

自动化与新任务：技术如何取代与重新安置劳动力

Source: Daron Acemoglu and Pascual Restrepo. "Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor.2019.

"Journal of Economic Perspectives 33 (2): 3–30. — [Link \(https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.33.2.3\)](https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.33.2.3), — [PDF \(https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.33.2.3\)](https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.33.2.3)

完成重现资料: [Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor \(https://github.com/Imm51315-pixel/Automation-and-New-Tasks-How-Technology-Displaces-and-Reinstates-Labor\)](https://github.com/Imm51315-pixel/Automation-and-New-Tasks-How-Technology-Displaces-and-Reinstates-Labor)

- 放置了重现该文的数据、含完整版复现内容、精简版复现内容和相关参考资料

目录

- [1. 背景与介绍](#)
- [2. 理论机制与启示](#)
- [3. 基础理论推倒](#)
- [4. 数据来源与说明](#)
- [5 劳动力份额与部门演变可视化](#)
- [6. 实证分析](#)
- [7. 相关性分析](#)
- [8. 进一步讨论](#)
- [9. 结语](#)

1. 背景与介绍

随着 AI 技术的日益进步与完善,各行各业的劳动都产生了全新的变化,同时也引发了人们对技术的担忧,害怕自己的工作岗位可能被 AI 等技术影响从而导致自己事业,而关于技术变革对就业与工资的影响始终存在争议,

- 有人认为自动化(计算机数控机床、工业机器人和人工智能)会导致大规模失业
- 但也有人自动化如同以往的技术浪潮一样,终将增加劳动力需求,从而提升就业率和工资水平

本文提出一个基于任务的框架, 该框架在 Acemoglu和Restrepo (2018a, 2018b)、Acemoglu和Autor (2011)、Autor、Levy 和 Murnane (2003) 以及Zeira (1998) 的研究基础上, 用于思考技术对劳动力需求和生产力的影响

2.理论机制与启示

自动化与技术进步对劳动的影响主要有三个方面的效应:

- **替代效应(displacement effect):** 技术的开发与应用使得资本接管了原先有劳动承担的任务,从而就业与工资产生负面影响,比如工业革命初期纺纱织布自动化导致大规模失业(Mantoux 1928)、19世界后期及20拖拉机与收割机的普及与应用使大量农业劳动力失业(Rasmussen 1982; Olmstead and Rhode 2001)
- **生产率效应(productivity effect):** 技术进步允许更灵活地将任务非配给生产要素,自动化技术也提高了生产率,促进了非自动化任务对劳动力的需求

自动化对劳动力的净需求取决于替代效应和生产率效应的权衡,同时,技术进步会催生出劳动具有比较优势的新型任务,不仅促进生产率效应,同时带来与替代效应截然相反的“复位效应”

- **复位效应(reinstatement effect):**使得劳动力重返更加广泛的领域,改变生产任务构成,使得生产更倾向于劳动参与,直接提升劳动份额并增加劳动力需求,比如19世纪,自动化技术的发展促进了流水线工人、工程师、机械师、维修工、指挥员、管理者和金融从业者的就业(Chandler 1977; Mokyr 1990)

启示

- 认为技术提升生产率而增加劳动力需求是错误的,因为有些技术的替代效应可能更加显著
- 不应该期待自动化可以带来与生产率增长相匹配的工资提升,因为存在替代效应

3.基础理论推倒

本节主要描述

- 文章所选取生产函数
- 后文中非常重要的指标劳动力份额是如何计算的
- 工资总额是如何计算的

3.1 传统生产函数的缺陷

自动化使某些原本有劳动完成的任务现在可以有资本生产,比如机械加工、焊接、喷涂和组装(Ayres and Miller 1983; Groover, Weiss, Nagel, and Odrey 1986; Acemoglu and Restrepo 2018b),同时也会增加新的劳动密集型任务,以纺织业为例,新增任务包括计算机辅助设计、新型市场调研方法以及各类管理活动,所以产品生产设计的组合任务并非恒定,新增任务即是劳动力需求的重要来源,也是生产率提升的关键.

所以任务是生产的基本单位,生产要素通过执行任务从而贡献产出.在这个视角下,传统的生产函数

$$Y = F(A^K K, A^L L)$$

并不适用,因为若仅聚焦于要素增益型技术,但可能会有误导性结论,原因如下:

- 技术进步并非提升资本或劳动的生产率,而是增加了资本可执行的任务
- 这样的生产函数没有考虑生产任务的变化
- 要素增益型技术进步的量化与质化影响与改变生产任务内容的技术存在本质差异(后文后有证明)

3.2 生产方面

3.2.1 单部门经济中生产过程

假设生产整合了多种任务的产出,这些任务以 z 为索引并归一化至 $N - 1$ 到 N 之间的数值,任务可由资本或劳动完成,且劳动力在指数较高的任务同时具有比较优势和绝对优势

- $z > I$ 的任务只能通过劳动完成, 工资率为 W
- $z \leq I$ 的任务可以自动化生产, 既可以通过资本(租金率为 R)生产,也可以通过劳动生产
- I 的增加代表自动化技术的引入,简称为“自动化”
- N 的增加对应新劳动密集型任务的引入,简称“新任务引入”
- 除了 I 于 N 之外, 该部门的技术状态还取决于 A^K (劳动增效技术) 和 A^L (资本增效技术),这两项技术可提升所有任务中相应要素的生产率

具体而言生产函数形式为:

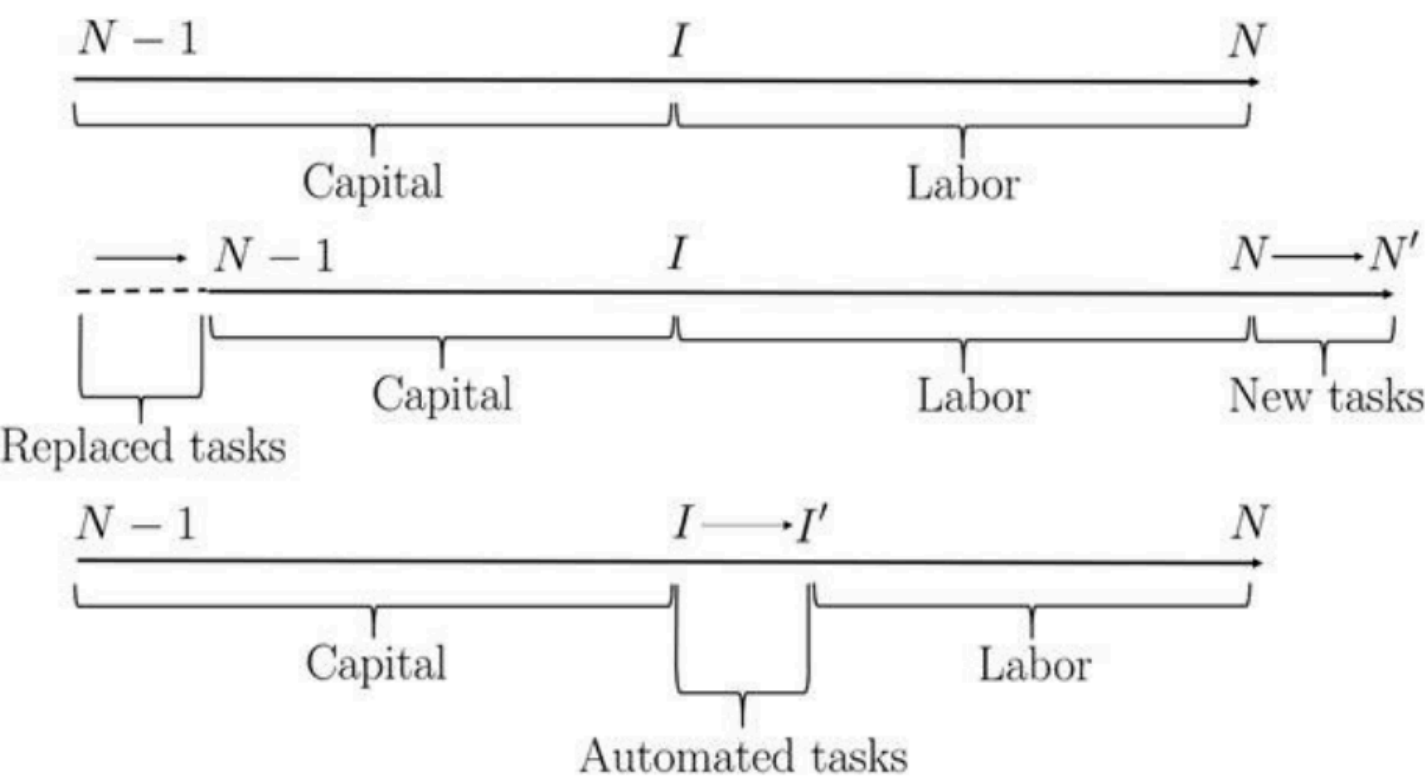
$$Y = \left(\int_{N-1}^N Y(z)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dz \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

其中, $Y(z)$ 代表 z 的产出; σ 代表任务间替代的难易程度

3.2.2 多部门经济生产过程

单部门和多部门其实差不多,不过是多了相对价格的影响,从而引发资本和劳动在各部门之间的重新分配,在下文会进行描述

假设企业采用成本最小化策略(cost-minimizing),在所有自动化任务($z > I$)使用资本,并且立即执行所有的新增任务,则影响如图所示



上述生产函数还可以遵循 Acemoglu and Restrepo (2018a) 的研究,等价改写为资本与劳动恒定替代弹性(CES)函数(这也是后续分析主要使用的函数形式):

$$Y = \Pi(I, N) \left[\Gamma(I, N)^{1/\sigma} (A_L L)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1 - \Gamma(I, N))^{1/\sigma} (A_K K)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

其中:

