

中国地面气象观测业务的发展历程与展望

王建凯¹ 陈汝龙² 侯威¹ 张楠¹ 杨晓武¹

(1 中国气象局, 北京 100081; 2 安徽省气象局, 合肥 230031)

摘要: 扼要回顾了我国地面气象观测站网发展、地面气象观测任务调整和技术升级历程。我国地面气象观测站网从1949年底的96个气象观测站, 发展至2020年的约11000个国家级地面气象观测站和超过6万个省级地面气象观测站, 基本形成了覆盖全国的地面气象观测站网。地面气象观测任务由人工观测逐渐转为自动化观测, 在2020年4月1日全国所有台站全面实施自动化业务运行, 包括气温、气压、湿度、风向、风速、降水等39项地面气象观测项目, 极大地提升了观测效率、观测准确性和精度。最后, 结合中国气象局关于着力提高中国气象综合监测的精密水平要求, 提出了我国未来地面气象观测业务的优化方法和改进方向。

关键词: 中国, 地面气象观测, 站网布局, 观测技术

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.05.003

Development and Prospect of Surface Meteorological Observations in China

Wang Jiankai¹, Chen Rulong², Hou Wei¹, Zhang Nan¹, Yang Xiaowu¹

(1 China Meteorological Administration, Beijing 100081 2 Anhui Meteorology Service, Hefei 230031)

Abstract: This paper briefly reviews the development of surface meteorological observing station network in China, the adjustment of observing tasks as well as the upgrade of observation technology. The surface meteorological network, which was consisted of 96 stations in 1949, has been expanded at an enormous scale. In 2020, the network covers 11,000 national-level stations and over 60,000 provincial-level stations throughout the country. Moreover, the observing stations have gradually changed from manual to automatic. Since April 1st, 2020, automated observing systems have been fully implemented at all the stations over China, and the terms of automatic measurements have reached 39 atmospheric variables, including temperature, pressure, humidity, wind speed and direction, precipitation. Thus, the efficiency and accuracy of the observation have been greatly improved. Finally, the optimization methods and improvement direction for the future development of surface meteorological observations in China are proposed based on the requirements of China Meteorological Administration for improving the precision level of comprehensive meteorological monitoring in China.

Keywords: China, surface observation, observing network design, observing technique

0 引言

在气象研究领域, 气象观测是最重要和最基本的工作之一, 是实现天气预报和气候分析的数据基础和验证的重要标准。中国气象局根据地球表面垂直方向的观测范围, 将观测业务划分为3个层次: 地面层(陆地和海洋表面至10 m高度)、高空层(10 m~30 km)和空间层(大于30 km)。地面气象观测业务通常是指借助仪器和目力对地面层的气象状况及其变化过程进行系统、规范和连续观察和测定以获取相关数据的工作。地面层气象要素存在空间分布不均匀性和随时间变化的特性, 因此地面气象观测必须具有代表性、准确性和可比性, 这是地面气象观测业务必须严格遵守

的准则。地面气象观测业务在气象观测业务中处于非常重要的地位, 它为气象精细化预报提供了可靠的基础数据来源, 其观测数据是天气预报、气象情报、气候分析、科学研究和气象服务的重要依据。

气象事业服务于国民经济建设和社会发展, 这是推动气象观测业务发展的主导因素。中国地面气象观测业务经历了由创始时期的定性目力观测到仪器定量测量阶段, 观测技术方法有了很大的发展, 观测任务随需求不断调整, 观测站网规模得到极大拓展。本文将从地面观测站网和观测技术方法两个表征地面气象观测业务的重要方面, 分别阐述1949—2020年中国地面气象观测业务发展历程, 为正确使用长序列观测资料提供参考, 也为观测业务改革发展提供依据。

1 地面气象观测站网发展历程

中国地面气象观测站网建设是在中华人民共和国

收稿日期: 2022年1月7日; 修回日期: 2022年3月28日
第一作者: 王建凯(1977—), Email: wjkaoc@cma.gov.cn
通信作者: 张楠(1988—), Email: zhangn@cma.gov.cn

成立之后开始的(图1)。1956年,中国气象局^①制定《十二年(1956—1967)气象事业发展规划建议》,对气象观测站网的建设有了全面统一的规划,据此全国很快建成了具有一定密度的观测网络。迄今为止,中国地面气象观测站网已经由建国初期不足100个站点,发展到2020年的全国近7万个各类地面气象观测站。依据国家在社会发展的不同阶段赋予气象事业的服务要求,中国地面气象观测站网发展主要经历了三个阶段,分别为初步建设阶段、快速发展阶段、优化完善阶段。

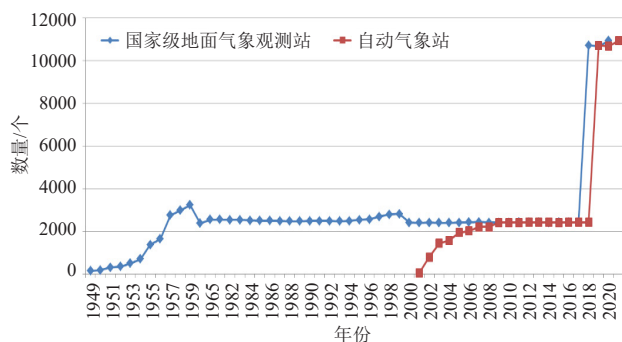


图1 1949—2021年中国国家级地面气象观测站数量的变化 (1966—1980年无统计数据)

Fig. 1 The development of national-level surface meteorological observing stations in China from 1949 to 2021 (no statistical data available during 1966—1980)

1.1 初步建设阶段 (1949—1965年)

