

■ 大气科学专业系列教材

大气科学中的探测 原理与方法

韩 永 王体健 谢 旻 庄炳亮 编著



南京大学出版社

大气科学专业系列教材

大气科学中的探测 原理与方法

韩 永 王体健 谢 旻 庄炳亮 编著

南京大学出版社

内容简介

本书全面系统地阐述了大气科学中的探测原理与方法,主要包括大气气象场中各参数(风、温、压、湿)的测量方法,云、能见度、天气现象的识别和监测,雷电、高空气象参数及机载测量,降水、积雪、蒸发和土壤湿度、辐射、日照的测量手段和方式,大气边界层及大气环境研究中大气化学成分的测量原理和方法等;同时对地基、空基多平台多角度探测和 GPS 气象遥感等主被动观测遥感技术及应用也进行了论述,具体包括天气和激光雷达技术,卫星对地观测技术以及辐射传输的基本原理在大气探测中的应用等等;此外,本书还对大气探测数据质量控制的要求做了适当的解释。

本书的读者对象是地球系统科学、大气科学、空间天气学以及天文学方面各专业的本科生和研究生,以及在气象、环境部门和领域工作的业务人员及研究人员、大学教师等。

图书在版编目(CIP)数据

大气科学中的探测原理与方法/韩永等编著. —南京:南京大学出版社, 2015. 12

大气科学专业系列教材

ISBN 978-7-305-16411-8

I. ①大… II. ①韩… III. ①大气探测—高等学校—教材 IV. ①P41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 009941 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

出版人 金鑫荣

丛 书 名 大气科学专业系列教材

书 名 大气科学中的探测原理与方法

编 著 韩 永 王体健 谢 旻 庄炳亮

责任编辑 陈亚明 何永国 编辑热线 025-83596997

照 排 南京理工大学资产经营有限公司

印 刷 扬州市江扬印务有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 25.5 字数 621 千

版 次 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-16411-8

定 价 58.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购图书销售部门联系调换

序

作为大气科学的分支学科,大气探测在大气科学的研究与发展中具有重要的地位和作用。它的主要任务是发展新的探测和试验手段、原理和方法,为认识大气运动以及大气中各种物理、化学、生物过程的基本规律及其与周围环境的相互作用提供技术手段和方法,并探索大气探测学本身存在的一系列前沿科学和技术问题的解决方案。这本教材《大气科学中的探测原理与方法》是南京大学大气科学学院在多年教学实践的基础之上整理的成果。

南京大学大气科学学院作为我国大气科学重要的人才培养基地之一,适时推出新的大气探测教材是很有意义的。我想此教材的出版发行在以下几个方面具有重要的实际应用价值:

(1) 该教材对大气气象场各参数的探测原理和方法进行系统性的阐述,基本概念表述清楚、正确、恰当,这对于初学者来说非常重要,能够为大气科学领域的本科生打下扎实的专业基础。

(2) 大气探测涵盖的领域甚广,它事实上是物理学、数学、信息技术、电子、光学和机械、自控、平台技术在大气科学领域的交叉/综合应用,因此,需要读者具有相对广泛的知识 and 兴趣,为多学科知识在大气科学中的综合应用提供重要的参考依据。

(3) 由于大气探测科学本身的特点,除对基础性的专业知识进行系统性的总结之外,该教材也对大气探测的前沿做了恰当的论述,并清晰地融入编著者自己的学术思想,使得此教材对读者,不管是初学者还是研究人员,都具有重要的参考价值。

大气探测领域相关科学技术发展很快,不仅要阐述传统测量方法,也要对新出现的大气探测方法进行相应的总结和论述,并对大气探测的发展方向进行探讨,这反映了作为任课教师的编著者对大气探测的理解已经达到一个较高的水平。

作为本科生教材,本书内容丰富,比较重视近几十年的进展,注意介绍了国内这方面的进展。当然由于编著者的时间和视角,很难要求完整和全面。另外,本书着重探测中的基本原理和技术方面,也不可能对大气探测与大气科学其他分支以及地球科学其他学科的关系做进一步的介绍,因为这些作为本科生的基础课是不要求的。

