

《大气中国》报告特别篇专题

亚洲主要城市PM_{2.5}贡献来源

关于本报告

本报告总结了近年来全球主要城市最新的PM_{2.5}来源解析结果（2015年或之后的采样）。2014-2019年间，由于排放控制政策的实施，众多国家的污染物排放量大幅下降。值得一提的是，中国先后发布了《大气污染防治行动计划》和《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》，并实施了全面的治理措施，比如将北方地区的燃煤取暖改为燃烧天然气取暖。美国等其他国家也在实施相关控制政策，如从2017年1月1日起把二级轻型车辆标准升级到三级标准等。因此，对2015年前采集的PM样本进行的分析研究不能准确反映这些来源对当前PM_{2.5}浓度的贡献，所以，本报告侧重对最新开展的研究进行分析。从2020年开始，新冠疫情的爆发导致空气质量系统发生了许多变化，在强制减少活动期间，污染物的排放量也相应减少（Amouei Torkmahalleh et al., 2021）。然而，持续的新冠疫情使得收集数据变得困难，而且目前的源解析结果对新冠肺炎疫情后空气质量系统的适用性尚不清楚。因此，本报告的发现适用于新冠疫情前的情景。

我们查询了全球31个大城市PM源解析情况，城市范围如表1。然而，在Google、Google Scholar、Scopus和Web of Science上搜索PM_{2.5}和“源解析”，只发现其中20个城市有可用的源解析研究论文。基于此，本报告对20个城市逐一进行了分析。

● 报告团队

撰稿人

Philip K. Hopke

教授 美国克拉克森大学

编译

王思

环境研究员 亚洲清洁空气中心

表1 31城市PM_{2.5}源解析结果发布情况

曼谷(无研究)	伊斯兰堡(无研究)	新德里
北京	雅加达	金边(无研究)
柏林(无研究)	卡拉奇(年份太老)	首尔
成都	加德满都(无研究)	上海
科伦坡(无研究)	吉隆坡	深圳
达卡	伦敦(无研究)	新加坡(无具体信息)
广州	洛杉矶(无研究)	东京(无研究)
杭州(无研究)	马尼拉	乌兰巴托
河内	孟买	万象(无研究)
香港	南京	武汉
西安		

摘要

亚洲清洁空气中心（CAA）于2022年编制《大气中国》系列报告的特别篇“十年清洁空气之路，中国与世界同行”，通过指标图集的方式呈现了中国过去（特别是关键十年）在清洁空气与气候变化领域的进展和成绩，并通过与东亚、南亚、东南亚国家、以及欧美典型国家对比，提供互鉴，并识别未来的改进方向。

该报告覆盖了六组指标，包括空气质量、空气污染物排放、温室气体排放、能源、交通运输和重点工业行业。同时，在主报告之外，CAA团队与相关领域的科研团队和专家合作编撰专题报告和文章。

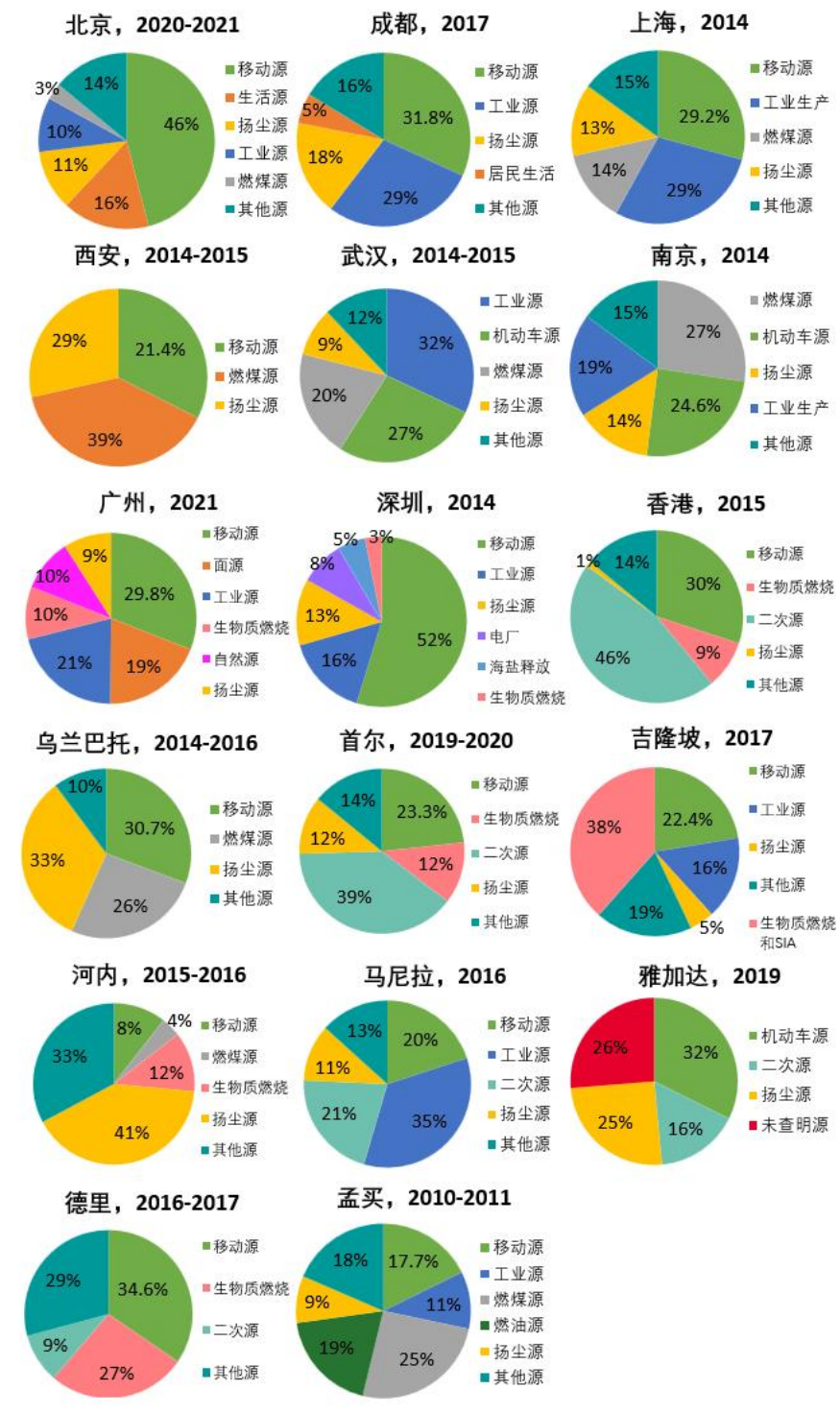
亚洲主要城市PM_{2.5}贡献来源的专题报告由美国克拉克森大学的Philip K. Hopke教授完成，对东亚、东南亚、南亚等地主要城市最新的PM_{2.5}源解析研究结论进行了综述。考虑到采样时间和新冠疫情影响，报告覆盖2015年-2019年发表结果，选取最佳可得信息进行分析，并做了相应的准确性评估。报告覆盖国家和城市的范围如图1。

表2 报告覆盖的国家和城市

地区	国家	城市
东亚	中国	北京
		成都
		上海
		西安
		武汉
		南京
		广州
		深圳
		香港
		乌兰巴托
东南亚	蒙古	
	韩国	首尔
	马来西亚	吉隆坡
	越南	河内
	菲律宾	马尼拉
南亚	印度尼西亚	雅加达
	印度	德里
		孟买

