

城市大气颗粒物的空间分布研究²

郑晓明¹, 王沉¹, 张宏博¹, 魏龙², 巩怡文¹, 王靖娴¹, 聂斯思¹, 郭镜赞¹, 殷祚云¹

(1. 仲恺农业工程学院, 广东 广州 510225; 2. 广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东沿海防护林生态系统国家定位观测研究站, 广东 广州 510520)

摘要: 本论文的研究目的是为今后相关科研提供基础数据, 为大气环境污染控制的管理决策提供参考依据, 为本地区大气环境污染控制方向及方法的选择提供一定的数据支持, 同时在一定程度上了解目前广州市 PM_{2.5}、PM₁₀ 等中等颗粒物相应的污染水平和污染特点。以珠江新城周边地点为研究对象, 运用实地调研检测、数据分析的研究方法对珠江新城及周边其他 10 个监测点的空气中大气颗粒物浓度进行测定分析, 了解测试区域在不同时段的空气质量以及污染状况。(1) 研究发现, 相比于广东东站与小北等地区, 在靠近市中心的珠江新城中心区域的大气环境质量更好, PM_{2.5}、PM_{1.0} 和 PM₁₀ 的浓度在全天中主要时段及污染程度最大的时段均较低。(2) 通过对 11 个监测点的分析与研究发现广东东站、岗顶、潭村、客村和区庄这 5 个测试点的测试时段的空气质量较差, PM_{2.5}、PM_{1.0} 和 PM₁₀ 的浓度均较高。(3) 在这 11 个测试点中, 小北、大塘和科韵路等测试点测试场地较为空旷, 人流量及车流量较少, 区域绿化较为丰富, 建筑工地和商业街区也较少, 因此在测试时段中空气质量较为良好, PM_{2.5}、PM_{1.0} 和 PM₁₀ 的浓度较低。(4) 从测试地点的环境以及所测得的数据可以得出, 正午时段的各大气颗粒物浓度高于当天内其他时间段的浓度。大气环境中的各大气颗粒物浓度受到了气候温度、湿度和风速的影响, 同时测试环境内车流量、人流量、建筑群落等污染源都会对其产生影响。笔者建议, 对燃油车采取限行等措施, 提倡大力发展新能源汽车; 优化产业结构, 淘汰落后产业, 减少电力, 钢铁建材, 石化、煤油等产业对空气质量的影响和破坏; 相关部门提高大气排放标准, 同时制定合适的市民反馈机制, 与市民一同监督社会各行各业; 加快 PM_{2.5} 等大气颗粒物的监测体系, 加大检测网布控密度, 定时反馈 PM_{2.5} 等大气颗粒物含量状况, 搭建便捷的空气质量信息反馈平台; 最后, 在城市建设和园林配置中可以增加一些综合净化能力较强的植物, 如扁桃及小叶榕等。

关键词: 广州市; PM_{2.5}; PM_{1.0}; PM₁₀; 距离; 城市建设; 环境污染

Spatial distribution of particulate matter in the urban atmosphere

Absrtact: The research purpose of this paper is to provide basic data for future related scientific research, provide reference for the management decision of atmospheric environmental pollution control, provide certain data support for the selection of atmospheric environmental pollution control direction and method in the region, and understand the corresponding pollution level and pollution characteristics of moderate particulate matter such as PM_{2.5} and PM₁₀ in Guangzhou to a certain extent. Taking the locations around Zhujiang New Town as the research object, the research methods of field investigation and detection and data analysis were used to measure and analyze the concentration of atmospheric particulate matter in the air in Zhujiang New Town and other 10 monitoring points around it, and understand the air quality and pollution status in the test area at different times. (1) The study found that compared with Guangdong East Railway Station and Xiaobei and other areas, the atmospheric environment quality in the central area of Zhujiang New Town near the city center was better, and the concentrations of PM_{2.5}, PM_{1.0} and PM₁₀ were lower in the main hours of the day and the most polluted periods. (2) Through the analysis and analysis of 11 monitoring points, it was found that the air quality of the five test points of Guangdong East Railway Station, Gangding, Tancun, Kecun and Ouzhuang was poor, and the concentrations of PM_{2.5}, PM_{1.0} and PM₁₀ were higher. (3) Among the 11 test points, the test sites of Xiaobei, Datang and Keyun Road are relatively empty, with less people and vehicles, richer regional greening, and fewer construction sites and commercial blocks, so the air quality is better during the test period, and the concentrations of PM_{2.5}, PM_{1.0} and PM₁₀ are lower. (4) From the environment of the test site and the

² 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2021KYXM09, 2022KYXM09, 2021KJXC005)

第一作者: 郑晓明 (1998—), 男, 本科, 主要研究方向为园林园林、生态学、林学, 13570487509@163.com

通讯作者: 殷祚云 (1966—), 男, 教授, 主要从事生态学、林学和生物统计学研究, E-mail: yinzuoyun@163.com。

魏龙 (1976—), 男, 正高级工程师, 主要从事林业碳汇、沿海防护林生态系统研究, E-mail: weilong@sinogaf.cn

measured data, it can be concluded that the concentration of atmospheric particulate matter at noon is higher than the concentration in other time periods during the day. The concentration of particulate matter in the atmosphere is affected by climate temperature, humidity and wind speed, and pollution sources such as traffic flow, people flow, and building communities in the test environment will affect it. The author suggests that measures such as restrictions on fuel vehicles be adopted to advocate the vigorous development of new energy vehicles; Optimize the industrial structure, eliminate backward industries, and reduce the impact and damage of electric power, steel building materials, petrochemical, kerosene and other industries on air quality; Relevant departments raise air emission standards, and at the same time formulate appropriate feedback mechanisms for citizens to supervise all walks of life with citizens; Accelerate the monitoring system of PM_{2.5} and other atmospheric particulate matter, increase the density of detection network deployment and control, regularly feedback the content of PM_{2.5} and other atmospheric particulate matter, and build a convenient air quality information feedback platform; finally, some plants with strong comprehensive purification ability can be added to urban construction and garden configuration, such as almonds and *Ficus microphylla*.

Key words: guangzhou city; PM_{2.5}; PM_{1.0}; PM₁₀; distance; urban construction; air pollution

1. 前言

大气颗粒物是大气环境中最复杂的污染源之一, 其环境危害也存在着巨大的影响。大气颗粒粒径从 1nm-100μm 跨越多个数量级。根据大气颗粒粒径大小, 可以将大气颗粒分为总悬浮颗粒物 (TSP)、可吸入颗粒物 (PM₁₀) 和细颗粒物 (PM_{2.5}) (徐圣辰等, 2014)。中国城市空气污染的突出问题之一就是阴霾, 主要污染物为总悬浮颗粒 (TSP)、二氧化硫、PM_{2.5}、PM₁₀ 等。在各种颗粒物种, 存在着大量化学物质以及重金属元素, 这些颗粒物在大气中与不同的物质产生反应, 若这些通过人们的呼吸作用进入人们的肺部组织, 将会对人类的身体健康造成严重的危害, 严重时更会造成人类各器官机能障碍, 引发癌症和心脏病等严重疾病, 有研究通过连续 7 年的观察, 一个人长期暴露在雾霾的环境下, 将大大增加其呼吸道疾病和其他感染疾病的风险 (易建华等, 2016)。多数欧美发达国家在 20 世纪六七十年代就开始对大气颗粒物 (PM_{2.5}、PM₁₀) 的来源、化学组成成分及分布情况 (丁文等, 2018) 进行研究, 八十年代以来, 大气颗粒物的研究逐步转向了其时空的分布状况、源解析及其对人体健康和生活环境的影响。国外的多数研究指明了 PM_{2.5} 的危害性相比于 PM₁₀ 和 PM_{1.0} 更加高, 其中的有机污染物、有毒重金属和细菌病毒都对人体健康存在一定的危害 (卢丹青, 2015)。目前, 国内也逐步开展的大气颗粒物的相关研究, 尽管我国部分城市已经对大气颗粒物的研究取得了一定的成果, 但整体研究仍然起步较晚, 尚未形成较大型的专业的研究系统, 因此我国对城市空气中的 PM_{2.5} 等大气颗粒物有必要进一步研究 (宋英等, 2018)。

