

节能目标约束下企业污染减排效应的机制研究

韩超, 陈震, 王震

[摘要] 随着全球关于减少温室气体排放的呼声日益高涨,中国积极承担了符合自身发展阶段及国情的国际责任,并实施了一系列节能降耗行动。然而,节能降耗政策效果如何,是否能产生协同减排效应?本文依托“千家企业节能行动”,以二氧化硫(SO₂)为例探究了节能政策对污染排放的协同效应以及影响机制。研究发现,节能政策会产生显著的减排效应,经过一系列稳健性检验,结果依然成立。考察节能政策与减排之间的影响机制发现,节能政策引起企业污染排放降低的动因在减产、能源使用效率提升等方面均有直接证据,但是能源结构改善上并没有发挥有效作用。进一步研究发现,国有企业在实现节能目标方式上与非国有企业存在显著差异,其更多采用减产的方式实现节能目标,而非国有企业更多采用能源效率提升的方式。通过比较,非国有企业展现出更好的污染减排协同效应。同时,本文还发现,污染减排协同效应在区域间以及大小企业间也存在显著差异,而企业的反应行为以及差异化的污染减排协同效应均与其节能目标完成方式紧密相关。本文认为,未来在制定节能政策时,应更多考虑其可能产生的协同减排效应,而不是将其割裂单纯追求能耗降低,从而实现节能与污染减排的“双赢”。

[关键词] 节能政策; 千家企业节能行动; 污染减排; 协同效应

[中图分类号]F124 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2020)10-0043-19

一、问题提出

推动科学治污与可持续发展是当前中国面临的重要任务。党的十九大报告提出,“建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计,必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念”“坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,建设美丽中国,为人民创造良好生产生活环境,为全球生态安全作出贡献”。2019年政府工作报告也提出,“加强污染防治和生态建设,大力推动绿色发展”,同时还指出,“企业作为污染防治主体”“改革创新环境治理方式,对企业既依法依规监管,又重

[收稿日期] 2020-04-17

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目“异质性企业约束下环境规制对工业污染排放影响机制”(批准号71774028)。

[作者简介] 韩超,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心研究员,经济学博士,博士生导师;陈震,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心硕士研究生;王震,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心博士研究生。通讯作者:陈震,电子邮箱:lucien9799@163.com。感谢辽宁“兴辽英才计划”青年拔尖人才项目(批准号XLYC1807254)、辽宁省高等学校创新人才计划项目(批准号WR2019008)以及中央宣传部“宣传思想文化青年英才”人才计划的支持。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,当然文责自负。

视合理诉求”。在污染防治和绿色发展过程中,企业是政策实施的最终环节,厘清企业应对相关政策的反应行为是科学决策的基础。实践中,不同类型、不同主体的政策交织在一起,但是政策实施与评估中却甚少关注可能产生的协同效应。中国作为全球第二大经济体和最大的能源消费国,在经济高速发展的同时,环境污染问题也日益凸显。以二氧化碳为例,2006年中国成为全球最大的二氧化碳排放国,根据《BP世界能源统计年鉴》(2019),2018年中国二氧化碳排放量达94.29亿吨,占全球碳排放总量的27.8%。为完成节能减排目标、转变经济增长方式和实现可持续发展的要求,中国于“十一五”期间实施《千家企业节能行动实施方案》(简称“千家企业节能行动”)。“千家企业节能行动”目标在于提高企业能源利用效率、降低企业能源消耗、推进企业节能技术进步、提高企业节能管理水平,使企业能源消耗水平达到全国同行业或者国际同行业的先进水平。那么,旨在降低能耗的节能政策是否产生协同的污染减排效应?节能与减排之间的内在关系以及具体节能目标实现方式在这一关系中的作用又将如何?对以上问题的回答可以为中国进一步完善规制政策、加强科学治污提供支撑。

已有关于节能问题的研究,首要关注点是将能源使用与碳排放联系在一起,分析能源使用对碳排放的影响,林伯强和孙传旺(2011)发现能源强度和碳排放强度对碳排放量起到抑制作用;但在开放环境下,中国的二氧化碳排放与贸易开放度正相关(Ang,2009;刘强等,2008),节能政策强度会影响中国制造业企业的出口规模(康志勇等,2018)。也有一些研究综合探究影响能源要素使用的可能驱动因素,发现能源结构的改变和能源强度的变化是中国能源使用状况改变的主要原因(Sinton and Levine,1994),但这一结论并不稳健。另有研究发现,能源使用效率的提升才是能源使用改变的主要原因,而能源结构的贡献较小(Zhang and Sun,2010)。以上研究对于深入认识中国能源使用驱动因素与节能政策效应奠定了理论基础,但这些研究并没有将节能问题与污染治理问题结合到一起分析,从而无法回答节能是否以及如何影响污染排放问题。高能耗的要素投入大多是化石燃料,化石燃料在产生二氧化碳外,还产生其他种类污染物。Barker(1993)基于英国的证据发现,超过99%的二氧化硫和二氧化氮、97%的一氧化碳、91%的颗粒物、48%的甲烷和38%的挥发性有机化合物来自化石燃料。那么,通过减少化石燃料、提高能耗效率的政策可能也会对其他污染物产生协同减排效应。

在仅有的几篇关于节能与污染排放关系的研究中,有研究发现节能政策会使二氧化硫的排放减少,协同减排效应的产生与能源使用效率和污染治理技术相关(Ekins,1996)。还有研究发现节能政策不仅能获得碳减排的收益,还可以收获其他污染物减排的协同减排效应,并计算了节能政策的经济收益(Burtraw et al.,2003),后续的研究通过计算发现节能政策通过能源需求和技术效率变化也将减少二氧化硫等污染物的排放(Barker and Rosendahl,2001)。尽管不少证据表明节能政策可能具有污染减排效应,但这与节能政策采取的机制措施具有紧密关系。节能政策的制定过程并未考虑这一过程可能产生的污染物减排效应^①,不同污染物(以及降低能耗)的规制方案可能会对其他污染物的排放产生有利或不利的影 响。但在现实中节能降耗和污染物控制这两个问题往往被单独分析和对待,前者主要依靠能源投入的调整,后者则主要采用末端处理等行政控制型的规制措施进行治理。通过节能政策的实施观察减排效应则可以为未来完善治污工具多样性、认识污染减排机制等提供积极帮助。

迄今为止,本文发现在关于节能与污染物减排之间的关系问题上,已有研究都是针对宏观层

^① 《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》对能耗降低和二氧化硫降低分别给出了具体的控制目标,将能耗降低区和污染物排放降低区别对待。

面,注重用模型演算来测算协同减排效应的大小,缺乏微观视角的研究。从微观的企业角度看,节能和污染物减排之间的关系会随着作用途径的不同而可能存在细微的变化。提高能源使用效率和转变能源结构都能导致能耗改变,但是这两条途径在企业层面都会发生作用吗?能源使用效率抑或能源结构的变化是否只意味着单位产出能耗降低,但污染物排放并未发生变化?或者,单位产出能耗降低推动了产出扩张进而提高了企业的污染物排放?进一步拷问,是否会在节能政策引致合规的成本提高下造成了污染物处理能力的相对降低?总之,企业在面对节能政策时产生的反应行为并不是直接对应到污染物减排。政策实施下的企业反应行为主要包括产出调整行为、生产过程优化行为、污染物处理行为等,以上企业行为的不同反应以及组合均可能会对企业污染排放产生差异影响。对于这些问题,如果不依托微观企业行为进行分析则没有清晰的答案。传统宏观视角的研究止步于化石燃料消耗与减排之间的单线关系,而基于企业层面的分析则可在现有研究基础上进一步探讨不同机制和途径。鉴于此,本文基于中国于2006年实施的“千家企业节能行动”,结合中国工业企业数据库和中国企业污染排放数据库,探究节能政策是否以及如何实现污染物减排的协同效应。在具体的“千家企业节能行动”的研究中,Ke et al.(2012)用LMDI方法进行分解,发现千家企业能源消费减少主要是由于能源利用效率提高,但其分解基于自身的变化,未分离反事实的因素存在,因此,其结论无法反映节能政策的影响。Filippini et al.(2017)以“千家企业节能行动”中钢铁企业为例进行研究发现,该政策实施后企业竞争力有所提高,同时发现技术效率和规模效率的变化均促进了企业竞争力的提高。相比现有研究,本文可能的边际贡献在于:一方面给出了节能政策的污染减排协同效应的证据,同时揭示了这一协同效应通过何种途径得以实现,发现了通过节能政策提高能源效率和降低污染排放的共赢之路;另一方面直接验证了“千家企业节能行动”减排效应,对关于“千家企业节能行动”提升企业竞争力的研究是一个有力的补充。

