



文章栏目：环境监测技术

DOI 10.12030/j.cjee.202204164 中图分类号 X502 文献标识码 A

尚伟, 白笑晨, 孙亚刚, 等. 大气网格化监测系统的构建及其在区域环境空气质量精细化管理中的应用[J]. 环境工程学报, 2022, 16(9): 3081-3091. [SHANG Wei, BAI Xiaochen, SUN Yagang, et al. Construction of atmospheric grid monitoring system and its application in refinement management of regional ambient air quality[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(9): 3081-3091.]

大气网格化监测系统的构建及其在区域环境空气质量精细化管理中的应用

尚伟^{1,✉}, 白笑晨^{1,2}, 孙亚刚^{1,2}, 马莹¹, 杜倩^{1,2}

1. 西安市生态环境局高新技术产业开发区分局, 西安 710055; 2. 西安高新技术产业开发区环境监测中心, 西安 710055

摘要 为提升区域环境空气质量精细化管理工作水平, 以西安高新区为例, 采用空气质量自动监测微站和环境大数据分析平台, 构建大气网格化监测系统, 用以分析各街道网格污染物特征和成因并推送监控预警信息和问题巡查结果。结果表明: CO 成点源式分布在各个街道, 丈八街道 CO 点源分布最多; NO₂ 主要集中在兴隆街道和细柳街道; SO₂ 主要集中在兴隆街道和五星街道; O₃ 主要集中分布在丈八街道和鱼化寨街道, 灵沼街道和细柳街道是 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 污染最严重的区域; 一、四季度首要污染物以 PM_{2.5}、PM₁₀ 和 NO₂ 为主, 预警时段多集中在深夜或午后时段; 二、三季首要污染物以 PM₁₀ 和 O₃ 为主, 预警时段多集中在下午; 高新西区国控站空气质量监测结果受东南方向污染物影响较大, 草堂基地省控站空气质量监测结果受东北方向污染物影响较大; 2021 年高新区大气污染问题巡查工作累计发现各类大气污染问题 1 539 件, 其中明确污染源的问题有 607 件, 占比为 39.4%; 分布时段主要集中在 1—4 月, 且多为颗粒物污染问题, 主要来源包括工地排放源 (48%)、道路交通源 (31%)、汽修行业源 (12%) 和餐饮油烟源 (8%) 等。大气网格化监测系统能够为改善区域空气质量提供数据支撑, 从而显著提升空气质量精细化管理工作水平。本研究结果可为同类开发区空气质量精细化管理提供参考。

关键词 大气网格化监测系统; 环境空气质量; 精细化管理; 西安高新区

实时准确的环境空气质量监测是区域大气污染现状评估的基本前提及科学基础^[1]。近年来, 小尺度、网格化布设的空气质量监测点位能够为切实改善区域空气质量提供数据支撑, 对于准确把握区域污染分布特征, 提升区域环境空气质量精细化管理水平具有重要指导作用^[2]。在此背景下, 大气网格化监测系统开始逐渐走进人们的视野。

大气网格化监测系统通常是指为了实现区域环境空气质量精细化管理目的, 基于现场环境特征及不同监测需求, 将研究区域按照预定尺寸人为划分为不同的网格进行采样布点, 基于内嵌的各类微型智能传感器, 通过一系列物理化学检测技术实现对各网格中相关污染物质量浓度进行实时监测的一类环境空气质量监测系统^[3]。得益于智能传感器研究的快速发展及大数据技术的普及应用, 大气网格化监测系统已成为当前区域环境空气质量监测领域的重要组成部分^[4]。基于自动监测与大数据分析相结合的区域大气网格化监测系统已在各地得到广泛应用^[5-6]。

收稿日期: 2022-04-25; 录用日期: 2022-05-30

基金项目: 西安高新区生态环境基础设施建设基金项目 (20210805)

第一作者: 尚伟 (1982—), 男, 学士, 工程师, shangw@xdz.gov.cn; ✉通信作者

上海市嘉定区于2016年底启动大气颗粒物监测试点工作,在全区范围内布设85台颗粒物智能监测设备并搭配颗粒物激光雷达联合扫描监管,实时监控区域颗粒物变化情况^[7]。天津市在现有27个环境空气质量标准监测站的基础上,建立了街镇级空气自动监测二级网格系统。数据管理平台基于地理信息系统开发,应用GIS的地图处理能力以及数据分析功能,将带有空间位置的空气监测大数据进行可视化显示,从而实现区域污染源的精准识别^[8]。乌鲁木齐市通过在全市范围部署网格化空气质量监测设备,获取全市高密度、高频度的空气污染物浓度监测数据,运用基于GIS的后台数据分析系统,进行监测数据的筛查校准、统计分析和动态图绘制,实现区域环境空气质量加密监测及分析管理^[9]。但当前各地已有的大气网格化监测系统更多偏重于污染物监测本身,且与现有环境空气质量标准监测站关联性不足,导致其在区域空气质量精细化管理工作中并未发挥应有作用。

本研究针对西安高新区的区域特点,探讨大气网格化监测系统的构建及其在区域环境空气质量精细化管理中的应用,梳理监测系统建设方案,讨论大气污染分布特征及标准站与其周边微站的关联性,分析系统监控预警情况和问题巡查结果,总结大气网格化监测系统在区域环境空气质量精细化管理中的应用效果,旨在为同类开发区环境空气质量精细化管理工作提供参考。

1 大气网格化监测系统建设方案

1.1 研究区域介绍

西安高新区(以下简称高新区)位于西安西南郊,区域内人口密度大、机动车保有量高、规模以上工业企业分布密集^[10]。受气候地形及产业布局等影响,秋冬季颗粒物污染和夏季近地面O₃污染是当前高新区2类突出大气污染问题^[11]。近年来,高新区积极响应《陕西省铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案(2018—2020年)》,坚持以生态文明建设为主线,借助大气网格化监测系统,深入开展区域环境空气质量精细化管理工作,全力推动区内环境空气质量持续向好^[12]。2020年,高新区环境空气质量达到二级以上良好时间为278d,占全年比例为76.0%,在全市各区县、开发区中排名第3;同时,6项污染物年平均质量浓度值与上一年相比,呈现“四降一升一平”趋势。

