

北京地区大气能见度与大气污染的关系初探

苏维瀚 张秋彭 沈 济 殷兴军 宋文质 李三民 路洪荣 罗 超

(中国科学院环境化学研究所)

提 要

1981年秋冬两季在北京地区十一个监测点进行了两次大气污染状况测量,每次各约十天,取得了 SO_2 、总颗粒物、 SO_4 、0.3—10微米颗粒物密度、大气能见度等数据。讨论了北京地区大气能见度变化与大气污染的关系。指出北京地区在10年内(1970—1979)平均大气能见度降低6—10公里,在采暖期低于4公里的能见度出现几率增加了10倍。现场实验结果表明,硫酸根、颗粒物浓度、相对湿度和<10微米颗粒物密度的增加会降低大气能见度。其中硫酸盐对大气能见度的影响较为突出,而且在大气中硫酸盐与水汽作用发生潮解,其协同效应更为显著。

本文指出,燃煤量增加、大气污染严重和气象条件等可能是1977年12月连续发生三天大气能见度严重降低的原因。在能源消耗量逐年增加的情况下,建议改善能源结构、改用型煤、制订污染物的控制指标、最高指标和警报指标,以保持较好的大气能见度。

一、前 言

北京地区煤炭占能源消耗量的80%。1970年以来用煤量每年增加近百万吨。煤炭燃烧时排放出大量气体和固体污染物。烟气中的细小颗粒物和由 SO_2 等气体污染物转化形成的细小颗粒物在污染大气中飘浮,形成气溶胶体系,它会增加对光的吸收和散射作用。使大气能见度降低、影响气候和交通,甚至造成严重污染事件。作为大气污染的直接后果之一是大气能见度的变化。在1微米以下的细小粒子中,80%左右是由气体污染物转化形成的^[1]。因此大气能见度与大气污染物的迁移转化有密切关系,大气能见度是大气污染程度的一个表现指标。

最近十多年来西欧和北美对燃煤产生的二氧化硫的污染和去向问题做了大量研究工作,尤其关心硫酸盐污染问题。初步发现大气中二氧化硫转化为硫酸盐的速率依气象条件及污染状况而不同,约为每小时1—10%。硫酸盐对大气能见度的影响和对人体健康的危害是大气污染的后果之一。1977年在南斯拉夫,1977年在保加利亚、1981年在美国举行过世界性的科学报告讨论会,讨论大气中硫的转化迁移及大气能见度等问题。我国城市燃煤污染问题比较严重,由燃煤污染造成大气能见度降低的问题尚待研究。

1981年10—12月科学院环委会在北京地区组织进行了两次大气污染化学和物理研究的现场测量工作。我们初步研究了大气污染对大气能见度的影响问题。

二、大气能见度及城市燃煤对其影响

普通大气是包括气体和颗粒物的气溶胶体系。大气气溶胶的光学性质是由它的固定成分(氧、氮等)和可变成分(主要是悬浮颗粒物和微小水滴)所决定。描述大气消光性质的参数 b_{ext} 称为消光系数。

大气能见度一般是指大气的清澈程度和清楚地看到远处目标的可能性。白天的能见度为在水平方向肉眼能看到的黑色目标的最远距离 V_r , 这个能见距离就是特定目标和背景光之间的视反差, 等于观测者的反差极限时的距离。用 Koschmieder 公式能见度 (V_r) 可表示为:

$$V_r = \frac{-\ln(C/C_0)}{b_{ext}} \quad (1)$$

此式表示出能见度与消光系数和反差值的关系。其中 C_0 为 $V_r = 0$ 时的反差值, 某 V_r 处的反差值为 C 。理论上 $C/C_0 = 0.02$, 但 $C/C_0 = 0.055$ 更适合观测能见度的实际情况。在污染大气中对能见度影响较大的硫酸盐和硝酸盐等成分不太吸收光, 使光散射系数和消光系数值接近, 即

$$b_{ext} = b_{scat}$$

所以在飞机场等处使用公式为:

$$V_r = \frac{-\ln 0.055}{b_{ext}} = \frac{2.9}{b_{ext}} = \frac{2.9}{b_{scat}} \quad (2)$$

