

人工智能冲击下的收入分配与政策权衡

——基于任务替代与代际交叠的一般均衡分析

孙浩宁 李金璞 董 丰

目录

附录 I 技术细节与命题证明	1
附录 II 未在正文报告的详细内容	6
附录 III 模型拓展与讨论	21
附录 IV 经验数据与模型结果的对应	24
参考文献	25

附录 I 技术细节与命题证明

I.1 生产函数加总

从式 (1) 和式 (2) 出发, 先定义

$$M_t := \left(\int_0^1 y_t(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, Y_t = A_t K_t^\alpha M_t^{1-\alpha}. \quad (I.1)$$

按临界任务序号 i_t^* 划分任务区间, 记

$$n_t^* = 1 - i_t^*, X_t = \int_0^{i_t^*} x_t(i) di, L_t = \int_{i_t^*}^1 l_t(i) di. \quad (I.2)$$

记任务 $y_t(i)$ 使用的要素价格为 $p_t(i)$, 那么最终品生产商对每个任务 i 的一阶条件为

$$(1-\alpha)A_t K_t^\alpha \left(\int_0^1 y_t(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)-1} y_t(i)^{-\frac{1}{\sigma}} = p_t(i). \quad (I.3)$$

利用 $Y_t = A_t K_t^\alpha M_t^{1-\alpha}$, 可重写为

$$(1-\alpha) \frac{Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma}} y_t(i)^{-\frac{1}{\sigma}} = p_t(i). \quad (I.4)$$

● 由 AI 完成的任务 ($i \leq i_t^*$):

此时 $p_t(i) = P_t^x$ 且 $y_t(i) = x_t(i)$, 由

$$(1-\alpha) \frac{Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma}} x_t(i)^{-\frac{1}{\sigma}} = P_t^x$$

可得

$$x_t(i) = (1-\alpha)^\sigma \frac{Y_t^\sigma}{M_t^{\sigma-1}} (P_t^x)^{-\sigma}. \quad (I.5)$$

● 由劳动完成的任务 ($i > i_t^*$):

此时 $p_t(i) = \frac{W_t}{\mu(i)}$ 且 $y_t(i) = \mu(i)l_t(i)$, 由

$$(1-\alpha) \frac{Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma}} [\mu(i) l_t(i)]^{-\frac{1}{\sigma}} = \frac{W_t}{\mu(i)},$$

可计算

$$l_t(i) = \frac{1}{\mu(i)} \left[\frac{(1-\alpha)Y_t \mu(i)}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma} W_t} \right]^\sigma. \quad (I.6)$$

将 $x_t(i)$ 在 $[0, i_t^*]$ 上积分得

$$X_t = (1-\alpha)^\sigma \frac{Y_t^\sigma}{M_t^{\sigma-1}} i_t^* (P_t^x)^{-\sigma}. \quad (I.7)$$

将 $l_t(i)$ 在 $[i_t^*, 1]$ 上积分得

$$L_t = \left[\frac{(1-\alpha)Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma} W_t} \right]^\sigma \int_{i_t^*}^1 \mu(i)^{\sigma-1} di. \quad (I.8)$$

可以计算

$$M_{x,t} = \int_0^{i_t^*} x_t(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di = i_t^* \left(\frac{X_t}{i_t^*} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} = (i_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} X_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} = (1-n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} X_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}. \quad (I.9)$$

$$M_{\ell,t} = \int_{i_t^*}^1 [\mu(i)l_t(i)]^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di = \left[\frac{(1-\alpha)Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma} W_t} \right]^{\sigma-1} \int_{i_t^*}^1 \mu(i)^{\sigma-1} di. \quad (I.10)$$

用 $J \equiv \int_{i_t^*}^1 \mu(i)^{\sigma-1} di$ 和上面的 L_t 关系可解得

$$M_{\ell,t} = J^{1/\sigma} L_t^{(\sigma-1)/\sigma}.$$

若再做换元 $u = i - i_t^*$ 并用 $\mu(i) = e^{\kappa i}$, 可以写为

$$J = \int_0^{n_t^*} e^{B(\sigma-1)(i_t^*+u)} du = e^{\kappa(\sigma-1)i_t^*} \int_0^{n_t^*} e^{B(\sigma-1)u} du.$$

所以

$$M_{\ell,t} = \left[\int_0^{n_t^*} e^{B(\sigma-1)u} du \right]^{1/\sigma} (e^{\kappa i_t^*} L_t)^{(\sigma-1)/\sigma}. \quad (1.11)$$

最后根据 Y_t 的定义可以得到式 (4)。

1.2 要素价格

根据式 (1.7)，可以直接得到

$$P_t^x = (1 - \alpha) \frac{Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma}} (1 - n_t^*)^{1/\sigma} X_t^{-1/\sigma}. \quad (1.12)$$

根据式 (1.8)，得到

$$\begin{aligned} W_t &= \frac{(1 - \alpha) Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma}} \left(\frac{\int_{i_t^*}^1 \mu(i)^{\sigma-1} di}{L_t} \right)^{1/\sigma} \\ &= (1 - \alpha) \frac{Y_t}{M_t^{(\sigma-1)/\sigma}} \left(\int_0^{n_t^*} e^{B(\sigma-1)u} du \right)^{1/\sigma} [e^{\kappa(1-n_t^*)}]^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} L_t^{-1/\sigma}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

此时，生产函数中的加总权重 n_t^* 也是内生的，但由于生产商对 n_t^* 的选择是最优的，因此可以得到 $\frac{\partial Y_t}{\partial n_t^*} = 0$ 。

$$\begin{aligned} R_t^k &= \frac{dY_t}{dK_t} = \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} + \frac{\partial Y_t}{\partial n_t^*} \frac{\partial n_t^*}{\partial K_t} = A_t \alpha K_t^{\alpha-1} M_t^{1-\alpha} \\ &= A_t \alpha K_t^{\alpha-1} \left[(1 - n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} X_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} (e^{B i_t^*} L_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)} \\ &= A_t \alpha \left[(1 - n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{x_t}{k_t} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{L_t}{k_t} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)}. \end{aligned}$$

其中 $k_t = \frac{K_t}{e^{\kappa i_t^*}}$, $x_t = \frac{X_t}{e^{\kappa i_t^*}}$ 。

根据临界任务定义 $\mu(i_t^*) = W_t/P_t^x$ ，即

$$\frac{W_t}{e^{\kappa i_t^*}} = P_t^x.$$

代入并化简，得到

$$(1 - n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} X_t^{-\frac{1}{\sigma}} = \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} Z_t^{-\frac{1}{\sigma}}.$$

进一步化简，得到

$$\frac{x_t}{L_t} = \frac{1 - n_t^*}{\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}. \quad (1.14)$$

1.3 储蓄家庭问题

对于一个储蓄家庭而言，其最优化问题的拉格朗日函数为：

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = \mathbb{E} \sum_{t=s}^{\infty} (\beta v)^t & \left\{ \ln C_{t|s}^o + \lambda_{t|s}^o \left[\frac{1}{v} B_{t|s}^o - \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+1} B_{t+1|s}^o + W_t L_{t|s}^o l_{t|s}^o + T_{t|s}^o \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{1}{v} (R_t^k + 1 - \delta_k) K_{t|s}^o + \frac{1}{v} \left(P_t^x + \frac{1 - \delta_x}{Z_t} \right) X_{t|s}^o - C_{t|s}^o - K_{t+1|s}^o - \frac{X_{t+1|s}^o}{Z_t} \right] \right\}, \end{aligned} \quad (1.15)$$

可得储蓄家庭最优化的一阶条件：

$$\lambda_{t|s}^o = \frac{1}{C_{t|s}^o}, \quad (1.16)$$

$$\lambda_{t|s}^o \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+1} = \beta \mathbb{E}_t \lambda_{t+1|s}^o, \quad (1.17)$$

$$\lambda_{t|s}^o = \beta \mathbb{E}_t \lambda_{t+1|s}^o (R_{t+1}^k + 1 - \delta_k), \quad (1.18)$$

$$\frac{\lambda_{t|s}^o}{Z_t} = \beta \mathbb{E}_t \lambda_{t+1|s}^o \left(P_{t+1}^x + \frac{1 - \delta_x}{Z_{t+1}} \right). \quad (1.19)$$

由于上述的完备状态相依资产市场的存在, 跨期替代率 $\Lambda_{t,t+1}$ 对于所有年龄段的储蓄家庭是一致的, 均衡中每一代储蓄家庭的消费增速相同, 即:

$$\Lambda_{t,t+1} = \beta \frac{C_{t|s}^o}{C_{t+1|s}^o}, \forall s \leq t. \quad (1.20)$$

以下推导储蓄家庭的消费决策。利用储蓄家庭的一阶条件, 可以得到:

$$v \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+1} A_{t+1|s}^o = K_{t+1|s}^o + \frac{X_{t+1|s}^o}{Z_t} + \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+1} B_{t+1|s}^o, \quad (1.21)$$

进而可以将储蓄家庭的预算约束改写为:

$$C_{t|s}^o + v \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+1} A_{t+1|s}^o = A_{t|s}^o + W_t L_{t|s}^o l_{t|s}^o + T_{t|s}^o, \quad (1.22)$$

将上述预算约束改写, 可以得到:^①

$$\sum_{j=0}^{\infty} v^j \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+j} C_{t+j|s}^o = A_{t|s}^o + \sum_{j=0}^{\infty} v^j \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+j} [W_{t+j} L_{t+j|s}^o l_{t+j|s}^o + T_{t+j|s}^o]. \quad (1.23)$$

由于 $\Lambda_{t,t+j} = \beta^j \frac{C_{t|s}^o}{C_{t+j|s}^o}$, 进而由上述的预算约束可以得到储蓄家庭的消费函数为:

$$C_{t|s}^o = (1 - \beta v)(A_{t|s}^o + H_{t|s}^o), \quad (1.24)$$

其中 $H_{t|s}^o$ 代表储蓄家庭的人力资本, 满足:

$$H_{t|s}^o \equiv \sum_{j=0}^{\infty} v^j \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+j} [W_{t+j} L_{t+j|s}^o l_{t+j|s}^o + T_{t+j|s}^o]. \quad (1.25)$$

由于同一代中的所有家庭消费相同, 可以对经济中现存的所有储蓄家庭的消费进行加总, 定义储蓄家庭的加总变量 $C_t^o = \sum_{s=-\infty}^t (1-v)v^{t-s} C_{t|s}^o$, $K_t^o = \sum_{s=-\infty}^t (1-v)v^{t-s} K_{t|s}^o$, $X_t^o = \sum_{s=-\infty}^t (1-v)v^{t-s} X_{t|s}^o$, 可以得到储蓄家庭的加总消费为:

$$C_t^o = (1 - \beta v) \left[(1 - \delta_k + R_t^k) K_t^o + \left(\frac{1 - \delta_x}{Z_t} + P_t^x \right) X_t^o + H_t^o \right], \quad (1.26)$$

其中, H_t^o 代表所有储蓄家庭的人力资本, 包含两部分: 工作中的储蓄家庭人力资本 $H_t^{o,a}$ 和退休的储蓄家庭人力资本 $H_t^{o,i}$ 。

$$H_t^{o,a} = \varphi \sum_{j=0}^{\infty} (v\psi)^j \Lambda_{t,t+j} (W_{t+j} L_{t+j}^o + T_{t+j}^{o,a}) + \varphi \sum_{j=0}^{\infty} (v^j - (v\psi)^j) \Lambda_{t,t+j} T_{t+j}^{o,i}, \quad (1.27)$$

$$H_t^{o,i} = (1 - \varphi) \sum_{j=0}^{\infty} v^j \Lambda_{t,t+j} T_{t+j}^{o,i}, \quad (1.28)$$

其中 $T_t^{o,a}$ 和 $T_t^{o,i}$ 分别代表对于工作中的储蓄家庭和退休后的储蓄家庭的转移支付。为方便分析, 本文假设对于家庭的税收或转移支付都是一次性的, 且平均分配到每个家庭。

为了求解政策模型的均衡, 还要求解均衡中的跨期折现因子 $\Lambda_{t,t+1}$ 。由于完备资产市场的存在, 所有储蓄家庭具备相同的跨期折现因子。代入储蓄家庭消费加总函数可以得到:

$$\begin{aligned} C_{t+1}^o &= (1-v) C_{t+1|t+1}^o + \sum_{s=-\infty}^t (1-v) v^{t+1-s} C_{t+1|s}^o \\ &= (1-v) C_{t+1|t+1}^o + \beta \Lambda_{t,t+1}^{-1} \sum_{s=-\infty}^t (1-v) v^{t+1-s} C_{t|s}^o \\ &= (1-v) C_{t+1|t+1}^o + \beta v \Lambda_{t,t+1}^{-1} C_t^o, \end{aligned} \quad (1.29)$$

因此均衡中的跨期替代因子可使用加总变量表述:

$$\Lambda_{t,t+1} = \beta \frac{C_t^o}{C_{t+1}^o} \frac{v}{1 - (1-v)\chi_{t+1}}, \quad (1.30)$$

其中 $\chi_t = \frac{C_{t|t}^o}{C_t^o}$ 代表新进入的储蓄家庭消费与储蓄家庭平均消费之间的比值。由于新进入经济的储蓄家庭没有资产, 因此可以得到:

^① 横截条件 $\lim_{N \rightarrow \infty} v^{N+1} \mathbb{E}_t [\Lambda_{t,t+N+1} A_{t+N+1|s}^o] = 0$ 成立。

$$\chi_t = \frac{\varphi^{-1}H_t^{o,a}}{(1-\delta_k + R_t^k)K_t^o + \left(\frac{1-\delta_x}{Z_t} + P_t^x\right)X_t^o + H_t^o}. \quad (1.31)$$

1.4 模型均衡系统

为了方便分析, 本部分首先考虑没有税收和转移支付的均衡, 因此 $T_{t|s}^{o,a} = T_{t|s}^{o,i} = T_t^r = 0$, 对应的储蓄家庭人力资本满足:

$$H_t^o = H_{t+1}^{o,a} = \varphi W_t + v\psi H_{t+1}^{o,a}. \quad (1.32)$$

在不存在税收的情况下, 模型的均衡系统为包含

$\{Y_t, K_t, X_t, L_t, R_t^k, P_t^x, W_t, n_t^*, I_{k,t}, I_{x,t}, C_t^o, C_t^r, \Lambda_{t-1,t}\}$ 的动力系统:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha \left[(1-n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} X_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} \left(e^{\kappa i_t^*} L_t \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)}, \quad (1.33)$$

$$R_t^k = A_t \alpha \left[(1-n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{X_t}{K_t} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{e^{\kappa(1-n_t^*)} L_t}{K_t} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)}, \quad (1.34)$$

$$P_t^x = A_t (1-\alpha) (1-n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{K_t}{X_t} \right)^\alpha \left[(1-n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{e^{\kappa(1-n_t^*)} L_t}{X_t} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)-1}, \quad (1.35)$$

$$W_t = A_t (1-\alpha) \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{K_t}{L_t} \right)^\alpha \left[(1-n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{X_t}{L_t} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)-1}, \quad (1.36)$$

$$e^{\kappa(1-n_t^*)} = \frac{W_t}{P_t^x}, \quad (1.37)$$

$$K_{t+1} = (1-\delta_k)K_t + I_{k,t}, \quad (1.38)$$

$$X_{t+1} = (1-\delta_x)X_t + I_{x,t}, \quad (1.39)$$

$$\Lambda_{t-1,t} = \beta \frac{C_{t-1}^o}{C_t^o} \frac{v}{1-(1-v)\chi_t}, \quad (1.40)$$

