

# 绿色 PPP 能否加速碳减排?

王震<sup>1</sup> 韩超<sup>2</sup>

(1.中南民族大学 管理学院/高校风险预警防控研究中心,湖北 武汉 430074;

2.东北财经大学 产业组织与企业组织研究中心,辽宁 大连 116025)

**摘要:**如何有效推进低碳转型是实现碳达峰、碳中和目标,迈向经济绿色高质量发展的关键。近年来政府不断规范完善政府与社会资本合作(PPP)制度,PPP模式引入绿色领域是中国为提升绿色公共服务供给质量进行的市场化探索。本文将绿色 PPP 实践视为一项政策冲击,基于 2005—2021 年城市层面数据,构建双重差分模型探讨绿色 PPP 实践对碳排放的影响。本文发现绿色 PPP 实践有效降低了城市碳排放水平,经过共同趋势、内生性等一系列检验后基本结论依然成立。异质性分析发现,付费形式为政府付费、可行性缺口补助,运作模式为 BOT 和 TOT 的绿色 PPP 项目的碳减排效应更明显,但碳减排效应并不受项目合作期限影响。机制分析表明,绿色 PPP 实践能够通过促进绿色技术创新以及提升市场化水平加速碳减排。进一步分析发现,公众的监督关注有助于政府、企业和社会形成环境治理合力,提高绿色公共服务的供给效率与质量,强化绿色 PPP 的低碳环境治理效果。本文研究对未来我国进一步规范完善 PPP 制度以助力实现碳达峰、碳中和战略目标,推动经济绿色高质量发展提供参考。

**关键词:**碳排放;政府与社会资本合作;绿色 PPP;市场化

**中图分类号:**F812.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5230(2024)06-0144-14

## 一、引言

长期以来,中国经济发展主要依靠粗放式的生产要素投入驱动,尽管实现了较长时期的快速增长,但是整体呈现出“高耗能、高污染、高碳化”的发展特征。随着全球二氧化碳等温室气体排放的加剧,气候变暖、海平面上升、极端天气频发等一系列问题严重影响着人类的生存健康和社会可持续发展<sup>[1]</sup>。因此,控制和减少二氧化碳排放已成为国际应对气候变化的重要举措。作为世界上最大的能

**收稿日期:**2024-06-19

**基金项目:**国家社会科学基金重大项目“我国制造业低碳化发展的理论体系、政策框架与实践路径研究”(22&ZD102);教育部人文社会科学青年基金项目“供应链视角下政府采购驱动制造业企业绿色转型的机制与路径研究”(24YJC790187);中南民族大学中央高校基本科研业务费项目“数智化赋能制造业企业绿色转型的机制与路径研究”(CSQ24032)

**作者简介:**王震(1994—),男,湖北武汉人,中南民族大学管理学院/高校风险预警防控研究中心讲师,本文通讯作者;

韩超(1984—),男,山东东平人,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心教授。

源消费国和二氧化碳排放国,中国积极履行国际碳减排义务。在2020年召开的第七十五届联合国大会上,中国明确提出力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标。随后,党的二十大报告进一步强调要“积极参与应对气候变化全球治理”“积极稳妥推进碳达峰碳中和”。

为降低碳排放和推动低碳转型发展,中国政府采取了一系列碳规制措施治理碳排放问题。政府规制与碳排放水平之间的关系也因此受到学者们的广泛关注。有研究发现低碳城市试点政策显著降低了碳排放水平<sup>[2]</sup>,企业层面的碳规制政策提高了企业的绿色技术创新能力<sup>[3]</sup>,并进一步降低了企业的碳排放水平<sup>[4]</sup>。另外,聚焦于市场导向型碳规制政策的研究发现,市场导向型碳规制政策的减碳效应比命令控制型碳规制工具更具优势<sup>[5]</sup>。然而,尽管环境规制对于抑制碳排放具有积极效应,但存在地方政府对其非完全执行的现象<sup>[6]</sup>。更为关键的是,政府的财政资金是经济低碳转型过程中的重要基础,低碳投资是其中的重要组成部分。然而,碳减排技术的研发应用以及低碳项目的开发建设通常需要大量的资金投入和较长的时间周期,如果地方政府债务持续增加,单纯依靠政府的环境治理投资可能会面临较大的资金压力<sup>[7]</sup>。据估计,中国实现绿色低碳转型需要150万~300万亿元人民币,年均投资3.75万~7.5万亿元人民币<sup>[8]</sup>。政府的公共财政资金难以为低碳治理提供持续性的资金支持,巨大的资金缺口是实现“双碳”目标过程中亟待解决的问题。

近年来,为缓解地方政府财政资金短缺压力,政府逐步在绿色公共服务领域运用政府和社会资本合作模式,积极引入社会资本参与绿色公共服务供给,并将PPP模式作为一种新型融资方式在绿色领域积极推广。绿色PPP模式在吸引社会资本和缓解政府财政压力方面具有独特优势,通过PPP模式吸引社会资本参与绿色低碳发展项目,可以有效填补公共财政资金缺口,加强绿色基础设施供给。例如,绿色PPP项目“北京市大兴区新风河流域综合治理工程项目”投资总额高达41.5亿元,但是政府方投入资本占比不足1%。事实上,绿色PPP模式推动了绿色公共服务领域的市场化改革,有助于在绿色产品服务的供给中优化政府职能,同时释放市场潜力,有利于提高绿色公共服务的供给效率与质量。2018年5月,在全国生态环境保护大会上,习近平总书记强调“要充分运用市场化手段,推进生态环境保护市场化进程,撬动更多社会资本进入生态环境保护领域”,“采取多种方式支持政府和社会资本合作项目”。在国家倡导以及地方推动下,绿色PPP模式已经成为推动绿色公共服务发展的重要突破口,中国绿色PPP项目投资规模近年来不断扩大,截至2020年底,绿色PPP项目数量达到5826个,占PPP项目总数的58.1%;绿色PPP项目投资总额达56206亿元,占PPP项目总投资额的36.3%。与此同时,绿色PPP项目质量不断提升,2020年绿色PPP项目的落地率达到68.5%。

目前关于PPP模式的研究主要聚焦于讨论影响社会资本参与PPP项目的关键因素,并试图从制度质量或者营商环境<sup>[9][10]</sup>、地理区位<sup>[11]</sup>、地方政府自有财力<sup>[12]</sup>、政府治理能力<sup>[13]</sup>、政府风险担保<sup>[14][15]</sup>等角度揭示PPP项目引资的影响因素。而聚焦于绿色领域的PPP项目,将PPP模式与环境污染联系起来的研究并不多。Tang等(2021)发现PPP模式改善了水污染程度,使得COD排放浓度降低了8.49%,NH<sub>3</sub>-N排放浓度降低了10.33%<sup>[16]</sup>。关于PPP模式对碳排放的影响,尽管现有文献未能直接揭示,但同样能够提供部分思考。有研究发现能源领域PPP实践可能会增加碳排放<sup>[17][18]</sup>,另有研究发现私营部门参与能源投资可以长期减少碳排放<sup>[19]</sup>。具体针对绿色PPP项目的研究则更少,魏晓云和韩立岩(2022)主要基于环境效应与经济效应的福利视角提供了绿色PPP项目组合实施的契约设计框架<sup>[20]</sup>。叶提芳等(2023)通过实证研究发现绿色PPP有效促进了地区经济高质量发展<sup>[21]</sup>。鉴于此,本文首先较为清晰地识别出处于“执行阶段”的绿色PPP项目,并将绿色PPP实施视为一项政策冲击构建双重差分模型,探究绿色PPP项目落地实施的碳减排成效。

