



中国矿业大学学报(社会科学版)

Journal of China University of Mining & Technology(Social Sciences)

ISSN 1009-105X,CN 32-1593/C

《中国矿业大学学报(社会科学版)》网络首发论文

题目： 碳价格及其波动率能促进中国企业低碳投资吗？
作者： 魏琦，李林静
网络首发日期： 2021-02-09
引用格式： 魏琦，李林静. 碳价格及其波动率能促进中国企业低碳投资吗？. 中国矿业大学学报(社会科学版).
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1593.C.20210208.1707.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

碳价格及其波动率能促进 中国企业低碳投资吗？

魏琦，李林静

[摘要]成长中的中国碳市场已初步形成碳价信号，研究碳价格及其波动率对低碳投资的影响对深化完善全国碳市场具有重要意义。基于此，利用201—2019年控排上市企业数据，采用实证研究方法，研究碳价格及其波动率对中国企业低碳投资的影响。研究表明，碳价信号并不总是对企业低碳投资产生直接影响，但可以同融资约束共同发生作用。其中，碳价格与融资约束的交互项对企业低碳投资具有促进作用，碳价格波动率与融资约束的交互项对低碳投资产生抑制作用。考虑企业产权性质时，国有企业低碳投资受碳价格、碳价格与融资约束的交互项的影响，非国有企业受融资约束、碳价格波动率、碳价格波动率与融资约束的交互项的影响。因此，提出以下政策建议：维持公允且稳定的碳价，合理调控碳价格波动率、创新气候金融发展和规范碳资产管理培训。

[关键词]碳价格；波动率；低碳投资；融资约束，SYS-GMM模型

[基金项目]国家自然科学基金项目“不确定性冲击下碳排放权交易效率与调控机制构建的实验研究”（项目编号：71963024）

[中图分类号]F832.5

[文献标识码]A

DOI:

引言

碳市场作为政府设置的市场，通过碳价信号引导和调节企业低碳投资，从而消减CO₂排放量，实现宏观环境效益和社会效益。因此碳市场目标的实现取决于微观企业的低碳投资决策。企业作为理性人，其低碳投资决策以实现利润最大化为目标，决策时需考虑成本与收益两方面。从成本角度看，低碳投资具有资金体量要求高、风险高、持续时间长的“两高一长”特征，企业主要依赖外部融资完成低碳投资需求，而外部融资存在明显的信息不对称和代理成本，导致融资成本成为企业低碳投资的首要约束。从收益角度看，碳价呈现稳定上升趋势时，低碳投资的收益增加，反之收益下降，因此碳价是调节企业低碳投资的重要依据。

“十三五”期间，尽管我国碳市场存在碳价偏低、试点市场价格差距较大、难以形成公允价格且波动频繁等问题，但已初步形成价格信号和风险信号。碳价格稳定上升，北京碳价格从47.68元/吨升至78.86元/吨，上海从23.66元/吨升至40.46元/吨；碳价格波动率逐渐缩小，上海碳价格标准差从7.59降至3.34，天津从2.98降至0.9。同期，中国低碳投资总额约为65070亿元，实现二氧化碳减排能力19.8亿吨，虽已取得初步成果，但离实现2030年碳强度下降60%~65%（2005年为基期）的目标仍有很大差距。对碳市场中微观企业低碳投资行为的分析是实现碳市场排放量消减目标的前提，因此有必要深入研究我国碳价与低碳投资的关系。

国内外学者从宏观层面就碳市场效率进行了大量研究。沈洪涛、黄楠（2019）运用事件研究法，提出现阶段我国碳交易未实现经济红利。廖文龙等（2020）基于地区数据，运用准自然实验法，提出碳交易促进绿色经济增长。陆敏（2020）基于地区数据，运用双重差分模型，提出碳交易对生态效率具有促进作用。路正男、罗雨森（2020）基于地

区数据,运用双重差分模型,提出碳交易有效降低 CO₂ 排放量。胡玉凤、丁友强(2020)基于试点数据,运用双重差分模型,提出碳交易在一定程度上可以实现绿色效率和经济效益。现有研究多基于地区数据,从碳价格和经济效益、环境效益之间关系的角度出发,而忽略微观企业行为对碳市场实施效果的影响。

关于碳价格及其波动率与低碳投资关系的研究,蔡小哩等(2018)通过构建低碳技术采纳决策模型,研究高耗能企业的低碳投资问题,提出碳价波动率对企业低碳投资有抑制作用。魏莉等(2020)通过构建企业利润最大化模型,研究废钢铁再制造企业的减排投资决策,提出高碳价会促进企业积极采取减排措施。张新华等(2020)通过构建碳减排投资实物期权模型,研究碳价下限对发电商减排投资的影响,提出碳价下限会缩短减排投资决策时间。丁志刚等(2020)通过构建供应量低碳技术决策模型,研究低碳技术采纳时机,提出碳价波动率会影响供应链低碳技术采纳时机。学者们通过构建低碳技术采纳决策模型、利润最大化模型、碳减排投资实物期权模型,分析碳价波动对高耗能企业、废钢铁再制造企业和发电商低碳投资行为的影响。但受到样本容量限制,所用模型难以考虑碳市场自身内生性、低碳投资量连续性、消费者低碳偏好和碳市场处罚机制等因素。而系统广义矩估计(SYS-GMM)模型是解决内生性问题的有效方法之一,且非常适合处理时间跨度小于截面数的面板数据(Roodman, 2006),已被广泛用于分析股价波动与股市收益、研发与投资等问题上。

基于此,本文使用微观企业数据,采用实证研究方法,研究碳价格及其波动率、融资约束对企业低碳投资之间的影响,以期碳交易试点地区制定碳价调控机制提供思路,为金融机构发展气候金融提供参考。本文的创新之处主要包括:(1)从碳交易政策下微观企业低碳投资行为入手,研究碳市场效率问题。(2)采用 SYS-GMM 模型,更加贴合实际问题,在考虑因变量滞后性的同时有效解决模型内生性问题,获得更为可靠的研究结果。