其中,

$$\chi_t = \frac{\varphi^{-1}H_t^{o,a}}{(1-\delta_k + R_t^k)K_t^o + \left(\frac{1-\delta_x}{Z_t} + P_t^x\right)X_t^o + H_t^o}$$

$$H_t^o = H_{t+1}^{o,a} = \varphi W_t + v\psi \Lambda_{t,t+1} H_{t+1}^o, \quad (1.41)$$

$$\mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+1} (1-\delta_k + R_{t+1}^k) = 1, \quad (1.42)$$

$$Z_t \mathbb{E}_t \Lambda_{t,t+1} \left(P_{t+1}^x + \frac{1-\delta_x}{Z_{t+1}} \right) = 1, \quad (1.43)$$

$$L_t = \lambda + (1-\lambda)\varphi, \quad (1.44)$$

$$C_t^r = W_t. \quad (1.44)$$

$$\lambda C_t^r + (1-\lambda)C_t^o + I_{k,t} + \frac{I_{x,t}}{Z_t} = Y_t. \quad (1.45)$$

1.5 命题 1 证明

假设两类资本的折旧率相同, 即 $\delta_k = \delta_x$, 则在稳态时有

$$R^k = ZP^x. \quad (1.46)$$

要素价格条件推得资本劳动比

$$\frac{k}{L} = \frac{\alpha}{\varphi Z (1-\alpha)} \frac{1-n^* + \int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}{\int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}, k = \frac{K}{e^{\kappa(1-n^*)}}. \quad (1.47)$$

由总产出函数可写出标准化产出

$$\frac{y}{L} = A \left(\frac{\alpha}{Z(1-\alpha)} \right)^\alpha \frac{(1-n^* + \int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di)^{\frac{\sigma-\alpha}{\sigma-1}}}{\int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}. \quad (1.48)$$

对劳动的一阶条件可得标准化工资

$$w = A \left(\frac{\alpha}{Z} \right)^\alpha (1-\alpha)^{1-\alpha} (1-n^* + \int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di)^{\frac{1-\alpha}{\sigma-1}}. \quad (1.49)$$

最后计算劳动收入份额:

$$\frac{wL}{y} = (1-\alpha) \frac{\int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}{1-n^* + \int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}. \quad (1.50)$$

对 n^* 求偏导得

$$\frac{\partial(wL/y)}{\partial n^*} = (1-\alpha) \frac{\mu(n^*)^{\sigma-1}(1-n^*) + \int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}{(1-n^* + \int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di)^2} > 0. \quad (1.51)$$

1.6 动态福利效应的推导

参考 Miao 等 (2025), 可以将现存的所有储蓄家庭的总福利定义为:

$$U_t^{soc,o} = \mathbb{E}_t \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j U_{t+j}^o$$

其中

$$U_{t+j}^o = \sum_{s=-\infty}^{t+j} (1-v) v^{t+j-s} \ln(C_{t+j|s}^o)$$

进而可以将上述总福利函数分解为平均福利和福利平等的部分:

$$U_t^{soc,o} = U_t^{ave,o} + (U_t^{soc,o} - U_t^{ave,o}) = U_t^{ave,o} + U_t^{ieq,o},$$

其中

$$\begin{aligned} U_t^{ave,o} &= \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \ln(C_{t+j}^o) = \ln(C_t^o) + \beta U_{t+1}^{ave,o}, \\ U_t^{ieq,o} &= \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \Theta_{t+j} = \Theta_t + \beta \mathbb{E}_t U_{t+1}^{ieq,o}, \\ \Theta_t &= (1-v) \sum_{s=-\infty}^t v^{t-s} \ln \left(\frac{C_{t|s}^o}{C_t^o} \right) \\ &= (1-v) \ln \left(\frac{C_{t|t}^o}{C_t^o} \right) + (1-v)v \sum_{s=-\infty}^{t-1} v^{t-1-s} \ln \left(\frac{C_{t-1|s}^o}{C_{t-1}^o} \frac{C_{t-1}^o}{C_t^o} \frac{C_{t|s}^o}{C_{t-1|s}^o} \right) \\ &= (1-v) \ln(\chi_t) + v \left[\ln \left(\frac{\beta}{\Lambda_{t-1,t}} \right) + \ln \left(\frac{C_{t-1}^o}{C_t^o} \right) \right] + v \Theta_{t-1} \end{aligned}$$

上述过程主要关注储蓄家庭作为一个整体的社会福利, 而在储蓄家庭内部, 不同代的家庭福利可能也有不同。具体而言, 将在 s 期出生并且存活到 t 期的储蓄家庭的福利记作 $U_{t|s}$, 其中 $s \leq t$:

$$\begin{aligned} U_{t|s} &= \mathbb{E}_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta v)^j \ln(C_{t+j|s}^o) \\ &= \frac{1}{1-\beta v} \ln(C_{t|s}^o) + \mathbb{E}_t \sum_{j=0}^{\infty} (\beta v)^j \ln \left(\frac{\beta^j}{\Lambda_{t,t+j}} \right) \\ &= \frac{1}{1-\beta v} \ln(C_{t|s}^o) - \mathbb{E}_t \sum_{j=1}^{\infty} (\beta v)^j \ln(\Lambda_{t,t+j}) + \text{const.} \end{aligned}$$

定义 $\Psi_t = \mathbb{E}_t \sum_{j=1}^{\infty} (\beta v)^j \ln(\Lambda_{t,t+j})$, 则有:

$$\begin{aligned}\Psi_t &= \beta v \ln(\Lambda_{t,t+1}) + \mathbb{E}_t \sum_{j=2} (\beta v)^j \ln(\Lambda_{t,t+1} \Lambda_{t+1,t+j}) \\ &= \mathbb{E}_t \left[\frac{\beta v}{1 - \beta v} \ln(\Lambda_{t,t+1}) + \beta v \Psi_{t+1} \right].\end{aligned}$$

其中 Ψ_t 刻画了未来消费路径 $\Lambda_{t,t+j} = \beta \frac{C_{t+js}^0}{C_{t+jls}^0}$ 的变动。

附录 II 未在正文报告的详细内容

II.1 参数校准

本文基于经典文献以及中国经济结构性特征校准主要模型参数, 结果如表 III 所示。最终品部门稳态生产率标准化为 $A = 1$, 并依照文献常见取值, 取 $\alpha = 0.4$, 代表均衡中的资本收入份额为 40%。考虑每期为一年的, 将储蓄家庭的主观折现因子设定为 $\beta = 0.96$, 并将物质资本折旧率设为 $\delta_k = 0.1$ 。对于用于提供人工智能服务的智能资本, 文献中对于其折旧率并没有常见一致的取值。由于智能资本的物理形态与信息技术联系紧密, 更新迭代较快, 其折旧率相对较高。因此, 本文参考 Farboodi 和 Veldkamp (2021) 将软件资产的摊销率作为智能化资产减值率代理的做法, 并参考中国、日本、美国 and 英国等国家对于信息与通信技术 (ICT) 投资折旧率的规定, 设定 $\delta_x = 0.33$ 。^① 储蓄型和非储蓄型家庭的比例是模型的关键参数, 根据西南财经大学的中国家庭金融调查 (CHFS) 最新公开数据 (2019 年), 调研家庭参与存款市场的比例约为 80%, 但参与股票等正规金融资产市场的比例仅为 20%, 同时有约 53% 的被调查家庭当年收入小于支出, 且调查家庭的中位数收入 (56600 元) 略低于中位数消费性支出 (57680 元), 因此, 本文在基准模型中基于微观家庭调查结果, 假设非储蓄家庭的比例为 $\lambda = 0.5$, 这也符合文献中的标准取值 (Mankiw, 2000; Galí et al., 2007)。在本文的基准参数假设下, 稳态中总投资与 GDP 的比值为 32%, 高于西方国家的传统取值, 体现了中国高储蓄率的特征。在附录 II 中我们进一步考虑了针对 λ 取值的稳健性检验, 即取 $\lambda = 0.2$ 以匹配家庭调查中存款市场 80% 的参与率。此时稳态中的投资与 GDP 比值为 40%, 符合国家统计局和世界银行公布的宏观资本形成与 GDP 的比重。在这种参数取值下, 核心的结果仍稳健, 说明本文的参数取值能够较好的刻画中国的人口和金融市场结构特征, 具有一定的代表性。 ψ 和 v 两个参数决定了人口结构, 其中 v 决定了人均寿命, 而 ψ 决定了就业率和劳动力占比。根据国家统计局的数据, 16 岁及以上的人口被认定的劳动力, 因此本文假设新进入市场的个体为 16 岁, 同时, 中国当前的人均寿命约为 79 岁, 因此死亡率的取值满足 $\frac{1}{1-v} = 63$ 。此外, 根据国家统计局的数据, 当前中国的城镇居民调查失业率约为 5%, 因此设定 $\psi = 0.95$ 。在这种设定下, 均衡中总劳动力供给为 $L = 0.622$, 接近劳动力占 16 岁以上人口的比例 $\frac{52\%}{82\%} = 63.4\%$ 。参考 Acemoglu 和 Restrepo (2018), 本文将劳动力对于不同任务的生产率设置为 $\mu(i) = e^{\kappa i}$, 其中 $\kappa > 0$, 因此 κ 的大小决定了从事不同职业的劳动力的工资差异。参考 Han 等 (2012), 2008 年中国城镇职工的工资 90/10 分位数对数差大约为 1, 因此设置 $\kappa = 1.25$ 。 σ 决定了不同非资本任务之间的替代弹性, 在加总的生产函数中体现为智能化服务与劳动力之间的宏观替代弹性。该参数的取值在文献中没有统一的估计, 针对中国的相关研究也较为不足。因此, 本文参考相关文献, 在基准模型中取该替代弹性为 $\sigma = 0.5$ (Humlum, 2019; Acemoglu and Restrepo, 2022; Acemoglu, 2025), 并且在附录 II 中对该参数的取值进行了稳健性检验。最后, 稳态中的智能资本积累技术水平 Z 决定了稳态中的劳动收入份额。参考相关文献, 中国的劳动收入份额在 40% 至 60% 之间 (刘亚琳等, 2018; 王林辉、袁礼, 2018; 郑江淮、荆晶, 2021)。根据国家统计局的投入产出表统计数据, 劳动者报酬占 GDP 的比重约为 52%, 而从可支配收入来看, 工资净收入占人均可支配收入的比例约为 57%。综合以上数据本文取基准情况下的 $Z = 0.18$, 对应劳动收入份额为 56%。在上述给定参数下, 稳态中临界任务为 $n^* = 0.95$, 代表经济中约有 5% 的任务由人工智能完成。同时, 在本文校准参数下, 智能化服务使用量与劳动力总量的比值为 $X/L = 0.07$, 这相比国际机器人组织 (International Federation of Robots, IFR) 最新的数据中机器人密度 (每万工人拥有 470 台机器人) 略高, 但量级相同。^② 若将劳动收入份额校准值取 40%, 则对应稳态的人工智能发展水平为 $Z = 0.24$, 此时的临界任务为 $n^* = 0.7$, 代表有 30% 的任务由人工智能完成。在附录 II 中展示了针对其他需校准的关键结构参数 (智能资本折旧率 δ_x 、非储蓄家庭比例 λ 、维持就业概率 ψ 和任务间替代弹性 σ) 的稳健性分析结果。

^① 关于人工智能资本的折旧率 (或称“减值率”), 尚没有权威的指引, 文献和实践均使用代理指标估计。中国信息通信研究院 (简称“信通院”) 的一份报告指出, 国家统计局和信通院对中国 ICT 投资折旧率的估计情况如下: 电脑 0.3119、通信产品 0.2644、软件 0.315。美国经济分析局估计委托开发软件的减值率为 0.33, EU KLEMS 估计软件的减值率为 0.315。综上, 本文取 0.33 作为智能资本折旧率有一定普适性, 并符合中国的现实特征。取其他合理数值不影响本文定性结果, 附录 II 中展示了针对 δ_x 取值的稳健性分析。

^② 根据 IFR 2023 年数据, 中国的工业机器人密度为世界第三, 每万工人拥有 470 台工业机器人, 低于韩国 (每万工人拥有 1012 台工业机器人) 和新加坡 (每万工人拥有 770 台工业机器人)。

本文的模型设定和数值模拟在一定程度上契合中国的经验事实,对未来经济环境变化有一定的预测作用。为说明模型和参数的外部有效性,我们使用中国的经验数据与本文模型结果做了简单比照。具体地,我们考察了数据中人工智能相关指标和劳动收入份额以及工资的相关性,数据来源与结果见附录 IV。图 IV1 比较了中国 2012—2019 年的工业机器人存量和劳动收入份额之间的相关性,可以发现随着智能化资本存量的提升,劳动收入份额呈现下降趋势,并且下降速度逐渐加快,这与模型得到的稳态劳动收入份额与稳态智能化资本存量之间的变化趋势相符合。图 IV2 参考了王永钦和董雯(2020)对于行业层面人工智能渗透度指标的构造,结合 CIP 4.0 数据库选取了 2017 年制造业子行业劳动报酬和就业的截面数据,刻画了人工智能渗透度与行业平均工资的关联。可以看出,在截面上,随着行业人工智能渗透率的提升,平均工资呈现出先下降后上升的特征,这说明智能化资本积累对工资同时存在挤入和挤出效应,并且随着智能化资本存量的提升,由挤入效应占据主导转变为挤出效应占据主导,这与本文模型所得到的结论也是一致的。综上,基准模型结果与中国的经验数据在趋势上表现基本一致,这一定程度上佐证了本文模型的实践价值,能够为模拟发生外生挤出冲击后宏观经济和分配结构的变动提供一定的参考。

表 II 1 参数取值

参数	含义	取值	取值依据
A	全要素生产率	1	标准化
β	折现因子	0.96	文献标准取值
α	资本占比	0.4	文献标准取值
δ_k	物质资本折旧率	0.1	文献标准取值
δ_x	智能资本折旧率	0.33	信通院研究报告
λ	非储蓄家庭比例	0.5	CHFS 调查结果
v	存活概率	$1 - \frac{1}{63}$	人均寿命
ψ	维持就业概率	0.95	城镇调查失业率
κ	劳动力对不同任务的生产率	1.25	90 / 10 分位工资差距
σ	不同任务替代弹性	0.5	Acemoglu 和 Restrepo (2022)
Z	智能化技术	0.18	劳动收入占比

II.2 人工智能发展的稳态福利效应

对于非储蓄家庭而言,其当期福利只取决于其消费 $\ln C_t^o$;而对于储蓄家庭而言,由于本文“永葆青春”模型的特征,经济中存在多个代际的储蓄家庭,每一代家庭的消费都不同,这导致定义储蓄家庭的福利具有一定挑战性。在本部分,我们将储蓄家庭的稳态福利定义为“一个代表性储蓄家庭的终生效用”。考虑到储蓄家庭的终生效用函数为:

$$\mathbb{E}_s \sum_{t=s}^{\infty} (\beta v)^{t-s} \ln C_{t|s}^o,$$

同时由跨期替代弹性的定义可以得到:

$$C_{t+1|s}^o = \frac{\beta}{\Lambda} C_{t|s}^o,$$

在稳态中有 $\Lambda_{t,t+1} = \Lambda$ 为常数,因此可以定义一个代表性储蓄家庭的终生效用为:

$$U^o = \sum_{j=0}^{\infty} (\beta v)^j \ln \left[\left(\frac{\beta}{\Lambda} \right)^j C_1^o \right] = \frac{1}{1-\beta v} \ln C_1^o + \frac{\beta v}{(1-\beta v)^2} \ln \left(\frac{\beta}{\Lambda} \right),$$