2. 研究区概况

该测试研究的地点位于广州市中区域, 年平均气温为 21.4-21.9 度, 北部为 21.4 度, 中部为 21.7 度, 南部为 21.9 度。七月至八月则是一年中较热的月份, 平均气温 28.0-28.7 度; 一年中最冷的月份为全年的一月或二月, 均气温 12.4-13.5° (丁晴等, 2012), 年平均降雨量为 1623.6-1899.8mm, 平均太阳辐射值为 367.2-4597.3 MJ/m², 平均日照时数为 860-1609, 年日照比例为 41%-44%。广州市全年都受到季风的影响, 冬季(1 月)华南受冷高压控制, 多东北风; 春季(4 月)风向较零乱, 而以东南风较多; 夏季(7 月)多受副热带高压的影响, 以偏南风为多; 秋季(10 月)则以偏北风为主。在平均风速方面, 冬季和春季风速较大, 夏季风速较小。

3. 研究方法

在测试地点的选择上, 以珠江新城为中心区域作为第一圈测试点进行监测大气颗粒物浓度, 并以珠江新城做为中心点向外辐射 3 公里半径, 选取另外 5 个点作为第二圈测试点, 此 5 个检测点分别为广州东站、岗顶、潭村、客村和区庄。再以珠江新城为中心向外延伸 6 公里再次选择 5 个监测点, 作为第三圈监测点, 分别为京溪南方医院、五山、科韵路、大塘和小北。样点分布图如图 1 所示。在这 5 个点的选择上, 第三圈检测点人流密集程度少于珠江新城市中心区域和第二圈测试点, 同时可以与第二圈中的测定点及中心测定点连成 5 组对比监测组, 分别为珠江新城—广州东站—京溪南方医院、珠江新城—岗顶—五山、珠江新城—潭村—科韵路、珠江新城—客村—大塘、珠江新城—区庄—小北。这五组对比监测组由珠江新城市中心区域向外延伸, 人流密集程度、建筑密集程度各有不同。通过测定每组对比检测

组上的每个相应的检测点，从而了解不同环境因素对大气颗粒物浓度的影响。



图 1 测定样点分布图

在检测方式上，根据由珠江新城为中心向外扩展的所划定的 5 组对比监测点，每组中的三个监测点选定同一个时间点监测，并在连续三天同一时段进行检测。每组对比监测组上有 3 个点，分别为由珠江新城到第二圈检测点，再到第三圈检测点，3 个点分别安排 3 位同学在同一时间点并以相同的测试方式同时监测，待此点测试结束时，再进行下一点的测试。测试的主要指标为 PM2.5，通过了解不同的区域的 PM2.5 的测试结果，评估大气环境空气质量和污染程度。同时测量的指标还包括 PM1.0、PM10，通过更多的测试数据结果评估污染状况。

在时间点的选择上，珠江新城—区庄—小北这一对比测定组的测试时间为当天上午 10:50。珠江新城—广州东站—京溪南方医院这一对比测定组的测试时间为当天上午 11:50。珠江新城—岗顶—五山这一对比测定组的测试时间为当天中午 12:50。珠江新城—潭村—科韵路这一对比测定组的测试时间为当天中午 13:50。珠江新城—客村—大塘这一对比测定组的测试时间为当天中午 14:50。

PM2.5、PM1.0、PM10 等指标数据的采集选择思乐智 MEF-550 手持式综合空气检测仪。测试人员通过手持测试仪器，分别在对应区域的对应时间进行检测，每次测试的时长为一分钟，每隔 10 秒得到一组数据，最终通过一分钟内的测试数据平均值得到指标数据。与此同时观察测试当天广州市中心的天气状况以及周边环境，包括检测地点当天温湿度、人流量、车流量和其他环境因素，从而了解各因素对大气环境污染情况的影响。

4. 结果与分析

4.1 各监测点结果与分析

在珠江新城此片区域，测试的时间段分别为 10:30、11:30、12:30、13:30 和 14:30。在这 5 个时间段的测试地点选择上，分别为珠江新城高德置地广场旁人行天桥、珠江新城 p7 地上停车场、广州图书馆门前、海心沙和珠江新城地铁站 A1 出口。在珠江新城中心区域内人流量大，但周中和周末的人流量也有一定的差距，周末人流量密集程度比周中的人流量更大。此片区域较为空旷，大体量的建筑较多，车流较为稀少，这些因素都对此区域的大气环境产生了一定的影响。从大气环境污染水平上看，大多数时间段珠江

新城附近空气质量都较好，在 10:30、11:30 和 14:30 这三个时间段中，大气环境污染状况较佳，根据联连续三天的监测，PM_{2.5} 的平均浓度分别为 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但在 12:30 和 13:30 这一时间段内，空气质量较差，PM_{2.5}、PM₁₀ 和 PM_{1.0} 的指数都有一定的涨幅，测得 PM_{2.5} 的三天平均浓度为 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM_{1.0} 的三天平均浓度为 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM₁₀ 的三天平均浓度为 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。PM_{2.5} 等雾霾颗粒出现的主要原因来源于人为排放，如部分材料的燃烧过程是大气颗粒物的直接排放过程，比如化石燃料(煤、汽油、柴油)的燃烧，生物质(秸秆、木柴)的燃烧和垃圾焚烧等，同时车辆尾气排放、道路扬尘、建筑施工扬尘和工业粉尘等人为因素也是导致 PM_{2.5} 等大气颗粒物增加的重要原因[杨洪斌等，2012；苏志华等，2015]。因此 12:30 和 13:30 这两个时间段内的珠江新城人流量和车流量开始增多，人为排放量增加，因此导致这一时段的污染情况增加，大气颗粒物增加。

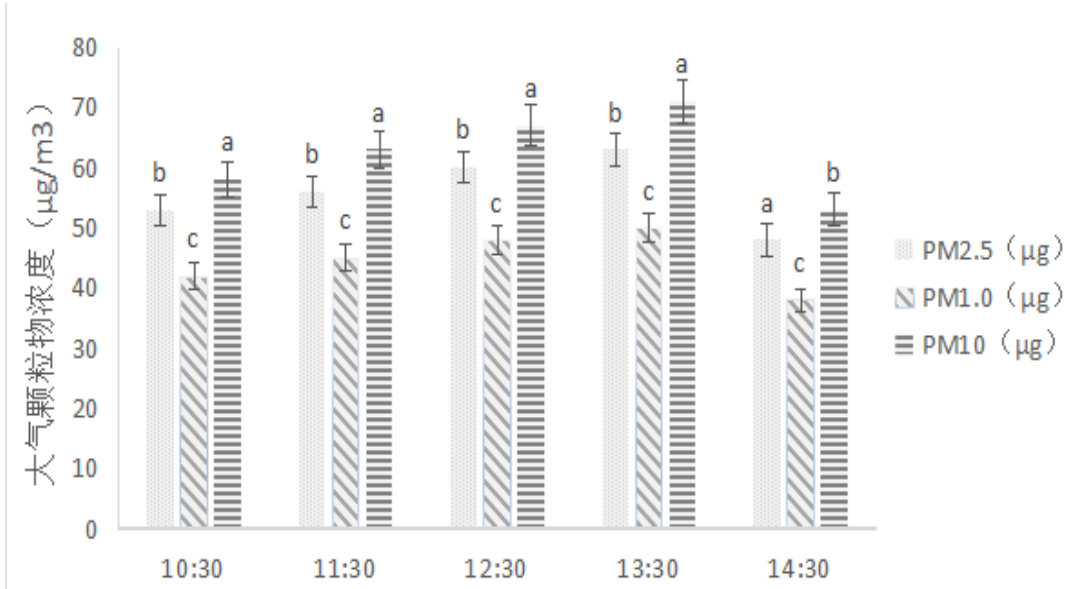


图 2-1 珠江新城中心区域各时段大气颗粒物平均浓度



图 2-2 珠江新城

第二圈监测点包括了区庄、广东东站、岗顶、潭村和客村，这五个监测点分别离珠江新城中心区域大致 3 公里，较多商业街区，人流量也较多，交通路线密集，车流量也较多。通过对第二圈 5 个监测点进行单因素方差分析 ($P > 0.05$)，得到以下表格，从表格中可以看到检测点与大气颗粒物浓度没有明显的显

