



2023年“科创中国”生态环境产业创新论坛- 数字赋能生态环境产业分论坛

Tsinghua University

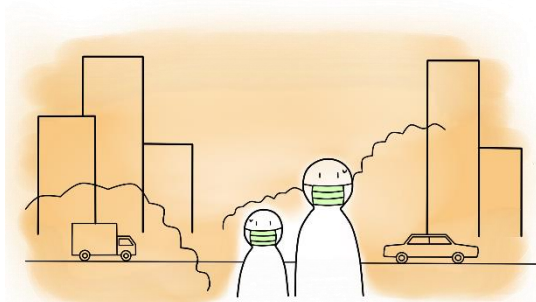


数字赋能交通绿色发展

邓梵渊 清华大学



全球变暖



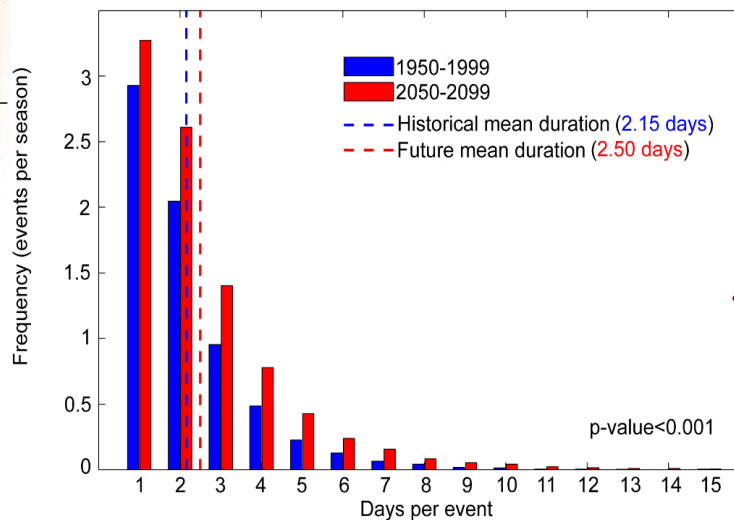
华北雾霾

我国大气质量稳中向好，但依然存在不足。

目前我国PM2.5浓度持续下降但与发达国家水平和世界卫生组织指导值差距依然明显，臭氧表现出持续上升态势：区域大气污染问题依然突出。

近年来我国碳排放强度持续下降，但根据青海瓦里关站数据，我国温室气体浓度仍高于全球平均水平

温室气体持续排放导致的气温升高将使雾霾天气继续加强



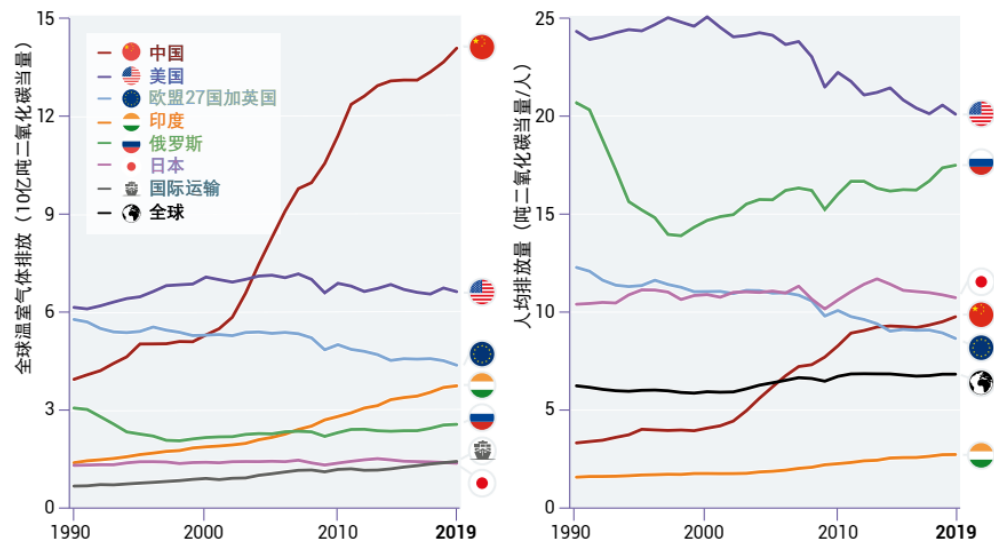
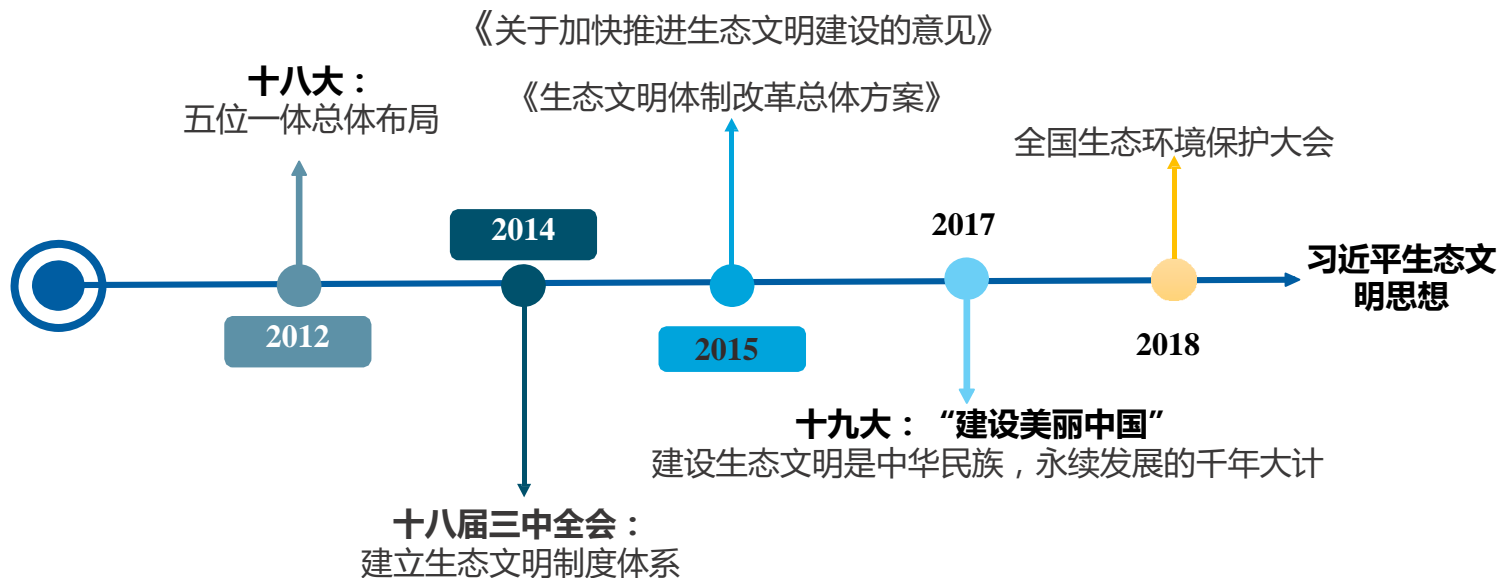
HWI	1950-1999 (days season ⁻¹)	2050-2099 (days season ⁻¹)	Change (days season ⁻¹) (%)
>0	45	54	9.0 (20%)
>0.25	37	46	9.0 (24%)
>0.5	29	38	9.0 (31%)
>0.75	21	30	9.0 (43%)
>1	15	23	8.0 (53%)
>1.25	10	16	6.0 (60%)
>1.5	5.9	11	5.1 (86%)
>1.75	3.3	6.5	3.2 (97%)
>2	1.6	3.7	2.1 (131%)

(Cai et al. Nature Climate Change, 2017)

以北京地区为例，在气候变暖场景下，不利于雾霾扩散的稳定气象条件发生频率和持续时间比上世纪分别增加了 **50%** 和 **80%**。

党的十八大以来，习近平同志围绕生态文明建设和环境保护，发表一系列重要讲话，作出一系列重要批示指示，提出一系列新理念新思想新战略，将生态文明建设纳入中国特色社会主义“五位一体”总体布局 and “四个全面”战略布局。

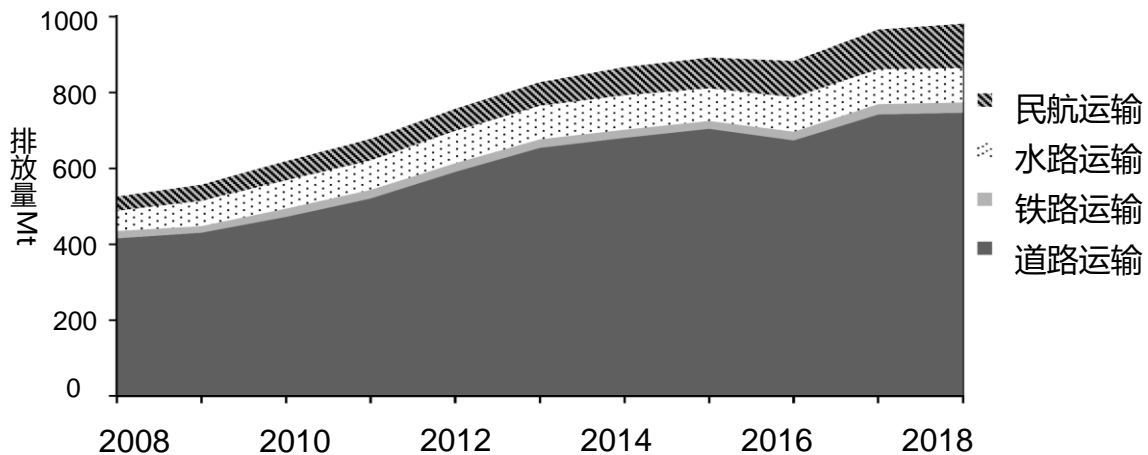
习近平总书记在2020年9月22日，第七十五届联合国大会一般性辩论中提出：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于**2030年前达到峰值**，努力争取**2060年前实现碳中和**。”





2018 年，中国交通部门的能源消耗量为 4.96 亿 t 标煤，占全国总能源消耗量的 **10.7%**；若按照能源类型测算，交通部门直接 CO₂ 排放为 **9.8 亿吨**

2008—2018 年中国交通部门 CO₂ 直接排放量



(王庆一, 2019 中国能源数据, 2019)

以交通和燃煤污染为主导的大气复合污染减排形式严峻

2019年移动源四类污染物排放量

污染物种类	排放量
一氧化碳(CO)	771.6万吨
碳氢化合物(CH)	189.2万吨
氮氧化物(NO _X)	635.6万吨
颗粒物(PM)	7.4万吨

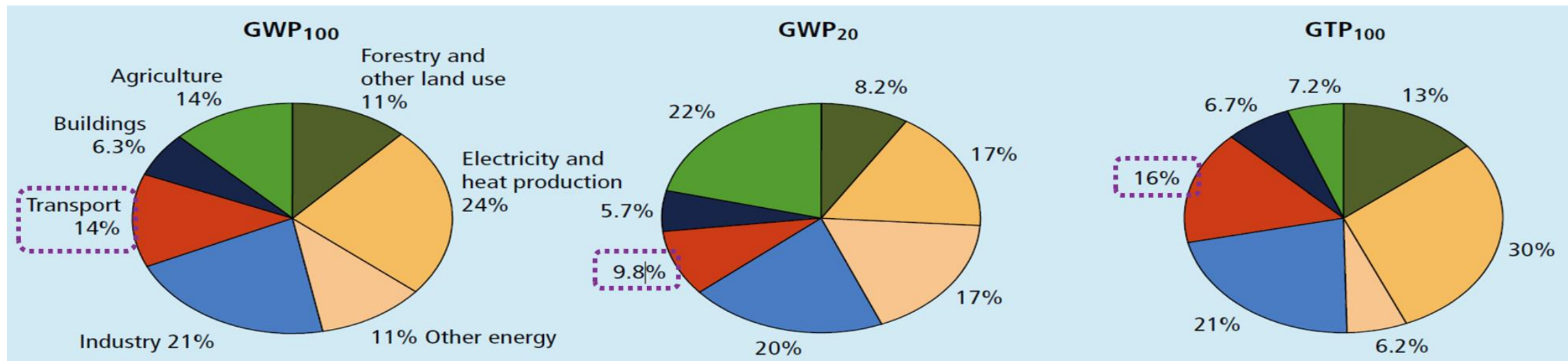
中国移动源环境管理年报, 2020

中共中央国务院《关于加快推进生态文明建设的意见》中提出：**推进节能减排，优化运输方式，推广节能与新能源交通运输装备。**

《交通强国建设纲要》提出“**构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通体系**”



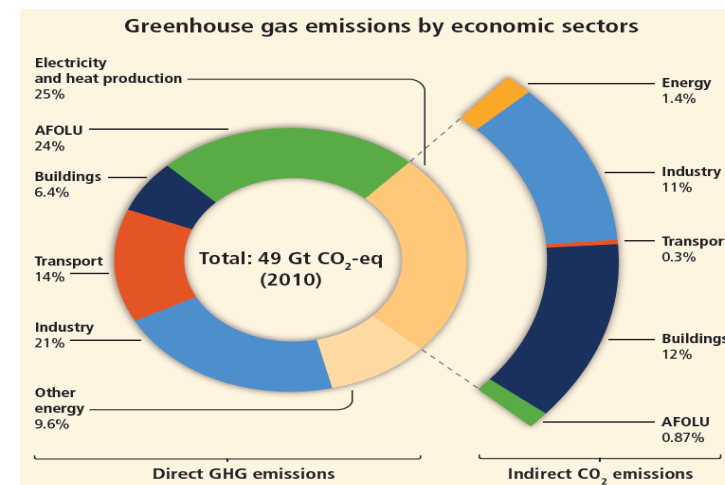
移动源对气候变化的影响



GWP (Global Warming Potential)

- 20年内交通对GWP的贡献为9.8%，但是100年内交通对GWP的贡献相对较高，达到14%。
- 100年内交通排放对全球温度潜势的贡献为16%。
- 从长远来看，未来很长时间内交通排放对气候变化的影响相对较大。

GTP (Global Temperature Potential)



国家	NDC中交通部门减排措施或目标
中国	构建绿色低碳交通运输体系，优化运输方式，优先发展公共交通，鼓励开发使用新能源车船等低碳环保交通运输工具，提升燃油品质，推广新型替代燃料。
印度	提高铁路运输比例、加快混合动力和电动汽车的制造和推广、制定有关生物燃料的国家政策、设定乘用车燃油效率标准、建设城市交通和公共快速交通项目、促进沿海运输和内陆水运的增长
日本	提高公路、铁路、航空以及水运的能源使用效率、推广下一代汽车通过选择最近的港口来减少陆路运输距离、港口全面实现低碳化、优化卡车运输、形成铁路运输为主的模式
韩国	提高二氧化碳排放标准、引入与汽车燃油效率和碳排放相关的低碳标准为电动和混合动力汽车制定激励措施，包括减税、扩大基础设施，实现环保公共交通
伊朗	加强执行国家燃油消耗和排放标准
沙特阿拉伯	在运输部门引入能效标准、促进城市公共交通的发展和使用
阶段	MEPC.304(72)号文件减排候选措施
短期措施 2018-2023年确定	船舶能效控制：提高船舶设计能效 船舶运行控制：考虑航速优化和减速措施 港口优化：利用可再生能源的岸电设施
中期措施 2023-2030年确定	燃油更新：替代低碳燃油、零碳燃油的实施方案 船舶能效控制对新船和已有船舶的运行能耗控制措施，用于显示提高船舶能效表现
长期措施 2030年后确定	开发零碳燃料、无化石燃料 鼓励并促进其他可能的创新减排机制

