

文章编号:1000-694X(2006)03-0380-04

粒子散射系数在沙尘天气观测分级中的初步分析

杨莲梅^{1,2}, 张广兴¹, 魏文寿¹, 袁玉江¹, 杨 青¹, 魏荣庆³

(1. 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 中国科学院 大气物理研究所, 北京 100029; 3. 新疆环境气象中心, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要: 利用 2004 年 4 月 20 日至 5 月 23 日塔克拉玛干沙漠腹地塔中气象站浊度计和能见度仪逐日每 5 min 一次的加密观测资料及相应的地面气象常规沙尘观测记录, 根据中国气象局沙尘暴观测分级标准分析了粒子散射系数在各级沙尘天气中的特征, 表明浊度计观测的粒子散射系数在沙尘天气观测分级标准中有较明确的意义, 沙尘天气时粒子散射系数与能见度为显著指数关系。

关键词: 沙尘天气; 观测; 分级标准; 浊度计; 粒子散射系数(PSC); 能见度(VIS)

中图分类号: P445.4 文献标识码: A

沙尘天气是我国北方地区出现的灾害性天气, 是特定气象和地理条件下的产物, 并引发气候学效应和生态学效应, 对大气能见度、大气光学特性、地-气辐射平衡等产生影响。目前国际上对沙尘天气的分级主要以风力和能见度为主, 不同区域有不同的分级标准。中国气象局 1979 年制定的《地面气象观测规范》规定了沙尘天气观测分级标准, 在沙尘暴日益已成为影响百姓生活的灾害性天气后, 目前, 我国各个部门对沙尘暴的划分和判断标准不太统一, 这就造成了每年对沙尘暴的统计没有统一标准, 而各个部门所监测到的过境次数也就无法一致, 这给深入研究我国沙尘暴的发生带来了许多不便。2003 年 3 月 1 日中国气象局开始实施新的沙尘天气分级标准, 沙尘天气分为浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴四类, 这种分级法, 虽然在一定程度上反映了沙尘现象的强弱, 但仍然基于能见度, 且能见度的观测是观测员利用目标物法观测, 强烈地受人为主观影响, 因此沙尘天气的客观定量的划分仍是一个亟待解决的问题, 也给沙尘天气的深入研究带来诸多不便。关于风对起沙、输运等过程的影响, 前人已做过一定的研究, 如 Bagnold 的风沙物理研究^[1], Gillette 所做的风洞实验^[2], 国内一些学者研究了不同气象条件下气溶胶粒子的谱分布与相关特征量^[3~7], 同时对沙尘天气的影响因子和气候学意义也有较多的探讨^[8~12], 然而, 到目前为止, 还没有对沙尘现象给出一个量化指数。有研究利用能见度和风速构造沙

尘指数, 用以衡量沙尘现象的强弱^[13], 但还是基于能见度基础上, 且指数还不够完善。

随着全国沙尘暴监测网的建立和卫星遥感、激光浮尘雷达、太阳光度计、浊度计、能见度仪等观测仪器的应用, 迫切需要制定与之相应的一套基于器测的客观、定量的沙尘天气观测规范与分级标准。塔克拉玛干沙漠是我国沙尘天气的多发区^[9], 且春季为高发期。本研究选取中国气象局沙尘暴监测网之一的塔克拉玛干沙漠腹地塔中气象站为观测点, 2004 年 4 月 20 日至 5 月 23 日进行了沙漠腹地的实地加密观测, 利用每 5 min 一次的能见度仪、浊度计加密观测资料及相应的地面气象常规沙尘观测记录, 初步探讨浊度计观测资料在沙尘天气观测分级中的应用, 为进一步发展基于器测的客观、定量的沙尘天气观测规范与分级标准研究提供一定的基础。

1 资料

利用塔中气象站 2004 年 4 月 20 日至 5 月 23 日逐日 5 min 一次的 FY12 型能见度仪和 M9003 型浊度计加密观测资料及相应的地面气象常规沙尘观测记录, 分晴空、浮尘和扬沙、弱沙尘暴和强沙尘暴 4 级, 利用能见度仪测出的能见度和相对应的浊度计测出的粒子散射系数对应值, 分析各类天空状况的粒子散射系数的分布范围和特征。浊度计观测项目为粒子散射系数($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$)、环境温度($^{\circ}\text{C}$)、环境相对湿度(%)和环境气压(hPa), 采样时间间隔

