

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2022.09.025

基于 PSM-DID 模型的绿色金融对工业固废资源化技术创新的支持效果评价

王炜

(南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300351)

摘要:工业固废污染由于量大、资源化比例低而成为固废污染的主要问题,解决固废污染问题的重点是做好工业固废的处理、处置与资源化。绿色金融支持方法可在绿色技术创新系统的全过程为技术创新提供支持,是创新系统中不可缺少的重要助力。利用倾向得分匹配(Propensity Score Matching, PSM)方法和双重差分(Differences-in-Differences, DID)模型,从作用机理、效果验证和提出改进三个方面对大宗工业固废资源化技术创新的绿色金融支持方法进行了理论与实证研究,以期对绿色金融在大宗工业固废资源化技术创新方面的应用和改进起到支持和促进作用。

关键词:PSM-DID 模型;绿色金融;工业固废;资源化技术

中图分类号:X758

文献标志码:A

文章编号:1007-7545(2022)09-0173-06

Effect Evaluation of Green Finance on Technological Innovation of Industrial Solid Waste Recycling Based on PSM-DID Model

WANG Wei

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300351, China)

Abstract: Industrial solid waste pollution has become the main problem of solid waste pollution due to its large amount and low recycling proportion. The key to solve the problem of solid waste pollution is to do a good job in treatment, disposal and recycling of industrial solid waste. Green financial support method can provide support for technological innovation in the whole process of green technological innovation system and is an indispensable and important help in the innovation system. Using propensity score matching (PSM) method and the Differences-in-Differences (DID) model, green finance support method for technological innovation of solid waste recycling in bulk industry is studied theoretically and empirically from three aspects: mechanism of action, effect verification and improvement. It can support and promote the application and improvement of green finance in technological innovation of bulk industrial solid waste recycling.

Key words: PSM-DID model; green finance; industrial solid waste; recycling technology

工业固体废物是指在工业生产活动中产生的固体废物。“十三五”期间,我国绿色工业发展继续推

进,工信部发布《工业绿色发展规划(2016—2020年)》,对工业固废相关源头管理和治理效率提出了

收稿日期:2022-04-11

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC1903604);南开大学亚洲研究中心自主研究课题(AS1916)

作者简介:王炜(1980-),男,博士研究生,讲师

新的目标和规划,在国家绿色经济发展目标及相关政策的促进下,我国工业固体废物的产量较为稳定,2019年产量约为35.43亿吨,处理量和综合利用量分别为8.78亿吨和19.49亿吨,综合利用率约为55.02%(图1~2),整体看,我国工业固体废物的综合利用率有待提升。

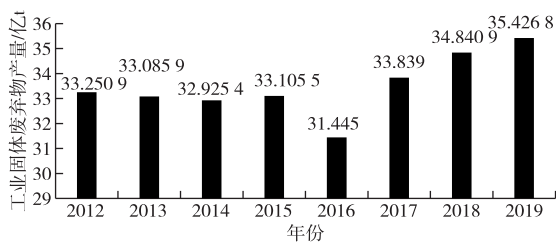


图1 2012—2019年我国工业固废年产生量
(数据来源:生态环境部)

Fig.1 Annual output of industrial solid waste in China from 2012 to 2019(Data from the Ministry of Ecological Environment)

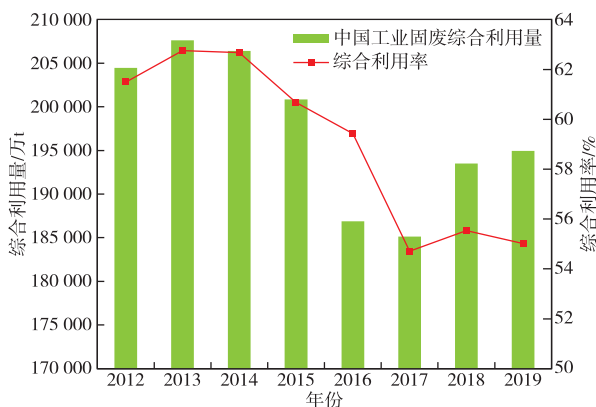


图2 2012—2019年中国工业固废综合利用情况
(数据来源:前瞻产业研究院)

