

文章编号: 1001-3806(2008)06-0566-02

## 1 次沙尘暴天气的消光特性研究

李学彬, 徐青山, 魏合理, 胡欢陵

(中国科学院 安徽光学精密机械研究所 大气光学研究中心, 合肥 230031)

**摘要:** 沙尘暴是一种特殊的自然现象。为了分析沙尘暴对可见光和红外辐射传输产生的影响, 利用米散射理论, 对北京地区 1 次沙尘暴天气下沙尘粒子在可见和红外波段的消光进行了计算, 并与沙尘暴来临前的测量结果进行了对比分析, 得到了沙尘粒子在这些波段的消光特性, 并根据激光雷达测量的数据, 对沙尘粒子在红外波段的垂直消光廓线进行了反演。这对认识沙尘暴有很大的参考价值。

**关键词:** 大气与海洋光学; 米散射; 沙尘暴; 消光系数

**中图分类号:** P425.5\*5 **文献标识码:** A

## Extinction character of one sand and dust blowing

LI Xue-bin, XU Qing-shan, WEI He-li, HU Huan-ling

(Center for Atmospheric Optics, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** The extinction character of sand and dust particles can cause the attenuation of visible and infrared light transmission. The optical characteristics of sand particle were calculated on the basis of the Mie theory, then the extinction coefficient was compared between sand blowing and normal weathers. The vertical optical characteristic distribution of the sand aerosol at 0.532  $\mu\text{m}$ , 1.06  $\mu\text{m}$  and 10.6  $\mu\text{m}$  was provided according to the results measured with micro pulse lidar in Beijing. It is valuable for studying sand and dust blowing.

**Key words:** atmospheric and ocean optics; Mie theory; sand and dust blowing; extinction coefficient

## 引言

沙尘暴是特殊的天气现象, 是指地面的风力持续加大, 使得地面尘土卷起, 空气异常混浊, 水平能见度小于 1 km 时的天气现象。沙尘暴是一种危害性极强的灾害性天气。当水平能见度小于 500 m 时, 称之为强沙尘暴<sup>[1]</sup>。沙尘对可见光和红外辐射传输产生了很大的影响<sup>[2,3]</sup>, 但人们对沙尘暴天气对红外辐射传输的影响研究的不多, LI 等人<sup>[4]</sup>通过数值模拟对沙尘粒子的光学特性进行过分析, 但对沙尘暴进行监测和分析研究以及红外垂直消光特性的研究很少有报道。而沙尘天气下各种红外探测仪的工作性能和工作环境也迫切需要这方面的研究。

作者根据 2004 年 1 月在北京测量的 1 次沙尘暴数据, 从理论和实验上分析了沙尘粒子对可见光和红外波段的消光特性, 并对沙尘暴前后的消光特性进行

了对比, 最后还对沙尘粒子在可见光和红外波段的垂直消光廓线进行了计算。

## 1 数据和计算结果分析

2004-01-09 ~ 2004-02-05 在北京市大兴区, 对大气气溶胶进行了测量。使用的仪器主要有 DLJ-92 多道光学粒子计数器<sup>[5-7]</sup>, 微脉冲激光雷达<sup>[8-9]</sup>, 能见度仪 (FD12 U21208), 颗粒物质量监测仪 TEOM1400 系列 (测量空气动力学直径小于 10  $\mu\text{m}$  的粒子 (particular mater less than 10  $\mu\text{m}$ , PM10) 和 PM2.5) 等仪器。

2004-01-20 北京有 1 次典型的沙尘暴过程, 20 日 3 点开始起风, 8 点开始扬沙, 10 点、11 点、12 点和 13 点风力最大, 15 点左右风力减弱, 扬沙结束。

图 1 是沙尘暴前后气溶胶粒子谱分布和质量浓度的变化情况。图 1a 纵坐标中,  $n$  为粒子个数,  $dn$  是  $\lg r - \lg(r + dr)$  为单位间隔的粒子数, 由图 1 可知, 在沙尘暴到来时, 大气中的小粒子 ( $r < 0.4 \mu\text{m}$ ) 减少, 大粒子在增加, 特别是半径在 1  $\mu\text{m}$  左右的粒子, 增加了近 20 倍, PM10 增加了近 40 倍, PM2.5 也增加了十几倍。

