

大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法

申请号: [201110211002.1](#)

申请日: 2011-07-26

申请(专利权)人 [中国科学院安徽光学精密机械研究所](#)
地址 [230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路350号](#)
发明(设计)人 [邵士勇 张伟 朱文越 饶瑞中](#)
主分类号 [G01N21/49 \(2006.01\) I](#)
分类号 [G01N21/49 \(2006.01\) I](#) [G01N21/01 \(2006.01\) I](#)
公开(公告)号 [102262071A](#)
公开(公告)日 [2011-11-30](#)
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](#)



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102262071 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 30

(21) 申请号 201110211002. 1

(22) 申请日 2011. 07. 26

(71) 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所

地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路
350 号

(72) 发明人 邵士勇 张伟 朱文越 饶瑞中

(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)

G01N 21/01 (2006. 01)

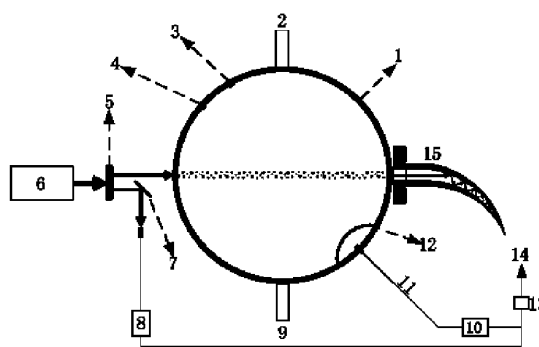
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法, 包括有积分球、太阳光模拟器、光纤光谱仪、计算机, 其中积分球采用聚四氟乙烯作为内部反射涂层, 通过其截断角优势提高了散射光的收集效率, 从而有效增强了散射系数谱测量的灵敏度。本发明建立了 350~1000nm 波段散射系数谱的测量公式, 使得光电转换过程中因波长不同而导致的转换响应度不同得到了有效规避, 能够检测大气气溶胶散射系数谱随温度、湿度和气压的演变规律, 具有原理简单, 操作方便, 检测速度快的特点。



1. 大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:包括有积分球、太阳光模拟器、分束器、光纤光谱仪 I 和光纤光谱仪 II、放大器和计算机。所述光纤光谱仪 II 的接收端耦合入积分球中,所述积分球上设置有彼此对称的样品出、入口,以及彼此对称的光束出、入口,且样品出、入口分别位于积分球竖直直径两端,光束出、入口分别位于积分球水平直径两端,积分球上还设置有温湿度传感器、气压传感器,所述太阳光模拟器向积分球发射太阳模拟光,所述太阳模拟光被所述分束器分成两束能量相同的出射光,其中一路出射光为参考光,所述参考光被所述光纤光谱仪 I 接收,另一路出射光为积分球入射光,积分球入射光从积分球的光束入口入射至积分球内,光路上的大气气溶胶粒子在入射光照射下形成散射,粒子散射光经积分球内表面多次反射后,光辐射能量平均分布,其中光纤光谱仪 II 探头覆盖立体角内的辐射光强被抽样接收,所述光纤光谱仪 I 与光纤光谱仪 II 的信号输出线共接入所述放大器中,所述放大器输出线与计算机电连接。

2. 根据权利要求 1 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述参考光通过具有直角拐角的铝质管道引入光纤光谱仪 I,铝质管道管壁经过粗糙化发黑处理,铝质管道内的直角拐角处设置有将参考光反射至光纤光谱仪 I 的反射镜;所述积分球入射光通过管壁粗糙化发黑处理的铝质直管引入积分球光束入口。

3. 根据权利要求 1 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述积分球的样品出口与一个抽气泵连通,且样品出口上设置有气阀。

4. 根据权利要求 1 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述积分球内腔涂覆有聚四氟乙烯涂层,积分球的前向和后向截断角均在 1.6° 以下。

5. 根据权利要求 1 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:积分球中,位于光纤光谱仪 II 接收端的耦合处设置有挡光片,所述挡光片位于积分球的其中一个半球内表面,挡光片表面涂覆有聚四氟乙烯涂层,太阳光模拟器另一路出射光入射至积分球内产生了气溶胶粒子的散射光,所述挡光片使粒子散射光至少经历了积分球内表面的一次反射后才能被光纤光谱仪 II 接收。

6. 根据权利要求 1 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述光束出口处安装有铝质羊角状的消光管,所述消光管管壁经过粗糙化发黑处理。

7. 根据权利要求 1 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述计算机上接有四通道的 USB 采集卡,所述 USB 采集卡四路通道一一对应光纤光谱仪 I、光纤光谱仪 II、温湿度传感器、气压传感器的输出信号。

8. 一种基于权利要求 1 的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于包括以下步骤:

(1) 将积分球固定在支架上,使得样品出口处的气阀和抽气泵方便调节,并确保样品出、入口的轴心连线垂直于水平面;令大气气溶胶样品从样品入口进入积分球中;

(2) 调整太阳光模拟器,使太阳模拟光沿水平方向出射至分束器;调整分束器,使太阳模拟光垂直入射至分束器;通过一个功率计与分束器配合,使分束器出射的参考光、积分球入射光的能量严格一致;所述参考光通过所述铝质通道被光纤光谱仪 I 接收,积分球入射光通过所述铝质直管进入积分球的光束入口,积分球入射光从光束入口入射至积分球,首先被积分球内的大气气溶胶样品散射后形成散射光,所述散射光被积分球内壁多次反射;

(3) 通过积分球样品出口处的气阀和抽气泵控制采样速率,利用温湿度传感器测量积

分球内的温湿度参数,利用气压传感器测量积分球内的气压参数,当积分球内的温湿度参数、气压参数与大气压环境一致时,认为采样速率为最佳值;

(4) 当采样速率为最佳值时,通过光纤光谱仪 II 接收所述散射光被积分球内壁多次反射后的散射光,所述光纤光谱仪 II 将接收到的散射光信号转化为电信号并输出至放大器,光纤光谱仪 I 将接收到的参考光信号亦转化为电信号后输出至所述放大器;

(5) 所述计算机通过四通道的 UBS 采集卡,分别对温湿度传感器的电信号、压力传感器的电信号、经过放大器放大后的光纤光谱仪 I 及光纤光谱仪 II 的电信号进行采集;

(6) 对光纤光谱仪 I、光纤光谱仪 II 的基线噪声进行测量,并计算积分球的开孔比 f ,所述积分球的开孔比计算公式为 $f = \sum_{i=1}^7 \sin^2 \frac{U_i}{2}$, 式中 U_i 为积分球各开孔所对应的立体角;

(7) 在计算机中,通过大气气溶胶散射系数谱公式 $\beta_{sca(\lambda)} = \frac{i_{2(\lambda)}}{i_{1(\lambda)}} \cdot \frac{2r_0 [1 - \rho_{(\lambda)}(1 - f)]}{\rho_{(\lambda)} \cdot (r^*)^2}$, 得

到大气气溶胶散射系数谱,其中:其中 λ 表示选定波段内太阳模拟光的各个波长, $i_1(\lambda)$ 表示太阳模拟光选定波段内各个波长对应的的光纤光谱仪 I 输出的电信号去掉光纤光谱仪 I 的基线噪声后的电信号值, $i_2(\lambda)$ 表示太阳模拟光选定波段内各个波长对应的的光纤光谱仪 II 输出的电信号去掉光纤光谱仪 II 的基线噪声后的电信号值, r_0 表示积分球的内腔半径, $\rho(\lambda)$ 表示太阳模拟光选定波段内各个波长值对应的的积分球涂层反射率, r^* 表示光纤光谱仪 II 的检测探头半径, f 表示积分球的开孔比。

9. 根据权利要求 8 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:积分球内腔的聚四氟乙烯涂层在可见光的反射率近似为常数,等同于 550nm 处的反射率,近紫外和近红外波段聚四氟乙烯涂层的反射率 $\rho_{(\lambda)}$ 以 10nm 为步长进行标定。

大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及大气气溶胶测量领域,具体为一种大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法。

背景技术

[0002] 大气气溶胶对光的散射改变了光的空间分布,增加了辐射能量空间分布的复杂性。获得宽波段内各个波长对应的大气气溶胶散射系数形成的谱图,并考察散射系数谱随温度、湿度和气压的变化规律,能够加深对于气溶胶光学特性的了解,拓展激光在大气中的辐射传输研究,更为准确的评估大气气溶胶的辐射强迫与气候影响,具有重要的学术意义和潜在的应用价值。

[0003] 大气气溶胶散射系数的测量通常用积分浊度计来实现。积分浊度计能够连续自动观测,定标简单方便,不破坏气溶胶的组分。由于结构上的限制,目前商用积分浊度计的散射光收集角度约为 $7^{\circ} \sim 170^{\circ}$ (理想的散射光收集角度 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$),截断角(前向: $0^{\circ} \sim 7^{\circ}$,后向: $170^{\circ} \sim 180^{\circ}$)过大使得气溶胶的前向和后向散射光的收集偏少。根据小粒子散射理论,气溶胶粒子散射光分布受到尺度参数的制约,大尺度参数粒子至少一半的散射光分布在靠近前向的小角度范围内,商用浊度计 $7^{\circ} \sim 170^{\circ}$ 的测量角度丢失了很大一部分前向散射光,将严重低估散射系数的数值,甚至出现差距达到数倍的现象。另外,商用积分浊度计只能给出 3 个波长对应的散射系数,无法了解其他波长的散射情况。