Fig.2 Comprehensive utilization of industrial solid waste in China from 2012 to 2019(Data from Prospective Industry Research Institute)

实际上,工业固废具有很大的回收利用潜力,且其相对废水废气而言资源化相对容易。工业固废处理处置遵循减量化、无害化与资源化原则,通过填埋、焚烧、固化、气化等方法,能够成为工业原料或能源,如制成建筑材料、提取有价值组分、制造肥料等。固废资源化处置行业具有巨大的市场发展空间,随着国家有关的政策与有关法规的不断健全、资金的不断注入,以及鼓励社会资本参与其中,企业配置固废项目时,对固废处置设备的需求量加大,另外,越来越多的企业在处理固废时选用PPP模式,减轻了财政压力,调动了社会热情,无形中也扩大了工业固

废处理处置和资源化的市场。

绿色是“十三五”规划确定的中国未来五大发展理念之一,发展绿色金融是实现绿色发展的必经之路。绿色金融对于生态文明建设、建设美丽中国具有重要意义。绿色金融产品的出现撬动了大量资金流动到绿色经济领域。英国绿色投资银行(GIB)、南非绿色基金及大量绿色战略投资基金等都让我们看到了绿色金融对环保领域的强大支持效果。基于此,本文主要从作用机理、效果验证和提出改进三个方面对大宗工业固废资源化技术创新的绿色金融支持方法进行了理论与实证研究,以期对绿色金融在大宗工业固废资源化技术创新方面的应用和改进起到支持和促进作用。

倾向得分匹配(Propensity Score Matching, PSM)方法和双重差分(Differences-in-Differences, DID)模型在估计处理效应方面得到了广泛的应用。傅佳莎等^[1]通过该方法对资源型城市转型政策实施效果进行了评估,发现《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》存在政策陷阱效应并提出了改进建议;李卫兵等^[2]采用PSM-DID方法估计了提高排污费对外商直接投资(FDI)流入的效应,并得出提高排污费可显著抑制FDI流入的结论;张曾莲等^[3]利用该方法评估了参与PPP项目对上市公司创新的影响,发现参与PPP项目一定程度上降低了上市公司的创新。可以看出,利用该方法估计各类绿色政策也在逐渐成为热门话题。

1 PSM-DID 模型简介

PSM方法和DID模型是评估政策或项目实施后效果即项目效应(或处理效应)的有效工具。所有项目参与者构成试验组(Treatment group),而所有未参与项目者构成对照组(Comparison group)或控制组(Control group)。由于选择偏差(Selection bias,即试验组和对照组的初始条件存在差异,而个体常常会根据其参加项目的成本和收益来选择是否参加项目,给项目效应估计带来困难)与反事实框架^[4](Counterfactual,即同一个体同一时期只能存在参与或不参与项目的状态,因此无法同时观测到同一个体参与项目后和未参与项目后的结果)的存在,直接对同时期进行横向比对和对同个体不同时期进行纵向比对都会出现估计不准确的问题。同时,随机分组试验方法在政策分析领域也难以实施。

匹配估计量思想在解决选择偏差方面起到了很大作用。其基本思路是,找到与处理组个体*i*可测

变量相似的控制组个体 j (即 $x_i \approx x_j$), 对于可观测的变量, 通过匹配构造出的对照组与参与组具有相同的随机分布。即基于可忽略性假定, 二者进入处理组的概率相近, 具有可比性。而当 x_i 为 K 维向量时, 则可能会遇到数据稀疏的问题, 因此一般使用函数将 x_i 的信息压缩至一维再进行匹配。最早的匹配方法有马氏匹配、协变量匹配等, 然而其在 x 包含变量较多或样本量较小时其匹配效果并不理想。

倾向得分匹配方法则是一类能有效解决“数据灾难”问题的方法。“倾向得分”(Propensity score, P -score) 这一概念由统计学家 Rosenbaum 和 Rubin 于 1983 年提出, 用于度量距离^[4]。其定义为: 个体 i 的倾向得分即是 x_i 已经被给定的状况下, 个体 i 进入处理组的条件概率, $p(x_i) \equiv p(D_i = 1 | x = x_i)$ ^[5]。进行倾向得分估计时, 可使用参数估计方法或非参数估计方法, 最流行的方式是评定(Logit)模型估计。进行匹配后所得到的倾向得分为一维变量, 这些变量的取值范围为 $[0, 1]$ 。PSM 方法需要满足两个前提: 1) 条件独立假定(Conditional independence): 试验处理效应当严格外生, 不存在任何内生性问

