

论雾与污染的关系

周斌斌

(上海城市建设学院环境工程系, 200092)

提 要

简述了近年来雾的研究进展,并从雾的酸化、雾层内污染物的扩散、雾层对污染物的清除、污染物对雾形成与发展的影响等方面讨论了雾与大气污染的关系。

关键词: 雾 空气污染 沉降 酸化 清除

引 言

雾的气候学特征是众所周知的,它是在一定天气条件下形成于近地面的小水滴,直径一般不超过 $50\mu\text{m}$,平均在 $10\mu\text{m}$ 左右。这些水滴对可见光有强烈的散射作用,严重降低了能见度,危害交通。按其形成机制可分为辐射雾、平流雾和锋面雾等。对陆地而言,以辐射雾为主,但平流雾中辐射也起着重要作用。自 Taylor 在本世纪初首次用科学方法进行辐射雾研究^[1]以来,对雾的研究经历了几个阶段。在60年代之前,人们普遍认为,辐射雾的形成与发展主要决定于小风、晴夜的地面长波辐射冷却^[2,3]。60年代以后,随着测量技术、计算机数值模拟技术以及湍流理论的发展,对雾的研究更深入。这些研究已表明,更重要的因子是湍流作用,以及湍流与辐射的相互作用^[4-6]。目前,对雾的研究主要集中在雾形成发展过程中所产生的准周期振荡以及雾与大气污染之间的关系。对准周期振荡的

产生机制,目前还没有一致的看法。有平流说^[7],湍流间隙说^[7],重力波说^[8],湍流-辐射说^[9],沉降-辐射说^[10]。目前尚不能断定哪种机制起主要作用。但振荡本身将会对地面污染物浓度的变化造成影响。最近作者在上海的观测表明^[11],雾形成后,不仅有关气象要素在振荡,地面污染物浓度也在振荡。人们对雾与污染关系的研究主要包括:污染物对雾生成发展的影响,雾水在污染大气中的酸化,雾水对污染物的清除,雾层内大气边界层的结构变化对污染物扩散的影响等。以下就这几个问题分别进行论述。由于目前对雾天污染物的监测较少,一些过程还不清楚,所以对雾的深入研究,不仅有利于对雾的认识,还有利于了解它与污染之间的关系。我国不少城市地区常年多雾,雾与污染的关系怎样,应引起人们的重视。

1 大气污染对雾的影响

大气污染对雾的影响表现在两个方面:

首先是污染物的存在对雾形成与发展的影响。在污染的大气中存在着大量的亚微米可溶性气溶胶。这些气溶胶大部分是通过二次转化而来的。城市大气主要以硫酸盐为主,比如硫酸铵。从化学性质上讲,它比 NaCl 海盐具有更低的饱和水汽压,故更易潮解。这些粒子在大气中充当了凝结核的作用。据[12]、[13]的研究,在污染的环境中,有助于雾的形成。据[10]、[14]的数值模拟,雾滴内的不同成份,将会造成雾滴折射率的变化,从而影响到雾的辐射特征,雾的生命史等。另一方面,气溶胶过多,对雾的形成也有不利的方面。据[15]的研究,雾层内的过饱和度反比于凝结核的数目。可见当气溶胶太多时,初始的过饱和度不会太大,也不可能形成浓雾。这时只能形成薄雾或霾。而这层霾对城市边界层本身则具有一种加热作用^[16],不利于城市雾的形成。最近上海和重庆市的统计表明,雾日有减少的趋势^[17-18]。究竟气溶胶对雾的形成是否有利看来十分复杂。对上述的气溶胶对雾的双重效应有待进一步澄清。

大气污染对雾的影响的另一面是雾水的酸化。这也是目前研究较多的一个方面。国内尤以重庆市的酸雾研究较为突出^[18-19]。重庆是我国著名的雾都,也是西南重要的工业城市。酸雨、酸雾尤其严重。[19]的研究表明,该市地面高浓度 SO_2 、TSP 的发生与雾有正的相关关系。重庆的雾水酸度较高,并与市区 SO_2 的高值区相对应;雾水中的离子浓度比雨水高数倍;成份也较为复杂,其中以 SO_4^{2-} 为最多,可见 SO_2 以及 SO_4^{2-} 气溶胶在雾水酸化中起主要作用。我国其它地区对雾水酸度也进行过测量,如上海的酸雾,但频率就不及重庆^[17]。此外,不论是重庆还是上海,目前雾水酸度均不及雨水酸度^{[17]、[19]},这一点正好与国外相反^[20]。

