

《气候物理冲击、地方债务风险与实体经济波动》附录

附录 1 模型一阶均衡条件

(一) 家庭部门

$$\begin{aligned}
 1 &= \beta E_t \left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{-\sigma} \frac{R_t}{\pi_{t+1}} \\
 \kappa_N N_t^\eta &= C_t^{-\sigma} w_t \\
 uc'(u_t) &= R_t^k \\
 q_t &= E_t M_{t+1} \left\{ \left(R_{t+1}^k u_{t+1} + q_{t+1} (1 - \delta) (1 - \epsilon_{er,t+1}) \right) \right\} \\
 1 &= q_t \left(1 - \frac{\kappa_I}{2} \left(\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1 \right)^2 - \kappa_I \left(\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1 \right) \frac{I_t}{I_{t-1}} \right) + \beta \kappa_I E_t \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} q_{t+1} \left(\frac{I_{t+1}}{I_t} - 1 \right) \left(\frac{I_{t+1}}{I_t} \right)^2 \\
 K_{t+1} &= (1 - \delta) (1 - \epsilon_{er,t}) K_t + \left(1 - \frac{\kappa_I}{2} \left(\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1 \right)^2 \right) I_t \\
 M_{t+1} &= \beta E_t \left(\frac{C_{t+1}}{C_t} \right)^{-\sigma}
 \end{aligned}$$

(二) 企业部门

$$\begin{aligned}
 Q_{l,t} (L_{e,t+1} - L_{e,t}) + w_t N_{e,t} + R_{k,t} K_{e,t} + C_{e,t} + \frac{R_{e,t-l} B_{e,t-l}}{\pi_t} &= \frac{P_{w,t}}{P_t} Y_{e,t} + B_{e,t} \\
 Y_{e,t} &= \hat{A}_{e,t} (L_{e,t}^\phi K_{e,t}^{1-\phi-\gamma} M_{g,t}^\gamma)^\alpha (N_{e,t})^{1-\alpha} \\
 \hat{A}_{e,t} &= \frac{A_{e,t}}{\exp(\theta_{er} er_t)} \\
 B_{e,t} &= \theta E_t \left(\frac{Q_{l,t+1} L_{e,t+1} \pi_{t+1}}{R_{e,t}} \right) - \zeta (w_t N_{e,t} + R_{k,t} K_{e,t}) \\
 1 - \zeta_{e,t} &= \beta_e E_t \frac{\lambda_{e,t+1}}{\lambda_{e,t}} \frac{R_{e,t}}{\pi_{t+1}} \\
 Q_{l,t} &= \beta_e E_t \left\{ \frac{\lambda_{e,t+1}}{\lambda_{e,t}} \left(mc_{t+1} \alpha \phi \frac{Y_{e,t+1}}{L_{e,t+1}} + Q_{l,t+1} \right) + \zeta_{e,t} \theta \frac{Q_{l,t+1} \pi_{t+1}}{R_{e,t}} \right\} \\
 mc_t \alpha (1 - \phi - \gamma) \frac{Y_{e,t}}{K_{e,t}} &= (1 + \zeta_{e,t} \varsigma) R_{k,t} \\
 mc_t (1 - \alpha) \frac{Y_{e,t}}{N_{e,t}} &= (1 + \zeta_{e,t} \varsigma) w_t \\
 \lambda_{e,t} &= \frac{I}{C_{e,t}} \\
 R_{l,t} &= mc_t \alpha \phi \frac{Y_{e,t}}{L_{e,t}}
 \end{aligned}$$

(三) 零售商

$$\frac{\varepsilon_p}{\kappa_p} \left(mc_t - \frac{\varepsilon_p - 1}{\varepsilon_p} \right) + \beta E_t \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} (\pi_{t+1} - \pi) \pi_{t+1} \frac{Y_{t+1}}{Y_t} = (\pi_t - \pi) \pi_t$$