技术减排



- 发展新能源驱动技术
- 燃料替代技术
- 降低机动车/船能耗

结构减排



- 优化运输结构
- 提高新能源汽车/船比例

管理减排



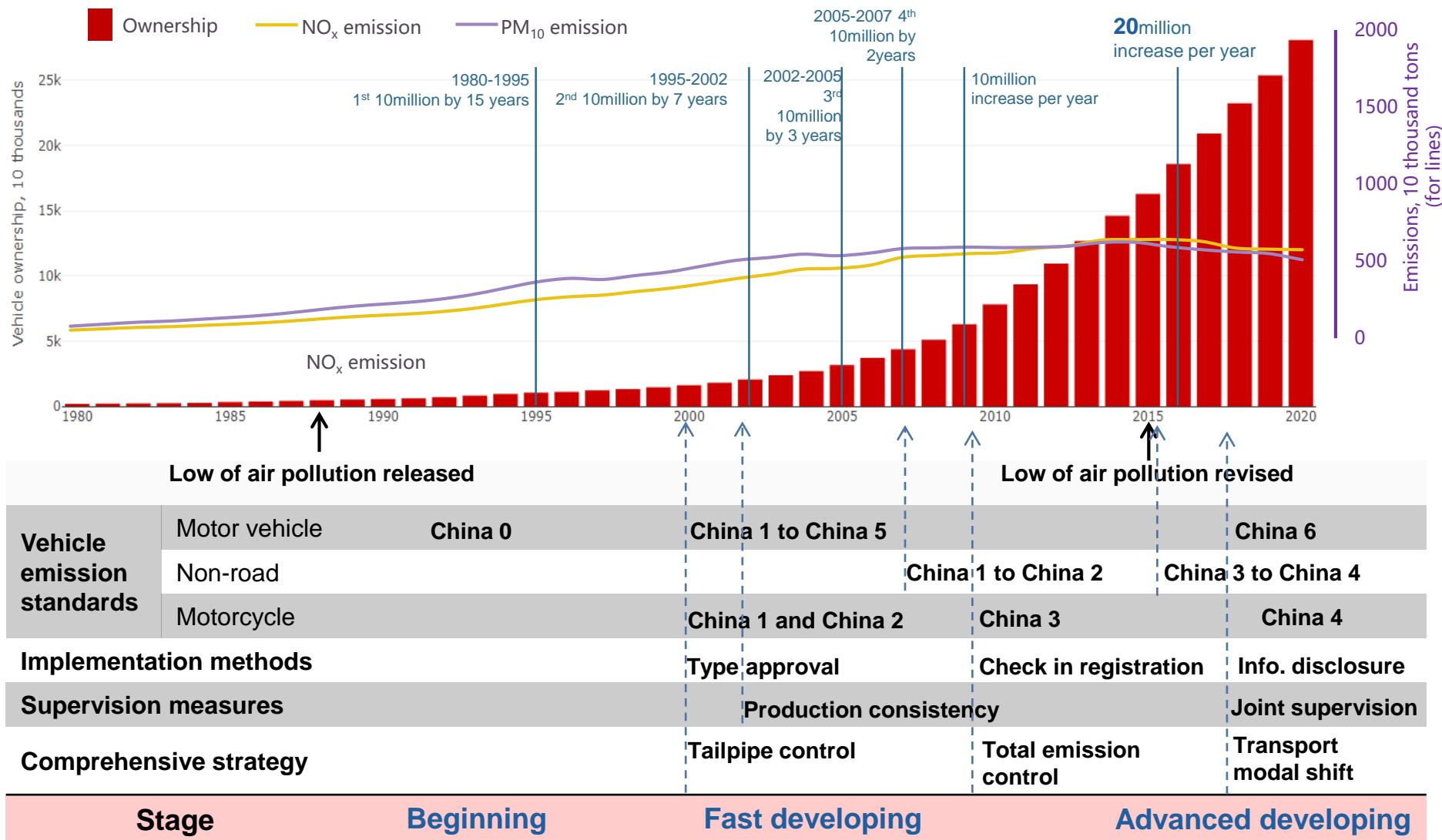
- 制定新能源汽车激励措施
- 推行低碳技术标准
- 限制机动车保有量

来源: <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx>



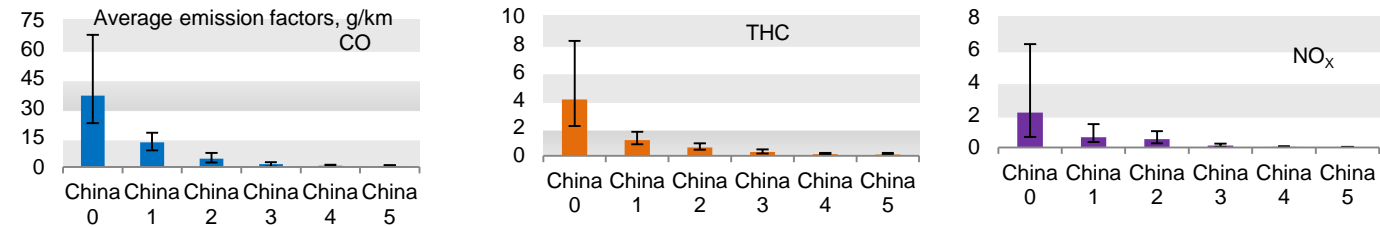
车辆排放控制取得历史性的成绩

1980-2017 China on road vehicles and emissions



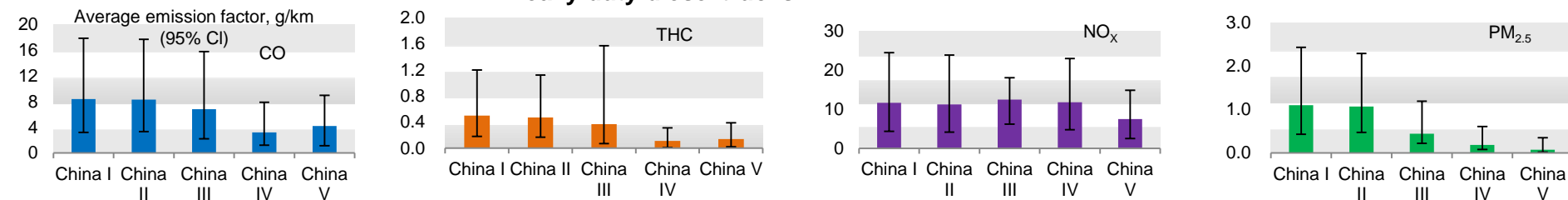
车辆排放控制取得历史性的成绩

Light-duty gasoline vehicles

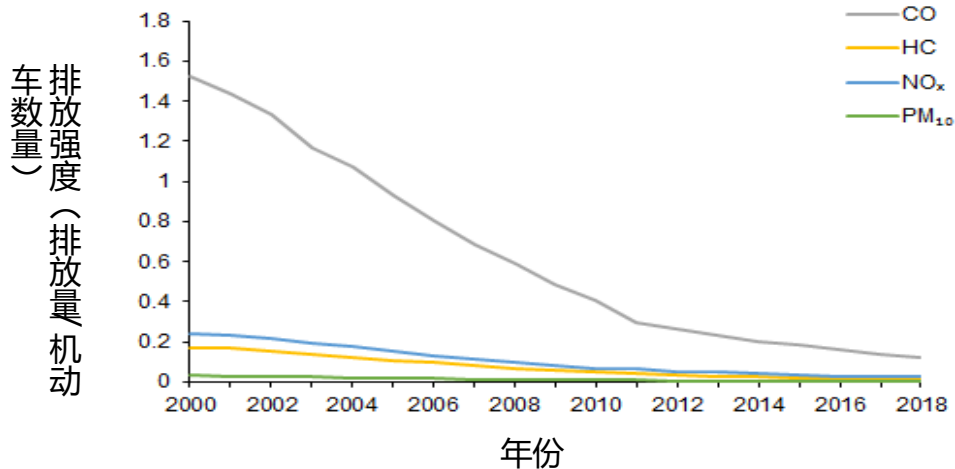


逐步加严的排放标准大大降低了单车的排放因子，我国柴油货车的**单车排放已经达到先进国家水平。**

Heavy-duty diesel trucks



Note: Assessed by the EMBEV 2.0 model developed by Tsinghua University.



2000-2018年间，中国CO、HC、NO_x和PM₁₀的排放强度分别下降了**92%、91%、91%和94%**，体现了道路运输排放控制的有效性。2019年，中国的电动汽车（EV）数量达到了**310万辆**，比2014年增加**平均60万辆/年**，远高于第二大EV市场美国同一时期的年均增速（26万辆/年）。

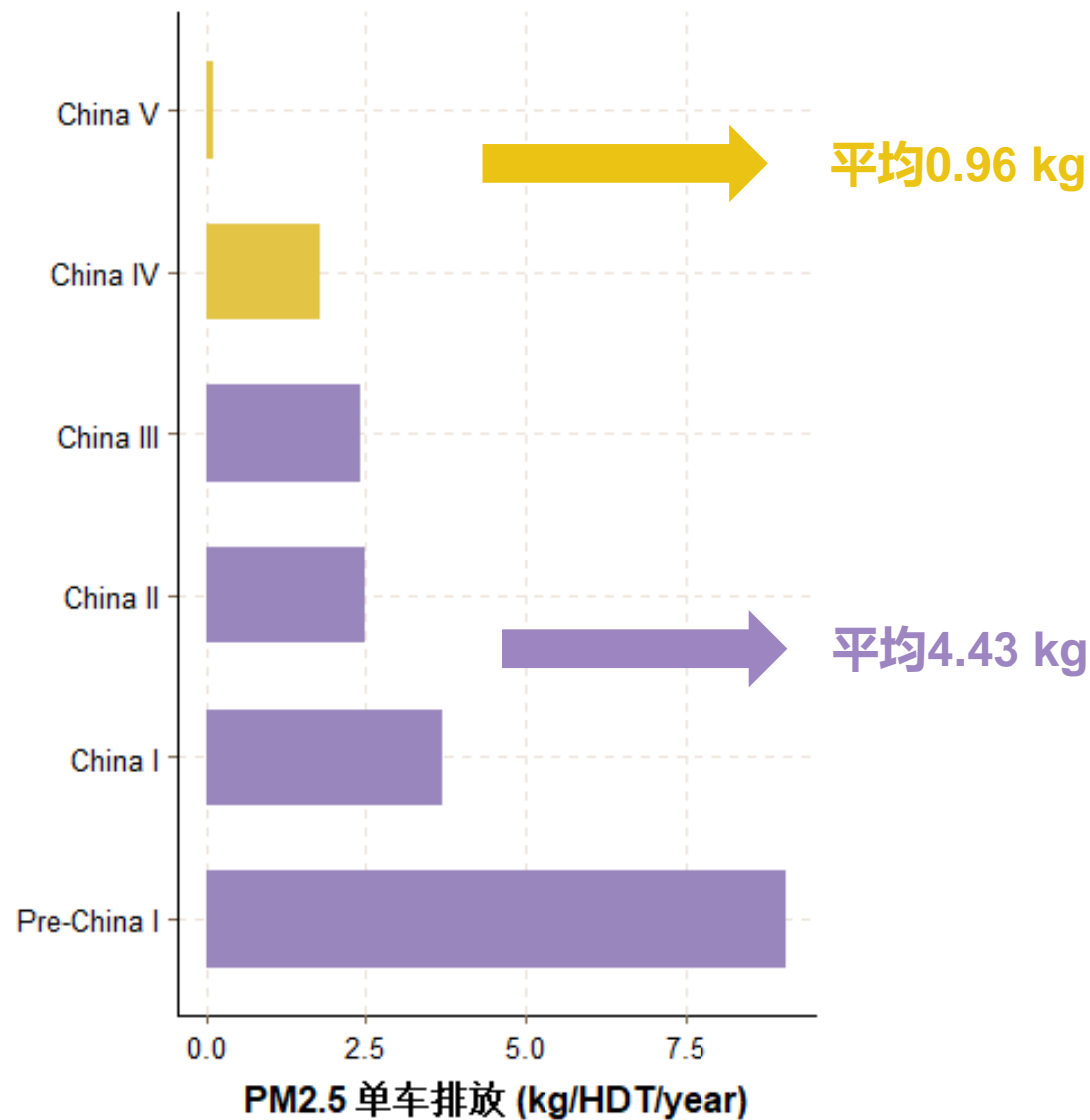
Zhang et al., Atmos. Environ., 2014.

Cai et al., The 2020 China report of the Lancet Countdown on health and climate change, Lancet Public Health, 6 (2021)

但移动源排放控制仍面临巨大挑战

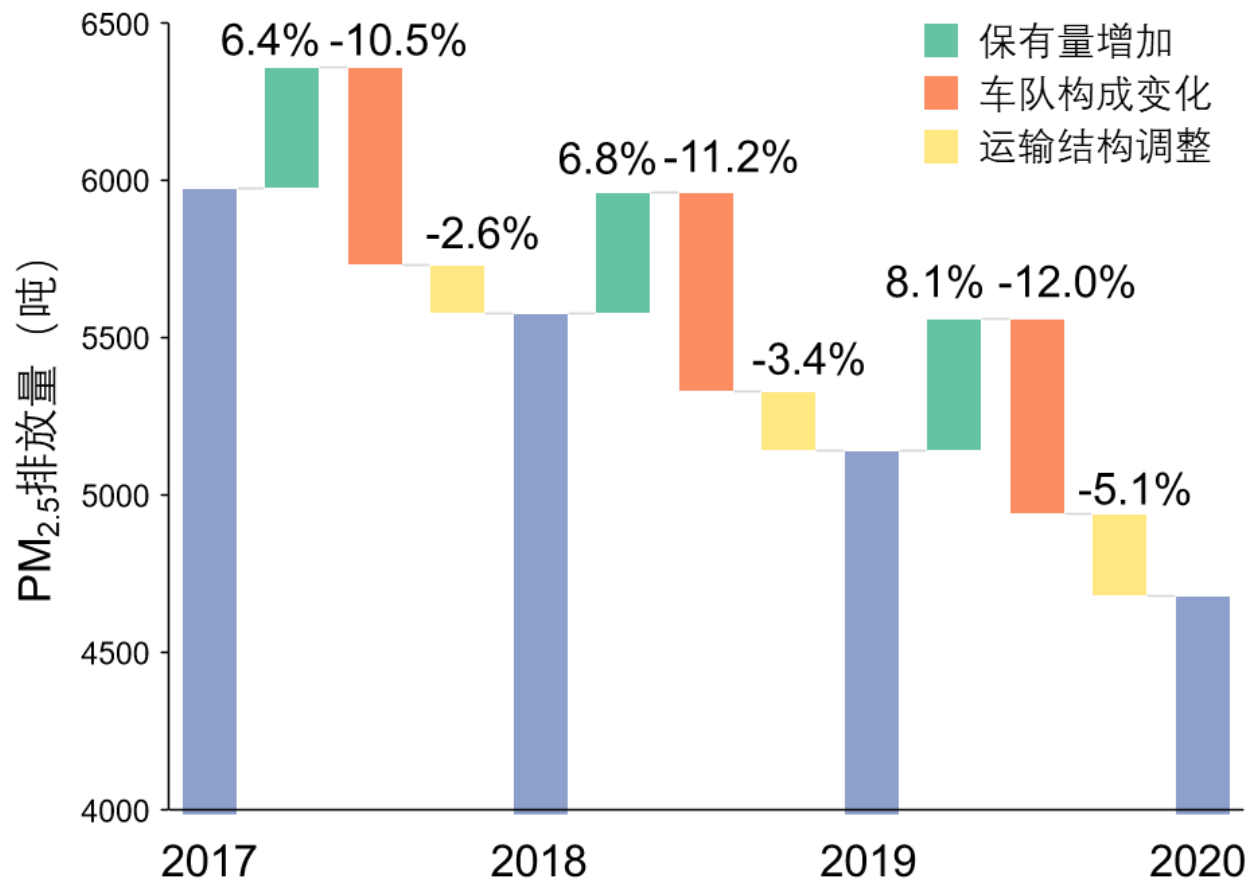
- 老旧车辆单车排放明显较高**：国三及以下车辆实际总VKT仅占总量的21%， NO_x 及 $\text{PM}_{2.5}$ 排放却占42%及48%，单位车辆排放贡献高。
- 以京津冀为例，国三及以下车辆单车 $\text{PM}_{2.5}$ 排放为4.43 kg/yr，国四及国五车辆为0.96 kg/yr，**老旧车辆单车排放比新车高数倍至数十倍。**

