



城市空气质量连续监测数据 分析方法及政策建议

Recommendations on the Air Quality Data Analysis in China

中国人民大学

环境政策与环境规划研究所

Environmental Policy and Planning
Institute (EPPI, RUC)

宋国君 Guojun Song

钱文涛 Wentao Qian

2012-5-7, 杭州

环境学院

School of Environment & Natural Resources



内容 contents

- 一、引言 Introduction
- 二、现有监测数据处理方法存在的问题
Problems on the data analysis of air quality
- 三、空气质量连续监测数据处理建议
proposal on the data analysis
- 四、案例分析 case study
- 五、结论和建议 conclusions and recommendations



引言 Introduction

- ❖ **目的objective:** 将监测数据转化为管理信息。 From data to information
- ❖ **城市空气质量表述的基本要素how to present air quality**
 - ❧ **污染物pollutants**——指国家环境空气质量标准所规定的监测指标；
 - ❧ **时间time scale**——即时间尺度，包括年、季、月、周、日（有标准）、8小时（新标准有）、小时（有标准）；
 - ❧ **空间location**——指监测点及其代表的区域；
 - ❧ **信息服务对象users**——指对空气质量信息有需求的各类用户，主要包括政府、研究机构、公众等。
- ❖ **我国目前并没有专门的监测数据处理规范no guideline to data analysis**
 - ❧ 仅《环境空气质量监测规范》（试行）中涉及到数据处理的方法，只是有效数据的规定，没有数据处理方法（规范）。



《环境空气质量标准》 ambient air quality criteria

- ❖ 环境空气质量标准（GB 3095-1996）
 - ☞ 一、二、三级, grade1, grade2, grade3
 - ☞ 规定了各项污染物不允许超过的浓度限值。
- ❖ 环境空气质量标准（GB 3095-2012）
 - ☞ 一、二级, grade1, grade2
 - ☞ 增设了PM_{2.5}浓度限值和O₃8小时平均浓度限值；
 - ☞ PM₁₀, NO₂, Pb和苯并[a]芘浓度限值调整；
 - ❖ PM₁₀二级年平均由100mg/m³降低到70mg/m³；
 - ❖ NO₂二级年平均和24小时平均分别降为40mg/m³, 80mg/m³, 一级1小时平均提高到200mg/m³, 二级1小时平均降低到200mg/m³；
 - ☞ 监测数据有效性有规定
 - ❖ 如SO₂年平均有效性的要由原来的144个日平均浓度值提高到324个。



《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）存在的问题the problems

- ❖ 没有规定何时达到标准no deadline to compliance
 - ☞ 新标准要求未达标的重点城市**制定限期达标规划**，但没有规定达标截止时间；need make a plan to comply
 - ❖ 规划应在多长时间内制定完成？是否需要环保部审批？未制定规划的城市如何处理？ ...
 - ❖ 采取何种严格的管理措施实现达标规划？
- ❖ 仍然没有规定数据处理方法！ Still no guideline of data analysis
 - ☞ 只跟标准比较？太简单，损失宝贵的数据！
 - ☞ 为管理服务的信息？数据如何处理！



现有监测数据处理方法存在的问题the problems existing data analysis

- ❖ 空气质量表征指标（API）存在局限性API is a general index
 - ☞ 仅包括SO₂、NO₂和PM₁₀三项监测指标，表征的空气质量结果与公众感受一致性差，计算时段不合理，警示作用弱；
- ❖ 指标体系不完整，未考虑受体暴露程度；no indicator on exposure
- ❖ 空间性表述不足，信息损失大missing of location information
 - ☞ 各监测点污染物浓度算术平均值掩盖了污染的原因！
 - ☞ 各监测点的数据更有意义！
- ❖ 时间尺度偏大，信息损失大！ Timescale is too large
 - ☞ “年日均值”掩盖部分时段内的超标现象，小尺度分析更能识别空气污染问题。



国外空气质量和达标判据（1）

❖ 世界卫生组织《空气质量基准》（WHO, AQG）

- ❧ 基于毒理学研究限定主要空气污染物浓度基准值；
- ❧ 强调人体暴露程度指标对表征空气质量的重要意义；
- ❧ 根据长期的污染物浓度分布规律及污染特征，制定具体、详细的空气质量达标判据，以保证监测数据的代表性，并减少因不可控因素如极端天气造成的空气质量超标。



国外空气质量和达标判据（2）

- ❖ 美国《国家环境空气质量标准》（USA, NAAQS）
 - ↪ 空气质量管理目标，界定达标区和超标区的标准；
 - ↪ CO、铅、NO₂、颗粒物（PM₁₀、PM_{2.5}）、O₃和SO₂共6项污染物监测指标的浓度限值；
 - ↪ 达标数据处理规定
 - ❖ SO₂24小时平均浓度**每年超标不得多于一次**；
 - ❖ PM₁₀**三年内平均每年不得多于一次**；
 - ❖ 区域内所有监测点不同时间段该项污染物的浓度均值都必须符合浓度限值规定，否则即划入超标区。
 - ↪ 40 CFR part 50
 - ❖ 监测数据的有效性、缺失数据的弥补、异常数据的处理等。



