

“区块链+生产”推动企业绿色生产 ——兼论对政府之手的新思考*

林木西 张紫薇

摘要：企业绿色生产具有环境外部性，存在激励不足的问题，以区块链为代表的新技术的应用是激励企业绿色生产的可行路径。首先，本文从经济学视角分析了区块链技术的应用价值，指出区块链技术能够减少信息不对称与降低交易成本，从而实现资源配置的优化。在此基础上，本文构建了政府与企业的两阶段动态博弈模型，分析在政府不同的策略选择下，企业绿色生产决策的影响因素。在企业决策环节，“区块链+生产”平台通过溯源机制、智能合约机制、P2P 机制以及数字化双胞胎机制能够降低企业绿色生产的成本、提高绿色产品的收益，从而激励企业进行绿色生产。在政府决策环节，本文通过比较政府构建“区块链+生产”平台、财政补贴以及“无为而治”三种策略下的政府福利，指出了“政府补贴悖论”效应与“社会信任悖论”效应是政府失灵与市场失灵的表现，而以“区块链+生产”平台为代表的科技进步是寻求合意政府之手的可行路径。

关键词：区块链 绿色生产方式 政府之手 市场失灵 政府失灵

中图分类号：F204

JEL：H11

一、问题的提出

随着我国环境污染问题的日益严重以及能源与资源储备的日趋紧张，经济发展方式转型迫在眉睫。十八届五中全会提出了“创新、协调、绿色、开放、共享”的五大发展理念，其中绿色发展是实现可持续发展与经济高质量发展的必然要求。企业是组织经济资源的微观主体，企业绿色生产是指以节能、降耗、减污为目标，以管理和技术为手段，对工业生产全过程实施污染控制，使污染物的产生量最少化的一种综合措施(尚文芳、陈优优，2018)。推动企业向绿色生产方式转型，提高产品生产过程的资源利用效率以及降低产品生产和使用过程对环境的破坏，是建立环境友好型、资源节约型社会和实现我国经济发展方式转型的微观动力。2016年9月，工业和信息化部颁布了《关于开展绿色制造体系建设的通知》，要求在2020年建立起以绿色企业为主体的生产制造体系。在此背景下，探究如何有效推动企业向绿色生产方式转型，不仅具有理论价值更具有极强的现实意义。

由于环境和资源属于公共物品范畴，因此本质上看，企业的绿色生产行为与企业研发行为类似，都具有正外部性(林木西等，2018)。通常，企业绿色生产需要使用节能环保设备或者投入资金开发资源节约型技术，对于绿色技术的开发与使用投入是企业额外负担的成本；但市场需求的较大不确定性以及绿色产品和非绿色产品间难以有效区分等都导致了企业绿

* 林木西，辽宁大学经济学院，邮政编码：110036，电子邮箱：linmuxi@lnu.edu.cn；张紫薇，辽宁大学经济学院，邮政编码：110036，电子邮箱：ziweilnu@163.com。本文受国家社科基金重大项目“振兴东北老工业基地重大体制机制问题及对策研究”(17ZDA060)资助。感谢匿名审稿人的修改建议，文责自负。

色生产的收益不足。在市场机制下，额外负担的成本和难以预期的收益导致企业选择绿色生产的经济激励不足。

市场失灵导致的企业绿色生产供给不足问题需要政府之手纠偏。通常而言，对企业采购绿色生产设备给予补贴（朱庆华、窦一杰，2007；王永明等，2018）、对绿色技术研发给予支持以及对绿色产品进行绿色生产认证等方式是普遍采用的政府之手。然而，公共选择学派指出政府目标的多元化以及无效监督下的多层委托代理机制会导致政府失灵。实践来看，政府补贴、资格认证等环节普遍存在政企间的设租和寻租行为；缺乏有效的监督机制为企业获得补贴和认证后的道德风险行为提供了滋长的土壤。除此之外，政府是有限理性的，难以对企业产品需求进行准确预测，因此企业绿色技术的开发和使用成本极易成为未来难以适应市场需求的沉淀成本，以上为企业决定是否选择绿色生产方式时必然考虑的“进入壁垒”。由此来看，对于纠正市场失灵推动企业向绿色生产方式转型的政府之手是如此苍白无力。

科学技术是经济增长不可忽视的力量，技术进步能够降低企业的生产成本、组织成本以及市场交易成本等，从而改变企业的成本收益结构，影响企业经营决策。面对市场机制的失灵和政府之手的无助，寻求颠覆性的新技术是解决经济外部性问题的可行路径。区块链技术作为继蒸汽机、电力、互联网之后的人类第四次科技革命的代表（Swan，2015）越来越得到各国的广泛关注。目前，全世界至少有46个国家已经启动区块链技术的研究与开发，其中荷兰、美国、英国、俄罗斯等国走在前列。目前，我国也在积极开展区块链技术的基础研发与场景应用，2016年国务院把区块链技术纳入了《十三五国家信息化规划》中，“区块链+”上升至国家战略受到各行各业的高度关注。

由于区块链的底层技术属于计算机科学领域，早期对于区块链的研究多集中于计算机数据库技术的开发，而对于区块链在经济领域的应用研究处于完全空白。2008年以区块链为底层技术的比特币诞生，其在金融领域引发的疯狂逐利行为与伴之而来的投机风险引起了经济领域学者的热切关注。然而，已有的研究多集中于对区块链技术的特征性认识（范忠宝等，2018）、区块链技术场景应用的可行性展望（袁勇、王飞跃，2016）及以比特币为首的区块链应用的风险分析（李建军、朱焯辰，2017；Walch，2015）。从研究内容上看，已有研究多是论述区块链技术在某一个领域的应用，并未论证区块链技术对于经济资源配置的本质价值；从研究方法上看，已有研究多为论述式的规范性分析，缺乏严谨的经济学分析方法支撑。因而现有关于区块链的经济学研究只是在皮毛上略涉足经济领域，不能称得上真正意义上的经济学研究。

如何从经济学的视角认识区块链技术的本质价值，如何以经济学的分析范式研究区块链技术对改善资源配置效率的应用价值。这是用经济学思维研究“区块链+”从0到1式的突破，这是真正意义上的区块链与经济学的跨界融合，是开启区块链经济学系统性研究必须首要回答的问题。本文试图回答以上问题，以期对建立真正意义上的区块链经济学研究范式略尽绵薄之力。

本文的主要内容及创新价值如下：首先，本文对区块链技术的本质价值给出了经济学视角的理解，提出**命题1**：从经济学资源配置的角度看，区块链是通过技术进步的手段降低信息不对称与降低交易成本的可行路径，其极致应用体现为在现实世界中建立“完全竞争市场”。其次，通过构建政府与企业的两阶段动态博弈模型，将“区块链+生产”平台如何推动企业向绿色生产方式转型的分析引入了微观基础，提出**命题2**：“区块链+生产”平台通过溯源机制、智能合约机制、P2P机制、数字化双胞胎机制改变企业生产方式决策的成本与收益，发挥市场激励机制推动企业自发向绿色生产方式转型。除此之外，本文对博弈模型第一阶段政府策略选择的分析，回答了经济学最核心的问题之一，即政府与市场的关系问题，提出**命题3**：市场失灵与政府失灵客观存在，颠覆性技术的应用是政府之手的新方式，是实现政府之手有效弥补市场失灵的可行路径。

本文余下部分内容如下：第二部分介绍了区块链技术的特点，提出了“区块链+生产”的应用模式与四种运作机制并进一步具体分析了其如何改变企业的成本与收益结构；第三、四部分为模型假设和求解分析，在此部分本文既探讨了“区块链+生产”推动企业绿色生产的机理与影响因素，同时对政府构建“区块链+生产”平台、财政补贴以及“无为而治”的三种策略选择进行了详细的比较分析；在第五部分，本文进行了全文总结并提出了主要建议。