车辆数据			排放清单	
HDT 排放标准	活动车辆数 (万辆)	总VKT (亿公里/年)	京津冀2017年 HDT排放量(Gg)	
			NO_x	$\text{PM}_{2.5}$
Pre-China I	0.11 (0.07%)	0.68 (0.05%)	0.17	0.01
China I	0.27 (0.17%)	1.34 (0.11%)	0.29	0.01
China II	2.80 (1.75%)	11.66 (0.94%)	1.48	0.07
China III	52.15 (32.69%)	249.17 (20.14%)	54.76	1.26
China IV	79.16 (49.63%)	678.89 (54.88%)	75.83	1.42
China V	25.04 (15.70%)	295.32 (23.87%)	4.01	0.03





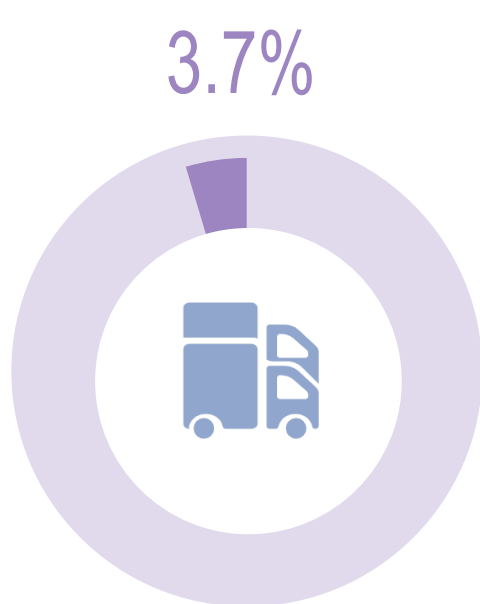
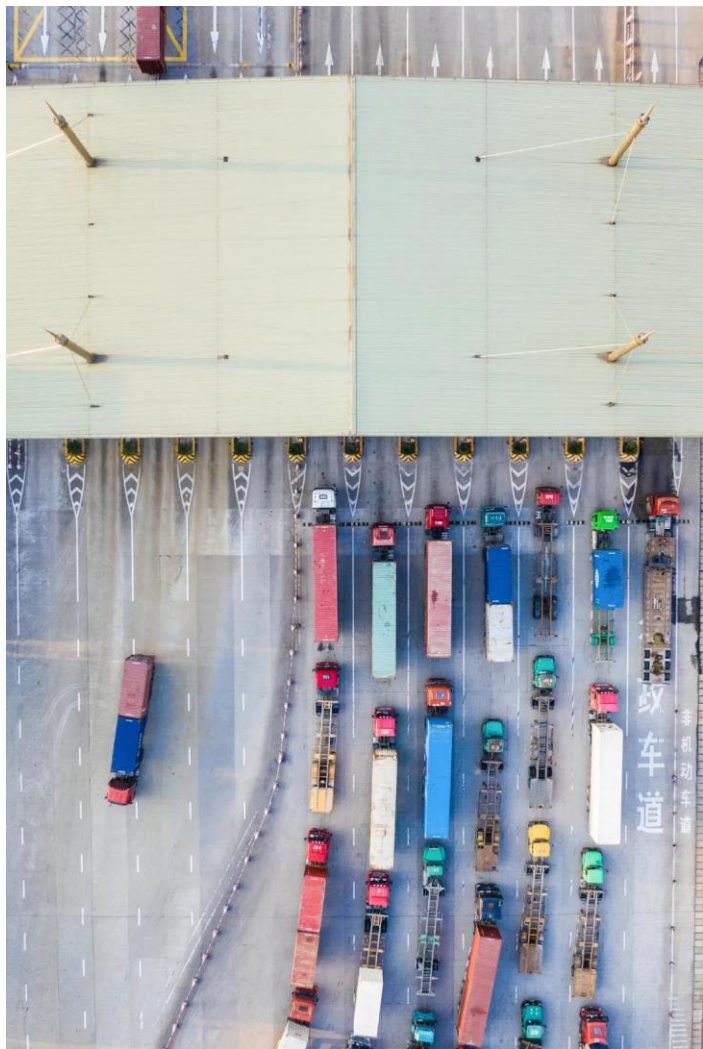
排放变化驱动力分析



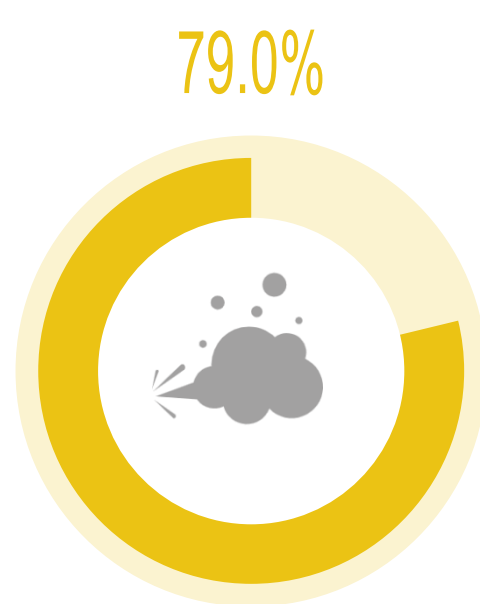
- 对于京津冀区域，2017-2020年，保有量增加，车队构成变化，运输结构调整对排放的贡献分别11.8%，-18.7%，-6.0%。
- 车队构成变化仍是排放减少的主要驱动力，运输结构调整的减排作用不够明显。



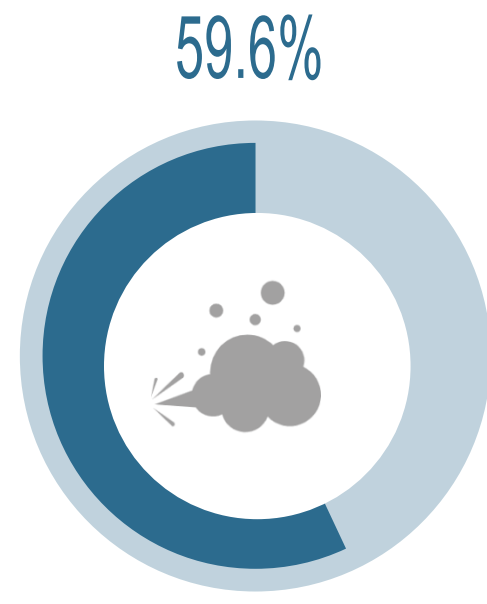
□ 我国货运车排放问题突出



保有量



NO_x排放量



PM排放量

- 约占汽车保有量3.7%的重中型货车，排放了79.0%的NO_x和59.6%的PM。



□ 面向需求控制货运车污染排放



打赢蓝天保卫战三年行动计划（2018-2020）

1 产业结构调整

2 能源结构调整

3 运输结构调整

4 用地结构调整

➤ 到2020年，全国货物运输结构明显优化，铁路、水路承担的大宗货物运输量显著提高

- 在现有措施减排潜力有限的情况下，需要面向需求控制货运车排放。
- 解决机动车污染排放的问题不能单纯依靠交通载体的“末端治理”，还要通过**交通需求侧**和**经济需求侧**的调控实现长期持续减排。



□ 通过“公转铁”加速治理交通排放

- 通过增强铁路运输建设投入、率先引导**主要港口、重点企业、大宗货物**运输转为铁路运输，未来三年内大幅减少公路货车活动量，使交通源排放明显降低。

全国运输结构调整目标

1. 总体目标--铁路货运量增加	到2020年，全国铁路货运量比2017年增长30%， 京津冀及周边地区增长40% 、长三角地区增长10%、汾渭平原增长25%。
2. 加大货运铁路建设投入	加快完成 蒙华、唐曹、水曹 等货运铁路建设；大力提升 张唐 、瓦日等铁路线煤炭运输量。
3. 加大集疏港铁路建设投入	2018年底前，沿海主要港口 煤炭 集港改由铁路或水路运输；2020年采暖季前，沿海主要港口 大宗货物 改由铁路或水路运输；全国重点港口 集装箱 铁水联运量年均增长10%以上。
4. 提高重点企业铁路货运比例	钢铁、电解铝、电力、焦化等重点企业要充分利用已有铁路专线能力，2020年重点区域铁路运输比例达到50%以上。
5. 发展多式联运及绿色物流	加快推广集装箱多式联运；建设城市绿色物流体系；降低货物运输空载率。



运输结构调整政策量化分析

与多种数据比对，
确定集疏港为主
的铁路建设基本
满足政策总体目
标

区域政策目标
(28830万吨)

北京
18万吨
到发铁路运输的比重提高
到10%

天津
512万吨
铁路货运占全市货运量比例
达到16%

河北
28300万吨
铁路货运比例较2017年
增长40%

铁总增量任务
(37311万吨)

北京
27万吨

天津
5602万吨

河北
31682万吨

相关铁路建设
(>42019万吨)

线路	运量 (万吨/年)
河北涿州—北京大红门农产品基地	24
唐山迁安-平谷马坊建材班列	150~500
唐山滦县-大红门建材班列	1095

线路	运量 (万吨/年)
天津新港-乌兰察布有色矿班列	200
南港铁路	设计10800

线路	运量 (万吨/年)
唐曹铁路	4000
水曹铁路	13800
张唐铁路	新增7600
迁曹铁路	新增约4000
汉曹铁路	约350
其他新建线路	大型工矿企业和物流园区铁路专用线建设及相关线路运能提升
干线提升	大秦、邯黄、唐呼等相关干线运能提升

相关港口大宗货物
公路货运量
(55266万吨)

煤炭 9876万吨



钢铁 7910万吨



矿石 35065万吨



矿建材料 2415万吨



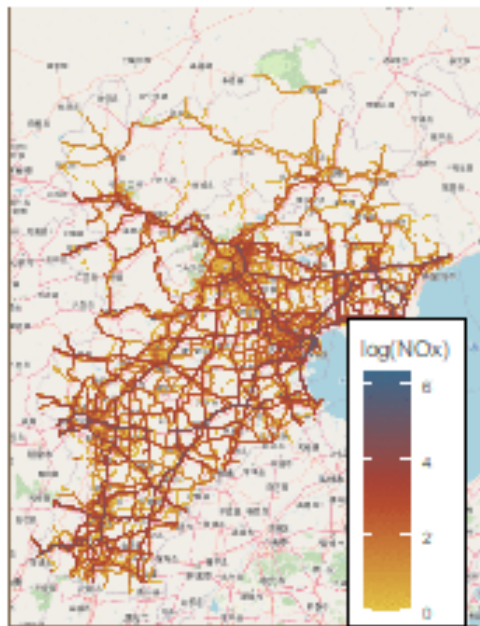
刘欢等, *Nature Communications*, 2020

区域货运车高分辨率动态排放清单模型

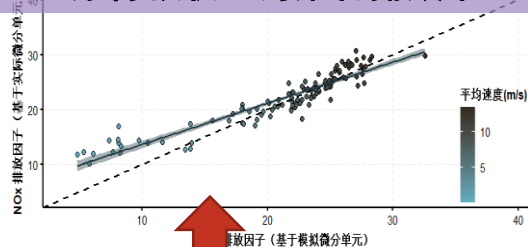
基于货车北斗卫星数据的海量车辆运行轨迹构建了区域货运车轨迹数据库，与高精度数据耦合还原粗粒度轨迹数据的动态排放特征，首次复现区域货运车逐时动态排放

区域高分辨率实时动态排放

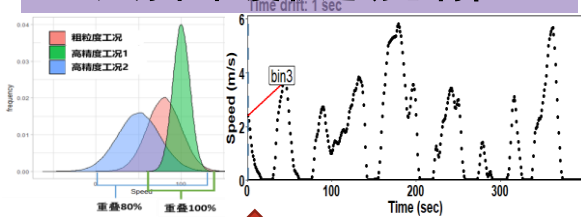
日期: 2017-01-23



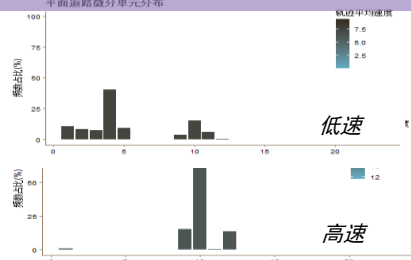
还原行驶状态污染物排放率



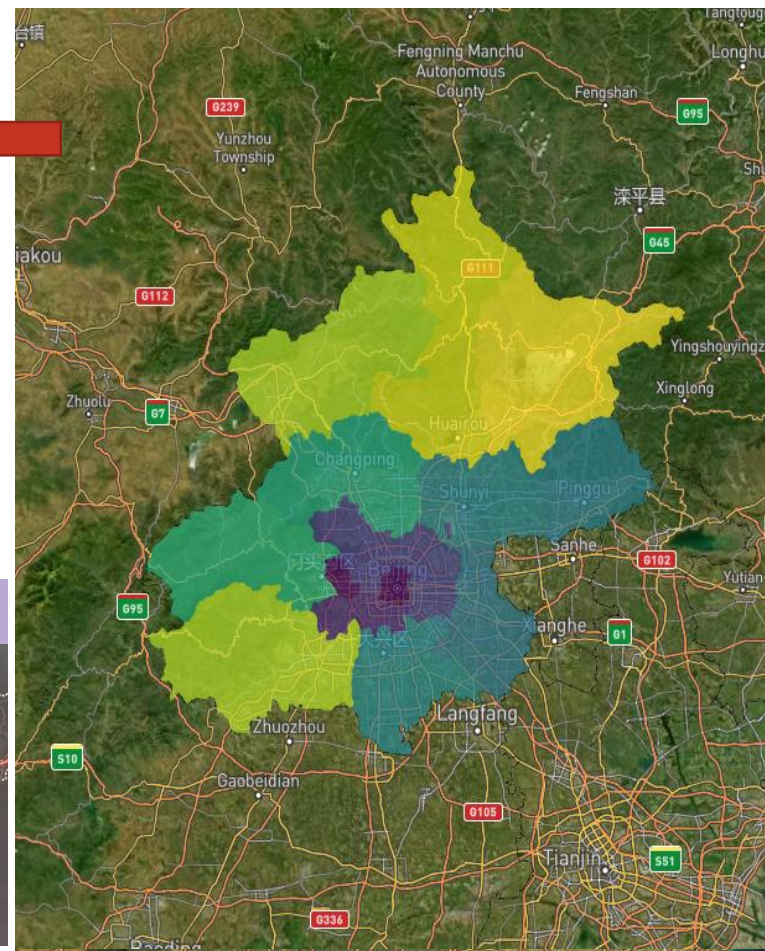
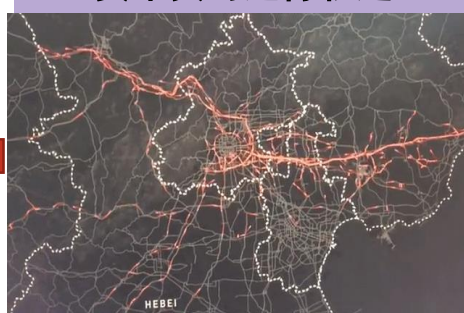
还原粗粒度轨迹动态特征