一、理论分析与研究假设

(一)碳价格及其波动率对低碳投资的影响

碳价格及其波动率对企业低碳投资的影响机制有两种:成本节约激励机制和“信号-预期”机制。成本节约激励机制中,根据“弱波特假说”,碳市场的实施影响企业生产成本,促使其调整投资模式,降低碳排放强度。企业在面对碳市场时,或通过低碳投资实现减排和履约,或通过购入碳配额实现履约。前者,企业需付出高昂的低碳投资费用,但也有可能获得出售多余配额的收益;后者,企业需付出碳配额的购买费用或碳市场违约的罚款费用。“信号-预期”机制中,企业对碳市场的预期将影响其低碳投资活动,碳价格作为价格信号,在一定程度上反映区域减排成本。碳价格越高,区域减排成本越高,可接受的边际减排成本也就越高,企业为获得竞争优势,选择通过低碳投资实现减排和履约。碳价格波动率作为风险信号,碳价格波动率越大,碳市场越不稳定,企业为降低风险,选择通过购入碳配额实现履约。因此,提出以下研究假设:

H1: 碳价格对低碳投资有正向促进作用;碳价格波动率对低碳投资有反向抑制作用

(二)融资约束对低碳投资的影响

低碳投资作为一种创新投资,由于具有成本内化、环境效益外化的特点,导致缺乏低碳投资的内生动力,因此是碳交易制度下的一种被动创新投资行为。企业从事低碳投资活动的资金主要来源于两个途径:内部融资(企业自身积累)和外部融资(外部投资者),内外部融资成本的差异产生了融资约束。企业在进行低碳投资时会按照“优序融资”理论选择内部融资,但企业自身积累资金有限,并不能完全满足企业低碳投资需求,加之低碳投资需要持续不断的投入,企业通常需要借助外部融资完成低碳投资活动,且由于信息不对称和代理成本,外部投资者对企业低碳投资的审查更加严格,这也导致融资难和融资成本高等问题。融资约束成为制约企业低碳投资的主要因素之一。因此,提出以下研究假设:

H2: 融资约束对企业低碳投资有反向抑制作用

(三)碳价格及其波动率与融资约束的交互作用对企业低碳投资的影响

由于碳价格对低碳投资具有促进作用，碳价格波动率和融资约束对低碳投资具有抑制作用，企业同时面临碳市场和融资约束时，会根据利润最大化决定低碳投资规模。一方面，碳价越高、碳价波动率越小，碳市场的成本激励作用和政府对碳市场的重视程度越强，企业即使面临融资成本的限制，也倾向于扩大低碳投资规模，另一方面，即使碳市场趋紧，迫于融资约束企业也不得不缩减低碳投资规模。总之，碳价格能缓解融资约束对低碳投资的抑制作用，融资约束会挤出碳价格对低碳投资的促进作用，但在我国大力提倡减排，多种减排工具齐头并进的背景下，碳价格对融资约束的缓解作用大于融资约束对低碳投资的挤出效应。碳价格波动率和融资约束均对低碳投资有抑制作用，那二者合力会对低碳投资规模产生多大规模的抑制作用呢？因此，提出以下研究假设：

H3: 碳价格与融资约束的交互项对企业低碳投资有正向促进作用；碳价格波动率与融资约束的交互项对企业低碳投资有反向抑制作用。

本文构建的碳价信号传导机制如图 1 所示：

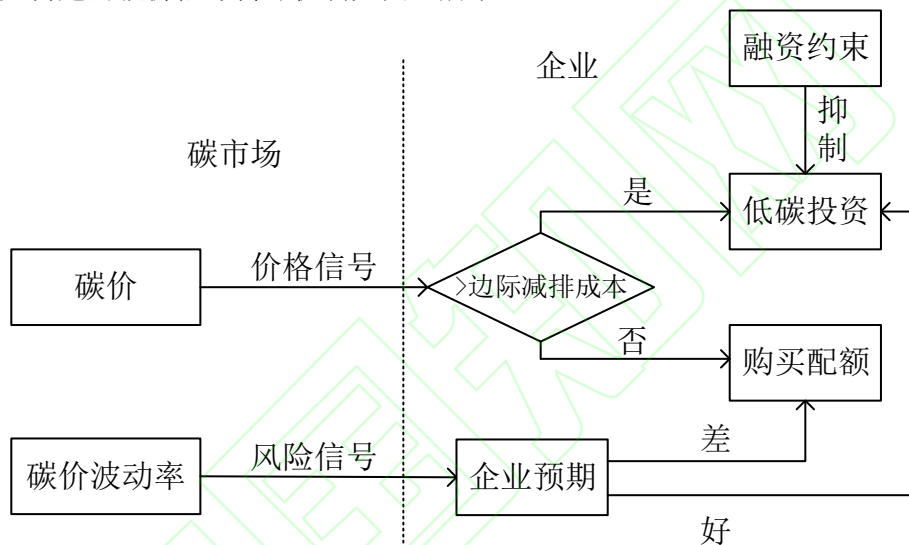


图1 碳价信号传导机制

二、研究设计

(一)样本选取与数据来源

本文以被纳入深圳、上海、北京、广州、天津、湖北、重庆 2015 年碳市场的控排上市企业作为研究对象，样本时期为 2015—2019 年。理由如下：（1）截至 2020 年，中国共有 8 个碳市场，其中 7 个碳市场于 2014 年 6 月前成立，第 8 个碳市场成立时间较晚，因此，为保证样本时间长度，选择先成立的 7 个碳市场作为样本筛选范围，样本时期为 2015—2019 年；（2）关于低碳投资的披露，只有上市公司被要求强制披露社会责任情况，因此，样本为上市公司；（3）关于 2015 年碳市场，本文研究碳价格及其波动率对低碳投资的影响，为保证样本质量，需保证研究对象在样本时期内一直被纳入碳市场。因此，使用 2015 年碳市场名单筛选企业。

