

DOI: 10.5846/stxb201811122444

方恺, 李帅, 叶瑞克, 张琦峰, 龙吟. 全球气候治理新进展——区域碳排放权分配研究综述. 生态学报, 2020, 40(1): 10-23.

Fang K, Li S, Ye R K, Zhang Q F, Long Y. New progress in global climate governance: A review on the allocation of regional carbon emission allowance. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 10-23.

全球气候治理新进展 ——区域碳排放权分配研究综述

方 恺^{1,2}, 李 帅¹, 叶瑞克^{3,*}, 张琦峰¹, 龙 吟⁴

1 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058

2 浙江大学民生保障与公共治理研究中心, 杭州 310058

3 浙江工业大学浙江工业大学经济学院, 杭州 310023

4 东京大学新领域创成科学研究科, 柏市 2770871

摘要:碳排放权作为稀缺的公共资源,其实质是一种新型发展权。科学合理分配有限的碳排放权对实现《巴黎协定》温控目标至关重要。从原则、方法、尺度与方案等维度对碳排放权分配的文献成果进行了系统梳理与归纳。研究表明,国内外学者大多基于公平性和效率性原则探索碳排放权分配;分配方法分为指标法、博弈论法、数据包络分析法和综合法等,各有利弊和适用条件;分配尺度大多涉及国际和区际两个层面,前者由于各国不同的利益诉求较难形成共识性方案,后者主要关注省际分配,更小尺度的研究相对较少。未来碳排放权分配研究趋向于多原则兼顾、多方法联用,涵盖国际、省际、市际及行业、企业等不同尺度。本研究可为制定科学合理的碳排放权分配方案提供理论依据,为我国更为积极有效地参与全球气候治理提供决策参考。

关键词:碳排放权;分配;原则;方法;尺度;方案

New progress in global climate governance: A review on the allocation of regional carbon emission allowance

FANG Kai^{1,2}, LI Shuai¹, YE Ruike^{3,*}, ZHANG Qifeng¹, LONG Yin⁴

1 School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 Center of Social Welfare and Governance, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

3 School of Economics, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China

4 Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Kashiwa 2770871, Japan

Abstract: The allocation of carbon emission allowance (CEA) that serves as a new form of development right owing to its scarcity and publicity has been playing a prominent role in achieving the target of global temperature control proposed by the Paris Agreement. This paper provides a comprehensive review on the principles, methods, scales, and schemes of CEA allocation. Our study showed that the research on CEA allocation was dominated by the equity and efficiency principles, whereas emerging principles such as feasibility and sustainability have been increasingly adopted. CEA allocation can be fulfilled through the composite indicators method, the game theory method, the data envelopment analysis, and the hybrid method. However, all these methods are subject to specific applicability with their own pros and cons. Furthermore, the international and interregional allocation has been the main focus of the CEA studies. The former makes it difficult to form a consensus-based scheme because of the different interests of countries, while the latter is primarily narrowed down to

基金项目:国家自然科学基金项目(71704157);浙江省杰出青年科学基金项目(LR19G030001);国家社会科学基金(17BGL166);浙江省高校重大人文社科项目攻关计划规划重点项目(2016GH005);浙江省哲学社会科学规划课题(16YSXK13ZD-1YB,19ZJQN02YB)

收稿日期:2018-11-12; **网络出版日期:**2019-10-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rik_law@zjut.edu.cn

province-wide allocation. Future research into CEA allocation is expected to comply with multi-principle and multi-method combination, spanning a wide spectrum of scales ranging from the international, interprovincial, interurban to sectoral and corporate levels. This review makes great sense by providing a theoretical basis for better understanding the state of the art in CEA allocation and undertaking scientific and feasible allocation of CEA at multiple scales. It can also serve as a reference for the target decomposition of various pollutant reduction.

Key Words: carbon emission allowance (CEA); allocation; principle; method; scale; scheme

全球变暖已成为当前人类生存面临的严峻挑战。世界气象组织报告指出,2017 年全球平均气温较工业革命前升高 1.1 °C;政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告指出,1901—2010 年间,全球海平面上升了 0.19 m,且上升速度不断加快^[1];若升温幅度超过 2 °C,将会对全球环境和人类社会造成灾难性后果^[2]。为积极应对气候变化,2015 年 12 月,《联合国气候变化框架公约》第 21 次缔约方会议在法国巴黎举行,会议通过了具有里程碑式意义的《巴黎协定》,提出到本世纪末将全球平均温升控制在 2 °C 以内,并为控制在 1.5 °C 以内而努力,且在本世纪中叶实现全球温室气体净零排放的目标(以下简称“2 °C 目标”)^[3]。实现该目标需要各国切实控制温室气体排放水平^[4],研究表明,若将累积碳排放量控制在 3.7 万亿 t,则有 2/3 的概率实现“2 °C 目标”;若放宽到 5.7 万亿 t,则仅有 1/3 的实现概率^[1]。

碳排放权是指排放主体为了生存和发展的需要,由自然或者法律所赋予的向大气排放温室气体的权利,是气候资源使用权,更是一种新型的发展权^[5]。如果说碳排放核算重在厘清历史责任,那么碳排放权分配则是对未来发展空间进行划分,拥有更多排放权的国家或地区理论上将获得更大的发展空间。从这个意义上说,全球碳减排问题便可归结为“如何分配各国的碳排放权”^[6]。

由于具有重要的科学和现实意义,碳排放权分配问题备受学界关注。在 IPCC 成立之初,西方学者们主要关注国际尺度的碳排放权分配,如 Benestad^[7] 提出按一国的能源消费量分担减排义务;Kverndokk^[8] 主张按各国人口规模进行碳排放权分配。1997 年《京都议定书》的签订成为各国寻求具有广泛共识的全球分配碳排放权方案的标志性事件。然而,发展中国家尚处于快速工业化阶段,对能源等资源的刚性依赖有增无减,发达国家高碳的生活方式亦难迅速转变,双方都有大量碳排放需求,加之各国在减排责任、能力、潜力和意愿等方面千差万别,导致《京都议定书》的实施进展缓慢,且此后历届气候大会也未产生具有广泛共识的分配方案。尽管如此,“紧缩与趋同”^[9]、Sørensen^[10]、国别排放账户^[6]和“两个趋同”^[11]等一些聚焦“后京都时代”的分配方案仍颇具价值和影响。与《京都议定书》不同,《巴黎协定》号召各国以国家自主贡献(INDCs)的方式自行制定减排目标。一方面表明减少温室气体排放已成国际共识,多数国家皆有强烈的减排意愿^[12],另一方面,这一自下而上的过程也巧妙规避了碳排放权在国家间横向分配的问题。在这样的背景下,国家以下区域的碳排放权分配问题逐渐成为研究重点^[13]。

综上所述,近年来碳排放权分配实证研究层出不穷,但却鲜有学者进行系统归纳与总结。据笔者所知,中文文献在这方面几乎空白,英文文献目前仅有 Zhou 等^[14]对分配原则和方法做过较为系统的梳理,但分配尺度与方案所涉不多,且未对碳排放核算与碳排放权核算、碳排放权分配与碳交易配额分配等核心概念进行辨析,也未涵盖国内相关研究进展。鉴于此,本研究从相关概念界定出发,围绕原则、方法、尺度与方案 3 个维度(图 1),深入分析现有研究成果,系统总结该领域研究现状及发展趋势,以期制定更为科学合理的分配方案提供理论依据,同时也为我国更加积极有效地参与全球气候治理提供决策参考。

