

国家社会科学基金项目课题论证活页

课题名称：公平视角下我国省域碳排放差异分析与省际碳补偿机制研究

本表参照以下提纲撰写，要求逻辑清晰，主题突出，层次分明，内容翔实，排版清晰。除“研究基础”外，本表与《申请书》表二内容一致，总字数不超过 7000 字。

本课题依据申报指南“应用经济”第8项“我国省域碳排放差异及碳补偿机制研究”设计。

我国幅员辽阔，不同地区经济发展阶段、资源禀赋、战略定位等不同导致各省碳排放差异较大，各地在制定碳达峰目标、推进计划及措施时不同。在此背景下，省际间的“碳不公平”现象开始引发关注，如内蒙古、山西等能源大省在为外省提供大量能源密集型产品的同时，自身碳排放也在显著增加，即在省际贸易过程中承接了发达地区的碳排放转移，但是由于经济处于后发劣势，在贸易过程中并没有获得足够经济补偿。因此，充分考虑“碳不公平”，建立省际碳补偿机制显得尤为重要。

基于此，本课题从碳直接排放和省际间贸易隐含碳排放两个角度识别省域碳排放差异，构建碳公平指数度量省际间存在的碳不公平问题，进一步设计基于碳公平的省际碳补偿机制，以期为推动我国“碳达峰、碳中和”目标下的区域协同碳减排提供政策建议。

（一）[选题依据] 国内外相关研究的学术史梳理及研究动态（略写）；本课题相对于已有研究的独到学术价值和应用价值等，特别是相对于国家社科基金已立同类项目的新进展。

1.国内外相关研究的学术史梳理及研究动态

（1）碳补偿机制与评估方法研究

近年来，国内外学者从不同角度开展了碳补偿研究的探索（张巍，2019；赵荣钦等，2015），省际间碳横向补偿被认为是平衡各省发展权的有效市场化政策工具。目前，碳补偿的主流评估方法有基于碳排放和碳汇评估“碳预算”或“碳赤字”进而计算补偿量，包括基于生态系统价值的等价因子法、机会成本法和碳收支法等，对于区域碳排放差异的考虑主要体现在其能源消费和国土资源禀赋视角（陈儒和姜志德，2018）。事实上，在基于区域内能源消费量产生的碳减排之外，省际之间频繁的贸易往来带来的隐含碳转移也对各省碳排放有着显著影响（Khan *et al.*, 2020），已有碳补偿研究往往忽略了贸易隐含的碳排放。在补偿机制方面，与其他类型的生态补偿相比，目前省域层面的碳补偿机制还处于探索阶段（王璟珉等，2019），多集中于确定补偿方的补偿责任（Yang *et al.*, 2019），没有体现出补偿和受偿主体的对应关系（万伦来等，2020），补偿形式也局限于单一的货币补偿（魏琦和宋亚楠，2018），补偿机制缺乏灵活性。

（2）碳排放公平问题与解决机制研究

“碳排放公平”主要指有限碳排放空间的分配应该体现公平的原则（王文举和陈真玲，2019）。目前已有多项研究从不同尺度碳排放公平视角评估贸易带来的碳转移，研究方法一般采用多区域投入产出模型（陈晖等，2020），基尼系数等测度不公平程度（Kong *et al.*, 2019）。发达国家（区域）通过贸易实现了向相对落后国家（区域）的碳排放转移，而落后国家（区域）

间接承担了部分碳排放量，成为贸易隐含碳排放的净输出方（Fyson *et al.*, 2020）。中国碳排放的空间转移趋势主要从能源富集和重化工集聚的省份流向经济发达区域或经济欠发达省份。而目前研究主要聚焦碳转移量测算和公平性评估，缺乏更进一步的解决实施机制研究，相关政策建议多数集中在区域协调发展方面，没有形成系统可操作的实现区域间碳排放公平的政策方案（杨超等，2019）。

