

京津冀雾霾治理 政策是否有效

石敏俊，浙江大学公共管理学院

李娜，李元杰，中国科学院大学经济与管理学院



内容提要

- 京津冀雾霾污染
- 京津冀雾霾治理政策
- 京津冀雾霾治理目标可达性
- 京津冀雾霾治理政策的成本
- 结论与启示





京津冀雾霾污染概况

- 2013年1月的雾霾污染覆盖我国华北及华东大部分地区，涉及区域超过130万平方公里，影响人口8.5亿，其中受严重污染影响的人口2.5亿人。
- 雾霾污染治理已经刻不容缓。
- 2013年中国年均PM2.5浓度最高的13座城市，除济南、西安和郑州，其余10个城市均位于京津冀地区。
- **2013年河北7个城市的年均PM2.5浓度超过100微克/立方米。**
- 邢台和石家庄，年均PM2.5浓度高达155.2微克/立方米和148.5微克/立方米。
- 京津冀空气质量达标天数的比例不到50%，重度污染天数占比较高。



排名	城市	省份	PM2.5年均值 (微克每立方米)	PM2.5最大日均值 (微克每立方米)
1	邢台	河北	155.2	688
2	石家庄	河北	148.5	676
3	保定	河北	127.9	675
4	邯郸	河北	127.8	662
5	衡水	河北	120.6	712
6	唐山	河北	114.2	497
7	济南	山东	114.0	490
8	廊坊	河北	113.8	772
9	西安	陕西	104.2	598
10	郑州	河南	102.4	422

11	天津	天津	95.6	394
12	沧州	河北	93.6	380
13	北京	北京	90.1	646
14	武汉	湖北	88.7	339
15	成都	四川	86.3	374
16	乌鲁木齐	新疆	85.2	387
17	合肥	安徽	84.9	383
18	泰州	江苏	80.9	474
19	淮安	江苏	80.8	513
20	长沙	湖南	79.1	325
21	无锡	江苏	75.8	391
22	哈尔滨	黑龙江	75.7	756
23	常州	江苏	75.6	322
24	南京	江苏	75.3	312
25	徐州	江苏	74.9	304
26	太原	山西	74.2	416
27	湖州	浙江	73.5	414
28	沈阳	辽宁	72.7	464
29	镇江	江苏	71.6	263
30	扬州	江苏	71.1	312
31	宿迁	江苏	70.7	502
32	南通	江苏	70.2	248

2013年城市Pm2.5浓度排名

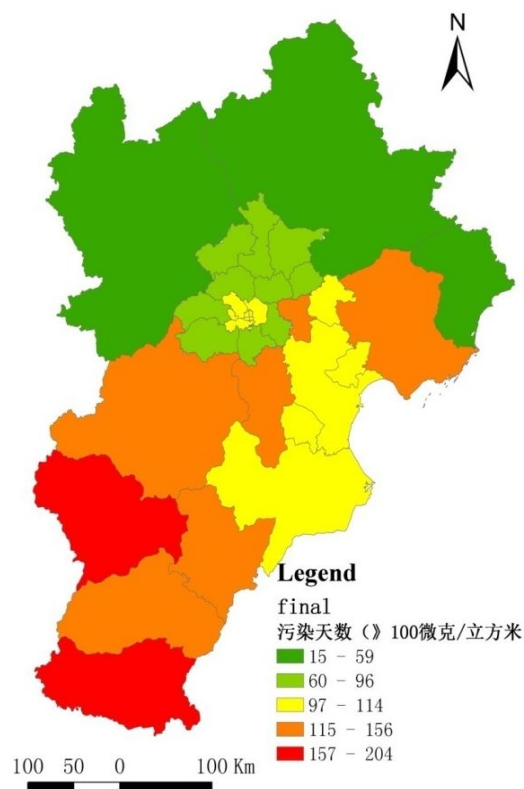
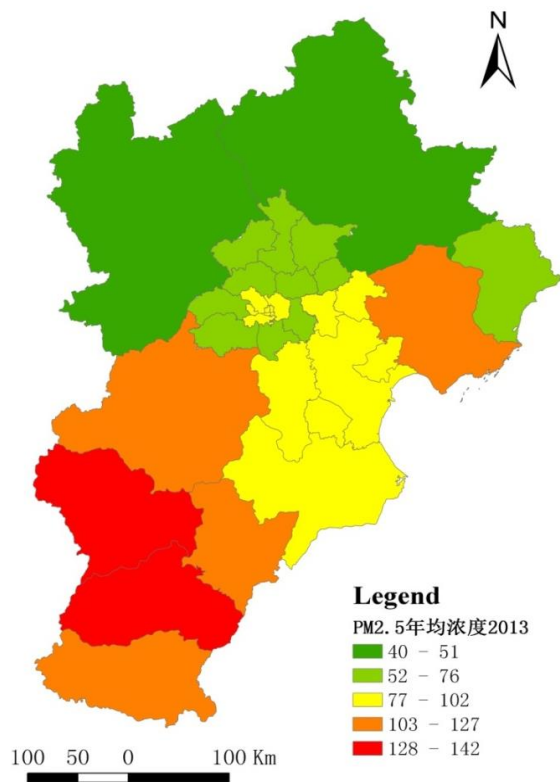
数据来源：绿色和平组织



京津冀雾霾污染的特征：空间差异

南部地区雾霾污染较严重，北部地区相对较轻。

北部的张家口、承德、秦皇岛等地扩散条件较好，污染物排放量也较少；南部的石家庄、保定等地污染物排放量大，污染物扩散条件较差。





京津冀雾霾污染的特征：季节差异

京津冀地区供暖季和非供暖季的PM2.5浓度差异

PM2.5日均浓度	供暖季	非供暖季	年均PM2.5浓度
北京城区	110.78	80.9	89.70
北京郊区	95.67	70.4	75.80
天津	110.47	80.75	92.34
保定	177.96	94.28	120.19
廊坊	139.47	87.72	101.70
张家口	60.03	34.48	40.30
唐山	138.13	94.72	110.42
承德	70.69	45.98	50.93
石家庄	211.63	108.08	142.43
秦皇岛	80.46	55.78	63.80
沧州	123.02	78.39	92.12
衡水	162.66	89.52	112.68
邢台	198.21	115.27	140.13
邯郸	184.9	95.3	126.59
平均值	133.15	80.83	96.94



