第18卷 第1期　　大　气　科　学　　Vol. 18, No. 1
1994 年 1 月　　SCIENTIA ATMOSPHERICA SINICA　　Jan.　1994

沙尘暴的光学遥感及分析

邱金桓　　孙金辉

(中国科学院大气物理研究所，北京 100029)

提　要

本文根据激光雷达和光度计综合探测的结果，结合气象背景资料分析了 1988 年 4 月北京地区三次沙尘暴过程气溶胶物理光学特性及其远距离输送时的垂直结构．这三次尘暴主要来源于内蒙的沙漠和黄土地区，根据激光探测消光系数垂直分布资料，在 4 月 11 日，沙尘粒子有 3 个不同的输送带，其中两个输送带的高度处于 2000—3000 m 和 3000—6000 m，另一个输送带的下边界高度约为 200 m，其高度结构密切依赖于风场的垂直结构．

根据多波长太阳光度计和半球辐射计的观测结果，尘暴期间大气柱沙尘总光学厚度在 0.3 至 15 之间变化，峰值光学厚度比平时偏大约一个数量级，在 0.65 μm 波长，在 4 月 11 日测量的气溶胶一次散射反照率均值为 0.85.

关键词: 光学厚度; 消光系数分布; 谱分布; 一次散射反照率.

一、引　言

源于中国新疆、甘肃、内蒙沙漠和黄土地区的春季尘暴过程对生态环境、大气辐射收支及气候变化都具有重要影响。近年来，许多学者采用不同的手段探测亚洲尘暴过程中气溶胶物理和化学特性，并结合气象资料研究黄沙粒子远距离输送规律及源地[1-8]．1988 年 4 月 11 日、17 日和 20 日北京地区接连 3 次出现沙暴过程，特别是第一次沙暴持续的时间最长、波及中国大部分地区，杨东贞等人已对这次沙尘暴的气象背景、源地、黄沙的输送轨迹、尘暴期间气溶胶物理化学特性(特别是化学特性)作了分析[5]。本文主要根据激光雷达和光度计等综合观测资料以及气象资料，侧重研究 4 月 11 日袭击北京的尘暴过程，分析黄沙粒子的物理光学特性和远距离输送的垂直分布．这些物理光学特性包括大气柱总沙尘光学厚度、消光系数高度分布、谱分布、一次散射反照率等。

二、观 测 仪 器

实验采用的仪器包括一台多波段太阳光度计、一台可见波段半球辐射计、二台激光雷达。太阳光度计具有 1° 视场角，五个中心波长分别为 450 nm，550 nm，650 nm，

1992 年 1 月 11 日收到，6 月 22 日收到修改稿．

750 nm 和 850 nm 的滤光片，半球辐射计具有同样的波长。一台激光雷达为 1.06 μm 波长 Nd–YAG 雷达，接收孔径为 80 mm，激光输出能量为 60 mJ。另一台是红宝石激光雷达，其接收孔径为 400 mm，激光输出能量约为 1.5J。所有的观测实验均在北京德胜门外中国科学院大气物理研究所办公楼的屋顶上进行。光度计和半球辐射计的观测主要在 0.65 μm 波长进行。Nd–YAG 雷达主要用于探测低层的大气消光系数分布，红宝石激光雷达则主要用于探测中高层的大气消光系数分布。

