

大气探测技术发展概述

张庆阳 张 沅 李 莉 田 静

(中国气象局培训中心图书馆, 北京 100081)

摘要 文章介绍了大气探测技术发展的趋势并提出中国大气探测技术发展的方向及重点。

关键词 大气探测技术 气象卫星 气象雷达 风廓线仪 GPS

引言

20 世纪大气科学取得迅速的发展,其原因之一是重视观测系统的建设和新探测技术的应用。目前,国际几个大型研究计划,如气候变化与可预报性研究计划(CLIVAR)、全球能量和水分循环研究计划(GEWEX)、世界天气研究计划(WWRP)都把观测系统建设放在首位;并且积极发展新的大气探测技术,如空基遥感探测技术、GPS 技术等。

近年来,大气探测技术取得了显著的发展,其主要特点是:探测能力显著增强,观测自动化水平迅速提高,重视观测方法、观测网的设计,讲究观测工具的配合,直接观测、遥测和遥感 3 种观测技术并存,各取所长。

大气探测技术总的发展趋势是:

①向综合探测方向发展。如地基与空基、遥测遥感与大气观测,常规与非常规观测。

②向系统性方向发展。研制和开发新型设备,从而集信息的获取、预处理及传输为一体。

③向遥测遥感自动化方向发展。自动化遥测遥感设备将逐步取代器测和部分目测项目。

④向高精度方向发展。探测的精度主要是指时空上高分辨率,探测数据高准确性。

⑤探测仪器向多功能、小型化方向发展。

近年来,西方发达国家投入巨资研制发射 21 世纪新一代气象卫星,布设新一代气象雷达、风廓线仪、GPS 定位系统等,建设 21 世纪的综合气象观测

网。我国也批准数十亿的气象卫星基金和十亿的气象雷达建设经费等组建我国 21 世纪的综合探测系统。综合探测系统总体设计首先是空基系统和地基系统互补。未来的综合系统将朝着以空基为主的方向发展,地基探测将作为基本网和校准空基探测的基准^[1~18]。

1 气象卫星

自从 1960 年 4 月 1 日美国发射第一颗气象卫星 TIROS-1 以来,20 世纪 60 年代初至 1978 年前后为气象卫星试验阶段,1978 年至 20 世纪 90 年代中期建立了由 5 颗静止气象卫星和 2 颗极轨气象卫星组成的全球观测网;从 20 世纪 90 年代中期到 2000 年前后气象卫星进入比较成熟的应用阶段。20 多年来气象卫星在观测技术、业务化和应用等方面取得了长足的进展。气象卫星已成为制作全球天气预报必不可少的大气遥感的关键技术。

1.1 21 世纪气象卫星发展计划

(1) 极轨气象卫星

美国是世界上发射气象卫星最多的国家,并一直保持世界上最先进的业务气象卫星系统。随着 1998 年 5 月 13 日 NOAA-K 气象卫星的成功发射,标志着美国业务极轨气象卫星进入了第五代。第五代气象卫星由 NOAA-K、L、M、N、N' 5 颗卫星组成。NOAA-N、N' 的星载仪器将与第六代气象卫星——美国国家环境业务极轨气象卫星系统(NPOESS)接轨。尚未发射的第五代极轨气象卫星的发射日程

为:NOAA-N 2007年7月,2003年12月,NOAA-N。

美国与欧空局(ESA)和欧洲气象卫星开发组织(EUNETSAT)合作,建立新世纪业务极轨气象卫星系统。合作系统包括两个完全独立、但又相互协调的NOAA和EUNETSAT极轨卫星系列,双方将交换星载仪器和全球资料,并在算法开发以及实时广播卫星数据上进行合作。计划在2002年底发射欧洲极轨气象卫星(METOP-1);2007~2010年为过渡阶段;第三阶段大约在2012年初期联合极轨业务卫星系统建成。

(2) 静止气象卫星

①美国静止业务环境卫星(GOES):美国于1975年10月16日发射了第一颗静止业务环境卫星(GOES-1),现在为第三代(GOES-1~M),其装载了成像仪和独立的大气垂直探测器。几年后,GOES-N~Q系列将取代GOES-I~M系列。计划于2002年10月发射GOES-N,2004年4月发射GOES-O。