相比已有研究,本文可能存在的研究贡献在于以下三个方面。第一,现有文献尚未将研究视角聚焦于中国环境领域的绿色PPP项目,对绿色PPP实践的绿色低碳成效进行评估。本文利用绿色词汇较为精确地识别出绿色PPP项目,并将微观层面的绿色PPP项目与宏观层面的经济信息相结合,基于城市以及县级层面数据探究绿色PPP实践对碳排放的影响,拓展了绿色领域PPP模式的宏观效应研究。第二,现阶段政府治理碳排放问题仍然主要依赖强制性的碳规制措施,而本文研究发现市

场化改革下的绿色 PPP 模式可能是推动低碳发展的重要方式。第三,本文从绿色技术创新以及市场化视角检验了绿色 PPP 实践的碳减排机制,为未来进一步规范完善 PPP 模式,推进绿色公共服务供给体系建设,实现绿色低碳经济高质量发展提供一些参考。

## 二、政策背景与假设提出

### (一)绿色 PPP 政策背景

随着环境污染问题的加剧,地方政府不断提高环境治理投资以推动绿色发展,污染治理实践内容由加强生产经营过程的污染减排和末端治理,逐渐转向存量污染物治理与生态环境修复<sup>[22]</sup>。《国家环境保护“十二五”规划》中强调加强城镇环境基础设施建设与运行水平,然而,由于绿色基础设施的建设运营投资规模较大,单纯依靠地方政府环境治理投资支撑绿色基础设施建设难以持续,引入社会资本参与绿色基础设施建设成为可行的有效方式。实际上,绿色 PPP 实践的主要目标在于通过引入社会资本,参与绿色基础设施供给,促进政府和社会资本形成环境治理有效合作,推动经济绿色低碳发展。

回溯 PPP 模式,其经历了较长时期的探索实践,逐渐形成了较为完善的政策体系,PPP 模式的发展大致经历了推广阶段、引导规范阶段以及高质量规范发展阶段。细化到绿色领域,自 2013 年《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》提出建立吸引社会资本投入生态环境保护的市场化机制之后,PPP 投资领域逐步从交通运输、市政工程等扩展到绿色公共服务领域。为积极推动绿色 PPP 模式发展,财政部在 2014 年发布的《关于推广运用政府和社会资本合作模式有关问题的通知》中,明确支持将 PPP 模式引入城市基础设施建设和公共服务领域,包括污水处理、垃圾处理等。之后政府在绿色环保领域持续加强政策引导,投资的绿色领域逐渐从垃圾、污水处理转向清洁能源、生态修复、绿色交通和城市建设等方面。2016 年出台的《关于积极发挥环境保护作用促进供给侧结构性改革的指导意见》进一步突出绿色 PPP 地位,强调各类环保资金优先支持环境保护 PPP 项目的实施。之后,2017 年发布的《关于政府参与的污水、垃圾处理项目全面实施 PPP 模式的通知》中指出“污水、垃圾处理领域全方位引入市场机制,推进 PPP 模式应用”。垃圾焚烧发电 PPP 项目逐渐成为绿色低碳 PPP 项目的“主力军”,截至 2021 年底,污水、垃圾处理行业入库项目 1783 个,占绿色低碳入库项目的 30.1%,位居首位,投资额高达 7380 亿元。

在绿色 PPP 项目具体实践中,由于绿色 PPP 项目建设经营的长期性、前期投资规模巨大以及投资收益回报周期长等特点,绿色 PPP 项目可能面临融资困境从而影响项目的正常建设运营。为推动绿色 PPP 模式发展,政府鼓励绿色金融工具重点向绿色 PPP 模式下的绿色产业倾斜。在此背景下,中国人民银行、财政部等七部委联合发布的《关于构建绿色金融体系的指导意见》强调,要通过政府和社会资本合作模式动员社会资本,在节能减排降碳、环保和其他绿色项目中积极引入 PPP 模式,助力绿色领域 PPP 发展。另外,尽管绿色领域的 PPP 投资规模持续增长,但是部分绿色 PPP 项目的实施质量难以保障。一方面,在绿色 PPP 项目前期招标过程中,地方政府难以充分评估社会资本方的专业资质或项目运营方案的合理性;另一方面,由于项目运营的长期性,政府与社会资本方针对市场变化以及技术升级等情况缺乏动态调整机制,可能导致项目的实际成效并不理想。为进一步提升 PPP 项目的运行质量与经济效益,财政部发布《关于进一步推动政府和社会资本合作(PPP)规范发展、阳光运行的通知》,对 PPP 项目的全生命周期管理提出明确要求与具体遵循,持续推动 PPP 项目的高质量发展。

### (二)假设提出

#### 1.绿色 PPP 通过推动绿色技术创新加速碳减排

引入 PPP 模式前,政府在绿色基础设施建设运营中担任核心角色,由于污染治理、生态修复等领域通常需要具备高度专业化的绿色知识,存在较强的专业壁垒,完全依靠政府提供绿色公共服务并不利于发挥绿色基础设施的环境治理效能。PPP 模式引入绿色领域之后,政府的职能由绿色基础设施

的直接供给者转变成监管者,社会资本方成为绿色基础设施建设运营的实施者<sup>[23]</sup>。相较于政府部门而言,私营部门<sup>①</sup>拥有相对成熟的绿色生产技术,同时也在绿色基础设施和公共服务项目的建设运营方面积累了丰富的经验。在保持成本和投资不变的情况下,由私营部门提供绿色公共产品通常更有效率。而且,私营部门的市场活力与创新能力更强,绿色 PPP 模式下私营部门有动机持续加强绿色技术创新,这将提高绿色公共服务供给质量,提高环境治理效率。一方面,政府与社会资本方共同参与公共服务项目的供给是基于特许经营权协议和合同,对于污水处理、垃圾处理以及新能源等经营性质的绿色 PPP 项目来说,绿色基础设施建成后私营部门有义务对公共服务或设施使用者收取费用,从而获得项目收益回报<sup>[20]</sup>。绿色 PPP 模式下私营部门为追求超额经济收益,有动机通过开发绿色低碳技术来提高生产效率以及降低项目运营成本。另一方面,由于绿色 PPP 项目的运营周期较长,随着技术发展以及环保政策法规的变化,私营部门同样需要升级技术来确保绿色项目的服务质量和运营效率。总的来说,绿色 PPP 通过推动绿色低碳技术创新提升了绿色公共服务项目的供给质量,例如,使用节能低碳和循环利用技术、绿色低碳建筑材料,能够在确保绿色 PPP 项目服务质量的基础上,进一步降低能源消耗和碳排放水平。同时,绿色低碳技术创新可以确保绿色基础设施能够实现长期稳定运营,有利于持续发挥绿色基础设施的环境治理效能,如垃圾处理、生态修复等,从而加速碳减排。另外,在绿色 PPP 项目建设经营过程中开发的绿色低碳技术创新成果,如可再生能源技术,可以减少对化石燃料的依赖,提升资源利用效率,进一步降低碳排放水平;碳捕获和储存技术的应用也能进一步降低项目的碳足迹。

