

# 金融政策与经济低碳转型

——基于增长视角的研究

潘冬阳 陈川祺 Michael Grubb

(中国人民大学应用经济学院, 北京 100872; 中央财经大学金融学院, 北京 100081;  
伦敦大学学院可持续资源研究所, 英国伦敦 WC1H 0NN)

**摘要:**在“碳中和”目标背景下,本文基于经济“增长”视角,从理论上分析金融政策在经济低碳转型中能够发挥的作用。我们构建了一个包含清洁(绿色)与非清洁(非绿色)生产部门、定向技术进步、金融约束与金融政策的内生增长模型。通过基于模型的理论证明与数值模拟,我们发现:(1)清洁部门相对非清洁部门更强的金融约束会推迟经济低碳转型过程、导致环境恶化,绿色金融政策能够缓解清洁部门的金融约束。(2)绿色金融政策能够增加清洁部门的产量,在一定条件下,还能促进经济实现低碳转型并阻止环境恶化。(3)通过金融政策推动经济低碳转型,相比部分财政政策具有成本效益优势;两类政策存在组合搭配的空间。(4)在疫情冲击后加大绿色金融政策力度,将有益于实现“绿色复苏”,并有可能以相对平时更低的成本,加快“碳达峰”与经济低碳转型的进程。

**关键词:**绿色金融政策;低碳转型;绿色复苏;定向技术进步

**JEL 分类号:**E58, O38, Q58 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7246(2021)12-0001-19

## 一、引言

全面建成小康社会以来,建设美丽中国、满足人民日益增长的美好生活需要,已成为新发展阶段的重要工作之一。我国提出的碳达峰、碳中和目标与国际上绝大多数经济体

收稿日期:2021-06-28

作者简介:潘冬阳,经济学博士,讲师,中国人民大学应用经济学院,E-mail:pdyp@ruc.edu.cn

陈川祺(通讯作者),博士研究生,中央财经大学金融学院,E-mail:chuanqichen@126.com

Michael Grubb, 哲学博士,教授,伦敦大学学院可持续资源研究所,E-mail:m.grubb@ucl.ac.uk

\* 本文是中国人民大学科学研究基金(中央高校基本科研业务费专项资金资助)项目成果,项目名称:金融政策与经济低碳转型:基于增长视角的研究。感谢各会议评议人、匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

关于本世纪中叶实现碳中和的目标是相一致的。而无论哪个国家,要想最终实现碳中和目标,关键依赖于经济的低碳转型。

为实现经济的绿色低碳转型,同时防范环境、气候问题带来的金融风险,我国以及世界上许多经济体,近年来纷纷开始使用金融政策加以支持,即制定“绿色金融政策”。绿色金融政策一般指能够对绿色投融资活动形成激励促进、对非绿色投融资活动形成约束限制,或旨在防范环境、气候相关金融风险的公共政策。2016年,在生态文明建设的大背景下,中国人民银行等七部委印发《关于构建绿色金融体系的指导意见》,我国成为世界上首个系统化推进绿色金融政策的国家。2017年,国际合作组织“央行与监管机构绿色金融网络”(NGFS)成立,多国金融监管机构在共同的目标框架下,逐步开始探索适合各自国情的绿色金融政策。2019年以来,随着气候变化问题受到更广泛的重视,以欧盟、英国为代表的发达经济体,开始实质性推广绿色项目分类标准、金融机构环境压力测试等绿色金融政策。美国联邦储备委员会也在2020年年底加入了NGFS。2021年,中国人民银行在全球率先以货币政策工具的形式推出“碳减排支持工具”。

在碳中和目标与经济低碳转型的要求下,可以预期绿色金融政策将在全世界得到进一步发展。然而,与实践中政策快速发展不相称的是,学术研究中有关绿色金融政策的理论创新较为缓慢;从历史上看,“金融政策”与“绿色发展”并无太多交集,因此,一个最基本的问题——“金融政策与实体经济低碳转型之间的关系”,暂未得到充分的理论性探讨。特别是,从经济学“理论模型”上我们尚不十分清楚:(1)金融因素是否以及如何影响经济的低碳转型?(2)金融政策能够对经济低碳转型起到哪些作用以及产生作用的机制是什么?(3)相较于其他绿色经济政策,绿色金融政策的优缺点是什么?如何与其他政策组合搭配?(4)在后疫情时代,金融政策在很多人所提倡的经济“绿色(低碳)复苏”(Hepburn et al., 2020; 王遥和潘冬阳, 2021)中将扮演怎样的角色?本文旨在研究这些具体问题,进而对上述基本问题给出一定的回答。

从已有文献看,涉及“绿色金融政策”问题的论文多采用“定性研究”或“实证建模”的方法。仅有的一些采用“理论建模”方法的研究,抑或不是针对政策的专门讨论(刘锡良和文书洋, 2019);抑或基于非传统的经济学理论方法(Dafermos and Nikolaidi, 2021);抑或仅关注于绿色再贷款、绿色QE等特定的政策工具(王遥等, 2019; Benmir and Roman, 2020; Chen et al., 2021)。无论国内国外,相较于实证模型,绿色金融相关的因素还没有被广泛地纳入主流经济学理论模型。这使得关于绿色金融政策问题的经济学理论分析十分有限。在这样的背景下,本研究计划通过将绿色金融相关因素纳入主流宏观经济学的“内生增长”模型<sup>1</sup>,建立一个适用于分析绿色金融政策问题的经济学理论模型。

以往研究中,分别以Acemoglu et al. (2012)与Chu and Cozzi (2014)为代表的两系列

---

1 “经济低碳转型”更多地属于宏观经济学问题,因此我们选用宏观经济学方法模型。宏观经济学模型一般可分为“增长”与“波动”(以DSGE模型为代表)两类,前者更适合分析长期问题。“经济低碳转型”更多的是一个长期问题,因此我们选用“增长”模型。

基于宏观经济学增长模型的研究,为我们建立理论模型、进而对上文所述问题给出一种答案提供了重要参考。第一系列研究涉及“定向技术进步”(Directed Technical Change)与资源环境问题。Acemoglu et al. (2012)通过在内生增长模型中区分清洁技术与非清洁技术,引入了不同生产部门异质性的技术进步过程,即“定向技术进步”,由此创新性地构造了能够描述经济结构变化与低碳转型的增长模型,并用之分析不同经济政策的潜在效果。André and Smulders(2014)、Kruse - Andersen(2016)、Casey(2019)等继续使用包含定向技术进步的模型,研究了环境气候和能源资源相关的问题。该系列研究为我们提供了一种将“经济低碳转型”引入理论模型的良好方法。遗憾的是,这些文献大多仅关注传统的环境经济政策,本文所研究的金融政策在很大程度上被忽略了。第二系列研究涉及将货币金融因素引入增长模型。Chu and Cozzi(2014)在增长模型中以“现金先行”(Cash in Advance)的方式引入了货币金融因素对研发投资的约束,并用该模型分析了货币政策对经济增长的效应。易信和刘凤良(2015)、Chu et al. (2019)、Gil and Iglésias(2020)等使用类似模型,继续研究了货币金融因素对经济不同方面的作用。该系列研究引入货币金融因素的方式简洁又不失一般性,为我们构建包含金融政策的模型提供了有益参考与重要依据。

综合考虑上文所述研究问题与相关文献,本文建立包含清洁与非清洁(异质性)生产部门<sup>1</sup>、定向技术进步、金融约束<sup>2</sup>与金融政策的内生增长模型(见第二部分)。基于该模型,首先通过提出并证明四个理论命题,阐释金融约束对经济低碳转型的潜在影响及金融政策支持转型的作用和机制(见第三部分)。其次,采用静态数值模拟的方式,分析对比绿色金融政策与部分财政政策的效果,研究不同政策间组合搭配的方式(见第四部分)。最后,在模型中引入疫情冲击,动态模拟分析不同政策情景下经济的转型与复苏路径,从而发掘后疫情时代金融政策的角色、为政策实施提供有益建议(见第五部分)。

