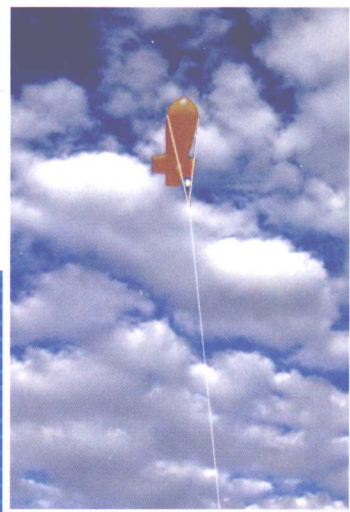




现代气象观测

(第2版)

张鬲琛 等 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

现代气象观测

(第 2 版)

张霁琛 等 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

现代气象观测/张霁琛等编著. —2版. —北京:北京大学出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-301-25096-9

I. ①现… II. ①张… III. ①气象观测—高等学校—教材 IV. ①P41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 271530 号

书 名: 现代气象观测(第2版)

著作责任者: 张霁琛 等编著

责任编辑: 王树通 王杰琼

标准书号: ISBN 978-7-301-25096-9/P·0089

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

新浪微博: @北京大学出版社

电子邮箱: zpup@pup.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62767347 出版部 62754962

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 2 彩插 490 千字

2001 年 1 月第 1 版

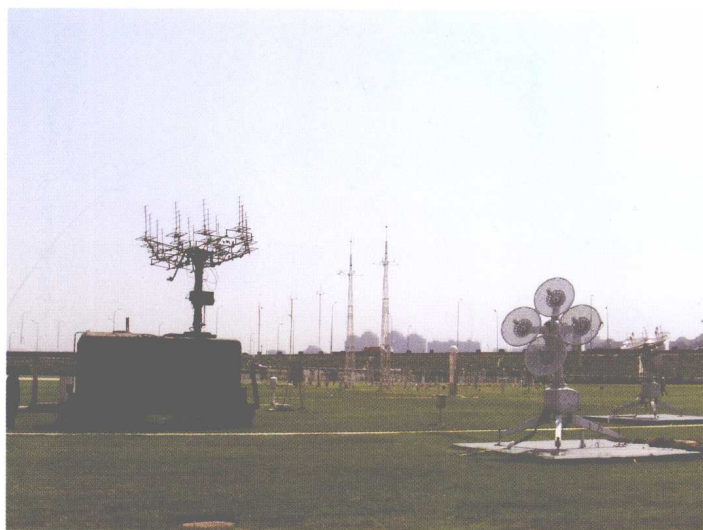
2015 年 1 月第 2 版 2015 年 1 月第 1 次印刷(总第 7 次印刷)

定 价: 44.00 元

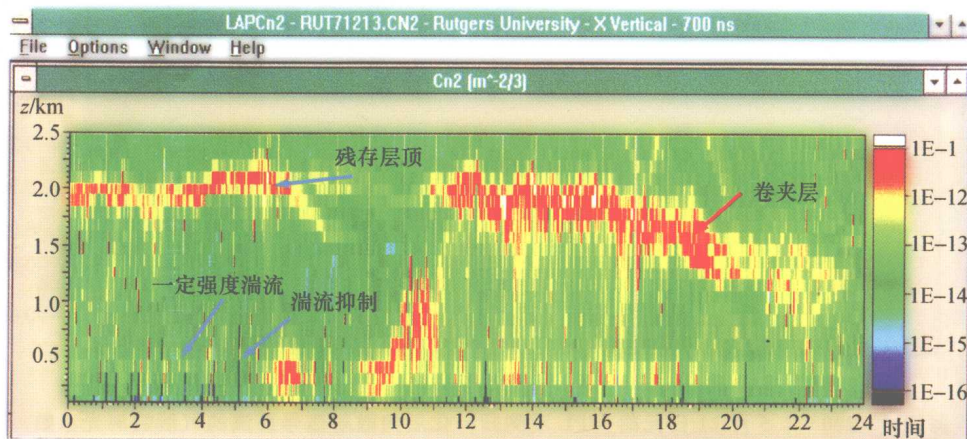
未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容.

