《低碳转型风险与央行政策调控》附录

附录 1 模型均衡条件

模型所有的均衡条件如下，其中， $S\in\{Y,L,F\}$。

$$(C_t-h_cC_{t-1})^{-\zeta}-\beta h_c(C_{t+1}-h_cC_t)^{-\zeta}=\lambda_t \tag{A1}$$

$$\chi N_t^{\varphi}=\lambda_tW_t \tag{A2}$$

$$\beta\Lambda_{t,t+1}R_{t+1}=1 \tag{A3}$$

$$\Lambda_t=\lambda_{t+1}/\lambda_t \tag{A4}$$

$$Y_t=\Gamma_t\left[\varpi_{VA_Y}{}^{1/\epsilon_Y}VA_{Y,t}{}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y}+\varpi_E{}^{1/\epsilon_Y}E_t{}^{(\epsilon_Y-1)/\epsilon_Y}\right]^{\epsilon_Y/(\epsilon_Y-1)} \tag{A5}$$

$$VA_{Y,t}=A_{Y,t}\left(\xi_{Y,t}K_{Y,t}\right)^{\alpha_Y}N_t^{1-\alpha_Y} \tag{A6}$$

$$E_t=\left[\varpi_{EL}^{1/\epsilon_E}E_{L,t}^{(\epsilon_E-1)/\epsilon_E}+\varpi_{EF}^{1/\epsilon_E}E_{F,t}^{(\epsilon_E-1)/\epsilon_E}\right]^{\epsilon_E/(\epsilon_E-1)} \tag{A7}$$

$$W_t=MC_t\Gamma_t^{1-1/\epsilon_Y}Y_t^{1/\epsilon_Y}\varpi_{VAY}^{1/\epsilon_Y}VA_{Y,t}^{-1/\epsilon_Y}(1-\alpha_Y)\frac{VA_{Y,t}}{N_t} \tag{A8}$$

$$R_{Y,t}Q_{Y,t-1}-\left(Q_{Y,t}-\delta_Y\right)\xi_{Y,t}-MC_t\Gamma_t^{1-1/\epsilon_Y}Y_t^{1/\epsilon_Y}\varpi_{VAY}^{1/\epsilon_Y}VA_{Y,t}^{-1/\epsilon_Y}\alpha_Y\frac{VA_{Y,t}}{K_{Y,t}}=0 \tag{A9}$$

$$\frac{P_{E,t}}{P_t}=MC_t\Gamma_t^{1-1/\epsilon_Y}Y_t^{1/\epsilon_Y}\varpi_E^{1/\epsilon_Y}E_t^{-1/\epsilon_Y} \tag{A10}$$

$$E_{L,t}=\varpi_{E,L}\left(\frac{P_{EL,t}}{P_{E,t}}\right)^{-\epsilon_E}E_t \tag{A11}$$

$$E_{F,t}=\varpi_{F,L}\left(\frac{P_{EF,t}}{P_{E,t}}\right)^{-\epsilon_E}E_t \tag{A12}$$

$$E_{L,t}=A_{L,t}\xi_{L,t}K_{L,t} \tag{A13}$$

$$R_{L,t+1}=\frac{\left(Q_{L,t+1}-\delta_L\right)\xi_{L,t+1}+\frac{P_{EL,t+1}}{P_{t+1}}A_{L,t+1}\xi_{L,t+1}}{Q_{L,t}} \tag{A14}$$

$$E_{F,t}=\left[\varpi_{VAF}^{1/\epsilon_F}VA_{F,t}^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F}\varpi_X^{1/\epsilon_F}X_t^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F}\right]^{\epsilon_F/(\epsilon_F-1)} \tag{A15}$$

$$VA_{F,t}=A_{F,t}\xi_{F,t}K_{F,t} \tag{A16}$$

$$R_{F,t+1}=\frac{\left(Q_{F,t+1}-\delta_F\right)\xi_{F,t+1}+\frac{P_{EF,t+1}}{P_{t+1}}E_{F,t+1}^{1/\epsilon_F}\varpi_{VAF}^{1/\epsilon_F}VA_{F,t+1}^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F}/K_{F,t+1}}{Q_{F,t}} \tag{A17}$$