## 2. 绿色 PPP 通过提升市场化水平加速碳减排

作为提升绿色公共服务供给效率的市场化探索,绿色 PPP 模式将竞争性市场引入绿色公共服务领域,充分保障不同社会资本间的公平竞争,发挥市场资源配置效应选择最优的社会资本方,与政府部门共同参与绿色 PPP 项目供给。PPP 模式集中体现了社会治理机制的创新,实质上改变了以往绿色公共服务完全依靠政府供给的局面,推动了绿色公共服务领域的市场化改革。绿色 PPP 模式有助于政府职能由建设型政府向服务型政府转变,进一步优化政府职能,激发市场内在动力。并且,绿色 PPP 模式突出市场经济中的契约精神,有助于减少政府直接干预,赋予市场更多的自主权,通过提升市场化水平实现绿色公共服务的有效供给。总体而言,绿色 PPP 模式有利于理顺政府与市场的关系,进一步优化政府职能,释放市场潜力,将政府部门的规划决策、市场监管能力与社会资本的技术管理优势有机结合,通过合理配置绿色 PPP 项目不同参与主体的优势,实现资源的最优利用,有效促进政府、企业和社会形成环境治理合力,提高绿色公共服务的供给效率与质量,并且确保绿色 PPP 项目在全生命周期内各个阶段都能实现环境绩效目标。例如,在项目设计阶段,通过提前评估来减少潜在的负面环境影响,选择最大化资源效率和最小化环境足迹的绿色低碳方案;而在项目实施过程中,前期项目建设阶段通过使用节能低碳建筑材料以及优化能源管理系统等方式降低碳排放水平,后期项目运营阶段实施废弃物减量和循环利用措施,进一步加速碳减排。

基于以上理论分析,本文提出假设:绿色 PPP 模式能够加速碳减排。

## 三、研究设计

### (一)数据来源与样本选择

本文研究主要基于绿色 PPP 项目数据以及城市碳排放数据。其中,绿色 PPP 项目数据来自财政部政府和社会资本合作中心披露的全国 PPP 综合信息平台管理库。国内 PPP 模式在 2014 年才进入大规模推广阶段,因此本文主要关注 2014—2021 年范围内的 PPP 项目。爬取的字段包括项目名称、所在区域信息、所属行业信息、执行阶段时间、回报机制、项目概况、合作期限和运作方式。根据项目进度的差异,PPP 项目被划分为准备阶段、采购阶段以及执行阶段,只有项目进入执行阶段才意味着 PPP 项目的最终落地实施,因此我们仅爬取所处阶段为“执行阶段”的 PPP 项目。关于绿色 PPP 项目的界定,在《关于构建绿色金融体系的指导意见》文件中提到“节能减排降碳、环保

和其他绿色项目”属于绿色 PPP 项目范围。另外,财政部政府与社会资本合作中心对绿色 PPP 项目的领域范围提供了更加细致的描述,将绿色 PPP 定义为对公共交通、供排水、生态建设和环境保护、水利建设、可再生能源、教育、科技、文化、养老、医疗、林业和旅游等领域具有支持污染防治和推动经济结构绿色低碳化作用的 PPP 项目。基于官方对绿色 PPP 项目的界定,本文参考叶提芳等(2023)、陈诗一和陈登科(2018)的识别思路<sup>[21][24]</sup>,按照以下步骤识别绿色 PPP 项目。第一,如果某 PPP 项目的行业类型属于生态建设和环境保护,则视为绿色 PPP 项目。第二,如果某 PPP 项目名称中包含垃圾处理、垃圾分类、污水处理、生态修复、海绵城市、轨道交通、绿化、垃圾清运、景观绿地、综合治理、绿地、水源地综合治理、生态综合治理、可持续发展、环境整治、湿地修复、环境综合治理、可持续、环保、节能、低碳、充电桩、垃圾发电、生物质能、环境保护、污染、能耗、减排、排污、生态、绿色、低碳、空气、化学需氧量、二氧化硫、二氧化碳、PM10 以及 PM2.5 等关键词,则同样视为绿色 PPP 项目。第三,由于 PPP 项目概况较为详细地介绍 PPP 项目的实际内容,本文继续对 PPP 项目概况重复以上文本识别工作,进一步补充筛选绿色 PPP 项目<sup>②</sup>。第四,为确保最终筛选的绿色 PPP 项目尽可能精确,本文还进行人工核查工作,最终得到绿色 PPP 项目样本 4336 条。PPP 项目的回报机制包括政府付费、可行性缺口补助以及使用者付费三类,三者占比分别为 41.21%、55.04%以及 3.75%。另外,PPP 项目的主要运作方式包括“建设—经营—转让”(BOT)、“转让—运营—移交”(TOT)以及“建设—拥有一经营”(BOO),三者占比分别为 77.44%、2.64%以及 0.83%。项目合作期限最短为 8 年,最长为 50 年。笔者进一步将项目信息汇总到地级市级别,样本期间,总共有 280 个地级市实施绿色 PPP 项目。

城市碳排放数据来自全球环境研究中心(Center for Global Environmental Research)官方网站,该网站拥有全球范围内二氧化碳月度排放的信息,同时其提供 1km×1km 分辨率 Geotiff 格式的栅格数据。因此,按照地级市行政区划进行提取,可以较为方便地获取城市层面的二氧化碳月度排放数据,进一步按照年度进行加总最终形成城市年度层面的二氧化碳排放数据。本文使用的城市层面统计变量均来源于《中国城市统计年鉴》以及 EPS 数据库。

## (二)模型设计

由于绿色 PPP 项目在不同城市的首次推行时间存在差异,本文基于多期 DID 的估计思路来探究绿色 PPP 实践的碳排放影响。基准模型设置为公式(1):

$$\text{emission}_{ct} = \alpha + \beta \text{gp}_{ct} + \rho X_{ct} + \lambda_c + \mu_t + \epsilon_{ct} \quad (1)$$

式(1)中,下标 c,t 分别表示城市和年份。被解释变量 emission 表示二氧化碳排放量,gp 是模型的核心解释变量,即城市组别虚拟变量(execute)与项目推行时间虚拟变量(post)的乘积,表示绿色 PPP 项目实施。本文控制一系列城市层面特征变量 X,在此基础上进一步控制城市固定效应以及年度固定效应,回归标准误在城市层面进行聚类调整。

