

利用近前向散射图样识别单粒子形状的理论研究

张金碧 丁蕾 王颖萍 郑海洋 方黎

Shape classification of single aerosol particle using near-forward optical scattering patterns calculation

Zhang Jin-Bi Ding Lei Wang Ying-Ping Zheng Hai-Yang Fang Li

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 054202 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.054202

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.054202>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I5>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

多次散射因素影响下天空偏振光模式的解析模型

[An analytical model for skylight polarization pattern with multiple scattering](#)

物理学报.2014, 63(11): 114201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.114201>

实际加工表面红外激光散射特性的实验研究

[Infrared laser scattering characteristics of machining surfaces](#)

物理学报.2013, 62(24): 244201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.244201>

基于格林函数法研究金属线栅在太赫兹波段的散射特性

[Study on scattering properties of the metal wire gating in a THz band based on 'Green function method'](#)

物理学报.2013, 62(19): 194207 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.194207>

沙丘粗糙面的二次极化电磁散射

[Secondary electromagnetic polarimetric scattering from dune surface](#)

物理学报.2013, 62(14): 144213 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.144213>

火灾烟雾颗粒 532 nm 光散射矩阵实验研究

[Experimental determination of scattering matrix of fire smoke particles at 532 nm](#)

物理学报.2011, 60(8): 084216 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.60.084216>

## 利用近前向散射图样识别单粒子形状的理论研究\*

张金碧<sup>1)2)†</sup> 丁蕾<sup>1)</sup> 王颖萍<sup>1)</sup> 郑海洋<sup>1)</sup> 方黎<sup>1)</sup>

1) (中国科学院安徽光学精密机械研究所, 环境光谱学研究室, 合肥 230031)

2) (中国科学院大学, 北京 100049)

(2014年6月24日收到; 2014年8月22日收到修改稿)

近前向光学散射图样可以用来表征颗粒物的形状. 基于球形芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、类鼻疽伯克氏菌的回转长椭球模型, 采用离散偶极子近似方法, 通过模拟3个不同方位探测器接收的散射光强响应信号, 讨论了非球形生物气溶胶颗粒的形状对前向角分辨光强的影响. 结合球形指数反演算法, 在一定取向条件下, 前向 $5^{\circ}$ — $20^{\circ}$ 内角分辨散射光强具有识别长形颗粒和非长形颗粒物的能力. 该研究可以为颗粒物形态测量仪器设计以及快速检测有害生物气溶胶提供依据.

关键词: 光散射, 生物气溶胶, 形状, 取向

PACS: 42.25.Fx, 42.68.Mj, 92.60.Mt

DOI: 10.7498/aps.64.054202

## 1 引言

在微小颗粒物的单粒子光学诊断技术<sup>[1]</sup>中, 弹性光散射提供的信号最强. 基于单粒子散射光信号检测技术的光学气溶胶粒子计数仪已经得到广泛的商业化应用. 这类仪器可以实时测量粒子的粒径大小和数量浓度. 光学粒子计数仪通常基于球形粒子散射光强分布测量粒子光学等效粒径, 而许多微小颗粒物形状一般为非球形形状, 所以利用角分辨散射光强研究如何反演非球形粒子的物理特征一直是研究者希望解决的问题. 在该领域研究中Kaye研究组和Chang研究组处于领先地位. Kaye<sup>[2,3]</sup>研究组近二十年来一直致力于微小粒子光学诊断技术研究, 从理论与实验两方面证实了粒子大角度空间光学散射图样可以分辨粒子粒形. 为了实现快速实时检测, Kaye等<sup>[4]</sup>采用3个光电倍增管(PMT)代替ICCD相机收集粒子散射角范围的散射光, 实现了快速区分球形和非球形颗粒物的目标. Chang<sup>[5,6]</sup>研究组主要发展了二维角向光散射技术以及相应的反演粒子特征的算法, 可以得到

粒子的形状、尺寸、表面特征和光学性质等特征. 但是这种二维角向光散射技术由于反演的数据量丰富, 较难实现快速分析. 近几年来, 随着探测元器件的发展以及反演算法的改进, 角分辨光散射技术在环境大气污染探测、工作场所的颗粒物监测以及人为致病气溶胶释放探测等方面进行了广泛应用, 并且有将其应用到探测生物气溶胶应用领域的发展趋势. 韩国研究人员<sup>[7]</sup>近期将Kaye研究组设计的气溶胶粒径形状分析仪与高温瞬时系统结合, 对生物气溶胶在不同温度下的形状变化特征进行了研究.

