

“双碳”目标约束下的能耗双控到碳排放双控： 规制工具、效应模拟与政策评价

姜春海， 闫振好， 王 敏

[摘要] 能耗双控转向碳排放双控是中国应对气候变化、推动经济社会全面低碳化转型的重大制度设计。本文基于可计算一般均衡模型研究发现，能耗双控与碳排放双控政策均能有效减少碳排放，降低能源消费水平，促进能源消费结构低碳转型，推动产业结构合理化，但会对经济造成损失。从能耗双控转向碳排放双控，能够进一步减少碳排放，降低碳排放峰值，有效释放清洁能源消费潜力，提高非化石能源消费占比，促进清洁能源产业发展，但未必能够推动产业结构合理化，对经济增长的促进作用也存在不确定性。当“双碳”目标超越能耗目标成为主要政策约束时，能耗双控与碳排放双控叠加组合方式将收敛为碳排放双控。碳排放双控采用的不同规制工具及其组合方式是决定碳排放双控目标下经济社会效应的关键影响因素，使用不同规制工具产生了差异化的碳减排经济成本，以及不同程度的低碳能源消费推动作用。本文还对能耗双控与碳排放双控的政策效应做了综合评估，发现能耗双控转向碳排放双控的综合政策效应更优。本文为推动能耗双控向碳排放双控制度转变、合理运用碳排放双控制规制工具及组合提供了重要启示。

[关键词] 能耗双控； 碳排放双控； 碳减排； 能源消费结构转型

[中图分类号] F124 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2024)11-0005-19

一、问题提出

面对全球气候变暖的紧迫挑战，中国积极参与全球气候治理，响应国际社会应对全球气候变化的倡议，提出了力争于2030年前碳达峰、2060年前碳中和（简称“双碳”）的宏伟目标。能源消费总量和强度双控（简称能耗双控）向碳排放总量和强度双控（简称碳排放双控）转变，是中国基于自身发展实际，加快推进经济社会全面低碳化转型的重大基础制度，碳排放双控将成为中国实现“双碳”目标的核心政策措施。

[收稿日期] 2024-06-21

[基金项目] 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“‘双碳’目标约束下中国能源结构转型研究”（批准号22JJD790007）；国家社会科学基金重大项目“大宗商品产业链供应链韧性与安全水平评估及对策研究”（批准号23&ZD048）。

[作者简介] 姜春海，东北财经大学产业组织与企业组织研究中心教授，博士生导师，经济学博士；闫振好，东北财经大学产业组织与企业组织研究中心博士研究生；王敏，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：闫振好，电子邮箱：yanzhenhaoyzh@163.com。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见，文责自负。

党的十八届五中全会最早提出能耗双控,旨在应对能源消耗过快增长与环境污染加剧问题。其雏形是“十一五”期间的能源消费强度控制目标,“十二五”期间进一步提出了合理控制能源消费总量的目标要求,逐步形成能耗双控的能源消费约束体系。步入“十四五”时期,随着《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030年前碳达峰行动方案》等政策的发布,中国迈入经济社会低碳发展的新阶段。在此背景下,能耗双控被赋予了新的政策使命——推动中国经济低碳转型。为更好统筹低碳发展目标,国家发展和改革委员会等部门发布了《关于进一步做好新增可再生能源消费不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》等文件,明确了新增可再生能源消费不再计入能源消费总量控制范围。

在“双碳”战略目标下,碳排放双控直接锚定碳排放量与强度,可与“双碳”战略目标实现完全对接。相比之下,能耗双控政策主要关注点在于对能源消费的综合管理,与碳减排目标的衔接上存在局限性。能耗双控政策与“双碳”目标之间的不完全匹配,也使“双碳”目标实现呈现出一定的不确定性。同时,即使补充了新增可再生能源不再计入能源消费总量控制目标的相关规定,也未完全打破能耗双控政策对低碳能源消费的约束。在以能耗双控为政策手段推进碳减排目标进程时,可能出现对清洁能源消费的过度抑制,导致不必要的政策效率损失与社会成本增加,不能完全适应中国能源结构低碳化转型进程的需要,这也是现行能耗双控政策的最大缺陷。为贯彻落实“双碳”战略目标要求,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》(简称“十四五”规划纲要)明确提出以碳排放强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度。2021年12月,中央经济工作会议明确了能耗双控向碳排放总量和强度双控转变的战略方向。2022年,《政府工作报告》提出推进能耗双控转向碳排放双控。党的二十大报告指出,完善能源消耗总量和强度调控,重点控制化石能源消费,逐步转向碳排放总量和强度双控制度。2023年7月,中央全面深化改革委员会第二次会议审议通过了《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》。2024年7月,党的二十届三中全会提出“建立能耗双控向碳排放双控全面转型新机制”。2024年11月,《中华人民共和国能源法》再度明确了建立能源消耗总量和强度双控向碳排放总量和强度双控全面转型新机制。上述文件充分体现了推动能耗双控逐步转向碳排放双控的重要性。

从研究现状看,用能权交易制度(王兵等,2019)、排污权交易制度(史丹和李少林,2020)、产业结构优化调整(唐晓华和刘相锋,2016)、规模效率与技术效率提升(刘舒慧,2016)等均是实现能耗双控的有效途径。但现阶段技术进步促使能源消费降低的潜力不足,经济结构优化升级将成为能耗双控的新重点(刘自敏等,2022)。实现低碳发展目标,必须注重能耗双控向碳排放双控的转变,能源结构调整是其中的关键影响要素(Cao and Karplus, 2014; 张伟等,2016)。此外,生产方式转变(Zhang, 2009)、产业结构调整(Wu et al., 2012; Alves and Moutinho, 2013; 邵帅等,2022)、进一步完善碳排放权市场交易制度(Wu et al., 2016; 吴茵茵等,2021)、降低投资碳强度(邵帅等,2017)等也有助于碳排放双控的实现。安康欣等(2024)以安徽省为样本研究了能耗双控向碳排放双控转变的影响。张友国(2023)通过评估碳减排对中国需求结构的影响,认为应尽快完善碳总量控制制度。

现有研究较多讨论了能耗双控或碳排放双控政策的实现路径与影响因素,对能耗双控与碳排放双控政策效应的量化评估研究较少,相关研究也未能将碳排放双控政策目标与规制工具有机衔接,对实际的碳排放双控政策参考作用较弱。继续实施能耗双控政策对中国经济社会产生何种影响?从能耗双控转向碳排放双控能否如预期般在有效控制碳排放的同时,推动能源消费结构低碳转型,并支撑经济更好发展?碳排放双控的综合政策效应是否优于能耗双控?采用不同碳排放双

控规制工具及其组合的政策效应有怎样的差异? 这些问题均是中国在“双碳”战略目标下推动能耗双控转向碳排放双控的重要关切。可计算一般均衡模型(CGE)在政策模拟评估的综合性与全面性方面具有显著优势。本文拟使用可计算一般均衡模型,基于能耗双控与碳排放双控政策目标,动态模拟至2035年,^①分析比较能耗双控与碳排放双控的政策影响,并对能耗双控与碳排放双控政策进行综合评价。本文还研究了使用不同规制工具导致的碳排放双控政策效应差异。相较以往的研究,本文可能的边际贡献在于:①从全国层面定量分析了能耗双控与碳排放双控政策的经济社会影响,比较分析了两种政策在低碳化水平、能源消费变化、经济增长和产业结构合理化方面的影响差异,为能耗双控转向碳排放双控后的政策效应提供了前瞻性探索,并进一步回答了是否有必要将能耗双控与碳排放双控政策叠加组合实施问题;②将“双碳”目标约束下的碳排放双控政策目标与不同规制工具及其组合建立有机衔接,阐明了在碳排放双控政策框架下采取不同规制工具带来的政策效应差异,有助于为合理运用碳排放双控规制工具,构建科学有效的碳排放双控制度体系提供参考;③基于CGE模型对能耗双控与碳排放双控政策效应模拟结果,对能耗双控与碳排放双控政策进行了综合评估,为能耗双控向碳排放双控转变提供了量化依据。

二、机理分析

为了明确从能耗双控转向碳排放双控所带来的经济社会影响,需要对能耗双控政策与碳排放双控政策的影响机制进行讨论,并对比分析二者在作用机理上的差异,同时,也要关注双控政策使用不同类型规制工具在作用机制上产生的差异化影响。

1. 能耗双控政策对经济社会的影响分析

能耗双控涉及对能源消费强度和能源消费总量两个维度进行控制,对被规制主体采取的关键举措包括:上调用电价格,对能源产品征税,推动节能改造,对能耗超标企业收取惩罚性费用,甚至直接采取限产停产措施等。这些措施显著增加了用能主体的成本负担,即能耗双控会导致用能主体的用能成本提高。^②

能耗双控能够减少能源消费。能耗双控使被规制主体的用能成本提高,等效于能源价格上升,将降低总体的能源消费需求。基于生产要素间替代效应,能源消费成本提高会促使企业遵循成本最小化原则,使其寻求成本较低的替代性生产要素投入,以降低能源在生产活动中的投入水平;用能成本上升导致企业生产成本增加,使产出价格提高,企业可能减少生产规模以应对成本压力,进而减少能源消费;企业也可能直接采取减产措施完成节能任务(韩超等,2020)。因此,能源消费水平可能因生产要素间的替代机制及整体生产规模的缩减而降低。

