

经济研究

ECONOMIC RESEARCH JOURNAL

新质生产力研究专稿

洪银兴等

中国式现代化视域下数字经济的共同富裕
效应：方法与证据

万广华等

中国央地财政关系的演进：一个理论框架

吕冰洋 胡深

平台内市场结构设计
——兼论网上外卖商业模式与管制

杜创

2024 6
总第681期◎第59卷

目 录

创刊时间:	新质生产力研究专稿
1955 年 4 月	
封面题字:	新质生产力视角下产业链供应链韧性和安全性研究
郭沫若	
主管单位:	 洪银兴 王坤沂(4)
中国社会科学院	
主办单位:	新质生产力参与价值创造的理论探讨和实践应用
中国社会科学院经济研究所	
主编:	 蔡继明 高 宏(15)
黄群慧	
编辑者:	中国式现代化视域下数字经济的共同富裕效应:
经济研究编辑部	
值班编辑:	方法与证据..... 万广华 宋 婕 左丛民 胡晓珊(29)
陈小亮	
出版者:	数字普惠金融助力共同富裕:基于流动性约束视角
经济研究杂志社	
地址:	 王义中 林 溪 李振华 吴卫星(49)
北京阜外月坛北小街 2 号	
邮政编码:	
100836	中国央地财政关系的演进:一个理论框架
电话:	 吕冰洋 胡 深(69)
(010) 68034153	
传真:	
(010) 68034985	税收竞争、资本流动与收入不平等
网址:	 储德银 纪 凡 刘倬奇(88)
www.erj.cn	
www.cesgw.cn	
电子信箱:	出口企业的价值链长度、结构变化与新发展格局
erj@cass.org.cn	
定价:	 李小平 余 远 袁凯华 高 翔(107)
60.00 元	

印刷者:	劳动力成本变动、成本-价格传导与收入分配:
北京盛通印刷股份有限公司	
国内总发行:	基于社保降费的考察..... 徐 舒 张 冰 魏文博(126)
社会科学文献出版社	
国内邮发代号:	平台会员制的飞轮效应研究
2-251	
订购处:	 王 勇 王垚圻 欧阳日辉(144)
全国各地邮局	
国外总发行:	低碳合作供应链的内部合作协调与外部补贴
中国国际图书贸易集团有限公司	
国外发行代号:	激励机制设计..... 王玉燕 林 飞 申 亮(164)
M16	
广告经营许可证:	平台内市场结构设计
京西市监广登字 20170034 号	
英文编校:	——兼论网上外卖商业模式与管制..... 杜 创(184)
刘 莹	
封面及广告设计:	推进中国式现代化 建设中华民族现代文明
王红梅	
常年法律顾问:	——中国式现代化与中华民族现代文明建设研讨会综述
陆康(重光律师事务所)	
本刊不以任何形式收取版面费	
全国社科工作办举报电话:	 本刊记者(204)
010-63098272	

《经济研究》编辑委员会

(按姓氏笔画为序)

顾 问:	刘国光	刘树成	吴太昌	张卓元	赵人伟	裴长洪
委 员:	万广华	马建堂	王利民	王国刚	田国强	白重恩
	江小涓	刘 伟	刘 鹤	吴卫星	吴联生	吴敬琏
	李 平	李 扬	李 实	李剑阁	李 涛	张 军
	张 宇	张宇燕	张晓晶	陈雨露	陈彦斌	陈锡文
	佟家栋	何德旭	范从来	林毅夫	胡乐明	洪永森
	姚树洁	郭庆旺	郭树清	高培勇	钱颖一	龚六堂
	黄群慧	谢 平	谢伏瞻	蔡 昉	樊 纲	潘家华
	魏后凯					

主 编: 黄群慧
编辑部主任: 金成武

Economic Research Journal(Monthly)

Vol.59 No.6 June, 2024

CONTENTS

Special Research Reports on New Productive Forces	HONG Yinxing et al. (4)
Common Prosperity Effect of the Digital Economy in the Context of Chinese Modernization: Methods and Evidence	WAN Guanghua, SONG Jie, ZUO Congmin and HU Xiaoshan (29)
Digital Financial Inclusion Facilitates Common Prosperity: From the Perspective of Liquidity Constraint	WANG Yizhong, LIN Xi, LI Zhenhua and WU Weixing (49)
Evolution of Central-Local Fiscal Relations in China: A Theoretical Framework	LYU Bingyang and HU Shen (69)
Tax Competition, Capital Flow and Income Inequality	CHU Deyin, JI Fan and LIU Fengqi (88)
Value Chain Length, Structure Change of Export Enterprises and New Pattern of Development	LI Xiaoping, YU Yuan, YUAN Kaihua and GAO Xiang (107)
Labor Costs Change, Cost-Price Transmission and Income Distribution: An Investigation Based on the Reduction in Social Security Contributions	XU Shu, ZHANG Bing and WEI Wenbo (126)
A Study of the Flywheel Effect of Platform Membership System	WANG Yong, WANG Yaoqi and OUYANG Rihui (144)
Internal Cooperation Coordination and External Subsidy Mechanisms in Low-carbon Cooperative Supply Chains	WANG Yuyan, LIN Fei and SHEN Liang (164)
Intra-platform Market Structure Design: With Application to the Business Model and Regulation of Online Food Delivery Service	DU Chuang (184)
The Summary of the Symposium on Chinese Path to Modernization and Building Modern Chinese Civilization	(204)

Welcome Subscribing, Welcome Contributing

Editorial Office and Subscription Address: Institute of Economics, Chinese Academy of Social Sciences,
No.2, Yuetan Beixiaojie, Beijing, 100836, China.

Tel: (0086-10)68034153 Fax: (0086-10)68034985

E-mail: erj@ cass.org.cn Website: www.erj.cn, www.cesgw.cn



中国人民大学中国财政金融政策研究中心

China Financial Policy Research Center, Renmin University of China

第十二届“黄达—蒙代尔经济学奖”评选启事

为推动中国经济学教育事业的发展，繁荣经济学研究，搭建经济学特别是财政金融学科领域博士培养的国际交流平台，激励更多的杰出青年学者为中国的现代化建设贡献聪明才智，“黄达—蒙代尔经济学奖”（Mundell-Huang Prize）——于2002年12月创设，由1999年诺贝尔经济学奖得主罗伯特·A·蒙代尔（Robert A. Mundell）教授和我国著名经济学家、中国金融学会名誉会长、中国人民大学前校长黄达教授共同冠名。其前身为“黄达—蒙代尔优秀博士论文奖”，自第二届起，更名为“黄达—蒙代尔经济学奖”。

2024年正值“黄达—蒙代尔经济学奖”创设22周年，中国人民大学中国财政金融政策研究中心拟在全国范围内评选第十二届“黄达—蒙代尔经济学奖”。现将评选活动的有关事项通知如下：

一、评选范围

本奖项每两年评选一届。本届“黄达—蒙代尔经济学奖”参选论文条件：

1. 2022年1月1日至2023年12月31日完成的，高等院校、科研院所的财政、金融等专业的经济学博士论文；

2. 由财政、金融等领域专家以书面形式推荐的2022年、2023年通过答辩的经济学博士论文。

二、论文要求

1. 论文选题居于学科前沿，具有创新性，有重要的理论意义和现实意义。

2. 论文在本学科领域达到或接近国际先进水平或国内领先水平；运用国际通行的研究方法进行探索研究，有新的研究视角和独到见解，并在相应领域取得重要成果。

3. 论文体现出作者在本学科领域坚实广阔的理论基础与系统深入的专门知识。

4. 论文要求学风严谨、推理严密、逻辑性强；文字表达准确流畅。

5. 论文以中文写作，否则应附中文译稿。

三、报送评选论文材料及要求

“黄达—蒙代尔经济学奖”参选论文须按要求报送以下材料：

1. 书面论文（A4纸型打印版一份）及论文摘要（中英文）；

2. 打印版推荐表一式两份（含签字、盖章）；

3. 论文和推荐表电子文档各一份。

四、论文评选方法

1. 本届活动参选论文征集将采取个人申报与专家推荐相结合的方式。

2. 中国人民大学中国财政金融政策研究中心将邀请有关权威专家组成评审委员会，对参选论文进行评选。

3. 本届活动采用匿名评选，将评选出获奖优秀论文2—5篇。

五、奖励办法

1. 获奖者及其导师由中国财政金融政策研究中心颁发证书与奖金，奖金为每篇论文壹拾万元人民币、获奖者导师贰万元人民币。

2. 欢迎个人或机构推荐优秀论文。

3. 获奖者将受邀参加由中国财政金融政策研究中心举办的第十二届“黄达—蒙代尔经济学奖”颁奖典礼暨学术论坛，并发表演讲。

六、截止日期

本届活动材料报送截止日期为2024年9月30日。

“黄达—蒙代尔经济学奖”推荐表下载网址：
<http://frc.ruc.edu.cn/News/hmjz202404021.html>。

联系地址：北京市海淀区中关村大街59号

中国人民大学明德主楼816

邮政编码：100872

联系人：潘老师/何老师

联系电话：010-82509290/9289

电子信箱：caijinjudi@ruc.edu.cn

中国人民大学中国财政金融政策研究中心

ISSN 0577-9154



9 770577 915243

06>



微信公众号：erj_weixin

国内邮发代号 2-251

国外发行代号 M16

定价 60 元

低碳合作供应链的内部合作协调 与外部补贴激励机制设计^{*}

王玉燕 林 飞 申 亮

内容提要:本文综合考虑合作成员的成本协同效应、信息不对称下的道德风险和碳减排的外部效应,构建了低碳合作供应链(LC-CSC)双边道德风险模型。针对模型均衡策略及其影响因素的解析显示,成本协同效应、碳定价及消费者低碳偏好均会激励减排行为,而道德风险引致成员产生的“机会主义”行为会削弱成员的碳减排努力。为此,本文求解了LC-CSC内部“合作协调契约”,并证明该契约对于内部成员的合作关系是公平有效率的。本文进一步发现,减排的正外部效应导致的“市场失灵”也会使得成员碳减排努力程度产生不足,需及时引入政府“补贴激励机制”来弥补,因此本文设计了政府事前补贴和事后补贴两种激励机制,以及兼顾减排社会福利和成员利润来剖析LC-CSC外部最优“补贴激励机制”。本文证明,当提供减排公共配套设施对成员减排成本的折扣力度较大时,政府应采用完善配套公共基础设施的事前补贴;反之,采用基于企业碳减排收益比例进行返还的事后补贴策略将更有利于社会福利。本文还利用中国碳交易试点城市的数据进行数值仿真,验证了模型的有效性。

关键词:低碳合作供应链 成本协同效应 双边道德风险 协调契约 补贴激励

一、引言

自《京都议定书》签订以来,世界各国致力于温室气体减排,碳市场作为行之有效的减排机制已被广泛认可(吴力波等,2014)。从实践来看,欧盟、美国和韩国等经济体均已建立了将碳排放权作为资产交易的碳市场,有效增强了行业“排碳有成本、减排有收益”的低碳发展意识(Zhang & Xu, 2013)。中国为实现减排目标,自2011年在北京、天津和上海等城市陆续展开碳排放权交易试点后,于2021年开放全国碳交易市场,年累计成交额达85亿元。随着碳交易市场普及,其对行业碳减排行为的协调和激励机制也广受关注(Benjaafar et al., 2012; Tong et al., 2019; Cao et al., 2021)。

从行业内部的角度出发,全球化将单个厂商减排的社会责任拓展到供应链整体,随之以绿色、低碳和可持续为理念的“低碳供应链”应运而生(Govindan et al., 2014a)。在碳市场中,低碳供应链成员可通过创新减排技术、优化能源消耗、采用低碳设备及建立碳管理体系等方式来降低自身的碳排放量,从而减少在碳市场购买碳排放权的成本,提高企业的经济效益。然而,单个成员的减碳努力不足以发挥供应链的优势,供应链成员通过与供应商、客户和其他利益相关方的合作与信息共享形成了低碳合作供应链(low carbon cooperative supply chain,以下简称LC-CSC),能够更好地实现微观层面的上下游企业利润增长和宏观层面的碳减排社会责任落实的“双赢”(Luo et al., 2016; Wang et al., 2019)。2022年7月,工信部、国家发改委和生态环境部联合发文《工业领域碳

^{*} 王玉燕,山东财经大学管理科学与工程学院,邮政编码:250014,电子信箱:wangyuyan1224@126.com;林飞、申亮,山东财经大学财政税务学院,邮政编码:250014,电子信箱:139690339093@163.com,20067433@sdufe.edu.cn。本研究得到国家自然科学基金项目(72371144)、山东省泰山学者工程专项(tsqn202211197)以及济南市自主培养创新团队(202228075)的资助。作者感谢匿名审稿专家的宝贵建议,文责自负。

