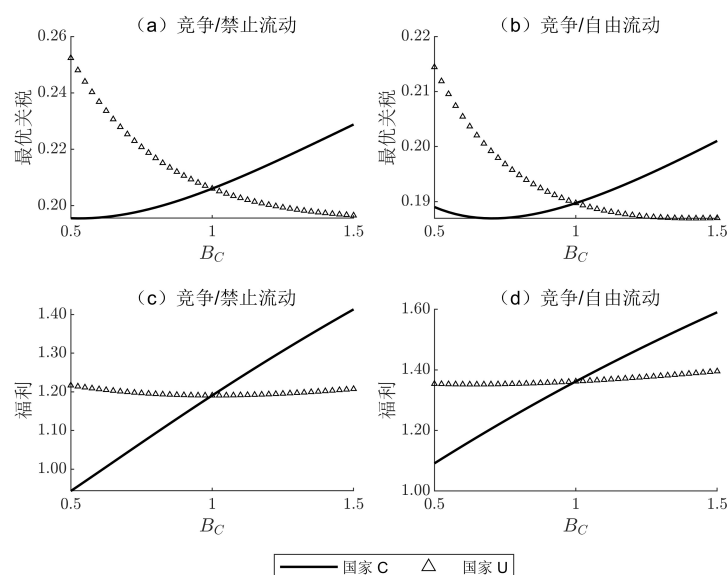


图 XV3 国家C不同算力水平下的最优关税和相应福利

3. 算力比较优势与纳什关税

本小节对应正文中第五部分第（三）节“算力比较优势与纳什关税”，呈现了各国的纳什关税及相应的福利。具体结果详见图 XV4，本文结论依然保持稳健。具体地，给定原始数

据跨境流动的前提下，一国算力的进步将提高该国对进口商品征收的非合作博弈纳什关税，进而在贸易政策制定方面更具主动权。

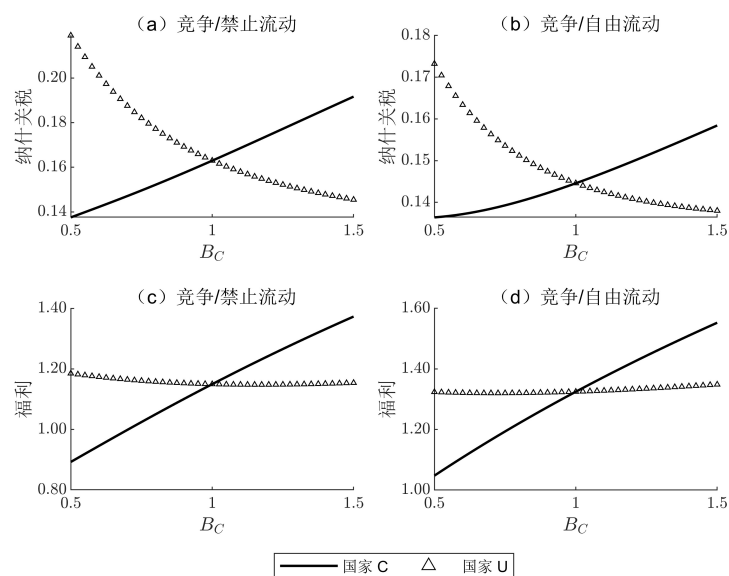


图 XV4 国家C不同算力水平下的纳什关税和相应福利

附录 XVI 稳健性检验：垄断模式下数据中间商市场势力 μ

在正文中，我们根据亚马逊服务 2023 年主营业务收入和营业利润数据，计算得到 $\mu = 1.37$ ，并在此基础上对比分析了垄断模式与竞争模式下的各国的最优贸易政策。为了进一步探讨市场势力对模型结果的影响，本附录考察了 μ 的不同取值对研究结论的影响。在垄断模式下数据中间商具有更强的市场势力，对应更高的加成率。在此基础上，我们复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”、第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”。由于第五部分“突破路径模拟：算力比较优势与贸易政策”的相关内容均在“竞争模式”下开展，不涉及参数 μ ，故未重复讨论。

在参数设定上，我们仅调整 μ 的取值，其他参数则与正文保持一致。研究结果表明，参数 μ 仅在定量层面影响两国最优贸易政策的强度，而在定性层面并不改变本文的主要结论，表明本文的核心研究结论并不受市场势力的取值的影响。

（一）数据中间商市场结构与国家福利

图 XVI1 和 XVI2 复现了正文中第三部分“数据中间商市场结构与国家福利”的相关内容，具体数值相较于基准结果出现微小变动，但本文的核心结论依然保持稳健。具体地，给定原始数据流动政策的前提下，竞争模式下的两国福利均高于垄断模式下的福利。给定数据中间商的市场结构，允许原始数据跨境流动显著提升了两国福利。