著相关性，因此需要从第二圈各监测点的实际环境进行一一分析，了解其各检测点与其大气颗粒物浓度存在何种关系。

表 5-1 第二圈监测点大气颗粒物浓度方差分析

		平方和	df	均方	F	显著性
PM2.5	组间	596.933	4	149.233	0.315	0.861
	组内	4734.000	10	473.400		
	总数	5330.933	14			
PM1.0	组间	924.400	4	231.100	0.666	0.630
	组内	3471.333	10	347.133		
	总数	4395.733	14			
PM10	组间	415.600	4	103.900	0.194	0.936
	组内	5357.333	10	535.733		
	总数	5772.933	14			

区庄测试点为区庄地铁附近区域，此块区域人流量较多，与珠江新城中心区域人流量相当，但交通线路较密集，车流量较多，房屋多为高楼。此处测试时间为 10:30，在大气污染情况上，通过连续的 3 天测试得到以下数据表格，PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度分别为 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中在检测时间内 PM2.5 浓度的显著差异较大，PM10 浓度显著差异较小，空气质量较为良好，各大气颗粒指数较低，其原因应与上午时段人流量和车流量数量有关，此时人流量和车流量都较少，同时测试时段当日气候较为晴朗，因此大气环境情况也较好。

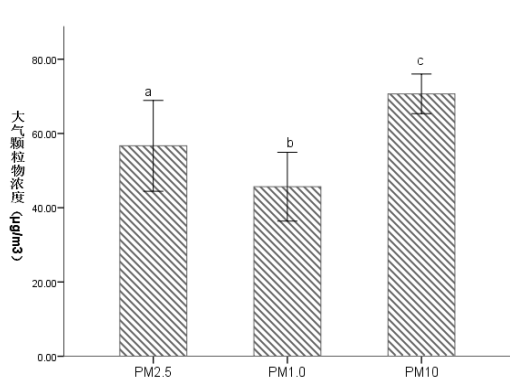


图 3-1 区庄监测时段大气颗粒物平均浓度



图 3-2 区庄

在广东东站这一测试点上，监测地点选择在广东东站地铁站外附近的区域，监测时间为 11:30，广东东站附近建筑较多，交通线路密集，人群多，此时间段接近正午时段，天气温度较高，风速较慢，相比于郊区农村，城市中午时段的空气对流程度较小，空气中的大气颗粒物不易扩散（冷朋波等，2019），因此浓度较高，测得的连续三天同一时段的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，都存在较明显的显著性差异。

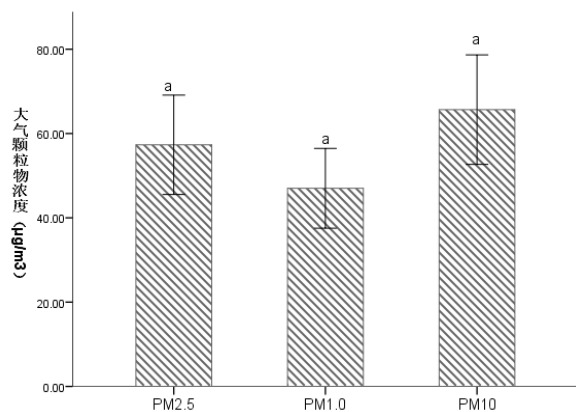


图 4-1 广东东站监测时段大气颗粒物平均浓度



图 4-2 广东东站

岗顶的监测地点选在岗顶百脑汇商城的附近区域，岗顶与广东东站类似，交通线路发达，与此同时人流量更多，人流密集。此处的测试时间为 12:30，正至中午时段，外出出行的需要使得车辆和人流量增加，同时正午温度较高太阳辐射量加大，空中水汽和湿度较低，也对空中大气颗粒物的浓度增加带来了一定的影响[15]，从以下表格中的数据得到的此监测点连续三天同一时段的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中 PM1.0 和 PM10 检测时间段都存在一定的显著性差异，各大气颗粒物浓度有所增加，空气质量较差。

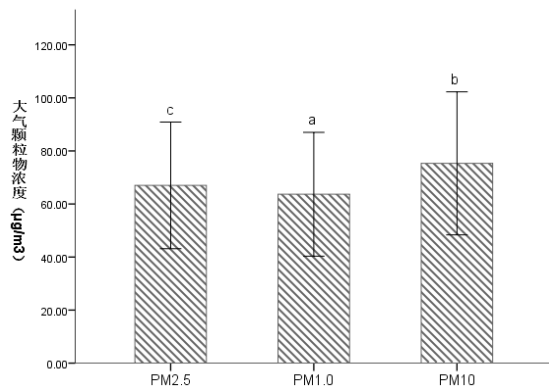


图 5-1 岗顶监测时段大气颗粒物平均浓度

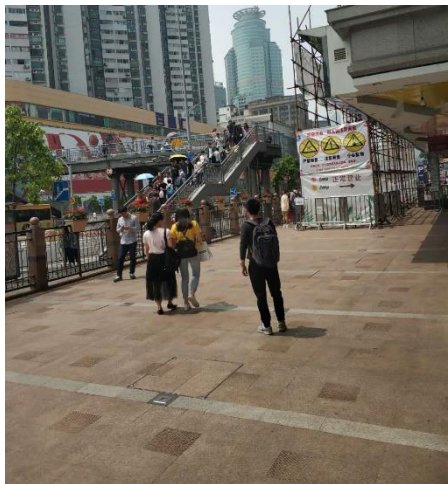


图 5-2 岗顶

潭村的测试地点为潭村地铁站周边区域，潭村地铁站附近区域建筑较多，人流密集，车流量较多，同时此区域较多施工工地，人为排放的是大气颗粒物较多。此处的测试时间为 13:30，根据监测数据，得到连续三天同一时段潭村地铁站周边区域的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在检测时段内都存在较大的显著性差异。在一年四季中，由于不同季节的气候不一样，从而导致的大气中不同大气颗粒物的含量也有不同，冬季时 PM2.5、PM10 等大气颗粒物的最大，在秋季和春季时，颗粒物浓度仍然较高，稍少于冬季，而夏季时大气颗粒物浓度则最低的（李杏茹等，2018）。此时广东省正处于春季，气候温和，风速和温度较低，这一气候特征不利于污染的扩散和稀释，但在夏季时，广东省雨水较多，风速大，这一气候特点则有利于污染物的扩散。因此此处 PM2.5 等大气颗粒物浓度较高应该是受季节气候因素、人流量、车流量和施工情况等因素影响。

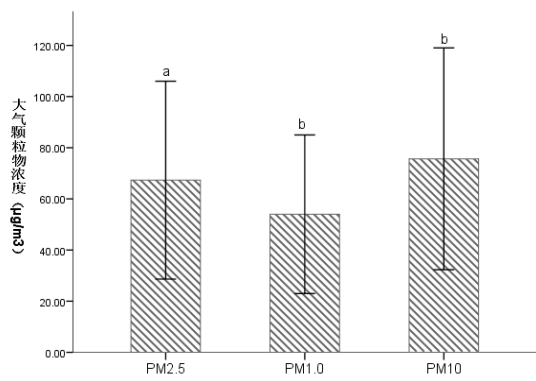


图 6-1 潭村监测时段大气颗粒物平均浓度



图 6-2 潭村

客村这一测试点的监测时间为 14:30，监测地点为客村地铁站附近区域，通过实地监测，得到连续三天同一时段客村地铁站周边区域的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 72 μg/m³、58 μg/m³ 和 80 μg/m³，检测时段内的都存在明显的显著性差异。这一时间段正处于正午时段，此处区域人流量和车流量密集，同时空气中水气和湿度小，风速低，因此大气颗粒物浓度较高，同时也是几个测试地点中空气污染程度最高的一个测试地点。