美国国家环境空气质量标准 (USA, NAAQS)

污染物	一级标准			二级标准	
	水平	平均时间	达标标准	水平	平均时间
一氧化碳 (CO)	9 ppm (10 mg/m ³)	8小时	每年超标不得多于一次	无	
	35 ppm (40 mg/m ³)	1小时	每年超标不得多于一次		
铅 (Pb)	0.15 µg/m ³	滚动 3月均值		与一级标准相同	
二氧化氮 (NO ₂)	53 ppb	年度 (算术平均)		与一级标准相同	
	100 ppb	1小时	各监测站 每日小时平均值最高值由高而低依序排列, 取第98%高值 (最大值为100%), 计算三年算术平均, 不得超过100ppb	无	
可吸入颗粒物 (PM ₁₀)	150 µg/m ³	24小时	三年内平均每年超标不得多于一次	与一级标准相同	
可吸入颗粒物 (PM _{2.5})	15.0 µg/m ³	年度 (算术平均)	区内单个或多个community-oriented监测站年加权平均值, 三年算术平均不得超过15.0 µg/m ³	与一级标准相同	
	35 µg/m ³	24小时	区内population-oriented监测站每日小时平均值最高值由高而低依序排列, 取第98%高值 (最大值为100%), 计算三年算术平均, 不得超过35 µg/m ³	与一级标准相同	
臭氧 (O ₃)	0.075 ppm	8小时	将一年内每日8小时平均值最高值由高而低依序排列, 取第四高值, 计算三年算术平均, 不得超过0.075ppm	与一级标准相同	
	0.12 ppm	1小时	每年小时均值大于0.12ppm的天数不得高于一天	与一级标准相同	
二氧化硫 (SO ₂)	0.03 ppm (1971 std)	年度 (算术平均)		0.5 ppm	3小时 (每年超标不得多于一次)
	0.14 ppm (1971 std)	24小时	每年超标不得多于一次		
	75 ppb	1小时	区内各监测站每日小时平均值最高值由高而低依序排列, 取第99%高值 (最大值为100%), 计算三年算术平均, 不得超过75 ppb	无	



美国NAAQS达标判定definition to compliance

❖ 时间尺度time scale

- ❧ 对于某种污染物，当且仅当所有时间尺度下的浓度均达到标准，才可判定该污染物达标；
- ❧ 判定某一日的空气质量是否达标，当且仅当该区域内所有监测站点所有污染物24小时平均、8小时平均、3小时平均和1小时平均都达标。

❖ 空间尺度location

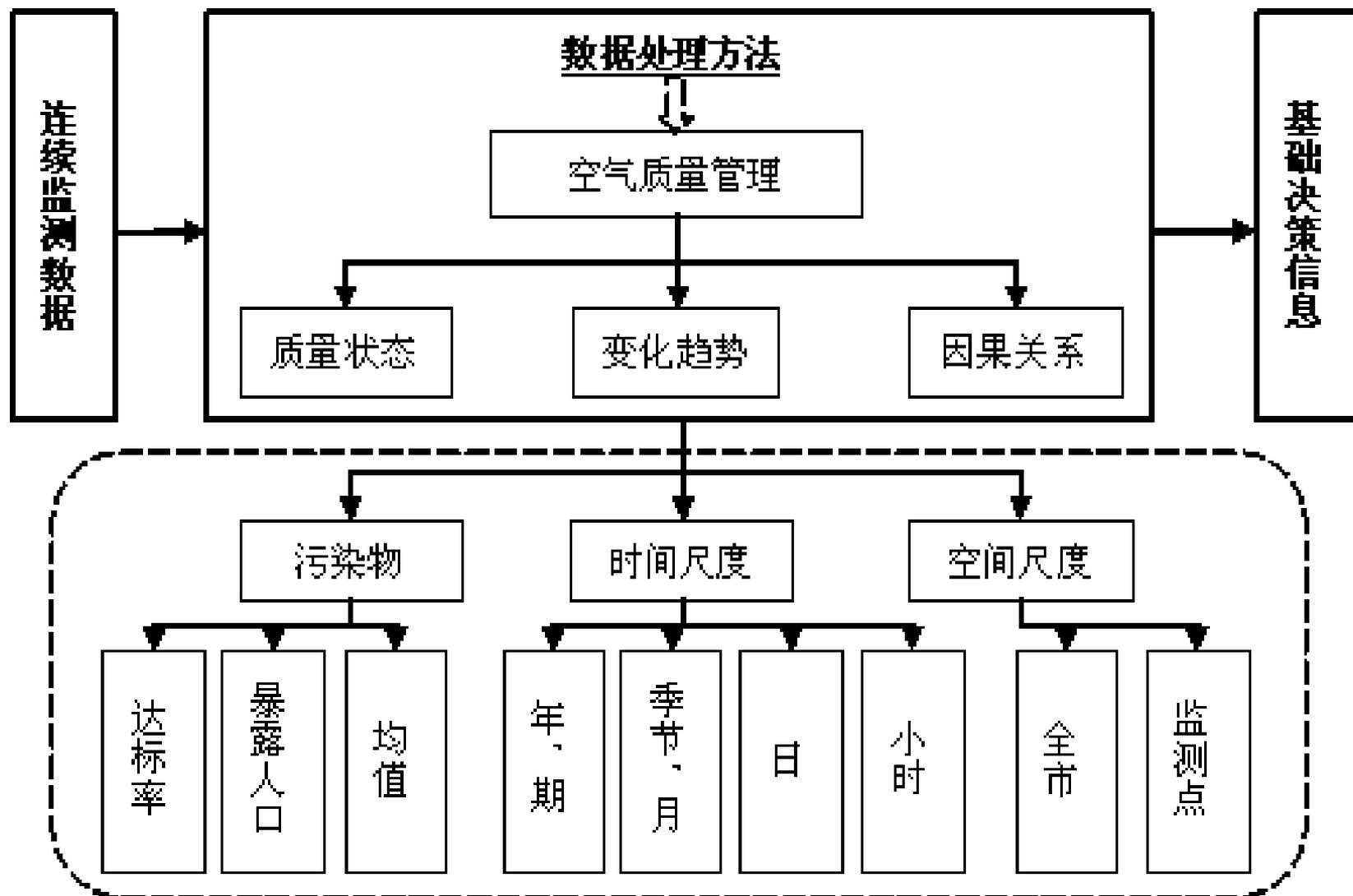
- ❧ 以上标准都是针对单个监测站，一个区域内任何一个监测站任何一种污染物超标，这个区域就算超标。