[0004] 散射系数测量考验的是所用方法收集气溶胶粒子散射光的能力,散射光收集效率越高,散射系数测量的准确度就越高,因此尽量减小截断角是散射系数测量的发展方向。若论散射光的收集能力,积分球具有非常大的优势。积分球是一个中空球体,内表面涂覆高反射率的涂层。积分球的混光特性使气溶胶粒子的散射光均匀分布在其内表面,变得和散射相函数无关,因此测量某一点的散射强度即可获得整个积分球收集的散射光能量。太阳光谱是包含了商用浊度计所用波长的连续光谱,如果将散射系数的实时测量扩大至能够检测的太阳光谱波段,形成散射系数谱,将极大的拓展气溶胶的散射研究及其应用领域。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,以解决采用积分浊度计进行测量存在的测量准确度差的问题。

[0006] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案为:

[0007] 大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:包括有积分球、太阳光模拟器、分束器、光纤光谱仪 I 和光纤光谱仪 II、放大器和计算机,所述光纤光谱仪 II 的接收端耦合入积分球中,所述积分球上设置有彼此对称的样品出、入口,以及彼此对称的光束出、入口,且样品出、入口分别位于积分球竖直直径两端,光束出、入口分别位于积分球水平直径两端,积分球上还设置有温湿度传感器、气压传感器,所述太阳光模拟器向积分球发射太阳模拟光,所述太阳模拟光被所述分束器分成两束能量相同的出射光,其中一路出

射光为参考光,所述参考光被所述光纤光谱仪 I 接收,另一路出射光为积分球入射光,积分球入射光从积分球的光束入口入射至积分球内,光路上的大气气溶胶粒子在入射光照射下形成散射,粒子散射光经积分球内表面多次反射后,光辐射能量平均分布,其中光纤光谱仪 II 探头覆盖立体角内的辐射光强被抽样接收,所述光纤光谱仪 I 与光纤光谱仪 II 的信号输出线共接入所述放大器中,所述放大器输出线与计算机电连接。

[0008] 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述参考光通过具有直角拐角的铝质管道引入光纤光谱仪 I,铝质管道管壁经过粗糙化发黑处理,铝质管道内的直角拐角处设置有将参考光反射至光纤光谱仪 I 的反射镜;所述积分球入射光通过管壁粗糙化发黑处理的铝质直管引入积分球光束入口。

[0009] 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述积分球的样品出口与一个抽气泵连通,且样品出口上设置有气阀。

[0010] 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述积分球内腔涂覆有聚四氟乙烯涂层,积分球的前后和后向截断角均在 1.6° 以下。

[0011] 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:积分球中,位于光纤光谱仪 II 接收端的耦合处设置有挡光片,所述挡光片位于积分球的其中一个半球内表面,挡光片表面涂覆有聚四氟乙烯涂层,太阳光模拟器另一路出射光入射至积分球内产生了气溶胶粒子的散射光,所述挡光片使粒子散射光至少经历了积分球内表面的一次反射后才能被光纤光谱仪 II 接收。

[0012] 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述光束出口处安装有铝质的羊角状的消光管,所述消光管管壁经过粗糙化发黑处理。

[0013] 所述的大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于:所述计算机上接有四通道的 USB 采集卡,所述 USB 采集卡四路通道一一对应采集光纤光谱仪 I、光纤光谱仪 II、温湿度传感器、气压传感器的输出信号。

[0014] 一种大气气溶胶散射系数谱原位测量装置及测量方法,其特征在于包括以下步骤:

[0015] (1) 将积分球固定在支架上,使得样品出口处的气阀和抽气泵方便调节,并确保样品出、入口的轴心连线垂直于水平面;令大气气溶胶样品从样品入口进入积分球中;

[0016] (2) 调整太阳光模拟器,使太阳模拟光沿水平方向出射至分束器;调整分束器,使太阳模拟光垂直入射至分束器;通过一个功率计与分束器配合,使分束器出射的参考光、积分球入射光的能量严格一致;所述参考光通过所述铝质通道被光纤光谱仪 I 接收,积分球入射光通过所述铝质直管进入积分球的光束入口,积分球入射光从光束入口入射至积分球,首先被积分球内的大气气溶胶样品散射后形成散射光,所述散射光被积分球内壁多次反射;

[0017] (3) 通过积分球样品出口处的气阀和抽气泵控制采样速率,利用温湿度传感器测量积分球内的温湿度参数,利用气压传感器测量积分球内的气压参数,当积分球内的温湿度参数、气压参数与大气压环境一致时,认为采样速率为最佳值;

