

DAQI TANCE YUANLI YU FANGFA

大气探测原理与方法

张文煜 袁久毅 编著

气象出版社

China Meteorological Press

大气探测原理与方法

张文煜 袁久毅 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书是为大气科学本科生的大气探测学课程编写的教材。书中详细介绍了地面气象观测和高空探测的基本内容和方法,并简要介绍了大气遥感和大气边界层探测的基本原理、方法及应用。

本书可作为大气科学及相关学科的专业教材,也可作为气象、环境、地理、地质等专业的专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大气探测原理与方法/张文煜等编著. —北京:气象出版社,2007.5
ISBN 978-7-5029-4318-9

I. 大… II. 张… III. 大气探测—高等学校—教材 IV. P356

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 072686 号

出版者:气象出版社

网 址: <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编:100081

电 话:总编室:010-68407112

发行部:010-62175925

责任编辑:王存忠 李太宇

终 审:陆同文

封面设计:阳光图文工作室

责任校对:王 欢

印刷者:北京昌平环球印刷厂

发行者:气象出版社

开 本:750mm×960mm 1/16 印 张:16.25 字 数:324 千字

版 次:2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月第一次印刷

印 数:1~5000

定 价:33.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

前 言

大气探测是研究测量和观察地球大气的物理特性及大气现象的方法和手段的一门学科,包括地面气象观测、高空气象探测、大气遥感探测、气象卫星探测及特殊观测。

随着现代科学技术的发展,大气探测的范围越来越大,探测的手段也越来越先进,雷达探测和卫星探测已深入到大气科学的方方面面,计算机在大气探测诸领域得到了广泛的运用。这一切都极大地丰富了大气探测学的教学内容。

根据《大气探测学》教学大纲的基本要求,结合多年的教学经验积累和大气探测学课程的教学需要,我们为大气科学本科生的大气探测学课程编写了这本《大气探测原理与方法》教材。

大气探测学是大气科学各专业的公共专业基础课。编者根据多年的工作经验及教学实践,从基础和应用出发,力求该教材简洁实用、浅显易懂、便于自学,为大气科学各专业的学生学习专业课程提供必要的基础知识和技能。

本教材共分十四章。第一章总论,分别论述了大气探测的特点、测量标准、气象仪器、时制、日界、大气探测资料的“三性”要求及其发展。第二章至第十章,详细介绍了云、能见度、天气现象、地面状态、气压、空气温度、空气湿度、降水、蒸发、地面风、积雪、冻土、电线积冰、辐射和日照时数的基本概念、基本原理、观测方法,测量精度、误差来源及获取资料的应用。第十一章介绍了自动气象站的基本原理、基本结构、数据的采样和算法以及质量控制。第十二章介绍了高空温湿压风的探测方法及基本原理。第十三章介绍了主动式大气遥感和被动式大气遥感探测的主要手段的基本原理和应用。第十四章简要介绍了大气边界层探测的基本手段。每章都配有习题,以便读者复习和练习。

本教材由张文煜教授执笔编写,袁九毅教授参与了教材编写大纲的制定和教材的审定,并对部分章节进行了修改、完善。限于编者的知识和经验,书中难免有不少缺点和错误,热诚欢迎读者批评指正。

本教材编写过程中,曾参考国内外相关规范、指南、手册、教材和专著四十多种,这些著作中许多精辟的论述,都融入了本教材,参考书目中列出了这些著作,在此谨向上述作者们表示衷心的感谢。

