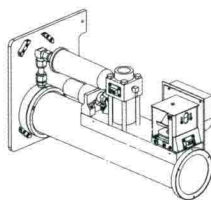


地面大气气溶胶散射 与吸收仪器



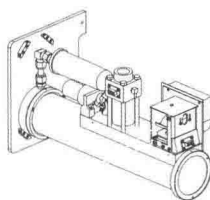
DIMIAN DAQI
QIRONGJIAO
SANSHE
YU XISHOU YIQI

史晋森 / 编著



兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

地面大气气溶胶散射
与吸收仪器



DIMIAN DAQI
QIRONGJIAO
SANSHE
YU XISHOU YIQI

史晋森 / 编著



兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

地面大气气溶胶散射与吸收仪器 / 史晋森编著. —
兰州 : 兰州大学出版社, 2015. 4
ISBN 978-7-311-04734-4

I. ①地… II. ①史… III. ①气候变化—观测仪器—
研究 IV. ①P467

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第088385号

策划编辑 张雪宁 谢 芮
责任编辑 张雪宁 谢 芮
封面设计 张馨月

书 名	地面大气气溶胶散射与吸收仪器
作 者	史晋森 编著
出版发行	兰州大学出版社 (地址:兰州市天水南路 222 号 730000)
电 话	0931-8912613(总编办公室) 0931-8617156(营销中心) 0931-8914298(读者服务部)
网 址	http://www.onbook.com.cn
电子信箱	press@lzu.edu.cn
印 刷	甘肃兴方正彩色数码快印有限公司
开 本	710 mm×1020 mm 1/16
印 张	9.5(插页 2)
字 数	162 千
版 次	2015 年 5 月第 1 版
印 次	2015 年 5 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-311-04734-4
定 价	25.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

前 言

大气气溶胶是指悬浮在大气中的液体或者固体颗粒物,其粒径范围为 $0.001\sim 100\ \mu\text{m}$,主要包括矿物沙尘气溶胶、黑碳气溶胶和各种盐类气溶胶,是大气中组成较复杂、危害较大的重要污染物之一。大气气溶胶的来源主要有两种:人为源和自然源。自然源包括火山喷发、生物体燃烧、地面扬尘和海水溅沫等。人为源则是由人类生产、生活所产生的,例如农业生产、化石燃料燃烧、工厂排放、汽车尾气和建筑扬尘等。大气气溶胶虽然是大气中含量很少的组分,但是其可以对气候变化产生很重要的影响:一、直接效应,通过散射和吸收太阳辐射来加热大气层,从而减少到达地表的太阳辐射,进而影响到地气系统的辐射收支平衡;二、间接效应,作为云凝结核,影响云的形成和寿命,改变云的微物理特性;三、半直接效应,直接吸收太阳辐射加热大气层,导致水滴蒸发,改变云辐射特性,影响大气辐射过程。气溶胶进入大气后随大气流动而运动,在大气中存在的寿命与其粒径大小密切相关,颗粒较大的气溶胶由于重力作用在大气中停留时间较短,而颗粒较小的气溶胶在大气中悬浮的时间较长,随着空气运动而飘移,传播的距离也较远。不同区域和地区的气溶胶类型和分布有很大的差异,由于气溶胶在大气中水平和垂直分布不均匀以及其多变的物理特征,使得

气溶胶辐射强迫具有很大的不确定性。相对于混合均匀的温室气体,气溶胶受人为和自然因素影响更大,具有很强的时空分布特征,控制气溶胶排放所起到的气候效应比温室气体要迅速。目前,气溶胶的研究中还存在很大的不确定性,这是当前研究的一个热点问题。为了更好地了解气溶胶在气候变化中的作用,对全球不同区域气溶胶特性的研究尤为重要,特别是亚洲、非洲和北美洲地区。