1.2 系统设计

研究选取高新区范围内各街道、标准站周边及重点企业作为重点监测区域,通过构建大气网格化监测系统,配合现有标准站监测,结合网格化监管的区域环境空气质量理念,共同服务于区域环境管理^[13]。通过大气污染物的实时监控、精准排查,掌握环境空气质量现状及大气污染分布特征。秒级监测数据能够显著提升环境监察时效性、准确性。系统还能够迅速响应突发大气污染事件。当空气质量监测点位的某项指标出现突变或某一点位的某项指标较高且持续较长时间等异常情况时,触发报警,并可通过平台信息、手机短信等形式及时通知网格员,以便网格员在第一时间采取处置措施,尽可能降低污染事件对区域空气质量的负面影响。网格员还需将报警信息反馈至相关职能部门,供职能部门进行分类整治。整治完成后,职能部门将整治结果如实上报给上级部门,供上级部门决策部署。信息化管理平台将对整治结果进行统计分析并推送至监管部门进行监察。高新区空气质量监测-监察联动管理机制见图1。

1.3 系统构成

高新区大气网格化监测系统主要由空气质量自动监测微站(以下简称“微站”)和环境大数据分析平台构成。微站由泛测环境自主研发的Microair A108P-微型空气质量6参数监测站和Microind M105-微型气象多参数传感监测站2部分组成(图2)。Microair A108P-微型空气质量6参数监测站主要用于空气质量6参数(CO、NO₂、SO₂、O₃、PM_{2.5}及PM₁₀)监测,同时还支持粒径谱分析,是一

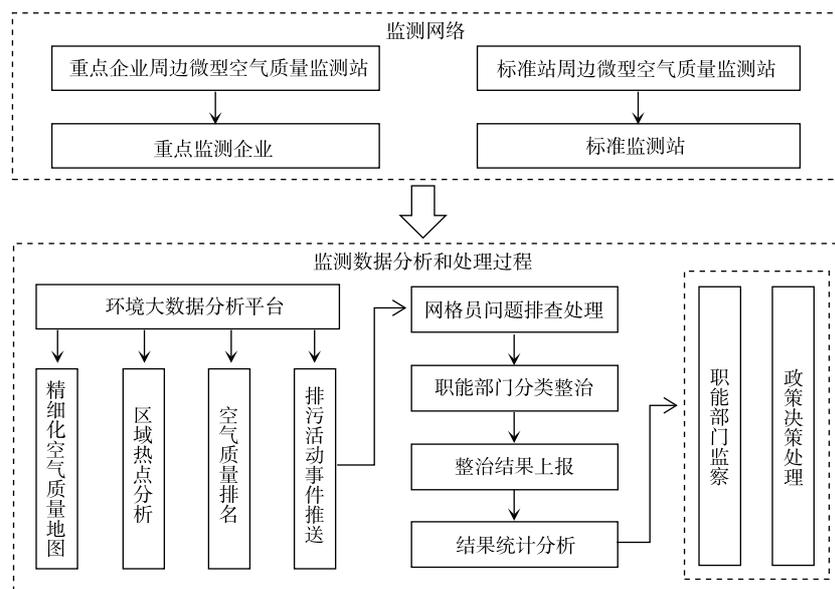


图1 高新区空气质量监测-监察联动管理机制

Fig. 1 Air quality monitoring - supervision linkage management mechanism in High-tech Zone

种全参数空气质量监测仪，为全方位掌握区域内污染分布状况提供精准数据；Microind M105-微型气象多参数传感监测站主要用于气象5参数(温度、湿度、风速、风向及大气压力)测定。

微站所采集到的数据，通过自带的传输模块自动上传到环境大数据分析平台作进一步处理，实现物联网+大数据+云计算的智能监测系统。环境大数据分析平台基于Java EE架构、B/S应用模式和XML(eXtensible Markup Language,可扩展置标语言)技术建设。高新区标准站(高新西区国控站、草堂基地省控站)和微站实时监测数据均接入平台，并以地图和图表的形式在网页端进行展示(图3)。

高新区大气网格化监测系统能够实现全天候运行，微站数据采集频率为1 min采集1次，可为区域空气质量精细化管理提供数据支撑。管理人员可随时查看各个站点AQI(Air Quality Index,空气质量指数)、各污染物监测质量浓度、首要污染物、污染级别等基础性数据及最近24 h任意站点的AQI和任一污染物质量浓度变化趋势。在GIS图上选择1个站点后，该站点监测数据信息可直接显示出来。GIS地图提供标准的空气质量级别颜色条，各站点的污染级别通过颜色实时表征。平台可同时查询各个站点空气质量监测历史数据，查询时间段根据需要选择以“h”或“d”为单位。平台通过各种算法模式，自动统计污染事件，并推送报警信息。

1.4 系统布局

综合高新区大气污染的现状特征、网格化监控与重点区域监控并举的监测思路以及生态环境监察监管实践经验，本次监测点位布局分为街道网格化布点、标准站周边加密布点及重点企业重点监管布点3类。对街道采取基本的网格化布点，布点方案参照城市生活区加密网格2 km×2 km进



