

国家级环境气象业务现状及发展趋势

康志明 桂海林 花丛 张碧辉 张恒德 吕梦瑶 王继康
(国家气象中心, 北京 100081)

摘要: 环境气象业务关注与人民健康直接相关、与人类活动密切联系的大气环境质量问题。近年来, 大气污染等环境问题引起全社会的广泛关注, 环境气象业务也得以迅速发展。2014年3月, 中国气象局为了更好地提供环境气象监测预报服务, 整合国家级业务单位资源, 成立了中国气象局环境气象中心。回顾了国家级环境气象业务的发展历史, 着重介绍了目前国家级环境气象业务现状以及主要技术手段。通过分析和总结目前环境气象业务面临的需求以及能力的不足和差距, 讨论了国家级环境气象业务的未来发展趋势和重点方向。

关键词: 环境气象, 大气污染, 业务现状

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.02.007

China's National Environment-Meteorological Services and Their Developmental Trend

Kang Zhiming, Gui Hailin, Hua Cong, Zhang Bihui, Zhang Hengde, Lü Mengyao, Wang Jikang
(National Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: The environment-meteorological services in China are concerned with atmospheric environmental quality, which is directly related to human activities and affects human health. In recent years, air pollution and other environmental problems have attracted the nationwide attention in China, so that the environment-meteorological services have been developed rapidly. The Environment-Meteorological Centre of the China Meteorological Administration was established in March 2014 by integrating the resources of various national service units to provide better meteorological monitoring and forecasting services. In this paper, we review the developments of China's national environment-meteorological services and highlight their current status including major technological capabilities. We also explore future trends of the national environment-meteorological services by analysing the capabilities, deficiencies and gaps in supply to the demands of the current environment-meteorological services.

Keywords: environment-meteorology, air pollution, current status

0 引言

传统的环境气象预报业务包括雾、霾和沙尘等天气, 与之相对应的监测、预报及预警等业务也相对较为成熟。近年来, 随着中国社会经济的快速发展, 以高细颗粒物浓度为主要特点的空气污染问题日益严重^[1-4], 雾、霾和沙尘天气频繁出现, 环境问题越来越受到社会各界的关注。我国一些大中城市在传统的雾、霾及沙尘预报业务基础之上, 积极开展了多种形式的环境气象服务, 环境气象业务不断发展, 已经形成了一定的业务规模。

2014年3月, 中国气象局环境气象中心成立, 主要负责提供国家级环境气象监测预报服务并协调与之

相关业务工作。环境气象中心以国家气象中心为基础, 联合国家卫星气象中心、国家气候中心、中国气象局气象探测中心、中国气象科学研究院、中国气象局公共气象服务中心等单位, 以“小实体、大网络”方式运行。国家级环境气象中心的成立, 整合了国家级环境气象业务、服务和技术研发资源, 规范了国家级环境气象业务, 加强了对各级环境气象业务的指导, 提升国家级环境气象业务能力和服务水平, 为国家大气污染防治工作提供更有保障。本文对国家级环境气象业务的开展情况进行梳理和总结, 并结合环境气象业务面临的挑战和需求, 探讨国家级环境气象业务的发展趋势。

1 环境气象业务现状

1.1 环境气象产品体系

环境气象的业务产品主要可分为监测、预报预警及评估三大类。

收稿日期: 2015年6月14日; 修回日期: 2015年8月6日
第一作者: 康志明(1978—), Email: kangzm@cma.gov.cn
资助信息: 中国气象局气象关键技术集成与应用(重点)项目(CMA GJ2013Z05)

1.1.1 环境气象监测

环境气象监测是指基于地面及高空气象观测、大气成分监测、卫星遥感等观测数据，形成的对雾、霾、沙尘、重污染等过程发生、发展、消散及影响范围、强度的监测分析产品。

1.1.2 环境气象预报预警

目前，国家级环境气象业务基于数值天气预报和环境气象数值预报产品，结合天气分析、概念模型判断、释用技术和检验评估分析等技术方法，制作并发布全国空气污染气象条件、全国地级以上城市空气质量、能见度、雾、霾以及沙尘落区预报预警产品。针对春节节日，开展烟花爆竹燃放气象指数预报业务。同时，中央气象台还与国家环境监测总站联合开展京津冀及周边地区重污染天气监测预警业务。

