

《跨境数据流动壁垒对中国的影响及反制战略》附录

附录 1 相对变化的均衡

本附录给出了模型相对变化的均衡。成本的相对变化为：

$$\hat{c}_n^j = \frac{1}{(\hat{D}_n^j)^{\psi^j}} [\hat{c}_n^{Vj}]^{\gamma_n^{Vj}} \prod_{k=1}^J (\hat{P}_n^k)^{\gamma_n^{kj}}$$

其中， $\hat{c}_n^{Vj} = \frac{1}{c_n^{Vj}} \left(\frac{\hat{w}_n w_n}{\lambda_{Ln}} \right)^{1-\alpha_n^j} \left[\left(\frac{\hat{r}_n r_n}{\lambda_{Kn}} \right)^{-\eta^j} + \left(\frac{\hat{w}_n w_n}{\lambda_{Ln}} \right)^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_n^j}{\eta^j}}$ 。

价格指数的相对变化为：

$$\hat{P}_n^j = \left[\sum_{i=1}^N \pi_{ni}^j [\hat{c}_i^j \hat{e}_i^j]^{-\theta^j} \right]^{-\frac{1}{\theta^j}}$$

贸易份额的相对变化为：

$$\hat{\pi}_{ni}^j = \frac{(\hat{c}_i^j \hat{e}_i^j)^{-\theta^j}}{\sum_{i=1}^N \pi_{ni}^j (\hat{c}_i^j \hat{e}_i^j)^{-\theta^j}}$$

商品市场出清条件变化为：

$$X_n^{j'} = \gamma_n^{Uj} I_n^{j'} + \sum_{k=1}^J \gamma_n^{jk} \left[\sum_{i=1}^N \frac{\hat{\pi}_{in}^k \hat{X}_i^k X_{in}^k}{t_{in}^k e_n^{k'}} \right]$$

国家n的总收入变化为：

$$I_n^{j'} = w_n^{j'} L_n^{j'} + r_n^{j'} K_n^{j'} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \frac{e_n^{j'} - 1}{e_n^{j'}} X_{in}^{j'} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N \frac{t_{ni}^j - 1}{t_{ni}^j e_i^{j'}} X_{ni}^{j'} + TB_n$$

要素市场出清条件变化为：

$$\hat{w}_n w_n L_n = \sum_{j=1}^J \gamma_n^{Vj} (1 - t_{nj}^{*'}) \sum_{i=1}^N \frac{X_{in}^{j'}}{t_{in}^j e_n^{j'}}$$

$$\hat{r}_n r_n K_n = \sum_{j=1}^J \gamma_n^{Vj} t_{nj}^{*'} \sum_{i=1}^N \frac{X_{in}^{j'}}{t_{in}^j e_n^{j'}}$$

其中， $t_{nj}^{*'} = \frac{\alpha_n^j \left(\frac{r_n^{j'}}{w_n^{j'}} \right)^{-\eta^j}}{\left(\frac{r_n^{j'}}{w_n^{j'}} \right)^{-\eta^j} + \left(\frac{\lambda_{Kn}}{\lambda_{Ln}} \right)^{-\psi^j \eta^j}} = \frac{\alpha_n^j \left(\frac{r_n^{j'}}{\lambda_{Kn}} \right)^{-\eta^j}}{\left(\frac{r_n^{j'}}{\lambda_{Kn}} \right)^{-\eta^j} + \left(\frac{w_n^{j'}}{\lambda_{Ln}} \right)^{-\eta^j}}$ ， $X_{ni}^{j'} = \pi_{ni}^{j'} X_n^{j'}$ 。

消费者价格指数变化为：

$$\hat{P}_n = \prod_{j=1}^J (\hat{P}_n^j)^{\gamma_n^{Uj}}$$

需要强调的是，由于在求解原始数据的相对变化 $\hat{D}_n^j$ 时，需要价格指数的初始值，因此我们首先求解了初始水平均衡，随后采用帽子代数方法来求解反事实的相对均衡。

附录 2 参数校准与估计

（一）数据外部规模经济弹性

本附录提供了数据外部规模经济弹性 ψ^j 的计算步骤及结果。对于行业异质性的 ψ^j ，其具体计算过程如下：

第一步，从 OECD-ICIO 数据库中选取与数据要素密切相关的两个行业——“电信行业”（D61）和“信息技术和其他信息服务行业”（D62_63），将二者合并视为“数据”行业；

