# 碳减排的不确定性与政策效率分析

来源：网络 作者：红叶飘零 更新时间：2024-10-13

*气候变化及大气中 CO2浓度的不断上升是近年来倍受关注的环境问题。全球经济动荡及碳市场发展的滞后性，使得气候政策规划面临着巨大的不确定性。文中通过文献回顾，分析碳减排不确定性的内涵与本质，剖析不确定性的来源和潜在影响，讨论应对不确定性的相...*

气候变化及大气中 CO2浓度的不断上升是近年来倍受关注的环境问题。全球经济动荡及碳市场发展的滞后性，使得气候政策规划面临着巨大的不确定性。文中通过文献回顾，分析碳减排不确定性的内涵与本质，剖析不确定性的来源和潜在影响，讨论应对不确定性的相关措施，并给出碳减排不确定性研究的清晰脉络，为相关决策提供借鉴。

1 不确定性的内涵与特点

1. 1 不确定性的内涵

Knight( 1921) 最早把不确定性因素引入经济学分析，将那种无法用概率衡量的不确定性称为 奈特不确定性( Knightian uncertainty)[1]。之后，新制度经济学完善了这一内涵，认为不确定性是因尚未形成某种所需的全部知识，人类无法及时做出正确的抉择; 或人类获取信息的能力有限，无法准确掌握所有变量信息，致使自身行为偏离最优路径[2]。基于上述认识，文中的碳减排不确定性主要是指减排决策中相关变量的不可预测性或有关这些变量信息的不充分性。

1. 2 不确定性的特点

首先，环境政策的不确定性与不可逆性并存。一项气候政策的实施对其他环境问题产生的不良后果通常是不可逆的，加之人类活动引发的环境恶化日益加剧，进一步给环境保护带来极大的不确定性[3]。

其次，环境投资的成本效益不确定性高。不同于一般的项目投资，环境政策的收益可递延至 100 年甚至更长期间。根据净现值原理，贴现期间越长则风险越大，环境政策的不确定性与不可逆性的作用越明显，相应地环境政策评估的难度也越大。

再次，应对不确定性的环境政策具有 预警性。原因在于，环境成本函数的形式是高度非线性的。初期污染往往难以察觉，当累积到某一阈值时会突然爆发形成灾难。因此，早期污染控制成本较低，随后将急速上升。由于存在不确定性，环境成本函数的具体形式和临界点位置都难以获得。为了及时捕捉污染升级的信息，环境政策的实施应当先于环境损害不确定性的确认，即环境政策应当是预警性的。这是环境政策设计的重要原则之一。

2 不确定性的类型与来源

2. 1 不确定性的类型

环境政策分析中包含大量的不确定性因素，主要包括环境变化对经济影响的不确定性、缓解和适应气候变化技术进步的不确定性以及减排政策的不确定性。

2. 1. 1 气候损害的不确定性从冰雪融化导致海平面上升到气候模式改变，从农业减产到能源价格波动、社会福利损失，气候变暖的影响随处可见[4 -6]。Aerts Botzen( 2024) 借助气候风险保险模型( Climate Risk Insurance Model，CRIM)估算了洪水破坏的可能风险，并预测了气候保险基金的发展趋势[7]。Nannos et al( 2024) 利用非参数检验分析了气候变化给农业生产造成的经济损失，认为未来极端天气出现的频率有可能增加，应当根据气候变化的影响程度给予相应地区一定的保险补偿[8]。Brigode et al( 2024) 指出，不仅气侯损害的经济结果难以准确估算，损害不确定性对减排水平的影响同样也是模糊的、取决于多种关键假设，包括损害的概率分布、效用函数的结构等[9]。

事实上，为了评估气候变化导致的结果，必须合理估算当前及未来的碳排放量，不过这恰恰又成为气候损害的另一不确定性因素。温室气体排放的主要特征是风险和不确定性，碳排放核算需要衡量由潜在风险和不确定性引发的收益和损失。由于估算的结果以一定的概率分布和情景假设为前提，不可避免地带有主观性，但并不影响对气候损害性质、方向以及程度的基本判断[10]。

2. 1. 2 技术变化的不确定性

气候政策评估与经济模型中所包含的技术变化假设密切相关。由于关键参数( 例如私人部门研发投资) 估计的困难性和技术组合分析的复杂性，气候变化的多因素模型包含了较大的不确定性。研究发现，气候损害的不确定性对最优研发投资的影响大于对最优排放水平的影响。这意味着获得准确的概率分布是技术政策而非排放政策的关键。但无论气候稳定目标的迫切性如何，支撑技术的成本不确定性均导致更高的近期最优研发投资。进一步地，若给定预算约束，面对气候损害的不确定性，最优研发投资应当是高度多样化的，并随气候损害风险的变化而变化[11]。

