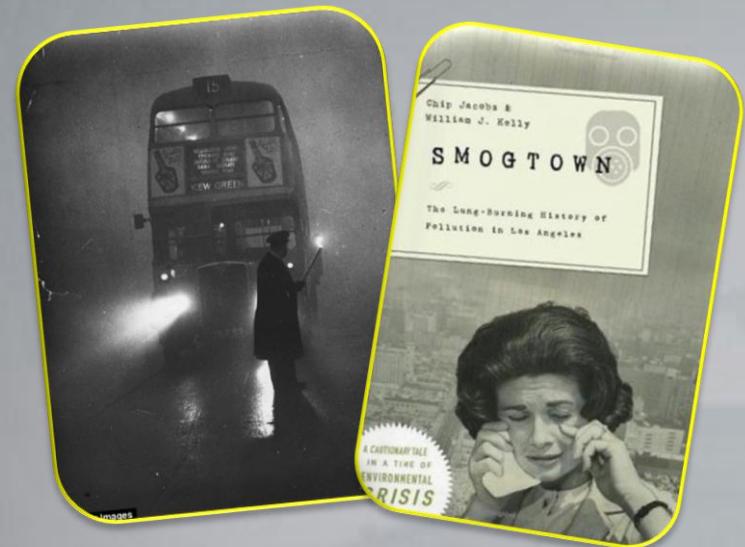


从“伦敦烟
雾”

到中国“灰霾”



蒋大和
jiangdh@tongji.edu.cn
<http://blog.sciencenet.cn/u/Talky>

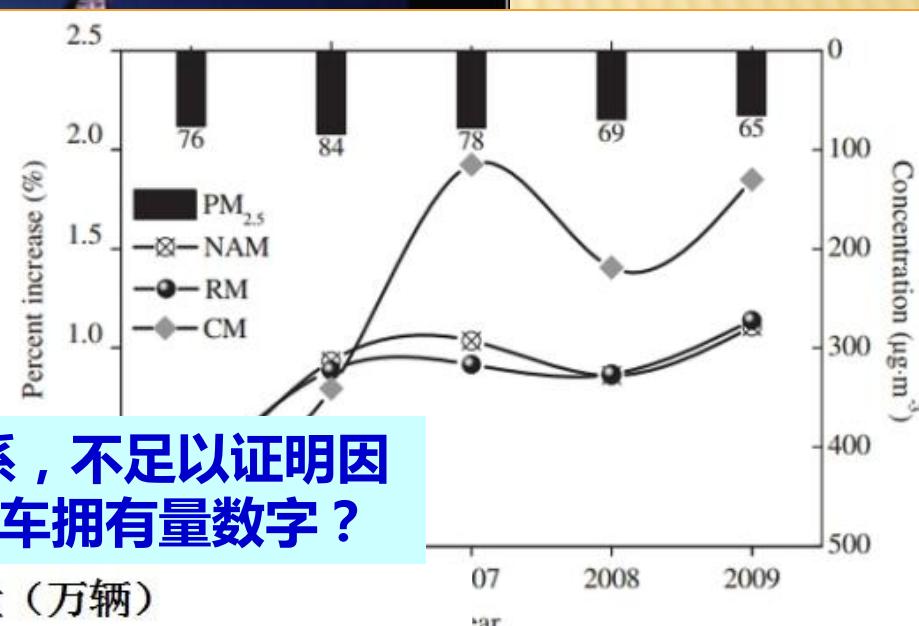
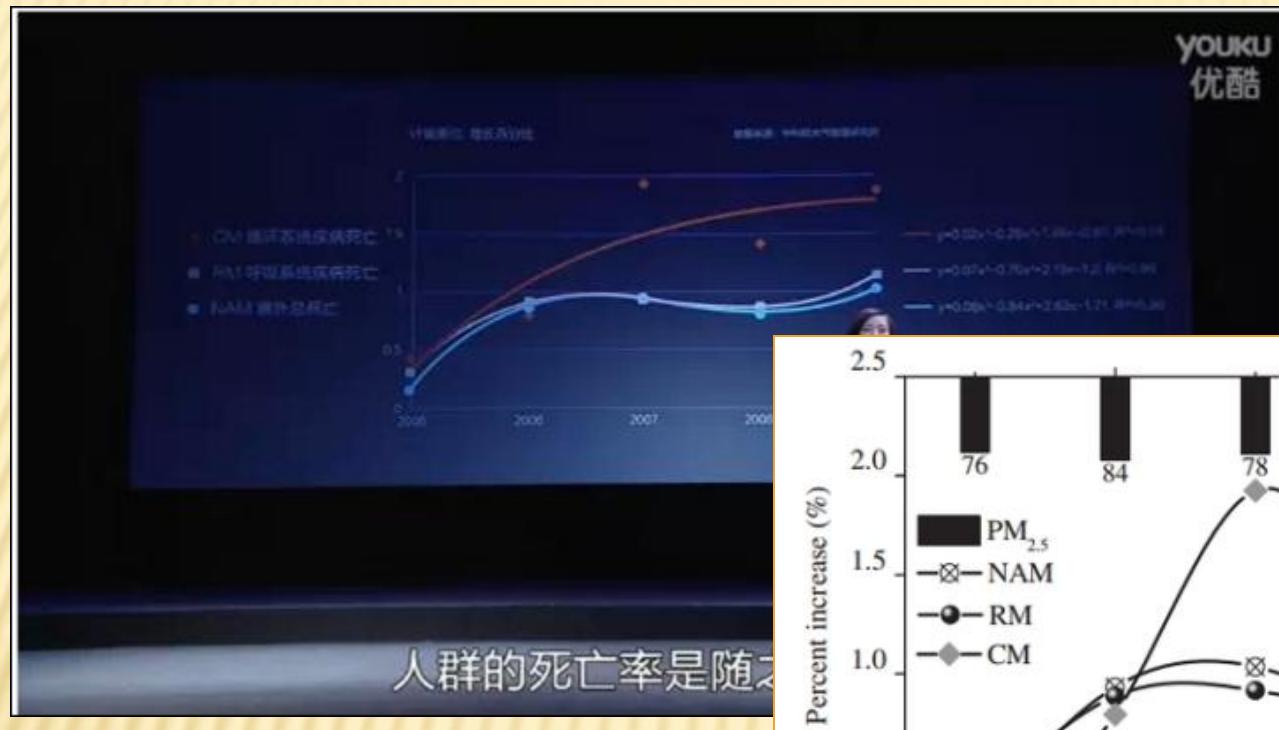
热点问题：柴静视频

- ⑤ 说要回答三个问题：
- (1) 什么是“雾霾”？
- (3) 霾从哪里来？
- (3) 我们怎么办？

但是：柴静背24小时仪器得到的PM_{2.5}浓度是“雾霾”吗？



方舟子批判说柴静造假？



PM_{2.5}浓度和死亡率只是相关关系，不足以证明因果关系。例如：为什么不用机动车拥有量数字？

北京市民用机动车拥有量（万辆）

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
246.1	275.4	307.2	350.4	401.9	480.9	498.3	520	543.7

estimated percent increases in daily mortality rates were fitted by statistical regression against concentration of PM_{2.5} in Beijing. Abbreviations: RM, respiratory mortality; CM, circulatory mortality.

也说“霾”和PM_{2.5}

④ 霾污染和PM_{2.5}

- ▷ 什么是雾霾、灰霾和霾
- ▷ 什么是PM_{2.5}，类型和来源
- ▷ 灰霾和PM_{2.5}
- ▷ 重霾污染形成的气象条件

⑤ 人类社会空气污染的发生和控制

- ▷ 煤和工业革命，伦敦烟雾
- ▷ 石油和全球化，洛杉矶烟雾
- ▷ 伦敦和洛杉矶的空气污染控制
- ▷ 酸雨、臭氧层受损，温室效应和气候变化
- ▷ 美国提出PM_{2.5}环境质量标准和IMPROVE能见度研究项目

⑥ 为什么重霾污染发生在中国

- ▷ 中国的能源结构和经济发展
- ▷ 中国空气污染控制的成绩和问题
- ▷ 灰霾污染在中国的发生发展

⑦ 最新研究成果

- ▷ 2014年以来灰霾和PM_{2.5}污染呈改善趋势
- ▷ 关于PM_{2.5}的源解析，看法正在趋于一致
- ▷ “雾霾”中PM_{2.5}的组成分析

⑧ 应对灰霾

- ▷ 工业结构和能源结构调整；
- ▷ 严格要求脱硫脱硝；
- ▷ “依法治国”，坚决贯彻新环保法
- ▷ 宣传和控制机动车使用
- ▷ 控制灰霾，人人有责

1、霾污染和PM_{2.5}：什么是雾霾、灰霾和霾

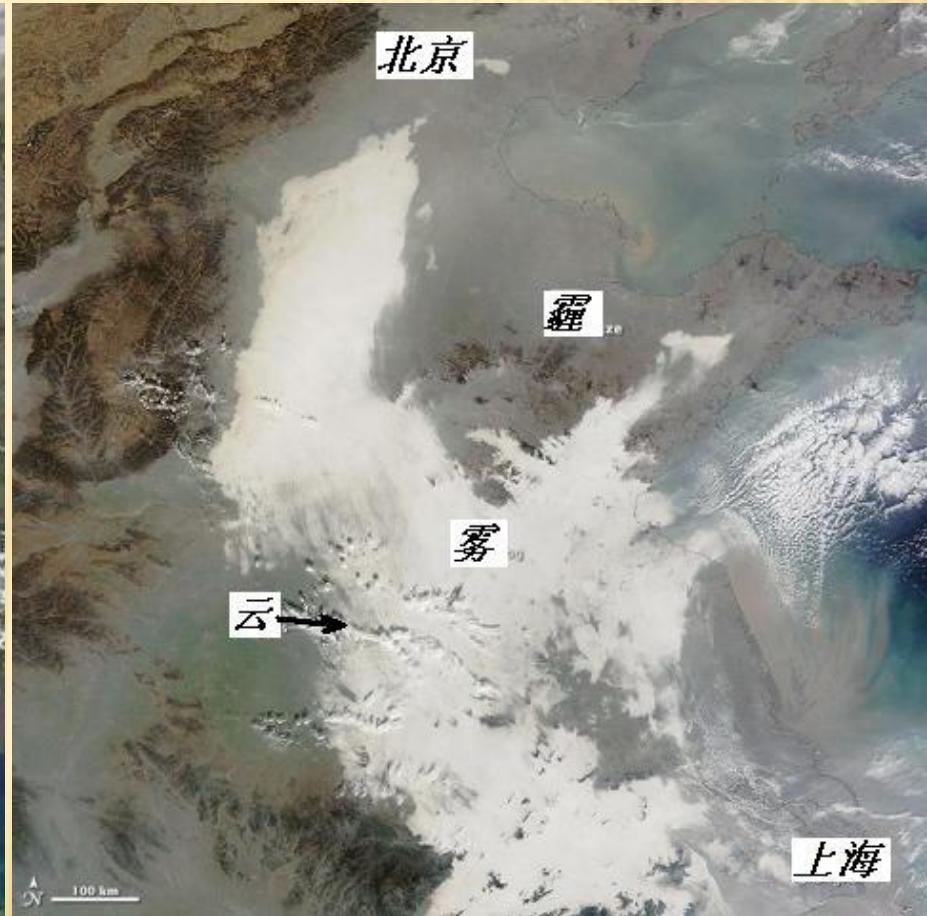
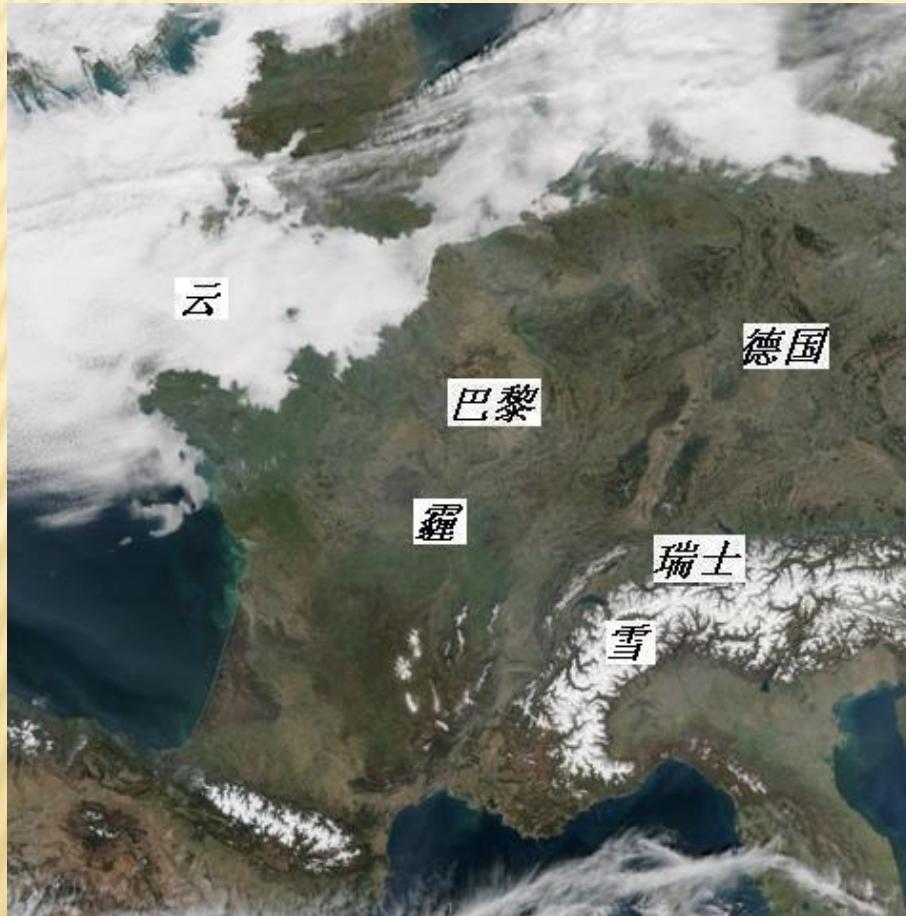
- ① 雾(Fog)由近地面细小水滴或冰晶组成，能见度小于1公里，相对湿度常高于90%。当相对湿度在70~90%之间，能见度下降在1至5公里之间时，则称为“轻雾(Mist)”。
- ② 纯净水汽较难凝结，大气中凝结核(CCN)的存在会促使云雾水滴的形成。这种凝结核就是尺度约1微米或更为细小的颗粒物，或称为气溶胶的细小固体、胶体或液滴。自然过程产生的气溶胶细小而浓度低，对入射光主要是透射和折射，因此形成的雾和轻雾呈白色。
- ③ 当空气中存在的细颗粒物浓度很高，散射和吸收入射光线以致影响能见度时，就被称为“霾”。湿度低于80%时，根据其浓重程度可以称为灰霾(Gray Haze)或霾(Haze)，湿度接近和高于85%时为“雾霾(Fog Haze)”。
- ④ 同样影响能见度，“雾霾/灰霾”同“雾/轻雾”的一个重要区别是颜色。比较而言，雾是白色，霾呈灰色。

