



北京城市实验室  
Beijing City Lab

ID of the slides

53



## Slides of BCL

[www.beijingscitylab.com](http://www.beijingscitylab.com)

### How to cite

Author(s), Year, Title, Slides at Beijing City Lab, <http://www.beijingscitylab.com>

E.g. Long Y, 2014, Automated identification and characterization of parcels (AICP) with OpenStreetMap and Points of Interest, Slides at Beijing City Lab, <http://www.beijingscitylab.com>

# 中国城市形态对空气质量的影响

## ——基于中国地级市和县级市尺度的分析

张纯

zhangc@bjtu.edu.cn



北京城市实验室  
Beijing City Lab

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

北京交通大学

建筑与艺术学院



# Outline

- 1 引言
- 2 空气污染相关研究综述
- 3 研究框架构建
- 4 地级尺度的城市PM<sub>10</sub>影响因素
- 5 县级尺度的城市PM<sub>2.5</sub>影响因素
- 6 总结与女性视角下的数据研究



# 1 引言

- 在中国城市经济飞速发展的同时，环境问题及其对公众健康的威胁也越来越受到学者和决策者的关注。



Beijing is Disappearing...

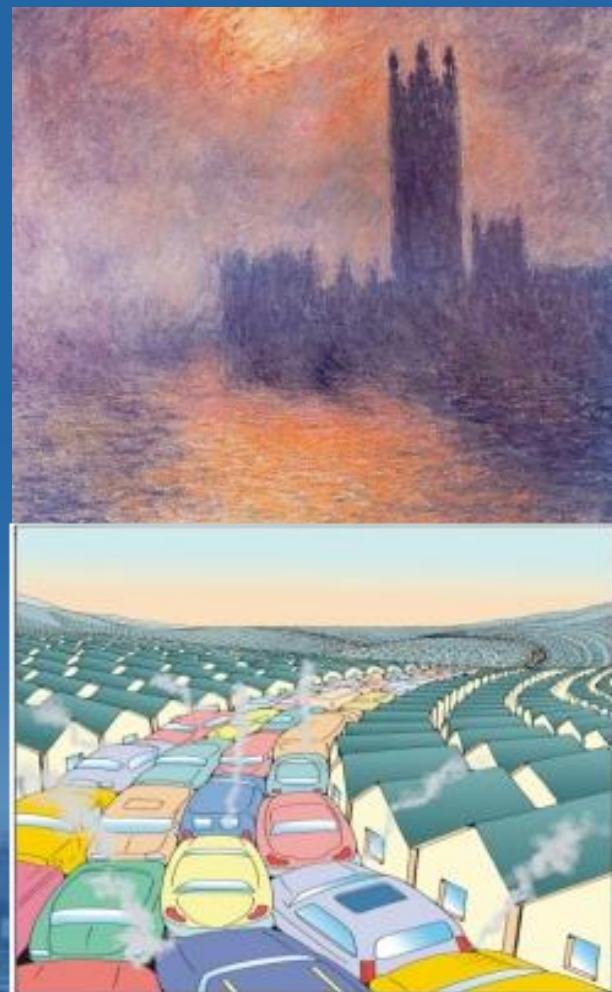
BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

北京交通大学

建筑与艺术学院



- 不仅在快速发展的中国，在上世纪中期的西方发达国家也都经历过类似严重的雾霾事件困扰。
- 在发达国家上世纪七八十年代的研究中，人们将空气污染归咎为基于石油等的工业生产和汽车使用；主流观点提倡通过“技术革命”来治理空气污染，寻找节能、减排途径（Anderson et al., 1996）。
- 在面向城市形态的转向中，研究逐渐意识到空气污染并非仅是工业、汽车等单因素的作用结果，而是与城市空间布局、开发密度、交通组织等综合作用所表征的城市形态相关（Marquez and Smith, 1999; Tang and Wang, 2007; Stone, 2008）。



# 2国内外空气污染的相关研究综述

- 2.1 PM 分布和暴露
- BLC, Zhang An

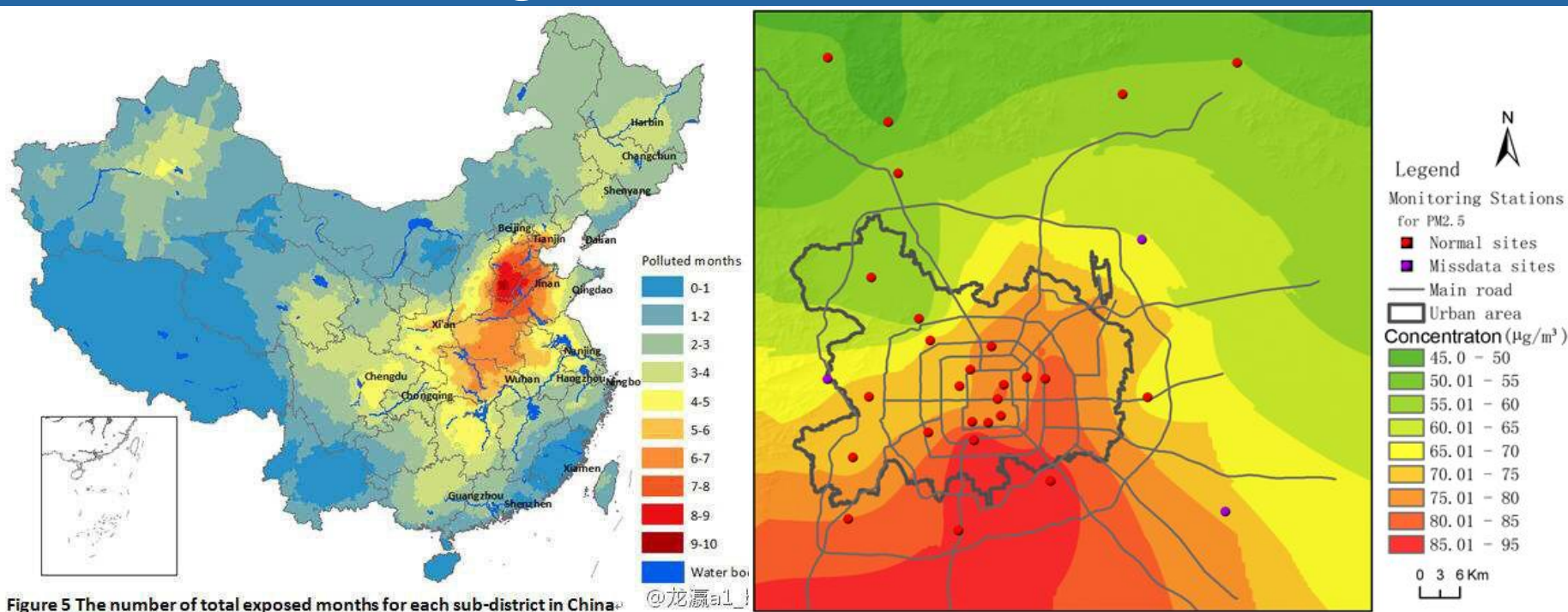


Figure 5 The number of total exposed months for each sub-district in China

图片来源:

<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0063486>

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

北京交通大学

建筑与艺术学院



## 2.2 PM和其他污染物的来源

表1 OECD国家城市主要空气污染物和来源

污染物类别		污染物						
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	悬浮颗粒 物	挥发 性有 机物	铅	重金 属
发电	-煤	xx	x	x				x/xx
取暖	-煤	xx	x	xx	Xx	xx/x		x/xx
	-油	xx	x					
	-木				Xx	xx/x		
交通	-汽油		xx	xxx		xx	xxx	
	-柴油	x	xx		Xx	xx		
溶剂 (solvents)						x		
工业		X		x	x	x	x	xx /xxx

(作为污染物的来源所占比例, x表示5-25%, xx表示25-50%, xxx表示50%以上。来源: Fenger,1999: 4882)



## 2.3城市形态的影响-城市密度

- 城市密度-消极城市形态的原罪 (sin)
  - 在控制其他城市形态条件下，低密度的土地利用更容易产生污染(Cambridge Systematics, Inc. and Parsons Brinkerhoff Quade and Douglas, Inc., 1992)
  - 紧凑而单中心(Newman and Kenworthy, 1989)或紧凑而多中心(Breheny, 1992)的城市形态可以有效缩短通勤距离、减少能源消耗
  - 无论从哪个视角看，低密度的蔓延都是不利于环境品质的

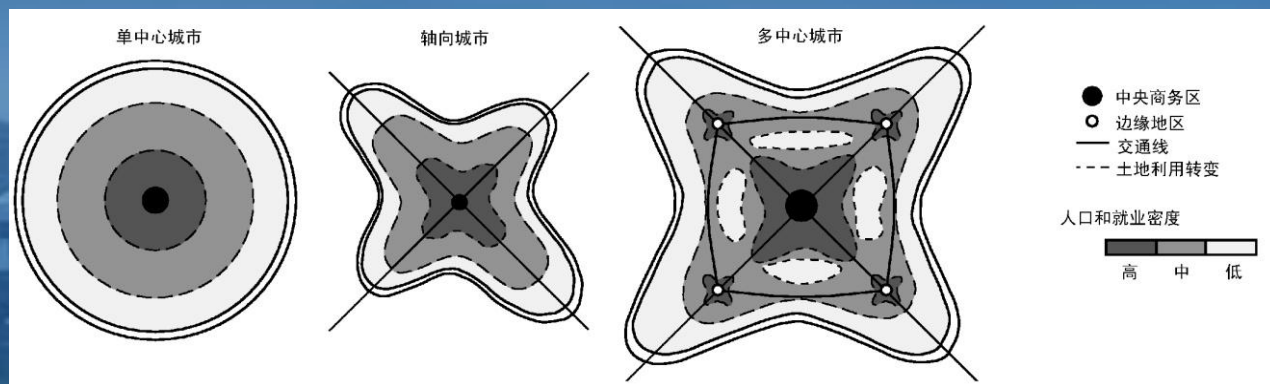


图1 三种典型的城市形态

(来源: 根据Anderson et al., 1996:11, Figure 1整理绘制。)

