

# 静态光散射法水体悬浮颗粒物粒度测量背景干扰消除方法

石一鸣<sup>1,2</sup>, 殷高方<sup>1\*</sup>, 赵南京<sup>1\*\*</sup>, 石朝毅<sup>3</sup>, 贾仁庆<sup>1,4</sup>, 马明俊<sup>1</sup>,  
刘灯奎<sup>1,2</sup>, 漆艳菊<sup>1,5</sup>, 夏蒙<sup>1,4</sup>, 甘婷婷<sup>1</sup>, 杨瑞芳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院环境光学与技术重点实验室, 安徽 合肥 230031;

<sup>2</sup>合肥学院生物食品与环境学院, 安徽 合肥 230601;

<sup>3</sup>合肥学院先进制造工程学院, 安徽 合肥 230601;

<sup>4</sup>中国科学技术大学环境科学与光电技术学院, 安徽 合肥 230026;

<sup>5</sup>安徽大学物质科学与信息技术研究院, 安徽 合肥 230601

**摘要** 静态光散射法能够实现水体悬浮颗粒物粒度分布的快速检测,但测量精度易受背景干扰。传统的样品散射光减背景光方法无法有效消除背景干扰。提出了基于散射光基线的背景干扰消除方法,在样品散射光减去背景干扰的基础上,拟合出散射光强分布基线,进一步消除背景的干扰。120  $\mu\text{m}$  及 9.86  $\mu\text{m}$  标准粒径样品的测量结果表明,相较于传统方法,120  $\mu\text{m}$  样品的  $D_{10}$ 、 $D_{50}$  以及  $D_{90}$  的测量相对误差分别由 56.9%、17.2%、8.1% 下降到 0.4%、0.8%、2.8%;9.86  $\mu\text{m}$  样品的  $D_{10}$ 、 $D_{50}$  以及  $D_{90}$  的测量相对误差分别由 17.2%、10.0%、0.1% 变到 11.6%、3.4%、0.1%。表明基线法能够大幅提升背景干扰的去除效果,提高颗粒物粒度测量的准确性。

**关键词** 测量; 背景干扰; 悬浮颗粒物; 粒度测量; CMOS 探测器

中图分类号 X832

文献标志码 A

doi: 10.3788/CJL202249.0704004

## 1 引言

水体悬浮颗粒物会使水质恶化、妨碍水体自净、对鱼类产生危害,其粒径一般在几至几百微米之间。因此,水体中悬浮颗粒物粒度的自动在线测量对于水环境保护有着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。目前,激光散射技术是相对成熟且应用广泛的粒度测量技术,具有快速、准确、可现场监测等优点,国内外已有学者利用该技术开展了大量的工作<sup>[2-6]</sup>。现有的激光粒度测量仪器普遍采用环型光电探测器进行样品光散射信号的图谱探测,但环型光电探测器测量前需要调整中心光斑,使其对准探测器中心,引入了动件调整模块,系统结构复杂<sup>[7-9]</sup>。互补金属氧化物半导体探测器(以下简称 CMOS 探测器)可以有效解决该

问题,因此,成为了激光粒度仪研究的新趋势。然而,虽然 CMOS 探测器具有一定的优势,但测量精度同样受到背景噪声的影响。一方面以激光为光源,光路上任意横截面上的光强均呈高斯分布,所以测量区域内始终存在背景光强;另一方面则是由于光学元件的品质、粉尘对光学表面的污染等<sup>[10-11]</sup>。因此,为了获得准确的样品光散射信号图谱,需要消除背景干扰。当前通常采用样品光散射信号减去背景光信号的方式消除背景干扰(以下简称直接相减法)<sup>[10,12]</sup>。大颗粒散射光强和背景光强都主要分布在小角度范围内,直接相减很难得到大颗粒的准确散射光强分布,干扰测量结果,所以需要进一步校正<sup>[10,13-16]</sup>。环型光电探测器可以通过测量样品的遮光比修正背景消除误差<sup>[10]</sup>。由于 CMOS