版权所有,侵权必究

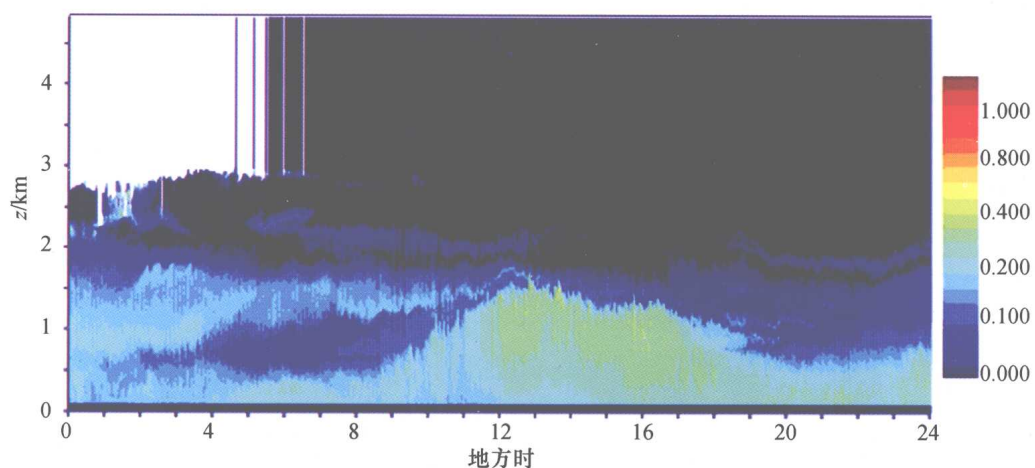
举报电话:010-62752024 电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn



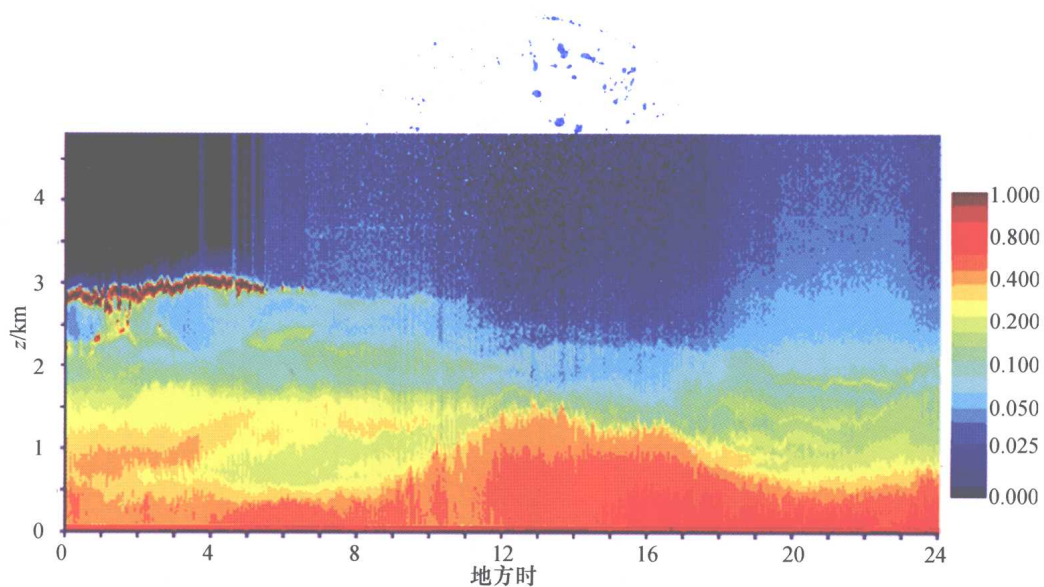
彩图 1 不同波段和型号的测风雷达天线



彩图 2 从风廓线雷达回波资料反演大气层各高度 C_n^2 的分布



彩图 3 2003 年 5 月 21 日元朗 MPL 观测的归一化后向散射信号



彩图 4 2003 年 5 月 21 日元朗 MPL 观测归一化后向散射信号反演的气溶胶消光系数

再版前言

本书第一版面世后共重印了三次,此次是在 2007 年电子版的基础上进行再版.借此机会增加了许多新的内容,这些内容与我国大气探测近年来的进展息息相关.本版尝试列入了一些启发性的习题.