空气污染有不同类型，不能把“雾霾”等同于空气污染！

八楼阳台上拍摄的雾和灰霾



卫星遥感灰霾和霾污染

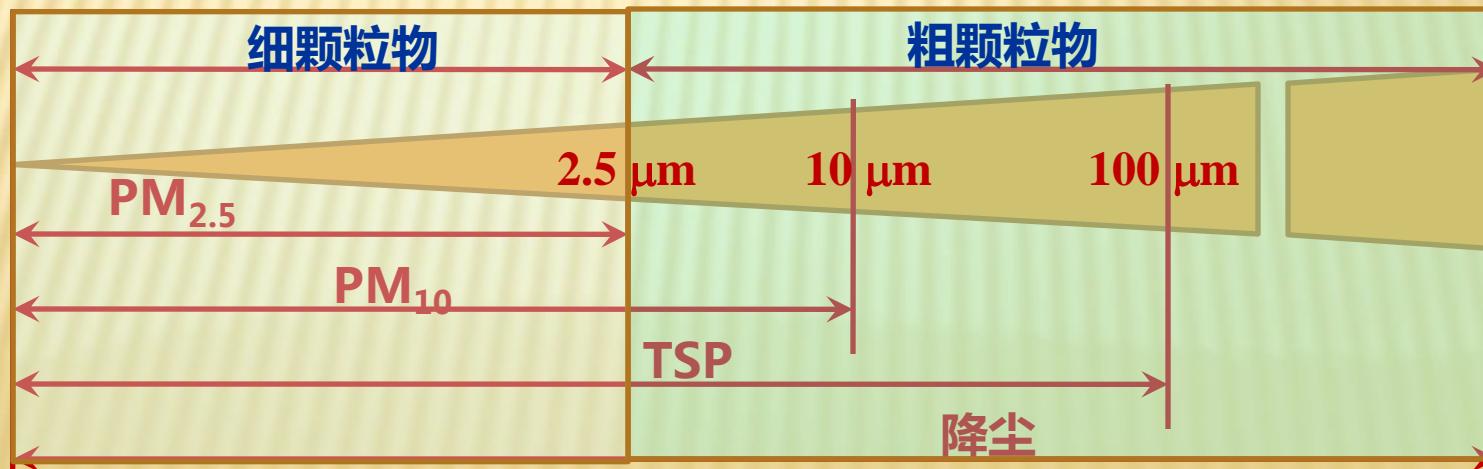


美国宇航局展示2013年12月7日中国东部**灰霾**和2014年3月14日法国**霾**遥感图
云和雾白色，雾边界模糊，霾呈灰色，混合层厚度薄。

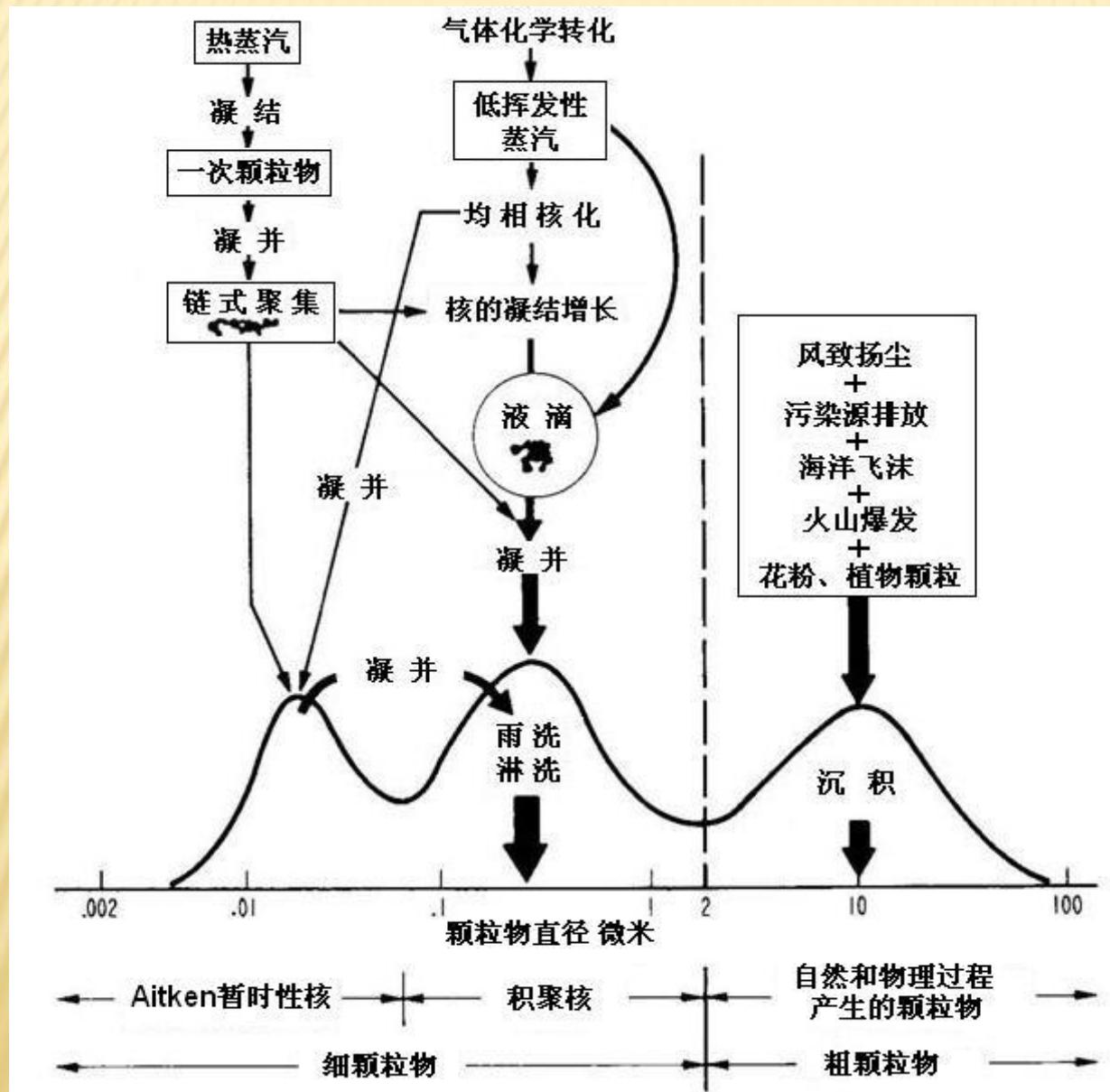
什么是PM_{2.5}，类型和来源

形态：PM_{2.5}又称“aerosol~气溶胶”，可以是液滴、胶体、固体

- ① PM~Particulate Matter，即颗粒物
- ② 在**大气环境科学**中，主要定义（按大小）：
 - ▷ PM_{2.5} (Fine particles ~细颗粒物) $\leq 2.5\mu\text{m}$
 - ▷ PM₁₀ (Respirable PM~可吸入颗粒物) $\leq 10\mu\text{m}$
 - ▷ TSP (Total suspended PM~总悬浮颗粒物) $\leq 100\mu\text{m}$
 - ▷ 降尘 (Falling dust)
- ③ 大于 $2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物被认为是“粗颗粒物”(coarse)



PM2.5的定义立足于野外观测



粗颗粒物主要来自自然过程；细颗粒物多和燃烧、蒸发、凝结和凝并相关。

PM_{2.5}的组成和来源

① 主要组分：

- ▷ 一次（污染源**直接排放**）：烟尘、有机碳、无机碳、尘土、油滴、重金属、海盐...
- ▷ 二次性（在空气中经过化学转化生成）：硫酸滴/硫酸盐、硝酸滴/硝酸盐，二次有机碳...

② 来源：

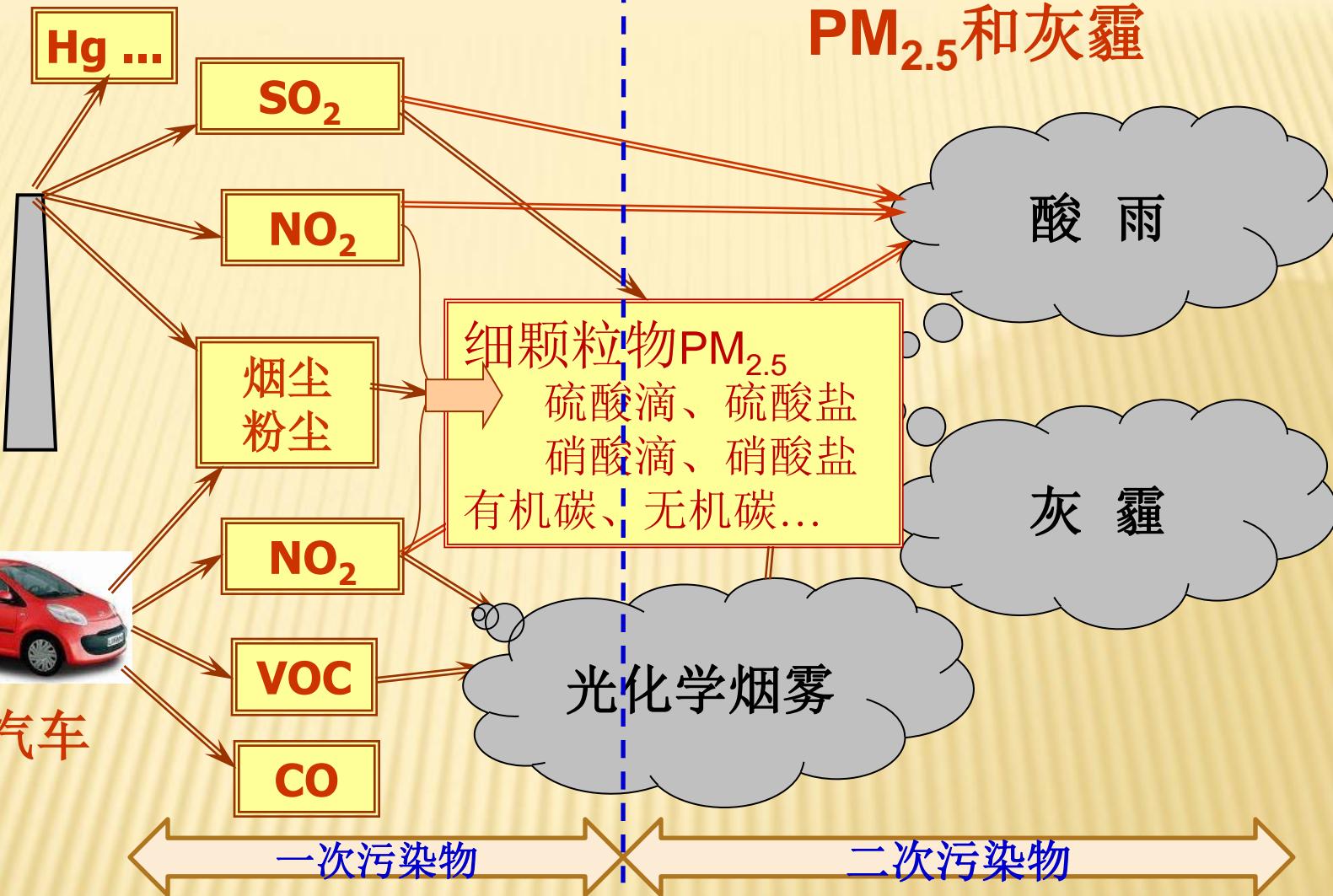
- ▷ 自然源：火山爆发、森林大火、沙尘暴、海浪...
- ▷ 人为源：**燃煤、工业过程、机动车尾气**、扬尘、秸秆燃烧、烹调油烟、抽烟烟气、...

③ 注意：

- ▷ 不同类型颗粒物对灰霾(**吸湿性和消光能力**)的贡献不同；
- ▷ “一次” 和 “二次” 颗粒物的来源和毒性有差别；
- ▷ 有机碳的来源十分复杂。机动车尾气是重要来源，石化、化工、民用采暖烹调，还有秸秆燃烧。。自然源等。

PM_{2.5}和灰霾

燃煤
冶金
水泥



PM_{2.5}由一次和二次颗粒物组成，其吸湿性成分(二次，硫酸盐、硝酸盐及有机碳...)在气象条件合适时 (湿度和停滞)，会吸湿长大造成灰霾。

为什么会雾霾（微观和能见度）需要进行研究！

- ④ 举例：华南理工大学**钱公望（1949-2009？）**教授生前的研究。
- ④ 制备人工粒子，开发膜技术拍摄了含有硫酸盐、硝酸盐和同时含有硫酸盐和硝酸盐的细颗粒。展示**硫酸盐气溶胶呈球形（同心环状），硝酸盐呈针状**。应用于实际大气颗粒物观测，检出了含 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的气溶胶。

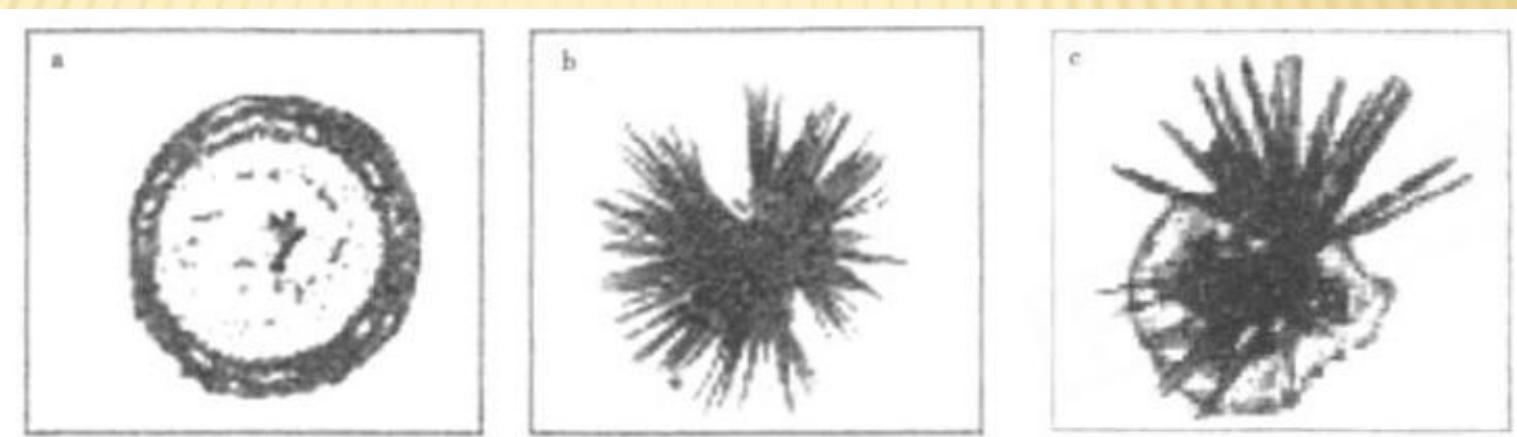


图3 复合薄膜法分析的含硫酸盐、硝酸盐和同时含两者的粒子的显微图片

Fig. 3 Micrograph of particles contain sulfate ions, nitrate ions or the both of sulfate ions and nitrate ions analyzed by multiple thin film method

- a. 含硫酸盐成分 (contain sulfate) ; b. 含硝酸盐成分 (contain nitrate) ;
- c. 同时含硫酸盐和硝酸盐成分 (contain both of sulfate and nitrate)

- ⑤ 在广州采集大气细颗粒物发现：（使用采样器大致分为大于1微米和小于1微米两级）在非灰霾天气时，两级均有颗粒物采得；但灰霾期间，采集到的颗粒物明显集中在较细的一级（小于1微米）。特别重要的是，灰霾条件下，观察到多个细颗粒物呈现“**卫星滴**”结构。但灰霾前的样品中没有发现。（**卫星滴可能是造成消光系数增大，损害能见度的重要机制！**）

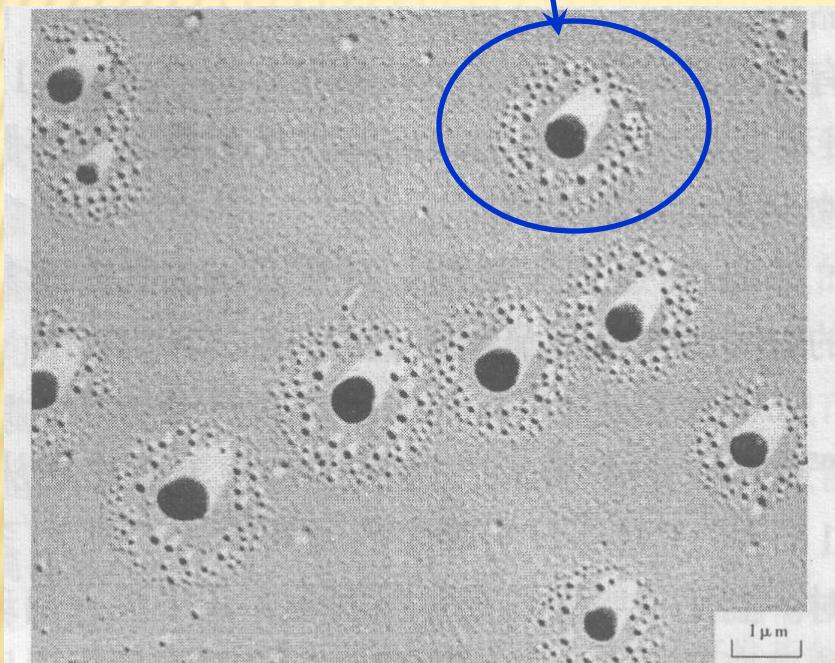


图1 2003年11月2日在广州市大气中采集的粒子的电子显微镜照片

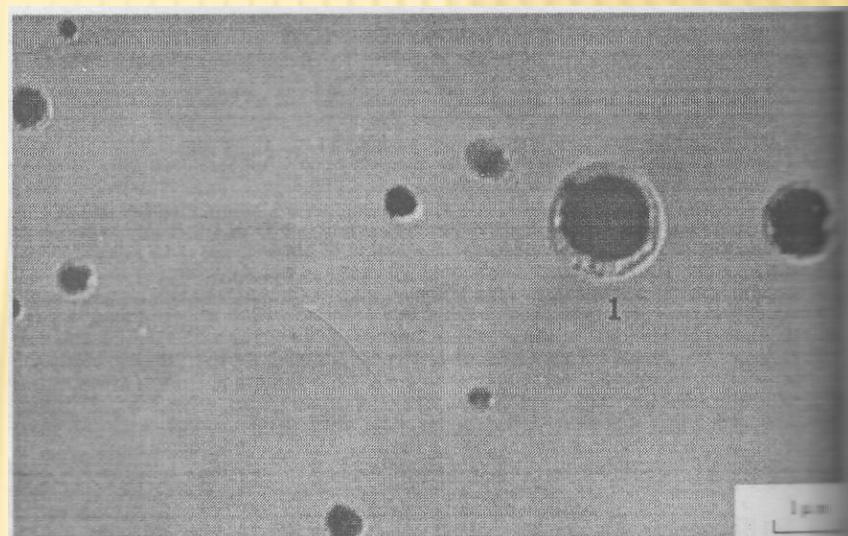


图2 2003年12月24日在广州采集的粒子的电子显微镜照片

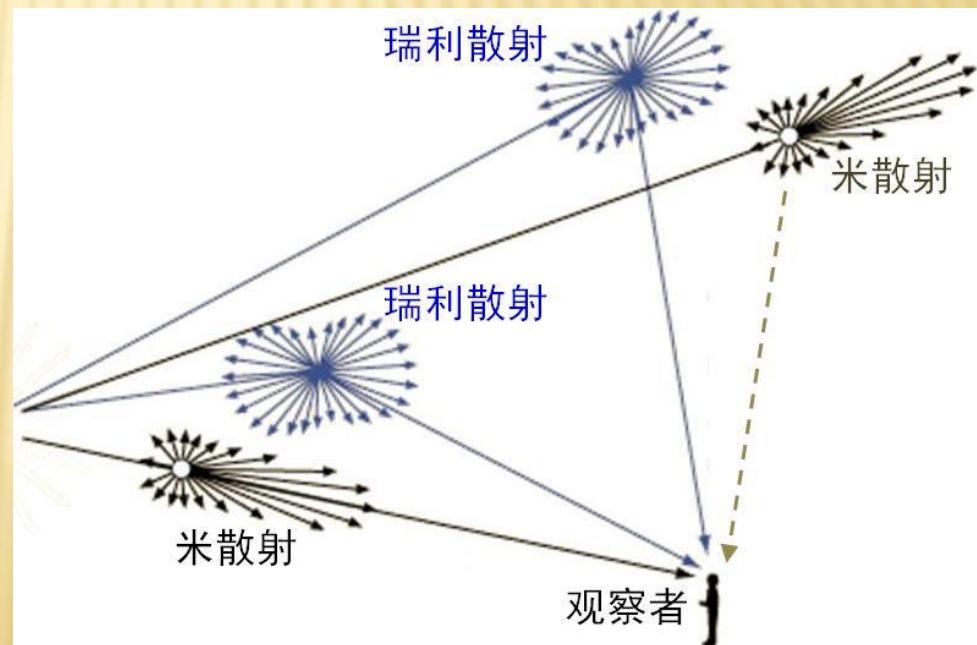
赵灵霞, 钱公望2006: 对广州灰霾天气中单个气溶胶颗粒物的研究 《四川环境》25/2, 40-44

天蓝、雾白、霾灰

- ④ 空气分子散射服从瑞利散射：强度和入射光波长⁴次方呈反比，且侧向散射较强，可见光内蓝光波长最短，我们因此看见蓝天；
- ④ 细颗粒物（亚微米）服从米散射：各个波长散射强度相当，但侧向散射较弱，呈灰色；
- ④ 但雾滴也是亚微米的，为什么呈白色？