二、区块链技术及其在生产中的应用

（一）区块链技术特点

区块链技术本质上是去中心化的数据库，即分布式数据库，它是被用于独立验证来自密码摘要的散列值中人工制品的所有权链。区块链的核心技术包括点对点传输（P2P）、时间戳、哈希加密算法、共识机制、智能合约等。作为一种集体维护可靠数据的分布式账簿系统，区块链以其去中心化、去信任、可追溯性等特征赢得了金融（Kiran & Stannett, 2014；翟晨曦等, 2018）、会计（杨慧琴等, 2018）、企业管理（乔鹏程, 2017）、工业生产（Apte & Petrovsky, 2016）、教育（李青、张鑫, 2017）、政府治理（戚学祥, 2018）等领域许多专家及业界人士的广泛关注。具体来看，区块链技术的主要特点如下表 1 所示。

表 1 区块链技术的特点

1	去中心化	区块链是分布式、去中心化的数据库,其任意节点的权利与义务均等,任意节点的损坏或退出,不影响整个系统的运行。
2	开放性	除了交易各方的私有信息被加密外,区块链上的信息和数据是对所有人公开的,任何人可查询,保证了信息的高度透明性。
3	去信任	区块链中交易的运行,节点数据的上传、验证等均遵循协商一致的规范和协议,使得整个系统中的所有节点能够在不考虑信任问题与道德风险的情况下自由交易。所有交易按照既定的程序和算法执行,使得交易由对“人”的信任改成了对于“算法”的信任。
4	集体维护	区块链系统是所有节点共同维护的系统,每个节点记录整个系统运行的数据,而整个系统的运行也依赖于每个节点的认证,是一个人人参与其中的集体系统。
5	不可篡改	当信息通过了验证上传至区块链后,就会被永久的储存下来,除非同时获得系统中 51%以上的节点的同意,否则单个节点上对数据库的修改无效,保证了区块链上的信息具有稳定性和极强的可靠性。
6	匿名性	区块链上的交易是按照固定的算法和程序执行,因此不再需要对交易各方的身份进行验证以对交易各方产生信任,匿名性是区块链技术在去信任机制下的自然选择。
7	可追溯性	区块链上的每个区块都被加盖上了记录交易时间信息的时间戳。从区块生成时,时间便被唯一的确定和记录,独一无二且不可篡改,从而实现区块按照时间戳记录有序排列,为信息溯源找到了路径。
8	智能性	区块链技术具有可编程性,可以加载智能合约,使交易机制触发后能够自动执行,实现区块链在具体应用场景上的智能化运行。

（二）“区块链+生产”

1. “区块链+生产”的应用模式

“区块链+生产”是指将区块链作为底层技术应用于生产制造领域，构建集供应商、制造商、物流商、分销商以及消费者等所有参与者在内的共建、共享的分布式数字平台。对于生产制造商而言，从原料采购、产品设计与研发、生产制造、物流服务再到分销零售等一切环节产生的信息通过共识机制记录入“区块链+生产”平台，形成可证可溯的具有价值属性的数字化生产平台。目前，“区块链+生产”的应用模式建设刚刚起步，技术的开发与应用正在摸索中前行，多家世界级科技公司正在不同领域开发与应用区块链技术。2017年4月，Cisco 尝试使用区块链技术登记设备标识。同年5月，SAP 发布了 Leonardo 生态系统，提供区块链云服务，以整合机器学习、物联网等前沿科技。中国移动与北京工业大学等联合研发工业数据连接测试床技术，以实现高效、安全、可信地共享产品与数据信息，从而解决用户与企业间不信任问题。

2. “区块链+生产”平台的运行机制

“区块链+生产”平台通过以下四种机制降低了信息不对称与交易成本，改变了企业生产经营决策的成本与收益结构，从而覆了传统的生产模式和生产关系，具体机制如下：

1) 溯源机制：溯源机制在生产领域的应用是指将企业从原材料采购、产品生产到客户销售等生产全过程的数据和信息记录入区块链。区块链技术的去中心化、去信任、信息不可篡改等特点能够在无需中心数据库以及第三方信任机构的情况下，使生产过程全程可监控，且由于生产全程信息不可篡改、不可抵赖，有利于建立互信、明晰责任、降低信息不对称从而提高经济效率。

2) 智能合约机制：智能合约机制是指参与人提前达成一套以数字形式定义的承诺并安装到区块中，当满足合约触发条件时，合约自动执行。区块链技术的去信任、匿名性和智能性等特点保证了区块链中的交易行为遵循协商一致的规范和协议（体现为区块链中既定的程序和算法）。智能合约可以解决企业生产以及销售中常见的违约问题，能够有效避免单方面违约等导致交易无法完成的风险。

3) P2P 机制：P2P 机制是指交易能够在去中介的各节点间直接完成。区块链技术的去中心化、开放性和智能性等特点保证了企业生产、研发以及销售时，能够实现各参与方点对点直接交易，极大的降低了交易成本。具体来看，企业在生产和研发过程中，通过 P2P 机制能够淡化实体企业组织边界的概念，能够促进区块链上的生产和研发资源以更低成本的方式配置，使产学研得以紧密结合，充分发挥协同创新和协同生产机制，拓展了无形的组织边界。P2P 机制也能够改变传统的以企业为主导的生产模式，实现人人参与生产过程，使用户能够创造、设计产品，以此形成以消费者需求为导向的生产模式。

4) 数字化双胞胎机制：数字化双胞胎机制是基于区块链技术与数字化双胞胎技术的紧密结合，形成对现实企业一对一的数字化镜像，对产品研发、产品制造、投产测试等过程乃至整个工厂运营进行虚拟仿真，通过对数字工厂的优化，实现对现实生产系统的优化，从而提高企业的柔性生产效率。区块链技术具有去信任、不可篡改、集体维护等特征，确保了数字化双胞胎机制的可信性，即确保了数字化是对现实真实、全面的一对一映射过程，此时的数据信息就具有了价值属性，实现了“数据是资产”的映射，实现了实物流、信息流和价值流的统一。

（三）“区块链+生产”推动企业绿色生产

企业缺乏绿色生产激励是市场机制不完全的表现，将区块链技术引入到生产中，通过发挥“区块链+生产”平台的上述运行机制，能够降低企业绿色生产的信息不对称和交易成本，纠正企业生产中外部性行为的成本和收益，进而充分发挥市场机制的力量，推动企业自发向绿色生产转型。

具体来看，“区块链+生产”的溯源机制促进企业生产过程信息透明流动，实现生产过程可追溯，降低企业选择绿色生产方式的信息不对称，提高绿色产品和非绿色产品的区别度，有效扩大绿色产品市场，提高企业进行绿色生产的预期收益。智能合约机制能够降低企业的交易成本，有效避免单方面违约等导致交易无法完成的风险，尤其是能降低绿色产品库存积压以及绿色生产投入成本沉淀的风险。P2P 机制能促进信息和资源的充分流动，激励企业突破组织边界以最有效率的方式组织创新资源，降低绿色生产技术的研发与使用成本，促进各主体有效协同创新。数字化双胞胎机制能够对企业的全部资产进行一对一映射，形成有价值属性的数字化工厂，实现实物流、信息流和价值流的统一，从而有助于企业提高柔性生产效率，降低企业绿色生产的组织成本、生产成本等。举例来说，区块链中的数字化双胞胎机制能够使股权投资者手持的数字权益不仅仅是一个等价证券，而是完整的数字化工厂的一部分。由此来看，数字化双胞胎机制实现了“生产即金融，金融即生产”，能够更有效的实现金融对于实体经济的支撑，有效解决了企业绿色生产、绿色技术研发与经营过程中的融资约束问题。

