

# 大气探测系统设计和工程建设

郑国光

(中国气象局, 北京 100081)

**[摘要]** 文章分析了我国大气探测业务现状和大气探测技术发展趋势, 阐述了我国大气探测系统设计和工程建设的基本思路和目标, 介绍了即将开始建设的国家大中型建设项目——大气监测自动化系统的总体结构和建设的主要内容。文章也是对大气科学的工程化建设一文<sup>[1]</sup>的进一步阐述。

**[关键词]** 大气探测; 监测自动化; 工程设计与建设

## 1 引言

大气探测系统是基本气象系统的重要组成部分<sup>[2]</sup>, 是气象基本业务和气象服务的重要基础, 也是大气科学工程化建设的重要内容。50年来, 特别是改革开放以来, 我国大气探测业务技术取得了较快的发展: 气象卫星从无到有, 天气雷达从简易模拟型到数字化显示, 再改进为第三代的多普勒天气雷达, 高空探测系统和地面观测系统开始向自动化过渡, 大气特种(化学)观测和专业气象观测能力明显提高, 大气探测数据的可靠性和准确性也稳步提高。

我国气象部门现有2511个(不含港、澳、台, 下同)地面气象观测站<sup>[3]</sup>, 其中国家基准气候站有143个, 基本气象站有557个, 一般气象站1811个。但观测站网布局不够合理, 东部密, 西部稀; 观测仪器设备陈旧, 目测项目比重仍较大, 自动化的水平不高, 基本上还是靠手工操作; 观测系统的综合程度还不高, 通用性不强; 常规气象仪器计量检定设备陈旧, 缺乏对自动化监测设备的维修、检定手段。

我国的高空气象业务探测网由120个站组成, 是全球探空站密度较高的国家之一。但是, 我国高空探测技术体制落后<sup>[4]</sup>, 业务使用的59型探空仪

是机电式仪器, 灵敏度低, 辐射误差和滞后系数大; 探测精度较低; 探空雷达是手工操作, 探测精度受人为影响较大; 频带较宽, 无线电同频干扰严重, 使得许多探空站难以正常工作; 技术体制发展换代周期长, 总体水平与世界先进水平的差距逐渐拉大; 探测手段单一, 缺乏综合探测能力, 地基和空基大气遥感探测技术还处于研制试验阶段。

我国的大气特种观测起步较晚, 但发展较快。现已建成了一个全球大气本底观象台、3个区域本底站、86个站的酸雨站网及臭氧观测网。但我国的大气特种观测项目少, 一些对气候变化有较大影响的大气成分观测项目尚没有开展; 观测点少, 分布不合理, 不能全面反映出大气环境的实际状况; 观测仪器与方法、测试分析手段、质量控制等方面基础薄弱, 适用于大气成分本底浓度测量的国产仪器还很少, 基本上依靠从国外进口。

气象部门现有业务布点天气雷达200多部, 其中S波段雷达17部(其中带有多普勒功能的6部), C波段雷达38部, 还有X波段(711型)约160部, 主要用于局地天气监测和指挥人工增雨防雹作业。尽管中美合资生产的首台新一代多普勒天气雷达于1999年在安徽合肥投入业务运行, 但我国新一代天气雷达系统布网建设工作尚需相当长时间, 而现行天气雷达业务整体上仍存在许多亟待解

决的问题,如雷达技术性能偏低,获得的探测信息少;可靠性和稳定性差,组网能力弱;部分雷达站址由于地形限制,不能有效地发挥探测能力;技术规范和管理规章不完善,标校工作不规范,数据处理方法和输出格式缺乏统一性,数据可比性差。

自 1988 年我国成功地发射了第一颗气象卫星(FY-1 极轨气象卫星)以来,我国又先后成功地发射了三颗气象卫星(两颗 FY-1 极轨气象卫星和一颗 FY-2 静止气象卫星),已具有获取全球大气探测资料的能力,并在灾害性天气监测和气象服务中发挥了重要的作用。但与世界先进水平相比,我国气象卫星的寿命短,探测仪器少,卫星姿态的稳定性差等问题比较突出。

