

· 解析评价 ·

DOI:10.3969/j.issn.1674-6732.2017.06.011

不同季节常州市气团来源差异性研究

何涛, 叶香, 彭燕, 徐圃青, 夏京

(常州市环境监测中心, 江苏 常州 213001)

摘要:利用 NCEP 全球再分析资料和 HYSPLIT4 模式, 计算了 2014 年常州市不同季节的气流后向轨迹。结合聚类分析方法和常州市 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 和 O₃ 监测数据, 分析了各季节不同类型气团来源对各污染物浓度的影响。结果表明, 常州市的气团来源具有明显的季节性特征, 春季以东北偏东方向的气团为主, 西南气流对应的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 平均值较高, 分别为 93 和 157 μg/m³; 夏季受海洋型气团影响为主, 东南气团对应的 O₃ 平均值较高, 为 90 μg/m³。秋季西北气流增多, 其对应的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 平均值较高, 分别为 71 和 107 μg/m³, 东南气团对应的 SO₂ 和 NO₂ 平均值较高, 分别为 40 和 43 μg/m³; 冬季受大陆型气团影响更显著, 京津冀等北方气团和杭州湾方向的南面气团对应的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 值较高, 分别在 100 和 150 μg/m³ 以上。冬季随着空气污染加重, 本地和本区域的气团逐渐占主导地位, 说明加强长三角区域内的污染物协同管控, 对于改善空气质量会具有明显的效果。

关键词:大气污染; 后向轨迹; 聚类分析; 传输路径; 常州

中图分类号: X513

文献标志码: B

文章编号: 1674-6732(2017)06-0048-05

A Differential Research of Air Mass Sources in Different Seasons of Changzhou

HE Tao, YE Xiang, PENG Yan, XU Pu-qing, XIA Jing

(Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou, Jiangsu 213001, China)

Abstract: NCEP global reanalysis meteorological data and HYSPLIT4 model were used to compute the backward trajectory in different seasons of Changzhou in 2014. Combined with clustering method, the concentration data of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ and O₃ in Changzhou were used to analyze the effect of air mass on the concentration of different pollutants in different seasons. It is found that the air mass in Changzhou showed an obvious seasonal characteristics. The air mass of ENE was the dominant in spring, and the PM_{2.5} and PM₁₀ were higher in southwest airflow, which were 93 and 157 μg/m³, respectively. In summer, the air mass was mainly affected by the airflow from the ocean, and the average value of O₃ was higher when the airflow from southeast, which was 90 μg/m³. During autumn, the Northwest airflow increased obviously, and the corresponding PM_{2.5} and PM₁₀ values were higher, which were 71 and 107 μg/m³. The SO₂ and NO₂ values were higher when the airflow from southeast in autumn, which were 40 and 43 μg/m³. In winter, continental airflow had a significant effect on air quality in Changzhou. The PM_{2.5} and PM₁₀ were relatively higher due to airflow from Jing-jin-ji regional or Hangzhou Bay, which were 100 and 150 μg/m³ above. As the increasing of air pollution in winter, the local air mass played a dominant role, which indicates that strengthen the control of pollution sources in the Yangtze River Delta region would be a significant effect on improving air quality.

Key words: Air pollution; Backward trajectory; Cluster analysis; Transport pathways; Changzhou

环境空气质量受污染源排放、气象条件和地形等因素的共同影响, 气象条件制约着大气污染物的稀释、扩散、清除、传输和光化学反应等过程, 进而影响到污染物的空间分布和污染浓度^[1-4]。随着城市化、工业化快速发展, 大城市群的涌现, 区域间的相互传输影响显著^[5-7], 污染物跨区域输送^[8-9]已成为影响一个区域空气质量的重要因素。

薛文博等^[10]利用数值模型研究了全国 PM_{2.5}

及其化学组分的跨区域输送规律, 结果表明, 跨区域传输对重点区域的 PM_{2.5} 污染贡献显著, 其中上海、江苏等省市的 PM_{2.5} 年均值受省外源贡献超过 45%。霍庆等^[11]研究表明, 长三角区域秋冬季有

收稿日期: 2017-05-12; 修订日期: 2017-05-24

基金项目: 江苏省环境监测科研基金资助项目(1603)

