



精准施策：中国省级交通领域二氧化碳排放核算方法研究

TOWARD CREDIBLE TRANSPORT CARBON DIOXIDE EMISSIONS ACCOUNTING IN CHINA

薛露露 刘岱宗

执行摘要

主要结论

- 地方政府（至少省级政府）应自某一基准年起，每年定期编制交通领域碳排放清单。这对地方政府了解交通领域碳排放，识别排放源，建立减排目标，编制低碳行动方案，评估减排进展，满足《巴黎协定》“强化透明度框架”对国家温室气体清单报告的新要求，都有重要性及紧迫性。
- 本文梳理了国内常见的交通领域碳排放核算方法。通过对比不同核算方法及核算结果，本研究揭示，“自上而下”法和“自下而上”法计算出的地方交通碳排放具有较大差异，对政策决策与资源分配也会产生较大影响。因此，有必要完善数据统计基础，提升数据质量。
- “自上而下”法适用于国家/地方交通碳排放清单的编制，但还需解决核算边界不清晰、交通领域能耗统计覆盖不全的问题。
- “自下而上”法适用于分解碳排放源，预测未来排放趋势，支撑低碳行动方案编制，但还需完善相关方法学指南及数据统计基础。
- 国内航空、铁路和沿海水运的碳排放应落实到相关企业，并督促相关企业定期编制碳排放清单。

目录

执行摘要	1
1. 背景	2
2. 交通碳排放核算方法	5
2.1 国际主流方法	5
2.2 国内常见方法	8
3. 对现有核算方法的评估	14
3.1 数据可得性	15
3.2 权责对应性	16
3.3 不确定性	19
3.4 一致性与可加总性	24
3.5 排放源可识别性	25
3.6 政策关联性	26
4. 建议	26
附录A《城市温室气体核算国际标准》中的跨边界交通 的碳排放归属地划分方法	30
附录B 年行驶里程和燃油经济性的数据收集方法	32
参考文献	33
致谢	36

“工作论文”包括初步的研究、分析、结果和意见。“工作论文”用于促进讨论，征求反馈，对新事物的争论施加影响。工作论文最终可能以其他形式进行发表，内容可能会修改。

引用建议：薛露露、刘岱宗著. 精准施策：中国省级交通领域二氧化碳排放核算方法研究. 2022. 工作论文, 北京: 世界资源研究所. <https://doi.org/10.46830/wriwp.22.00015>

背景

具有确定性与一致性的交通碳排放核算方法，不仅有助于地方政府了解交通领域排放现状、识别主要排放源、设立减排目标，也有助于地方政府评估交通减排进展，更有助于中国完成《巴黎协定》“强化透明度框架”对国家温室气体清单报告的新要求。2022年，国家发展改革委等有关部门也出台了《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》，明确提出要“统一制定全国及省级地区碳排放统计核算方法”，“组织开展全国及各省级地区年度碳排放总量核算”。

关于本文

本文通过文献整理和利益相关者访谈，梳理了全球和中国现行交通领域核算方法，并通过建立一套评估指标体系（包括数据可得性、权责对应性、不确定性、一致性和可加总性、排放源可识别性、政策关联性等），对各种交通碳排放核算方法及计算结果进行了对比，并分析不同碳排放核算方法在国内的适用性。基于以上分析，本文提出了统一交通碳排放核算方法以及完善相关数据统计基础的建议。

研究结论

目前，中国较好地遵循了《政府间气候变化专门委员会国家温室气体清单指南》（以下简称“《IPCC指南》”）（1996版和2006版）编制国家和地方的交通领域二氧化碳排放清单。同时，本文分析也显示：

- **数据统计基础是地方政府能否顺利开展交通碳排放核算最主要的影响因素。**对国内通行的自上而下“本地运输企业燃料消耗法”而言，仍有众多城市缺乏能源平衡表或不公开相关能耗统计数据。即便是定期编制能源平衡表的省市，也面临能源平衡表更新不及时的情况。自下而上“居民活动法”的数据缺口相对少，“地理边界法”数据需求大，很多地区无法提供，“诱发活动法”在国内尚不适用。
- 国内“自上而下”法指南缺乏统一核算边界，且并未强制地方加以应用实施；而“自下而上”法指南尚有待研究制定。**这导致各地进行交通碳排放核算时采用的方法不一致，核算结果不具备可比性和可加总性。**
- **“自上而下”法和“自下而上”法得到的地方交通碳排放，均存在结果准确度的不确定性。**“自上而下”法的不确定性来自能耗统计的偏差以及能源平衡表拆分系数的不确定性。“自下而上”法的不确定性主要源于现有统计数据（如年行驶里程、燃油经济性）的质量参差不齐。
- **在跨边界出行排放的归属地划分方面，存在权责不匹配的情况。**国内一些地方被分到的航空/水运排放过高，超出了其权责范围。

本文建议：

- **地方政府（至少省级政府）应自某一基准年起，每年定期编制交通领域碳排放清单，并建立基于清单的考核机制。**
- **采用“自上而下”法核算国家与地方层面交通领域碳排放，并完善交通能耗统计制度。**可通过对燃料供应商提出强制性的“范围三”碳排放报告要求，开展全口径交通领域能耗统计；同时，完善企业上报数据的要求（如区分国内外交通能耗、生物燃料能耗、细分行业能耗等），争取与《巴黎协定》“强化透明度框架”的通用报告表保持一致，建立交通能耗统计的质量保证/质量控制制度。商务、生态环境等部门应加大对黑加油站、非正规炼化厂的执法力度，禁止非正规渠道的劣质非标油流入市场。
- **鼓励地方政府配套使用“自下而上”法核算交通领域碳排放，并抓紧研究制定“自下而上”法的方法学指南，完善相关数据统计基础，**包括定期统计年行驶里程、实际道路油耗等数据。
- **航空、铁路和沿海水运领域产生的碳排放可考虑落实到责任企业，**编制企业层面交通碳排放核算指南，并定期开展第三方核查。
- **统一交通碳排放方法学**（包括界定核算对象、核算边界，明确以“自上而下”法为主还是“自上而下”法与“自下而上”法结合，提出处理“自上而下”法和“自下而上”法结果差异的方法等），**加强数据平台开发与跨部门间数据共享，建立地方交通碳排放的第三方核查机制。**

1. 背景

降低交通运输领域（以下简称“交通领域”）碳排放，对中国实现2030年前碳达峰和2060年前碳中和至关重要。根据最新国家温室气体排放清单，2014年中国交通领域二氧化碳排放（以下简称“碳排放”）占能源活动排放的9.2%（国家发展改革委，2004；生态环境部，2018）。中国交通运输领域碳排放在全球交通碳排放中的占比也很可观：根据世界资源研究所“全球气候观察”2019年数据，中国交通领域碳排放在全球交通碳排放中的占比达11%，仅次于美国的21%（Climate Watch，2022）。

一些地方的交通碳排放在当地全行业排放中的占比更大，减排需求更迫切。根据薛露露（2022）分析，在经济发达或第三产业占比较大的省份，如广东省和海南省，2019年交通碳排放在能源活动相关排放中占比已超过20%；在特大城市如北京市和上海市，交通领域已经成为最大的碳排放源。

表 1 | 国家和地方省份碳达峰实施方案中交通领域的减排目标

	相对基准年排放 的绝对减排量 ^a	相对基准年的碳 排放强度降幅	相对未来基准情 景排放的减排量	达峰年份
国家层面 ^b				
与 2020 年相比，2030 年 营运交通工具 的单位换算周转 量碳排放强度降低 9.5%		✓		
与 2020 年相比，2030 年 国家铁路 单位换算周转量综合 能耗下降 10%		✓		
2030 年前，陆路交通运输石油消费力争达到峰值				✓
地方层面 ^c				
江西省^d ：与 2020 年相比，2030 年 营运车辆、船舶 的单 位换算周转量碳排放强度分别降低 10%、5%		✓		
上海市^e ：与 2020 年相比，2030 年 营运交通工具 的单位 换算周转量碳排放强度降低 9.5%		✓		

来源：a. 减排目标分类是作者根据《联合国气候变化框架公约》（2019）修改。
b. 国家发改委（2021）
c. 仅做展示用途，未列举所有省份的减排目标。
d. 江西省人民政府（2022）
e. 上海市人民政府（2022）

为实现2030年前碳达峰和2060年前碳中和目标、减少交通碳排放，国务院于2021年10月24日印发《2030年前碳达峰行动方案》，提出了一系列交通领域低碳行动的方案，涉及运输工具装备低碳转型、运输结构绿色调整、绿色交通基础设施建设等（国家发展改革委，2021）。同时，中央与地方政府正抓紧制定交通领域绿色低碳行动方案。

尽管如此，由于交通碳排放核算统计体系不完善、核算方法不一致，所以，地方政府无论在交通领域减排目标设置方面，还是交通碳排放清单核算及减排目标落实情况的评估方面，都缺乏充分的数据支撑，具体包括：

- 地方交通领域减排目标设置：截至2022年10月，部分省份出台的碳达峰实施方案中，交通领域的减排目标主要为营运交通工具碳排放强度下降目标（表1），仍缺乏覆盖整个交通领域的绝对或相对减排目标。同时，由于缺乏单位周转量碳排放强度相关的统计基础，地方政府在设定本地化的营运交通工具碳排放下降的具体目标时，也面临挑战。
- 地方交通碳排放清单与目标落实进展评估：由于数据统计基础薄弱，地方政府没有定期编制交通领域温室气体/二氧化碳排放清单的机制，因此，一套动态追踪地方交

通碳排放、评价其减排目标落实情况的机制也尚未建立起来。

事实上，能够确保确定性（certainty）与一致性（consistency）的交通碳排放核算方法，对地方政府了解交通领域排放现状、识别主要排放源、设立减排目标、评估减排进展与了解减排目标完成情况，都至关重要。此外，完善地方交通碳排放核算体系，要求地方政府定期编制交通领域碳排放清单，这也有利于验证国家层面的核算结果——即国家温室气体排放清单，以及中国履行《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）的国家温室气体清单报告要求。根据《巴黎协定》的“强化透明度框架”（Enhanced Transparency Framework）提出的新的国家温室气体清单报告要求，自2024年起，所有缔约方必须（“shall”）每两年提交“年度国家温室气体清单”，并确保国家温室气体清单能够具有时序上的一致性（UNFCCC, 2019）。这与目前允许非附件一国家（包括中国）提交有一定时间滞后性的国家温室气体清单报告的做法有明显不同。

在国内，完善地方交通碳排放核算体系需要至少从以下两方面发力：

首先，完善相关的数据统计基础。与其他发展中国家一样，中国缺乏一整套支持交通碳排放核算的、完善的统计体系。目前，交

通碳排放核算相关的部分统计数据（如交通领域的能源消耗量、各车型的年行驶里程）仍覆盖不全或缺失，影响了交通碳排放量核算的确定性。

其次，即使国内已出台交通领域碳排放指南，但由于该指南的核算方法覆盖不全、核算边界不清且实施中缺乏强制性，以及各地对核算边界与方法的选用存在差异，导致地方交通碳排放结果存在不确定性及不一致性。例如，地方交通碳排放计算需要解决“跨边界交通出行产生排放的属地划分”问题，而不同划分方法的选择会导致交通碳排放的显著差异。如果计入城市间航空碳排放，香港城市温室气体排放量会整体上涨25%（Harris等，2012）。由不同核算方法导致的地方交通碳排放量差异，不仅会引起地方政府对减排责任分配公平性的讨论，也可能会打击地方政府设置更高减排目标的积极性。

研究方法

交通碳排放核算对象多元、目标各异，不同核算对象与核算目标下，核算方法的差异也较大。本文仅侧重地方交通领域碳排放核算，所涉及的核算目标包括：

- 帮助地方政府了解交通领域碳排放现状，定期跟踪减排进展；

- 支撑地方政府识别交通主要排放源（如道路客运、道路货运、航空），预测未来地方交通碳排放趋势，设定交通领域/行业减排目标，并为交通低碳行动方案、减排政策制定与财政资金安排提供决策依据；
- 支撑国家对交通相关双碳目标的分解、执行与监督考核，督促地方履行减排承诺；
- 验证国家温室气体排放清单，协助国家履行《联合国气候变化框架公约》要求。

本文的研究范围见表2，内容不涉及项目层面或运输企业层面的碳排放核算，也不涉及其他政策目标，如寻求交通领域的气候融资、评估碳减排措施的大气污染物减排协同效应等。

为实现上述目标，本文首先基于文献综述及对十多个省市¹的利益相关者访谈，梳理总结了国内外地方层面交通碳排放核算方法及数据统计的基本情况。本文采用不同核算方法，对地方历史交通碳排放进行计算，然后对结果进行比较，并建立一套评估指标体系（包含数据可得性、权责对应性、不确定性、一致性和可加总性、排放源可识别性、政策关联性等指标），对各种交通碳排放核算方法进行了对比，分析其在国内的适用性。基于以上结论，本文提出了统一交通碳排放核算方法以及完善相关数据统计基础的建议。

表 2 | 本文的研究范围

	本研究涵盖	本研究未涵盖
地理范围	· 省级排放 · 市县级排放	· 项目（如地铁投资项目）层面排放 · 企业（如航空运输企业）层面排放
排放阶段	· 车辆行驶阶段（燃料燃烧）^{2,a}	· 化石/生物燃料炼化生产、发电及制氢 · 车辆生产制造、车辆/电池后处置 · 交通基础设施建设及运维
交通领域	- 国内交通，包括 · 道路交通 · 国内铁路 · 国内水运 · 国内航空 · 非道路机械	- 国际交通，包括 · 国际航空 · 国际航海 - 国内交通，包括 · 管道运输
温室气体类型	· 二氧化碳	· 甲烷 · 氧化亚氮 · 氢氟碳化物
核算目的	· 了解排放现状，跟踪减排进展 · 识别排放源，预测未来趋势，制定减排行动方案 · 验证国家温室气体清单	· 识别与寻找气候融资机会 · 协同二氧化碳与大气污染物减排 · 了解以中国为起始地或目的地的国际航空与国际航海排放

说明：a. 为简化，本文车辆行驶阶段的碳排放未包含尾气净化和润滑油燃烧产生的碳排放。
来源：作者总结。

交通领域温室气体排放：中国力争2030年前实现碳达峰的目标，主要指二氧化碳排放的达峰；而2060年前实现碳中和的目标是指温室气体排放的中和，在交通领域涉及二氧化碳、甲烷和氧化亚氮。

本文侧重交通领域二氧化碳排放的核算。鉴于甲烷和氧化亚氮排放仅占中国交通领域温室气体排放的1%（生态环境部，2018b），因此，仅核算交通碳排放对交通领域温室气体排放核算的影响不大。此外，值得注意的是，交通领域“自上而下”法不适用于核算甲烷和氧化亚氮排放，甲烷和氧化亚氮排放的核算通常采用“自下而上”法，在参数方面还需考虑后处理控制装置、车辆年龄结构、行驶工况等（IPCC，2006）。

交通基础设施建设及运维中的排放：根据《2030年前碳达峰行动方案》及各省份出台的碳达峰实施方案，交通领域低碳行动还需要将“绿色低碳理念贯穿于交通基础设施规划、建设、运营和维护全过程，降低全生命周期能耗和碳排放”。这意味着国内交通领域碳排放核算也需包含交通基础设施全生命周期的碳排放。但是，国际上交通领域碳排放核算通常不计入该部分排放（见第2节），因此，本文也不予以考虑。感兴趣的读者可参阅“城市基础设施碳足迹”核算方法（Ramaswami等，2008），计算交通基础设施全生命周期的碳排放。

值得注意的是，本文遵循《IPCC指南》（IPCC，1997和2006）中对核算边界的划分：一是交通领域上游发电及制氢环节产生的碳排放计入电力及工业部门；二是交通领域碳排放含道路、铁路、水运、航空与非道路机械的碳排放。

2. 交通碳排放核算方法

目前，国内外有多种方法核算交通碳排放，本文先对这些方法进行综述。

2.1 国际主流方法

在全球范围，常见交通碳排放核算方法主要包括：

- 《IPCC国家温室气体清单指南（1996年修订版）》（IPCC，1997）和《IPCC国家温室气体清单指南（2006年版）》（IPCC，2006）（以下分别简称“《IPCC指南》（1996版）”和“《IPCC指南》（2006版）”）。
- 《城市温室气体核算国际标准》（世界资源研究所等，2014）（以下简称“GPC”）。