国内利用散射法探测颗粒物特征的发展还处于起步阶段, 主要表现在数值模拟方面<sup>[8-10]</sup>, 而且更多地偏向随机取向多粒子体系的光学性质(相函数、散射系数等)研究. 而在单粒子数值模拟方面, Feng等<sup>[11]</sup>理论模拟了不同形状生物气溶胶的空间散射图样, 分析了前向 $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$ 散射光强分布分辨粒形和粒径的可行性. 在文献<sup>[11]</sup>中探测器收集的积分散射光强是用点的散射光强代替, 没有考虑探测器口径的大小, 并且未考虑粒子取向变化等实际

\* 国家自然科学基金(批准号: 41275132)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: [postgraduatezjb@126.com](mailto:postgraduatezjb@126.com)

问题. 在气溶胶单粒子粒形测量方面, 文献[12]设计了基于成像法的气溶胶粒形和散射分析仪, 拍摄到了棉絮纤维的显微放大图像并检测到散射光的强度和偏振的变化.

本文在Kaye等研究的启发下, 以生物气溶胶颗粒物为例, 利用离散偶极子近似方法模拟不同形状单粒子的前向空间散射图样. 理论推导前向不同位置探测器的散射光强响应公式, 并讨论取向变化时其分类气溶胶粒形的能力. 为实现快速测量生物气溶胶形状的装置提供设计依据及指导.

## 2 理论基础和反演方法

### 2.1 探测器响应计算公式

假设颗粒物坐落在笛卡尔坐标系( $xyz$ 系)的原点, 如果光源沿 $z$ 轴正方向传播, 那么散射角 $\theta$ 是过 $z$ 轴平面内的极坐标角, 方位角 $\varphi$ 是对应 $z = 0$ 平面内极坐标角.  $\theta = 0^\circ$ 时对应 $z$ 轴正方向,  $\varphi = 0^\circ$ 时对应 $x$ 轴正方向. 当探测器中心位于 $(\theta_0, \varphi_0)$ 时, 任意形状探测器探测到的散射光强度正比于粒子的部分散射截面:

$$S = \frac{\lambda^2}{4\pi^2} \int_{\theta_0 - \alpha_1}^{\theta_0 + \alpha_2} \int_{\varphi_0 - \varphi_1}^{\varphi_0 + \varphi_2} S_{11}(\theta, \varphi) \times \sin \theta d\theta d\varphi, \quad (1)$$

其中 $S_{11}(\theta, \varphi)$ 是粒子散射Mueller矩阵元素,  $\lambda$ 为入射光波长, 角度 $\alpha_1, \alpha_2, \varphi_1, \varphi_2$ 由光学检测装置的设计参数确定.

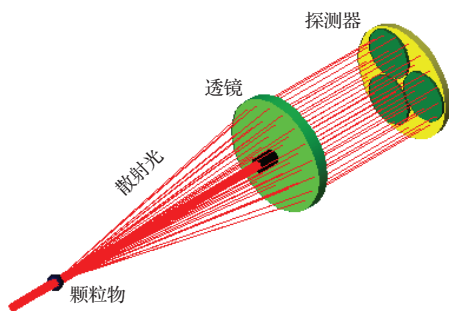


图1 (网刊彩色) 光学结构示意图

我们主要考虑探测前向散射光, 其光学结构如图1所示. 探测器端面为圆形, 因此有 $\alpha_1 = \alpha_2, \varphi_1 = \varphi_2$ . 光线沿 $z$ 轴入射, 在前方 $R$ 处竖直平面内有一探测器, 如图2所示, 其端面边线方程为

$$(x - x_0)^2 + y^2 = r^2, \quad (2)$$

其中

$$x_0 = R \tan \theta_0,$$

$$r = (R \tan \theta_2 - R \tan \theta_1)/2,$$

$\theta_0, \theta_1, \theta_2$ 为光线散射角.