题; 2) 重叠假定: 对于任何 x 的可能取值, 都有 $0 < p(x_i) < 1$, 这意味着处理组和控制组应存在重叠, 二者倾向得分也存在重叠。

PSM 方法的步骤如下: 1) 选择协变量 x_i ; 2) 估计倾向得分; 3) 进行倾向得分匹配, 倾向得分匹配方法有局部线性回归匹配、最近邻匹配、样条匹配、核匹配等, 当样本足够大时, 匹配方法对估计结果影响较小^[6]。该方法的局限有: 1) 严重依赖于条件独立假定; 2) 违反重叠假定可能造成试验效应被低估。因此, 使用该方法时要注意尽量保持较大的样本容量, 且处理组控制组间要具有较多重叠个体, 同时, 尽量减少不可测变量的影响^[6]。

DID 方法通过比较试验组、控制组在政策实施前后被解释变量的区别来估计处理效应。因此, 该方法要求至少存在政策处理前和政策处理后两期数据, 样本被分为试验组和对照组, 其中试验组在第一期(A1)未受到政策处理, 第二期(A2)政策起效; 控制组(B1、B2)全期均未受到政策作用。对其进行两次差分结果即为政策效应, 先进行组间差分与先进进行组内差分结果相同^[7]。其原理如表 1 所示。

表 1 双重差分原理
Table 1 Double difference principle

组别	时期		差分结果
	第一期	第二期	
处理组	A1	A2	A2-A1
控制组	B1	B2	B2-B1
DID			[(A2-A1)-(B2-B1)]

双重差分方法的基本模型如下:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Policy_{it} + \beta_2 Time + \beta_4 X_{it} + \epsilon_{it} + \beta_3 Policy_{it} \times Time$$

(1)

式中, $Policy$ 为政策处理变量, 处理组为 1, 对照组为 0; $Time$ 为时间变量, 政策处理前为 0, 处理后为 1。根据表 1 与模型(1)可知: 处理组第一期所对应系数为 $\beta_0 + \beta_1$, 第二期对应系数为 $\beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$, 差分结果为 $\beta_2 + \beta_3$; 控制组第一期所对应系数为 β_0 , 第二期对应系数为 $\beta_0 + \beta_2$, 差分结果为 β_2 ; 因此, 双重差分结果为 β_3 。

2 模型应用

由于我国绿色金融体系中, 目前仍以绿色信贷作为最主要手段, 因此, 本文以绿色信贷为例来研究并验证绿色金融产品对大宗工业固废资源化技术创新的效果。

2.1 数据获取

2007 年 7 月, 《关于落实环保政策法规防范信

贷风险的意见》(以下简称《意见》) 的发布成为了绿色信贷政策的开端, 《意见》对通过绿色信贷淘汰落后产能和高能耗高污染企业做出了具体要求和规范, 绿色企业能够进行申请并通过银行的严格审批后获得绿色信贷, 而非绿色企业则不能。2008 年 10 月, 各银行纷纷宣布加入赤道准则, 绿色信贷政策全面铺开。因此, 本文选取 2009 年作为政策开端。

本文获取了 2008—2017 年的企业数据, 数据来源于 CSMAR 数据库和 RESSET 数据库。绿色金融处理组(以下简称 p 组)企业选取了 2018 年第三季度环保行业景气报告中的大宗工业固废处理企业, 对照组(以下简称非 p 组)企业从重污染行业及企业上市企业名单中选取。在样本选取过程中, 剔除了: 1) ST 类企业; 2) 上市企业无贷款者; 3) 严重缺少数据的企业; 4) 金融类上市企业。

2.2 模型设定

本文利用 stata 软件, 使用 PSM 方法和 DID 模

型对绿色信贷政策处理效应进行估计,其基准模型如下:

$$Inno_{it} = \beta_0 + \beta_1 \times Policy_{it} \times Time_{it} + \beta_j \sum_{j=2}^n Control_{jit} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中, $Inno$ 为被解释变量,作为企业创新的量

