



清华大学

共赢蓝天与低碳 ——协同减排与交通行业绿色发展



贺克斌 刘欢
清华大学环境学院
2021年3月29日，上海

1. 基本背景

2. 蓝天保卫战与移动源污染治理

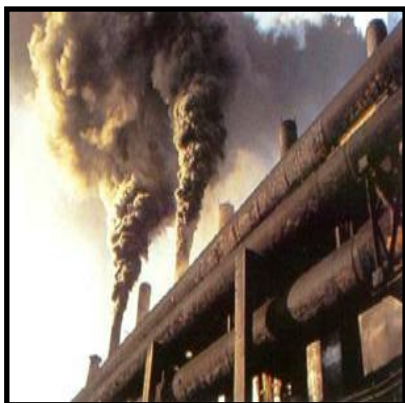
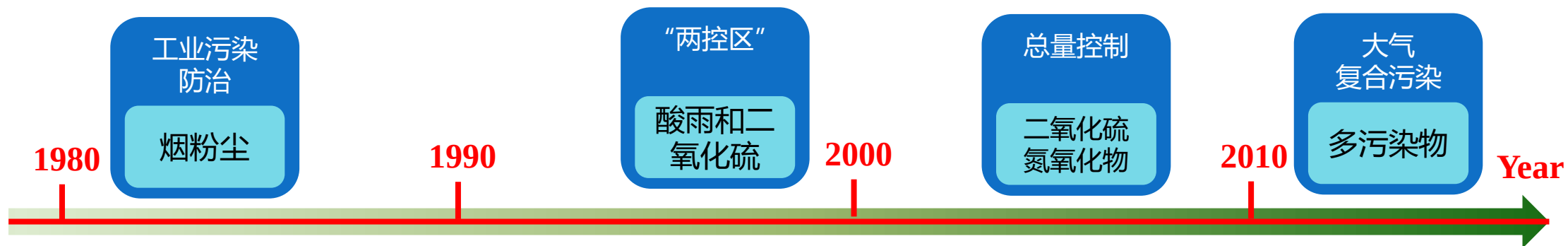
道路机动车排放控制

运输结构调整

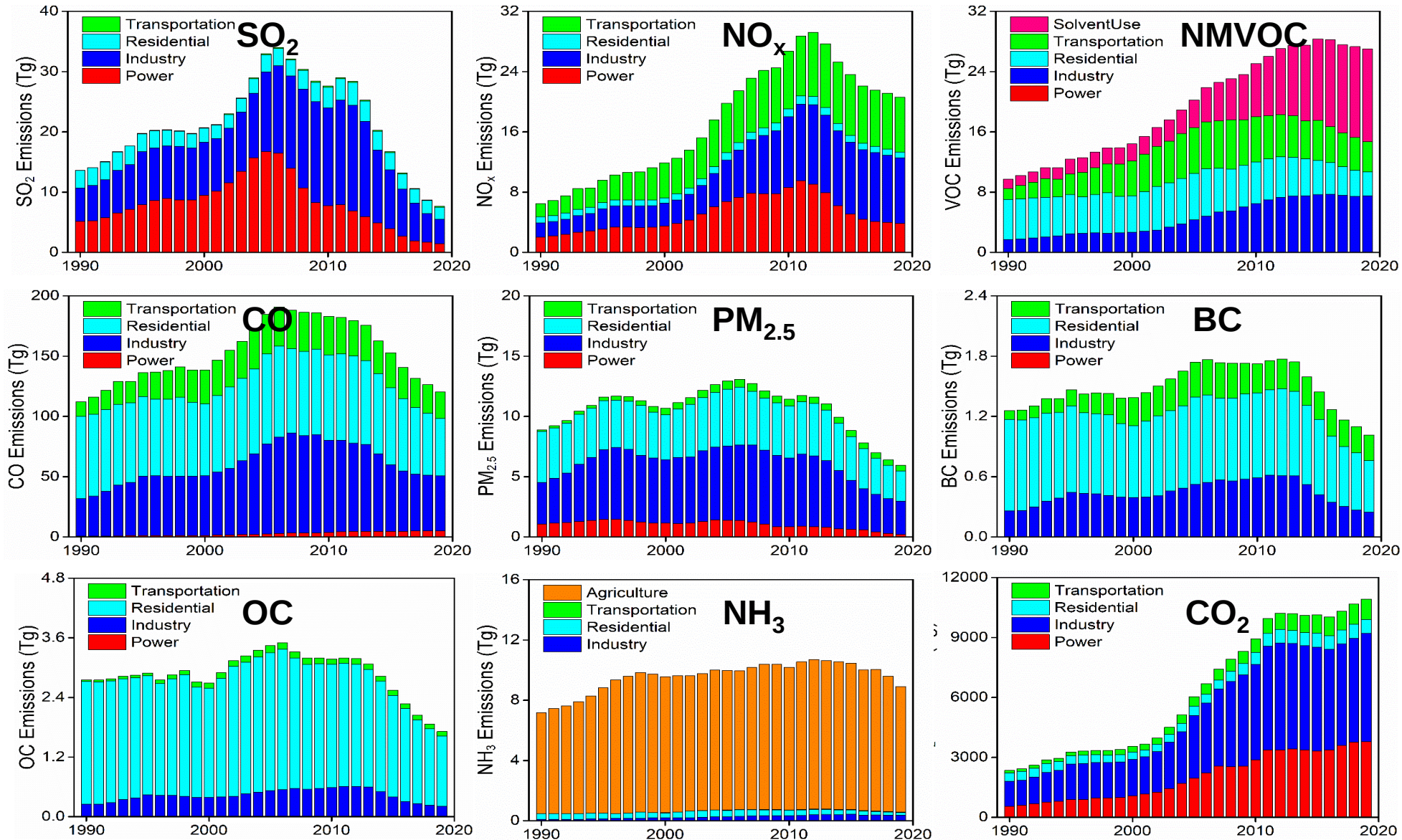
船舶污染治理

3. 空气污染物与二氧化碳协同减排

40年来中国针对不同重点领域持续推进大气污染防治

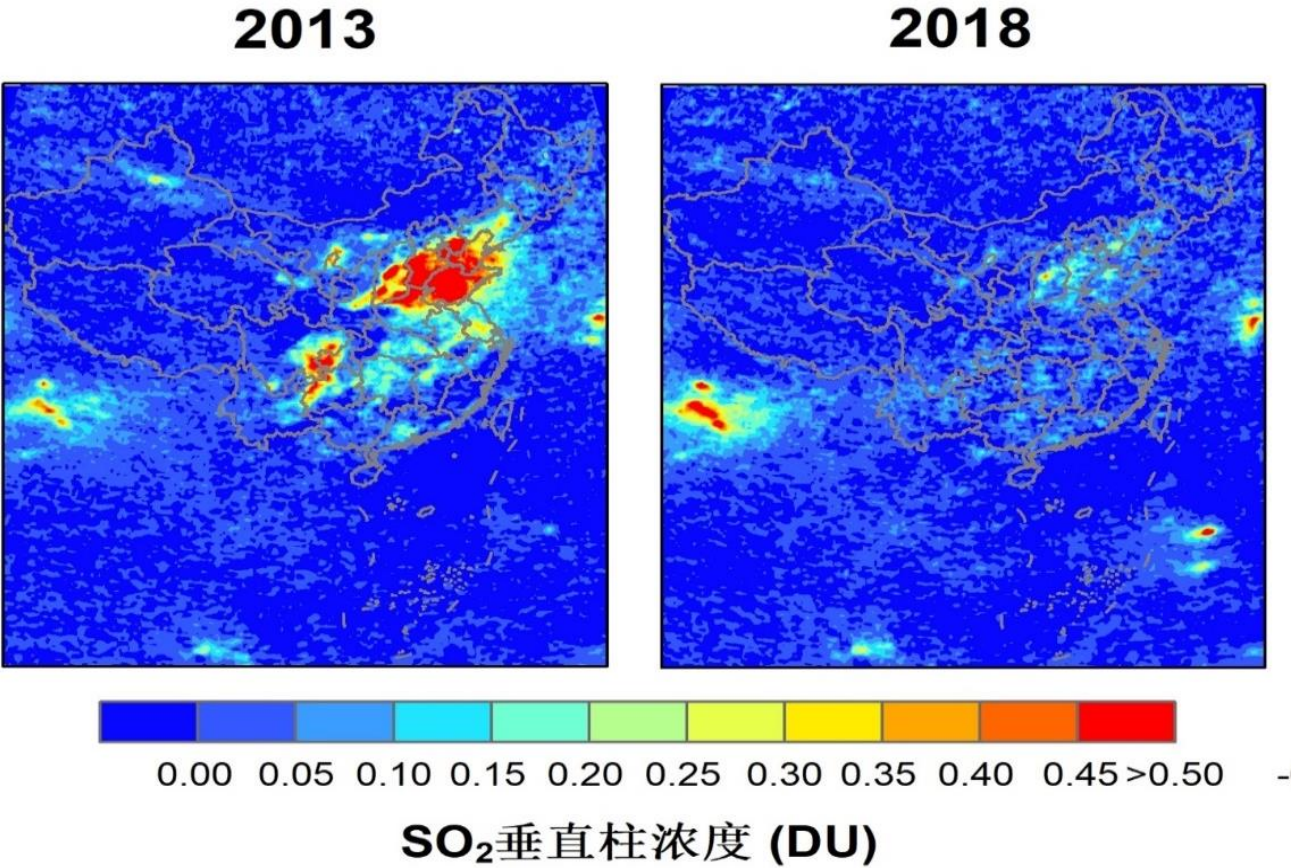


中国大气污染物排放：1990-2019

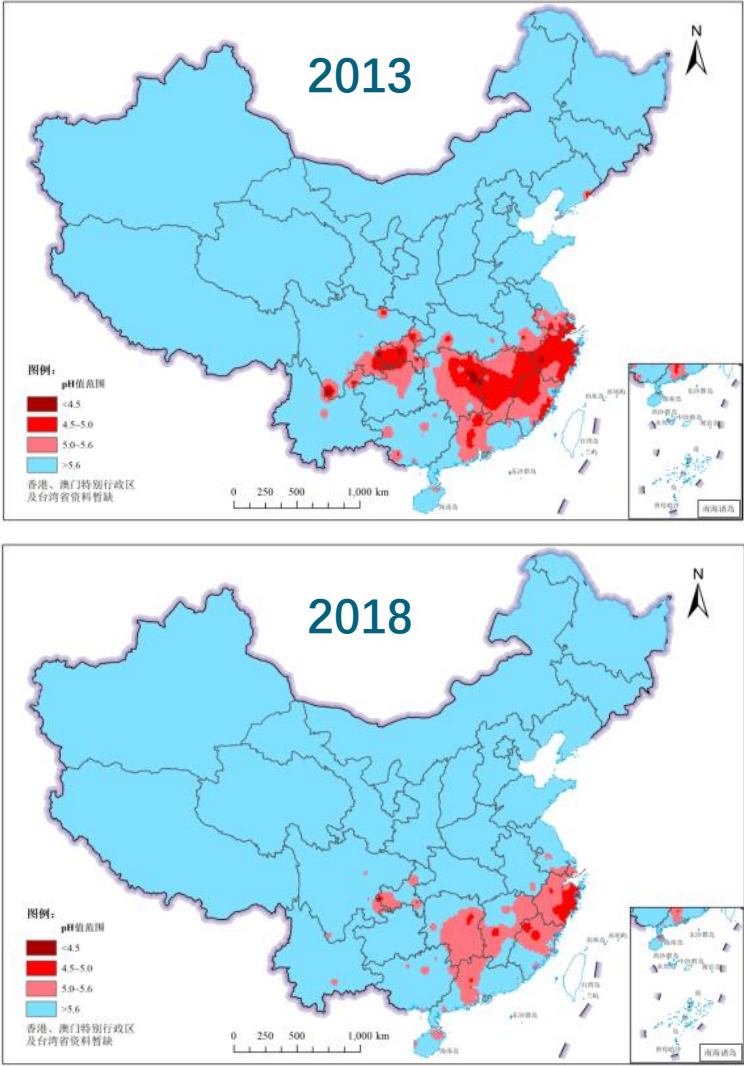


数据来源：MEIC

SO₂和酸雨等燃煤相关的污染明显改善



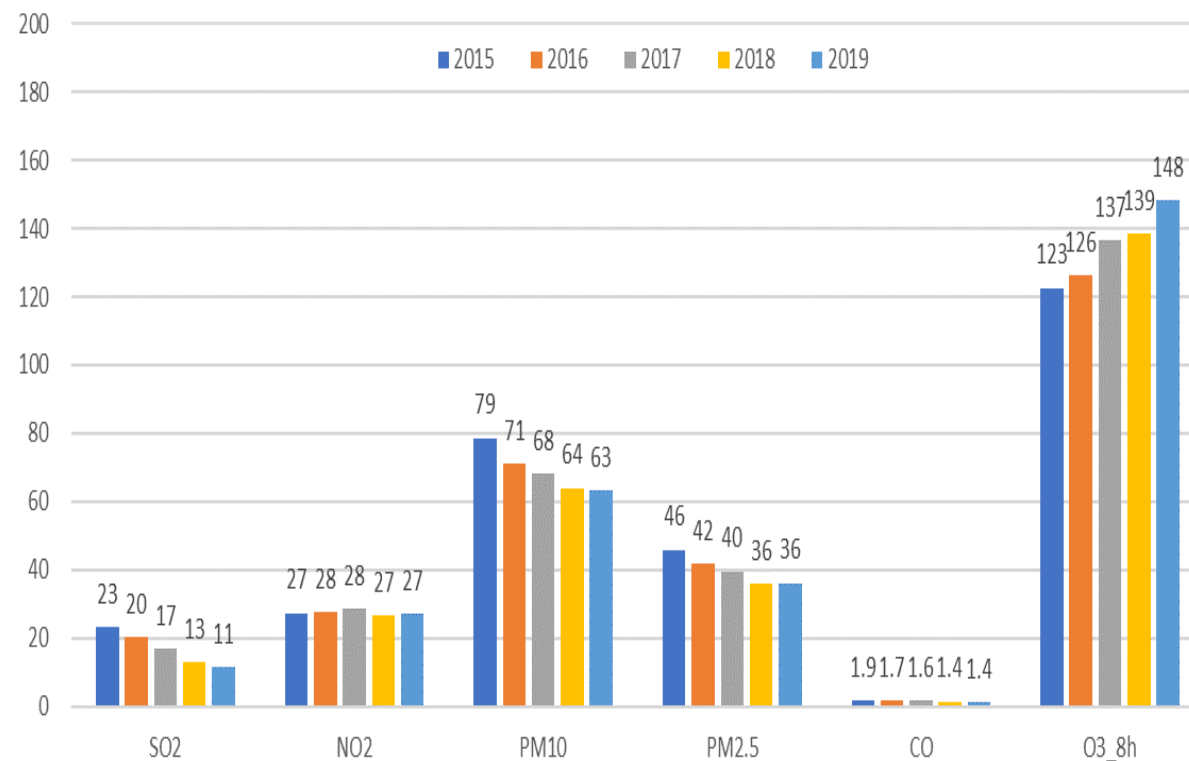
酸雨占国土面积的比例从90年代的30%下降到2019年的5%



酸雨面积大幅减小

“十三五”以来空气质量总体改善明显，但O₃持续反弹

- 2019年，261个PM_{2.5}未达标地级及以上城市平均浓度40微克/立方米，与2015年相比**下降23.1%**，提前完成“十三五”目标
- 2019年，337个地级及以上城市PM₁₀、SO₂较2015年分别**下降19%和52%**
- NO₂浓度持平；O₃浓度**上涨21%**，涨幅明显
- 2019年，337个地级及以上城市中，157个达标（47%），相比于2015年**增加84个**



337城市大气污染物浓度变化情况

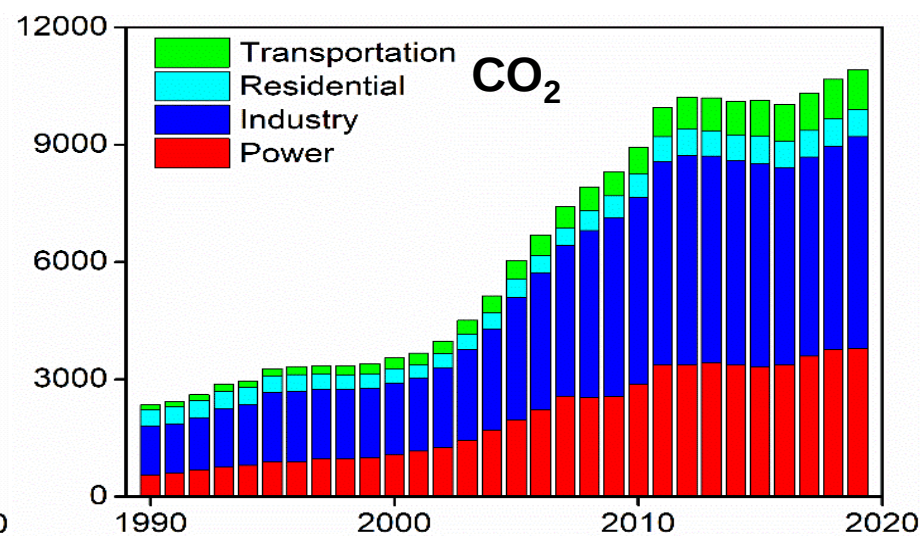
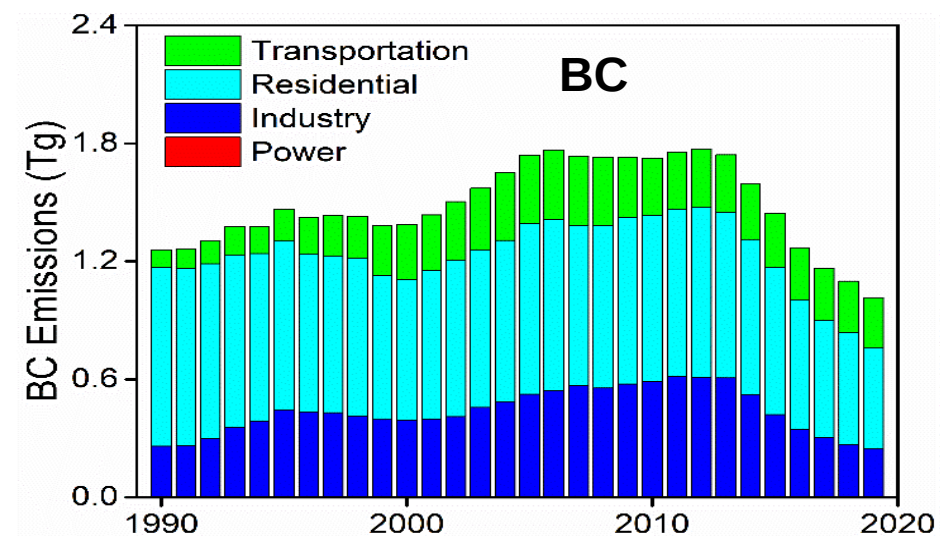
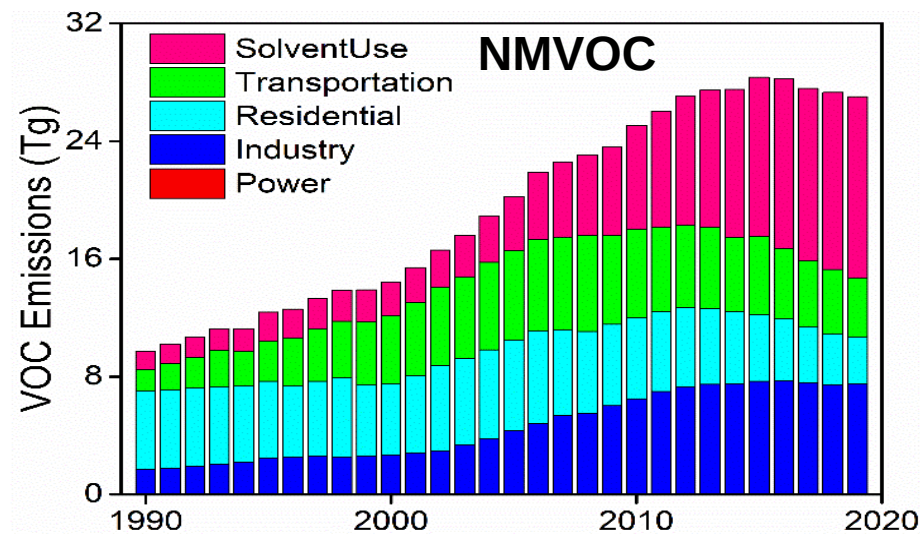
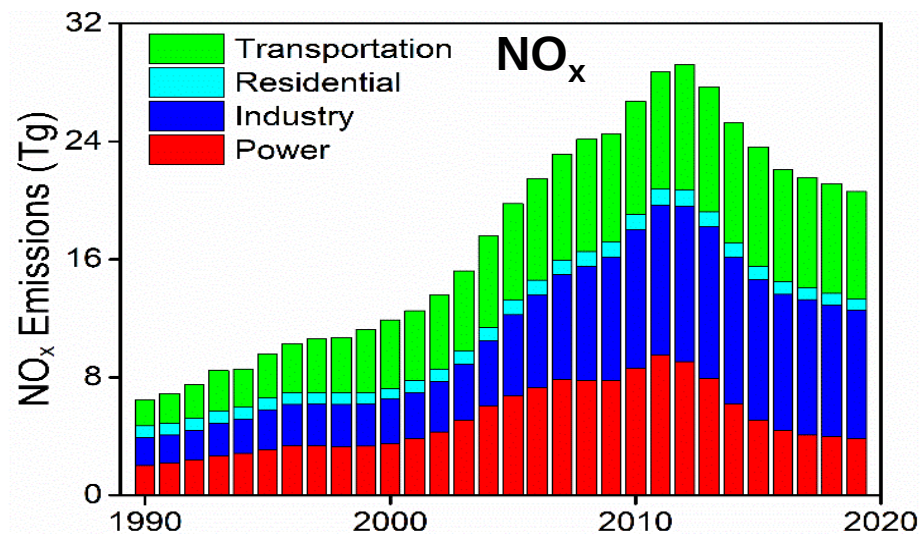
中国针对全球三类典型大气复合污染

基本完成酸雨污染治理

持续深入PM_{2.5}污染治理

尽快遏制臭氧污染上升趋势

交通领域在未来减排中需要发挥更加重要的作用

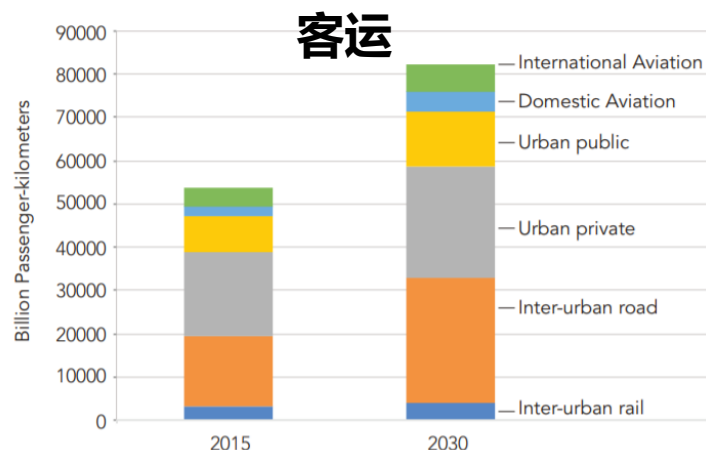


数据来源: MEIC

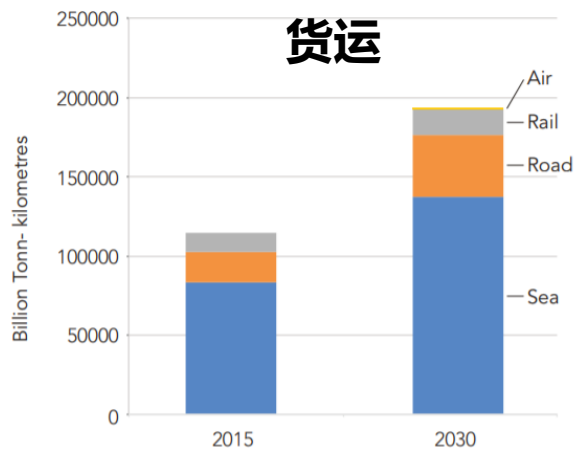


总交通需求

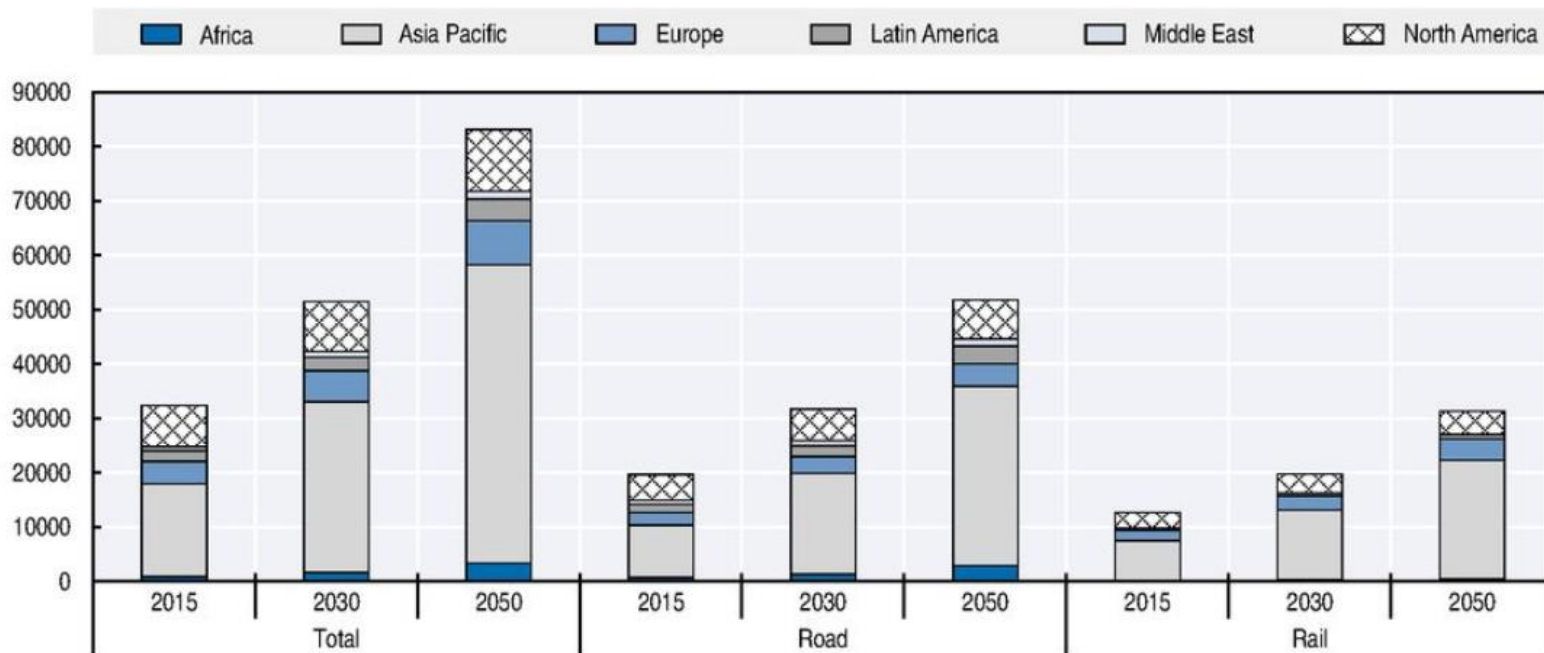
Passenger Transport Volumes (Business as Usual 2015-2030)