消光 = 吸收 + 散射

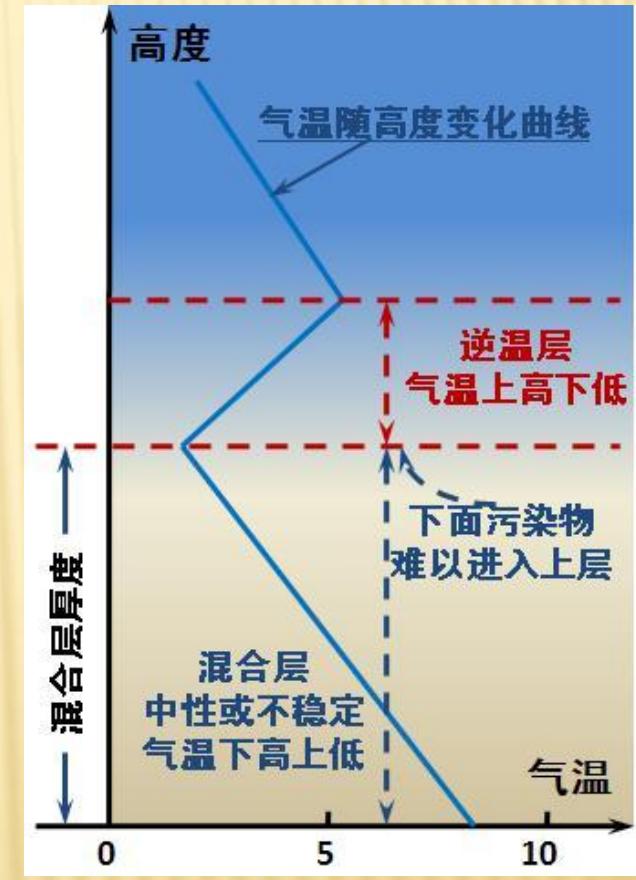
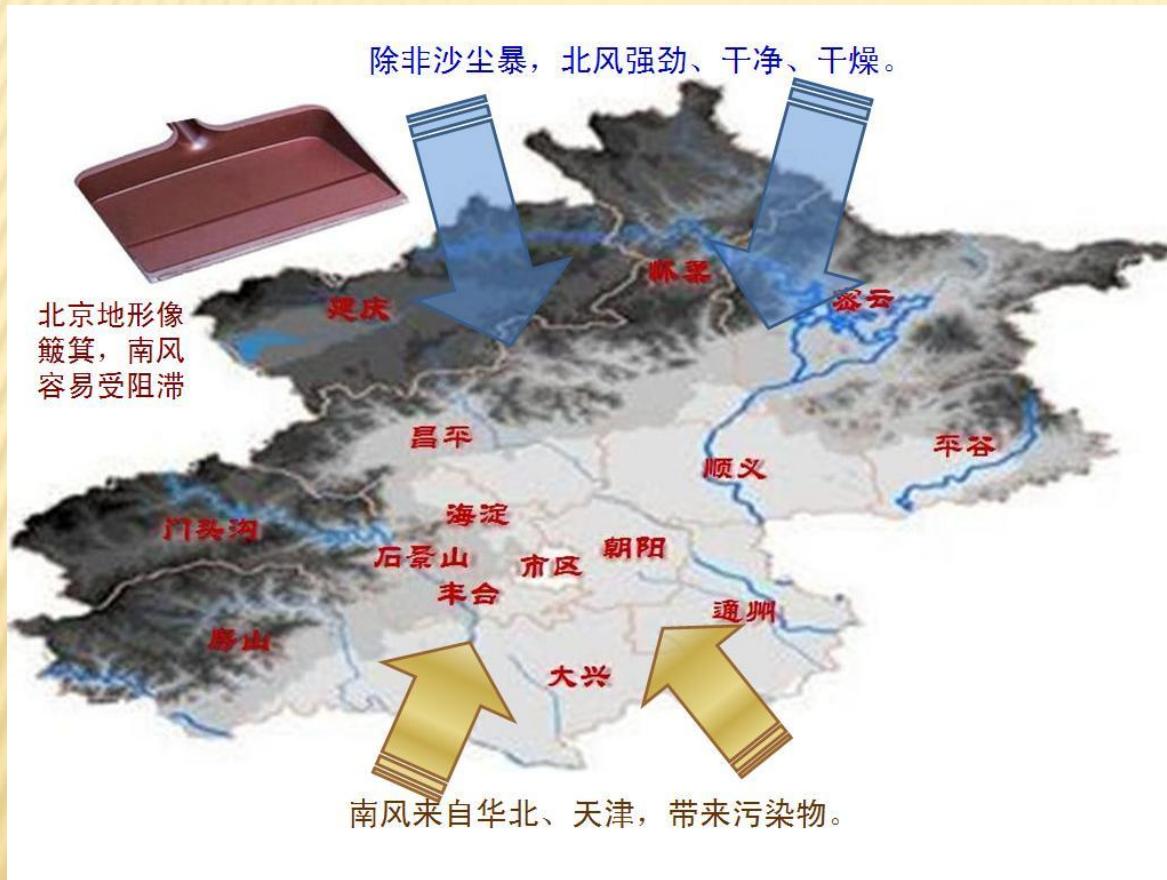
- ④ 自然雾也有“凝结核”，但气溶胶的浓度很低，主要是水滴，很少吸收；
- ④ 霾颗粒质量浓度也高，吸收强度也高，因此呈灰色。



2013年1月16日王跃思报告中提到：

- ⑧ “。。。但霾的强度跟细粒子的数浓度相关性更好，数浓度增加对霾生成是最致命的。比如我们北京的空气中，每立方厘米含量二三百个粒子还可以，昨天我们的观测结果到了6000个，那肯定就看不见人了，霾了。我们奥运会的时候到多少呢？100个--200个，就是每立方厘米中，就是晴天；如果达到1000、2000个以上，我们就灰霾了，6000个那看不见人了。这是个数浓度的概念。”
- ⑨ “。。。 (图) 这就是单个的粒子，这次的霾的污染中，可能**这种粒子 (圆的比较多)**，是因为它吸水以后，因为水滴的张力向四周是一样的，所以它就会向圆的方向发展。”

重霾形成的气象条件：风向风速（静）、湿度（较高）、混合层薄（上稳）



- ④ 风向：北京~北风扫净灰霾；上海~冷空气要来，灰霾打前站。
- ④ 风速小：“静”，气流幅合；混合层簿，中性或弱不稳定；湿度较高。

2、人类社会空气污染的发生和控制

- ④ 随人类社会的发展，工业化、城市化和现代化，空气污染类型和程度以及控制，也在不断发展深化。
 - ▷ 伦敦烟雾（1952著名，无控制燃煤型，**中世纪起受到注意，1905年得名“smog”**）
 - ▷ 洛杉矶烟雾（1955严重，无控制机动车尾气型，**1943年起受到注意**）
 - ▷ 酸雨（1960年代后期起，无控制二次污染型，SO₂/NO_x/硫酸盐/硝酸盐沉降）
 - ▷ PM_{2.5}和灰霾（1997起，无控制二次污染型，能见度和健康影响）
 - ▷ . . .
 - ▷ 臭氧层破坏
 - ▷ 全球变暖和气候变化。 . .

“伦敦烟雾”和“洛杉矶烟雾”已经过去60年了，各国都制订了法律和标准，控制技术也不断发展，现今雾霾能是它们的翻版吗？它们也是因为细颗粒物污染造成？

2.1 伦敦烟雾(SMOG)：无污染控制大量燃煤造成

伦敦有雾都之称，关于空气污染的记录可追溯到公元852年；

1905年得名“烟雾~Smog”，并多次有记录死亡率上升；

1891年和1939年记录烟雾事件致死分别达1484人和1300人；

Smog = Smoke +
fog

“Smoke”指直接从
烟囱口排出的烟气

1952年12月5日~8日，又发生严重烟雾，许多人突然患呼吸系统疾病，四天中死亡人数较常年同期增加4000多人，多为45岁以上，是平时死亡人数的3倍，1岁以下的死亡较平时增加1倍。1周中，因支气管炎、冠心病、肺结核、心脏衰竭的死亡人数分别是平时同类病死亡人数9.3倍、2.4倍、5.5倍、2.8倍，因肺炎、流感等呼吸系统疾病死亡的人数较平时均有成倍增长。事件后的两个月里又有8000多人死亡。**事件期间烟尘浓度最高达 $4.46\text{mg}/\text{m}^3$ ，为平时的10倍， SO_2 浓度最高达平时的6倍**，同时湿度高，形成酸雾，成为杀手之一。

数不清的烟囱和黑烟曾经是工业化和财富的象征；严重污染又是人类大量使用廉价能源（煤）又不懂得需要控制污染的后果。英国的“清洁空气法令”随之开始制订。



伦敦烟雾里也有雾霾！但“烟雾”≠“雾霾”，特点和杀手是。。。



The Big Smoke

A history of air pollution in London since medieval times

Peter Brimblecombe



'Killer Smog'¹¹

The mixtures of smoke and fog that settled in over London had been common in Victorian times. In 1905 Des Voeux proposed that this mixture be termed 'smog', a word with such wonderful assonance that it has never been dropped; rather it has been applied with ever-increasing frequency even to phenomena that are neither smoke nor fog (for instance the photochemical 'smog' of Los Angeles). Through the first half of the

"Smog" 名词出现于1905!

118

THE BIG SMOKE

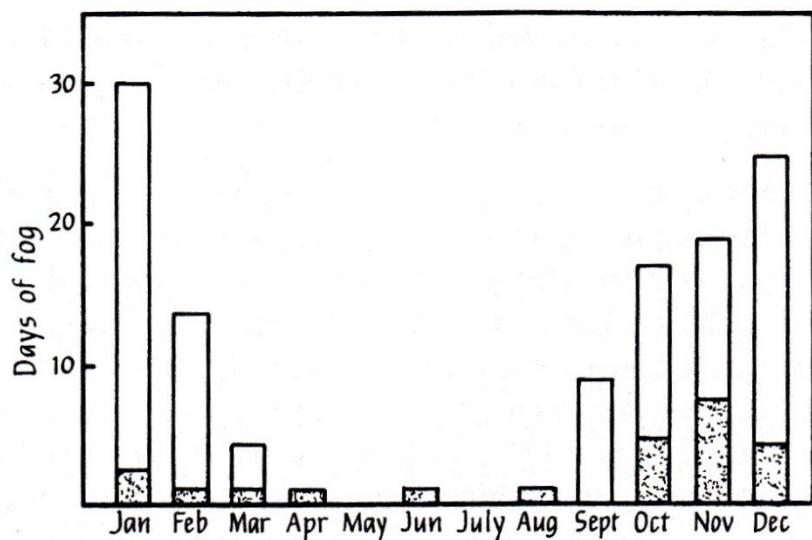


FIGURE 6.3 The seasonal distribution of fogs and thick fogs in London. The shaded areas mark those fogs termed 'thick' in Luke Howard's register

伦敦的雾和“厚雾”

TABLE 6.2 Major London smogs, 1873–1982

发生在
伦敦的
重要烟
雾事件：
1873-
1982

最著名

<i>Year</i>	<i>Month</i>	<i>Duration (days)</i>	<i>Excess deaths</i>	<i>Maximum daily concentration</i>	<i>Smoke</i> $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1873	Dec.	3	270–700		(a)
1880	Jan.	4	700–1100		
1882	Feb.				
1891	Dec.				(b)
1892	Dec.	3	~1000		
1948	Nov.	6	~300		
1952	Dec.	5	4000	3700	4460
1956	Jan.		480	2800	1700
1957	Dec.		300–800	2800	3000
1962	Dec.	4	340–700	4100	1900
1975	Dec.	3	(c)		500–600
1982	Nov.			560	

Notes:

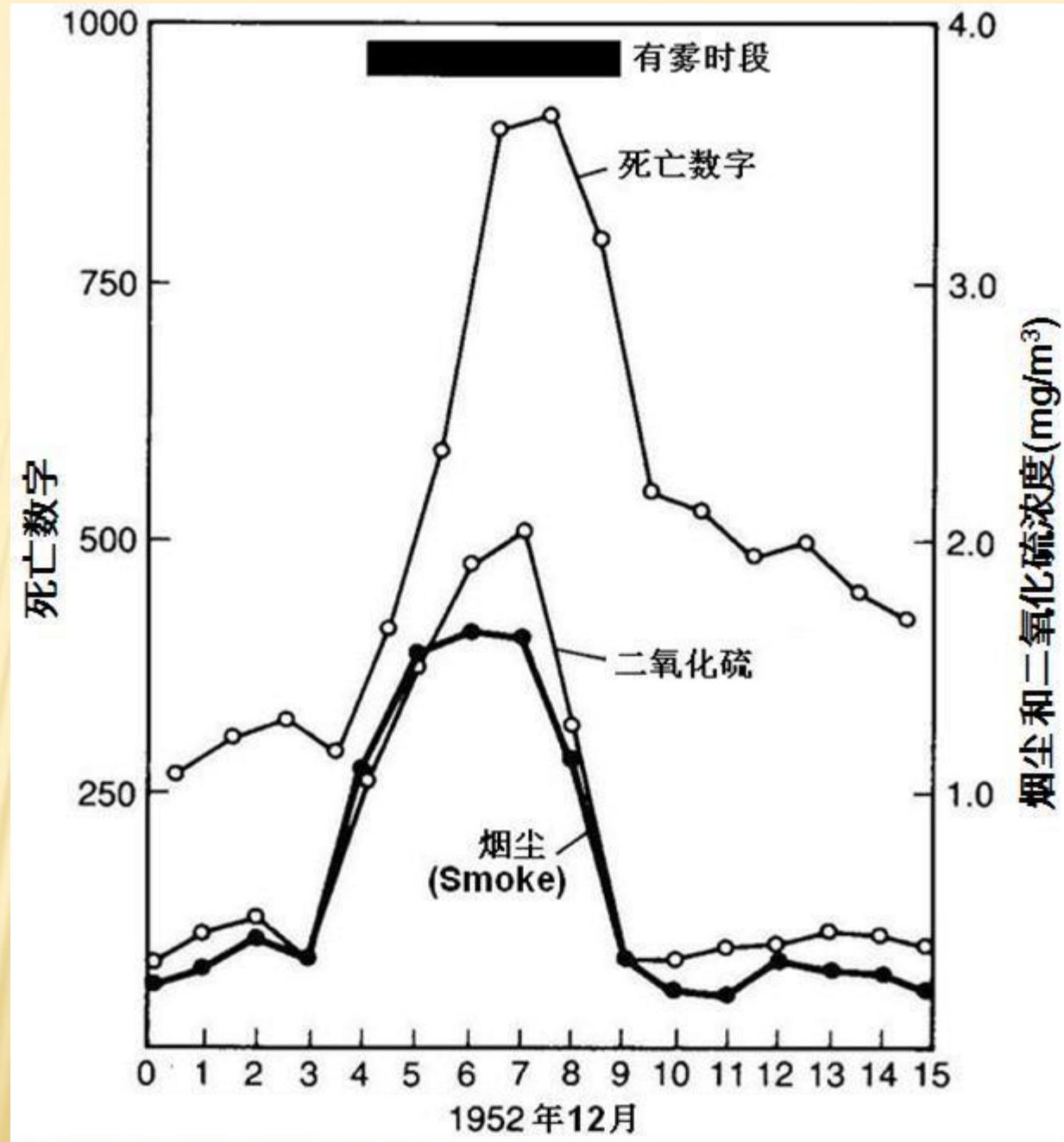
(a) Smoke levels in the early fogs were $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ or greater.

(b) The soot deposit during this fog was $9.4 \text{ g}/\text{m}^2$.

(c) Not statistically significant.

- ⑧ 伦敦人50周年回忆
- ⑧ 一开始人们还没有注意到问题的严重程度，直至救援队发现棺材不够用，鲜花铺卖空；医院里塞满病人。

北京和哈尔滨2013年雾霾时有很多急救车呼啸吗？



SO₂ 是能致死的有毒气体！

现在不宣传了？

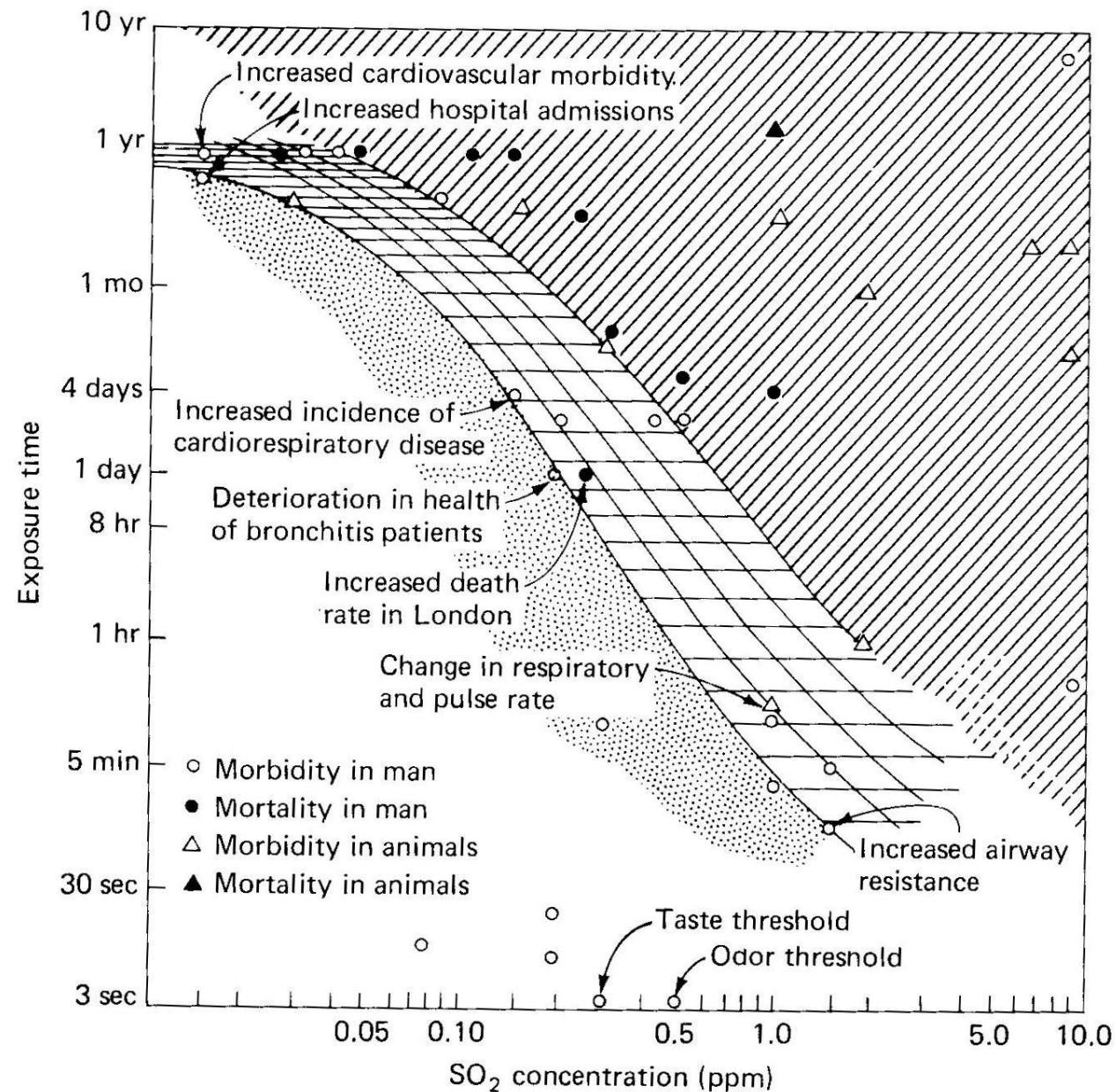
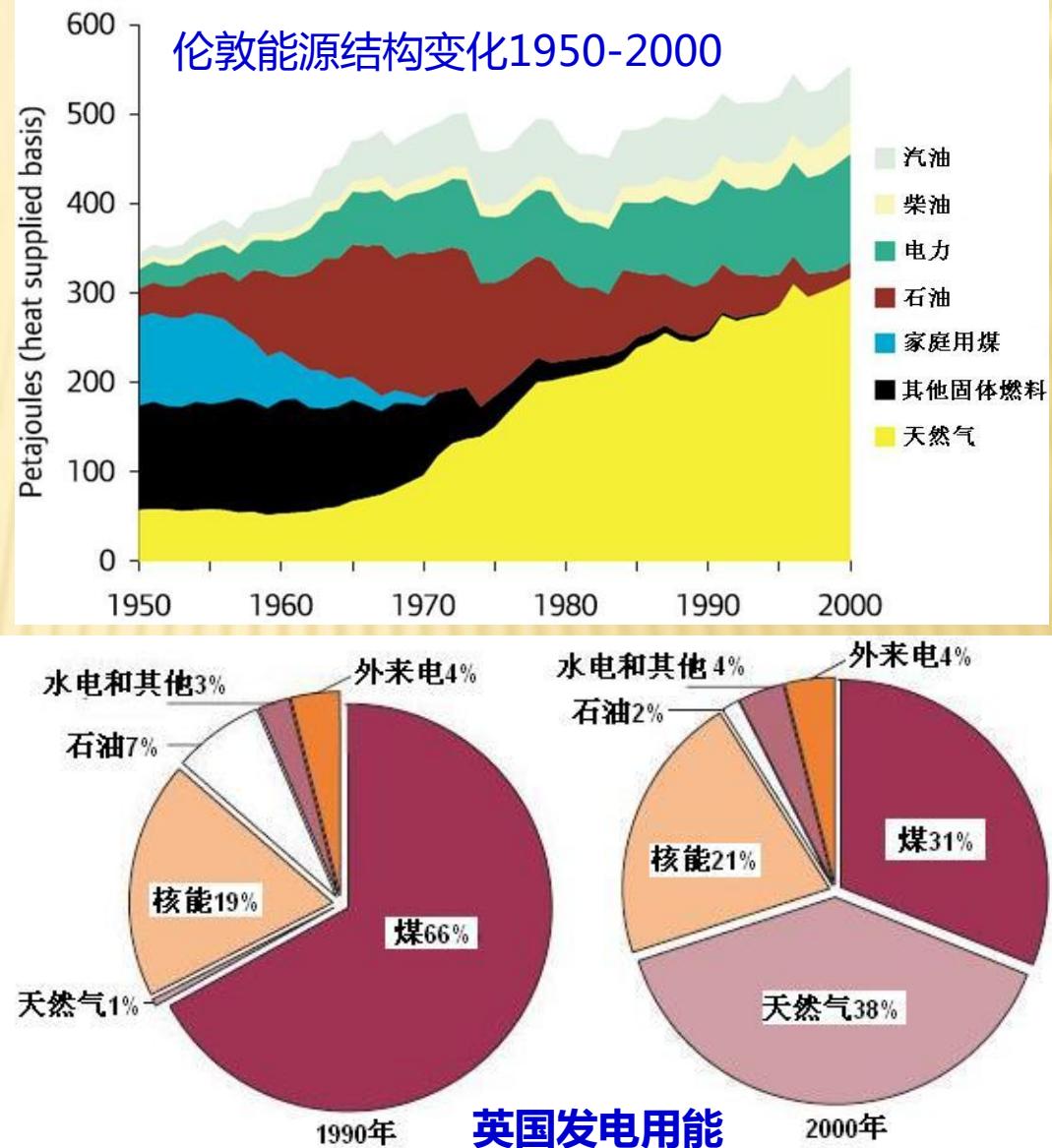