## (三)变量说明

1.被解释变量。本文用二氧化碳排放量(emission)衡量碳排放水平,对其取自然对数。对于城市层面二氧化碳排放量的测算,由于城市能源消耗信息缺失较多以及统计口径不统一等问题,无法结合碳排放系数直接估算城市碳排放量。本文采用全球环境研究中心提供的碳排放栅格数据,通过在行政区划范围内对二氧化碳栅格信息进行提取得到城市层面二氧化碳排放量。

2.核心解释变量。gp 是模型的核心解释变量,为城市组别虚拟变量(execute)与项目推行时间虚拟变量(post)的乘积。其中,将推行绿色 PPP 项目的城市设置 execute 为 1,而未实施绿色 PPP 项目的城市设置 execute 为 0。另外,绿色 PPP 项目的执行时间<sup>③</sup>精确到月度,考虑到绿色 PPP 项目从执行阶段到发挥绿色效应存在时滞,因此将执行时间处于上半年的绿色 PPP 项目视为当年开始推行,而将执行时间处于下半年的绿色 PPP 项目视为次年开始推行,在此基础上设置时间虚拟变量 post,项目推行当年及其后的年份 post 取 1,否则取 0。

3.控制变量。本文参考已有文献选取下列控制变量:(1)经济发展水平,使用人均地区生产总

值(pgdp)以及人均地区生产总值平方项(pgdp2)衡量;(2)产业结构(ind),使用第二产业产值比重衡量;(3)地区人力资本(edu),采用普通中学在校学生数与年末总人口的比值衡量;(4)政府规模(gov),采用政府一般公共预算支出占地区总产值比重衡量;(5)科技支出(tec),采用财政科技支出占财政支出的比重衡量。以上地区特征变量均取自然对数,描述性统计结果见表1。由表1可知,gp的均值为0.376,表明37.6%的样本观测值进入处理组范围。emission的均值为15.490,最小值和最大值分别为12.260和18.290,结合标准差数值0.920,可知不同城市的碳排放水平存在较大差异。

表1 描述性统计结果

变量名称	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
emission	4871	15.490	0.920	12.260	18.290
gp	4881	0.376	0.485	0.000	1.000
pgdp	4859	1.203	0.840	-1.408	3.975
pgdp2	4859	2.151	2.335	0.000	15.800
ind	4865	3.806	0.276	2.180	4.511
edu	4863	6.271	0.264	4.143	8.262
gov	4864	7.386	0.475	6.055	9.871
tec	4868	-4.704	0.998	-15.540	-1.576

#### 四、实证结果

##### (一)基准回归分析

本文基于基准模型(1)考察绿色PPP项目实施的碳排放效应,结果见表2。表2第(1)列未控制城市特征,第(2)列则控制了所有地区特征变量。根据第(2)列回归结果,绿色PPP项目实施对碳排放的估计系数为负,且在5%的水平上显著。这说明在其他条件不变的情况下,绿色PPP实践每增加一个单位,城市碳排放水平将下降1.5%。这可能是因为绿色PPP模式能有效促进政府和社会资本共同参与环境治理,提高了绿色公共服务的供给效率与质量,进而加速碳减排。

表2 基准回归结果

	(1)	(2)
	emission	emission
gp	-0.010* (-1.67)	-0.015** (-2.47)
控制变量	否	是
年度/城市固定效应	是	是
样本量	4871	4859
R <sup>2</sup>	0.995	0.995

注:括号内为t值,\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著,下表同。

##### (二)稳健性检验

###### 1.共同趋势检验

为确保估计结果的无偏有效性,处理组与控制组城市需要满足不存在显著差异的条件,本文借鉴Li等(2016)的做法<sup>[27]</sup>,通过构造以下模型来检验共同趋势。

$$emission_{ct} = \alpha + \sum_{i=-9; i \neq -1}^7 \beta_i gp_{ci} + \rho X_{ct} + \lambda_c + \mu_t + \epsilon_{ct} \quad (2)$$

如式(2)所示,针对共同趋势检验本文重新设置核心解释变量,i表示所在年份距离绿色PPP项目推行年份的时间差距,gp<sub>ci</sub>表示城市c处于项目实施的第i年,设置绿色PPP项目实施前一期(i=-1)为基期。表3回归结果显示绿色PPP实施前核心解释变量系数均未通过显著性检验,这说明控制组和处理组城市在事前并没有明显的碳排放差异,满足共同趋势假设。



	(1)		(2)
gp_pre9	0.002 (0.05)	gp_after1	-0.014** (-2.06)
gp_pre8	0.019 (0.68)	gp_after2	-0.021** (-2.02)
gp_pre7	0.033 (1.26)	gp_after3	-0.028** (-2.06)
gp_pre6	0.033 (1.44)	gp_after4	-0.036** (-2.06)
gp_pre5	0.027 (1.57)	gp_after5	-0.043** (-2.02)
gp_pre4	0.020 (1.18)	gp_after6	-0.048* (-1.88)
gp_pre3	0.014 (1.62)	gp_after7	-0.059* (-1.92)
gp_pre2	0.007 (1.26)	控制变量	是
gp_current	-0.008** (-2.17)	年度/城市固定效应	是
		样本量	4859
		R <sup>2</sup>	0.995

## 2. 考虑异质性处理效应

在多期 DID 估计模型中,如果存在异质性处理效应,可能会导致传统双向固定效应估计系数存在偏误。实际上,多期 DID 估计系数是由 4 类  $2 \times 2$  DID 估计量加权平均得到,而估计偏误主要来源于“后处理组”与“先处理组”比较得到的 DID 估计量,由于“先处理组”作为不良控制组已经掺杂处理效应,故可能会出现负权重问题。考虑到可能存在的异质性处理效应,本文借鉴 Goodman-Bacon (2021)的分解思路分别考察不同类别样本对总体估计系数的影响<sup>[28]</sup>,分解结果显示包含“不良”控制组的样本组合(后处理组 vs 先处理组)其系数值与权重的乘积仅为-0.00001,对总体估计系数的影响偏误微乎其微,这表明本文的基准估计结果并不会受到严重的异质性处理效应影响,估计结果较为稳健。此外,本文借鉴现有研究进一步计算异质性稳健估计量  $DID_M$ <sup>[29]</sup>,实际回归中并没有纳入处理组在接受处理后的这部分样本,因此不存在“不良”控制组的样本组合(后处理组 vs 先处理组)这类估计情况,避免了异质性处理效应引致的负权重问题。回归结果显示估计系数依然显著为负,本文结论较为稳健。

表 4 Goodman-Bacon 分解结果与稳健估计量

组别	处理组	控制组	系数值	权重	系数值×权重	$DID_M$
组 1	先处理组	后处理组	-0.02147	0.51801	-0.01112	-0.012*
组 2	后处理组	先处理组	-0.00004	0.28207	-0.00001	(-1.72)
组 3	处理组	未处理组	0.00635	0.19991	0.00127	