Freight Transport Volumes (Business as Usual 2015-2030)



2015年和2030年全球客运和货运总量

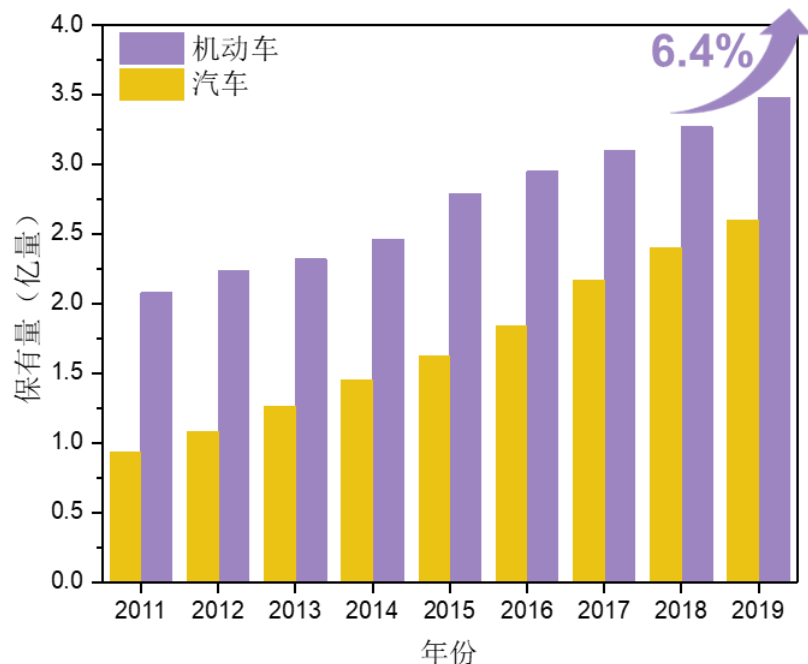


陆路运输，按区域分列的吨公里数，基线情景

- 到2030年，年客运量将超过80万亿公里，增长50%。
- 到2030年，全球货运量将增长70%。
- 到2050年，汽车保有量将增加12亿，是今天总数的两倍。



□ 我国是交通大国



2011-2019年我国机动车及汽车保有量变化趋势

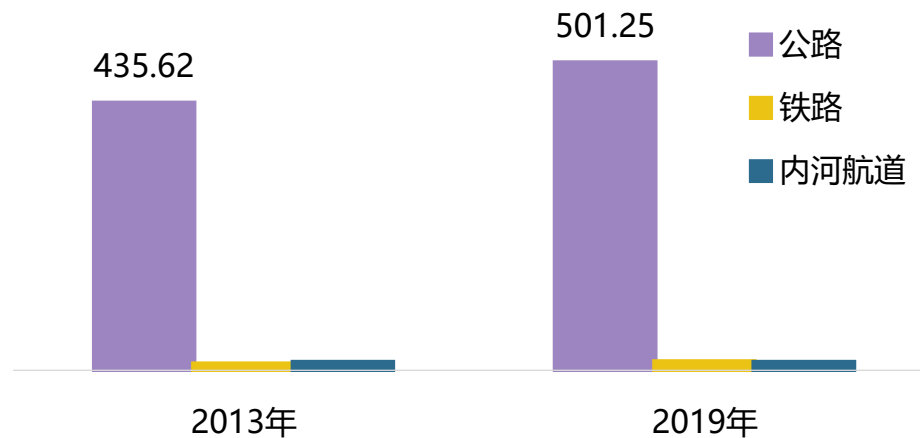
2. 道路基础设施覆盖广泛

- 公路、铁路总里程**世界第二**。
- 2019年末全国港口拥有万吨级及以上泊位2520个。

1. 交通设备总量庞大

- 2019年，我国机动车保有量已增至3.48亿。
- 汽车保有量达2.6亿辆，同比增长 8.8%。
- 全国 66 个城市汽车保有量超过百万辆，30 个城市超200 万辆，其中，北京、成都、重庆、苏州、上海、郑州、深圳、西安、武汉、东莞、天津等 11 个城市超 300万辆。

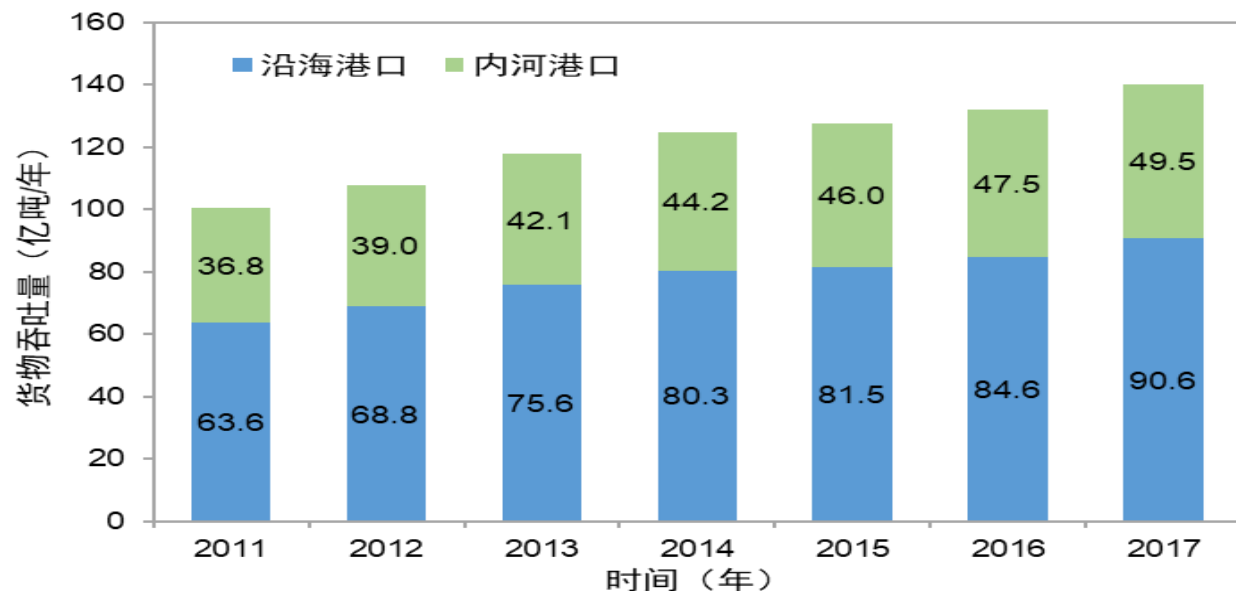
总里程 (万公里)



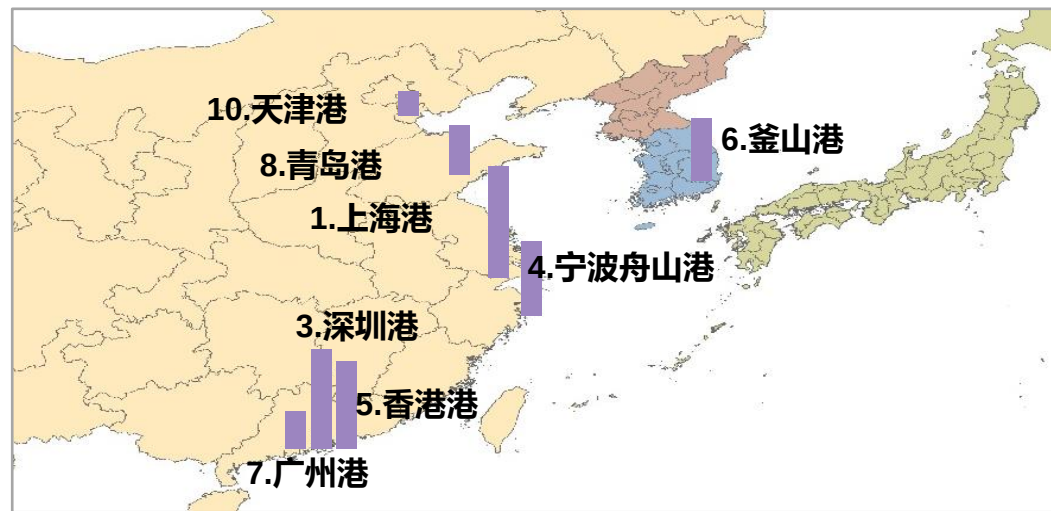


3. 运输规模庞大

- 2019年，我国公路货运343.55亿吨，铁路货运43.89亿吨，位居**世界第一**。
- 航运发展迅速，海运贸易量大，7个集装箱港口排名全球前十。



来源：2017年交通运输行业发展统计公报



来源：美国港口管理局协会，2016



我国移动源污染物排放占比较高

NO_x 排放情况 (2018)

- 移动源和工业源NO_x排放量基本相当
- 机动车和非道路移动源NO_x排放量基本相当
- 重型车排放量最大，柴油货车是汽车污染主要贡献者
- 非道路移动源中工程机械、农业机械、船舶及其排放量大面广



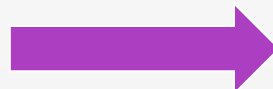
■ 移动源
1125万t, 占比48.8%

■ 工业源
1181万t, 占比51.2%



■ 非道路
562.1万t, 占比50.0%

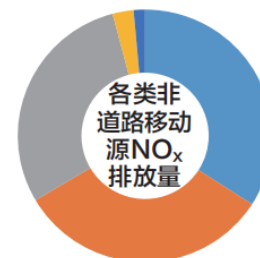
■ 机动车
562.9万t, 占比50.0%



■ 汽车
521.9万t, 占比92.7%

■ 三轮汽车
31.5万t, 占比5.6%

■ 摩托车
9.5万t, 占比1.7%



■ 工程机械
175.3万t, 占比34.1%

■ 农业机械
166.3万t, 占比32.4%

■ 船舶
151.1万t, 占比29.4%

■ 铁路机车
13.7万t, 占比2.7%

■ 飞机
7.4万t, 占比1.4%

*数据来自2019《移动源环境管理年报》

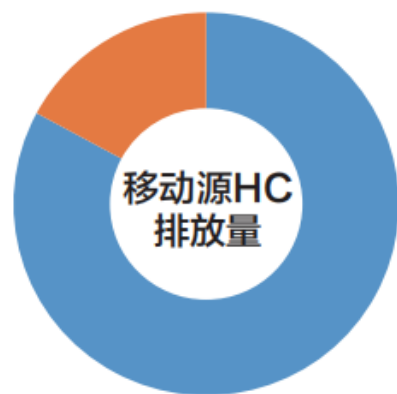
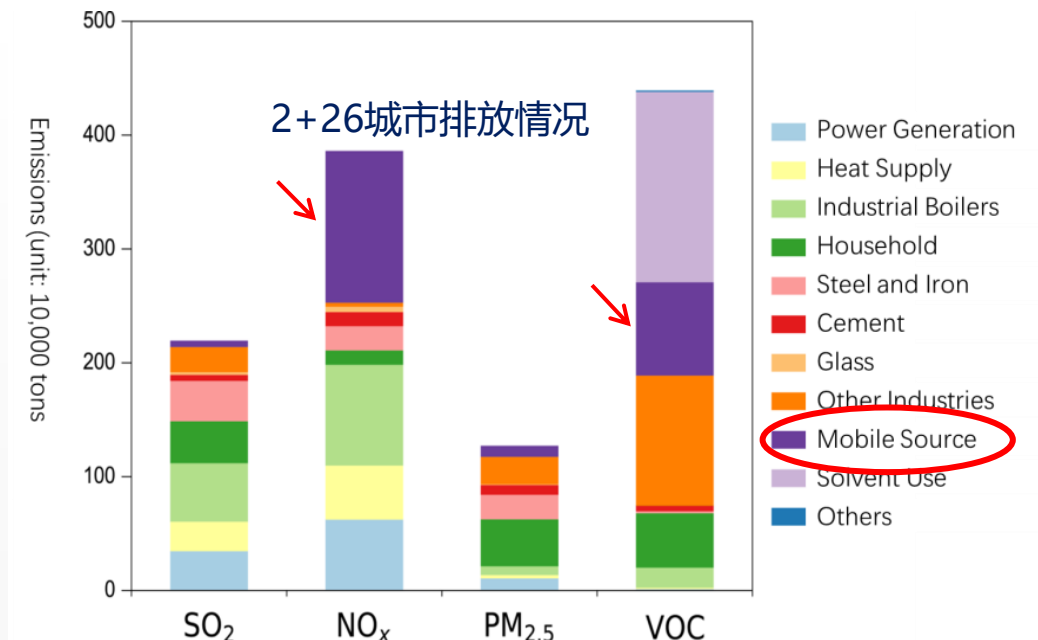


我国移动源污染物排放占比较高

HC排放情况 (2018)

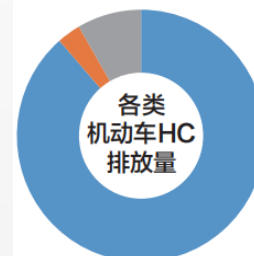
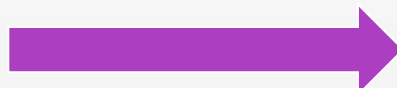
2+26城市中，移动源HC排放占比约为18% (2017)

- 机动车HC排放量占比83%
- 汽车HC排放量为326.7万吨，处于首要位置
- 其后依次摩托车、工程机械和农业机械



■ 机动车
368.8万t, 占比82.9%

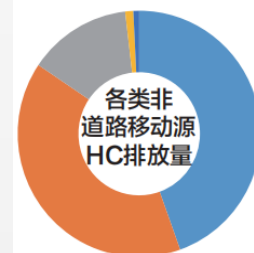
■ 非道路
76.2万t, 占比17.1%



■ 汽车
326.7万t, 占比88.6%

■ 三轮汽车
11.3万t, 占比3.1%

■ 摩托车
30.8万t, 占比8.4%



■ 工程机械
28.9万t, 占比44.5%

■ 船舶
8.9万t, 占比13.7%

■ 飞机
0.5万t, 占比0.8%

■ 农业机械
25.9万t, 占比39.9%

■ 铁路机车
0.7万t, 占比1.1%

*数据来自2019《移动源环境管理年报》

1. 基本背景

2. 蓝天保卫战与移动源污染治理

道路机动车排放控制

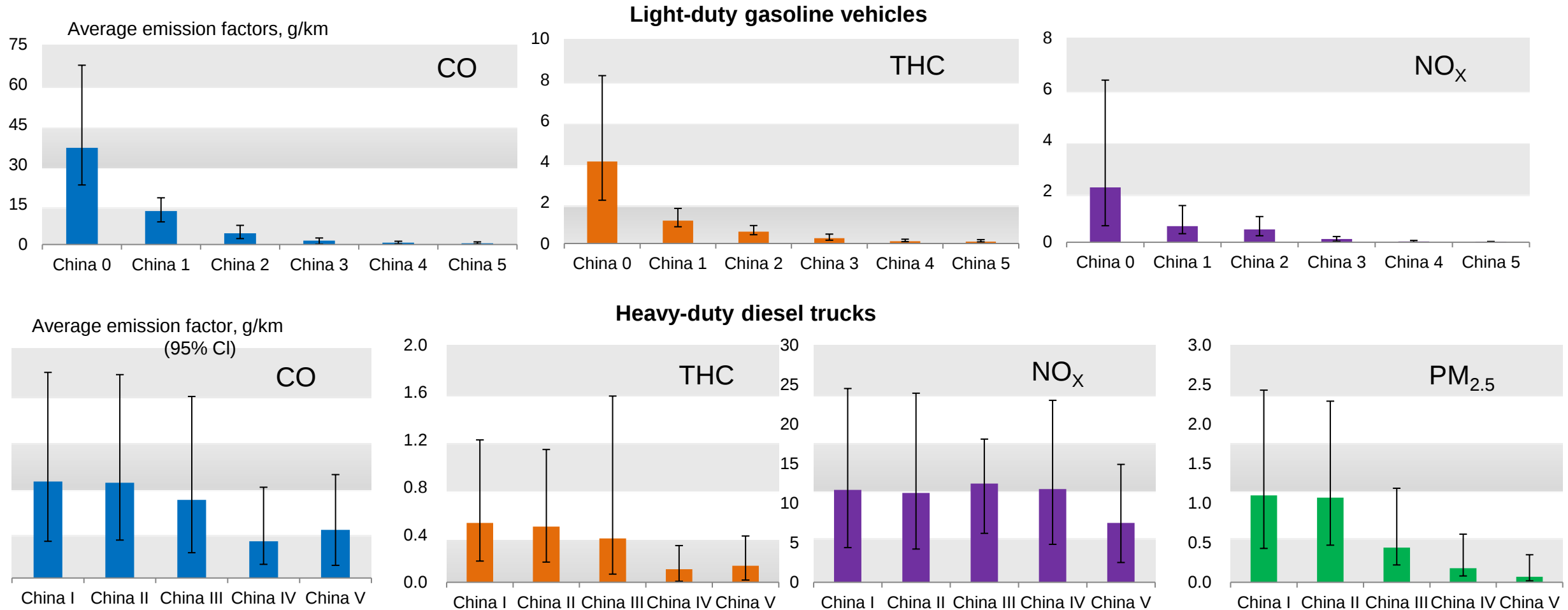
运输结构调整

船舶污染治理

3. 空气污染物与二氧化碳协同减排

车辆排放控制取得历史性的成绩

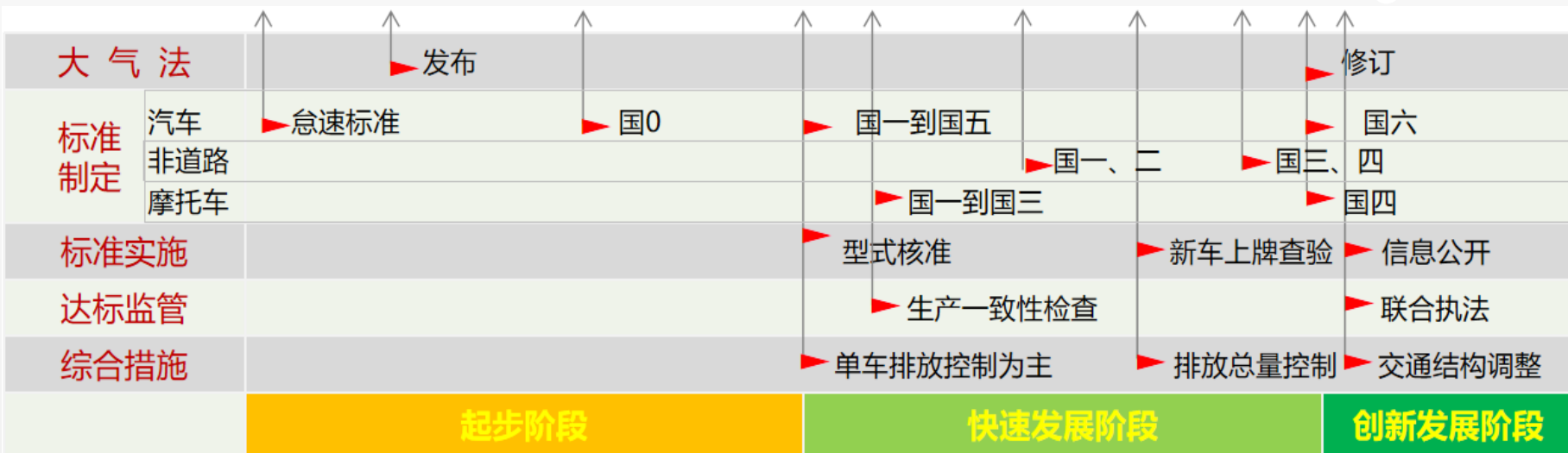
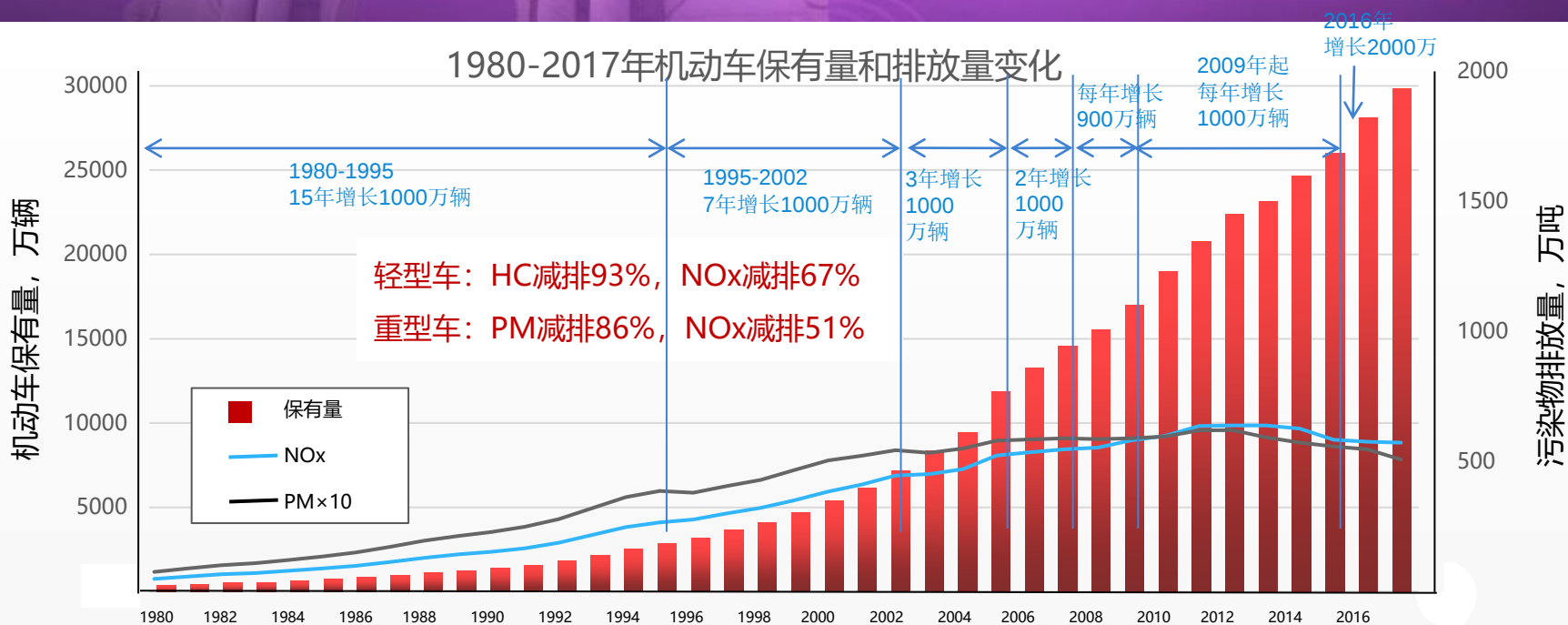
- 逐步加严的排放标准大大降低了单车的排放因子，我国柴油货车的单车排放已经达到先进水平。

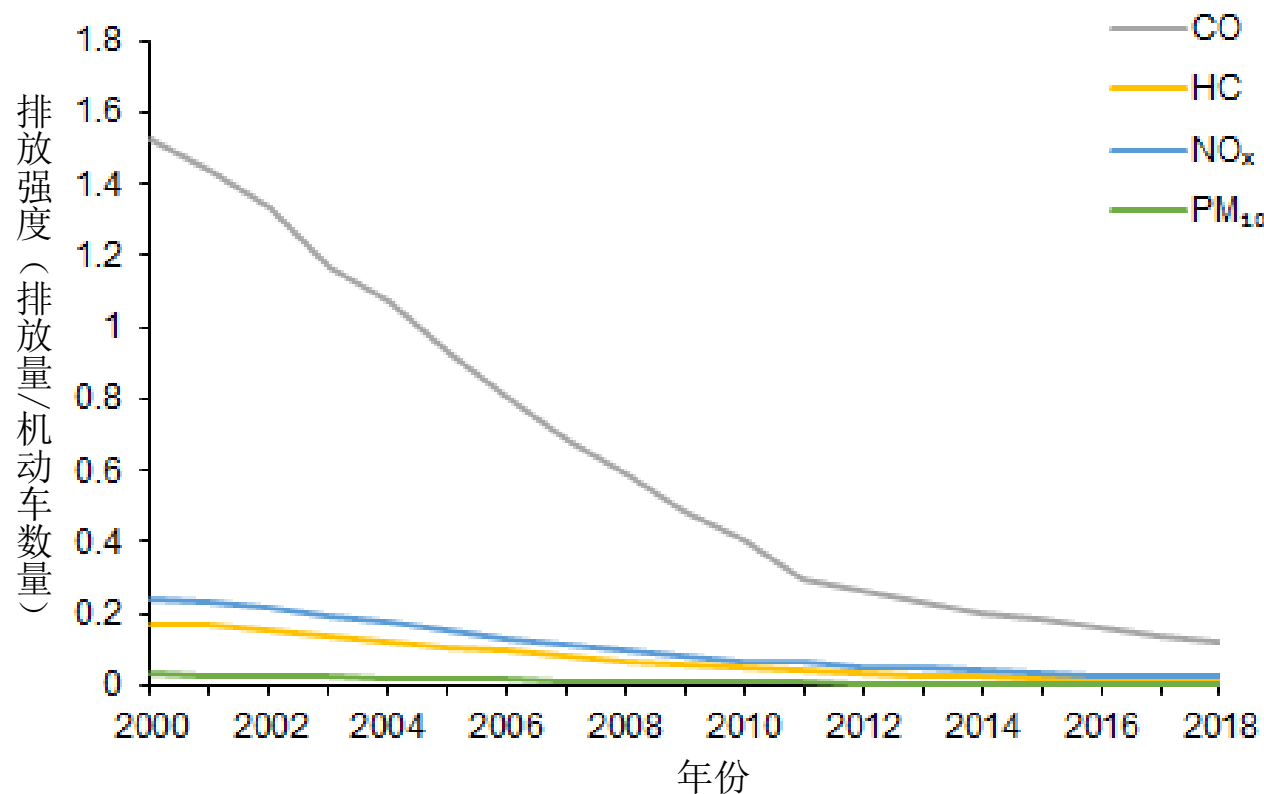


Note: Assessed by the EMBEV 2.0 model developed by Tsinghua University.