本文余下内容安排如下:第二部分阐述政策背景、机理逻辑与研究设计;第三部分为基准分析和稳健性检验;第四部分为影响机制与异质性分析;最后部分总结全文及进一步启示。

二、政策背景、机理逻辑与研究设计

1. 政策背景

根据《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》,中国制定了“千家企业节能行动”。该政策选出2004年综合能源消费量达到18万吨标准煤以上的企业,共1008家。这1000多家企业主要集中在钢铁、有色、煤炭、电力、石油石化、化工、建材、纺织、造纸九大行业。据统计,千家企业的能源消费总量占全国能源消费总量的33%,占工业能源消费量的47%。政策目标要求企业的能源利用效率大幅度提高,主要产品单位能耗达到国内同行业先进水平,部分企业达到国际先进水平或行业领先水平,带动行业节能水平的大幅度提高。因此,实施“千家企业节能行动”,对提高能源利用效率,缓解经济社会发展面临的能源和环境约束,具有十分重要的意义。“千家企业节能行动”根据企业的能源消耗总量来选择企业,企业被分配的节能目标主要是基于其能源消耗情况,同时也在一定程度上也考虑了其他因素,如行业隶属关系、企业技术水平,但是没有直接关注企业减排成本。而且,在设定目标时,由于“千家企业节能行动”从制定到实施的过程非常迅速,目标设定过程并没有对各个企业的节能潜力进行科学分析。此外,在对企业的跟踪和考核上,要求各省份节能主管部门对企业的节能情况进行监督,并将每年企业的能源利用状况直接上报国家统计局和中华人民共和国国家发展和改革委员会(简称“国家发展改革委”),这可能使国有企业相比于非国有企业更有可能面临更严格的监督和监测,承担更多的节能任务和责任。千家企业在各行业分布的数量和能源消费情况分别

如图 1(a)和图 1(b)所示,可以发现,钢铁、电力和化工行业无论在企业数目上还是能源消费量上均位于前列,占企业数量 25%的钢铁行业和 15%的电力行业消耗了超过 50%的工业能源消费量。

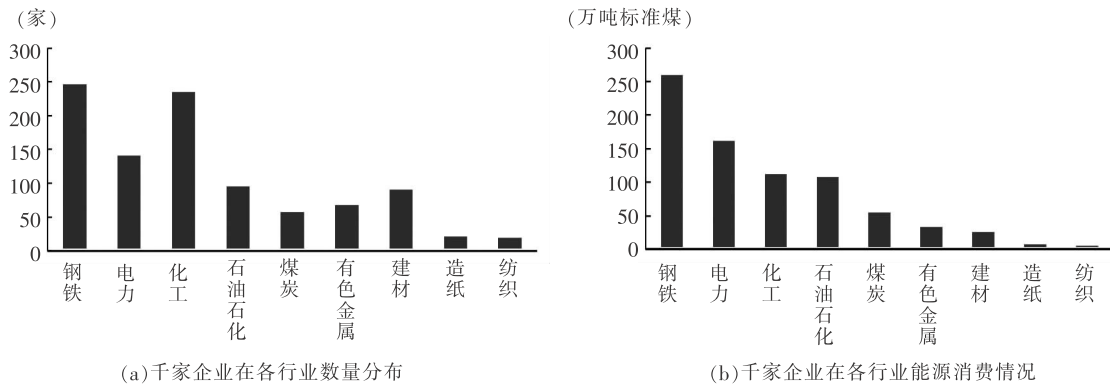


图 1 2006 年千家企业在各行业的数量分布和能源消费情况

资料来源:《千家企业能源利用状况公报(2007)》。

2. 机理逻辑

根据“千家企业节能行动”,纳入名单的企业需要采取以下措施:信息公开,需要定期报送能源使用数据;进行能源审计,编制节能规划,强化事中事后的规制核查;推进技术改造,提升技术效率渠道来实现节能;出台激励措施,对节能突出的企业给出相应奖励。通过以上措施,落实节能目标责任制、能源计量和审计、建立节能激励机制,其目的均在于促进企业改善能源使用情况,包括提高能源使用效率、转变能源结构。但这种措施对于减排的影响依然是未知的。此外,类似加快节能降耗技术改造等措施,则要求企业增加研发投入,采纳节能新技术和设备,而技术效率的提升又是否会产生协同作用,进而促进企业污染减排?“千家企业节能行动”政策与污染减排之间的逻辑关系可以在图 2 中得到体现。

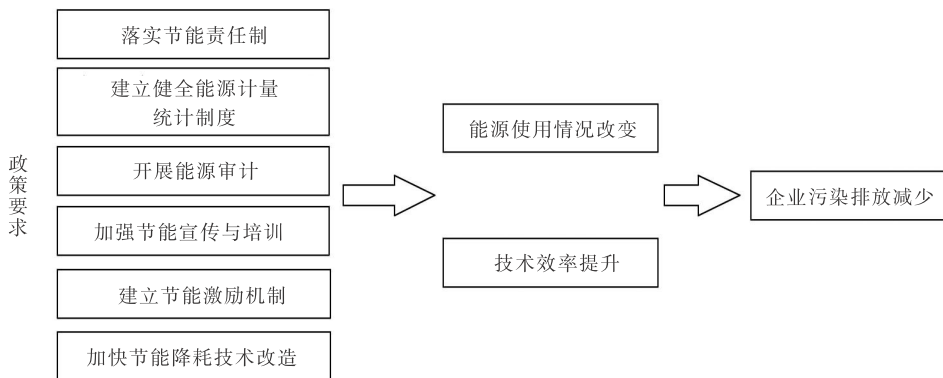


图 2 千家企业节能行动措施与企业污染减排的逻辑关系

为保持“千家企业节能行动”的连续性,国家要求原则上在五年周期内千家企业名单不进行较大程度的调整变动,即“千家企业节能行动”的实行周期跨越整个“十一五”时期(2006—2010年),这就为分析节能政策和减排之间的协同效应提供了保障。为了示意性描述“千家企业节能行动”与企业污染排放的关系,利用平均意义上的企业 SO_2 排放量和能源强度(企业能源使用量除以剔除价格影响因素的产出后取对数),本文绘制了“千家企业节能行动”的企业能源消耗与二氧化硫污染排

放时间变动趋势(见图3)。通过图3可以发现,在2006年之前千家企业的污染排放还都基本处在上升阶段,能源强度总体下降但仍处在高位。同时发现,2006年后企业的能源强度发生显著且持续性的下降,虽然在这个时间段内企业污染排放也在下降,但其下降的程度明显不如能源强度。图3表明,与企业污染排放变动趋势相比,“千家企业节能行动”有关的企业能源强度变化更具有先动性,但二者基本呈现相似的趋势可能预示着“千家企业节能行动”具有显著降低污染排放的协同效应。

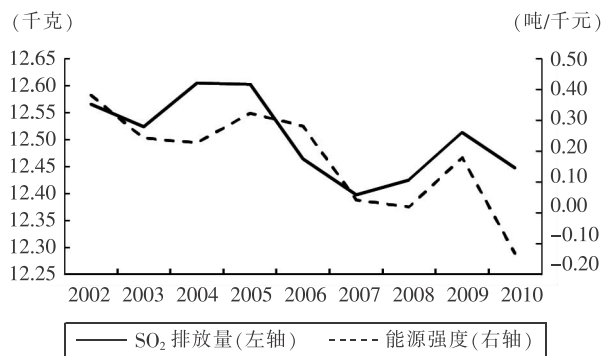


图3 千家企业SO₂排放量和能源强度变动趋势

注:SO₂排放量和能源强度均为对数形式。

目前,虽然部分文献讨论了节能与减排之间的关系,但相对缺乏微观角度的考察,且这些文献较少涉及节能影响减排的途径和机制。由此,依据“千家企业节能行动”政策,本文进一步梳理节能政策与污染减排之间的逻辑关系和作用机制。节能政策对污染减排的影响取决于多种因素,包括以下几个方面:①产出行为的调整,产出扩大会提高企业污染排放,二者之间是正向关系。“千家企业节能行动”政策的目的是影响企业产出情况,但是会存在企业为了完成节能目标而调整产出的情况。②生产过程优化行为,这里又包含能源使用效率的提高和能源使用结构的改变。“千家企业节能行动”政策要求的节能措施主要都着眼于这两点。一般来说,这两点都会使企业污染排放降低。然而,单位产出能耗降低也可能会推动产出扩张从而增加污染排放。③污染处理行为,污染物的排放量=污染物产生量-污染物处理量。从企业的污染物产生量看,产出的增加会增加污染物,二者之间正相关;而能源使用效率的提升和能源结构的改变也会影响企业污染物的产生情况。此外,污染物处理量与企业的治理投资等末端处理方式相关。以上几点都是在节能政策下,可能会影响企业行为的方式,企业行为方式的改变可能会对其污染排放情况产生影响。然而,哪种方式会对企业排放情况产生影响,节能政策与污染排放之间发生作用的机制具体如何还需进一步检验。

