



中国科学院大气物理研究所

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences



# 大气灰霾监测技术研发

中国生态系统研究网络大气分中心，副主任  
北京市大兴区环境保护局，副局长（挂职）

孙扬

[suny@mail.iap.ac.cn](mailto:suny@mail.iap.ac.cn) (13810406108)<sup>2015-2</sup>



# 主要内容

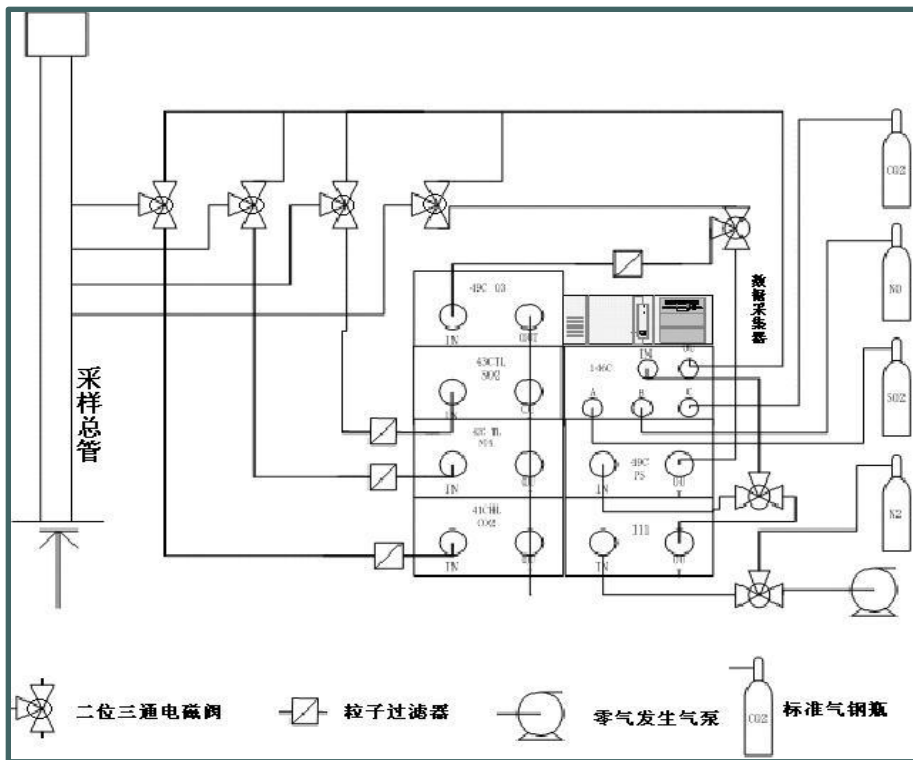
---

- 1、部分工作介绍
  - 2、大气霾监测的部分情况
  - 3、目前工作方向
-

2003年

# 中国科学院区域大气本底站网

将CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O及CFCs和O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>分析仪器优化组合成一个有机整体,创建了适用于野外观测的“大气本底化学成分在线观测分析系统”



## 华南鼎湖山



## 西南贡嘎山



## 西北阜康



## 华北兴隆



## 东北长白山



2004年

# 北京天津双塔大气化学探测系统

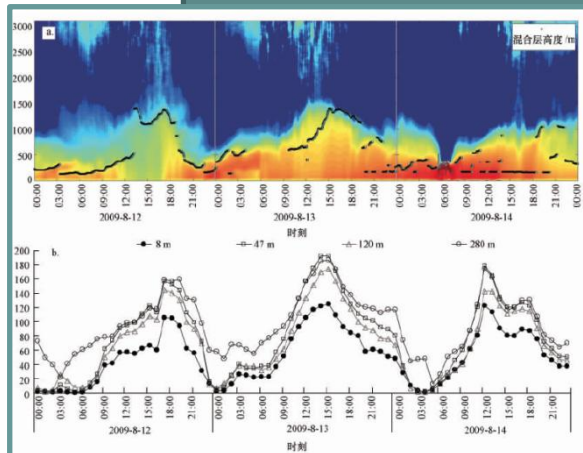
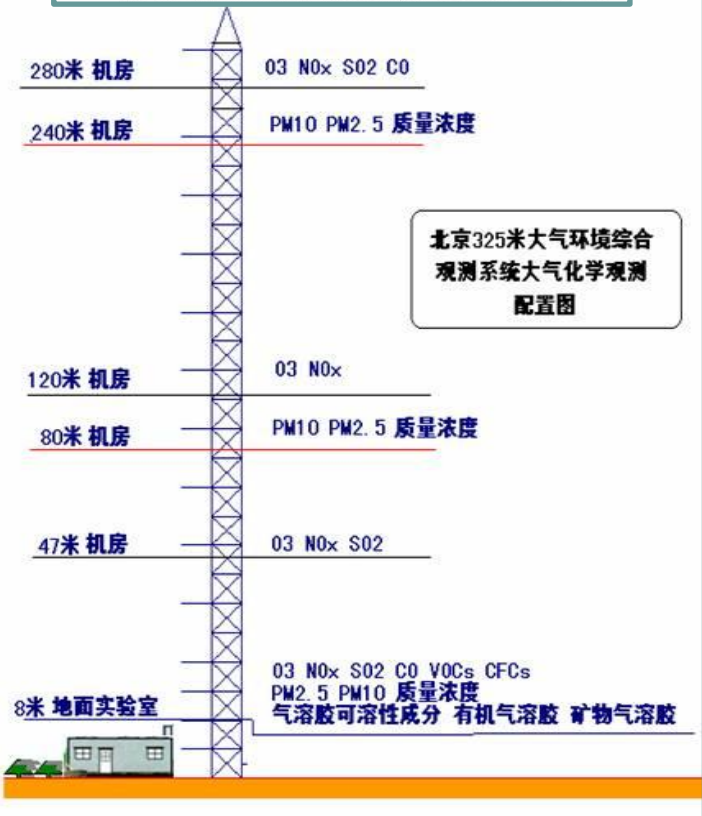
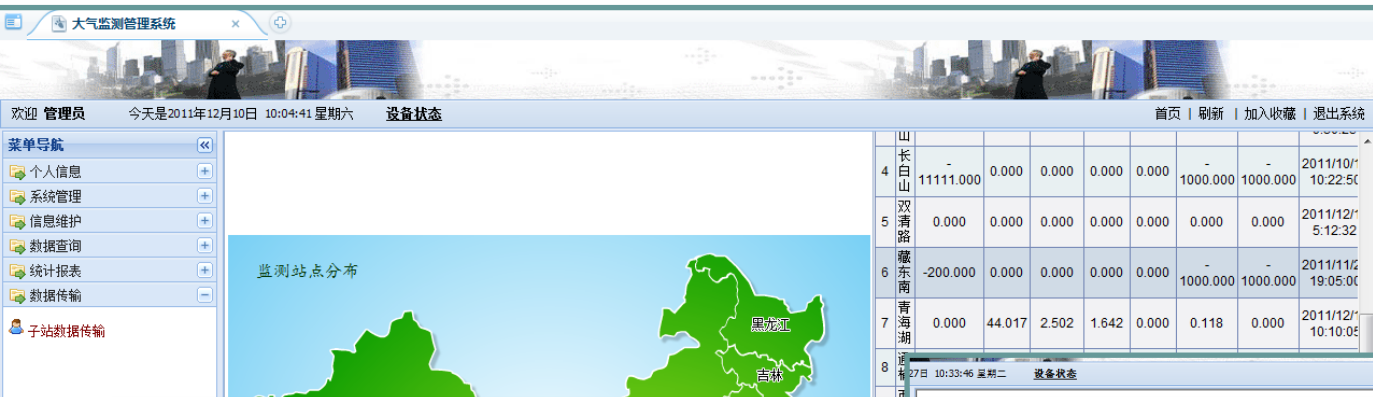


图6 2009年8月12-14日气溶胶后向散射分布与4层大气的O<sub>3</sub>数据

Fig. 6 Aerosol backscatter distribution and the 4 levels mixing ratios of O<sub>3</sub> from 2009-8-12 to 2009-8-14



2006年至今



实时数据监控：  
<http://159.226.113.1:25:808/>

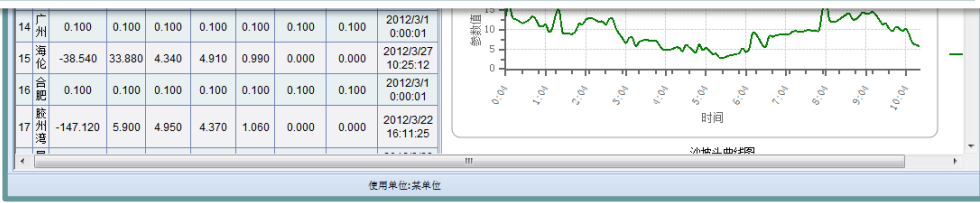
应用于：

- 1) 《北京及近周边大气复合污染综合立体监测及示范》（北京市科委）
- 2) 《北京周边地区大气质量联网监测与预警》（中科院）
- 3) 《北京及周边地区大气关键污染物地基联网观测》（中科院）
- 4) 《中国科学院战略性先导科技专项（A类）-中国气溶胶组分和浓度的时空分布联网观测研究》（中科院）