研究意义与创新之处。在学术理论层面,本文创新性地从经济增长的视角、运用理论模型,讨论金融政策对低碳转型的作用。这在已知文献中尚属首次,扩展了金融发展理论关于“金融与经济增长之间关系”研究的视野,同时能够为未来更多涉及绿色金融政策效果的实证性研究打下理论性基础。我们构建的包含绿色金融相关因素的增长模型,还可成为未来研究的有益工具。在政策实践层面,本文尝试发掘现实中制定“绿色金融政策”的理论依据,并为政策制定者提供关于绿色金融政策的多方面决策参考信息,包括政策产生作用的机制、政策的优缺点、不同政策间组合搭配的建议、后疫情时代的政策建议等。

## 二、引入绿色金融因素的经济增长模型

基于 Acemoglu et al. (2012)、Chu and Cozzi(2014)的模型,本文构建包含清洁与非清

1 清洁与非清洁部门也可以称为绿色与非绿色部门。相应地,“清洁”相关政策也可称为“绿色”相关政策。

2 指企业决策时面临的“金融相关约束条件(constraint)”,而非与金融抑制理论相关的“金融约束(restraint)”或公司金融中所定义的“融资约束(financing constraint)”。

洁(异质性)生产部门、定向技术进步、金融约束与金融政策的内生增长模型。“定向技术进步”的含义是异质性生产部门具有不同的生产技术,技术进步可以只存在于特定部门,或不同的部门具有不同的技术进步速度。模型引入定向技术进步有利于描述经济结构的变迁,反映包含低碳转型的经济增长过程。“金融约束”通过生产活动的资金需要(机器生产商的“现金先行”约束)的形式引入。“金融政策”设定为能够影响金融约束、改变金融成本的公共政策。我们对异质性部门设定不同的金融政策,形成了一种将“绿色金融政策”引入模型的方式。本部分阐述模型的核心构成,完整模型和相关推导过程在附录 1 中展示。

### (一) 家庭部门

代表性家庭的效用  $V_0$  由各期的消费  $C_t$  及自然环境的质量  $M_t$  决定,即:

$$V_0 = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(C_t, M_t) \quad (1)$$

其中,环境质量用温室气体存量  $M_t$  代表<sup>2</sup>,  $\beta$  是贴现因子,  $u$  是效用函数。

家庭为中间产品生产商提供普通劳动力的数量为  $L$ ,为技术研发活动提供研发人员的数量为  $s$ 。我们将  $L$  和  $s$  的总量分别标准化为 1。家庭部门拥有所有企业,且能够向企业的生产活动提供借贷资金。

### (二) 企业部门

#### 1. 中间产品生产商

参考 Acemoglu et al. (2012) 的做法,根据生产过程所使用一次能源的不同,将中间产品生产商及其生产要素(含生产技术和产品)均分为“清洁”(  $c$  )与“非清洁”(  $n$  )两类(两个子部门)(  $j = \{c, n\}$  )。假设清洁类生产是无排放的,非清洁类生产有温室气体排放  $Z_t$ , 与其产量  $Y_{nt}$  成比例(比例系数为  $\xi$  ),即:

$$Z_t = \xi Y_{nt} \quad (2)$$

中间产品的生产函数是:

$$Y_{jt} = L_{jt}^{1-\alpha} \int_0^1 A_{ji}^{1-\alpha} x_{ji}^{\alpha} di \quad (3)$$

其中,  $Y_{jt}$  为产量,  $L_{jt}$  为普通劳动力投入量,  $x_{ji}$  为机器<sup>3</sup>投入量,  $A_{ji}$  为生产技术,  $0 < \alpha < 1$  为机器的投入份额,  $i$  指代生产中的具体个体。总劳动投入量  $L_t = L_c + L_n$  固定为  $L$ 。

#### 2. 机器生产商

机器生产商也分为两类,分别制造清洁和非清洁中间产品生产商所需的机器。假设

1 本文的附录可在原始英文版工作论文中找到 (<https://ssrn.com/abstract=3719695>),也可向通讯作者邮件(chuanqichen@126.com)索要。

2 温室气体(主体是二氧化碳)本身一般不被认为是能够直接影响效用的污染物,但温室气体存量的增加很可能带来气候变化,恶化人类赖以生存的自然环境,从而影响效用。

3 广义而言,机器是指生产中投入的资本品要素,我们遵循 Acemoglu et al. (2012) 的惯例,使用“机器”这一称呼。

机器生产商存在垄断竞争的市场结构,具有固定的单位生产成本 $\psi$ 和销售价格 $p_{jt}$ 。参考Chu and Cozzi(2014)的设定,我们对机器生产商的生产活动引入“现金先行”形式的金融约束,即假设其总生产成本( $\psi x_{jt}$ )的一定比例(比例系数为 $\omega_j$ ,反映金融约束的强度)需要由借贷资金提供支持。借贷资金 $B_{jt}$ 由家庭部门提供,且不低于机器生产商所需的借贷总额,即:

$$\omega_j \psi x_{jt} \leq B_{jt} \quad (4)$$

考虑到借贷是有利息成本的,此金融约束将始终为紧约束。设贷款的单位利息成本(利率)为 $i_{jt}$ ,则机器生产商借贷融资的成本为 $i_{jt} B_{jt}$ 。

### 3. 最终产品生产商

最终产品生产商将清洁与非清洁中间产品组合为最终产品,生产函数是:

$$Y_t = (Y_{ct}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + Y_{nt}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}})^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (5)$$

其中, $Y_t$ 是最终产品的产量, $\varepsilon$ 是中间产品之间的替代弹性。

### (三) 技术研发活动

研发人员从事生产技术的研发,由机器生产商提供报酬。根据Acemoglu et al.(2012)的设定,每名研发人员在每个时期只能选择一种技术研发活动(清洁或非清洁技术的研发)。如果研发成功,则技术水平会从 $A_{jt}$ 进步到 $(1+\gamma)A_{jt}$ ,研发人员获得该技术对应的机器生产商的利润(各类政策补贴后)作为报酬。如果研发失败,则该技术水平保持不变,研发人员无报酬。每名研发人员每期都会选择期望报酬相对较高的技术研发活动。定义 $s_{jt}$ 为选择 $j$ 类技术的研发人员的比例,并定义 $j$ 类技术的平均值为 $A_{jt} = \int_0^1 A_{jtd} di$ ,则该类技术演化的动态方程是:

$$A_{jt} = (1 + s_{jt} \eta_j \gamma) A_{j,t-1} \quad (6)$$

其中, $\eta_j$ 是每名研发人员的研发成功率, $\gamma$ 是研发成功后的技术进步率。该方程意味着,开展某一类技术研究的研发人员越多,该类技术进步得越快;同时,如果研发人员在不同技术间的分布不对称,就会产生特定技术增长更快的“定向技术进步”。

### (四) 政府和金融监管机构

政府向家庭征税,税收用于执行公共政策(含金融政策)。在现实中,“绿色金融政策”一般能够对绿色投融资活动形成激励促进、对非绿色投融资活动形成约束限制。在模型中,我们将其抽象描述为能够缓解清洁生产活动金融约束(降低金融约束强度 $\omega_c$ ),或直接补贴其融资(利息)成本(降低利率 $i_{ct}$ )的公共政策<sup>1</sup>。将 $\tau_{jt}^{fp}$ 定义为金融政策的力度(强度),则经金融政策支持后,机器生产商的融资成本为 $(1 - \tau_{jt}^{fp}) i_{jt} B_{jt}$ 。