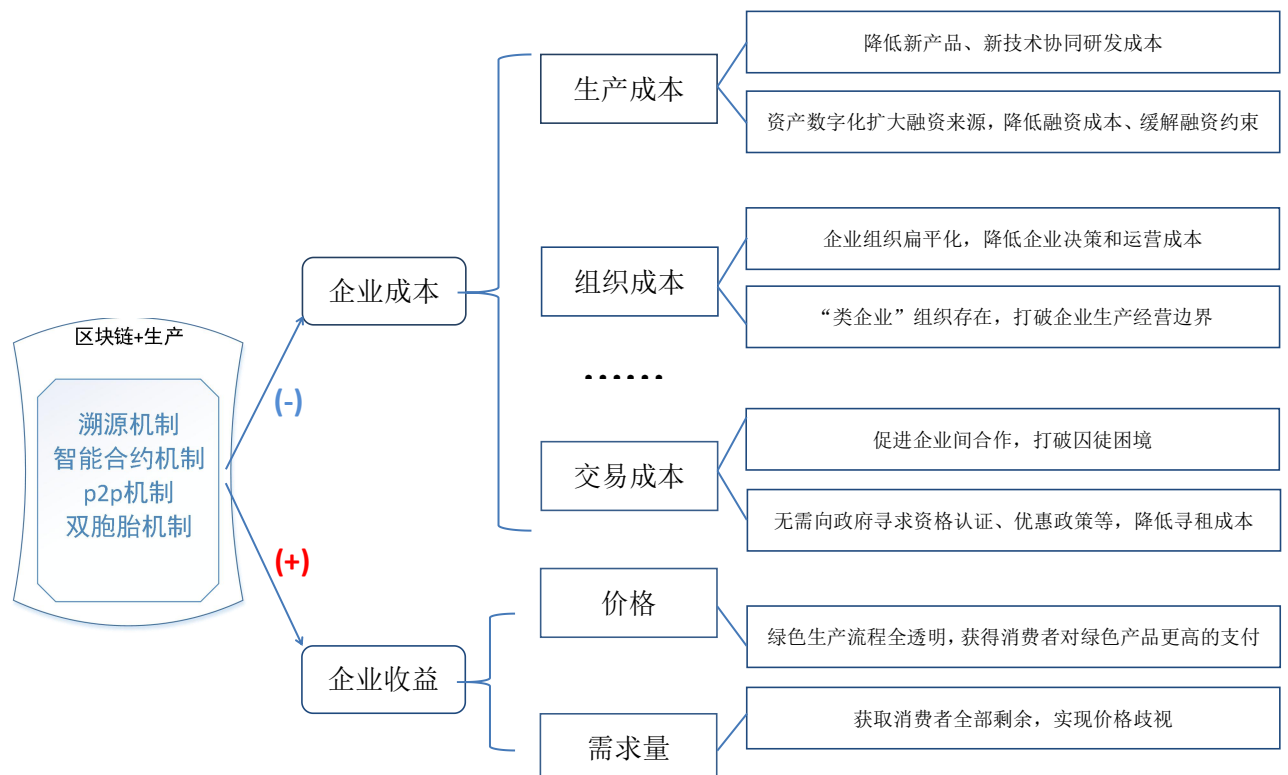


图1 “区块链+生产”改变企业生产的成本与收益

三、模型构建

本文分析的核心问题是,企业绿色生产存在正外部性,由此导致企业绿色生产供给不足,面对市场失灵,政府如何有效激励企业向绿色生产方式转型。具体来看,本模型集中探讨了政府的三种策略选择:1)政府构建“区块链+生产”平台;2)政府实施财政补贴政策;3)政府“无为而治”。在产品生产方式决策环节,不同于大部分关于绿色生产决策的博弈模型将研究视角放在了上下游企业(尚文芳、陈优优,2018)以及消费者需求(王永明等,2018)等如何构建绿色生产供应链问题,本文从制造商横向竞争的视角,研究政府三种策略选择对企业生产方式决策的影响。由此,该问题归集于在不同的市场需求和生产成本结构假设下的企业间竞争问题,具体模型构造如下:

(一) 模型主体假设

1. 企业假设

本文假设某产品市场中存在两个企业1和2,生产的产品对消费者而言没有显著差异,可完全相互替代,其产量分别为 q_1 和 q_2 。企业有两种生产方式生产该产品,一种为传统生产方式(O),另一种为绿色生产方式(G)。如果企业选择绿色生产方式制造产品,虽然不会对环境造成破坏,但增加了企业生产成本。在此假设传统生产方式下企业的生产成本为0;而与之相比,绿色生产的成本为 $\frac{FC}{N} + gq$,FC为购买绿色生产设备等的初始投入,采用年限平均法摊销后每年计入生产成本为 $\frac{FC}{N}$, g 为绿色生产的边际成本。

2. 政府假设

本文假设传统生产方式生产产品会对环境造成破坏,破坏系数为 θ ,用传统方式生产的产品越多对环境的破坏越大为 θq 。虽然企业不需要为生产过程造成的环境破坏承担任何成本,但政府基于满足公众对环境保护的诉求,需要对环境破坏负责。由于两种方式下的产品可替代,而企业不必承担传统生产方式对环境造成破坏的代价。这是典型的负外部性问题,市场失灵导致企业选择绿色生产方式的激励不足。

面对市场失灵,政府通常采用传统的政策工具,如对生产设备补贴、实施税收优惠以及绿色产品资格认证等方式鼓励企业绿色生产。在此,本文假设政府对购买绿色生产设备的企业给予每单位产品 s 的绿色生产补贴。与此同时,政府能够对获得补贴的企业进行监督,因此企业获得绿色生产补贴但未进行绿色生产的道德风险行为会以 δ 概率被查处罚金 PC ^①。

除此之外,本文着重分析了构建“区块链+生产”平台对于企业绿色生产决策的影响。考虑区块链平台构建的成本大、资金投入高且具有较强的网络外部性,本文假设区块链平台属于政府提供建设的基础设施,是政府的财政支出行为。本文将政府构建与使用“区块链+生产”平台的成本分成两部分,第一部分是初始投入的固定成本 GI ,假设其预计使用年限为 T 年,采用年限平均法对固定资产进行摊销,则“区块链+生产”平台的年均固定成本记为 $\frac{GI}{T}$;第二部分是与使用“区块链+生产”平台相关的运营成本 OC ,具体可包括政府对平台风险防控支出、对平台运营的维护成本等。如果政府选择构建“区块链+生产”平台,则所有生产企业的全部生产过程实时可监控。对于消费者而言,企业是否选择绿色生产方式便一目了然,不存在不对称信息。与此同时,由于“区块链+生产”平台具有促进要素流动,整合技术资源优势的作用,如果两家企业在区块链体系下都选择绿色生产方式,则此时企业进行绿色生产的边际成本下降为 $\gamma g(0 < \gamma < 1)$ 。

面对市场外部性,政府也可以选择“无为而治”。在此情况下,只有企业掌握生产过程

^① δ 是对政府治理能力的综合衡量,它的大小反映了政府监管能力、政府腐败情况等。

信息,企业可根据实际生产情况决定是否购买绿色生产设备,但企业有动机对外宣称其生产过程为绿色生产方式。对此,消费者只能凭借社会经验估计企业采取绿色生产方式的可能性,给予产品期望支付意愿。虽然政府“无为而治”既不需要投入财政补贴资金,也不需要承担构建“区块链+生产”平台的成本,但需要为企业非绿色生产行为对环境造成的破坏“买单”。

(二) 产品市场需求假设

本文假设消费者对产品的市场需求为 $P = a_t - Q$, $t = \{O,G\}$, a_o 和 a_G 为消费者对于非绿色产品和绿色产品的最高支付意愿, Q 为市场总需求。假设存在两类消费者^①,一类是环保意识高的消费者,其占比为 η ;另一类是环保意识低的消费者,其占比为 $1 - \eta$ (其中, $0 < \eta < 1$)。两类消费者的关键区别在于,环保意识高的消费者对绿色产品具有更高的支付意愿,即 $a_G^h > a_G^l$;当市场中同时存在绿色产品和非绿色产品时,环保意识高的消费者愿意支付高价购买绿色产品,而环保意识低的消费者购买非绿色产品。

在政府不同的策略选择下,消费者对于企业是否进行绿色生产的认知不同,对产品的支付意愿不同,具体来看如下:

1) 当政府构建“区块链+生产”平台时,消费者对于企业生产过程全程可知,不存在任何信息不对称。此时,如果两个企业同时选择绿色生产,消费者对绿色产品的最高支付意愿 a_G 为两类消费者对绿色产品的加权支付意愿 $a_G = \eta a_G^h + (1 - \eta) a_G^l$;如果两家企业同时选择非绿色生产方式,则 $a_o = \eta a_o^h + (1 - \eta) a_o^l$;如果一家企业生产绿色产品,另一家企业生产非绿色产品,由于生产过程全程可知,两种生产方式生产的产品便分属于不同的市场,此时环保意识高的消费者购买绿色产品, $a_G^D = a_G^h$;环保意识低的消费者选择购买非绿色产品, $a_o^D = a_o^l$ 。^②

