全球碳中和进展评估方法综述与展望

叶文鑫[1]，郑馨竺[2]，张诗卉[3]*，王灿[1,4]

（1. 清华大学环境学院，北京 100084；2. 中国石油大学经济管理学院，北京 102249；3. 中国人民大学生态环境学院，北京 100872；4. 清华大学碳中和研究院，北京 100084）

【摘　要】随着全球160余个国家和地区提出碳中和目标，科学评估各国进展已成为气候治理领域的重要议题。然而，现有评估实践面临目标异质性强、评估维度多元、方法标准化不足、数据质量参差等多重挑战，亟须系统性的方法学梳理与反思。本文对全球气候行动与碳中和进展评估的指标体系、核心方法学及数据基础进行了系统综述，研究首先追溯了评估框架从“条约遵约”到“综合绩效”再到“目标对齐”的三阶段演进历程，揭示了评估范式从回顾性绩效评价向前瞻性目标一致性评估的转型趋势。在此基础上，本文比较分析了CCPI、CAT、CI、C3-I、EPI、GCPI及AR-GCNP等主流框架，发现现有体系虽普遍采用多维度评估并重视排放与政策因素，但在权重主观性、公平性量化、数据时效性及对碳中和长期目标的整合等方面仍存在显著局限。本文进一步解析了指数合成、基准设定、差距分析等关键方法学，并梳理了从传统统计数据向模型模拟与大数据融合演进的数据趋势。最后，本文结合清华大学AR-GCNP框架的“目标—政策—行动—成效”链条式设计，探讨了中国参与全球气候评估治理的机遇，并指出未来评估体系应实现从静态排名向动态追踪、从单一绩效向全过程评估、从发达国家主导向多元共治的全方位转型。

【关键词】碳中和；气候变化；进展评估；指标体系；方法学；数据基础

【中图分类号】X321；D912.6；F205　　【文章编号】1674-6252（2025）06-0060-10

【文献标识码】A　　【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2025.06.060

引言

气候变化是当今人类社会面临的最严峻挑战之一。政府间气候变化专门委员会（IPCC）的报告明确指出，人类活动是全球变暖的主要驱动因素，若要避免灾难性后果，必须将全球平均温升控制在远低于2℃以内并努力追求1.5℃的目标[1]。为应对这一全球性危机，国际社会自1992年《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）起持续努力，直至2015年达成具有里程碑意义的《巴黎协定》。《巴黎协定》确立了全球共同应对气候变化的长期目标，并开创性地采用了“自下而上”的国家自主贡献（NDC）模式，构建了一个旨在加大全球气候行动力度、透明度和支持力度的框架。在《巴黎协定》的推动下，全球气候治理已进入以碳中和为核心目标的新阶段。截至2025年9月，已有超过160个国家和地区提出了碳中和目标[2,3]。这标志着全球在应对气候变化方面达成了共识，也昭示着未来几十年经济社会的系统性变革。参考相关研究中的

资助项目：国家自然科学基金青年基金项目“考虑健康协同效益的区域差异化碳定价机制研究”（72204137）；国家自然科学基金碳中和专项“中国碳中和实现路径的预测研究”（72348001）；“全球碳中和年度进展评估”项目。

作者简介：叶文鑫（2003—），男，硕士研究生，研究方向为环境经济学、能源环境经济系统等，E-mail：yewx25@mails.tsinghua.edu.cn。

* 责任作者：张诗卉（1994—），女，博士，助理教授，硕士生导师，研究方向为气候变化经济学、气候变化与低碳政策的经济—健康影响评估、气候—环境—经济—健康跨系统建模，E-mail: shihuizhang9414@ruc.edu.cn。

定义划分[4]，基于全面评估排放指标的需求，本研究中将碳中和定义为人类活动造成的进入大气的温室气体排放量与人为温室气体吸收量达到平衡，即净温室气体排放量为零。

碳中和目标的实现，需要能源电力、工业、运输、废物、土地变化与林业等部门的长期发展战略和阶段性具体措施。在全球碳中和进程加速的背景下，对各国进展进行科学、系统、持续的评估尤为重要和迫切。然而，全球碳中和进展评估面临评估对象异质、分析视角多元、方法标准化不足、数据质量参差等诸多挑战。评估对象方面，各国提出的碳中和目标在时间框架、覆盖范围、法律约束力等方面存在显著差异。例如，欧盟承诺“到 2030 年温室气体排放量相比 1990 年减少 55%”[5]，中国承诺“到 2035 年全经济范围温室气体净排放量比峰值下降 7%～10%”[6]，印度尼西亚承诺“在不考虑国际援助的条件下，至 2030 年温室气体排放量相比基线（Basiness as Usual, BAU）情景减排 31.89%”[7]。目标形式、内容及参照基线的差异，导致不同国家之间缺乏可比性，增加了横向评估的复杂性。评估维度方面，碳中和是一项长周期、系统性的复杂工程，其进展不仅体现在短期温室气体排放的变化上，更需在长时间尺度上进行审视，综合分析各国在政策法规、技术创新、能源转型、经济结构、资金投入和社会参与等方面的表现，从而排除周期性波动的干扰，识别深层次的结构性转型。例如，世界资源研究所（World Resources Institute）等机构发布的《2025 年气候行动状况》（State of Climate Action 2025, SoCA）报告[8]表示，评估的挑战还体现在如何有效追踪电力、交通、工业等关键部门的具体转型指标上，单一的排放总量数据已不足以支撑复杂的决策需求。评估方法方面，指标选取、数据处理、权重分配等技术环节均可能显著影响评估结果，而目前尚缺乏统一、标准化且具有可比性的评估方法体系，削弱了评估结果的科学性与可重复性。评估数据方面，可靠、可比、及时的基础数据是评估的核心支撑，但许多国家（特别是发展中国家）在温室气体排放核算、政策效果量化及统计体系建设等方面能力不足，数据缺失或更新滞后、统计口径不一及高度依赖专家判断[5]等问题普遍存在，从而制约了评估的准确性和时效性。