Figure 2.2. Health effects due to various exposures to SO_2 . Shaded area represents the range of exposures where excess deaths have been reported. Speckled area represents the range of exposures where health effects are suspected (Williamson, 1973).

伦敦的空气污染控制

伦敦（2011年前）：

- ④ 17世纪开始注意空气污染问题；
- ④ 1956清洁空气法令严格要求工业污染减排，颁布空气质量标准；
- ④ 污染工业搬出伦敦；
- ④ 伦敦市能源结构调整：到2000年市内固体燃料的消耗基本为零，大幅增加天然气，用电量有增加；
- ④ 英国发电用能结构调整；从1990到2000年，煤炭从66%降到31%，核能19~21%，天然气从1%增到38%。
- ④ 2003年设置“机动车拥堵收费区”
- ④ 气候变化影响，减少了雾日？
车欧IV标准；



2.2 洛杉矶烟雾：无污染控制大量使用机动车造成

1943年开始发现；

1955年9月13日市中心有3小时O₃浓度

峰值达900微克/立方米；

但没有看到确认因此急性死亡的报道。

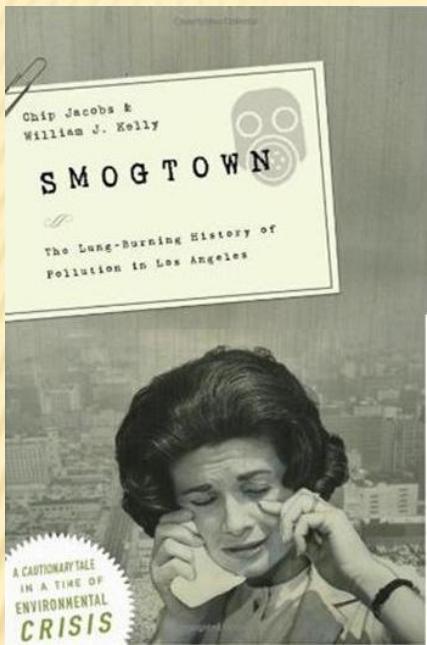
948

1961 9/13 1955 9/13 9/13



1964





《洛杉矶雾霾启示录》封面, 原版和中译本 **SMOGTOWN: The Lung-Burning History of Pollution in Los Angeles**

注意封面区别 :

- 烟雾~雾霾;
- 眼睛刺激为主~呼吸道刺激为主

HERE'S RUNDOWN ON SMOG ALERTS IN LOS ANGELES

Here is a table showing the history of Los Angeles smog alerts.

1955

Date	Ozone Count	Duration	Peak Location
Aug. 1	.57	25 min.	Pasadena
Aug. 26	.64	2 hr. 19 min.	Vernon
Aug. 27	.58	1 hr. 35 min.	Pasadena
Aug. 29	.60	1 hr. 28 min.	Pasadena
Aug. 30	.52	1 hr. 8 min.	Vernon
Sept. 6	.56	3 hr. 44 min.	Vernon
Sept. 13	.90	3 hr. 9 min.	Vernon & Downtown
Sept. 14	.64	2 hr. 40 min.	Downtown
Sept. 20	.54	1 hr. 48 min.	Downtown
Sept. 30	.65	1 hr. 20 min.	Pasadena
Oct. 1	.63	51 min.	Pasadena
Oct. 7	.55	1 hr. 19 min.	Downtown
Oct. 29	.63	2 hr. 44 min.	Vernon
Nov. 3	.57	1 hr. 35 min.	Downtown
Nov. 28	.52	25 min.	Pasadena

1956

Jun. 11	.52	2 hr. 30 min.	Vernon
Jun. 12	.70	1 hr. 22 min.	Vernon
July 6	.50	1 hr. 50 min.	Downtown
Aug. 22	.60	2 hr. 32 min.	Rivera
Aug. 23	.60	2 hr. 33 min.	El Monte
Sept. 18	.50	52 min.	Burbank
Sept. 24	.50	35 min.	Downtown
Sept. 26	.55	2 hr. 53 min.	Downtown
Sept. 27	.55	1 hr. 15 min.	Vernon
Sept. 28	.70	3 hr. 35 min.	Vernon

洛杉矶1955和1956年曾多日发生烟雾警报, 最高臭氧浓度达900微克/立方米, 3小时9分钟

雾霾不是光化学烟雾(洛杉矶)

Formation of Photochemical Smog

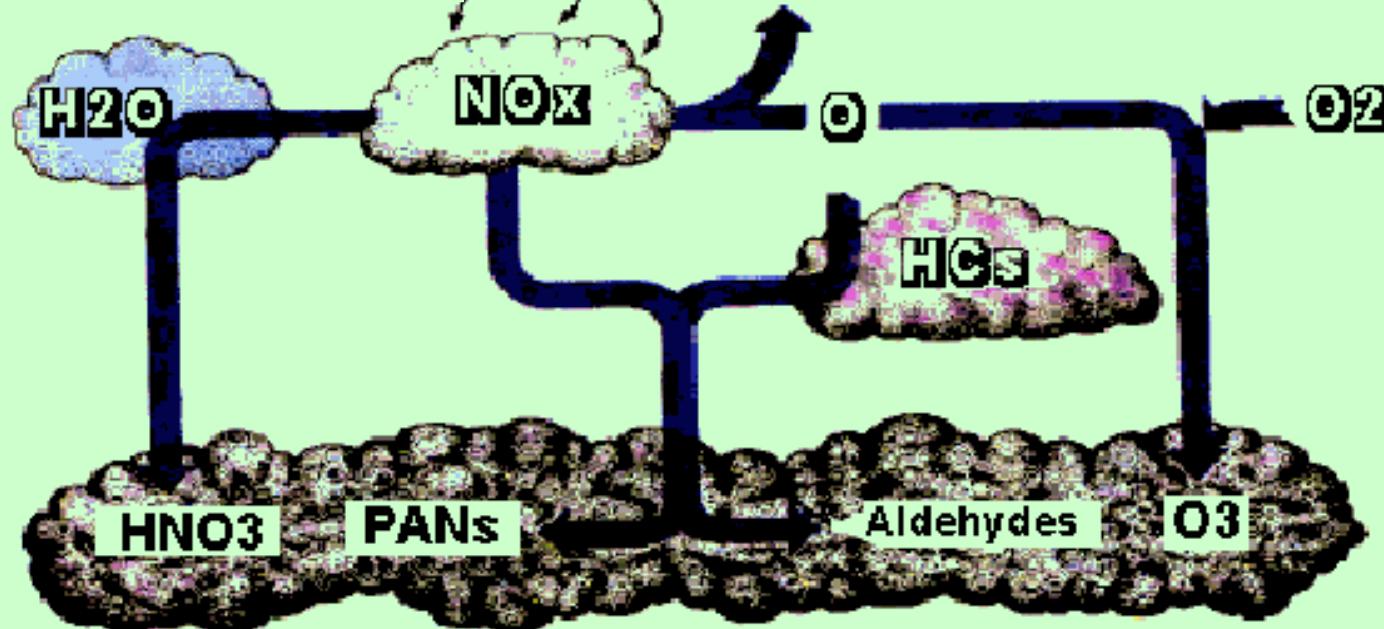
是大量机动车，不控制尾气污染的后果。

导致尾气排放标准制定和三相催化转换器发明

阳光、高温、低湿度!

主要刺激眼睛, 没有发现有急性死亡记录.

- 光化学烟雾是一种因为太阳辐射，污染物经过化学反应，形成 NO_x 、 O_3 、醛、PAN和细粒子的混合物，如洛杉矶烟雾。
- 除光辐射外，必须同时存在 NO_x 和 VOC(HCs) 易挥发有机物~碳氢。



洛杉矶的空气污染控制

洛杉矶：

- ④ 洛杉矶曾有很多重工业，大量燃油，家庭焚烧废弃物；
- ④ 常年高温、少雨，日照强烈；
- ④ 1943年7月开始发生严重光化学烟雾时并不知道机制和来源；
- ④ 用了大力气查找和控制工业源和家庭垃圾焚烧；控制炼油厂排放的含硫气体等。
- ④ **哈根-斯米特1949年首次揭示了光化学烟雾的反应机制，经过超过10年和汽车行业的争斗，和50年代严重污染后才得到确认。**
- ④ 1960年加州机动车污染控制法令；
- ④ **1960年代发明“三相催化转换器”减排CO、NOx和VOC。**
- ④ 美国1955年《空气污染控制法》，1963年《洁净空气法》，1970年《洁净空气法》加强了对汽车排放尾气的控制。1990年规定了更严格的机动车尾气排放标准。
- ④ 洛杉矶7、80年代开始大力鼓励使用替代能源，石油行业提供更清洁的燃油。1990年大力鼓励研发低排放、零排放汽车；要求1994年以后出售的汽车全部安装“行驶诊断系统”

2.3 酸雨、臭氧层破坏、全球变暖和气候变化

- ① **酸雨**：降水pH值低于5.6，水体和土壤酸化、对农渔业、森林和建筑有影响；尚未提到人体健康。60年代末被发现，1968年北欧在联合国发布报告，水体酸化问题。80~90年代形成研究高潮；涉及长距离/跨国界输送，美加、欧洲、东亚各国之间输送和外交问题。当前：美加和欧洲因为能源结构改善（少用煤）问题缓解，中国酸雨污染更加严重，。。。但环境影响程度尚需进一步研究；**而且未涉及健康问题，尽管酸雨污染的前体物正是硫酸盐和硝酸盐：灰霾的主凶！**
- ② **臭氧层破坏**：指平流层（离地面10公里以上）内的臭氧，中心在25公里高度，吸收紫外线，保护地球生物；同时在维持气温垂直分布中起作用。发现人类使用的某些化合物，如氟氯烃等，会进入平流层破坏臭氧层。1970年代被发现，当前控制较好，被认为是人类协同控制污染的“范例”。
- ③ **全球变暖和气候变化**：2007年IPCC第4次报告（AR4）后得到特别重视，2013-2014发布了第5次报告（AR5），2015年将在巴黎开重要全球会议讨论《京都协议》后的碳减排问题。

2.4 关于PM2.5和能见度受损的研究

- ① 美国1985年立项，1988年开始执行“IMPROVE”研究项目，全国布点监测分析PM_{2.5}和能见度受损的关系，以及源解析。
- ② 1997年美国率先提出PM_{2.5}环境质量标准，并更新了臭氧环境质量标准。
- ③ 这一项目最靠近我们PM_{2.5}和灰霾的研究，但美国PM_{2.5}浓度普遍比较中国低得多。

文件(F) 编辑(E) 查看(V) 收藏夹(A) 工具(T) 帮助(H)

Google

共享 复制 答录

美国IMPROVE项目从1988年开始研究PM_{2.5}和能见度受损的关系，在全国布点



*Interagency Monitoring of
Protected Visual Environments*

[Home](#) [Search](#) [Contents](#) [Contact](#)
[Overview](#) [Data](#) [Tools](#) [Publications](#) [Studies](#) [Education/Reg](#) [Forum](#) [Activities](#) [Links](#)

Metadata Browser

Click on a single active map feature (such as a site icon) to view metadata.

See [Help](#) for detailed information about this page



Programs

- Air Sciences Aerosol
- AQS PM10 Mass (Daily)
- AQS PM10 Mass (Hourly)
- AQS PM2.5 Mass FRM (Daily)
- AQS PM2.5 Mass FRM (Hourly)
- AQS PM2.5 Speciation (Daily)
- CASTNet Dry Chemistry
- CASTNet Visibility Chemistry
- GAVIM
- IMPROVE Aerosol (Preliminary)
- IMPROVE Aerosol (Raw)**
- IMPROVE Aerosol (RHR1)
- IMPROVE Aerosol (RHR2, New Algo.)
- IMPROVE Nephelometer (Raw)
- IMPROVE Study - MOHAVE
- IMPROVE Study - PREVENT
- IMPROVE Study - SEAVS
- IMPROVE Substituted RHR2
- Midwest RPO Ammonia

GIS Layers

Layer Name	Label
<input type="checkbox"/> Roads	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Rivers	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Cities	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Urban Areas	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> US Parks	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Class I Areas	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Counties	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Cont. US	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> RPO	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Alaska	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Hawaii	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Caribbean	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Canada	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mexico	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> N. America	<input type="checkbox"/>

Selected Programs

Program Code	Program Name	Program Group
--------------	--------------	---------------

美国东部城市各月份PM_{2.5}各组分对能见度受损的贡献比例

黄：硫酸铵
红：硝酸铵
绿：有机物
黑：碳组分
棕：土壤尘
蓝：海盐

特点：

- PM_{2.5}浓度普遍很低；
- 夏季较高；
- 硫酸铵贡献高于硝酸铵；
- 有机物贡献也大。

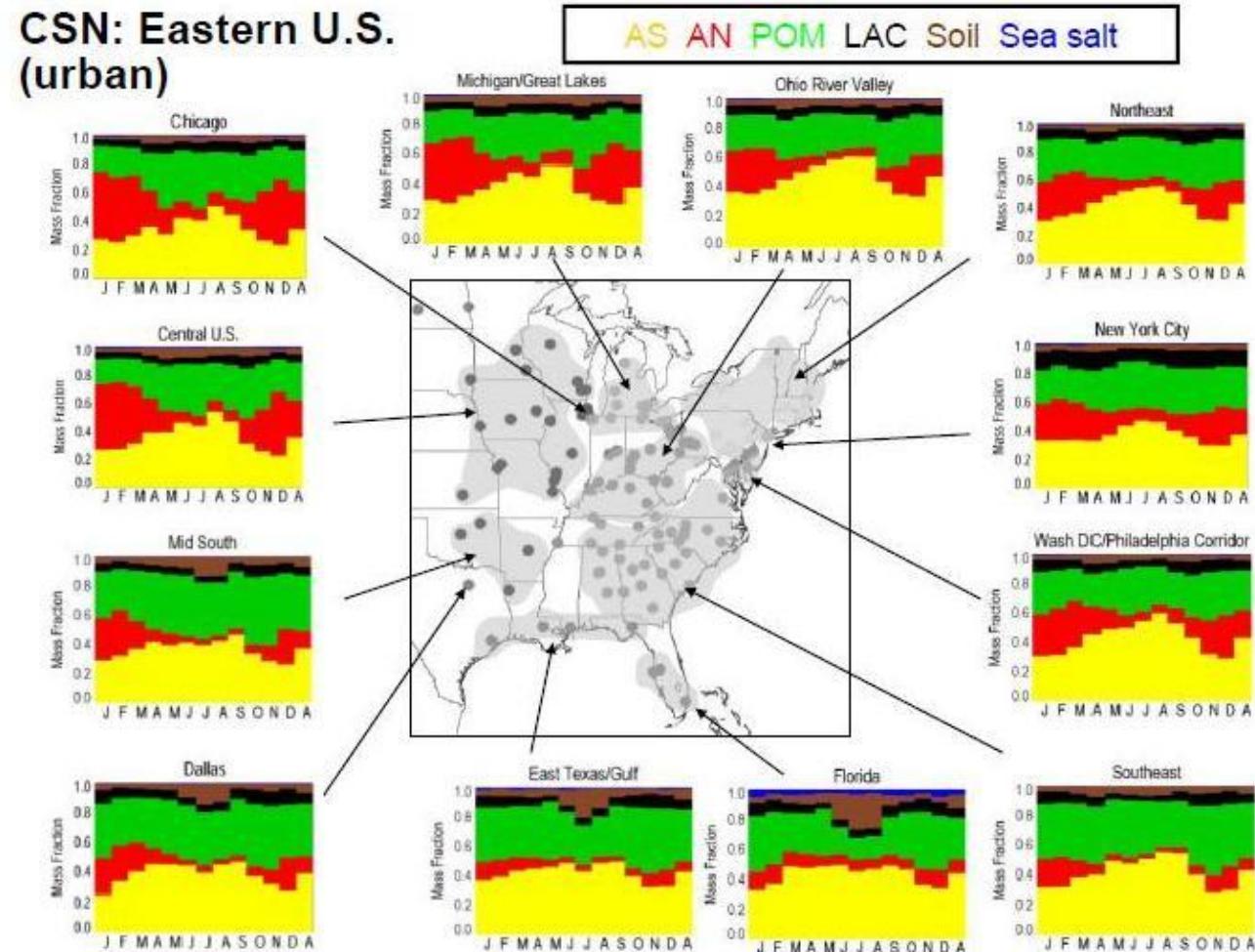


Figure 4.1.16. CSN 2005–2008 regional monthly mean PM_{2.5} reconstructed fine mass fractions for the eastern United States. The letters on the x-axis correspond to the month and “A” corresponds to “annual” mean. Ammonium sulfate (AS) in yellow, ammonium nitrate (AN) in red, particulate organic matter (POM) in green, light absorbing carbon (LAC) in black, soil in brown, and sea salt in blue. The shaded area corresponds to the regions that comprise the sites used in the analysis, shown as dots.