同时进行如下筛选：（1）剔除控排企业名单中的非上市公司、2015 年后上市的公司和 2015 年后退出碳市场的企业；（2）剔除 ST、*ST 的上市公司；（3）剔除样本时期内数据不完整的样本。通过上述筛选，本文最终获得 135 家控排上市公司样本。

本文数据来源：（1）被解释变量低碳投资（ LC ）相关数据来源于企业发布的社会责任报告；（2）解释变量融资约束（ FC ）、碳价格及其波动率（ $Price$ 和 VO ）和控制变量企业规模（ $Size$ ）、盈利能力（ RoA ）、现金持有量（ $Cash$ ）、机会成本（ Q_{it} ）

的相关数据来源于国泰安（CSMAR）和万德（Wind）数据库，其中缺失的数据根据相关资料手工计算获得。

（二）变量选取与定义

（1）被解释变量：低碳投资（ LC ）

关于低碳投资，本文借鉴 Darren、Schwartz（1997）和毕茜、于连超（2016）的处理，采用内容分析法，将上市公司社会责任报告中关于低碳投资的描述进行定量转化，衡量低碳投资额。低碳投资是指企业用于低碳管理、节能降耗设备更新改造、低碳能源、清洁生产技术研发和国家核证自愿减排量（CCER）等方面的资金投入。目前，这种方法广泛应用于社会责任和绿色投资研究中，其优点在于分摊企业当期支付多期使用或受益的资产支出，如节能降耗生产设备的购置费用、清洁生产技术的研发费用等。本文根据低碳投资分类，构建企业低碳投资评价体系，如图 2 所示，共 5 类，13 个指标。依据《社会责任报告》，参照评价体系做出客观评分，各指标赋值 0~3 分，分别表示无投资，较少投资、中等投资和充分投资，企业低碳投资为 13 项指标评分加总。

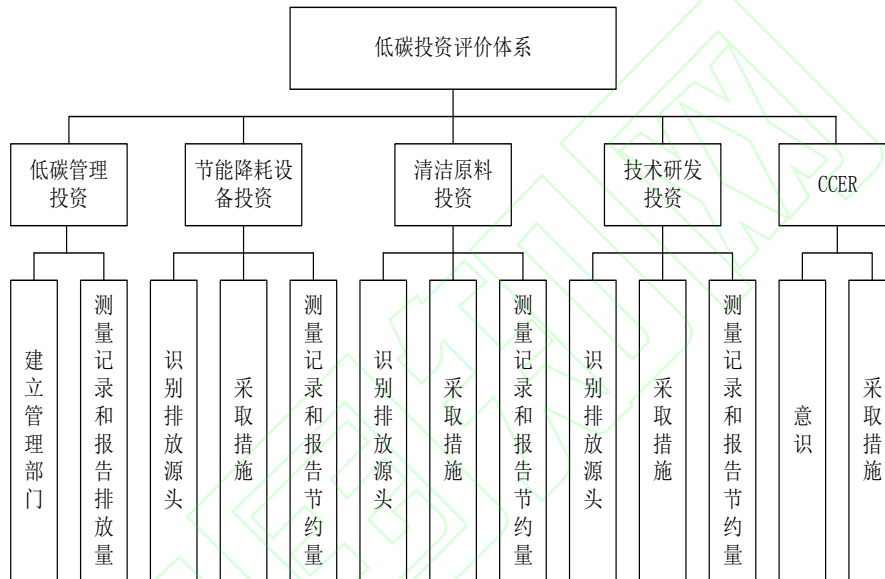


图 2 低碳投资评价体系

（2）解释变量：碳价格及其波动率（ $Price/VO$ ）

从两个角度衡量碳价格及其波动率，碳价格（绝对值指标）和碳价格波动率（相对值指标）。碳价格是指企业所在碳市场的年交易均价；碳价格波动率是指企业所在碳市场交易价格的年标准差。若同一企业同时被纳入多个碳市场，则采用加权平均的方法计算碳价格和碳价格波动率。

（3）解释变量：融资约束（ FC ）

本文借鉴林学军、官玉霞（2020）的处理，使用 Kaplan S N, Zingales L（1997）提出的 KZ 指数作为融资约束衡量指标。 KZ 指数越大，企业融资约束程度越高。计算过程如下：（1）计算 5 个企业财务指标： OF/A （经营活动现金流量/期初总资产）、 D/A （现金股利/期初总资产）、 C/A （现金及现金等价物/期初总资产）、 Lev （负债合计/资产合计）、 $Tobin's Q$ （公司市值/资产重置成本）；（2）若 OF/A 小于中位数，则令 kz_1 为 1，否则为 0； D/A 、 C/A 同 OF/A 处理；若 Lev 大于中位数，则令 kz_4 为 1，否则为 0； $Tobin's Q$ 同 Lev 处理；（3）令 $kz = kz_1 + kz_2 + kz_3 + kz_4 + kz_5$ ；（4）令 kz 为因变量， OF/A 、 D/A 、 C/A 、 Lev 、 $Tobin's Q$ 为自变量，使用 Ordered Logit 模型进行回归，得到各变量回归系数；（5）将（1）和（4）求得的系数带入模型，得到 KZ 指数。

（4）控制变量

参考现有关于碳价格及其波动率、融资约束对低碳投资影响的研究，对其他影响低

碳投资的企业特征变量进行控制，具体包括：企业规模（*Size*）、盈利能力（*Roa*）、现金流量（*Cash*）、机会成本（*Opport*）、产权性质（*Soe*）、行业效应（*Industry*）、年度效应（*Year*）。相关变量含义及说明如下表 1 所示：