能耗双控能够减少碳排放。基于中国以煤炭等化石能源为主的能源消费结构,能耗双控政策导致的能源消费减少,能够直接降低碳排放水平(林伯强,2022),能源消费强度下降也有利于减少碳排放(邵帅等,2017)。因此,能耗双控可以降低碳排放水平。

从对清洁能源发展的影响方面看,在能耗双控政策的约束指标中,清洁能源消费仍被纳入能源

^① 模拟至2035年是因为模拟时间区间过长可能导致模拟结果在长期与真实状况偏离严重;模拟至2035年的设定也与中国国民经济和社会发展的五年规划政策制定导向相契合,并涵盖了碳达峰前后的时间区间。

^② 能耗双控中,在面临用能指标紧张时,地方政府可能采取更为直接的行政干预措施,如“拉闸限电”,以确保完成既定的节能任务。该措施具有很强的主观性与随意性,且中国政府对此明令禁止,因此不在本文的讨论范围之内,碳排放双控政策同理。

消费强度计算,这在一定程度上制约了清洁能源的消费,限制了其增长潜力。清洁能源消费潜力释放受阻也进一步对清洁能源产业发展形成约束。在对经济发展的影响方面,能耗双控政策一方面增加了企业的直接生产成本,企业为追求利润最大化,依据边际生产成本的变化调整生产规模,导致总产出下降;另一方面该政策使高耗能企业面临的能源成本压力更大(王班班和齐绍洲,2016),由于不同产业间存在相互依存关系,高耗能企业减少能源使用引起的产业规模收缩,导致整个相关产业链条的产出下降,进而从生产端影响经济增长。企业生产规模的缩减也会对劳动与资本要素需求造成冲击,影响整体收入水平进而减少整体消费支出,从需求端对经济发展构成阻碍。

能耗双控政策对不同行业的冲击程度取决于各行业对能源消费的依赖度。由于不同行业之间的用能成本差异,能耗双控政策使生产要素在行业间流动,推动产业结构向低能耗、高附加值的方向调整,因此,能耗双控政策对低能耗绿色产业发展具有推动作用。

2.碳排放双控对经济社会的影响分析

碳排放双控是以碳排放量与碳排放强度为约束目标的碳减排规制政策。碳排放双控能够直接衔接碳排放控制目标,通过强化被规制主体的碳减排责任,使碳排放的负外部效应内化为被规制主体的成本,遵循成本效应对碳排放行为产生约束(张友国,2023),从而实现控制碳排放总量和降低碳排放强度的目的。

碳排放双控能够减少能源消费。二氧化碳排放主要源自化石能源燃烧(杨豪等,2023),因此,碳排放双控政策使各类化石能源消费成本依据其产生的碳排放量相应提高,进而通过生产要素间的替代效应,对化石能源消费产生抑制作用。同时,碳排放成本导致的生产成本提高,促使碳排放主体缩减生产规模以适应市场需求,化石能源消费水平随生产规模相应减少。由于清洁能源不含碳,清洁能源的消费需求不会因碳排放双控受到直接抑制,为清洁能源消费释放了空间。此外,碳排放双控增加了化石能源的使用成本,通过能源间替代效应能够推动清洁能源消费。碳排放双控对能源消费的整体作用主要取决于对化石能源消费抑制与对清洁能源消费促进的作用程度。

在对经济发展的影响方面,碳排放双控通过增加企业的碳排放成本来影响其生产规模,导致整体产出水平下降,阻碍经济增长。碳排放双控对高碳排放企业的限制还会影响相关产业链的产出,进一步影响经济发展。碳排放双控对不同产业的影响主要取决于各产业的碳排放水平,碳减排将通过要素配置效应从供给侧影响产业结构(张友国,2023),碳排放多产生于第二产业,因此,实现碳减排目标对第二产业发展的抑制作用相对较大。碳排放双控对清洁能源消费的刺激作用,为清洁能源产业发展提供了需求侧的支持,对清洁能源产业发展起到促进作用。

3.能耗双控与碳排放双控对经济社会影响的差异性分析

(1)政策约束目标不同。碳排放双控政策直接约束碳排放行为,能耗双控则需要通过限制能源消费方式,进而实现对碳排放水平的控制,导致能耗双控在实现碳减排目标上存在不确定性。因此,碳排放双控较能耗双控在衔接与实现碳减排目标上具有显著优势。

(2)碳排放控制效率不同。一方面,能耗双控方式控制碳排放对清洁能源消费形成了不必要的约束;另一方面,相较碳排放双控直接约束碳排放,能耗双控忽视了不同种类能源的碳排放强度差异(安康欣等,2024),导致控制碳排放效率更低,对能源消费产生更强的约束作用。因此,能耗双控相较碳排放双控,对能源消费的约束程度更高。在同样的碳排放控制目标下,由于碳排放双控对能源消费的约束作用更弱,导致碳排放双控的单位能源消费碳排放水平更低。

(3)能源消费约束范围不同。能耗双控对各类能源消费均存在约束作用,碳排放双控主要对产生二氧化碳排放的化石能源消费有约束作用,对清洁能源消费则没有限制。碳排放双控在减少化

石能源消费的同时,通过能源替代机制促进清洁能源的消费(张友国,2023),因此,碳排放双控在提高非化石能源消费占比作用上强于能耗双控,更有助于能源消费结构优化。

(4)碳减排经济成本不同。碳排放双控基于各种能源含碳量提高对应能源的消费成本,有更高的经济效率(安康欣等,2024)。另外,碳排放双控导致的能源消费成本增加主要集中于化石能源部分,生产主体能够使用清洁能源替代化石能源(陈诗一等,2024),以优化整体的能源消费成本。能耗双控对各类能源消费的限制,使生产活动需加大非能源要素投入,这伴随着更高的生产成本,导致能耗双控产生的经济负担高于碳排放双控,进而对整体的产出水平造成更大的负面影响。因此,能耗双控转向碳排放双控有利于经济增长。

(5)能源消费强度影响不同。将国内生产总值结合能源消费水平易得能源消费强度。考虑到能耗双控具有明确的能源消费强度约束目标,碳排放双控没有严格的能源消费强度约束,同时,碳排放双控对能源消费的抑制作用不及能耗双控,在经济增长方面的优势主要来源于对清洁能源消费空间的释放。因此,在控制能源消费强度方面,能耗双控可能比碳排放双控更有效。

(6)产业发展影响不同。能耗双控主要通过限制能源消费增加企业用能成本,碳排放双控侧重于通过产生碳排放成本减少碳排放。鉴于碳排放主要源自化石能源使用,碳排放成本构成能源消费成本一部分。能源消费约束是影响各产业产出的关键因素。考虑到工业生产是能源消费的主要需求来源,依据前文分析,能耗双控相较碳排放双控对能源消费的抑制作用更大,可知能耗双控对工业生产的冲击更大,这导致产业结构向低能耗、高附加值方向调整作用更大。因此,能耗双控对产业结构的冲击作用可能大于碳排放双控。

(7)社会福利水平影响不同。社会福利水平与居民收入水平高度相关,当经济发展达到一定水平并不断增长时能够有效增加劳动与资本要素需求,提高居民收入水平(李稻葵等,2009),促进社会福利增加。产业结构的变化也会对居民收入水平产生影响(Solow, 1958;李稻葵等,2009),不同产业存在差异化生产要素需求,第三产业比重上升能够提高劳动收入份额(白重恩和钱震杰,2009),从而影响社会福利水平。但总体而言,经济发展水平是决定社会福利水平更为关键的因素,因此,对经济发展更为有利的碳排放双控政策下的社会福利水平可能更高。

4. 双控政策规制工具作用机理及差异性分析

提高用能主体的能源消费成本是实现能源消费总量与强度控制较为典型和重要的措施。本文借鉴安康欣等(2024)做法,采用能源加价的方式提高用能成本。^①依据价格弹性理论,能源价格提升能降低能源消费需求,从而达到控制能源消费的效果。能源加价的常见方式包括生产端的能源资源税、消费端的能源消费税等,考虑到能耗双控是针对能源消费的约束政策,且市场型工具效果类似能源加价(王班班和齐绍洲,2016),因此,本文采用能源消费税规制工具进行研究。

从能耗双控转向碳排放双控,标志着政策的直接约束目标从能源消费量和强度转向了碳排放量和强度,这一变化将驱动规制策略做出相应调整,推动相关规制工具的转变。本文以化石能源消费税、碳税与碳市场三种规制工具对碳排放双控的政策效应进行讨论。^②

依据对碳排放的约束方式可以分为直接与间接规制工具。化石能源消费税代表通过对化石能源加价以提高碳排放成本的间接控制碳排放规制工具,其现实操作的可行性较强。碳税和碳市场

① 现实中碳市场等其他规制工具的实施也在一定程度上推动能耗双控政策目标的实现,但考虑这些规制工具主要政策目标不是控制能耗,为避免复杂化,本文未在能耗双控情景下对此类规制工具展开研究。