对接高精度工况数据



货车实时运行轨迹



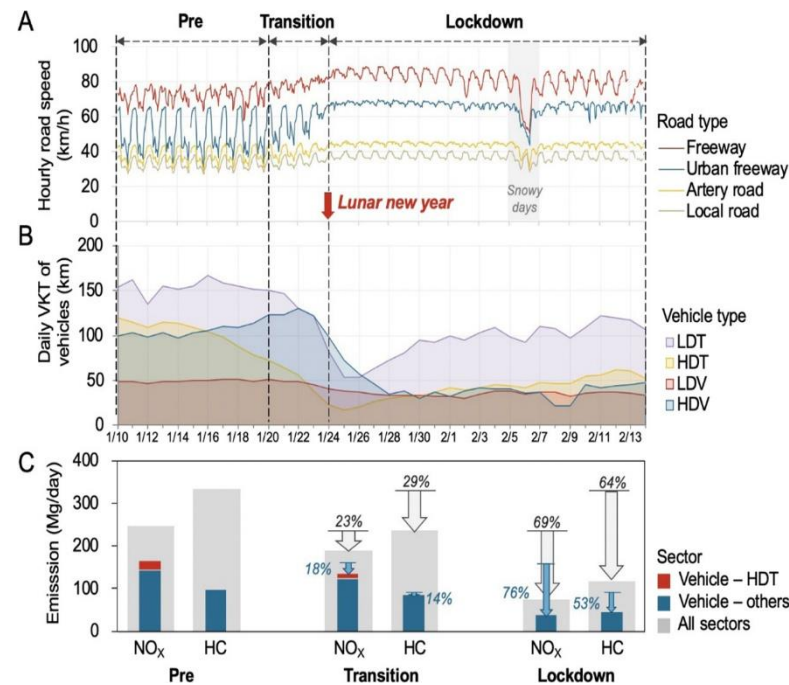
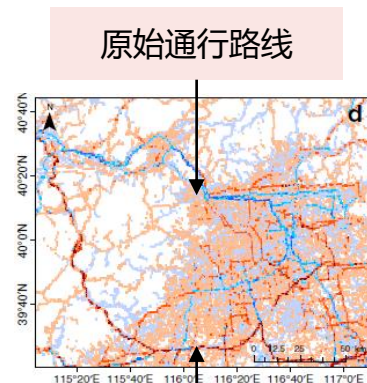
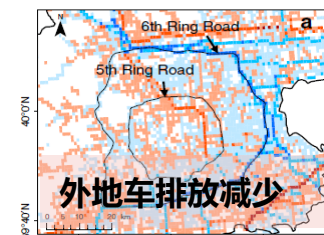
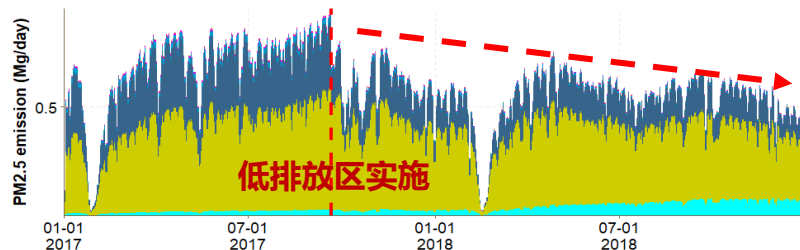
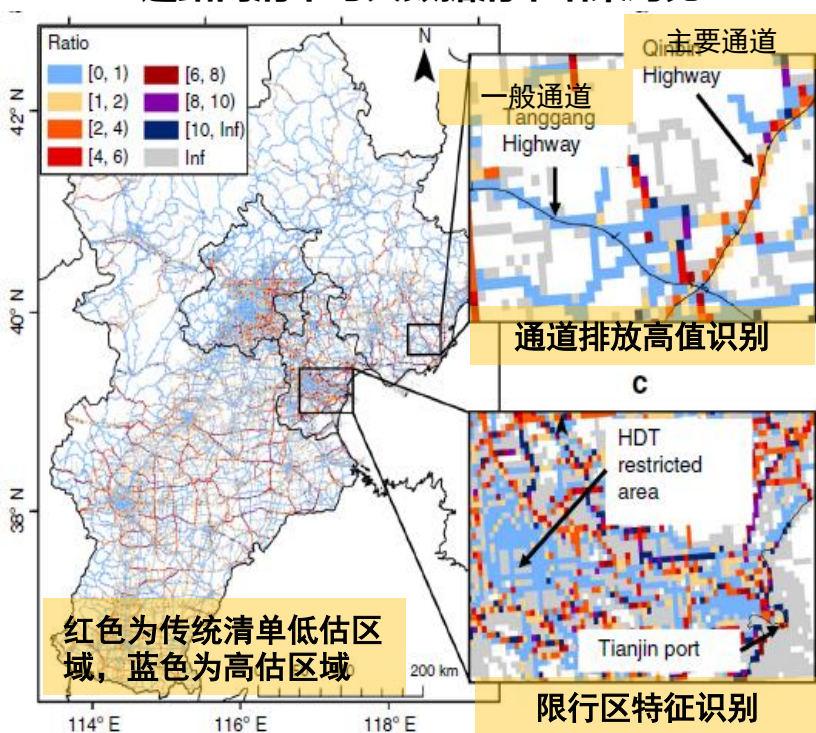
新方法提供丰富的排放动态特征，大幅提升排放清单质量

- 与传统方法相比，新方法大幅提升排放时空分布的信息量，例如：体现了货车主要通行路线、货车限行导致的路段排放特征差异

识别交通管控+运输需求的混合影响：

- 限行货车的运力缺口及排放转移到未限行的本地货车，抵消部分限行的减排效果
- 货车绕行导致排放转移到其他城市
- 疫情期间，由于出行需求大幅下降，城市路网车流量大幅下滑，污染物平均日排放下降超过60%

道路网清单与大数据清单结果对比



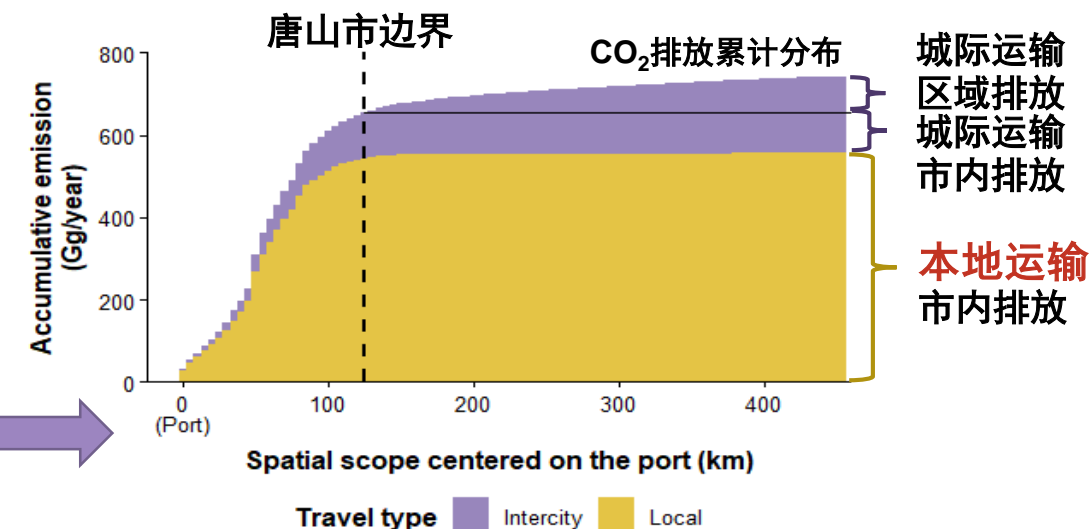
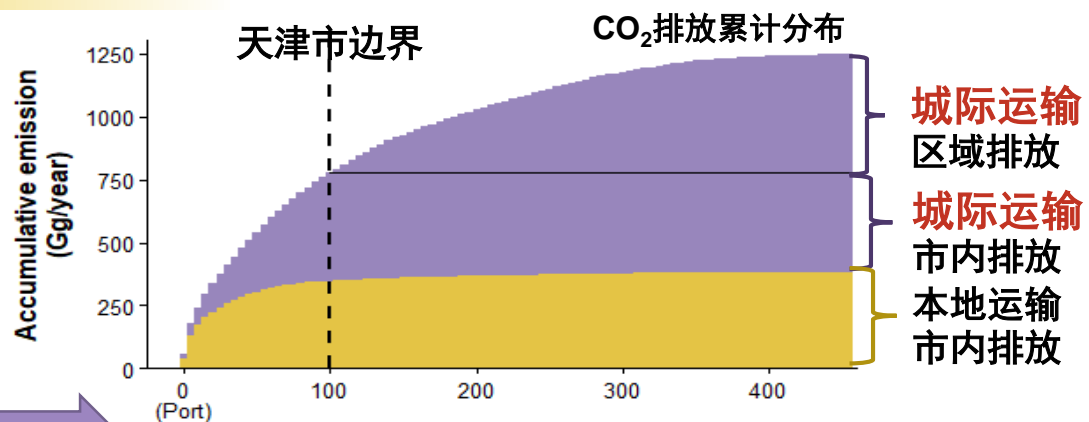
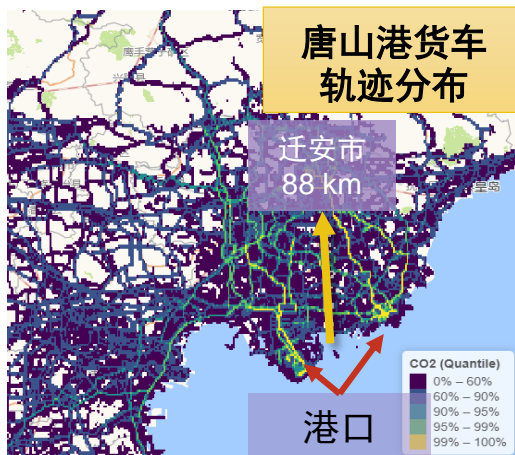
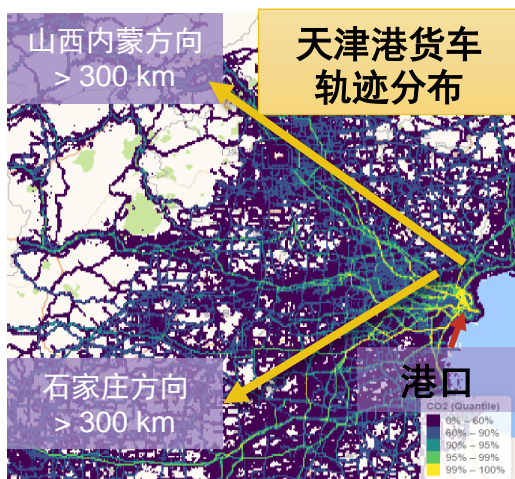
刘欢等, Nature Communications, 2020

刘欢等, EST, 2020



- ❑ **精细化的运输结构调整评估及建议：**通过海量货车轨迹数据识别不同货运枢纽的货运通道特征，针对不同特征类型给出典型政策评估及建议，有助于推动碳减排进程

案例：集疏港运输



城际长途运输为主：

- ✓ 发展铁路运输：长途运输成本可控，可配合激励政策促进健康发展
- ✗ 货车电动化：无大规模商用技术
- ✗ 地方治理：跨区运输难以监管

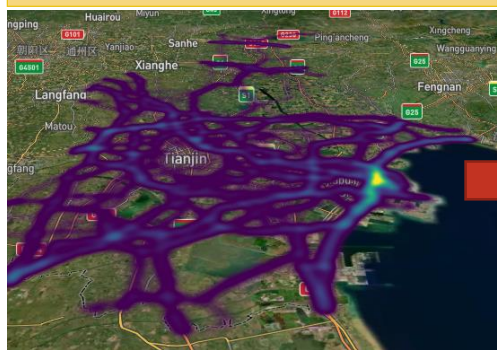
典型政策适用性 评估及建议

市内短途运输为主：

- △ 发展铁路运输：短途运输成本较高，需配合强制措施
- ✓ 货车电动化：已有技术实现短途货运电动化
- ✓ 地方治理：可实现有效监管

□ **评估货运枢纽碳减排潜力：** 货运车行驶轨迹OD识别算法实现了货运枢纽的货车到发轨迹提取，识别其主要货运通道、运输距离分布及单位车次平均CO₂排放量，分别评估减排潜力

天津市全域货车轨迹分布



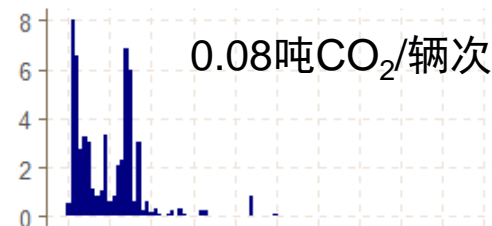
轨迹OD识别

货运枢纽货车轨迹分布



货车到发数量及运距分布、单位车次平均CO₂排放

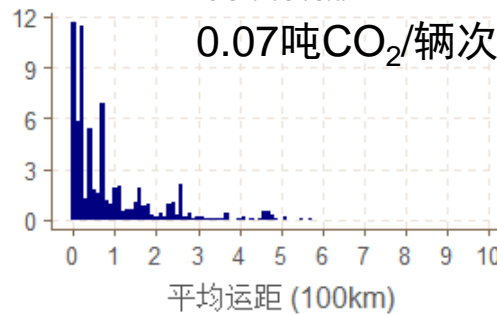
空港国际物流中心



天津港



天津物流部



主要减排潜力分析

本地及北京方向的外地运输贡献大部分行驶里程，**主要减排潜力点为本地运输及北京—天津货运通道运输**

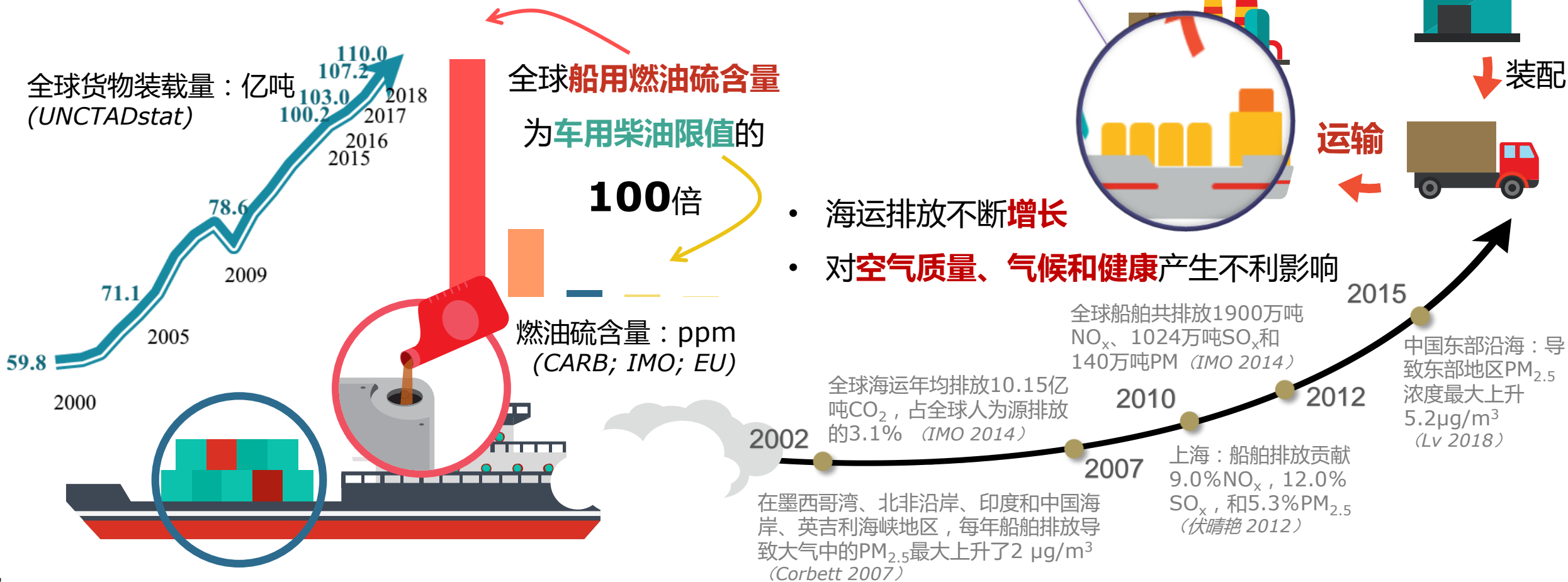
行驶里程>100km的运输贡献60%的总行驶里程，其中山西及内蒙方向超过200km的长途运输占54%，**主要减排潜力点为通往西部地区的长途运输**