3. 研究设计

从“千家企业节能行动”的政策中可知,企业的筛选原则是2004年能源消耗超过18万吨标准煤的企业将会被纳入“千家企业节能行动”,其最优的识别策略是采取断点回归设计(Regression Discontinuity, RD)的思路。采取RD的研究设计需要准确掌握企业的能源投入,这就需要获得企业有关煤和石油以外还包括天然气、电力等能源要素投入的数据。遗憾的是,本文无法准确获得企业层面的以上全部指标,因而无法采取RD的研究设计。在无法使用RD研究设计的背景下,为了更可能准确地估计“千家企业节能行动”对企业污染排放的影响,本文充分利用“千家企业节能行动”实施前的数据以及从未进入“千家企业节能行动”的企业来设计双重差分模型(DID),比较实施“千家企业节能行动”与未实施“千家企业节能行动”的企业污染排放的差异。通过这一设计可以消除样本时间内的宏观趋势以及对于是否参加“千家企业节能行动”中不可观察且在样本时间基本保持不变的因素的影响。然而,使用DID研究设计的一个比较棘手的问题在于如何构造一个合理的反事实,即被纳入“千家企业节能行动”的企业若未被纳入其企业行为和绩效会发生什么变化。如果政策处理组和对照组的样本企业在政策实施前的可观察特征变量存在显著差异,那么,通过比较两组进行的估计可能是有偏的(Bruce et al., 2019)。表1的结果表明,“千家企业”与其他企业在企业产值、

企业能源消耗、全要素生产率等方面均存在显著差异,因而通过单独的 DID 估计可能无法产生一个节能政策影响下无偏估计的减排效应。

为了得到一个合理的反事实估计,本文采取 1:1 最邻近匹配法的倾向得分匹配(PSM),采用无替代匹配方式选择匹配的样本。对于每一个参与“千家企业节能行动”的企业,本文均采用 PSM 方法识别一个最具有类似特征的对照企业,同时为了尽量获得相似的对照企业,在 PSM 处理时将匹配的范围选择在两位数行业一年度内,即在行业与年的范围内进行匹配。关于 PSM 最具争议的问题就是匹配变量的选择(Austin, 2011),匹配变量越多,则匹配的样本数量越少。对于本文来说,选取的协变量既要影响企业是否进入“千家企业节能行动”又要影响企业污染排放^①。与一般性的匹配不同,“千家企业节能行动”政策具有明确的筛选标准,即企业能耗是否达到或者超过“18 万吨标准煤”,尽管本文未得到准确的企业全部能源消耗数据,但是依然可以通过计算现有的能源使用指标进行筛选匹配。

基于以上因素的考虑,本文选择如下匹配变量:总产值($\ln y$),准确度量企业的产出情况,同时反映企业能源使用和污染排放规模,使用企业工业总产值的对数;全要素生产率(TFP),反映企业要素投入使用情况,在生产规模不变的情况下,企业的全要素生产率高,企业的要素投入减少进而能源消耗降低,也利于污染排放的减少,通过 OP 方法测度(Olley and Pakes, 1996);企业能源消费量($\ln EC$),由煤炭消费总量和燃料油消费总量相加得到,为剔除异常值的影响取对数。通过选择与企业 SO_2 排放和分组变量有关的企业产值、企业能源消耗以及全要素生产率进行匹配,由此可以确保每一个企业均有一个相对近似的匹配样本。稳健性检验中,本文还选取 1:3 和 1:5 的最邻近匹配方法、半径匹配和核匹配方法来进一步检验,结果表明匹配方法的变更并没有显著改变本文的研究结论。由于选择匹配的企业在同一个行业和同一时间段,因而千家企业和匹配的非千家企业应该面临相同的行业冲击、要素价格等,可以更大程度上使得在匹配变量的条件下,两组企业间潜在污染排放行为与是否进入“千家企业节能行动”正交。

为了检验匹配的结果是否可靠,即千家企业与匹配上的非千家企业不存在显著差异,本文进行了匹配平衡性检验^②。有效的匹配结果要求匹配变量在处理组和控制组之间的差异或偏差越小越好,匹配变量的偏差不大于 20%就可以认为匹配结果是有效的(Rosenbaum and Rubin, 1985)。检验结果显示,匹配变量在进行匹配后的偏差都在 10%左右,说明匹配结果较好。由此可见,处理组和控制组之间不存在明显差异,较好地削弱了两组间的差异。同时,本文还比较了两组在匹配前后的显著性差异。本文的匹配过程是在行业一年度范围内进行匹配,因而两组间的显著性差异也需要在行业一年度内进行两组比较。检验结果显示,匹配变量在行业内的差异发生显著的变化,除了全要素生产率存在稍微差异外,产值和能源消费量在匹配后的行内“千家企业组”和“非千家企业组”间没有显著性差异。经过匹配,全要素生产率的均值偏差符合 Rosenbaum and Rubin(1985)的标准,两组检验的 t 统计量值由 14.00 降低到 2.01,两组差异明显降低。同时,全要素生产率并不是影响是否进入“千家企业节能行动”的直接变量和最相关的变量,因而其对由于参加“千家企业节能行动”导致的选择偏误的影响较小。此外,本文还对没有参与匹配的相关变量进行了平衡性检验,匹配后的偏差也都在 10%附近。组间显著性检验表明,除了企业年龄存在差异外,企业的所有制属性以及企业的资本在行业内的两组间均不存在显著差异。综合以上分析,本文认为匹配的结果稳健。

① 根据匹配的原理,本文选择了既能影响分组又能影响结果的变量作为匹配变量,以在保证平衡的同时带来最多的配对样本。感谢匿名评审专家对此问题的建设性建议。

② 完整结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

为了观察匹配后样本的变化,图4绘制了匹配前和匹配后企业在每年各行业的分布情况,从中可以看出匹配前后钢铁、化工、建材在各年的占比均较高,纺织和造纸在匹配后占比缩小,原因在于纺织和造纸由于其行业性质很难在控制组里找出与处理组相似的能源消费量。图5绘制了匹配前后国有企业和非国有企业每年的分布情况,可以直观地看出非国有企业样本数量较多,且匹配前后国有企业和非国有企业在每年样本中的分布占比情况大致不变。另外,图6还绘制了经过匹配后的国有企业和非国有企业在平均意义上的单位能源消耗(每千元工业总产值能源消费量)的趋势情况。相比于非国有企业,国有企业单位能源消耗水平一直较低,能源使用效率较高,非国有企业则在总体上呈现单位能耗下降趋势,且在2006年之后单位能耗水平与国有企业相接近。图7是匹配后的千家企业中不同规模(员工人数大于1000人则认为是大型企业)的国有企业和非国有企业的分布情况,非国有企业的大型企业数量约为国有企业数量的2倍,大型企业数目多。但是在国有企业中,大型企业的比重超过80%。国有企业和非国有企业在单位能耗和大型企业分布上的不同,可能是二者在污染减排效果上存在差异的原因。

经过匹配及详细的检验后,本文使用公式(1)的模型设定来研究以“千家企业节能行动”为代表的节能政策对企业污染排放的影响:

$$SO_2_emission_{it} = \alpha + \beta Post_t \times Treatment_i + \gamma X_{it} + \eta_t + \theta_i + \mu_{it} \quad (1)$$

其中, $SO_2_emission_{it}$ 表示企业*i*在*t*年的 SO_2 排放量的自然对数。之所以选择 SO_2 排放量作为污染物排放指标是基于以下考虑:一是中国的能源消费结构是以煤炭为主,决定了大气污染尤其是 SO_2 是最主要的污染指标之一;二是 SO_2 是民众感知程度最直接的污染物,自1998年以来历次制定