作者简介: 何涛(1983—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事大气污染研究工作。

较明显的局地累积效应。文献[12-13]研究表明,在长江三角洲地区,光化学污染区域输送与化学转化的作用表现十分突出,其中地面 $\rho(\text{O}_3)$ 的空间分布受太阳辐射和风向的影响较大,太阳辐射强度决定了 O_3 的生消过程,风速风向决定了 O_3 的输送方向和高浓度出现的地点。王亚强等^[14]利用后向轨迹方法研究了北京市2001—2003年春季的沙尘传输路径,结果表明,4个主要的潜在沙尘源区对北京 PM_{10} 有显著贡献。王艳等^[15]利用后向轨迹模型以杭州为代表分析了长三角地区大气污染物传输规律,研究表明,长三角地区输送气流主要来自华北或东北地区,西南方向也是重要输送通道。王茜^[16]利用轨迹模型分析了上海市各季节不同类型气流轨迹对污染物浓度的影响,并对影响上海市 PM_{10} 和 NO_2 的潜在污染源区做了分析。

随着经济发展,长三角地区是目前我国工业和交通最为集中的地区之一,已成为全国大气污染最严重地区之一,该区域大气污染已呈现区域性、复合型特征^[17],并带有显著的季节性特征。夏季 O_3 成为长江三角洲和珠江三角洲等区域环境空气的主要污染物之一,冬季以 $\text{PM}_{2.5}$ 为主要污染物的灰霾现象依然突出^[18-20]。

常州市位于长江三角洲中心地带,现选取该市作为长三角区域的代表城市,利用数理统计和后向轨迹聚类分析方法,研究影响常州市的主要气团传输路径在季节上的差异性和对各污染物的影响,以及不同空气质量级别下的气团来源特征,以期为本区域大气污染防治、区域联防联控等研究提供资料和依据。

1 研究方法

后向轨迹 HYSPLIT 模型是一种用于计算和分析大气污染物输送、扩散轨迹的专业模型。该模型是一种欧拉和拉格朗日模型混合的计算模式,其平流和扩散的处理采用拉格朗日方法,而浓度计算则采用欧拉方法。

聚类分析是一种基于多变量的客观统计分析方法,后向轨迹聚类分析是根据后向轨迹空间的相似度,将样本轨迹统计分析进而分类,通过比较不同聚类类数之间的差异来确定最佳的聚类数目,然后对每组气流轨迹所对应的污染物浓度特征进行统计分析。

对常州市6个环境空气质量评价点数据进行

平均,得到全市2014年各污染物的小时浓度,结合后向轨迹数据来分析常州市的污染特征和气团来源差异,选取常州市环境监测中心(北纬 31.76°N ,东经 119.95°E)为后向轨迹起始点,起始高度为100 m,1h模拟1条后向轨迹,每条轨迹计算时长36 h。气象资料采用NCEP(美国国家环境预报中心)提供的全球资料同化系统GDAS数据,数据分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。研究期间季节划分:春季为3—5月,夏季为6—8月,秋季为9—11月,冬季为1、2和12月。

2 2014年常州市后向轨迹聚类分析

2.1 2014年常州市污染特征

2014年常州市市区环境空气质量指数(AQI)为26~300,其中优24 d,良210 d,轻度污染90 d,中度污染30 d,重度污染11 d,优良率为64.1%;影响空气质量的首要污染物以 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 为主,其中 $\text{PM}_{2.5}$ 全年累计超标97 d, O_3 超标31 d。

图1为2014年常州市逐月的首要污染物分布。由图1可见,1—4月和11—12月长达半年的时间以 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 等颗粒物污染为主,特别是 $\text{PM}_{2.5}$ 为首要污染物的天数占主导地位;从4月份开始常州市的 O_3 污染问题日渐凸显,并逐步取代颗粒物成为首要污染物,其中 O_3 污染的高发期为5—10月,导致5—10月份 $\text{PM}_{2.5}$ 与 O_3 污染并存。