第二步，基于投入产出表，计算各国可贸易部门行业 j 对“数据行业”的投入占比，记为 $\gamma_n^{data,j}$ ，这是国家-行业层面的投入系数；

第三步，对所有国家的 $\gamma_n^{data,j}$ 取平均，得到行业 j 层面的平均投入系数 $\bar{\gamma}^{data,j}$ ，即 $\bar{\gamma}^{data,j} = \frac{\sum_{n=1}^N \gamma_n^{data,j}}{N}$ ；

第四步，将上述平均投入系数进行标准化处理，得到 $\psi^j = \frac{\bar{\gamma}^{data,j}}{\max(\bar{\gamma}^{data,j})}$ ，以确保所有 ψ^j 落在[0,1]区间内。该标准化有助于在模型中实现各行业间数据要素使用强度的横向可比，便于在模型中引入行业间异质性。

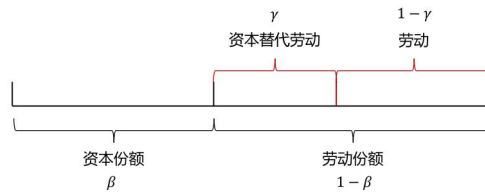
附表 1 数据外部规模经济弹性

行业	ICIO 代码	描述	ψ^j
D01	A01_02	农业、狩猎、林业	0.015
D02	A03	渔业与水产养殖	0.025
D03	B05_06	矿采和采石业，能源产品	0.046
D04	B07_08	矿采和采石业，非能源产品	0.032
D05	B09	矿业支持服务活动	0.040
D06	C10T12	食品、饮料和烟草制品	0.019
D07	C13T15	纺织品、纺织制品、皮革和鞋类	0.025
D08	C16	木材及木制品和软木	0.024
D09	C17_18	纸制品与印刷	0.036
D10	C19	焦炭及精炼石油产品	0.014
D11	C20	化学品和化学制品	0.026
D12	C21	药品、医药化学品和植物产品	0.054
D13	C22	橡胶和塑料制品	0.026
D14	C23	其他非金属矿物制品	0.030
D15	C24	基础金属	0.017
D16	C25	加工金属制品	0.029
D17	C26	计算机、电子及光学设备	0.071
D18	C27	电气设备	0.038
D19	C28	机械和设备，其他未分类	0.042
D20	C29	机动车辆、拖车和半挂车	0.025
D21	C30	其他运输设备	0.035

附表 1 呈现了各行业的数据规模经济弹性 ψ^j 。结果表明，行业间的数据依赖程度差异十分明显。对于高技术行业而言，数据要素使用强度明显更高。例如，“计算机、电子及光学设备”（D17）对应的 ψ^j 达到 0.071，“药品、医药化学品与植物产品”（D12）为 0.054，说明上述行业在生产过程中对数据的依赖更强。而对于低技术行业来说，“农业、狩猎、林业”（D01）与“食品、饮料和烟草制品”（D06）的数据规模经济弹性分别为 0.015 与 0.019，对数据要素的依赖相对有限。

（二）可替代范围

可替代范围 α_n^j 的计算方式如附图 1 所示，可以写作： $\alpha_n^j = \beta_n^j + (1 - \beta_n^j) \times \gamma_n^j$ 。其中， β_n^j 为当前的资本份额，即资本完成的生产部分。 γ_n^j 为可以被机器所替代的劳动份额，即资本替代劳动的部分。^①



附图 1 可替代范围 α_n^j 的计算方法

（三）贸易成本估计

根据正文（3）式，我们有：

$$\ln\left(\frac{\pi_{ni}^j}{\pi_{nn}^j}\right) = \ln\left([c_i^j e_i^j]^{-\theta^j}\right) - \ln\left([c_n^j e_n^j]^{-\theta^j}\right) - \theta^j \ln \tau_{ni}^j - \theta^j \ln t_{ni}^j \quad (A1)$$

其中， e_{ni}^j 为出口国特定的，故满足 $e_{ni}^j = e_i^j, \forall i$ ，因此上式可以重新表述为：

$$\ln\left(\frac{\pi_{ni}^j}{\pi_{nn}^j}\right) + \theta^j \ln t_{ni}^j = \delta_i^j - \delta_n^j - \lambda^j x_{ni} + \varepsilon_{ni}^j \quad (A2)$$