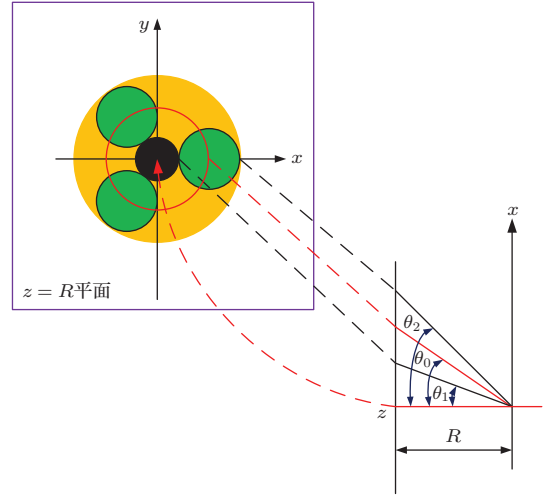


图2 (网刊彩色) 光学结构坐标示意图

散射角为 $\theta$ 的光线, 落在前方 $z = R$ 平面内的轨迹为圆形曲线. 通过该曲线与探测器端面边线方程的交点, 可以确定探测器口径范围内散射光线对应方位角的范围. 因此我们设散射角为 $\theta$ 的光线在 $z = R$ 处平面内的轨迹方程为

$$x = R \tan \theta \cos \varphi, \quad (3)$$

$$y = R \tan \theta \sin \varphi. \quad (4)$$

把(3), (4)式代入(2)式,

$$\begin{aligned} & (R \tan \theta \cos \varphi - R \tan \theta_0)^2 \\ & + (R \tan \theta \sin \varphi)^2 \\ & = \left( \frac{R \tan \theta_2 - R \tan \theta_1}{2} \right)^2. \end{aligned} \quad (5)$$

利用关系式

$$2R \tan \theta_0 = R \tan \theta_1 + R \tan \theta_2. \quad (6)$$

联立(5), (6)式化简,

$$\varphi = \cos^{-1} \left( \frac{\tan^2 \theta + \tan \theta_1 \tan \theta_2}{\tan \theta (\tan \theta_1 + \tan \theta_2)} \right). \quad (7)$$

因此当探测器中心处在方位角 $\varphi_0$ 时, 散射角为 $\theta$ 的光线入射到探测器内的方位角范围为 $\varphi_0 - \varphi \leq \varphi \leq \varphi_0 + \varphi$ . 具有该光学结构特点的实验

装置, 探测器响应正比于

$$S = \frac{\lambda^2}{4\pi^2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\varphi_0-\varphi}^{\varphi_0+\varphi} S_{11}(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi, \quad (8)$$

其中  $\theta_1, \theta_2$  由透镜光学参数确定,  $\varphi$  由 (7) 式推导出.

### 2.2 粒子散射计算方法

对粒子散射 Mueller 矩阵元素的计算, 我们采用离散偶极子近似方法 [13]. 该方法可用于解决具有不规则形状的粒子对电磁波的散射和吸收问题, 而且还可用于粒子是各向异性和非均质的情况. 目前根据离散偶极子方法发展的计算软件主要有 4 种 [14], 分别为 SIRRI, DDSCAT, ZDD 和 Amsterdam DDA (ADDA). 我们选择 ADDA [15] 软件模拟粒子的散射问题. ADDA 软件免费、C 语言编写易于操作、预定义粒形种类较多且易于添加修改、具有并行计算能力.

### 2.3 粒形的反演方法

为了快速反演颗粒物形状, 我们选用三个对称排布的探测器探测光强, 如图 1 所示. 中心位置分别位于  $90^\circ, 210^\circ, 330^\circ$  方位角, 其探测响应利用 (8) 式计算. 为了反演不同形状粒子, 我们选用球形指数算法 [16,17]. 球形指数 (SPX, the sphericity index) 可以用探测器响应的相对标准偏差表示, 表

达式如下:

$$SPX(j) = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E(i, j) - \bar{E}(j))^2}{[(N-1)\bar{E}(j)]^2}}, \quad (9)$$

其中  $N$  为探测器个数,  $E(i, j)$  为单粒子  $j$  在第  $i$  个方位探测器上的响应,  $\bar{E}(j)$  为所有探测器响应的平均值

$$\bar{E}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(i, j).$$

当 SPX 为 1 时表示标准球形, 随着粒子偏离球形程度的增加, SPX 的值减小.

## 3 生物气溶胶模型

### 3.1 形状模型

通常情况下, 不同生物气溶胶颗粒物具有不同的形状和大小, 例如芽孢杆菌的不同种类的生物气溶胶 [18] 以及有害生物气溶胶 [19]. 我们选取其中 3 种进行分析, 分别为球形芽孢杆菌 (bacillus sphaericus)、枯草芽孢杆菌 (bacillus subtilis) 和类鼻疽伯克氏菌 (burkholderia pseudomallei). 这 3 种气溶胶颗粒的尺寸和形状模型如表 1 所示.  $L$  为粒子的长度,  $D$  为粒子的宽度,  $a$  为椭球长轴长,  $b$  为椭球短轴长,  $r_{eq}$  为其等效球形体积半径.