大气气溶胶的研究覆盖了大气科学的各个领域,是气象、物理和化学的综合性研究,主要包括气候效应研究、理化特性研究和光学特性研究。目前对气溶胶的研究主要包括数值模拟、地基观测、卫星遥感等,其中数值模拟使气溶胶气候效应的量化研究成为可能。虽然有关气溶胶辐射强迫及其气候效应的量化研究取得了很大的进展,但不同数值模式的研究结果之间存在很大差异,主要是由于缺乏气溶胶浓度时空分布以及气溶胶物理、化学、光学特性及其尺度分布的准确信息。解决上述问题的一种有效途径是利用卫星遥感结合地基观测的综合研究方法,在不同区域尺度范围内给出气溶胶的基本特性及其时空分布等参数,用这些参数资料去改进气候模式对气溶胶气候效应的定量化研究。卫星遥感可以高空间分辨率地对气溶胶进行观测研究,但卫星遥感在反演气溶胶参数时会受到复杂地表面、云层以及不同类型气溶胶的影响,这些都会对卫星反演结果造成一定的误差。卫星反演的产品也需要地面观测资料来进行对比订正,才能进一步地完善。

大气气溶胶的散射和吸收特性对气候变化有着重要的作用,在很多实验中是基本观测项目。本书针对目前地基观测中测量气溶胶散射和吸收特性仪器的操作不规范、操作维护错误和观测结果错误或无效等问题,在兰州大学半干旱气候与环境观测站长期观测运行的基础上,对目前常用的两种测量吸收特性仪器(黑碳仪和多角度吸收光度计)和两种测量散射特性仪器(三波段积分浊度仪和单波段积分浊度仪)的仪器原理、使用方法、日常维护和基本操作规范等进行详细介绍,以保证仪器正常运行,同时得到高质量的观测数据,为今后的科学实验和研究工作提供基础保障。

目 录

第一章 黑碳仪	001
1.1 仪器工作原理	002
1.1.1 比尔-朗伯定律	002
1.1.2 光学衰减测量原理	002
1.1.3 时间差分测量方式	004
1.2 仪器结构	006
1.2.1 仪器前面板	006
1.2.2 仪器后面板	007
1.2.3 仪器内部主要部件	008
1.2.4 光学测量系统	009
1.2.5 滤膜驱动机构	010
1.2.6 流量控制系统	011
1.2.7 滤膜	011
1.2.8 进气管	011
1.3 安装	011
1.3.1 仪器安装	011
1.3.2 硬件安装	013
1.3.3 软件安装	013
1.3.4 快速操作指南	014
1.3.5 滤膜的安 装	015

1.4	自动启动	017
1.5	软件部分	018
1.5.1	开机操作	018
1.5.2	使用键盘	019
1.5.3	开机运行主要系统菜单	019
1.5.4	黑碳的测量循环	025
1.5.5	精确计时	025
1.5.6	数据文件格式	026
1.5.7	信息文件	028
1.5.8	停止观测	028
1.5.9	屏幕显示	028
1.6	数据的显示	029
1.7	常规操作与维护	029
1.7.1	观测日志	030
1.7.2	常规操作	030
1.7.3	常规维护	031
1.8	初级故障诊断	036
第二章	多角度吸收光度计	039
2.1	仪器工作原理	040
2.2	仪器安装及结构	041
2.3	操作与维护菜单	044
2.3.1	显示屏	044
2.3.2	键盘	044
2.3.3	主菜单	044
2.3.4	操作菜单	046
2.3.5	串行数据输出	046
2.3.6	打印格式	047
2.3.7	自动换膜参数设定	050
2.3.8	模拟输出配置	051
2.3.9	语言	053

2.3.10	维护菜单	053
2.3.11	机械控制	053
2.4	校准	056
2.4.1	所需仪器备件	056
2.4.2	校准准备	056
2.4.3	校准菜单	056
2.4.4	传感器校准	057
2.4.5	参数设置	059
2.5	定期维护	060
2.5.1	真空泵维护	060
2.5.2	检查流量	060
2.5.3	温度传感器	061
2.5.4	压力传感器	061
2.5.5	光学室	061
2.5.6	进样口组件	061
2.6	故障排除	063
2.7	维修	065
2.7.1	安全措施	065
2.7.2	更换滤膜	065
2.7.3	更换碳刷	065
第三章	三波段积分浊度仪	067
3.1	测量原理	067
3.2	硬件安装	068
3.2.1	连接电源	068
3.2.2	连接电脑	069
3.2.3	安装仪器	069
3.2.4	连接外置泵	071
3.3	操作综述	071
3.3.1	通信连接	071
3.3.2	仪器硬件	071