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

北京交通大学

建筑与艺术学院





## 2.4城市形态的影响-土地开发模式

- 城市形态和交通行为之间确实有统计上的关联，但是关联并不强弱 (Frank and Pivo, 1994; Cervero and Gorham, 1995)
- 除密度因素外，公共交通先导的土地利用模式对空气质量保持更为有效 (Roberts, 1977; Edward, 1977)
- 土地利用、交通和空气质量 (LUTRAQ) 之间的关系发现，强调交通先导开发、步行基础设施和交通需求管理政策的紧凑开发情境下，每天的车辆行驶公里数 (VMT) 比起高速公路扩展情境下可以减少8% (Johnston et al., 2000)

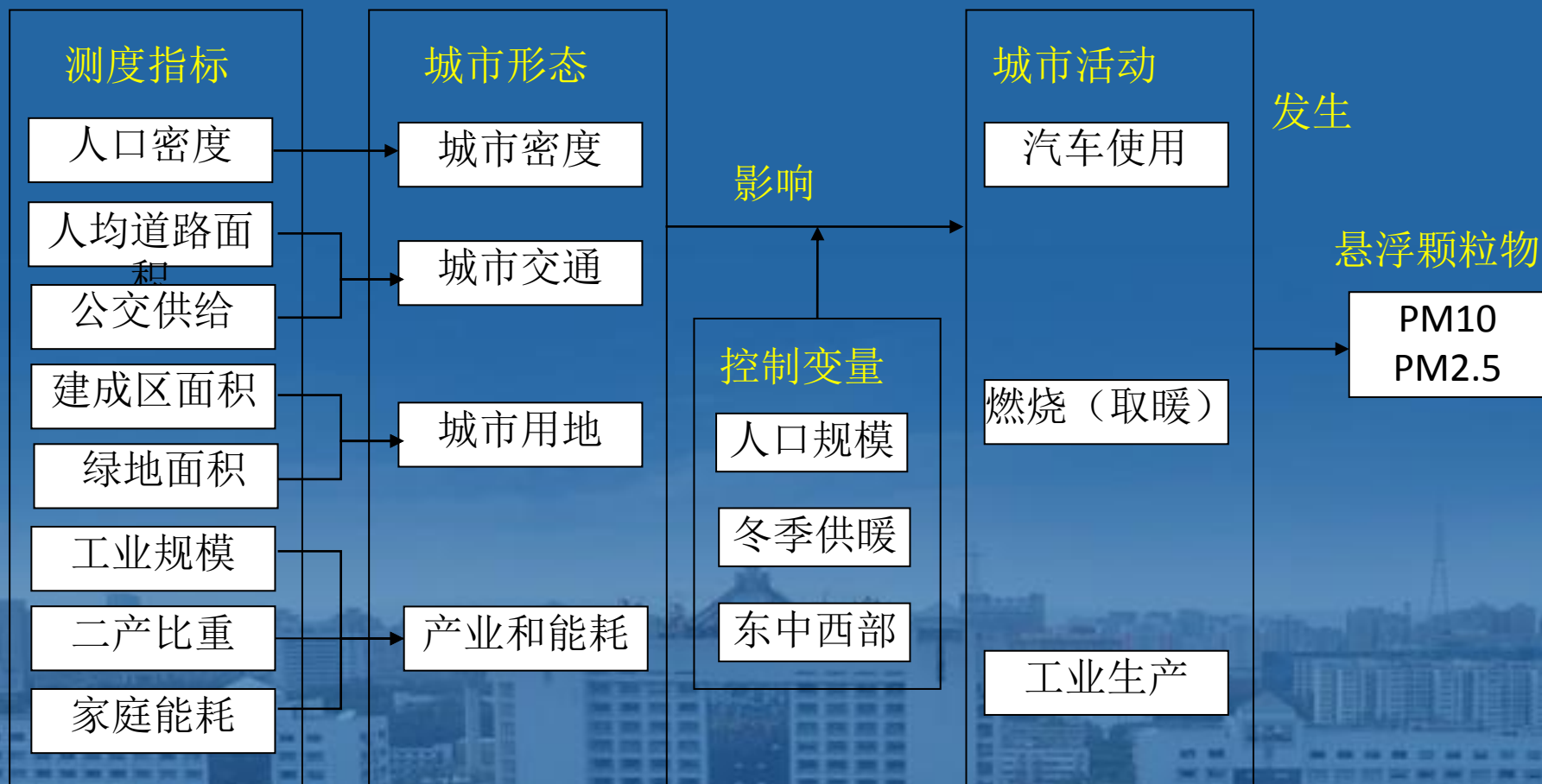


## 2.4城市形态的影响-交通布局

- 道路长度、路网密度、交通模式选择等对能源消耗和气体排放会有影响
  - 扩张道路建设确实会引发更多的能源消耗（Newman and Kenworthy,1988）
  - 轻轨系统（LRT）的建设可以增加18%的公交使用率，并将30%的传统公共交通（bus）乘客转移到轨道交通系统中，会相应降低大约5%的小汽车出行(Barton, 1992)
  - 汽车加速、减速、怠速情况下，尾气排放均相应增多。例如，有研究表明对于现代生产的车辆来说，在每次出行过程中平均75%的污染来自于前几英里的排放（Wachs,1993）。



# 3 中国城市形态与空气质量研究框架构建



## 4 地级市尺度的分析—PM10

- 4.1数据来源：中国城市统计年鉴、中国环境能源经济数据库（2001-2010）

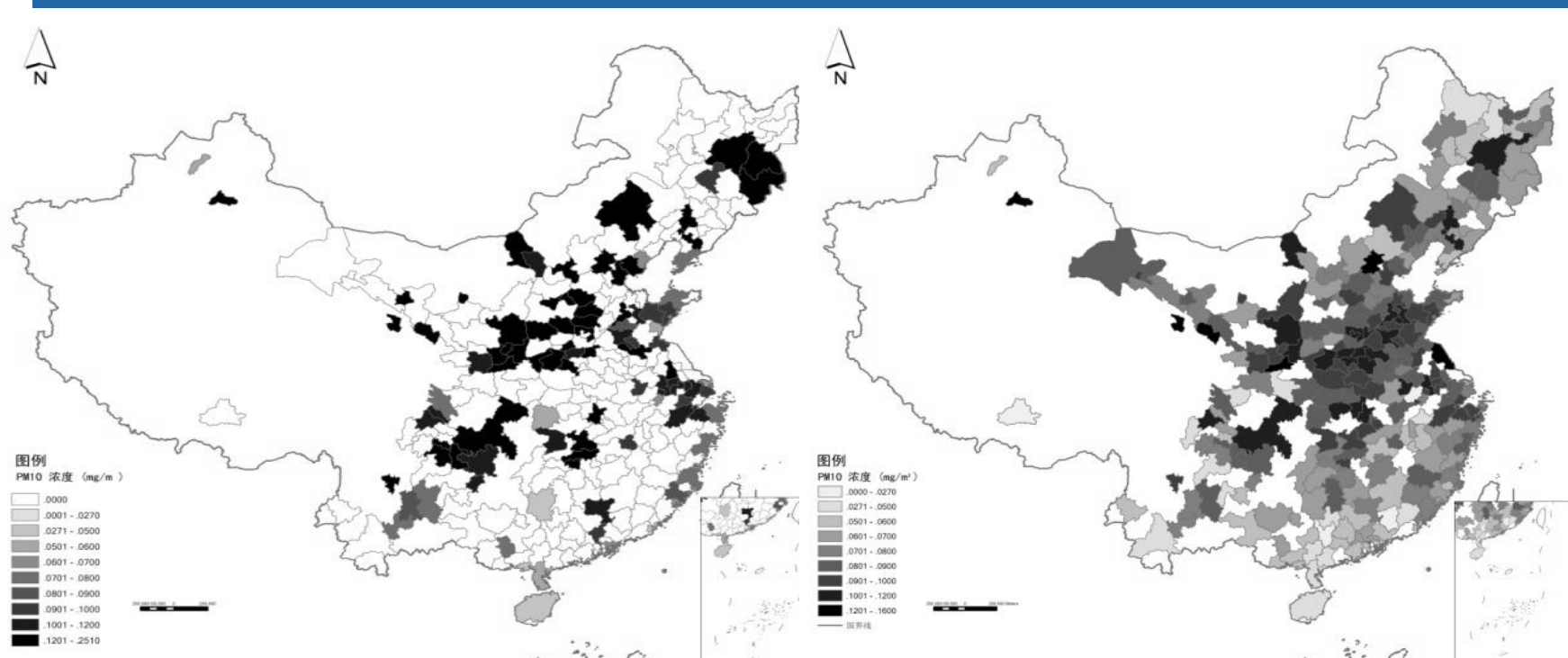
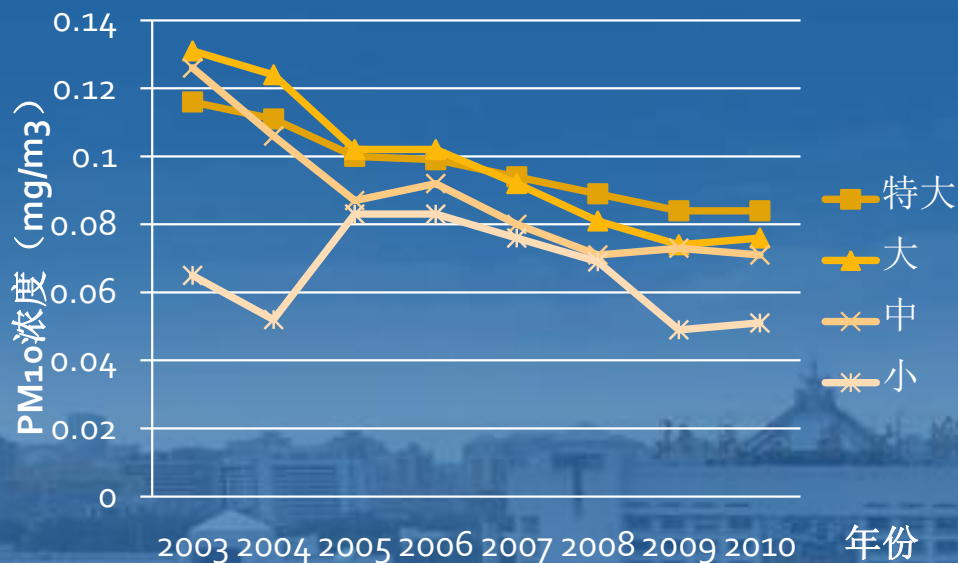