(a) Microair A108P-微型空气质量6参数监测站

(b) Microind M105-微型气象多参数传感监测站

图2 空气质量自动监测微站

Fig. 2 Automatic air quality monitoring micro-station

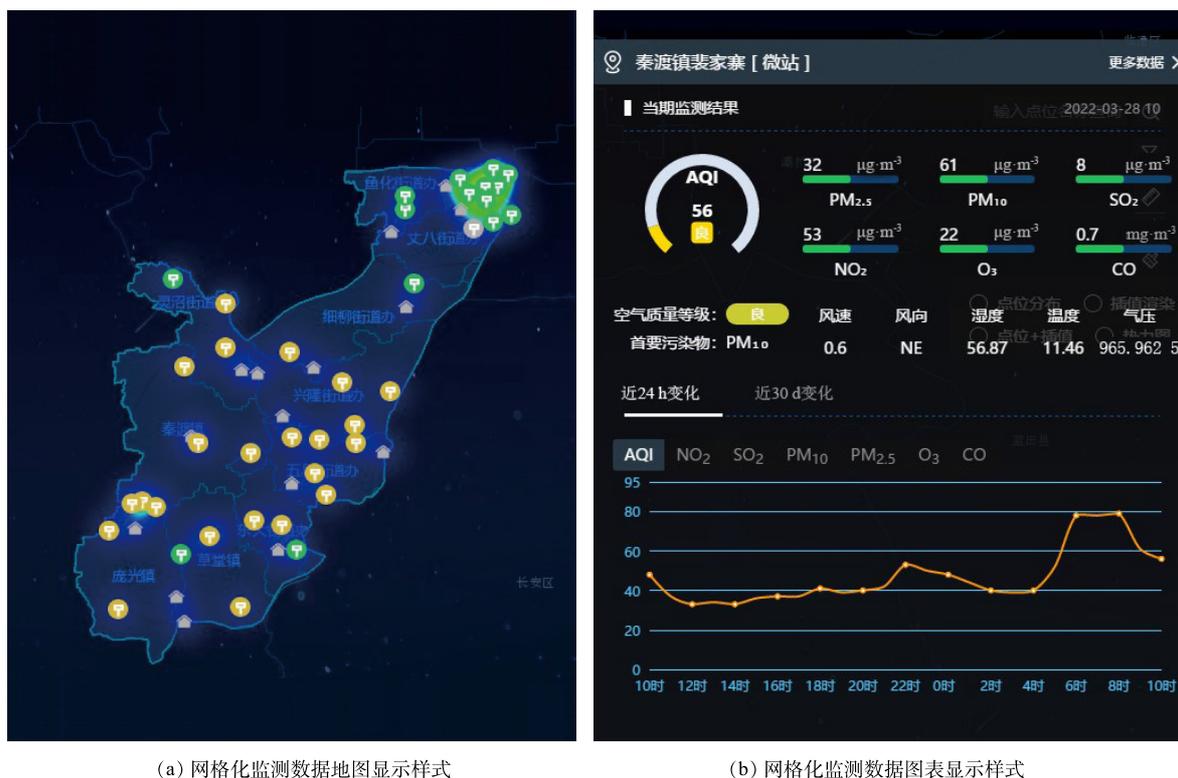


图3 环境大数据分析平台界面

Fig. 3 Interface of environmental big data analysis platform

行布设；对标准站周边 1 000 m 范围，采用加密布点的方式；对重点企业，点位布设主要参考以往发生大气污染方面投诉较多的企业名单，每个企业暂时布设 1 个点位进行观测。在实际布点过程中，由于不同功能监测点位置重合或过于靠近，故必要时可进行调整和优化，以最低的成本实现需要的功能。为尽可能避免外界干扰，微站通常安置于楼顶、路灯杆、电线杆等高处，一般情况下，建议布设高度应为离地面 3~20 m 处，对于道路边布设点，建议离地面高度应为 3~5 m^[14-15]。高新区大气网格化监测系统累计布设监测点位 38 个，包括街道基础网格点位 28 个，涵盖高新区 10 个街道；标准站周边加密点位 7 个（高新西区国控站附近 500 m 范围内布设 4 个监测点位，草堂基地省控制站附近 1 000 m 范围内布设 3 个监测点位）；重点企业监测点位 3 个，每个企业附近布设 1 个。高新区大气网格化监测系统布局如图 4 所示。

2 环境空气质量精细化管理应用

2.1 大气污染分布特征

2021 年高新区大气网格化监测系统监测有效数据时间总计 359 d。其中：空气质量优良时间为 170 d，优良率占全年比例为 47.3%；重度及以上污染时间为 39 d，空气综合指数为