②日本MS/MTSAT静止气象卫星:第一颗GMS(GMS-1)1977年发射。日本下一代静止气象卫星MTSAT是气象和航空管制的多用途卫星,与GMS一样仍定位于 140°E ,气象探测寿命5年,航空管制寿命10年。MTSAT-1于1999年11月发射失败,替补的MTSAT-1R将于2003年发射,MTSAT-Z计划于2004年发射,2005年春季正式投入运行。与GMS相比,MTSAT的姿态控制,扫描辐射器和数据传输将有重大变化。

③欧盟静止气象卫星:欧空局于1977年11月发射了第一颗准气象静止气象卫星Meteosat-1,迄今共发射了7颗。欧盟第二代静止气象卫星MSG仍然是自旋扫描卫星,而不是三轴稳定的卫星。MSG-1已于2002年1月发射,MSG-2将于2003年、MSG-3将于2007年发射。

1.2 改进气象卫星观测技术的途径

(1)在静止气象卫星上进行垂直结构的观测不仅对中小尺度天气系统的监测有意义,而且还可以改进对大尺度天气系统的预报。改进垂直探测可用光栅或干涉式的垂直探测仪取代目前使用的红外分光计,以增加垂直探测仪的探测通道,提高探测的垂直分辨率;与图像仪一起反演计算,以提高对云和地表的识别能力。

星载GPS接收机可以观测到多普勒频移。加

上接收机的位置和速度信息,可以反演到GPS信号近地点高度处的大气折射率,进而导出密度、气压、温度、湿度等大气参数。

(2)星载激光雷达观测及技术是改进的方向,但近期测风尚需在传统方法的基础上改进。改进的途径是加快导风所用图像的观测频次,提高图像的水平分辨率,用多卫星立体观测确定云的高度等。为了改善图像观测,静止气象卫星平台的姿态控制方式必须改变。我国FY-2气象卫星若由自旋稳定的姿态控制方式改为三轴稳定,扫描仪的工作效率可提高到50%以上,为提高观测次数和观测质量打下基础。

(3)被动微波遥感是一种很有发展潜力的观测手段。在微波波段进行云的遥感观测,特别是对云中水滴大小和相态的观测,不仅对于天气预报具有重要意义,而且有利于了解大气中辐射传输过程的细节。

(4)在陆地和海洋下垫面物理状态中,目前海面水温、海冰、陆面反照率、植被指数等参数的观测质量已经相当好。主要的差距是在海洋盐度和土壤湿度方面。前者影响海洋环流,后者影响陆面与气团之间的大尺度热量、水汽交换过程,对短期天气预报十分重要。

(5)闪电与剧烈的对流活动有关,通过监测大气中的闪电分布,可以了解造成剧烈对流活动天气系统的结构。因此观测闪电对天气预报十分有用。

1.3 中国气象卫星及其发展趋势

中国1998年9月首次发射太阳同步轨道试验气象卫星FY-1,现已发射FY-1、2两个系列,能连续、稳定、可靠地提供大量预报产品。为天气预报和气象研究提供了有效的服务。

(1)第二代极轨FY-3气象卫星:FY-3气象卫星除了目前FY-2已有的图像仪外,增加垂直探测仪、成像光谱仪、地球辐射收支平衡仪和微波成像仪。

(2)第二代静止气象卫星FY-4:气象卫星FY-4除了目前FY-2已有的图像仪,还增加垂直探测仪、闪电探测仪,在条件成熟时增加微波成像探空仪和凝视式CCD相机。地球圆盘成像时间为15 min。

中国计划在2004年、2006年、2008年分别发射FY-3A、FY-2D、FY-3C。在2010年发射的下一代极轨气象卫星,可获得全球、全天候大气探测能力,相

当20世纪90年代国际水平;下一代静止气象卫星FY-4具有中小尺度和灾害性天气监测能力。新一代气象卫星监测系统的建立与应用,不仅将为中国天气预报、气象研究和环境遥感科学研究提供重要工具,也将为国际气象观测网提供一种重要的卫星系统,在国际气象合作中发挥重要作用^[1,3,8,10,12~15,17]。

