

# 中国大气污染防治： 进展与展望

清华大学

郝吉明

2013年11月16日



# 中国大气污染防治：历史进展



# 第一阶段：1970年至1990年



- **主要污染源：**工业点源
- **主要污染物：**TSP
- **空气污染范围：**局地
- **空气质量管理：**浓度控制、消烟除尘、工业点源治理、属地管理
- **大事记：**
  - ✓ 1973年，国家发布第一个综合性的排放标准：《工业“三废”排放标准》。
  - ✓ 1987年，发布针对工业和燃煤污染的《大气污染防治法》。



# 第二阶段：1990年至2000年

- **主要污染源**：燃煤、工业
- **主要污染物**：SO<sub>2</sub>, TSP
- **空气污染问题**：煤烟、酸雨
- **空气污染范围**：局地 + 区域
- **空气质量管理**：浓度控制、燃煤控制、工业点源、属地管理
- **大事记**：
  - ✓ 1998年，设立SO<sub>2</sub>和酸雨控制为主的“两控区”；
  - ✓ 2000年，要求“两控区”实行SO<sub>2</sub>排放总量控制标准。



# 第三阶段：2000年至2010年

- **主要污染源：**燃煤、工业、扬尘和机动车
- **主要污染物：**SO<sub>2</sub>、TSP、NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub>
- **空气污染问题：**煤烟、酸雨、灰霾/PM<sub>2.5</sub>、光化学污染、大气污染区域性复合型特征初步显现
- **空气污染范围：**区域 + 全球
- **空气质量管理：**单一的污染物目标总量控制、燃煤排放控制、点污染源、实施属地管理，但启动了多污染源综合管理的进程，并在部分重点区域首次尝试了区域联防联控。
- **大事记：**
  - ✓ **2000年：**修订《大气污染防治法》：两控区的总量控制、机动车排放控制、扬尘污染控制
  - ✓ 二氧化硫排放总量控制范围扩大到全国
  - ✓ 为保障北京奥运会、广州亚运会和上海世博会，实施区域联防联控

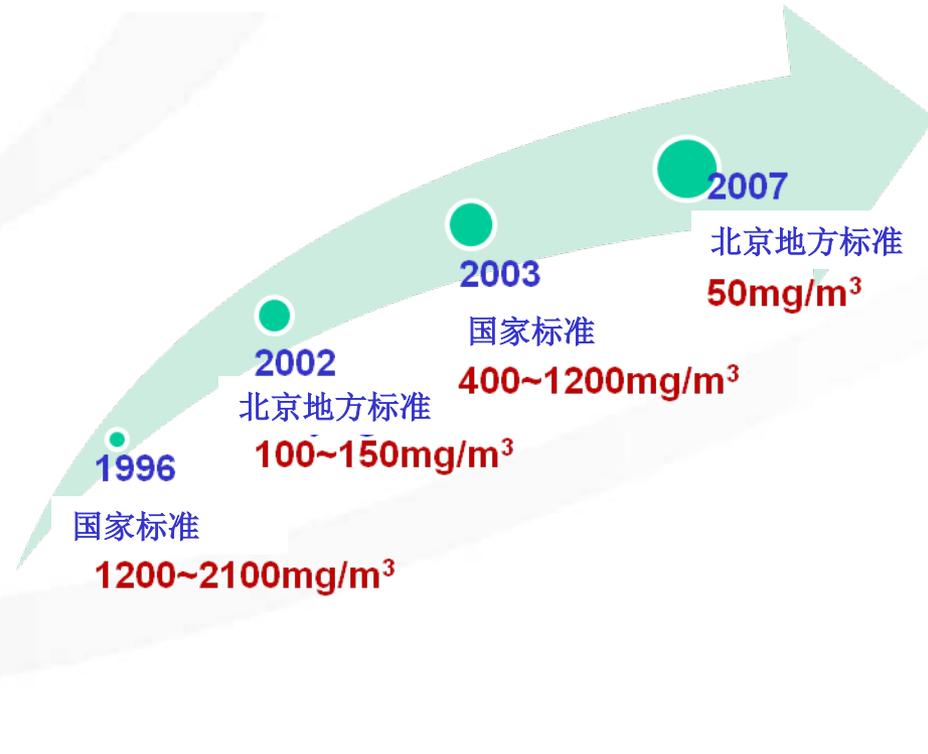


# 排放标准——固定源

## PM排放标准的更新



## SO<sub>2</sub>排放标准的更新



《火电厂大气污染物排放标准》  
我国新建、扩建、改建锅炉排  
放限值

《锅炉大气污染物排放标准》  
北京新建、扩建、改建锅炉排  
放限值



# 排放标准——车辆

## 汽油车排放标准

国家	年份	标准																			
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	01	02	03	04	05	06	07	08	09
美国	排放标准	Tier0			Tier1											Tier2					
	硫含量	338						0-500						Avg.120 Max.300		Avg.30 Max.80					
欧盟	排放标准		EURO1		EURO2			EURO3				EURO4		EURO5							
	硫含量		1000		500			150				50		10							
中国	排放标准										CHN1		CHN2		CHN3	CHN4					
	硫含量									1000		800	500			150					
北京	排放标准										CHN1		CHN2		CHN3	CHN4					
	硫含量										500	150	50								

## 柴油车排放标准

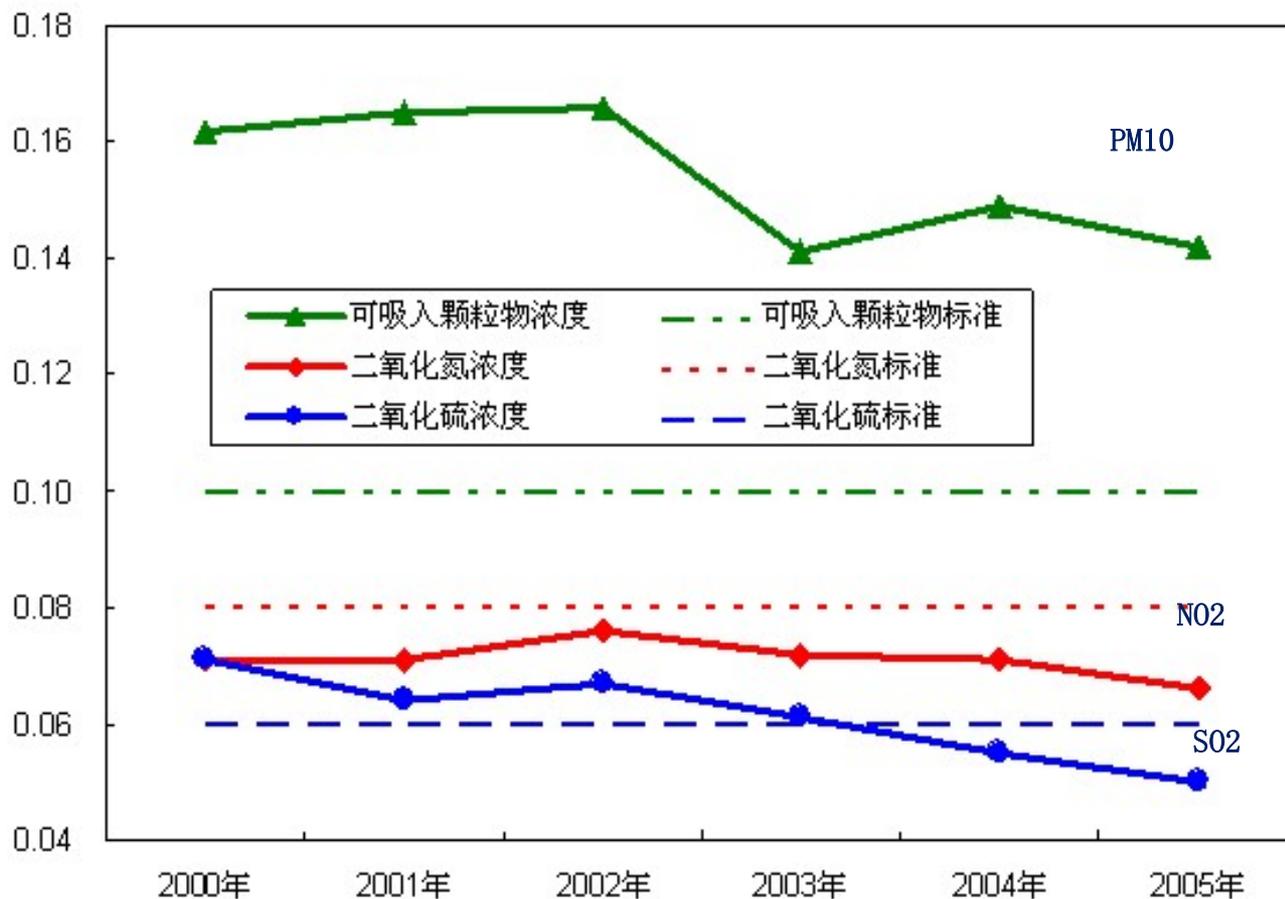
国家	年份	标准																			
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	01	02	03	04	05	06	07	08	09
美国	排放标准	Tier0			Tier1											Tier2					
	硫含量	2000		500						30		15									
欧盟	排放标准		EURO1		EURO2		EURO3			EURO4		EURO5									
	硫含量	3000		2000		500		350			50		10								
中国	排放标准										CHN1		CHN2	CHN3	CHN4						
	硫含量						10000				2000		500								
北京	排放标准										CHN1	CHN2	CHN3	CHN4	CHN5						
	硫含量										500	350	50								



