



**中国环境与发展国际合作委员会  
前期研究报告**

**温室气体排放和碳封存监测创新技术**

## 前期研究项目组成员

<b>组长</b>	
魏仲加	国合会外方首席顾问
<b>附件撰写专家 (A-Z)</b>	
Gabrielle Dreyfus	全球可持续发展研究所 (IGSD) 首席科学家
Richard (“Tad”) Ferris	全球可持续发展研究所高级顾问
<b>研讨会参会嘉宾与专家顾问(A-Z)</b>	
Christian Mielke	德国联邦环境署
范丹婷	克莱恩斯欧洲环保协会 (ClientEarth) 气候与金融律师
Dimitri de Boer	国合会特邀顾问, 克莱恩斯欧洲环保协会亚洲区域项目主任
Dominic Waughray	世界可持续发展工商理事会 (WBCSD) 执行副总裁
Huw Slater	克莱恩斯欧洲环保协会能源与气候专员
綦玖竑	北京绿色交易所总经理助理
马军	公众环境研究中心 (IPE) 主任
卓俊玲	中国生态环境部环境工程评估中心高级工程师
Knut H. Alfsen	国合会特邀顾问, 奥斯陆国际气候与环境研究中心 (CICERO) 高级研究员
刘侃	中国生态环境部原国合会秘书处副处长
孙康	中国生态环境部中国环境监测总站温室气体监测项目经理
李丽平	中国生态环境部环境与经济政策研究中心减污降碳协同研究部主任
段茂盛	清华大学中国碳市场研究中心 (CCMC) 主任
Michael Zimonyi	国际财务报告准则基金会政策与对外事务主任
Tara Sharma	加拿大公园管理局 (Parks Canada) 生态系统碳科学家
李伟	清华大学地球系统科学系副教授
赵小鹭	美国环保协会北京代表处全球气候总监
冉泽	美国环保协会北京代表处创新及商业伙伴关系代理总监
<b>秘书处协调员(A-Z)</b>	
唐华清	中国生态环境部国合会秘书处世界环境研究室副室主任
王美真	国际可持续发展研究院国合会国际支持办公室政策研究员

\* 本前期研究项目组组长、成员以其个人身份参加研究工作, 不代表其所在单位, 亦不代表国合会观点。

## 执行摘要

党的二十大指出了完善“碳排放统计核算制度”的重要性，国家绿色转型和气候计划同样强调需要完善“地方、行业、企业、产品的碳排放核查、核算和报告标准，建立统一规范的碳核算体系”<sup>1</sup>。

近年来，为了在温室气体监测和报告工作中做到有据可依，对于不同类型的高质量气候数据的需求呈急剧上升的态势，从各部门的强制性温室气体报告数据，到合规性和自愿碳封存数据，再到衡量二氧化碳移除（CDR）的数据。气候数据的使用也已成为近期绿色金融领域气候风险披露以及环境、社会和公司治理（ESG）标准的重要特征。

与这种需求的增长相呼应的是提供气候信息的方式方法的推陈出新。例如：针对二氧化碳、甲烷和其他温室气体的连续排放监测系统（CEMS）正在快速发展，对源自 IPCC 的排放因子、现场测量和自我报告等成熟温室气体监测手段形成有效补充，新兴的人工智能（AI）应用则为这些自下而上和自上而下的监测手段提供了更多的可能。

温室气体的监测和报告已有一套完善的国际标准，特别是《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）之下的标准。预计 UNFCCC 即将推出的《强化透明度框架》和全球盘点将会提升对于高质量温室气体监测、报告和核查（MRV）体系的关注度。

本研究探讨了四个课题：（1）基于中国的部门报告标准，用于强制性碳市场的温室气体数据监测和报告；（2）与碳封存测量相关的方法和实践；（3）金融部门当前和新兴气候风险披露的测量和衡量标准；（4）创新的新监测方式。本文首先讨论数据质量的特征。

鉴于国内外气候数据 MRV 体系日新月异，强制性和自愿性交易体系也在不断变化，所以本前期研究建议，国合会应定期回顾不断变化的温室气体监测和报告的最佳实践和标准。

本研究注意到，气候数据的产生方式正在发生重大的变化和创新。其发展一日千里，应得到大力提倡。但与此同时，过快地从熟悉的既定实践转向新的体系，也存在一定风险。例如：新的二氧化碳连续监测手段和自上而下平台的使用仍处于相对早期阶段，尚需要若干年的时间才能确定其可靠性和准确性水平，并对照基准质量保证（QA）标准给出测量值的不确定性范围。

