

# 室内空气质量调研的数据分析报告

清华大学电子工程系 计算感知实验室

**摘要** 现代人大部分时间处于室内，室内空气质量对居民的身体健康有着显著的影响。近年来，PM<sub>2.5</sub>作为大气污染的主要成分，得到了广泛的关注和研究。然而，由于室内环境复杂性强、差异性大，专业PM<sub>2.5</sub>检测设备庞大昂贵，人们一直缺乏对于室内PM<sub>2.5</sub>浓度全面系统的研究。自2014年11月14日起至2015年1月30日，研究团队利用自己开发的基于云端校准技术的便携式PM<sub>2.5</sub>检测仪：PiMi空气盒子，共获得407志愿者累计11万小时的室内PM<sub>2.5</sub>数据。与数据同步获得的还包括采样环境的基础建筑条件、人为净化行为以及污染行为在内的影响因素标记，同期室外PM<sub>2.5</sub>浓度等数值。通过调研数据的分析我们发现：采样时间段内，室内PM<sub>2.5</sub>值因人而异，室外PM<sub>2.5</sub>值因地理位置而异。综合室内外，北京市日均人均PM<sub>2.5</sub>潜在剂量787.3μg。在总体平均意义上，室内浓度与同期室外浓度存在0.67的比例关系。同时随着室外污染程度的提高，室内外浓度比值呈现下降趋势。在室内空气质量影响因素中，数据表明，基础建筑条件对室内外浓度比值有一定但不显著的影响（室内外比值差<0.15），其中，办公环境略优于居住环境，楼层17层以上的室内环境略优于17层以下的环境层，距离主干道大于500米的室内环境优于500米以内。与之形成对比的，则是人为的净化行为对室内PM<sub>2.5</sub>浓度较大的影响（多数室内外比值差>0.15），其中空气净化器、中央空调对室内空气净化起到明显作用，开窗通风的作用则因室外情况而异。另外，报告以图例的形式展示了空气净化器、烹饪、打扫和其他增尘行为对室内PM<sub>2.5</sub>时间序列的波动影响，并对PM<sub>2.5</sub>对人体健康的影响进行了调研分析。

**关键词** 室内空气质量，PM<sub>2.5</sub>，潜在剂量，人为因素

在今年1月4日北京市环保局公布的官方数据中，2014年北京的主要大气污染物PM<sub>2.5</sub>浓度为85.9μg/m<sup>3</sup>，相较于2013年下降了4%。然而这一数字仍然比世界卫生组织(WHO)建议的上限25μg/m<sup>3</sup>高出两倍多[1]。

在环境科学中，颗粒物(Particle Matter, PM)特指悬浮在空气中的固体颗粒或液滴，其成分包括酸、有机物、金属、土壤或灰尘颗粒物。WHO评估数据表明，颗粒物污染每年导致全球800,000例非自然死亡，在死亡原因中居第13位[2]。我国2013年开展的一项研究将秦淮河分割的南北方进行对比，分析供暖燃煤引起的空气质量差异对两岸人口预期寿命的影响，得到了空气污染造成人均预期寿命损失约5.5年的结论[3]。长期暴露在颗粒物污染下的人群在心血管疾病的发生率和死亡率上都表现出显著的提升，同时颗粒物污染也引起呼吸道疾病的加剧，导致症状恶化、用药频率提高、肺功能下降、复诊率增加及死亡率提升[4]。

颗粒物可由其空气动力学等效半径描述，表征相同的沉降速度，以<10μm、<2.5μm、<0.1μm为分类区间，分别称为PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>0.1</sub>。日前，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>已被我国环保部列为日常监测项目。同时《中华人民共和国国家环境保护标准》HJ 633—2012[5]、GB 3095—2012[6]、HJ 664—2013[7]文件中也增加了相应的规范和标准，用以监测室外空气质量。但人在空气污染中暴露量和潜在剂量的检测一直是具有挑战性的难题。这需要更高时间、空间分辨率的城市颗粒物监测数据。另外，即使室外环境介质中的监测指数相同，个体独特的行为模式也会给其周围环境空气质量带来差异。

现代人大约70%~90%的时间在室内度过，在室内的空气污染暴露构成人体总污染暴露量的重要部分。在世界卫生组织的全球疾病负担研究中，“家居空气污染”在中国疾病负担的影响因素里被单独列为一项，紧接饮食、高血压、烟草暴露，与“室外空气污染”共同被列为前五要素[8]。同时，室内空气质量并非仅仅是室外空气质量的过滤形式[9]，有研究指出，

空调、空气过滤器、以及烹饪、供暖和吸烟等燃烧行为都会对室内空气质量产生影响<sup>[10]</sup>。但在室内空气质量影响因素的研究中，始终缺乏足够的实际数据支持。

2014 年 11 月，清华大学电子工程系、清华大学建筑环境检测中心、南方周末绿色新闻部联合发起了一次“北京室内环境PM<sub>2.5</sub>调研行动”，以参与式感知的方式<sup>[10]</sup>，面向全社会征集志愿者，并向每位志愿者发放一台名为 PiMi 空气盒子的PM<sub>2.5</sub>便携式检测设备。本文依据此次调研过程中 PiMi 空气云平台所采集的室内空气PM<sub>2.5</sub>浓度数据、频率高于 12 小时每次的建筑环境和用户行为标记，以及北京市 12 个气象观测站提供的同期室外PM<sub>2.5</sub>官方监测值，对调研时间内的室内外空气中PM<sub>2.5</sub>含量状况进行了描述分析，并对时间段内室内外PM<sub>2.5</sub>含量的对应关系及其影响因素给出了数据性结论。

## 1 监测技术

根据环境空气质量标准 GB3095—2012<sup>[6]</sup>，当前官方空气颗粒物监测所使用的方法为微量振荡天平法、 $\beta$ 射线法。传统的 PM<sub>2.5</sub> 检测方法提供了高精度的日常监测途径，却也受到采样率低、价格高昂、空间分辨率低和延迟时间长的限制，无法进行大规模部署，完成个人高时空分辨率的室内 PM<sub>2.5</sub> 监测。而采用实时测量仪器的个人分布式测量网络可以避免上述限制，不仅可以提供高时空分辨率的观测数据，也为新应用提供了可能性。但与此同时，分布式颗粒物传感网需要精确且低成本的传感器作为硬件基础<sup>[10]</sup>，在设备制造上提出了挑战。

### 1.1 PiMi 空气盒子

PiMi 空气盒子<sup>[12]</sup>以货架产品级别的低成本光散射传感器为基础，根据探测到的粒子数目，根据云端提供的经验质量密度换算系数，转换出当前的PM<sub>2.5</sub>质量浓度。由于低成本的红外光散射传感器在生产的一致性控制很差，所以每一个传感器在封装进 PiMi 盒子之前，都会在严格控制PM<sub>2.5</sub>浓度的标准实验环境中与高精度参考设备 DustTrak II 进行校准，并将通过回归方法学习得到的传感器个体参数固化到硬件中，以使得检测精度可以被控制在标准仪器的±10%以内。

### 1.2 PiMi 空气云

PiMi 空气云<sup>[13]</sup>采用图 1.1 所示的最新型便携式传感设备以及基于网络云端的计算校准方法，实现了实时采集广泛地理范围和不同建筑环境的大规模时空范围室内PM<sub>2.5</sub>浓度数据的功能，为室内空气质量的相关研究和个人室内空气质量改善方案的提出给予大量传感数据支持。



图 1.1 PiMi 空气盒子外观

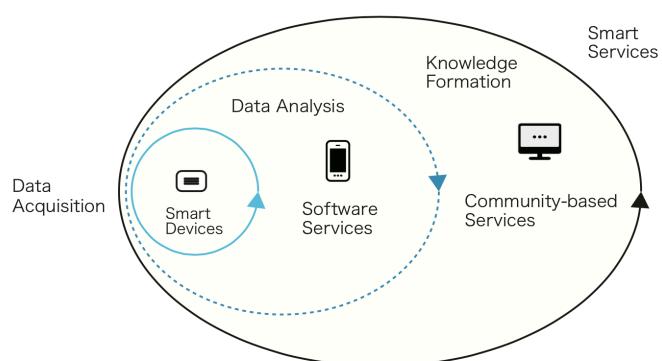


图 1.2 PiMi 系统架构，包括 3 个信息描述层

## 2 数据收集情况

志愿者可通过手机 App 终端以蓝牙形式获取 PiMi 空气盒子的数据，再通过互联网经过问卷标记后将数据包上传至 PiMi 的数据云平台。在 2014 年 11 月 14 日至 2015 年 1 月 30 日的 78 天期间内，数据云端共收到来自 407 志愿者的 1,322,829 个 PM<sub>2.5</sub> 的时空采样点，即每 5 分钟一次采样累积总时长约 11 万小时的室内空气质量的时间序列数据。

数据点在北京市内的 GPS 坐标即地理分布位置点共 7703 个，空间分布如图 2.1 所示，以六环内为主覆盖北京市下辖的东城区、西城区、朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区、大兴区、通州区、顺义区、昌平区、平谷区、怀柔区、密云县共 13 个区县。

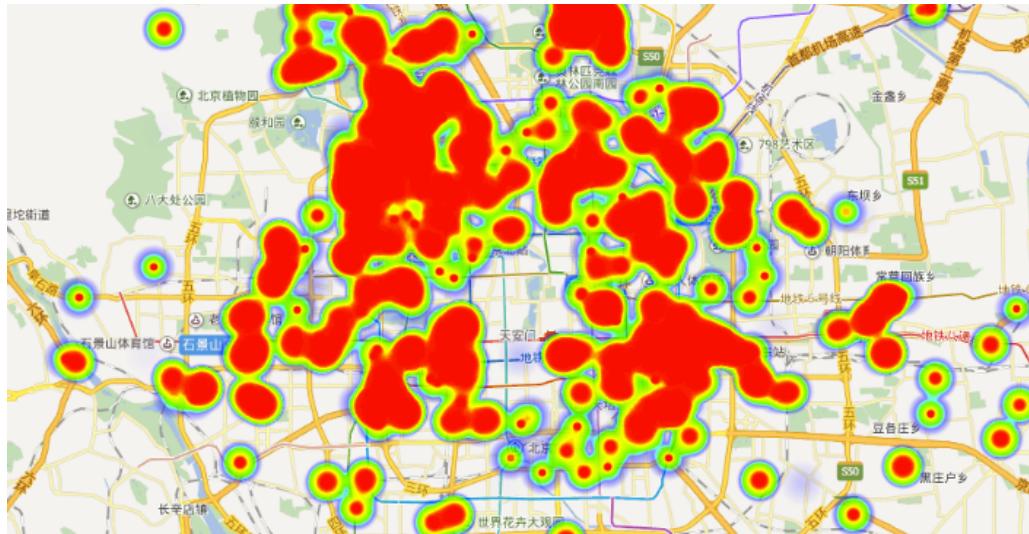


图 2.1 室内PM<sub>2.5</sub>数据在北京市内的空间分布热图

本次数据的期间内，一共调动了两批志愿者完成数据采集和标记。每日采集的数据量分布如图 2.2 所示，日采集样本量在 4,000 至 30,000 不等，多数在 15,000 以上。

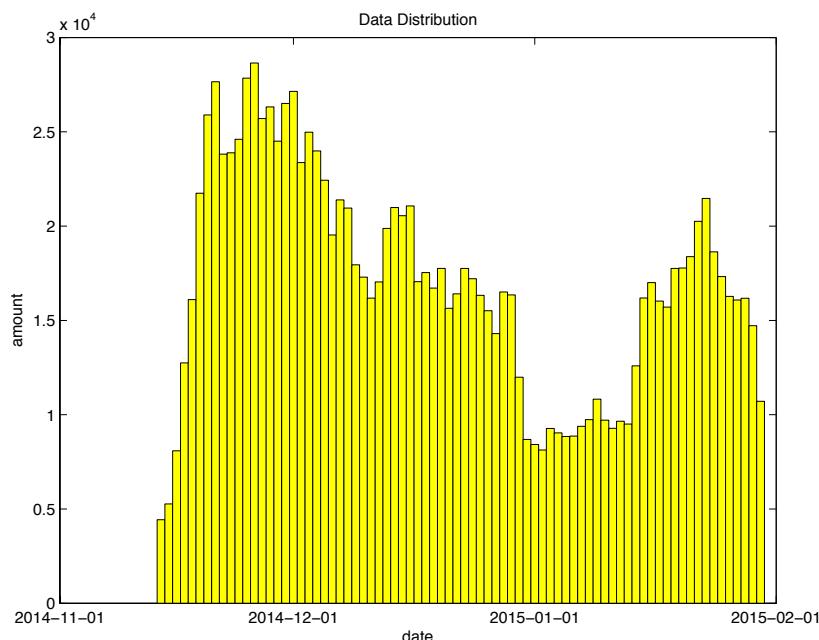


图 2.2 室内PM<sub>2.5</sub>数据在 2014-11-14 至 2015-01-30 的日分布

PiMi 空气云采集的室内PM<sub>2.5</sub>数据在不同数值区间内的分布数量如图 2.3 所示。室内 95% 采样点的数值小于 145μg/m<sup>3</sup>。官方监测站的北京市室外PM<sub>2.5</sub>数据在不同数值区间内的分布数量如图 2.4 所示，按数值从小到大排列，95% 对应的数值则为 275μg/m<sup>3</sup>。这个对比说明，在整体意义上室内的空气质量优于室外。