（3）国内外研究述评

国内外对碳补偿以及碳排放公平问题进行了有益地探索，但①目前碳补偿机制研究主要基于生产端的能源消费碳排放，忽略了对省际贸易产生的隐含碳排放的考虑，使得能源输出大省将碳排放留在本地，而经济发达省份在享受经济收益同时未承担等价的碳减排责任，传统碳补偿方案未能考虑贸易造成的隐含碳排放，制约了能源输出省的发展权；②省内消费导致的本地和其他区域的碳排放引起的碳不公平问题虽然被识别出来，但并没有得到较好地解决，未形成可操作的方案。

2.研究的意义和价值

（1）学术价值。本研究将省际贸易隐含碳排放公平性纳入碳补偿框架，以消费端碳排放补充了传统碳补偿仅测算生产端的局限，基于多区域投入产出模型确定补偿过程的对应关系，进一步完善了碳补偿在公共政策学、福利经济学等管理领域的政策机制。

（2）应用价值。在“双碳”目标背景下，本研究开展的省域碳排放特征和碳补偿制度将作为有效的市场化工具建议，构建考虑省域间贸易往来、能源输纳、经济发展水平、资源禀赋等因素的差异化补偿模式，与传统补偿方案相比更能促进碳排放密集省份的减排能动性，为国家出台下一阶段的省域碳减排协同政策提供依据。

（二）[研究内容] 本课题的研究对象、框架思路、重点难点、主要目标、研究计划及其可行性等。（框架思路要列出研究提纲或目录）

1.研究对象

针对我国 31 个省份，开展碳排放特征差异分析及碳补偿机制研究。本课题拟开展以下研究：

（1）基于消费端、生产端的我国省域碳排放特征及路径分析

通过两个角度分析省际碳排放差异：省内实际发生的能源消耗产生的碳排放（生产端排放核算）、省内消费导致的本地和其他区域的能源消耗产生的碳排放（消费端排放核算）。针对生产端直接碳排放，采用空间计量模型分析省域碳排放的空间异质性。针对消费端间接碳排放，采用多区域投入产出表（MRIO）以及分省份分行业能源消耗清单、碳排放清单数据，核算省域隐含碳排放总量，分析各省之间隐含碳排放转移的时空变化规律和路径，并利用结构分解模型（SDA）分析产生省际差异的原因和驱动力。

（2）基于省际碳排放公平测度的碳补偿对象研究

省级间隐含碳转移过程中存在的碳排放公平问题是本项目关注的重点。针对碳排放和消费、贸易的关系，分析碳排放伴随的 GDP、就业等经济福利指标的转移特征，并结合碳排放转移特征，从省级尺度构建碳排放转移公平指数测度区域贸易中碳排放转移及其伴随的经济福利转移

的流向差异和错位特征,进而探讨发达省份与欠发达省份在区域分工与贸易中(重点关注电力、钢铁等能源密集型产业的产品)存在的碳不公平问题。探讨分析导致上述不公平的内在原因,梳理各方碳排放的责任和关系,由此确定碳补偿的优先序列,明确碳补偿的主体和受体,框定碳补偿范围。

(3) 基于碳公平的碳补偿原则与标准研究

采用“生产和消费共同责任”原则,基于碳公平测度,综合考虑补偿和受偿省份的经济发展阶段、资源禀赋和战略定位,确定省际碳排放补偿原则。进一步依据省际间碳排放公平指数、碳排放隐含净流量、贸易获益等指标,在充分考虑受偿省份的低碳转型投入成本和抑制发展机会成本的基础上,结合价值评价方法,研究建立省际碳补偿标准定量公式,确定不同省份间的差异化补偿和受偿标准。

(4) 省域碳补偿机制整体框架设计

基于上述研究成果,搭建基于碳排放公平视角的省域碳补偿机制整体框架,明确省际间碳补偿利益相关者、补偿标准、补偿路径、补偿程序、激励约束机制、数据监测、资金管理、职责分工、与其他制度关系等关键环节,探索建立补偿范围更加宽泛、补偿方式更加丰富、多元主体参与的切实可行的碳补偿机制,为建立健全中国省域碳补偿制度体系提供技术支撑。