表 1 主要变量及含义

变量类型	变量名称	变量符号	变量含义及说明
被解释变量	低碳投资	<i>LC</i>	内容分析法下的低碳投资规模
	碳价格	<i>Price</i>	年交易均价
解释变量	碳价格波动率	<i>VO</i>	年内有效交易日碳价格的标准差
	融资约束	<i>FC</i>	<i>KZ</i> 指数
	企业规模	<i>Size</i>	期末总资产的自然对数
控制变量	盈利能力	<i>Roa</i>	总资产收益率，企业净利润/年平均总资产
	现金流量	<i>Cash</i>	经营活动现金净流量/总资产
	机会成本	<i>Opport</i>	托宾 Q 值
	产权性质	<i>Soe</i>	国有企业为 1，否则为 0
	行业效应	<i>Industry</i>	资本密集型行业为 1，否则为 0
	年度效应	<i>Year</i>	设置 5 个年度虚拟变量

(三)模型构建

验证 H1，使用 SYS-GMM 模型，考虑到碳价格和碳价格波动率也存在滞后性，采用滞后一期的碳价格或碳价格波动率来构建模型 1，如公式（1）、（2）所示：

$$\ln LC_{it} = \alpha + \ln LC_{it-1} + \lambda_1 Price_{it-1} + \lambda_2 Control_{it-1} + \lambda_3 \sum soe + \lambda_4 \sum year + \lambda_5 \sum industry + v_{it} \quad (1)$$

$$\ln LC_{it} = \alpha + \ln LC_{it-1} + \lambda_1 VO_{it-1} + \lambda_2 Control_{it-1} + \lambda_3 \sum soe + \lambda_4 \sum year + \lambda_5 \sum industry + v_{it} \quad (2)$$

验证 H2，使用 SYS-GMM 模型，考虑到融资约束也存在滞后性，故采用滞后一期的融资约束来构建模型 2，如公式（3）所示：

$$\ln LC_{it} = \alpha + \ln LC_{it-1} + \beta_1 FC_{it-1} + \beta_2 Control_{it-1} + \beta_3 \sum soe + \beta_4 \sum year + \beta_5 \sum industry + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

验证 H3，使用 SYS-GMM 模型，在模型 1、模型 2 的基础上增加碳价格或碳价格波动率与融资约束的交互项来构建模型 3，如公式（4）、（5）所示：

$$\ln LC_{it} = \alpha + \ln LC_{it-1} + \gamma_1 Price_{it-1} + \gamma_2 FC_{it-1} + \gamma_3 Price_{it-1} * FC_{it-1} + \gamma_4 Control_{it-1} + \gamma_5 \sum soe + \gamma_6 \sum year + \gamma_7 \sum industry + \mu_{it} \quad (4)$$

$$\ln LC_{it} = \alpha + \ln LC_{it-1} + \gamma_1 VO_{it-1} + \gamma_2 FC_{it-1} + \gamma_3 VO_{it-1} * FC_{it-1} + \gamma_4 Control_{it-1} + \gamma_5 \sum soe + \gamma_6 \sum year + \gamma_7 \sum industry + \mu_{it} \quad (5)$$

三、实证结果分析

(一)描述性统计

1.企业低碳投资的统计描述

企业低碳投资描述性统计结果如表 2 所示，从截面来看，低碳投资最大相差 39 个单位，标准差为 11.92，说明不同企业之间低碳投资规模差异较大；从时间序列来看，各年平均值和中位数持续增加，说明企业低碳投资规模呈现逐年上升趋势。

表 2 企业绿色投资的描述性统计

年份 Year	观测值 observations	均值 Mean	中位数 median	最小值 min	最大值 max	标准差 Std.deviation
总体	675	17.30	16	0	39	11.92
2015	135	13.53	13	0	37	10.16
2016	135	15.41	15	0	37	10.71
2017	135	17.27	16	0	37	11.67
2018	135	19.48	19	0	39	12.58
2019	135	20.79	22	1	39	12.94

2.其他变量的统计描述

其他变量描述性统计结果如表 3 所示，碳价格均值为 35.77，中位数为 32.95，最大值为 78.76，最小值为 4.5、标准差为 18.11，说明不同碳市场碳价格差异大，被纳入不同碳市场的企业所受到碳价格的引导调节作用不同。碳价格波动率均值为 5.86，中位数为 5.49，最大值为 13.54，最小值为 0.9，标准差为 2.53，说明碳价格波动率普遍较高，不同碳市场碳价格波动率差异明显，被纳入不同碳市场的企业所受到碳价格波动率的引导调节作用不同。融资约束均值为 1.39，中位数为 1.68，最大值为 10.95，最小值为-6.8，标准差为 2.31，说明样本企业普遍存在融资约束，且不同企业之间融资约束差异较大。

表 3 其他变量的描述性统计

变量	观测值	均值	中位数	最小值	最大值	标准差
<i>Price</i>	675	35.77	32.95	4.5	78.76	18.11
<i>VO</i>	675	5.86	5.49	0.9	13.54	2.53
<i>FC</i>	675	1.39	1.68	-6.8	10.95	2.31
<i>Size</i>	675	14.90	14.54	9.78	21.83	2.30
<i>Roa</i>	675	2.16	0.08	-7.34	29.69	3.88
<i>Cash</i>	675	1157.36	22.39	0	39839.46	5478.87
<i>Opport</i>	675	1.48	1	0	19.3	1.58
<i>Soe</i>	675	0.637	1	0	1	0.481
<i>Industry</i>	675	0.61	1	0	1	0.49

