

环境空气质量监测数据分析模式与 空气质量预测诊断

宋国君 陈德良

13910720279@139.com

中国人民大学环境政策与环境规划研究所

北京数汇通环境技术研究院

2014年6月24-25日

内容

- 现状与需求
- 空气质量监测数据分析
- 固定污染源监测数据分析
- 基于统计分析的空气质量预测诊断
- 城市空气质量“日”管理

一、现状与需求

行业需求

“十一五”现状

- 监测数据未得到有效管理
- 监测信息未得到充分的利用
- 数据处理自动化程度不高
- 空气质量信息公报信息不足

空气质量 管理数据 分析与预 警预测

“十二五”要求

- 实施多种大气污染物综合控制，推进城市大气污染防治，加大二氧化硫和氮氧化物减排力度
- 加强环境预警与应急体系建设，提高环境信息的基础、统计和业务应用能力
- 新“环境空气质量标准”的执行

第九条：建立监测预警应急体系，妥善应对重污染天气

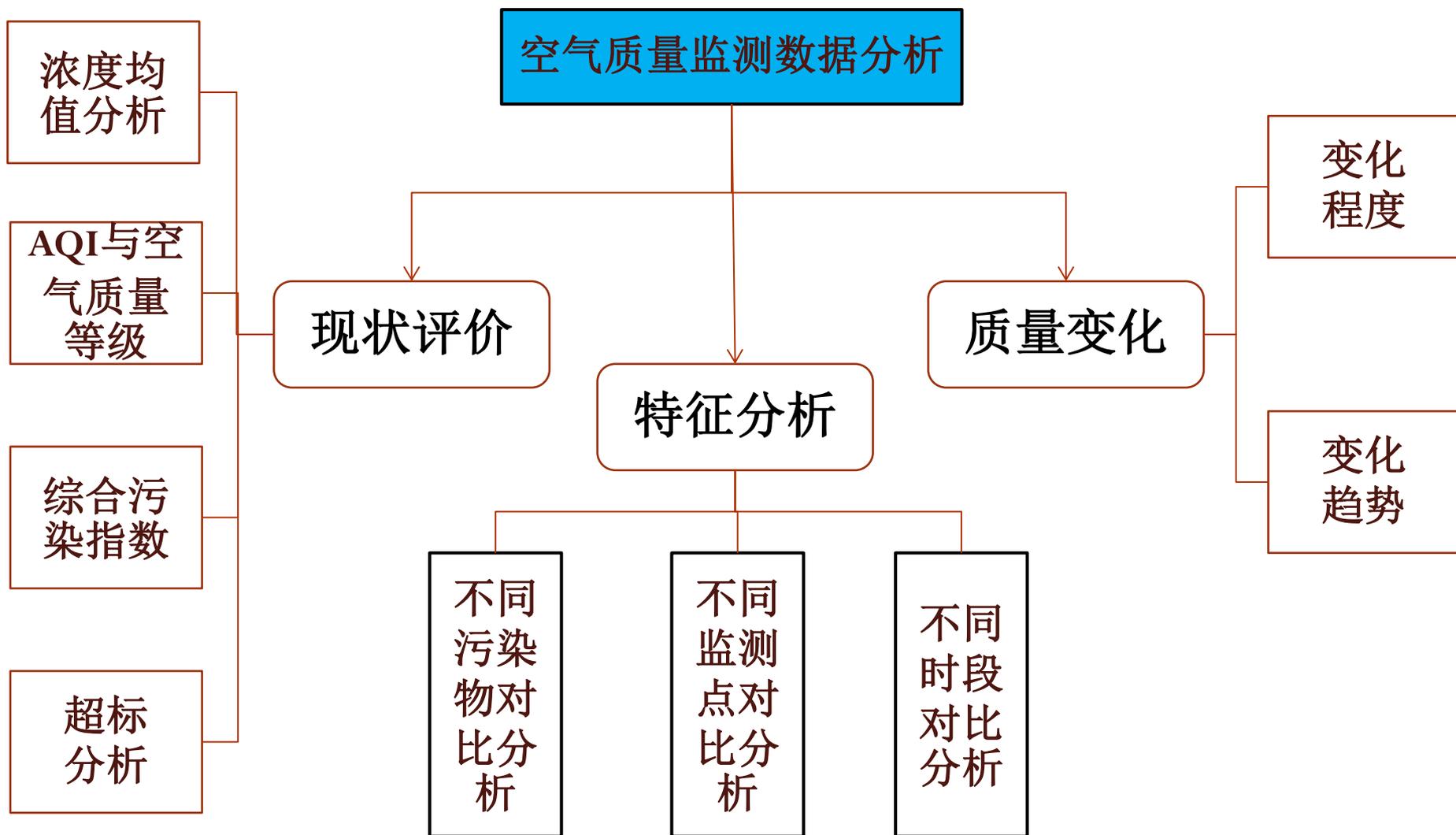
“国十条”

善用大数据打造智慧环保

- 推动政府角色转变，打造高效的“服务型”政府
 - ◆ 政府从数据收集者向数据分析者转变
 - ◆ 政府从数据管理者向数据提供者转变
- 充分挖掘环境大数据，创新政府管理，提升管理效率
 - ◆ 利用数据驱动决策
 - ◆ 利用数据驱动管理
 - ◆ 利用数据驱动创新

二、空气质量监测数据分析

分析框架



现状评价与分析

● 评价依据

- 环境空气质量标准 GB 3095—2012
- 环境空气质量指数（AQI）日报技术规定
- 环境空气质量评价技术规范

● 评价范围

- 监测点位、城市（全市）

● 评价项目：

- SO₂、NO₂、PM10、PM2.5、CO、O₃（1小时，8小时）

● 评价指标

- 污染物浓度值、达标、超标率、综合污染指数
- 变化率、秩相关系数

● 评价内容：

- 污染状况、达标评价、指数评价、变化程度与趋势评价

空气质量监测数据分析系统



监测数据管理



数据查询



浓度均值查询



超标率查询



空气质量级别天数查询



累计小时均值查询



AQI与空气质量等级查询



综合污染指数查询



年度达标评价



变化程度评价



变化趋势评价

多维度的污染特征分析

污染特征分析

空间特征分析

- 分析范围：
 - 各监测点
- 分析指标：
 - 超标率
- 分析尺度：
 - 小时、日
- 展示方式：
 - 重点污染物空间地图凸显，预警
- 展示内容
 - 结果、原因

时间特征分析

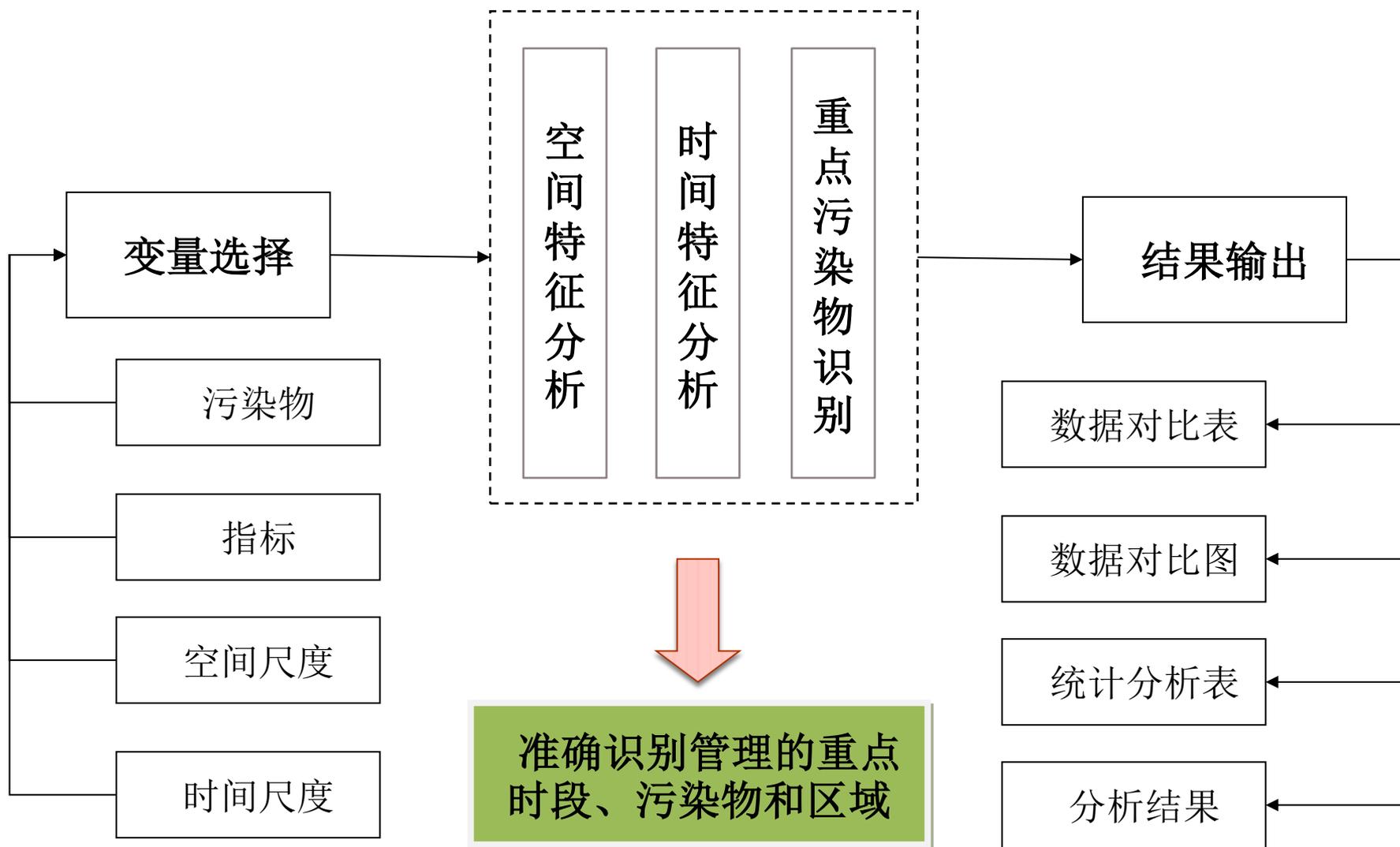
- 分析范围：
 - 全市、各监测点
- 分析指标：
 - 超标率
- 分析模式：
 - 历史同期对比、年际对比、月份对比
- 展示方式
 - 地图展示改善效果
- 展示内容
 - 结果、原因

重点污染物识别

- 分析范围：
 - 全市、各监测点
- 分析指标：
 - 超标率
- 分析尺度：
 - 小时、日
- 展示方式
 - 地图展示各监测点的重点污染物
- 展示内容
 - 结果、原因