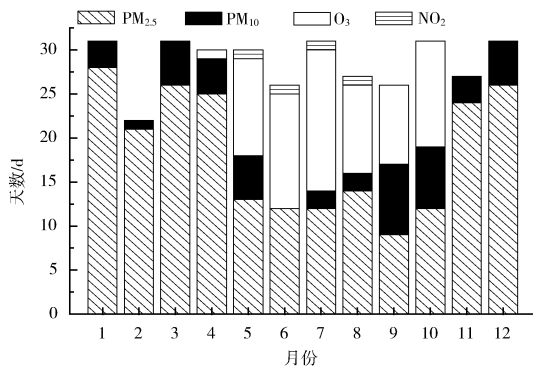


图1 2014年常州市逐月的首要污染物及天数

2.2 不同季节后向轨迹聚类特征

图2(a)(b)(c)(d)为2014年四季常州市后向轨迹聚类分析结果,曲线上2点之间的时间间隔为6 h。表1为2014年不同季节聚类分析结果对应的统计特征,表中浓度为各聚类类别所包含的气流轨迹对应的常州市污染物浓度算数平均值。

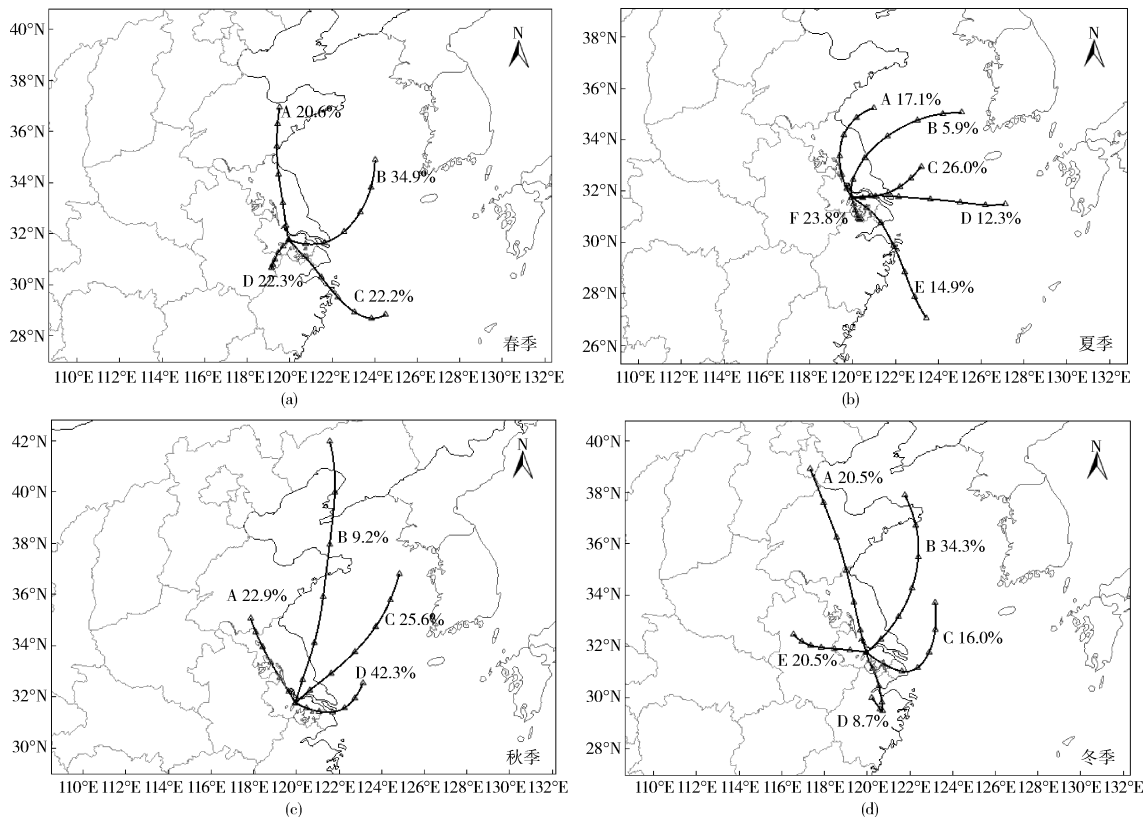


图2 2014年后向轨迹聚类分析结果

表1 2014年不同季节各聚类类别的统计特征

季节	轨迹类型	轨迹个数	出现概率/%	$\rho^{①}/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$				
				PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	O ₃
春	A	455	20.6	61	103	32	38	63
	B	771	34.9	61	102	40	46	62
	C	489	22.2	71	113	40	49	80
	D	493	22.3	93	157	44	57	74
夏	A	377	17.1	51	72	23	25	71
	B	131	5.9	35	52	17	23	49
	C	574	26.0	63	91	34	39	74
	D	271	12.3	43	67	29	33	59
	E	330	14.9	59	98	33	36	90
	F	525	23.8	65	94	26	36	84
秋	A	501	22.9	71	107	31	36	50
	B	200	9.2	49	92	21	22	77
	C	560	25.6	36	63	26	27	62
	D	923	42.3	65	105	40	43	60
冬	A	442	20.5	104	155	48	50	31
	B	741	34.3	69	98	36	37	42
	C	346	16.0	88	124	53	54	34
	D	188	8.7	112	158	50	53	36
	E	443	20.5	78	119	37	35	39

①为算术平均值。

由图2可见,春季影响常州市的气团主要来自于

4个方向,各自占比相对较为均匀,其中自黄海、东海经上海、江苏南部的气流轨迹聚类B占比最大,为34.9%。

春季,自山东中东部经江苏北部的北方气团和来自黄海、东海经江苏南部的气流(聚类A和B)对应的污染相对较轻。

自安徽东南部、浙江北部与江苏交界区域的气流轨迹聚类D对应的污染较重,其PM_{2.5}和PM₁₀分别比其他路径平均高22和44 μg/m³以上,可能是该路径传输距离短,大气扩散条件较差,导致污染物容易在局地累积。