在没有颗粒物和水汽的清洁空气中, 理论上 $V_r = \frac{-\ln 0.02}{1.2 \times 10^{-5}} \approx 300$ 公里。但实际上某些自然因素造成能见度低于 300 公里, 而污染大气的能见度有时仅 10 公里或 10 公里以下, 可见大气污染对能见度影响的严重性。

大气污染破坏环境的现象和后果之一是大气能见度降低、视野缩小, 严重时会给海陆空交通造成重大事故。京津地区 1977 年 12 月曾发生一次严重雾霾事件, 能见度降低到几乎使交通停顿的状态。

表 1 1977 年 12 月 21—23 日北京地区大气能见度情况

时次 日期	能见度 [公里]			
	2 时	8 时	14 时	20 时
12 月 21 日	4~10	1~2	4~10	4~10
12 月 22 日	4~10	0.5~1	1~2	0~0.05
12 月 23 日	0~0.05	0~0.05	0.2~0.5	10~20

由表 1 可见北京地区这三天的大气能见度甚低, 也是七十年代以来大气能见度最低的一次。

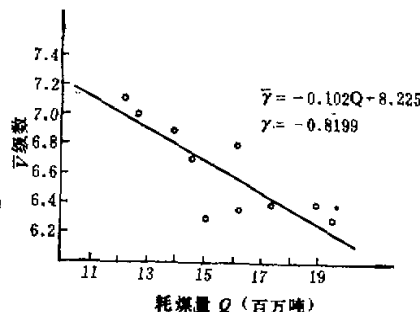
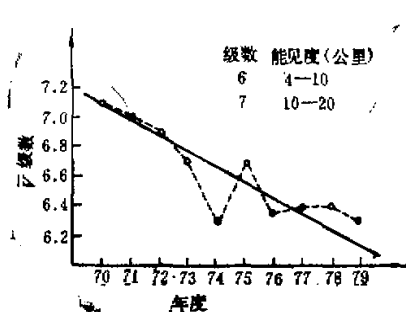


图1 北京市1970年—1979年大气能见度的变化 图2 能见度年平均级数($\bar{Y}$)与年耗煤量(Q)的关系

我们对1970年至1979年十年间的能见度年平均随年度的变化做了统计,变化趋势见图1,即在十年内大气能见度平均值从7级降低到6级,相当于从10—20公里降低到4—10公里。1979年能见度平均值仅为1970年能见度平均值的一半,这是一个可观的变化。

大气能见度与气象条件和大气污染程度有较密切的关系。气象条件在短时期内或小区域内其平均状况变化不太大。大气污染程度在小区域内主要取决于能源种类和消耗量。北京地区的能源中煤炭约占80%,其消耗量逐年增加,近十年来平均每年增加量为

75万吨。我们对1970—1979年大气能见度的年平均与年耗煤量做了相关处理,结果见图2。图中纵座标为能见度级数,横座标为以百万吨计的年耗煤量。它们的负相关系数为0.82,年耗煤量每增加一百万吨,能见度降低0.1级,在6级和7级之间相当于每年降低0.6—1公里,说明燃煤对大气能见度的影响。对每年能见度 ≤ 4 公里的出现几率与年耗煤量的相关处理结果见图3。图中纵座标为能见度 ≤ 4 公里出现几率。结果表明,相关系数约为0.97,随燃煤量的增加,能见度低于4公里的年出现几率也增加。在采暖期内,低于4公里的能见度每年出现的几率更大。在1970年为0.0361,在1979年为