三、气　象　背　景

本节主要分析 4 月 11 日袭击北京的沙尘暴的气象背景。如图 1 所示，4 月 10 日 20:00 点，很强的冷锋线(标以 D 的曲线)由西北向东南移至兰州、银川和二连一线，在内蒙中部和西部广大区域地面风速超过 12 m／s，形成沙尘暴，地面能见度如图 2 所示，降至 1 km 以下。4 月 11 日 08:00 点，冷锋移至北京、邯郸和洛阳一线，冷锋线后面伴随着大于 12 m／s 的地面风和沙尘暴，伴随着冷锋的东移，由尘暴引起的小于 1 km 的低能见度区域也向东移动(见图 2)。4 月 11 日 07:00 左右，北京天空渐渐变黄，空中含有大量的黄沙粒子，从图 3 所示的北京东部首都机场地面风速和能见度变化曲线看，从 07:00 至 09:00 点，地面风速很小，仅为 1 m／s，能见度约为 6 km。约从 09:30 开始，大量的黄沙粒子从天而降，地面能见度降至 700 m 以下，但此时地面风速仍然较小。显然，低空的沙尘粒子主要是从北京西部和北部自空中长距离输送侵入所致。10:20 以后，地面风速增大，自 14:00 至 18:00，风速超过 12 m／s。自 10:00 至 15:00，能见度维持在 1.2 km 左右，18:00 以后，风速变小，能见度开始变好，直到第三天，即 4 月 13 日，整个大气柱光学厚度才基本恢复常态。

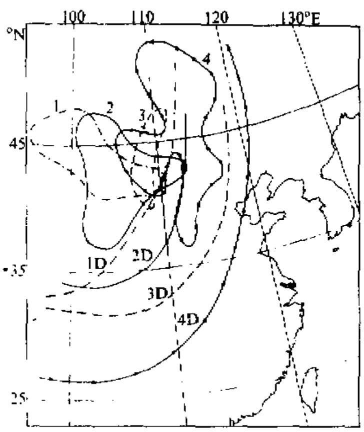

图 1　地面风速大于 12 m／s 区域(封闭曲线)和冷锋线(标以 D)
1 —— 10 日 20:00; 2 —— 11 日 02:00;
3 —— 11 日 08:00; 4 —— 11 日 14:00.

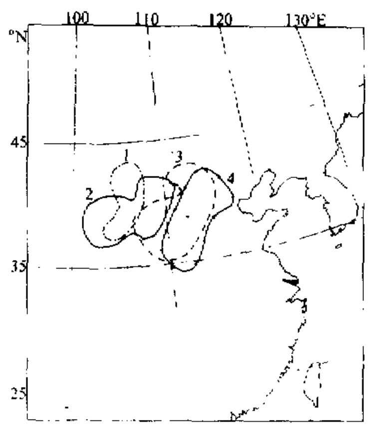

图 2　能见度小于 1 km 区域(封闭曲线)
1 —— 10 日 20:00; 2 —— 11 日 02:00;
3 —— 11 日 08:00; 4 —— 11 日 14:00.

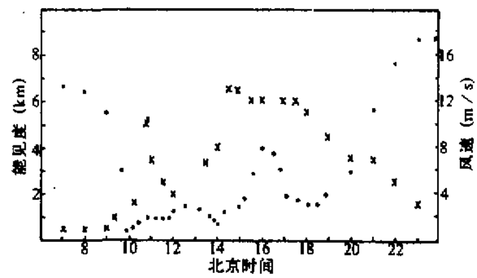

图 3　北京 4 月 11 日地面风速(叉)和能见度(点)日变化

四、沙尘的物理光学特性及远距离输送的高度层结

本节主要分析尘暴期间大气柱沙尘粒子总光学厚度、谱分布、一次散射反照率、折射率虚部以及大气消光系数垂直分布的变化特性，并结合气象背景资料，分析沙尘粒子远距离输送的高度层结。

1. 大气柱沙尘总光学厚度

本文采用 3 种方法确定大气柱光学厚度，白天在太阳可见情形下采用太阳光度计探测太阳直射光强，根据 Langley 方法确定光学厚度，当光学厚度较大时，考虑多次散射订正，后面另加讨论。白天在太阳不可见情形下，从向下太阳漫射通量加直射通量信息以确定光学厚度[9]，夜间则用激光雷达探测光学厚度。

图 4 给出 4 月 8 日、11 日、12 日和 13 日 0.65 μm(或 0.6943 μm 红宝石激光波长)大气柱气溶胶粒子光学厚度日变化特性，其中 11 日 08:00 至 11:00 光学厚度为半球幅