我国是世界上气候变率较大的地区之一<sup>[5]</sup>,气象灾害出现的频数很高,气象灾害对我国的经济社会影响很大。每年都有许多省(区、市)或大江大河大湖流域遭受旱灾或水灾。随着经济、社会的发展和人民生活水平的提高,对气象预报和气象服务工作提出了更高、更新的需求。而气象预报和气象服务的水平与大气探测技术的进步息息相关,大气探测技术每前进一步,气象预报水平就会上升一个新的台阶。现代科学技术的发展,特别是电子技术、计算机技术、遥测遥感技术、自动化技术等快速发展,为大气探测设备、仪器、器件的发展提供了极好的技术基础。因此,实现大气探测的自动化,将会进一步推动气象预报和气象服务水平的提高。此外,世界气象组织(WMO)等四个国际组织共同发起的、旨在提高全球气候变率和变化监测能力的全球气候观测系统(GCOS)计划对现有的大气探测系统也提出了更高、更新的需求。世界上发达国家从 70 年代开始,有计划地进行大气探测自动化系统建设,大多数国家已基本实现了气象观测的遥测自动化。与他们相比,我国大气探测系统的总体水平存在 15~20 年的差距。因此,加快我国大气探测自动化系统的建设是非常迫切、非常重要的战略任务。

## 2 大气探测技术的发展趋势

综观当代国内外大气探测技术的发展,有如下几个特点<sup>[4]</sup>。

1) 向综合探测方向发展 随着探测技术的高速发展,各种探测系统的并存和补充,如地基与空基、遥测遥感与人工观测、常规观测与非常规观测

相互补充已成必然趋势;

2) 向系统性方向发展 研制和开发的新型设备融信息的获取、预处理及传输等为一体,将计算机系统与探测系统有机结合,使探测设备自身具有较强的系统性;

3) 向遥测遥感和自动化方向发展 用遥测遥感设备逐步取代器测和部分目测项目的趋势明显。随着遥测遥感能力的增强以及微处理技术和自动化技术的广泛应用,信息采集预处理传输的自动化程度越来越高,有的设备基本不需人工操作;

4) 向高精度方向发展 探测的高精度主要包括探测时空上的高分辨率和探测数据的高准确性。如气象卫星、天气雷达等探测的时空分辨率较过去显著提高,而且其探测的定量数据的准确性和可靠性明显增强;

5) 向多功能、小型化方向发展 一种探测设备具有多种探测功能,如多普勒天气雷达不仅能测雨,而且能测风场;在一种探测设备上增加其它功能,如气象卫星增加通信功能,天气雷达系统增加了数据预处理功能等。探测设备的设计和生广广泛采用集成电路技术、新型的传感器技术以及微处理技术等,使探测设备的体积越来越小,耗电越来越低,如 GPS 探空系统的地面接收部分比过去的接收设备小得多。

## 3 我国大气探测系统的发展思路和目标

《中国 21 世纪议程》中“气候变化的监测、预报及服务系统的建设”方案提出<sup>[6]</sup>，“要广泛采用现代遥感技术和自动化技术,建设中国大气监测自动化系统,基本实现国家基本站网地面器测自动化、高空探测自动化或半自动化,改进大气化学和边界层物理探测,建设气象卫星监测网,基本建成门类比较齐全、布局比较合理、自动化程度比较高的大气综合探测系统”。《气象事业发展纲要(1991—2020 年)》也提出<sup>[2]</sup>,2000 年前,我国将“初步建成由气象卫星监测网、数字化天气雷达网、新一代地面、高空、专业气象探测网和特种观测网组成的大气探测系统”,“开展新一代多普勒天气雷达的业务试验”。2020 年前,“发展和完善以地基空基遥测遥感手段为主的中尺度天气监测网及气候监测网”。因此,我国大气探测自动化系统的总体目标是瞄准 90 年代初大气监测的国际先进水平,

并充分考虑未来大气探测技术的发展趋势,建设成一个门类比较齐全、密度适宜、布局合理和自动化程度较高的地面、高空、天气雷达和大气特种观测网站,并利用我国现有的各种先进探测技术以及极轨气象卫星和静止气象卫星,对影响我国环境与天气、气候变化的常规气象要素以及温室气体、气溶胶成分、臭氧、辐射、云水、土壤水分、地面生物圈与大气交换的通量等物理、化学要素进行立体的、动态的、综合的监测,获取较完整的天气、气候与环境变化的数据。