(四) 融资平台企业

$$\begin{aligned}
 I_{g,t} &= \hat{A}_{g,t} (L_{g,t}^\phi K_{g,t}^{1-\phi_g})^\alpha N_{g,t}^{1-\alpha} \\
 \hat{A}_{g,t} &= \frac{A_{g,t}}{\exp(\theta_{er} er_t)} \\
 r_t^k &= \lambda_{g,t} \alpha (1 - \phi) \frac{I_{g,t}}{K_{g,t}} \\
 R_{l,t} &= \lambda_{g,t} \alpha \phi \frac{I_{g,t}}{L_{g,t}} \\
 w_t &= \lambda_{g,t} (1 - \alpha) \frac{I_{g,t}}{N_{g,t}} \\
 M_{g,t} &= (1 - \delta_g) (1 - \epsilon_{er,t}) M_{g,t-1} + I_{g,t} \\
 R_{z,t} (V_{g,t-1} + B_{g,t}) g(\omega_t) &= R_{g,t} B_{g,t} \\
 \frac{g'(\omega_t) f(\omega_t) R_{z,t}}{f'(\omega_t) R_{g,t}} &= - \frac{V_{g,t-1}}{B_{g,t} + V_{g,t-1}}
 \end{aligned}$$

$$V_{g,t} = \chi_g R_{z,t} (V_{g,t-1} + B_{g,t}) f(\varpi_t)$$

$$Bankrupt_t = F(\varpi_t)$$

(五) 金融中介

$$B_{g,t} + B_{e,t} + B_{G,t} = V_{f,t} + B_t$$

$$\phi_{f,t} V_{f,t} = \theta_f (\Delta_g B_{g,t} + \Delta_e B_{e,t} + B_{G,t})$$

$$(1 + \omega_{f,t}) E_t M_{t,t+1} (1 - \chi_f + \chi_f \phi_{f,t+1}) (R_{g,t} - R_{t-1}) = \omega_{f,t} \theta_f \Delta_g$$

$$(1 + \omega_{f,t}) E_t M_{t,t+1} (1 - \chi_f + \chi_f \phi_{f,t+1}) (R_{e,t} - R_{t-1}) = \omega_{f,t} \theta_f \Delta_e$$

$$(1 + \omega_{f,t}) E_t M_{t,t+1} (1 - \chi_f + \chi_f \phi_{f,t+1}) (R_{G,t} - R_{t-1}) = \omega_{f,t} \theta_f$$

$$\phi_{f,t} = (1 + \omega_{f,t}) E_t M_{t,t+1} (1 - \chi_f + \chi_f \phi_{f,t+1}) R_{t-1}$$

$$V_{f,t+1} = \chi_f ((R_{g,t} - R_{t-1}) B_{g,t} + (R_{e,t} - R_{t-1}) B_{e,t} + (R_{G,t} - R_{t-1}) B_{G,t} + R_{t-1} V_{f,t}) + \varsigma V_{f,t}$$

(六) 地方政府部门

$$Q_{l,t} (L_{e,t} - L_{e,t-1}) + T_t + R_{l,t} L_{g,t} + B_{G,t} = G_t + P_{g,t} I_{g,t} + R_{G,t-1} B_{G,t-1}$$

$$G_t = g_t Y_t$$

$$T_t = \tau_t Y_t$$

$$\ln\left(\frac{\tau_t}{\tau}\right) = \rho_\tau \ln\left(\frac{\tau_{t-1}}{\tau}\right) + \rho_{\tau b} \left(\ln\left(\frac{B_{G,t}}{Y_t}\right) - \ln\left(\frac{B_G}{Y}\right) \right)$$

$$\ln\left(\frac{R_t}{R}\right) = \rho_m \ln\left(\frac{R_{t-1}}{R}\right) + (1 - \rho_m) \left(\varphi_\pi \ln\left(\frac{\pi_t}{\pi}\right) + \varphi_y \ln\left(\frac{Y_t}{Y}\right) \right) + \varepsilon_{m,t}, \varepsilon_{m,t} \sim N(0, \sigma_m^2)$$

(七) 市场出清

$$K_{e,t} + K_{g,t} = u_t K_{t-1}$$

$$N_{e,t} + N_{g,t} = N_t$$

$$L_{e,t} + L_{g,t} = L$$

$$Y_t = C_t + I_t + P_{g,t} I_{g,t} + G_t + \frac{\kappa_p}{2} (\pi_t - \pi)^2 Y_t$$