移动源排放控制工作发展历程总体回顾





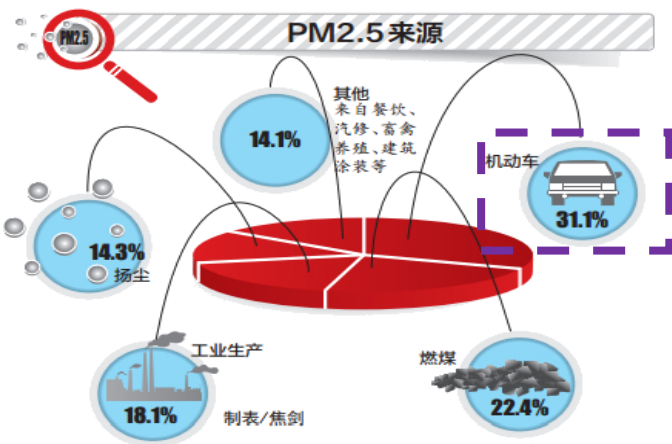
2000-2018年间，中国道路交通运输业四大空气污染物的排放强度，即每辆车的平均排放量，均减少了90%以上。

除了排放大量CO₂外，道路交通运输中化石燃料的燃烧还会释放其他有害污染物，包括碳氢化合物（HC）、一氧化碳（CO）、氮氧化物（NO_x）和PM₁₀。

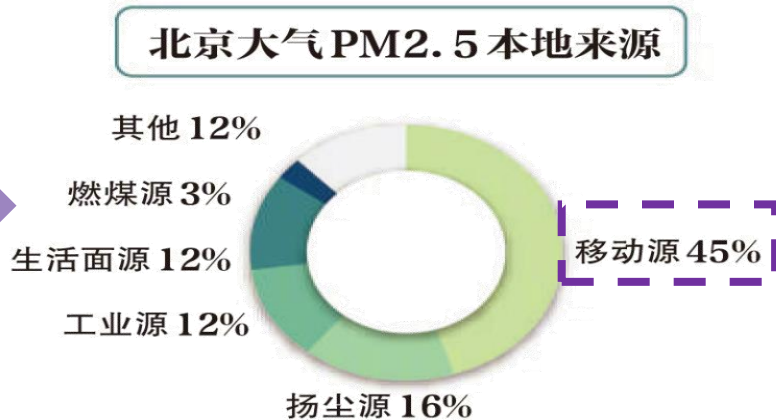
2000-2018年间，中国CO、HC、NO_x和PM₁₀的排放强度分别下降了92%、91%、91%和94%，体现了道路交通运输排放控制的有效性。2019年，中国的电动汽车（EV）数量达到了310万辆，比2014年增加平均60万辆/年，远高于第二大EV市场美国同一时期的年均增速（26万辆/年）。

□ 移动源对PM_{2.5}的贡献

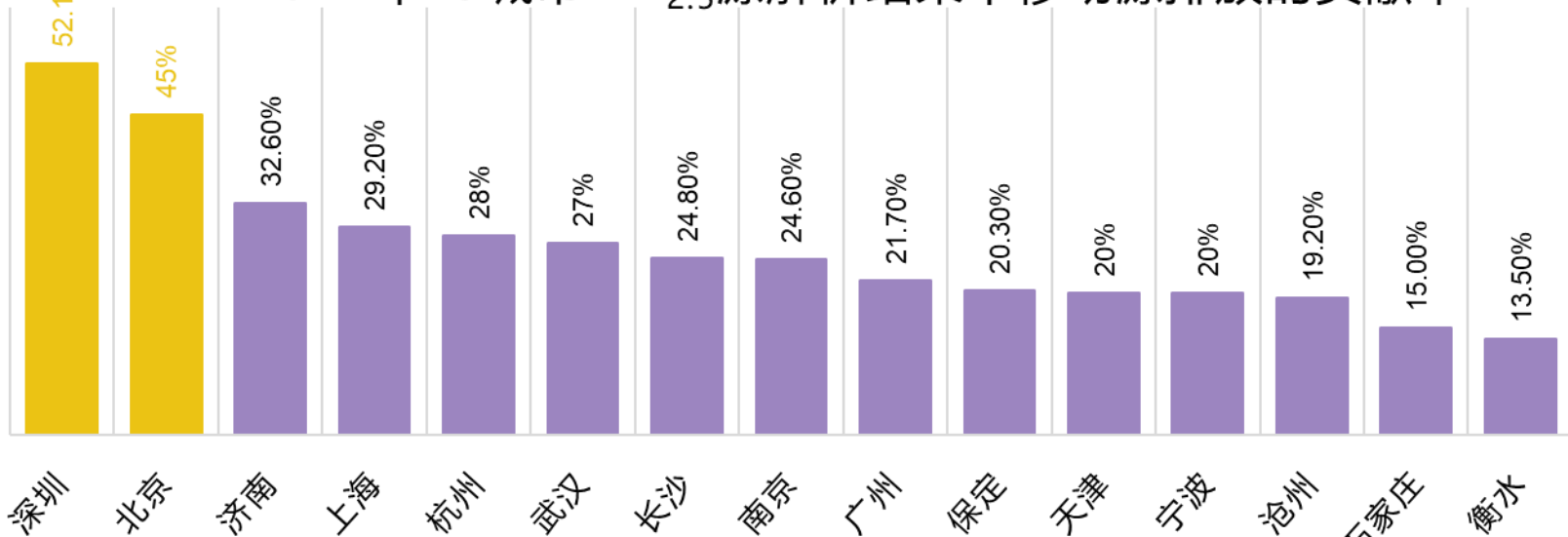
2013年北京PM_{2.5}源解析结果



2017年北京PM_{2.5}源解析结果



2017年15城市PM_{2.5}源解析结果中移动源排放的贡献率



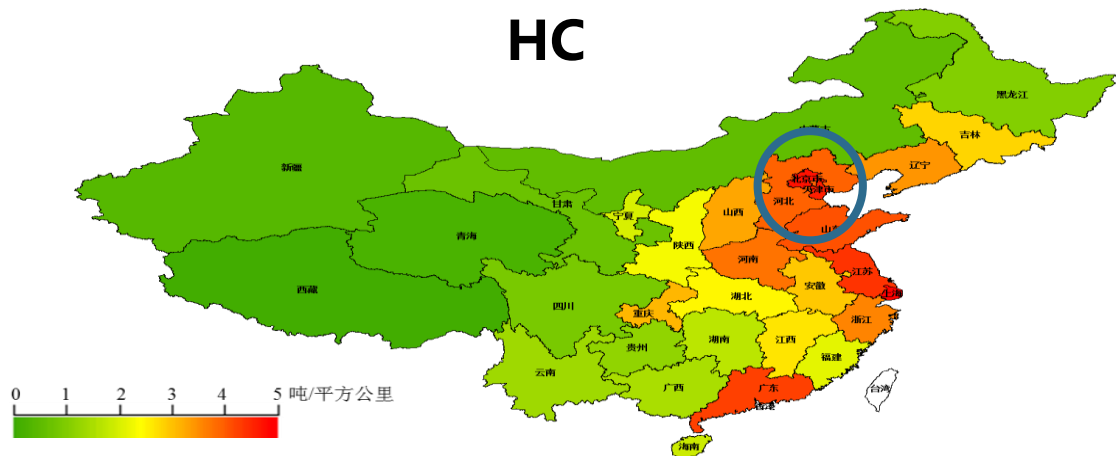
- 空间尺度上，全国不同城市的源解析研究结果显示，不同城市交通源的贡献差异较大。
- 时间尺度上，机动车排放的贡献占比逐年显著，在2017年的源解析结果中，北京、杭州、广州、深圳的首要污染来源是交通源。



机动车排放的区域分布不均

- 京津冀机动车排放强度远高于全国平均水平，并高度聚集在京津两大城市及周边。
- 京津冀已成为交通源污染排放的重点控制区域。

HC



全国: 0.43

长三角: 2.55

珠三角: 1.78

京津冀: 1.88

河北: 1.58

北京: 2.69 (六环内: 11.2)

天津: 5.61

NO_x



全国: 0.80

长三角: 4.01

珠三角: 3.13

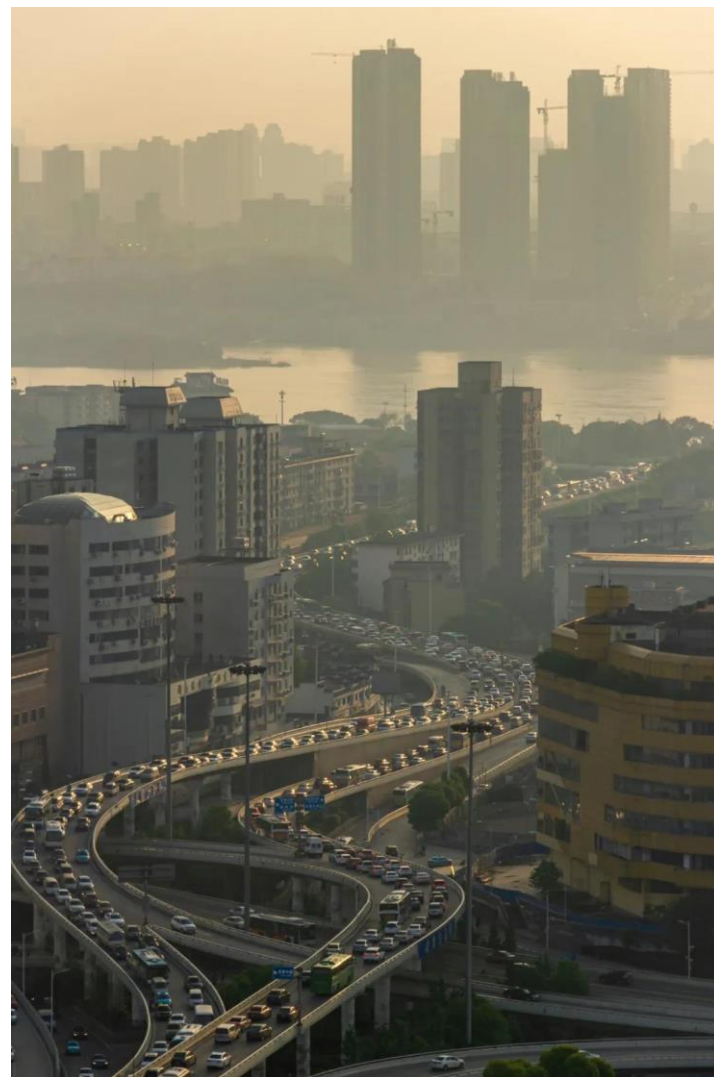
京津冀: 3.71

河北: 3.30

北京: 4.72 (六环内: 37.5)

天津: 8.85

2013年道路机动车排放强度空间分布 (吨/平方公里)

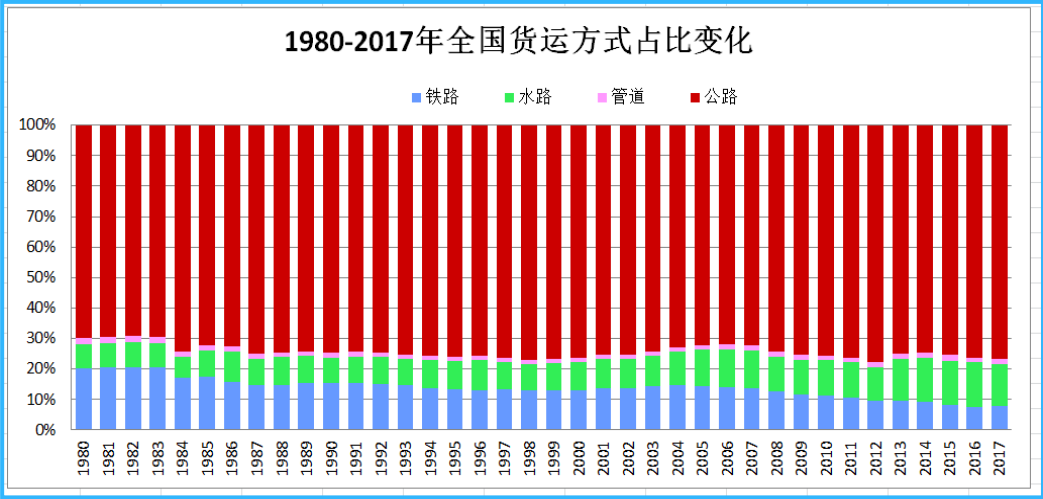


来源: @李云鹏



问题一、货运结构不合理

公路货运占比高，运输效率低



◆ 货运结构不合理

2017年我国货物运输总量479.4亿吨，比上年增长9.3%；其中，铁路货运总量为36.9亿吨（占比7.7%），公路货运总量368.0亿吨（占比76.8%）。货物运输周转量196130.4亿吨公里，增长5.1%；其中，公路货运周转量是铁路的2.5倍左右。

◆ 货运效率较低

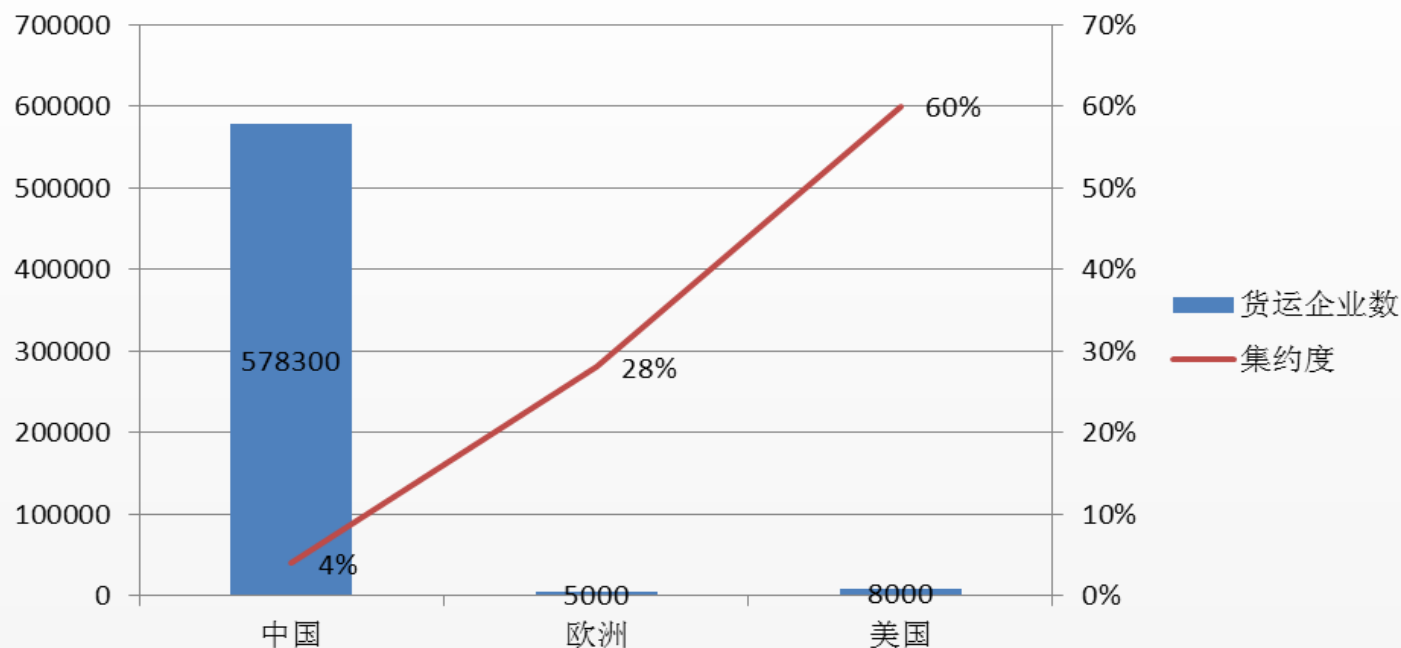
与发达国家相比，我国道路空驶率高，海铁联运、甩挂运输、城市共同配送等比例很低。相对物流成本高也能够体现出物流过程中消耗资源高，导致污染物排放量较大的问题。

国家或地区	道路空驶率	集装箱海铁联运比例	甩挂运输比例	城市共同配送	物流成本
中国	45%	2.5%	1%	7%（北京）	14.9%
日本	27%	38.1%	鼓励发展	74%（东京）	8.9%
美国	20%~25%	40%		—	8.2%
欧洲	德国13% 英国28.6%	法国35%	70-80%	—	德国9% 英国9%



问题一、货运结构不合理

道路货运行业问题加剧排放超标情况



行业特点加剧货车超强度（里程、载货量）使用，导致**超载超限和超标排放问题突出**。

2016年底，全国道路货运：

- 运输企业57.8万家，平均每家12.6辆车；
- 个体户621.26万户，户均1.1辆车；

总体来看：

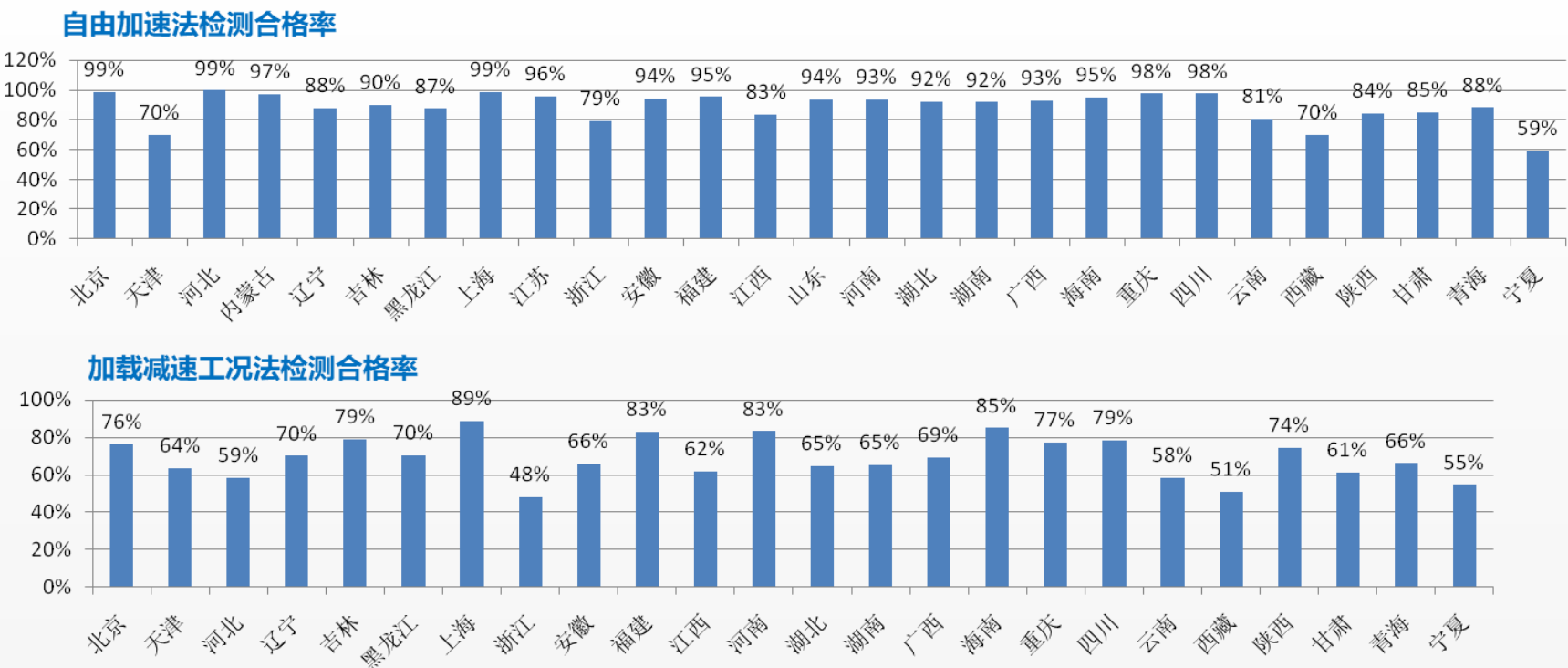
- 经营户679万户；
- 营运货车1392万辆；
- 户均2.1辆车。

货运企业“小、散、弱、乱”处于供应链最底层，物流业低价化、同质化、利润率偏低。



问题二、排放超标问题突出

在用柴油货车超标排放问题突出



加载减速法能够更真实反映车辆实际排放情况，检测合格率比自由加速法检测合格率低。

从路检路查和入户监督抽测情况看，各地柴油货车**排放超标率在20%-30%。**

*数据来自大气专项《移动源排放标准评估和制修订方法体系研究》



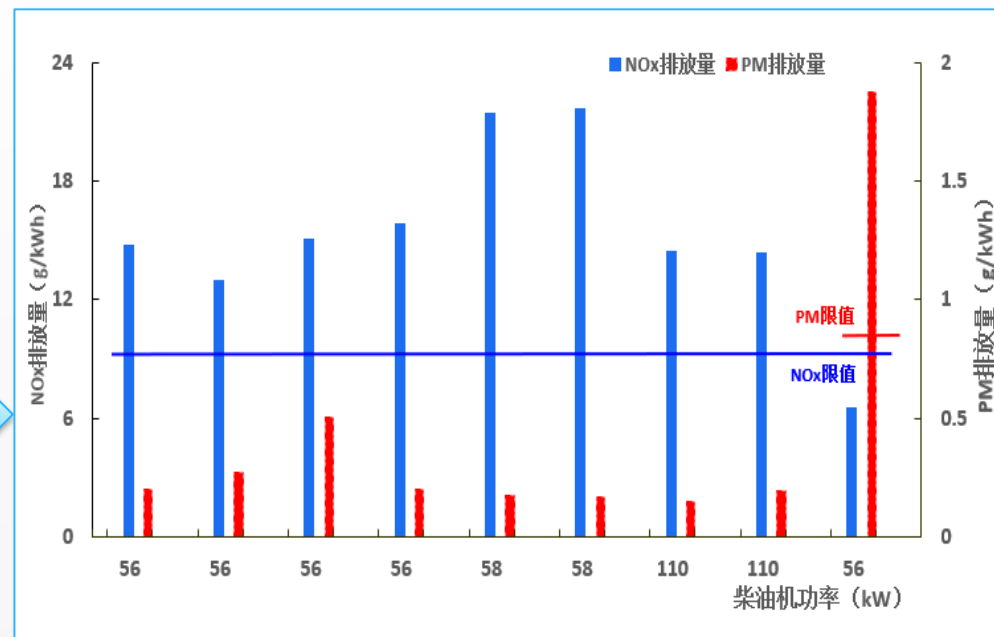


问题二、排放超标问题突出

非道路移动机械排放超标需关注

- 抽测9台国二、12台国三市售柴油机
- 排放明显降低
- 全部低于限值

- 抽测9台未核准的柴油机
- 全部超标
- NOx是国一限值的1.5-2倍



非道路移动机械超标问题目前主要集中在**未执行标准**的企业和机械上，这些机械无任何排放控制技术，发动机排放**超标非常严重**！

国四标准执行后，还应关注排放造假问题。

*数据来自大气专项《移动源排放标准评估和制修订方法体系研究》



问题三、油品问题不容忽视

车用柴油达标率低



2017年11月开展的京津冀区域车用燃料品质调查显示
66个加油站的66个油样品，22个汽油，43个车用柴油，1个普通柴油。
车用汽油和车用柴油样品达标率分别为100%和69.76%，普通柴油样品未达标。

	汽油						柴油						
	中国石化	中国石 油	第三方民 营	总数	不合格 数	各地汽油达 标率	中国石化		中国石油		第三方民营		各地柴油总达 标率
							样品 数	不合格 数	样品 数	不合格 数	样品数	不合格数	
北京	2	1	2	5	0	100%	2	0	2	0	6	0	100%
天津	2	1	2	5	0	100%	2	0	2	0	6	2	80%
保定	2	1	1	4	0	100%	2	0	2	0	4	4	50.0%
廊坊	2	1	1	4	0	100%	2	1	2	0	4	3	50.0%
沧州	2	1	1	4	0	100%	2	0	2	0	4	4（含1个普通柴油）	50.0%



据有关方面从重型柴油货车油箱抽取油样检测，2017年上半年合格率不到9%。
经过多方努力，2018年上半年合格率已达50%-60%左右，但**再提升的难度加大**。

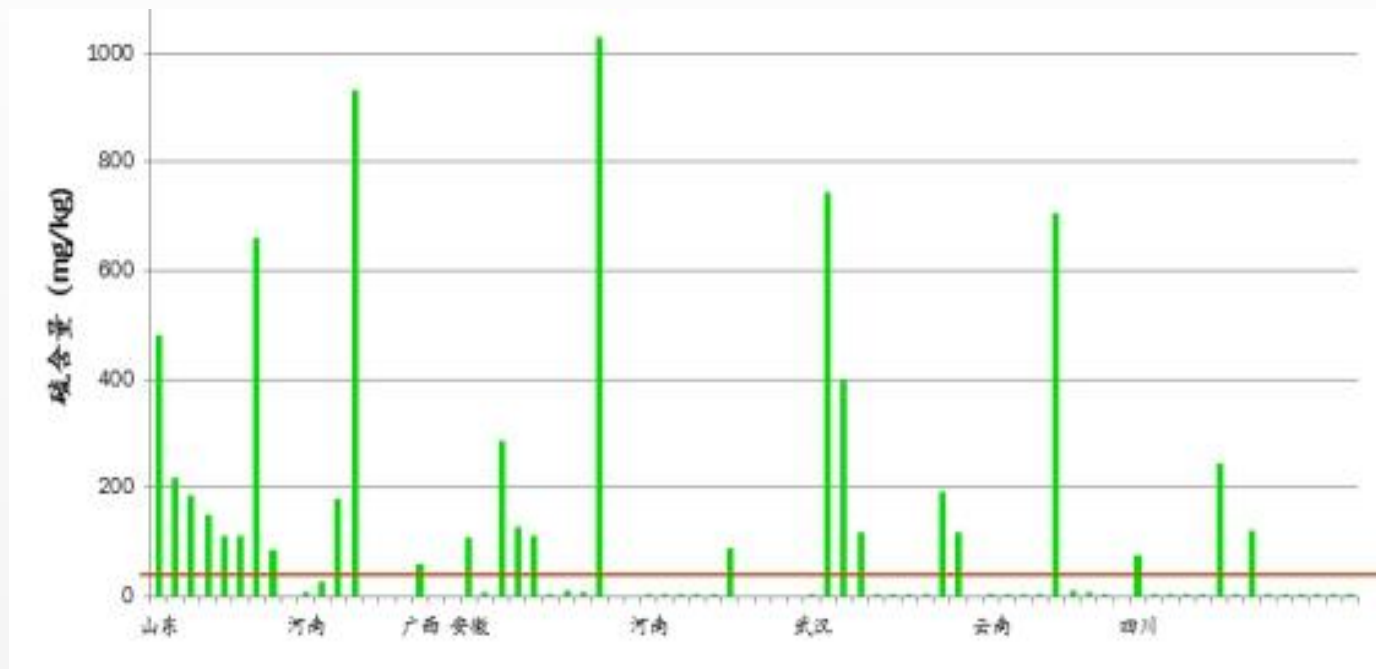


问题三、油品问题不容忽视

非道路机械用油品问题突出

- 柴油**超标情况严重**!
- 价格因素影响**用户**的选择
- 多数非道路移动机械不方便到加油站加油，加油途径多种多样，**不易监管**
- 市售柴油硫含量过高，对国三之前的非道路移动机械排放影响虽然不大，但将严重**制约未来先进排放控制技术的采用**

