

关于人工影响消减雾霾的思考

孔君, 苏正军

中国气象科学研究院人工影响天气中心, 北京 100081

摘要 借助人工影响天气开展消减雾霾影响不失为一种有效的尝试。本文介绍消减雾霾可能采用的人工影响天气方法、原理、应用, 并分析其优缺点和关键问题。人工影响天气消减雾霾的主要方式包括人工增雨、人工消雾及消减干霾的物理化学方法。人工增雨和人工消过冷雾技术相对成熟, 但人工增雨作业依赖地理背景和天气条件, 不适用于消减处于发展阶段的雾霾。人工消暖雾尚未成熟, 有待研制更高效的暖云催化剂或开发新型消暖雾技术。喷水地球工程法需要进行更深入的理论分析, 结合实验寻找高效清除PM_{2.5}的方法。城市风道法因受地理环境和气象条件限制, 并不适用于所有城市。当然, 治理雾霾还要从社会发展方式、能源结构组成、节能减排和降低能耗等方面综合入手, 从根源上解决问题。

关键词 雾霾; 人工影响天气; 人工增雨; 消减雾霾

中图分类号 P48

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.06.014

Thoughts on mitigation of smog by weather modification

KONG Jun, SU Zhengjun

Weather Modification Center, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

Abstract Mitigation of smog with the aid of weather modification can yet be regarded as an effective attempt. In this paper, the methods, principles and applications of weather modification carried out to mitigate smog are introduced. And their advantages, disadvantages and key problems are analyzed. Presently, there are three main ways of modifying the weather to mitigate smog, namely artificial precipitation, artificial fog dispersal and physical or chemical methods to eliminate dry haze. Artificial precipitation enhancement and super-cooled fog dissipation technology is relatively mature, but the artificial precipitation operation heavily depends on the geographical background and natural conditions. On the other hand, artificial warm mist elimination is not quite ready yet, and needs to develop more effective warm cloud catalyst. And water spray geo-engineering requires more in-depth theoretical analysis, and needs to combine with experiments to find efficient scavenging of PM_{2.5}. The urban air passage method does not apply to all cities, which is restricted by geographical environment and meteorological conditions. It is necessary, therefore, to speed up the development mode transformation and make more energy-saving emission reduction efforts in order to deal with the problem at its source.

Keywords smog; weather modification; artificial precipitation; mitigation of smog

2013年初至今, 中国部分地区时有发生大范围长时间持续雾霾天气, 引发政府和社会各界对雾霾的广泛关注。所谓雾霾天气, 就是雾和霾相互混合转化造成城市大面积低能见度的情况。霾是大量极细微的干尘粒子均匀悬浮在空中, 使水平能见度小于10 km的空气混浊现象^[1]。而当空气中相对湿度过高时, 干尘粒子会吸湿长大, 产生更多云雾滴, 使能见

度进一步下降, 当能见度降至1 km以下时, 形成雾。一般情况下, 雾滴和干粒子(霾)会同时存在于大气中, 对能见度产生影响, 湿度不同的环境下, 雾和霾的比重和侧重各不相同, 其综合效果造成了实际大气中发生能见度小于10 km的空气混浊现象。人类活动的加剧, 导致人为排放的增多, 使得大量人为活动造成的气溶胶参与到雾滴的生成过程中。因此,

收稿日期: 2015-02-06; 修回日期: 2015-02-12

作者简介: 国家自然科学基金面上项目(41275149); 公益性(气象)行业科研专项(GYHY201306041); 北京市科技计划项目(V141100001014017)

作者简介: 孔君, 硕士研究生, 研究方向为云降水物理与人工影响天气, 电子信箱: kongzongwan123@163.com; 苏正军(通信作者), 副研究员, 研究方向为云降水物理与人工影响天气, 电子信箱: suzi@cma.gov.cn

引用格式: 孔君, 苏正军. 关于人工影响消减雾霾的思考[J]. 科技导报, 2015, 33(6): 86-90.