# 5) 《中国科学院战略性先导科技专项（B类）-大气灰霾追因》



站点信息查询管理





# 国家科学技术进步奖 证书

为表彰国家科学技术进步奖获得者，  
特颁发此证书。

项目名称：大气环境综合立体监测技术研  
发、系统应用及设备产业化

奖励等级：二等

获奖者：孙 扬



证书号：2011-J-231-2-03-R10



授予中国科学院大气物理研究所

## 北京奥运会残奥会先进集体

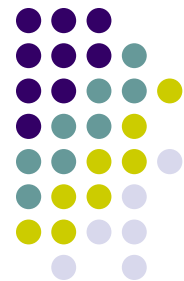
中共北京市委  
北京市人民政府  
北京奥组委  
2008年9月



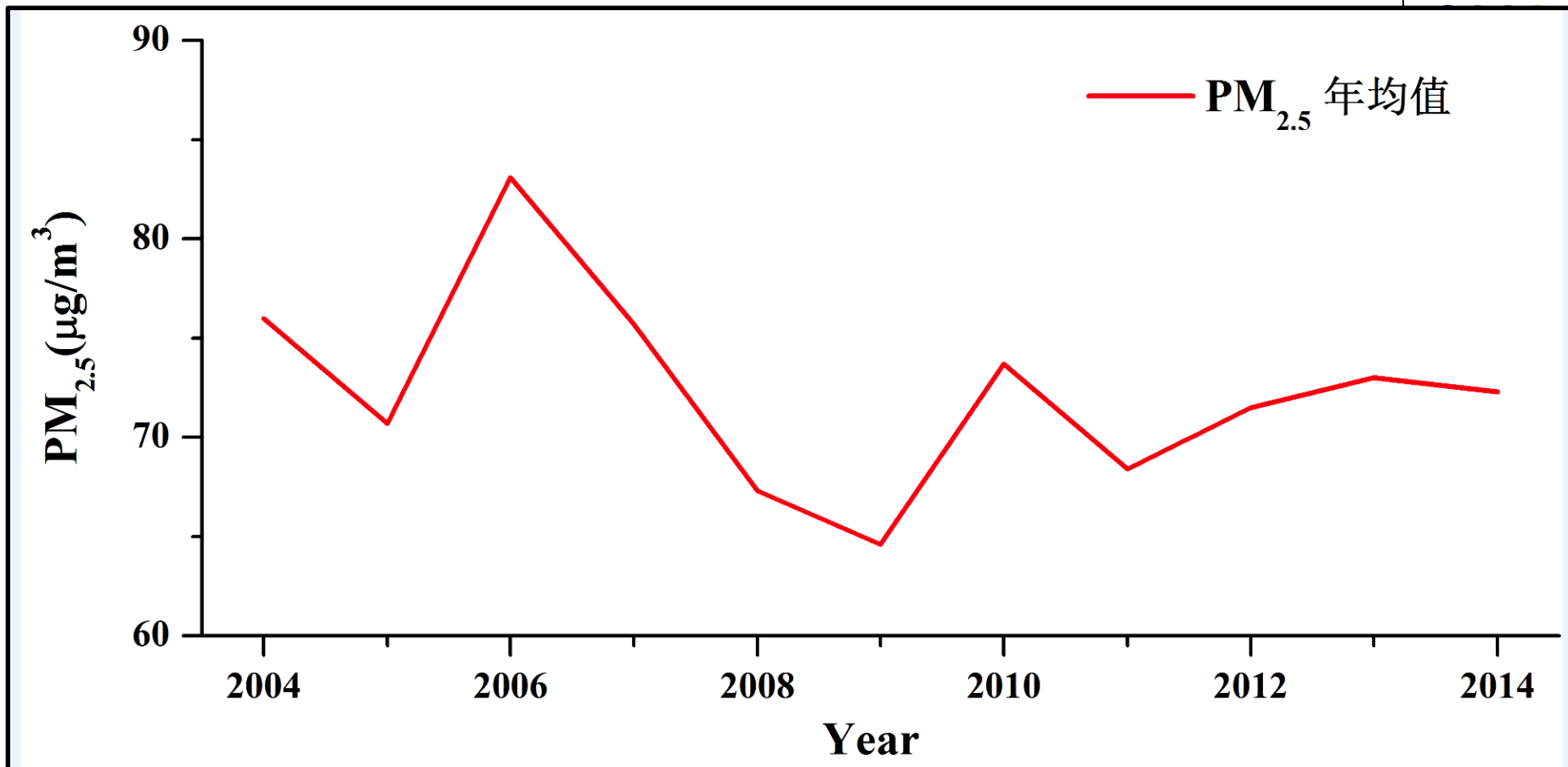
授予中国科学院大气物理所  
奥运大气环境监测和预警项目组

## 科技奥运先进集体

“奥运科技（2008年奥运计划）”领导小组  
第29届奥林匹克运动会科学技术委员会  
(科学技术委员会印章)  
二〇〇八年十月



北京奥运，上海世博会，广州亚运会，北京APEC等的观测技术及保障



《危险的呼吸2：大气PM<sub>2.5</sub>对中国城市公众健康效应研究》

北京大学 潘小川

2013年，大气PM<sub>2.5</sub>污染导致全国31座省会城市或直辖市中25.7万人超额死亡





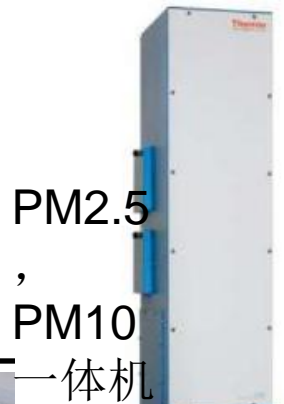
## 环保部门定义：

灰霾：由于人类活动排放以及在空气中二次生成细颗粒物而使水平能见度明显降低的空气污染现象。

## 灰霾日判别标准：

自然日（1:00-24:00）下述三项同时满足且连续发生6小时及以上，判定当日为灰霾污染日：

- ◆ 1、PM2.5小时浓度均值 $>75\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- ◆ 2、PM2.5与PM10小时浓度均值比值 $\geq 60\%$ ;
- ◆ 3、能见度小时均值 $\leq 5\text{km}$ ;



对应的监测设备：



能见度仪



# 气象部门预警标准



预计未来24小时内可能出现下列条件之一或实况已达到下列条件之一并可能持续：

(1) 能见度小于3000米且相对湿度小于80%的霾。

(2) 能见度小于3000米且相对湿度大于等于80%，PM2.5浓度大于115微克/立方米且小于等于150微克/立方米。

(3) 能见度小于5000米，PM2.5浓度大于150微克/立方米且小于等于250微克/立方米。

1. 驾驶人员小心驾驶；
2. 因空气质量明显降低，人员需适当防护；
3. 呼吸道疾病患者尽量减少外出，外出时可带上口罩。



6小时内可能出现能见度小于2000米的霾，或者已经出现能见度小于2000米的霾且可能持续。

1. 机场、高速公路、轮渡码头等单位加强交通管理，保障安全；
2. 驾驶人员谨慎驾驶；
3. 空气质量差，人员需适当防护；
4. 人员减少户外活动，呼吸道疾病患者尽量避免外出，外出时可带上口罩。



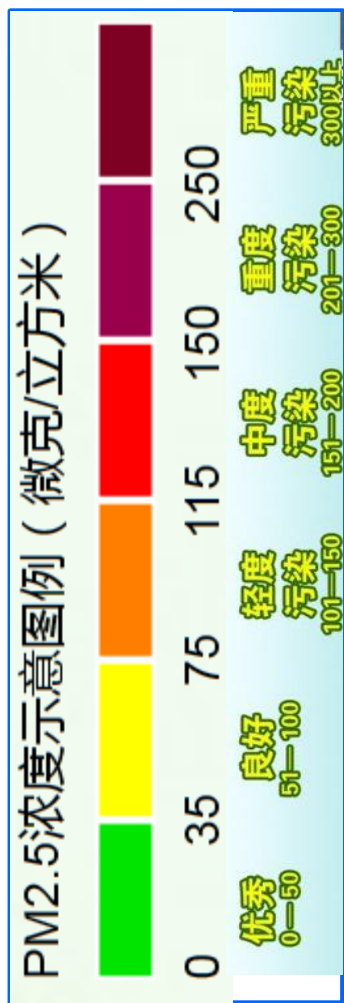
预计未来24小时内可能出现下列条件之一或实况已达到下列条件之一并可能持续：

(1) 能见度小于1000米且相对湿度小于80%的霾。

(2) 能见度小于1000米且相对湿度大于等于80%，PM2.5浓度大于250微克/立方米且小于等于500微克/立方米。

(3) 能见度小于5000米，PM2.5浓度大于500微克/立方米。

1. 排污单位采取措施，控制污染工序生产，减少污染物排放；
2. 停止室外体育赛事；幼儿园和中小学停止户外活动；
3. 停止户外活动，关闭室内门窗，等到预警解除后再开窗换气；儿童、老年人和易感人群留在室内；
4. 尽量减少空调等能源消耗，驾驶人员减少机动车日间加油，停车时及时熄火，减少车辆原地怠速运行；
5. 外出时戴上口罩，尽量乘坐公共交通工具出行，减少小汽车上路行驶；外出归来，立即清洗唇、鼻、面部及裸露的肌肤。



# 空气重污染预警响应级别及应急措施

**蓝色预警** 预测未来一天出现重度污染

**黄色预警** 预测未来一天出现严重污染或预测持续三天出现重度污染

**橙色预警** 预测未来持续三天交替出现重度污染或严重污染

**红色预警** 预测未来持续三天出现严重污染

## 发布二级预警（橙色）时，实施“四停”措施：

- “停产”，部分工业企业停产、限产，减少 30% 的污染物排放
- “停工”，部分土石方和建筑拆除工地强制停工
- “停放”，全市范围停止燃放烟花爆竹
- “停烧”，露天烧烤停止经营

## 发布一级预警（红色）时，在“四停”基础上，增加“两停”措施：

- “停车”，机动车单双号限行，渣土、砂石等易扬尘的运输车辆停运
- “停课”，中小学和幼儿园停课

## 严重污染发生时，实施“一冲”措施：

“一冲”，加强道路保洁，将以水车作业，为道路增湿保洁，必要时部分地区实施喷雾降尘，提高能见度



# 主要内容

---

- 1、部分工作介绍
  - 2、大气霾监测的部分情况
  - 3、目前工作方向
-

# 颗粒物物理性质监测仪器

卫星



无人机



粒度谱



气溶胶雷达

微量振荡天平法及  
膜动态测量系统



质量浓度



激光散射



手持设备

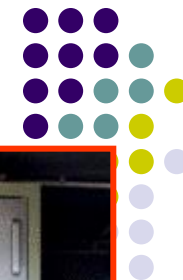
数浓度



β射线光浊度法



# 颗粒物化学性质监测仪器





- 大气灰霾监测技术碎片化，与污染控制以及最终防治效果之间存在应用鸿沟
- 环保设施如果都运行到位，烟尘和二氧化硫排放可以低百分之六十，氮氧化物低百分之三十五。



# 主要内容

---

- 1、部分工作介绍
  - 2、大气霾监测的部分情况
  - 3、目前工作方向
-



# 研发基于减排和效果的系统化监测方案

## 源头控制

### 监控激活减排设施

燃煤锅炉

烟气治理装置

工地扬尘

降尘工序

涉VOC行业

VOC治理装置

秸秆燃烧

禁烧

机动车

禁行

餐饮

油烟净化装置

## 过程监测

### 监控激活人员

综合源解析

网格化监测

传输通道监测

遥感监测

.....