图1 2003年（左）和2010年（右）中国地级城市PM10浓度空间分布



## 4.2 城市规模差异



-小城市确实比特大、大和中等城市的可吸入颗粒物水平低

-近年来大特大城市和中等城市PM<sub>10</sub>浓度年均降幅大

-各类规模的城市均面临可吸入颗粒物污染问题

-小城市的环境污染问题不容忽视

图2 不同规模城市的可吸入颗粒物年际变化



## 4.3 区域差异

- 东低西高、南低北高的区域性差异
- 东西、南北城市之间PM<sub>10</sub>浓度的差异缩小，应与中国大气污染源的变化亦即：从燃煤为主到燃煤与机动车排放并存有关有关（Tuch et al., 1997；张菊等，2006；张小曳等，2012）

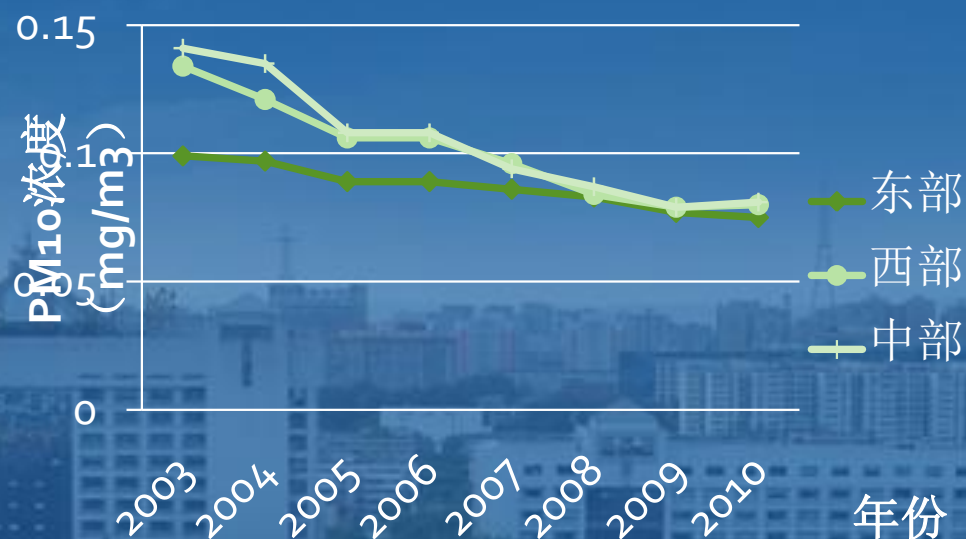
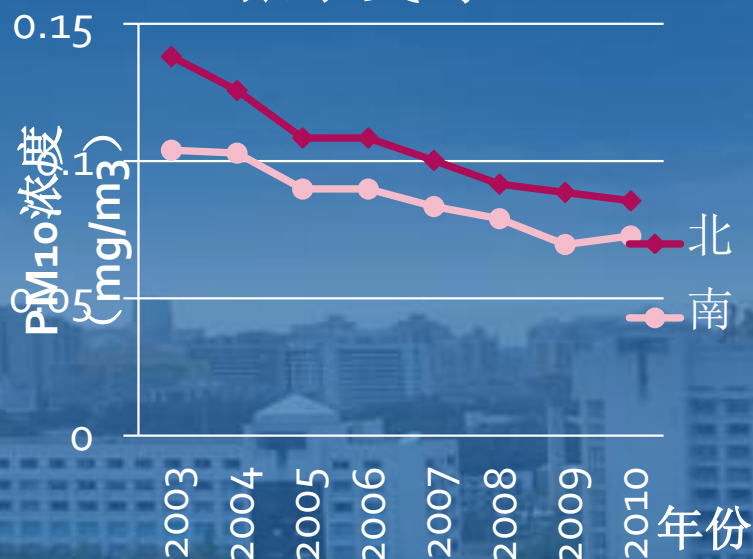


图3 南北（左）与东中西部（右边）城市的可吸入颗粒物年际变化



## 4.4 PM10浓度的空间自相关分析

- Global Moran's I Index: 2003年的0.07上升到2010年的0.26, 呈现更加集聚的发展趋势
- 在2003年局部空间高度相关的区域, 一是以关中都市圈、太原都市圈为核心, 以山西和山西中部、内蒙中南部城市为主的PM10年均浓度很高的集中地带 (图5, 左)。
- 这一地带具有PM10年均高浓度、高自相关的特征, 可能与2000年代初煤等矿物的开采以及沙尘传输相关 (张菊等, 2012)。

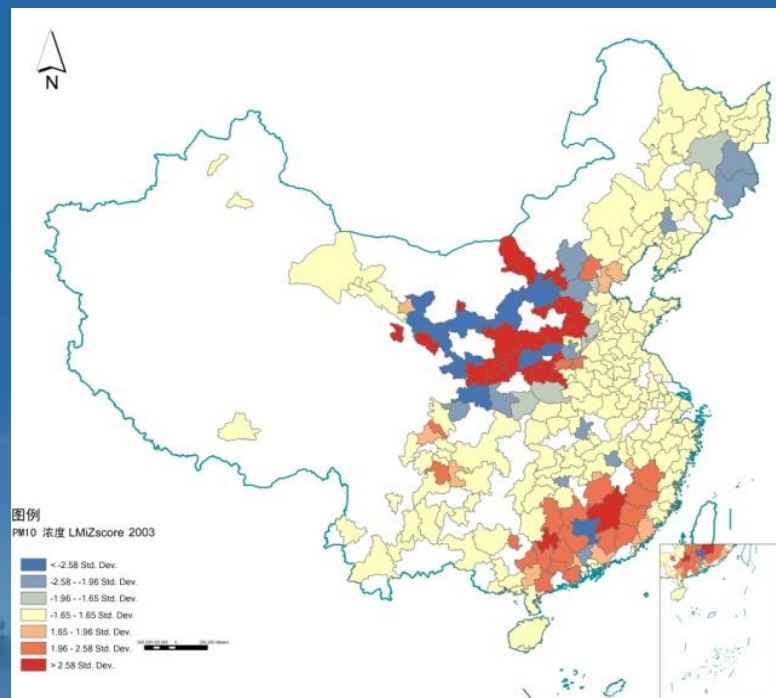


图5 2003年 (左)  
中国地级市PM10年均浓度空间自相关分析

- 到了2010年，局部高度相关区域仍主要为以上两个，但范围和集聚强度都进一步扩大（图5，右）。
- 相对其他地级市单元，这些地带中的城市更容易受到污染物区域性的影响，即可吸入颗粒物不仅是不良城市形态所导致，更与临近区域的污染物传输相关。