在本书编写过程中,宋嘉尧和仝纪龙同志帮助完成了插图的绘制工作,王式功教授和张镭教授给予了热情帮助,编者谨向他们表示深切的谢意。

编者

2007年春于兰州大学

目 录

第一章 总论	(1)
§ 1.1 测量标准	(1)
§ 1.2 气象仪器	(2)
1.2.1 测量及其误差的定义	(2)
1.2.2 气象仪器的属性	(3)
1.2.3 测量误差的表示及其分类	(4)
§ 1.3 时制和日界	(5)
1.3.1 时制	(5)
1.3.2 日界	(5)
§ 1.4 大气探测的代表性、准确性和比较性	(6)
1.4.1 大气探测的代表性	(6)
1.4.2 大气探测的准确性	(7)
1.4.3 大气探测的比较性	(7)
§ 1.5 大气探测的发展概述	(8)
1.5.1 始创阶段	(8)
1.5.2 地面气象观测开始发展阶段	(8)
1.5.3 高空探测开始发展阶段	(8)
1.5.4 高空及高层大气探测的迅速发展阶段	(9)
复习思考题	(10)
第二章 云的观测	(11)
§ 2.1 概述	(11)
§ 2.2 云状	(11)
2.2.1 云状分类	(11)
2.2.2 云状特征	(12)
2.2.3 形成云的基本过程	(16)
§ 2.3 云的观测	(17)
2.3.1 判定云状	(17)
2.3.2 估计云量	(17)

2.3.3 测定云高	(18)
2.3.4 选定云码	(19)
§ 2.4 气象应用	(21)
复习思考题	(22)
第三章 能见度、天气现象、地面状态的观测	(23)
§ 3.1 能见度的观测	(23)
3.1.1 影响能见度的基本因子	(23)
3.1.2 水平能见度的观测	(24)
3.1.3 气象光学视程的仪器测量	(29)
§ 3.2 天气现象的观测	(32)
3.2.1 天气现象的特征	(33)
3.2.2 天气现象观测仪	(36)
3.2.3 容易混淆的天气现象的区别	(36)
§ 3.3 地面状态的观测	(38)
§ 3.4 气象应用	(40)
复习思考题	(41)
第四章 气压的观测	(42)
§ 4.1 概述	(42)
4.1.1 气压	(42)
4.1.2 测压方法	(43)
§ 4.2 水银气压表	(43)
4.2.1 水银的特点	(43)
4.2.2 水银气压表测量原理	(44)
4.2.3 水银气压表的类型	(44)
4.2.4 动槽式水银气压表的构造原理	(45)
4.2.5 定槽式水银气压表的构造原理	(46)
4.2.6 水银气压表的本站气压订正	(47)
4.2.7 水银气压表的安装、维护和移运	(55)
§ 4.3 空盒气压表和空盒气压计	(56)
4.3.1 空盒的结构及特性	(56)
4.3.2 空盒气压表	(58)
4.3.3 空盒气压计	(59)

§ 4.4 气压传感器	(61)
4.4.1 膜盒式电容气压传感器	(61)
4.4.2 振筒式气压传感器	(62)
4.4.3 压阻式气压传感器	(63)
4.4.4 电测气压传感器的误差	(63)
§ 4.5 沸点气压表	(64)
§ 4.6 海平面气压订正	(65)
4.6.1 海平面气压订正的原理	(65)
4.6.2 海平面气压订正的准确度	(67)
§ 4.7 气压表的基准	(67)
§ 4.8 气象应用	(68)
复习思考题	(69)

第五章 空气温度的观测 (70)

§ 5.1 概述	(70)
5.1.1 空气温度	(70)
5.1.2 温标	(70)
5.1.3 测温方法	(71)
5.1.4 观测项目	(72)
§ 5.2 玻璃液体温度表	(72)
5.2.1 玻璃液体温度表的构造原理	(72)
5.2.2 测量误差	(73)
5.2.3 常用的玻璃液体温度表	(73)
§ 5.3 双金属片温度计	(76)
5.3.1 感应部分	(76)
5.3.2 传递放大部分	(77)
5.3.3 自记部分	(77)
§ 5.4 电测温度表	(78)
5.4.1 热电偶温度表	(78)
5.4.2 金属电阻温度表	(79)
5.4.3 热敏电阻温度表	(79)
5.4.4 电阻的测量	(80)
§ 5.5 地温的测量	(81)
5.5.1 地表温度测量的复杂性	(81)