表 1 3 种生物气溶胶颗粒的尺寸及形状

生物气溶胶	形状	尺寸 ( $L \times D$ )/ $\mu\text{m}$	$a/\mu\text{m}$	$b/\mu\text{m}$	$a/b$	$r_{eq}/\mu\text{m}$
球形芽孢杆菌	椭球	(0.82—1.47) × (0.74—1.00)	1.07	0.85	1.2588	0.4589
枯草芽孢杆菌	椭球	(0.89—1.53) × (0.41—0.67)	1.07	0.48	2.2292	0.3135
类鼻疽伯克氏菌	椭球	(2.0—5.0) × (0.4—0.8)	3.0	0.5	6.0	0.4543

### 3.2 生物气溶胶粒子的折射率

探测气溶胶颗粒物的形态特征依赖于折射率的选取. 我们只考虑均匀的生物气溶胶模型, 其复折射率可视为常数. 研究表明生物气溶胶的折射率随着入射波长的不同而改变, 但是在可见光波段其折射率变化不明显. Robinow [20] 等用  $0.589\mu\text{m}$  入射光测量时枯草芽孢杆菌的复折射率实部在 1.51—1.54 之间. Ross 等 [12] 用  $0.542\mu\text{m}$  入射光测量时蜡样芽孢杆菌 (bacillus cereus) 的复折射率实部在 1.513—1.521 之间. 两者折射率虚部均在  $10^{-2}$  量级. 这表明生物气溶胶的组成成分相似时, 呈

现出相似的折射率. 折射率的微小变化对颗粒物的光散射图样影响较小. 我们计算波长选择  $0.532\mu\text{m}$ , 对上述 3 种生物气溶胶颗粒物的折射率可选为  $m = 1.52 + 0.018i$  [5].

## 4 结果与分析

### 4.1 粒子固定取向时散射图样随纵横比的变化

粒子在实验室坐标系的方位称为取向, 用欧勒角 ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) 表示, 如图 3 所示定义, 见文献 [15].

以球形芽孢杆菌的等效球形体积半径  $r_{eq} = 0.4589 \mu\text{m}$  为例, 当非偏振平面波沿实验室坐标系  $x$  轴入射并且粒子的长主轴沿粒子坐标系  $z'$  轴、取向欧勒角为  $(0, 0, 0)$  时, 分析颗粒形状对散射图案的影响. 计算结果分别对应回转长椭球纵横比  $a/b$  为 1.0, 1.2588, 2.2292 和 6.0 的 4 种不同粒形的前向散射图样, 如图 4 所示.

