《创新链和产业链融合下的产业政策》

附录

附录 1　存在上下游创新相互影响的产业政策分析

我们的模型本质上并不需要假设仅有上游行业对下游行业有创新溢出效应，而仅需要上游行业对下游行业有净正向溢出效应。实际上，当下游企业同时对上游企业具有正向知识溢出效应时，上游企业的创新投入对下游企业的溢出效应会由于创新链的正向反馈得到强化，这不会从根本上改变本文的模型结论。为进一步解释此论断，我们可以考虑上游行业与下游行业之间存在相互的创新知识溢出，并以 k_1 表示上游企业的生产性知识资本投入，以 k_2 表示下游企业的生产性知识资本投入，以 θ_{12} (θ_{21})表示上游企业对下游企业(下游企业对上游企业的)的知识溢出效应强度，从而有上、下游企业(此处略去下游企业下标 j)的知识资本产出方程分别为：

$$k_1 = \phi_1 l_{r1} k_2^{\theta_{21}} \tag{A1.1}$$

$$k_2 = \phi_2 l_{r2} k_1^{\theta_{12}} \tag{A1.2}$$

方程(A1.1)代入方程(A1.2)中,求解 k_2 可得：

$$k_2 = \left(\phi_2 l_{r2}\right)^{\frac{1}{1-\theta_{21}\theta_{12}}} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\frac{\theta_{12}}{1-\theta_{21}\theta_{12}}} \tag{A1.3}$$

除了指数不同，上述表达式与我们正文中关于下游知识资本产出方程的设定形式并没有根本性差别。将(A1.3)代入(A1.1)得到上游企业知识资本产出 k_1：

$$k_1 = \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\frac{1}{1-\theta_{21}\theta_{12}}} \left(\phi_2 l_{r2}\right)^{\frac{\theta_{21}}{1-\theta_{21}\theta_{12}}} \tag{A1.4}$$

值得注意的是，此时由于上下游企业相互间的知识溢出，会放大知识溢出效应，放大系数为 $\dfrac{1}{1-\theta_{21}\theta_{12}}$。此时，政府对研发部门的补贴取决于上下游知识溢出。具体而言，此时社会最优的劳动力配置为：

$$\left(l_{p1}^*, l_{r1}^*, l_{p2}^*, l_{r2}^*\right) = \left(\alpha_1\gamma_2, \frac{\beta_2\theta_{12} + \left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}{1-\theta_{12}\theta_{21}}, \alpha_2, \frac{\beta_2 + \left(1-\alpha_1\right)\gamma_2\theta_{21}}{1-\theta_{12}\theta_{21}}\right) \tag{A1.5}$$

由于上游企业与下游企业均把接收到的知识溢出当作外生给定，求解市场均衡可知市场配置下劳动力资源分配满足：

$$\left(\tilde{l}_{p1},\tilde{l}_{r1},\tilde{l}_{p2},\tilde{l}_{r2}\right)=\left(\frac{\alpha_1\gamma_2}{\left(1+\tau_{p1}\right)\left(1+\chi_1\right)},\frac{\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}{\left(1+\tau_{r1}\right)\left(1+\chi_1\right)},\frac{\alpha_2}{1+\tau_{p2}},\frac{\beta_2}{1+\tau_{r2}}\right) \tag{A1.6}$$

此时政府的最优补贴或税收政策满足：

$$\frac{1+\tau_{r2}^*}{1+\tau_{p1}^*}=\left(1+\chi_1\right)\frac{\beta_2\left(1-\theta_{12}\theta_{21}\right)}{\beta_2+\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2\theta_{21}} \tag{A1.7}$$

$$\frac{1+\tau_{r2}^*}{1+\tau_{r1}^*}=\frac{\left(1+\chi_1\right)\beta_2}{\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}\times\frac{\beta_2\theta_{12}+\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}{\beta_2+\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2\theta_{21}} \tag{A1.8}$$

$$\frac{1+\tau_{p1}^*}{1+\tau_{r1}^*}=\frac{1}{\left(1-\theta_{12}\theta_{21}\right)}\times\left(1+\frac{\beta_2\theta_{12}}{\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}\right) \tag{A1.9}$$

$$\frac{1+\tau_{p2}^*}{1+\tau_{r2}^*}=\frac{1}{\left(1-\theta_{12}\theta_{21}\right)}\times\left(1+\frac{\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2\theta_{21}}{\beta_2}\right) \tag{A1.10}$$

对比我们文章中的基准模型而言，政府的产业政策除了需要针对研发部门的创新溢出进行倍数调整之外，并没有本质上的差别。特别而言，观察对于上下游企业研发部门的相对补贴规模可知：

$$\frac{1+\tau_{r2}^*}{1+\tau_{r1}^*}=\left(1+\chi_1\right)\left(1+\frac{\beta_2\theta_{12}}{\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}\right)\times\frac{\beta_2}{\beta_2+\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2\theta_{21}} \tag{A1.11}$$

其中，最后一项即为由于存在下游行业对上游行业的溢出效应而应该相对增加对下游行业的补贴。换言之，对于正文模型中“仅有上游行业对下游行业存在知识溢出”（用θ表示）的设定，我们可以找到对应的$\left(\theta_{12},\theta_{21}\right)$使上下游行业的知识溢出的相对强度满足：

$$1+\frac{\beta_2\theta}{\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}=\left(1+\frac{\beta_2\theta_{12}}{\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2}\right)\times\frac{\beta_2}{\beta_2+\left(1-\alpha_1\right)\gamma_2\theta_{21}} \tag{A1.12}$$

即可以保证上游行业与下游行业研发部门的相对补贴规模一致。由此，我们可以认为本文模型中关于正向知识溢出的设定是可以满足本文理论分析的一个简明的假定，而添加形式上更加复杂的创新链的设定并不会从根本上改变本文的研究结论。

附录 2　中国制造业产业链和创新链上下游度测算

为了衡量实证部分各行业在产业链和创新链的相对上下游关系，本文借鉴 Antràs et al.（2012）的方法进行计算。考虑一个不包含进出口情况以及存货变动的封闭经济体的基准情况：

$$Y_i=F_i+Z_i=F_i+\sum_{j=1}^{N}d_{ij}Y_j \tag{A2.1}$$

其中，Y_i为行业i的总产出，F_i为行业i的最终产品，Z_i为行业i在整个经济体中作为中间投入的部分，d_{ij}衡量的是一单位价格行业j的产出所需要行业i的产出。于是，我们定义了行业i的上游度（upstreamness）为：

$$U_i = 1 + \sum_{j=1}^{N} \frac{d_{ij} Y_j}{Y_i} U_j \tag{A2.2}$$

用矩阵形式表示为：

$$U = \left[I - \Delta\right]^{-1} \mathbf{1} \tag{A2.3}$$

其中，I是对角线为 1 的单位矩阵，Δ为第i行第j列元素为$\frac{d_{ij} Y_j}{Y_i}$的矩阵，$\mathbf{1}$为元素都为 1 的列向量。

在计算创新链上下游度的时候，我们以行业j引用行业i的专利引用量作为行业i的知识“中间投入”，将行业i中每个被引用N次的专利记作$N+1$个专利、未被引用的专利计为一个专利求和得到知识的“总产出”，据此构建知识的“投入产出表”，并利用(A2.3)式进行计算。

考虑到实际生产环节中中国作为一个开放经济体还涉及到进出口和存货变动等情况，调整后的上游度计算公式为①：

$$U_i = 1 + \sum_{j=1}^{N} \frac{\hat{d}_{ij} Y_j}{Y_i} U_j \tag{A2.4}$$

其中，$\hat{d}_{ij} = d_{ij} \frac{Y_i}{Y_i - X_i + M_i - N_i}$，$X_i$，$M_i$和$N_i$分别为行业$i$的出口、进口和存货变动。

为了尽可能与下文的实证数据的样本区间保持一致，并且考虑到产业上下游关系在短期内相对稳定、不会发生太大变化，本文利用 2015 年全国投入产出表的数据计算了产业链的上下游度。关于知识的“投入产出表”，本文利用 1998-2013 年的工业企业数据库与专利数据进行匹配得到各个行业之间的专利相互引用情况，②进而构建知识的“投入产出表”。结果如附表 1 所示。可以看到集成电路行业体系中，“计算机、通信和其他电子设备制造业”、“仪器仪表制造业”和“电气机械和器材制造业”处于相对上游的位置，而“专用设备制造业”为下游行业；纺织服装产业体系中，“纺织业”和“化学纤维制造业”（属于表中化学产品）为上游行业，“纺织服装、服饰业”为下游行业；汽车产业体系中，“黑色金属矿采选业”、“黑色金属冶炼和压延加工业”（分别属于表中金属矿采选产品和金属冶炼和压延加工品）为上游企业，“汽车制造业”（属于交通运输设备）为下游行业。

附表 1　　中国主要行业的产业链和创新链上游度计算结果

	产业链上游度	创新链上游度
石油和天然气开采产品	5.723	2.472

① 具体推导过程参见 Antràs et al.（2012）。

② 相关数据处理细节可参见寇宗来和刘学悦（2020），其中在识别互相引用关系时，考虑到知识作为投入要素的时效性，本文选择 5 年作为窗口期，即专利与被引用专利的登记年份相差在五年之内，才被认为是有效引用。

煤炭采选产品	5.584	2.534
金属矿采选产品	5.470	2.701
废品废料	5.391	2.842
电力、热力的生产和供应	5.364	2.724
金属制品、机械和设备修理服务	4.820	2.601
石油、炼焦产品和核燃料加工品	4.782	2.800
非金属矿和其他矿采选产品	4.616	2.456
纺织品	4.576	2.781
化学产品	4.464	2.683
通信设备、计算机和其他电子设备	4.393	2.831
金属冶炼和压延加工品	4.283	2.669
造纸印刷和文教体育用品	4.090	2.686
其他制造产品	4.008	2.621
仪器仪表	3.765	2.654
金属制品	3.690	2.603
电气机械和器材	3.397	2.659
通用设备	3.393	2.575
木材加工品和家具	3.244	2.644
燃气生产和供应	3.107	2.464
食品和烟草	3.060	2.698
非金属矿物制品	3.008	2.779
水的生产和供应	2.891	2.431
交通运输设备	2.495	2.640
专用设备	2.456	2.554
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	2.388	2.702

附录 3　政府研发补贴的计算

参考王永贵和李霞（2023）、应千伟和何思怡（2022）的方法，本文基于上市公司年报中财务报表信息附注下的“营业外收入”项目，通过手工方式收集整理政府研发补助的金额。其中，与政府研发补贴的项目主要依据包含以下关键词的项目进行筛选：研发、开发、研究、科研、技术、创新、科技、研制、R&D、、知识产权、专利、著作权、发明、智力、成果转化、课题、课题经费、科学奖励、科学基金、人才、英才、专家、博士、引智、千人计划、海外工程师、863 计划、973 计划、139 计划、火炬计划、中国制造 2025、升级、技改、智能、先进制造、先进装备、高新、专精特新、小巨人、高企、产业升级、企业发展、产业发展、行业发展、发展补助、高质量发展、新兴产业、战略新兴、高精尖。