2017-2018年部分地区非道路移动机械用柴油硫含量抽测情况





问题三、油品问题不容忽视

尿素问题突出



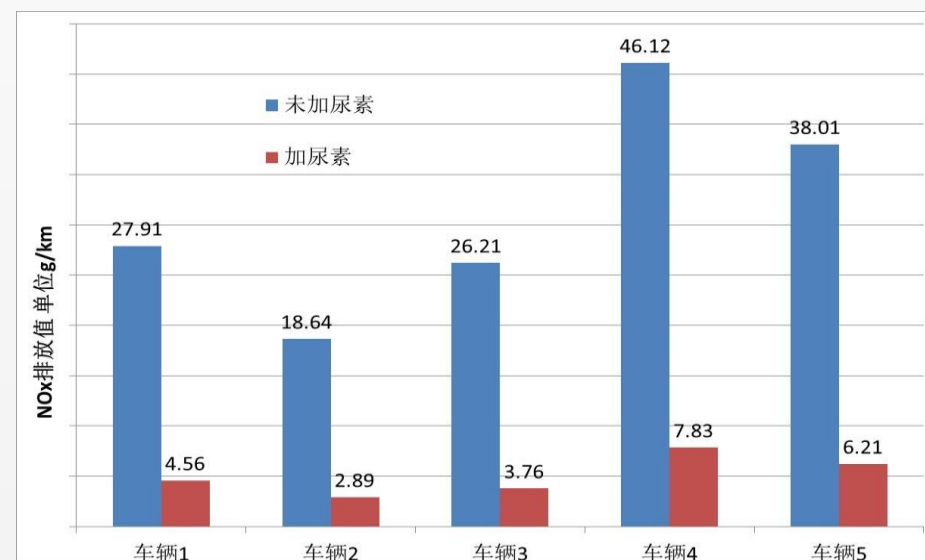
2017年11月，对2+26城市销售的尿素产品进行抽样测试

① 抽样调查了16个不同品牌的样品，达标率仅为31.25%，主要是尿素浓度和缩二脲含量不达标。

② 根据内燃机工业协会统计，2016年全国车用尿素总消耗量为74万吨左右，2017年128万吨。

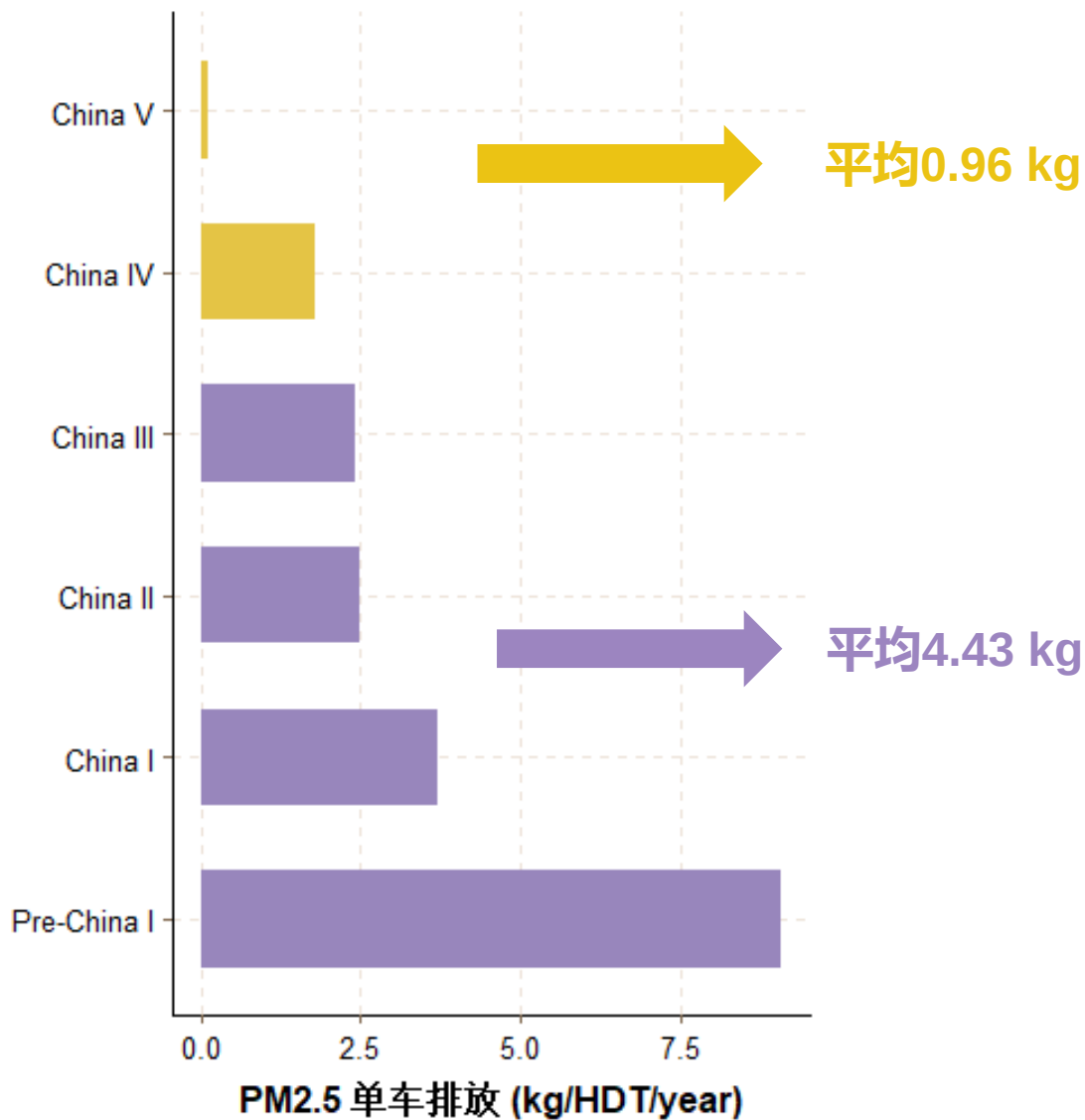
不及时添加尿素导致严重超标

- 国IV车辆：
未加尿素比加尿素NO_x排放高出**3-4倍**
- 国V车辆：
未加尿素比加尿素NO_x排放高出**6-7倍**
- 欧VI车辆：
未加尿素比加尿素NO_x排放高出**11倍**
以上。



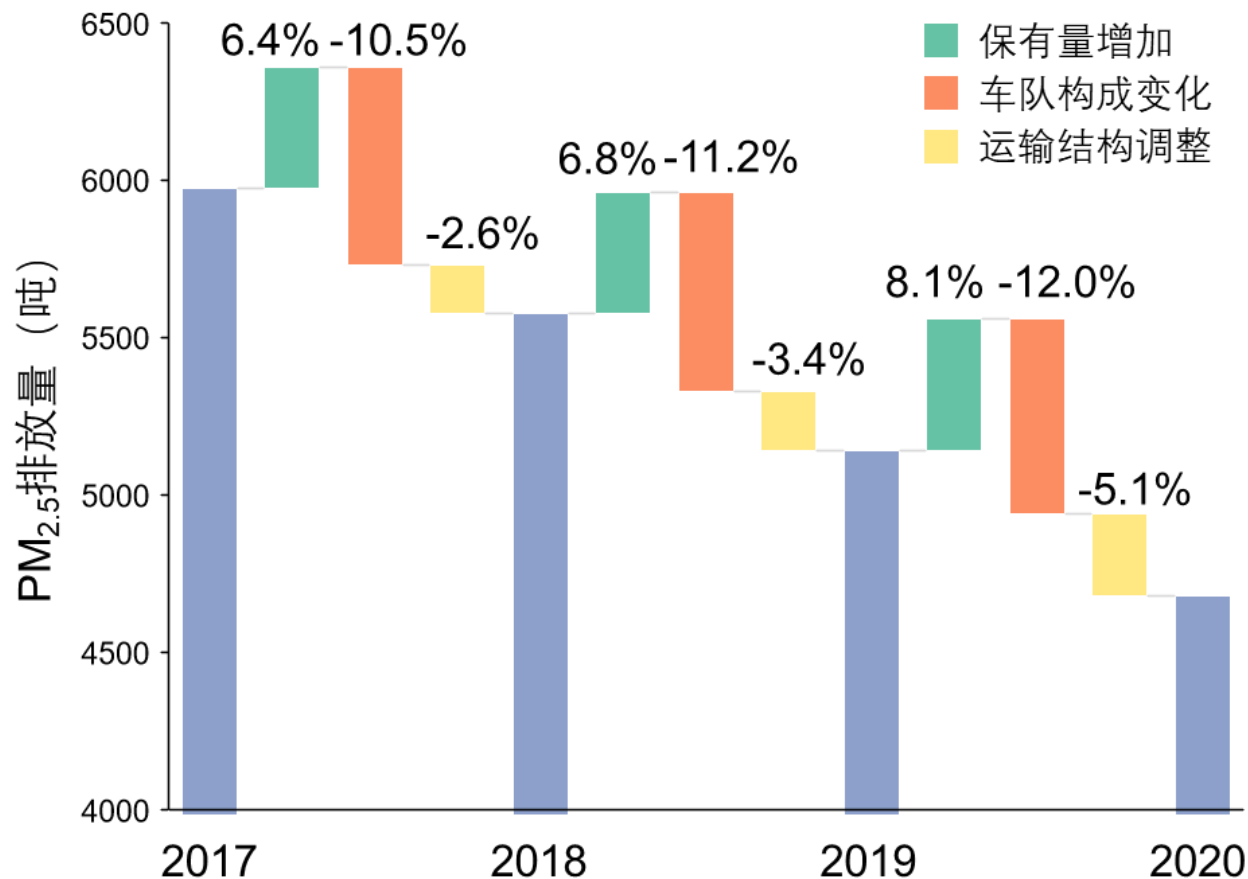
- **老旧车辆单车排放明显较高**：国三及以下车辆实际总VKT仅占总量的21%， NO_x 及 $\text{PM}_{2.5}$ 排放却占42%及48%，单位车辆排放贡献高。
- 以京津冀为例，国三及以下车辆单车 $\text{PM}_{2.5}$ 排放为4.43 kg/yr，国四及国五车辆为0.96 kg/yr，**老旧车辆单车排放比新车高数倍至数十倍**。

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。

1. 基本背景

2. 蓝天保卫战与移动源污染治理

道路机动车排放控制

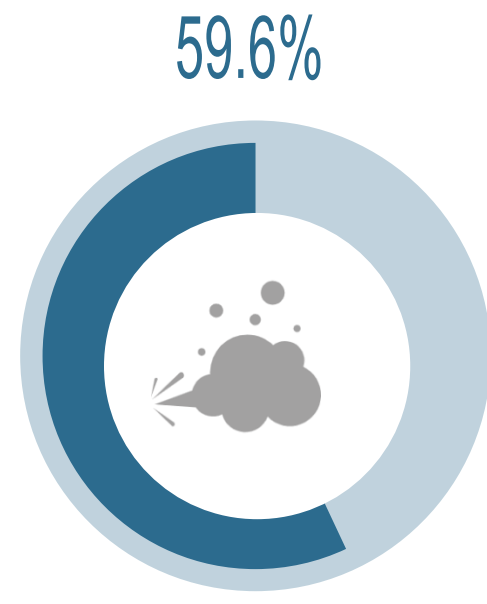
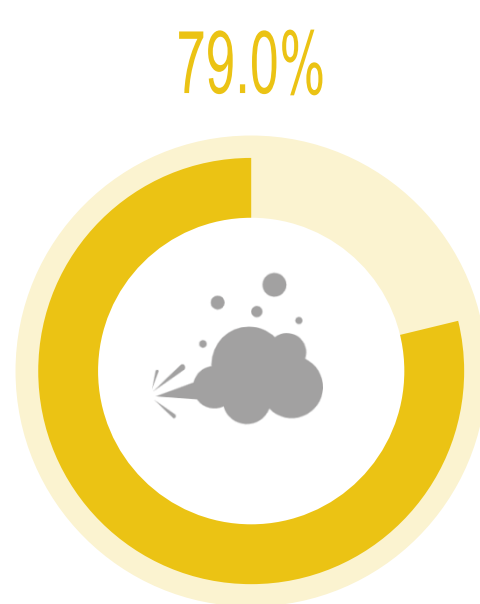
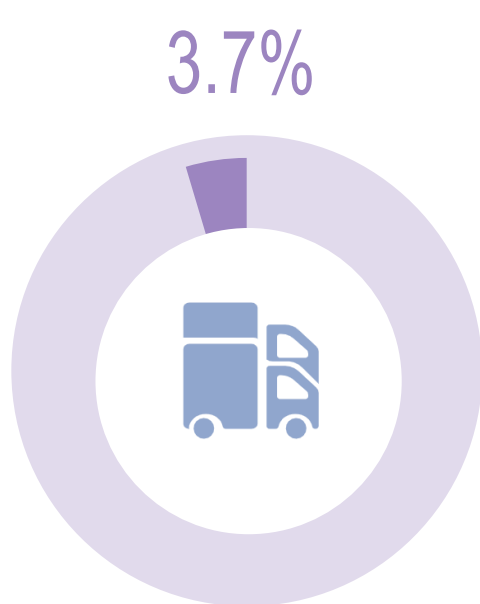
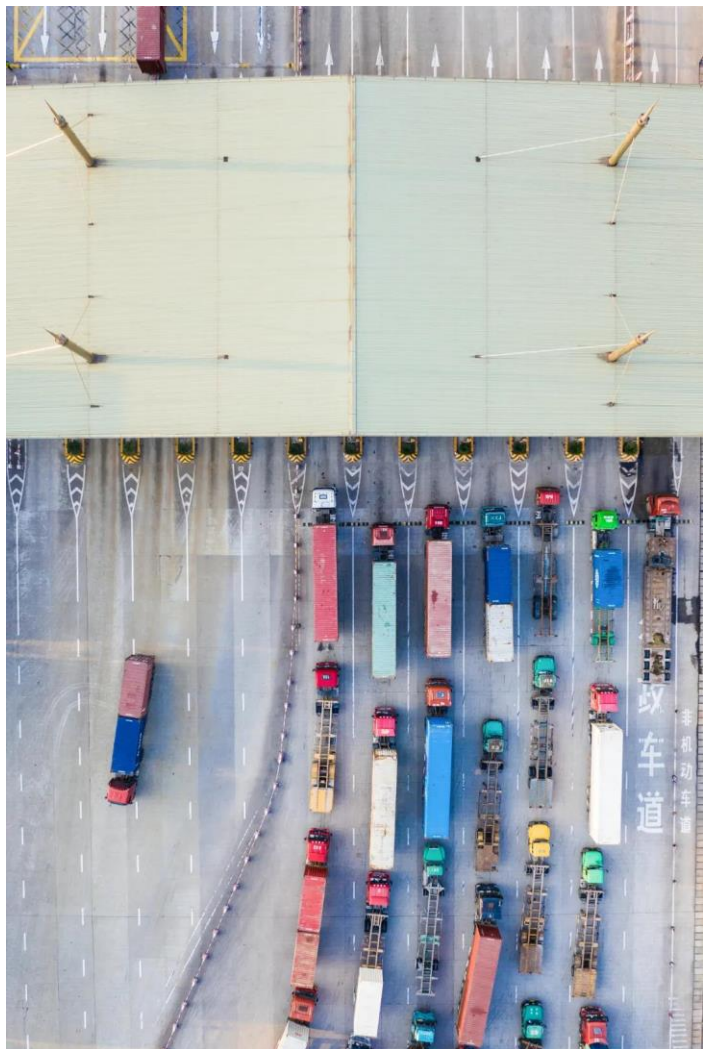
运输结构调整

船舶污染治理

3. 空气污染物与二氧化碳协同减排



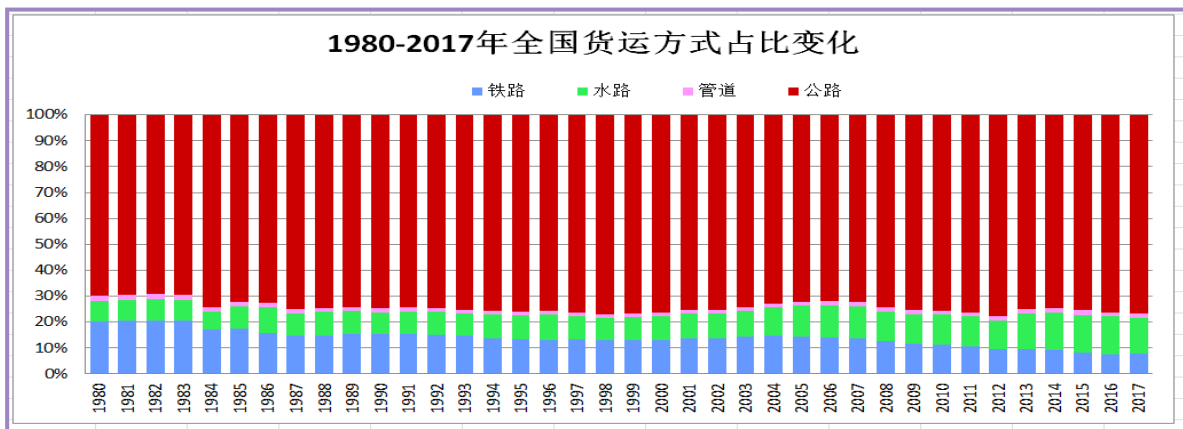
□ 我国货运车排放问题突出



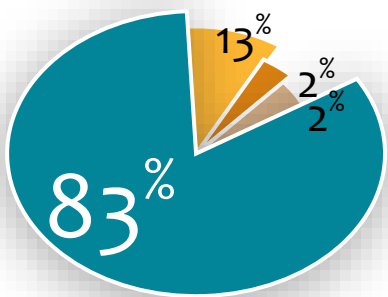
- 约占汽车保有量3.7%的重中型货车，排放了79.0%的NO_x和59.6%的PM。

□ 我国现有整体运输结构亟待优化

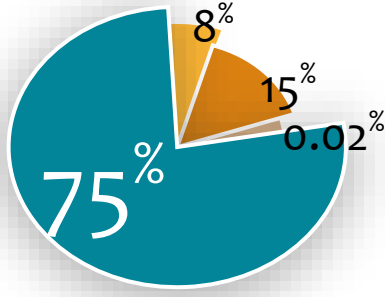
- 铁路货运相对滞后：连通水平不够，市场化进展缓慢。
- 客货运输高度依赖公路，运输效率低：主要港口铁路集疏运比例低，远低于世界铁路货运比例（20%）。
- 运输分布不均：中东部地区交通强度大、压力大。



国家或地区	道路空驶率	集装箱海铁联运比例	甩挂运输比例	城市共同配送	物流成本
中国	45%	2.5%	1%	7%（北京）	14.9%
日本	27%	38.1%	鼓励发展	74%（东京）	8.9%
美国	20%~25%	40%	70-80%	——	8.2%
欧洲	德国13% 英国28.6%	法国35%		——	德国9% 英国9%



客运量



货运量



公路运输能耗量是铁路运输的7倍，污染物排放量为13倍。



□ 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。

□ 第一项行动：港口汽运煤禁令

- 我国的煤炭运输以货运车为主要载体。为了治理货运车污染，2017年京津冀及周边地区大气污染防治工作方案中首次将“汽运煤”禁令写入政策。
- 相关单位迅速落实政策，2017年5月起，天津港不再接收公路运输煤炭。同年10月，唐山港跟进实施“汽运煤”禁令



中华人民共和国生态环境部

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China

关于印发《京津冀及周边地区2017年大气污染防治工作方案》的通知

(五) 严格控制机动车排放。

12. 天津港不再接收公路运输煤炭。大幅提升区
力，大幅降低柴油车辆长途运输煤炭造成的大气污染
津、河北及环渤海所有集疏港煤炭主要由铁路运输，



天津市港航管理局文件

津港航发〔2017〕6号

天津市港航管理局关于严格落实天津港
不再接收公路运输煤炭工作的通知

CHINADAILY 中国日报网
COM.CN

US | EUROPE

HOME CHINA WORLD BUSINESS LIFESTYLE CULTURE TR

Coal trucks to ports will be banned

By Zheng Jinran (China Daily)

Updated: 2017-06-14 07:33:38

Comments Print Mail Large Medium Small

Only trains will be allowed as part of effort to reduce air pollution

唐山市人民政府办公厅

唐政办字〔2017〕156号

唐山市人民政府办公厅

关于停止唐山港煤炭汽运集疏港的通知

各县（市）、区人民政府，各开发区（管理区）管委会，市政府有
关部门，市直有关单位：

为减少重型货车运输污染，改善空气质量，按照国务院、省
委、省政府要求，经市政府研究，决定停止唐山港（包括京唐港
区和曹妃甸港区所有码头）煤炭汽运集疏港。现将有关事项通知
如下：



□ 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

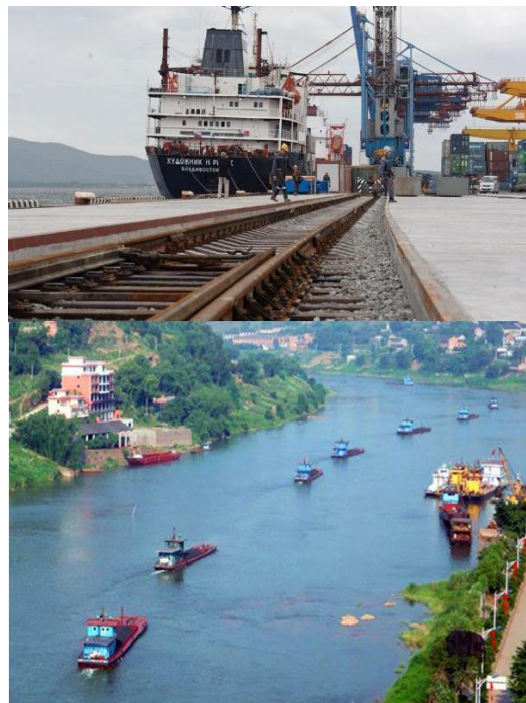
1. 总体目标——铁路货运量增加	到2020年，全国铁路货运量比2017年增长30%， 京津冀及周边地区 增长40%、长三角地区增长10%、汾渭平原增长25%。
2. 加大货运铁路建设投入	加快完成 蒙华、唐曹、水曹 等货运铁路建设；大力提升 张唐 、瓦日等铁路线煤炭运输量。
3. 加大集疏港铁路建设投入	2018年底前，沿海主要港口 煤炭 集港改由铁路或水路运输；2020年采暖季前，沿海主要港口 大宗货物 改由铁路或水路运输；全国重点港口 集装箱 铁水联运量年均增长10%以上。
4. 提高重点企业铁路货运比例	钢铁、电解铝、电力、焦化等重点企业要充分利用已有铁路专线能力，2020年重点区域铁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



交通运输绿色发展方式积极向好

□ 运输结构调整成效初显

- 积极落实《推进运输结构调整三年行动计划》中的目标任务，通过加快集疏港铁路和铁路专用线建设，持续推动大宗货物运输“公转铁”“公转水”。
- 2019年全国铁路货物发送量43.89亿吨，水路货运量74.72亿吨，2019年全国集装箱铁水联运量完成515.5万TEU。





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)

18万吨

北京

到发铁路运
输的比重提
高到10%

512万吨

天津

铁路货运占全
市货运量比例
达到16%

28300
万吨

河北

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

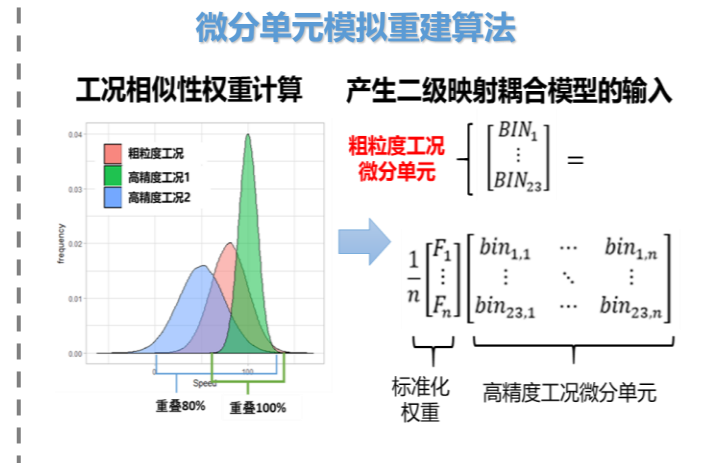
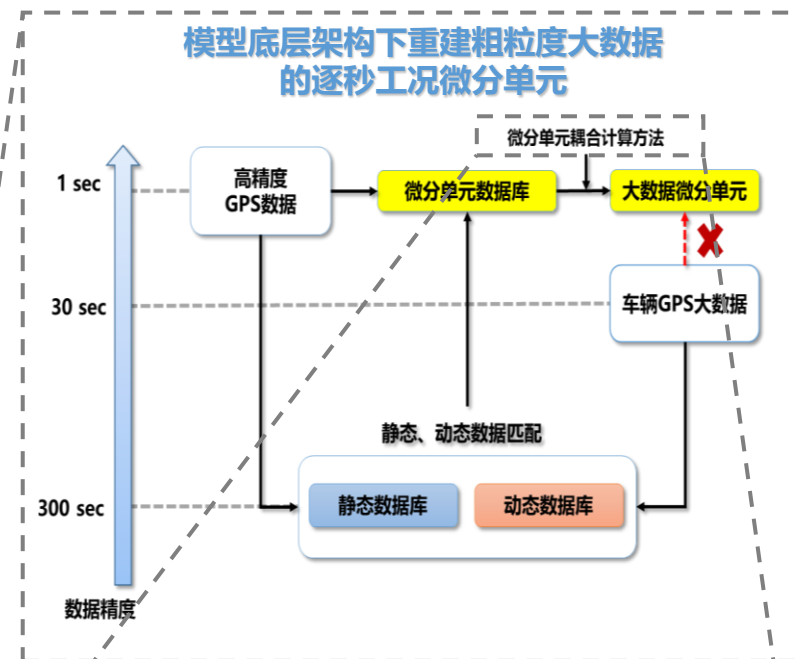
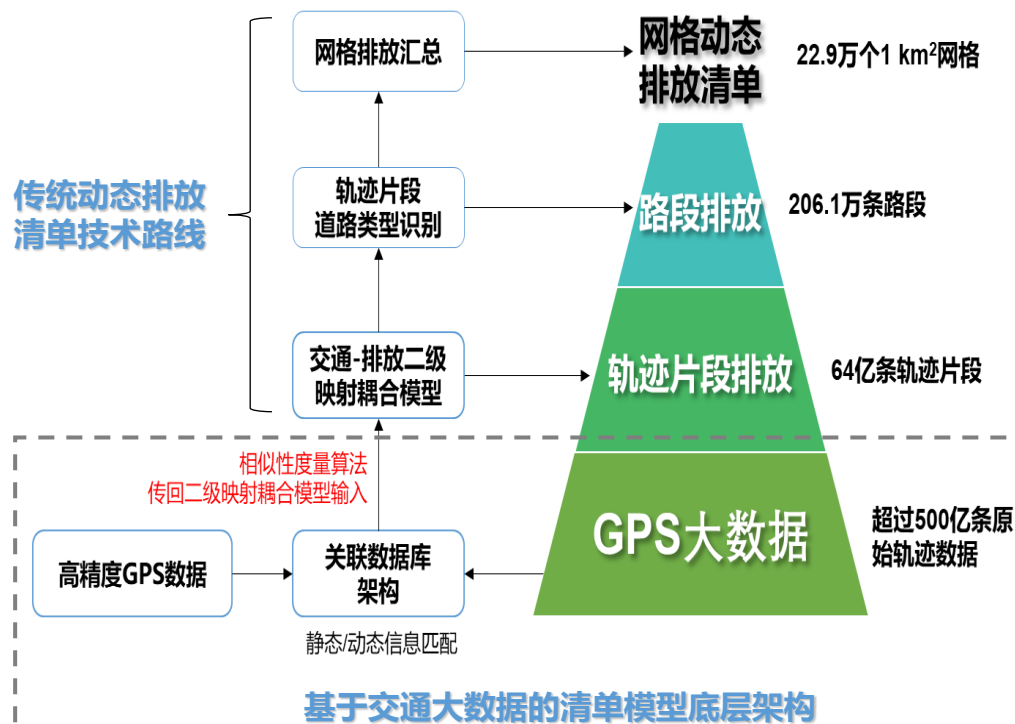


矿石 35065万吨



矿建材料 2415万吨





实现了交通活动到排放的全样本计算方法

1. 基于GPS轨迹大数据的完全自下而上计算模式

2. 小区域排放量为行驶在区域内的单车排放总合，时空特征由区域内车辆的实际活动决定



TrackATruck货运车排放模型建立

货运车轨迹大数据排放清单方法 (TrackATruck)