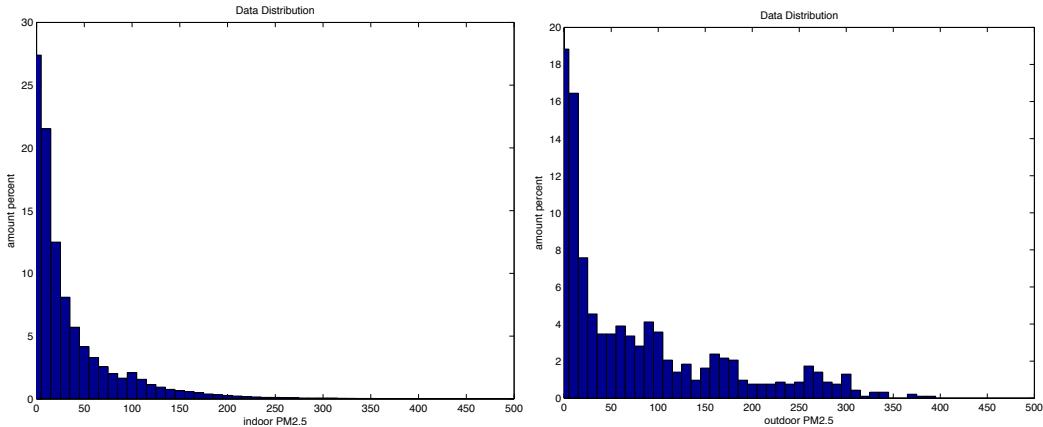


图 2.3 室内PM<sub>2.5</sub>数值的分布

图 2.4 室外PM<sub>2.5</sub>数值的分布

### 3 数据分析

#### 3.1 室内空气质量整体状况

##### 3.1.1 室内空气质量的平均水平

以国标 HJ 633—2012<sup>[5]</sup>中的空气质量等级为标准，我们将数据平台上所有测得室内外PM<sub>2.5</sub>数据按照等级进行归类。以每 5 分钟为一次采样间隔，在志愿者所上报的室内空气质量数据中，45% 的时间空气质量等级为优，22% 的时间空气质量为良，33% 的时间空气质量为污染的状态（其中，轻度污染 11%，中度污染 6%，重度污染 9%，严重污染 7%）。上述统计是在整体样本上完成的，其中包含了采取空气净化措施和未采取空气净化措施的时间段。

空气质量等级	24小时PM <sub>2.5</sub> 平均值标准值
优	0~35μg/m <sup>3</sup>
良	35~75μg/m <sup>3</sup>
轻度污染	75~115μg/m <sup>3</sup>
中度污染	115~150μg/m <sup>3</sup>
重度污染	150~250μg/m <sup>3</sup>
严重污染	大于250μg/m <sup>3</sup> 及以上

表 3.1.1 空气质量等级标准

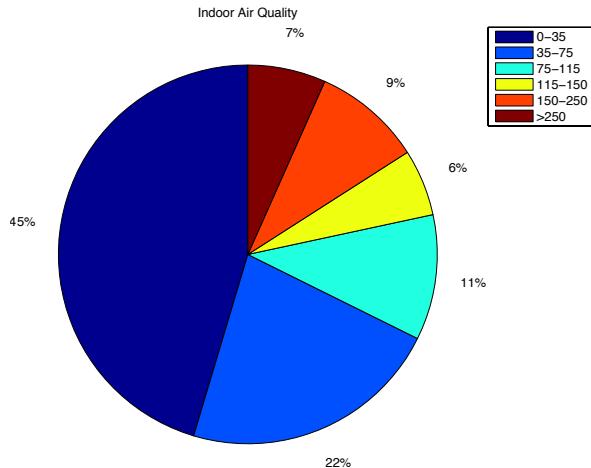


图 3.1.1.1 所有采样点在室内空气质量等级中的分布

针对个人的室内 PM<sub>2.5</sub> 平均值表现出了明显的差异性，其中最小值为 3.53μg/m<sup>3</sup>，最大值为 411.26μg/m<sup>3</sup>，均值差超过了 400μg/m<sup>3</sup>。个人均值的分布主要集中在 30μg/m<sup>3</sup> 至 120μg/m<sup>3</sup> 之间，其分布如下图所示。

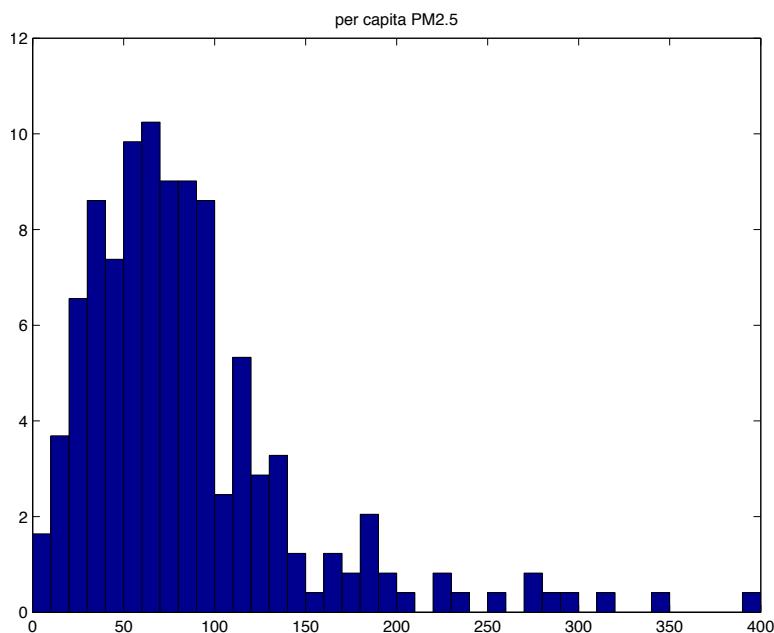


图 3.1.1.2 个人室内PM<sub>2.5</sub>均值的分布

采样时间内所有人的室内的平均 PM<sub>2.5</sub> 浓度为 82.6μg/m<sup>3</sup>，处于轻度污染的范畴。

### 3.1.2 暴露量和潜在剂量

暴露 (exposure) 定义为人体外边界与化学物质接触的状态。在一段时间内的暴露可以用一个时变属性暴露量来表述。暴露量可用下式计算 [14]

$$E = \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt$$

式中：E：暴露量；C：暴露浓度；t：时间； $t_2 - t_1$ ：暴露持续时间。

潜在剂量 (Potential Dose) 定义为咽下、吸入以及皮肤接触的化学物质总量 [14]。

由上述定义，可将北京市人均每日的PM<sub>2.5</sub>暴露量表述为室内暴露量与室外暴露量之和。

$$E_{day} = \int_{t_{indoor}} C_{indoor}(t)dt + \int_{t_{outdoor}} C_{outdoor}(t)dt$$

人平均70%~90%的时间段处在室内。假设在人的一天24小时中，有20小时处于室内环境，4小时处于室外环境。由3.1.1小节中计算的室内平均PM<sub>2.5</sub>浓度82.6μg/m<sup>3</sup>以及对应采样时间的室外平均PM<sub>2.5</sub>浓度91.5μg/m<sup>3</sup>，可以计算得到北京市人均每日的PM<sub>2.5</sub>暴露量为2018.6 μg·h/m<sup>3</sup>。每分钟通气量指每分钟进或出肺的气体总量，正常成年人在平静呼吸状态下的每分钟通气量为5~8L。此处以每分钟通气量6.5L计，每小时通气量为0.39m<sup>3</sup>。由暴露量与单位时间内通气量作积可得到北京市人均每日的PM<sub>2.5</sub>潜在剂量为787.3μg。

对比人均每日室内外暴露量或潜在剂量可知，室内20小时的PM<sub>2.5</sub>暴露量约为每日总暴露量的82%，而室外4小时的PM<sub>2.5</sub>暴露量约为每日总暴露量的18%。

## 3.2 整体室内外空气质量关系

依据时间对所有室内外空气质量数据进行匹配，将室外PM<sub>2.5</sub>数值按每50μg/m<sup>3</sup>为一个区间进行分段统计，得到下面的箱线图。其中横坐标为室外PM<sub>2.5</sub>数值，纵坐标为室内PM<sub>2.5</sub>数值。红色点为野值点（即位于95%分布之外的样本点），蓝色箱框上下分别表示3/4、1/4分位点，箱内红色横线表示中位点，绿色点表示所有非异常点的均值。

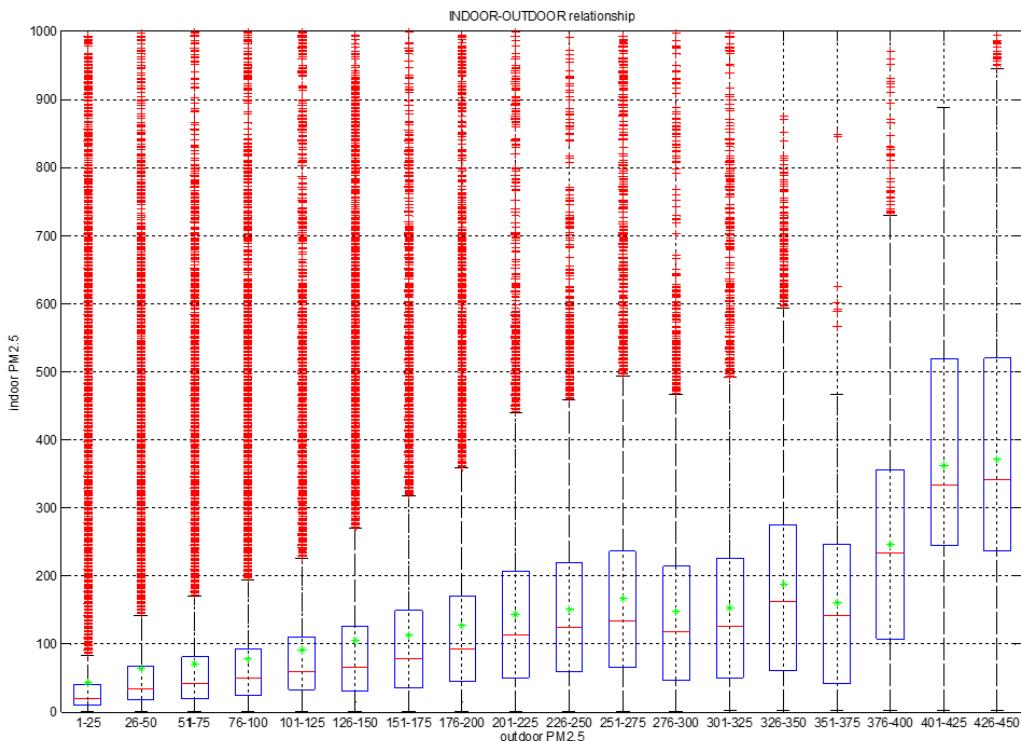


图3.2 室内外空气质量关系分段箱线图

可以从分段的统计中看出，随室外PM<sub>2.5</sub>数值升高，对应的室内PM<sub>2.5</sub>数值的范围逐渐增大，同时每段区间内的室内均值也呈现出上升趋势。室内的PM<sub>2.5</sub>浓度在平均意义上与同时期的室外数值有着较强的相关关系。

此处，以“室内外比值”即室内与室外PM<sub>2.5</sub>浓度比值来描述室内外空气质量的对应关系。以最小均方根误差的评估方法，分别对图3.2中不同室外空气质量区段的均值散点进行拟合，得到表3.2结果。

室外 PM <sub>2.5</sub> 浓度范围 μg/m <sup>3</sup>	室内外比值	均方根误差
0~450	0.6654	43.04
0~75	1.335	22.28
76~150	0.8026	6.952
151~450	0.6536	48.56

表 3.2 室内外比值在不同室外浓度范围下的数值

从室外浓度在 0~450 μg/m<sup>3</sup> 整个范围内，拟合得到的室内外比值为 0.6654。也就是说，室内的 PM<sub>2.5</sub> 约为同时刻对应室外 PM<sub>2.5</sub> 含量的 66.54%。在室外空气质量为优和良即浓度在 0~75 μg/m<sup>3</sup> 范围内，拟合得到的室内外比值是 1.335，室内的 PM<sub>2.5</sub> 浓度高于室外。这一现象主要由室内残留的室外颗粒物和室内自身存在的污染源所致。在室外空气质量为轻度和中度污染、重度和严重污染即浓度在 76~150 μg/m<sup>3</sup>、151~450 μg/m<sup>3</sup> 范围内，拟合得到的室内外比值分别为 0.8026 和 0.6536。可以发现，随着室外污染程度的提高，室内外比值表现出下降趋势。

### 3.3 室内空气质量对人体健康的影响

当前细颗粒物对人体健康影响的研究主要在流行病学领域，基于长期空气质量历史数据和大规模人群的跟踪调查，对相关因素进行群组分析。在群组分析中，PM<sub>2.5</sub> 对健康的危害以相对风险（Relative Risk, RR）表征，指暴露群体发生危险几率与未暴露群体发生危险几率的比例。

根据 1993 年哈佛大学的研究人员在美国 6 个城市开展的相关研究<sup>[15]</sup>，吸烟状况与死亡率有强关联；在除去吸烟及其他影响因素后，PM<sub>2.5</sub> 与死亡率有显著的相关性。该项目人员在 1996 年发表了更多的结论表明在可吸入颗粒内，细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）的危害比粗颗粒物（Coarse Particles: PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub>）更显著。2002 年 Pope 等人发表的一项涉及 120 万余样本、覆盖全美所有州、持续时间长达 16 年的研究<sup>[16]</sup>同样得出了 PM<sub>2.5</sub> 与死亡率存在显著正相关的结论，并且进一步得到，细颗粒物含量每增加 10 μg/m<sup>3</sup>，相对风险增加约 6%，心肺疾病相对风险增加约 9%，肺癌相对风险增加约 14%，对其他疾病的相对风险并无明显影响。