为准确理解碳排放权分配的内涵,首先需要明确对“碳排放核算”与“碳排放权核算”“碳交易配额分配”与“碳排放权分配”两对基本概念进行辨析。①碳排放核算是指对全球、国家、区域、行业、家庭、企业、个人或产品的碳排放量进行测度^[15],旨在明确活动主体的排放水平^[16-17]。碳排放权核算则是指在确定减排目标后,计算未来一段时期内区域、行业或企业的碳排放总配额^[13,18]。②碳交易配额分配是指(政府)将碳排放权定量

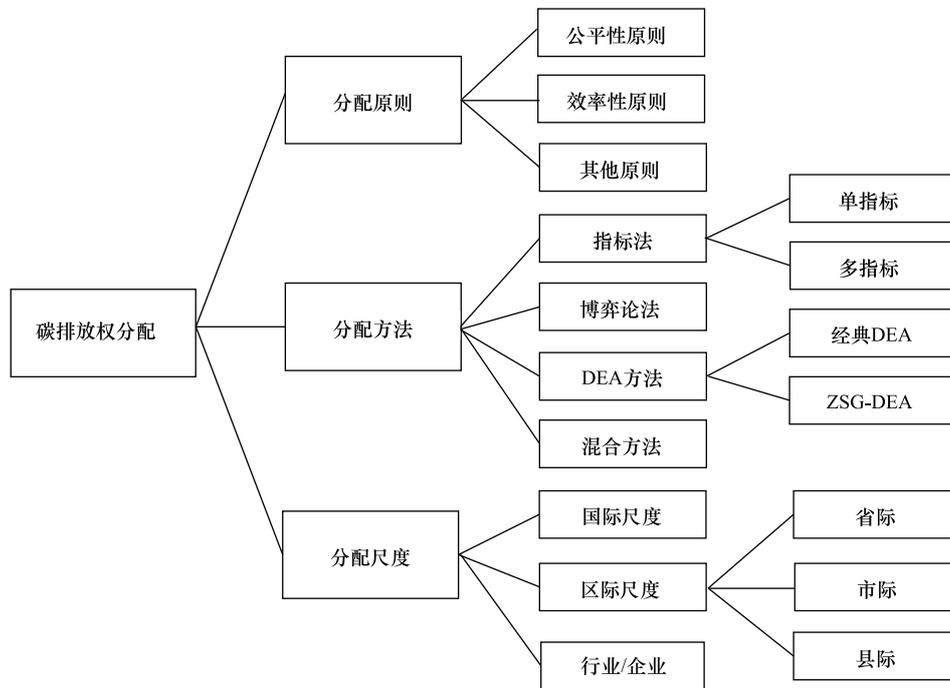


图1 碳排放权分配研究的文献分析框架

Fig.1 A framework for analyzing literature on carbon emission allowance allocation

DEA 为数据包络分析;ZSG-DEA 为零和收益数据包络分析

分配给排放主体(多指行业、企业),排放者可在制度框架内进行市场交易^[19-20],其实是减排成本的分担^[21]。碳排放权分配则是指基于碳排放配额总量或减排目标,确定不同区域的碳排放配额^[22-24],相比之下更具宏观性与整体性(图2)。本文主要关注碳排放权在不同尺度区域间的分配,较少涉及行业或企业间的碳排放配额分配。

2 碳排放权分配的主要原则

碳排放权分配总是会遵循一定的原则,这些原则决定了分配的基本思路。由于立场和关注点不同,学者们提出的方案各有千秋,但通过对相关原则进行归纳,仍可一窥该领域的研究脉络。

2.1 公平性原则

公平是现代社会追求的核心目标之一,一个公正合理的分配方案有助于全球碳减排责任体系的构建和减排目标的实现,因而公平性原则及其指标表征体系一开始便成为研究重点。发达国家人均历史累积碳排放量远大于发展中国家,反映出全球历史碳排放不平等的事实^[25]。因此,学者们针对碳排放权分配的公平性问题进行了大量研究,提出了人均排放趋同、人均累积排放趋同等分配方案^[26]。对公平性内涵的理解大致可分为基于“过程”的公平和基于“结果”的公平^[27-28](表1)。

2.2 效率性原则

虽然公平性原则极为重要,但在单一原则下可能出现极端的分配结果,挫伤某些区域持续减排的积极性^[29]。例如,若过分强调公平性原则,则欠发达地区将会获得更多排放权,这可能在一定程度上变相鼓励其

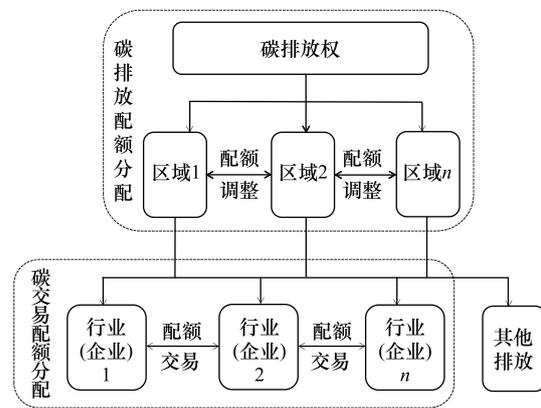


图2 碳排放权分配与碳交易配额分配比较

Fig.2 Comparison of carbon emission allowance allocation and carbon trading quota allocation

粗放型的生产方式,导致全球碳排放量上升。因此,其他原则逐渐进入研究视野^[30],其中,效率性原则得到了广泛的应用。该原则追求分配的最佳投入产出比,即最有效地使用碳排放权满足人类社会发展需求。遵循效率性原则会使总收益最大化,但可能会加剧碳排放的不平等性^[25],因此大多数分配方案都力求兼顾公平性和效率性,在提升减碳效率的同时减少区域间差异^[31]。

表 1 碳排放权分配的主要原则

Table 1 Main principles for the allocation of carbon emission allowance

| 原则 Principle | 内涵 Meaning | | |
|--|--|---|--------------------------------|
| 公平性原则 The equity principle | 基于碳排放权分配"过程"的公平 | 主权原则 | 所有主权国家都有平等排放温室气体和不被污染的权利 |
| | | 祖父原则 | 按照当前排放格局进行分配 |
| | | 产值原则 | 按所在区域国内生产总值(GDP)占总 GDP 的比重进行分配 |
| | | 人均平等 | 每个人都享有平等的排放权 |
| | | 污染者付费 | 历史碳排放量越多,减排责任越大 |
| | 基于碳排放权分配"结果"的公平 | 支付能力 | 经济实力越强,减排责任越大 |
| | | 趋同原则 | 不同国家的人均碳排放量在某一时间点趋同 |
| | | 协商一致 | 只要分配方案获得多数赞同就是公平的 |
| | | 市场正义 | 用市场的调节机制自动实现资源配置最优 |
| | | 罗尔斯最大最小原则 | 为最不发达国家提供较多排放权以实现净收益最大化 |
| 效率性原则 The efficiency principle | 补偿准则 | 补偿分配中受到净损失的国家 | |
| | 水平公平 | 要求分配后各国净福利变化占 GDP 的比例相等 | |
| | 垂直公平 | 人均 GDP 高的国家从分配中获得的收益低,反之则高,最终使各国的福利水平趋于一致 | |
| 可行性原则 The feasibility principle | 将排放权作为一种稀缺资源,使有限投入尽可能产生最大产出 | | |
| | 要考虑经济社会发展状况,包括经济水平、产业结构、能源结构等因素,减排成本要在可承受范围内 | | |
| 可持续性原则 The sustainability principle | 要考虑减排主体的经济、社会和环境状况能否承受减排的代价,实现可持续发展 | | |