2014年10月，环境气象中心整合国家级环境气象业务、服务和技术研发资源，制作并发布《环境气象公报》，打造集监测、分析、评估、预报和预警为一体的国家级环境气象综合产品。

1.1.3 环境气象评估

大气污染气象条件评估主要内容是利用大气成分及相关气象观测数据，对大气污染实况、污染天气、气象条件的特征及变化趋势进行客观分析，利用历史比对及数值模拟的方法，对大气污染防治措施效果进行评估，为相关决策部门提供大气污染防治对策及建议，形成评估报告。

1.2 环境气象业务技术体系

1.2.1 环境气象综合观测与分析应用

20世纪80年代以来，中国气象局逐步建设形成了一定规模的大气成分观测网，包含1个全球大气本底站、6个区域站以及241个具有颗粒物观测能力的雾霾观测站以及365个酸雨观测站。在边界层气象观测方面，中国气象局建有120个L波段雷达探空观测站，可提供每日00和12时的秒级探空数据。此外，43部风廓线雷达组成的业务试验网，可实现垂直风场的分钟级全天候、连续观测。同时，中国气象局在卫星遥感监测方面也开展了大量的研究工作，并形成了一定的业务能力。基于风云极轨和静止气象卫星，开展霾（光学影像监测）、霾污染指数、霾光学厚度、雾、沙尘（光学影像、沙尘指数、沙尘光学厚度定量监测）等的实时监测，利用全球卫星的环境气象相关产品（二氧化氮、二氧化硫、二氧化碳、甲烷），定期开展中国区域大气空气质量、温室气体等时空分布和长期变化趋势的评估等。

除中国气象局建成的环境气象综合观测系统外，环境保护部也在全国范围内建成了覆盖地级以上城市

的环境空气质量监测网。目前，环境保护部在全国布设的环境空气质量监测点位数已经由最初的661个增加到1436个。两部委建成的环境空气观测系统在对大环境监测方面起到了相互补充、相互配合的最优资源综合利用。

环境气象中心基于中国气象局环境综合观测系统的监测数据及环境保护部环境空气质量监测网的国家环境空气质量自动监测点空气质量资料（包括PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁、SO₂、NO₂、CO、O₃逐小时浓度和AQI指数），结合常规气象要素观测，实现全国雾和霾实况、大气成分实况及超标日、重点区域及重点城市空气质量状况等实时监测。在综合地面常规观测资料应用的同时，加强非常规资料的应用。例如，用L波段秒探空资料诊断分析大气边界层结构特征；用整层逆温强度判断能见度变化情况，进而用于雾、霾天气预报。初步开展铁塔和风廓线观测资料应用研究，从更高的时间及垂直分辨率上分析城市边界层特征演变情况。此外，卫星遥感资料，在包括大气气溶胶（霾、沙尘暴等）、温室气体、污染气体等大气成分的监测及评估中也发挥了重要的作用，同时还可对火山灰云、秸秆燃烧等大气环境事件进行监测和评估。

1.2.2 大气化学模式

大气化学模式是开展环境气象业务的重要技术支撑，是提高环境气象预报业务精细化和定量水平的关键。当前，国家级业务部门运行CUACE雾和霾、CUACE沙尘和污染物扩散模式等为空气污染、沙尘、核扩散等环境气象预报业务提供科技支撑。此外，部分省（市），通过引进CMAQ、WRF-Chem等区域大气化学模式，建立了化学天气数值预报系统，为区域和城市空气质量、能见度及霾等的预报预警提供了技术手段和科技支撑。

由于排放源、大气化学过程等不确定性与边界层天气过程不确定性的叠加，目前大气化学模式的预报能力还有明显的提高空间，所以基于模式产品的检验订正尤为重要。环境气象中心对CUACE模式预报性能进行了单站和区域的定量检验，分析了能见度、PM_{2.5}、温度和相对湿度等气象要素预报的平均偏差、平均误差、预报与实况相关性等统计量，为模式开发人员提供改进建议，同时也为业务人员应用提供依据。针对定量化应用需求，在模式输出要素基础上，采用了滑动订正、集合卡尔曼滤波等多种方法，结合实况观测，对空气质量要素预报进行订正，以提高站点定量预报的准确率。

