《分化之谜：绿色信贷纳入 MPA 考核如何影响工业企业风险承担能力》附录

附录 1 演化博弈模型设计

参考周肖肖等（2023）以及陈庭强等（2024）的研究，记银行发放绿色信贷的概率为 x（$0\le x\le 1$），发放非绿色信贷的概率为 $1-x$；重污染企业选择末端治理等低风险合规策略的概率为 y（$0\le y\le 1$），选择潜含失败风险的绿色创新研发策略的概率为 $1-y$；相对弱污染企业选择末端治理等低风险合规策略的概率为 z（$0\le z\le 1$），采取潜含失败风险的绿色创新研发策略的概率为 $1-z$。附表 1 为银行发放绿色信贷下的博弈收益矩阵，附表 2 为银行发放非绿色信贷下的博弈收益矩阵。附表 3 为模型参数说明。

附表 1 绿色信贷下的博弈收益矩阵（x）

博弈参与主体		相对弱污染企业	
		末端治理等低风险合规策略（z）	潜含失败风险的绿色创新研发策略（1-z）
重污染企业	末端治理等低风险合规策略（y）	$w+Q$, $R_1+G_1-I_1-\alpha$, $R_2+G_2-I_2-\alpha$	$(1+i_g)C_2+w+Q$, $R_1+G_1-I_1-\alpha$, $(1-\lambda)(R_2+E_2)-(1+i_g)C_2+\alpha$
	潜含失败风险的绿色创新研发策略（1-y）	$(1+i_g)C_1+w+Q$, $(1-\lambda)(R_1+E_1)-(1-\beta)(1+i_g)C_1+\alpha$, $R_2+G_2+(1-\lambda)\delta E_1-\beta(1+i_g)C_1-I_2-\alpha$	$(1+i_g)(C_1+C_2)+w+Q$, $(1-\lambda)(R_1+E_1)-(1-\beta)(1+i_g)C_1+\alpha$, $(1-\lambda)(R_2+E_2+\delta E_1)-(1+i_g)(C_2+\beta C_1)+\alpha$

附表 2 非绿色信贷下的博弈收益矩阵（1-x）

博弈参与主体		相对弱污染企业	
		末端治理等低风险合规策略（z）	潜含失败风险的绿色创新研发策略（1-z）
重污染企业	末端治理等低风险合规策略（y）	$-S$, $R_1+G_1-I_1-\alpha$, $R_2+G_2-I_2-\alpha$	$(1+i_n)C_2-S$, $R_1+G_1-I_1-\alpha$, $(1-\lambda)(R_2+E_2)-(1+i_n)C_2+\alpha$
	潜含失败风险的绿色创新研发策略（1-y）	$(1+i_n)C_1-S$, $(1-\lambda)(R_1+E_1)-(1+i_n)C_1+\alpha$, $R_2+G_2-I_2-\alpha$	$(1+i_n)(C_1+C_2)-S$, $(1-\lambda)(R_1+E_1)-(1+i_n)C_1+\alpha$, $(1-\lambda)(R_2+E_2)-(1+i_n)C_2+\alpha$

附表 3 演化博弈模型参数说明

参数	说明
i_g	绿色信贷利率
i_n	贷款基准利率
$R_j(j=1,2)$	重污染企业和相对弱污染企业的基础收益
$E_j(j=1,2)$	重污染企业和相对弱污染企业进行潜含失败风险的绿色创新研发获得的收益
$C_j(j=1,2)$	重污染企业和相对弱污染企业进行潜含失败风险的绿色创新研发的成本
$G_j(j=1,2)$	重污染企业和相对弱污染企业采取末端治理等低风险合规策略改善企业污染获得的收益
$I_j(j=1,2)$	重污染企业和相对弱污染企业采取末端治理等低风险合规策略的成本
α	企业进行潜含失败风险的绿色创新研发获得的环境效益等间接收益 （或未进行潜含失败风险的绿色创新研发的损失）
λ	企业进行潜含失败风险的绿色创新研发出现失败风险的概率$\lambda\in(0,1)$
β	成本分担比例$\beta\in(0,1)$
δ	相对弱污染企业进行成本分担时获得的补偿比例$\delta\in(0,1)$
Q	银行因 MPA 考核得分提升获得的激励收益 $Q>0$
S	银行因 MPA 考核得分降低产生的惩罚成本 $S>0$
w	银行发放绿色信贷获得的超额净收益

附录 2 企业风险承担能力测度指标构建的文本处理与合成

首先选取上市公司全部年报中“管理层讨论与分析”内容，并以自然语句为单位对年报文本进行拆分作为语料库。在此基础上，本文参考刘青等（2023）的做法，在语料库中选取10%的文本提交大语言模型，并根据其输出标注语义倾向。为了提高标注的效率和准确性，参考陆瑶等（2025）的做法，使用 DeepSeek、通义千问、豆包等多种大语言模型进行标注。如果大语言模型判断不一致或给出不确定判断，再通过人工方式进行复核，以提高最终标注的准确性。研究发现，在本文构建的训练集中，两两大语言模型标注结果在四个语义分析任务中平均 Cohen’s Kappa 指标分别为 0.906、0.853、0.896、0.941，表明标注结果具有较优的一致性。