当时电子版的面世得到很多人的支持和帮助.解放军理工大学的同行承担了全部电子版的技术制作;哈尔滨华良科技的周容先生撰写了“总线型自动气象站”一节;大气科学系李成才先生完成了“激光气象雷达”一节,我国新型 GTS1 型探空仪一节;上无 23 厂的李吉明先生则提供了大量技术资料的帮助.

再版时,大气科学系刘晓阳老师对气象雷达一章作了大幅改动.

张霁琛

2014 年 6 月 22 日于北京大学

序

大气探测是人类认识自然的重要手段,是大气科学的基础.没有对大气状况准确、及时、连续、详尽的了解,就谈不上对灾害性天气变化规律的科学掌握,更谈不上预测预报、趋利避害、为人类造福.近年来气候变化已成为热门话题,人们关心自己居住的地球村向何处去.然而建立全球气候观测系统,真正客观、全面地确定气候的变化,仍然是科技工作者努力奋斗的目标.

国民经济发展、社会进步和人民生活水平的提高,对气象工作提出了越来越高的要求,而大气科学的发展、气象业务服务能力的提高、气象现代化建设的协调发展,都把加快发展我国大气探测系统、改变大气探测工作严重落后局面、实现综合探测系统现代化日益摆上了突出的重要地位.在国家的关心支持下,中国气象观测自动化系统建设正在迅速展开.

张霁琛老师重新编写的《现代气象观测》一书,恰如春天的及时雨,为培养跨世纪的大气探测工作者,包括有关院校、系科的教师和学生;从事大气探测工作的科技、业务工作者提供了一本难得的教材.新书继承和发扬了1987年《大气探测原理》一书的严谨的体例、明晰的思路和朴实的风格,又尽可能反映了十几年来飞速发展的现代观测技术的新成果.特别是新增添的第七章(天气现象的器测)和第八章(现代自动化气象观测系统),正是地面气象观测技术最新发展的焦点所在.为了获取对大气状况更高的时间分辨率及空间分辨率的资料,完全取代气象观测人员的艰苦繁重、日复一日的劳动,实现全自动化气象观测,科技工作者进行了不懈的努力.科学技术的发展,特别是传感技术、电子技术、计算技术和通信技术的日新月异,开辟了一条崭新的道路.对过去只能用人工目测手段进行的气象观测,特别是天气现象的观测,全部改用仪器自动观测采集数据的日子已经指日可待,“目测”这两个字,可能将只有在气象观测的辞典里才保留了它的存在.

张霁琛老师长期从事大气探测的教学科研,在这一领域耕耘工作了几十年,其同事及学生遍布海内外,我至今仍保留着老师四十年前为初涉气象科学的一批年轻人讲授地面观测的讲义.近年来,张霁琛老师又多方奔走,传授大气探测的最新技术,为中国大气探测技术和仪器装备生产摆脱落后状态、尽快赶上世界先进水平献计献策.其忧虑我国大气探测技术发展的拳拳之心,每每溢于言表,给我们极大的鼓励和激励.其治学严谨、追求创新、热情诲人,几十年来始终立于大气探测科学的前沿,更使我们后者敬佩和学习.

相信本书的出版,是人们了解大气探测科学的一本全面的指南,对我国从事大气探测工作的科技工作人员学习掌握最新的大气探测技术更是大有帮助,对我国现代气象观测事业的发展一定会有极大的推动.

愿中国大气探测事业在中国气象科学事业的发展和整个科技事业创新腾飞中绽放出更绚丽的花朵.