为了在下文中比较绿色金融政策与其他特定的绿色经济政策,我们还在模型中引入对技术研发活动、中间产品和机器生产的补贴。

<sup>1</sup> 对投融资活动的激励约束政策一般都能够改变金融约束或融资成本,因此这种抽象描述方式能够相对一般化地代表绿色金融政策。

### (五) 自然环境(气候变化)

自然环境中的温室气体存量  $M_t$  与非清洁生产活动密切相关。参考 Nordhaus and Yang(1996)、Heutel(2012)、Golosov(2014)、Annicchiarico and Di Dio(2017) 等研究, 本文设定如下温室气体的动态方程:

$$M_t = Z_t + (1 - \delta)M_{t-1} \quad (7)$$

其中,  $Z_t$  是温室气体排放量,  $\delta$  是温室气体存量的自然代谢率(Natural Decay Rate)。

## 三、金融政策对经济低碳转型的作用: 理论证明

本部分基于上述模型, 提出并证明四个理论命题, 用以阐释金融约束对经济低碳转型的潜在影响和金融政策支持转型的作用和机制。这将从理论模型上回答本研究所关注的前两个具体问题, 即“金融因素是否以及如何影响经济的低碳转型”和“金融政策能够对经济低碳转型起到哪些作用以及产生作用的机制是什么”。

我们首先引入一个假设。

假设 1(充分替代性假设): 清洁中间产品和非清洁中间产品之间的替代弹性  $\varepsilon$  较大, 能够使得  $\varphi = (1 - \alpha)(\varepsilon - 1)$  大于 1。

该假设不仅与 Acemoglu et al. (2012) 相一致, 且得到了一些新近研究的支持(Papageorgiou et al., 2017)。该假设将使研发人员的决策遵循一个简单且确定的规则(即附录 1.5.3 中的情况 2), 从而简化后文的分析。

### (一) 金融约束带来的影响

本文模型将金融政策抽象描述为能够改变金融约束的公共政策。因此, 在分析金融政策对经济低碳转型的作用前, 我们首先需要明确金融约束是否以及如何会对经济低碳转型带来影响。

定义 1. 经济低碳转型: 清洁部门的产量持续增长、非清洁部门的产量在一定时间内停止增长的经济过程。

定义 2. 环境恶化: 自然环境中温室气体存量上升 ( $M_t > M_{t-1}$ )。即温室气体排放量 ( $Z_t$ ) 高于其存量的自然代谢量 ( $\delta M_{t-1}$ )。

命题 1(金融约束对经济低碳转型的影响): 清洁部门相对非清洁部门若有更强的金融约束, 则会推迟经济低碳转型、造成环境恶化。

证明: 见附录 2.1。

本节分析显示, 清洁部门与非清洁部门间特定结构的金融约束, 会对经济低碳转型过程带来负面影响。

### (二) 金融政策的短期作用

由上节分析可知, 为避免拖累经济低碳转型进程, 应尽量使清洁部门的金融约束不强于非清洁部门。而本文定义的金融政策恰是能够改变金融约束的公共政策。本节分析论证金融政策在经济低碳转型中的短期(暂时性)作用。

定义3. 绿色金融政策:能够缓解清洁部门金融约束或降低其融资成本的公共政策。

具体到模型中,将绿色金融政策定义为使清洁部门机器生产商的金融约束从原有的 $\omega_c$ 降低到 $(1 - \tau_{ct}^{\beta})\omega_c$ ,或使其面临的利率从 $i_{ct}$ 降低到 $(1 - \tau_{ct}^{\beta})i_{ct}$ 的政策。两者可统一建模为使清洁部门每一机器生产商的融资成本从 $i_{ct}\omega_c\psi x_{cit}$ 降为 $(1 - \tau_{ct}^{\beta})i_{ct}\omega_c\psi x_{cit}$ 的政策。相比王遥等(2019)将贴息、定向降准、再贷款等具体金融政策工具分别建模的方式,这是一种能代表更多绿色金融政策工具、相对一般化的建模方式,使得本研究能够覆盖更广义的“绿色金融政策”。

命题2(金融政策对经济低碳转型的短期作用):绿色金融政策能够提高清洁部门在政策执行当期的产量。

证明:见附录2.2。

通过该证明,我们发现,在政策执行当期,政策产生作用的具体机制有两个途径。一是“直接成本机制”:政策直接降低了清洁机器生产商的成本,根据机器生产商的定价策略(见附录1.3),这会使清洁机器的售价下降,带来中间产品生产商的清洁机器购买量增加;根据式(3),进而使得清洁部门的产量上升。二是“替代机制”:绿色金融政策能够降低清洁与非清洁中间产品的价格之比(见附录1.5.2),根据最终产品生产商的一阶条件 $\frac{Y_{ct}}{Y_{nt}} = \left(\frac{p_{ct}}{p_{nt}}\right)^{-\varepsilon}$ (见附录1.4),这会使得清洁部门的产量相对于非清洁部门有所增加。本文将上述两种机制统称为政策的“直接价格效应”。

命题2及上述机制展现了通过金融政策支持经济低碳转型的一些优势。第一,经济体不需要满足特定条件,绿色金融政策即能够暂时性地提升清洁部门的产量。第二,产量的提升在政策施行当期即可实现,无需长期等待。第三,政策效果会随着政策力度的增加而提高。上述机制还反映出,政策若只有“直接价格效应”,则会存在一个缺点:政策只在执行当期有短期(暂时性)效果,在后续时期不存在长期效果。

### (三) 金融政策的长期作用

本节分析论证金融政策在经济低碳转型中的长期(永久性)作用,该作用是“定向技术进步”所带来的。

定义4. 朝向清洁的技术进步:清洁技术比非清洁技术进步更快的技术变迁路径。

定义5. 技术比:已有清洁技术和非清洁技术的比例 $\frac{A_{ct}}{A_{nt}}$ 。

根据上述定义可知:当朝向清洁的技术进步发生时,技术比会变大。技术比反映的是两种技术之间的差距(或称“技术缺口”)。当技术比小于1时(即下文根据现实而校准的情况),清洁技术相对落后,此时若该比例的数值变大,则清洁技术与非清洁技术之间的缺口变小。

命题3(金融政策对经济低碳转型的第一种长期作用):如果已有清洁技术相对于非清洁技术不是过于落后,满足:

$$\frac{A_{c,t-1}}{A_{n,t-1}} > \left( \frac{1 + \gamma \eta_n s_{n,t-1}}{1 + \gamma \eta_c s_{c,t-1}} \right)^{1-\frac{1}{\varphi}} \left[ \frac{1 + (1 - \tau_{ct}^{\beta}) \omega_c i_{ct}}{1 + \omega_n i_{nt}} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left( \frac{\eta_c}{\eta_n} \right)^{-\frac{1}{\varphi}} \quad (8)$$

则引入绿色金融政策可以促成朝向清洁的技术进步,从而永久增加清洁部门的生产力。

证明:见附录 2.3。

命题 3 及其证明展示了金融政策对经济低碳转型的第一种长期作用,这也是命题 4 所述第二种长期作用形成的基础。

定义 6. 自我可持续的经济低碳转型:不依赖于永久性政策干预、能够自动持续进行的“经济低碳转型”。

命题 4(金融政策对经济低碳转型的第二种长期作用):如果已有清洁技术相对于非清洁技术不是过于落后,那么非永久性(强度逐渐降为 0)的绿色金融政策,即能够带来自我可持续的经济低碳转型。

证明:见附录 2.4。

命题 3 和命题 4 的证明展现了绿色金融政策产生作用的另一种机制,本文称之为“技术转向效应”。不同于“直接价格效应”,该效应是指政策通过提高清洁部门的研发报酬,激励研发人员从非清洁部门转到清洁部门(研发人员会优先选择报酬高的部门参与研发活动),从而推动清洁部门技术的进步与产量的提高。技术进步是可以积累的,故技术转向效应是一种长期(永久性)效应。该效应能够带来自我可持续的经济低碳转型。

