

董妍,陈闯,李星敏,等,2018.秦岭大气科学试验基地气溶胶综合观测平台[J].气象,44(3):449-454.

# 秦岭大气科学试验基地气溶胶综合观测平台\*

董妍<sup>1</sup> 陈闯<sup>1</sup> 李星敏<sup>1</sup> 杜川利<sup>1</sup> 彭艳<sup>1</sup> 董自鹏<sup>1</sup> 赵娜<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 陕西省气象科学研究所,西安 710014

<sup>2</sup> 陕西省西安市长安区气象局,西安 710016

**提 要:** 频发的霾是陕西关中地区最严重的环境问题之一。气溶胶作为气候变化研究中的一个极大的不确定性因素,国内外在气溶胶地基观测和研究方面做了大量的工作。文章介绍了秦岭大气科学试验基地开展的气溶胶、太阳辐射综合观测平台的总体设计及观测内容,该平台具有野外数据收集、远程传输、人机交互监控、数据质量控制及入库、数据反演、产品展示等功能,是集观测、计算、查询于一体的气溶胶科研、业务数据平台,可为开展环境气象业务技术研发提供观测数据支持。

**关键词:** 气溶胶,太阳辐射,综合观测平台

**中图分类号:** X16,TP

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.03.012

## Aerosol Comprehensive Observation Platform of Qinling Mountains Atmospheric Science Experimental Base

DONG Yan<sup>1</sup> CHEN Chuang<sup>1</sup> LI Xingmin<sup>1</sup> DU Chuanli<sup>1</sup>

PENG Yan<sup>1</sup> DONG Zipeng<sup>1</sup> ZHAO Na<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Meteorological Science Institute of Shaanxi Province, Xi'an 710014

<sup>2</sup> Chang'an Weather Office of Xi'an, Shaanxi Province, Xi'an 710016

**Abstract:** Haze has become a major environmental problem in Guanzhong Region of Shaanxi Province. Aerosol is one of the most uncertain factors in the climate change study, and many observations and researches worldwide have paid much attention to its climate effect. The overall design and observation content of the aerosol observation platform of atmospheric laboratory test base in Qinling Mountains are introduced in this paper. This platform has the ability of field data collection, remote monitoring, data transmission, human-computer interaction, data storage and quality inspection, data inversion, product display and other functions. It integrates observation, calculation and query, which can provide data support for the research and development of environmental and meteorological service technology.

**Key words:** aerosol, solar radiation, comprehensive observation platform

## 引 言

大气气溶胶是指悬浮在大气中的直径在  $10^{-3} \sim 10^2 \mu\text{m}$  的固体和液体微粒组成的多相体系(张西雅和扈海波, 2017),作为地球-大气系统的重要组成部分,气溶胶以直接辐射强迫和间接辐射强迫的

方式影响着气候环境(邓玉娇等, 2016;衣娜娜等, 2017)。IPCC 第五次评估报告指出,气溶胶和云仍然是对气候变化影响不确定性中的主要驱动因子,气溶胶与辐射以及气溶胶与云互相作用产生的辐射强迫对气候系统的冷却效应是未来特别需要研究的方向之一(张小曳等, 2014)。气溶胶的种类繁多,复杂多变,不同种类的气溶胶之间相互作用又可以

\* 国家自然科学基金项目(41375155)资助

2016年12月20日收稿; 2017年10月12日收修定稿

第一作者:董妍,主要从事大气环境研究. Email:donyan1106@sina.com

形成新种类的气溶胶(史晋森等, 2013);气溶胶的寿命相对较短,其物理化学特性的时空分布很不均匀,各地的气溶胶特征有各自特性(张养梅等, 2007)。因此开展气溶胶地基观测在研究各地气溶胶光学理化特性、卫星反演气溶胶光学厚度和数据定标验证、气溶胶对云和降水过程影响模式研究等方面都极其重要(石荣光等, 2015; 衣娜娜等, 2017)。