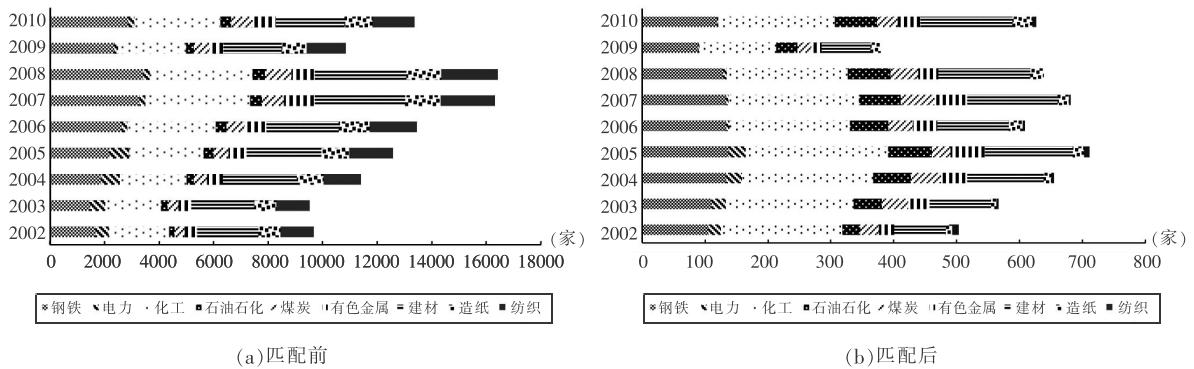


图4 匹配前后企业在每年各行业分布情况

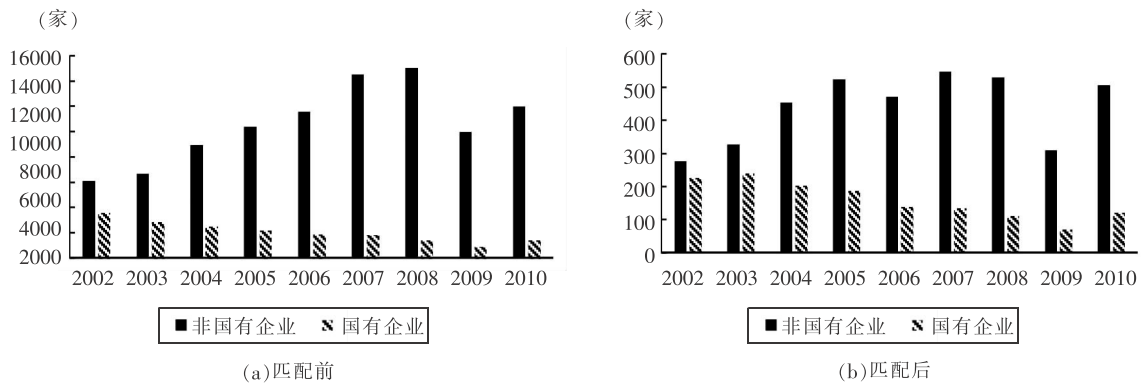


图5 匹配前后国有企业和非国有企业分布情况

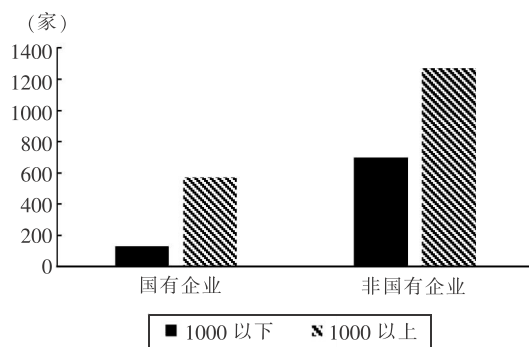
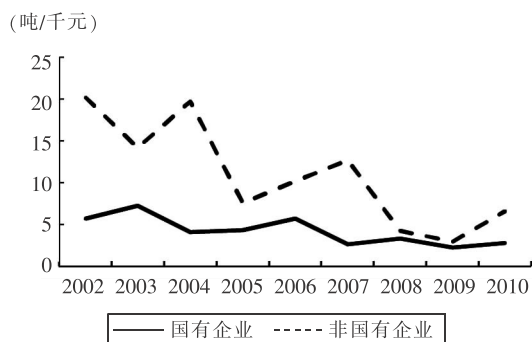


图6 国有企业和非国有企业单位能耗变动趋势 图7 不同规模国有企业和非国有企业分布情况

的减排政策目标均将 SO_2 作为主要污染物。进入“千家企业节能行动”名单的企业 $Treatment_i=1$, 否则 $Treatment_i=0$ 。年份在政策发生的 2006 年及之后, $Post_i=1$, 否则 $Post_i=0$ 。 η_i 代表企业固定效应, θ_t 代表时间固定效应, μ_{it} 为误差项。为控制其他影响企业污染排放的因素, 回归模型加入了控制变量 X_{it} , 包括企业规模 $\ln y$ 、企业能源消耗 $\ln EC$ 、全要素生产率 TFP 、人均资本 $\ln K$ (用企业固定资产与就业人数之比并取对数来表示)、企业年龄 $\ln P$ (用当年年份减去企业成立年份加 1 后取对数表示)、企业所有制类型 soe (国有企业为 1, 非国有企业为 0)^①。在样本处理上, 去掉行业中没有任何一家企业被划入“千家企业节能行动”的行业。基准模型中将标准误差聚类到四位数行业层面, 所有名义值剔除物价因素后取实际值。

本文使用的数据由三部分数据库组成: 一是 2002—2010 年中国工业企业数据库, 包含规模以上工业企业的主要特征指标。二是中国企业污染排放数据库^②。中国工业企业数据库是学界广泛使用的数据库, 而中国企业污染排放数据库则在公开发表的文献中较为少见。中国企业污染排放数据库在“十五”期间统计了占污染负荷 85% 的工业企业, 而在“十一五”期间统计了占地区排放的 85% 以上的工业企业。中国工业企业数据库具有详细的企业财务以及企业属性等信息, 而企业能源投入、污染治理行为以及企业排放等有关污染指标则是缺失的。同时, 中国企业污染排放数据库具有详细的企业污染物排放及处理指标, 但其缺少企业属性以及企业财务指标。本文对两个数据库进行了匹配: 首先按照企业代码对两数据库进行匹配, 对于未匹配上的数据集继而使用企业名称进行匹配, 其次分别提取两数据库企业名称中的关键信息并利用企业所在地信息进行匹配。在以上匹配的基础上, 本文剔除了异常值, 比如污染物排放小于 0、工业增加值大于工业总产值等不合常理的数据。根据实际的匹配情况可以发现年度匹配率(匹配数据样本量/污染数据样本量)基本处于 50% 附近^③。三是国家发展改革委公布的“千家企业节能行动”企业名单。将“千家企业节能行动”名单按照法人代码和企业名称与前两个数据库匹配后的数据进行再匹配, 匹配过程类似于中国工业企业数据库与中国企业污染排放数据库的匹配。根据“千家企业节能行动”的企业名单匹配的结果显示, 2001 年的企业数据匹配质量较差。因此, 本文将样本时间限定在 2002—2010 年, 同时仅保留参与“千家企业节能行动”的两位数行业。表 1 第(1)—(5)列为匹配后样本数据的描述性统计, 第(6)—(9)列为未匹配的千家企业和非千家企业在政策实施之前的主要变量描述性统计。

① 由于企业利润率、企业资产负债率等变量显著受到政策影响, 未放入模型。感谢匿名评审专家的建议。
 ② 关于该数据库的可靠性已在现有研究中充分说明, 参见陈登科(2020)。
 ③ 匹配结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

表 1 主要变量的描述性统计

	2002—2010					2002—2005			
	所有企业					非千家企业		千家企业	
	样本量 (1)	均值 (2)	标准差 (3)	最小值 (4)	最大值 (5)	样本量 (6)	均值 (7)	样本量 (8)	均值 (9)
<i>SO₂_emission</i>	5362	12.3128	1.5469	0.0000	13.4468	34661	10.6553	1822	12.6223
<i>lny</i>	5362	11.2091	1.7957	0.1036	17.9033	40482	8.8218	1914	11.3483
<i>lnEC</i>	5362	11.0079	2.4373	0.0000	15.7189	41109	7.1385	1934	10.6342
<i>TFP</i>	5362	7.1950	1.6178	-4.0591	13.3025	40482	5.6072	1914	7.1628
<i>lnK</i>	5362	5.3885	1.1177	0.6594	10.4710	41256	4.5068	1939	5.4997
<i>lnP</i>	5362	2.5395	1.0040	0.0000	4.7449	41256	2.3315	1939	2.6996
<i>soe</i>	5362	0.2652	0.4414	0.0000	1.0000	41256	0.2545	1939	0.3528

三、基准结果

1. 基于 OLS 的估计结果

在对匹配后的样本进行回归之前,先对未匹配的样本采用双重差分法进行分析。表 2 的第(1)列显示,在控制企业固定效应和年份固定效应但不考虑控制变量的情况下,估计系数显著为负,节能行动对企业污染排放存在负向效应,会降低企业 SO₂ 排放。进一步加入相关控制变量,结果如第(2)列所示,估计系数变大且更为显著,节能政策对企业污染减排效果增强。然而,未经匹配的“千家企业”样本与“非千家企业”样本间存在巨大差异,因而对未进行匹配的样本直接采用 DID 设计得到的估计结果是有偏的。

2. 匹配基础上 DID 估计的基准结果

本文探究“千家企业节能行动”对企业污染排放的影响,即节能政策与企业污染排放之间的协同效应,在对样本进行匹配后基准模型的估计结果如表 2 的第(3)、(4)列所示。在表 2 的第(3)列中,将交互项直接与 *SO₂_emission* 进行回归,控制企业固定效应和年份固定效应,估计系数为负且显著。在表 2 的第(4)列中,加入了相关控制变量, $Post_i \times Treatment_i$ 的估计系数为 -0.1580,估计结果通过了 5% 显著性水平检验。这说明在其他条件不变的前提下,“千家企业节能行动”显著降低了企业 SO₂ 排放量,节能政策在一定程度上会降低企业污染排放,节能政策与企业污染排放之间存在协同效应,其中的机制和发生作用的途径将会在下文详细阐述。对于相关的控制变量,尽管 *lny* 未通过显著性检验,但是系数符号为正,意味着企业的规模越大,企业排放的 SO₂ 也越多。能源消费量对 SO₂ 排放的影响显著为正,即能源使用量越多,相应的污染排放也会越多;全要素生产率 (*TFP*) 对 SO₂ 排放的影响为负,全要素生产率的提高,有助于企业管理能源消耗,这将会使企业 SO₂ 排放降低,但是这个结果并不显著;人均资本 (*lnK*) 对 SO₂ 排放的影响为正且显著,可能的原因是资本密度越高的企业能源消耗越高,从而污染排放增多;企业年龄较大的企业 SO₂ 排放减少,原因在于存续时间长的企业具有规模经济,有能力采取更清洁的生产方式,但其并未通过显著性检验。此外,结果还显示国有企业具有更低的 SO₂ 排放。