虽然一些发达城市也采用《PAS 2070城市温室气体排放核算规范》（英国标准协会，2013）（以下简称“PAS 2070”）计算交通碳排放，但由于PAS 2070核算方法的数据需求大，对发展中国家的适用性有限，因此本文不予考虑。

《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）

根据《联合国气候变化框架公约》，各缔约方国家有履行国家温室气体清单信息报告的义务（UNFCCC，1996）。《IPCC指南》

（1996版）和《IPCC指南》（2006版）为各国履行温室气体清单报告义务、编制国家温室气体清单提供了方法学指南。其中，《IPCC指南》（2006版）为《IPCC指南》（1996版）的更新版。

目前，仅附件一国家（主要是经合组织国家）要求使用《IPCC指南》（2006版）编制国家温室气体清单报告，并要求定期提交连续年份的年度国家温室气体清单。而非附件一的缔约方（包括中国在内）可使用《IPCC指南》（1996版）编制国家温室气体清单。同时，非附件一国家温室气体清单的报告为非强制性：可不定期提交非连续年份的国家温室气体清单（UNFCCC，2012）。

然而，在不久的将来，这一要求将发生较大变化。根据《巴黎协定》“强化透明度框架”的要求，自2024年起，所有缔约方必须使用《IPCC指南》（2006版）及任何后续版本编制国家温室气体清单（UNFCCC，2019）。同时，非附件一国家与附件一国家一样，也被要求每两年提交连续年份的年度国家清单文件与通用报告表（common reporting tables）（UNFCCC，2019）（表3）。这意味着，无论清单编制方法还是清单编制频率与清单的一致性，发展中国家都将面临更高的要求。

在交通领域，《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）提供了多种交通碳排放核算方法；不同国家可以根据自身的数据可得性做出选择。其中，《IPCC指南》（1996版）提出了方法（Tier）1和方法（Tier）2；《IPCC指南》（2006版）更新了《IPCC指南》（1996年版）的方法2，并增加了方法3——用于甲烷和氧化亚氮排放的核算（Tanabe，2016）。

在三种方法中，《IPCC指南》推荐国家交通碳排放采用方法1或方法2，也就是基于交通燃料销售统计数据的“自上而下”法（IPCC，2000；IPCC，2006）。其中，交通燃料销售数据通常来源于国家能源平衡表，主要通过燃油税的税收凭证、交通燃料供应商“范围三”强制性排放报告要求，或针对交通燃料供应商开展专项调查等方法收集获得（IPCC，2006）（表4）。

表 3 | 非附件一国家温室气体清单报告在2024年底前后的变化

	清单编制频率	编制方法	报告频率	报告的时间滞后性	时间序列一致性要求
2024年 12月31日前	未规定 (中国编制了1994年、2005年、 2010年、2012年和2014年国家 温室气体清单)	《IPCC 指南》 (1996 版)	未规定	清单最新年份不能早 于提交年份的前四年	未规定
2024年 12月31日后	年度	《IPCC 指南》(2006 版) 及通用报告表	每两年	清单最新年份不能早 于提交年份的前三年 (即中国 2024 年提交的 报告应涵盖 2020—2021 年度 清单)	必须与国家自主贡献基 年清单一致 (如果统计口径或核算方法变 化,中国需要对 2005 年及随后 年份的清单进行重新计算)

来源: 作者根据 UNFCCC (1996、2012 和 2019) 总结。

表 4 | 《IPCC指南》(2006版) 交通碳排放的核算方法

	方法1	方法2	方法3
 道路交通	次优选项 $\sum_a (Fuel_a \times EF_{a_Default})$	最优选项 $\sum_a (Fuel_a \times EF_{a_CS})$	无
 铁路	次优选项 $\sum_a (Fuel_a \times EF_{a_Default})$	最优选项 $\sum_a (Fuel_a \times EF_{a_CS})$	无
 水运	次优选项 $\sum_a (Fuel_a \times EF_{a_Default})$	最优选项 $\sum_{a,b} (Fuel_{a,b} \times EF_{a,b_CS})$	无
 航空	第三选项 $\sum_a (Fuel_a \times EF_{a_Default})$	次优选项 ⁴ L起降循环排放+巡航排放 L起降循环排放=飞机起降架次 × 排放因子_起降 巡航排放=燃料消耗总量—起降燃料 消耗×排放因子_巡航	最优选项 根据航班出发地和目的地(3A级方 法)或者航班的活动与轨迹 (3B级方法)估算航空排放
 非道路机械	第三选项 $\sum_a (Fuel_a \times EF_{a_Default})$	次优选项 $\sum_{a,b} (Fuel_{a,b} \times EF_{a,b_CS})$	最优选项 $\sum_{a,b} (N_{ab} \times H_{ab} \times P_{ab} \times LF_{ab} \times EF_{ab})$ 式中: N_{ab} 为人口, H_{ab} 为年运营小时 数, P_{ab} 为平均额定功率, LF_{ab} 为负荷 系数

说明: “最优选项”指该核算方法为《IPCC指南》(2006版)中最推荐的方法。如果缺乏最优选项所需的统计数据,则推荐次优选项和第三选项。
· “燃料”为燃料消耗, a 为燃料类型, b 为船舶类型、发动机类型⁵或非道路机械类型, EF 为二氧化碳排放因子, CS 为本地化排放因子(而非缺省因子), LTO 为起降循环次数。

来源: 作者基于《IPCC指南》(2006版)总结。

国家层面交通碳排放仅包括国内交通碳排放；国际航空、航海产生的碳排放不计入国家碳排放，而是作为“备忘”条目单独报告。然而，由于目前国际上对国际航空、航海排放的责任划分仍存在争议，一些研究建议将国际航空、航海³的排放纳入《巴黎协定》，将其减排责任作为国家责任，以加速国际航空、航海的减排（Lee，2018；Rayner，2021）。英国甚至宣布从2033年起，将国际航空、航海排放列入英国第六次国家碳预算（英国气候变化委员会，2020），即国家碳排放总量。未来，国际航空、航海排放是否会被计入国家碳排放总量仍有变数，有待国际谈判进程决定。

《城市温室气体核算国际标准》（GPC）

GPC是基于《IPCC指南》开发的城层面温室气体排放核算方法学框架。与《IPCC指南》不同，GPC主要应用在城层面。此外，GPC的用途也比《IPCC指南》更广泛，不仅用于核算交通领域碳排放的历史及现状，也多用于预测未来交通碳排放趋势、识别主要排放源、支持交通低碳行动方案的编制等。

由于用途的差异，GPC推荐使用的交通碳排放核算方法也与《IPCC指南》不同：除了“自上而下”法，GPC也推荐“自下而上”法（见专栏2）。

地方交通碳排放核算也涉及跨边界交通出行（如长途货运）产生的碳排放如何划分到相关省市（或企业主体）的问题。选择一致的划分方法对交通碳排放核算至关重要，不仅能保证不同省市的交通碳排放具备一致性，也能保证分配到地方的交通碳排放与其

专栏2 | “自下而上”核算方法及类别

与“自上而下”法不同，“自下而上”法主要基于交通活动计算排放量。交通活动包括年行驶里程、客运或货运周转量、轮船或非道路机械的运行小时数、飞机起降循环（LTO）次数等。

根据交通活动类别，“自下而上”方法可分成三类：

- 保有量法：根据交通运输工具的保有量结构、发动机登记注册数量、年行驶里程、运行小时数或燃油经济性计算交通碳排放。
- 周转量法：根据客运/货运周转量以及单位客运/货运周转量的能耗（或碳排放强度）计算交通碳排放。
- 起降法：根据飞机起降循环次数以及单位起降的能耗（或碳排放强度）计算航空碳排放。

减排权责相匹配。GPC提出四种跨边界交通碳排放归属地的划分方法（世界资源研究所等，2014）（图1）：

■ “自上而下”方法：

1. **本地燃料销售法**：计算城市地理边界内销售的所有交通燃料产生的排放。换言之，只要是城市地理边界内

图1 | GPC中跨边界交通排放的归属划分方法



来源：世界资源研究所等（2014）

的加油站出售的燃料，不论是否在本城市使用，不论交通工具注册地是否属于本城市，都算作本地的排放。

“自下而上”方法：

- 2. **诱发活动法**：计算发生在城市地理边界内的交通活动产生的排放（地理边界法）+ 始于和终于城市（不包括过境交通）的跨境交通排放的50%。
- 3. **地理边界法**：只计算发生在城市地理边界内的交通活动产生的排放，不考虑车辆注册地。另外，过境交通的排放⁶也计算在内。
- 4. **居民活动法**：按车辆/其他交通工具的注册地（或乘客的居住地）划分跨边界交通排放归属。

尽管如此，GPC未推荐最佳的跨边界交通碳排放核算方法，而是建议地方政府酌情选择合适的方法。因此，国际上，同一国家不同城市采用的跨边界交通碳排放归属划分方法也不同。例如，美国加利福尼亚州采用“本地燃料销售法”计算交通碳排放，而西雅图市则采用“诱发活动法”和“地理边界法”计算交通碳排放（附录B）。

2.2 国内通行方法

在国内，国家交通碳排放核算主要采用“自上而下”法。例如，中国1994年、2005年和2010年国家温室气体清单是基于《IPCC指南》（1996年版）编制（国家发展改革委，2004、2013和2016），而2012年和2014年国家温室气体排放清单则是基于《IPCC指南》

（2006版）编制（生态环境部，2018a 和2018b）（表5）。

省级交通碳排放核算也是主要采用“自上而下”法。基于《IPCC指南》的“自上而下”法，国家发展改革委与生态环境部分别颁布了《省级温室气体清单编制指南（试行）》（国家发展改革委，2011）与《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南（征求意见稿）》（生态环境部，2021）（以下简称“《省级指南》”），指导各地温室气体清单的编制工作。虽然《省级指南》的使用秉承自愿原则，但已在各省份得到广泛采纳，成为地方交通碳排放核算的主要方法（Shan等，2017）。

在“自上而下”法的基础上，很多省份也同时采用了“自下而上”法，用于预测未来排放、编制低碳行动方案等（Pers. Comm., 2022b）。然而，与“自上而下”法不同的是，有关部门尚未就“自下而上”法出台方法学指南，这导致各地在使用“自下而上”法时，采用的跨边界排放的归属地划分方法存在较大差异。例如，一些省份采用“居民活动”法计算本地车辆的碳排放，而其他地区则采用“地理边界”法计算行政边界内本地车辆与异地车辆的碳排放（Pers. Comm., 2022b）。不同方法的选取也影响了地方交通排放之间的一致性。

在市县级层面，受数据的制约，交通碳排放核算方法比国家、省级层面采用的方法更多元。《省级指南》的“自上而下”法应用到市县级，存在较多数据制约：由于目前并不强制各市县编制能源平衡表，所以，仅有少数大城市才每年编制与公开能源平衡表，绝大多数市县缺失相关能耗统计或选择不公开相关统计（Shan等，2017）。由于统计数据缺失或不准确，各市县在核算交通领域碳排放时，除采用“自上而下”法外，也采用“自下而上”法、投入产出法、能源平衡表地区分解法等多种方法（Shan 等，2017；景侨楠等，2018；Jiang等，2019；Shan 等，2021；Pers. Comm., 2022b）。

表 5 | 中国交通领域温室气体/二氧化碳清单编制情况

	核算方法指南	数据来源	官方温室气体排放清单
国家层面	• 《IPCC 指南》（1996 年版）（方法 1 ⁷ ） ^{a,b,c}	国家能源平衡表	1994 年 ^a 、2005 年 ^b 、2010 ^c 年国家温室气体清单
	• 《IPCC 指南》（2006 年版）（方法 2） ^{d,e}		2012 年 ^d 和 2014 年 ^e 国家温室气体清单
省、市、县层面	• “自上而下”法：《省级指南》 ^f	• 省级能源平衡表 • 市级能源平衡表（仅限个别大城市）	无 （尚未要求地方政府定期编制与公开公布交通温室气体 / 二氧化碳碳排放清单）
	• “自下而上”法：无官方指南	• 统计年鉴、专项调查与“大数据”（如 GPS、道路卡口数据等）多数据源融合方法	
	• 其他方法（如投入产出法）：无官方指南	• 投入产出表等多数据源融合方法	

来源：a. 国家发展改革委（2004）
b. 国家发展改革委（2013）
c. 国家发展改革委（2016）
d. 生态环境部（2018a）
e. 生态环境部（2018b）
f. 国家发展改革委（2011）、生态环境部（2021）
g. Pers. Comm.（2022a）。

表 6 | 中国交通能耗统计的覆盖范围

统计对象	是否纳入能耗统计
道路货运	
营运性货车	✓
非营运性中重型货车 ^a （总设计质量45吨以上）	✗
轻微型货车 ^b （总设计质量4.5吨以下）	✗
道路客运	
公交汽车、出租车、城际客车和其他营运性中小型客车	✓
私家车和其他非营运性中小型客车	✗
摩托车	✗
铁路、水运和航空	
航空、水运和铁路	✓
非道路机械 ^c	
非道路机械	✗

说明：a. 在封闭区域行驶且用于非经营性目的的货车不纳入交通能耗统计。
b. 不含危化、冷链轻微型货车。危化、冷链货车属于营运性货车。
c. 非道路机械包括在建筑、农业、工业和机场地面作业中使用的设备。

来源：国务院（2007）

“自上而下”法

在国家层面，中国严格遵循《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）的“自上而下”法，通过国家能源平衡表的能耗统计数据，计算全国交通碳排放量。在地方层面，有地方能源平衡表的省市也会依据“自上而下”法计算交通碳排放。

然而，除国际上常见的燃料走私与倒卖、燃料掺假、生物燃料重复计算等问题导致的交通碳排放不确定性外（IPCC，2000），中国采用“自上而下”法核算交通碳排放也存在额外的挑战：国内交通能耗统计未涵盖交通领域的全部燃料消耗。根据《国务院批转节能减排统计监测及考核实施方案和办法的通知》（国务院，2007），道路交通行业的能耗统计只涉及运营车辆的能耗，而不涉及私家车、4.5吨以下轻微型货车、非营运中重型货车等车辆的能耗。这些未纳入能耗统计的车辆数量庞大：2019年，96.5%的民用汽车（包括99.7%的载客车与71%的载货车）未纳入交通能耗统计（国家统计局，2020）。此外，非道路机械行业也不在交通能耗统计范围内。因此，国家能源平衡表中的“交通运输、仓储和邮政业”只包含营运交通的能耗，剩余交通能耗则散入“工业”、“建筑”、“居民消费”等领域（表6）。

此外，在计算新能源汽车耗电量（与耗氢量）及对应的碳排放时，现行交通能耗统计制度也面临不确定性的挑战。其中，应归属建筑领域能耗的交通枢纽等基础设施采光的用电能耗被计入“交通、仓储和邮政业”（国家发展和改革委员会能源研究所研究课题组，2017）；而应归属“交通、仓储和邮政业”的新能源汽车耗电量与耗氢量，要么计入“建筑”、“居民消费”等领域，要么未进行统计。未来，随着新能源汽车及低碳燃料的普及，现行交通能耗统计制度有必要进行更新，以适应能耗统计中能源类型的多元化。

为获得更为全面的交通领域能耗数据，有关机构基于专家判断，分别提出了能源平衡表拆分比例——将表中非交通领域的一部分能耗（对应的是非营运、非道路机械的能耗）拆分到交通领域（表7和表8）。目前常见的拆分比例有三种：第一种是生态环境部2021年出台的《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南（征求意见稿）》（简称“《指南》比例”）提出的拆分比例；第二种是国家发展和改革委员会能源研究所研究课题组2017年根据“不同能源品种的实际用途与中石油的咨询”提出的拆分比例（简称“能源所比例”）；第三种是世界资源研究所（WRI）2013年基于专家咨询提出的拆分比例（简称“WRI比例”）。