其中 C_1^o 代表新进入经济的储蓄家庭的收入,满足:

$$C_1^o = (1-\beta v) \varphi^{-1} H^o = \chi C^o.$$

图 III1 展示了不同智能资本积累技术水平 Z 下非储蓄家庭和储蓄家庭各自的终生效用以及这两类家庭的终生效用加权平均(即总社会福利)的稳态值。由图可知,人工智能发展在提升社会总福利的同时,产生了显著的分配效应。由于非储蓄家庭只能通过劳动获得收入并进行消费,他们的福利变动与前述的工资变动类似,即当人工智能发展水平较低时下降,而人工智能发展水平较高时上升;而对于储蓄家庭而言,一方面这些家庭可以借助资本和证券市场进行平滑消费以提升终生效用,另一方面智能化技术发展对智能资本的积累以及资本要素收入具有显著的提升效应,因此随着智能化技术水平的提升,储蓄家庭的福利始终上升,并且上升速度高于非储蓄家庭。因此,无论从收入还是从福利的角度来讲,智能化技术的发展在促进整体生产的同时,也增加了非储蓄家庭和储蓄家庭之间的不平等。

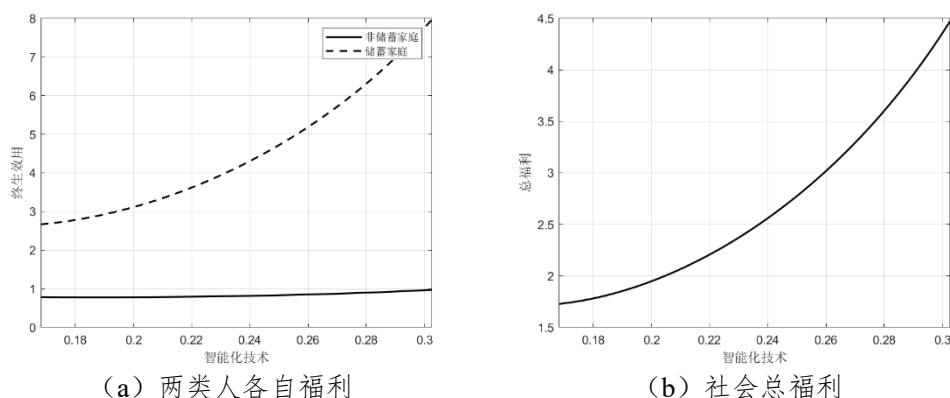


图 II.1 智能化技术发展的稳态福利效应

II.3 暂时性全要素生产率正向冲击的效应

为了与智能化技术冲击的影响做比较, 本文进一步计算了全要素生产率 A_t 出现冲击后经济的转移动态。具体而言, 假设全要素生产率满足和智能化技术 Z_t 类似的 $\log$ -AR(1) 过程, 并且其自回归系数也为 0.95, 同时在第一期出现正向冲击使得全要素生产率从 $A_t = 1$ 的原始稳态上升到 $A_t = 1.01$, 并计算经济的转移路径。图 II2 展示了暂时性全要素生产率冲击后经济总量的动态转移路径。可以看出, 全要素生产率的暂时性提升对总产出和总消费在短期都是扩张性的: 在发生正向全要素生产率冲击后, 总产出在当期上升约 1%, 之后随着两类资本的积累增加进一步缓慢上升, 在第 10 期前后达到峰值, 相比原始稳态上升了约 1.4%; 与之对应, 消费也在第一期快速上升约 0.7%, 之后随着资本的积累缓慢增加, 到 15 期左右达到峰值, 相比原始稳态上升了约 0.9%。相比智能化技术正向冲击, 全要素生产率正向冲击对总消费的扩张效应更强, 这主要是因为全要素生产率冲击提高了所有要素的边际回报, 同时并没有显著增加投资在总产出中的比例。换言之, 总产出的增加主要是丰富了个体用于消费和投资的总资源, 但并不会改变投资相比消费的相对价格; 而智能化技术的正向冲击主要作用机制是降低了对智能资本投资的相对价格, 因此会提升投资率, 降低消费在总产出中的比例。同时, 从图中可以发现, 全要素生产率冲击虽然也在一定程度上会挤出劳动力, 但其挤出效应相比智能化冲击显著较小。子图 (a) 和 (b) 展示了正向全要素生产率冲击后的劳动收入份额与工资的动态路径。可以发现, 正向的全要素生产率冲击会在一定程度上挤出劳动收入份额, 这是因为劳动力的供给是相对固定的, 而两类资本生产要素是可以持续积累的。在出现正向全要素生产率冲击后, 劳动收入份额大约在第 15 期下降到最低值, 从约 56.2% 下降到约 55.9%, 下降幅度显著小于之前所讨论的扩张性智能化技术冲击。同时, 从子图 (b) 可以看出, 正向的全要素生产率冲击会提升而不是降低工资收入, 这主要是因为正向的全要素生产率冲击提升了所有要素的边际生产率, 进而增加了对于所有要素 (包括劳动、物质资本和智能资本) 的需求。

由于全要素生产率对于工资的效应是挤入而非挤出, 正向全要素生产率冲击对于家庭的两种分类下的分配效应也有所不同。图 II2 的子图 (c) 和 (d) 展示了暂时性全要素生产率冲击后两组消费动态路径的对比。可以发现, 与智能化技术冲击不同, 正向的全要素生产率冲击会同时提升非储蓄家庭的消费、新进入经济储蓄家庭的消费和储蓄家庭的平均消费。在出现正向的生产率冲击后, 非储蓄家庭的消费会由于工资的上升而立即大幅增加, 并在之后随着生产率逐渐回归原始稳态而缓慢下滑; 相比之下, 储蓄家庭的人均消费上升的更为缓慢, 这主要是因为储蓄家庭的人均收入除了工资之外还取决于其资本存量, 而资本存量的积累是相对较为缓慢的。在生产率的暂时性正向冲击下, 非储蓄家庭的消费上升最多约为 1%, 而储蓄家庭的消费逐渐上升, 并在大约第 20 期达到峰值, 上升约 1.3%。在储蓄家庭内部, 由于正向生产率冲击导致了工资的上升, 这使得新进入经济的储蓄家庭的人力资本有所提升, 因此新进入经济的储蓄家庭消费也随之增加, 在大约 20 期达到峰值, 上升的幅度约为 0.5%。相比之下, 由于储蓄家庭整体的消费既取决于人力资本也取决于另两种生产性资本的存量, 因此储蓄家庭总体消费的上升幅度相比新进入经济的储蓄家庭消费上升服务要更高, 但两者均会上升。

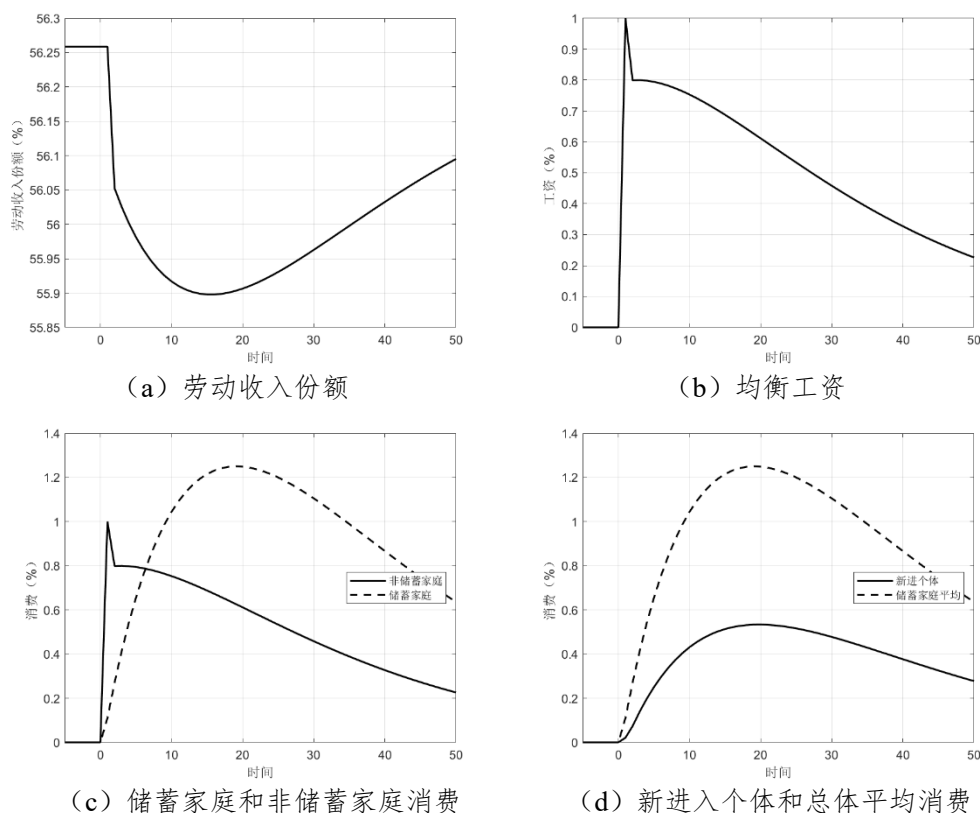


图 II.2 暂时性全要素生产率冲击的影响

II.4 永久性智能化技术发展冲击的动态影响

接下来讨论永久性智能化技术发展冲击的动态影响。具体而言,本部分假设智能化技术 Z 永久性地从初始稳态值 0.18 上升到较高水平的稳态值 0.19,并计算经济动态转移路径。^①图 II.3 展示了宏观总体变量的动态转移路径。可以看出,与暂时性智能化技术发展冲击类似,永久性智能化技术发展冲击对整体经济而言也是扩张性的。在智能化技术稳态发生变化后,总产出在第二期先快速上升约 1.2%,并进一步随着智能资本积累技术的发展以及两类资本的积累缓慢上升达到新的稳态。在新的稳态中,总产出相比原有稳态提升了超过 5%。与产出的提升相对应的,这种永久性智能化技术发展冲击对于消费长期来看也是扩张性的。在出现永久性智能化技术发展冲击后,总消费虽然在短期内可能由于劳动收入的萎缩而有所下降,但很快会重新上升,并在大约 12 期后超过原有稳态值,逐渐提升到新的稳态。在新的稳态中,总消费相比原有稳态提升了超过 1.5%。

但另一方面,这种永久性的智能化技术发展冲击虽然可能会挤入生产和消费,但对劳动收入存在潜在的挤出效应。与上文暂时性冲击的分析类似,智能化技术的正向冲击会提升智能化服务的供给,进而短期内降低智能化服务的价格,并挤出物质资本积累,导致劳动力边际生产率降低,工资下降。随着智能化技术的持续,储蓄家庭的收入增加和总产出的上升使得物质资本重新积累,这提升了劳动的边际生产率,使得工资在初期的下降后缓慢上升,到达新的稳态,但在新的稳态中,由于劳动收入份额的大幅下降,工资仍低于原有稳态。根据本文的模拟,当稳态智能化技术从 0.18 上升到 0.19 时,均衡工资会在短期内下降超过 1.6%,对应的劳动收入份额从约 56.2% 下降到约 54.6%。在转移路径上,虽然随着总产出的增加,工资会逐渐提升,但由于智能化技术对劳动的挤出作用,最终工资无法回升到原有的稳态水平。在新的稳态中,均衡工资相比原有稳态下降了约 0.2%。同时,随着智能化技术的提升和资本的不断积累,劳动收入份额在转移路径上持续下降。在新的稳态中,劳动收入占比仅有约 53.4%,相比原有稳态下降了约 3 个百分点。

^① 本部分假设智能化技术 Z 发生突变,以对应暂时性智能化技术冲击的分析中的智能化技术短期变动。另一种分析方法为假设在 $\log\text{-AR}(1)$ 过程中,稳态智能化技术发生变动,而后 Z_t 缓慢转移到新的稳态,这两种永久性智能化技术发展冲击的设定下经济的转移路径趋势类似,只有数值上的差异。