收稿日期: 2021-08-09; 修回日期: 2021-09-18; 录用日期: 2021-09-30

基金项目: 中国科学院科研仪器设备研制项目(YJKYYQ20190050)、安徽省科技重大专项(202003a07020007)、中国科学院环境光学与技术重点实验室开放基金(2005DP173065-2020-01)、安徽省高校优秀青年人才支持计划项目(gxyq2021229)

通信作者: \*gfyin@aiofm.ac.cn; \*\*njzhao@aiofm.ac.cn

探测器难以精确计算加样前后的遮光比,本文提出了一种基于基线法的背景干扰消除方法。

## 2 实验条件

本文所用到的实验系统如图 1 所示,主要由激光器、扩束镜、小孔、傅里叶镜、光阑、样品池以及 CMOS 探测器等组成。实验系统选用波长为 638 nm

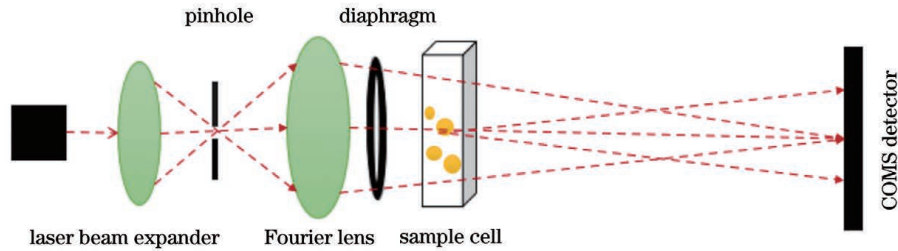


图 1 实验系统

Fig. 1 Experimental system

实验中选用水为介质。样品为北京海岸鸿蒙标准物质技术有限责任公司的 120  $\mu\text{m}$  标准物质(以下称 120  $\mu\text{m}$  标样)和中国计量科学研究所的 9.86  $\mu\text{m}$  标准物质(以下称 9.86  $\mu\text{m}$  标样)。样品材质为聚苯乙烯。

## 3 方法

### 3.1 粒度测量方法

根据 Mie 氏散射理论,入射光照射至待测颗粒后发生散射效应,散射角度与待测样品粒径具有对应关系:待测样品粒径越小,散射角度越大。因此,通过不同角度上的散射光强分布可以求得待测样品的粒度分布<sup>[12]</sup>。

本文基于上述理论,采用 CMOS 图像传感器获取粒子散射光强分布,扣除背景干扰后,采用 Chahine 算法,反演得到待测样品的粒度分布<sup>[17]</sup>。

### 3.2 背景消除方法

本文提出了一种基于基线的背景干扰消除方法。CMOS 图像传感器获取待测样品散射图像后,以艾里斑中心为原点,以一个像元为步进,逐环统计各环像素点灰度值之和,得到待测样品的原始光强分布  $E_{\text{原}}$ 。再采用直接相减法得到修正后的样品散射光强分布  $E$ ,使用非对称最小二乘法拟合出  $E$  的基线  $L$ ,最后利用基线  $L$  对样品散射光强分布  $E$  进行进一步修正,即可得到更加准确的散射光强分布。

非对称最小二乘法拟合的光强分布基线  $L$  目标<sup>[16,18]</sup>为

的半导体激光器,输出功率为 50 mW。CMOS 探测器的物理面幅为 35.9 mm  $\times$  24 mm,其分辨率为 6016 pixel  $\times$  4016 pixel。傅里叶镜的焦距为 270 mm。激光器产生的单色光由扩束镜发散后,经小孔滤波及傅里叶镜聚焦,照射至样品池上。经样品池中颗粒散射后的散射光由位于傅里叶镜焦平面上的 CMOS 探测器接收。

$$\operatorname{argmin}_{\sum_i L_i} \left[ \sum_i \omega_i (E_i - L_i)^2 + \lambda \sum_i (\Delta^2 L_i)^2 \right], \quad (1)$$