其他监测

## 效果分析

### 效果评估

综合气象，传输，大气化学等多因素效果评估

下一阶段目标评价

下一阶段源头控制与过程监测设计

# 研发基于减排和效果的系统化监测方案

## 源头控制

### 监控激活减排设施

燃煤锅炉

烟气治理装置

工地扬尘

降尘土方

涉VOC行业

VOC治理装置

秸秆燃烧

禁烧

机动车

禁行

餐饮

油烟净化装置

源头控制案例：  
燃煤锅炉尾气减排  
在线间接监测  
系统。

## 过程监测

遥感监测

.....

其他监测

## 效果分析

### 效果评估

综合气象，传输，大气化学等多因素效果评估

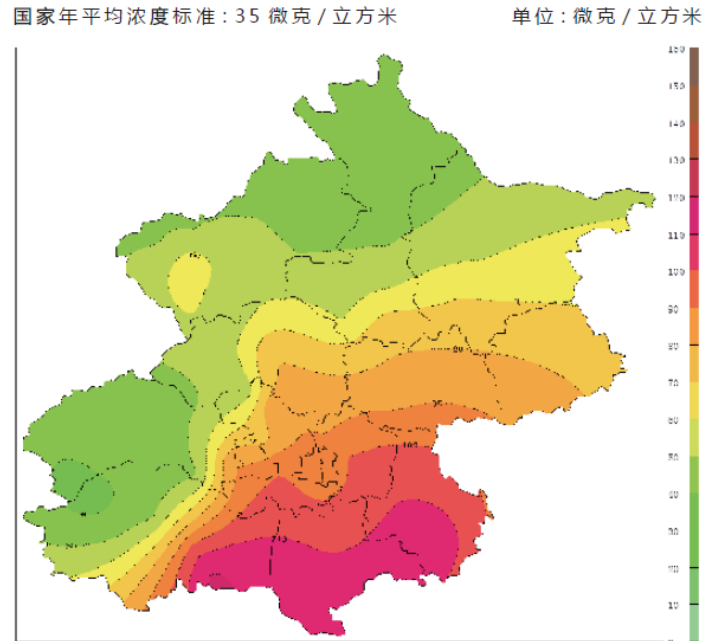
下一阶段目标评价

下一阶段源头控制与过程监测设计

# 北京市PM2.5源解析



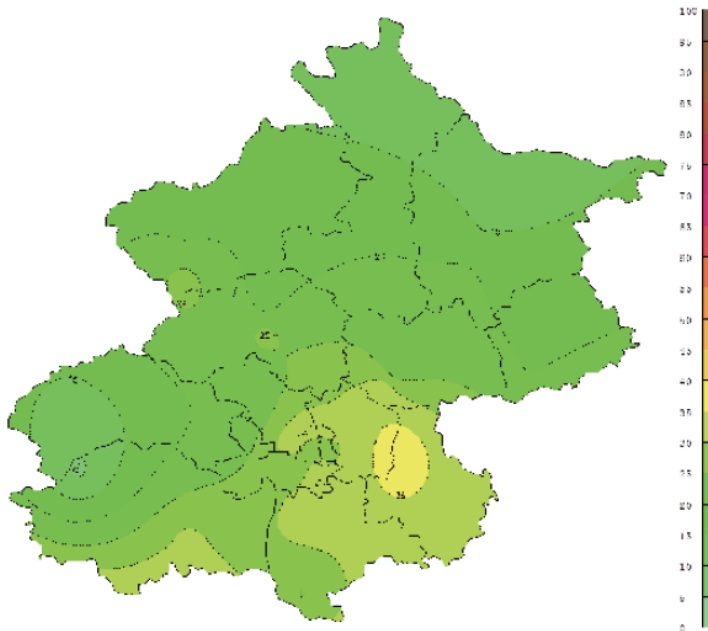
大兴区燃煤占比更高



空气中细颗粒物浓度空间分布示意图

国家年平均浓度标准：60 微克 / 立方米

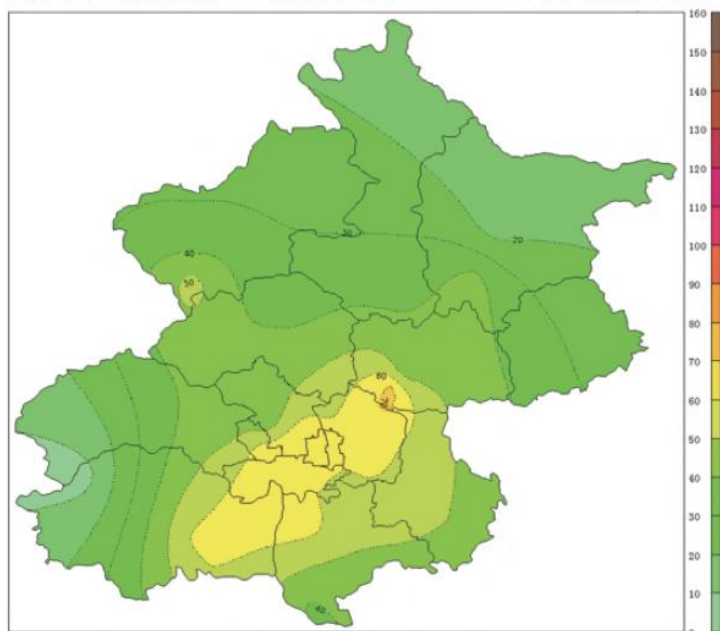
单位：微克 / 立方米



空气中二氧化硫浓度空间分布示意图

国家年平均浓度标准：40 微克 / 立方米

单位：微克 / 立方米



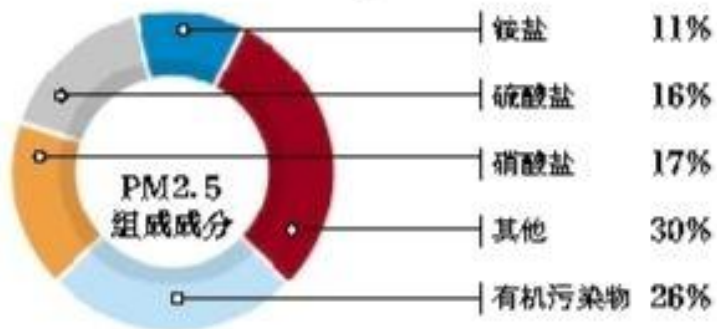
空气中二氧化氮浓度空间分布示意图

大兴区用能结构基本为电力占34%，煤炭占25%，油料占25%，热力、天然气等其他能源约占16%。

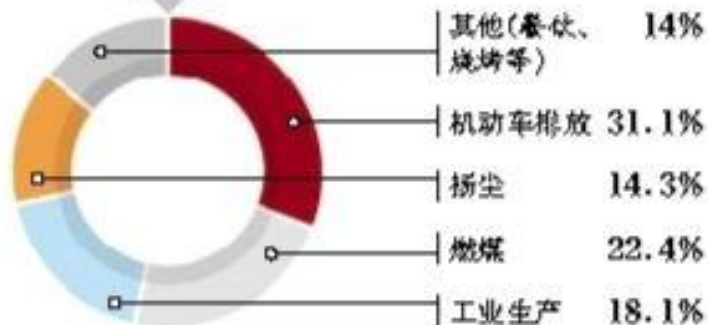
近700台燃煤锅炉超标排放严重  
10套在线监测  
监察力量薄弱，执法人员夜查，效果差  
监管无力