图 2 是扬沙前后能见度的变化。可以看出, 沙尘暴期间的大气能见度急速下降, 例如 8 点的能见度为 7.3 km, 13 点的能见度为 0.75 km, 几乎是 8 点的 1/10,

基金项目: 中国科学院知识创新方向性项目资助项目 (KGCX2-SW-413)

作者简介: 李学彬 (1980-), 男, 博士, 主要从事气溶胶光学特性方面的研究。

E-mail: xbli@aiofm.ac.cn

收稿日期: 2007-09-04; 收到修改稿日期: 2007-10-11

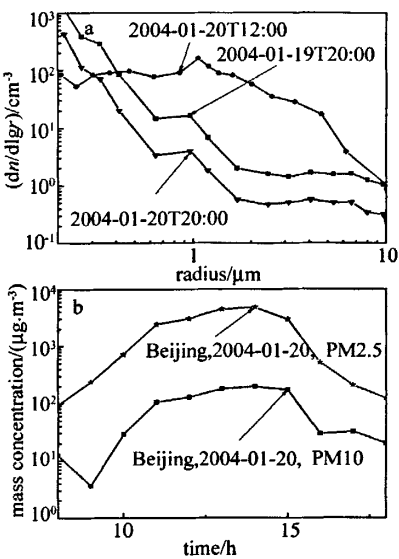


Fig. 1 The variations of size distributions and mass concentration of aerosol

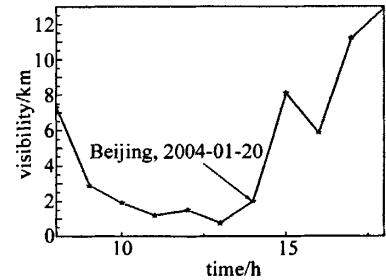


Fig. 2 The variations of visibility

可见沙尘暴对可见光有很强的衰减作用。由图 2 还可以看到,能见度在 15 点突然下降,到 16 点达到极小值,这是由于 15 点以后风开始减小甚至停止,而测量点周围村庄取暖排放的煤烟得不到及时扩散引起的,这一点在图 1 中也有所反映,可以看出 PM2.5 在 15 点以后有所上升。

根据米散射理论由沙尘粒子的半径和它的折射率可以计算出它的消光效率因子。图 3 是不同波长消光效率因子随粒子半径的变化。可以看出当波长等于

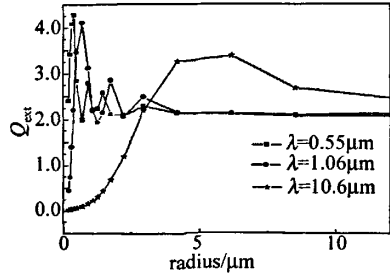


Fig. 3 The variations of extinction efficiency factor

0.55 μm 和 1.06 μm 时,消光效率因子随半径的增大先增加后减小,在半径小于 3 μm 时有一定波动,这是由入射光波长与粒子粒径相当引起的,在半径大于 3 μm

趋于平稳状态。当波长等于 10.6 μm 时,粒子的消光效率因子随半径的增加而增加,粒子半径在 6 μm 附近达到极大值,然后又有所下降,随着粒子半径的增大,消光系数效率因子趋于 2。

根据米散射理论由气溶胶粒子的谱分布和它的折射率可以计算出气溶胶的消光系数:

$$\alpha_a = \pi \int Q_{\text{ext}}(m, r, \lambda) n(r) r^2 dr \quad (1)$$

式中,  $Q_{\text{ext}}$  是折射率  $m$ 、粒子半径  $r$  和波长  $\lambda$  的函数,由于谱分布可以由粒子计数器测量得到,沙尘气溶胶粒子在不同波长上的折射率  $m$  由模式给出,由 (1) 式就可计算出不同波长上的消光系数。