1.2.3 大气污染气象条件分析

污染排放是造成大气污染的根本原因，在一定的

时间尺度内, 污染排放一般变化不大, 气象条件成为影响最终污染状况的决定因素, 分析相关气象条件是准确了解和掌握大气污染发展趋势的关键^[5-7]。因此, 气象条件分析既是大气污染中长期预报的关键环节, 也可以通过定量分析大气污染与气象条件的关系及其变化趋势, 为政府大气污染防治提供科学决策依据。可以说, 大气污染气象条件分析是气象部门开展环境气象业务的优势所在。

1) 污染气象条件诊断分析

污染气象条件分析主要是针对大气污染, 基于气象观测或大气模式预报产品, 对能反映大气污染物扩散、输送、沉降、清除等作用的气象因子进行诊断分析。比如混合层高度、垂直交换系数、通风系数、理查孙数、小风区和空气滞留区等。这些诊断产品为雾、霾及空气质量等环境气象预报提供了重要的分析依据。

2) 污染气象条件综合指数

2014年以来, 环境气象中心针对近年发生的典型雾、霾和污染过程, 分区域进行统计, 并结合不同天气过程的特点, 提炼典型天气学特征和概念模型, 在此基础上研究可综合反映气象条件作用的关键指标。

典型污染天气往往发生在静稳的天气形势下, 静稳天气指数 (SWI) 就是通过综合考虑湿度、风速、逆温强度、混合层高度等反映大气湿湿条件及动力状况的物理要素, 用来定量评估大气静稳程度, 表征大气对污染物的水平与垂直扩散能力。指数的构建基于统计分析, 结合预报员经验, 筛选对静稳天气具有较好指示意义的特征物理量, 确定各物理量阈值及权重。雾和霾天气多发生在地面相对湿度高、近地层风速小、边界层高度低且存在逆温、无较强天气系统影响的背景下, 因此选取2m相对湿度、10m风速、边界层高度、低层逆温强度、850hPa垂直速度及散度等物理量。在统计过程中, 以各物理量不同区间内雾、霾天气发生概率相对气候态的倍数为指标, 衡量其对静稳天气的指示意义, 并作为各物理量不同区间值对应的权重, 具体算法如下:

$$W_{in} = \frac{a_{in}}{a_{in} + b_{in}} \cdot \frac{a}{a + b} \quad (1)$$

式中, a_{in} 为统计时段内物理量*i*在区间*n*内雾和霾出现站次, b_{in} 为相应的晴好站次; a 为统计时段内总的雾和霾站次, b 为总的晴好站次。以北京为例, 2m相对湿度对雾和霾及晴好天气的区分能力最高, 当相对湿度高于88%时权重系数最高, 达到3.4, 即雾和霾发生概率是气候态的3.4倍; 逆温强度、10m风速和边界层高度的区分能力依次次之, 最高权重分别为2.1, 1.9和1.8。

静稳天气指数不仅仅在预报中为业务人员提供气象条件的定量判断, 同时在重大气象服务和过程评估

中也发挥了积极的意义。2014年11月5—11日, APEC会议在北京召开, 10月刚刚经历4次严重雾和霾天气的北京, 空气质量好坏成为当时政府决策者最为关心的问题之一。“静稳天气指数”作为具有气象特色的环境气象分析方法技术, 在多次的决策气象服务中发挥了重要的作用, 也受到了各方的好评。

图1给出2014年10月7日—11月23日北京地区平均PM_{2.5}浓度与静稳天气指数演变。由图可知, 静稳天气指数的演变与PM_{2.5}浓度之间有良好的对应关系, 10月4次严重的雾和霾天气都分别与静稳指数峰值相对应。同时, 静稳天气指数也可直观地反映出减排措施发挥的作用。例如, 10月28—30日, 政府开始采取一定的防控措施, 虽然静稳指数与10月前期3次污染过程相当, 但实际PM_{2.5}浓度明显偏低。APEC期间, 随着防控力度的加大, PM_{2.5}浓度进一步降低。在APEC结束后的评估报告中, 静稳天气指数被进一步用来定量评估气象条件的作用。定义PI=PM_{2.5}浓度/静稳天气指数 (Pollution Index, PI), 代表一定气象条件下出现的污染程度。通过对比分析2014年10—11月APEC会议前后两段时间内的PI与无减排措施情况PI, 10月, 平均PI为9.8, 11月1—10日平均PI为4.9, 仅为10月的一半。说明在同样的气象条件下, 11月1—10日与10月相比, 污染程度明显降低, 体现出11月上旬APEC会议期间采取有力防控措施取得了明显效果。