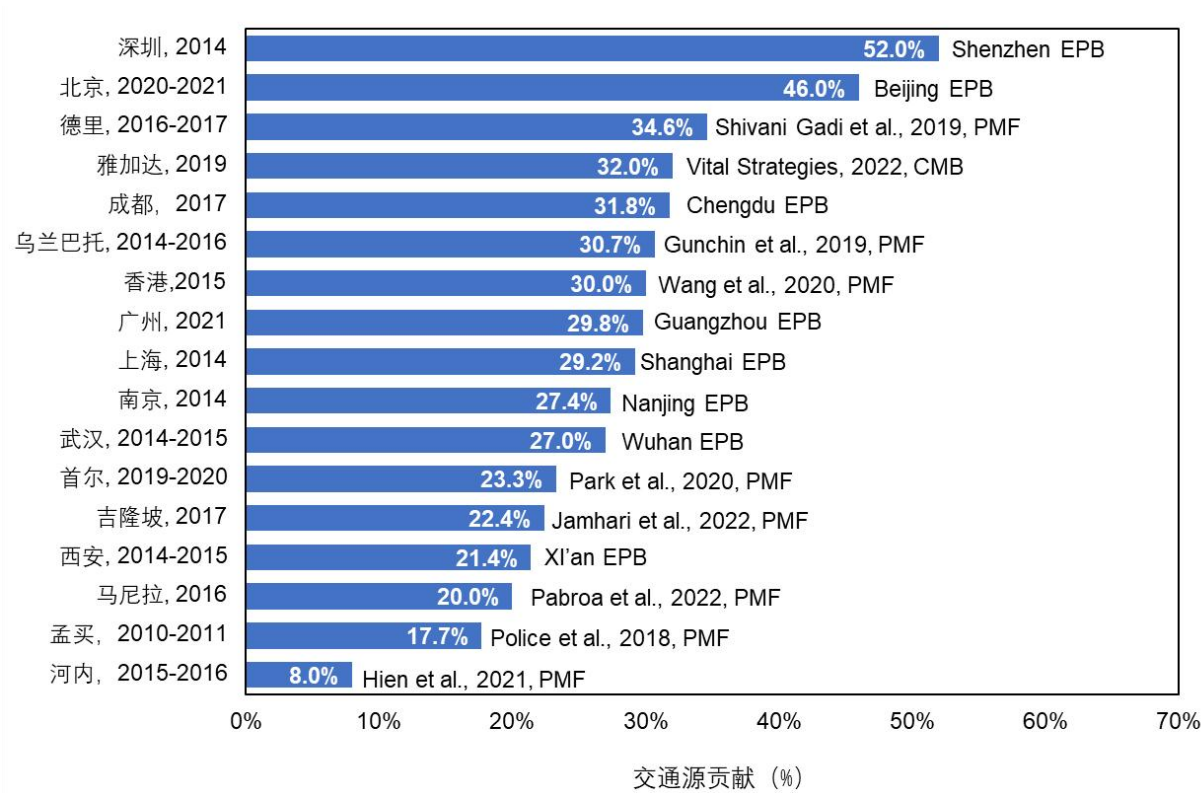
基于综述报告和部分中国城市官方发布的源解析结果，CAA对比分析了亚洲主要城市PM_{2.5}源解析结果（如下图）并撰写本文，旨在为亚洲城市的PM_{2.5}污染来源提供概览，识别共性与特征，为亚洲城市决策者和其他相关方提供信息参考，以制定针对性治理策略、开展相关领域的国际合作。

图1 亚洲主要城市PM_{2.5}源解析结果（基于综述报告和官方发布最新可得年份数据）



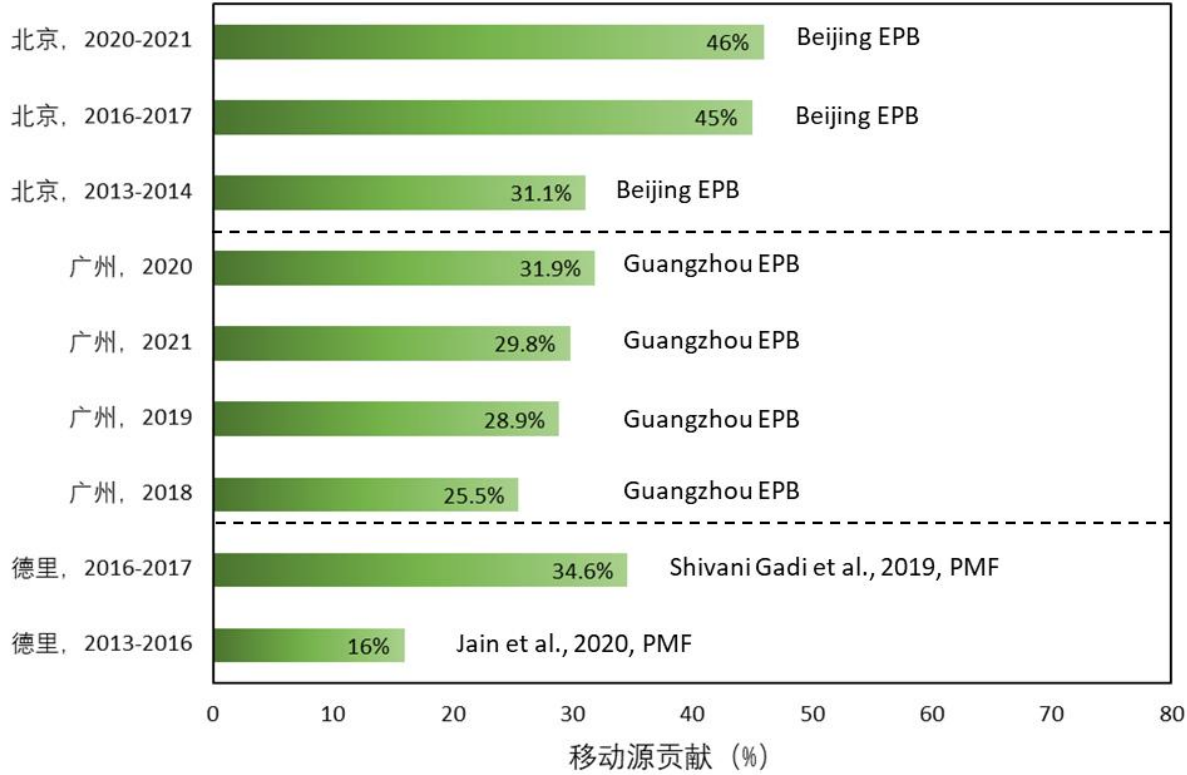
移动源对亚洲主要城市PM_{2.5}的贡献比例范围为8%（河内）-52%（深圳），平均贡献比例为28.4%，是大多数城市PM_{2.5}的主要贡献源。17个研究对象城市中，15个城市的移动源贡献比例高达20%及以上，如图2。其中北京、上海、成都、南京、武汉、广州、深圳、德里、雅加达这些大型城市的移动源对PM_{2.5}的贡献比例都高居首位，贡献比例范围为27.4%（南京）-52%（深圳）；在西安、香港、首尔、马尼拉、吉隆坡和乌兰巴托，移动源贡献也十分突出，比例范围高达20%（马尼拉）-30.7%（乌兰巴托），是PM_{2.5}的次要贡献源。

图2 亚洲主要城市交通源对PM_{2.5}的贡献



从时间序列上看，在部分超大城市中移动源对PM_{2.5}污染的贡献比例也在不断提升，包括德里、广州、北京（如图3）。其中北京的交通源贡献逐渐凸显，从2013年的31.1%上升到2020年的46%；广州的交通源贡献从2018年的25.5%升至2021年的29.8%；德里的交通源贡献则从2013-2016年的16%升至2016-2017年的34.6%。

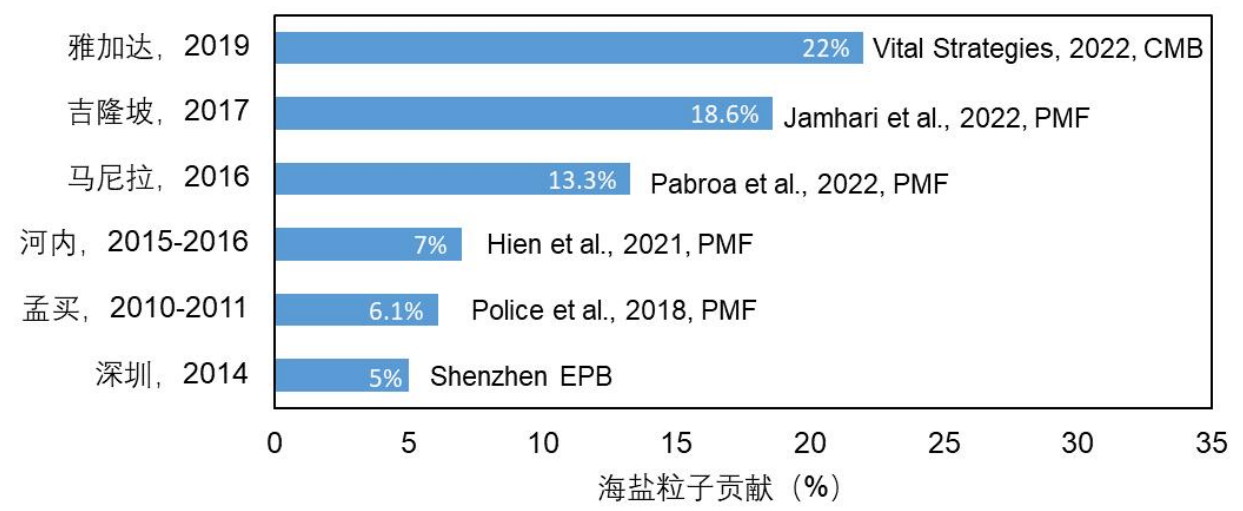
图3 北京、广州和德里的移动源对PM_{2.5}的贡献



在上海、深圳、香港三座港口城市的源解析研究中都发现，移动源中船舶的排放不容忽视，例如，2020年上海市船舶排放对PM_{2.5}的贡献为3.2%；2014年深圳市远洋船舶对PM_{2.5}的贡献为5.3%；2015年香港的船舶对PM_{2.5}的贡献为12%。这是因为远洋船舶通常使用硫含量较高的柴油作为燃料，大气污染物排放水平较高。