3.3.3	设置参数	072
3.4	数据下载软件	074
3.4.1	安装软件	075
3.4.2	设置说明	075
3.5	仪器软件	078
3.5.1	安装软件	078
3.5.2	快速启动	079
3.5.3	零气测量	084
3.5.4	菜单和命令	085
3.6	仪器维护	098
3.6.1	仪器检测和校准	098
3.6.2	拆除仪器外壳	105
3.6.3	清理风扇滤膜	106
3.6.4	更换光源	107
3.6.5	清洁光管透镜	108
3.6.6	更换气溶胶过滤器	108
3.6.7	流量和漏气检测	109
3.6.8	清洁黑色毛面纸	112
第四章	单波段积分式浊度仪	114
4.1	仪器工作原理	115
4.1.1	测量物理量	115
4.1.2	基本概念	115
4.1.3	仪器的工作原理	116
4.1.4	仪器描述	120
4.1.5	仪器外部连接	122
4.2	安装	123
4.2.1	安装要求	123
4.2.2	仪器的安装	124
4.2.3	采样管的安装	124
4.2.4	校准气体的连接	125

4.3	操作	126
4.3.1	启动	126
4.3.2	一般操作	126
4.3.3	菜单系统	127
4.3.4	M9003 菜单系统	128
4.4	校准	131
4.4.1	初始校准	132
4.4.2	校准周期	135
4.5	数据下载	135
4.5.1	内部下载数据	135
4.5.2	串口下载数据	137
4.5.3	模拟端口下载数据	137
4.6	仪器维护	137
4.6.1	维护周期	137
4.6.2	更换过滤器	138
4.6.3	漏气检查	138
4.6.4	故障维修	138
	参考文献	141

第一章 黑碳仪

黑碳仪(Aethalometer)由美国 Magee 科技公司研制和生产,可用来实时监测大气中的黑碳气溶胶,型号主要有 AE16、AE21、AE31、AE42 以及最新的 AE33 等。

AE16 是单波段黑碳仪,用 880 nm 波段光源对黑碳气溶胶进行连续在线测量。

AE21 是双波段黑碳仪,用 880 nm 波段光源对黑碳气溶胶进行在线测量,同时用 370 nm 波段光源对“紫外吸收”碳进行连续在线测量,适用于监测内燃机排放物、烟灰和颗粒物中的多环芳烃(PAH)。

AE31 是七波段黑碳仪,用 370 nm、470 nm、520 nm、590 nm、660 nm、880 nm 和 950 nm 波段的光源测量黑碳气溶胶的光吸收性,可以提供比较全面的黑碳气溶胶的光学吸收信息,有利于排除干扰物的影响,特别适用于科学研究。

AE42 是便携式黑碳仪(有单波段、双波段和七波段),电源可选(外接电源、外置 12 V 电池和内置电池),仪器的通信端口可接 GPS 接收器,仪器功耗更低,适用于野外和移动监测。

AE33 为最新型号的的黑碳仪,用黑碳气溶胶在 370 nm、470 nm、520 nm、590 nm、660 nm、880 nm 和 950 nm 波段对光的吸收特性和透射光的衰减程度而得到黑

碳气溶胶的浓度。

本书对目前使用较为普遍的 AE31 黑碳仪(以下简称“黑碳仪”,图 1.1)进行详细介绍,主要包括仪器原理、构造、安装、日常操作、维护以及耗材更换和故障诊断等。



图 1.1 AE31 黑碳仪

1.1 仪器工作原理

1.1.1 比尔-朗伯定律

光在介质中传播,其强度会随之衰减,这种衰减遵循比尔-朗伯定律:

$$\frac{I_A}{I_{A0}} = e^{-A_A} \quad (1.1)$$

式中:

I_{A0} ——光源的入射光强,波长为 λ ;

I_A ——经过介质后的光强,波长为 λ ;

A_A ——介质的光学厚度。

对于黑碳气溶胶构成的介质而言,光学厚度 A_A 与黑碳气溶胶的量以及入射波长有关:

$$A_A = k_A \times M_{BC} \quad (1.2)$$

式中:

k_A ——黑碳气溶胶的质量吸收系数,单位为 cm^2/g ;