因此，本研究建议制定一项过渡计划，期间仍然保留当前自下而上的自我报告体系，与连续监测系统和其他自上而下的系统互为补充，并建议使用混合监控体系来起到承上启下的作用。在最近的五部门 CEMS 试点的基础上，应启动一个结合自下而上和自上而下体系的多部门试点计划，并测试 1 至 2 年。这样一个结合自下而上和自上而下的多部门综合试点的目标是提高数据的效率和准确性，支持国家级碳市场的良好运作。

---

<sup>1</sup> 近期由朱民和尼古拉斯·斯特恩（Nicholas Stern）等共同撰写的一份中国碳中和政策框架高级别报告指出：“有效实现[碳中和]的一个重要先决条件是，有一个能够高效支持碳中和政策设计并跟踪其实施的统计核算制度。”

同时，其他高排放的经济部门应尽快纳入全国碳市场，并依照现有方法进行数据监测和报告。

本研究指出了目前在甲烷排放领域，衔接自下而上和自上而下监测的最佳实践，并建议甲烷气体监测中获得的经验教训应作为其他温室气体的排放监测方法提供参考，包括其他非二氧化碳温室气体。

本研究探讨了一些正在不断进化中的碳封存监测报告体系。目前，中国的碳排放交易体系允许通过碳抵消来补偿最高达 5% 的年度温室气体排放量。鉴于碳封存评估中固有的复杂性，本研究建议根据 IPCC 和相关方法以及其他国际标准和实践来定期更新碳抵消方法，例如可参考正在实施中的《巴黎协定》第 6 条下的规则。本研究建议，记录和更新国内外可信的碳抵消项目一级监测报告的案例，通过实例描述不同生态自然 CDR 系统（如森林、湿地、草原等）的碳封存特征，以及新兴的 CCUS 人为设计的实践。本研究还建议中国的碳抵消测量和衡量标准与国际最佳实践保持一致，实现互操作性。

在绿色金融领域，本研究建议，国内不断发展中的气候风险披露和报告标准应与其他国家和地区推荐的可比气候数据测量和衡量标准保持一致，也要与新的国际可持续发展标准委员会（ISSB）的标准相接轨。

## 目录

前期研究项目组成员 .....	2
执行摘要 .....	3
第一部分：数据质量 .....	6
第二部分：碳封存 .....	11
第三部分：气候风险披露数据 .....	13
第四部分：连续温室气体监测系统 .....	14

## 第一部分：数据质量

准确、及时、权威的数据对于气候变化政策的实施至关重要。随着各国朝着 2030 年、2050 或 2060 年温室气体减排目标迈进，气候数据将扮演至关重要的角色，用于跟踪政策实施进展情况，并将减排成果与具体措施相关联，以确定是否使用了正确的工具。

官方的国家级气候数据的标准基准仍然是国家清单报告（NIR），其目标是跟踪国家温室气体排放状况，并通过 UNFCCC 进行报告。标准的 NIR 方法仍然是 IPCC 采用的方法，所以大多数国家一级的脱碳计划也都源自 IPCC 的方法，特别是在监测整体经济层面的排放以及能源、交通、工业和建筑等经济部门的排放方面。几乎所有净零排放框架都是围绕部门监测而构建的，而越来越多的脱碳计划已更新以扩大部门覆盖范围，如将土地利用、土地利用变化和林业（LULUCF）纳入其中。

国家级温室气体监测报告体系的共同特点是它们均以提供高质量数据为目标。例如，中国生态环境部通过各类意见和指南，指出了“准确、权威”的气候数据的重要性。高质量数据最常见的定义来自国家统计局，这些机构提供每周、每月、季度和年度经济统计数据，并且如下文所述，也越来越多地发布气候数据。联合国将高质量数据定义为（1）与用户的需求相关；（2）及时；（3）准确可靠；（4）方便获取；（5）透明易懂；（6）连贯可比<sup>2</sup>。

这六个属性的核心是准确性。准确数据的定义是如实反映实际情况的测量、衡量或估算的信息，在气候政策领域，这个实际情况指的就是温室气体排放<sup>3</sup>。由于统计数据很少能始终做到 100%准确，因此数据提供者会披露其数据准确性的置信水平。就国家统计而言，95%的准确性置信水平是一般基准，有些统计数据的准确率可达到 99%。统计机构会定期审查其标准误差，包括变异系数（CV）。

虽然准确性是数据系统最重要的特征，但六大数据原则应作为一个整体看待。例如，准确但无法获取、不相关或不及时的数据均达不到数据质量的最低要求。《巴黎协定》下有许多国家目标重点关注的是中期目标和 2030 年目标，在此背景下，数据的及时性就变得更加重要。

### 好的数据成本几何？价值又几何？

优质数据的生产成本很高，对于政府而言如此，对需要披露数据的公司而言亦是如此，越来越多的公司开始体会到这一点。在本研究中专家指出，将准确度从 95% 提高到 99%，可能会使数据成本急剧上升。