注: Bacon 分解是基于平衡面板进行估计,由于样本中不包含“处理组 vs 一直处理组”的情况,因此分解结果只有三类。

## 3. 内生性检验

为进一步缓解不可观测遗漏变量可能引致的内生性问题的影响,本文通过工具变量法来检验基准估计结果的可靠性。第一,本文借鉴现有研究,选取城市层面的空气流通系数年度均值 wind(取自然对数)作为工具变量<sup>[25]</sup>。首先,空气流通系数取决于气候状况以及地理因素等自然现象,满足工具变量的外生性条件。另外,空气流通系数直接决定污染物扩散的速度,如果某城市空气流通系数越小,则意味着该城市受环境污染影响越大,因此政府越有可能实施包括绿色 PPP 在内的各种污染治理实践,满足工具变量的相关性要求。第二,本文进一步参考 Fu 等(2021)的做法,采用逆温作为工具变量进行估计<sup>[26]</sup>。事实上,逆温现象的发生完全取决于随机的气象条件,与经济生产活动并无直接关联,满足工具变量的外生性要求。另外,逆温现象导致地面空气与高层空气无法实现对流,地面污染物难以扩散,因此逆温现象发生频繁的城市其环境污染越严重,政府也更有动机实施绿色 PPP 等污染治理实践,满足工具变量的相关性要求。逆温信息来源于美国国家航空航天局(NASA)发布

的 MERRA-2 数据, inversion1 表示根据一-二层气温差异判断逆温天数的自然对数值, inversion2 表示根据一-三层气温差异判断逆温天数的自然对数值。

基于两阶段最小二乘法的估计结果如表 5 所示。从工具变量的统计检验结果看, Kleibergen-Paap rk LM 统计量数值均通过不可识别检验; 另外, Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量均大于 Stock-Yogo 检验 10% 水平上的临界值 16.38, 表明不存在弱工具变量问题。从第(2)(4)(6)列显示的第二阶段回归结果看, gp 系数均显著为负, 并且估计系数与基准结果比较接近, 表明并不存在明显的内生性问题干扰, 本文结论较为稳健。

表 5 工具变量回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	工具变量: 空气流通系数		工具变量: 逆温			
	gp	emission	gp	emission	gp	emission
wind×post	0.139*** (348.00)					
inversion1×post			0.180*** (94.47)			
inversion2×post					0.182*** (45.50)	
gp		-0.010* (-1.67)		-0.011* (-1.66)		-0.015* (-1.95)
控制变量	是	是	是	是	是	是
年度/城市固定效应	是	是	是	是	是	是
Kleibergen-Paap rk LM		128.524 [0.000]		128.892 [0.000]		125.251 [0.000]
Kleibergen-Paap rk Wald F		123496 {16.380}		9027 {16.380}		1702 {16.380}
样本量	4 859	4 859	4 859	4 859	4 845	4 845
R <sup>2</sup>	0.998	0.032	0.991	0.032	0.983	0.032

注: 工具变量检验中 [ ] 显示统计量的 p 值; { } 中显示 Stock - Yogo 检验 10% 水平上的临界值。

#### 4. 其他稳健性检验<sup>④</sup>

第一, 替换碳排放指标, 利用人均碳排放量衡量碳排放强度。第二, 考虑到不同城市随时间特定的发展趋势对碳排放的影响差异, 进一步控制城市与时间趋势的乘积项。第三, 为排除绿色 PPP 项目实施以及推行程度与地区环境质量存在的相关影响干扰, 本文选择控制期初即 2005 年二氧化碳排放水平与年度虚拟变量的交互项, 以控制城市层面初始的环境质量。第四, 考虑聚类层级的影响, 将聚类水平变换为城市-一年度层面、省份层面、省份-一年度层面。第五, 排除相关政策的影响, 在基准模型的基础上补充控制低碳城市政策以及碳排放权交易试点政策。第六, 基于县级层面数据进行考察, 对于县级二氧化碳排放信息, 依然是对全球环境研究中心网站提供的栅格数据按照县级行政区划进行提取。以上回归结果显示核心解释变量的系数依然显著为负, 说明本文结论较为稳健。

### 五、基于项目特征的异质性分析

#### (一) 绿色 PPP 项目付费模式异质性

PPP 项目付费模式主要包括政府付费、可行性缺口补助以及使用者付费三类, 而采取不同的付费模式对应着不同的项目风险分配机制。采用政府付费模式的绿色 PPP 项目, 其项目建设运营成本完全由政府财政覆盖; 而可行性缺口补助模式反映项目成本并不完全依赖政府的财政支出, 其成本构成中政府支出部分仅作为社会资本投入的后备力量, 政府方面主要以财政补贴等方式对社会资本提供部分经济支持。这两类付费模式由于有地方政府的资金参与, 绿色 PPP 项目收益有所保障, 更能吸引社会资本参与。但对于使用者付费模式, 由于项目成本完全由社会资本方承担, 存在项目收益不确定、商业风险较大等问题, 对社会资本的吸引力较弱。基于以上分析, 本文认为绿色 PPP 项目不



同的付费模式能够产生影响差异。鉴于此,本文分别在政府付费、可行性缺口补助以及使用者付费模式下进行考察。回归结果如表 6 第(1)~(3)列所示,可以发现绿色 PPP 实践的碳减排效应主要体现在政府付费、可行性缺口补助这两类付费形式中,而使用者付费模式的绿色 PPP 项目实践并未产生积极的环境影响。这可能的原因是付费模式的不同直接影响社会资本参与的意愿,而由政府财政兜底保障的绿色 PPP 项目无论是项目风险还是收益都更加能够吸引社会资本进入,有助于提升绿色公共服务的供给质量,其碳减排效应自然更加显著。

### (二)绿色 PPP 项目运作模式异质性

在绿色领域 PPP 项目中,项目的主要运作模式包括“建设—经营—转让”(BOT)、“转让—运营—移交”(TOT)以及“建设—拥有一经营”(BOO),采用其他运作模式的项目较少。BOT 以及 TOT 都是特许经营模式,社会资本方通过新建或直接获得政府存量项目的方式,在与政府部门约定的特许经营期限内承担项目的运营管理工作,并获得项目收益,而在合同期满后需将项目移交给政府部门,实质上在 BOT 以及 TOT 模式中社会资本方并不具有项目的所有权。而 BOO 模式存在明显不同,BOO 模式下的 PPP 项目由社会资本方建设完工后并不需要向政府方移交所有权,私有化程度高。项目运作模式差异可能会影响项目的供给质量以及效率,鉴于此,本文分别在 BOT+TOT 以及 BOO 模式下考察不同项目运作模式的影响差异,回归结果如表 6 第(4)(5)列所示。由结果可以发现绿色 PPP 实践的碳减排效应主要体现在采取 BOT 以及 TOT 运作模式的项目中,而采取 BOO 运作模式的绿色 PPP 项目实践并未产生积极的环境影响。原因可能是,在 BOO 模式下,社会资本方由于前期投入成本较高,并且项目建设运营风险不确定性较大,项目后续的运营维护缺乏持续的动力,可能会弱化绿色 PPP 项目的实际供给效率与质量。实际上,中国的绿色 PPP 项目主要以 BOT 模式为主,已有研究发现,通过延长特许经营期限等激励机制可以有效提升 BOT 模式的运行效率<sup>[30]</sup>,这也符合国家未来实施绿色 PPP 制度的政策要求,鼓励全部采取特许经营模式实施 PPP 项目,同时对于投资规模大、回报周期长的特许经营项目可以适当延长经营期限。