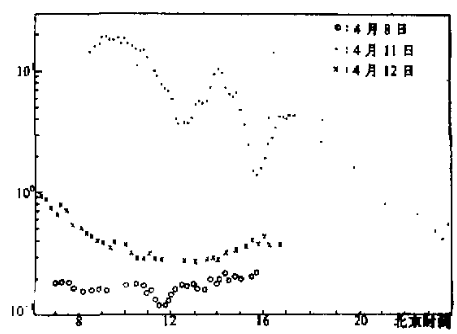

图 4　气溶胶光学厚度日变化

射计探测结果，其余均为太阳光度计和激光探测结果。红宝石激光雷达探测结果仅指11日18:00至12日06:00的资料，其中20:00以前为地面至3 km高度的光学厚度，其余为地面至6 km高度的光学厚度。

表1给出相应的四天的0.65 μm波长大气柱气溶胶光学厚度的日平均值$\bar{\tau}_a$。

表1 光学厚度日平均值$\bar{\tau}_a$

日 期	时 间	观测次数	$\bar{\tau}_a$
4月8日	07:00—16:00	58	0.18±0.04
4月11日	08:00—16:00	73	5.27±2.1
4月12日	06:00—16:00	96	0.42±0.14
4月13日	07:40—11:30	32	0.21±0.06

从图4和表1可以看出，4月11日沙尘暴袭击北京时，大气柱气溶胶光学厚度的变化是非常大的。沙尘暴前的4月8日，北京大气柱气溶胶光学厚度在0.11至0.25之间变化，均值为0.18。但4月11日自08:00至18:00，光学厚度的均值高达5.27，比前者大约30倍。根据杨东贞等人研究结果[5]，1988年4月9日至16日尘暴期间，近地面沙尘粒子的浓度比平时偏大10倍。从图3可以看出，沙尘暴袭击北京时，地面水平能见度约下降10倍左右，表明近地面气溶胶粒子浓度增大约10倍。但从图4和表1可以看出，整个大气柱的气溶胶云的光学厚度增大近30倍，空中含有大量的沙尘粒子。从11日08:00至11:00，天空发黄，大气柱气溶胶云的光学厚度在8至15之间变化，根据同时的微波辐射计的观测结果，大气柱液态水含量小于50 g / m^2，只略高于晴天的探测结果，表明很大的光学厚度主要是由高空输入和地表刮起的沙尘粒子的大量增多所致。11:00以后，太阳已可见，太阳周围及整个天空一片黄色，且目视均匀，此时微波辐射计探测的液态水含量已与晴天的探测值接近。从14:00的卫星云图看，北京上空已无云存在。但从11:00至18:00，大气柱气溶胶光学厚度仍然很大，约在2至10之间变化，均值为4.1，比平时偏大20多倍。11日18:00以后大气柱光学厚度逐渐变小，直至24:00时降为0.33左右。12日大气柱光学厚度均值降为0.42，13日降为0.21，接近正常晴空值。

11日沙尘暴期间，黄沙光学厚度的另一特点是约为4小时的周期性变化，峰值分别出现于09:00、13:00和17:00附近，峰值的大小呈下降趋势，但都大于4。

如上所述，图4中11日11:00至18:00光学厚度系Langley方法的探测结果，由于当时的光学厚度较大，光度计探测的光强除了太阳的直射光，仍包含有相当份量的多次散射光。若不扣除多次散射分量，算出光学厚度偏小，为此，我们先对准太阳测量一下亮度，再偏离太阳1°测量一下亮度，由前者减去后者作为太阳的直射光强以导出大气柱的总光学厚度。如对于11:15资料，两亮度之差(约等于太阳的直射光强)比偏离1°的天空亮度还小。不扣除多次散射光的光学厚度解为9.2，扣除的解为10.1，前者偏小约10%。0°附近多次散射光比1°的散射光还要大，采用本探测方法得出的光学厚度可能略小。但由于光学厚度较大，太阳华盖地区天空亮度变化已很平滑，偏小估计不会超过5%。