李 黄

1999 年 4 月 24 日于中国气象局

前 言

从 1987 年我和赵柏林教授等人出版《大气探测原理》一书以来,我一直希望重新编写一本更能反应近十几年飞速发展的现代气象观测教材.从 1982 年到现在,我以访问学者、国外采购人员、外企顾问的身份比较全面地、深入地接触到气象仪器的科研、设计、生产以及商务部门,得到许多有利条件来获取各种资料,了解到许多书本上无法记载的经验性知识.

首先,我在本书完成之际,深切怀念我的导师严开伟先生,书中许多地方仍然留着他的智慧和贡献.另外本书第九、十两章中的不少段落基本上采用了王永生和张钧老师在《大气探测原理》一书中的文字,仅做了少量修改.

本书撰写过程中,我仍然不断向别人求教和求助,包括收集许多实际工作中发生的问题(书中尽可能给予了较详细的探讨).要在这里表示感谢可能要列出一个长长的名单,但我还是要向那些给予极大帮助的人们予以感谢:首先是梁奇先学长,探空观测这一章是他和我一起讨论了框架,并向我介绍了一些最新资料;北农大的杨正明老师帮我撰写了农业气象土壤湿度等方面观测的初稿;南京大学的葛文忠老师编写了气象雷达一章,这恰好是我最不熟悉的方面.

本书的撰写惊扰了不少国外同行:首先感谢北京 MG 国际公司的麦燕冰女士和查贝克先生,他们允许我查阅公司保存的技术资料;Vaisala 公司驻京首席代表 Saxen 先生向我提供了 RS-80 和 RS-90 探空仪的技术公报;Dimensions 公司的总裁 Richard 先生给寄来了新研制的闪电定位系统的密级资料;Eppley 公司的总裁 Kirk 先生专门给我拍摄了他们公司的全套辐射仪器照片.

感谢我的同事杜金林老师,他是我最好的顾问,我们经常在一起探讨本书编写的细节,并由他对书稿做了详细的审阅和校订.

感谢成都气象学院的许丽生老师以及南京大学的同仁们,他们给我提供了机会将本书的部分内容作了试讲,使我有机会对一些新内容的讲述和编写方法进行斟酌,这将有利于本书内容的课堂教学.

我的夫人帮助打印和整理了全部文稿,否则本书不可能在短时间内完稿.

本书的内容仍然存在不少缺陷和遗憾,这在很大程度上与中国大气探测技术和仪器制造工艺落后有关.例如,书中仍然保留了 59 型电码探空仪的内容.希望再版时我能把中国新型探空仪介绍给我的读者和学生.我想总有一天,我不是在澳大利亚 CSIRO 操作洲际基准气压表,而是在北京释放我国自行研制的 GPS 探空仪.希望本

书有助于我国现代气象观测事业的发展.

再次感谢那些曾经帮助过我的人们!

由于作者水平和经历的限制,书中难免存在不少错误,欢迎批评指正.更希望引用本书的其他作者保持慎重.书中 250 多幅图片是本人在计算机上用了近半年的时间绘制或改绘而成,希望复制者尊重本人的辛劳,部分图片涉及原提供厂商和作者,如有需要请与本人联系.

本书属于教科书性质,作者尽可能对一些章节介绍一本基本参考书籍,便于读者深入全面了解.有关文献将只列出 1978 年以后刊载的出处.

本人虽然尽了很大努力,仍然有一些内容应该纳入却未写进在本书之内,例如蒸发的测量,只能等再版时予以考虑.还有一些非常特殊的观测,例如飞机观测、云雾微结构观测原本就未列入本书的大纲.有关气象雷达和气象卫星的章节本书只介绍了最基本的内容,而且偏重于观测仪器部分,对那些希望深入钻研的专门人才可以阅读有关的专门书籍.本书内容的取舍以满足教学大纲要求为限.

