经验交流

雾对大气污染物迁移扩散的影响

周斌斌　徐家骝

(上海城市建设学院环境工程系 上海 200092)

摘要 从雾形成和发展过程中热力和动力特征的变化，分析了大气污染物在雾天气下的迁移扩散和清除过程。表明，在某些情况下，雾对污染物有明显的清除作用，在某些情况下，雾可以造成地面高浓度污染。

关键词 雾，大气污染，迁移扩散，清除。

雾是一种常见的灾害性天气，它给交通、航运等带来极大的危害。上海是多雾城市，一年雾天有 30 日之多。雾除了危害交通外，对大气污染也有影响。雾和污染之间的相互作用，有关城市发展以及污染环境中雾的形成等问题，国内外已做过一些工作。如 Hung (1981)的研究表明，在污染环境中，有利于雾的形成和发展。我国重庆的研究表明，地面高浓度污染的发生与雾有相关关系。周淑贞(气象学报，1981) 在研究上海城市雾时指出，城市雾与城市发展和污染水平有关。本文将从雾形成后的动力和热力学特征的变化上讨论雾对大气污染物迁移扩散的影响，同时分析大气污染物的清除或可能造成的地面高浓度污染。

1　雾的热力学特征与污染物的迁移扩散

雾是形成于近地面的小水滴，其半径比雨滴小得多，通常在 20μm 以下。雾滴对可见光具有强烈的散射作用，因此严重地降低了地面大气能见度。陆地最常见的雾是辐射雾。形成辐射雾最重要的热力学条件是地面附近存在较深厚的逆温层。所以有利于雾形成的天气也是容易造成高浓度污染的天气。雾形成后，雾内温度层结的重要特征是逐渐从稳定向不稳定转变。研究表明，没有适当的热力不稳定，雾是很难发展起来的[1]。图1是 1981 年 9 月23日北京中国科学院大气物理研究所 320m 气象铁塔上测到的雾中温度、风速以及湍流交换系数 K_z，它清楚地表明了雾内逆温的破坏和湍流增强的过程。

逆温破坏的原因是雾形成后，雾滴本身强烈的长波辐射作用，补偿了地面的辐射失热，使地面降温速率减慢，甚至会出现地面升温。一般雾形成后，地面净辐射通量可下降到原来的 1/10 左右。另一个原因是雾顶下方有一个辐射冷却极大值区，此区域随着雾顶向上发展而向上移动。这样雾层就象一个"盖子"、不让地面长波辐射穿过其间，而本身则成了一个"等效"冷却面。当雾增厚时，"等效"面向上移动，使雾内原来的稳定层结结构自下而上地遭到破坏，由不稳定层结取而代之，而原来的地面逆温则抬升到雾顶(又称雾顶逆温)，直至逆温完全消失。这种过程非常类似于上午日出后地面逆温抬升、消失，继抬升逆温层下方建立起混合层的过程。雾顶下方的不稳定层结的出现，加强了雾内热力湍流交换作用，如图 1 中显示的交换系数在雾形成后增加了数倍。湍流交换作用的增强，促使原来集聚在雾顶附近的污染物向地面扩散，类似于上午日出后的地面漫烟污染过程。应该说明的是，雾很薄时，或仅出现霭或霾时，逆温不一定被破坏。

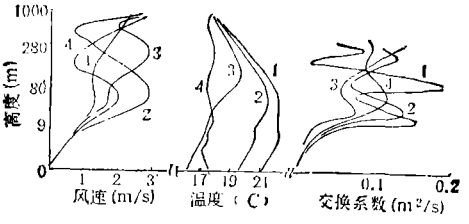

图 1　雾中风速、温度和交换系数随时间的变化
1　19 点　2　23 点　3　5 点　4　6 点

2　雾的动力学特征与污染物的迁移扩散

雾形成后，逆温层结被逐渐破坏，由不稳定层结取而代之，其动力学特征也发生了变化。最主要的是雾内风速不再很小，见图 1。据国外有关观测[2]，雾内存在一种呈周期变化的垂直气流，其频率在 10—30min。有人认为是 Benard 环流，有人怀疑是重力波在起作用。但根本原因是雾内的热力湍流变化引起了动力特征的变化。假设[3]和计算[1]表明，雾顶向上的发展是在辐射和湍流共同作用下呈爆发性增长的。这种爆发

1992 年 9 月 5 日收到修改稿

性增长引起了雾内的湍流强弱、向下的动量输送和地面风速呈间隙性变化，使得集聚在雾顶附近的污染物向下的扩散也呈周期性变化．在雾的平稳期，雾内对流弱，地面污染程度相对轻，在雾的爆发增长期，雾内对流强，污染物向地面的输送加大，引起地面高浓度污染．