附录 4　实证结果

1. 行业层面

附表 2 中国产业体系的上游行业政府创新补贴对下游行业生产和创新活动影响的检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	lnVA		lnR&D		lnfirm_R&D		lngov_R&D	
核心解释变量	0.247***	0.0298*	0.283***	0.161***	0.286***	0.162***	0.0639	-0.0541
	(0.0371)	(0.0162)	(0.0457)	(0.0284)	(0.0439)	(0.0252)	(0.0963)	(0.195)
上游企业数	-0.496***	0.0220	-0.454***	-0.144	-0.452***	-0.143	-0.259***	0.195
	(0.0850)	(0.0374)	(0.0984)	(0.0909)	(0.101)	(0.0880)	(0.0672)	(0.273)
上游行业资产	-0.419	0.0940	0.0101	-0.0158	0.0317	0.0212	-1.330	-1.450
	(0.426)	(0.115)	(0.517)	(0.156)	(0.528)	(0.150)	(0.896)	(1.472)
上游行业存货	0.284	-0.0628	0.447*	0.111*	0.437*	0.101	1.023***	0.781
	(0.161)	(0.0472)	(0.190)	(0.0501)	(0.198)	(0.0578)	(0.246)	(0.475)
上游行业负债	0.493	-0.103	0.0169	0.0156	-0.00581	-0.0212	1.350	1.286
	(0.368)	(0.110)	(0.464)	(0.148)	(0.472)	(0.138)	(0.789)	(1.356)
上游行业利润	0.0208	0.00936	-0.0370	-0.0110	-0.0373	-0.0112	-0.0951	-0.117
	(0.0243)	(0.00974)	(0.0360)	(0.0132)	(0.0364)	(0.0121)	(0.0554)	(0.0841)
下游企业数		0.941***		0.552		0.669*		-3.474**
		(0.167)		(0.321)		(0.304)		(1.068)
下游行业出口值		-0.110		-0.619***		-0.589***		-1.920*
		(0.0795)		(0.0881)		(0.0965)		(0.834)
下游行业资产		0.294		3.885***		3.752***		6.077*
		(0.297)		(0.327)		(0.285)		(2.715)
下游行业存货		-0.216		0.266		0.131		5.352***
		(0.139)		(0.291)		(0.332)		(0.932)
下游行业负债		-0.0881		-3.308***		-3.185***		-4.882*
		(0.237)		(0.262)		(0.268)		(2.275)
下游行业利润		2.38e-05*		4.56e-05*		5.13e-05**		-0.000210*
		(1.30e-05)		(1.88e-05)		(1.79e-05)		(9.72e-05)
常数项	10.47***	0.325	7.666***	-3.125	7.648***	-3.228	0.518	-10.93*
	(0.792)	(0.890)	(0.790)	(1.820)	(0.784)	(1.909)	(1.849)	(4.471)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本观测数	70	66	70	66	70	66	70	66
Adjusted R^2	0.985	0.998	0.998	1.000	0.998	1.000	0.990	0.990

注：括号内为标准误。* p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

2. 企业层面

附表 3 中国产业体系的上游行业政府创新补贴对下游企业生产和创新活动影响的检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	lnrevenue	lnprofit	lnVA	lnR&D	lngov_R&D	lnfirm_R&D

核心解释变量	0.126***	0.383***	0.382***	0.135**	0.0390	0.145**
	(0.0376)	(0.0914)	(0.0727)	(0.0532)	(0.218)	(0.0600)
上游行业资产额	-0.803***	-2.246***	-1.562***	0.0820	3.720**	-0.262
	(0.271)	(0.815)	(0.535)	(0.390)	(1.675)	(0.442)
上游行业负债额	0.458**	1.528***	0.920**	-0.0991	-1.941*	0.0827
	(0.182)	(0.536)	(0.365)	(0.272)	(1.032)	(0.309)
上游行业存货额	0.323***	0.506*	0.398*	-0.0852	-1.176	0.0488
	(0.104)	(0.305)	(0.223)	(0.156)	(0.718)	(0.192)
企业固定资产	0.947***	0.987***	1.034***	0.883***	0.737***	0.875***
	(0.0508)	(0.0789)	(0.0827)	(0.0547)	(0.140)	(0.0565)
企业年龄	0.00203	-0.000392	0.0253	0.0296*	-0.142**	0.0412**
	(0.0122)	(0.0269)	(0.0229)	(0.0157)	(0.0582)	(0.0168)
企业资产负债率	-0.0318	-0.767***	-0.140	-0.111	-0.138	0.0951
	(0.174)	(0.285)	(0.251)	(0.171)	(0.444)	(0.137)
长期借款与总资产比	-0.396	-1.448*	-0.175	-0.523	-0.905	-0.443
	(0.262)	(0.775)	(0.639)	(0.334)	(1.284)	(0.340)
第一大股东持股比率	0.00101	0.00122	0.00162	0.00311	0.0162*	0.00289
	(0.00223)	(0.00510)	(0.00416)	(0.00274)	(0.00891)	(0.00296)
前十大股东持股比例	0.00277*	0.0189***	0.0115***	-0.000724	-0.00443	-0.00150
	(0.00144)	(0.00317)	(0.00270)	(0.00202)	(0.00609)	(0.00220)
董事人数	-0.00444	0.00267	-0.0116	-0.00406	0.000936	-0.00429
	(0.00564)	(0.0101)	(0.00979)	(0.00522)	(0.0207)	(0.00594)
独立董事占比	0.0219	-0.158	0.141	0.184	0.650	0.174
	(0.156)	(0.346)	(0.235)	(0.134)	(0.669)	(0.156)
海外业务收入	0.00885***	0.00245	0.00408	0.00750**	0.0241**	0.00672*
	(0.00239)	(0.00548)	(0.00434)	(0.00361)	(0.0119)	(0.00403)
常数项	1.647	3.986	3.488	0.840	-20.95**	1.962
	(2.307)	(4.916)	(4.311)	(3.038)	(9.318)	(3.250)
企业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
样本观测数	3,441	3,041	3,151	3,383	2,310	3,365
Adjusted R^2	0.695	0.249	0.426	0.613	0.048	0.573

注：括号内为标准误。* p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

附录 5　平行趋势及敏感性检验

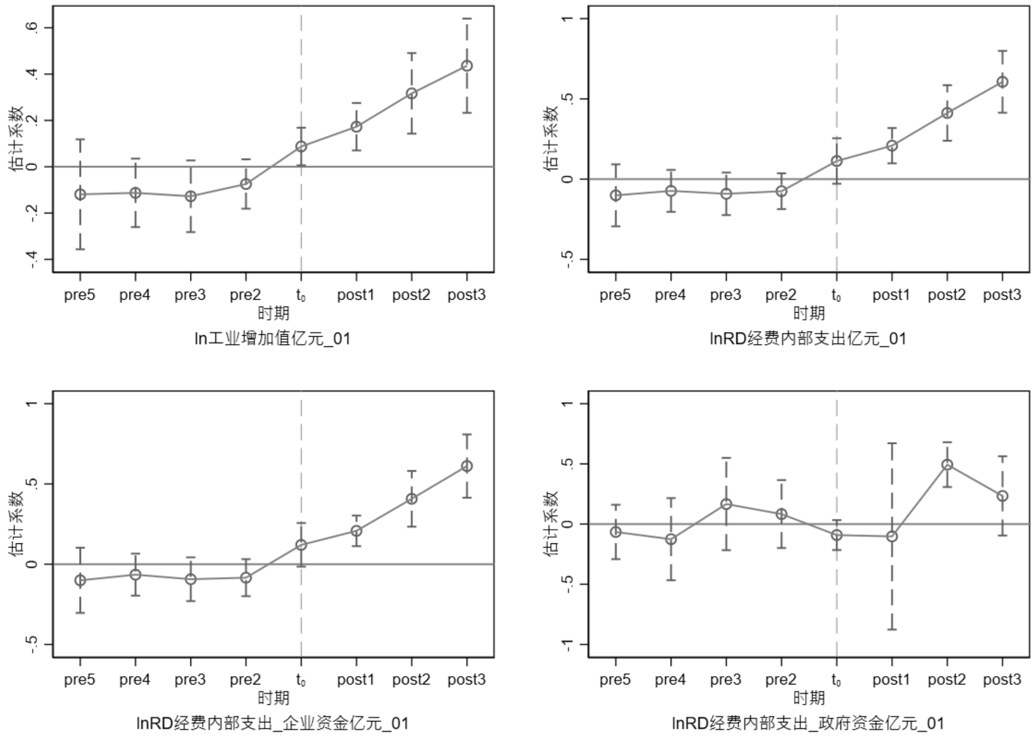
1. 行业层面

为了进一步验证 DID 结果的有效性，本文分别以上述定义的特定中国产业体系之中的下游行业 R&D 经费内部支出、下游行业 R&D 经费内部支出中企业资金、下游行业 R&D 经费内部支出

中政府资金、下游行业增加值作为被解释变量进行平行趋势及敏感性检验。平行趋势的检验模型设定如下：

$$Y_{jt} = \alpha_j + \lambda_t + \sum\nolimits_{s \neq 2017} \beta_s \times 1(s = t) \times Post_t \times Strangle_j + \boldsymbol{\delta}\mathbf{X_{jt}} + \varepsilon_{jt}$$

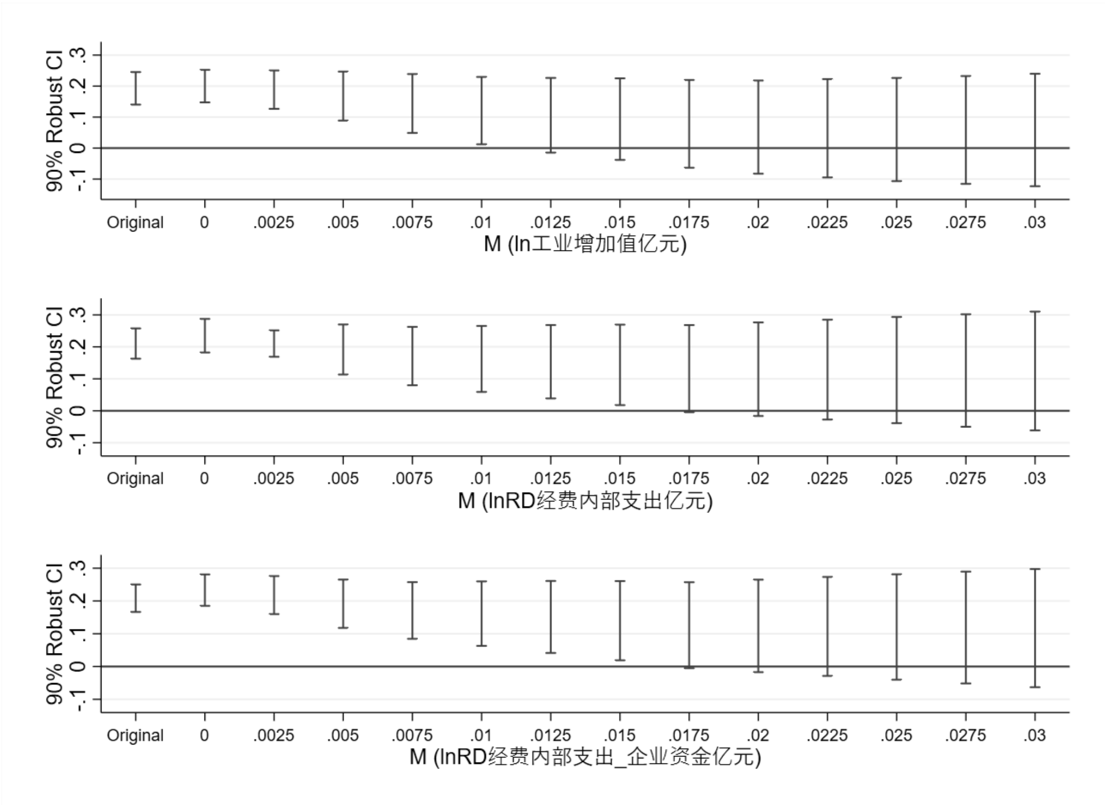
其中，$\mathbf{X_{jt}}$ 表示与上文类似的控制变量集合。检验结果如附图 1 所示。从图中可以明显地看到，对照组与实验组在冲击之前并没有显著的差异，即以中国装备制造业产业体系为代表的卡脖子产业组，在受到外来的卡脖子政策冲击前，与其他作为对照组的产业并没有明显的变动趋势。此后，由于政府对上游环节行业研发活动的支持和补贴政府力度的加大，会对下游环节行业的创新研发投入与行业增加值产生较为明显的拉动作用，尤其表现在对下游环节行业研发投入产生了较为明显的拉动作用。