- 生产(Y)视为资本(K)与劳动力(L)的函数,
- A^K (劳动增效技术) 和 A^L (资本增效技术),提升所有任务中劳动力和资本的生产率
- $\Pi(I, N)$ 是由任务重新配置带来的 TFP 因子
- $\Gamma(I, N)$ 为劳动任务含量 (由“自动化程度 I ”与“新任务 N ”决定),放映生产中劳动任务所占比例,而 $1 - \Gamma(I, N)$,即为生产中资本任务占比,其随 N 增加,随 I 减少,特别得,当 $\sigma = 1$ 时(这时权重相同,等权相加,小于 I 的属于资本,大于 I 的属于劳动), $\Gamma(I, N) = N - I$

3.2.3 劳动力份额推倒

1. 生产函数 (任务模型的等价总量形式) 设 $\sigma > 0$ 、 $\Gamma(I, N) \in (0, 1)$ 、 $\Pi(I, N) > 0$, 则

$$Y = \Pi(I, N) \left[\Gamma(I, N)^{1/\sigma} (A_L L)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1 - \Gamma(I, N))^{1/\sigma} (A_K K)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}.$$

2. 成本最小化与单位成本函数 在完全竞争、归一产出价格 $p = 1$ 下, 企业以 $\min_{L,K} \{wL + rK\}$ 生产 1 单位产出。该 CES 的**单位成本函数**为

$$c(W, R) = \frac{1}{\Pi(I, N)} \left[\Gamma(I, N) \left(\frac{W}{A_L} \right)^{1-\sigma} + (1 - \Gamma(I, N)) \left(\frac{R}{A_K} \right)^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}.$$

若产出为 (Y), 最小成本为 $C(Y)=c(W,R), Y$ 。

3. 劳动份额的定义与求解 **劳动份额**定义为

$$s^L = \frac{\text{wage bill}}{\text{value added}} = \frac{WL}{Y} = \frac{WL}{C(Y)}.$$

在 $p = 1$ 时, $Y = C(Y)$ 的“价值增加”口径等价用成本。由 **Shephard 引理** (对偶):

$$\frac{\partial C}{\partial W} = L \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial \ln C}{\partial \ln W} = \frac{WL}{C} = s^L.$$

因此对**单位成本函数**取对数并对 $(\ln w)$ 求偏导, 得到

$$s^L = \frac{\Gamma(I, N) \left(\frac{W}{A_L} \right)^{1-\sigma}}{\Gamma(I, N) \left(\frac{W}{A_L} \right)^{1-\sigma} + (1 - \Gamma(I, N)) \left(\frac{R}{A_K} \right)^{1-\sigma}}$$

亦可写成:

$$s^L = \frac{1}{1 + \frac{1 - \Gamma(I, N)}{\Gamma(I, N)} \left(\frac{R/A_K}{W/A_L} \right)^{1-\sigma}}$$

说明:从上式可以看出,劳动力份额取决于有效工资和资本有效租金率的比,当其上升时,劳动所生产的任务的价格相对于资本所生产任务的价格便会提成,从而产生替代效应,而其影响程度取决于 σ 的大小

3.3 需求方面

下文讨论都是单一部门经济,结合生产函数,可知劳动需求方程式为:

$$W_d(L, K; \theta) = \frac{Y(L, K; \theta)}{L} \times s_L(L, K; \theta)$$

其中:

- $W_d(L, K; \theta)$ 表示劳动需求, 它对劳动 L 是递减的, 对资本 K 是递增的。
- $Y(L, K; \theta)$ 是部门的总产出, 依赖于劳动和资本。
- $s_L(L, K; \theta)$ 是劳动份额, 表示劳动在总产出中所占的比例

下面思考三类技术进步对劳动力需求的影响:自动化、新任务和要素增效型进步

- 自动化(改变 I):

$$\frac{\partial \ln W_d(L, K; \theta)}{\partial I} = \frac{\partial \ln Y(L, K; \theta)}{\partial I} \quad (\text{生产率效应}) + \frac{1}{\sigma} \left(\frac{1 - s_L(L, K; \theta)}{1 - \Gamma(I, N)} \right) \frac{\partial \ln \Gamma(I, N)}{\partial I} \quad (\text{置换效应})$$

也就是

$$\text{Effect of automation on labor demand} = \text{Productivity effect} + \text{Displacement effect}$$

这里有两个主要的效应:

- **生产率效应**: 自动化提升了生产力, 即 $\frac{\partial \ln Y(L, K; \theta)}{\partial I}$ 为正值。
- **置换效应**: 自动化可能会替代一些劳动任务, 减少对劳动的需求

生产率效应的公式如下:

$$\frac{\partial \ln Y(L, K; \theta)}{\partial I} = \frac{1}{\sigma - 1} \left[\left(\frac{R}{A_K \gamma_K(I)} \right)^{1-\sigma} - \left(\frac{W}{A_L \gamma_L(I)} \right)^{1-\sigma} \right] > 0$$

- 新任务(改变 N):

$$\frac{\partial \ln W_d(L, K; \theta)}{\partial N} = \frac{\partial \ln Y(L, K; \theta)}{\partial N} \quad (\text{生产率效应}) + \frac{1}{\sigma} \left(\frac{1 - s_L(L, K; \theta)}{1 - \Gamma(I, N)} \right) \frac{\partial \ln \Gamma(I, N)}{\partial N} \quad (\text{复位效应})$$

也就是

$$\text{Effect of new tasks on labor demand} = \text{Productivity effect} + \text{Reinstatement effect}$$

这里也是两个效应:

- **生产力效应**: 新任务提高了生产力, 增加了总产出。
- **复位效应**: 新任务的引入可能会增加劳动需求, 特别是那些适应新任务的劳动者

生产率效应的公式为:

$$\frac{\partial \ln Y(L, K; \theta)}{\partial N} = \frac{1}{\sigma - 1} \left[\left(\frac{W}{A_L \gamma_L(N)} \right)^{1-\sigma} - \left(\frac{R}{A_K \gamma_K(N-1)} \right)^{1-\sigma} \right] > 0$$

- 要素增效型分为两类:

- **劳动增强技术**：提高劳动生产率，进而提升劳动需求
- **资本增强技术**：提高资本的生产力，进而提升对资本的需求

对应公式为：

$$\frac{\partial W_d(L, K; \theta)}{\partial \ln A_L} = s_L(L, K; \theta) \quad (\text{生产率效应}) + \frac{\sigma - 1}{\sigma} (1 - s_L(L, K; \theta)) \quad (\text{替代效应})$$

$$\frac{\partial W_d(L, K; \theta)}{\partial \ln A_K} = (1 - s_L(L, K; \theta)) \quad (\text{生产率效应}) + \frac{1 - \sigma}{\sigma} (1 - s_L(L, K; \theta)) \quad (\text{替代效应})$$

不管是那个公司,都可以表述为:

$$\begin{aligned} \text{Effect of factor-augmenting technologies on labor demand} &= \text{Productivity effect} \\ &+ \text{Substitution effect} \end{aligned}$$

3.3.1 多部门经济模型

通过工资总额的特征,探究技术如何改变劳动总需求

工资总额:

$$\text{Wage bill} = \text{GDP} \times \sum_{i \in \mathcal{I}} \left(\text{Labor share in sector } i \right) \times \left(\text{Share of value added in sector } i \right)$$

多部门时,对应对自动化提供了额外的调整空间,我们称之为 结构效应(Composition effect),当部门*i*完成自动化时(该部门 *I* 增加时) (另外两种进步和这个相同):

$$\begin{aligned} \text{Effect of automation in } i \text{ on aggregate labor demand} &= \text{Productivity effect} \\ &+ \text{Displacement effect} \\ &+ \text{Composition effect} \end{aligned}$$

- 生产率效应表示自动化对*i*部门GDP的影响
- 置换效应表示对*i*部门任务内容的影响
- 这些效应根据*i*部分规模调整,规模越大的部门会有更显著的总体效应

i 部门新增任务(该部门 *N* 值增加):

$$\begin{aligned} \text{Effect of new tasks in } i \text{ on aggregate labor demand} &= \text{Productivity effect} \\ &+ \text{Reinstatement effect} \\ &+ \text{Composition effect} \end{aligned}$$

4.数据来源与说明

本文所使用数据均在 reorganized_data 文件夹下,其中

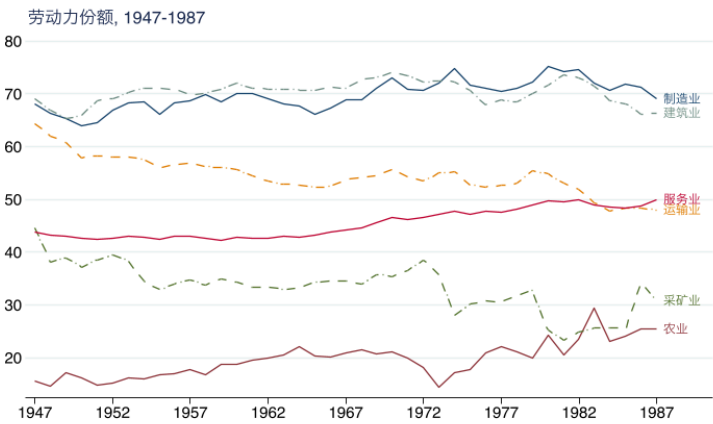
- data_temp: 该文件夹下数据运行由原作者提供的 cleaners 文件夹中文档得到,设计一些相关数据清洗
- xwalks: 该文件夹设计行业映射的不同种类数据,由原作者汇总而来
- data_raw:
 - Section3All_xls.xlsx: 涉及私人设备存量/投资、全部固定资产存量/投资,来自国民收入核算体系(NIPA)
 - GDPbyInd_VA_1947-2017.xlsx: 1947-2017年行业增加值、劳动份额、雇员报酬,来自美国经济分析局(BEA)
 - GDPbyInd_VA_SIC.xls:1947-1987年行业增加值、劳动份额、雇员报酬,来自美国经济分析局(BEA)
 - aggregates: 从原作者从 美国经济分析局(BEA) 与 圣路易斯联储(FRED) 汇总得到
 - others: 由其他学者提供的有关 对华贸易 与 离岸外包的指标,具体来自 Feenstra & Hanson (1999)、David Dorn、Acemoglu & Restrepo (2018b)