[0018] (4) 当采样速率为最佳值时,通过光纤光谱仪 II 接收所述散射光被积分球内壁多次反射后的散射光,所述光纤光谱仪 II 将接收到的散射光信号转化为电信号并输出至放大器,光纤光谱仪 I 将接收到的参考光信号亦转化为电信号后输出至所述放大器;

[0019] (5) 所述计算机通过四通道的 UBS 采集卡, 分别对温湿度传感器的电信号、压力传感器的电信号、经过放大器放大后的光纤光谱仪 I 及光纤光谱仪 II 的电信号进行采集;

[0020] (6) 对光纤光谱仪 I、光纤光谱仪 II 的基线噪声进行测量, 并计算积分球的开孔比 f , 所述积分球的开孔比计算公式为 $f = \sum_{i=1}^7 \sin^2 \frac{U_i}{2}$, 式中 U_i 为积分球各开孔所对应的立体角;

[0021] (7) 在计算机中, 通过大气气溶胶散射系数谱公式

$$\beta_{sca(\lambda)} = \frac{i_2(\lambda)}{i_1(\lambda)} \cdot \frac{2r_0 [1 - \rho(\lambda)(1-f)]}{\rho(\lambda) \cdot (r^*)^2},$$

得到大气气溶胶散射系数谱, 其中: 其中 λ 表示选定波段

内太阳模拟光的各个波长, $i_1(\lambda)$ 表示太阳模拟光选定波段内各个波长对应的光纤光谱仪 I 输出的电信号去掉光纤光谱仪 I 的基线噪声后的电信号值, $i_2(\lambda)$ 表示太阳模拟光选定波段内各个波长对应的光纤光谱仪 II 输出的电信号去掉光纤光谱仪 II 的基线噪声后的电信号值, r_0 表示积分球的内腔半径, $\rho(\lambda)$ 表示太阳模拟光选定波段内各个波长值对应的积分球涂层反射率, r^* 表示光纤光谱仪 II 的检测探头半径, f 表示积分球的开孔比。

[0022] 所述的大气气溶胶散射系数谱测量方法, 其特征在于: 积分球内腔的聚四氟乙烯涂层在可见光的反射率近似为常数, 等同于 550nm 处的反射率, 近紫外和近红外波段聚四氟乙烯涂层的反射率 $\rho(\lambda)$ 以 10nm 为步长进行标定。

[0023] 本发明通过太阳光模拟器产生宽波段入射光, 配合温湿压传感器, 可以有效测量多种天气条件下的大气气溶胶散射系数谱, 具有原理简单、操作方便、检测灵敏度高等特点。

[0024] 本发明的理论依据是: 积分球是一个内壁均匀喷涂高反射率漫射材料 (本专利选择聚四氟乙烯) 的球形腔体。积分球之所以被广泛应用, 本质上在于它的混光特性, 可以收集光通量并将其均匀地散布于球壳内表面, 消除了被测样品散射光的不均匀性带来的影响。由于内表面漫反射涂层的“积分”作用, 可以在积分球任意出光位置获得均匀的朗伯辐射。

[0025] 探针式光束沿积分球直径方向穿过充满了待测气溶胶样品的积分球, 光束覆盖的每个气溶胶粒子可以视作一个微小散射光源, 积分球内表面收集了光束所覆盖全体粒子的散射光。上述条件下, 内表面任意点 (包括球壁开口处) 的辐射量只是积分球的内腔几何半径 r_0 、涂层的反射率 ρ 和光束覆盖的气溶胶粒子散射光能量 Q_{sca} 的函数:

$$[0026] \quad Q_{sca}^* = \frac{\rho Q_{sca}}{4\pi r_0^2} \left[\frac{1}{1-\rho} \right] \quad (1)$$

[0027] 考虑到光束出入孔、样品出入口和探测器接口不能形成反射, 上式修正为:

$$[0028] \quad Q_{sca}^* = \frac{\rho Q_{sca}}{4\pi r_0^2} \left[\frac{1}{1-\rho(1-f)} \right] \quad (2)$$

[0029] 其中 f 为积分球的开口比。

[0030] 积分球的开口比 f 是球上所有开口的面积与球腔内壁总面积之比, 采用严格计算方式, 把球上各开口的面积按照圆锥面计算:

[0031]

$$\text{圆锥面的面积} = \frac{\text{圆锥面对应的立体角}}{4\pi} \times \text{球面面积} \quad (3)$$

[0032] 其中圆锥面对应的立体角 Ω 按照下式计算：

$$[0033] \quad \Omega = 2\pi(1 - \cos U) = 4\pi \sin^2 \frac{U}{2} \quad (4)$$

[0034] 其中 U 为圆锥面的半顶角。

[0035] 假设有 n 个开口, 积分球的开口比 f 为：

$$[0036] \quad f = \sum_{i=1}^n \sin^2 \frac{U_i}{2} \quad (5)$$

[0037] 在进入积分球的光束能量 Q 已知的前提下, 待测气溶胶样品的散射系数为：

$$[0038] \quad \beta_{sca} = \frac{Q_{sca}}{Q \cdot 2r_0} \quad (6)$$

[0039] 辐射量和光电转换后的电压信号一一对应, 假设 Q 对应的电信号为 i_1 , 光电探测器的探头半径为 r^* , $Q_{sca}^* \cdot \pi(r^*)^2$ 对应的电信号为 i_2 , 则上式 (6) 写为：

$$[0040] \quad \beta_{sca} = \frac{i_2}{i_1} \cdot \frac{2r_0 [1 - \rho(1 - f)]}{\rho \cdot (r^*)^2} \quad (7)$$

[0041] 不同波长对应的聚四氟乙烯的反射率存在差异, 因此 (7) 式表示成波长的函数：

$$[0042] \quad \beta_{sca(\lambda)} = \frac{i_{2(\lambda)}}{i_{1(\lambda)}} \cdot \frac{2r_0 [1 - \rho_{(\lambda)}(1 - f)]}{\rho_{(\lambda)} \cdot (r^*)^2} \quad (8)$$

[0043] 用光纤光谱仪测量出 $i_{1(\lambda)}$ 、 $i_{2(\lambda)}$, 标定出聚四氟乙烯的反射率 $\rho_{(\lambda)}$, 即可确定宽波段光谱对应的散射系数谱。

[0044] 本发明基于积分球的混光特性进行数据测量, 建立了散射系数谱的测量公式。积分球的设计使其前向和后向截断角减小到均小于 1.6° , 降低了截断角对测量结果的不利影响, 散射光的收集效率大大提高。获得散射系数的波长范围大大拓宽, 形成了散射系数谱, 通过待测气溶胶温度、湿度和气压的测量, 可以评估三者对气溶胶散射系数谱的影响。

[0045] 本发明建立了宽带光源的大气气溶胶散射系数谱的测量方法, 基于积分球的混光特性, 通过减小截断角提高气溶胶粒子散射光的收集效率, 利用同步测量的温度、湿度和气压信息, 掌握环境因素对散射系数谱的影响规律。本发明的散射系数谱的测量为原位测量, 测量数据反映了真实的大气状况。

附图说明

[0046] 图 1 为本发明测量装置结构原理图。

[0047] 图 2 为分束器示意图, 其中：

[0048] 图 2a 为正面侧视图, 图 2b 为背面侧视图。

[0049] 图 3 为积分球示意图, 其中：

[0050] 图 3a 为整体示意图, 图 3b 为透视图。

[0051] 图 4 为铝质消光管示意图。

具体实施方式

[0052] 如图 1- 图 4 所示。积分球 1 设有样品入口 2、样品出口 9, 以及光束入口、光束出口, 样品入口 2、样品出口 9 的轴心连线位于积分球 1 的竖直直径上, 样品出口 9 处设有气阀和抽气泵, 光束入、出口位于积分球 1 的水平直径上, 光束入口连接太阳光模拟器 6 的一束光作为积分球 1 入射光, 光束出口连接铝质消光管 15, 积分球上还设置有气压传感器 3 和温湿度传感器 4。太阳光模拟器 6 通过分束器 5 产生两束光束能量完全相同的圆形光束, 分别为参考光和积分球入射光, 参考光全部能量进入光纤光谱仪 I8, 转化为各波段对应的电信号, 积分球入射光穿过积分球 1 内的大气气溶胶样品, 大气气溶胶粒子的散射光经积分球 1 内部涂层多次反射后呈均匀分布, 各波段的散射光强度通过光纤光谱仪 II10 抽样采集后转化为相应的电信号。光纤光谱仪 I8 和 II10 为同一类型, 参考光和气溶胶粒子的散射光经过反射后的电信号经同一放大器 13 后, 连同温度、湿度和气压信息一起进入计算机 14 的数据处理系统。

[0053] 积分球 1 内腔涂层选择聚四氟乙烯, 积分球 1 的前向和后向截断角均在 1.6° 以下, 散射光收集效率较商用浊度计大大提高, 从而提高了散射系数谱测量的准确度。

[0054] 设置挡光片 12 的目的是阻止气溶胶粒子的散射光直接进入光纤光谱仪 II10 的接收端, 以确保散射光经历至少一次积分球内表面反射才能被检测到, 挡光片 12 的涂层为聚四氟乙烯。

[0055] 分束器 5 含有两个圆形通光孔, 光孔的锐边设计最大限度的确保了参考光和积分球入射光的光束能量相同。

[0056] 铝质消光管 15 用硬铝焊接而成, 平行光束经多次反射后被粗糙化黑色管壁吸收。

[0057] 计算机 14 通过 4 通道 USB-9215 采集卡实现数据采集, USB-9215 采集卡中, 通道 1 负责散射光电信号的采集, 通道 2 负责参考光电信号的采集, 通道 3 负责气压信号的采集, 通道 4 负责温度和湿度信号的采集。