京津冀雾霾污染的特征：等风来

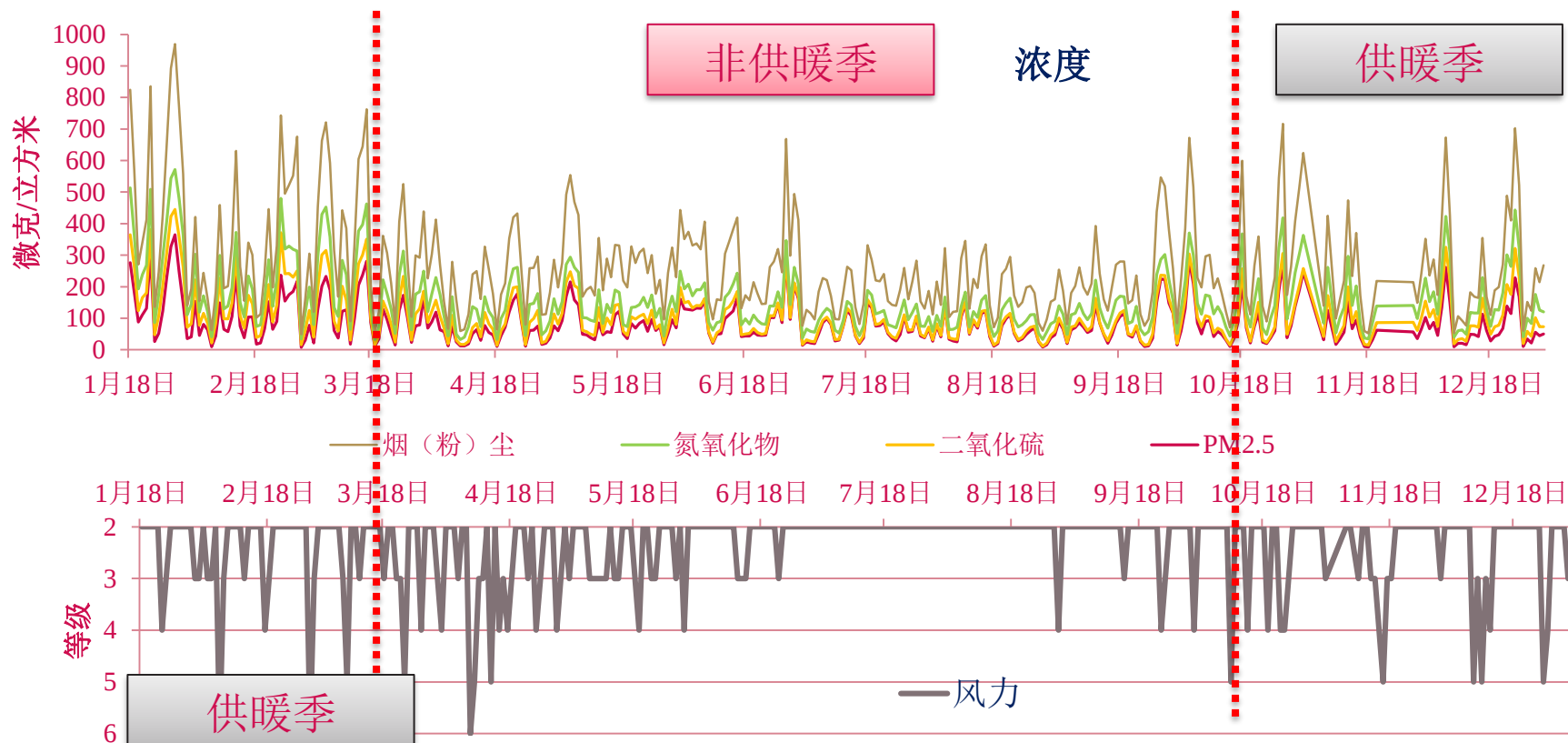
2013年京津冀风力与PM2.5浓度的关联

风力等级	PM2.5平均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	出现频率	PM2.5/PM10
二级风	110.61	54.24%	60.35%
三级风	91.03	24.63%	55.18%
四级风	64.67	15.67%	53.87%
五级风	34.07	4.54%	44.66%
六级风	21.86	0.92%	44.51%

- 随着风力增强，PM2.5平均浓度显著降低；
- 不同区域因为污染物排放量不同，风力的污染物扩散能力也有差别，相同风力条件下的PM2.5浓度有所差异。



污染物浓度和风力之间密切相关



北京市2013年大气污染物浓度与风力的关系

- 由于大气污染物排放量大，污染物浓度和PM2.5浓度对气象条件的依赖较深，大风和降雨能带来较好的污染物扩散和沉降条件，从而降低PM2.5浓度。
- 供暖季和非供暖季的区别表明，污染物排放量不同，对气象条件的依赖程度不同。



治霾效果：人努力还是天帮忙？

□ 2013-2015年PM2.5年均浓度变化

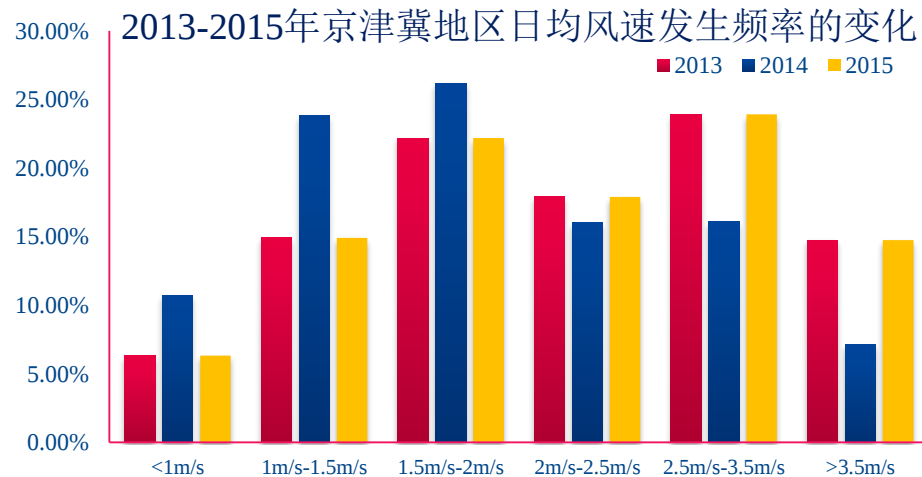
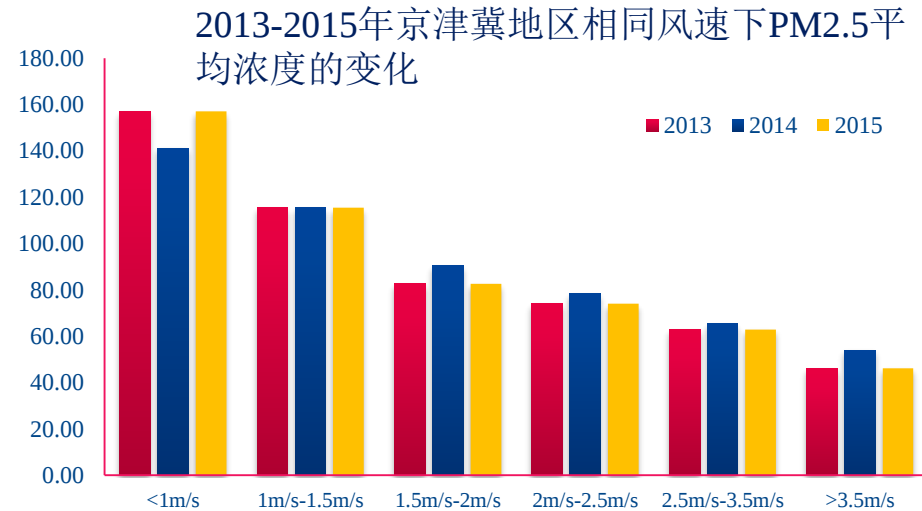
区域	2013年	2014年	2015年	2016年
北京	85.48	84.54	73.44	72.63
天津	92.34	86.52	64.59	68.57
保定	120.19	126.59	96.33	92.06
廊坊	104.51	98.24	77.04	65.48
张家口	41.54	34.82	33.32	31.54
唐山	110.42	100.23	79.34	73.83
承德	52.50	53.50	38.89	39.52
石家庄	142.43	122.98	81.08	98.51
秦皇岛	63.80	59.30	44.69	45.97
沧州	92.12	87.71	63.55	68.11
衡水	112.68	106.67	88.77	87.02
邢台	107.50	130.46	91.95	86.46
邯郸	126.59	112.84	83.14	80.78
平均值	96.32	92.64	70.47	70.04

- 2013年-2016年，京津冀各地的PM2.5年均浓度趋于下降，尤其是2015年的下降幅度尤为明显。
- 究竟是全社会做出的减排努力的贡献？还是自然因素带来的污染物扩散条件变化的贡献？