雾水中的离子成份类似于雨水。但由于雾滴的尺度、生命史、形成机制、运动方式均与雨滴不同,所以雾水中的化学成份的来源

也应与雨水不同。问题是目前我们仍不能真正了解雾水化学成份及其酸度的真实情况。其原因是雾水的收集较困难。在收集雾水时,很难排除大气中其它粒子,特别是粗模态粒子的影响。众所周知,粗模态粒子在城市中是大量存在的,在我国尤为如此,其平均尺度与雾滴相当,而成份以地壳元素为主,主要产生于风沙、土壤尘、建筑扬尘。水滴在运动中对其它粒子的捕获机制主要有布朗扩散和惯性、重力碰并过程。布朗扩散系数与粒子质量成反比,故布朗扩散是雾滴捕获小粒子的主要机制,而惯性或重力碰并是捕获大粒子的主要途径。但由于雾滴与粗粒子尺度相当,所以雾滴很难捕获到粗模态的粒子。由此看来,雾水中的化学成份主要以一些酸根和存在于细粒子中的成份为主。然而重庆的雾水成份中含有大量的碱金属,特别 Ca^{2+} ,唯一的解释是对雾水样品进行预处理时,仍未排除粒子的干扰。因为在收集雾水时,同时也会将具有与雾滴相同大小的粗粒子收集了。也就是说,这时的样品不纯粹是雾水,而是雾水与粗粒子的混合体。尽管在分析成份之前,要经过过滤,但粗粒子中的碱金属成份已或多或少地溶解在雾水中了。重庆雾水中 Ca^{2+} 浓度过高可能是这个原因。我国雾水酸度不及雨水,可能也是这个原因。所以有必要对雾水的收集技术和成份分析技术进行进一步的改进与提高,才能真正了解雾水的化学特征。

2 雾层对污染物扩散的影响

不论是野外观测还是数值研究均表明^{[5]、[6]},雾在形成与发展过程中是与环境大气相互作用的,即特定的大气边界层会产生雾,而雾发生后又改变边界层特征。通常雾形成于很稳定的大气中,在形成之前,由于地面强烈长波辐射冷却,在贴地空气中形成较深厚的逆温层。但是当雾形成后,雾层对长波辐射的阻挡将会使地面冷却减慢,甚至会导致地面加热。其结果是地面逆温层结构被破

坏,以不稳定层取而代之^[6]。这类似于日出后地面混合层发展的情形。这时往往出现地面熏烟污染。作者在上海市几次雾天地面污染物监测中发现,那些低溶气体如 CO 的浓度往往突发性的^[11]。这说明,雾的形成,对地面污染物浓度确实有显著影响。由于是低溶气体,化学过程不重要,所以这种影响主要来自于雾层大气中的动力和热力过程,或者说是来自于雾层内的层结变化。Bonino 曾用遥感的方法测量过雾层内 SO₂ 的变化以及热力层结构^[21],也发现了雾层内的混合层和高浓度的 SO₂ 污染水平。最近作者分别模拟了雾形成前后烟羽的扩散特征^[15],见图1、图2。

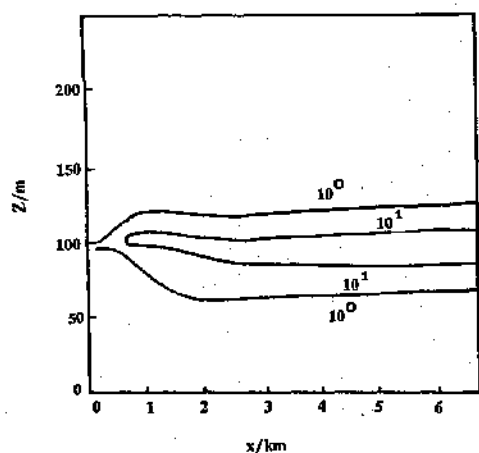


图1 雾形成前烟羽浓度分布

单位: $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

图中显示出在雾形成前后,烟羽形状有很大的差异。在雾形成之前,烟羽很窄,10km 还未接地。说明在雾形成之前扩散是很弱的。但雾形成后,烟羽下半部变宽,并在较近的距离接地,而烟羽的上半部分仍受到限制。烟羽下半部扩散增强是地面混合层发展造成的,而上半部扩散受限制是由于在雾顶以上仍是逆温。可见雾内的层结结构造成了烟羽上部的污染物堆积,而下部迅速向地面输送。该计算没有考虑化学过程,故可以用来解释在雾天地面监测到的低溶气体的高浓度现象。