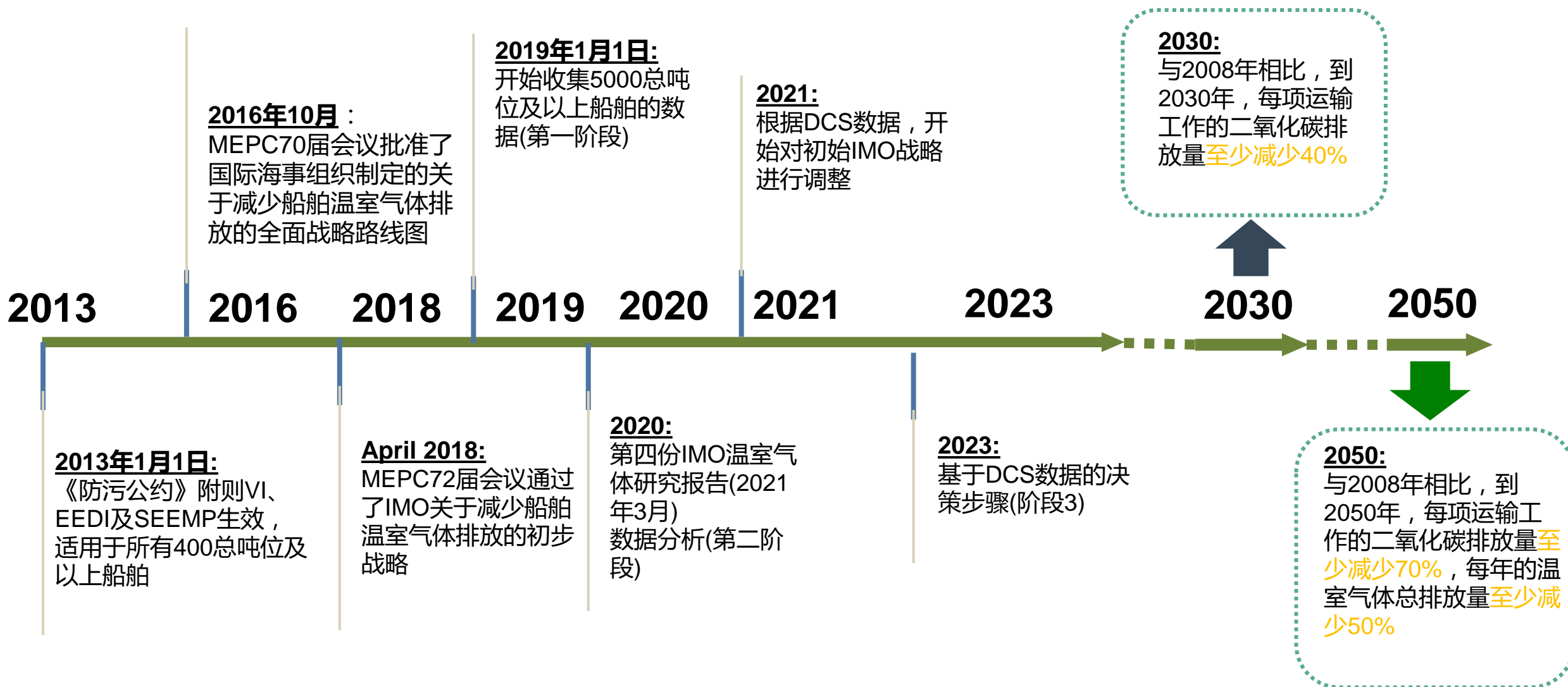
本地及沧州方向外地运输贡献大部分行驶里程，**主要减排潜力点为本地运输及沧州—天津货运通道运输**



□ 海运排放的重要性日益凸显

船舶运输承担了全球超过**70%**以上的国际贸易运输任务 (CIMSEC.org)







非集计动力法船舶排放模型SEIM建立

第一代：静态法



燃油数据，港口吞吐量，海运数据等统计数据



计算过程简单易操作



存在大量假设，不确定性高，无法反映航线分布的真实情况

第二代：动力法（欧拉）



网格集计的船队AIS数据及船队平均参数



更真实反映船舶航线，极大提升了清单的时空分辨率



网格集计化产生空间分配的不确定性，忽略网格内实际船舶的差异

第三代：非集计动力法（拉格朗）



非集计的船舶AIS数据，**详实的单船参数**，自下而上**逐船逐时**排放模拟计算



清单**反映每艘船实际航行**状态的排放，具有更高的准确性



需要大量数据，计算过程更为复杂

2nd 欧拉法

自下而上：网格信号*平均船队参数
自上而下：网格信号用做分配系数

欧拉视角：信号集计

集计方法全球空间分配不确定性大：

1. AIS信号的重复或丢失；
2. 集计不确定性、信息丢失；
3. 忽略实际船舶、燃油差异。

3rd 拉格朗日法

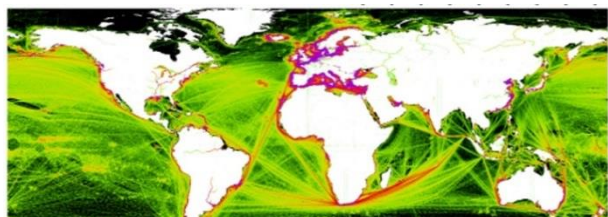
- 打点法算 Δt (600s)，解决信号重复或丢失
- 动力法算排放，体现技术和燃油的影响

动态信息
数据库

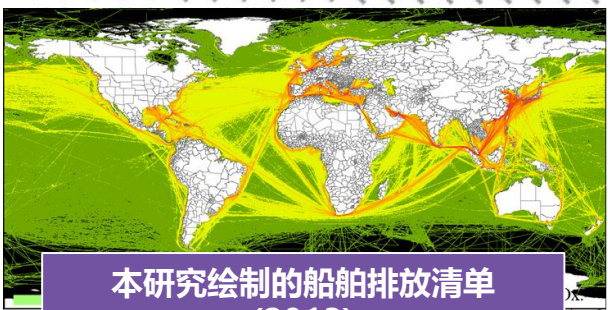
静态信息
数据库

排放因子
数据库

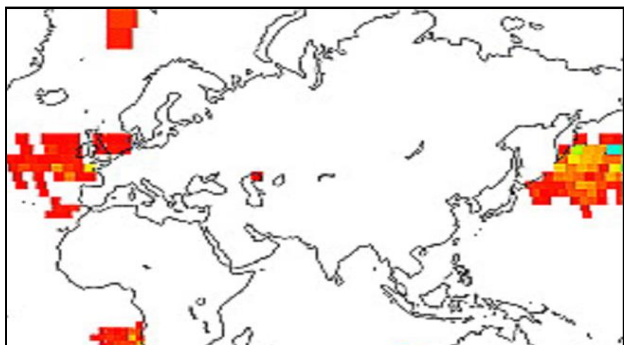
$$E_{propulsion} = MCR \cdot EF_{propulsion_base} \cdot \sum_T LF_t \cdot A_{LF,t} \cdot \Delta T_t$$



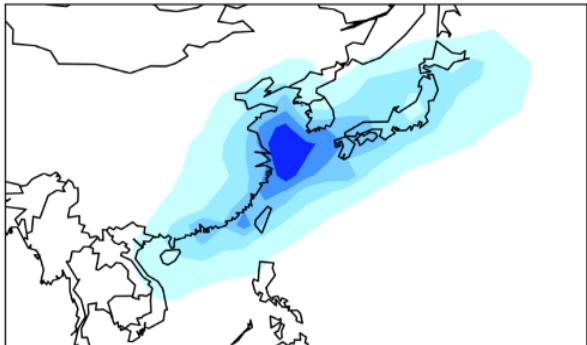
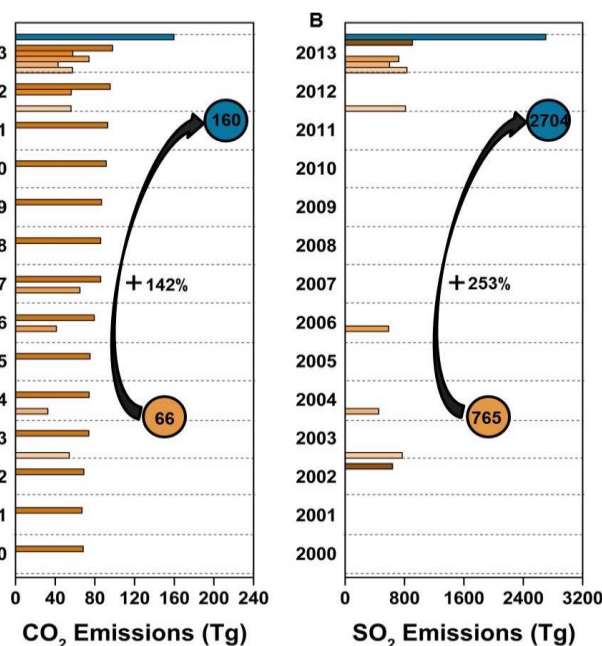
国际海事组织公布的AIS信号分布(2012)



本研究绘制的船舶排放清单



传统认识船舶排放辐射强迫 $W m^{-2}$



本研究的辐射强迫结果 $W m^{-2}$

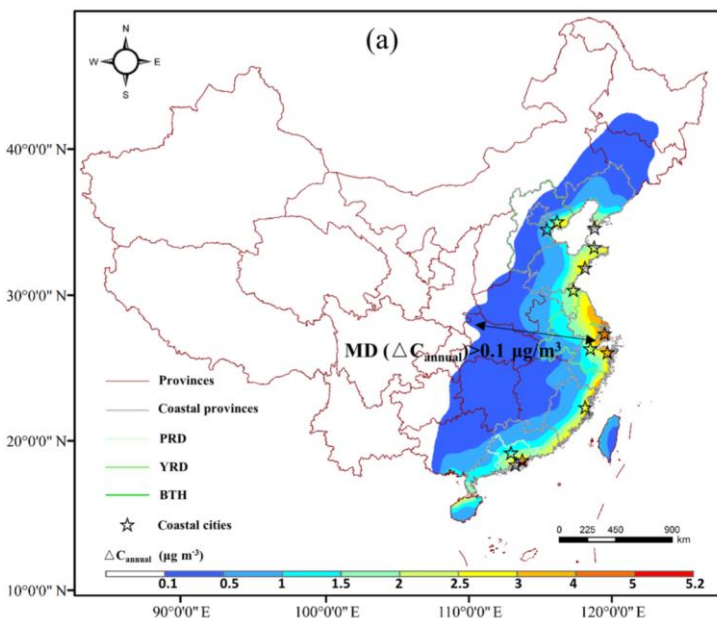
SEIM1.0



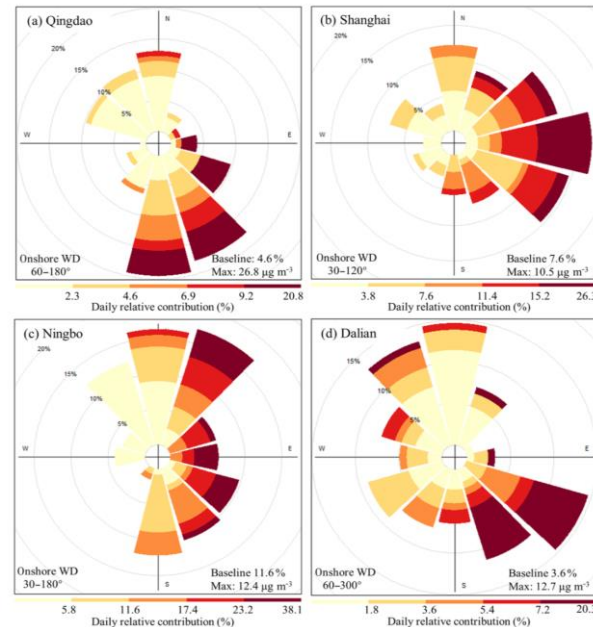
气候模型

- 东亚船舶排放较传统主流清单提升**2-4倍**，全球占比从4-6%升至**16-19%**
- 东亚船舶排放的辐射强迫较过去认识比，增长了**20倍**，从 $-0.02 W m^{-2}$ 到 $-0.45 W m^{-2}$
- 代表性文章以长文形式发表在**Nature Climate Change**
- **Nature Climate Change**专文点评
- 提交1份《国家自然科学基金委员会内参(第95期)》
- 被国内外100余家媒体报道
- 《科技导报》专家综述将成果列为2016年中国大气污染物排放源领域的**三项主要科技进展之一**

船舶排放对我国大陆PM_{2.5}贡献



船舶排放对沿海城市PM_{2.5}贡献



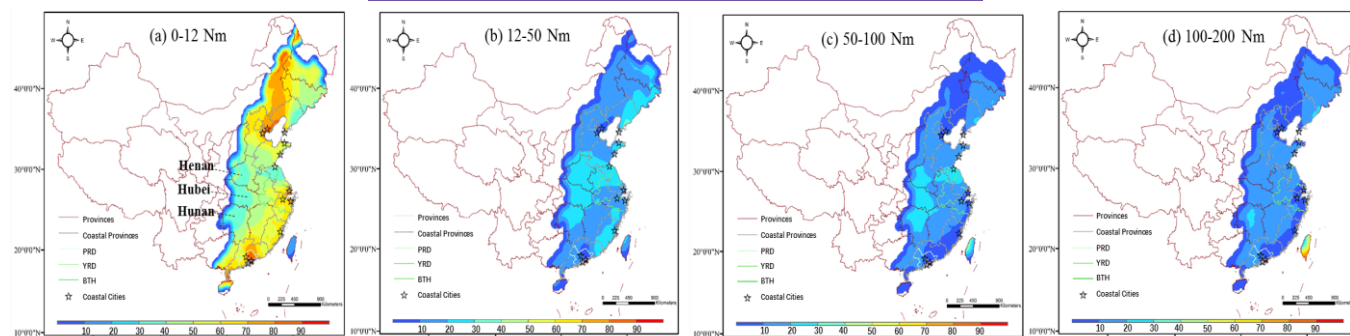
SEIM1.0



空气质量模型

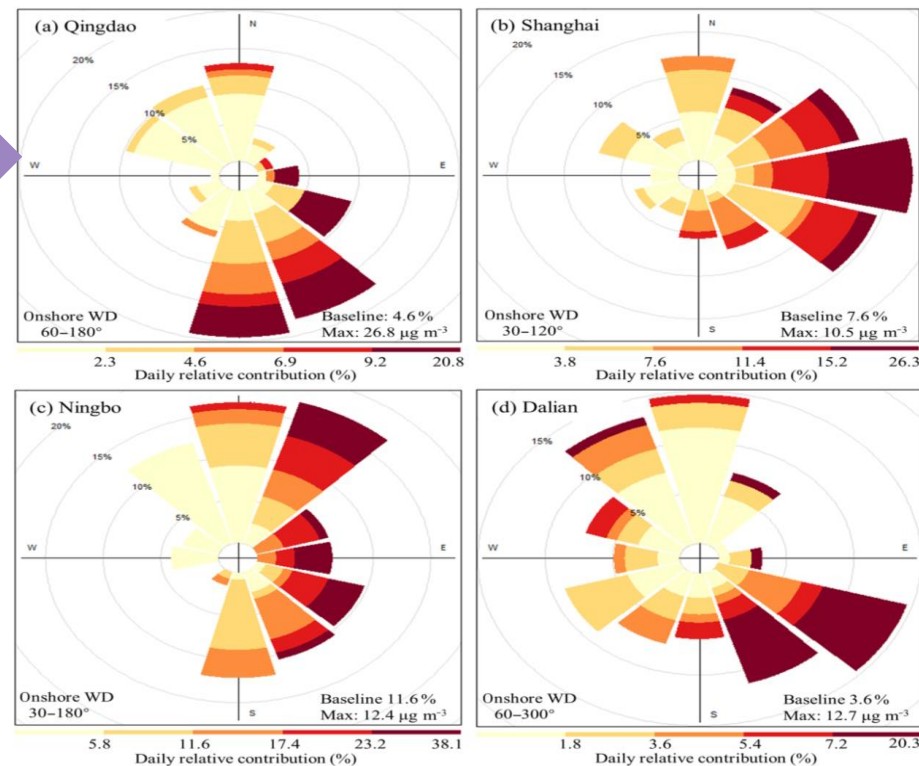
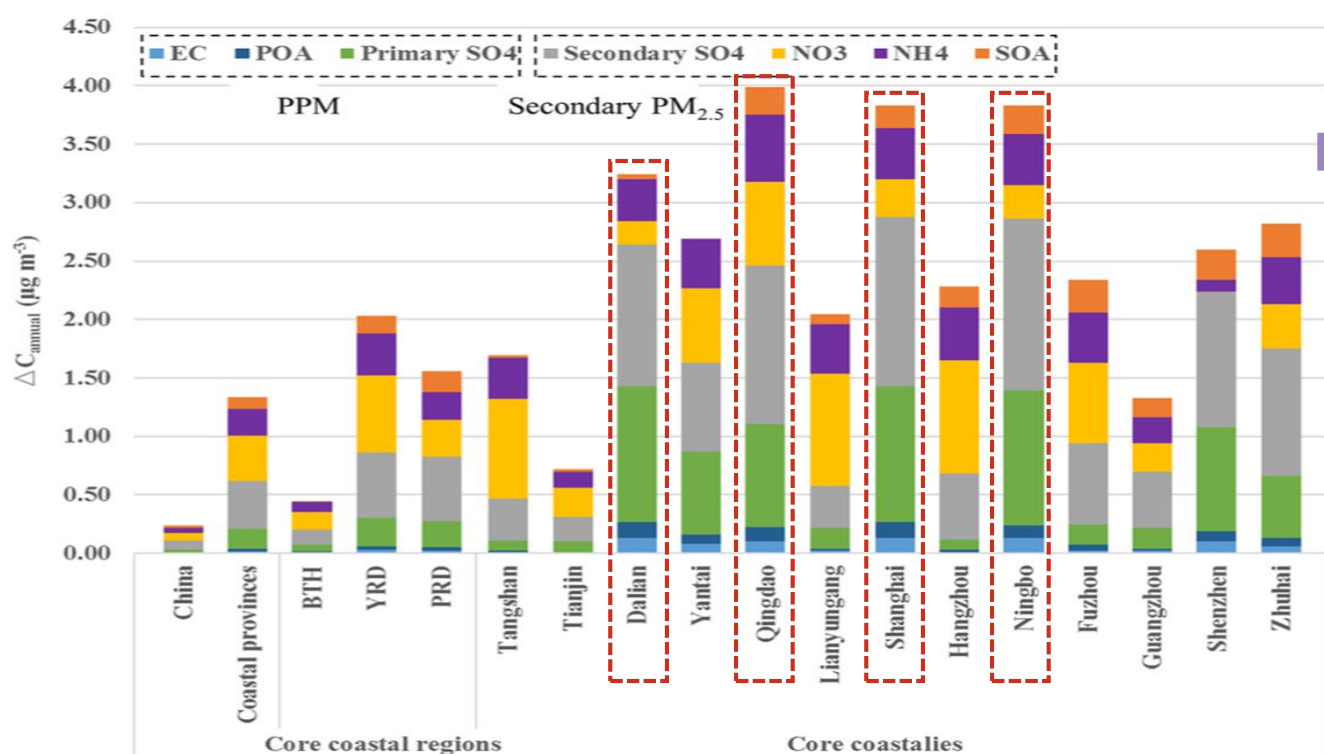
- 航运排放使中国东部地区年均PM_{2.5}浓度最大增加5.2 μg/m³，影响可达960 km (ΔPM_{2.5}>0.1 μg/m³)，对典型城市最高日均PM_{2.5}浓度贡献达可20% (26.8 μg/m³)
- 12 海里范围内的船舶排放对空气质量影响占比最高，12-100 海里的船舶排放对长三角地区仍然有较大的空气质量影响