空气质量连续监测数据处理方法思路 framework of data analysis

❖ 三维分析模式：质量状态status——变化趋势trend—— 因果关系cause relationship

- ❧ 质量状态：对空气质量现状的描述，依据国家标准判断污染物浓度均值是否达标，同时考虑受体影响程度，将暴露人口作为重要评价指标之一，体现“保护人体健康”的政策目标；
- ❧ 变化趋势：对空气污染规律的分析，不仅可以从时间和空间的角度分析污染物的时空分布特征及浓度变化趋势，还可以建立浓度分布规律检验方法，以解决异常值、缺失数据等问题；
- ❧ 因果关系：对空气污染原因的识别，综合“质量状态”和“变化趋势”的分析结果，运用浓度均值、达标率、浓度标准差等指标进行源分析，识别污染源及污染原因。





数据处理原则principles

- ❖ 多时空尺度分析原则to individual monitoring station
 - ☞ 建立数据分析时空矩阵，保证数据得到充分利用。
- ❖ 最小尺度分析原则to hourly scale
 - ☞ 小时尺度分析
 - ❖ 识别主要污染时段，分析浓度变化趋势；
 - ☞ 单一监测点分析
 - ❖ 识别主要污染区域，分析空间污染程度差异。
- ❖ 结果可读性、实用性原则meet users' demand
 - ☞ 满足不同服务对象的需求。



空气质量评估指标及计算方法 indicators

- ❖ 污染物浓度统计指标 **statistical indicators**
 - ☞ 算术平均值 **mean**、标准差 **standard deviation**（变异系数）、极值 **max** 等；
- ❖ 空气质量达标率 **rate of compliance**
 - ☞ 日均值达标率 **daily**、小时均值达标率 **hourly**
- ❖ 空气质量级别天数 **days above grade 1, or 2**
 - ☞ 一级天数、二级天数（二级及以上天数）
- ❖ 空气质量级别人口天数 **population exposed**



污染物浓度统计指标Indicators

❖ 浓度算术均值means

☞ 表示任一时间尺度下某污染物监测浓度的算术平均值，可以在一定程度上反映该污染物的污染程度；

❖ 极值max

☞ 表示某一时间尺度下某污染物监测浓度的最大值和最小值，该指标通常会影响浓度均值的大小；

❖ 标准差standard deviation

☞ 反应某一时间尺度下某污染物监测浓度的离散程度。

检验某一时段内的浓度数据质量，初步了解城市空气质量状况，判断该区域空气质量的变化趋势，检验并评估管理措施的实际效果，为空气保护规划提供基础。



空气质量达标率 rate of complying AAQS

- ❖ 是否借鉴美国“浓度超标次数”指标？
 - ⤵ 过于严格，我国现阶段适宜采用达标率指标；
- ❖ 分类

指标名称	日均值达标率	小时均值达标率
全市		
单一监测点		

计算公式

$$\text{污染物 } i \text{ 的年日均值达标率} = \frac{\text{全年该监测点污染物 } i \text{ 的日均值达标个数}}{\text{全年该监测点污染物 } i \text{ 有效日均值总数}} \times 100\%$$



空气质量级别天数population exposed to grade 2

- ❖ 指某个区域达到某一空气质量级别的天数之和。
- ❖ 判定标准：环境空气质量标准
- ❖ 界定：**单日空气质量达第n级标准**
 - ☞ 指当日该市所有监测点不同污染物浓度日均值均达到该级浓度限值，任一监测点任一污染物浓度日均值超过该级限值，则该日视为超标，不应统计到全年或某一时段该级空气质量天数中。