京津冀HDT高时空分辨率排放清单

全国道路货运车辆公共监管与服务平台



粗粒度轨迹 大数据

两种轨迹匹配,
参数:

- 车型
- 道路类型
- 速度分布

高精度货运 车轨迹数据

开发粗粒度 (信号间隔长) 轨迹的工况微分单元还原模型, 与高精度数据匹配获得工况微分单元分布

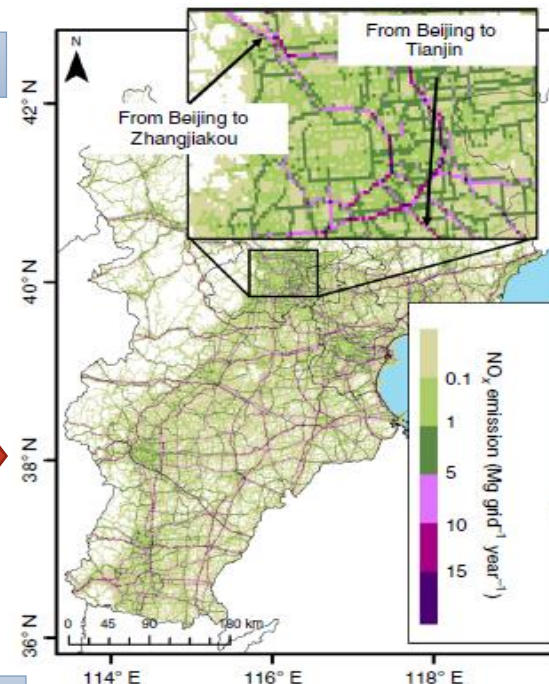
粗粒度轨迹
微分单元

$$\frac{1}{n} \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} bin_{1,1} & \cdots & bin_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ bin_{23,1} & \cdots & bin_{23,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} BIN_1 \\ \vdots \\ BIN_{23} \end{bmatrix}$$

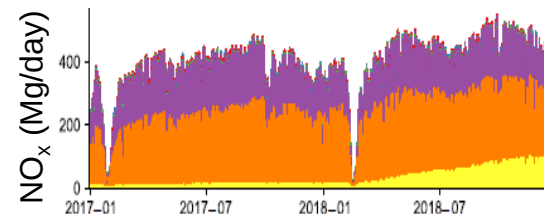
相似权重 多个高精度轨迹微分单元

1km²分布

轨迹排放
时空统计



逐日排放



接入货运平台百亿轨迹大数据

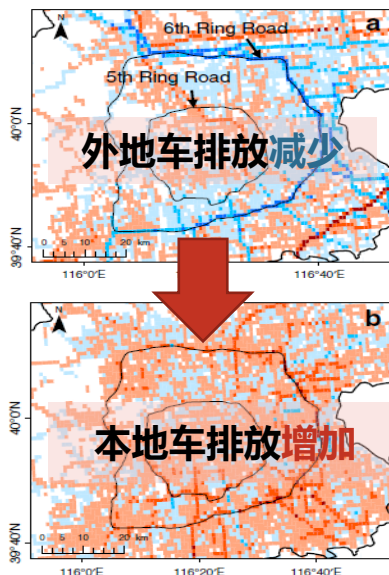
政策评估：北京市载货车低排放区

□ 2017年，北京市交委、北京市环保局、北京市公安局交通管理局联合发布《关于对部分载货汽车采取交通管理措施降低污染物排放的通告》。2017年9月21日起，在六环路(含)内设立载货汽车低排放区（LEZ），同时启动第一阶段措施：

- **外地车：**国III及以下车辆全天禁止进入LEZ，其余外地车辆需提出申请，仅每天0-6时可通行
- **本地车：**国II及以下车辆全天禁止进入LEZ，国III及以上车辆全天可进入LEZ中六环及五环中间区域

问题1：北京低排放区实施后，货运车 NO_x 排放为何先降后升？限行后2018年排放未见下降

市内排放空间分布变化

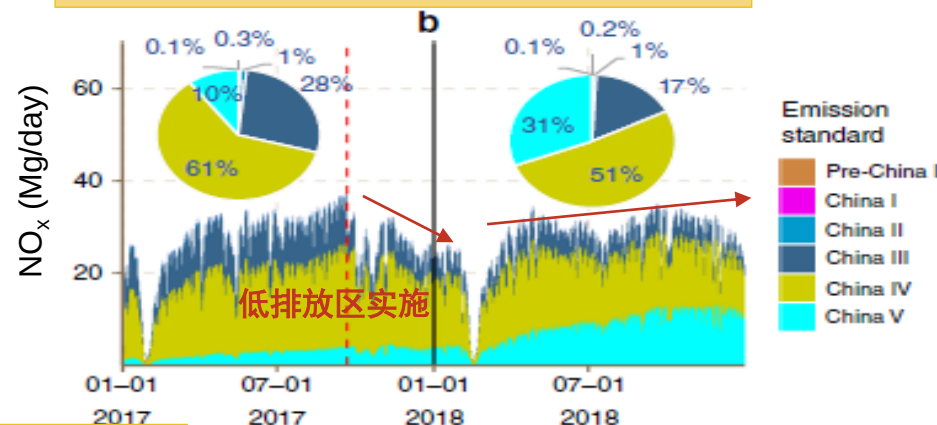


其他现象：

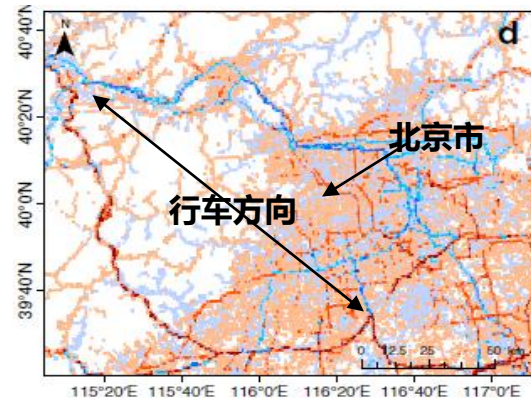
- 限行前后总VKT不变
- 北京市本地HDT注册量比往年高出1.8倍，且高于周边城市

结果1：外地车严格限行，本地车承担更多运输任务，本地车排放增加抵消外地车减排效果

北京市HDT排放时间序列



问题2：过境外地车绕行的影响？



结果2：车辆配合LEZ绕行，导致排放转移到廊坊、保定、张家口，绕行路线排放增加800吨，原始路线排放减少500吨

京津冀减排路线

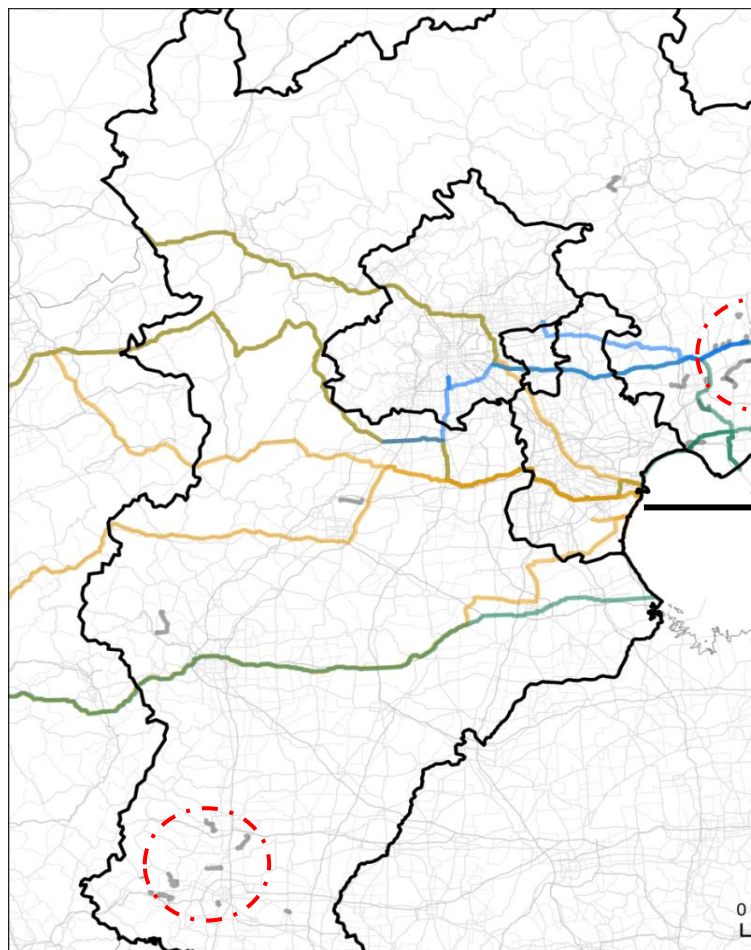
- 基于货运车运行大数据，识别了京津冀地区“公转铁”主要影响的公路货运路线，并分析主要路线的交通状态。

长途线路7条：唐山港—山西，唐山港—内蒙，天津—内蒙，天津到山西北，天津到山西中，天津到山西南，沧州—山西

中短途线路5条：唐山港区及钢企附近，天津港区及钢企附近，迁安—北京平谷马坊，迁安—北京大红门

短途线路若干条：唐山区域工矿企业专用线，邯郸区域物流园区专用线

*唐山区域专用线打通了集疏港最后一公里，只计算了“最后一公里”减排，剩余公路减排包括在了连接干线上，邢台/邯郸很多专用线未按时进展



港区公路运输路线分布及交通状态：唐山港



- 唐山港两港区运输路线相对单一。由于主要路线为省道及县道，车辆一般行驶缓慢。
- 天津港运输路线穿过市区，走向较为复杂，主要路线上车辆速度受城市交通影响较大。

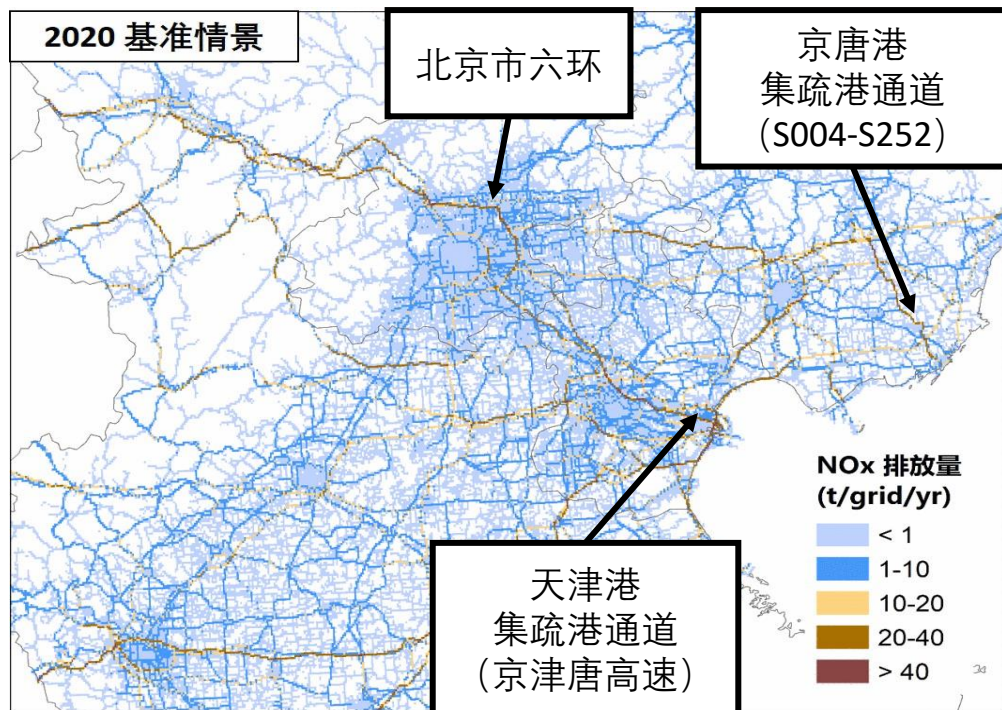
港区公路运输路线分布及交通状态：天津港





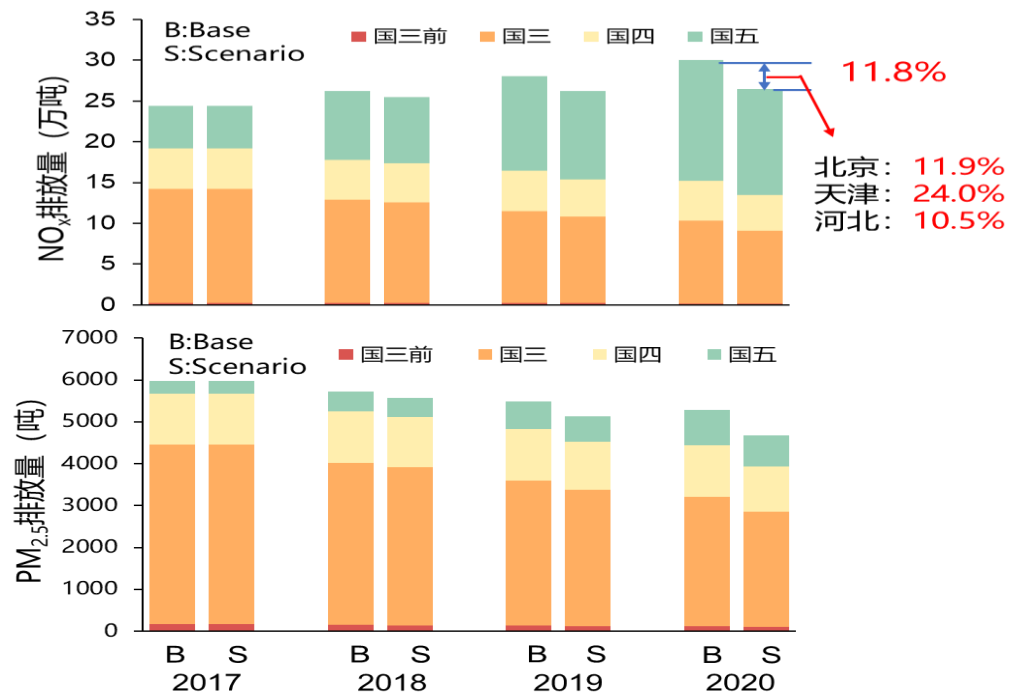
运输结构调整的货车排放变化分析

□ 货车排放分布变化



- 港区公路干线减排效果突出，京唐港、天津港通道沿线货车污染物排放减少约10-60%，临近京唐港路段减排比例基本在60%以上
- 北京六环排放下降至一般城际主干路水平，长距离运输转为铁路后，北京六环东部路段过境车排放减少，大部分路段NO_x排放减少在30吨/年以下

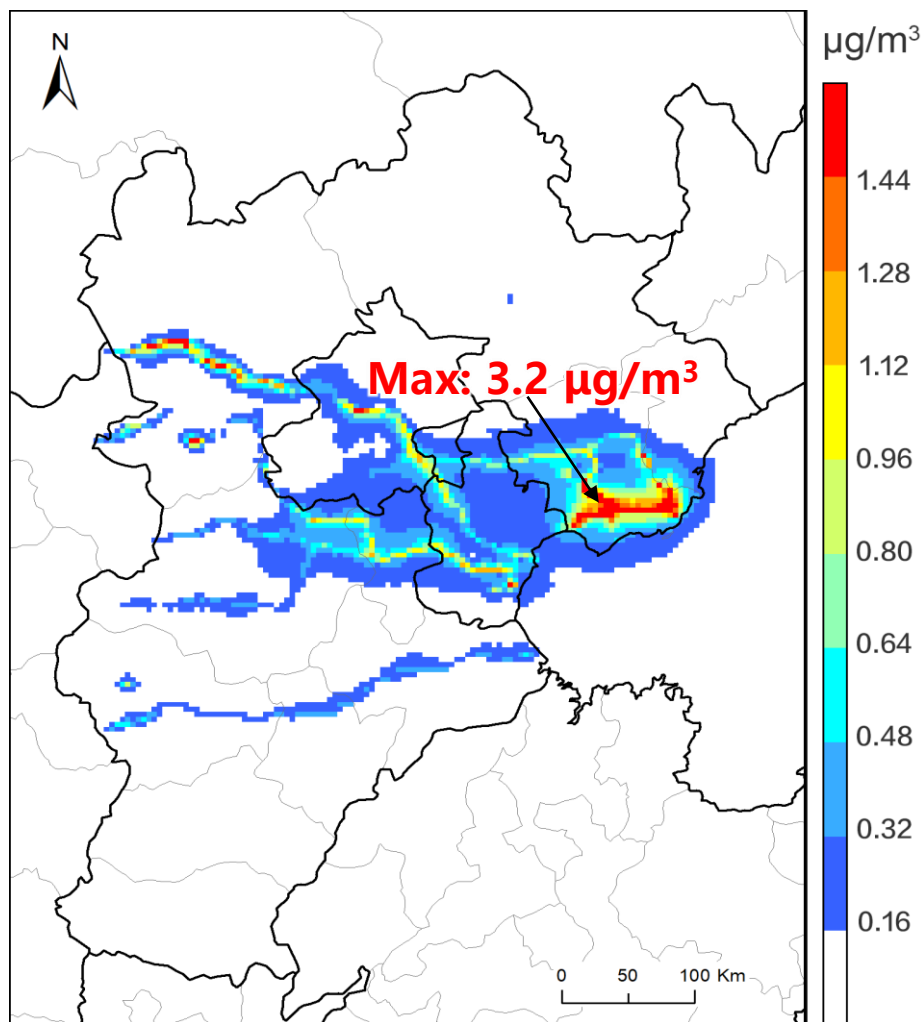
□ 京津冀区域货车排放逐年变化



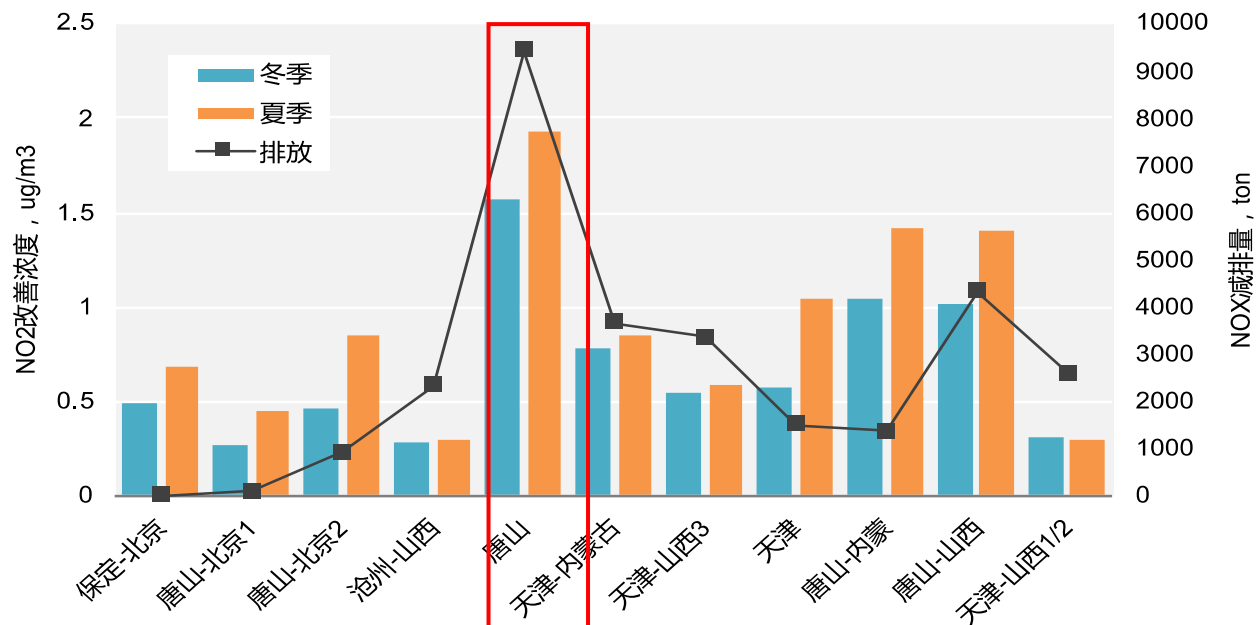
- 运输结构调整情景下，京津冀区域NO_x排放增速放缓，PM_{2.5}排放下降加快
- 到2020年，运输结构调整情景共减排3.53万吨NO_x，620吨PM_{2.5}，减排比例相比2020基准情景约占11.8%
- 2020年北京、天津、河北货车NO_x排放与基准情景相比减少约3223吨、6025吨、26026吨，PM_{2.5}分别减排约52吨、108吨、460吨

“公转铁”政策对京津冀区域环境改善效益 – NO₂

NO₂年均浓度减少值



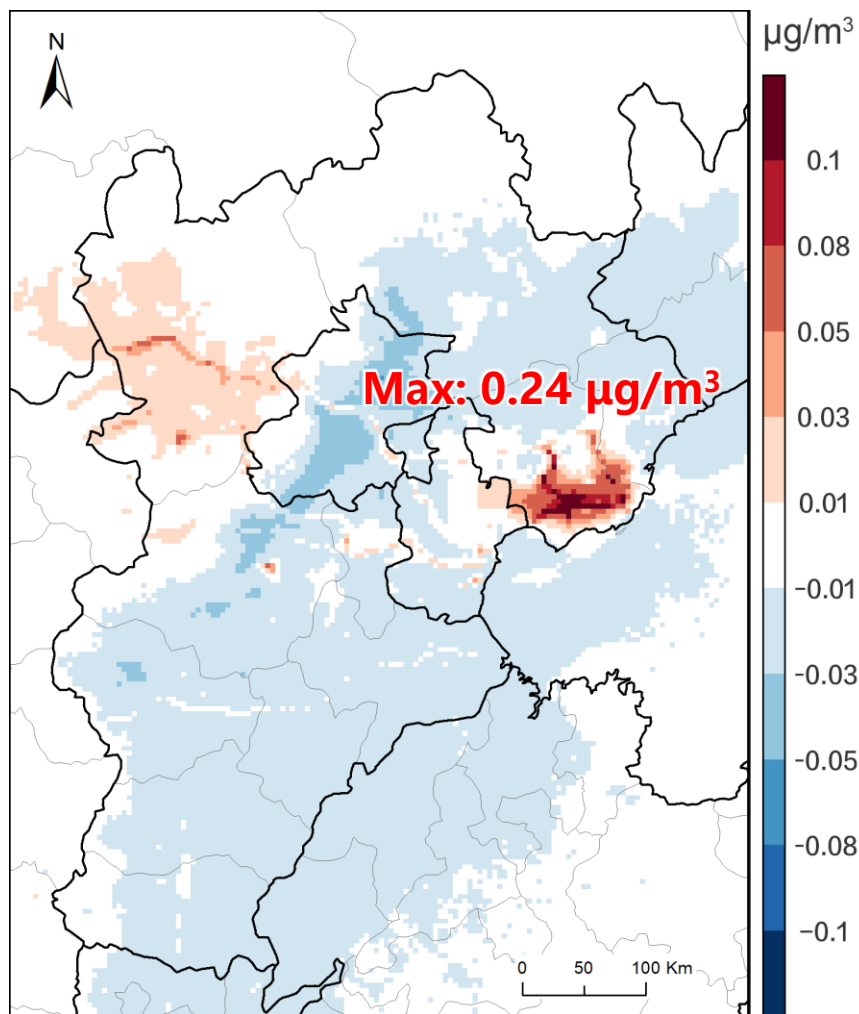
- 区域内NO₂年均浓度下降0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,多条主要货运通道NO₂浓度改善显著,尤其是对唐山市内货运通道NO₂浓度效果最显著,最高可达3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
- 夏季由于较强的光化学反应NO₂下降水平略高于冬季。
- 减排量与下降水平基本呈正相关。