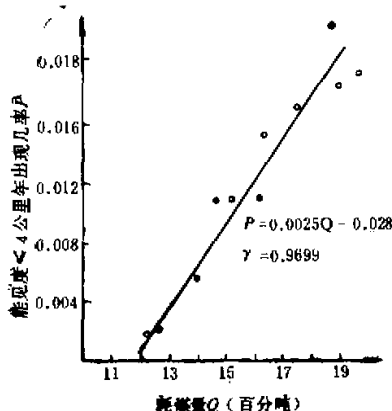


图3 小于5级能见度(≤ 4 公里)年出现几率与煤消耗量的关系

0.342,即10年内增大了10倍。北京地区如果燃煤量增加幅度更大,而污染源的颗粒物和二氧化硫的治理工作仍停留在目前的水平上,则能见度的降低可能会更加严重。

三、形成大气能见度降低的几个主要因素

大气污染和气象条件是造成大气能见度降低的根本原因。为了寻找解决大气能见度

降低的对策, 需要掌握影响大气能见度的主要因素。近十年来国外在大气能见度与大气污染的关系方面做了一些工作, 现将某些数据列于表 2。从表 2 可见各城市大气光散射系数与各种污染物的相关关系不尽相同。这可能与能源结构和气象条件有关。在燃煤较多的地方硫酸根的影响比较大, 但有的地方硝酸根与光散射系数的关系比硫酸根还要密

表 2 大气光散射系数与气溶胶颗粒物的某些成分的相关系数

作 者	时间	地 点	相 关 系 数					
			总颗粒物	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	有机物	铅	镍
Lundgren ^[1]	1970	Riverside U. S. A.	0.94	0.72	0.94	—	—	—
Grasjenan ^[2]	1975	Pasadena U. S. A.	0.82	0	0.56	0.19	—	—
Cass ^[3]	1976	Downtown Los Angeles U. S. A.	0.4	0.62	0.09	—	—	—
White ^[4]	1977	Los Angeles U. S. A.	0.91	0.58	0.78	0.59	0.09	0.08
Trijonis ^[5]	1978	Phoenix U. S. A.	0.31	0.81	0.71	0.31	—	—
Trijonis ^[6]	1978	Salt Lake City U. S. A.	0.54	0.5	0.59	—	—	—
Homolya ^[7]	1979	U. S. A.	0.69	0.94	0.23	—	—	—
环化所 ^[8]	1980	天津	0.81	0.88	—	0.55	—	—

切, 这可能与以石油产品为主要能源有关。铅和镍是气溶胶颗粒物的无机物中与燃料燃烧排污密切相关的污染物, 它们与大气光散射系数的相关系数仅为 0.09 和 0.08, 与大气能见度变化的关系较小。我们在天津的工作^[8]表明, SO₂ 等气体污染物对大气能见度的影响不大。硫酸根、总颗粒物、相对湿度等对能见度的影响比较突出。所以以本现场测量的数据为基础对大气能见度的变化与硫酸根浓度、总颗粒物浓度、相对湿度、颗粒物数目的关系做初步的探讨。

1981 年 10 月和 12 月在北京地区进行了两次现场测量实验, 每次工作十天。测量采样点有: 东单、和平门实验小学、针织一厂、龙潭湖公园、中关村、大气所铁塔、南苑、通县、香山植物园、怀柔、廊坊共十一处。用 KB-120 大气采样器采集气溶胶颗粒物, 每天 7—9、11—13、15—17、18—20、23—01 时, 各采样一次。分析了颗粒物中的 SO₄²⁻ 及其它阴离子。用 KZL-SO₂ 监测仪全日连续测量 SO₂ 浓度。风向、风速、气压、相对湿度、大气能见度等气象数据, 部分是在测量点就地测量, 部分来源于附近气象站。在同一时间范围内取得的大气污染物浓度数据和气象数据即为一套同步数据。在本实验中共取得数据近九百套。以这些数据为基础, 以一元回归方法处理了大气能见度与 SO₄²⁻、总颗粒物、相对湿度的关系, 结果见表 3。表 3 的数据表明在城市中大气能见度受颗粒物和硫酸根的影响较

表 3 大气光散射系数与 SO₄²⁻、总颗粒物、相对湿度的关系, $b_{rel} = a + bx$

因 子	系 数	市 区			郊 区		
		地 点			地 点		
		a	b	r	a	b	r
SO ₄ ²⁻		0.12	0.032	0.828	0.0079	0.016	0.883
TSP		0.017	0.00059	0.700	0.078	0.00034	0.576
RH		0.061	0.01	0.526	0.059	0.0053	0.703