[0058] 参考光通过具有直角拐角的铝质管道引入光纤光谱仪 I8, 铝质管道管壁经过粗糙化发黑处理, 铝质管道内的直角拐角处设置有将参考光反射至光纤光谱仪 I8 的反射镜 7; 积分球入射光通过管壁粗糙化发黑处理的铝质直管引入积分球 1 光束入口。

[0059] 积分球由两个半球腔通过圆形法兰盘固定构成, 圆形法兰盘安装在支架 16 上, 在圆形法兰盘上开有供半球固定的螺丝固定孔 17, 半球上开有温湿度传感器插孔 18, 气压传感器插孔 19, 光纤光谱仪探头接口 20, 光束入口 21 和光束出口 22。

[0060] 本发明的核心装置为积分球, 光度测量中积分球一般做的很大, 但由于辐照度和积分球直径的平方成反比, 积分球直径的增大降低了出射窗处的辐照度。考虑到实验操作的要求, 选择内径为 300mm 的积分球。积分球选用空心球腔的铸铝制作, 由两个半球腔组成, 通过 O 圈和一系列螺丝固定在一起, 两半球的接合面与水平方向垂直。涂层的污染和老化会带来反射率的变化, 应尽量选择反射率稳定、难以腐蚀和容易清洗的物质。通过光谱特性和稳定性调研, 本发明选用聚四氟乙烯作为积分球内表面涂层材料。

[0061] 光束入、出口分别位于两个积分球半球腔的顶点上, 两者轴心连线位于积分球的水平直径上。

[0062] 样品入、出口内径均设置为 10mm, 位于积分球的垂直直径上, 以最大限度的减小重力沉降对结果的影响。抽气泵位于样品出口处, 与气流阀配合, 以控制积分球的进样速率。

[0063] 太阳光是理想的连续光谱,不过利用自然太阳光进行实验受到天气条件的限制,本发明选择太阳光模拟器产生波长在 200 ~ 1100nm 的稳定光束。

[0064] 太阳光模拟器的出射光通过分束器后,形成两个光束能量完全相同的圆柱形光束,光束直径为 3mm,其中一束作为积分球入射光,另一束作为参考光。为防止分束器的边缘对测量结果带来影响,分束器 5 的外围和两个通光孔均采用外楔形设计,并做黑化处理。

[0065] 挡光片选用不锈钢制作,其厚度为 0.8mm,宽度以稍大于光纤光谱仪 II 的探头为佳,如海洋光学公司的光纤光谱仪的探头为 8mm,挡光片宽度可以设置为 10mm。为了最大限度保持积分球的“积分”作用,挡光片表面涂覆聚四氟乙烯涂层。

[0066] 铝质消光管内部经过粗糙化发黑处理,入射光穿过积分球内部的待测气溶胶样品后进入消光管,多次反射后消失。

[0067] 直径为 3mm 的光束,经过积分球的短距离传输路径后,可以不考虑光束的扩散,因此光束入、出口的直径均设置为 4.5mm 完全可以满足实验要求。在这样的条件下,散射光收集的前向和后向截断角均在 1.6° 以下,较商用积分浊度计的截断角大为减小。

[0068] 本发明的光谱响应由聚四氟乙烯涂层的光谱反射特性和光纤光谱仪的光谱响应共同决定。聚四氟乙烯的反射率在非可见波段和可见波段的近似定值是不同的,需要根据波长进行标定 $\rho(\lambda)$ 。由于本专利采用的是相对比值的方式,因此光纤光谱仪对不同波长的不同响应度可以忽略。

[0069] 气溶胶粒子的散射光经过聚四氟乙烯涂层的多次反射后均匀分布于积分球内表面,光纤光谱仪 II 的检测探头和积分球内表面形成一个面积比,通过进入光纤光谱仪 II 探头处的辐射量检测,可以反推整个积分球不同波长的散射光对应的电信号。

[0070] 光纤光谱仪 I 和光纤光谱仪 II 为同一类型,本发明的波段范围 350 ~ 1000nm 由光纤光谱仪的响应范围确定。

[0071] 积分球内待测大气气溶胶的温度、湿度和气压直接影响了测量结果,选择测量端头小的气压传感器和温湿度传感器,连接到积分球内表面后适当密封,实现对三个因素影响程度的评估。

[0072] 具体实施例:

[0073] 1、用螺丝固定积分球保证其相对密封和良好光封,保证积分球两个半球腔接合处的聚四氟乙烯涂层光滑。将积分球固定在高度和承重量合适的稳定支架上,使得样品出口处的气阀和气流管道方便调节,保证样品入、出口的轴线连线垂直于水平面。