② 本文选取化石能源消费税、碳税、碳市场三种碳排放双控规制工具是因为该三种规制工具是实现碳排放双控目标较为直接与现实的规制工具,较有代表性。

规制工具直接依据碳排放量对碳排放责任主体施加成本约束,是直接控制碳排放的规制工具。

碳排放双控规制工具还可分为预防性规制工具和矫正性规制工具两类。碳排放双控预防性规制工具主要有化石能源加价和碳市场。化石能源加价主要影响用能主体的能源消费行为,在碳排放行为发生前介入,起到前瞻性调控作用。与对整体能源加价机制相同,化石能源加价利用价格信号促使化石能源消费减少,进而约束碳排放水平。碳市场机制的核心起点在于碳排放权的分配,这一理念来自“科斯定理”,即在产权界定清晰时,市场交易能够实现资源的有效配置。碳市场是通过事前分配碳配额实现对碳排放的总体控制,允许碳排放主体通过出售碳配额获取经济收益,使碳排放成本在不同的被规制主体间优化分配(吴茵茵等,2021),进而实现碳排放成本内生。碳税是一种矫正性规制工具,侧重于问题发生后的应对与修复,是一种纠正市场失灵、对生产活动的负外部性进行调整的重要规制手段。碳税也是一种庇古税,依据碳排放量对责任主体征收税费,使碳排放产生成本(姜峰,2014),从而对碳排放责任主体形成经济约束。

三、模型设计、数据说明与情景设置

对能耗双控与碳排放双控政策进行评估,需要与中国的实际情况相结合。CGE模型是开展政策评估的主流方法,适用于中国问题研究(史丹和李鹏,2021;张友国,2023)。本文依据能耗双控与碳排放双控政策各阶段的实施侧重点,设计了双控政策的模拟策略与政策情景。

1. 模型设计

本文构建的CGE模型主要包含生产模块、国际贸易模块、主体行为模块、均衡闭合模块、动态模块、能源消费与碳排放模块、政策模块共计7个主要模块。

生产模块中,各种生产活动遵循利润最大化和成本最小化的原则决定产出与要素投入数量。产出由劳动—资本—能源合成品与中间投入合成品通过常替代弹性(CES)生产函数进行刻画。中间投入合成品由各类非能源中间投入品通过列昂惕夫生产函数刻画。其余生产关系由CES生产函数表达,具体而言,由资本—能源合成品与劳动要素组合生成劳动—资本—能源合成品;由资本要素投入与能源合成品组合生成资本—能源合成品;由化石能源合成品与电力能源合成品组合生成能源合成品。化石能源合成品由煤炭、石油、天然气能源组合得到,电力合成品由火电与清洁电力组合得到。

国际贸易模块中,假设为开放经济,国内产出的商品依据出售价格水平向国内销售或出口,这个关系由常转换弹性函数描述。国内市场销售商品来自国内生产与进口商品的组合,使用CES函数来描述这一关系,这又被称为阿明顿条件。考虑中国在世界中较大的经济体量与国际贸易影响力,本文构建的CGE模型采用了大国假设。

主体行为模块中,经济主体涵盖居民、企业和政府。工资性收入、资本性收入以及政府和企业对居民的转移支付共同构成居民收入,资本要素收入还构成了企业收入,政府收入来自各种税收以及额外的政策性收入。居民支出涵盖向政府上缴的个人所得税和消费支出,居民对商品的消费需求基于斯通—杰瑞效用函数,采用线性支出系统需求函数表示。向政府上缴所得税和向居民转移支付构成企业的支出情况。政府的支出包括向居民的转移支付和对商品的消费。各主体的收入与支出间的差额为储蓄。对各商品的支出使用投资倾向与社会投资量表示。

均衡闭合模块中,模型中的均衡包括商品市场均衡、要素市场均衡、投资与储蓄之间的均衡、政府收支均衡、国际贸易收支均衡。模型闭合设定为新古典主义宏观闭合。

模型的动态化过程中,假定劳动禀赋、资本禀赋和生产效率三个要素会发生变化。

能源消费与碳排放模块包含了对能源消费与二氧化碳排放量的计算。由于社会核算矩阵中的值为价值量数据,部门*i*的各类能源*e*消费与流动情况*BZ_energy_{i,e}*可通过能源的价值量与实物量转换系数*ENtrans_{i,e}*和各类能源的折标系数*BZtrans_e*计算得到,见式(1),*Var_e_{i,e}*为能源消费与流动对应的价值量。电力消费*BZ_ELC*采用电力的生产量*BZ_ELC_{pro}*加电力进口量*BZ_ELC_{qm}*减电力出口量*BZ_ELC_{qe}*的方式求出,见式(2)。能源消费总量*BZ_Tenergy*可通过加总化石能源的消费与清洁电力的消费*BZ_ELC_{celc}*得到,见式(3),式中*fec*代表不同化石能源,*hac*代表不同能源消费主体。各主体的化石能源的消费量与碳排放系数*CO₂_rate_{fec}*相乘得到对应的二氧化碳排放量*CO₂_emission_{fec,hac}*,见式(4),加总可得二氧化碳排放总量*CO₂_Temission*,见式(5)。

$$BZ_energy_{i,e} = Var_e_{i,e} \times ENtrans_{i,e} \times BZtrans_e \quad (1)$$

$$BZ_ELC = BZ_ELC_{pro} + BZ_ELC_{qm} - BZ_ELC_{qe} \quad (2)$$

$$BZ_Tenergy = \sum_{fec,hac} BZ_energy_{fec,hac} + BZ_ELC_{celc} \quad (3)$$

$$CO_2_emission_{fec,hac} = BZ_energy_{fec,hac} CO_2_rate_{fec} \quad (4)$$

$$CO_2_Temission = \sum_{fec,hac} CO_2_emission_{fec,hac} \quad (5)$$

政策模块中,能源消费强度*ENpergdp*与二氧化碳排放强度*CO₂pergdp*是本文关心的政策性约束指标,见式(6)、式(7),其中,能源消费强度由能源消费总量与国内生产总值相除得到,碳排放强度由二氧化碳排放总量与国内生产总值相除得到:

$$ENpergdp = BZ_Tenergy/GDP \quad (6)$$

$$CO_2_pergdp = CO_2_Temission/GDP \quad (7)$$

依据《关于进一步做好新增可再生能源消费不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》,新增可再生能源消费不再构成能源消费总量控制目标的一部分,因此,对能源消费总量计算过程做相应调整得到能源消费总量约束部分*BZ_Tenergy_control*,*BZ_ELC_{celc}*为非新增的清洁电力消费量:

$$BZ_Tenergy_control = \sum_{fec,hac} BZ_energy_{fec,hac} + \overline{BZ_ELC_{celc}} \quad (8)$$

能耗双控要求对能源消费总量和能源消费强度进行控制,*BZ_Tenergy_control_{limit}*和*ENpergdp_{limit}*分别是能源消费总量和能源消费强度控制目标。^①能耗双控政策约束可表达为:

$$BZ_Tenergy_control \leq BZ_Tenergy_control_{limit}, BZ_Tenergy_control_{limit} \geq 0 \quad (9)$$

$$ENpergdp \leq ENpergdp_{limit}, ENpergdp_{limit} \geq 0 \quad (10)$$

碳排放双控要求对碳排放强度和碳排放总量同时进行控制,*CO₂_Temission_{limit}*和*CO₂pergdp_{limit}*分别是碳排放总量和碳排放强度控制目标,碳排放双控政策约束可表达为:

$$CO_2_Temission \leq CO_2_Temission_{limit}, CO_2_Temission_{limit} \geq 0 \quad (11)$$

$$CO_2_pergdp \leq CO_2_pergdp_{limit}, CO_2_pergdp_{limit} \geq 0 \quad (12)$$

能源加价采用能源消费税的办法实现,能源消费税税额*TAX_{xf}*为能源消费税税率*txf*与国内能源商品供给价值量*En_Sup_e*的乘积,见式(13)。化石能源消费税征收范围对应为化石能源:

① 能耗双控转向碳排放双控的过程中,由于碳排放限制本身会使能源消费受限类型集中在化石能源范围内,因此,化石能源能耗双控本质上是一种特殊情景下的碳排放双控,从而现实中没必要将能耗双控细化为化石能源能耗双控,也没必要叠加组合实施化石能源能耗双控与碳排放双控。

$$TAX_{xf_e} = t_{xf} \times En_Sup_e \quad (13)$$

矫正性规制采用征收碳税的办法实现,生产部门 a 的碳税税额 $TAXCO_{2_a}$ 为碳税税率 tCO_2 与二氧化碳排放量 $CO_{2_emission_a}$ 的乘积:

$$TAXCO_{2_a} = tCO_2 \times CO_{2_emission_a} \quad (14)$$

本文模型设定的各产业部门的碳配额依据产出与单位产出的碳排放强度进行免费分配。碳市场覆盖的产业范围参考生态环境部发布的《关于做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》设定,包括:煤炭部门、石油部门、天然气部门、火力发电部门、化学原料及化学制品制造业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业。具体表示为:

$$FCEA_{cete,t} = (1 - \theta)QA_{cete,t}CO_{2_perpro_{cete,t-1}} \quad (15)$$

$$IC_{cete} = Pcete \left(\sum_{fec} CO_{2_emission_{fec,cete}} - FCEA_{cete} \right) \quad (16)$$

$$\sum_{cete} \left(\sum_{fec} CO_{2_emission_{fec,cete}} - FCEA_{cete} \right) = 0 \quad (17)$$