---

<sup>2</sup> 摘自 2019 年联合国《官方统计报告质量保证框架手册》。在通过《手册》后，联合国统计委员会开发了用于质量保证和质量控制（QAQC）的在线工具，包括在线学习工具，以帮助各机构确定合规、部分合规、不合规或未经测试的数据。

<sup>3</sup> 在描述高质量数据的术语中，与准确性相关的有“可信度、真实性或一致性”的定义，以及在估算数据中披露可接受的误差幅度和披露不确定性。

与此同时，对高质量气候数据的投资也能带来丰厚的回报。实时、准确的数据可以指出哪些部门或措施表现不佳，需要加强、调整或更换。高质量数据对于实现具有成本效益的气候措施（例如中国的碳排放交易体系）尤为重要。只有靠准确的数据才能让市场高效配置市场化举措，进而通过竞争激发创新。

几十年来，公共气候数据的主要来源一直是国家环境机构，如瑞典环境保护局和加拿大环境与气候变化局，每个机构都有自己的 QA 标准以确保数据质量。欧洲环境署（EEA）报告称，其 QA 理念是提高排放量的“真实值与用以表示这些值的数据之间的一致程度”<sup>4</sup>。

近来，一些国家统计机构开始发布自己的气候统计数据，其频次通常比国家清单报告更高，这是值得欢迎的。例如，[芬兰统计局](#)、欧盟统计局以及土耳其、荷兰、挪威和其他国家的统计局都在更加频繁地发布定期的温室气体排放数据。此外，英国、苏格兰、[法国](#)、欧盟、瑞典等国的脱碳计划中还报告了一套全新的净零实施指标。英国于 2022 年 3 月推出了首个[气候政策仪表盘](#)，就是气候指标创新的一个实例。

中国采取了重要步骤，以创建一套连贯、准确的国家碳统计数据。2022 年 4 月，国家统计局会同生态环境部、国家发改委印发了《[加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案](#)》。《方案》明确了四项重点任务和五项保障措施，支持中国实现其 30/60 气候目标。

#### 重点任务：

1. 建立国家和地方碳排放统计核算制度；
2. 完善现行部门和企业层面的碳排放核算机制；
3. 建立健全重点产品碳排放核算方法；
4. 完善国家温室气体清单编制机制。

#### 保障措施：

1. 打好统计基础；
2. 建立排放因子数据库；
3. 应用先进技术；
4. 开展方法论研究；
5. 完善配套政策。

国家发改委应结合《方案》的实施情况和不断出现的国际实例，考虑发布季度气候数据报告。这种定期报告有助于公众更广泛地了解温室气体排放趋势，就像常规 GDP、就业或贸易差额的统计数据一样得到公众的广泛接受。

---

<sup>4</sup> European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP); EEA Guidebook, 2016. 欧洲监测和评估计划 (EMEP); 《欧洲环境署指导手册》，2016 年。

**部门排放数据：**中国国家气候数据系统于 2013 年启动，监测各经济部门温室气体排放，其覆盖范围逐步扩大到发电、电网、钢铁、化工、石化、铝、镁、玻璃、水泥、造纸及纸浆、民航等行业。近期发布的报告标准还涵盖了采矿、公共建筑、食品饮料业、道路运输等行业。

与其他的国家监测系统一样，中国的气候数据体系基于企业在公司和设施层面的自我报告。生态环境部在发布 QA 指南、检查数据误报或欺诈、开展现场检查、提供培训模块等步骤中发挥着关键作用。公司和设施层面的报告是通过省级生态环境主管部门进行的。数据上报至全国排污许可证管理信息平台，其中除了空气和其他污染物外，还包括温室气体排放数据。[美国环保协会（EDF）中国代表处](#)最近的一份报告有助于了解中国的气候数据分部门报告系统的演变，并提供了其他国家地区的例子，例如美国联邦一级的环境保护局和以加利福尼亚州为首的次联邦一级体系。

与其他基于污染物排放和转移登记（PRTR）方法、自下而上的自我报告体系一样，数据准确性的差异或异常应由企业直接报告，或通过企业聘请的第三方咨询公司计算后报告。生态环境部的一份公告（[生态环境部 2022 年 03 月 14 日](#)）指出，“准确可靠的数据是碳排放交易市场有效规范运行的生命线”，并通报了少报虚报的情况。生态环境部警告称，将采取进一步措施“严厉打击发电行业企业碳排放数据造假行为”。

2021 年，生态环境部成立了 31 个工作组，开展专项督导协助，提高气候数据报告质量。工作内容包括审计、对第三方核查咨询企业少报情况提出警告、抽查、额外的数据质量保障措施、能力建设和技术培训等。