目前国际上有世界气象组织(WMO)的 GAW 全球大气观测计划(WMO, 2003)和 AERONET 气溶胶自动观测网开展气溶胶地基观测。GAW 中国区域包括瓦里关(全球站)、临安站、上甸子站、龙凤山站、北京站、昆明站、南极中山站、香港鹤咀站和京士柏站; AERONET 中国西北地区站点包括敦煌站、张掖站、民勤站、景泰站和兰大站(SACOL)。由中国气象局建成的多波段气溶胶观测网络(CAero-Net)主要用于研究中国北方的大陆性气溶胶和沙尘气溶胶(延昊等, 2006)。另外,中国气象局广州热带海洋气象研究所近年来通过地基观测开展了珠江三角洲城市群的大气灰霾科学试验(谭浩波等, 2009),中国科学院大气物理研究所近年对北京及周边地区开展了地基大气环境污染综合观测(王跃思等, 2014)。

陕西省西安市作为西北地区规模最大的城市,人口密集、工业产业集中,关中地区独特的地形特点不利于污染物的扩散,近年来频发的雾-霾事件给生产生活带来了极大的不便。目前已经建成并使用的地基气溶胶观测网里没有西安站,对于研究该地区气溶胶理化特性有很大的局限性。秦岭大气科学实验基地位置恰恰位于西安这个大城市与农村过渡带区域,在该地区开展地面气溶胶物理特性、大气垂直梯度、太阳辐射以及天空状况的观测对于研究本地区气溶胶大气物理化学过程和大气边界层结果相互作用,全面认知区域雾-霾污染形成的机制和卫星资料的验证具有重要意义。

秦岭大气科学试验基地气溶胶实验室是陕西省气象局“十二五”重点实验室之一,主要围绕气溶胶观测、数据分析、资料反演,开展气溶胶光学、物理特性研究,利用太阳辐射观测、气象观测探讨气溶胶的辐射效应、气候效应等。为进一步发挥数据效益,实验室组织开发了秦岭大气科学试验基地气溶胶综合观测平台。

本文详细阐述了秦岭大气科学试验基地气溶胶

和辐射综合观测数据的收集、远程传输、质量控制及产品反演等功能的实现,观测结果以网页的形式呈现,为相关部门提供业务数据支撑。

## 1 综合观测介绍

秦岭大气科学试验基地位于陕西省西安市长安区黄良镇,北距西安市中心 15 km,南距秦岭 12 km,占地面积 46.3 亩(1 亩 $\approx$ 666.7 m<sup>2</sup>)。气溶胶、太阳辐射观测包括微脉冲激光雷达(micro pulse laser radar, MPL)、空气动力学粒径谱仪(aerodynamic particle sizer spectrometers, APS3321)、扫描电迁移率粒径谱仪(scanning mobility particle sizer Model 3034, SMPS)、浊度仪(integrating nephelometer Model 3563, NEPH)、三波段粒子吸收仪(3 $\lambda$ -particle soot/absorption photometer, PSAP)、多滤波旋转遮光带辐射计(multi filter rotating light radiation meter, MFR)、太阳短波辐射表(solar shortwave radiation meter, CMP21、PSP)、黑白总辐射(black & white pyranometer, B&W)、红外长波辐射表(precision infrared radiometer, PIR)、紫外辐射表(total ultraviolet radiometer, TUVR)、光合有效辐射表(photosynthetic active radiation meter, PAR)、直接辐射表(normal incidence pyheliometer, NIP)、全天空成像仪(total sky imager, TSI-880)。同时观测场内拥有风廓线雷达,自动气象观测站,能实时获得风、温、压、湿、降水等气象观测资料。

综合观测由仓房和观测场两部分组成(图 1 和图 2)。微脉冲激光雷达(MPL-4)用于测量 527 nm 波长处的气溶胶垂直消光系数,反演得到大气边界层高度和云边界层的演变,观测频率为 1 次/min;空气动力学直径粒子谱仪(APS 3321)主要用于测量 0.5~20  $\mu$ m 范围内的颗粒物谱分布特征(包括质量浓度、数浓度和体积浓度),观测频率为 1 次/10 min;扫描电迁移率粒径谱仪(SMPS 3936)用于测量 10~487 nm 范围内的颗粒物谱分布特征(包括质量浓度、数浓度和体积浓度),观测频率为 1 次/10 min;CMP21 型短波辐射计用于测量 285~2800 nm 太阳辐射中的短波辐射,观测频率为 1 次/min;B&W 8-48 型黑白总辐射表用于测量 310~2800 nm 太阳短波辐射,观测频率为 1 次/min;紫外辐射表(TUVR)用于观测 295~385 nm 太阳辐射中的紫外辐