建国初期,中国气象观测面临的主要问题是缺乏业务化的观测站网。新中国气象事业是在接收和整编前民国政府遗留在大陆的各类气象机构基础上发展起来的。截止到1949年底,全国共有96个气象观测站,不仅观测站点数量少、分布不均,而且仪器设备残缺陈旧、规格不统一,也没有形成统一的技术规范。面对种种困难,老一辈气象工作者立足国情,统筹国防建设和经济建设的双重需求,从重点的点线(机场、航线)布局转变到满足天气预报需求的基本天气观测报布局,在全国范围快速设立了一批气象观测站。

全国范围地面气象观测网构建初期,地面天气观测站大致是按照平原150 km、山地100 km间距的原则设置;有9个省(区)站间距小于100 km,浙江、福建、山东、广东平均站间距75~76 km,辽宁、江苏(含上海)为87 km,吉林、山西、宁夏为91~95 km,江西、湖南、河南、陕西平均站间距为100 km;11个省(区)平均站间距在100~150 km,河北(含北京、天津)、安徽、湖北、贵州为102~104 km,四川、云南分别为107 km和113 km,黑龙江为120~128 km,青

海、内蒙古分别为141 km和149 km;新疆、西藏两自治区平站间距分别为181 km和274 km。

经过“一五”期间的建设,到1957年底,全国建有1647个气象台站,包括637个地面天气观测站(现为地面气象观测站)。地面天气观测站包括16个高山站和13个海岛站,其中5个观测站位于海拔4000 m以上:班戈站(4700 m)、申扎站(4672 m)、那曲站(4507 m)、五道梁站(4612 m)和沱沱河站(4533 m),具备了全球其他国家所没有的高海拔气象观测能力。之后,1957—1965年气象台站总数增加到2383个(含有气象台和观测站),1966—1976年观测台站建设基本停滞^[1]。

1.2 快速发展阶段 (1978—2000年)

改革开放之后,随着农业、工业等各行业的快速发展,对天气预报、气象灾害防御提出了更高需求。立足于当时的国家和社会需求,地面气象观测不仅需要解决中尺度天气系统的观测,而且要建立基准气候观测能力。1978—2000年,依托国家和中国气象局的各类大气监测自动化工程,中国国家级地面气象观测站网规模得到较大幅度提升,并根据地面气象观测站承担的观测和作用划分了沿用至今的国家基准气候站、国家基本气象站和国家一般气象站三类站,基本形成了每个县级行政区一个站的布局。

1978—1980年,全国地面气象观测站达到2552个,1985年一度达到2635个台站,1981—1990年台站数量基本维持在2500个左右。20世纪80年代末,中国地面气象观测站网的平均站间距总体达到世界气象组织(WMO)对中纬度平原地区2类气象观测站网的规定,但由于地形复杂,地面气象观测站分布不均,仍存在“东密西疏,相差悬殊”现象,在山东、河北、江苏等省,每万平方千米接近9个观测站,而在西藏等地区,每万平方千米仅有0.3个观测站,仍存在不少气象资料的空白区。

中国气象局自1987年开始遴选并建设国家基准气候站,数量由1987年的33个逐步增加到1988年的44个、1989年的51个、1990年的72个、1997年的143个。1989年,中国气象局依据《地气气象探测系统发展方案》调整中国地面气象观测站网布局,基准气候站为一级,站间距一般为300~400 km,每小时观测1次;基本气象站为二级,站间距一般不大于150 km,每天4次、8次观测并发报;一般气象站为三级,站间距一般为50 km,采取每天3次或4次定时观测;辅助气象站

① 1949年12月8日—1953年9月7日,称“中央军委气象局”;1953年9月8日—1982年4月23日,称“中央气象局”;1982年4月24日—1993年6月13日,称“国家气象局”;1993年6月14日至今,称“中国气象局”。本文统称为“中国气象局”。

为4级，观测要求以气象服务为主。截至1991年，全国共有地面气象观测站2475个，其中基准气候站81个，基本气象站598个，一般气象站1667个，辅助气象站129个。1998年中国气象局将全国地面观测站网体系划分为基准气候站、基本气象站和一般气象站三类，原有的辅助站纳入一般站，其中基准气候站143个^[1]。

1.3 优化完善阶段（2000—2020年）

1.3.1 国家级气象观测站优化调整

随着中国社会和经济的快速发展，天气业务、气候业务和服务业务对国家级观测站的需求不断细化，国家级观测站从规模化发展转变为提升质量和效益。通过对观测站地理位置、探测环境、下垫面特征、维护保障能力等方面进行综合评估，中国气象局不断对全国的地面气象观测站进行调整，同时在新疆、西藏等资料稀缺地区补充建设观测站，优化站网布局，提高站网质量。

2006年，为实施WMO全球气候观测系统（GCOS）计划，中国气象局启动了锡林浩特、张掖、寿县、大理、电白试点国家气候观象台建设；2016年，中国气象局印发《国家基准气候站网布局优化调整方案》，调减原有143个基准站中23个探测环境等不符合要求的基准站，升级原有74个基本站、22个一般站，构成216个国家基准气候站。2017年，根据预报需求，中国气象局将国家地面气象观测站扩充到近1万个，截至2020年底总数达到1.1万个。2018年，中国气象局提出按照气候观测关键区布局，开展地球系统多圈层观测任务。2019年，中国气象局在全国16个气候关键区遴选24个国家气候观象台，与基准站、基本站共同组成覆盖中国所有气候区的地面基准气候观测网，实现覆盖中国所有气候区的地面基准气候观测布局。

截至2020年，中国国家级气象观测站的构成包括：国家大气本底站7个、国家气候观象台24个、国家级地面气象观测站1.1万个、国家应用气象观测站1129个、国家综合气象观测科学试验基地8个以及国家综合气象观测专项试验外场（农业气象试验站）67个。