其中, $FCEA$ 和 IC_{cete} 分别表示各部门的碳配额与碳交易成本, QA 为产出情况, CO_{2_perpro} 为单位产出的碳排放强度, θ 代表碳配额缩减系数, $Pcete$ 为碳市场交易价格, $cete$ 表示纳入碳市场的生产部门, t 为时间。

2. 数据说明

(1) 社会核算矩阵的编制与部门划分。本文使用 IGRAS 法 (Improved Generalized RAS-Method) 将 2020 年中国投入产出表更新至 2022 年, 并基于更新得到的 2022 年中国投入产出表对社会核算矩阵进行编制。依据研究需求, 将中国投入产出表中生产活动部门重新划分为 16 个部门。其中, 能源行业划分为煤炭部门、石油部门、天然气部门、火电部门、清洁电力部门。

(2) 模型参数设置。模型中的份额参数通过模型与社会核算矩阵值校准得到, 生产效率动态参数基于基准情景假设内生校准得到, 其他参数均外生给定。其中, 弹性参数主要借鉴贺菊煌等 (2002)、Jia and Lin (2022) 的相关设定, 能源的实物量与价值量的转换系数使用社会核算矩阵中的价值量与对应的能源实物量比值得出。各类能源折标准煤系数主要参考相关年份《中国能源统计年鉴》, 各类能源消费的碳排放系数参考陈诗一 (2009)。

3. 模拟策略设计

本文通过将总量约束指标或强度约束指标中的紧约束作为政策模拟冲击量, 实现对双控政策的模拟。能耗双控和碳排放双控政策要求同时对能源消费和碳排放的总量与强度进行约束。但在政策制定和考核过程中, 中国政府采取了优先考虑能源消费强度目标、灵活控制总量的策略。国家发展和改革委员会在解读《完善能源消费强度和总量双控制度方案》时表明, 将按照严格控制能源消费强度, 合理控制能源消费总量并适当增加管理弹性的原则, 将能源消费强度降低作为经济社会发展的约束性指标, 将能源消费总量作为引导性指标。碳排放双控制度尚未完全建立, 但“十四五”规划纲要等多个政策文件强调了碳排放强度控制目标, 而对碳排放总量未作明确要求, 反映出碳排放强度是短期内更重要的约束性指标。

从强度与总量控制的指标关系看, 国内生产总值是二者的直接关联变量, 因此, 强度与总量控制指标具有高度关联性, 由于经济增长存在一定的不确定性, 这也直接导致强度与总量控制往往只存在一个硬性约束。结合可计算一般均衡模型均衡解的唯一性, 使总量约束和强度约束之间通常只存在一个紧约束, 另一个对应的约束为松弛约束, 因此, 可在模型中仅对紧约束目标施加政策冲

击量,即可得到在模型中同时引入对强度和总量约束等价的结果。

值得注意的是,中国明确提出了“双碳”目标的时间节点。这意味着在碳排放达峰后,为确保在2060年顺利实现碳中和目标,碳排放总量会形成较明确的边界约束。因此,在此阶段的双控政策模拟策略中需将碳排放总量控制目标作为约束边界。参考段宏波和汪寿阳(2019)、史丹和李鹏(2021)、Jia and Lin(2022),设定关键时点的碳排放量控制目标,结合靳玮等(2022)给出的中国碳达峰碳中和碳排放路径特征,采用二次项函数与三次项函数分段对碳排放达峰前后路径拟合,得到实现“双碳”目标的预期碳排放轨迹。^①使用不同双控政策冲击下动态求解得到的2030年碳排放结果,与碳中和要求的碳排放量目标,调整碳中和预期碳排放轨迹函数的一次项系数和常数项,拟合得到不同双控政策冲击下实现碳中和的碳排放约束轨迹作为碳排放总量约束目标。

4. 情景设置

(1) 基准情景(BAU)。该情景的关键设定如下:经济增速参考中国社会科学院宏观经济研究中心课题组(2020)研究,结合中国经济实际增长状况与长期发展趋势,设定在5%左右;非化石能源消费比重依据《2030年前碳达峰行动方案》进行设定;碳排放情况参考马丁和陈文颖(2016)、段宏波和汪寿阳(2019)相关研究进行设定;^②假定劳动数量以较低速度维持增长。

(2) 政策情景。能耗双控政策(S1):依据2024年《政府工作报告》提出能源消费强度下降2.5%左右的最新目标,使用能源消费强度每年降低2.5%作为2030年前的能耗双控约束目标设定,^③2030年后,同时使用相同幅度能源消费强度目标与碳中和碳排放总量约束作为冲击约束边界。碳排放双控政策(S2):依据中国就碳排放强度做出的国际承诺,2030年需比2005年下降65%以上,结合2022年碳排放强度比2005年下降超过51%的事实,将碳排放强度每年下降4.12%作为2030年前碳排放双控约束目标,2030年后,同时将相同幅度碳排放强度约束目标与碳中和碳排放总量约束设置为约束边界。

碳排放双控规制工具可分为化石能源消费税(T1)、碳税(T2)、碳市场(T3)三种基本工具,以及碳市场—碳税(T4)、碳市场—化石能源消费税—碳税(T5)、化石能源消费税—碳税(T6)三种工具组合。在碳市场与碳税规制工具组合关系上,将碳税的征收范围设定为未纳入碳市场的产业部门,为避免讨论复杂化和不失一般性,本文将碳税征税标准设定为碳市场交易价格的1/2。在化石能源消费税与碳税工具组合关系上,采取了两者税收额度相等的方法。

四、模拟结果

能耗双控与碳排放双控政策分别通过对能源消费和碳排放进行限制驱动中国低碳转型。本文通过模拟分析这两种政策在促进低碳化水平提升、产生的潜在经济损失以及对不同产业影响等方

① 碳达峰峰值设定取相关研究的较高值125亿吨,碳中和要求的碳排放量取相关研究的较低值18.2亿吨,2050年碳排放量依据相关研究结果的取值范围,设定为42亿吨。

② 参考多数研究中无碳排放约束情景下碳达峰时间点超过2040年,峰值范围为123.89亿—140亿吨,基准情景的碳排放轨迹设定考虑非双控政策因素推动的技术进步与能源结构转型等方面带来的碳减排贡献,将碳达峰时点适度提前为2037年,设定峰值为134亿吨左右。

③ 能源消费强度目标在未来存在调整可能,但从整体看,其短期内调整幅度一般不会太大,所以将能源消费强度目标设定为年度降低2.5%进行模拟得到的结论是可靠的。

面的政策效应,探讨二者之间的差异,进而探究能耗双控向碳排放双控转变带来的宏观影响。^①

1. 低碳化水平

二氧化碳排放量是衡量低碳化水平的直接指标,模拟结果见图1(a)。在“双碳”目标约束下,能耗双控政策目标约束下的碳排放量高于碳排放双控,2030年峰值为120.09亿吨,相较于基准情景减排7.05%。在碳排放双控政策约束下,不同规制工具对碳排放量的控制水平存在差异,但整体结果较为相近。使用碳市场—碳税规制工具组合时,碳减排能力最强,2030年的碳排放峰值为117.11亿吨,较基准情景减排9.35%。单独使用碳市场规制工具对碳排放的约束能力相对较弱,2030年碳排放峰值为118.63亿吨,较基准情景减排8.17%。总体看,从能耗双控转向碳排放双控,到2030年将累计减少11.39亿—15.73亿吨碳排放,能够有效降低二氧化碳排放水平。

本文使用碳排放量与能源消费量的比值来衡量能源消费低碳化水平。图1(b)结果显示,能耗双控与碳排放双控政策均能提高能源消费的低碳化水平。在碳排放双控政策下,能源消费的低碳化水平高于能耗双控,表明从能耗双控转向碳排放双控,能够有效加速能源消费结构的低碳化转型。从碳排放双控采用不同规制工具结果看,规制工具组合方式对能源消费低碳化作用水平未能优于采用单规制工具,其原因在于相同碳排放双控目标约束下各类规制工具对碳排放量控制水平较为接近,但采取规制工具组合方式对能源消费产生了更强的抑制作用。

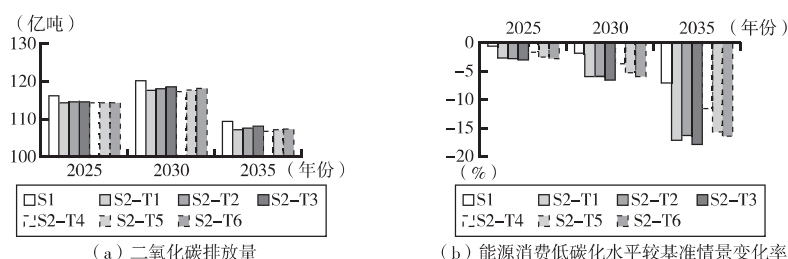


图1 二氧化碳排放与能源消费低碳化水平

注:本文仅对2025年、2030年与2035年的模拟结果进行展示,而不罗列所有年份的模拟结果。主要原因在于该三个年份为中国“五年规划”起止的关键时间节点,结果具有代表性。