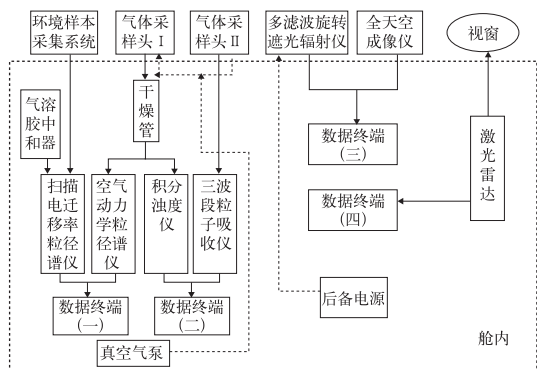


图 1 观测舱仪器布局

Fig. 1 Instrument layout of aerosol laboratory

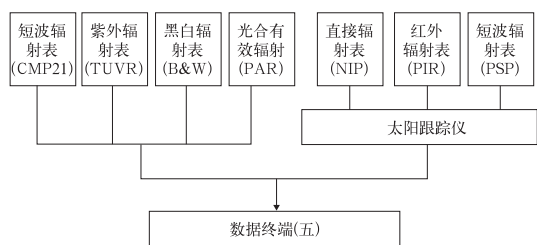


图 2 太阳辐射观测场布局

Fig. 2 Instrument layout of observation field

射,观测频率为 1 次/min;PAR-LITE 型光合有效辐射计用于测量 400~700 nm 范围内光合有效辐射,观测频率为 1 次/min;由 Epply 公司生产的直接辐射表(NIP)用于测量 200~4000 nm 太阳直接辐射,观测频率为 1 次/min;PSP 型短波辐射表可以获取 310~2800 nm 范围的太阳短波辐射,观测频率为 1 次/min;红外辐射表(PIR)用于测量 780~4000 nm 红外长波辐射,观测频率为 1 次/min;TSI-

880 型全天空成像仪在太阳高度角  $>10^\circ$  时开展对天空状况、云量的观测,获取可见光范围内天空图像,观测频率为 30 min/次;MFR-7 多滤波旋转遮光辐射仪测量 415、500、615、673、870 和 940 nm 六种宽波段内太阳光谱辐照的总量、散射和直接辐射,用于开展对水汽、气溶胶光学厚度和臭氧等方面的研究,观测频率为 1 min/次;积分浊度仪(NEPH)用于测量 450、550 和 700 nm 波段气溶胶总光散射系数和后向散射系数,观测频率为 1 次/10 min;三波段粒子吸收仪(PSAP)用于测量 470、522 和 660 nm 波段气溶胶的吸收系数,观测频率为 1 次/10 min。

利用上述仪器开展 24 h 全天候连续观测,观测数据通过原厂数据存储卡、超级终端、自带软件/数据库等多种形式存储在本地数据终端上。每个仪器采样频率和完成周期所需时间各不相同,单日获取的观测数据和相应的仪器工作状态数据总量超过百兆。搭建一个综合处理平台,实现对不同类型的观测数据的科学管理、合理利用是一个亟待解决的问题。

## 2 平台设计

集硬件观测、软件管理于一体的综合设计方案是平台设计的目标(图 3),其包含硬件观测(I)、业务化运行监控(II)和大气环境产品反演(III)三部分;实现气溶胶与辐射观测获取的各项原始数据,实现野外观测数据传输-质量控制-产品反演-数据查询等功能,供陕西省气象局局域网内部相关业务单位使用。