2. 框架思路

(1) 研究思路

针对目前碳补偿研究中缺乏对贸易过程隐含碳排放的考虑而带来的不公平性问题,本项目拟通过构建中国碳排放多区域投入产出模型,核算省域生产端和消费端的碳排放量,分析省际间贸易隐含碳排放转移的空间分异特征和驱动力,进而得出省域碳排放和 GDP 的净转移矩阵并构建省际碳排放公平指数,明确省际碳补偿主受体关系,另一方面,兼顾考虑补偿方和受偿方的资源禀赋、控碳成本、社会经济发展水平等因素确定补受双方一对一的补偿标准,得到隐含碳转移视角下基于公平的省域碳补偿方案。最后,从碳补偿的模式、程序、范围、内容、法理、监管和与其他环境经济政策衔接等方面构建我国省域碳补偿政策体系,为建立健全中国省域碳补偿制度体系提供技术支撑(技术路线见图1)。

(2) 研究方法

本研究使用的多区域投入产出模型、空间计量模型、结构分解分析属于较为先进的定量模拟分析方法,另外,关于碳公平指数的方法构建也存在新的尝试和创新。

1) 嵌套碳排放清单的多区域投入产出模型。多区域投入产出模型可以刻画经济部门间区域间的供应链关系以及跨区域最终产品消费碳排放与经济总产出的关系。

根据多区域投入产出表的行向平衡关系,可以得到:

$$x^d = (I - A)^{-1} y^d \quad (\text{式 1})$$

式中 x^d 代表所有地区去掉出口的消费造成的总产出向量, I 为单位矩阵, A 代表中间投入; y^d 表示最终产品分配; 令 $L = (I - A)^{-1}$, 其元素 l_{ij}^s 表示 s 地区 j 部门为生产 1 单位的最终产品需要直接和间接消耗 r 地区 i 部门产品量。

f_i^r 表示 r 地区 i 部门每单位总产出的碳排放量 (tons/CNY)。令 $D^r = (d_i^r)_{n \times 1}$ 为经济福利系数

(增加值、税收等), $d_i^r = v_i^r / x_i^r$, 其中 v_i^r 表示 r 地区 i 部门增加值, 那么 d_i^r 表示 r 地区 i 部门每单位总产出的增加值或税收。则区域 r 由于其他区域的消费, 如区域 s 所产生的碳排放量 E^{rs} 和增加值 V^{rs} 如下式所示:

$$\begin{cases} E^{rs} = \hat{f}^r \times (I - A)^{-1} \times \hat{y}^{sd} \\ V^{rs} = \hat{d}^r \times (I - A)^{-1} \times \hat{y}^{sd} \end{cases} \quad (\text{式 } 2)$$