通过结合模拟得到的国内生产总值与碳排放量易得碳排放强度。碳排放双控政策直接衔接碳排放强度控制目标,能够确保到2030年比2005年碳排放强度减少65%的碳减排目标。能耗双控未能实现这一目标。按既定政策力度实行能耗双控,2030年碳排放强度比2005年下降64.35%。原因在于,中国为稳定经济发展,能源消费强度控制目标有所下调,这也验证了能耗双控政策在落实碳减排目标的过程中可能存在一定的不确定性。

2. 能源消费变动

能耗双控与碳排放双控政策都不同程度地抑制了能源消费,见图2(a)。在能耗双控约束下,2030年能源消费量较基准情景减少5.52%,对能源消费的抑制作用较高。碳排放双控情景下2030

^① 敏感性分析结果与居民效用水平结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。本文还通过调整能耗双控与碳排放双控政策实施力度,使能耗双控与碳排放双控政策实现相同的碳排放量控制目标,以比较能耗双控与碳排放双控政策效应的差异。结果显示,在相同的碳排放量目标约束条件下,能耗双控转向碳排放双控政策效应的基本研究结论未发生改变。

年能源消费水平较基准情景平均减少3.41%，整体能源消费量较能耗双控政策情景有所提高。在以“双碳”目标为政策导向的背景下，能耗双控在能源消费约束范围上大于碳排放双控，在碳减排效率上低于碳排放双控，对能源消费产生更广泛抑制效果，碳排放双控政策得益于与“双碳”目标的强关联性，对碳排放的约束更为直接，对能源消费需求的整体抑制作用较小。因此，能耗双控政策对能源消费的抑制作用整体大于碳排放双控政策，与理论预期一致。

观察图2(b)可以发现，能耗双控转向碳排放双控，有助于提升非化石能源在能源消费结构中的比重。原因在于，碳排放双控政策对清洁能源消费的促进作用显著优于能耗双控政策。能耗双控政策的能源消费强度约束目标仍对清洁能源消费存在约束，但清洁电力生产成本下降速度较快，其在一定范围内替代了化石能源消费，叠加能耗双控促进产业结构调整引起的能源消费需求结构变化，使能耗双控政策呈现出对能源消费结构相对较弱的优化作用。碳排放双控政策对清洁电力消费的提升作用较大，2030年各情景下清洁电力消费较基准情景平均提升11.84%，其中，采用化石能源消费税规制工具时对清洁电力消费的提升作用最大，为15.60%，同时实施碳市场与碳税工具时对清洁能源消费的推动作用相较最低，为2.91%，但仍高于能耗双控政策对清洁能源消费的作用水平。因此，能耗双控转向碳排放双控有助于释放清洁能源消费空间，提升清洁能源消费水平，进而推动中国能源消费结构不断优化。

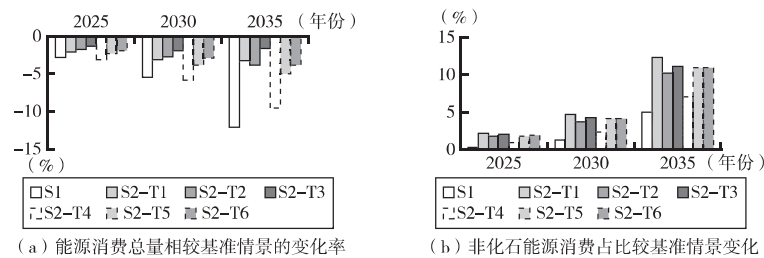


图2 能源消费

3. 经济损失

经济损失模拟结果如图3(a)所示。能耗双控政策情景下，经济损失随着政策推进不断增加，国内生产总值到2030年较基准情景下降0.64%，潜在损失达1.15万亿元，2035年较基准情景减少1.49%，潜在损失扩大至3.34万亿元。碳排放双控政策虽然在一定程度上释放了清洁能源的消费潜力，为经济增长提供了较强的能源消费空间支撑，但在改善经济方面的表现呈现出不确定性，政策效果更多取决于所采取的规制工具及组合方式。单独使用碳市场工具对经济造成的损失最低，2030年为0.03%，其次为单独使用碳税工具和使用化石能源消费税—碳税组合的方式，对经济造成的潜在损失在2030年分别为0.41%和0.55%。碳市场对经济冲击水平较小，原因在于碳市场允许碳排放成本在不同主体间优化分配，降低了对总体产出的影响，其他规制工具会增加整体生产活动的政策成本，对产出的冲击更大。使用化石能源消费税、碳市场—碳税组合或进一步叠加化石能源消费税的方式，均会造成比能耗双控更高的经济损失，这与本文的理论预期相左。使用化石能源消费税实现碳排放双控的经济成本更高，原因在于碳排放双控政策目标的碳减排水平比能耗双控更高；在碳市场—碳税组合情景中，经济损失较高的原因在于，政策给未纳入碳市场的产业部门带来了较高碳排放成本，扭曲了对各产业的冲击水平。当进一步叠加化石能源消费税工具时，由于化石能源消费税对纳入碳市场的产业部门存在成本约束，使未纳入

碳市场产业的碳排放经济成本压力有所降低,因此对经济的冲击也相应缓和。由此可以看出,采用规制工具组合方式对不同产业实施差异化碳排放规制力度,可能导致碳排放双控政策效果产生一定的扭曲。

本文通过计算碳减排量与国内生产总值损失量之比,得到单位碳减排的经济损失,见图3(b)。依据该指标可以较好衡量各政策情景下的碳减排成本效益,避免仅关注经济直接损失而忽视碳减排收益。在本文的碳排放双控规制工具中,使用碳税、碳市场和化石能源消费税—碳税组合时,单位碳减排的经济损失显著低于能耗双控,使用化石能源消费税或碳市场—化石能源消费税—碳税组合时,效果与能耗双控差距不大,通过碳市场—碳税组合实现碳减排的“性价比”最低。

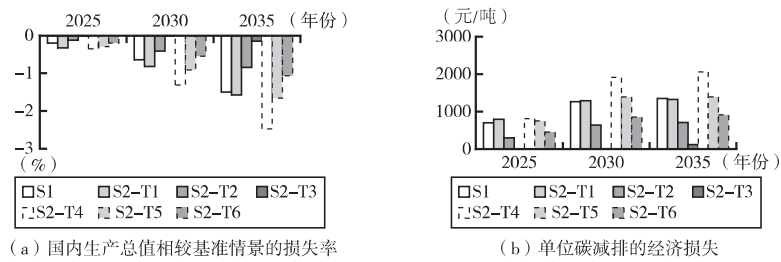


图3 经济损失

4. 产业冲击

能耗双控与碳排放双控政策对大多数产业的影响是负面的,最直接的原因是双控政策提高了相关产业部门的产出成本。总体而言,煤炭、石油、天然气、火电产业将成为双控政策下的最大输家。一方面,这些产业是能源的直接供给部门,因双控政策降低了能源消费需求,相应地导致这些产业产出减少;另一方面,这些产业与碳排放关联紧密,因碳排放约束而遭受损失。高技术产业和服务业为受益产业,产出水平整体上略有提升,主要是此类产业生产结构中能源消费占比较低,同时其能源消费结构的电气化水平与低碳化程度较高。能耗双控转向碳排放双控,清洁电力产业将成为最大赢家,这主要得益于碳排放双控对清洁电力消费空间的释放,扩大了清洁电力消费需求,进而有力促进了清洁电力产业发展。在单独使用碳市场规制工具的碳排放双控政策情景中,对未纳入碳市场的产业部门影响较小,对于纳入碳市场的产业冲击主要取决于各产业部门的碳排放需求及分配到的碳配额,这也提醒碳市场工具可能引发一些非意向的产业结构扭曲。

本文借鉴泰尔指数构建产业结构合理化指标: $TL = \sum_n (Y_i/Y) \ln((Y_i/L_i)/(Y/L))$ 。其中, Y 为产值, L 为劳动, i 表示不同产业部门, n 为产业部门数量。产业结构在均衡状态时该指标值为0。结果如图4所示。在基准情景中,随着时间推移,产业结构合理化指标呈现出一定的上升趋势。能耗双控与碳排放双控政策的实施,均有助于推动产业结构

