

空气污染对天津市能见度的影响

沈 济 殷兴军 宋文质 路洪荣 苏维瀚

(中国科学院环境化学研究所)

袁纪文 郑学海 沈士珍

(天津市环境保护监测站)

摘 要

用主成份分析法研究了天津市近郊区空气污染对能见度的影响,证明当空气污染物浓度高同时相对湿度大时能见度降的最低。在天津市近郊区空气污染对能见度的影响大于相对湿度等对能见度的影响。

煤炭是我国主要能源,燃煤排放的气体 and 固体污染物飘浮在大气中,降低了大气能见度。西欧、北美大量使用高烟囱排放,造成了区域性能见度降低,我国目前燃煤仍是低空分散排放,空气污染如何影响能见度有待研究。

我们已经报导了能见度和大气组分的光散射系数和光吸收系数之间的关系。空气污染物对能见度的影响^[1]和用主成份分析研究空气污染大气物理化学过程^[2]。本文报导用主成份分析研究天津地区空气污染对能见度的影响。

1. 实验及数据收集

1980—1981年度天津市大气质量评价现场实验已多次报导^[3-5]。1980年7月、12月和1981年6月份在天津市气象局及其所属的南、西、北气象站和位于东郊的天津市民航机场气象台设了空气污染监测点,天津市气象局及其所属台站每日观测能见度4次,天津机场气象台逐时观测能见度。

能见度是经过训练的气象观测员在水平方向上肉眼能看到的白天的黑色目标物或夜晚灯光的最远距离 V_r 。在机场等处Koschmiedre公式为

$$V_r = \frac{2.9}{b} \quad b \text{ 为消光系数}^{[1]} \quad (1)$$

选用在观测能见度时该气象台站的气象数据和空气污染监测数据,可能影响能见度的参数、导出函数及其选取理由列于表1。

有机气体污染物是空气污染的重要组成部分,但未选入,因为计算时需要样本的全部数据,否则删去这次测量的数据。如果加入有机气体污染物删去的数据太多,可能会降低考察其他因素影响能见度的统计性。

表 1 变 量 及 导 出 函 数

变 量	表示符号	单 位	选 用 理 由
消 光 系 数	b	km^{-1}	因变量
硫 酸 盐	SO_4^{2-}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	二次污染物的代表
总 颗 粒 物	TSP	mg/m^3	燃烧一次排放物
二 氧 化 硫	SO_2	mg/m^3	燃烧一次排放物, 形成硫酸盐的前驱
氮 氧 化 物	NO_x	mg/m^3	燃烧一次排放物
气 温	T	$^{\circ}\text{C}$	描写季节变化
日 温 差	TD	$^{\circ}\text{C}$	指示日内温度变化
相 对 湿 度	RH	%	大气中水蒸气的相对含量
绝 对 湿 度	AHUM ¹	mbars	大气中水蒸气的分压
相对湿度倒数	IRH ²		和气溶胶中水含量有关
风 速	WS	m/s	和空气传输、扩散有关
风 向	WD ³		和气象台站在城市的上下风有关
风速倒数	IWS ⁴		和空气传输、扩散有关
函 数 SR	SR ⁵		描写硫酸盐与大气水分子的协同作用

$$(1) \quad \text{AHUM} = (\text{RH}/100) \cdot 10^{F(t)} \quad F(t) = 8.108 + \frac{1760}{235 + t} \quad (t \text{ 为气温 } ^{\circ}\text{C})$$

$$(2) \quad \text{IRH} = \frac{1}{1 - \frac{\text{RH}}{100}}$$

(3) 根据监测点在城市相对位置使风向数字化, 监测点在城市的正上风风向评为 0, 正下风评为 4, 在其他方位分别评为 1、2、3。

$$(4) \quad \text{IWS} = \frac{1}{\text{WS}}$$

$$(5) \quad \text{SR} = \text{SO}_4^{2-} \cdot \sqrt{\text{IRH}}$$

大气中硫酸盐、硝酸盐和卤素化合物等有湿吸、潮解作用, 加深能见度的降低。非线性回归发现消光系数和硫酸盐与相对湿度倒数的平方根的乘积成正比^[6]。为了考察硫酸盐与大气中水分子的协同效应对大气能见度的影响, 设立函数SR:

$$\text{SR} = \frac{\text{SO}_4^{2-}}{\sqrt{1 - \frac{\text{RH}}{100}}} \quad (2)$$