2) 当政府对绿色生产企业进行财政补贴时,由于政府的监督机制以及企业购买设备的“可置信”投入,政府对企业的绿色生产补贴可视为向消费者释放了企业绿色生产的积极信号,消费者凭借对政府的信任,把获得绿色生产补贴的产品视为绿色产品,其支付意愿为 $a_G = \eta a_G^h + (1 - \eta) a_G^l$ 。^③

3) 当政府“无为而治”时,由于信息不对称,企业有动机对外宣称其生产过程为绿色生产方式,而消费者只能凭借对社会信任、道德水平等社会经验形成对企业生产方式的判断,给予产品期望支付意愿。在此情况下,消费者对产品的支付意愿为 $P = a^E - Q$, $a^E = \lambda a_G + (1 - \lambda) a_o$,其中 λ 可视为消费者对社会信任水平的衡量。^④

(三) 博弈树

本文假设政府首先行动,可以选择的策略包括构建“区块链+生产”平台(B)、财政补贴(S)以及“无为而治”(N)。接下来,企业1和企业2同时决策是采用传统的生产方式(O)还是绿色生产方式(G)。由上文所述,政府不同的策略选择与企业不同的生产方式组合下,企业面临不同的消费者需求与生产成本结构。在此条件下,本文假设两个企业在产品市场中进行产量博弈,以其在产品市场中获得的最大利润为其不同生产方式决策的支付收益。具体的博弈树如下图2所示:

^① 此处对于消费者类型的假设,来自于匿名审稿人的建设性意见,特此表示感谢,当然文责自负。

^② 由于本文假设绿色产品与非绿色产品只存在生产方式的差别,因此只有两家企业同时处于“区块链+生产”平台中且分别选择不同的生产方式时,产品会因其生产方式的不同被区分为两个不同的市场。

^③ 如果在信息完全的市场中,政府绿色生产补贴的对象仅为采用绿色生产方式的企业,此时能够充分发挥政府行为的信号机制。但在实际中,当政府对企业进行绿色生产补贴时,由于信息不对称、监督机制无效以及政府设租寻租的可能,助长了企业获得绿色生产补贴后不进行绿色生产的道德风险行为。此时,政府行为的信号机制减弱,公众会根据社会经验对信号机制的可信性进行调整,也就是说消费者会根据社会道德水平、政府腐败程度等,形成对于获得补贴的企业实际采取绿色生产概率的判断。但在此处,本文的重点是强调政府之手相对于“无为而治”具有释放信号的作用,为了分析的简化,并未过多考虑公众对政府信号的可信性问题。虽然该假设抽象了现实,但模型的简化是为了更直接的揭示政府行为的信号机制对经济主体决策的可能影响。

^④ 在此情况下,由于生产过程不可知,两家企业生产的产品视为完全同质, $a^E = \lambda a_G + (1 - \lambda) a_o$,其中 $a_G = \eta a_G^h + (1 - \eta) a_G^l$, $a_o = \eta a_o^h + (1 - \eta) a_o^l$ 。

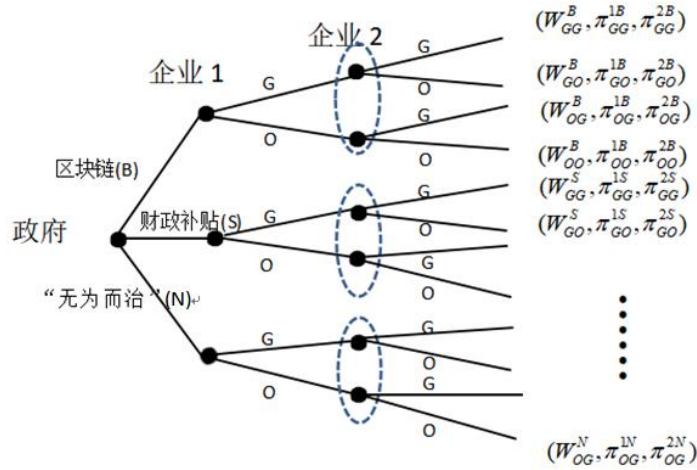


图 2 博弈树

(四) 支付假设

下面，进一步给出博弈的具体支付。与一般直接给出各种路径下的支付不同的是，本文假设在政府策略选择后，两个生产企业 1 和 2 之间在产品市场上存在策略互动。对此，首先计算在不同的政府策略下，各企业的均衡利润，以此作为其在各种策略选择下的支付。进一步按照逆向归纳法，求解政府在不同策略下的政府福利函数，从而求得本模型中各参与主体完整的支付情况。

1. “区块链+生产”平台

在本模型中，进一步假设“区块链+生产”平台能够充分发挥上节所述的四种机制，实现信息完全与要素完全自由流动。其具体表现为：溯源机制使企业生产过程不存在信息不对称，因此消费者能够清楚的对企业不同生产方式下的产品给予不同的支付意愿；智能合约机制能够使企业实现一级价格歧视，获得全部的消费者剩余；当两家企业同时采用绿色生产方式时，通过发挥 P2P 机制、数字化双胞胎机制等能够实现资源要素完全自由流动，企业绿色生产的边际成本降低为 γg （其中， $0 < \gamma < 1$ ）。

表 2 “区块链+生产”平台的应用与本文模型中的假设

“区块链+生产”平台运行机制	经济学视角的应用价值	在本文模型中的进一步假设
溯源机制	降低信息不对称与交易成本	消费者能够准确掌握厂商生产方式信息，并能够对绿色产品和非绿色产品给予不同的支付意愿。
智能合约机制		企业对消费者支付意愿信息完全可知，能够实现完全价格歧视，按照 $P=MC$ 进行生产，并获得全部消费者剩余。
P2P 机制		实现技术、创新与金融等资源要素自由流动，降低企业绿色生产边际成本。
数字化双胞胎机制		

在此情况下，本文求解了两个企业选择不同生产方式时的最大利润以及在企业选择不同的生产方式时政府的福利函数，具体结果详见附录 A1。

2. 财政补贴

如果政府实施财政补贴等传统的政策工具,对购买了绿色生产设备的企业给予每单位产品 s 的生产补贴,企业的成本函数将会发生改变。由于本文的重点不在于探讨政府财政补贴配置的合意性问题,所以本文假设两家企业均购买了绿色生产设备且都获得了财政补贴。虽然政府对获得补贴的企业能够进行监督,但企业生产过程仍然存在信息不对称,助长了企业的道德风险行为,其典型表现为企业获得财政补贴但实际生产中仍采取传统的生产方式。在此处,本文假设企业道德风险行为被查处的概率为 δ , 处罚金额为 PC 。除此之外,政府对企业绿色生产补贴也能向消费者释放企业绿色生产的积极信号,此时消费者对于产品的支付意愿为 $P = a_G - Q$ (其中, $a_G = \eta a_G^h + (1 - \eta)a_G^l$)。在政府财政补贴策略下,两个企业进行古诺产量竞争,具体博弈支付结果详见附录 A2。

3.“无为而治”

当政府不对经济进行任何干预时,两家企业都存在声称其采用绿色生产方式以获得消费者较高支付意愿的激励。由于缺乏监督机制^①,存在信息不对称,企业可以根据实际生产情况选择是否购买绿色生产设备,而消费者只能根据经验如社会普遍诚信水平、道德水平等估计企业实际采取绿色生产方式的可能性 λ ,对产品的支付意愿为 $P = a^E - Q$,其中 $a^E = \lambda a_G + (1 - \lambda)a_0$ (其中, $a_G = \eta a_G^h + (1 - \eta)a_G^l$, $a_0 = \eta a_0^h + (1 - \eta)a_0^l$)。在此情况下,企业 1 和企业 2 在产品市场上进行古诺产量竞争,具体博弈支付结果详见附录 A3。