达峰实施方案》(工信部联节[2022]88号),明确指出要加快供应链整合,推动供应链全链条绿色低碳发展。相较于单个企业仅考虑自身减排目标进行独立决策而出现的收益低、成本高和减排压力大等问题(Basiri & Heydari, 2017),LC-CSC成员之间可以通过合作关系产生成本协同效应,从而克服上述症结,实现更加高效的低碳生产(邵帅等, 2019)。当前,世界各国不同量级的企业纷纷将构建LC-CSC视作实现低碳生产的战略举措,如中国的华为集团致力于将绿色低碳理念融入产品全生命周期,与供应链合作伙伴共同统计碳排放量、制定减排目标和计划等;中国的联想集团联合京东方、立讯精密等头部供应商发起ICT高质量和低碳发展联盟,制定覆盖整个供应链的低碳方案;再以法国的施耐德电气(Schneider Electric)为例,由于90%碳排放量均来自供应链上下游企业,其开启了“零碳计划”,为供应商提供碳减排路径规划、统计工具以及软硬件解决方案等,力求在2025年助力1000家供应商达到碳减排50%的目标;此外,德国的巴斯夫(BASF)这一世界级化工企业,其与上海化学工业区牵头成立绿电联盟,同上下游伙伴合力实现减排目标,以在生产过程中做足做好“碳文章”。上述企业均将供应链的上下游视为绿色低碳产业群的“上下楼”,携手共建LC-CSC,将减碳行动聚焦于供应链中。值得注意的是,尽管制造商和供应商协同减排的LC-CSC是大势所趋,但由于现实环境的复杂性和信息的不确定性,合作一方成员可能出于自身利益考虑而采取机会主义行为,例如隐瞒产品缺陷或降低减排水平,使得其他成员承担更多的减排责任,影响LC-CSC的稳定性和可靠性(McCaffrey, 2017)。因此,设计确保成员利益均得到公平保障的合作协调契约,以约束LC-CSC成员的机会主义行为和道德风险,是完善供应链上下游内部合作减排机制的关键举措。

从行业外部的角度来看,供应链的减排行为具有降低环境污染、提供绿色产品和提高生活质量等社会红利,即存在正外部效应(Govindan et al., 2014b)。因而,政府作为碳减排推动者,应利用补贴政策从外部激励LC-CSC的减排行为(Fowlie et al., 2016)。例如,中国在2016年1月1日开始对燃煤电厂超低碳排放实行电价补贴政策,通过价格杠杆影响生产者和消费者行为,将高碳排放方式挤出市场,使得2022年中国煤电发电量占比(58.4%)相较于2015年(70.3%)下降了11.9个百分点,减少了整个火电发电行业的碳排放量。但是,中国减排补贴政策目前还处于探索构建阶段,并未建立合理有效的外部补贴激励机制,一定程度上影响了我国减排效果。因此,构建有效的LC-CSC外部补贴激励机制,是促进行业减排亟须解决的问题之一。

鉴于此,为研究碳市场中LC-CSC的内部协调契约和外部激励机制,本文聚焦以下三个问题:第一,供应链上下游成员合作减排过程中成本协同效应、产品市场和碳市场的相关因素对成员减排决策有怎样的影响?第二,如何有效地协调LC-CSC内部成员进行合作减排?第三,政府如何从外部设计有效的补贴机制激励LC-CSC的减排行为?以上述问题为导向,本文构建了LC-CSC内部成员之间双边道德风险模型,分别以LC-CSC利润最大化和考虑碳减排外部性后的社会福利最优为原则,解析模型均衡策略及影响因素,提出LC-CSC内部“合作协调契约”。此外,设计政府事前和事后补贴两种激励机制,以实现社会福利最优为目标剖析LC-CSC外部最优“补贴激励机制”。最后,利用中国试点城市碳排放数据进行数值仿真,验证理论模型的有效性。

本文的边际贡献如下:

第一,模型充分考虑了合作双方成本协同效应和信息不对称下存在道德风险的情景。一方面,本文考虑了供应商与制造商合作减排过程中的成本协同效应,这种效应区别于将成员减排成本相加的相关研究(赵道致等, 2016; Ebrahimi et al., 2022),而是在合作减排中一方成员将通过技术共享、整合资源和优化管理等手段提升整个LC-CSC的减排效率,从而降低了另一方的减排成本。这种成本协同效应常存在于企业之间的合作关系中(Edmans et al., 2011)。另一方面,与完全信息背景下低碳供应链合作的研究(李友东等, 2014; Xu et al., 2017)不同,本文关注了供应链成员在信息

不对称背景下存在道德风险时的决策过程。在此背景下,由于成员无法预知对方的策略选择,合作成员虽以优化 LC-CSC 整体利润为目标,但在实际操作中,双方作为“经济人”将以追求自身利润最大化为约束前提进行策略抉择,从而产生道德风险。将成本协同效应与信息不对称纳入模型,抓住了现实世界中供应链成员的核心决策行为,为设计供应链成员之间的协调机制提供了可能。研究指出,成本协同效应不仅影响了 LC-CSC 成员碳减排努力,也是设计“内部协调契约”关键考量因素。此外,通过均衡解的对比分析,发现信息不对称下成员减排努力程度低于完全信息状态。这不仅为供应链成员在现实环境中制定与实施减排策略提供了理论参考,也丰富了信息不对称理论在低碳合作领域的应用。

第二,从内部协调与外部激励的双重视角提出并设计协调激励机制。以往的研究在探讨供应链成员合作的协调激励时,或者是聚焦于供应链内部的协调机制(Ding et al., 2016; Han & Wang, 2018),或者是从外部视角分析激励机制(Wang et al., 2020; Nie et al., 2022),缺乏将供应链内部协调与外部激励机制进行有机地结合。而基本常识告诉我们,单一机制会出现“按下葫芦浮起瓢”现象。事实上,本文对比分析不同情景下的模型均衡解发现,成员内部信息的不对称性和碳减排的外部性均会导致 LC-CSC 成员存在减排努力不足。鉴于此,本文提出应从 LC-CSC 内外两个角度引入协调契约和激励机制,以“内部协调契约”规制信息不对称导致的“道德风险”,以“外部补贴激励机制”消除减排外部性带来的“市场失灵”,使 LC-CSC 在碳减排中兼顾微观成员之间的协调和宏观层面的社会福利最优。

第三,从政府视角出发设计了激励 LC-CSC 碳减排的事前补贴和事后补贴机制,并给出两种补贴激励机制适用的条件。以往文献对政府补贴的研究,只是笼统的一个补贴概念,没有区分现实中广泛存在的事前补贴和事后补贴(Schultes et al., 2018; 曹斌斌等, 2018; 贺勇等, 2022)。事实上,这两者补贴的作用效果差别很大。与侧重于价格补贴(Toshimitsu, 2010)或碳配额补贴(Resnier et al., 2007)的研究思路不同,本文结合政府补贴政策的实际制定,提出了完善配套公共基础设施的事前补贴机制,以及根据企业碳减排收益比例进行返还的事后补贴机制。同时,研究以社会福利最优为原则,指出当政府建设碳减排配套基础设施的成本较为高昂时,宜采用事后补贴机制;反之,事前补贴机制更优。这不仅扩展了碳减排补贴政策设计的理论框架,也为政府制定科学合理的碳减排补贴政策提供了有力的理论支撑。

二、文献回顾

与本文相关的研究主要包括:供应链中的双边道德风险、内部协调契约和外部补贴激励机制。

(一)双边道德风险

双边道德风险是指,信息不对称下个体追求利润最大化会导致的帕累托非效率(Lafontaine, 1992)。在供应链实践中,企业自利性(Zhou et al., 2012)、知识的无形性和验证难度(Chen & Chen, 2020)等因素,使成员行为偏离整体最优,引发双边道德风险。这将削弱供应链的运作效率(Takemoto & Arizono, 2020),增加生产成本(程红等, 2016),阻碍成员间的创新合作(Chen & Chen, 2020)。为应对双边道德风险,Corbett et al.(2005)指出,通过设计简单的线性契约可平衡供应链成员的努力成本。类似地,孟卫东和代建生(2013)探究了合作研发中基于研发能力和谈判能力的最优线性分配契约。此外,成员的努力动机(张子健和刘伟, 2008)、生产成本(程红等, 2016)以及谈判因子(熊强等, 2022)等因素也被证实是影响双边道德风险下供应链协调与激励的重要因素。基于以上成果,本文探讨了双边道德风险下 LC-CSC 内部协调契约和外部激励机制。

(二)内部协调契约

低碳供应链内部协调契约的相关研究并不罕见,多数减排协调契约的本质是转移支付、成本共

担和收益共享。第一,转移支付是指供应链成员之间进行资金转移的协调契约。Qi et al.(2017)认为,合理构建转移支付契约可以实现帕累托最优。进一步地,Wang et al.(2020)指出考虑利他偏好来构建的转移支付契约,会使低碳电商闭环供应链的运行更有效。但是,楼高翔等(2016)在非对称信息下设计转移支付契约来激励供应链合作双方实现信息共享时,却发现该转契约并没有实现系统绩效最优。因此,信息不对称环境下转移支付契约的有效性还有待考证。

第二,成本共担是供应链企业之间将减排成本按比例分摊的协调契约。该契约旨在协调低碳供应链成员之间的减排成本,从而促进节能减排(张汉江等,2015)、提升绩效和组织运作效率(Taleizadeh et al.,2020)。当聚焦于信息不对称下供应链的合作关系时,Morasch(1995)则提出成员之间会存在着成本协同效应。此后,Edmans et al.(2011)将该效应定义为合作一方的努力会降低另外成员的努力成本,Belhaj & Deroian(2019)指出成本协同效应对协调契约有着显著影响。因此,相较于按比例进行成本共担,在信息不对称时考虑内部合作成员的成本协同效应,并将其作为影响内部合作协调契约的影响因素,更符合LC-CSC成员之间存在双边道德风险的背景。

第三,收益共享是将供应链成员收益按比例分配的协调契约。黄欣和凌能祥(2020)从微观角度证明了在碳市场中该契约对合作供应链成员协调作用的有效性。本文中的协调契约本质是LC-CSC成员的一种“收益共享”协调契约,但区别于以往研究的是,该契约综合考虑了道德风险下成本协同效应、成员减排贡献力度和投入成本等因素,更加贴合实际。

(三)外部补贴激励

政府作为减排行为的推动者和监管者,有责任从企业外部通过补贴政策对减排行为进行激励(Schultes et al.,2018)。当前有关政府外部补贴激励低碳供应链减排的研究,多集中于补贴机制设计。其中,曹斌斌等(2018)设计了碳税、价格补贴和一次性补贴,并表明一次性补贴在单渠道模式中可促使企业达到最优的减排效果,而价格补贴更适用于双渠道销售模式。Dou & Cao(2020)基于碳税政策指出补贴机制应与税率相关,但碳税制度尚未在我国实施,相关研究结论只具有理论探讨意义。此外,贺勇等(2022)提出了一种制造商自主研发和外包减排的直接补贴机制。已有研究或是一次性补贴,或是按比例补贴,或是两种补贴机制的比较,而本研究从LC-CSC减排的事前和事后两个角度出发,提出了配套公共服务和按交易比例返还的两种补贴激励机制,并给出政府采用两种补贴激励机制的适用条件,相较于先前的补贴激励机制更具全面性和可实施性。

三、模型基础设定

Reynaert(2021)指出,企业碳减排70%的效果归因于市场主体之间的博弈行为。借鉴上述成果,本文聚焦低碳供应链中供应商和制造企业合作关系下的博弈行为。这种合作关系不仅体现在LC-CSC成员之间的成本协同效应,还体现在博弈过程中合作成员在追逐自身利润最大化的同时,也会谋求LC-CSC整体的利润最大或社会福利最优。

(一)问题描述

在LC-CSC内部,以某个供应商(S)和某个制造商(M)为例,探讨合作双方的最优决策与内部协调问题。其中,供应商向制造商提供生产要素,制造商生产产品进行出售,二者形成碳减排合作联盟,致力于减少产品生产过程中的碳排放量。这种模式正如天津津荣天宇精密机械有限公司与施耐德电气在“零碳计划”中的合作关系。^①在LC-CSC外部,研究考虑政府通过补贴机制激励LC-CSC整体的减排行为。此外,模型基于产品市场和碳配额交易市场,所研究的LC-CSC不仅可以通过出售商品获得收益,而且也可将碳排放权作为资产进行买卖来获得收入,具体如图1所示。