3 雾滴运动与污染物的迁移与清除

污染物在雾内的迁移扩散除了与热力和动力因素有关外，还与雾滴本身的运动有关．目前流行的观点认为，雾的含水量仅是空气冷却凝结水的很小一部分[4]．大部分的水量沉降在地面或被建筑物表面所吸收，或在近地面被重新蒸发掉．去除的雾滴则由雾顶冷却区生成的雾滴所补偿．雾滴在作整体沉降时，对周围的污染物产生拽带作用，引起上层污染物向地面的迁移输送，加剧地面污染．另一方面，雾滴在运动过程中会不断吸收周围气态污染物．由于各种气体组分的性质不同，雾滴对它们的吸收情况差异很大．对那些溶解度很大的气体，如 NH_3、NO_x、H_2O_2 等，吸收很强，即使雾滴落到地面，对它们的吸收可能仍未到达饱和．故雾对这些气体的清除很大．有些气体如 CO、CO_2、O_2 等的溶解度很小，雾滴还没有运动多少距离就达到吸收平衡了，雾对它们的清除很小．Hales 认为[4]，在计算吸收时，前者可按不可逆吸收进行，后者则按可逆吸收进行，即计算时要考虑平衡分压的影响．因平衡分压不仅与气体的溶解度有关，还与液相的电离、转化以及酸度有关．对有些气体如 SO_2，Hales 认为要按具体情况，如本身的浓度，水滴大小，在空中的停留时间、水滴内的化学反应等而定，并给出了属于哪一种吸收的判据．本市最近的测量表明，各类雾的平均滴径有明显的差异，对一般的辐射雾，滴径较小，而其它如平流雾、锋面雾或者浓辐射雾，平均滴径较大．按 Hales 的判据，对一般的辐射雾吸收更接近可逆过程．由于滴径小，沉降慢，在空中停留的时间长，到达地面之前就与周围的 SO_2 达到吸收平衡，所以对地面 SO_2 几乎没有清除作用．另一方面，由于雾顶逆温的存在，SO_2 在雾顶附近堆积，其浓度在雾内是随高度增加的．这样，雾滴在上层产生后很快与周围的高浓度 SO_2 达到吸收平衡，然后沉降到低浓度 SO_2 的雾下层．为了与周围 SO_2 继续保持吸收平衡，雾滴中的 SO_2 必须再度挥发出来．如果雾滴很小，在雾底层容易被蒸发，其 SO_2 也随之挥发，仅一部分较大的雾滴落到地面．通过这种在上层吸收到下层挥发或蒸发，大气中的 SO_2 没有被真正清除，而是从上层迁移到了地面．这可能是地面污染程度加剧的另一种机制．对平流雾、锋面雾或浓辐射雾，其雾滴径大，沉降快，在空中运动时间短，在短时间内难以与周围的 SO_2 达到吸收平衡，也不易被蒸发．所以这类雾的吸收接近不可逆过程，清除作用强．当然对难溶气体，这些雾对它们的清除仍很小，对易溶气体，即使是薄雾，也有明显的清除作用．这不是绝对的，因为雾的发展总是从薄雾→浓雾→消散．对同一种雾，发展的不同阶段，对污染物的作用可能也不一样．总之，雾滴的运动对污染物的作用与雾型有关，与气体的性质也有关．

4 实例分析

本文选择 1986 年 11 月 1 日的一次辐射雾，12 月 13日一次平流雾，1987 年 1 月 6 日的一次辐射雾以及 2 月17日的一次锋面雾过程，进行分析讨论，见图 2．

图 2a、b 是两次辐射雾过程中地面每半小时一次的风速、SO_2 和 CO 的测量值．从图中可看到，地面风速在雾形成前均很小，一般不超过 2m/s．当雾形成后，风速有所上升，分别在 11 月 1 日的 07 点和 1 月 6 日的 10 点雾消散前达到很高的值．这说明雾形成后，雾内大气热力稳定性下降，湍流增强，上层动量向下的输送增大．从 CO 和 SO_2 随时间的变化上看，它们有各自的特点．在 11 月 1 日的那次雾中，SO_2 基本上与风速变化一致，即风速增加，SO_2 浓度也上升，风速减小，SO_2 浓度则下降．而 1 月 6 日那次雾中 SO_2 一直处于低水平，直到上午 10 点雾消散后 SO_2 才重新开始上升．原因是 1 月 6 日是浓雾，11 月 1 日是轻雾．轻雾对 SO_2 的清除作用很小，地面 SO_2 的变化与动量一样，仅由雾内的动力和热力因子决定，风速上升，SO_2 浓度也上升，反之亦然．如 11 月 1 日凌晨 05 点雾形成初期，风速为 1m/s 左右，SO_2 浓度为 100$\mu g/m^3$，到了 07 点，风速增大到 2m/s，SO_2 也增加一倍多，达到 250$\mu g/m^3$．此期间风向仍是 SE，没有发生变化，周围的源强通常在08点以后才有所增加．此外，该测点通常 SO_2 最大测量值很少超过 150$\mu g/m^3$．这说明此时 SO_2 的迅速增大是雾引起的．再看低溶解度的 CO，两图均表明，CO 的浓度变化不论是轻雾还是浓雾，基本上均与风速变化一致，并随着风速达到极大而达到极大值．这说明不论是轻雾还是浓雾对 CO 的清除作用很小，即使是浓雾，地面也会发生高浓度的 CO 污染．从图 2c、2d 看，它们对 CO 的清除几乎没有，相反，SO_2 的浓度都很低，说明对 SO_2 清除作用明显．