其中， δ_i^j 为出口国-行业固定效应，并且 $n = i$ 意味着出口商为本国企业。 ε_{ni}^j 为误差项，满足独立同分布性质。 x_{ni} 包括如下虚拟变量：地理距离、共同边界、共同语言、殖民关系、共同关税同盟、优惠贸易区以及双边关税。^②根据（A2）式的估计结果，我们可以得到冰山贸易成本的估计，即 $\theta^j \ln \tau_{ni}^j = \hat{\lambda}^j x_{ni}$ ，从而可以估计得到 τ_{ni}^j 。

（四）生产率估计

估计得到 $\hat{\delta}_i^j$ 后，进一步有：

$$\exp(\hat{\delta}_i^j - \hat{\delta}_{us}^j) = \frac{[c_i^j e_i^j]^{-\theta^j}}{[c_{us}^j e_{us}^j]^{-\theta^j}} \quad (A3)$$

根据正文（2）式，我们可以将 c_i^j / c_{us}^j 写作： $\frac{c_i^j}{c_{us}^j} = \frac{\gamma_n^j}{\gamma_{us}^j} \left(\frac{D_i^j}{D_{us}^j}\right)^{-\psi^j} \left(\frac{c_i^{Vj}}{c_{us}^{Vj}}\right)^{\tilde{\gamma}_i^{Vj}} \prod_{k=1}^J \left(\frac{p_i^k}{p_{us}^k}\right)^{\tilde{\gamma}_n^{kj}}$ 。其中， $\tilde{\gamma}_i^{Vj} \equiv \frac{\gamma_i^{Vj} + \gamma_{us}^{Vj}}{2}$ 。据此，（A3）式可以写作： $\exp(\hat{\delta}_i^j - \hat{\delta}_{us}^j) =$

① 随着智能制造逐渐成为大数据时代的重要生产方式，越来越多的生产任务逐渐由机器（资本）替代人类劳动来完成。机器替代劳动的概率 γ_n^j 的计算过程如下：首先，我们将职业被机器替代的概率与相应的行业代码相匹配，其中匹配权重为行业内不同职业的就业份额。其次，我们加总各个职业的替代概率，以获得行业层面的机器替代劳动的概率 γ_n^j 。具体地，机器替代劳动的概率 γ_n^j 来源于 Frey and Osborne（2017），而各行业的就业份额数据则来源于美国劳工统计局数据库。

② 参考 Eaton and Kortum（2002），我们将国家间的地理距离分为如下六个区间：[0,350]、(350,750]、(750,1500]、(1500,3000]、(3000,6000]以及> 6000 英里。

$$\left[\frac{Y_i^j}{Y_{us}^j} \left(\frac{D_i^j}{D_{us}^j} \right)^{-\psi^j} \left(\frac{c_{us}^{Vj}}{c_{us}^j} \right)^{\tilde{Y}_i^{Vj}} \prod_{k=1}^J \left(\frac{P_{us}^k}{P_{us}^k} \right)^{\tilde{Y}_n^{kj}} \right]^{-\theta^j} \left[\frac{e_i^j}{e_{us}^j} \right]^{-\theta^j} \quad \text{。此外，根据正文中（1）式，有：} \frac{c_{us}^{Vj}}{c_{us}^j} =$$

$$\frac{\left(\frac{w_i}{\lambda_{Li}} \right)^{1-\alpha_i^j} \left[\left(\frac{r_i}{\lambda_{Ki}} \right)^{-\eta^j} + \left(\frac{w_i}{\lambda_{Li}} \right)^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_i^j}{\eta^j}}}{(w_{us})^{1-\alpha_{us}^j} \left[(r_{us})^{-\eta^j} + (w_{us})^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_{us}^j}{\eta^j}}} = \frac{1}{\lambda_{Li}} \frac{w_i}{w_{us}} \frac{\left[1 + \left(\frac{r_i/w_i}{\lambda_{Ki}/\lambda_{Li}} \right)^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_i^j}{\eta^j}}}{\left[1 + (r_{us}/w_{us})^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_{us}^j}{\eta^j}}} \quad \text{。} \quad (\text{A3})$$