去年，温室气体的部门监测和报告工作进入了一个全新阶段，可能会带来根本性的变化。2021 年，生态环境部启动了一项新的试点，测试温室气体连续监测系统的有效性。该试点涉及五个行业：火电、钢铁、石油天然气、煤炭开采和废弃物处理，通过连续排放监测系统（CEMS）监测二氧化碳排放量，并监测颗粒物、氮氧化物和二氧化硫等标准空气污染物。

顾名思义，CEMS 系统的主要特点是提供实时（通常是每小时）空气污染排放信息。这些测量是在设施和烟囱层面进行的。在将经验数据与排放因子和其他信息结合使用时，[CEMS 似乎](#)提高了排放因子估算值的时空分辨率<sup>5</sup>。

生态环境部的 CEMS 试点测试近乎连续的二氧化碳设施级温室气体监测系统，该项目第一阶段试点按计划于 2023 年结束。根据其结果，转向新的、烟囱层面的连续监测系统

---

<sup>5</sup> CEMS 已在中国等国家使用了多年。例如，美国环保署（EPA）使用监测酸雨和更广泛标准的空气污染物的系统来重点监测燃煤发电厂等大型排放源，该 EPA CEMS 系统已更新以纳入二氧化碳监测。这是在早期二氧化碳监测的基础上的升级，早期此类监测用于根据排放因子或历史趋势来验证特定设施的氮氧化物和硫氧化物排放值是否准确。（这种使用二氧化碳排放来帮助确定氮氧化物和硫氧化物排放质量的做法早于 EPA 对大型排放源的温室气体清单自我报告要求；较小的燃烧源则继续依赖于能源和燃料使用等平均排放因子。）



之后，有可能提高许多关键行业主要工业点源的温室气体排放数据的质量。提供准确和及时的气候数据将会是一项重大的改进。

CEMS 试点旨在监测二氧化碳排放，在此基础之上，也应加强对其他非二氧化碳温室气体排放的关注。甲烷是一种特别强效的温室气体，也是许多创新监测和报告举措的重点，下文会简要介绍这些举措，更深入的研究可以参见本研究的附件中，IGSD 的专家 Gabrielle Dreyfus 博士和 Tad Ferris 撰写的内容。

**化石燃料甲烷的排放：**国际能源署（IEA）[指出](#)，甲烷（CH<sub>4</sub>）是一种特别强效的温室气体，迄今为止 30% 的全球变暖应归因于甲烷。由于甲烷是一种存在时间相对短暂的温室气体，因此其减排对于短期内减缓变暖至关重要。在全球范围内，石油和天然气行业在甲烷排放中所占比例最大；而在中国，煤炭开采占了大头。

准确测量甲烷是中国实现双碳目标的关键。

自下而上的清单是监测油气行业甲烷排放的主要工具。在最基本的层面（IPCC 层级 1）。见[表 4](#)（引自附件）。计算时将行业平均排放因子乘以设施或活动数量（例如气动阀的数量），以估算一个或多个设施的排放量，一直汇总到全国范围。清洁空气工作组（Clean Air Task Force）开发的国家甲烷减排工具（CoMAT）等多种工具允许政府根据多个参数（包括钻井数、压气站数、管道长度及其他基础设施和运营信息）建立清单并估算甲烷排放量<sup>6</sup>。自下而上的清单提供了潜在排放源的重要信息，对于规划减排方法至关重要。但是这种方法也存在一个较大的问题，就是这种自下而上的方法所依赖的排放因子是基于正常运行的设备和组件制定的。经过与大气测量值相比对，发现这些基于清单的方法系统性地低估了排放量。