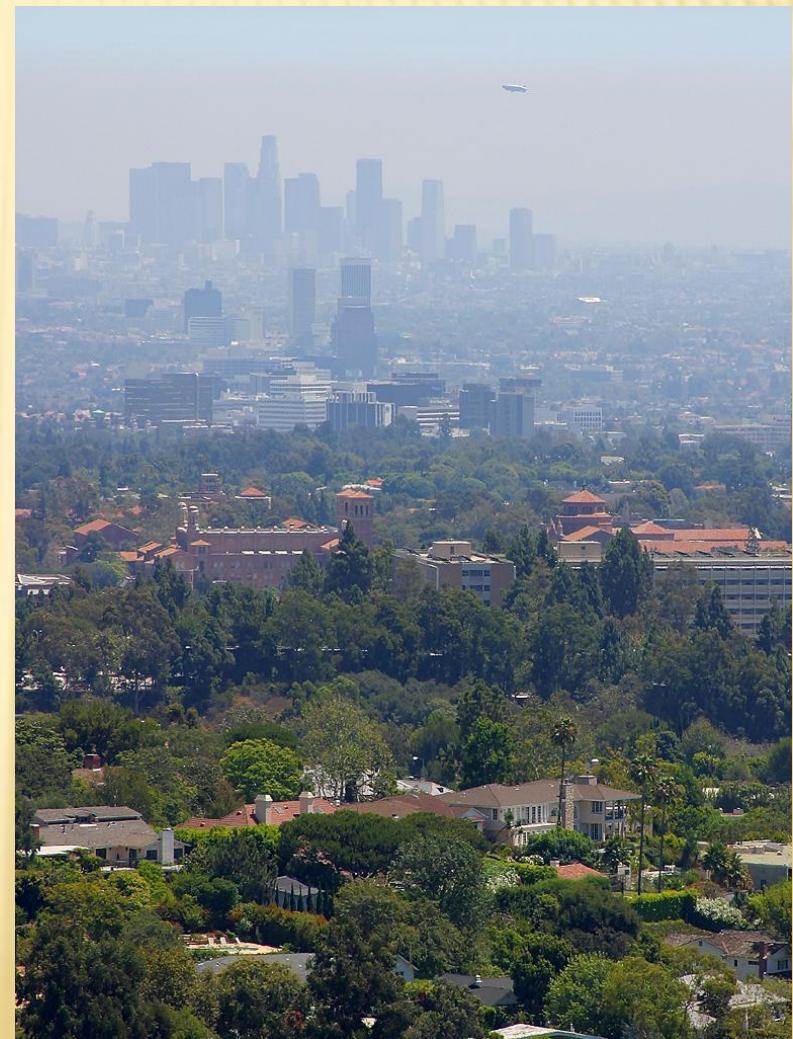


伦敦2012年5月24日



巴黎2014年3月13日

现代光化学烟雾仍然发生



洛杉矶2003年8月10日

人类空气污染历史翻开了新的一页，灰霾：

- 大城市内没有看到烟囱林立；
- 地面二氧化硫、氮氧化物和臭氧浓度不很高；
- 阳光不足，湿度较高；
- 区域性，大范围；
- 呼吸系统感觉不适，但没有急救车呼啸；
- 主要污染物是二次PM_{2.5}：硫酸盐、硝酸盐、有机碳；
- 重霾一过，又有蓝天白云，污染无踪。



人类空气污染历史翻开新的一页：“灰霾”

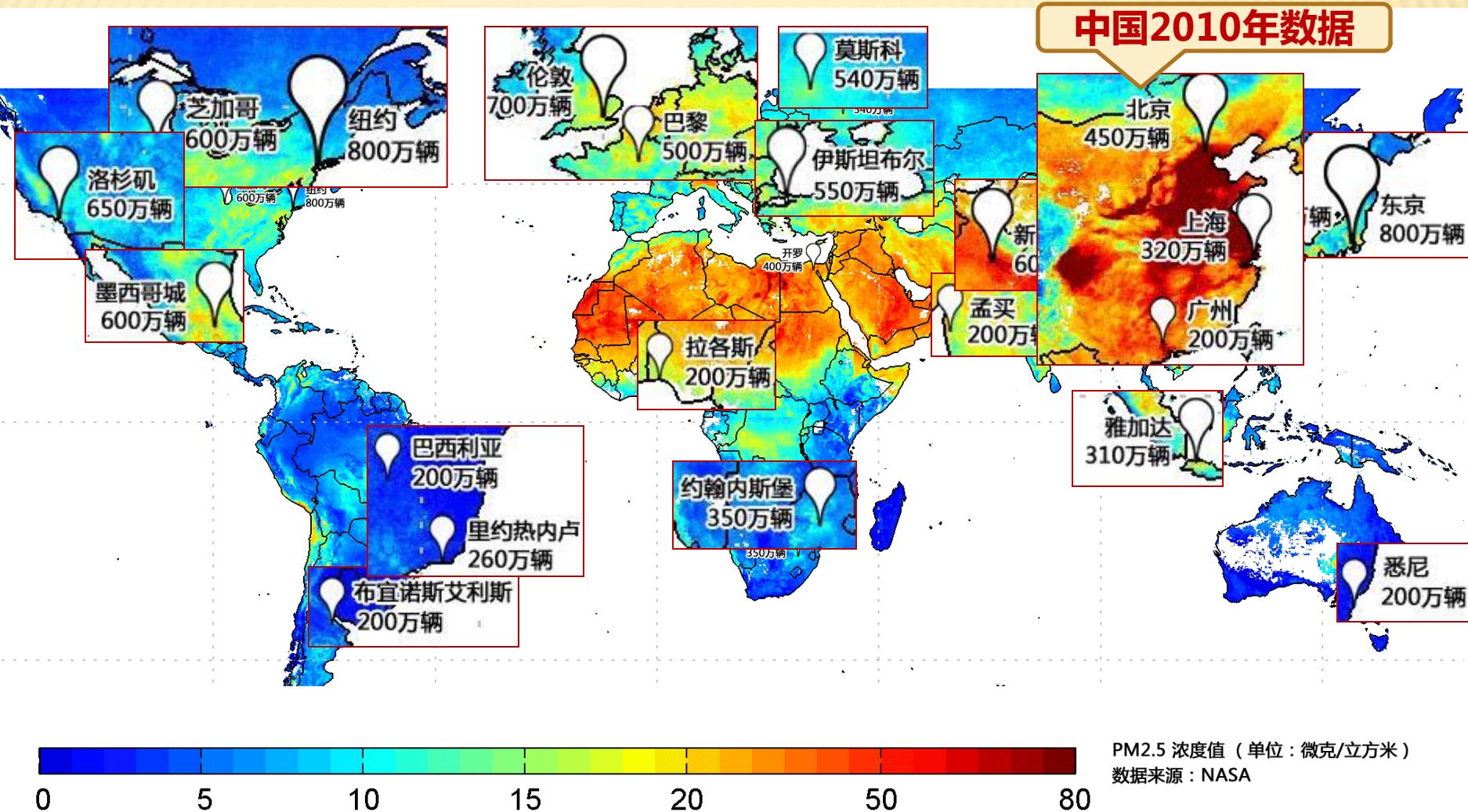
比较已知人为空气污染类型

类型	发现/年代	代名词	主要污染物和特点	人体影响	环境影响	污染事件
燃煤无控制污染	古罗马	伦敦烟雾	高浓度二氧化硫和烟尘，严重雾霾	急性致死，慢性尚少研究；	重霾，能见度严重降低	1952年12月伦敦烟雾，急性致死4000人，直接相关致死8000人
机动车尾气无控制污染	1940年代	光化学烟雾	高浓度臭氧。氮氧化物、碳氢、有机物、细颗粒物。阳光，干燥	眼睛和呼吸道刺激；慢性影响涉及PM2.5	中霾，能见度降低	1955年9月洛杉矶烟雾，但没有发现急性致死记录
酸雨	1960年代末期	酸雨	降水酸度低于5.6；二氧化硫、硫酸盐、氮氧化物、硝酸盐	不明	建筑物和材料被腐蚀；水体/土壤酸度增高	长期影响，80~90年代曾被重视跨国界输送问题。
臭氧层破坏	1970年代	平流层臭氧层被破坏	氟氯烃等	皮肤疾患	气候变化	平流层臭氧层被破坏 发现“臭氧洞”
细颗粒物或PM2.5	1990年代	细颗粒物或PM2.5	细颗粒物 发达国家浓度很低	呼吸道刺激，慢性致变	能见度降低	1997年美国提出PM2.5环境质量标准，影响能见度研究
温室效应 气候变化	17世纪发现，21世纪重视	气候变化	温室气体。全球变暖，积雪冰川融化，海平面上升，降水变化，极端气象事件频发。	研究中	严重影响	长期效应
细颗粒物或PM2.5	2000年代	灰霾/雾霾	高浓度二次细颗粒物：硫酸盐、硝酸盐、二次有机碳；冬半年高发，阳光弱，湿度高，区域性	呼吸道刺激，慢性致变	能见度降低或严重降低	2013年1月中下旬北京雾霾，2013年10月哈尔滨雾霾

3 为什么重霾污染发生在中国

NASA PM2.5 遥感图2001~2006平均值

我们2001-2006有那么多汽车吗？

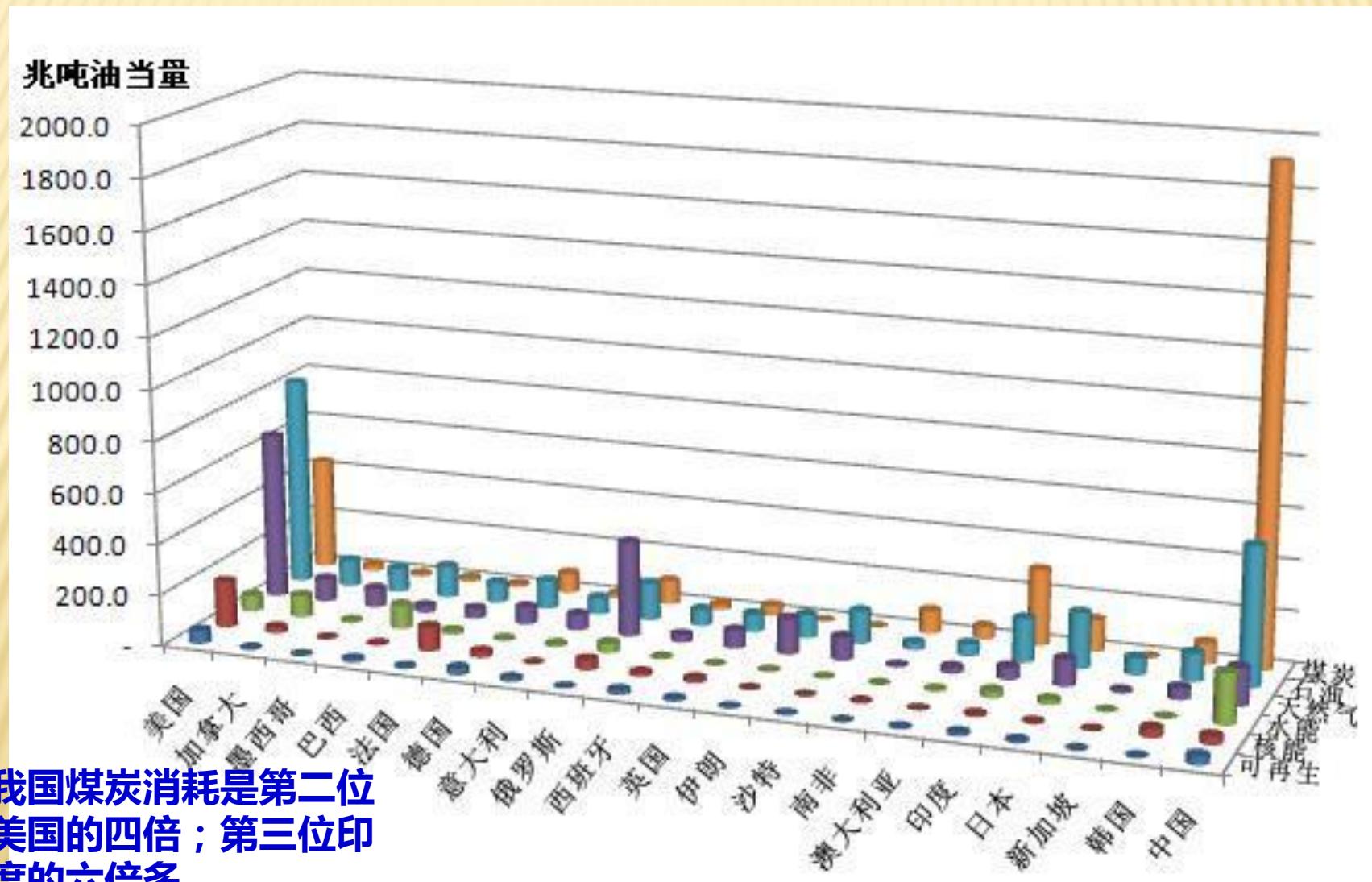


机动车保有量200万辆以上城市PM2.5 浓度值分布图

“网易~发现者” 在NASA遥感图上叠加大城市汽车拥有量恰好说明...

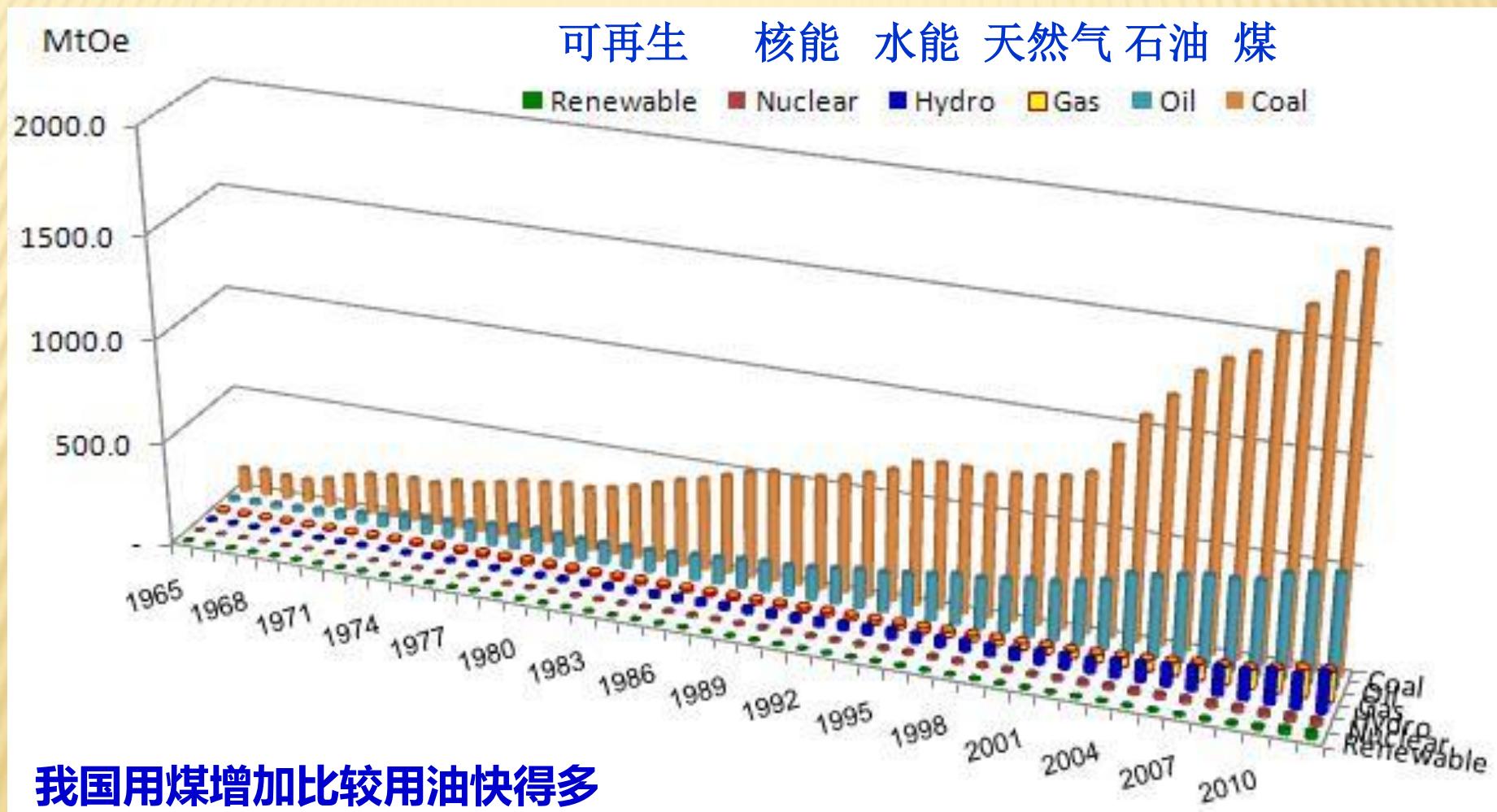
各国能源消耗结构比较，这样的能源结构会怎样影响空气质量？

--- 数据来自英国石油公司(BP)2013年统计报告



我国煤炭消耗是第二位
美国的四倍；第三位印
度的六倍多

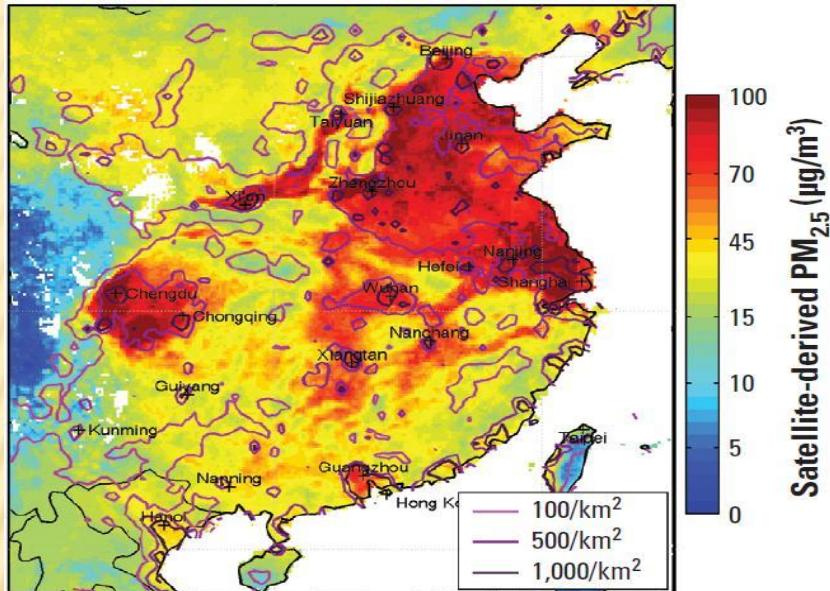
我国一次能源消费的年变化



我国用煤增加比较用油快得多

煤是烧掉的，油还有相当部分用于化工。

注意酸雨区和PM_{2.5}高浓度区的反相关

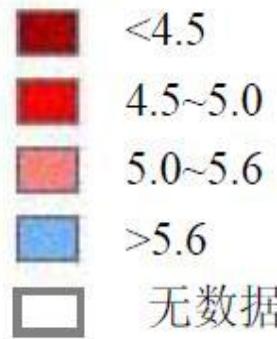


反思

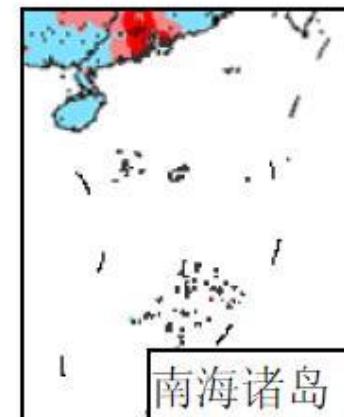
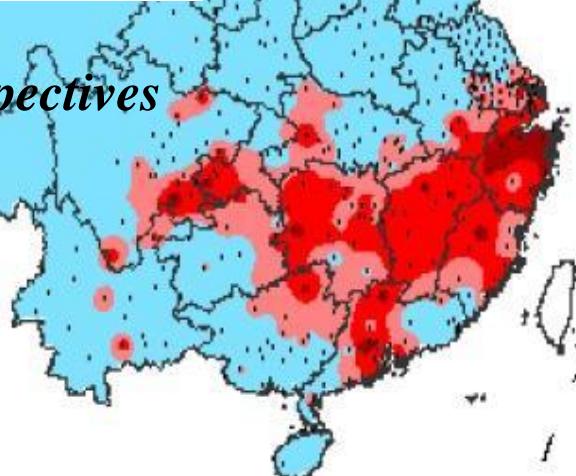
以雨水pH值
判别酸雨有
问题。应当
改为“酸沉
降”，即硫
酸盐和硝酸
盐的沉降
等。