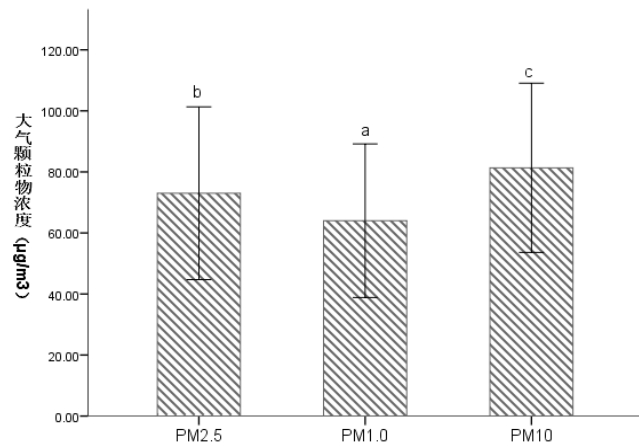


图 7-1 客村监测时段大气颗粒物平均浓度



图 7-2 客村

第三圈监测点为小北、京溪南方医院、五山、科韵路和大塘。此五个测试点分别距离珠江新城中心区域 6 公里，部分地区人流量较少，交通路线较少且车流量不多，区域内场地较为空旷。通过对第三圈 5 个监测点进行单因素方差分析，得到以下表格，通过表格中的所反映出的信息，发现第三圈各检测点与其大气颗粒物浓度没有明显的显著相关性 ($P > 0.05$)，可能每个监测点都有其不同的原因从而影响了该地的大气颗粒物浓度，因此需要从第三圈各监测点的实际环境进行一一分析，了解其各检测点与其大气颗粒物浓度存在何种关系。

表 5-2 第三圈监测点大气颗粒物浓度方差分析

		平方和	df	均方	F	显著性
PM2.5	组间	535.237	4	133.809	0.186	0.940
	组内	7202.427	10	720.243		
	总数	7737.664	14			
PM1.0	组间	882.267	4	220.567	0.229	0.916
	组内	9621.333	10	962.133		

PM10	总数	10503.600	14			
	组间	1009.733	4	252.433	0.180	0.943
	组内	13994.000	10	1399.400		
	总数	15003.733	14			

小北这一监测点的监测时间为当天的 10:30，这一时段内，此区域相比于同时段的珠江新城中心区域以及区庄，人流量较少，但此处为较为密集的商业街区，有着大量的商家店铺，交通线路密集，交通工具数量较多，因此这一时段大气污染状况仍然存在，通过实地监测，得到连续三天同一时段小北这一监测点周边区域的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中 PM2.5 和 PM1.0 存在较明显的显著性差异。

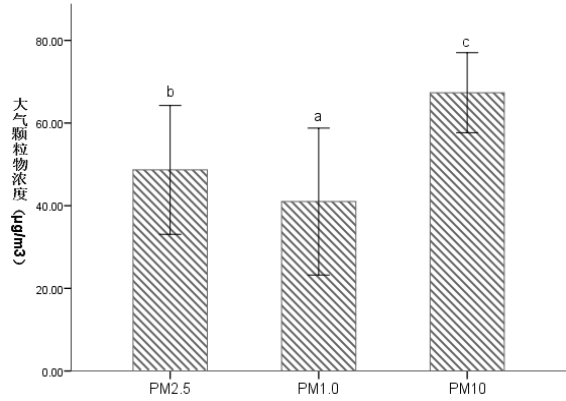


图 8-1 小北监测时段大气颗粒物平均浓度



图 8-2 小北

京溪南方医院的测试点为地铁站附近区域，这一测试点与小北周边环境类似，附近商业街区较多，因此人流量也较多，临近马路，车流量较多。通过实地监测，得到这一监测点的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。此处监测时间为 11:30，接近中午时段，天气较为闷热，空气对流不充足，并且空气中的水汽和湿度较少，不利于大气颗粒物的扩散和分解，从而使得空气内的 PM2.5 等颗粒物浓度过大（张建华等，2017）。

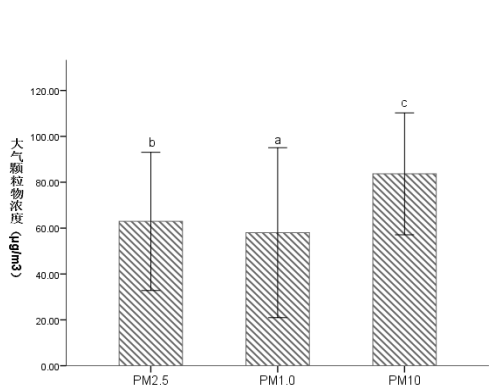


图 8-1 京溪南方医院监测时段大气颗粒物平均浓度



图 8-2 京溪南方医院

五山这一测试地点靠近华南农业大学，此处交通便利，附近为学校、住宅区以及大量商家店铺，交通线路密集，车流量以及人流量众多。通过实地监测，得到连续三天同一时段五山这一监测点周边区域的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，检测时间内都存在较明显的显著性差异。五山这一测试点，存在较多的流动源，在我们周边的生活中，大气颗粒物的流动源主要是各类的交通工具，包括不同类型的卡车、大型或小型的客车、私家车、船、摩托车、飞机等。不同的交通工具所采用的燃料也有不同，因此排放的尾气烟尘或颗粒物的含量和类型也不同。过多的交通工具会使得附近区

域大气颗粒物的含量过多。五山这一测试地点测试时间为 12:30，因此这一时段无论是人流量还是车流量都较多，从而导致此区域 PM2.5、PM1.0 和 PM10 等大气颗粒物浓度较高（姜娜，2014）。

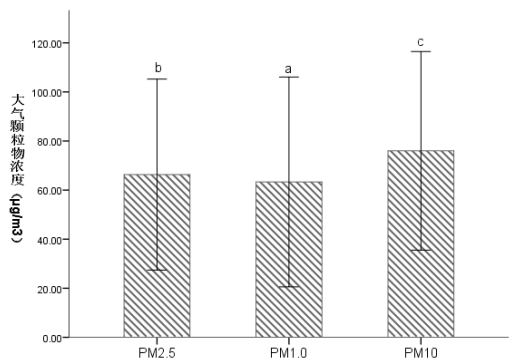


图 9-1 五山监测时段大气颗粒物平均浓度



图 9-2 五山

科韵路这一测试点测试时间为 13:30，这一测试点附近较为空旷，建筑群落较少。相比于同一时段的珠江新城中心区域和潭村，科韵路测试点的人流量和车流量都较少，大气颗粒物的固定源和流动源都较少，因此此处的空气污染指数较低。通过实地监测，得到这一监测点的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 55 µg/m³、50 µg/m³ 和 70 µg/m³，其中 PM2.5 以及 PM10 具有较明显的显著性差异。

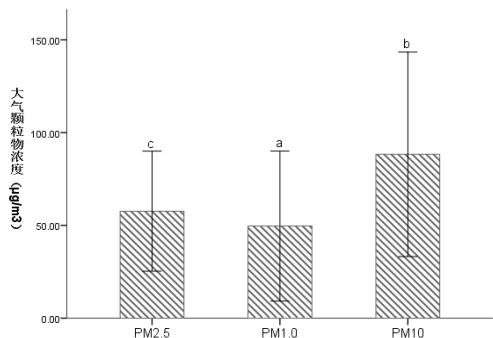


图 10-1 科韵路监测时段大气颗粒物平均浓度



图 10-2 科韵路

大塘测试点位于大塘地铁站附近区域，测试时间为 14:30。这一区域建筑群落较少，空间较为空旷，交通线路较稀疏，人流量较少。PM10 和 PM2.5 的质量浓度的日变化往往会在中午和夜间这两个时间段出现污染高峰，而下午时段的大气颗粒物浓度则会出现相对较低的情况（于建华等，2004）。通过实地监测，得到这一监测点的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 50 µg/m³、47 µg/m³ 和 65 µg/m³，其中 PM10 在检测时段内有较大的显著性差异。在科韵路以及大塘这两个测试点，人流量和车流量等流动污染源较少，同时将至下午时段，因此此处测试点 PM2.5、PM1.0 和 PM10 等大气颗粒物浓度较低，污染程度较小。