表 4. 清单方法（以 IPCC 层级为例）

《2006 年 IPCC 指南》采用了分层级的方法来估算温室气体排放量：

**层级 1** 将活动数据乘以默认的单位活动排放量的排放因子。

**层级 2** 通常将特定国家的排放因子应用于国家或地区活动数据。

**层级 3** 级方法将涉及的活动数据进一步细化（如设施层面数据），并使用直接测量或其他等效的国别方法。

《2006 年 IPCC 指南》及其《2019 年细化报告》给出了默认排放因子，并提供了补充方法的指导。

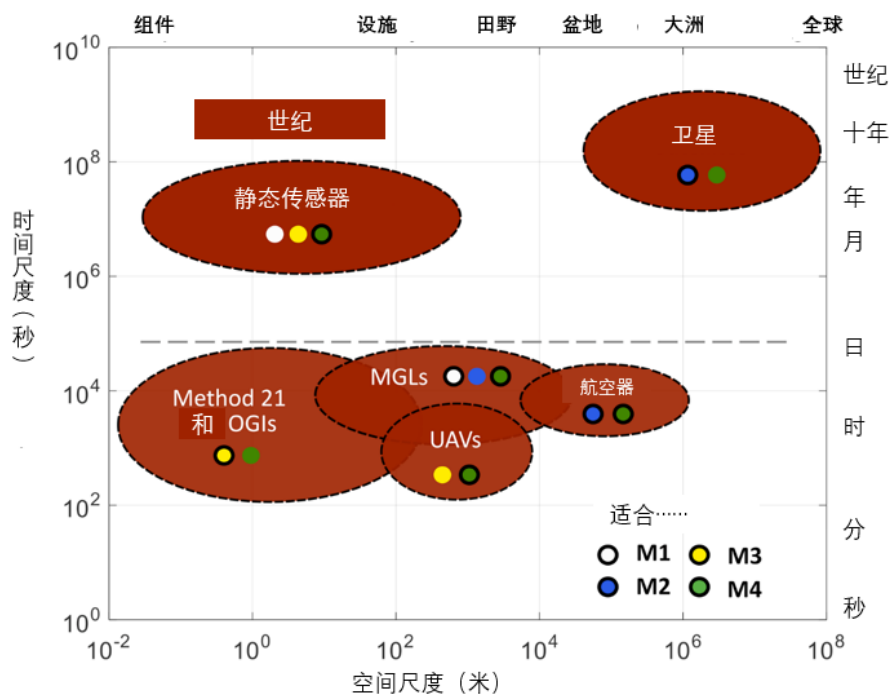
大气监测方法将大气浓度（大气中甲烷的摩尔分数）的测量与传输和扩散模型相结合，后者使用来自气象的数据输入将检测到的浓度转换为排放量。这些模型依赖于对排放源来

<sup>6</sup> 清洁空气工作组，[国家甲烷减排工具](#)（末次访问时间 2023 年 6 月 16 日）。

源的初始输入假设（先验假设），在有详细的设施和活动数据的情况下，能提供最准确的结果。

甲烷排放技术评估中心（METEC）和道达尔异常检测倡议（TADI）等专门测试机构正在推动泄漏检测和甲烷排放量化的国际标准的制定<sup>7</sup>，这些是测试和验证测量技术和方法的重要资源。参见图 1（引自附件）。

图 1. 甲烷检测技术提供一系列时空尺度信息



以遥感、卫星监测平台引导的新一代自上而下系统的出现，给自下而上监测系统提供了有力补充。例如，联合国环境署（UNEP）的国际甲烷排放观测站（[IMEO](#)）举措标志着重要的一步，不仅有助于提高甲烷监测和报告的准确性，而且能提高各国报告的互操作性。此外，美国环保协会（EDF）的 [MethaneSat](#) 等卫星平台提供开放的甲烷数据。

中国 2022-2023 年温室气体监测试点包括改进油气行业甲烷监测的方法，特别是结合地面和遥感监测来评估逸散性排放（泄漏、火炬燃烧和异常操作）。鉴于甲烷排放监测带来的独有挑战，该试点的结果和建议将非常重要。

**建议：**持续跟踪二氧化碳的手段有机会以创新方式改变当前的 MRV 体系。与此同时，需要数年时间才能确定新系统的准确度、整体优势以及缺点和局限性。因此，应持续实施过渡计划，逐渐确定角色、职责和明确的程序。过渡期也是设计系统冗余的好时机，同时

<sup>7</sup> US Department of Energy (4 April 2023) [Joint Statement by the U.S. and EU following the 10<sup>th</sup> U.S.-EU Energy Council](#). 美国能源部（2023 年 4 月 4 日），[美国-欧盟第 10 次能源理事会后联合声明](#)。

有利于质量保证。建议开展试点项目，在当前自我报告系统的基础上，结合使用新的 CEMS 系统及自上而下系统，测试各体系之间的相互作用。

生态环境部甲烷监测试系统的试点成果将为自下而上和自上而下监测的更广泛应用提供宝贵的经验教训。中国还应考虑深化与联合国环境署的 IMEO 和气候与清洁空气联盟 (CCAC) 的伙伴关系，以应对其他强效的短期气候污染物。

## 第二部分：碳封存

科学家们早已注意到碳封存市场对于实现脱碳和双控目标的重大贡献。近年来，随着越来越多的国家和公司制定净零计划，人们对碳抵消的兴趣急剧增加。例如，从 2020 年到 2022 年，自愿碳市场规模增长了约 60%，达到 20 亿美元。据[彭博社](#)估计，到 2037 年，碳抵消市场规模可能达到 1 万亿美元<sup>8</sup>。