张霁琛

1999 年 3 月 5 日于北京大学

目 录

第一章 引言	(1)
1.1 大气探测的发展概况	(1)
1.2 探测原理	(2)
1.3 探测仪器	(2)
1.4 探测方法	(3)
第二章 温度的测量	(5)
2.1 ITS-90 温标	(5)
2.2 测温元件	(7)
2.2.1 液体玻璃温度表	(7)
2.2.2 热电偶温度表	(9)
2.2.3 金属电阻温度表	(11)
2.2.4 热敏电阻温度表	(13)
2.3 测温元件的热滞效应	(17)
2.3.1 表示热滞的参量——热滞系数	(17)
2.3.2 环境温度恒定时的滞差	(17)
2.3.3 环境温度呈线性变化引起的滞差	(18)
2.3.4 环境温度呈周期性变化时的滞差	(18)
2.3.5 热滞系数和风速的关系	(19)
2.4 气温测量中的防辐射设备	(19)
2.4.1 百叶箱	(20)
2.4.2 阿斯曼通风干湿表	(20)
2.4.3 防辐射罩	(21)
第三章 湿度的测量	(25)
3.1 湿度的定义和单位	(25)
3.2 干湿球湿度表	(33)
3.2.1 基本原理	(33)
3.2.2 干湿球湿度表系数的特性	(34)
3.2.3 湿球结冰时的湿度计算公式	(36)
3.2.4 干湿球温度表的测湿精度与气温的关系	(36)
3.3 露点测定法	(37)
3.4 电学湿度表	(40)
3.4.1 碳膜湿度片	(40)
3.4.2 高分子薄膜湿敏电容	(42)

3.5	光学湿度计	(44)
3.6	湿度的控制和检定	(49)
3.6.1	绝对法(称重法)测湿	(49)
3.6.2	恒湿盐控湿法	(50)
3.6.3	露点控湿法(双温法)	(50)
3.6.4	部分压力控湿法	(51)
附注		(51)
第四章	气压的测量	(52)
4.1	水银气压表	(52)
4.1.1	作用原理	(52)
4.1.2	动槽式水银气压表	(53)
4.1.3	定槽式水银气压表	(54)
4.1.4	水银气压表的仪器误差	(54)
4.2	水银气压表的读数订正	(55)
4.2.1	气压表读数的温度订正	(56)
4.2.2	气压表读数的重力订正	(57)
4.2.3	海平面气压	(57)
4.3	气压表的安置和观测方法	(58)
4.3.1	气压室	(58)
4.3.2	气压表的读数步骤	(59)
4.4	空盒气压表、气压计	(60)
4.5	振筒式压力传感器	(64)
4.6	沸点气压表	(65)
4.7	气压表的基准	(66)
第五章	气流的测量	(68)
5.1	风向的测量	(69)
5.1.1	风向标	(69)
5.1.2	风向标的动态特性	(71)
5.1.3	风标平衡锤对风标动态特性的影响	(73)
5.1.4	风向连续变动环境中的风向标动态响应	(73)
5.1.5	运转风标动态参数的选择	(74)
5.2	旋转式风速表	(75)
5.2.1	风杯风速计的感应原理	(75)
5.2.2	风杯风速计的惯性	(77)
5.2.3	风车风速表和旋桨式风速表	(78)
5.3	散热式风速表	(80)
5.4	声学(超声)风速表	(85)
5.5	风速检定设备	(89)