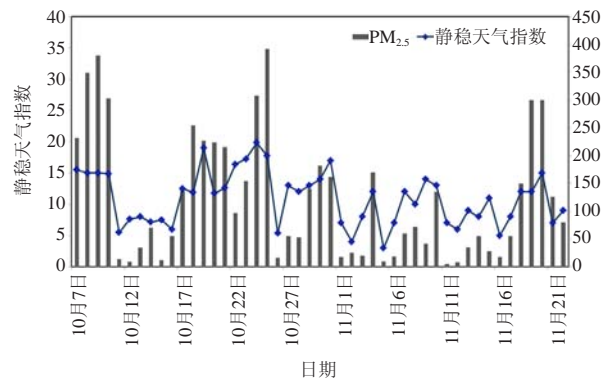


图1 2014年10月7日—11月23日北京地区平均PM_{2.5}浓度与静稳天气指数演变

Fig.1 Average PM_{2.5} concentration (bars) and stable weather index (curve) in Beijing during October 7 to November 22, 2014.

除了静稳天气形势对污染物起到重要积聚作用以外, 污染物区域输送也是影响污染浓度的重要因素^[8-13], 平流输送对某地污染的形成具有重要作用。污染物自边界层向上抬升后停留时间变长, 通过平流输送可以扩散至其他地区, 影响该地的空气质量。结合PM_{2.5}排放源强度、污染物输送概率等因子, 构建了

表征污染物传输强度的指数，可代表输送能力的空间分布情况。

$$T_l(i, j) = R_l(i, j) \cdot E(i, j) \cdot W_d(i, j) \cdot W_t(i, j) \cdot PSCF \quad (2)$$

式中， T 为传输强度， R 为输送概率， E 为 $PM_{2.5}$ 排放强度（单位： t/a ）， W_d 为距离权重函数， W_t 为时间权重函数， $PSCF$ 为潜在源贡献因子。下标 l 和 (i, j) 分别是对应的轨迹和网格。

图2为2013年11月—2014年3月北京的污染物传输强度分布。除北京南部对北京市区有强的传输影响外，天津、河北中南部、山东西北部及河南北部传输强度大于1，说明上述地区的污染物也可通过区域传输对北京产生较明显影响。尤其是河北中部、天津西部距离北京近，工业发达，排放强度较高，且经过这两个区域的气流到达北京后，易与燕山和太行山脉形成地形辐合，使污染物难以扩散，进一步加重污染程度，因此传输作用最为明显。工业较为发达的太原、济南和郑州等周边省会城市，由于较少有气团轨迹经过或距离较远等原因，对北京的传输作用并不明显。

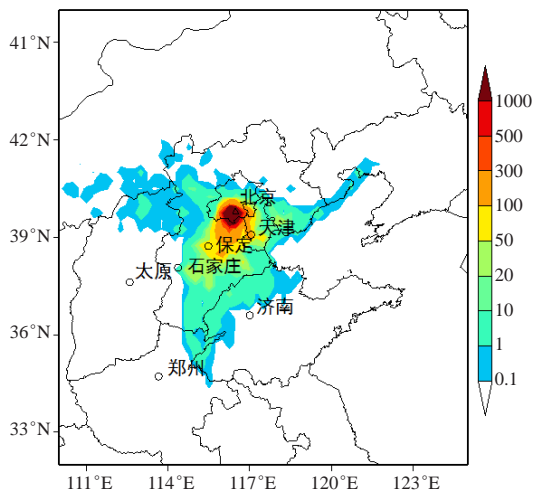


图2 2013年11月—2014年3月北京污染物传输强度指数分布
Fig.2 Distribution of the average index of pollutant transports strength in Beijing during November 2013 to March 2014.