5.5.2 地温测量仪器的使用	(82)
§ 5.6 测温仪器的热滞现象	(85)
5.6.1 热滞系数	(85)
5.6.2 介质温度保持不变时的热滞误差	(86)
5.6.3 介质温度呈线性变化时的热滞误差	(86)
5.6.4 介质温度呈周期性变化时的热滞误差	(86)
§ 5.7 气温测量中的防辐射设备	(87)
5.7.1 百叶箱	(87)
5.7.2 通风干湿表	(89)
5.7.3 防辐射罩	(89)
§ 5.8 气象应用	(90)
复习思考题	(91)

第六章 空气湿度的观测 (93)

§ 6.1 概述	(93)
6.1.1 空气湿度	(93)
6.1.2 表示空气湿度变化的参量	(93)
6.1.3 测量空气湿度的方法	(95)
§ 6.2 干湿球温度表	(95)
6.2.1 测湿原理	(95)
6.2.2 测湿系数 A	(96)
6.2.3 测量误差	(98)
6.2.4 湿球纱布套	(98)
6.2.5 低于冰点时湿球的操作	(99)
§ 6.3 毛发湿度表和湿度计	(99)
§ 6.4 冷镜露点湿度表	(102)
6.4.1 测量原理	(102)
6.4.2 仪器结构	(103)
6.4.3 观测方法	(103)
§ 6.5 氯化锂加热凝结湿度表(露池)	(104)
6.5.1 测量原理	(104)
6.5.2 测温传感器	(104)
6.5.3 观测方法	(105)
§ 6.6 电阻湿度表	(105)

§ 6.7 电容湿度表	(106)
§ 6.8 电磁辐射吸收湿度表	(107)
§ 6.9 湿度的标准仪器和校准	(107)
6.9.1 湿度表的校准原理	(107)
6.9.2 校准周期和校准方法	(108)
6.9.3 实验室校准	(108)
6.9.4 一级标准器	(108)
6.9.5 二级标准器	(109)
6.9.6 工作级标准器	(109)
6.9.7 WMO 参考标准干湿表	(109)
§ 6.10 气象应用	(110)
复习思考题	(111)
第七章 降水与蒸发的观测	(112)
§ 7.1 概述	(112)
§ 7.2 降水观测	(112)
7.2.1 雨量器	(113)
7.2.2 虹吸式雨量计	(114)
7.2.3 翻斗式遥测雨量计	(115)
7.2.4 光学雨量计	(117)
7.2.5 雨量传感器	(118)
7.2.6 测量误差	(119)
§ 7.3 蒸发量的观测	(120)
7.3.1 小型蒸发器	(120)
7.3.2 E-601B 型蒸发器	(121)
7.3.3 超声蒸发传感器	(123)
7.3.4 测量误差	(124)
§ 7.4 气象应用	(124)
复习思考题	(125)
第八章 地面风的观测	(126)
§ 8.1 概述	(126)
§ 8.2 风的传感器	(130)
8.2.1 风向感应器	(130)

8.2.2 风向传感器	(132)
8.2.3 风杯式风速感应器	(133)
8.2.4 螺旋桨式风速感应器	(134)
8.2.5 风速传感器	(134)
§ 8.3 EL 型电接风向风速计	(134)
8.3.1 感应器	(134)
8.3.2 指示器	(137)
8.3.3 记录器	(139)
§ 8.4 其他测风仪器	(141)
8.4.1 热线风速表	(141)
8.4.2 声风速表	(142)
8.4.3 轻便风向风速表	(143)
8.4.4 EN 型系列测风数据处理仪	(143)
8.4.5 单翼风向传感器和风杯风速传感器	(144)
8.4.6 螺旋桨式风向风速感应器	(144)
8.4.7 海岛自动测风系统	(144)
§ 8.5 测风仪器的安装	(145)
8.5.1 安装高度	(145)
8.5.2 安装地点	(145)
8.5.3 安装要求	(145)
§ 8.6 气象应用	(145)
复习思考题	(147)
第九章 积雪、冻土和电线积冰的观测	(148)
§ 9.1 积雪的观测	(148)
9.1.1 概述	(148)
9.1.2 雪深观测	(148)
9.1.3 雪压观测	(149)
9.1.4 移雪量的观测与计算	(151)
§ 9.2 冻土	(153)
9.2.1 概述	(153)
9.2.2 冻土器	(153)
9.2.3 冻土观测	(154)
§ 9.3 电线积冰	(155)