1.3.2 省级气象观测站快速发展

20世纪90年代以来，全国各地出现的气象灾害所引起的群死群伤事件引起政府的高度重视，区域气象灾害、中小尺度强天气系统的监测需求日益迫切。

1995年开始，北京、深圳、广东、福建等省（市）在地方资金支持下启动了省级（二级）中小尺度基地建设。1996年，中国气象局制定《我国地面气象观测发展规划（1996—2010年）》，启动建设中尺度灾害性

天气监测网。1999年2型自动气象站投入业务使用，为气象观测站的大范围建设提供了条件。部分省份开始利用地方政府资金，建设省级区域自动气象站，并快速发展，进一步充实了国家地面气象观测站网。2002年省级气象观测站（区域自动气象站）为974个，2003年达2860个，2006年快速增加到16658个。2010年中国气象局借助山洪灾害气象保障工程，大力推动省级观测站建设，截至2020年底全国省级气象观测站总数达到6万个（图2）。

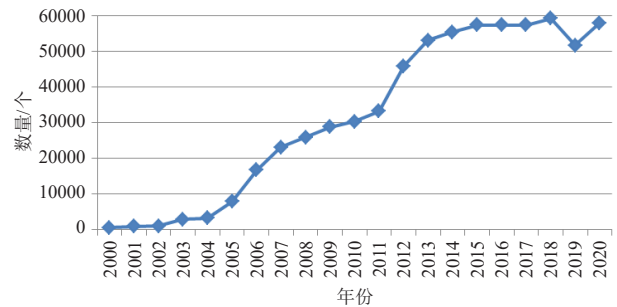


图2 2000—2020年省级地面气象观测站的数量变化（2019年新增国家级地面站升级改造完成，纳入国家级站统计）

Fig. 2 The development of provincial surface meteorological observing stations (the surface observation stations that were upgraded into national-level stations in 2019 are categorized as national-level stations)

2 地面气象观测任务调整和技术升级

以提高观测质量、业务效益为目的，依据气象事业发展的形势，中国气象局持续开展地面气象观测业务改革，及时使用新的观测装备、科学调整观测任务。随着地面气象观测自动化技术的不断发展，传统的人工气象观测方式逐渐淡出历史舞台，取而代之的是有人值守和无人值守相结合的地面气象观测自动化业务。1949年以来，中国地面气象观测任务调整和技术升级基本可分为三个阶段：人工观测阶段、自动化观测与人工观测并行阶段、自动化观测阶段（图3、表1）。

2.1 人工观测阶段（1949—2000年）

1951年，全国实施《气象测报简要》，初步统一了地面气象观测工作，沿用原有的仪器，仪器设备规格和标准未能统一。1952年，中国气象局成立资料室，负责气象资料搜集和整理。自1954年起，全国统一执行《气象观测暂行规定（地面部分）》（1954年版，以下简称1954版）。人工观测阶段的地面气象观测规范先后历经1961年版、1979年版等数次修订，观测项目、观测时次、采用时制、观测程序、观测场环境要求、仪器规格、安装和检定，表簿的格式、上报和审核等不断完善和规范。1961年，中国气象局地面气象

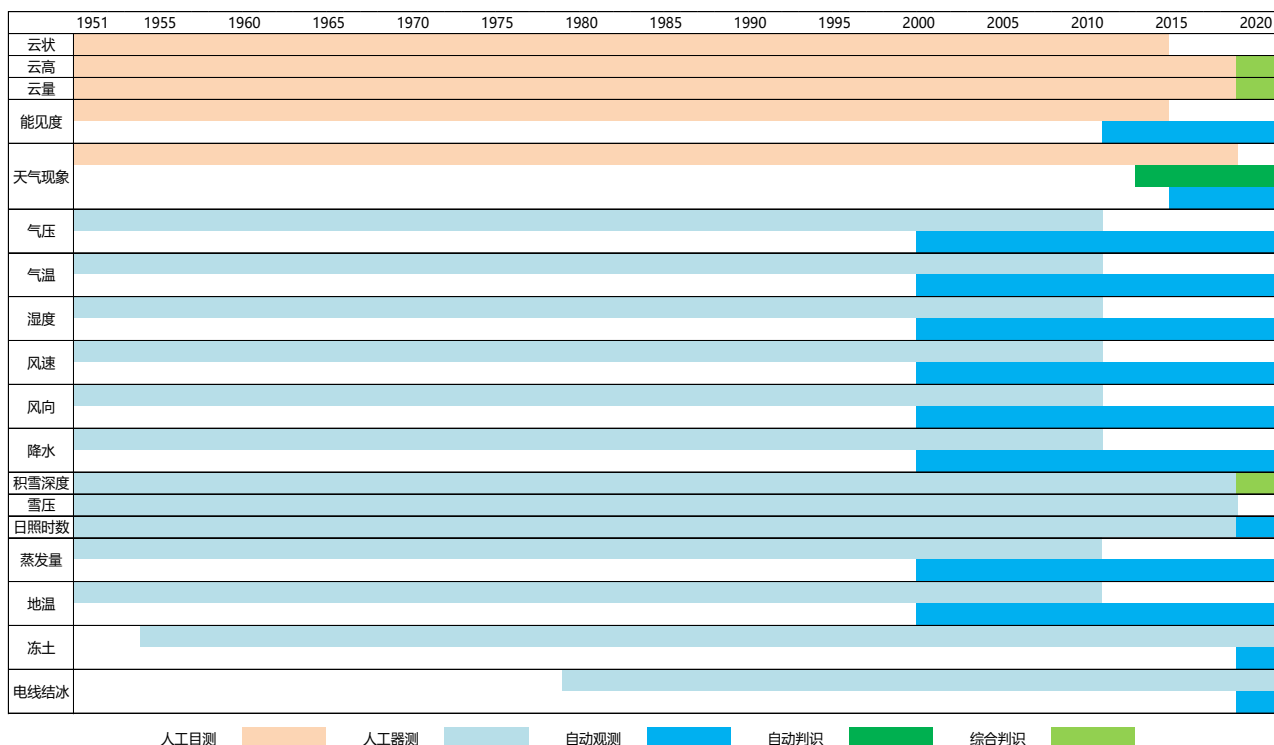


图3 地面气象观测项目观测方式变动
Fig. 3 The history of surface meteorological observation elements