2. 沙尘粒子的一次散射反照率及其随波长变化

气溶胶粒子的一次散射反照率表征它的吸收特性，主要取决于它的折射率虚部。某些研究表明，向下的漫射通量密切依赖于大气一次散射反照率(或气溶胶的折射率虚部)[10, 11]。我们正是根据该原理以测量沙尘粒子的一次散射反照率。我们采用太阳光度计测量太阳直接光强，并由 Langley 方法确定大气柱光学厚度，以此作为沙尘光学厚度的正确值。再选择不同的一次散射反照率，根据邱金桓提出的方法从向下的总的半球辐射通量信息确定大气柱沙尘粒子光学厚度[9]，使该值与前者光学厚度相吻合的一次散射反照率作为该反照率解。漫射通量的计算模式采用 δ–Eddington 近似[12]。

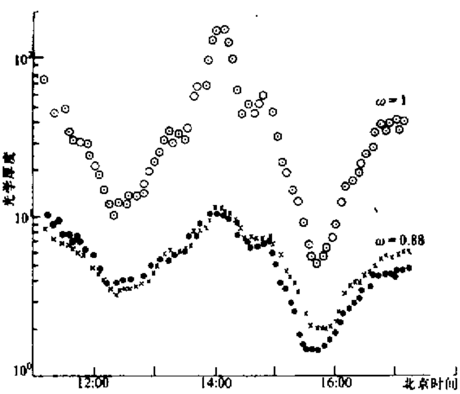

图 5　两种方法确定的光学厚度比较

图 5 给出 4 月 11 日 11:00 至 17:20 由 Langley 方法确定的 0.65 μm 沙尘粒子光学厚度(点)，选取一次散射反照率 ω 等于 1，并由向下半球辐射通量确定的光学厚度(圆)，以及选取 $\omega=0.88$ 确定的光学厚度(叉线)。反演时，沙尘粒子的不对称因子取 0.8，地表反照率取 0.2。如图 5 所示，若取 $\omega=1$，由半球辐射计测量的 11:00 至 17:20 的光学厚度系统远大于 Langley 方法结果，有的甚至偏大 10 多倍，但若取 $\omega=0.88$，两者的结果具有很好的吻合，自 11:00 至 12:00，由半球辐射计测量的光学厚度略小，ω 以取 0.92 较合适，自 14:00 至 17:20 又系统略大，ω 以取 0.85 较合适。

从图 5 的结果也可以看出 11:00 至 17:00 天空沙尘云的分布是均匀的。半球辐射通量取决于整个天空的亮度。当取 $\omega=0.88$ 时，太阳光度计和半球辐射计探测的光学厚度在 11:00 至 17:00 整个一段时间内都有较好的吻合，若天空气溶胶粒子分布在水平尺度上很不均匀，该吻合是不可能的。

此外，我们还研究了不对称因子和地表反照率误差对半球辐射计探测结果的影响。结果表明，若两者的误差在 ±0.1 以内，由此引起的光学厚度解的误差在 30%以内，但是一次散射反照率取为 1，光学厚度解可偏大 10 倍以上。因此，一次散射反照率解是可信的。

表2给出了4月9日，11日，12日，13日，17日和20日0.65 μm波长平均的气溶胶粒子一次散射反照率，折射率虚部m_1以及由5个波长消光系数值拟合得到的Junge谱参数ν^*值。除了4月11日，北京于4月17日和21日又出现了二次强风暴过程，地面风速高达10 m／s以上，地面能见度降至2 km以下，满天尘土。在这三天，0.65 μm波长沙尘粒子的一次散射反照率基本相同，均值约为0.85、折射率虚部约为0.004，Junge谱参数ν^*约等2，即为中性消光。折射率虚部是在折射率实部设为1.5条件下由探测得到的一次散射反照率反演得到的，反演时，谱分布取表3所示的Junge谱。4月11日尘暴前的4月9日，气溶胶的一次散射反照率为0.72，较沙尘粒子ω值偏小。4月12日和13日ω值也比11日ω值略小。