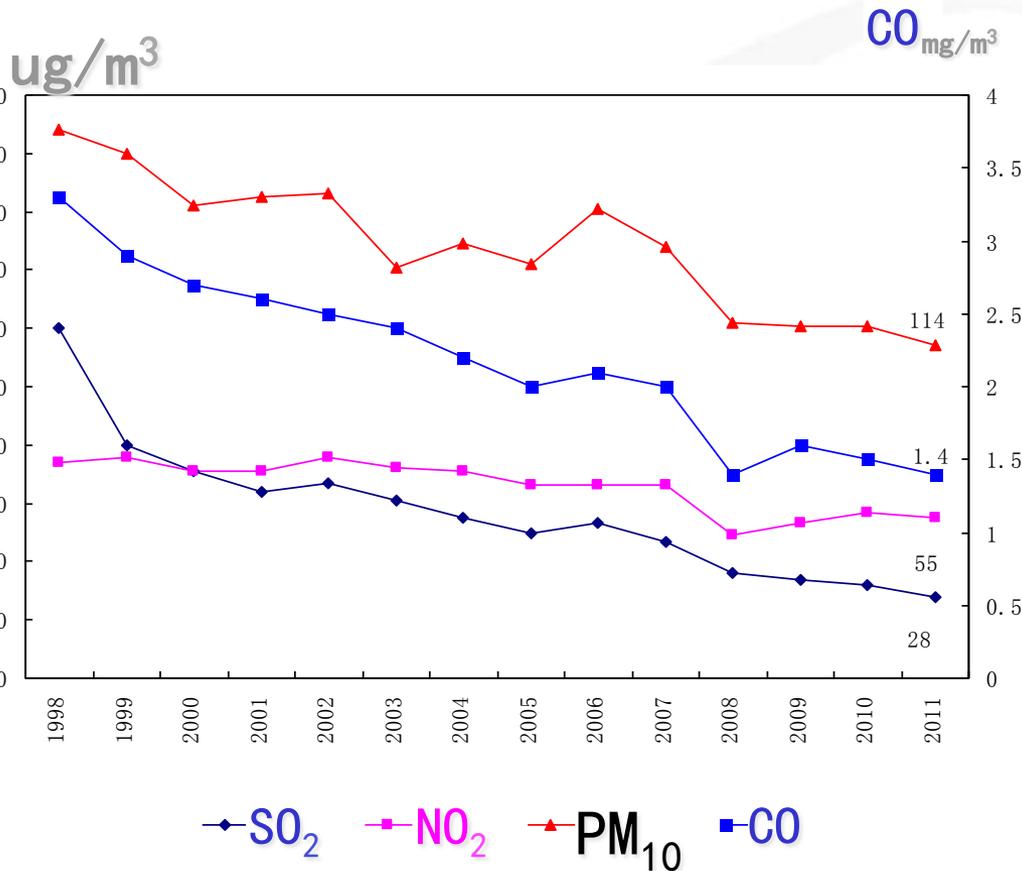
# 空气质量趋势：2000—2005年

mg/m<sup>3</sup>

专栏1 “十五”期间大气主要污染物浓度变化



# 北京经济社会快速发展，空气质量有所改善



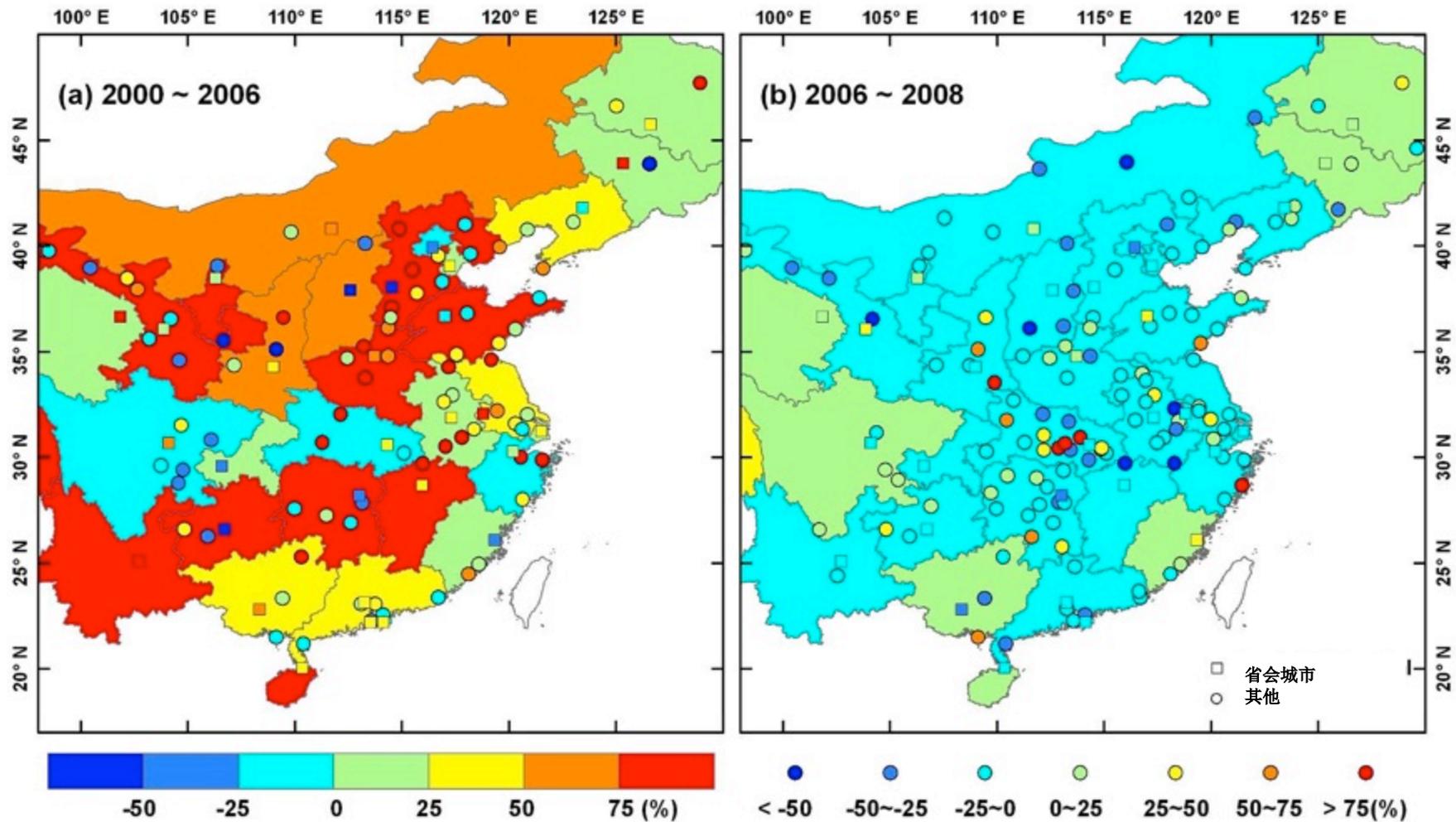
经过多年的大气污染治理，北京空气中各项主要污染物浓度都在呈下降趋势。主要有PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>等，其中：

- ✓ 二氧化硫 : ↓77%
- ✓ 二氧化氮 : ↓26%
- ✓ 可吸入颗粒物 : ↓39%
- ✓ 一氧化碳 : ↓58%

但环境空气质量仍与人民的期待有很大差距。



# 中国SO<sub>2</sub>排放与浓度的区域分布



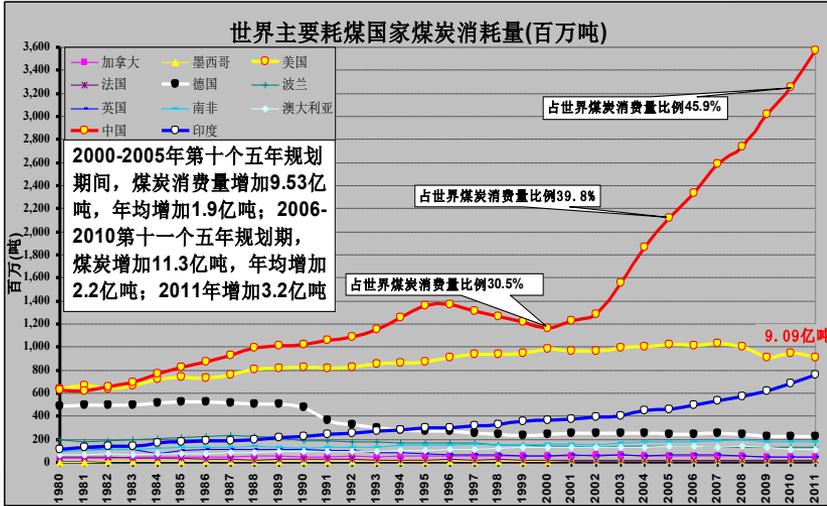
中国各省SO<sub>2</sub> 排放百分比变化和各城市SO<sub>2</sub> 浓度分布