不同海域范围船舶排放的区域贡献





船舶排放控制需要重视



- 对三大港口群而言，长三角和珠三角地区PM_{2.5}浓度受船舶影响更为显著；对城市而言，青岛、上海、宁波和大连受影响最显著。
- 船舶排放对PM_{2.5}二次组分贡献显著（~79%），其中约2/3的硫酸盐来源于船舶排放SO₂的二次氧化。



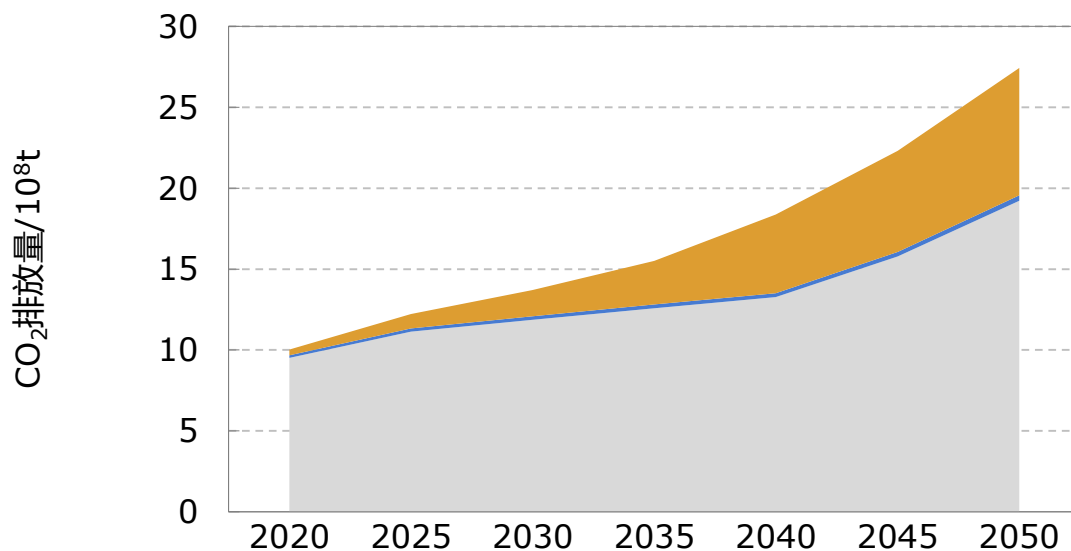
基于PoISEIM的全球-2050年航运排放评估

EEDI

Tier

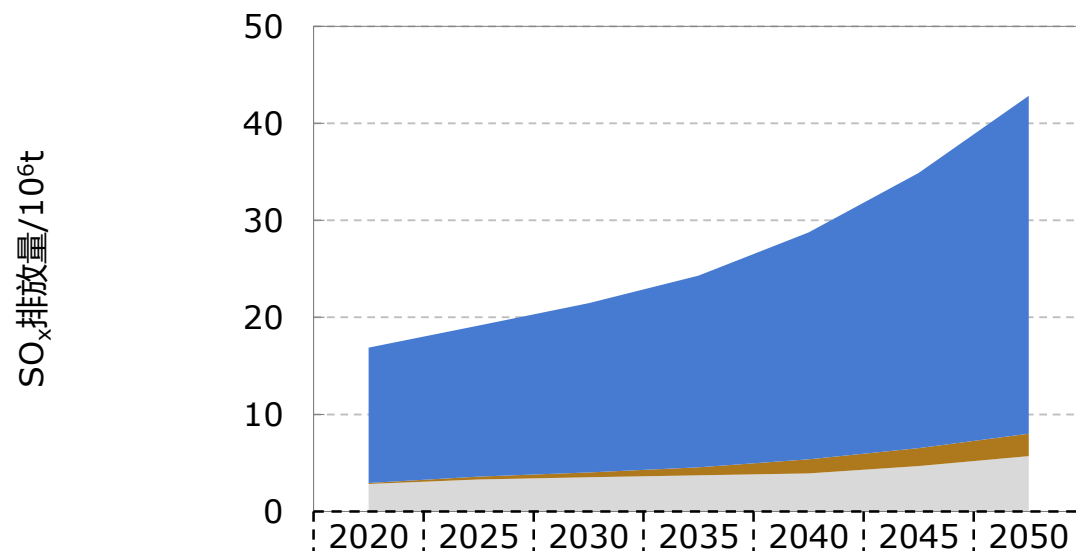
燃油

- 随着船队中“无排放要求”船舶逐渐报废、排放标准更高的船舶占比上升，**EEDI的减排效果提升**，从2020年的3.6%上升到2050年的28.6%
- 燃油硫含量控制政策的减排的效果较小**，从2020年的1.5%上升到2050年的1.3%



EEDI减排量	0.36	0.89	1.62	2.69	4.87	6.25	7.86
换油减排量	0.15	0.20	0.21	0.22	0.24	0.28	0.34
实际排放	9.52	11.13	11.87	12.59	13.27	15.79	19.23

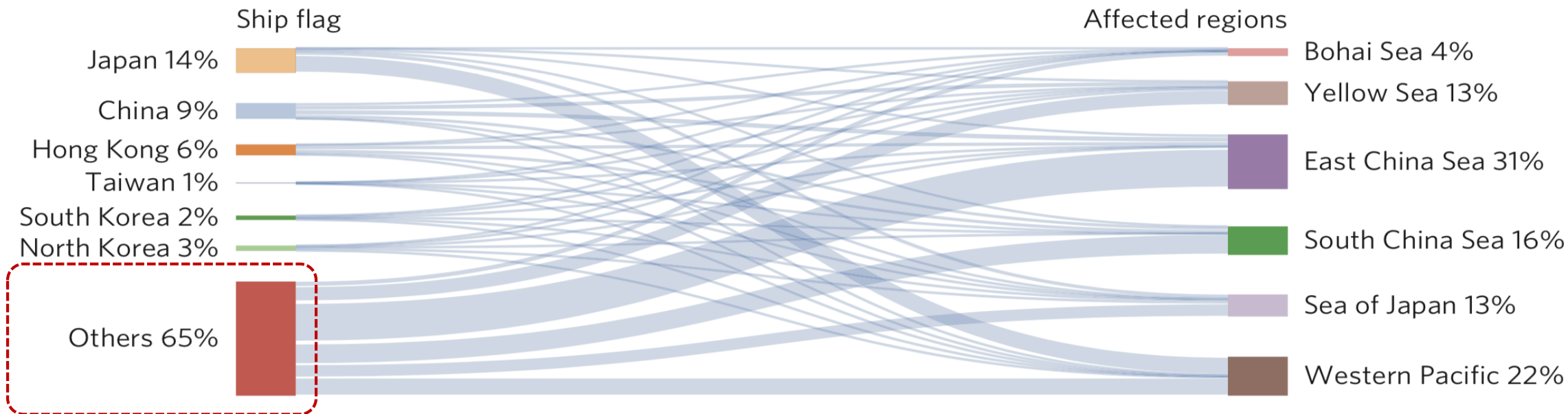
- 由于2020年后，**全球/区域船用燃油硫含量**政策并未提出更严格的标准或划定更大的控制区，因此，相对于“无减排政策情景”，SO_x减排81%左右、PM则减排75%左右



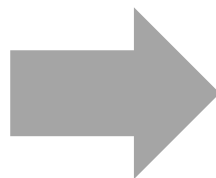
硫含量控制减排量	13.94	15.58	17.46	19.74	23.37	28.37	34.83
EEDI减排量	0.12	0.28	0.49	0.80	1.44	1.85	2.32
实际排放	2.82	3.31	3.52	3.74	3.93	4.68	5.69



按船舶注册和排放区域统计的二氧化碳排放量



- CO₂ 排放量最高的船舶注册地是日本，中国大陆和中国香港
- 65% 的船舶排放来自在东亚以外国家注册的船舶



减少本地船舶和国外注册船舶的排放也同样重要



设立船舶排放控制区 (DECA)

SO_x
PM

燃油硫含量限值

《珠三角、长三角、环渤海(京津冀)水域船舶排放控制区实施方案》；《关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案的通知》