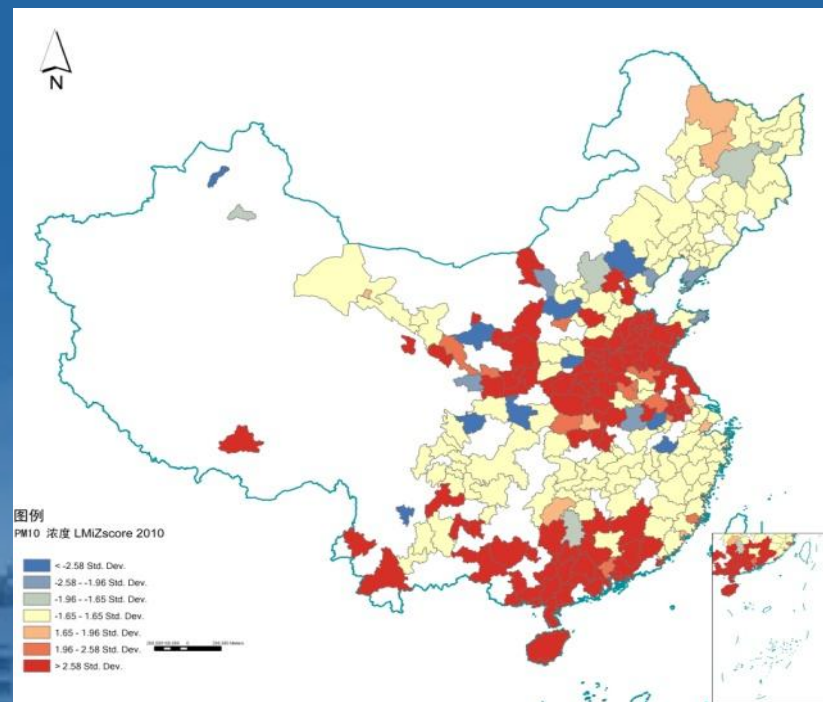


图5 2010年（右）  
中国地级市PM10年均浓度空间自相关分析



# 4.5 PM10浓度的城市形态因素影响

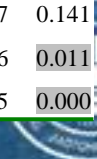
表 地级城市形态对空气质量影响的变量描述

变量	单位		
<b>自变量</b>	元		
X <sub>1</sub> 人均地区生产总值		X <sub>12</sub> 采矿业从业人员	万人
X <sub>2</sub> 第二产业占GDP比重	%	X <sub>13</sub> 人口密度	人/平方公里
X <sub>3</sub> 工业企业数	个	X <sub>14</sub> 建成区绿化覆盖率	%
X <sub>4</sub> 工业用电量	万千瓦时	X <sub>15</sub> 公共绿地面积	公顷
X <sub>5</sub> 煤气家庭用量	万立方米	X <sub>16</sub> 公园绿地面积	公顷
X <sub>6</sub> 液化石油气家庭用量	吨	X <sub>17</sub> 人均绿地面积	平方米/人
X <sub>7</sub> 人均铺装道路面积	平方米	X <sub>18</sub> 建成区面积	平方公里
X <sub>8</sub> 万人拥有公共汽电车	辆	<b>控制变量</b>	
X <sub>9</sub> 市辖区年末总人口	万人	C <sub>1</sub> 城市规模	是否是小城市
X <sub>10</sub> 第二产业就业人数	万人	C <sub>2</sub> 供暖区	是否在冬季供暖区
X <sub>11</sub> 制造业从业人员	万人	C <sub>3</sub> 东中西部	在东部中部还是西部
		<b>因变量</b>	
		PM10年均值浓度	mg/m <sup>3</sup>



# 表 地级城市城市形态对空气质量的影响

变量	单位	模型1		模型2		模型3	
		$\beta$	Sig	$\beta$	Sig	$\beta$	Sig
R <sup>2</sup>			0.289		0.352		0.372
Durbin-Watson			1.322		1.356		1.371
Constant			0.069		0.066		0.057
控制变量							
C <sub>1</sub> 小城市	小城市=1, 其他=0			0.015	0.000	0.015	0.000
C <sub>2</sub> 供暖区	供暖区=1, 其他=0			-0.014	0.000	-0.014	0.000
C <sub>3</sub> 中部	中部=1, 其他=0					0.009	0.000
C <sub>4</sub> 西部	西部=1, 其他=0					0.011	0.000
解释变量							
X <sub>1</sub> 人均地区生产总值	元	-5.22E-07	0.000	-4.90E-07	0.000	-4.55E-07	0.000
X <sub>2</sub> 第二产业占GDP比重	%	3.73E-11	0.000	3.69E-11	0.000	3.68E-011	0.000
X <sub>3</sub> 工业企业数	个	-4.05E-06	0.005	-1.97E-06	0.153	-4.37E-07	0.752
X <sub>4</sub> 工业用电量	万千瓦时	9.26E-09	0.002	4.76E-09	0.093	3.73E-09	0.183
X <sub>5</sub> 煤气家庭用量	万立方米	-4.56E-08	0.647	-5.18E-08	0.584	-1.25E-07	0.184
X <sub>6</sub> 液化石油气家庭用量	吨	-1.36E-07	0.000	-9.73E-08	0.003	-7.57E-08	0.02
X <sub>7</sub> 人均铺装道路面积	平方米	0	0.252	0	0.044	0	0.16
X <sub>8</sub> 每万人拥有公共汽电车	辆	-0.001	0.002	-0.001	0.003	-0.001	0.001
X <sub>9</sub> 市辖区年末总人口	万人	-4.99E-05	0.000	-4.71E-05	0.000	-4.54E-05	0.000
X <sub>10</sub> 第二产业就业人数	万人	4.55E-06	0.412	7.34E-06	0.163	9.18E-06	0.077
X <sub>11</sub> 制造业从业人员	万人	4.16E-06	0.677	1.10E-05	0.247	1.37E-05	0.142
X <sub>12</sub> 采矿业从业人员	万人	0.001	0.004	0	0.349	0	0.465
X <sub>13</sub> 人口密度	人/平方公里	1.57E-06	0.026	1.47E-06	0.027	2.07E-06	0.002
X <sub>14</sub> 建成区绿化覆盖率	%	4.90E-05	0.407	8.19E-05	0.146	9.62E-05	0.085
X <sub>15</sub> 公共绿地面积	公顷	-9.58E-07	0.000	-1.11E-06	0.000	-1.23E-06	0.000
X <sub>16</sub> 公园绿地面积	公顷	-1.25E-07	0.223	-1.39E-07	0.152	-1.40E-07	0.141
X <sub>17</sub> 人均绿地面积	平方米/人	1.30E-06	0.006	1.07E-06	0.018	1.13E-06	0.011
X <sub>18</sub> 建成区面积	平方公里	4.9E-005	0.000	4.9E-005	0.000	4.9E-005	0.000