### (三)绿色 PPP 项目合作期限异质性

双方合作期限越长,外部环境不确定性增加,项目面临的市场风险以及经济风险较大,不利于绿色 PPP 项目的宏观效益发挥。但绿色 PPP 项目合作期限越长,社会资本方为增加项目收益可能会提升项目建设运营的效率,并加强项目绩效监管,有利于发挥绿色 PPP 项目的宏观效应。基于以上分析,合作期限可能会影响绿色 PPP 实践的宏观效应,鉴于此,本文通过将城市范围内的绿色 PPP 合作期限进行平均得到变量 time,并设置交互项  $gp \times time$ ,回归结果如表 6 第(6)列所示,结果显示交互项  $gp \times time$  的回归系数虽然为负值,但并不显著,表明绿色 PPP 项目的碳效应并不受项目合作期限影响。可能的原因存在于项目合作期限越长,可能会存在较大的市场风险以及经济风险,具有消极因素;但同时社会资本方具有提升项目建设运营效率、加强项目绩效监管的激励,存在积极因素,实践中两种效应相互抵消,绿色 PPP 项目宏观效应的发挥并不受项目合作期限影响。

表 6 基于项目特征的异质性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	政府付费 emission	可行性缺口补助 emission	使用者付费 emission	BOT+TOT emission	BOO emission	项目合作期限 emission
gp	-0.017*** (-2.65)	-0.020*** (-2.97)	0.001 (0.15)	-0.023*** (-3.09)	-0.005 (-0.51)	-0.011 (-1.31)
gp×time						-0.0001 (-0.33)
控制变量	是	是	是	是	是	是
年度/城市固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	4859	4859	4859	4859	4859	4859
R <sup>2</sup>	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995

## 六、影响机制探究

### (一)绿色 PPP 的碳减排效应影响机制:绿色技术创新视角

本文从创新投入以及绿色创新产出两个维度衡量绿色技术创新水平。创新投入方面,本文利用科学技术支出自然对数  $tec$  来衡量。而对于绿色创新产出,世界知识产权组织(WIPO)发布的“国际专利分类绿色清单”能够较好地将绿色专利进行识别区分,由于发明专利最能反映技术含量,本文分别使用绿色发明专利申请量自然对数  $apply$  以及绿色发明专利授权量自然对数  $empow$  来衡量城市层面的绿色技术创新水平。将影响碳排放水平的机制变量嵌入基准模型进行检验,模型具体设置如下:

$$emission_{ct} = \alpha + \varphi gp_{ct} \times mech_{ct} + \beta gp_{ct} + \partial mech_{ct} + \rho X_{ct} + \lambda_c + \mu_t + \epsilon_{ct} \quad (3)$$

式(3)中,  $mech$  代表机制变量,包括科学技术支出  $tec$ 、绿色发明专利申请量  $apply$  以及绿色发明专利授权量  $empow$ 。对于模型(3),我们主要关注交互项  $gp \times mech$  的回归系数显著性水平,回归结果如表 7 所示。从第(1)列创新投入的结果看,交互项  $gp \times tec$  的回归系数显著为负,表明创新投入水平

表 7 机制探究

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	科学技术支出	绿色发明专利申请量	绿色发明专利授权量	数字普惠金融指数	市场化总水平	政府与市场关系	非国有经济	产品市场发育程度
	emission	emission	emission	emission	emission	emission	emission	emission
$gp \times tec$	-0.009** (-2.05)							
$tec$	-0.008* (-1.84)							
$gp \times apply$		-0.004* (-1.75)						
$apply$		-0.001 (-0.22)						
$gp \times empow$			-0.004* (-1.82)					
$empow$			-0.004 (-0.88)					
$gp \times fina$				-0.016* (-1.95)				
$fina$				0.013 (1.33)				
$gp \times total$					-0.080*** (-3.92)			
$total$					-0.027 (-0.92)			
$gp \times rela$						-0.061*** (-3.77)		
$rela$						-0.038*** (-3.42)		
$gp \times nonsoe$							-0.077*** (-4.54)	
$nonsoe$							0.027* (1.65)	
$gp \times prod$								-0.031** (-2.22)
$prod$								-0.012 (-0.81)
$gp$	-0.055*** (-2.76)	0.006 (0.47)	0.006 (0.52)	0.063 (1.53)	0.163*** (3.56)	0.111*** (3.25)	0.170*** (4.15)	0.051 (1.60)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
年度/城市固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	4857	4813	4769	4771	4859	4859	4859	4859
$R^2$	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995

的提升更加有利于扩大绿色 PPP 实践的碳减排效应。由第(2)(3)列的回归结果可知,交互项的回归系数均显著为负,表明绿色技术创新有利于增强绿色 PPP 实践的碳减排效应。以上分析表明绿色技术创新是绿色 PPP 实践降低碳排放的路径之一,绿色 PPP 实施强化绿色低碳技术创新,提升碳减排效应。

### (二)绿色 PPP 的碳减排效应影响机制:市场化视角

市场化程度越高通常意味着金融市场开放程度以及竞争程度越高,有利于促进金融服务的多样化,因此本文利用城市层面普惠金融指数的自然对数  *fina*  来衡量市场化水平。另外,本文还利用省份层面的市场化指数<sup>⑤</sup>进行检验,具体使用市场化总指数自然对数  *total* 、政府与市场关系指数自然对数  *rela* 、非国有经济发展指数自然对数  *nonsoe* 、产品市场发育程度指数自然对数  *prod*  来衡量市场化水平。

回归结果如表 7 所示。从第(4)~(8)列的回归结果看,交互项系数均显著为负值,表明市场化程度提高有利于增强绿色 PPP 实践的碳减排效应。重点关注第(6)列结果,第(6)列回归结果显示  *rela*  的回归系数为负并通过了 1% 的统计显著性水平检验,表明政府与市场关系的改善有利于降低地区碳排放水平,而绿色 PPP 实践实质上就是在绿色领域通过加强政府资本与社会资本合作来实现绿色低碳治理。另外第(6)列交互项  *gp × rela*  的回归系数显著为负,表明政府与市场关系的加强有利于扩大绿色 PPP 实践的碳减排效应。以上分析表明推动市场化水平提升是绿色 PPP 实践降低碳排放的路径之一,绿色 PPP 实施有效促进了政府和社会资本共同参与环境治理,提高了绿色公共服务的供给效率与质量,强化了碳减排效应。