文件的详细说明请阅读本文提供的 READme.ipynb 文件,内有根据各种数据汇总表格,包括数据内容,年份与来源

5 劳动力份额与部门演变可视化

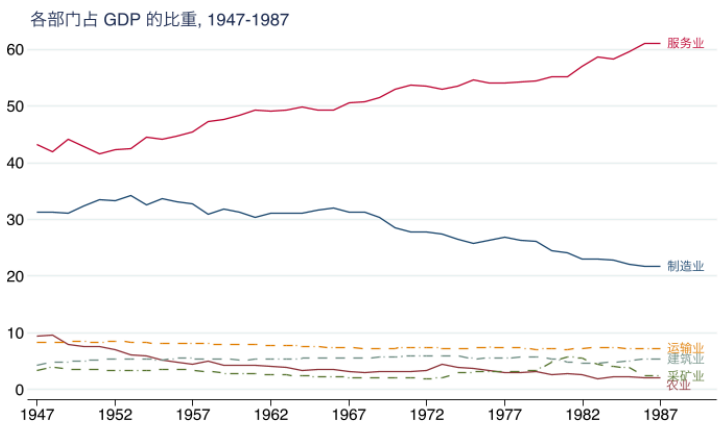
本节主要描述 1947-1987年 以及 1987-2017年 两部份的劳动力份额在六个主要部门中的变动以及这六个部门占 GDP 的变动

5.1 劳动份额和部门的演变:1947-1987



左图:

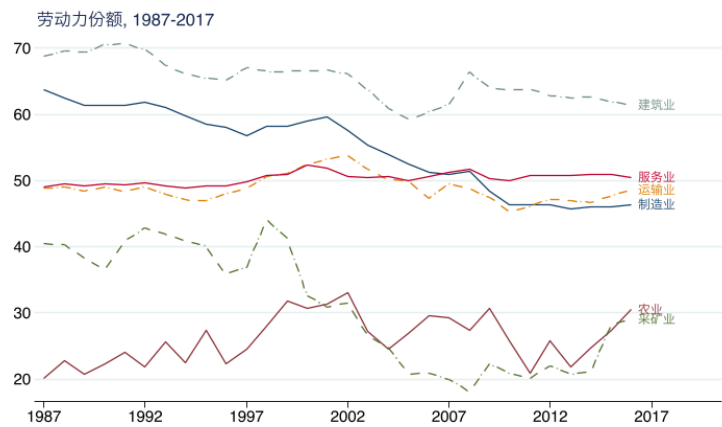
- 1.制造业和服务业显著上升
- 2.采矿业和运输业显著下降
- 3.其他行业变化不明显



右图:

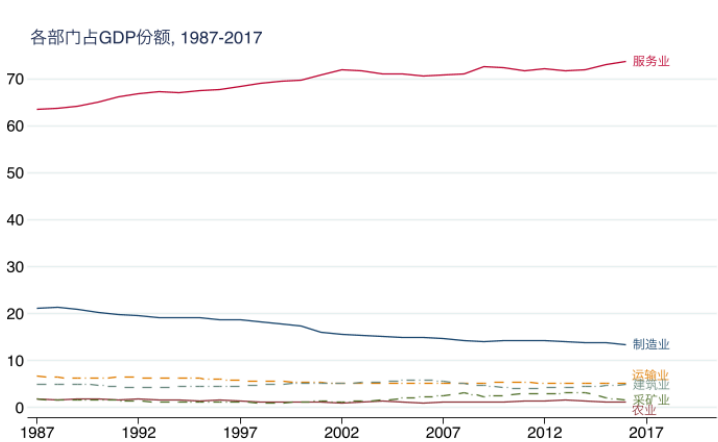
证明了 1950 年代末制造业开始长期向服务业转移

5.2 劳动份额和部门的演变:1987-2017



左图:

- 1.制造业和建筑业显著下降
- 2.采矿业劳动力份额的下降趋势保持相同速度



右图:

制造业长期向服务业转移的趋势仍在继续

6.实证分析

本节主要对第 3 节提到的多种效应进行理论上的分解并进行可视化以佐证理论,并且分阶段分析劳动力增长的需求

- 本节是文章最关键的部分

6.1 劳动力需求增长的来源

对工资总额:

$$\text{Wage bill} = \text{GDP} \times \sum_{i \in \mathcal{I}} \left(\text{Labor share in sector } i \right) \times \left(\text{Share of value added in sector } i \right)$$

进行 **两期变化的四分解**

把两期之差（或对数变化）分开到三类“权重/价格/规模”的变化上：

- GDP 本身变动 \Rightarrow **生产率效应**；
- VA 份额（行业权重）变化 \Rightarrow **结构效应**；
- 行业劳动份额变化 $\Delta s_{L,i}$ ：

我们得到:

$$\begin{aligned} \Delta \log(\text{Wage bill}) &= \underbrace{\Delta \log(\text{GDP})}_{\text{Productivity effect}} \\ &+ \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \Delta(\text{VA share}_{i,t}) \cdot s_{i,t}^L}_{\text{Composition effect}} \\ &+ \sum_{i \in \mathcal{I}} \Delta \log s_{L,i} \end{aligned}$$

而行业劳动份额变化 $\Delta s_{L,i}$ 又可以进一步拆分:

- 回顾劳动力份额公式:

$$s^L = \frac{1}{1 + \frac{1 - \Gamma(I, N)}{\Gamma(I, N)} \left(\frac{R/A_K}{W/A_L} \right)^{1-\sigma}}$$

- 写成 logit 形式有:

$$\frac{s^L}{1 - s^L} = \frac{1 - \Gamma}{\Gamma} \left(\frac{p_y}{p_x} \right)^{1-\sigma} = \frac{1 - \Gamma}{\Gamma} \left[\left(\frac{R}{A_K} \right) \cdot \left(\frac{W}{A_L} \right) \right]^{1-\sigma}$$

- 取对数得到:

$$\ln \left(\frac{s^L}{1 - s^L} \right) = \ln \left(\frac{\Gamma}{1 - \Gamma} \right) + (1 - \sigma) \left(\ln W - \ln R - \ln \left(\frac{A_L}{A_K} \right) \right)$$

- 由于:

$$d \ln s^L = (1 - s^L) d \ln \left(\frac{s^L}{1 - s^L} \right)$$

- 所以:

$$d \ln s^L = (1 - s^L) d \ln \left(\frac{s^L}{1 - s^L} \right) = (1 - s^L) \left\{ d \ln \left(\frac{\Gamma}{1 - \Gamma} \right) + (1 - \sigma) \left(d \ln W - d \ln R - d \ln \left(\frac{A_L}{A_K} \right) \right) \right\}$$

- 于是得到:

$$\Delta \ln s_{L,i} \approx \underbrace{(1 - \bar{s})(1 - \sigma) \left(\Delta \ln W_i - \Delta \ln R_i - \Delta \ln \left(\frac{A_L}{A_K} \right) \right)}_{\text{替代效应 (Substitution)}} + \underbrace{(1 - \bar{s}) \Delta \ln \left(\frac{\Gamma_i}{1 - \Gamma_i} \right)}_{\text{任务内容 (Task content)}}$$

- 其中根据:

$$\Gamma(I, N) = \frac{\int_I^N [\gamma^L(z)]^{\sigma-1} dz}{\int_0^I [\gamma^K(z)]^{\sigma-1} dz + \int_I^N [\gamma^L(z)]^{\sigma-1} dz}$$

我们可以进一步将生产任务内容表示为:

$$\text{Change task content}_{i,t_0,t} = \ln s_{i,t}^L - \ln s_{i,t_0}^L - (1 - \sigma)(1 - s_{i,t_0}^L) \left(\ln \frac{W_{i,t}}{W_{i,t_0}} - \ln \frac{R_{i,t}}{R_{i,t_0}} - g_{i,t_0,t}^A \right).$$

最终我们完全将 工资总额 拆解,有:

$$\begin{aligned} \Delta \log(\text{Wage bill}) &= \underbrace{\Delta \log(\text{GDP})}_{\text{Productivity effect}} \\ &+ \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \Delta(\text{VA share}_{i,t}) \cdot s_{i,t}^L}_{\text{Composition effect}} \\ &+ \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \text{Substitution}_i}_{\text{Substitution effect}} + \underbrace{\sum_{i \in \mathcal{I}} \text{Change in task content}_i}_{\text{Change in task content}} \end{aligned}$$

6.1.1 关键变量的衡量

- 使用人均GDP衡量生产率效应
- 使用某行业增加值份额变化量乘以其劳动份额的加权和衡量结构效应(若所有部门劳动份额相同,该项等于0)
- 使用 Oberfield and Raval's (2014)对资本与劳动力之间的替代弹性为基准($\sigma = 0.8$)估计某一行业的替代效应
- 各行业生产任务内容变化的就业加权和用来衡量任务内容的变化 用行业劳动份额残差的变化(无法被替代效应解释的那一部份)定义行业任务内容的变化

$$\text{Change in task content in } i = \text{Percent change in labor share in } i - \text{Substitution effect in } i$$

为了将观测要素价格转化为有效价格,我们设定基准值使得 A_i^L/A_i^K 按照同一速率增长且等于平均劳动生产率 (1947-1987年为2% ; 1987-2017年为1.46%) 设置的原因在于若所有技术进步均具有劳动增效效应,则 A_i^L 的增长率也需要达到这个水平才能匹配劳动生产率实际表现