值得指出的是，以上研究都是基于室外长期监测数据得出的结论，并未监测人体实际的 PM<sub>2.5</sub> 的暴露量，仅具备参考价值。直到本研究所采用的大规模众包 PM<sub>2.5</sub> 监测技术被广泛应用之后，对于人体所处室内环境造成的 PM<sub>2.5</sub> 实际暴露量才有可能被监测，并与疾病风险做相关和评估。

### 3.4 室内空气质量影响因素

室内空气质量并非仅仅是室外空气质量的一个过滤形式，在多数情况下受到人为因素包括室内污染及净化手段的影响<sup>[9]</sup>。之前的研究发现，空调、空气颗粒物过滤器能够减少人员在室内对颗粒物的暴露，而烹饪、供暖和吸烟等行为则可能构成室内空气的污染源<sup>[10]</sup>。本文根据先验知识和人们的关注点，将室内空气质量的影响因素分为室外 PM<sub>2.5</sub> 值、基础建筑条件和人的行为几个方面。本次室内空气质量调研所依据的数据，除了 PiMi 空气云采集的室内 PM<sub>2.5</sub> 时间序列之外，还有同期北京市气象局 12 个监测站的官方室外 PM<sub>2.5</sub> 数据，以及包括建筑环境类型、楼层、距离主干道距离在内的基础建筑条件标记，包括是否开启中央空调、是否开窗通风、是否开启空气净化器、是否吸烟烹饪打扫等的人行为标记（标记问卷见附录 1）。通过以上标记对数据进行分类和区间选取，用以本次室内空气质量成因的量化分

析。

此处分析的主要依据“室内外比值”，表示在某一特定的室外取值范围和室内模型下（模型包括基础建筑条件和人的行为），室内外数据对应散点图拟合的正比例关系直线的斜率，用以表征此状态下室内外PM<sub>2.5</sub>的对应关系。当室外PM<sub>2.5</sub>浓度范围固定时，可以用室内外比值来衡量模型或某种条件/行为的好坏。室内外比值越小，即斜率越小，也就是在相等的室外PM<sub>2.5</sub>值对应的室内PM<sub>2.5</sub>浓度越低，模型的表现越好，对室外污染抵抗越强。相反，室内外比值越大，即斜率越大，说明模型对室内良好空气质量的维持越弱，表现较差。

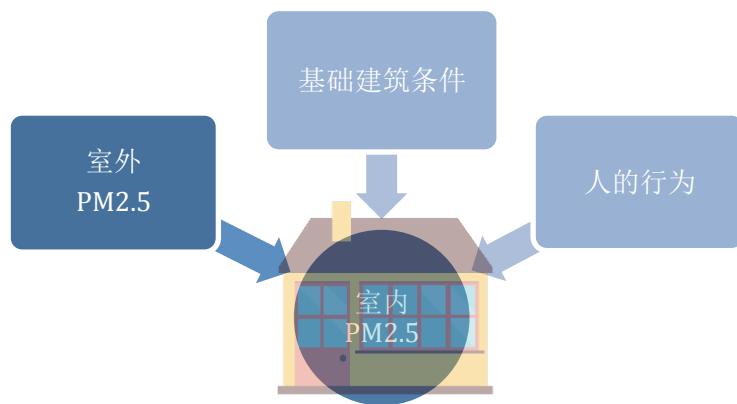


图 3.4 室内空气质量的潜在影响因素

### 3.4.1 基础建筑条件的影响

#### (1) 所在的建筑环境类型：居住环境、办公环境、公共环境

根据问卷中的问题 1 将采样点分为居住环境、办公环境、公共环境三类，依据时间对每一类别中室内外空气质量数据进行匹配，将室外PM<sub>2.5</sub>数值按每50μg/m<sup>3</sup>为一个区间进行分段统计，得到三幅箱线图。图中点线的意义同图 3.2。

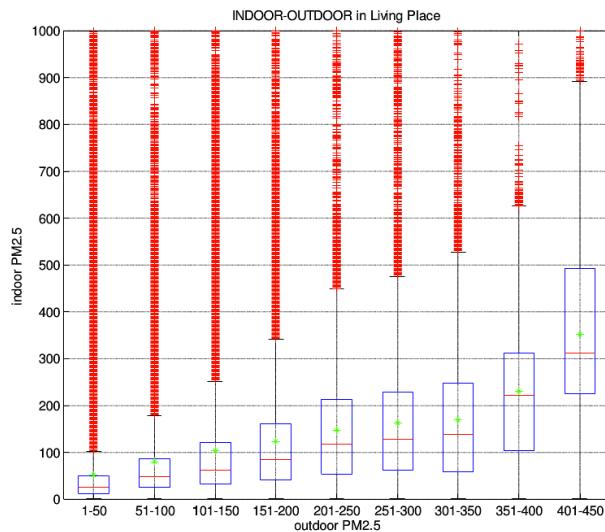


图 3.4.1.1 居住环境中室内外空气质量箱线图

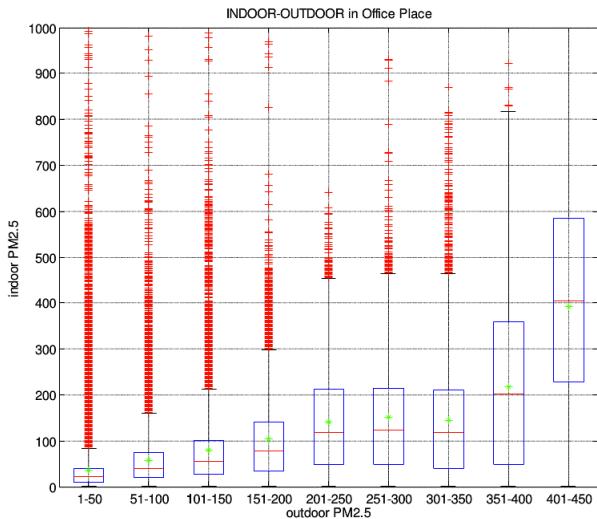


图 3.4.1.2 办公环境中室内外空气质量箱线图

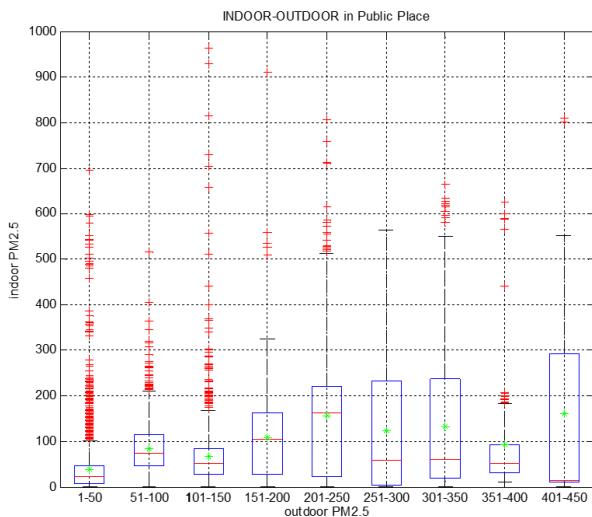


图 3.4.1.3 公共环境中室内外空气质量箱线图

居住环境和办公环境在箱线图中都表现出了和图 3.2 整体室内外空气质量关系中相同的特性：随室外 PM<sub>2.5</sub> 数值升高，对应区间内室内 PM<sub>2.5</sub> 数值的范围增大，每段的室内均值也呈现出升高趋势。而对于公共环境，由于志愿者上传的采样点较少，信息量暂无法支持具有统计显著性的结论。

为了更好地对比居住环境和办公环境中室内外空气质量关系的差异，将两环境的区间均值点放在同一图中，得到图 3.4.1.4。其中红色点表示居住环境，蓝色点表示办公环境。可以看到，在每个浓度区间，居住环境的均值均高于办公环境，但差值大小有所不同。

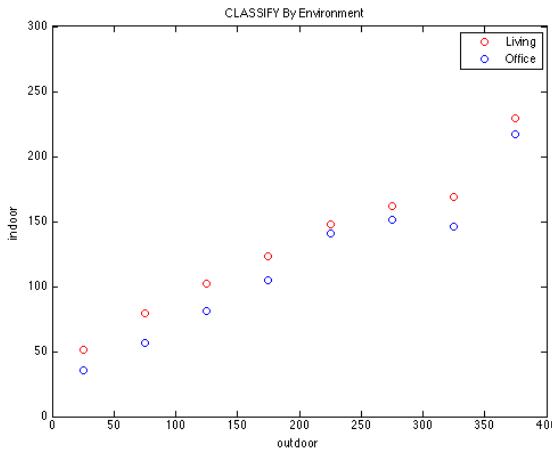


图 3.4.1.4 不同建筑环境下的室内外空气质量散点图

在室外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的全部数值范围内，用正比例直线分别拟合居住环境和办公环境中的均值点，得到两者的室内外比值为 0.6761 和 0.6642。即办公环境的室内外比值较低，模型表现较好，但与居住环境区别不明显。

建筑环境类型	采样点数量	室内外比值	均方根误差
居住环境	768760	0.6761	35.83
办公环境	288718	0.6642	49.43
公共环境	11266		

表 3.4.1.1 不同建筑环境类型在全部室外浓度数值下的数据表现

在室外污染的情况下，此处只取空气质量标准中室外“重度污染”以及“严重污染”对应的室外  $\text{PM}_{2.5}$  值，即大于等于  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，拟合室内外比值得到居住环境和办公环境分别为 0.6672 和 0.6629。可见，在空气污染的情况下，办公环境表现依然略优于居住环境，但差别仍不明显。

## (2) 楼层的影响：1~8 层、9~16 层、17 层及以上

根据问卷中的问题 2 将采样点按楼层分为 1~8 层、9~16 层以及 17 层以上三类，依据时间对每一类别中室内外空气质量数据进行匹配，将室外  $\text{PM}_{2.5}$  数值按每  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  为一个区间进行分段统计，得到三幅箱线图。图中点线的意义同图 3.2。

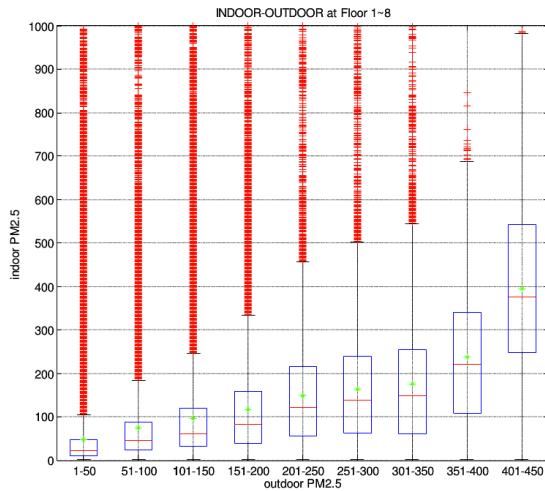


图 3.4.1.4 1~8 层室内外空气质量箱线图

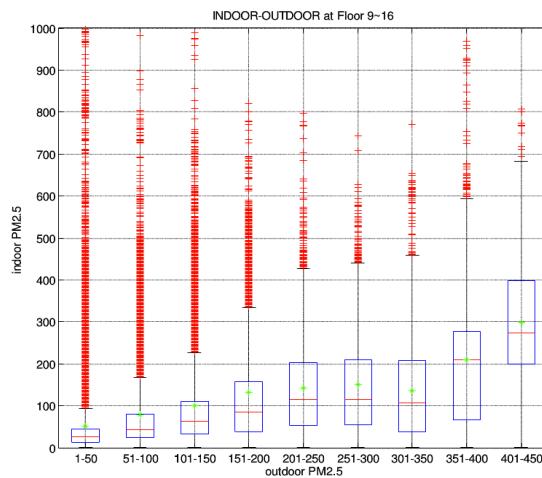


图 3.4.1.5 9~16 层室内外空气质量箱线图

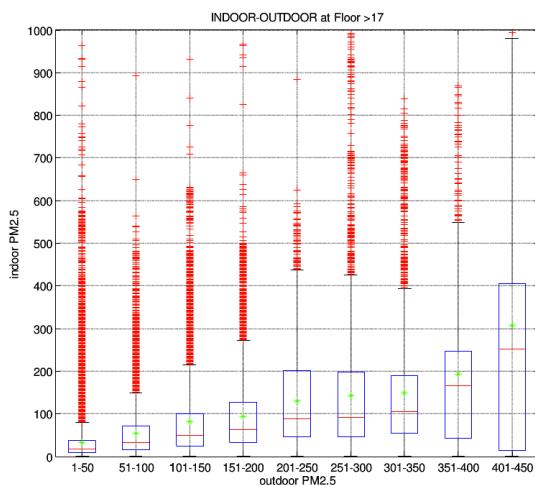


图 3.4.1.6 17 层以上室内外空气质量箱线图

1~8 层、9~16 层以及 17 层以上这三类在室内外空气质量箱线图中同样表现出了和图 3.2 整体室内外空气质量关系中相同的特性：随室外 PM<sub>2.5</sub> 数值升高，对应区间内室内 PM<sub>2.5</sub>

数值的范围增大，每段的室内均值也呈现出升高趋势。

将三类楼层高度的区间均值放在同一幅图中进行对比。图 3.4.1.7 中，红色点代表 1~8 层，蓝色点代表 9~16 层，绿色点代表 17 层以上。对比可以看出，17 层以上在几乎所有室外浓度区间中都表现出室内浓度的最低值，而对于另外两类楼层高度，在  $0\sim200\mu\text{g}/\text{m}^3$  的室外浓度范围中 1~8 层室内浓度值较高，而在  $200\sim400\mu\text{g}/\text{m}^3$  的室外浓度范围中 9~16 层室内浓度值较高。