碳封存通常分为两类：来自森林、湿地、草原和海洋的生态系统性或自然性封存，以及“技术性”或经人工设计的解决方案，例如碳移除技术。（碳捕集、利用和封存技术虽然不移除碳，但旨在避免本可能会发生的温室气体排放）。

绝大多数公共和私营碳封存项目都涉及基于自然的气候解决方案。[牛津大学](#) 2023 年的一份报告得出结论，“几乎所有” CDR（99.9%）都采用以植树造林和再造林为主导的自然方法。”

如上所述，市场和政府正在增加对碳封存的投入。需求增加的部分原因是大规模造林这类大项目对碳封存的效果存在夸大宣传。例如，2019 年《[科学](#)》杂志上一篇被广泛引用的文章声称，植树造林是当前应对气候变化最有效的措施，随后“[万亿树木计划](#)”就获得了关注和投资<sup>9</sup>。

随后在科学和实施层面的工作中，发现从碳封存项目中获取可替代碳信用额时，存在重大挑战。最主要的问题就是监测和报告。IPCC 发布了许多更详细的方法来测量碳封存，数以千计的公司随之相继成立，为政府和企业提供服务。

---

<sup>8</sup> IPCC 对 CDR 的定义很有帮助：“CDR 是指从大气中移除二氧化碳并将其持久储存在地质、陆地或海洋储层或产品中的人类活动。它包括经人为增强的生物、地球化学或化学二氧化碳汇，但不包括非人类活动直接引起的自然二氧化碳吸收过程。由于二氧化碳施肥效应或人类活动的其他间接影响而导致的土地碳汇强度增加不视为 CDR（参见《术语表》）。用于化石燃料使用所产生的二氧化碳的碳捕集与封存 (CCS) 和碳捕集与利用 (CCU) 不是 CDR 方法，因为它们不会从大气中移除二氧化碳。然而，如果二氧化碳从大气中以生物质形式间接捕获或从环境空气中直接捕获，并持久储存在地质储层或产品中，则 CCS 和 CCU 可以视作 CDR 方法的一部分（见第 11.3.6 和 12.3 节）”

<sup>9</sup> 在受到批评后，该文作者们发布了一份更正申明，称其过分夸大了森林解决气候问题的作用。

人们早就注意到，监测和报告 LULUCF 的方法相当复杂。在估算碳封存时，要将多种生态系统的封存率随时间推移与平均基线进行比较，测量是个难题；不同生态系统和地区的碳储量和封存率存在差异；估算地上碳储量需要有现有森林和其他生态系统的涵盖范围和健康状况的数据，以及其他因素（例如死亡和腐烂的有机物）涵盖范围的数据；估算地下碳储量更为复杂，需要进行成本高昂且具侵入性的现场测试。

其他挑战还有估算由于土地利用变化、野火、洪水和其他影响而造成的碳抵消重大变化的持续时间或持久性<sup>10</sup>。（例如在近期对加拿大国家公园系统碳储量进行的[国家评估](#)中，一项重要工作就是追踪了由于野火、入侵物种和其他事件造成的碳汇平均下降。）

[IPCC](#) 指出，“制定 CDR 政策需要考虑特定方法的二氧化碳封存时间尺度，以及 MRV 和核算方面的挑战、潜在的协同效益、不良的副作用、与适应的相互作用以及与可持续发展目标（SDG）的权衡。”国合会在一项[基于自然的解决方案价值评估专题政策研究](#)中，探讨了确保碳封存工作协同效益的重要性。

考虑到这些问题和其他复杂性，也就能理解为什么长期以来，对碳封存项目中获得的碳信用额一直存在批评的声音。例如，2016 年一份关于联合国清洁发展机制所发放信用额的报告得出的结论是，有 [85% 的信用额](#)真正实现抵消的“可能性很低”。<sup>11</sup>

已有一些措施旨在提高碳抵消项目和市场的效力。

在多边层面，已有积极的步骤来定义和对标高质量碳封存项目，并特别关注其与基于自然的解决方案的相关性。2022 年 5 月，联合国环境大会（UNEA）上各国政府首次通过了[基于自然的解决方案](#)的通用定义和标准（基于[世界自然保护联盟（IUCN）的黄金标准](#)）。《联合国气候变化框架公约》缔约方会议第二十七届会议（COP27）的最终文本首次提及基于自然的解决方案，强调了气候与自然的联系，而“昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架”则通过基于自然的解决方案和/或基于生态系统的办法将气候与自然联系起来（目标 8）。

在操作层面，COP26 最终确定的[第 6 条规则](#)，制定了碳信用额国际贸易的框架。虽然这些新规则的落地还需要做很多工作，但预计会把碳封存的测量、交易和核算方式明确化。虽然第 6 条重点关注的是管理政府处理碳信用额的规则，但预计规则最终也将有助于制定私人市场的标准。各国政府围绕第 6 条已启动了多个试点，世界银行还启动了[“气候行动数据信托”](#)，以数字化方式助力碳封存登记。