附录 2 模型参数校准

该模型按季度频率进行校准。我们将贴现因子 β 取为 0.9961，这意味着年化无风险利率为 1.6%。参考 Iacoviello (2015)，企业家 β_e 的贴现因子设为 0.94。 η 设为 2，这意味着劳动供给的弗里施弹性为 0.5，与 Pencavel (1986) 在微观层面的估计保持一致。中间产品 ϵ_p 之间的替代弹性为 11，相当于平均加价幅度为 10%，这与 Basu and Fernald (1997) 报告的估计值一致。参考大多数文献的设定，相对风险厌恶参数 σ 设为 2。鉴于公共资本折旧相对较慢，我们将私人资本和公共资本的折旧率分别设为 0.05 和 0.025。劳动份额 $1-\alpha$ 校准为 0.5，与 Zhu (2012) 基于中国数据的实证分析一致。 ϕ_e 和 ϕ_g ，即私人 and 公共部门生产中土地投入的份额，分别校准为 0.5 和 0.35，以匹配民营企业 and 国有企业中商业房地产价值与产出的比率。 γ_e 设定为 0.20 以使得基础设施的产出弹性为 0.1，这与 Calder' on et al. (2015) 关于包括中国在内的新兴市场经济体的估计保持一致。

由于中国住房抵押贷款的最低首付比例约为 20%—30%，文中将贷款价值比 θ 设定为 0.75 左右。参考 Gertler and Karadi (2011)，可挪用资本的比例 θ_f 设定为 0.38。参考 Bernanke et al. (1999)，我们将监测成本参数 μ_g 设定为 0.21 左右。我们将 A_g 归一化为 1，并将 A_e 设定为 1.2，使得私营部门和公共部门的稳态工作小时数等于 1/3。价格调整成本参数 κ_p 设定为 50，投资调整成本参数 κ_I 设定为 2.5。 χ_1 由稳态资本租金率内生确定，而 χ_2 设定为 0.01，这与 Sims and Wu (2021) 相同。银行生存率 χ_f 和公共部门企业生存率 χ_g 分别校准为 0.85 和 0.96，以匹配约 2% 的年化违约率，这与中国数据中的历史平均不良贷款率相符。根据 2015—2024 年一年期银行贷款利率、一年期国债收益率和一年期城投债收益率的平均值，本文将银行贷款利率 R_e 的稳态校准为 1.011，政府债券收益率 R_g 的稳态校准为 1.006，公共部门融资成本 R_G 的稳态校准为 1.018。我们拟合一年期国债收益率的 AR (1) 过程，将持久性参数 ρ_{BG} 校准为 0.92。文中使用中国 2001—2024 年税收收入产出比、政府债务产出比和政府支出产出比的季度时间序列来估计财政政策规则中的参数。根据 2001—2024 年我国 GDP 增长率、CPI 通胀率和 7 天同业拆借利率的季度平均值对货币政策规则中参数进行估计。

附录 3 变量定义与描述性统计

附表 1 变量定义

变量类型	变量符号	变量名	变量定义
被解释变量	<i>Invest</i>	上市公司投资支出	当年总投资现金支出/上一年度公司期末总资产
解释变量	<i>ER</i>	极端降水指数	债券发行前一个季度的极端降水指数
	<i>I_Pressure</i>	城投债到期压力状态变量	基于城投债到期压力的地方政府债务风险状态变量
	<i>I_Spread</i>	城投债风险状态变量	基于城投债平均发行利差分组的地方政府债务风险状态变量
上市公司层面			
控制变量	<i>Size</i>	公司规模	公司总资产的对数值
	<i>Lev</i>	公司资产负债率	负债总额 / 资产总额
	<i>Liquidity</i>	公司资产流动性	企业流动资产/流动负债
	<i>Tobin_Q</i>	托宾 Q 值	公司市值/资产总计
	<i>ROA</i>	公司总资产报酬率	息税前利润*2 / (期初总资产+期末总资产)
	<i>Both</i>	董事长和总经理兼职情况	董事长和总经理为同一人为 2，否则为 1
	<i>Top10</i>	股权集中度	前十大股东占比(10%)
	省级层面		
	<i>Fiscal</i>	政府财政状况	地方政府财政收入/地区 GDP*100
	<i>GDP_per</i>	人均 GDP 对数值	地方人均 GDP 取对数值
	<i>SIP</i>	地方第二产业占比	地区第二产业 GDP/地区总 GDP*100
	<i>Inflation</i>	地方通货膨胀率	地方居民消费价格指数*100