van Donkelaar et al. (2010)
Environmental Health Perspectives

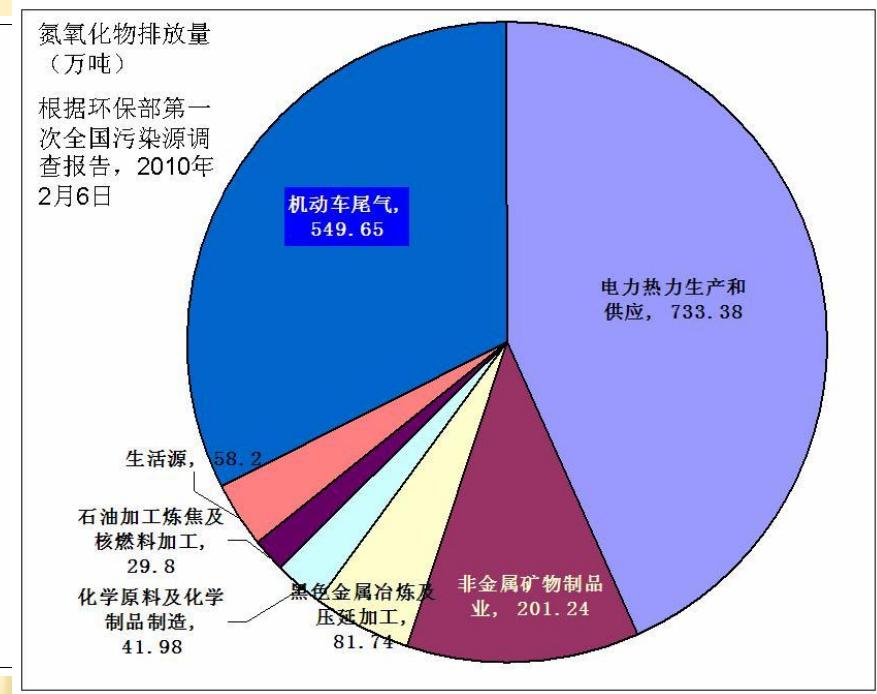
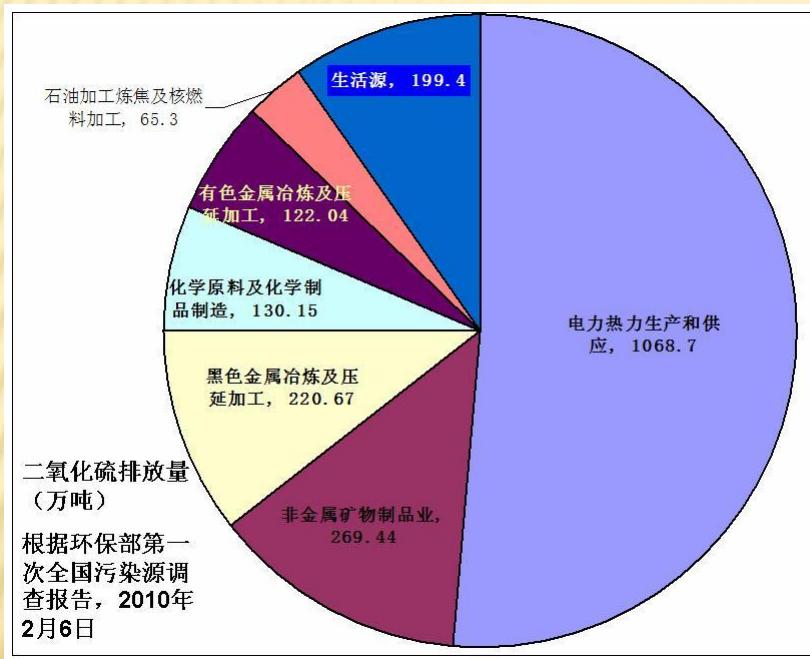
118(6):847-855



2010

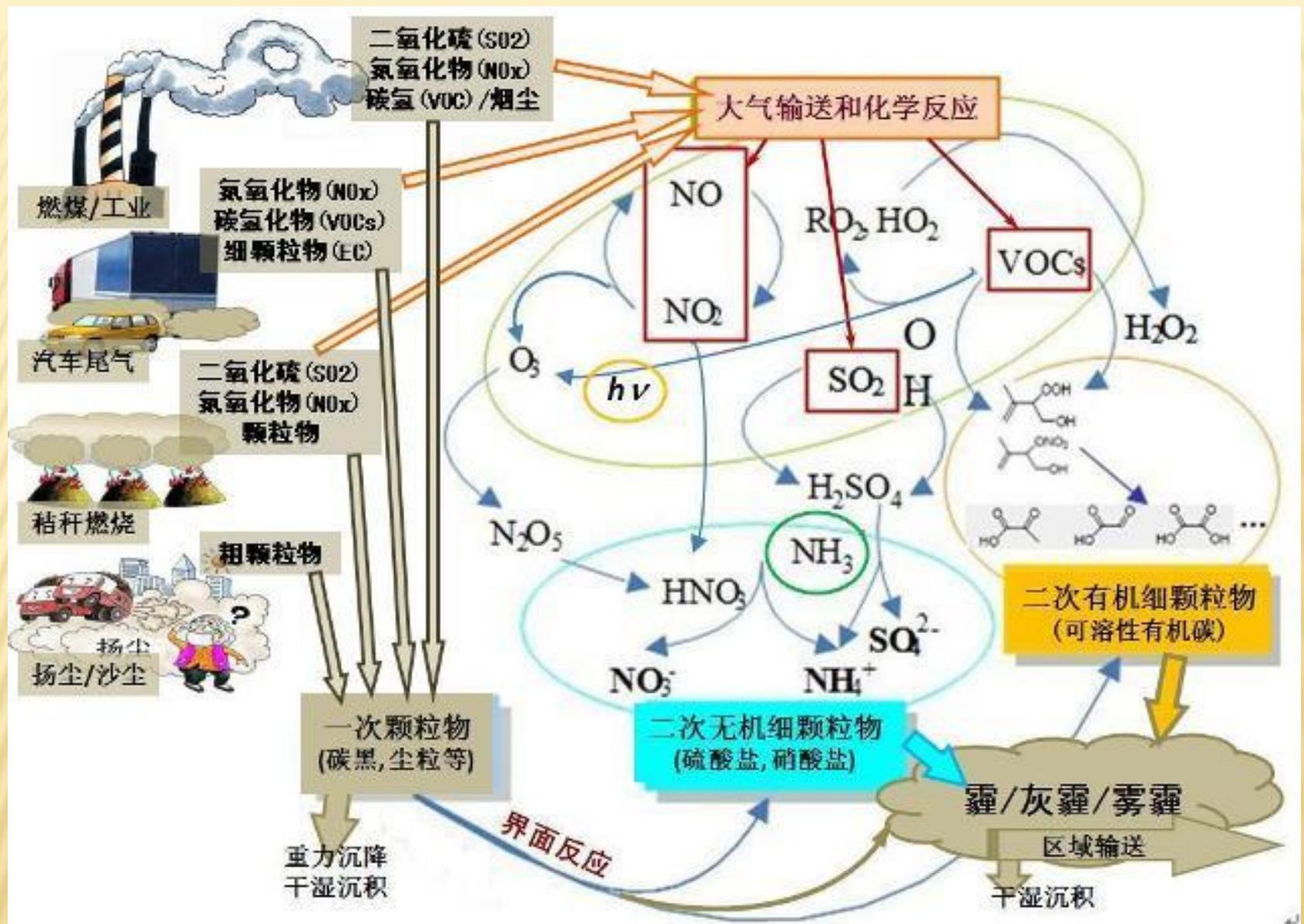


2010年环保部公布SO₂和NOx污染源调查结果



NOx, 总量1996万吨,
电力热力733.38(43.24%) , 机动车尾气549.65(32.41%)

注 : 氮氧化物生成的一个重要机制是高温燃烧(约1200°及以上),
空气是氧化剂, 燃煤燃油都可以产生大量氮氧化物。



重霾的形成和来源

只画了主要人为污染源，其中秸秆燃烧只是局部和暂时的，扬尘沙尘对重霾也不重要。

我国空气污染控制

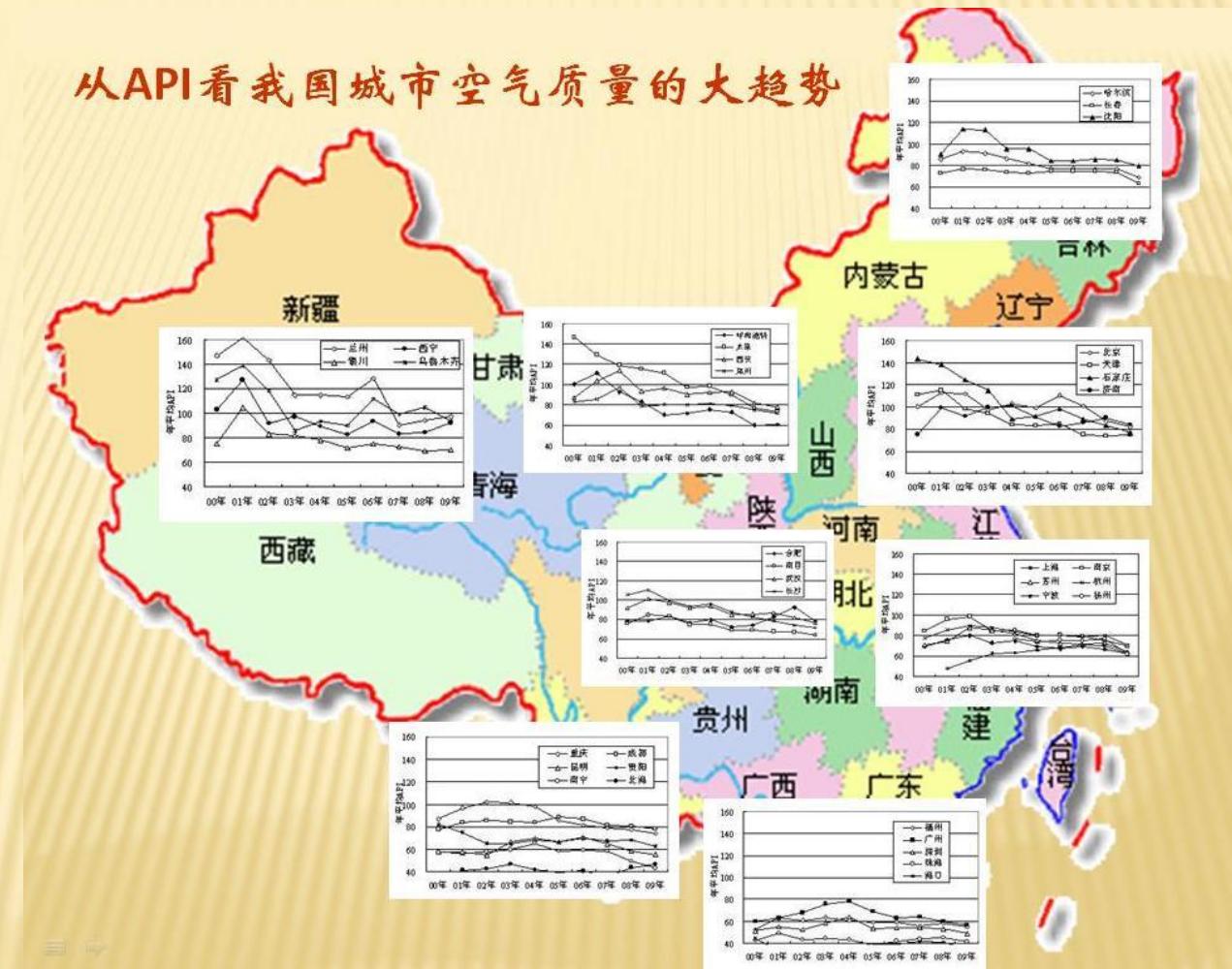
- ⑧ 宪法、法律、规章、制度、导则；
- ⑧ 行业空气污染物排放标准，空气质量标准；
- ⑧ 空气质量监测网络和API~AQI；
- ⑧ “关、停、转、并、移” 污染产业；
- ⑧ 拆除小烟囱，集中供热；
- ⑧ 设置两控区（二氧化硫和酸雨控制）；
- ⑧ 二氧化硫排放总量控制；
- ⑧ 机动车排放标准；
- ⑧ 迅速更新空气质量标准，强化监测网络（PM2.5和O₃）；
- ⑧ 大力支持和开展研究工作。。。。

成效：

- ⑧ 各地空气质量（SO₂、PM10、降尘）趋于改善；
- ⑧ 常规污染物排放强度有所降低（年报：烟尘，二氧化硫？）

反思我国空气污染控制工作的成和败（事后诸葛亮）

- ④ 三十多年来，我国空气污染控制有成绩。
- ④ “关/停/转/并/移”污染企业，建立高烟囱的措施有效地使城区污染物地面浓度呈下降趋势： PM_{10} 和 SO_2 。 NO_2 不降反升和机动车使用量增加相关。
- ④ 但随经济发展，“十五”以来污染物排放总量在迅速增加。
- ④ 脱硫、有关酸雨的污染物排放“总量控制”战略失败。因此NASA遥感 $PM_{2.5}$ 图上，华北地区“一片红”！
- ④ 各地政府“十一五”期间放松监管，扬尘反弹。
- ④ 酸雨、光化学烟雾、雾霾等“二次型”空气污染严重。



各地城市API数据（2000-2009）呈下降趋势

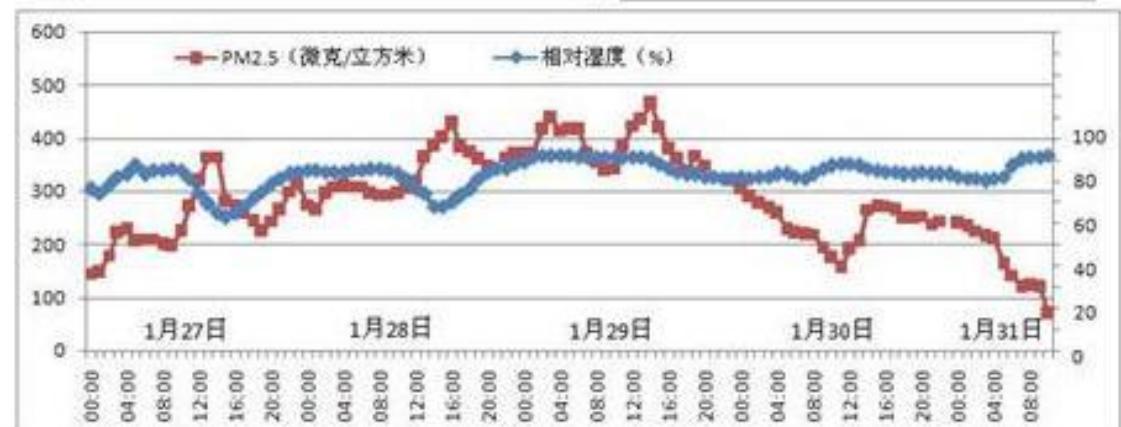
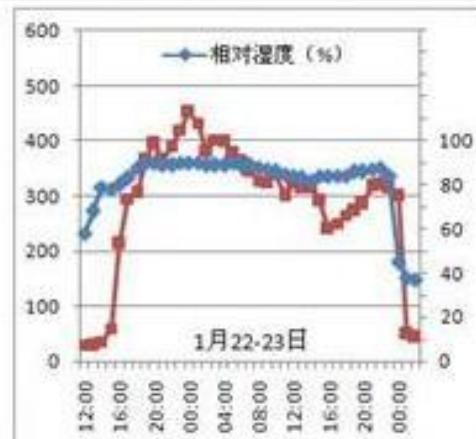
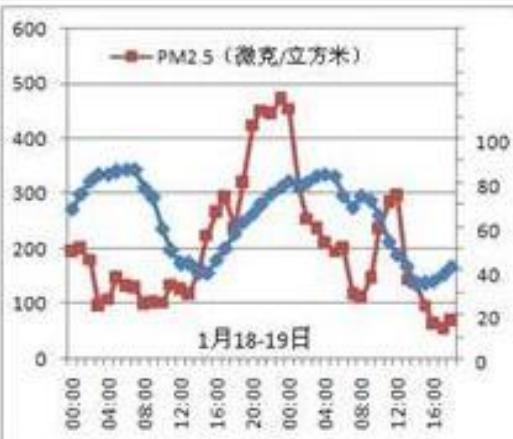
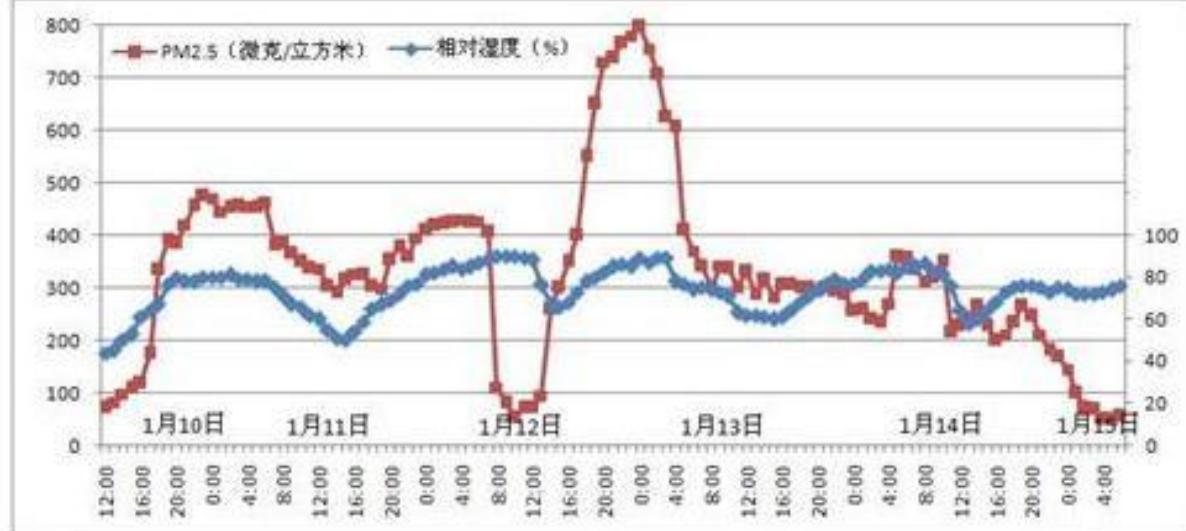
我国灰霾污染的发生发展