表 7 | 《省级碳排放达峰行动方案编制指南(征求意见稿)》中的拆分比例

		汽油	柴油	燃料油	天然气	电力	煤油
1	农业、林业、渔业	80%	10%	0	0	0	0
2	工业（不包括非用能企业）	79%	26%	0	0	0	0
3	建筑	0	0	0	0	0	0
4	交通运输、仓储和邮政	100%	100%	100%	100%	0	100%
5	批发、零售、贸易、酒店	98%	0	0	0	0	0
6	居民消费	98%	0	0	0	0	0
7	其他	99%	95%	0	0	0	0

来源：生态环境部（2021）

表 8 | 国家发展和改革委员会能源研究所研究课题组提出的拆分比例

		汽油	柴油	燃料油	天然气	电力	煤油
1	农业、林业、渔业	99% (19%)	10% (0%)	0	0	0	0
2	工业（不包括非用能企业）	80% (1%)	26% (0%)	0	0	0	0
3	建筑	98% (98%)	30% (30%)	0	0	0	0
4	交通运输、仓储和邮政	100% (0%)	100% (0%)	100% (0%)	100% (-35%)	95% (65%)	100% (0%)
5	批发、零售、贸易、酒店	98% (0%)	30% (30%)	0	0	0	0
6	居民消费	100% (2%)	96% (96%)	0	0	0	0
7	其他	98% (-1%)	30% (-65%)	0	0	0	0

说明：括号中数值为能源所比例与《指南》比例之差。

来源：国家发展和改革委员会能源研究所研究课题组（2017）

表 9 | 世界资源研究所提出的拆分比例

		汽油	柴油	燃料油	天然气	电力	煤油
1	农业、林业、渔业	97% (17%)	30% (20%)	0	0	0	0
2	工业（不包括非用能企业）	95% (16%)	35% (9%)	0	0	0	0
3	建筑	95% (95%)	35% (35%)	0	0	0	0
4	交通运输、仓储和邮政	100% (0%)	100% (0%)	100% (0%)	100% (0%)	95% (95%)	100% (0%)
5	批发、零售、贸易、酒店	95% (-3%)	35% (35%)	0	0	0	0
6	居民消费	100% (2%)	95% (95%)	0	0	0	0
7	其他	95% (-4%)	35% (-60%)	0	0	0	0

说明：括号中的数值为 WRI 比例与《指南》比例之差。

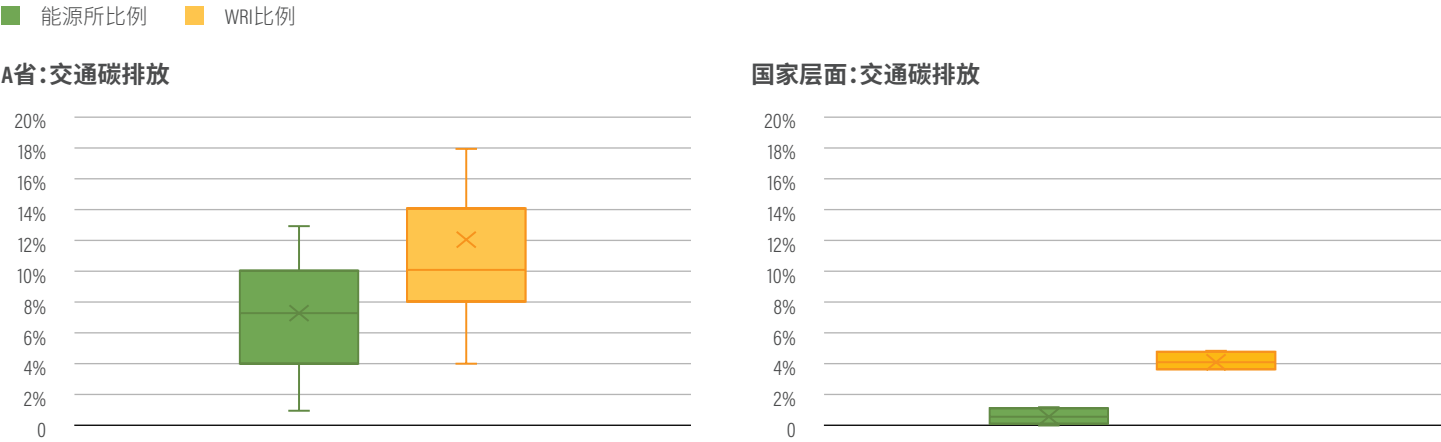
来源：世界资源研究所（2013）

各机构在设置拆分比例时，对核算的行业与边界、交通在全社会终端能耗中占比有不同的考量，导致拆分比例存在差异。例如，三种拆分比例中，WRI比例更高是由于考虑了非道路机械的柴油消耗量，且认为交通柴油在全社会终端柴油消耗中会有更高的占比。

由于拆分比例的差异，基于不同拆分比例计算出的“自上而下”交通碳排放也存在差异。基于2012—2019年能源平衡表计算出的各省“自上而下”结果表明：采用《指南》比例计算出的交通碳

排放结果通常最低。如果以《指南》比例计算出的交通碳排放结果为基准，采用能源所比例的计算结果比《指南》比例计算结果高约0%~12%，采用WRI比例的计算结果最高，比《指南》比例计算结果高约1%~18%。以结果差距较大的A省为例（图2），采用能源所比例计算出的2012—2019年碳排放比《指南》比例计算结果平均高7%；而采用WRI比例计算出的结果比《指南》比例计算结果平均高12%，甚至个别年份可高出18%。

图 2 | A省示例：不同拆分系数下采用“自上而下”法计算出的2012-2019交通碳排放



说明：以《指南》比例计算出的年交通碳排放为100%基准值，百分比为以能源所比例与WRI比例分别计算出的交通碳排放相对基准值的变化程度。

来源：作者根据《指南》比例、能源所比例、WRI比例及国家统计局能源统计司2013—2020计算得到。

“自下而上”法

虽然“自下而上”法不是IPCC推荐的国家交通温室气体核算方法，但国内很多省市在核算交通碳排放时，采用“自上而下”法与“自下而上”法相结合的方法识别主要排放源、预测未来排放趋势、支撑低碳行动方案编制 (Pers. Comm., 2022b)。

不同交通子行业采用的“自下而上”法不同 (表10)。通常，道路交通的碳排放核算采用“保有量法”或“周转量法”，铁路、水运和航空的碳排放核算采用“周转量法” (Pers. Comm., 2022b)。

值得注意的是，对道路交通而言，“保有量法”与“周转量法”无法互相取代。与交通能耗统计类似，由于周转量未包括私家车、轻微型货车等非营运工具的周转量，所以，“周转量法”仅适用于测算交通部门职责范围内的行业碳排放。为更全面计算道路交通领域的碳排放，“周转量法”需要辅以“保有量法”，或直接采用“保有量法”。

表 10 | “自下而上”法在中国交通各行业的应用情况

	保有量法	周转量法	起降法
 道路交通	✓✓✓ $\sum_i P_i \times FE_i \times VKT_i \times EF_i$ 式中：P_i为分车型的保有量，FE_i为燃料经济性，VKT_i为年行驶里程，EF_i为碳排放因子	✓✓✓ $\sum_i PKM_i \times FE_{pkmj} \times EF_i$$\sum_i TKM_i \times FE_{tkmj} \times EF_i$ FE_{pkmj}、FE_{tkmj}为单位周转量的能耗，EF_i为碳排放因子	N/A
 铁路	✓ $\sum_i N_i \times H_i \times P_i \times LF_i \times EF_i$ 式中：P_i为<i>i</i>类型机车数量，H_i为年运行小时数，P_i为机车<i>i</i>的平均额定功率，LF_i为机车<i>i</i>的负荷系数，EF_i为碳排放因子	✓✓✓ (公式同上)	N/A
 水运	✓✓ $E_{\text{hoteling}} + E_{\text{manouvering}} + E_{\text{cruising}}$ 对于每个出行阶段：$E_{\text{trip},e,p,j} = \sum_p H_p \times \sum_e (P_e \times LF_e \times EF_{e,p,j})$ 式中：H_p为出行阶段<i>p</i>中发动机的年运行小时数，P_e为发动机类型<i>e</i>的标称功率，LF_e为发动机类型<i>e</i>的负荷系数，EF_e为各航程阶段<i>p</i>、发动机类型<i>e</i>、燃料类型<i>j</i>的碳排放因子	✓✓✓ (公式同上)	N/A
 航空	N/A	✓✓✓ (公式同上)	✓✓ (见2.1节方法2)
 非道路机械	✓✓✓ $\sum_i P_i \times FE_i \times VKT_i \times EF_i \text{ (移动排放源) 或}$$\sum_{ab} (N_{ab} \times H_{ab} \times P_{ab} \times LF_{ab} \times EF_{ab}) \text{ (静态排放源)}$ 式中：a为燃料类型，b为设备类型，N_{ab}为人口，H_{ab}为年度运行小时数，P_{ab}为平均额定功率，LF_{ab}为负荷系数	N/A	N/A

说明：“✓✓✓”表示该方法在中国常用，“✓”表示该方法几乎不用，“N/A”表示该方法不适用。

来源：作者根据 IPCC (2006)、生态环境部 (2015)、欧洲环境署 (2019) 及 Pers.Comm. (2022b) 的总结。

值得注意的是，“自下而上”法的数据需求比“自上而下”法更大，因此面临更多数据的掣肘（表11）：

- “保有量法”：由于缺乏分车型的年行驶里程数、实际油耗统计数据（见4.1节），在核算道路交通碳排放时，“保有量法”存在较大不确定性。另外，由于缺乏“保有量法”所需的几乎所有统计数据，非道路机械的碳排放核算更是难上加难。
- “周转量法”：由于缺乏本地化的单位周转量能耗统计数据，利用“周转量法”核算道路交通、水运、航空等排放时，也存在不确定性（Pers. Comm., 2022b）。此外，由于道路货运的周转量难以直接统计，2021年前的国内道路货运周

转量主要是根据“行业主管部门推算”得到（交通运输部，2022），也存在不确定性。

采用“自下而上”法计算出的地方交通碳排放也存在较大差异。仍以A省为例，假设乘用车年行驶里程为10000至13000千米，重型货车年行驶里程为35000至80000千米，其他参数设置与薛露露和刘岱宗（2022）一致，“保有量法”计算出的道路交通碳排放比“自上而下”法（采用《指南》比例）要高出9%~56%（见第3.3节）。虽然采用“周转量法”计算出的营运性道路交通碳排放也存在不确定性，但由于目前统一采用官方统计，所以，“周转量法”的不确定性较难评估。

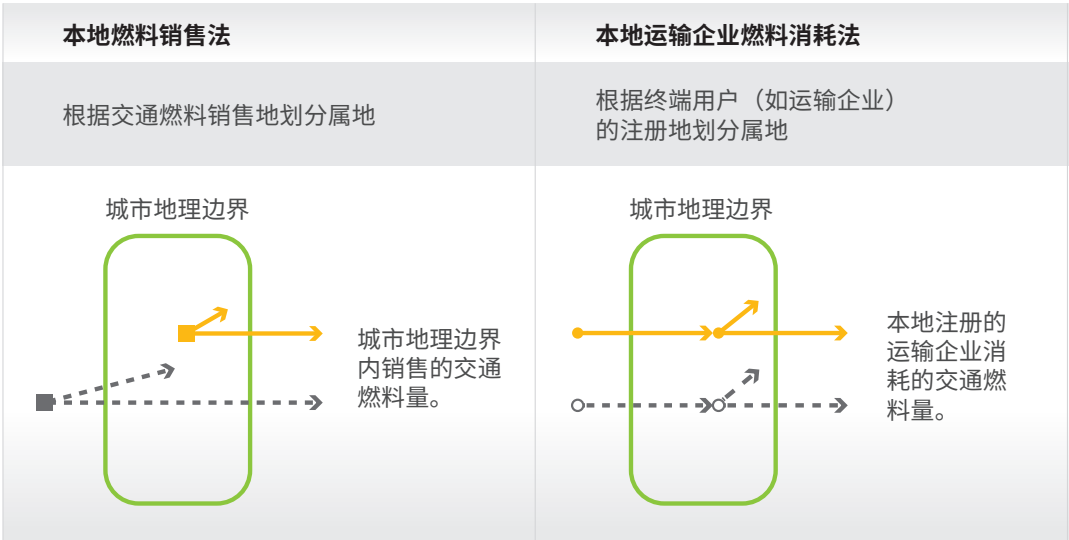
表 11 | 国内常用的“自下而上”法及数据可得性

	数据可得性	解释
🚗 道路交通：保有量法		
按车辆类别、技术类型划分的车队结构	🟡 （年度统计年鉴）	基于车辆技术与车型的车队结构数据，散落在不同部门，缺乏整合，且一些数据不公开
按车辆类别划分的年行驶里程	🟡 （道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南）	缺乏分地区、动态更新的年行驶里程
按车辆类别划分的车队平均燃料经济性	🟡 （节能与新能源汽车的年度报告）	仅有认证油耗，缺乏各车型实际道路油耗与车队结构加权平均的实际油耗
🚗🚆🚢✈️ 道路、铁路、水运和航空：周转量法		
客运/货运周转量	🟡 （年度统计年鉴）	道路货运周转量不含非营运车辆的周转量；道路客运周转量不含城市内容运周转量 此外，货运周转量数据为推算结果
客运/货运分担率	🟡 （年度统计年鉴）	--
单位（客运/货运）周转量能耗	🟡 （全国交通运输行业发展统计公报）	只有个别年份的全国统计数据，缺乏省市级本地化数据
✈️ 航空：起降法		
飞机起降架次	🟡 （年度民用运输机场生产统计公报）	仅包括商业航空的LTO，未统计通用航空的LTO
单位起降循环的能耗	🟡 （ICAO发动机排放数据库）	缺乏本地化的能耗数据
🚜 非道路机械：保有量法		
按功率范围划分的设备总数	🟡 （非道路移动机械信息编码登记）	生态环境部门正在推广编码登记制度，但数据不全，有待完善
各类设备的运行小时数	🟡 （移动源排放清单测算方法）	缺乏本地化、样本覆盖全面的运行小时数
平均负荷系数	🟡 （移动源排放清单测算方法）	缺乏本地化、样本覆盖全面的平均负荷系数

说明：a. 🟡表示数据可得性高，🟡表示数据可得性有限。
b. 表中未包括各类燃料的碳排放因子。
来源：作者总结

表 12 | “自上而下”方法:两种跨边界交通碳排放归属地划分方法

—— 计算 不计算



来源：作者总结（2022）

跨边界交通排放归属的划分方法

值得注意的是，在中国交通能耗统计体系下，“自上而下”法对应的跨边界交通排放归属地的划分方法有别于GPC标准中的“本地燃料销售法”（见第2.1节）。具体而言，国内的交通能耗统计是从使用燃料的终端用户（如道路运输企业、公交企业）收集，而非从上游或中间环节（如炼化厂、油库、贸易商、加油站）收集（表12）。跨边界交通碳排放归属中，排放不属于加油站所在地，而属于运输企业注册地。因此，本文将中国“自上而下”法对应跨边界排放归属地的划分方法称为“本地运输企业燃料消耗法”。

目前，各地在核算交通领域碳排放时，常采用的跨边界交通排放归属地划分方法主要包括“本地运输企业燃料消耗法”、“居民活动法”及“地理边界法”（Pers. Comm., 2022b）。

值得注意的是，采用不同划分方法计算的地方交通碳排放存在不一致的问题，核算结果不可比（或不可加总）。例如，“本地运输企业燃料消耗法”中，由于道路运输车辆的运输证可异地跨省办理（国务院新闻办公室，2021），本地运输企业和道路运输证对应的车辆不仅是本地车辆，也可以是异地车辆（内河船舶也存在类似情况）。因此，基于“本地运输企业燃料消耗法”计算的地方交通碳排放量与基于车牌所在地的“居民活动法”计算出的结果不同，不具备一致性⁸。类似地，由于本地运输企业的车辆可以在任意地方加油，所以，基于“本地运输企业燃料消耗法”核算出的地方交通碳排放也与“本地燃料销售法”核算出的结果存在差异，不具备一致性。

未来，如果国内的交通能耗统计体系发生变化——由目前的从终端用户统计改为从炼化厂、贸易商、加油站统计，也就是从“本地运输企业燃料消耗法”改为“本地燃料销售法”时，会产生地方交通碳排放核算结果与历史排放值时序不一致的问题，需要对历史排放结果进行重新计算。