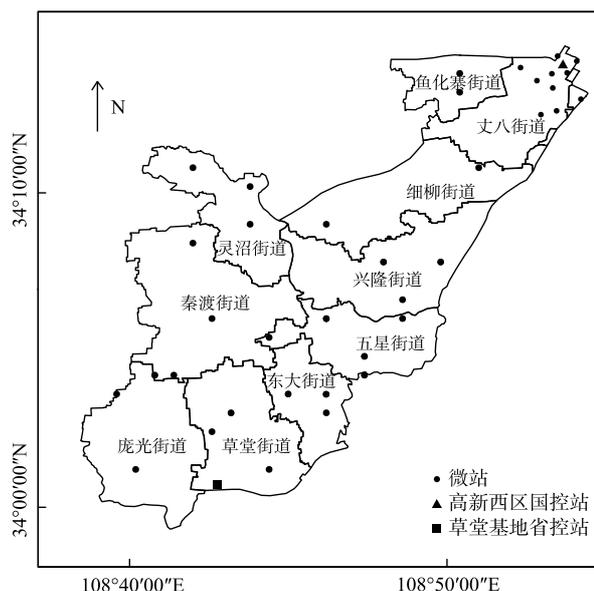


图4 大气网格化监测系统布局示意图

Fig. 4 Layout of atmospheric grid monitoring system

5.4. 2021年高新区微站监测数据年平均值如表1所示。

由表1可以看出: CO在高新区成点源分布, 突出集中分布在丈八街道; NO₂主要集中在兴隆

表1 2021年微站监测数据年平均值

Table 1 Monitoring results of micro-stations in 2021

序号	站点名称	所属街道	CO/(mg·m ⁻³)	NO ₂ /(μg·m ⁻³)	SO ₂ /(μg·m ⁻³)	O ₃ /(μg·m ⁻³)	PM _{2.5} /(μg·m ⁻³)	PM ₁₀ /(μg·m ⁻³)
1	东大财政所	东大街道	1	34	8	159	40	78
2	西安市建学院	东大街道	1.2	35	8	155	40	78
3	郭北村	东大街道	1	32	8	160	39	76
4	西安电子科技大学	兴隆街道	1.2	42	9	153	41	82
5	综三路与保八路	兴隆街道	1	42	9	155	40	77
6	兴隆社区二区	兴隆街道	1	35	8	156	40	78
7	综四路与北巡道交汇	兴隆街道	1.2	42	9	159	40	81
8	浹河北路与枣林路交汇	兴隆街道	1	43	9	157	41	79
9	浹河公园北河岸	兴隆街道	1	43	8	158	41	81
10	卉杉生态科技有限公司	秦渡街道	1	35	8	159	42	80
11	裴家寨	秦渡街道	1	34	8	155	42	83
12	正庄村	秦渡街道	1.6	36	8	157	42	83
13	新阳村	秦渡街道	1	33	8	160	42	84
14	三元科技产业园	草堂街道	1	35	9	161	40	78
15	草庙村	草堂街道	1	34	8	158	41	81
16	逍遥园社区	草堂街道	1	41	9	157	37	72
17	漳浒寨社区	鱼化寨街道	1	36	8	159	43	82
18	西安职业技术学院	鱼化寨街道	1.2	35	8	163	44	83
19	大羊村	细柳街道	1	46	8	161	51	97
20	恭张新村	细柳街道	1	48	8	157	47	95
21	化丰村	庞光街道	1	35	8	156	38	78
22	四府村	庞光街道	1.2	35	8	157	41	79
23	新寨村	庞光街道	1	34	8	153	40	80
24	冯村	灵沼街道	1	35	8	150	51	102
25	管道村	灵沼街道	1	35	8	157	48	101
26	柳林庄	灵沼街道	1.6	36	8	159	46	92
27	中心幼儿园	五星街道	1	35	8	162	42	80
28	南留村	五星街道	1.2	34	9	162	43	82
29	胡家寨村	五星街道	1	34	9	160	44	84
30	高新一中初中部顶楼	丈八街道	2	42	9	158	43	92
31	枫林路与科技一路交汇	丈八街道	1	38	8	159	42	85
32	咖啡街区天使楼楼顶	丈八街道	1	38	8	163	41	78
33	志诚商务楼顶	丈八街道	1	38	8	157	41	77
34	文理学院图书馆楼顶	丈八街道	1	38	8	161	41	78
35	秦风阁B座楼顶	丈八街道	1.6	34	8	162	41	77
36	赛德口腔楼顶	丈八街道	1.8	32	8	161	42	80
37	皓天物业楼顶	丈八街道	1.6	32	8	164	43	80
38	高新一小	丈八街道	1.8	34	8	163	43	83

街道和细柳街道部分区域；SO₂主要集中在兴隆街道和五星街道部分区域；O₃主要集中分布在丈八街道和鱼化寨街道；灵沼街道和细柳街道部分区域是PM_{2.5}与PM₁₀污染最严重的区域。高新区大气污染分布特征与各街道产业分布现状、人口密集程度、机动车保有量及日常生产生活方式密切相关^[16]。已有研究^[17-18]结果表明，大气中CO、NO₂和SO₂主要来自燃料燃烧、机动车尾气排放和工业生产废气排放。鱼化寨街道近地面O₃主要由挥发性有机物污染物(volatile organic compounds, VOCs)和氮氧化物(nitrogen oxides, NO_x)的光化学氧化过程产生^[19]。其中，NO_x主要来自燃烧过程^[20]；VOCs主要来源包括工业固定源排放、移动源排放及生活源排放(餐厨油烟)3类^[21]；PM_{2.5}和PM₁₀等颗粒污染物主要来自化石燃料和生物质燃料燃烧、机动车尾气排放、扬尘源排放等^[22]。

受经济发展、地理条件、政策方向等因素影响，丈八街道逐渐转变为居住与办公融合的新场所。人口密度高，机动车排放是导致丈八街道CO问题突显的重要因素。实际走访调查后发现，高新区主要工业企业大多分布在丈八街道和鱼化寨街道，工业企业排放和机动车排放是该区域近地面O₃污染问题突显的重要推手。兴隆街道内路网发达、机动车通勤率高，且村庄已全部征拆、暂无大型工业园区，因而该区域NO₂、SO₂问题受机动车尾气排放影响较大；细柳街道NO₂和五星街道SO₂较高，可能与村民日常燃煤有关；灵沼街道和细柳街道分布大量村庄，该区域PM_{2.5}与PM₁₀污染严重与村民日常燃煤和烧柴做饭取暖密切相关。

2.2 标准站与其周边微站关联性分析

1) 高新西区国控站和其周边微站关联性分析。为了明确高新西区国控站空气质量监测结果受周边哪个方向污染物影响较大，选择其周边不同方位4个微站(志诚商务楼顶、枫林路与科技一路交汇处、高新一中初中部顶楼和咖啡街区天使楼楼顶)作为研究对象。高新西区国控站位置及其周边微站分布情况如图5所示。

高新西区国控站及其周边4个微站2021年监测数据均值对比结果(图6)表明，高新西区国控站周边微站监测数据均值与高新西区国控站数据之间有较强相似性，但各微站间数据存在一定差异。高新一中初中部顶楼微站(以下简称“高新一中微站”)CO、NO₂、SO₂、PM_{2.5}及PM₁₀质量浓度均高于周边其他微站，咖啡街区天使楼楼顶微站(以下简称“咖啡街区微站”)O₃质量浓度高于周边其他微站。这意味着高新西区国控站空气质量监测结果受东南方向