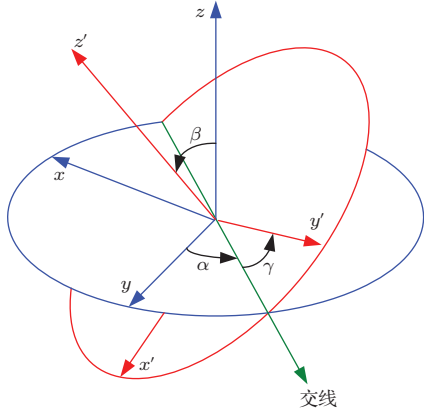


图 3 实验室坐标系  $xyz$  转换成粒子坐标系  $x'y'z'$  的旋转角度  $\alpha, \beta, \gamma$

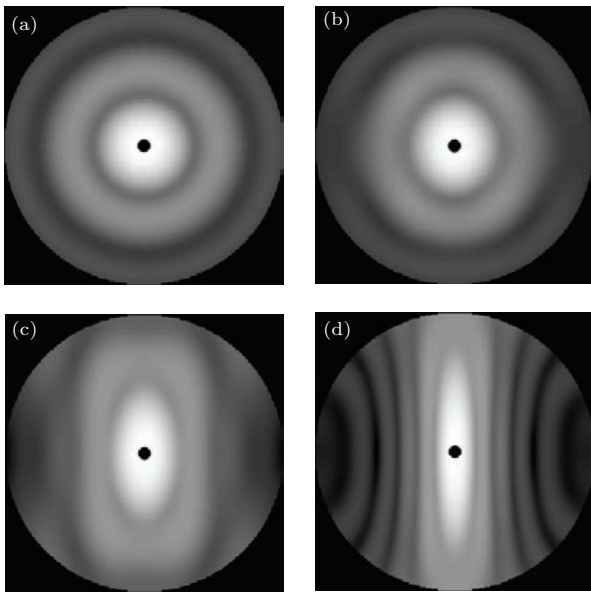


图 4 不同形状单粒子的前向空间散射图样 (等效球形体积半径为  $0.4589 \mu\text{m}$ ) (a) 纵横比为 1.0; (b) 纵横比为 1.2588; (c) 纵横比为 2.2292; (d) 纵横比为 6.0 ( $0^\circ - 5^\circ$  散射角范围遮蔽)

入射光沿垂直纸面方向传播, 正方向朝向观察者. 图 4 中每个图像的径向方向为散射角  $\theta$ , 径向半径为零和最大分别对应  $0^\circ$  散射角和  $90^\circ$  散射角. 方位角  $\varphi$  为以原点为中心的同心圆,  $\varphi = 0^\circ$  在图像的右端. 我们遮蔽前向  $0^\circ - 5^\circ$  散射角对应图像中心

的黑暗处.

图 4 显示球形粒子的散射图样在方位角方向均匀对称, 非球形粒子的散射图样在方位角方向存在差异, 而且随着纵横比的增大, 这种差异性越加明显. 当粒子在某一个方向上的尺度远大于其他方向时如图 4 (d), 其散射图样与球形图样图 4 (a) 差别很大, 这种差异即使是在前向小角度内也非常明显. 这表明可以用前向小角度内散射图样区分颗粒物的形状. 但是我们无法给出优化的角度范围. 因此结合设计方面的考虑, 我们主要研究前向  $5^\circ - 20^\circ$  范围内 3 个探测器响应信号分辨粒形的情况.

### 4.2 粒子取向变化时对反演粒形的影响

理论上粒子的取向影响颗粒物的散射图样. 图 5 反映纵横比为 6.0 的单粒子进样时取向  $\beta$  角变化对形状反演结果 SPX 的影响. 图中箭头方向表示入射光方向. 结果表明反演形状数值 SPX 随着  $\beta$  角的增加而增大.  $\beta = 0^\circ$  时对应  $\text{SPX} < 0.4$  表示粒子偏离球形的程度很大, 而  $\beta = 90^\circ$  时对应  $\text{SPX} = 1$  表示粒子为标准球形粒子. 同一形状的粒子在  $\beta$  不同时得到不同的 SPX 值, 反演粒形结果存在差异甚至是错误. 该结果说明入射光沿着粒子的长轴入射时无法区分这种回转椭球体形状的粒子. 入射光垂直粒子长轴入射时 SPX 数值偏离 1 的程度很大, 便于区分粒子的形状. 这表明颗粒物的准直对于粒形的空间散射光识别非常重要. 图 5 的结果表示在实际颗粒物探测方面, 颗粒物在进样系统中的取向是粒形反演的关键, 随机取向会导致散射图样非常混乱而失去粒形反演的可能性, 因此粒子

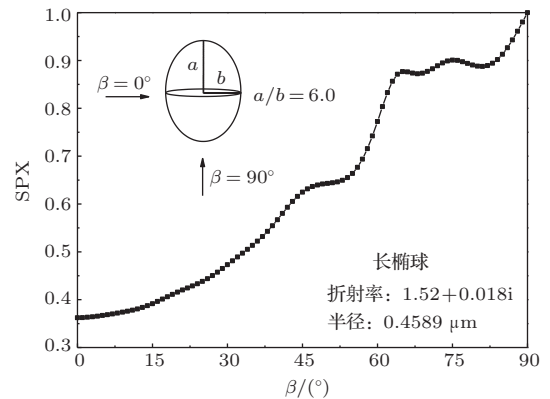


图 5 单粒子 SPX 随 Euler 角  $\beta$  的分布

进样时需要粒子的取向加以控制. 在气溶胶束流进样系统中, 在一定的气流条件下, 长柱形粒子的长轴会倾向平行于束流轴线. 研究表明有73%的长条形粒子进样时与束流轴线保持 $30^\circ$ 倾斜角之内<sup>[22]</sup>. 长形颗粒在束流中的取向存在微小变化的特点, 有利于提取粒形的信息.