识别污染重点空间、时间、污染物

技术路线图



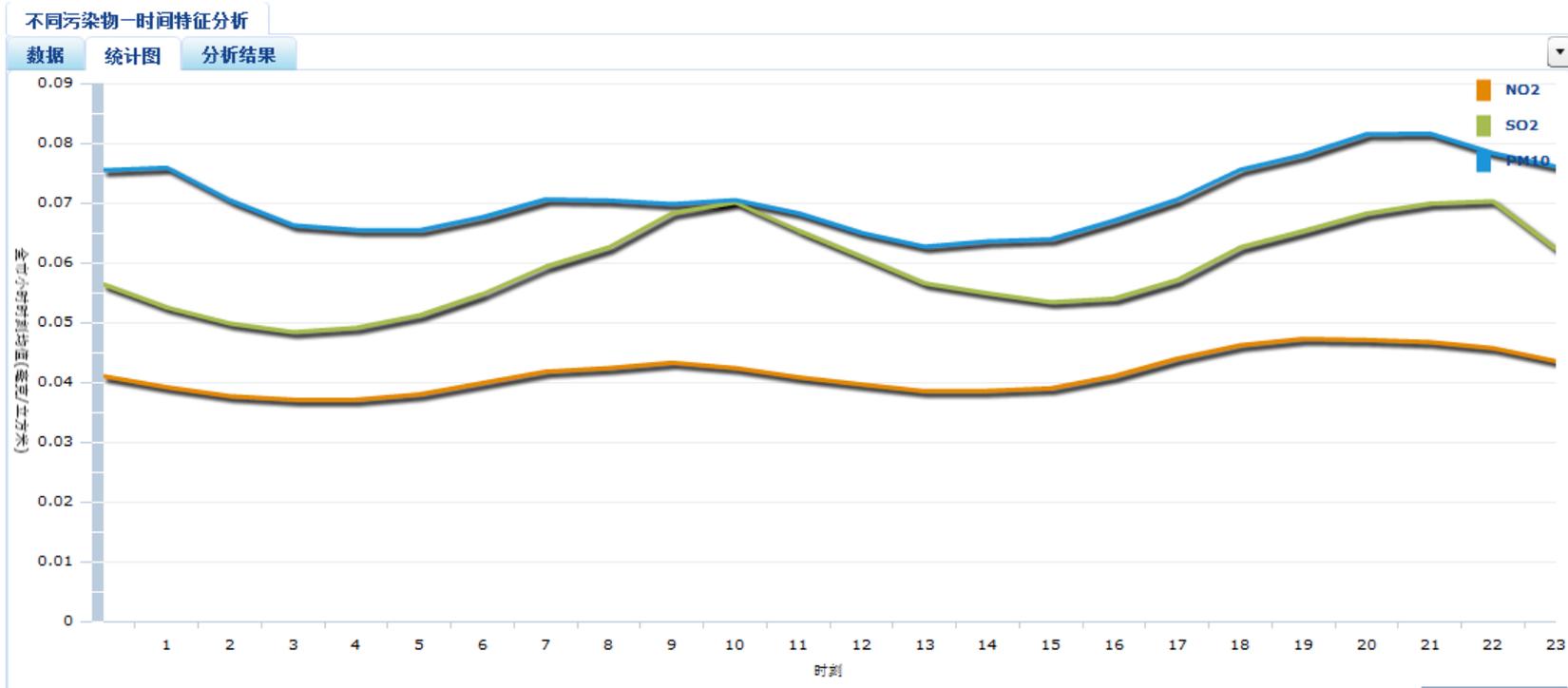
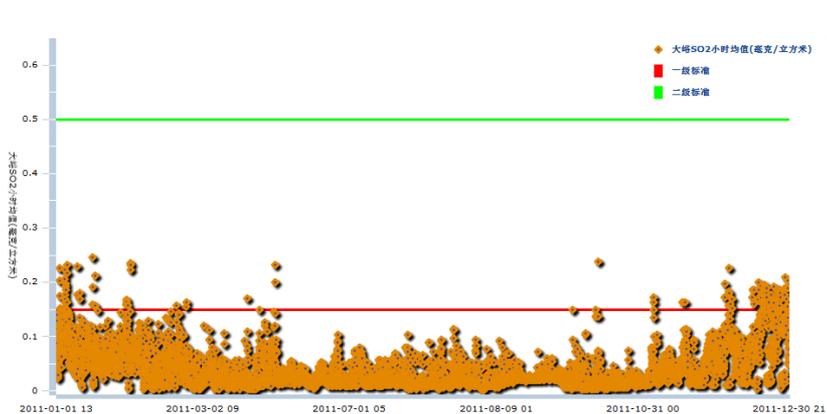


图 某监测点各污染物全年累计均值对比图

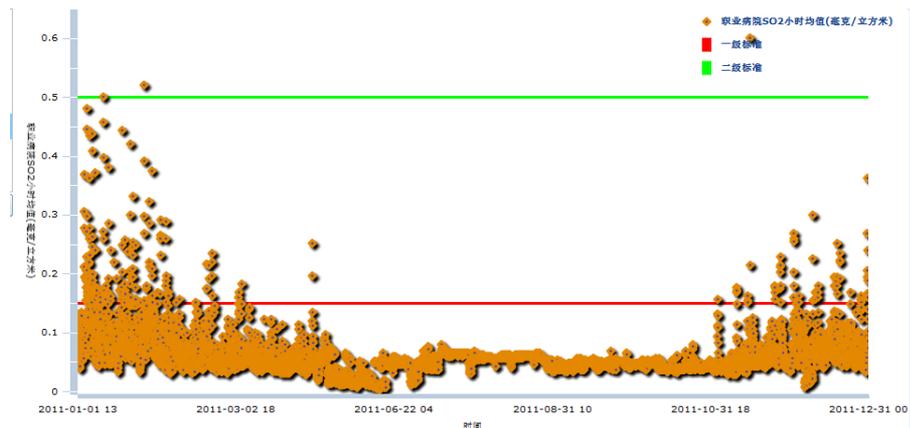
- SO₂总体规律与PM₁₀相似，属同源污染；
- 高峰发生在上午8:00~10:00，以及晚上的20点至22点

不同监测点对比分析——SO₂小时值超标率

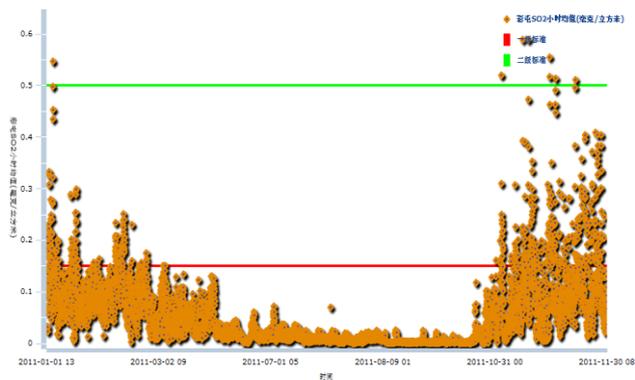
监测点	A监测点	B监测点	C监测点	D监测点	E监测点
小时值超标率	0%	0.04%	0.14%	0.26%	2.02%



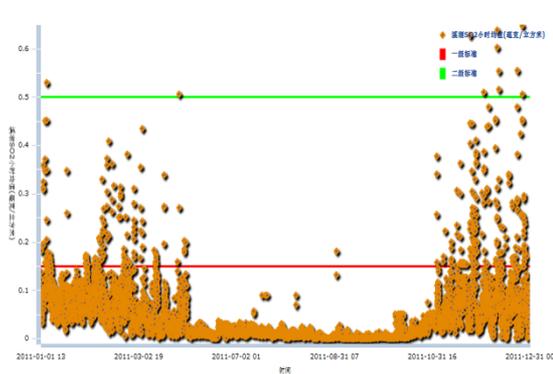
A



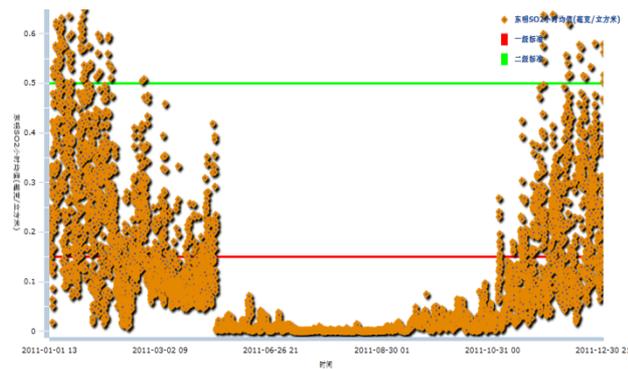
B



C



D



E

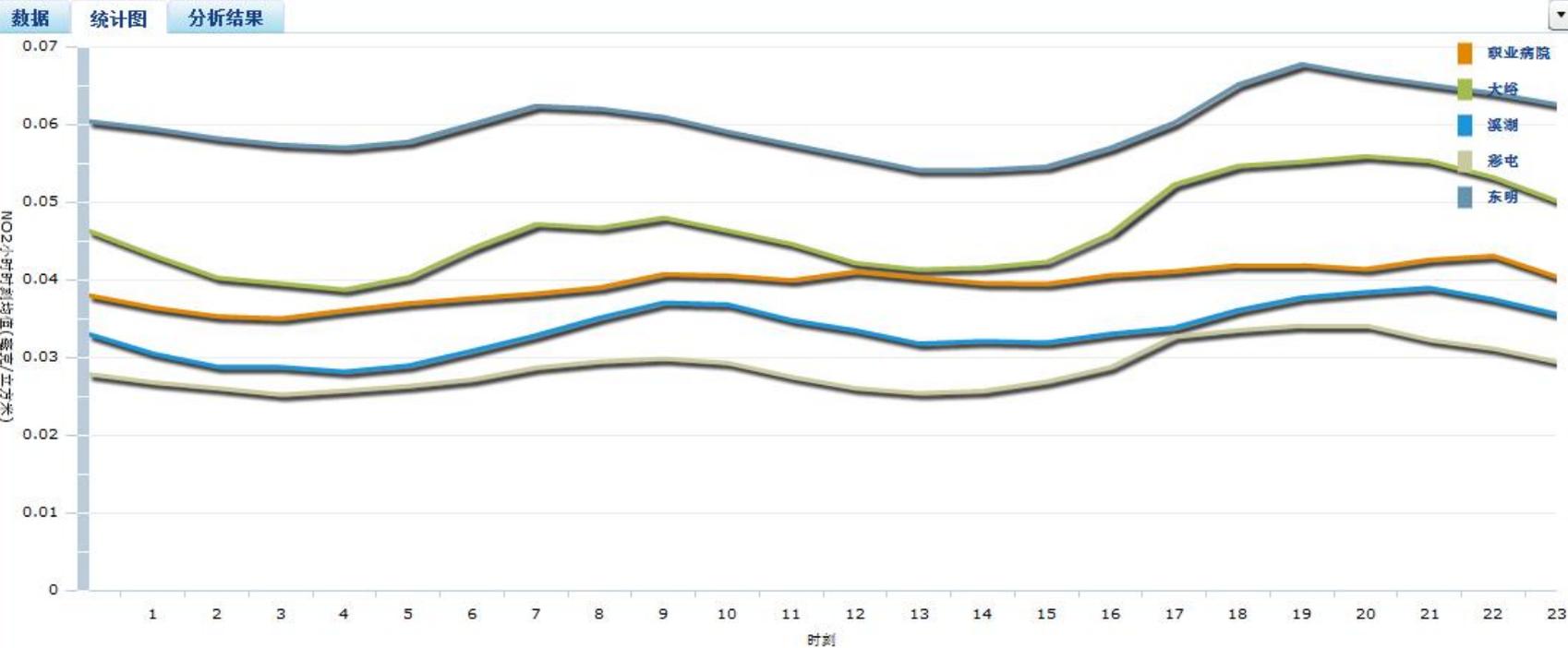


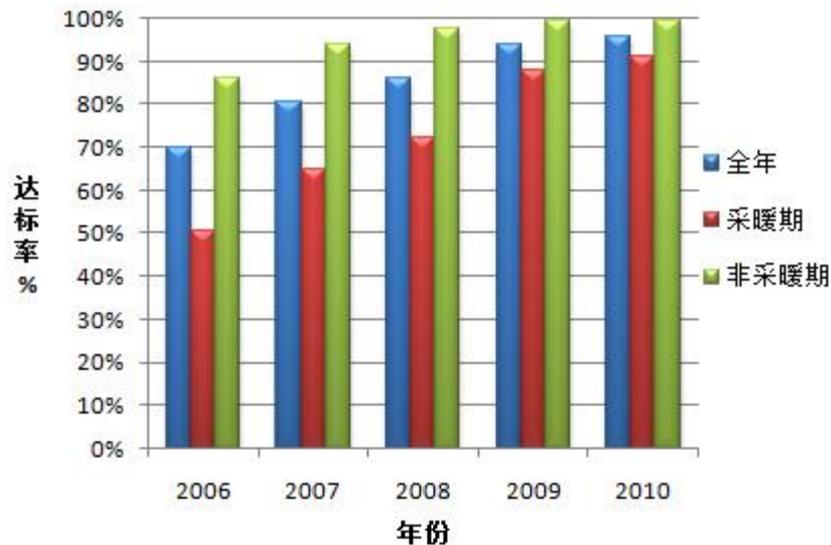
图 各监测点NO2全年累计均值对比图

- NO₂采暖期浓度略高于非采暖期，全年浓度小时波动趋势基本相同，呈明显的双峰；
- 各监测点位小时浓度波动规律相近；
- 浓度峰值与上下班高峰时间基本重合**，为上午7:00~9:00，傍晚18:00~20:00；
- 居民活动、机动车尾气等对NO₂污染影响较大。

不同时段对比分析

时段\年份	2006	2007	2008	2009	2010	“十一五” 平均
全年	69.9%	80.8%	86.1%	94.2%	95.6%	85.3%
采暖期	50.6%	65.1%	72.5%	88.0%	91.0%	73.4%
非采暖期	85.9%	94.0%	97.5%	99.5%	99.5%	95.3%

2006~2010年期间，全年PM₁₀日均值达标率逐年提高，但总体水平仍较低，2010年达标情况较好，属全期最高水平。全期PM₁₀浓度日均值达标率平均为85.3%，采暖期达标率平均值为73.4%，非采暖期达标率平均值为95.3%，明显高于采暖期