^① 天津津荣天宇精密机械有限公司作为施耐德电气(中国)有限公司供应商“零碳计划”的杰出伙伴,共同建立了可持续发展的顶层规划,采用了施耐德电气基于EcoStruxure Power架构的软硬件综合解决方案,并融入多项节能减碳技术。

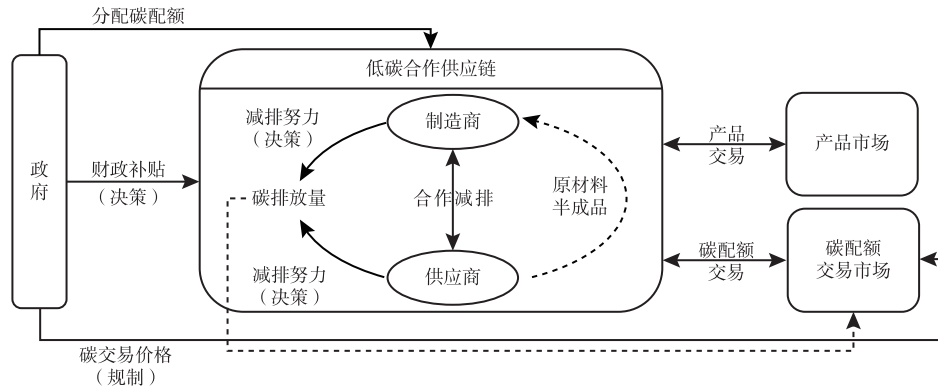


图1 碳市场和产品市场下LC-CSC及其成员和政府的关系

(二)参数设置

根据研究问题,文章从以下四个方面进行基本假设,其余参数在后续分析中予以说明。^①

1. 减排行为的相关参数

供应商与制造商作为LC-CSC成员,通过提升自身减排努力程度 $e_i(i = S, M)$,共同致力于降低供应链整体的碳排放。基于现有研究(李新军等,2020)及分析便利性,假设成员努力程度 e_i 与LC-CSC整体碳减排水平 h 的关系为 $h(e_S, e_M) = k_S e_S + k_M e_M$ 。这一假设体现出LC-CSC的整体碳减排水平是成员碳减排努力程度加总,用来刻画现实中各成员是通过合作实现整体减排目标。其中, $k_i > 0$,表示供应商或制造商努力程度对碳减排的贡献系数,除成员碳减排努力程度以外的其他资源投入均通过贡献系数影响减排水平。此外,模型考虑LC-CSC成员双方无法观察到对方的努力程度,但可观察到LC-CSC整体碳减排水平 h 。

由于减排成本 C_i 与减排努力程度 e_i 相关(Wang et al., 2021),考虑成本协同效应下供应商和制造商减排成本函数为 $C_i(e_i, e_j) = \eta_i(e_i - \varepsilon_{ji}e_j)^2/2(j = M, S)$ 。其中, $\eta_i > 0$,代表成员努力成本系数; $0 \leq \varepsilon_{ji} < 1$,表示成员 j 对成员 i 努力成本的影响,即成本协同效应,当 $\varepsilon_{ji} = 0$ 时,说明不存在成本协同效应;同时,为保证成本协同效应的有效性,需满足 $e_i - \varepsilon_{ji}e_j > 0$ 。此外,假定贡献系数 k_i 与成本系数 η_i 的比值为 θ_i ,体现成员 i 对碳减排水平的创造能力。

2. 碳市场的相关参数

假设供应链未减排时的初始碳排放水平为 h_0 。由于碳市场是通过碳排放权交易来激励企业进行减排的市场机制,因而考虑政府给予供应链的碳配额 $\bar{h}_0$ 小于减排前的初始碳排放水平 h_0 。假定单位碳排放权的交易价格为 p_h 。考虑LC-CSC致力于低碳生产,其减排后的减排水平 h 和碳配额 $\bar{h}_0$ 之和大于初始碳排放量 h_0 ,即 $\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M) > 0$ 。这表明,LC-CSC可以通过出售碳排放权获利。

3. 产品市场的相关参数

供应商生产单位产品原材料成本为 c ,其向制造商提供产品原材料单价为 w ;制造商向市场提供产品的单价为 p 。因此,供应商、制造商和LC-CSC的单位产品收入分别为 $w - c$ 、 $p - w$ 和 $p - c$ 。此外,由于市场对产品绿色度关注度日益增加,参考楼高翔等(2016)的研究,考虑市场需求 $D(e_S, e_M) = a - bp + dh(e_S, e_M)$ 。其中, a 为市场潜在需求, b 为价格弹性, p 为产品价格, d 表示消费者对低碳产品的偏好,即低碳偏好越大或产品减排水平越高,消费者对低碳产品的需求越大。

4. 内部协调和外部激励的相关参数

从LC-CSC内部出发,由于碳减排水平 $h(e_S, e_M)$ 由供应商和制造商减排努力决定,故双方签订

^① 因篇幅所限,参数说明表详见本刊网站登载的附录1。

减排收益共享协调契约,并确定分配比例 β_s 和 β_m ,其中 $\beta_s + \beta_m = 1$,且 $\beta_s \geq 0, \beta_m \geq 0$ 。从LC-CSC外部出发,考虑政府补贴机制为事前补贴(M_{BF})和事后补贴(M_{AF})两种外部激励机制。

(三)模型结构

在博弈过程中,考虑LC-CSC成员之间存在着信息不对称问题。供应商和制造商的决策策略为碳减排努力程度,政府的决策策略为碳配额定价和补贴策略。

在LC-CSC内部,供应商和制造商作为理性经济人,以追求自身利润最大化为决策的约束条件。基于这一约束,本文从供应链利润和社会福利两个角度构建双边道德风险模型。一是,以LC-CSC整体利润最优为目标函数构建博弈模型,旨在探究在供应商和制造商追求个体利益的同时,如何实现整体供应链的最优效益。二是,对减排外部性的考量,以实现社会福利最优为原则构建博弈模型,旨在探究在碳减排背景下,如何平衡个体利益和社会整体利益。通过求解并对比分析参与者的均衡策略,探究影响成员碳减排努力程度的因素,并设计LC-CSC内部最优“合作协调契约”。

在LC-CSC外部,对比分析兼顾LC-CSC整体和成员利润时与统筹社会宏观福利最优和成员企业微观利润最大时成员的减排努力策略,探讨外部激励的必要性。进一步地,引入并构建政府的事前补贴和事后补贴两种外部“补贴激励机制”,并以社会福利最优为目标,分析政府对于LC-CSC碳减排两种外部补贴激励机制的适用条件。

四、LC-CSC内部:最优决策与协调契约

本节将构建供应商和制造商之间的双边道德风险模型,探讨成员在各自追求自身利润最大化时,使LC-CSC整体利润最大或使社会福利最优的减排均衡策略与内部合作协调契约。模型构建思路如图2所示。由于LC-CSC内部不存在绝对控制权的委托人,独裁的分配方式不适用;同时,道德风险可能导致的机会主义行为也排除了平均分配的可能性。鉴于此,本节将基于公平与效率的原则,结合供应商和制造商的贡献、投入和成本协同效应,设计LC-CSC内部的最优合作协调契约。

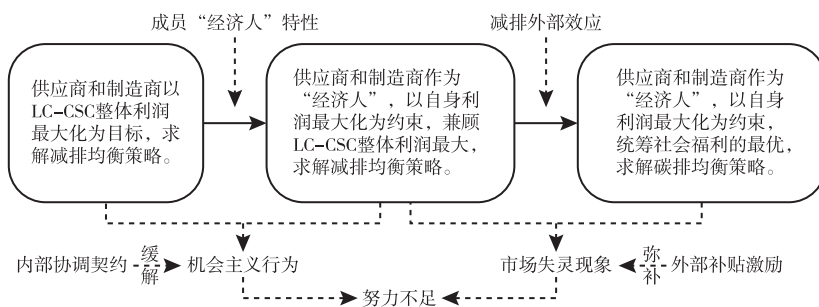


图2 双边道德风险模型构建思路

(一)双边道德风险模型

当供应商和制造商作为LC-CSC成员进行合作并以整体利润最大化为目标进行决策时,如(1)式双方碳减排努力的均衡解 e_s^* 和 e_m^* 为一级最优。由于LC-CSC成员双方的信息不可能做到完全对称,可能对合作对手的信息掌握不充分,这样合作成员为了追求自身利润可能会不尽其责任,而致使其他成员承担更多的减排责任。为此,模型引入双边道德风险,即在内部协调契约分享合作成员收益的情况下,供应商和制造商不仅追求整体利润帕累托有效,同时也谋求自身利润最大化。Cooper & Ross(1985)指出双边道德风险下的均衡解是二级最优而不是帕累托最优,因此,双边道德风险模型中,LC-CSC成员最优减排努力水平 e_s^{**} 和 e_m^{**} 是在个体理性(individual rational)和激励相容(incentive compatibility)约束下最大化LC-CSC整体利润。其中,供应商和制造商的个体理性约束(参与约束)为(2)式,经济意义是要确保供应链成员自身利润大于零;双方的激励相容约束为(3)

式,经济意义是在内部协调契约 (β_s, β_m) 下能使合作成员实现自身利润最大化的均衡解。此时,实现 LC-CSC 整体利润最大化的决策问题如(1)一(4)式:

$$\max_{e_s, e_m, \beta_s, \beta_m} \Pi_{LC-CSC} = (p - c)D(e_s, e_m) + p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_s, e_m)] - C_s(e_s, e_m) - C_m(e_m, e_s) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \Pi_i = \beta_i \{ (p - c)D(e_s, e_m) + p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_s, e_m)] \} - C_i(e_i, e_j) \geq 0 \quad (2)$$

$$e_i \in \arg \max \Pi_i = \beta_i \{ (p - c)D(e_s, e_m) + p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_s, e_m)] \} - C_i(e_i, e_j) \quad (3)$$

$$\beta_s + \beta_m = 1 \quad (4)$$

此外,LC-CSC 成员合作减排行为也会给社会和环境等方面带来减排外部效应。比如,合作成员之间在产业内集聚带来的产业正外部性(范剑勇和石灵云,2009)、碳减排的空间溢出效应(Li & Wang,2022)以及低碳行为可以减少政府部门在碳排规制方面的财政支出(范庆泉等,2016)等。参考杨仕辉和魏守道(2013),将这种外部效应定义为 $V(e_s, e_m) = \lambda h(e_s, e_m)$ 。其中, $\lambda > 0$ 表示碳减排带来的正外部效应。

为探究双边道德风险下社会最优的决策问题,参考 Fathi & Bakhshoodeh(2021),构建以生产者剩余、消费者剩余和减排外部性组成的社会福利函数,如(5)式所示。其中,生产者剩余(PS)为 LC-CSC 整体利润;消费者剩余(CS)为所有产品给消费者带来的效用减去产品价格,即 $CS = (v_0 - p)[a - bp + dh(e_s, e_m)]$ 。此外,为保证消费者愿意购买产品,需满足 $v_0 > p$ 。鉴于此,构建以社会福利最优为原则的决策问题。其中,目标函数为(5)式,约束条件为(2)一(4)式。

$$\max_{e_s, e_m, p_h, \beta_s, \beta_m} U_{Social} = PS + CS + V(e_s, e_m) = \Pi_{LC-CSC} + (v_0 - p)D(e_s, e_m) + V(e_s, e_m) \quad (5)$$

(二)均衡策略与内部协调契约

如表 1 模型均衡解所示,^①无论是以 LC-CSC 整体利润为目标还是以社会福利最大化为目标,成员内部合作协调契约不变,均为 (β_s^*, β_m^*) 。假设 (β_s^*, β_m^*) 不是最优契约,那么一定存在另一个契约

表 1 模型均衡解与内部合作协调契约

目标函数	是否考虑经济人约束	最优减排均衡解	内部合作契约
LC-CSC 整体最优	否 (一级最优)	$e_s^* = [(p - c)d + p_h] \frac{\eta_m A_4 + \varepsilon_{MS} \eta_s A_3}{\eta_s \eta_m (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$ $e_m^* = [(p - c)d + p_h] \frac{\eta_s A_3 + \varepsilon_{SM} \eta_m A_4}{\eta_s \eta_m (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$	\
	是 (二级最优)	$e_s^{**} = [(p - c)d + p_h] \frac{\theta_s A_1 A_4 + \theta_m \varepsilon_{MS} A_2 A_3}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$ $e_m^{**} = [(p - c)d + p_h] \frac{\theta_m A_2 A_3 + \theta_s \varepsilon_{SM} A_1 A_4}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$	
社会最优	是	$e_{s-EX}^{**} = [(v_0 - c)d + p_h + \lambda] \frac{\theta_s A_1 A_4 + \theta_m \varepsilon_{MS} A_2 A_3}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$ $e_{m-EX}^{**} = [(v_0 - c)d + p_h + \lambda] \frac{\theta_m A_2 A_3 + \theta_s \varepsilon_{SM} A_1 A_4}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$ $p_h^* = \frac{A_5^2 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2 (h_0 - \bar{h}_0)}{[\theta_s A_1 A_4^2 (A_5 + \theta_s A_3) + \theta_m A_2 A_3^2 (A_5 + \theta_m A_4)]} - \lambda - (v_0 - c)d$	$\beta_s^* = \frac{A_1 A_4}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})}$ $\beta_m^* = \frac{A_2 A_3}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})}$