# 4.6 PM10对于GDP和人口密度的弹性

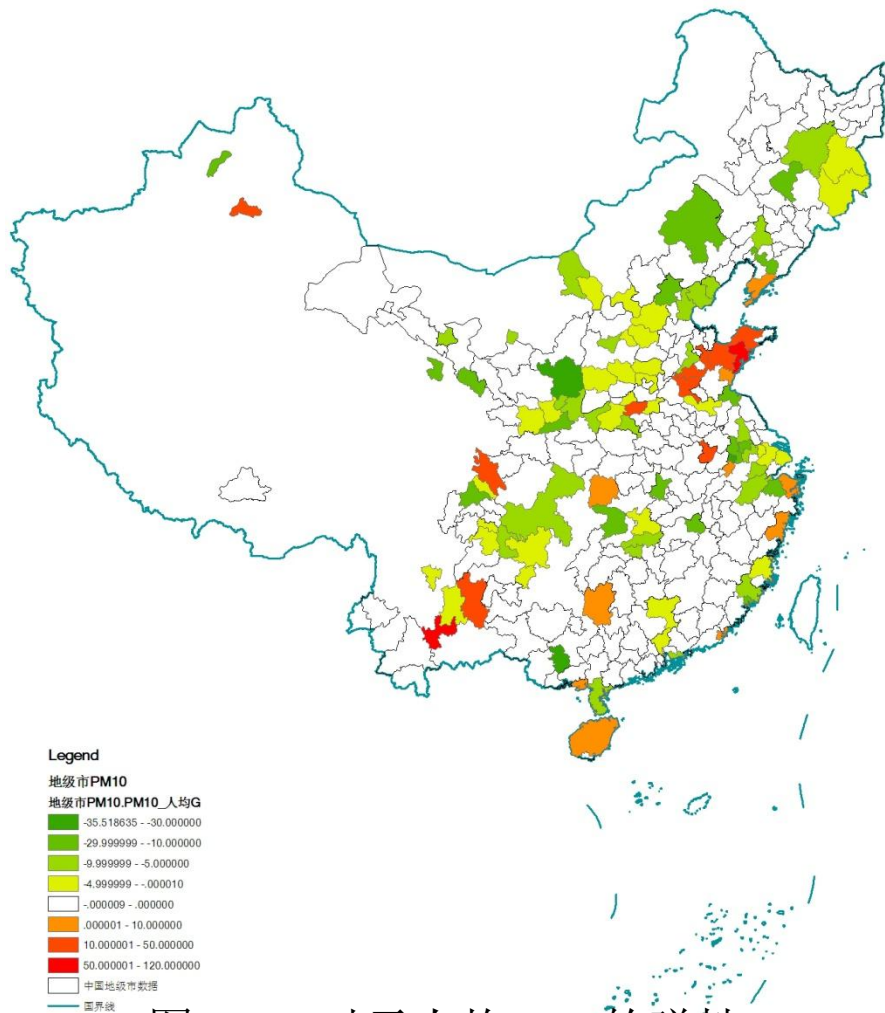


图 PM10对于人均GDP的弹性

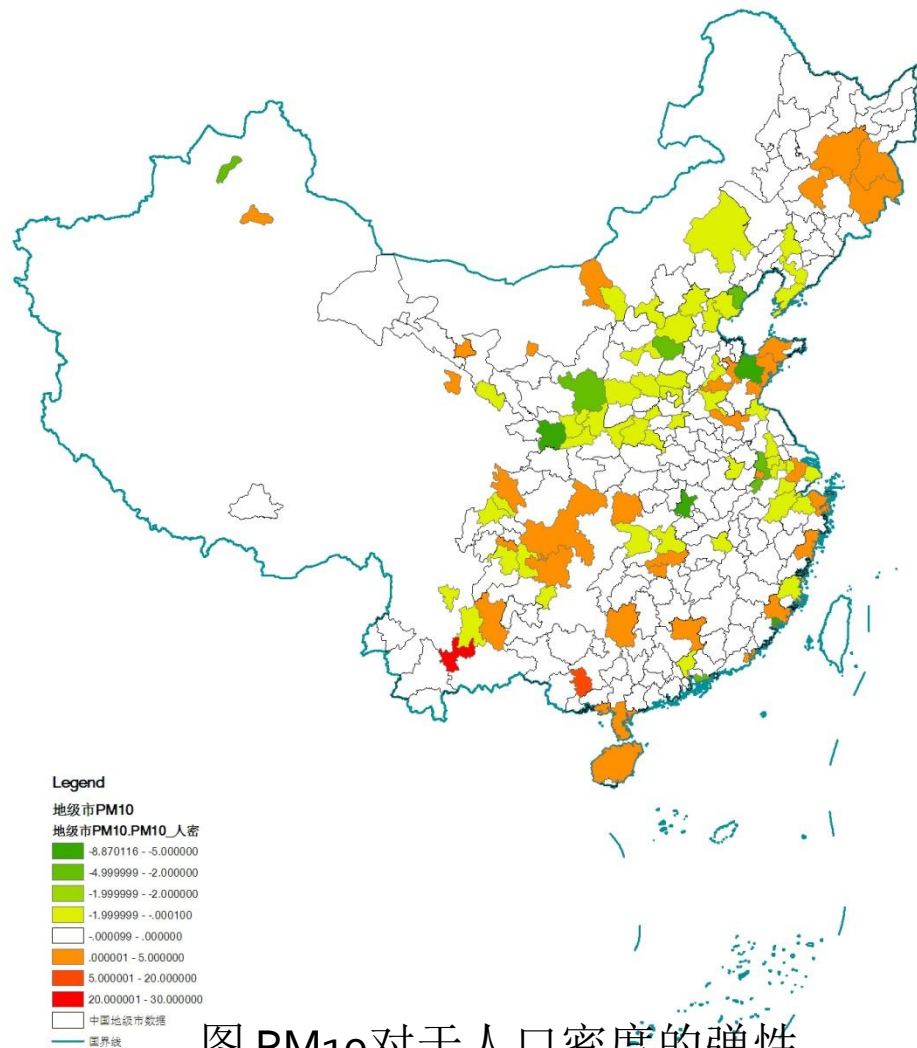


图 PM10对于人口密度的弹性

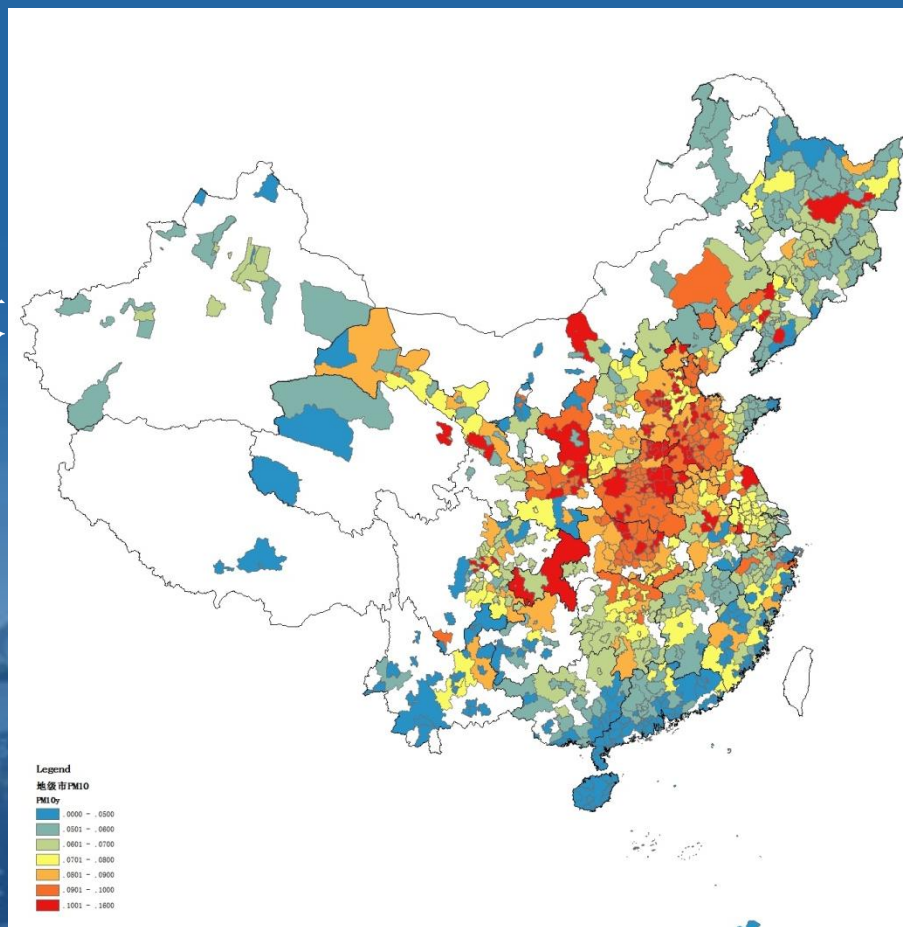
# PM10的小结

- PM10总体上是逐年递减的
- 与供暖有关系，但不严格相关
- 从分散、城市为中心的污染源到区域性的集聚



# 5 县级市尺度的分析—PM2.5

- 5.1数据来源：Beijing City Lab（2013）
- 城市形态相关变量来自于三个口径：
  - 统计年鉴县级市数据的直接查询；
  - 根据Beijing City Lab的数字图像统计；
  - 如果县级市该项指标无法查询，将其所属的地级市数据关联到所下辖的县级市上。
- PM2.5高污染地区集中在京津冀、山东半岛、中原和武汉城市群。



BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

北京交通大学

建筑与艺术学院



## 5.2 PM2.5浓度与城市规模、区域差异

- 城市规模：
  - 特大城市和大城市之间差别不大，中等城市略低，小城市最低
  - 相对于PM10在特大、大和中等城市之间都没有明显区别的分布来看，PM2.5在大和特大、中等城市、小城市之间的差别更大
- 不同区域：
  - 西部城市的PM2.5年均值最低；东部城市略高；中部城市最高

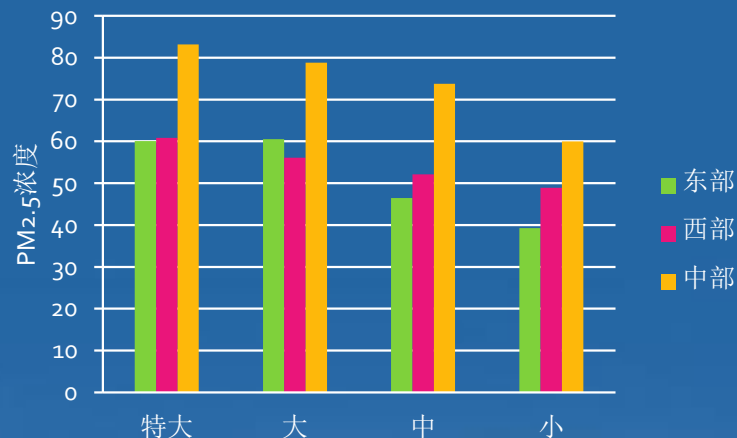


图 不同规模城市的PM2.5的年均值

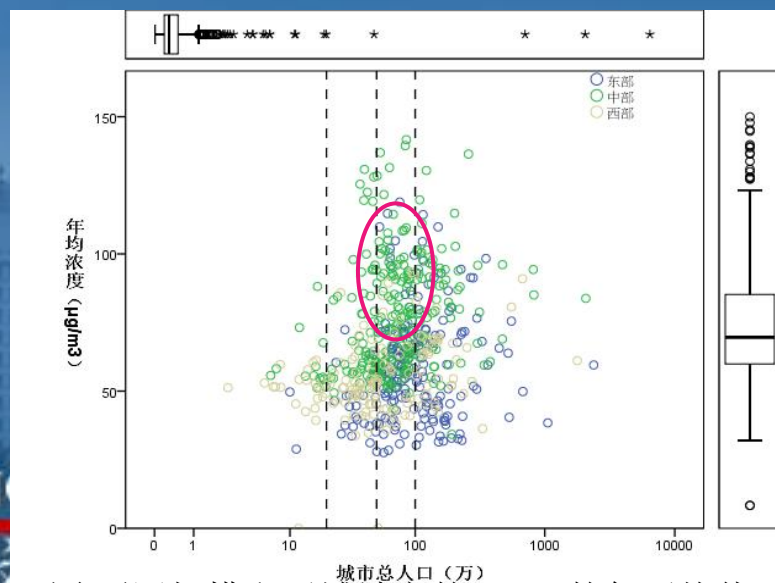


图 不同规模和区域城市的PM2.5的年均值

# 5.3 PM2.5浓度的空间自相关分析

- 全局自相关
  - 全局系数（Global Moran's I Index）为0.526，p值为0.530。即全局上不存在十分明显的集聚，达不到一个标准差的显著水平。
  - 这与PM10在全局分布上1%显著水平上集聚的空间分布特征有所差异，说明在县级市尺度上，PM2.5的分布更加独立而随机，城市内部自身因素发挥着更加重要的作用
- 局部自相关
  - PM2.5的空间分布上存在着两个高度相关的地带
    - 华北、华中地区：高浓度、高自相关
    - 广东、广西、云南和海南：低浓度、高自相关