夏季受降水、扩散条件等因素影响整体污染较轻,主导风向为偏东风,由于夏季对流旺盛,且受副热带高压、台风等影响,夏季常州受黄海和东海的海洋型气团影响较大。

此外,自浙江北部和江苏南部的气流轨迹聚类F占23.8%,受静稳天气影响,该气流以本地气团为主。

夏季东南和偏南方向的气团(聚类E、F)对应的颗粒物和臭氧污染相对较重,东北气流(聚类A、B)对应的污染较轻,其中自东海,经杭州湾、上海、

苏州和无锡到达常州的气流轨迹聚类 E 对应的 O_3 污染相对较重, 平均值为 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

秋季东南偏东风显著增加, 为主导风向。聚类 B 和 C 所在的东北偏北和东北风对应的污染相对较轻, 可能是由于该聚类移动路径长、扩散条件好, 且经过的区域以海洋区域为主, 人为排放源相对较少。

入秋后, 西北气流增多, 自山东南部经江苏北部到常州的气流轨迹聚类 A 占比 22.9%, 其对应的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 值较高, 分别为 71 和 $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 自东海经上海、苏州、无锡到达常州的气流轨迹聚类 D 占比 42.3%, 该路径对应的 SO_2 和 NO_2 值较高, 分别为 40 和 $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

冬季, 受大陆型气团影响显著, 西风和北风明显增加; 除 O_3 外, 其余 4 项污染物值均明显高于其他季节。偏北风和偏南风 (聚类 A 和 D) 对应的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 值较高, 说明南北冷暖空气移动会带来污染传输; 冬季主导风向为东北风 (聚类 B), 其对应的各类污染物值均较低。

总体上不同季节的气团来源具有较大的差异性, 春夏季东南风对应的 O_3 值较高, 秋冬季东北风对应的 O_3 值较高; 江苏南部和沿长江区域的气流

对应的 SO_2 和 NO_2 值较高, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 受京津冀方向的气团和处于静稳天气时的本地气团影响较大。

2.3 冬季不同空气质量级别下气团来源特征

由于冬季的污染较重, 重污染天数最多, 图 3 (a)(b)(c) 给出了 2014 年冬季不同空气质量级别下的后向轨迹来源。

冬季, 空气质量级别为优良时, 以东北风 (聚类 B) 为主, 占比达 57.7%; 轻度污染时占比较大的风向为西北风 (聚类 D) 和西南偏南风 (聚类 C), 分别占比接近 30%。