[0074] 2、本发明中积分球和所用设备一旦确定,开口比也即成为确定值。利用公式

$$f = \sum_{i=1}^7 \sin^2 \frac{U_i}{2}$$

获得积分球开口比,共有 7 个开孔,因此 i 的范围为从 1 到 7。

[0075] 3、调整太阳光模拟器,使得其出射光位于水平方向。调整分束器平面与太阳光模拟器的两光束严格垂直,通过功率计使参考光和积分球入射光的能量严格一致。参考光通过粗糙化发黑处理的直角铝质管道直接进入光纤光谱仪 I,直角处放置全反射镜。入射光通过与参考光相同的粗糙化发黑处理铝质管道进入积分球。

[0076] 4、考虑到实验操作的方便,光纤光谱仪 II 的接收探头设置在适当位置,使得挡光片处于积分球的其中一个半球腔内表面。调整光纤光谱仪 II 的接收探头和挡光片,使得积分球在光封和相对密封的条件下,无样品进入时光纤光谱仪 II 探测的各波长电压值保持

恒定。

[0077] 5、通过气阀和抽气泵控制采样速率,利用温湿度传感器和气压传感器测量积分球内的温湿压参数,当三者和大气环境一致时,认为采样速率为最佳值。

[0078] 6、数据采集通过美国 NI(National Instrument) 仪器公司的 USB-9215 采集卡实现,其 USB 接口设计简化了采集卡的使用。该采集卡为 4 通道同时采集,采用 16 位同步采样的 AI(Analog Input) 模块,能够采集的电压信号范围为 $\pm 10V$,最高采样频率为 20K。通道 1 负责参考光电信号的采集,通道 2 负责散射光电信号的采集,通道 3 负责气压信号的采集,通道 4 负责温度和湿度信号的采集。软件拟用 LabVIEW8.5 编写。

[0079] 7、聚四氟乙烯的反射率在可见光波段内几乎不随波长改变,可用 550nm 的反射率等同于可见光对应的反射率;在近紫外和近红外波段,聚四氟乙烯的反射率同可见光波段是不同的,将在不同程度上给测量结果带来误差,以 10nm 步长标定反射率 $\rho_{(\lambda)}$ 。

[0080] 8、密闭光纤光谱仪的接收头,测量其基线噪声。用获得的参考光电信号和气溶胶散射光电信号,分别扣除各自的基线噪声,获得 $i_{1(\lambda)}$ 和 $i_{2(\lambda)}$,不同波长对应的散射系数形成了该波段范围内的谱图。

[0081] 9、积分球所测的大气气溶胶散射系数的准确程度需要经过实验的验证。为简化验证过程,选用非吸收性的零空气、二氧化碳气体,利用 532nm 的单波长验证积分球在该波长测量的散射系数。零空气和二氧化碳对应的是瑞利散射,而瑞利散射是可以计算得到的,例如 Jonathan E. Thompson 给出在 532nm、700mmHg、22℃时,零空气的散射系数为 $11.97 \times 10^{-6} m^{-1}$,二氧化碳的为 $2.61 \times 11.97 \times 10^{-6} m^{-1}$ 。将温度、湿度和气压等条件人为约束到要求范围内,通过零空气和二氧化碳气体验证积分球的测量结果。对于小尺度参数的气溶胶粒子,截断角对散射系数测量结果的影响很小,因此选择亚微米气溶胶粒子,将积分球的样品出口连接到 TSI-3563 式积分浊度计上,对比积分球和浊度计在 450nm、550nm 和 700nm 的测量结果。

