



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102914518 A

(43) 申请公布日 2013. 02. 06

(21) 申请号 201210390003. 1

G01N 15/02 (2006. 01)

(22) 申请日 2012. 10. 15

(71) 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所

地址 230031 安徽省合肥市蜀山湖路 350 号

申请人 胜利油田胜利勘察设计研究院有限公司

(72) 发明人 桂华侨 韩霞 王杰 程寅 赵南京 陆亦怀 刘建国 张玉钧 张建 王田丽 殷高方 李德平 曹会彬

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理有限公司 34112

代理人 余成俊

(51) Int. Cl.

G01N 21/49 (2006. 01)

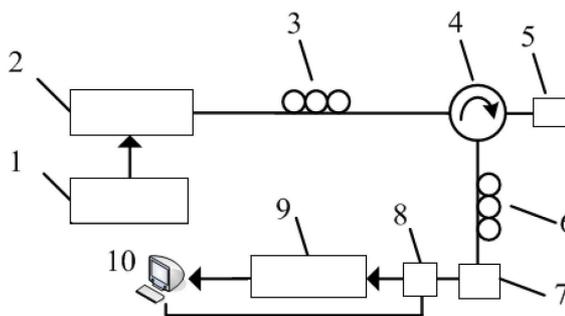
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置及方法

(57) 摘要

一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置及方法,包括激光器调制模块、激光器、光纤、光纤环行器、光纤聚焦器、光电探测器、放大解调电路、自相关器、计算机构成,其特征在于采用光纤环行器、光纤聚焦器和自相关器的全光纤式探测结构,采用单个激光器和光电探测器,利用后向散射光的整体光强变化及自相关特性,实现远距离、狭小空间下液体浊度和颗粒物粒径的同时在线测量。本发明结构简单、小型实用,适用于复杂环境下的液体浊度和颗粒物粒径的在线监测。



1. 一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:包括激光器调制模块(1)、激光器(2)、第一光纤(3)、三端口光纤环行器(4)、光纤聚焦器(5)、第二光纤(6)、光电探测器(7)、放大解调电路(8)、自相关器(9)、计算机(10);所述激光器(2)经过激光器调制模块(1)控制后输出方波调制激光,经第一光纤(3)传输到三端口光纤环行器(4)的第一端口,然后从三端口光纤环行器(4)的第二端口输出到光纤聚焦器(5),光纤聚焦器(5)将激光聚焦到待测液体上,在焦点处的部分后向散射光按原路返回光纤聚焦器(5),从三端口光纤环行器(4)第二端口传输到三端口光纤环行器(4)第三端口,经第二光纤(6)传输到光电探测器(7),光电探测器(7)将光信号转变为电信号,电信号经放大解调电路(8)后分为两路,一路经过自相关器(9)进行相关性分析并将参数输入到计算机(10),另一路直接将解调后的电压幅值参数输入到计算机(10),最终由计算机(10)输出液体浊度和颗粒物粒径监测结果。

2. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述激光器(2)采用带尾纤的可调制半导体DFB或LD激光器,激光器(2)光功率 $\geq 20\text{mW}$ 。

3. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述第一光纤(3)和第二光纤(6)采用单模石英光纤,1550nm波长处损耗 $\leq 0.25\text{dB/km}$ ,来回传输距离在3km左右时损耗小于40%。

4. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述光纤环行器(4)的插入损耗 $\leq 0.8\text{dB}$ 、隔离度 $\geq 40\text{dB}$ 。

5. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述光纤聚焦器(5)的插入损耗 $\leq 0.25\text{dB}$ ,数值孔径 $\geq 0.1$ 。

6. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述光电探测器(7)采用带尾纤的高灵敏度雪崩光电探测器模块,灵敏度优于 $-33\text{dBm}$ ,可与第二光纤(6)有效耦合。

7. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述放大解调电路(8)采用带通滤波和平均值检波电路。

8. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述自相关器(9)的最小可调采样时间 $\leq 0.1\mu\text{s}$ ,通道数 $\geq 60$ 。

9. 根据权利要求1所述的同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:所述光纤环行器(4)和光纤聚焦器(5)根据实际应用场合选用耐高温器件,最高温度选择150摄氏度以上或进行耐压隔热封装。

10. 一种基于权利要求1所述装置的同时测量浊度和粒径的激光在线传感方法,其特征在于包括以下步骤:

第一步,激光器调制模块(1)对激光器(2)进行方波调制,调制后的激光经第一光纤(3)、三端口光纤环行器(4)、光纤聚焦器(5)入射光待测液体;

第二步,经过待测液体颗粒散射后的部分后向散射光按原光路返回到光纤聚焦器(5),散射光依次经三端口光纤环行器(4)第三端口、第二光纤(6)传输到光电探测器(7),光信号转化为电信号后输入放大解调电路(8),以获得解调后散射光信号变化对应电压幅值;

第三步,将解调后的信号幅值送入自相关器(9),去掉最初的16个以上的通道点,进行

单指数衰减拟合,得到光强自相关曲线的平均线宽;

第四步,利用 400NTU 福尔马肼标准液配制 6 种以上不同浊度的福尔马肼标准液,将光纤聚焦器(5)固定在液体容器内,先注入去离子水测量后向散射光电压幅值,之后加入福尔马肼标准液,通过放大解调电路(8)获得对应的后向散射光电压幅值,不断重复加入 6 种以上不同浊度的福尔马肼标准液,将测量到的标准液后向散射光电压幅值减除去离子水的后向散射光电压幅值,将 6 组以上的数据进行线性拟合得到信号幅值与浊度的标准变化关系;

第四步,选取 6 种以上粒径在 10 纳米至 2 微米粒径范围内的标准聚苯乙烯溶液,依次测量并获得标准粒径下的光强自相关曲线平均线宽与粒径的标准变化关系;

第五步,将自聚焦器(5)放入待测液体内,由计算机(10)将所得的信号幅值和光强自相关曲线斜率分别与浊度和粒径标准变化关系比对,得出液体浊度和粒径信息。

## 一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置及方法,属于环境监测技术领域。

### 背景技术

[0002] 在水质分析过程中,浊度和颗粒物粒径均是反映水质污染状况的重要指标。液体浊度偏高时,一般伴随着很强的颗粒物的散射消光现象。随着生产力的提高、社会文明的进步,人们对水质浊度和颗粒物的研究已经深入到石油、化工、医药、环保等诸多领域。水质浊度和颗粒物的监测与控制,对提高生产效能、控制环境污染、保护人体健康等方面都有着重要意义。例如,中国规定饮用水的浑浊度不得超过5度,需要对饮用水中包含隐孢子虫和贾第虫颗粒的粒径进行监测,以防止致病原生物疾病的发生。在油田回注水过程中,需要过滤水中悬浮颗粒物,否则当粒径较大的颗粒物通过土壤时就会堵塞渗流孔道,造成出油率下降甚至注水效果失效等问题。

[0003] 目前,国内外在液体浊度和颗粒物粒径测量方面采用,应用较为广泛的是光散射测量技术,但一般均为浊度和粒径的单独测量。浊度在线测量产品的仪器逐渐可以做到小型化,而颗粒物粒径测量系统则相对复杂很多。英国Malvern、日本岛津、美国Coulter等公司均推出了精度和测量范围宽的静态光散射粒度仪,但系统体积庞大、光学机构复杂、探测器数目众多(100个以上),难以实现颗粒物粒径的在线测量,对于狭小空间下的颗粒物测量需求更是无法满足。国内的丹东百特、珠海欧美克、成都精新、济南微纳等正规粒度仪器制造商为代表的国产粒度仪的产品质量也在不断提高,但也同样面临上述问题。随后,国内外也开始发展基于动态光散射的颗粒物粒径测量技术,因该方法在光信号采集过程中只需要单个探测器,因此系统复杂性有所降低,但仅限于实验室内纳米级颗粒物粒径分析,系统仍无法满足小空间内颗粒物粒径在线监测需求。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是为了克服现有技术的不足,提供一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置及方法,实现远距离狭小空间及特别恶劣环境下液体浊度和颗粒物粒径的准确在线监测。

[0005] 本发明采用的技术解决方案是:

[0006] 一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置,其特征在于:包括激光器调制模块(1)、激光器(2)、第一光纤(3)、三端口光纤环行器(4)、光纤聚焦器(5)、第二光纤(6)、光电探测器(7)、放大解调电路(8)、自相关器(9)、计算机(10);所述激光器(2)经过激光器调制模块(1)控制后输出方波调制激光,以减少外界环境慢变化对信号的干扰,经第一光纤(3)传输到三端口光纤环行器(4)的第一端口,然后从三端口光纤环行器(4)的第二端口输出到光纤聚焦器(5),光纤聚焦器(5)将激光聚焦到待测液体上,在焦点处的部分后向散射光按原路返回光纤聚焦器(5),光纤聚焦器(5)既提高散射信号光的接收效率并避免了分