2. 1. 3 管制政策的不确定性

文献研究一般用管制不确定来指代政府行动的不可预测性。管制引起的不确定性系指由管制所引发的、个体感知到的无法预测未来非管制环境的状态。Engau Hoffmann( 2024) 指出，管制不确定的主要特点为依赖于政治谈判、离散的情景结构和非连续解; 同时，管制不确定只是企业推迟决策的部分原因，政府应当设计有效机制，促进企业尽早采取行动，以获得更高的政治实施效率和更好的管制效果[12]。Galinato Yoder( 2024) 认为，随着碳税的不确定性加大，最优减排技术投资将降低。这意味着碳税的征收力度比征收时机更为重要[13]。

2. 2 不确定性的来源

Foley( 2024) 指出，在区域气候建模中，不确定性主要来源于参数化、求解结果、初始和边界条件、模型集成的易变性以及模型假设和检验等[14]。这里的不确定性来源可分为两类: 一是认识论上的不确定性，在气候系统中主要是指由人类行为导致的不确定性，包括未知的未来排放集中度。这类不确定性在很大程度上是由不完美知识造成的，是难以避免的。二是本体论上的不确定性，涉及气候系统和气候模型的易变性，包括气候系统对人类行为反馈的不确定性。进一步的研究可降低这类不确定性，但也可能出现新的未知因素，从而增加不确定性。

在碳市场上，不明朗的政策条件引发了不可预知的因素变化，使得参与碳交易的企业和相关机构面临经济损失和不确定性风险，也抑制了碳市场的减排功能。研究认为，市场机制( 例如配额分配) 、温度、异质性环境( 例如 EU ETS 的五月事件和全球金融危机) 是影响碳市场的最重要的三个因素，会引起碳价格的波动[15]。

受碳减排政策冲击最大的莫过于能源系统。在能源行业减排规划中，许多参数及其交互作用都是不确定的，包括区域气候变化、燃料结构及转换技术效率、削减设施效率和成本随时间和空间的变化等，能源系统的实际碳排放量和减排目标也随时空演变而动态调整，导致能源系统减排过程的不确定性和复杂性[16]。一旦实际排放量超出允许排放量，相应的经济惩罚又有可能增加减排的不确定性。不仅如此，能源规划的问题识别、解释求解结果等非模型活动，与决策者的经验和知识储备密切相关。但由于人类认知能力的局限性，不可避免地会给规划带来诸多不确定性[17]。进一步地，在建构能源系统减排规划模型时，一般都要对真实的能源系统进行简化，并提出相应的假设和边界条件，造成理论值与真实值间的差异，成为引发不确定性的又一来源[18]。

3 不确定性的影响与度量

3. 1 不确定性的潜在影响

碳减排中各种不确定性的存在，使得环境政策常偏离预期效果。主要表现为: 经济不确定性造成决策实施的沉降成本，环境不确定性致使决策陷入两难困境，导致所制定的环境保护措施无法实现预期目标。

不确定性对经济的影响研究集中于对技术投资的分析。王治( 2024) 基于实物期权理论分析了规制政策不确定对电网投资的影响，指出在无政策管制时，电价变化的不确定性越大，投资的临界值也越高，电网企业越有可能投资不足[19]。Kettner et al( 2024) 也强调，欧盟碳价格波动的不确定性阻碍了投资，未来减排政策的重点是保持碳价的稳定性[20]。不确定性对环境的影响研究则以减排效率和效果评估为主。研究发现，在不确定情况下，以可再生能源( 如水力、风力和太阳能) 代替化石能源，可有效促进减排。但当技术变化不确定时，最优减排水平较低; 并且，减排目标设定的越宽松，这种影响越显著[21]。

3. 2 不确定性的度量方法

忽视不确定性的影响可能会产生系统非最优甚至错误决策。针对环境系统中的不确定性，已出现多种量化方法，例如借助蒙特卡罗模拟、卡尔曼滤波法和贝叶斯推论等技术计算系统可信度，而利用随机、区间、模糊函数和混合算法来评估决策的效率则是更为常见的处理方法。不过，鉴于区间线性规划算法的不完善性和优化模型的复杂性，基于各种智能算法的随机模拟和模糊模拟技术逐渐得到发展。经典的智能算法主要包括人工神经网络( ANN) 、遗传算法( GA) 、蚁群算法( ACO) 和粒子群算法( PSO) 等。然而，上述算法几乎都存在所谓的维数灾难缺陷，实际应用受到诸多限制。鉴于此，郝士鹏( 2024) 结合混沌搜索技术，设计了具有更高搜索质量和效率的混沌猴群算法( CMA)[22]。 已知的不确定性度量模型主要有三种: 一是确定均衡模型。该模型根据确定性已知条件估计参数价值，并计算社会成本。二是参数不确定模型。该模型利用参数弹性分析，结合确定均衡模型评估潜在的社会成本。三是借助概率分布计算参数值的不确定性，根据概率分布的中值和均值控制样本不确定性，实现期望社会净福利最大化。尽管上述方法具备一定的有效性，但是将不确定性置于可控制的范围，实质上是忽视了不确定性的确定估计问题; 同时，这些方法尚存在无限的均值概率和贴现净边际收益的差异，因此通过建构不确定性和最优化决策来最大化期望效用的手段仍然差强人意。