2 气象雷达

气象雷达技术的发展大体分三个阶段,第一阶段20世纪40年代末到60年代,第二阶段20世纪70年代到20世纪80年代,第三阶段从20世纪90年代开始。近20年来多普勒气象雷达在大气遥感探测和研究中得到广泛应用,如探测降水云内和晴空大气中水平风场和垂直风场,降水滴谱和大气湍流等。多普勒气象雷达还为龙卷风的探测和短时预报提供了有效的工具。在完成多部雷达联合组网实时定量探测的基础上,可利用雷达测雨的观测资料结合卫星观测,进行更大范围的降水预报。

2.1 新一代天气雷达发展趋势

(1) 新一代天气雷达

美国20世纪90年代开始布网的NEXRAD(WSR-88D)是气象雷达发展第三阶段有代表性的新一代天气雷达。美国由WSR-88D组成的雷达网已投入业务运行,并可提供区域、全国拼图和降水估计等产品。WSR-88D除能获得常规数字化天气雷达的回波强度信息之外,还能获取径向风速和谱宽等信息;在460km范围内能对强风暴进行有效地监测,在230km范围内能定量估计降水强度以及提供干线、阵风锋、龙卷涡旋、中尺度气旋、下击暴流等信息,还具有一定的晴空探测能力。WSR-88D具有以下3个突出特点:对风和暴雨有较好的分辨能力、可以告知操作员哪种风有危险并预示将在哪里出现龙卷风和下击暴流;能对气象资料进行细致处理,向操作员显示详细的气象图像,并有多种显示选择。

(2) 发展趋势

尽管近年来电子计算机技术飞跃发展,加快了科技成果向业务转化的速度,但由于技术和经费等方面的原因,在2020年之前各国气象部门采用更新一代的天气雷达投入业务应用的可能性很小。

①下一步发展多普勒天气雷达技术,扩展探测功能:目前多普勒天气雷达主要是用于对与降水伴

随的灾害性天气的监测和短时预报,对晴空探测,特别是获取晴空风场信息,将是多普勒天气雷达功能扩展的下一个目标。据估计采用相干累加技术有可能使雷达获取晴空风场的能力提高15~21dB。多普勒天气雷达对下击暴流、微下击暴流有很好的监测能力,但由于这类恶劣天气现象生命史极短,仅1~2min,最多不超过10min,改变现行多普勒天气雷达扫描取样的体制,可行的最简单的方法是在天线垂直波束上采用相控技术,形成多波束,这样雷达仅做方位角一周的扫描便可以获取低层大气三维立体的风场数据信息,可以迅速而准确地监测和预警下击暴流或微下击暴流。

②完善多普勒天气雷达数据处理功能,发展应用技术:进一步完善WSR-88D硬件的处理功能,丰富软件产品,势在必行。

③加强对多普勒风场反演技术的研究。目前对多普勒风场资料的应用仍处于定性阶段,还没有对多普勒天气雷达获取的风场信息进行充分的应用。风场信息要由定性转为定量,单多普勒天气雷达的反演技术是风场信息定量应用的关键。西欧、日本、等国家也对天气雷达的发展极为重视,西欧确定了下一代天气雷达的业务技术体制;日本也已开展多普勒天气雷达的研制工作。韩国、台湾、香港、新加坡、泰国、土耳其等国家或地区都在计划或引进美国的WSR-88D。1999年11月11日至12日上海气象局也已引进WSR-88D,与此同时,有关部门正研制中国的下一代天气雷达。在未来气象业务中,多普勒天气雷达将在短时灾害性天气预报中发挥巨大作用。

2.2 新一代天气雷达发展规划

我国气象部门从20世纪70年代开始使用天气雷达,为台风和降水观测积累了大量资料,在气象服务中发挥着重要的作用。80年代和90年代定型的天气雷达主要有711、712、713、714、715、716,已形成我国的天气雷达系列。