污染物影响较大。现场实际调研后发现，高新一中微站周边暂无大型工业企业入驻，但该微站靠近高新区主干道路，日常车流量较大，上下班高峰期车辆拥堵现象严重。调研还发现，该区域存在多处工地正在施工，汽车尾气排放^[23]和施工扬尘排放^[24]对高新一中微站CO、NO₂、SO₂、PM_{2.5}及PM₁₀质量浓度贡献较大，因此，建议后期加强对汽车尾气及施工扬尘排放的管控。咖啡街区微站所在区域有大金机电、庆安制冷等工业企业入驻，且该区域餐饮业较为繁盛。在工业企业生产过程中，VOCs无组织排放^[25]及餐饮行业餐厨油烟排放^[26]对咖啡街区微站O₃质量浓度贡献较大，因此，建议后期加强对该区域工业企业VOCs无组织排放及餐厨油烟排放的管控。

2) 草堂基地省控站和其周边微站关联性分析。为了明确草堂基地省控站空气质量监测结果受



注：“●”为微站位置；“▲”表示国控站。

图5 高新西区国控站周边微站分布图

Fig. 5 Distribution map of surrounding micro-stations in the national air monitoring station in the west High-tech zone

周边哪个方向影响较大,选择其周边不同方位3个微站(三元科技产业园、草庙村和逍遥园社区)作为研究对象(因草堂基地省控站南侧为秦岭生态保护区,该区域内无工业企业、聚集性餐饮行业等污染源,故在此方向未布设微站)。草堂基地省控站位置及其周边微站分布情况如图7所示。

草堂基地省控站及其周边3个微站2021年监测数据均值对比结果(图8)表明,草堂基地省控站周边微站监测数据均值与草堂基地省控站数据间有较强相似性,但各微站间部分指标数据存在一定差异。三元科技园微站 NO_2 、 SO_2 和 O_3 质量浓度整体偏高,草庙村微站 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度高于周边其微站,这意味着草堂基地省控站空气质量监测结果受东北方向污染物影响较大。现场实际调研后发现,三元

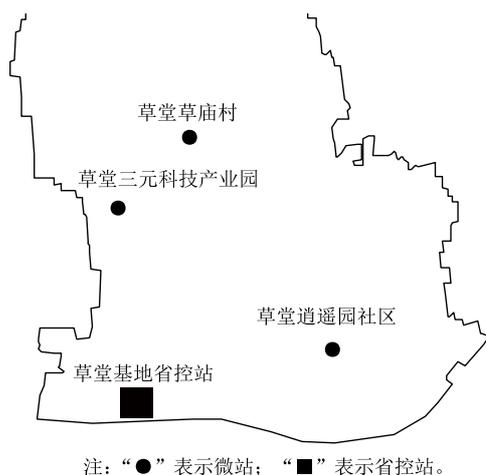


图7 草堂基地省控站周边微站分布

Fig. 7 Distribution map of surrounding micro-stations in Caotang base provincial air monitoring station

科技园微站周边有包括西安比亚迪2厂在内的多家大型工业企业入驻,且该区域道路网相对密集,车流量较大。汽车尾气排放^[23]和工业企业生产过程中VOCs无组织排放^[25]对三元科技园微站 NO_2 、 SO_2 和 O_3 质量浓度贡献较大,建议后期加强对该区域汽车尾气排放和工业企业VOCs无组织排放的管控。草庙村微站位于村委会楼顶,附近居民日常燃煤和烧柴做饭取暖是导致草庙村微站 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度偏高的最主要原因,建议后期加强对该区域村民散煤^[27]和生物质燃料^[28]燃烧的管控。

2.3 监测系统预警信息汇总分析

从预警站点、预警时段及首要污染物类型3方面,对基于AQI指数的2021年高新区大气网格化监测系统监测预警信息进行梳理统计,结果如表2所示。

由表2可知,2021年高新区大气网格化监测系统不同时段指标监测预警情况差异较大。一季

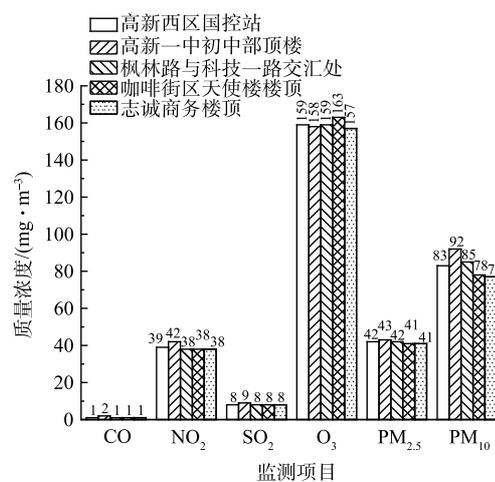


图6 高新西区国控站及其周边4个微站监测数据均值对比结果

Fig. 6 Comparison results of the average monitoring data of the national air monitoring station in the west High-tech zone and its surrounding 4 micro-stations

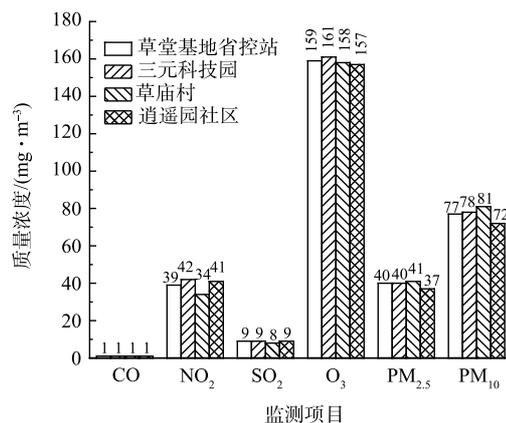


图8 草堂基地省控站及其周边3个微站监测数据均值对比结果

Fig. 8 Comparison results of the average monitoring data of the Caotang base provincial air monitoring station and its surrounding 3 micro-stations

表2 大气网格化监测系统监测预警信息

Table 2 Monitor early warning information for the atmospheric grid monitoring system