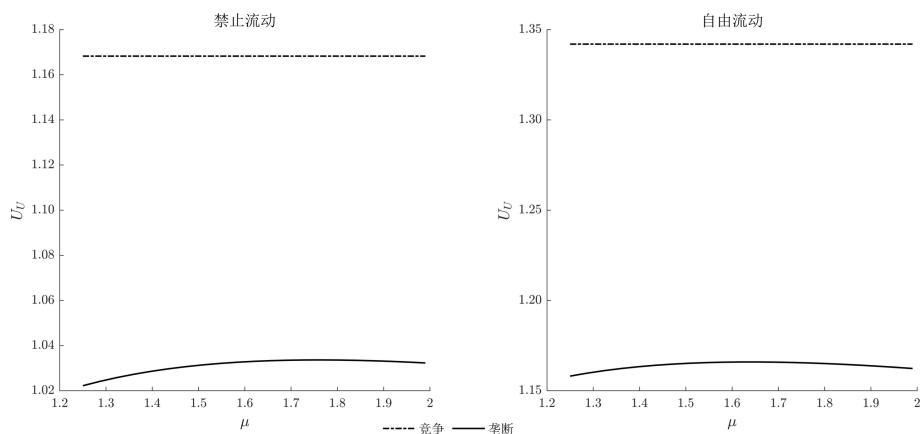


图 XVI1 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家U的福利

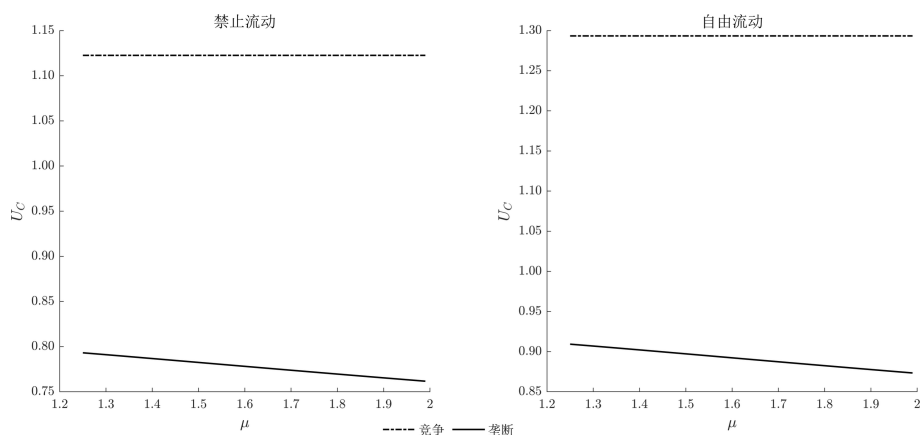


图 XVI2 不同数据中间商市场结构以及不同数据政策下国家C的福利

（二）数据中间商市场结构与贸易政策

我们复现了正文中第四部分“数据中间商市场结构与贸易政策”的相关内容。

1. 最优关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（一）节“国家 U 实施单边贸易保护政策”与第二节“国家 C 实施单边贸易保护政策”。图 XVI3 呈现了在不同数据政策下，垄断模式下国家 U 和国家 C 的最优关税如何随参数 μ 变化。结果表明，给定跨境数据流动政策，垄断模式下独占数据中间商的国家 U 将征收更高的最优关税。

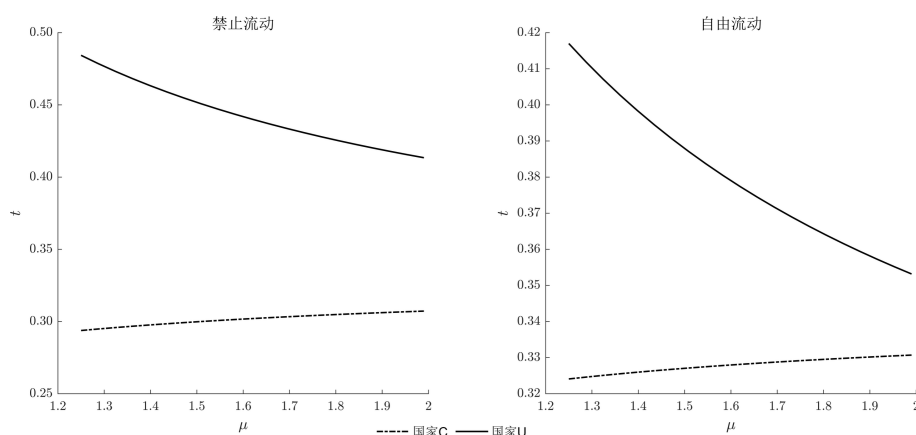


图 XVI3 垄断模式下国家 U 和国家 C 的最优关税

此外，随着国家 U 数据中间商市场势力 μ 的上升，国家 U 制定的最优关税将下降，而国家 C 制定的最优关税将上升。这与战略性贸易政策文献的发现一致，即一国可以通过贸易政策获取外国垄断者的租金。

2. 纳什关税及福利

本小节对应正文中第四部分第（三）节“贸易战与纳什关税”。我们在此仅计算了国家 C 与国家 U 的纳什关税。具体如图 XVI4 所示，本文核心结论依然保持稳健。给定原始数据流动政策的前提下，垄断模式下独占数据中间商的国家将制定更高的纳什关税。