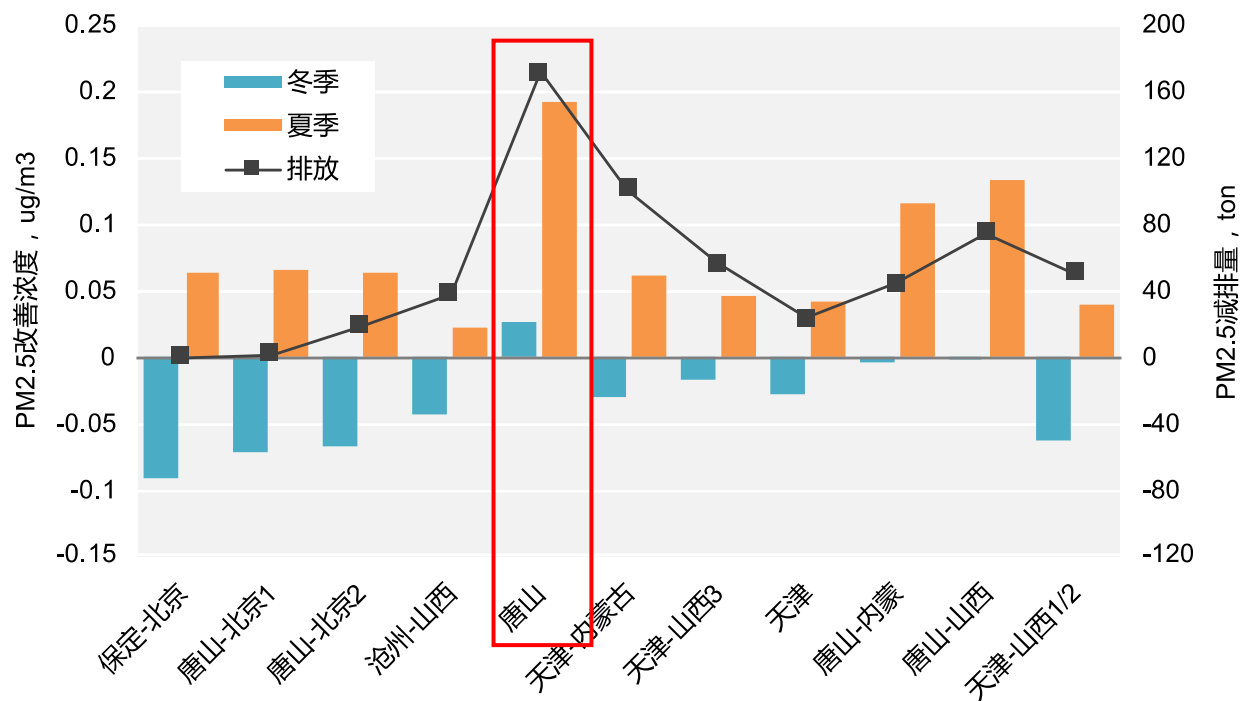
运输结构调整的空气质量改善效益分析

□ PM_{2.5}年均浓度减少值



□ 区域总体的PM_{2.5}年均浓度变化不显著，但空间差异较大，对主干路仍所有改善显著，最高可达0.24 µg/m³（唐山地区）

□ 夏季PM_{2.5}下降水平明显高于冬季



1. 基本背景

2. 蓝天保卫战与移动源污染治理

道路机动车排放控制

运输结构调整

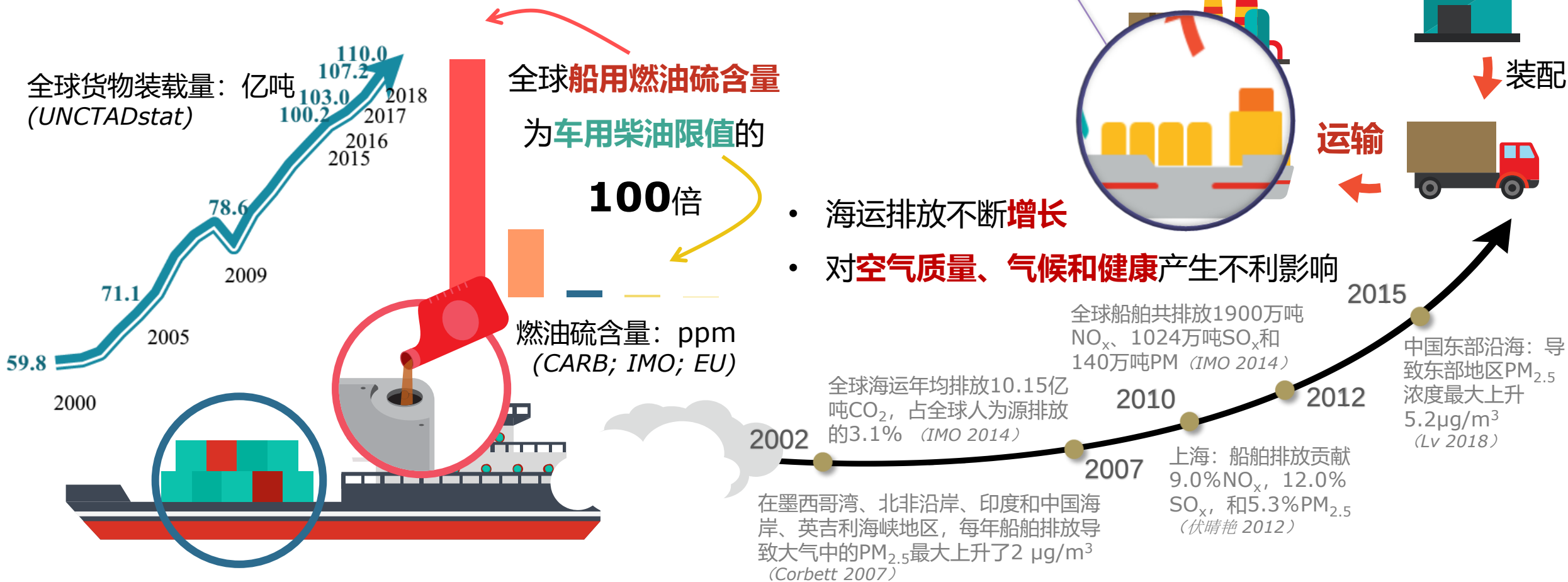
船舶污染治理

3. 空气污染物与二氧化碳协同减排



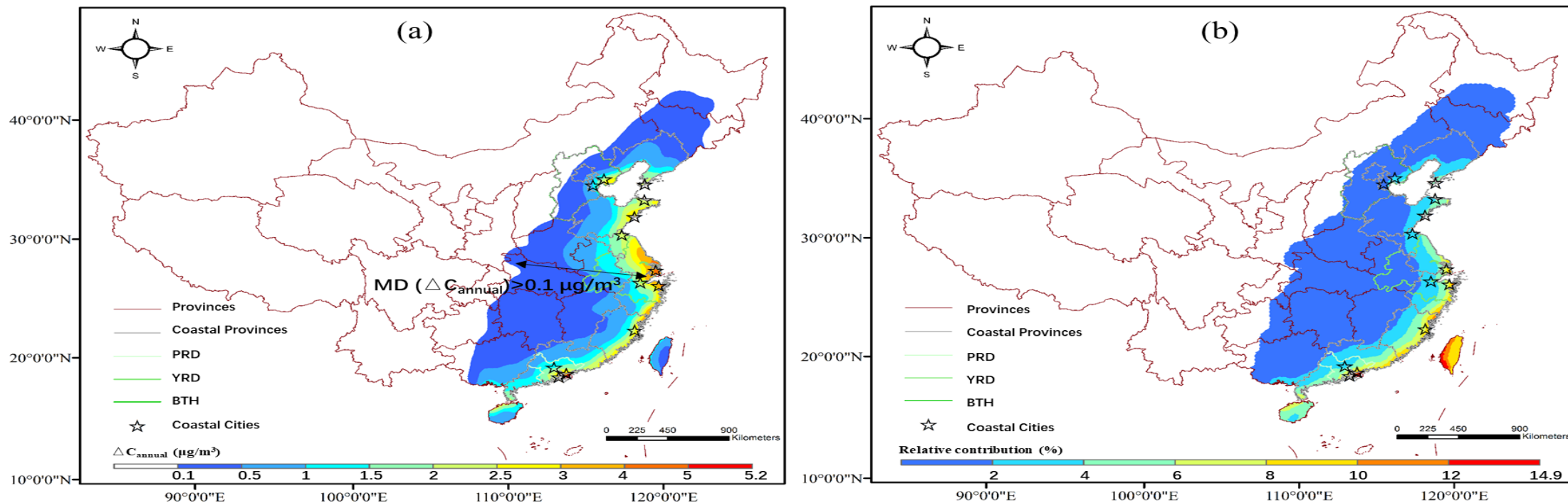
□ 海运排放的重要性日益凸显

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)





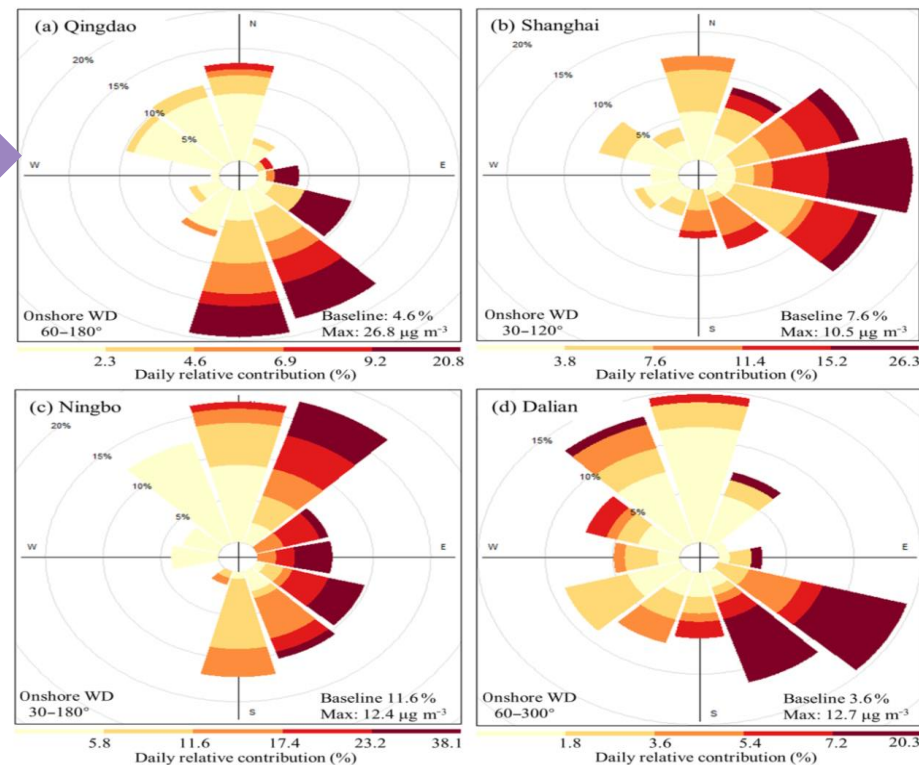
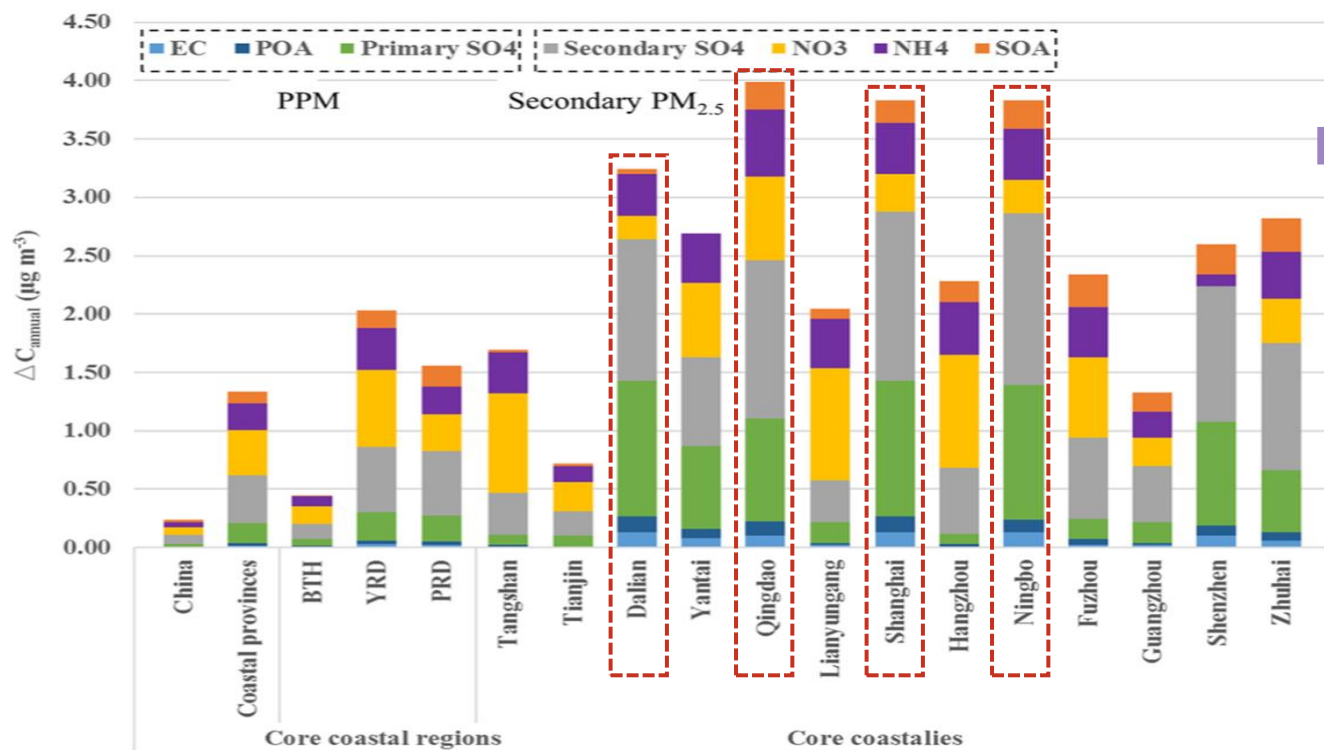
□ 海运排放对空气质量的影响



- 船舶排放最多使中国东部地区PM_{2.5}年平均浓度上升**5.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (舟山市), 对整个长三角地区(YRD)的影响十分显著。
- 船舶排放不仅影响沿海地区的空气质量, 对内陆地区 (最远至海岸线向内陆**960 km**) 也有显著的空气
质量影响。



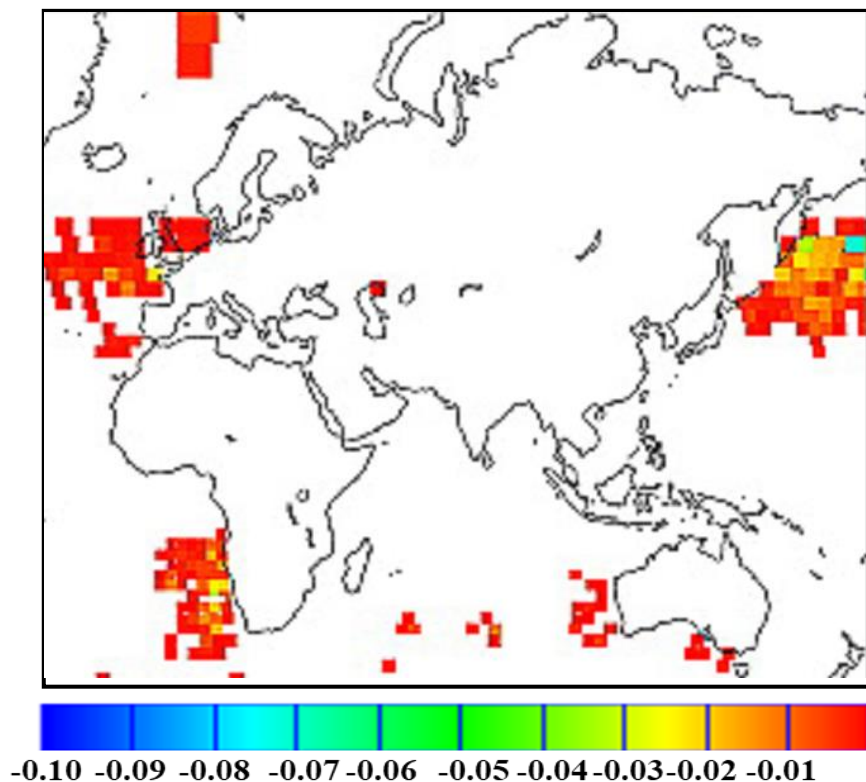
船舶排放控制需要重视



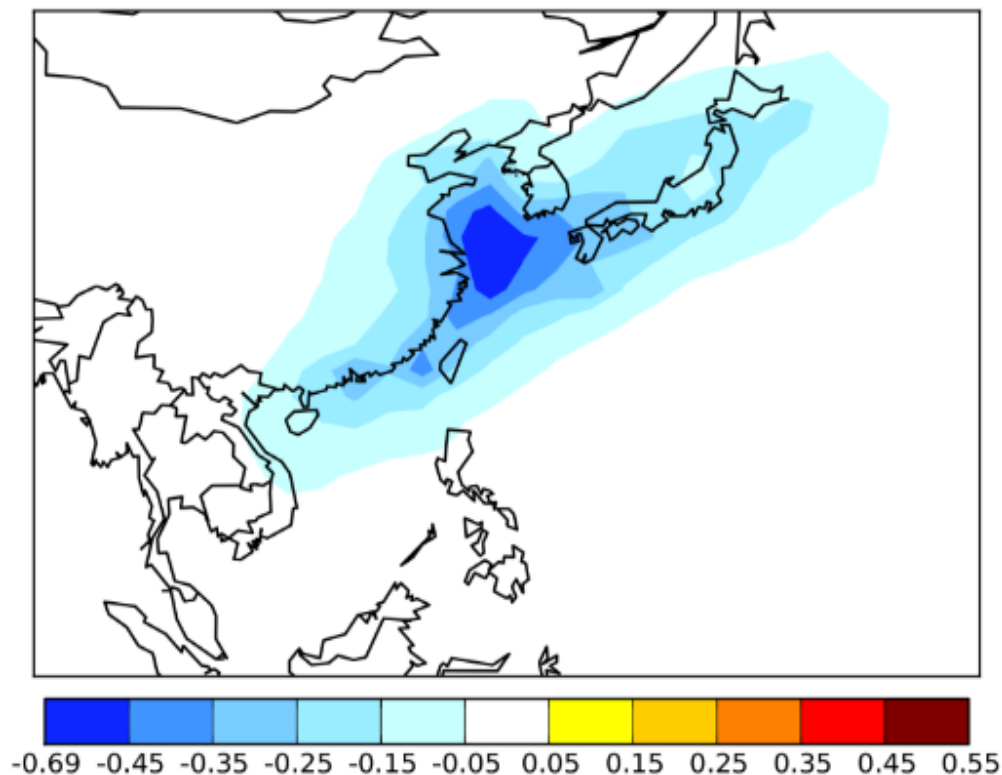
- 对三大港口群而言，长三角和珠三角地区PM_{2.5}浓度受船舶影响更为显著；对城市而言，青岛、上海、宁波和大连受影响最显著。
- 船舶排放对PM_{2.5}二次组分贡献显著 (~79%)，其中约2/3的硫酸盐来源于船舶排放SO₂的二次氧化。



□ 海运排放对气候变化的影响



Schreier et al., *GRL*, 2007



东亚船舶排放辐射强度分布

Liu* et al., *NCC*, 2016

- 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 Wm^{-2}** 到**-0.45 Wm^{-2}** 。



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

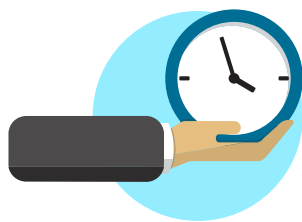
《港口和船舶岸电管理办法》
2020年2月1日起



港口：
建设/改造岸电设施

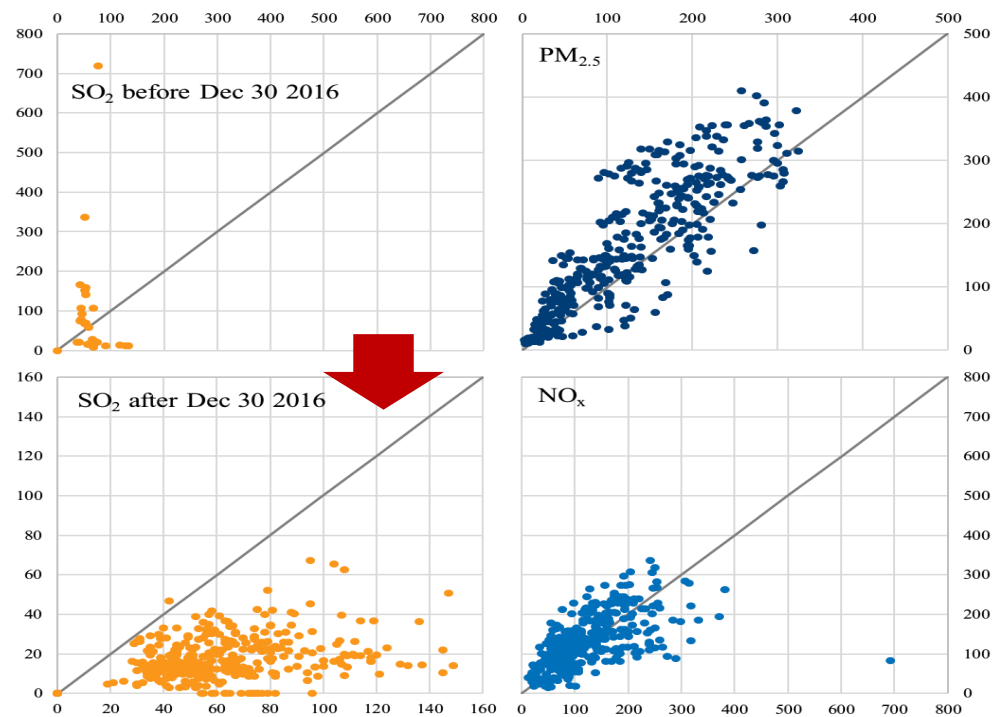
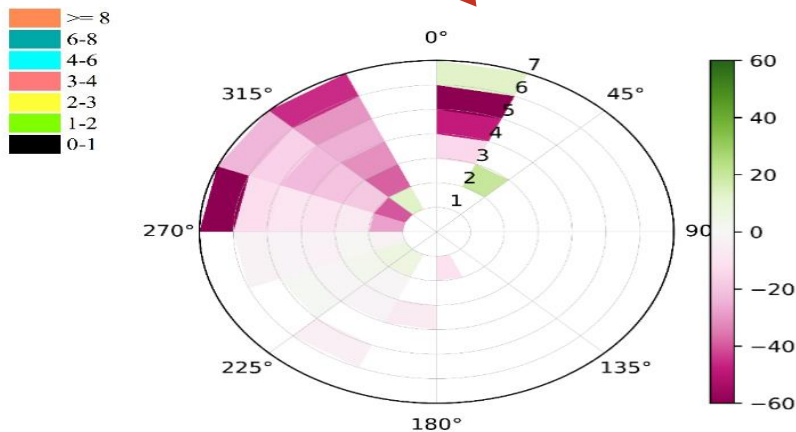
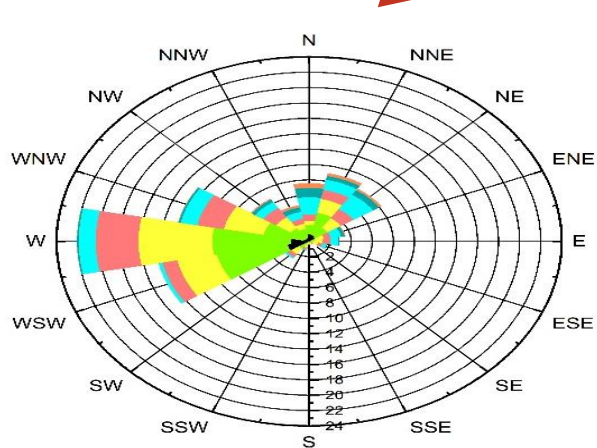
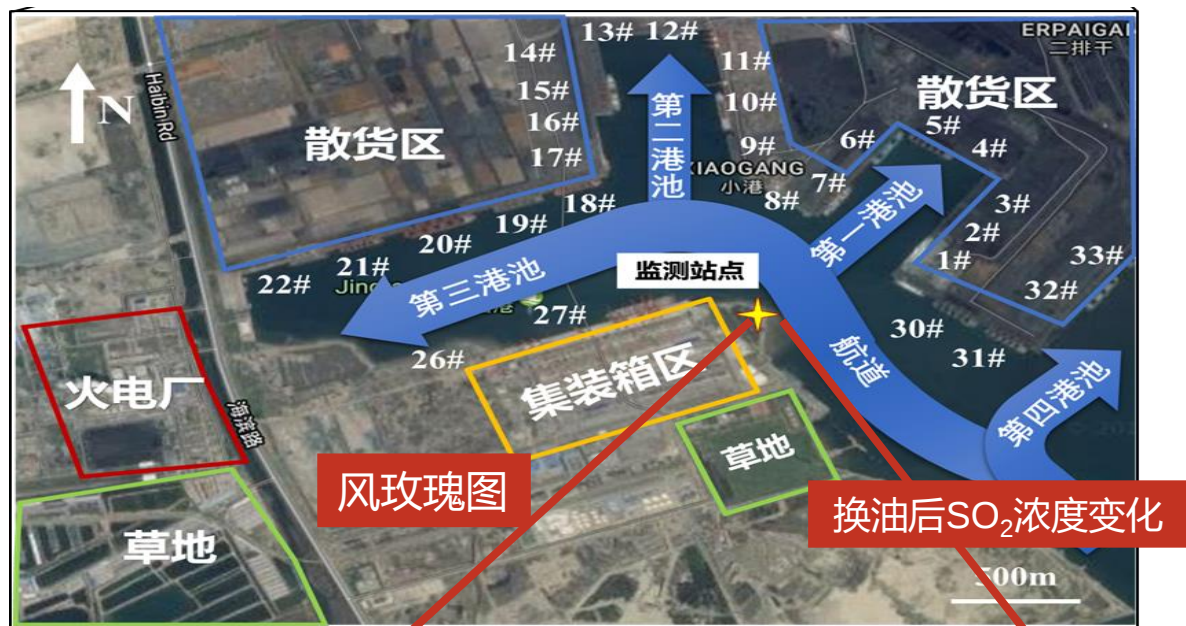