此外，不确定性还可能引发风险。Chevallier( 2024) 发现，风险溢价和碳现货价格之间存在负相关性[23]。杨超等( 2024) 基于极值理论，将马尔科夫波动转移引入 VaR 的计算，度量碳市场的系统风险[24]。郭福春、潘锡泉( 2024) 利用 Bai - perron 结构突变检验和资本资产定价单因素模型研究了 EU ETS 第二阶段碳期货合约的价格波动及风险，发现在样本期内碳价格存在显著的结构突变[25]。凤振华( 2024) 构建了碳市场流动性指标，度量价格风险与流动性风险的关联性[26]。目前，针对碳市场系统性风险度量及分析的成果不多，有关度量技术分析的文献则更为少见。

4 不确定性的应对策略

4. 1 学术研究视角

许多文献利用规划模型处理碳减排中的不确定性问题。但多数研究仅针对系统中某一部分因素的不确定性或敏感性进行定量分析，难以充分反映整体系统的复杂性，区间、模糊、随机等不确定数学优化方法能更好地逼近现实，获得有效的规划方案。Svensson Berntsson( 2024) 利用多目标规划方法，研究不确定情况下某化工纸浆厂的能源效率投资优化问题，为该领域的决策提供了一个较好的理论框架[27]。Chen etal( 2024) 构建了一个两阶段模糊 - 随机规划( TISP) 模型，模拟不确定条件下的碳交易规划问题[28]。Pou-sinho et al( 2024) 基于风能不稳定和间歇性的不确定环境，提出了一个风能交易的随机规划方法，帮助电力生产商规避因能源市场价格不确定性导致的利益丧失风险[29]。为了克服上述随机模糊区间规划模型的复杂性和降低求解算法的维数，刘年磊( 2024) 设计了基于模糊模拟的混沌猴群算法以及改进的 REILP模型算法并求解，得到了不同置信度与意愿水平下的资源配置风险 - 收益权衡方案[30]。在此基础上，刘烨( 2024) 建立了多重不确定条件下考虑碳减排和生态修复的煤电一体化能源系统优化模型[31]。

4. 2 政策制订视角

4. 2. 1 减少损害和技术不确定性

Kannan( 2024) 研究发现，与增加减排量相比，提高研发投资更有助于减弱气候损害的不确定性。为了实现减排目标，短期内应致力于提高能源效率，中期要依靠 CCS 和可再生能源，长期内则须将 CCS、核电和可再生能源等低碳技术相结合，并率先在电力、交通等行业实施低碳发展[32]。不过，Keating et al( 2024) 指出，在 CCS 应用中，考虑到 CO2储存的不确定性，应当选择灵活的碳汇方案、成本有效的能耗结构，提高 CCS 系统的动态性和经济性[33]。此外，Gren Carlsson( 2024) 认为，在三种减排不确定性( 林业碳汇、化石能源碳排放和减排成本) 中，碳汇价值随着林业碳汇不确定性的增加而显著下降，因此，未来是否应当在气候政策中纳入碳汇，取决于其它碳汇来源的不确定性和实现预定减排目标的重要性[34]。进一步地，Farrelly et al( 2024) 强调，尽管直接碳捕获和封存技术( 例如地质注入) 拥有较大的储存能力，然而成本效率极低，并且长期碳捕获也未被证明是安全的[35]。鉴于此，可以采用抵消碳排放的一个新方法 - 直接生物碳减排，该方法产生的生物质能够进一步转换成生物燃料、生化产品、食品或动物饲料，而这些有用的副产品可为减排提供资金。

4. 2. 2 降低监管不确定性的风险

( 1) 减排政策的选择。研究发现，一项有力的减排政策能够在 1/40 的概率下使温度上升不超过 3.2℃ ，尽管并未消除全球变暖的实质性状态，但可显著降低温升水平。从国际减排体系的先进经验来看，当前和未来交易机制的衔接不仅需要大量的技术修复和交易系统间的协同，还应有清晰的管制和政策信号、对技术的政治支持及更稳定的经济环境。目前，在各种市场型管制政策中，碳税和碳交易无疑倍受瞩目。一般认为，当存在不确定因素时，碳交易的实施效果较好。并且，相较于碳税而言，碳交易能够为企业带来更多的预期利润[36]。然而，根据丁伯根法则( Tinbergens rule) ，单一政策工具的有效性欠佳，政策工具间的合理搭配才能发挥最优效果，因此在推行碳交易时也可将碳税作为补充手段。当然，单纯依靠市场型工具是不够的，还需要政府这只有形的手加以行政干预，通过选择恰当的政策执行时机和实施标准，提高资源配置和利用效率。