[0082] 10、通过 9 所述的验证手段,改正积分球结构设计的不合理之处,使散射系数谱的测量不断完善。

[0083] 11、重复步骤 8,测量 350nm ~ 1000nm 波段内的散射系数谱。

[0084] 12、探讨不同温度、湿度和气压下,大气气溶胶散射系数谱的演变规律。

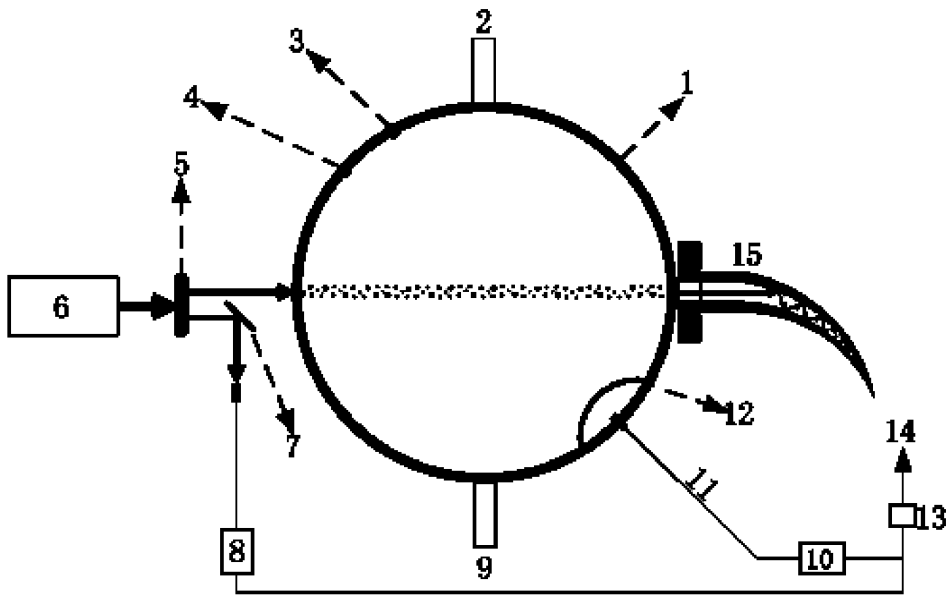


图 1

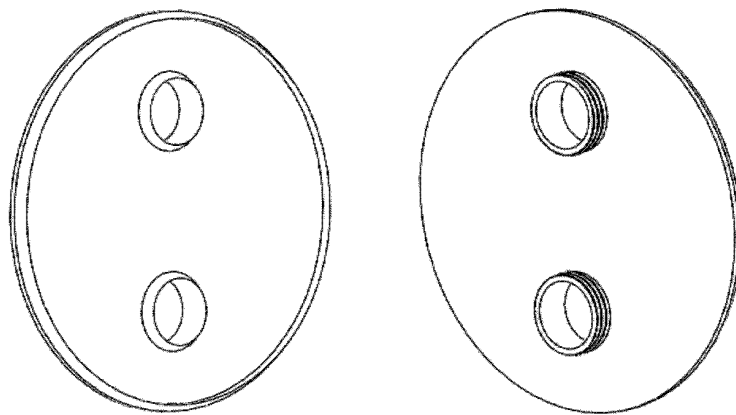


图 2a

图 2b

图 2

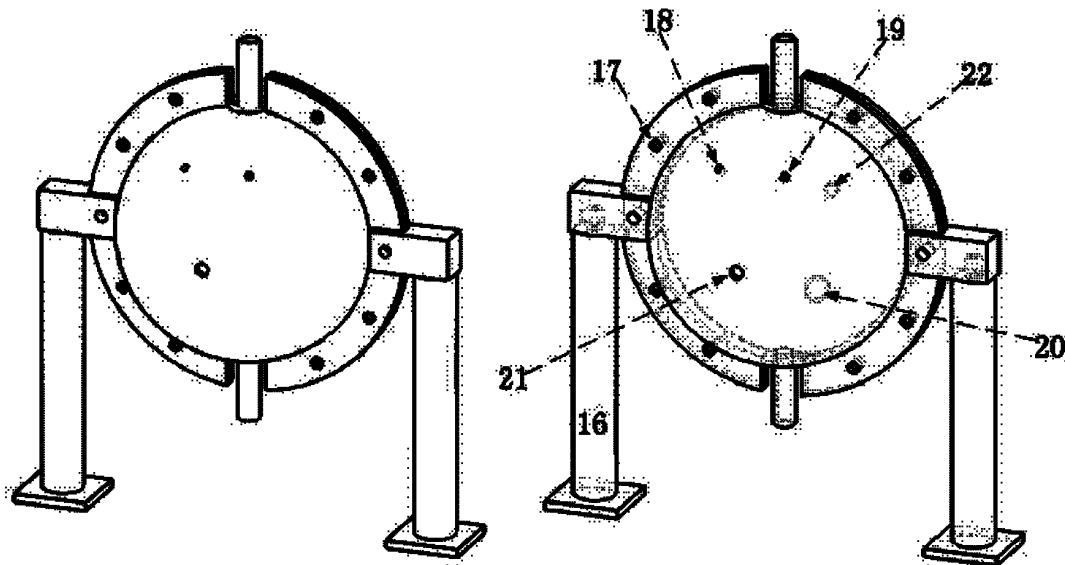


图 3a

图 3b

图 3

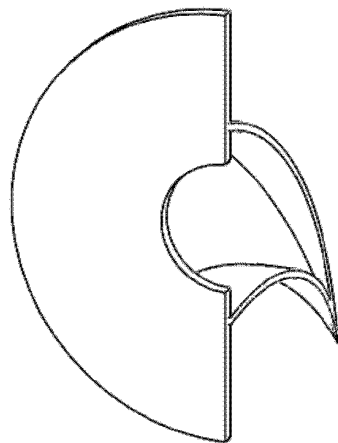


图 4