2016/1/1

有条件的港口控制船舶靠岸停泊期间使用硫含量≤0.5%的燃油

2017/1/1

核心港口区域靠岸停泊期间应使用硫含量≤0.5%的燃油

2018/1/1

所有港口靠岸停泊期间应使用硫含量≤0.5%的燃油

2019/1/1

海运船舶进入DECA应使用硫含量≤0.5%的燃油

2020/1/1

海运船舶进入内河排放控制区，使用硫含量≤0.1%燃油

2020/3/1

未使用SO_x和PM污染控制装置等替代措施的船舶进入排放控制区按规定使用燃油

2022/1/1

海运船舶进入海南水域控制区，使用硫含量≤0.1%的燃油

2025/1/1

评估海运船舶是否需要在DECA内使用硫含量≤0.1%的燃油

岸电-
辅机

《港口和船舶岸电管理办法》

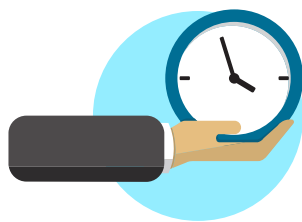
2020年2月1日起



港口：
建设/改造岸电设施



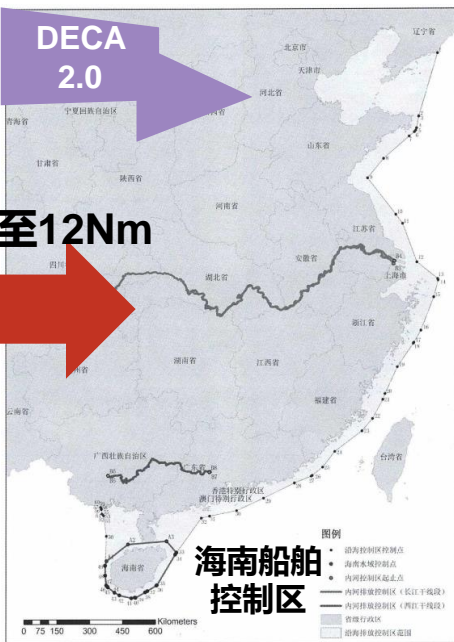
船舶：
鼓励加装受电设施



靠泊用时规定：
具备受电设施船舶(除液货船)，沿海港口靠泊超过**3小时**、内河港口超过**2小时**，应使用岸电



范围扩展至12Nm



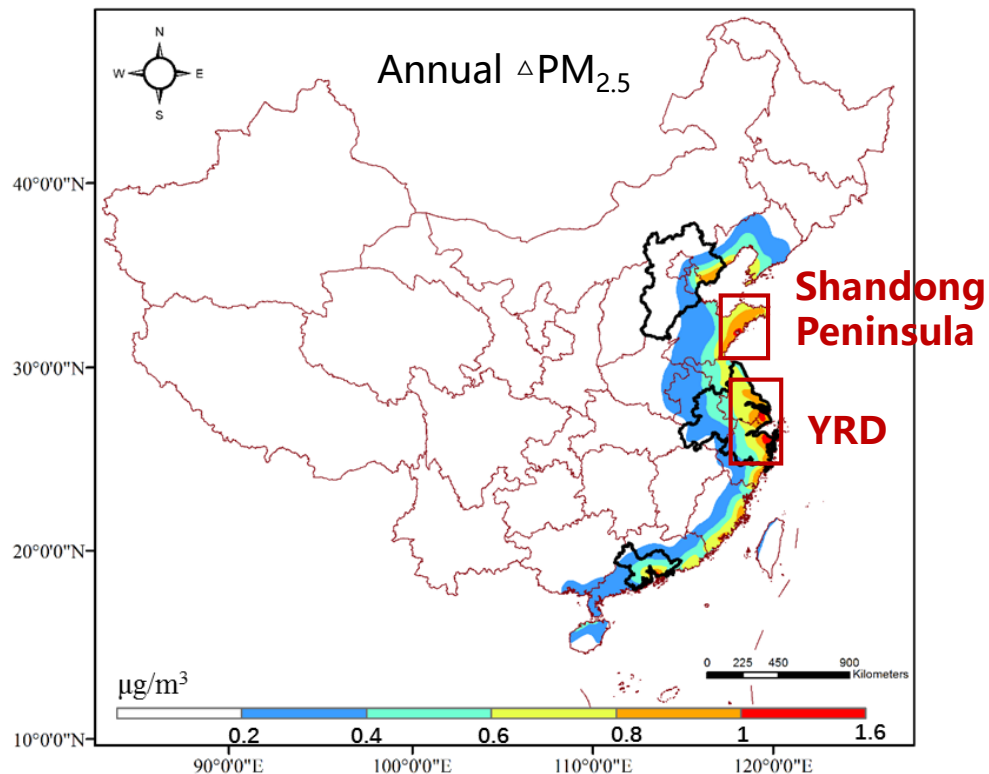
海南船舶
控制区



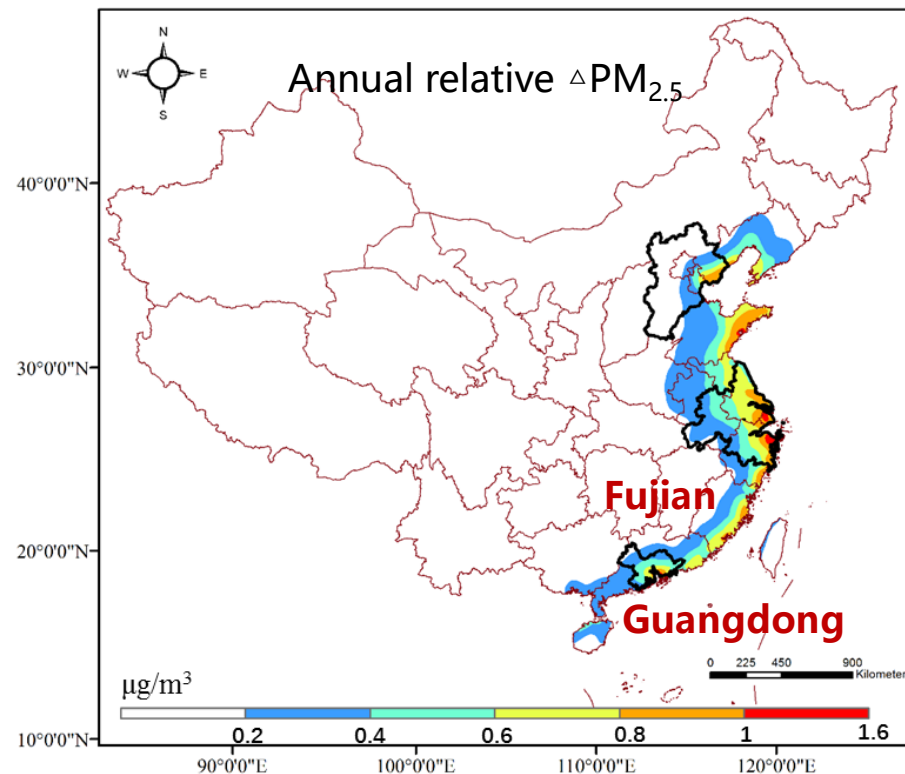


2030年100Nm DECA对空气质量的改善

$$\Delta \text{PM}_{2.5} = \text{BASE}(0.5\%) - \text{DECA}(0.1\%)$$



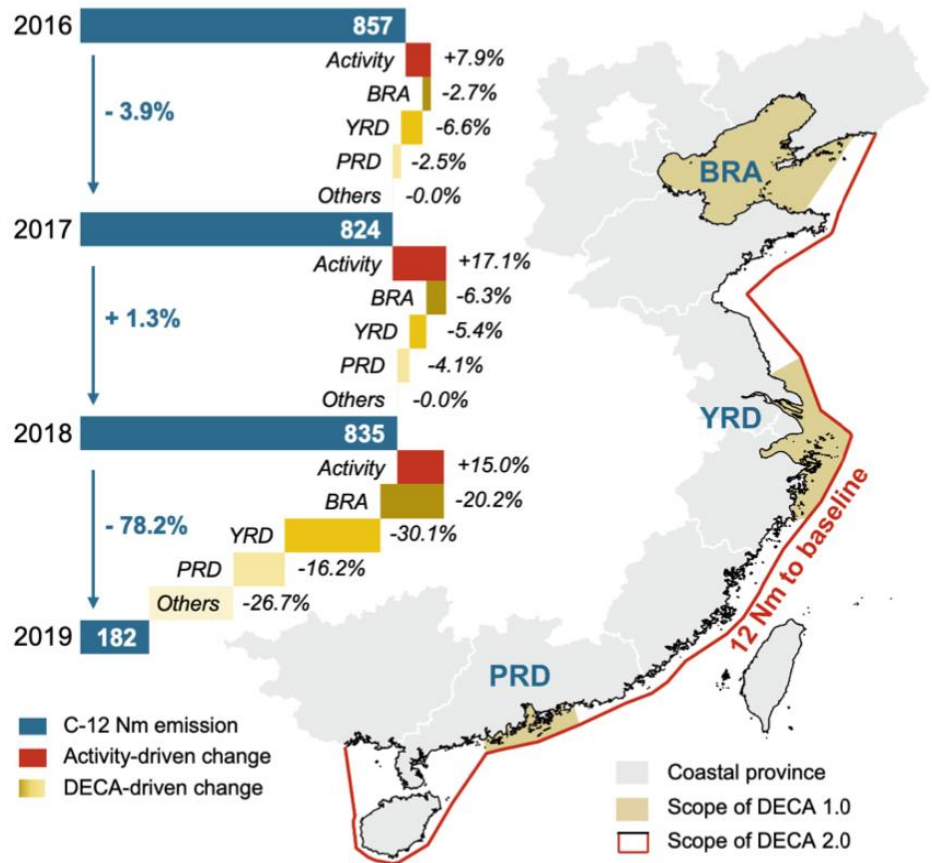
$$\text{Relative } \Delta \text{PM}_{2.5} = (\text{BASE} - \text{DECA})/\text{BASE}$$



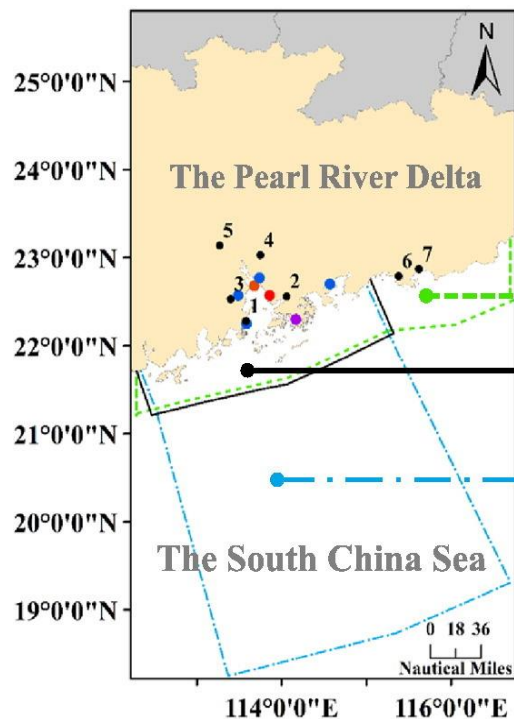
- 到2030年，100nm DECA政策可以显著改善中国内陆地区的空气质量（最高可达 $1.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），特别是在长三角和山东半岛
- 广东和福建省北部的PM_{2.5}相对减少最为明显，原因是它们的本地水平相对较低



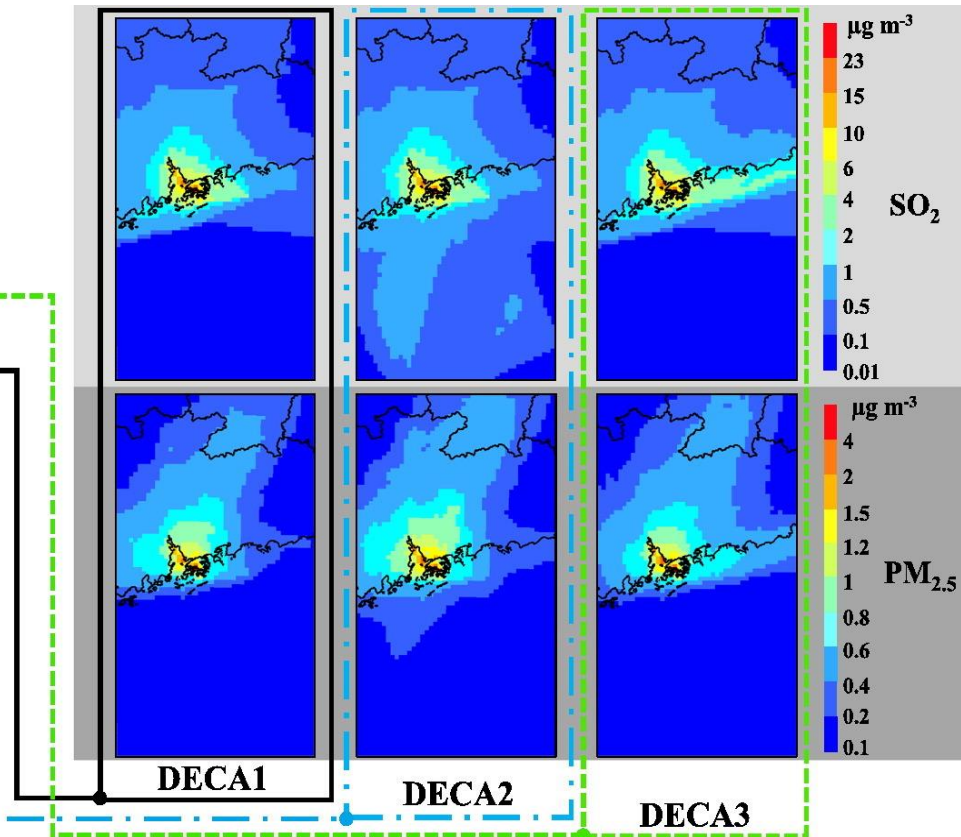
政策响应的船舶排放变化 PoISEIM



船舶排放控制区升级情景



不同控制情景对PM、SO₂浓度的影响



- 成果支撑**柴油机清洁发展战略研究**

刘欢等, ACPD, 2021

刘欢等, SCI TOTAL ENVIRON, 2018



污染者付费原则
Polluter Pays Principle



受益者付费原则
Beneficiary Pays Principle

生产者



消费者



运输

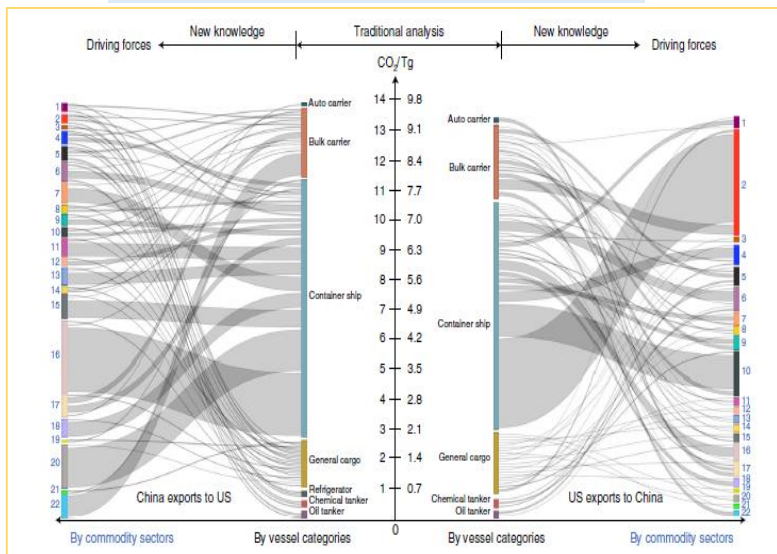


**蕴含在供应链中的
排放及责任**

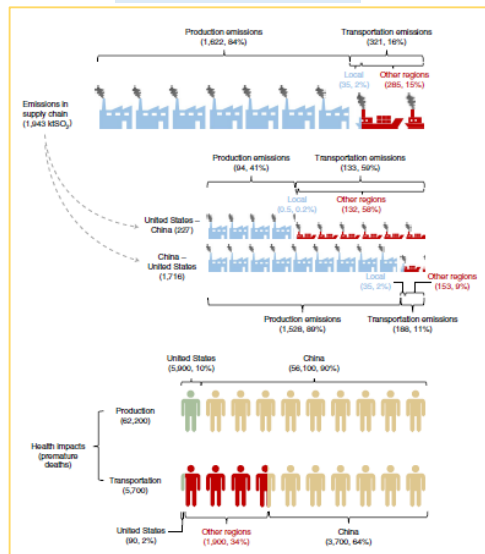
PNAS 2014, **111**, 1736-1741
Nature **2017**, 543, 705-+
Nature Communications **2017**, 8
Nature **486**, 109-112
...



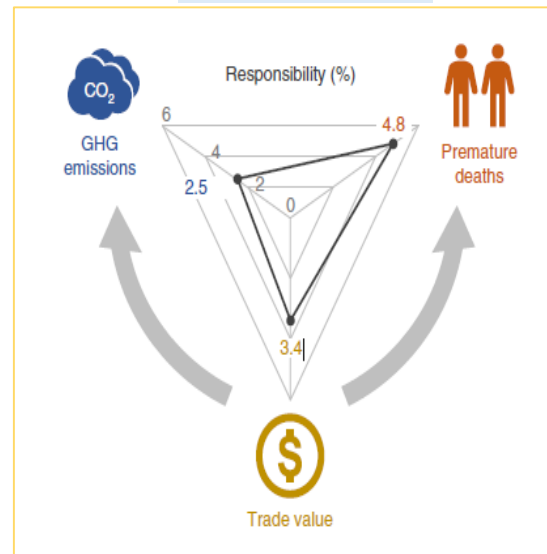
中美贸易中的船舶排放



健康影响



责任分配



TraSEIM 1.0

揭示跨国供应链中的海运排放，提出国际航运减排的责任分配新视角

最新发表在 **Nature Sustainability**

在Nature官网“研究亮点”(Research Highlights)栏目中推荐本研究



Emissions and health impacts from global shipping embodied in US-China bilateral trade

Huan Liu^{1,2*}, Zhi-Hang Meng^{1,2}, Zhao-Feng Lv^{1,2}, Xiao-Tong Wang^{1,2}, Fan-Yuan Deng^{1,2}, Yang Liu³, Yan-Ni Zhang^{1,2}, Meng-Shuang Shi^{1,2}, Qiang Zhang^{1,2*} and Ke-Bin He^{1,2*}

Global shipping activity emits 938 million tonnes of carbon dioxide annually, surpassing the eighth highest emitting country. Although the impacts from the shipping industry have been investigated over the past three decades, allocating responsibilities remains a difficult issue. Numerous parties should share the responsibility and quantitative analysis is therefore required when considering the interaction between the global economy, shipping and ecological connectivity. Here, beginning with our shipping emission inventory model based on satellite-observed vessel activities, we evaluated trade-embodied shipping emissions and their impacts on human health. Combined with international trade databases, we traced shipping impacts back to responsible bilateral trade and proposed an integrated trade-shipping-air quality-health impact nexus. Quantitative analysis shows that the US-China bilateral trade is responsible for 2.5% of the global shipping carbon dioxide emissions and 4.8% of ship-related global premature deaths caused by air pollution. Our research provides the methodology to allocate intercontinental responsibilities to trade pairs and ships.