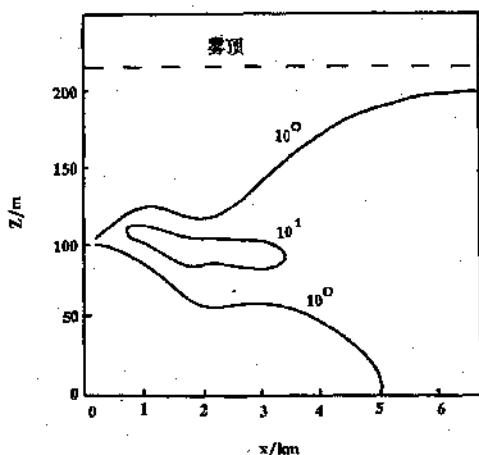


图2 雾形成后烟羽浓度分布

单位: $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

3 雾层对污染物的清除

污染物被云、雨清除是大气中污染物自净的重要过程。目前,人们对云、雨酸化以及云雨对污染物的清除过程已进行了广泛的研究,但对雾化学过程了解甚少。人们一般借助于对云雨化学的知识来了解雾化学过程。然而,由于雾滴与云、雨滴的形成机理、谱分布、运动特征都不同,所以雾滴与污染物的作用过程也不同,对污染物的清除作用也不同。

我们在上海的地面监测表明,在雾天, SO₂ 地面浓度与雾的类型有关,与雾的浓度也有关^[11]。后来的理论计算则表明^[22],若雾层内有高架源 SO₂ 存在,则雾层内的酸度分布与 SO₂ 烟羽分布有关。在排放口最酸,在烟羽上半部,雾水对 SO₂ 有较强的吸收,但在烟羽的下半部,雾水对 SO₂ 的吸收很小,甚至出现液相疏的析解,结果是地面 SO₂ 非但没有被清除,反而因为这种析解作用使浓度上升,见图3、图4。在该计算中假设雾层厚200m,含水量为 $0.5\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,不随高度变化,滴谱为 Γ 分布, SO₂ 源高为100m,排放强度为 $1\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$,雾水中的硫析解的原因是在排放口附近,雾滴较酸,加之雾滴下落速率很慢,雾滴与环境

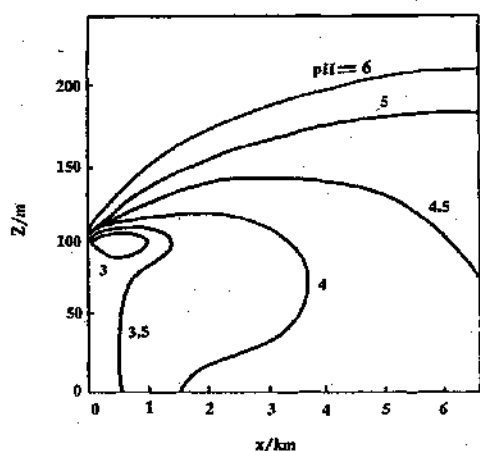


图3 雾层内 pH 值分布

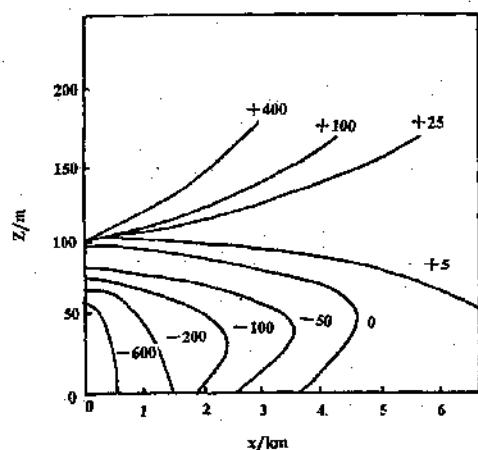


图4 雾层内清除率分布

单位: $\% \cdot \text{hr}^{-1}$; 大于0表示清除, 小于0表示析解

SO_2 有足够的时间达到溶解平衡。所以当雾滴自上而下穿过 SO_2 烟羽时, 一旦雾滴脱离 SO_2 烟羽后, 雾滴中的硫分将挥发出来。这种作用相当将高层的 SO_2 输运到地面附近, 雾滴没有真正清除 SO_2 , 若雾层维持数小时, 将造成高架源原来的最大落地浓度距离后退, 浓度上升, 见图5。雾层的这种作用应引起人们的注意。对多雾地区, 在污染物预测时, 应充分考虑雾层的这种不利影响。显然, 对高架