不同时段—时间特征分析

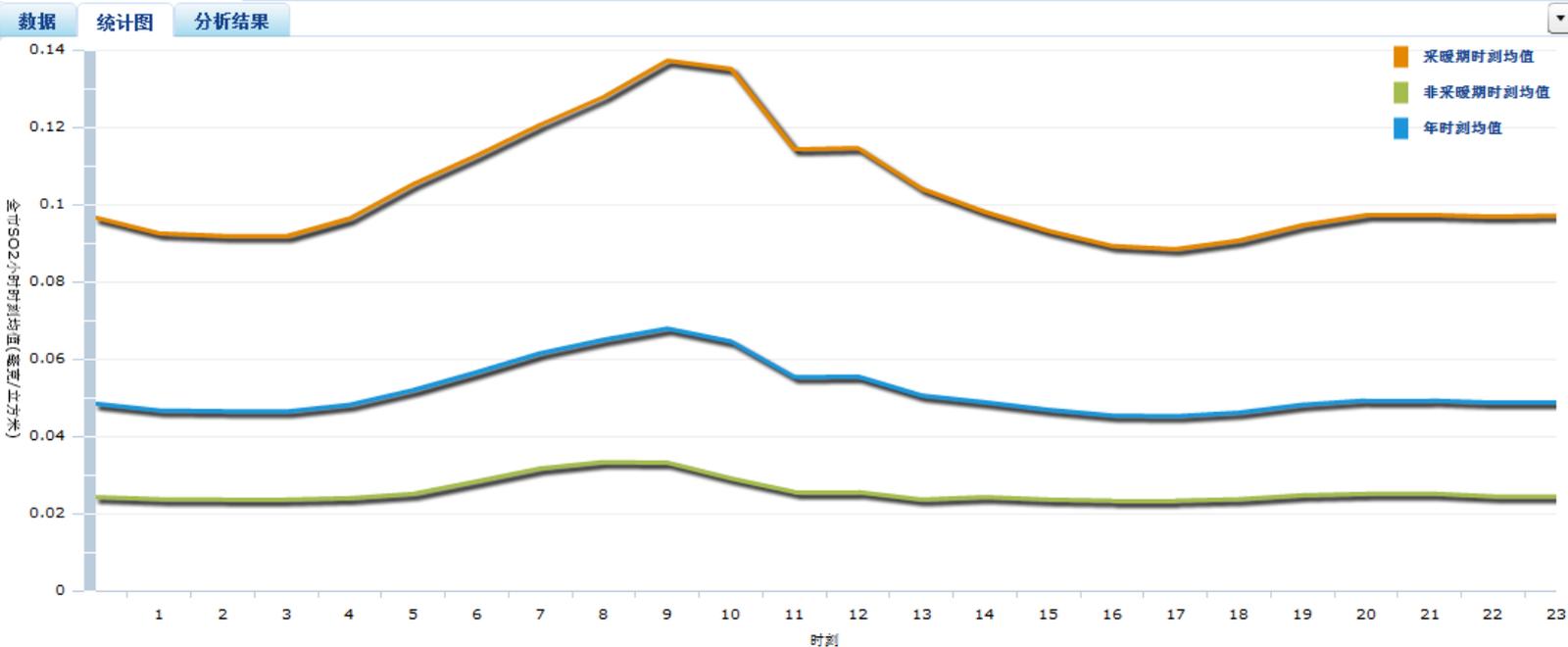
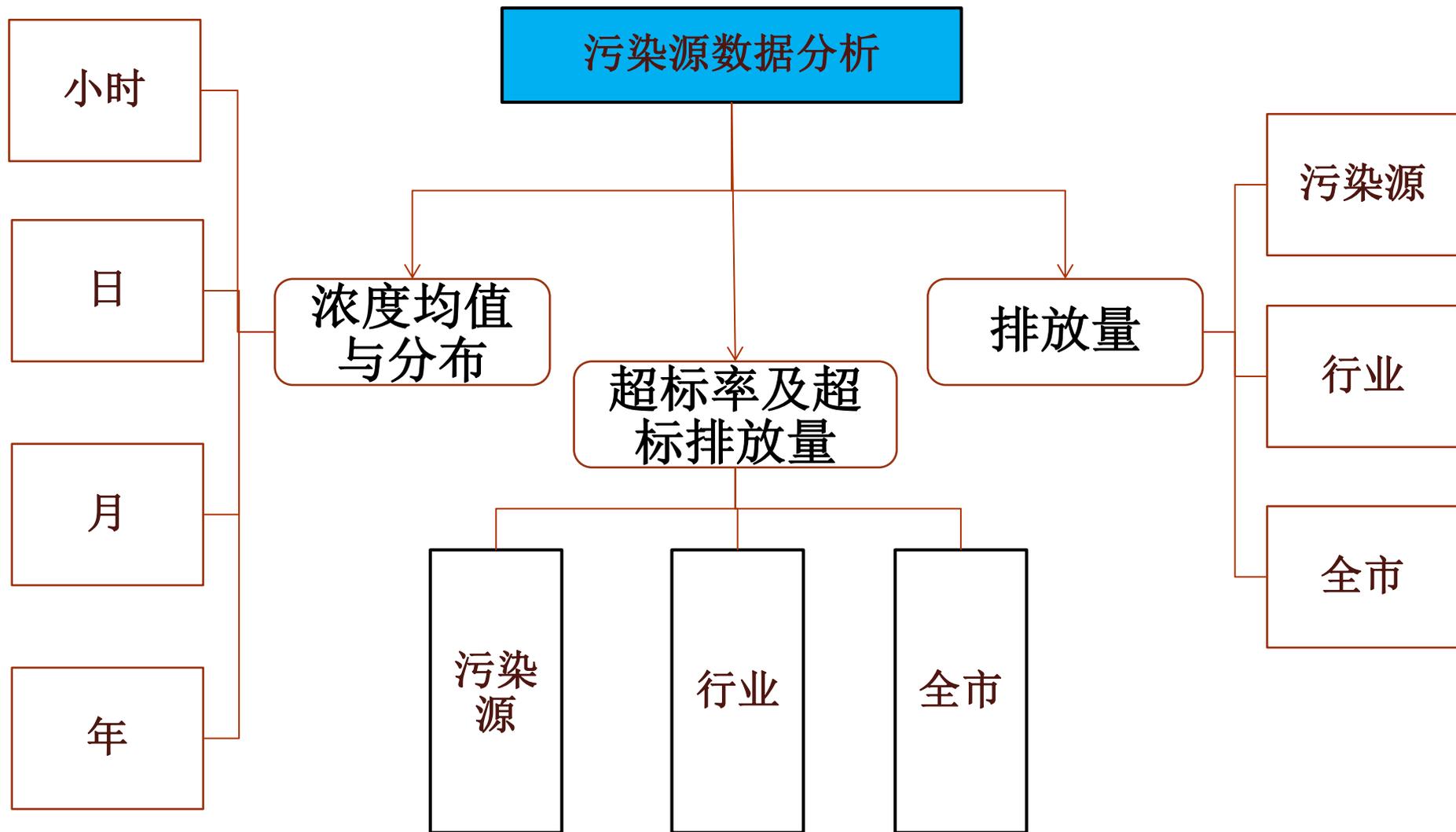


图 各监测点SO₂各时段累计小时均值变化对比图

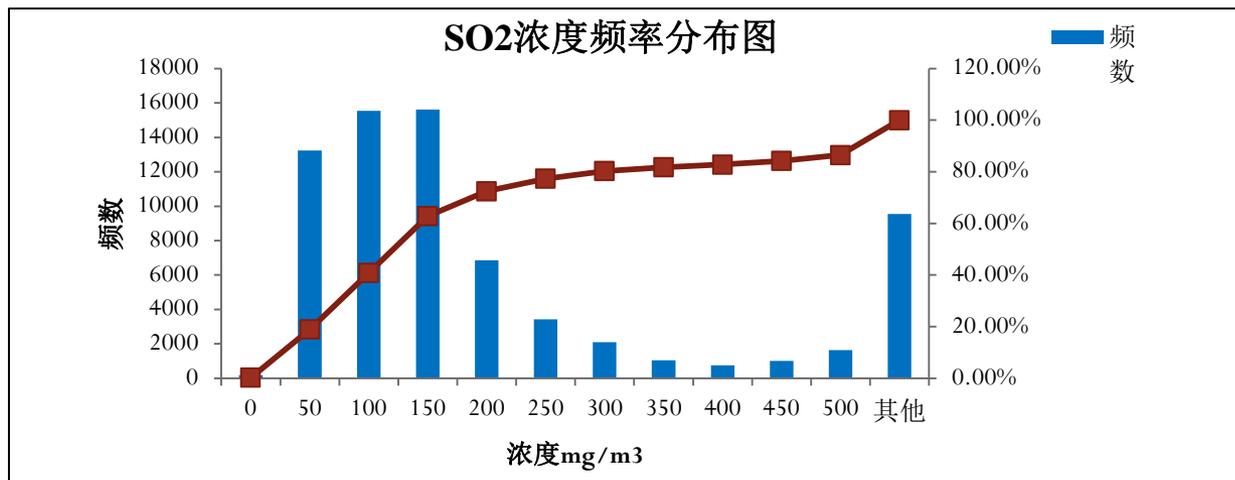
- SO₂采暖期浓度高于非采暖期，采暖期浓度小时波动较大
- 高峰发生在上午8:00~10:00；
- 采暖活动对SO₂污染影响较大

三、污染源监测数据分析

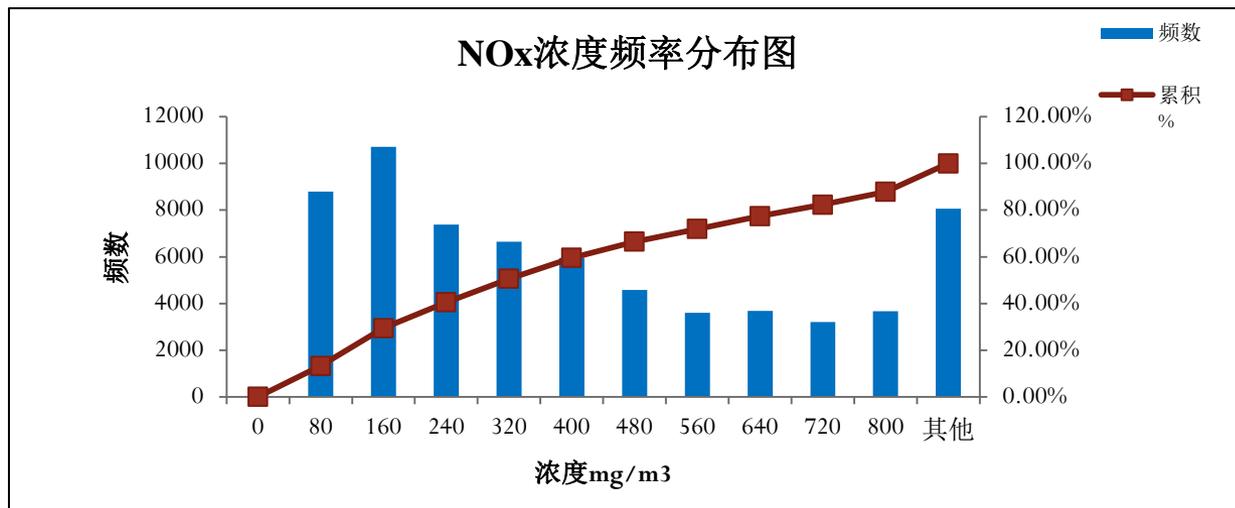
框架图



案例展示——数据分布



■从SO₂监测浓度的频率分布图可以看出，监测数据中SO₂浓度主要保持在50mg/m³~150mg/m³之间。



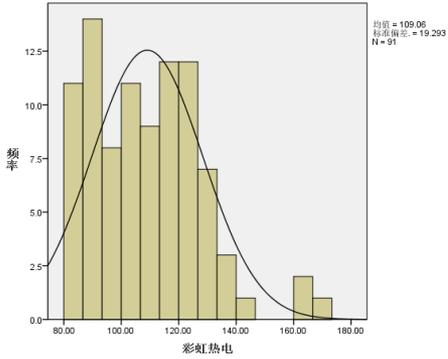
■从NO_x监测浓度的频率分布图可以看出，监测数据中SO₂浓度主要保持在80mg/m³~320mg/m³之间。