表3给出4月11日14:00和4月20日15:00两次探测的五个波长的沙尘粒子的一次散射反照率及折射率虚部，两组结果都表明，自0.45 μm至0.65 μm波段，一次散射反照率随波长增大，虚部变小，但从0.65 μm至0.85 μm基本不变。

表2 气溶胶一次散射反照率、谱分布及折射率虚部

日 期	时 间	ω	ν^*	m_1
4月9日	08:00—15:00	0.72±0.04	2.65±0.2	0.021
4月11日	11:00—13:00	0.88±0.03	2.01±0.1	0.0028
4月11日	14:00—17:00	0.85±0.02	1.87±0.2	0.004
4月12日	08:00—15:00	0.82±0.06	2.18±0.15	0.0072
4月13日	08:00—11:00	0.79±0.05	2.42±0.22	0.013
4月17日	10:00—16:00	0.84±0.02	2.1±0.1	0.0043
4月20日	14:00—17:00	0.85±0.03	2±0.12	0.004

表3 不同波长的沙尘粒子一次散射反照率及折射率虚部

日 期	λ (μm)	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85
4月11日	ω	0.77	0.80	0.86	0.84	0.88
	m_1	0.01	0.008	0.004	0.005	0.003
4月20日	ω	0.64	0.071	0.84	0.81	0.81
	m_1	0.018	0.013	0.004	0.006	0.006

3. 沙尘粒子消光系数垂直分布及远距离输送的高度层结

在4月11日北京出现沙尘暴期间，大气消光系数垂直分布的变化是非常激烈的。当天激光雷达于08:50开始进行观测，部分探测结果示于图6至图8。如前所述，09:30左右沙尘粒子自空中大量飘落到地面，使得近地面的能见度迅速下降，从图6可以清楚看出这个变化特点。如图曲线1和2所示08:50和09:22消光系数分布在180 m至600 m范围内，有一峰值高达3.5 (1／km)的消光系数峰，约比100 m高度处的消光系数值偏大一个数量级，表明自180 m至600 m有大量的沙尘粒子，其光学厚度约等1。约自09:30以后，沙尘粒子大量下降，近地面沙尘粒子大量增多，消光系数迅速增大。如图