表1 地面气象观测使用设备沿革变动
Table 1 Development of surface meteorological instruments

项目	1951—1957年	1958—1965年	1966—1979年	1980年	2000—2009年	2010—2015年	2016—2019年	2020年	
云状	人工目测								
云高	人工目测							综合判识	
云量	人工目测							综合判识	
能见度	人工目测					人工目测、前向散射能见度仪	前向散射能见度仪		
天气现象	人工目测					人工目测\自动判识(视程障碍)	人工目测\自动判识(视程障碍)\降水现象仪	综合判识降水现象仪\视频智能观测仪	
气压	动槽式水银气压表、定槽式水银气压表、空盒气压计				CAWS600II型\DYZZII自动气象站 振筒式气压传感器\膜盒式气压传感器 铂电阻温度传感器 湿敏电容湿度传感器单翼风向传感器 风杯风速传感器 翻斗雨量传感器	CAWS600II型\DYZZII自动气象站	新型自动气象站 硅电容式数字气压传感器 振筒式气压传感器\膜盒式气压传感器 铂电阻温度传感器 湿敏电容湿度传感器 单翼风向传感器\风杯风速传感器 超声风传感器 翻斗雨量传感器\称重降水传感器		
气温	水银温度表、通风干湿表温度计	水银温度表、通风干湿表温度计 百叶箱通风干湿表		新型自动气象站 硅电容式数字气压传感器		新型自动气象站 硅电容式数字气压传感器 铂电阻温度传感器			
湿度	干湿球温度表 毛发湿度表、湿度计	干湿球温度表 百叶箱通风干湿表 毛发湿度表、湿度计		铂电阻温度传感器 湿敏电容湿度传感器		铂电阻温度传感器(多传感器融合) 湿敏电容湿度传感器			
风向	风向器	维尔德风压器	EL型电接风向风速计			单翼风向传感器\风杯风速传感器	超声风传感器		
风速	风速器\风程表			风杯风速传感器 翻斗雨量传感器		翻斗雨量传感器\称重降水传感器			
降水	雨量器、虹吸雨量计					翻斗雨量传感器\称重降水传感器			
地温	地温表、曲管地温表					翻斗雨量传感器(多传感器融合)			
蒸发量	小型、大型蒸发器				超声波蒸发传感器				
积雪深度	普通米尺	固定量雪尺、轻便量雪尺		量雪尺			量雪尺\雪深仪	雪深仪 视频智能观测仪	
雪压	—	称雪器、体积量雪器						—	
日照时数	康培司托克式日照计、乔唐式日照计						光电式数字日照计		
冻土	—	达尼林冻土器		冻土器				冻土自动观测仪	
电线结冰	电线积冰架和合页箱、米尺、卡钳等辅助工具								

观测统一执行《地面气象观测规范》(1961年版, 以下简称1961版)。1979年实施新的《地面气象观测规范》(1979年版, 以下简称1979版)^[2]。

2.1.1 观测要素

1954版的《地面气象观测规范》^[3]将观测项目统一为能见度、云、各类天气现象、风向、风速、空气的温度和湿度、气压、降水、积雪、蒸发、日照时数、地温与地面状态以及其他由中国气象局规定的项目。1979版^[4]的《地面气象观测规范》将观测项目划分为全国统一开展的观测项目、省(区、市)气象局指定台站观测的项目和按省或地区或县气象局、站自行开展的观测项目三类。其中, 全国统一开展的观测项目与1954版相比, 将浅层地温、深层地温、电线积冰等调整为省(区、市)气象局指定台站观测的项目, 并增加了冻土、雪压、蒸发(E-601型)等观测项目为省(区、市)气象局指定台站观测的项目; 同时, 将系统云、指示云、地方性云(1954版均归为云观测)和天象(1954版归为天气现象观测)归为由“按省或地区或县气象局、站自行开展的观测项目”。《地面气象观测规范》1964版^[5]较1954版新增了冻土观测和积雪密度观测, 1980年开始将积雪密度观测改为雪压观测。

2.1.2 观测时间与时制

《地面气象观测规范》1954版^[3]将观测时间分为定时气候观测和绘图天气报告观测, 定时气候观测是所有台站均需进行的基本观测, 采用时区标准时, 在当地地方平均太阳时01、07、13、19时进行; 绘图天

气报告观测是台站根据职责范围开展的观测, 在北京时02、08、14、20时进行, 另外根据需要在北京时04、06、10、12、16、18时进行辅助绘图天气报告观测。1954年1月—1960年6月, 全国观测时制统一采用地方平均太阳时, 1960年7月至今, 全国观测时制基本统一采用北京时(日照、日射观测除外)。《地面气象观测规范》1979版^[4]将全国气象台站的观测任务统一为观测、发报和编制报表, 国家基本站每天昼夜守班, 每天02、08、14、20时4次定时观测; 国家一般站每天3次(08、14、20时)或4次定时观测, 白天守班或昼夜守班, 具体任务由省(区、市)气象局确定, 同时各台站经中国气象局指定, 按规定时次、种类和有关电码, 观测、编发定时(02、08、14、20时)绘图天气报告、补充(05、11、17、23时)定时绘图天气报告和其他种类气象报告。