此外，对于港口或近海城市来说，天然源海盐粒子也是重要的PM_{2.5}来源。深圳、马尼拉、雅加达、吉隆坡、河内、孟买这些城市的PM_{2.5}来源中存在海盐粒子源，贡献比例范围是5%-22%，平均贡献比例为12%，如图4。

图4 亚洲港口城市海盐粒子对PM_{2.5}的贡献

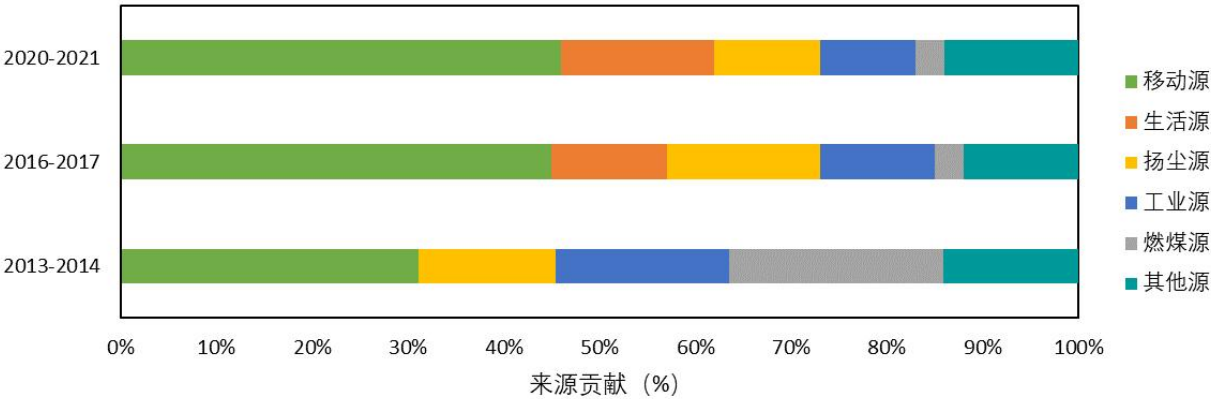


过去十年，北京市实施了《北京市2013-2017年清洁空气行动计划》和《北京市打赢蓝天保卫战三年行动计划》，空气质量得到明显改善。PM_{2.5}年均浓度从2013年的89.5 μg/m³降至2022年的30 μg/m³，降幅达66.5%。随着大气污染防治的深入推进，北京市的PM_{2.5}来源结构也发生了显著的变化。

根据北京市生态环境局在过去十年发布的三次PM_{2.5}源解析结果发现，移动源对PM_{2.5}的贡献率持续上升，燃煤和工业源贡献率持续下降，扬尘源在2016-2017年间有小幅上升后在2020-2021年大幅下降，生活面源贡献率逐渐凸显，如图5。

在所有贡献源中，比例降幅最显著的是燃煤源，从2013年的22%降到了2020年的3%。在过去十年间，北京市积极推进能源结构低碳转型，累计完成4万蒸吨燃煤锅炉清洁能源改造、130余万户居民“煤改清洁能源”，淘汰燃煤机组272.5万千瓦。全市煤炭消费量由2012年的2179.6万吨下降到2021年的131万吨，从根本上遏制了燃煤产生的大气污染。

图5 北京市三次PM_{2.5}来源解析结果

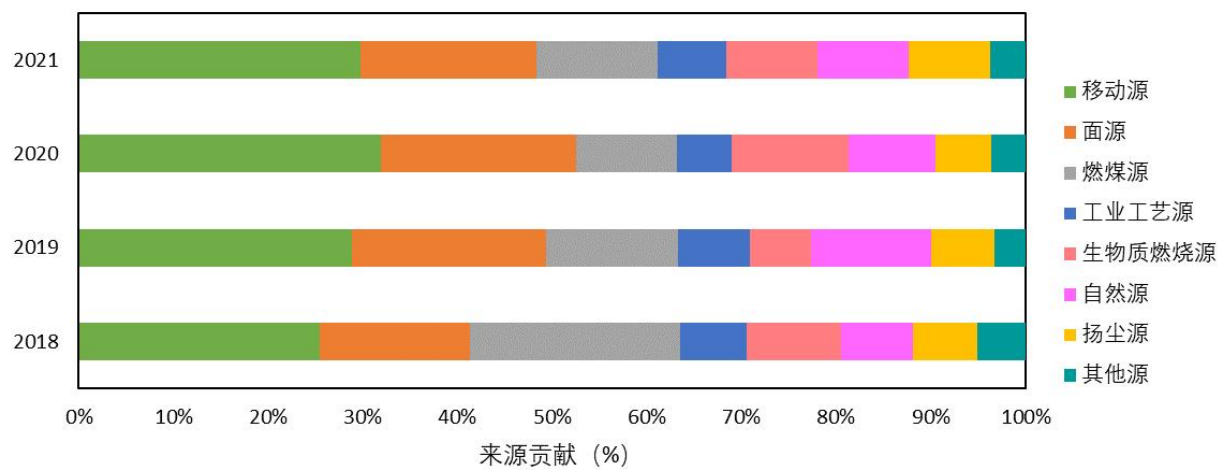


近年来，广州市不断加强大气污染防治工作，PM_{2.5}年均浓度持续下降。2021年，广州市PM_{2.5}年均浓度为24 μg/m³，实现了世界卫生组织的第二过渡期目标值（25 μg/m³），相比2013年下降了54.7%，连续5年稳定达到国家二级标准。

近几年的PM_{2.5}源解析结果显示，同北京相同，广州市燃煤源的贡献比例显著下降，从2018年的22.2%下降到12.9%，移动源、面源、自然源和扬尘源的贡献率有所上升，而且移动源的贡献比例居高不下，工业工艺和生物质燃烧源比例变化不大，如图6。

“十三五”期间，广州市不断压减煤炭消费总量，相比2015年，煤电装机比重下降了32.5个百分点，燃煤锅炉由“十二五”初的约1400台下降至30台且污染排放全部达到燃气标准。

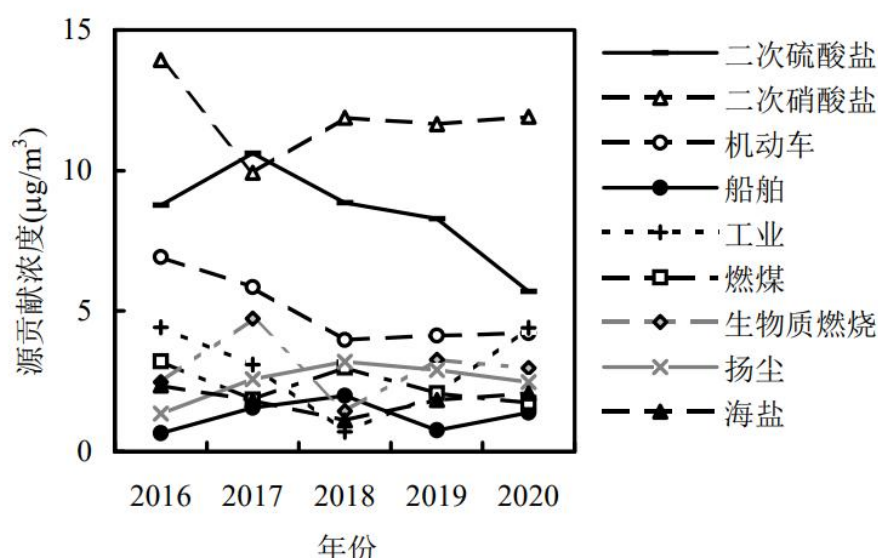
图6 2018-2021年广州市PM_{2.5}来源解析结果



2013年以来，上海市全面落实推进《上海市清洁空气行动计划（2013-2017）》，大气污染防治工作取得显著成效，并走在全国前列。2022年PM_{2.5}年均浓度达到25 μg/m³，较2013年的62 μg/m³下降了60%，PM_{2.5}浓度为有监测记录以来的最低值，提前实现“十四五”规划中稳定达到国家二级标准的目标。