附图 1　中国产业体系的下游行业工业增加值和 R&D 经费内部支出的平行趋势检验

虽然处理前趋势检验（pre-trends tests）很直观，但前沿的研究表明，这可能存在低功效的问题，以通过处理前趋势检验作为分析条件，会带来与处理前检验有关的统计问题（Freyaldenhoven et al., 2019; Roth, 2022）。我们根据 Rambachan & Roth（2023）提出的在违反平行趋势假设时的检验方法，对处理后点估计量的置信区间进行推断和敏感性分析，以评估处理效应的稳健性。具体来说，先是构造与平行趋势的最大偏离程度M，然后构造与最大偏离程度对应的处理后的估计量的稳健置信区间。考虑到对照组和实验组之间可能会各自存在一个长期演化的趋势，这使得两者可能在冲击前的差异尽管在统计意义上并不显著，但两者的演化过程并非是完全相同的，即平行趋势假设并不一定满足。因此，本文采用了 Rambachan & Roth（2023）提供的对两者的差异选择平滑度限制（Smoothness restrictions）进行检验，主要思路为：记时间t，两组的差异为δ_t，则我

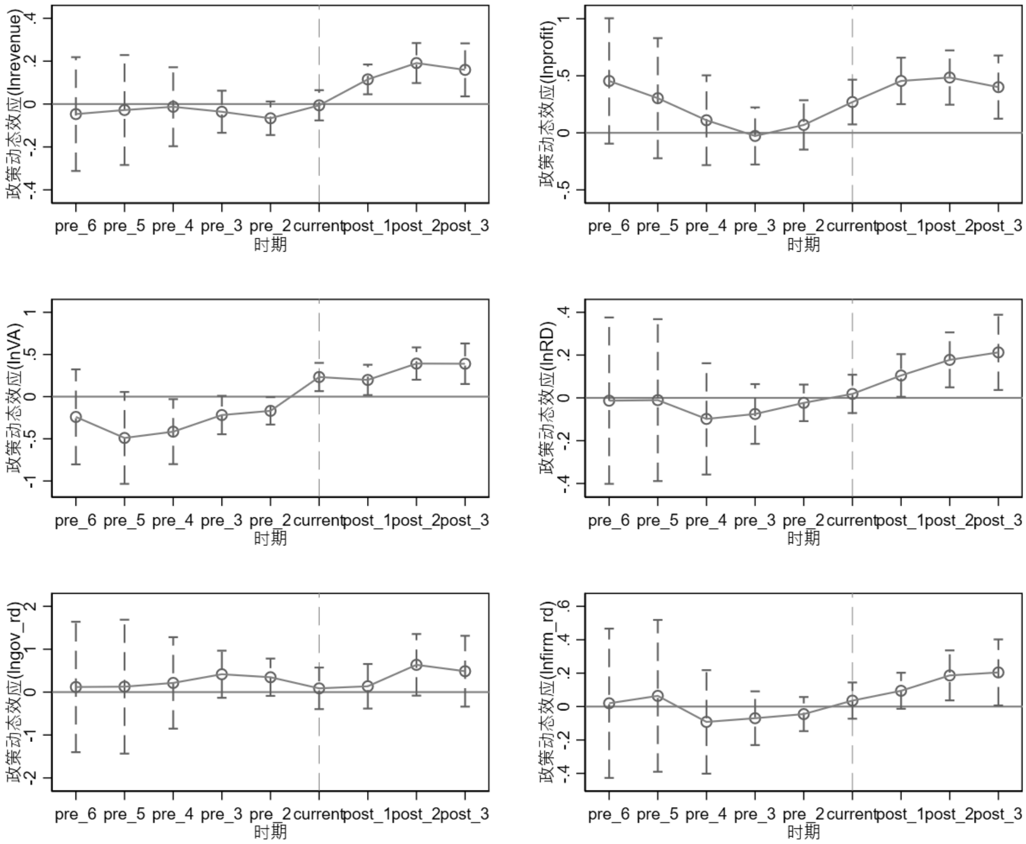
们允许$\left|\left(\delta_{t+1}-\delta_{t}\right)-\left(\delta_{t}-\delta_{t-1}\right)\right|\leq M$。对于那么$M=0$，显然有$\delta_{t}=\gamma\cdot t$，即我们允许两组的差异是遵循线性演化的，而$M>0$则允许我们考虑非线性的演化过程。附图 2 汇报了本文的敏感性分析结果，Original 代表的为原始的估计值，$M=0$表示，允许处理组和对照组事前有差异，且两者差异是随着时间线性演化的，而$M>0$则允许我们考虑非线性的演化过程。结果显示，在允许两者的差异为线性的情况下，我们的检验结果依然稳健。并且对于每个的估计结果，分别可以允许其演化过程的斜率有 0.01、0.015 和 0.015 的偏离度，检验结果表明，即使平行趋势被违背，且存在一定程度的偏离，政府对上游环节行业研发活动的支持和补贴政府力度的加大，对下游环节行业的创新研发投入与产出仍然会表现出显著的促进作用。



附图 2　中国产业体系平行趋势敏感性检验：行业层面

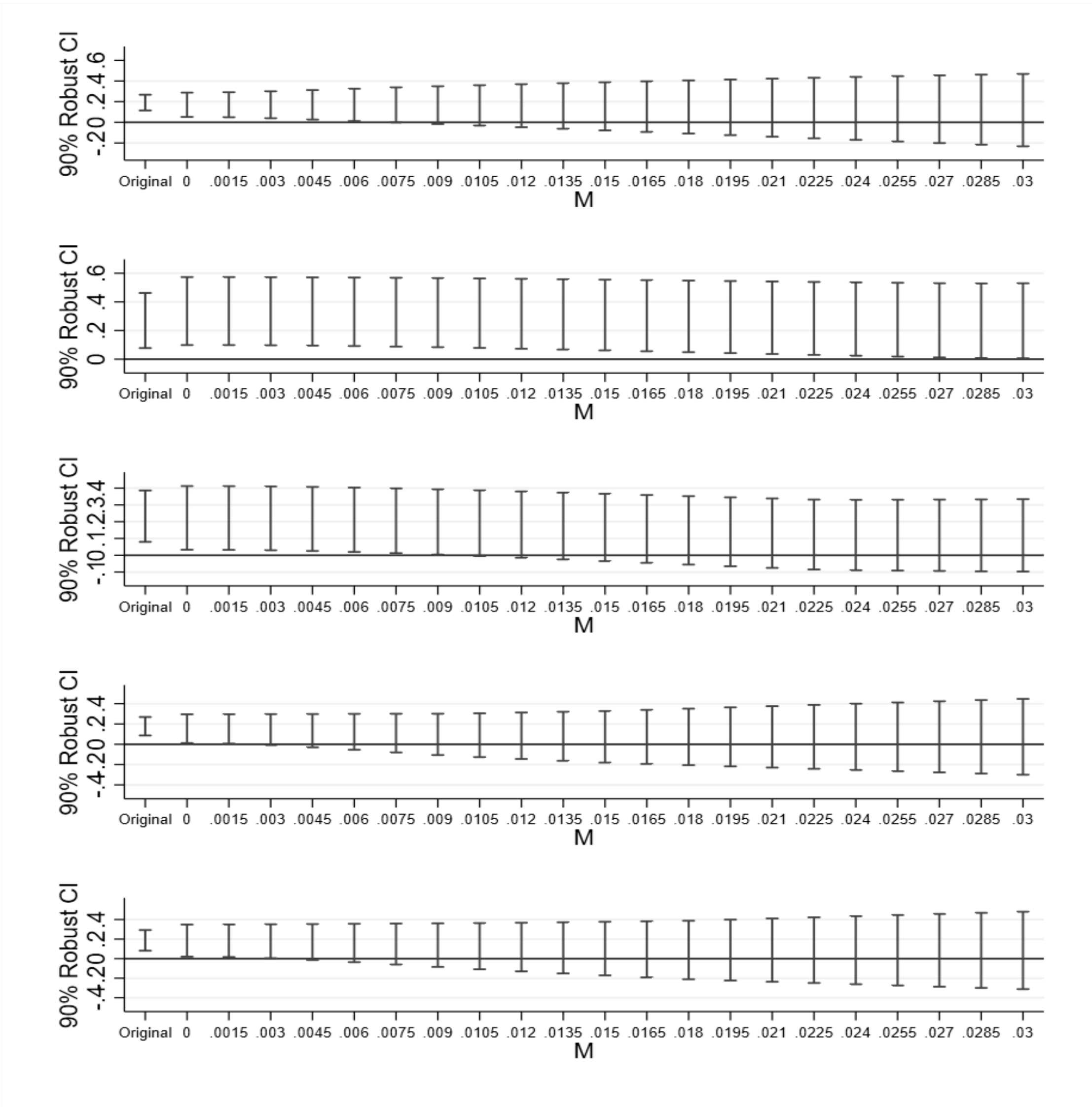
2. 企业层面

类似的，本文同样检验了企业层面的双重差分模型中的对照组和实验组是否满足平行趋势假设，结果如附图 3 所示。可以看到在政府对上游企业进行政策支持前，对照组和实验组关于产出和创新的各项指标在统计上并没有显著差异，而随着对上游企业进行研发补贴，两组在产出表现上立刻出现了差异（除了利润指标，其在政策实施后的第 1 期显著提升）；而关于创新表现，上游行业企业获得的支持政策对下游行业企业的影响要相对滞后，显著的促进效应发生在实施后的第 1 期（研发投入）和第 2 期（研发投入内部支出）。综上所述，以上结果验证了平行趋势假设。



附图 3　中国产业体系的下游行业企业生产和创新活动指标相关的平行趋势检验

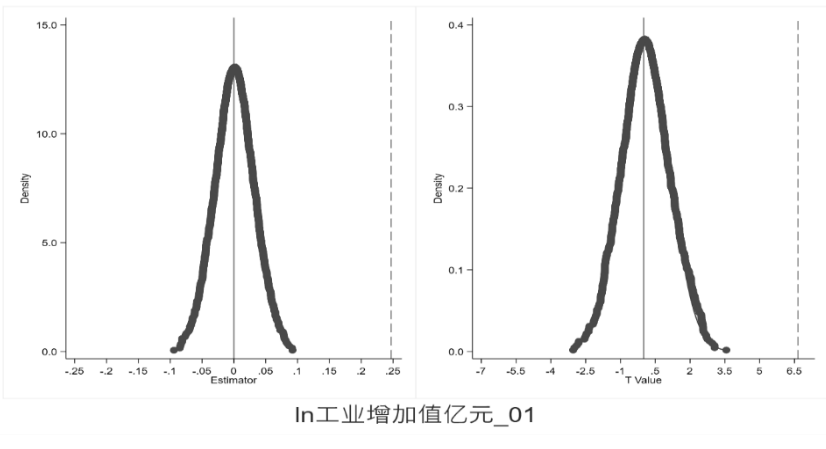
同样的，我们根据 Rambachan & Roth（2023）提出的在违反平行趋势假设时的检验方法，对处理后点估计量的置信区间进行推断和敏感性分析。附图 4 结果显示在允许两者的差异为线性的情况下，我们的检验结果依然稳健。并且，对于所有的估计结果，都可以在允许其演化过程的斜率有 0.0015 的偏离度的情况下成立，有些估计系数甚至可以允许其斜率偏离 0.03。检验结果表明，即使允许对照组和实验组在处理前存在一定的趋势差异，政府对上游环节行业研发活动的补贴力度加大，对下游环节行业企业研发投入与产出依然具有显著的促进作用。