2.1.3 观测程序

地面气象观测规范1954版^[3]规定, 定时气候观测于正点前第42分开始, 正点后第10分左右结束; 绘图天气报告观测在正点前第43~第58分, 正点前第58分至正点后第5分计算编报。地面气象观测规范1979版^[4]规定, 每次定时观测和补充定时观测, 正点前第30分左右巡视仪器, 第45~第60分依次观测云、能见度、天气现象、空气温度、空气湿度、降水、风、气压等, 地温、雪深、雪压、冻土、蒸发可安排在正点前第40分至正点后第10分之间进行, 其中气压要求尽可能接近正点(表2)。

表2 定时观测采用时制沿革
Table 2 The history of time system for observation

年份	1951—1953年			1954年1月—1960年6月	1960年7月至今
时制	120地方平均太阳时 (中原时区)	105地方平均太阳时 (陇蜀时区)	90地方平均太阳时 (新疆时区)	地方平均太阳时	北京时(120地方平均太阳时)
包括地区	黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古东部、北京、天津、河北、山西、山东、江苏、上海、安徽、浙江、江西、福建、台湾、河南、湖北、湖南、广东	内蒙古西部、甘肃、宁夏、陕西、广西、云南、贵州、四川、青海的97古西部、甘以东地区	新疆、西藏、青海的97、西藏、青海以西地区	全国	全国

注: (1)日照时数均用真太阳时。(2)120地方平均太阳时指120° E的真太阳时, 与现在北京时一致, 即UTC+8 h; 105、90地方平均太阳时分别指105° E、90° E的真太阳时, 为UTC+7 h、UTC+6 h。

2.1.4 观测仪器

在人工观测阶段, 能见度、云、天气现象、地面状态等观测项目主要采用人工目测, 风向、风速、空气的温度和湿度、气压、降水、积雪、蒸发、日照时数、地温等观测项目采用人工器测(表3)。气压采用气压表(计)观测。空气温度和湿度采用干湿球温度表观测, 其安装高度在1954年1月至1957年9月期间为曾规定为距地2.0 m(之前和现在均为1.5 m)。风向风速观测1953年之前采用风速器和风程表, 1954年后

开始使用维尔达风压器, 1967年国产电接风速记替代压板测风器, 从人工观测到仪器自动记录, 观测由室外转到室内记录。降水量主要采用雨量器进行人工观测, 地面气象观测规范1954版规定雨量器安装距地高度为2 m, 1961年安装高度开始变更为0.7 m。1977年翻斗式遥测雨量站(SL1)设计定型, 全国推广建设。地温观测在1953年前, 其安装深度为0、5、10、20、30、50、100、200、300 cm共9个层次, 1954年之后统一为0、5、10、15、20、40、80、160、320 cm共9个层次,

表3 人工观测气象仪器技术性能表

Table 3 Specification for manual meteorological observing instruments

仪器名称	测量范围	测量准确度	其他
干湿球温度表	-36~+46 °C -26~+51 °C -36~+41 °C		分度值: 0.2 °C
通风干湿表温度 计	-26~+46 °C -16~+51 °C		分度值: 0.2 °C
最高温度表	-36~+61 °C -16~+81 °C		分度值: 0.5 °C
最低温度表	-62~+31 °C -52~+41 °C		分度值: 0.5 °C
低温温度表	-60~+30 °C		分度值: 0.5 °C
双金属温度计	-35~+45 °C	1 °C	走时和误差: 24 h ± 5 min (日转) 168 h ± 30 min (周转)
毛发湿度表(计)	30%~100%	6%	分辨力: 1% 走时和误差: 24 h ± 5 min (日转) 168 h ± 30 min (周转)
虹吸雨量计	雨强: 0.05~4 mm/min	记录误差: 0.05 mm	走时和误差: 24 h ± 5 min
遥测雨量计	雨强: 0.1~4 mm/min	0.4 mm (10 mm以下) 4% (10 mm以上)	分辨力: 0.1 mm; 走时和误差: 24 h ± 5 min
EL型电接风向风速仪	2~40 m/s 16个方位	≤ (0.5+0.05V) m/s ≤1/2个方位	起动风速: 1.5 m/s 风向标不感应角: ≤向个方位
暗筒式日照计	记录时间: 5: 00—19: 00		
DEM6型轻便风向风速表	1~30 m/s 0~360°	0.4 m/s 104	起动风速: 0.8 m/s
地面温度表	-36~+81 °C		分度值: 0.5 °C
曲管地温表	-26~+61 °C		分度值: 0.5 °C
直管地温表	-21~+41 °C		分度值: 0.5 °C
动槽水银气压表	810~1070 hPa 520~890 hPa	0.4 hPa	
定槽水银气压表	810~1070hPa	0.5 hPa	
DYM3型空盒气压表	800~1060 hPa 500~1030 hPa	2.0 hPa 3.3 hPa	
DYJ1型气压计	960~1050 hPa	1.5 hPa	走时和误差: 24 h ± 5 min (日转) 168 h ± 30 min (周转)

并一直沿袭至今。1984年PC1500微型计算机进行编报, 1991年底全部配备, 业务质量明显提高。

2.2 人工观测与自动化观测并行阶段 (2000—2020年)

为了提升观测工作效率、观测准确性和精度, 中国气象局自20世纪90年代开始大力研发自动化观测装备, 用于替代人工观测。

从2000年开始, 全国率先在青海建设II型自动气象站; 2003年修改《地面气象观测规范》^[6], 确定云、能见度和天气现象等16类观测项目, 同时规定地面气象观测分为人工观测和自动观测两种方式, 其中人工观测又包括人工目测和人工器测, 地面气象观测进入人工观测和自动化观测并行阶段, 气温、空气湿度、风向风速、降水等要素同时开展自动气象站和人工双