度; $Control$ 为控制变量,其中包含影响变量 $Inno$ 变化的一些其他变量: $Sale$ (资产周转率,衡量公司经营能力)、 $Liquidity$ (流动比率,衡量公司偿债能力)、 ROA (总资产净利率,衡量公司盈利能力)和 Age (企业年龄); ε_{it} 为随机扰动项。本文的变量设定和详细含义如表 2 所示。

表 2 变量定义与量度

Table 2 Definition and measurement of variables

变量名称	变量含义	变量计算方法
$Inno$	创新能力	(企业当年无形资产增量-土地使用权)/当年总资产
$Sale$	资产周转率	企业当年营业总收入/平均资产总额
$Liquidity$	流动比率	企业当年流动资产/流动负债
Age	企业年龄自然对数	$\ln(\text{观测年份}-\text{企业建立年份})$
ROA	总资产净利率	企业当年净利润/平均资产总额
$Policy$	虚拟变量(政策)	政策处理组为 1,对照组为 0
$Time$	虚拟变量(时间)	政策处理前为 0,处理后为 1

一般来说,企业核心创新能力度量指标包括专利数据(Patent)、研发(R&D)^[7],补充创新能力则有对市场的掌握能力与变现能力(市场投入、广告/营销费用、销售收入)、质量控制费用(Quality expenditure/Revenue)等,但这些指标难以完全衡量企业创新,且存在信息披露不完全的问题,在获得数据方面存在困难。新会计准则实施后,无形资产包括了专利权、土地使用权、商标权、非专利技术等,为修正无形资产中非专利项的影响,本文利用 $Inno$ 这一变量来评估企业创新^[8]。

2.3 评价过程

由于 2007 年我国实行新会计准则,且“企业当

年无形资产增量”这一变量需要进行一次差分,本文共收集了 2008—2017 年共 10 年的数据,由于政策实施前数据仅有一年,故本文不进行平行趋势检验。其中,绿色信贷处理组 69 家企业,对照组 559 家企业,共 6 203 个观测值。首先,对数据进行整理和描述性统计,结果如表 3 所示。可以看出,流动比率($Liquidity$)的最大值为 204.742 1,最小值为 0.011 0,出现了较大差异,且其标准差约为 5.13,说明各公司存在较大个体差异。而除流动比率外,其他变量标准差较小,说明数据总体而言较为集中。

表 3 主要变量的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics of main variables

变量名	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
$Inno$	6 202	0.007 690 7	0.049 696	-1.985 05	0.629 879
$Sale$	6 203	0.733 759 7	0.225 367	0.003 3	22.235 9
$Liquidity$	6 203	2.194 986 0	5.126 676	0.011 0	204.742 1
ROA	6 203	0.043 796 4	0.225 367	-16.112 5	1.927 7

2.3.1 倾向得分匹配(PSM)

分别采用了 $k=1$ 的 k 近邻匹配法和带宽为 0.06 的核函数匹配法对数据进行了匹配和回归,并对结果进行了比较,二者结果相差不大。利用 Logit 模型对倾向得分进行估计,对绿色信贷政策处理组与控制组共同取值范围内个体进行匹配并进行均值(t)检验。结果如表 4 所示。由表 4 可知,通过 Logit 回归进行匹配后,所有变量经过倾向得分匹配后结果均显著,所有偏差的标准差均大幅缩小并小于 10%,可以接受。其处理效应估计值为 0.012 4。

2.3.2 平均处理效应

根据模型(1)对数据进行了四次双重差分(DID)处理,并进行了比较,双重差分结果如表 5 所示,从表 5 可以看出,进行 PSM 处理前,交乘项系数为负且不显著。经过 PSM 匹配后,样本量下降,交乘项系数为 0.016,且在 1%水平上显著。这意味着绿色信贷对大宗工业固废资源化技术创新产生了显著的正向激励作用,即在平均处理效应下,绿色信贷处理组的创新水平显著提高,证明了绿色信贷可以有效帮助企业融资且调整企业投资倾向,通过调整创新要素的投入来有效提升企业的创新水平。从各变量