城市群地区的雾霾天气已不仅仅是一种自然现象,雾霾的发生与大气污染,特别是大气中的颗粒物成分、质量浓度密切相关。

国内外关于雾霾的研究主要集中在雾霾成因及生消机制、雾霾粒子微物理特征及化学成分、污染物来源解析、防治措施等。早在20世纪50年代,国外学者就已意识到雾霾的影响,如著名的1952年“伦敦烟雾事件”。为此,美国、英国和加拿大率先开展了一系列雾的研究计划,如美国的CEWCOM计划(1977),针对海雾的形成和边界层结构进行了研究;欧洲的Po Valley实验和CHEMDROP计划,研究了雾霾生命期相关的气体、液滴和间隙气溶胶的化学成分,痕量气体在雾生命期中的演变,以及雾的微物理、化学性质。

中国雾霾的研究始于对雾的观测,最早是20世纪50年代末在上海,接着启动了系列城市雾观测,包括上海城市雾研究、重庆山地雾、南京城市雾、沪宁高速公路雾的观测研究等,取得了大量的研究成果,包含雾的生消机理、微物理特征、边界层结构、湍流影响以及污染气体和雾水化学组成等。其后,随着经济的发展逐渐认识和重视起霾对社会的各种影响,开展了针对霾天气的研究,如珠三角地区的灰霾研究,中国科学院的“大气灰霾追因与控制”,北京大学的“Care-Beijing”,长三角地区的雾霾预警研究等,深入探讨了中国气溶胶的化学组分和来源、气溶胶的活化、吸湿增长特性和气溶胶的光学特性等内容。

消减雾霾方面,国内相关研究机构从20世纪90年代开始尝试探索消减雾霾实验。北京市气象局人工影响天气办公室从1992年开始先后在南京大学、庐山云雾实验站、北京理工大学、天津武清和北京市宝联体育场进行近百次雾霾观测及消雾实验,取得了一些宝贵的实验资料。在雾霾的结构特征、历史变化趋势、气溶胶吸湿增长对能见度的影响、冷暖雾消雾技术等方面取得了一定的研究成果^[2,3]。

气象科学与技术对雾霾天气预报、雾霾观测和污染物治理的区域联动方面发挥着重要作用^[4]。目前针对通过人工影响来消减雾霾的科学研究较少,Neiburger^[5]曾针对洛杉矶人工消减雾霾的各种方案进行了简单计算和分析,但结论是在当时的经济和技术条件下,各种人工方法均不可行。中国气象科学研究院郭学良表示,通过人工增雨消减雾霾目前还处于实验阶段,且是重污染天气下的一种应急手段,人工消雾尚未成为气象部门的常规业务工作,只能在局地实行^[6]。如今随着人们对雾霾发生发展机理认识的不断深入,以及科学技术的发展和经济实力的增强,研究提出科学的人工影响消减技术,净化和改善局部地区空气质量,越来越受到政府和社会的关注。人工影响消减雾霾的目的就是减小环境中的雾霾颗粒浓度,从源和汇的角度来说,就是抑制雾霾的产生源并加强其物理化学清除过程,主要方式包括人工增雨、人工消雾及人工消减干霾的物理化学方法。本文将对各种方法的作用原理和应用进行介绍,并分析其优缺点和关键问题。

1 人工增雨消减雾霾

人们凭经验可以感受到,降水过程后空气会变清新,这主要是雨(雪)水加强了空气中雾霾粒子的湿沉降并抑制地面扬尘进入大气。由此推测,通过人工增雨可以清除大气中的污染颗粒物,达到消减雾霾的效果。但毛节泰^[7]指出,雨后雾霾消散主要靠伴随在降雨过程中的风,仅仅靠雨水冲洗,没有风吹,人工降雨的消霾效率可能不会太高。