3. 对现有核算方法的评估

中国严格遵循《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）的建议，采用“自上而下”方法核算国家、省份及市县交通碳排放。相反，“自下而上”法则主要用于没有能源平衡表的城市，或者需要将碳排放分解到具体运输模式、预测未来排放趋势、支撑低碳行动方案等用途。

本文将交通领域的“自上而下”法和“自下而上”法与跨边界交通排放归属地划分方法进行耦合，结合中国统计体系实际情况，将交通碳排放核算方法分成以下三种进行分析⁹：

- 自上而下“本地燃料销售法”；
- 自上而下“本地运输企业燃料消耗法”；
- 自下而上“居民活动法”；
- 自下而上“地理边界法”；

■ 自下而上“诱发活动法”。

为评估上述核算方法在国内的适用性——即是否满足第1节中列举的碳排放核算目标，本文采用并更新Larsson等（2018）、Kander等（2015）和Wood等（2010）提出的碳排放核算方法评价体系，从以下六个维度评价上述核算方法：

- **数据可得性：**核算方法对数据要求是否高，能否满足中国各地区差异化的数据条件与数据统计基础。
- **权责对应性：**核算方法是否能确保核算主体具备相应的减排权责，有条件实施减排。
- **不确定性：**核算方法是否能准确（accurate）计算交通碳排放，并“与真实排放相符，没有高估或低估”（IPCC，2006）。
- **一致性与可加总性：**核算方法能否保证各地交通碳排放具备一致性、可进行比较，且保证现状碳排放与历史排放具备时序一致性（Bowen和Wittneben，2011）；此外，核算方法是否能确保各地交通碳排放加总后能够与国家交通碳排放总量一致。
- **排放源可识别性：**核算方法可否识别交通碳排放的具体来源（包括行业与出行模式）。
- **政策关联性：**核算方法是否能支撑各类交通减排政策的制定。

3.1 数据可得性

目前，除“诱发活动法”与“本地燃料销售法”外，“本地运输企业燃料消耗法”、“居民活动法”、“地理边界法”均在中国适用（表13）。“诱发活动法”不适用的原因有两点：一是缺少对跨边界出行起点和终点的统计调查；二是尚没有省市或城市群开发能模拟跨边界出行的区域交通需求模型。

即便“本地运输企业燃料消耗法”、“居民活动法”、“地理边界法”在中国适用，但也面临不同程度的数据制约（表13）：

- 并非所有中国城市都有能源平衡表，所以，“本地运输企业燃料消耗法”只能在少数城市适用。此外，在编制能源平衡表的地区，最新的能源平衡表数据也存在2~3年的滞后期。
- “地理边界法”在部分地区也存在数据可得性问题。例如，在监控卡口覆盖度低¹⁰或者难以跨部门协调获得重点车辆GPS数据的地区，用于识别行政区边界内车辆出行信息的“大数据”较匮乏，无法使用“地理边界法”。此外，即便对有监控卡口数据或重点车辆GPS数据的地区，基于这些“大数据”建立起的交通排放模型还可能面临数据更新不及时、时效性滞后等问题（Pers. Comm.，2022b）。

表 13 | 数据可得性评估

方法	数据需求	数据可得性	数据时效性
“自上而下”法			
本地运输企业燃料消耗法	本地注册企业的燃料消耗量统计	在省份和部分城市可获得	2~3年滞后期
本地燃料销售法	本地炼油厂、油库、贸易商、加油站的燃料销售统计	不可得	不适用
“自下而上”法			
居民活动法	· 保有量法：本地注册的车船信息 · 周转量法：本地周转量统计	在所有地区均可获得	一年一更新
地理边界法	· 保有量法：本地和异地注册车辆和其他交通工具信息（一般通过道路卡口监控或车载GPS数据获得） · 起降法：本地机场飞机起降循环统计	在少数地区可获得	存在模型数据更新不及时、时间滞后等问题
诱发活动法	· 保有量法：本地和异地注册车辆及其他交通工具信息（一般通过车载GPS或居民出行调查及货物起止点调查获得）	不可得	不适用

来源：Pers. Comm.（2022b）

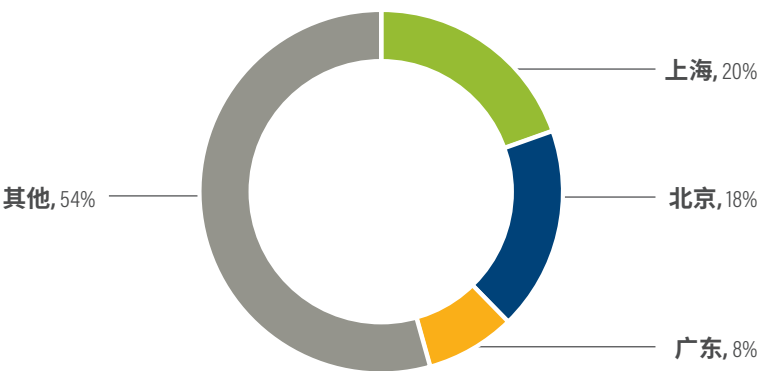
3.2权责对应性

核算方法需确保核算主体具备相应的减排权责，能够实现减排。如果地方政府对应的交通碳排放量与其权责不匹配，不仅会影响减排目标的实现，还会影响其承诺更高的减排目标。

在中国，使用“本地运输企业燃料消耗法”与“居民活动法”计算航空与（沿海）水运的排放时，可能会产生此类问题。由于大型航空公

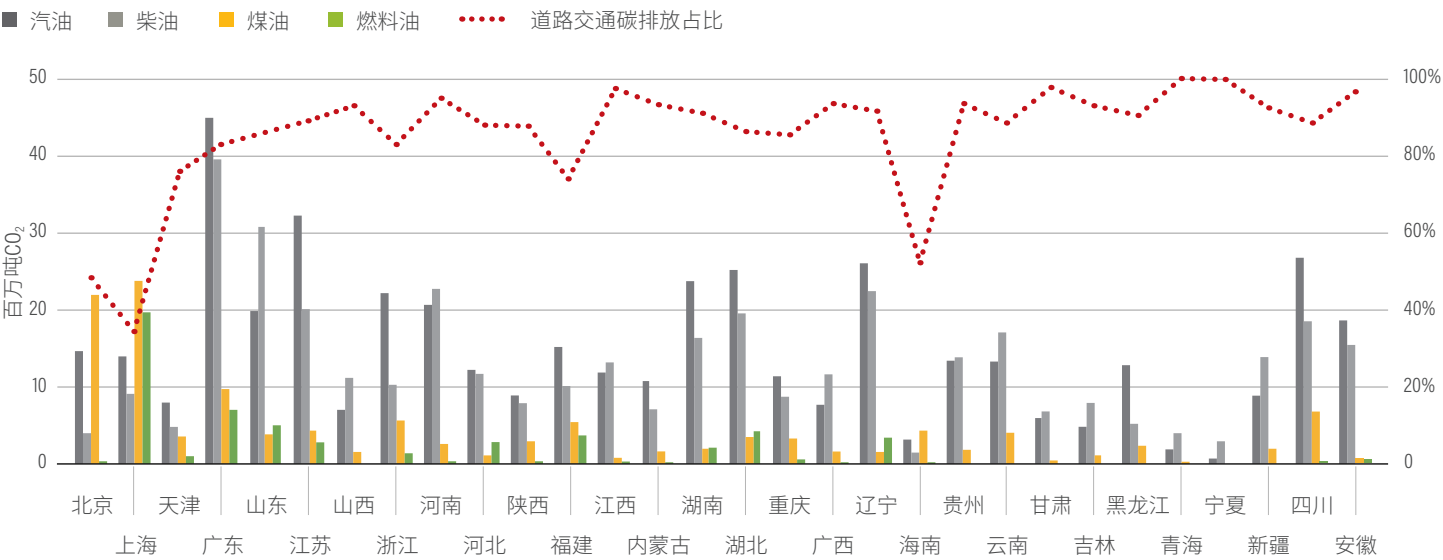
司或（沿海）水运集团集中在少数几个省市注册，使用“本地运输企业燃料消耗法”或“居民活动法”核算时，会导致少数地方背上过重的减排负担。例如，以“本地运输企业燃料消耗法”计算，仅北京、上海和广东三地就占全国航空排放的46%，而仅航空排放一项就占北京2019年交通碳排放的52%（图3和图4）。考虑到一些航空需求来自北京周边地区乃至全国（如中转需求），加之北京市政府对大型航空公司”的管辖权有限，北京市可能无法有效降低这部分航空排放。

图 3 | 2019年主要航空碳排放省份在全国航空碳排放中的占比



来源：图中碳排放是作者根据“自上而下”法，基于各省份能源平衡表（国家统计局能源统计司，2020）与《指南》比例（生态环境部，2021）计算得到。

图 4 | 2019年分省份、分燃料类型的交通碳排放



说明：· 不包括西藏自治区、香港和澳门特别行政区及台湾省。
· 碳排放是作者根据“自上而下”法，通过国家统计局能源统计司（2020）与《指南》比例计算得到（生态环境部，2021）。
· 由于“自上而下”法难以区分道路交通排放，因此，本文假定汽油、柴油、天然气和液化石油气产生的碳排放均属于道路交通排放，但如此操作会高估道路交通排放量。

来源：作者基于地方能源平衡表（国家统计局能源统计司，2020）、车队构成（国家统计局，2021）和能耗数据（中国汽车技术研究中心有限公司，2021）计算。

在中国，交通领域减排主要涉及三类主体：中央政府、地方政府、（大型）企业（表14）。在交通碳排放核算时，需确保核算主体具备相应的权责，能够实现减排：

■ 道路、内河水运、非道路机械：由于这些行业集中度低、企业小、多、散，地方政府可以发挥更大作用，通过推广新能源车船、调整运输结构等政策工具，引导企业和个人实现减排。因此，地方政府适宜作为相应的碳排放核算主体。对道路交通跨边界交通碳排放归属地划分方法的选择，请见专栏3。

■ 铁路、航空和沿海水运：由于这些行业集中高、企业规模大，企业本身可以通过多种措施（如置换或升级营运工具、采用替代燃料、提升运营效率等）实现减排。而地方政府能够采取的措施有限，主要侧重于基础设施规划建设与企业能效考核（Pers. Comm., 2022b）。因此，这些大型企业适宜作为相应的碳排放核算主体。正因如此，后文在测算地方碳排放时，未计入铁路、航空和水运排放。

表 14 | 分行业、主体的交通减排措施

	中央政府	地方政府	（大型）企业
 道路交通	· 鼓励新能源汽车生产¹² · 车辆能效标准 · 运输结构调整与需求管理	· 低碳城市规划 · 运输结构调整与需求管理 · 提高车辆负载量和满载率，降低空驶率 · 在用车能效改造 · 新能源汽车推广	（行业集中度低，无大型企业）
 铁路	· 铁路规划与建设	· 完善铁路基础设施网络 · 加强多式联运基础设施和设备投入与标准化 · 运输企业能效考核	· 铁路规划与建设投资 · 铁路电气化 · 提升铁路运输效率，降低空驶率 · 合理化定价与时刻表，降低运输和换装时间 · 加强多式联运基础设施和设备投入 · 打通“最后一公里”接驳 · 推广多式联运“一单制”
 内河水运	· 高等级航道与港口规划与建设 · 船舶能效标准	· 高等级航道与港口规划与建设 · 加强水水、铁水、公水等多式联运基础设施和设备投入与标准化 · 推广清洁岸电与港口作业机械、车辆采用新能源 · 推广零排放和高能效内河船舶 · 运输企业能效考核	· 推广零排放和高燃料经济性船舶 · 提升运输效率，降低空载率 · 推广多式联运“一单制”
 沿海水运	· 港口规划与建设 · 船舶能效标准	· 推广清洁岸电与港口作业机械、采用新能源车辆 · 加强水水、铁水、公水等多式联运基础设施和设备投入与标准化 · 运输企业能效考核	· 零排放和高燃料经济性船舶，采用低碳燃料 · 提升运输效率，降低空载率 · 推广多式联运“一单制”
 航空	· 机场规划与建设 · 航线规划 · 运输结构调整与需求管理 · 高效的空中交通管理和地面作业	· 机场规划与建设 · 机场场内车辆装备电动化	· 零排放和高能效飞机 · 采用可持续的航空燃料油 · 提升运输效率，降低空载率 · 碳抵消机制
 非道路机械	· 鼓励生产零排放设备 · 设备能效标准	· 推广零排放机械设备 · 提前淘汰老旧设备 · 在用设备能效改造	（行业集中度低，无大型企业）

说明：橘黄色高亮部分为本文建议的核算主体。

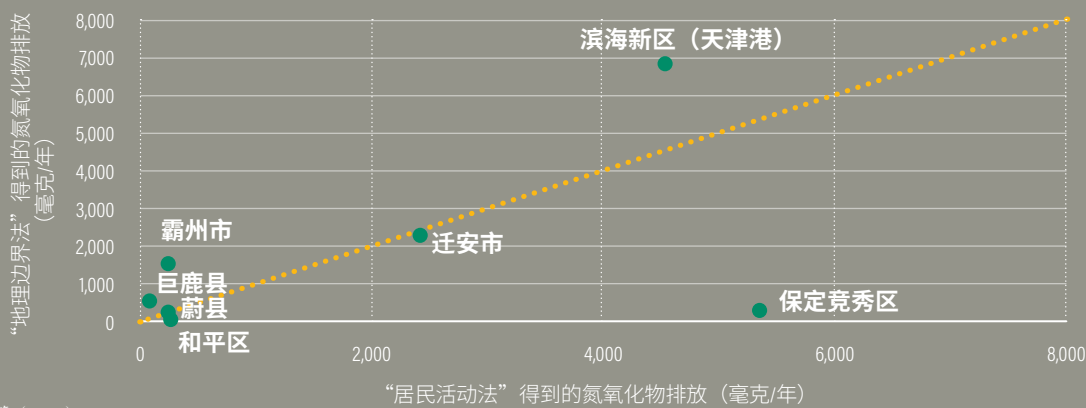
来源：作者总结

由于不同的跨边界交通碳排放归属地划分方法对地方交通碳排放核算结果有较大影响，所以，选择合理的划分方法至关重要。以污染物为例，对京津冀各区县重型货车氮氧化物（NO_x）排放的研究（Deng 等，2020）显示，在同一区县，“居民活动法”计算出的氮氧化物排放量与“地理边界法”的计算结果相差-50%到150%不等（专栏图1）。

由于空气污染物属于本地排放，所以，采用“地理边界法”

可以较为准确地计算空气污染物排放及局部影响（Deng 等，2020年）。但碳排放不同，选择碳排放属地的划分方法需要综合考虑多种因素，包括当地数据的可得性、对减排政策制定的支撑度等（专栏表1）。目前，从数据可得性看，“居民活动法”适用于国内所有地区与交通行业。未来，随着数据可得性获得改善，“诱发活动法”与“地理边界法”将成为可能。同时，为支撑更综合、更精细化的减排政策的研究与出台，本文也建议国内地方政府未来考虑采用“诱发活动法”与“地理边界法”。

专栏图 1 | 京津冀地区区县采用“居民活动法”与“地理边界法”计算出的氮氧化物排放对比(示例)



来源：Deng 等（2020）

专栏表 1 | 不同跨边界交通碳排放归属地划分方法的对比(以道路交通为例)

	适用地区	适用政策
本地燃料销售法	适用地区： - 黑加油站少 - 地区间油价差异不大（否则低油价地区交通碳排放会被高估）	不适用
本地运输企业燃料消耗法	适用地区： - 异地车辆少 - 过境交通少	不适用
居民活动法	适用地区： - 异地车辆少 - 过境交通少	针对本地车辆的减排措施
地理边界法	适用地区： - 异地车辆多 - 本地车辆跨边界出行少	- 针对本地、异地车辆的减排措施 - 碳排放减排措施的污染物协同减排效应 - 零排放区等局部地区的减排措施
诱发活动法	适用地区： - 异地车辆多 - 过境交通少	- 针对本地、异地车辆的减排措施 - 低碳城市和国土空间规划 - 碳排放减排措施的污染物协同减排效应 - 零排放区等局部地区的减排措施