中度污染及以上时, 主导风向为东南风 (聚类 B), 占比 38.6%。从后向轨迹空间分布看, 随着空气污染等级的增加, 轨迹路径长度逐渐收缩变短, 大陆型气团比重逐渐增加, 海洋型气团比重从 60% 以上逐渐减少到 10% 以内。

从轨迹分布区域看, 随着污染等级增加, 本地和本区域的气团逐渐占主导地位, 中度污染及以上时来自内蒙古、京津冀方向的远距离气团 (聚类 A) 占比仅为 9.6%。说明冬季污染较重时以长三角区域内的污染贡献为主, 远距离输送占比较小, 同时说明加强本区域内的污染物协同管控, 会对空气质量有明显的改善效果。

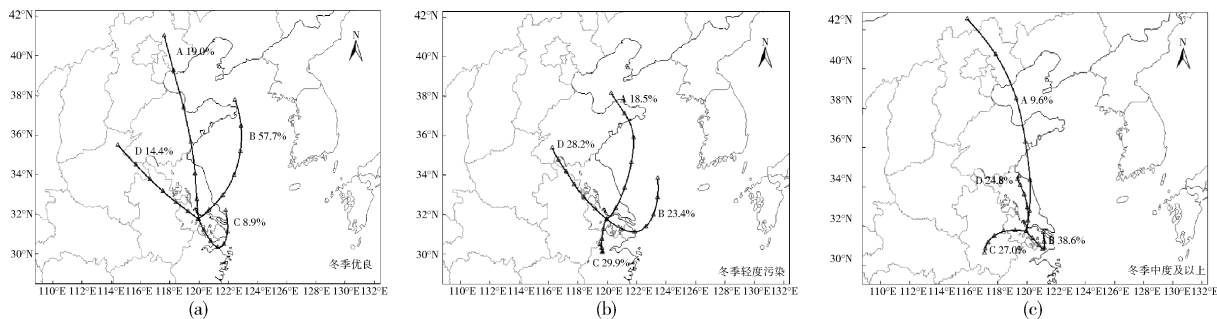


图 3 2014 年冬季不同污染级别下的后向轨迹聚类分析结果

3 结论

(1) 常州市的气团来源具有明显的季节性特征, 春季以东北偏东方向的气团为主, 但其他 3 个方向的气团各自占比为 20% 左右, 较为均匀; 夏季受海洋型气团影响为主, 主导风向为偏东风; 秋季以东南偏东气流为主, 静稳天气较少, 西北气流增多; 冬季以东北气流为主, 受大陆型气团影响更显著, 西风和北风明显增加;

(2) 基于后向轨迹聚类及其对 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 和 O_3 的影响分析, 可初步判断各气团输送

通道对污染物浓度的影响。春季自安徽东南部、浙江北部与江苏交界区域的气流对应的污染较重, 其中 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 分别比其他路径平均高 22 和 $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上。夏季自东海, 经杭州湾、上海、苏州和无锡到达常州的气团对应的 O_3 污染较重, 平均值为 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。秋季自山东南部经江苏北部到常州的西北气流对应的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 值较高, 分别为 71 和 $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 自东海经上海、苏州、无锡到达常州的气团对应的 SO_2 和 NO_2 值较高, 分别为 40 和 $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。冬季从京津冀经山东中部、江苏北

部的气团和从杭州湾方向来的气团对应的颗粒物浓度较高,其对应的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 平均值分别在 100 和 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上;

(3) 冬季随着空气污染等级的增加,轨迹路径长度逐渐收缩变短,大陆型气团比重逐渐增加,海洋型气团比重逐渐减少,本地和本区域的气团逐渐占主导地位,中度污染及以上时从内蒙古、京津冀方向来的远距离气团占比仅为 9.6%。说明加强长三角区域内的污染物协同管控,对于改善空气质量会具有明显的效果。

[参考文献]