式中: $\omega_i$ 为权重因子; $i=1,2,3,\dots$ ;  $E_i$ 为向量  $E$  中的元素; $L_i$ 为向量  $L$  中的元素; $\Delta$ 为二阶差分算子; $\lambda$ 为正则化参数。第一项表示基线与光强分布的非对称拟合程度;第二项是为了保证基线的光滑性,折中因子  $\lambda$  起到了平衡非对称逼近程度和光滑性的作用。

由 (1) 式,得到方程

$$(W + \lambda D^T D)L = WE, \quad (2)$$

式中: $W$ 是由向量  $w$  组成的对角阵,即  $W = \operatorname{diag}(w)$ ,  $w$  为由  $\omega_i$  组成的向量; $D$ 是拟合基线  $L$  的二阶导数矩阵,即  $DL = \Delta^2 L$ 。求解得到估计基线为

$$L = (W + \lambda D^T D)^{-1} WE. \quad (3)$$

权重因子  $\omega_i$  根据非对称的方式选择,当  $E_i > L_i$  时,  $\omega_i = p$ , 而当  $E_i \leq L_i$  时,  $\omega_i = 1 - p$ 。一般  $p$  取很小的值,其取值范围为 0.001 ~ 0.1。 $\lambda$  一般取很大的值,其范围为  $10^2 \sim 10^9$ 。由于优化目标是凸函数,迭代过程会很快收敛。实际求解中,一般 5 ~ 10 次迭代即可收敛。

根据上述非对称最小二乘法,拟合得到光强分布基线,再扣除基线 ( $E' = E - L$ ),得到样品光散射信号图谱。

## 4 结果与讨论

### 4.1 光强分布

根据上述实验系统及样品,测量得到 120  $\mu\text{m}$

标样和  $9.86 \mu\text{m}$  标样的光强分布曲线,以艾里斑中心作为坐标零点,分别统计出未消除背景干扰、直接

相减法以及基线法消除背景干扰后的光强分布曲线,并与 Mie 氏散射理论值对比,结果如图 2 所示。

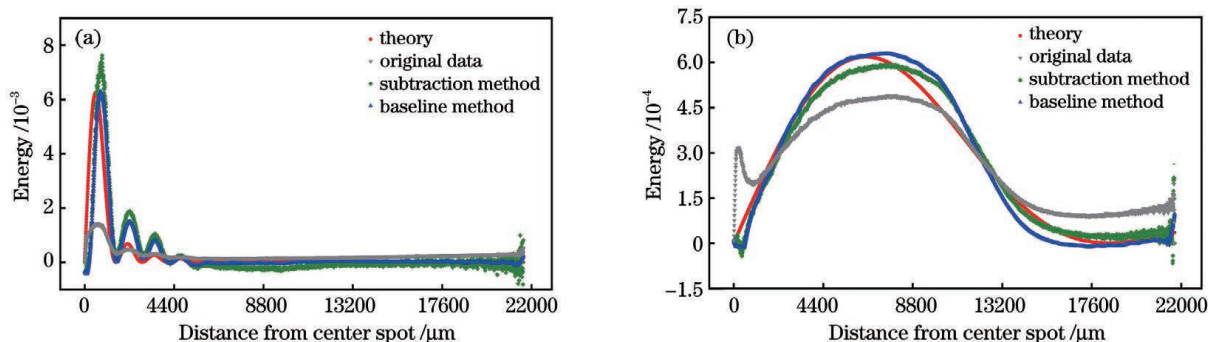


图 2 不同标准样品的光强分布曲线。(a)  $120 \mu\text{m}$  标样; (b)  $9.86 \mu\text{m}$  标样

Fig. 2 Light intensity distributions of different standard samples. (a)  $120 \mu\text{m}$  standard sample; (b)  $9.86 \mu\text{m}$  standard sample