关于人工增雨消减雾霾的效果以及风在降雨冲刷过程中的作用还有待研究,但是,即便人工增雨对清除雾霾有较好的效果,前提必须有降水形成的条件。人工增雨作业须在适宜的地理背景和天气条件下,在适当时机对关键性云体部位进行催化作业。胡志晋根据人工增雨机制的考虑以及数值模拟的结果,提出下列人工增雨作业条件:1) 云降水处于发展或持续阶段,云中有比较深厚的上升气流,云下蒸发较弱,云厚较大,过冷云层较厚,云底较低;2) 云中有过冷水,在较厚的层次里有较大的冰面过饱和度和水汽值,同时冰晶浓度较低的更有利^[8]。而雾霾天气主要出现在冷空气较弱和水汽条件较好的大尺度大气环流形势下,一般天气状况比较静稳,郭丽君等^[9]将雾霾过程分为霾气溶胶积累阶段、霾雾转化及混合和雾霾减弱3个主要阶段。在霾气溶胶积累阶段和霾雾转化及混合阶段,人工增雨作业的前提条件出现的可能性不太大;在雾霾减弱阶段,即便有人工增雨的作业条件也意义不大,因为雾霾已经持续较长时间而造成了负面影响,增雨作业只能起到加强清除过程的作用。

2 人工消雾消减雾霾

另一种人工影响消减雾霾的方式是人工消雾,使雾滴或冰晶携带霾粒子降落到地面或扩散出去。雾通常被按照温度特征分为过冷雾、暖雾和冰雾,0~-20℃温度范围内出现的雾是过冷雾,主要由大量过冷液态水滴组成;暖雾是由温度在0℃以上的暖水滴组成;-20℃以下生成的雾被称为冰雾。人工消过冷雾和暖雾的原理和方法是不同的。

2.1 人工消过冷雾

过冷雾是由过冷水滴和水汽组成,可以通过播撒催化剂产生大量冰晶来消除。人工消过冷雾播撒致冷剂如干冰、液氮等产生局部过低温度,通过同质核化冻结产生大量冰晶落到地面,同时过冷云滴蒸发消失使雾消散。这项技术在国外许多实验中取得成功并应用到人工消雾业务中,尤其是在机场,长期作为一种消雾措施。

中国在北京、四川等地也曾做过一些用液氮等致冷剂消过冷雾的实验,消雾效果明显,技术可行,取得了一定的成功。而且液氮作为致冷剂有很多优点,如化学性质稳定,无刺激性,不会引入新的污染物,相对廉价,生产、贮存和运输技术设备比较成熟,使用方便等。需要指出的是,这些实验只是在局地小范围施行,没有针对净化空气而较大范围地作业,缺少对雾滴和霾气溶胶粒子的观测资料,因此无法评估

其消减雾霾的效果。Guo 等^[8]对北京一次持续性雾霾天气的产生、演变与转化特征进行观测研究,指出在冷却降温 and 增湿的条件下雾滴凝结核的爆发性增长会加剧雾霾混合过程发展,其间发生的弱降水过程会对霾气溶胶有明显的湿沉降作用。在今后的消过冷雾实验中应增加对雾滴和霾气溶胶粒子的观测,通过与自然条件雾霾过程对比,对其消减雾霾的效果进行评估。

2.2 人工消暖雾

人工消暖雾的方式主要有两种:一种是播撒吸湿性物质,如盐粉、尿素、CaCl₂和有机高分子物质等;另一种是热力动力混合法。两种消雾方式的作用原理不同。

播撒吸湿性物质主要是利用吸湿性物质吸收水汽凝结增长,使雾中小雾滴蒸发产生大滴,诱发碰并过程,使雾滴变大,雾滴谱拓宽从而使雾滴沉降消散。这种方式难度较大,催化剂颗粒的大小和播撒方法是关键因素,实施效果并不理想。盐粉和 CaCl₂吸湿性较好,但对金属材料腐蚀性强。针对这一问题国内外研制了吸湿性烟火催化剂,并发展了相应的作业技术,燃烧产物以 KCl、NaCl、CaCl₂等吸湿性物质为主。这些燃烧产物平均粒径约 0.5 μm,但作为暖云催化剂粒径偏小^[9]。郑永杰等^[10]研究显示,齐齐哈尔地区大气中 PM_{2.5} 颗粒空气动力学直径约 90% 小于 1.0 μm; Guo 等^[8]研究也表明,在霾雾转化及混合阶段,积聚模态气溶胶高质量浓度集中在 0.2~0.55 μm。这说明空气中并不缺少小于 1.0 μm 的粒子,如果吸湿性烟火催化剂燃烧产物的粒径能提高到 1.0 μm 以上,催化效果可能会更好。

