

太阳分光光度计 CE318

法国 CIMEL 公司制造的自动跟踪太阳分光光度计 CE318 来测量和分析大气的各种光学属性。CE318 提供了 4 个光学厚度反演通道, 其中心波长为 1020nm、870nm、670nm 和 440nm, 专门设置了中心波长为 936nm 的近红外通道来测量大气水汽含量。此外, CE318 还在 870nm 处增加了三个极化通道, 所有通道的半波宽度均为 10nm。CE318 可以自动跟踪太阳进行太阳直接辐射测量、太阳等高度角天空扫描、太阳主平面天空扫描和极化通道天空扫描。它测得的太阳直接辐射数据可用来反演大气透过率、消光光学厚度、气溶胶光学厚度、大气水汽柱总量和臭氧总量, 它的天空扫描数据可以反演大气气溶胶粒子的尺度谱分布和气溶胶相函数等。

一、大气光程光学厚度、气溶胶光学厚度、水汽含量

CE318 可以采用 Langley 法对太阳光度计进行定标, 依据 Bouguer 定律从太阳直接辐射数据中反演出光学厚度和气溶胶光学厚度等大气光学特性。根据 Bouguer 定律, 面测得的太阳直接辐射 $E(\text{W/m}^2)$ 在给定的波长上为:

$$E(\lambda) = E_0(\lambda)R^{-2} \exp[-m\tau(\lambda)]T_g(\lambda) \quad (1)$$

其中, E_0 是在一个天文单位距离上的大气外界的太阳辐照度 (W/m^2); R 是测量时刻的日地距离因子 ($R = r/r_m$, r 为测量时刻的日地距离, r_m 为日地平均距离), m 是大气质量数, 它是由太阳天顶角决定的, τ 是大气总的垂直光学厚度, T_g 是吸收气体透过率。

太阳直接辐射数据在 CE-318 上的读数表现为仪器的输出电压, 因此可以将 Bouguer 定律改写为:

$$V(\lambda) = V_0(\lambda)R^{-2} \exp[-m\tau(\lambda)]T_g(\lambda) \quad (2)$$

$V_0(\lambda)$ 为 CE318 各通道的定标系数, $V_0(\lambda)$ 确定的过程实际上就是对仪器进行定标, 实验中可以利用 Langley 法对仪器进行定标。由于在 CE-318 的各个波段上只有 936nm 存在水汽吸收带对太阳辐射的吸收不能忽略, 而其他波段的吸收气体对太阳直接辐射的吸收均可忽略, 所以 $T_g(\lambda) = 1$ 。于是由式 (2) 可得出大气总的光学厚度:

$$\tau(\lambda) = (\ln V_0(\lambda) / R^2 / V(\lambda)) / m \quad (3)$$

大气总的光学厚度 τ 由大气分子瑞利散射光学厚度 τ_r 、吸收气体(如臭氧、水汽)光学厚度 τ_g 和大气气溶胶光学厚度 τ_a 三部分组成, 即:

$$\tau(\lambda) = \tau_r(\lambda) + \tau_a(\lambda) + \tau_g(\lambda) \quad (4)$$

由于可见光、近红外波段主要的吸收气体是臭氧和水汽, 因此在 CE-318 的 8 个波段中, 除了 936nm 的水汽吸收不能忽略以外, 其他通道的水汽和臭氧吸收均可忽略不计, 因此可以忽略气体的吸收通道, 大气气溶胶的光学厚度为:

$$\tau_a(\lambda) = \tau(\lambda) - \tau_r(\lambda) \quad (5)$$

当地面处于标准状态, 气压为 $P_0 = 1013.25\text{hpa}$ 时, 单波长的大气分子瑞利散射光学厚

度可由下式计算：

$$\tau_{r,0}(\lambda) = 0.0088\lambda^{-4.05} \quad (6)$$

在实际地面气压为 P 时，整层大气分子瑞利散射光学厚度 τ_r 可由下式计算：

$$\tau_r(\lambda) = \frac{P}{P_0} \tau_{r,0}(\lambda) \quad (7)$$

依据 Angstrom 的研究，大气气溶胶光学厚度随波长的变化可以用下式表示：

$$\tau_a(\lambda) = k\lambda^{-v+2} \quad (8)$$

于是 936nm 波段的气溶胶光学厚度可以将其他波段的数值带入以上方程求解大气浑浊度指数 k 和波长指数 v 后计算获得。

地表测得的直接太阳辐射信号在 936nm 附近水汽吸收带不符合 Bouguer 定律。此时水汽的透过率可以利用两个参数表达式来模拟：

$$Tw = \exp(-aw^b)$$

$$w = m \cdot PW \quad (9)$$

其中， Tw 是通道上的水汽透过率， w 是大气路径上的水汽总量，可以表示为大气质量数 m 与垂直水汽柱总量 PW 的乘积。 a 和 b 是常数。将式(9)带入(1)中，并两边取对数，得 936nm 的 Langley 改进方程：

$$\ln V + m^r = \ln(V_0 R^{-2}) - a \cdot m^b \cdot PW^b \quad (10)$$

因此在已知定标参数 V_0 、大气质量数 m 和常数 a 、 b 的情况下即可以获得垂直水汽柱含量和大气路径水汽总量。

二、太阳辐照度和天空辐亮度

CE318 可以获得各个通道太阳直接辐射测量电压值，若已知各个通道定标参数 $V_0(\lambda)$

以及在大气层顶这些通道中心波长半波宽度内太阳辐照度 $E_0(\lambda)$ (W/m^2)，那么达到测量处的

实际太阳辐照度 $E(\lambda)$ 便为：

$$E(\lambda) = \frac{E_0(\lambda)}{V_0(\lambda)} \cdot V(\lambda) \quad (11)$$

CE318 采用三种方式进行天空扫描：太阳等高度角扫描、太阳主平面扫描和极化通道扫描。本实验主要采用前两种方式来获得天空辐亮度。天空辐亮度的反演过程中需要涉及 CE318 各个通道增益的转换以及多个定标系数，过程比较复杂，在此不加说明。

测量太阳直射光和天空散射光的实验步骤(建议)：

根据实验目的，本实验设计利用 CE318 提供的等时间间隔测量方式来获取 30min 间隔的太阳直接辐射，用太阳等高度角扫描、太阳主平面扫描方式来测量天空漫散射。具体操作步骤如下：

- (1) 室内检查CE318各种配套设施，核对控制台时间，清理内存，电池充电，保证步进电机系统工作正常。

- (2) 测量地点差分GPS测量经纬度，并以正确的格式输入CE318控制台系统。
- (3) 系统定位。将CE318安装在四周空旷的地方，首先安装好步进电机系统。启动PARK命令是步进电机系统回归到原始位置，并且保证PARK位置时，高度角旋转轴朝向地理的东西方向，传感器头在西，头部旋转面在子午面上。调节水平，正确连接传感器和瞄准仪。
- (4) 跟踪调节。待仪器按照正确方式安装，确保仪器能安全正常工作后，启动PARK、GOSUN、TRACK等命令来尝试CE318是否能够对准太阳，即太阳光线与瞄准仪相平行。若CE318不能很好的对准太阳，则需要检查传感器等安装是否牢固、朝向是否正确；步进电机系统载重情况是否正常。
- (5) 数据测量。若CE318能够准确的跟踪太阳，即可启动BCLSUN命令测量太阳直接辐射，随后启动ALMUC命令和PPLAN命令进行天空等天顶角扫描和主平面扫描。并做好辅助数据记录。测量完毕后，启动PARK命令，步进电机系统回归到原始位置。
- (6) 每30min重复（4）-（5）步骤，完成等时间间隔测量。
- (7) 实验完毕后，整理仪器。室内导出测量数据，做好备份。检查仪器，电池充电。

By Ren

Email:renhuazhong@mail.bnu.edu.cn