基于 Mie 氏散射理论,距离中心光斑  $6600 \mu\text{m}$  后,散射光强应趋于 0。但当未消除背景干扰时,  $120 \mu\text{m}$  标样的光强在  $6600 \mu\text{m}$  后呈线性上升,与理论值不符。采用直接相减法和基线法消除背景干扰后,上述问题均得到了有效改善,但是与直接相减法得到的光强分布曲线相比,基线法得到的光强分布曲线与 Mie 氏散射理论模型的重合度更高。

基于 Mie 氏散射理论,光强分布在接近中心点处应平滑上升。但在未消除背景干扰时,  $9.86 \mu\text{m}$  标样的光强分布在接近中心点处出现一个尖峰,这是由背景干扰造成的。采用直接相减法和基线法消除背景干扰后,得到的光强分布曲线与 Mie 氏散射理论模型的重合度均较高。

综上所述,光散射法测量悬浮颗粒物粒度分布

时,直接相减法和基线法均能够消除背景干扰。但与直接相减法相比,基线法不仅可以有效消除  $9.86 \mu\text{m}$  标样的背景干扰,  $120 \mu\text{m}$  标样的光强分布曲线也更符合 Mie 氏散射理论模型。

#### 4.2 粒度分布曲线

表征粒度分布的参数为  $D_{10}$ 、 $D_{50}$  以及  $D_{90}$ 。其中,  $D_{10}$  表示体积累计占比为 10% 时对应的粒径,其物理意义是直径小于该值的颗粒体积占总体积的 10%。 $D_{50}$  和  $D_{90}$  的定义类似。

根据 Chahine 反演算法,对待测样品进行粒度反演。标准样品的体积累计占比应呈阶跃式增长;粒径占比分布表现为展宽较窄的单峰,通常用宽度系数  $(D_{90} - D_{10})/D_{50}$  来表征粒径占比分布的展宽。比值越小,展宽越窄。

$120 \mu\text{m}$  标样粒度的反演结果如图 3 所示。

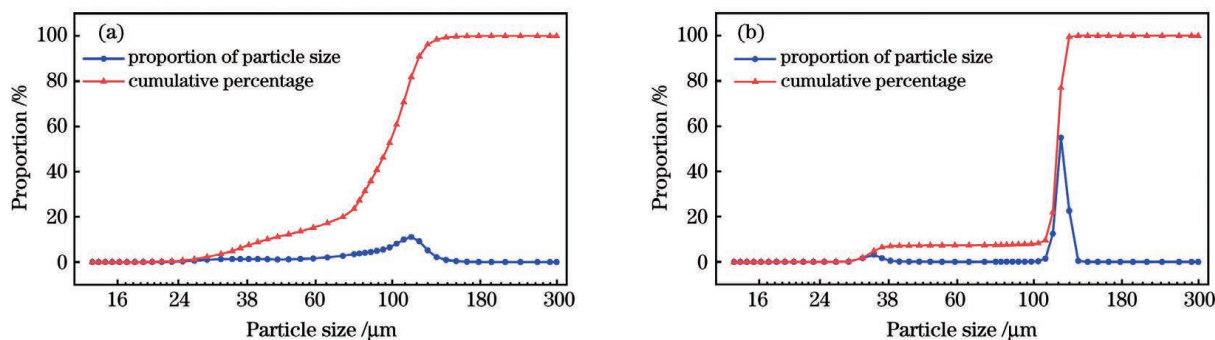


图 3  $120 \mu\text{m}$  标样粒度的反演结果对比。(a) 直接相减法; (b) 基线法

Fig. 3 Comparison of inversion results of  $120 \mu\text{m}$  standard sample. (a) Subtraction method; (b) baseline method

采用直接相减法消除背景干扰时,  $120 \mu\text{m}$  标样体积累计占比的反演结果在  $30 \sim 64 \mu\text{m}$  区间出现明显上升,不符合标准粒径样品体积累计占比呈阶跃式增长的规律。采用基线法消除背景干扰时,