5 结论

本文结合实例分析讨论了雾对大气污染物的迁移扩散的影响，表明有湍流扩散、对流、雾滴沉降的拽带以及吸收-挥发或蒸发等四种过程会使地面污染物浓度增加，造成严重污染．对溶解度大的气态污染物，大雾可以有效地清除，而轻雾则不能，甚至可以象低溶解性气态污染物一样，在地面造成高浓度污染．

应该指出，本文仅是定性分析，由于例子少，而雾

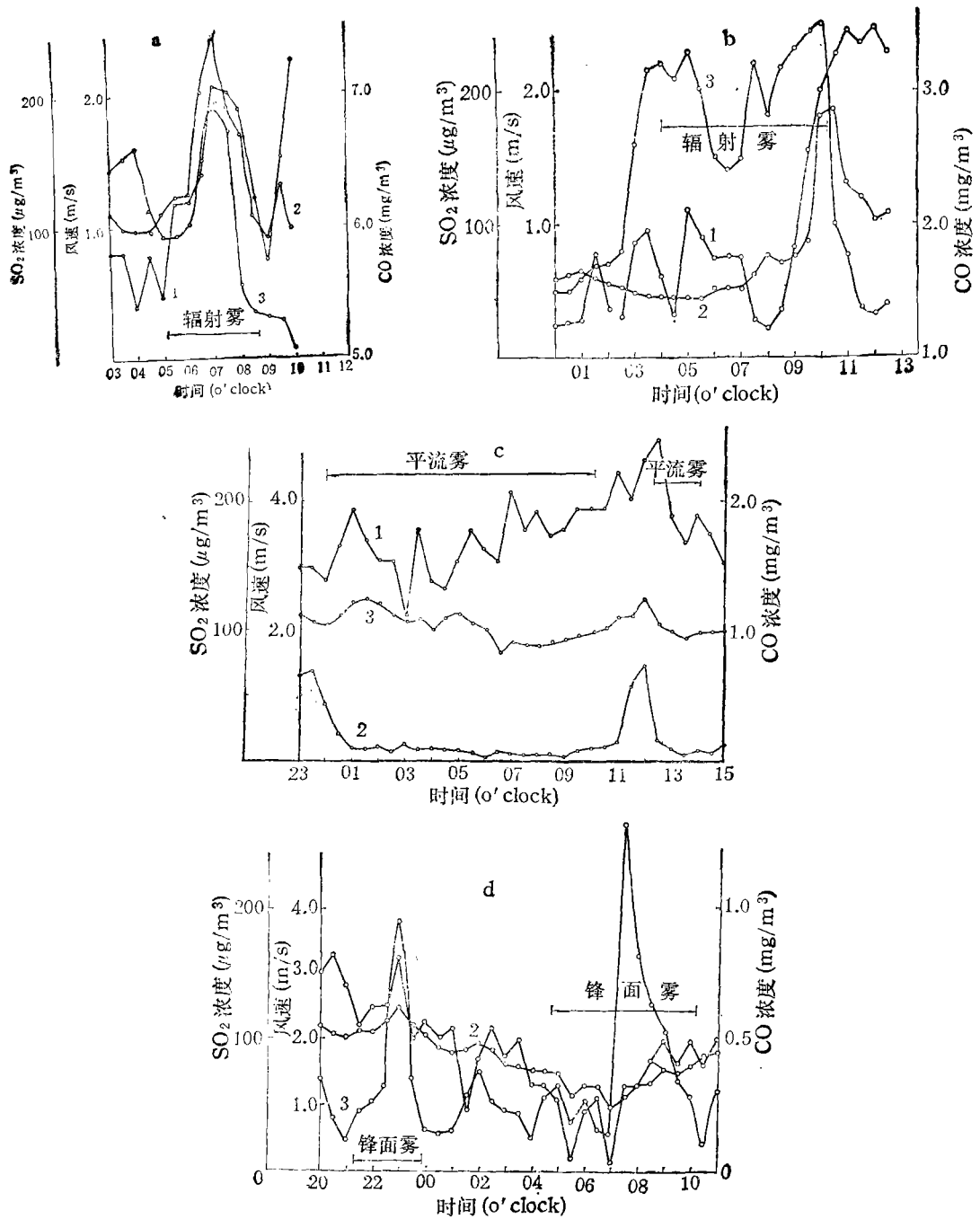

图 2　几种雾过程中地面 SO_2、CO 和风速随时间的变化

a. 1986 年 11 月 1 日，SE　b. 1987 年 1 月 6 日，ESE　c. 1986 年 12 月13日，WNW　d. 1987 年 2 月17日，NW

1.风速　2.SO_2　3.CO

内测量又很困难，也无理论上的计算验证，本文的工作仅仅是初步，很多问题有待进一步地研究和探讨。

致谢　对上海气象研究所提供的雾资料，上海市监测中心提供的监测资料深表谢意。

参 考 文 献

1　周斌斌．气象学报，1987，**45**：21
2　Chaularton T W. *Q. J. R. Met. Soc.*, 1981, **107**: 381
3　Korb G et al., *Tellus*. 1970, **20**: 298
4　Roach W T et al., *Q. J. R. Met. Soc.*, 1976, **102**: 313
5　Hales J M. *Atmos. Environ.*, 1972, **6**: 635

Key words: potassium borohydride, arsenic, antimony, bismuth, mereury, ICP-AES.

The Effects of Fogs on the Transport and Diffusion of Air Pollutants. Zhou Binbin, Xu Jialiu (Dep. of Environ. Eng., Shanghai Institute of Urban Construction, Shanghai 200092): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp.87—89

From the changes of thermodynamic and dynamic characteristics in the process of formation and development of fogs, the transport, difusion and scavenging processes of air pollutants in the