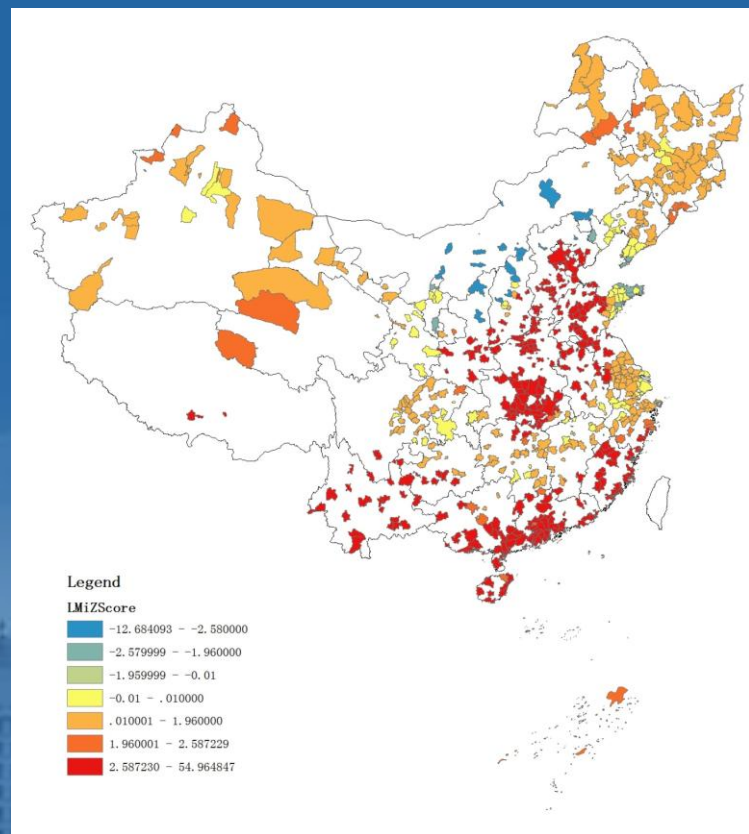


图 县级城市单元的PM2.5浓度局部自相关分析



# 5.4 PM2.5浓度的城市形态因素影响

- 分层线性回归模型（HLM, Hierarchical Linear Models）。从一部电影讲起：

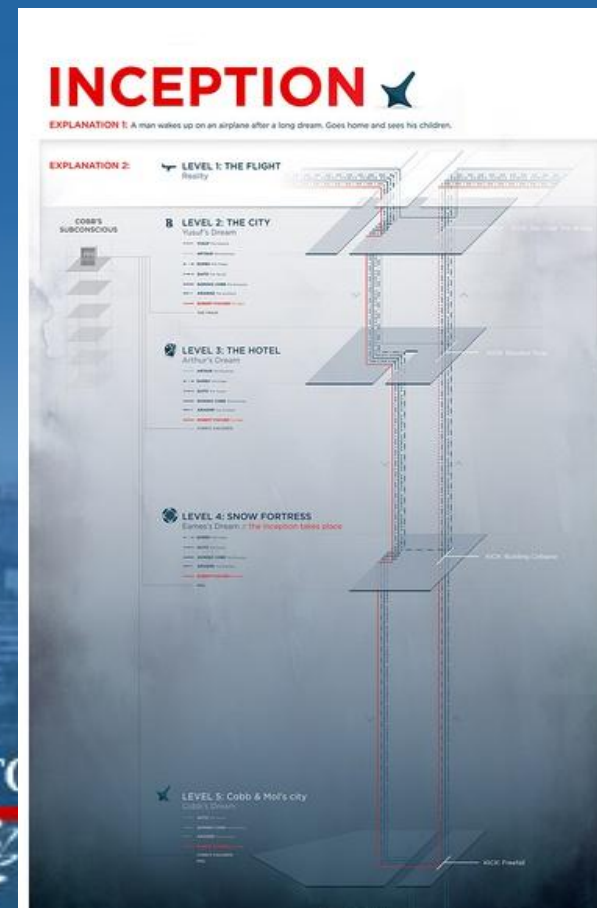




表 中国县级城市单元形态对PM2.5影响的回归模型

变量	名称	模型1		模型2		模型3		模型4	
		$\beta$	Sig	B	Sig	$\beta$	Sig	$\beta$	Sig
R <sup>2</sup>		0.114		0.068		0.283		0.068	
Durbin-Watson								1.654	
Constant		80.459		9.199		84.985		70.851	
县级层变量									
X <sub>1</sub>	人口总量	0.147	0.003	0.129	0.02	0.122	0.215	0.089	0.090
X <sub>2</sub>	建成区人口密度	-0.001	0.609	0	0.925	-0.002	0.392	-0.002	0.298
X <sub>3</sub>	地区生产总值	-2.08E-06	0.043	-2.66E-06	0.023	-7.23E-07	0.105	-8.61E-07	0.496
X <sub>4</sub>	第二产业生成总值	3.17E-06	0.091	4.32E-06	0.036	7.14E-07	0.12	1.20E-06	0.575
X <sub>5</sub>	居住用地	-0.518	0.994	5.538	0.937	-36.683	-0.115	-42.384	0.488
X <sub>6</sub>	工业用地	40.734	0.414	22.161	0.662	10.723	0.034	1.846	0.968
X <sub>7</sub>	x_绿地比例	135.686	0.085	133.357	0.093	85.002	0.142	72.077	0.307
X <sub>8</sub>	x_城市道路交叉口数量			0.0002	0.053	0.0002	0.003	0.0002	0.012
X <sub>9</sub>	x_城市立交桥数量			0.324	0.258	0.156	0.145	0.332	0.248
X <sub>10</sub>	x_年平均气温			0.707	0.059	0.436	0.202	0.366	0.336
X <sub>11</sub>	x_燃气普及率			0.869	0.307	-1.826	0.11	-0.061	0.974
地级层面变量									
Z <sub>1</sub>	年平均气温					1.624	0.271	-0.504	0.770
Z <sub>2</sub>	全年日照时数					-0.002	0.777	-0.005	0.354
Z <sub>3</sub>	年平均湿度					-0.165	0.292	-0.027	0.861
Z <sub>4</sub>	集中供暖率					2.484	0.939	5.836	0.86
Z <sub>5</sub>	市区暂住人口					-0.195	0.193	-0.191	0.19
Z <sub>6</sub>	建成区人口密度					+0.020	0.000	+0.019	0.000
Z <sub>7</sub>	人均地区生产总值					0	0.237	0	0.382
Z <sub>8</sub>	第二产业比重					2.63E-06	0.023	2.60E-06	0.023
Z <sub>9</sub>	规模以上工业企业个数					-0.005	0.375	-0.007	0.302
Z <sub>10</sub>	人均铺装道路面积					1.965	0.108	1.898	0.113
Z <sub>11</sub>	公共汽车					-4.907	0.003	-5.252	0.001
Z <sub>12</sub>	民用汽车密度					-0.052	0.600	0.051	0.662
Z <sub>13</sub>	工业废气中氮氧化物排放量							-0.663	0.63
Z <sub>14</sub>	PM10年均浓度							756.49	0.002
Z <sub>15</sub>	SO <sub>2</sub> 年均浓度							0.025	0.890
Z <sub>16</sub>	NO <sub>2</sub> 年均浓度							-486.088	0.367
Z <sub>17</sub>	城镇生活中烟(粉)排放量							0	0.374
Z <sub>18</sub>	废弃治理设施处理能力							-0.001	0.694