$120 \mu\text{m}$  标样体积累计占比的反演结果在  $110 \sim 126 \mu\text{m}$  区间呈阶跃式增长,在  $126 \mu\text{m}$  后趋于平缓。测量过程中存在的误差导致  $30 \mu\text{m}$  处出现小峰,进一步优化实验系统可减少误差。结果总体上符合标

准粒径样品体积累计占比阶跃式增长分布规律。

采用直接相减法消除背景干扰时,粒径占比分布的宽度系数为 0.7747。采用基线法消除背景干

扰时,其宽度系数为 0.1561。与直接相减法相比,基线法反演结果更符合标准粒径样品的粒径分布规律。

9.86  $\mu\text{m}$  标样粒度的反演结果如图 4 所示。

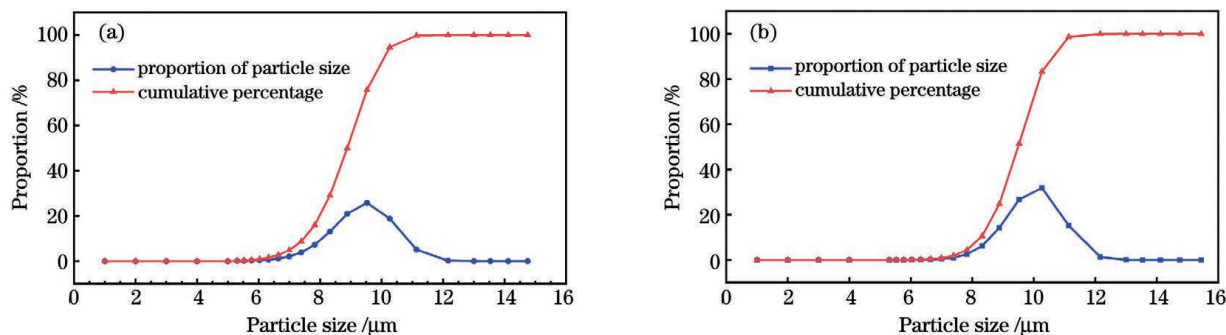


图 4 9.86  $\mu\text{m}$  标样粒度的反演结果对比。(a)直接相减法;(b)基线法

Fig. 4 Comparison of inversion results of 9.86  $\mu\text{m}$  standard sample. (a) Subtraction method; (b) baseline method

采用直接相减法消除背景干扰和采用基线法消除背景干扰时,9.86  $\mu\text{m}$  标样的体积累计占比均呈阶跃式增长,符合标准粒径样品的粒度分布规律。

采用直接相减法消除背景干扰时,粒径占比分布的宽度系数为 0.2748。采用基线法消除背景干扰时,其宽度系数为 0.2046。与直接相减法相比,基线法的反演结果更符合标准粒径样品的粒径分布规律。

由上述粒度反演结果可知:采用直接相减法和

基线法消除背景干扰均可以修正粒度反演结果。对于 9.86  $\mu\text{m}$  标样,两种方法得到的粒度分布结果大致相同。但对于 120  $\mu\text{m}$  标样,基线法的反演结果比直接相减法的反演结果更符合 120  $\mu\text{m}$  标准粒径样品的粒度分布规律。

#### 4.3 粒度分布参数表

根据上述粒度反演结果,统计待测样品的粒度分布,结果如表 1、2 所示。

表 1 120  $\mu\text{m}$  标样粒度的反演结果

Table 1 Inversion results of particle size of 120  $\mu\text{m}$  standard sample

Parameter	Reference value / $\mu\text{m}$	Subtraction method		Baseline method	
		Experimental result / $\mu\text{m}$	Relative error /%	Experimental result / $\mu\text{m}$	Relative error /%
$D_{10}$	108.36	46.55	56.9	107.97	0.4
$D_{50}$	118.79	98.30	17.2	119.75	0.8
$D_{90}$	130.29	119.75	8.1	126.66	2.8