(二) SYS-GMM模型估计结果

1.全样本估计结果

对 2015—2019 年 135 家企业的面板数据采用 SYS-GMM 模型进行估计，并利用 OLS、FE 估计值进行检验，结果如表 4、表 5 所示。模型 1、2、3 均通过检验，SYS-GMM 模型估计结果稳健且可靠。如模型 1 中：（1）Hansen test 为 0.322，拒绝所使用的工具变量与误差项式不相关的原假设，通过过度识别约束检验；（2）AR（2）为 0.299，接受一阶差分方程的随机误差项中不存在二阶序列相关的原假设，通过自相关检验；（3）滞后项的估计值为 0.653，介于 OLS 估计值 0.916 和 FE 估计值 0.362 之间，（4）工具变量数 84 小于截面数 135。模型 2、3 理由同上。

表 4 OLS、FE、SYS-GMM 检验结果

	变量	OLS	FE	SYS-GMM
模型 1	<i>Price</i> <i>L.lnLC</i>	0.916*** (63.59)	0.362*** (9.42)	0.653*** (10.17)
	<i>VO</i> <i>L.lnLC</i>	0.918*** (64.25)	0.374*** (9.89)	0.665*** (9.28)
模型 2	<i>Price</i> <i>L.lnLC</i>	0.916*** (64.16)	0.373*** (9.97)	0.699*** (11.73)
	<i>VO</i> <i>L.lnLC</i>	0.913*** (63.55)	0.363*** (9.53)	0.686*** (11.28)
模型 3	<i>Price</i> <i>L.lnLC</i>	0.916*** (64.27)	0.377 (10.08)	0.707*** (11.44)
	<i>VO</i> <i>L.lnLC</i>			

首先，考虑碳价格及其波动率对低碳投资的影响，模型 1 中，控制其他变量影响后，碳价格、碳价格波动率与低碳投资之间的关系均不显著。即碳价格和碳价格波动率不会直接对低碳投资产生影响，这是由于我国碳市场处于建立初期，多数企业还未做好应对碳市场的准备，对碳价格、碳价格波动率的变化并不敏感，同时也不具备完全反应能力，H1 不成立。其次，考虑融资约束对低碳投资的影响，模型 2 中，控制其他变量影响后，融资约束在 10%水平上显著为负（ $\beta_1 = -0.023, P=0.1$ ），说明融资约束对企业低碳投资有显著抑制作用，这是由于低碳投资具有“两高一长”特征，需要借助外部融资满足投资需求，而低碳投资又因信息不对称和代理成本导致融资难和融资成本高，H2 成立。最后，考虑碳价格及其波动率与融资约束的交互作用对低碳投资的影响，模型 3 中，控制其他变量的前提下，变量为碳价格时，交互项在 10%水平上显著为正（ $\gamma_1 = 0.002, P=0.1$ ），

说明碳价格与融资约束的交互项对低碳投资具有正向促进作用，这是由于碳价格的正效应完全抵消了融资约束引起的负效应，从而使交互作用显著为正。即企业在同时面临碳市场和融资约束时，或为避免支付昂贵的配额费用或违约罚款，或为赚取出售配额的收入，而选择扩大企业低碳投资规模，以求缓解融资约束并在碳市场中获得竞争优势。变量为碳价格波动率时，交互项在 5%水平上显著为负 ($\gamma_1 = -0.005$, $P=0.05$)，说明碳价格波动率与融资约束的交互项对低碳投资起到显著负向作用。这是由于在面对不稳定的碳市场和自身成本限制的情况下，企业为规避不确定性风险，而选择缩减低碳投资规模，H3 成立。

表 5 全样本估计结果

变量	模型 1		模型 2	模型 3	
	<i>Price</i>	<i>VO</i>	-	<i>Price</i>	<i>VO</i>
<i>Price</i> _{<i>VO</i>}	0.002 (1.60)	-0.006 (-0.93)		0.004** (2.26)	-0.007 (-0.99)
<i>FC</i>			-0.023* (-1.66)	-0.024 (-1.57)	-0.025* (-1.96)
<i>FC * Price</i> _{<i>VO</i>}				0.002* (1.90)	-0.005** (-2.16)
<i>Size</i>	0.097*** (3.18)	0.105*** (3.22)	0.086*** (2.80)	0.090*** (3.23)	0.078** (2.58)
<i>Roa</i>	0.013* (1.84)	0.023*** (2.67)	0.019*** (2.69)	0.009 (1.44)	0.022*** (2.96)
<i>Cash</i>	-0.000*** (-2.60)	-0.000** (-2.46)	-0.000** (-2.25)	-0.000*** (-2.85)	-0.000* (-1.85)
<i>Opport</i>	0.007 (0.47)	0.005 (0.37)	0.022 (1.46)	0.016 (0.86)	0.021 (1.25)
<i>Soe</i>	control	control	control	control	control
<i>Industry</i>	control	control	control	control	control
<i>Year</i>	control	control	control	control	control
常数项	-5.44 (-1.45)	-0.747** (-2.05)	-0.544 (-1.28)	-0.504 (-1.35)	-0.465 (-1.11)
AR(1)	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002
AR(2)	0.299	0.263	0.318	0.365	0.212
Hansen Test	0.322	0.124	0.211	0.108	0.214
Sargan test	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
观察数	520	520	520	520	520
工具变量数	84	84	97	98	98

2. 分组估计结果

根据上文全样本回归结果，可知行业效应和年份效应对低碳投资的影响并不显著，但产权性质对低碳投资有显著正向影响。因此，根据企业产权性质，将样本分为国有企业和非国有企业，计量结果如表 6、表 7 所示。同理，认为 SYS-GMM 估计结果稳健且可靠。