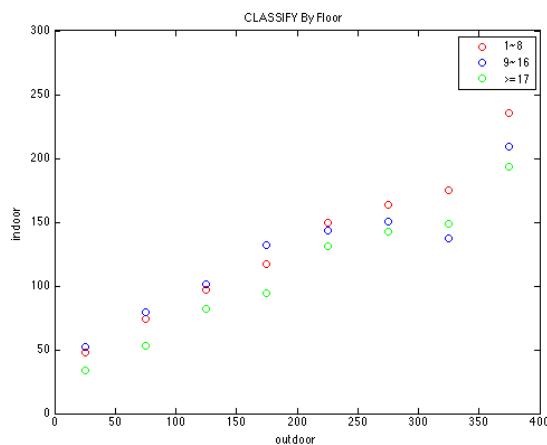


图 3.4.1.7 不同楼层高度模型下室内外空气质量散点图

在室外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的全部数值范围内，用正比例直线分别拟合三类楼层高度的均值点，得到三者的室内外比值为 0.7124、0.6048 和 0.5805。从统计意义上可以看出楼层越高室内外空气质量比值越低，“17 层以上”的空气质量优于“9~16 层”略优于“1~8 层”。随着楼层的升高，模型对室内空气质量的保护作用也逐渐提高。

楼层	采样点数量	室内外比值	均方根误差
1~8 层	670681	0.7124	43.91
9~16 层	269994	0.6048	34.78
>17 层	128069	0.5805	28.74

表 3.4.1.2 不同楼层模型在全部室外浓度数值下的数据表现

(3) 距离交通主干道的距离：小于 100 米、100~500 米、500~1000 米、大于 1000 米

根据问卷中的问题 3 将采样点距离主干道的位置分为小于 100 米、100~500 米、500~1000 米以及大于 1000 米四类，依据时间对每一类别中室内外空气质量数据进行匹配，将室外  $\text{PM}_{2.5}$  数值按每  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  为一个区间进行分段统计，得到四幅箱线图。图中点线的意义同图 3.2。

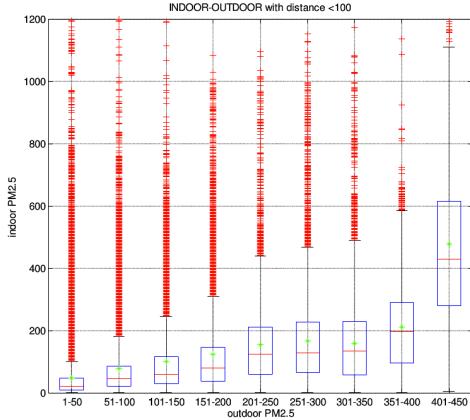


图 3.4.1.8 距主干道<100 米室内外空气质量箱线图

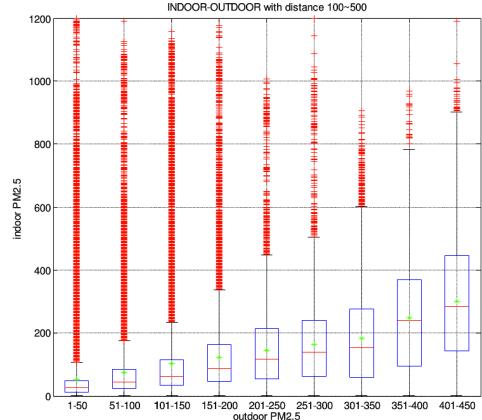


图 3.4.1.9 距主干道 100~500 米室内外空气质量箱线图

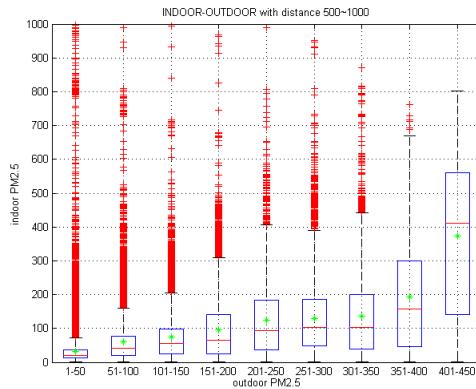


图 3.4.1.10 距主干道 500~1000 米室内外空气质量箱线图

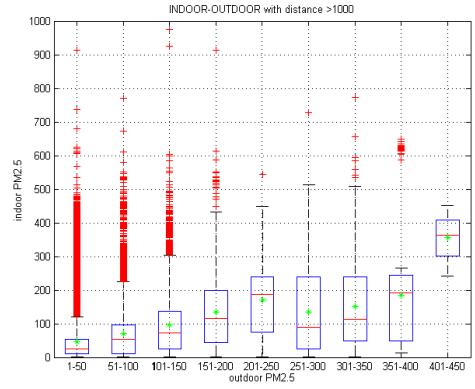


图 3.4.1.11 距主干道>1000 米室内外空气质量箱线图

由于距主干道距离大于 1000 米的采样点较少，无法表现出统计显著性的结论。故将 500~1000 米与>1000 米的类别合并成>500 米，得到下图。

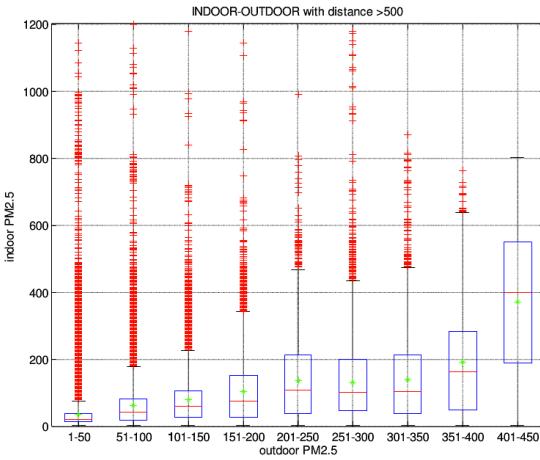


图 3.4.1.12 距主干道>500 米室内外空气质量箱线图

距主干道<100 米、100~500 米以及>500 米这三类在室内外空气质量箱线图中也同样表现出了和图 3.2 整体室内外空气质量关系中相同的特性：随室外 PM<sub>2.5</sub> 数值升高，对应区间内室内 PM<sub>2.5</sub> 数值的范围增大，每段的室内均值也呈现出升高趋势。

将三类主干道距离模型的区间均值放在同一幅图中进行对比。图 3.4.1.13 中，红色点表

示与主干道距离小于 100 米，蓝色点表示与主干道距离 100~500 米，绿色点表示与主干道距离大于 500 米。可以发现，距离 500 米以上的点在所有室外浓度区间的室内均值都为最低，而与主干道距离小于 100 米和 100~500 米的室内均值差异不明显。

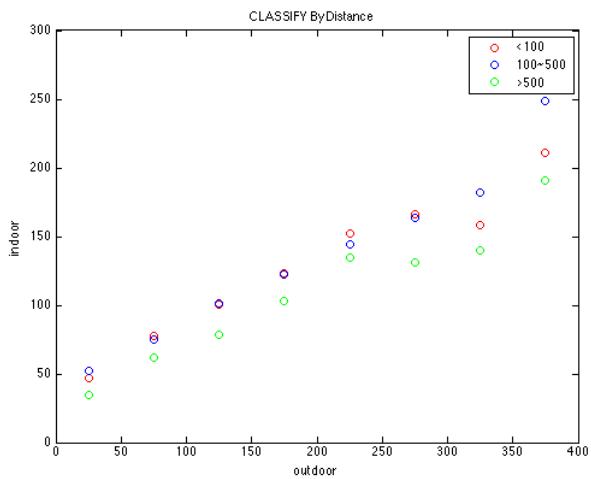


图 3.4.1.13 与主干道不同距离的模型下室内外空气质量散点图

在室外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的全部数值范围下，用正比例直线分别拟合三种与主干道距离的均值点，得到三者的室内外比值为 0.7494、0.6586 和 0.6179。可以看出室内外空气质量比值随与主干道距离的增加而降低，“>500 米”的空气质量优于“100~500 米”优于“<100 米”。与主干道距离越大，建筑模型在统计意义上受到室外污染物的影响越小。

距主干道距离	采样点数量	室内外比值	均方根误差
<100 米	401458	0.7494	71.06
100~500 米	445567	0.6586	22.88
>500 米	$181248+40471=221719$	0.6179	49.08

表 3.4.1.3 距主干道不同距离模型在全部室外浓度数值下的数据表现

### 3.4.2 人为因素的影响

#### (1) 净化手段①：中央空调

根据问卷中的问题 4 把采样点分为在开启中央空调的时间段内和不在开启中央空调的时间段内两类，虽然问卷无法精确地分割开启/关闭中央空调的时间，但可以描述两者间的大致差异。

依据时间对每一类别中室内外空气质量数据进行匹配，将室外  $\text{PM}_{2.5}$  数值按每  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  为一个区间进行分段统计，作箱线图。图中点线的意义同图 3.2。

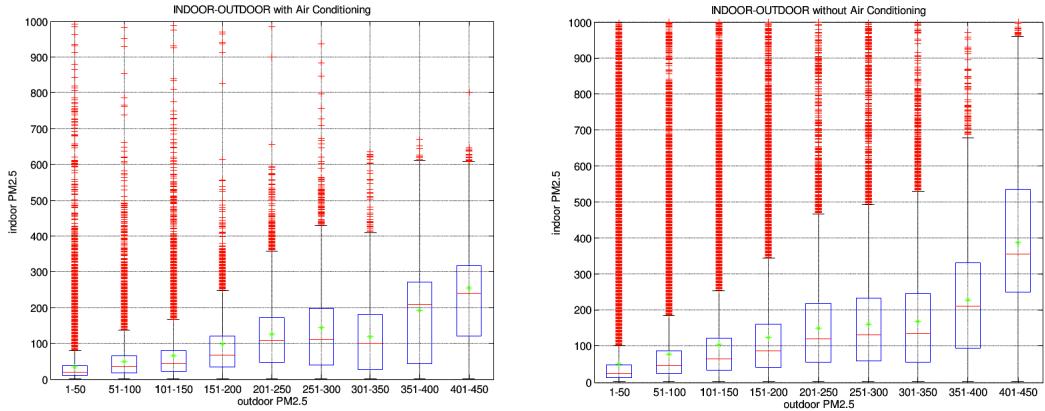


图 3.4.2.1 开启中央空调时室内外空气质量箱线图

图 3.4.2.2 未开启中央空调时室内外空气质量箱线图

两幅图的整体特性与 3.2 相似。为了得到更直观比较，将开启与未开启中央空调两模型的区间均值放在同一幅图内。图 3.4.2.3 中，红色点表示开启中央空调，蓝色点表示未开启中央空调，可以看到，在所有室外浓度值区间内，开启中央空调模型下的室内均值都不同程度地低于未开启中央空调模型的室内均值。

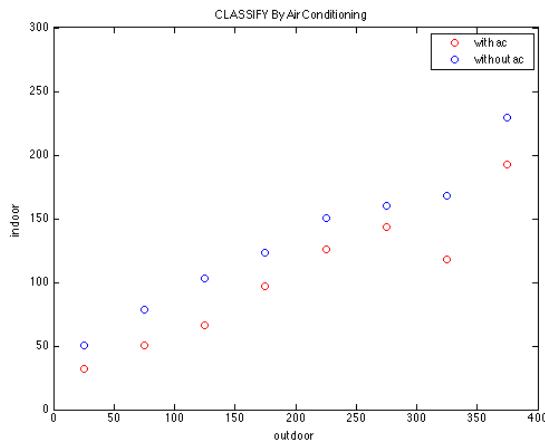


图 3.4.2.3 开启与未开启中央空调模型下室内外空气质量散点图

用正比例直线分别拟合两模型在室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度的全部数值范围下的均值点，可得室内外比值分别为 0.5221 和 0.7000，两者有着较为明显的差别。开启中央空调时的室内模型表现要优于未开启中央空调，这可能是由于当前许多中央空调中装有新风系统，起到了净化空气减少室内空气中PM<sub>2.5</sub>含量的作用。

是否开启中央空调	采样点数量	室内外比值	均方根误差
开启	188815	0.5221	23.27
未开启	848785	0.7000	43.99

表 3.4.2.1 开启与不开中央空调模型在全部室外浓度数值下的数据表现

## (2) 净化手段②：开窗通风

相关研究者对不同等效半径的颗粒物进行严格控制实验，实验结果表明，开窗通风使室内颗粒物浓度迅速提升至室外颗粒物浓度水平，而关窗后，室内颗粒物浓度又会回归开窗前

浓度水平，但不同颗粒物的回归所需时间在 30~60 分钟不等<sup>[17]</sup>。由此猜想，开窗通风行为带来的影响大小与同时期室外颗粒物浓度存在联系。

根据问卷的问题 5 可把采样点分为在开窗通风的时间段和在没有进行开窗通风的时间段，依据采样时间对每一类别中室内外空气质量数据进行匹配。将室外 PM<sub>2.5</sub> 数值按每 25 μg/m<sup>3</sup> 一个区间分段统计，作箱线图。以更精细的分段，探究开窗通风行为带来的影响大小与同期室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度之间的关系。图中点线的意义同图 3.2。