来源：作者总结

3.3 不确定性

对国家交通碳排放核算而言，“自上而下”法计算出的结果确定性更高，是《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）唯一推荐的方法。特别是当交通能耗统计数据相对完善与可靠时，“自上而下”法计算出的国家交通碳排放不确定性可控制在±5%误差范围内（IPCC，1996和2006）。所以，当使用“自下而上”法得到的交通碳排放与“自上而下”法得到的结果存在差异时，IPCC（2000）和欧洲环境署（2019）均建议，通过调整年行驶里程（即调整“自下而上”结果）缩小“自上而下”法与“自下而上”法结果的差异。

对省、市交通碳排放核算而言，“自上而下”法和“自下而上”法计算出的结果都有一定不确定性，且结果的差异显著：以道路交通为例，即便调整年行驶里程，“自上而下”法计算得出的2019年30个省份¹³道路交通碳排放仍与“自下而上”法的结果相差±157%到42%不等（表15）。其中：

■ 15个省份的2019年道路交通碳排放的“自上而下”结果低于“自下而上”结果。其中，河北省、宁夏回族自治区和山东省的“自上而下”结果仅为“自下而上”结果的1/3到1/2。

■ 剩下15个省份的2019年道路交通碳排放的“自上而下”结果高于“自下而上”结果。其中，贵州省、辽宁省和湖南省的“自上而下”结果比“自下而上”高出35%到42%。

此外，不同核算方法中，一些关键指标的计算结果也存在显著差异。例如：

■ 采用“自上而下”法，2019年全国道路交通碳排放前三名的省份分别为广东省、江苏省和辽宁省；但采用“自下而上”法，山东省、广东省和河北省则跃居到前三位（表16）。

■ 不同方法计算得到的各省份人均道路交通碳排放也存在较大区别：采用“自上而下”法，2019年河北省的人均道路交

表 15 | “自上而下”法和“自下而上”法核算的全国30个省份2019年道路交通碳排放

		“自上而下”结果（《指南》比例）相对 “自下而上”结果的变化		“自上而下”结果（WRI比例）相对 “自下而上”结果的变化	
1	北京		27%		29%
2	天津		24%		32%
3	河北		-157%		-145%
4	山西		-41%		-30%
5	内蒙古		-4%		3%
6	辽宁		38%		37%
7	吉林		-19%		-8%
8	黑龙江		-18%		-5%
9	上海		17%		20%
10	江苏		-8%		-3%
11	浙江		-36%		-18%
12	安徽		-11%		-3%
13	福建		18%		27%
14	江西		-4%		3%
15	山东		-69%		-60%
16	河南		-31%		-19%
17	湖北		32%		39%

表 15 | “自上而下”法和“自下而上”法核算的全国30个省份2019年道路交通碳排放(续)

		“自上而下”结果（《指南》比例）相对 “自下而上”结果的变化	“自上而下”结果（WRI比例）相对 “自下而上”结果的变化
18	湖南	35%	39%
19	广东	20%	25%
20	广西	-25%	-16%
21	海南	8%	16%
22	重庆	30%	37%
23	四川	20%	24%
24	贵州	42%	38%
25	云南	17%	23%
26	陕西	-9%	5%
27	甘肃	-2%	3%
28	青海	28%	34%
29	宁夏	-95%	-82%
30	新疆	25%	29%

说明：· 不含西藏自治区、香港和澳门特别行政区及台湾省。
· 由于“自上而下”法难以区分道路交通排放，因此，本文假定汽油、柴油、天然气和液化石油气产生的碳排放均属于道路交通排放，但如此操作会高估道路交通排放量。
· “自下而上”法使用的是保有量法，而跨边界排放归属地划分方法采用的是“居民活动法”。由于缺乏2019年各省份新能源汽车保有量数据，因此将新能源汽车按传统燃油车处理。此外，本文还假设私家车的年行驶里程为10,000千米，轻型货车和重型货车的年行驶里程分别为28,000千米和55,000千米。分车型的油耗来自中国汽车技术研究中心有限公司（2021）。

来源：作者基于全国和地方能源平衡表（国家统计局能源统计司，2020）、车队构成（国家统计局，2021）和能耗数据（中国汽车技术研究中心有限公司，2021）计算。

通碳排放(0.35吨)为全国最低;但采用“自下而上”法，河北省人均道路交通碳排放跃升至全国第二位(图5)。

■ 采用不同方法，同一地区交通碳排放的历史轨迹也会有所不同(图6)：采用“自上而下”法，2012—2019年河北省的道路交通碳排放未发生较大变化，而山东省则呈下降趋势。但采用“自下而上”法，2012—2019年两省份道路交通碳排放均呈上升趋势。

这意味着采用不同的核算方法会产生不同(甚至相互矛盾)的结论，有可能误导减排政策的制定以及财政等资源在各省份间的分配。

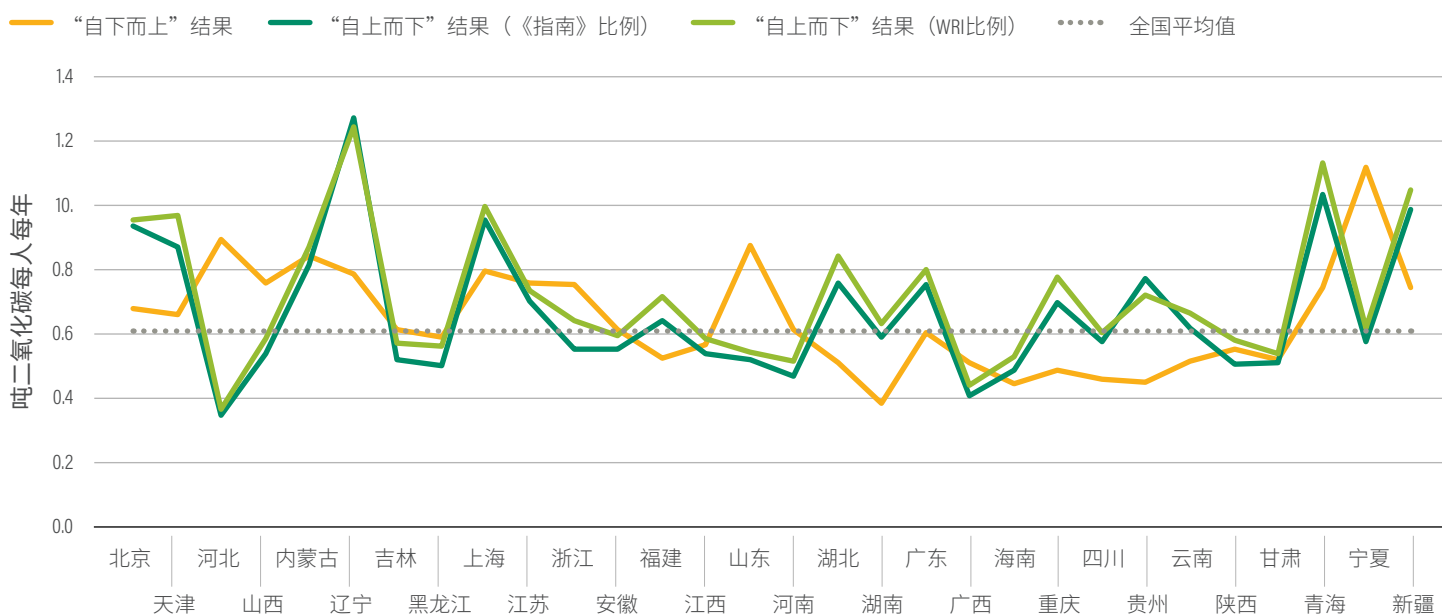
表 16 | 2019年各省道路交通碳排放排名(从高到低)

		基于“自上而下” 法排名	基于“自下而上” 法排名	“自上而下”法排名相对 “自下而上”法排名的变化
1	北京	22	25	-3
2	天津	27	27	0
3	河北	13	3	10
4	山西	21	11	10
5	内蒙古	19	18	1
6	辽宁	3	9	-6
7	吉林	25	22	3
8	黑龙江	24	16	8
9	上海	17	20	-3
10	江苏	2	4	-2
11	浙江	10	6	4
12	安徽	9	7	2
13	福建	14	19	-5
14	江西	15	13	2
15	山东	4	1	3
16	河南	7	5	2
17	湖北	6	10	-4
18	湖南	8	12	-4
19	广东	1	2	-1
20	广西	20	14	6
21	海南	29	30	-1
22	重庆	18	24	-6
23	四川	5	8	-3
24	贵州	12	23	-11
25	云南	11	15	-4
26	陕西	23	17	6
27	甘肃	26	26	0
28	青海	28	29	-1
29	宁夏	30	28	2
30	新疆	16	21	-5

说明：· 不含西藏自治区、香港和澳门特别行政区及台湾省。
· 对“自上而下”方法而言，通过《指南》比例核算出碳排放的排名，与 WRI 比例核算出的结果排名是一致的，因此，这里不做区分。

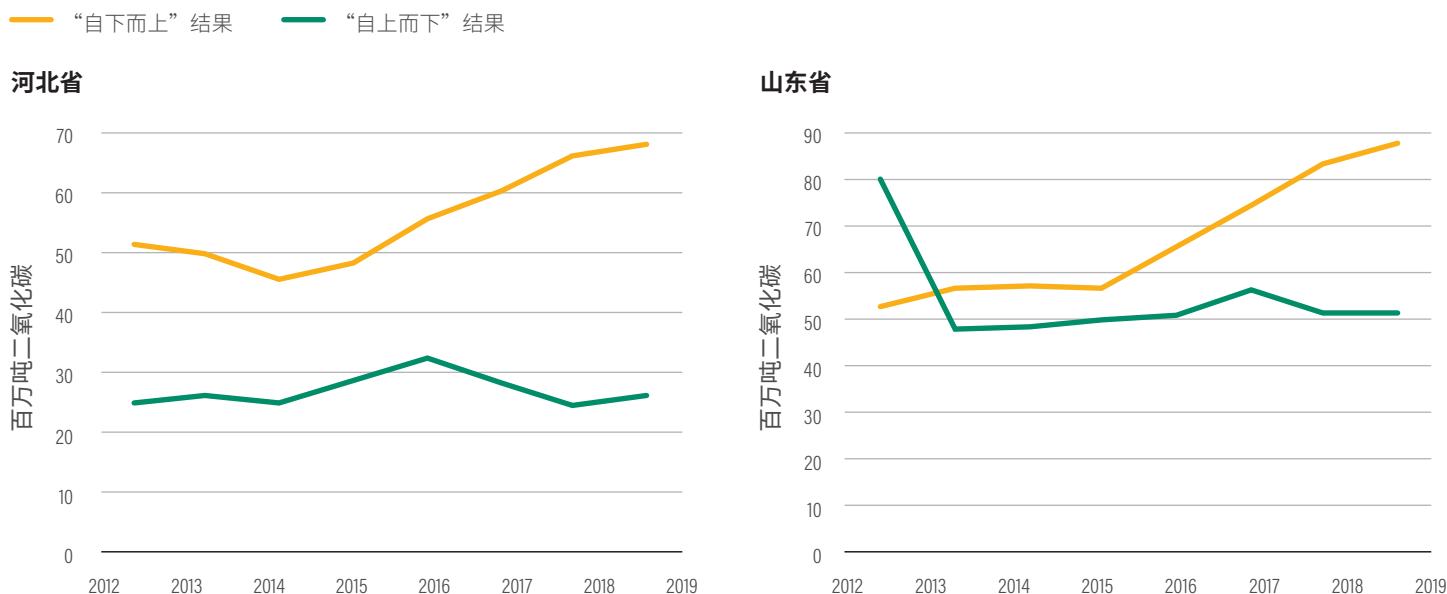
来源：作者基于国家统计局（2020）、国家统计局（2021）和中国汽车技术研究中心有限公司（2021）的数据计算。

图 5 | 2019年全国30个省份人均道路交通碳排放



来源：作者基于国家统计局能源统计司（2020）、国家统计局（2021）和中国汽车技术研究中心有限公司（2021）数据计算。

图 6 | 典型省份2012—2019年道路交通碳排放变化趋势



来源：作者基于国家统计局能源统计司（2020）、国家统计局（2021）和中国汽车技术研究中心有限公司（2021）数据计算。

在国内，“自上而下”法的不确定性，除了作者计算中的误差（如在“自上而下”法中计入部分非道路交通碳排放、在“自下而上”法中忽略新能源车的影响）以外，也受能源平衡表的能耗统计存在偏差及拆分系数存在不确定性等因素影响：

- 能耗数据的偏差：全社会终端能耗消耗统计可能有偏差，存在如企业上报能耗数据有误、部分车辆在黑加油站加油，或数据扩样中存在误差等情况。

首先，企业在上报数据可能存在偏差。运输企业在燃料消耗量上报时，如果未区分国际交通部分或生物燃料消耗量，会高估“自上而下”法的结果。例如，2020年，由于周转量统计口径的调整，远洋水运（国际部分）与沿海水运（国内部分）合并统计（国家统计局，2020），如果企业在能耗数据上报时将国际航海能耗作为国内水运能耗上报，就会高估地方交通碳排放。

其次，黑加油站的出现也会低估“自上而下”法的结果。由于油价低、利润丰厚，黑加油站¹⁴问题在局部地区较为突出（Yang，2020）。尽管黑加油站对全国交通碳排放核算的准确度影响有限（IPCC，2006），但对省市交通碳排放核算的影响不可小觑。2019年，多个国家部委联合在京津冀及其周边地区开展打击黑加油站的联合行动（生态环境部，2019），共发现并取缔了1,466家黑加油站——其中，40%位于河北，36%位于山东。黑加油站多的省份，其“自

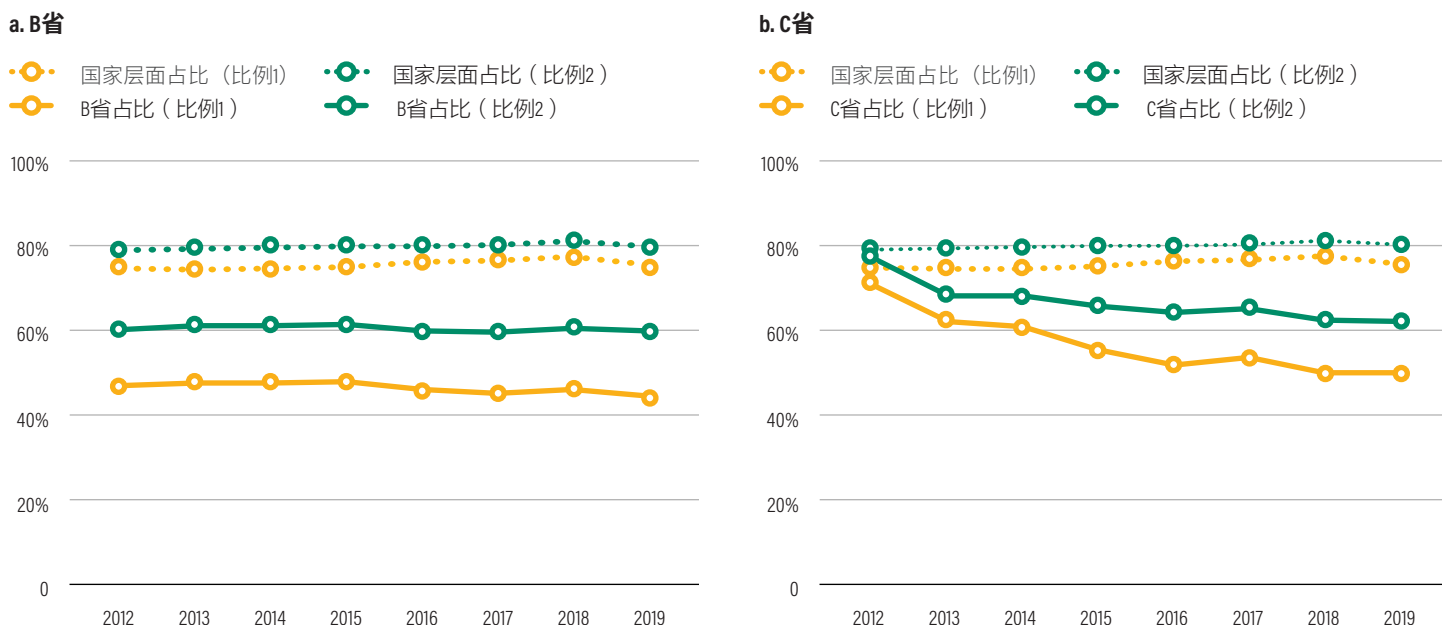
上而下”法的结果存在低估，这可能部分解释了个别省份“自上而下”结果远低于“自下而上”结果的原因。