M_{BC} ——介质中的黑碳气溶胶的密度,单位为 g/cm^2 。

1.1.2 光学衰减测量原理

尽管黑碳气溶胶的物理和化学状态复杂,但仍可以通过一定的物理或化学方法测量其在大气中的含量。黑碳气溶胶中大多数碳原子的化学键状态是石墨六元

环或近似石墨六元环,形成大量存在的 π 键电子,因此在特定情况下,黑碳气溶胶表现出游离碳的特征,能在很宽的波长范围内有效地吸收入射电磁波(光子)。游离碳是已知的具有最宽泛连续吸收光谱的物质之一,在波长 550 nm 处的质量吸收系数 k_A 约为 $10 \text{ m}^2/\text{g}$,这种吸收的强度与入射电磁波的波长成反比,在短波段吸收增强,在长波段吸收减弱。相对于黑碳气溶胶而言,沙尘气溶胶对可见光的吸收系数要小 2~3 个数量级,因此在一般情况下对可见光的吸收消光作用贡献很小。黑碳仪利用黑碳气溶胶的这一特性,通过测量气溶胶样本的光学衰减量,确定大气中黑碳气溶胶的含量,即光学衰减测量方法。

当一束光透过一个过滤收集了空气样品中颗粒物的光学纤维滤膜时的光学衰减 ATN 为:

$$\text{ATN} = 100 \times \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1.3)$$

式中:

I_0 ——透过原来滤膜或者是透过滤膜空白部分的光强;

I ——透过收集有气溶胶样品的那部分滤膜的光强。

式(1.3)中的因子 100 是为了方便表示光学衰减的量值而引入的,如果没有这个因子,定义的光学衰减的量值就是(透射)光学厚度(公式 1.1 中的 A_A 项)。根据定义,光学衰减 ATN 为正的无量纲数值。当光学衰减值为 1 的时候,如果观察采样膜,几乎感觉不到采样区和空白区的差别;当光学衰减值为 100 时,会观察到采样膜上的气溶胶采样区域非常黑。

利用一种透光均匀的光学纤维滤膜采集大气气溶胶的样品,并用固定波长的单色光(波长为 λ)测定光学衰减 ATN_λ 。当采样膜上黑碳气溶胶颗粒的尺度小于波长尺度参数 $2\pi\lambda$ 时,黑碳气溶胶的沉积量 M_{BC} 与光学衰减 ATN_λ 存在线性关系:

$$\text{ATN}_\lambda = \sigma_A \times M_{\text{BC}} \quad (1.4)$$

式中:

σ_A ——黑碳气溶胶样品对波长 λ 入射光的当量衰减系数,与黑碳气溶胶在波长 λ 的质量吸收系数 k_A 有关,但它不是一个“物理常数”,需要通过光热解析-氧化的方法或其他方法测定。

由于大气中的黑碳气溶胶多为亚微米颗粒,在可见光的测量波长范围内,其粒径尺度可小于波长尺度参数 $2\pi\lambda$ 。但是,当光学衰减 ATN_λ 达到一定量值时,即较多的气溶胶颗粒在滤膜上相互堆积形成大颗粒,其粒径尺度可能超出 $2\pi\lambda$,此时

ATN_A 和 M_{BC} 的关系会偏离线性,这种情形称为遮蔽效应,在测量中要避免出现这种情形。

式(1.4)成立的另外一个前提是:气溶胶微粒均匀地嵌入光学纤维滤膜中,利用光学纤维的多次散射作用消除由于微粒散射造成的透射衰减,使得测量只对气溶胶颗粒的吸收敏感。因此,黑碳仪采用散射作用较强的带状石英纤维滤膜作为采样膜。