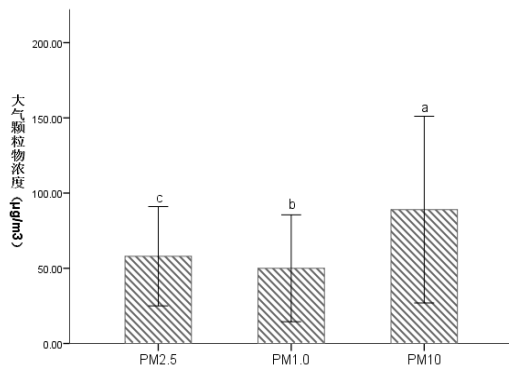


图 11-1 大塘监测时段大气颗粒物平均浓度

图 11-2 大塘

因此在以上 11 个测试点中,众多因素将影响当前测试地点的大气颗粒物的浓度和空气质量污染程度。PM2.5 和 PM10 等大气颗粒物的主要来自固定源、开放源和流动源等污染源。固定源主要是建筑工地、炉灶、建材业、冶金工业炉等地区,在本次实验的 11 个测试地点中,除了个别地区存在尚在施工工地外,像建材业、工厂等工业区基本不存在,因此固定源的影响较少。在开放源方面上看,一般为施工扬尘、窗台尘、土壤尘、风沙尘、道路扬尘、堆场扬尘等因素的影响,此类源头具有散布范围较广、强度低、极易受周边环境干扰(王荟等,2003;苏静,2018)。而在流动源上,主要来自于不同类型的交通工具及其尾气排放。在本次实验的 11 个测试点上,由于处于广州市内较为繁华地段,大部分区域人流量和车流量都较为密集,因此这些开放源以及流动源对测试点的大气污染状况以及大气颗粒浓度有较大的影响。

4.2 对比检测组分析

在本次实验中,11 个监测点组成 3 圈检测点,通过测定所得数据,得到第一圈检测点、第二圈监测点以及第三圈监测点的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度,通过下表可得出大气颗粒物浓度与 3 个检测圈不存在明显的显著性关系($P > 0.05$)。

表 5-3 3 圈监测点大颗粒物浓度方差分析

		平方和	df	均方	F	显著性
PM2.5	组间	91.556	2	45.778	0.197	0.826
	组内	1391.333	6	231.889		
	总数	1482.889	8			
PM1.0	组间	182.889	2	91.444	0.413	0.679
	组内	1329.333	6	221.556		
	总数	1512.222	8			
PM10	组间	195.369	2	97.684	0.487	0.637
	组内	1204.240	6	200.707		
	总数	1399.609	8			

表 5-43 圈监测点大颗粒物浓度多重比较

因变量	(I) 地点	(J) 地点	均值差 (I-J)	标准误	显著性	95% 置信区间	
						下限	上限
PM2.5	1.00	2.00	-7.33333	12.43353	0.577	-37.7571	23.0904
		3.00	-1.33333	12.43353	0.918	-31.7571	29.0904
	2.00	1.00	7.33333	12.43353	0.577	-23.0904	37.7571
		3.00	6.00000	12.43353	0.647	-24.4237	36.4237
	3.00	1.00	1.33333	12.43353	0.918	-29.0904	31.7571
		2.00	-6.00000	12.43353	0.647	-36.4237	24.4237
PM1.0	1.00	2.00	-11.00000	12.15334	0.400	-40.7382	18.7382
		3.00	-6.33333	12.15334	0.621	-36.0715	23.4048
	2.00	1.00	11.00000	12.15334	0.400	-18.7382	40.7382
		3.00	4.66667	12.15334	0.714	-25.0715	34.4048
	3.00	1.00	6.33333	12.15334	0.621	-23.4048	36.0715

PM10	1.00	2.00	-4.66667	12.15334	0.714	-34.4048	25.0715
		2.00	-9.53333	11.56739	0.441	-37.8377	18.7710
		3.00	-10.20000	11.56739	0.412	-38.5044	18.1044
		1.00	9.53333	11.56739	0.441	-18.7710	37.8377
	2.00	3.00	-.66667	11.56739	0.956	-28.9710	27.6377
		1.00	10.20000	11.56739	0.412	-18.1044	38.5044
	3.00	2.00	.66667	11.56739	0.956	-27.6377	28.9710

同时通过对 3 圈监测点的三个大气颗粒物平均浓度指标进行回归分析，对其距离效应进行研究，其中，X 轴为不同监测圈距珠江新城距离，Y 轴为相应指标的大气颗粒物浓度。图中发现第一圈监测点珠江新城周边区域的各大气颗粒物浓度较低，以珠江新城为中心点向外延伸 3 公里至第二圈监测点，延伸 6 公里至第三圈监测点，其中第二圈监测点的各大气颗粒物浓度有所不同，明显高于其他两圈监测点。同时线性回归方程中的 R² 均接近 1，存在一定显著性，表明各大气颗粒物的浓度具有一定的距离效应。

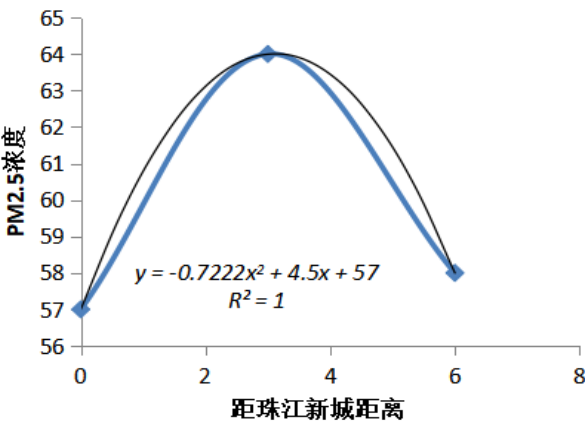


图 12-1 PM2.5 浓度回归分析

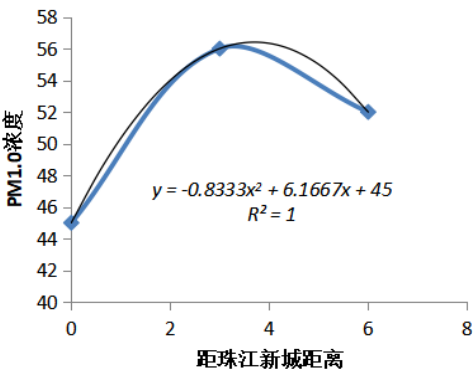


图 12-2 PM1.0 浓度回归分析

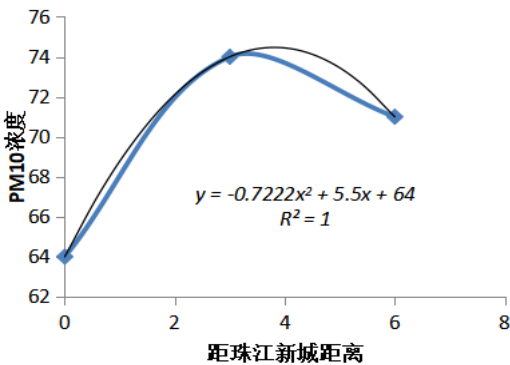


图 12-3 PM10 浓度回归分析

因此进一步分析，在这 3 圈监测点建立了 5 组对比监测点，分别为珠江新城一区庄一小北、珠江新城—广州东—京溪南方医院、珠江新城—岗顶—五山、珠江新城—潭村—科韵路、珠江新城—客村—大塘，每组对比监测点中各个监测点相聚 3 公里。通过这 5 组对比监测点，来了解不同人流量、车流量、建筑物数量等污染源对空气中大气颗粒物浓度的影响，以及通过不同距离的测试点来了解市中心与市中心以外的环境的大气空气质量以及污染状况。