收稿日期: 2005-01-04; 改回日期: 2005-03-28
基金项目: 科技部基础性研究项目“沙尘暴观测规范和分级标准的研究”; 中国气象局项目“沙漠气象及其生态环境的动态评估系统”; 科技部重大基础研究前期研究专项(2002CCA04600); 共同资助
作者简介: 杨莲梅(1969—), 女(汉族), 河北隆化人, 副研究员, 在读博士, 主要从事灾害性气候和天气研究。E-mail: yanglm@idm.cn

为 5 min。能见度仪观测项目为 1 分钟平均能见度(m)、10 min 平均能见度(m)和能见度变化趋势(%),采样时间间隔为 5 min。观测 34 d 应有样本数 9 792 个,但因能见度仪和浊度计检修和奇异值剔除,实际样本数 9 429 个。沙尘现象的强弱,主要体现在两个方面:空气中的沙尘含量;强风与沙粒吹蚀所具有的破坏力。如果在沙尘现象的全过程中,空气中水汽含量较低,且没有太多的污染性气体或盐类气溶胶,则沙尘粒子的散射反映沙尘含量,浊度计观测表明塔中的沙尘天气相对湿度大多在 20% 以下,表明水汽含量较低,同时塔克拉玛干沙漠人为影响较小,污染性气体很少,因此粒子散射系数在一定程度上能反映沙尘含量。

2 各类天气状况的粒子散射系数的分布特征

某日出现一次沙尘暴、扬沙和浮尘则记录为一个沙尘日数,利用能见度仪资料和地面气象常规沙尘观测记录,34 d 中沙尘暴日数 7 d(其中强沙尘暴 2 d)、扬沙日数 8 d、浮尘日数 14 d,则能见度大于 10 km 的日数仅为 5 d。

2.1 沙尘暴过程粒子散射系数的分布

在此分强沙尘暴(VIS 小于 500 m)、弱沙尘暴(VIS 为 500~1 000 m)讨论。图 1 为沙尘暴过程的能见度(VIS, 以下同)和粒子散射系数(PSC, 以下同)分布,由图可见,VIS 和 PSC 呈显著指数相关关系,相关系数为 0.94,样本数为 255 个,通过 99% 的信度检验。沙尘暴(能见度<1 000 m)时,能见度与粒子散射系数呈指数关系,方程为:

$$y = 1371.3e^{-0.0002x} \tag{1}$$

式中: x 为粒子散射系数; y 为能见度,相关系数达 0.94。

即 PSC 越大沙尘造成的粒子散射越强,沙尘含量越大,则能见度越小,随着能见度的明显下降粒子散射系数有急剧增加的现象,VIS 变化平稳则 PSC 也变化缓慢。强沙尘暴 VIS 为 195~495 m,PSC 为 8 112.5~3 557.7($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),平均 PSC 为 6 097.1 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),强沙尘暴过程的 PSC 频率分布如图 2 中 a,PSC 83% 集中在 5 000~8 000($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$)。弱沙尘暴 VIS 为 513~998 m,PSC 为 5 071.9~1 171.6 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),平均 PSC 为 2 215.8 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),弱沙尘暴过程的 PSC 频率分布如图 2 中 b,PSC 94% 集中在 1 500~3 100($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),可见强沙尘暴的 PSC 比弱沙尘暴大的多,而沙尘暴平均 PSC 为 2 489.8($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$)。虽然弱沙尘暴和强沙尘暴的 PSC 有所交叉,但主要范围还是有比较清晰的界限,这当然与沙尘暴的强弱有关。沙尘暴强度是一个非常复杂的问题,由能见度和风力共同影响,仅 PSC 不能完全反映沙尘暴的强弱,但 PSC 与 VIS 的关系及主要集中区域在很大程度上能反映沙尘暴的强弱。