1.2.4 环境气象客观预报技术

与降水相比，数值模式对雾、霾这类灾害性天气预报能力更为有限，甚至缺乏具有直接参考意义的预报产品，实际业务中主要依靠预报员的经验，预报难度非常大。因此，总结预报经验，建立预报模型，开发客观预报产品具有实际意义。目前，开展了基于人工神经网络、多指标叠套、多元回归等方法的客观预报技术研发和应用。统计分析物理量、参数、排放源与雾、霾、沙尘、空气质量、光化学污染的关系，提取预报因子，基于天气学模型，结合实况及业务模式

产品，设立相应判据和预报指标，建立预报模型、方程和流程，计算基本物理量和大气边界层特征参数，匹配指标权重，进行指标叠套运行、拟合试验和回归计算等，并进一步优化因子组合和运行试验，进而得到客观预报产品。

1.2.5 环境气象业务系统平台

环境气象属交叉学科，涉及数据种类繁多、来源广泛，分析方法也与常规天气预报有较大不同。相关数据库以及平台建设滞后成为影响环境气象业务进一步发展的重要制约因素。围绕建设国家级环境气象监测预报预警服务综合一体化业务平台的目标，环境气象中心初步开展了环境气象基础数据库的建设，整理编辑和重建历史资料，建立环境气象数据集，包括大气成分资料、空气质量数据、卫星产品、地面常规及非常规观测资料，通过数据整理、计算分析和格式转化，建设监测系统，实现实时监测空气污染信息功能。搭建环境气象业务平台，在主流天气分析业务平台MICPAS的框架下进行二次开发，针对环境气象的特殊需求，实现环境气象监测、诊断及产品制作等功能。

2 国家级环境气象服务面临的问题及未来发展

2.1 国家级环境气象服务面临的新需求

国家级环境气象服务面临的需求按照不同的对象可分为以下3个方面：

1) 决策服务需求。作为国家级业务单位，如何为政府决策提供更科学的依据成为国家级环境气象服务面临的重要课题。政府决策部门对环境气象服务的需求来源于大气污染防治、重大社会活动保障、国际环境外交谈判等方面，这些需求主要集中在长时效、重大过程预报、科学定量评估及对比分析等方面。在国务院《大气污染防治行动计划》出台之后，各级政府需要在实际大气污染的科学评估基础上制定相应减排政策，需要中长期的过程预报来实现对重污染过程的减排调控。由于大气污染与气象条件密切相关，准确了解和掌握大气污染的实况及相应气象条件，定量分析大气污染与气象条件的关系及其变化趋势，科学描述实际减排效果，是制定未来污染防治措施的科学基础。

2) 公众服务需求。在公众不断提高健康意识后，人们更加希望有精细的环境气象预报产品进行科学指导从而安排他们的生活出行等。所以公众服务需求主要体现在精细化的环境气象预报产品上。

3) 业务指导需求。国内气象部门除北京、上

海、广东等地区外，大部分台站环境气象业务起步晚，技术基础相对薄弱，亟待国家级技术与产品的指导。业务指导需求体现在预报技术、诊断分析方法、业务规范等方面。

2.2 环境气象业务能力的不足之处

与需求相比，环境气象业务能力不足主要体现在：

1) 环境气象部分业务标准不统一，预报服务还需进一步规范。

2) 环境气象监测能力有待提高，与常规气象要素相比，大气成分观测站点数量明显不足，与大气污染紧密相关的边界层气象观测手段有限。在监测分析技术上，还未能实现多源资料的融合分析，没能实现各种观测资料优势互补的目的。

3) 大气化学模式与数值天气模式的融合发展还需加强，对相关物理化学过程以及机制机理认识还有待深入，大气成分监测资料的同化技术在业务模式中的应用明显滞后，污染源排放信息基础数据和动态更新技术比较薄弱。模式应用能力不高，预报员对不同模式的认知和理解不足，检验订正能力不高；模式解释应用产品精度仍然不高，技术方法有待改进。