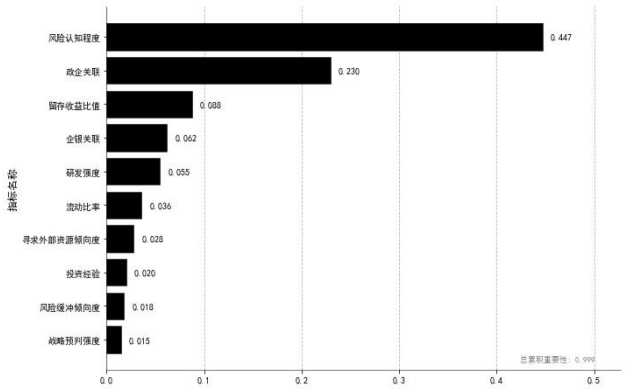
标注后，本文选择其中 80%作为训练集建立 BERT 语言分类模型，并以剩余 20%标准文本进行验证。本文使用的具体 BERT 模型版本为 FinBERT。设定学习率、批次大小以及迭代轮次等训练参数之后对基于 FinBERT 的文本分类模型进行训练。最终训练集与验证集的性能如附表 4 所示，表明 FinBERT 对语义倾向具有较强的识别能力。利用训练后的模型对语料库中其余文本进行识别，可以得到 MD&A 全部语句中关于风险认知、战略预判、寻求外部资源倾向度等的语义倾向。参考陆瑶等（2025）的做法，基于识别结果逐年计算企业 MD&A 文本中识别结果为 1 的倾向概率最大值与识别结果为 0 的倾向概率均值的差值，以此作为指标测度结果。这一构造通过最大值捕捉企业在该维度上的最强信号，同时减去均值以剔除语料中普遍存在的、可能源于文本写作惯例而非真实能力的背景噪声。差值越大，表明企业在该维度上指标强度越高。

附表 4 训练集与验证集的性能结果

指标	准确率	精度	召回率	F1得分
风险认知程度	0.942（0.927）	0.938（0.921）	0.951（0.935）	0.945（0.928）
战略预判强度	0.936（0.912）	0.931（0.908）	0.944（0.921）	0.937（0.914）
寻求外部资源倾向度	0.941（0.918）	0.932（0.923）	0.955（0.909）	0.943（0.916）
风险抵御、资源储备	0.953（0.925）	0.949（0.919）	0.958（0.933）	0.953（0.926）

注：括号内数值为验证集性能评价指标。

在新构建的指标体系基础上，参考张兆国和韩晓宇（2020）的生存分析法确定权重。该方法以企业 ST/退市概率作为被预测对象，然后基于指标体系中各变量建立预测模型，最后根据模型回归系数作为权重构建综合指标。这一思路较好地解决了不同性质指标维度如何合并的问题，因为各维度指标将共同预测同一个能够客观反映指标体系内涵的基准。基于上述指标构建思路，以企业违约距离作为企业生存的代理变量，企业违约距离越大，表明企业生存概率越高。需要说明的是，本文没有直接沿用企业 ST/退市概率的原因在于我国上市公司样本中，ST/退市的样本数量较少，在这种情况下建立模型存在比较明显的样本不平衡问题，使用违约距离可以较好解决这一问题。同时企业违约距离取值范围为实数区间，可以避免后续建立预测模型时存在受限被解释变量问题。本文以企业违约距离为预测目标建立随机森林模型。为了避免构造的指标受到量纲影响，本文将全部指标预先进行 Z-score 标准化。在参数设定方面，随机森林模型涉及树的数量（n_estimators）、最大深度（max_depth）等。针对上述参数，本文采用基于 5 折交叉验证的网格搜索法确定最优值，其中 n_estimators 的参数空间为{100，200，500}，max_depth 的参数空间为{3，4，5}，最终模型的拟合优度为 0.8104。各指标对企业违约距离预测的贡献呈现显著梯度差异：风险认知程度与政企关联，合计贡献率接近 70%，表明企业对风险的战略性识别能力及政府关联网络是影响其存续的核心驱动因素。同时，基于语义分析的指标累积贡献率超过 50%，表明管理层讨论与分析文本中蕴含着丰富的能够表征企业风险承担能力的信息，需要将其纳入指标体系中作为财务指标的必要补充。值得注意的是，同为基于语义分析构建的指标，风险认知程度的贡献率远超“MD&A 文本中有关风险抵御、资源储备等语义信息”和战略预判强度（如附图 1 所示）。原因可能是：风险认知直接反映了管理层对外部环境不确定性的警觉程度，是企业启动后续应对行为的前提条件，因而在生存预测中具有更强的边际贡献。最终，本文以各指标的重要性数值为权重合成企业风险承担能力。