2.3 其他原则

虽然公平性和效率性已成为最为常见的分配原则,但是碳排放权牵涉各方利益,为了增强分配的科学性、合理性、可行性和可接受度,一些学者尝试引入其他原则。例如,方恺等^[13]以公平性、效率性、可行性和可持续性为原则对中国省际间的碳排放权进行了分配;朱潜挺等^[29]提出了赋予多重原则不同权重的分配方案;王金南等^[32]采用公平性、效率性和可行性原则制定出中国碳排放权省级分解方案。

3 碳排放权分配的主要方法

分配方法是碳排放权分配研究中最为核心的内容,当前主要包括指标法、博弈论法、数据包络分析(DEA)法和综合法(表 2)。

3.1 指标法

指标法的应用最为广泛。按指标数量可分为单指标法和多指标法,所选指标通常包括人口、GDP、碳排放量、能源消费量等。

表 2 碳排放权主要分配方法比较

Table 2 Comparison of main methods for the allocation of carbon emission allowance

| 方法 Method | 原理 Theory | 优势 Advantages | 局限 Limitations |
|---|---|---------------------|-----------------------------|
| 指标法 The indicator method | 单指标法 | 选取某一指标进行定量分配 | 易于理解与操作,结果直观 |
| | 多指标法 | 选取两个或两个以上指标进行定量分配 | 兼顾碳排放权分配的多重因素,运用广泛 |
| 博弈论法 The game theory method | 根据各排放主体对整体的贡献确定分配权重 | 考虑各主体的贡献与需求差异 | 操作较为复杂,透明度和可行性有待商榷 |
| DEA 法 The data envelopment analysis (DEA) method | 根据不同排放主体之间的投入与产出要素估算相对效率,据此进行投入(或产出)要素的调整 | 分配结果能够实现整体分配效率最高 | 过于注重分配效率最大化,可能导致结果缺乏公平性与合理性 |
| 综合法 The hybrid method | 多种方法或模型联用进行分配 | 能够集合多种方法的优势,较为全面和系统 | 过程复杂,操作难度大,不确定性较高 |

3.1.1 单指标法

(1) 人口指标。在公平性原则特别是人均排放趋同理念的影响下,人口指标得到了广泛应用。Agarwal 等^[33]强调了人均平等的重要性;Janssen 等^[34]将人口规模列为分配的重要考量因素;Chakravarty 等^[35]认为“共同但有区别”的责任是指每个人在碳排放配额上都应享受同等待遇;丁仲礼等^[18]指出“人均累积排放量”最能体现各国的历史减排责任;Pan 等^[36]制定了基于人均累积排放的分配方案;Wei 等^[37]根据人均累积排放量建立了 137 个国家和地区的碳排放账户并量化了其碳减排责任。

(2) 经济指标。经济指标反映了一国的经济发展水平,为了避免减排责任超出相关国家经济承受能力,碳排放权分配需要综合考虑各国的经济总量、人均收入等经济社会发展状况。Winkler 等^[38]认为基于发展中国家的排放需求,碳排放权分配应基于人均 GDP 指标;Cantore^[39]提出了一个发展权分析框架,以强化高收入群体的减排责任。

单指标法易于理解和操作,但不足之处在于只能反映分配过程的某一面向,缺乏综合性和系统性,容易出现极端的分配结果。例如,仅选取人口指标虽能体现绝对意义上的人均公平,却未能考虑减排能力、潜力和效率等因素,很难为发达国家或地区所接受。

3.1.2 多指标法

多指标法即选取多项指标进行分配。欧盟的“三部门法”将能源排放源划分为电力行业、能源密集型行业和其他行业三部分,分别表征能源结构、能源利用效率和生活福利^[40];Han 等^[41]选取历史累积排放量、人均 GDP 和单位工业增加值排放量 3 项指标,对 2020 年中国京津冀三省区碳排放权进行分配;王勇等^[42]选取人口、GDP、第三产业比重等 5 项指标预测了 2020 年和 2030 年中国各省区的碳排放权。

指标赋权是多指标法运用的关键之一。方恺等^[13]综合运用相关分析、因子分析和回归分析等方法确定各省区的碳排放配额分配权重,一定程度上避免了人为赋权的主观性和随意性;Feng 等^[43]提出了基于聚类分析和加权投票模型的新型双层分配方案,赋予减排压力、能力、责任和潜力 4 项要素不同权重;Qin 等^[44]基于公平性和效率性原则,采用能力、责任和潜力 3 项指标加权评估中国东部沿海地区碳排放权分配的合理性。

相比于单指标法,多指标法考虑的因素更为全面,也更易为不同利益方所接受,因而受到各国学者和决策者的青睐,成为当前最为常用的碳排放权分配方法之一。

3.2 博弈论法

从博弈论的角度看,碳排放权分配实质上是各利益主体博弈的过程,结果则是其均衡解。Shapley 值法是颇具代表性的一种被运用于碳排放权分配研究的博弈论方法。Yang 等^[45]通过估算边际碳减排成本,建立了两阶段 Shapley 信息熵模型,对中国的碳排放权进行了省域尺度的分解;Zhang 等^[46]借助 Shapley 值法发现,

减排效率较高和辐射强迫效应较强的区域应获得更多的碳排放权;Li 等^[47]采用 Shapley 值法探讨了京津冀协同减排的成本分担配机制。除 Shapley 值法外,有学者尝试了其他博弈论方法,如段海燕等^[48]在综合考虑区域差异和行业差异的基础上,基于纳什谈判模型建立政府横向公平对比谈判机制,对吉林省各市 2020 年的排放总量进行分配。

博弈论法充分考虑到各利益主体的需求与贡献,但实际操作较为复杂,其透明度和可行性有待商榷,因而并未成为主流分配方法。

3.3 DEA 法

DEA 法假设系统内有多个独立的决策单元(zero sum gains, DMUs),即任意 DMUs 的投入或产出决策均不会影响其他 DMUs 的投入或产出决策。该方法通过比较不同 DMUs 之间的投入与产出要素,核算其相对效率及其投入(或产出)的调整潜力。应用于碳排放权分配领域时,DEA 法将区域碳排放权作为投入(或产出),从而估算出不同 DMUs 的碳排放相对效率^[49]。Kong 等^[50]在公平性和效率性原则的基础上引入 DEA 模型分析中国 2030 年省际碳排放权分配,研究表明,承担大量减排义务的省区需要进一步提高碳排放效率。

经典 DEA 模型假设各决策单元之间相互独立,与实际情况存在较大出入。相比之下,零和收益数据包络分析(zero sum gains-data envelopment analysis, ZSG-DEA)方法在经典 DEA 法的基础上增加了总量约束条件,即竞争环境下一方投入(或产出)要素的增加(减少)势必导致其他 DMUs 投入(或产出)要素的减少(或增加),因而更适用于区域碳排放权分配研究。例如,Fang 等^[51]在充分考虑各省份经济、社会、环境要素差异的基础上,以历史累积排放为投入变量,“原则-维度”指标矩阵为产出变量,基于 ZSG-DEA 法对 2016—2030 年中国省际碳排放权进行分配;An 等^[52]选择固定资产投资总额和电力消费作为投入变量,GDP 和碳排放作为产出变量,基于 ZSG-DEA 模型对 2012 年中国各省区的碳排放权进行分配;Miao 等^[53]以资本存量,人口和能源消费量作为投入变量,GDP 和碳排放作为产出变量,基于 ZSG-DEA 模型对中国 30 省 2006—2010 年的碳排放权进行分配。还有一些学者基于不同的投入和产出指标,对中国不同行业的碳排放权进行了分配。Ma 等^[54]基于 ZSG-DEA 模型,以装机容量和碳排放配额为投入变量,发电量为产出变量,对 2020 年中国 5 大电力企业的碳排放权进行了分配;Zhang 等^[55]基于 ZSG-DEA 模型,以碳排放配额为投入变量,工业产出和能源消费量为产出变量,对 2020 年中国工业 39 部门碳排放权进行分配。