注:为方便展示令 $A_1 = \theta_m - \theta_s \varepsilon_{MS}$, $A_2 = \theta_s - \theta_m \varepsilon_{SM}$, $A_3 = k_m + \varepsilon_{MS} k_s$, $A_4 = k_s + \varepsilon_{SM} k_m$, $A_5 = \theta_s k_m + \theta_m k_s$ 。此外,为保证 β_s^* 和 β_m^* 满足非负约束,考虑 $A_1 > 0$, $A_2 > 0$ (表 2 同)。

① 因篇幅所限,均衡求解的数学推导详见本刊网站登载的附录 2。

(β_s^0, β_m^0) 优于 (β_s^*, β_m^*) 。在契约 (β_s^0, β_m^0) 下, 以 LC-CSC 整体利润最大化的双边道德风险模型中供应商和制造商的策略记为 (e_s^0, e_m^0) , 这与 (e_s^{**}, e_m^{**}) 为模型的最优解矛盾。同理, 也与以社会最优为目标函数的双边道德风险模型的最优解 $(e_{s-EX}^{**}, e_{m-EX}^{**})$ 矛盾。此外, Bhattacharyya & Lafontaine (1995) 也指出合作成员在风险中性的双边道德风险模型中, 线性分配的规则是最优的。故可得命题 1。

命题 1: (β_s^*, β_m^*) 是供应商和制造商碳减排的最优“内部协调契约”。

(三) 静态比较分析

通过考察成本协同效应、消费者低碳偏好、碳定价和碳配额等非决策变量, 与供应商和制造商的减排努力程度和内部协调契约等决策变量之间的关系, 得到以下推论:

推论 1: LC-CSC 成员一方的减排努力程度与自身成本协同效应呈正相关; 但自身减排努力程度与他方成本协同效应的关系受自身成本协同效应的影响。具体地, 当自身成本协同效应较小时, 他方成本协同效应与自身的努力程度呈负相关; 反之, 则呈正相关。^①

推论 1 表明, 供应商的减排努力程度 e_s^{**} 会随着自身成本协同效应 ε_{SM} 增加而增大; 但供应商的减排努力程度 e_s^{**} 与 ε_{MS} 的关系, 随 ε_{SM} 的增加, 呈先减后增的趋势。^② 这是因为, 当自身协同效应对成员本身激励效果小时, 成员观察到他方协同效应增加, 会产生以对方努力程度替代自身努力程度的“机会主义”行为, 从而减少自身努力; 当自身协同效应对成员本身激励效果大时, 成员减排成本降低幅度也大, 为追求减排更高收益, 成员在他方协同效应增加时, 也会增加自身减排努力程度以获取超额利润。综上, 成本协同效应越强, 成员的减排最优努力程度越高。作为协同效应推动减排的典范, 津荣天宇精密机械股份基于施耐德电气 EcoStruxure 架构, 融入多项节能减碳技术预计年减碳 1100 吨。截至 2022 年底, 其每亿元销售额的碳减排量降幅达 22.2%。

推论 2: 减排努力程度与碳交易市场、产品市场的关系如下: (1) LC-CSC 成员努力程度与碳定价呈正相关; (2) LC-CSC 成员努力程度与消费者对低碳产品的偏好呈正相关。

推论 2 表明, 政府可通过规制碳定价来激励 LC-CSC 成员进行碳减排; 此外, 产品市场中消费者对低碳产品的偏好也会激励 LC-CSC 成员的减排行为。

推论 3: 内部合作协调契约与碳交易市场、产品市场无关, 但与成本协同效应有关。具体地, 协调契约的收益分配比例与自身成本协同效应成正比, 与他方成本协同效应成反比。

由推论 3 可知, “内部合作协调契约”是相对稳定的, 因为碳市场和产品市场相关参数均不会影响内部合作协调契约成员收益分配比例 β_i^* 。此外, 结合成本函数可知, 一方 i 对另一方 j 的成本协同效应 ε_{ij} 越大, 成员 i 通过加大自身的碳减排努力, 能够更为显著地降低另一方成员 j 的碳减排成本。这凸显了成员 i 的减排努力对另一方成员减排成本减少的影响更大。因此, 随着成员 i 自身成本协同效应的增加, 其收益协调系数 β_i^* 也应增加。这表明, 内部协调契约 (β_s^*, β_m^*) 相对公平且有效率。

推论 4: 碳定价与碳配额、正外部性以及消费者低碳偏好均呈负相关。

推论 4 说明, 碳配额越少则碳排放权在市场上越“稀有”, 该定价增加符合市场规律; 碳减排正外部性越高, 则减排行为获得的社会外部效用越高, 部分替代了碳市场对成员减排行为的刺激作用, 因此碳排价格会有所下降。此外, 在产品市场中, 之所以消费者低碳产品偏好与碳定

① 因篇幅所限, 推论 1、推论 2、推论 3、推论 4 和推论 5 证明的相关内容详见本刊网站登载的附录 3。

② 为方便表述, 本文后续将成员自身 i 对另一方 j 的成本协同效应 ε_{ij} 称为自身成本协同效应。成员另一方 j 对自身 i 的成本协同效应 ε_{ji} 称为他方成本协同效应。

价呈负相关,是由于消费者低碳偏好越高,产品市场对碳减排行为的激励越大,此时产品市场需求的调节作用就越强,而碳交易价格作为碳市场的调控手段,应与产品市场需求的调节作用此消彼长,避免两个市场同时发力造成调控力度过大,对 LC-CSC 减排行为产生过犹不及的效果。

推论 5:(1)双边道德风险导致 LC-CSC 成员碳减排的努力程度下降;(2)减排正外部性使得 LC-CSC 成员碳减排的努力程度减少。

推论 5(1)指出,在信息不对称条件下,道德风险使供应商和制造商的减排努力程度相较于信息对称的情况下均减少,说明 LC-CSC 成员在碳减排的过程中存在着“偷懒”“搭便车”等“机会主义”行为。这是因为,在市场经济中企业间合作减排的制度和规则尚未完善时,成员在追求自身效用最大化和 LC-CSC 整体效用最大化之间产生矛盾而造成的。推论 5(2)说明,当考虑 LC-CSC 碳减排正外部效应时,LC-CSC 成员的最优碳减排努力程度存在着投入不足。这是因为,LC-CSC 及其成员仅以自身的效用为决策依据,未考虑到减排正外部性,从而产生“市场失灵”现象。

综上所述,“道德风险”作为市场经济的固有现象,引发的“机会主义”行为需通过“内部合作协调契约”来调和成员间的合作减排行为。同时,减排外部性导致的“市场失灵”现象使得供应商和制造商作为“经济人”,在统筹自身利润和社会宏观福利最优时的减排努力程度,要高于同时兼顾自身和供应链整体利润最大化的减排努力程度。这就导致在没有外部激励时,供应商和制造商的减排存在“努力不足”的状况。这就需要政府将减排正外部性实现内在化,以此来抵消减排努力不足和效用不经济。鉴于此,考虑从 LC-CSC 外部对成员减排行为进行补贴激励是必要的。

五、LC-CSC 外部:政府补贴激励机制

在减排国际大环境下,政府也日趋重视运用补贴政策激励低碳生产(刘伟和李虹,2014)。本部分着眼“市场失灵”导致 LC-CSC 成员减排努力水平不足的症结(推论 5),通过构建两种补贴机制激励供应商和制造商减排行为,并以社会福利最大化为目标探讨两种补贴机制的适用条件。

(一)事前补贴——配套公共服务的补贴激励机制

政府对 LC-CSC 碳减排项目的事前补贴,一般是通过提供公共配套服务间接支持,这相当于企业利用政府提供公共配套设施和服务,来减少自身减排的总成本(孙鹏博和葛力铭,2021)。由于政府为项目提供公共产品也需付出成本,本文将此定义为事前补贴成本,表示为 $M_{BF} = R + S_{BF}(\phi)$ 。其中, $R \geq 0$,表示政府提供减排公共产品所产生的基础费用; $0 < \phi < 1$,反映成员的减排总成本受政府补贴后的折扣度。参照王宇等(2019)的研究,设置 $S_{BF}(\phi) > 0$, $S_{BF}(0) = +\infty$,且满足 $S'_{BF}(\phi) < 0$, $S''_{BF}(\phi) > 0$,表示事前补贴成本随着对减排支持力度 $1 - \phi$ 的增大而增加,LC-CSC 供应商和制造商的减排成本函数变为 $\phi C_S(e_S, e_M)$ 和 $\phi C_M(e_M, e_S)$ 。此时,在内部协调契约和事前补贴机制下的 LC-CSC 利润最大化问题(记为 BF 模型)如下:

$$\max_{e_S, e_M, \beta_S, \beta_M} \Pi_{LC-CSC}^{BF} = (p - c)D(e_S, e_M) + p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M)] - \phi[C_S(e_S, e_M) + C_M(e_M, e_S)] \quad (6)$$

$$\text{s.t. } \Pi_i = \beta_i\{(p - c)D(e_S, e_M) + p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M)]\} - \phi C_i(e_i, e_j) \geq 0 \quad (7)$$

$$e_i \in \arg \max \Pi_i = \beta_i\{(p - c)D(e_S, e_M) + p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M)]\} - \phi C_i(e_i, e_j) \quad (8)$$

$$\beta_S + \beta_M = 1 \quad (9)$$

BF 模型的最优解 e_{S-BF}^{**} 和 e_{M-BF}^{**} 参见表 2,内部协调契约仍为 (β_S^*, β_M^*) 。对比可知 $e_S^{**} <$

$e_{S-BF}^{**}, e_M^{**} < e_{M-BF}^{**}$, 这表明事前补贴机制对 LC-CSC 成员努力程度起到激励作用。继而, 若使事前补贴可弥补外部性导致的“市场失灵”, 需令 $e_{S-BF}^{**} = e_{S-EX}^{**}, e_{M-BF}^{**} = e_{M-EX}^{**}$, 计算可得 $\phi^* = [(p-c)d + p_h] / [(v_0-c)d + p_h + \lambda]$, 其中补贴比例 ϕ^* 满足: 在事前补贴政策下供应商和制造商的减排努力, 等于兼顾 LC-CSC 成员利润和社会福利最大化时的减排努力。这表明, 该补贴比例 ϕ^* 下的事前补贴机制可弥补推论 5(2) 中 LC-CSC 减排努力不足的现象。综上可得命题 2。

命题 2: 政府事前补贴机制 M_{BF}^* 有效激励了 LC-CSC 减排行为, 其中 $M_{BF}^* = R + S_{BF} \left(\frac{(p-c)d + p_h}{(v_0-c)d + p_h + \lambda} \right)$ 。

表 2 不同补贴类型下的均衡解与外部补贴激励机制^①

补贴类型	最优减排均衡解	外部补贴机制
事前补贴	$e_{S-BF}^{**} = [(p-c)d + p_h] \frac{\theta_S A_1 A_4 + \theta_M \varepsilon_{MS} A_2 A_3}{\phi A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$ $e_{M-BF}^{**} = [(p-c)d + p_h] \frac{\theta_M A_2 A_3 + \theta_S \varepsilon_{SM} A_1 A_4}{\phi A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$	$M_{BF}^* = R + S_{BF} \left(\frac{(p-c)d + p_h}{(v_0-c)d + p_h + \lambda} \right)$
事后补贴	$e_{S-AF}^{**} = [(p-c)d + (1+\delta)p_h] \frac{\theta_S A_1 A_4 + \theta_M \varepsilon_{MS} A_2 A_3}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$ $e_{M-AF}^{**} = [(p-c)d + (1+\delta)p_h] \frac{\theta_M A_2 A_3 + \theta_S \varepsilon_{SM} A_1 A_4}{A_5 (1 - \varepsilon_{SM} \varepsilon_{MS})^2}$	$M_{AF}^* = [(v_0-p)d + \lambda](\bar{h}_0 - h_0 + k_S e_{S-EX}^{**} + k_M e_{M-EX}^{**})$