面对碳中和进展评估的迫切需求与现实挑战，本文旨在对现有全球碳中和进展评估相关的指标体系、核心方法学及数据基础进行系统的文献综述。首先，梳理评估指标体系的演进历程，回顾从早期关注国际气候制度遵约情况的评估[9]，到中期侧重国家气候行动综合绩效的评估[10,11]，再到近期开始尝试纳入 NDC 可信度乃至碳中和长期目标的评估[2,12-14]，描绘出评估框架发展的历史脉络。其次，比较分析当前主流的评估指标体系，重点选取气候变化绩效指数（Climate Change Performance Index，CCPI）[10,15]、合作指数（Cooperation Index，CI）[9]、气候变化合作指数（Climate Change Cooperation Index，C3-I）[16]、NDC 可信度评估框架[12]、全球气候保护指数（Global Climate Protection Index，GCPI）[13]、环境绩效指数（Environmental Performance Index，EPI）[11]、气候行动追踪（Climate Action Tracker，CAT）评估[14]及全球碳中和年度进展报告（Annual Report - Global Carbon Neutrality Progress，AR-GCNP）指标体系[2,17]等代表性框架，从评估目标、维度构成、指标选择、方法特点等方面进行比较分析，剖析现有指标体系的共性与局限性。进而，聚焦评估中常用的核心方法学，系统梳理支撑评估活动的主要数据来源，并深入讨论当前数据基础面临的挑战与机遇。最后，在综合评述的基础上进行讨论与展望，对构建新一代评估框架提出思考，同时探讨这些评估实践对中国参与全球气候治理的启示。

1 全球气候行动 / 碳中和进展评估的演进脉络

气候行动进展评估与碳中和进展评估是相互交织、逐步演化的连续谱系。在碳中和概念尚未成为主流之前，评估主要围绕气候变化减缓展开；随着《巴黎协定》后各国纷纷提出碳中和目标或净零承诺，评估焦点逐渐从减缓绩效转向碳中和目标实现进展——这是内涵的扩展而非替代。基于此，本文将二者作为统一谱系进行梳理，大致划分为三个阶段。

第一阶段的时间跨度大致为从 1992 年 UNFCCC 通过到 2005 年《京都议定书》正式生效后的初期。1992 年里约地球峰会通过 UNFCCC，

确立了应对气候变化的国际法律框架；1997 年《京都议定书》为发达国家设定了具有法律约束力的减排目标，并于 2005 年正式生效。在此背景下，国际气候治理的核心议题是“条约遵约”——即各国是否批准国际条约、是否按时提交国家信息通报、是否履行资金承诺等。这一阶段评估研究的内涵特征有：评估的对象主要是国家在国际气候制度框架下的“合作行为”；评估的方法论相对简单，以条约批准速度、报告提交及时性等客观行为指标为主。例如，Bättig 等 [9] 于 2008 年提出了 CI，该指数选取了 5 项核心指标：UNFCCC 与《京都议定书》的批准速度、国家信息通报的及时性、对气候基金的财政贡献，以及经人均国内生产总值（GDP）调整后的排放表现，覆盖了 198 个国家 1990—2005 年的数据。CI 的设计理念体现了当时气候评估研究的主导逻辑——在缺乏全面、可比的国内政策数据的情况下，以可观测的国际合作行为作为国家气候努力的替代性指标。

第二阶段的时间跨度大致为从 2005 年《京都议定书》生效至 2015 年《巴黎协定》签署。《京都议定书》的实施推动各国开始制定国内气候政策，可再生能源发展、能效提升、碳市场建设等议题逐渐进入政策议程；与此同时，2009 年哥本哈根气候大会推动了各国自愿减排承诺的提出，为后来 NDC 模式的形成奠定了基础 [18]。这一阶段评估研究的内涵特征是：评估的焦点从国际遵约转向国内综合绩效，评估方法也从单一的行为指标发展为多维度的综合指数体系。此阶段最具代表性的是自 2005 年起每年发布的 CCPI[10,15]，最新版覆盖 63 个国家和地区及欧盟，其评估体系包含温室气体排放（40%）、可再生能源（20%）、能源消费（20%）和气候政策（20%）四大维度，创新性地将客观的排放与能源数据与主观的政策评估相结合。同期还涌现了其他代表性框架：Bernauer 和 Böhmelt[16] 于 2013 年提出的 C3-I，构建了 172 个国家的政策表现和排放表现面板数据，强调评估的客观性和可重复性；耶鲁大学与哥伦比亚大学等机构的 EPI[11] 覆盖 180 个国家和地区、采用 58 项指标，其“接近目标”（Proximity-to-Target，PTT）的归一化方法为后续碳中和进展评估提供了重要的方法论参考；此外，Codal 等 [15] 借鉴平衡计分卡（Balanced Scorecard，BSC）理念提出的 G20 国家多维度评估框架，强调了超越单一排放维度的综合评估视角。