案例展示——描述性统计

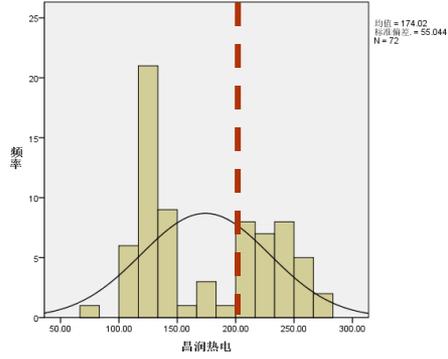
固定源	N		均值	众数	标准差	极小值	极大值	90%分位数	98%分位数	排放限值 mg/m ³	排放限值 对应的百分位数%
	有效	缺失									
彩虹热电	91	1	109.0619	89.73 ^a	19.29271	80.63	170.15	129.8380	162.8504	200	—
昌润热电	72	20	174.0246	67.23 ^a	55.04416	67.23	280.08	250.3690	274.1092	200	59
德能电厂	91	1	112.9148	117.33 ^a	23.44604	46.15	154.46	142.6900	153.2168	200	—
高唐热电	88	4	118.5203	89.54 ^a	17.19603	89.54	203.17	138.0470	162.0718	200	—
国电生物	91	1	24.0015	12.71 ^a	27.73760	1.50	179.29	33.6160	173.1664	200	—
华通热电(1、2)	91	1	55.9796	55.58 ^a	27.92952	10.67	170.29	85.1680	163.0156	200	—
华祥热电(2)	60	32	66.0432	10.67 ^a	43.65629	10.67	243.35	134.5150	225.8666	200	99
蓝天热电	91	1	136.4753	134.58 ^a	13.27643	86.60	162.29	151.8140	159.7028	200	—
聊城电厂(1)	90	2	354.2126	74.44 ^a	183.62869	74.44	995.02	618.7860	885.6402	200	18
聊城电厂(2)	87	5	122.5084	130.00	62.48748	7.00	282.00	204.0960	250.8248	200	89
聊城电厂(3、4)	91	1	332.2642	200.08	204.31884	134.15	1323.48	605.6080	954.0900	200	19
聊城热电(5、6)	86	6	97.6080	20.71 ^a	40.97408	20.71	345.75	144.3890	216.5904	200	99
聊城热电(7、8)	91	1	91.0437	67.06 ^a	21.12884	25.83	139.96	121.5640	132.1396	100	68
泉林热电	90	2	120.1841	129.38	17.41563	79.69	164.77	140.3130	163.2694	200	—
森泉热电	58	34	85.0226	62.06	17.30818	2.20	129.67	107.6840	127.1716	200	—
运河热电	55	37	79.2582	68.54 ^a	19.09984	42.69	158.42	99.9580	153.6800	200	—
银河热电	56	36	104.1280	1.00 ^a	77.30551	1.00	478.10	124.7180	476.9772	200	97
华祥热电(1)	60	32	66.0432	10.67 ^a	43.65629	10.67	243.35	134.5150	225.8666	200	99
东昌焦化(1、2)	89	3	224.9425	38.75 ^a	39.89132	38.75	290.90	269.8300	286.4280	200	26
东昌焦化(3)	89	3	202.0511	127.31 ^a	31.27732	127.31	261.94	243.6700	260.3880	100	51

a. 存在多个众数。显示最小值

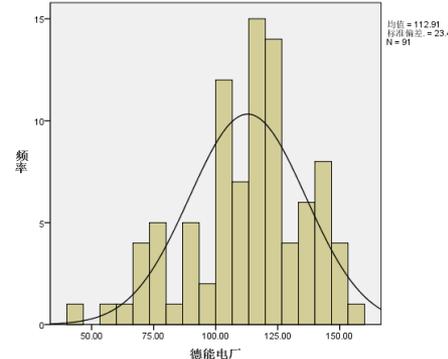
彩虹热电



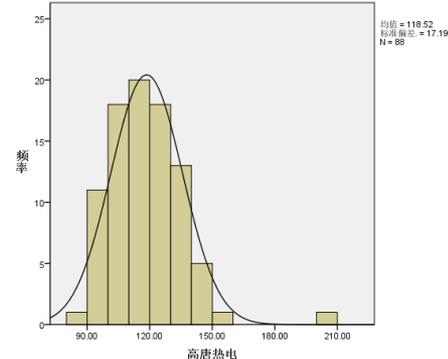
昌润热电



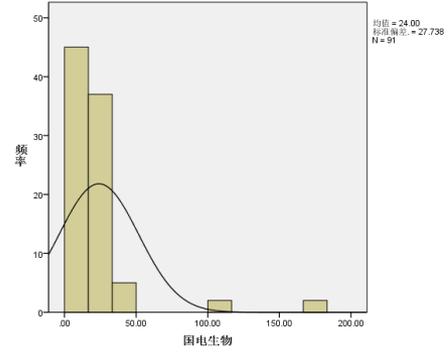
德能电厂



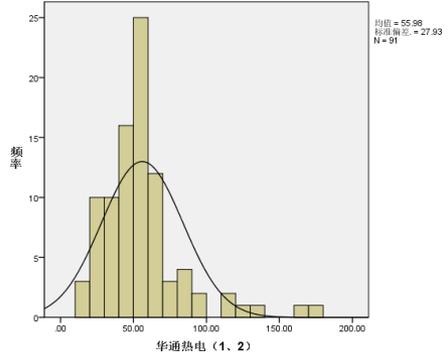
高唐热电



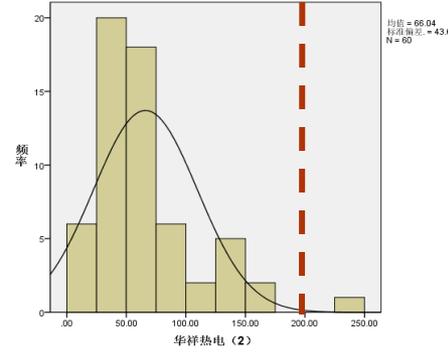
国电生物



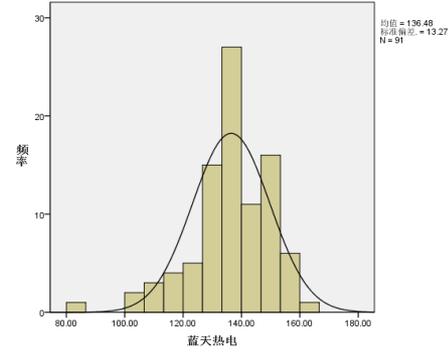
华通热电 (1、2)



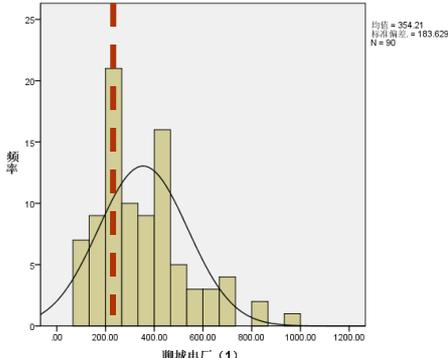
华祥热电 (2)



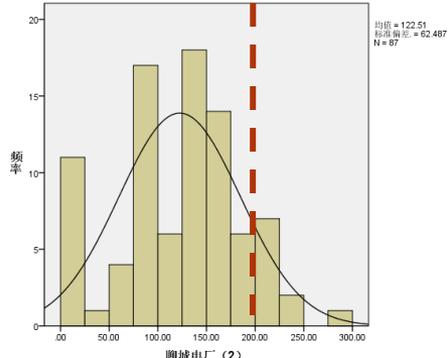
蓝天热电



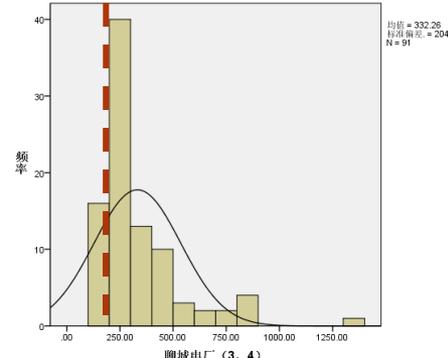
聊城电厂 (1)



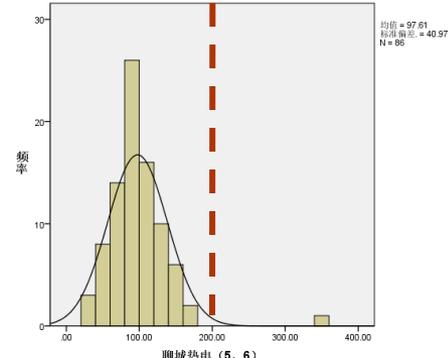
聊城电厂 (2)



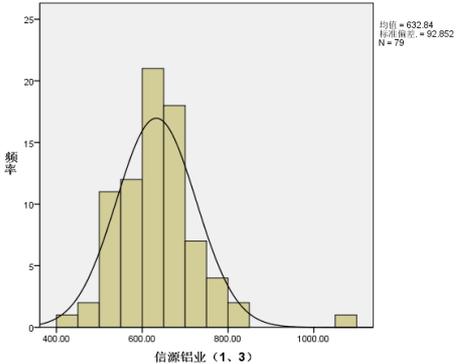
聊城电厂 (3、4)



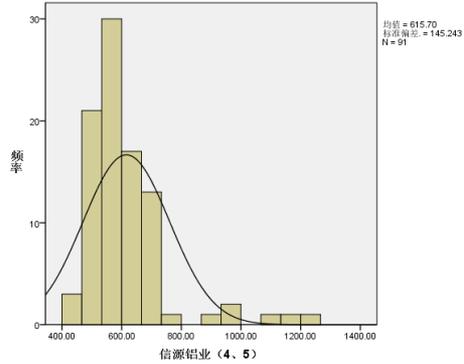
聊城热电 (5、6)



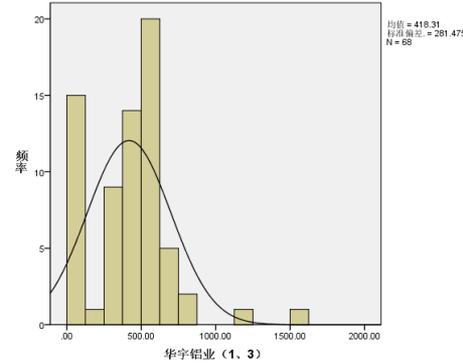
信源铝业 (1, 3)



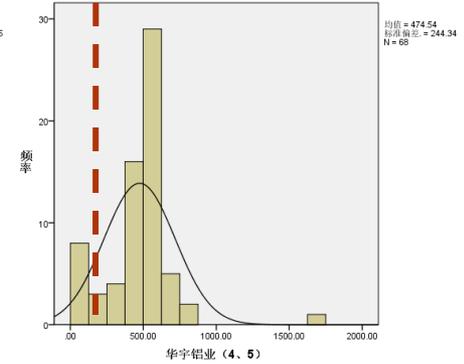
信源铝业 (4, 5)



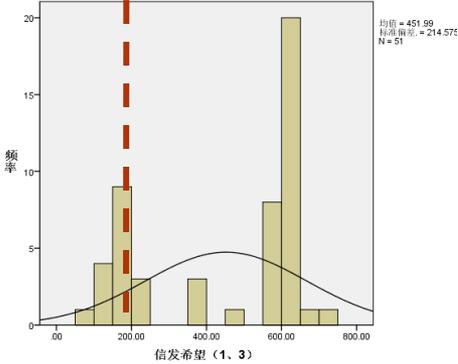
华宇铝业 (1, 3)



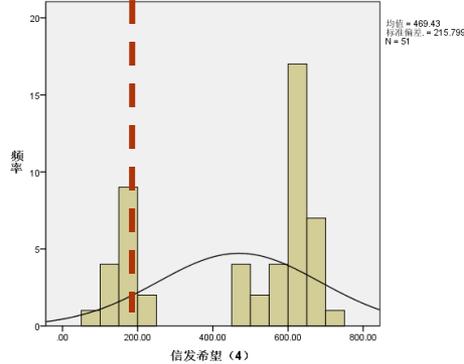
华宇铝业 (4, 5)



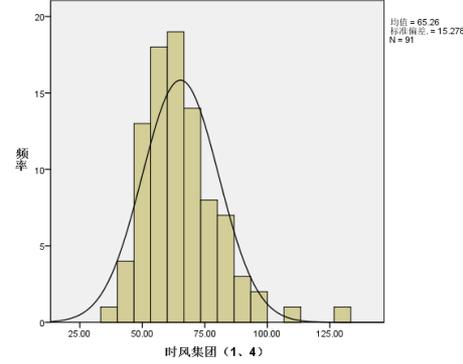
信发希望 (1, 3)