四、模型求解与分析

根据动态博弈逆向归纳求解规则,首先找出模型后一阶段博弈的均衡解,再进行政府策略选择。对此,本文逐一讨论了在政府不同的策略下,两个企业博弈的均衡情况。

(一) 企业决策

1.政府构建“区块链+生产”平台^②

在此情况下,本文定义 $\Delta\pi_1^{2G}$ 为当企业 2 绿色生产时,企业 1 选择绿色生产方式相比于选择传统生产方式的利润空间:

$$\Delta\pi_1^{2G} = \frac{(a_G - \gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N} - \frac{[a_0^D]^2}{2} \quad (1)$$

本文定义 $\Delta\pi_1^{2O}$ 为当企业 2 选择传统生产方式时,企业 1 选择绿色生产方式相比于选择传统生产方式的利润空间:

$$\Delta\pi_1^{2O} = \frac{(a_G^D - g)^2}{2} - \frac{FC}{N} - \frac{a_0^2}{4} \quad (2)$$

如果 $\Delta\pi_1^{2G} > 0$, 企业 1 选择绿色生产, 如果 $\Delta\pi_1^{2O} > 0$, 企业 1 选择绿色生产。从企业 1 的利润空间函数 $\Delta\pi_1^{2G}$ 、 $\Delta\pi_1^{2O}$ 的定义式可知, 决定企业是否选择绿色生产的关键因素为消费者对于绿色产品的支付意愿大小以及高环保意识消费者所占比重、购买绿色生产设备的投入成本以及同时进行绿色生产带来的成本下降幅度。具体来看, 当消费者对于绿色产品的支付意愿 a_G 越高, 消费者对于非绿色产品的支付意愿 a_0 越低, 高环保意识消费者占比 η 越大, 则企业选择绿色生产的市场需求越大, 利润空间越大。绿色生产的固定成本 $\frac{FC}{N}$ 越低, γ 越小, 企

^① 实际上, 即使政府“无为而治”不对经济主体运行进行任何干预, 社会公众也具有不可忽视的监督力量。在此处, 本文简化假设政府“无为而治”时, 不存在任何的监督机制是为了比政府对经济运行的信号释放机制。

^② 此处具体的推导过程, 详见于附录 A4。

业选择绿色生产方式的利润空间越大。

如果 $\Delta\pi_1^{2G}$ 与 $\Delta\pi_2^{2G}$ 同时大于0，企业1与企业2同时选择绿色生产方式。在此情况下，政府只需要投入初始成本 GI 和必要的运营成本 OC ，建立与使用“区块链+生产”平台，充分发挥“完全竞争机制”，两个企业同时主动选择绿色生产方式，此时政府的福利函数 $W_{GG}^B = \frac{GI}{T} - OC$ 。

2.政府财政补贴^①

在此情况下，本文定义当企业2选择绿色生产时，企业1发生道德风险行为的动机为：

$$\Delta\pi_{1MH}^{2G} = \pi_{0G}^{1S} - \pi_{GG}^{1S} \frac{4g(a_G+s)}{9} - \delta PC \quad (3)$$

当企业2选择传统方式生产时，企业1发生道德风险行为的动机为：

$$\Delta\pi_{1MH}^{2O} = \pi_{0O}^{1S} - \pi_{GO}^{1S} \frac{4g(a_G+s-g)}{9} - \delta PC \quad (4)$$

由以上两式可知 $\Delta\pi_{1MH}^{2G}$ 和 $\Delta\pi_{1MH}^{2O}$ 取决于企业发生道德风险行为时多获得的收益与被查处的代价间的权衡。如果 $\Delta\pi_{1MH}^{2G} > 0$ ，说明在企业2选择绿色生产时，企业1选择传统生产方式，发生道德风险行为更有利可图。如果 $\Delta\pi_{1MH}^{2O} > 0$ ，说明在企业2选择传统生产方式时，企业1选择传统生产方式，发生道德风险行为更有利可图。

道德风险行为的动机 $\Delta\pi_{1MH}^{2G}$ 和 $\Delta\pi_{1MH}^{2O}$ ，与政府补贴 s 正相关，与消费者对于环保支付意愿和高环保意识消费者的比重正相关，与企业道德风险行为被查处的可能性和处罚金额负相关。由此可知，当政府对企业进行财政补贴时，在政府监督有效性较低或力度不足时，财政补贴不仅带来财政支出的负担，也直接为企业发生道德风险行为带来了更大的利润空间。由于政府补贴的“伪资格”认证，消费者环保意识越强、对绿色产品的市场需求越大，越增大了企业发生道德风险行为的动机。由此发现，当政府监管有效性不足、力度不强时，政府鼓励企业绿色生产的财政补贴政策反而提高了企业非绿色生产的动机，产生了“政府补贴悖论”效应。

尤其是，在 $\delta = 0$ 的极端假设下，不存在任何有效监管机制对企业道德风险行为进行约束，两家企业选择非绿色生产方式都是占优策略。在此情况下，“伪资格”认证导致企业生产非绿色产品获得了更大的市场需求以及更高的利润空间，因此企业会生产更多的非绿色产品，政府补贴反而加重了环境污染，此时政府福利函数为 $W_{00}^S = \frac{-2(s+\theta)(a_G+s)}{3}$ 。

3.政府“无为而治”^②

当政府“无为而治”时，消费者无法清楚掌握企业的实际生产方式，因此只能根据社会经验，给出对产品的期望支付意愿。此时，企业生产的产品处于同一市场，面临相同的期望价格，企业选择绿色生产方式只会增加额外的成本。两家企业的最优选择是都采用传统的生产方式。在此情况下，政府虽不用为干预经济而支付任何的成本，但仍要为企业采用传统生产方式对环境造成的破坏“买单”，此时 $W_{00}^N = \frac{-2a^E\theta}{3}$ 。

如果消费者认为社会信任水平 λ 较高，则消费者对于企业会选择绿色生产方式的认可度较高，此时消费者对产品的期望支付意愿 a^E 较高，市场需求更大，两家企业的产量更高，此时选择传统生产方式的企业对环境造成的破坏更大，即出现了“社会信任悖论”效应。

(二) 政府决策

^① 附录A5列示了在政府财政补贴时，两家企业博弈的支付矩阵。

^② 附录A6列示了在政府“无为而治”的情况下，两家企业博弈的支付矩阵。

本模型假设政府拥有三种策略选择：其一为构建“区块链+生产”平台；其二为实施以财政补贴为代表的传统的政策工具；其三为政府“无为而治”，不对经济行为进行任何干预。

如果政府构建“区块链+生产”平台且两个企业都采用绿色生产方式时，企业生产不会对环境造成破坏，政府福利函数为 $W_{GG}^B = -\frac{GI}{T} - OC$ 。

如果政府对企业进行绿色生产补贴，当 $\delta = 0$ 时，两个企业的最优决策是发生道德风险行为，都选择传统生产方式。在此情况下，政府不仅要支付财政补贴而且要对企业生产造成的环境破坏“买单”，此时政府福利函数为 $W_{OO}^S = \frac{-2(s+\theta)(a_G+s)}{3}$ 。

如果政府对经济活动“无为而治”，由于信息不完全导致的市场失灵让企业的绿色产品和非绿色产品无任何差异。在面对相同的产品支付意愿时，两个企业的最优决策是采用传统生产方式，此时政府福利函数为 $W_{OO}^N = \frac{-2a^F\theta}{3}$ 。

政府根据上述三种策略的支付大小进行权衡比较，选择收益最大（成本最小）的策略。根据上述博弈的结果，可知当 $W_{GG}^B > W_{OO}^S$ 且 $W_{GG}^B > W_{OO}^N$ 时，政府的最优选择是构建“区块链+生产”平台。接下来，本文具体讨论了在什么假设情况下，政府选择构建“区块链+生产”平台是最优策略。

1. “区块链+生产”平台或财政补贴

首先定义政府构建“区块链+生产”平台与实施财政补贴策略相比的福利改进空间函数为：

$$\Delta W^{BS} = W_{GG}^B - W_{OO}^S = -\frac{GI}{T} - OC + \frac{2(s+\theta)(a_G+s)}{3} \quad (5)$$

$\Delta W^{BS} > 0$ 表明相比于财政补贴，政府选择构建“区块链+生产”平台的福利更高，且由于“政府补贴悖论”效应存在，导致政府补贴越多，企业非绿色生产的激励越强，对环境造成的破坏越大，从而政府选择构建“区块链+生产”平台的福利改进空间越大。