第三阶段始于《巴黎协定》的签订，标志着全球气候治理进入新纪元。自 2018 年 IPCC《全球升温 1.5℃特别报告》发布开始，“碳中和”概念迅速从科学话语扩展为政策承诺。这一阶段评估研究的焦点从回顾性的绩效排名转向前瞻性的目标对齐，核心问题不再仅仅是各国过去表现如何，而是各国的承诺与行动是否足以实现全球 1.5℃温控目标。这催生了评估维度的系统性扩展，不仅关注排放结果，更开始深入剖析承诺的可信度、分配的公平性及从目标到成效的全过程。此阶段涌现了多种创新性框架：Averchenkova 和 Bassi[12] 于 2016 年构建的 NDC 承诺政治可信度框架，开创性地聚焦于评估气候承诺背后的制度支撑；Ari 和 Sari[19] 开发的共同但有区别的责任（Common But Differentiated Responsibilities，CBDR）指数和各自能力（Respective Capabilities，RC）指数，尝试为更公平的减排责任分配提供量化依据；CAT[14] 持续追踪约 40 个国家的行动与 1.5℃目标的差距，分别对政策与行动、NDC 目标、公平份额进行评级；Yu 等 [13] 于 2020 年提出的 GCPI 明确纳入了与温控目标路径的差距评估；清华大学发布的 AR-GCNP[2,3] 构建了“目标—政策—行动—成效”四维框架，将碳中和视为一个从战略设定到实际结果的完整链条。此外，经济合作与发展组织（OECD）等机构的“国际气候行动计划”（International Programme for Action on Climate, IPAC）[20] 对政策维度进行了深度量化，SoCA 报告 [8] 则专注于追踪具体部门的行动差距。各指标体系基本情况见表 1。

2 进展评估的方法学与指标体系

指标体系构建或综合指数合成是气候行动进展评估中广泛应用的方法。然而，不同的评估动机和目标下，已有评估体系在指标覆盖范围与侧重点等方面存在显著差异。例如，CCPI[10] 和 GCPI[13] 的核心目标是评估和比较各国在气候变化减缓方面的努力或表现，旨在识别领导者与落后者，其核心指标侧重于温室气体排放、可再生能源、能源消费、气候政策 [5] 及低碳技术、低碳能源、气候政策和低碳经济 [9] 等方面。CAT[14] 的目标则更聚焦，旨在评估

表1　主要全球气候行动/碳中和进展评估指标体系基本情况

指数名称	发布机构	发布形式	评估时间	国家/地区数量	评估目的	评估对象	指标维度	指标数量	权重确定方法	是否定量
Climate Change Performance Index（CCPI）	德国观察，新气候研究所，CAN	年度报告	年度（基于最新数据）	63+欧盟	监测减缓努力，提高透明度，比较国家表现	国家气候减缓表现	GHG 排放、可再生能源、能源使用、气候政策	4 个维度，14 个指标	固定权重（排放占 40%，其他各占 20%）	混合
Cooperation Index（CI）	苏黎世联邦理工学院（ETH Zurich）	学术论文	1990—2005 年（聚合数据）	198	评估和比较各国在国际气候机制框架下的合作行为	国家合作行为	承诺（条约批准），实施（报告、资金、排放 /GDP）	5 个指标	排放指标权重加倍	定量
Climate Change Cooperation Index（C3-I）	苏黎世联邦理工学院（ETH Zurich）	学术论文	1996—2008 年（面板数据）	172	系统性全球比较国家气候政策（改进 CCPI）	国家气候政策表现（政策输出与排放结果）	政策表现（条约、报告、资金），排放表现（人均 GDP 调整后）	2 个维度，多个指标	等权重（政策占 50%，排放占 50%）	定量
INDC 承诺政治可信度评估框架	Grantham 研究所（LSE），CCCEP	政策简报	2016 年（针对 INDC）	G20	评估 G20 国家 INDC 承诺的政治可信度	INDC 承诺的政治可信度	规则与程序、参与者与组织、规范与舆论、过往表现	4 个要素，8 个指标	不适用（分类打分）	混合
G20 气候行动多维度评估（BSC 框架）	学术研究（Codal et al.）	学术论文	1990—2014 年（部分指标）	G20	基于平衡计分卡（BSC）多维评估 G20 气候行动	G20 国家气候行动表现	金融、排放、政策与立法、非政府组织（NGOs）	4 个维度，14 个指标	等权重（各维度占 25%）	定量
CBDR Index 和 RC Index	学术研究（Ari&Sari）	学术论文	约 2010 年数据	50	依据量化结果对国家重新分类，以辅助公平分配减排责任	国家责任（CBDR）与能力（RC）	CBDR（排放相关）、RC（经济、社会、技术）	多指标（合成 2 个指数）	主成分分析法（PCA）	定量
Global Climate Protection Index（GCPI）	北京理工大学（Yu et al.）	学术论文	2016—2020 年均变化	60	定量评估各国减缓气候变化的努力程度	国家气候减缓努力	低碳技术、低碳能源、气候政策、低碳经济	4 个维度，15 个指标	层次分析法（AHP）	混合
Climate Action Tracker（CAT）	Climate Analytics，新气候研究所	网站 / 报告（持续更新）	持续更新	~40	追踪政府气候行动与《巴黎协定》1.5° C 目标的对比	国家政策、行动、目标、公平份额	政策与行动、NDC 目标、公平份额、全球升温预测	不适用（分类评级）	不适用（分类评级）	混合
Environmental Performance Index（EPI）	耶鲁大学，哥伦比亚大学等	年度 / 两年期报告	年度（基于最新数据）	180	评估全球可持续性状况，比较国家环境表现	国家环境健康与生态系统活力（含气候）	气候变化减缓、生态系统活力、环境健康	3 大目标，58 个指标	预设权重（基于专家和 PCA）	定量
全球碳中和进展评估年度报告（AR-GCNP）框架	清华大学碳中和研究院	年度报告	年度（动态更新）	198	科学量化各国碳中和进展，追踪从战略设定到实际结果	国家碳中和进展（全过程）	目标、政策、行动、成效	4 个维度，多个指标	预设权重（专家设定）	混合