Lu 等, 《环境卫生展望》, 2010年

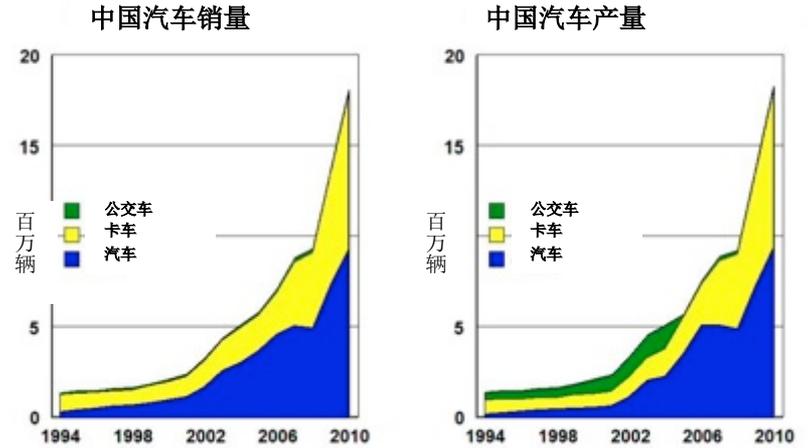


# 中国快速的工业化进程

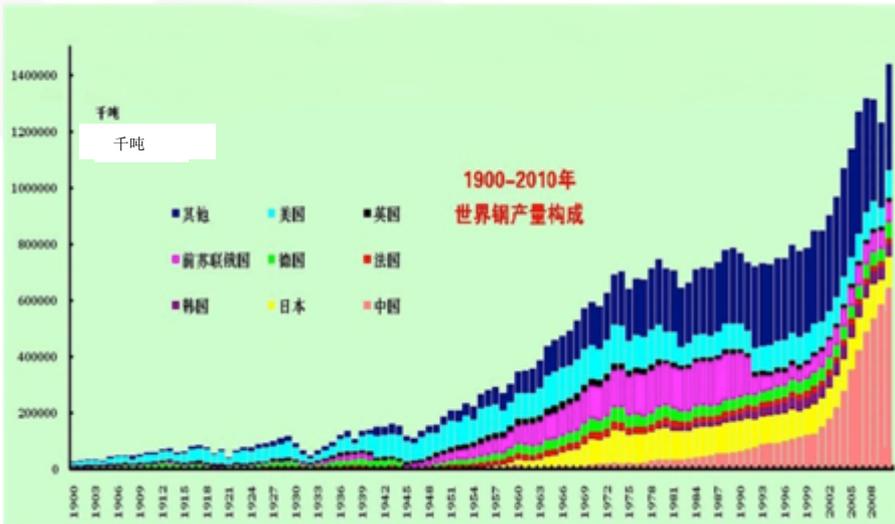
## 能源消费



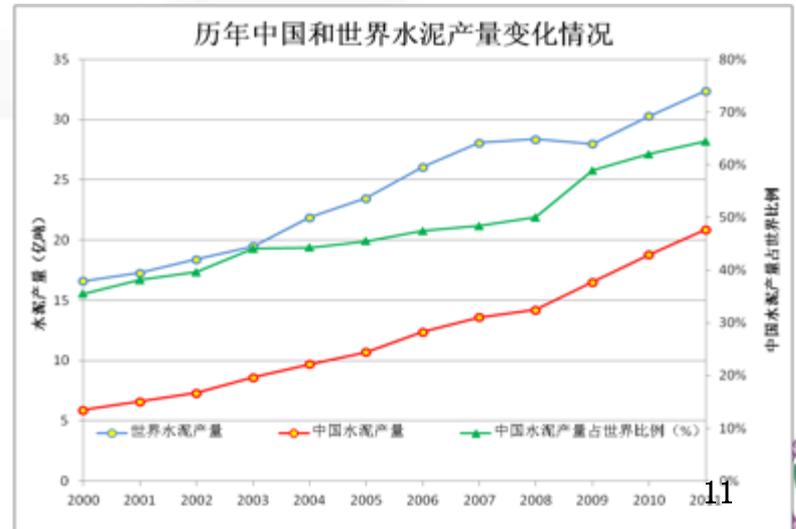
## 汽车保有量



## 钢产量



## 水泥产量



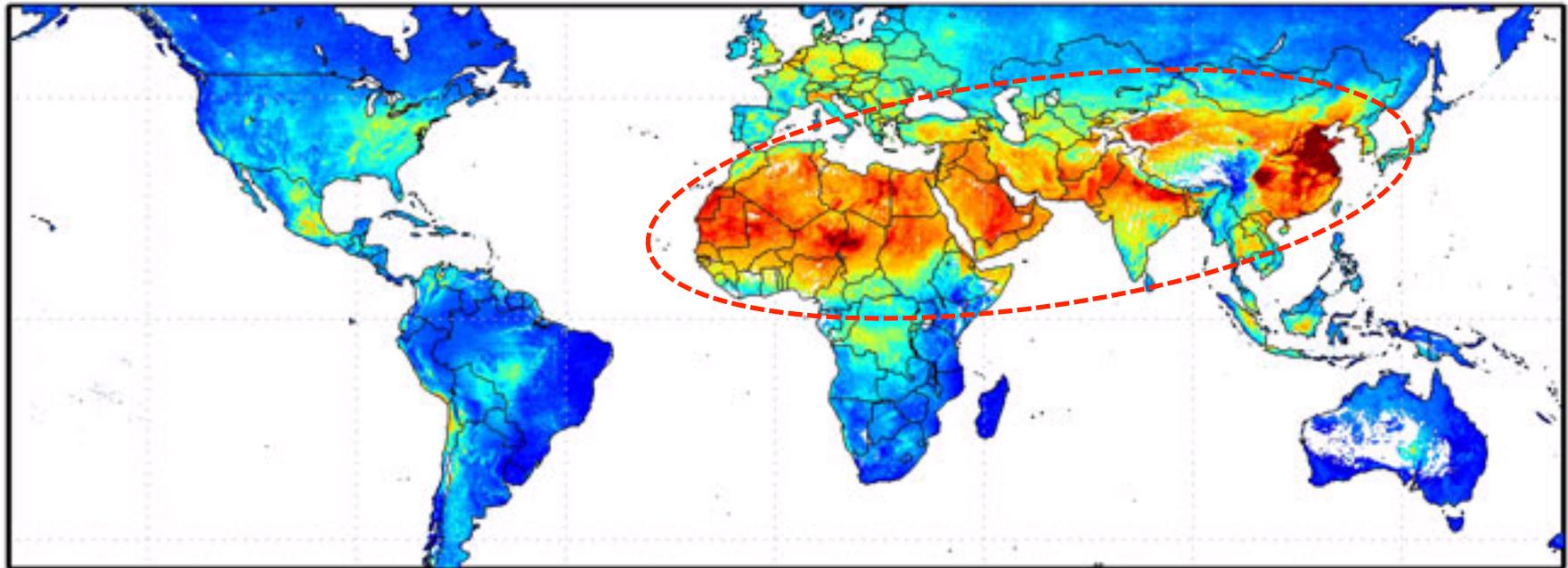
# 中国快速的城市化进程



城市群名称 城市数量	城市群 GDP	枢纽城市 GDP
<b>大城市群</b>		
京津冀 (37)	10.8%	7.9%
上海 (19)	10.8%	6.2%
山东半岛(67)	9.0%	2.1%
杭州 (38)	6.7%	1.6%
广州 (24)	6.6%	2.6%
南京 (27)	4.8%	1.8%
深圳 (2)	4.3%	2.9%
<b>中城市群</b>		
辽中南 (30)	4.3%	2.4%
厦门-福州 (42)	4.2%	1.4%
长江中下游 (42)	4.0%	1.8%
中部 (40)	3.8%	0.7%
长春-哈尔滨 (36)	3.6%	1.6%
成都 (29)	3.2%	1.6%
合肥 (29)	2.8%	0.8%
长株潭 (28)	2.2%	0.8%
关中 (15)	1.9%	1.2%
重庆 (6)	1.8%	1.5%
<b>小城市群</b>		
南宁 (28)	1.8%	0.3%
南昌 (22)	1.7%	0.6%
太原 (19)	1.4%	0.5%
呼和浩特 (10)	1.3%	0.4%
昆明 (16)	1.1%	0.5%