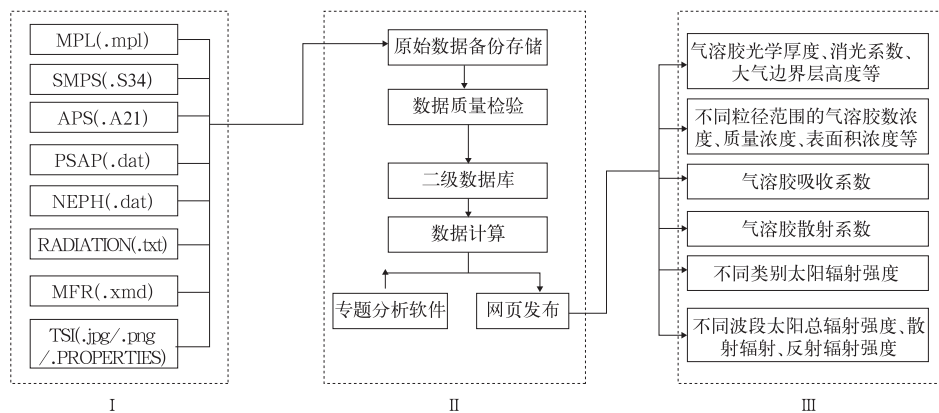


图 3 秦岭大气科学试验基地气溶胶综合观测数据平台设计

Fig. 3 Design of aerosol comprehensive observation platform of Qinling Mountains atmospheric science experimental base

平台设计需要解决的具体问题有:(1)太阳辐射表所使用的 CR3000 采集器、MPL 软件、MFR 超级终端等都需要人工手动操作链接实现观测数据从存储卡到工作机的下载;(2)如何读取不同方式存储的数据,如不同太阳辐射表、MFR 采集数据需要人工操作下载到数据终端上;辐射表数据、SMPS、APS 和 NEPH 观测的数据始终追记在同一个文件中,远程传输时需要解决数据是否会重复上传或不同来源数据占用通道的问题;(3)MPL、SMPS、APS 和 NEPH 完成一次采样过程分别需要耗时 30 s、3 min、20 s 和 1 min,采样周期最短可以设置为每分钟 1 次,采样周期内禁止任何后台程序访问存储文件,如何在采样周期的间隙完成新数据的提取、打包、传输等任务成为一个难点;(4)不同仪器获取的数据文件格式不同,需要自主编程读取数据并反演计算。

## 2.1 数据采集网

### (1) 虚拟机器人程序

程序员开发虚拟机器人程序,按预定设计要求自动执行数据采集、处理、存储任务,模拟人工操作的各个步骤实现无人值守、自动采集、智慧处理功能。具体包括:虚拟机器人代替人工,解决 CMP21、TUVR 等辐射表在原厂设置中需要手工点击软件操作界面上的“collection”键,以便从 CR3000 存储卡上读取数据并存入辐射观测数据终端 Table 文件中的操作过程;虚拟机器人按照设置时间自动连接 MFR、PSAP 仪器的超级终端完成下载数据功能。

### (2) 分时处理与计划任务

程序员编写调用数据库数据程序,自动获取 TSI 数据库中包括 txt 格式文档和 jpg 格式图片等观测结果;自主编程的后台程序按照提前设定好的时间在 MPL、SMPS、APS、NEPH 两次采样周期的空档访问数据存储文件,避免后台程序访问存储文件过程对仪器出厂设置无法更改的软件进行定时采样分析造成的干扰;为每台数据终端编写独立的文件过滤器,用于后台自动检查来自存储卡/采集软件/远程终端获取的前一个上传节点后的最新数据文件(每小时数据更新一次);制定逐日循环节目表,启用 Windows 系统中计划任务调度各种仪器的数据采集程序,通过编排节目表与系统分时功能,分配

时间表,结合现有处理机资源与多任务协作,避免各仪器数据处理冲突。

### (3) 网络传输

通过内网、无线 WIFI、3G/4G 网络实现原始数据从采集器到数据终端的自动传输;再利用气象内网传输网络与 FTP 安全认证,以文件形式将每小时采集的原始数据上传至省局服务器;工作机通过内网调用服务器原始数据进行计算反演,反演产品也通过内网平台发布。

### (4) 集中存储

建立秦岭实验基地气溶胶/辐射数据库,对原始数据与处理中间结果和产品等进行分类存储。集中存储包括结构化数据,采集文件和图像等非结构化数据。数据内容包括 MFR 原始数据(. xmd 格式)、辐射原始数据(. txt 格式)、APS 原始数据(. A21 格式)、SMPS 原始数据(. S34 格式)、MPL 原始数据(. mpl 格式)、NEPH 原始数据(. dat 格式)、PSAP 原始数据(. txt 格式)。原始数据经过反演得到的气溶胶、太阳辐射产品被推送到网页上,发布的同时也回传至服务器存储,网页发布产品以 .txt 和 .jpg 格式为主。