在珠江新城一区庄一小北（对比检测组(1)）这一对比监测组中，监测时间为当天的 10:30，由于此时间段位于上午时段，空气中大气颗粒物浓度较低。从下表中可以看出，小北的 PM2.5 及 PM1.0 浓度与此地区具有较明显的显著性差异，而珠江新城中心区域的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 均低于区庄和小北的

PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度，原因应该在于此时间点珠江新城中心区域人流量与车流量较少，因此对空气中的颗粒物含量影响较小。而区庄则是在这 3 个对比组中 PM2.5、PM1.0 和 PM10 浓度最高，通过连续的 3 天测试得到以下数据表格，PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度分别为 $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。原因在于以下几点，首先区庄此处的交通线路密集，人流量和车流量较密集，其次通过几天内观察，这个时间段内的区庄相比于其他两个测试点，是出行的密集时段，因此综合以上因素，区庄的大气颗粒物浓度均高于其他两个对比测试点的大气颗粒物浓度。

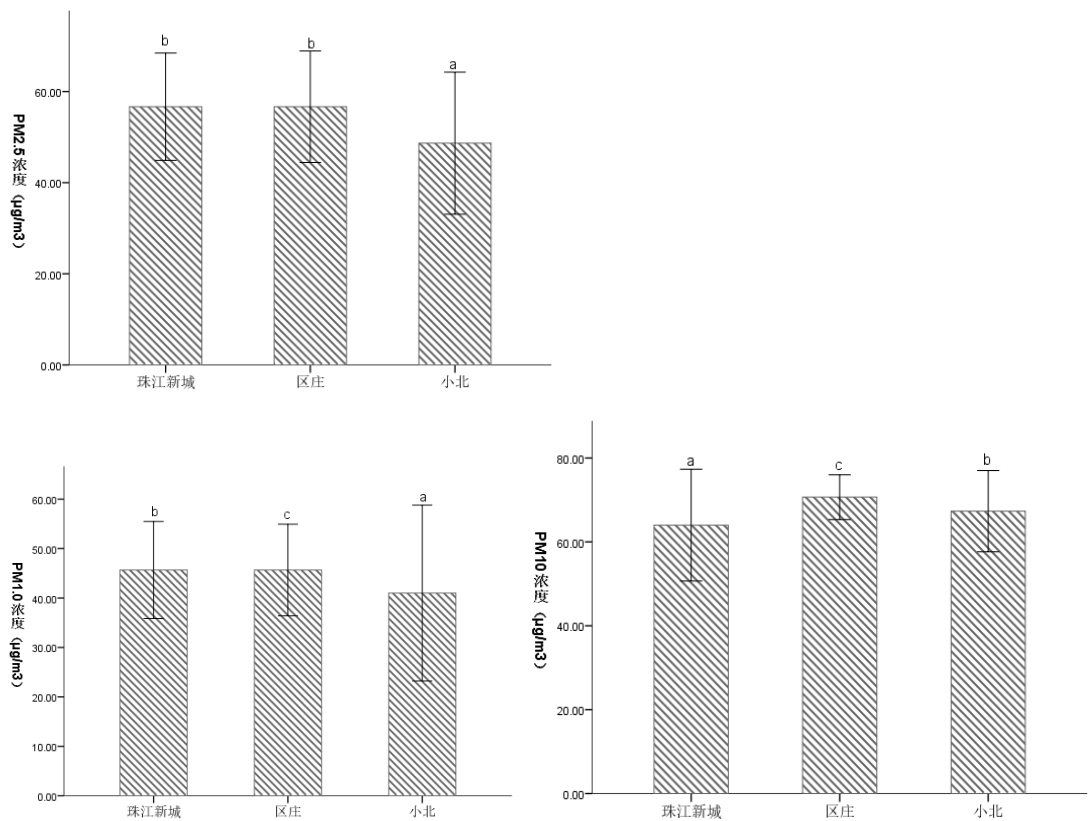


图 13-1 对比检测组(1) 各大气颗粒物平均浓度

珠江新城—广州东站—京溪南方医院（对比检测组(2)）这一对比监测组的测试时间为上午 11:30，通过以下数据表，可以发现珠江新城中心区域在 3 组对比测试点中 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度均为最低，原因应是此区域人流量和车流量在此时段仍然较少，因此对当前区域空气中的颗粒物含量影响较小。在这组对比测试点中，京溪南方医院的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 浓度均为最高，平均浓度分别为 $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同时各较为明显的显著性差异，大气颗粒物浓度与该地有较为明显的关系。原因可能在于此时段的测试区域较多商家店铺，同时接近中午时段，人流量与车流量较大，开放源和流动源等污染源较为密集，从而使得京溪南方医院这一测试点大气悬浮颗粒物浓度较高，空气质量较差，污染较为严重。

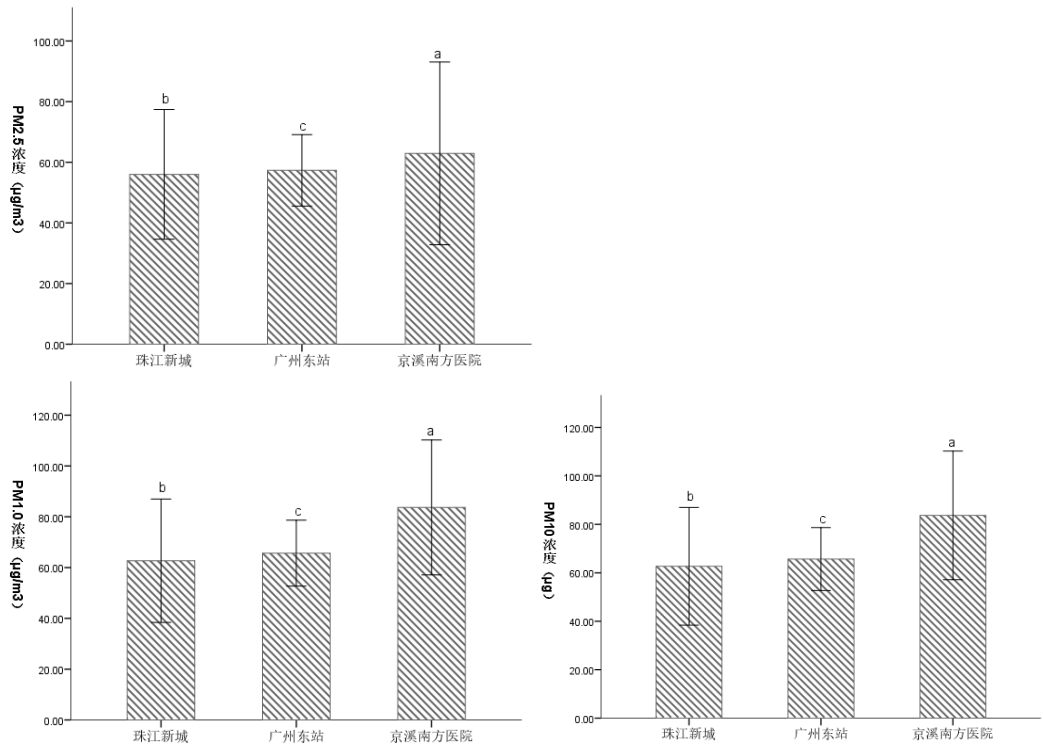
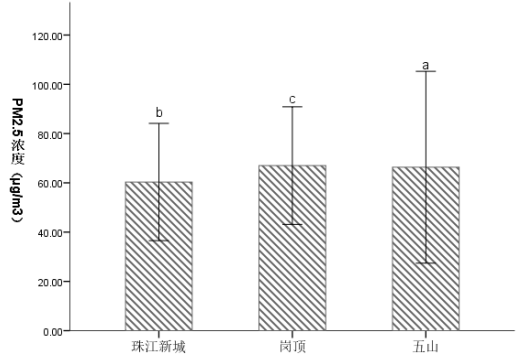