1) 地面气象观测分系统 建立一个在空间分布与时间探测都较合理的地面气象要素观测网,并用比较现代化的仪器替换陈旧落后的观测仪器,逐步实现遥测自动化。

2) 高空气象探测分系统 建立一个对高空气象变化能进行三维空间连续探测的监测网,采用L波段二次雷达-电子探空仪探测系统和GPS探空系统逐步替代59-701探测系统,创造条件开展高空臭氧探测以及利用地基GPS遥感站、闪电定位仪、风廓线仪和微型无人驾驶飞机等开拓新的探空领域,从而提高目前高空气象探测的精度及自动化水平,增加探测项目。

3) 大气特种观测分系统 建立我国的大气本底监测,对大气温室气体、气溶胶等大气成分进行本底监测,同时对已建立的酸雨及微量化学成分监测进行技术改造,从而达到能够对大气中各种物理因素及化学成分分布规律、变化趋势进行立体的测量,为环境监测、预报和环境保护提供科学依据。

4) 新一代天气雷达分系统 在多暴雨的我国东部和中部地区,拟建90部左右装备先进的多普勒天气雷达站作为新一代天气雷达分系统,组成探测空间相互衔接覆盖的灾害性天气监测网,实时提供降水强度、平均径向速度和速度谱宽等信息,对降水特别是暴雨、热带气旋、强对流等灾害性天气和重要天气系统信息进行有效监测、预报和警报。

5) 气象卫星分系统 2000年前,发展我国FY-1极轨气象卫星,装备有成像仪器;发展我国FY-2静止气象卫星,其功能和技术水平与国外GMS和METEOSAT大体相当。2010年前,发展下一代极轨气象卫星,它将具有获取全球全天候大气探测资料能力,达到90年代初美国NOAA极轨气象卫星的水平;发展三轴稳定的下一代静止气

象卫星,它除了具有较高的对中小尺度和灾害性天气的监测能力外,还具有承担气象数据全国通信传输能力。

## 4 大气监测自动化系统

为了实现上述目标,中国气象局从1988年11月开始进行“大气监测自动化系统”项目的准备工作,于1990年完成了项目建议书的编制<sup>[3]</sup>。1991年10月,根据国家计委的要求,中国气象局将原项目建议书的建设内容分为两期实施。第一期工程总投资为5.4亿元,用4年建成并投入使用。一期工程将在现有国家基本气象观测系统的基础上,对其进行改造,提高遥测自动化水平,并适当增加自动气象观测站点,填补站网的短缺,新增大气特种观测和新一代天气雷达系统项目,以填补空白,提高对灾害性天气监测预警能力和时效。

### 4.1 监测系统一期工程建设的<sup>[3]</sup>主要内容

1) 地面气象观测分系统 a. 基准站和基本站配备地面综合有线遥测设备,实现大部分器测项目遥测化;按气候区合理配备太阳辐射遥测设备。b. 在人烟稀少的气象资料空白区如高原、高山、沙漠、草原、海岛、荒漠,设置自动气象站,填补空白,在上述地区的有人站,生活极其艰苦确实难以维持的,也需逐步以此类自动站代替。c. 长期自记气候站主要设置在丘陵山区、海涂、草原等气候观测空白地区或农业综合开发地区。d. 在每个气候大区布设一个辐射基准观测站,作为全国辐射观测站网的骨干和基准,获取标准辐射观测资料。e. 在北方旱作地区的气象站布设土壤水分监测站,获取土壤水分观测资料。f. 在基准站、基本站和拍发航危报的站布设中速VSAT PES小站,用于地面大气探测信息的传输。

2) 高空气象探测分系统 在高空气象探测站全部使用新的、精度高的L波段二次雷达-电子探空仪或GPS探空系统替代59-701探测设备;在不同纬度、青藏高原、西北干旱地区增建臭氧探空站和辐射探空站,获取臭氧、太阳辐射的垂直分布的气象探测数据;在全国布设闪电定位系统,部分地区布设地基GPS遥感站和风廓线仪以增加探空项目;在大气探测综合试验基地建设业务运行的微型无人驾驶飞机气象探空系统;建立必须的技术保障体系。重点建设一批代表性好和具有高精度、基准监测的高空探测站,使其在高空气象探测中起到