空气质量级别人口天数population exposed to grade 2

- ❖ 基于空气质量级别天数，将各监测点代表人口数计入权重；
- ❖ 第n级空气质量级别人口天数 D'_n 的计算公式

$$D'_n = \frac{\sum_{j=1}^j D_{n,j} \times P_j}{P}$$

❖ D'_n 为T时段第n级城市空气质量人口天数； $D_{n,j}$ 为T时段监测点j第n级空气质量天数； P_j 为T时段监测点j代表人口数量； P 为T时段城市总人口。



案例分析case study

- ❖ 以2006~2010年D市5个空气质量监测点的连续监测数据小时均值为样本进行数据处理；
- ❖ 监测项目为SO₂、PM₁₀和NO₂。
- ❖ 分析内容
 - ☞ 统计分析
 - ☞ 小时浓度分析
 - ☞ 达标率分析
 - ☞ 空气质量达标天数分析



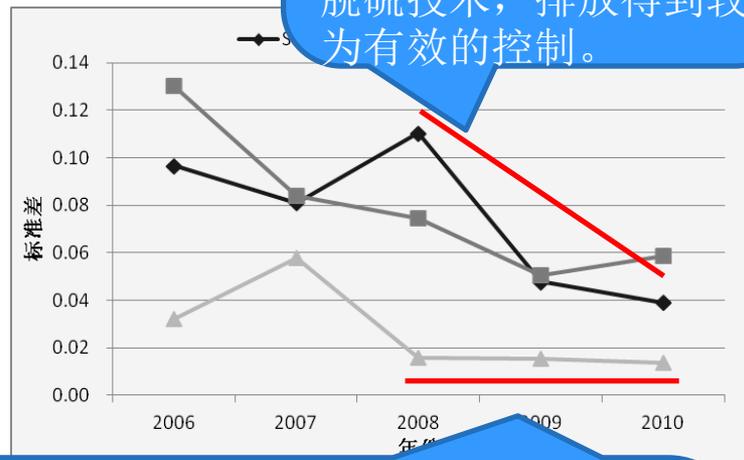
统计分析 statistical analysis

2006~2010年PM₁₀浓度日均值统计指标计算结果

年份	2006	2007	2008	2009	2010
有效日均值个数	1439	1454	1807	1603	1658
日均值缺失数据个数	21	6	18	222	167
日均值有效获取率 (%)	98.56	99.59	99.01	87.84	90.85
算术平均值 (mg/m ³)	0.156	0.110	0.101	0.074	0.075
标准差	0.130	0.084	0.074	0.051	0.059
中值 (mg/m ³)	0.124	0.087	0.082	0.063	0.063
最小值 (mg/m ³)		0.001	0.001	0.001	0.001
		0.655	0.916	0.588	0.990

PM₁₀浓度日均值的算术平均和标准差呈下降趋势，说明污染状况好转，浓度分散度逐年降低，推测烟粉尘污染源排放管理水平有所提高，异常排放情况在减少。

三种污染物浓度标准差



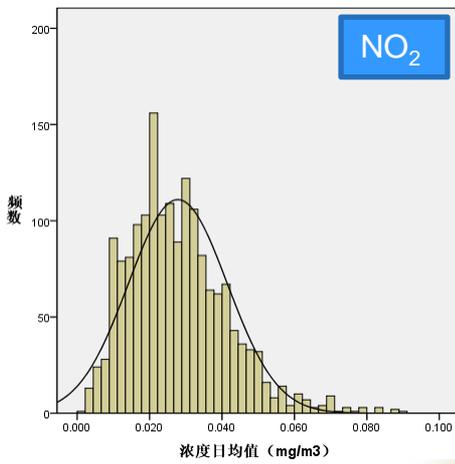
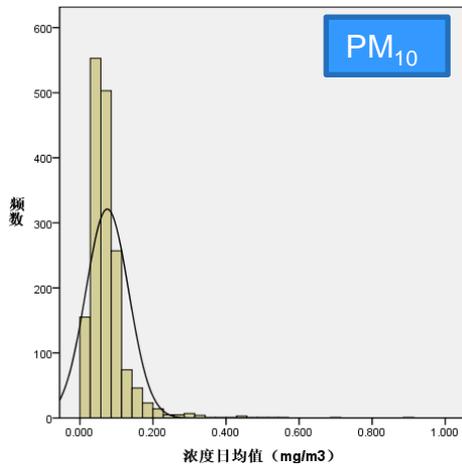
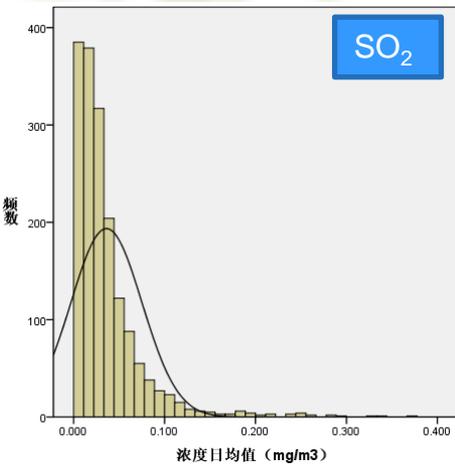
SO₂浓度标准差大幅下降：说明SO₂的排放的到控制，浓度分布趋于稳定，这是由于主要排放源即工业点源采用了脱硫技术，排放得到较为有效的控制。