轨观测。2008年, 中国气象局推动地面气象观测自动化工作。2009年, 新型自动气象站业务列装, 采用新技术的数据采集器可拓展新增的传感器, 升级数字化传感器, 逐步在业务中替代II型自动气象站(表4)。2011年, 称重式降水传感器、前散式能见度仪先后列装, 逐步在全国台站推广建设, 2015年全国完成建设。2012年4月1日, 地面气象观测站继续保留16类观测项目, 取消已经自动化观测的气压、气温、湿度、风向、风速、地温等人工观测任务。2014年, 能见度自动化观测。地面气象观测内容包括: 气温、气压、相对湿度、风向和风速、降水、能见度、蒸发、地面温度(含草温)等自动化观测要素, 还包括云、天气现象、日照、冻土深度、雪深、电线积冰等人工观测要素。已实现自动化观测的要素不再开展人工观测。国家基准气候站和国家基本气象站开展定时5次(08、11、14、17、20时)人工观测, 一般站开展定时3次(08、14、20时)人工观测, 夜间不守班。全国保留8个基准站长期开展全要素自动化与人工观测的对比观测业务, 用于不同观测方式的对比评估。2015降水现象传感器列装并进入业务。2016年, 中国气象局再次调整地面气象观测业务, 取消云状观测, 取消一般站云观测任务。2017年自动日照计列装并进入业务。2018年, 天气现象仪进入业务。

2.3 完全自动化观测阶段 (2020年至今)

根据气象事业发展的需要, 为进一步减轻基层观测站人员数量和观测任务, 补充县级气象局预报服务人力资源, 2018年中国气象局印发《全国地面气象观测自动化改革方案》, 将地面气象观测项目优化为39项, 包括气温、气压、湿度、风向、风速、降水、能见度、地面温度(含草温)、浅层地温、深层地温、大型蒸发、日照、辐射、总云量、云高、冻土、毛毛雨、雨、雪、雨夹雪、冰雹、大风、露、霜、雾、轻雾、霾、浮尘、扬沙、沙尘暴、结冰、雷暴等。省局自定观测项目包括雨淞、雾淞、电线积冰、积雪、雪深、最大冰雹的最大直径和平均重量7项。取消各级台站每天的人工定时观测(国家气候观象台、国家基准气候站、国家基本气象站每天08、11、14、17、20时, 国家气象观测站每天08、14、20时)、人工连续观测天

表4 II型和新型自动气象站技术指标(2009年启动推广建设)
Table 4 Specifications of AWS-II and next-generation AWS

测量要素	测量范围	分辨力	准确度
气温	-50~+50 °C	0.1 °C	0.2 °C
相对湿度	0~100%	1%	4% (≤80%) 8% (>80%)
气压	500~1100 hPa (任意200 hPa)	0.1 hPa	0.3 hPa
风向	0~360°	3°	5°
风速	0~60 m/s	0.1 m/s	(0.5+0.03 V) m/s (0.3+0.03 V) m/s (基准站)
降水	雨强 0~4 mm/min	0.1 mm	0.4 mm (≤10 mm) 4% (>10 mm)
日照	0~24 h	60 s	0.1 h
蒸发	0~100 mm	0.1 mm	1.5%
地温	-50~+80 °C	0.1 °C	0.5 °C, 0.3 °C (基准站) 新型自动气象站0.2 °C
总辐射	0~2000 W/m ²	1 W/m ²	5%
净辐射	-200~1400 W/m ²	1 W/m ²	15%~20%
直接辐射	0~2000 W/m ²	1 W/m ²	2%

气现象、日常守班、重要天气报编发、地面观测记录簿记录、值班日记填写、人工数据质量控制(含质控疑误信息反馈)等工作任务。

2018年11月,黑龙江、安徽、山东、湖南、广西、青海、新疆7省(区)开展自动化试点运行,2020年4月1日全国所有台站全面实施自动化业务运行(表5、表6)^[7]。

表5 地面自动化观测项目(2020年)
Table 5 Automatic observing elements of surface meteorological observation

地面气象观测站观测项目(31项)		国家级业务中心软件判识(8项)	取消观测项目(6项)
自动化观测(22项)	软件判识(6项)		
气温、气压、湿度、风向、风速、降水、能见度、地面温度(含草温)、浅层地温、深层地温、大型蒸发、日照、辐射、毛毛雨、雨、雪、雨夹雪、冰雹、大风、云高(自动化台站)、雪深(自动化台站)、冻土(自动化台站)	雾、轻雾、霾、浮尘、扬沙、沙尘暴	电线积冰、最大冰雹的最大直径和平均重量	消地面状态、低云量、雪压、小型蒸发、辐射作用层状态、大气浑浊度

3 气象探测环境保护要求的发展和完善

3.1 地面气象观测规范中探测环境保护技术要求的发展

地面气象观测场是获取各种地面气象观测资料的主要场所,气象探测环境直接影响地面气象资料的代表性、准确性、比较性和连续性。地面气象探测环境保护,是伴随着地面气象观测规范的诞生而诞生的,并且随着国家经济社会发展、气象事业进步和地面气象观测规范的修改,地面气象探测环境保护的技术要求经历了不断调整细化、标准不断提高和内容不断修改完善的过程^[8]。

表6 地面自动气象观测仪器技术性能(2020年)
Table 6 Specification for automatic meteorological observing instruments