随着大气污染防治政策和标准的逐渐加严，上海市PM_{2.5}的源解析结果也发生了显著变化，如图7。其中机动车的贡献浓度总体呈下降趋势，在2016-2018年期间下降幅度明显，这得益于上海市在《上海清洁空气行动计划（2013~2017年）》实施期间大力淘汰黄标车和老旧车辆、推广新能源汽车等措施，在此期间，上海市淘汰了黄标车33万辆、老旧车12.5万辆、国三柴油车近九万辆。此外，随着《上海市清洁空气行动计划（2018-2022年）》中岸电和清洁能源替代、内河船舶污染控制等船舶污染防治措施效果的落地，船舶排放源的贡献浓度在2018-2020年期间出现了下降的趋势。

图7 2016-2020年上海市PM_{2.5}来源年均贡献浓度 图源：赵倩彪等，2022



自2013年出台《深圳市大气环境质量提升计划》以来，深圳市的空气质量得到了显著改善，到2019年，深圳市的PM_{2.5}浓度降低到24 μg/m³，成为我国首个达到了世界卫生组织PM_{2.5}第二阶段过渡目标(25 μg/m³)的超大城市。

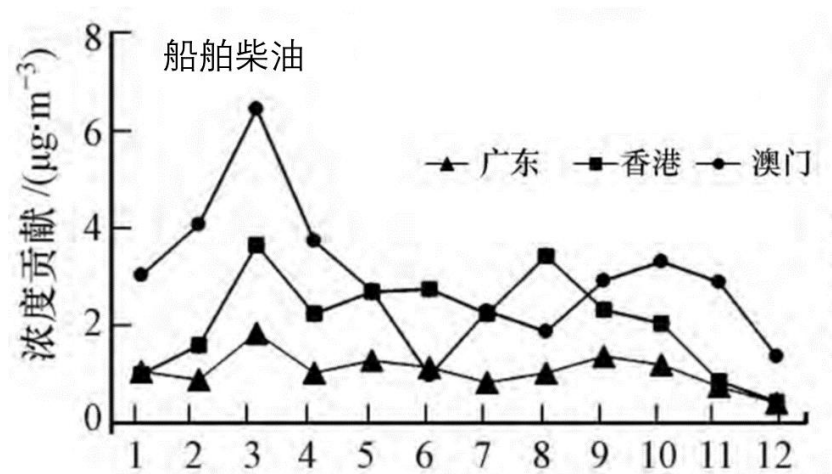
在空气质量改善的同时，深圳市的PM_{2.5}来源结构也发生了变化。三个不同观测时间的结果显示（图8），过去十年间，深圳市机动车和船舶对PM_{2.5}的贡献率都呈下降趋势，这与深圳市2015年淘汰全部黄标车、全面推广新能源公交大巴和纯电动出租车，以及2019年起要求进入珠三角排放控制区深圳管辖范围区域内的船舶全部使用硫含量≤0.5%的燃油等措施密切相关。

表3 不同时间段深圳市机动车与船舶对PM_{2.5}的贡献比例

观测时间	机动车排放贡献	船舶排放贡献	参考文献
2014	26.9%	5.3%	孙天乐等, 2019
2017-2018	25%	4.6%	苏翠平等, 2020
2020-2021	21.7%	3.3%	林楚雄等, 2023

香港从2011年起开始监测环境PM_{2.5}浓度。在2011年至2015年间，香港的PM_{2.5}浓度呈下降趋势。2015年香港PM_{2.5}的源解析结果显示，所有来源对PM_{2.5}浓度贡献的月变化都呈冬季升高、夏季降低的趋势。其中船舶柴油贡献为12%，且从8月开始有降低的趋势，如图9。主要因为香港从2015年7月开始实施远洋船舶在香港停泊时必须使用含硫量低于0.5%的船用燃料的规定，而之前的含硫量规定是低于2.6%，说明该政策在船舶污染控制方面取得了明显成效。

图8 2015年香港PM_{2.5}污染来源月变化 图源：王怡然等，2020



中国

北京

自2013年启动《大气污染防治行动计划》以来，北京的细颗粒物（PM_{2.5}）来源发生了重大变化。Li等人（2019a）分析了2012年6月-2013年4月的PM_{2.5}数据，包括了2013年1月的重污染时期。确定的来源包括：交通、生物质燃烧、硝酸盐和硫酸盐、焚烧、硫酸盐、煤炭燃烧、取暖和炊事、道路扬尘和土壤扬尘，以上来源对PM_{2.5}的贡献分别为10.4%、8.9%、22.4%、7.2%、24.5%、6.2%、15.4%和 5.0%。

Du等人（2022）分析了2013-2018年在朝阳区一个地点采集的PM_{2.5}成分数据，共解析了六种来源类型：道路扬尘、车辆尾气、煤炭燃烧、生物质燃烧、二次硝酸盐和二次硫酸盐。这些来源对PM_{2.5}的平均贡献分别为3.12%、19.47%、11.04%、5.47%、28.23%和 30.07%。

Park等人（2022）采用DN_PMF方法，对2019年在中国环境科学研究院收集的224个过滤样本进行了分析，具体源解析结果见表2。

表4 2019年北京PM_{2.5}源解析结果(Park et al., 2022)

来源	浓度(μg/m ³)	贡献百分比
二次硝酸盐	13.063	31.7%
二次硫酸盐	7.225	17.6%
交通	4.717	11.5%
燃油	2.310	5.6%
燃煤	2.642	6.4%
土壤扬尘	2.807	6.8%
焚烧炉+工业	4.208	10.2%
生物质燃烧	3.599	8.7%
海盐粒子	0.593	1.4%

成都

Kong等人（2020）分析了成都市环境保护科学研究院距地面25米处的PM_{2.5}小时浓度和化学成分。该区域包括道路、商业区和住宅区，建筑物高度都不超过200米。结果展示了六个来源及其贡献占比，分别为机动车排放（8%）、生物质燃烧（11.7%）、工业排放（3.1%）、二次气溶胶（35.9%）、煤炭燃烧（27.3%）和粉尘（13.9%）。

Xue等人（2022）发表了一项基于2018年采集的80个过滤样本的研究结果。他们应用PMF方法确定了六个来源及其贡献占比，包括二次源（28%）、扬尘（15%）、建筑粉尘（4%）、煤炭燃烧（13%）、汽油车排放（12%）和柴油车排放（10%）。

香港

Chow等人（2022）分析了2015年在香港六个监测站点采集的PM_{2.5}样本数据。他们使用PMF方法明确了九个来源，分别是：二次硫酸盐、二次硝酸盐、煤炭燃烧、生物质燃烧、一次天然源颗粒、汽车排放、残油燃烧、扬尘和海盐粒子。具体的源解析结果见表3。

表5 2015年香港六个监测点的源解析结果(Chow et al., 2022)

来源	路边站 (MK)	城市 (YL)	城市 (TW)	城市 (TC)	乡村 (HKUST)	乡村 (HT)
二次硫酸盐	31%	40%	35%	46%	46%	49%
二次硝酸盐	13%	15%	10%	10%	6%	6%
煤炭燃烧	12%	20%	14%	18%	16%	16%
生物质燃烧	5%	3%	13%	3%	8%	2%
一次天然源颗粒	2%	0%	3%	0%	1%	0%
汽车排放	24%	7%	9%	6%	2%	2%
残油燃烧	2%	2%	4%	2%	2%	4%
扬尘	4%	6%	5%	5%	6%	8%
海盐粒子	7%	7%	9%	9%	12%	12%

武汉

Zhang等人（2022b）基于2019年12月-2020年11月的监测数据，使用主成分分析法（PCA）和随机森林模型的组合来量化武汉的PM_{2.5}来源。结果包括五个来源及其贡献占比，分别为：燃煤和二次源（45%）、汽车排放（25%）、工业排放（16%）、扬尘（8%）和生物质燃烧（8%）。