曲线 3 所示 09:27 消光系数垂直分布，在 180 m 以下消光系数比前两个时刻明显增大，反映出沙尘粒子迅速下沉的特点。从 09:20 至 09:29 的 7 分钟时间内沙尘粒子层的下边界约下降 100 m。到了 09:43，消光系数垂直分布已变得相当平滑，近地面消光系数值（沙尘粒子浓度）比 08:50 时增大 10 多倍，地面能见度降至只有 800 m。表明这时已有大量的沙尘粒子飘到地面，与人目测的结果相吻合。如图 4 所示，从 09:00 至 10:00，大气柱光学厚度大于 10，而根据图 6 所示的激光探测的消光系数分布，自地面至 600 m 的光学厚度小于 1.5，因此在 600 m 以上仍堆积大量的沙尘粒子，由于激光有限的穿透能力，该层的上边界并未被探测出来。10:00 以后，地面风速增大，特别是 14:00 以后，地面风速升高至 14 m／s，扬起地面尘土，加上自空中向下降落的沙尘粒子，近地面沙尘粒子浓度分布比较均匀。因此，如图 7 所示，15:20、15:50 和 19:58 三个时刻消光系数分布在 1 km 高度内变化不大，而且自 10:00 至 20:00 都有这个特点。由于 1 km 以内光学厚度较大，加上白天背景天空亮度较强，15:00 以前激光雷达的探测高度一般小于 1 km。自 15:30 至 17:00，地面能见度变好，激光探测的高度增大。从图 7 所示的 15:20 和 15:50 两个时刻消光系数分布探测结果可以看出从 2 km 至 3.2 km 高度有一相当厚的消光系数峰，其峰值高达 0.8 (1／km)，光学厚度约为 0.6，表明这里堆集着大量的沙尘粒子，它是沙尘粒子远距离输送的重要一层。在 15:50，光度计探测的整个大气柱气溶胶光学厚度为 1.48，而激光探测的地面至 3 km 高度的光学厚度为 1.25，两者之差为 0.23，表明 3 km 以上沙尘粒子光学厚度相对较小。从图 7 所示的 19:57 的消光系数分布看，这时在 2 至 3 km 处沙尘粒子层已不存在，粒子浓度已减小约 1 个数量级，但在 3 至 5 km 之间存在一厚达 2 km 光学厚度约为 0.2 的气溶胶层，而且自 11 日 19:57 至 12 日 06:43 激光探测的结果都表明这一沙尘粒子层的存在。图 8 给出 11 日 21:25、12 日 02:00 和 06:43 三个时刻的探测结果，相比于 11 日 19:57 的情形，后三者的消光系数值小些，且沙尘粒子层稍有上抬，峰值在 4.5 km 至 5.5 km 之间变化，垂直厚度约在 2 km 左右。自 11 日 20:00 至 12 日 07:00 的总共 18 组观测资料表明，该层的

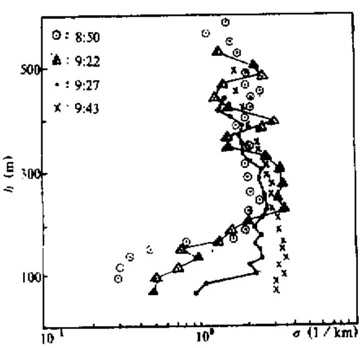

图 6　11 日 08:50 至 09:43 气溶胶消光系数分布

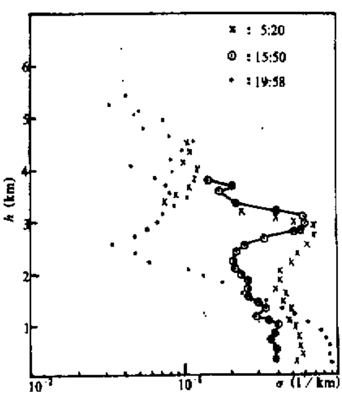

图 7　11 日 15:20 至 19:58 气溶胶消光系数分布

光学厚度约在0.07至0.2之间变化。由于该层持续时间很长，且由于很大的高空风速使高层的沙尘粒子可以被输送到很远的距离，它对于研究沙尘暴的辐射气候效应等都是很重要的。