为了保证数据的统计性, 将从五个气象台站收集的数据合并一起进行计算, 共146个样本, 每个样本有13个自变量, 消光系数 b 作为因变量, 各变量的平均值和标准偏差列在表 2。

2. 计算方法^[2]

自变量标准化后相关分析得到相关矩阵, 由相关矩阵的本征值和本征向量求得未旋转主成份, 相关分析标准化消光系数和未旋转主成份找出造成能见度严重降低的诸变量。

用Varimax法旋转主成份, 由旋转主成份的载荷找出主成份所代表的空气污染大气物理化学过程, 相关分析标准化消光系数与诸旋转主成份得到这些大气物理化学过程影响能见度的相对重要性。用TRS-80微处理机BASIC- II 运行已介绍过的程序^[2]。

表 2 旋转前因子平均值及标准偏差

	b	SO ₄ ²⁻	TSP	SO ₂	NO _x	T	TD
平均值	0.130	11.6	0.227	0.779	0.948	12.3	4.02
标准偏差	0.130	10.7	0.410	0.417	1.319	15.1	3.89
	RH	AHUM	IRH	WS	WD	IWS	SR
平均值	79.81	9.53	3.53	1.76	5.59	0.814	26.55
标准偏差	20.13	7.62	2.87	1.91	1.98	1.111	25.58

3. 结果与讨论

本征值大于 1 的未旋转主成份有四个, 占自变量数组总方差的70.0%, 能解释消光系数方差的50.3%, 对应的复相关系数为0.709。全部成份能解释消光系数方差的60.1%, 对应的复相关系数为0.775。因此, 所选的自变量基本上能描写消光系数的变化规律, 前四个主成份概括了大部分自变量数组的信息, 能解释过半数消光系数的变化。

未旋转第一主成份的载荷列在表 3, 在其上面载荷高的变量有函数SR、硫酸盐、相对湿度、相对湿度倒数、风速倒数、风向、氮氧化物和总颗粒物, 载荷绝对值高的有风速、日温差。这一主成份描写了气象台站空气污染最严重的情况, 一天的早晨, 相对湿度比较高, 风速比较小时, 气象台站在城市的下风, 城市中燃煤产生的空气污染总颗粒物、氮氧化物、和二次污染物硝酸盐等会漂浮在气象台站的上空, 此时会观察到烟幕。

表 3 主成份上的载荷

	SO ₄ ²⁻	TSP	SO ₂	NO _x	T	TD	
未旋转第一主成份	0.81	0.49	0.27	0.16	-0.21	-0.53	
旋 转 主 成 份	第一主成份	0.24	-0.14	0.11	0.39	0.08	-0.72
	第二主成份	0.86	0.66	0.36	0.45	-0.08	-0.91
	第三主成份	0.11	-0.06	0.79	0.21	-0.90	-0.33
	第四主成份	-0.22	-0.11	0.19	-0.17	0.28	0.07
	RH	AHUM	IRH	WS	WD	IWS	SR
未旋转第一主成份	0.69	0.03	0.55	-0.61	0.46	0.49	0.89
旋 转 主 成 份	第一主成份	0.90	0.11	0.73	-0.23	0.07	0.15
	第二主成份	0.19	-0.63	0.14	-0.17	0.61	0.77
	第三主成份	-0.21	-0.82	-0.27	-0.19	0.13	-0.62
	第四主成份	-0.17	0.22	-0.07	0.77	0.12	-0.25

消光系数与诸变量的简单相关系中前几个最大的及其变量分别为: 函数SR0.655、硫酸盐0.616、氮氧化物0.479、相对湿度0.441、相对湿度倒数0.413。消光系数与函数SR的简单相关系数居于首位, 表明由于硫酸盐的吸湿、潮解作用所引起的与大气中水分子对能见度影响的协同效应尤为重要。