4) 对静稳天气、重污染、霾的形成机理认识仍比较欠缺，尤其是边界层的物理化学过程认识还有待深入。

5) 环境气象评估能力较弱。环境气象观测资料综合分析利用能力不足，评估方法和手段不够丰富，量化水平和科技含量不高。

6) 环境气象业务基础保障能力仍然较弱，体现在业务数据及平台支撑能力不足。

2.3 环境气象业务发展目标及重点工作

国家级环境气象业务要充分发挥各成员单位的优势，建立和完善环境气象业务中心的工作流程和有效的运行机制，形成功能较为完备、布局较为合理、技术较为先进的国家级环境气象业务体系；初步建立集监测、预报、预警和评估服务于一体的集约化、规范化的环境气象业务流程；进一步提升国家级环境气象观测、预报预警服务及对省级部门环境气象业务的指导能力。

2.3.1 环境气象监测与分析能力建设

逐步建成覆盖全国、重点地区的大气成分观测站网，并加强边界层气象观测建设。开展我国主要污染气体和温室气体等卫星载荷指标优化论证，开展主要污染气体、温室气体以及气溶胶（气溶胶光学厚度等）等卫星资料处理关键技术预研，建立高时空分辨率中国区域卫星大气成分观测资料库。改进和提高霾

的卫星遥感监测识别技术方法和定量监测评估技术。

开展多源资料融合技术攻关，发挥地面观测和卫星遥感监测的各自优势，重点是加强卫星反演技术及其与地面观测的校准技术研究，实现具备覆盖全国区域的大气成分监测能力。同时，加强边界层常规、非常规气象观测资料的综合分析应用，诊断分析边界层结构特征，提高对霾、沙尘暴、光化学烟雾等发生发展机制的认识，改进霾及沙尘暴客观预报技术。

2.3.2 发展大气化学模式

改进气溶胶及气态化学机理，优化模式方案；充分利用现有的网络化观测与卫星遥感数据进行排放源的反演研究，对排放源清单进行改进；发展资料同化技术，同化应用环境观测资料并改进模式初值；实现环境气象模式系统的三个子模式（气象模式-污染源模式-化学模式）的协同发展，建立一体化可预报多要素大气成分的环境气象数值模式综合系统。

开展多模式的检验、比较、评估与本地化研发工作，研发多模式集成应用技术，提高模式解释应用能力。

2.3.3 发展雾、霾及重污染中长期预报技术

发展中长期预报是提高决策服务能力的关键环节。以动力统计为基础，依据静稳天气综合判定指标，结合排放源数据及模式产品，利用连续积分和阈值控制，建立能反映水汽、气溶胶累积、扩散过程效应的雾、霾潜势预报产品；研制边界层关键气象要素的数值产品订正技术和集合预报产品释用技术，提高与雾和霾相关的边界层气象要素在中期时段的预报水平；结合雾、霾潜势、能见度客观预报产品、气象要素预报订正产品，逐步开展雾和霾中长期分类分级预报。

2.3.4 环境气象评估及预评估

大气污染评估及预评估是政府部门科学应对大气污染的依据。目前，国家级环境气象业务部门从气象部门的特色和优势出发，已初步开展了大气污染气象条件的评估工作。主要是利用大气成分及相关气象观测数据，对大气污染实况、污染天气、气象条件的特征及变化趋势进行客观分析，利用历史比对及数值模拟的方法，对大气污染防治措施效果进行评估。

大气污染气象条件的评估重点是科学定量地描述气象条件在大气污染中所起的作用，目前主要有两个途径，一是利用气象观测，分析与大气污染相关的气象要素或综合指数；二是通过数值模拟的方法，利用同一大气化学模式，在不改变排放源的情况下，针对不同气象条件进行模拟预报，比如模拟预报大气污染防治措施实施期间及历史同时段大气污染状况，通过模拟预报的结果综合分析不同气象条件下对大气污染

防治措施对污染物浓度的贡献。

环境气象预评估是指在预测有重污染天气过程或重大活动的气象保障时,提前对所关心区域的污染状况、采取一定减排措施后的可能污染状况以及不同区域排放的输送影响等进行详细的分析,提供给决策部门作为减排调控的参考。预评估主要通过模式模拟的途径来完成。目前为止,预评估业务还未实时开展。

2.3.5 环境气象业务拓展

出于健康角度,社会公众对环境气象预报产品有极高的关注度。但是目前环境预报产品的针对性仍然不强,比如霾的定义主要是基于能见度,与健康影响之间无直接关系,而空气污染气象条件则只是污染的一种潜势预报。研究霾、重污染等对人体健康的影响,并结合其他气象条件,发展健康气象等环境气象业务,将提高环境气象预报服务的针对性。