绿色金融政策可通过“技术转向效应”带来作用,体现出其支持经济低碳转型的另一些优势。第一,绿色金融政策能够永久性地提高清洁部门的技术和产量。第二,随着清洁技术的进步,绿色金融政策可以逐步减弱并退出,不需要永久实施即可带来自我可持续的经济低碳转型。第三,绿色金融政策会对非清洁部门的技术进步与产量增长形成阻碍,从而延缓环境恶化。

当然,若要绿色金融政策产生“技术转向效应”,需要满足式(8)这个前提条件,这也是绿色金融政策的主要局限性所在。式(8)意味着清洁技术不能过于落后,政策的强度也不能太弱(需要高于附录 2.4 中定义的  $\tau_{ct}^{\beta, min}$ )。然而,金融政策的强度一般不能超过金融约束强度的 100% 这个上限,即不能使金融成本为负(否则突破“零利率下限”,在模型中造成企业无限借贷)<sup>1</sup>。若现实中清洁技术过于落后,金融政策的强度即使达到上限,也可能无法带来技术转向效应。在这种情况下,绿色金融政策只能产生短期的直接价格效应。

另外需要指出的是,在本文模型框架下,技术转向效应对产量的影响可能没有直接价格效应那么强烈和迅速。命题 2 的证明显示,通过直接价格效应,政策能够在实施当期带来与政策强度成正比的产量变化,只要政策足够强则产量的变化就能足够大。然而,通过技术转向效应,政策只能改变研发人员的部门配置,在技术进步速度的约束下逐步使技术

1 当然,广义的金融政策投入也可用于资本形成,这将允许金融政策的强度超过金融约束强度的 100% 这个上限,但资本形成超出了本文所定义的“金融政策”的作用范围。



水平和产量发生变化,无法快速对当期产量形成大幅影响。

#### 四、政策的比较与搭配

在现实中,许多具有不同优缺点的公共政策都能够促进经济的低碳转型。本部分通过静态数值模拟的方式,比较绿色金融政策与部分财政政策(包括对清洁机器的补贴、对清洁中间产品的补贴、对清洁技术研发活动的补贴)在不同政策成本下的效果(给定同一时点),分析潜在的政策组合搭配方式。这将从数量上回答本研究所关注的第三个具体问题,即“相较于其他绿色经济政策,绿色金融政策的优缺点是什么?如何与其他政策组合搭配?”

##### (一) 参数校准

数值模拟需要对各参数和初始值进行校准<sup>1</sup>。参考 Acemoglu et al. (2012) 并考虑假设 1, 清洁和非清洁中间产品之间的替代弹性  $\varepsilon$  设为 10。同样参考 Acemoglu et al. (2012), 机器在中间产品生产中的投入比例  $\alpha$  设为 1/3; 机器生产的边际成本  $\psi$  标准化为  $\alpha^2$ ; 研发成功率  $\eta_c$  和  $\eta_n$  均设为 2%, 研发成功的技术进步率  $\gamma$  设为 1。温室气体存量的自然代谢率  $\delta$  设为 0.0021 (Heutel, 2012)。金融约束强度, 即机器生产中需要融资的成本占比  $\omega_c$  和  $\omega_n$ , 均设为 1, 即假设全部成本需要融资支持。根据模拟初始期(2017 年<sup>2</sup>)的世界非清洁部门产量<sup>3</sup>和二氧化碳排放量<sup>4</sup>数据, 温室气体排放系数  $\xi$  计算为 4.22。现实技术水平  $A_{c,0}$  和  $A_{n,0}$  的初始值通过初始期没有政策干预的  $Y_{c,0}$  和  $Y_{n,0}$  的表达式计算得到(见附录 1.8), 由此可得现实初始技术比  $A_{c,0}/A_{n,0}$  为 0.77。附录 3 中的表 1 总结了这些参数和初始值。

##### (二) 政策比较

本节展示并比较不同政策在不同强度(即不同政策成本)下,对清洁和非清洁部门产量的影响。我们考虑两种不同的初值技术比。一是现实初始技术比 0.77。这代表较大的技术缺口(清洁技术落后较多)。二是计算金融政策能够带来技术转向效应的最小允许技术比(即满足式(8)的边界值)并向上取整,得 0.96。这代表较小的技术缺口。

结果如图 1 所示。子图 A 和 B 是技术缺口较大的情况。子图 A 和 B 是对政策成本相对较小区域的放大。子图 C 和 D 是技术缺口较小的情况。可以看出,除了个别跳跃点与平台状区域,清洁(非清洁)部门的产量随着政策成本的增加而连续上升(下降),这是政策通过“直接价格效应”带来的作用。图 1 中的跳跃点处是政策通过“技术转向效应”

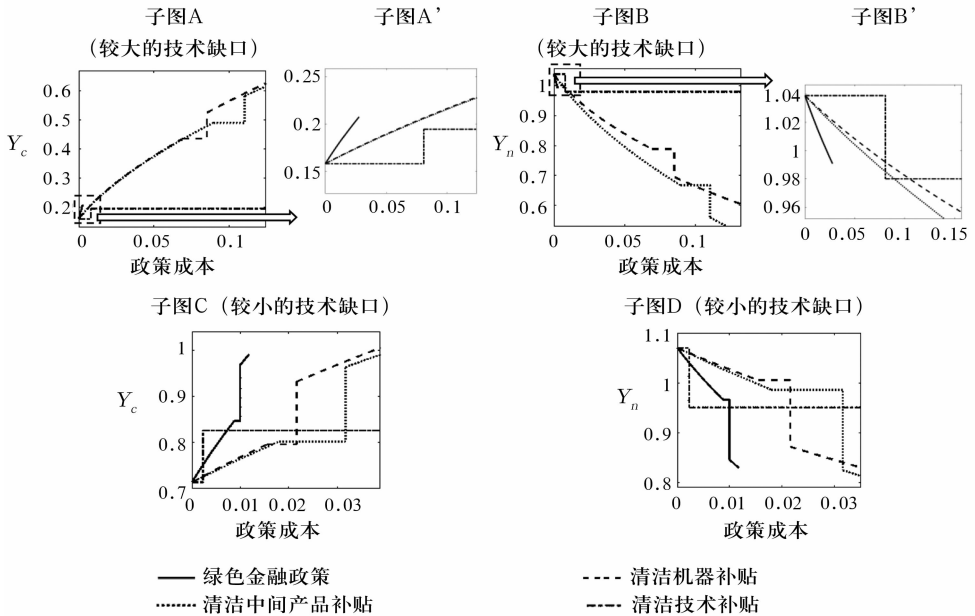
1 本文研究的是普遍意义上的绿色金融政策,而非某个国家特有的政策,因此使用较为国际化的参数校准来源。为验证模型的稳健性,我们围绕每个参数的校准值调整参数取值,进行敏感性测试。测试结果发现,模型的定性结果不会随着参数取值的小幅度调整而发生变化。

2 该年是能获取完整参数数据且距目前最近的一年。

3 资料来源:英国石油公司(BP)《世界能源统计年鉴》。

4 资料来源:国际能源署(IEA)。

带来的作用:在政策强度达到跳跃点处之后,清洁部门能够提供比非清洁部门更高的研发报酬,研发人员便会集体转向清洁部门,对清洁部门的产量带来跳跃性提高。由于金融政策的强度上限是金融约束强度的 100%,其成本和效果在图中也存在上限。图中存在平台状区域,即“政策无边际效果区域”,是因为:当给定的政策成本超过平台状区域左端时,所有研发人员即有转换部门的动力;但若该给定成本低于区域右端,则政策仅够补贴一部分转换部门的研发人员;这里我们假设在同一时点,公共政策要对所有人一视同仁,当其给定成本不够用于补贴全部有意愿转换部门的研发人员(即成本超过平台左端、但未达到平台右端)时,不使用超过平台左端部分的成本来实施政策,因此产生了此段“政策无边际效果区域”。<sup>1</sup>