# PM<sub>2.5</sub>: 2001-2006年



卫星提供的PM<sub>2.5</sub>浓度 [µg/m<sup>3</sup>]

van Donkelaar等人, 《环境卫生展望》

(*Environmental Health Perspectives*), 2010年

<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/health-sapping.html>



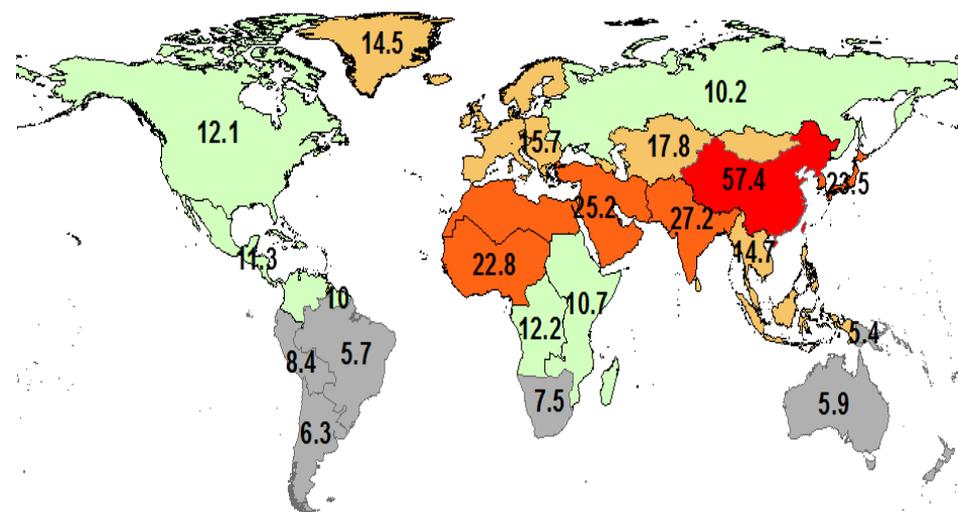


## Exposure Assessment for Estimation of the Global Burden of Disease Attributable to Outdoor Air Pollution

Michael Brauer,<sup>\*,†</sup> Markus Amann,<sup>‡</sup> Rick T. Burnett,<sup>§</sup> Aaron Cohen,<sup>||</sup> Frank Dentener,<sup>⊥</sup> Majid Ezzati,<sup>#</sup> Sarah B. Henderson,<sup>∇</sup> Michal Krzyzanowski,<sup>○</sup> Randall V. Martin,<sup>◆,||</sup> Rita Van Dingenen,<sup>⊥</sup> Aaron van Donkelaar,<sup>◆</sup> and George D. Thurston<sup>+</sup>

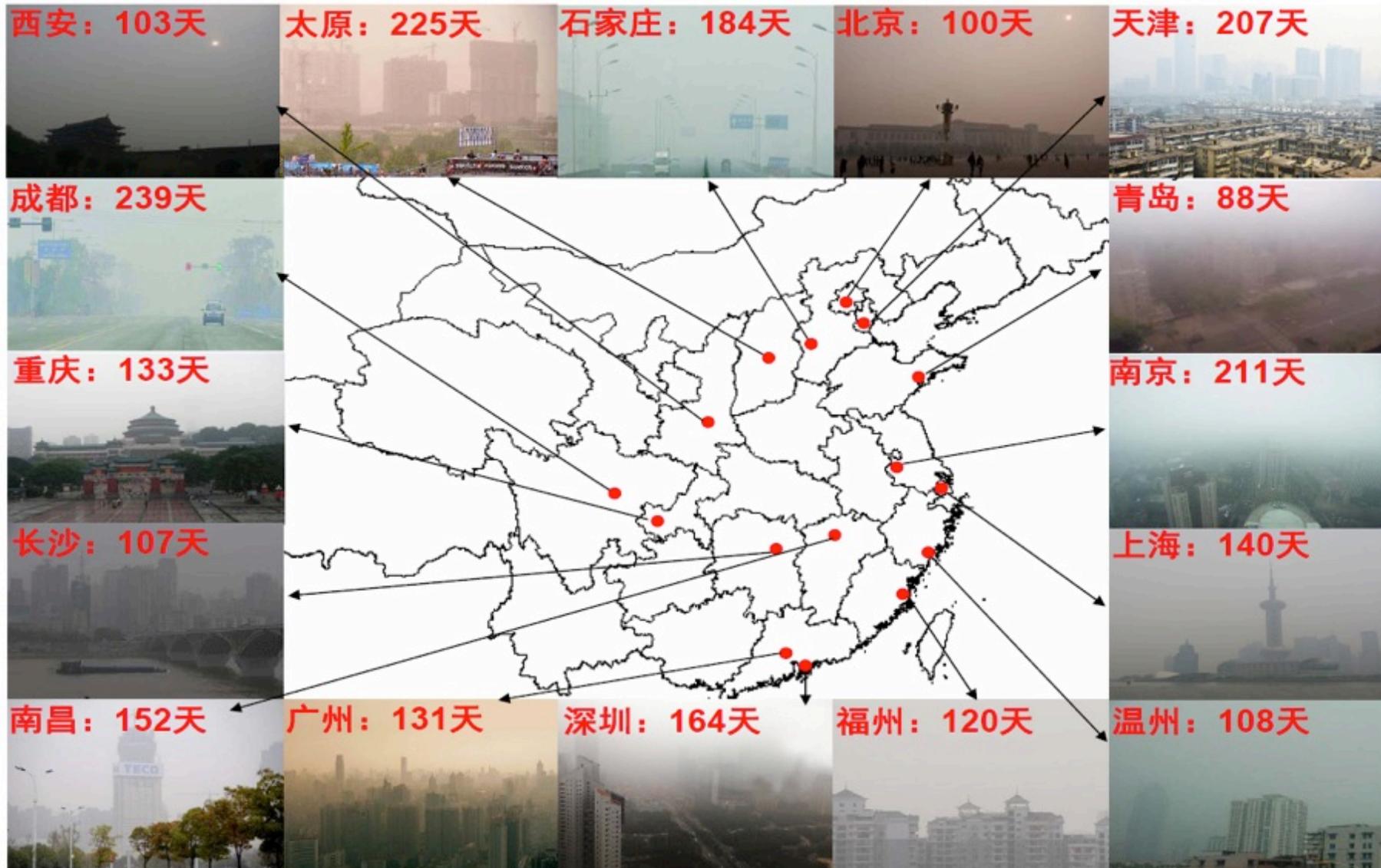
《用于评估室外空气污染导致的全球疾病负担研究的暴露评估》

- 按 10km x 10km 的尺度，估算全球PM<sub>2.5</sub>浓度
- 估算基于卫星(AOD), 大气传输模型和地面观测
- 东/南亚是全球PM<sub>2.5</sub>浓度最高的区域
- 全球89% 的人口生活在PM<sub>2.5</sub>浓度超过世界卫生组织指导值区域 (年平均10 μg/m<sup>3</sup>)



2005按人口加权的PM<sub>2.5</sub>  
区域平均浓度

# 大气灰霾已成为许多地区的重大民生问题



# 站在全球角度看中国城市的空气质量



- 2012年世界银行发布的报告：2009年中国因PM10污染引发公众发病和过早死亡造成的健康损失占GDP的2.8%
- 2011年，WHO 发布世界城市以PM<sub>10</sub> 为主要因子的空气质量报告：在1082个城市中，北京市排名1035位，我国城市环境空气质量好的海口市排名在800位之后。



# 中国大气环境保护的战略目标

2007-2009年中国环境保护部与中国工程院共同完成“中国环境宏观战略研究”，这是一项总结过去、指导现在、谋划未来的重大工程。

## 2050年大气环境保护的总体目标：

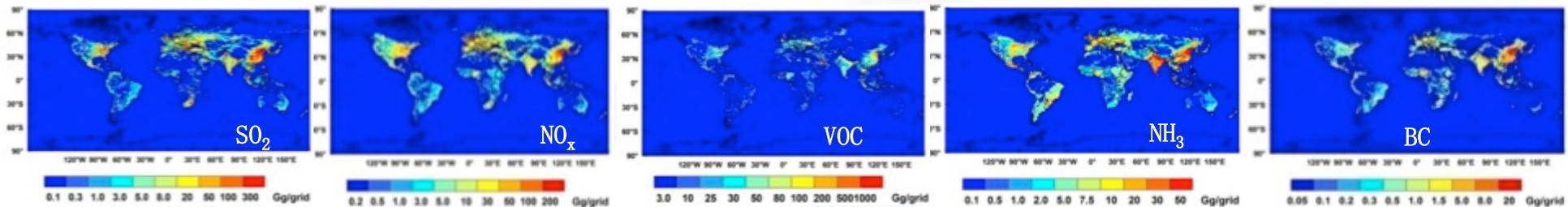
通过大气污染综合防治，大幅度降低环境空气中各种污染物的浓度，城市和重点地区的大气环境质量得到明显改善，全面达到国家空气质量标准，基本实现世界卫生组织(WHO)环境空气质量浓度指导值，满足保护公众健康和生态安全的要求。（希望与世界卫生组织的标准体系接轨。）