对探测资料质量控制的作用。建设项目有：**a.** 高空气象探测换用 L 波段二次雷达 - 电子探空仪或 GPS 探空系统；**b.** 建立臭氧探空站；**c.** 建立闪电定位系统，包括闪电定位系统国家中心站和省级分中心站；**d.** 建立地基 GPS/MET 站；**e.** 建立风廓线仪探测站；**f.** 微型无人驾驶飞机探空站；**g.** 中速 VSAT PES 小站。

3) 大气特种观测分系统 建立大气的温室气体、臭氧等化学观测和边界层物理观测站网，获取大气本底值。建设项目主要包括：基准大气本底站、区域本底站、湿沉降增容观测站、边界层探测站、北京大气化学分析中心。

4) 新一代天气雷达分系统 重点建设新一代多普勒天气雷达站，并建立与之相配合的少量雨量校准站网、闪电定位站网以及信息传输网。建设项目有：**a.** 建立新一代多普勒天气雷达站；**b.** 建立雨量校准站和雨量站向多普勒天气雷达站传送雨量校准数据的通信网；**c.** 建立雷达站至当地气象台的专线（或微波或卫星通信小站）通信线路；**d.** 建立配套的闪电定位仪和闪电定位中央处理站。中央处理站与多普勒天气雷达站同处一站，闪电定位仪的间距以 150~200 km 为宜。

5) 信息传输分系统 包括地面气象观测站、高空气象探测站、自动气象站及雷达雨量校准站的观测信息的收集传输，以解决县级站以及西部、边远地区台站的资料传输问题。

6) 技术保障分系统 新组建国家级技术保障中心，并在原主要为地面观测、高空探测和天气雷达维修服务的省技术装备中心（或省维修中心）的基础上，合并建设新的省级技术保障中心，加强地市和县级的现场保障能力。

7) 大气探测综合试验基地 由高空观测场、高空试验场、地面观测场、地面试验场、后勤保障基地及其它试验场所组成，主要是加强大气探测仪器设备和观测方法的业务化试验，同时承担大气探测方面的试验研究和技术开发工作，提高大气探测业务的科学技术水平和质量。

#### 4.2 系统总体结构

“大气监测自动化系统”一期工程的总体结构可分为探测、信息传输、保障三大部分（见图 1），其中探测部分承担各种气象数据的采集，包括地面气象观测、高空气象观测、大气特种观测和新一代多普勒天气雷达观测四个分系统；信息传输部分承

担探测资料的传输与质量监控；保障部分承担该系统的各种技术保障，涉及气象仪器设备的业务化试验、计量、检测和维修及技术培训等各个方面。

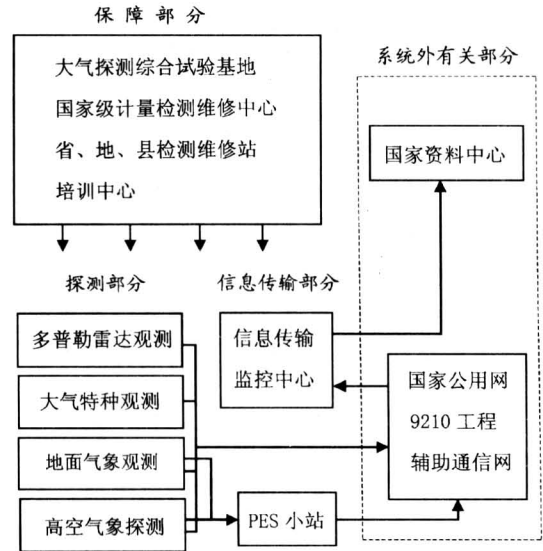


图 1 大气监测自动化系统总体结构

Fig.1 The overall structure of the atmospheric observation automation system

1) 地面气象观测分系统 包括基准气候站、基本气象站、自动气象站、长期自记气候站。基准气候站配备 I 型地面综合有线遥测气象设备，基本气象站配备 II 型地面综合有线遥测气象设备。而有的基准气候站、基本气象站还包括辐射基准观测站、土壤水分监测站及配套的通信 PES 小站。通过 9210 工程 PES 小站、辅助通信网或国家公用网进行数据传输。