6.1.2 拆解 替代效应

假设某个行业不会同时进行自动化和引入新任务,所以

- 产业劳动份额下降幅度超出要素价格预期时,有置换效应
- 产业劳动份额上升幅度超过要素价格预期时,有复位效应

基于此逻辑,

- 计算置换效应时采用五年移动平均法处理任务内容变化幅度为负的行业,
- 复位效应则采用五年移动平均法处理任务内容变化幅度为正的产业。采用五年时间窗口旨在最小化行业劳动力份额测量误差的影响。
- 若某行业在五年内同时引入新自动化技术与新任务, 我们的估计值将同时构成替代效应与恢复效应的下限。

6.1.2.1 五年平均移动

- 什么是五年移动平均处理？
 - 定义（居中 MA(5)）：

$$MA_5(x_t) = \frac{1}{n_t} \sum_{k=-2}^2 x_{t+k},$$

其中 n_t 为窗口内非缺失期的计数（边界/缺失年可用 $n_t = 3, 4, 5$ 灵活处理）。

- 窗口位置：居中窗口使用 $\{t-2, t-1, t, t+1, t+2\}$ ；序列两端可设“最少观测期”规则（如至少 3 期）以避免短窗口带来新噪声。
- 单位与展示：文中多以“百分点/年（pp per year）”展示位移/复位的年化水平；若画累计曲线，则对年值做时间累加。
- 为什么使用五年移动平均处理？
 - 由

Change in task content in i = Percent change in labor share in i – Substitution effect in i

,也就是

$$\Delta TC_{i,t} = \underbrace{\Delta s_{L,i,t}}_{\text{劳动份额变动}} - \underbrace{\text{Substitution}_{i,t}}_{\text{由有效价比与 } \sigma \text{ 推得的价格替代项}}$$

可知,任务内容变化反应任务从劳到资的位移（负）或新任务带来的复位（正）,改写为

- 而识别假设短期内同一行业不会“同时”进行自动化与引入新任务。现实中两者可能在相近年份错位发生（如先自动化,后 1-2 年再出现新任务）,再叠加年度测量误差,会让 $\Delta TC_{i,t}$ 噪声大、频繁变号。
- 为减少噪声并允许“技术扩散/调整”有个滞后窗口,先对 $\Delta TC_{i,t}$ 做五年居中移动平均,得到平滑序列：

$$\overline{\Delta TC_{i,t}}^{(5)} = MA_5(\Delta TC_{i,t}).$$

- 这样处理的好处
 - 降噪：劳动份额年度数据受会计口径调整、分类重编、一次性事件影响较大；移动平均能显著降低测量误差和偶发跳点带来的误判。
 - 技术扩散的滞后：自动化/新任务往往持续 2-3 年乃至更久才充分体现到份额数据里。居中 5 年窗口（ $t-2, \dots, t+2$ ）为前后各 2 年的“扩散/学习期”留出空间。
 - 业务周期滤除：5 年大致覆盖一个短周期,可弱化纯周期波动对结构性趋势（位移/复位）的干扰。
 - 避免“假同时”：若行业在 $t-1$ 出现负冲击（自动化）,在 $t+1$ 出现正冲击（新任务）,逐年看像“同时发生”；在 5 年窗内更像连续调整过程,更贴近真实演化。

6.1.2.2 使用五年移动平均法分解替代效应

设某 5 年窗内同时存在一段位移 $D \leq 0$ 与一段复位 $R \geq 0$ 。移动平均先把它们加总：

$$\overline{\Delta TC} = D + R.$$

分号后得到：

$$\text{Displacement} = \min(D + R, 0), \quad \text{Reinstatement} = \max(D + R, 0).$$

显然有

$$-\min(D + R, 0) \leq -D, \quad \max(D + R, 0) \leq R,$$

即位移（绝对值）与复位都会被“对冲”后缩小。因此，当自动化与新任务在同一 5 年窗口内相继发生时，并且我们得到的两条曲线同时是各自真实强度的下限。

6.1.3要素增效技术的影响

在没有任务内容变化的情况下，如何通过要素增效技术的增长来解释产业劳动力的变化。

6.1.3.1 推导公式

通过对技术增强的增长率进行反推，得到所需的增长率，以解释劳动力份额的变化。这些公式包括：

- 劳动要素增效技术的变化：

$$\ln A_{L,i,t} - \ln A_{L,i,t0}$$

- 资本要素增效技术的变化：

$$\ln A_{K,i,t} - \ln A_{K,i,t0}$$

6.1.3.2 全要素生产率（TFP）变化

在假设没有扭曲的条件下，推导出劳动增强技术和资本增强技术对TFP的贡献。具体公式如下：

- 劳动要素增效技术的变化对TFP的贡献：

$$\text{Contribution of AL to TFP}_{t,t0} = \sum_i \frac{\text{VA share}_{i,t0}}{s_{i,t0}^L(\sigma - 1)(1 - s_{i,t0}^L)} \times \text{Displacement}_{i,t,t0}$$

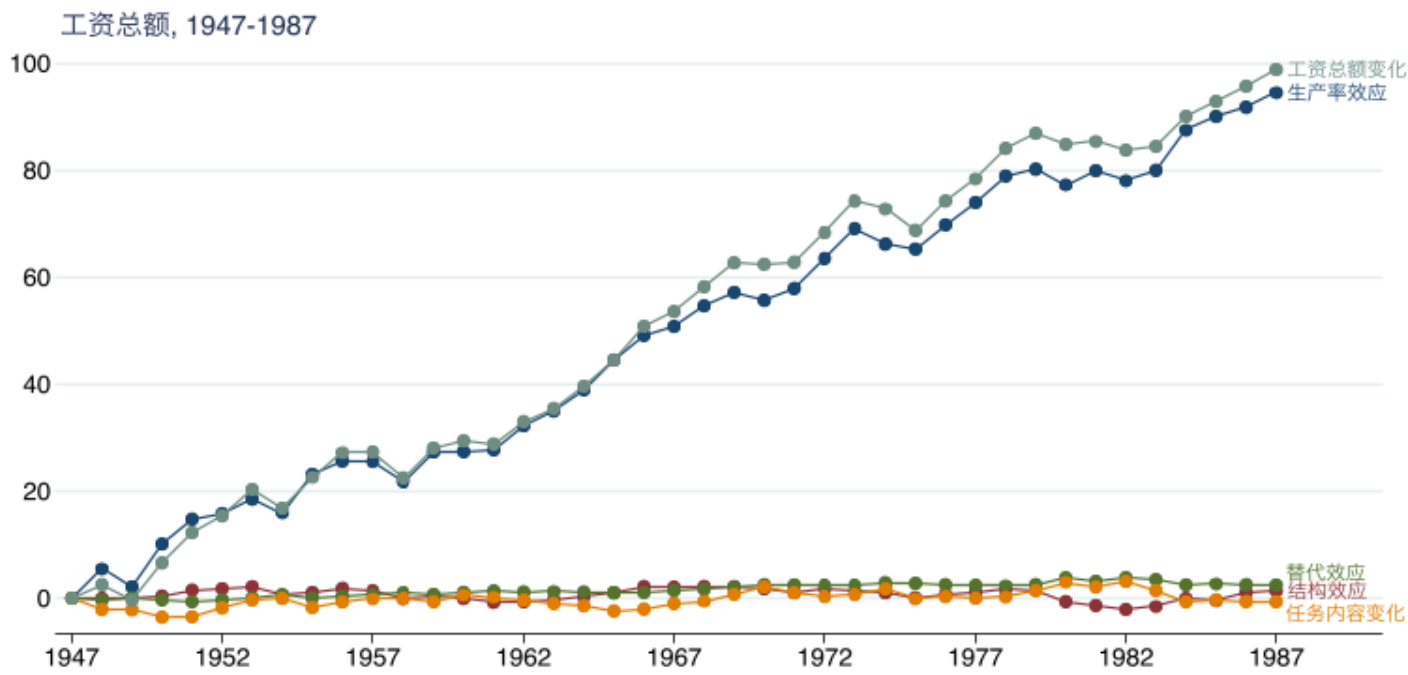
- 资本要素增效技术的变化对TFP的贡献：

$$\text{Contribution of AK to TFP}_{t,t0} = \sum_i \frac{\text{VA share}_{i,t0}}{(1 - s_{i,t0}^L)(1 - \sigma)} \times \text{Reinstatement}_{i,t,t0}$$