5.5.1 旋臂机	(89)
5.5.2 风洞	(89)
5.5.3 风速检定的测量标准——皮托管	(92)
附注	(94)
第六章 辐射能的测量	(95)
6.1 测量内容	(95)
6.2 辐射测量基准	(97)
6.3 太阳直接辐射测量	(98)
6.3.1 日射表的遮光筒	(98)
6.3.2 埃斯川姆绝对日射表	(99)
6.3.3 相对日射表	(100)
6.3.4 太阳直接辐射的分波段测量	(101)
6.4 短波总辐射的测量	(102)
6.4.1 测量原理	(102)
6.4.2 仪器的改进	(103)
6.5 净辐射和红外辐射的测量	(107)
6.6 紫外辐射的测量	(111)
6.7 PACRAD 型绝对日射表	(113)
6.8 日照时数的观测和日照计	(114)
附注	(116)
第七章 天气现象的仪测	(117)
7.1 降水量及其性质的观测	(117)
7.2 激光云高仪	(122)
7.3 能见度仪	(124)
7.3.1 透射式能见度仪	(126)
7.3.2 散射式能见度仪	(127)
7.4 闪电定位系统	(130)
7.5 其他	(135)
7.5.1 下垫面状况探头	(135)
7.5.2 电线结冰探测器	(135)
7.5.3 红外辐射地表温度表	(136)
7.6 蒸发的观测	(137)
第八章 现代自动气象观测系统	(139)
8.1 常规自动气象站系统	(139)
8.1.1 测量仪器	(139)
8.1.2 数据采集板	(141)
8.1.3 数字通信方式	(143)
8.1.4 数据采集软件	(147)

8.2	水文气象自动站系统	(148)
8.3	农业气象观测系统	(150)
8.3.1	烘干失重法	(150)
8.3.2	中子散射法(neutron-scattering method)	(150)
8.3.3	时域反射法(time domain reflectometry)	(151)
8.3.4	土壤水势测量的张力计法	(152)
8.3.5	光合有效辐射的测量	(154)
8.4	微气象观测系统	(156)
8.4.1	温、湿梯度的观测	(156)
8.4.2	风速廓线的观测	(157)
8.4.3	土壤热通量的观测	(158)
8.5	边界层系留探空系统	(160)
8.6	总线型自动气象站	(163)
8.6.1	一线总线(1-Wire)技术和一线总线网	(163)
8.6.2	总线器件的编码	(164)
8.6.3	一线总线型自动气象站	(164)
第九章	高空风的测量	(171)
9.1	高空风的观测方法	(171)
9.2	气象气球	(173)
9.2.1	概述	(173)
9.2.2	气球的一般性质	(173)
9.2.3	气球的上升速度	(174)
9.2.4	平移气球	(182)
9.2.5	其他用途的气球	(188)
9.3	确定气球位置的仪器设备	(189)
9.3.1	光学测风经纬仪	(189)
9.3.2	测风雷达	(191)
9.3.3	无线电经纬仪	(198)
9.4	高空风的测量	(201)
9.4.1	单点测风法	(201)
9.4.2	基线测风法	(203)
9.4.3	GPS 导航测风法	(206)
9.4.4	高空风测量误差	(212)
9.5	风廓线雷达	(213)
第十章	高空温、湿、压的无线电探空仪探测法	(221)
10.1	概论	(221)
10.2	GZZ 型转筒式电码探空仪	(224)
10.3	变低频式探空仪	(227)

10.4	国产新型数字式(GTS1 型)探空仪	(233)
10.5	带 GPS 测风的无线电探空仪	(235)
10.6	探空资料的整理及其软件设计	(239)
10.6.1	标准等压面高度的计算	(240)
10.6.2	温度、湿度特性层	(240)
10.6.3	对流层顶的选择	(241)
10.6.4	规定层风的计算	(241)
10.6.5	最大风层的选择	(242)
10.7	探空仪的观测误差以及探空仪的对比工作	(242)
10.8	基准探空仪	(245)
第十一章	气象雷达	(247)
11.1	天气雷达测量原理、组成及其技术指标	(247)
11.1.1	天气雷达的定位原理	(247)
11.1.2	天气雷达强度测量原理	(248)
11.1.3	天气雷达速度测量原理	(250)
11.1.4	脉冲多普勒雷达组成	(252)
11.1.5	天气雷达主要技术指标	(255)
11.2	气象雷达信号与数据处理	(259)
11.2.1	回波平均功率	(259)
11.2.2	径向速度和速度谱宽	(261)
11.3	影响气象雷达探测的因素	(262)
11.3.1	多普勒雷达测距测速约束	(262)
11.3.2	大气折射对雷达探测的影响	(263)
11.3.3	雷达探测过程中电磁波的衰减	(265)
11.4	其他气象雷达	(267)
11.5	激光雷达以及遥感大气气溶胶	(267)
11.5.1	大气探测激光雷达的种类	(268)
11.5.2	激光雷达的主要性能	(269)
11.5.3	微脉冲激光雷达	(270)
11.5.4	激光雷达探测大气气溶胶的资料处理和反演	(272)
11.5.5	微脉冲激光雷达气溶胶的监测结果	(274)
第十二章	气象卫星探测	(277)
12.1	气象卫星	(277)
12.2	卫星遥感仪器	(279)
12.2.1	可见光和红外辐射仪	(281)
12.2.2	微波辐射计(MSU)	(284)
12.3	气象卫星接收系统和资料的处理	(286)