各国行动与 1.5℃温控目标的一致性，其核心指标着重于排放路径、气候政策及其与全球温控目标的契合度，并将 NDC 和公平份额纳入独立评估。C3-I[16] 聚焦于国家在国际气候制度框架下的合作行为，其指标体系侧重于政策表现，即条约批准、报告提交与排放表现。AR-GCNP[2] 专门针对碳中和进展进行评估，构建了涵盖“目标—政策—行动—成效”四个维度的指标体系，以全面追踪国家碳中和的各项进展。EPI[11] 则具有最广泛的评估范围，衡量国家整体的可持续性水平，气候变化是其考量的重要支柱，此外还涵盖了生态系统活力和环境健康等多个领域。部分主要气候 / 碳中和进展评估定位见图 1。

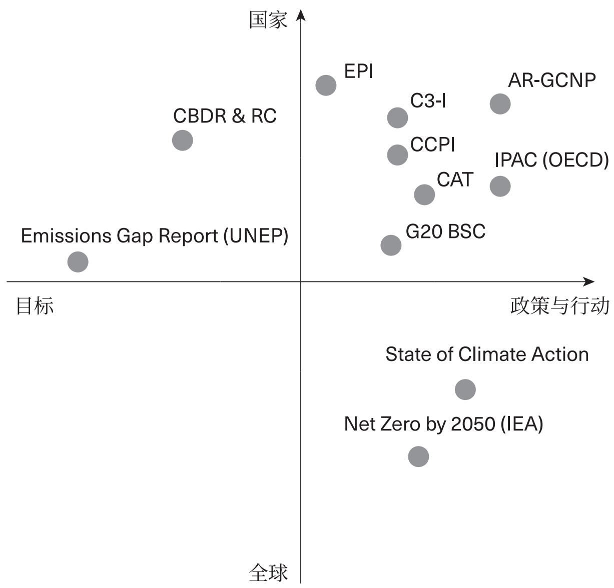

图 1　主要碳中和 / 气候评估框架定位

定位图展示了 11 个主要气候评估框架的分析重点。横轴（X 轴）用于区分评估体系的核心，从左侧的目标为基准（如评估全球差距或公平责任）到右侧的政策与行动为核心（如评估具体技术或制度发展）。纵轴（Y 轴）则区分了评估体系的范围，从下方的全球层面（提供聚合的总体图景）到上方的国别层面（提供详细的国家排名或比较）。

不同的维度构成与权重分配，反映了构建者不同的价值取向。CCPI[10] 和 EPI[11] 的权重相对固定，且排放绩效均占据主导地位，例如 CCPI 将温室气体排放维度赋予 40% 的最高权重。GCPI[13] 和 AR-GCNP[2] 则采用专家赋权法，如层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）或预设权重法，GCPI 侧重能源和政策维度，二者各占 30%，AR-GCNP 则突出了行动维度的重要性，将行动指标作为四个一级指标之一。C3-I[16] 给予政策表现和排放表现两个维度同等重视，各占 50%。CAT[14] 的方法较为独特，它不对不同方面如政策、NDC、公平份额等进行加权合成单一指数，而是分别进行评级。此外，部分评估还侧重某一具体维度进行分析。例如，IPAC 构建了气候行动和政策测量框架（Climate Actions and Policies Measurement Framework，CAPMF）[20]，对政策维度进行了深度量化；而 SoCA 报告 [8] 则几乎完全聚焦于行动维度，通过追踪关键部门的转型指标来评估进展。

在核心指标的选取与度量方法上，各体系存在巨大差异。在评估内容上，各体系侧重点不同：排放 / 成效评估方面，CCPI、C3-I 等侧重历史趋势和水平，而 CAT[14] 和 AR-GCNP[2] 则明确使用模型来评估排放路径与未来温控目标的差距；政策评估方面，方法差异巨大，CCPI 依赖专家打分 [10]，C3-I 采用客观行为指标 [16]，Averchenkova 和 Bassi[12] 评估可靠度，而 AR-GCNP 则将其细化为战略、监管、金融等多个具体指标 [2]；此外，一些体系还包含了独特维度，如 GCPI 的低碳技术创新 [13]、Codal 等 [15] 的金融与 NGO 维度、CAT 的公平份额评估 [10] 及 AR-GCNP 的行动维度 [2]。

在评估技术上，最主流的是指标构建与指数合成法，其中涉及一系列技术处理方法。首先是归一化处理以消除量纲影响，常用方法包括最小—最大规范化 [2,11,13,15]、Ari 和 Sari[19] 采用的 Z-score 标准化及 EPI[11] 广泛采用的目标接近度法；其次是权重分配，用以体现不同指标的重要性，包括等权重法 [15,16]、层次分析法 [2,13]、主成分分析法 [19] 及 CCPI 使用的预设权重法 [10]；最后通过聚合，如线性加和法 [9,10,13,16] 形成综合指数。除指数合成法外，基准设定与差距分析法是当前评估的主流方法论。UNEP 的《排放差距报告》[21] 正是该方法的宏观体现，它量化了 NDC 与全球温控路径间的排放差距。而 SoCA[8] 则将此方法应用在更微观的部门层面，通过设定具体的 2030 年行动指标（如可再生能源发电占比），来评估现实与目标之间的行动差距。这种差距分析的前提是拥有一个科学的基准。CAT[14] 和 AR-GCNP[2] 采用了与 1.5 ℃ /2 ℃温

