

空气中 PM2.5 问题的研究

大气为地球上生命的繁衍与人类的发展提供了理想的环境。它的状态和变化，直接影响着人类的生产、生活和生存。空气质量问题始终是政府、环境保护部门和全国人民关注的热点问题。

2013 年 7 月 12 日《中国新闻网》记者周锐报道：“2013 年初以来，中国发生大范围持续雾霾天气。据统计，受影响雾霾区域包括华北平原、黄淮、江淮、江汉、江南、华南北部等地区，受影响面积约占国土面积的 1/4，受影响人口约 6 亿人”（中国国家发展和改革委员会（发改委）2013 年 7 月 11 日公布在官方网站上的一份报告披露了上述信息，中新社北京 7 月 11 日电）。

对空气质量监测，预报和控制等问题，国家和地方政府均制定了相应政策、法规和管理办法。2012 年 2 月 29 日，环境保护部公布了新修订的《环境空气质量标准》(GB3095—2012)^[1]，本次修订的主要内容：调整了环境空气功能区分类，将三类区并入二类区；增设了颗粒物(粒径小于等于 $2.5\mu\text{m}$)浓度限值和臭氧 8 小时平均浓度限值；调整了颗粒物(粒径小于等于 $10\mu\text{m}$)、二氧化氮、铅和苯并(a)芘等的浓度限值；调整了数据统计的有效性规定。与新标准同步还实施了《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)》(HJ633—2012)^[2]。

新标准将分期实施，京津冀、长三角、珠三角等重点区域以及直辖市和省会城市已率先开始实施并发布 AQI (Air Quality Index)；今年 113 个环境保护重点城市和国家环保模范城市也已经实施；到 2015 年所有地级以上城市将开始实施；2016 年 1 月 1 日，将在全国实施新标准。

上述规定中，启用空气质量指数 AQI 作为空气质量监测指标，以代替原来的空气质量监测指标——空气污染指数 API (Air Pollution Index)。原监测指标 API 为无量纲指数，它的分项监测指标为 3 个基本指标（二氧化硫 SO_2 、二氧化氮 NO_2 和可吸入颗粒物 PM_{10} ）。AQI 也是无量纲指数，它的分项监测指标为 6 个基本监测指标（二氧化硫 SO_2 、二氧化氮 NO_2 、可吸入颗粒物 PM_{10} 、细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 、臭氧 O_3 和一氧化碳 CO 等 6 项）。新标准中，首次将产生灰霾的主要因素——对人类健康危害极大的细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度指标作为空气质量监测指标^[2]。新监测标准的发布和实施，将会对空气质量的监测，改善生存环境起到重要的作用。

由于细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 进入公众视线的时间还很短，在学术界也是新课题，尤其是对细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 及相关的因素的统计数据还太少，对细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 的客观规律也了解得很不够。但是相关研究人员绝不能因此而放慢前进的脚步，不能“等”数据，

因为全国人民等不起。我们必须千方百计利用现有的数据开展研究，同时新课题、探索性研究、“灰箱问题”也有可能成为数学建模爱好者的用武之地。请研究以下问题。

一、PM2.5 的相关因素分析

PM2.5 的形成机理和过程比较复杂，主要来源有**自然源**（植物花粉和孢子、土壤扬尘、海盐、森林火灾、火山爆发等）和**人为源**（燃烧燃料、工业生产过程排放、交通运输排放等），可以分为一次颗粒物（即由排放源直接排放到大气中的颗粒物）和二次颗粒物（即通过与大气组成成分发生化学反应后生成的颗粒物）。PM2.5 的成分主要由水溶性离子、颗粒有机物和微量元素等组成。有一种研究认为，AQI 监测指标中的二氧化硫（ SO_2 ），二氧化氮（ NO_2 ），一氧化碳（ CO ）是在一定环境条件下形成 PM2.5 前的主要气态物体。请依据附件 1 或附件 2 中的数据或自行采集数据，利用或建立适当的数学模型，对 AQI 中 6 个基本监测指标的相关与独立性进行定量分析，尤其是对其中 PM2.5（含量）与其它 5 项分指标及其对应污染物（含量）之间的相关性及其关系进行分析。如果你们进而发现 AQI 基本监测指标以外的、与 PM2.5 强相关的（可监测的）成分要素，请陈述你们的方法、定量分析结果、数据及来源。