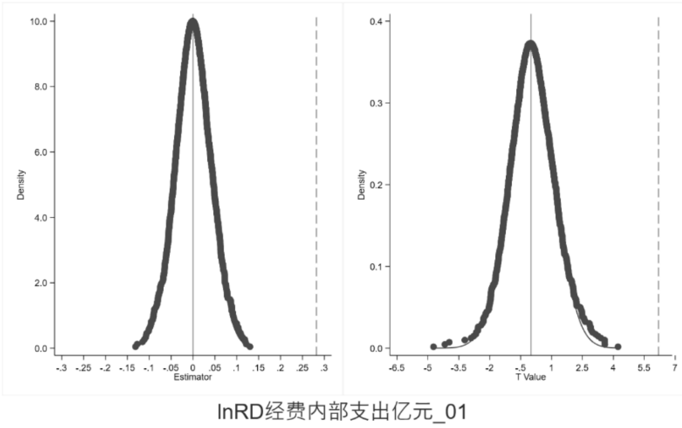
附图 4　中国产业体系平行趋势敏感性检验：企业层面

附录 6　安慰剂检验结果

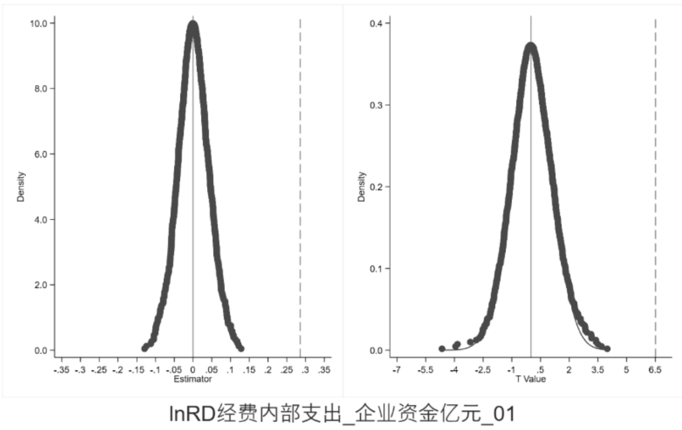
1. 行业层面



附图 5　中国产业体系安慰剂检验：行业层面（工业增加值）



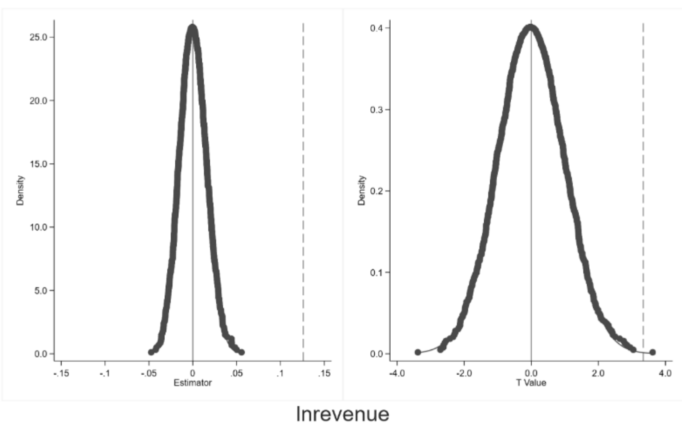
附图 6　中国产业体系安慰剂检验：行业层面（经费内部支出）



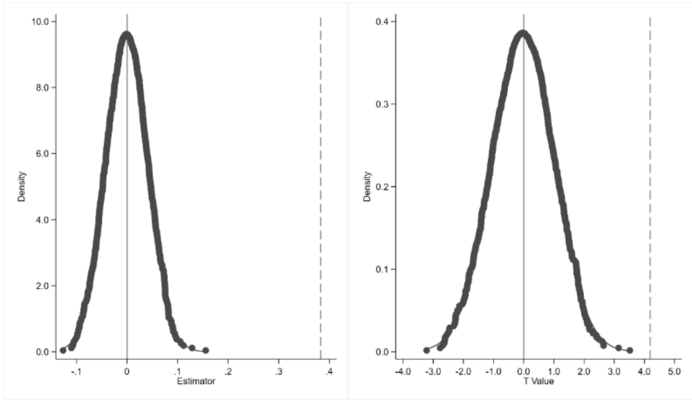
附图 7　中国产业体系安慰剂检验：行业层面（经费内部支出—企业资金）

2. 企业层面

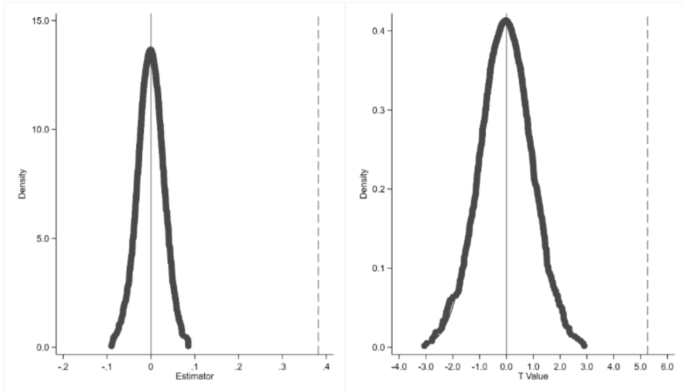
与行业层面的实证分析类似，企业层面的安慰剂检验结果显示，所有的回归系数和系数 t 值的均值均接近于 0，回归系数的值都远小于估计系数，仅有极少数回归的 t 值会大于真实回归系数的 t 值，验证了本文实证结果的有效性。



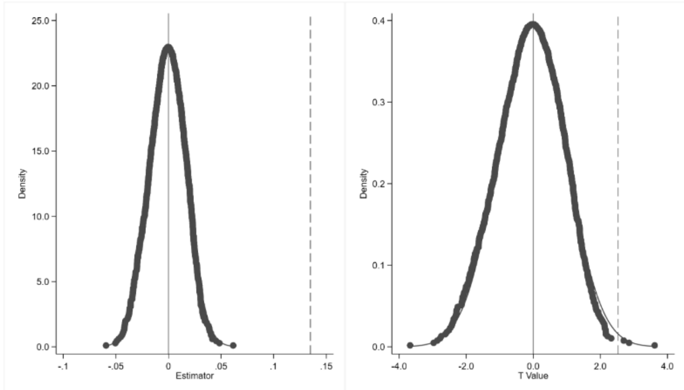
附图 8　中国产业体系安慰剂检验：企业层面（营业收入）



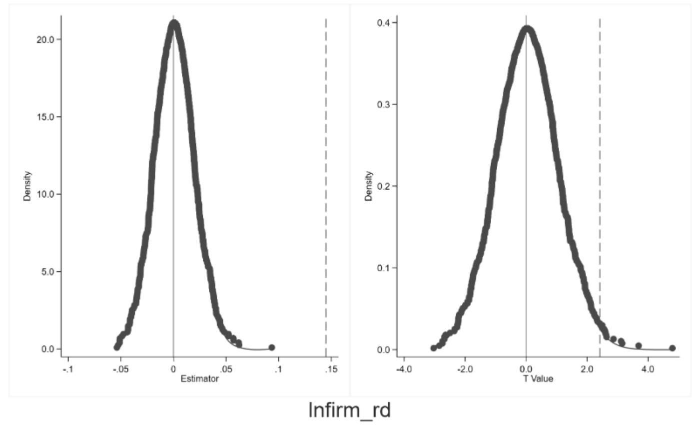
附图 9　中国产业体系安慰剂检验：企业层面（净利润）



附图 10　中国产业体系安慰剂检验：企业层面（增加值）



附图 11　中国产业体系安慰剂检验：企业层面（研发投入）



附图 12　中国产业体系安慰剂检验：企业层面（研发投入—企业资金）

参考文献：

寇宗来、刘学悦，2020：《中国企业的专利行为:特征事实以及来自创新政策的影响》，《经济研究》第 3 期。

王永贵、李霞，2023：《促进还是抑制：政府研发补助对企业绿色创新绩效的影响》，《中国工业经济》第 2 期。

应千伟、何思怡，2022：《政府研发补贴下的企业创新策略："滥竽充数"还是"精益求精"》，《南开管理评论》第 2 期。

Antràs, P., D. Chor, T. Fally, and R. Hillberry, 2012, "Measuring the Upstreamness of Production and Trade Flows", *American Economic Review*, 102(3), 412—416.

Rambachan, A., and J. Roth, 2023, "A More Credible Approach to Parallel Trends", *Review of Economic Studies*, 90(5), 2555—2591.

《创新链和产业链融合下的产业政策》
附录 8

2024 年 9 月 16 日

目录

1 理论模型推导与证明

1.1 封闭经济下社会最优资源配置与产出规模

1.1.1 社会最优劳动力资源配置

由中间产品市场出清条件有 $\sum_{j=1}^{n} M_{j,12} = M_{12} = Q_1$，将上游企业的生产函数代入到代表性下游企业 j 的生产函数，可得到下游企业产出表达式如下：

$$Q_{j,2} = n^{-\gamma_2} z_1^{\gamma_2} \phi_1^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} z_2 \phi_2^{\beta_2} l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} l_{j,p2}^{\alpha_2} l_{j,r2}^{\beta_2}$$

社会最终产品产量最大化问题：

$$\max_{\{l_{p1},l_{r1},(l_{j,p2}),(l_{j,r2})\}} \left\{ \sum_{j=1}^{n} Q_{j,2}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right\}$$

$$s.t.\quad l_{p1} + l_{r1} + \sum_{j=1}^{n} (l_{j,p2} + l_{j,r2}) \le L - nf$$

其一阶条件为：

$$(l_{j,p2})\quad \frac{\sigma-1}{\sigma} Q_{j,2}^{\frac{-1}{\sigma}} n^{-\gamma_2} \psi_{12} \alpha_2 l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} l_{j,p2}^{\alpha_2-1} l_{j,r2}^{\beta_2} - \lambda = 0 \tag{1}$$

$$(l_{j,r2})\quad \frac{\sigma-1}{\sigma} Q_{j,2}^{\frac{-1}{\sigma}} n^{-\gamma_2} \psi_{12} \beta_2 l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} l_{j,p2}^{\alpha_2} l_{j,r2}^{\beta_2-1} - \lambda = 0 \tag{2}$$

$$(l_{p1})\quad \frac{\sigma-1}{\sigma} \alpha_1\gamma_2 n^{-\gamma_2} l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2-1} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} \sum_{j=1}^{n} \left(Q_{j,2}^{\frac{-1}{\sigma}} \psi_{12} l_{j,p2}^{\alpha_2} l_{j,r2}^{\beta_2} \right) - \lambda = 0 \tag{3}$$

$$(l_{r1})\quad \frac{\sigma-1}{\sigma} \left[\beta_2\theta + (1-\alpha_1)\gamma_2\right] n^{-\gamma_2} l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2-1} \sum_{j=1}^{n} \left(Q_{j,2}^{\frac{-1}{\sigma}} \psi_{12} l_{j,p2}^{\alpha_2} l_{j,r2}^{\beta_2} \right) - \lambda = 0 \tag{4}$$

其中，$\psi_{12} = z_1^{\gamma_2} z_2 \phi_1^{(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta} \phi_2^{\beta_2}$。对于下游企业 j 有：

$$l_{j,p2} = \frac{\alpha_2}{\beta_2} l_{j,r2}$$

$$l_{p1} = \frac{\alpha_1\gamma_2}{\beta_2\theta + (1-\alpha_1)\gamma_2} l_{r1}$$

利用企业之间的对称性可知：

$$
\begin{aligned}
& n^{1-\gamma_2}\alpha_1\gamma_2 l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2-1} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} Q_{j,2}^{\frac{-1}{\sigma}}\psi_{12}\left(\frac{l_{p2}}{n}\right)^{\alpha_2}\left(\frac{l_{r2}}{n}\right)^{\beta_2}\\
&= Q_{j,2}^{\frac{-1}{\sigma}} n^{-\gamma_2}\psi_{12}\alpha_2 l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2}\left(\frac{l_{p2}}{n}\right)^{\alpha_2-1}\left(\frac{l_{r2}}{n}\right)^{\beta_2}\\
&\Rightarrow\ n\alpha_1\gamma_2\left(\frac{l_{p2}}{n}\right)=\alpha_2 l_{p1}\\
&\Rightarrow\ \frac{l_{p1}}{l_{p2}}=\frac{\alpha_1\gamma_2}{\alpha_2}
\end{aligned}
$$

从而劳动力资源配置方式可以表示为：

$$
\left(l_{p1}^*, l_{r1}^*, l_{j,p2}^*, l_{j,r2}^*\right)=\left(\alpha_1\gamma_2,\ (1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta,\ \frac{\alpha_2}{n},\ \frac{\beta_2}{n}\right) \tag{5}
$$