$$\text{式进而为：} \exp(\hat{\delta}_i^j - \hat{\delta}_{us}^j) = \left[\frac{Y_i^j}{Y_{us}^j} \left(\frac{D_i^j}{D_{us}^j} \right)^{-\psi^j} \left[\frac{1}{\lambda_{Li}} \frac{w_i}{w_{us}} \frac{\left[1 + \left(\frac{r_i/w_i}{\lambda_{Ki}/\lambda_{Li}} \right)^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_i^j}{\eta^j}}}{\left[1 + (r_{us}/w_{us})^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_{us}^j}{\eta^j}}} \right]^{\tilde{Y}_i^{Vj}} \prod_{k=1}^J \left(\frac{P_{us}^k}{P_{us}^k} \right)^{\tilde{Y}_n^{kj}} \left[\frac{e_i^j}{e_{us}^j} \right]^{-\theta^j}} \right]^{-\theta^j}$$

因此，我们可以得到劳动的生产率为：

$$\lambda_{Li} = [\exp(\hat{\delta}_i^j - \hat{\delta}_{us}^j)]^{\frac{1}{\theta^j}} \frac{1}{Y_{us}^j} \left(\frac{D_i^j}{D_{us}^j} \right)^{\frac{1}{\psi^j}} \frac{w_i^{\alpha_i^j}}{w_{us}^{\alpha_{us}^j}} \frac{\left[1 + \left(\frac{r_i/w_i}{\lambda_{Ki}/\lambda_{Li}} \right)^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_i^j}{\eta^j}}}{\left[1 + (r_{us}/w_{us})^{-\eta^j} \right]^{\frac{\alpha_{us}^j}{\eta^j}}} \prod_{k=1}^J \left(\frac{P_{us}^k}{P_{us}^k} \right)^{\frac{\tilde{Y}_n^{kj}}{\tilde{Y}_i^{Vj}}} \left(\frac{e_i^j}{e_{us}^j} \right)^{\frac{1}{\tilde{Y}_i^{Vj}}} \quad (\text{A4})$$

为了得到 λ_{Li} ，我们还需根据模型求解出 $\lambda_{Ki}/\lambda_{Li}$ 。国家 i 行业 j 的资本密集度为： $\frac{d_{Ki}^j}{d_{Li}^j} =$

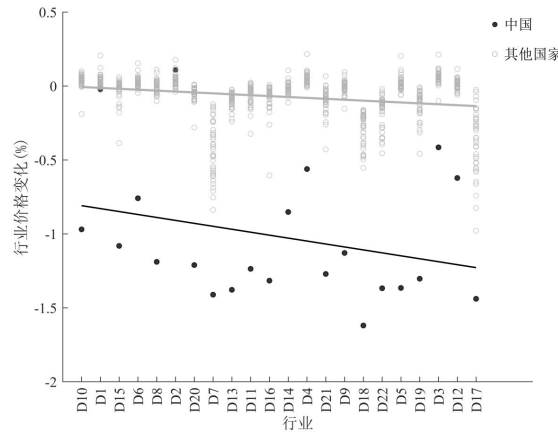
$\frac{\alpha_i^j \left(\frac{r_i}{w_i} \right)^{-\eta^j}}{(1-\alpha_i^j) \left(\frac{r_i}{w_i} \right)^{-\eta^j} + \left(\frac{\lambda_{Ki}}{\lambda_{Li}} \right)^{-\eta^j}} \frac{w_i}{r_i}$ 。为了识别 $\lambda_{Ki}/\lambda_{Li}$ ，我们可以将上式重新表述为：

$$\ln \frac{\lambda_{Ki}}{\lambda_{Li}} = -\ln \frac{w_i}{r_i} - \frac{1}{\eta^j} \left[\ln \left(\frac{w_i d_{Li}^j}{r_i d_{Ki}^j} - \frac{1 - \alpha_i^j}{\alpha_i^j} \right) + \ln \alpha_i^j \right] \quad (\text{A5})$$