1.1.3 时间差分测量方式

黑碳仪的原理结构如图 1.2 所示。黑碳仪工作时,在抽气泵的驱动下,环境空气连续地通过滤膜的采样区(其形状为圆或椭圆,也称为采样点),气溶胶样品被收集在该部分滤膜上。每隔一个时间周期,仪器开/关测量光源一次,并测量有光源照射和无光源照射两种条件下透过石英滤膜的气溶胶采样区和参照区的光强。根据光强信号,计算每个测量周期的采样区的光学衰减增量,得到该测量周期内收集的黑碳质量,再除以这段时间的采样空气体积,即可以计算出采样空气流中的平均黑碳浓度,这就是所谓的“时间差分测量”的工作方式。如果测量周期与所关注的空气质量变化时间尺度相比较短时,可以认为观测是连续的。如果平均浓度从一个观测周期到下一个周期的变化不大,就认为该平均值合理反映了该测量周期内环境空气的实际黑碳浓度。

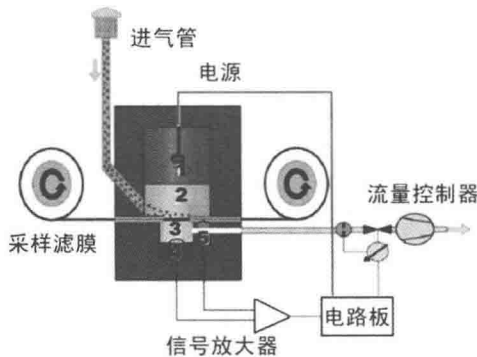


图 1.2 黑碳仪的原理结构示意图

1—光源;2—采样室;3—真空室;4—采样区检测器;5—参照区检测器

黑碳仪的测量循环周期如下:

- (1)光源关闭;
- (2)测量无光源照射条件下采样区和参照区的光强信号(“暗”信号,SZ和RZ);

- (3) 打开光源, 让系统稳定;
- (4) 测量光源照射时采样区和参照区的光强信号(“亮”信号, SB 和 RB);
- (5) 测量仪器的空气流量;
- (6) 关闭光源, 再让系统稳定;
- (7) 再次测量“暗”信号;
- (8) 进行计算, 显示数据, 并写入磁盘, 进行内部检查;
- (9) 等待下一个测量周期(回到步骤(3))的开始。

测量周期的长短由用户设定, 测量周期越长, 仪器可以分配更长的时间来稳定仪器和进行每个变量的测量。

由于参照区的滤膜和其他光学器件的透过率在整个测量过程中不会发生变化, 所以参照区的测量信号可以用来修正光源光强的微小变化, 以提高仪器的准确性。此外, 为了更加精确, 仪器还需要测量光源关闭时的采样区和参照区检测器的“暗”信号。“暗”信号是没有光源照射时的检测器电子线路的输出, 一般是“亮”信号的百分之一。为了减少“暗”信号的影响, 在计算光学衰减时要用“亮”信号减去对应的“暗”信号, 即按照下式计算该测量周期结束时采样区气溶胶样品的光学衰减 ATN:

$$ATN = 100 \times \ln \left[\frac{(SB - SZ)}{(RB - RZ)} \right] \quad (1.5)$$

式中:

SB——采样区“亮”信号;

SZ——采样区“暗”信号;

RB——参照区“亮”信号;

RZ——参照区“暗”信号。

某一个测量周期与上一个测量周期间的采样区光学衰减 ATN 的增量与采样区的黑碳质量 M_{BC} 的增加成正比, 即

$$\Delta(ATN) = ATN - ATN_0 = \sigma \times \Delta(M_{BC}) \quad (1.6)$$

式中:

σ ——黑碳气溶胶的当量衰减系数, 单位为 cm^2/g ;

ATN——测量周期的光学衰减;

ATN_0 ——上一个测量周期的光学衰减;

$\Delta(M_{BC})$ ——采样区的黑碳沉积量增量, 单位为 g/cm^2 。

设采样区的面积为 A ,采样的体积流速为 F ,相邻两个采样周期(经过时间为 T)内环境大气中的平均黑碳浓度(BC)可由下式计算:

$$[BC] = \frac{\Delta(M_{BC}) \times A}{F \times T} \times 10^9 = \frac{(ATN - ATN_0) \times A}{\sigma \times F \times T} \times 10^9 \quad (1.7)$$

式中:

$[BC]$ ——平均黑碳浓度,单位为 ng/m^3 ;

σ ——黑碳气溶胶的当量衰减系数,单位为 cm^2/g ;