### 4.3 3种生物气溶胶粒形的分类

图6表示利用球形指数算法区分球形芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、类鼻疽伯克氏菌3种生物气溶胶形状的结果. 每种粒子我们至少随机选取100种取向进行计算, 每个粒子的欧勒角 $\alpha$ 和 $\beta$ 分别在 $0^\circ$ — $180^\circ$ ,  $0^\circ$ — $30^\circ$ 范围内(回转体不考虑 $\gamma$ 角度). 在0到1之间均匀分成128个SPX类别, 然后计算每种SPX类别对应的直方图频率数分布, 最后用于计算累加数量分布 $C(\text{SPX})$ . 每种SPX类别对应的累加数量都等于包括它以及它之前的所有SPX类别所对应的直方图频率数之和.

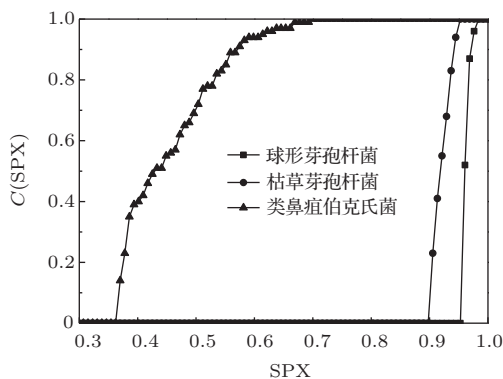


图6 球形芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、类鼻疽伯克氏菌颗粒的累加SPX分布

我们定义 $C(\text{SPX}) = 0.5$ 为 $\text{SPX}_{50}$ , 用来区分粒子形状. 图6显示球形芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、类鼻疽伯克氏菌三种生物气溶胶的累加SPX分布存在明显差异. 球形芽孢杆菌的累加SPX分布很窄 $\text{SPX}_{50}$ 对应0.9603, SPX值几乎全部大于0.95. 枯草芽孢杆菌的 $\text{SPX}_{50}$ 为0.9185,  $\text{SPX} > 0.95$ 比例小于3%. 类鼻疽伯克氏菌的 $\text{SPX}_{50}$ 对应0.4290远小于其他两种类型的 $\text{SPX}_{50}$ , 其SPX值几乎全部小于0.7. 因此理论上这三种粒形的长形和非长形粒子可以分开. 但是球形芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌的 $\text{SPX}_{50}$ 值以及它们对应的累加SPX分布的斜率都非常接近, 因此在实际测量中考虑到噪声等因素对探测器的影响, 将有可能无法区分球形芽孢杆菌

和枯草芽孢杆菌两种粒子的形状. 但是利用前向 $5^\circ$ — $20^\circ$ 散射光可以在多种不同粒形中区分出长形粒子, 如类鼻疽伯克氏菌.

## 5 结 论

本文基于3种生物气溶胶颗粒建立长椭球模型, 采用离散偶极子近似方法, 计算散射光二维角度分布, 讨论了不同形状以及取向对前向角分辨散射光强分布的影响. 结果表明近前向光散射可以用来表征粒形, 但单粒子随机取向可能无法准确分辨粒子形状. 在粒子取向趋于一致的情况下, 前向 $5^\circ$ — $20^\circ$ 角分辨散射光强具有区分长形粒子和非长形粒子的能力.

尽管如此, 利用3个探测器测量近前向不同方位空间散射光强的方法是一种较粗略的快速粒形判别方法. 对于不同颗粒物如果在近前向表现出相似的散射空间图样, 例如长形的空气纤维粒子与类鼻疽伯克氏菌粒子, 仅靠3个探测器无法细致地分类, 还需进一步深入研究.

在发展快速检测颗粒物的方面, 该研究结果可以为设计基于弹性光散射方法探测颗粒形态的检测装置提供理论参考. 在探测有害生物气溶胶领域中, 结合生物气溶胶荧光光谱特征与角分辨光散射技术, 使得在大气环境中连续、实时探测甚至识别生物气溶胶成为可能.