在基于 DEA 法的分配方案中,低碳生产技术更为成熟的发达地区往往拥有更多的碳排放权,这是因为 DEA 法本质上属于线性规划手段,注重系统整体效率最优。但由于较少体现公平性原则,导致许多分配结果的公平性与合理性相对较弱,难以形成广泛共识。这也反映出碳排放权分配并不纯粹是科学领域的问题,而是涉及多方利益,需要学者、决策者和公众共同参与。

3.4 综合法

在实际研究中,一些学者通过多种方法或模型的联用进行碳排放权分配。例如,Yu 等^[56]提出了一种基于粒子群优化算法、模糊 C 均值聚类算法和 Shapley 值分解法的综合分配方法,根据经济发展水平、能源禀赋和排放强度等因素来分配碳排放权;Zhao 等^[57]提出了一种基于投入产出和熵值法的综合分配方法,在碳强度目标约束下分配了中国 41 个行业或部门的碳排放权;Ye 等^[58]构建了基于累积碳排放基尼系数和蒙特卡洛模拟的不确定性分析框架,对于基于祖父原则和基准原则的省际碳排放权分配结果进行比较,发现基准原则下各省区的减排负担更为均匀。

综合法克服了单一方法的局限性,更具包容性和全面性,但其分配过程往往过于复杂,每个环节的不确定性存在累积风险,因此可行性和可信度有待提升。

4 碳排放权分配的尺度与方案

除了采用不同的原则与方法,碳排放权分配方案还具有显著的尺度依赖特征。分配尺度大致分为国际尺度和区际尺度,而当前区际尺度的研究主要集中在省际层面。

4.1 国际尺度碳排放权分配方案

国家是国际气候谈判的基本单位和碳排放权分配的关键层级,国际尺度的碳排放权分配是其他尺度分配的基础。表 3 列举了当前一些具有较大影响的国际尺度碳排放权分配方案。

表 3 国际尺度若干碳排放权分配典型方案

Table 3 Typical schemes for the international allocation of carbon emission allowance

| 分配方案 Allocation scheme | 提出者 Contributors | 主要内容 Main contents |
|--|------------------------|---|
| 国别排放账户方案 ^[6] Scheme of national emissions accounting | 中国国务院发展研究中心课题组 | 以气候安全允许的排放量为全球碳排放总预算并按人均累积排放平等原则进行分配 |
| “紧缩与趋同”方案 ^[9] Scheme of contraction and convergence | 英国全球公共资源研究所 | 全球碳排放总量下降,且在未来某个时间点发展中国家和发达国家人均排放量一致 |
| Sørensen 方案 ^[10] Scheme of Sørensen | Sørensen | 根据人均未来趋同原则,到 2100 年左右各国的人均碳排放量相等 |
| “两个趋同”方案 ^[11] Scheme of two-convergence | 陈文颖等 | 未来某一时间点的人均碳排放量以及人均累积碳排放量趋同 |
| 温室气体发展权方案 ^[39] Scheme of greenhouse gas development rights | Cantore | 考虑不同国家的人均收入水平和所处的经济社会发展阶段 |
| 逐渐参与方案 ^[59] Scheme of gradual participation | 荷兰国家公众健康与环境研究所 | 发展中国家人均碳排放或人均收入超过一定水平后再承担减排责任 |
| 多部门趋同方案 ^[60] Scheme of multi-sector convergence | 荷兰能源研究中心和挪威国际气候与环境研究中心 | 确定全球 7 个部门人均排放标准,制定各国减排目标,要求不同国家各部门的人均排放量在目标年趋同 |
| 碳预算方案 ^[61] Scheme of carbon budget | 潘家华 | 考虑历史责任,强调碳排放权的分配应优先满足人的基本排放需求 |
| 巴西方案 ^[62] Scheme of Brazil | 巴西政府 | 根据各国对全球气候变化的历史责任进行碳排放权分配 |
| OECD 方案 ^[63] Scheme of OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) | OECD | 设置 2030 和 2050 年两个目标年,依据人均排放趋同原则,对 OECD 国家、金砖四国和其他国家进行排放权分配 |

OECD:经济合作和发展组织

4.1.1 人均排放趋同方案

人均排放趋同方案主要由发达国家倡导,强调基于碳排放现状进行责任共担,要求发达国家和发展中国家的人均排放量在某一时限内达到一致(图 3 左)。Sørensen^[10]以 2000 年为基准年,将全球划分为 13 个排放主体并对 2000—2100 年的碳排放权进行了分配;Gignac 等^[31]基于紧缩与趋同理念和“2 °C 目标”,以 1990 年为基准年,计算了各国 2035 年和 2050 年的碳排放权。何建坤等^[64]研究发现,发达国家即使减排 80%,其 2005—2050 年间的累积排放量仍将高达 3800 亿 t,人均累积排放量约为 266 t,而发展中国家这两项指标仅为 6760 亿 t 和 107 t,若考虑历史累积排放则差距更大。显然,人均排放趋同方案默认了历史、现实以及未来“趋同”过程中的不平等,难以为发展中国家所接受,因而出现了一些变通方案。例如,Den Elzen 等^[59]提出“逐渐参与方案”,即发展中国家在人均碳排放量或人均收入超过一定水平后再承担减排责任;Caney^[65]提出通过建立历史碳账户的方式分配减排责任。

4.1.2 人均累积排放趋同方案

人均累积排放趋同方案主要由发展中国家倡导,强调历史责任^[66]。陈文颖等^[11]提出了“两个趋同”方案,即到 2100 年时各国人均碳排放量相等和 1990—2100 年间人均累积碳排放量相等,在此期间发展中国家人均碳排放量可以超越发达国家(图 3 右);丁仲礼等^[18,66]批评了 IPCC 等 7 个全球碳减排方案忽略并试图扩大历史碳排放的不平等,主张人均累积碳排放量最能体现“共同但有区别”的历史责任^[18];中国国务院发展研究中心提出国家碳排放权账户方案^[6],即首先建立各国碳排放权账户,计算实际历史累积排放与应有历史累积排放之间的关系,然后按照人均累积排放趋同原则分配新增排放额度;樊纲等^[67]建议以 1850 年以来人

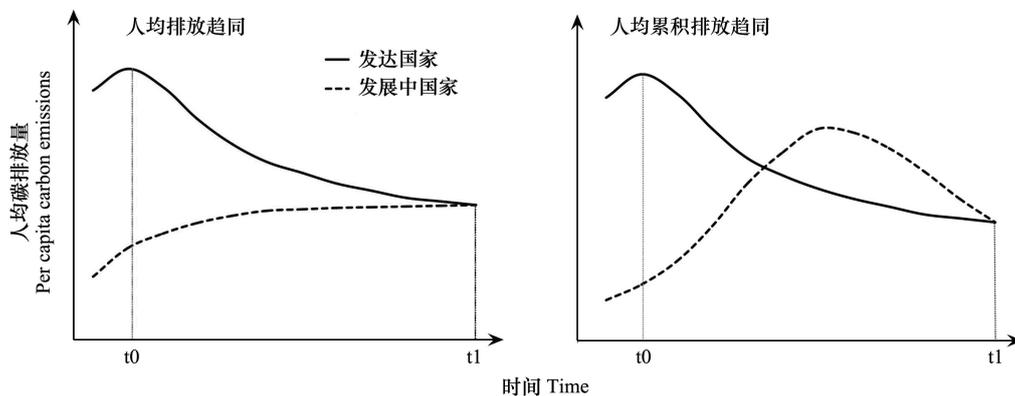
图3 人均排放趋同和人均累积排放趋同示意图^[9]