大,它们的相关系数 r 分别为 0.700 和 0.828,大气能见度与相对湿度的关系较小,相关系数仅为 0.562。其中硫酸根的 r 值和 b 值均较颗粒物的相应数值大。 b 值大表示硫酸根浓度的变化对大气能见度的影响大。在郊区,相对湿度和硫酸根对大气能见度的影响显得突出,它们的相关系数分别为 0.705 和 0.883。颗粒物的影响不甚显著,这可能是由于郊区大气中含颗粒物较少,有时可低到 10^{-1} 毫克/米³,甚至比城市颗粒物浓度低二个数量级。而郊区硫酸根浓度的数值虽低于城市,但在颗粒中的相对份数却高一些,以致硫酸根和相对湿度对大气能见度的影响稍大一些。水汽、雾滴本身会增大光的吸收和散射,因而它会对大气能见度的降低有贡献。同时,由于硫酸盐等与水汽在大气中的潮解作用而发生的协同效应,对大气能见度的影响也不可忽视。故在硫酸根浓度高、相对湿度也大时大气能见度很低。

Friedlander 的工作表明,颗粒物中硫酸盐在造成大气能见度降低方面的贡献的比例百分数比其在颗粒物中的重量百分数大一倍^[9],这正好说明硫酸盐在降低大气能见度方面的重要性,也是在城市和郊区硫酸盐对大气能见度的影响显得突出的原因。这是大气污染物化学组成对物理现象(大气能见度)作用的一个例子。北京地区能源中的 80% 是

煤炭,因此硫酸根对大气能见度的影响是可以理解的。同时硝酸根浓度虽然比较低,约为硫酸根的 0.1—0.2,但也对降低能见度有一定的作用,尽管它的影响小于硫酸根^[9]。颗粒物中含碳化合物对能见度的影响需进一步研究。

在实验期间测量了大气中 0.3—10 微米颗粒物的密度。颗粒物密度变化状况见图 4。其基本趋势是早晨大,傍晚次之,中午较低;在晚八时至十二时这段时间内一般并不很低,午夜后至黎明前的数值较低。郊区颗粒物密度平均值约为市区的 1/3 至 1/2。早晨颗粒物密度

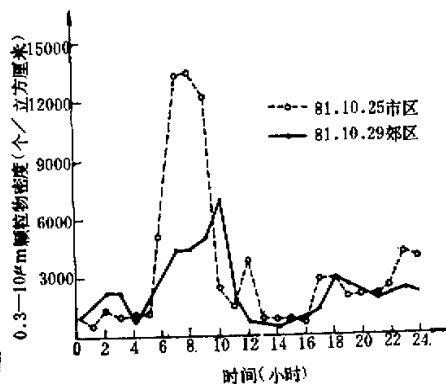


图 4 北京地区颗粒物密度日变化

较大和晚上颗粒物密度并不太低的现象,一方面可能与生产、生活活动有关,另一方面可能与逆温层的存在有关。此外造成这个现象的一个值得注意因素,是污染物形成气溶胶颗粒物的光化学反应和暗反应的贡献。因为这种化学反应会形成新的细微颗粒或使已有的颗粒物长大而增大颗粒物密度。这是大气污染化学值得注意的研究对象,对控制大气污染的决策也有实际意义。在天气晴朗时能见度达 30 公里以上,颗粒物密度约为 200 个/厘米³或更低。当能见度低于 2 公里时颗粒物密度可达 4000 个/厘米³以上,个别数值更大些。10 月 26 日早晨风速甚低,小于 1 米/秒,存在着多层逆温层,相对湿度为 77%。此时颗粒物密度为 4777 个/厘米³,硫酸根最大浓度达 46.9 微克/米³,颗粒物浓度为 0.9 毫克/米³,在这种状况下大气能见度在 2.5 公里以下。为了便于比较,将本次实验得到的能见度较好和较差时的有关数据列于表 4。

由表 4 的数据可以看出,当风速较大,相对湿度、 SO_4^{2-} 和 TSP 的浓度、颗粒物密度较

表4 本次实验的几个不同能见度的大气状况

能见度	40	30	20	10	4	<2
风向	西北	北	东北	北	西北西	北
风速(米/秒)	3.3	2.0	2.3	1.0	0.3	1.0~10
温度℃	4.2	9.4	-2.9	9.6	10.7	2.2
相对湿度(%)	22	32	43	73	68	78
SO ₂ ⁺ (微克/米 ³)	6.04	8.8	11.9	21.54	29.58	>30
TSP(毫克/米 ³)	0.29	0.64	0.76	0.84	1.05	>1.0
颗粒物密度(个/厘米 ³)	185	700	1656	2001	4188	>4000