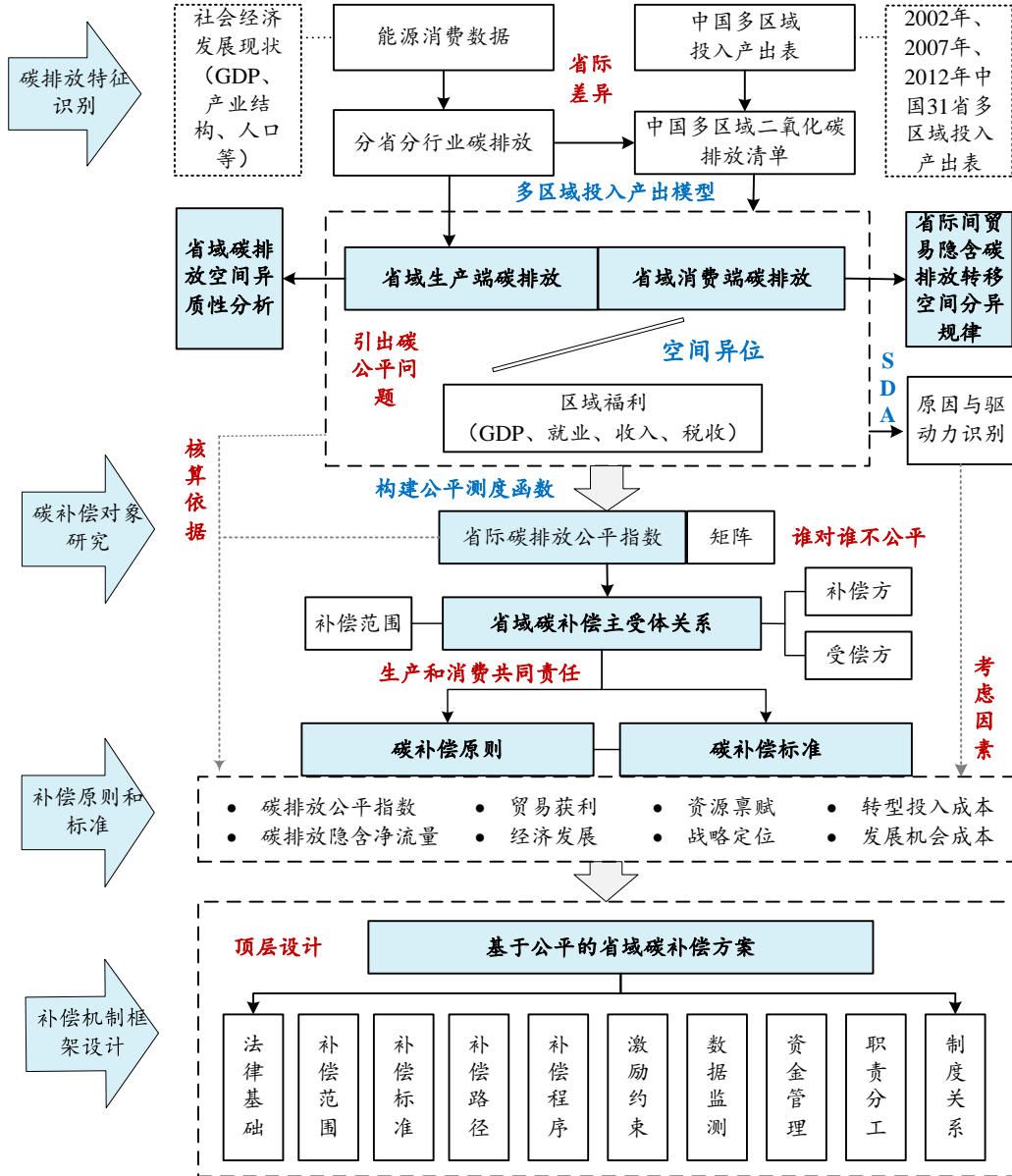


图 1 技术路线图

2) 碳排放结构分解分析。为深化各省碳排放增长路径的认识, 有必要对驱动碳排放增长各个因素从总的效应中分离出来。采用结构分解方法 SDA (Structural Decomposition Analysis)。

$$E = SPLY \quad (\text{式 } 3)$$

式中, E 表示碳排放总量, S 表示不同能源在产品中的投入; P 表示碳排放强度, Y 表示总产出量。

同时, SDA 模型可以对不同时期的投入产出表进行比较研究, 基期与比较期分别用下标 0 和 t 进行表示, Δ 表示 t 期相对于基期的变化, 因此, 公式 3 碳排放量可以分解为

$$\Delta E = \frac{\Delta S P L_t Y_t + \Delta S P_0 L_0 Y_0}{2} + \frac{S_t \Delta P L_t Y_t + S_0 \Delta P L_0 Y_0}{2} + \frac{S_t P_t \Delta L_t Y_t + S_0 P_0 \Delta L_0 Y_0}{2} + \frac{S_t P_t L_t \Delta Y + S_0 P_0 L_0 \Delta Y}{2} \quad (\text{式 4})$$

其中, 右式第一项为能源结构效应, 第二项为强度效应, 第三项为技术进步效应, 第四项为总量效应。

3) 碳公平指数构建方法。由于使用 MRIO 结合生命周期分析 (LCA) 可以获得省市一对一的碳排放矩阵和经济福利矩阵, 因此构建的碳公平指数同样可以获得一对一的公平指数矩阵。