控路径的对比，而CI[9]则采用了环境库兹涅茨曲线（EKC）趋势对比。在部门级评估中，这些基准通常来源于权威的规范性情景，其中最关键的参考之一是国际能源署（IEA）发布的《2050年净零排放路线图》[22]。该报告提供了详细的全球能源部门转型路径和关键里程碑，SoCA[8]中的许多部门指标正是以此为重要参考来设定其目标基准的。此外，定性与半定量评估法（如CCPI[10]的专家打分和CAT[14]的分类评级）及模型模拟法（如AR-GCNP和CAT利用能源经济模型[2]或MAGICC气候模型[14]）也是评估中的核心方法。

为了应对传统统计数据滞后与缺失的挑战，评估方法正呈现出新的发展趋势。越来越多的大数据、人工智能与智能技术被用于指标的动态度量。例如，通过自然语言处理（NLP）技术分析政策文本与新闻报道，可以辅助评估政策的可信度与执行力；利用遥感和卫星数据，可以更高频地监测土地利用、土地利用变化与林业（LULUCF）的碳汇变化或甲烷泄漏热点；利用机器学习模型整合电力、交通等数据，有助于实现对排放的近实时估算，实现对现有技术、排放等时序数据的预测。AR-GCNP[2]框架中提出的数据挖掘与更新、一手数据挖掘、“NDC进展动态追踪数据库”构建及丰富的模型评估等动向，正是这一方法学趋势的具体体现，旨在利用新技术提升评估的时效性、前瞻性、客观性和颗粒度。

综合来看，现有指标体系存在明显共性。它们都普遍认可评估的必要性，旨在通过量化评估提高透明度、促进问责；普遍采用多维度的考量，并高度关注排放与政策因素。与此同时，这些指标体系在现阶段也存在一系列局限性。首先，在评估目标与理念上存在双重困境。一方面，多数体系（如CI和C3-I）建立于碳中和目标成为主流之前，对长期净零目标的进展、路径可行性与政策一致性等方面考虑不足。另一方面，评估侧重点难以两全，或重“果”（排放）轻“因”（努力），或重承诺（政策）轻落实（行动），如何有效结合过程与结果仍是挑战，AR-GCNP的链条式评估[2]是对此的回应尝试。其次，在方法论上，主观性与公平性难题并存。一方面，指标的选择与权重的分配，无论是专家打分[2,10]、层次分析法[13]还是预设比例[10]，都不可避免地引入主观性并影响排名。另一方面，对公平性原则的体现仍不充分，尽管部分指数[2,9,11,14,19]尝试纳入考量，但如何全面、公正地量化历史责任、发展阶段差异等要素，仍是复杂且敏感的难题。最后，数据基础的薄弱环节是根本性的制约。评估质量严重受限于数据的可得性、质量和时效性。数据滞后性普遍存在；同时，在非CO_2气体、LULUCF、政策实效等方面的数据可得性与质量仍然不高，发展中国家尤其如此；数据统计口径和核算方法不统一也严重影响了可比性。

3 进展评估的数据库

碳中和进展评估的质量高度依赖于所使用数据的可靠性、覆盖面和时效性。现有评估体系广泛利用了来自不同渠道的数据资源，主要可归纳为国际组织官方数据库（如UNFCCC、IEA、WB）、研究机构与学术数据库（如PRIMAP、WRI）、国家官方统计与报告、非政府组织（NGO）与智库报告（如CAT）以及专家调查（如CCPI）等。主要数据源见表2。

评估所依赖的数据类型正在发生深刻变化，呈现出从传统统计数据向多元化、动态化数据扩展的趋势。传统的评估（如CI、C3-I）在很大程度上依赖于各国官方提交的、相对滞后的统计数据，如国家清单、能源平衡表等。而新一代的评估框架，为了实现前瞻性并评估与温控目标的差距，越来越多地纳入模型模拟数据。例如，CAT和AR-GCNP的核心评估依赖气候模型、CGE模型、技术预测模型等的模拟结果，用以评估当前政策路径下的未来排放，并将其与1.5℃温控路径进行对比。UNEP的《排放差距报告》和WRI的《气候行动状况》同样深度依赖模型和多源数据融合，用以评估政策情景和行动差距。与此同时，大数据技术也正被用于挖掘传统方式难以获取的信息，特别是政策文本等非结构化数据。通过自然语言处理技术分析海量的法律、政策、新闻报道文本，有助于评估者量化政策的执行力度与可信度。

尽管数据类型不断扩展，但以官方统计为主的传统数据基础仍面临严峻挑战。首先是数据存在缺口且覆盖范围不全，这不仅体现在许多发展中国家的数据报告能力有限，更体现在特定领域的全球性