# 中国大气污染防治： 2010 年以来的举措



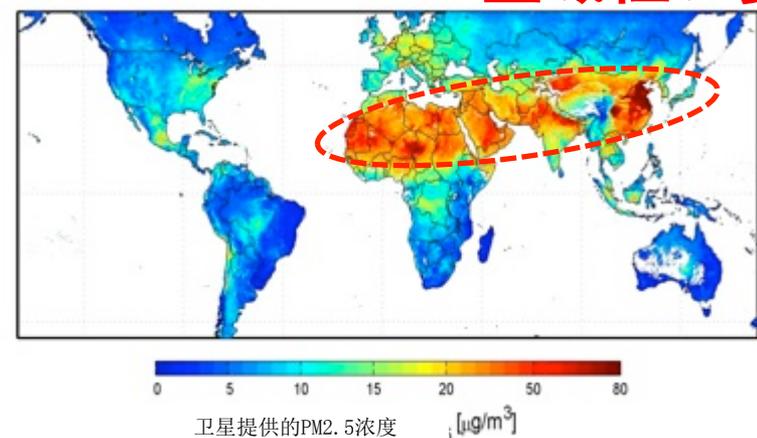
# 第四阶段：2010年



贺克斌, 张强等

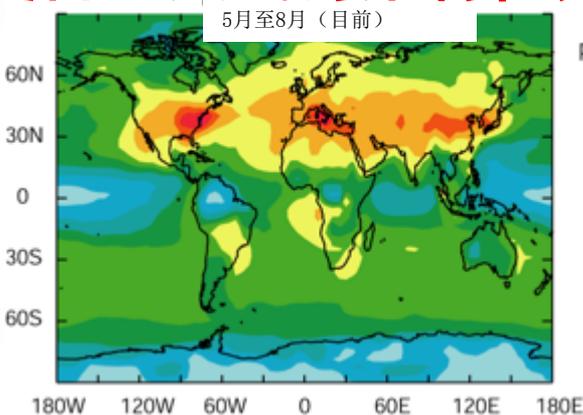
主要大气污染物排放量巨大

区域性、复合型大气污染特征突出



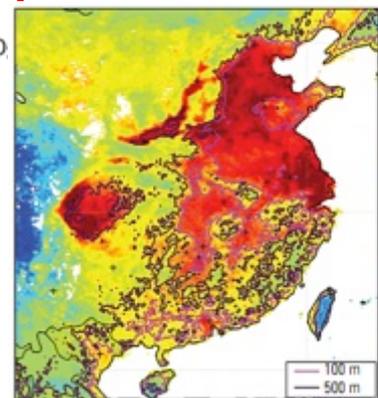
卫星提供的PM<sub>2.5</sub>浓度

$\mu\text{g}/\text{m}^3$



5月至8月(目前)

ppbv O<sub>3</sub>



卫星提供的PM<sub>2.5</sub>浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

van Donkelaar 等人, 2010年

- O<sub>3</sub>浓度高
- 大气氧化性强

- 以城市为中心, 呈区域性

van Donkelaar等人《环境健康展望》, 2010年

- PM<sub>2.5</sub>年均浓度绝对值高
- PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>比值持续上升
- PM<sub>2.5</sub>中二次成分比例持续增长
- 能见度降低



# 将SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放量纳入十二五规划约束性指标

	<b>SO<sub>2</sub></b> <b>(百万吨)</b>	<b>NO<sub>x</sub></b> <b>(百万吨)</b>
<b>2010排放量</b>	<b>22.08</b>	<b>21.57</b>
<b>2010-2015预计新增量</b>	<b>4.17</b>	<b>5.34</b>
<b>2010-2015新增减排能力</b>	<b>5.97</b>	<b>7.6</b>
<b>2010-2015减排百分比</b>	<b>8%</b>	<b>10%</b>





## 中国火电厂排放标准的演变

1996  
中国

**SO<sub>2</sub>: 1200-2100mg/m<sup>3</sup>**  
**NO<sub>x</sub>: 650-1000mg/m<sup>3</sup>**  
**PM: 200mg/m<sup>3</sup>**

2003  
中国

**SO<sub>2</sub>: 400-1200mg/m<sup>3</sup>**  
**NO<sub>x</sub>: 450-1000mg/m<sup>3</sup>**  
**PM: 50mg/m<sup>3</sup>**

2011  
中国

**SO<sub>2</sub>: 200mg/m<sup>3</sup>**  
**NO<sub>x</sub>: 100-200mg/m<sup>3</sup>**  
**PM: 30mg/m<sup>3</sup>**



# 颁布环境空气质量新标准 (GB3095-2012)



表1 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	年平均	20	60	μg/m <sup>3</sup>
		24小时平均	50	150	
		1小时平均	150	500	
2	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )	年平均	40	40	
		24小时平均	80	80	
		1小时平均	200	200	
3	一氧化碳 (CO)	24小时平均	4	4	mg/m <sup>3</sup>
		1小时平均	10	10	
4	臭氧 (O <sub>3</sub> )	日最大8小时平均	100	160	μg/m <sup>3</sup>
		1小时平均	160	200	
5	颗粒物 (粒径小于等于10 μm)	年平均	40	70	
		24小时平均	50	150	
6	颗粒物 (粒径小于等于2.5 μm)	年平均	15	35	
		24小时平均	35	75	

表2 环境空气污染物其他项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	总悬浮颗粒物 (TSP)	年平均	80	200	μg/m <sup>3</sup>
		24小时平均	120	300	
2	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	年平均	50	50	
		24小时平均	100	100	
		1小时平均	250	250	
3	铅 (Pb)	年平均	0.5	0.5	
		季平均	1	1	
4	苯并[a]芘 (BaP)	年平均	0.001	0.001	
		24小时平均	0.0025	0.0025	

附件:

ICS 13.040.20  
Z 50



中华人民共和国国家标准

GB 3095—2012  
代替 GB 3095—1996 GB 9137—88

环境空气质量标准

Ambient air quality standards

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2012-02-29 发布

2016-01-01 实施

环境保护部 发布  
国家质量监督检验检疫总局



# 四个战略转折点



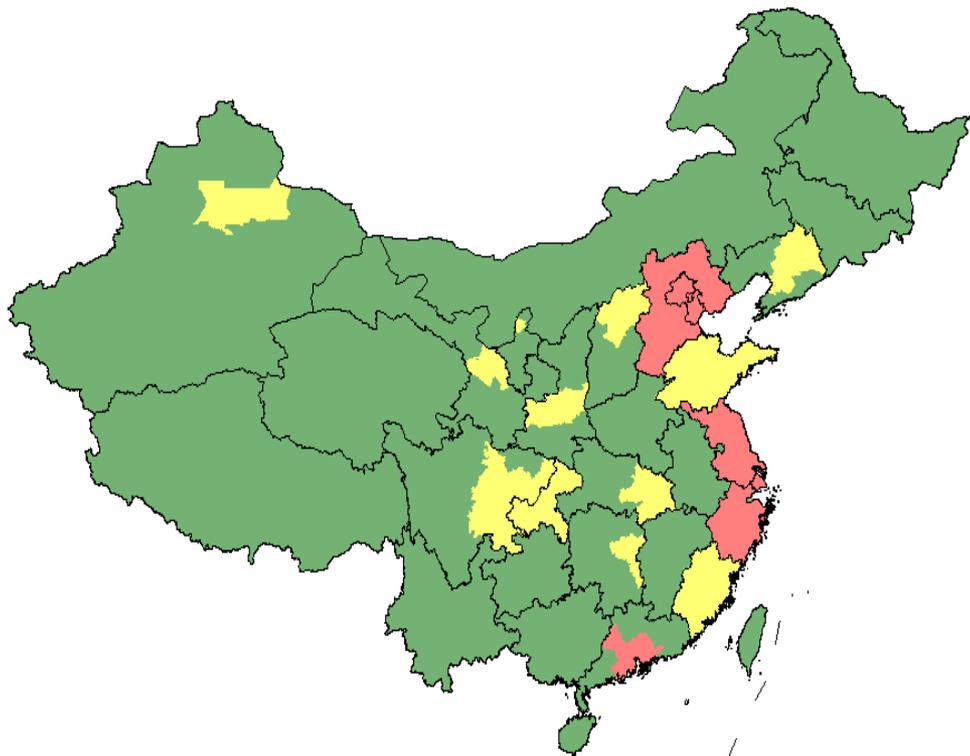
## ● 大事记:

国务院发布了两个主要文件

- ✓ 2012年, 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》全面体现四个战略性转折。
- ✓ 2013年, 《大气污染防治行动计划》是系统提出四个转折之后空气质量管理的。



# 重点区域大气污染防治“十二五”规划



## 3个地区和10个城市群体

1. 京津冀
2. 长江三角洲
3. 珠江三角洲
4. 辽宁中部
5. 山东半岛
6. 武汉及其周边
7. 长株湘
8. 成渝
9. 海峡西岸
10. 山西中北部
11. 陕西关中
12. 兰州白银
13. 新疆乌鲁木齐

- 共13个地区，包括19个省、117个市，132.56万平方米
- 排放强度是全国平均水平的2.9-3.6倍
- 根据新的空气质量标准，82%的城市不达标
- 复合型空气污染，包括PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>



# 重点地区规划目标

重点是空气质量改善和污染减排

类别		指标	百分比
空气质量	1	SO <sub>2</sub> 年均浓度下降	10%
	2	NO <sub>2</sub> 年均浓度下降	8%
	3	PM <sub>10</sub> 年均浓度下降	10%
	4	PM <sub>2.5</sub> 年均浓度下降	5%
	5	臭氧超标天数减少	5%
排放控制	6	SO <sub>2</sub> 减排量	12%
	7	NO <sub>x</sub> 减排量	13%
	8	工业粉尘减排量	10%
	9	VOC减排量（重点行业）	14%