设定元素 \bar{v}^{rs} 和 \bar{e}^{rs} 分别表示 s 地区转移到 r 地区的经济福利 (此处以增加值为例) 净值和碳排放净值, 则

$$q^{rs} = \frac{\bar{e}^{rs}}{\bar{v}^{rs}} \quad (\text{式 5})$$

如果 $\bar{e}_{ij}^{rs} = 0$, 表示 s 地区与 r 地区之间不存在碳排放转移, 那么设定 q^{rs} 为空值; 如果 $\bar{v}^{rs} = 0$ 且 $\bar{e}^{rs} > 0$, 表示 s 地区向 r 地区只转移了碳排放并没有转移增加值, 那么将矩阵中这一类要素归一化为 1~2 之间; 如果 $\bar{v}^{rs} > 0$ 且 $\bar{e}^{rs} > 0$, 表示 s 地区与 r 地区之间既有碳排放转移又有增加值转移, 那么将矩阵中这一类要素归一化为 0~1 之间。

(3) 研究提纲

第 1 章 绪论

- 1.1 研究背景
- 1.2 研究目的和意义
- 1.3 研究对象与内容
- 1.4 技术路线

第 2 章 文献综述

- 2.1 碳排放不公平相关理论及实证研究
- 2.2 碳不公平的解决制度和政策研究
- 2.3 国内外碳补偿机制与方法研究
- 2.4 消费端和生产端排放核算与责任分配

第 3 章 基于碳公平的碳补偿制度设计理论方法体系

- 3.1 环境投入产出理论与多区域投入产出模型构建
- 3.2 碳排放空间异质分析和驱动力分析方法
- 3.3 碳公平测度核算方法
- 3.4 基于碳公平的碳补偿制度设计方法
- 3.5 数据来源与数据处理

第 4 章 基于生产端的中国省域碳排放特征与差异分析

- 4.1 基于生产端的省域碳排放量核算
- 4.2 省域碳直接排放的空间异质性分析
- 4.3 省域碳直接排放的影响因素分析

第5章 基于消费端的中国省际碳排放转移及公平性分析

- 5.1 省际碳排放、经济福利空间转移特征研究
- 5.2 省际碳排放转移的驱动力分析
- 5.3 碳公平测度研究

第6章 基于碳公平的碳补偿原则与标准研究

- 6.1 碳补偿范围及主受体讨论
- 6.2 碳补偿原则讨论
- 6.3 碳补偿模式讨论
- 6.4 碳补偿标准核算方法讨论

第7章 省域碳补偿机制整体框架设计

- 7.1 法律基础
- 7.2 基本原则
- 7.3 补偿程序、
- 7.4 补偿内容（含补偿范围、主体、补偿方式、补偿金标准与资金核算方法）
- 7.5 激励约束机制
- 7.6 资金的使用和监管
- 7.7 与其他制度关系

第8章 结论与政策建议

3.重点难点

（1）省域碳排放的时空特征及路径分析。从生产端和消费端两个角度全面解析，有助于揭示我国近十年碳排在省际间差异产生的原因和驱动力，是研究开展的基础和重点。

（2）碳公平测度及碳补偿优先序列的确定。如何对省际间碳不公平进行定量核算，由此确定碳补偿的优先序列明确省域碳补偿的主体和受体关系，是本研究重点和难点之一。

（3）碳补偿关键环节的系统分析及实施框架的制定。综合考量省际间发展阶段、资源禀赋、战略定位等因素，通过碳补偿政策优化机制最大程度解决碳不公平问题，各补偿关键环节的分析及框架的制定，尤其是构建合适的碳补偿标准是政策优化的重点和难点之一。

4.主要目标

全面系统地识别近十年我国各省直接碳排放和省际间贸易引起的间接碳排放特征和差异。度量省际间存在的碳不公平问题，由此界定区域碳补偿范围及主客体，构建基于碳公平的碳补偿标准核算体系，设计省域碳补偿机制框架，以期为我国“碳达峰、碳中和”目标下的区域协同碳减排提供政策建议。