1) $\frac{\partial W^{BS}}{\partial T} > 0$, $\frac{\partial W^{BS}}{\partial GI} < 0$, $\frac{\partial W^{BS}}{\partial OC} < 0$ ：“区块链+生产”平台的使用时间 T 越长，政府构建平台的初期投入成本 GI 越少，运营成本 OC 越小，政府选择构建“区块链+生产”平台的激励越强。

2) $\frac{\partial W^{BS}}{\partial \theta} > 0$ ：当非绿色产品对环境破坏程度 θ 越大时，选择构建“区块链+生产”平台的激励越大。如果考虑环境系统的承载能力有限，随着环境破坏的累积，则 θ 为时间 t 的增函数。当进一步假设 $\frac{\partial \theta}{\partial t} > 0$ ，则政府在财政补贴方式下，传统生产方式对环境破坏随时间推移不断加重。因此，如果考虑时间动态下环境破坏的累积性，构建“区块链+生产”平台的激励更强。

3) $\frac{\partial W^{BS}}{\partial s} > 0$ ：政府对绿色生产的补贴越高，其构建“区块链+生产”平台的激励越强。原因在于，当缺乏有效监督机制时，政府对绿色生产进行补贴，只会增加企业采用传统生产方式的利润，从而“鼓励”企业实际生产时采用传统的生产方式生产更多的产品，因此财政补贴减少了政府福利，这既包括产量扩大导致政府财政补贴支出的增加，也包括生产更多的非绿色产品对环境造成更大程度的破坏。

2. “区块链+生产”平台或“无为而治”

与选择“无为而治”的策略相比，政府构建“区块链+生产”平台的福利改进空间函数

可定义为：

$$\Delta W^{BN} = W_{GG}^B - W_{OO}^N = -\frac{GI}{T} - OC + \frac{2a^E\theta}{3} \quad (6)$$

当它大于 0 时，政府选择构建“区块链+生产”平台，且其值越大，政府构建“区块链+生产”平台的动机越强。

1) $\frac{\partial W^{BN}}{\partial T} > 0$, $\frac{\partial W^{BN}}{\partial GI} < 0$, $\frac{\partial W^{BN}}{\partial OC} < 0$: 当“区块链+生产”平台使用时间 T 越长，政府构建平台成本 GI 与运营成本 OC 的投入越少，政府越倾向于选择构建“区块链+生产”平台。

2) $\frac{\partial W^{BN}}{\partial \theta} > 0$: 当生产非绿色产品对环境的破坏 θ 越大，政府越倾向于选择构建“区块链+生产”平台。

3) $\frac{\partial W^{BN}}{\partial a^E} > 0$: 当公众根据社会信任水平对企业绿色生产行为判断的可能性越高时，公众对于产品的期望支付意愿越高，产品的市场需求量越大。当缺乏有效的监督机制时，公众对企业信任程度越高，企业生产非绿色产品的数量越多，对环境破坏越大，出现了“社会信任悖论”效应。当然，根据适应性预期理论，公众对于企业生产方式的判断会不断调整，以接近真实情况，但这通常需要漫长的时间。如果能建立有效发现企业生产行为的信息披露机制，公众预期调整时间将会缩短。

3. 财政补贴或“无为而治”

本文定义政府实施财政补贴策略与“无为而治”策略相比的福利改进空间函数为：

$$\Delta W^{SN} = W_{OO}^S - W_{OO}^N = \frac{2a^E\theta}{3} - \frac{2(s+\theta)(a_G+s)}{3} \quad (7)$$

如果 $\Delta W^{SN} > 0$ ，政府采取对绿色生产企业进行财政补贴的收益大于“无为而治”的策略。在缺乏有效监督的信息不完全的市场中，政府的两种策略选择分别存在“政府补贴悖论”效应和“社会信任悖论”效应，两者之间的比较是对政府失灵和市场失灵损失的权衡，是对政府之手是否能够有效干预市场经济的朴素解答。

1) 政府补贴 s 越大其引发的“政府补贴悖论”效应越大，相比于没有财政补贴的市场失灵情况，获得补贴后企业生产非绿色产品的激励更大，即政府之手不但没能有效的弥补市场失灵，反而造成了更大程度的政府失灵。

2) 社会公众对企业绿色生产的信任越高，其预期支付意愿 a^E 越大，由此造成对环境更大的破坏。但是在适应性预期假设下，公众对于企业生产行为的判断会逐渐地趋于真实判断，因此随着时间推移，市场失灵的损失随着公众认知水平的提高而下降；与此相对的是，政府对于企业补贴相当于对企业绿色生产行为的资格认证，因此公众对于企业的信任问题转化为了公众对于政府信任的问题，导致公众对于企业生产行为认知的适应性调整更难，调整周期更长。

五、研究结论与对策建议

(一) 研究结论

1.) “区块链+生产”的经济学价值与推动企业绿色生产方式转型的影响因素

1) “区块链+生产”平台利用区块链技术去中心化、去信任、智能性等特点，通过发挥溯源机制、智能合约机制、P2P 机制、数字化双胞胎机制能降低信息不对称与交易成本，提高资源配置效率，从而改变企业“外部性”行为决策的成本与收益结构，鼓励企业增加“正外

部性”行为的投入，推动企业向绿色生产方式转型。

2) 处于“区块链+生产”平台中的企业是否进行绿色生产的影响因素包括以下几方面。从生产成本角度看，绿色生产技术的投入成本与使用年限不可忽视，除了初始固定成本的年均摊销外，也要考虑协同绿色生产对用成本的降低；从收益角度看，消费者对于绿色产品和非绿色产品的支付意愿的差别，也即消费者的环保意识是至关重要的。

3) “区块链+生产”平台的构建与其他基础网络设施相似，其年均摊销成本取决于初始投入的高低以及摊销年限的预期。除了考虑成本外，企业在“区块链+生产”平台中主动选择绿色生产减少对环境的破坏可看作是政府建立“区块链+生产”平台的收益。随着环境生态破坏的累积，非绿色产品的边际环境污染程度提高，因此对政府构建“区块链+生产”平台提出了更迫切的要求。

2.技术进步为寻求更合意的政府之手提供了新思路

政府是否构建“区块链+生产”平台除了对于平台建设本身的成本与收益的考量外，也要权衡政府其他策略选择的支付大小。1) 政府采取以财政补贴为代表的传统的政策工具时，由于其缺乏有效监督机制，导致了“政府补贴悖论”效应，即政府补贴越多对企业非绿色生产的激励越大，对于环境的破坏越大。2) 如果政府“无为而治”，不采取任何措施干预经济时，由于缺乏有效的生产披露机制，导致企业道德风险行为泛滥，出现“社会信任悖论”效应，也就是在市场失灵的情况下公众对企业采取绿色生产方式的信任度越高，通过产品市场需求的扩大和支付意愿的提高，反而激励企业进行非绿色生产。

模型结论揭示了在现实经济中，市场失灵普遍存在，这是市场经济运行需要政府之手的最本质的逻辑。但我们也发现，无论是经济运行中普遍存在的政策失灵还是模型所解释的政府“伪资格”认证引发的“政府补贴悖论”效应，政府之手存在失灵，甚至在某些情况下，政府失灵造成的损失超过了原本的市场失灵。

对上述问题的分析，虽不是对“区块链+生产”平台能否推动企业向绿色生产方式转型的直接回答，但是揭示了由于政府失灵与市场失灵的客观存在，我们必须思考的不是政府存在的意义以及政府干预经济是否必要的问题，而是如何有效运用政府之手的问题。如模型所主张的以构建“区块链+生产”平台为代表的技术进步能够为寻求更合意的政府之手提供新思路。