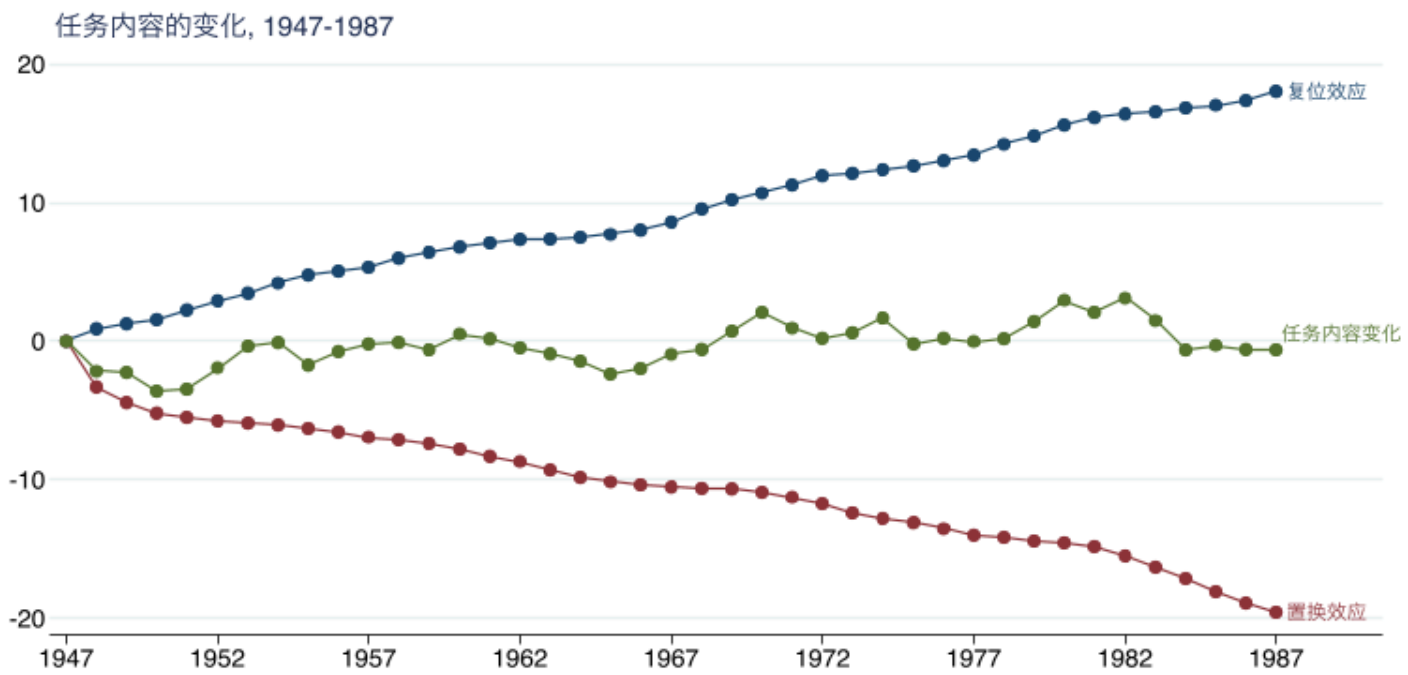
6.2 劳动力需求分解的可视化:1947-1987

结果展示:

图A：工资总额分解（1947-1987）

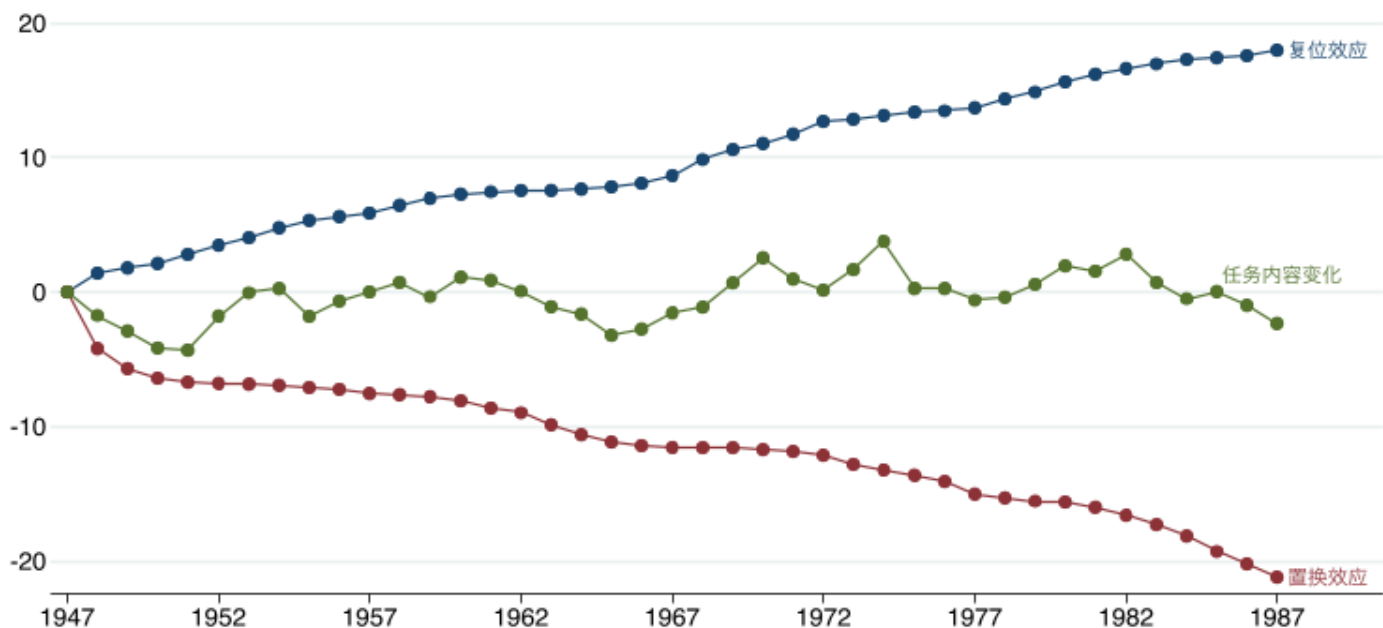


图B：任务内容变化（1947-1987）



图C：制造业任务内容（1947-1987）

制造业任务内容变化, 1947-1987



从 图A 可以看出:

- 该时期人均工资总额以每年 2.5% 的速度增长
- 工资总额在此期间的快速稳定增长主要由生产率效应（年均2.4%）所驱动
- 替代效应与结构调整效应影响较小，且同期生产任务内容的变化幅度亦有限

从 图B 可以看出:

- 虽然该时期生产任务内容的总体变化有限，但存在显著的替代效应与恢复效应
- 替代效应每年削减约0.48%的劳动力需求
- 但同时存在强度相当的恢复效应，相当于每年增加0.47%的劳动力需求

类似趋势也可以从 图C 看出:

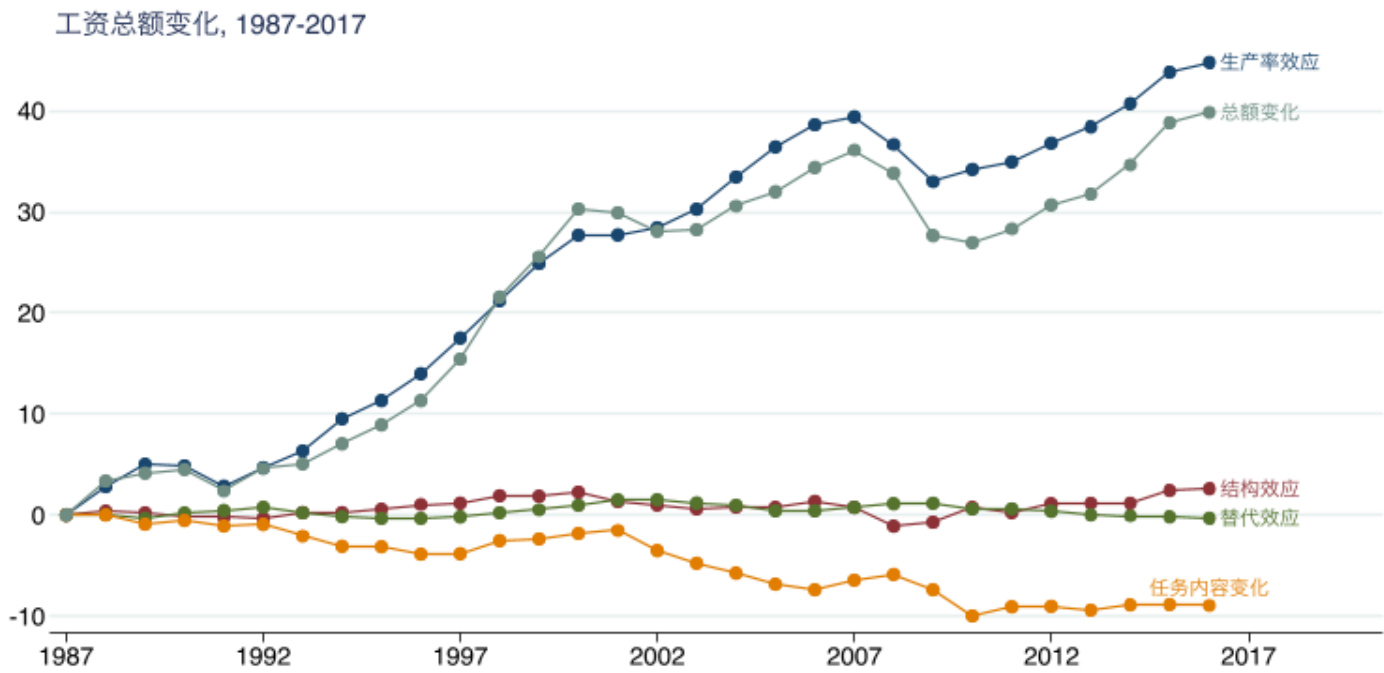
- 任务内容的总体变化同样有限，但替代效应与恢复效应均十分显著

综上所述: 战后四十年间自动化进程持续推进，但制造业与其他经济领域同步引入了新任务（或通过其他方式增加生产任务内容以利于劳动力），这些因素抵消了自动化对劳动力需求的不利影响