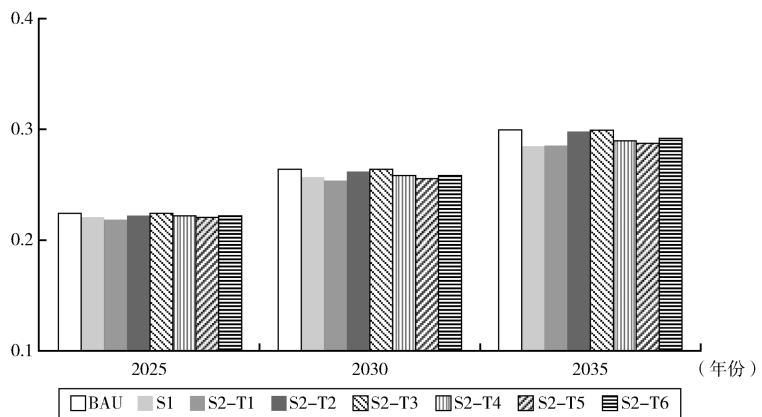


图4 产业结构合理化

构向更加均衡的方向调整,有利于中国产业结构合理化。整体看,能耗双控政策推动产业结构合理化的作用强于碳排放双控政策,这可能得益于能耗双控政策对整体能源消费较强的约束作用,使劳动要素能够在不同产业部门中实现更合理的配置,各产业实现了更均衡的劳动产出效率。因此,从能耗双控向碳排放双控转变,可能会对产业结构的合理化程度产生一定的不利影响。

五、进一步讨论

考虑到双控政策在实际实施中的复杂性,本文进一步基于能耗双控与碳排放双控政策叠加组合实施、规制工具间不同碳减排贡献度关系与非双控因素在碳减排中发挥更积极作用的情形,对双控政策的效应进行讨论。

1. 未来有必要采取能耗双控与碳排放双控叠加组合吗

中国在推进政策改革时,可能采取能耗双控与碳排放双控叠加组合的方式完成能耗双控向碳排放双控转变。根据本文研究结果,无论是单独实施能耗双控还是碳排放双控,都能有效控制能源消费和碳排放水平,控制能源消费与控制碳排放不存在矛盾,而对碳排放与能源消费抑制作用之间的关系则主要取决于所采取的规制工具。因此,在不调整所采用的规制方式前提下,采取能耗双控与碳排放双控叠加组合的方式对经济社会的影响,将取决于哪一种双控政策的规制力度更大。若能耗双控与碳排放双控政策目标满足“上帝视角下”的“刀锋般条件”,即碳排放双控目标与能耗双控目标恰好互相对应时,此时碳排放双控与能耗双控都可以作为紧约束,二者无差异。

当然,以上情况是一种较理想状态,达成条件较为苛刻。需要指出的是,在现实中采用能耗双控与碳排放双控叠加组合时,任一双控政策目标的调整都会影响规制措施的侧重方向,以实现能源消费与碳排放约束目标之间的平衡。因此,容易得出在能耗双控与碳排放双控叠加组合时,政策力度较大的双控政策将主导具体规制措施方向,这意味着整体规制策略会更加倾向于该种双控政策的目标和要求,整体政策效应也将更加贴近于该种双控政策的影响。当两种双控政策目标的规制力度达到一定错配幅度时,从本文的研究结果不难得出,在紧约束双控政策目标得以实现时,也能够同时达到另一个松弛约束双控政策目标,这种情况下,实际上就只有一个双控政策作为约束条件在起作用。

在当前乃至未来相当长时期内,全球碳减排呼声和压力日益增大,中国碳排放约束因“双碳”目标逐步收紧,这要求政府制定足够高的碳排放双控目标,同时考虑能耗双控政策对非化石能源消费存在约束作用,碳排放双控目标的重要性和优先级超越了能耗双控目标,使得碳排放双控目标变成紧约束政策目标发挥主要作用,能耗双控目标变成松弛约束。

2. 规制工具间不同碳减排贡献度关系影响

本文通过外生设定规制工具间关系的办法,模拟了规制工具组合方式实现碳排放双控的经济社会效应,为进一步探究规制工具组合中不同工具间碳减排贡献度关系对结果的影响,本文以碳市场—碳税组合、碳市场—化石能源消费税—碳税组合、化石能源消费税—碳税组合情景作为研究基础进行探讨。具体模拟步骤为,设置一个贡献度关系调整系数与模型中规制工具间关系方程相乘,通过改变贡献度关系调整系数值实现规制工具间贡献度关系调整。^①贡献度关系调整系数取值范围大于0,并以1为贡献度调整的基准值。当贡献度关系调整系数取值小于1时,规制工具间贡献度关系调整方向为:在碳市场与碳税工具间降低碳税、提高碳市场贡献度,在化石能源消费税与碳税工具间提高碳税、降低化石能源消费税贡献度。当取值大于1时,规制工具间贡献度调整方向相反。考虑在碳市场—化石能源

^① 这里的规制工具贡献度是指实现政策目标各规制工具发挥的作用水平。

消费税—碳税组合情景中存在三种规制工具,将不改变碳税与化石能源消费税间关系,调整碳税与碳市场间贡献度关系的情景设置为T5—1,将不改变碳税与碳市场间关系,调整碳税与化石能源消费税间贡献度关系的情景设置为T5—2。本文在数值1的两侧各随机取较高值和较低值作为贡献度关系调整系数进行模拟。具体选取的值为:0.3、0.8、1.2、1.7。

表1展示了不同贡献度关系调整系数取值下各政策情景2030年主要结果变化情况。各变量的变化方向在贡献度关系调整系数取值大于1与小于1时截然相反,即规制工具间贡献度关系的调整方向决定了碳排放双控政策对各变量影响的调整变化方向,且各变量变化程度会随着规制工具间贡献度关系调整力度的提高而上升。具体而言,规制工具间贡献度关系调整对各政策情景碳排放水平影响相对较小。在各政策情景中,规制工具贡献度关系调整对碳市场—碳税组合情景下各变量的影响程度相对较大。在化石能源消费税—碳税组合情景中,提高化石能源消费税或碳税规制工具的贡献度水平,会使各变量结果向单独采用对应规制工具时的结果方向调整。

表1 不同贡献度关系调整系数取值各政策情景2030年主要结果的变化情况

调整系数	情景设置	二氧化碳排放量 (亿吨)	能源消费总量 (%)	非化石能源消费占比 (%)	国内生产总值 (%)	产业结构 合理化
0.3	T4	0.9689	2.5429	1.2265	0.8165	0.0030
	T5—1	0.3521	0.6096	0.0108	0.2967	0.0023
	T5—2	-0.1420	-0.7619	-0.6927	-0.1197	0.0010
	T6	0.1037	0.0926	-0.1997	0.0874	0.0015
0.8	T4	0.2404	0.6215	0.3037	0.2026	0.0007
	T5—1	0.0547	0.0913	0.0003	0.0461	0.0003
	T5—2	-0.0207	-0.1243	-0.1137	-0.0175	0.0002
	T6	0.0244	0.0188	-0.0469	0.0206	0.0003
1.2	T4	-0.2176	-0.5574	-0.2746	-0.1834	-0.0007
	T5—1	-0.0402	-0.0663	0.0001	-0.0339	-0.0002
	T5—2	0.0149	0.0928	0.0850	0.0125	-0.0001
	T6	-0.0214	-0.0151	0.0410	-0.0180	-0.0003
1.7	T4	-0.6812	-1.7291	-0.8585	-0.5741	-0.0021
	T5—1	-0.1057	-0.1729	0.0007	-0.0891	-0.0006
	T5—2	0.0384	0.2467	0.2261	0.0324	-0.0003
	T6	-0.0648	-0.0421	0.1238	-0.0546	-0.0009

注:非化石能源消费占比在T5—1情景中的变化情况为:当贡献度关系调整系数取值小于1时,变化方向为由小幅提高逐步转为下降,当调整系数取值大于1时,变化方向为由小幅下降逐步转变为提高。这一相反的变化关系未能在仅展示2030年的结果中得以体现。

3. 考虑非双控因素在碳减排中发挥更积极作用

为确保“双碳”目标的顺利实现,中国可能采取多元化的政策手段,例如,通过加速技术进步等措施来促进碳减排,从而提升非双控政策因素在碳减排中的贡献水平。为更加全面地讨论双控政策在承担不同碳减排压力下的影响,本文进一步考虑非双控政策主导的其他因素在碳减排中发挥更积极的作用,设定了较为极端的碳排放基准情形,使能耗双控或碳排放双控政策成为中国实现碳达峰碳中和的非必要政策:在无双控政策约束下,中国可以实现2030年前碳达峰与2060年前碳中和的目标。将前文得到的实现“双碳”目标的预期碳排放轨迹作为基准情景外生设置,对模型参数重新校准,进一步基于能耗双控与碳排放双控政策约束目标进行模拟。结果显示,能耗双控与碳排

放双控政策仍具有抑制碳排放的作用,能耗双控对碳排放的抑制作用弱于碳排放双控的结论没有发生改变。^①能耗双控情景下碳排放峰值为121.67亿吨,碳排放双控情景下碳排放峰值为117.54亿—118.65亿吨,与基础假定下相应政策情景的碳排放峰值水平较为接近。^②在碳中和阶段,由于基准情景中碳排放可以自然实现碳中和的假定使碳排放水平下降速度较快,同时双控政策降低了碳排放峰值水平,在很大程度上缓和了2030年后实现碳中和的碳减排约束压力,使能耗双控与碳排放双控政策在控制碳排放上的作用水平呈现出下降趋势,这也对应减少了经济的不利冲击,使经济发展状况显著优于在基础假定中双控政策约束下的经济发展水平。双控政策对能源消费仍具有抑制作用,能耗双控转向碳排放双控能够积极促进能源消费结构低碳转型的结论没有发生改变,但对能源消费的抑制作用和推动清洁能源消费水平提高的作用也较基础假定下的结果有所减弱。双控政策对各产业的总体影响也未发生明显改变。