以 $l_{p2}^* \equiv \sum\limits_{j=1}^{n} l_{j,p2}^*$ 和 $l_{r2}^* \equiv \sum\limits_{j=1}^{n} l_{j,r2}^*$ 分别表示下游企业生产活动和研发活动的总投入，由下游企业之间的对称性必有：

$$
(l_{p1}^*,\ l_{r1}^*,\ l_{p2}^*,\ l_{r2}^*)\propto(\alpha_1\gamma_2,\ (1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta,\ \alpha_2,\ \beta_2)
$$

1.1.2 社会最终产品产出

(1) 社会最终产品的产出 利用劳动力比例方程 (5) 与劳动力市场出清方程可得社会最终产品的产出为：

$$
\begin{aligned}
Q_2=\sum_{j=1}^{n} Q_{j,2} &= \psi_{12} n^{-\gamma_2} l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2}\sum_{j=1}^{n} l_{j,p2}^{\alpha_2} l_{j,r2}^{\beta_2}\\
&= \psi_{12} n^{-\gamma_2} l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} n\left(\frac{l_{p2}}{n}\right)^{\alpha_2}\left(\frac{l_{r2}}{n}\right)^{\beta_2}\\
&= \psi_{12} l_{p1}^{\alpha_1\gamma_2} l_{r1}^{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2} l_{p2}^{\alpha_2} l_{r2}^{\beta_2}\\
&= \psi_{12}\frac{(\alpha_1\gamma_2)^{\alpha_1\gamma_2}\left((1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta\right)^{(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta}\alpha_2^{\alpha_2}\beta_2^{\beta_2}(L-nf)^{\alpha_1\gamma_2+(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta+\alpha_2+\beta_2}}{\left(\alpha_1\gamma_2+(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta+\alpha_2+\beta_2\right)^{\alpha_1\gamma_2+(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta+\alpha_2+\beta_2}}\\
&= \psi_{12}\frac{(\alpha_1\gamma_2)^{\alpha_1\gamma_2}\left((1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta\right)^{(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta}\alpha_2^{\alpha_2}\beta_2^{\beta_2}(L-nf)^{1+\beta_2\theta}}{(1+\beta_2\theta)^{1+\beta_2\theta}}\\
&= \psi_2(L-nf)^{1+\beta_2\theta}
\end{aligned} \tag{6}
$$

其中，$\psi_2=\frac{\psi_{12}(\alpha_1\gamma_2)^{\alpha_1\gamma_2}((1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta)^{(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta}\alpha_2^{\alpha_2}\beta_2^{\beta_2}}{(1+\beta_2\theta)^{1+\beta_2\theta}}$。

进一步地，社会计划者选择下游企业数目以最大化社会产出，由上式可知，由于减少进入固定成本消耗可以增加社会产出，因此社会最优均衡应该是使得下游企业数目尽可能少，即 $n^*=1$ ，此时，该国的社会最优最终产品产出为 $Q_2^*=\psi_2(L-f)^{1+\beta_2\theta}$ 。

(2) 各部门的劳动力投入 上游生产性劳动力投入：

$$
\begin{aligned}
l_{p1}^{*} &= \frac{\alpha_1\gamma_2}{\alpha_1\gamma_2+(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta+\alpha_2+\beta_2}(L-n^{*}f)\\
&= \frac{\alpha_1\gamma_2}{1+\beta_2\theta}(L-f)
\end{aligned}
$$

同理,上游研发劳动力投入为 $l_{r1}^{*}=\frac{(1-\alpha_1)\gamma_2+\beta_2\theta}{1+\beta_2\theta}(L-f)$,下游生产性劳动力投入为 $l_{p2}^{*}=\frac{\alpha_2}{1+\beta_2\theta}(L-f)$，下游研发劳动力投入为 $l_{r2}^{*}=\frac{\beta_2}{1+\beta_2\theta}(L-f)$。

1.2 市场均衡与最优产业政策

1.2.1 上游成本最小化问题

$$
\begin{aligned}
&\min_{\{l_{p1},l_{r1}\}}\{(1+\tau_{p1})\,l_{p1}+(1+\tau_{r1})\,l_{r1}\}\\
&\qquad\qquad s.t.\quad Q_1\geq 1
\end{aligned}
$$

拉格朗日函数为：

$$\mathcal{L}=(1+\tau_{p1})\,l_{p1}+(1+\tau_{r1})\,l_{r1}-\lambda\,(Q_1-1)$$

上游企业的成本最小化问题的一阶条件为：

$$1+\tau_{p1}-\lambda\alpha_1 z_1 l_{p1}^{\alpha_1-1}(\phi_1 l_{r1})^{1-\alpha_1}=0$$

$$1+\tau_{r1}-\lambda\,(1-\alpha_1)\,\phi_1 z_1 l_{p1}^{\alpha_1}(\phi_1 l_{r1})^{-\alpha_1}=0$$

同时，我们还知道 $\lambda=\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial Q_1}=MC=p_1$，于是，我们有：

$$1+\tau_{p1}-\alpha_1 p_1 l_{p1}^{-1}Q_1=0$$

$$1+\tau_{r1}-(1-\alpha_1)\,p_1 l_{r1}^{-1}Q_1=0$$

即：

$$\frac{(1+\tau_{p1})\,\tilde{l}_{p1}}{p_1Q_1}=\alpha_1 \tag{7}$$

$$\frac{(1+\tau_{r1})\,\tilde{l}_{r1}}{p_1 Q_1}=1-\alpha_1 \tag{8}$$

两式相除则有：

$$\frac{\tilde{l}_{p1}}{\tilde{l}_{r1}}=\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}\frac{1+\tau_{r1}}{1+\tau_{p1}} \tag{9}$$

1.2.2 下游企业利润最大化问题

我们假设下游企业购买关键核心技术中间产品时，存在产品市场摩擦，该市场摩擦导致下游企业支付的中间产品价格为：$(1+\chi_1)\,p_1$。则下游产业代表性企业的利润为：

$$\pi_{j,2}=p_{j,2}q_{j,2}-(1+\tau_{p2})\,l_{j,p2}-(1+\tau_{r2})\,l_{j,r2}-(1+\chi_1)\,p_1M_{j,12}-f$$

由 $q_{j,2}=EP^{\sigma-1}p_{j,2}^{-\sigma}$ 可得 $p_{j,2}=\left(EP^{\sigma-1}\right)^{\frac{1}{\sigma}}q_{j,2}^{-\frac{1}{\sigma}}$，将其代入上式则有：

$$\pi_{j,2}=\left(EP^{\sigma-1}\right)^{\frac{1}{\sigma}}\left[z_2 l_{j,p2}^{\alpha_2}\left(\phi_2 l_{j,r2}\left(\phi_1 l_{r_1}\right)^{\theta}\right)^{\beta_2}M_{j,12}^{\gamma_2}\right]^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}-(1+\tau_{p2})\,l_{j,p2}-(1+\tau_{r2})\,l_{j,r2}-(1+\chi_1)\,p_1M_{j,12}-f$$

根据下游产业代表性企业的利润最大化问题关于 $l_{j,p2}$ 的一阶条件有生产性劳动成本-销售额支出之比为：

$$\begin{aligned}\alpha_2\frac{\sigma-1}{\sigma}l_{j,p2}^{-1}\left(EP^{\sigma-1}\right)^{\frac{1}{\sigma}}\left[z_2 l_{j,p2}^{\alpha_2}\left(\phi_2 l_{j,r2}\left(\phi_1 l_{r_1}\right)^{\theta}\right)^{\beta_2}M_{j,12}^{\gamma_2}\right]^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}-(1+\tau_{p2})=0\\ \Leftrightarrow\ \alpha_2\frac{\sigma-1}{\sigma}l_{j,p2}^{-1}p_{j,2}q_{j,2}=1+\tau_{p2}\\ \Leftrightarrow\ \frac{(1+\tau_{p2})\,l_{j,p2}}{p_{j,2}q_{j,2}}=\frac{\sigma-1}{\sigma}\alpha_2\end{aligned} \tag{10}$$

同理，由关于 $l_{j,2}$ 和 $M_{j,12}$ 的一阶条件可得到研发劳动成本-销售额和中间产品-销售额之比为：

$$\frac{(1+\tau_{r2})\,l_{j,r2}}{p_{j,2}q_{j,2}}=\frac{\sigma-1}{\sigma}\beta_2 \tag{11}$$

$$\frac{(1+\chi_1)\,p_1M_{j,12}}{p_{j,2}q_{j,2}}=\frac{\sigma-1}{\sigma}\gamma_2 \tag{12}$$

将 (10) 式除以 (11) 式，可以得到下游企业生产性劳动投入与研发劳动投入的比例为：

$$\frac{\tilde{l}_{j,p2}}{\tilde{l}_{j,r2}}=\frac{(1+\tau_{r2})\alpha_2}{(1+\tau_{p2})\beta_2}$$

根据 (10)-(12) 则可得到下游产业代表性企业 j 的总成本为：

$$(1+\tau_{p2})\, l_{j,p2} + (1+\tau_{r2})\, l_{j,r2} + (1+\chi_1)\, p_1 M_{j,12} = \frac{\sigma-1}{\sigma} p_{j,2} q_{j,2}$$

定义 $\rho_2 \equiv \frac{\sigma-1}{\sigma} < 1$ 那么，下游产业的总利润为：

$$(1-\rho_2) \sum_{j=1}^{n} p_{j,2} q_{j,2}$$

则中间产品市场出清条件为：

$$n\rho_2 p_{j,2} q_{j,2} = n\,(1+\tau_{p2})\, \tilde{l}_{j,p2} + n\,(1+\tau_{r2})\, \tilde{l}_{j,r2} + (1+\chi_1)\, p_1 Q_1 \tag{13}$$

1.2.3 政府最优的补贴和税收政策

将方程 (7)，(10)，(11) 代入 (13)，可以得到上游产业与下游产业的生产性劳动力配置之比为：

$$\frac{\tilde{l}_{p1}}{\tilde{l}_{j,p2}} = n \frac{\alpha_1 \gamma_2}{\alpha_2} \frac{1+\tau_{p2}}{(1+\tau_{p1})\,(1+\chi_1)} \tag{14}$$

因此，根据 (9)、(10)、(11) 和 (14) 市场均衡条件下各部门劳动力的配置满足如下比例关系：

$$\left(\tilde{l}_{p1}, \tilde{l}_{r1}, \tilde{l}_{j,p2}, \tilde{l}_{j,r2}\right) = \left(\frac{\alpha_1 \gamma_2}{(1+\tau_{p1})\,(1+\chi_1)}, \frac{(1-\alpha_1)\,\gamma_2}{(1+\tau_{r1})\,(1+\chi_1)}, \frac{\alpha_2}{n\,(1+\tau_{p2})}, \frac{\beta_2}{n\,(1+\tau_{r2})} \right) \tag{15}$$

根据 (5) 和 (15)，我们有：

$$\frac{l^*_{p1}}{l^*_{r2}} = \frac{\alpha_1 \gamma_2}{\beta_2}$$

$$\frac{\tilde{l}_{p1}}{\tilde{l}_{r2}} = \frac{\alpha_1 \gamma_2\,(1+\tau_{r2})}{(1+\tau_{p1})\,(1+\chi_1)\,\beta_2}$$

因此，便有 $\frac{1+\tau^*_{r2}}{1+\tau^*_{p1}} = 1+\chi_1$，同理，可以得到其他政府政策的需要满足的条件。政府最优的补贴和税收政策总结如下：

$$\frac{1+\tau^*_{r2}}{1+\tau^*_{p1}} = 1+\chi_1$$

$$\frac{1+\tau^*_{r2}}{1+\tau^*_{r1}} = (1+\chi_1) \left(1 + \frac{\beta_2 \theta}{(1-\alpha_1)\,\gamma_2} \right)$$

$$\frac{1+\tau^*_{p1}}{1+\tau^*_{r1}} = 1 + \frac{\beta_2 \theta}{(1-\alpha_1)\,\gamma_2}$$

$$\tau^*_{p2} = \tau^*_{r2}$$

1.3 开放经济模型相关证明

1.3.1 依赖国外上游企业

(1) 下游企业的产出，边际成本与中间产品需求 在开放经济条件下，下游代表性企业的成本最小化问题为：

$$\min_{\left\{(l_{j,p2}),(l_{j,r2}),\left(M_{j,12}^x\right)\right\}}\left\{\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x M_{j,12}^x+\left(1+\tau_{j,p2}\right)l_{j,p2}+\left(1+\tau_{j,r2}\right)l_{j,r2}\right\}$$
$$s.t.\quad z_2 l_{j,p2}^{\alpha_2}\left(\phi_2 l_{j,r2}\right)^{\beta_2}\left(M_{j,12}^x\right)^{\gamma_2}\geq\bar{Q}_{j,2}$$