西安

Dai等人（2018）于2014年12月-2015年11月在西安及其周边的6个地点采集了PM_{2.5}过滤样本，并利用PMF方法分析确定了七个来源：煤炭燃烧、道路交通、土壤扬尘、生物质燃烧、硫酸盐、硝酸盐和冶金工业。具体的源解析结果见表4。

表6 2014–2015年西安 PM_{2.5}的源解析结果(Dai et al., 2020b)

站点	贡献 (%)							PM _{2.5} (µg/m³)
	交通	生物质 燃烧	硫酸盐	硝酸盐	土壤扬尘	燃煤	冶金工业	
城市	16.3	6.2	18.5	31.4	5.6	17.7	4.3	115.4
工业区	11.0	5.8	23.0	28.7	5.7	17.3	8.5	117.8
乡村	11.0	7.2	26.3	25.8	4.8	23.1	1.7	113.3
CA	9.9	19.9	15.0	31.0	6.4	17.8	--	110.8
SS	14.2	14.1	11.1	45.0	3.9	11.8	--	106.0

上海

Li等人 (2020a) 使用了2018年11月9日-12月3日期间采集的样本数据。他们在上海市区进行了为期三周的实地调查，每隔一个小时测量一次PM_{2.5}浓度及其化学成分，确定了11个来源及其贡献占比，分别为：二次硝酸盐 (30.4%)、二次硫酸盐 (15.3%)、汽车尾气 (12.6%)、工业排放和轮胎磨损 (3.8%)、工业排放2 (2.0%)、残油燃烧 (2.0%)，扬尘 (4.2%)、煤炭燃烧 (5.3%)、生物质燃烧 (4.8%)、炊事 (2.8%)。

南京

Yu等人 (2020) 从2017年1月1日-2017年12月31日对PM_{2.5}样本进行采集，并使用PMF方法确定了来源，包括：二次硝酸盐 (37.4%)、二次硫酸盐 (30.8%)、道路交通 (15.1%)、煤炭燃烧 (7.48%)、地壳扬尘 (3.47%)、残油燃烧 (2.76%) 和金属冶炼 (2.94%)

广州

Li等人 (2020b) 从2013年10月16日-2014年7月18日期间采集了广州的PM_{2.5}样本，对采集到的92个过滤样本进行了PMF分析，最终得到了六个主要来源及其贡献占比，分别为：交通排放 (30.6%)、生物质燃烧 (23.1%)、煤炭燃烧 (17.7%)、船舶排放 (14.0%)、生物质锅炉 (9.9%) 和工业排放 (4.7%)。

深圳

Sun等人 (2019) 于2014年3月、6月、9月和12月在深圳的五个地点采集了PM_{2.5}过滤样本，结果显示汽车排放、二次硫酸盐、二次有机气溶胶和二次硝酸盐是PM_{2.5}的主要来源，分别占27%、21%、12%和 10%，其他来源还包括工业排放 (8%)、海盐 (3%)、建筑扬尘和燃煤 (7%)，扬尘、生物质燃烧和船舶排放这三个来源贡献了剩下的11%。

蒙古—乌兰巴托

Gunchin等人（2019）使用PMF方法对2014-2016年乌兰巴托PM_{2.5}和PM_{2.5-10}进行了源解析，确定的PM_{2.5}的来源及其贡献占比分别为交通（30.7%）、土壤扬尘（33.1%）、煤炭燃烧（26.0%）、石油燃烧（10.2%），PM_{2.5-10}的来源和占比分别为交通（41.9%）、土壤扬尘（34.4%）、煤炭燃烧（15.6%）、石油燃烧（8.1%）。

韩国—首尔

韩国一直在实施污染物监管控制措施，以减少空气污染和改善公众健康。2017年，政府出台了《细颗粒物行动计划》，其目标是到2022年，PM_{2.5}排放量相比2014年减少30%，并将首尔的PM_{2.5}年均浓度降至17-18μg/m³（Lee, 2018）。

Park等人（2022）采用PMF分析方法对首尔的PM_{2.5}样本进行了分析，共解析出九个来源及其贡献占比，分别是：二次硝酸盐（25.5%）、二次硫酸盐（20.5%）、生物质燃烧（11.3%）、焚烧炉（10.5%）、移动源（10.0%）、残油燃烧（10.0%）、燃煤和工业（5.9%）、土壤扬尘（5.1%）、海盐粒子（1.4%）。

Kim等人（2022）基于首尔国家环境研究所（NIER）提供的2019年和2020年1-3月的PM_{2.5}数据，应用DN-PMF方法解析了十个来源及其贡献占比，分别为：硫酸盐（25.9%）、二次硝酸盐（24.5%）、生物质燃烧（21.3%）、交通（9.2%）、采矿业（4.2%）、区域供暖（3.8%）、土壤和道路扬尘（2.5%）、冶金业（1.8%）、残油燃烧（1.2%）。

马来西亚—吉隆坡

Jamhari等人（2022）报告了吉隆坡PM的组成、浓度和源解析结果。他们在2017年2月17日-12月3日期间在石英过滤器上采集了多个尺寸的样本，然后使用EPA PMF V5方法进行分析，结果包含五个来源及其贡献占比，分别为：海盐粒子（18.6%）、矿物和道路扬尘（4.7%）、生物质燃烧和二次无机气溶胶（38.5%）、交通排放（22.4%）。

新加坡

Yan等人对2015年7月-2016年1月在新加坡采集的114个PM_{2.5}过滤样本进行解析，最终确定八个来源，分别是：地壳扬尘、生物质燃烧、航运排放、海盐粒子1、海盐粒子2、废物焚烧、磨料/冶金和汽车排放。然而，这篇研究中没有关于来源对PM_{2.5}贡献占比的具体信息。

越南—河内

Hien等人（2021）报告了在河内新城区进行的PM源解析结果。他们从2015年11月-2016年6月采集样本，使用EPA PMF V5方法解析了PM_{1.0}和PM_{2.5}的七个来源，具体的源解析结果如表5。

表7 河内PM_{1.0}和PM_{2.5}的源解析结果

来源	PM _{1.0}	PM _{2.5}
煤炭燃烧	15.4%	3.0%
汽车排放	10.7%	8.0%
道路扬尘	5.5%	26.9%
海盐粒子	5.1%	7.0%
生物质燃烧	4.3%	9.1%
建筑扬尘	1.0%	4.0%
区域传输	32.2%	24.1%
未能解释	25.7%	17.9%

菲律宾—马尼拉

Pabroa等人（2022）于2016年6-11月的周三和周日在马尼拉的三个地点（NAMRIA、MMDA和Valenzuela）采集了PM样本，每个地点提供了至少75个PM_{2.5}和PM_{2.5-10}的样本。三个站点的源解析结果如表6。

表8 马尼拉三个站点 PM_{2.5}源解析结果(Pabroa et al., 2022)

来源	Valenzuela	MMDA	NAMRIA
土壤扬尘	9.2%	11.0%	13.5%
汽车排放	35.2%	20.0%	32.5%
海盐粒子	8.5%	13.3%	14.5%
工业排放	14.1%	30.7%	6.7%
生物质燃烧	27.6%	--	24.9%
二次硫酸盐	--	21.2%	7.9%
工业(锌)	--	3.9%	--
工业(锌-铅)	5.4%	--	--

印度尼西亚—雅加达

在雅加达，该研究收集了三个地点（Gelora Bung Karno（GBK）、Kebon Jeruk（KJ）和 Lubang Buaya（LB））的 PM_{2.5}过滤样本，并采用CMB方法对样本数据进行了解析（Vital Strategies, 2022），具体的源解析结果见表7。

表9 雅加达三个地点的PM_{2.5}源解析结果(Vital Strategies, 2022)

来源	雨季			旱季		
	GBK	KJ	LB	GBK	KJ	LB
未能确定	31%	26%	22%	17%	0%	10%
二次气溶胶	11%	16%	6%	7%	2%	1%
汽车尾气	41%	32%	38%	42%	57%	43%
道路扬尘	6%	1%	0%	0%	9%	0%
建筑	0%	13%	0%	0%	0%	0%
土壤	1%	0%	1%	12%	10%	18%
露天焚烧	0%	11%	11%	0%	--	9%
海盐粒子	10%	0%	9%	22%	22%	19%
燃煤	0%	0%	14%	0%	0%	0%

孟加拉—达卡

Begum和Hopke (2019) 报告了达卡PM_{2.5}的最新源解析情况。他们分析了1997-2015年采集的PM样本，最终确定了八种来源（生物质燃烧、土壤扬尘、砖窑、扬尘、道路扬尘、镀锌厂、机动车排放和海盐粒子）。然而，该研究中没有关于来源对PM_{2.5}贡献占比的具体信息。