---

<sup>10</sup> 加拿大环境与可持续发展专员[近期一项审计](#)得出结论：政府旨在提高碳储量的“20 亿棵树木”计划实施过程中，由于启动场地准备和植树活动的原因，到 2031 年之前该计划仍将是净温室气体排放源。

<sup>11</sup> 更近一些，英国《卫报》于 2023 年 1 月得出结论，Verra（世界上最大的 REDD+ 碳抵消信用额认证机构）发放的[碳信用额中 94% 基本上一文不值](#)。

在市场层面，已经有一些项目来尝试制定涵盖自愿碳市场的标准。由于多起碳封存交易出现了严重缺陷，[自愿碳市场诚信倡议组织（VCMI）](#)正在制定保障措施和标准，以确保碳信用额的完整性。

另一项进展是在最近的强制性和自愿性气候风险披露标准中，开始出现与碳抵消信用额相关的标准和规则，其中包括有关如何申请碳抵消的建议。例如，[国际财务报告准则基金会（IFRS Foundation）的气候风险标准征求意见稿](#)（ISSB 于 2022 年 7 月发布）提出了详细的会计规则来计算公司已购买的碳封存信用额<sup>12</sup>。同样，[美国证券交易委员会](#) 2022 年气候风险披露法规草案中包括公司处理碳抵消的拟议规则，特别针对“碳抵消的市场价值可能因森林火灾而突然大幅下降”，公司需要注销该抵消额并购买替代品这类风险。

**建议：**碳封存结果的估算仍存在相当大的不确定性。中国负责监督碳抵消标准的机构应注意在所有类别的封存活动中与国际自愿碳市场的最新科技和方法保持同步。

### 第三部分：气候风险披露数据

随着绿色金融的不断发展，测量和衡量的规则和标准也相应在更新，细化了用于气候风险披露的数据类型。

最近的规则和标准都是基于气候相关财务信息披露工作组（TCFD）不断更新的建议所制定的，例如其 2021 年 10 月的[《指标、目标和转型计划指南》](#)。根据 TCFD 在其测量和衡量指标的章节部分所建议公司应使用的气候数据类型，大多数国家的气候披露规则和征求意见稿也都遵循了 TCFD 的建议。在大多数公共风险披露规则中，有两条建议始终被引用，值得关注：

**《温室气体议定书》**是国合会的两个合作伙伴——世界资源研究所（WRI）和世界可持续发展工商理事会（WBCSD）的联合倡议，于 1998 年首次推出。类似于国际标准化组织相对于世界贸易组织的作用，该《议定书》已成为全球金融行业的数据质量标准，并扩展到同时涵盖了私营和公共部门实体的披露指标。它总共发布了七项标准，最早是 2001 年发布的企业会计和报告标准，随后的标准涵盖了范围 1 和 2 排放、企业价值链范围 3 排放、项目级生命周期排放报告标准等。《议定书》正在制定一项关于土地部门和清除的新标准，与本研究第 2 部分中的讨论相关，预计将于 2023 年形成草案。

---

<sup>12</sup> 这些拟议规则要求公司报告目标在多大程度上依赖于碳抵消的使用；抵消是否将接受第三方抵消验证或认证计划（*经认证的碳抵消*），如果是的话，又是通过哪个或哪些计划；碳抵消的类型，包括抵消是基于自然还是基于技术碳移除，以及目标量是打算通过碳移除还是避免排放来实现；用户要了解该实体想使用的抵消方式的可靠性和完整性所需的任何其他重要因素（例如，有关碳抵消的永久性的假设）。

**碳足迹：**TCFD 进一步建议公司计算其碳足迹，将每 100 万美元收入的运营和一级供应的范围 1 和范围 2 碳足迹汇总得出，以“吨二氧化碳当量/百万美元”表示。估算企业足迹的数据通常从能源消耗开始，需要有关发电来源（例如煤炭、天然气、水力发电、可再生技术等）、商务旅行以及其他范围 1 和范围 2 数据的数据。通常这些估算值会再与 IPCC 为该部门制定的排放因子估算值叠加使用。

**标准趋同：**虽然 TCFD 一直是气候数据的基础，但对于这些标准的解释却是五花八门。有一项估计认为，在不同类别的气候融资中，使用了 70 多套不同的指标。

因此，近来许多国家和地区开始制定基于 TCFD 的新规则，这是非常重要的举措。例如，英国、加拿大、香港、新西兰等都出台了新的市场法规，其中最重要的三项是欧盟的规则（特别是欧洲财务报告咨询组 [EFRAG] 的[气候变化征求意见稿](#)和 SFDR 规则）、美国证券交易委员会拟议的 2022 年规则、国际财务报告准则基金会可持续发展标准委员会 (ISSB) 新的 ESG 和气候风险报告规则。