小时能见度较好。相反,则能见度较差。因此,从目前已有的数据可认为大气能见度会随大气污染程度的增加而变劣。北京的大气能见度受SO₂⁺浓度、TSP浓度和10微米以下颗粒物数密度的影响较大,而它们主要是燃烧排放的污染物。燃煤量逐年增加,污染物排放量增大,以及不良的天气条件可能是1977年12月下旬北京地区连续三天大气能见度严重降低的原因。在北京目前的能源结构情况下,煤炭占能源的80%,如欲改善大气能见度,需要通过适当改变能源结构,加强燃煤污染源的治理工作(如脱硫、消烟除尘),改用型煤等措施来降低污染物的排放量。同时需要根据研究工作结果,对大气中的SO₂⁺浓度、TSP浓度和小于10微米的颗粒物密度等,制订合理的控制指标,例如对SO₂⁺在10—20微克/米³之间提出分级控制指标,对TSP要求在0.6—0.7毫克/米³以下,小于10微米的颗粒物数密度在2000个/厘米³以下等等。

四、结 语

1. 北京地区平均大气能见度在1970年—1979年十年内降低了6—10公里,平均每年降低0.6—1公里。1979年能见度平均值仅达1970年的一半。在采暖期低于4公里的能见度的出现几率在1970年至1979年间10年内增加了10倍。

2. 现场测量实验结果表明:北京地区大气能见度的变化受大气中的硫酸根浓度、颗粒物浓度、相对湿度和10微米以下的颗粒物密度的影响较大。随着它们数值的增大,大气能见度降低,硫酸根的作用比较突出。在大气能见度降到2公里以下时,硫酸根浓度大于30微克/米³,颗粒物浓度大于1毫克/米³,相对湿度大于70%,颗粒物密度大于4000个/厘米³。

致谢:颗粒物浓度数据是中国科学院大气物理研究所任丽新等同志提供的。作者在此谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Lundgren, D. A., 1970, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 20, 603.
- [2] Grosjean, D. et al., 1975, *ibid.*, 25, 1038.

- [3] Cass, G. R., 1976, EQL, Memorandum, No. 18, California Institute of Technology, Pasadena California.
- [4] White, W. H. et al., 1977, *Atmos. Environ.*, 11, 803.
- [5] Trijonis, J. et al., 1978, EPA 600/3-78-039.
- [6] Trijonis, J. et al., 1978, EPA 600/3-78-075.
- [7] Homolya, J. B., 1979, *Atmos. Environ.*, 13, 1099.
- [8] 苏维瀚等, 1982, 环境科学学报, Vol. 2 No. 4, 229.
- [9] Friedlander, S. K., 1977, *Smoke, Dust and Haze*, John Wiley and Sons, Inc. N. Y.

THE RELATIONSHIP BETWEEN VISIBILITY AND AIR POLLUTION IN BEIJING

Su Weihai Zhang Qiupeng Shen Ji Yin Xingjun Song Wenzhi
Li Sanmin Lu Hongrong Lo Chao

(*Institute of Environmental Chemistry, Academia Sinica*)

Abstract

The air pollution field experiment was conducted at 11 stations of Beijing area in the autumn and winter of 1981. Sulfate, total particulates, sulfur dioxide, concentration of particulates with diameter between 0.3 and 10μ , visibility and other meteorological data were collected twice with ten days for each. The relationship between visibility and air pollution in Beijing area shows that during the period of ten years (1970—79), the mean visibility was decreased by 6—10 Km and the frequency of visibility less than 4 Km in winter was increased by 10 times. The field experiment has indicated that the increasing of concentration of sulfate and particulates, relative humidity, and the number of particulates of 0.3— 10μ would decrease the visibility. Sulfate is one of the most sensitive parameters which reduce the visibility, especially the synergistic effect with humidity. It is suggested that the structure of energy source be improved, the standards of emission and ambient concentration of pollutants be set up in order to improve visibility while the consumption of energy source has been increasing.