2) 高空气象观测分系统 包括基准高空气象观测站和一般高空气象观测站两种。基准高空气象观测站配备 GPS 高空探测系统，一般高空气象观测站除偏僻站配备 GPS 高空探测系统外都配备 L 波段雷达 - 电子探空仪系统。臭氧探空仪、辐射探空仪及地基 GPS 遥感站仅在个别高空气象站配备。除个别站的通信需 PES 小站过渡外，其它高空站都能直接通过 9210 工程进行通信，发送观测资料。

3) 大气特种观测分系统 包括全球大气本底基准观测、区域本底观测、大气臭氧监测、酸雨监测、边界层探测。而这些观测大部分依附在基准气候站、基本气象站内。

4) 新一代天气雷达观测分系统 包括 S 波段

多普勒天气雷达整机、计算机局域网络、雨量校正站网、通信传输系统、闪电定位系统。每部雷达分别配备10个雨量校正站、3个闪电定位仪和1个闪电定位中央处理站。中央处理站与多普勒天气雷达站同处一站。

5) 数据传输分系统 包括数据传输、质量监控系统两大部分。与一期工程有关的仅是大量通信PES小站和数据传输检测。有的气象数据的数据传输靠已经建成的气象卫星通信工程(即9210工程)、辅助通信网或国家公用网承担。

6) 技术保障分系统 主要由大气探测综合试验基地、技术保障系统及技术培训三大部分组成。

#### 4.3 工程建设的原则

1) 根据需要与可能相结合,充分考虑建设和维持的可行性,广泛采用先进的成熟技术。

2) 从我国实际出发,遵循有利于提高系统的监测、分析、警报和预报能力和有利于各类观测系统的合理配置。

3) 把探测设备、仪器的业务运行的稳定性、可靠性和实用性放在首位,提高设备、仪器的安全性能、抗干扰能力及元件的互换性。

4) 大力发展遥测遥感和自动化技术,逐步淘汰落后技术。

5) 大力发展国际通用的标准化技术,在气象代码、数据格式、应用软件和主要硬件等方面实现规范化和标准化。

6) 加强各种探测设备、仪器等的标定工作,建立健全相应的标定制度和规范,制定和完善新仪器、新设备的观测、操作制度和规范。

7) 加强各类探测人员的培训,严格执行操作规程,保证气象探测资料的质量。

8) 坚持立足国内生产,跟踪国际先进探测技术的发展趋势,采取引进吸收和应用先进技术以及合作研制、生产等多种方式,发展我国的气象探测新技术和新设备。

## 5 大气探测系统建设相关的其它工程

### 5.1 我国气象卫星及其应用发展计划

1999年国务院批准“我国气象卫星及其应用发展计划(1999—2010年)”,将计划发射一颗FY-1极轨气象卫星、四颗FY-2静止气象卫星和四颗FY-3极轨气象卫星。下一代极轨气象卫星(FY-3极轨气象卫星)将增加高光谱分辨率大气

红外探测器、微波湿度探测器,并采用性能较高的微波探测器和中分辨率成像光谱仪的性能,以提供全球高均匀分辨率的三维温、湿、压以及云参数和降水等的定量资料。2010年前,还将研制下一代静止气象卫星(FY-4静止气象卫星),提高成像辐射计性能以加强中小尺度天气系统的监测能力;发展静止气象卫星上的大气垂直探测;增加Ku频段转发器以解决气象行业通信和信息传输问题。

### 5.2 新一代天气雷达探测网建设

我国新一代天气雷达业务探测网将由90部新一代多普勒天气雷达组成,其中东部地区将布设55部S波段新一代多普勒天气雷达,中部地区将布设35部C波段新一代多普勒天气雷达。由于新一代天气雷达系统建设投资大,工程技术要求严,建设周期比较长,很难在短期内全部建成。因此,新一代天气雷达业务探测网的建设将在不同工程项目中分阶段来实施完成。

