

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.10.001

地面自动气象观测的技术发展与展望*

行鸿彦^{1,2} 张金玉^{1,2} 徐伟^{1,2}

(1. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心 南京 210044;

2. 南京信息工程大学 江苏省气象探测与信息处理重点实验室 南京 210044)

摘要:根据地面自动气象观测技术的实际情况和国民经济发展的战略需求,介绍了我国地面气象观测技术及仪器的现状,阐述了国家对未来气象观测技术的发展要求,重点分析和研究了我国地面气象观测技术、观测仪器和观测方法的发展历程,指出了我国地面气象观测技术发展过程中存在的问题与不足,结合现代电子技术,信息与通信技术和物联网技术,展望了我国未来自动化、智能化气象观测技术,专用与通用气象观测技术,专业与大众气象观测技术的发展方向。

关键词:气象观测;自动与智能观测;专用与通用观测;专业与大众观测

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Development and prospect of automatic meteorological observation technology on the ground

Xing Hongyan^{1,2} Zhang Jinyu^{1,2} Xu Wei^{1,2}

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Detection and Information Processing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: According to the actual situation of ground meteorological observation technology and the strategic demand of national economic development, this paper introduces the current situation of meteorological observation technology and instrument in China, expounds the development requirements of the future meteorological observation technology for country, analyzes and studies the development history of meteorological observation technology, instruments and methods, indicates the technical problems and shortcomings in the development of terrestrial meteorological observation technology in China. Combining with the development of modern electronic, information and communication technology and Internet of Things technology, predicts the development trend of future automatic and intelligent meteorological observation technology, specific and general meteorological observation technology, professional and public weather observation technology.

Keywords: meteorological observation; automatic and intelligent observation; specific and general observation; professional and public observation

0 引言

目前在全球气候变暖的大背景下,厄尔尼诺和拉尼娜现象时有发生^[1],气候不确定性增强,经常发生气象灾害天气。我国是世界上气象灾害最为严重的国家之一,

如高温、干旱^[2]、暴风雨、龙卷风、雷电、寒潮等,由于我国幅员辽阔,地广人多,发生气象灾害,经常造成重大损失,严重影响着我国农业、工业、军事、国民经济发展和人民生活水平的提高,为此加强地面观测技术进步,实现自动观测和智能观测,对于防灾减灾是非常必要的,迫切需要的。

各类专业气象观测是天气预报的物质基础和数据保

收稿日期:2017-09 Received Date: 2017-09

* 基金项目:国家自然科学基金(61671248,41605121)、江苏省高校自然科学研究重大项目(15KJA460008)和江苏省“信息与通信工程”优势学科计划资助

障,随着国民经济发展,农业、交通、航空、航天、水利、环境、电信、电力以及能源等行业对气象预报准确度提出了越来越高的要求,迫使现代气象装备和观测技术快速进步,这对于国民经济发展具有重要意义。

在国防建设,“一带一路”战略任务实现,应对气候变化,为全球气象领域的观测需求提供服务,维护国家利益和安全,履行国际义务,进行综合气象观测系统参数与观测数据国际交换等方面,对气象观测数据的准确性、权威性、可靠性和可信度提出了越来越高的要求。因此迫切需要提高我国气象观测技术和应用水平,提高我国气象观测技术、观测方法和观测装备的自主研发能力,引领我国乃至全球气象观测技术和设备的发展方向,这就必须全面了解目前国内外气象观测总体的发展现状。

经过多年的发展,我国已初步建立了天基、空基和地基相结合,门类比较齐全和布局基本合理的综合气象观测系统。在地面观测网方面,到2016年6月30日,已建成212个基准气候站、633个基本气象站、1578个一般站,7个大气本底观测站,陆地国家级无人自动气象站464个,57335个区域自动气象站,28个大气成分观测站、29个沙尘暴观测站、376个酸雨观测站以及各种气候系统模型等,2423个国家级地面气象观测站已全部实现基本气象要素的观测自动化,并部分采取对气象要素网格化以避免空间抽样误差^[3]。智能化自动气象站已列入国家仪器科研专项开始研究。