表2　部分气候/碳中和进展评估数据库

类别	名称	简介
气候政策与法律	Climate Change Laws of the World	格兰瑟姆研究所维护的全球气候法律与政策文本库
	气候变化减缓政策数据库（GCCMPD）	全球超 7.3 万项减缓政策数据库，含多维度标签
	Climate-related Financial Policies Database（CFP Database）	涵盖 74 个国家和地区 2000—2020 年的气候相关金融监管与政策数据
	IEA 政策与措施数据库（P&M Database）	IEA 维护的各国 / 地区能源相关政策数据库（含气候减缓）
气候目标	Net zero tracker	追踪国家、地区、城市和公司的净零目标状态与细节
	CAT（Climate Action Tracker）	独立科学评估项目，评估各国行动与 1.5° C 目标的一致性
	UNFCCC NDC 登记处	UNFCCC 官方平台，用于各国提交和公布 NDC 文件
温室气体排放	PRIMAP-hist	PIK 维护的全球温室气体排放历史数据集（1850 年至今）
	IEA CO_2 排放数据	IEA 提供的全球燃料燃烧 CO_2 排放数据（分国家、部门）
	Global Carbon Budget	GCP 发布的年度全球碳收支评估（含排放与碳汇）
能源数据	IEA 能源数据	IEA 提供的全球能源平衡表、消费、可再生能源等综合统计
	IRENA 可再生能源数据库	IRENA 提供的可再生能源发电成本、装机容量、发电量等数据
	FAOSTAT	FAO 维护的农业、林业、土地利用（LULUCF）等相关数据
特定技术 / 部门	Global CCS Institute CO_2RE Database	全球碳捕集与封存（CCS）项目数据库（含状态、容量）
	IEA 氢能项目数据库	IEA 维护的全球氢气生产和基础设施项目数据库
	IEA 全球电动汽车数据浏览器（Global EV data explorer）	IEA 提供的全球电动汽车（EV）保有量、销量、充电设施等数据
社会经济数据	世界银行 GDP 数据	提供各国历史 GDP 数据
	世界银行 WDI	世界银行发布的世界发展指标（WDI），综合社会经济数据
	世界银行 MFD	世界银行宏观财政数据，提供各国宏观经济与财政收支数据
	WIPO PATENTSCOPE	WIPO 维护的全球专利数据库（可用于检索低碳技术）
	IMF Climate Change Indicators Dashboard	IMF 开发的气候变化指标数据库，侧重宏观经济与金融
	OECD Statistics	OECD 统计数据库，包含环境、能源、经济等综合数据

数据缺失，如非 CO_2 温室气体（特别是农业甲烷和 N_2O 的精确源清单）、LULUCF、气候融资（尤其是私人部门和南南合作资金流）、适应成效及消费端排放等关键数据普遍缺乏。其次是数据标准不一致与可靠性不足，温室气体清单编制、能源统计等核算方法的不一致性，以及 LULUCF、农业排放等领域的高不确定性，导致数据可比性差且验证困难。再次，数据透明度与可获取性不足，例如 NDC 中 BAU 情景的假设往往不透明，部分关键数据也存在获取壁垒。同时，数据的时效性与更新频率是普遍瓶颈，官方统计数据通常存在 1～2 年的滞后期 [10,16]，难以反映快速变化的政策进展，碳中和评估数据平台对官方统计数据的整合也存在滞后。最后，诸如“气候融资”“适应成效”“公正转型”等关键概念在定义上也存在模糊性，也影响了对其进展的量化衡量。

尽管挑战重重，但数据基础的改善也面临新的机遇。《巴黎协定》的强化透明度框架（ETF）将为提升数据的可比性、一致性和完整性提供制度保障。技术革新是巨大的推动力，大数据、人工智能与机器学习正被用于整合异构数据、填补缺口、进行实时监测和政策文本分析，AR-GCNP 框架 [2] 中提到的“数据挖掘与更新”和“一手数据挖掘”是该机遇的具体体现。遥感与地理空间技术为 LULUCF、甲烷泄漏热点等传统数据难点提供了独立的监测手段。此外，开放数据运动和平台建设（如 Climate Watch 及 AR-GCNP 构想的“NDC 进展动态追踪数据库”等）正在提高数据的可获得性；国际社会对发展中国家在数据收集、报告和核查（MRV）方面的能力建设支持，以及基于公民科

学的众包数据机制，也为提升全球数据基础的整体水平提供了有益补充。

4 研究述评与未来展望

本文系统回顾了全球碳中和进展评估的指标体系、核心方法学与数据基础。总体而言，该领域已形成若干重要共识：多维度评估的必要性得到普遍认可，单一排放指标已无法满足复杂决策需求；评估体系经历了从早期关注国际遵约[9,16]到中期聚焦综合绩效[10,11]，再到《巴黎协定》后整合 NDC、可信度与碳中和长期目标的演进过程[2,8,12-14]；目标对齐和差距分析已成为近期评估的主流范式。在方法学方面，指标构建与指数合成、基准设定与差距分析、模型模拟等方法的系统化应用代表了重要进展，特别是 CAT 和 AR-GCNP 等框架将模型模拟与实证评估相结合，实现了从“回顾性绩效评价”向“前瞻性目标对齐评估”的方法论转型。尽管取得上述进展，该领域仍面临多重挑战。在评估理念上，不同体系在绩效评价与目标对齐、排放结果与努力程度、国家责任与发展公平等核心问题上存在根本性分歧，阻碍了统一评估标准的形成。在方法论上，指标选择与权重分配不可避免地引入主观判断，而公平性原则的量化仍是复杂且政治敏感的议题。在数据基础上，数据滞后、关键领域数据缺失、统计口径不一致等问题普遍存在，构成根本性制约。