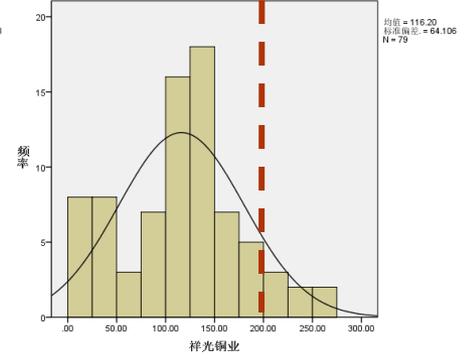
信发希望 (4)



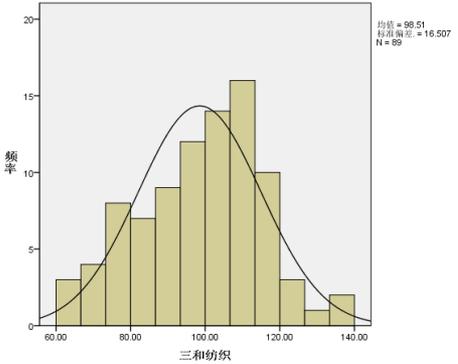
时风集团 (1, 4)



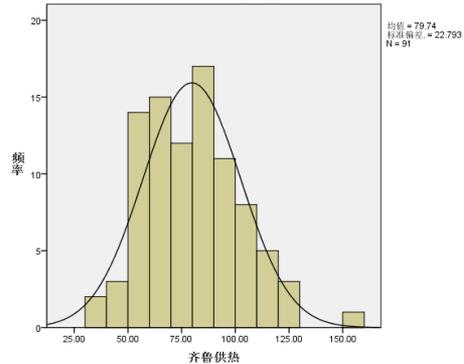
祥光铝业



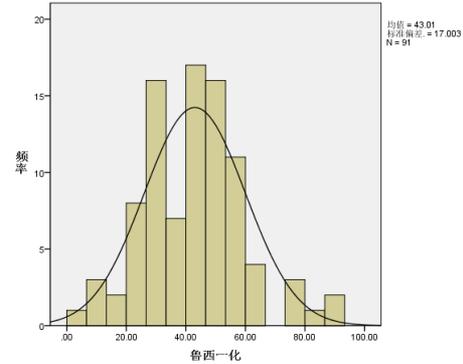
三和纺织



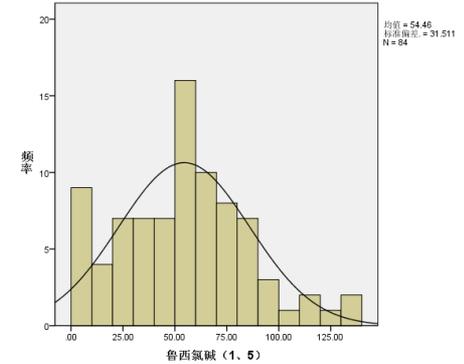
齐鲁供热



鲁西一化



鲁西氯碱 (1, 5)

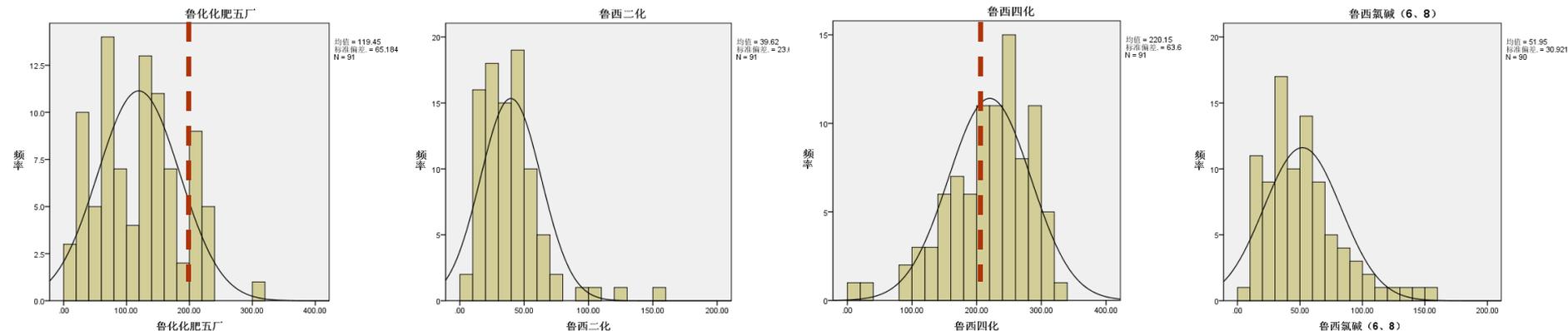


三和纺织

齐鲁供热

鲁西一化

鲁西氯碱 (1, 5)



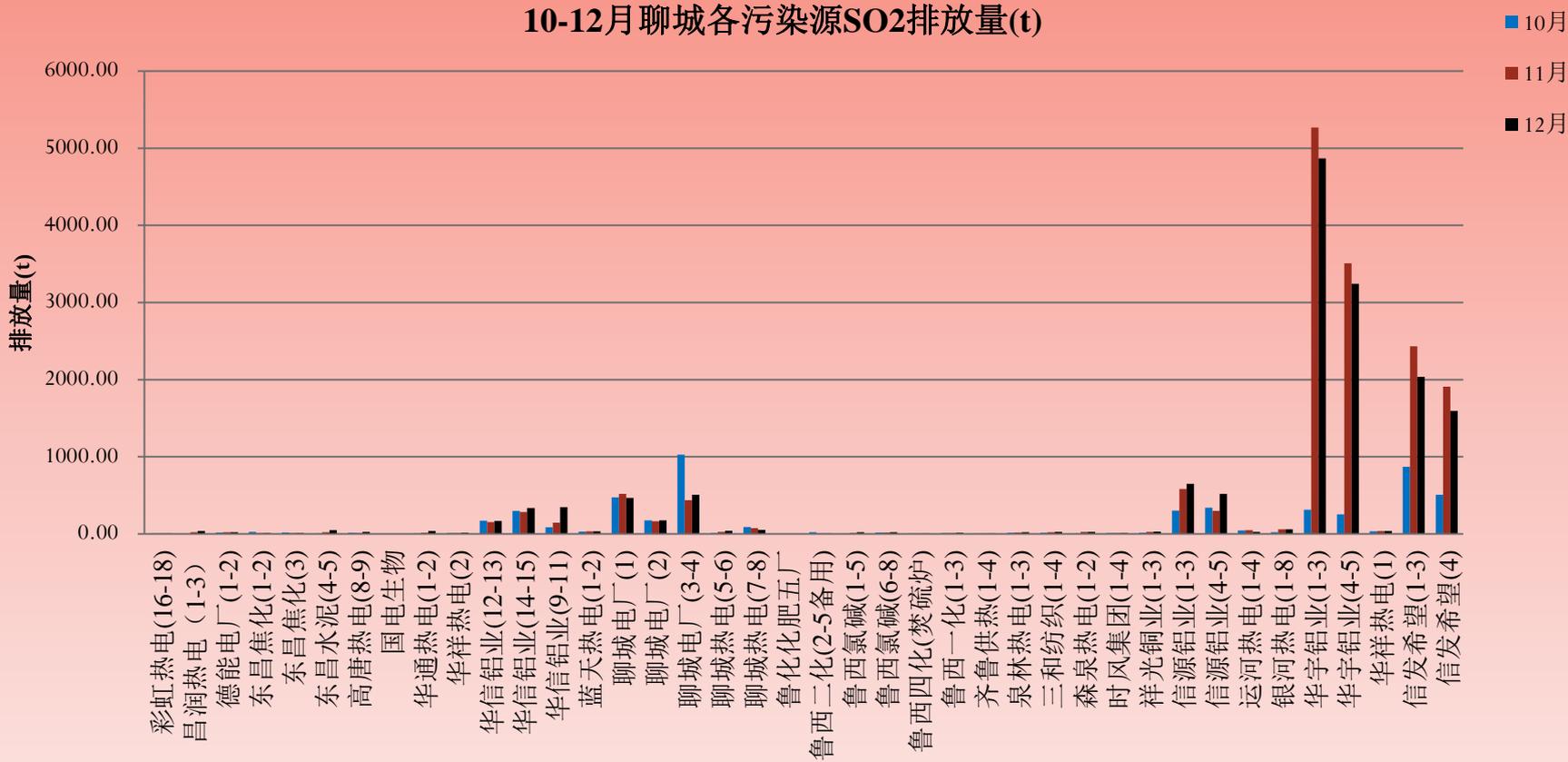
- 昌润热电，聊城电厂，华信、信源、华宇铝业、信发希望等固定源SO₂日均值排放浓度90%、98%分位数值均显著大于排放标准；
- 除华信铝业、信源铝业SO₂日浓度均值的众数显著大于排放标准外，其余各固定源SO₂日浓度均值的众数均显著小于排放标准，表明依据当前排放控制技术水平是可以实现达标排放和污染物的大幅削减。
- 固定源超标排放的主要原因是“管理不严格”。
- 建议实施固定源排污许可证手段

案例展示—超标率

固定源	10月		11月		12月	
	SO2超标率%	NOx超标率%	SO2超标率%	NOx超标率%	SO2超标率%	NOx超标率%
彩虹热电(16-18)	1.35	92.05	0.64	98.39	0	100
昌润热电(1-3)	0.82	88.11	26.48	98.17	56.12	94.91
德能电厂(1-2)	4.92	79.88	3.51	99.24	3.18	97.14
东昌焦化(1-2)	100	78.23	100	51.83	55.67	100
东昌焦化(3)	99.85	7.44	100	8.54	99.31	37.76
东昌水泥(4-5)	0.3	17.06	0.38	10.06	13.56	41.73
高唐热电(8-9)	0.32	50.57	0	10.4	0.48	91.26
国电生物	0	0.15	0	0.48	0	0.32
华通热电(1-2)	0.66	91.56	1.94	81.7	1.11	93.88
华祥热电(2)	7.84	25.34	6.1	11.91	2.75	32.96
华信铝业(12-13)	100	100	99.68	94.76	100	95.69
华信铝业(14-15)	99.7	100	100	99.38	100	100
华信铝业(9-11)	100	97.81	99.54	98.46	100	100
蓝天热电(1-2)	0.14	0	0	0.3	0	0.48
聊城电厂(1)	61.36	83.65	78.34	100	72.5	99.69
聊城电厂(2)	26.05	95.16	18.63	89.31	6.81	70.81
聊城电厂(3-4)	69.46	100	67.53	96.74	65.15	100
聊城热电(5-6)	0.43	98.55	2.02	100	1.04	100