当变量为碳价格时，模型 1、2、3 中，控制其他变量影响后，国有企业碳价格在 5%水平上显著为正 ($\lambda_1 = 0.004$, $P=0.05$)，融资约束不显著为负，交互项在 5%水平上显著为正 ($\gamma_1 = 0.002$, $P=0.05$)，系数小于碳价格的系数；非国有企业碳价格不显著为负，融资约束在 5%水平上显著为负 ($\beta_1 = -0.057$, $P=0.05$)，交互项不显著为正。说明国有企业低碳投资同时受碳价格直接影响和交互项影响，但与融资约束无直接关系；而非国有企业受融资约束影响，与碳价格和交互项无显著关系。这是由于国有企业自有资金积累雄厚，受外部融资依赖小，且外部融资成本较低，不受融资约束限制；同时，国有企业作为政府代理人，需响应政府号召，承担减排责任，履行国企使命，受碳价格和交互项影响。非国有企业自有资金薄弱，主要依赖外部融资进行低碳投资，且外部融资成本高，受融资约束限制；碳市场仍处于建设初期，非国有企业由于融资约束，对碳市场的

发展态势仍处于观望状态，不受碳价格和交互项的引导和调节作用。

表 6 分产权性质估计结果 (*Price*)

	国有企业			非国有企业		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
<i>L.lnLC</i>	0.660*** (9.20)	0.755*** (13.82)	0.726*** (12.90)	0.687*** (6.40)	0.695*** (5.76)	0.652*** (5.86)
<i>Price</i> γ <i>VO</i>	0.004** (2.04)		0.004** (2.28)	-0.001 (-0.23)		0.000 (0.06)
<i>FC</i>		-0.002 (-0.17)	-0.001 (-0.10)		-0.057** (-2.36)	-0.068** (-2.18)
<i>FC * Price</i> γ <i>VO</i>			0.002** (1.99)			0.002 (0.90)
<i>Size</i>	0.084** (2.59)	0.079*** (2.64)	0.073*** (2.80)	0.093 (1.26)	0.151** (2.20)	0.178* (1.96)
<i>Roa</i>	0.013 (1.48)	0.016** (1.99)	0.003 (0.45)	0.021 (1.40)	0.012 (1.07)	0.017 (1.30)
<i>Cash</i>	-0.000** (-2.10)	-0.000** (-2.25)	-0.000*** (-2.66)	0.001 (0.59)	0.000 (0.10)	-3.52e-06 (-0.00)
<i>Opport</i>	0.025 (0.79)	0.032 (1.18)	0.027 (1.01)	0.005 (0.31)	0.045** (2.07)	0.040 (1.32)
<i>Soe</i>	control	control	control	control	control	control
<i>Industry</i>	control	control	control	control	control	control
常数项	-0.260 (-0.54)	-0.510 (-1.13)	-0.259 (-0.64)	-0.611 (-0.60)	-1.546 (-1.61)	-1.803 (-1.44)
AR(1)	0.007	0.006	0.003	0.037	0.033	0.032
AR(2)	0.542	0.510	0.433	0.428	0.560	0.665
Hansen Test	0.323	0.465	0.483	0.374	0.526	0.610
Sargan test	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
观察数	338	338	338	182	182	182
工具变量数	77	89	90	46	53	54

当变量为碳价格波动率时，模型 2、3 中，控制其他变量影响后，国有企业碳价格波动率不显著为正，交互项不显著为负；非国有企业碳价格波动率和交互项分别在 5% 水平上显著为负 ($\lambda_i = -0.052$, $P=0.05$, $\gamma_i = -0.012$, $P=0.05$)。说明国有企业不受碳价格波动率和交互项的影响，非国有企业受碳价格波动率和交互项的负向影响；这是由于国有企业作为大企业，需承担大企业减排责任，且不减排隐性成本较大，即使在面对不稳定的碳市场时，也需积极响应政府号召；而非国有企业由于自身实力有限，碳价格波动率较大时，为避免不确定性风险，更愿意继续观望碳市场的发展情况。

表 7 分产权性质估计结果 (*VO*)

	国有企业		非国有企业	
	模型 2	模型 3	模型 2	模型 3
<i>L.lnLC</i>	0.564*** (4.14)	0.585*** (4.91)	0.683*** (7.15)	0.710*** (9.16)
<i>Price</i> γ <i>VO</i>	0.004 (0.64)	0.007 (0.87)	-0.052** (-2.23)	-0.062*** (-3.22)
<i>FC</i>		-0.008 (-0.57)		-0.046** (-2.25)
<i>FC * Price</i> γ <i>VO</i>		-0.001 (-0.29)		-0.012** (-2.24)
<i>Size</i>	0.089* (1.70)	0.111** (2.00)	0.106 (1.16)	0.107 (1.45)
<i>Roa</i>	0.021 (1.32)	0.024 (1.43)	0.025* (1.65)	0.022* (1.77)
<i>Cash</i>	-0.000 (-0.14)	-0.000 (-1.44)	0.001 (0.55)	0.001 (0.53)
<i>Opport</i>	0.009	0.027	0.007	0.028

	(0.30)	(0.80)	(0.49)	(1.34)
<i>Soe</i>	control	control	control	control
<i>Industry</i>	control	control	control	control
常数项	-0.037	0.513	-0.961	-1.072
	(-0.05)	(-0.59)	(-0.78)	(-1.04)
AR(1)	0.030	0.021	0.024	0.029
AR(2)	0.578	0.598	0.308	0.287
Hansen Test	0.146	0.069	0.363	0.765
Sargan test	0.000	0.000	0.000	0.000
观察数	338	338	182	182
工具变量数	46	54	46	54

3. 稳健性检验

为验证上述计量结果的可信程度，本文将进行以下稳健性检验：

(1) 更换低碳投资衡量方式，使用低碳投资占年末总资产的百分比作为低碳投资的新指标，计量结果如表 8 所示。

(2) 借鉴 Baker, Stein (2003) 对 KZ 指数的处理方法，利用公式 (6) 重新构建 KZ 指数，计量结果如表 9 所示。

$$KZ = -5.768 \times OF/A - 26.702 \times D/A - 3.770 \times C/A + 3.550 \times Lev \quad (6)$$