本文对全球碳中和进展评估体系的系统梳理，为理解中国在国际气候评估中的位置及参与全球气候治理提供了重要参考。在主流国际评估中，中国经常位于较低的评级或排名，如 CCPI 2026 将中国排在第 54 位[23]，CAT 对中国的总体评级为“Highly Insufficient”[24]。这些结果需要辩证看待。一方面，中国作为全球最大排放国，对煤炭的持续依赖、缺乏明确的煤电退出时间表等确实是国际社会关注的焦点。另一方面，中国在可再生能源部署方面取得了举世瞩目的成就——2024 年 7 月风电光伏装机达 1206 GW，提前六年完成 NDC 中 1200 GW 的 2030 年目标，至 2024 年底已达 1407 GW[25]；由于可再生能源发电比例上升，2025 年上半年 CO_2 排放量同比下降约 1%[26]。这种“行动超前于目标”的特点，是现有评估体系难以充分捕捉的。

现有主流评估体系在方法论上存在若干对中国不利的结构性偏差。首先，CCPI 等体系对人均排放和经济发展阶段的考量不足，未能充分体现 CBDR-RC 原则。其次，CAT 在公平份额计算中对历史累积排放责任的权重有限，1750—2023 年，中国化石燃料燃烧、工业生产和产品使用的历史累计 CO_2 排放为美国的 63%、欧盟 27 国加上英国排放总量的 72%[27]；而按不变价计算，中国 2021 年 GDP 比 2005 年增长 258%，年均增长达 8.3%。十多年来中国以年均 3.4% 的温室气体排放增速，支撑了年均 8.3% 的经济增长[28]。此外，多数评估侧重承诺雄心度而非实际行动进展，而中国的政策风格恰恰是“保守承诺、超额兑现”——如 CAT 所指出，中国的实际气候行动表现优于其 NDC 承诺[24]。最后，当前国际气候评估领域主要由欧美机构主导——CCPI 由德国观察等欧洲 NGO 发布，CAT 由 Climate Analytics 和 NewClimate Institute 运营，EPI 由耶鲁大学和哥伦比亚大学编制。评估框架的设计理念、指标选择、权重分配等不可避免地带有特定的价值取向和方法论偏好，这样的格局使得评估结果往往更多反映发达国家的视角和关切。例如，对“煤电退出时间表”的强调，虽然从全球减排角度具有合理性，但可能未能充分考虑发展中国家能源安全和公正转型的现实约束；对“NDC 雄心度”的侧重，也可能低估了渐进式、务实型气候战略的实际成效。理解这些局限，有助于中国在国际场合更精准地阐释自身贡献。

目前，中国在这一领域的参与程度和话语权与其排放体量和减排贡献不相称。AR-GCNP 框架作为中国机构提出的评估方案是重要突破，其“目标—政策—行动—成效”的链条式设计有效回应了承诺与落实脱节的评估难题。中国有机会通过贡献更具包容性、更能体现发展中国家视角的评估方法论，在全球气候治理的软规则制定中发挥更积极的作用。特别是在公平性量化、发展阶段差异的合理体现、行动成效与目标承诺的平衡等方面，中国的实践经验和研究积累可以为国际评估方法学的完善提供有益借鉴。

在全球层面，未来碳中和进展评估可考虑以下发展方向：一是推动评估标准的协调与统一，借

助《巴黎协定》ETF 和全球盘点机制，逐步形成核心指标定义、数据统计口径等技术环节的国际共识；二是发展动态评估与情景模拟能力，超越年度静态报告的局限，将气候模型、能源经济模型与实证数据更紧密整合，建立“评估—政策反馈—再评估”的动态循环；三是加强跨国数据共享与能力建设，推动建立开放共享的全球公共数据平台，加大对发展中国家 MRV 能力建设的支持；四是推动评估从排名工具转向行动赋能平台，为各国 / 地区提供转型路径识别和政策优化建议，而非仅仅进行绩效排名。

在中国层面，以下方向或值得关注。在国内层面，加快构建覆盖省市（级）、重点行业、重点企业的碳中和进展监测评估体系，将 AR-GCNP 的“目标—政策—行动—成效”框架转化为可操作的地方评估工具；加强温室气体排放统计核算体系建设，在非 CO_2 气体、LULUCF 碳汇等薄弱领域持续提升数据质量；建立评估结果向政策制定的转化机制，使进展评估成为“双碳”目标可长期参考的科学依据。在国际层面，鼓励科研机构深度参与全球评估方法学研究，在公平性量化、发展中国家视角等议题上贡献中国智慧；持续完善 AR-GCNP 框架并加强国际传播，提升中国在评估规则制定中的影响力；依托评估成果在南南合作、“一带一路”倡议等框架下识别合作需求，将碳中和进展评估融入对外气候合作的项目设计与效果监测。

参考文献

[1] MASSON-DELMOTTE V, ZHAI P, PIRANI A, et al. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021.

[2] 清华大学碳中和研究院 , 中国石油大学 (北京) 经管学院 , 中国人民大学生态环境学院 , 等 . 2025 全球碳中和年度进展报告 [R]. 北京 , 2025.

[3] ZHANG S H, CAI W J, ZHENG X Z, et al. Global readiness for carbon neutrality: from targets to action[J]. Environmental science and ecotechnology, 2025, 25: 100546.

[4] 邓旭 , 谢俊 , 滕飞 . 何谓“碳中和”?[J]. 气候变化研究进展 , 2021, 17(1): 107-113.

[5] European Commission. Submission on behalf of the European Union and its Member States on the update of the NDC[R/OL]. (2023-10-16).[2025-12-10]. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-10/ES-2023-10-17%20EU%20submission%20NDC%20update.pdf.

[6] 中华人民共和国生态环境部 . 2035 年中国国家自主贡献报告 [R/OL]. (2025-11-10)[2025-12-10]. https://unfccc.int/sites/default/files/2025-11/2035 年中国国家自主贡献报告 .pdf.