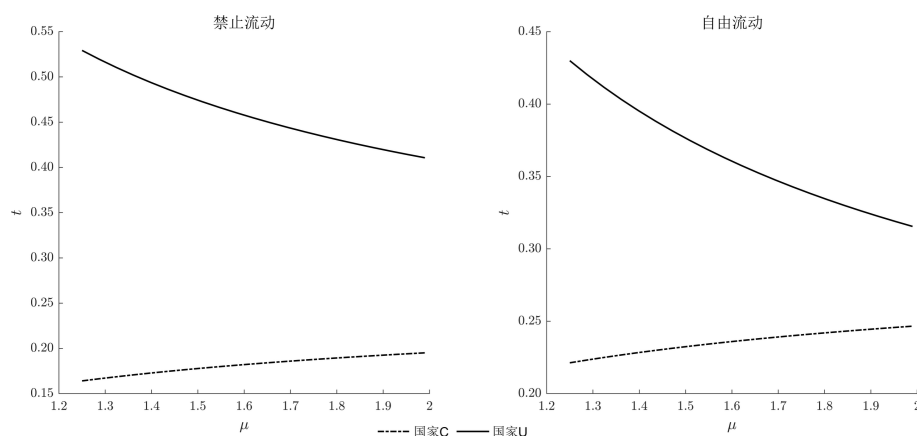


图 XVI4 垄断模式下国家 U 和国家 C 的最优关税

参 考 文 献

- [1] Acemoglu, D., A. Makhdoumi, A. Malekian, and A. Ozdaglar, “Too Much Data: Prices and Inefficiencies in Data Markets”, *American Economic Journal: Microeconomics*, 2022, 14(4), 218-256.
- [2] Acquisti, A., C. Taylor, and L. Wagman, “The Economics of Privacy”, *Journal of Economic Literature*, 2016, 54(2), 442-492.
- [3] Atkeson, A., and A. Burstein, “Pricing-to-Market, Trade Costs, and International Relative Prices”, *American Economic Review*, 2008, 98(5), 1998-2031.
- [4] Caliendo, L., and F. Parro, “Estimates of the Trade and Welfare Effects of NAFTA”, *The Review of Economic Studies*, 2015, 82(1), 1-44.
- [5] Carrière-Swallow, Y., and V. Haksar, “The Economics and Implications of Data”, *International Monetary Fund*, 2019.
- [6] Chaney, T., “Distorted Gravity: The Intensive and Extensive Margins of International Trade”, *American Economic Review*, 2008, 98(4): 1707-1721.
- [7] Chang, Q., L. W. Cong, L. Wang, and L. Zhang, “Production, Trade, and Cross-Border Data Flows”, *NBER Working Paper*, 2023.
- [8] Chen, L., Y. Huang, S. Ouyang, and W., Xiong, “The Data Privacy Paradox and Digital Demand”, *NBER Working Paper*, 2021.
- [9] Choi, J.P., D.S. Jeon, and B.C. Kim, “Privacy and Personal Data Collection with Information Externalities”, *Journal of Public Economics*, 2019, 173, 113-124.
- [10] Cory, N., and L. Dascoli, “How Barriers to Cross-border Data Flows Are Spreading Globally, What They Cost, and How to Address Them”, *Information Technology and Innovation Foundation*, 2021.
- [11] Dinopoulos E., and B. Unel, “A Simple Model of Quality Heterogeneity and International Trade”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2013, 37(1): 68-83.
- [12] Eaton, J., and S. Kortum, “Technology, Geography, and Trade”, *Econometrica*, 2002, 70(5), 1741-1779.
- [13] Eaton, J., S. Kortum, and F. Kramarz, “An Anatomy of International Trade: Evidence from French Firms”, *Econometrica*, 2011, 79(5), 1453-1498.
- [14] Edmond, C., V. Midrigan, and D. Y. Xu, “Competition, Markups, and the Gains from International Trade”, *American Economic Review*, 2015, 105(10), 3183-3221.
- [15] Firooz, H., and G. Heins, “Import and Export Markups, Production Relocation, and the Gains from Trade”, *Working Paper*, 2024.
- [16] Ichihashi, S., “Competing Data Intermediaries”, *The RAND Journal of Economics*, 2021a, 52(3), 515-537.
- [17] Ichihashi, S., “The Economics of Data Externalities”, *Journal of Economic Theory*, 2021b, 196: 105316.
- [18] Jones, C. I., and C. Tonetti, “Nonrivalry and the Economics of Data”, *American Economic Review*, 2020, 110(9), 2819-2858.
- [19] Ossa, R., “Trade Wars and Trade Talks with Data”, *American Economic Review*, 2014, 104(12), 4104-4146.
- [20] 渠慎宁、杨丹辉、兰明昊, “高端芯片制造存在‘小院高墙’吗——理论解析与中国突破路径模拟”, 《中国工业经济》, 2023 年第 6 期, 第 62—80 页。
- [21] Simonovska, I., and M. E. Waugh, “The Elasticity of Trade: Estimates and Evidence”, *Journal of International Economics*, 2014, 92(1), 34-50.

注：该附录是期刊所发表论文的组成部分，同样视为作者公开发表的内容。如研究中使用该附录中的内容，请务必在研究成果上注明附录下载出处。