9.3.1 概述	(155)
9.3.2 电线积冰架	(155)
9.3.3 电线积冰观测的辅助工具	(156)
9.3.4 电线积冰的观测	(157)
9.3.5 影响积冰重量的因子	(159)
§ 9.4 气象应用	(160)
复习思考题	(160)
第十章 辐射和日照时数的观测	(162)
§ 10.1 辐射的基本知识	(162)
10.1.1 概述	(162)
10.1.2 基本概念与单位	(162)
10.1.3 辐射传感器	(164)
10.1.4 辐射基准	(164)
§ 10.2 辐射的观测仪器及原理	(165)
10.2.1 直接辐射的测定	(165)
10.2.2 总辐射和散射辐射的测定	(173)
10.2.3 净全辐射的观测	(176)
10.2.4 长波辐射的观测	(177)
10.2.5 紫外辐射的观测	(178)
10.2.6 辐射自动观测仪	(178)
§ 10.3 日照时数的观测	(179)
10.3.1 概述	(179)
10.3.2 测量方法	(179)
10.3.3 暗筒式(乔唐式)日照计	(180)
10.3.4 聚焦式(康培司托克式)日照计	(183)
10.3.5 日照传感器	(184)
§ 10.4 气象应用	(185)
复习思考题	(186)
第十一章 自动气象观测系统	(187)
§ 11.1 概述	(187)
§ 11.2 自动气象站的测量原理	(187)
§ 11.3 自动气象站的基本结构	(188)

11.3.1	传感器	(188)
11.3.2	数据采集器	(189)
11.3.3	系统电源、通信接口和外围设备	(190)
11.3.4	采集软件	(190)
11.3.5	业务软件	(191)
§ 11.4	气象站数据的采样和算法	(191)
11.4.1	采样	(191)
11.4.2	算法	(191)
§ 11.5	自动气象站质量控制	(192)
	复习思考题	(193)
第十二章	高空温湿压风的探测	(194)
§ 12.1	高空温湿压的综合探测	(194)
12.1.1	GZZ2-1型电码式高空探空仪	(194)
12.1.2	GTS1型数字高空探空仪	(196)
§ 12.2	高空风的探测	(199)
12.2.1	气球测风的基本原理	(200)
12.2.2	单经纬仪定点测风	(204)
12.2.3	双经纬仪基线测风	(205)
12.2.4	雷达测风	(211)
§ 12.3	气象应用	(221)
	复习思考题	(221)
第十三章	大气遥感探测	(223)
§ 13.1	主动式大气遥感探测	(223)
13.1.1	概述	(223)
13.1.2	雷达探测的基本原理及雷达方程	(224)
13.1.3	新一代天气雷达	(225)
13.1.4	常见的雷达图像	(228)
13.1.5	新一代天气雷达的应用	(229)
§ 13.2	被动式大气遥感探测	(230)
13.2.1	气象卫星探测的特点与发展	(230)
13.2.2	卫星的主要探测谱段	(231)
13.2.3	气象卫星的工作原理	(232)