为了进一步观测“千家企业节能行动”实施后对企业 SO₂ 排放在各年度的动态效应,对 2002—2010 年每个年度的动态处理效应进行了估计,将模型(1)进行微调,得到模型(2):

$$SO_{2_emission_{it}} = \alpha + \sum_{t=2002}^{2010} \beta_t Post_t \times Treatment_t + \gamma X_{it} + \eta_i + \theta_t + \mu_{it} \quad (2)$$

表 2 基准结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	$SO_2_emission$	$SO_2_emission$	$SO_2_emission$	$SO_2_emission$
$post_treatment$	-0.0858** (0.0423)	-0.1744*** (0.0429)	-0.2436*** (0.0719)	-0.1580** (0.0711)
$\ln y$		0.3209*** (0.0564)		0.3004 (0.1879)
$\ln EC$		0.3750*** (0.0291)		0.2122*** (0.0409)
TFP		-0.2607*** (0.0543)		-0.1999 (0.1893)
$\ln K$		-0.0001 (0.0084)		0.0558** (0.0270)
$\ln P$		0.0290** (0.0145)		-0.0645 (0.0436)
soe		-0.0267 (0.0283)		-0.1375 (0.0854)
Observations	75183	69920	4099	4099
R-squared	0.8346	0.8637	0.7112	0.7424

注: *、**、*** 分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平; 括号内为在行业层面聚类的标准误; 同时控制企业、年度固定效应。以下各表同。

其中, $Post_t$ 代表“千家企业节能行动”实施当年或者第 i 年的虚拟变量。具体设定为: 时间变量仅分别在当年取 1, 其他年份均取 0。例如, 在估计 2007 年动态效应时, 在 2007 年设定 $Post_{2007}=1$, 其他年份取 0。这里将 2005 年作为基准年份, 在年份小于 2005 年的时间内, 若交互项不显著则表明“千家企业节能行动”实施前两组样本满足共同趋势, 动态效应结果如图 8 所示。

2002—2004 年的估计系数均不显著, 表明处理组和控制组企业的 SO_2 排放在事前具有共同趋势。在政策实施的五年里, 政策对企业 SO_2 的排放呈现负向影响, 且系数比政策实施前 (-0.07 左右) 具有显著的变化 (政策实施后边际影响系数为 -0.20 左右)。2006 年“千家企业节能行动”对企业 SO_2 排放的边际影响未通过显著性检验, 但其 p 值为 0.1294。因此, 相对政策实施前, 已经非常明显地显示减排效应。2008 年和 2009 年因为“千家企业节能行动”时间即将结束, 要对整个时期的企业节能减排情况进行考核和审查, 所以企业面临的政策压力变大, 从而 SO_2 排放进一步减少且通过显著性检验。虽然政策实施

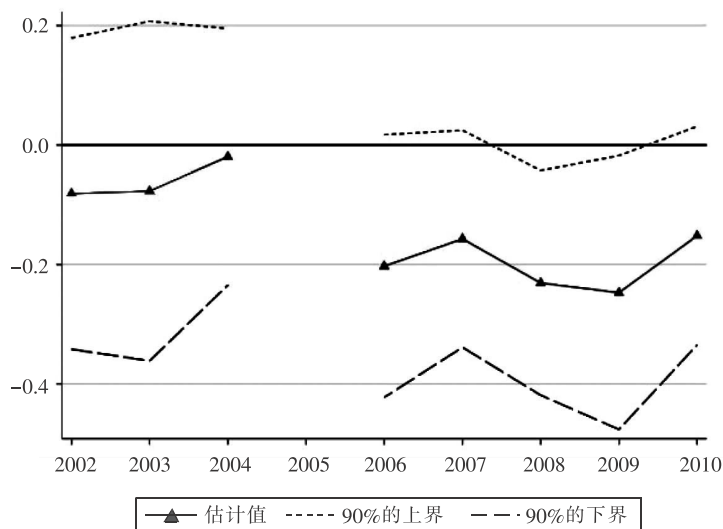


图 8 平行趋势与动态影响

注: 2005 年为进行比较的基准年份。

在2007年和2010年的政策的边际影响系数没有通过0.1的显著性检验,但是系数仍呈现稳健的负值,其 p 值分别为0.1568和0.1516,表明仍具有减排效应。2007年边际效应未能通过显著性检验的可能原因与政策开始实施后力度减缓有关,2010年则可能与政策所制定目标超额完成从而政府对企业规制变弱有关。

3. 稳健性检验^①

(1)匹配方法的选择。本文在基准分析中使用单一最邻近匹配方法对样本进行匹配来选择最合适的控制组样本,这样会导致较多样本量的丢失,所得到的结论可能仅限于少数匹配上的样本。为了检验是否会因为不同的匹配方法而产生不同的结果,本文选取了1:3和1:5的最邻近匹配方法、半径匹配和核匹配方法来进一步检验。研究结果显示,无论是采用哪种匹配方法,“千家企业节能行动”对企业SO₂排放的影响都是负向的,且结果都通过了显著性检验,与前文的结论方向一致。这说明本文的基准结果不依赖于具体的匹配方法的选择,结果整体上是稳健的。

(2)排除同期重要节能政策的影响。在估计“千家企业节能行动”对企业SO₂排放的影响过程中可能会受到其他政策的干扰,从而使“千家企业节能行动”政策的估计效应产生偏差。为了解决这一问题,本文搜寻了在“千家企业节能行动”产生作用时间段内同时发生的其他政策事件。最终发现,2007年国务院出台的《节能减排综合性工作方案》提出了“淘汰落后生产能力,关停小企业”的政策,主要集中在电力、炼铁、炼钢、电解铝、铁合金、焦炭、水泥、玻璃、造纸、酒精、味精、柠檬酸等行业。例如,电力行业要求关停5000万千瓦以下小火电机组,钢铁行业要求淘汰300立方米以下炼铁高炉和年产20万吨以下炼钢小转炉和小电炉。该项政策预计到2010年会实现节能1.18亿吨标准煤。但是由于缺乏完整的关停企业名单,本文在现有的数据库里无法找出既在“千家企业节能行动”名单又在关停企业名单里的企业。通过对比“千家企业节能行动”和《节能减排综合性工作方案》两项政策,发现两个政策关注的行业存在交叉,如电力、钢铁、有色金属、造纸、建材等。因此,本文将在原本的数据库里删除2007年之后既处在这些交叉行业又处在“千家企业节能行动”名单的企业再进行匹配和估计分析,从而排除《节能减排综合性工作方案》这一政策对本文估计结果的影响。匹配变量的选择与基准结果保持一致。研究结果显示,在剔除与《节能减排综合性工作方案》存在行业交叉的“千家企业”之后,结果依然是显著的,表明本文结论依然稳健。

(3)安慰剂检验。“千家企业节能行动”这一节能政策要求进入政策名单的企业在2006—2010年按照要求完成预定的目标,但是企业SO₂排放的减少真的是因为“千家企业节能行动”吗?是不是存在随机的时间层面的因素导致控制组和处理组之间的污染排放存在差异,而不是“千家企业节能行动”的原因。因此,删除2006年以后的样本,仅保留“千家企业节能行动”出台之前的样本,然后,依次将2003—2005年作为“假”的“千家企业节能行动”的干预点,重新进行双重差分。结果表明,交互项 $post_{2003_treatment}$ 、 $post_{2004_treatment}$ 和 $post_{2005_treatment}$ 的系数均不显著,表明企业SO₂排放的减少是由“千家企业节能行动”引起的,而不是其他因素导致的,说明本文估计结果是稳健的。

(4)样本仅限于大型规模企业。为了检验结果的稳健性,本文将样本仅限于大型规模企业,具体做法是仅保留企业从业人数超过行业平均值的样本。原因在于:①“千家企业节能行动”的目的在于限制大企业能源消耗,因此,只保留大规模企业的样本能更好地研究节能政策对企业污染的影响;②大型企业具有规模经济,不管是否受到环境规制的影响,都更有能力承担与技术提升、效率提高有关的投资。结果显示,相比于基准回归结果,只保留大型规模企业样本的估计系数要更大且通过了显著性检验。因此,可以推断,“千家企业节能行动”对规模较大企业的影响更大,污染减排效果

^① 稳健性检验结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

更好。

(5)考虑不同聚类标准误。本文的基准回归采用的聚类层级为四位数行业,由于聚类层级的选择会对样本回归结果的显著性产生直接影响,为了检验不同聚类层级不会影响基准结果的可靠性,本文将基准回归的聚类层级进行替换,分别为四位数行业—年度、省份—四位数行业、省份—年度、城市—四位数行业,回归结果显示聚类标准的不同设定并不会影响本文结论,结果仍然稳健。