(二) 对策建议

1.区块链应用的可行性与成本问题——加大科技投入与促进协同创新

虽然本文论证并提出了“区块链+生产”平台是推动企业自发向绿色生产方式转型的可行路径，但构建“区块链+生产”平台的成本问题不可忽视。同其他的基础网络设施相似，其年均摊销成本取决于初期投入成本以及摊销年限。除此之外，有效运转“区块链+生产”平台以及对其进行有效的风险防控，仍需要巨大的成本投入。现阶段世界各国对区块链技术的研究仍处于刚刚起步阶段。诚然，以现阶段的技术实现本模型假设的“完全竞争市场”类区块链平台建设属于“乌托邦式”的愿景，但不可否认的是同其他科技进步一样，新技术的出现都意旨减少摩擦力，对现实交易进行效率改进。现阶段，得到广泛关注的物联网技术是实现“区块链+生产”平台有效运转的基础技术之一，未来区块链技术的开发与应用仍任重道远，需要持续不断的大规模科技投入以及国家间、区域间、部门间广泛的协同创新。

2.消费者需求能够为想要的世界投票——培育环保型消费观

消费者环保消费意识是企业生产绿色产品最本质的激励来源。如果消费者不具备环保型消费观，“价廉”就是消费选择的“理性”标准，消费者不会对环保产品给予更高的支付意愿，不会为环境的改善给予企业绿色生产必要的成本补偿，显然企业不会生产绿色产品。从这个意义上说，消费者的需求就是为想要的世界投选票。因此，弘扬可持续发展观，培育环境友好型的消费观，是激励企业绿色生产的根本动力。

3.对于传统的政府之手合意性的思考——建立有效的公众参与和监督机制

市场失灵的普遍存在要求政府有所作为,但我们必须承认的是政府行为存在失灵的可能。如本文所论述的“政府补贴悖论”效应甚至会“激励”企业扩大对非绿色产品的生产,造成了更程度的环境破坏。因此,我们必须思考如何能够选择更合意的政府之手。当然,科技进步是本文倡导的可行路径,但对于现阶段政府普遍采用的传统政策工具失灵问题不容小视。政府权力的滥用、寻租的泛滥以及政策执行的不到位造成了政府“低效”甚至“无效”。建立有效的监督机制与公众参与的现代化国家治理体系,是规范政府行为、提高政府治理能力急需解决的现实问题。

参考文献:

翟晨曦 徐伟 徐坤 袁康 郭理靖 何磊 梁晨, 2018:《区块链在我国证券市场的应用与监管研究》,《金融监管研究》第7期。

范忠宝 王小燕 阮坚, 2018:《区块链技术的发展趋势和战略应用——基于文献视角与实践层面的研究》,《管理世界》第12期。

李建军 朱烨辰, 2017:《数字货币理论与实践研究进展》,《经济学动态》第10期。

林木西 张紫薇 和军, 2018:《研发支持政策、制度环境与企业研发投入》,《上海经济研究》第9期。

李青 张鑫, 2017:《区块链:以技术推动教育的开放和公信》,《远程教育杂志》第1期。

乔鹏程, 2017:《分布式账本技术:区块链与经济管理研究的国际演进——Citespace 和 NVivo 计量与多数据比较》,《科技进步与对策》第23期。

戚学祥, 2018:《区块链技术在政府数据治理中的应用:优势、挑战与对策》,《北京理工大学学报(社会科学版)》第5期。

尚文芳 陈优优, 2018:《基于消费者环保意识的绿色供应链策略研究》,《工业技术经济》第8期。

王永明 张爱雪 彭春芽, 2018:《政府补贴下考虑产品环保程度及消费者环保意识的绿色供应链决策模型》,《科技与经济》第5期。

杨慧琴 孙磊 赵西超, 2018:《基于区块链技术的互信共赢型供应链信息平台构建》,《科技进步与对策》第5期。

袁勇 王飞跃, 2016:《区块链技术发展现状与展望》,《自动化学报》, 2016 第4期。

朱庆华 窦一杰, 2007:《绿色供应链中政府与核心企业进化博弈模型》,《系统工程理论与实践》第12期。

Apte, S. & N.Petrovsky(2016), “Will block-chain technology revolutionize excipient supply chain management?”, *Journal of Excipients and Food Chemicals* 7(3):76-78.

Kiran, M. & M.Stannett(2015), “Bit-coin risk analysis”, <http://www.nemode.ac.uk/wp-content/uploads/2015/02/2015-Bit-Coin-risk-analysis.pdf>.

Swan, M.(2015), “Block-chain thinking: The brain as a decentralized autonomous corporation”, *IEEE Technology and Society Magazine* 34(4):41-52.

Walch, A.(2015), “The Bitcoin block-chain as financial market infrastructure: A consideration of operational risk”, *New York University Journal of Legislation and Public Policy* 18(4):837-893.

附录

附录 A1:

附表 1 列示了当政府构建“区块链+生产”平台时，在企业 2 选择不同的生产方式时，企业 1 的需求与成本条件。^①由于企业 2 与企业 1 面临相同的需求与成本条件，本文在此处不再赘述。

附表 1 企业 1 (在企业 2 的策略选择下) 面临的需求与成本条件

			企业 2	
			绿色生产	传统生产
企业 1	绿色生产	需求	$P_1 = a_G - (q_1 + q_2)$	$P_1 = a_G^D - q_1$
		成本	$TC_1 = \frac{FC}{N} + \gamma g q_1$	$TC_1 = \frac{FC}{N} + g q_1$
	传统生产	需求	$P_1 = a_G^D - q_1$	$P_1 = a_0 - (q_1 + q_2)$
		成本	$TC_1 = 0$	$TC_1 = 0$

在此情况下，本文求解了两个企业选择不同生产方式时的最大利润，分别为：

$$\pi_{GG}^{1B} = \frac{[a_G - \gamma g]^2}{4} - \frac{FC}{N}, \pi_{GG}^{2B} = \frac{(a_G - \gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N}; \pi_{GO}^{1B} = \frac{(a_G^D - g)^2}{2} - \frac{FC}{N}, \pi_{GO}^{2B} = \frac{[a_G^D]^2}{2}; \pi_{OG}^{1B} = \frac{[a_G^D]^2}{2}, \pi_{OG}^{2B} = \frac{(a_G^D - g)^2}{2} - \frac{FC}{N}; \pi_{OO}^{1B} = \frac{(a_0)^2}{4}, \pi_{OO}^{2B} = \frac{(a_0)^2}{4}。 \textcircled{2}$$

在企业的各种生产方式选择下，政府构建“区块链+生产”平台的政府福利函数^③分别为：

$$W_{GG}^B = -\frac{GI}{T} - OC, W_{GO}^B = -\frac{GI}{T} - OC - \theta a_G^D, W_{OG}^B = -\frac{GI}{T} - OC - \theta a_0^D, W_{OO}^B = -\frac{GI}{T} - OC - \theta a_0。 \textcircled{4}$$

附录 A2:

在政府财政补贴策略下，两个企业进行古诺产量竞争。本文求解两家企业在不同的生产方式选择下，其各自的最大利润如下：

$$\pi_{GG}^{1S} = \frac{(a_G + s - g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \pi_{GG}^{2S} = \frac{(a_G + s - g)^2}{9} - \frac{FC}{N}; \pi_{GO}^{1S} = \frac{(a_G + s - 2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \pi_{GO}^{2S} = \frac{(a_G + s + g)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC; \pi_{OG}^{1S} = \frac{(a_G + s + g)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC, \pi_{OG}^{2S} = \frac{(a_G + s - 2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}; \pi_{OO}^{1S} = \frac{(a_G + s)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC, \pi_{OO}^{2S} = \frac{(a_G + s)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC。$$

在上述古诺均衡下，计算政府进行财政补贴时的政府福利函数分别为：

$$W_{GG}^S = \frac{-2s(a_G + s - g)}{3}, W_{GO}^S = \frac{-s(2a_G + 2s - g)}{3} - \frac{\theta(a_G + s + g)}{3} + \delta PC, W_{OG}^S = \frac{-s(2a_G + 2s - g)}{3} - \frac{\theta(a_G + s + g)}{3} + \delta PC, W_{OO}^S = \frac{-2(s + \theta)(a_G + s)}{3} + 2\delta PC。$$

^① 在此特别提示，当企业 1 与企业 2 同时选择绿色生产时，企业 1 的需求函数中， $a_G = \eta a_G^D + (1 - \eta) a_G^0$ ；当企业 2 进行非绿色生产，企业 1 生产绿色产品时， $a_G^D = a_G^0$ 。其他情况下的具体需求条件，可详见正文中模型构建（二）产品市场需求假设。