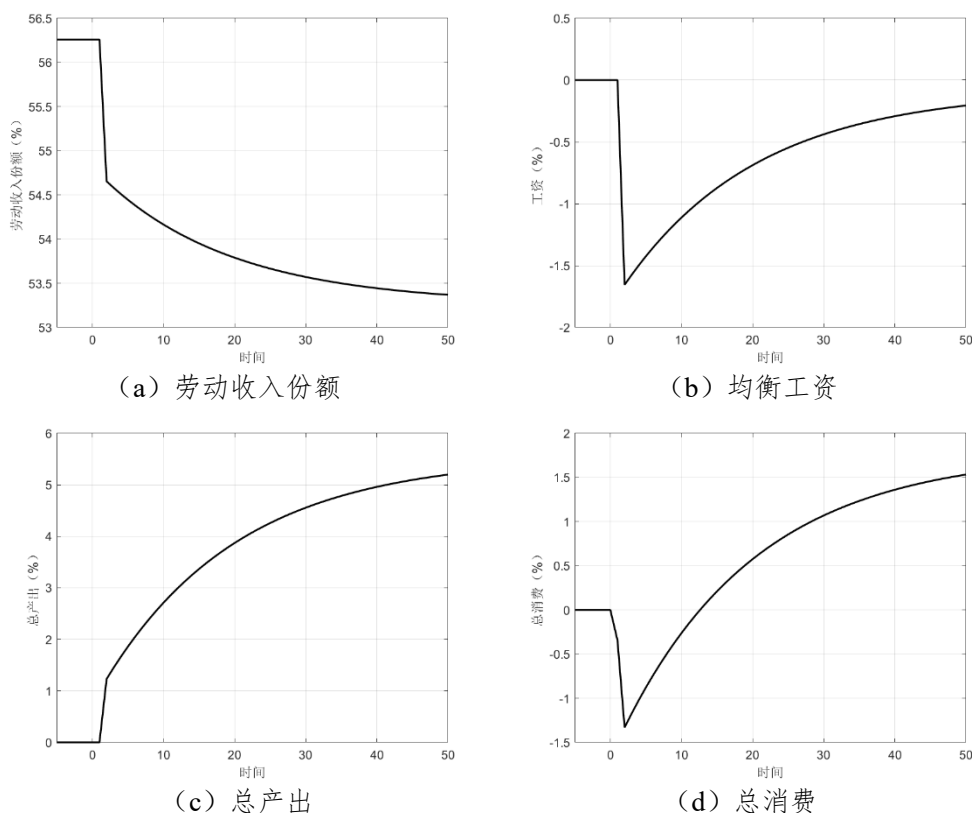


图 II 3 永久性智能化技术发展冲击的影响

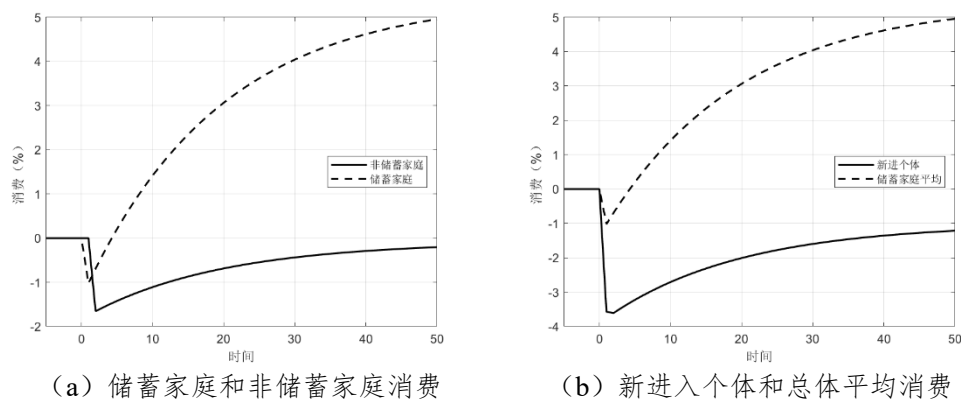


图 II 4 永久性智能化技术发展冲击的分配效应

由于永久性智能资本积累技术发展会挤出劳动收入而挤入资本收入,这种冲击也会在不同的家庭之间产生一定的分配效应,图 II 4 展示了上述的永久性智能化技术冲击发生后,转移路径上储蓄家庭和非储蓄家庭之间,以及储蓄家庭内部的分配效应变动。当出现永久性智能化技术冲击后,非储蓄家庭的消费会由于工资的下降而在短期内出现较大幅度的下滑,并且之后虽然会随着工资的上升逐渐恢复,但无法上升到初始稳态的水平;相比之下,储蓄家庭的消费虽然在冲击发生前期会由于投资的增加而短期下降,但下降幅度有限,且在初期的下降后,储蓄家庭的总体消费会迅速上升,并在 5 期内超过原有稳态的水平。在新的稳态中,储蓄家庭的平均消费相比原有稳态提升了超过 5%,而非储蓄家庭的消费相比原有稳态甚至有所下降。在储蓄家庭内部,由于不同代的储蓄家庭的资本存量有所不同,永久性智能化技术发展冲击也会在新进入的储蓄家庭和原本就存在于经济中的储蓄家庭之间产生收入分配效应。从子图 (b) 中可以看出,由于发生永久性智能化技术冲击后工资会长期低于稳态值,储蓄家庭的人力资本会出现较大幅度的下滑,这会导致主要依赖人力资本进行消费的新进入经济的储蓄家庭消费出现较大幅度的下降。根据本文的模拟,出现永久性智能化技术冲击后,人力资本的大幅下降会导致新进入经济的储蓄家庭消费短期内下降超过 3%。随着产出的积累和工资的回升,新进入经济的储蓄家庭消费也会缓慢回升,但在新的稳态中,新进入经济的储蓄家庭的消费仍低于原有稳态值。相比暂时性智能化技术冲击,永久性智能化技术冲击对于劳动的挤出作用更强,并且产生的分配效应也更强。

II.5 对人工智能使用征税的影响

图 II5 展示了对智能化服务使用征税 τ 的稳态福利效应。为了区分不同税收收入返还方式的影响,本文考虑了收入全部返还给非储蓄家庭($\epsilon = 1$)、收入部分返还给非储蓄家庭($\epsilon = 0.5$)以及收入全部返还给工作的储蓄家庭($\epsilon = 0$)三种情况,福利效应以消费等价给出。可以看出,在本文的基准校准参数($Z = 0.18$)下,维持经济仍使用人工智能的最高税率为 $\tau_{max} = 0.071$ 。随着税收的提升,人工智能的使用被挤出,产出下降的同时劳动收入占比上升。在本文的基准参数校准下,劳动收入占比上升的作用占据主导,因此工资增加,非储蓄家庭收入上升,福利上升。对于储蓄家庭而言,一方面对于智能化技术使用征税使得其资本收入下降,因此总收入和消费倾向于下降;另一方面工资的上升以及一部分的税收返还使得较为年轻的储蓄家庭获得了更多资源可以用于积累智能资本和物质资本。在本文的基准校准参数下,当所有的税收收入都返还给非储蓄家庭($\epsilon = 1$)时,增加税收的效果是提升非储蓄家庭福利,而降低储蓄家庭的福利;但如果有一部分的税收收入返还给储蓄家庭($\epsilon = 0.5$ 或 $\epsilon = 1$),年轻的储蓄家庭有更多的资源对资本进行积累,在初期消费 C_1^0 下降有限的同时能获得较高的未来消费增速。注意到税收挤出了资本,从而利率上升, Λ 下降,均衡消费增速提高,因此其福利有可能上升。相比之下, ϵ 越高,非储蓄家庭的福利提升程度越小,而储蓄家庭的福利水平越高。

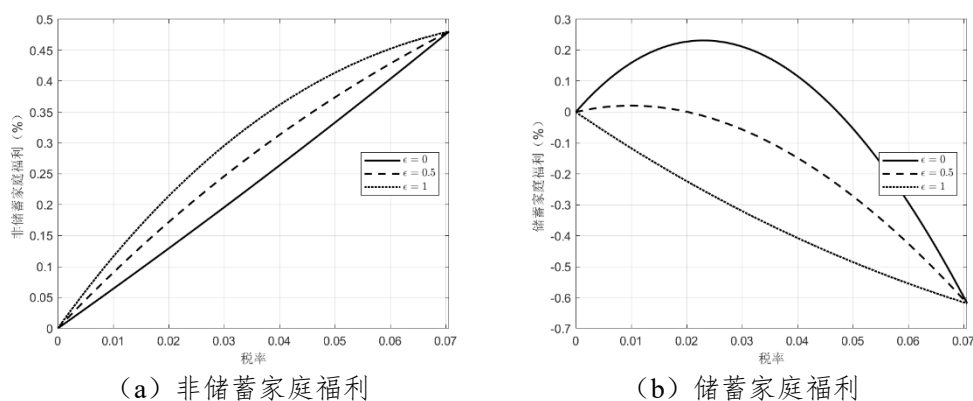


图 II.5 智能化服务使用税的稳态福利效应

接下来考察智能化技术应用的动态效应。图 II6 展示了上述的动态税收对于智能化技术冲击后经济中劳动收入份额动态的影响。由于在正向智能化冲击后,劳动收入份额倾向于下降,在 $\zeta < 0$ 的情况下政府会选择提升对智能化技术应用的税收,进而挤出人工智能使用,在一定程度上减缓劳动收入份额的下降。在上述给定的参数下,当出现暂时性智能化技术冲击时,在有税收的情况下,第一期的劳动收入份额由 54.5% 回升到 55.1%;而当出现永久性智能化技术冲击时,在有税收的情况下,第一期的劳动收入份额由 54.6% 回升到 55.2%。同时,税收的存在还会使得劳动收入份额的变动变得更加平缓。注意这里稳态的税率为 0,因此税收的存在并不会影响到经济最终转移到的稳态水平。

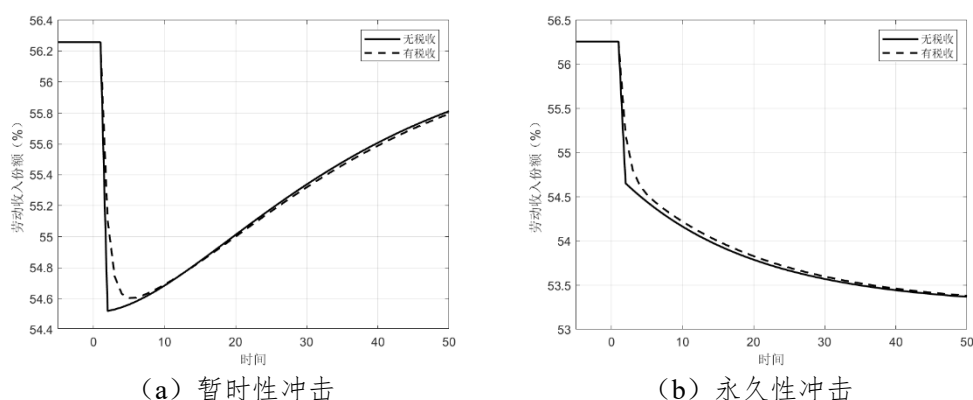


图 II.6 智能化服务使用税对劳动收入份额的影响

同时,税收影响下劳动收入份额的变动也会影响到工资以及两类家庭的消费水平。图 II7 展示了暂时性智能化技术冲击后,在有无税收的情况下两类家庭消费的动态变化。从图中可以看出,在存在税收的情况下,储蓄家庭在正向智能化技术冲击后的消费会有所下降,但程度有限;与之相对,由于动态税收政策的实施挤入了劳动收入,提升了工资,同时一部分的税收收入被返还给非储蓄家庭,这类家庭的消费会有较大程度的提升,并且收入变动也较为平缓。具体而言,在存在上述动态税收体系的情况下,暂时性智能化技术冲击后非储蓄家庭消费的下降幅度由 1.8% 收缩到 1.1%,出现永久性智能化技术冲击后非储蓄家庭消费的下降幅度由 1.7% 收缩到 0.97%。对于储蓄家庭而言,由于动态税收机制在一定程度上提升了人力资

本, 因此减少了在发生正向智能化冲击后初期的消费下降幅度: 在出现暂时性智能化冲击后, 储蓄家庭的消费下降幅度由 0.82% 收缩为 0.75%, 而在出现永久性智能化冲击后收缩幅度从 1% 收缩为 0.94%。但在冲击持续一定时间后, 由于税收对于智能化服务的挤出作用较为明显, 存在税收的情况下储蓄家庭的消费趋于下降: 在暂时性冲击发生 10 期后, 储蓄家庭消费的提升幅度从 1.4% 收缩为 1.3%; 而在永久性冲击发生 10 期后, 储蓄家庭消费的提升幅度从 1.5% 收缩为 1.4%。从福利角度来看, 税收也会在两类家庭之间产生一定分配效应: 在出现暂时性智能化技术冲击后, 动态税收会导致当期储蓄家庭的福利相比无税收情况下下降, 相当于消费降低 0.057%, 而下一期非储蓄家庭消费相比无税收情况下上升 0.76%; 在出现永久性智能化技术冲击后, 动态税收会导致当期储蓄家庭的福利相比无税收情况下下降, 相当于消费降低 0.11%, 而下一期非储蓄家庭消费相比无税收情况下上升 0.70%。

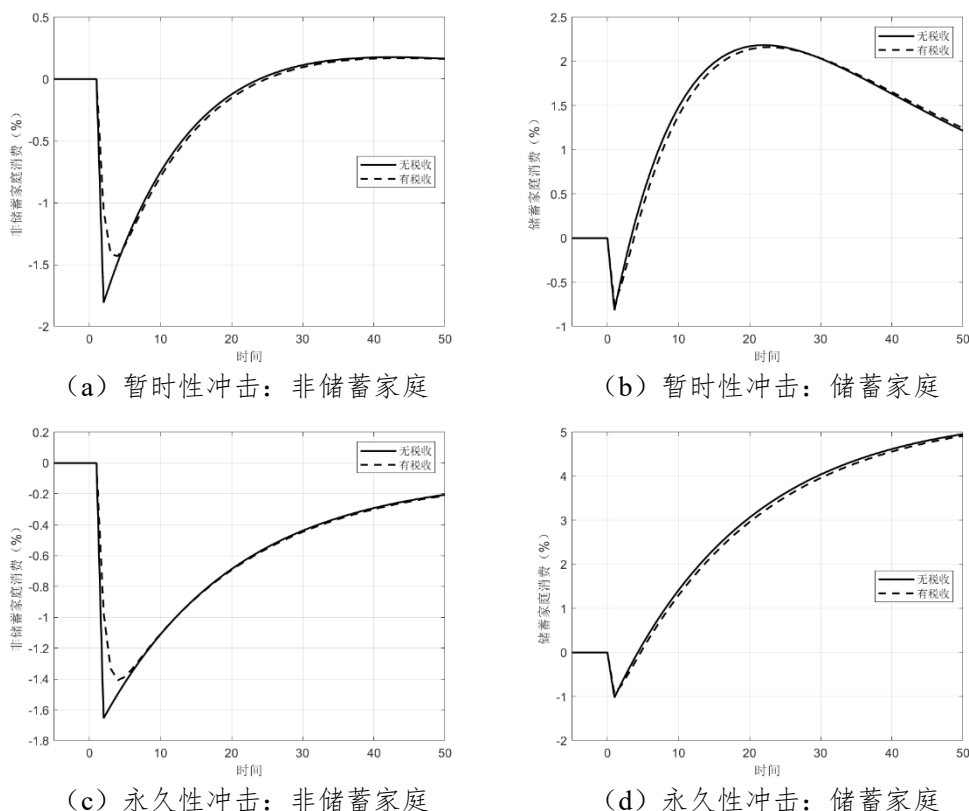


图 II.7 智能化服务使用税对消费的影响

II.6 对物质资本使用征税的影响

假设政府对最终品生产部门使用资本征收 τ_t^k 的税收, 并将其中 ϵ 的部分作为一次性转移支付分配给非储蓄家庭, 另外 $1 - \epsilon$ 的部分平均分配给储蓄家庭中供给劳动力的个体。静态意义上, 图 II.8 展示了固定税率在 10% 以内的情况下不同转移支付设计下资本使用税所能够达到的帕累托前沿。相比直接对智能化服务使用征税, 对资本使用征税虽然挤入了劳动收入份额, 但同时导致物质资本 K_t 的积累受阻, 进而对均衡工资产生向下的压力。相比对智能化服务使用征税, 即使在智能化技术水平不高的情况下, 对资本使用征税也可能导致均衡工资的下降, 从而使得税收更难以达到帕累托改进。根据本文的校准, 在智能化技术水平 Z 较低的情况下, 对智能化服务使用征税叠加任何的转移支付都可以提升非储蓄家庭的福利, 而对资本使用征税时, 向非储蓄家庭的转移支付过少可能降低工资和非储蓄家庭的福利水平, 难以实现帕累托改进。但在智能化技术水平 Z 相对较低的情况下, 对智能化服务使用征税的政策空间较小, 因为过高的税率会导致均衡中生产厂商不再使用智能化服务进行生产, 而相比之下对资本使用征税可能有更大的政策空间。

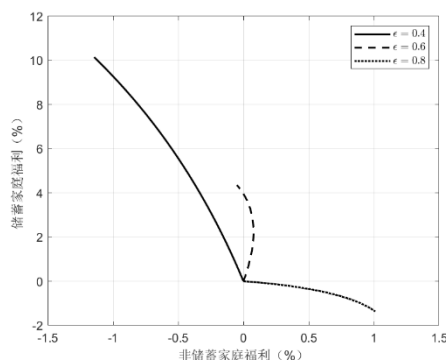
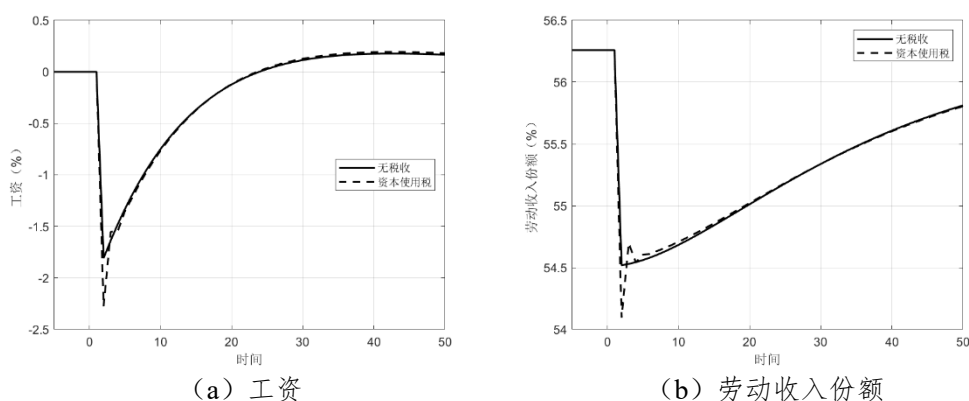