该书内容丰富,篇幅较长,除作为本科生教材外,对相关部门和领域的业务人员和研究人员以及大学教师都具有参考价值。

吕述非 院士

2015年10月25日

于中科院大气所

前 言

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。作为大气科学的一个分支,大气探测是利用各种探测手段,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,它在大气科学的发展过程中起到了十分重要的作用。由于大气是一个开放系统,还不能被控制,因而对它的研究有自己的特殊性,我们现在只能在大气中通过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中的内在规律。大气现象和过程是复杂的,而且影响因素繁多,所以组成从局地到全球的探测网,准确、及时、完整地获取气象资料并进行分析,是大气探测科学发展的主要途径与方法。此外,为提高获取大气各参数及物理过程的实际真值程度,必须设计并研发新型的探测设备,这是大气探测的另外一个重要的发展方向。大气科学研究中许多重大的理论突破和新发现都是建立在大气探测所提供的观测资料基础之上的。由于大气是三维空间的流体,故而需要经常地、连续地对其进行监测。这种监测通常要在广阔的地域与纵深的空间范围内进行。

提高观测质量并逐步实现探测现代化是大气探测工作的首要任务,这就要求改进现代仪器设备,提高仪器的测量精度,并使新研发的探测设备适合我国的地理、气候条件;还要加强基准仪器和检定的工作,使测量仪器逐步实现标准化;提高资料处理工作的自动化技术,建立一个以现代通信技术为基础的数字传输系统,将成为实现整个探测工作现代化不可分割的组成部分。一般地,大气探测可分为如下几类:地面气象要素观测、高空气象要素观测、大气遥感、气象卫星探测及特殊观测等。

一直以来,大气探测学都是大气科学各专业本科生的公共基础课(主干课程),南京大学大气科学学院的大气探测课程现名为“地球大气综合探测”,其目的在于通过课堂的学习,使学生能够全面系统地掌握大气探测的原理与方法。大气探测学范围和内容非常广泛和丰富,主要讲述大气探测学的对象、任务和特点,气象传感器理论,地面气象要素和大气物理现象的观测原理和方法,高空气温、气压、湿度、风场及特种要素,大气边界层以及大气化学成分的探测原理和方法,雷电和 GPS 遥感技术等。同时,也介绍了利用微波、红外、激光和声波手段进行主动和被动式大气遥感探测的基本原理。此课程还应结合业务部门的先进设备进行现场教学。

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,物理学、数学、自控(计算机)及平台技术在大气探测领域得到了广泛的综合使用,雷达探测和卫星探测也已深入到大气科学研究的方方面面。这一切都极大地丰富了大气探测学的教学和实践内容。随着国际竞争的日益剧烈,发展实体装备制造技术在大气探测科学中就变得越来越紧迫,这就要求我们培养的学生必须具有扎实的基础理论知识,并拥有创新精神和极强的实验动手能力,以便更好地参与未来的国际竞争。

自2007年开始,本教材的编写工作得到南京大学大气科学学院各位领导、老师的支持和帮助,并获得985教改经费和江苏省重点研发计划(BE2015151,产业前瞻与共性关键技术,基于透射原理的大气能见度与湍流强度同步监测系统研制)的联合资助,在此表示衷心感谢。我们分别于2010年、2012年和2015年完成了第一、二、三版的讲义,至今已有约8年的时间。章节撰写工作分配为:前言、第1—9章、第12章和编后记由韩永撰写,第10章由庄炳亮撰写(此部分撰写过程中得到张宁和彭珍两位老师的帮助),第11章由王体健和谢旻撰写(李树提供了部分材料),全书由韩永统稿,李蒙蒙参与了稿件的校对工作。由于受编者学术认知的限制,书中可能存在不足或遗漏之处,希望在教学过程中逐步完善,并欢迎各位读者提出宝贵的意见和建议。

编者

2015年10月

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 大气探测在大气科学中的地位与作用	1
§ 1.2 涉及大气探测的法律法规	2
§ 1.3 大气探测的观测和研究对象	3
§ 1.4 大气探测的发展状况	8
§ 1.5 大气探测数据的特点及测量误差	14
习题	17
参考文献	18
推荐阅读	19
第 2 章 气象业务与现代探测的总体要求	20
§ 2.1 气象观测业务发展总体概况	20
§ 2.2 地面及现代业务观测	20
§ 2.3 各种类型观测站测量业务	21
§ 2.4 气象观测及对仪器的总要求	26
习题	30
参考文献	30
推荐阅读	30
第 3 章 云、能见度、天气现象的识别与探测	31
§ 3.1 大气中云的识别与探测	31
§ 3.2 大气能见度的观测	67
§ 3.3 天气现象的观测	84
习题	91
参考文献	92
推荐阅读	93