测量要素	测量范围	分辨力	准确度
气温	-50~+50 °C	0.1 °C	±0.2 °C
相对湿度	0~100%	1%	±3% (≤80%) ±5% (>80%)
气压	500~1100 hPa (任意200 hPa)	0.1 hPa	±0.3 hPa
风向	0~360°	3°	±5°
风速	0~60 m/s (普通)	0.1 m/s	±(0.5+0.03V) m/s 注: V为实际风速,下同
降水量	翻斗雨量0~4 mm/min 称重雨量0~400 mm	0.1 mm	±0.4 mm (≤10 mm) ±4% (>10 mm)
日照	0~24 h	1 min	±0.1 h
蒸发量	0~100 mm	0.1 mm	±0.2 mm (≤10 mm) ±2% (>10 mm)
地面温度	-50~+80 °C	0.1 °C	±0.2 °C (≤50 °C) ±0.5 °C (>50 °C)
浅层地温	-40~+60 °C	0.1 °C	±0.3 °C
深层地温	-30~+40 °C	0.1 °C	±0.3 °C
草面温度	-50~+80 °C	0.1 °C	±0.2 °C (≤50 °C) ±0.5 °C (>50 °C)
总辐射	0~2000 W/m ²	1 W/m ²	±5%
净辐射	-200~1400 W/m ²	1 W/m ²	±20%
散射辐射	0~2000 W/m ²	1 W/m ²	±5%
反射辐射	0~2000 W/m ²	1 W/m ²	±5%
直接辐射	0~2000 W/m ²	1 W/m ²	±2%
降水现象	毛毛雨、雨、雪、雨夹雪、冰雹	---	≥90% (降水量>0.1 mm)
能见度	10~30000 m	1 m	±10% (≤1500 m) ±20% (>1500 m)
雪深	0~150 cm	0.1 cm	±1 cm
冻土	0~450 cm	1 cm	±2 cm

地面气象观测规范1954版^[3]首次提出了地面气象观测记录的代表性、准确性问题,对观测场探测环境保护要求规定为:一般观测场四周的障碍物(包括建筑物)与观测场边缘的距离,应为该障碍物高度的3~10倍,务使附近障碍物对观测场的影响减少到最低限度。1961年1月实行的《地面气象观测规范》^[5]提出了观测记录的代表性、准确性、比较性(即“三性”)问题,规定观测场四周的障碍物(包括建筑物)至观测场边缘的距离,至少是该障碍物的高度的三倍以上,使附近障碍物对观测场的影响减少到最低限度。

《地面气象观测规范》1979版^[4]对观测场探测环境保护要求更为明确和细化,首次将障碍物划分为孤立和成排两类,并要求:基本气象站、一般气象站观测场边缘与四周孤立障碍物的距离,至少是该障碍物高度的三倍以上;距离成排的障碍物,至少是该障碍物高度的十倍以上。同时,扩展了地面水体和高杆作物

的要求:观测场边缘距离较大水体(水库、湖泊、河海)的最高水位线,水平距离至少100 m以上,观测场四周10 m范围内不能种植高秆作物。

《国务院办公厅转发国家气象局<基准气候站观测环境保护规定>的通知》(国办发〔1985〕87号)中,在基本气象站、一般气象站的基础上增加了基准气候站的观测环境技术要求,明确规定基准气候站周围的建筑物、树木和其他遮挡物边缘与基准气候站边缘的距离,必须为遮挡物高度的十倍以远。同时扩展了对铁路、公路的要求:基准气候站周围的工程设施边缘与基准气候站边缘的距离,铁路路基必须为200 m以远(电气化铁路路基为100 m以远);公路路基必须为30 m以远;水库等大型水体(最高水位时)必须为100 m以远。同时,首次提出了城市和乡镇规划部门的要求、基准站的迁站审批和新旧站址对比观测的概念和要求。

1998年1月起执行的《各类气象探测环境的技术规定(试行)》(中气业发〔1997〕43号)规定,对观测资料准确性有影响的各种源体与基准气候站边缘(围墙)、基本站观测场围栏的距离增加到500 m以远。对基本站周边孤立障碍物至观测场围栏的距离提高到障碍物高度的8倍,同时规定基本站、一般站周边两孤立障碍物的最近横向距离不得小于30 m。对一般站观测场围栏与铁路路基必须为200 m以远(电气化铁路路基为100 m以远),公路路基必须为30 m以远,水库等大型水体(最高水位时)必须为50 m以远,对观测资料准确性有影响的各种源体与一般气象站边缘的距离必须为300 m以远。

至此,地面气象观测场的气象探测环境保护技术要求基本定型,《地面气象观测规范》2003版^[6]对地面气象观测场的选址给出了原则要求,并要求依法保护探测环境,但对探测环境的具体技术要求不再列出。

3.2 气象探测环境保护法律法规体系的建立健全

气象探测环境保护的规范化管理和法律法规体系也是随着国家和气象事业的发展不断完善。1994年施行的《中华人民共和国气象条例》明确了气象设施和气象探测环境应当受到保护、气象探测环境的保护措施和管理办法应当由国务院气象主管机构会同国务院有关主管部门制定、气象台站的站址及其设施的安置应当长期保持稳定、气象台站或设施迁移的条件和有关要求等。2000年1月1日起施行《中华人民共和国气象法》要求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,并对新建、扩建、改建建设工程应当避

免危害气象探测环境提出了具体要求。2004年10月,《气象探测环境和设施保护办法》(中国气象局令第7号)正式实施,进一步明确了各类气象观测站的气象探测环境保护要求,同时首次提出了各级气象主管机构应当将气象探测环境和设施保护的标准报送当地人民政府及其有关部门备案的要求^[9]。2012年12月,《气象设施和气象探测环境保护条例》正式出台,明确了各级政府及其部门保护气象探测环境和设施的责任和义务,对气象探测环境的保护要求做了部分调整,首次划定了国家基准气候站观测场周边2000 m、国家基本气象站观测场周边1000 m、国家一般气象站观测场周边800 m为探测环境保护范围,该范围内禁止实施不符合相关保护要求的危害探测环境的行为。2014年1月,《气象探测环境保护规范 地面气象观测站》(GB 31221—2014)开始实施,对地面气象探测环境保护的技术要求和测量方法作了更为细化的规定。2016年9月,《气象台站迁建行政许可管理办法》(中国气象局令第30号)正式发布施行,对各类气象台站的迁建行政许可行为作了进一步规范。