图 4 是沙尘暴到来之前和到来之后近地面不同波长上消光系数的变化。可以看出,在 6.5 μm 和 8.2 μm

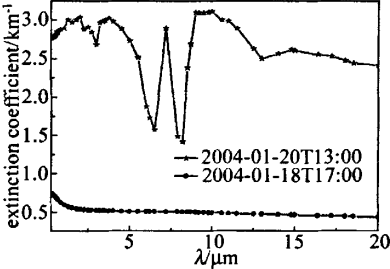


Fig. 4 The variations of extinction coefficient with  $\lambda$

这两个波长附近处消光系数存在两个极小值,是沙尘暴到来之前消光系数的 3 倍,这是由于沙尘粒子在这个波段上的消光性能突然减弱造成的。沙尘暴期间其它波长的消光系数是到来之前的 5 倍 ~ 6 倍,可见沙尘暴天气对红外探测仪的影响是非常大的。

图 5 是沙尘暴期间和沙尘暴到来之前消光系数随高度的变化,由微脉冲激光雷达测量得到。可以看出,

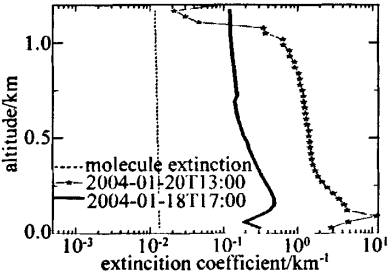


Fig. 5 The vertical distributions of extinction coefficient

沙尘粒子主要集中在 0 m ~ 1200 m 范围内,在这个范围内消光系数是沙尘暴到来之前的 10 倍左右。

图 6 是根据图 4 和图 5 给出的消光系数和波长的对应关系给出的波长为 0.532 μm, 1.06 μm, 10.6 μm 的消光系数随高度的分布,可见沙尘暴对这 3 个波长有很强的消光性能,而消光系数在这 3 个波长上变化不大。

(下转第 575 页)

Ti 和青铜粉末的球化因子  $K$  与粉末粒度的关系曲线,可见,随粉末粒度的降低, $K$  随之提高,球化更加容易发生。相反,粉末粒度过大,提高了球化的难度。采用细小的粉末或选用粒度分布较窄的粉末,可以提高球化速度,有利于步提高生产效率。因此,对于不同的粒径,如果激光功率与激光扫描速度依据(7)式作相应变化,在高于临界功率范围内,选择合适的工艺参量,可获得好的球化效果。

### 3 结 论

(1)在适当的工艺条件下,利用激光扫描快速熔合异形粉末使其球化,成为获取球形粉的一种可行途径。

(2)金属粉末的球化能力可用球化因子  $K$  表征, $K$  值的大小与金属粉末的直径、密度、激光束粒径、导热性、熔化温度成反比,与激光吸收率成正比。

(3)激光功率  $P$ 、激光扫描速度  $v$  与球化因子  $K$  之间满足关系式: $v/P = K$ ,根据不同金属粉末的  $K$  值,选取合适的  $P$  和  $v$ ,可制备出较为理想的球形粉末。

#### 参 考 文 献

- [1] LIU Y, CHEN L F, TANG H P, *et al.* Design of powder metallurgy titanium alloys and composites [J]. *Materials Science and Engineering*, 2006, 418(1/2): 25-35.