第4章 温度、湿度、气压和地面风	94
§ 4.1 温度的探测	94
§ 4.2 湿度的探测	106
§ 4.3 气压的探测	114
§ 4.4 地面风的探测	122
习题	135
参考文献	136
推荐阅读	137
第5章 降水、积雪、蒸发与土壤温/湿度的测量	138
§ 5.1 降水的观测	138
§ 5.2 积雪的观测	144
§ 5.3 蒸发量的观测	146
§ 5.4 土壤湿度的观测	156
习题	161
参考文献	161
推荐阅读	162
第6章 辐射、日照时数和雷电探测	163
§ 6.1 大气辐射的测量	163
§ 6.2 日照的测量	171
§ 6.3 雷电探测	172
习题	176
参考文献	176
推荐阅读	178
第7章 高空气象参数的获取与飞机观测	179
§ 7.1 高空气象参数的获取	179
§ 7.2 飞机在高空气象观测中的应用	195
§ 7.3 常规高空气象观测方式	198
习题	207
参考文献	208
推荐阅读	210



第 8 章 天气和激光雷达在大气探测中的应用	211
§ 8.1 雷达在大气探测中的应用	211
§ 8.2 天气雷达	212
§ 8.3 天气雷达的工作原理、组成及技术指标	215
§ 8.4 多普勒天气雷达	220
§ 8.5 雷达信号的传输和散射	222
§ 8.6 雷达的选择和安装	223
§ 8.7 天气雷达的应用	226
§ 8.8 激光雷达在大气探测中的应用	227
习题	244
参考文献	245
推荐阅读	247
第 9 章 卫星对地探测方法和 GPS 遥感	248
§ 9.1 卫星对地探测方法	248
§ 9.2 GPS 遥感在气象上的应用	269
习题	277
参考文献	277
推荐阅读	282
第 10 章 大气边界层测量方法	283
§ 10.1 大气边界层	283
§ 10.2 大气边界层探测平台	291
§ 10.3 大气边界层通量测量	301
§ 10.4 边界层探测的注意事项和仪器的安装与维护	314
§ 10.5 大气边界层探测资料分析	319
习题	327
参考文献	327
推荐阅读	328
第 11 章 大气化学成分监测技术	329
§ 11.1 引言	329
§ 11.2 大气化学成分监测的内容和方法	330

§ 11.3 地基台站气体成分的常规测定方法·····	335
§ 11.4 地基台站气溶胶的监测方法·····	350
§ 11.5 大气干湿沉降的测量·····	359
§ 11.6 大气化学成分的立体观测手段·····	367
习题·····	382
参考文献·····	382
推荐阅读·····	385
附录:缩写提示·····	385
第 12 章 大气探测数据的质量保证 ·····	387
§ 12.1 气象参数的取样及数据处理·····	387
§ 12.2 气象资料的质量保证·····	390
§ 12.3 测试、校准和相互比对·····	394
习题·····	395
参考文献·····	395
推荐阅读·····	395
编后记——关于大气探测学的思考·····	396
致 谢·····	398

第 1 章

绪 论

本章重点:了解大气探测在大气科学中的地位和作用,学习大气探测发展历史和特点,掌握大气探测的研究对象、特性和内容以及气象仪器的普遍特点,掌握大气探测的类别及发展趋势。

§ 1.1 大气探测在大气科学中的地位与作用

地球大气是人类赖以生存的最基本要素之一,是气候和环境变化的重要场所。地球大气探测,又称气象探测,是利用各种探测手段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。大气探测学是大气科学的重要分支学科,是研究获取大气物理与化学性质的原理、技术和方法的一门学科。它是一门涉及大气物理学、数学、气象学、传感器技术、遥感技术、电子技术、无线电通信技术和空间技术以及平台技术等多个学科和专业的交叉综合学科。大气探测主要任务是发展新的探测和试验手段、原理和方法,为认识大气运动以及大气中各种物理、光学、动力、化学和生物过程的基本规律及其与周围环境的相互作用提供技术手段和方法。近百年来气候和环境发生了重大变化,相关研究数据归功于大气探测。