(二) 事后补贴——收益比例返还的补贴激励机制

政府也可根据 LC-CSC 在碳市场上收益, 按比例进行减排行为的事后补贴, 即对 LC-CSC 碳减排的成果进行奖励。考虑政府对该项目事后补贴额度为 $M_{AF} = \delta p_h [\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M)]$ 。其中, δ 表示政府对 LC-CSC 碳减排提供的补贴比例。此时, 事后补贴政策下 LC-CSC 利润最大化问题(记为 AF 模型)如下:

$$\max_{e_S, e_M, \beta_S, \beta_M} \Pi_{LC-CSC}^{AF} = (p-c)D(e_S, e_M) + (1+\delta)p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M)] - C_S(e_S, e_M) - C_M(e_M, e_S) \quad (10)$$

$$\text{s.t. } \Pi_i = \beta_i \{ (p-c)D(e_S, e_M) + (1+\delta)p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M)] \} - C_i(e_i, e_j) \geq 0 \quad (11)$$

$$e_i \in \arg \max \Pi_i = \beta_i \{ (p-c)D(e_S, e_M) + (1+\delta)p_h[\bar{h}_0 - h_0 + h(e_S, e_M)] \} - C_i(e_i, e_j) \quad (12)$$

$$\beta_S + \beta_M = 1 \quad (13)$$

AF 模型的最优解 e_{S-AF}^{**} 和 e_{M-AF}^{**} 参见表 2, 内部协调契约仍为 (β_S^*, β_M^*) 。一方面, 仍有 $e_S^{**} < e_{S-AF}^{**}, e_M^{**} < e_{M-AF}^{**}$, 说明政府的事后补贴机制也能对 LC-CSC 成员合作碳减排起到激励作用; 此外, $\partial e_{S-AF}^{**} / \partial \delta > 0, \partial e_{M-AF}^{**} / \partial \delta > 0$ 表示, 事后补贴机制的激励效果随着补贴比例的提高而增强。另一方面, 当 $e_{S-AF}^{**} = e_{S-EX}^{**}$ 且 $e_{M-AF}^{**} = e_{M-EX}^{**}$ 时, 得到可以弥补正外部性导致努力不足问题的事后补贴比例为 $\delta^* = [(v_0-p)d + \lambda] / p_h$ 。因此, 可知命题 3。

命题 3: 政府事后补贴机制 M_{AF}^* 有效地激励了 LC-CSC 减排行为, 且激励效果随着补贴比例的增加而增加。其中, $M_{AF}^* = [(v_0-p)d + \lambda](\bar{h}_0 - h_0 + k_S e_{S-EX}^{**} + k_M e_{M-EX}^{**})$ 。

(三) 最优外部补贴激励机制

事前补贴机制相当于政府以提供公共产品的方式, 来降低 LC-CSC 的减排成本, 使外部效应内在化; 事后补贴机制则是通过提高制造商和供应商的减排收益, 激励其减排努力达到社会福利最优时的水平。由前文可知, 两种外部补贴激励机制均可缓解“市场失灵”的问题。基于此, 本节将进一

① BF 模型和 AF 模型求解过程同双边道德风险模型。因篇幅所限, 相关内容详见本刊网站登载的附录 2。

步通过比较两种补贴机制下的社会福利大小,来探讨事前补贴和事后补贴激励机制的适用条件。依据 Beers & Bergh(2001)及 Zhang et al.(2021)关于社会福利函数的研究,考虑政府补贴下的社会福利为生产者剩余、消费者剩余与碳减排外部效应之和,再减去政府补贴成本,即事前补贴的社会福利函数为 $U_{BF-Social} = \Pi_{LC-CSC}^{BF} + CS + V(e_{S-EX}^{**}, e_{M-EX}^{**}) - M_{BF}$; 事后补贴的社会福利函数为 $U_{AF-Social} = \Pi_{LC-CSC}^{AF} + CS + V(e_{S-EX}^{**}, e_{M-EX}^{**}) - M_{AF}$ 。其中, $U_{BF-Social}$ 和 $U_{AF-Social}$ 中的减排水平,是在兼顾成员利润和社会福利最大化下供应商和制造商的碳减排努力程度 $e_{S-EX}^{**}, e_{M-EX}^{**}$ 。由(14)式可知,当 $M_{BF} < (1-\phi)[\eta_S(e_S - \varepsilon_{MS}e_M)^2 + \eta_M e_M - \varepsilon_{SM}e_S]^2/2$ 时,^①事前补贴下的社会福利大于事后补贴下的社会福利。满足上述条件的经济意义为:政府事前通过提供公共产品来进行补贴的支出,要小于在同样补贴比例下按照 LC-CSC 碳排成本进行补贴的支出。这种情景表示政府的碳减排公共配套服务较为完善。由此可得推论 6。

$$U_{BF-Social} - U_{AF-Social} = (1-\phi)[C_S(e_S, e_M) + C_M(e_M, e_S)] - M_{BF} \quad (14)$$

推论 6:(1)当碳减排配套基础设施较为完善时,事前补贴下的社会福利大于事后补贴,此时最优外部补贴激励机制为事前补贴 M_{BF}^* ; (2)当政府搭建碳减排配套基础设施的成本过大时,事前补贴的社会福利就小于事后补贴的社会福利,此时最优补贴激励机制为事后补贴 M_{AF}^* 。

由于事前补贴是通过完善公共基础设施来减少 LC-CSC 成员碳减排成本,且公共服务具有非排他性和非竞争性,即政府为某个低碳企业完善基础设施或碳交易市场服务等公共产品时,所有的企业均可受益。因此,当基础公共服务越完善,政府按照 ϕ 比例事前补贴 LC-CSC 成员碳减排所花费的补贴费用就越低,当事前补贴费用低于 $(1-\phi)[C_S(e_S, e_M) + C_M(e_M, e_S)]$ 时,选择事前补贴 M_{BF}^* 的社会福利更大。反之,事后补贴激励机制 M_{AF}^* 更优。

图 3 展示了 LC-CSC 内部成员“合作协调契约”以及政府“补贴激励机制”的作用机理。在该内外协调激励机制下,既实现了供应商、制造商及 LC-CSC 整体利润最大,也实现了社会福利最优。

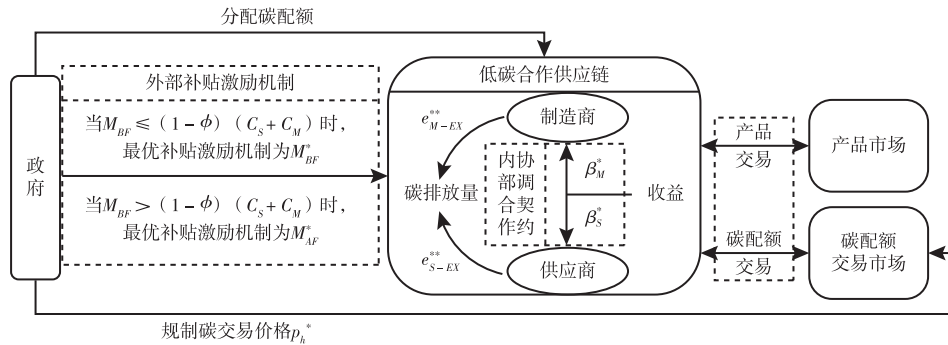


图 3 LC-CSC 的协调契约和激励机制

六、数值仿真与分析

为验证上述分析中的命题和推论,本文利用 MATLAB 软件进行数值模拟和仿真。基于中国开展碳交易试点的省份,即北京、天津、上海、湖北、福建、广东和重庆。收集碳排放量、碳配额及碳市场的相关数据。其中,碳排放数据 h_0 来源于中国碳核算数据库(CEADs)及相关文献(Shan et al., 2020; Guan et al., 2021),碳配额 $\bar{h}_0$ 计算方式参考试点城市当地相关政策文件,碳交易价格 p_h 则是参

^① 其中, M_{BF} 为比例为 ϕ 的事前补贴支出 $R + S_{BF}(\phi)$ 。 $(1-\phi)[C_S(e_S, e_M) + C_M(e_M, e_S)]$ 为政府以比例 ϕ 补贴成员减排成本的补贴支出。

考了中央财经大学绿色金融国际研究院的数据。^①进一步地,针对上述数据进行整理:(1)由于缺少重庆碳配额排控系数的相关政策数据,因此予以剔除;(2)为使各试点地区的行业数据维度相同,依据各试点地区的政策文件,选取各地进行碳排控、碳配额分配及碳配额交易行业的交集,具体为电力、水泥、钢铁、石化、造纸和民航业;(3)鉴于缺乏水泥和民航业的地区碳排放量的数据,及电力行业在各地区发电机组的相关信息,^②因此,数据选取除重庆外其他地区造纸、钢铁和石化三个行业的相关信息,进行参数仿真与算例分析。此外,根据《中国2060年前碳中和研究报告》,假定碳减排成本 $\eta_s = \eta_m = 260$ 元/吨;依据《中国造纸工业2019年度报告》《2019年中国钢铁行业经济运行报告》《2019年中国石油和化学工业经济运行报告》获取各行业产品单位均价和成本均价;借鉴Wang et al.(2020)及Ebrahimi et al.(2022)的研究,假设成员努力程度对碳减排的贡献系数为 $k_s = k_m = 100$,碳减排正外部效应为 $\lambda = 0.2$,消费者低碳产品偏好为 $d = 0.1$;参考唐书传等(2020)的研究且为确保满足 $v_0 > p$,假设 $v_0 = 1.1 \times p$ 。

(一)减排努力程度及其影响因素

1. 成本协同效应

为进一步验证推论1中LC-CSC成员碳减排努力程度与成本协同效应的关系,图4随机选取北京市造纸业的数据,^③对双边道德风险模型中供应商和制造商的最优减排决策 e_i^* 、 e_i^{**} 和 e_{i-EX}^{**} 随着成本协同效应 ε_{ij} 在定义域 $[0,1]$ 的变化趋势进行图形仿真。

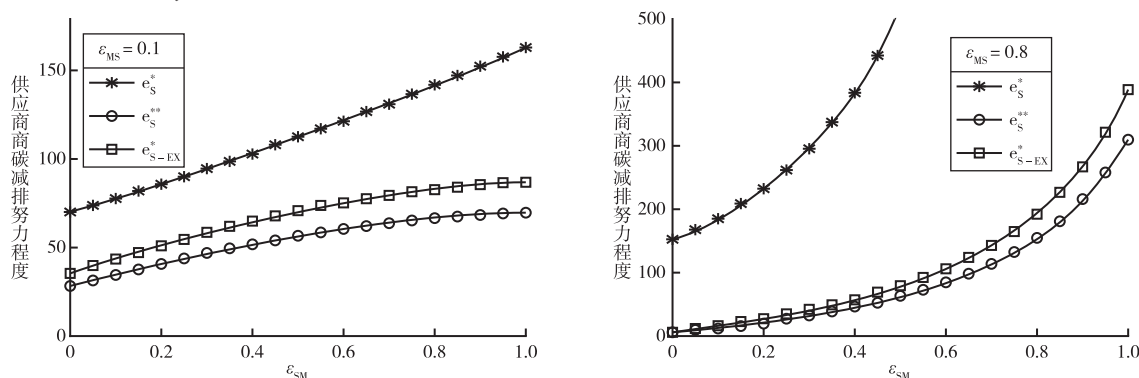


图4 供应商的自身成本协同效应 ε_{SM} 对自身减排努力程度 e_s 的影响

数值模拟显示,制造商或供应商的减排努力程度,随自身或他方成本协同效应增加的变化趋势。具体地,在双边道德风险模型中,自身成本协同效应总是与自身减排努力程度成正相关,如图4所示;而他方成本协同效应,在自身成本协同效应较小时,与自身减排努力程度呈负相关;但是随着自身成本协同效应的增加,二者逐渐成正相关。^④这验证了推论1,表明合作成员双方互相的协同效应越大,被激励程度就越大,这也会提高碳减排努力程度。因此,LC-CSC成员应提高合作减排的成本协同效应,激励双方提高碳减排努力程度。

此外,图4还表明,无道德风险时成员减排努力程度明显高于存在双边道德风险时的减排努力程度,符合推论5。为进一步验证,参考傅元略和屈耀辉(2009)、张健梅(2014)和杨增科等(2021)