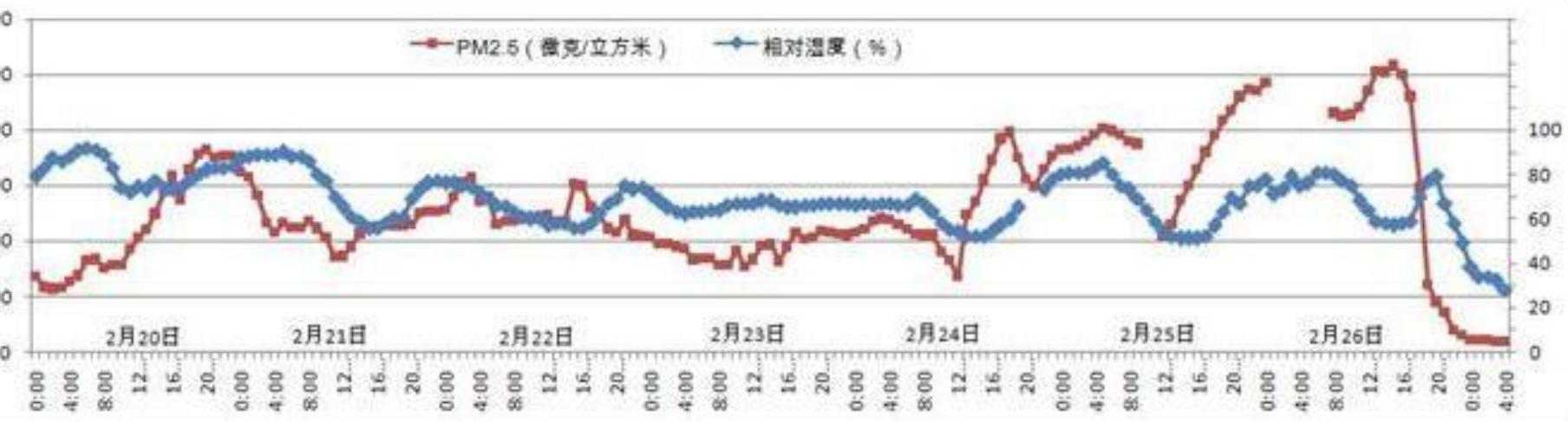
- ① PM_{2.5}是美国国家环保局1997年提出，并列入空气质量标准。之前关于细颗粒物的研究属于气溶胶（aerosol）范畴；
- ② 中国最早研究气溶胶的工作和酸雨研究一同开始，因为引起灰霾的重要PM_{2.5}组分，硫酸盐和硝酸盐，正是酸雨的前体物。因为硫酸盐和硝酸盐基本上不重力沉降，干沉积又很弱，可以长距离输送，引起区域性及跨国界污染问题。80年代末90年代初比较有名的有中科院生态中心汪安璞的研究工作等。1997年美国提出PM_{2.5}环境质量标准后，我国也随之开展了研究工作。
- ③ 进入二十一世纪后，我国环保界注意到“城市群空气污染”问题，实际就是灰霾的早期表现。气象界则注意到了能见度受损区域严重，因而组织全国性学术研讨会。在2002年一次会议上，我国学者第一次提出“灰霾”来描述损害能见度的区域性吸湿性细颗粒物污染问题。2010年前后，各地气象部门综合多年观测数据，认为2005-2006年是我国灰霾污染发展的高潮。2007年国家重视脱硫工作之后，可能因为部分地区落实较好，灰霾污染有所缓解，如广东和上海。
- ④ 但2010年之后，灰霾污染看来进入了新的高潮。严重污染突然出现在首都北京，进而京津冀和华北、随之华东、华中、华西、华南，及至今年东北。虽然2011年美国大使馆PM_{2.5}监测结果爆表曾是导火线，但首都北京的一片灰霾有目共睹。2012年下半年起，媒体和政府部门，多用“雾霾”表示这一特殊的空气污染问题。

最新研究成果

- ④ 2014年3月1日，中科院举办报告会，清华贺克斌、北大张远航、中科院王跃思和贺泓等著名学者讲话，表明：
- ④ 灰霾的发生发展和我国能源结构和经济发展密切相关。例如，京津冀地区面积只是全球万分之0.5，但耗煤占全国22%全球11%，产钢铁占全国25%全球15%。**~~烟筒啊。**
- ④ 各研究队伍源解析成果趋于一致：
 - 就区域而言，燃煤排放第一位，机动车尾气其次；
 - 就北京市而言，机动车尾气是主要污染源；但灰霾或雾霾期间，外地输送有重要贡献；
- ④ 广州、南京、厦门等地开展类似美国IMPROVE的研究，证实硫酸盐、硝酸盐和二次有机碳影响能见度；
- ④ 电子显微镜观察细颗粒物微观结构，。。。

- ④ 北京2013年1月10日~29日，5次严重雾霾：湿度高；
- ④ PM2.5浓度高



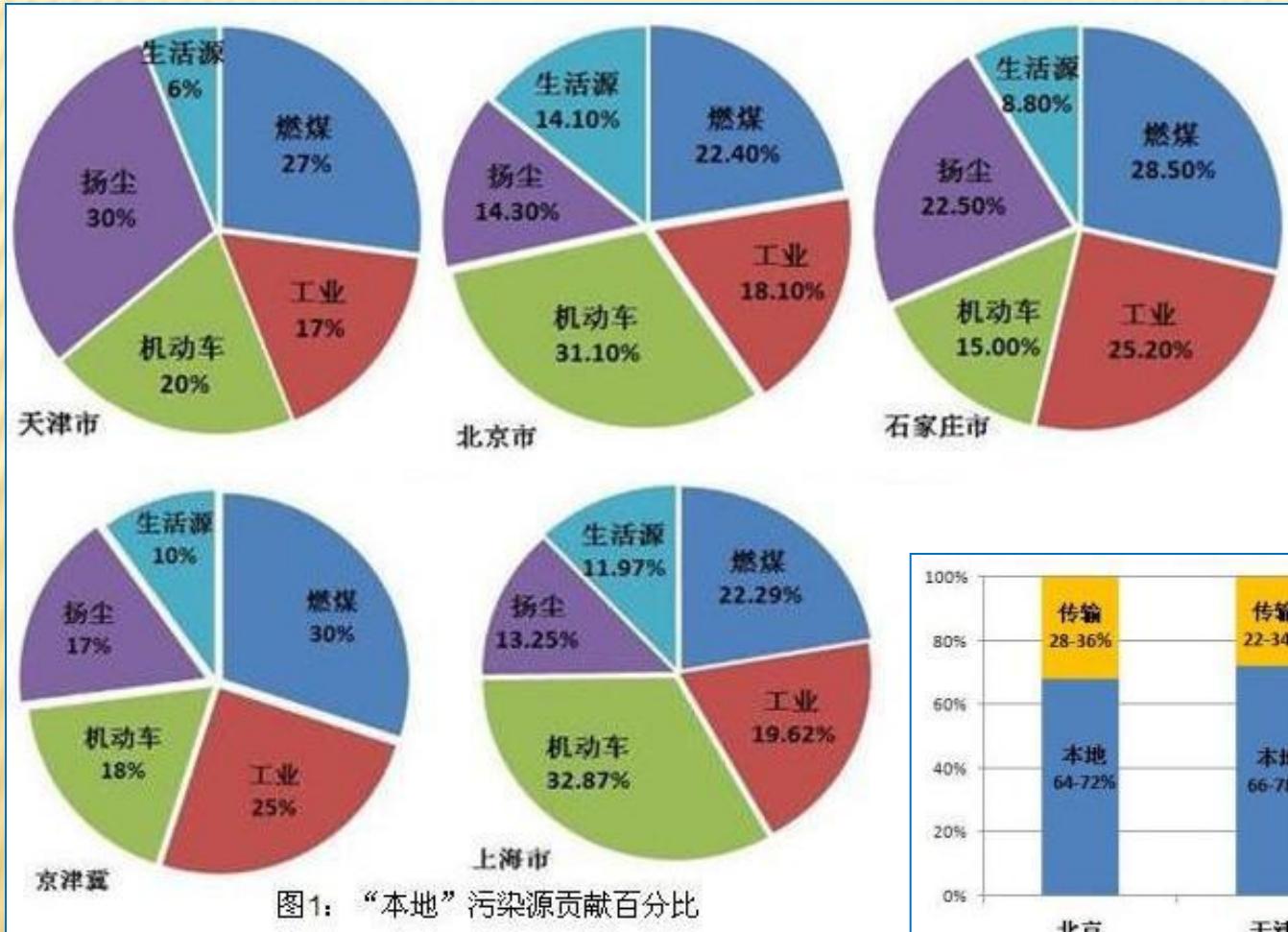


北京2014年2月20~26日，主要是灰霾。

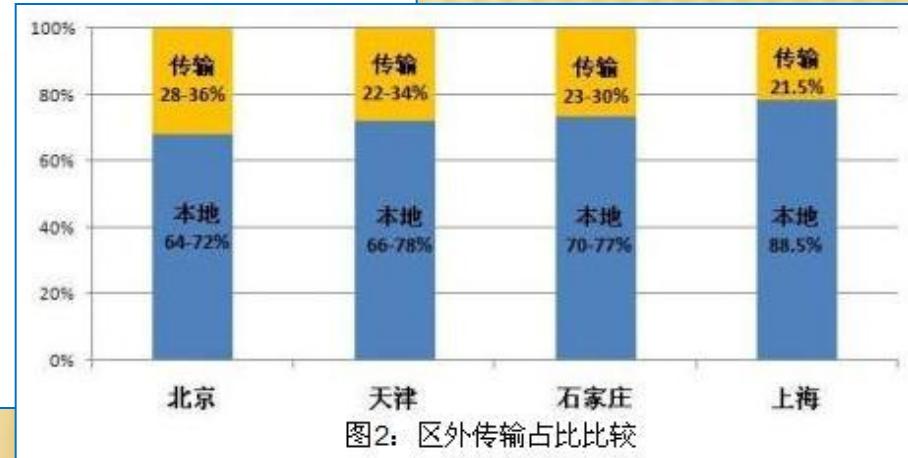


北京市2015年春节期间官园站PM2.5浓度变化

“源解析”研究成果



问题：
输入/输出?
全年平均~灰
霾?
扬尘?



研究成果一例：中科院大气所
Dongsheng Ji等, 2014, Atmospheric Environment 92, 546-556

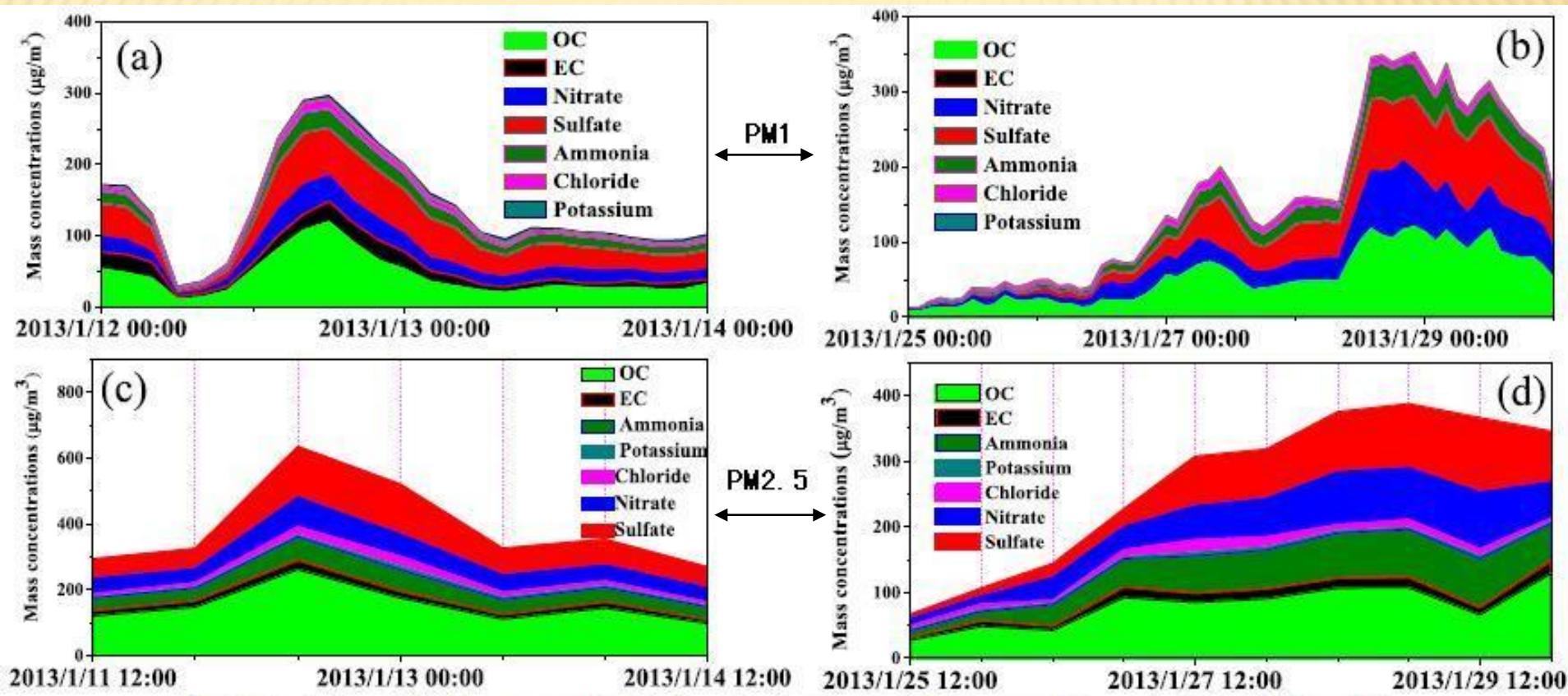


Fig. 10. Variation of the important chemical species in PM₁ and PM_{2.5} over E1 (a and c) and E2 (b and d).

北京市2013年1月中下旬期间采样分析结果：雾霾中细颗粒物化学组成

应对灰霾

灰霾什么是主因和应当控制什么？

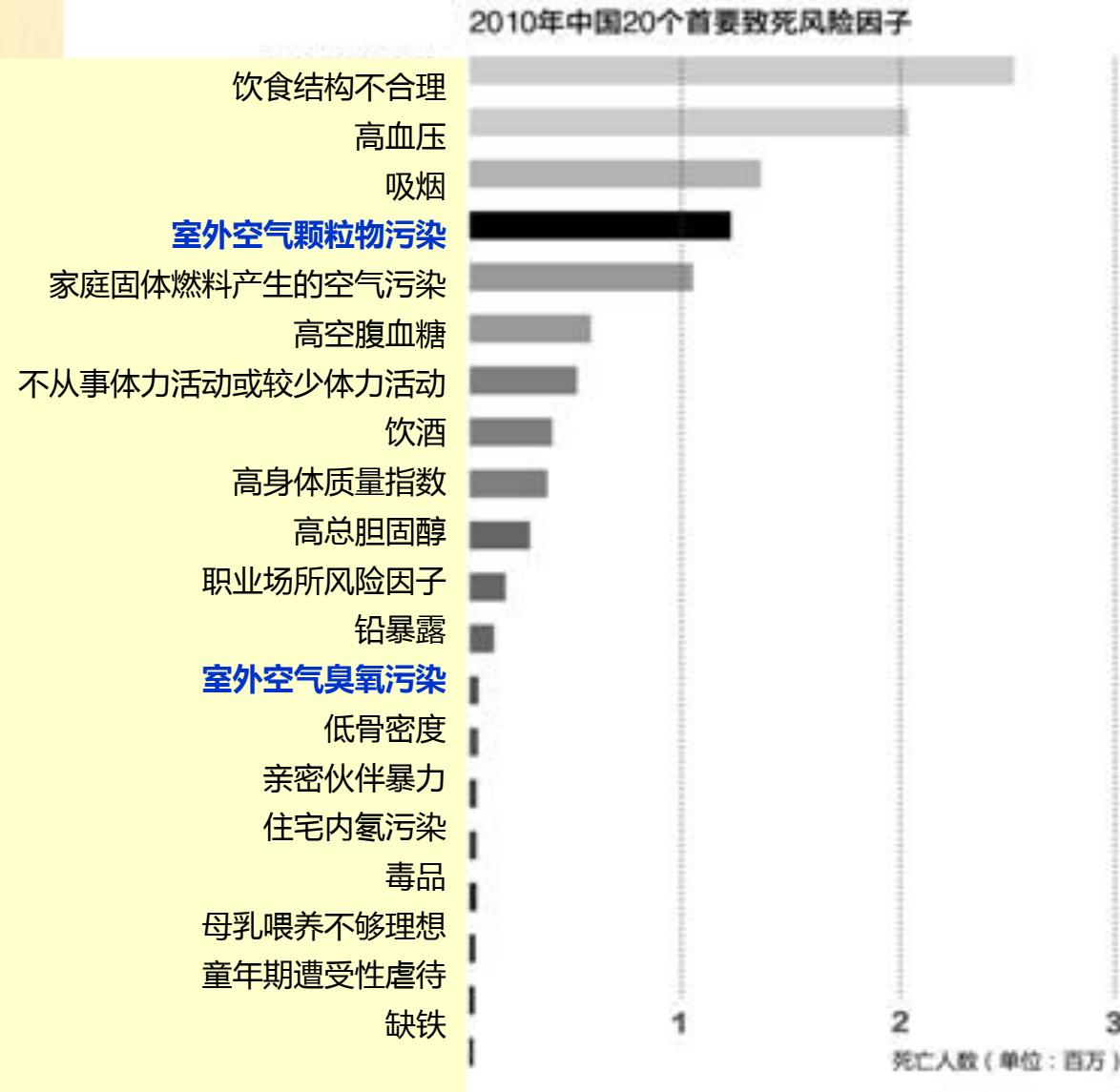
- ① 燃煤排二氧化硫和氮氧化物是主因，汽车尾气在其次。
- ② 形成灰霾主要是二次颗粒物：硫酸盐和硝酸盐，吸湿性强。但不少地区发展粗放，有烟气直接排放现象，因此灰霾中有时可以闻到煤焦味。
- ③ 和气象条件有密切关系：气象部门预报相当准确是一旁证。
- ④ 目前关于灰霾的形成研究不足，~~~为什么会影响能见度。其实查查美国人以前做的酸雨评论（说硫酸盐长距离输送影响能见度），和目前还在做的IMPROVE研究项目（PM_{2.5}监测和能见度影响），可以知道大概。但专业人士尚未重视，例如北京和上海。
- ⑤ 其实政府也知道燃煤是主凶，因此有一个“压煤”的政策和计划。但压煤从70%到65%可能性比较大，再往下压困难不小。因为燃煤多是我们的资源结构决定，而且本质原因是硫和氮：二氧化硫和氮氧化物。
- ⑥ 应当要“压硫”和“压硝”，即强令脱硫和脱硝。我们的电厂和大工业的排放标准应当重新制订，而且严格执行。
- ⑦ 控制汽车和油品，对人体健康大有好处，但对于控制灰霾，是第二位的。
“油品”差是什么问题？支持改善油品，因此**减轻人体暴露于汽车尾气的健康风险**。但**如果说因此机动车超标排放SO₂，地面环境监测浓度应当有明显升高啊，有吗？** ~~~~改善油品对于减轻灰霾（能见度损害）是有限的。