^② π_{GG}^{1B} 表示政府构建“区块链+生产”平台，企业 2 选择绿色生产方式时，企业 1 选择绿色生产的利润； π_{GO}^{1B} 表示政府构建“区块链+生产”平台下，企业 2 选择传统生产方式时，企业 1 选择绿色生产的利润，其余可依此推知。

^③ 本模型假设，不管是由于选民压力还是政府本身目标，政府对环境污染最终负责，因此政府福利函数既包括财政收支情况也考虑环境破坏的影响。由于本模型没有考虑政府的财政收入，因此负的政府福利函数也可看作政府的成本函数。

^④ W_{GG}^B 表示政府构建“区块链+生产”平台时，两家企业同时选择绿色生产方式的情况下，政府的福利函数； W_{GO}^B 表示政府构建“区块链+生产”平台时，企业 2 选择传统生产方式，企业 1 选择绿色生产方式时，政府的福利函数，其余可依此推知。

附录 A3:

当政府“无为而治”，企业 1 和企业 2 在产品市场上进行古诺产量竞争，具体博弈支付结果详见附录 A3 为：

$$\pi_{GG}^{1N} = \frac{(a^E-g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \quad \pi_{GG}^{2N} = \frac{(a^E-g)^2}{9} - \frac{FC}{N}; \quad \pi_{GO}^{1N} = \frac{(a^E-2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \quad \pi_{GO}^{2N} = \frac{(a^E+g)^2}{9};$$

$$\pi_{OG}^{1N} = \frac{(a^E+g)^2}{9}, \pi_{OG}^{2N} = \frac{(a^E-2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}; \quad \pi_{OO}^{1N} = \frac{(a^E)^2}{9}, \quad \pi_{OO}^{2N} = \frac{(a^E)^2}{9}。$$

虽然政府“无为而治”时，既不需要对企业进行补贴，也不需要投入公共财政建立区块链平台，但却要为企业对环境的破坏“买单”。此时，政府福利函数分别为：

$$W_{GG}^N = 0, \quad W_{GO}^N = \frac{-\theta(a^E+g)}{3}, \quad W_{OG}^N = \frac{-\theta(a^E+g)}{3}, \quad W_{OO}^N = \frac{-2a^E\theta}{3}。$$

附录 A4:

当政府选择构建“区块链+生产”平台时，两家企业在绿色生产方式和传统生产方式下的支付矩阵如下附表 2 所示：

附表 2 政府构建“区块链+生产”平台时企业的支付矩阵

		企业 2	
		Type=G	Type=O
企业 1	Type=G	$\pi_{GG}^{1B} = \frac{(a_G-\gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N}, \quad \pi_{GG}^{2B} = \frac{(a_G-\gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N}$	$\pi_{GO}^{1B} = \frac{(a_G^D-g)^2}{2} - \frac{FC}{N}, \quad \pi_{GO}^{2B} = \frac{[a_G^D]^2}{2}$
	Type=O	$\pi_{OG}^{1B} = \frac{[a_G^D]^2}{2}, \quad \pi_{OG}^{2B} = \frac{(a_G^D-g)^2}{2} - \frac{FC}{N}$	$\pi_{OO}^{1B} = \frac{a_G^2}{4}, \quad \pi_{OO}^{2B} = \frac{a_G^2}{4}$

- 1) 如果 $\frac{(a_G-\gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N} > \frac{[a_G^D]^2}{2}$ 且 $\frac{(a_G^D-g)^2}{2} - \frac{FC}{N} > \frac{a_G^2}{4}$ ，则企业 1 和企业 2 选择绿色生产方式是占优策略，两家企业同时选择绿色生产方式是博弈的纳什均衡；2) 如果 $\frac{(a_G-\gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N} > \frac{[a_G^D]^2}{2}$ 且 $\frac{(a_G^D-g)^2}{2} - \frac{FC}{N} < \frac{a_G^2}{4}$ ，模型中存在两个均衡解，同时选择绿色生产方式或者同时选择传统生产方式；3) 如果 $\frac{(a_G-\gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N} < \frac{[a_G^D]^2}{2}$ 且 $\frac{(a_G^D-g)^2}{2} - \frac{FC}{N} > \frac{a_G^2}{4}$ ，模型中存在两家企业选择不同生产方式的均衡解，企业 1 选择绿色生产则企业 2 选择传统生产或者企业 1 选择传统生产企业 2 选择绿色生产；4) 如果 $\frac{(a_G-\gamma g)^2}{4} - \frac{FC}{N} < \frac{[a_G^D]^2}{2}$ 且 $\frac{(a_G^D-g)^2}{2} - \frac{FC}{N} < \frac{a_G^2}{4}$ ，模型中的纳什均衡解为两家企业同时选择传统的生产方式。

附录 A5:

当政府选择对企业绿色生产进行财政补贴以激励企业正外部性行为时，两家企业进行古诺竞争支付矩阵，如下附表 3 所示：

附表 3 政府财政补贴时企业的支付矩阵

		企业 2	
		Type=G	Type=O
企业 1	Type=G	$\pi_{GG}^{1S} = \frac{(a_G+s-g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \quad \pi_{GG}^{2S} = \frac{(a_G+s-g)^2}{9} - \frac{FC}{N}$	$\pi_{GO}^{1S} = \frac{(a_G+s-2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \quad \pi_{GO}^{2S} = \frac{(a_G+s+g)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC$
	Type=O	$\pi_{OG}^{1S} = \frac{(a_G+s+g)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC, \quad \pi_{OG}^{2S} = \frac{(a_G+s-2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}$	$\pi_{OO}^{1S} = \frac{(a_G+s)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC, \quad \pi_{OO}^{2S} = \frac{(a_G+s)^2}{9} - \frac{FC}{N} - \delta PC$

附录 A6:

当政府对企业是否采取绿色生产方式不进行任何干预的情况下,企业 1 和企业 2 的支付矩阵, 如下附表 4 所示:

附表 4 政府“无为而治”时企业的支付矩阵

		企业 2	
		Type=G	Type=O
企业 1	Type=G	$\pi_{GG}^{1N} = \frac{(a^E-g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \pi_{GG}^{2N} = \frac{(a^E-g)^2}{9} - \frac{FC}{N}$	$\pi_{GO}^{1N} = \frac{(a^E-2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}, \pi_{GO}^{2N} = \frac{(a^E+g)^2}{9}$
	Type=O	$\pi_{OG}^{1N} = \frac{(a^E+g)^2}{9}, \pi_{OG}^{2N} = \frac{(a^E-2g)^2}{9} - \frac{FC}{N}$	$\pi_{OO}^{1N} = \frac{(a^E)^2}{9}, \pi_{OO}^{2N} = \frac{(a^E)^2}{9}$

**"Block-Chain+Production" Drives Green Production of Enterprises
——as well as a Comment on New Thinking about the Hand of Government**

LIN Muxi ZHANG Ziwei

(Liaoning University, Shenyang, China)

Abstract: The green production of enterprises has the problem of environmental externality and insufficient incentive. The application of new technology represented by block-chain is a feasible way to stimulate the green production of enterprises. This paper first analyzes the application value of block-chain technology from the perspective of economics, and proposes that block-chain technology can reduce information asymmetry and transaction cost to realize the optimization of resource allocation. On this basis, this paper constructs a dynamic game model between the government and enterprises to analyze the influencing factors of enterprises' green production decisions under different strategic choices of government. In the decision-making process of enterprises, the "block-chain+production" platform can reduce the cost of green production and improve the income of green products through traceability mechanism, intelligent contract mechanism, P2P mechanism and digital twin mechanism, so as to encourage enterprises to carry out green production. In government decision-making process, through weighing the welfare of constructing "block-chain+production" platform, financial subsidies, as well as the "laissez-faire" strategy, this model points out that "fiscal subsidies paradox" effect and "paradox of social trust" effect are forms of government failure and market failure. We propose the scientific and technological progress which is represented by "block-chain+production" platform is a viable path to seek the effective hand of government.

Keywords: Block-Chain; Green Production Mode; the Hand of Government; Market Failure; Government Failure