未旋转第一主成份能解释消光系数方差的49.4%, 消光系数和未旋转第一主成份的相关系数为0.703, 两者都绝对大于消光系数与其他主成份之间的对应数值, 说明相对湿度比较高、风速较小时, 如果气象台站落入城市空气污染的烟幕中, 相对湿度、空气污染以及两者协同效应是造成消光系数增加、能见度降低最严重的因素。

用Varimax法旋转前四个主成份及其载荷矩阵,按旋转主成份所占自变量数组方差的大小排队列出旋转主成份的次序,旋转主成份的载荷列在表3。

在旋转第一主成份上相对湿度、相对湿度倒数的正载荷高,日温差负载荷的绝对值高,函数SR和绝对湿度的正载荷也偏高一点。表明在一天内,气温降低了,相对湿度增加了,是描写相对湿度的主成份,占自变量数组方差的20.1%,能解释消光系数方差的14.4%,对应的相关系数为0.380。表明了当日内气温降低时,相对湿度增加,描写硫酸盐与大气水分子相互作用的函数SR也有所增加,导致消光系数增加,能见度降低。

旋转第二主成份上硫酸盐、函数SR、风向、和氮氧化物的载荷高,表明如果该气象台站在城市的烟羽中硫酸盐、总颗粒物、氮氧化物会增加,类似于天津市市区空气污染的聚积过程^[2],暂称烟羽主成份以兹区别。旋转第二主成份刻画了城市烟羽影响气象台站的空气质量,占自变量数组方差的19.7%,能解释消光系数方差的26.0%,对应的相关系数为0.510,因此,当有气象台站落在城市烟羽中,空气污染物硫酸盐、总颗粒物等以及硫酸盐的吸湿、潮解作用已成为引起消光系数增加、能见度降低的有效过程。

在旋转第三主成份上气温、绝对湿度负载荷的绝对值比较高,二氧化硫正载荷高。描写了从夏季到冬季,气温降低了,绝对湿度降低了,二氧化硫浓度有所增加。因此,是描写季节变化的主成份。该主成份占自变量数组方差的16.7%,能解释消光系数方差的3.0%,对应的相关系数为0.174。说明从夏季到冬季能见度稍许降低一点,但不是影响能见度的主要过程。二氧化硫浓度在天津市近郊区的气象台站的空气中和硫酸盐、总颗粒物、氮氧化物等浓度的相关性已经不好了,不能与硫酸盐、总颗粒物、氮氧化物等构成聚积主成份,只表现出冬天二氧化硫平均浓度比夏天的高。

旋转第四主成份占自变量数组方差的13.4%,风速的正载荷和风速倒数负载荷的绝对值高,是描写风速的一个主成份,在这个主成份上污染物的载荷都比较低,说明了分散在东、南、西、北郊的气象台站,在观察的这几天内,风速和污染物相关性不显著。不象在天津市市区内风速和污染浓度呈负相关,构成聚积过程^[2]。

4. 结束语

空气污染物浓度高相对湿度大时造成严重的能见度降低,除了这两个因素的简单叠加外还必须考虑颗粒物中硫酸盐等和大气中水分子的协同效应对大气能见度的影响,硫酸盐等的吸湿、潮解作用能使能见度降得更低。

在天津市近郊区观测表明:空气污染能解释消光系数变化率的26.0%,相对湿度能解释消光系数变化率的14.4%。天津市市区人类活动产生的空气污染对天津市近郊区能见度的影响已大于相对湿度等自然变化对能见度的影响,应该引起环保部门的重视。

参 考 文 献

- [1] 苏维翰等, 1983.环境化学, 2(2):15—21
- [2] 沈 济等, 1985.环境化学, 4(4):7
- [3] 苏维翰等, 1982.环境科学学报, 2(4):329—41
- [4] 中国科学院环境化学研究所等, 1984.环境科学, 5(1):45—8
- [5] 沈 济等, 1984.环境化学, 3(6):18—23
- [6] Cass, G.R, 1979. *Atmos. Environ.*, 13(8):1069—84