度量单位:横轴用最终产品产值度量,纵轴用中间产品产量度量<sup>2</sup>。

图 1 不同政策、不同成本下清洁和非清洁部门的产量

从图 1 还可看出金融政策与三项财政政策的一些特点与差异。若清洁技术相对非清洁技术的差距(缺口)较大,则金融政策只能产生直接价格效应;若缺口较小,则金融政策达到一定力度后,还能带来技术转向效应。这与命题 2 和命题 3 的发现是一致的。在金融政策的力度达到上限之前,其存在相比其他三项政策更大的直接价格效应,并可能能以较低的成本(仅高于技术补贴政策成本)带来技术转向效应。四项政策中,技术补贴政

<sup>1</sup> 当然,当给定政策成本处在平台内区域时,为避免浪费,也可选择将未使用的成本用于补贴已有绿色部门以产生“直接价格效应”,或放弃一视同仁原则,用于补贴一部分转换部门的研发人员。但这都会阻碍研发人员形成对转换部门收益的确定性预期,大幅增加建模的复杂程度。本文暂不分析这些情况。

<sup>2</sup> 图 1 和图 2 中,我们将政策实施前一期非清洁部门的产量标准化为 1。

策能以最低的成本带来技术转向效应,但该政策无法产生直接价格效应。机器补贴和中间产品补贴既有直接价格效应,也有技术转向效应,但效果大小有差异。附录3中的表2总结了不同政策存在的不同效应。

在相同政策成本投入时,金融政策比机器补贴具有更强的直接价格效应,这有一个内在原因:我们设定机器生产商存在垄断竞争的市场结构,故机器的售价是成本的固定倍数( $1/\alpha$ ,见附录1.3);金融政策的作用对象是成本,机器补贴的作用对象是售价,当政策投入相同时,金融政策对售价的效果会是机器补贴的 $1/\alpha$ 倍。考虑到 $\alpha < 1$ ,金融政策的直接价格效应便总是强于机器补贴。

本节从数量上展示了绿色金融政策在支持经济低碳转型中的潜在作用,同时也阐释了其相比特定财政政策的优劣势。优势主要有:第一,在金融政策可发挥作用的区间,其直接价格效应最大,这意味着金融政策能以相对其他政策更低的投入迅速带来生产活动的清洁化以及阻止环境的恶化。第二,当技术缺口不大时,金融政策也能产生技术转向效应,且成本是次低的。劣势主要有:金融政策的强度存在上限,无法像财政政策一样高强度地推动经济在当期的低碳转型(通过直接价格效应),或在没有限制条件(已有技术缺口不能太大的条件)下单独带来技术转向效应以及长期的自我可持续低碳转型。

### (三) 政策的组合搭配

本节探讨并比较不同政策在推动经济低碳转型中的潜在组合搭配方式。

政策需要组合搭配的原因包括:第一,在现实中,如果只需要在长期实现经济的低碳转型,而不关心转型的速度,那么能够以最低成本带来技术转向效应、实现“自我可持续的经济低碳转型”的清洁技术补贴政策可能就足够;但如果同时希望在短期加快转型速度,尽早改善环境质量并防范潜在的气候与环境灾难,那么还需要引入具有直接价格效应,即能够在短期发挥较大作用的政策,从而更快减少非清洁部门的产量及其造成的排放。第二,现实数据计算所得的技术缺口较大,单靠一项政策(特别是成本有限的情况下)可能无法带来技术转向效应、实现自我可持续的经济低碳转型。第三,不同政策搭配使用能够发挥政策各自的优势,弥补劣势,也可能提高政策效果、节约政策成本。

我们认为,可以优先使用清洁技术补贴与另外三种政策进行组合搭配。这是因为,一方面,清洁技术补贴能够以最低成本带来技术转向效应,且该效应是在长期内实现自我可持续的经济低碳转型所必需的;另一方面,除技术补贴以外的三种政策,均能带来直接价格效应,对技术补贴政策形成补充与加强。

对政策进行组合搭配并比较不同组合的具体方法如下:首先,引入力度刚好能够带来技术转向效应的清洁技术补贴政策;其次,加入力度不同的金融政策(或机器补贴、中间产品补贴),同时降低技术补贴的力度,使政策组合的力度刚好能够带来技术转向效应(这使得政策成本不存在浪费);最后,计算不同政策力度下,政策组合的成本(见附录1.10)和不同部门的产量,比较不同政策组合在不同政策成本(力度)下能够带来的产量。

结果如图2所示。图2中的跳跃点和跳跃点之后产量随政策成本的上升仍分别反映的是政策通过技术转向效应和直接价格效应带来的作用。在跳跃点之前,政策成本投入

过低,政策无边际效果(原因同上节“平台状区域”);在跳跃点之后,随着技术补贴以外政策的加入和政策成本的增加,直接价格效应也得以出现并逐步提高。同样由于金融政策的力度存在上限,“清洁技术补贴+绿色金融政策”这个组合存在成本和效果上限。

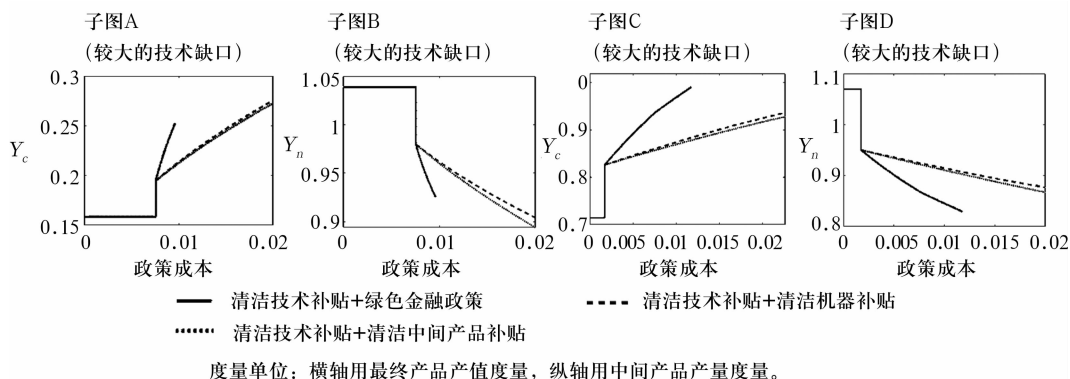


图2 不同政策组合、不同成本下清洁和非清洁部门的产量

结果表明,在政策成本相同时,技术补贴和金融政策的组合既能够带来技术转向效应,也能够带来最大的直接价格效应。因此,可以优先选择该组合来推动经济低碳转型,以节约政策成本、提高政策效果。将本节的结果与上节进行对比,还可以发现:各个政策组合带来技术转向效应与相同直接价格效应的成本,总是不高于单项政策。因此,从政策成本和效果的角度来看,政策组合总是优于(不劣于)单项政策。

本节结果的政策含义是:如果政策制定者既希望在长期实现自我可持续的经济低碳转型,又希望在短期进一步增加清洁部门产量、减少非清洁部门产量,从而加快低碳转型的速度,那么清洁技术补贴搭配绿色金融政策的组合是可优先考虑的选项。由于该组合的效果存在上限,政策制定者还可以额外搭配清洁机器补贴或清洁中间产品补贴等政策。

## 五、经济转型与“绿色复苏”

“绿色复苏”是指经济在受到疫情等负向冲击后,包含低碳转型的恢复与发展过程。本部分通过动态数值模拟的方式,分析部分政策(组合)对经济低碳转型与疫情后绿色复苏的作用。这将从更贴近现实的角度进一步回答本研究所关注的第二个具体问题,即“金融政策能够对经济低碳转型起到哪些作用”。同时,相较于王遥和潘冬阳(2021)的定性研究,这也将从数量上回答本研究所关注的第四个具体问题,即“在后疫情时代,金融政策在经济绿色(低碳)复苏中将扮演怎样的角色”。