暖雾辐射雾顶部常覆盖边界逆温层和辐射逆温层,逆温层上空是干的暖空气,利用动力热力可将干暖空气混入雾中,促使湿度减小雾滴蒸发。热力动力混合法就是应用喷气发动机改装的热力动力消雾系统。发动机产生高温气体,随动力场扩散,形成一个较大范围的高温区,使雾滴蒸发,达到局部消雾。国内外均做过此类实验,取得了一定的消雾效果,但是该方法成本较高,还可能带来空气污染等负面效应,难以投入常规作业。

3 人工消减干霾

针对空气中灰霾遍布却没有雾的天气,由于大气干燥、

水汽少,目前还没有有效手段消除空气中污染物。Neiburger^[5]曾分析过打破逆温层法和人造大风吹走雾霾法,经简单计算表明,这些方法都耗费巨大,不适合大规模应用和实践。当今各界人士也纷纷提出各种遏制雾霾的新方法,很多方法还不够成熟,缺乏严谨的科学论证。其中包括喷水地球工程法和城市风道法,这两种方法可操作性较强、经济环保,为人工影响消减雾霾提供了新方向、新思路。

3.1 喷水地球工程法

俞绍才^[11,12]提出向大气中喷水清除大气中 PM_{2.5} 及其他污染物。在建筑物的屋顶上安装喷水装置向建筑物外大气喷水;或建水塔将水引向高处,然后向周围的大气喷水来清除大气中的污染物,所喷出水可在地面上重新收集起来做再次喷水使用,节约水资源。

该方法的基本原理是通过湿沉降过程有效清除大气污染物。湿沉降的消除系数(μ)主要与气溶胶粒子的尺度、水滴大小和降水强度相关,根据 Seinfeld 等^[13]的结论作出消除系数与气溶胶粒子尺度和水滴尺度(0.2、2.0 mm)的关系图(图 1)^[13],图中设定的降水强度为 1 mm/h,相当于小雨强度。根据俞绍才的研究,在不同 PM_{2.5} 初始浓度和消除系数条件下,喷水地球工程法可使 PM_{2.5} 质量浓度在较短时间内(几分钟到几小时)降低到国家环境空气质量标准 35 μg/m³(图 2)^[12]。

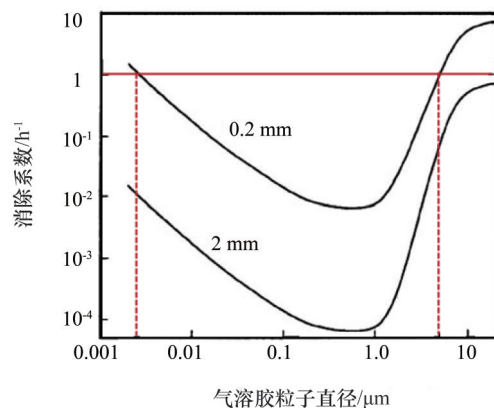


图 1 不同水滴尺度下湿沉降消除系数(μ)与气溶胶粒子尺度的关系

Fig. 1 Scavenging coefficients (μ) vs. aerosol particle diameters and raindrop diameters