nature

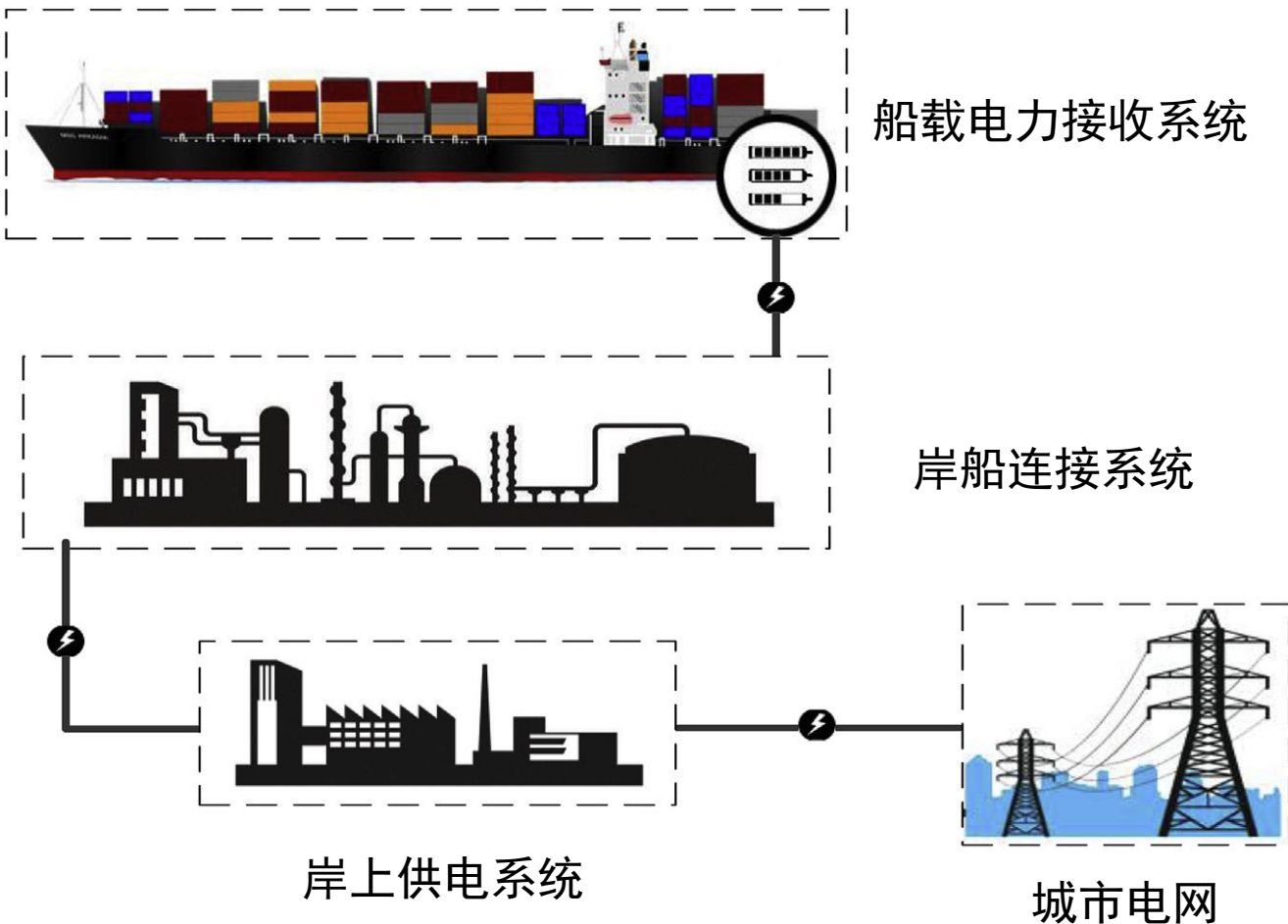
Research Highlights



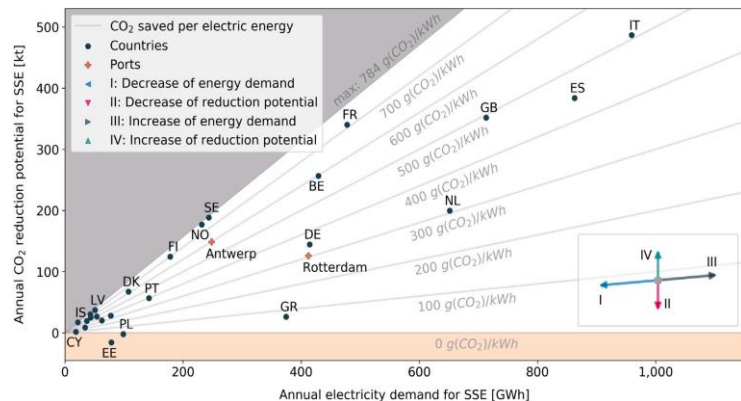
A team led by Huan Liu and her colleagues at Tsinghua University in Beijing analysed goods shipped by sea between the two countries in 2016, including US soya beans shipped to China and Chinese electronics shipped to the United States. The scientists also counted the number of ship journeys to calculate the amounts of greenhouse gases and air pollution emitted by the transportation of this cargo. Finally, the researchers modelled the path of particulates as they spread from ships through the atmosphere.

刘欢等, *Nature Sustainability*, 2019

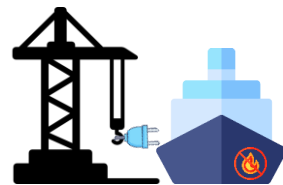
岸电系统的构成



不同港口能源需求量和CO₂减排潜力



以欧盟港口为例，采用岸电系统后进港船只总CO₂排放量将减少**2.2%-3.7%**，而消耗的电能仅为欧盟地区总消耗量的**0.2%**



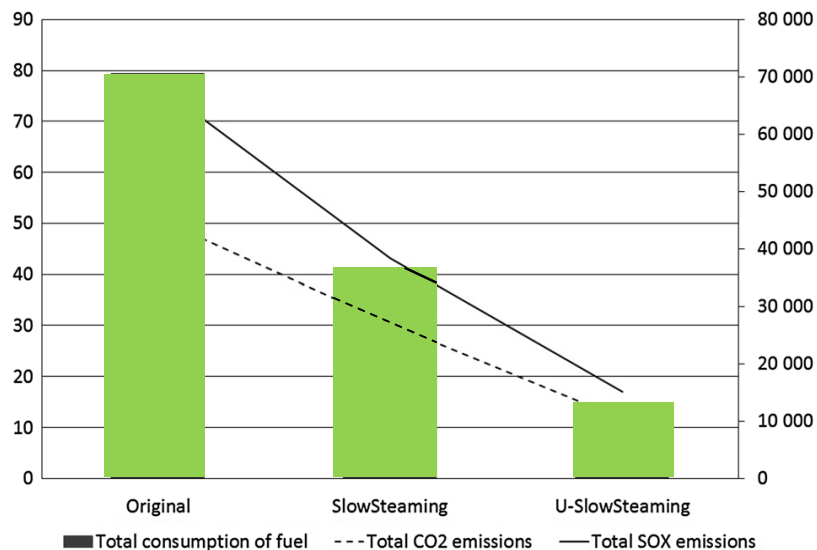
根据交通运输部《港口岸电布局方案》截至2020年底，国内已有**50%**的3千吨级以上客运和5万吨级以上干散货专业化泊位具有岸电系统，未来发展仍需要**扶持政策**、**行业标准**和**法律规定**三方面的扶持。

(Stolz et al. Applied Energy, 2021)

(Chen et al. Journal of Cleaner Production, 2019)



降低船舶航速



在低速和超低速工况下CO2排放量分别下降了**40%**和**77%**

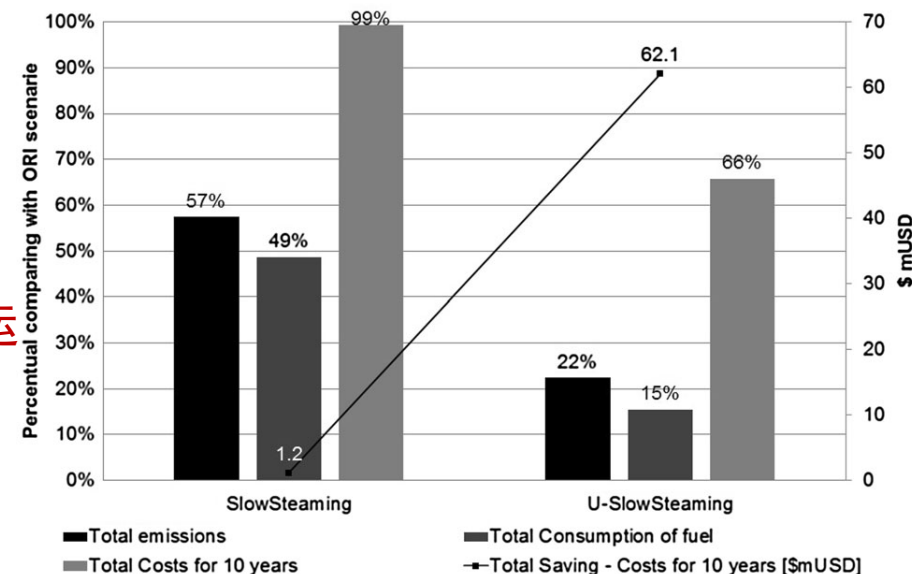
减排效益

船舶通过低速行驶减排时一种不改变船队结构，无需技术改装就可以实现的一种高效减排方式

经济效益



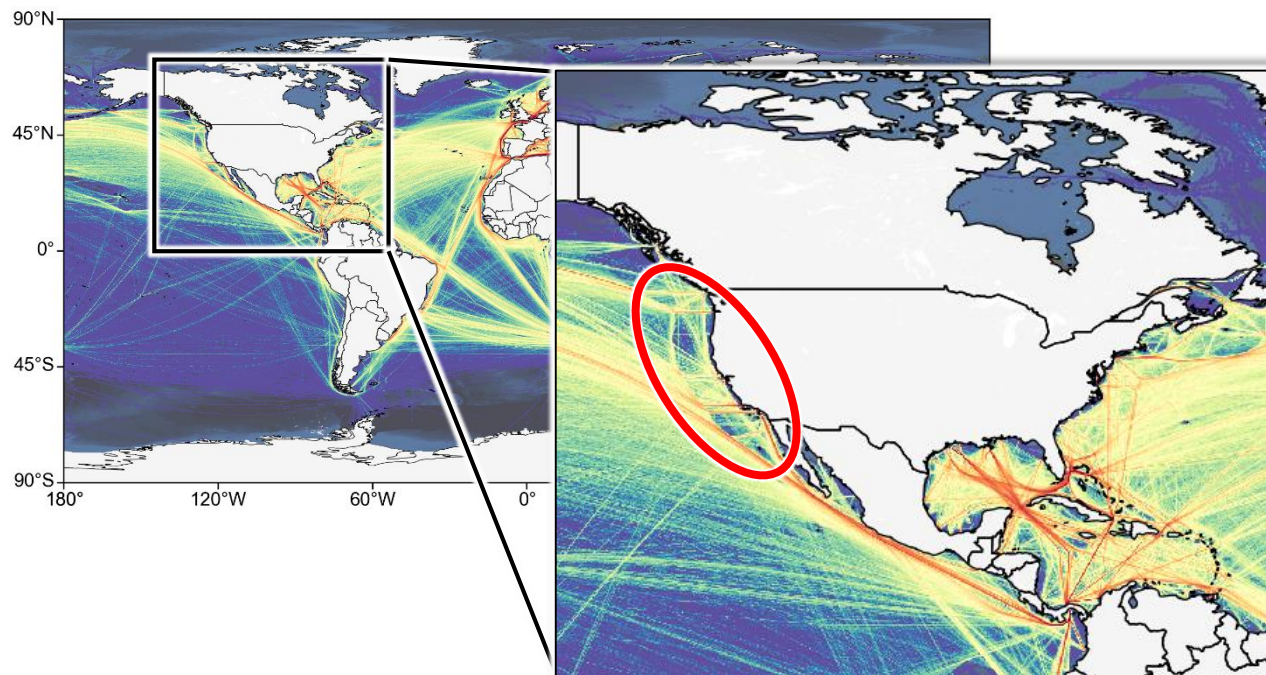
船舶运行10年的总成本分别减少**1%**和**34%**，即低速行驶并不会减少航运利润甚至增加收益





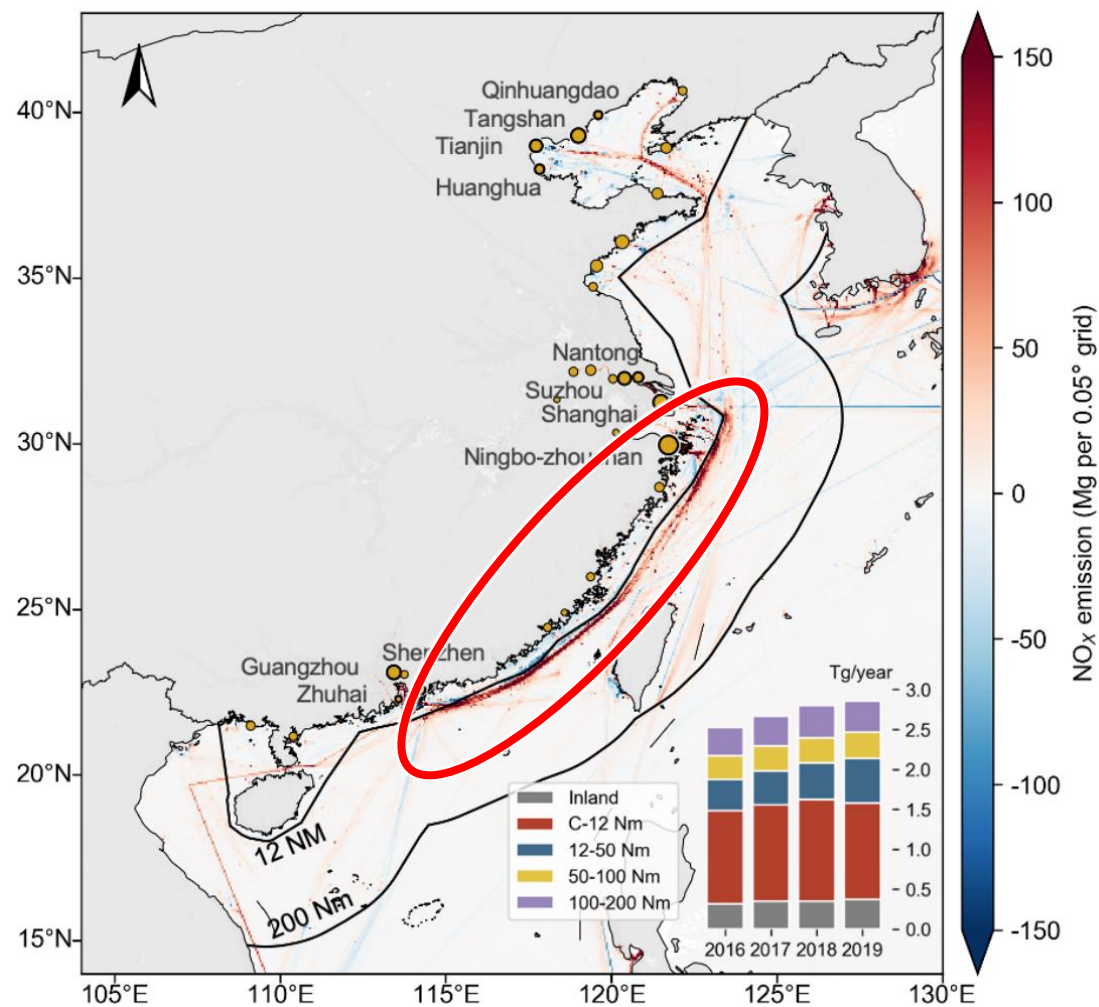
船舶控制区限硫政策下的船舶绕行

2018年全球远洋船CO₂排放空间分布



□ 基于AIS大数据观察到，船舶排放国际控制区（ECA）和国内控制区（DECA）限硫政策的实施，都导致**部分船舶绕行至控制区域外航行**，产生额外的运输距离和船舶排放

2016-2019年中国船舶NO_x排放时空变化



刘欢等,ACPD, 2021



机动车污染控制



运输结构调整



船舶排放控制区



港口船舶污染治理



新能源与清洁能源应用

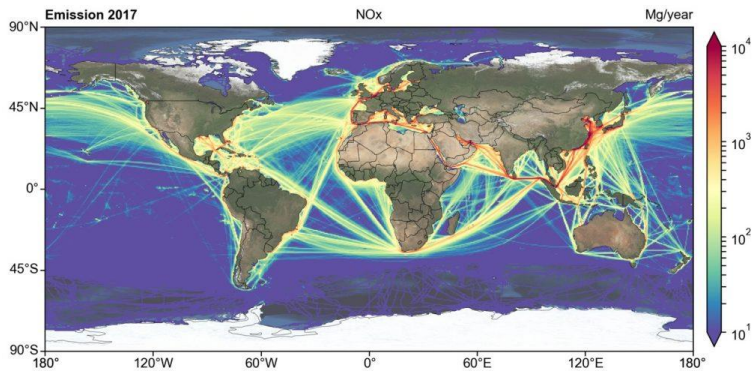


MEIC平台 全球船舶 大气污染物 网格化排放



关于SEIM数据库>

SEIM (Shipping emission inventory model) 是全球船舶排放清单模型。该模型基于高精度船舶自动识别系统 (AIS) 数据开发, 模型底层数据AIS年报文数约300亿条。SEIM数据库目前提供2017年全球船舶排放网格化数据 (0.5°×0.5°), 涵盖SO₂、NO_x、HC、PM_{2.5}、CO和CO₂共6个物种。示例数据可视化如下:



GID平台 全球高分辨率 碳排放 网格化数据集

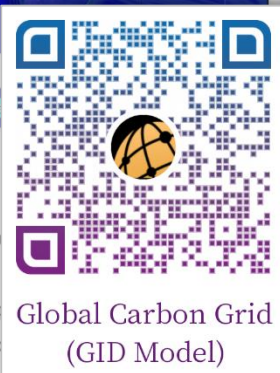


Global Carbon Grid



About Global Carbon Grid >

The Global Carbon Grid establishes high-resolution maps of global CO₂ emissions from fossil fuel combustion, which aims to provide accurate anthropogenic CO₂ emission maps for modeling (forward and backward) and designing mitigation strategies. The Global Carbon Grid is built upon a framework that integrates multiple sources, country-level sectoral activities and emissions, and transport emissions and distributions, all compiled regularly on an annual basis to provide the most up-to-date global emission maps.



谢谢