### (一) 模型扩展

要分析疫情后的经济复苏,首先要对本文第二部分的基准模型进行适当扩展,以便引入疫情冲击。在基准模型中,我们没有引入劳动的负效用、不同劳动部门间的不完全替代

性等相对复杂的因素,这帮助我们简洁且不失一般性地完成了第三部分中命题的证明与第四部分中的模拟计算。但这也使我们失去了一种刻画疫情冲击的方法,并使得劳动力市场的任何结构变化都在一期内完成、研发人员在转换工作部门时不存在任何“粘性”。本部分,我们在效用函数中引入劳动的负效用以及清洁与非清洁技术研发活动的不完全替代性,即把效用函数扩展为:

$$V_0 = \max_{C_t, L_t, s_{ct}, s_{nt}} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(C_t, L_t, s_{ct}, s_{nt}, M_t) \\ = \max_{t=0}^{\infty} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ \ln C_t + \phi_t [ \ln(1 - L_t) - \Phi [ (s_{ct})^{1+\frac{1}{\varepsilon_s}} + (s_{nt})^{1+\frac{1}{\varepsilon_s}} ]^{\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s+1}} ] - v(M_t) \} \quad (9)$$

其中,  $\phi_t$  是劳动总的负效用系数,  $\Phi$  是研发劳动与普通劳动间的相对负效用系数,  $\varepsilon_s$  是清洁与非清洁技术研发活动之间的替代弹性。

基于此,我们可引入疫情冲击。具体方法是将劳动总的负效用系数设定为带有外生冲击的一阶自回归过程:  $\ln \phi_t = (1 - \rho) \ln \phi + \rho \ln \phi_{t-1} + e_t$ , 其中  $\phi$  是  $\phi_t$  的稳态,  $\rho$  是  $\phi_t$  的自回归系数,  $e_t \sim i. i. d$  表示疫情造成的外生冲击。以此方法引入疫情冲击的直觉是疫情期间参与工作,难度和风险增加,会带来额外负效用,且预期疫情的影响会逐渐减弱。

在扩展模型中,普通劳动供给量  $L_t$  不再固定,而是变为需要家庭决策的变量(在工作的负效用和工作收入之间进行权衡),其稳态定义为  $L^s$ 。将研发活动的负效用设定为不完全替代的函数形式是因为每名研发人员都有自己的专长,更换专长对其有一定难度,会带来额外的效用损失。只有当转换部门增加的报酬足够弥补额外的效用损失时,个体研发人员才会选择转换部门。由此,我们引入了研发人员转换部门的粘性。也因此,研发人员的部门分布  $s_{jt}$  变为了一个需要在连续区间内优化的变量,而不再是一个二值选择变量。

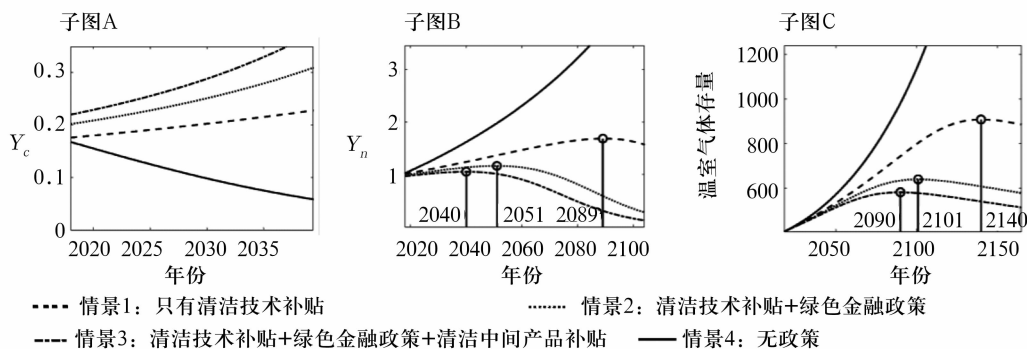
扩展的模型需要额外一些参数。研发劳动与普通劳动间的相对负效用系数  $\Phi$  设为 0.03,这是能使“无政策”情景下 2100 年的温室气体存量与 Meinshausen et al. (2020) 的预测相一致的取值。清洁与非清洁技术研发活动之间的替代弹性  $\varepsilon_s$  设为 3,这参考了 Acemoglu et al. (2012) 所使用的较低弹性值。普通劳动的稳态  $L^s$  设为 1/3,即工作日劳动 8 小时。为与该稳态相匹配,劳动总的负效用系数  $\phi$  校准为 1.483。我们假设疫情在首年的冲击使劳动供给减少 50%,这可计算出对应的外生冲击  $e_{year=2020} = 0.92$ 。我们假设冲击每年衰减 50%,即自回归系数  $\rho$  取 0.50<sup>1</sup>。附录 3 中的表 3 总结了这些额外参数。

## (二) 无疫情冲击下的经济转型路径

我们使用扩展的模型,模拟经济在不同政策(组合)情景下的低碳转型路径。首先考虑不含疫情冲击的情况。这将展示正常时期不同政策能够带来的作用,并与后文情况(包含疫情冲击的情况)形成对照。模拟从 2017 年开始。考虑到第四部分的分析结果,我们在本部分引入三种政策情景:(1) 只有清洁技术补贴单项政策;(2) 清洁技术补贴搭

1 需要说明的是:由于新冠肺炎疫情史无前例,相关统计数据尚不充足等客观因素,本节部分参数仅使用示例性取值。

配绿色金融政策的组合；(3) 清洁技术补贴搭配金融政策和清洁中间产品补贴的组合。清洁技术补贴的力度设置为略高于能够带来技术转向效应的最低水平。绿色金融政策和清洁中间产品补贴的力度设定在我们判断的合理水平(金融成本的 10% 和中间品价格的 1%)。所有政策从 2018 年开始实施,并在整个模拟期(300 年)内力度保持不变<sup>1</sup>。此外,我们引入无政策的情景(情景 4)作为对照组。模拟结果如图 3 所示<sup>2</sup>。



纵坐标度量单位:子图 A 和子图 B 为非清洁中间产品产量<sup>3</sup>,子图 C 为浓度单位 PPM。

图 3 无疫情冲击情况下各部门产量与温室气体存量演进的动态路径模拟<sup>4</sup>

模拟结果显示,当没有政策干预时,非清洁部门的产量与温室气体存量将迅速增长,清洁部门的产量将下降,经济无法实现低碳转型。在单一的清洁技术补贴政策下,可以在较远的未来实现“碳达峰”与经济低碳转型;但在本世纪的大部分时间内,非清洁部门的产量(也即温室气体的排放量)仍然会持续上升,这可能会加剧气候变化问题。若清洁技术补贴搭配上绿色金融政策和清洁中间产品补贴,“碳达峰”与经济低碳转型进程则能够提前几十年<sup>5</sup>。这些结果验证了金融政策和其他政策在促进经济低碳转型中的作用,展现了政策组合搭配的重要性。

### (三)“绿色复苏”:疫情冲击后的经济转型路径

本节考虑疫情冲击,模拟不同政策情景下经济低碳转型的路径。由此我们分析疫情可能带来的影响和可能由政策促成的经济绿色复苏。为形成对照,我们在本节考虑三种情景:(1)引入“清洁技术补贴搭配绿色金融政策和清洁中间产品补贴”的政策组合、但不引入冲击的基准情景,即上节中的情景 3;(2)保持本节情景 1 中政策组合的力度不变,引