[7] Indonesia. Enhanced nationally determined contribution[R/OL]. (2022-09-23)[2025-12-10]. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf.

[8] SCHUMER C, BOEHM S, JAEGER J, et al. State of Climate Action 2025[R]. Berlin: Climate Analytics, 2025.

[9] BAETTIG M B, BRANDER S, IMBODEN D M. Measuring countries' cooperation within the international climate change regime[J]. Environmental science & policy, 2008, 11(6): 478-489.

[10] BURCK J, UHLICH T, BALS C, et al. The Climate Change Performance Index 2025: Results[R]. Bonn: Germanwatch, 2024.

[11] BLOCK S, EMERSON J W, ESTY D C, et al. 2024 Environmental Performance Index[R]. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2024.

[12] AVERCHENKOVA A, BASSI S. Beyond the Targets: Assessing the Political Credibility of Pledges for the Paris Agreement[R]. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, 2016.

[13] 余碧莹 , 赵清雨 , 刘兰翠 , 等 . 基于全球气候保护指数的气候减缓努力评估 [J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2022, 24(2): 43-49.

[14] Climate Action Tracker. About[EB/OL]. (2025-10-22).[2025-11-06]. https://climateactiontracker.org/about/.

[15] CODAL K S, ARI I, CODAL A. Multidimensional perspective for performance assessment on climate change actions of G20 countries[J]. Environmental development, 2021, 39: 100639.

[16] BERNAUER T, BÖHMELT T. National climate policies in international comparison: the Climate Change Cooperation Index[J]. Environmental science & policy, 2013, 25: 196-206.

[17] 王灿 , 张诗卉 , 蔡闻佳 . 全球碳中和进展评估 : 指标、方法与应用 [M]. 北京 : 科学出版社 , 2024.

[18] United Nations Framework Convention on Climate Change. Copenhagen accord[R/OL]. (2010-03-30).[2025-12-10]. https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf.

[19] ARI I, SARI R. Developing CBDR-RC indices for fair allocation of emission reduction responsibilities and capabilities across countries[J]. Cogent environmental science, 2017, 3(1): 1420365.

[20] OECD. Programme international pour l'action sur le climat (IPAC)[R/OL]. [2025-11-06]. https://www.oecd.org/

climate-action/ipac/.
[21] UNEP. Emissions Gap Report 2025[R]. Nairobi: UNEP, 2025.
[22] IEA. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector[R]. Paris: IEA, 2021.
[23] BURCK J, UHLICH T, BALS C, et al. Climate Change Performance Index 2026[R]. Bonn: Germanwatch, 2025.
[24] Climate Action Tracker. China[EB/OL]. (2025-11-06).[2025-12-10]. https://climateactiontracker.org/countries/china/.
[25] 国家能源局 . 国家能源局发布 2024 年全国电力工业统计数据 [EB/OL]. (2025-01-21).[2025-12-10]. https://www.nea.gov.cn/20250121/097bfd7c1cd3498897639857d86d5dac/c.html.
[26] MYLLYVIRTA L. Analysis: clean energy just put China's CO_2 emissions into reverse for first time[EB/OL]. (2025-05-15).[2025-12-10]. https://www.carbonbrief.org/analysis-clean-energy-just-put-chinas-co2-emissions-into-reverse-for-first-time/.
[27] FRIEDLINGSTEIN P, O'SULLIVAN M, JONES M W, et al. Global carbon budget 2024[J]. Earth system science data, 2025, 17(3): 965-1039.
[28] 中国环境保护协会 . 在这份重磅报告里 , 读懂中国应对气候变化的努力和贡献 [EB/OL]. (2025-01-16).[2025-12-13]. http://zhb.org.cn/hbzx/news_2/2025-01-16/21622.html.

A Review and Prospects of Global Carbon Neutrality Progress Assessment Methods

YE Wenxin[1], ZHENG Xinzhu[2*], ZHANG Shihui[3*], WANG Can[1,4]

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Economics and Management, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. School of Ecology & Environment, Renmin University of China, Beijing 100872, China; 4. Institute of Carbon Neutrality, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: With over 160 countries and regions committing to carbon neutrality targets, scientifically assessing national progress has become a crucial issue in global climate governance. Current assessment practices, however, are constrained by heterogeneous targets, multidimensional evaluation needs, insufficient methodological standardization, and uneven data quality, calling for systematic methodological review and reflection. This paper provides a comprehensive review of the indicator systems, core methodologies, and data foundations for assessing global climate actions and carbon neutrality progress. The study first traces the three-phase evolution of assessment frameworks, from "treaty compliance" to "comprehensive performance" and then to "target alignment" , revealing a paradigm shift from retrospective performance evaluation toward forward-looking target consistency assessment. Building on this, the paper comparatively analyzes leading frameworks including CCPI, CAT, CI, C3-I, EPI, GCPI, and AR-GCNP. It finds that while these systems share common features such as multidimensional design and emphasis on emissions and policy, significant limitations persist in subjective weighting, equity quantification, data timeliness, and integration of long-term carbon neutrality goals. The paper further analyzes key methodologies, including index synthesis, benchmark setting, and gap analysis, and examine the evolving data ecosystem from traditional statistics toward model simulation and big data integration. Finally, drawing on the "target-policy-action-performance" chain design of Tsinghua University's AR-GCNP framework, the paper explores China's opportunities in global assessment governance and argue that future assessment systems should transition from static ranking to dynamic tracking, from single-dimension performance to full-process evaluation, and from developed-country dominance toward more inclusive methodologies.

Keywords: carbon neutrality; climate change; progress assessment; index system; methodology; data foundation