图 11-8 物质资本使用税对应的帕累托前沿

动态意义上, 本文发现, 对物质资本使用征税带来的资本积累受阻可能反而无益于稳定劳动收入份额, 带来短期内更大的劳动收入份额下降。这主要是因为相比基准情况, 在施加逆周期的资本收入税时, 智能化技术发展冲击后, 劳动收入份额降低导致资本使用税提高, 这反而进一步抑制了物质资本积累, 导致工资相比不加税的情况下更低, 带来劳动收入份额的进一步下降。图 11-9 展示了没有税收政策和逆周期物质资本使用税两种情况下, 经济出现单位暂时性正向智能化技术水平冲击后的动态转移路径。税收规则由方程 (31) 给出, 假设有 $\epsilon = 0.6$ 比例的税收收入作为一次性转移支付分配给非储蓄家庭, 其余部分分配给储蓄家庭中供给劳动力的部分, 以保证税收稳态时可以产生帕累托改进。可以看出, 当经济出现正向智能化技术冲击, 智能资本积累加速, 导致劳动收入份额被挤出, 工资下降。当采用逆周期的物质资本使用税时, 当劳动收入份额下降时, 物质资本使用税提升降低了物质资本积累的收益, 导致储蓄家庭转而减少对物质资本的积累, 增加对智能资本的积累, 这种政策误伤了原本可以与智能化技术协作的传统生产要素, 导致短期内对劳动收入产生更强的挤出效应, 反而带来劳动收入份额和工资的更大下降。



(a) 工资

(b) 劳动收入份额

图 11-9 物质资本使用税的动态效应

与上述针对劳动收入挤出的结果相对应, 从动态跨代分配效应来看, 对物质资本使用征税也可能产生与人工智能使用税不同的分配效果。正文图 7 (b) 展示了相同政策规则下逆周期智能化服务使用税和逆周期物质资本使用税的跨代分配效应比较。可以看出, 在同样的税收规则情况下, 相比采用逆周期的智能化技术使用税, 采用逆周期物质资本使用税会更少地降低在冲击发生前已经进入经济的老家庭的福利, 但对于冲击发生后新进入经济的家庭福利提升作用相对更小, 尤其是冲击发生后一段时间才进入经济的新进家庭。这是因为, 在智能化技术冲击发生后的初期, 物质资本的积累本身就会受到挤出, 而此时一个逆周期的物质资本使用税会进一步抑制物质资本的使用, 导致物质资本收益率短期内上升, 但从长期来看, 逆周期的物质资本使用税会导致企业对物质资本的需求下降, 带来中长期较低的物质资本回报率 R_{kt} , 进而降低均衡中储蓄家庭的未来收入增长速度 $\Delta_{t,t+j} = \beta \frac{C_{t+j}^0}{C_t^0}$ 。因此, 对于在逆周期物质资本使用税降低物质资本存量、推高资本收益率的初期进入经济的新进家庭而言, 他们可以暂时享受较高的资本回报率, 获得更高的福利; 但对于此后进入的家庭, 逆周期资本使用税降低物质资本需求的效应占据主导, 他们所能获得的资本回报有限, 反而会相比不使用政策获得更低的社会福利。因此, 相比逆周期的智能化服务使用税, 采用逆周期的物质资本使用税可能并不能很好地实现从老家庭到新家庭的再分配, 均衡中只有冲击发生后初期进入的新家庭获利, 而其他新家庭反而更多受损。

II.7 对劳动雇佣补贴的影响

本部分假设政府可以针对企业雇佣劳动力进行 τ_t 的补贴,因此企业的用工成本由 W_t 降低到 $(1-\tau_t)W_t$ 。较低的用工成本会提升均衡中企业的劳动需求,提升劳动任务份额和劳动收入份额。但同时,为了平衡预算,政府需要对家庭征收一次性的税收。^①具体而言,本文假设政府不对非储蓄家庭征税,在储蓄家庭中,有 ϵ 比例的税收负担分配给储蓄家庭中已经退休的部分,剩余的 $1-\epsilon$ 比例分配给储蓄家庭中仍在工作的部分。此时,对于经济中还在劳动的储蓄家庭而言,其总人力资本的表达式为:

$$H_t^a = \sum_{j=0}^{\infty} (v\psi)^j \Lambda_{t,t+j} \left(\varphi W_{t+j} - \frac{(1-\epsilon)\tau_{t+j}W_{t+j}L_{t+j}}{1-\lambda} \right) - \sum_{j=0}^{\infty} [v^j - (v\psi)^j] \Lambda_{t,t+j} \varphi \frac{\epsilon\tau_{t+j}W_{t+j}L_{t+j}}{(1-\varphi)(1-\lambda)}$$

对于已经退休的储蓄家庭而言,其总人力资本的表达式为:

$$H_t^r = - \sum_{j=0}^{\infty} v^j \Lambda_{t,t+j} \frac{\epsilon\tau_{t+j}W_{t+j}L_{t+j}}{1-\lambda}$$

因此,储蓄家庭的总人力资本可以表示为 $H_t^o = H_t^a + H_t^r$ 。

首先考虑劳动雇佣补贴政策的静态政策效果。图 II10 中展示了控制补贴率小于 5% 的情况下,不同税收结构对应的劳动收入份额以及经济所能够达到的帕累托前沿。可以看出,在同样的补贴强度下, ϵ 越低,即更大比例的税收负担由年轻的储蓄家庭承担,可以达到更高的劳动收入份额。这主要是因为,相比已经退休的家庭,仍然在工作的储蓄家庭的预期储蓄更高,减少他们的收入可以更好地抑制物质资本和智能化资本的积累,带来更高的均衡劳动收入份额。但从福利的角度来看,把过多的税收负担加给还在提供劳动的年轻储蓄家庭会抑制这些人的储蓄,带来更多的储蓄损失和产出下降。因此,当还在提供劳动的年轻储蓄家庭的税收负担较重时,劳动补贴所能带来的帕累托前沿相对偏向内侧,即为了实现相同的非储蓄家庭福利提升,需要更大的储蓄家庭福利损失。给定税率范围,年轻储蓄家庭的税收负担越低,能带来的工资提升就越大,这是因为这种税收和补贴结构能够带来更小的效率损失,并同时提升劳动收入份额。

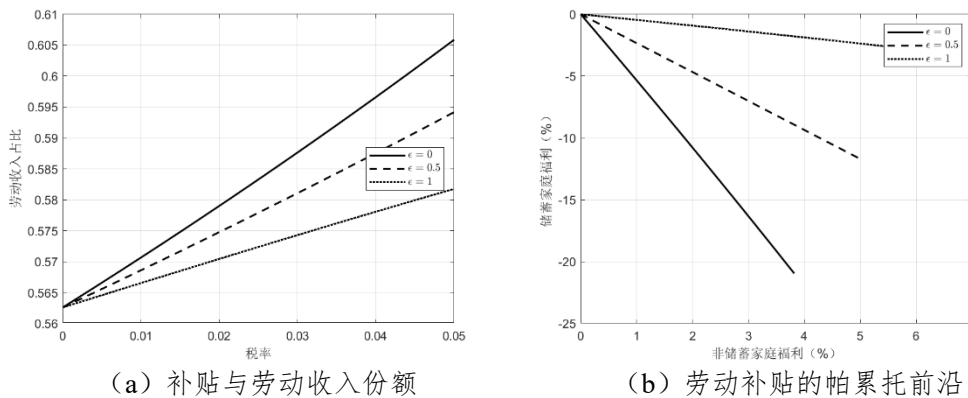


图 II10 劳动雇佣补贴的静态效应

进一步地,本文探讨劳动雇佣补贴的动态效应。与前文的动态税收政策类似,假设政府针对劳动收入份额的变动动态调整补贴水平,满足 $\frac{1-\tau_t}{1-\bar{\tau}} = \left(\frac{1-\tau_{t-1}}{1-\bar{\tau}} \right)^{\rho_\tau} \left(\frac{LS_t}{LS_{t-1}} \right)^{\zeta(1-\rho_\tau)}$,其中 ρ_τ 代表补贴的持续程度,而 ζ 代表补贴率对劳动收入份额变化的响应系数。作为一个例子,这里假设 $\rho_\tau = 0$, $\zeta = 1$,即补贴率只对当期劳动收入份额相比上期的变动做出响应,且劳动收入份额下降时,政府应当提升补贴率以降低 $1-\tau_t$,代表一个锚定劳动收入份额的逆周期补贴政策。税收结构方面,由于图 II10 表明将全部税收负担由老储蓄家庭承担可以实现最大的福利效应,本文假设 $\epsilon = 1$ 。^②图 III11 展示了发生智能化技术冲击后,无政策和使用逆周期劳动雇佣补贴政策情况下经济中工资和劳动收入份额的转移路径。当出现智能化技术冲击后,劳动收入份额下降的压力会导致企业提升劳动雇佣补贴水平。相比没有政策的情况,劳动雇佣补贴的存在会提升企业的劳动需求,进而带来相比之下更高的工资水平。同时,更高的工资和劳动需求也会使得技术冲击后劳动收入份额的下降变得更小,并且变动趋势更为平滑,可以实现较好地稳定工资和劳动收入份额的动态政策效果。

^① 事实上,即使政府通过对企业征收一次性税收以平衡预算,只需假设企业的股权由储蓄家庭持有,其每期净利润需要转移给家庭,这个设定也便等价于政府直接对储蓄家庭征收一次性税收以平衡预算。

^② 采用不同的 ϵ 取值得到的动态结果稳健。

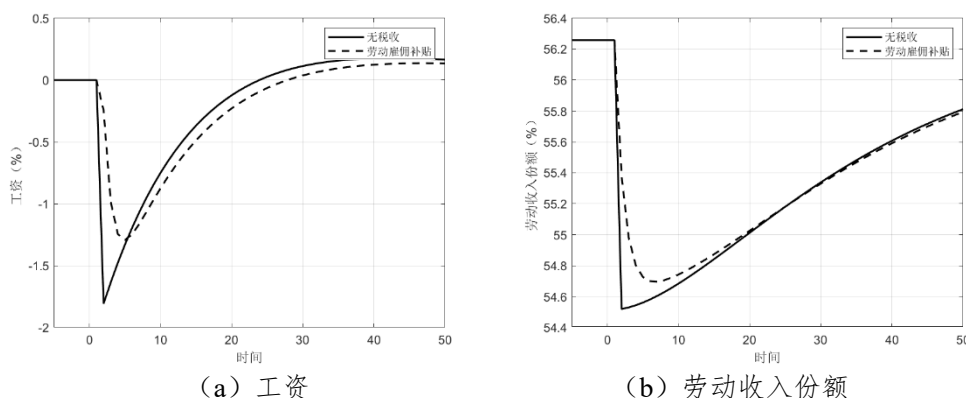


图 11 劳动雇佣补贴的动态效应

在福利效应上, 劳动雇佣补贴的使用也可以产生跨代分配效应。正文图 7 (c) 展示了无政策和存在动态逆周期劳动雇佣补贴情况下各代储蓄家庭在智能化技术冲击后的福利变动情况。相比没有政策的情况下, 存在动态逆周期劳动雇佣补贴时, 正向的智能化技术冲击导致在冲击前就已经存在于经济中的老家庭福利提升下降, 但仍然高于冲击发生后进入经济的新储蓄家庭; 同时, 在冲击发生后才进入经济的新储蓄家庭中, 较早进入的家庭福利相比无政策情况下反而略有下降, 较晚进入的家庭福利相比无政策有一定提升。这主要是由于发生冲击初期, 劳动收入份额下降会导致政府提升对企业雇佣劳动力的补贴增加, 这反过来增加了对于储蓄家庭的税收负担。因此, 对于老储蓄家庭而言, 动态劳动雇佣补贴的主要作用是降低其人力资本和对应的消费, 因而减少其福利提升幅度; 而对于新进入的储蓄家庭而言, 动态的劳动补贴一方面增加了工资水平, 使得他们拥有更高的人力资本用于积累财富, 同时劳动补贴的存在提高了均衡中的资本收益率, 进而带来了更高的未来消费增长; 另一方面, 他们需要承担较高的税收成本, 这降低了其人力资本。对于冲击发生后初期, 即补贴率较高的时期进入的家庭而言, 前述第二个效应的作用占据主导, 因此这些家庭的福利相比无政策情况下反而下降; 而在冲击发生后一段时间后, 由于补贴率已经降到了较低的水平, 逆周期补贴抑制劳动收入份额大幅下降的作用占据主导, 导致这些家庭的福利相比无政策情况下得到提升。

II.8 限制智能化技术使用的影响

人工智能挤出劳动收入的主要机制是在广谱的生产性任务上替代劳动力, 进而结构性地减少均衡中的劳动任务份额和劳动收入份额。因此, 一个自然的潜在政策工具是强制设定均衡中的生产任务分配。设定均衡中劳动的任务份额为 n_t , 人工智能的任务份额为 $i_t = 1 - n_t$ 。参照基准模型的推导, 容易证明均衡中的生产函数与基准模型的形式类似:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha \left[(1 - n_t)^{\frac{1}{\sigma}} X_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} (e^{\kappa i_t} L_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1} (1-\alpha)}.$$

与基准模型不同之处是, 此时生产函数中智能化服务和劳动之间加总的比例 n_t 是政策指定的变量, 而非最终品生产商内生决定。

从直觉上来讲, 政府通过提升劳动任务比例 n_t 可以系统性地提升劳动在生产中的重要性, 带来更高的劳动收入份额; 但同时, 政府设定劳动任务比例偏离企业在无约束情况下的最优选择, 即设定 $n_t > n_t^*$ 会导致企业的生产要素投入偏离最优化水平, 导致生产成本的提升和整体经济的萎缩, 进而挤出劳动收入。图 II 12 展示了不同基准技术水平下, 政策规制提升劳动任务份额对均衡工资的影响。在本文的基准参数下, 由于初始的智能化技术水平较低, 通过行政规制提升劳动任务份额对劳动收入份额的挤出作用占据主导, 因此更高的劳动任务份额虽然会降低总产出, 但会提升均衡工资。但是, 当经济中的智能化水平技术更高时, 通过政策提升劳动任务份额可能并不一定带来工资的提升。当设定的劳动任务比例相比无约束均衡中偏离较小时, 政策挤出劳动收入占比的作用占主导, 会提升均衡中的工资水平; 而当设定的劳动任务比例过高时, 提升生产成本并挤出总产出的作用占据主导, 因此均衡中的工资水平反而随着劳动任务份额的提升而下降。