治霾效果：人努力还是天帮忙？

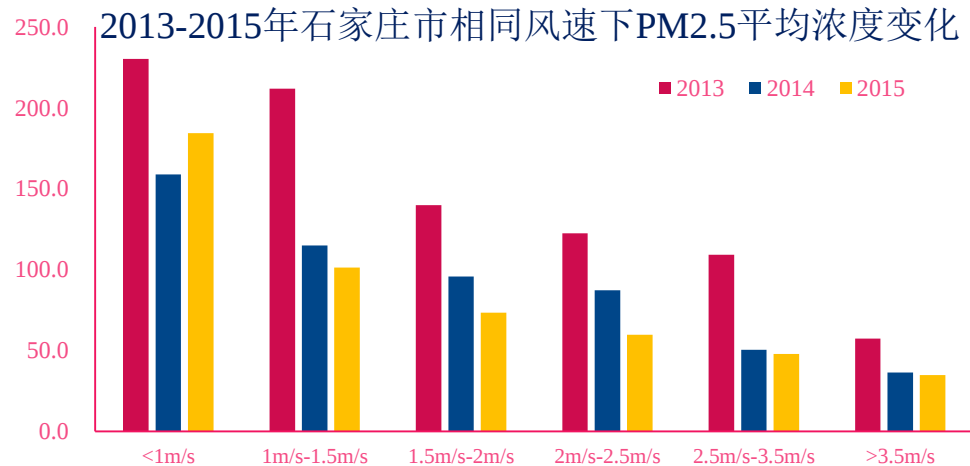
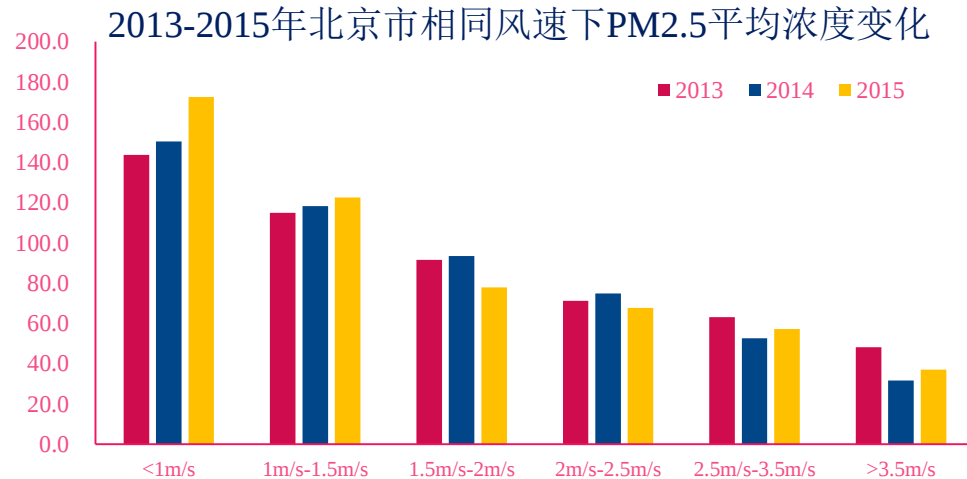
- 低风速区间（1m/s和1-1.5m/s），PM2.5平均浓度没有出现明显下降；中风速区间（1.5-2m/s和2-2.5m/s）和高风速区间（>3.5m/s），2015年与2014年相比，PM2.5平均浓度有明显的下降。
- 2015年与2014年相比，高风速区间（2.5-3m/s和>3.5m/s）的发生频率明显增加，低风速区间（1m/s和1-1.5m/s）的发生频率明显下降
- 2015年PM2.5年均浓度下降，“天帮忙”起到了很大的作用，“人努力”的效果主要体现在风速偏大的天气，在低风速的静稳天气下，“人努力”对PM2.5浓度下降的效果尚不显著。





治霾效果：人努力还是天帮忙？

- 北京：2015年与2013年相比，低风速区间（1m/s和1-1.5m/s）的PM2.5平均浓度不降反升；PM2.5平均浓度下降出现在中等风速区间（1.5-2m/s和2-2.5m/s）
- 石家庄：各个风速区间的PM2.5平均浓度均出现明显下降，降至北京的同等水平
- 北京的雾霾治理措施对于冬季低风速静稳天气的PM2.5浓度下降的效果不显著
- 冬季的雾霾治理措施是否对路？





大气污染防治行动计划：大气国十条

- 2013年9月国务院发布了《大气污染防治行动计划》（大气国十条），明确提出到2017年，全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比2012年下降10%以上，优良天数逐年提高；京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物浓度分别下降25%、20%、15%左右，其中北京市细颗粒物年均浓度控制在60微克/立方米左右。
- 京津冀依据大气国十条的要求，制定了减排行动计划。
 - 北京：到2017年SO₂排放量从当前的9.38万吨减少6.37万吨，NO_x排放量从当前的22.45万吨减少10.29万吨；
 - 天津：2017年SO₂排放量从当前的22.45万吨减少13.44万吨，NO_x排放量从33.42万吨减少7.27万吨；
 - 河北：2017年SO₂排放量从当前的134.12万吨减少46.15万吨，NO_x排放量从176.11万吨减少42.37万吨（中国清洁空气联盟，2014）。



依据大气国十条的京津冀大气污染物 减排措施

政策类别	具体措施	涉及部门	能源/产品/ 污染物	削减量（万吨）				削减率（%）	
				北京	天津	河北	北京	天津	河北
调整能源和产业结构	削减煤炭消费量	电力供热	煤炭	900	678	680	71.60	18.02	6.11
		工业	煤炭	200	296	2966	47.17	16.53	19.06
		生活	煤炭	200	27	354	33.96	13.99	17.29
	压缩产能	非金属-水泥	水泥	515	108	3195	58.86	13.78	24.94
		金属冶炼-钢铁	钢铁		424	1749		19.96	9.69
	增加天然气供应	工业+电力供热	天然气	84	93	162	171.40	547.10	648.00
		生活	天然气	25.75	5	67	67.29	71.43	87.00
末端治理	电厂脱硫	电力供热	SO2	0	3.02	13.73	0.00	24.80	37.40
	电厂脱硝		NOX	0.89	4.93	22.5	10.80	22.87	30.28
	电厂除尘升级		PM2.5		0.45	1.3	0.00	23.17	24.62
	燃煤锅炉脱硫	工业	SO2	0.65	5.07	7.01	26.82	73.15	11.09
	燃煤锅炉除尘升级		PM2.5	0.02	0.38	2.05	52.90	68.76	32.82
	钢铁行业脱硫	金属冶炼-钢铁	SO2		1.24	10.25	0.00	28.95	28.85
	钢铁行业除尘升级		PM2.5		1.17	6.23	0.00	29.65	22.50
	水泥行业脱硝	非金属-水泥	NOX	0.26	0.16	3.61	17.42	12.79	24.02
	水泥行业除尘升级		PM2.5	0.59	0.31	3.17	30.50	28.00	22.90
	机动车减排	淘汰黄标车，提高燃油与机动车排放控制标准，发展新能源汽车	交通	NOX	5.24	1.4	5.14	41.21	18.53
VOCs		2.58		1.69	6.29	82.38	72.31	46.95	
PM2.5		0.23		0.07	0.53	42.76	17.42	13.69	
VOC减排	重点行业综合治理	石油、化工	VOCs	0.8	2.27	0.85	10.00	12.97	3.04
	油气回收	石油	VOCs	4.53	3.63	3.39	80.00	64.31	36.22
	推广低VOC涂料溶剂	木材、造纸、印刷、玩具；化工；非金属；机械电子；其他工业	VOCs	2.53	1.7	3.63	13.32	14.17	7.26



京津冀大气污染防治强化措施 (2016-2017)的污染物减排计划

- 对大气“国十条”执行的中期评估认为，依据大气“国十条”制定的减排措施难以确保实现大气“国十条”的PM2.5浓度目标。为了进一步加大雾霾污染防治的力度，提出了《京津冀大气污染防治强化措施（2016-2017）》。

雾霾治理政策可实现的与2012年相比的污染物减排效果比较（单位：%）

年份	污染物	实现浓度目标的减排率	国十条				国十条+强化措施			
			北京	天津	河北	京津冀	北京	天津	河北	京津冀
2017	SO ₂	40.00	42.11	42.36	43.52	43.28	51.93	63.77	58.27	58.57
	NO _x	40.00	39.66	41.06	24.74	28.65	42.55	56.69	35.58	39.34
	一次PM _{2.5}	35.00	30.65	36.25	28.57	29.52	36.18	54.59	35.83	37.81
	VOCs	30.00	16.42	16.62	6.68	10.14	34.84	36.76	11.43	20.01
2020	SO ₂	64.00	50.89	53.30	55.21	54.69	60.31	73.75	68.73	68.84
	NO _x	64.00	49.88	57.03	38.94	42.69	56.71	68.42	51.33	54.35
	一次PM _{2.5}	56.00	37.80	49.10	44.84	44.78	48.30	70.30	52.04	53.68
	VOCs	48.00	23.90	23.91	19.34	20.94	53.37	52.97	26.69	35.98