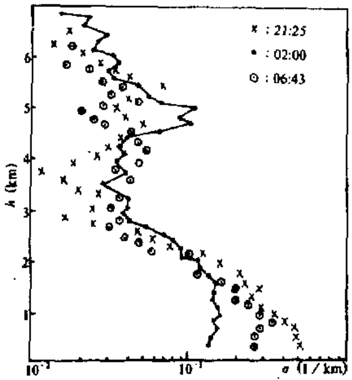

图8 11日21:25至12日06:43气溶胶消光系数分布

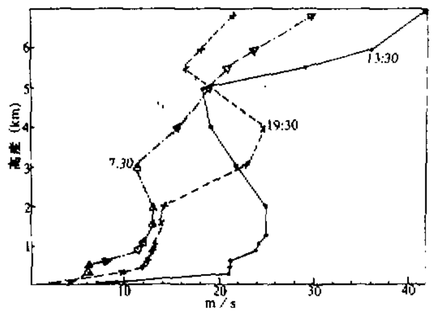

图9 北京风速垂直分布

从上面的分析可以看出，北京在4月11日沙尘暴期间存在着多层沙尘粒子的远距离输送高度层结，不同的时刻具有不同的结构，它跟图9所示的垂直风场结构具有密切的依赖关系。如图9所示，在4月11日自地面至6 km高度存在着很强的水平风速的垂直切变，并有一个或多个垂直切变特征层，在同一特征层内，在中心高度附近风速很大，而在该层的上下边界附近风速较小，如在07:30，从200 m至3 km高度即存在一个水平风速垂直切变特征层，在该层的两端附近风速较小，而在该层的中心，即1.5 km处风速很大。在13:30，在几乎同样高度范围内，存在着一风速更大的切变特征层，在300 m高度处，风速高达21 m／s。4月11日沙尘远距离输送高度结构显然与上述的水平风速垂直切变层特性密切相关。如图6所示，在上午08:50至09:22，200 m以上存在一很厚的沙尘粒子层，其下边界高度与上述风速切变层的下边界高度相近，由于激光有限的探测能力，该层的上边界并未被探测出来，但根据当时探测的大气柱总光学厚度以及风场结构，沙尘粒子看来可能是沿着上述的200 m至3 km的风速切变层远距离输送。当时的总光学厚度大于10，而在200 m至600 m高度范围内，消光系数的均值为2 (1／km)，若假设该层消光系数均一，其值为2 (1／km)，且该层厚度为2 km，该层的光学厚度也只有4，小于总光学厚度1倍以上。到了19:30，存在二个风速切变特征层结构，其一在2 km以下，风速小些，另一在2 km至5 km之间，其中心风速超过24 m／s。从图9看，在15:20和15:30，在2 km至4 km之间存在一沙尘粒子层，而到了19:57，在3 km至5 km之间存在一沙尘层，特别是19:57的沙尘层与19:30的2 km至5 km的风速切变特征层高度具有很好的吻合。在11日整个夜间(图8)，沙尘层稍有上抬。

杨东贞应用 Haris 的 Eular 模式分析了 1988 年 4 月中国沙尘暴源，认为在北京地区，在 700 hPa (约 2 km)和 500 hPa(约 6 km)高度处沙尘粒子均来自内蒙沙漠地区。从本文的结果看，最上一层的沙尘输送带中心高度约在 5 km 高度处。根据气象资料，在银川、呼和浩特、张家口、延安和北京等地，10 日和 11 日在 5 km 至 8 km 高度，基本上为西风略偏北，又根据图 1 和图 2，5 km 高度的沙尘粒子层估计源于北京西部的内蒙地区。在北京和张家口，11 日 07:30 至 19:30，近地面为北风偏西，1 km 至 3 km 基本上为北风，因此，3 km 以下的沙尘粒子估计来自北京西部内蒙沙漠地区以及北京北部的张家口一带。

五、结　论

1988 年北京地区 4 月发生的沙尘暴主要来自于内蒙沙漠地区。在沙尘暴发生过程中，特别是在 4 月 11 日，自地面至 6 km 高度，大气气溶胶浓度分布具有激烈的变化，整个大气柱的气溶胶光学厚度比平时偏大 20 多倍。沙尘粒子沿着三个不同的输送带侵袭北京地区。不同的时刻具有不同的沙尘粒子远距离输送高度层结。其中二个输送带的高度约处于 2000—3000 m 和 3000—6000 m，另一个的下边界约在 200 m 高度，根据风场垂直分布和大气柱总光学厚度分析，其上边界估计在 3000 m 左右。沙尘粒子的远距离传输的高度层结密切依赖于风场的垂直结构，在输送带高度上往往存在很强的风切变，风速的峰值高度与带中心高度基本一致。在 4 月 11 日上午，最低的输送带对沙尘粒子的总光学厚度具有主要贡献，11 日晚上 3 至 6 km 的输送带是主要的。

根据探测结果，0.65 μm 波长的一次散射反照率在 0.95 至 0.82 之间变化，均值为 0.85，从 0.45 μm 至 0.65 μm 波长，一次散射反照率随波长的增大而变小，从 0.65 μm 至 0.85 μm，一次散射反照率变化很小。在 0.65 μm 波长，沙尘粒子折射率虚部约为 0.004。

致谢: 吕达仁、胡裕良、王栋梁等参加了部分工作，特此致谢.