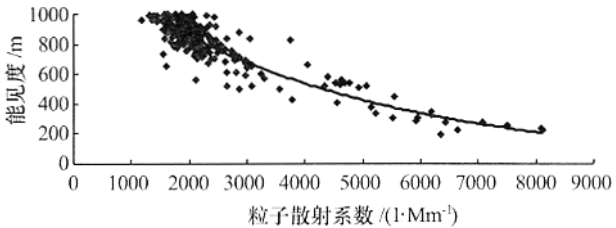


图 1 沙尘暴过程能见度和粒子散射系数的关系

Fig.1 Relationship between visibility and particle scattering coefficient in sandstorm

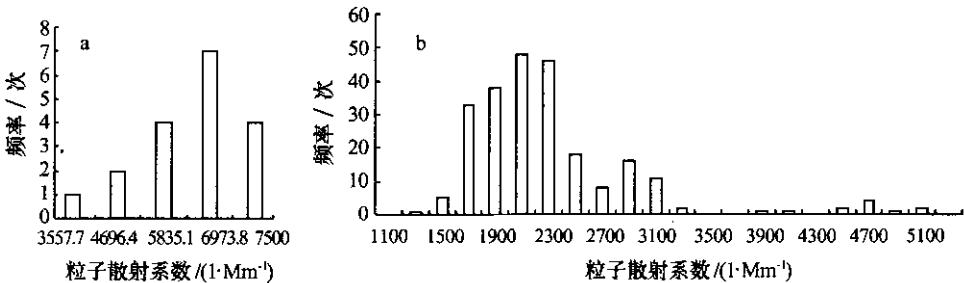


图 2 强沙尘暴过程(a)和弱沙尘暴过程(b)粒子散射系数分布频率

Fig.2 Distributing frequency of particle scattering coefficient in strong sandstorm(a)and weak sandstorm(b)

PSC 反映的是一定范围内整个大气层中粒子散射引起电磁辐射强度衰减的物理量,而能见度受较近距离的水平方向气溶胶影响较大,且沙尘暴过程

中经常有中小尺度系统影响,中小尺度系统距离观测点的远近对 VIS 和 PSC 影响有所不同,因此总的来说沙尘暴过程 VIS 和 PSC 为指数关系,但具体到

每次观测还是有些差别,个别情况 VIS 较大 PSC 也较大,这可能与在远距离沙尘含量较高,而能见度受最近距离的沙尘影响有关;有时 VIS 较小 PSC 也较小,说明沙尘暴天气尺度较小,整个大气层中沙尘粒子集中在观测站附近,从而造成能见度很差。

2.2 扬沙和浮尘过程粒子散射系数的分布

扬沙是风将地面沙尘吹起,使空气相当浑浊,水平能见度在 1~10 km 的天气现象,浮尘是尘土、细沙均匀地游浮在空中,使水平能见度小于 10 km 的天气现象。由于缺少相应的风速资料,因此在此讨论能见度在 1~10 km 时的 PSC 分布。图 3 为 VIS 和 PSC 分布,VIS 和 PSC 呈显著乘幂相关关系,样本数为 5 675 个,相关系数达 0.93,通过 99% 的信度检验。能见度在 1 000~10 000 m 时,能见度与粒子散射系数呈乘幂关系,方程为:

$$y = 129356x^{-0.6168} \tag{2}$$

式中: x 为粒子散射系数; y 为能见度,相关系数达 0.93。

VIS 为 1 008~10 000 m,PSC 为 2 358.9~25.5 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),平均 PSC 为 353.9 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$)。PSC 的频率分布见图 4,PSC 83.5% 集中在 50~700 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),同样 VIS 的急剧减小伴有 PSC 的陡升,VIS 变化平稳则 PSC 变化较小。也会出现少