资料来源：中国清洁空气联盟，京津冀能否实现2017年PM_{2.5}改善目标？基于“大气国十条”的京津冀地区细颗粒物污染防治政策效果评估



蓝天保卫战的光和影

□ 铁腕治污

- 2017年环保风暴
 - ◆ 强化环保督查：打击环境违法行为
 - ◆ 整治违法“小散乱污”企业：京津冀16.7万家小散乱污企业被整治
- 调整产业结构和能源结构
 - ◆ 化解钢铁过剩产能：河北累计压缩炼钢产能4400万吨、炼铁产能4400万吨，水泥产能6500万吨，平板玻璃产能6000万吨
 - ◆ 控煤：河北减少煤炭消费量3400万吨，煤改电、煤改气
 - ◆ 淘汰小型燃煤锅炉
- 2017年大气污染防治工作方案：“2+26”城市（京津冀大气污染传输通道）实行特别排放限值，冬季钢铁有色限产，水泥铸造错峰生产

□ 雾霾治理的社会成本：蓝天不是免费的

- 污染治理政策有效性：杀敌一千，自损八百？如何降低社会成本？



京津冀雾霾治理目标可达性

PM2.5浓度控制目标的不确定性：PM2.5浓度是污染物在大气中反应的结果，受到大气扩散条件等影响，减少燃煤消费、调整能源结构等举措可以减少污染物排放，具体可以达成的空气质量目标难以判断，大气污染防治计划政策效果存在不确定性。需科学把握污染物排放量对PM2.5浓度的影响，以污染物排放量控制为抓手，实现浓度控制目标。

2013年90.1微克/立方米



GAP

北京PM2.5平均浓度

2017年目标60微克/立方米



- 气象条件是不可控因素，需考虑气象条件不变前提下的减排效果
- 当前的雾霾治理措施可以使得PM2.5浓度降到多少？
- 实现PM2.5浓度控制目标，污染物排放量应该减少到多少？





“大气国十条”的政策效果评估

假定风力条件不变的前提下，《大气污染防治行动计划》减排措施能实现的PM2.5浓度是多少？

大气国十条可能达到的PM2.5浓度单位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

区域	周边地区不同时减排		周边地区同时减排	
	PM _{2.5} 浓度可达值	降低比率	PM _{2.5} 浓度可达值	降低比率
北京	75.30	16.25%		
天津	73.75	20.72%		
保定	102.88	18.80%	99.87	21.17%
廊坊	91.67	12.28%		
张家口	37.15	7.44%		
唐山	95.21	13.93%	91.06	17.68%
承德	44.74	15.53%		
石家庄	122.82	14.59%	114.30	20.52%
秦皇岛	58.78	8.89%		
沧州	82.74	9.98%		
衡水	113.38	5.01%	100.99	15.39%
邢台	135.62	6.77%	122.47	15.80%
邯郸	95.31	23.53%		

- 按照大气国十条的减排行动计划，即使是周边区域同时减排的条件下，**2017年京津冀几乎所有区域都难以实现大气国十条的浓度目标：**

- 北京PM2.5年均浓度达到 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 天津和河北各地市PM2.5年均浓度下降25%



“大气国十条”的政策效果评估

如果风力频率分布不发生明显的变化，从现有减排行动计划的PM2.5降低效果来看：

- ❑ “大气国十条”的污染物减排行动计划难以实现PM2.5年均浓度目标。如果要实现PM2.5年均浓度下降25%的目标，天津和河北需要进一步加大污染物减排力度。
- ❑ 石家庄、保定、唐山、邯郸、邢台、衡水等区域不能满足于PM2.5年均浓度下降25%的目标，应该尽可能把PM2.5年均浓度降得更低，尽可能减少重污染天气发生频率。
- ❑ 北京的减排任务较为艰巨，但仍难以达到 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的浓度控制目标，需要考虑调整浓度控制目标。



“大气国十条”的政策效果评估

□ 既定浓度控制目标下PM2.5浓度降低比例

《大气污染防治行动计划》提出，京津冀区域细颗粒物浓度下降25%左右，其中北京市细颗粒物年均浓度控制在60微克/立方米左右。

	2013年PM2.5年均浓度	2017年浓度目标	浓度降低比率
北京	90.10	60	33%
天津	92.34	69	25%
保定	120.19	90	25%
廊坊	101.70	76	25%
张家口	40.30	30	26%
唐山	110.42	83	25%
承德	50.93	38	25%
石家庄	142.43	107	25%
秦皇岛	63.80	48	25%
沧州	92.12	69	25%
衡水	112.68	85	25%
邢台	140.13	105	25%
邯郸	126.59	95	25%
合计	96.94	73	25%



“大气国十条”的政策效果评估

□ “大气国十条”既定政策目标的PM2.5浓度和污染物减排率

假定风力不变，达到既定浓度目标要求的污染物减排率

区域	周边地区不同时减排		周边地区同时减排		达标减排率
	PM _{2.5} 浓度可达值	降低比率	PM _{2.5} 浓度可达值	降低比率	
北京	60.28	25%			70%
天津	69.15	25%			64%
保定	102.88	19%	89.74	25%	46%
廊坊	75.63	25%			55%
张家口	30.70	25%			28%
唐山	95.21	14%	82.50	25%	53%
承德	38.23	25%			37%
石家庄	112.82	15%	107.01	25%	22%
秦皇岛	47.95	25%			42%
沧州	68.99	25%			60%
衡水	105.38	12%	100.99	25%	59%
邢台	107.62	23%	104.88	25%	51%
邯郸	94.35	25%			34%



“大气国十条”的政策效果评估

□ “大气国十条” 既定PM2.5浓度目标的污染物允许排放量

区域	二氧化硫	氮氧化物	烟粉尘	污染物 减排率	PM2.5浓 度可达值
北京	26757	47345	17203	70%	60.28
天津	76307	111340	29598	64%	69.15
保定	57135	87024	55346	46%	89.74
廊坊	14898	26372	15640	55%	75.63
张家口	110044	96614	66801	28%	30.70
唐山	188402	245381	180138	53%	82.50
承德	31230	40660	30190	37%	38.23
石家庄	134329	174868	84825	22%	107.01
秦皇岛	47540	51387	29756	42%	47.95
沧州	29826	39160	28005	60%	68.99
衡水	23356	30163	30053	59%	100.99
邢台	42444	49089	45269	51%	104.88
邯郸	19553	64221	75723	34%	94.35
合计	801822	1063624	688546		
平均减排率	47%	49%	48%		

- 如果风力不变，
- 即使达到大气国十条的浓度目标，石家庄、衡水、邢台、邯郸、保定等城市的PM2.5年均浓度仍高于或接近90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 天津、廊坊、唐山、沧州等城市的PM2.5年均浓度高于或接近70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