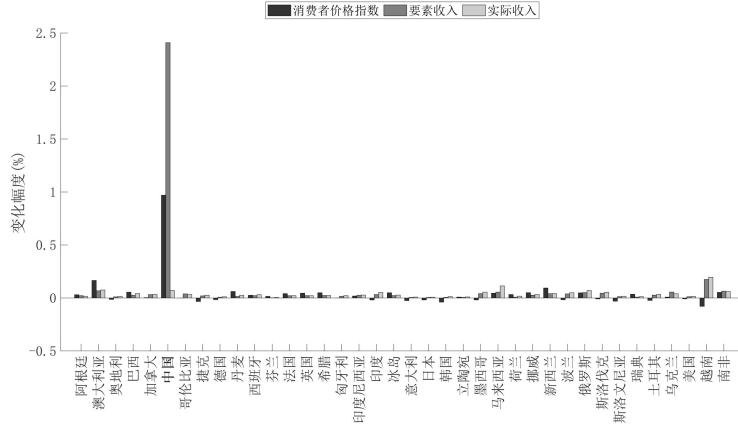
给定参数 α_i^j 与 η^j ，我们便可根据（A5）式使用 OECD 的相关数据估计得到国家特定的相对要素增强型生产率 $\lambda_{Ki}/\lambda_{Li}$ 。而后，继续利用（A4）式便可分别估计得到 λ_{Li} 与 λ_{Ki} 。

附录 3 正文未提供的图表

本附录提供了正文“五、量化分析结果”部分“（一）欧盟 GDPR 的福利效应与中国的最优产业政策应对”中“2. 中国的最优产业政策应对”涉及到的图表。



附图 2 GDPR 情景下中国实施产业政策对各国行业价格指数的影响



附图 3 GDP 情景下中国实施产业政策引起的消费者价格指数、要素收入以及实际收入变化

附录 4 关于稳健性检验的相关说明

由于篇幅限制，我们未提供相关参数的稳健性检验结果，如有需要，请联系作者获取相关内容。为使读者更了解文章结果的科学性，在此简要汇报本文的稳健性检验工作：

1. 我们对数据外部规模经济弹性 ψ^j 进行了稳健性检验，包括：（1）除了正文中对各国 $\gamma_n^{data,j}$ 求均值外，我们以美国的 $\gamma_{us}^{data,j}$ 为基准，作为各行业对“数据”行业的投入系数，用以重新刻画 ψ^j ，其他参数则保持不变；（2）以最新年份（2019 年）的数据替代原先 2017 年的数据重新计算数据外部规模经济弹性 ψ^j ，其他参数则保持不变。在此基础上，我们复现了正文中第五部分“量化分析结果”的相关内容，结果保持稳健。

2. 在其他参数保持不变的前提下，我们对贸易弹性参数 θ 进行了稳健性检验（ $\theta = 4$ 与 $\theta = 6$ ）。在此基础上，我们复现了正文中第五部分“量化分析结果”的相关内容，结果保持稳健。

3. 在其他参数保持不变的前提下，对资本与劳动的替代弹性参数 η 进行稳健性检验（ $\eta = -0.18$ 、 $\eta = 0.28$ 与 $\eta = 0.48$ ）。在此基础上，我们复现了正文中第五部分“量化分析结果”的相关内容，结果保持稳健。

4. 我们对参数 κ 进行了稳健性检验。在正文中，当欧盟实施 GDPR 后，我们设定 $\kappa_{EU,n} = 0.7$ ，其中 EU 表示欧盟成员国，表明 GDPR 对数据流出欧盟施加了一定限制。为进一步验证结论的稳健性，分别将 $\kappa_{EU,n}$ 设定为 0.5 和 0.9，假定各国仅能获取出口至欧盟 50%或 90%的数据用于商品生产，其他参数则保持不变。在此基础上，我们复现了正文中第五部分“量化分析结果”中第一节“欧盟 GDPR 的福利效应与中国的最优产业政策应对”的相关内容，结果保持稳健。

此外，在正文中，当美国实施《行政命令》后，我们设定 $\kappa_{us,cn} = 0$ ，表示美国禁止中国获取其数据。为进一步验证结论的稳健性，分别设定 0.3 和 0.5，通过反事实模拟，假定中国仅能获取出口至美国 30%或 50%的数据用于商品生产，其他参数则保持不变。在此基础上，我们复现了正文中第五部分“量化分析结果”中第二节“美国《行政命令》的福利效应与中国的最优政策应对”的相关内容，结果保持稳健。

附录参考文献

- [1] Eaton, J. and S. Kortum, 2002, “Technology, Geography, and Trade”, *Econometrica*, 70(5), pp. 1741~1779.
- [2] Frey, B. and M A. Osborne, 2017, “The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?”, *Technological Forecasting and Social Change*, 114, pp. 254~280.