$$\frac{P_{X,t}}{P_t}+\tau_t^e(1-U_t)\varphi_e+\phi_1U_t^{\phi_2}-\frac{P_{EF,t}}{P_t}E_{F,t}^{\frac{1}{\epsilon_F}}\varpi_X^{\frac{1}{\epsilon_F}}X_t^{(\epsilon_F-1)/\epsilon_F}/X_t=0 \tag{A18}$$

$$\tau_t^e\varphi_e=\phi_1\phi_2U_t^{\phi_2-1} \tag{A19}$$

$$K_{S,t+1}=\xi_{S,t}K_{S,t}+I_{S,t}-\delta_S\xi_{S,t}K_{S,t} \tag{A20-A22}$$

$$\begin{aligned}Q_{S,t}=1+\frac{\gamma_S}{2}\left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}}-1\right)^2+\gamma_S\left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}}-1\right)\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}}-\\ E_t\beta\Lambda_{t,t+1}\gamma_S\left(\frac{I_{S,t+1}}{I_{S,t}}-1\right)\left(\frac{I_{S,t+1}}{I_{S,t}}\right)^2\end{aligned} \tag{A23-A25}$$

$$(1+\tau_t^L)Q_{L,t}S_{L,t}^P+(1+\tau_t^F)Q_{F,t}S_{F,t}^P+Q_{Y,t}S_{Y,t}^P=NW_t+B_t^P \tag{A26}$$

$$Q_{S,t}K_{S,t+1} = Q_{S,t}S_{S,t} \qquad (A27-A29)$$

$$NW_t = NW_{e,t} + NW_{n,t} \qquad (A30)$$

$$NW_{n,t} = \omega \sum_S Q_{S,t}S_{S,t-1}^P \qquad (A31)$$

$$NW_{e,t} = \theta\left[\sum_S (R_{S,t}-R_t)\frac{Q_{S,t-1}S_{S,t-1}^P}{NW_{t-1}} + R_t - R_t\tau_t^L\frac{Q_{L,t-1}S_{L,t-1}^P}{NW_{t-1}} - R_t\tau_t^F\frac{Q_{F,t-1}S_{F,t-1}^P}{NW_{t-1}}\right]NW_{t-1} (A32)$$

$$\phi_t = \frac{Q_{Y,t}S_{Y,t}^P + \psi_L Q_{L,t}S_{L,t}^P + \psi_F Q_{F,t}S_{F,t}^P}{NW_t} \qquad (A33)$$

$$V_t = \upsilon_t NW_t \qquad (A34)$$

$$V_t = \beta\Lambda_{t,t+1}[(1-\theta)+\theta\upsilon_{t+1}]NW_{t+1} \qquad (A35)$$

$$\psi_L E_t\Lambda_{t,t+1}[(1-\theta)+\theta\upsilon_{t+1}](R_{Y,t+1}-R_{t+1}) = E_t\Lambda_{t,t+1}[(1-\theta)+\theta\upsilon_{t+1}](R_{L,t+1}-R_{t+1}-R_{t+1}\tau_t^L) \qquad (A36)$$

$$\psi_F E_t\Lambda_{t,t+1}[(1-\theta)+\theta\upsilon_{t+1}](R_{L,t+1}-R_{t+1}-R_{t+1}\tau_t^L) = \psi_L E_t\Lambda_{t,t+1}[(1-\theta)+\theta\upsilon_{t+1}](R_{F,t+1}-R_{t+1}-R_{t+1}\tau_t^F) \qquad (A37)$$

$$\phi_t = \frac{\upsilon_t}{\rho} \qquad (A38)$$

$$\frac{R_{N,t}}{R_N} = \left(\frac{R_{N,t-1}}{R_N}\right)^{\kappa_i}\left[\left(\frac{\Pi_t}{\Pi}\right)^{\kappa_\pi}\left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}}\right)^{\kappa_y}\right]^{1-\kappa_i} \qquad (A39)$$