拉格朗日函数为：

$$\begin{aligned}\mathcal{L}=&\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x M_{j,12}^x+\left(1+\tau_{j,p2}\right)l_{j,p2}+\left(1+\tau_{j,r2}\right)l_{j,r2}\\&+\lambda_j\left(\bar{Q}-z_2 l_{j,p2}^{\alpha_2}\left(\phi_2 l_{j,r2}\right)^{\beta_2}\left(M_{j,12}^x\right)^{\gamma_2}\right)\end{aligned}$$

一阶条件为：

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial M_{j,12}^x}=\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x-\lambda_j\frac{\partial Q_{j,2}^x}{\partial M_{j,12}}=0 \tag{16}$$
$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial l_{j,p2}}=\left(1+\tau_{j,p2}\right)-\lambda_j\frac{\partial Q_{j,2}^x}{\partial l_{j,p2}}=0 \tag{17}$$
$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial l_{j,r2}}=\left(1+\tau_{j,r2}\right)-\lambda_j\frac{\partial Q_{j,2}^x}{\partial l_{j,r2}}=0 \tag{18}$$

将上述方程两两相互对除可得：

$$l_{j,p2}=\frac{\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x}{\left(1+\tau_{j,p2}\right)}\frac{\alpha_2}{\gamma_2}M_{j,12}^x \tag{19}$$
$$l_{j,r2}=\frac{\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x}{\left(1+\tau_{j,r2}\right)}\frac{\beta_2}{\gamma_2}M_{j,12}^x \tag{20}$$

注意到 $\lambda_j=\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\bar{Q}_{j,2}}$ 即为生产边际成本，将上述两式带入到 (16) 可以得到：

$$\begin{aligned}c_{j,2}^x=\lambda_j&=\frac{\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x}{\partial Q_{j,2}^x/\partial M_{j,12}}\\&=\frac{\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x}{\gamma_2 z_2\left(\frac{\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x}{\left(1+\tau_{j,p2}\right)}\frac{\alpha_2}{\gamma_2}M_{j,12}^x\right)^{\alpha_2}\left(\phi_2\frac{\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x}{\left(1+\tau_{j,r2}\right)}\frac{\beta_2}{\gamma_2}M_{j,12}^x\right)^{\beta_2}\left(M_{j,12}^x\right)^{\gamma_2-1}}\\&=\frac{\left(1+\tau_{j,p2}\right)^{\alpha_2}\left(1+\tau_{j,r2}\right)^{\beta_2}}{z_2\alpha_2^{\alpha_2}\left(\beta_2\phi_2\right)^{\beta_2}\gamma_2^{\gamma_2}}\left[\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x\right]^{\gamma_2}&&(21)\\&\equiv\frac{1}{\gamma_2 B_2}\left[\left(1+\tau_{j,1}^x\right)p_1^x\right]^{\gamma_2}&&(22)\end{aligned}$$

$$B_2\equiv\frac{z_2\alpha_2^{\alpha_2}\left(\beta_2\phi_2\right)^{\beta_2}}{\left(1+\tau_{j,p2}\right)^{\alpha_2}\left(1+\tau_{j,r2}\right)^{\beta_2}\gamma_2^{\alpha_2+\beta_2}} \tag{23}$$

此时企业 j 的产出可以表示为：

$$
\begin{aligned}
Q_{j,2}^{x} &= z_2\left(\frac{\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_{j,1}^{x}}{\left(1+\tau_{j,p2}\right)}\frac{\alpha_2}{\gamma_2}M_{j,12}^{x}\right)^{\alpha_2}\left(\phi_2\frac{\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_{j,1}^{x}}{\left(1+\tau_{j,r2}\right)}\frac{\beta_2}{\gamma_2}M_{j,12}^{x}\right)^{\beta_2}\left(M_{j,12}^{x}\right)^{\gamma_2} \\
&= \frac{\left[\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_{j,1}^{x}\right]^{\alpha_2+\beta_2}z_2\alpha_2^{\alpha_2}\left(\beta_2\phi_2\right)^{\beta_2}}{\left(1+\tau_{j,p2}\right)^{\alpha_2}\left(1+\tau_{j,r2}\right)^{\beta_2}\gamma_2^{\alpha_2+\beta_2}}M_{j,12}^{x} \qquad (24)\\
&\equiv B_2\left[\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_{j,1}^{x}\right]^{\alpha_2+\beta_2}M_{j,12}^{x} \qquad (25)
\end{aligned}
$$

由上式可知下游企业对中间产品的需求为：

$$
\begin{aligned}
M_{j,12}^{x} &= \frac{q_{j,2}^{d}+q_{j,2}^{f}}{B_2\left[\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_1^{x}\right]^{\alpha_2+\beta_2}} \\
&= \frac{EP^{\sigma-1}+E^{f}\left(P^{f}\right)^{\sigma-1}\left(1+\tau_{j,2}^{f}\right)^{-\sigma}}{B_2\left[\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_1^{x}\right]^{1-\gamma_2}\left(\frac{\mu_2}{\gamma_2 B_2}\left[\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_1^{x}\right]^{\gamma_2}\right)^{\sigma}} \\
&= \frac{\left(EP^{\sigma-1}+E^{f}\left(P^{f}\right)^{\sigma-1}\left(1+\tau_{j,2}^{f}\right)^{-\sigma}\right)\left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma}}{B_2^{1-\sigma}\left[\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_1^{x}\right]^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \\
&= \Pi_1^{f}B_2^{\sigma-1}\left[\left(1+\tau_{j,1}^{x}\right)p_1^{x}\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1} \qquad (26)
\end{aligned}
$$

其中，$\Pi_1^{f}\equiv\left(EP^{\sigma-1}+E^{f}\left(P^{f}\right)^{\sigma-1}\left(1+\tau_{j,2}^{f}\right)^{-\sigma}\right)\left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma}$。

(2) 下游企业的产品定价方程 在此情形下，下游企业可以同时通过国内市场销售和产品出口国外市场获取利润。下游企业所面临的出口从价关税 τ_2^{f}，假定国外消费者对下游企业 j 的需求函数为：

$$
q_{j,2}^{f}=E^{f}P_{f}^{\sigma-1}\left[(1+\tau_{j,2}^{f})p_{j,2}^{f}\right]^{-\sigma}
$$

其利润函数可以表示为：

$$
\pi_{j,2}=(p_{j,2}^{d}-c_{j,2}^{x})q_{j,2}^{d}+(p_{j,2}^{f}-c_{j,2}^{x})q_{j,2}^{f}-f
$$

利润函数关于价格求一阶条件：

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial\pi_{j,2}}{\partial p_{j,2}^{d}} &= (p_{j,2}^{d}-c_{j,2}^{x})q_{j,2}^{d}+(p_{j,2}^{f}-c_{j,2}^{x})q_{j,2}^{f}-f=0 \\
\Rightarrow\ EP^{\sigma-1}\left(p_{j,2}^{d}\right)^{-\sigma}+(p_{j,2}^{d}-c_{j,2}^{x})EP^{\sigma-1}(-\sigma)\left(p_{j,2}^{d}\right)^{-\sigma-1} &= 0 \\
\Rightarrow\ \sigma(p_{j,2}^{d}-c_{j,2}^{x})\left(p_{j,2}^{d}\right)^{-1} &= 1 \\
\Rightarrow\ p_{j,2}^{d} &= \frac{\sigma}{\sigma-1}c_{j,2}^{x}
\end{aligned}
$$

同理可得 $p^f_{j,2} = \frac{\sigma}{\sigma-1} c^x_{j,2}$，于是，我们有：

$$p^d_{j,2} = p^f_{j,2} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} c^x_{j,2} \equiv \mu_2 c^x_{j,2}$$

其中，$\mu_2 \equiv \frac{\sigma}{\sigma-1}$。

(3) 上游企业的利润函数和产品定价方程

$$\begin{aligned}\pi^f_1 &= \sum_{j=1}^{n} (p^x_{j,1} - c^f_1) M^x_{j,12} \\ &= \Pi^f_1 \sum_{j=1}^{n} (p^x_{j,1} - c^f_1) \frac{(p^x_{j,1})^{\gamma_2(1-\sigma)-1} B_2^{\sigma-1}}{(1+\tau^x_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}}\end{aligned}$$

利润函数关于价格求一阶条件有：

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi^f_1}{\partial p^x_{j,1}} = \Pi^f_1 \left(\frac{(p^x_{j,1})^{\gamma_2(1-\sigma)-1} B_2^{\sigma-1}}{(1+\tau^x_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} + (\gamma_2(1\text{-}\sigma)\text{-}1)(p^x_{j,1} - c^f_1) \frac{(p^x_{j,1})^{\gamma_2(1-\sigma)-1} B_2^{\sigma-1}}{(1+\tau^x_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} (p^x_{j,1})^{-1} \right) = 0 \\ \Rightarrow\ 1 + (\gamma_2(1\text{-}\sigma)\text{-}1)(p^x_{j,1} - c^f_1)(p^x_{j,1})^{-1} = 0 \\ \Rightarrow\ p^x_{j,1} = \frac{\gamma_2(1-\sigma)+1}{\gamma_2(1-\sigma)} c^f_1\end{aligned}$$

令 $\mu^x_1 \equiv \frac{\gamma_2(1-\sigma)+1}{\gamma_2(1-\sigma)}$，则有：

$$p^x_1 \equiv p^x_{j,1} = \frac{\gamma_2(1-\sigma)+1}{\gamma_2(1-\sigma)} c^f_1 \equiv \mu^x_1 c^f_1$$

此时，国外上游企业的利润为：

$$
\begin{aligned}
\pi_1^f &= \Pi_1^f \sum_{j=1}^{n} (p_{j,1}^x - c_1^f) \frac{(p_{j,1}^x)^{\gamma_2(1-\sigma)-1} B_2^{\sigma-1}}{(1+\tau_1^x)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \\
&= \Pi_1^f n \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) \mu_1^x c_1^f \frac{(\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)-1} B_2^{\sigma-1}}{(1+\tau_1^x)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \\
&= \Pi_1^f n \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) \frac{(\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1}}{(1+\tau_1^x)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \\
&= \left(EP^{\sigma-1} + E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \left(1+\tau_{j,2}^f\right)^{-\sigma}\right) \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} n \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) \frac{(\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1}}{(1+\tau_1^x)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \\
&= \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) \left[\left(EP^{\sigma-1} + E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \delta_{f2}^{\sigma}\right) \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} n (\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}\right] \\
&= \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) [EP^{\sigma-1} \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} n (\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1} \\
&\quad + E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \delta_{f2}^{\sigma} \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} n (\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}] \\
&= \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) [EP^{\sigma-1} \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} \sum_{j=1}^{n} (p_{j,1}^x)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1} \\
&\quad + nE^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} (\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}]
\end{aligned}
$$