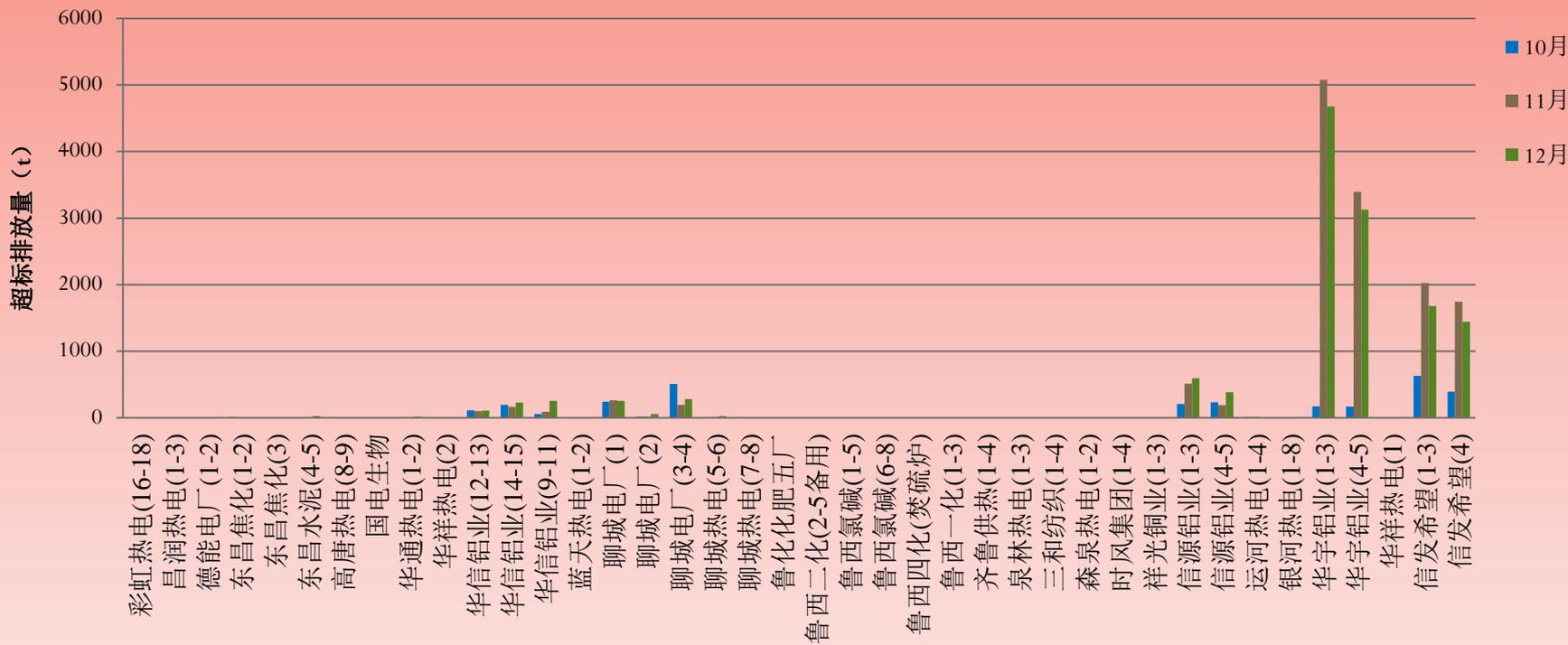
案例展示—排放量

10-12月聊城各污染源SO2排放量(t)



案例展示——超标排放量

10-12月各污染源SO₂超标排放量



四、空气质量预测诊断模型

空气质量变化影响因素

污染排放:

固定源
移动源
面源...

空气
质量

气象条件:

风速风向
气温气压
大气稳定度

现有预测模型与预测效果

数值预报

中科院大气所模式

- 污染源资料
- 空气质量监测资料
- 地理环境资料
- 气象资料（包括高空和地面资料）
- 需要高性能计算机处理数据

气科院模式

- 空气质量数据
- TTAA报文所包括的气象资料

国家气象中心模式

- 空气质量监测资料（用于模式参数的修订）；
- 每晚8时T106全球模式的四维同化资料；
- 被预报城市的地貌状况；
- 地理资料

根据排放源强和污染物在大气中迁移、扩散等模式求解污染物的浓度

统计模式

多元回归方式

- 空气质量数据；
- 地面气象资料（气压、气温、24小时变温、24小时变压、最低气温、风向、风速、降水、日照、云量等）

Kalman 滤波法

- 空气质量数据；
- 地面气象资料（气压、气温、24小时变温、24小时变压、最低气温、风向、风速、降水、日照、云量等）
- T106气象资料

利用历史资料建立污染物浓度与气象条件或非气象条件间的统计关系

47个重点城市2001年6月5日至2004年12月31日 空气质量预报准确率

城市名称	API 准确率(%)	级别准确率(%)	城市名称	API 准确率(%)	级别准确率(%)
北京	31.65	59.77	烟台	51.84	77.18
天津	41.50	74.43	郑州	42.27	71.75
石家庄	38.74	64.70	武汉	47.09	74.73
秦皇岛	69.89	87.13	长沙	36.91	68.84
太原	23.43	49.23	广州	45.25	75.19
呼和浩特	36.06	67.92	深圳	51.45	75.34
沈阳	45.33	72.59	珠海	57.27	80.63
大连	52.53	78.71	汕头	60.57	79.48
长春	63.63	87.98	湛江	75.63	86.44
哈尔滨	49.23	76.34	南宁	51.76	75.80
上海	38.67	65.62	桂林	70.90	82.62
南京	31.34	67.20	北海	81.15	88.66
苏州	35.96	69.24	海口	79.48	93.87
南通	49.62	78.64	重庆	46.25	71.98
连云港	37.75	71.44	成都	56.36	83.84
杭州	52.76	81.16	贵阳	46.09	74.73
宁波	44.72	73.51	昆明	52.53	78.25
温州	54.82	76.65	拉萨	49.46	77.18
合肥	37.29	68.99	西安	40.43	70.90
福州	51.53	77.11	兰州	25.34	55.51
厦门	50.88	77.20	西宁	44.79	75.11
南昌	46.78	75.65	银川	48.55	77.34
济南	37.67	71.44	乌鲁木齐	39.36	65.70
青岛	51.07	81.13	合计	48.37	74.78

数据来源：《中国重点城市污染预报及进展》，佟彦超 监测总站

现有预测模型的优势与缺陷

数值预报

优势

- 时效较高
- 时空分辨率较高
- 精度较高

缺陷

- 对硬件的要求高
- 成本高
- 需要的参数多，很多城市的现有条件无法满足

统计模式

优势

- 成本低
- 积累了大量的历史数据
- 相关参数容易获取

缺陷

- 预测精度不高

- 1 预测模型需根据各地的事情情况而定制；
- 2 样本可按不可控的影响因素（气象因子）进行分类，提高预测模型的精度；
- 3 预测模型需考虑污染排放，挖掘超标规律，诊断污染原因。

基于气象分类的空气质量预测诊断模型

- **第一步：资料预处理与相关分析**

- 气象因子的分类（从连续变量转化为分类变量）
- 相关分析：各气象因子与各污染物浓度，挑选相关性高的气象因子；

- **第二步：样本分类**

- 样本分类：根据样本方差齐性检验，选择不同的检验方法进行多重比较，以月份、大气稳定度、风向等气象因子为分类变量，对污染物浓度进行样本分类
- 结合专家经验，对样本分类进行修正

- **第三步：确定自变量**

- 结合文献资料，确定逐步回归所需要的自变量
- 计算城市污染源排放量，使其作为自变量，参与逐步回归

- **第四步：建立预测模型：**

对各类别的样本，结合污染源排放，建立预测模型。

- **第五步：预测效果检验**

- **第六步：超标对比分析、污染原因诊断**

资料预处理与相关分析

基于气象因子对样本分类

气象

污染源排放量

建立预测模型

自变量（影响因素）分解

固定源

移动源

面源

污染原因诊断

超标分析

案例展示——资料预处理

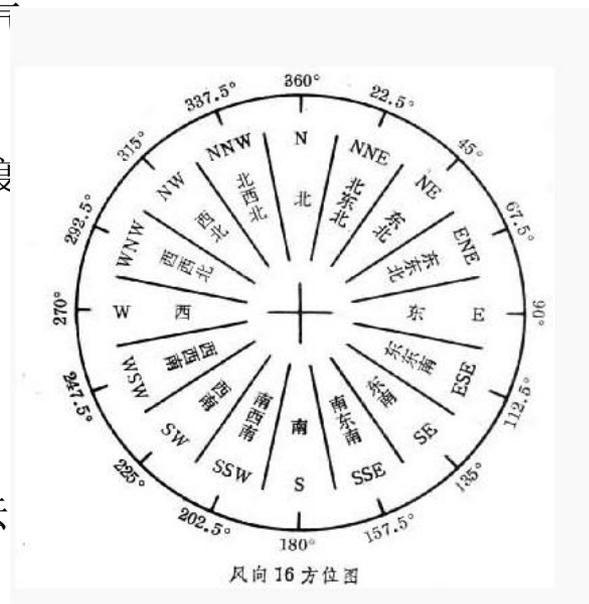
- 资料说明

- 本溪市彩屯监测点2012年3月6日至2012年12月17日空气质量监测数据，指标包括：

- 污染物浓度值（小时值）、气象因子（风速、风向、湿度、气压、气温）

- 样本的预处理

- 气温分类：采暖期、非采暖期
- 大气稳定度分类：根据帕斯奎尔大气稳定度分类方法将大气稳定度分为6个等级；
- 风向分类：根据标准的风向分类，将风向分为16个风向；



案例展示——建立预测模型

- 逐步回归

- 对各类别的样本，采用逐步回归方法建立污染物浓度预测模型

- 因变量

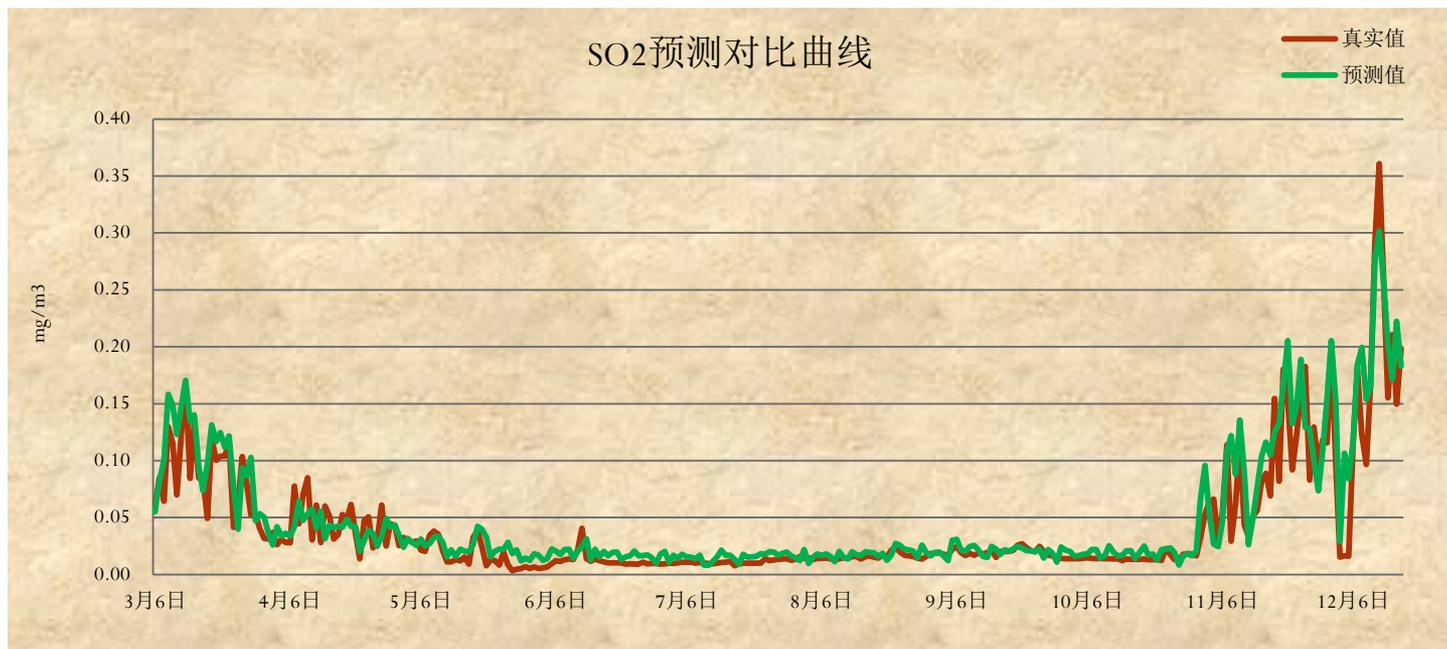
- 各污染物排放浓度

- 入选的自变量：（对参考文献的总结）

- 前24h的污染物浓度均值，日报当日平均气温、最低气温、最高气温、气温日均差、平均湿度、平均气压、十分钟风速、8点气压、前24h最高气温、前24h平均气温、风速14点、气温14点、污染源排放量