强化措施的政策效果

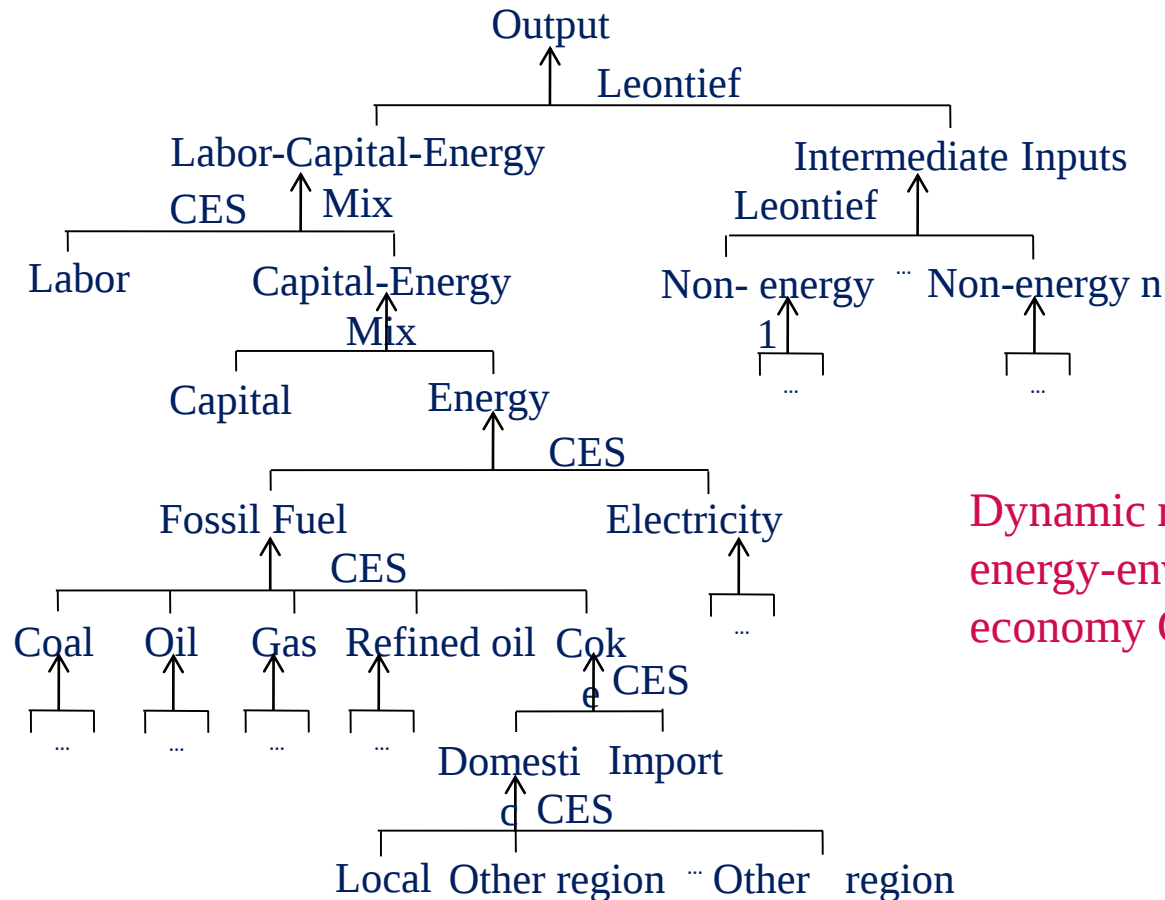
- 如果风力条件与2016年保持不变，大气国十条的基础上加上强化措施可以实现2017 浓度目标。
- 京津冀生态环境保护规划确定的京津冀地区平均PM_{2.5}浓度73μg/m³ 也可以实现。

City	Rate of reduction of pollutant emissions (%)				Predicted PM _{2.5} concentration in 2017	
	SO ₂	NO _x	Smoke and dust	Total air pollutants	Value (μg/m ³)	Rate of decrease (%)
Beijing	77.8	37.0	59.9	63.8	60	29.8
Tianjin	87.5	21.4	51.2	54.6	65	32.5
Baoding	39.5	23.2	24.6	29.9	75	41.3
Langfang	39.5	23.2	25.0	29.7	77	32.2
Zhangjiakou	39.5	23.2	25.0	30.5	36	16.0
Tangshan	39.5	23.2	25.7	32.4	81	28.8
Chengde	39.5	23.2	25.1	29.5	41	19.4
Shijiazhuang	39.5	23.2	25.3	31.2	81	45.3
Qinhuangdao	39.5	23.2	61.2	42.3	57	12.3
Cangzhou	39.5	23.2	25.2	30.1	73	22.2
Hengshui	39.5	23.2	24.8	29.5	73	39.7
Xingtai	39.5	23.2	25.3	30.2	77	50.2
Handan	39.5	23.2	28.6	35.0	68	46.8



雾霾治理政策的成本分析

- 基于多区域CGE模型，构建了京津冀地区能源-经济-环境政策模型，模拟了雾霾治理政策带来的经济影响。



Dynamic multi-regional
energy-environment-
economy CGE model



Scenarios

Table 1. Scenario settings

Scenarios	Description
Baseline scenario	During 2013-2020, gross regional product (GPR) grows and energy intensities reduce (in all regions), based on the local governments' goals in the “12th Five-year plans” (2010-2015) and “13th Five-year plans” (2016-2020) respectively.
Action Plan (AP) scenario	From 2013, the “Air Pollution Prevention and Control Action Plan” and its detailed rules are implemented in the BTH area. After 2017, they continue to be implemented until 2020.
Enhanced Action Plan (EAP) scenario	Based on the AP scenario, from 2016, the “Enhanced measures of Air Pollution Prevention and Control in the BTH area” are carried out until 2020.



Economic impact of APA policies – GRP loss

- 雾霾治理措施将导致京津冀地区GRP总量2017年减少4.8%，2020年减少10.2%。
- 强化措施将导致京津冀地区更大的经济损失。京津冀地区GRP总量2017年将减少8.4%，2020年将减少16%。

Table 2. Regional economic impact of APA policies

% change from baseline			GRP	Income	Cons	Inve	Exports	Imports	Net outflows
2017	AP scenario	BTH	-4.8	-2.54	-2.9	-0.21	-5.2	2.6	-594.4
		Beijing	-4.6	-3.50	-3.6	-0.11	1.6	5.4	-9.7
		Tianjin	-4.1	-3.39	-3.2	-0.16	-4.1	4.4	-9.1
		Hebei	-5.1	-2.57	-2.2	-0.29	-22.9	-11.1	-127.5
		ROC	-0.1	0.41	-0.3	0.01	0.4	4.0	594.4
	EAP scenario	BTH	-8.4	-4.58	-5.0	-0.36	-6.4	2.4	-554.5
		Beijing	-9.7	-6.46	-6.2	-0.19	1.4	6.1	-32.9
		Tianjin	-6.9	-5.85	-5.0	-0.26	-4.6	4.0	-13.0
		Hebei	-8.5	-3.83	-3.9	-0.51	-28.1	-12.7	-205.5
		ROC	0.1	0.45	-0.1	0.00	0.5	4.1	554.5
2020	AP scenario	BTH	-10.2	-5.92	-5.0	-0.49	-8.8	15.8	-856.3
		Beijing	-9.8	-4.85	-3.7	-0.16	3.1	19.5	-42.2
		Tianjin	-6.7	-6.28	-4.9	-0.22	-10.0	21.7	-22.8
		Hebei	-11.7	-7.26	-6.2	-0.84	-34.1	-8.7	-155.5
		ROC	-0.3	0.65	-0.2	0.01	0.7	13.7	856.3
	EAP scenario	BTH	-16.0	-8.45	-6.9	-0.68	-11.5	17.7	-780.1
		Beijing	-18.2	-7.87	-6.4	-0.27	4.4	23.2	-73.8
		Tianjin	-11.1	-8.43	-6.7	-0.29	-13.9	22.7	-40.3
		Hebei	-17.0	-9.57	-7.4	-1.00	-45.6	-8.7	-252.7
		ROC	0.0	0.79	0.3	0.02	0.9	14.4	780.1