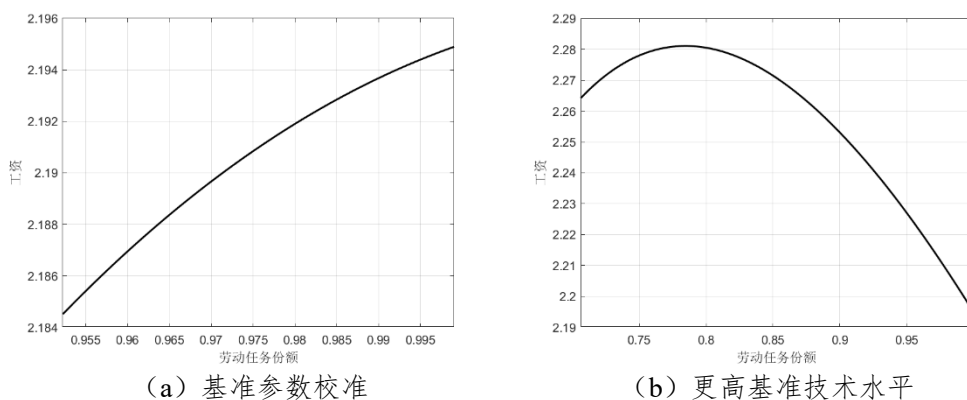


图 II 12 劳动任务份额限制的静态效应

而在动态上,假设在发生智能化技术冲击后通过政策限制劳动任务比例 n_t 的变动趋势,也会改变经济在智能化技术冲击后的转移路径。具体而言,假设经济处于无约束的稳态 n^* ,并出现一个非预期到的暂时性智能化技术冲击。在发生冲击后,通过政策限制动态上劳动任务比例保持不变 $n_t = n^*$,并以此计算经济的转移路径。图 II 13 展示了基准情况和限制劳动任务份额两种情况下工资和总产出的转移路径。智能化技术的提升促进了智能化资本的积累,由于在本文的基准模型中,对任务间替代弹性的校准满足 $\sigma < 1$,因此在临界任务不能内生转变(即生产函数为传统的 CES 形式)的情况下,智能化资本积累的增加反而提升了对劳动力的需求。因此,与基准模型中智能化技术提升导致工资大幅下降不同,在存在劳动任务份额限制的情况下,当不同生产任务之间互补时,技术的进步反而会提升均衡中的工资水平,并且带来更高的劳动收入份额。但这种工资的提升并不是完全无成本的。由于临界任务不能内生转变以最大化技术进步的扩张效应,当存在政策限制的情况下,生产者相比无政策时会面临显著更高的生产成本(他们不能使用更为廉价的智能化技术替代更为昂贵的劳动力),因此如子图(b)所示的,此时扩张性的智能化技术水平冲击能带来的总产出增加是更为有限的。在劳动任务份额限制的情况下,智能化技术进步在动态上挤入劳动收入的结论依赖于任务之间互补的假设,这与郭凯明(2019)的结论一致。在图 II 19 中,展示了当任务之间为替代的情况下($\sigma = 2$)智能化技术冲击后的转移路径。此时,由于任务之间相互替代,体现在宏观上劳动和人工智能之间互为替代品,此时智能化技术的进步会挤出工资水平和劳动收入份额,但由于临界任务无法内生调整,技术进步对劳动收入的挤出效果以及对产出的扩张效应都显著下滑。

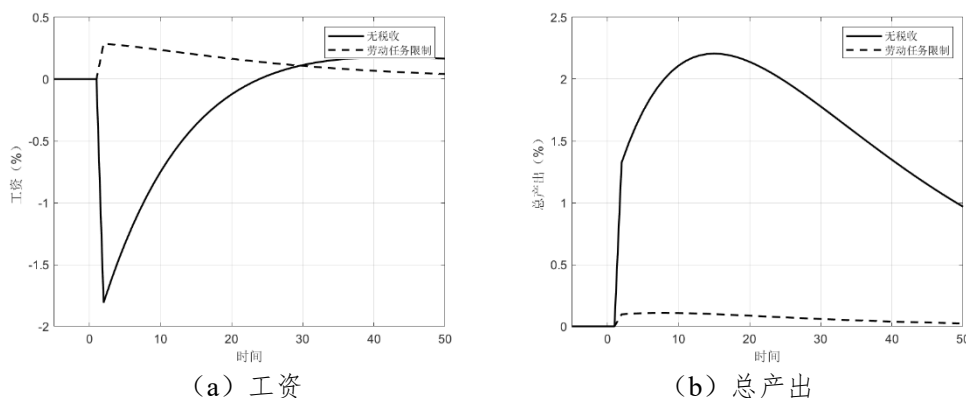


图 II 13 劳动任务份额限制的动态效应

劳动任务份额限制对劳动收入以及总产出的动态影响也会体现在其均衡中的福利分配效应上。正文图 7 (d) 展示了基准模型和劳动任务份额限制的情况下技术进步的跨代福利分配效应。可以看出,此时智能化技术进步对产出的挤入作用较为有限,在冲击发生前已经存在于经济中的老储蓄家庭所获得的福利提升相对较小,这主要是因为总产出的较小增加使得其持有资产的收益提升较小,对应的福利增加也较为有限。与之相对,此时由于智能化资本的积累反而可能挤入劳动需求,提升的工资增加了新进入经济家庭的初始劳动收入和人力资本,使得他们可以更多地积累原始财富。因此,与无限制的情况相反,此时正向的智能化技术冲击会提升所有储蓄家庭的福利,而且新进入的储蓄家庭福利提升可能高于在冲击前就存在于经济中的老家庭;但劳动任务限制的存在会抑制智能化技术发展的扩张效应,使得经济整体以及储蓄家庭作为一个整体的福利提升下降,即劳动任务份额限制虽然促进了福利提升的公平,但导致整体经济的效率出现较大幅度的下降。图 II 20 进一步展示了当任务之间相互替代的情况下,扩张性智能化技术冲击的跨代福利分配效应,此时由于智能化技术冲击挤出了劳动收入份额,在冲击前就存在的老储蓄家庭福利提升高于新进入的储蓄家庭,但两者之间的差距相比基准模型显著更小。

II.9 对核心参数取值的稳健性分析

本部分展示稳健性分析结果。具体而言, 本部分展示针对模型中主要校准参数中 σ (替代弹性)、 λ (非储蓄家庭比例)、 δ_x (智能资本折旧比例) 和 ψ (维持就业概率) 的稳态稳健性分析。具体而言, 图 II14 展示了将任务间替代弹性设置为 $\sigma = 2$ 后智能资本积累技术 Z 发展的稳态效应。当不同任务之间替代弹性大于 1 (即任务之间互相替代) 时, 智能化技术对于劳动的替代作用提升, 因此在较低的 Z 下就可以产生使用人工智能服务的均衡 (在基准校准参数下, 稳态中使用人工智能服务的条件为 $Z \geq 0.1681$, 而当不同任务之间相互替代时, 保证稳态中使用人工智能服务的条件变为 $Z \geq 0.1526$), 但由于较高的任务间替代弹性对应较高的平均生产率, 随着 Z 的增加劳动收入份额的下降速度反而慢于基准校准参数下的结果。但总体而言, 智能资本积累技术 Z 的发展对经济稳态的影响与基准校准中类似: 更高的智能资本积累技术会导致劳动被挤出, 劳动收入份额下降, 总生产要素增加带来总产出提升, 对劳动收入同时存在挤入和挤出作用。同时, 智能资本积累提升会导致储蓄家庭的终生效用相比非储蓄家庭有更大的提升, 带来一定的分配效应。

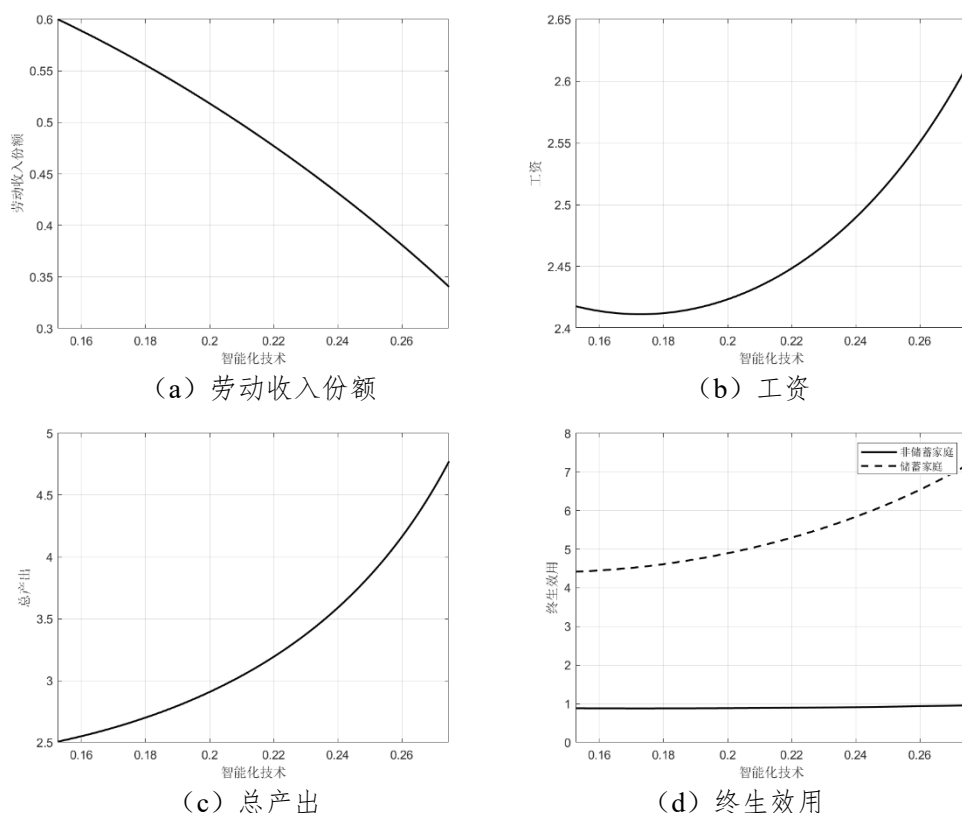


图 II14 对替代弹性 σ 的稳健性分析

图 II15 展示了降低非储蓄家庭比例为 $\lambda = 0.2$ 情况下智能资本积累技术发展的稳态效应。相比基准参数, 由于只有部分储蓄家庭会供应劳动力, 因此降低非储蓄家庭会导致经济中总劳动力要素供给减少, 因此在更低的智能资本积累技术水平下就可以产生使用人工智能服务替代人力的均衡, 同时随着智能资本积累技术的发展劳动收入份额也相比基准参数校准中更低。与基准参数校准中一致, 虽然智能资本积累技术 Z 的提升对整体经济而言是扩张性的, 但是可能会降低劳动收入份额并在一定范围内降低稳态工资。与正文中展示的基准结果一致, 智能资本积累技术的发展会导致储蓄家庭的终生效用相比非储蓄家庭的终生效用有较大幅度的提升。

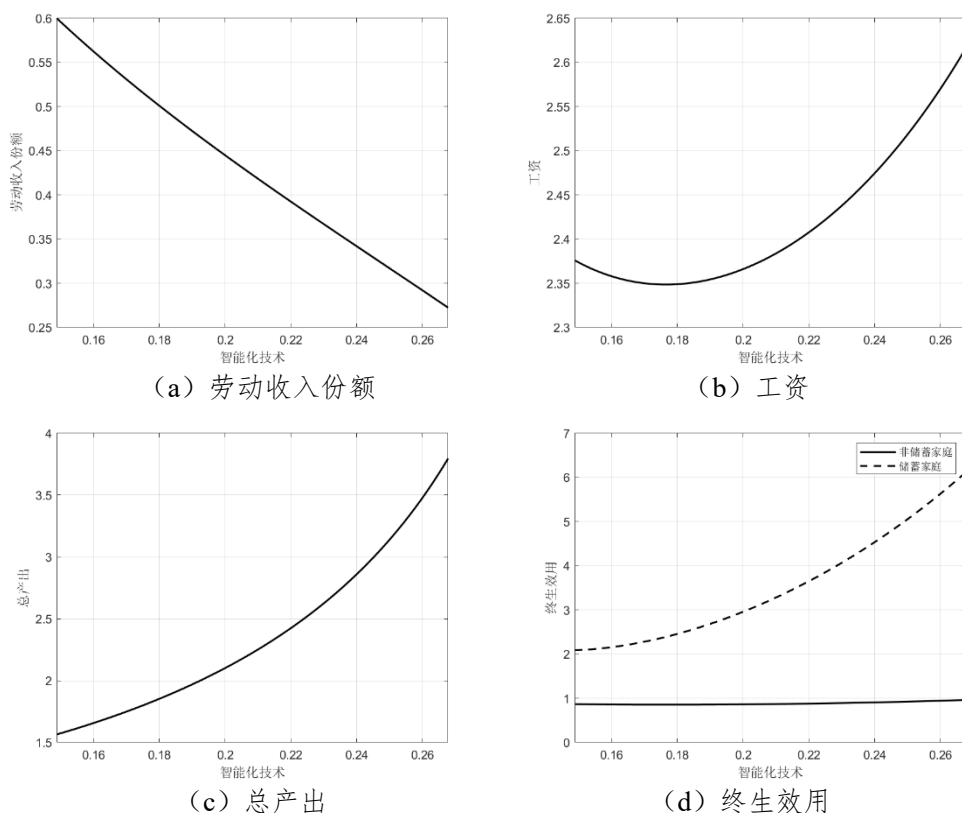
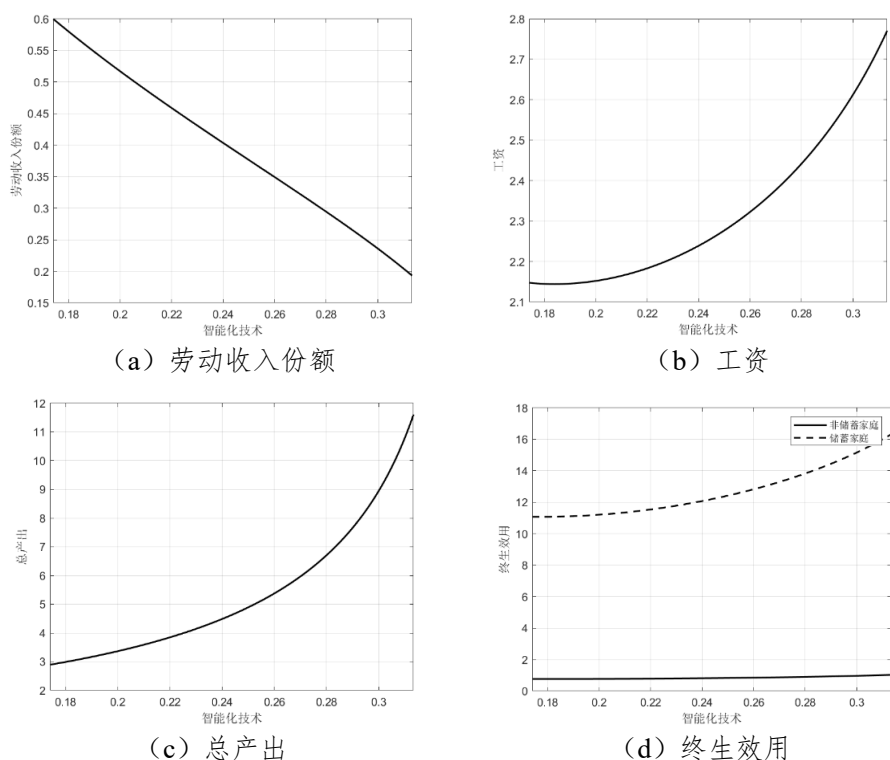
图 II15 对非储蓄家庭比例 λ 的稳健性分析

图 II16 展示了提升储蓄家庭维持就业概率为 $\psi = 0.99$ 情况下智能资本积累技术发展的稳态效应。相比基准模型,提升储蓄家庭维持就业概率后,这类家庭的劳动收入随时间的下降趋势减弱,从而导致这类家庭的过度储蓄减少,智能化技术发展对经济总产出的挤入作用提升。相比基准参数,由于过度储蓄的减少以及劳动供给的提升,为了达到使用人工智能服务的稳态需要更高的智能资本积累技术水平,同时由于储蓄家庭过度储蓄的减少,智能资本积累技术的发展对于劳动收入的挤出作用相比基准模型较小。但与基准校准下的结论一致,劳动收入占比的下降导致在智能化积累技术提升的过程中储蓄家庭的终生效用提升快于非储蓄家庭,产生分配效应。