## 2.2 数据质量控制

原始数据在野外观测工作机上备份以后,通过 FTP 传输到省局服务器后数据进行二次备份。入库后数据将进行质量控制。

(1) 初级质量控制:在观测场的每台数据终端都装有 Teamview 软件方便工作人员在办公地点可以通过远程桌面对野外观测场仪器的工作状态进行实施监控。同时利用观测经验、仪器工作状态参数(样气流量、状态参数等)对观测结果进行初级质量控制。例如:APS 中状态参数为 0000 0000 0000 0000 四组 0000 中出现别的数据即判断为不可用数据,在后续处理中会自动剔除;太阳短波辐射、紫外辐射在太阳高度角低于  $3^{\circ}$  时观测数据为 0,若此时出现非 0 数据,在后续处理中会自动默认为无效数据。

(2) 阈值质量控制:根据理论依据、理想状态判定和文献参考设置质量控制阈值。例如: CMP21 与 B&W 同为测量太阳短波总辐射的仪器,当两表观测数据做相关性检验其相关系数  $(R) \geq 0.99$  时,说

明 CMP21 和 B&W 观测数据有效,即可以入库保存;理论上到达大气层顶的太阳紫外辐射占太阳短波总辐射的 7%左右,在进入大气层后由于臭氧吸收、气溶胶散射、吸收造成的衰减导致实际到达地表的紫外辐射占到地表接收到的太阳总辐射的 3%左右,按照该理论分析 TUVR 与 CMP21(或 B&W)的比值,即可判定 TUVR 观测数据的有效性。

### 2.3 自主编程和产品反演

工作机通过内网访问省局服务器后台下载数据,然后利用自主研发处理程序对经过质量检验的数据进行反演计算。分析结果分两部分:观测结果中已经是成熟产品的部分保存成图像,并发布到网站产品目录,供用户网页浏览;观测结果中数据部分输出成约定文件,保存到本地路径。随后根据约定的产品反演程序计算相关物理量后保存结果文件在数据库中,然后进行绘图,并保存图像文件,通过 FTP 上传到省局服务器,提供产品服务。研究和业务人员可以直接调用已经反演好的产品或者原始数据,开展有针对性的分析与研究。

以激光雷达为例,工作机逢整点 15 min 通过后台服务程序下载上时次 MPL 格式文件,5 min 后机器人程序(逢整点 20 min)操作 MPL 程序对原始文件进行自动处理;处理结果分两部分:(1)观测部分保存成图像,并发布到网站产品目录,供用户网页浏览。(2)数据部分输出成约定文件,机器人程序启动计算程序,调用 MPL 数据,计算大气边界层高度并保存结果文件;入库程序将数据文件保存入库;机器人程序将入库数据实时绘制成大气边界层高度 24 h(前 24 h)演变折线图,并且保存为图像文件,FTP 上传到省局服务器并推送至网站,供局域网用户使用。每小时执行一个循环。

### 2.4 数据查询

陕西省气象局局域网用户可以通过“秦岭大气科学实验基地气溶胶实验室综合观测平台”网页图,获得气溶胶观测系统观测反演得到的产品。具体功能如下:

激光雷达:以图、表形式给出的由激光雷达观测数据反演得到的边界层高度 24 h(前一日)演变折线图,每小时(整点)观测站上空边界层高度数值。

空气动力学粒径谱仪:以图、表的形式给出最近 24 h 气溶胶粒子数浓度、表面积浓度、质量浓度和粒径随时间变化的演变折线图,以表格形式给出的最近 24 小时数浓度、表面积浓度、质量浓度和粒径逐小时数据。

扫描电迁移率粒径谱仪:以图、表的形式给出最近 24 h 气溶胶粒子数浓度、表面积浓度、质量浓度和粒径随时间变化的演变折线图,以表格形式给出的最近 24 h 数浓度、表面积浓度、质量浓度和粒径逐小时数据。

积分浊度仪:分别以图、表的形式给出前一天(24 h)各波段(450、550、700 nm)逐小时散射系数及相对湿度演变图和数据;

辐射表:分别以图、表的形式给出太阳短波辐射、紫外辐射、红外长波辐射、光合有效辐射、直射辐射随时间变化演变折线图和逐小时瞬时值;