## 参考文献

- [1] Signorell R, Reid J P 2011 *Fundamentals and Applications in Aerosol Spectroscopy* (Boca Raton: Taylor and Francis Group) pp297–298
- [2] Kaye P H, Hirst E, Clark J M, Micheli F 1992 *J. Aerosol Sci.* **23** 597
- [3] Hirst E, Kaye P H 1996 *J. Geophys. Res.* **101** 19231
- [4] Kaye P H, Alexander-Buckley K, Hirst E, Saunders S, Clark, JM 1996 *J. Geophys. Res.* **101** 19215
- [5] Auger J C, Aptowicz K B, Pinnick R G, Pan Y L, Chang R K 2007 *Opt. Lett.* **32** 3358
- [6] Aptowicz K B, Pan Y L, Martin S D, Fernandez E, Chang R K, Pinnick R G 2013 *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* **1** 13
- [7] Jung J H, Lee J E 2013 *Atmos. Environ.* **81** 609
- [8] Fan M, Chen L F, Li S S, Tao J H, Su L, Zou M M, Zhang Y, Han D 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 204202 (in Chinese) [范萌, 陈良富, 李莘莘, 陶金花, 苏林, 邹铭敏, 张莹, 韩冬 2012 物理学报 **61** 204202]

- [9] Rao R Z 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 1790 (in Chinese) [饶瑞中 1998 物理学报 **47** 1790]
- [10] Wang H H, Sun X M 2012 *Chin. Phys. B* **21** 054204
- [11] Feng C X, Huang L H, Wang J B, Zhao Y K, Huang H J 2011 *Chin. Opt. Lett.* **9** 092901
- [12] Shao S Y, Huang Y B, Rao R Z 2009 *Acta Photon. Sin.* **38** 704 (in Chinese) [邵士勇, 黄印博, 饶瑞中 2009 光子学报 **38** 704]
- [13] Purcell E M, Pennypacker C R 1973 *Atrophys. J.* **186** 705
- [14] Penttilä A, Zubko E, Lumme K, Muinonen K, Yurkin M A, Draine B, Rahola J, Hoekstra A G, Shkuratov Y 2007 *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* **106** 417
- [15] Yurkin M A, Hoekstra A G [http://a-dda.googlecode.com/svn/tags/rel\\_1.2/doc/mau\\_al.pdf](http://a-dda.googlecode.com/svn/tags/rel_1.2/doc/mau_al.pdf) [2014-6-23]
- [16] Sachweh B A, Dick W D, Memurry P H 1995 *Aerosol Sci. Technol.* **23** 373
- [17] Barthel H, Sachweh B, Ebert F 1998 *Meas. Sci. Technol.* **9** 210
- [18] Carrera M, Zandomeni R O, Fitzgibbon J, Sagripanti J L 2007 *J. Appl. Microbiol.* **102** 303
- [19] Meselson M, Guillemin J, Hugh J M 2002 *Emerg. Infect. Dis* **8** 225
- [20] Robinow C 1960 *Bacteria* **1** 207
- [21] Tuminello P S, Arakawa E T, Khare B N, Wrobel J M, Query M R, Milham M E 1997 *Appl. Optics* **36** 2818
- [22] Hirst E, Kaye P H, Buckley K M, Saunders S J 1995 *Part. Part. Syst. Charact.* **12** 3

## Shape classification of single aerosol particle using near-forward optical scattering patterns calculation\*

Zhang Jin-Bi<sup>1)2)†</sup> Ding Lei<sup>1)</sup> Wang Ying-Ping<sup>1)</sup> Zheng Hai-Yang<sup>1)</sup> Fang Li<sup>1)</sup>

1) (Laboratory of Environmental Spectroscopy, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

2) (University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

( Received 24 June 2014; revised manuscript received 22 August 2014 )

### Abstract

Particle shapes can be distinguished by the properties of near-forward optical scattering patterns of particles. The discrete dipole approximation method is used to calculate the light scattering patterns of *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Burkholderia pseudomallei* based on their prolate spheroid models. Shape dependence of forward angle-resolved light scattering intensity for nonspherical biological aerosol particles is discussed by simulating their light scattering response of three detectors located in different azimuthal range. Combined with sphericity index method, forward small angle ( $5^\circ$ — $20^\circ$ ) angle-resolved light scattering intensity has the ability to identify the elongated particles and non-elongated particles under certain orientation conditions. This study can help not only design particle morphology measurement instrument but also detect harmful biological aerosol rapidly.

**Keywords:** light scattering, biological aerosol, shape, orientation

**PACS:** 42.25.Fx, 42.68.Mj, 92.60.Mt

**DOI:** 10.7498/aps.64.054202

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41275132).

† Corresponding author. E-mail: [postgraduatezjb@126.com](mailto:postgraduatezjb@126.com)