Fig.3 The convergence of per capita emissions and per capita cumulative emissions

均累积排放量作为衡量指标进行碳排放权分配。总的来看,各种分配方案都带有明显的倾向性(图4),为了争取更多的碳排放权,各国都会选取最有利于自身的分配方案,因而很难达成共识。此外,基准年的确定会显著影响分配结果,基准年份设定得越早越能体现历史责任^[68],但数据可得性也就越低。

4.2 区际尺度碳排放权分配方案

巴黎气候大会前后各国都提出了各自的 INDCs(表4)。如何将一国的碳排放权科学合理地分配到不同区域(如省、市等),对各国乃至全球减排目标的实现至关重要。根据分配对象的不同,现有区际尺度的碳排放权分配方案大致分为三类:一是绝对减排量的区域分解,二是碳排放强度下降目标的区域分解,三是碳排放强度约束下总量增量的区域分解^[69]。

4.2.1 绝对减排量的区际分解

绝对减排量的区际分解是指将碳减排区域的责任量化为明确的减排额度,其优势在于减排额度固定且明确,易于操作与追踪。表3中大部分发达国家的 INDCs 均遵循绝对减排的思路。然而,该方式无法给予落后地区一定的发展空间,对于排放需求强烈的发展中国家而言,若以经济社会发展水平较低时的排放量为基准,可用排放权根本无法满足快速工业化与城市化的需求,无异于自断发展之路,因而在区际尺度分配中应用有限。

4.2.2 碳排放强度下降目标的区际分解

碳排放强度下降目标的区际分解是指对减排区域的碳强度目标或其下降值做出直接规定。例如, Yi 等^[70]选取表征减排能力、责任和潜力的3项指标将中国2020年碳强度下降目标分解到各省区;Zhang 等^[71]按照公平和效率相结合的原则,运用优劣解距离法对中国2020年的碳强度下降目标进行省际分配。该方式由于需要在碳排放强度与总量间进行换算,且GDP增速存在区际差异,导致部分区域碳排放总量持续大幅上升,难以实现对增量和增速的双重控制。

4.2.3 碳排放强度约束下总量增量的区际分解

鉴于前两类方案的不足,一些学者采用碳排放强度约束下的总量增量分解方式进行碳排放权分配研究。与绝对量减排不同,该方式注重对碳排放增速和增量的双重控制。例如,Jiang 等^[72]根据我国2020年碳排放

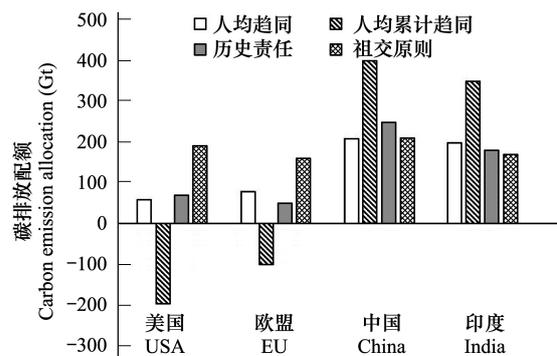


图4 基于不同原则下的2001—2050年主要经济体碳排放权分配方案

Fig.4 Different schemes for the allocation of carbon emission allowance of different economies in 2001—2050

数据来源于文献^[14]

强度下降目标,构建了省区公平与效率权衡模型,据此对 2020 年中国的碳排放权进行了分配;于潇等^[73]根据碳排放总量控制目标,预测了 2020 年中国省际碳排放权的分配情景;Zhou 等^[74]构建了碳排放配额分配指标体系,依据碳排放强度下降目标核算 2020 年的全国碳排放总量,对不同情景和方案下各省区的碳排放权进行了模拟。

表 4 部分经济体提出的国家自主贡献

Table 4 Intended Nationally Determined Contributions (INDCs) proposed by different economies

| 国家 Country | 国家自主贡献 (INDCs) 目标 Targets of Intended Nationally Determined Contributions (INDCs) |
|-------------------|--|
| 中国 China | 2020 年单位 GDP 的碳排放量比 2005 年下降 40%—45%, 2030 年比 2005 年下降 60%—65% |
| 美国 United States | 2020 年温室气体排放量比 2005 年下降 17%, 2030 年比 2005 年下降 26%—28% |
| 欧盟 European Union | 2020 年温室气体排放量比 1990 年下降 20%—30%, 2030 年至少比 1990 年下降 40% |
| 日本 Japan | 2030 年温室气体排放量比 2013 年下降 26% |
| 巴西 Brazil | 2025 年温室气体排放量比 2005 年下降 37%, 2030 年比 2025 年下降 43% |
| 印度 India | 2020 年单位 GDP 的碳排放量比 2005 年下降 20%—25%, 2030 年比 2005 年下降 33%—35% |
| 韩国 South Korea | 2030 年温室气体排放量比基准情景削减 37% |
| 俄罗斯 Russia | 2030 年温室气体排放量比 1990 年降低 25%—30% |
| 加拿大 Canada | 2030 年温室气体排放量比 2005 年降低 30% |
| 澳大利亚 Australia | 2030 年温室气体排放量比 2005 年下降 26%—28% |
| 南非 South Africa | 2025—2030 年温室气体排放量控制在 398—614 百万 t (CO ₂ 当量) |
| 瑞士 Switzerland | 2030 年温室气体排放量在 1990 年的基础上减少 50% |
| 挪威 Norway | 2030 年温室气体排放量比 1990 年减少至少 40% |

数据来源于 <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>

5 总结与展望

5.1 总结

通过上述研究,并结合对 Web of Science、中国知网以及相关学术著作中搜集到的自 1990—2018 年共计 157 篇实证文献(其中英文 125 篇、中文 32 篇)的计量分析,总结如下:

(1) 公平性原则长期居于主导地位,但兼顾效率性等其他原则的研究比重不断提升(图 5)。鉴于各国利益诉求差异巨大,公平性原则无疑最易被接受,因此基于人均排放相等或人均累积排放相等的分配方案更受重视。然若只依据公平性原则,不仅无助于整体减排效率的提升,还可能挫伤某些区域持续减排的积极性。因此,以效率性为代表的其他原则也越来越多地应用于碳排放权分配研究。

(2) 碳排放权分配方法各有优劣,其中指标法应用最为广泛(图 6)。碳排放权分配涉及众多利益主体,分配过程的可行性和透明度会对方案的可接受度产生重要影响。博弈论法由于其自身操作复杂、透明度低,因而应用较为有限,而随着效率性原则在分配中得到更多重视,注重效率优化的 DEA 法受到了更多青睐。值得注意的是,将不同分配方法进行整合往往能够提高分配方案的科学性和合理性,这也是综合法运用逐渐增多的原因。