船舶：
鼓励加装受电设施



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

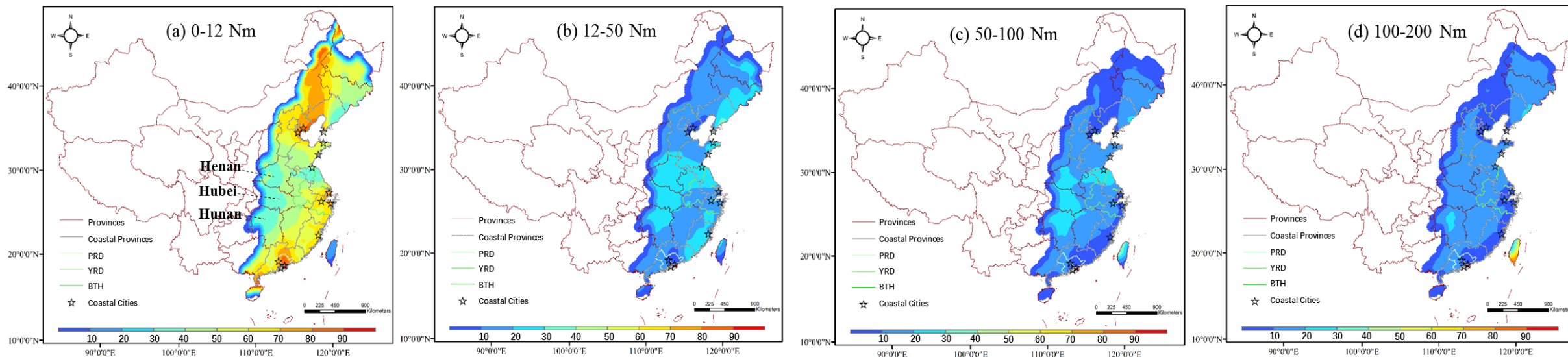
DECA实际实施情况



- 换油后，港区SO₂的浓度降低了71%。
- 从三个港池的吹来的风中，SO₂浓度显著降低，换油能显著的减少船舶SO₂排放。



船舶排放控制区是否需要进一步扩大



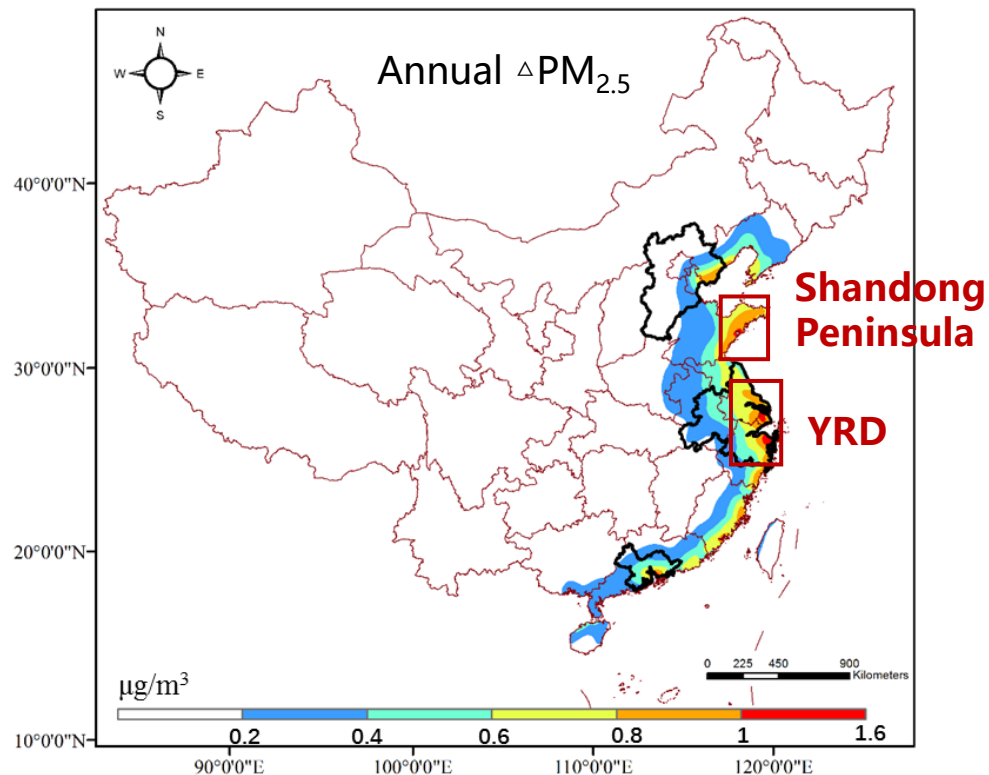
不同海域范围船舶排放的区域贡献

- 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。

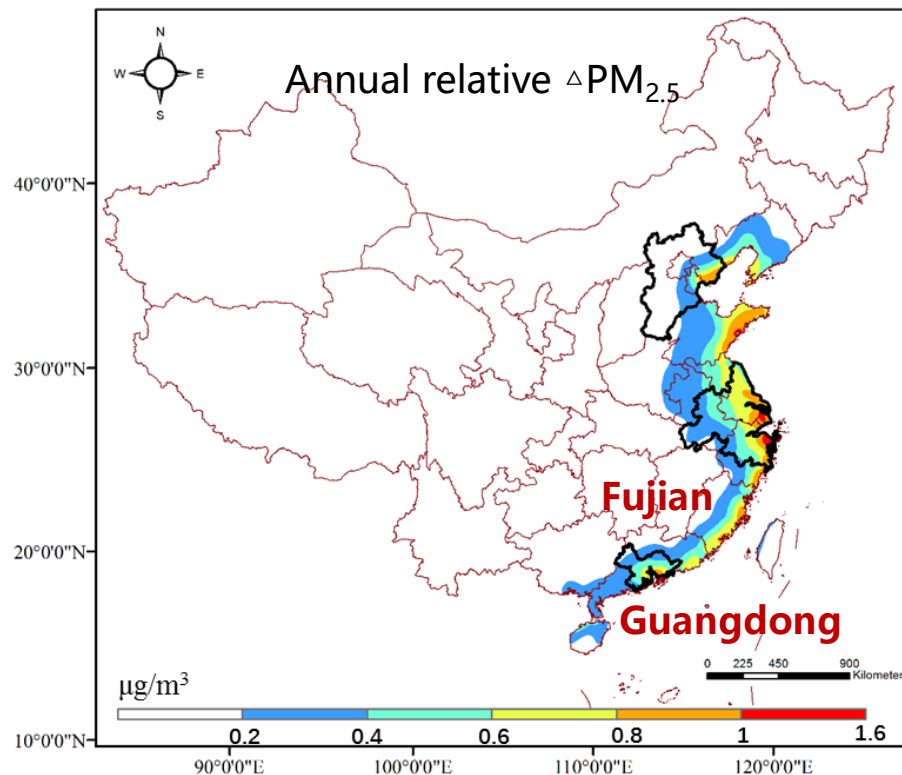


2030年100Nm DECA对空气质量的改善

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



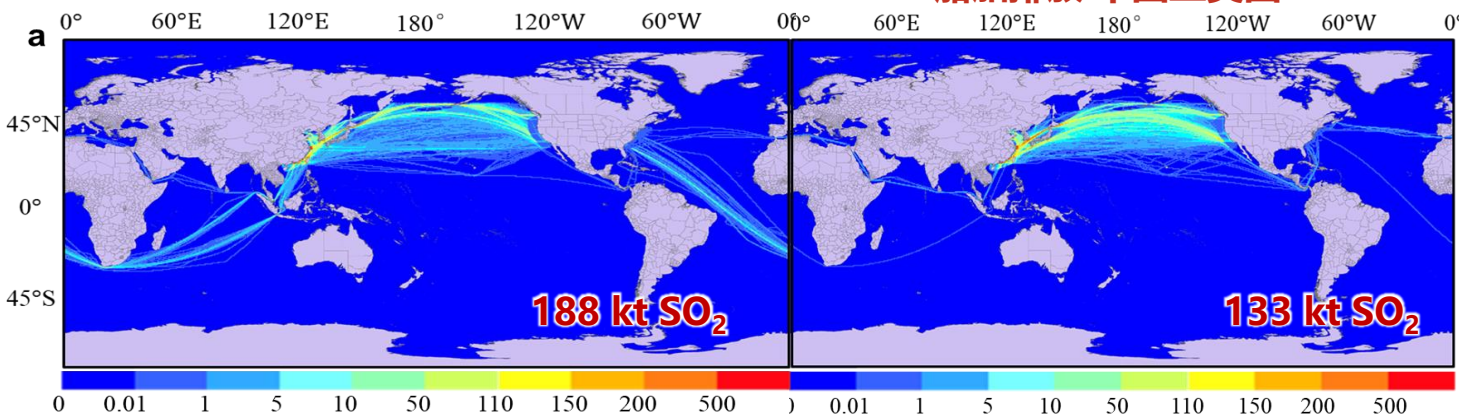
$$\text{Relative } \Delta \text{PM}_{2.5} = (\text{BASE} - \text{DECA})/\text{BASE}$$



- 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

船舶排放:美国至中国

船舶排放:中国至美国



■ 中国对美国的出口:

- 金额 - 3550亿(\$)
- 船舶排放 - 188 kt SO₂, 13763 kt CO₂;

美国至中国/ 中国至美国

贸易金额

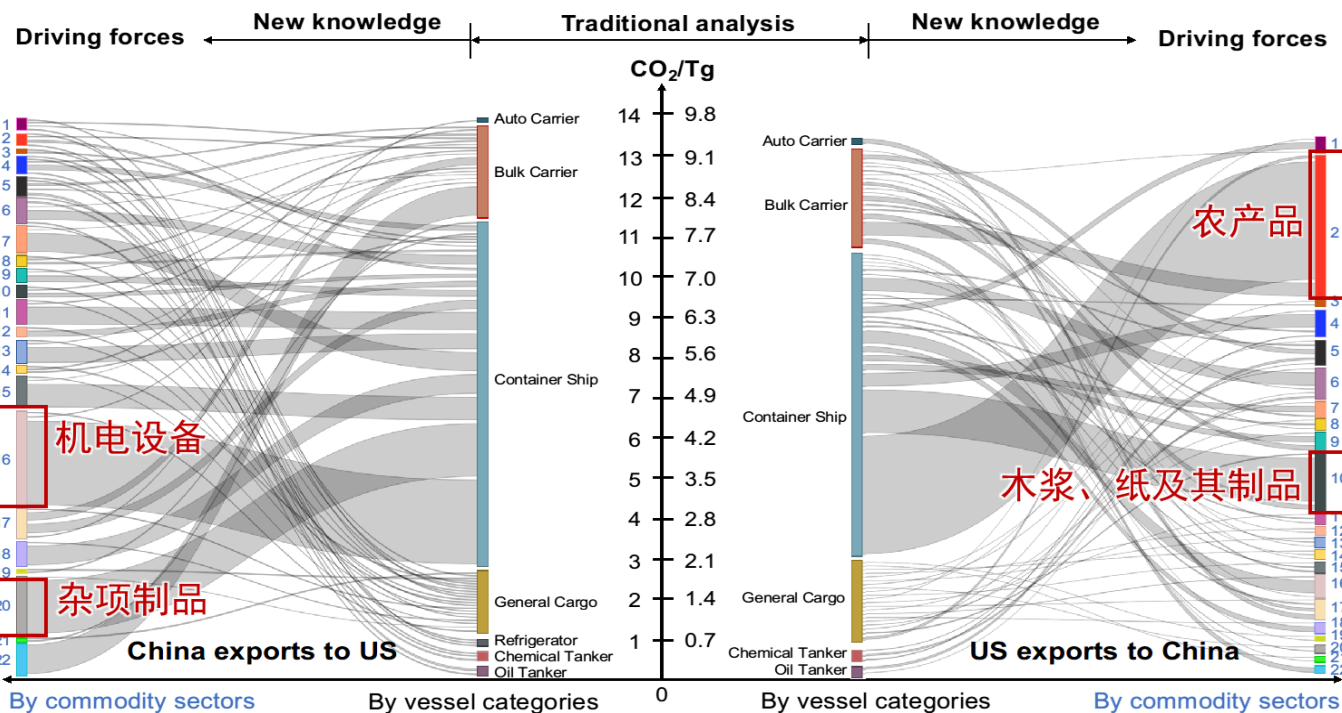
2.6
倍

■ 美国对中国的出口:

- 金额 - 1340亿(\$)
- 船舶排放 - 133 kt SO₂, 9221 kt CO₂;

船舶排放量

1.4
倍



■ **传统分析:** 没有贸易驱动的研究, 只能根据船舶种类分配排放。

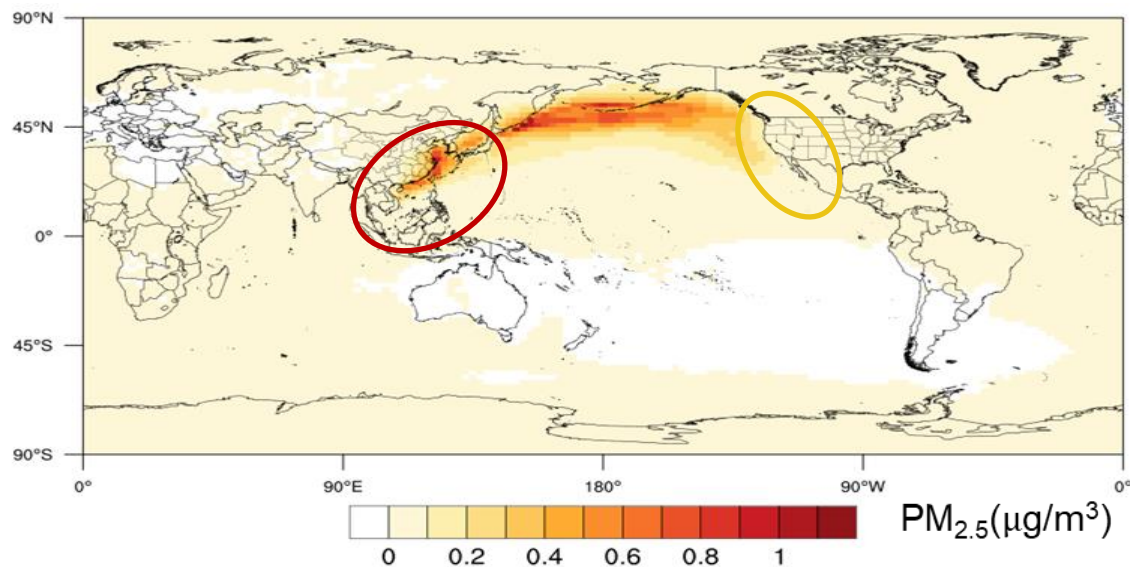
■ **新认知:** 通过贸易驱动的研究, 将船舶排放的驱动力追溯到**货物部门**。

中美海运排放 (上) 及中美海运贸易驱动力解析 (下)



跨国供应链中的海运排放对空气质量的影响

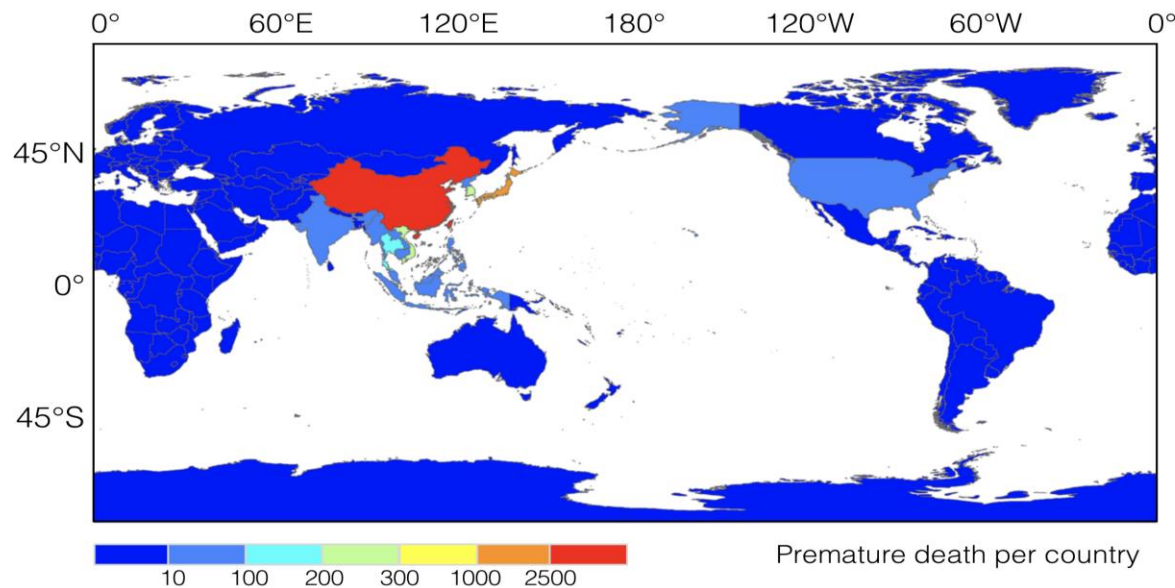
中美贸易带来的航运排放造成全球PM_{2.5}增加



- 中美贸易带来的航运排放导致全球 **PM_{2.5} 浓度增加了0-1.13 ug/m³**。
- **中国东南部，韩国和日本**受中美贸易的影响很大，而**美国**受到的影响相对较低（受益于ECA的设立）。

- 中美贸易隐含的航运排放导致全球约**5700 (2700-6600) 人过早死亡**，其中中国占据了约**64%**。
- **约1900 (800-2100) 人的过早死亡 (34%)** 发生在**中国和美国以外的地区**。

中美贸易带来的航运排放造成的过早死亡



1. 基本背景

2. 蓝天保卫战与移动源污染治理

道路机动车排放控制

运输结构调整

船舶污染治理

3. 空气污染物与二氧化碳协同减排

我国建设美丽中国愿景与温室气体减排目标的一致性

温室气体减排

国家自主减排贡献目标

- 到2030年，单位国内生产总值的碳排放量相比2005年下降65%左右。
- 非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右。
- 二氧化碳排放量在2030年左右达到峰值并争取尽早达峰。

大气环境改善

美丽中国建设目标

- 到2020年，生态环境质量总体改善，主要污染物排放总量大幅减少，环境风险得到有效管控。
- 到2035年生态环境质量实现根本好转，美丽中国目标基本实现。
- 到本世纪中叶，生态文明全面提升，实现生态环境领域国家治理体系和治理能力现代化。



治理空气污染和应对气候变化的在目标措施等方面具有协同效应，协调相关政策和行动将更好地发挥协同增效的作用。

中国2060年实现碳中和

“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”

--- 习近平总书记



中国工业化比西方晚100年，而碳中和目标只比欧盟承诺的2050年晚10年，中国整个经济体需要大规模广泛深刻的碳中和转型。

碳达峰、碳中和目标连续七次强调

2020.9.30

《在联合国生物多样性峰会的致辞》

——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，为实现应对气候变化《巴黎协定》确定的目标作出更大努力和贡献。

2020.11.12

第三届巴黎和平论坛发表题为《共抗疫情，共促复苏，共谋和平》的视频致辞

——中国将提高国家自主贡献力度，力争2030年前二氧化碳排放达到峰值，2060年前实现碳中和，**中方将为此制定实施规划**

2020.11.17

《在金砖国家领导人第十二次会晤上的讲话》

——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。**我们将说到做到！**

2020.11.22

《在二十国集团领导人利雅得峰会“守护地球”主题边会上的致辞》

——中国将提高国家自主贡献力度，力争二氧化碳排放2030年前达到峰值，2060年前实现碳中和。**中国言出必行，将坚定不移加以落实。**

2020.12.12

《在气候雄心峰会上的讲话》

——**进一步宣布：**到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右，森林蓄积量将比2005年增加60亿立方米，风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上

2021.01.25

《在世界经济论坛“达沃斯议程”对话会上的特别致辞》

——我已经宣布，中国力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值、2060年前实现碳中和。实现这个目标，中国需要付出极其艰巨的努力。我们认为，只要是对全人类有益的事情，**中国就应该义不容辞地做，并且做好。**

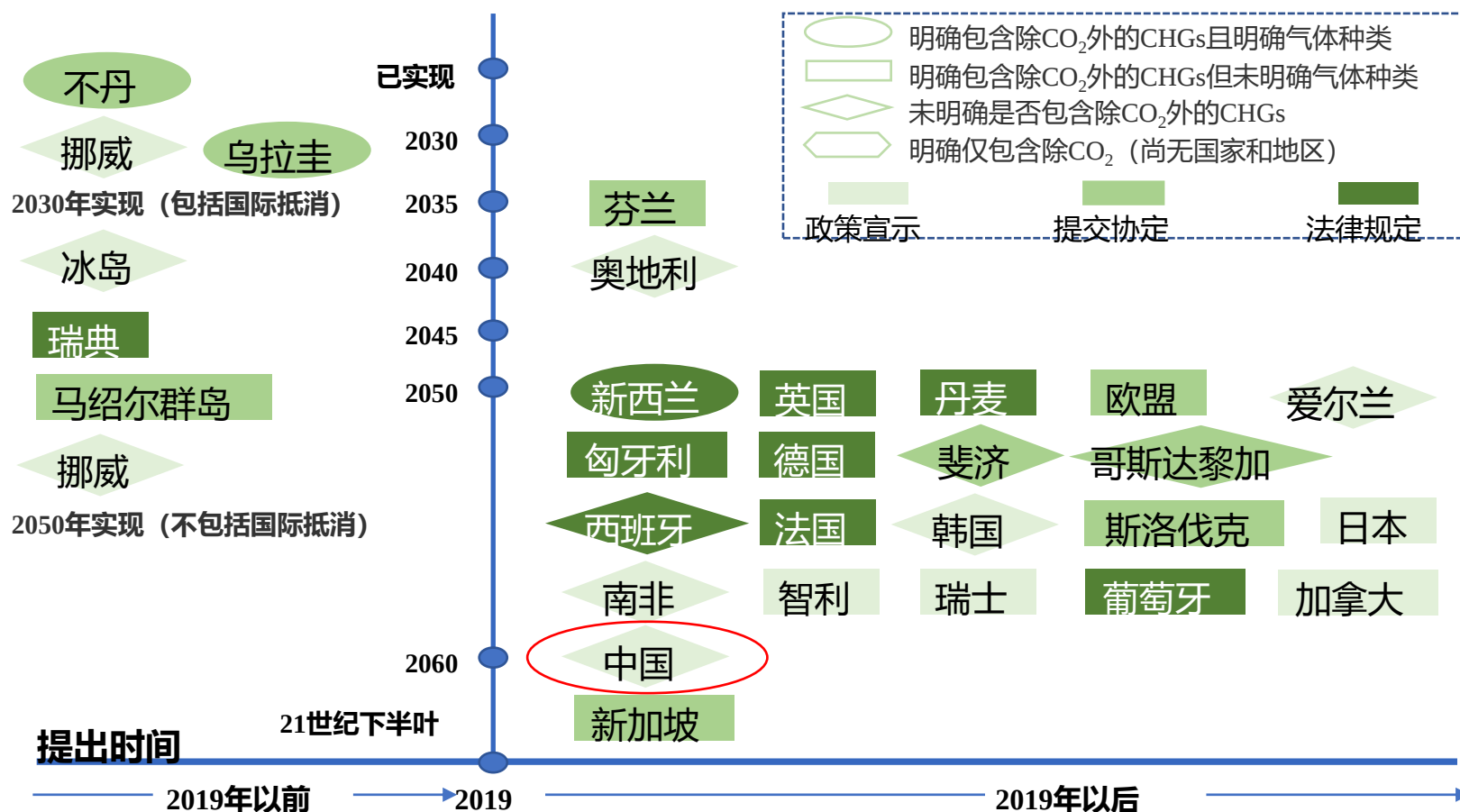
2021.03.15

《在中央财经委员会第九次会议上的讲话》

——把**碳达峰、碳中和**纳入生态文明建设整体布局，拿出抓铁有痕的劲头，如期实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标。

全球设立碳中和目标国家/地区

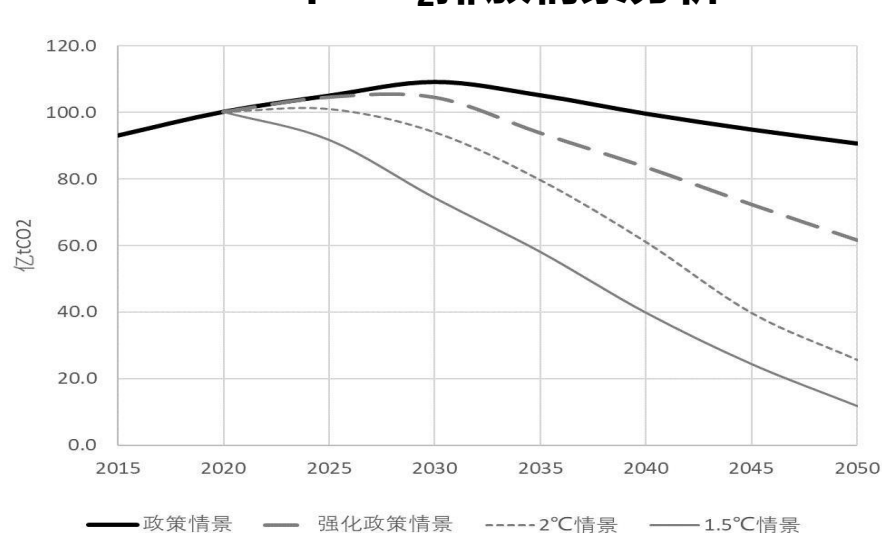
- 2015年《巴黎协定》设定了本世纪后半叶实现净零排放的目标，**29个经济体已提出碳中和目标，9个经济体已法律规定**



29个经济体中
和目标完成**日期、力度、包
含气体类型及
提出时间**

长期低碳发展转型情景比较

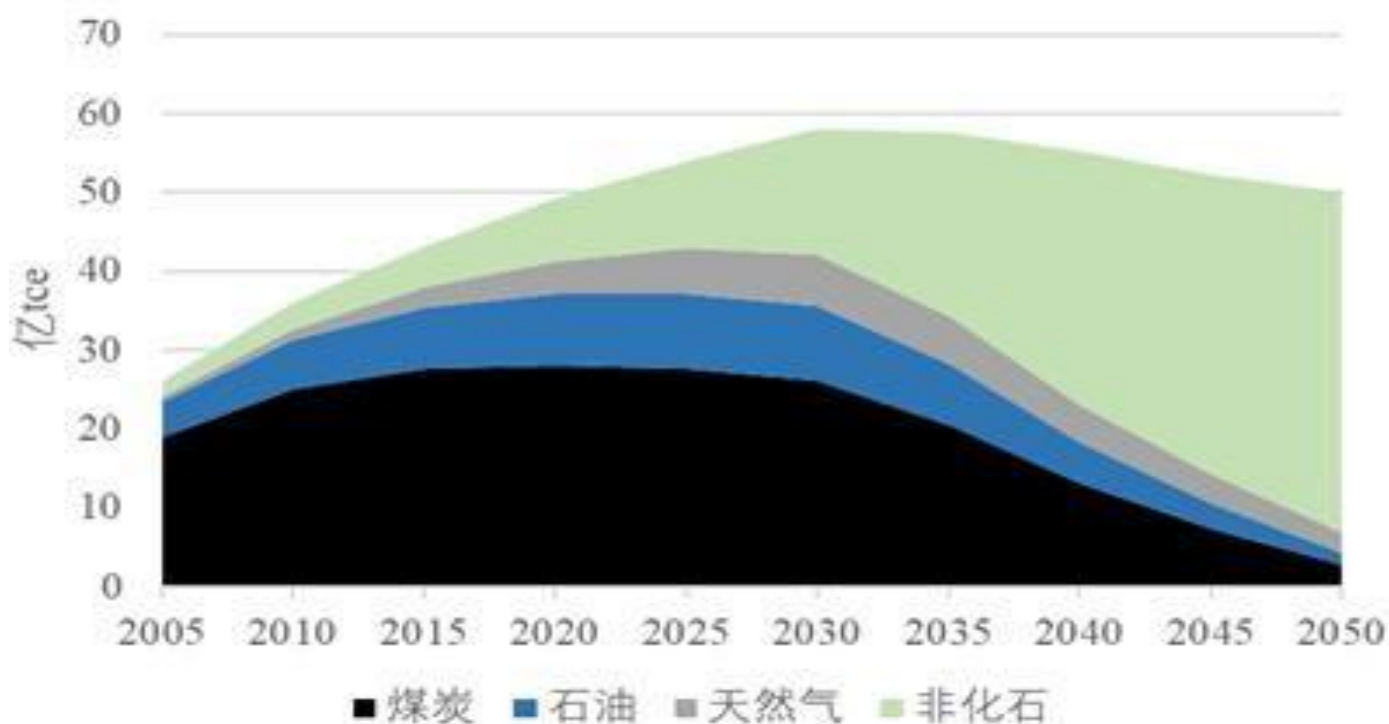
2050年CO₂排放情景分析



- **政策情景**: CO₂排放2030年左右达峰. 2050年下降到约90亿tCO₂.
- **强化政策情景**: 2030年前达峰. 2050年下降到约62亿tCO₂.
- **2°C情景**: 2025年左右达峰. 2050年下降到约29亿tCO₂. 再加上CCS和森林碳汇. 净排放约20亿吨. 人均排放约1.5t.
- **1.5°C情景**: 2025年前达峰. 2050年下降到约12亿tCO₂. 再加上CCs和林业碳汇. 基本实现CO₂净零排放.