立探测对环境变化的敏感性,从三端口光纤环行器(4)第二端口传输到三端口光纤环行器(4)第三端口,三端口光纤环行器(4)最大限度降低了输入光和光纤中后向散射光非线性效应对散射光的干扰,经第二光纤(6)传输到光电探测器(7),光电探测器(7)将光信号转变为电信号,电信号经放大解调电路(8)后分为两路,一路经过自相关器(9)进行相关性分析并将参数输入到计算机(10),另一路直接将解调后的电压幅值参数输入到计算机(10),分别利用后向散射和自相关原理同时获取液体浊度和颗粒物粒径信息,最终由计算机(10)输出液体浊度和颗粒物粒径监测结果。

[0007] 所述激光器(2)采用带尾纤的可调制半导体 DFB 或 LD 激光器,采用方波调制以避免杂散光及背景慢变化引起的干扰。激光器(2)光功率 $\geq 20\text{mW}$ ,发射波长在光纤低损耗窗口(比如 1550nm),以实现远距离的激光传输和信号探测。

[0008] 所述第一光纤(3)和第二光纤(6)采用单模石英光纤,1550nm 波长处损耗 $\leq 0.25\text{dB/km}$ ,来回传输距离在 3km 左右时损耗小于 40%。

[0009] 所述光纤环行器(4)的插入损耗 $\leq 0.8\text{ dB}$ 、隔离度 $\geq 40\text{dB}$ ,可以实现输入光和后向散射信号光的有效分离,同时避免输入光的后向散射非线性效应造成的光频谱展宽,提高信号的信噪比。

[0010] 所述光纤聚焦器(5)的插入损耗 $\leq 0.25\text{dB}$ ,数值孔径 $\geq 0.1$ ,以提高散射光接收效率。

[0011] 所述光电探测器(7)采用带尾纤的高灵敏度雪崩光电探测器模块,灵敏度优于  $-33\text{dBm}$ ,可与第二光纤(6)有效耦合,以实现低浊度下光信号的准确测量。

[0012] 所述放大解调电路(8)采用带通滤波和平均值检波电路,电路通过对电信号进行带通滤波、全波整流及低通滤波,解调得到的直流信号,最后经运放二级放大得到稳定信号。

[0013] 所述自相关器(9)的最小可调采样时间 $\leq 0.1\mu\text{s}$ ,通道数 $\geq 60$ ,以实现较快速度的信号分析,减少统计误差并扩大延迟时间范围,最终输出准确的自相关参数。

[0014] 所述光纤环行器(4)和光纤聚焦器(5)根据实际应用场合选用耐高温器件,最高温度选择 150 摄氏度以上或进行耐压隔热封装,以实现恶劣测量环境下的液体浊度和颗粒物粒径的在线监测。

[0015] 一种同时测量浊度和粒径的激光在线传感方法,包括以下步骤:

[0016] 第一步,激光器调制模块(1)对激光器(2)进行方波调制,调制后的激光经第一光纤(3)、三端口光纤环行器(4)、光纤聚焦器(5)入射光待测液体内;

[0017] 第二步,经过待测液体内颗粒物散射后的部分后向散射光按原光路返回到光纤聚焦器(5),散射光依次经三端口光纤环行器(4)第三端口、第二光纤(6)传输到光电探测器(7),光信号转化为电信号后输入放大解调电路(8),以获得解调后散射光信号变化对应电压幅值;

[0018] 第三步,将解调后的信号幅值送入自相关器(9),去掉最初的 16 个以上的通道点。进行单指数衰减拟合,得到光强自相关曲线的平均线宽;

[0019] 第四步,利用 400NTU 福尔马胂标准液配制 6 种以上不同浊度的福尔马胂标准液,将光纤聚焦器(5)固定在液体容器内,先注入去离子水测量后向散射光电压幅值,之后加入福尔马胂标准液,通过放大解调电路(8)获得对应的后向散射光电压幅值。不断重复加入 6

种以上不同浊度的福尔马肼标准液,将测量到的标准液后向散射光电压幅值减去离子水的后向散射光电压幅值;将 6 组以上的数据进行线性拟合得到信号幅值与浊度的标准变化关系;