附图 1 风险承担能力各指标重要性

附录 3 描述性统计分析

由附表 5 可知，三组样本数量基本平衡，对照组数量略多于两高重污染和相对弱污染实验组，符合 DID 模型对样本规模分布的基本要求。且对照组风险承担能力最大值和最小值的差距最小，说明对照组企业的风险承担能力分布更集中、组内波动幅度较小、受政策影响有限，能够为政策效应评估提供干净稳定的对照基准，样本划分合理。

附表 5 变量描述性统计分析

变量	样本数	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
两高重污染实验组						
RTCapabilities_pre2017	1446	0.6796	0.3217	-0.5306	0.6223	4.5128
RTCapabilities_post2017	2350	0.6462				
Severe_pollution×Post	3796	0.6191	0.4857	0.0000	1.0000	1.0000
相对弱污染实验组						
RTCapabilities_pre2017	2108	-0.2805	0.3316	-0.8720	-0.1671	2.8836
RTCapabilities_post2017	3462	-0.0232				
Low_pollution×Post	5570	0.6215	0.4850	0.0000	1.0000	1.0000
对照组						
RTCapabilities_pre2017	2276	-0.3936	0.3817	-0.7091	-0.4127	2.8375
RTCapabilities_post2017	3935	-0.2514				
控制变量						
Size	15577	22.3152	1.2966	17.6413	22.1420	28.6365
Lev	15577	0.4056	0.1902	0.0111	0.4002	1.2379
Roe	15577	0.0647	0.1150	-0.8882	0.0672	0.4165
Fixed	15577	0.2397	0.1469	0.0001	0.2108	0.9542
Growth	15577	0.1313	0.2754	-0.9713	0.1007	1.9782
Cashflow	15577	0.0547	0.0655	-0.3968	0.0518	0.3938
FirmAge	15577	2.9591	0.2987	1.6094	2.9957	4.0254
Board	15577	2.1220	0.1985	1.0986	2.1972	2.8904
Indep	15577	0.3765	0.0563	0.1667	0.3571	0.8000
Top1	15577	0.3371	0.1422	0.0892	0.3140	0.8999
TMTPay	15577	14.5946	0.7065	11.5655	14.5504	18.5840

附录 4 稳健性检验结果

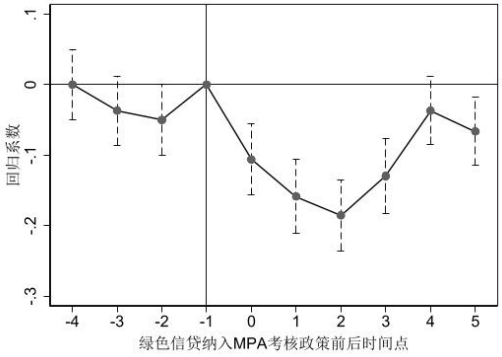
附表 6 排除其他政策影响（*DID2015*、*DID2016*、*DID2021*）

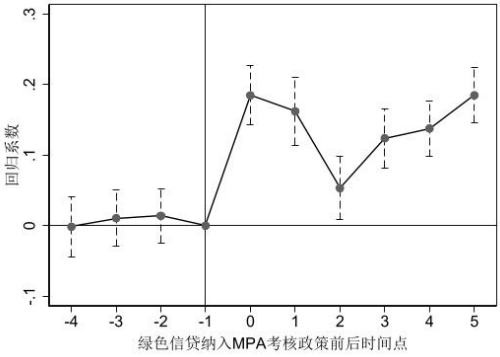
变量	两高重污染企业			相对弱污染企业		
Severe_pollution×Post	-0.0922***	-0.1154***	-0.1232***			
	(-5.8206)	(-5.7954)	(-8.5321)			
Low_pollution×Post				0.1350***	0.1416***	0.1265***
				(10.9047)	(9.0711)	(10.3984)
DID2015	-0.0047			0.0020		
	(-0.2634)			(0.1329)		
DID2016		0.0304			-0.0083	
		(1.4587)			(-0.5033)	
DID2021			0.0935***			0.0299**

			(6.2652)			(2.2012)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	10007	10007	10007	11781	11781	11781
Adj. R^2	0.7903	0.7903	0.7911	0.4297	0.4297	0.4300