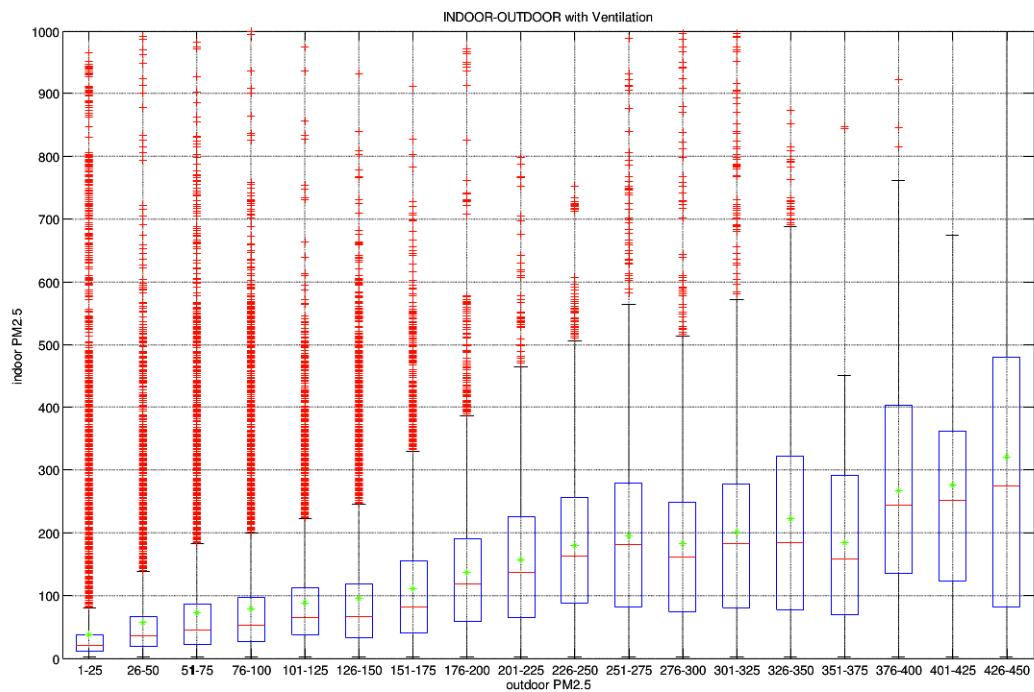


图 3.4.2.4 开窗通风时室内外空气质量箱线图

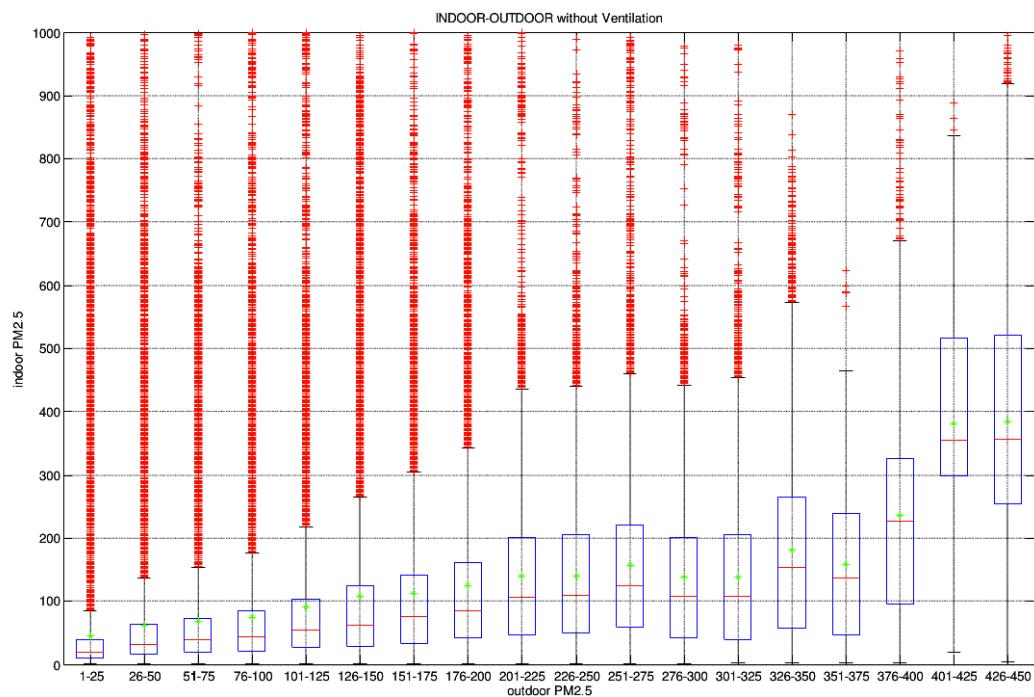


图 3.4.2.5 未开窗通风时室内外空气质量箱线图

两图的特性与 3.2 相似。将开窗通风与未开窗通风两模型的区间均值放在同一幅图内。

图 3.4.2.6 中, 红色点表示开窗通风, 蓝色点表示未开窗通风。在室外PM<sub>2.5</sub>浓度小于200μg/m<sup>3</sup>时, 开窗与不开窗的均值有高有低, 但在室外浓度高于200μg/m<sup>3</sup>的范围即污染较严重的情况下, 开窗的均值都高于不开窗。

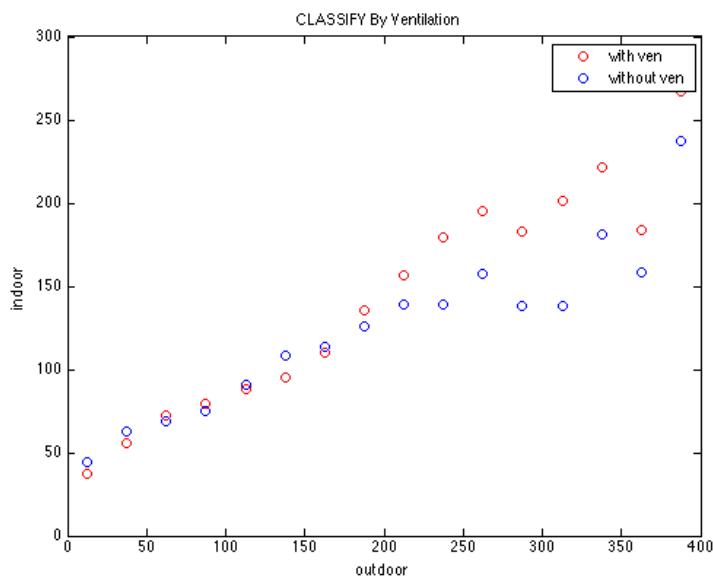


图 3.4.2.6 开窗与未开窗模型下室内外空气质量散点图

用正比例直线分别拟合两模型在室外PM<sub>2.5</sub>浓度的全部数值范围下的均值点, 可得室内外比值为0.6618和0.6771。未开窗通风的模型低于开窗通风的模型。而分别对室外空气质量为优/良(0~75μg/m<sup>3</sup>)、轻度污染/中度污染(76~150μg/m<sup>3</sup>)、重度污染/严重污染(151~450μg/m<sup>3</sup>)三段均值点进行拟合, 得到表 3.4.2.2 数据: 在室外PM<sub>2.5</sub>浓度小于75μg/m<sup>3</sup>时, 开窗与不开窗的室内外比值都大于1, 且不开窗高于开窗; 在室外PM<sub>2.5</sub>浓度大于75μg/m<sup>3</sup>时, 开窗与不开窗的室内外比值都小于1, 且不开窗在75~150μg/m<sup>3</sup>范围高于开窗, 在150μg/m<sup>3</sup>以上范围低于开窗。

室外PM <sub>2.5</sub> 浓度范围	不通风 室内外比值	均方根误差	通风 室内外比值	均方根误差
	0~450		0.6771	
0~75	1.3150	23.79	1.293	17.19
76~150	0.8061	3.608	0.7623	11.51
151~450	0.6539	58.59	0.6714	22.46

表 3.4.2.2 开窗与未开窗模型在不同室外数值浓度范围下的数据表现

结果表明, 在室外PM<sub>2.5</sub>监测值低于75μg/m<sup>3</sup>即为优良时, 开窗通风有利于室内空气质量的提升, 而在室外PM<sub>2.5</sub>监测值高于150μg/m<sup>3</sup>时, 开窗通风这一行为也成为室内空气质量的一项破坏因素。同时证明, 开窗通风行为带来的影响大小确实与同时期室外颗粒物浓度存在联系。

### (3) 净化手段③: 空气净化器

根据问卷中的问题 6 把采样点分为开启空气净化器和未开启空气净化器两个时间段, 依据时间对每一类别中室内外空气质量数据进行匹配, 将室外PM<sub>2.5</sub>数值按每50μg/m<sup>3</sup>为一

个区间进行分段统计，作箱线图。图中点线的意义同图 3.2。

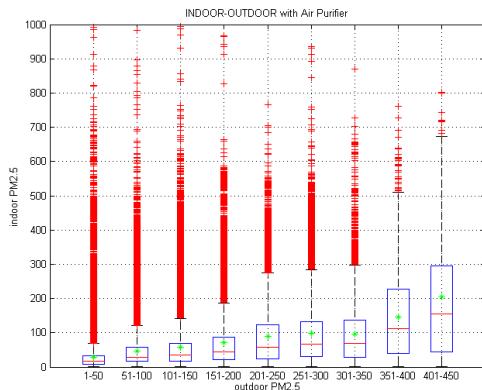


图 3.4.2.7 开启空气净化器时室内外空气质量箱线图

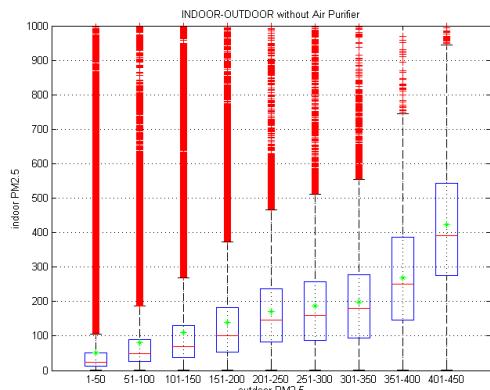


图 3.4.2.8 未开启空气净化器时室内外空气质量箱线图

两图的特性同图 3.2。将开启空气净化器与未开启空气净化器两模型的区间均值放在同一幅图内得到图 3.4.2.9。该图中，红色点表示开启空气净化器，蓝色点表示未开启空气净化器。可以看到，在每个区间内，开启空气净化器的均值都明显低于未开启空气净化器的均值。

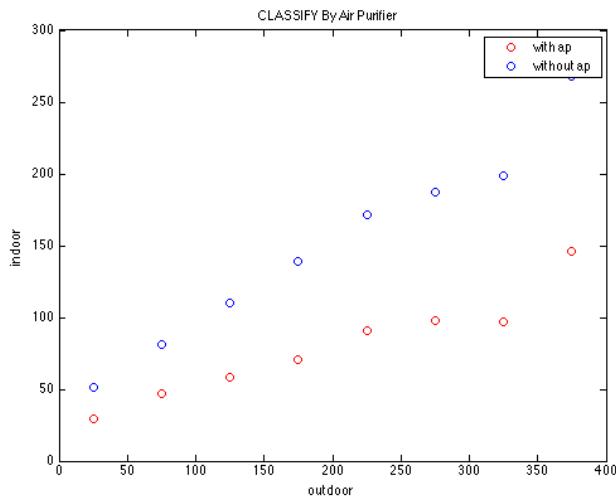


图 3.4.2.9 开启与未开启空气净化器模型下室内外空气质量散点图

用正比例直线分别拟合两模型在室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度的全部数值范围下的均值点，得到室内外比值为 0.4032 和 0.7894。从统计意义上，开启空气净化器对室内空气质量起到了显著的提升作用。

是否开启空气净化器	室内外比值	均方根误差
开启	0.4032	19.73
未开启	0.7894	41.27

表 3.4.2.3 开启与未开启空气净化器模型在全部室外浓度数值下的数据表现

下图时间序列曲线是一个典型的空气净化器的使用示例。其中绿色表示室外PM<sub>2.5</sub>，蓝色表示室内PM<sub>2.5</sub>，阴影部分对应志愿者开启空气净化器的时间段。可以看出，在非阴影部分即未使用空气净化器的时间段内，室内PM<sub>2.5</sub>值有向室外PM<sub>2.5</sub>值逼近的趋势，而在阴影部

分，无论室外值如何，室内值始终保持在  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  左右或以内。

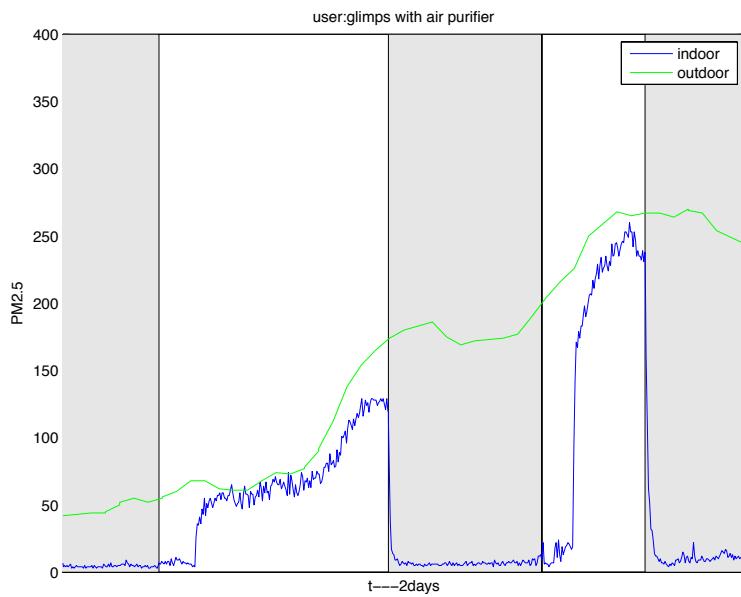


图 3.4.2.10 空气净化器对室内PM<sub>2.5</sub>时间序列的影响

#### (4) 人为活动可能的短期影响因素：吸烟、烹饪、打扫等

除了人们常用的几种净化空气的手段外，本次数据分析也从时间序列的角度观察到一些短期的人为活动对于室内空气质量的影响。

比如下图在 12 月 7 日的室内外空气质量数据图中，志愿者在 12:00 至 18:00 时间段内进行了室内打扫，由此引起室内的PM<sub>2.5</sub>含量发生增减的周期性变化。