季度	总预警次数	排名前3预警站点		排名前3预警时段		排名前3首要污染物	
		站点名称	预警次数	时刻	预警次数	污染物名称	预警次数
一	1 347	庞光化丰村	79	23:00—24:00	136	PM ₁₀	738
一	1 347	草堂三元科技园	77	13:00—14:00	124	NO ₂	552
一	1 347	东大郭北村	71	15:00—16:00	122	PM _{2.5}	21
二	4 636	西安职业技术学院鱼化校区	159	16:00—17:00	381	PM ₁₀	2 637
二	4 636	皓天物业楼顶	148	15:00—16:00	378	O ₃	1 753
二	4 636	高新一小	135	17:00—18:00	343	NO ₂	185
三	5 315	细柳恭张新村	148	16:00—17:00	848	PM ₁₀	2 373
三	5 315	草堂三元科技园	146	15:00—16:00	806	O ₃	2 165
三	5 315	草堂逍遥园社区	140	14:00—15:00	748	NO ₂	687
四	3 424	西安职业技术学院鱼化校区	148	20:00—21:00	343	PM _{2.5}	1 327
四	3 424	秦风阁B座	142	19:00—20:00	318	PM ₁₀	1 036
四	3 424	昊天物业顶楼	136	23:00—24:00	296	NO ₂	995

度预警次数最低(1 347次),预警站点主要分布于高新区南部村庄及工业园区范围,预警时段多集中在深夜及午后时段,首要污染物以PM₁₀和NO₂为主;二季度预警次数为4 636次,预警站点主要分布于高新区东北方向城区,预警时段主要集中在下午,首要污染物以PM₁₀和O₃为主;三季度预警次数最高(5 315次),预警站点主要集中在西部、西南部村庄及工业园区,预警时段主要集中在下午,首要污染物以PM₁₀和O₃为主;四季度预警次数为3 424次,预警站点集中分布于高新区东北方向城区,预警时段主要集中在夜间,首要污染物类型包括PM_{2.5}、PM₁₀和NO₂。数据分析及现场调研结果表明,大气网格化监测系统预警与区域性污染密不可分。

2.4 污染问题巡查结果

为保障高新区大气网格化监测系统正常运行,建立规范化大气污染问题巡查制度并坚决落实,扎实推进大气污染源排查治理工作,提高区域空气质量精细化管理控水平,切实改善区域空气质量现状。为提升区域空气质量,在预警较为集中时段,对预警次数较多的微站附近区域,开展巡查管控。综合当前高新区大气污染特征、排查人员装备现状、污染现象直观与否、污染物来源复杂程度等主客观因素,确定研究区域大气污染问题排查工作以颗粒物污染排查为主、近地面O₃污染排查为辅。2021年高新区大气污染问题人工巡查工作累计发现各类大气污染问题1 539件,其中明确污染源的有607件,占比为39.4%。2021年高新区大气污染问题巡查结果如图9所示。

由图9可知,高新区大气污染问题巡查结果月均分布存在明显差异。2月巡查发现的污染问题数量明显偏低,这可能与春节放假停工^[29]及2月时间相对较短有关;沙尘天气频发

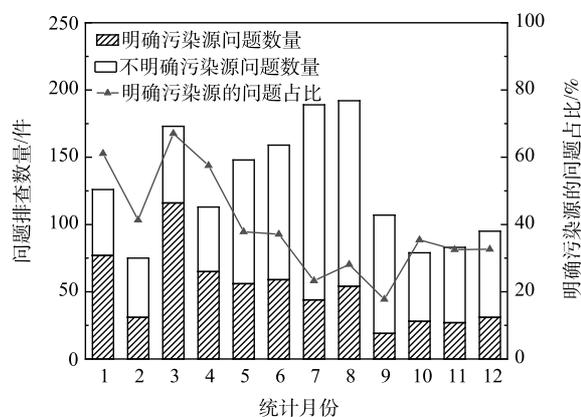


图9 大气污染问题巡查结果月均分布图

Fig. 9 Monthly distribution map of the patrol results of air pollution problems

是导致3月污染问题数量升高的最主要原因之一^[30]；4—8月污染问题数量逐渐上升与研究区域近地面O₃污染日益严重有关^[31]；9月以后，研究区域污染问题数量明显下降主要是因为西安市落实十四运会和残特奥会环境保障方案各项措施^[32]并开展秋冬季铁腕治霾专项整治工作^[33]。

由图9还可以看出，高新区巡查发现的污染问题中有明确污染源问题主要集中在1—4月，且多为颗粒物污染问题，数量占比为50%以上；其余时段占比为40%以下，9月最低(17.8%)。这主要是因为一、四季度研究区域污染来源以颗粒物污染为主。相较于其他大气污染问题，颗粒物污染现象通常较为直观，污染源容易识别，污染源排查工作相对容易。而二、三季度特别是三季度，高新区首要污染由颗粒物污染转变为近地面O₃污染。近地面O₃污染属于典型二次污染，由于污染现象不直观、前体物来源复杂、缺乏专业设备等因素，客观上增加了污染源排查工作难度，并最终导致该时段存在大量不明确污染源问题^[34]。针对这一问题，后期可开展夏季近地面O₃污染专项研究。

为进一步明确当地大气污染物来源，基于大气污染问题巡查过程中发现的607件明确污染源问题，梳理统计大气污染物来源分布情况，结果如图10所示。

由图10可知，高新区大气污染物主要来源包括工地排放源(48%)、道路交通源(31%)、汽修行业源(12%)和餐饮油烟源(8%)。工地排放源主要包括工地等动土作业、露天电焊及裸土等^[35]；道路交通源则主要指厚浮土路段车辆扬尘等^[36]；汽修行业源主要指汽车维修过程中电焊、喷漆、粉刷、切割、打磨作业等环节所产生的各类大气污染物^[37]；餐饮油烟源主要包括食物烹饪、加工过程中挥发出来的油脂、有机质及其加热分解或裂解所产生的各类污染物等^[38]；此外，突发火灾、烟花爆竹燃放及油气泄露等其他排放源所导致的大气污染问题同样不容忽视^[39]。问题巡查结果表明，全部607件明确污染源的污染问题主要以颗粒物污染为主，故认为大气污染物来源确切应为大气颗粒物污染物来源。