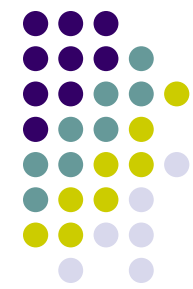
### 北京PM2.5源解析数据

新京报制图/张妍



### PM2.5来源分析





- 将并不复杂的传感器物联网技术进行集成创新
- 成本极低，运行维护非常容易

环保设施运行  
工况在线监测

锅炉



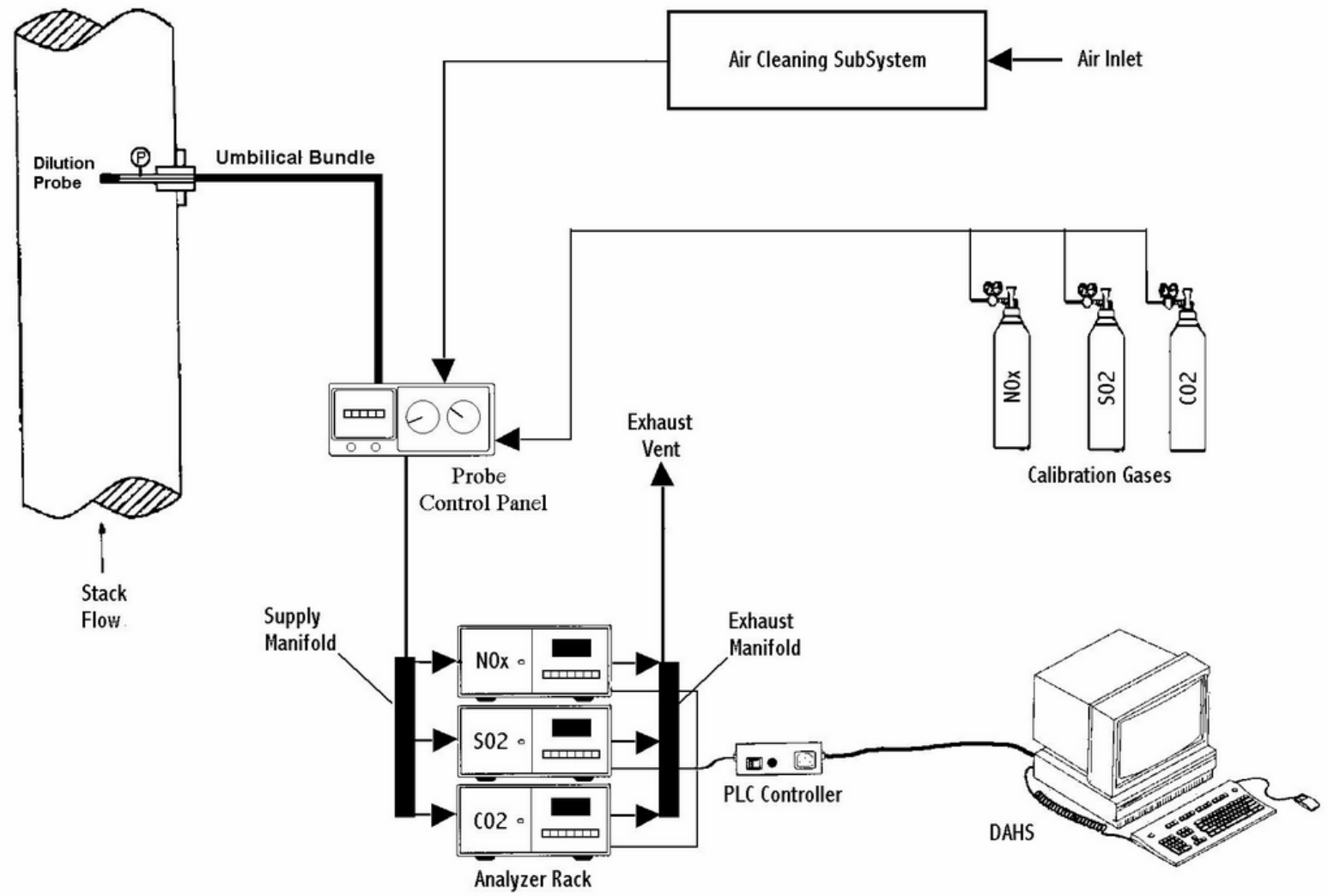
环保减排  
设施



烟囱

烟气在线监测

成本高，运行  
维护难度大



### 污染源烟气连续自动监测系统

根据美国1990年清洁空气法案的要求，稀释法为污染源在线检测的首选方法，在美国已经安装的2000多套污染源系统中，有1800多套采用稀释法，其中1600多套采用的是赛默飞世尔科技的系统。

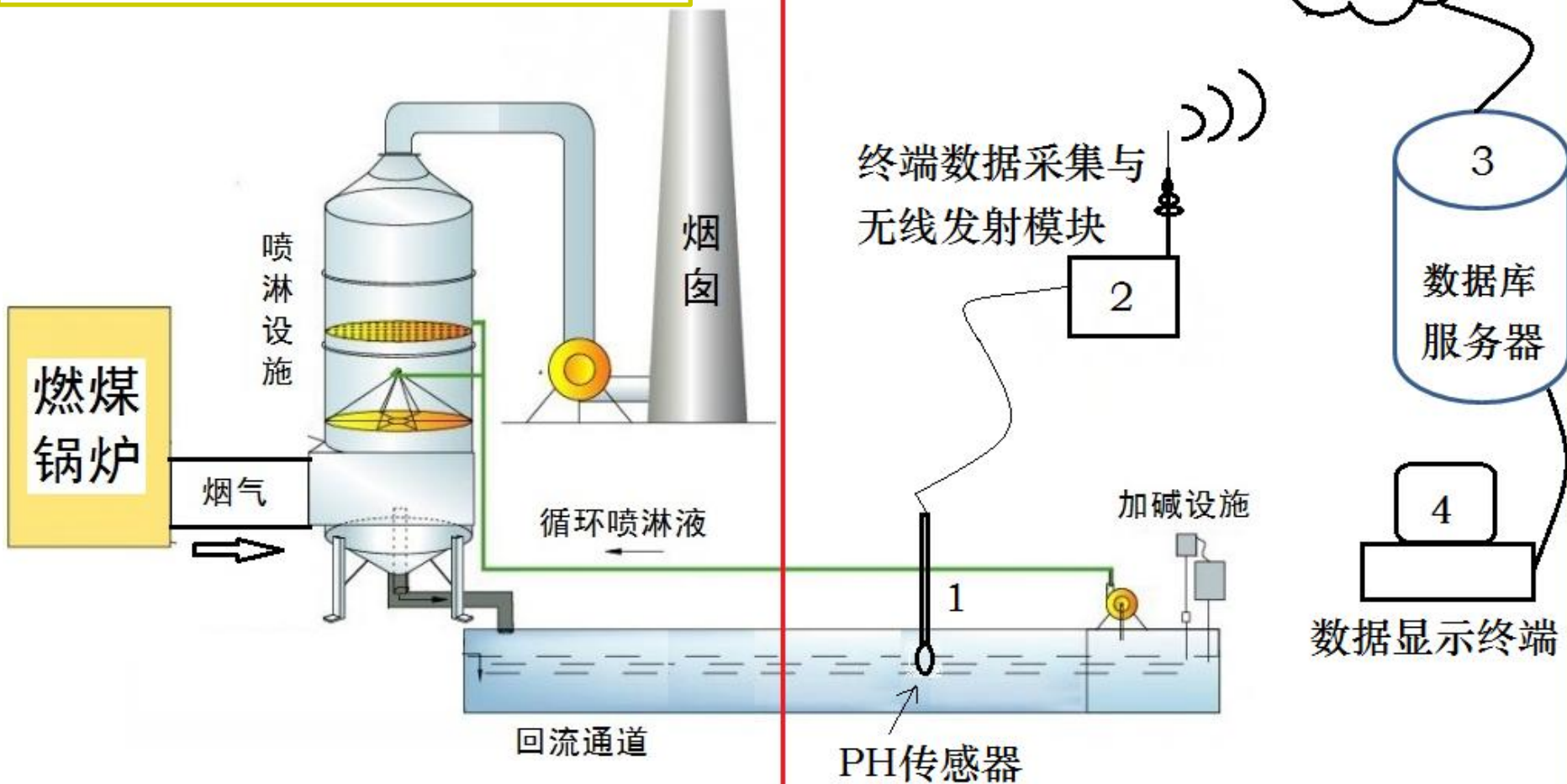
高温，高湿，烟尘，其他干扰气体等

# 燃煤锅炉尾气减排在线间接监测项目

京津冀：**PM<sub>2.5</sub>**源解析燃煤**28%**，其中**70%**为中小锅炉（小于**20**蒸吨），加碱脱硫除尘理论效率**90%**，因此粗略计算此项技术推广后