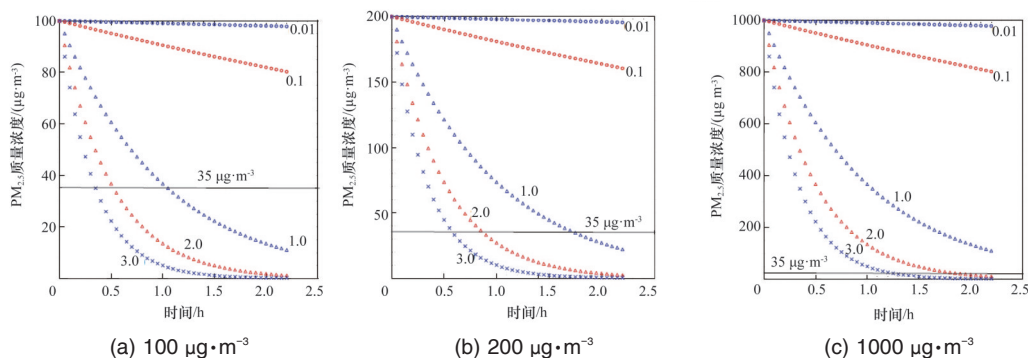


图 2 不同 PM_{2.5} 初始质量浓度和不同消除系数条件下 PM_{2.5} 质量浓度随时间的变化

Fig. 2 PM_{2.5} concentrations as a function of scavenging time for scavenging coefficients at three original PM_{2.5} concentrations

但由图2可以看出,只有当消除系数大于等于1.0时,PM_{2.5}质量浓度才能较快减小,而图1表明,0.2 mm的水滴对0.003~5.0 μm的气溶胶颗粒的消除系数小于1.0。可见,0.2 mm的水滴对PM_{2.5}的消除效果并不理想。解决这一矛盾的途径有两种,增大降水强度和减小水滴尺度。增大降水强度不符合节约水资源的要求,也有可能造成水灾;减小水滴尺度是可行的,现在具备制造微米级水滴的技术,只是更小水滴的消除系数与气溶胶粒子尺度的关系还不清楚,需要详细的理论计算和实验验证。

喷水地球工程法目前已有简化应用。2015年1月5日,河南省郑州市经三路出现一辆多功能抑尘车,俗称“雾炮车”^[14],该车可装10 t水,供雾炮喷射75 min。雾炮车喷射的水雾颗粒达到微米级,其消减雾霾的效果值得关注。

3.2 城市风道法

从2013年开始,城市建立风道“借风”除霾的方法引起政府和社会的关注。城市风道又叫城市通风廊道,在静稳无风、大气扩散条件差的气象条件下,污染物容易堆积。因此,把郊外相对清洁的风引进主城区,将污染物吹走成为备选除霾方式之一。

城市风道法^[15-18]改善城市小气候不乏成功的案例:“火炉”武汉为了降温,在城市内外广泛布绿,建成6条生态绿色走廊,使武汉夏季最高温度平均下降1~2℃。德国慕尼黑规划建设了5条城市通风走廊,让焚风(过山气流在背风坡下沉而变得干热的一种地方性风)从城市中穿过,并把城市中既有的脏空气带出去,效果非常好。杭州市规划局、市环保局等部门也规划建设巨大的城市风道,把郊外的风引进主城区,以便吹走城市上空的灰霾。在2014城市环境国际学术研讨会上,北京市环境保护科学研究院生态与城市环境研究所刘春兰介绍,国家气象局和北京市气象部门在城市总体规划的制定中将有一个专门章节研究北京风的通道。当然,城市风道消减雾霾的效果还需科学论证和检验,但其带有前瞻性的城市气候规划理念值得赞同。建设城市风道要充分考虑气象因素,从风向、地理环境、城市规划建设等角度科学合理地规划。

4 结论

借助人工影响天气的原理和方法消减雾霾可能会有一定的效果,但需要可靠的理论和实验数据进行论证检验。

1) 人工增雨和人工消过冷雾技术相对成熟,但人工增雨作业依赖地理背景和天气条件,不适用于消减处于发展阶段的雾霾;可以针对消减雾霾进行人工消过冷雾作业,研究其消减雾霾的效果。人工消暖雾尚不成熟,有待研制更高效的暖云催化剂或开发新型消暖雾技术方法。

2) 人工消减干霾的喷水地球工程法需要进行更深入的理论分析,结合实验寻找高效沉降PM_{2.5}的方法。城市风道法因地理环境和气象条件的限制,并不适用于所有城市,还应结合城市规划建设综合考虑。

3) 治理雾霾要从社会经济发展模式、能源结构组成、节能减排和降低能耗等多方面综合入手,从根源上解决问题。但是,中国大气污染的治理具有长期性和艰巨性^[19-23],借助人工影响天气开展消减雾霾影响不失为一种有效的尝试。