图 13-2 对比检测组(2) 各大气颗粒物平均浓度

珠江新城—岗顶—五山（对比检测组(3)）这一对比监测组的测试时间为中午 12:30，这一时段正中午，空气对流较少，湿度以及水分较少，使得空气中颗粒物不分散，因此中午的大气颗粒物浓度较高，空气较为严重。在这一组对比测试点中，岗顶的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度均是最高，连续三天同一时段的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。原因应在于中午时段岗顶无论是人流量以及车流量都十分密集，这区域有较多的餐饮店，商城和商机店铺，大量的人流涌入此区域，因此人群密集，车辆也不断增多，从而使得此区域大气颗粒物浓度增加，空气质量达到一天中最差的状态。而五山这一测试点，各大气颗粒物浓度相比于同组其他地点有较明显的显著性差异，由于靠近商业街区以及华南农业大学等人流量和车流量较为密集的区域，以此这一测试点的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度也较高。



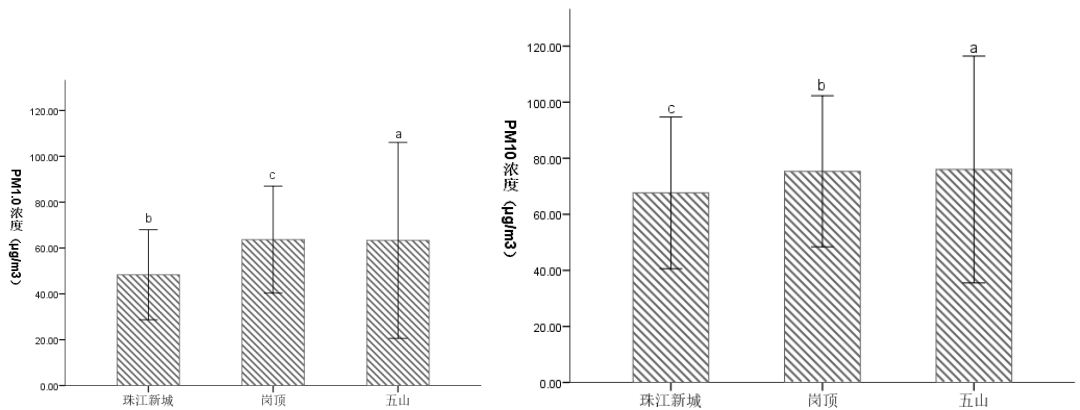


图 13-3 对比检测组(3) 各大气颗粒物平均浓度

珠江新城—潭村—科韵路（对比检测组(4)）这一对比监测组的测试时间为 13:30，这一时段也处于中午时段，天气温度较高，湿度和水分较低，对空气中的大气颗粒物的含量有一定的影响。在这一组对比测试点中，科韵路这一测试点的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度均为最低，PM2.5、PM1.0 和 PM10 的平均浓度为 $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中 PM1.0 和 PM10 的具有较明显的显著性差异。原因在于这时段的测试点人流量以及车流量相比于同组监测点而言都较低，同时这一片区域建筑群落较少且空旷，也有利于空气中的大气颗粒物扩散，因此该监测点的大气颗粒物的浓度较低(郝文娟, 2015)。而这组对比测试点中，潭村的大气颗粒含量则是最高的，此处的人流量较大，同时交通路线密集，车流量较大，从而使得此处的大气颗粒物浓度较大。

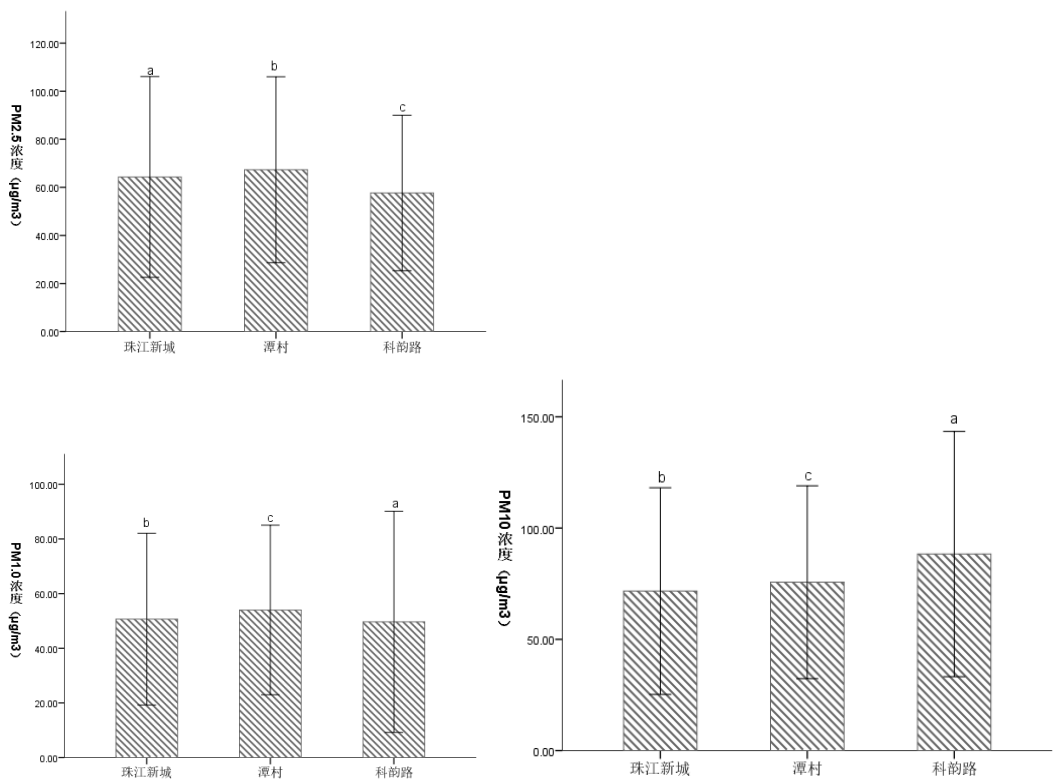


图 13-4 对比检测组(4) 各大气颗粒物平均浓度

珠江新城—客村—大塘（对比检测组(5)）这一对比测试点的测试时间为 14:30，此时接近下午时间，而下午的空气质量在一天中较好，大气颗粒物浓度相对其他时段较低。这一组对比测试组中，珠江新城中心区域的 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度均是最低的，同时显著性差异较小，这一时段的珠江新城

人流量较少，并且车辆数量也较少，因此空气质量较好，空气中大气颗粒物浓度较低。客村则是这一组对比试验组中 PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度最高的一组，这一测试区域人流量和车流量都较大，同时周边有较多的商家店铺和商城，流动源和固定源此类的污染源较多，从而使得此测试区域空气大气客流浓度较大。