表 2 9.86  $\mu\text{m}$  标样粒度的反演结果

Table 2 Inversion results of particle size of 9.86  $\mu\text{m}$  standard sample

Parameter	Reference value / $\mu\text{m}$	Subtraction method		Baseline method	
		Experimental result / $\mu\text{m}$	Relative error /%	Experimental result / $\mu\text{m}$	Relative error /%
$D_{10}$	9.46	7.83	17.2	8.32	11.6
$D_{50}$	9.87	8.88	10.0	9.53	3.4
$D_{90}$	10.26	10.27	0.1	10.27	0.1

120  $\mu\text{m}$  标样的粒度反演结果如表 1 所示。直接相减法消除背景干扰时,反演结果中  $D_{50}$ 、 $D_{90}$  的相对误差较小,但是  $D_{10}$  的相对误差,高达 56.9%,这说明用直接相减方法消除背景干扰时,光强信息

仍出现较大误差。基线法消除背景干扰时,反演结果的最大误差不超过 2.8%。

9.86  $\mu\text{m}$  标样的粒度反演结果如表 2 所示。基线法与直接相减法相比,粒度反演中各表征参数的

相对误差均较低,基线法可以有效降低 9.86  $\mu\text{m}$  标样粒度反演结果的偏差。

综合上述实验结果可知,基线法能够有效降低背景干扰,提高粒度分布测量精度,对于 120  $\mu\text{m}$  和 9.86  $\mu\text{m}$  大粒径悬浮颗粒物,基线法消除背景干扰的效果明显优于直接相减法。

## 5 结 论

针对静态光散射法测量粒度时背景干扰带来的测量结果偏差问题,提出了一种基于基线法的背景干扰消除方法,并采用 120  $\mu\text{m}$  及 9.86  $\mu\text{m}$  国家标准样品进行了实验分析。实验结果表明,基线法可以有效降低背景干扰导致的测量结果偏差,为静态光散射法准确测量水体悬浮颗粒物粒度提供了技术参考。