5.研究计划

年度	研究计划
2022 年	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 完成文献调研、资料收集工作； ➤ 细化研究框架和研究方案，进行分工； ➤ 构建多区域投入产出模型，开展省域碳排放差异分析； ➤ 开展学术交流 2 次。
2023 年	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 构建省际间碳排放公平指数； ➤ 开展基于碳公平的碳补偿原则与标准研究； ➤ 形成 1 篇高质量论文。
2024 年	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 开展省域碳补偿机制整体框架设计； ➤ 向相关部门提交研究专报 1 份；形成 1-2 篇高质量论文； ➤ 进行项目总结，提交项目结题报告。

6.研究可行性

(1) 课题具有迫切的现实需求。识别省域协调发展过程中的碳排放空间转移特征及其带来的省际间碳公平问题，有助于从深层次上协调省域间的利益关系和建立碳排放责任分担机制，对我国建立碳补偿长效机制，科学制定行政主体考核目标具有迫切的现实需求。

(2) 关键技术和数据资料基础。本研究所需使用到的MRIO、SDA模型都属于较为成熟的模型方法。同时，课题组在二氧化碳排放核算方法、排放因子本地化等方面开展了大量基础研究，积累了扎实的理论方法和技术工具。且已掌握2007、2012、2017年中国多区域投入产出表及碳排放清单，收集了社会经济、能源消耗、环境统计等省级尺度数据集，奠定了坚实的技术和数据基础。

(3) 研究团队有经验。申请者和研究团队参与了多项国家部委、自然科学基金委和国际组织等单位 and 部门委托的重要研究项目。参加了自然科学基金委“碳达峰碳中和区域协同路径优化研究”“北方农村散煤治理政策环境公平性评估与优化研究”项目、生态环境部“重点行业/领域国家碳达峰路径研究”项目、国家重点研发计划“大气环境管理的经济手段和行业政策研究”项目等，参与完成这些科研项目，为本课题的顺利实施提供了经验。

(三) [创新之处] 在学术思想、学术观点、研究方法等方面的特色和创新。

1.考虑碳排放转移与经济福利转移的碳补偿对象研究

由于资源禀赋和经济发展不均衡，省际间贸易将产生大量隐含碳排放和经济福利转移。在框定碳补偿范围时，本研究不仅考虑了省际间碳排放差异，还考虑了省际间存在的经济福利差异，来确定碳补偿的优先序列。

2.基于碳公平提出碳补偿原则和标准核算方法

目前碳补偿多从“碳预算”、“碳赤字”视角确定各区域的补偿和受偿额，忽略了省际间发展阶段、资源禀赋、战略定位的差别问题，本研究则关注在省际贸易引起的碳不公平，基于碳

公平提出碳补偿原则，兼顾补偿和受偿省份的降碳成本、资源禀赋和贸易获益等因素确定差异化补偿标准，使补偿方案更具合理性。

(四) [预期成果] 成果形式、使用去向及预期社会效益等。(略写)

1.成果形式

- (1) **决策参考**：形成省域碳补偿机制实施方案（建议稿）。
- (2) **研究报告**：《我国省域碳排放差异及碳补偿机制研究》1份研究报告。
- (3) **学术论文**：发表高水平学术论文2-4篇。

2.使用去向

- (1) 学术论文被CSSCI、SSCI、EI或SCI等数据库索引。
- (2) 以政策建议、内参等形式向国家生态环境部提供政策分析报告。

3.预期社会效益

- (1) 丰富区域碳不公平与碳补偿理论研究体系，拓展区域碳公平政策研究的新视角。
- (2) 为制定激励地方政府碳减排经济政策提供理论支撑。

五、[研究基础] 课题负责人前期相关代表性研究成果、核心观点等。(略写)

1. 重点行业/领域碳达峰成本测算及社会经济影响评估. 核心期刊论文. 第1作者. ①工业是碳减排经济性最高的领域，交通领域实现碳减排需要付出较大的投资成本，碳达峰投资将有效促进产业绿色低碳转型。②相关成果得到生态环境部的肯定性批示。