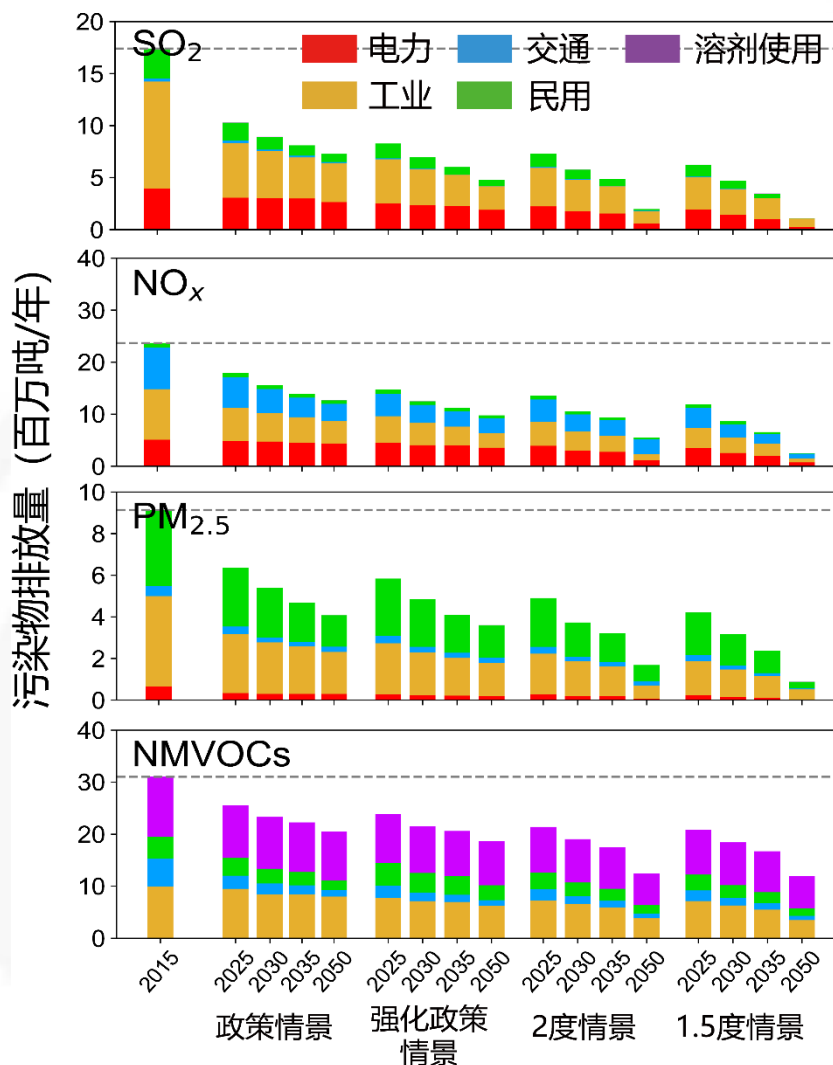
1.5°C目标导向下长期低碳转型路径分析

1. 5°C目标导向下二氧化碳净零排放情景的一次能源消费与构成



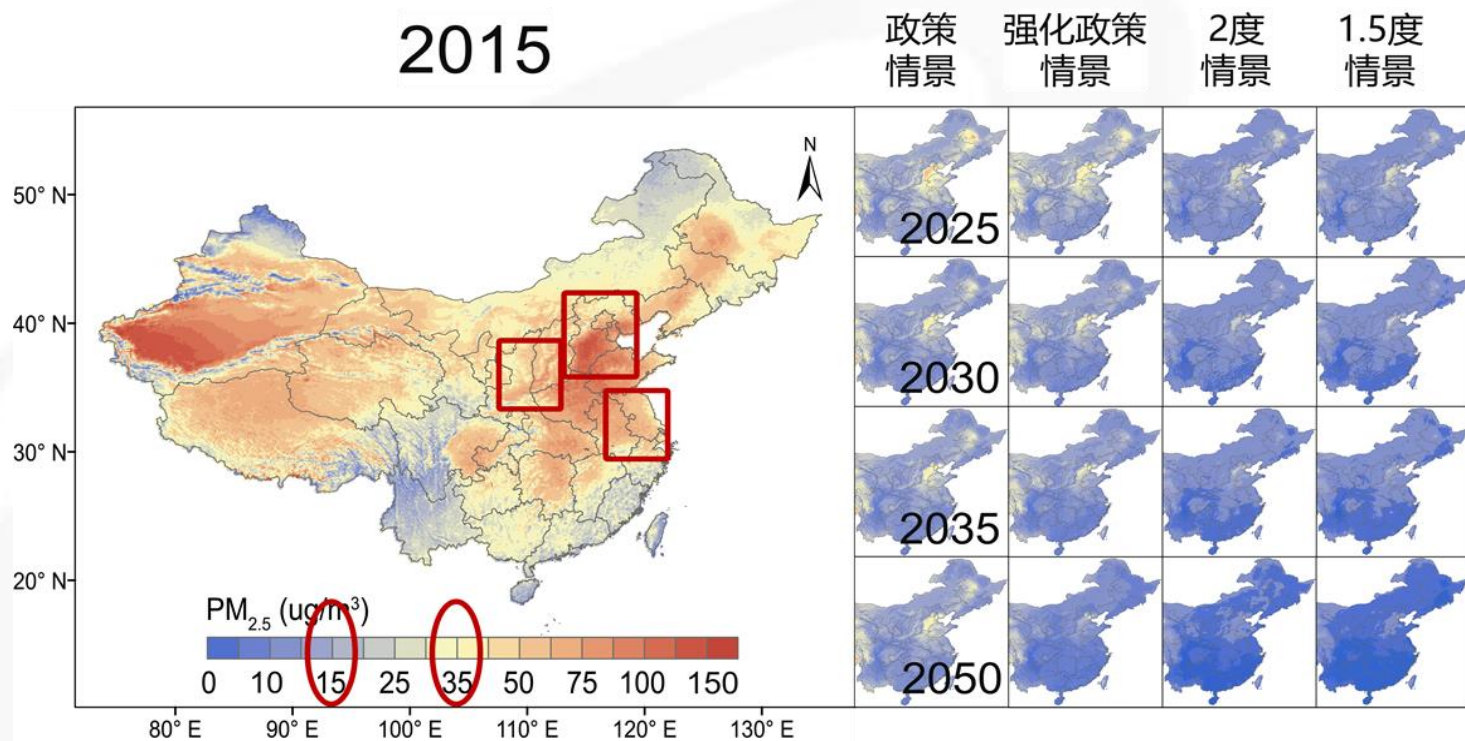
- 到2050年，能源总需求50亿tce，非化石能源占比超过85%，非化石电力在总电量中比例超过90%，煤炭比例将在5%以下。

不同路径下主要污染物分部门排放



- 2015年我国SO₂、NO_x、PM_{2.5}和NMVOCs等主要污染物分别排放**1741**、**2370**、**914**和**3105**万吨；
- 2015-2030年，政策情景下SO₂、NO_x、NMVOCs均可减少约**800**万吨，PM_{2.5}减少**400**万吨，2030-2050年减排力度变小；
- 2度情景下2015-2050年SO₂、NO_x、PM_{2.5}排放均可从千万吨降低至百万吨（**192-599**万吨）；得益于民用燃煤的完全替代和交通能源结构的深度转型，1.5度情景下可进一步降低至**164-487**万吨。NMVOCs排放仍有进一步降低空间。

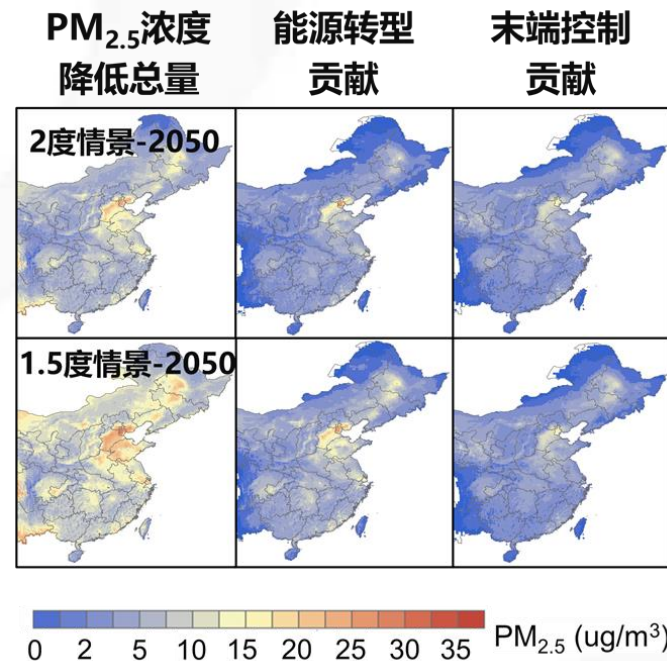
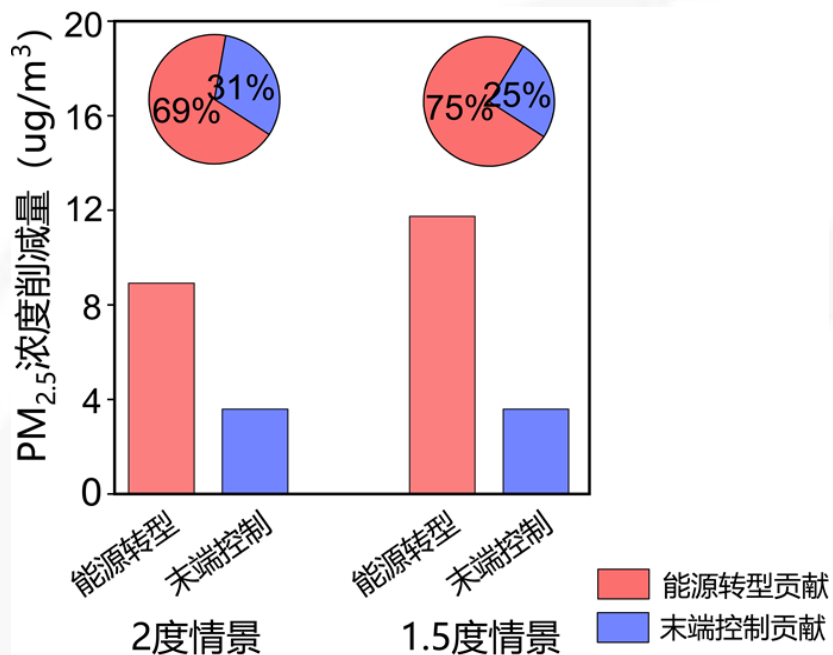
不同路径下我国未来PM_{2.5}浓度演变



- 2015年全国PM_{2.5}年均浓度为**53.1**µg/m³，超出我国环境空气质量二级标准**51.7%**；**京津冀及周边、汾渭平原和长三角**是三个污染最严重的区域；
- 政策情景下全国空气质量普遍好转，2030年全国大部分地区基本可以实现**35** µg/m³的目标，但京津冀区域难以达标，且2050年较**15** µg/m³有较大差距；2度情景下到2050年绝大多数地区可实现**15** µg/m³；1.5度情景下大部分区域可进一步实现**10** µg/m³。

能源转型与末端控制对PM_{2.5}污染改善的相对贡献

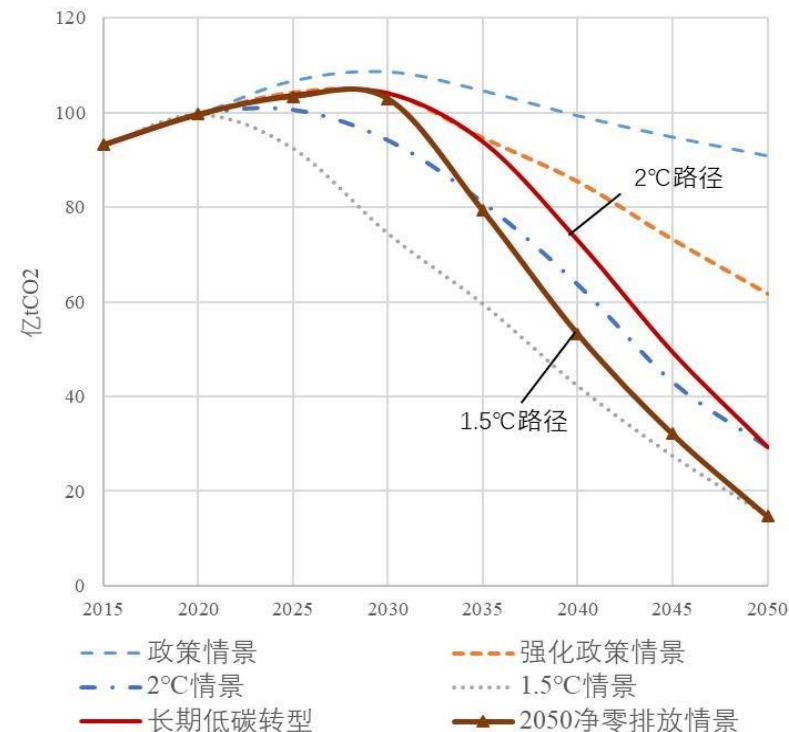
相较政策情景2050年时能源转型与末端控制的空气质量改善相对贡献



- 相较于政策情景，**能源转型**对实现长期空气质量改善将发挥关键作用。能源转型对PM_{2.5}浓度实现**15 μg/m³**的贡献将在**69%**以上；若要进一步下降至**10 μg/m³**，能源转型的贡献将达到**75%**以上。
- 从空间分异看，基准年空气污染严重的京津冀及周边地区，同样应是未来能源转型力度最大的区域之一。

中国长期低碳发展目标和路径选择

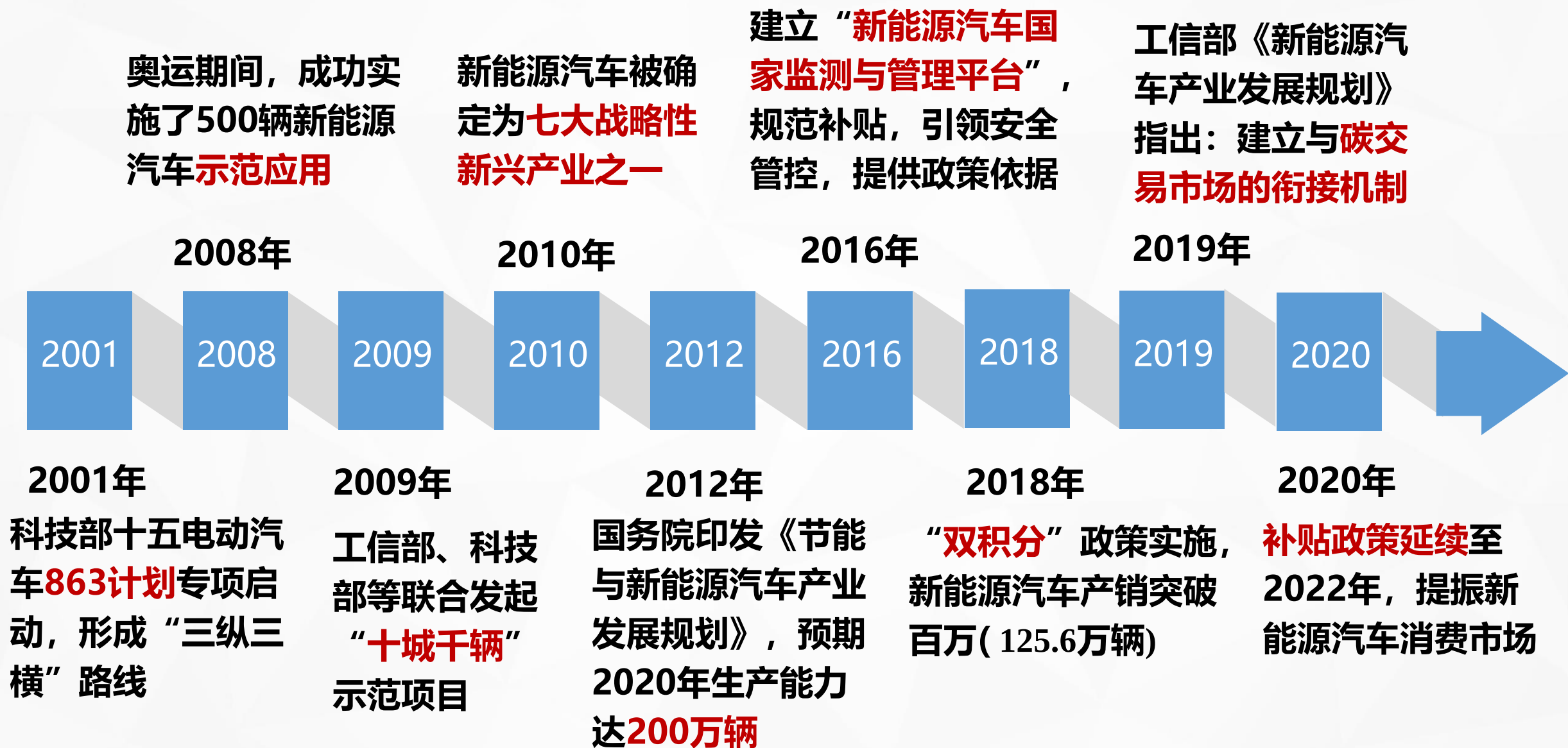
- 按当前趋势及强化政策构想，2050年不能与实现全球2°C温升控制目标相契合的减排路径。
- 当前由于能源和经济体系惯性，难以迅速实现2°C和1.5°C情景的减排路径。
2020.10.12 项目成果发布会
- 我国长期低碳排放路径选择——从强化政策情景向2°C情景和1.5°C目标情景的过渡。
- 力争2030年前CO₂排放达峰，其后加速向2°C目标和1.5°C目标减排路径过渡。



汽车电动化是实现1.5度温升情景交通部门的主要驱动力

	2度温升情景	1.5度温升情景
2050年PM2.5人口加权浓度	10.9	9
2050年90%人口的PM2.5暴露水平	15.5	12.4
2050年煤炭占总能源的比例	15.7%	5.6%
2050年电煤占煤炭的比例	64.5%	71.2%
2050年交通部门燃油消耗占比	70.5%	48.4%
2050年交通部门天然气消耗占比	7.8%	7.7%
2050年交通部门电力消耗占比	20.1%	40.2%
2050年交通部门氢能消耗占比	1.6%	3.7%

我国新能源汽车发展历程



来源：电动车辆国家工程实验室

发展目标

纯电动乘用车续航里程

2020年	2025年	2030年
300km	400km	500km

公交客车单位载质量电耗水平 (kWh/100km*t)

2020年	2025年	2030年
3.5	3.2	3.0

插电式混合动力汽车混动模式油耗

2020年	2025年	2030年
比2020年ICE降低25%	比2020年PHEV降低10%	比2020年PHEV降低20%

技术路径

纯电动汽车

- 提高动力电池能量密度
- 提高电驱动系统效率
- 底盘电动专用化

插电式混合动力汽车

- 优化混合动力系统构型
- 基于多信息的整车预测控制
- 动力系统集成设计

充电基础设施

- 快速充电技术
- 互联互通技术
- 充电便利性

发展重点

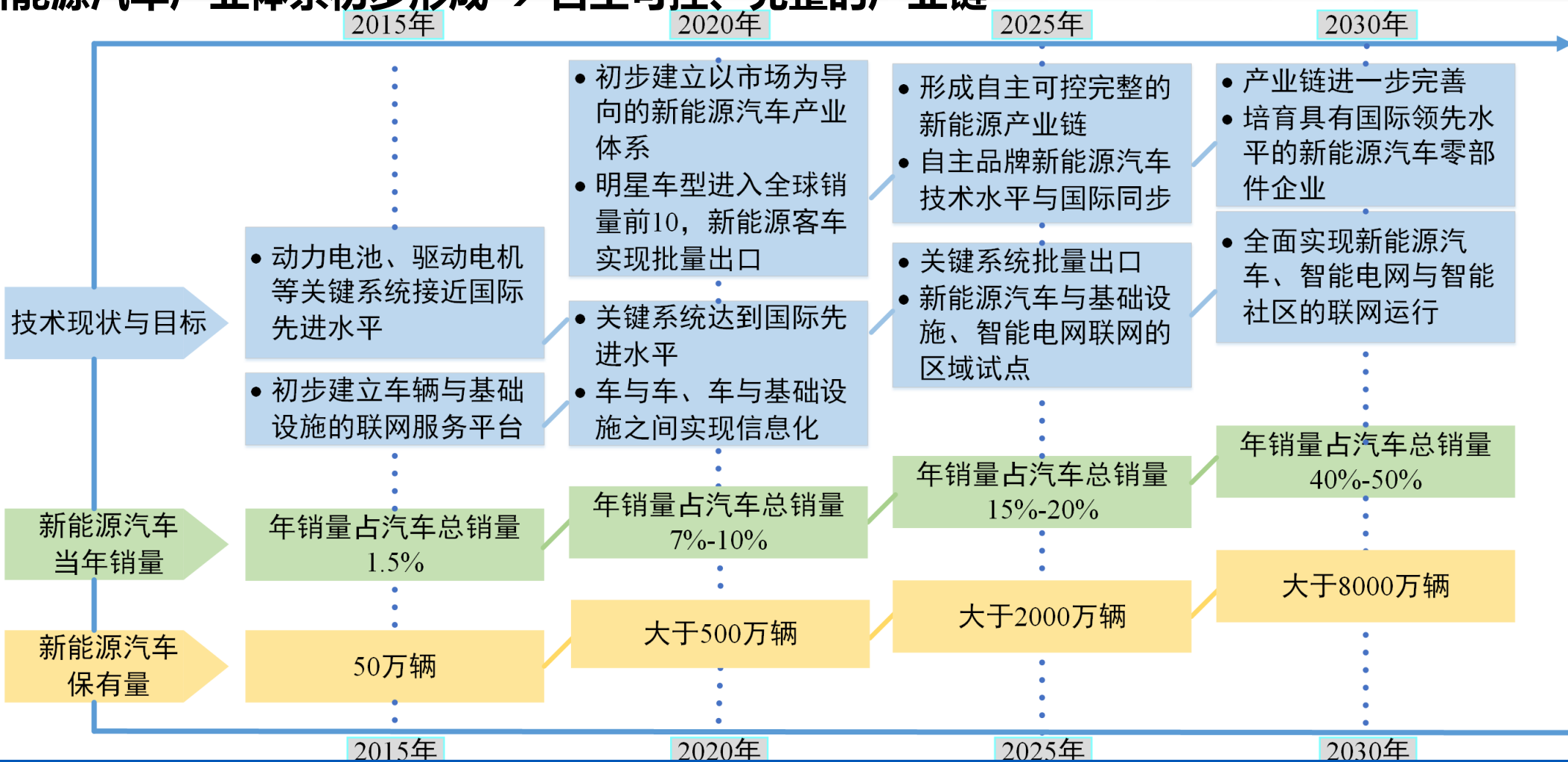
- 低成本、高效率混合动力总成开发技术
- 动力电机与底盘集成技术
- 纯电动汽车动力系统集成及控制技术
- 高性能动力电机技术
- 新型电机控制器技术
- 先进充电技术
- 整车智能能量管理技术
- 纯电动和插电式混合动力汽车整车控制技术

来源：节能与新能源汽车技术路线图

全方位技术攻关，实现节能减排目标



- 2020年至2030年，新能源汽车保有量：500万辆 → 8000万辆
- 新能源汽车产业体系初步形成 → 自主可控、完整的产业链



数据来源：节能与新能源汽车技术路线图

产业链全面发展——规模最大、世界领先、自主可控

□ 政策体系和技术发展的双重激励下，产业规模迅速扩大：

- 我国新能源汽车规模（超过400万辆）占全球50%以上，全球第一；
- 2019年中国新能源汽车产销量分别达124.2万辆和120.6万辆。



来源：电动车辆国家工程实验室

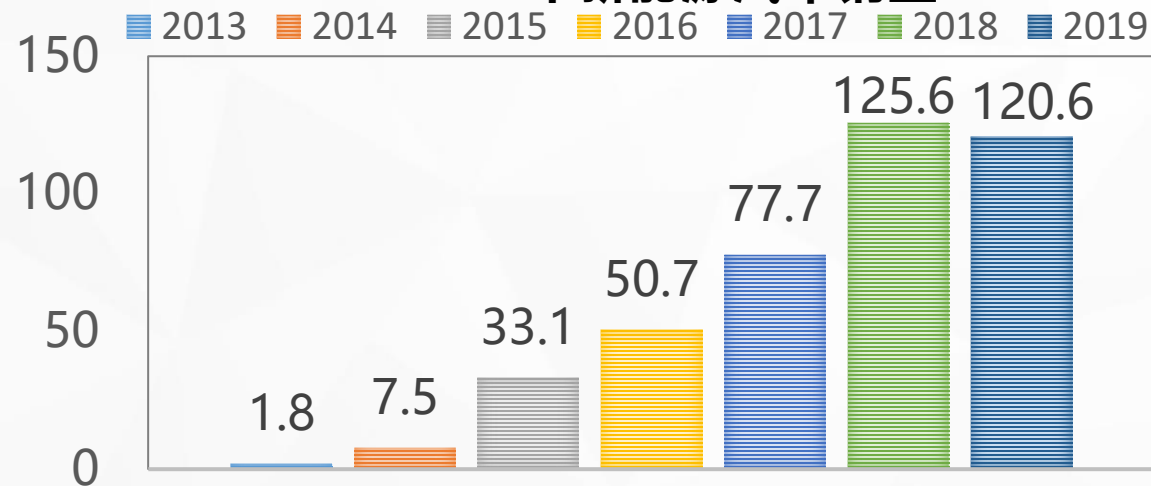
我国新能源汽车补贴政策发展趋势



□ 新能源汽车年度产销现十年来首降

- 2019年产销完成124.2万辆和120.6万辆;
- 同比分别下降2.3%和4.0%;
- 补贴作用减弱, 产业由政策导向进入市场导向发展新阶段。

2013-2019年新能源汽车销量



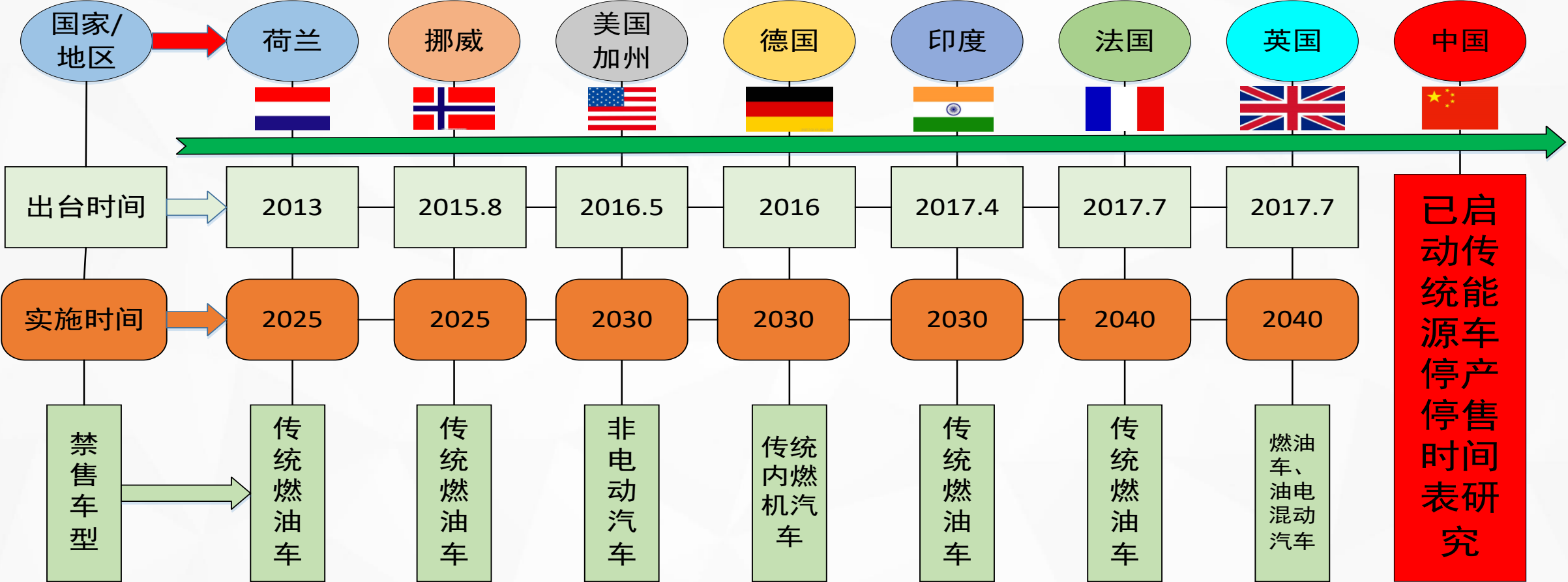
新能源汽车销量(万辆)



数据来源: 中国汽车工程协会

亟待面向新发展阶段的产业政策接力, 促使产业持续向好发展

世界各国禁售传统燃油汽车时间表



来源：电动车辆国家工程实验室

加快禁售传统燃油汽车、大力发展新能源汽车已成为国际共识

□ 基础设施

- 充电桩/换电站建设及充换电效率
- 道路建设时产生的碳排放约占全生命周期的2%-10%，高速和国道则可能达到20%；
- 道路维护以极小的成本增加单个项目寿命，减少车辆排放和能源消耗。



□ 国际油价

- 提高能源价格**短期和长期均能**改善能源效率，降低能源强度
- 同时**促进可再生能源**的供给，间接减少碳排放量



□ 车辆技术

- 车辆类型 (BEV/HEV/ICEV)
- 电池类型 (NCM/LFP/LMO)
- 碳捕捉技术 (CCS)



□ 续航里程

- 车辆自重与电池自重 (占比)
- 车辆生命周期/里程
- 动力电池 (类型/衰减/更换)



□ 充电策略

- 充电时间 (低谷/高峰)
- 充电类型 (快充/慢充)



□ 区域电网结构

- 发电侧能源比例
- 生产流程中排放



来源：电动车辆国家工程实验室

Thank you for your attention!