$$\sum_S Q_{S,t}S_{S,t}^G = B_t^G \qquad (A40)$$

$$T_t = \tau_t^e Z_t + \tau_t^F Q_{F,t}S_{F,t}^P + \tau_t^L Q_{L,t}S_{L,t}^P + \sum_S (R_{S,t}-R_t)B_{t-1}^G \qquad (A41)$$

$$R_t = R_{N,t-1}/\Pi_t \qquad (A42)$$

$$S_{S,t} = S_{S,t}^P + S_{S,t}^G \qquad (A43-A45)$$

$$B_t = B_t^P + B_t^G \qquad (A46)$$

$$Y_t = C_t + \sum_S I_{S,t} + \sum_S \frac{\gamma_S}{2}\left(\frac{I_{S,t}}{I_{S,t-1}}-1\right)^2 I_{S,t} + \frac{\gamma_p}{2}\left(\frac{\Pi_t}{\Pi_{t-1}^{\kappa_p}\Pi^{1-\kappa_p}}-1\right)^2 Y_t \qquad (A47)$$

$$\tau_t^e = \tau_{ss}^e + u_t^{\tau^e} \qquad (A48)$$

$$logu_t^{\tau^e} = \rho_{\tau^e} logu_{t-1}^{\tau^e} + \eta_t^{\tau^e} \qquad (A49)$$

$$\xi_{F,t} = \xi_F u_t^{\xi_F} \qquad (A50)$$

$$logu_t^{\xi_F} = \rho_{\xi_F} logu_{t-1}^{\xi_F} + \eta_t^{\xi_F} \qquad (A51)$$

附录 2 参数校准

附表 1 列示了模型所有参数的取值。

附表 1 参数校准

参数	描述	数值	参数	描述	数值
β	居民主观贴现因子	0.9925	δ_F	化石能源资本折旧率	0.025
ζ	居民风险厌恶系数	2	γ_Y	投资调整成本	2
φ	逆劳动供给弹性	2	γ_L	投资调整成本	2

h_c	消费习惯系数	0.7	γ_F	投资调整成本	2
χ	劳动负效用参数	16.5152	γ	银行存活率	0.96
σ	中间产品替代弹性	6	ρ	金融摩擦参数	0.1869
α_Y	中间品厂商资本份额	0.5	ς	对新进入银行转移支付	0.0019
ϵ_Y	中间品厂商资本劳动投入与能源投入替代弹性	0.5	ψ_F	化石资产风险加权	1.1071
ω_{VA_Y}	中间品厂商资本劳动投入占比	0.9	ψ_L	低碳资产风险加权	0.75
ω_E	中间品厂商能源投入占比	0.1	κ_i	利率平滑系数	0.73
ϵ_E	化石与低碳能源投入替代弹性	5	κ_π	利率对通胀的反应系数	1.487
ω_{E_F}	能源加总函数中化石能源占比	0.85	κ_y	利率对产出的反应系数	0.025
ω_{E_L}	能源加总函数中低碳能源占比	0.15	d_0	污染损失函数参数	-0.0076
ϵ_F	化石能源厂商化石资源投入与资本投入替代弹性	0.3	d_1	污染损失函数参数	$1.4074 * 10^{-5}$
ω_X	化石能源厂商化石资源投入占比	0.3	d_2	污染损失函数参数	$3.1721 * 10^{-8}$
ω_{VA_F}	化石能源厂商资本投入占比	0.7	θ_1	减排成本系数	0.05
γ_p	价格调整成本系数	100	θ_2	减排成本指数	2.8
κ_p	价格调整通胀平滑系数	0.5	φ_e	化石资源排放系数	1
δ_Y	中间品资本折旧率	0.025	δ_M	碳排放衰减系数	0.9979
δ_L	低碳能源资本折旧率	0.025	Z_{row}	世界其他国家和地区碳排放	2.3

附录 3 福利

本文使用消费等价方法计算福利损失，各种政策的福利损失为相对于稳态的福利损失，令W_{Policy}为实施某种政策时的福利，W_{ss}为稳态下的福利，计算W_{Policy}相对于W_{ss}的损失即为该政策下经济福利相对于稳态的损失。