SO₂浓度标准差大幅下降：说明SO₂的排放的到控制，浓度分布趋于稳定，这是由于主要排放源即工业点源采用了脱硫技术，排放得到较为有效的控制；NO₂浓度标准差保持不变：说明NO₂排放控制效果一般，这是由于未对工业污染源采取脱硝技术，同时没有对机动车尾气排放进行清洁化管理。



统计分析 statistical analysis (2)

2010年D市所有监测点三种污染物浓度日均值统计分布情况



- 符合正态分布;
- 各污染物浓度分布区间差异较大
- 75%的SO₂浓度日均值位于0~0.044mg/m³,
- 75%的PM₁₀浓度日均值位于0~0.088mg/m³,
- 75%的NO₂浓度日均值位于0~0.035mg/m³。

统计参数	SO ₂	PM ₁₀	NO ₂
有效日均值个数	1708	1658	1711
日均值缺失数据个数	117	167	114
日均值有效获取率 (%)	93.59	90.85	93.75
算术平均值 (mg/m ³)	0.036	0.075	0.028
标准差	0.039	0.059	0.014
中值 (mg/m ³)	0.025	0.063	0.026
最小值 (mg/m ³)	0.003	0.001	0.002
最大值 (mg/m ³)	0.367	0.906	0.089

PM₁₀浓度日均值偏离程度相对较大, SO₂次之, NO₂最小, 推测PM₁₀和SO₂的污染源排放波动较大。



统计分析 statistical analysis (3)

2010年D市各监测点PM₁₀浓度日均值统计指标计算结果

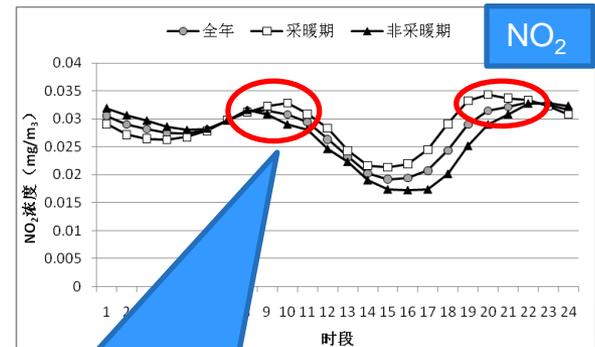
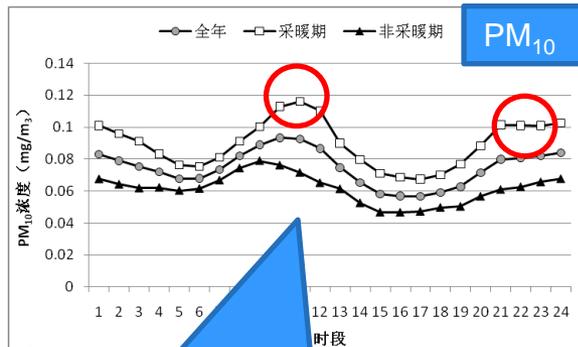
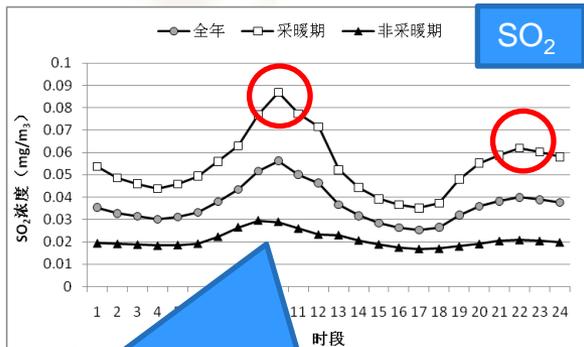
监测点序号	1号	2号	3号	4号	5号
有效日均值个数	328	312	341	332	345
日均值缺失数据个数	37	53	24	33	20
日均值有效获取率 (%)	89.86	85.48	93.42	90.96	94.52
算术平均值 (mg/m ³)	0.084	0.059	0.057	0.083	0.091
标准差	0.059	0.037	0.044	0.070	0.068
中值 (mg/m ³)	0.073	0.051	0.049	0.070	0.076
最小值 (mg/m ³)	0.016	0.011	0.005	0.011	0.001
最大值 (mg/m ³)	0.703	0.322	0.523	0.906	0.544

- 最大值和标准差相对较小的监测点，其污染状况相对较好，如2号和3号监测点；
- 反之，最大值和标准差较大的监测点，污染状况较为严重，如4号监测点。
- 说明：污染源分布较少或污染管理较为稳定（标准差较小的情况）的区域内，污染物浓度分散度小，区域空气质量相对较好。



小时浓度分析concentration analysis hourly

- 通过分析污染物浓度波动规律及高峰值的出现时间验证污染源排放规律。



SO₂采暖期浓度明显高于非采暖期，且波动幅度大，呈双峰特征，非采暖期浓度变化幅度较小，呈单峰特征。说明（1）采暖活动对空气质量影响较大；（2）高峰值在一定程度上受气象条件的影响，但受污染源排放影响更大，如采暖期双峰值的出现时间正好是居民自采暖燃煤锅炉的工作时间，此时排放量增大。