13.2.4 卫星资料在各个领域的应用	(233)
第十四章 大气边界层探测技术简介	(235)
§ 14.1 大气边界层的特点及湍流量的表征方法	(235)
§ 14.2 近地层气象塔测量	(235)
14.2.1 平均量测量仪器的安装高度	(236)
14.2.2 平均温度廓线的测量	(236)
14.2.3 平均风速廓线的测量	(236)
14.2.4 平均湿度廓线的测量	(237)
14.2.5 温度脉动量的测量	(238)
14.2.6 风速脉动量的测量	(238)
14.2.7 湿度脉动量的测量	(241)
§ 14.3 大气边界层廓线测量	(242)
主要参考文献	(245)

第一章 总 论

大气科学是研究地球大气的特性、结构、运动规律以及大气中各种现象的发生、发展的一门科学。大气探测是利用各种仪器与装备,对地球大气各个高度上的物理状态、化学性质和物理现象的发生、发展和演变进行观察和测定。由于大气不能被控制,因而其研究有自己的特殊性,我们现在只能在大气中对各种变化过程做长期的连续观测和探测,并将取得的资料进行分析研究来揭示大气变化过程的内在规律。因此,大气探测是大气科学研究的基础,没有大气探测,大气科学就无从发展。大气探测已逐渐成为大气科学的一个重要分支——大气探测学。

大气探测可应用于天气分析和预报的实时准备、气候调研、与局地天气有关的业务技术、水文、农业气象学和气候学的研究。

由于探测的手段不同,应用探测的仪器不同,所需要探测的重点不同,大气探测可划分为地面气象观测、高空探测和专业气象观测。地面气象观测是利用气象仪器测定近地面层的气象要素值以及用目力对自由大气中的一些现象如云、光、电等进行观测。观测项目主要有:云、能见度、天气现象、气压、气温、湿度、风、降水、雪深、雪压、蒸发、日照、地温等。高空探测是用气球、雷达、火箭、卫星等手段对自由大气进行探测。专业气象观测是为各种不同专业研究的需要而进行的观测,如农业气象观测、环境污染研究观测等都属于这一类。

§ 1.1 测量标准

标准:是指用以确定计量准确度的各种仪器、方法和标度。

测量标准:一个实物量具、计量仪器、标准物质或测量系统,用以定义、实现、保存或复现一个量的单位或一个量值、或多个量值,并作为一个标准。

国际基准:经国际协议承认的标准器,在国际上用它作为对相关量的所有其他标准定值的根据。

国家基准:经国家承认使用的标准器,在国内,用它作为有关量的其他标准定值的根据。

主基准:指定的或广泛公认的作为具有最高计量学属性的标准器,其值不用参考相同参量的其他标准器即可接受。

副基准:与相同量的主基准比对后定值的标准器。

参考标准:在确定的地区或确定的组织内,通常具有最高计量学属性的标准器。

工作标准:日常用以校准或检验实物量具、测量仪器或标准物质的标准器。工作标

准器通常由参考标准器校准;为确保测量正确通常使用的工作标准称为“考核标准”。

传递标准:用作中介比对标准的标准器。

移动式标准:具有某些特殊结构的标准器,用于在不同地区之间传递。

集合标准:一组相同的实物量具或测量仪器,通过它们的联合使用,履行标准器的作用。集合标准通常提供一个量的单位值;由集合标准提供的值是由组内各个仪器提供的值的认可的平均值。

溯源性:测量结果或标准值的一种特性,据此可以通过连续的比较链,将测量结果与规定的标准器(通常是国家基准或国际基准)联系起来,它们都具有固定的不确定度。

校准:在规定的条件下,为建立测量仪器或测量系统或实物量具的指定值与相应的已知物理量值的关系的全部工作。校准的结果允许测量仪器、测量系统或实物量具的示值的误差估计,或允许在任意标尺上的刻度的确定;校准也可以确定其他计量学属性;校准的结果可记录在文件中,有时称为校准证书或校准报告;校准的结果有时用校准因数表示,或者一系列校准因数用校准曲线形式表示。