(3) 在回归模型中添加其他可能影响企业低碳投资规模的变量，如企业年龄、盈利情况等控制变量。计量结果如表 10 所示。

上述三次稳健性结果均与本文结论保持一致，即碳价对企业低碳投资无直接促进作用，融资约束对低碳投资有显著抑制作用，碳价格与融资约束的交互项对低碳投资有促进作用，碳价格波动率与融资约束的交互项对低碳投资有抑制作用。

表 8 稳健性检验结果 (1)

	<i>Price</i>			<i>VO</i>		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
<i>L.lnLC</i>	0.463***	0.532***	0.528***	0.463***	0.532***	0.522***
	(4.28)	(5.73)	(5.21)	(4.16)	(5.73)	(5.24)
<i>Price</i> / <i>VO</i>	0.004		0.005*	-0.006		-0.006*
	(1.20)		(1.75)	(-0.66)		(-0.61)
<i>FC</i>		-0.036**	-0.030*		-0.036**	-0.035*
		(-2.08)	(-1.88)		(-2.08)	(-1.93)
<i>FC</i> * <i>Price</i> / <i>VO</i>			0.003**			-0.002*
			(2.31)			(-0.83)
AR(1)	0.039	0.031	0.039	0.048	0.031	0.034
AR(2)	0.492	0.559	0.751	0.459	0.559	0.494
Hansen Test	0.055	0.214	0.196	0.146	0.214	0.238
Sargan test	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
观察数	520	520	520	520	520	520
工具变量数	84	97	98	84	97	98

表 9 稳健性检验结果 (2)

	<i>Price</i>			<i>VO</i>		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
<i>L.lnLC</i>	0.652***	0.682***	0.669***	0.665***	0.682***	0.683***
	(10.00)	(11.99)	(12.34)	(9.28)	(12.03)	(11.73)
<i>Price</i> / <i>VO</i>	0.002		0.003	-0.006		-0.005
	(1.60)		(1.61)	(-0.93)		(-0.69)
<i>FC</i>		-0.000*	-0.000		-0.000*	-0.000*
		(-1.82)	(-1.27)		(-1.83)	(-1.78)
<i>FC</i> * <i>Price</i> / <i>VO</i>			9.52e-06**			-5.59e-07*
			(2.11)			(-0.41)
AR(1)	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
AR(2)	0.299	0.357	0.468	0.263	0.357	0.306
Hansen Test	0.328	0.261	0.324	0.124	0.262	0.239
Sargan test	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
观察数	520	520	520	520	520	520
工具变量数	84	97	98	84	97	98

表 10 稳健性检验结果 (3)

	<i>Price</i>			<i>VO</i>		
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 1	模型 2	模型 3
<i>L.lnLC</i>	0.463*** (4.28)	0.532*** (5.73)	0.528*** (5.21)	0.463*** (4.16)	0.532*** (5.73)	0.522*** (5.24)
<i>Price/VO</i>	0.004 (1.20)		0.005* (1.75)	-0.006 (-0.66)		-0.006* (-0.61)
<i>FC</i>		-0.036** (-2.08)	-0.030* (-1.88)		-0.036** (-2.08)	-0.035* (-1.93)
<i>FC * Price/VO</i>			0.003** (2.31)			-0.002* (-0.83)
AR(1)	0.039	0.031	0.039	0.048	0.031	0.034
AR(2)	0.492	0.559	0.751	0.459	0.559	0.494
Hansen Test	0.055	0.214	0.196	0.146	0.214	0.238
Sargan test	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
观察数	520	520	520	520	520	520
工具变量数	84	97	98	84	97	98

四、研究结论与政策启示

以 2015—2019 年 135 家控排上市企业为研究对象，利用 SYS-GMM 模型进行实证分析，研究碳价格及其波动率对企业低碳投资的影响。本文的主要结论为：碳价信号并不总是对企业低碳投资产生直接影响，但可以 and 融资约束共同发生作用。其中，碳价格与融资约束的交互项对企业低碳投资具有促进作用，碳价格波动率与融资约束的交互项对低碳投资产生抑制作用。考虑企业产权性质时，国有企业低碳投资受碳价格、碳价格与融资约束交互项的影响，非国有企业受融资约束、碳价格波动率、碳价格波动率与融资约束交互项的影响。

根据上述分析，提出以下政策建议：

(1) 维持公允且稳定的碳价

政府可通过调节碳配额供给和需求，维持公允碳价。从需求角度看，完善碳交易奖惩机制，建议借鉴美国、欧盟碳市场经验，具体设计如下，奖励履约企业配额，并强制受奖励企业参与碳市场交易；对违约企业根据企业规模和碳市场参与度设立分级累进违约处罚机制，以企业是否参与碳交易划分，大型违约企业分别处以清缴截止日前一年配额市场均价 3~4 倍、4~5 倍的罚款；小型违约企业分别处以 4~5 倍、5~6 倍的罚款，使企业意识到碳同样能为企业带来收益，从而增加企业参与碳市场积极性；从供给角度看，借鉴 EU ETS 经验，建立市场稳定储备机制，具体设计如下：当过剩配额超过一定量时，将过剩配额转入储备，同时减少拍卖配额，从而控制碳配额供给。