图 II16 对非维持就业概率 ψ 的稳健性分析

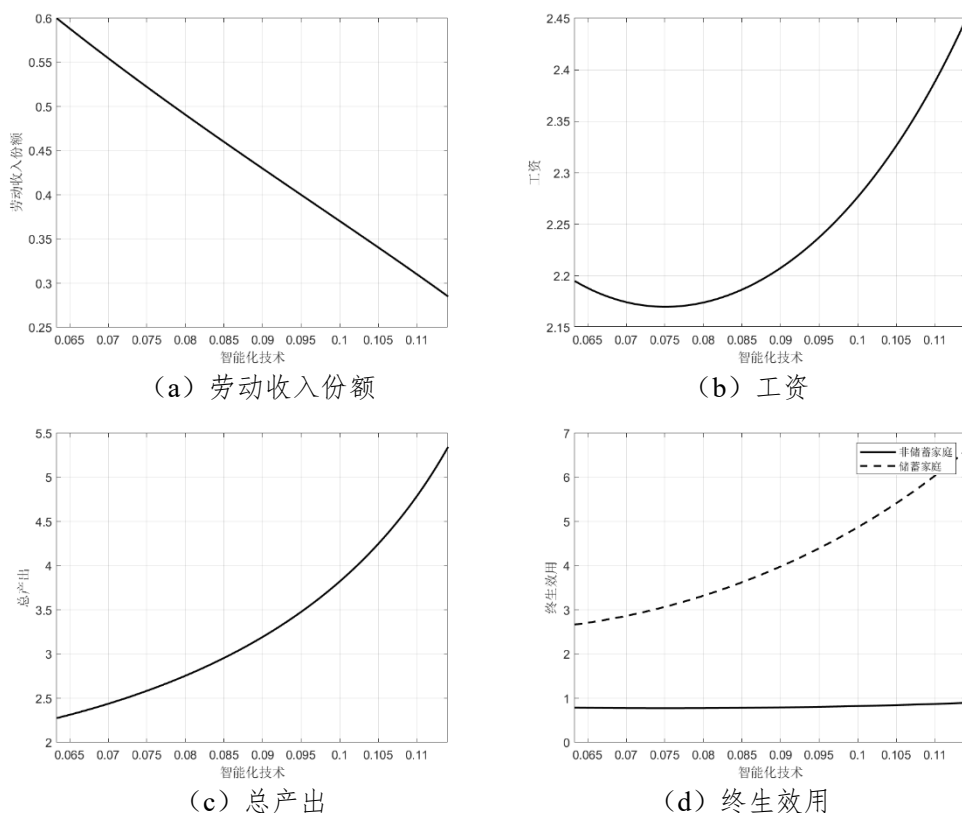
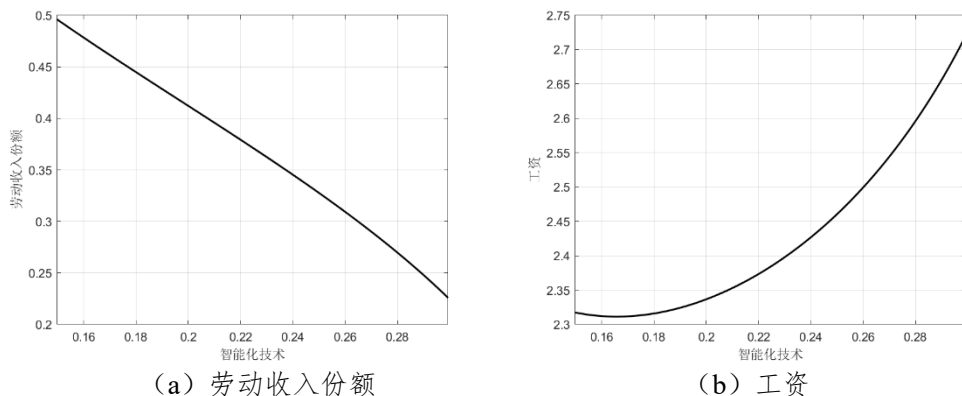
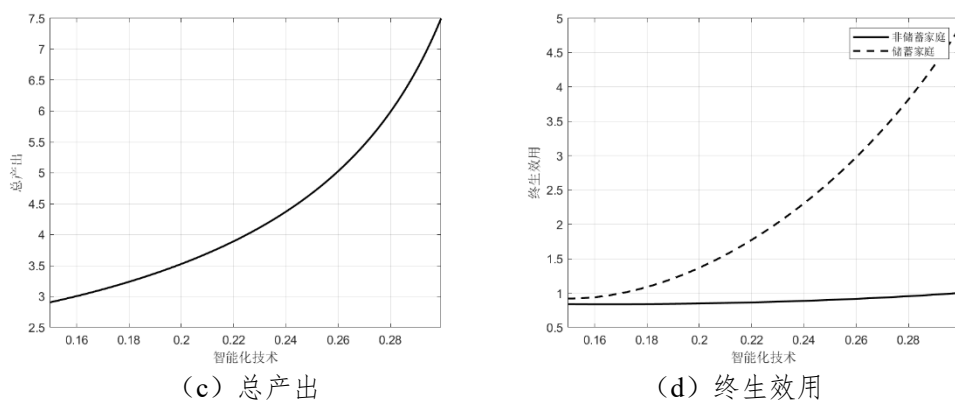
图 II.17 对智能资本折旧率 δ_x 的稳健性分析

图 II.17 展示了将智能资本 X_t 的折旧率 δ_x 调整为与物质资本一致, 即 $\delta_x = \delta_k = 0.1$ 后模型的稳态变动。与基准校准下的结论一致, 智能资本积累技术的提升会导致对劳动收入份额的挤出, 因此虽然总产出上升, 均衡工资可能呈现先下降后上升的趋势。同时, 随着智能资本积累技术的发展, 储蓄家庭的终生效用提升大于非储蓄家庭, 存在分配效应。

II.10 对劳动力生产率函数形式 $\mu(i)$ 的稳健性分析

在正文中, 我们参考 Acemoglu 和 Restrepo (2018), 使用了 $\mu(i) = e^{\kappa i}$ 的函数形式, 这主要是为了计算方便以及理论结果的简洁性。在本部分, 我们对该函数形式进行稳健性检验。具体而言, 我们假设 $\mu(i) = 1 + \kappa i$, 其中 $\kappa = e^{1.25} - 1$, 该函数形式保证了 $\mu(i)$ 单调递增的同时, $\mu(0)$ 和 $\mu(1)$ 均与基准模型设定相同 (即最高和最低的劳动任务生产率一致)。图 II.18 展示了这种情况下智能化技术 Z 发展的稳态效应, 可以看出趋势与正文中一致, 本文的核心结论稳健。



图 II18 对劳动生产率函数 $\mu(i)$ 形式的稳健性分析

II.11 任务间互相替代时劳动任务份额限制的效果

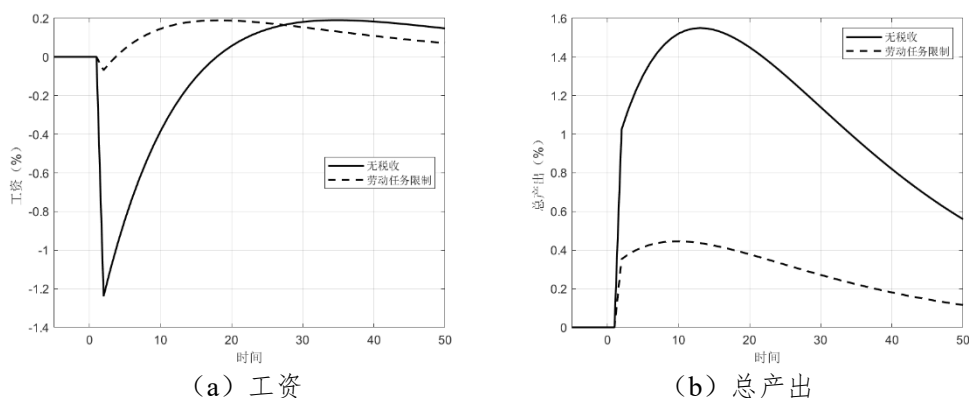


图 II19 任务间互相替代时，劳动任务份额限制的动态效应

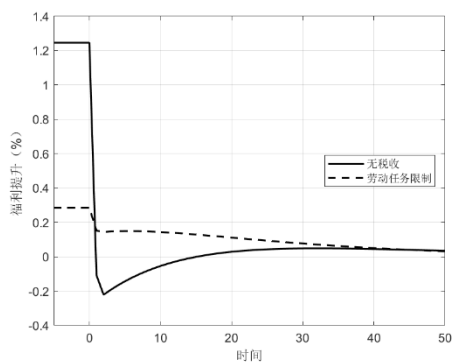


图 II20 任务间互相替代时，劳动任务份额限制情况下技术进步的跨代福利分配效应

附录 III 模型拓展与讨论

基准设定中, 为方便模型推导和求解, 我们对模型假设做出了一定的简化, 由此突出模型的核心机制, 即人工智能技术的发展会带来两类宏观经济效应: 一是导致劳动收入份额系统性下降的“替代效应”, 二是在异质性家庭和代际之间出现的“分配效应”。考虑到人工智能在多个维度上都体现出了新的技术—经济属性, 本部分对基准设定进行拓展, 主要讨论“人工智能的创造效应”与“异质性劳动力设定”两个方面。

III.1 人工智能的“创造效应”与“替代效应”

基准设定中重点刻画了智能化服务的“替代效应”, 即智能化服务可以在不同任务上替代劳动力, 进而系统性降低劳动收入份额。而现实中, 人工智能的发展还可能带来“创造效应”: 一方面, 人工智能技术的发展可能可以产生新的生产任务, 从而带来职业谱系的变革 (Acemoglu, 2025); 另一方面, 智能资本的积累可能在创新性工作中产生溢出效应, 进而改变经济整体的生产率水平。有鉴于此, 我们引入智能资本对于工作任务谱系以及全要素生产率的影响。具体而言, 假设生产函数满足:

$$Y_t = A(X_t)K_t^\alpha \left[\left(\int_{N(X_t)-1}^{N(X_t)} y_t(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \right]^{1-\alpha}$$

与基准设定相比, 扩展模型中一方面引入了智能资本积累对于任务谱系的影响 $N(X_t)$, 另一方面引入了智能资本对全要素生产率的溢出作用 $A(X_t)$ 。参考 Acemoglu 和 Restrepo (2018), 在存在职业创造效应的情况下, 本文仍假设经济中总的生产任务测度为 1, 借此刻画智能化技术在创造新职业的同时也使得一些传统职业消亡的特征, 同时避免规模效应影响分析结果。与基准设定相似, 可证明如下命题。

命题 III.1 考虑人工智能的创造效应时, 经济体加总的生产函数为:

$$Y_t = A(X_t)K_t^\alpha \left[(1 - n_t^*)^{\frac{1}{\sigma}} X_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(\int_0^{n_t^*} \mu(i)^{\sigma-1} di \right)^{\frac{1}{\sigma}} (e^{\kappa(N(X_t)-n_t^*)} L_t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}(1-\alpha)}$$

其中, 临界任务满足:

$$\frac{W_t}{P_t^x} = \mu(N(X_t) - n_t^*)$$

在存在创造效应的情况下, 与基准设定相比, 新岗位的创造提升了整体层面的劳动生产率, 因此在均衡中内生劳动生产率提升, 这同时增加了工资和总产出, 另一方面, 由于创造效应的存在, 相同的智能资本存量会对经济产生更小的挤出效应。具体而言, 当智能资本存量 X 变化时临界任务 n^* 的变动满足:

$$\frac{\partial n^*}{\partial \ln X} = - \underbrace{\frac{1}{\kappa + \frac{1}{1-n^*} + \frac{\mu(n^*)^{\sigma-1}}{\int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}}}_{\text{替代效应}} + \underbrace{\frac{\kappa N'(X)X}{\kappa + \frac{1}{1-n^*} + \frac{\mu(n^*)^{\sigma-1}}{\int_0^{n^*} \mu(i)^{\sigma-1} di}}}_{\text{创造效应}}$$

上式中的第一项表示智能资本积累的替代效应, 即更多的智能资本积累和智能化服务供给会挤出劳动份额, 导致更多的任务在均衡中被智能化服务完成, n^* 下降; 而第二项表示智能资本的创造效应, 即更多的智能资本积累会使得新任务产生, 进而提升劳动的相对生产率, 减少智能化服务对于劳动力的挤出。

但是, 全要素生产率和劳动生产率的提升在增加非储蓄家庭劳动收入的同时, 其导致的整体经济扩张也同时增加了资本的回报。因此, 本文基准模型中所强调的分配效应依旧存在, 即人工智能的发展挤出了劳动收入份额, 进而导致储蓄家庭相比非储蓄家庭获得了更高的收益, 并且在动态上, 人工智能的发展可能在短期内挤出劳动收入, 导致工资下降, 进而出现在储蓄家庭内部不同代之间的分配效应。

考虑如下数值案例, 不妨假设 $A(X) = e^{\varsigma_A X}$ 、 $N(X) = e^{\varsigma_N X}$, 其中 $\varsigma_A = \varsigma_N = 0.1$, 即当智能资本存量为 0 时, 任务集合和全要素生产率均与基准模型一致, 而当智能资本存量增加时, 其创造效应会导致新任务的产生以及对全要素生产率产生正向的溢出效应。图 III.1 展示了不同的智能化技术水平 Z 下的稳态工资以及储蓄家庭和非储蓄家庭的福利变动趋势。相较于基准设定, 在考虑创造效应的情况下, 智能化技术发展和智能资本积累对劳动收入的挤入效应更强, 因此随着智能化技术水平 Z 的提升, 工资会持续上升, 而不会出现先下降后上升的情况。但此时, 人工智能发展带来的分配效应依然存在。相比之下, 由于储蓄家庭可以积累更多资本, 并获得更高的资本回报, 这些家庭的福利提升幅度远大于非储蓄家庭, 进而带来较强的横向分配效应。