# 1月中国各地雾霾污染事件



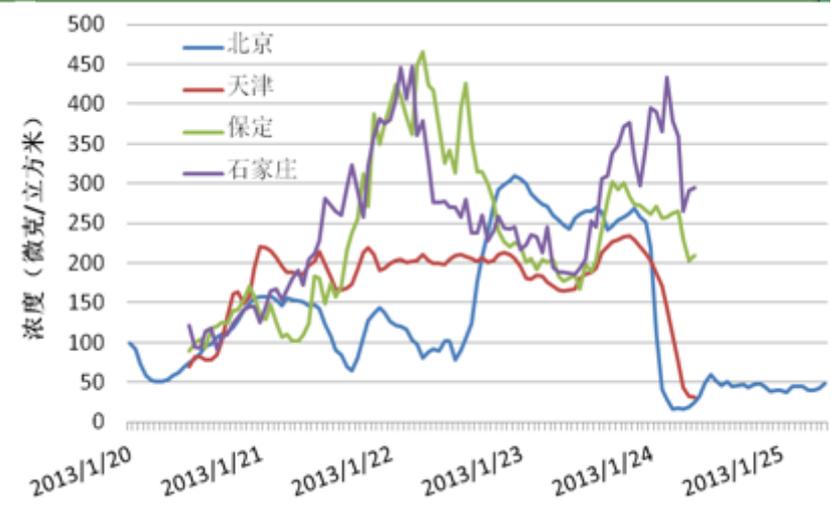
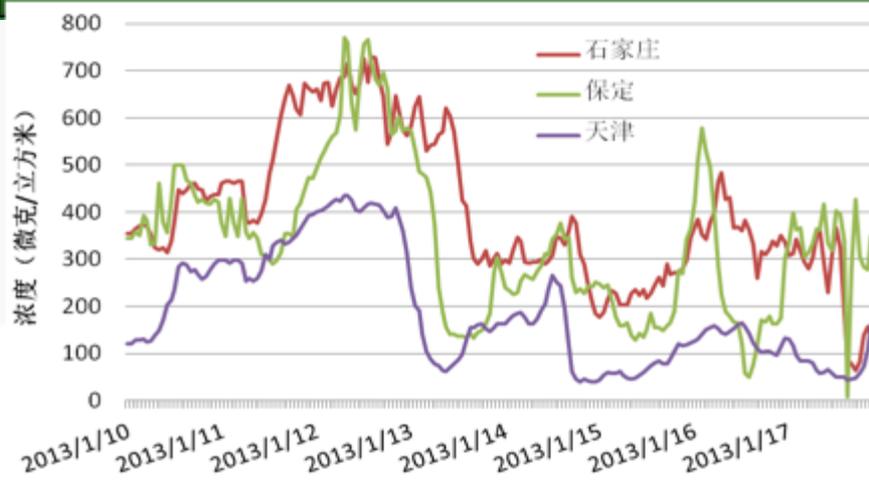
## 2013年1月：特点

130万平方公里

在一些地区，  
雾霾持续三周

PM2.5浓度爆表

8.5亿人受到霾  
的影响





# 大气污染防治行动计划 或国务院的10项措施： 空气质量方面的新进展



# 目标与原则

1

**加快改善空气质量：**基于当前的十二五规划，做出实施计划以实现更大程度的改善

2

**强调重点地区：**重点区域实行更高的目标（京津冀，长江三角洲和珠江三角洲）

3

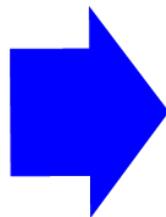
**控制重点：**重点区域的控制重点为 $PM_{2.5}$ ，其他地区的控制重点是 $PM_{10}$



## 奋斗目标：

经过五年努力，全国空气质量总体改善，重污染天气较大幅度减少；京津冀、长三角、珠三角等区域空气质量明显好转。

力争再用五年或更长时间，逐步消除重污染天气，全国空气质量明显改善

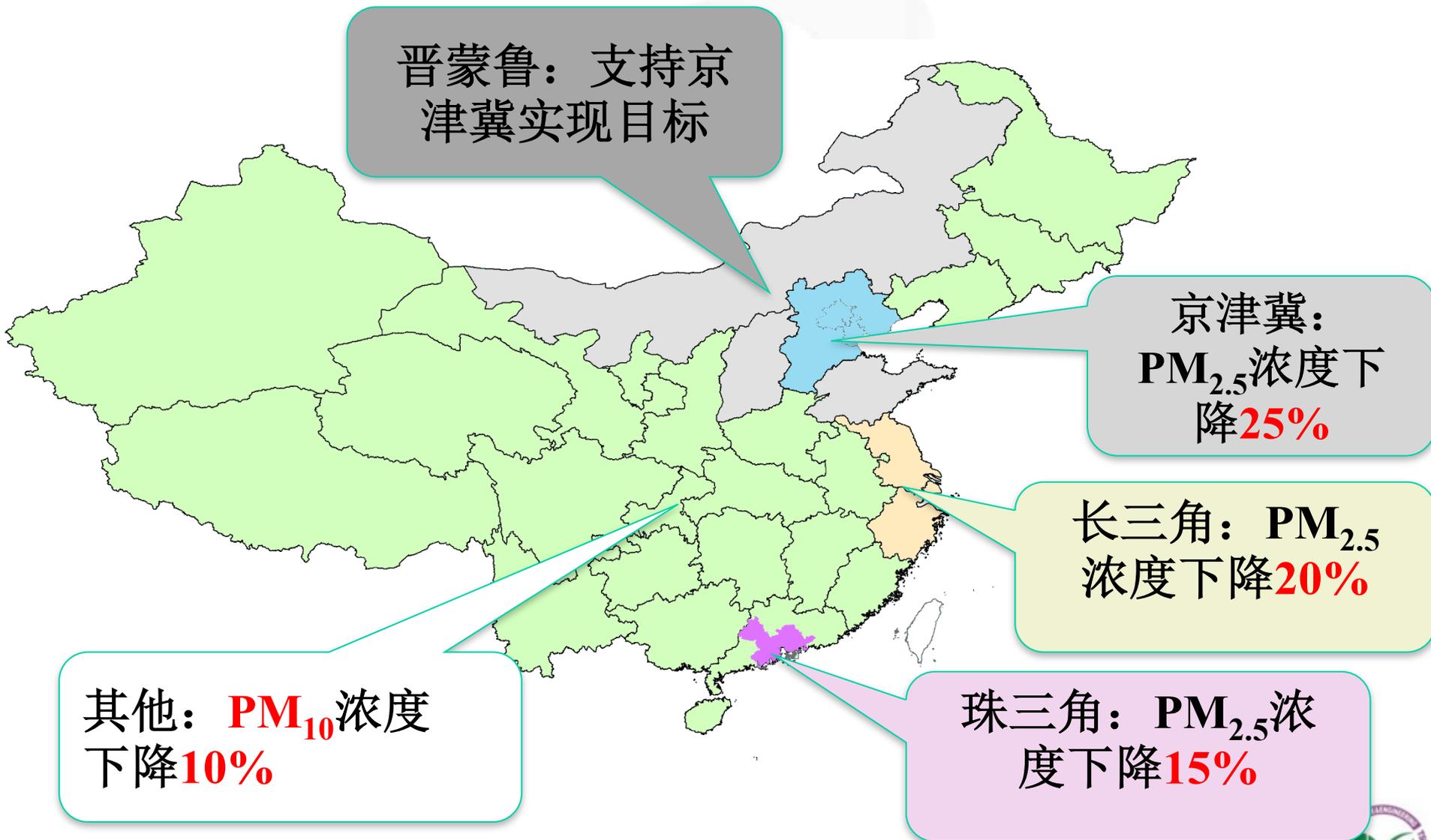


## 具体指标：

到2017年，全国地级及以上城市in  $PM_{10}$ 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。

# 突出了分区控制，分类指导的思想



# 关注了大气污染产生的重要因素： 1.加快产业结构调整

SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、烟粉尘和VOCs排放量符合要求成为环评审批前置条件

提高环保、能耗、质量等标准，促进“两高”行业过剩产能退出

提前一年完成“十二五”期间21个重点行业的落后产能淘汰目标任务



## 关注了大气污染产生的重要因素：2. 加快能源清洁利用

### 优化能源结构

- **2017年**，全国煤炭比重降低至**65%以下**；京津冀、长三角、珠三角煤炭消费量**负增长**

### 推进煤炭清洁利用

- 到**2017年**，原煤入选率达**70%以上**；减少原煤散烧

### 增加清洁能源供应

- 新增天然气干线管输能力**1500亿立方米**以上



# 关注了大气污染产生的重要因素：2. 加快能源清洁利用

新增加1500亿立方天然气供应量，如果用于替代部分燃煤工业锅炉耗煤，预计可减排：**SO<sub>2</sub> 359-579万吨；NO<sub>x</sub> 60-160万吨；烟尘 134-272万吨。**

排放因子				备注
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	
<b>燃煤工业锅炉</b> (kg/t)	10-16	3-5.7	3.8-7.5	
<b>燃气工业锅炉</b> (kg/10k·m <sup>3</sup> )	5.53	33.15	2.21	燃气工业锅炉新标准