PM₁₀采暖期浓度也明显高于非采暖期，呈双峰特征，波动幅度较非采暖期浓度波动幅度略大。说明（1）采暖活动对PM₁₀影响较大，浓度变化受污染源排放影响更

NO₂采暖期浓度与非采暖期浓度变化基本保持一致，呈明显的双峰特征，高峰值出现时间与居民上下班出行高峰时间重合。证明（1）机动车尾气排放对NO₂浓度变化影响较大；（2）白天浓度低于夜间浓度，且非采暖期早高峰浓度下降开始的时间较采暖期提前，这可能是由于非采暖期日照时间较长，在光照条件下NO₂发生光化学反应所致。



达标率分析 Complying rate analysis (1)

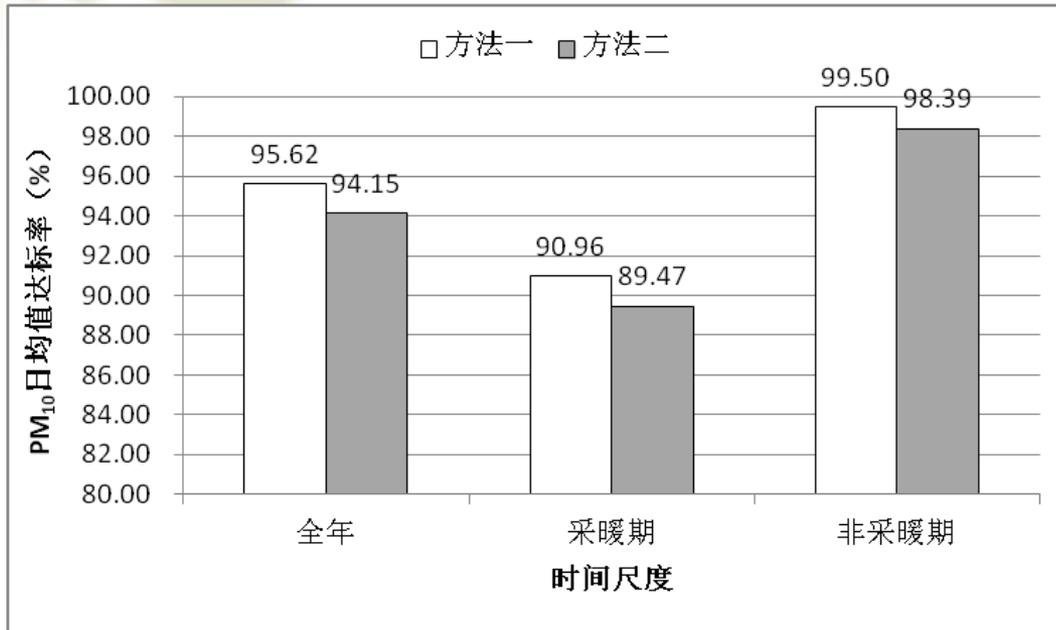
污染物	SO ₂	PM ₁₀	NO ₂
年平均浓度 (mg/m ³)	0.036	0.075	0.028

污染物	时间尺度	日均值达标率 (%)	小时均值达标率 (%)
SO ₂	全年	97.80	99.91
	采暖期	95.23	99.81
	非采暖期	100.00	100.00
PM ₁₀	全年	94.15	-
	采暖期	89.47	-
	非采暖期	98.39	-
NO ₂	全年	100.00	99.99
	采暖期	100.00	99.98
	非采暖期	100.00	100.00

三种污染物年平均浓度均达国家二级标准；但从达标率来看，除SO₂和NO₂在非采暖期达标外，其他时间尺度下各污染物均有超标。其中，NO₂污染程度较轻；PM₁₀超标最为严重；SO₂污染则主要集中在采暖期。



达标率分析 Complying rate analysis (2)

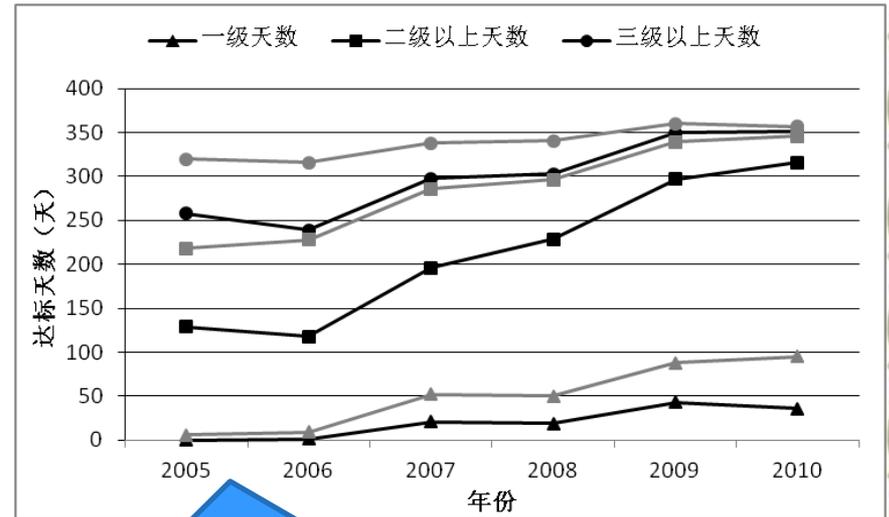
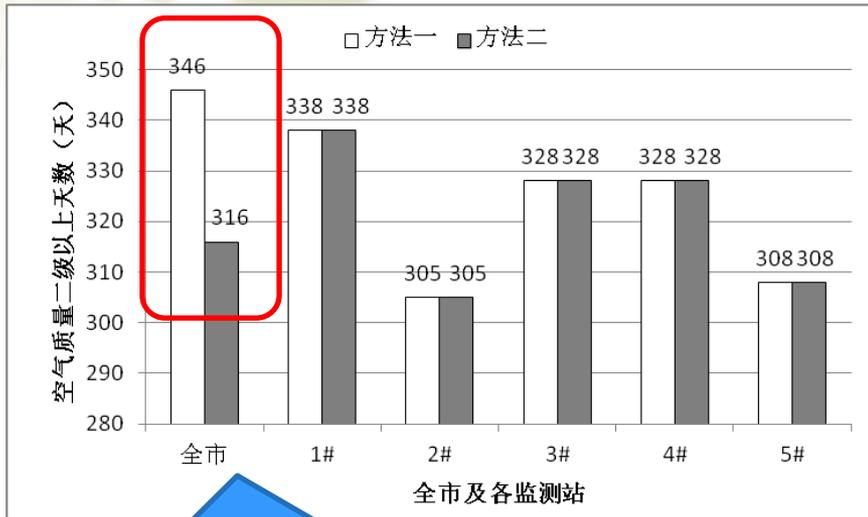