附录 A 云的形成与分类	(289)
附录 B 天气现象的观测	(294)
习题	(296)
参考书籍和文献	(300)
名词索引中英文对照	(304)

第一章 引言

1.1 大气探测的发展概况^[1]

大气探测的发展经历了几个重要的阶段,初始阶段是一系列定量测量地面气象要素仪器的出现,其标志性仪器为1643年托里拆利发明的水银气压表.气压要素是分析地面天气系统最重要的参数,而且水银气压表的观测数据能够达到很高的精度,日常大气压力的测量值在1000 hPa^①上下,水银气压表的读数精度可以轻易地达到0.1 hPa,也就是说,其相对误差为万分之一,这在物理量检测仪器中是很少见的.

在气压表出现的前后,一系列其他地面气象要素仪器开始应用,例如液体玻璃温度表、雨量器、毛发湿度表、风杯风速计以及黑白球日射表等等.1802年拉马契克进行了云状分类,逐步发展了现今使用的云与天气现象的目测内容.

在时间和地域上同步和连续的观测结果,对于天气预报的准确性具有重要的意义,因而提出了建立气象台站网的要求.第一个台站网是由拉马契克在欧洲建立的(1902—1915年).从1643年到20世纪初的200多年里,是地面气象观测发展并趋于成熟的阶段.

20世纪20年代,随着无线电技术的发展,法国、前苏联、德国和芬兰开始研制无线电探空仪,以及高空风探测技术.大气探测进入了第二阶段,扩展到了更广阔的三度空间.40年代开始,探测高度从平流层底部、对流层顶部扩展到二三十千米,而火箭探测的应用,进一步把探测高度提高到100 km.

大气探测第三阶段是大气遥感系统的发展,从1941—1942年开始应用专门的云雨测量雷达,1960年4月美国发射第一颗气象卫星泰罗斯-1号.大气遥感技术不但扩展了大气探测的范围,也提高了大气过程探测的连续性.一颗极轨气象卫星每12小时就给出了一次全球气象观测资料,一台气象雷达可以对数百千米范围内的雷暴云雨系统分布及其结构进行连续性观测.

以60年代初声雷达的研制为标志,各种类型的遥感设备相继研制和试验成功,如激光雷达、风廓线雷达、微波辐射计等,90年代以来在一些中小尺度试验探测网上运行,都有了较好的效果,呈现出现代大气探测系列的基本特点.

90年代现代大气探测发展中的某些事件是很有意义的.首先是广泛地建立不少地面观测自动气象站网.由于测量探头的坚固性和稳定性的提高,低功耗控制板和收发系统的设置,即使在荒芜的地区和严酷的气候条件下,也能保证测站稳定可靠地运行.这些自动气象站系统还包括许多以往必须依赖于目测的项目,例如能见度和降水性质的鉴别等等.其次是一些遥测系统加入到了大气探测的日常观测业务中,例如带RASS系统的风、温廓线雷达,它能以很高的时间密度发送风和温度的垂直探测资料,具有较高的精确度和代表性,

^① hPa,即百帕,1 hPa=100 Pa.