雾霾治理措施导致GRP增长率下降

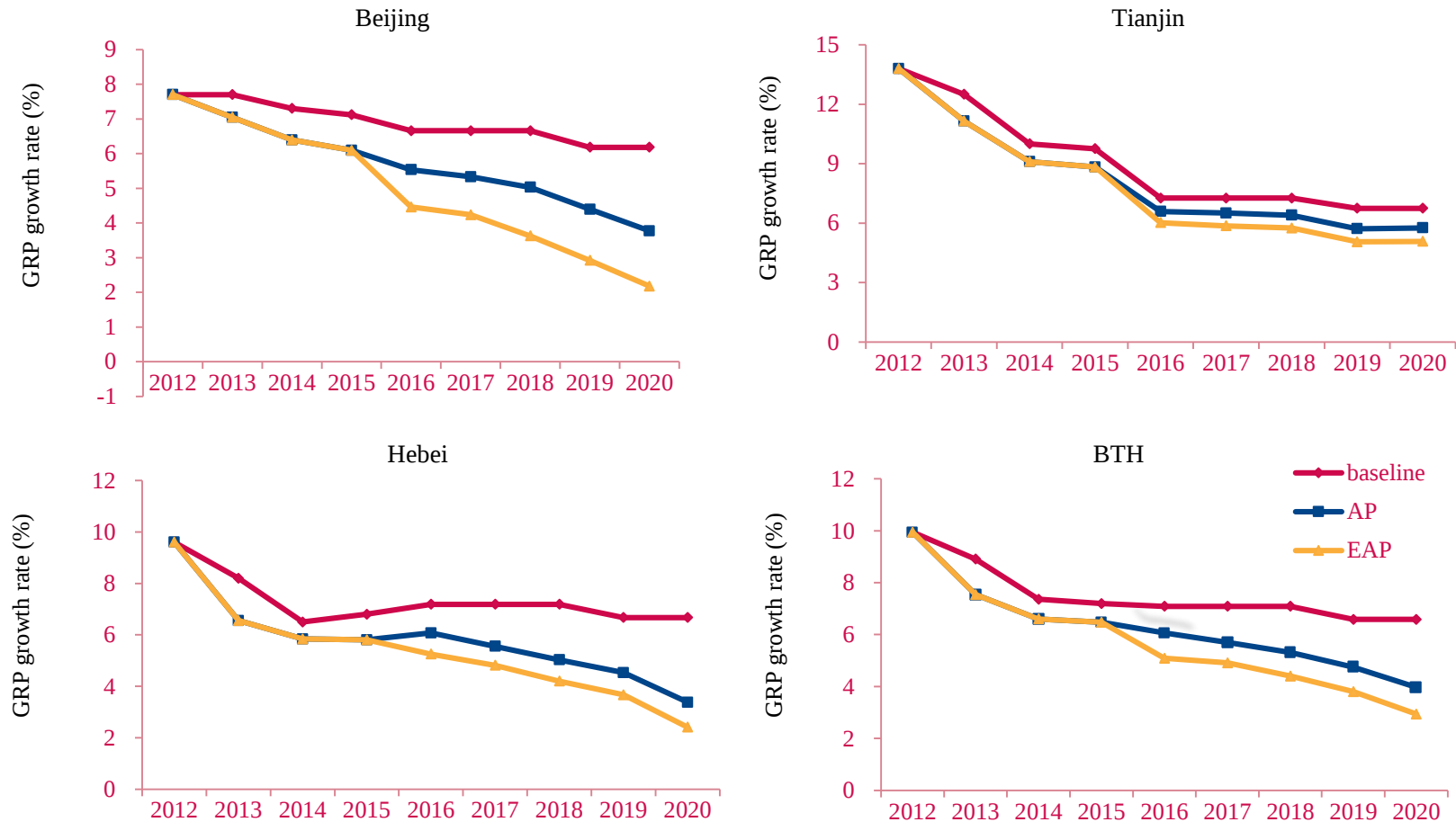


Fig. 2. GRP growth rates (%) in different scenarios



雾霾治理对相关产业部门的影响

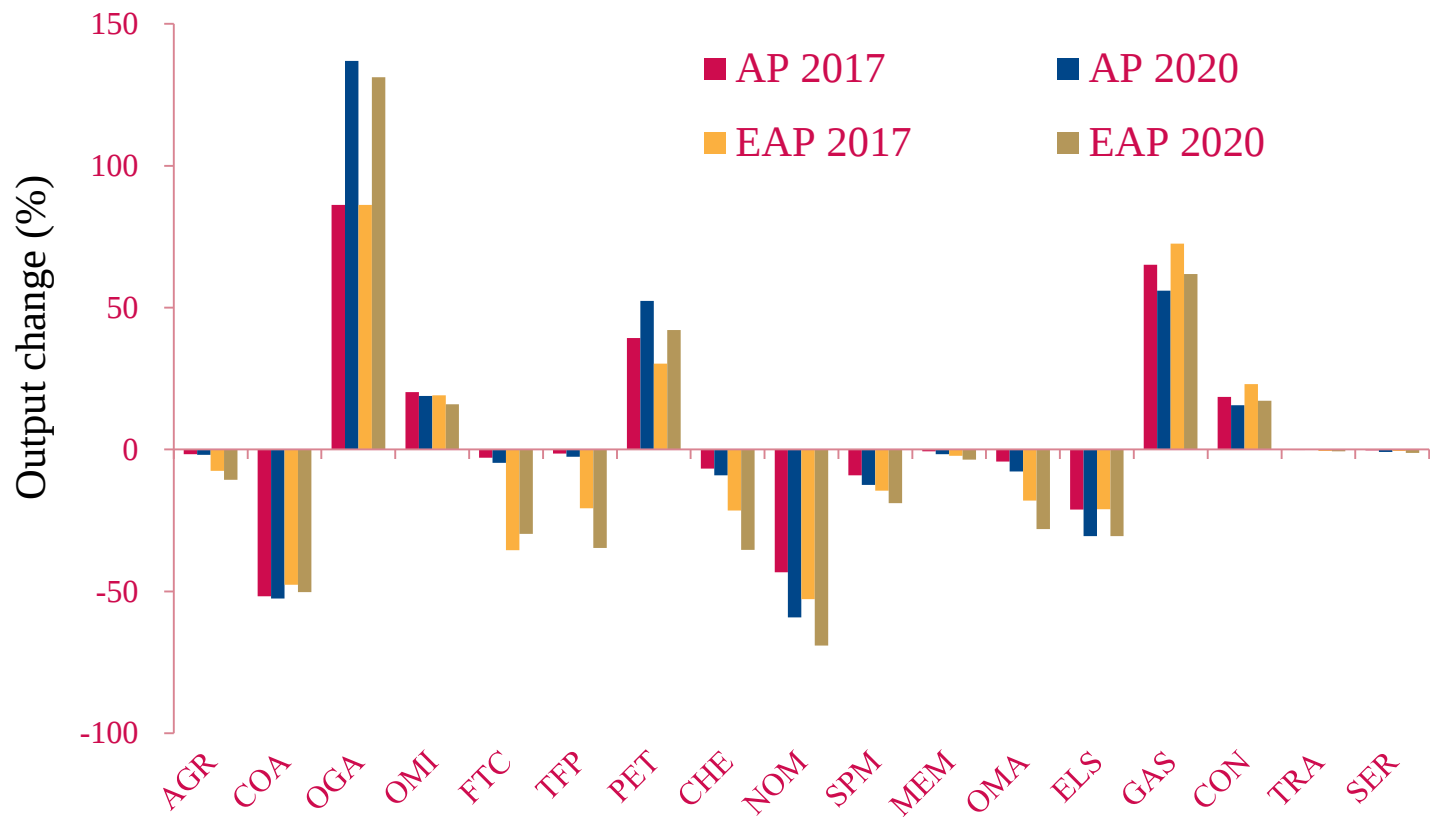


Fig. 3. Sectoral output changes in the AP and EAP scenarios compared to baseline scenarios



雾霾治理措施的减排效果

Table 3. Reduction rates of pollutant emissions and their reduction targets to realize PM_{2.5} concentration targets compared to the 2012 level (%)

Year	Emissions	AP scenario				EAP scenario				Targets
		Beijing	Tianjin	Hebei	BTH	Beijing	Tianjin	Hebei	BTH	
2017	SO ₂	42.1	42.4	43.5	43.3	51.9	63.8	58.3	58.6	40.0
	NO _x	39.7	41.1	24.7	28.6	42.5	56.7	35.6	39.3	40.0
	PM _{2.5}	30.6	36.2	28.6	29.5	36.2	54.6	35.8	37.8	35.0
	VOCs	16.4	16.6	6.7	10.1	34.8	36.8	11.4	20	30.0
2020	SO ₂	50.9	53.3	55.2	54.7	60.3	73.7	68.7	68.8	64.0
	NO _x	49.9	57	38.9	42.7	56.7	68.4	51.3	54.3	64.0
	PM _{2.5}	37.8	49.1	44.8	44.8	48.3	70.3	52	53.7	56.0
	VOCs	23.9	23.9	19.3	20.9	53.4	53	26.7	36	48.0

Note: the reduction target data in the last column of 2017 refers to He *et al.*'s (2014) research based on an air quality model to realize the targets proposed in the “the Air Pollution Prevention and Control Action Plan (2013-2017)”. Based on this, the 2020 data are calculated according to the concentration reduction target of 40% in 2020 proposed in “the Ecological Environmental Plan for Coordinated Development of BTH Area”