(2) 合理调控碳价格波动率

为发挥碳市场风险信号的引导调节作用，应建立碳价格稳定机制，避免碳价格过度波动。从短期调控来看，完善涨跌幅限制机制，建议参考澳大利亚碳市场经验，具体设计如下：分为两阶段：固定价格阶段（2020—2022）和浮动价格阶段（2022—2024），在固定价格阶段，设置碳价上限为 70 元，浮动价格阶段，之后每年以 5% 的速度增长；从长期调控来看，调控配额供给，建议参考 RGGI，建立成本控制储备机制（CCR）和排放控制储备机制（ECR），首先，预先设立触发价格，2020—2024 年 CCR 配额的触发价格为 60、65、70、75，之后每年增长 2%，碳价高于触发价格后，市场出售 CCR 配额，低于阶梯价格时，回购配额减少供给。

(3) 创新气候金融发展

为缓解企业融资约束，应加快气候金融创新发展。建议参考美国气候金融发展经验，丰富完善气候金融产品，进行产品创新，如花旗银行的结构化节能抵押品、巴莱克银行的绿色信用卡等。驻足绿色信贷发展，创新排污权、能效贷绿色信贷产品；大力发展绿色债券，创新绿色保险产品，具体包括森林险、环境污染险、绿色贷款保证险等保险产品。同时，发掘各类金融工具的独特优势，组合使用金融工具，根据行业特色创新发展

绿色金融工具。扩宽融资渠道，通过税收政策吸引社会资本，获得资本积累，保障企业低碳转型顺利实施。

(4) 规范碳资产管理培训

为促进企业参与碳市场，提升企业碳资产管理能力，应规范碳资产管理培训，帮助企业控制和管理碳风险。首先，鼓励企业积极参与碳资产管理培训，降低碳资产管理培训门槛，培育一批掌握碳市场政策、交易规则的专业性人才。其次，丰富碳资产培训内容。在现有关于碳市场基本信息的基础上，增加关于碳配额预算管理、交易管理和核算管理的内容，帮助企业进行预算规划，识别碳风险，活跃碳市场，加速碳减排，降低碳资产管理成本，规范碳计量，完善碳披露，为管理提供数据支持；增加碳市场发展前沿的信息，构建企业对碳市场的预期，提升企业参与碳市场的动力。最后，针对被纳入和即将纳入碳市场的石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、航空等行业，分别构建碳资产管理体系，做到精准培训，解决企业实际问题。

参考文献：

- 毕茜、于连超,2016:《环境税的企业绿色投资效应研究——基于面板分位数回归的实证研究》,《中国人口 资源与环境》第3期。
- 蔡小哩、丁志刚、晚春东,2018:《碳交易风险下高耗能企业低碳技术采纳时机决策》,《企业经济》第6期。
- 丁志刚、陈涵、徐琪,2020:《碳交易与碳税双重风险下供应链低碳技术采纳时机决策研究》,《软科学》第8期。
- 胡玉凤、丁友强,2020:《碳排放权交易机制能否兼顾企业效益与绿色效率?》,《中国人口 资源与环境》第3期。
- 廖文龙、董新凯、翁鸣等,2020:《市场型环境规制的经济效应:碳排放交易、绿色创新与绿色经济增长》,《中国软科学》第6期。
- 林学军、官玉霞,2020:《融资约束与企业并购——来自中国上市公司的经验证据》,《南京审计大学学报》第3期。
- 陆敏,2020:《碳排放交易机制与生态效率关系的实证检验》,《统计与决策》第10期。
- 路正南、罗雨森,2020:《中国碳交易政策的减排有效性分析——双重差分法的应用与检验》,《干旱区资源与环境》第4期。
- 沈洪涛、黄楠,2019:碳排放权交易机制能提高企业价值吗?《财贸经济》第1期。
- 魏莉、陈伟达、杨焯,2018:《导入碳减排投资的废钢铁再制造生产投资策略研究》,《工业工程与管理》第3期。
- 张新华、黄天铭、甘冬梅等,2020:《考虑碳价下限的燃煤发电碳减排投资及其政策分析》,《中国管理科学》第8期。
- Baker Malcolm ,Stein Jeremy C and Wurgler Jeffrey,2003,"When does the Market Matter? Stock Prices and the Investment of Equity-dependent Firms". *NBER Working Paper*.
- Darrel W.B.and Schwartz N, 1997,"Environmental Disclosures and Public Policy Pressure",*Journal of Accounting and Public Policy*, vol.16,pp.125-154.
- Kaplan S N and Zingales Luigi,1997,"Do Investment-cash Flow Sensitivities Provide Useful Measures of Financing Constraints?",*The Quarterly Journal of Economics*, vol.1,pp.169-215.
- Roodman David, 2006 ,"How to do Xtabond2:An Introduction to "Difference" and " System" GMM in Stata", *Working Paper* .

(作者：魏琦、李林静，兰州理工大学经济管理学院，从事应用经济研究)

(责任编辑：付继娟)

Does carbon price and its volatility promote low-carbon investment by Chinese enterprises?

WEI Qi, LI Lin-Jing

[Abstract]Carbon price signal has been formed in the growing carbon market of China. It is important to study the impact of carbon price and its volatility on low-carbon investment. Based on this, using the data of 2015-2019 controlled platoon listed company, Using empirical research methods, This paper studies the impact of carbon price and its volatility on low-carbon investment of Chinese enterprises. The results show that the carbon price signal does not always have a direct impact on low-carbon investment, but it can act together with financing constraints. Among them, the interaction item of carbon price and financing constraint promotes the low-carbon investment, and the interaction item of carbon price volatility and financing constraint restrain the low-carbon investment. Considering the property right nature of enterprises, the low-carbon investment of state-owned enterprises are influenced by carbon price and the interaction of carbon price and financing constraint, non-state-owned enterprises are influenced by financing constraints, carbon price volatility, the interaction of carbon price volatility and financing constraints. Therefore, the following policy recommendations: to maintain a fair and stable carbon price, reasonable regulation of carbon price volatility, innovative climate finance development and regulation of carbon asset management training.

[Key words]carbon price ; volatility; low-carbon investment; financing constraint; SYS-GMM model