foggy weather were investigated. The results show that, on some conditions, fogs can effectively scavenge gaseous pollutants, while on other conditions, fogs may cause severe pollution on the ground.

Key words: fog, atmaspheric pollution, transport and diffusion, scavenge.

《环境科学》简介

《环境科学》是中国科学院环境科学委员会主办的一级学术刊物。创刊于 1976 年。中国科学院生态环境研究中心为主编单位，北京市环境保护科学研究所和清华大学环境工程研究所为副主编单位。

《环境科学》面向我国经济建设和环保实践，报道我国环境科学技术研究新成果、新技术和新方法；交流科学管理环境的新思想、新理论和新经验；介绍国内外环境科学进展和动态。辟有研究报告、研究简报、治理技术、监测与分析、专论与综述、问题讨论、调查与评价、经验交流等栏目。主要读者对象为环境科学科研和教学工作者、工程技术人员、环境管理人员和大专院校有关专业的学生等。

《环境科学》摘要先后被录入美国《化学文摘》(CA)、《生物文摘》(BA)、《美国工程索引》(EI)、日本《科学技术文献速报》、《中国科学文摘》(B 辑)、《中国医学文摘》(卫生学分册)、《环境科学文摘》和《化工文摘》等。

《环境科学》在国际上有较大影响。根据国家科委综合计划司委托中国科技情报于 1991 年完成的"1990 年度中国科技论文统计与分析研究报告"：① 1990 年《美国工程索引》(EI) 收录的我国科技期刊共 27 种，《环境科学》名列其中，是唯一的中国环境科学刊物；② 1990 年美国《化学文摘》列入千名表中的中国科技期刊共 46 种。《环境科学》名列其中，世界排名第 756 位，居我国 3 个入选环境科学期刊之首；③ 1990 年日本《科学技术文献速报》中收录的中国科技期刊共 52 种，《环境科学》名列其中，是我国被收录的唯一环境专业期刊。

《环境科学》荣获 1992 年全国优秀科技期刊评比一等奖，1992 年中国科学院优秀科技期刊评比一等奖和 1990 年优秀科技期刊评比三等奖，并荣获 1992 年北京优秀科技期刊四通奖评比全优期刊奖。

《环境科学》为双月刊，双月底出版，16 开 96 页。每期定价 3.80 元。

国内订购处：全国各地邮电局，邮发代号：2—821

国外总发行：北京市 399 信箱，中国国际书店。

编辑部通信处：北京 2871 信箱，邮政编码：100085，电话：2555129 或 2545511—2138