从左图可以看出，方法一与方法二计算结果差异较大，各监测点浓度日均值的算术平均明显低估了真实的空气污染程度，不利于客观分析空气质量。

注：方法一指现行《环境空气质量监测规范（试行）》中采用的将监测点浓度算术平均后代表全市水平的方法；方法二则代表本研究提出的连续监测数据处理方法。



空气质量达标天数分析days bellow the AAQS



D市二级空气环境质量人口天数:

该市共设5个监测点, 现假定各监测点代表区域覆盖的人口数量相同, 即每个监测点人口权重均为20%, 计算得2010年该市二级空气环境质量人口天数为321天, 与方法一相差25天。

由此可见, 忽略人口暴露程度同样会高估城市空气质量。



结论和建议 conclusions and recommendations

- ❖ 城市空气质量连续监测数据处理方法 model of data analysis
 - ↪ “质量状态-变化趋势-因果关系” 三维度分析模式
 - ↪ 多层次多尺度指标体系
 - ❖ 浓度均值、极值、标准差、达标率、空气质量等级天数或人口天数等
 - ❖ 通过达标率、空气质量等级天数等指标分析城市空气质量状态和变化趋势，识别各监测点代表区域及城市总体的空气污染原因；
 - ❖ 利用统计指标判断监测数据的质量，检验污染源排放管理措施的实际效果，为空气质量管理提供决策依据。
 - ↪ 监测数据的最小尺度分析原则具有重要的管理意义。
- ❖ 建议国家应尽快制定城市空气质量连续监测数据处理规范 issue guideline of data analysis
 - ↪ 规范应包括数据质量评估方法、空气质量达标判定方法、数据处理指标及数据处理及利用方法。
- ❖ 将空气质量管理由“年”跨越到“日”！需要工具！ From yearly to daily! need tools!



您好：陈老师

退出

城市空气质量管理与决策支持系统

- 监测数据查询
- 数据导入
- 数据查看
- 数据备份
- 数据还原
- 缺失数据处理
- 指标数据查询
- 数据分析
- 报告制作
- 系统管理





您好：陈老师

退出

城市空气质量管理与决策支持系统

- 监测数据查询
- 指标数据查询
- 数据分折
 - 超标率分析
 - 不同污染物分析
 - 不同监测点分析
 - 不同时段分析
 - 浓度均值分析
 - 不同污染物分析**
 - 不同监测点分析
 - 不同时段分析
 - API与空气质量等级
 - API对比分析
 - 二级天数对比分析
 - 综合污染指数分析
 - 污染特征分析
- 报告制作
- 系统管理

不同污染物一浓度均值分析

数据 统计图 分析结果

根据查询结果数据分析，污染程度由低到高依次是：NO₂、SO₂、PM₁₀，综上分析结果，主要污染物为：PM₁₀

指标	时间	最大值	最大值对应监测点
PM10	2010-01	0.086	全市
PM10	2010-03	0.070	全市
PM10	2010-02	0.062	全市
PM10	2010-10	0.106	全市
PM10	2010-11	0.083	全市
PM10	2010-06	0.080	全市
PM10	2010-08	0.059	全市
PM10	2010-05	0.053	全市
PM10	2010-04	0.070	全市
PM10	2010-12	0.142	全市
PM10	2010-07	0.065	全市
PM10	2010-09	0.075	全市