## 参 考 文 献

- [1] Hu L N. The main pollutants in water and its hazards [J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(10): 62-63, 81.  
胡丽娜. 水体中的主要污染物及其危害[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(10): 62-63, 81.
- [2] Ma Z H, Merkus H G, de Smet J G A E, et al. New developments in particle characterization by laser diffraction: size and shape[J]. Powder Technology, 2000, 111(1/2): 66-78.
- [3] Bai X F, Gong D J. *In-situ* profiling of suspended particles in the Beibu Gulf and analysis of grain size [J]. Marine Sciences, 2008, 32(7): 11-14.  
柏秀芳, 龚德俊. 北部湾悬浮颗粒现场剖面测量与粒度分析[J]. 海洋科学, 2008, 32(7): 11-14.
- [4] Xie Q, Zhang F G, Lu Q N. Ideal laser particle size analyzer and its measurement lower limit and resolving power[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2022, 59(13): 1329001.  
谢群, 张福根, 吕且妮. 理想激光粒度仪及其测量下限与分辨力[J]. 激光与光电子学进展, 2022, 59(13): 1329001.
- [5] Hu H, Zhang F G, Lü Q N, et al. Measurement upper limit of laser particle size analyzer[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(4): 0429001.  
胡华, 张福根, 吕且妮, 等. 激光粒度仪的测量上限[J]. 光学学报, 2018, 38(4): 0429001.
- [6] Wang W J. Study on key technologies of online laser particle size measurement system[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019.  
王文静. 在线激光粒度测量系统关键技术研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.
- [7] Cai X S, Su M X. Using CCD or CMOS as photoelectric detector to measure the particle size: CN102053050A[P]. 2011-05-11.  
蔡小舒, 苏明旭. 用 CCD 或 CMOS 为光电探测器件的粒度对中测量方法: CN102053050A [P]. 2011-05-11.
- [8] Li C R. Research of laser particle size analyzer based on CCD technology[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2012.  
李彩荣. 基于 CCD 技术的激光粒度仪研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2012.
- [9] Xu R L. Light scattering: a review of particle characterization applications[J]. Particuology, 2015, 18: 11-21.
- [10] Pan L C. Improvement on calculation and detection method of particle scattered light distribution [D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.  
潘林超. 颗粒散射光能分布的计算与探测方法改进[D]. 天津: 天津大学, 2013.
- [11] Qin S X, Cai X S, Ma L, et al. Evaluation of incident light intensity based on Gregory theory of light fluctuation for in-line particle sizing measurement [J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(8): 0812007.  
秦授轩, 蔡小舒, 马力, 等. 基于 Gregory 理论的光脉动法颗粒在线测量中背景光强的估算[J]. 光学学报, 2011, 31(8): 0812007.
- [12] Zhang Y K, Tong W G, Li M X. Limestone slurry particle size detection based on the method of laser diffraction and scattering[J]. Instrumentation Customer, 2018, 25(7): 77-79.  
张一可, 仝卫国, 李敏霞. 基于激光衍射散射法的石灰石浆液颗粒细度检测方法[J]. 仪器仪表用户, 2018, 25(7): 77-79.
- [13] Mo X Q. Linear and nonlinear fitting based on least squares method [J]. Wireless Internet Technology, 2019, 16(4): 128-129.  
莫小琴. 基于最小二乘法的线性与非线性拟合[J]. 无线互联科技, 2019, 16(4): 128-129.
- [14] Xu G Q, Peng T, Wang M, et al. Background noise extraction method based on least-squares linear curve fitting[J]. Digital Communication World, 2018(11): 36-37, 71.  
徐国强, 彭涛, 王孟, 等. 基于最小二乘线性曲线拟合的背景噪声提取方法[J]. 数字通信世界, 2018(11): 36-37, 71.
- [15] Yao C B, Jia Y W, Wu J B, et al. Baseline fitting algorithm of spectral signal region[J]. Acta Photonica Sinica, 2020, 49(12): 111-123.  
姚城斌, 贾云伟, 吴江波, 等. 光谱信号区域基线拟合算法[J]. 光子学报, 2020, 49(12): 111-123.
- [16] Jiang A, Peng J T, Xie Q W, et al. An improved asymmetric least squares baseline correction algorithm

- [J]. Computers and Applied Chemistry, 2012, 29(5): 537-540.
- 姜安, 彭江涛, 谢启伟, 等. 一种改进的非对称最小二乘基线校正算法[J]. 计算机与应用化学, 2012, 29(5): 537-540.
- [17] Xiang J S, He J H, Chen M, et al. Study of character of the forward scattered light of bubbles based on Mie's light scattering theory [J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(11): 2111-2114.
- 项建胜, 何俊华, 陈敏, 等. 基于 Mie 光散射理论的尾流气泡前向散射光特性研究[J]. 光子学报, 2007, 36(11): 2111-2114.
- [18] Schulze G, Jirasek A, Yu M M, et al. Investigation of selected baseline removal techniques as candidates for automated implementation[J]. Applied Spectroscopy, 2005, 59(5): 545-574.

## Static Light Scattering Method for Measuring Particle Sizes of Suspended Particles in Water Body to Eliminate Background Interference

Shi Yiming<sup>1,2</sup>, Yin Gaofang<sup>1</sup>, Zhao Nanjing<sup>1\*</sup>, Shi Chaoyi<sup>3</sup>, Jia Renqing<sup>1,4</sup>, Ma Mingjun<sup>1</sup>, Liu Dengkui<sup>1,2</sup>, Qi Yanju<sup>1,5</sup>, Xia Meng<sup>1,4</sup>, Gan Tingting<sup>1</sup>, Yang Ruifang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Environmental Optics and Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China;