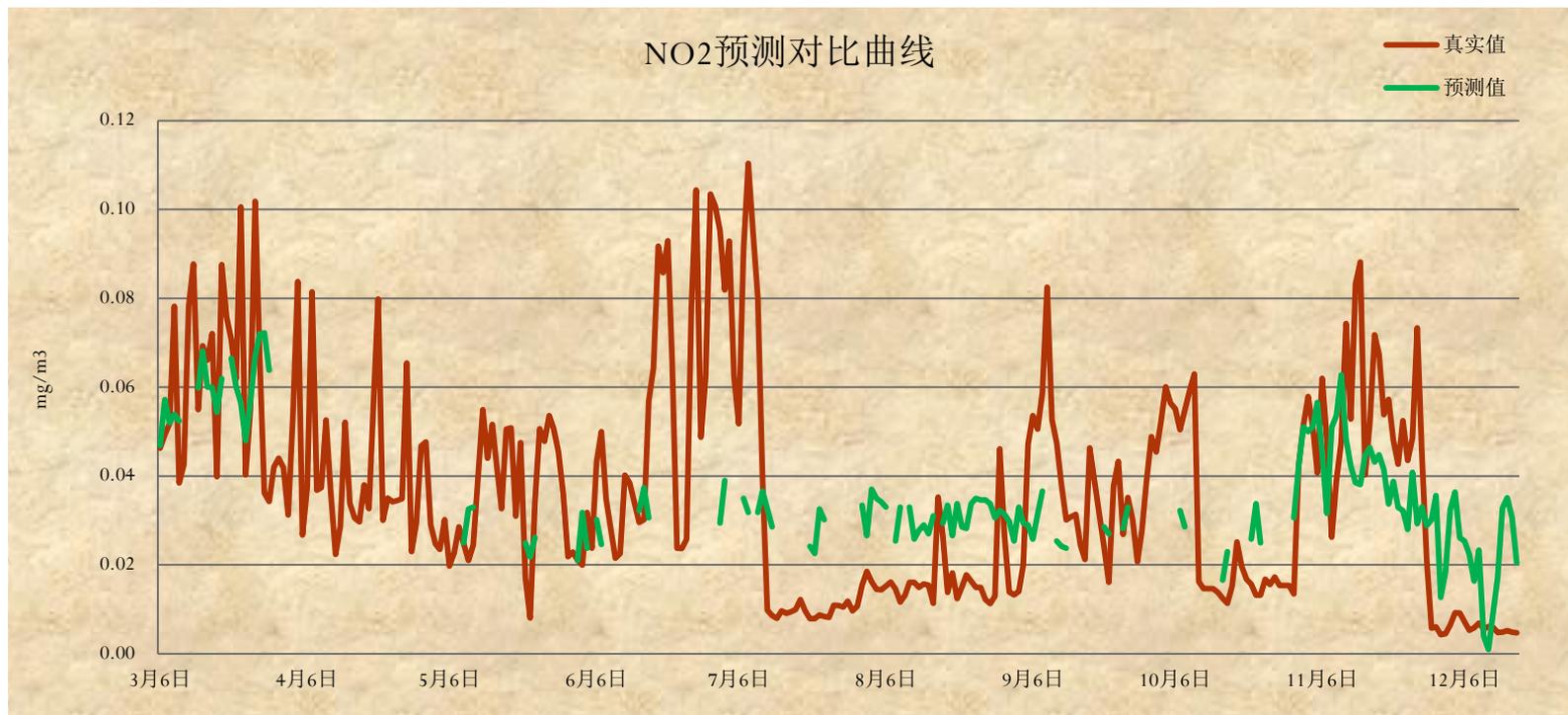
案例展示—彩屯监测点SO2样本分类及回归曲线

	类别		模型
	采暖与否	大气稳定度	逐步回归, 建立模型
SO2	采暖	A	无样本
		BCDE	$y = -2.313 + 0.461x_{13} + 0.008x_{12} - 0.013x_2 - 0.013x_{11} + 0.002x_4 + 0.024x_{10}$
		F	无样本
	非采暖	A	无样本
		BCDEF	$y = 0.01 + 0.518x_{13} - 0.0001x_1 + 5.77 \times 10^{-5}x_{14} - 0.001x_9 + 0.001x_3 + 0.003x_7$



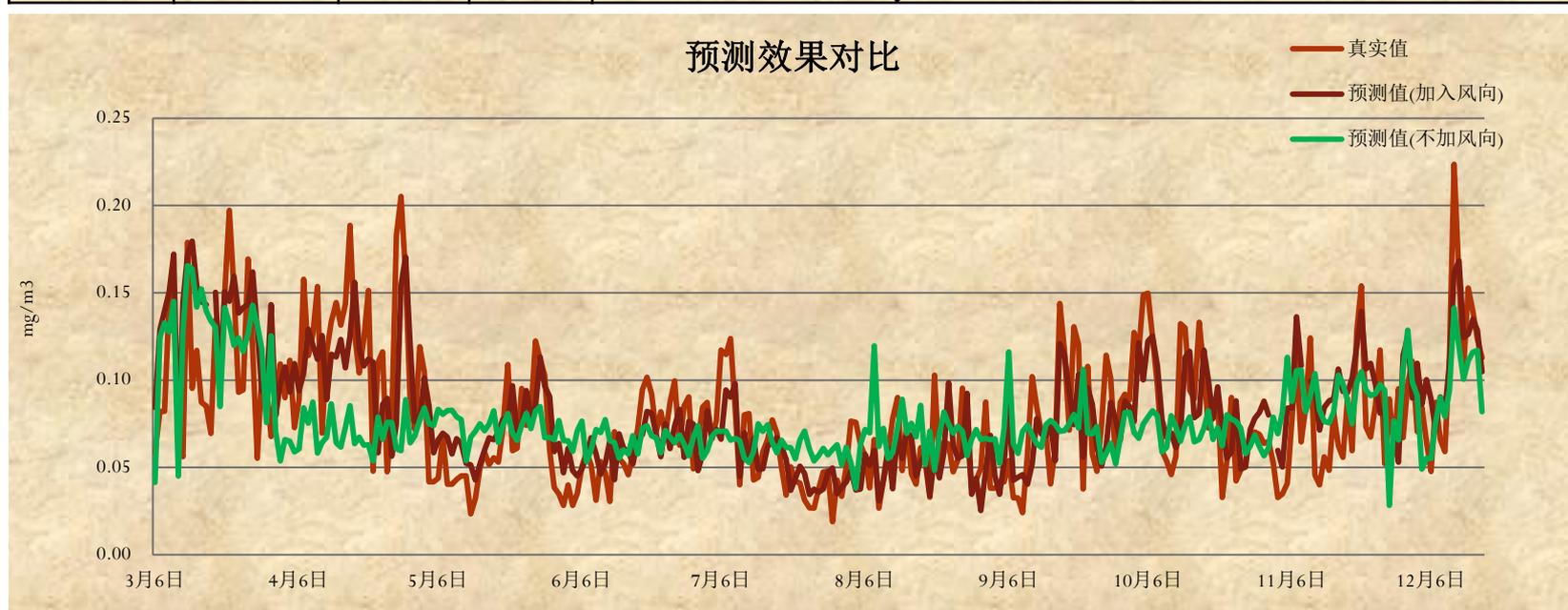
案例展示—彩屯监测点NO2样本分类及回归曲线

	分类		回归曲线
	采暖与否	大气稳定度	回归曲线
NO2	采暖	A,B,C	无样本
		D	$y=0.023+0.001x_{12}+0.00035x_{14}$
		E,F	$y=0.031+0.003x_9$
	非采暖	A,B,C,D	无样本
		E,F	$y=0.039-0.004x_{11}$



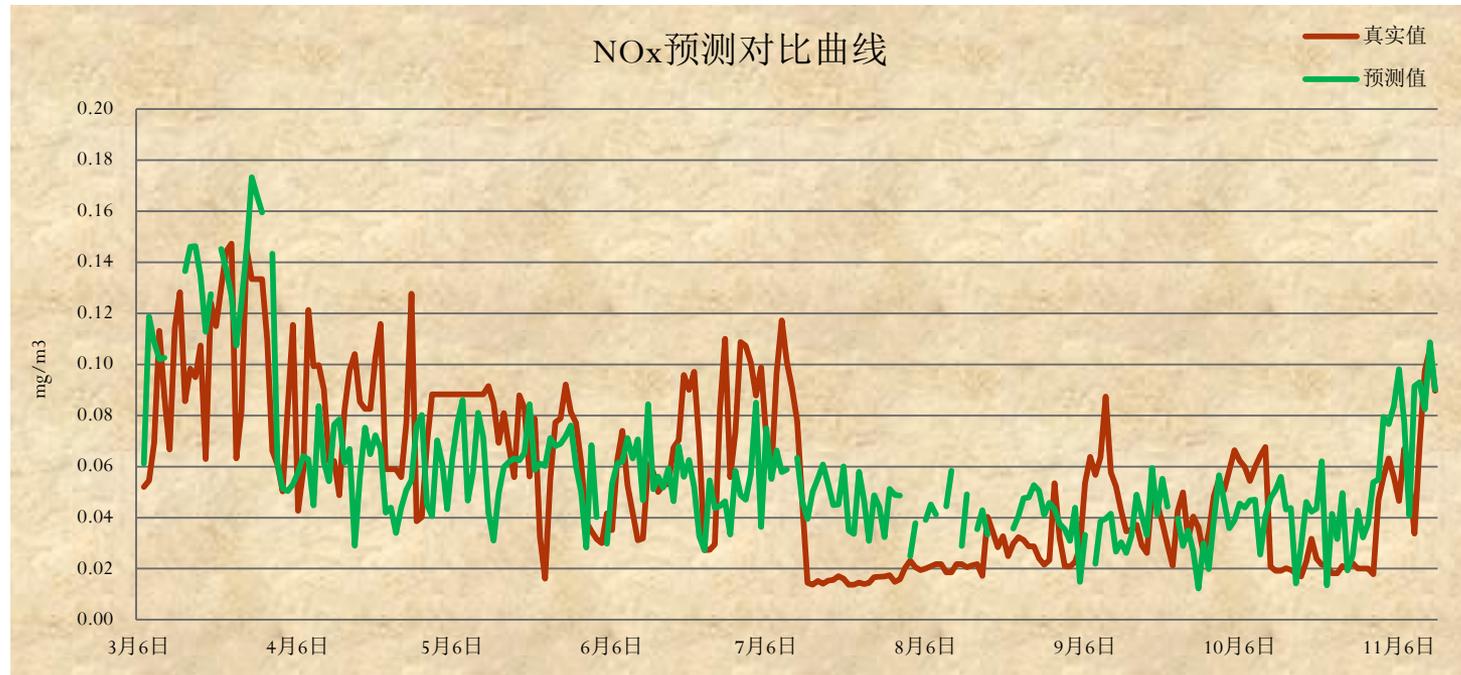
案例展示—彩屯监测点PM10样本分类及回归曲线

	分类			逐步回归
	采暖与否	稳定度	风向	回归方程
PM10	采暖	A	其他	$y=4.540+0.008x_5-0.045x_8-0.0008x_9$
			ENE,E	无样本
		B	其他	$y=0.017+0.414x_{13}+0.001x_{14}-0.002x_9$
			ENE,E	无样本
		CDEF	无差异	$y=0.115-0.025x_{11}+0.406x_{13}$
		非采暖	A,B	无差异
	C		N,NNE	无样本
			其他	$y=0.086+0.582x_{13}-0.0005x-0.004x_{11}-0.0006x_9$
	D,E,F		其他	$y=-5.409+0.055x_{10}+0.577x_{13}$
		ENE,E	$y=-0.255+0.003x+0.001x_9$	



案例展示—彩屯监测点NO_x样本分类及回归曲线

	合并		逐步回归
	采暖与否	稳定度	回归方程
NO _x	采暖	A,B,C	无样本
		D	$y=0.039+0.001x_{14}+0.002x_4+0.002x_{12}$
		E,F	$y=0.04+0.004x_9$
	非采暖	A,B,C,D,E	$y=1.495-0.01x_{11}-0.001x_1-0.014x_6$
		F	无样本