## 七、拓展性讨论:公众环境关注如何影响绿色 PPP 实践的碳减排效应

已有研究发现,公众参与有助于吸引更多的私人投资参与 PPP 项目,并推动 PPP 项目的建设实施<sup>[31]</sup>。事实上,公众参与可能有助于政府、企业和社会形成环境治理合力,提高绿色公共服务的供给质量。本文在拓展性分析部分讨论公众环境关注能否强化绿色 PPP 的碳减排效应这一问题。

表 8 拓展性分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	低碳指数	空气质量指数	环境保护指数	循环指数	生态指数
	<i> emission </i>	<i> emission </i>	<i> emission </i>	<i> emission </i>	<i> emission </i>
<i> gp × carbon </i>	-0.007 ** (-2.33)				
<i> carbon </i>	0.005 (1.62)				
<i> gp × air </i>		-0.007 *** (-2.74)			
<i> air </i>		0.003 (1.12)			
<i> gp × envir </i>			-0.010 *** (-3.33)		
<i> envir </i>			0.008 (1.61)		
<i> gp × cycle </i>				-0.006 ** (-2.03)	
<i> cycle </i>				0.007 ** (2.06)	
<i> gp × ecology </i>					-0.007 *** (-2.85)
<i> ecology </i>					0.007 * (1.75)
控制变量	是	是	是	是	是
年度/城市固定效应	是	是	是	是	是
样本量	3073	3082	3106	3083	3091
R <sup>2</sup>	0.883	0.936	0.898	0.916	0.900

关于公众环境关注程度的度量,本文借鉴吴力波等(2022)的思路<sup>[32]</sup>,在百度搜索引擎上根据搜索频次以及搜索方位利用 python 软件爬取城市范围内民众对于相关环境词汇的检索数量,本文主要考虑与低碳发展、生态环境等与本文研究主题密切相关的环境关键词,具体包括“低碳”“空气质量”“环境保护”“循环”“生态”<sup>⑥</sup>。本文在基准模型基础上加入环境关注度自然对数指标(低碳指数 carbon、空气质量指数 air、环境保护指数 envir、循环指数 cycle、生态指数 ecology)以及绿色 PPP 与环境关注度自然对数指标的交互项,来检验在不同环境关注程度下,绿色 PPP 实践对碳排放的影响,回归结果如表 8 所示。表 8 第(1)~(5)列的结果显示交互项的回归系数均显著为负,表明公众的监督关注能够加强绿色 PPP 实践的碳减排效应。这说明公众的监督关注的确有助于政府、企业和社会形成环境治理合力,提高绿色公共服务的供给效率与质量,强化 PPP 实践的低碳环境治理效果。

## 八、研究结论与政策启示

加快低碳转型是实现碳达峰碳中和目标、推动经济绿色高质量发展的关键,单纯依靠政府的环境治理投资难以提供持续的资金支持,故引导社会资本通过 PPP 模式参与绿色低碳治理可能是推动经济低碳转型的市场化有效路径。因此,本文探究在绿色领域引入 PPP 模式即绿色 PPP 实践是否存在碳减排效应。本文发现绿色 PPP 实践有效降低了城市碳排放水平。经过共同趋势、内生性等一系列检验后基本结论依然成立。异质性分析发现,付费形式为政府付费、可行性缺口补助,运作模式为 BOT 以及 TOT 类型的绿色 PPP 项目碳减排效应显著,同时碳减排效应并不受项目合作期限影响。机制分析表明,绿色 PPP 实践能够通过绿色技术创新以及提升市场化程度加速碳减排。进一步分析发现,公众的监督关注有助于政府、企业和社会形成环境治理合力,提高绿色公共服务的供给效率与质量,强化绿色 PPP 的低碳环境治理效果。

根据以上研究结论,本文提出以下政策启示。第一,未来中国应该进一步规范完善 PPP 制度,采取多种激励方式积极鼓励社会资本参与绿色 PPP 项目,比如可以考虑将绿色 PPP 项目与其他高收益的资源开发项目相结合,或者通过提供税收优惠等方式最大限度提高社会资本参与绿色 PPP 项目的意愿,最大程度发挥社会资本参与绿色公共服务供给的优势。第二,由于社会资本的市场活力与创新能力更强,政府应该积极探索合理的投资回报机制吸引社会投资参与绿色低碳治理,强化社会资本提升技术创新的正向激励机制,例如积极鼓励社会资本通过开发绿色低碳技术来提高生产效率以及降低项目运营成本,并将项目执行过程中降低成本而产生的额外利润让渡给社会资本方,提高社会资本方的额外经济收益,推动社会资本加强环境治理技术创新。第三,由于不同特征的 PPP 项目存在影响差异,对于采取使用者付费模式的绿色 PPP 项目而言,重点鼓励具有较好市场经营理念和能力的企业参与其中,确保绿色 PPP 项目的良好运行。对于采用 BOO 运作模式的绿色 PPP 项目,社会资本方应该加强项目的全周期管理,提高项目运行绩效监管力度。另外,设置合理的项目合作期限,对于合作期限较长的绿色 PPP 项目,需对项目的建设运营过程进行长期监管,确保 PPP 项目平稳运行。

### 注释:

① PPP 是一种涉及公共部门和私营部门的合作模式,其中私营部门在我国主要为民营企业 and 外资企业,这些企业在 PPP 项目中扮演着投资者、建设者和运营商的角色,利用其资金、技术和管理优势参与公共项目的建设和运营。

② 部分项目名称信息较为有限,需要结合项目概况进一步补充识别绿色 PPP 项目,例如“河北省唐山市中心城区环卫一体化 PPP 项目”,尽管无法根据项目名称进行识别,但是基于项目概况依然可以识别为绿色 PPP 项目。

③ 部分城市在多个年份都实施了绿色 PPP 项目,文中出现的“执行时间”均指代某城市首次执行绿色 PPP 项目的时间。

④ 篇幅所限,回归结果留存备索。

⑤ 市场化指数数据来源于 <https://cmi.ssap.com.cn/>,由于公开数据最新仅披露到 2019 年,进一步借鉴解学梅和朱琪玮(2021)的思路,以历年市场化指数的平均增长幅度来计算各地区 2020 年和 2021 年的市场化指数<sup>[33]</sup>。

⑥ 随着互联网平台的迅速发展以及网络信息可得性增强,公众使用互联网平台搜索环境词汇可以即时反映公众对于环境的关注程度,而目前中文搜索引擎中百度的市场占有率最大、覆盖范围最广。因此,百度搜索指数很大程度上能够反映公众的监督关注。

### 参考文献:

[1] 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.