今后雾霾的研究中,需要在逐渐认识雾霾的基础上加强对人工消减雾霾的研究,专门针对提高空气质量进行人工作业,对其消除雾霾的效果进行实验评估,尝试寻找有效人工影响消减雾霾的突破口。相信随着人工影响天气技术的逐渐成熟,能够探索出更有效的技术方法和手段消减雾霾影响,提高生活质量。

参考文献(References)

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 25.
China Meteorological Administration. The ground meteorological observation specification[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 25.
- [2] 李大山, 章澄昌, 许焕斌, 等. 人工影响天气现状与展望[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 529-543.
Li Dashan, Zhang Chengchang, Xu Huanbin, et al. Weather modification status quo and prospect[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002: 529-543.
- [3] 郭学良, 杨军, 章澄昌, 等. 大气物理与人工影响天气[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 264-383.
Guo Xueliang, Yang Jun, Zhang Chengchang, et al. Atmospheric physics and weather modification[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2009: 264-383.
- [4] 穆穆, 张人禾. 应对雾霾天气: 气象科学与技术大有可为[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 1-2.
Mu Mu, Zhang Renhe. Addressing the issue of fog and haze: A promising way of meteorological science and technology[J]. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(1): 1-2.
- [5] Neiburger M. Weather modification and smog[J]. Science, 1957, 126(3275): 637-645.
- [6] 叶洪涛. 北京将试验“人工消减雾霾”重污染天人工催雨[EB/OL]. (2013-12-19) [2015-01-12]. http://news.china.com.cn/2013-12/19/content_30938450.htm.
Ye Hongtao. Beijing will test "artificial mitigation of haze" on heavy pollution days by artificial precipitation[EB/OL]. (2013-12-19) [2015-01-12]. http://news.china.com.cn/2013-12/19/content_30938450.htm.
- [7] SN094. 北大教授: 用人工降雨减霾效果有限[EB/OL]. (2014-03-06) [2015-01-12]. <http://news.sina.com.cn/c/sd/2014-03-06/155429640169.Shtml>.
SN094. Peking University professor: The effect of artificial precipitation to mitigate haze is limited[EB/OL]. (2014-03-06) [2015-01-12]. <http://news.sina.com.cn/c/sd/2014-03-06/155429640169.Shtml>.
- [8] Guo L J, Guo X L, Fang C G, et al. Observation analysis on characteristics of formation, evolution and transition of a long-lasting severe fog and haze episode in north China[J]. Science China: Earth Sciences, 2014, doi:10.1007/s11430-014-4924-2.
- [9] 卢炯, 袁冬梅. 人工影响暖云过程吸湿性催化研究[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(1): 80-84.
Lu Jiong, Yuan Dongmei. Study on hygroscopic seeding in weather modification with warm cloud process[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2008, 31(1): 80-84.