**可降低区域PM<sub>2.5</sub> ≈ 20%!**

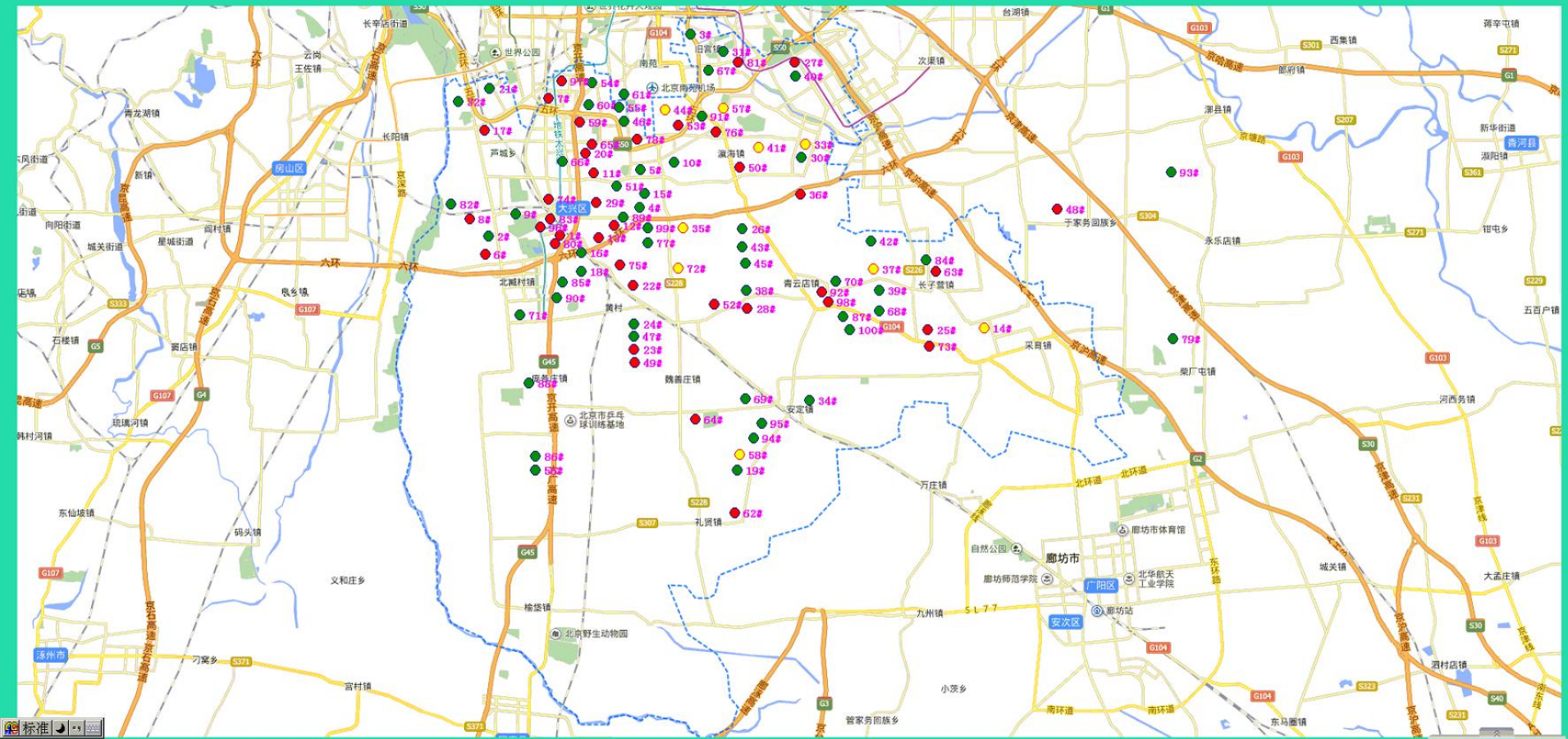
整套装备数千元  
可替代数十万元  
在线直接监测





# 北京市大兴区燃煤锅炉在线监测

## 仪表分布

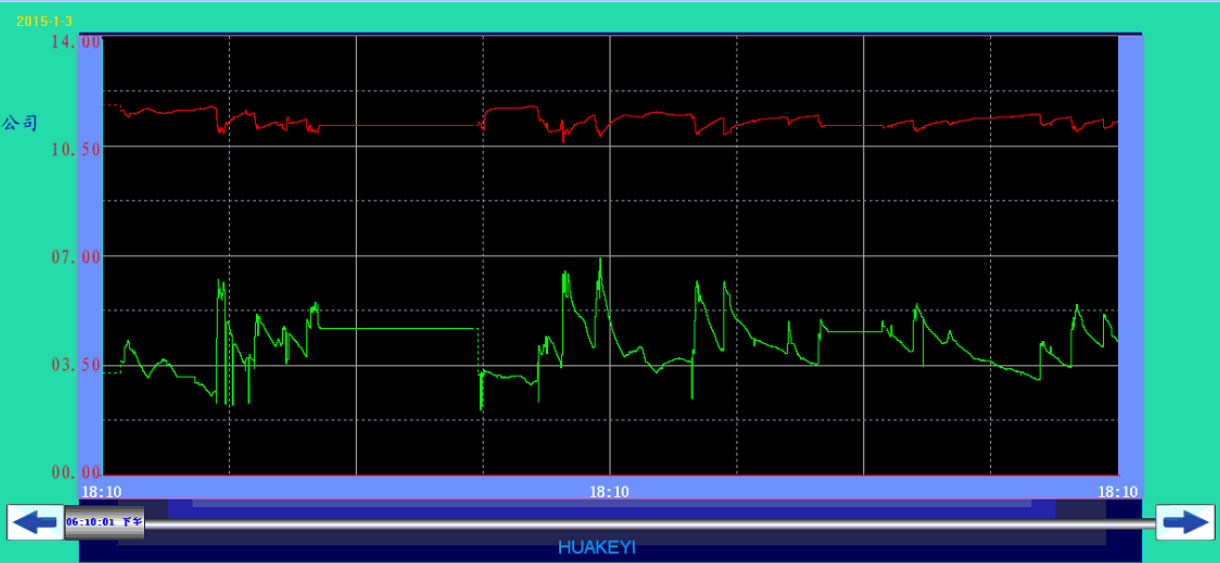






## 历史监控曲线

厂家: 科力博桑食品有限责任公司  
 时间: 2015-1-3 06:10:01 下午  
 PH值: 11.81  
 温度(°C): 23.20



曲线放大

曲线缩小

曲线右移

曲线左移

更新时间

参数查询

输入要查询的仪表编号后, 请按确认键

03

+

-

确认



# 北京市大兴区燃煤锅炉在线监测

北京华科仪科技股份有限公司

## 在线数据-1

下一页

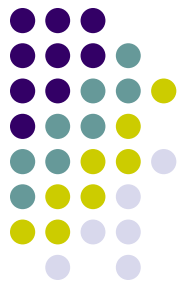
编号	厂家名称	采集当前值	温度	状态	采集时间	
1#	康复中心	08.42 pH	09.20 pH	30.3 °C	正常	2015-02-04 18:06:51
2#	大兴区第一职业学校	11.33 pH	08.26 pH	49.5 °C	低报	2015-02-04 18:07:47
3#	科力博桑食品有限责任公司	11.28 pH	14.00 pH	24.1 °C	高报	2015-02-04 18:06:53
4#	北京中瑞食品有限公司	08.67 pH	07.64 pH	23.8 °C	低报	2015-02-04 18:06:50
5#	团河苑小区1号	09.99 pH	08.61 pH	39.6 °C	正常	2015-02-04 18:06:51
6#	北京邮政处理中心	07.30 pH	09.76 pH	27.0 °C	正常	2015-02-04 18:07:42
7#	金惠园供热	08.35 pH	08.79 pH	45.7 °C	正常	2015-02-04 18:06:51
8#	芦城体校	08.17 pH			停运	----
9#	统一润滑油	09.23 pH	09.41 pH	24.2 °C	正常	2015-02-04 18:06:54
10#	团河苑小区2号	10.35 pH			停运	----
11#	北京福海工贸集团	05.78 pH			低报	2015-02-04 18:06:51
12#	红海物业	07.15 pH			低报	2015-02-04 18:06:54
13#	供暖中心(辛店锅炉房)1号	14.00 pH			高报	2015-02-04 18:06:51
14#	海基业特业海子角废品				停运	----
15#	真强物业	10.98 pH			正常	2015-02-04 18:06:50
16#	供暖中心(辛店锅炉房)2号	09.51 pH			正常	2015-02-04 18:06:50
17#	长丰园物业管理中心2号	13.33 pH			高报	2015-02-04 18:06:52
18#	太空板业股份有限公司	09.69 pH			正常	2015-02-04 18:07:38
19#	中国化学重型机械化合所	10.13 pH			正常	2015-02-04 18:06:51
20#	北京市政兴物业管理中心	06.76 pH			低报	2015-02-04 18:06:58
21#	北京铁路信号有限公司	10.16 pH			正常	2015-02-04 18:07:36
22#	北京龙海园投资有限公司	06.84 pH			低报	2015-02-04 18:06:56
23#	北京天罡助剂有限责任公司	07.58 pH			低报	2015-02-04 18:07:55
24#	北京绿得利工贸有限公司	09.21 pH			正常	2015-02-04 18:07:23
25#	北京市宝金龙食品厂	14.00 pH			高报	2015-02-04 18:06:51
34#	北京恒信培训中心				正常	2015-02-04 18:06:51
35#	瀑润化工产品有限责任公司				停运	----
36#	泰宇物业	14.00 pH			高报	2015-02-04 18:06:51
37#	长亦兴供暖中心				停运	----
38#	敬业达新型建筑材料有限公司	10.02 pH			正常	2015-02-04 18:06:52
39#	留民营锅炉房	09.51 pH			正常	2015-02-04 18:06:53
40#	德茂物业旧官锅炉房	12.12 pH			正常	2015-02-04 18:08:12
41#	北京正源				停运	----
42#	林氏精化新材料有限公司	09.13 pH			正常	2015-02-04 18:06:53
43#	北京联宾塑胶印刷1号	08.95 pH			正常	2015-02-04 18:06:50
44#	北京金立恒达供暖公司				停运	----
45#	中兴达纤维制品有限公司	09.38 pH			正常	2015-02-04 18:06:56
46#	美迪洛药业	11.65 pH			正常	2015-02-04 18:06:51
47#	金维福仁清真食品有限公司	08.90 pH			正常	2015-02-04 18:08:08
48#	北京津冀双兴包装材料	05.60 pH			低报	2015-02-04 18:07:28
49#	星明湖度假村	08.49 pH			低报	2015-02-04 18:07:57
50#	瀛海太和物业管理有限公司	08.08 pH			低报	2015-02-04 18:07:51

**报警窗口**

**注意: 有新报警, 请查看!**

报警日期	报警时间	扩展域1	变量描述	报警类型	报警值/旧值	界限值
15/02/04	18:02:16	49#	星明湖度假村	低	8.5	8.5
15/02/04	18:01:13	6#	北京邮递处理中心	低	6.8	8.5
15/02/04	17:41:27	62#	北京建工院	高	14.0	13.0
15/02/04	17:30:52	17#	长丰园物业管理中心2号	高	13.2	13.0
15/02/04	17:30:50	7#	金惠园供热	低	8.5	8.5
15/02/04	17:23:16	8#	芦城体校	低	8.1	8.5
15/02/04	17:19:29	13#	供暖中心(辛店锅炉房)1号	高	14.0	13.0
15/02/04	17:11:28	64#	水利院大兴基地	低	8.0	8.5

确定



## 1、用户守法意识明显提高，主动作为。

企业从被动执法，不加碱或少加碱，到主动汇报，多加碱加足碱，怕一旦环保局系统显示不正常，环保局调查取证被查处，起到了威慑作用，同时提高了用户守法意识。

## 2、监管效率明显提高，事半功倍。

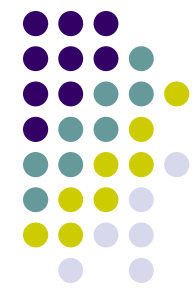
我局执法人员只需每天查看电脑数据，就能监管到上百台锅炉。

## 3、执法效果明显，超标排放大幅下降。

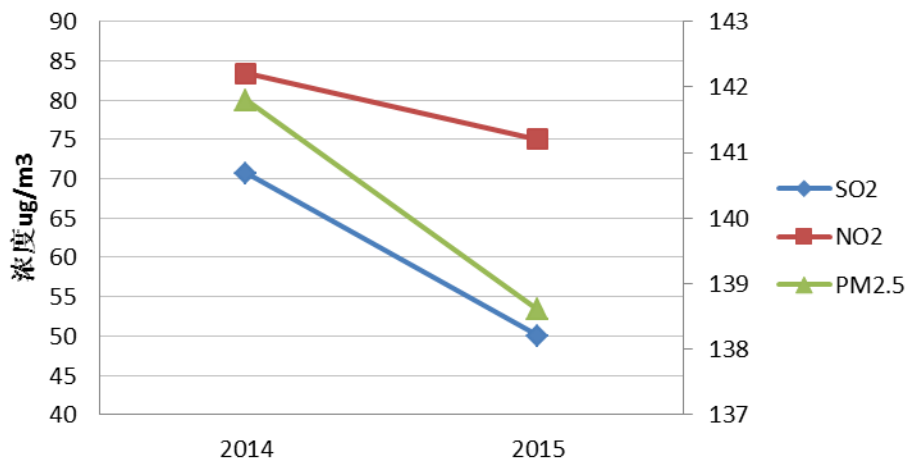
比2013年同期超标排放9家，罚款26.2万元，平均每起2.8万元。超标家数减少33%，罚款平均数降低1.05万。