20 世纪 90 年代以来,国际上基于卫星、飞机、气球和地面平台的探测技术迅猛发展,形成了从全球、区域层面,到中小尺度、微尺度层面的立体探测网络,对大气中各种物理和化学过程的理解和定量联系的建立,以及增进对大气科学各分支的相互关系的认识发挥了重要作用。极端天气与环境探测技术的突破性进展也为防灾减灾,以及大气环境质量的改善提供了重要的技术基础,这里包括利用激光雷达对复杂地表陆气边界与大气边界层结构的多尺度同时探测,利用米散射激光雷达、太阳光度计、辐射组表和化学成份温测仪等对气溶胶粒子和大气化学成分的同步探测,利用多参数雷达和高时空精度雷电定位系统开展的强风暴云中降水元、三维动力结构、电过程的同时探测等等。除了大气科学本身的发展需求外,大气探测技术发展的动力还源自人类日益增长的对大气状况和要素的了解需求,同时人类在大气中的空间活动范围也不断增大,对其空间环境的了解也十分迫切,比如近 10 年来处于国际前沿的临近空间研究,这些需求都大大推动了大气探测技术的发展。为适应现代大气科学研究及气象学、天气学、预报及大气物理学的发展需要,也为监测和预测天气气候,了解大气变化与空气质量,满足国防、航空、航天、通信、国家决策、防灾减灾和改善大气环境质量等国家需求,除了充分利用国内外已有的成熟大气探测技术和产品对大气科学发展提供支持外,还需要对一系列探测本身的科学与技术问题开展研究,这也是大气探测科学发展的

前沿。举例来说,目前中国气象局已经对大气科学的发展进行了顶层设计,主要包括四大研究计划:天气研究计划、气候研究计划、应用气象研究计划和综合气象观测研究计划,其中综合气象观测研究计划又涉及9个主要领域:地面气象观测仪器设备、高空大气探测仪器设备、地基遥感探测设备与技术、卫星遥感探测基础性与前沿性技术、气象观测方法、气象观测产品、气象观测数据信息标准及传输共享技术、气象观测保障以及综合气象观测系统业务布局及外场观测试验。

未来,大气探测高技术的发展将继续以人类生存环境、灾害性天气事件与气候变化研究为中心,结合探测新原理与遥感反演理论和模型,研究并开发大气参数与过程探测的新技术和新方法,特别是一些特殊大气探测和极端天气事件实时探测,如水汽和大气成分探测、中层大气状态与成分探测、强对流系统(雷暴、台风、暴雨等)中的微物理量和电参量直接探测等等。这些大气探测技术的发展和完善,将促进大气科学及其交叉科学的发展,特别是在增进地球系统科学的认识和发展方面发挥重要作用。

§ 1.2 涉及大气探测的法律法规

《孟子》在《离娄章句上》说过:不以规矩,不能成方圆。为做到有法可依,1999年10月31日第九届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议通过,自2000年1月1日起施行《中华人民共和国气象法》,这是我国涉及大气科学中大气探测的第一部法律,其中有几条是最直接与大气探测有关的:

第十一条 国家依法保护气象设施,任何组织或者个人不得侵占、损毁或者擅自移动气象设施。

第十二条 未经依法批准,任何组织或者个人不得迁移气象台站。

第十九条 国家依法保护气象探测环境,任何组织或者个人都有保护气象探测环境的义务。

第二十条 禁止下列危害气象探测环境的行为:

(一) 在气象探测环境保护范围内设置障碍物,进行爆破和采石。

(二) 在气象探测环境保护范围内设置影响气象探测设施工作效能的高频电磁辐射装置。

(三) 在气象探测环境保护范围内从事其他影响气象探测的行为。气象探测环境保护范围的划定标准由国务院气象主管机构规定。各级人民政府应当按照法定标准划定气象探测环境的保护范围,并纳入城市规划或者村庄和集镇规划。

第四十一条 法律中关于气象探测的定义:

(一) 气象设施,是指气象探测设施、气象信息专用传输设施、大型气象专用技术装备等。

(二) 气象探测,是指利用科技手段对大气和近地层的大气物理过程、现象及其化学性质等进行的系统观察和测量。

(三) 气象探测环境,是指为避开各种干扰保证气象探测设施准确获得气象探测信息所必需的最小距离构成的环境空间。

(四) 气象灾害,是指台风、暴雨(雪)、寒潮、大风(沙尘暴)、低温、高温、干旱、雷电、冰雹、霜冻和大雾等所造成的灾害。

(五) 人工影响天气,是指为避免或者减轻气象灾害,合理利用气候资源,在适当条件下



通过科技手段对局部大气的物理、化学过程进行人工影响,实现增雨雪、防雹、消雨、消雾、防霜等目的的活动。

§ 1.3 大气探测的观测和研究对象

1.3.1 大气的垂直结构

要了解大气探测的观测和研究对象,首先需要了解大气的垂直结构,以获得大气层的直观信息。大气圈是地球的一部分,密度要比地球的固体部分小得多,全部大气圈的重量还不到地球总重量的百分之一。以大气圈的高层和低层相比较,高层的密度比低层要小得多,而且越高越稀薄。假如把海平面上的空气密度作为1,那么在240 km的高空,大气密度只有它的一千万分之一;到了1 600 km的高空就更稀薄了,只有它的一千万亿分之一。整个大气圈质量的90%都集中在高于海平面16 km以内的空间里。大气圈质量的99.999%都集中在80 km高度的界线内,而所剩无几的大气则占据了在这个界限以上的极大的空间。

探测结果表明,地球大气圈的顶部并没有明显的分界线,而是逐渐过渡到星际空间的。高层大气的稀薄程度虽说比人造的真空还要“空”,但是在那里确实还有气体的微粒存在,而且比星际空间的物质密度要大得多,然而,它们已不属于气体分子了,而是原子及原子再分裂而产生的粒子。以80 km~100 km的高度为界,在这个界限以下的大气,尽管有稠密稀薄的不同,但它们的成分大体是一致的,都是以氮和氧分子为主,这就是我们周围的空气。而在这个界限以上,到1 000 km上下,就变得以氧为主了;往上到2 400 km上下,就以氦为主;再往上,则主要是氢;在3 000 km以上,便稀薄得和星际空间的物质密度差不多了。

自地球表面向上,大气层延伸得很高,可到几千千米的高空,根据人造卫星探测资料的推算,在2 000 km~3 000 km的高空,地球大气密度便达到每立方厘米一个微观粒子这一数值,和星际空间的密度非常相近,因此,2 000 km~3 000 km的高空可以大致看作是地球大气的上界。

整个地球大气层像是一座高大的而又独特的“楼房”,按其成分、温度、密度等物理性质在垂直方向上的变化,世界气象组织把这座“楼”分为5层,自下而上依次是:对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层,如图1.1所示。

对流层是紧贴地面的一层,它受地面的影响最大。因为地面附近的空气受热上升,而位于上面的冷空气下沉,这样就发生了对流运动,所以把这层叫作对流层。它的下界是地面,上界因纬度和季节而不同。据观测,在低纬度地区其上界为17 km~18 km;在中纬度地区为10 km~12 km;在高纬度地区仅为8 km~9 km。夏季的对流层厚度大于冬季。以南京为例,夏季的对流层厚度达17 km,而冬季只有11 km,冬夏厚度之差达6 km之多。

在对流层的顶部,直到高于海平面50 km~55 km的这一层,气流运动相当平衡,而且主要以水平运动为主,故称为平流层。

平流层之上,到高于海平面85 km高空的一层为中间层。这一层大气中几乎没有臭氧,这就使来自太阳辐射的大量紫外线白白地穿过了这一层大气而未被吸收,所以在这层大气里,气温随高度的增加而下降得很快,到顶部气温已下降到 -83°C 以下。由于下层气温比上层高,有利于空气的垂直对流运动,故又称之为高空对流层或上对流层。中间层顶部尚