附表 2 描述性统计

变量	样本量	平均值	标准差	最小值	中位数	最大值
<i>Invest</i>	33475	0.285	0.369	0.003	0.136	1.687
<i>ER</i>	33475	-0.165	0.225	-0.819	-0.130	0.297
<i>I_Pressure</i>	30444	0.310	0.463	0.000	0.000	1.000
<i>Size</i>	33475	22.197	1.265	20.108	22.011	25.630
<i>Lev</i>	33475	0.414	0.203	0.071	0.405	0.844
<i>Liquidity</i>	33475	2.519	2.268	0.439	1.738	11.800
<i>Tobin_Q</i>	33475	2.010	1.191	0.888	1.610	6.667
<i>ROA</i>	33475	0.039	0.054	-0.140	0.038	0.167
<i>Both</i>	33475	1.695	0.461	1.000	2.000	2.000
<i>Top10</i>	33475	58.990	15.078	26.730	59.960	88.240
<i>Fiscal</i>	33475	11.492	3.584	5.781	10.915	22.734
<i>GDP_per</i>	33475	11.287	0.444	9.889	11.349	12.156
<i>SIP</i>	33475	39.978	9.035	15.800	42.284	57.700
<i>Inflation</i>	33475	2.055	0.650	0.100	2.119	3.900

附录 4 稳健性检验

为了验证核心结论对地方政府债务风险度量方式的敏感性,我们进行了一系列稳健性检验,结果如附表 3 所示。首先,我们使用滞后一期的地方政府偿债压力($I_Pressure_{k,t-1}$)作为调节变量进行回归。第(1)列的结果显示,交互项 $ER \times I_Pressure_1$ 的系数在 5%的水平上显著为负,说明地方债务风险对于气候物理冲击的放大效应依然存在。其次,我们使用基于债券发行市场数据的城投债发行利差作为地方债务风险的替代指标。第(2)列采用了城投债发行利差分组变量($I_Spread_{k,t-1}$),第(3)列则采用了基于“时间隔离”策略构建的利差分组变量($I_Spread_{adj,k,t-2.5}$),以排除当期气候物理冲击对利差的直接干扰。回归结果显示,无论使用何种利差指标,交互项的系数均显著为负。这表明,本文关于地方债务风险放大气候物理冲击负面影响的结论,不依赖于单一的地方债务风险度量方式,具有较强的稳健性。

附表 3 稳健性检验：改变地方债务风险度量

	(1)	(2)	(3)
	<i>Invest</i>	<i>Invest</i>	<i>Invest</i>
$ER \times I_Pressure_I$	-0.0466** (-2.0408)		
$ER \times I_Spread$		-0.0726** (-2.0673)	
$ER \times I_Spread_{adj}$			-0.0955*** (-2.8556)
ER	-0.0094 (-0.6382)	-0.0177 (-1.1973)	-0.0039 (-0.2568)
$I_Pressure_I$	-0.0149** (-2.2772)		
I_Spread		-0.0184** (-2.3729)	
I_Spread_{adj}			-0.0147** (-2.0628)
控制变量	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes
公司固定效应	Yes	Yes	Yes
样本量	28101	30956	28663
$Adj. R^2$	0.6525	0.6316	0.6494

注：***、**和*分别表示 1%、5%和 10%水平的显著性。括号中为由聚类稳健标准误计算得到的 t 值。控制变量及固定效应同基准回归。下表同。

为了排除极端降雨指标构建过程中参数选择的干扰,我们采取了四种方式替换核心解释变量 ER ,回归结果如附表 4 所示。第一,改变构建指数时的参考基期。基准回归中使用 1990—2005 年作为参考期,这里我们将参考期调整为 1975—2009 年,重新计算极端降水指数($ER_{1975-2009}$)。附表 4 第(1)列显示,交互项系数依然显著为负,说明结果对基期选择不敏感。第二,将连续变量转换为虚拟变量。我们将极端降水指数转换为 0-1 虚拟变量(I_{ER_50}),若某省当季极端降水指数高于历史中位数则取 1,否则取 0。这种处理方式能有效排除极端值的影响。第(2)列结果显示,交互项系数显著为负,证明了结论的可靠性。第三,使用更细颗粒度的地级市层面指标。我们利用地级市层面的气象站点数据构建了城市级的极端降水指数(ER_city),以捕捉更微观的气候冲击差异。第(3)列结果表明,在使用更精细的冲击指标后,核心结论依然稳健。第四,构建反映极端降雨发生频率的替代指标($ER_Tercile$)。在微观站点层面,若该站点某月连续五天最大降水量高于参考期对应月份的上三分位数,则赋值为 1,否则为 0,随后加总平均至省份一维度。第(4)列回归结果显示,交互项系数在 1%的水平上显著为负,再次验证了本文结论的稳健性。