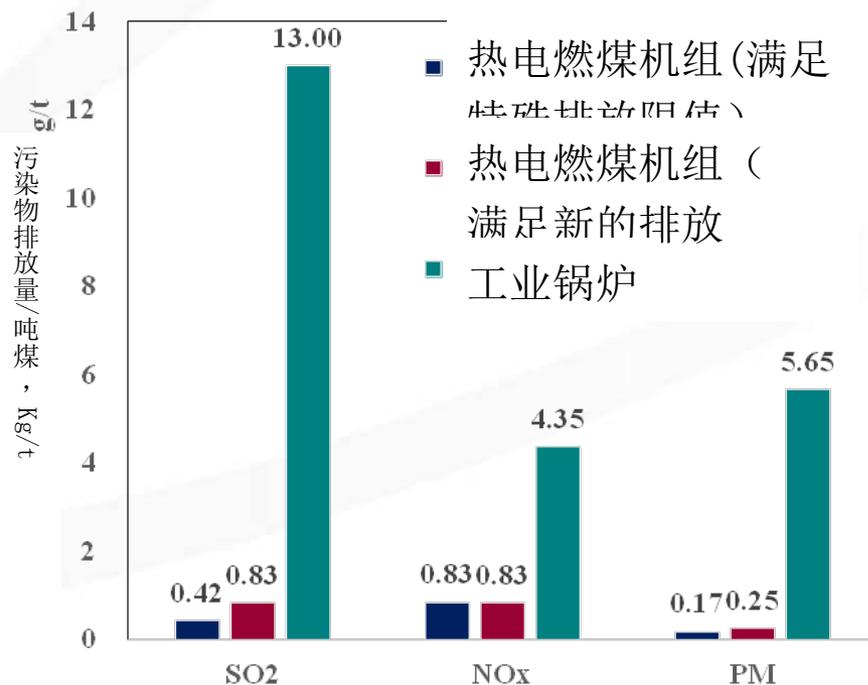
# 关注了大气污染产生的重要因素： 2. 加快能源清洁利用

热电联产替代工业燃煤锅炉，减排显著。

根据等量置换原则，如热电联产锅炉替代部分小型工业锅炉（经测算20t/h以下燃煤工业锅炉的耗煤量约为2.66亿吨）

◆热电联产锅炉达到新排放标准（GB 13223—2011）时，可减排SO<sub>2</sub>: 248-408万吨，NO<sub>x</sub>: 62-134万吨，烟尘: 95-194万吨

◆热电联产锅炉达到特别排放限值（GB 13223—2011）时，可减排SO<sub>2</sub>: 257-416万吨，NO<sub>x</sub>: 62-134万吨，烟尘: 97-195万吨