印度—德里

德里已成为世界上污染最严重的城市之一，尤其是在秋冬季污染问题特别显著，这在很大程度上是由于恒河平原的农业燃烧以及周边地区使用固体生物质燃料进行取暖。尤其是在排灯节等节日期间，大量燃放烟花爆竹会使空气质量下降（Manchanda 等人，2022）。

Shivani Gadi等人 (2019) 在2016年12月-2017年12月期间，每周两次或三次在3个地点进行PM_{2.5}过滤采样。他们应用PMF方法解析了五个来源及其贡献占比，分别为：汽车排放（34.6%）、生物质燃烧（26.8%）、炊事（15.7%）、塑料和废物燃烧（13.5%）和二次有机碳（9.5%）。

Jain等人 (2020) 于2013年1月-2016年12月在印度德里CSIR 国家物理实验室收集PM_{2.5}和PM₁₀样本，使用EPA PMF V5解析了八种来源：二次硝酸盐、二次硫酸盐、汽车排放、生物质燃烧、土壤扬尘、化石燃料燃烧、钠盐和镁盐以及工业排放，它们对PM_{2.5}的年均贡献率分别为：11.7%、9.0%、16%、23%、13%、10%、6%和10.3%。

印度—孟买

Police等人（2018）报告了2010年和2011年在孟买采集的PM_{2.5}和PM_{2.5-10}的源解析结果。他们使用 EPA PMF V5 方法解析出六个来源，分别为：燃油、煤炭和生物质燃烧、道路交通、海盐粒子、地壳扬尘和金属工业。具体的源解析结果如表8。

表10 孟买PM_{2.5} 和 PM_{2.5-10}源解析结果(Police et al., 2018)

来源	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}
地壳扬尘	8.7%	8.7%
海盐粒子	6.1%	15.0%
燃煤和生物质燃烧	25.5%	13.8%
道路交通	17.7%	12.6%
燃油	19.0%	11.2%
金属工业	10.6%	7.9%
未知源	12.4%	15.0%

巴基斯坦—卡拉奇

Shahid等人（2018）和Lurie等人（2019）分别发表了卡拉奇的PM₁₀和PM_{2.5}的源解析结果。然而，Shahid等人的研究分析了2009年3-4月采集的九个样本数据，Lurie等人的研究分析了2008年8月-2009年8月采集的样本数据。因此，目前尚未发现卡拉奇最近的PM源解析的相关研究结果。

参考文献

1. Amouei Torkmahalleh, M., Akhmetvaliyeva, Z., Omran, A.D., Darvish Omran, F., Kazemitabar, M., Naseri, M., Naseri, M., Sharifi, H., Malekipirbazari, M., Kwasi Adotey, E., Gorjinezhad, S., Eghtesadi, N., Sabanov, S., Alastuey, A., de Fátima Andrade, M., Buonanno, G., Carbone, S., Cárdenas-Fuentes, D.E., Cassee, F.R., Dai, Q., Henríquez, A., Hopke, P.K., Keronen, P., Khwaja, H.A., Kim, J., Kulmala, M., Kumar, P., Kushta, J., Kuula, J., Massagué, J., Mitchell, T., Mooibroek, D., Morawska, L., Niemi, J.V., Ngagine, S.H., Norman, M., Oyama, B., Oyola, P., Öztürk, F., Petäjä, T., Querol, X., Rashidi, Y., Reyes, F., Ross-Jones, M., Salthammer, T., Savvides, C., Stabile, L., Sjöberg, K., Söderlund, K., Sunder Raman, R., Timonen, H., Umezawa, M., Viana, M., Xie, S., 2021. Global Air Quality and COVID-19 Pandemic: Do We Breathe Cleaner Air? *Aerosol Air Qual. Res.* 21, 200567.
2. Baldauf, R.W., Lane, D.D., Marotz, G.A., 2001. Ambient air quality monitoring network design for assessing human health impacts from exposures to airborne contaminants. *Environ. Monitoring Assess.* 66, 63–76. doi:10.1023/A:1026428214799.
3. Begum, B.A., Hopke, P.K., 2019. Identification of sources from chemical characterization of fine particulate matter and assessment of ambient air quality in Dhaka, Bangladesh. *Aerosol Air Qual. Res.* 19, 118–128.
4. Bi, X.H., Simoneit, B.R.T., Sheng, G.Y., Fu, J.M., 2008. Characterization of molecular markers in smoke from residential coal combustion in China. *Fuel* 87, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.03.047>.
5. Chen, Y., Rich, D.Q., Hopke, P.K., 2022. Long-term PM_{2.5} source analyses in New York City from the perspective of dispersion normalized PMF. *Atmospheric Environment* 272, 118949.
6. Choi, J.K., Ban, S.J., Kim, Y.P., Kim, Y.H., Yi, S.M., Zoh, K.D., 2015.) Molecular marker characterization and source appointment of particulate matter and its organic aerosols. *Chemosphere* 134, 482–491. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.093>.
7. Chow, W. S., Huang, X. H. H., Leung, K. F., Huang, L., Wu, X., and Yu, J. Z., 2022. Molecular and elemental marker-based source apportionment of fine particulate matter at six sites in Hong Kong, China. *Sci. Total Environ.* 813, 152652, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152652>.
8. Dai, Q., Bi, X., Liu, B., Li, L., Ding, J., Song, W., Bi, S., Schulze, B., Song, C., Wu, J., Zhang, Y., Feng, Y., Hopke, P., 2018. Chemical nature of PM_{2.5} and PM₁₀ in Xi'an, China: insights into primary emissions and secondary particle formation. *Environ. Pollut.* 240, 155–166.
9. Dai, Q.L., Bi, X.H., Song, W.B., Li, T.K., Liu, B.S., Ding, J., Xu, J., Song, C.B., Yang, N.W., Schulze, B.C., Zhang, Y.F., Feng, Y.C., Hopke, P.K., 2019. Residential coal combustion as a source of primary sulfate in Xi'an, China. *Atmos. Environ.* 196, 66–76.
10. Dai, Q., Liu, B., Bi, X., Wu, J., Liang, D., Zhang, Y., Feng, Y., Hopke, P.K., 2020a. Dispersion normalized PMF provides insights into the significant changes in source contributions to PM_{2.5} after the COVID-19 outbreak. *Environ Sci. Technol.* 54, 9917–9927.

11. Dai, Q.L., Hopke, P.K., Bi, X.H., Feng, Y.C., 2020b. Improving apportionment of PM_{2.5} using multisite PMF by constraining G-values with a priori information. *Sci. Total Environ.* 736, 139657. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139657>.
12. Feng, X., Feng, Y., Chen, Y., Cai, J., Li, Q., Chen, J., 2022. Source apportionment of PM_{2.5} during haze episodes in Shanghai by the PMF model with PAHs. *J. Clean. Prod.* 330, 129850. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129850>.
13. Gunchin, G., Manousakas, M., Osan, J., Karydas, A.G., Eleftheriadis, K., Lodoysamba, S., Shagjjamba, D., Migliori, A., Padilla-Alvarez, R., Streli, C. and Darby, I. (2019). Three_x0002_Year Long Source Apportionment Study of Airborne Particles in Ulaanbaatar Using X_x0002_Ray Fluorescence and Positive Matrix Factorization. *Aerosol Air Qual. Res.* 19: 1056–1067. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.09.0351>.
14. Han, Y.M., Cao, J.J., Chow, J.C., Watson, J.G., Fung, K., Jin, Z.D., Liu, S.X., An, Z.S., 2007. Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between soot- and char-EC. *Chemosphere* 69, 569–574.
15. Heo, J.B., Hopke, P.K., Yi, S.M., 2009. Source apportionment of PM_{2.5} in Seoul, Korea. *Atmos. Chem. Phys.* 9, 4957–4971. <https://doi.org/10.5194/acp-9-4957-2009>.
16. Hopke, P.K., 2016. Review of receptor modeling methods for source apportionment. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 66, 237–259.
20. Jamhari, A.A., Latif, M.T., Wahab, M.I.A., Hassan, H., Othman, M., Abd Hamid, H.H., Tekasakul, P., Phairuang, W., Furuuchi, M., Hata, M., Rajab, N.F., 2022. Seasonal variation and size distribution of inorganic and carbonaceous components, source identification of size-fractionated urban air particles in Kuala Lumpur, Malaysia. *Chemosphere* 287, 132309.
21. Joint Research Centre, (JRC), 2014. Institute for Environment and Sustainability, Viana, M., Belis, C., Vecchi, R., et al., European guide on air pollution source apportionment with receptor models, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2788/9307>.
22. Kim, E., Hopke, P.K., Edgerton, E.S., 2004. Improving source identification of Atlanta aerosol using temperature resolved carbon fractions in Positive Matrix Factorization. *Atmospheric Environment* 38, 3349–3362.
23. Kong, L.D., Yang, Y.W., Zhang, S.Q., Zhao, X., Du, H.H., Fu, H.B., Zhang, S.C., Cheng, T.T., Yang, X., Chen, J.M., Wu, D., Shen, J.D., Hong, S.M., Jiao, L., 2014. Observations of linear dependence between sulfate and nitrate in atmospheric particles. *J. Geophys. Res. Atmos.* 119, 341–361.
24. Kong, L., Tan, Q., Feng, M., Qu, Y., An, J., Liu, X., Cheng, N., Deng, Y., Zhai, R., Wang, Z., 2020. Investigating the characteristics and source analyses of PM₁₀ seasonal variations in Chengdu, Southwest China. *Chemosphere* 243, 125267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125267>.