1 虽然我们证明了在一定条件下,政策强度即使逐渐减弱至 0 也可带来经济低碳转型,但为简单起见,我们在此只模拟力度不变的政策。

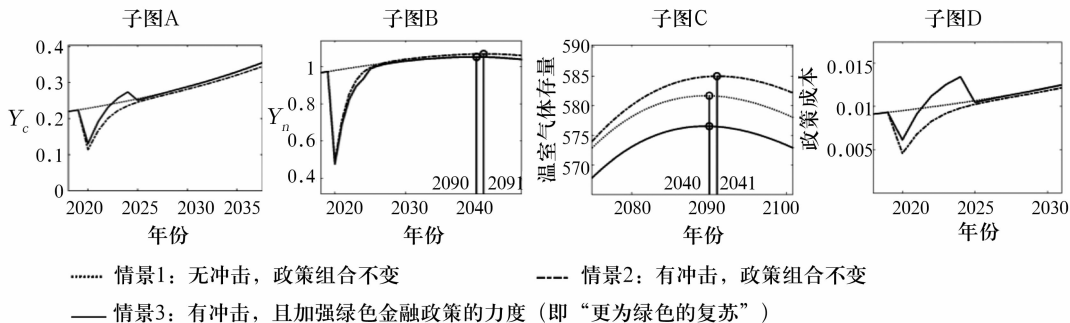
2 温室气体排放量与  $Y_n$  成正比。图 3 和图 4 中各子图 B 内曲线的顶点,即为“碳达峰”处。

3 我们将首年非清洁中间产品的产量标准化为 1。

4 图 3 和图 4 中每张子图的横轴使用了不同的时间跨度,以突出展示核心结果及各情景的差异之处。若每张子图使用相同的时间跨度,将使得一些核心差异难以得到辨识。

5 模拟中最多只引入了三项政策同时施行,远少于现实中的政策数量。因此,模拟得到的“碳达峰”时间较晚是正常的。

入从2020年开始的新冠肺炎疫情冲击;(3)强化情景1中绿色金融政策<sup>1</sup>的力度(从2020年起持续5年,力度从金融成本的10%提高到50%)、引入从2020年开始的新冠肺炎疫情冲击,我们将该情景称为“更为绿色的复苏”。模拟结果如图4所示。(注:子图A、B、D中多数年份,情景1与情景3的曲线几乎重合)



纵坐标度量单位: 子图A和子图B为非清洁中间产品产量, 子图C为浓度单位PPM, 子图D为最终产品产值。

图4 引入疫情冲击后各部门产量、温室气体存量与政策成本的动态路径模拟

对比情景1和情景2可发现:在疫情冲击之后,如果已有政策组合保持不变,经济仍可实现“碳达峰”与低碳转型,即实现绿色复苏。但冲击会推迟“碳达峰”与低碳转型的时间,并导致温室气体存量提高。这与许多人的直觉认识“疫情冲击将有利于长期温室气体存量的减少(因为疫情期间生产与排放减少)”恰恰相反。根据扩展模型,疫情冲击会使劳动(包含研发活动)的负效用及研发人员更换专长(转换部门)的额外效用损失加大,在同样政策激励强度下,愿意转入清洁部门的研发人员数量会变少,因此,经济低碳转型的速度变慢,这不利于未来温室气体的减排。长期来看,疫情冲击导致低碳转型减缓而额外增加的排放量,高于疫情冲击在短期内暂时降低的排放量,这使得疫情可能最终提高了温室气体存量。

对比情景2和情景3可发现:疫情冲击发生后,如果适当提高绿色金融政策的力度,并持续一段时间,则可以将“碳达峰”的时间与低碳转型的路径拉回到没有疫情冲击的情况,并基本上不改变这一时期的总政策成本<sup>2</sup>。同时,未来温室气体的存量还将得到进一步减少,实现了“更为绿色的复苏”。实际上,在疫情后如果进一步加大绿色金融政策的力度,还有可能以相对平时更低的成本,提前“碳达峰”的时间、加快经济低碳转型的进程。

本节结果的政策含义是:在疫情冲击后,各国政策制定者可通过保持或强化现有的绿色金融政策等绿色经济政策,推动经济实现绿色复苏,避免低碳转型因疫情而推迟。疫情

1 根据4.2节,绿色金融政策相比清洁机器补贴、清洁中间产品补贴,更具有成本效益优势,故优先选择该政策进行强化。

2 虽然每单位的政策力度提高,但因为疫情使经济总量受到负面影响,需要政策支持的基础(如产出)下降,使得最终使政策总成本基本不变。

冲击也为政策制定者提供了通过政策加快低碳转型的机遇——在经济复苏时期如果强化绿色金融等相关政策,则可能以相对平时更低的成本加快减排与转型进程。

## 六、结论与政策建议

本文从经济增长的角度,研究了金融政策在推动经济低碳转型中的作用。通过引入定向技术进步与金融约束,我们构建了一个适用于分析绿色金融政策的宏观经济学理论模型。本文发现:第一,清洁部门相对非清洁部门若有更强的金融约束,则会推迟经济低碳转型过程,造成环境恶化,而绿色金融政策能够缓解清洁部门的金融约束。

第二,绿色金融政策可通过直接降低企业金融成本的机制,在短期暂时性地提高清洁部门的产量;如果清洁技术与非清洁技术之间的差距不大,绿色金融政策还可以带来“朝向清洁的技术进步”(即通过提高清洁部门的研发报酬,激励研发人员从非清洁部门转移到清洁部门,推动清洁部门技术进步),从而在长期永久性地增加清洁部门的产量及其占经济的比重,促进经济实现低碳转型并阻止环境恶化。

第三,与特定财政政策工具(包括对清洁机器的补贴、对清洁中间产品的补贴、对清洁技术研发活动的补贴)相比,绿色金融政策在支持经济低碳转型上,具有一定的成本效益优势,其能在花费较低政策成本下带来较高的政策效果。但遗憾的是,金融政策的强度一般会有上限(以使“零利率下限”不被突破),因此其效果可能无法像部分财政政策一样可随着政策成本投入的增加而不断提高。考虑到不同政策的优劣势,绿色金融政策可以与清洁技术补贴等财政政策进行组合搭配,以发挥不同政策间的互补作用,降低政策的整体成本,提高整体效果。

第四,新冠肺炎疫情冲击可能会推迟经济低碳转型的进程。但如果在疫情后的经济恢复期,适当提高绿色金融政策力度,则可以在基本不改变政策成本的情况下,将“碳达峰”的时间与低碳转型的路径拉回到没有疫情冲击的情况,实现绿色复苏。实际上,在疫情后如果进一步加大绿色金融政策力度,还有可能以相对平时更低的成本,提前“碳达峰”的时间、加快经济低碳转型的进程。

基于本文发现,我们有多方面的政策建议。第一,鉴于绿色金融政策在经济低碳转型中的潜在作用,应继续大力发展该项政策,并着重探索能够切实减轻绿色(清洁)企业金融约束、降低其金融成本的具体政策工具。第二,财政部门可适当安排资金,优先支持绿色金融政策的实施,从而以更低政策成本实现更高的潜在政策效果。第三,可以将绿色金融政策与绿色相关财政政策工具进行组合搭配,以提高整体政策效果,发挥政策工具间的互补性作用。第四,疫情冲击为加快经济低碳转型提供了机会,政策制定部门可在疫情恢复期强化绿色金融等政策的力度。

本文可以在多个方向进行扩展。(1)探讨最优动态政策(及政策组合)的路径,并与Acemoglu et al. (2012)的结果进行比较。(2)引入更多财政政策(如对非清洁部门的税收)、气候(环境)政策(如排放总量控制),分析更多可行的政策组合方式。(3)引入更多



气候环境经济学建模中的重要特征要素,如减排技术、临界点(tipping point)、惯性(Grubb et al., 2021)等,从而更精确地描述经济与环境的动态。(4)引入更多宏观经济与金融学建模中的重要特征要素,如显性的金融中介部门、金融活动所伴生的风险等,从而更全面地描述金融因素可能产生的影响。(5)探索直接价格效应和技术转向效应以外的政策作用机制。(6)在真实世界参数的可得性提高后,对具体国家或地区以及具体政策进行更为精确的模拟。