① 由于篇幅限制,上述具体政策文件以及下文中所采用但正文未展现的数据详见本刊网站登载的附录4。

② 由于地方文件表明电力行业碳配额不同类型发电机组类型的排控标准不同,因此地区发电机组信息的缺少会导致碳配额无法计算。

③ 图4仅展示了部分 ε_{SM} 对自身减排努力程度 e_s 的影响,因篇幅所限,其余的 ε_{SM} 对 e_s 的影响、 ε_{MS} 对 e_s 的影响以及 ε_{MS} 对 e_m 的影响趋势图详见本刊网站登载的附录5。为了分析因变量随自变量(成本协同效应)的变化趋势,需要固定某一特定地区和行业进行研究。由于篇幅限制,本文以北京市造纸业为例。经过验证,其他地区和行业的趋势与北京市造纸行业相同。

④ 详见本刊网站登载的附录5。

的做法,对26种成本协同效应组合进行了算例分析。^①不同成本协同效应组合下算例分析的结果均显示:在考虑信息不对称约束时,成员减排努力程度 e_i^{**} 要低于不考虑约束时的 e_i^* ,这意味着道德风险会产生“机会主义”行为减少了成员减排努力水平;此外,以LC-CSC利润最大化为目标函数时的碳减排努力程度 e_i^{**} ,低于以社会福利最优为目标函数时的碳减排努力程度 e_{i-EX}^* ,是因为社会福利中考虑了碳减排外部性,这会产生“市场失灵”使成员碳减排努力低于实现社会福利最优的水平。以上进一步验证了推论5,也表明双边道德风险和正外部性确实导致了成员努力不足,证明了引入内部协调契约和外部激励机制实现帕累托改进的必要性。

表3 试点地区碳减排决策算例分析——以 $(\varepsilon_{SM}, \varepsilon_{MS})=(0.733, 0.353)$ 为例

地区	行业	碳减排努力程度(吨)						内部协契约	
		e_s^*	e_M^*	e_s^{**}	e_M^{**}	e_{s-EX}^{**}	e_{M-EX}^{**}	β_s^*	β_M^*
北京	H1	633.51	660.69	100.72	101.65	125.52	126.68	0.58	0.42
	H2	937.67	977.90	149.08	150.46	174.50	176.11	0.58	0.42
	H3	362.59	378.15	57.65	58.18	60.64	61.20	0.58	0.42
上海	H1	472.21	492.47	75.08	75.77	99.88	75.90	0.58	0.42
	H2	776.37	809.68	123.43	124.58	148.85	124.70	0.58	0.42
	H3	201.30	209.93	32.00	32.30	35.00	32.42	0.58	0.42
湖北	H1	424.87	443.10	67.55	68.17	92.35	93.20	0.58	0.42
	H2	729.04	760.32	115.91	116.98	141.32	142.63	0.58	0.42
	H3	153.96	160.56	24.48	24.70	27.47	27.73	0.58	0.42
广东	H1	383.98	400.45	61.05	61.61	85.85	86.64	0.58	0.42
	H2	688.14	717.66	109.41	110.42	134.82	136.07	0.58	0.42
	H3	113.06	117.91	17.98	18.14	20.97	21.16	0.58	0.42
福建	H1	375.95	392.07	59.77	60.32	84.57	85.35	0.58	0.42
	H2	680.11	709.29	108.13	109.13	133.55	134.78	0.58	0.42
	H3	105.03	109.54	16.70	16.85	19.69	19.87	0.58	0.42
天津	H1	364.73	380.38	57.99	58.52	82.79	83.55	0.58	0.42
	H2	668.89	697.59	106.35	107.33	131.76	132.98	0.58	0.42
	H3	93.82	97.84	14.92	15.05	17.91	18.08	0.58	0.42

注:其中H1、H2和H3代表造纸、钢铁和石化三个行业。

2. 碳配额交易市场

为探讨碳配额市场对LC-CSC的减排决策影响,图5(a)展示了供应商和制造商的减排努力程度随碳定价增加的变化趋势。其中,供应商和制造商减排努力程度均随碳定价的增加而提高。此外,根据表3可知,随着不同地区的碳定价降低,同一行业供应商和制造商的减排努力程度均会减少。这验证了推论2(1),说明政府可以通过规制碳定价来规制企业的减排行为。

^① 由于图4及附录5已模拟了成本协同效应在定义域内对减排努力程度(决策变量)的影响趋势,且决策变量的算例分析需要固定成本协同效应(非决策变量)的具体取值,因此将借鉴先前不同学者的研究对26种不同成本协同效应组合进行算例分析。除表中数据外,经作者验证任何协同效应组合均可验证推论2、推论3和推论5。但因篇幅所限,正文仅展示了以 $(\varepsilon_{SM}, \varepsilon_{MS})=(0.733, 0.353)$ 为例的算例分析,相关内容详见本刊网站登载的附录6。

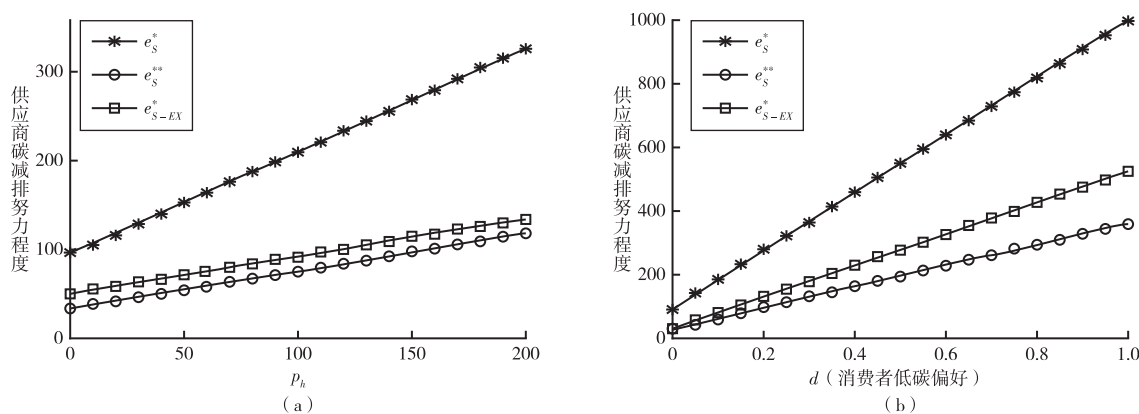


图5 碳定价、消费者低碳偏好对供应商和制造商减排努力程度的影响

3. 产品市场

为探讨产品市场对供应商和制造商碳减排策略选择的影响,图5(b)呈现了供应商和制造商减排努力程度随消费者低碳偏好的增加而提升的变化趋势。这进一步验证了推论2(2),也说明消费者对低碳产品支持度越高,对LC-CSC成员减排行为的激励越大。鉴于此,政府和社会媒体可以加强对低碳产品的宣传,提高消费者购买意愿,从而间接提升行业的减排努力程度。

(二)内部协调契约与成本协同效应

图6展示了内部协调契约(β_s^*, β_m^*)随着成本协同效应变化的三维图,即内部协调契约参数,随自身成本协同效应的增加而上升;随他方成本协同效应的上升而减少。为更细致地展示内部协调契约与成本协同效应的关系,本文还将图6中 ε_{SM} 和 ε_{MS} 依次分别在 $\{0.1, 0.5, 0.8\}$ 处取横向和纵向的截面,观察当 ε_{SM} (或 ε_{MS})固定时, β_s^* 和 β_m^* 随 ε_{MS} (或 ε_{SM})的变化趋势。^①当自身成本协同效应和他方成本协同效应相等($\varepsilon_{SM} = \varepsilon_{MS}$)时,两方合作成员的协调契约的系数相同($\beta_s^* = \beta_m^* = 0.5$);当 $\varepsilon_{SM} > \varepsilon_{MS}$ 时,有 $\beta_s^* > \beta_m^*$;当 $\varepsilon_{SM} < \varepsilon_{MS}$ 时,有 $\beta_s^* < \beta_m^*$ 。这说明,自身成本协同效应更强的成员,其获得的收益分配比例更高。这不仅证明了推论3,同时也说明文章设计的“内部协调契约”是公平有效的。表3及本刊网站登载的附录6也显示,在不同的成本协同效应下 β_s^* 和 β_m^* 不同,即合作关系(成本协同效应)影响了供应商和制造商的“内部协调契约”。此外, β_s^* 和 β_m^* 不随地区和行业的变化而变化,这说明命题1中的内部协调契约具有普适性和稳定性。

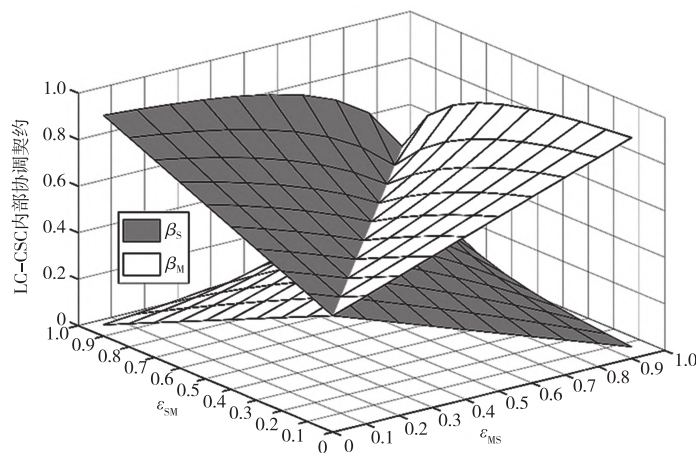


图6 内部协调契约随双方成本协同效应的变化趋势

① 因篇幅所限,相关内容详见本刊网站登载的附录7。

(三)外部补贴激励机制与社会福利

参考王宇等(2019),假设 $S_{BF}(\phi) = 1/\phi^2$ 。图7显示了在政府事后补贴机制和不同基础设施投入费用 R 的事前补贴机制下,社会福利随碳减排事前补贴折扣度 ϕ 的变化趋势,并以追求社会最优为原则,标注了不同补贴机制适用范围。其中,当碳减排基础设施不够完善时,政府提供公共产品需要投入的基础费用 R 或补贴比例为 $1 - \phi$ 的成本就越大。由图7可知,其一,政府提供碳减排公共产品需要投入的基础费用 R 越大, M_{BF} 适用的范围越小。其二,当政府给予 LC-CSC 成本折扣比例 ϕ 较大时,事前补贴下的社会福利大于事后补贴,此时最优补贴机制为事前补贴;当 ϕ 较小时,事后补贴的社会福利更大。这是因为当政府给予 LC-CSC 减排折扣力度 ϕ 很小时,说明政府自身承担了较多的碳减排基础设施的责任,此时事前补贴成本较大且无效率,导致社会福利受损;但随着折扣力度 ϕ 变大, LC-CSC 成员也参与到减排基础设施建设,发挥社会合力,实现了帕累托改进,使事前补贴产生的社会福利大于事后补贴,所以此时事前补贴为最优的补贴机制。由此,便印证了推论6。

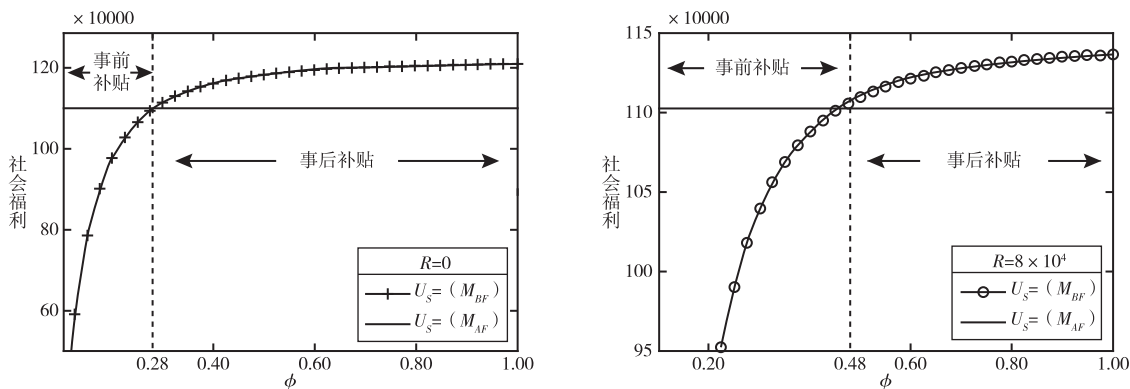


图7 事前补贴和事后补贴激励下的社会福利分析

七、结论与政策建议

本文针对供应商和制造商组成的 LC-CSC,通过构建双边道德风险模型,剖析了合作成员关于碳减排努力程度的决策及其相关因素的影响趋势,并求解最优内部合作协调契约,来抑制道德风险产生的“机会主义”行为。此外,为弥补外部性所造成的“市场失灵”现象,设计了政府对 LC-CSC 补贴激励机制,即事前补贴激励机制和事后补贴激励机制,分析两种激励机制的适用条件;最后,运用相关的实际数据进行算例分析和仿真模拟,进一步验证模型推论。