<sup>2</sup>College of Biological Food and Environment, Hefei University, Hefei, Anhui 230601, China;

<sup>3</sup>College of Advanced Manufacturing Engineering, Hefei University, Hefei, Anhui 230601, China;

<sup>4</sup>College of Environmental Science and Optoelectronic Technology, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China;

<sup>5</sup>Institute of Physical Science and Information Technology, Anhui University, Hefei, Anhui 230601, China

### Abstract

**Objective** Suspended particles in the water body deteriorate the water quality, hinder self-purification of the water body, and cause harm to fish. The particle sizes generally range from a few microns to hundreds of microns. Therefore, the automatic online particle size measurement of suspended particles in the water body plays a vital role in water environmental protection. At present, the laser scattering technology is a relatively mature and widely used particle size measurement technology. In the process of measuring the particle size distribution of suspended particles in water by static light scattering, the background interference is inevitable. Therefore, in order to obtain an accurate particle size distribution, it is necessary to eliminate background interference. Currently, the background interference is eliminated by subtracting the background light signal from the light scattering signal of the sample. However, the scattered light intensity of large particles and the background light intensity are mainly distributed in a small angle range. It is difficult to obtain an accurate scattered light intensity distribution of large particles by direct subtraction, which interferes with the measurement results, so the further spectral correction is required.

**Methods** According to the principle of Mie's scattering, the scattering experimental picture of a single particle size sample should be light-and-dark-alternating concentric rings. In addition, the farther away from the center of the ring, the lower the brightness, and the light intensity distribution is a fluctuation function with a gradual decay in amplitude. Theoretically, the trough of the light intensity distribution curve should be zero, but in reality, it is not zero because of the background interference. Therefore, a background correction method is needed to eliminate background interference as much as possible. This paper proposes a baseline-based background interference elimination method. First, the direct subtraction method is used to obtain the corrected sample scattered light intensity distribution of  $E$ . Then the asymmetric least squares method is used to fit the baseline  $L$  of  $E$ . Finally, the baseline  $L$  is used to further correct the sample scattered light intensity distribution of  $E$  to obtain more accurate results.

**Results and Discussions** This paper proposes a background interference elimination method based on the scattered light baseline. On the basis of sample scattered light minus background interference, the baseline of the scattered light intensity distribution is fitted to further subtract the background and eliminate interference. As shown in

Fig. 3, the broadening of the peak shape in the 120  $\mu\text{m}$  particle size distribution is reduced from 0.7747 to 0.1561. As shown in Fig. 4, the broadening of the peak shape in the 9.86  $\mu\text{m}$  particle size distribution is reduced from 0.2748 to 0.2046. As shown in Tables 1 and 2, the measurement results of the 120  $\mu\text{m}$  and 9.86  $\mu\text{m}$  standard particle size samples show that the relative errors of  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ , and  $D_{90}$  of the 120  $\mu\text{m}$  sample change from 56.9%, 17.2%, and 8.1% to 0.4%, 0.8%, and 2.8%, respectively. The relative errors of  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ , and  $D_{90}$  of the 9.86  $\mu\text{m}$  sample change from 17.2%, 10.0%, and 0.1% to 11.6%, 3.4%, and 0.1%, respectively. It shows that the baseline method can greatly improve the background interference removal effect and improve the accuracy of particle size measurement.

**Conclusions** Aiming at the problem of deviation in measurement results caused by background interference when using CMOS sensor static light scattering method to measure particle size, this paper proposes a background interference elimination method based on the baseline method, and uses 120  $\mu\text{m}$  and 9.86  $\mu\text{m}$  national standard samples for the experimental analysis. The experimental results show that the baseline method can effectively reduce the deviation in measurement results caused by background interference, which provides a technical reference for the use of CMOS sensor to carry out an accurate particle size measurement of suspended particles in water body by static light scattering.

**Key words** measurement; background interference; suspended particulate matter; particle size measurement; CMOS detector