25. Lawson, C.L., and R.J. Hanson. 1974. Solving Least Squares Problems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
26. Lee, S., 2018. Korea's new comprehensive plan on fine dust and its implications for policy and research. Res. Brief 29, 1–7.
27. Li, X., Yang, K., Han, J., Ying, Q., Hopke, P. K., 2019a. Sources of humic-like substances (HULIS) in PM_{2.5} in Beijing: Receptor modeling approach. Sci. Total Environ. 671, 765–775.
28. Li, X., Han, J., Hopke, P.K., Hu, J., Shu, Q., Chang, Q., Ying, Q., 2019b. Quantifying primary and secondary humic-like substances in urban aerosol based on emission source characterization and a source-oriented air quality model. Atmos. Chem. Phys. 19 (4), 2327–2341.
29. Li, R., Wang, Q., He, X., Zhu, S., Zhang, K., Duan, Y., Fu, Q., Qiao, L., Wang, Y., Huang, L., Li, L., and Yu, J. Z., 2020a. Source apportionment of PM_{2.5} in Shanghai based on hourly organic molecular markers and other source tracers, Atmos. Chem. Phys., 20, 12047–12061, <https://doi.org/10.5194/acp-20-12047-2020>.
30. Li, T., Li, J., Jiang, H., Chen, D., Zong, Z., Tian, C., Zhang, G., 2020b. Source Apportionment of PM_{2.5} in Guangzhou Based on an Approach of Combining Positive Matrix Factorization with the Bayesian Mixing Model and Radiocarbon, Atmosphere 11, 512. <https://doi.org/10.3390/atmos11050512>.
31. Lin, L., Lee, M.L., Eatough, D.J., 2010. Review of recent advances in detection of organic markers in fine particulate matter and their use for source apportionment. J Air Waste Manage Assoc 60, 3–25. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.1.3>.
32. Lurie, K., Nayebare, S.R., Fatmi, Z., Carpenter, D.O., Siddique, A., Malashock, D., Khan, K., Zeb, J., Hussain, M.M., Khatib, F., 2019. PM_{2.5} in a megacity of Asia (Karachi): source apportionment and health effects. Atmos. Environ. 202, 223–233.
33. Malinowski, E.R. 2002. Factor Analysis in Factor Analysis, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- Manchanda, C., Kumar, M., Singh, V., Hazarika, N., Faisal, M., Lalchandani, V., Shukla, A., Dave, J., Rastogi, N., Tripathi, S.N., 2022. Chemical speciation and source apportionment of ambient PM_{2.5} in New Delhi before, during, and after the Diwali fireworks, Atmos. Pollut. Res. 13, 101428. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101428>.
34. Oros, D.R., Simoneit, B.R.T., 2000. Identification and emission rates of molecular tracers in coal smoke particulate matter. Fuel 79, 515–536. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00153-2](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00153-2).
35. Paatero, P., Hopke, P.K., 2003. Discarding or downweighting high-noise variables in factor analytic models. Anal. Chim. Acta 490, 277–289.
36. Park, E.H., Heo, J., Kim, H., Yi, S.M., 2020. Long term trends of chemical constituents and source contributions of PM_{2.5} in Seoul. Chemosphere 251, 126371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126371>.
37. Park, J., Kim, H., Kim, Y., Heo, J., Kim, S.W., Jeon, K., Yi, S.M., Hopke, P.K., 2022. Source apportionment of PM_{2.5} in Seoul, South Korea and Beijing, China using dispersion normalized PMF. Sci. Total Environ. 833, 155056.

38. Police, S., Sahu, S.K., Tiwari, M., Pandit, G.G., 2018. Chemical composition and source apportionment of PM_{2.5} and PM_{2.5-10} in Trombay (Mumbai, India), a coastal industrial area. *Particuology* 37, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2017.09.006>.
39. Rahman. M.M., Begum, B.A., Hopke, P.K., Nahar, K., Thurston, G. D., 2020. Assessing the PM_{2.5} impact of biomass combustion in megacity Dhaka, Bangladesh. *Environ Pollut* 264, 114798.
40. Rahman, M.M., Begum, B.A., Hopke, P.K., Nahar, K., Newman, J., Thurston, G.D., 2021. Cardiovascular morbidity and mortality associations with biomass- and fossil-fuel combustion fine-particulate-matter exposures in Dhaka, Bangladesh. *Int. J. Epidemiol.* 50, 1172–1183.
41. Rahman MM, Nahar K Begum BA, Hopke PK, Thurston GD (2022) Respiratory emergency department visits associations with exposures to PM_{2.5} mass, constituents, and sources in Dhaka, Bangladesh air pollution. *Ann Am Thorac Soc.* 19, 28–38, <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202103-252OC>.
42. Santoso, M., Hopke, P.K., Hidayat, A., Dwiana, L.D., 2008. Sources identification of the atmospheric aerosol at urban and suburban sites in Indonesia by positive matrix factorization. *Sci Total Environ.* 397, 229–238. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.01.057.
43. Schauer, J.J., Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1996. Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers. *Atmospheric Environment* 30, 3837–3855.
44. Shahid, I., Alvi, M.U., Shahid, M.Z., Alam, K., Chishtie, F., 2018. Source Apportionment of PM10 at an Urban Site of a South Asian Mega City. *Aerosol Air Qual. Res.* 18: 2498–2509. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.07.0237>.
45. Shivani Gadi, R., Sharma, S.K., Mandal, T.K., 2019. Seasonal variation, source apportionment and source attributed health risk of fine carbonaceous aerosols over National Capital Region, India. *Chemosphere* 237, 124500. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124500>.
46. Subramanian, R., Donahue, N.M., Bernardo-Bricker, A., Rogge, W.F., Robinson, A.L., 2006. Contribution of motor vehicle emissions to organic carbon and fine particle mass in Pittsburgh, Pennsylvania: effects of varying source profiles and seasonal trends in ambient marker concentrations. *Atmos. Environ.* 40, 8002–8019. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.055>.
47. Sun, T.-L., Zou, B.-B., Huang, X.-F., Shen, H.-Y., Dai, J., He, Ling-Y., 2019. Source apportionment of PM2.5 in Shenzhen. *China Environmental Science* 39, 13–20. 48. Tian, Y.Z.; Liu, X.; Huo, R.Q.; Shi, Z.B.; Sun, Y.M.; Feng, Y.C.; Harrison, R.M. 2021. Organic compound source profiles of PM_{2.5} from traffic emissions, coal combustion, industrial processes and dust. *Chemosphere* 278, 130429. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130429>.
49. Turpin, B.J., Lim, H.J., 2001. Species contributions to PM_{2.5} mass concentrations: revisiting common assumptions for estimating organic mass. *Aerosol. Sci. Technol.* 35, 602–610. <https://doi.org/10.1080/02786820119445>.
50. Vital Strategies, 2022. Main Sources of Air Pollution in Jakarta, available from: www.vitalstrategies.org/source-apportionment-report.