§ 1.2 气象仪器

气象仪器理想的特征是:长时间内保持一致的准确度、具有一定的可靠性、操作与维护方便,在符合要求的前提下设计简单、具有耐久性。

气象仪器就其测量方法而言,可分为两类:一类属于接触式仪器,就是说仪器的感应元件与被测物质直接接触,以测出被测物质的气象特性。另一类属遥感式仪器,它是利用接收被测物散射、反射、发射出来的电磁波或声波,以测出被测物质的气象特性。

1.2.1 测量及其误差的定义

测量:以确定被测对象量值为目的的全部操作过程。

测量结果:由测量所得到的被测量的值。当给出结果时,必须明确是否是指示器表示的值,是未修正结果或已修正结果,是否是几个值的平均;完整的测量结果说明,应包括有关测量不确定度的信息。

已修正结果:经系统误差修正后的测量结果。

值(量值):一个特定量的大小,它通常表示为一个测量单位乘以一个数。

(量的)真值:一个与给定量的定义值相一致的值,这是一个由理想的测量所获得的值;真值实际上是无法确定的。

测量准确度:测量结果与被测量的真值之间的一致程度。“准确度”是一个定性概念;“精密度”不应用作“准确度”。

(测量结果的)重复性:在同样的测量条件下,对同一被测的量进行多次测量的结果之间相一致的程度。此类条件称为重复性条件;可重复性的条件包括:相同的测量程

序、同一个观测者、在同样的条件下使用相同的仪器、同一地点、在短时间内重复测量；重复性可以定量地用测量结果的分散性来表示。

(测量结果的)复现性:在不同条件下,对相同的被测量对象进行测量的结果之间相一致的程度。复现性的准确陈述,要求对改变了的条件进行说明;变化的条件包括:测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考标准、地点、使用条件、时间;复现性可用测量结果的分散性定量地表示;这里所述结果通常理解为已修正后的结果。

(测量)不确定度:与测量结果有关的一种变量,用它表征为可合理地归因于被测量的测量值的离散程度。例如,该变量可看成是标准偏差或其倍数,或在一定置信水平下的区间的半宽;测量的不确定度通常由许多分量组成。这些分量中的某些可以由系列测量结果的统计分布来估计,并能用实验标准偏差来表征。其他的分量也能用标准偏差来表征,根据经验或其他资料,由假定的概率分布来作出估计;不言而喻,测量的结果是被测量的最好估计值,所有的不确定度的分量,包括那些由系统性的影响引起的,诸如与修正值和参考标准有关的各分量都会对离散有贡献。

(测量)误差:测量的结果减去被测量的真值。

偏差:测量值减去其约定真值。

修正值:在未修正的测量结果上加上的代数值,以作为对系统误差的补偿。

1.2.2 气象仪器的属性

灵敏度:测量仪器的响应变化除以相应的激励值变化。

识别率:测量仪器响应激励值微小变化的能力。

分辨率:指示器件对被指示量的紧密相邻值作有意义的辨别的能力的定量表示。

滞差:测量仪器对确定的激励作用的响应特性,表现为与先前的激励结果有关。

稳定度(仪器的稳定性):仪器维持计量特性随时间不变的能力。

漂移:测量仪器的计量特性随时间的缓慢变化。

响应时间:响应受到特定突变激励与响应到达并保持在其规定的最后稳定值时刻的时间间隔。

响应时间的陈述:常常以达到阶跃变化的 90% 所需时间作为响应时间,有时把该阶跃变化的 50% 所需的时间称为半响应时间。

响应时间的计算:在大多数简单系统中,对阶跃变化的响应是:

$$Y = A(1 - e^{-t/\tau})$$

式中 Y 是经历了时间 t 后的变化, A 是阶跃变化的幅度, t 是从阶跃变化开始所经历的时间, τ 是时间常数或滞后系数,具有时间量纲的该系统的特征参数,它是阶跃变化之后,仪器达到最后稳定读数的 $1/e$ 所需的时间。

滞后误差:由于观测仪器的有限响应时间而使一组测量可能具有误差。