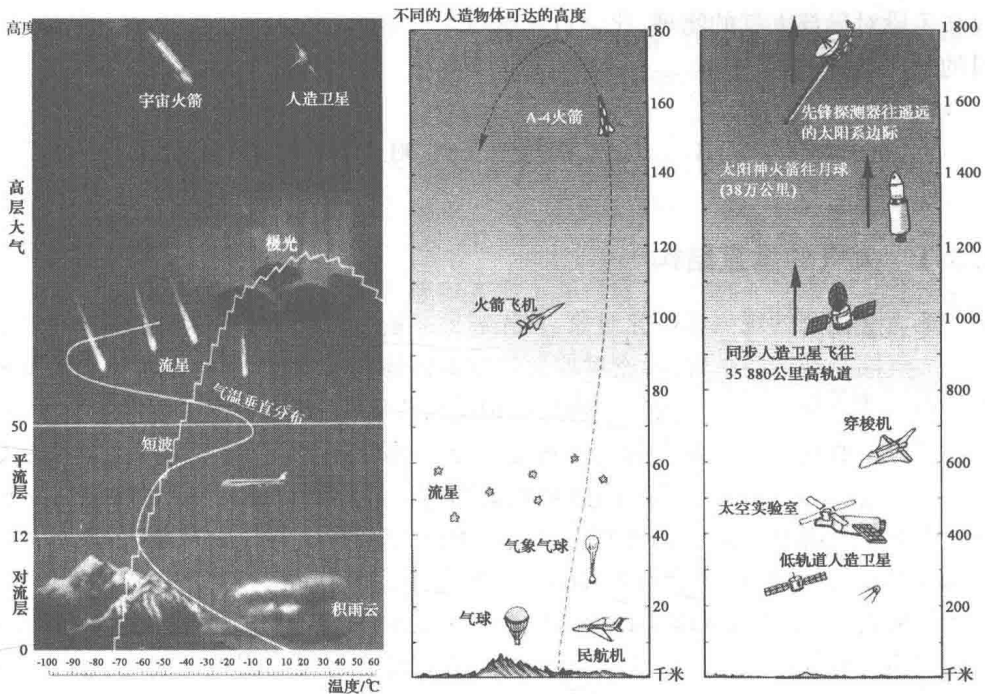


图 1.1 地球大气垂直结构(引自中国数字科技馆)

有水汽存在,可出现很薄且发光的“夜光云”,在夏季的夜晚,高纬度地区偶尔能见到这种银白色的夜光云。

从中间层顶部到高出海面 800 km 的高空,称为暖(热)层,又叫电离层。该层空气密度很小,这 700 km 厚的气层,只占大气总重量的 0.5%。据探测,在 120 km 高空,声波已难以传播,所以在这里即使在你耳边开大炮,也难听到什么声音。暖层里的气温很高,据人造卫星观测,在 300 km 高度上,气温高达 1 000 °C 以上,这一层叫作暖层或者热层。

暖层顶以上的大气统称为散逸层,又叫外层。它是大气的最高层,高度最高可达到 3 000 km。这一层大气的温度也很高,空气十分稀薄,受地球引力场的约束很弱,一些高速运动着的空气分子可以挣脱地球的引力和其他分子的阻力散逸到宇宙空间中去。根据宇宙火箭探测资料表明,地球大气圈之外,还有一层极其稀薄的电离气体,其高度可延伸到 22 000 km 的高空,称之为地冕。地冕也就是地球大气向宇宙空间的过渡区域。人们形象地把它比作地球的“帽子”。

此外,还可以把整个大气看成是一座别致的“两层小楼”。这种“两层楼”又是根据大气的不同特征而设计的。

第一,按大气的化学成分来划分,可分为均质层和非均质层。这种划分是以距海平面 90 km 的高度为界限的。在 90 km 高度以下,大气是均匀地混合的,组成大气的各种成分的相对比例不随高度而变化,这一层叫作均质层;在 90 km 高度以上,组成大气的各种成分的相对比例随高度的升高而发生变化,比较轻的气体如氧原子、氮原子和氢原子等越来越多,大气就不再是均匀地混合了,因此,把这一层叫作非均质层。

第二,按大气被电离的状态来划分,可分为非电离层和电离层。在海平面以上 60 km 以内的大气,基本上没有被电离,处于中性状态,这一层叫非电离层。在 60 km 以上至 1 000 km 的



高度,在太阳紫外线的作用下,大气成分开始电离,形成大量的正、负离子和自由电子,这一层叫作电离层,它对于无线电波的传播有着重要的作用。

1.3.2 大气探测学的研究对象和内容

大气探测是对表征大气状况的气象要素、天气现象及其变化过程进行个别或系统的、连续的观察和测定,并对获得的记录进行整理。这种探测既包括目测,也包括器测;既包括直接测定,也包括间接测定,如遥感探测。大气探测能够为天气预报、气候分析、科学研究以及国民经济的发展直接提供常规的资料和科学数据。因此,大气探测技术的发展日益成为衡量气象工作以及气象科学发展水平的一个标尺。

按照空间和探测对象划分,大气探测可以分为近地面层大气探测、高空大气层探测和专业性大气探测。近地面层大气探测主要是对近地层大气状况进行观测和探测。包括地面气象观测和近地面层大气探测。地面气象观测(-1~10 m,标准气象观测站的风速、风向观测高度为10 m)的观测项目包括云、能见度和天气现象状况,地温,大气温度、湿度、压力、风速、风向、降水、蒸发和辐射等。近地面层大气(0~3 000 m)的观测项目包括大气温度、湿度、压力、风速、风向等。