# 5.5 大都市圈尺度的PM2.5分布特征 ——以京津冀大都市圈为例

- (1) 基于Kriging方法的空间差值

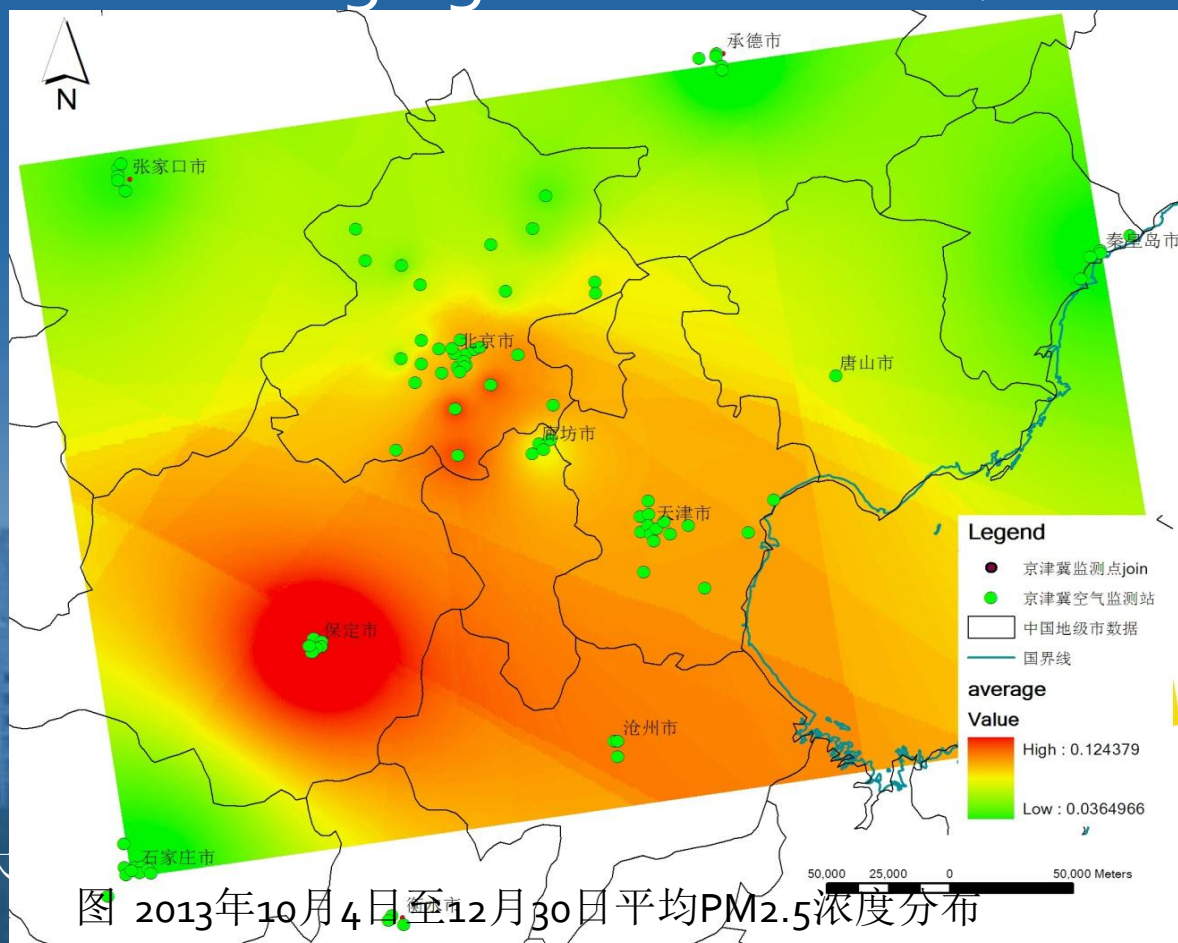


图 京津冀大

图 2013年10月4日至12月30日平均PM2.5浓度分布



## (2) 一次天气过程中的PM2.5值变化

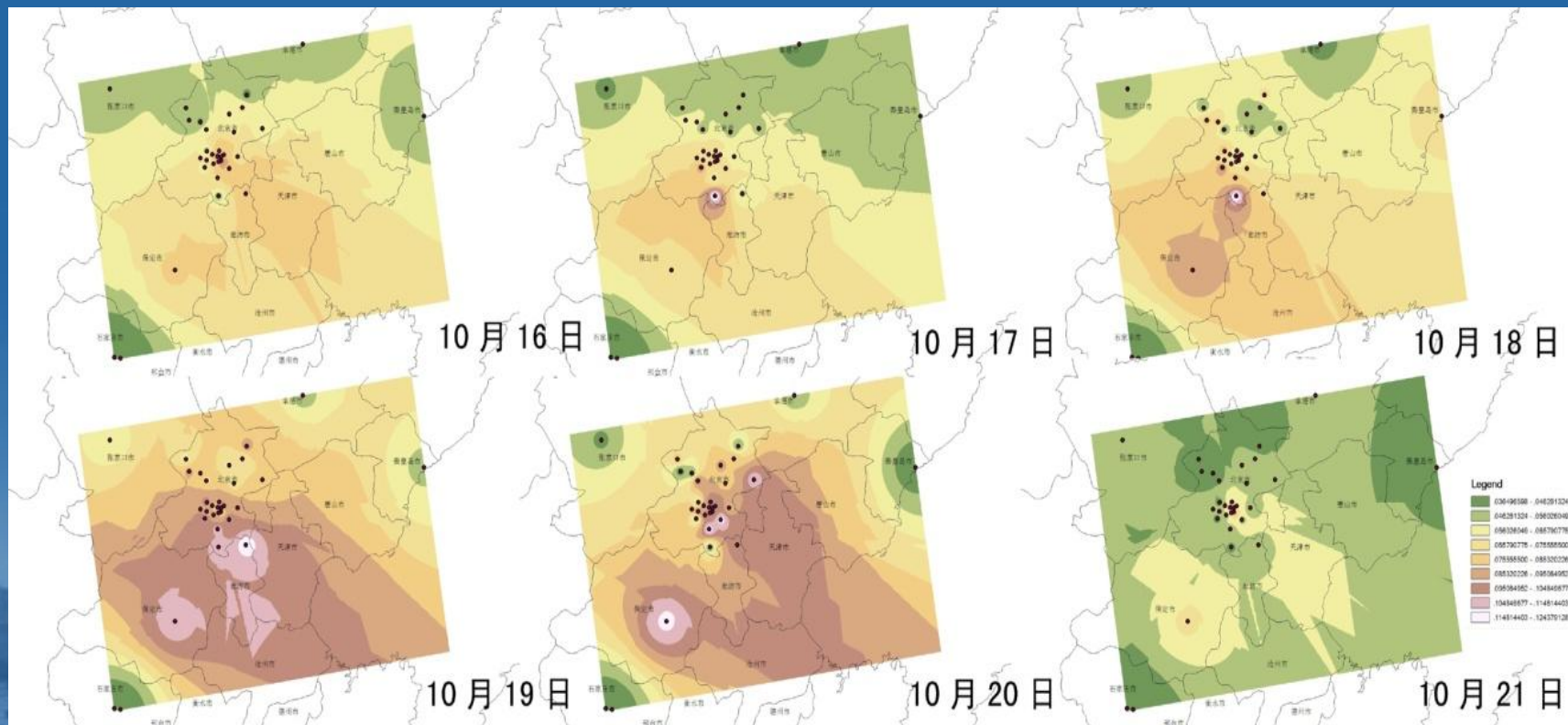


图 2013年10月16日至21日之间的PM2.5变化过程

# (3) 空气监测点PM2.5时间变化与周期识别

- 傅里叶变化的周期识别：6-8天

$$\hat{a}_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \cos 2\pi f_i t, \hat{b}_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \sin 2\pi f_i t$$

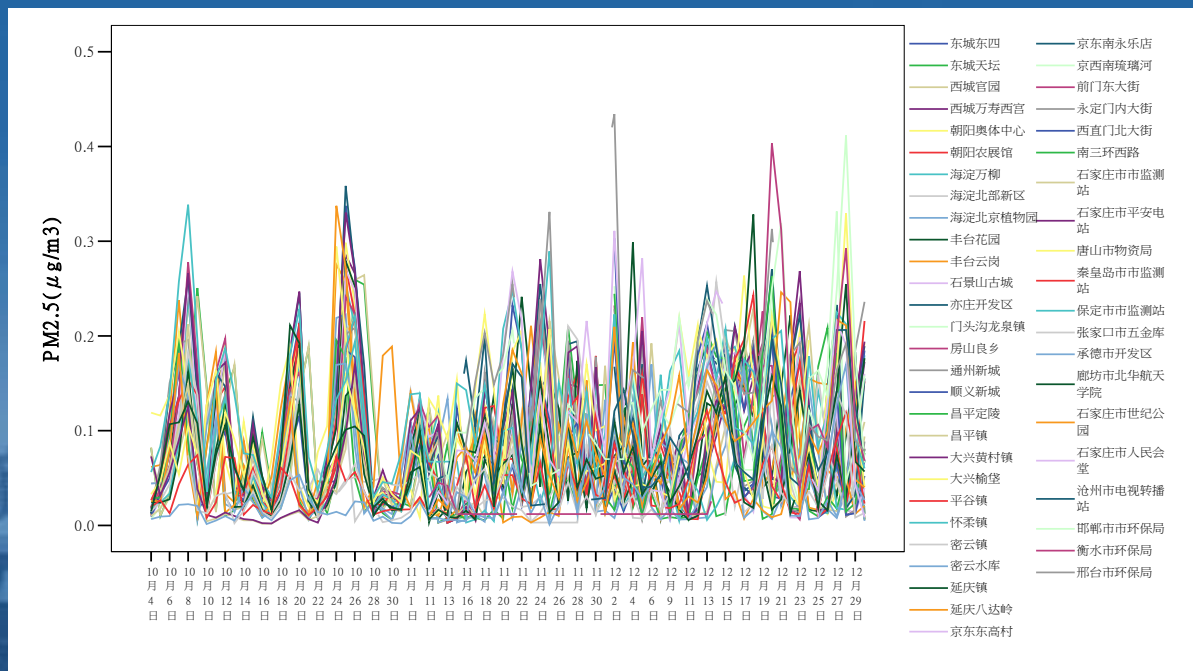


图 京津冀地区空气监测点在2012年10月4日-12月30日期间的PM2.5变化



# 6 总结和女性视角下的大数据研究

## ■ (1) PM研究小结

- 城市形态，作为空气污染的下垫面，对城市PM10和PM2.5都产生着影响
- 空气污染过程和机制在不同的空间尺度是有着差异的
- 经济、产业在大尺度的影响更大；而道路交通、用地等在微观尺度的影响更大

表 PM10和PM2.5的影响因素比较

影响因素	PM10影响因素	方向	PM2.5影响因素	方向
县级市尺度			人口总量	+
			城市道路交叉口数量	+
地级市尺度	建成区人口密度	+	建成区人口密度	+
	人均地区生产总值	-	第二产业比重	+
	第二产业占GDP比重	+	公共汽电车	-
	拥有公共汽电车	-		
	公共绿地面	+	积	



## (2) 政策建议

- 除了源头性控制之外，塑造良好的城市形态也是降低污染的好办法，在微观尺度的作用更明显
- 对于人口已经很稠密的中国来说，西方城市精明增长政策中提升的密度适度提升在中国背景下不一定适用
- 交通、城市与空气质量之间有着复杂的关联，提升空气品质不仅需要减产关厂，而需要城市规划、交通部门的一起努力