## 参 考 文 献

- [1]刘锡良和文书洋,2019,《中国的金融机构应当承担环境责任吗?——基本事实、理论模型与实证检验》,《经济研究》第3期,第38~54页。
- [2]王遥和潘冬阳,2021,《绿色复苏中的金融角色》,《中国金融》第4期,第43~44页。
- [3]王遥、潘冬阳、彭俞超和梁希,2019,《基于DSGE模型的绿色信贷激励政策研究》,《金融研究》第11期,第1~18页。
- [4]易信和刘凤良,2015,《金融发展、技术创新与产业结构转型——多部门内生增长理论分析框架》,《管理世界》第10期,第24~39,90页。
- [5] Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. and Hemous, D., 2012. The Environment and Directed Technical Change. *American Economic Review*, 102(1), pp. 131~66.
- [6] André, F. J. and Smulders, S., 2014. Fueling Growth When Oil Peaks: Directed Technological Change and the Limits to Efficiency. *European Economic Review*, 69, pp. 18~39.
- [7] Annicchiarico, B. and Di Dio, F., 2017. GHG Emissions Control and Monetary Policy. *Environmental and Resource Economics*, 67(4), pp. 823~851.
- [8] Benmir, G., Roman, J., 2020. Policy Interactions and the Transition to Clean Technology. *LSE Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper*.
- [9] Casey, G., 2017. Energy Efficiency and Directed Technical Change: Implications for Climate Change Mitigation. *Munich Personal RePEc Archive*.
- [10] Chen, C., Pan, D., Huang, Z., Bleischwitz, R., 2021. Engaging Central Banks in Climate Change? The Mix of Monetary and Climate Policy. *Energy Economics*, 103, 105531.
- [11] Chu, A. C. and Cozzi, G., 2014. R&D and Economic Growth in a Cash - in - Advance Economy. *International Economic Review*, 55(2), pp. 507~524.
- [12] Chu, A. C., Cozzi, G., Fan, H., Furukawa, Y. and Liao, C. H., 2019. Innovation and Inequality in a Monetary Schumpeterian Model with Heterogeneous Households and Firms. *Review of Economic Dynamics*, 34, pp. 141~164.
- [13] Dafermos, Y., Nikolaidi, M., 2021. How Can Green Differentiated Capital Requirements Affect Climate Risks? A Dynamic Macro Financial Analysis. *Journal of Financial Stability*, 54, 100871.
- [14] Gil, P. M. and Iglésias, G., 2020. Endogenous Growth and Real Effects of Monetary Policy: R&D and Physical Capital Complementarities. *Journal of Money, Credit and Banking*, 52(5), pp. 1147~1197.
- [15] Golosov, M., Hassler, J., Krusell, P. and Tsyvinski, A., 2014. Optimal Taxes on Fossil Fuel in General Equilibrium. *Econometrica*, 82(1), pp. 41~88.
- [16] Grubb, M., Wieners, C., and Yang, P., 2021. Modelling Myths: On DICE and Dynamic Realism in Integrated Assessment Models of Climate Change Mitigation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(3), pp. e698.
- [17] Hepburn, C., O'Callaghan, B., Stern, N., Stiglitz, J. and Zenghelis, D., 2020. Will COVID - 19 Fiscal Recovery

- Packages Accelerate or Retard Progress on Climate Change? . *Oxford Review of Economic Policy*, 36( Supplement\_1 ), pp. S359 ~ S381.
- [18] Heutel, G. , 2012. How Should Environmental Policy Respond to Business Cycles? Optimal Policy under Persistent Productivity Shocks. *Review of Economic Dynamics*, 15(2) , pp. 244 ~ 264.
- [19] Kruse – Andersen, P. K. , 2016. Directed Technical Change and Economic Growth Effects of Environmental Policy. *SSRN Electronic Journal*.
- [20] Meinshausen, M. , Nicholls, Z. R. , Lewis, J. , Gidden, M. J. , Vogel, E. , Freund, M. , Beyerle, U. , Gessner, C. , Nauels, A. , Bauer, N. and Canadell, J. G. , 2020. The Shared Socio – economic Pathway (SSP) Greenhouse Gas Concentrations and Their Extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8) , pp. 3571 ~ 3605.
- [21] Nordhaus, W. D. , and Yang, Z. , 1996. A Regional Dynamic General – equilibrium Model of Alternative Climate – change Strategies. *American Economic Review*, 86(4) , pp. 741 ~ 765.
- [22] Papageorgiou, C. , Saam, M. and Schulte, P. , 2017. Substitution between Clean and Dirty Energy Inputs: A Macroeconomic Perspective. *Review of Economics and Statistics*, 99(2) , pp. 281 ~ 290.

## Financial Policy and Low – Carbon Transition of the Economy: A Growth Perspective

PAN Dongyang    CHEN Chuanqi    GRUBB Michael

(School of Applied Economics, Renmin University of China;  
School of Finance, Central University of Finance and Economics;  
Institute for Sustainable Resources, University College London)

**Summary:** Given the global net – zero target for carbon emissions and awareness of the role of investment and finance in a low – carbon economic transition, financial regulators in many countries have started to promote green investment by developing so – called green financial policy to alleviate the barriers to and increase the incentives for green investment. For example, central banks provide refinancing for banks that conduct green lending. Discussion and development of green financial policy have increased in recent years as climate change and environmental degradation have intensified. In 2016, China promulgated the Guidelines for Establishing the Green Financial System, in which several green financial policy tools were first proposed. Financial regulators worldwide have started to take action, particularly since the founding of the Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System in 2017.

The growth of green financial policy is expected to continue; however, many questions remain about the theoretical relationship between green financial policy and the low – carbon transition of the physical economy, which is the ultimate purpose of this policy. Do financial factors affect the low – carbon transition? If so, how? What can financial policy do for the transition? Compared with other policies, what are the advantages and disadvantages of green financial policy? Moreover, given the current COVID – 19 pandemic, what can green financial policy do for the “green recovery” that is being called for by many? This study aims to answer these questions.

We build a macroeconomic growth model of directed technical change. In this model, the production sector

is divided into two parts—clean and non – clean—to analyze the transition of industrial structure and its environmental impact. We introduce financial constraints and financing costs to analyze the role of financial policy. The model is also extended with the shock of the COVID – 19 pandemic to analyze the green recovery.

Using the model, we first show the specific roles of financial policy in supporting the low – carbon transition by giving and proving four formal propositions. This clarifies the mechanisms through which financial factors can play a role in the low – carbon transition. Second, we numerically analyze the effect of green financial policy and compare it with the effects of other green economic policies. This reveals the advantages and disadvantages of green financial policy and can help policymakers choose appropriate policies. Third, we simulate the dynamics of the economy under different policy scenarios with and without the COVID – 19 shock. This shows what the pandemic and different policy mixes could bring to the green transition and economic recovery.

This study finds that (1) stronger financial constraints in the clean sector relative to the non – clean sector delay the low – carbon economic transition and cause environmental degradation, and green financial policy can alleviate these financial constraints. (2) Green financial policy can increase the output of the clean sector and, under certain conditions, facilitate the low – carbon transition of the economy and prevent environmental degradation. (3) Financial policy is cost – effective compared with some fiscal policies that promote the low – carbon transition; there is space for mixing policies. (4) Increasing the intensity of green financial policy in the aftermath of the pandemic would be beneficial for achieving a green recovery and may accelerate the low – carbon economic transition at a cost lower than expected.

Our work has significance for both research and policy. In terms of research, this study discusses the role of financial policy in the low – carbon transition from the economic growth perspective using a theoretical model. It extends the horizon of financial development theory from the sustainability perspective and provides a theoretical basis for future empirical research on the effects of green financial policy. Our growth model, which includes factors related to green finance, could also be a useful tool for future research. In terms of policy, this paper provides a theoretical basis for analysing green financial policy and provides policymakers with the following practical information: the mechanisms by which green financial policy works, the advantages and disadvantages of such policy, the way to effectively mix different policies and policy recommendations for the post – pandemic era.

**Keywords:** Green Financial Policy, Low – Carbon Transition, Green Recovery, Directed Technical Change

**JEL Classification:** E58, O38, Q58

(责任编辑:王 鹏)(校对:WH)