ATN ——测量周期的光学衰减;

ATN_0 ——上一个测量周期的光学衰减;

$\Delta(M_{BC})$ ——采样区的黑碳气溶胶沉积量增量,单位为 g/cm^3 ;

A ——采样区的面积,单位为 cm^2 ;

F ——采样的体积流速,单位为 m^3/min ;

T ——采样周期的时间,单位为 min 。

1.2 仪器结构

1.2.1 仪器前面板

图1.3是仪器主机的前面板。在前面板上有一个液晶显示屏,用以显示测量结果和各种操作信息;屏幕下方有5个指示灯,用不同的颜色快捷、定性地显示仪器的运行状况;屏幕右边有一个用来与仪器内部计算机交互对话的键盘。屏幕

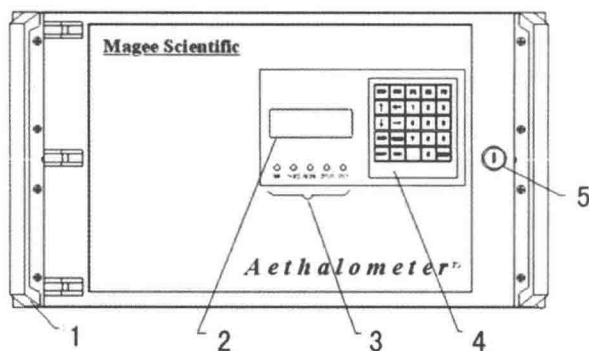


图 1.3 黑碳仪主机的前面板

1—把手;2—显示屏幕;3—状态指示灯;4—操作键盘;5—门锁

仪器主机的前面板可以打开,打开后可以看见位于中央的光学测量腔室(位于保护罩内)、由一个进膜驱动器和两个滤膜卷轴组成的滤膜驱动机构,以及位于基

板下部的软盘驱动器(或闪存接口)、流量调节螺丝、手动进膜按键、电源开关等(见图1.4)。

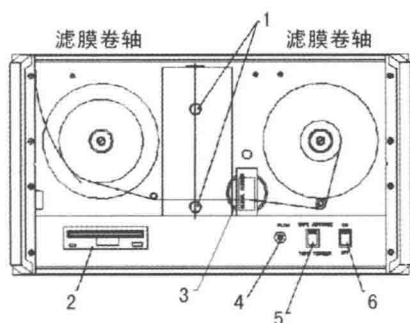


图 1.4 黑碳仪前面板内侧的部件

1—光学测量腔室;2—软盘驱动器;3—滤膜驱动轮;

4—流量调节螺丝(仅在标定时使用);5—手动进膜按键;6—电源开关

1.2.2 仪器后面板

图1.5是仪器的后面板示意图。后面板的下部是总电源开关、流量调节阀和各种接口,依次是电源线接口、外置泵接口、进气管接口、打印机接口、模拟输出电压($-5\sim 5\text{ V}$)信号接口和RS232数据通信接口等。仪器前面板内侧和后面板各有一个电源开关,只有当两个开关都打开时,仪器才被加电,这主要是为了防止安装过程中的误操作。一般情况下,可保持后面板的开关常开,只开/关前面板内侧的电源开关即可。

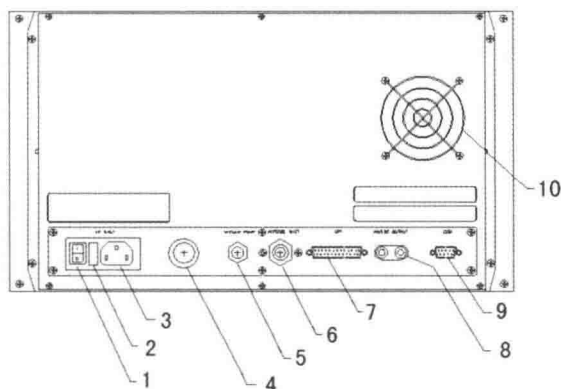


图 1.5 黑碳仪后面板示意图

1—电源开关;2—保险丝;3—电源;4—流量调节阀;5—外置泵接口;

6—进气管接口;7—打印机接口;8—模拟输出接口;9—RS232接口;10—冷却风扇