(6)采用三重差分进行检验^①。对于其他可能影响千家企业而非千家企业分组的因素所导致的估计偏误的担忧,本文尝试估计了一个三重差分模型。由于“千家企业节能行动”目标着重于大型的高耗能企业,因此,企业的污染排放情况可能存在组间差异。本文采用三重差分法来替代双重差分法,进一步检验节能与减排之间负向关系的稳健性。具体来说,本文采用政策实施之前2005年四位数行业的煤炭能源强度 *coal_intensity*,利用2005年各四位数行业的煤炭使用总量除以各行业的总产值来作为第三重差分的变量,构造 $post_treat_industry=post \times treatment \times coal_intensity$ 。研究发现,在三重差分模型设定下,节能政策会使能源密度越高的行业内的千家企业SO₂排放降低越多,与基准结论一致。由于本文的样本在行业—年的范围进行匹配,所以“千家企业节能行动”政策变量的影响 *post_treatment* 被三重差分交互项 *post_treat_industry* 吸收。

四、影响机制与异质性分析

“千家企业节能行动”具有显著的污染减排效果,即针对温室气体排放的节能政策对污染物的排放存在协同减排效应。那么,这样一种节能政策是通过何种内在机制来影响企业污染排放,即这种协同减排效应发挥作用的途径是什么?“千家企业节能行动”仅仅考虑企业的能源使用状况,并不关注企业真实的节能潜力(Price et al.,2010),因而会存在企业通过减产来完成任务,这种调整生产来减排的情况又是否真实存在?从企业污染排放过程看,理论上污染物的最终排放不仅取决于污染物的产生过程还取决于污染物处理情况,而“千家企业节能行动”政策设定的各项具体的节能目标可能会对企业技术效率、治理投资等环节产生影响,这些环节的改变都会影响污染物的产生,但究竟是哪种方式在发生作用还有待检验。

1. 机制探析

(1)能源使用效率的提升与能源结构的转变。能源使用的减少无非通过以下几种方式:改变原有的能源使用原料、转向更为清洁的能源和提升能源使用效率。由此,本文先探究这两个途径在影响污染物排放上的真实效果,验证企业是否通过能源使用效率的提升来降低污染排放,采用企业煤炭消费量总额并取对数来构造能源使用效率 *fuel_efficiency*,原因在于“千家企业”中煤炭消费量占40%左右,各个行业都使用煤炭作为燃料,煤炭的燃烧使用会产生大量的SO₂等污染物,而石油、天然气等燃料燃烧产生的多为碳氢化合物,CO₂、SO₂排放相对较少。将 *post_treatment* 直接对能源使用效率 *fuel_efficiency* 回归,结果如表3第(1)列所示, *post_treatment* 变量系数显著为负,表明“千家企业节能行动”显著地提升了企业的能源使用效率,而能源使用效率的提升在减缓温室气体排放的同时也会减少企业的污染排放。此外,能源使用效率的提升一定程度上也意味着企业生产技术效率的提升。进一步,需要考虑节能政策对污染排放产生的协同减排效应是否通过能源结构的改变来实现。由于缺乏企业使用风能、水能、太阳能这一类新能源的数据,本文采用洁净燃气消费 *gas* 来进行分析,具体结果如表3第(2)列所示。结果显示 *post_treatment* 对洁净燃气消费 *gas* 的回归系数为负,未通过显著性检验。由此可以看出,企业并没有通过转变能源消费结构、增加新能源消费来降低污

^① 感谢匿名评审专家的建议。

染排放,相反,新型能源的消费数量呈下降趋势。这可能与企业为了尽快完成“千家企业节能行动”减排目标有关,为了完成既定目标,不得不选择减少能源消费总量,而这一点则不利于新型能源的普及。另外,本文还探究了柴油 *diese* 在节能政策和污染减排之间的协同效应的作用。柴油由于其物理属性,含碳量低,燃烧使用中温室气体的排放相比石油少且含硫量也相对较低。本文检验了柴油是否是节能和减排之间的潜在路径,结果如表3第(3)列所示,回归系数为负且不显著,表明企业并没有通过使用柴油来减少污染排放。

表3 能源使用效率、能源结构与污染减排

	(1) <i>fuel_efficiency</i>	(2) <i>gas</i>	(3) <i>diese</i>
<i>post_treatment</i>	-0.1965* (0.1179)	-0.3131 (0.2617)	-0.1687 (0.3940)
Observations	3042	4099	2258
R-squared	0.8337	0.7470	0.8303

注:表中除第(1)列对能源使用效率 *fuel_efficiency* 回归外,其余均控制企业层面变量。以下各表同。

(2)减产与技术效率提升。产出的下降也可以说是企业调节能源使用的一种途径,需要验证企业是否通过调整生产的方式来完成节能目标,进而降低污染排放,即验证是否通过减产来减排。具体做法是直接将 *post_treatment* 对工业总产值的对数形式 *output* 进行回归,表4第(1)列的回归系数显示为负值且通过了1%的显著性检验,表明在“千家企业节能行动”的影响下,为了完成节能目标,企业会调整自身的生产经营计划,进而减少污染排放。但是,这种减产来减排的方式是对企业的一种伤害,是企业为完成政策目标而进行的一种不得已的选择,不利于企业长远发展。

此外,污染物的消除离不开生产过程中技术效率的提升和治理投资的增加,本文沿着这两条途径来探讨可能的影响机制。本文利用 SO_2 产生量和 SO_2 去除率(用 SO_2 去除量除以产生量衡量)来粗略判断节能与减排之间的协同效应是否是因为技术效率的提升和治理投资增加而带来的效果。事实上,企业提升技术效率是相对缓慢的过程,政府出台的节能政策会迫使企业改进技术和(或)增加治理投资来完成目标。因此, SO_2 产生量体现了企业通过技术因素降低排放的效应;而 SO_2 去除率则从侧面反映了企业为降低污染排放进行的末端处理,即企业为了减排而进行的治理投资。由此,表4的第(2)、(3)列将 *post_treatment* 交互项分别对 SO_2 产生量(*SO₂_production*)、 SO_2 去除率(*treat_rate*)回归,结果显示 *post_treatment* 对 *SO₂_production* 和 *treat_rate* 对应的系数均为负(虽然未通过10%的显著性检验,但其 *p* 值分别为0.1235和0.1231),说明在“千家企业节能行动”作用下企业具有更强的内生技术减排动力,甚少通过末端处理的方式产生减排效应。这一结论与“千家企业节能行动”直接的政策目标有关,毕竟其并不以污染排放减少为直接目标,而是更多关注能源的使用问题,因为其发挥的减排效应与污染物的产生有关,而非与末端处理措施有关。

2. 异质性分析

“千家企业节能行动”通过减产、能源效率提升以及技术进步等方式显著地降低了企业污染的排放,但是不同类型企业由于企业特征上的差异,可能会选择不同的方式来实现节能目标,进而在实现污染减排方面也存在差异。

(1)节能目标完成的行为差异及其影响:国有企业和非国有企业的比较。按照所有制的不同,将匹配后的样本分为国有企业和非国有企业来分析“千家企业节能行动”对不同所有制企业的影响,

表 4 减产、能源结构对减排的影响

	(1)	(2)	(3)
	<i>output</i>	<i>SO₂_production</i>	<i>treat_rate</i>
<i>post_treatment</i>	-0.3984*** (0.0819)	-0.1282 (0.0827)	-0.0703 (0.0453)
Observations	4099	4099	4099
R-squared	0.7899	0.8225	0.6701

注:表中除第(1)列对产出 *output* 回归外,其余均控制企业层面变量。以下各表同。

估计结果如表 5 中 Panel A 所示。分组用交互项对 *SO₂_emission* 进行回归,可以发现国有企业和非国有企业的回归系数均为负,但国有企业减排的结果却不显著^①。在“千家企业节能行动”的政策要求中明确提到各省份节能主管部门要对千家企业的节能情况进行跟踪和监督,并且每年都要将千家企业的能源利用状况进行上报,这就导致国有企业相比于非国有企业更有可能面临更严格的监督,承担更多的减排任务和责任。在以上措施压力下可以推断,相比于非国有企业,国有企业的污染减排效果应该更好,但是本文结果却不支持这一推断。究竟是什么因素导致非国有企业的污染减排效果优于国有企业?完成节能目标与污染减排之间的作用机制在国有企业和非国有企业之间究竟发生了怎样的影响?哪些影响机制导致了国有企业和非国有企业之间的减排差异?