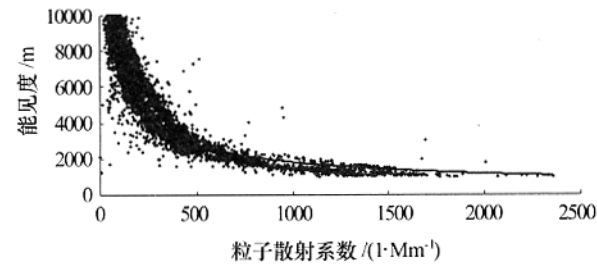


图 3 扬沙和浮尘过程能见度和粒子散射系数的关系
Fig. 3 Relationship between visibility and particle scattering coefficient in floating dust and blowing sand

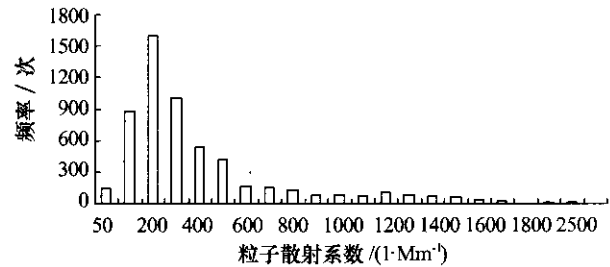


图 4 扬沙和浮尘过程粒子散射系数分布频率
Fig. 4 Distributing frequency of particle scattering coefficient in floating dust and blowing sand

数 VIS 和 PSC 关系较差的情况,这与 VIS 和 PSC 的观测原理有关,也与中小尺度系统活动有关。

2.3 其他天空状态粒子散射系数的分布

分析能见度超过 10 km 的情况,有 3 337 个样本,VIS 和 PSC 分布如图 5,VIS 和 PSC 呈显著乘幂相关关系,相关系数为 0.63,VIS 大于 10 km,PSC 为 147.8~1.1 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),平均 PSC 为 44.0 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),90.6% 集中在 10~100 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$);天空状况较好时,PSC 远比沙尘天气时小,说明空气中气溶胶粒子也少,水汽等其他粒子对 PSC 有影响,VIS 和 PSC 的相关关系比沙尘天气的差。

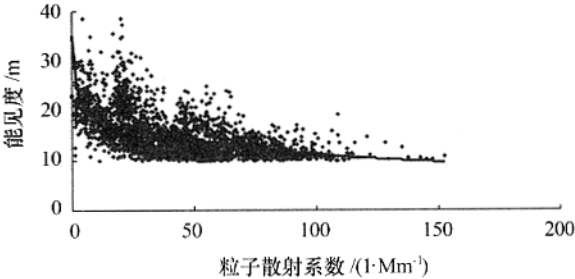


图 5 能见度大于 10 km 的粒子散射系数分布
Fig. 5 Distribution of particle scattering coefficient when visibility is more than 10 km

3 小结与讨论

粒子散射系数反映的是大气层中粒子散射引起电磁辐射强度衰减的物理量,其大小反映大气中气溶胶粒子的多少,塔克拉玛干沙漠腹地发生沙尘天气时水汽及其他粒子很少,主要以沙尘粒子为主,粒子散射系数的大小在很大程度上能反映沙尘含量,通过 2004 年 4 月 20 日至 5 月 23 日塔克拉玛干沙漠腹地加密观测资料分析,在沙尘天气分级中粒子散射系数的大小具有较明确的意义,初步结论如下:

- (1) 沙尘暴过程能见度和粒子散射系数显著指数相关关系,相关系数为 0.94。强沙尘暴粒子散射系数为 8 112.5~3 557.7 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),平均为 6 097.1 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),集中在 5 000~8 000 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$);弱沙尘暴粒子散射系数为 5 071.9~1 171.6 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),平均为 2 215.8 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),集中在 1 500~3 100 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$),而沙尘暴平均粒子散射系数为 2 489.8 ($1 \cdot \text{Mm}^{-1}$)。虽然弱沙尘暴和强沙尘暴的粒子散射系数有所交叉,但主要范围还是有比较清晰的界限。
- (2) 扬沙和沙尘天气能见度和粒子散射系数呈显著乘幂相关关系,相关系数达 0.93,粒子散射系

数为 $23.58.9 \sim 25.5 (1 \cdot \text{Mm}^{-1})$ ，平均 $353.9 (1 \cdot \text{Mm}^{-1})$ ，集中在 $50 \sim 700 (1 \cdot \text{Mm}^{-1})$ 。