(3) 国际尺度的碳排放权分配在较长时期内备受学界关注,同时区际研究近年来显著增加(图 7)。发达

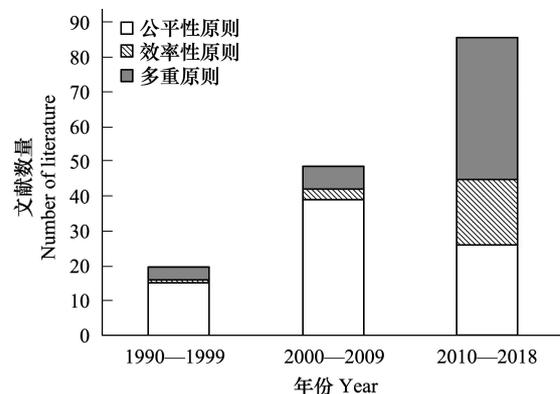


图 5 1990 年至今按分配原则划分的文献数量

Fig.5 The number of literature by allocation principle since 1990

国家与发展中国家对如何划分减排责任存在严重分歧,导致全球气候谈判步履维艰,但随着《巴黎协定》的达成,全球气候治理合作已成共识,各国如何落实各自的减排承诺成为重要研究课题,因此近年来关于区际尺度的文献数量显著增加,反映了学界在研究尺度上的明显转向。

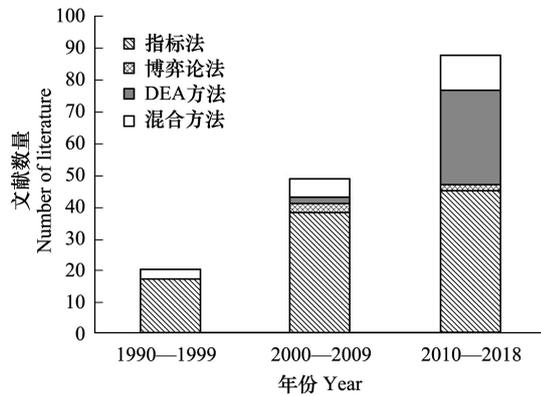


图6 1990年至今按分配方法划分的文献数量

Fig.6 The number of literature by allocation method since 1990

DEA: 数据包络分析 Data envelopment analysis

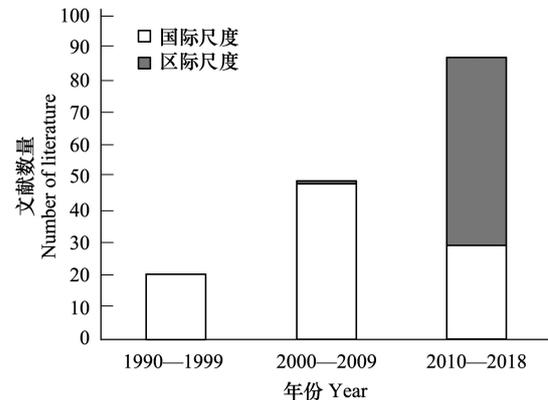


图7 1990年至今按分配尺度划分的文献数量

Fig.7 The number of literature by allocation scale since 1990

5.2 展望

基于对碳排放权分配研究进展的梳理与归纳,建议在今后研究中对以下议题给予重点关注:

(1) 碳排放权分配不仅是一个科学问题,还是一个政治和社会议题,关乎人类福祉和各国发展空间,对全球治理体系的构建也将产生重要影响。因此,不仅要考虑分配方案是否科学,还要统筹考虑各国和区域间历史、文化、经济等因素的差异及其利益诉求^[75],最终能够落实的分配方案一定是科学性、合理性和可行性的有机统一。

(2) 随着以中国为代表的发展中国家的碳排放政策由强度控制向总量控制演进,碳排放权分配研究呈现出新的发展前景。在实际分配过程中,需要将公平性和效率性等不同原则纳入考量,因而能够反映多重原则的多指标法或综合法有望在相关研究中发挥更大的作用。同时,碳排放权分配的研究与实践对各类污染物减排目标的分解也有一定的参考价值。

(3) 鉴于中国全国碳排放市场已经启动,今后应更多关注区域碳排放权分配与碳市场建设工作的衔接,例如,鼓励各省区将一部分富余配额纳入全国碳交易市场进行再分配或其他优化碳排放权配置的制度设计。此外,探索将省级碳排放权分解至地市、区县或行业、企业等不同尺度,将成为下一步的研究重点。

中国作为全球最大的能源消费国和碳排放国,在全球变暖趋势不断加剧的大背景下,面临着巨大的国际舆论压力。积极应对气候变化,既是实现中国可持续发展和生态文明建设战略的内在要求,也是深度参与全球治理体系建设、打造人类命运共同体的责任担当。作为当今全球气候治理的重要参与者、贡献者和引领者,中国仍须围绕碳排放权分配进行持续研究,对内致力于 INDCs 各项目标的分解与落实,为区域协同减排机制的建立提供科学依据;对外则应在展现负责任大国形象的同时,切实维护国家正当利益,争取更多的发展空间和权益。

参考文献 (References):

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] Leemans R, Vellinga P. The scientific motivation of the internationally agreed 'well below 2°C' climate protection target: a historical perspective. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2017, 26-27: 134-142.