随着我国经济的快速发展,现行雷达站网技术性能,可靠性等难以满足社会发展和经济建设对气象灾害监测、预警服务越来越高的要求。迫切要求建设新一代天气雷达网。

我国的天气雷达正朝着多普勒天气雷达方向发展,《我国新一代天气雷达发展规划(1996~2010)》提出了全相干的多普勒天气雷达为我国新一代天气

雷达发展目标。到2010年将形成由约100部S波段或C波段多普勒天气雷达组成的我国天气雷达网。在我国热带气旋、暴雨灾害频繁、多洪涝的地区布设S波段新一代天气雷达;在强对流活动频繁、少洪涝地区布设C波段新一代天气雷达。雷达站的间距以200~250km为宜。

已经启动的我国新一代天气雷达网建设是我国气象事业现代化的一项跨世纪工程,建成后的新一代天气雷达网将显著改善我国天气预报能力和水平^[1-3,8,10,15,19-22]。

3 风廓线仪

风廓线仪的应用是对传统气球测风方法的一次革命。与有球测风相比,风廓线仪除了具有可连续探测优点外,还具有高精度和运行可靠性。它融合了现代技术,操作维护方便,垂直分辨率高,风速测量误差与有球测风相当,其适用范围是有球测风无法比拟的($-40^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度0~100%、地面 $225.3\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 、降水率在 $7.6\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 或积雪 1.22m)。

风廓线仪在气象科学研究中的应用有:测定水平风廓线。尤其是用于研究中尺度天气现象;垂直风速测定,这对研究小尺度天气、强对流风暴等具有重要价值;此外,还可以探测湍流、大气稳定度、中尺度大气等。风廓线仪主要功能是获取高空风和低空急流活动特征,能够提供高时空密度的气象信息。

风廓线仪发明于20世纪80年代,先后研制出平流层、对流层和边界层风廓线仪三类。近20年来,美国、日本等国家用它来测量自由大气、湍流以及大气稳定度等已得到了普遍的发展与应用。美国NOAA已在中西部地区布设了29部风廓线仪组成示范网,计划2003年风廓仪投入业务应用布点。美国还计划研制适用于热带海洋地区的太阳能自动风廓线系统。芬兰、德国、瑞士、英国、法国都在建造试验性的风廓线仪。

我国20世纪90年代初成功地研制出风廓线仪。我国的风廓线仪的总体水平与美国差距约15年左右。我国对流层风廓线仪的建设已于2001年9月25日正式启动。根据《中尺度灾害性天气监测预警系统指南》(中气测发[2001]14号),我国监测预警中尺度灾害天气,适用探空高度为6km左右,频率400MHz左右的低对流层风廓线仪即可。使之

布设在常规探空站之间天气变化敏感的地区。我国争取2020年实现风廓线仪业务布点。

风廓线作为一种先进的探测系统是21世纪的高空探测系统。风廓线仪的业务应用对改进天气分析预报,降低测风成本和提高实效等均有重要的意义^[1,3,24]。

4 GPS定位系统

全球定位系统(Global Positioning System——GPS)是美国20世纪70年代开始研制,历时20年,耗资200亿美元完成的。GPS的出现为高空气象探测的发展带来了新契机。

4.1 GPS在气象探测中的应用与发展趋势

GPS为气象高空探测展示出新途径。

(1)对流层低层的水汽(积分可降水分和水汽垂直分布):强烈天气和降雨的短期预报、水汽的全球气候学、水分循环研究;

(2)在数值模式中直接同化应用偏转角或折射率资料:业务数值天气预报、气候研究的再分析;

(3)对流层的高分辨率温度廓线:对流层顶研究、平流层/对流层交换、平流层臭氧、高层锋面研究、火山效应、气候变率和气候变化的研究;

(4)高层等压面的位势高度计算:气候研究、通过地转/梯度风关系估计高纬度地区风;

(5)电离层电子密度剖面:电离层研究、空间天气;

(6)野外试验:FASTEX(锋面与太平洋风暴试验)、Map(中尺度Alpine试验)、INDOES(印度洋试验);

(7)可探测、预报闪电等。

由于GPS探测技术仍在蓬勃发展之中,开发其探测能力的研究也仍在继续,可以预见GPS探测大气温度、水汽和风等气象要素的精度、探测范围、空间分辨率各指标将得到进一步改进。GPS气象探测系统在21世纪大气探测系统中将占有重要位置。美国、加拿大、澳大利亚都把GPS作为未来高空探测体制的重要组成部分。美国在高空探测发展计划中,拟将GPS投入常规高空观测,加拿大计划用GPS取代Omega和Loran导航测风系统。