- 能源平衡表的拆分系数存在不确定性：第2.2节分析的三套能源平衡表的固定拆分系数是否适用于地方交通碳排放核算以及不同年份的交通碳排放核算，仍值得商榷。例如，受发展阶段、经济结构差异及拆分系数不确定性等因素影响，与全国相比，各省份交通柴油消耗在全社会终端柴油消耗的占比2012—2019年浮动范围更大（见图7）：以B省为例，2019年交通柴油消耗仅占全社会柴油消耗的46%，有24%的柴油消耗发生在“农业”领域（全国农业柴油消耗占比仅有9%），但B省不是农业大省，第一产业在GDP中占比仅有3%。

类似的，C省2019年交通柴油消耗在全社会终端柴油消耗中的占比从2012年的70%下降到2019年的50%，同期居民生活的柴油消耗占比从1%上升到13%，远高于1%的全国平均水平（国家统计局能源统计司，2020）。这说明，将全国的拆分系数应用到地方，可能会导致交通能耗在全行业终端能耗中的占比被高估或低估。

此外，随着时间推移，始终采用同一拆分比例也会加剧排放核算的不确定性：随着工业、电力减排以及零排放车辆的推广，交通能耗占总能耗量的比例势必将发生变化。

图 7 | 2012—2019年交通领域柴油消耗量在全行业柴油消耗量中的占比

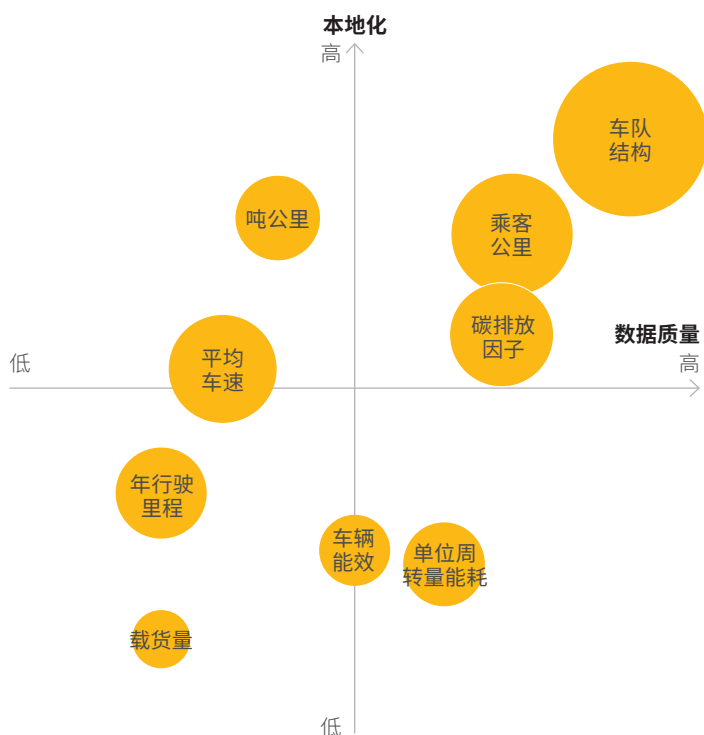


说明：比例1是指《指南》比例（生态环境部，2021），比例2是指WRI比例（WRI，2013）。

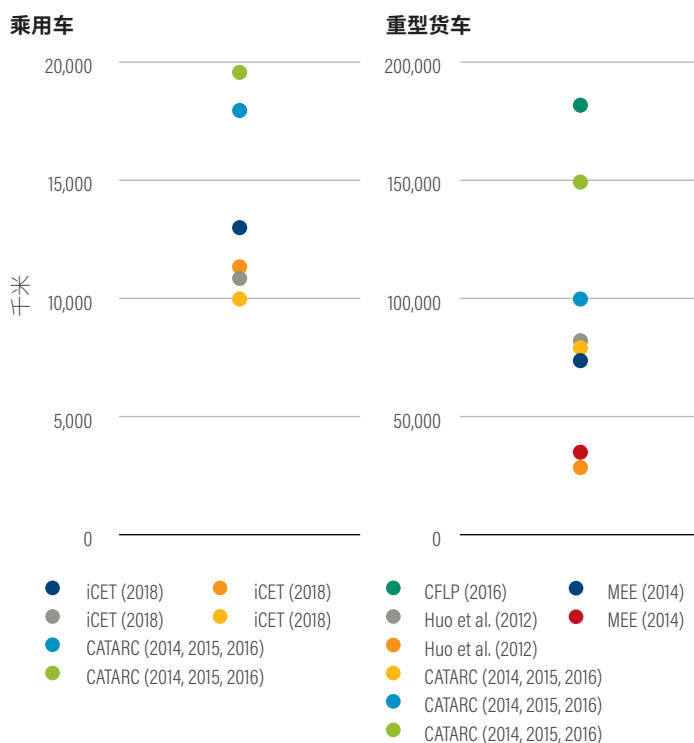
来源：作者基于国家统计局能源统计司（2012—2019）数据计算。

图 8 | “自下而上”法相关统计数据的数据质量评估(道路交通)

a. 数据质量



b. 年行驶里程数据精度



来源：图 a 是作者基于访谈对 Song (2017) 修改。图 b 是作者基于能源与交通创新中心 (2018)、中国汽车技术研究中心有限公司 (2014—2016)、Qu 等 (2019)、生态环境部 (2014)、中国物流与采购联合会 (2016)、Huo 等 (2012) 的总结。

“自下而上”法的不确定性受数据质量低、缺乏数据本地化等因素影响：

- 由于相关统计数据匮乏、数据质量有限，采用“自上而下”法核算国家层面交通碳排放存在较大不确定性。以道路交通为例，“自上而下”法中，年行驶里程相关的统计数据不确定性较高(图8)：现有文献中，私家车的年行驶里程从不足10,000千米到近20,000千米不等(能源与交通创新中心, 2018; 中国汽车技术研究中心有限公司, 2014—2016; Qu等, 2019; 生态环境部, 2014)；重型货车的年行驶里程跨度更大，从35,000千米到182,500千米不等(中国物流与采购联合会, 2016; 中国汽车技术研究中心有限公司, 2014—2016; Huo等, 2012; 生态环境部, 2014)。
- 由于地方省市缺乏本地化的统计数据，采用全国默认值计算“自下而上”排放时，也会带来不确定性。例如，受城市规模的影响，北京的乘用车年行驶里程约为13,000千米，而苏州仅为不足10,000千米(能源与交通创新中心, 2018)。同样，由于道路行驶工况不同，北京和重庆的乘用车燃油经济性要高于全国平均水平(Lv等, 2021)。

由于“自上而下”法和“自下而上”法计算得到的地方交通碳排放存在较大不确定性(个别地区甚至可能存在对地方交通碳排放的系统性高估或低估)，因此，无法通过简单地调整年行驶里程弥合两种方法核算结果的差异，必须完善相关数据统计基础，才能改善地方交通碳排放计算中的不确定性。

3.4 一致性与可加总性

一致性指地区一致性与时序一致性。可加总性指“各部分相加之和等于全部”。

国际上，一般不要求地方交通碳排放具备地区一致性或可加总性(但会要求时序一致性(世界资源研究所等, 2014))，所以，各地采用的交通碳排放核算方法存在差异(附录B)。但在国内，出于碳中和目标在全国的分解、地方碳排放绩效考核以及国家层面碳排放验证的需要，本文建议地方交通碳排放核算时采用统一的方法学，保证各地交通碳排放具备一致性与可加总性。

为保证一致性，需要要求地方政府采用统一的核算边界与核算方法，且当统计数据或核算方法发生变化时，需要从基准年开始

进行重新计算，以确保时序一致性（世界资源研究所等，2014）。

可加总性是碳排放核算的验证方法之一。上述核算方法中，并非所有方法都能确保可加总性：

- “自上而下”法虽然能确保可加总性，但有一定误差。即便在全国的能源平衡表中，各省份能源消耗量加总也不等于全国能源消耗总量。在交通领域，根据本研究测算，2019年各省份道路交通碳排放之和比全国道路交通碳排放高7%~10%。
- “自下而上”法在个别情况下，可保证加总性。例如，对“居民活动法”，所有输入参数为国家默认的平均值时，不存在可加总性问题，否则将可能面临加总性问题。“地理边界法”基本可保证排放结果的可加总性。

为保证可加总性，需要提升“自上而下”法相关能耗统计数据准确性，完善“自下而上”法相关数据的统计搜集工作。

3.5 排放源可识别性

虽然“自上而下”法是《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）推荐使用的国家层面交通碳排放核算方法，但“自上而下”法的缺点之一是无法用于识别具体排放源。这一问题在中国尤为突出：国内的能耗统计仅精确到交通行业，但不细分到交通子行业（表17），与欧洲等发达国家不同（表18）。

识别交通领域内各行业的排放，有助于减排政策更有的放矢。《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）要求，国家温室气体清单中应详细列出交通各行业的碳排放。为此，国内采用的分解方法是基于“自下而上”法（并结合交通能耗统计数据），计算出交通各行业的排放占比¹⁵；基于这一排放占比，对“自上而下”结果进行分解。然而，由于“自下而上”法具有不确定性，所以，这一分解方法得到的交通各行业碳排放也存在不确定性。更行之有效的分解方法是在统计交通能耗数据时分行业进行统计；同时，根据“强化透明度框架”的通用报告表（UNFCCC，2019）对能源平衡表的结构进行细化，增加行业的能耗项。

表 17 | 中国2019年能源平衡表(交通领域)

	汽油 (百万吨)	柴油 (百万吨)	燃料油 (百万吨)	液化石油气 (百万吨)	天然气 (十亿立方米)	电力 (十亿千瓦时)	煤油 (百万吨)
交通	62	99	20	2	27	175	37

说明：表中未包括交通用液化天然气与润滑油的能耗。

来源：国家统计局能源统计司（2020）。

表 18 | 基于欧盟统计局标准的西班牙1999年能源平衡表(交通领域)

（单位：1,000吨油当量）

	液化石油气	汽油	煤油	柴油	天然气	燃油	电力
交通	82	9,393	4,198	17,681	220	10	307
· 铁路	-	-	-	485	-	-	307
· 道路	82	9,383	4,198	15,832	-	10	-
· 航空	-	11	-	-	-	-	-
· 水运	-	-	-	1,364	220	-	-

来源：国际能源署（IEA）（2004）

表 19 | 交通领域核算方法与减排政策的关联性 (道路交通为例)

	运输需求	运输结构	车辆负载率/ 乘客满载率	单位公里/ 周转量能耗	适用政策
“自上而下”方法					
自上而下法	交通能耗	不适用	不适用	不适用	不适用
“自下而上”方法					
周转量法 (以货运为例)	全社会周转量	货运运输结构 (周转量占比)	不适用	单位周转量能耗 (升/吨公里)	交通需求管理, 运输 结构优化, 运输 能效/效率提升
	全社会周转量	货运运输结构 (周转量占比)	单车平均负载量	燃油经济性 (升/千米)	交通需求管理, 运输 结构调整, 运输 效率提升, 燃油经 济性提升
保有量法	车辆保有量×年行 驶里程	不适用	不适用	燃油经济性 (升/千米)	交通需求管理, 新 能源汽车推广, 燃 油经济性提升

来源：作者总结。

3.6 政策关联性

“自上而下”法的另一个缺点是与政策的关联度不高。所以，在预测未来交通碳排放、制定减排政策时，采用“自下而上”法。

不同的“自下而上”法可以支撑不同政策的制定：例如，周转量法适用于货运运输结构调整相关的政策研究，而保有量法适用于新能源汽车推广相关的政策研究（表19）。类似地，不同的跨边界交通碳排放归属地划分方法也可支持不同的政策制定（见专栏3）。

虽然地方交通碳排放的现状碳排放核算时，应尽可能采用统一的核算方法学，但为支撑更全面的交通减排政策制定，应鼓励地方采取多种“自下而上”法（此外，受统计口径限制，应谨慎使用周转量法）。

4 建议

在核算方法上，中国与全球基本一致，基于《IPCC指南》（1996版）和《IPCC指南》（2006版）的“自上而下”法核算国家和地方层面交通碳排放。尽管如此，本文的分析显示，中国交通领域碳排放核算仍存在有待改进之处（表20）：

- 数据统计基础薄弱是影响地方政府顺利开展交通碳排放核算最主要的因素。对国内常见的自上而下“本地运输企业燃料消耗”法而言，仍有众多城市缺乏能源平衡表或不公开相关能耗统计数据。即便是定期编制能源平衡表的省市，也面临能源平衡表更新不及时的情况。自下而上“居民活动法”法的数据缺口相对少。然而，“地理边界法”数据需求大，需要监控卡口、GPS大数据作为支撑，在部分省市面临数据可得性挑战；“诱发活动法”尚不适用于国内。
- 使用“自上而下”法和“自下而上”法计算的地方交通碳排放均具有不确定性。“自上而下”法的不确定性源于终端能耗统计偏差及拆分系数的不确定性。“自下而上”法的不确定性主要源于现有统计数据（如年行驶里程、燃油经济性）质量有限。在个别省份，通过“自上而下”法和“自下而上”法核算出的交通碳排放差异较大，难以通过IPCC建议的方法（即调整“自下而上”法的年行驶里程）弥合，且对政策决策与资源分配有较大影响，因此，有必要完善数据统计基础，提升相关统计数据的质量。
- 国内缺乏统一的交通碳排放核算方法指南。虽然目前国内出台了“自上而下”法的方法学指南，但交通领域碳排放核算边界不清晰（未明确是否包含非道路机械等），且缺

表 20 | 交通领域碳核算方法的评估

	自上而下“本地运输企业燃料消耗法”	自下而上“居民活动法”	自下而上“地理边界法”	自下而上“诱发活动法”
数据可得性	省份及少数省会城市可得	所有地区可得	少数地区可得	不可得
不确定性	· 全国层面：确定 · 地方层面：不确定	· 全国层面：不确定 · 地方层面：不确定	未评估	未评估
可加总性	可加总，但有误差	一些情况下可加总	可加总	不可加总
排放源可识别性	不可识别	可识别	可识别	可识别
政策关联性	无关联	有关联	有关联	有关联

说明：由于数据有限等原因，本文未评估自下而上“地理边界法”和自下而上“诱发活动法”的不确定性。

来源：作者总结。

乏实施的强制性。同时，国内也尚未编制“自下而上”法的方法学指南。这些都导致各地进行交通碳排放核算时，采用的方法不一，核算结果不具备一致性（可比性）。

- 划分跨边界出行排放的归属地时，存在权责不匹配的问题。国内少数地区被划分的航空或水运排放过高，超过了其减排权责。

鉴于现阶段全面引入“自下而上”法（特别是“地理边界法”和“诱发活动法”）存在数据与模型等多方面的挑战，本文提出以下分阶段建议：

4.1 近期建议（2021—2025年）

在近期（2021—2025年），地方政府（至少省级政府）应自某一基准年起，每年定期编制交通领域碳排放清单，用于支撑交通领域低碳行动方案的编制，追踪及评估低碳行动方案实施后的效果。同时，编制地方交通碳排放清单也有利于中国在国际上履行《联合国气候变化框架公约》以及将于2024年生效的《巴黎协定》“强化透明度框架”对国家温室气体清单的报告要求。

为与全国温室气体排放清单保持一致性，以及与本地历史排放清单保持时序的一致性，本文建议采用“自上而下”法计算地方交通领域碳排放。在使用“自上而下”法时，需注意：一是应解决交通领域能耗统计体系不完整的问题；二是尽可能配套使用“自下而上”法，并完善相关的数据统计基础。

第一，完善“自上而下”法的数据统计基础：

- 统计部门有必要调整交通领域能耗统计制度，全面覆盖交通领域能耗，特别是纳入非营运车辆与非道路机械的能耗。下列措施有助于全面统计交通领域能耗：一是基于燃油税的税收凭证统计交通能耗，二是对上游燃料供应商（如炼化厂、油库、贸易商、加油站以及专供渠道的燃料供应商）提出强制性“范围三”排放报告要求，三是面向上游燃料供应商开展专项调查统计等。