- [2] GU D D, SHEN Y F. Balling phenomena during direct sintering of multi-component Cu-based metal powder [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2007, 432(1/2): 163-166.
- [3] RYU D Y, SHIN K, DROCKENMULLER E, *et al.* A generalized approach to the modification of solid surfaces [J]. *Science*, 2005, 308(5719): 236-239.
- [4] HABENICHT A, OLAPINSKI M, BURNEISTER F, *et al.* Jumping nanodroplets [J]. *Science*, 2005, 309(5743): 2043-2045.
- [5] NAHAL A, MOSTAFAVI-AMJAD J, GHODS A, *et al.* Laser-induced dendritic microstructures on the surface of  $Ag^+$ -doped glass [J]. *J A P*, 2006, 100(5): 053503(1-6).
- [6] LESHANSKY A M, RUBINSTEIN B Y. Nonlinear rupture of thin liquid films on solid surfaces [J]. *Phys Rev*, 2005, E71(4): 040601(1-4).
- [7] TRICE J, THOMAS D, FAVAZZA C, *et al.* Pulsed-laser-induced dewetting in nanoscopic metal films: theory and experiments [J]. *Phys Rev*, 2007, B75(23): 235439(1-15).
- [8] TOLOCHKO N K, LAOUI T, KHILOPKOV Y V, *et al.* Absorbance of powder materials suitable for laser sintering [J]. *Rapid Prototyping Journal*, 2000, 6(3): 155-160.
- [9] GIBSON I, SHI D. Material properties and fabrication parameters in selective laser sintering process [J]. *Rapid Prototyping Journal*, 1997, 3(4): 129-136.
- [10] SHEN X F, WANG Y, YAO J, *et al.* Finite element simulation of thermal stress distribution in direct metal laser sintering [J]. *Laser Technology*, 2005, 29(4): 343-346 (in Chinese).
- [11] BERGERON V, BONN D L, MARTIN J Y, *et al.* Controlling droplet deposition with polymer additives [J]. *Nature*, 2000, 405(6788): 772-775.

(上接第567页)

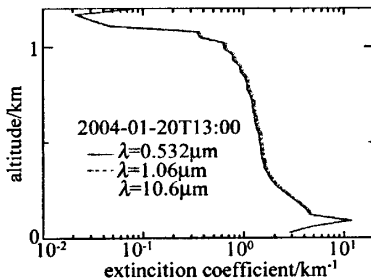


Fig. 6 The vertical distributions of extinction coefficient

### 2 结 论

作者根据 2004-1-20 在北京测量的 1 次沙尘暴数据,计算了沙尘粒子对可见光和红外波段的消光特性,得出沙尘暴期间近地面的消光系数是沙尘暴到来之前的 5 倍~6 倍,而在垂直方向上,这次沙尘暴的沙尘粒子主要集中在 1200m 以下的大气中,其消光系数大约是沙尘暴未到来前大气的 10 倍。尽管只是 1 次测量结果,有些结论还存在不足,但这对沙尘天气下各种红外探测仪的工作性能和大气辐射传输的研究是有参考意义的。

感谢北京环境保护监测中心虞统工程师提供本文中的部分数据。

#### 参 考 文 献

- [1] DONG Q Sh. Physical characteristics of the sand and dust in different deserts of China [J]. *Chinese Journal of Radio Sciences*, 1997, 12(1): 15-25 (in Chinese).
- [2] DONG Q Sh, ZHAO Zh W, CONG H J. The mm-wave attenuation due to sand and dust [J]. *Chinese Journal of Radio Sciences*, 1996, 11(2): 29-32 (in Chinese).
- [3] WU Zh S, YOU J G, YANG R K. Study on laser attenuation character in sand and dust storms [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, 31(9): 1975-1981 (in Chinese).
- [4] LI Sh G, LIU X D, HOU L T. The absorption and extinction of infrared radiation in lower atmosphere by sand storm [J]. *Chinese Journal of Radio Sciences*, 2003, 18(1): 43-47 (in Chinese).
- [5] TAN K, HU H L. Correction of measured results of an optical particle counter [J]. *Acta Optica Sinica*, 1984, 4(1): 55-60 (in Chinese).
- [6] HU H L, ZHAO F Sh, GONG Zh B. Effect of particle refractive index on the accuracy of aerosol measurements with optical particle counters [J]. *Bulletin of Science of China*, 1988, 33(5): 428-432 (in Chinese).
- [7] GU F, YANG J, BIAN B M. Measurement of particle mass concentration using particle counter method [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(4): 360-363 (in Chinese).
- [8] SPINHIRNE J D. Micro pulse lidar [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1993, 3(1): 48-54.
- [9] SUN Zh B, GUO J J, LIU Zh Sh. Visibility measurement over the horizontal path by means of micro-pulsed lidar [J]. *Laser Technology*, 2007, 31(2): 200-202 (in Chinese).