4.2 我国GPS的发展趋势

近几年来,我国在GPS系统开发、应用方面迅猛的发展,广泛应用于航空、公安、银行、大地测量等

领域,国家科委把 GPS 的应用列入“八五”国家科技发展计划的重中之重项目,因此 GPS 在气象高空探测中应用,面临极好的机遇。从技术上讲,我国完全有能力开发应用,不存在有逾越不了的障碍,美国和芬兰已迈出了通用 GPS 技术到 GPS 探空仪系统第一步,我们可汲取他们的技术和经验。

GPS 是我国 21 世纪高空探测主要发展目标之一,2020 年后 GPS 将是我国高空探测系统的主力。^[3,7,15,22,24]

参考文献

- 1 黎光清.气象卫星被动定量遥感的反问题.现代大气科学前沿与展望.北京:气象出版社,1996.
- 2 苑跃.近年来国际大气探测技术发展概况.四川气象,1997(3):57-59
- 3 李良序.遥感技术的一些发展动态介绍.新疆气象,1999(2):49-53
- 4 张玉存,王卫平.二十世纪末气象仪器的现状与发展,气象水文海洋仪器,2001(3):6-8
- 5 中国气象局.气象事业发展第十五个计划.2000,9-12
- 6 黄荣辉,章国材,陆则慰.21 世纪大气科学前景与展望.21 世纪初大气科学回顾与展望.北京:气象出版社,2000,3-9
- 7 颜宏.面向 21 世纪气象业务技术体系若干问题的思考.见:21 世纪初大气科学回顾与展望.北京:气象出版社,2000,10-13
- 8 章国材.中国气象局未来科技展望.见:21 世纪初大气科学回顾与展望.北京:气象出版社,2000,13-18
- 9 许建民.2000 年后气象卫星发展趋势.见:21 世纪初大气科学回顾与展望.北京:气象出版社,2000,165-171
- 10 张可喜.日本开发出直径仅一米的小型雷达.http://www.space.cetin.net.cn 2002-2-15
- 11 美国纽约风切变告警雷达的进展.http://www.jsu.cetin.net.cn 2002-2-15
- 12 英国伦敦大学的雷达观测项目.http://www.jsu.cetin.net.cn 2002-2-15
- 13 卫星气象学.http://www.ikepu.com.cn 2002-2-11
- 14 孟执中,李卿.中国气象卫星的进展.http://www.space.cetin.net.cn 2002-2-19
- 15 21 世纪初中国应用卫星发展趋势.http://yuandi-ngjiajiao.sina.net 2002-2-22
- 16 机载雷达的发展概况.http://www.gd.cetin.net.cn 2002-2-22
- 17 大气探测.http://www.weather.org.cn 2002-2-22
- 18 中国民用天气雷达的现状与展望.http://dot.gov.cn 2002-3-15
- 19 刘咏.下一代测风系统——风廓线仪,新疆气象,1999(3):57,60
- 20 Collier C G. International weather radar networking: final seminar of the COST Project 73. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992.191
- 21 Crum, Timothy. An update to the NEXRAD program and future WSR-88D support to operative. Wea. and Forecasting, 1998,13(2):253-262
- 22 Serafin, Robert J. Operational weather radar in the United States: progress and opportunity. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2000,81(3):501-518
- 23 林朴炎.风廓线仪——下一代测风系统.广东气象,1994(1):40-41
- 24 吴兴国.现代气象探测 ABC.广西气象,2000(9):8-10

TRENDENCY OF ATMOSPHERIC SOUNDING

Zhang Qingyang Zhang Yuan Li Li Tian Jing

(The Training Center of China Meteorological Administration, Beijing 10081, China)

Abstract: The trend of atmospheric sounding technology is introduced. The direction and key problem of trendency of atmospheric sounding technology are proposed.

Key words: atmospheric sounding technology, meteorological satellite, meteorological rader, wind profile instrument, GPS