- [2] 张华.低碳城市试点政策能够降低碳排放吗?——来自准自然实验的证据[J].经济管理,2020(6):25-41.
- [3] 邓玉萍,王伦,周文杰.环境规制促进了绿色创新能力吗?——来自中国的经验证据[J].统计研究,2021(7):76-86.
- [4] 陆菁,鄢云,黄先海.规模依赖型节能政策的碳泄漏效应研究[J].中国工业经济,2022(9):64-82.
- [5] 沈洪涛,黄楠,刘浪.碳排放权交易的微观效果及机制研究[J].厦门大学学报(哲学社会科学版),2017(1):13-22.
- [6] 张华.地区间环境规制的策略互动研究——对环境规制非完全执行普遍性的解释[J].中国工业经济,2016(7):74-90.
- [7] Airoidi, M., Chua, J., Gerbert, P., et al. Bridging the Gap: Meeting the Infrastructure Challenge with Public-Private Partnerships[Z]. Boston, Boston Consulting Group, 2013.
- [8] Liu, J., He, P., Meng, Q. Meeting Investors' Demands in PPP Project to Improve Enthusiasm for Participating in Green and Low-carbon[J]. Economic Research-Ekonomska Istraživanja,2023,36(1):2167224.
- [9] 罗煜,王芳,陈熙.制度质量和国际金融机构如何影响 PPP 项目的成效——基于“一带一路”46 国经验数据的研究[J].金融研究,2017(4):61-77.
- [10] 赵静.制度质量、多边金融机构支持对 PPP 项目成效的影响研究——基于东盟国家 PPP 项目数据的实证研究[J].国际贸易问题,2020(5):161-174.
- [11] 沈言言,宗庆庆.区位优势、PPP 项目社会资本参与和引资质量[J].财政研究,2022(10):46-59.
- [12] 沈言言,郭峰,李振.地方政府自有财力、营商环境和 PPP 项目的引资[J].财贸经济,2020(12):68-84.
- [13] 郑子龙.政府治理与 PPP 项目投资:来自发展中国家面板数据的经验分析[J].世界经济研究,2017(5):62-77.
- [14] 张禄,石磊,戴大双,等.PPP 项目政府担保对项目效率影响研究[J].中国管理科学,2017(8):89-102.
- [15] 沈言言,刘小川.促进私人部门 PPP 投资的政府担保政策研究——基于中低收入国家 PPP 项目的证据[J].财政研究,2019(5):33-46.
- [16] Tang, Y., Liu, M., Zhang, B. Can Public-Private Partnerships (PPPs) Improve the Environmental Performance of Urban Sewage Treatment? [J]. Journal of Environmental Management, 2021(291):112660.
- [17] Shahbaz, M., Raghutla, C., Song, M., et al. Public-Private Partnerships Investment in Energy as New Determinant of CO<sub>2</sub> Emissions: The Role of Technological Innovations in China[J]. Energy Economics, 2020(86): 104664.
- [18] Cheng, G., Zhao, C., Iqbal, N., et al. Does Energy Productivity and Public-Private Investment in Energy Achieve Carbon Neutrality Target of China? [J]. Journal of Environmental management, 2021(298) :113464.
- [19] Jiemin, H., Chen, W. The Impact of Private Sector Energy Investment, Innovation and Energy Consumption on China's Carbon Emissions[J]. Renewable Energy, 2022(195):1291-1299.
- [20] 魏晓云,韩立岩.绿色 PPP 项目组合的最优契约:经济与环境效应的福利视角[J].金融研究,2022(3):60-78.
- [21] 叶提芳,耿智琳,张耀峰.绿色 PPP 促进区域高质量发展的效应研究[J].财政研究,2023(4):113-128.
- [22] 李锋,张益宾.生态资产管理与生态系统修复:助力高质量绿色发展[J].阅江学刊,2023(5):28-34.
- [23] 卢洪友,许文立.中国生态文明建设的“政府-市场-社会”机制探析[J].财政研究,2015(11):64-69.
- [24] 陈诗一,陈登科.雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J].经济研究,2018(2):20-34.
- [25] Hering, L., Poncet, S. Environmental Policy and Exports: Evidence from Chinese Cities[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2014,68(2): 296-318.
- [26] Fu, S., Viard, V. B., Zhang, P. Air Pollution and Manufacturing Firm Productivity: Nationwide Estimates for China[J]. The Economic Journal, 2021,131(640): 3241-3273.
- [27] Li,P.,Lu,Y., Wang,J. Does Flattening Government Improve Economic Performance? Evidence from China[J]. Journal of Development Economics, 2016(123): 18-37.
- [28] Goodman-Bacon, A. Difference-in-Differences with Variation in Treatment Timing[J]. Journal of Econometrics, 2021,225(2): 254-277.
- [29] De Chaisemartin, C., d'Haultfoeuille, X. Two-Way Fixed Effects Estimators with Heterogeneous Treatment Effects[J]. American Economic Review, 2020,110(9): 2964-2996.
- [30] Qiu, L. D., Wang, S. BOT Projects; Incentives and Efficiency[J]. Journal of Development Economics, 2011,94 (1): 127-138.
- [31] Boyer, E. J., Van Slyke, D. M., Rogers, J. D. An Empirical Examination of Public Involvement in Public-Private Partnerships: Qualifying the Benefits of Public Involvement in PPPs[J]. Journal of Public Administration Research and Theory, 2016,26(1): 45-61.
- [32] 吴力波,杨眉敏,孙可贺.公众环境关注度对企业 and 政府环境治理的影响[J].中国人口·资源与环境,2022(2):

## Can Green PPP Accelerate Carbon Reduction?

WANG Zhen<sup>1</sup> HAN Chao<sup>2</sup>

(1.School of Management / Research Center for University Risk Prevention and Control ,South-Central Minzu University,Wuhan 430073,China ;2.Center for Industrial and Business Organization ,Dongbei University of Finance and EconomicsDalian 116025,China)

**Abstract:** How to effectively promote low-carbon transformation is the key to achieving carbon peak and carbon neutrality goals, and moving towards green and high-quality development. In recent years, the government has continuously standardized and improved the cooperation mechanism between the government and social capital. The introduction of the public-private partnership (PPP) model into the green field is China's market-oriented exploration to improve the quality of green public service supply. Based on city level data from 2005 to 2021, this article views green PPP practice as a policy shock and constructs difference-in-difference model to comprehensively explore the impact of green PPP practice on carbon emission . This article found that green PPP practices have effectively reduced carbon emissions. After a series of tests such as common trend and endogeneity, the basic conclusion still holds. Heterogeneity analysis found that green PPP projects with payment forms such as government payments and feasibility gap subsidies, and operating modes such as BOT and TOT, have significant carbon emission reduction effects, and the carbon emission reduction effect is not affected by the project cooperation period. Mechanism analysis shows that green PPP practices can accelerate carbon reduction through green technology innovation and enhancing marketization. Further analysis reveals that public supervision and attention can help the government, enterprises, and society form a joint force in environmental governance, improve the supply efficiency and quality of green public services, and strengthen the low-carbon environmental effect of green PPP. This article provides reference for China to further standardize and improve PPP mechanism in the future to help achieve carbon peak and carbon neutrality strategic goals, and promote green and high-quality development.

**Key words:** Carbon Emission; Public-Private Partnership; Green PPP; Marketization

(责任编辑:姜晶晶)