能见度大于 10 km 时能见度和粒子散射系数呈显著乘幂相关，相关系数为 0.63，粒子散射系数为 $147.8 \sim 1.1 (1 \cdot \text{Mm}^{-1})$ ，平均 $44.0 (1 \cdot \text{Mm}^{-1})$ ，集中在 $10 \sim 100 (1 \cdot \text{Mm}^{-1})$ ；

浊度计在塔克拉玛干沙漠腹地用于沙尘观测于 2004 年 1 月正式实施，本研究由于观测时间较短仅 34 d 的资料，上述分析只是一些初步结果，随着观测时间和沙尘样本的积累，粒子散射系数在沙尘天气观测分级中的应用有待于进一步深化，同时沙尘天气是非常复杂的现象，其观测分级受多种因素影响，粒子散射系数有一定的局限性，仅用粒子散射系数的大小不够完善，还需结合其他仪器综合给出基于器测的分级标准。

参考文献 (References)：

[1] Bagnold R A(钱宁 译). 风沙和荒漠沙丘物理学[M]. 北京：科学出版社,1959. 60—70.
[2] Gillette. A wind tunnel simulation of the erosion of soil[J]. *Atmospheric Environment*, 1978,12:1735—1743.

[3] 王明星,任丽新,吕位秀,等. 北京月大气气溶胶的化学成分及其谱分布[J]. 大气科学,1986,10(4):46—54.
[4] 牛生杰,章澄昌,孙继明. 贺兰山地区沙尘气溶胶粒子谱分布的观测研究[J]. 大气科学,2001,25(2):243—252.
[5] 许黎,樊小标,石广玉,等. 对流层平流层气溶胶粒子的形态与化学组成[J]. 气象学报,1998,56(2):551—559.
[6] 许黎,田岗菊夫,张鹏,等. 北京地区春末—秋初气溶胶理化特性的观测研究[J]. 大气科学,2002,26(3):401—411.
[7] 雷文方. 黑河地区沙漠气溶胶浓度和谱分布特征[J]. 高原气象, 1993,12(2):170—179.
[8] 辛金元,张文煜,袁九毅,等. 沙尘气溶胶对直接太阳辐射的衰减研究[J]. 中国沙漠,2003,23(3):311—315.
[9] 张平,杨德保,尚可政,等. 2002 年春季中国沙尘天气与物理量场的相关分析[J]. 中国沙漠,2003,23(6):675—680.
[10] 刘志丽,马建文,张仁健,等. 利用遥感综合分析西风引导气流与地形对沙尘运移路径的影响[J]. 中国沙漠,2004,24(3):330—334.
[11] 矫梅燕,牛若芸,赵琳娜,等. 沙尘天气影响因子的对比分析[J]. 中国沙漠,2004,24(6):696—700.
[12] 韩永翔,奚晓霞,宋连春,等. 青藏高原沙尘及其可能的气候意义[J]. 中国沙漠,2004,24(5):588—592.
[13] 张冬斌,尚可政,王式功,等. 沙尘天气的量化指数及其应用[J]. 干旱气象, 2003,21(3):58—62.

Primary Analysis on Particle Scattering Coefficient in Classification of Sand-dust Weather Observation

YANG Lian-mei^{1,2}, ZHANG Guang-xing¹, WEI Wen-shou¹,
YUAN Yu-jiang¹, YANG Qing¹, WEI Rong-qing³

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. Xinjiang Environmental and Meteorological Center, Urumqi 830002, China)

Abstract: Based on the every 5 minutes observation data of particle scattering coefficient (PSC) and visibility from April 20 to May 23 of 2004 on the Tazhong weather station, and according to the national observation classification criteria about sand-dust weather we analyzed the characters of particle scattering coefficient in different grades of sand-dust weather. Results showed that PSC had relatively specific significance in classification criterion of sand-dust weather observation; there was obviously exponential relation between visibility and particle scattering coefficient in sandstorm.

Key words: sand-dust weather; observation; classification criteria; nephelometer; particle scattering coefficient (PSC); visibility (VIS)