六、政策评价

能耗双控与碳排放双控政策对经济社会的影响是多方面的,因此,这两种政策的优劣需从多个维度进行综合考量,以客观评估从能耗双控转向碳排放双控能否带来更积极的综合政策效应。本文基于能耗双控政策与碳排放双控政策模拟结果,依托可持续发展理念,结合双控政策的主要政策目标,兼顾模拟结果中指标的可得性,从节能低碳、经济发展、社会福利角度对双控政策的综合政策效应进行评估。在节能低碳上,包括二氧化碳减排、能源消费强度与能源消费结构转型:二氧化碳减排是双控政策的核心目标,是中国“双碳”目标顺利达成及推动低碳化转型的重要基础,使用二氧化碳减排率衡量;能源消费强度是衡量能源利用效率的重要指标,对促进节能与低碳发展至关重要;推动能源消费结构转型是能耗双控转向碳排放双控的主要政策目标之一,使用非化石能源消费比重提升程度衡量。在经济发展方面,包括国内生产总值与产业结构合理化:国内生产总值是评判一个国家或地区经济发展规模的重要指标;产业结构合理化则体现了经济发展的产业结构质量。社会福利使用居民效用水平衡量。其中,二氧化碳减排率、^③能源消费强度与产业结构合理化为负向评价指标,其余指标均为正向评价指标。

本文采用熵权—TOPSIS法对能耗双控与碳排放双控政策的政策效应进行综合评价。^④通过计算各指标权重,^⑤得到各政策情景综合评价得分,结果如表2所示。碳排放双控的综合得分均高于能耗双控,表明能耗双控转向碳排放双控的综合政策效应更优。具体看,碳排放双控各情景下的碳减排与能源消费结构转型作用均显著优于能耗双控,在能源消费强度指标上的表现则劣于能耗双控;在使用化石能源消费税、化石能源消费税—碳税组合、碳市场—化石能源消费税—碳税组合的碳排放双控政策情景下,具有较强的碳减排效应与推动能源消费结构转型作用,并且化石能源消费税—碳税组合、碳市场—化石能源消费税—碳税组合在降低能源消费强度作用上,与化石能源消费

① 具体结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 本文中的基础假定是指前文中基准情景中中国无法在2030年实现碳排放达峰,也无法在2060年实现碳中和的碳排放假定,此时双控政策需承担的碳减排贡献水平更高。

③ 二氧化碳减排率依据二氧化碳排放量得出,能源消费强度依据能源消费总量与国内生产总值相比得出。

④ 熵权—TOPSIS法具体计算步骤参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

⑤ 二氧化碳减排率、能源消费强度、能源消费结构转型、国内生产总值、产业结构合理化与居民效用的指标权重分别为0.1587、0.1553、0.2027、0.1889、0.1115、0.1830。

税、碳市场—化石能源消费税—碳税组合在推动产业结构合理化作用上有较好的表现,因此,综合评价得分相对较高;使用碳市场规制工具实现碳排放双控虽然对国内生产总值的冲击水平较低,能够实现较高的社会福利水平,但其在降低能源消费强度与推动产业结构合理化上的表现较差,导致其综合评分并不突出;使用碳税的碳排放双控政策情景下,综合评价得分高于能耗双控,主要因为其在碳减排、能源消费结构转型、经济发展与社会福利水平上的表现优于能耗双控,弥补了在降低能源消费强度与推动产业结构合理化作用上的不足;碳市场—碳税组合方式对经济发展和社会福利的较大负面影响使得综合评分相对较低。碳排放双控各规制工具情景综合评分由大到小排序为:化石能源消费税、碳市场—化石能源消费税—碳税组合、化石能源消费税—碳税组合、碳市场、碳税、碳市场—碳税组合。通过综合评分可以发现,采用规制工具组合方式能够实现优于使用单一规制工具的政策效应,但需选取恰当的规制工具并进行合理组合。

表 2 各政策情景综合评价得分

年份	S1	S2-T1	S2-T2	S2-T3	S2-T4	S2-T5	S2-T6
2025	0.2266	0.2526	0.2397	0.2404	0.2350	0.2471	0.2446
2030	0.4024	0.4624	0.4409	0.4451	0.4214	0.4507	0.4487
2035	0.6890	0.7878	0.7562	0.7573	0.7183	0.7796	0.7718

本文还进一步对非双控因素承担更高碳减排贡献情景的模拟结果,以及对能耗双控与碳排放双控相同碳排放约束目标政策力度下的模拟结果进行了政策综合评价,发现在非双控因素承担更高碳减排贡献情景中,碳排放双控各情景综合评分均高于能耗双控,在能耗双控与碳排放双控相同碳排放约束目标政策力度下,碳排放双控综合政策效应优于能耗双控的结论也未改变。^①

七、结论与启示

能耗双控与碳排放双控政策是中国实现“双碳”目标的重要抓手,也是推进低碳化转型的关键手段。本文以能耗双控与碳排放双控的政策控制目标为研究起点,结合不同规制工具定量分析了在“双碳”目标约束下的能耗双控与碳排放双控政策的政策效应,讨论了从能耗双控转向碳排放双控对经济社会产生的影响,并通过多维度综合评价方法比较了两种政策的综合效应。研究发现:①能耗双控与碳排放双控政策均有减少碳排放、促进能源消费结构低碳转型、推动产业结构合理化的作用,但也会对能源消费产生冲击,造成一定程度的经济损失。②从能耗双控转向碳排放双控,能够进一步减少碳排放,降低碳达峰峰值水平,并规避能耗双控政策在实现碳减排目标上的不确定性。转向碳排放双控还能有效释放能源消费空间,推动清洁电力消费与相关产业发展,促进了能源消费结构中非化石能源比例提高,以及提升能源消费低碳化水平。但能耗双控转向碳排放双控未必能够推动产业结构合理化,在促进经济增长作用上也呈现出一定的不确定性,其作用方向主要取决于达成碳排放双控目标所采用的规制工具及组合方式。碳排放双控的政策效应综合评分高于能耗双控,能耗双控转向碳排放双控能够优化综合政策效应水平。③在“双碳”目标为紧约束条件时,碳排放双控政策发挥主要作用,因此,未来没有实施能耗双控与碳排放双控叠加组合的必要,仅实施碳排放双控即

^① 具体结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

可覆盖能耗双控的政策效应。④采用的规制工具及其组合方式是影响碳排放双控经济社会效应的重要因素。不同规制工具在碳减排经济成本、推动能源消费低碳化作用等方面存在一定差异。在碳排放双控规制工具及其组合中,碳市场—碳税组合与碳市场—化石能源消费税—碳税组合对碳排放的抑制作用较强,在降低能源消费强度方面具有一定优势,但产生的经济成本相对较高;化石能源消费税规制工具同样有较高的经济成本,但对清洁电力消费的刺激作用较强,可以较好优化能源消费结构;碳税与碳市场规制工具的单位碳减排经济损失较低,有较好的经济性,但在推动产业结构合理化作用上表现较差;化石能源消费税—碳税组合在各方面的效应水平介于单独采用化石能源消费税与碳税规制工具之间。⑤在碳减排中提高技术进步等非双控政策约束碳减排举措贡献,能够降低双控政策的负面影响,并强化碳排放双控政策较能耗双控政策在综合政策效应上的优势。

根据上述研究结论,本文提出以下政策启示:①加快完善碳排放双控制度体系,扎实推进能耗双控向碳排放双控转变。能耗双控向碳排放双控转变应坚持先立后破,确保转型过程中的连续性和稳定性,在不断优化和完善能耗双控制度的基础上,加快构建包括碳排放统计、核算与监测等在内的碳排放双控制度体系,进一步明确碳排放总量与强度控制目标,进而充分发挥碳排放双控可与碳减排目标紧密衔接的优势,加速经济社会低碳转型发展,确保“双碳”目标顺利实现。②兼顾碳减排、经济增长与可再生能源发展等多元化目标,合理运用碳排放双控规制工具。在合理制定碳排放双控政策目标基础上,可以考虑出台一系列碳排放双控实施细则,细化碳排放双控的具体实施措施,以加强规制工具与碳排放双控政策目标的衔接协调。应重点对高碳排放行业进行规制,避免对低碳排放行业造成过高经济压力,同时需综合考虑不同碳排放双控规制工具的作用特点与政策效应的差异性,结合对经济增长、可再生能源发展等多元目标发展需求侧重点,合理选择规制工具,使碳减排目标达成的同时,能产生更广泛的积极政策效应。鼓励采用多元化规制工具组合,打好政策“组合拳”,形成互补效应,以弥补单一规制工具的局限性,进而实现对关键领域或重要发展目标的“定向发力”。③继续完善现有双控规制工具,挖掘研究新的创新型碳排放双控规制工具与组合策略。例如,优化碳市场涉及到的碳配额总额与分配、纳入碳市场的产业范围等制度,合理调整成品油消费税税率,探索碳税制度设计,结合不同行业特点制定差异化规制工具,开展煤炭消费税、天然气消费税、煤炭等化石能源用能权等前瞻性研究,为碳排放双控政策提供更丰富有效的规制工具及组合选择,以进一步优化碳排放双控政策的综合政策效应。④采取多元化的政策手段协同双控政策推进碳减排。多元化的碳减排举措可从增强科技创新与合作、推动产业低碳化改造与大力支持可再生能源发展等方面展开:通过搭建研发共享合作平台、为创新活动提供必要的补贴和税收减免、强化知识产权保护方式提高研发产出水平,从而以较低成本促进科技进步;通过政策引导和支持,加强对传统产业的节能改造,鼓励采用更加环保的新技术、新工艺,降低能耗水平和对化石能源的依赖,实施差别化产业政策,严格高碳排放行业准入标准,以推动现代化产业体系的低碳化建设;积极促进风光水等可再生清洁能源产业发展,进一步推动清洁能源开发和使用成本降低,持续提升电网对清洁电力的消纳能力,以实现清洁能源对化石能源更高效的替代。