消费等价的福利损失表示当$W_{Policy}=W_{ss_adjust}$时，消费者需要放弃的消费百分比，具体如下：

$$W_{Policy}=W_{ss\_adjust}=E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}\left[U\left((1-\lambda^c)\mathrm{C},\mathrm{N}\right)\right]$$

上式中，λ^c表示的是为了使稳态福利与实施某政策时的福利相等，稳态下消费者需要放弃的消费比例，即消费等价的福利损失，那么下一步我们的目标就是求出λ^c。

效用函数不同，λ^c的表达式有所不同，首先写出本文福利函数的表达式：

$$W=\begin{cases}E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}\left(\ln(C_t-h_cC_{t-1})-\chi\dfrac{(N_t)^{1+\varphi}}{1+\varphi}\right) & \sigma=1\\ E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}\left(\dfrac{(C_t-h_cC_{t-1})^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-\chi\dfrac{(N_t)^{1+\varphi}}{1+\varphi}\right) & \sigma\neq1\end{cases}$$

定义：

$$W=\begin{cases}E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}\left(\ln(C_t-h_cC_{t-1})-\chi\frac{(N_t)^{1+\varphi}}{1+\varphi}\right) & \sigma=1\\ E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}\left(\frac{(C_t-h_cC_{t-1})^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-\chi\frac{(N_t)^{1+\varphi}}{1+\varphi}\right) & \sigma\neq 1\end{cases}$$

$$WC=\begin{cases}E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}(\ln(C_t-h_cC_{t-1})) & \sigma=1\\ E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}\left(\frac{(C_t-h_cC_{t-1})^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}\right) & \sigma\neq 1\end{cases}$$

$$WN=E_{t_0}\sum_{t=t_0}^{\infty}\beta^{t-t_0}\left(\chi\frac{(N_t)^{1+\varphi}}{1+\varphi}\right)$$

则上述变量的稳态如下：

$$WC_{ss}=\begin{cases}\frac{\ln[(1-h_c)\mathrm{C}]}{1-\beta} & \sigma=1\\ \frac{[(1-h_c)\mathrm{C}]^{1-\sigma}-1}{(1-\sigma)(1-\beta)} & \sigma\neq 1\end{cases}$$

$$WN_{ss}=\frac{\chi\frac{(N)^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{1-\beta}$$

因此，稳态的福利表达式为：

$$W_{ss}=WC_{ss}-WN_{ss}=\begin{cases}\frac{\left(\ln\left((1-h_c)\mathrm{C}\right)-\chi\frac{(N)^{1+\varphi}}{1+\varphi}\right)}{1-\beta} & \sigma=1\\ \frac{\left(\frac{\left((1-h_c)\mathrm{C}\right)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-\chi\frac{(N)^{1+\varphi}}{1+\varphi}\right)}{1-\beta} & \sigma\neq 1\end{cases}$$

$$W_{Policy}=\begin{cases}\frac{\ln[(1-\lambda^c)(1-h_c)\mathrm{C}]-\chi\frac{(N)^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{1-\beta} & \sigma=1\\ \frac{\frac{\left[(1-\lambda^c)\left((1-h_c)\mathrm{C}\right)\right]^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-\chi\frac{(N)^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{1-\beta} & \sigma\neq 1\end{cases}$$

$$W_{Policy}=\begin{cases}\frac{\ln(1-\lambda^c)}{1-\beta}+W_{ss} & \sigma=1\\ \frac{(1-\lambda^c)^{1-\sigma}[1+(1-\sigma)(1-\beta)WC_{ss}]-1}{(1-\sigma)(1-\beta)}-WN_{ss} & \sigma\neq 1\end{cases}$$

求解出λ^c的表达式：

$$\lambda^c=\begin{cases}1-exp\left[(1-\beta)\left(W_{Policy}-W_{ss}\right)\right] & \sigma=1\\ 1-\left[\frac{(1-\sigma)(1-\beta)\left(W_{Policy}+WN_{ss}\right)+1}{(1-\sigma)(1-\beta)WC_{ss}+1}\right]^{\frac{1}{1-\sigma}} & \sigma\neq 1\end{cases}$$