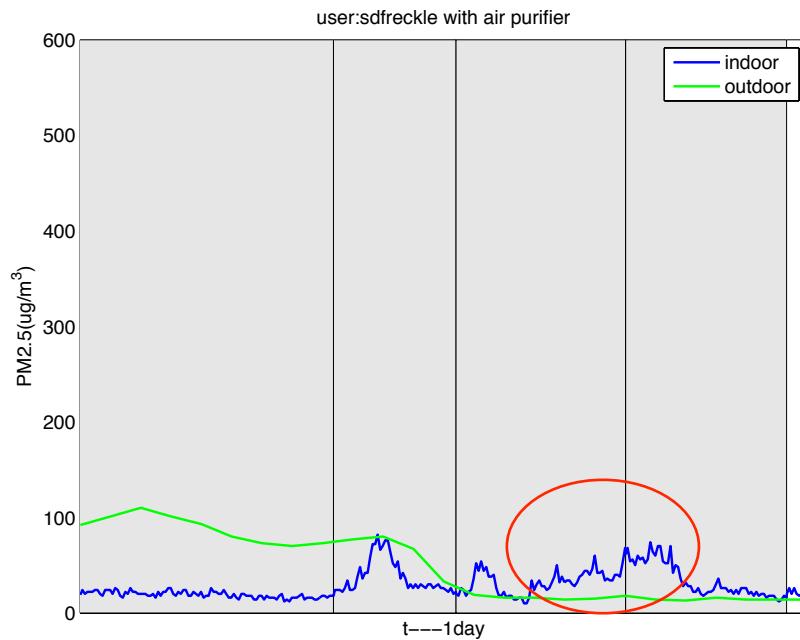


图 3.4.2.11 打扫行为对室内PM<sub>2.5</sub>时间序列的影响

下面两位志愿者的烹饪行为也在室内PM<sub>2.5</sub>曲线上引起了明显的峰。

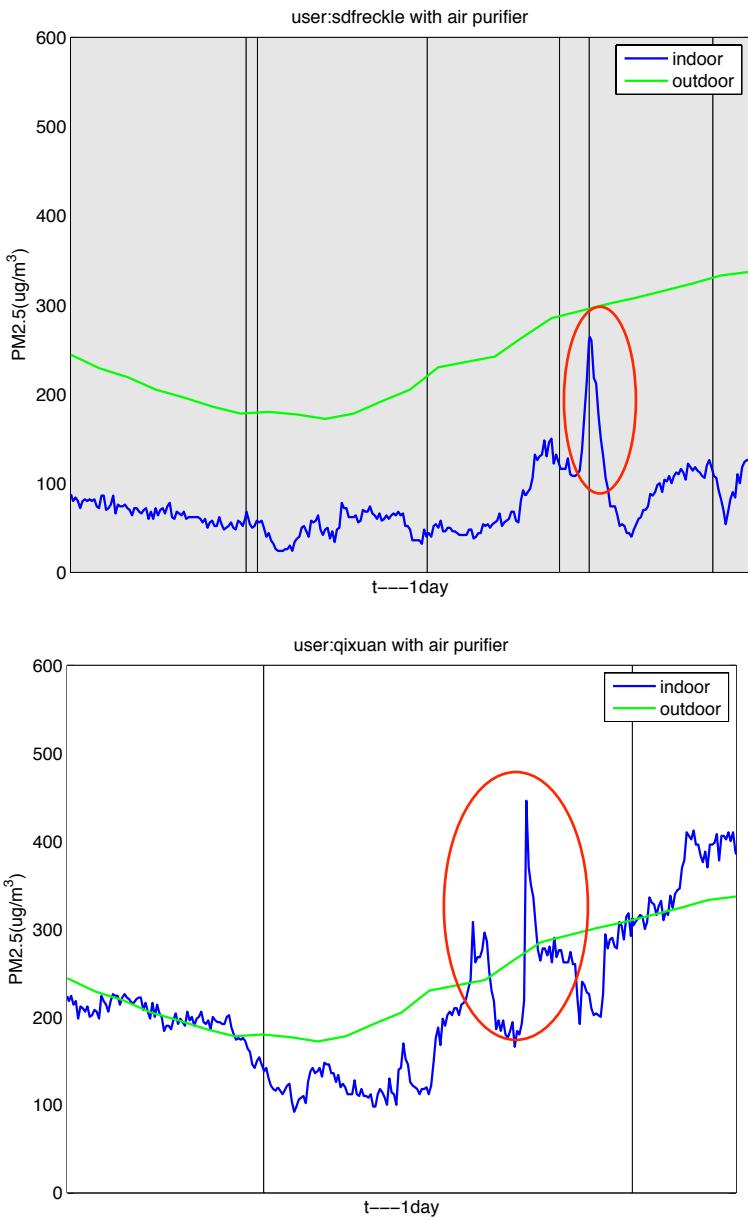


图 3.4.2.12 烹饪行为对室内PM<sub>2.5</sub>时间序列的影响

同样地，除了吸烟、烹饪、打扫外存在其他未知的增尘行为。比如下图曲线中，志愿者标记了两次“其他”行为。

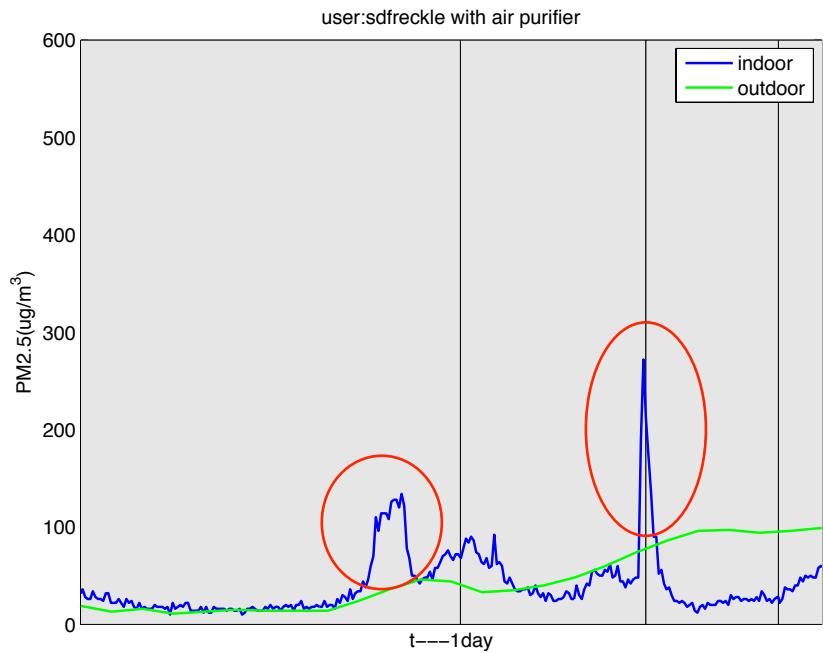
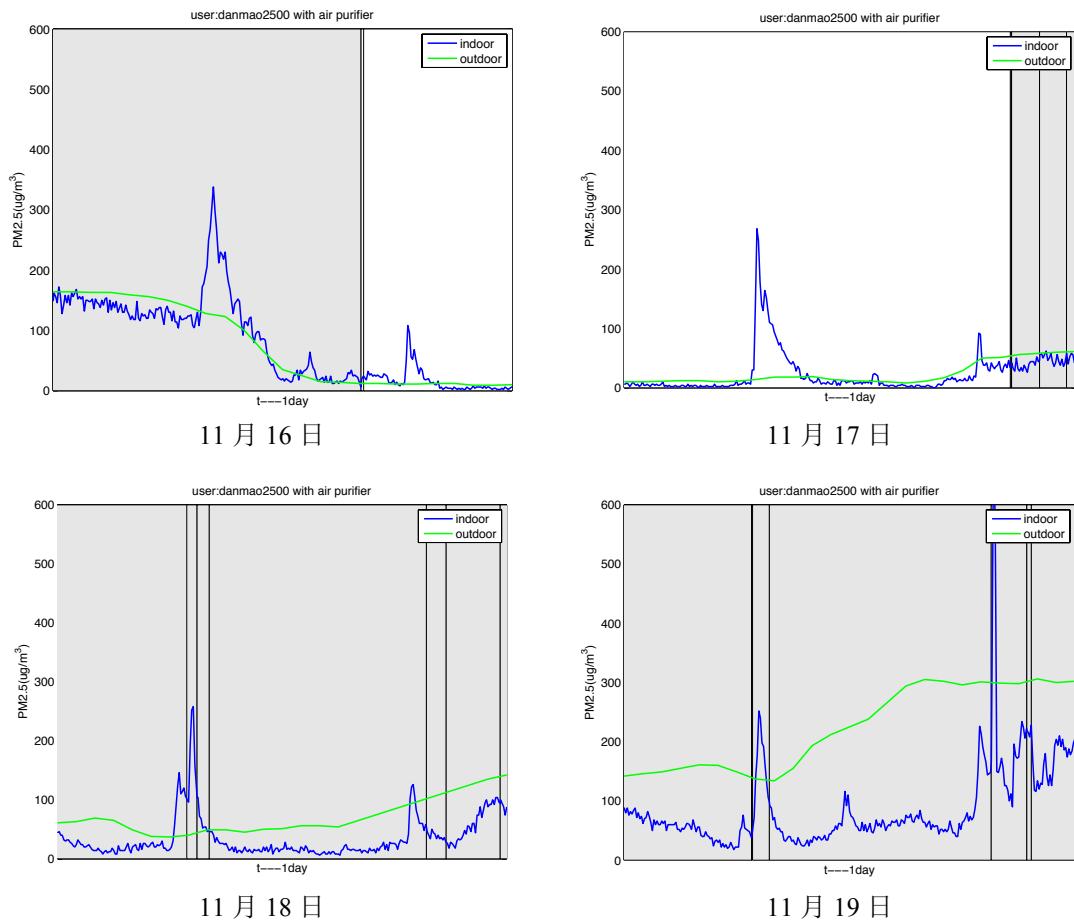
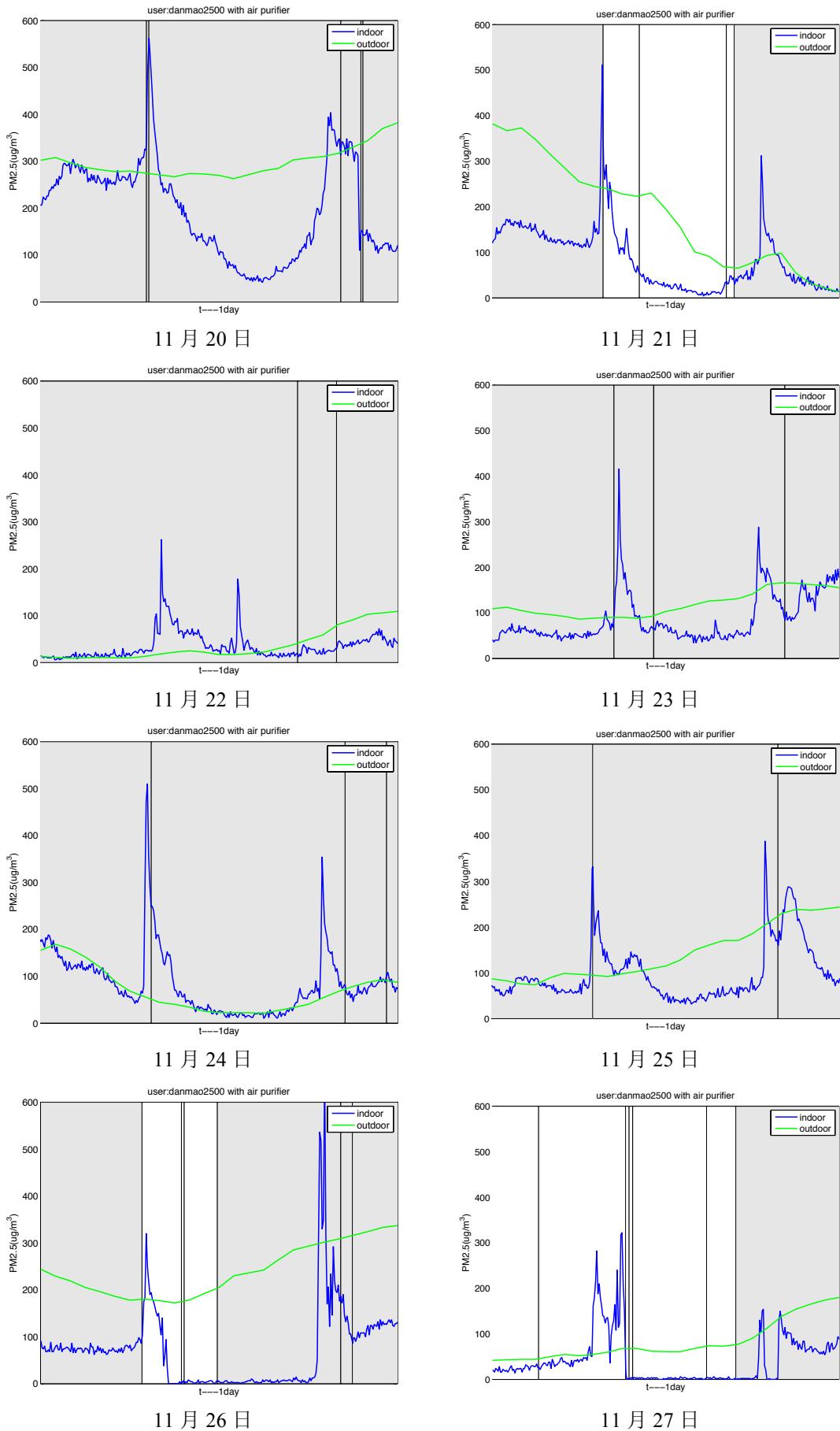