### (3) 数据的感觉与感知 ——女性视角的数据的力量

- Breath with data, perception of data

男性视角：

-目标明确，捕捉



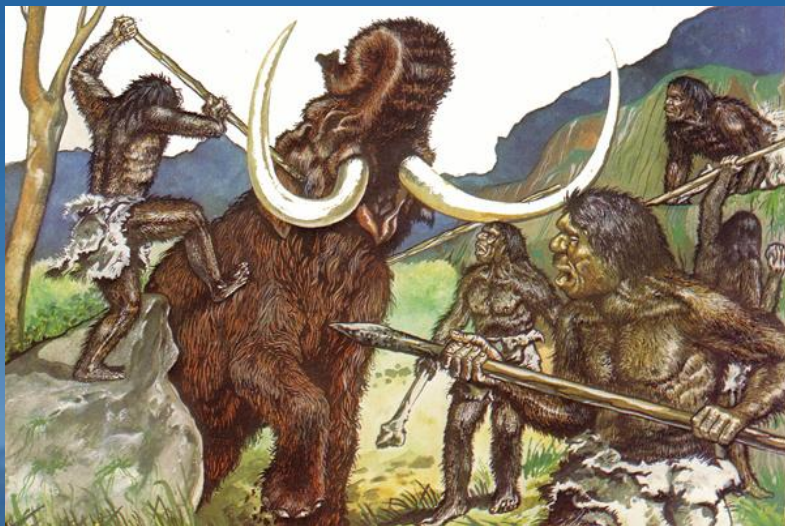
女性视角：

-长期观察、整理



# 女性学者研究大数据的优势

- (1) 对时间的要求不同，收集、整理更擅长
  - 原始社会的分工差异



男性：狩猎，快速准确攻克目标



女性：采集果实，有大量分析、比选时间





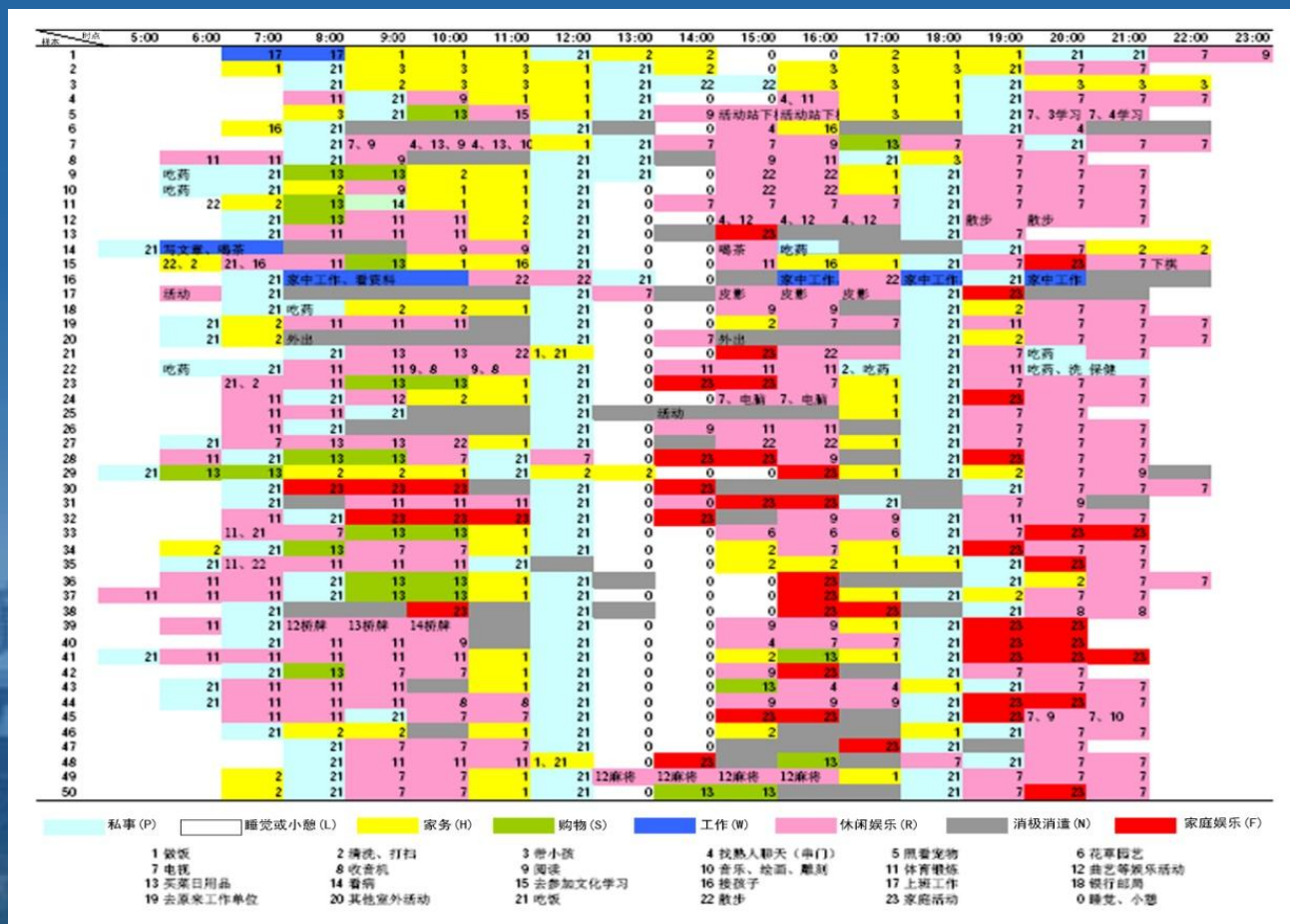
## (2) 善于把握复杂关系，洞察事务的本质

- 邮件社交网络的分析：fw, cc, re, re all, bcc
  - 邮件联系频率高，是否一定关系紧密？
  - 回复时间期限，实际回复的时间
- 社交软件联系人：联系频率高，是否一定是close friends？

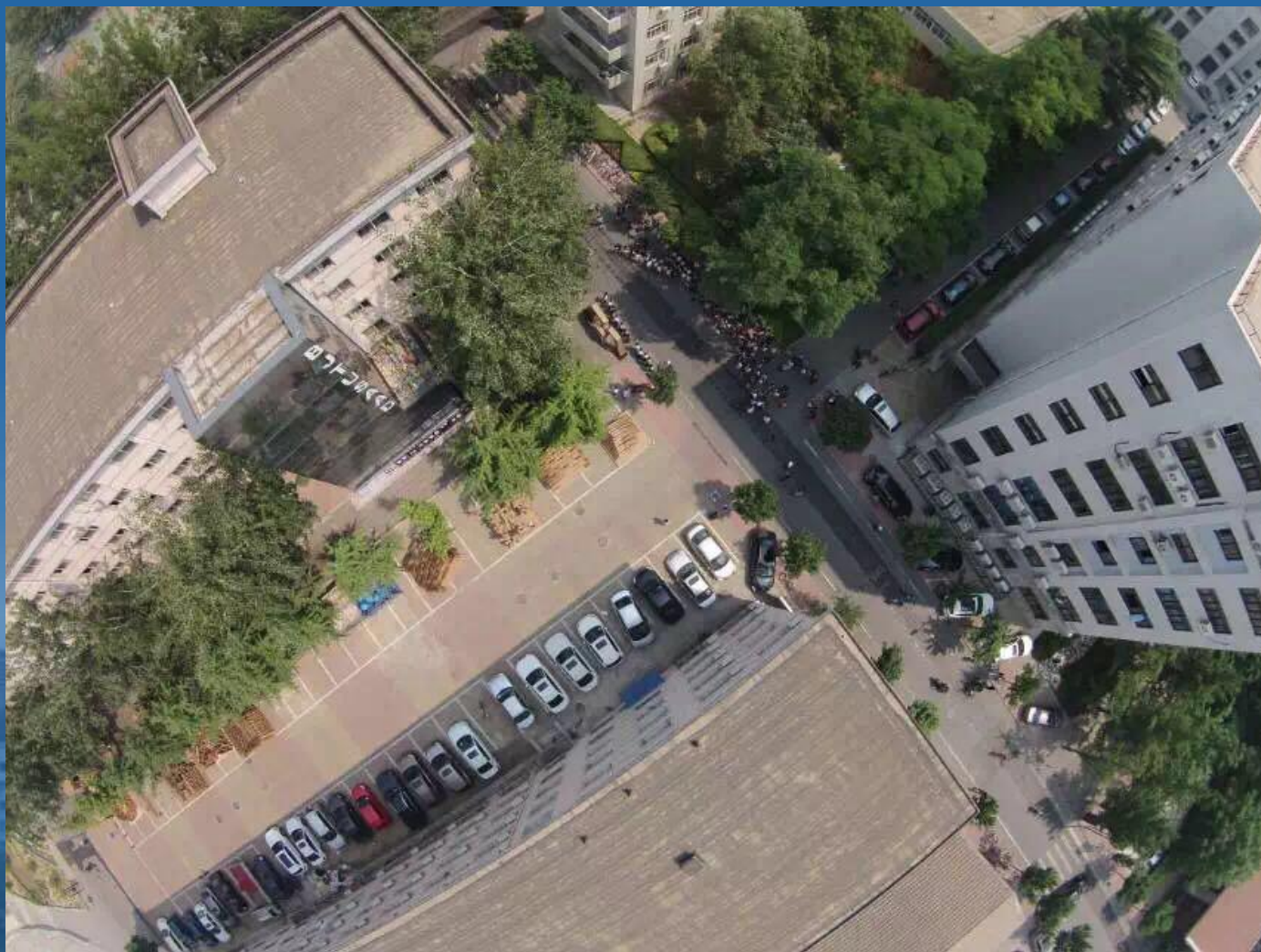


# (3) 对变化、异常更加敏感

- 例如：老年人活动日志的解读，哪些老年人值得关注？



## (4) 善于利用不是数据的信息作为数据使用



- 谢谢，请批评指正！
- zhangc@bjtu.edu.cn

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

北京交通大学

建筑与艺术学院