为了进一步探究机制在国有企业和非国有企业的差异,可以通过分组回归来分析,具体结果如表 5 中 Panel B 所示。Panel B 第(1)、(2)列分别是非国有企业、国有企业对能源使用效率(*fuel_efficiency*)的回归,结果显示非国有企业在“千家企业节能行动”下的能源使用效率的提高相比于国有企业更好。第(3)、(4)列分别是非国有企业和国有企业对产出(*output*)的回归,结果发现无论是国有企业还是非国有企业都通过减产这一途径来完成“减碳”任务,进而减少污染排放。通过对比发现,非国有企业更趋向于采用提高能源使用效率,而国有企业则选择减产。由于“千家企业节能行动”在制定节能目标时更关注企业所在的行业和能源使用情况,而不是企业真实的减排能力(Price et al., 2010),从而导致那些能源使用效率较高、节能潜力有限的企业不得不面临过高的节能目标(陈钊和陈乔伊, 2019),只能选择减产来完成目标,从而减排效果不如非国有企业。

进一步地,考察国有企业、非国有企业之间 *SO₂* 产生量(*SO₂_production*)、*SO₂* 去除率(*treat_rate*)不同,结果见表 5 中 Panel B 的第(5)–(8)列所示。*SO₂* 产生量体现了企业技术效率的提升,在国有企业和非国有企业的回归上均为负且不显著,对比系数发现,国有企业的 *SO₂* 产生量更少,技术效率更高。在 *SO₂* 去除率上,非国有企业的结果显著为负,那么,非国有企业更不大可能通过治理投资的增加来治理污染,而是倾向于选择内生的减排路径。通过上述分析得知,非国有企业会通过能源使用效率提高、减产等行为来完成节能目标,实现污染排放的降低,而国有企业可能在面临过高的节能目标时,只能选择减产,其协同减排效应不如非国有企业。

(2)区域间发展差异、节能目标完成行为与减排效果。在区域经济发展不平衡的情况下,“千家企业节能行动”是否会存在显著的减排效果差异?为了回答这一问题,本文将样本分为东部地区和中西部地区两个子样本进行回归,结果由表 6 中 Panel A 所示。中西部地区在节能政策下的污染减

^① 为排除二者减排差异源于样本量的不同,本文在省份—两位数行业—年份维度对企业数据进行平均再进行分组回归,尽量消除由于样本量差异导致的估计结果的系统性偏差。估计结果参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件,感谢匿名评审专家的建议。

表 5 不同所有制企业的影响异质性

Panel A: 国有企业和非国有企业的减排异质性				
	(1) 非国有企业		(2) 国有企业	
<i>SO₂_emission</i>	-0.1332* (0.0783)		-0.1413 (0.1729)	
Observations	2960		1027	
R-squared	0.6961		0.8445	
Panel B: 国有企业、非国有企业减排机制的异质性				
	<i>fuel_efficiency</i>		<i>output</i>	
	(1) 非国有企业	(2) 国有企业	(3) 非国有企业	(4) 国有企业
<i>post_treatment</i>	-0.2426* (0.1304)	-0.0684 (0.2110)	-0.3878*** (0.0816)	-0.3945** (0.1975)
Observations	2068	881	2960	1027
R-squared	0.8322	0.8469	0.7640	0.8484
	<i>SO₂_production</i>		<i>treat_rate</i>	
	(5) 非国有企业	(6) 国有企业	(7) 非国有企业	(8) 国有企业
<i>post_treatment</i>	-0.0771 (0.0831)	-0.1957 (0.1705)	-0.0970** (0.0403)	0.0186 (0.0964)
Observations	2960	1027	2960	1027
R-squared	0.8024	0.8868	0.6604	0.7363

排效果更好(虽然未通过 10%显著性检验,但其 p 值为 0.1389),虽然东部地区 SO₂ 排放减少,但是结果并不显著。同样地,本文依旧要探讨什么原因导致了中西部地区企业的污染减排效果较好,节能与减排的作用机制在东中西部地区的企业中发挥了怎样的作用?

具体做法与上文一致,将影响节能政策和污染排放之间协同效应的机制分组进行回归来研究各种机制在不同地区企业之间发生的不同作用,结果如表 6 中 Panel B 所示。通过第(1)、(2)列可以发现,东中西部能源使用效率均为负值但结果并不显著,中西部地区能源使用改善情况要好于东部地区。不论是东部地区还是中西部地区的企业,节能政策的实施都迫使企业选择减产来完成任务,进而产生了协同的减排效应,这一点可以从第(3)、(4)列中发现。进一步地,从第(5)、(6)列可以发现,中西部地区的企业在 SO₂ 产生量减少的影响方面的表现显著好于东部地区企业。可能的原因是,东部地区企业技术效率已经较高,提升技术效率的潜力已经不足,而中西部地区的企业由于技术落后,在提升生产技术上还有很大空间,从而在节能政策压力下可以提高生产技术、降低污染排放。在 SO₂ 处理率的影响方面,政策作用下中西部地区的 SO₂ 处理率有所下降(第(7)列显示 p 值为 0.1169),表明中西部地区更有可能通过内生压力来实现协同减排效应,这与以上分析的结论是一致的。通过上述分析,可以推断中西部地区的企业减排效果较好主要原因在于技术效率的提升和减产,而东部地区企业由于技术水平较高,提升空间较小,从而协同减排效应表现不如中西部地区企业。

(3)规模因素在污染减排效应中的作用差异。“千家企业节能行动”对主要的能源消费大户进行

表 6 不同地区的影响异质性

Panel A: 东中西部地区的减排异质性				
	(1) 中西部地区		(2) 东部地区	
<i>SO₂_emission</i>	-0.1973 (0.1324)		-0.1205 (0.1469)	
Observations	2314		1784	
R-squared	0.7497		0.7325	
Panel B: 东中西部地区企业减排机制的异质性				
	<i>fuel_efficiency</i>		<i>output</i>	
	(1) 中西部地区	(2) 东部地区	(3) 中西部地区	(4) 东部地区
<i>post_treatment</i>	-0.2026 (0.1416)	-0.1633 (0.1993)	-0.2511** (0.1083)	-0.5766*** (0.1742)
Observations	1691	1350	2314	1784
R-squared	0.8348	0.8329	0.7949	0.7799
	<i>SO₂_production</i>		<i>treat_rate</i>	
	(5) 中西部地区	(6) 东部地区	(7) 中西部地区	(8) 东部地区
<i>post_treatment</i>	-0.2217*** (0.0825)	-0.0159 (0.1352)	-0.0843 (0.0534)	-0.0475 (0.0661)
Observations	2314	1784	2314	1784
R-squared	0.8298	0.8121	0.6801	0.6561

规制,体现了规模政策的特点。规模政策既有利于控制能源使用总量,同时又有可能随着规模经济而产生相关差异。由于被纳入“千家企业节能行动”名单的企业多为大规模企业,如果按照国家统计局公布的《统计上大中小微型企业划分办法(2017)》对企业规模划定,将会造成大型企业和小型企业样本量差距较大的情况。本文按照企业在 2005 年的从业人数中位数来划分大型企业和小型企业,超过从业人数中位数则认定为大型企业(*firmsize*=1),否则视为小型企业(*firmsize*=0)。表 7 中 Panel A 的结果显示,虽然大型企业和小型企业的回归系数均为负数,但是大型企业的协同污染减排效应更好。这表明大型企业在改善企业污染排放方面表现得更好。

进一步如表 7 中 Panel B 所示,在能源使用效率上,虽然未通过显著性检验,但估计系数表明大型企业和小型企业均存在能源使用情况的改善。同时,从表 7 中 Panel B 的第(3)、(4)列可以看出,大型企业倾向于通过减产来完成既定的节能目标。这与“千家企业节能行动”依照企业能源使用情况来设定企业的节能目标有关,大型企业由于自身能源消耗大,面临的节能压力自然而然也就大,从而被迫选择减产,小型企业面临的节能压力较大型企业更小,不会倾向于选择激进且不利于企业发展的方式来完成目标。由此,大型企业 SO_2 排放量下降幅度更多。第(5)——(8)列表明,不同规模企业之间 SO_2 产生量、 SO_2 去除率并未显示出明显差异。从 SO_2 产生量看,不论是大型企业还是小型企业的回归系数均为负,结果均不显著。由于两类企业的内生的减排路径均未出现显著差异,那么,结合总体的协同减排效应结论,在 SO_2 去除率上其也未表现出明显差异。通过上述分析可知,大型企业在节能政策下污染减排效果更显著,与其选择能源效率的提升和减产等方式来完成节能目标有关。

表 7 规模不同企业的影响异质性

Panel A: 规模不同的企业减排异质性				
	(1) 小型企业		(2) 大型企业	
<i>SO₂_emission</i>	-0.1160 (0.1464)		-0.1725* (0.1055)	
Observations	1634		2221	
R-squared	0.7054		0.7899	
Panel B: 规模不同的企业减排机制的异质性				
	<i>fuel_efficiency</i>		<i>output</i>	
	(1) 小型企业	(2) 大型企业	(3) 小型企业	(4) 大型企业
<i>post_treatment</i>	-0.1040 (0.1815)	-0.1481 (0.1592)	-0.1018 (0.1883)	-0.4197*** (0.1213)
Observations	1055	1810	1634	2221
R-squared	0.8434	0.8372	0.7227	0.8120
	<i>SO₂_production</i>		<i>rate_treat</i>	
	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>post_treatment</i>	-0.0837 (0.1343)	-0.0958 (0.1376)	-0.0741 (0.0696)	-0.0559 (0.0507)
Observations	1634	2221	1634	2221
R-squared	0.7861	0.8555	0.6560	0.7104