参 考 文 献

[1] Yasumobu Iwasaka, Hiroaki Minoura and Katsuhiro Nagaya, 1983, The transport and spacial scale of Asian dust-storm clouds, *Tellus*, **35**, 189–196.

[2] Zhou Mingyu, et al., 1981, Some properties of aerosol during a dust storm over Beijing aera, *Acta Scientiae Circumstantiae*, **1**, 207–219.

[3] 邱金桓、赵燕曾、汪宏七, 1984, 激光探测沙暴过程中的气溶胶消光系数分布, 大气科学, **8**, 205–210.

[4] Darzi, M. and Winchester, J.W., 1982, Aerosol characteristics at Mauna Loa Observatory, Hawaii, after East Asian dust storm episodes, *J. Geophys. Res.*, **87**, 1251–1258.

[5] Yang Dongzhen, Xu Xiaobin and Wen Yupu, 1991, A case study on sandstorm, *Acta Meteorologica Sinica*, **5**, 150–159.

[6] Iwasaka, Y., Yamato, M., Imasu, R. and Ono, A., 1988, Transport of Asian dust (kosa) particles; importance of weak kosa events on the geochemical cycle of soil particles, *Tellus*, **40**(B), 494–503.

[7] Qu Shaohou, Li Yuying, Zhou Mingyu, Yang Shaojin and Qian Qinfang 1984, Origin of a duststorm over Beijing area, *Acta Scientiae Circumstantiae*, **4**, 80–85.

[8] Wen Yupu et al., 1991, Comparison of aerosol characteristics over mainland of China and western pacific and its long-range transport, *Acta Meteolologica Sinica*, **5**, 160-172.

[9] Qiu Jinhuan, 1989, Theoretical analysis of refrieving atmospheric columnar Mie optical depth from downward total solar radiative flux, *Adv. Atmos. Sci.*, **6**, 313-323.

[10] Herman, B. M. and Deluisi, J.J., 1975, Determination of the effective imaginary term of the complet refractive indek of atmospheric dust by remote sensing: the diffuse-direct radiation method, *J. Atmos. Sci.*, **32**, 918-925.

[11] King, M. D. and Herman, B.M., 1979, Defermination of the ground albedo and the judex of absorption of atmospheric particulates by remote sensing, Part I: Theory, *J. Atmos. Sci.*, 36, 163-173.

[12] Joseph, J.H. and Wiscombe, W.J., 1976, The Delta-Eddingeon approximation for radiative flux transfer, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 23-30.

Optically Remote Sensing of the Dust Storm and Result Analysis

Qiu Jinhuan and Sun Jinhui

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinesee Academy of Sciences, Beijing* 100029)

Abstract

This paper analyzes the optical property of the atmospheric aerosols over Beijing and vertical spacial scale of the aerosol long-range transport during three dust storm events over Beijing aera in April 1988, based on joint lidar-sunphotometer measurement results and meteorological data. The dust storm originated in the desert aera mianly in Inner Mongolia. According to the aerosol extinction coefficient profile detected by lidar, there are three distinct transport layers of the sand particles on April 11, 1988. Two layers among them are 2000-3000 m and 3000-6000 m, respectively. The lower boundary height of another layer is about 200 m. The height structure strongly depends on the vertical profile of wind speed.

During the storm the atmospheric aerosol columnar optical depth in Beijing changed from 0.3 to 15 with a peak of two orders of magnitude larger than the normal, and the mean value of the measured aerosol single scatter albedo at 0.65 μm wavelength on April 11 is 0.85.

Key words: optical depth; extinction coefficient profile; size distribution; single scatter albedo.