附表 4 稳健性检验：改变极端降雨度量方式

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Invest</i>	<i>Invest</i>	<i>Invest</i>	<i>Invest</i>
$ER_{1975-2009} \times I_Pressure$	-0.0471** (-2.4097)			
$I_{ER_50} \times I_Pressure$		-0.0142** (-2.2762)		
$ER_city \times I_Pressure$			-0.0419*** (-2.8630)	
$ER_Tercile \times I_Pressure$				-0.0967*** (-2.7255)
$ER_{1975-2009}$	0.0011 (0.0780)			
I_{ER_50}		-0.0027 (-0.7493)		
ER_city			0.0143 (1.2342)	
$ER_Tercile$				-0.0119 (-0.5700)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes

年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
公司固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	30416	30416	23119	30416
Adj. R ²	0.6344	0.6344	0.6461	0.6344

为了进一步排除潜在的遗漏变量偏差,我们在基准回归的基础上加入了两组重要的控制变量,结果如附表 5 所示。首先,考虑到城市层面的经济特征和治理能力可能同时影响企业投资和对灾害的应对能力,我们在第(1)列中额外控制了地级市层面的宏观经济变量(如城市化率)及政府治理能力指标。其次,特定的地理气候环境可能导致某些地区既容易发生极端降水,又伴随其他自然灾害。为了剥离这一影响,我们在第(2)列中进一步控制了省级层面的泥石流、滑坡和洪涝灾害发生次数。附表 5 的回归结果显示,在纳入这些额外的控制变量后,核心交互项 $ER \times I_Pressure$ 的系数依然在 5%或 1%的水平上显著为负,且系数大小与基准回归基本保持一致。这进一步证实了本文的研究结论并非由遗漏变量驱动。

附表 5 稳健性检验: 考虑遗漏变量问题

	(1) <i>Invest</i>	(2) <i>Invest</i>
$ER \times I_Pressure$	-0.0550** (-2.3684)	-0.1031*** (-3.1005)
基准回归控制变量	Yes	Yes
城市层面控制变量	Yes	No
自然灾害控制变量	No	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
公司固定效应	Yes	Yes
样本量	23672	23863
Adj. R ²	0.6324	0.6549

参考文献

- [1] Basu, S. and J. G. Fernald, 1997, "Returns to Scale in US Production: Estimates and Implications", *Journal of Political Economy*, 105(2), pp.249~283.
- [2] Bernanke, B. S., M. Gertler and S. Gilchrist, 1999, "The Financial Accelerator in A Quantitative Business Cycle Framework", *Handbook of Macroeconomics*, 1, pp.1341~1393.
- [3] Calderón, C., E. Moral-Benito and L. Servén, 2015, "Is Infrastructure Capital Productive? A Dynamic Heterogeneous Approach", *Journal of Applied Econometrics*, 30(2), pp.177~198.
- [4] Gertler, M. and P. Karadi, 2011, "A Model of Unconventional Monetary Policy", *Journal of Monetary Economics*, 58(1), pp.17~34.
- [5] Iacoviello, M., 2015, "Financial Business Cycles", *Review of Economic Dynamics*, 18(1), pp.140~163.
- [6] Pencavel, J., 1986, "Labor Supply of Men: A Survey", *Handbook of Labor Economics*, 1, pp.3~102.
- [7] Sims, E. and J. C. Wu, 2021, "Evaluating Central Banks' Tool Kit: Past, Present, and Future", *Journal of Monetary Economics*, 118, pp.135~160.
- [8] Zhu, X., 2012, "Understanding China's Growth: Past, Present, and Future", *Journal of Economic Perspectives*, 26(4), pp.103~124.