- [3] United Nations. Adoption of the Paris Agreement//Conference of the Parties, Twenty-first Session. Paris; United Nations, 2015.
- [4] Xu Y Y, Ramanathan V. Well below 2°C: mitigation strategies for avoiding dangerous to catastrophic climate changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(39): 10315-10323.
- [5] 韩良. 国际温室气体排放权交易法律问题研究. 北京: 中国法制出版社, 2009.
- [6] 国务院发展研究中心课题组. 全球温室气体减排: 理论框架和解决方案. *经济研究*, 2009, (3): 4-13.
- [7] Benestad O. Energy needs and CO₂ emissions constructing a formula for just distributions. *Energy Policy*, 1994, 22(9): 725-734.
- [8] Kverndokk S. Tradeable CO₂ emission permits: initial distribution as a justice problem. *Environmental Values*, 1995, 4(2): 129-148.
- [9] Global Commons Institute. Contraction and convergence [C&C] in the CAN-I 'fair effort sharing discussion paper'. http://www.gci.org.uk/Documents/GCI_to_CANI_07092011_.pdf. [2019-01-13]
- [10] Sørensen B. Pathways to climate stabilisation. *Energy Policy*, 2008, 36(9): 3505-3509.
- [11] 陈文颖, 吴宗鑫, 何建坤. 全球未来碳排放权“两个趋同”的分配方法. *清华大学学报: 自然科学版*, 2005, 45(6): 850-853, 857-857.
- [12] Rogelj J, Den Elzen M, Höhne N, Fransen T, Fekete H, Winkler H, Schaeffer R, Sha F, Riahi K, Meinshausen M. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C. *Nature*, 2016, 534(7609): 631-639.
- [13] 方恺, 张琦峰, 叶瑞克, 周云亨. 巴黎协定生效下的中国省际碳排放权分配研究. *环境科学学报*, 2018, 38(3): 1224-1234.
- [14] Zhou P, Wang M. Carbon dioxide emissions allocation: a review. *Ecological Economics*, 2016, 125: 47-59.
- [15] 陈红敏. 国际碳核算体系发展及其评价. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(9): 111-116.
- [16] 谭显春, 赖海萍, 顾佰和, 涂唐奇, 李辉. 主体功能区视角下的碳排放核算——以广东省为例. *生态学报*, 2018, 38(17): 6292-6301.
- [17] 王坤, 黄震方, 曹芳东. 中国旅游业碳排放效率的空间格局及其影响因素. *生态学报*, 2015, 35(21): 7150-7160.
- [18] 丁仲礼, 段晓男, 葛全胜, 张志强. 2050年大气CO₂浓度控制: 各国排放权计算. *中国科学 D辑: 地球科学*, 2009, 39(8): 1009-1027.
- [19] Zhao Y Y, Yang W L, Song W Q, Huang S, Nie X, Tuo J J, Piao Z Y, Yan H. A capacity planning method for wind power based on cooperative game theory in carbon trading process//*Proceedings of the 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. Beijing, China: IEEE, 2018: 1-6.
- [20] 傅京燕, 黄芬. 中国碳交易市场CO₂排放权地区间分配效率研究. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(2): 1-9.
- [21] 姚云飞, 梁巧梅, 魏一鸣. 主要排放部门的减排责任分担研究: 基于全局成本有效的分析. *管理学报*, 2012, 9(8): 1239-1243.
- [22] 李钢, 廖建辉. 基于碳资本存量的碳排放权分配方案. *中国社会科学*, 2015, (7): 66-81.
- [23] Fang G C, Liu M H, Tian L X, Fu M, Zhang Y. Optimization analysis of carbon emission rights allocation based on energy justice—The case of China. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 202: 748-758.
- [24] Fang K, Heijungs R, De Snoo G R. Understanding the complementary linkages between environmental footprints and planetary boundaries in a footprint-boundary environmental sustainability assessment framework. *Ecological Economics*, 2015, 114: 218-226.
- [25] Hubacek K, Baiocchi G, Feng K S, Castillo R M, Sun L X, Xue J J. Global carbon inequality. *Energy, Ecology and Environment*, 2017, 2(6): 361-369.
- [26] 王慧慧, 刘恒辰, 何霄嘉, 曾维华. 基于代际公平的碳排放权分配研究. *中国环境科学*, 2016, 36(6): 1895-1904.
- [27] Rose A, Stevens B, Edmonds J, Wise M. International equity and differentiation in global warming policy. *Environmental and Resource Economics*, 1998, 12(1): 25-51.
- [28] Fankhauser S. *Valuing Climate Change: the Economics of the Greenhouse*. London: Earth-Scan Publication Ltd., 1995.
- [29] 朱潜挺, 吴静, 洪海地, 王铮. 后京都时代全球碳排放权配额分配模拟研究. *环境科学学报*, 2015, 35(1): 329-336.
- [30] 王倩, 高翠云. 公平和效率维度下中国省际碳权分配原则分析. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(7): 53-61.
- [31] Gignac R, Matthews H D. Allocating a 2°C cumulative carbon budget to countries. *Environmental Research Letters*, 2015, 10: 075004.
- [32] 王金南, 蔡博峰, 曹东, 周颖, 刘兰翠. 中国CO₂排放总量控制区域分解方案研究. *环境科学学报*, 2011, 31(4): 680-685.
- [33] Agarwal A, Narain S. *Global Warming in an Unequal World: A case of Environmental Colonialism*. Delhi, India: Centre for Science and Environment, 1991: 1-34.
- [34] Janssen M, Rotmans J. Allocation of fossil CO₂ emission rights quantifying cultural perspectives. *Ecological Economics*, 1995, 13(1): 65-79.
- [35] Chakravarty S, Chikkatur A, De Coninck H, Pacala S, Socolow R, Tavoni M. Sharing global CO₂ emission reductions among one billion high emitters. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(29): 11884-11888.
- [36] Pan X Z, Teng F, Wang G H. Sharing emission space at an equitable basis: allocation scheme based on the equal cumulative emission per capita principle. *Applied Energy*, 2014, 113: 1810-1818.
- [37] Wei Y M, Wang L, Liao H, Wang K, Murty T, Yan J Y. Responsibility accounting in carbon allocation: a global perspective. *Applied Energy*, 2014, 130: 122-133.
- [38] Winkler H, Spalding-Fecher R, Tyani L. Comparing developing countries under potential carbon allocation schemes. *Climate Policy*, 2002, 2(4):

303-318.

- [39] Cantore N. Distributional aspects of emissions in climate change integrated assessment models. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2919-2924.
- [40] Philippsen G J M, Bode J W, Blok K, Merkus H, Metz B. A triptych sectoral approach to burden differentiation; GHG emissions in the European bubble. *Energy Policy*, 1998, 26(12): 929-943.
- [41] Han R, Tang B J, Fan J L, Liu L C, Wei Y M. Integrated weighting approach to carbon emission quotas: an application case of Beijing-Tianjin-Hebei region. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 131: 448-459.
- [42] 王勇, 程瑜, 杨光春, 董莹. 2020 和 2030 年碳强度目标约束下中国碳排放权的省区分解. *中国环境科学*, 2018, 38(8): 3180-3188.
- [43] Feng Z Y, Tang W H, Niu Z W, Wu Q H. Bi-level allocation of carbon emission permits based on clustering analysis and weighted voting: a case study in China. *Applied Energy*, 2018, 228: 1122-1135.
- [44] Qin Q D, Liu Y, Li X, Li H N. A multi-criteria decision analysis model for carbon emission quota allocation in China's east coastal areas: efficiency and equity. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 168: 410-419.
- [45] Yang K J, Lei Y L, Chen W M, Liu L N. Carbon dioxide emission reduction quota allocation study on Chinese provinces based on two-stage Shapley information entropy model. *Natural Hazards*, 2018, 91(1): 321-335.
- [46] Zhang Y J, Wang A D, Da Y B. Regional allocation of carbon emission quotas in China: evidence from the Shapley value method. *Energy Policy*, 2014, 74: 454-464.
- [47] Li J, Piao S R. Research on regional synergy carbon reduction cost allocation based on cooperative game. *Advanced Materials Research*, 2013, 781-784: 2569-2572.
- [48] 段海燕, 王培博, 蔡飞飞, 赵婧辰, 王宪恩. 省域污染物总量控制指标差异性公平分配与优化算法研究——基于不对称 Nash 谈判模型. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(8): 56-67.
- [49] Yang M, An Q X, Ding T, Yin P Z, Liang L. Carbon emission allocation in China based on gradually efficiency improvement and emission reduction planning principle. *Annals of Operations Research*, 2017: 1-17.
- [50] Kong Y C, Zhao T, Yuan R, Chen C. Allocation of carbon emission quotas in Chinese provinces based on equality and efficiency principles. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 211: 222-232.
- [51] Fang K, Zhang Q, Long Y, Yoshida Y, Sun L, Zhang H, Dou Y, Li S. How can China achieve its Intended Nationally Determined Contributions by 2030? A multi-criteria allocation of China's carbon emission allowance. *Applied Energy*, 2019, 241: 380-389.
- [52] An Q X, Wen Y, Xiong B B, Yang M, Chen X H. Allocation of carbon dioxide emission permits with the minimum cost for Chinese provinces in big data environment. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 886-893.
- [53] Miao Z, Geng Y, Sheng J C. Efficient allocation of CO₂ emissions in China: a zero sum gains data envelopment model. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 4144-4150.
- [54] Ma C Q, Ren Y S, Zhang Y J, Sharp B. The allocation of carbon emission quotas to five major power generation corporations in China. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 189: 1-12.
- [55] Zhang Y J, Hao J F. Carbon emission quota allocation among China's industrial sectors based on the equity and efficiency principles. *Annals of Operations Research*, 2017, 255(1/2): 117-140.
- [56] Yu S W, Wei Y M, Wang K. Provincial allocation of carbon emission reduction targets in China: an approach based on improved fuzzy cluster and Shapley value decomposition. *Energy Policy*, 2014, 66: 630-644.
- [57] Zhao R, Min N, Geng Y, He Y L. Allocation of carbon emissions among industries/sectors: an emissions intensity reduction constrained approach. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 3083-3094.
- [58] Ye B, Jiang J J, Miao L X, Xie D J. Interprovincial allocation of China's national carbon emission allowance: an uncertainty analysis based on Monte-Carlo simulations. *Climate Policy*, 2017, 17(4): 401-422.
- [59] Den Elzen M G J, Lucas P. FAIR 2.0: A Decision-Support Tool to Assess the Environmental and Economic Consequences of Future Climate Regimes. RIVM report 550015001/2003. Netherland: RIVM, 2004.
- [60] Sijm J, Jansen J, Torvanger A. Differentiation of mitigation commitments: the multi-sector convergence approach. *Climate Policy*, 2001, 1(4): 481-497.
- [61] 潘家华. 满足基本需求的碳预算及其国际公平与可持续含义. *世界经济与政治*, 2008, (1): 35-42.
- [62] Brazil in Response to the Berlin Mandate. Proposed elements of a protocol to the united nations framework convention on climate change. <https://unfccc.int/resource/docs/1997/agbm/03b.pdf>. [2019-01-13]
- [63] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *Environmental Outlook to 2030*. Paris: OECD Publishing, 2008.
- [64] 何建坤, 陈文颖, 滕飞, 刘滨. 全球长期减排目标与碳排放权分配原则. *气候变化研究进展*, 2009, 5(6): 362-368.
- [65] Caney S. Justice and the distribution of greenhouse gas emissions. *Journal of Global Ethics*, 2009, 5(2): 125-146.