高空大气探测是对3 000 m以上的大气层状况进行探测。探测的项目主要有:大气温度、压力、风速、风向和湿度等。专业性的大气探测,如区域大气环境容量研究、大气边界层特征研究、城市热岛环流研究、海陆风场研究和峡谷风场研究等是取决于研究项目需要的大气探测项目。

近几十年来,作为主动遥感的各种气象雷达探测和作为被动遥感的气象卫星探测,以及地面微波辐射探测等方法能获得更多的观测信息,正在逐步地进入常规观测的领域,并广泛地应用于大气科学的各项研究,极大地丰富了大气探测的内容。如图1.2所示,给出了地基和空基大气探测手段和方法。

观测类别	地面观测	高空观测	闪电观测	飞机观测	专业观测	特种观测	卫星观测	GPS/MET	天气雷达观测	廓线观测	其他观测	
空基 SPACE		中层大气探测 GPS测风	闪电定位	飞机遥测	卫星测臭氧	卫星测辐射	云图 测风 测雨 测要素	掩星技术 T、V廓线			遥感	高层大气探测
地基 GROUND	自动站 器测 目测	导航风 雷达风 无线电探空 经纬仪测风	闪电定位									
					人工	遥测 臭氧探空 农业 海洋 环境	辐射 遥测 辐射 酸雨	总水量 地基	雷达测雨 测风	测风 测温 测压 测湿		地基 辐射计 测水汽 …… 海洋探测

图1.2 地基和空基大气探测手段与方法

大气探测学主要研究内容包括:研究大气探测系统的建立原则与方法,以便获得有代表

性的全球三维空间分布的气象资料;制定大气探测技术规范来统一各种观测技术和方法,使其标准化,确保气象资料具有可比较性;研制探测仪器标准计量设备、制定计量校准方法,确保测量结果的准确性。

一个比较完整的现代化大气探测系统,通常包括探测平台、探测仪器、通信系统和资料处理系统4个部分。探测平台是探测系统的基础,它与观测网的建立有关,不同的观测网需要有不同的探测平台。组建地面气象观测网时,作为地基探测平台的位置选择很重要,应选择在对观测地点周围具有代表性的位置;组建卫星监测网时,为了保证获得全球具有一定时间分辨率的卫星资料,应在全球布设分布合理、性质不同的天基平台;组建天气雷达探测网时,则要考虑天气雷达的有效探测距离,确保网内所有地区能被雷达探测范围所覆盖。选择好适当的探测平台后,探测仪器的安装也是探测平台需要考虑的问题,应确保探测仪器能取得具有代表性的资料。

探测仪器是探测系统的核心。现代化的大气探测系统应采用先进的探测仪器,即仪器应具有较高的灵敏度、测量准确度和较大的动态范围,以及长期稳定可靠的探测性能(鲁棒性),能够适应各种复杂和恶劣的天气条件。目前在地面气象观测中已普遍采用不同功能的自动气象站。此外,大气探测仪器的设计还要考虑适应不同探测平台的需要,在移动平台上的探测仪器则比固定在平台上的探测仪器更要适应不同运输条件的需要。还有,通信系统是现代大气探测系统的纽带,为了保证分布于全球各地的气象观测资料能实时地汇聚起来,需要高速有效的通信系统的支撑。

资料处理系统是现代化大气探测系统不可缺少的部分。现代化的大气探测系统所获取的信息量很大,为了能有效地利用各类气象资料,供天气预报和各种服务使用,必须建立高速的计算机处理系统,对各类资料进行分类处理。

为了促进气象观测的标准化及数据的统一性,世界气象组织适时制定各成员国必须遵循的各种气象实践和程序。这些规则已写入世界气象组织出版的《气象仪器与观测方法指南》中。该指南自1954年出版第一版以来,随着探测项目的不断增加和探测技术的改进,到1996年已修改出版了六版,内容从第一版的12章增加到第六版的32章,包括地面、高空、航空、海洋、火箭、卫星和雷达等气象观测以及取样、标准对比、修正、管理和仪器人员培训等方面,主要对仪器和观测方法做了详细阐述,制定了当前国际气象业务技术需要的观测项目、仪器和观测方法的基本标准,并对各种误差概念、观测资料的准确度做了明确的论述。我国气象业务管理部门1955年出版了第一版《地面气象观测规范》,规范了地面气象观测工作,1979年进行了修订。为了适应自动气象站技术的发展,1999年开始制定了适应自动气象站设备的观测规范,并于2003年对自动观测方式和人工观测方式进行了统一,制定了新的《地面气象观测规范》。此后,先后制定了高空气象探测规范、天气雷达探测规范等一系列法规性文件,以便对气象观测工作进行统一要求,取得具有代表性的观测资料。与此同时,军队和民航气象部门结合行业特点也制定了相应的气象观测规范。