您好：陈老师

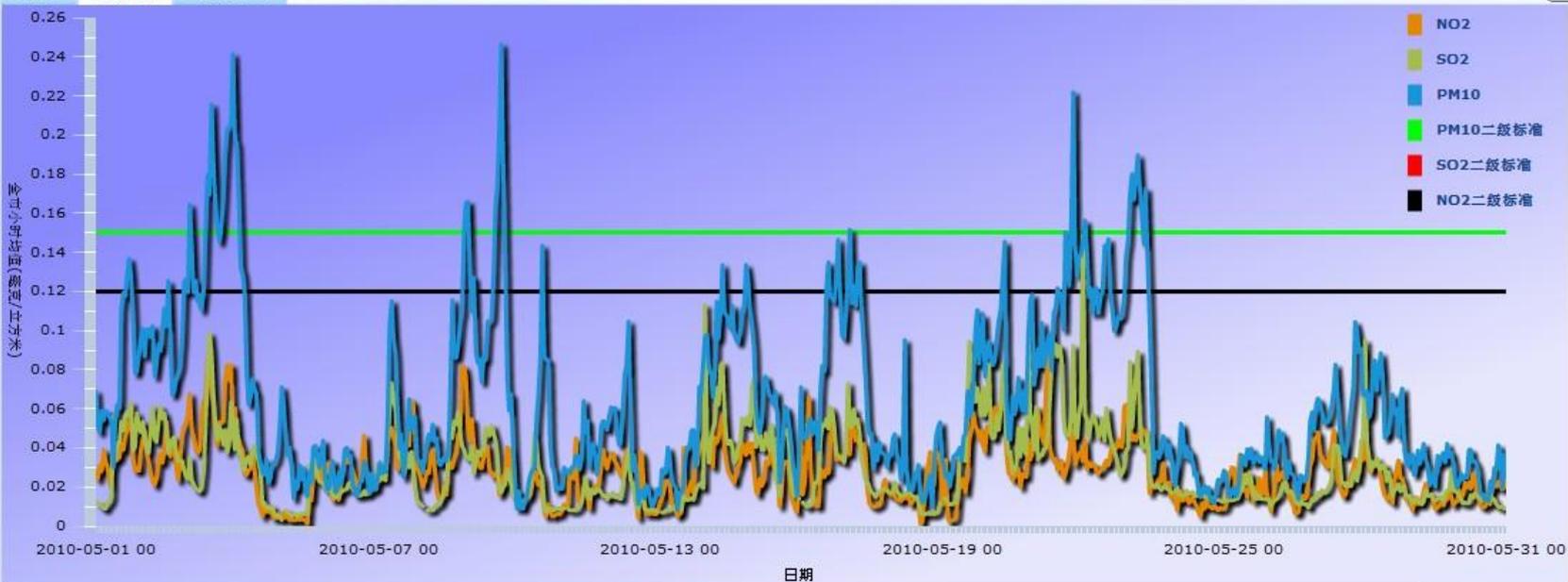
退出

城市空气质量管理与决策支持系统

- 监测数据查询
- 指标数据查询
- 数据分析
 - 超标率分析
 - 不同污染物分析
 - 不同监测点分析
 - 不同时段分析
 - 浓度均值分析
 - 不同污染物分析
 - 不同监测点分析
 - 不同时段分析
 - API与空气质量等级
 - API对比分析
 - 二级天数对比分析
 - 综合污染指数分析
 - 污染特征分析
- 报告制作
- 系统管理

不同污染物一浓度均值分析

数据 统计图 分析结果



导出图片



您好：陈老师

退出

城市空气质量管理与决策支持系统

- 监测数据查询
- 指标数据查询
- 数据分折
 - 超标率分析
 - 浓度均值分析
 - 不同污染物分析**
 - 不同监测点分析
 - 不同时段分析
 - API与空气质量等级
 - API对比分析
 - 二级天数对比分析
 - 综合污染指数分析
 - 污染特征分析
 - 时间特征分析
 - 不同污染物分析
 - 不同时段分析
- 报告制作
- 系统管理

不同污染物一浓度均值分析

数据 统计图 分析结果

根据查询结果数据分析，污染程度由低到高依次是：SO₂、NO₂、PM₁₀，综上分析结果，主要污染物为：PM₁₀

指标	监测点	小时均值	小时均值标准差	小时均值变异系数
PM10	全市	0.065	0.045	0.690
SO2	全市	0.029	0.020	0.692
NO2	全市	0.028	0.016	0.568
指标	监测点	小时均值最大值	最大值对应时间	
PM10	全市	0.246	2010-05-09 15	
SO2	全市	0.149	2010-05-22 00	
NO2	全市	0.093	2010-05-21 06	



城市空气质量管理与决策支持系统

您好：陈老师

退出

监测数据查询

指标数据查询

数据分析

报告制作

日报

周报

月报

年报

系统管理

不同污染物一浓度均值分析

数据 统计图 分析结果

根据查询结果数据分析，污染程度由

指标

PM10

SO2

NO2

指标

PM10

SO2

NO2

生成日报

×

日报生成：

第一步：选择需要生成日报的日期；

第二步：点击分析按钮，开始分析当天各类数据，此时请耐心等待；

第三步：待生成按钮出现后，点击生成按钮，进行报表生成；

第四步：待下载按钮出现后，即可点击下载；

日报日期：

2010-05-21



分析

取消

误差

小时均值变异系数

0.690

0.692

0.568

时间

09 15

22 00

21 06



致谢：美国能源基金会支持

谢谢，欢迎讨论！