- [66] 丁仲礼, 段晓男, 葛全胜, 张志强. 国际温室气体减排方案评估及中国长期排放权讨论. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(12): 1659-1671.
- [67] 樊纲, 苏铭, 曹静. 最终消费与碳减排责任的经济学分析. 经济研究, 2010, (1): 4-14, 64-64.
- [68] 何建坤, 陈文颖. 应对气候变化研究模型与方法学. 北京: 科学出版社, 2015.
- [69] 刘春兰, 蔡博峰, 陈操操, 王海华, 李铮. 中国碳减排目标的地区分解方法研究述评. 地理科学, 2013, 33(9): 1089-1096.
- [70] Yi W J, Zou L L, Guo J, Wang K, Wei Y M. How can China reach its CO₂ intensity reduction targets by 2020? a regional allocation based on equity and development. Energy Policy, 2011, 39(5): 2407-2415.
- [71] Zhang Y J, Hao J F. The allocation of carbon emission intensity reduction target by 2020 among provinces in China. Natural Hazards, 2015, 79(2): 921-937.
- [72] Jiang H Q, Shao X X, Zhang X, Bao J Q. A study of the allocation of carbon emission permits among the provinces of China based on fairness and efficiency. Sustainability, 2017, 9(11): 2122.
- [73] 于潇, 孙猛. 中国省际碳排放绩效及 2020 年减排目标分解. 吉林大学社会科学学报, 2015, 55(1): 57-65.
- [74] Zhou X, Guan X L, Zhang M, Zhou Y, Zhou M H. Allocation and simulation study of carbon emission quotas among China's provinces in 2020. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(8): 7088-7113.
- [75] Saxena A, Qui K, Robinson S A. Knowledge, attitudes and practices of climate adaptation actors towards resilience and transformation in a 1.5°C world. Environmental Science & Policy, 2018, 80: 152-159.

附表 部分代表性碳排放权分配研究成果汇总

Supplementary table Summary of typical research into the allocation of carbon emission allowance

| 文献 Literature | 分配原则 Principle | 分配方法 Method | 分配尺度 Scale |
|-------------------------------|------------------|-------------|------------|
| Agarwal 等 ^[33] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| An 等 ^[52] | 效率性 | DEA 法 | 区际 |
| Benestad ^[7] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Caney ^[65] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Cantore ^[39] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Chakravarty 等 ^[35] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 陈文颖等 ^[11] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Den 等 ^[59] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 丁仲礼等 ^[18] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 段海燕等 ^[48] | 公平性、效率性、可行性 | 博弈论法 | 区际 |
| 樊纲等 ^[67] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 方恺等 ^[13] | 公平性、效率性、可行性、可持续性 | 指标法 | 区际 |
| Fang 等 ^[51] | 公平性、效率性、可行性、可持续性 | DEA 法 | 区际 |
| Feng 等 ^[43] | 公平性、效率性、可行性 | 指标法 | 区际 |
| 傅京燕等 ^[20] | 效率性 | DEA 法 | 区际 |
| Gignac 等 ^[31] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 国务院发展研究中心课题组 ^[6] | 公平性、效率性 | 指标法 | 国际 |
| Han 等 ^[41] | 公平性、效率性、可行性 | 指标法 | 区际 |
| Janssen 等 ^[34] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Jiang 等 ^[72] | 公平性、效率性 | DEA 法 | 区际 |
| JosSijm 等 ^[60] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Kong 等 ^[50] | 公平性、效率性 | DEA 法 | 区际 |
| Kverndokk ^[8] | 公平性、可行性 | 指标法 | 国际 |
| Li 等 ^[47] | 公平性、效率性 | 博弈论法 | 区际 |
| Ma 等 ^[54] | 公平性、效率性 | DEA 法 | 区际 |
| Miao 等 ^[53] | 效率性 | DEA 法 | 区际 |
| OECD ^[63] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 潘家华 ^[61] | 公平性、效率性 | 指标法 | 国际 |
| Pan 等 ^[36] | 公平性 | 指标法 | 国际 |

续表

| 文献 Literature | 分配原则 Principle | 分配方法 Method | 分配尺度 Scale |
|-----------------------------|----------------|-------------|------------|
| Phylipsen 等 ^[40] | 公平性、效率性 | 指标法 | 国际 |
| Qin 等 ^[44] | 公平性、效率性 | 指标法 | 区际 |
| Sørensen ^[10] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 王慧慧等 ^[26] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| 王金南等 ^[32] | 公平性、效率性、可行性 | 指标法 | 区际 |
| 王勇等 ^[42] | 公平性、效率性、可行性 | 指标法 | 区际 |
| 王倩等 ^[30] | 公平性、效率性 | 指标法 | 区际 |
| Wei 等 ^[37] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Winkler 等 ^[38] | 公平性 | 指标法 | 国际 |
| Yang 等 ^[45] | 公平性、效率性 | 博弈论法 | 区际 |
| Yang 等 ^[49] | 效率性 | DEA 法 | 区际 |
| 姚云飞等 ^[22] | 效率性 | 线性优化 | 区际 |
| Ye 等 ^[58] | 公平性、效率性 | 综合法 | 区际 |
| Yi 等 ^[70] | 公平性、效率性、可行性 | 指标法 | 区际 |
| Yu 等 ^[56] | 公平性、效率性 | 综合法 | 区际 |
| 于潇等 ^[73] | 公平性、效率性则 | 指标法 | 区际 |
| Zhang 等 ^[71] | 公平性、效率性 | 指标法 | 区际 |
| Zhang 等 ^[46] | 公平性、效率性 | 博弈论法 | 区际 |
| Zhang 等 ^[55] | 公平性、效率性 | DEA 法 | 区际 |
| Zhao 等 ^[57] | 效率性 | 综合法 | 区际 |
| Zhou 等 ^[74] | 公平性、效率性 | 指标法 | 区际 |
| 朱潜挺等 ^[29] | 公平性 | 指标法 | 国际 |

按第一作者姓名首字母顺序排列