## 4、环境效益明显，污染物浓度同比降低显著。

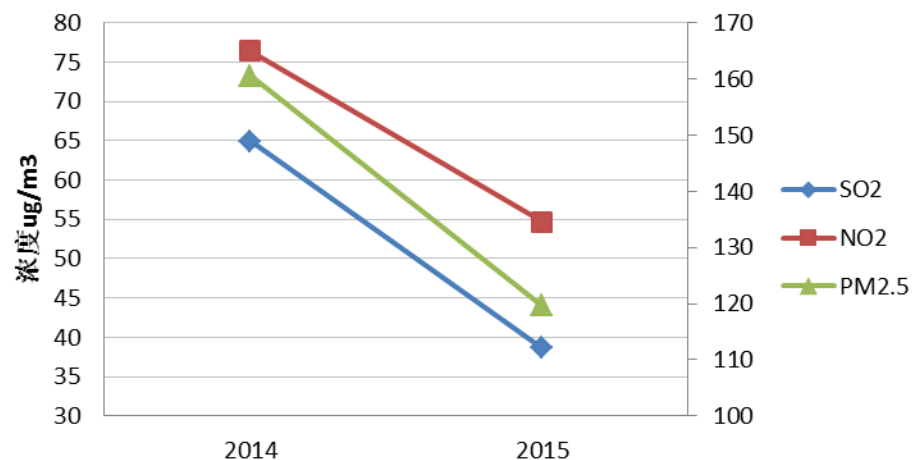
监测数据显示，在线监测基本到位的2015年1月前半月同比2013年、2014年同期，虽然气象扩散条件较往年差，但我区SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>均有下降。



### 大兴区一月



### 大兴区二月



采暖期与去年同期相比，燃煤相关污染物浓度下降，虽然污染物下降有多重因素，但中小锅炉的有效监管的贡献是可以肯定的。



# 研发基于减排和效果的系统化监测方案



## 源头控制

## 过程监测

## 效果分析

### 监控激活减排设施

### 监控激活人员

### 效果评估

燃煤锅炉

烟气治理装置

工业

涉V

秸秆

机械

餐饮

油烟净化装置

过程监测案例：大气污染防治减排网格化监测系统

综合源解析

网格化监测

传输通道监测

遥感监测

.....

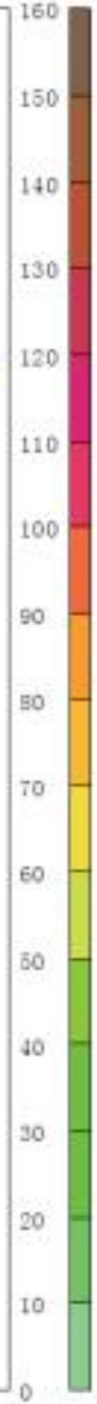
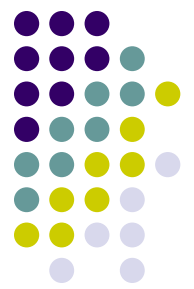
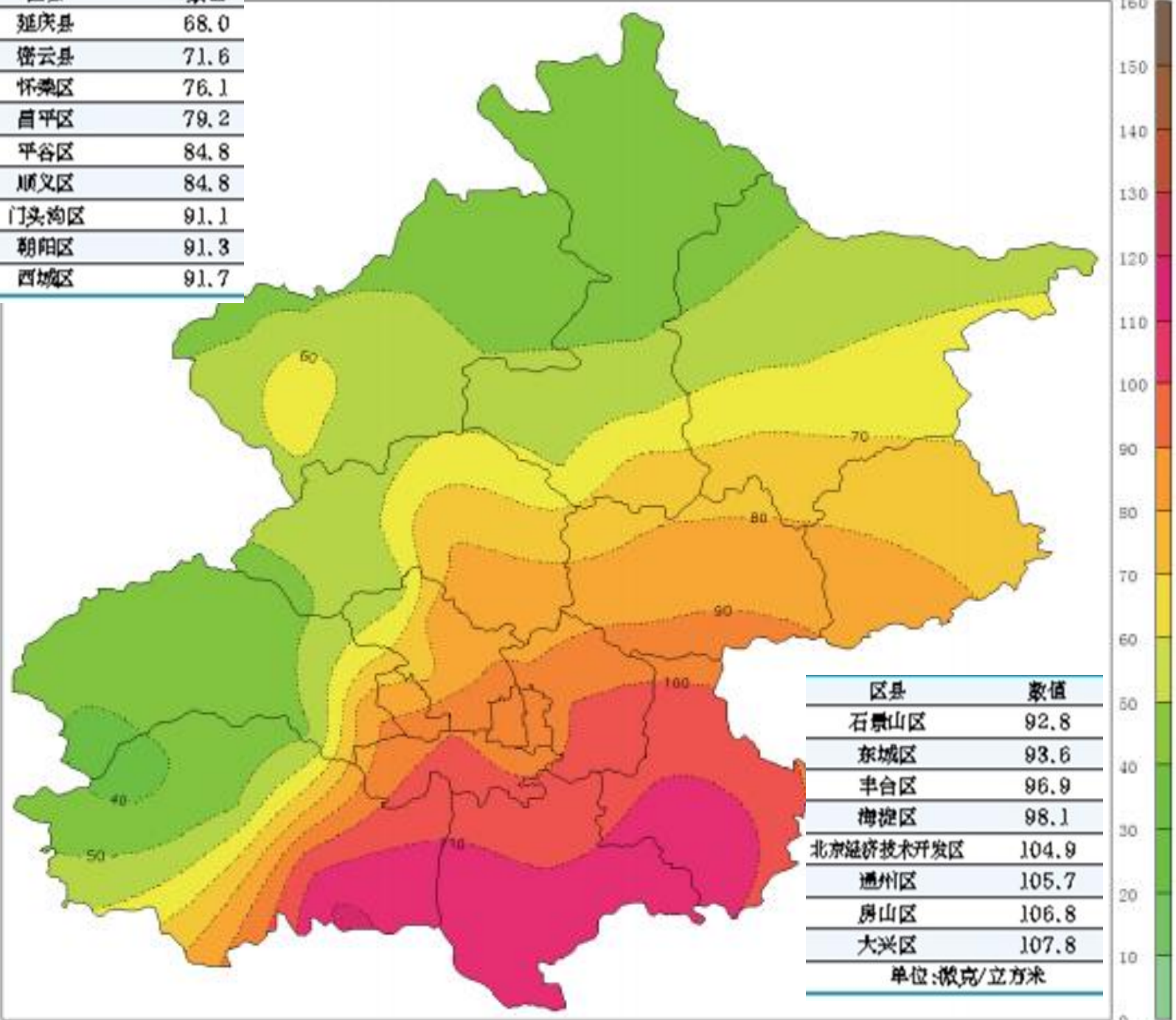
其他监测

综合气象，传输，大气化学等多因素效果评估

下一阶段目标评价

下一阶段源头控制与过程监测设计

区县	数值
延庆县	68.0
密云县	71.6
怀柔区	76.1
昌平区	79.2
平谷区	84.8
顺义区	84.8
门头沟区	91.1
朝阳区	91.3
西城区	91.7