图 3.4.2.13 “其他”增尘行为在室内PM<sub>2.5</sub>时间序列中的表现

除了问卷中用户标记的行为外，也可以从每天的室内PM<sub>2.5</sub>监测曲线中发现一些“图案”，即一些有趣的周期性行为。下图志愿者，每天7-8点以及21-22点会有两个明显的峰，而此两峰的高低和间距也会每日发生改变。





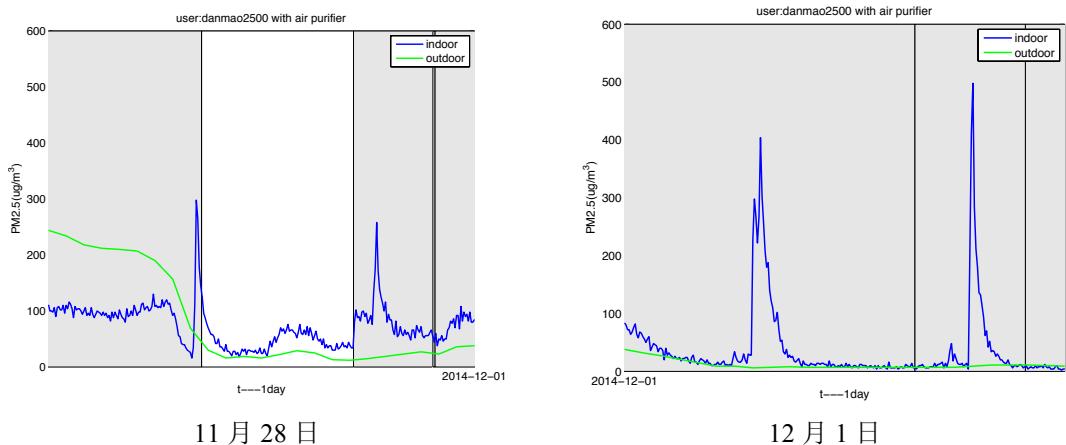


图 3.4.2.14 志愿者日周期行为对室内PM<sub>2.5</sub>时间序列的影响

### 3.5 不同因素对室内空气质量的影响力的影响分析

调研结果表明,自 2014 年 11 月 14 日起至 2015 年 1 月 30 日,北京市室外的平均 PM2.5 浓度为  $91.5330\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 室外的空气质量随时间变化,因地理位置而异。在时间尺度上取均值,不同地理位置间存在着最大超过  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  的平均值差。同时间段内,北京市居民室内空气的平均 PM<sub>2.5</sub> 浓度为  $82.6235\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 志愿者之间存在着最大超过  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$  的平均值差。

室内外空气质量存在着很大的相关关系。在全部室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度范围下,正比例关系拟合得到室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度约为同时期室外值的 66.54%。在室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度  $0\sim75\mu\text{g}/\text{m}^3$  区间内,室内外比值大于 1。但随室外污染程度的升高,室内外比值逐渐下降。

综合本文上述分析,无论是地理位置、建筑的基础建筑条件还是人的行为都在影响着室内的空气质量。以“室内外比值”这一把标尺衡量基础建筑条件和人行为对室内空气质量的影响整理可得:

基础建筑条件 (室内外比值)					
建筑环境类型	楼层		距离主干道距离		
居住	0.6761	1-8 层	0.7124	<100m	0.7494
办公	0.6642	9-16 层	0.6048	100-500m	0.6586
公共	-	17 层及以上	0.5805	>500m	0.6179
最大类间差值	0.0119	最大类间差值	0.1319	最大类间差值	0.1315

人的行为 (室内外比值)				
中央空调	开窗通风 (优/良)	空气净化器		
开启	0.5221	开窗通风	1.293	开启
未开启	0.7000	未开窗通风	1.315	未开启
最大类间差值	0.1779	最大类间差值	0.022	最大类间差值
				0.3862

表 3.5.1 不同基础建筑条件以及人行为下的室内外比值

以类间的室内外比值的最大差值来衡量这一因素对室内空气质量的影响程度可得,影响最大的因素是“空气净化器”,开启和不开启空气净化器的室内外比值差为 0.3862。其次

是中央空调，为 0.1779；影响较小的因素为建筑环境类型和开窗通风。

为了更好地探究上述因素对室内外空气质量关系的影响大小，我们引入多元线性回归的模型。将建筑环境类型、楼层、距主干道距离、是否开启中央空调、是否开窗通风、是否开启空气净化器这六个条件量化为六个变量，对室内外PM<sub>2.5</sub>比值进行多元线性回归。

$$y = \frac{PM_{indoor}}{PM_{outdoor}} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + c$$

x<sub>1</sub>: 建筑环境类型；x<sub>2</sub>: 楼层；x<sub>3</sub>: 距主干道距离；

x<sub>4</sub>: 是否开启中央空调；x<sub>5</sub>: 是否进行开窗通风；

x<sub>6</sub>: 是否开启空气净化器

c: 常量

分别用所有变量和分别除去 x<sub>1</sub>、x<sub>2</sub>、x<sub>3</sub>、x<sub>4</sub>、x<sub>5</sub>、x<sub>6</sub> 的剩余变量六种情况拟合室内外 PM<sub>2.5</sub> 比值。通过比较可以发现，在七种情况下，六个参数变量的系数均为负。也就是说，在多元线性模型中，六个参数变量对室内外比值的影响均为负。即在同样的室外空气质量下，办公环境优于居住环境，楼层越高室内空气质量越好，距离主干道距离越远空气质量越好，开启中央空调优于未开启的情况，开窗通风优于未开窗通风，开启空气净化器优于未开启空气净化器。

用回归模型检验统计量中的相关系数 R<sup>2</sup> 来衡量回归方程的显著程度。R<sup>2</sup> 越接近 1，说明回归方程的显著性越高。在使用全部变量进行回归时，得到相关系数 0.0096。而在单独除去某一变量 x<sub>i</sub> 时，对于原显著性带来的减少，表现为该变量对模型的影响程度，即该因素对 PM<sub>2.5</sub> 室内外比值的影响大小。

变量	R <sup>2</sup>
全部变量（包括常变量）	0.00996
除去 x <sub>1</sub>	0.009196
除去 x <sub>2</sub>	0.009738
除去 x <sub>3</sub>	0.009627
除去 x <sub>4</sub>	0.009705
除去 x <sub>5</sub>	0.009827
除去 x <sub>6</sub>	0.003481

表 3.5.2 不同变量的多元线性模型的相关系数

上表中可见，对室内外比值影响最大且显著高于其他因素的一项为 x<sub>6</sub>，即空气净化器的开启。x<sub>1</sub>~x<sub>5</sub> 即建筑环境类型、楼层、距主干道距离、中央空调、开窗通风这五项因素的影响作用都偏小且差别不大。其中，从之前的分析可知开窗通风时，不同室外 PM<sub>2.5</sub> 取值下的室内外比值存在差异，从而可能导致此项因素的不稳定性和在整体上表现出的弱影响。同时也解释了此项因素在多元线性回归模型和均值正比例模型结果中的正负差异。

虽然基础建筑条件很难改变，但其对室内 PM<sub>2.5</sub> 的作用却并不高于人的主动行为带来的影响。而从一些优秀的案例来看，人们也确实可以通过及时的开窗通风、开启空气净化器以及合理的减少粉尘增加行为，无论室外空气质量如何，维持良好的室内环境。

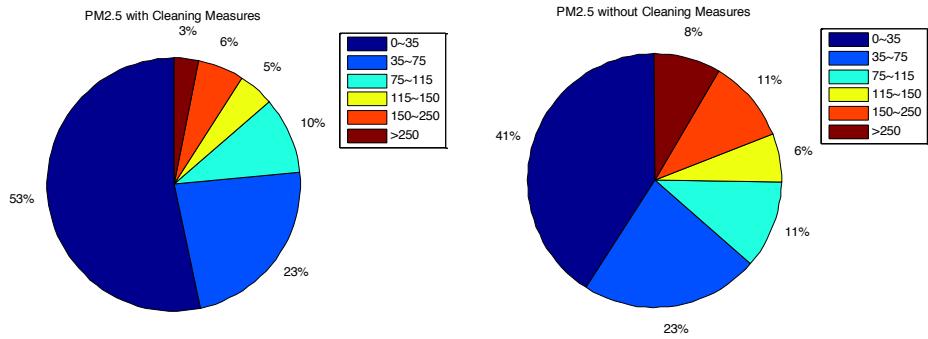


图 3.5.1 采取净化措施时的室内空气等级分布    图 3.5.2 未采取净化措施时的室内空气等级分布

选取所有人为采取净化手段（包括空气净化器和中央空调）时间段内的采样点，得到室内平均 PM<sub>2.5</sub> 浓度为 59.0 μg/m<sup>3</sup>，对应空气质量等级为良。而刨除所有净化手段的采样点，即完全不使用净化设备的情况下，室内平均 PM<sub>2.5</sub> 浓度超过采取净化手段的采样点均值的 3/2。同时在等级扇形图中也可以看出，采取空气净化措施很大程度上增加了空气质量为优/良的比例同时减少污染的比例，再次印证了采取净化措施对改善室内空气质量的必要性。

### 3.7 总结

在本次 PiMi 空气云的基于分布式传感网络的参与式感知调研中，共收到来自 407 志愿者的 1,322,829 个 PM<sub>2.5</sub> 的时空采样点，累积总时长约 11 万小时的室内空气质量时间序列数据。在室内的 PM<sub>2.5</sub> 相关研究中，突破性地采集到如此时空精度和数量规模的实际数据。这为室内空气质量的整体情况和影响因素的考察打下数据基础，也为私人环境的、室内空气质量的监测提供支持，推进个人室内空气环境改善方案的提出以及更完善的智能家居组成。

另一方面，本次调研得出，采样时间段内北京市人均每日的 PM<sub>2.5</sub> 暴露量为 2018.6 μg · h/m<sup>3</sup>，人均每日的 PM<sub>2.5</sub> 潜在剂量为 787.3 μg。前人的研究指出，细颗粒物含量与死亡、心肺疾病、肺癌的相对风险都存在正相关关系。而本研究所采用的大规模众包 PM<sub>2.5</sub> 监测技术首次使得 PM<sub>2.5</sub> 对人的直接暴露量和潜在剂量这两个生物医学领域概念的调查、与疾病风险的相关性分析和评估成为可能。接下来，研究团队会进行持续的调研，基于大样本量数据，进一步推进对 PM<sub>2.5</sub> 的认识，探究 PM<sub>2.5</sub> 与人体健康之间关系，继续为更好更健康的室内空气环境而努力。

## 4 参考文献

- [1] AFP. Beijing's air pollution drops 4% in 2014: gov't[J/OL].<http://www.chinapost.com.tw/china/national-news/2015/01/06/425777/Beijings-air.htm>, 2015-01-06/2015-01-31
- [2] World Health Organization. World Health Report 2002. Geneva; 2002[J]. 2011.
- [3] Chen Y, Ebenstein A, Greenstone M, et al. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(32): 12936-12941.
- [4] Anderson J O, Thundiyil J G, Stolbach A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health[J]. Journal of Medical Toxicology, 2012, 8(2): 166-175.

- [5]2012 H J. 环境空气质量指数 (AQI) 技术规定 (试行)[S][D]., 2012.
- [6]2012 G B. 环境空气质量标准 [S][D]., 2012.
- [7]2013 H J. 环境空气质量监测点位布设技术规范(试行)[S][D]., 2013.
- [8] Yang G, Wang Y, Zeng Y, et al. Rapid health transition in China, 1990–2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010[J]. The lancet, 2013, 381(9882): 1987-2015.
- [9] Rim D, Green M, Wallace L, et al. Evolution of ultrafine particle size distributions following indoor episodic releases: Relative importance of coagulation, deposition and ventilation[J]. Aerosol Science and Technology, 2012, 46(5): 494-503.
- [10] Indoor air home. United States Environmental Protection Agency[OL].,  
<http://www.epa.gov/iaq/>. 2011-11-21/2011-11-25
- [11] Budde M, Zhang L, Beigl M. Distributed, Low-cost Particulate Matter Sensing: Scenarios, Challenges, Approaches, ProScience 1(First International Conference on Atmospheric Dust (DUST 2014)), p. 230-236.
- [12] Li L, Zheng Y, Zhang L. Demonstration abstract: PiMi air box—A cost-effective sensor for participatory indoor quality monitoring[C], Information Processing in Sensor Networks, IPSN-14, Proceedings of the 13th International Symposium on. IEEE, 2014: 327-328.
- [13] Zheng Y, Li L, Zhang L. PiMi air community: Getting fresher indoor air by sharing data and know-hows[C], Information Processing in Sensor Networks, IPSN-14 Proceedings of the 13th International Symposium on. IEEE, 2014: 283-284.
- [14] U.S.Environmental Protection Agency. Guidelines for Exposure Assessment[S]., 1992
- [15]Dockery D W, Pope C A, Xu X, et al. An association between air pollution and mortality in six US cities[J]. New England journal of medicine, 1993, 329(24):1753-1759.
- [16]Pope III C A, Burnett R T, Thun M J, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. Jama, 2002, 287(9):1132-1141.
- [17] Vette A F, Rea A W, Lawless P A, et al. Characterization of indoor-outdoor aerosol concentration relationships during the Fresno PM exposure studies[J]. Aerosol Science & Technology, 2001, 34(1): 118-126.