系数来看,匹配后多元回归中绿色信贷政策系数为 0.025,在 1%水平上显著,说明绿色信贷处理对企业创新有显著的正效应;同理,企业的总资产净利率也对企业创新具有显著正效应,即企业盈利能力越

强,企业便具有越强的创新能力;企业年龄对企业创新能力具有显著负效应,从 A-U 创新动态理论角度^[9],这一结果可能是因为企业由产品和工艺创新阶段过渡到了市场创新阶段,技术创新动力下降。

表 4 Logit 复制结果和匹配前后可观测变量 *t* 检验对比

Table 4 Comparison of Logit replication results and *t*-test of observable variables before and after matching

变量名	回归结果	类型	均值		标准差/%	标准差变化/%	<i>t</i>	<i>P> t </i>
			试验组	控制组				
Age	0.168 181	匹配前	2.783	2.739 50	12.7	92.9	2.98	0.003
		匹配后	2.783	2.786 10	—0.9		—0.14	0.863
Sale	—1.287 730	匹配前	0.548 21	0.756 85	—37.8	98.5	—8.07	0
		匹配后	0.548 21	0.551 42	—0.6		—0.14	0.887
Liquidity	—0.018 040	匹配前	2.074 10	2.209 80	—3.2	—58.1	—0.65	0.514
		匹配后	2.074 10	1.859 40	5.1		1.50	0.134
ROA	1.535 232	匹配前	0.046 39	0.043 48	1.6	90	0.32	0.750
		匹配后	0.046 39	0.046 10	0.2		0.06	0.955

表 5 回归结果统计

Table 5 Regression results

变量	PSM 处理前		PSM 处理后	
	未加入控制变量	加入控制变量	未加入控制变量	加入控制变量
Policy×Time	—0.007	—0.007	0.016* *	0.017* *
	(—1.030)	(—1.067)	(2.220)	(2.710)
	0.016*	0.017* *	0.025* *	0.025* *
Policy	(—2.569)	(—2.689)	(2.602)	(2.653)
	—0.005*	—0.003	—0.019*	—0.014
Time	(—2.374)	(—1.070)	(—2.319)	(—1.126)
		—0.006* *		—0.020*
Age		(—3.277)		(—2.351)
		0.010* *		0.053* *
ROA		(—3.637)		(8.104)
		0.000		—0.004
Liquidity		(—0.429)		(—1.272)
		0.001		0.008
Sale		(—1.487)		(0.269)
	0.011* *	0.024* *	0.011* *	0.018* *
_Cons	5.35	4.74	5.26	3.51
R ²	0.006	0.010	0.006	0.019
调整 R ²	0.005	0.009	0.005	0.018
观测数	6 202	6 202	6 172	6 172

注: * 为在 5%水平上显著; * * 为在 1%水平上显著;括号内为 *t* 值

3 结果与讨论

根据表 5 的回归结果统计,匹配后各变量标准差大幅降低,交乘项系数由 —0.007 且不显著变为 0.017 且在 1%水平上显著,证明了绿色信贷政策处理可对大宗工业固废资源化技术创新产生显著的正向激励作用,政策处理和企业盈利能力对大宗工业固废企业创新水平产生了显著的正向影响。因此积极推动绿色信贷政策全面落地,构建绿色金融支持

系统和提高企业盈利能力对大宗工业固废技术创新具有重要意义。

大宗工业固废资源化技术创新的绿色金融支持方法这一领域在国内外研究都尚不完善,而在我国大力推进高质量发展的今天,以大宗工业固废资源化技术创新为代表的绿色技术创新成为了改善环境、提升人民幸福感亟待研究的关键课题。本文选取了 2008—2018 年大宗工业固废处理企业和重污染企业数据,对绿色信贷政策对大宗工业固废技术

创新的支持效果进行了估计。其中,创新性地应用了企业去除土地增量后的无形资产与当年总资产比值作为被解释变量,参与个体的特征数据(即 *Sale*、*Liquidity*、*ROA* 和 *Age*)为控制变量,虚拟变量 *Policy* 和 *Time* 用于区分处理组和控制组个体及政策处理前和政策处理后个体。对变量进行描述性统计和一元/多元回归后,利用评定(Logit)模型进行倾向得分估计并进行匹配。结果表明,绿色信贷政策处理可对大宗工业固废资源化技术创新产生显著的正向激励作用。据此,本文提出如下改进建议:

1)应继续推进绿色金融手段的落地实施,扩大绿色金融对大宗工业固废资源化企业技术创新的资金支持;

2)在绿色金融手段的应用中丰富绿色金融工具箱,对绿色金融应用场景进行创新,更好地发挥绿色金融对大宗工业固废资源化技术创新的纽带和支持作用;

3)加强政策引领作用,积极探索政策项目的市场化,将“看不见的手”和“看得见的手”相结合,更有效地推动大宗工业固废资源化技术创新。

4 结论

1)绿色技术创新是一个由绿色技术进步和绿色应用创新相互作用的完整、复杂的体系,其成功实施需要外部激励(政策、制度保障)、能力培育(高校、科研院所的知识储备和人才支持;金融系统的全力支持)与内部动力(创新主体的创新意愿和创新水平)的共同保障。因此,推动大宗工业固废资源化技术为代表的绿色技术创新需要整体设计,重点从上述机制着手处理。

2)绿色金融在绿色技术创新体系的能力培育、外部激励和内部动力机制中都能起到其极其重要的支持效果。其能够解决创新中的隐忧,带来经济效益,激发创新主体积极性,引导支持知识和人才储备,并向政府提供信息,帮助政策优化。利用好绿色金融的支持机理,能为大宗工业固废资源化技术创新提供更加有效率的支持。

3)以绿色信贷为代表的绿色金融方法能够显著地提高大宗工业固废处理企业的创新水平,继续推进绿色金融的全面铺开对大宗工业固废资源化技术创新意义重大。除政策处理外,大宗工业固废资源化企业创新水平还受到企业盈利能力和企业年龄影响,提高企业盈利能力,激发企业进入

稳定期后的创新热情也是有效的支持大宗工业固废资源化技术创新手段。

参考文献

- [1] 傅佳莎,浦正宁,蔡轩.资源型城市转型政策实施效果评价:基于PSM-DID方法[J].环境经济研究,2019,4(1):108-122.
FU J S, PU Z N, CAI X. Evaluation on the implementation effect of resource-based cities' transformation policy: Based on a PSM-DID method [J]. Journal of Environmental Economics, 2019, 4(1): 108-122.
- [2] 李卫兵,王鹏.提高排污费会抑制FDI流入吗?:基于PSM-DID方法的估计[J].西安交通大学学报(社会科学版),2020,40(3):91-100.
LI W B, WANG P. Does raising SO₂ pollution charges drive away Foreign Direct Investment?: A PSM-DID estimate [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences), 2020, 40(3): 91-100.
- [3] 张曾莲,原亚男.参与PPP项目对上市公司创新的影响:基于PSM-DID方法的实证分析[J].华东经济管理,2020,34(5):42-50.
ZHANG Z L, YUAN Y N. The impact of participating in PPP projects on the innovation of listed companies: An empirical analysis based on PSM-DID method [J]. East China Economic Management, 2020, 34(5): 42-50.
- [4] ROSENBAUM P R, RUBIN D B. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects [J]. Biometrika, 1983, 70: 41-55.
- [5] 陈强.高级计量经济学及Stata应用[M].2版.北京:高等教育出版社,2014.
CHEN Q. Advanced econometrics and applications of Stata [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2014.
- [6] CALIENDO M, KOPEINIG S. Some practical guidance for the implementation of propensity score matching [J]. Economic Surveys, 2008, 22(1): 31-72.
- [7] DESYLLAS P, HUGHES A. Do high technology acquirers become more innovative? [J]. Research Policy, 2010, 39(8): 1105-1121.
- [8] 鞠晓生.中国上市企业创新投资的融资来源与平滑机制[J].世界经济,2013,36(4):138-159.
JU X S. Financing sources and smoothing mechanism of innovation investment of Chinese listed enterprises [J]. The Journal of World Economy, 2013, 36(4): 138-159.
- [9] WILLIAMSON O E. The economic institutions of capitalism: Firms, markets relational contracting [M]. New York: American Political Science Association, 1985. DOI:10.1007/978-3-8349-9320-5_6.