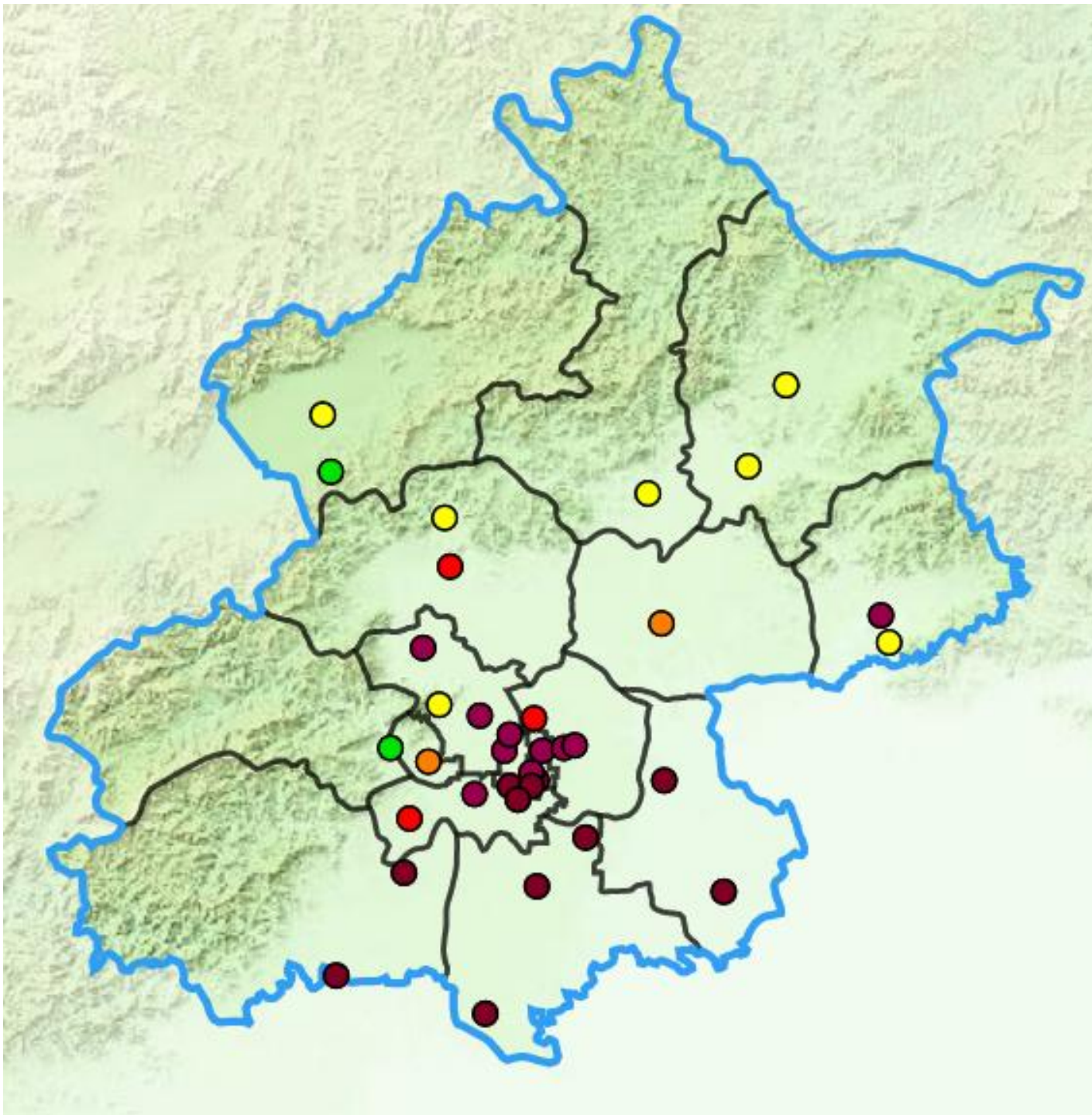


区县	数值
石景山区	92.8
东城区	93.6
丰台区	96.9
海淀区	98.1
北京经济技术开发区	104.9
通州区	105.7
房山区	106.8
大兴区	107.8

单位:微克/立方米



市控站  
35





# 环境空气质量自动监测系统



## 系统简介

环境空气质量自动监测系统可对环境空气质量进行24小时自动连续监测。该系统由监测中心站、监测子站和质量保证实验室组成。其中环境空气监测子站包括采样系统、气体分析仪器、校准装置、气象系统、子站数据采集等。子站监测的数据通过多种通讯方式传送至环境监测中心站进行实时控制、数据管理及图表生成。



### 1. 监测中心站

- 中心计算机
- ENVIDATA 数据处理软件

### 2. 监测子站

- 采样系统：采样总管和控制电磁阀
- 气体分析仪器：脉冲紫外荧光法SO<sub>2</sub>分析仪、化学发光法NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>分析仪、  
气体滤波相关红外吸收法CO分析仪、紫外光度法O<sub>3</sub>分析仪
- 颗粒物分析仪器：β射线法颗粒物连续监测仪、微量振荡天平法颗粒物监测仪
- 校准仪器：多种气体校准仪、零气发生器、标准气
- 气象系统：风向传感器、风速传感器、温度湿度传感器、大气压力传感器
- 数据采集和处理系统：数据采集器，中心站数据处理软件

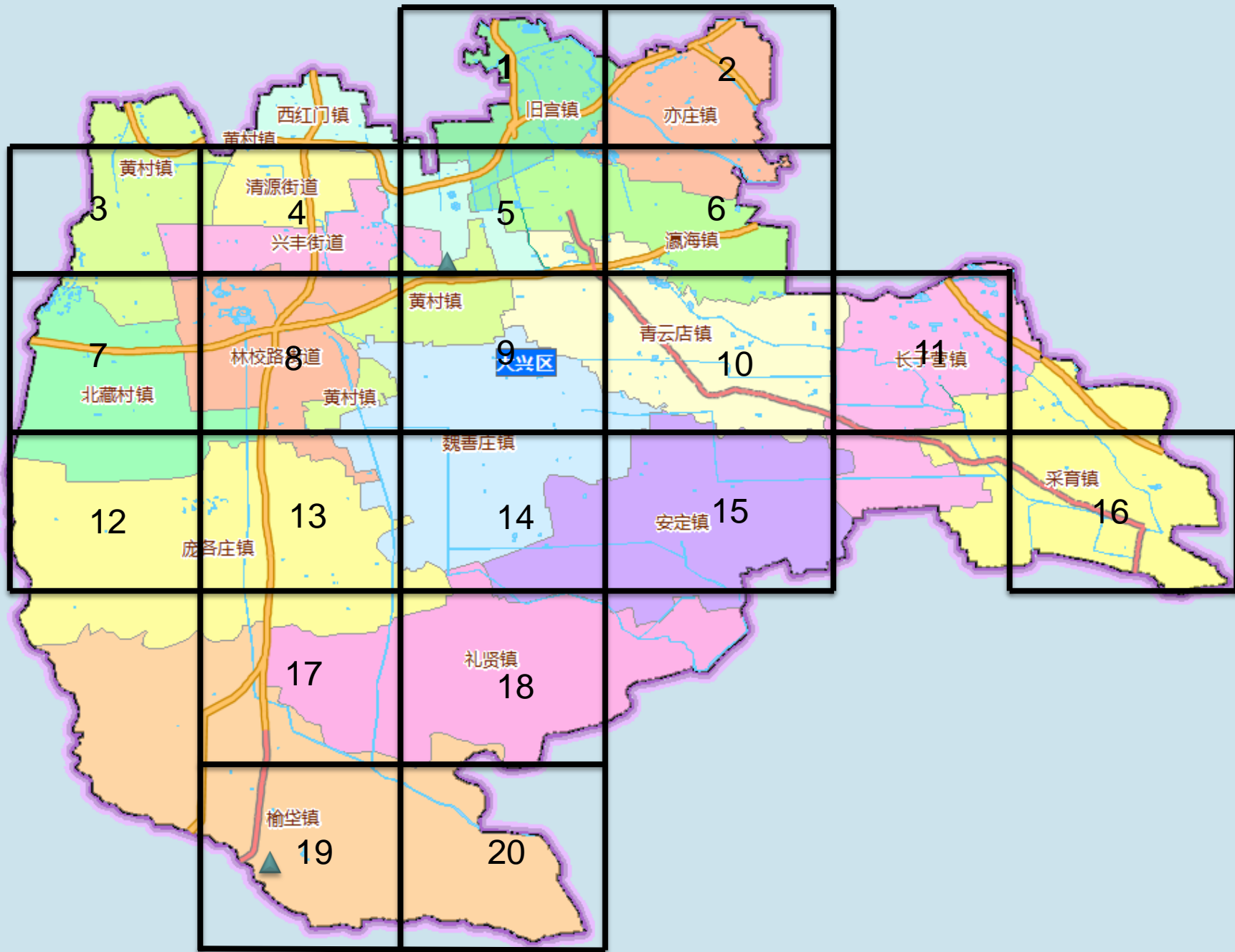
### 3. 质量保证实验室

# 低成本大气环境监测站



针对区县级环保工作量化考核无依据的现状，开发了无动力采样测 $\text{PM}_{2.5}$ ， $\text{SO}_2$ ， $\text{NO}_2$ ， $\text{NH}_3$ 技术，通过低成本联网监测（**每站点不足万元实现数百万元子站效果**），科学有效的解决了区域内大气污染底数不清的问题。







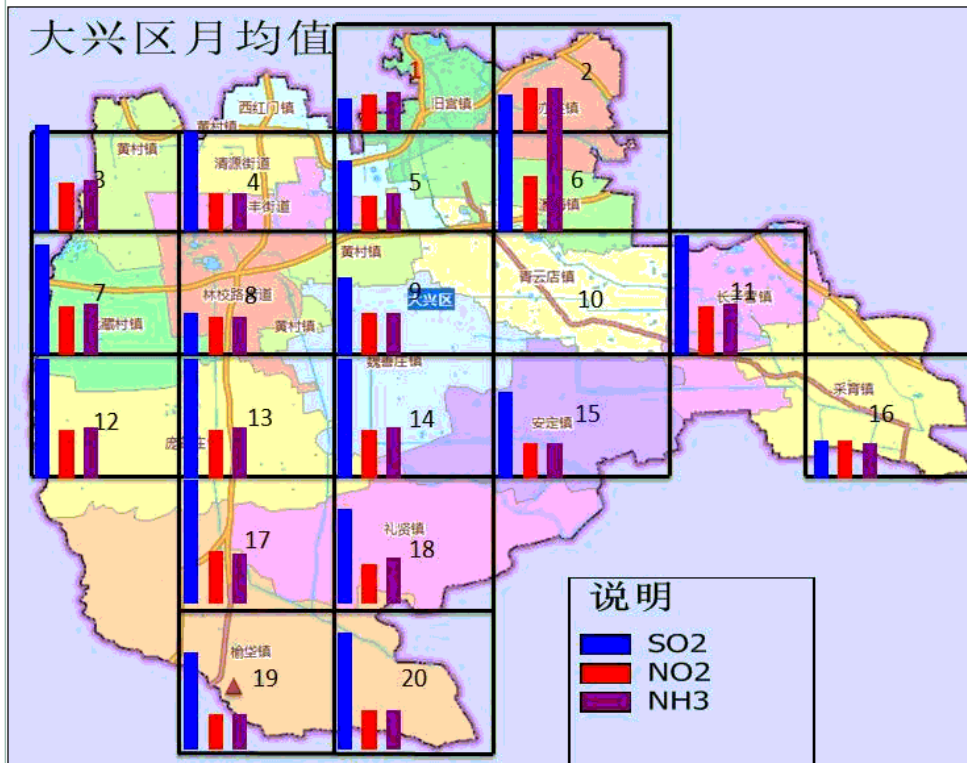
当前功能: 数据查询 → 实时数据查询

请选择图形显示站点: 旧宫 刷新频率: 2 分钟 监测项目:  PM2.5 设置

第 1/3 页; 每页 10 行; 共 23 条记录 10行 20行 50行

报警数据 正常数据

序号	站点名	PM2.5	小时均值	日均值	月均值	SO2	NO2	NH3	创建日期
1	旧宫	90	82	76	67	10	11	12	2015/1/8 9:40:00
2	亦庄	56	75	83	111	22	11	12	2015/2/4 17:55:00
3	黄村	44	44	43	49	12	12	11	2015/1/7 10:10:00
4	清源	16	34	30	66	24	13	13	2015/2/4 17:45:00
5	西红门	82	64	65	83	13	12	12	2015/1/22 14:20:00
6	瀛海	84	71	64	60	11	13	13	2015/1/8 9:40:00
7	北臧村	46	64	72	126	27	11	11	2015/2/4 18:00:00
8	林校路	16	28	28	86	0	0	0	2015/2/4 18:05:00
9	黄村东	70	58	54	90	29	12	14	2015/2/4 15:50:00
10	青云店	68	70	72	122	30	11	11	2015/2/4 18:00:00
11	长子营	128	131	114	155	31	12	12	2015/2/4 18:05:00
12	庞各庄西	19	19	60	94	32	15	16	2015/2/4 17:10:00
13	庞各庄东	59	73	60	80	33	15	16	2015/2/4 17:50:00
14	魏善庄南	24	28	27	84	34	15	16	2015/2/4 17:55:00
15	安定	67	83	76	115	35	11	11	2015/2/4 18:05:00
16	采育	57	58	56	84	36	12	12	2015/2/4 18:00:00
17	礼贤西	124	75	63	100	37	15	16	2015/2/4 18:00:00
18	礼贤西	39	75	63	100	37	15	16	2015/2/4 18:00:00
19	礼贤西	39	75	63	100	37	15	16	2015/2/4 18:00:00
20	礼贤西	124	75	63	100	37	15	16	2015/2/4 18:00:00