(一)主要结论

第一,信息不对称导致的道德风险问题、成本协同效应、碳减排的正外部性、碳交易价格以及消费者低碳偏好均对 LC-CSC 成员合作碳减排决策产生影响。具体来说,首先,道德风险会产生“机会主义”行为,从而降低制造商和供应商减排努力;其次,成本协同效应对成员减排努力程度起到了激励作用;再次,当考虑碳减排的正外部性时,发现“市场失灵”的现象,需要从外部激励成员提高碳减排努力程度;最后,碳配额交易价格和消费者低碳偏好对减排努力程度有正向影响。

第二,在双边道德风险的情境下,依据碳减排贡献系数、实际资源投入以及成本协同效用所构建的 LC-CSC 成员碳减排内部“合作协调契约”,与 LC-CSC 各成员的成本协同效应之间存在着紧密的相关性。具体而言,那些展现出更强大成本协同效应的成员,在内部“合作协调契约”中所获得的收益分配比例会较高。这一发现不仅印证了内部“合作协调契约”的公平性与效率性,更突显了其稳定性——即便在碳市场的波动与干扰下,该契约依旧能保持稳定。

第三,政府外部“补贴激励机制”有效地弥补了因“市场失灵”所导致的 LC-CSC 在碳减排努力上

的不足。此外,当政府在构建 LC-CSC 碳减排基础设施方面所承担的成本较低时,采取事前补贴策略,即为公共基础设施提供配套补贴,被视为最优的补贴激励机制,否则政府采取事后按收益比例补贴的外部激励机制则更为适宜。

(二)政策建议

中国于2020年明确提出双碳目标,这是全球范围内最宏伟、最艰巨的减排任务,需要中国社会的整体努力。作为世界上第一制造大国,企业是实现双碳目标进程中的减排主体,低碳合作供应链是有效减排的重要途径,供应链上下游企业通过深度合作,采取资源整合、知识共享和技术互动等措施,共同提升整个供应链的减排效果。这是对习近平总书记关于“协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”重要论述的具体落实。然而,受供应链成员间的信息不对称、潜在的道德风险、机会主义行为以及由碳减排外部性引发的“市场失灵”等问题的影响,低碳合作供应链减排效果会大打折扣,甚至阻碍供应链合作的深入发展,需要有新的机制保障低碳合作供应链的减排效果得以实现。

本研究发现,尽管道德风险下合作成员间的“机会主义”行为可能对碳减排构成挑战,但成本协同效应显著减少了“偷懒”和“搭便车”行为。此外,通过签订“协调契约”,低碳供应链内部成员实现了对减排贡献者收益的公正分配,这不仅加强了成员间的合作,还提升了整体碳减排效率。针对碳减排外部性导致的“市场失灵”,政府的外部“补贴激励机制”尤为关键。在决定事前或事后补贴策略时,政府应权衡减排基础设施完善对企业减排成本的影响,以制定最优补贴策略。

基于以上的研究发现,本文分别从供应链内外的角度给出如下政策建议:

1. 供应链内的角度

第一,本文研究指出,供应链成员间通过促进资源共享与优势互补,实现的成本协同效应显著降低了企业间的减排成本,进而有效激发了企业参与减排的内在动力。鉴于此,给出如下建议:(1)重点推动资源互补性强的低碳供应链建设,为企业间成本协同打下基础;同时,鼓励企业在选择合作伙伴时,注重选择资源互补性强的上下游企业,促使整个供应链在减排过程中形成相互合作的统一体。(2)通过财税和金融手段,鼓励供应链成员间加强减排基础设施和技术的互联互通,尽可能增加合作成员之间的成本协同效应。(3)鼓励行业协会等组织,建立起企业合作诚信“白名单”“黑名单”,鼓励企业成本协同行为,避免其中的搭便车行为。

第二,本文研究表明,通过建立供应链内部协调契约,实现成员减排收益的公平性,有助于促进成员间长期合作,提升整个供应链的减排效率。供应链内部成员间的合作关系因其高度的复杂性和多维性,要求供应链内部必须建立一套科学、严谨的协调策略,并辅以高效且具备约束力的契约机制。为此,需要构建精细化的收益分配机制,将更多的经济收益分配给在碳减排方面做出显著贡献的成员,以此激发整个供应链内所有成员在碳减排方面的积极性,形成共同努力的良好局面。此外,协调契约还应保持其内在的稳定性,不应受到碳交易市场、产品市场波动及外部激励机制等外部因素的干扰。鉴于此,给出如下建议:(1)鼓励行业机构、科研部门和高校加强对碳减排技术降碳成本系数、成本协同系数等关键指标的测度方法和测度基准的研究,使得供应链成员在协调契约设计时有科学可靠的依据,让协调契约能够确保成员在承担减排责任的同时,也能得到相应的成本补偿,从而激发其技术创新的积极性。(2)鼓励行业成立一批高水平的技术服务机构,对供应链成员碳减排合作进行评估,包括供应链企业碳减排技术、碳减排资源投入、成本协同系数等,为企业协调契约的优化提供技术支撑。

第三,本文研究发现,信息不对称可能会导致企业在追求自身利益的过程中,忽视或损害供应链整体的碳减排努力。降低信息不对称不仅减少道德风险,避免机会主义行为的发生,能够提高供应链的透明度和可追溯性,从而增强消费者对低碳产品的信任度和满意度。低碳合作供应链的上

下游成员应通过建立信息系统、碳减排数据库以及交流平台,构建有效的信息共享机制。鉴于此,给出如下建议:(1)大力推动区块链等新技术的应用,实现供应链上下游企业之间的信息无缝对接和实时共享,确保碳减排数据的透明和可追溯。(2)建立统一的碳减排数据库,记录各企业的碳排放数据和减排成果,为供应链的整体碳减排情况提供可靠的数据支持。(3)定期举办低碳技术交流会和合作研讨会,促进供应链成员之间的经验分享和技术交流,推动协同发展。(4)鼓励企业通过数据分析和挖掘,准确地把握市场需求,优化生产计划和库存管理,提高资源利用效率,最终实现经济效益与环境效益的双赢。

2. 供应链外的角度

第一,本文研究指出,合理利用政府补贴激励企业碳减排,可以弥补碳减排外部性引发的“市场失灵”。在当前的市场经济环境中,虽然市场机制在资源配置中发挥着基础性作用,但仍存在着信息不对称、外部性等“市场失灵”现象,单纯依靠市场机制难以有效推动企业的碳减排行为。为此,政府补贴作为一种有效的政策工具,不仅能够为企业碳减排活动提供直接支持,更能通过财政资金的引导,激发企业碳减排的积极性,推动绿色技术的研发与应用。当前,我国政府已出台多项政策,如《污染治理和节能减碳中央预算内投资专项管理办法》(发改环资规〔2021〕655号),明确规定对企业标准节能减碳项目的补贴比例最高不超过项目总投资的15%。本研究探讨了政府补贴对企业碳减排的激励作用,并验证了其有效性。“市场失灵”背景下,政府补贴的引入,体现了政府在推动社会可持续发展中的积极作用。鉴于此,给出如下建议:(1)应通过合理设计并适时提供企业碳减排项目所需的公共配套服务或事后收益补贴机制,鼓励企业进行减排技术创新。(2)政府补贴的发放需要加强甄别与监督,避免盲目低效率的资助。具体而言,政府进行事前补贴以完善减排基础设施时,若补贴对企业减排成本折扣有限,则政府负担重,持续投入可能低效并损害社会福利。此时,宜采用事后补贴激励企业自主减排创新。反之,实施事前补贴可有效推动企业减排技术与设备升级,有助于发挥社会各界的协同作用,进而实现碳减排的帕累托改进。

第二,本文研究发现,消费者的低碳偏好对于激励企业的碳减排行为具有显著的正向作用。企业碳减排的动力与市场低碳产品的认可和支持密切相关。在竞争市场背景下,企业为了赢得消费者的青睐并扩大市场份额,不得不将环保性能纳入其产品或服务的考量之中。因此,当消费者对低碳产品表达出强烈的偏好时,企业自然会产生更大的动力去实施碳减排措施,以提升其产品的环保性能和市场竞争力。鉴于此,给出如下建议:(1)完善低碳产品标识和认证制度,为消费者提供清晰、准确、可靠的低碳产品信息。通过明确的标识和权威的认证,可以增强消费者对低碳产品的辨识度和信任度,从而进一步促进低碳产品的消费。(2)利用主流媒体、自媒体平台等多种渠道,积极营造低碳消费的文化氛围。通过广泛宣传低碳生活理念、普及低碳知识、分享低碳生活案例等方式,可以激发消费者的低碳偏好和社会责任感,引导消费者更加倾向于购买和使用低碳产品,进而带动低碳产品需求的增长,间接激励行业内的减排行为。

参考文献

- 曹斌斌、肖忠东、祝春阳,2018:《考虑政府低碳政策的双销售模式供应链决策研究》,《中国管理科学》第4期。
- 程红、汪贤裕、郭红梅、黄梅萍,2016:《道德风险和逆向选择共存下的双向激励契约》,《管理科学学报》第12期。
- 范剑勇、石灵云,2009:《产业外部性、企业竞争环境与劳动生产率》,《管理世界》第8期。
- 范庆泉、周县华、张同斌,2016:《动态环境税外部性、污染累积路径与长期经济增长——兼论环境税的开征时点选择问题》,《经济研究》第8期。
- 傅元略、屈耀辉,2009:《企业集群成本协同管理效应研究》,《南开管理评论》第2期。
- 贺男、陈志豪、廖诺,2022:《政府补贴方式对绿色供应链制造减排决策的影响机制》,《中国管理科学》第6期。
- 黄欣、凌能祥,2020:《基于排放权交易与减排研发补贴的政企减排微分博弈模型》,《系统管理学报》第6期。