- [1] 吴兑,邓雪娇.环境气象学与特种气象预报[J].气象,2000,26(8):3-5.
- [2] 张国璋,甄新蓉,谈建国,等.影响上海市空气质量的地面天气类型及气象要素分析[J].热带气象学报,2010,26(1):124-128.
- [3] 魏玉香,童尧青,银燕,等.南京 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 变化特征及其与气象条件的关系[J].大气科学学报,2009,32(3):451-457.
- [4] 常炉予,赵天良,何金海,等.周边气象条件对南京城区大气污染物浓度的影响[J].气象与环境学报,2013,29(6):95-101.
- [5] 王世强,黎伟标,邓雪娇,等.广州地区大气污染物输送通道的特征[J].中国环境科学,2015,35(10):2883-2890.
- [6] 程真,陈长虹,黄成,等.长三角区域城市间一次污染跨界影响[J].环境科学学报,2011,31(4):686-694.
- [7] 方利江,傅贤康,谢立峰,等.舟山东岛大气污染输送过程的数值模拟分析[J].环境科学研究,2014,27(10):1087-1094.
- [8] KIM B G, HAN J S, PARK S U. Transport SO_2 and aerosol over the Yellow Sea[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(4):727-737.
- [9] CHAN C Y, CHAN L Y. Effect of meteorology and air pollutant transport ozone episodes at a subtropical Asian city, Hong Kong [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2000, 105(20):20707-20724.
- [10] 薛文博,付飞,王金南,等.中国 $PM_{2.5}$ 跨区域传输特征数值模拟研究[J].中国环境科学,2014,34(6):1361-1368.
- [11] 霍庆,蔡旭晖,宋宇,等.全国大气扩散输送模式与区划研究[J].环境科学学报,2012,32(2):360-366.
- [12] 李莉,陈长虹,黄海英.应用 Models-3/CMAQ 研究长三角区域大气污染及输送[J].上海环境科学,2007(4):159-165.
- [13] 李莉,陈长虹,黄成,等.长江三角洲地区大气 O_3 和 PM_{10} 的区域污染特征模拟[J].环境科学,2008,29(1):237-245.
- [14] WANG Y Q, ZHANG X Y, ARIMOTO R, et al. The transport pathways and sources of PM_{10} pollution in Beijing during spring 2001, 2002 and 2003[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(14):159-165.
- [15] 王艳,柴发合,王永红,等.长江三角洲地区大气污染物输送规律研究[J].环境科学,2008,29(5):1430-1435.
- [16] 王茜.利用轨迹模式研究上海大气污染的输送来源[J].环境科学研究,2013,26(4):357-363.
- [17] 张艳,余琦,伏晴艳,等.长江三角洲区域输送对上海市空气质量影响的特征分析[J].中国环境科学,2010,30(7):914-923.
- [18] 中华人民共和国环境保护部.2013 中国环境状况公报[EB/OL].(2014-6-5)[2016-12-27]http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201407/t20140707_278320.htm.
- [19] 中华人民共和国环境保护部.2014 中国环境状况公报[EB/OL].(2015-5-19)[2016-12-27]http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201506/t20150604_302855.htm.
- [20] 中华人民共和国环境保护部.2015 中国环境状况公报[EB/OL].(2016-5-20)[2016-12-27]http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201606/t20160602_353078.htm.

欢迎订阅 2018 年度《中国环境监测》

《中国环境监测》是由环境保护部主管、中国环境监测总站主办的环保科技学术期刊,是中文核心期刊、中国科技核心期刊,其国际标准连续出版物编号为 ISSN 1002-6002、国内统一刊号为 CN 11-2861/X。曾获环保部(原环保局)部属期刊一等奖和首届《CAJ-CD》规范执行优秀奖。期刊一贯坚持学术性、专业性与实用性相结合的办刊原则,宣传国家有关环境保护工作的方针政策和法律法规,介绍国内外先进的环境监测技术,交流环境监测科研成果。设有特约来稿、特别关注、环境质量管理、分析技术、调查评价、应急预案、自动监测、环境遥感、仪器设备等栏目。一直以来,期刊作为环保政策和监测技术的交流平台,始终发挥着科技创新和发展的引领作用,是从事环境保护特别是环境监测工作的管理干部和科研人员的必备工具书。

期刊为大 16 开,双月刊,国内外公开发行。每年出版 6 期,每双月月末出版,定价为 30 元/期,全年总价 180 元。(注:以上价格均包含邮费)。

开户名称:中国环境监测总站 开户银行:中国工商银行北京市和平里支行 银行账号:0200 0042 0908 9114 334