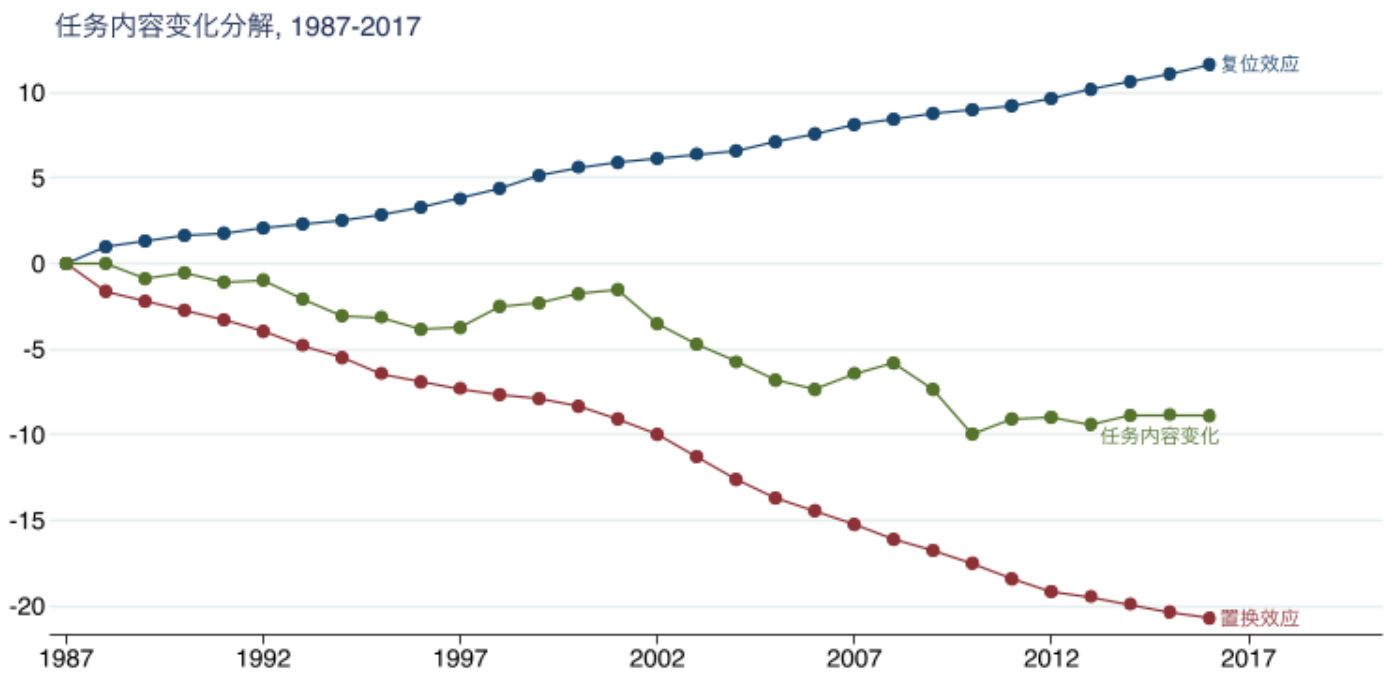
6.3 劳动力需求分解的可视化:1987-2017

结果展示:

图A：工资总额分解（1987-2017）

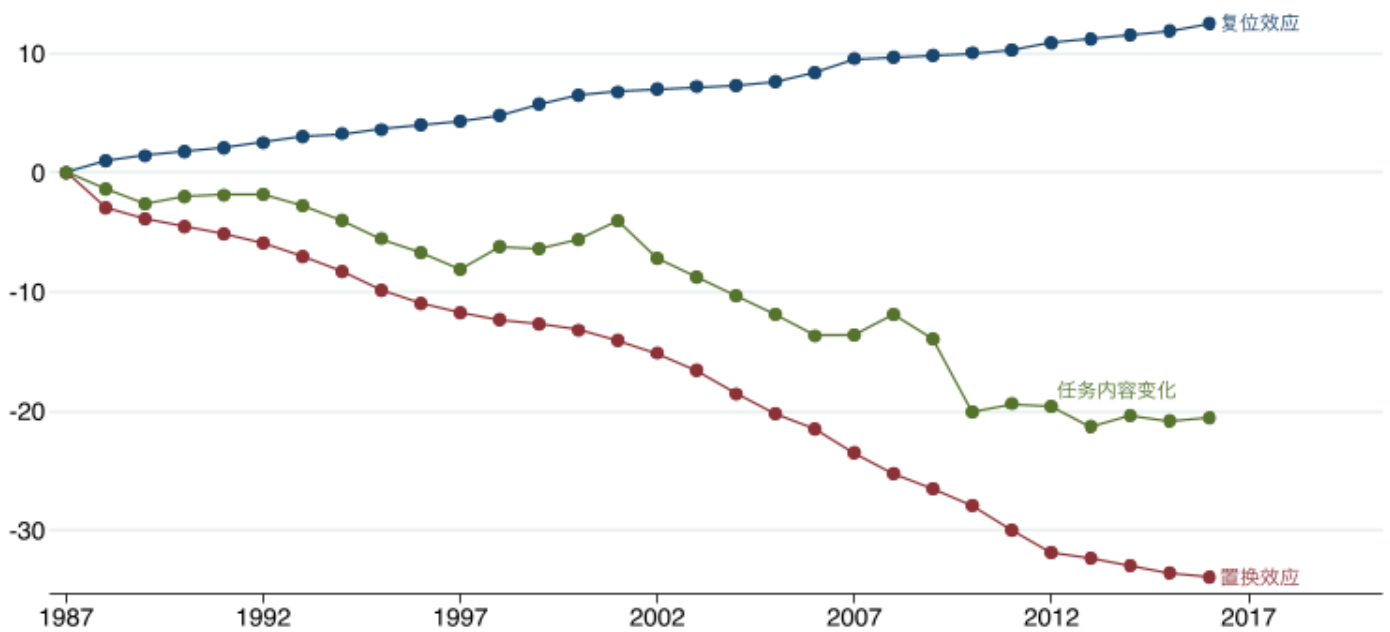


图B：任务内容变化（1987-2017）



图C：制造业任务内容（1987-2017）

制造业任务内容变化, 1987-2017



结果解读:

从图A 看出:

- 1987至2017年间劳动力需求增长显著放缓。整个时期人均工资总额年均增长率仅为1.33%，自2000年以来基本停滞
- 导致劳动力需求增速放缓的首要因素是生产率增长放缓（年均1.54%，而 1947-1987 年间为 2.4%）
- 导致工资总额增速放缓的第二因素——尤其在1990年代后期——是生产任务构成中劳动要素占比出现显著负向转移（年均 0.35%），导致劳动力需求与生产率脱钩
- 累计来看，生产任务构成的变化使该时期劳动力需求减少10%

从图B 和 图C 看出:

- 相较于 1947-1987年，任务内容变化主要源于恢复劳动力的技术引入速度放缓(恢复劳动力仅使劳动力需求年均增长 0.35%，而 1947-1987 年间为 0.47%)，以及置换效应的加速（置换效应使劳动力需求年均减少 0.7%，而 1947-1987 年间为 0.48%）
- 这种模式在制造业尤为显著，其中置换效应每年减少约 1.1% 的劳动力需求，累计降幅达 30%
- 这些结果与 Elsbj、Hobijn 和 Sahin（2013）的研究一致，他们证实了与要素价格无关的行业内部变化对劳动力份额总体行为的重要影响
- 替代与再就业平衡的变化也印证了 Autor 与 Salomons（2018）的研究结论：1980年后技术进步导致劳动力份额下降，而此前数十年则未出现此现象

综合三幅图并结合 5.2.4 中图来看:

- 产业结构变化与置换效应对工资总额影响甚微。尽管制造业出现显著转移（这既与该领域的自动化有关，也与进口竞争相关），但由此产生的结构效应微乎其微——因为制造业的 劳动份额与扩张中的服务业基本相当（见 5.2.4 图）

综上所述:

- 与19世纪农业机械化不同，当前并无强有力的产业结构效应推动劳动力需求, 更重要的是，似乎也未出现与农业机械化相伴的强劲复位效应。
- 总而言之，过去三十年劳动力需求增长放缓源于生产率增长乏力与生产任务内容的负面转变——自动化进程加速导致的任务结构变化未能通过新任务的创造得到有效平衡。

7. 相关性分析

从上述分析我们已经分解出了不同的效应,并通过可视化进行了不同效应对劳动力需求的影响

- 回顾 6.1.2 节可以知道我们只是定义了这样的拆解代表了 **置换效应(Displacement effect)** 和 **复位效应(Reinstatement effect)**
- 但实际上可能存在其他的影响,所以我们会捕捉到其他的因素带来的 **置换效应** 与 **复位效应**
- 为了明确我们的估计确实反映了生产任务内容的变化,此节提供了新的证据证实研究的可靠性

此节我们聚焦 1987-2017年 这一时间段的任务内容变化

- 因为我们拥有 1987-2017年 之间的 自动化指标数据, 并且能够计算出行业层面的各种效应指标
- 此节我们首先计算生产任务内容的变化幅度,然后验证我们的指标与变化幅度的相关性

7.1 变量说明

7.1.1 核心解释变量

核心被解释变量也就是自动化的程度,我们主要使用了三个指标作为用来衡量自动化的程度,以作为核心解释变量:

- Adjusted penetration of robots, 1993–2014: 1993-2014年 机器人渗透率,由 Acemoglu and Restrepo (2018b) 提出,原文只针对了 19 个行业,我们映射到全部 61 个行业当中
- Share of routine jobs in industry, 1990 : 1990 年某一行业的常规工作所占比例, 常规工作的定义参考 Acemoglu and Autor (2011) 的定义, 然后按照Lehn (2018) 的论述,将该行业 1990 年相关职业的就业比例, 在各个行业中进行相应的推算
- Share of firms using automation technologies, 1988–1993 (SMT data): 在 148 个细分制造行业中 (按就业人数加权计算) 使用自动化技术的企业的占比, 这些行业包括自动引导车辆、自动存储和检索系统、机械上的传感器、计算机控制的机械、可编程控制器以及工业机器人

7.1.2 控制变量

我们在模型中把会同时影响“任务内容变化”且与“自动化代理”相关的其它冲击单独控制掉加入控制变量,以防止遗漏变量偏误:

- 制造业: 机器人等自动化技术主要发生在制造业; 制造业与服务业在**资本/劳动强度与任务结构**上具有系统差异, 且制造业行业中的自动化代理值 (如 IFR 机器人渗透度) 通常更高,所以我们在模型中加入制造业虚拟变量
- 对华贸易: 中国最终品进口增长构成**外部需求冲击**, 会改变行业规模与用工, 从而**间接影响任务结构/劳动份额**; 受冲击较重的行业也可能**被动选择自动化或退出**, 因此与自动化代理相关
- 离岸外包: 离岸外包把**劳动密集型中间环节**外移, 直接改变国内生产的任务构成, 国内将保留更资本/技术密集的环节,从而使得“有利于劳动的任务内容”在本土下降, 它与自动化作用的行业集合并不相同, 但与任务内容变化 **确实相关**

7.1.3 核心被解释变量

生产任务内容的变化

7.2 模型构建

针对不同的控制变量,我们一共构建了三个回归函数,分别是:

基准模型

$$\text{task_content}_{it} = \alpha + \beta \text{automated_proxy_indicators}_{it} + \varepsilon_{it}.$$

加入制造业控制

$$\text{task_content}_{it} = \alpha + \beta \text{automated_proxy_indicators}_{it} + \gamma \text{manuf}_{it} + \varepsilon_{it}.$$

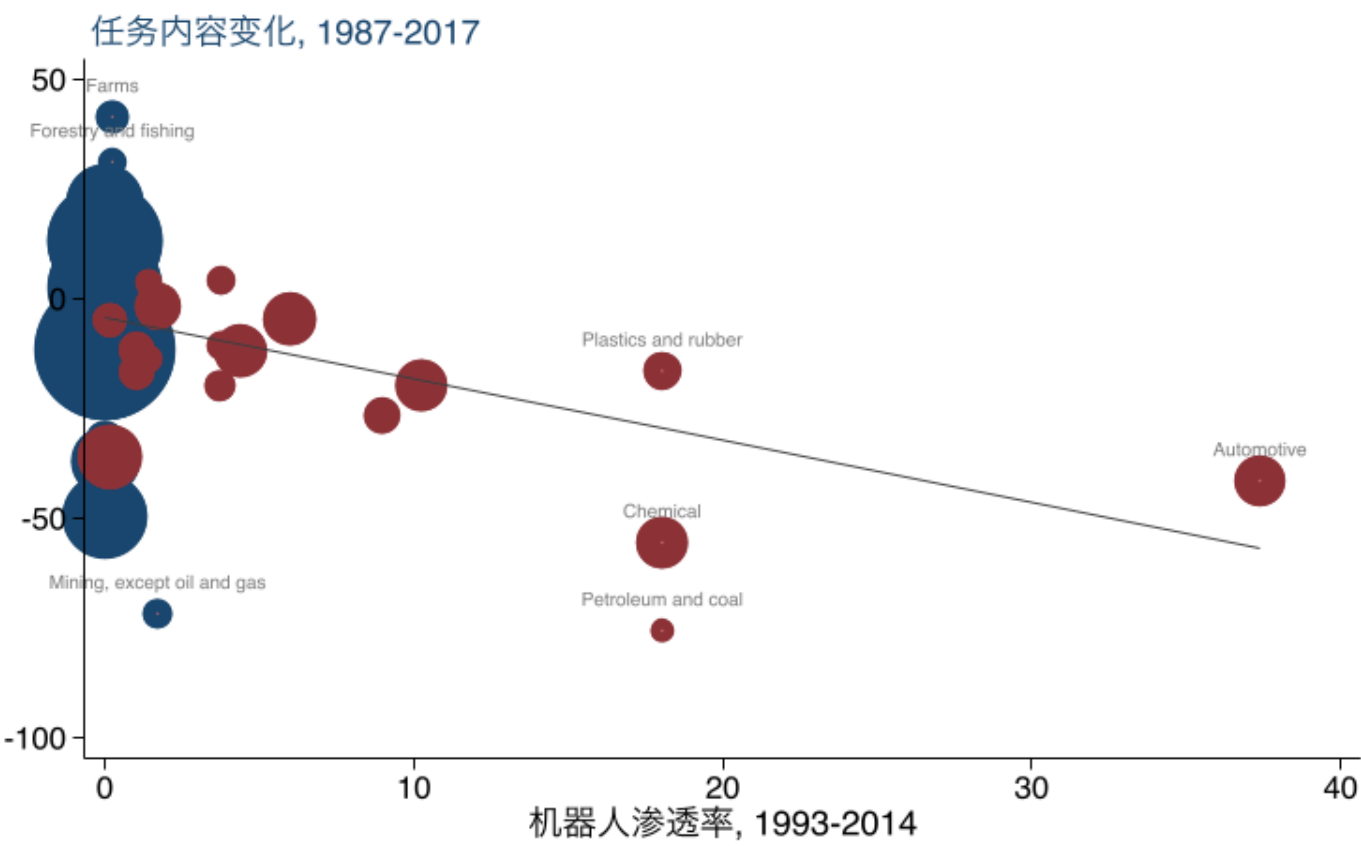
加入中国冲击与离岸控制

$$\text{task_content}_{it} = \alpha + \beta \text{automated_proxy_indicators}_{it} + \gamma \text{manuf}_{it} + \delta \text{china_exposure}_{it} + \theta \text{proxy_offshoring}_{it} + \varepsilon_{it}.$$