- 李新军、陈美娜、达庆利, 2020:《碳交易视角下政府管制的汽车制造企业闭环供应链优化决策》,《管理评论》第5期。
- 李友东、赵道致、夏良杰, 2014:《低碳供应链纵向减排合作下的政府补贴策略》,《运筹与管理》第4期。
- 刘伟、李虹, 2014:《中国煤炭补贴改革与二氧化碳减排效应研究》,《经济研究》第8期。
- 楼高翔、张洁琼、范体军、周炜星, 2016:《非对称信息下供应链减排投资策略及激励机制》,《管理科学学报》第2期。
- 孟卫东、代建生, 2013:《合作研发中的双边道德风险和利益分配》,《系统工程学报》第4期。
- 邵帅、张可、豆建民, 2019:《经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验》,《管理世界》第1期。
- 孙鹏博、葛力铭, 2021:《通向低碳之路:高铁开通对工业碳排放的影响》,《世界经济》第10期。
- 唐书传、刘云志、肖条军, 2020:《考虑社会责任的供应链定价与碳减排决策》,《中国管理科学》第4期。
- 王宇、朱翥、罗悦, 2019:《政府补贴对风险投资项目的激励影响与福利分析研究》,《系统工程理论与实践》第10期。
- 吴力波、钱浩祺、汤维祺, 2014:《基于动态边际减排成本模拟的碳排放权交易与碳税选择机制》,《经济研究》第9期。
- 熊强、练帅、李治文、金帅, 2022:《双边道德风险下软件供应链信息安全责任协调契约设计》,《中国管理科学》,网络首发, DOI: <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.2656>。
- 杨仕辉、魏守道, 2013:《碳关税对中美两国影响的博弈分析》,《中国管理科学》第S2期。
- 杨增科、樊瑞果、黄炜、石世英, 2021:《政府干预下装配式建筑产业链核心企业协作策略研究》,《中国管理科学》,网络首发, DOI: <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.1156>。
- 张汉江、张佳雨、赖明勇, 2015:《低碳背景下政府行为及供应链合作研发博弈分析》,《中国管理科学》第10期。
- 张健梅, 2014:《基于循环经济的企业成本管理研究》,山东大学博士学位论文。
- 张子健、刘伟, 2008:《供应链合作产品开发中的双边道德风险与报酬契约设计》,《科研管理》第5期。
- 赵道致、原白云、徐春秋, 2016:《低碳环境下供应链纵向减排合作的动态协调策略》,《管理工程学报》第1期。
- Basiri, Z., and Heydari, J., 2017, "A Mathematical Model for Green Supply Chain Coordination with Substitutable Products", *Journal of Cleaner Production*, 145, 232—249.
- Beers, C. van, and Bergh, J.C. van den, 2001, "Perseverance of Perverse Subsidies and Their Impact on Trade and Environment", *Ecological Economics*, 36(3), 475—486.
- Belhaj, M., and Deroian, F., 2019, "Group Targeting under Networked Synergies", *Games and Economic Behavior*, 118, 29—46.
- Benjaafar, S., Li, Y., and Daskin, M., 2012, "Carbon Footprint and the Management of Supply Chains: Insights from Simple Models", *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(1), 99—116.
- Bhattacharyya, S., and Lafontaine, F., 1995, "Double-Sided Moral Hazard and the Nature of Share Contracts", *Rand Journal of Economics*, 26(4), 761—781.
- Cao, J., Ho, M.S., Ma, R., and Teng, F., 2021, "When Carbon Emission Trading Meets a Regulated Industry: Evidence from the Electricity Sector of China", *Journal of Public Economics*, 200, 104470.
- Chen, Y., and Chen, W., 2020, "Incentive Contracts of Knowledge Investment for Cooperative Innovation in Project—Based Supply Chain with Double Moral Hazard", *Soft Computing*, 24(4), 2693—2702.
- Cooper, R., and Ross, T.W., 1985, "Product Warranties and Double Moral Hazard", *Rand Journal of Economics*, 16(1), 103—113.
- Corbett, C.J., DeCroix, G.A., and Ha, A.Y., 2005, "Optimal Shared-Savings Contracts in Supply Chains, Linear Contracts and Double Moral Hazard", *European Journal of Operational Research*, 163(3), 653—667.
- Ding, H., Zhao, Q., An, Z., and Tang, O., 2016, "Collaborative Mechanism of a Sustainable Supply Chain with Environmental Constraints and Carbon Caps", *International Journal of Production Economics*, 181, 191—207.
- Dou, G., and Cao, K., 2020, "A Joint Analysis of Environmental and Economic Performances of Closed-Loop Supply Chains under Carbon Tax Regulation", *Computers & Industrial Engineering*, 146, 106624.
- Ebrahimi, S., Hosseini-Motlagh, S.-M., Nematollahi, M., and Cárdenas-Barrón, L.E., 2022, "Coordinating Double-Level Sustainability Effort in a Sustainable Supply Chain under Cap-and-Trade Regulation", *Expert Systems with Applications*, 207, 117872.
- Edmans, A., Goldstein, I., and Zhu, J.Y., 2011, "Contracting with Synergies", NBER Working Paper, No. 17606.
- Fathi, F., and Bakhshoodeh, M., 2021, "Economic and Environmental Strategies against Targeting Energy Subsidy in Iranian Meat Market: A Game Theory Approach", *Energy Policy*, 150, 112153.
- Fowlie, M., Reguant, M., and Ryan, S.P., 2016, "Market-Based Emissions Regulation and Industry Dynamics", *Journal of Political Economy*, 124(1), 249—302.
- Govindan, K., Kaliyan, M., Kannan, D., and Haq, A.N., 2014a, "Barriers Analysis for Green Supply Chain Management Imple-

mentation in Indian Industries Using Analytic Hierarchy Process”, *International Journal of Production Economics*, 147, 555—568.

Govindan, K., Azevedo, S.G., Carvalho, H., and Cruz-Machado, V., 2014b, “Impact of Supply Chain Management Practices on Sustainability”, *Journal of Cleaner Production*, 85, 212—225.

Guan, Y., Shan, Y., Huang, Q., Chen, H., Wang, D., and Hubacek, K., 2021, “Assessment to China’s Recent Emission Pattern Shifts”, *Earth’s Future*, 9(11), e2021EF002241.

Han, Q., and Wang, Y., 2018, “Decision and Coordination in a Low-Carbon e-Supply Chain Considering the Manufacturer’s Carbon Emission Reduction Behavior”, *Sustainability*, 10(5), 1686.

Lafontaine, F., 1992, “Agency Theory and Franchising, Some Empirical Results”, *RAND Journal of Economics*, 23(2), 263—283.

Li, Z., and Wang, J., 2022, “Spatial Spillover Effect of Carbon Emission Trading on Carbon Emission Reduction: Empirical Data from Pilot Regions in China”, *Energy*, 251, 123906.

Luo, Z., Chen, X., and Wang, X., 2016, “The Role of Co-Opetition in Low Carbon Manufacturing”, *European Journal of Operational Research*, 253(2), 392—403.

McCaffrey, M., 2017, “The Morals of Moral Hazard: A Contracts Approach: The Morals of Moral Hazard: A Contracts Approach”, *Business Ethics: A European Review*, 26(1), 47—62.

Morasch, K., 1995, “Moral Hazard and Optimal Contract Form for R&D Cooperation”, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 28(1), 63—78.

Nie, Q., Zhang, L., Tong, Z., and Hubacek, K., 2022, “Strategies for Applying Carbon Trading to the New Energy Vehicle Market in China: An Improved Evolutionary Game Analysis for the Bus Industry”, *Energy*, 259, 124904.

Qi, Q., Wang, J. and Bai, Q., 2017, “Pricing Decision of a Two-Echelon Supply Chain with One Supplier and Two Retailers under a Carbon Cap Regulation”, *Journal of Cleaner Production*, 151, 286—302.

Resnier, M., Wang, C., Du, P. and Chen, J., 2007, “The Promotion of Sustainable Development in China through the Optimization of a Tax/Subsidy Plan among HFC and Power Generation CDM Projects”, *Energy Policy*, 35(9), 4529—4544.

Reynaert, M., 2021, “Abatement Strategies and the Cost of Environmental Regulation: Emission Standards on the European Car Market”, *Review of Economic Studies*, 88(1), 454—488.

Schultes, A., Leimbach, M., Luderer, G., Pietzcker, R.C., Baumstark, L., Bauer, N., Kriegler, E. and Edenhofer, O., 2018, “Optimal International Technology Cooperation for the Low-Carbon Transformation”, *Climate Policy*, 18(9), 1165—1176.

Shan, Y., Huang, Q., Guan, D. and Hubacek, K., 2020, “China CO₂ Emission Accounts 2016—2017”, *Scientific Data*, 7(1), 54.

Takemoto, Y., and Arizono, I., 2020, “Moral Hazard Problem and Collaborative Coordination in Supply Chain with Capacity Reservation Contract”, *International Journal of Production Research*, 58(8), 2510—2526.

Taleizadeh, A.A., Noori-Daryan, M., and Sana, S.S., 2020, “Manufacturing and Selling Tactics for a Green Supply Chain under a Green Cost Sharing and a Refund Agreement”, *Journal of Modelling in Management*, 15(4), 1419—1450.

Tong, W., Mu, D., Zhao, F., Mendis, G.P., and Sutherland, J.W., 2019, “The Impact of Cap-and-Trade Mechanism and Consumers’ Environmental Preferences on a Retailer-Led Supply Chain”, *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 88—100.

Toshimitsu, T., 2010, “On the Paradoxical Case of a Consumer-Based Environmental Subsidy Policy”, *Economic Modelling*, 27(1), 159—164.

Wang, M., Zhao, L. and Herty, M., 2019, “Joint Replenishment and Carbon Trading in Fresh Food Supply Chains”, *European Journal of Operational Research*, 277(2), 561—573.

Wang, Y., Fan, R., Shen, L., and Miller, W., 2020, “Recycling Decisions of Low-Carbon E-Commerce Closed-Loop Supply Chain under Government Subsidy Mechanism and Altruistic Preference”, *Journal of Cleaner Production*, 259, 120883.

Wang, Y., Yu, Z., Jin, M. and Mao, J., 2021, “Decisions and Coordination of Retailer-Led Low-Carbon Supply Chain under Altruistic Preference”, *European Journal of Operational Research*, 293(3), 910—925.

Xu, X., He, P., Xu, H., and Zhang, Q., 2017, “Supply Chain Coordination with Green Technology under Cap-and-Trade Regulation”, *International Journal of Production Economics*, 183, 433—442.

Zhang, B., and Xu, L., 2013, “Multi-Item Production Planning with Carbon Cap and Trade Mechanism”, *International Journal of Production Economics*, 144(1), 118—127.

Zhang, R., Ma, W. and Liu, J., 2021, “Impact of Government Subsidy on Agricultural Production and Pollution: A Game-Theoretic Approach”, *Journal of Cleaner Production*, 285, 124806.

Zhou, J., Zhao, X., Xue, L., and Gargeya, V., 2012, “Double Moral Hazard in a Supply Chain with Consumer Learning”, *Decision Support Systems*, 54(1), 482—495.

Internal Cooperation Coordination and External Subsidy Mechanisms in Low-carbon Cooperative Supply Chains

WANG Yuyan^a, LIN Fei^b and SHEN Liang^b

(a: School of Management Science and Engineering, Shandong University of Finance and Economics;

b: School of Public Finance & Taxation, Shandong University of Finance and Economics)

Summary: In the pursuit of dual-carbon goals of carbon dioxide peaking and carbon neutrality, enterprises emerge as the principal entities responsible for carbon reduction. The onus for emission reduction has thus extended across the entire supply chain, fostering the development of low-carbon cooperative supply chains (LC-CSCs). However, several factors, such as moral hazard, information asymmetry, and market externalities, hinder the effective implementation of cooperative emission reduction within these chains. Addressing the following issues is critical: How do factors such as cost synergies among LC-CSC members, along with product and carbon markets, influence emission reduction decisions? How can LC-CSC members be effectively coordinated to collaborate on emission reduction? What external subsidy mechanisms should the government design to incentivize LC-CSC members' emission reduction behaviors?

To address the aforementioned issues, this paper integrates the perspectives of internal cooperation coordination and external subsidy incentives within the low-carbon supply chain, taking into account information asymmetry and carbon emission externalities. It constructs and analyzes the equilibrium strategies and influencing factors of a bilateral moral hazard model for LC-CSCs, deriving the optimal "cooperation coordination contract" within LC-CSCs. In response to market failures, two governmental subsidy incentive mechanisms—pre-subsidy and post-subsidy—are designed, with specific scenarios provided for each, thereby optimizing the external "subsidy incentive mechanism" for LC-CSCs. The paper also validates the model's effectiveness through numerical analysis using data from pilot carbon trading cities in China.

The study elucidates that cost synergies, carbon pricing, and consumers' preferences for low-carbon options substantially motivate LC-CSC members to reduce emissions. However, "opportunistic behaviors" induced by moral hazard among members can undermine these efforts. In such scenarios, implementing a "cooperation coordination contract" proves to be equitable and effective in cultivating cooperative relationships among LC-CSC members. Furthermore, "market failure" caused by the positive externalities of emission reduction may result in insufficient efforts by LC-CSC members to reduce carbon emissions, necessitating the timely introduction of government "subsidy incentive mechanisms" for compensation. Specifically, a pre-subsidy strategy is advisable when the public infrastructure for emission reduction is relatively complete; otherwise, a post-subsidy strategy better enhances social welfare.

This paper contributes to the scholarly investigation of internal coordination and external incentives for LC-CSCs in three key aspects.

Firstly, addressing scenarios characterized by moral hazard alongside cost synergies and information asymmetry, this model intricately examines the challenges of mitigating moral hazard within the framework of cost synergies and information asymmetry. Departing from conventional methodologies that merely aggregate members' emission reduction costs, the study highlights the cost synergies, whereby heightened emission reduction efforts by one party alleviate the reduction costs of others. This elucidates the nuanced decision-making dynamics among supply chain members under the combined influence of information asymmetry and cost synergies.

Secondly, to cultivate emission reduction behavior within LC-CSCs, a coordinative incentive mechanism is devised, emphasizing internal coordination and external incentives. The research advocates for an approach that integrates internal coordination contracts with external subsidy incentive mechanisms. This holistic strategy aims to alleviate moral hazard and address market failure stemming from information asymmetry, thereby fostering micro-level cooperation coordination and optimizing macro-level social welfare.

Thirdly, from the perspective of the government, pre-subsidy and post-subsidy mechanisms targeting LC-CSC carbon emission reduction have been designed, with the applicable conditions of both subsidy mechanisms clearly delineated. In comparison to traditional price subsidies or carbon quota subsidies, this paper proposes pre-subsidy strategies involving enhancing public infrastructure and post-subsidy strategies based on the proportion of enterprise emission reduction benefits. This offers theoretical support for the governmental formulation of rational carbon emission reduction subsidy policies, thus expanding the theoretical framework for the design of such policies.

Keywords: Low-carbon Cooperative Supply Chains; Cost Synergy; Bilateral Moral Hazard; Coordination Contract; Subsidy Incentive

JEL Classification: C70, L2, Q4

(责任编辑:陈小亮)(校对:王红梅)