气象仪器测量结果的准确与否与仪器本身的性能有很大的关系,要确保仪器性能符合规定的要求,获得有效的观测数据,应对仪器进行有关测试、校准和相互比对。通过测试、校准和相互比对,可以了解传感器的准确度或系统的准确度;当传感器或测量系统的布设位置

发生变化时,测量数据会有何种变化或偏移。当对相同的气象要素进行测量时,更换传感器或测量系统会对数据产生何种变化或偏移,这些反映仪器性能的测试参数对仪器的定标是十分重要的。对传感器和测量系统进行测试是为了获得它们在规定条件下使用时的性能资料。测试包括环境测试、电或电磁干扰测试以及功能测试等。传感器或测量系统的校准是确定测量数据有效性的第一步。校准的目的是将仪器与已知的标准器进行比对,以确定仪器在其运行范围内的输出结果与校准器的吻合程度。实验室校准结果的性能隐含着仪器在野外使用时的性能与校准结果均能保值不变的假定。连续几次校准的情况下可以提供对仪器性能稳定性的参考。那么,什么是校准呢?

校准是指在特定条件下,建立测量仪器或测量系统的指示值或相应的被测量(即需要测量的量)之间的关系,其目的是确定传感器或测量系统的偏差或平均偏差、随机误差,是否存在任何阈值或非线性响应区域、分辨率和滞差等。滞差是通过校准时使传感器在其使用范围内进行循环测试后确定的。校准结果有时可以用一个校准系数或一系列校准系数表示,也可以采用校准表或校准曲线的形式表示。校准结果通常记录在校准证书上或校准报告中。校准证书或校准报告可以确定偏差值,这种偏差可以通过机械的、电学的或软件等调试方式来消除。随机误差是不可重复的,也是不能消除的,但是它能够通过在校准时采用足够次数的重复测量和统计方法加以确定。仪器或测量系统的校准通常都是与一个或多个标准器进行比对完成的。气象仪器的校准通常是在拥有合适的测量校准器和校准装置的实验室进行的。根据国际标准化组织 ISO 的定义,标准器可分为基准、二级标准、国际标准、国家基准、工作标准和移运式校准等。基准设置在重要的国际机构或国家机构中。二级校准通常设置在主要的校准实验室中,不宜在野外场地使用。工作标准通常是经过用二级标准校准的实验室仪器。工作标准可以在野外场地作为传递标准使用。传递标准可用于实验室,也可在野外场地使用。校准装置是使用在产生环境中的装置。

1.3.3 大气探测的类别

大气探测技术和方法多种多样,按照不同的探测方法,探测范围、探测平台和探测时间,可以将其划分为不同的种类。

按照探测方法分,大气探测分为目测、直接探测和遥感三种。所谓目测,就是凭目力或借助辅助仪器进行的观测,主要由观测员用肉眼进行观测。目前,还有部分气象台站云、天气现象和能见度仍采用目测的方法进行。所谓直接探测,就是探测仪器与被测大气直接接触进行的探测,例如用玻璃液体温度表测量气温的方法,就是直接探测。当前,直接探测正在向遥感探测方向发展,虽然测量仪器与被测大气接触,但与用户终端之间具有一定的距离,探测结果通过有线或无线通信的方式传递给用户。通常把这种直接探测称为遥测。遥感又分为主动遥感和被动遥感。主动式大气遥感是指遥感器向大气发射信号,并通过接收被大气散射、吸收或折射后的信号,反演出气象要素的方法和技术;被动式大气遥感是指遥感器接收大气自身发射或散射的自然源信号,反演出气象要素的方法和技术。

按照探测的范围分,大气探测分为地面气象观测和高空气象观测两种。地面气象观测,是指在地面上以目力或仪器对近地面的大气状况和天气现象进行的观测。通常观测的项目