〔参考文献〕

- [1]安康欣,刘米可,范淑婷,王灿.能耗双控转向碳排放双控的政策影响评估——基于安徽省动态CGE模型[J].中国环境科学,2024,(4):1795-1804.
- [2]白重恩,钱震杰.国民收入的要素分配:统计数据背后的故事[J].经济研究,2009,(3):27-41.
- [3]陈诗一.能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J].经济研究,2009,(4):41-55.
- [4]陈诗一,王畅,郭越.面向碳中和目标的中国工业部门减排路径与战略选择[J].管理科学学报,2024,(4):1-20.
- [5]段宏波,汪寿阳.中国的挑战:全球温控目标从2°C到1.5°C的战略调整[J].管理世界,2019,(10):50-63.

- [6]韩超,陈震,王震.节能目标约束下企业污染减排效应的机制研究[J].中国工业经济,2020,(10):43-61.
- [7]贺菊煌,沈可挺,徐嵩龄.碳税与二氧化碳减排的CGE模型[J].数量经济技术经济研究,2002,(10):39-47.
- [8]靳玮,王弟海,张林.碳中和背景下的中国经济低碳转型:特征事实与机制分析[J].经济研究,2022,(12):87-103.
- [9]李稻葵,刘霖林,王红领.GDP中劳动份额演变的U型规律[J].经济研究,2009,(1):70-82.
- [10]林伯强.碳中和进程中的中国经济高质量增长[J].经济研究,2022,(1):56-71.
- [11]刘舒慧.技术进步、产业关联与中国工业能耗强度——基于空间面板数据模型[J].中国管理科学,2016,(S1):908-913.
- [12]刘自敏,王健宇,李娟,张娅.“双碳”目标下中国区域能耗“双控”目标的因素分解、情景模拟与实现路径——以重庆市为例[J].当代金融研究,2022,(5):1-25.
- [13]姜峰.碳税征收对我国宏观经济及碳减排影响的模拟研究[J].数量经济技术经济研究,2014,(10):84-96.
- [14]马丁,陈文颖.中国2030年碳排放峰值水平及达峰路径研究[J].中国人口·资源与环境,2016,(S1):1-4.
- [15]邵帅,范美婷,杨莉莉.经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J].管理世界,2022,(2):46-69.
- [16]邵帅,张曦,赵兴荣.中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径——广义迪氏指数分解和动态情景分析[J].中国工业经济,2017,(3):44-63.
- [17]史丹,李鹏.“双碳”目标下工业碳排放结构模拟与政策冲击[J].改革,2021,(12):30-44.
- [18]史丹,李少林.排污权交易制度与能源利用效率——对地级及以上城市的测度与实证[J].中国工业经济,2020,(9):5-23.
- [19]唐晓华,刘相锋.能源强度与中国制造业产业结构优化实证[J].中国人口·资源与环境,2016,(10):78-85.
- [20]王兵,赖培浩,杜敏哲.用能权交易制度能否实现能耗总量和强度“双控”[J].中国人口·资源与环境,2019,(1):107-117.
- [21]王班班,齐绍洲.市场型和命令型政策工具的节能减排技术创新效应——基于中国工业行业专利数据的实证[J].中国工业经济,2016,(6):91-108.
- [22]吴茵茵,齐杰,鲜琴,陈建东.中国碳市场的碳减排效应研究——基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J].中国工业经济,2021,(8):114-132.
- [23]杨豪,潘颖豪,才国伟.碳排放总量控制、配置效率与产出收益[J].中国工业经济,2023,(7):46-65.
- [24]张伟,朱启贵,高辉.产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展[J].经济研究,2016,(12):62-75.
- [25]张友国.实现碳达峰的需求结构效应[J].中国工业经济,2023,(3):20-38.
- [26]中国社会科学院宏观经济研究中心课题组.未来15年中国经济增长潜力与“十四五”时期经济社会发展主要目标及指标研究[J].中国工业经济,2020,(4):5-22.
- [27]Alves, M. R., and V. Moutinho. Decomposition Analysis and Innovative Accounting Approach for Energy-Related CO₂ (Carbon Dioxide) Emissions Intensity over 1996—2009 in Portugal[J]. Energy, 2013, 57:775-787.
- [28]Cao, J., and V. J. Karplus. Firm-Level Determinants of Energy and Carbon Intensity in China[J]. Energy Policy, 2014, 75:167-178.
- [29]Jia, Z. J., and B. Q. Lin. CEEEA2.0 Model: A Dynamic CGE Model for Energy-Environment-Economy Analysis with Available Data and Code[J]. Energy Economics, 2022, 112:1-23.
- [30]Solow, R. M. A Skeptical Note on the Constancy of Relative Shares[J]. American Economic Review, 1958, 48(4):618-631.
- [31]Wu, F., L. W. Fan, P. Zhou, and D. Q. Zhou. Industrial Energy Efficiency with CO₂ Emissions in China: A Nonparametric Analysis[J]. Energy Policy, 2012, 49:164-172.
- [32]Wu, J., Y. Fan, and Y. Xia. The Economic Effects of Initial Quota Allocations on Carbon Emissions Trading in China[J]. Energy Journal, 2016, 37:129-151.
- [33]Zhang, Y. G. Structural Decomposition Analysis of Sources of Decarbonizing Economic Development in China: 1992—2006 [J]. Ecological Economics, 2009, 68(8):2399-2405.

From Dual Control of Energy Consumption to Dual Control of Carbon Emissions under the Constraints of Carbon Peaking and Carbon Neutrality
Goals: Regulatory Tools, Effect Simulation and Policy Evaluation

JIANG Chun-hai, YAN Zhen-hao, WANG Min

(Center for Industrial and Business Organization, Dongbei University of Finance and Economics)

Abstract: With sustained economic development, the continuous rise in carbon dioxide emissions poses a significant global challenge. As a major carbon emitter, China aims to peak carbon dioxide emissions before 2030 and achieve carbon neutrality before 2060. To better implement the goals, China proposed a policy shift from dual control of energy consumption to dual control of carbon emissions.

However, there is currently a lack of quantitative analysis on the dual control of energy consumption and the dual control of carbon emissions. Critical questions remain about whether the shift can achieve the expected policy objectives and whether the comprehensive policy effects of dual control of carbon emissions are superior to those of dual control of energy consumption.

This paper uses a computable general equilibrium model to simulate the policy objectives of dual control of energy consumption and dual control of carbon emissions. It finds that both policies can effectively reduce CO₂ emissions, lower energy consumption, promote the low-carbon transformation of energy consumption structure, and promote the rationalization of industrial structure, although they result in economic losses. The shift can further reduce carbon emissions, lower the carbon emission peak, effectively release the potential for clean energy consumption, increase the proportion of non-fossil energy consumption, and promote the development of the clean energy industry. However, this shift may not necessarily promote the rationalization of industrial structure, and its impact on economic growth remains uncertain. When the “dual carbon” goals surpass energy consumption goals to become tight constraints, the combined approach of dual control of energy consumption and dual control of carbon emissions will converge to dual control of carbon emissions. The regulatory tools and their combinations under the dual control of carbon emissions are key factors determining the socio-economic effects under the goals of dual control of carbon emissions. Different regulatory tools mainly produce differentiated economic costs of carbon reduction and varying degrees of promotion of low-carbon energy consumption. Through a multi-dimensional integrated evaluation method, this paper compares the comprehensive effects of the two policies and concludes that the overall policy effect of the shift from dual control of energy consumption to dual control of carbon emissions is superior.

This paper provides insights into promoting the institutional shift from dual control of energy consumption to dual control of carbon emissions and the rational application of regulatory tools and their combinations under the dual control of carbon emissions.

Keywords: dual control of energy consumption; dual control of carbon emissions; carbon emission reduction; transformation of the energy consumption structure

JEL Classification: Q48 Q56 Q58

[责任编辑:李鹏]