[0020] 第四步,选取 6 种以上粒径在 10 纳米至 2 微米粒径范围内的标准聚苯乙烯溶液,依次测量并获得标准粒径下的光强自相关曲线平均线宽与粒径的标准变化关系;

[0021] 第五步,将自聚焦器(5)放入待测液体内,由计算机(10)将所得的信号幅值和光强自相关曲线斜率分别与浊度和粒径标准变化关系比对,得出液体浊度和粒径信息。

[0022] 本发明的测量原理如下:

[0023] 通过测量激光经过待测液体内悬浮颗粒的后向散射光,分析散射光强度和自相关特性变化,从而得液体浊度和颗粒物粒径信息。根据米散射原理,在入射光强不变的条件下,散射光强与浊度的变化关系可简化为:

$$[0024] \quad I_r = KT$$

[0025] 因此,水中后向散射光强总是与浊度 T 成正比例关系,实际测量中只需将系数 K 用浊度标准液标定得到后就可由后向散射光强计算出浊度值。

[0026] 散射光强的归一化自相关函数为:

$$[0027] \quad g(\tau) = \langle I_r(t) I_r(t+\tau) \rangle / \langle I_r(t) \rangle^2$$

[0028] 其中,  $I_r(t)$ 、 $I_r(t+\tau)$  为在时刻 t 和 t+ $\tau$  接收到的散射光强信号,  $\tau$  为延迟时间。对  $g(\tau)$  进行单指数拟合,即得到平均线宽:

$$[0029] \quad \bar{\eta} = \int_0^{\infty} G(\eta) \eta d\eta$$

[0030] 其中,  $G(\eta)$  为  $g(\tau)$  的拉普拉斯变换结果。

[0031] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0032] (1) 本发明利用光纤环行器、光纤聚焦器结构,实现了远距离后向散射光信号探测,有效避免了光纤非线性效应对测量信号的干扰;

[0033] (2) 本发明利用后向散射和自相关原理,通过提取后向散射信号的光强变化及自相关信息,同时实现了液体浊度和颗粒物粒径的准确测量;

[0034] (3) 本发明探测及传输系统均采用光纤器件,装置采用单个光源和探测器,结构紧凑、体积小,适合狭小空间下液体浊度和颗粒物粒径的在线测量;同时全光纤探测结构可以有效避免外界环境的干扰,提高系统测量精度;

[0035] (4) 本发明采用单模光纤、光纤环行器和高灵敏度雪崩光电探测器,可以获得很高信噪比的信号,可实现宽范围浊度和粒径信息的准确测量。

## 附图说明

[0036] 图 1 为本发明中同时测量浊度和粒径的激光在线传感装置结构示意图。

## 具体实施方式

[0037] 如图 1 所示,本发明测量装置包括:激光器调制模块 1、激光器 2、第一光纤 3、三端口光纤环行器 4、光纤聚焦器 5、第二光纤 6、光电探测器 7、放大解调电路 8、自相关器 9、计算机 10;所述激光器 2 经激光器调制模块 1 进行方波调制后输出方波调制激光,以减少外

界环境慢变化对信号的干扰,激光经第一光纤 3 传输到三端口光纤环行器 4 的第一端口,然后从三端口光纤环行器 4 的第二端口输出到光纤聚焦器 5,自光纤聚焦器 5 出射的光经液体中颗粒物散射后部分后向散射光按原路返回光纤聚焦器 5,光纤聚焦器 5 既提高散射信号光的接收效率并避免了分立探测对环境变化的敏感性,并从三端口光纤环行器 4 第三端口经第二光纤 6 传输到光电探测器 7,三端口光纤环行器 4 最大限度降低了输入光和光纤中后向散射光非线性效应对散射光的干扰,光电探测器 7 将光信号转变为电信号,电信号经放大解调电路 8 后分为两路,一路经过自相关器 9 进行相关性分析并将参数输入到计算机 10,另一路直接将解调后的电压幅值参数输入到计算机 10,分别利用后向散射和自相关原理同时获取液体浊度和颗粒物粒径信息,最终由计算机 10 输出液体浊度和颗粒物粒径监测结果。

[0038] 其中激光器 2 为具有良好调制特性的半导体 DFB 或 LD 激光器,带单模尾纤输出,第一光纤 3 和第二光纤 6 为单模石英光纤,光电探测器 8 为高灵敏度雪崩光电探测器模块,自相关器为多通道宽动态范围的数字相关器,以确保激光信号的远程传输(0-10KM)以及散射光的高灵敏探测。