由 (22) 可知 $\left(\frac{p_1^x}{\delta_{x1}}\right)^{\gamma_2} = \gamma_2 B_2 c_{j,2}^x$，我们有 $p_1^x = \left(\gamma_2 B_2 c_{j,2}^x\right)^{\frac{1}{\gamma_2}} \delta_{x1} = \left(\gamma_2 B_2 \frac{p_{j,2}^d}{\mu_2}\right)^{\frac{1}{\gamma_2}} \delta_{x1}$，代入上式可得：

$$
\begin{aligned}
\pi_1^f &= \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) [EP^{\sigma-1} \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} \sum_{j=1}^{n} (\gamma_2 B_2 \frac{p_{j,2}}{\mu_2})^{\frac{\gamma_2(1-\sigma)}{\gamma_2}} B_2^{\sigma-1} \delta_{x1} \\
&\quad + nE^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} (\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}] \\
&= \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) \left[EP^{\sigma-1} \frac{\gamma_2}{\mu_2} \sum_{j=1}^{n} p_{j,2}^{1-\sigma} \delta_{x1} + nE^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} (\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}\right] \\
&= \left(1 - \frac{1}{\mu_1^x}\right) \left[\frac{\gamma_2 E}{\mu_2} \delta_{x1} + nE^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} (\mu_1^x c_1^f)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\delta_{x1}\right)^{\gamma_2(\sigma-1)+1} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}\right]
\end{aligned} \tag{27}
$$

(4) 国内下游产业代表性企业的净利润和企业数目 由成本加成率为常数可知，国内下游企业利润为：

$$\pi_{j,2} = \frac{1}{n\sigma} \left(E + E^f \delta_{f2}\right) - f$$

由于国内下游产业内的企业可以自由进入，所以均衡状态下 $\pi_{j,2} = 0$，因此，均衡状态下国内下游产业之中的企业数目为：

$$\hat{n} = \frac{E + E^f \delta_{f2}}{\sigma f}$$

(5) 消费者福利

$$U_f = \frac{E}{P} = \frac{E}{\left(\sum_{j=1}^{n} p_{j,2}^{1-\sigma}\right)^{\frac{1}{1-\sigma}}} = \frac{E}{\hat{n}^{\frac{1}{1-\sigma}} p_{j,2}} = \frac{E}{\left(\frac{E+E^f\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \frac{\mu_2\left(\mu_1^x c_1^f\right)^{\gamma_2}}{\gamma_2 B_2 \delta_{x1}^{\gamma_2}}}$$
$$= \frac{\gamma_2 E B_2 \delta_{x1}^{\gamma_2}}{\mu_2\left(\mu_1^x c_1^f\right)^{\gamma_2}} \left(\frac{E + E^f \delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}$$

1.3.2 国内上游企业与国外上游企业竞争性提供关键技术产品

(1) 中间产品的需求 假定国内下游行业生产所需的关键核心技术中间产品，可以由国外上游企业与国内上游企业竞争性地提供。此时，我们使用 p_1^d 表示国内上游企业提供的关键核心技术中间产品的销售价格，仍用 p_1^x 表示国外上游企业关键核心技术中间产品的销售价格。国外上游企业与国内企业之间进行 Betrand 竞争（即价格竞争），从而国内下游企业的关键核心技术中间产品价格为：

$$p_{12}^M = \min\left\{(1+\chi_1)p_1^d, \quad (1+\tau_1^x)p_1^x\right\}$$

在该情形下，国内上游企业的研发投入会对国内下游企业造成技术溢出效应，所以国内下游企业的生产函数为：

$$Q_{j,2} = z_2 \phi_1^{\beta_2\theta} \phi_2^{\beta_2} l_{r1}^{\beta_2\theta} l_{j,p2}^{\alpha_2} l_{j,r2}^{\beta_2} M_{j,12}^{\gamma_2}$$

与 (26) 的推导过程相似，我们可以得到在国内上游企业与国外上游企业竞争性提供关键技术产品的情境下，若 $(1+\tau_1^x)\, p_1^x \leq (1+\chi_1)\, p_1^d$，即国内下游企业全部从国外上游企业购买关键核心技术中间产品，此时，

$$M_{j,12}^x = \Pi_1^f B_2^{\sigma-1} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)} \left[\left(1+\tau_{j,1}^x\right) p_1^x\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1} \tag{28}$$

为了保证社会最终产品生产函数关于上游企业研发劳动投入满足规模报酬递减,我们限制 $\beta_2\theta(\sigma-1) < 1$。由于国内上游企业的研发活动对国内下游企业存在正向溢出效应，国内下游企业对关键核心技术中间产品的需求则受到国内上游企业研发规模的影响。

类比 (22)，此时有国内下游企业的成本为：

$$c_{j,2}^x = \frac{\left[\left(1+\tau_{j,1}^x\right) p_1^x\right]^{\gamma_2}}{\gamma_2 B_2 \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}}$$

(2) 国内上游企业的边际成本 上游企业的成本最小化问题为：

$$\min_{\{l_{p1},l_{r1}\}}\left\{\left(1+\tau_{p1}\right)l_{p1}+\left(1+\tau_{r1}\right)l_{r1}\right\}$$
$$s.t.\,Q\geq 1$$

由一阶条件可知：

$$1+\tau_{p1}=\lambda_1\frac{\partial Q_1}{\partial l_{p1}}=\lambda_1 z_1\alpha_1 l_{p1}^{\alpha_1-1}\left(\phi_1 l_{r1}\right)^{1-\alpha_1} \tag{29}$$
$$1+\tau_{r1}=\lambda_1\frac{\partial Q_1}{\partial l_{r1}}=\lambda_1 z_1\left(1-\alpha_1\right)l_{p1}^{\alpha_1}\phi_1^{1-\alpha_1}l_{r1}^{-\alpha_1} \tag{30}$$

可知：

$$\frac{l_{p1}}{l_{r1}}=\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}\frac{1+\tau_{r1}}{1+\tau_{p1}} \tag{31}$$

带入一阶条件，可知边际生产成本为:

$$\begin{aligned}c_1^d=\lambda_1&=\frac{1+\tau_{p1}}{z_1\alpha_1\phi_1^{1-\alpha_1}}\left(l_{p1}/l_{r1}\right)^{1-\alpha_1}\\&=\frac{\left(1+\tau_{p1}\right)^{\alpha_1}\left(1+\tau_{r1}\right)^{1-\alpha_1}}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1}\alpha_1^{\alpha_1}\left(1-\alpha_1\right)^{1-\alpha_1}}\end{aligned} \tag{32}$$

(3) 对国外上游企业产生实质性的竞争效应的条件

$$\begin{aligned}\tilde{c}_1^d&<\left(1+\tau_1^x\right)\mu_1^x c_1^f\\\Leftrightarrow\frac{\left(1+\chi_1\right)\left(1+\tau_{p1}\right)^{\alpha_1}\left(1+\tau_{r1}\right)^{1-\alpha_1}}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1}\alpha_1^{\alpha_1}\left(1-\alpha_1\right)^{1-\alpha_1}}&<\left(1+\tau_1^x\right)\mu_1^x c_1^f\\\Leftrightarrow\frac{\left(1+\tau_{p1}\right)^{\alpha_1}\left(1+\tau_{r1}\right)^{1-\alpha_1}}{1+\tau_1^x}&<\frac{\alpha_1^{\alpha_1}\left(1-\alpha_1\right)^{1-\alpha_1}z_1\phi_1^{1-\alpha_1}\mu_1^x c_1^f}{\left(1+\chi_1\right)}\end{aligned}$$

此时，国外上游企业利润方程：

$$\begin{aligned}\pi_1^{f*}&=\sum_{j=1}^{n}\left((p_{j,1}^{x*}-c_1^f)M_{j,12}^x\right)\\&=n\Pi_1^f B_2^{\sigma-1}(\delta_{x1}\tilde{c}_1^d-c_1^f)\left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}\left(\tilde{c}_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)-1}\end{aligned}$$

且满足 $\pi_1^{f*}<\pi_1^f$, 其中 π_1^f 为方程 (27) 刻画的垄断利润。

(4) 国内上游企业为关键核心技术产品的供应商时的分析 上游企业成本最小化问题：

$$\min_{\{l_{p1},l_{r1}\}}\left\{\left(1+\tau_{p1}\right)l_{p1}+\left(1+\tau_{r1}\right)l_{r1}\right\}$$
$$s.t. Q\geq 1$$

与国内上游企业成本最小化的问题相似，拉格朗日乘子也代表边际成本，且表达式与 (32) 相同。那么关于研发劳动投入 l_{r2} 的一阶条件为：

$$\left(1+\tau_{r1}\right)-\frac{\left(1+\tau_{p1}\right)^{\alpha_1}\left(1+\tau_{r1}\right)^{1-\alpha_1}}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1}\alpha_1^{\alpha_1}\left(1-\alpha_1\right)^{1-\alpha_1}}\frac{1-\alpha}{l_{r1}}Q_1=0$$

于是我们有：

$$l_{r1}^{*}=\frac{\left(1+\tau_{p1}\right)^{\alpha_1}\left(1+\tau_{r1}\right)^{-\alpha_1}}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1}\alpha_1^{\alpha_1}\left(1-\alpha_1\right)^{-\alpha_1}}Q_1 \tag{33}$$

与全部从国外上游企业购买关键核心技术中间产品的情景类似，当国内下游企业全部从国外上游企业购买关键核心技术中间产品的时候，下游代表性企业 j 生产所需要的中间产品为：

$$M_{j,12}^{d}=\Pi_1^{f}B_2^{\sigma-1}\left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}\left[\left(1+\chi_1\right)p_1^{d}\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1}$$

又由于在市场出清的情况下，

$$Q_1=M_{12}=nM_{j,12}^{d}=n\Pi_1^{f}B_2^{\sigma-1}\left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}\left[\left(1+\chi_1\right)p_1^{d}\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1}$$

将上式带入 (33) 可得：

$$\begin{aligned}l_{r1}^{*}&=\frac{n\left(1-\alpha_1\right)^{\alpha_1}\Pi_1^{f}B_2^{\sigma-1}\delta_{r1}^{\alpha_1}\left[\left(1+\chi_1\right)p_1^{d*}\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1}}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1-\beta_2\theta(\sigma-1)}\alpha_1^{\alpha_1}\delta_{p1}^{\alpha_1}}\\&=\frac{\left(E+E^{f}\delta_{f2}\right)\left(1-\alpha_1\right)^{\alpha_1}\Pi_1^{f}B_2^{\sigma-1}\delta_{r1}^{\alpha_1}\left[\left(1+\chi_1\right)p_1^{d*}\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1}}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1-\beta_2\theta(\sigma-1)}\alpha_1^{\alpha_1}\delta_{p1}^{\alpha_1}\sigma f}\end{aligned} \tag{34}$$

此时，消费者福利为：

$$\begin{aligned}U_d=\frac{E}{P}&=\frac{E}{\left(\sum_{j=1}^{n}p_{j,2}^{1-\sigma}\right)^{\frac{1}{1-\sigma}}}=\frac{E}{\hat{n}^{\frac{1}{1-\sigma}}p_{j,2}}=\frac{E}{\left(\frac{E+E^{f}\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{1-\sigma}}\frac{\mu_2\left(\left(1+\chi_1\right)p_1^{d*}\right)^{\gamma_2}}{\gamma_2B_2\left(\phi_1 l_{r1}^{*}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}}}\\&=\frac{\gamma_2EB_2\left(\phi_1 l_{r1}^{*}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}}{\mu_2\left(\left(1+\chi_1\right)p_1^{d*}\right)^{\gamma_2}}\left(\frac{E+E^{f}\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}\end{aligned}$$

将国内上游企业研发活动的劳动力投入方程 (34) 代入上式可得：

$$U_d = U_0 B_2^{\frac{1}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(E + E^f \delta_{f2}\right)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}} \left(\Pi_1^f\right)^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(\frac{\delta_{r1}}{\delta_{p1}}\right)^{\frac{\alpha_1\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left((1+\chi_1) p_1^{d*}\right)^{-\frac{\gamma_2+\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}}$$

$$\text{其中，} U_0 \equiv \frac{\gamma_2 E}{\mu_2 z_1^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} (\sigma f)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}}} \left(\frac{1-\alpha_1}{\alpha_1}\phi\right)^{\frac{\alpha_1\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}}$$