各项雾霾治理措施的减排效果

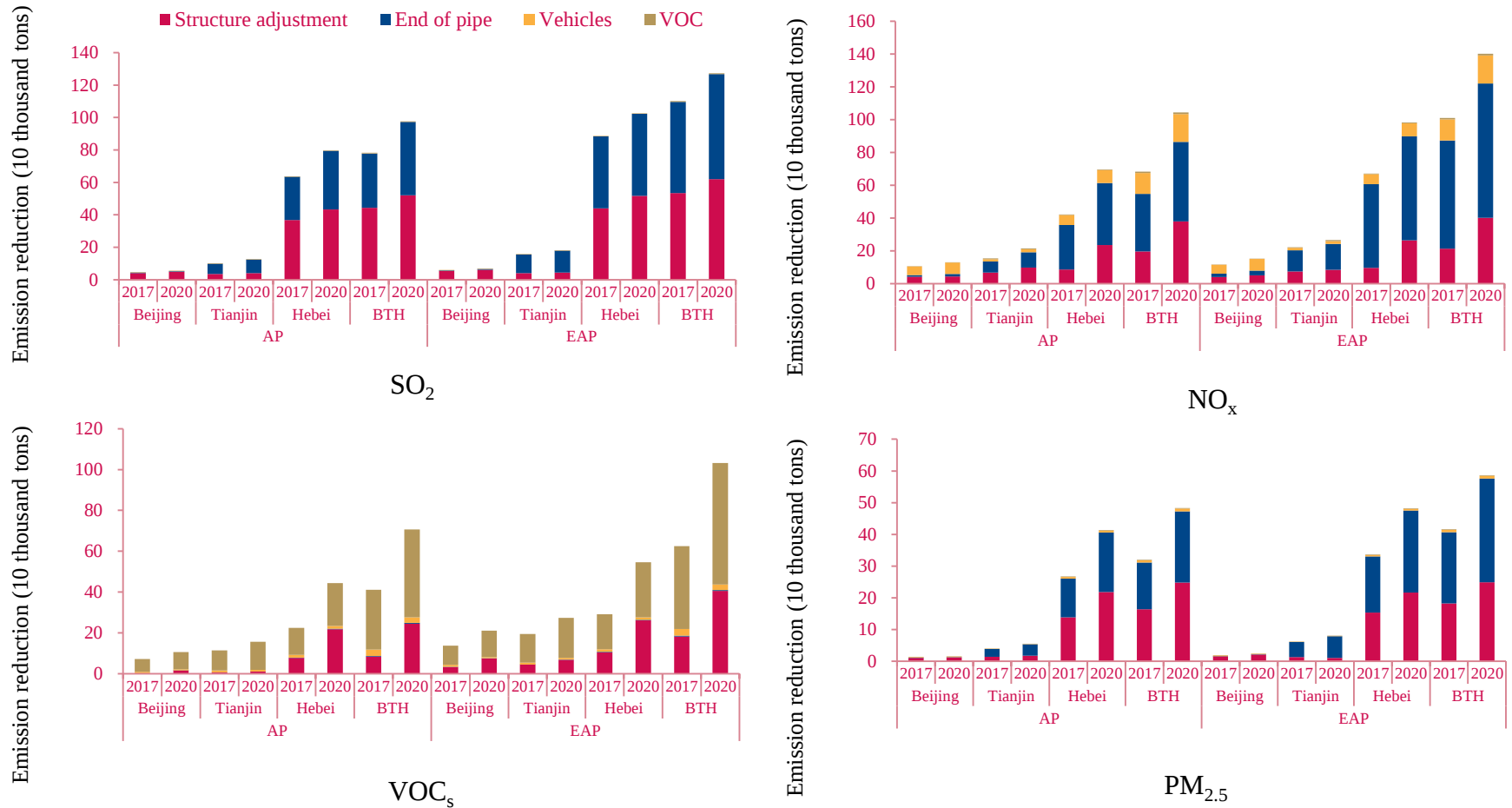


Fig. 4. SO₂, NO_x, VOC_s and primary PM_{2.5} emission reductions compared to baseline scenarios



大气国十条减排措施的经济成本

- 2017年京津冀地区GDP总量损失为4.80%，2020年GDP损失10.25%。
- 河北的GDP损失率高于北京和天津，2017年和2020年的GDP损失分别为5.10%和11.7%。

区域	减排措施	GDP损失（亿元）		GDP损失率(%)		GDP损失占比(%)	
		2017	2020	2017	2020	2017	2020
北京	合计	749.14	1902.64	4.62	9.76	100.00	100.00
	结构调整	691.64	1828.79	4.27	9.38	92.32	96.12
	末端治理	0.09	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
	机动车减排	44.15	57.13	0.27	0.29	5.89	3.00
	VOC减排	13.26	16.72	0.08	0.09	1.77	0.88
天津	合计	635.68	1259.88	4.12	6.69	100.00	100.00
	结构调整	544.68	1145.52	3.53	6.08	85.68	90.92
	末端治理	47.58	61.07	0.31	0.32	7.48	4.85
	机动车减排	14.68	20.66	0.10	0.11	2.31	1.64
	VOC减排	28.74	32.63	0.19	0.17	4.52	2.59
河北	合计	2200.70	6156.63	5.10	11.70	100.00	100.00
	结构调整	1914.52	5783.15	4.44	10.99	87.00	93.93
	末端治理	189.39	251.51	0.44	0.48	8.61	4.09
	机动车减排	46.92	57.48	0.11	0.11	2.13	0.93
	VOC减排	49.87	64.49	0.12	0.12	2.27	1.05
京津冀	合计	3585.52	9319.15	4.80	10.25	100.00	100.00
	结构调整	3150.84	8757.46	4.21	9.63	87.88	93.97
	末端治理	237.06	312.58	0.32	0.34	6.61	3.35
	机动车减排	105.75	135.27	0.14	0.15	2.95	1.45
	VOC减排	91.87	113.84	0.12	0.13	2.56	1.22



大气国十条+强化措施的经济成本

- 京津冀地区的GDP总量2017年损失8.45%，2020年损失16.05%。
- 北京的GDP损失最大，2017年和2020年GDP损失分别为9.70%和18.17%；

区域	减排措施	GDP损失（亿元）		GDP损失率(%)		GDP损失占比(%)	
		2017	2020	2017	2020	2017	2020
北京	合计	1573.36	3543.53	9.70	18.17	100.00	100.00
	结构调整	1490.73	3436.27	9.19	17.62	94.75	96.97
	末端治理	14.75	19.95	0.09	0.10	0.94	0.56
	机动车减排	54.20	70.04	0.33	0.36	3.44	1.98
	VOC减排	13.68	17.27	0.08	0.09	0.87	0.49
天津	合计	1068.33	2092.37	6.93	11.11	100.00	100.00
	结构调整	970.66	1969.92	6.30	10.46	90.86	94.15
	末端治理	50.94	65.34	0.33	0.35	4.77	3.12
	机动车减排	14.92	21.04	0.10	0.11	1.40	1.01
	VOC减排	31.81	36.07	0.21	0.19	2.98	1.72
河北	合计	3673.65	8959.08	8.52	17.03	100.00	100.00
	结构调整	3372.36	8565.11	7.82	16.28	91.80	95.60
	末端治理	204.30	271.73	0.47	0.52	5.56	3.03
	机动车减排	46.70	57.23	0.11	0.11	1.27	0.64
	VOC减排	50.29	65.01	0.12	0.12	1.37	0.73
京津冀	合计	6315.34	14594.98	8.45	16.05	100.00	100.00
	结构调整	5833.75	13971.30	7.80	15.36	92.37	95.73
	末端治理	269.99	357.02	0.36	0.39	4.28	2.45
	机动车减排	115.82	148.31	0.15	0.16	1.83	1.02
	VOC减排	95.78	118.35	0.13	0.13	1.52	0.81