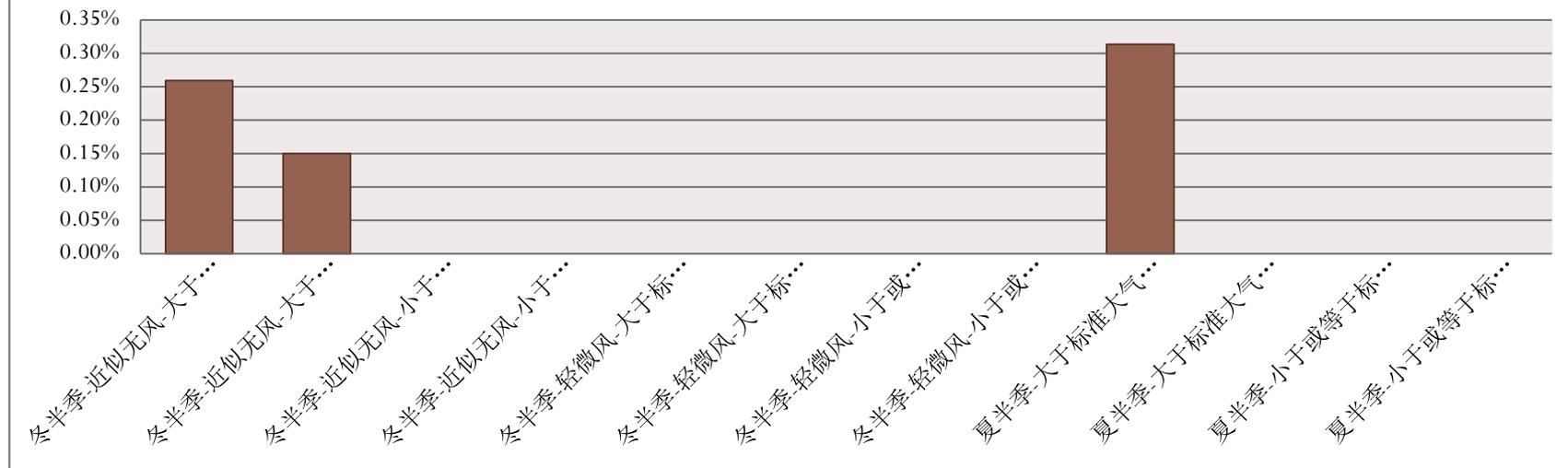


案例展示—预测等级准确率对比

	样本量	等级预测准确样本量	百分比
SO2	287	253	88.15%
NO2	287	227	79.09%
PM10(不含风向)	287	197	68.64%
PM10(含风向)	287	210	73.17%
NOX	287	247	86.06%

案例展示——超标对比分析

12个子样本二级标准超标率对比

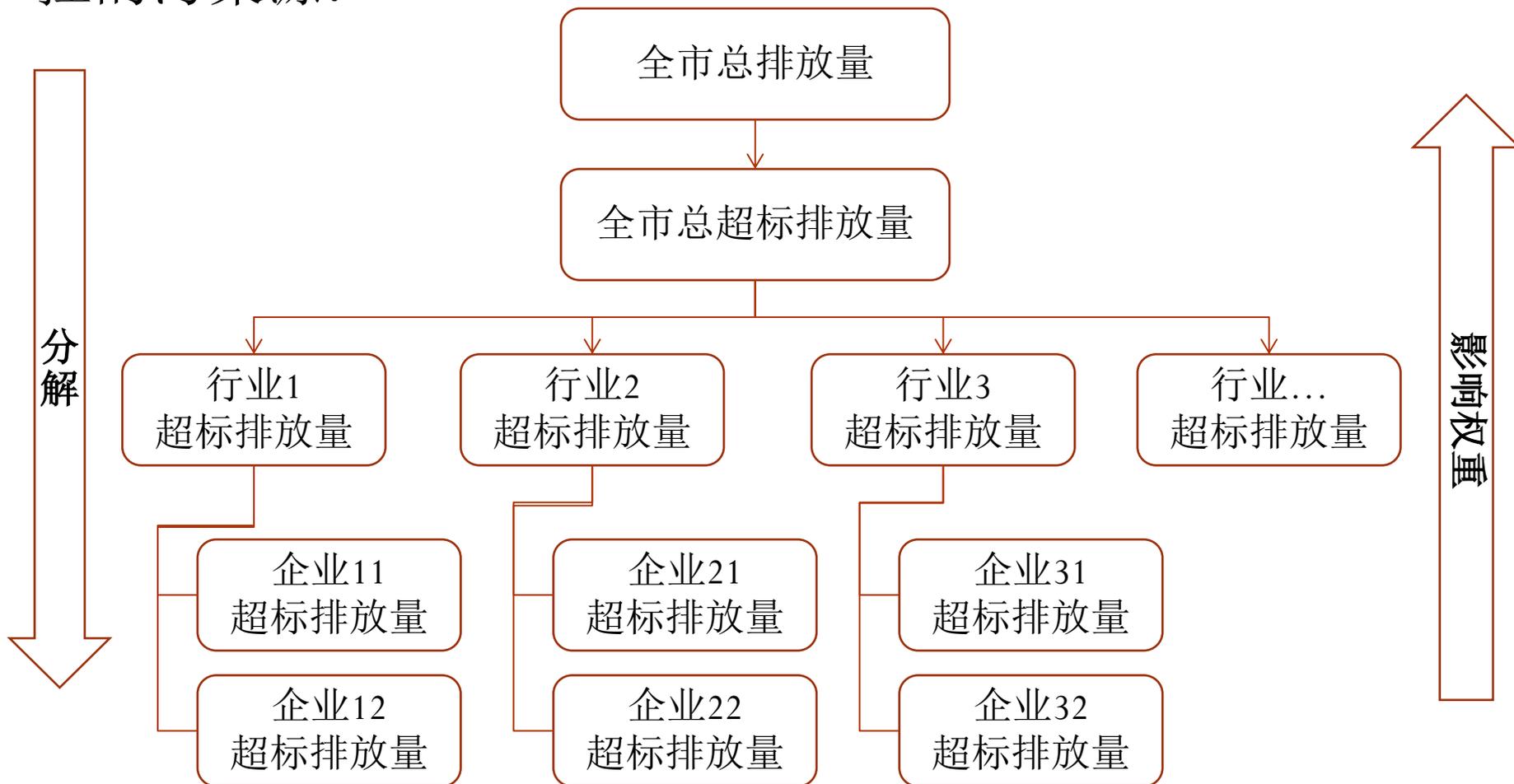


子样本

1	冬半季-近似无风-大于标准大气压-NE-SSW
2	冬半季-近似无风-大于标准大气压-SW-WSW
3	冬半季-近似无风-小于或等于标准大气压-N-SSE
4	冬半季-近似无风-小于或等于标准大气压-S-WSW
5	冬半季-轻微风-大于标准大气压-ESE-SSE
6	冬半季-轻微风-大于标准大气压-SSW-WSW
7	冬半季-轻微风-小于或等于标准大气压-E-S
8	冬半季-轻微风-小于或等于标准大气压-SSW-WSW
9	夏半季-大于标准大气压-NE-S
10	夏半季-大于标准大气压-SSW-WSW
11	夏半季-小于或等于标准大气压-偏北/东南风
12	夏半季-小于或等于标准大气压-偏东北/西南风

案例展示——重点污染源识别（诊断）

- 将预测模型中的自变量（全市固定源的总排放量）进行分解，并计算相关权重和占比，占比越高即为需重点管控的污染源：



预测诊断模型优化

- 1 样本量太少，导致某些样本无法建模，可增加样本量，以提高预测精度
- 2 在逐步回归模型中，入选自变量的多少可能会对预测模型造成一定的影响，可进一步优化
- 3 现建立的回归模型仅考虑了固定污染源排放的影响，可进一步增加移动源、面源排放等因素，可更为准确地识别和诊断污染原因。

五、城市空气质量“日”管理

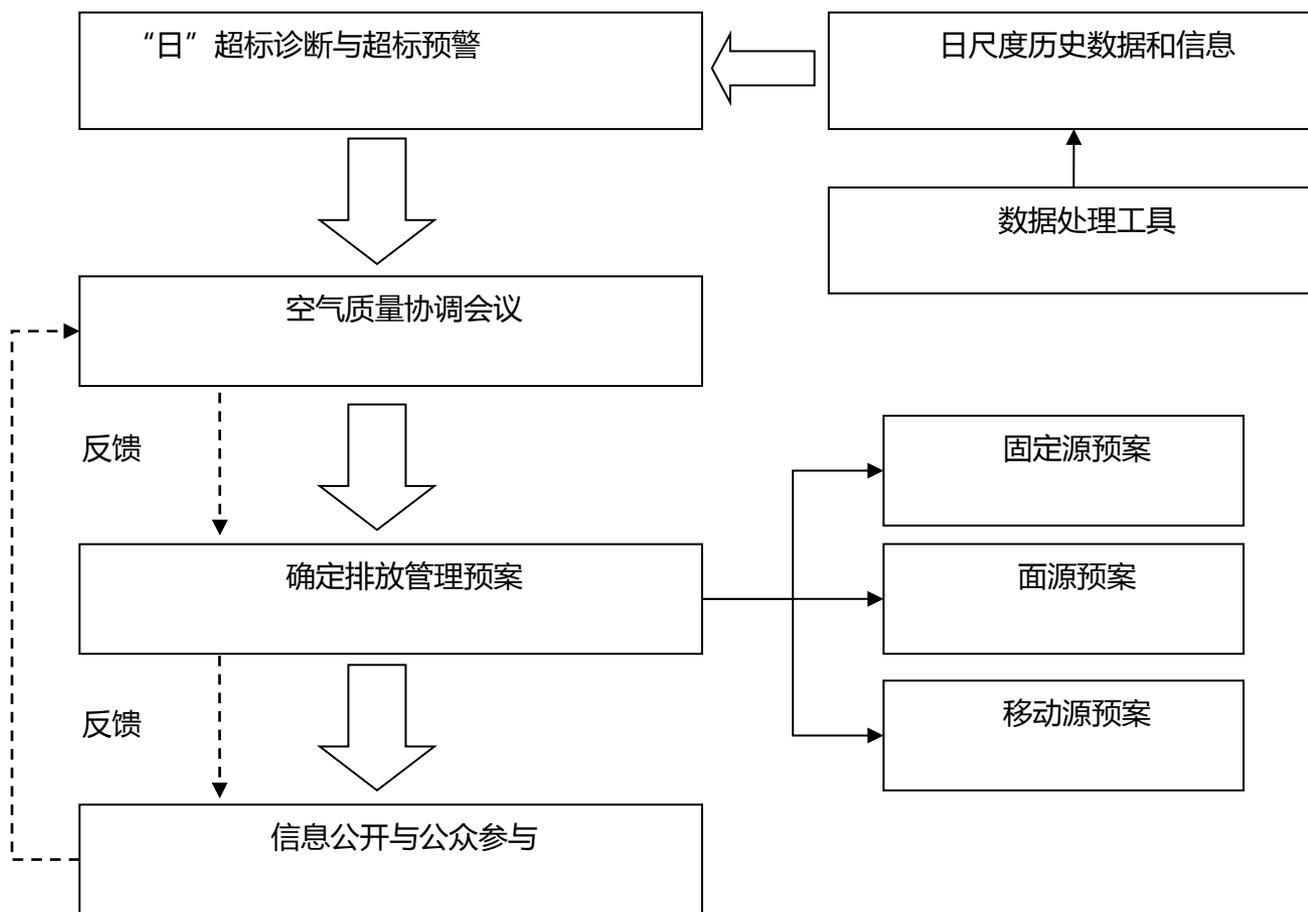
城市空气质量“日”管理界定

- “年平均”尺度的空气质量目标过大，管理意义小，“小时”尺度的管理目前还要求太高
- “日”尺度的环境数据信息方便于收集和分析处理。这与固定源排污许可证的要求相一致，移动源、面源的日排放管理也便于操作。
- 依据“标准”规定，将空气质量管理的時間尺度缩小至日，通过对过去空气质量、污染源排放、气象条件等监测数据进行系统地统计分析和规律总结，诊断空气质量超标日发生的原因，起到对未来（明后天或下周）空气质量状况的预警作用，进而采取措施控制固定源、面源、移动源等的污染物排放，确保明日、后日的空气质量达标。

排放控制预案是空气质量“日”管理的核心内容

- 依据空气质量日超标原因和污染源排放状况可预警明日、后日空气质量是否超标，若预警结果显示可能发生超标，管理部门应做出排放控制预案的执行决定，确定各类污染源采取何种水平的控制预案。
- 排放控制预案的制定是城市空气质量“日”管理的核心内容。排放控制预案需要在政府、企业、公众共同参与的基础上协商制定。例如，当前固定源排放是城市空气污染的主要原因，政府可通过明日空气质量超标预警结果和当日固定源排放信息，做出明日固定源的排放控制预案；而企业则在不造成重大经济影响的情况下，按照预先达成共识来执行排放控制预案；公众可就当日公布的排放控制预案给出相应的意见反馈，以便于政府对排放控制预案做进一步的修订。

城市空气质量“日”管理模式



市环保局管理模式的调整

- 城市空气质量“日”管理需要设置相应的管理机制，以能够全面协调污染源排放管理的日常工作。
- 建议在市环保局内设立空气质量管理机构，将空气质量管理的全部工作划入该机构，包括空气质量规划、空气质量监测、固定源排污许可证管理、移动源和面源管理。以及空气质量诊断分析与预警、污染源排放控制预案编制、以及信息公开与公众参与等。该机构统筹城市空气质量管理工作，预计将降低协调成本，提高管理水平和效率。

谢谢，欢迎批评指正。