(5) 不同进口关税水平下的分析　首先，当进口关税处于中等水平时，即

$$\begin{aligned}
&\tilde{c}_1^d < (1+\tau_1^x)\, c_1^f < \mu_1^x \tilde{c}_1^d \\
\Leftrightarrow &\frac{(1+\chi_1)(1+\tau_{p1})^{\alpha_1}(1+\tau_{r1})^{1-\alpha_1}}{\alpha_1^{\alpha_1}(1-\alpha_1)^{1-\alpha_1} z_1 \phi_1^{1-\alpha_1}} < (1+\tau_1^x)\, c_1^f < \mu_1^x \frac{(1+\chi_1)(1+\tau_{p1})^{\alpha_1}(1+\tau_{r1})^{1-\alpha_1}}{\alpha_1^{\alpha_1}(1-\alpha_1)^{1-\alpha_1} z_1 \phi_1^{1-\alpha_1}} \\
\Leftrightarrow &\frac{1}{\alpha_1^{\alpha_1}(1-\alpha_1)^{1-\alpha_1} z_1 \phi_1^{1-\alpha_1} c_1^f} < \frac{1+\tau_1^x}{(1+\chi_1)(1+\tau_{p1})^{\alpha_1}(1+\tau_{r1})^{1-\alpha_1}} < \mu_1^x \frac{1}{\alpha_1^{\alpha_1}(1-\alpha_1)^{1-\alpha_1} z_1 \phi_1^{1-\alpha_1} c_1^f} \\
\Leftrightarrow &\frac{1}{\alpha_1^{\alpha_1}(1-\alpha_1)^{1-\alpha_1} z_1 \phi_1^{1-\alpha_1} c_1^f} < \frac{\delta_{p1}^{\alpha_1}\delta_{r1}^{1-\alpha_1}}{(1+\chi_1)\,\delta_{x1}} < \frac{\mu_1^x}{\alpha_1^{\alpha_1}(1-\alpha_1)^{1-\alpha_1} z_1 \phi_1^{1-\alpha_1} c_1^f}
\end{aligned}$$

国内上游企业利润方程为：

$$\begin{aligned}
\pi_1^d &= \sum_{j=1}^{n} (p_{j,1}^d - c_1^d) M_{j,12}^d \\
&= n(p_{j,1}^d - c_1^d)\Pi_1^f B_2^{\sigma-1} (\phi_1 l_{r1})^{\beta_2\theta(\sigma-1)} \left[(1+\chi_1)\, p_1^d\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1} \\
&= n\Pi_1^f B_2^{\sigma-1} (\phi_1 l_{r1})^{\beta_2\theta(\sigma-1)} \left((1+\tau_1^x)\, c_1^f - c_1^d\right) \left[(1+\chi_1)(1+\tau_1^x)\, c_1^f\right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1}
\end{aligned}$$

此时消费者福利为：

$$\begin{aligned}
U_d &= U_0 B_2^{\frac{1}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(E + E^f \delta_{f2}\right)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}} \left(\Pi_1^f\right)^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(\frac{\delta_{r1}}{\delta_{p1}}\right)^{\frac{\alpha_1\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left((1+\chi_1) p_1^{d*}\right)^{-\frac{\gamma_2+\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \\
&= U_0 B_2^{\frac{1}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(E + E^f \delta_{f2}\right)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}} \\
&\times \left(\left(EP^{\sigma-1} + E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \delta_{f2}^{\sigma}\right)\left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma}\right)^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(\frac{\delta_{r1}}{\delta_{p1}}\right)^{\frac{\alpha_1\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(\frac{(1+\chi_1) c_1^f}{\delta_{x1}}\right)^{-\frac{\gamma_2+\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}}
\end{aligned}$$

然后，当进口关税较高时，即

$$\frac{\delta_{p1}^{\alpha_1}\delta_{r1}^{1-\alpha_1}}{(1+\chi_1)\,\delta_{x1}} > \frac{\mu_1^x}{\alpha_1^{\alpha_1}(1-\alpha_1)^{1-\alpha_1} z_1 \phi_1^{1-\alpha_1} c_1^f}$$

国内上游产业的其利润方程为：

$$
\begin{aligned}
\pi_1^d &= \Pi_1^f \sum_{j=1}^{n} \left\{ (p_{j,1}^d - c_1^d) B_2^{\sigma-1} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)} \left[(1+\chi_1)\, p_1^d \right]^{\gamma_2(1-\sigma)-1} \right\} \\
&= \Pi_1^f n (1 - \frac{1}{\mu_1^x}) \frac{\left(\mu_1^x c_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}}{(1+\chi_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \\
&= (1 - \frac{1}{\mu_1^x}) \left(E P^{\sigma-1} + E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \left(1 + \tau_{j,2}^f\right)^{-\sigma} \right) \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} n \frac{\left(\mu_1^x c_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)}}{(1+\chi_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \\
&= (1 - \frac{1}{\mu_1^x}) [E P^{\sigma-1} \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{\left(\mu_1^x c_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)}}{(1+\chi_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \right) B_2^{\sigma-1} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)} \\
&\quad + n E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \frac{\left(B_2 \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta}\right)^{\sigma-1} \left(\mu_1^x c_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)}}{(1+\chi_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}] \\
&= (1 - \frac{1}{\mu_1^x}) [E P^{\sigma-1} \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)} (1+\chi_1)^{-1} \sum_{j=1}^{n} \left((1+\chi_1)\, \mu_1^x c_1^d \right)^{\gamma_2(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \\
&\quad + n E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \frac{\left(B_2 \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta}\right)^{\sigma-1} \left(\mu_1^x c_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)}}{(1+\chi_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}] \\
&= (1 - \frac{1}{\mu_1^x}) [E P^{\sigma-1} \left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma} \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta(\sigma-1)} (1+\chi_1)^{-1} \sum_{j=1}^{n} \left(\gamma_2 B_2 \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta} \frac{p_{j,2}^d}{\mu_2} \right)^{(1-\sigma)} B_2^{\sigma-1} \\
&\quad + n E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \frac{\left(B_2 \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta}\right)^{\sigma-1} \left(\mu_1^x c_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)}}{(1+\chi_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}] \\
&= (1 - \frac{1}{\mu_1^x}) [\frac{\gamma_2 E}{\mu_2 (1+\chi_1)} + n E^f \left(P^f\right)^{\sigma-1} \frac{\left(B_2 \left(\phi_1 l_{r1}\right)^{\beta_2\theta}\right)^{\sigma-1} \left(\mu_1^x c_1^d\right)^{\gamma_2(1-\sigma)}}{(1+\chi_1)^{\gamma_2(\sigma-1)+1}} \left(\frac{\gamma_2 \delta_{f2}}{\mu_2}\right)^{\sigma}]
\end{aligned}
$$

此时消费者福利为：

$$
\begin{aligned}
U_d &= U_0 B_2^{\frac{1}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(E+E^f\delta_{f2}\right)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}} \left(\Pi_1^f\right)^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(\frac{\delta_{r1}}{\delta_{p1}}\right)^{\frac{\alpha_1\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left((1+\chi_1)p_1^{d*}\right)^{-\frac{\gamma_2+\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \\
&= U_0 B_2^{\frac{1}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(E+E^f\delta_{f2}\right)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}} \\
&\times \left(\left(EP^{\sigma-1}+E^f\left(P^f\right)^{\sigma-1}\delta_{f2}^{\sigma}\right)\left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma}\right)^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(\frac{\delta_{r1}}{\delta_{p1}}\right)^{\frac{\alpha_1\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left((1+\chi_1)\mu_1^x c_1^d\right)^{-\frac{\gamma_2+\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \\
&= U_0 B_2^{\frac{1}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(E+E^f\delta_{f2}\right)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}} \left(\left(EP^{\sigma-1}+E^f\left(P^f\right)^{\sigma-1}\delta_{f2}^{\sigma}\right)\left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma}\right)^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \\
&\times \left(\frac{\delta_{r1}}{\delta_{p1}}\right)^{\frac{\alpha_1\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left((1+\chi_1)\mu_1^x \frac{\left(1+\tau_{p1}\right)^{\alpha_1}\left(1+\tau_{r1}\right)^{1-\alpha_1}}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1}\alpha_1^{\alpha_1}\left(1-\alpha_1\right)^{1-\alpha_1}}\right)^{-\frac{\gamma_2+\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \\
&= U_0 B_2^{\frac{1}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(E+E^f\delta_{f2}\right)^{\frac{1}{(\sigma-1)[1-\beta_2\theta(\sigma-1)]}} \left(\left(EP^{\sigma-1}+E^f\left(P^f\right)^{\sigma-1}\delta_{f2}^{\sigma}\right)\left(\frac{\gamma_2}{\mu_2}\right)^{\sigma}\right)^{\frac{\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \\
&\times \delta_{r1}^{\frac{\beta_2\theta+(1-\alpha_1)\gamma_2}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \delta_{p1}^{\frac{\alpha_1\gamma_2}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}} \left(\frac{(1+\chi_1)\mu_1^x}{z_1\phi_1^{1-\alpha_1}\alpha_1^{\alpha_1}\left(1-\alpha_1\right)^{1-\alpha_1}}\right)^{-\frac{\gamma_2+\beta_2\theta}{1-\beta_2\theta(\sigma-1)}}
\end{aligned}
$$

1.3.3 国外上游产业产品（关键核心技术中间产品）存在断供风险

(1) 消费者的预期福利 从国内上游企业购买关键核心技术中间产品时，消费者福利为：

$$
U_d = \frac{\gamma_2 E B_2 \left(\phi_1 l_{r1}^*\right)^{\beta_2\theta}}{\mu_2\left(\left(1+\chi_1\right)p_1^{d*}\right)^{\gamma_2}} \left(\frac{E+E^f\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}
$$

当存在国外技术断供风险时，消费者的预期福利：

$$
\begin{aligned}
\bar{U}_f = \frac{E}{P} = \frac{E}{n_f^{\frac{1}{1-\sigma}}p_{j,2}} &= \frac{E}{(1-q)^{\frac{1}{1-\sigma}}p_{j,2}} \left(\frac{E+E^f\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}} \\
&= \frac{\gamma_2\left(1-q\right)^{\frac{1}{\sigma-1}} E B_2 \delta_{x1}^{\gamma_2}}{\mu_2\left(\mu_1^x c_1^f\right)^{\gamma_2}} \left(\frac{E+E^f\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}
\end{aligned}
$$

此时，

$$
\frac{U_d}{\bar{U}_f} = \frac{\frac{\gamma_2 E B_2 (\phi_1 l_{r1}^*)^{\beta_2\theta}}{\mu_2\left((1+\chi_1)p_1^{d*}\right)^{\gamma_2}}\left(\frac{E+E^f\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}}{\frac{\gamma_2(1-q)^{\frac{1}{\sigma-1}} E B_2 \delta_{x1}^{\gamma_2}}{\mu_2\left(\mu_1^x c_1^f\right)^{\gamma_2}}\left(\frac{E+E^f\delta_{f2}}{\sigma f}\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}} = \frac{\left(\phi_1 l_{r1}^*\right)^{\beta_2\theta}\left(\mu_1^x c_1^f\right)^{\gamma_2}}{\left(\left(1+\chi_1\right)p_1^{d*}\right)^{\gamma_2}\left(1-q\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}\delta_{x1}^{\gamma_2}}
$$

令 $\frac{U_d}{\bar{U}_f} > 1$，则有：

$$
\begin{aligned}
&\frac{\left(\phi_1 l_{r1}^*\right)^{\beta_2\theta}\left(\mu_1^x c_1^f\right)^{\gamma_2}}{\left(\left(1+\chi_1\right)p_1^{d^*}\right)^{\gamma_2}\left(1-q\right)^{\frac{1}{\sigma-1}}\delta_{x1}^{\gamma_2}}>1\\
&\Leftrightarrow \left(1-q\right)^{\frac{1}{\sigma-1}} < \left(\phi_1 l_{r1}^*\right)^{\beta_2\theta}\left(\frac{\mu_1^x c_1^f}{\delta_{x1}\left(1+\chi_1\right)p_1^{d^*}}\right)^{\gamma_2}\\
&\Leftrightarrow q > 1-\left(\left(\phi_1 l_{r1}^*\right)^{\beta_2\theta}\left(\frac{\mu_1^x c_1^f}{\delta_{x1}\left(1+\chi_1\right)p_1^{d^*}}\right)^{\gamma_2}\right)^{\sigma-1}
\end{aligned}
$$