4 发展展望

观测业务的发展不仅要适应气象业务和研究的需要,而且要积极融入国民经济建设和社会发展的各个方面,在国家社会经济发展中发挥效益,服务公众生命安全、社会生产发展、人民生活富裕和国家生态良好。为此,需要不断升级完善国家地面气象观测站网。

4.1 优化完善已有观测站网

以消除监测盲区为目标,对单个台站观测要素的配置进行深入研究,在防汛救灾形势较为严峻、易发生降水地质灾害山区或地区(重点是青藏高原及边坡区域、东南部山地丘陵地区),以及偏远乡村,结合地方维护保障能力,重点建设小型化、轻维护自动气象站,完善省级观测站布局。在沿海台风登陆区域、长江和淮河等流域快速汇水区域、重点城市加密省级气象观测站。重点在西北、西南气候监测空白区,开展无人自动气候站建设,考虑融合多种数据源的观测资料,增强气象台站网布局的科学性,完善国家基准气候站布局。考虑观测资料所服务的对象,特别是对天气敏感的行业和部门,发展面向气象服务的气象站网布局设计方法和优化技术。围绕天气网观测、气候系统多圈层、空间气象以及专业气象观测网等多领域全链条开展综合立体布局设计,按照一站多用、一网多能、多网融合的理念,采取更新、升级、补充、新建等方式逐步完善现有地面气象站网。国家气候观象

台将立足“一站四平台”的功能定位，重点发展和完善气候系统多圈层观测能力。面向天气网和气候网定位，国家基准站、国家基本站重点进行智能化升级和观测要素补充。省级观测站重点面向中小尺度灾害性天气监测和专业气象观测网定位，发展智能化、小型化、低功耗、高可靠性的新型气象观测装备并根据专业专项服务需求，拓展应用气象观测要素。

4.2 拓展社会经济重点领域观测站网

在京津冀、长江经济带、长三角、粤港澳大湾区和海南自由贸易港等重大战略核心区，面向自由贸易区建设、智慧城市规划建设、工业基地升级改造、智慧社区升级改造等重点领域需求，利用智慧杆等建设微型地面气象观测站，形成泛在感知网。在“一带一路”沿线相关国家、南北极区域建设地面观测站。作为乡村公共基础设施建设组成部分，在乡村建设物联网气象观测站，接入相关防灾减灾系统，服务国家乡村振兴战略。

4.3 创新观测技术

发展云能天视频智能识别观测技术并开展业务升级改造，突破云量、云高、云状夜间视频智能识别技术，实现全天候观测。发展地面气象传感器核心技术，实现气压传感器国产化。发展下一代国家级智能地面气象观测站并开展升级换代，实现在线标校、融合质控、智能物联、健康自我管理等功能，增加要素配置。发展智能化、小型化、低功耗、高可靠性的新型地面气象观测装备并投入业务应用。发展生态观测技术装备，组织研发物候、通量、冰川、辐射、土壤水分等自动观测装备，加强试验测试，加快推广应用。

研制在深远海、高海拔、极寒、酷热、台风、强辐射、重污染等极端恶劣环境下工作的气象观测设备。采用新技术、新材料、新工艺，通过硬件结构设计与主被动防护措施相结合，增强观测设备的抗风、抗冰、耐盐雾等耐候性，提高观测数据的精度和可靠性。

5 结语

气象观测是气象业务、科研和服务的基础，能够

帮助人类对自然环境进行探索，观察海洋环境、陆地环境等相互作用以及自然灾害问题，地面气象观测站网的发展与天气预报、灾害性天气预警、气候预测预估的水平息息相关，是研究整体预报系统的关键基础以及前提。经过70年的发展，中国地面气象观测站网从1949年底的96个气象观测站，发展至2020年拥有7个国家大气本底站、24个国家气候观象台、212个国家基准气候站、633个国家基本气象站、近万个国家（常规）气象观测站。此外，全国省级气象观测站总数超过6万个，基本形成了覆盖全国的地面气象观测站网布局^[10]。

同时，全国地面气象观测实现自动化极大地提升了观测效率以及观测的准确性和精度。自2008年中国气象局推动地面气象观测自动化工作以来，经过十年的发展，在2020年4月1日全国所有台站全面实施自动化业务运行，实现了包括气温、气压、湿度、风向、风速、降水等39项地面气象观测项目的自动化运行。

按照中国气象局关于增强气象核心业务能力水平要求，未来需要着力提高中国气象综合监测的精密水平，在对现有站网布局评估的基础上，针对天气气候业务和专业气象服务对观测站网布局和气象要素观测精度的不同要求，开展国家气候观测网、国家天气观测网、区域气象观测网和专业气象观测网的布局设计研究，继续完善站点布局、观测要素设置、观测项目配置等优化方案，科学规划和完善中国综合气象观测站网。

参考文献

- [1] 温克刚. 中国气象史. 北京: 气象出版社, 2004.
- [2] 吴增祥. 中国近代气象台站. 北京: 气象出版社, 2007.
- [3] 中央气象局. 气象观测暂行规范 地面部分. 北京: 中央气象局, 1954.
- [4] 中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1979.
- [5] 中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 中央气象局, 1961.
- [6] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003.
- [7] 中国气象局. 地面气象自动观测规范 (第一版). 北京: 气象出版社, 2020.
- [8] 张建磊, 赵均壮, 王小兰. 国家地面气象观测站气象探测环境保护问题的探索. 黑龙江气象, 2014, 31(2): 28-30.
- [9] 中国气象局. 气象仪器和观测方法指南 (第六版). 北京: 气象出版社, 2005.
- [10] 中国气象局. 中国气象现代化60年. 北京: 气象出版社, 2009.