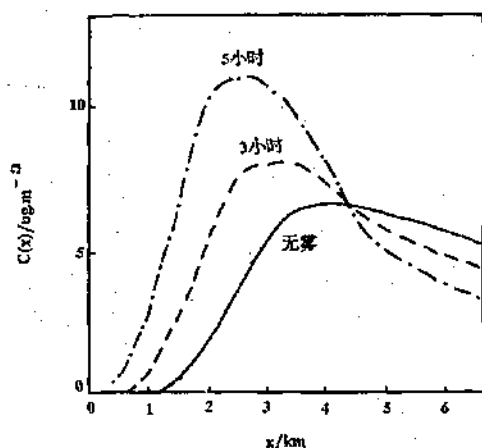


图5 雾前及雾后3小时、5小时地面轴线浓度分布

源, 由于其烟羽在地面的反射点较近, 浓度随高度是递减的, 所以析解作用不十分强, 详见 [22]。应该指出的是上面的计算是相当简化的, 没有考虑含水量随高度的分布。对一般雾, 特别是辐射雾, 雾滴是产生于雾顶而沉降于地面的。按 Bott 的数值模拟^[10] 和在我国成都双流机场的观测^[23], 雾滴是一批批向地面沉降的, 每批均伴随一个含水量的极大值向地面移动的过程。[15] 的研究则表明, 在极大值下移过程中, 含水量本身则在不断增大, 即雾形成初期, 含水量极大值位于雾顶, 当雾增厚时, 雾水极大值将下移。这种过程将会影响到雾对污染物的清除—析解。仍以高架源 SO_2 为例, [15] 分别对含水量极大值在雾中上层和在雾底(地面)时作了定量计算, 见图6、图7。

图6 表明, 当雾水含水量极大值位置较高时, 地面析解作用也大。图7则表明, 当含水量极大值下移至地面附近时, 由于含水量本身有所增大, 析解作用则减弱。这一点与前一计算有所不同。总之薄雾、轻雾, 由于它们的含水量极值一般位于雾顶, 所以地面析解也强, 这可以解释我们在上海监测到的轻雾地面高浓度 SO_2 污染的现象^[11]。

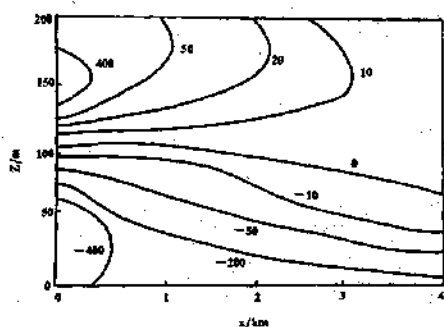


图6 轻雾含水量峰值位于雾上层100m时,清除率分布
单位:同图4,“+”表示清除率,“-”表示析解率

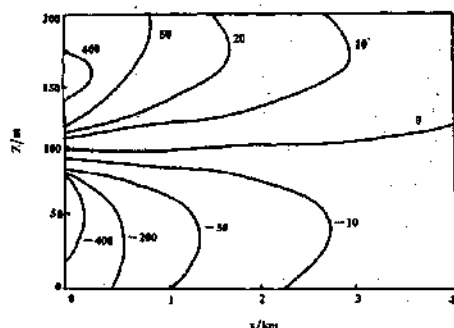


图7 浓雾含水量峰值位于地面2m时,清除率分布
说明同图6

4 总结

本文从雾的形成及发展过程中,大气边界层的变化以及雾的宏观特征讨论了雾水酸化、雾层对污染物的清除、雾层内污染物的扩散以及污染物的存在对雾的影响等方面的问题。表明,雾与污染之间的关系是非常密切的,它们之间是相互影响的。污染对雾的影响反映在城市气溶胶对雾形成的正负双重作用;雾水的酸化所造成的酸雾。雾对污染的影响表现为,雾内大气层结改变时造成地面高浓度污染,以及雾滴中的硫析解所造成的地面高浓度污染。而雾含水量的垂直分布不同会加剧这种析解作用所造成的地面污染程度。