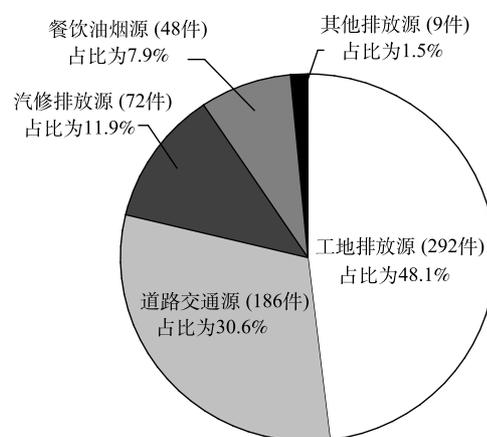


图10 大气污染物来源分布

Fig. 10 Distribution map of air pollution sources

3 结论

1) CO在各街道呈点源分布，丈八街道CO点源分布最多；NO₂主要集中在兴隆街道和细柳街道部分区域；SO₂主要集中在兴隆街道和五星街道部分区域；O₃主要集中在分布在丈八街道和鱼化寨街道，灵沼街道和细柳街道部分区域是PM_{2.5}与PM₁₀污染最严重区域。

2) 一、四季度首要污染物类型以PM_{2.5}、PM₁₀和NO₂为主，预警时段多集中在深夜或午后时段；二、三季度首要污染物类型以PM₁₀和O₃为主，预警时段多集中在下午。

3) 高新西区国控站空气质量监测结果受东南方向污染物影响较大，草堂基地省控站空气质量监测结果受东北方向污染物影响较大。

4) 在2021年高新区大气污染问题巡查工作中，发现各类大气污染问题1539件。其中明确污染源的问题有607件，占比为39.4%，分布时段主要集中在1—4月份，且多为颗粒物污染问题。主要污染物来源包括工地排放源(48%)、道路交通源(31%)、汽修行业源(12%)和餐饮油烟源(8%)等。

参考文献

- [1] 王帅, 王瑞斌, 解淑艳, 等. 完善环境空气质量评价方法推动大气污染防治精细化管理[J]. *环境保护*, 2013, 41(19): 50-51.
- [2] 刘心宇, 黄俊, 张丽丽, 等. 混合部署型网格化大气质量监测系统的设计及数据分析应用[J]. *环境与可持续发展*, 2019, 44(4): 154-157.
- [3] 王春迎, 潘本峰, 吴修祥, 等. 基于大数据分析的大气网格化监测质控技术研究[J]. *中国环境监测*, 2016, 32(6): 1-6.
- [4] 王普红, 乔治宏, 胡运立, 等. 无线传感网络关键技术及在环境监测中的应用[J]. *自动化技术与应用*, 2021, 40(12): 116-120.
- [5] ZHANG C, ZHU R, YANG W M, et al. A micro aerosol sensor for the measurement of airborne ultrafine particles[J]. *Sensors*, 2016, 16: 399.
- [6] 王莉华, 安欣欣, 景宽, 等. 大气网格化监测运行维护管理现状与展望[J]. *中国环境监测*, 2021, 37(2): 16-22.
- [7] 邵菁菁, 叶露. 大气网格化监测技术在上海市嘉定区的应用[J]. *中国环保产业*, 2020(5): 65-69.
- [8] 杨宁, 关玉春, 陈魁, 等. 天津市街镇级空气自动监测系统设计与应用[J]. *环境与可持续发展*, 2017, 42(2): 187-189.
- [9] 李沫. 乌鲁木齐市大气网格化监测体系建设及应用[J]. *环境生态学*, 2020, 2(9): 89-91.
- [10] 舒洁, 张舵, 石建莹. 西安市高新区国有企业参与新兴产业发展的并购模式研究[J]. *陕西行政学院学报*, 2021, 35(4): 112-116.
- [11] 胡荣明, 王睿哲, 李朋飞, 等. 西安市大气污染物时空特征及其与土地利用因素的关系[J]. *中国科技论文*, 2021, 16(9): 925-934.
- [12] 陕西省人民政府. 陕西省人民政府关于印发铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案(2018—2020年)的通知[J]. *陕西省人民政府公报*, 2018(11): 12-20.
- [13] 陈红. 大气环境网格化精准监测系统概述[J]. *中国环保产业*, 2016(6): 46-48.
- [14] 李丽辉, 傅琪扬. 基于分布式无线传感网络的城市空气质量监测系统的设计[J]. *计算机测量与控制*, 2014, 22(3): 706-708.
- [15] 王立群, 薛晨光. 城市大气污染防治网格化管理信息系统设计[J]. *环境保护与循环经济*, 2017, 37(2): 15-16.
- [16] 朱常琳, 孟双双, 张荣国. 西安市主要大气污染物的相关性分析及时空分布特征[J]. *环境工程*, 2017, 35(12): 86-91.
- [17] 杨继东, 刘佳泓, 杨光辉, 等. 天津市环境空气中一氧化碳污染特征及变化趋势研究[J]. *环境科学与管理*, 2012, 37(6): 89-90.
- [18] 么相姝, 王磊. 天津团泊洼地区SO₂和NO₂传输轨迹及来源识别[J]. *生态与农村环境学报*, 2016, 32(3): 451-457.
- [19] DUAN J, TAN J, LIU Y, et al. Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (VOCs) during ozone episode in Beijing[J]. *Atmospheric Research*, 2008, 88(1): 25-35.
- [20] 韩伟明, 严向军, 徐海岚, 等. 杭州市大气NO_x来源及控制对策研究[J]. *环境科学研究*, 2002, 15(1): 34-37.
- [21] 肖龙, 王帅, 周颖, 等. 中国典型背景站夏季VOCs污染特征及来源解析[J]. *中国环境科学*, 2021, 41(5): 2014-2027.
- [22] 包贞, 冯银厂, 焦荔, 等. 杭州市大气PM_{2.5}和PM₁₀污染特征及来源解析[J]. *中国环境监测*, 2010, 26(2): 44-48.
- [23] 杨昆昊, 夏赞宇, 何芃, 等. 机动车燃油质量及尾气排放与北京市大气污染的相关性[J]. *中国科学院大学学报*, 2017, 34(3): 304-317.
- [24] 范武波, 陈军辉, 唐斌雁, 等. 成都市施工扬尘排放特征研究[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(9): 3767-3775.
- [25] 黄鹤雯, 沙青娥, 朱曼妮, 等. 珠三角2010—2017年主要工业源VOCs排放结构与组分变化[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(11): 4641-4651.
- [26] 王亚琪, 常甜, 陈庆彩. 餐饮源VOCs组成特征及处理技术研究进展[J]. *环境工程*, 2021, 39(6): 90-98.
- [27] 杨彬, 吴健, 周卫青, 等. 散煤燃烧的PM_{2.5}排放特征及排放清单[J]. *中国粉体技术*, 2021, 27(4): 138-146.
- [28] 蹇守卫, 孙孟琪, 何桂海, 等. 生物质燃料高温燃烧过程中有害气体的排放[J]. *生态与农村环境学报*, 2016, 32(5): 842-846.
- [29] 邓湘文, 曾小敏. 中国31个城市大气污染物“春节效应”时空变化研究[J]. *地球环境学报*, 2021, 12(2): 159-169.
- [30] 张志刚, 矫海燕, 毕宝贵, 等. 沙尘天气对北京大气重污染影响特征分析[J]. *环境科学研究*, 2009, 22(3): 309-314.
- [31] 关茜妍, 陆克定, 张宁宁, 等. 西安市大气臭氧污染光学特征与敏感性分析[J]. *科学通报*, 2021, 66(35): 4561-4573.
- [32] 张江舟. 十四运会和残特奥会赛前环境质量保障成效显著[N]. *陕西日报*, 2021-07-07(007).
- [33] 张永军. 陕西铁腕治霾[J]. *西部大开发*, 2019(12): 16-29.
- [34] 李陵, 李振亮, 张丹, 等. 重庆市主城区O₃污染时期大气VOCs污染特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2021, 42(8): 3595-3603.
- [35] 陈洁, 张静. 南京市典型施工工地非道路移动机械活动水平及排放清单研究[J]. *环境科技*, 2016, 29(6): 22-25.
- [36] 刘俊芳, 樊守彬, 郭秀锐, 等. 基于车载移动监测的北京市丰台区道路扬尘源排放特征[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(11): 4423-4429.
- [37] 方莉, 刘继业, 聂磊, 等. 北京市典型汽修企业VOCs排放特征与臭氧影响分析[J]. *环境工程*, 2020, 38(10): 146-150.
- [38] 李洁. 南京市餐饮油烟源大气污染物排放清单构建的研究[J]. *安徽农学通报*, 2017, 23(4): 55-56.
- [39] 赵士波, 郭喜丰, 皮宁宁, 等. 突发大气环境污染事件应急处置阶段环境损害评估方法探索[J]. *环保科技*, 2022, 28(1): 46-50.