灰霾和PM_{2.5}的危害（说的不一定对，请批评）

- ④ 灰霾源自PM_{2.5}，但不等于PM_{2.5}；
 - 灰霾主要影响能见度，因此的环境影响？
 - 灰霾对人体健康影响可能有限，因为是间隙性发生，主要不是急性危害；
 - 应当重视交通事故，停车、停船、停航的社会经济影响(现在几乎没人说)；
- ④ PM_{2.5}来源复杂，要区别对待：
 - 灰霾主要涉及硫酸盐和硝酸盐，致癌特性？
 - 香烟烟气、烹调油烟、汽车尾气都直接排放细颗粒，但怎样和尼古丁、亚硝酸盐、芳香烃的毒性比较？
 - 有毒化学物质的事故排放，如高压液氯、液氨的事故排放含大量细颗粒，可以直接致死！
- ④ PM_{2.5}不是新出现的污染物，本来就含在PM₁₀内，以前不讨论PM₁₀的致癌毒害？硫酸盐和硝酸盐本来就是酸雨的前体物，没听说以前曾研究硫酸盐和硝酸盐的致癌毒性？
- ④ 个人认为不必对PM_{2.5}和灰霾十分惊慌，保持良好的生活习惯更加重要：戒烟、适当运动、饮食、良好心态。。。污染严重时戴口罩有好处，其实常在马路边生活工作，健康风险原本就很大。机动车尾气里不仅有大量PM_{2.5}，含重金属和芳香烃，还有有毒气体，还有扬尘。

怀疑汽车尾气对人体健康影响超过雾霾（说的不一定对，请批评）

- ① 2013年3月31日国际权威医学杂志《柳叶刀》发布488位研究者的“2010年全球疾病负担评估”，称PM_{2.5}是中国第4位致死因子，臭氧排第14位。奇怪的是，**没有汽车尾气？**
- ② 汽车尾气里不仅有大量PM_{2.5}，而且毒性高，如高分子芳香烃；还有有毒气体和重金属，还伴随扬尘。
- ③ 如果也对汽车尾气对人体健康影响做大量“队列”研究，结果和细颗粒物比较，哪个更加严重？
- ④ **汽车就在我们身边，没有灰霾时，它们照样排放尾气！**



解读国十条

- ⑤ 控车：2017年底前全国供应“国五”油
- ⑥ 淘汰落后产能：提前一年完成21个重点行业落后产能淘汰
- ⑦ 控煤：2017年煤炭消费比重降至65%以下
- ⑧ 监测：到2015年地级以上城市建成PM_{2.5}监测点
- ⑨ 天气预警：2015年底前各省份建成天气监测预警系统

9月2日北京出台“清洁空气5年计划”，提出要从压减燃煤、控车减油、治污减排、清洁降尘、重污染应急五个方面实现空气清洁。

“联防联控”、 “压煤”、 “签约保蓝天”

京津冀晋内蒙古鲁共商大气污染防治

省市	调控目标
北京	控煤1000万吨；机动车不超600万辆；水泥炼油产能分别控制；退出1200家污染企业
天津	确定了10条66项措施和462项任务2055个治理项目
河北	全省减少4000万吨燃煤；年内，淘汰黄标车57.8万辆；7265个重点工地监控扬尘；关停、限产大量污染企业
山西	取消各备燃煤锅炉；淘汰全部黄标车31.6万辆；按计划淘汰钢铁、焦炭等落后产能
内蒙古	重点行业脱硫、脱硝、除尘；电厂和供暖企业冬季全部使用优质煤炭
山东	制定燃煤锅炉煤改气方案；全省将自2014年1月1日起全面供应国四阶段标准汽油；省级财政设立2亿元的黄标车提前淘汰考核奖励金

京津冀要大力削减和整治钢铁企业

- ⑤ 环保部调查报告，京津冀地区受访的近300家钢企中，超7成的钢企环保设施不达标。
- ⑥ 为配合大气治污新政，要求河北省到2017年底，钢铁产能压缩淘汰6000万吨以上，相当于砍掉其总量的三分之一。其中，唐山、邯郸、石家庄三个钢铁重镇分别承担削减4000万吨、1204万吨和482万吨的任务，其余零头分给其他县市。
- ⑦ 年初在实地调研华北地区钢厂排污情况时，被调研的河北钢铁企业中，一共有烧结机300多台，安装脱硫设备的只有100多台，但其中70%不能正常运行。此外，每日钢厂脱硫费用接近5万-6万，为了省下脱硫的几万元开支，很多河北当地钢厂让脱硫设备“早8点开，晚8点停”，夜间偷排现象严重。

挑战和展望

- ⑧ “压煤”还是“压硫”和“压硝？”
 - 我国能源结构是由资源结构决定的，煤炭是安全能源；
 - 采暖锅炉和民用煤应当尽量压缩，但降到65%只减少SO₂排放量的7%。脱硫设备通常可以达到70%以上效率，应当首先严格脱硫，并积极推动脱硝。
- ⑧ 反思酸雨区的定义，应用“酸沉降”替代pH值；
- ⑧ **重新设计“两控区”及总量控制要求；**
- ⑧ 因为独特的能源结构，加强排放标准；
- ⑧ 加强法治，严惩脱硫脱硝中的违法违纪问题。

挑战和展望

- ④ 夏半年虽然有臭氧问题，但看到“我们有蓝天”！
 - ④ 环境在改善，以广州和上海为例；
 - ④ 政府已经下了大力气（一台监测仪器近50万！），
多个研究项目在进行中；治理也开始“动真格”了；
 - ④ 保护环境人人有责。
- ④ 疑问：
- ▷ 灰霾是“区域性复合空气污染”？
 - ▷ 主凶？
 - ▷ 能见度的环境、社会经济影响？
 - ▷ 健康影响甚于机动车尾气？

-
- ④ 后面两页介绍的情况近期新闻中常见，可以想象我们空气污染和水污染为什么会这么严重；
 - ④ 也可以想象，除了空气污染和水污染、固体垃圾、土壤、生态。。。。

 - ④ 所以灰霾的发生和治理可能把坏事变好事：全民动员，保护环境，建设小康，建设生态文明！

华北钢铁业抹黑京津冀天空 80%项目无环评审批

HTTP://NEWS.XINHUANET.COM/FORTUNE/2013-12/10/C_125833033.HTM

- ① 我国早在2005年就停止审批钢铁项目，但全国的钢铁产能却从2005年的3亿多吨，增长到现在的七八亿吨。河北作为全国钢铁大省，产能更是从1亿多吨上升到3.14亿吨。
- ② 2005年之后新增的钢铁产能，绝大部分都没有任何审批手续，包括环评的手续，可以说是彻头彻尾的违规项目。具体到**河北的钢铁产能，有近80%没有任何手续，属违规建设。**
- ③ 经初步核算，一个年产1000万吨的钢铁企业，在环保设施正常运行的情况下，每年仍将向大气排放1万吨左右烟粉尘和2.9万吨二氧化硫。而河北省约有3.1亿吨钢铁产能，照此计算，这些钢铁企业一年至少向大气排放31万吨烟粉尘和89.9万吨二氧化硫，其对空气质量的影响可想而知。这是环保设施正常运转的数据，可现实中**大部分钢铁企业的环保设施都不能正常运转**。
- ④ 不久前，河北省出台了《大气污染防治行动计划实施方案》，提出了钢铁产能削减的目标——5年内削减6000万吨。
- ⑤ 这个减产目标在河北钢铁行业引起不小的震动，相当于要对河北的支柱产业动手术。但也有专家认为这样的力度远远不够，毕竟对河北来说，有两亿多吨的钢铁产能是没有经过任何审批的黑户。严格说起来，这两亿多吨钢铁产能都在削减之列。

青山钢铁大肆排污 “美丽中国”的梦想如何实现？

HTTP://HJ.CE.CN/GDXW/201311/26/T20131126_1229746.S

HTML

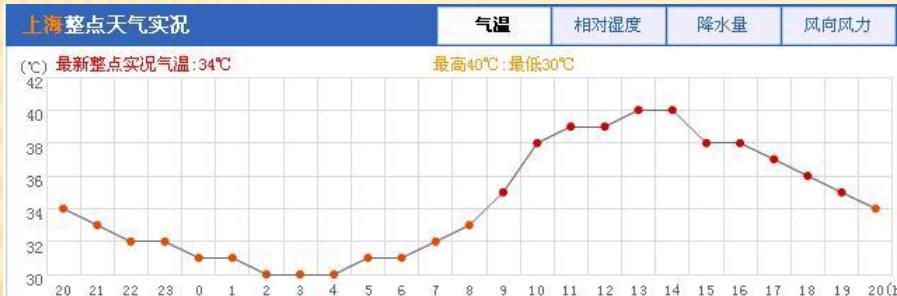
- ⑤ “泰朗钢管厂区背后，一根直径约2米的管道将亮黄色污水排入瓯江”、“强酸性污水通过泰朗钢管围墙上的多个缝隙直接流入瓯江”……看到报道中这些让人触目惊心的照片，很多人恐怕都会一种作呕的感觉；“山上下来的山泉水，现在被青山钢铁污染了”、“环保局的人一周来巡逻几次，不是还这么排吗”……了解报道中这些村民们抱怨的话语，很多人更会产生一种愤怒的情绪。
- ⑥ 这个案例，足可以作为当前一些地方以破坏自然环境、损害公众健康为代价，创造“黑色GDP”、“带血GDP”的一个典型标本。泰朗钢管的母公司泰朗管业集团，隶属于青山钢铁董事局，是旗下六大集团之一。而青山钢铁隶属于青山控股集团，也是青山钢铁董事局旗下六大集团之一，其中青山控股集团是中国五百强企业、中国民营五百强企业，然而在这些光环笼罩之下，青山钢铁与泰朗钢管排出的酸性污水都流入瓯江中。这就不仅是企业的问题，更和当地环保部门监管不力有重要的关系。
- ⑦ 坊间有言：目前环境执法中企业有“三不怕”：一不怕环境监察、二不怕环境处罚、三不怕给老百姓造成损害；一些地方政府相关部门有“三不查”：老百姓不上访不查、媒体不揭露不查、高层领导不批示不查。这样的社会逻辑下，这些生存环境受损的村民维权之路何在呢？他们何时能再用上清澈的山泉水呢？国人“美丽中国”的梦想如何实现呢？

**全民动员，保护环境，
建设小康，建设生态文明！**

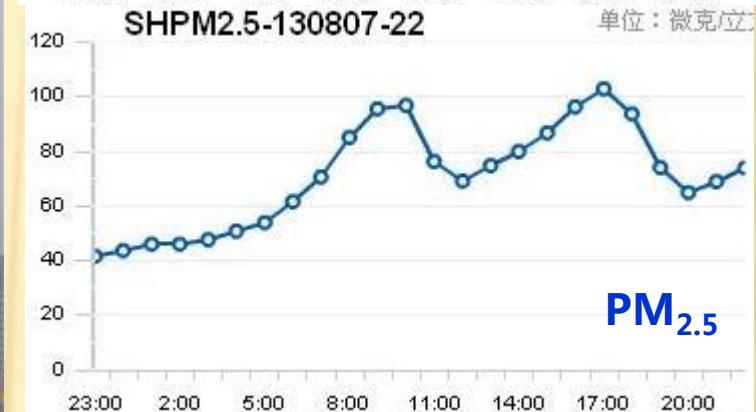
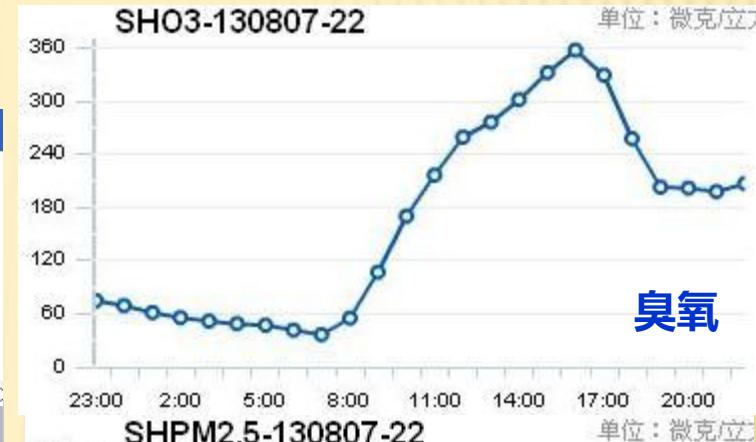
空气污染物排放进入大气层后哪里去了？

- ① 空气污染物在被排放后直至消失的生命周期包括**来源**（排放），**输送过程**（风吹、扩散、化学转化等），和**沉降**（重力沉降、干沉积、湿沉降），或者还有分解（很少讨论）和衰减（放射性物质）。
- ② **沉降是污染物从空气中被清除的过程。**
 - **重力沉降**主要指尺度比较大的粗颗粒物，即PM₁₀中尺度大于2.5微米的颗粒物，及大于PM₁₀的颗粒物。PM_{2.5}等细颗粒物因为空气阻力等原因，一般不考虑它们的重力沉降。
 - **湿沉降**是指雨滴在成型时已经包含的污染物，和从云底降下过程中又冲刷空气中的污染物。
- ③ **干沉积只发生在地面**，因为污染物和地表接触，发生吸收和吸附使污染物停留在地面，不再介入输送，因此被从大气中“清除”。
- ④ **干沉积的强弱**，取决于污染物的特性（气态/颗粒态，组分和特性），地面性状（水面、农田、森林、建筑、道路、沙漠。。。），以及地表附近空气的流动状态（静稳、小风、湍流）
 - 一般说来，气态污染物比较细颗粒物更加容易被干沉积，经验是，衡量干沉积强度的“干沉积速率（单位是速度/长度）”比较，气态污染物的速率是细颗粒物的10倍。。
 - 比较地面性状，显然**海洋是最有效的清除体：又是水面，又有海浪、飞沫和湍流**（混乱运动）。**另一个极端是沙漠和水泥地面**，显然对细颗粒物的干沉积能力很弱。森林有大的接触面，湿地有水面也有风，因此干沉积的能力应当也比较强。
- ⑤ PM_{2.5}基本不参与重力沉降，干沉积又低效率，因此“灰霾”得以**持续发生和传输长距离**。

上海2013年8月高温和光化学烟雾

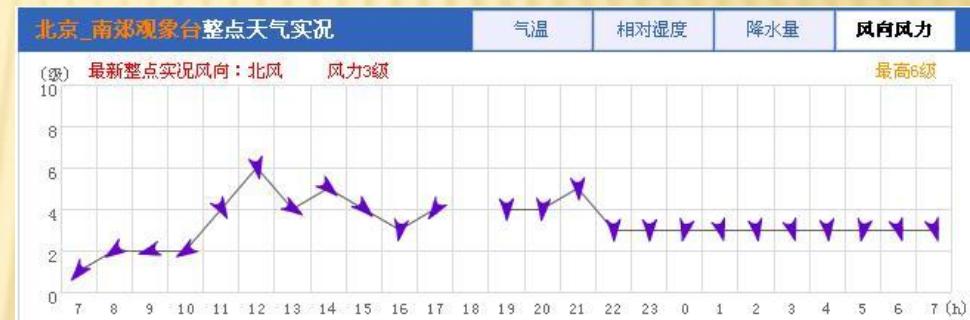
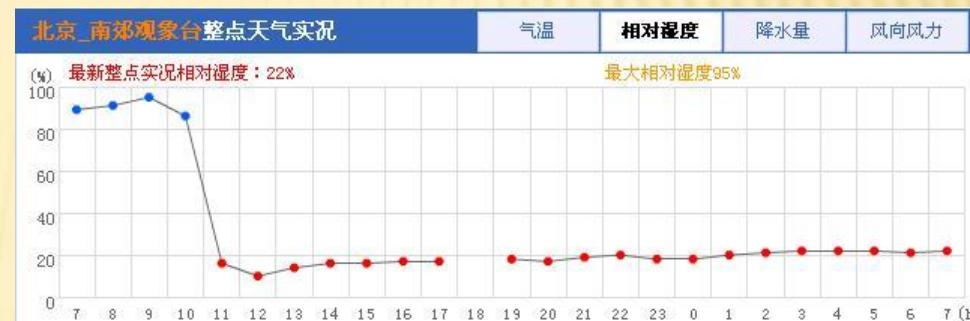


2013年8月7日上海创纪录高温,气温超过40度。同时发生了严重光化学烟雾, O_3 峰值达到360微克/立方米,罕见的五级严重空气污染,但 $PM_{2.5}$ 峰值只刚刚超过100微克/立方米。



雾霾不是沙尘暴！

④ 博文：“请留意昨日北京沙尘暴驱散雾霾” 2013年3月



28日自上午10:00，到11点已经压倒“雾霾”，湿度从近90%直接降到20%以下。PM2.5和PM10浓度在第一个小时里均有所上升，然后PM2.5浓度迅速下降；但PM10浓度继续上升。PM2.5浓度到17:00之后降到“优”；但PM10浓度快速上升，到12:00到达峰值，约1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，保持到14:00后迅速下降。到19:00低于100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，半夜后到达“优”。