最近国外已有人提出一种叫烟雾—雾—烟雾循环的机制^[23],应引起我们的注意。总之,雾不仅是危害交通的恶劣天气,也是造成地面严重污染的不利天气。在评价和预测大气环境质量时,应对雾给予充分的重视。

参考文献

- 1 Taylor, G. I.. The formation of fog and mist. Quart. J. R. Meteor. Soc., 1917, XLIII, 2416—2468.
- 2 Fleagle, R. G.. A theory of fog formation. J. Marine Res., 1953, 12, 43—50.
- 3 Funk, J. R.. Radiative flux divergence in radiation fog. Quart. J. R. Meteor. Soc., 1962, 88, 375—378.
- 4 Rodhe, B.. The effect of turbulence on fog formation. Tellus, 1962, 14, 49—86.
- 5 Zdunkowski, W. G., et al. A radiation-conductive model for the prediction of radiation fog. Boundary Lay. Met., 1972, 3, 155—177.
- 6 周斌斌, 辐射雾和数值模拟. 气象学报, 1987, 45(1), 21—29.
- 7 Roach, W. T., et al. The physics of radiation fog. I—a field study. Quart. J. R. Meteor. Soc., 1976, 102, 313—348.
- 8 Duynkerke, P. G.. Observation of a quasi-periodic oscillation due to gravity waves in a shallow fog. Quart. J. R. Meteor. Soc., 1991, 117, 1207—1224.
- 9 Welch, R. M.. Prediction of Quasi-Periodic Oscillations in Radiation Fogs. J. Atmos. Sci., 1986, 43(7), 633—651.
- 10 Bott A., et al. A radiation fog model with detailed treatment of the interaction between radiative transfer and fog microphysics. J. Atmos. Sci., 1990, 47(18), 2153—2166.
- 11 周斌斌, 徐家骝. 雾对污染物迁移扩散的影响. 环境科学, 1993, 14(1), 77—79.
- 12 Hung R. J. et al. Advection fog formation in a polluted atmosphere. JAPCA., 1981, 31(1), 55—61.
- 13 Bott A.. On the influence of the physico-chemical properties of aerosols on the life cycle of fog. Boundary Lay. Met., 1991, 56, 1—31.
- 14 Hanel G.. The properties of atmospheric aerosols particles as function of relative humidity. Adv. Geoph., 1976, 19, 73—188.
- 15 周斌斌. 雾对烟羽的扩散、清除及雾滴的酸化的数值研究总结报告. LAPC, 中国科学院大气物理研究所.

- 1993.
- 16 王海啸等, 城市气溶胶对太阳辐射的影响及其边界层温度变化中的反映. 第四届全国气溶胶学术会议论文集, 合肥, 1992.
- 17 上海气象局, 上海市城市雾研究总结报告, 1991.
- 18 李子华, 重庆市低劣的气象能见度与气溶胶的关系. 第四届全国气溶胶学术会议论文集, 合肥, 1992.
- 19 陈桂元等, 重庆雾水组分、酸雾频率及大气质量关系. 重庆环境科学, 1990, 12(4), 13—17.
- 20 Waldman J. M. et al. Chemical composition of acid fog. Science, 1982, 218, 677—682.
- 21 Bonino G. et al. Air Pollution Modeling and Its Application. IV., 1985, 601, 620.
- 22 周斌斌, 雾对 SO_2 烟羽的清除研究. 上海环境科学, 1993, 10, 19—22.
- 23 Pandis S. N., Smog—fog—smog circulation and acid deposition. J. Geophys. Res., 1990, 95 (D11), 18489—18500.

On the Relationship between Fog and Air Pollution

Zhou Binbin

(Shanghai Institute of Urban Construction, 200092)

Abstract

The progress in studying fogs is summarized and the relationship between fog and air pollution is discussed from the acidification of fog water in polluted air, the deposition of air pollutants within fog layer, the scavenging of fog to air pollutants and the effects of air pollutants on formation or evolution of fogs. The author shows that fog events should be noticed in assessing or predicting air quality.

Key Words: fog air pollution deposition acidification scavenging