自1998年以来,国家已经先后在“新一代天气雷达网建设一期工程”、“长江三峡工程气象服务保障系统”、“黄河淮河流域防汛指挥系统”、“部分重点地区防汛指挥系统”,以及“大气监测自动化系统一期工程”等项目中投资安排,建设总共32部新一代多普勒天气雷达及其相配套的业务系统。这些雷达系统建成后,将大大地提高我国重点地区的灾害性天气监测预警能力和气象服务水平。

## 6 结语

通过上述工程建设,将逐步完善我国大气探测系统,形成一个具有以下特征的、适应新世纪经济和社会发展的、现代化的大气探测系统<sup>[3]</sup>。

### 6.1 空基探测与地基探测互补

空基探测将主要有形成业务化、系列化的FY-1极轨气象卫星、FY-2静止气象卫星、下一代极轨气象卫星和下一代静止气象卫星监测以及飞机气象观测等。地基探测将主要由具有全天时和全天候探测能力的多普勒天气雷达、常规高空探测的电子探空仪-GPS探空系统和L波段二次雷达系统、常规地面观测的综合有线遥测系统和地面自动气象站及部分人工观测、大气特种观测、农业气象观测、海洋气象观测等设备以及风廓线仪、闪电定位仪系统等综合组成。

新一代的大气探测系统将能提供大范围、高时空分辨率的空基卫星探测信息以及飞机探空信息,

不仅可以弥补地基探测时空分辨率的不足,而且自上而下的空基卫星探测资料反演高层气象要素的精度接近或达到地基探空和遥测的精度。随着反演理论、技术的发展,卫星探测资料反演要素的精度将越来越高。因此,21世纪初,将逐步形成空基的极轨和静止气象卫星、商用飞机与地基的多普勒天气雷达网、探空网、风廓线仪网、地面自动观测网、大气特种观测网及各种专业气象观测网等有机结合的、高时空分辨率的、综合性的立体探测系统,并将通过发展资料同化或综合性处理技术,使综合性的立体探测系统的资料在业务中得以广泛应用。

### 6.2 遥测遥感与目测互补

地面目测项目的逐步减少及遥测遥感项目的逐步增多,探测的时空分辨率将越来越高,探测范围将逐渐增大,探测能力将明显提高。在遥测遥感逐步取代部分目测和器测的过程中,将重点对各种探测资料进行严格的对比观测,保证资料的连续性和一致性。

### 6.3 常规观测与非常规观测互补

按观测规范进行的常规天气、气候等观测与各种基地、平台(如飞机气象观测等)的有机结合,将弥补常规探测的覆盖范围和探测的时空分辨率的

不足。综合探测系统将重点发展这些来自于不同时段、不同仪器、设备的气象信息的同化技术。

大气探测系统工程建成后,我国的大气监测业务和科研能力将得到明显的增强,接收、传输、处理各种大气监测资料的手段与时效将进一步提高,也将大大促进天气预报和气候预测准确率的提高,以及更好地发挥气象服务的社会、经济和生态效益。

### 参考文献

- [1] 温克刚,李黄,李泽椿,等.大气科学的工程化建设[J].中国工程科学,2000,2(5):72~76
- [2] 中国气象局.气象事业发展纲要(1991—2020年)[R].北京:中国气象局,1992
- [3] 中国气象局总体规划研究设计室.大气监测自动化系统工程一期工程建设可行性研究报告[R].北京:中国气象局总体规划研究设计室,1999
- [4] 中国气象局.全国气象基本业务分系统发展规划(1996—2010年)[R].北京:中国气象局,1997
- [5] 中国气象局.中国21世纪议程——气象行动计划[M].北京:气象出版社,1997
- [6] 中国21世纪议程管理中心.中国21世纪议程[R].北京:中国21世纪议程管理中心,1995

## Design and Implementation of Meteorological Observation System Projects

Zheng Guoguang

(China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**[Abstract]** The current situation of the meteorological observation in China and the development tendency of the meteorological observation technology are analyzed. The principal goals of the design and implementation of the meteorological observation system project in China are described. The overall sketch and the main items of the "Meteorological Observation Automation Project (Phase 1)", which is one of the national key projects to be carried out, are given. This paper is also one of the extending parts for "the Engineerized Implementation of Atmospheric Science".

**[Key words]** atmosphere observation; observational automation; engineering design and implementation

\* \* \* \* \*