(责任编辑: 郑晓梅)

Construction of atmospheric grid monitoring system and its application in refinement management of regional ambient air quality

SHANG Wei^{1,*}, BAI Xiaochen^{1,2}, SUN Yagang^{1,2}, MA Ying¹, DU Qian^{1,2}

1. High-Tech Zone Branch of Xi'an Ecological Environment Bureau, Xi'an 710055, China; 2. Xi'an High-Tech Industries Development Zone Environmental Monitoring Centre, Xi'an 710055, China

*Corresponding author, E-mail: shangw@xdz.gov.cn

Abstract In order to improve fine management level of regional ambient air quality, Xi'an Hi-tech Industries Development Zone was taken as an example, the automatic air monitoring micro-station and environmental big-data analysis platform were used to build an air gridded monitoring system for analyzing the characteristics and causes of gridded pollutants in each street and sending the monitoring and early warning information and problem patrol results. The results show that CO point sources distributed in every sub-district, especially the most distribution occurred in Zhangba sub-district; NO₂ mainly distributed in Xinglong sub-district and Xiliu sub-district; SO₂ mainly distributed in Xinglong sub-district and Wuxing sub-district; O₃ mainly distributed in Zhangba sub-district and Yuhuazhai sub-district; the highest PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations occurred in Lingzhao sub-district and Xiliu sub-district; the main pollutants in the 1st and 4th quarters were PM_{2.5}, PM₁₀ and NO₂, and the early warning mainly concentrated in the late night or afternoon; the main pollutants in the 2nd and 3rd Quarters were PM₁₀ and O₃, and the early warning mainly concentrated in the afternoon; the air monitoring results of the station of China National Environmental Monitoring Center in Xi'an Hi-tech Industries Development Zone were greatly affected by the pollutants in the southeast, and the air monitoring results of the station of Shaanxi Province Environmental Monitoring Center in Caotang Science and Technology Industry Base were greatly affected by the pollutants in the northeast; in 2021, a total of 1 539 air pollution issues, were found during the air pollution patrol in Xi'an Hi-tech Industries Development Zone; among the issues, 607 issues had the identified pollution sources, accounting for 39.4%; most of issues occurred from January to April and belonged to particulate pollution issues mainly caused by emission from construction site (48%), roads (31%), automobile repair (12%) and kitchens (8%). The air gridded monitoring system can provide data for the improvement of regional air quality and thus significantly enhance the fine management level of air quality. The research results can provide a reference for the fine management of air quality in the similar development zones.

Keywords air grid monitoring system; regional ambient air quality; fine management; Xi'an high-tech zone