其中，对上游燃料供应商提出强制性的“范围三”碳排放报告要求，行政成本最低：通过要求其定期提交各类交通燃料的贸易、销售与库存统计，及对应的“范围三”碳排放，不仅可简化统计对象的数量，更可获得全口径、准确的交通领域能耗和碳排放统计（见专栏3）。各类上游燃料供应商中，从加油站的经营企业以及专供渠道的燃料供应商获得“范围三”碳排放更为准确，可以区分终端使用情况（如国内与国际交通）。同时，应提升交通能耗统计覆盖的地理范围与及时性，即要求交通能耗统计尽可能覆盖全国各地市，并以年度为单位进行统计。

值得注意的是，在更全面的能耗统计方法下，“自上而下”法将由“本地运输企业燃料消耗法”变更成“本地燃料销售法”。但核算方法的切换会影响现状排放与历史排放的时序一致性。所以，为保证时序一致性，交通能耗统计应能够回溯到历史的基准年，并根据新的“本地燃料

销售法”重新计算基准年份以来所有历史年份的碳排放量(世界资源研究所等, 2014)。

- 在加油站燃料统计中, 应要求企业进行以下区分: 一是区分国内交通能耗与国际交通能耗, 特别是航空与水运行业; 二是区分交通用生物燃料与传统化石燃料; 三是应分别报告交通各行业的燃料消耗量, 例如, 道路交通的柴油加油量应与非道路机械的柴油加油量区分开。另外, 能源平衡表应细化到交通各行业, 并与2024年生效的《巴黎协定》“强化透明度框架”的通用报告表保持一致 (UNFCCC, 2019)。即便不调整交通能耗统计制度, 以上要求也适用于运输企业的能耗统计。
- 建立交通能耗统计的质量保证/质量控制 (QA/QC) 制度, 对企业上报数据进行第三方核查 (MRV), 确保地方交通领域能耗之和等于全国交通领域能耗。
- 商务、生态环境等部门应加大对黑加油站、非正规炼化厂的执法力度, 禁止非正规渠道的劣质非标油流入市场。加强对黑加油站、非正规炼化厂的执法力度, 不仅有助于提升交通能耗统计的准确性, 也有助于减少由于使用劣质燃料而产生的大气污染, 避免国家税收损失。

第二, 编制“自下而上”法的方法学指南, 完善相关数据统计基础:

- 编制交通领域“自下而上”法的方法学指南, 明确核算边界, 统一“自下而上”方法以及跨边界交通碳排放归属地划分方法, 规范数据收集与统计体系, 明确结果验证方法等。
- “自下而上”法核算的交通碳排放清单应尽量与交通污染物清单进行统一管理。目前, 基于第二次污染普查、污染物总量核查等, 有关部门已建立了相对成熟的基于“自下而上”法的交通污染物核算方法、数据基础、管理与考核机制。有条件的地方政府可以考虑, 编制基于“自下而上”法的交通领域碳排放和污染物的融合清单, 支撑降碳减污协同增效。
- 地方有关部门应定期采集分车型的年行驶里程数据。采集方法包括: 通过车载GPS系统采集、车辆年检时里程读取或道路流量统计等 (见附录B)。在国内, 营运车辆的年行驶里程可通过车载GPS系统获得: 为了防止司机超速或疲劳驾驶, 交通运输部 (2014年) 要求营运性车辆都加装GPS系统; 除GPS失灵等特殊情况下, 基于GPS的年行驶里程数据可覆盖所有营运车辆。私家车的年行驶里程可通过在里程表读数或道路流量统计获得。
- 地方有关部门也应定期收集分车型实际道路的油耗数据。油耗数据可通过附录B所列不同方法收集。对营运车

辆, 基于车载自动诊断系统 (OBD) 是首选的油耗数据收集方法; 对私家车, 可通过车主在手机APP填报油耗的方法获得油耗数据。

- 地方有关部门也应考虑完善非道路机械相关的统计数据, 并定期进行二氧化碳与污染物排放测算。特别是空气污染严重的地区, 可以率先试点, 收集本地非道路机械设备的情况与活动数据 (如设备数量、设备额定功率、运行小时数、负荷系数等), 以便了解与监测本地非道路机械的碳排放与污染物排放情况。

第三, 航空、铁路和沿海水运产生的碳排放最好划分到相应企业, 而非地方城市。为便于这些企业核算其交通碳排放, 有必要编制针对航空、铁路与水运企业的碳排放核算指南, 指导企业收集相关数据, 对碳排放进行定期核算, 并在此基础上开展第三方核查。

最后, 中央和地方有关部门也应提供交通碳排放核算相关的保障机制:

- 中央有关部门应提出统一的省级 (或市县级) 交通领域碳排放核算方法, 清晰界定核算对象、核算边界, 明确以“自上而下”法为主, 还是“自上而下”法与“自下而上”法相结合, 提出处理“自上而下”法和“自下而上”法结果差异的方法, 统一跨边界交通碳排放归属地划分方法, 指导地方对交通碳排放结果进行验证等。
- 建立交通领域碳排放目标分解机制及基于碳排放清单的考核机制, 并定期对地方编制的交通领域碳排放清单, 开展第三方核查。
- 中央和地方政府部门应设立核算办公室, 并设置专职人员, 负责交通领域碳排放相关数据收集及平台开发、清单编制与质量保证/质量控制等工作。
- 促进数据在不同部门间的分享, 既可简化企业上报数据的工作量, 也可用于不同部门数据的交叉互检。

4.2 中长期建议 (2025年后)

中长期, 应鼓励地方政府使用自下而上“地理边界法”或“诱发活动法”计算与预测交通碳排放, 以及支撑更全面、更精细化的交通减排政策制定。

此外, 中国还应出台交通领域甲烷、氧化亚氮的核算方法学指南以及相关数据统计基础, 以便更准确地编制交通领域温室气体排放清单。

最后, 根据国际谈判进程, 中国可考虑是否将国际航空与航海排放纳入国家温室气体清单。

专栏 4 | 美国加利福尼亚州上游燃料供应商的强制性“范围三”温室气体排放报告要求

企业温室气体/二氧化碳排放报告机制包括强制性报告与自愿性报告两种。针对重点排放企业，有关部门通常会提出强制排放报告要求，以及时获得全口径的温室气体/二氧化碳排放数据。一般情况下，强制碳排放报告只包含企业的“范围一”排放或“范围一+范围二”排放（Singh和Mahapatra, 2013）。

在美国，加利福尼亚州政府除了要求“范围一”排放报告外，也要求产业链上游的化石燃料的供应商报告“范围三”排放。根据2006年出台的《加利福尼亚州全球变暖解决方案法案》

（California Global Warming Solutions Act），加利福尼亚州要求，出售交通燃料对应排放量超过10,000吨二氧化碳当量的本地燃料供应商（包括炼油厂、储备油库及进出口商）必须每年定期提交温室气体排放报告，并接受第三方核查（美国环保署，2010）。这一要求仅针对上游燃料供应商，免去了对数量庞大的个体出行者的要求，同时也有助于政府获得“全口径”交通碳排放数据，并能保证数据的质量与一致性（Singh和Mahapatra, 2013）。典型国家和地区温室气体报告制度的排放边界对比见专栏表2。

专栏表 2 | 典型国家和地区温室气体报告制度的排放边界对比

国家或区域	报告层面	直校排放	外购电力、热力及蒸汽引起的间校排放	其他间接排放
澳大利亚	企业与设施	✓	✓	鼓励报告
加利福尼亚州	设施（+供应商）	✓	^a	✓ ^b
加拿大	设施	✓		
欧盟	设施	✓		
法国	企业	✓	✓	鼓励报告
日本	企业与设施	✓	✓	可选
英国	企业与设施	✓	✓	鼓励报告

说明：a 加利福尼亚州制度要求电力、热力和蒸汽的供应商报告其排放，因此加利福尼亚州仅要求用户报告外购电力、热力与蒸汽的消耗量，而无需用户计算相关排放量。

b 供应商在企业层面进行报告。

来源：Singh 和 Mahapatra （2013）

附录A：《城市温室气体核算国际标准》中跨边界交通碳排放归属地的划分方法

《城市温室气体核算国际标准》(GPC)提供了四种划分跨边界交通碳排放归属地的方法(世界资源研究所等, 2014), 各有优势(表附1)。

在全球, 不同城市和地区采用了不同的跨边界交通碳排放归属地划分方法(见表附2), 例如:

- 美国加利福尼亚州采用了传统的“本地燃料销售法”计算交通领域碳排放, 评估地方政府减排目标的达成情况。值得注意的是, 根据《商用车登记法》(2001年), 商用车及挂车在进入加利福尼亚州之前必须先进行登记, 因此, 加利福尼亚州也有条件追踪跨边界商用车的行程与排放数据。

- 在美国西雅图市, 由于不同交通行业数据可得性存在差异, 因此在划分跨边界交通碳排放归属地时采用了不同方法。例如, 自下而上“诱发活动法”主要用于计算道路交通和铁路客运的碳排放, 而自下而上“地理边界法”则用来计算水运和铁路货运的碳排放。
- 英国大伦敦地区政府采用了基于交通模型的“地理边界法”, 通过将城市划分成面积为1平方千米的若干单元格, 计算碳排放和污染物排放。“地理边界法”的优势在于城市碳排放核算边界与空气污染物的边界完全一致, 所以, 可以评估政策的碳排放与污染物协同减排效应。此外, 该方法还可以评估如超低排放区等与地理边界相关的政策的减排效益。

表附 1 | 多种跨边界交通领域碳排放归属地划分方法的对比

方法	优点	缺点	实施难度
“自上而下”的划分法			
本地燃料销售法 和本地运输企业 燃料消耗法	· 与全国碳排放清单方法学一致 · 成本低、耗时少 · 技术能力要求低	· 无法计入在外地加油的本地车辆产生的碳排放 · 无法识别具体排放源 · 无法支持政策制定	★
“自下而上”的划分法			
居民活动法	· 可识别具体排放源 · 可支撑减排政策制定	· 无法计入外地车辆在当地产生的排放	★★ (需要年行驶里程和燃油经济性数据)
地理边界法	· 可识别具体排放源 · 可支撑减排政策制定, 特别是超低排放区等政策 · 可评估政策的空气污染减排协同效应	· 成本高、耗时长 · 由于模型差异, 城市间碳排放的一致性较小	★★★★★ (需要建立城市交通模型)
诱发活动法	· 可识别排放源 · 可支撑减排政策制定, 特别是跨边界出行需求管理	· 成本高、耗时长 · 由于模型差异, 城市间碳排放的一致性较小	★★★★★ (需要建立城市交通模型)

来源: 作者基于 GPC (世界资源研究所等, 2014) 改编。

表附 2 | 全球不同城市和地区使用的跨边界交通碳排放归属地划分方法

	英国大伦敦地区	美国西雅图市	美国加利福尼亚州
 道路交通	· 地理边界法	· 诱发活动法（将始于或终于西雅图的出行碳排放的一半计入本市排放）	· 本地燃料销售法
 铁路	· 地理边界法（伦敦地理范围内铁路排放）	· 诱发活动法（铁路客运） · 地理边界法（铁路货运）	· 本地燃料销售法
 水运	· 地理边界法（泰晤士河运行的国内外船舶产生的排放）	· 地理边界法（西雅图港作业和停泊的国内外船舶产生的排放）	· 本地燃料销售法
 航空	· 地理边界法（飞行高度在1千米以下的航空排放）	· 基于本地人口规模估算航空燃料销售量	· 本地燃料销售法
 非道路机械	· 本地燃料销售法（该部分排放计入工业和建筑领域的排放）	· 基于美国环保署的NONROAD模型计算	· 本地燃料销售法
 排放清单目的	评估政策的空气污染减排协同效应以及低排放政策的减排潜力	支撑城市编制交通领域低碳行动方案	跟踪温室气体排放的变化和历史趋势

来源：对于英国大伦敦地区，道路交通、铁路和航空领域的碳排放根据《伦敦大气碳排放清单》（2016 版）计算（TfL，2020），水运排放来自 PLA and TfL（2017），非道路机械的排放来自《英国国家大气排放清单》(Desouza et al., 2021)；对于美国加利福尼亚州，交通碳排放基于《IPCC 指南》（2006）核算；对于美国西雅图市，跨边界交通碳排放归属地划分方法来自西雅图可持续发展与环境办公室（SOSE）（2020）。

附录B：年行驶里程和燃油经济性的数据收集方法

年行驶里程的数据收集方法见表附3，燃油经济性数据收集方法见表附4。

表附 3 | 年行驶里程的数据收集方法

	车辆年检	出行调查	基于卡口/ 环线数据道路流量统计	GPS系统
数据收集方法	车辆年检时，获得车辆年行驶里程数据	对居民或运输企业进行（抽样）调查，获得行驶里程数据	在抽样选取路段，通过车牌自动识别方法，统计车辆数量、车型（年行驶里程等于车辆数量乘以路段长度）	通过车载GPS系统获取行驶里程数
划分碳排放归属地的考量因素	居民活动法 · 本地登记的车辆 · 区域内/外出行	居民活动法 本地登记的车辆 · 区域内/外出行	地理边界法 · 在区域内/外登记的车辆 · 只计算区域内的出行	所有划分方法 · 在区域内/外登记的车辆 · 所有出行方式
适用车型	· 所有车型	· 所有车型	· 所有车型	· 营运车辆

来源：作者基于 Kuhnimhof 等（2017）调整。

表附 4 | 燃油经济性数据收集方法

	车载自动诊断系统（OBD） 数据收集	用户自我报告	车载尾气检测设备（PEMS） /台架测试	基于PHEM等软件的模型
数据收集程序	获得车主同意后，通过车载自动诊断系统获得实际道路油耗数据	由车主用APP（如“小熊油耗”）分享燃油经济性	在实际道路条件下通过车载尾气检测设备，或在实验室条件下通过台架测试，获得油耗数据	在PHEM和MOVES（Hausberger，2003）等软件模型中导入本地化工况，计算油耗
缺点	· 取决于车载自动诊断设备的可靠性，数据可能不准确	· 车型涵盖范围有限	· 样本量有限 · 台架测试与实际道路工况有差异	· 与中国的车型不同 · 与实际道路工况有差异
适用车型	· 所有车辆	· 私家车	· 所有车型	· 所有车型

来源：作者总结

注释

1. 本研究调研了十几个省、自治区和直辖市，样本多元。这些省份分别处于不同的经济发展阶段，对交通碳排放核算有不同的认知程度。
2. 不含润滑油燃烧产生的排放及采用尿素的催化转化器（SCR）产生的排放。
3. 国际航空与航海的燃料消耗量是指行程始于或终于国外所消耗的燃料量。
4. 该计算方式仅适用于航空煤油，不适用于航空汽油。此外，飞机起降架次仅包括国内飞机起降架次。
5. 采用层级3方法时，船舶轨迹数据需区分国内水运与国际水运的轨迹，便于区分国内、国际交通碳排放。
6. 根据《城市温室气体核算国际标准》，该方法还包含国际交通碳排放。
7. 在计算中，采用了IPCC默认的燃料碳含量和中国本地化的碳氧化率。
8. 值得注意的是，基于“本地运输企业燃料消耗法”核算出的地方交通碳排放与基于（本地）“周转量法”核算出的地方交通碳排放具备可比性，因为本地运输企业燃料消耗量的统计口径与周转量的统计口径基本一致。
9. 自下而上“居民活动法”在计算中主要使用基于车籍地的“保有量法”或“周转量法”。“地理边界法”和“诱发活动法”在计算中则主要使用基于本地和异地注册车辆的“保有量法”；“周转量法”无法支持。
10. 各城市需要通过车牌自动识别系统一道分析并处理卡口流量数据，将识别出的车牌信息与车辆登记数据库进行匹配，获取车辆类别、车辆技术等关键信息，用于计算交通碳排放。
11. 大型国有航空公司包括但不限于中国航空集团有限公司、中国东方航空集团有限公司、中国南方航空集团有限公司等。
12. 中央政府通过实行“企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分”（CAFC），鼓励新能源汽车的生产与制造展。新能源汽车与CAFC积分可以依据《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》在车企之间进行交易。
13. 不包括西藏自治区、香港和澳门特别行政区及台湾省。
14. 燃料混合厂是指将燃料油混入车辆柴油的工厂。
15. 现有交通领域能耗统计可以区分铁路、水运和航空的能耗，但无法区分道路机械和非道路机械的能耗。