五、结论与启示

依托“千家企业节能行动”，本文尝试探究了节能政策可能的协同污染减排效应。本文发现，节能政策具有显著的污染减排协同效应，采用节能政策可以实现能耗降低与污染物排放减少的共赢局面。节能政策引起企业污染排放的降低在减产、能源使用效率提升等方面均有直接证据，但能源结构改变并没有发挥作用。为了完成“千家企业节能行动”预设的目标，企业存在被迫选择通过减产来完成任务的反应行为，而这并不利于企业维持生产经营和保持市场竞争力。同时发现，非国有企业倾向于采用提升能源利用效率的方式实现节能目标，而国有企业则通过减产等“粗暴式”的行为来完成节能目标。结合以上发现，本文认为企业节能行动与污染减排之间具有显著关联，影响节能与污染减排之间关系的关键因素在于企业选择何种途径实现节能。由于企业在节能措施上采取了不同类型的选择，其对协同的污染减排效应的影响也表现出明显差异。

基于以上发现，本文认为未来制定环境政策时，中国可以在以下几个方面进行完善：①加强污染治理政策间的统筹协调，最大程度发挥不同政策之间协同减排效应。中国的政策制定与实施存在显著的部门化特征，不同部门间的政策制定以及政策实施均存在协调问题。中国已经度过了高速发展以及粗放式发展的初级阶段，以高投入、高污染为代表的发展阶段已经一去不复返。同时，在污染治理方面，“一刀切”式不计成本的污染治理方式已不符合当代中国国家治理的发展方向。如果忽视不同政策之间的协同减排效应，不仅会浪费公共治理资源，还会损害污染治理的效果。中国需要通过大数据优势，建立覆盖各部门各层级的污染治理政策库，降低不同部门政策间协调的成本。②在污染治理方面，相关政策制定时应该对政策的协同影响进行综合评估，以此获得更为科学的政策影响，从而为政策的制定与实施提供决策参考。污染治理涉及生产过程中要素优化、效率提升以及末端处

理等过程,涉及这些不同过程的政策产生的协同减排效应应计入政策收益中。同时,对于一些政策可能产生负面的污染治理效果也应进行科学评估,同样进入到政策制定与实施的成本收益科学决策中加以考虑。随着不同类型政策作用到同一企业,政策之间是否存在相抵触的方面,是否会让企业左右掣肘。未来中国需要在统筹政策的基础上,加强对相关政策制定与实施前的评估,尽量使政策发挥协同促进效应而非相互抵触,避免造成治理资源的浪费与效率低下的问题。③政策设计应以企业长期可持续发展为最终的目的,并以此进行科学设计。政策目标在制定过程中要对企业的情况进行多方位、多角度、细致化的调查,以科学的视角分析企业完成目标的潜力。避免出现由于政策目标设定过高,企业出现减产、停产等有益于自身发展的情况。无论是采用更加环保的新技术、新设备,还是使用新型的清洁能源,对于企业来说都不是在短期内可以完成的。如果在政策设计上可以考虑企业的长期可持续发展,将环境政策看作激励企业进行创新和技术改革的方式而非企业的枷锁和负担,将环境政策与企业发展统一起来,无论是对企业健康发展还是对中国经济的转型来说都是“双赢”的。具体到国有企业,还要同时深化国有企业改革,逐渐降低“非经济性属性”给国有企业“做大做强”带来的负担。国有企业由于其在中国经济中的地位和作用,在环境污染治理中往往也承担了比非国有企业更重的减排任务,这对国有企业的可持续发展可能产生不利影响。

尽管本文进行了一定的探索性分析,但是限于数据可得性等问题,仍然未能对更具体的节能措施进行针对性分析,因为无法直接获得关于何种政策措施更能有效地推动“节能”与“减排”之间的共赢发展,相信未来随着更多、更细的相关数据的披露,该问题必将得到进一步探究。

[参考文献]

- [1]陈登科. 贸易壁垒下降与环境污染改善——来自中国企业污染数据的新证据[R]. 经济研究工作论文, 2020.
- [2]陈钊,陈乔伊. 中国企业能源利用效率:异质性、影响因素及政策含义[J]. 中国工业经济, 2019,(12):78-95.
- [3]康志勇,张宁,汤学良,刘馨. “减碳”政策制约了中国企业出口吗[J]. 中国工业经济, 2018,(9):117-135.
- [4]林伯强,孙传旺. 如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标[J]. 中国社会科学, 2011,(1):64-76.
- [5]刘强,庄幸,姜克隽. 中国出口贸易中的载能量及碳排放量分析[J]. 中国工业经济, 2008,(8):48-57.
- [6]Ang, J. B. CO₂ Emissions, Research and Technology Transfer in China [J]. *Ecological Economics*, 2009,68(10):2658-2665.
- [7]Austin, P. C. An Introduction to Propensity Score Methods for Reducing the Effects of Confounding in Observational Studies[J]. *Multivariate Behavioral Research*, 2011,46(3):399-424.
- [8]Barker, T. Secondary Benefits of Greenhouse Gas Abatement: The Effects of a UK Carbon-Energy Tax on Air Pollution[R]. *Energy-Environment-Economy Modelling Discussion Paper*, 1993.
- [9]Barker, T., and K. Rosendahl. Ancillary Benefits of GHG Mitigation in Europe: SO₂, NO_x and PM₁₀ Reductions from Policies to Meet Kyoto Targets Using the E3ME Model and EXTERNE Valuations [R]. In: *Proceedings of an IPCC Co-Sponsored Workshop, 27-29 March 2000*. Organization for Economic Co-operation and Development, Washington, DC, 2001.
- [10]Burtraw, D., A. Krupnick, K. Palmer, A. Paul, M. Toman, and C. Bloyd. Ancillary Benefits of Reducing Air Pollution in the U.S. from Moderate Greenhouse Gas Mitigation Policies in the Electricity Sector [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003,45(3):650-673.
- [11]Brucal, A., B. Javorcik, and I. Love. Good for the Environment, Good for Business: Foreign Acquisitions and Energy Intensity[J]. *Journal of International Economics*, doi.org/10.1016/j.jinteco.2019.07.002.
- [12]Ekins, P. How Large a Carbon Tax Is Justified by the Secondary Benefits of CO₂ Abatement [J]. *Resource and Energy Economics*, 1996,18(2):161-187.
- [13]Filippini, M., T. Geissmann, V. J. Karplus, and D. Zhang. A Green Bargain? The Impact of an Energy

- Saving Program on Productivity Growth in China's Iron and Steel Industry [R]. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research, 2017.
- [14]Ke, J., L. Price, S. Ohshita, D. Fridley, N. Z. Khanna, N. Zhou, and M. Levine. China's Industrial Energy Consumption Trends and Impacts of the Top-1000 Enterprises Energy-Saving Program and the Ten Key Energy-Saving Projects[J]. *Energy Policy*, 2012, (50):562-569.
- [15]Olley, S., and A. Pakes. The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry[J]. *Econometrica*, 1996, 64(6):1263-1297.
- [16]Price, L., X. Wang, and J. Yun. The Challenge of Reducing Energy Consumption of the Top-1000 Largest Industrial Enterprises in China[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(11):6485-6498.
- [17]Rosenbaum, P. R., and D. B. Rubin. Constructing a Control Group Using Multivariate Matched Sampling Methods that Incorporate the Propensity Score[J]. *American Statistician*, 1985, 39(1):33-38.
- [18]Sinton, J. E., and M. D. Levine. Changing Energy Intensity in Chinese Industry: The Relatively Importance of Structural Shift and Intensity Change[J]. *Energy Policy*, 1994, 22(3):239-255.
- [19]Zhang, X., and L. Sun. Decomposition of Energy Intensity Change in China's Industrial Sub-Sectors[J]. *Resources Science*, 2010, (32):1685-1691.

Study on the Mechanism of Firms' Pollution Reduction Under the Constraint of Energy-saving Target

HAN Chao, CHEN Zhen, WANG Zhen

(Center for Industrial and Business Organization DUFE, Dalian 116025, China)

Abstract: As the global calls for reducing greenhouse gas emissions become louder, China has actively assumed international responsibilities in line with its own development stage and national conditions, and implemented a series of energy saving actions. However, what is the effect of the energy saving policy? Can it produce synergistic emission reduction effects? Based on the Top-1000 Energy-Consuming Enterprises Program, this paper takes sulfur dioxide (SO₂) as an example to explore the synergistic effects of energy-saving policies on pollution emissions and its mechanism. We find that energy-saving policies can produce significant emission reduction effects. After a series of robustness tests, the results are still valid. When examining the impact mechanism between energy-saving policies and emission reductions, we find that the incentives for energy-saving policies to reduce pollution emissions have direct evidence in terms of production reduction and energy efficiency improvement, but the change in energy structure does not play an effective role. Further studies show that there is significant difference between state-owned enterprises and private enterprises in the way of achieving energy-saving goals. State-owned enterprises achieve energy-saving goals by reducing production, while private enterprises achieve it via improving energy efficiency. Therefore, private enterprises demonstrate better coordinated effects in pollution reduction. Meanwhile, we also find that there are different pollution reduction effects across different areas and different sizes which are related to the way they choose to achieve the target. We believe that when formulating energy-saving policies in the future, more considerations should be given to the possible coordinated emission reduction effects, instead of splitting them, which would result in a win-win situation.

Key Words: energy-saving policy; top-1000 energy-consuming enterprises program; pollution reduction; coordinated effect

JEL Classification: L52 P28 Q58

[责任编辑:李鹏]