7.3 结果展示与解读

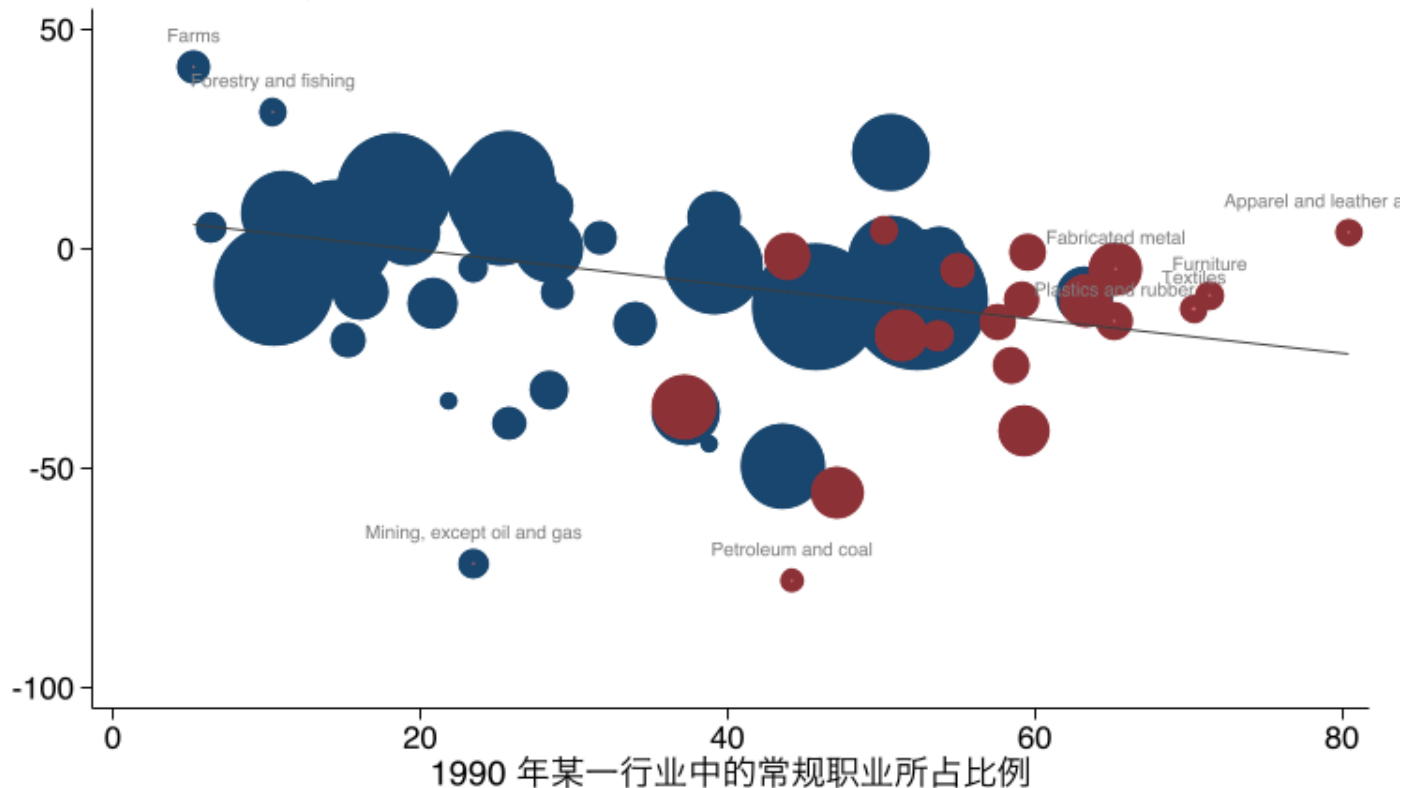
7.3.1 相关性分析的可视化展示

图A：机器人渗透率



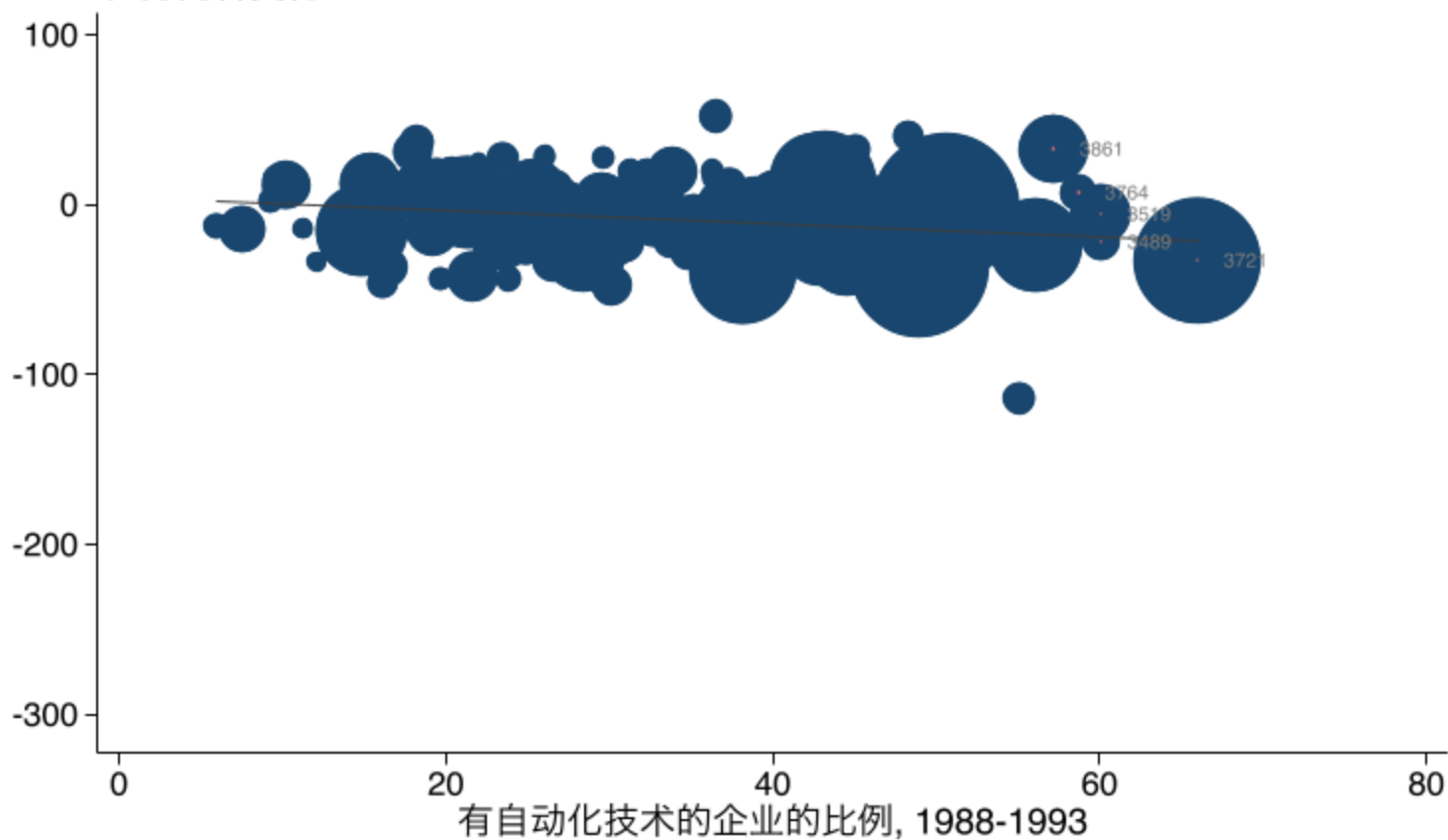
图B：某一行业常规职业占比

任务内容变化, 1987-2017



图C: 自动化企业占比

任务内容变化 1987-2007



7.3.2 相关性分析的表格展示

Table 1: 自动化技术的代理指标

	原始数据	控制 制造业	控制中国进口 与离岸外包
	(1)	(2)	(3)
自动化技术的代理：			
机器人渗透率（调整值，1993–2014）	-1.404	-0.985	-1.129
	(0.377)	(0.369)	(0.362)
样本量	61	61	61
R^2	0.18	0.21	0.27
行业例行任务占比（1990）	-0.394	-0.241	-0.321
	(0.122)	(0.159)	(0.164)
样本量	61	61	61
R^2	0.14	0.19	0.27
使用自动化技术的企业占比（1988–1993，SMT）	-0.390		-0.397
	(0.165)		(0.166)
样本量	148		148
R^2	0.08		0.09

7.3.3 结果解读

- 从表格可以看: 无论采用何种代理指标，自动化程度越高，生产任务内容向劳动力倾斜的变化程度就越低，这与预期的负相关关系相符
- 即便我们加入控制变量，这些负相关关系依然十分相似, 这与我们的理论一致
- 任务内容的变化与对华贸易无关，但与离岸外包相关，而离岸外包通常涉及劳动密集型任务的外包（Elsby, Hobijn, and Sahin 2013）,但控制离岸外包因素后，我们报告的表中的关系并未改变，因为离岸外包影响的行业与我们对自动化程度的衡量指标不同

8. 进一步讨论

8.1 其他可能影响的因素

由于本文的方法给予竞争性的市场假设,从而忽略了其他可能影响美国劳动力市场的因素,下面来分析几种可能的因素:

不会影响测算的因素:

- 最终产品的贸易不应影响我们对 生产任务内容变化 的估计,因为他们影响的价格和销售额已经被 生产率效应 捕捉,同时他们引发的部门间资源重新配置被 结构效应 捕捉了
- 以劳动力技能结构的变化为例子,只要行业层面要素报酬测量准确,这种变化就不会影响我们的估算,我们只需要将某部门因技能升级导致的工资总额增长纳入考虑,这种结构变化就不会改变,所以如老龄化,女性劳动参与率提升等长期趋势,虽然会影响劳动力结构和要素价格,但不干扰我们对任务内容变化的测算
- 只要我们对替代效应估计的准确,要素供给的变化也不应该产生影响

可能会影响测算的因素:

- 偏离竞争性劳动力或产品市场会干扰我们对任务内容的估计
- 当劳动力市场供给端由议价或其他租金分配机制决定,只要企业位于其劳动力需求曲线上,我们的方法仍然有效,因为我们只分解需求侧的信息
- 但是当买方垄断程度变化,双边议价等导致企业严重偏离其劳动力需求曲线时,会干扰我们的估计
- 产品市场加价率的变化也会影响劳动力需求曲线从而干扰估计

8.2 1987 年后技术性质的变化与生产率放缓的原因何在?

我们的研究表明,过去三十年间——尤其是2000年后——劳动力需求增长乏力的根源,在于生产任务内容的双重不利变化:自动化进程加速与复位效应放缓的双重驱动,叠加生产率增长疲软。当由此也产生了两个问题:为何自动化与新增任务的平衡近期发生转变?为何自动化技术加速发展却未能推动生产率显著提升?

对于这两个问题有两种可能的解释(第二种更合理一些):

1. 创新可能性前沿或已偏移,使进一步自动化更容易、更便宜,而高生产率、劳动密集型“新任务”更难涌现(Acemoglu and Restrepo 2018a),例如,基于软硬件进步的新通用技术可能降低了自动化成本,或我们已耗尽创造高生产率(劳动密集型)新任务的思路
2. 美国经济可能沿着既定的创新可能性边界发展——自动化激励增强而创造新任务的激励减弱。若干因素可能推动此趋势。美国税法通过各种税收抵免和加速摊销等手段大力补贴设备使用,同时通过工资税等形式对雇佣劳动力征税。随着自动化技术日益受到重视,以及人工智能被广泛用于消除生产环节中的人为因素,这种趋势可能进一步强化,甚至可能导致过度自动化,还有政府对长期科研支持走弱,削弱了见效更慢、但对新任务更关键的研究

如果自动化与新增任务的失衡导致效率低下,那么这种失衡不仅削弱劳动复归效应、压低工资增速,还通过多重渠道拖累生产率增长:

- 新任务本身提升生产率,复归放缓即丧失增产机会
- 较低的工资降低自动化替代的边际收益(自动化收益随被替代任务的有效工资上升而上升)
- 若两类创新都存在递减收益,偏向单一路径会把创新推向边际、放缓总进步
- 现实中大量“平庸自动化”(在劳动已相当高效、资本尚不够有效的任务上替代)难以带来明显生产率提升
- 技能错配使劳动力难以高效运用新技术与新任务,进一步削弱生产率与复归

9. 结语

本文以“任务内容”框架解析技术变革对劳动的影响：自动化通过“替代效应”把原由劳动完成的任务转给资本，压低劳动份额；新任务创造带来“复归效应”，把劳动重新嵌入生产并提升份额。作者用行业层面数据将工资总额变化分解为生产率、结构（行业构成）、替代与任务内容变化，发现：1947–1987年复归效应大体抵消替代效应；1987年以来生产率放缓且任务内容明显朝不利于劳动移动，导致劳动需求增速乏力、劳动份额下行，并用机器人渗透、例行化比例与新职业指标等提供外部验证。

虽然这篇论文在理论推倒、数据获取、分析和实证检验过程中都非常科学和规范，充分考虑了数据来源的差异性、样本的筛选、代理变量的选择，数据翔实、方法规范、严谨且科学，

但我认为本文还存在一些可进一步改进的地方：

- 其一：使用给强的识别策略，比如利用税收优惠、设备折旧政策或行业冲击等准自然实验，进行自动化与新任务对任务内容的因果效应识别，而不是简单相关性分析
- 其二：对参数进行更准确的估计，比如对要素替代弹性 σ 与要素增强技术路径的假设做更系统的灵敏度分析或贝叶斯估计

最后，该论文对我国的一些鼓励技术创新的政策也具有启发意义：

- 其一：把激励从“纯自动化”转向“创造新任务”的技术；由于自动化总是压低劳动份额，而“新任务”能提高劳动份额并必然增加劳动需求，所以我们应当通过研发补贴、税收优惠和政府采购等形式，优先支持能扩张人机互补岗位的项目；对只替代劳动且提效有限的“平庸的自动化”进行限制
- 其二：纠偏税费结构对“设备”的偏好；我们发现过度自动化与生产率放缓相关，偏向资本的激励会把技术方向推向进一步自动化而非新任务，所以我们可以逐步降低对设备投资的超额优惠、减轻用工附加成本