多滤波旋转遮光带辐射仪:按照总辐射(总波段、415.8、497.0、612.9、672.1、869.6、937.4 nm)、散射辐射(总波段、415.8、497.0、612.9、672.1、869.6、937.4 nm)和直接辐射(总波段、415.8、497.0、612.9、672.1、869.6、937.4 nm)的分类,分别给出不同时刻不同波段的辐射强度,可根据需要自由选择设定好的波段对应的数据。

全天空成像仪:用户可以根据需要在时间表上选择.jpg 格式的天空状况图和反演的天空云量图。

吸收仪:分别以图、表的形式给出前一日(24 h)各波段(470、522、660 nm)逐小时吸收系数演变图和数据。

## 3 结论与讨论

(1)“秦岭大气科学实验基地气溶胶综合观测数据平台”具有自动收集数据、打包整合、分时处理、远程传输、人工交互质量检验入库、常规产品自行运算、反演结果实时发布等特点。目前已经在陕西省气象局内网上正常运行,为环境气象研究与业务提供了丰富的数据基础。

(2)平台建设过程中建立多种数字通讯传输方式,实现观测仪器集成式的自动化管理;通过大量观测分析给出质量控制模块的监测内容以及合理值的阈值,实现观测数据质量控制;利用虚拟机器人程序

实现了数据采集补录、自动调用分析软件/程序反演产品等功能,实现通过网站与共享方式实时提供服务功能。

(3) 平台建设中虚拟机器人实现自动采集智慧处理功能和分时处理计划任务是本平台实施中尤其关键的技术,其确保数据采集量的有效性和传输的畅通性,在综合数据采集网构成中具有重要意义。

(4) 平台涉及数据收集、传输、处理等众多节点,维护工作量大,在实际操作中需要梳理好每一个环节,进一步优化。野外综合观测受到外部条件变化的干扰较多,有必要在观测的过程中进一步积累经验、精细阈值,实现对数据的质量控制及入库的全自动化处理,提高质量检验效率。

(5) 平台建设中的经验:前期准备应了解每台仪器的工作环境要求和性能特点,避免不同仪器运行时的相互干扰;安装规划时合理分配各仪器气路流量、数据传输网络连接方式、后备电源等;安装调试阶段根据每台仪器运行要求制定日常维护保养手册,规范观测流程,确保观测数据的准确性;仪器调试完成后总体规划数据传输、显示和应用功能,提高观测数据对科研和业务工作的保障效率。特别注意仪器改装、后期维护和校准方面,以免造成观测数据质量不高,甚至观测数据无效情况的出现。

## 参考文献

- 邓玉娇,胡猛,林楚勇,等,2016.基于FY3A/MERSI资料分析广东省气溶胶光学厚度分布[J].气象,42(1):61-66.
- 史晋森,黄建平,葛颢铭,等,2013.地面气溶胶集成观测系统[J].中国粉体技术,19(1):7-12.
- 石荣光,刘奇俊,马占山,2015.利用GRAPES模式研究气溶胶对云和降水过程的影响[J].气象,41(3):272-285.
- 谭浩波,吴兑,邓雪娇,等,2009.珠江三角洲气溶胶光学厚度的观测研究[J].环境科学学报,29(6):1146-1155.
- 王跃思,张军科,王莉莉,等,2014.京津冀区域大气霾污染研究意义、现状及展望[J].地球科学进展,29(3):388-396.
- 延昊,矫梅燕,毕宝贵,等,2006.国内外气溶胶观测网络发展进展及相关科学计划[J].气象科学,26(1):110-117.
- 衣娜娜,张镭,刘卫平,等,2017.西北地区气溶胶光学特性及辐射影响[J].大气科学,41(2):409-420.
- 张西雅,扈海波,2017.京津冀地区气溶胶时空分布及与城市化关系的研究[J].大气科学,41(4):797-810.
- 张小曳,廖宏,王芬娟,2014.对IPCC第五次评估报告气溶胶-云对气候变化影响与响应结论的解读[J].气候变化研究进展,10(1):37-39.
- 张养梅,颜鹏,杨东贞,等,2007.临安大气气溶胶理化特性季节变化[J].应用气象学报,18(5):635-644.
- WMO,2003. Aerosol measurement procedures guidelines and recommendations[R]. WMO No. 153. Geneva: World Meteorological Organization.