参考文献

- Bowen, F. and Wittneben, B. 2011. "Carbon Accounting: Negotiating Accuracy, Consistency and Certainty across Organizational Fields" *Accounting, Auditing and Accountability Journal* 24(8): 1022 – 1036.
- BSI (British Standards Institution). 2013. *PAS 2070 Specification for the Assessment of Greenhouse Gas Emissions of a City*. London: British Standards Institution.
- BSI. 2014. *Application of PAS 2070—London, United Kingdom: An Assessment of Greenhouse Gas Emissions of a City*. London: British Standards Institution.
- CATARC (China Automotive Technology and Research Center). 2014. *Annual Report on Automotive Energy-Saving in China 2014*. Beijing: Posts & Telecom Press (in Chinese).
- CATARC. 2015. *Annual Report on Automotive Energy-Saving in China 2015*. Beijing: Posts & Telecom Press (in Chinese).
- CATARC. 2016. *Annual Report on Automotive Energy-Saving in China 2016*. Beijing: Posts & Telecom Press (in Chinese).
- CATARC. 2021. *Annual Report on Automotive Energy-Saving in China 2021*. Beijing: Posts & Telecom Press (in Chinese).
- CEADS (Carbon Emission Accounts & Datasets). n.d. <https://www.ceads.net/data/city/>. Accessed September 26, 2022.
- CFLP (China Federation of Logistics Purchasing). 2016. *China Road Freight Development Report 2015–2016*. Beijing: China Federation of Logistics Purchasing (in Chinese).
- Climate Watch. 2022. (Database.) "Global Historical GHG Emissions-CAIT". Washington, DC: World Resources Institute. <https://www.climatewatchdata.org>. Accessed 26 September 2022.
- Deng, F., Z. Lv, L. Qi, X. Wang, M. Shi, and H. Liu. 2020. "A Big Data Approach to Improving the Vehicle Emission Inventory in China." *Nature Communication* 11 (2801). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16579-w>.
- Desouza, C.D., D.J. Marsh, S.D. Beevers, N. Molden, and D.C. Green. 2021. "A Spatial and Fleet Disaggregated Approach to Calculating the NOX Emissions Inventory for Non-road Mobile Machinery in London." *Atmospheric Environment* 12. <https://doi.org/10.1016/j.aea.2021.100125>.
- DMV (California Department of Motor Vehicles). 2001. The Commercial Vehicle Registration Act of 2001. <https://www.dmv.ca.gov/portal/handbook/vehicle-industry-registration-procedures-manual-2/commercial-vehicles/commercial-vehicle-registration-act-of-cvra/>.
- EEA (European Environment Agency). 2019. *EMP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019: Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories*. Copenhagen: EEA. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>. Accessed September 26, 2022.
- EPA (Environmental Protection Agency, United States). n.d. "NONROAD Model (Nonroad Engines, Equipment, and Vehicles)." https://19january2017snapshot.epa.gov/moves/nonroad-model-nonroad-engines-equipment-and-vehicles_.html. Accessed September 26, 2022.
- EPA. 2010. *Mandatory Reporting of Greenhouse Gases Rule*. Washington, DC: EPA.
- Hausberger, S. 2003. *Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emissions*. VKM-THD Mitteilungen, Heft/Vol 82, Verlag der Technischen Universität Graz 2003, ISBN 3-901351-74-4.

Huo, H., Q. Zhang, K. He, Z. Yao, and M. Wang. 2012. "Vehicle-Use Intensity in China: Current Status and Future Trend." *Energy Policy* 43: 6–16.

iCET (Innovation Center for Energy and Transportation). 2018. *New Data Analysis on Real-World Driving and Fuel Consumption for Passenger Cars in China*. Beijing: Innovation Center for Energy and Transportation (in Chinese).

IEA (International Energy Agency). 2004. *Energy Statistics Manual*. Paris: International Energy Agency.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Organisation for Economic Co-operation and Development, and International Energy Agency. 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Volumes I, II, and III). Bracknell, United Kingdom: IPCC WGI Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Office.

IPCC. 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama, Kanagawa, Japan: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit, Institute for Global Environmental Strategies.

IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Jiang, X.Q., W.Y. Xi, W.K. Fong, J.Y. Song, and Z. Wang. 2019. *Wuhan Transport Sector Carbon Emissions Roadmap Study*. Washington, DC: World Resources Institute (in Chinese).

Kander, A., M. Jiborn, D.D. Moran, and T.O. Wiedmann. 2015. "National Greenhouse-Gas Accounting for Effective Climate Policy on International Trade." *Nature Climate Change* 5 (5): 431–35.

Kuhnimhof, T., M. Baumer, and U. Kunert. 2017. *Approaches for Establishing In-Use Vehicle Stock and Vehicle Mileages*. Bonn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

Larsson, J., A. Kamb, J. Nässén, and J. Åkerman. 2018. "Measuring Greenhouse Gas Emissions from International Air Travel of a Country's Residents: Methodological Development and Application for Sweden." *Environmental Impact Assessment Review* 72: 137–44.

Lee, D.S. 2018. *International Aviation and the Paris Agreement Temperature Goals*. Manchester, United Kingdom: Manchester Metropolitan University, 1–15.

Ly, C., Z. Zhang, X.M. Chen, D. Ma, and B.F. Cai. 2021. "Study on CO₂ Emission Factors of Road Transport in Chinese Provinces." *China Environment Science* 41 (7): 3122–30 (in Chinese).

MEE. 2015. *China's National Guide on Off-Road Machinery Air Pollutant Inventory Development (Test Version)*. Beijing: China Ministry of Ecology and Environment (in Chinese).

MEE. 2018a. *China's Second Biennial Update Report on Climate Change*. Beijing: China Ministry of Ecology and Environment (in Chinese).

MEE. 2018b. *The People's Republic of China Third National Communication on Climate Change*. Beijing: China Ministry of Ecology and Environment (in Chinese).

MEE. 2019. "The Investigation Found 1466 Illegal Stations and 644 Non-compliant Fuel Stations." http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/201911/t20191105_740912.html. (in Chinese). Accessed September 26, 2022.

MEE. 2021. *Guidelines on the Development of Provincial Carbon Emission Peak Action Plans (Consultation Version)*. Beijing: China Ministry of Ecology and Environment (in Chinese).

MIIT (Ministry of Industry and Information Technology, China). 2021. *Phase 2 Parallel Management Regulation for CAFC and NEV Credits among Passenger Car Manufacturers*. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology (in Chinese).

MOFCOM (Ministry of Commerce, China). 2020. *Guidance on Promotion the High Quality Development of Transport Fuel Distribution (Consultation Version)*. Beijing: Ministry of Commerce (in Chinese).

MoT (Ministry of Transport, China). 2014. *Regulations on the Methods to Dynamically Monitor Road Transport Vehicles' Operation*. Beijing: Ministry of Transport (in Chinese).

NDRC (National Development and Reform Commission, China). 2004. *The People's Republic of China Initial National Communication on Climate Change*. Beijing: China National Development and Reform Commission (in Chinese).

NDRC. 2011. *Guidelines for the Development of Provincial-Level GHG Emission Inventories (Trial Version)*. Beijing: China National Development and Reform Commission (in Chinese).

NDRC. 2012. *The People's Republic of China Second National Communication on Climate Change*. Beijing: China National Development and Reform Commission (in Chinese).

NDRC. 2016. *China's First Biennial Update Report on Climate Change*. Beijing: China National Development and Reform Commission (in Chinese).

NDRC. 2021. *Action Plan for Carbon Dioxide Peaking before 2030*. Beijing: China National Development and Reform Commission (in Chinese). https://en.ndrc.gov.cn/policies/202110/t20211027_1301020.html. Accessed September 26, 2022.

Ou, S.Q., R.J. Yu, Z.H. Lin, H.H. Ren, X. He, S. Przesmitzki, and J. Bouchard. 2019. "Daily Distance Distribution of Chinese Passenger Vehicles by Regions and Class: Estimation and Implications for Energy Use and Electrification." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.

Pers. Comm. (Personal Communication). 2022a. Personal communication between the authors and two officials from the provincial transport departments, July.

Pers. Comm. (Personal Communication). 2022b. Personal communication between the authors and twenty technical professionals from provincial and municipal transport research institutes, August 15.

PGoJP (People's Government of Jiangxi Province). 2022. *Carbon Peaking Action Plan of Jiangxi Province*. Jiangxi Province, China: People's Government of Jiangxi Province. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/tdftzh/202208/t20220808_1332757.html?code=&state=123 (in Chinese). Accessed 26 September 2022.

PLA and TfL (Port of London Authority and Transport for London). 2017. *Port of London Emissions Inventory 2016*. London: Port of London Authority and Transport for London.

Ramaswami, A., T. Hillman, B. Janson, M. Reiner, and G. Thomas. 2008. "A Demand-Centered, Hybrid Life-Cycle Methodology for City-Scale Greenhouse Gas Inventories." *Environmental Science and Technology* 42 (17): 6455–61.

Rayner, T. 2021. "Taking the Slow Route to Decarbonization? Developing Climate Governance for International Transport." *Earth System Governance* 8 (100100).

Shan, Y., D. Guan, J. Liu, Z. Mi, Z. Liu, J. Liu, H. Schroeder, et al. 2017. "Methodology and Applications of City Level CO₂ Emission Accounts in China." *J. Clean. Prod.* 161: 1215–25.

Shan, Y., S. Fang, B. Cai, Y. Zhou, D. Li, K. Feng, and K. Hubacek. 2021. "Chinese Cities Exhibit Varying Degrees of Decoupling of Economic Growth and CO₂ Emissions between 2005 and 2015." *One Earth* 4: 124–34.

- SMPG (Shanghai Municipal People's Government, China). 2022. *Carbon Peaking Action Plan of Shanghai Municipality*. Shanghai: Shanghai Municipal People's Government. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzyzj/tdftzh/202208/t20220808_1332758_ext.html (in Chinese).
- Singh, N., Mahapatra, A. 2013. Designing Greenhouse Gas Reporting Systems: Learning from Existing Programs. World Resources Institute Working Paper.
- Song, S. 2017. *The Transport Emissions & Social Cost Assessment*. Washington, DC: World Resources Institute.
- SOSE (Seattle Office of Sustainability and Environment, United States). 2020. *2018 Community Greenhouse Emissions Inventory of Seattle*. Seattle: Seattle Office of Sustainability and Environment.
- State Council (State Council of China). 2007. *Guidelines on Statistical Monitoring and Performance Evaluation on Energy Savings and Emission Reduction*. Beijing: State Council (in Chinese).
- Tanabe, K. 2016. "Transition from Revised 1996 IPCC Guidelines to 2006 IPCC Guidelines." Presented at the Africa Regional Workshop on the Building of Sustainable National Greenhouse Gas Inventory Management Systems, and the Use of the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Maseru, Lesotho: Intergovernmental Panel on Climate Change. https://unfccc.int/sites/default/files/1_1996_to_2006_lesotho_march_2016_final_kt.pdf.
- TfL (Transport for London). 2020. *London Atmospheric Emissions Inventory (LAEI) 2016: Methodology*. London: Transport for London.
- UK CCC (United Kingdom Climate Change Committee). 2020. *The Sixth Carbon Budget: The UK's Path to Net Zero*. London: Climate Change Committee.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1996. Communications from Parties Included in Annex I to the Convention Guidelines, Schedule and Process for Consideration—Addendum 1. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice. Geneva: UNFCCC.
- UNFCCC. 2012. *United Nations Framework Convention on Climate Change Decision 3/CP.5: Guidelines for the Preparation of National Communications by Parties Included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC Reporting Guidelines on Annual Inventories* FCCC/CP/1999/7 (2000). Geneva: UNFCCC.
- UNFCCC. 2019. *United Nations Framework Convention on Climate Change Decision 18/CMA.1: Modalities, Procedures and Guidelines for the Transparency Framework for Action and Support Referred to in Article 13 of the Paris Agreement* FCCC/PA/CMA/2018/Add.2 (2019). Geneva: UNFCCC.
- VECC (Vehicle Emission Control Center of China). 2015. *Report on China's Policy Landscape on the Management of Off-Road Machineries*. Beijing: Vehicle Emission Control Center of China (in Chinese).
- Wood, F., A. Bows, and K. Anderson. 2010. "Apportioning Aviation CO₂ Emissions to Regional Administrations for Monitoring and Target Setting." *Transport Policy* 17 (4): 206–15.
- WRI (World Resources Institute). 2013. "Greenhouse Gas Accounting Tool for Chinese Cities (Pilot Version 1.0)." Beijing: World Resources Institute (in Chinese). <http://www.wri.org.cn/en/node/49>. Accessed September 26, 2022.
- WRI, C40 Cities, and ICLEI. 2014. *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities*. <http://www.ghgprotocol.org/city-accounting>. Accessed September 26, 2022.
- Yang, L. 2020. "Motor Vehicle Diesel Fuel Quality Compliance and Enforcement in China: A Look at the Status Quo and International Best Practices." Working Paper. Washington, DC: International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Motor-diesel-fuel-quality-China.3.4.2020.pdf>. Accessed 26 September 2022.
- 国家发展改革委、国家统计局、生态环境部.2022. 关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202208/t20220819_1333231.html?code=&state=123
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2012.
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2013.
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2014.
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2015.
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2016.
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2017.
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2018.
- 国家统计局.中国统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2019.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2013.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2014.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2015.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2016.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2017.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2018.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2019.
- 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[J].北京：中国统计出版社.2020.
- 国务院办公厅.2021. 关于全面建成小康社会提供交通保障有关情况的新闻发布会. http://www.china.com.cn/zhibo/content_77705154.htm
- 交通运输部. 2022. 2021年交通运输行业发展统计公报.
- 景侨楠, 罗雯, 白宏涛, 等. 2018. 城市能源碳排放估算方法探究[J]. 环境科学学报, 38(12): 4879-4886.
- 发改委能源所研究课题组. 2017. “十三五”及2030年交通部门节能目标研究.
- 薛露露. 2022. 解码中国省级交通领域2012-19年二氧化碳排放.世界资源研究所工作论文（待出版）。

致谢

本研究是国家自主贡献亚洲交通倡议项目（NDC Transport Initiative for Asia，NDC-TIA）的产出。该项目支持中国、印度和越南乃至全球各国全面开展交通减排战略研究，提升交通低碳发展的雄心。国家自主贡献亚洲交通倡议项目是国际气候倡议（IKI）的一部分。德国联邦经济和气候保护部（BMWK）根据德国联邦议院决议，为国际气候倡议提供支持。该项目中国部分实施方包括德国国际合作机构（GIZ）、世界资源研究所（WRI）和国际清洁交通委员会（ICCT），项目也得到德国交通转型智库（AGORA）在德国的支持。欲了解更多项目信息，请访问项目网站：<https://www.ndctransportinitiativeforasia.org/>

作者向为本研究提供支持或意见的专家表示诚挚的感谢，包括世界资源研究所蒋小谦、奚文怡、Stephanie Ly、Maggie Dennis、Christine Muthee与Ramya Ma、国家发展和改革委员会能源研究所朱松丽、中国交通运输部科学研究院于丹阳、中国环境科学研究院机动车排污监控中心马冬、清华大学刘欢、能源基金会龚慧明、中国科学院广州能源研究所黄莹、世界银行Gerald Ollivier。感谢世界资源研究所方莉博士与刘哲博士对报告提供的指导。

作者感谢为本研究做了大量文献搜集与数据分析工作的世界资源研究所同事周伟琪及优秀实习生吴潇晗。感谢Romain Warnault、Emilia Suarez、Sarah DeLucia、赵雨滋、张烨、张媛媛和谢亮提供的项目管理、编辑、翻译及报告排版支持。

作者介绍

薛露露，中国交通项目总监，世界资源研究所（美国）北京代表处。邮箱：Lxue@wri.org

刘岱宗，中国可持续城市部门主任，世界资源研究所（美国）北京代表处。

关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

我们的工作方法

量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

支持机构：



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE

on the basis of a decision
by the German Bundestag



Copyright 2022 World Resources Institute. 版权所有
本产品由创用 (Creative Commons) 4.0 许可授权，许可副本参见<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>