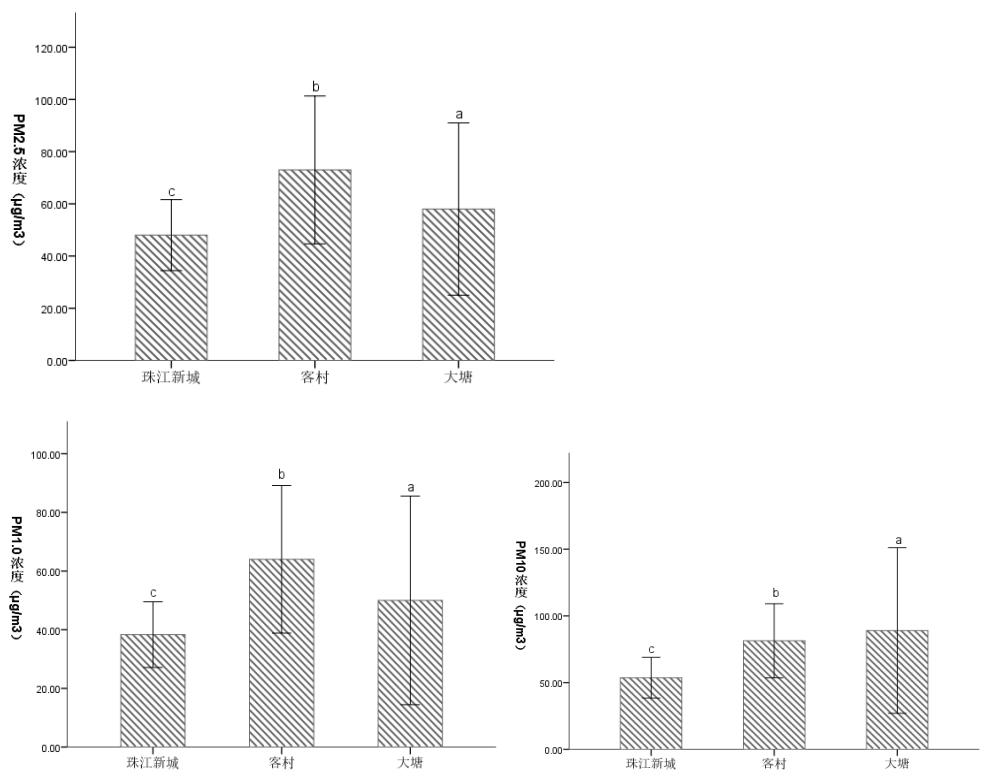


图 13-5 对比检测组(5) 各大气颗粒物平均浓度

5. 结论与讨论

5.1 结论

- (1) 通过研究期间对珠江新城等市中心区域的测试与数据观察，相比于广东东站与小北等地区，发现在靠近市中心的珠江新城中心区域的大气环境质量更好，PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度在全天中主要时段及污染程度最大的时段均较低，此区域受车流量、建筑工地等人为污染源影响较小，空气质量较优。
- (2) 通过对 11 个监测点的分析与研究发现广东东站、岗顶、潭村、客村和区庄这 5 个测试点的测试时段的空气质量较差，PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度均较高。这些区域人流量和车流量较大，较多商业街区 and 建筑工地，因此人为排放的污染源较多，对空气质量影响较大，其中在每天的中午时段，各大气颗粒物的浓度增大的程度明显，空气污染程度较大。
- (3) 在这 11 个测试点中，小北、大塘和科韵路等测试点测试场地较为空旷，人流量及车流量较少，区域绿化较为丰富，建筑工地和商业街区也较少，因此在测试时段中空气质量较为良好，PM2.5、PM1.0 和 PM10 的浓度较低。
- (4) 从测试地点的环境以及所测得的数据可以得出，正午时段的各大气颗粒物浓度高于当天内其他时间段的浓度。大气环境中的各大气颗粒物浓度受到了气候温度、湿度和风速的影响，同时测试环境内车流量、人流量、建筑群落等污染源都会对其产生影响。

5.2 讨论

大气空气质量与我们的生活息息相关，关乎我们的生存环境和身体健康，因此制定合理的措施来减少空气中大气颗粒物的浓度是很有必要的。

(1) 汽车尾气是各大气颗粒物的重要来源,因此应当适时的控制尾气排放,在以往的采取的措施中,主要方式为汽车分段限行这一方式,然而这一措施所带来的效果未对大气空气质量改善带来太大帮助,并不能很好的控制污染源。因此大力发展清洁能源,逐步淘汰不符合排放标准的车型和燃油,并提高燃油的品质,从而从根源控制污染源。

(2) 优化产业结构将对大气空气质量带来进一步的帮助,我们目前正在逐步的淘汰重工业化的落后产能产业,通过搬迁转移和环保技术升级改造优化产能和生产方式,减少电力,钢铁建材,石化、煤油等产业对空气质量的影响和破坏。

(3) 相关部门应制定更加严格的大气排放标准,同时建立合理的行业相关的准入标准,对市民日常生活中所接触的行业和产业加大监督力度,严格把关。同时制定合适的市民反馈机制,与市民一同监督社会各行各业。

(4) 加快 PM_{2.5} 等大气颗粒物的监测体系,加大检测网布控密度,定时反馈 PM_{2.5} 等大气颗粒物含量状况。搭建相关部门与市民都可较便捷接触的空气质量信息反馈共享平台。

(5) 雾霾的防治与修复不容忽视,防治雾霾方法途径众多,其中利用园林植物能够滞尘、吸收有毒有害物质的生理特性来防治雾霾。韩璐毅(韩璐毅,2023)认为,园林植物配置的好坏会对城市空气污染治理效果产生影响,因此,为了优化城市空气污染治理效果,可以在城市建设、园林配置中,使用一些净化能力较强的植物,如扁桃和小叶榕。

参考文献

- 郑玫,张延君,闫才青,等.中国 PM_{2.5} 来源解析方法综述[J].北京大学学报(自然科学版),2014,50(6):1141-1145.
- 徐圣辰,陈金媛.PM_{2.5} 源解析中监测技术的研究进展[A].杭州:浙江工业大学生物与环境工程学院,2014.6.
- 丁文,贾忠奎,席本野,等.道路绿地对 PM_{2.5} 等颗粒物的作用效果及影响机制[J].福建农林大学学报(自然科学版),2018,47(06):729-735.
- 杨洪斌,邹旭东,汪宏宇,等.大气环境中 PM_{2.5} 的研究进展与展望[J].气象与环境学报,2012,28(03):77-82.
- 姜娜.大气细颗粒物 PM_{2.5} 的研究进展[J].广州化工,2014,(13):134-135.
- 易建华,吴晓芳,王丽云,等.PM_{2.5} 对呼吸系统疾病的影响及其机制的研究进展[J].西安交通大学学报(医学版),2019,40(01):167-172.
- 丁晴,刘建国,陆亦怀,等.广州亚运期间鹤山大气颗粒物及碳组分的分析[J].环境科学与技术,2012,(7):43-48.
- 丁文,贾忠奎,席本野,等.道路绿地对 PM_{2.5} 等颗粒物的作用效果及影响机制[J].福建农林大学学报(自然科学版),2018,47(06):729-735.
- 卢丹青.秦岭北麓不同区域大气颗粒物 PM_{2.5} 的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.
- 张建华,蒋励,刘琳.贵阳市大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 日污染特征[J].微量元素与健康研究,2017,34(04):59-60.
- 宋英,石高健,柴发合,等.城市与郊区大气 PM_{2.5} 水溶性离子的污染特征及来源解析[J].环境科学与技术,2018,41(S2):104-110.
- 刀谓,王超,张霖琳,吕怡兵,等.我国 4 个大气背景点环境空气颗粒物(PM_{2.5}、PM₁₀)中水溶性离子分布特征[J].环境化学,2015,34(06):1095-1102.
- 苏志华,王建华.贵阳市大气颗粒物的污染特征及其影响因素分析[J].中山大学学报(自然科学版),2015,(5):77-84.
- 冷朋波,王爱红,王群利,等.宁波市某城区大气 PM_{2.5} 中 PAHs 源解析及健康风险评估[J].环境与职业医学,2019,36(01):73-78.
- 王黎佳,邵科.杭州市大气颗粒物监测及现状分析[J].绿色科技,2016,(16):45-46.
- 李杏茹,白羽,陈曦,等.北京冬季重污染过程大气细颗粒物化学组成特征及来源分析[J].环境化学,2018,37(11):2397-2409.
- 于建华,虞统,魏强,等.北京地区 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度的变化特征[J].环境科学研究,2004,(1):45-47.
- 王荟,王格慧,高士祥.南京市大气颗粒物春季污染的特征[J].中国环境科学,2003,(1):55-59.
- 苏静.细微大气颗粒物 PM_{2.5} 影响因素分析[J].环境与发展,2018,(5):151-152.
- 郝文娟.PM_{2.5} 的危害以及应对措施[J].商品与质量,2015,(7):387.
- 韩璐毅.园林植物配置技术在城市空气污染治理中的应用研究[J].环境科学与管理,2023,48(2):161-166.