当然，最近的法规之间存在[一些差异](#)，特别是有关范围 3 排放和欧盟启用的“双重实质性”原则 (double-materiality)。与此同时，围绕可使用的气候数据出现了显著的趋同趋势，尤其是它们均参考《温室气体议定书》和碳足迹作为气候数据指标的基础<sup>13</sup>。在 2022 年 G20 可持续金融工作组发出的呼吁中，这种趋同正是提高各绿色金融市场的可比性和互操作性方面的一个重要建议。

近十年来，绿色金融一直处于中国发展议程的最前沿，其中一个重点就是气候风险披露。中国人民银行 2021 年发布的《金融机构环境信息披露指南》就是重要的一步，帮助确定银行等金融服务参与者应报告的气候风险类型。预计到 2025 年，现行制度将转为强制性气候风险报告。

**建议：**中国的绿色金融标准和公司实践应与新兴国际规范和标准保持一致，包括新的 ISSB ESG 和气候风险披露标准。

## 第四部分：连续温室气体监测系统

创新式的气候数据系统的部署数量增长势头迅猛，有望提供近乎连续的、高精度的、有空间参照的碳源和碳汇数据。

---

<sup>13</sup> 虽然近期已制定了强制性法规，但相关工作仍在继续深入，研究最适合特定细分市场的气候数据类型的更多细节。例如，碳核算金融合作伙伴关系 (PCAF) 推出了[全球温室气体核算和报告标准](#)，以定义与抵押贷款、商业车辆贷款和房地产相关的信息。2022 年 10 月，[英国金融行为监管局 \(FCA\)](#) 在 TCFD 和 ISSB 的基础上推出了新的可持续披露要求 (SDR)，理由是即使在新的报告标准下，洗绿风险仍然很大。其提案中包括一系列可持续投资标签，帮助消费者了解不同的金融产品。

[Climate Trace](#) 结合卫星观测、地面观测和人工智能技术绘制出国家级地图，标明主要温室气体排放源的所有主要设施级来源，特别是石油和天然气（全球最大的部门级温室气体排放源）、发电站、水泥厂或机场等。该平台在 COP 27 上受到了相当多的关注，但也受到一些批评，因其汇总了可能不具有可比性的不同类型气候数据。

[克劳瑟实验室 \(Crowther Lab\)](#) 采用机器学习技术和卫星图像来帮助估计森林、土壤和真菌的源和汇。该平台还测量微小物种（尤其是线虫类）的影响，以更好地了解地球广泛的碳循环。实验室与哥斯达黎加的 [Restor](#) 平台建立了合作伙伴关系，测量 [288 个地点](#) 的各种碳、生物多样性和社会特征。哥斯达黎加在林业领域有一个世界级的生态服务付费项目，已经运行数十年，该合作伙伴关系将有助于对该项目的衡量。

北亚利桑那大学的 [Vulcan 项目](#) 以 1 千米 x 1 千米的精度，提供美国本土每小时近乎连续的气候数据。

用于支持第 6 条规则的气候数据也有显著增加。除了前述世界银行的新门户之外，最近启动的 [气候仓库 \(Climate Warehouse\)](#) 也有类似的目标，即提高气候数据的质量和透明度，以支持若干发展中国家的第六条领域的工作<sup>14</sup>。

针对第 2 节中提到的估算地上和地下净碳储量的挑战，出现了一些优秀的 [新测量技术](#)，包括快速发展中的、近乎连续的空间测量技术。最后，与其他领域一样，通过持续的研究和企业的应用，人工智能正在发挥日益显著的作用，让自上而下、连续的温室气体数据系统如虎添翼。这些新的混合系统可借助智能手机和其他平台生成和访问气候数据，有望带来数据的革命。

**建议：** 鉴于数字化和科技创新在中国的高质量发展和“十四五”规划中发挥的核心作用，生态环境部有机会成为新型混合气候数据系统的世界领导者。前文提到了一个结合自下而上、自上而下和混合系统的综合性体系，中国应就此启动相应的试点，提高中国高质量气候数据的可用性，进而加强各级气候治理和决策工作。

*注：完整附件报告参见英文版。*

---

<sup>14</sup> 该试点项目的参与方有孟加拉国、不丹、智利、加纳、哈萨克斯坦、日本、秘鲁、卢旺达、塞内加尔、新加坡、瑞典、瑞士、乌克兰、纳米比亚，还有联合国开发计划署和其他实体。