二、PM2.5 的分布与演变及应急处理

请依据附件 2、附件 3 中的数据或自行采集某地区的数据，通过数学建模探索完成以下研究：

1、描述该地区内 PM2.5 的时空分布及其规律，并结合环境保护部新修订的《环境空气质量标准》分区进行污染评估。

2、建立能够刻画该地区 PM2.5 的发生和演变（扩散与衰减等）规律的数学模型，合理考虑风力、湿度等天气和季节因素的影响，并利用该地区的数据进行定量与定性分析。

3、假设该地区某监测点处的 PM2.5 的浓度突然增至数倍，且延续数小时，请建立针对这种突发情形的污染扩散预测与评估方法。并以该地区 PM2.5 监测数据最高的一天为例，在全地区 PM2.5 浓度最高点处的浓度增至 2 倍，持续 2 小时，利用你们的模型进行预测评估，给出重度污染和可能安全区域。

4、采用适当方法检验你们模型和方法的合理性，并根据已有研究成果探索 PM2.5 的成因、演变等一般性规律。

注：有关 PM2.5 的监测数据目前还很不充分。附件 2、附件 3 中的数据是我们迄今为止找到的唯一大型城市的连续一段时间且比较齐全的 PM2.5 的相关数据，非常珍贵。有可能的话，希望你们能够自行收集更充分的数据，研究相关问题。

三、空气质量的控制管理

地方环境管理部门关心的重要问题之一是，为建设良好的人居环境，利用有限财力，制定本地区空气质量首要污染物 PM2.5 的减排治污可行规划。数据 1 所在地区的环境保护部门考虑治污达标的紧迫性和可行性，在未来五年内，拟采取综合治理和专项治理相结合的逐年达到治理目标的方案。请考虑以下问题：

1、 该地区目前 PM2.5 的年平均浓度估计为 280（单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），要求未来五年内逐年减少 PM2.5 的年平均浓度，最终达到年终平均浓度统计指标 35（单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），请给出合理的治理计划，即给出每年的全年年终平均治理指标。

2、据估算，综合治理费用，每减少一个 PM2.5 浓度单位，当年需投入一个费用单位（百万元），专项治理投入费用是当年所减少 PM2.5 浓度平方的 0.005 倍（百万元）。请你为数据 1 所在地区设计有效的专项治理计划，使得既达到预定 PM2.5 减排计划，同时使经费投入较为合理，要求你给出五年投入总经费和逐年轻费投入预算计划，并论述该方案的合理性。

附件 1. 数据 1.(武汉市一个监测点数据：2013.01.01-2013.08.26)

附件 2. 数据 2.(西安市 13 个监测点数据：2013.01.01-2013.04.26)或从以下链接获取最新数据：

http://www.xianemc.gov.cn/sxmcpq_qt.asp?lb=%D6%CA%C1%BF%C8%D5%B1%A8

<http://www.xianemc.gov.cn/空气质量日报> 历史数据>>

附件 3. 数据 3.1.(西安地区气象数据 1(2013.4.1-2013.8.28))

数据 3.2.(西安地区气象数据 2(2011.1.1-2013.4.28))

附件 4. AQI 与 API 的 空气质量指数检测标准

附件 5. 使用 Google 地图测量两点之间的平面距离的方法

附件 6. 西安市 13 个监测点位置的平面示意图

参考文献

[1] 环境空气质量标准, 中华人民共和国国家标准, GB 3095-2012

[2] 环境空气质量指数 (AQI) 技术规定 (试行): 中华人民共和国国家环境保护标准,
HJ 633-2012

[3] 中华人民共和国环境保护部, 环境保护标准 网站: bz.mep.gov.cn