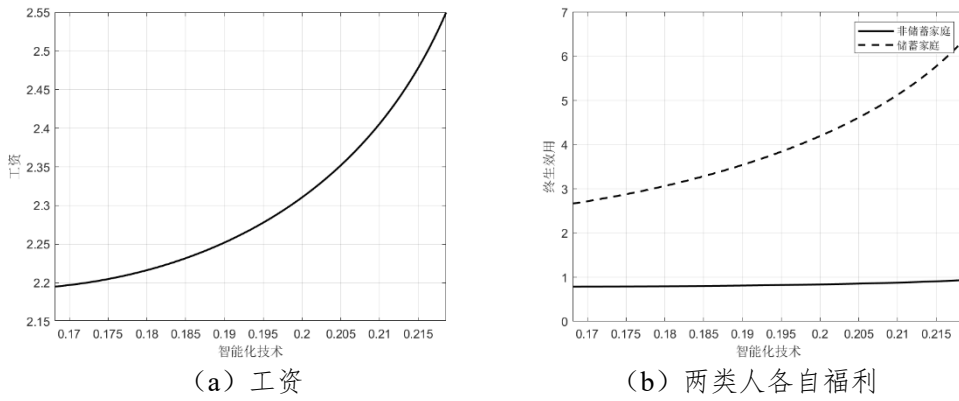


图 III 1 考虑创造效应时智能化技术发展的比较静态分析

进一步地, 本文计算了在包含创造效应的情况下, 智能化技术发展冲击后的经济动态转移路径, 如图 III 2 所示。与基准设定的发现一致, 正向的智能化技术发展冲击仍会导致均衡工资在短期内下降。这主要是因为正向的智能化技术冲击降低了劳动收入份额, 但前期由于智能资本积累相对有限、创造效应不够显著, 总产出没有出现足够的提升, 使得短期内工资出现下降。在存在创造效应的情况下, 新职位的出现以及全要素生产率的提升会导致工资更快地恢复, 并在转移路径上高于初始稳态值。同时, 在储蓄家庭内部, 与基准模型一致, 由于工资在短期内的下降, 新进入经济的个体人力资本可能出现下滑, 从而导致新进入经济的储蓄家庭相比其他储蓄家庭出现消费的下降。综上, 虽然引入智能资本积累的创造效应提升了智能化技术发展的挤入效应, 而抑制了其挤出效应, 但智能化技术的发展仍然可能导致劳动收入份额下降, 同时会产生横向(两类家庭之间)和纵向(不同代家庭之间)的分配效应, 带来“效率提升”和“分配失衡”的权衡取舍。值得说明的是, 在本部分, 为了方便讨论, 本文假设了外生形式的创造效应 $A(X_t)$ 和 $N(X_t)$, 其目的是在不使模型过度复杂化的前提下, 捕捉创造效应的关键宏观影响。由于现实中创造新的任务和提升生产率可能需要消耗劳动力等生产性资源进行研发, 本文的假设在一定程度上可以认为是创造效应对经济影响的上限值, 即创造效应的出现不需要成本情况下的影响。未来更深入的研究, 可以将新任务的创造过程内生化的, 例如, 将其与企业的研发投入、创新决策或是对特定技能劳动力的需求动态地联系起来。

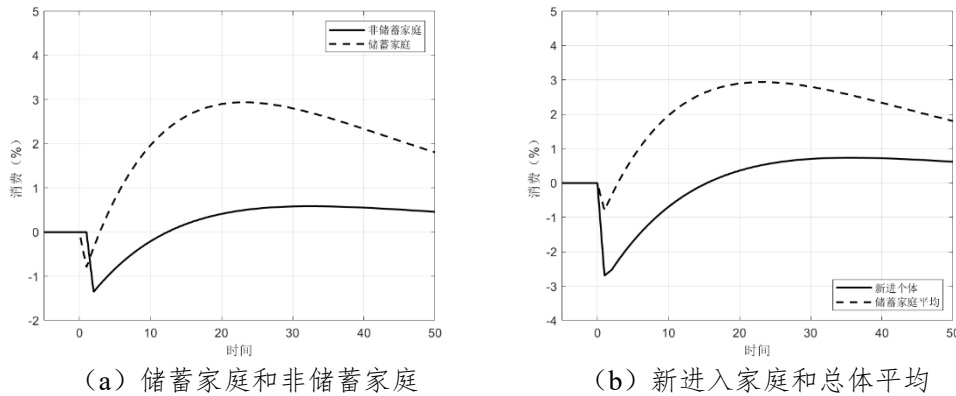


图 III 2 考虑创造效应时智能化技术发展的分配效应

在政策层面, “创造效应”的存在增强了智能化技术发展的挤入效应, 而降低了其挤出效应, 进而提升了智能化技术发展的整体扩张效应和福利效应, 但智能化技术的发展依然会带来收入分配失衡的挑战。因此, 政策设计仍然面临“效率提升”和“分配失衡”的权衡取舍, 但此时针对智能资本积累更加宽松的政策可以带来更强的“创造效应”和整体经济扩张。

III.2 异质性劳动力的影响

基准设定中假设劳动技能是同质的, 而近期一系列研究关注到新一轮人工智能浪潮对不同职业技能群体的异质性冲击, 如“工资极化”效应等(王永钦、董雯, 2020; Liu et al., 2025)。鉴于此, 本部分参考 Jones 和 Yang (2016), 引入高技术和低技术两类劳动力。具体而言, 假设总劳动需求 L_t 是高技术劳动力 $L_{h,t}$ 和低技术劳动力 $L_{l,t}$ 的加总, 满足:

$$L_t = \left[\omega_t^{\frac{\sigma_L}{\sigma_L-1}} L_{h,t}^{\frac{\sigma_L-1}{\sigma_L}} + (1 - \omega_t)^{\frac{\sigma_L}{\sigma_L-1}} L_{l,t}^{\frac{\sigma_L-1}{\sigma_L}} \right]^{\frac{\sigma_L}{\sigma_L-1}}$$

为了刻画技能需求结构随着人工智能水平的变动,不妨假设 ω 是 n_t^* 的减函数:当 n_t^* 下降,即人工智能的替代程度提高时,劳动力需求结构中对高技能劳动力的需求会系统性上升。

假设储蓄家庭中高技能劳动力占比为 π^o ,而非储蓄家庭中高技能劳动力占比为 $\pi^r < \pi^o$,则经济中两类劳动力的供给分别为 $L_{h,t} = \pi^r + \varphi\pi^o$,而低技能劳动力的供给为 $L_{l,t} = (1 - \pi^r) + \varphi(1 - \pi^o)$,用 $W_{h,t}$ 和 $W_{l,t}$ 分别表示高技能和低技能劳动力的工资,容易证明在稳态中:

$$\frac{\partial \ln(W_h/W_l)}{\partial \ln X} = \frac{\omega'(n^*)}{\sigma_L \omega(1 - \omega)} \frac{\partial n^*}{\partial \ln X} > 0$$

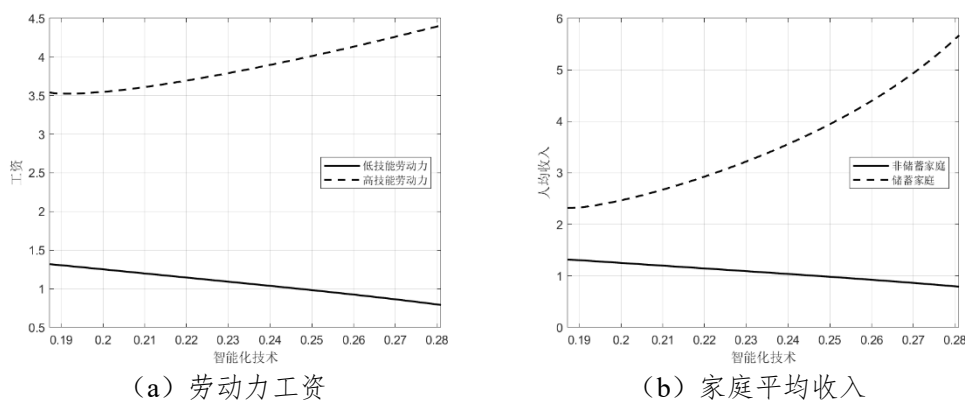


图 III 3 考虑异质性劳动力时智能化技术发展的分配效应

随着人工智能服务的普及,高水平劳动力的工资相比低水平劳动力的工资会出现提升。若假设储蓄家庭中高水平劳动力占比高于非储蓄家庭,那么容易发现,这种高低水平劳动力之间的分配可能加剧两类家庭之间的收入差距。为了便于分析,不妨假设一种极端情形 $\pi^o = 1$ 而 $\pi^r = 0$,即储蓄家庭全为高技能个体,而非储蓄家庭全为低技能个体。^①参考 Heckman 等(1998)、Jones 和 Yang(2016),设定 $\sigma_L = 1/0.7$,并假设 $\omega = \frac{1+(1-n^*)^\gamma}{2}$,其中 $\gamma = 2$,进而计算不同智能化技术 Z 水平下稳态中工资和收入的变动。如图 III 3 所示,当存在劳动力需求的内生结构的情况下,随着智能化水平的提升和劳动力完成的任务占比下降,对高技术劳动力的需求增加,而对低技术劳动力的需求下降,进而导致低技术劳动力相比高技术劳动力的工资出现下滑。如果假设非储蓄家庭中的低技术劳动力占比高于高技术劳动力,这会进一步加剧两类家庭之间的收入不平等。在图 III 3 的参数假设下,高技术劳动力的工资随着智能化技术的发展而升高,而低技术劳动力的工资随着智能化技术发展下降,这导致两类家庭之间的人均收入差距相比基准模型进一步增加。

^① 只要非储蓄家庭中高技能劳动力的占比低于储蓄家庭中高技能劳动力的占比,智能化水平提升带来的劳动力需求结构性变化就会导致两类家庭的劳动收入差距加大。

附录 IV 经验数据与模型结果的对应

图 IV1, 工业机器人存量来自国际机器人联合会 (IFR) 公布的全球工业机器人数据库, 我们选取了 2012 年至 2019 年中国各年份的加总存量。劳动收入份额数据来自国际劳工组织 (International Labor Organization, ILO) 的 ILOSTAT 数据库, 与引言中的示意图数据来源一致。考虑到文献中对于中国劳动收入份额变化趋势影响因素的论述 (李稻葵等, 2009), 以及 2020 年及以后的冲击因素, 我们选取 2012 年至 2019 年作图。

图 IV2, 我们参考王永钦和董雯 (2020), 将行业层面的人工智能渗透度定义为 PR_i :

$$PR_i = MR_i / L_i,$$

其中脚标 i 代表行业, MR_i 表示第 i 个行业的工业机器人存量, L_i 表示第 i 个行业的就业人数。我们仅使用制造业内部子行业的数据, 以更好和本文建模背景对应。考虑到制造业内部子行业工资和就业数据的可得性, 我们选用了 CIP 4.0 数据库中 2017 年一年的子行业就业和劳动报酬相关的数据做计算。在行业匹配方面, 我们参考王永钦和董雯 (2020) 的分类标准, 对 IFR 数据库和 CIP 4.0 数据库中的制造业内部子行业做了匹配。散点图显示, 汽车制造业的工业机器人数量显著高于其他行业, 在图中表现为离群值 (outlier), 我们剔除该点后做了二次拟合得到图 IV2。

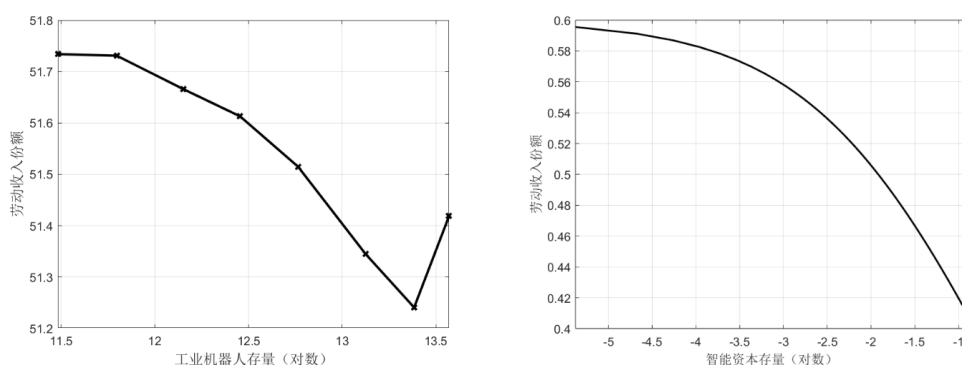


图 IV1 人工智能与劳动收入份额的经验事实与理论结果示意

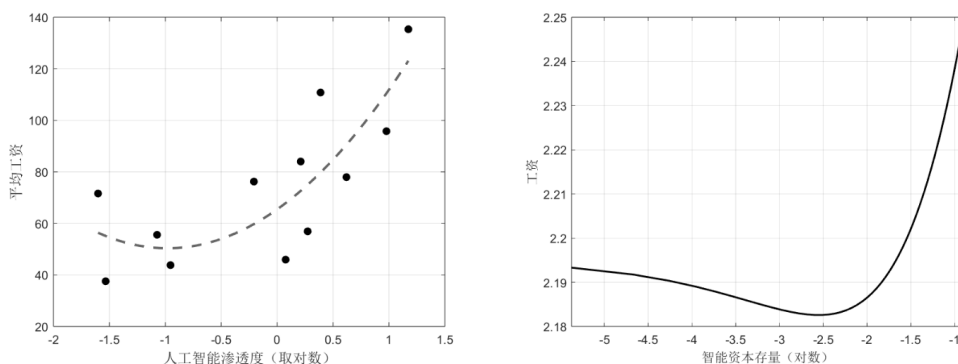


图 IV2 人工智能与工资的经验事实与理论结果示意

参考文献

- [1] Acemoglu, D., "The Simple Macroeconomics of AI," *Economic Policy*, 2025, 40(121), 13-58.
- [2] Acemoglu, D., and P. Restrepo, "Tasks, Automation, and the Rise in US Wage Inequality," *Econometrica*, 2022, 90(5), 1973-2016.
- [3] Acemoglu, D., and P. Restrepo, "The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment," *American Economic Review*, 2018, 108(6), 1488-1542.
- [4] Farboodi, M., and L. Veldkamp, "A Model of the Data Economy," NBER Working Paper No. 28427, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2021.
- [5] Galí, J., J. D. López-Salido, and J. Vallés, "Understanding the Effects of Government Spending on Consumption," *Journal of the European Economic Association*, 2007, 5(1), 227-270.
- [6] 郭凯明, "人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动", 《管理世界》, 2019 年第 7 期, 第 60—77 + 202—203 页。
- [7] Han, J., R. Liu, and J. Zhang, "Globalization and Wage Inequality: Evidence from Urban China," *Journal of International Economics*, 2012, 87(2), 288-297.
- [8] Heckman, J. J., L. Lochner, and C. Taber, "Explaining Rising Wage Inequality: Explorations with A Dynamic General Equilibrium Model of Labor Earnings with Heterogeneous Agents," *Review of Economic Dynamics*, 1998, 1(1), 1-58.
- [9] Humlum, A., "Robot Adoption and Labor Market Dynamics," unpublished manuscript, Princeton University, 2019.
- [10] Jones, J. B., and F. Yang, "Skill-biased Technical Change and the Cost of Higher Education," *Journal of Labor Economics*, 2016, 34(3), 621-662.
- [11] Liu, T., P. Huang, and Q. Wang, "Artificial Intelligence and Intra-firm Pay Dispersion: Evidence from China," *China Economic Review*, 2025, 93, 102501.
- [12] 刘亚琳、茅锐、姚洋, "结构转型、金融危机与中国劳动收入份额的变化", 《经济学(季刊)》, 2018 年第 2 期, 第 609—632 页。
- [13] 李稻葵、刘霖林、王红领, "GDP 中劳动份额演变的 U 型规律", 《经济研究》, 2009 年第 1 期, 第 70—82 页。
- [14] Mankiw, N. G., "The Savers Spenders Theory of Fiscal Policy," *American Economic Review*, 2000, 90(2), 120-125.
- [15] Miao, J., Z. Shen, and D. Su, "Inflation and Debt Rollover Under Low Interest Rates," *International Economic Review*, 2025, 66(5), 1781-1807.
- [16] 王林辉、袁礼, "有偏型技术进步、产业结构变迁和中国要素收入分配格局", 《经济研究》, 2018 年第 11 期, 第 115—131 页。
- [17] 王永钦、董雯, "机器人的兴起如何影响中国劳动力市场? ——来自制造业上市公司的证据", 《经济研究》, 2020 年第 10 期, 第 159—175 页。
- [18] 郑江淮、荆晶, "技术差距与中国工业技术进步方向的变迁", 《经济研究》, 2021 年第 7 期, 第 24—40 页。

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。