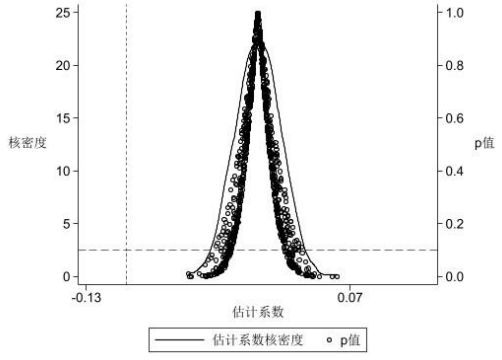
附表 7 排除绿色金融改革创新试验区政策干扰

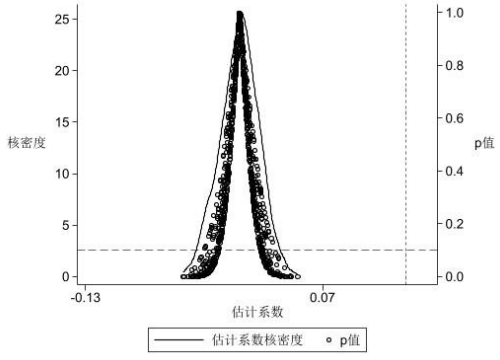
变量	两高重污染企业		相对弱污染企业	
	高维固定效应	剔除试点地区	高维固定效应	剔除试点地区
Severe_pollution×Post	-0.0728***	-0.0897***		
	(-5.1923)	(-6.7108)		
Low_pollution×Post			0.1447***	0.1341***
			(12.9665)	(12.1878)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
省份×年份固定效应	Yes	No	Yes	No
样本量	10004	9572	11772	11128
Adj. R^2	0.7659	0.7677	0.4339	0.4299





附图 2（a） 两高重污染企业平行趋势检验 **附图 2（b） 相对弱污染企业平行趋势检验**





附图 3（a） 两高重污染企业安慰剂检验 **附图 3（b） 相对弱污染企业安慰剂检验**

附表 8 政策外生性和逐期 PSM-DID 检验

变量	政策外生性		PSM-DID	
	两高重污染企业	相对弱污染企业	两高重污染企业	相对弱污染企业
Severe_pollution×Post	-0.0975***		-0.1020***	
	(-6.5424)		(-7.1408)	
Low_pollution×Post		0.1322***		0.1366***

		(10.7717)		(12.6252)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	8924	10505	9331	11667
Adj. R^2	0.7633	0.4507	0.7564	0.4315

附录 5 调节效应检验结果

附表 9 货币信贷环境的调节作用

两高重污染工业企业		相对弱污染工业企业	
变量	估计结果	变量	估计结果
Severe_pollution×Post×MP	-0.0106 (-0.4148)	*Low_pollution×Post×MP*	0.0586*** (2.7397)
Severe_pollution×Post	-0.0799*** (-3.6059)	*Low_pollution×Post*	0.1041*** (5.8450)
Severe_pollution×MP	0.0379* (1.8115)	*Low_pollution×MP*	-0.0113 (-0.6875)
控制变量	Yes	控制变量	Yes
年份固定效应	Yes	年份固定效应	Yes
个体固定效应	Yes	个体固定效应	Yes
样本量	10007	样本量	11781
Adj. R^2	0.7644	*Adj. R^2*	0.4304

附表 10 同群效应的调节作用

两高重污染工业企业		相对弱污染工业企业	
变量	估计结果	变量	估计结果
Severe_pollution×Post×$peer_{epi}$	-0.6395* (-1.6879)	*Low_pollution×Post×$peer_{girdi}$*	0.0558 (0.3983)
Severe_pollution×Post	-0.0611*** (-3.0940)	*Low_pollution×Post*	0.1280*** (11.0085)
$peer_{epi}$	-0.1678 (-0.4536)	*$peer_{girdi}$*	0.0312 (0.3062)
Severe_pollution×$peer_{epi}$	0.1637 (0.4376)	*Low_pollution×$peer_{girdi}$*	0.0750 (0.5247)
Post×$peer_{epi}$	0.5734 (1.5294)	*Post×$peer_{girdi}$*	0.0284 (0.3077)
控制变量	Yes	控制变量	Yes
年份固定效应	Yes	年份固定效应	Yes
个体固定效应	Yes	个体固定效应	Yes
样本量	10006	样本量	11778
Adj. R^2	0.7645	*Adj. R^2*	0.4308

参考文献

[1] 陈庭强、陈尚远和徐涛，2024，《绿色信贷对高能耗、高污染、高排放企业碳减排技术创新的作用——基于碳减排支持工具的演化博弈》，《科技管理研究》第 24 期，第 202~212 页。

[2] 刘青和肖柏高，2023，《劳动力成本与劳动节约型技术创新——来自 AI 语言模型和专利文本的证据》，《经济研究》第 2 期，第 74~90 页。

[3] 陆瑶、施函青和周欣怡，2025，《中国企业数字技术风险暴露对企业价值的影响——来自大语言模型的文本分析证据》，《经济研究》第 2 期，第 73~89 页。