2. 碳达峰碳中和目标约束下重点行业的煤炭消费总量控制路线图研究. 研究报告. 第2作者. ①考虑“双碳”约束，电力、钢铁、水泥和煤化工四大重点耗煤行业煤炭消费总体将于2025年达峰，需要从能源结构调整、产业结构优化、节能技术改造和资源循环利用四类措施入手。②报告发布于公开网页供公众下载，得到众多关注和咨询，报告发布会同时得到了学习强国、新华社等媒体的报道。

3. A Study on the Contribution of Industrial Restructuring to Reduction of Carbon Emissions in China during the Five Five-Year-Plan Periods. SCI论文. 第1作者. ①三大产业结构调整的碳减排贡献大于工业内部结构调整的碳减排贡献。②已被引用57次。

4. Cost-benefit analysis of China's Action Plan for Air Pollution Prevention and Control, 中国国际影响力优秀学术期刊. 第1作者. ①《大气十条》环境经济效益显著，具有外部经济性和可行性，由于空气质量改善带来的公众健康效益是成本的1.5倍。②为推进中国环境政策费用效益分析长效机制提供了实践意义。

5. 排污许可管理政策与支撑技术研究. 专著. 第2作者. ①从“法规-制度-技术-平台-监管”全面系统设计了我国排污许可证顶层方案和后小康时期实施路线图。②支撑了《排污许可管理办法（试行）》的出台。

六、[参考文献] 开展本课题研究的主要中外参考文献。(略写)

- [1] 陈晖, 温婧, 庞军等. 基于 31 省 MRIO 模型的中国省际碳转移及碳公平研究[J]. 中国环境科学, 2020, 40(12): 5540-5550.
- [2] 陈儒, 姜志德. 中国省域低碳农业横向空间生态补偿研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(4): 87-97.
- [3] 万伦来, 林春鑫, 陈艺. 基于相对碳赤字的中国省际碳补偿时空格局研究[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12): 2572-2583.
- [4] 王璟珉, 窦晓铭, 季芮虹. 碳排放权交易机制对全球气候治理有效性研究——低碳经济学术前沿进展[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2019, (2): 174-184.
- [5] 王文举, 陈真玲. 中国省级区域初始碳配额分配方案研究——基于责任与目标、公平与效率的视角[J]. 管理世界, 2019, 35(3): 81-98.
- [6] 魏琦, 宋亚楠. 碳补偿机制下企业生产减排决策研究[J]. 软科学, 2018, 32(2): 88-92.
- [7] 杨超, 吴立军, 李江风等. 公平视角下中国地区碳排放权分配研究[J]. 资源科学, 2019, 41(10): 1801-1813.
- [8] 张巍. 区域碳补偿标准及额度研究[J]. 统计与决策, 2019, 35(24): 55-58.
- [9] 赵荣钦, 刘英, 李宇翔等. 区域碳补偿研究综述:机制、模式及政策建议[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(5): 116-120.
- [10] Fyson C L, Baur S, Gidden M, et al. Fair-share carbon dioxide removal increases major emitter responsibility[J]. Nature Climate Change, 2020, 10(9): 836-841.
- [11] Khan Z, Ali M, Liu J Y, et al. Consumption-based carbon emissions and trade nexus: Evidence from nine oil exporting countries[J]. Energy Economics, 2020, 89: 104806.
- [12] Kong Y C, Zhao T, Yuan R, et al. Allocation of carbon emission quotas in Chinese provinces based on equality and efficiency principles[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 211: 222-232.
- [13] Yang G C, Shang P P, He L C, et al. Interregional carbon compensation cost forecast and priority index calculation based on the theoretical carbon deficit: China as a case[J]. Science of the Total Environment, 2019, 654: 786-800.

说明: 1. 活页文字表述中不得直接或间接透露个人信息或相关背景资料, 否则取消参评资格。

2. 课题名称要与《申请书》一致, 一般不加副标题。前期相关代表性研究成果限报 5 项, 只填成果名称、成果形式(如论文、专著、研究报告等)、作者排序、是否核心期刊等, **不得填写作者姓名、单位、刊物或出版社名称、发表时间或刊期等**。申请人承担的已结项或在研项目、与本课题无关的成果等不能作为前期成果填写。申请人的前期成果不列入参考文献。