51. Wang, G., Kawamura, K., Xie, M., Hu, S., Gao, S., Cao, J., An, Z., Wang, Z., 2009. Size_x0002_distributions of n-alkanes, PAHs and hopanes and their sources in the urban, mountain and marine atmospheres over East Asia. *Atmos Chem Phys* 9, 8869–8882.
<https://doi.org/10.5194/acp-9-8869-2009>.
52. Wang, Q.Q., Huang, X.H.H., Zhang, T., Zhang, Q., Feng, Y., Yuan, Z., Wu, D., Lau, A.K.H., Yu, J.Z., 2015. Organic tracer-based source analysis of PM_{2.5} organic and elemental carbon: a case study at Dongguan in the Pearl River Delta. *China Atmos Environ* 118, 164–175.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.07.033>.
53. Wang, Y., Zhang, Y., Li, X., Cao, J. (2021). Refined Source Apportionment of Atmospheric PM_{2.5} in a Typical City in Northwest China. *Aerosol Air Qual. Res.* 21, 200146.
<https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.04.014>.
54. World Health Organization (WHO), 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization.
55. Xue, Q., Tian, Y., Wei, Y., Song, D., Huang, F., Tian, S., Feng, Y., 2022. Seasonal variation and source apportionment of inorganic and organic components in PM_{2.5}: influence of organic markers application on PMF source apportionment. *Environ Sci Pollut Res* (2022).
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-21332-5>.
56. Yan, M., Yang, X., Hang, W., Xia, Y., 2019. Determining the number of factors for non negative matrix and its application in source apportionment of air pollution in Singapore. *Stoch. Env. Res. Risk A.* 33, 1175–1186.
57. Yu, L., Wang, G., Zhang, R., Zhang, L., Song, Y., Wu, B., Li, X., An, K., Chu, J., 2013. Characterization and source apportionment of PM_{2.5} in an urban environment in Beijing. *Aerosol Air Qual. Res.* 13, 574–583.
58. Yu, Y., Ding, F., Mu, Y., Xie, M., Wang, Q.G., 2020. High time-resolved PM_{2.5} composition and sources at an urban site in Yangtze River Delta, China after the implementation of the APPCAP. *Chemosphere* 261, 127746.
59. Zhang, X., Ji, G., Peng, X., Kong, L., Zhao, X., Ying, R., Yin, W., Xu, T., Cheng, J., Wang, L., 2022a. Characteristics of the chemical composition and source apportionment of PM_{2.5} for a one-year period in Wuhan, China. *J Atmos Chem* 79, 101–115.
<https://doi.org/10.1007/s10874-022-09431-6>.
60. Zhang, Z.-H., Chen, N., Zhu, Bo, Tao, H.-T, Cheng, H.-R., 2022b, Source Analysis of Ambient PM_{2.5} in Wuhan City Based on Random Forest Model, *Environ. Sci.* 43, 1151–1158
61. 北京生态环境局, 2018, <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfx xgk43/fdzdgknr2/ywdt28/xwfb/832588/index.html>
62. 北京生态环境局, 2021, http://www.beijing.gov.cn/gongkai/shuju/sjjd/202109/t20210907_2485970.htm
63. 北京市生态环境局, 2023, <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfx xgk43/fdzdgknr2/ywdt28/xwfb/326013559/index.html>
64. 成都市环境保护局, 《成都市大气污染防治行动计划—2013–2017年成效评估报告》, 2018.
65. 广州市人民政府, 《广州市能源发展“十四五”规划》, 2022, https://www.gz.gov.cn/zwgk/ghjh/fzgh/ssw/content/post_8585482.html.
66. 广州市生态环境局, 2018, http://sthjj.gz.gov.cn/ysxw/content/post_5283732.html.
67. 广州市生态环境局, 2019, http://sthjj.gz.gov.cn/gzdt/content/post_7362453.html.

68. 广州市生态环境局, 2020, http://sthjj.gz.gov.cn/gzdt/content/post_8102000.html.

69. 广州市生态环境局, 2021, https://www.gz.gov.cn/zfw/zxfw/gysy/content/post_8727683.html.

70. 林楚雄, 姚沛廷, 彭杏等. 深圳市城区冬季大气PM_{2.5}在线来源解析[J]. 中国环境科学, 2023, 43(02):506–513. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000–6923.20221028.001.

71. 南京市生态环境局, 2015, <http://www.cneb.gov.cn/2015/05/18/ART11431923915458414.shtml>.

72. 上海市生态环境局, 2015, http://www.gov.cn/xinwen/2015-01/07/content_2801872.htm. [13] 深圳市生态环境局, 2015, http://meeb.sz.gov.cn/xxgk/qt/hbyw/dqzlgf/content/post_2040225.html.

73. 苏翠平, 孙逸飞, 曹礼明等. 加入SOA示踪的深圳大气PM_{2.5}受体模型源解析[J]. 中国环境科学, 2020, 40(12): 5124–5132. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000–6923.2020.0564.

74. 孙天乐, 邹北冰, 黄晓锋等. 深圳市大气PM_{2.5}来源解析[J]. 中国环境科学, 2019, 39(01):13–20. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000–6923.2019.0002.

75. 王怡然, 袁自冰, 赵恺辉等. 粤港澳大湾区PM_{2.5}本地与非本地污染来源解析[J]. 环境科学学报, 2020, 40(05): 1560–1574. DOI: 10.13671/j.hjkxb.2020.0009.

76. 武汉市生态环境局, 2016, http://hbj.wuhan.gov.cn/fbjd_19/xxgkml/zwgk/hjcc/jcxx/202004/t20200427_1143623.html. [18] 西安市生态环境局, 2017, <https://weibo.com/ttarticle/p/show?id=230935100814131450931794129>.

77. 赵倩彪, 胡鸣, 伏晴艳. 2016~2020年上海市PM_{2.5}化学组成特征和来源解析[J]. 中国环境科学, 2022, 42(11): 5036–5046. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000–6923.2022.0214.

78. Health Effects Institute, State of Global Air 2020, 2020, https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2020-10/soga-2020-report-10-26_0.pdf.

79. Eun Ha Park, Jongbae Heo, Ho Kim, Seung-Muk Yi, Long term trends of chemical constituents and source contributions of PM_{2.5} in Seoul, Chemosphere, Volume 251, 2020, 126371, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126371>.

80. Hien, P., et al. 2021. A Comparison Study of Chemical Compositions and Sources of PM_{1.0} and PM_{2.5} in Hanoi. Aerosol and Air Quality Research 21, 210056.

81. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. 2020. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet 396:1223–1249; doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2. Gunchin, G., Manousakas, M., Osan, J., Karydas, A.G., Eleftheriadis, K., Lodoysamba, S., Shagjjamba, D., Migliori, A., Padilla-Alvarez, R., Streli, C. and Darby, I. (2019). Three-Year Long Source Apportionment Study of Airborne Particles in Ulaanbaatar Using X-Ray Fluorescence and Positive Matrix Factorization. Aerosol Air Qual. Res. 19: 1056–1067. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.09.0351>. [24] Jain, S., Sharma, S.K., Vijayan, N., Mandal, T.K., 2020. Seasonal characteristics of aerosols (PM_{2.5} and PM₁₀) and their source apportionment using PMF: A four year study over Delhi, India. Environmental Pollution 262, 114337. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114337>.

82. Jamhari, A.A., et al. 2022. Seasonal variation and size distribution of inorganic and carbonaceous components, source identification of size-fractionated urban air particles in Kuala Lumpur, Malaysia. Chemosphere 287, 132309.

83. Pabroa, P.C.B., et al. 2022. Characterization, source apportionment and associated health risk assessment of respirable air particulates in Metro Manila, Philippines. Atmospheric Pollution Research 13, 101379.

84. Police, S., et al. 2018. Chemical composition and source apportionment of PM_{2.5} and PM_{2.5-10} in Trombay (Mumbai, India), a coastal industrial area. *Particuology* 37, 143–153.

85. Shivani Gadi, R., et al. 2019. Seasonal variation, source apportionment and source attributed health risk of fine carbonaceous aerosols over National Capital Region, India. *Chemosphere* 237, 124500.

86. Vital Strategies, 2022. Main Sources of Air Pollution in Jakarta, available from: www.vitalstrategies.org/source-apportionment-report. [29] Wang Y R, Yuan Z B, Zhao K H, et al. 2020. Quantitative apportionment of local and non-local contributions to PM_{2.5} in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 40(5) : 1560–1574.



电话/传真: +86 10 8532 6172
Email: china@cleanairasia.org
微博: @亚洲清洁空气中心
官网: www.cleanairasia.cn / www.cleanairasia.org
地址: 北京市朝阳区秀水街1号建国门外外交公寓3-41, 10060