( 2) 减排机制的完善。首先，要确保碳市场稳定有序。由于碳市场现货和期货收益波动间存在关联性，投资者可能利用套期保值规避碳市场的系统性风险，因此，监管者应当密切关注两类价格的动态变化，设计合理的交易机制和许可分配机制，确保碳市场的健康运行。其次，要降低减排系统的风险。研究认为，禁止跨期存储导致了 EU ETS 第一阶段末期的价格骤跌，价格未能充分反映成本。鉴于不确定性风险可导致企业储存策略发生变化，建议利用配额储存作为风险管理的工具[37]。再次，要提高减排政策的透明度。让被监管者参与谈判可使其获得关于最终结果的内部信息，从而降低监管不确定性; 此外，积极参与政治谈判、向监管者施加压力，也有利于产生企业期望的结果。因此，如果存在监管不确定，尤其在决策早期当结果不完全明朗时，企业有激励参与决策过程。

( 3) 减排路径的优化。一方面，在减排目标上，要妥善处理总量控制与强度控制的关系。研究发现，在确定情况下，绝对总量控制和相对强度控制的效果是一样的; 但当考虑不确定因素时，强度控制就优于绝对总量控制。这一结论在发达国家尚存在一定争议，但在发展中国家是稳健的。另一方面，应当优化排放路径、降低减排成本。研究认为，在最优排放路径下，与 2024 年的排放水平相比，2024 年的最优排放水平要增加34%，2024 年则低于2024 年水平，至2100 年排放水平可减少88%。为此，建议将不确定性视为长期减排规划的一项关键要素，确保管制过程具有较高的可持续性，以应对不确定性风险[38 -39]。

5 结论与展望

5. 1 文中研究的主要结论

全球气候变暖趋势的发展引发了关于温室气体减排的一系列研究。其中，针对减排不确定性的探讨是重要的分支之一。文中以碳减排的不确定性及政策的有效性为考察对象，系统回顾了不确定性研究的基本现状。大量研究表明，不确定性对以二氧化碳为主的温室气体减排影响重大，但关于气候损害的具体程度、减排技术产出的结果以及管制政策的效率与效果等，尚缺乏权威的研究结论，一些问题甚至还存有较大的争议，例如不确定性与技术投资多样化之间的关系，有学者认为损害的不确定性促进了技术的多样化，但也有人持反对意见，认为技术产出不确定性可导致多样化程度的下降，等等。可见，关于不确定性问题，未来仍有较大的研究空间。

5. 2 有关不确定性的引申研究

5. 2. 1 研究内容的拓展

( 1) 技术变化的内生不确定性。与不考虑不确定性时相比，在某些情况下，考虑不确定性可导致更高的投资水平，并有利于促进多样化战略的发展。这意味着，对研发投资和减排技术产出间的关系进行分析是很必要的。不过，这方面的研究成果相当匮乏。

( 2) 碳交易价格变化的不确定性。根据极值理论，政策效果不仅取决于政策信息传递到价格的速度快慢，也与政策出台的时机、投资者情绪和价格状态有关，因此，一个好的政策未必有好的效果，或者在预期的时间内就会有好的效果。当前关于碳价的分析集中于价格变化规律的探讨，未来应加强碳价收益率分布特征、价格涨跌机理研究，为构建和稳定碳市场机制提供理论依据。

( 3) 企业对不确定性的政策响应。一项新政策推行时波及的企业总会面临政策制订所固有的不确定性问题，而缺乏管制不确定性对企业决策的影响的信息，将降低决策的效率和效果。因此，决策者应当致力于发掘企业对监管不确定的政策响应。然而，这方面的研究很少，也不系统。

( 4) 各种不确定性的交叉性。目前，尚无文献研究多种不确定情况下技术政策和排放政策之间的交互性问题。而减排体系的复杂性和动态性表明，剖析各种不确定性因素间的作用机制，比单纯分析某种不确定性的影响更为重要。

5. 2. 2 研究方法的深化

对不确定性的影响分析取决于技术变化如何建模、损害采用何种概率分布形式等因素。这意味着，研究人员需要开发更多的模型，用更多实证解释技术变化，寻找稳健的政策。另外，在研究不确定性时，常需要与确定性的情形加以对比以确定最优方案，不过这方面的比较静态分析成果偏少，不利于检验技术变化模型的结论。上述问题都有待于展开进一步的深入研究。

本文档由站牛网zhann.net收集整理，更多优质范文文档请移步zhann.net站内查找