- [10] 郑永杰, 刘佳, 田景芝. 齐齐哈尔市大气细粒子PM_{2.5}单颗粒研究[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(1): 273-277.
Zheng Yongjie, Liu Jia, Tian Jingzhi. Investigation and analysis of the individual aerosol particles of PM_{2.5} in the atmosphere of the city of Qiqihaer[J]. Journal of Safety and Environment, 2014, 14(1): 273-277.
- [11] Yu S C. Water spray geoengineering to clean air pollution for mitigating haze in China's cities[J]. Environmental Chemistry Letters, 2014, 12: 109-116.
- [12] 俞绍才. 遏制中国雾霾新方法: 每天向城市大气喷水半小时[EB/OL]. (2014-01-30) [2015-01-12]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-1220241-763340.html>.
Yu Shaocai. A new way to contain China's haze: Water spray to urban atmospheric half an hour every day[EB/OL]. (2014-01-30)[2015-01-12]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-1220241-763340.html>.
- [13] Seinfeld J, Pandis S. Atmospheric chemistry and physics[M]. New York: Wiley, 2006.
- [14] 于海冲, 马丽娅. 郑州街头现“防霾神器”雾炮车[EB/OL]. (2015-01-07) [2015-01-12]. <http://leaders.people.com.cn/n/2015/0107/c58278-26339328-3.html>.
Yu Haichong, Ma Liya. An artifact to mitigate haze—fog camion appeared on the streets of Zhengzhou[EB/OL]. (2015-01-07) [2015-01-12]. <http://leaders.people.com.cn/n/2015/0107/c58278-26339328-3.html>.
- [15] 何勇海. 用“城市风道”吹雾霾, 别当笑话看[J]. 环境保护, 2013, 22: 64.
He Yonghai. Blowing fog and haze away with "urban air passage" is not a joke[J]. Environmental Protection, 2013, 22: 64.
- [16] 森澜. 难道驱霾只能靠老天来呼风唤雨?[J]. 世界环境, 2014(2): 12.
Sen Lan. Manage haze, just rely on the wind and rain?[J]. World Environment, 2014(2): 12.
- [17] 徐淼. “等风来”不如规划先行——杭州风道规划评说[J]. 中华建设, 2014(2): 36-39.
Xu Miao. Planning first is better than waiting for wind: Comments on the urban air passage plan in Hangzhou[J]. China Construction, 2014(2): 36-39.
- [18] 新华网. 北京研究“借风”吹散雾霾 把郊外的风引进城区[EB/OL]. (2014-07-02) [2015-01-12]. http://news.xinhuanet.com/energy/2014-07/02/c_1111414387.htm.
Xinhuanet. Beijing studies on "wind" to blow away fog and haze by introducing the wind of outskirts into the city[EB/OL]. (2014-07-02) [2015-01-12]. http://news.xinhuanet.com/energy/2014-07/02/c_1111414387.htm.
- [19] 张小曳, 孙俊英, 王亚强, 等. 我国雾-霾成因及其治理的思考[J]. 科学通报, 2013, 58: 1178-1187.
Zhang Xiaoye, Sun Junying, Wang Yaqiang, et al. Factors contributing to haze and fog in China (in Chinese)[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58: 1178-1187.
- [20] 吴兑. 近十年中国灰霾天气研究综述[J]. 环境科学学报, 2012, 32(2): 257-269.
Wu Dui. Hazy weather research in China in the last decade: A review [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(2): 257-269.
- [21] 侯美伶, 王杨君. 灰霾期间气溶胶的污染特征[J]. 环境监测管理与技术, 2012, 24(2): 6-11.
Hou Meiling, Wang Yangjun. Pollution characteristics of aerosols during haze period[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2012, 24(2): 6-11.
- [22] 宋连春, 高荣, 李莹, 等. 1961—2012年中国冬半年霾日数的变化特征及气候成因分析[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(5): 313-318.
Song Lianchun, Gao Rong, Li Ying, et al. Analysis of China's haze days in winter half year and climatic background during 1961—2012 [J]. Advances in Climate Change Research, 2013, 9(5): 313-318.
- [23] 周强. 京津冀雾霾产生的根本原因及如何治理[J]. 科技资讯, 2014, 8: 125-129.
Zhou Qiang. The root causes of haze and fog in Beijing-Tianjin-Hebei region and how to manage[J]. Information Technology, 2014, 8: 125-129.

(责任编辑 王媛媛)

·学术动态·



中国科协与广州市人民政府签署战略合作框架协议

2015年3月6日,中国科协党组书记、常务副主席、书记处第一书记尚勇,广州市委副书记、市长陈建华分别代表中国科协、广州市人民政府,在北京签署《中国科学技术协会 广州市人民政府战略合作框架协议》,确定中国科协和广州市政府在框架协议基础上重点开展创新驱动助力试点工作。

中国科协与广州市政府的战略合作主要包括以下几方面:一是把中国创新科技成果交流会打造成高品质的创新驱动助力合作平台,推进科技成果和专利技术推广应用。以互联网思维,加强资源集成共享,把科技创新网办成“永不落幕的交易会”。二是要建立合作长效机制。通过学会服务站、院士专家工作站等,组织大院、大所、大学的科技工作者解决技术难题,结合成果转化、产业转型升级、公共服务等重大选题,开展研讨,做好咨询。三是要共同营造创新合作政策环境,争取更多的国家政策支持,促进地方经济社会发展,让助力工程有实效。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/16261441.html>。