基于基本数据库、评价指标体系及等级指标、评估模型等,研制环境气象条件对人体健康影响评估业务系统,可实现环境气象对健康效应发生的范围、强度、持续时间、综合影响等做出客观定量评价,提供及时客观的健康影响评价产品及环境气象健康风险预警产品。开展环境气象因子及各大气成分浓度对区域人体健康影响定量评估业务,针对特殊环境气象事件,为决策部门提供及时客观的健康影响评价服务产品。

3 结语

通过对国家级环境气象业务的回顾和分析,可以看到,在各方面的高度关注下,环境气象业务发展迅速,已经形成了一定的业务产品和技术支撑体系,

并在气象服务中发挥了重要的作用。但是,面对服务需求的快速增长,环境气象预报业务能力的提高刻不容缓,在综合监测分析、精细化预报、中长期趋势预报、评估及预评估技术等方面仍存在明显不足,这些也将是未来环境气象业务发展的重点。

参考文献

- [1] 张小曳,孙俊英,王亚强,等.我国雾—霾成因及其治理的思考.科学通报,2013,58:1178-1187.
- [2] Zhang X Y, Wang Y Q, Niu T, et al. Atmospheric aerosol compositions in China: Spatial/temporal variability, chemical signature, regional haze distribution and comparisons with global aerosols. Atmos Chem Phys, 2012, 11: 26571-26615.
- [3] 张磊,金莲姬,朱彬,等.2011年6—8月平流输送对黄山顶污染物浓度的影响.中国环境科学,2013,33(6):969-978.
- [4] 苏福庆,高庆先,张志刚,等.北京边界层外来污染物输送通道.环境科学研究,2004,17(1):26-29.
- [5] 张人禾,李强,张若楠.2013年1月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析.中国科学:地球科学,2014,44(1):27-36.
- [6] 杨德宝,王武功,黄建国.兰州市大气污染与气象条件的关系.兰州大学学报(自然科学版),1994,30(1):132-136.
- [7] Schichtel B A, Husar R B, Falke S R, et al. Haze trends over the United States, 1980-1995. Atmos Environ, 2001, 35: 5205-5210.
- [8] Karaca F, Anil I, Alagha O. Long-range potential source contributions of episodic aerosol events to PM10 profile of a megacity. Atmos Environ, 2009, 43(36): 5713-5722.
- [9] Begum B A, Kim E, Jeong C H, et al. Evaluation of the potential source contribution function using the 2002 Quebec forest fire episode. Atmos Environ, 2005, 39(20): 3719-3724.
- [10] Baker J. A cluster analysis of long range air transport pathways and associated pollutant concentrations within the UK. Atmos Environ, 2010, 44, 563-571.
- [11] Chiapello I, Bergametti G, Chatenet B, et al. Origins of African dust transported over the northeastern tropical Atlantic. J Geophys Res, 1997, 102: 13701-13709.
- [12] 徐祥德.北京及周边地区大气污染机理及调控原理研究.中国基础科学,2002,8:19-22.
- [13] 苏福庆,任阵海,高庆先,等.北京及华北平原边界层大气中污染物的汇聚系统——边界层输送汇.环境科学研究,2004,17(1):21-25.

《气象科技进展》创刊5周年纪念刊即将推出

■ 本刊编辑部

《气象科技进展》于2011年6月创刊,至今已走过5年的历程。为纪念创刊五周年,本刊拟于2016年6月第3期推出“创刊五周年纪念刊”,部分论文及作者介绍如下,敬请读者关注。

昆明准静止锋的发现和研究——索渺清,丁一汇

西南涡研究和观测试验回顾及进展——李跃清,徐祥德

极端气象灾害间接经济损失内涵、发生机理与评估方法研究——胡爱军,李春华,史培军

关于太阳系外行星的宜居性——胡永云

近50年中国风速减小的可能原因——赵宗慈,罗勇,江滢,黄建斌

南极臭氧洞的发现、研究和启示——陆龙骅

雾的集合预报与集合预报的检验——杜钧,周斌斌

超大城市气象观测网的设计与应用——汤绪