## 5 附录

### 5.1 数据标记问卷

- 1、您所在的建筑环境类型？
  - A. 居住环境
  - B. 办公环境
  - C. 公共环境
- 2、您所在的楼层？
  - A. 1-8 层
  - B. 9-16 层
  - C. 17 层及以上
- 3、您距离交通主干道的距离？
  - A. 100 米以内
  - B. 100-500 米
  - C. 500-1000 米
  - D. 1000 米及以上
- 4、您所在环境在本次记录阶段是否开启过中央空调？
  - A. 是
  - B. 否
- 5、您在本次记录阶段是否进行过开窗通风？
  - A. 是
  - B. 否
- 6、您在本次记录阶段是否使用过空气净化器？
  - A. 是
  - B. 否
- 7、您在本次记录阶段进行过以下哪些活动？（可多选或不选）

- A. 吸烟    B. 烹饪    C. 打扫    D. 其他: \_\_\_\_\_

## 5.2 室外空气质量的区域性差异

“不同区域的人们是否享有同一片蓝天？”也就是室外空气质量是否存在区域性差异，一直以来是人们十分关注的问题。同时 3.2 也表述了室外空气质量与室内空气质量间的强相关关系。所以室外空气质量的区域性差异也是室内空气质量探究的一项不可忽略的部分。

我们分析了来自官方监测站的室外数据，包括了 12 个北京市PM<sub>2.5</sub>监测点，分别为：万寿西宫、东四、农展馆、古城、天坛、奥体中心、官园、定陵、怀柔镇、昌平镇、海淀区万柳、顺义新城。分别取这 12 个PM<sub>2.5</sub>监测点与市均值差值的均值

$$\text{监测点差值的均值} = \overline{(\text{PM}(t)_{\text{监测点}} - \text{PM}(t)_{\text{市均值}})_t}$$

得到如下图，横坐标分别为上述 12 个监测点名称拼音的首字母缩写。

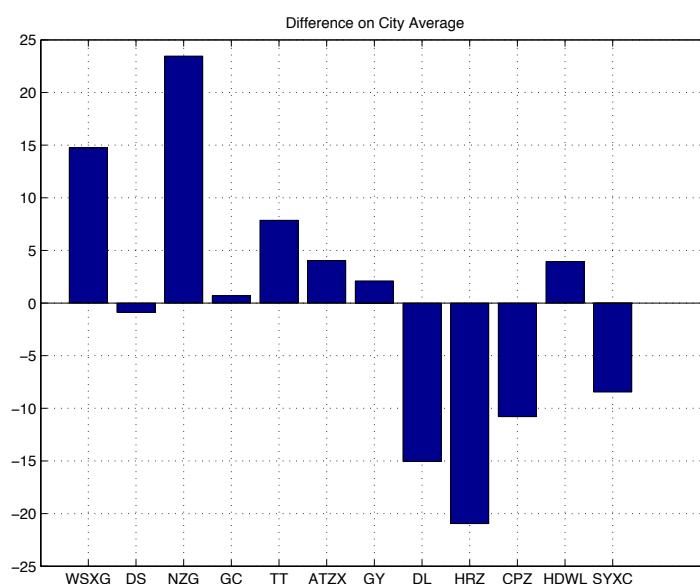


图 5.2.1 北京市内 12 个监测点相对市均值的监测差值

从该图中可以看出不同监测点之间的相对关系，其中农展馆、万寿西宫、怀柔镇、定陵与市均值之差较显著，在 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上。其中农展馆、万寿西宫监测点的空气质量优于市均值，而怀柔镇、定陵监测点的差于市均值。

分别取两个典型时间段，观察上述 4 个监测点的表现：

下图中，黑色线表示全市平均PM<sub>2.5</sub>对应横坐标 4 天的时间序列，红色线表示特定监测点的PM<sub>2.5</sub>时间序列，而多条灰色线表示其余监测点的PM<sub>2.5</sub>序列。

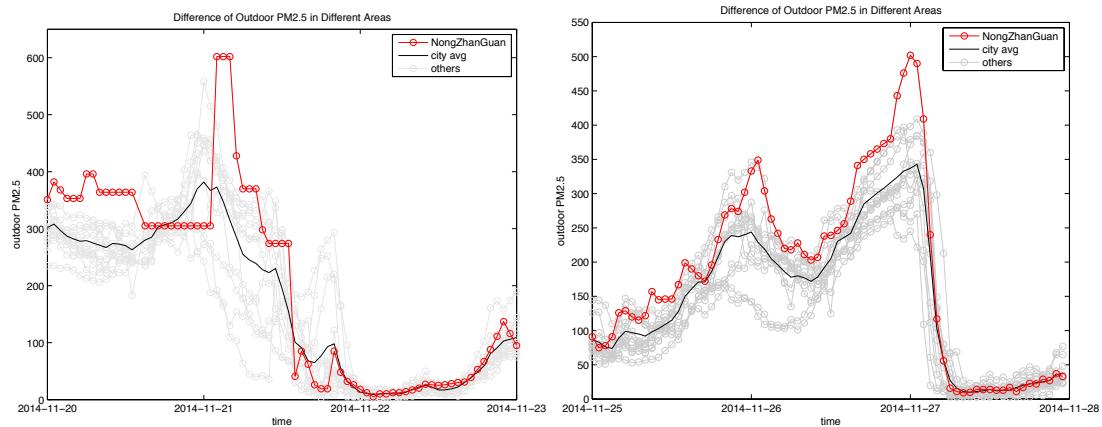


图 5.2.2 农展馆监测点所测PM<sub>2.5</sub>在两个时间段内的变化

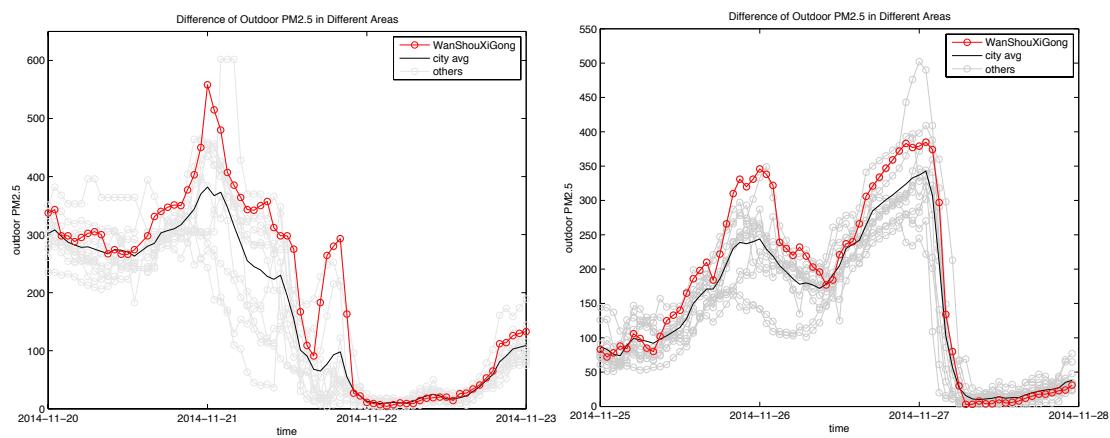


图 5.2.3 万寿西宫监测点所测PM<sub>2.5</sub>在两个时间段内的变化

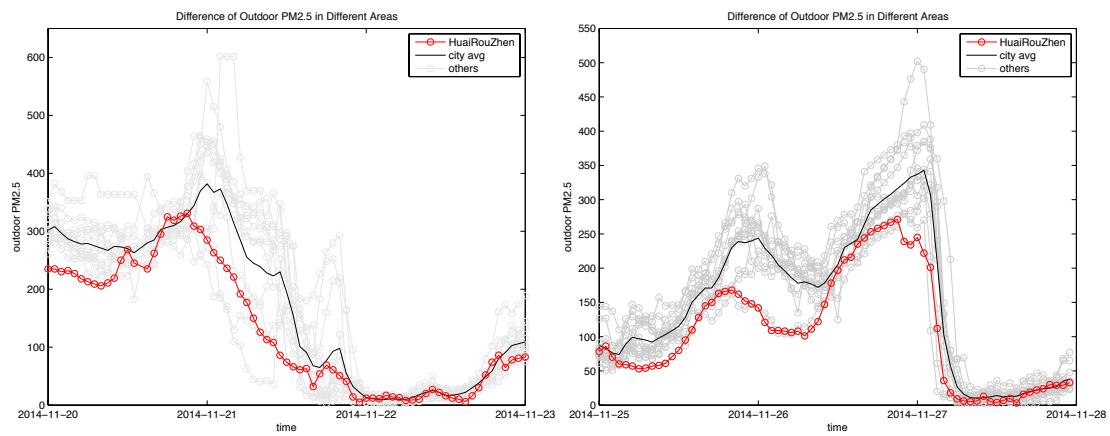


图 5.2.4 怀柔镇监测点所测PM<sub>2.5</sub>在两个时间段内的变化

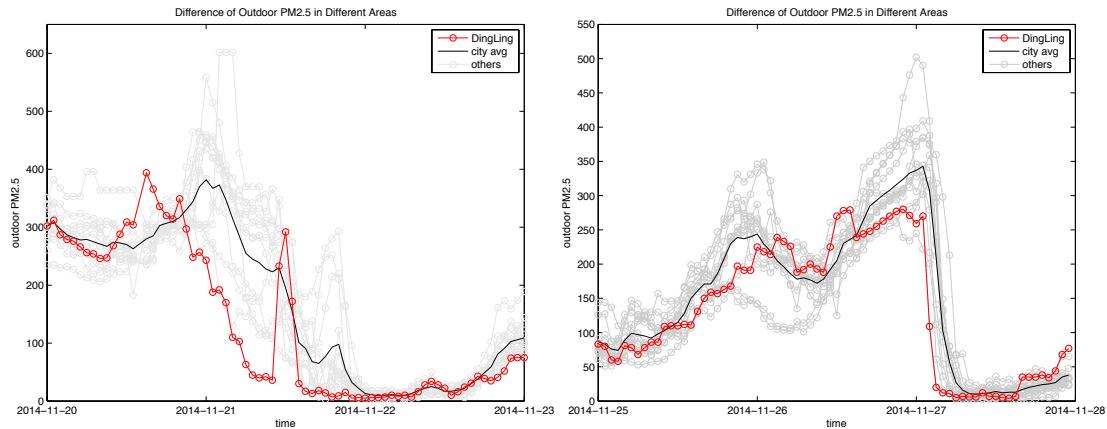


图 5.2.5 定陵监测点所测PM<sub>2.5</sub>在两个时间段内的变化

在两个时间段的时间序列图中，农展馆和万寿西宫监测点所测得的PM<sub>2.5</sub>值均在几个监测点中处于较高的位置。相反，怀柔镇和定陵监测点所测得的PM<sub>2.5</sub>值在几个典型时间段中在几个监测点中多数情况处于较低的位置。

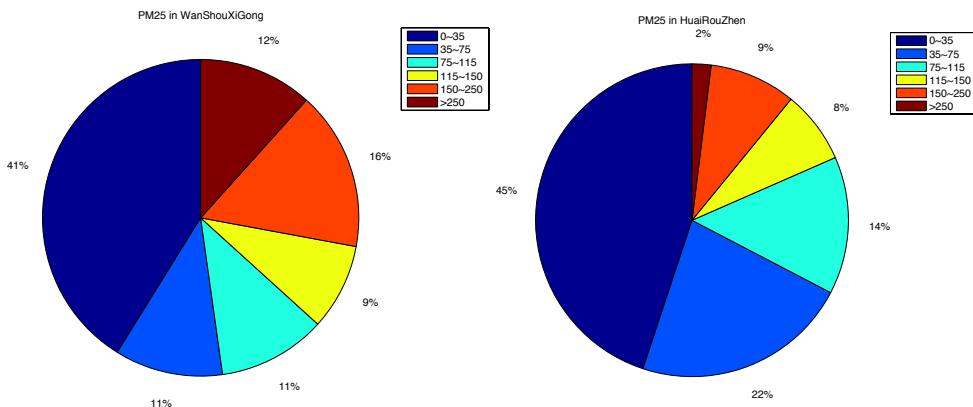


图 5.2.6 万寿西宫和怀柔镇空气质量的等级分布

以国标 HJ 633—2012<sup>[5]</sup>中的空气质量等级为标准，上两图分别为万寿西宫和怀柔镇在采样时间内的不同等级对应的采样点比例。万寿西宫空气质量为优和良的比例之和为 52%，怀柔镇的优良比例和为 67%，而严重污染对应的比例二者分别为 12% 和 2%。可以明显看出，在采样时间段内，怀柔镇的室外空气质量优于万寿西宫。

由此可见，室外空气质量确实存在区域性差异。在北京市范围内，12 个监测点在采样时间段内的 PM<sub>2.5</sub> 数据均值由高至低为：农展馆>万寿西宫>天坛>奥体中心≈海淀万柳>官园>东四≈古城>顺义新城>昌平镇>定陵>怀柔镇。其中农展馆、万寿西宫、怀柔镇、定陵表现出了显著的差异性，而奥体中心、海淀万柳、官园、东四、古城之间的差别不大。