[0039] 本发明测量方法实现步骤如下:

[0040] (1) 激光器调制模块 1 对激光器 2 进行方波调制;

[0041] (2) 调制后的激光一次经第一光纤 3、三端口光纤环行器 4、光纤聚焦器 5 入射光待测液体;

[0042] (3) 经过待测液体中颗粒物散射后的部分后向散射光按原光路返回到光纤聚焦器 5,散射光依次经三端口光纤环行器 4 第三端口、第二光纤 6 传输到光电探测器 7,光信号转化为电信号后输入放大解调电路 8,以获得解调后散射光信号变化对应电压幅值;

[0043] (4) 将解调后的信号幅值送入自相关器 9,去掉最初的 16 个以上的通道点,进行单指数衰减拟合,得到光强自相关曲线的平均线宽;

[0044] (5) 利用 400NTU 福尔马肼标准液配制 6 种以上不同浊度的福尔马肼标准液,将光纤聚焦器 5 固定在液体容器内,先注入去离子水测量后向散射光电压幅值,之后加入福尔马肼标准液,通过放大解调电路 8 获得对应的后向散射光电压幅值。不断重复加入 6 种以上不同浊度的福尔马肼标准液,将测量到的标准液后向散射光电压幅值减除去离子水的后向散射光电压幅值。

[0045] (6) 将 6 组以上的数据进行线性拟合得到信号幅值与浊度的标准变化关系,拟合曲线为:

$$[0046] \quad Y=A+B \cdot X$$

[0047] 其中 Y 代表信号电压幅值, X 代表浊度值, A 和 B 分别为线性拟合参数。采用最小二乘法进行线性拟合后得到参数 A 和 B 的值,并画出拟合曲线;

[0048] (7) 选取 6 种以上粒径在 10 纳米至 2 微米粒径范围内的标准聚苯乙烯溶液,依次测量并通过自相关器 9 得出标准粒径下的光强自相关函数;

[0049] (8) 对  $g(\tau)$  进行单指数拟合,即得到平均线宽:

$$[0050] \quad \bar{\eta} = \int_0^{\infty} G(\eta) \eta d\eta$$

[0051] (9) 将 6 组以上的数据进行线性拟合得到并获得标准粒径下的光强自相关曲线平

均线宽与粒径的标准变化关系；

[0052] (10)将激光在线传感装置的自聚焦器 5 放入待测液体内,由计算机 10 将所得的信号幅值和光强自相关曲线斜率分别与浊度和粒径标准变化关系比对,得出液体浊度和颗粒物粒径信息。

[0053] 总之,同时实现远距离、狭小空间及其他复杂环境下液体浊度和颗粒物粒径的准确在线测量。本发明结构简单、小型实用,适用于复杂环境下的液体浊度和颗粒物粒径的在线监测。

[0054] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

[0055] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

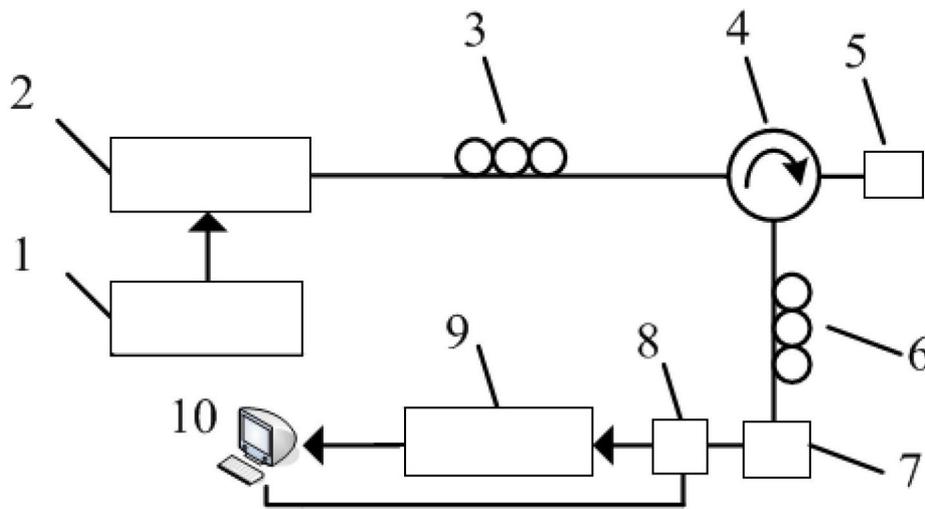


图 1