第 1/3 页; 每页 10 行; 共 23 条记录 10行 20行 50行

使用单位: 某单位

# 研发基于减排和效果的系统化监测方案

源头控制

过程监测

效果分析

监控激活减排设施

监控激活人员

效果评估

评价案例：大兴区  
采暖期PM2.5分析

燃煤锅炉

工地扬尘

涉VOC行业

秸秆燃烧

机动车

餐饮

禁烧

禁行

油烟净化装置

遥感监测

.....  
其他监测

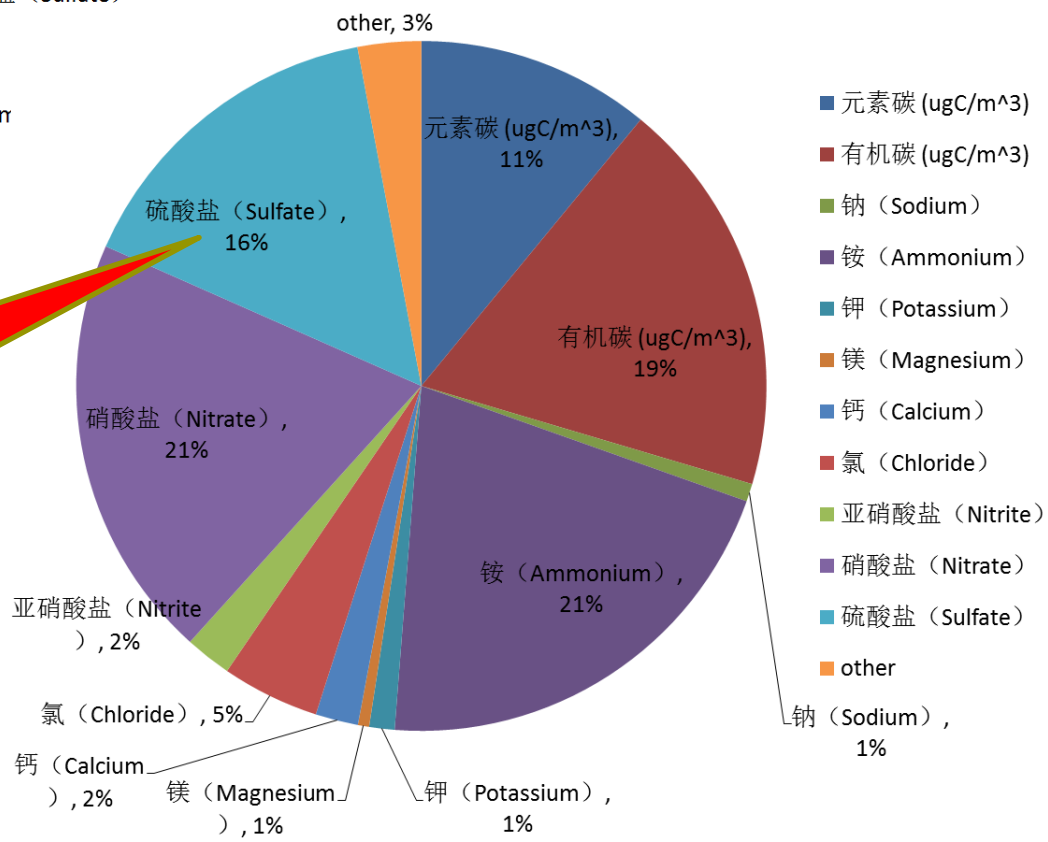
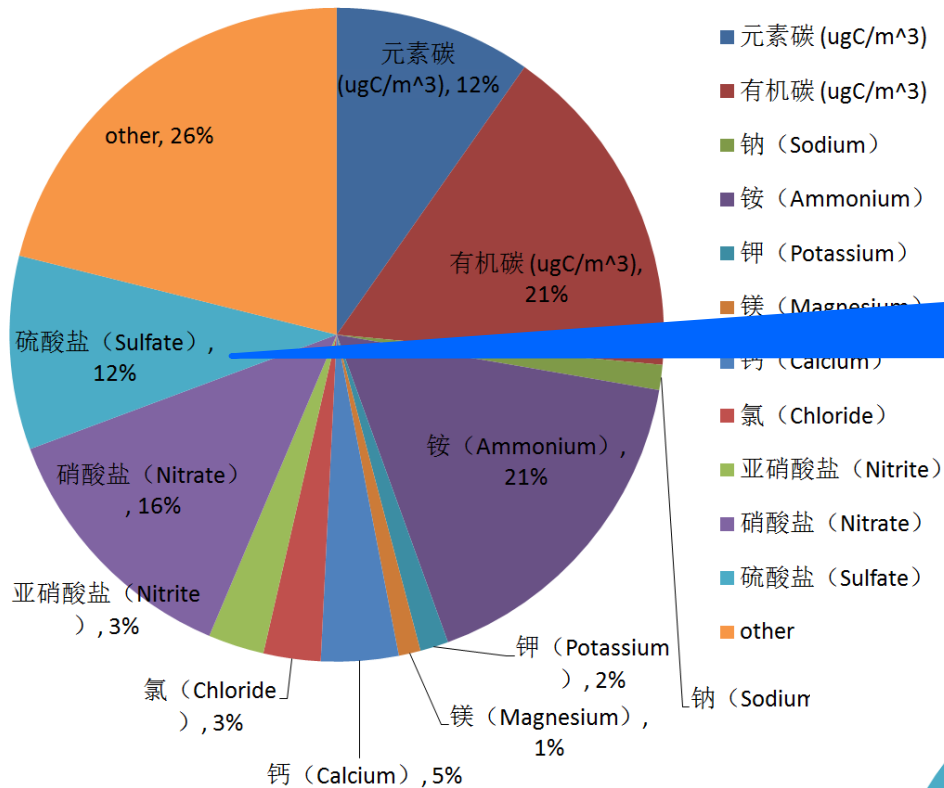
综合气象，传  
输，大气化学等  
多因素效果评估

下一阶段目标  
评价

下一阶段源头  
控制与过程监  
测设计

PM2.5 同比由147下降至138,降幅6%

锅炉监控后源变化较显著, PM2.5化学组分有明显变化

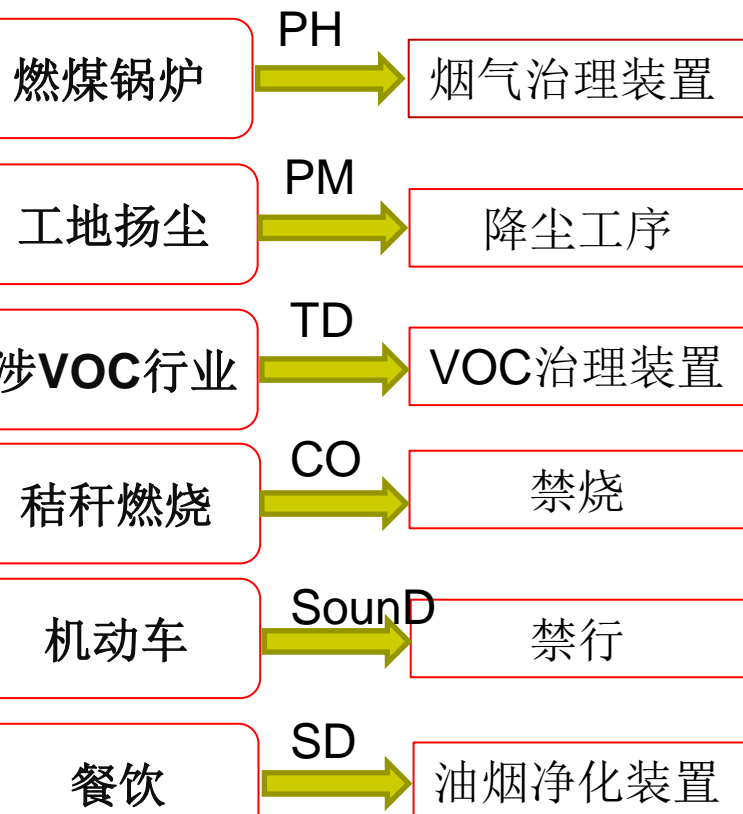


锅炉监控前燃煤排放相关的组分比例较大

# 研发基于减排和效果的系统化监测方案

## 源头控制

### 监控激活减排设施



## 过程监测

### 监控激活人员

- 综合源解析 ✓
- 网格化监测 ✓
- 传输通道监测 ✓
- 遥感监测 ✓
- .....
- 其他监测

## 效果分析

### 效果评估



综合气象，传输，大气化学等多因素效果评估

下一阶段目标评价

下一阶段源头控制与过程监测设计



结束