河北的GDP
损失率仍高
于天津，
2017年和
2020年的
GDP损失分
别为8.52%
和17.03%。



各项减排措施的经济成本

Table 4. Average costs of different policies per ton of reduced emissions (CNY 10,000)

Regions	Policies	AP scenario				EAP scenario			
		SO2	NOx	VOCs	PM2.5	SO2	NOx	VOCs	PM2.5
Beijing	Total	355.8	145.7	179.8	1266.1	538.2	232.4	167.3	1489.6
	Struct adjust	378.7	413.8	331.0	1511.4	567.3	666.3	453.7	1652.2
	End of pipe	0.2	0.1	368.3	1.3	40.7	7.2	511.4	217.4
	Vehicles		8.1	88.2	288.2		9.7	106.4	344.8
	VOC			2.0				1.3	
Tianjin	Total	99.6	58.4	80.2	231.9	115.6	78.7	76.5	261.7
	Struct adjust	286.0	116.1	1021.1	655.0	452.2	232.0	285.4	1792.0
	End of pipe	7.2	6.5	867.3	16.9	4.8	4.2	875.9	9.6
	Vehicles		11.2	26.6	407.8		11.4	27.0	411.8
	VOC			2.4				1.8	
Hebei	Total	77.2	88.3	138.8	148.8	87.3	91.2	163.9	185.7
	Struct adjust	133.7	244.5	264.5	264.7	165.8	323.4	327.9	394.7
	End of pipe	6.9	6.7	1016.6	13.4	5.4	4.3	1012.4	10.5
	Vehicles		7.2	44.3	100.4		7.2	44.2	99.9
	VOC			3.1				2.4	
BTH Totoal	Total	95.3	89.3	131.9	192.9	114.6	104.2	141.4	249.0
	Struct adjust	168.1	230.9	356.0	353.0	225.0	348.1	344.1	561.5
	End of pipe	6.9	6.4	993.0	13.9	5.5	4.4	934.6	10.9
	Vehicles		8.0	49.7	164.6		8.7	54.3	179.3
	VOC			2.6				2.0	



雾霾治理措施的经济成本

- “大气国十条”的雾霾治理政策：2017年京津冀地区GDP总量损失4.80%，2020年GDP损失10.25%。
 - 河北的GDP损失率高于北京和天津，2017年和2020年的GDP损失分别为5.10%和11.7%。
 - 导致GDP损失的原因主要是能源和产业结构调整，污染物排放的末端治理、移动源排放控制和VOC减排带来的经济损失程度较小。
- “依据大气国十条”+强化措施的雾霾治理政策：2017年京津冀地区GDP总量损失8.45%，2020年GDP损失16.05%。
 - 北京的GDP损失最大，2017年和2020年的GDP损失分别为9.70%和18.17%；河北的GDP损失率仍然高于天津，2017年和2020年的GDP损失分别为8.52%和17.03%。
 - 导致GDP损失的原因仍主要是能源和产业结构调整，污染物排放的末端治理、移动源排放控制和VOC减排带来的经济损失程度较小。



Sensitivity Analysis

Table 5. Effect of changes in parameter values on the change in GRP and emissions in the 2020 EAP scenario

Changes in parameter values	Regions	Change in GRP	Change in emissions			
			SO ₂	NO _x	VOCs	PM _{2.5}
TFP growth increase by 20%	Beijing	2.82	0.07	1.04	1.02	0.03
	Tianjin	2.38	0.39	1.16	1.67	0.31
	Hebei	1.88	0.30	0.37	1.34	0.49
	BTH	2.19	0.30	0.52	1.35	0.43
TFP growth decrease by 20%	Beijing	-3.43	-0.37	-0.89	-1.04	-0.09
	Tianjin	-2.80	-0.47	-0.75	-1.34	-1.11
	Hebei	-1.91	-0.46	-1.07	-1.56	-0.78
	BTH	-2.43	-0.45	-1.02	-1.44	-0.75
AEEI increase by 20%	Beijing	0.06	-0.62	-0.80	-1.01	-0.98
	Tianjin	0.18	-0.58	-0.61	-1.70	-0.82
	Hebei	0.38	-0.07	-0.40	-0.85	-0.91
	BTH	0.29	-0.20	-0.52	-0.93	-0.78
AEEI decrease by 20%	Beijing	-0.32	0.55	0.61	1.29	1.67
	Tianjin	-0.22	0.70	0.62	1.36	0.17
	Hebei	-0.57	0.11	0.49	0.65	1.03
	BTH	-0.44	0.22	0.58	0.88	1.05
Substitution elasticities increase by 20%	Beijing	0.01	0.21	0.27	0.34	0.33
	Tianjin	0.04	0.19	0.20	0.57	0.27
	Hebei	0.08	0.02	0.13	0.28	0.30
	BTH	0.06	0.07	0.17	0.31	0.26
Substitution elasticities decrease by 20%	Beijing	-0.06	-0.18	-0.20	-0.43	-0.56
	Tianjin	-0.04	-0.23	-0.21	-0.45	-0.06
	Hebei	-0.11	-0.04	-0.16	-0.22	-0.34
	BTH	-0.09	-0.07	-0.19	-0.29	-0.35



Sensitivity Analysis

- Three key parameters/assumptions are manipulated to test the sensitivity of the simulation results.
 - First, is a higher and a lower ($\pm 20\%$) **TFP** growth change in the EAP scenario, the policy scenario with largest shock considered in this paper, since GRP growth is an important driver of energy consumption and pollutant emissions.
 - Second, since energy efficiency improvements contribute substantially to reducing pollutant emissions, a higher and a lower change ($\pm 20\%$) in energy efficiency (**AEEIs**) is also considered.
 - Finally, the **substitution elasticities** between capital and energy and among fossil fuels are varied ($\pm 20\%$) as their empirical estimates vary substantially.
- The effect of changes in key assumptions on GRP and pollutant emissions in the 2020 EAP scenario.
 - Unsurprisingly, the **TFP** growths change has a significant effect on GRP and consequently impacts pollutant emissions. The change in **AEEIs** also has an influence on pollutant emissions, but the impact on GRP is smaller from AEEIs than from TFP growth.
 - The **elasticities of substitution** between capital and energy and between fossil fuels have a smaller impact on GRP and pollutant emissions.
 - The sensitivity results further indicate that these key parameter changes only alter the GRP and pollutant emissions a little in the EAP scenario, suggesting the simulation results are relatively robust.



结论与启示

- 2015年PM2.5年均浓度下降，“天帮忙”起到了很大的作用，“人努力”的效果主要体现在风速偏大的天气，对于低风速静稳天气下PM2.5浓度下降，“人努力”的效果并不显著。
- 如果气象条件没有发生显著变化，京津冀大部分区域即使在周边区域同时减排的条件下，“大气国十条”减排措施难以实现PM2.5浓度控制目标。在气象条件不变的前提假定下，如果要实现“大气国十条”的PM2.5浓度控制目标，京津冀地区需要减少约48%的大气污染物排放量。
- 在“大气国十条”基础上实施京津冀大气污染防治强化措施（2016-2017），污染物减排力度加大，可以实现2017年浓度目标，接近2020年浓度目标。但天津和河北不能满足于PM2.5降低25%的目标，应当把PM2.5年均浓度降得更低。
- **蓝天不是免费的。**雾霾治理政策会给区域经济带来显著的冲击。强化情景（接近现实）下，雾霾治理政策带来的京津冀地区的GDP总量损失2017年为8.45%，2020年为16.05%。
- 环境政策需要考虑社会成本，尽量选择成本有效的治理措施和政策手段。



京津冀雾霾治理政策是否有效

呼唤蓝天！ 谢谢倾听！

- Li, N., X. Zhang, M. Shi and G.J.D. Hewings. Does China's air pollution abatement policy matter? An assessment of the Beijing-Tianjin-Hebei region based on a multi-regional CGE model. *Energy Policy*. 2019. 127:213-227.
- Zhang, X., M. Shi, Y. Li, R. Pang and N. Xiang. Correlating PM2.5 concentrations with air pollutant emissions: a longitudinal study of the Beijing-Tianjin-Hebei region. *Journal of Cleaner Production*. 2018. 179:103-113.