# 关注了大气污染产生的重要因素：3.强化机动车污染防治

## 控制大城市机动车保有量

北京、上海、广州等特大城市严格限制机动车保有量

## 提升燃油品质

**2015年底前**，京津冀、长三角、珠三角等区域内重点城市供应硫含量不大于**10ppm**的车用汽、柴油；**2017年底前**，全国供应硫含量不大于**10ppm**的车用汽、柴油。

## 加快淘汰黄标车

到**2015年**，基本淘汰京津冀、长三角、珠三角等区域内的**500万辆**黄标车。到**2017年**，基本淘汰**全国**范围的黄标车



# 关注了大气污染产生的重要因素：3.强化机动车污染防治

## 加强机动车环保管理

加强在用机动车年度检验，对不达标车辆不得发放环保合格标志，不得上路行驶。

## 加快推进低速汽车升级换代

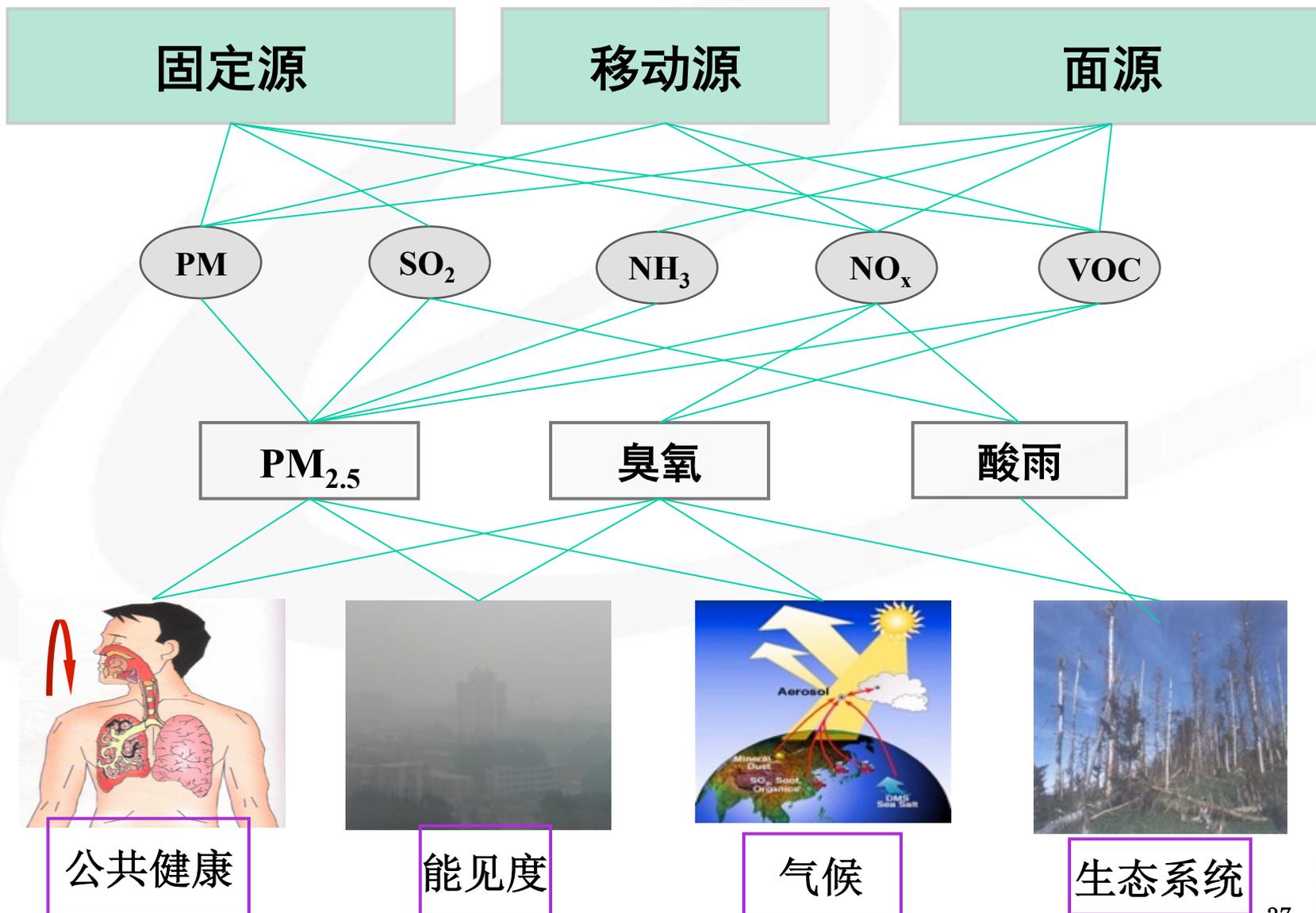
自2017年起，新生产的低速货车执行与轻型载货车同等的节能与排放标准。

## 大力推广新能源汽车

公交、环卫等行业和政府机关要率先使用新能源汽车，鼓励个人购买。北京等城市每年新增或更新的公交车中新能源和清洁能源车的比例达到60%以上。



# 推动多污染源综合控制、多污染物协同控制



# 建立京津冀、长三角区域联防联控工作协调机制

国务院  
有关部门

省级  
人民政府

- 协调解决区域内突出环境问题
- 组织实施环评会商、联合执法、信息共享、预警应急等工作
- 通报工作进展
- 研究确定阶段性工作要求、工作重点和主要任务。

# 针对京津冀提出了特别要求



京津冀+晋蒙鲁

高于全国平均水平的污染治理要求

强化钢铁、水泥等行业的落后产能淘汰

煤炭消费总量减少**8300**万吨

强化联防联控和监督考核机制





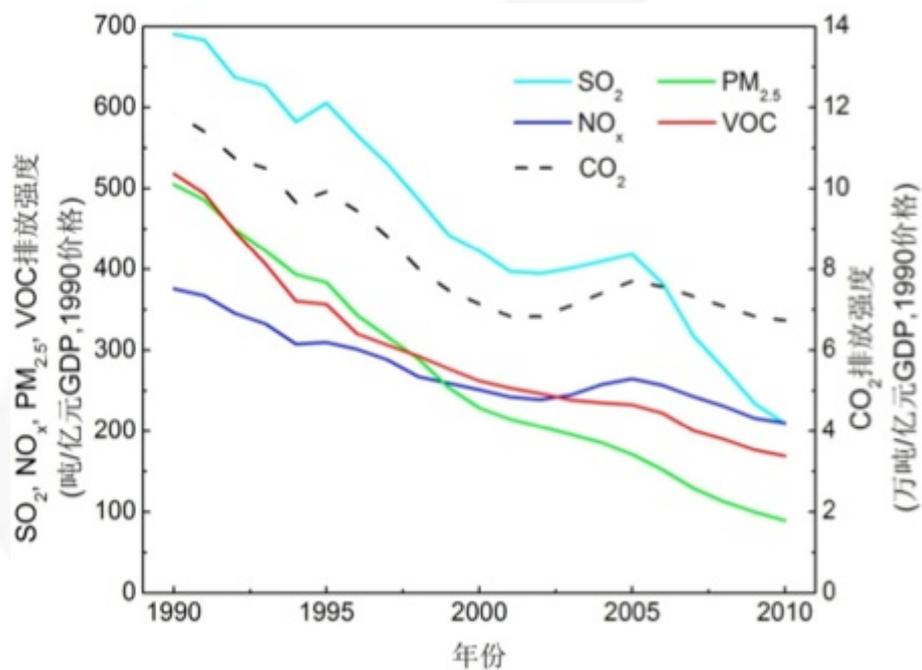
# 中国大气污染防治： 展望



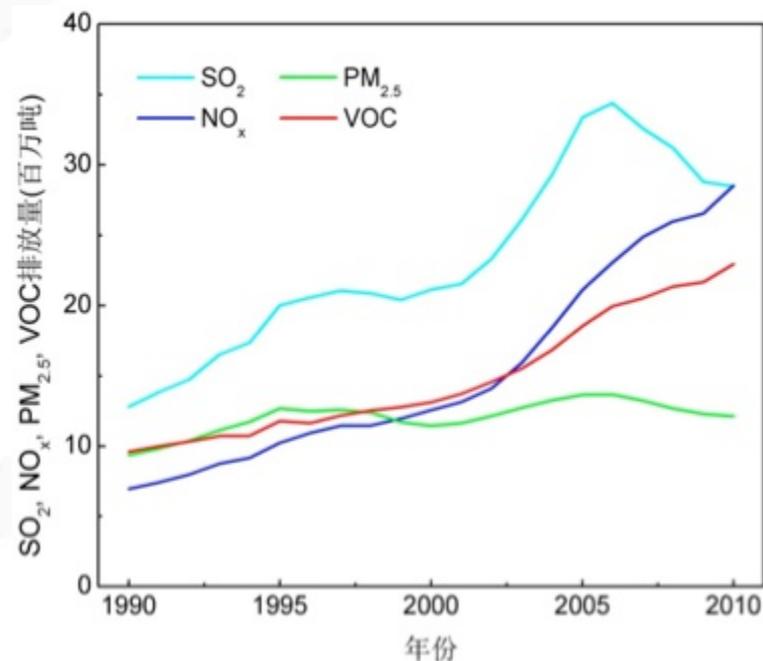
# 需要持续减少多种污染物的排放总量



## 单位GDP排放强度 (1亿)



## 排放总量



# 达到既定目标任务艰巨，需要付出巨大努力

- 为达到既定目标，需要多污染物**减排幅度远超过远超过**以往任何时期。

## 污染物减排目标百分比的比较

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	VOCs
(确保实现) 行动计划	>15%	>20%	>20%	>7%
“十二五”	>8%	>10%	N/A	N/A
“十一五”	>10%	N/A	N/A	N/A

- 三大重点区域所需实现的**减排比例更高**。

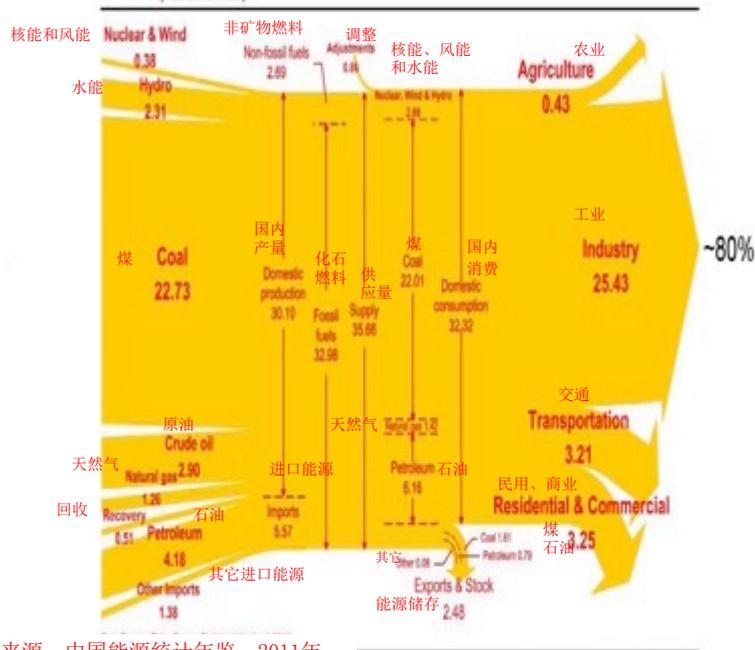


# 进一步强调节能对大气污染防治的协同效益



China: more than 2/3 are for industry  
中国终端耗能中，工业约占三分之二

2010年中国能流图 (1 亿tce)



数据来源：中国能源统计年鉴，2011年

版权所有：清华—BP清洁能源研究与教育中心

## 中国工业产品能耗与国际先进水平的差距

单位能耗 (kgce/t)	中国	国际先进	Gap (%)
钢铁	625	550	13.6
水泥	151	118	28.0
乙烯	1003	629	59.5

- 提高工业生产过程中的能源利用效率
- 加强材料研发和管理，强化建筑节能
- 减少交通油品消耗



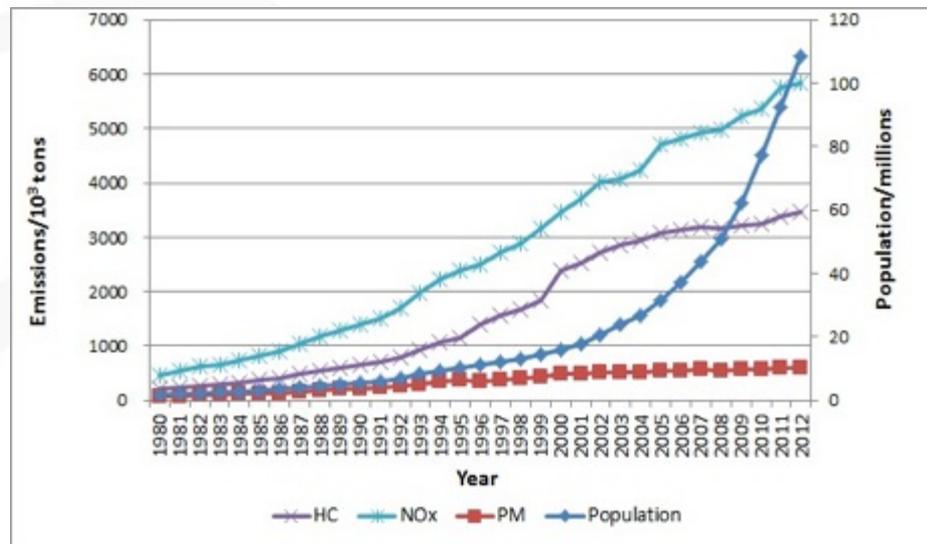
# 科学谋划，有序推进城镇化

- **在城镇化过程中考虑产业和能源调整要求：**严格产业准入，控制落后产能扩张；强化基础设施建设，保障清洁能源供给。
- **科学进行城市规划：**合理规划城市规模，慎重发展千万人口级的城市；控制城市煤炭消费量，以减少燃煤污染。
- 合理规划城市布局：优化交通系统，以减少机动车污染。
- **关注O<sub>3</sub>污染问题：**随着对PM污染控制的逐渐深入，关注重点区域日益严重的O<sub>3</sub>污染问题。

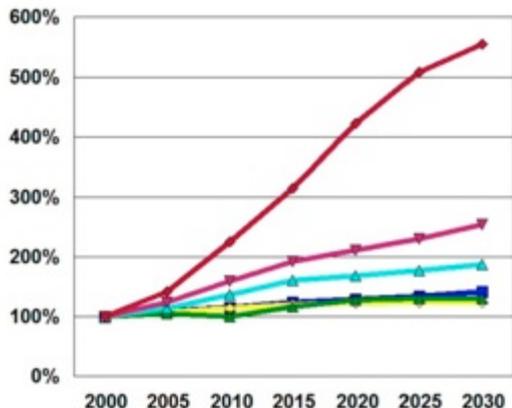


# 进一步推进移动源污染防治

- 妥善应对机动车保有量快速增长、高频使用的压力
- 积极推动非道路移动源污染防治。



各地区客运量（以2000年为标准）



- OECD North America OECD: 北美
- OECD Europe OECD: 欧洲
- OECD Pacific OECD: 太平洋
- Other OECD 其他OECD成员国
- Non OECD Except China 非OECD成员国, 中国除外
- China 中国

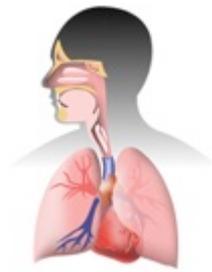
机动车快速增长在很大程度上抵消了减排成果

交通需求还将大幅增长

来源：国际能源署



# 空气质量改善需要长期持续努力，并循序渐进



建立环境质量目标



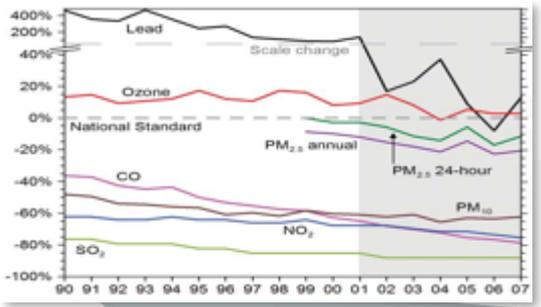
确定减排目标

Scientific Research

科学研究



控制措施



跟踪评估



项目实施

# 结语：大气污染防治任重道远

- 1、大气污染既具有局地性，也具区域性及全球性；
- 2、改善环境空气质量，既要关注直接排放的污染物，也要关注大气环境中形成的二次污染物；
- 3、控制大气污染仅靠标准是不够的，减排是硬道理。现有污染物排放总量减少30-50%，环境空气质量才会出现明显好转；
- 4、空气质量管理是持续发展和改善的过程，任重道远，是政府、企业和公众的共同责任，需要区域合作共同应对。想看真正蓝天，需要坚定也需要耐心。



谢谢！