国际上,以美国、欧盟等为代表的国家或区域组织建成了较为完善的地基、空基和天基立体观测系统,一些高水准的地面基准气候监测网相继建成,可在成员国之间形成资料共享;欧洲和加拿大、澳大利亚等国家和地区也建成或正在建设类似的气候基准网;其余一些发达国家也分别建立了以自动观测为主的农业、道路交通、电力、城市、风能、太阳能、环境等专业观测系统,观测仪器已向智能化方向发展。

根据国内外地面气象观测的现状,国家在最新的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》中指出,要突出创新驱动在气象事业发展中的战略地位,把创新驱动作为全面推进气象现代化的强大动力,既要加强气象科技创新,也要突出气象发展理念、方式、模式和制度创新,加快形成有利于气象事业科学发展的体制机制环境,要大力实施气象人才工程,全力提升气象人才素质。

本文从气象观测对社会需求和国家发展的重要意义出发,结合我国地面气象观测总体的发展现状与国家战略,简要阐述地面气象观测技术、仪器和方法的历史发展过程,探讨当前气象探测技术各个部分发展的不足,预测未来自动化与智能化气象观测技术、专用与通用气象观测技术和专业与大众气象观测技术的发展趋势。

1 地面气象观测发展过程

1.1 地面气象观测的定义

气象观测是指人们认识大气现象和气候变化的手段,是测量、观察和研究地球大气物理和化学特性以及大气现象的方法,是大气科学的一个分支。气象观测技术主要分为地面、高空、气象雷达、卫星、海洋、大气成分和专业气象观测等方面,本文重点介绍地面气象观测技术。地面气象观测技术是以地球表面为气象观测仪器的设置平台,对地表及近地层大气进行气象观测的技术。

1.2 地面气象观测技术发展过程

总体上,我国地面气象观测技术发展历史悠久,最早人们以地面为平台,研究对人们的日常生产、生活影响较大的地面气象要素的观测方法,并研制相应的仪器。自1998年以来开始实施地面气象观测技术的全面升级改造,使基本气象要素实现自动化观测,补充加密了站网密度,改善地面气象观测条件,使地面气象观测技术从定性感知的早期阶段发展到定量观测和组建大范围的气象观测网的快速发展时期,以此获得大量观测资料用于研究大气运动过程,分析气象要素的空间分布和随时间的变化,为研究大气和开展气象服务提供条件。随着技术的发展,大部分地面气象观测技术已经从人工观测发展到自动观测。

地面气象观测技术还可具体分为常规地面气象观测技术、地基遥感气象观测技术和移动气象观测技术。

1) 常规气象观测技术

常规气象观测技术主要可分为常规“六要素”观测技术、“云、能、天”观测技术和其他气象要素观测。

常规“六要素”观测技术主要测量气温、气压、降雨、湿度、风向和风速,以接触式测量技术为主。业务上气温观测以金属铂电阻测温为主,科学研究和部分专业气象测量领域主要应用热电偶测温 and 红外测温技术,一些特殊场合采用激光测温技术;气压测量方面,以振筒气压仪、石英振梁气压仪为代表的谐振式气压测量技术逐渐取代以水银气压表、空盒气压表为代表的力平衡式测量技术,另外采用单晶硅压阻效应的气压测量技术正在研究当中;测量空气湿度方面,热力学测湿和吸湿法测湿技术不断发展,近年来,以露点仪为代表的凝结法测湿技术取得很大进步;风速风向测量方面,业务上主要采用机械转动式风杯风向标方式,但其较易受环境影响,以研究超声测风技术解决传统机械测风技术问题,另外以皮托管为代表的压力测风技术,由于其对环境要求较高,因此无法用于业务测风上,只能在实验室作为标准仪器使用;测量降水方面,传统采用翻斗式测雨技术,但由于其受

风、溅水、蒸发影响较大,常采用防风圈和坑式安装以减少影响,固态降水较为难测,但目前采用的光电式降水测量技术将有望解决固态降水测量的问题。

云的观测技术主要测量云量、云状、云底高、云水(冰)含量、有效粒子半径、云粒子形状和云谱分布等,起初采用可见光成像测量技术,但由于该技术难以获得夜间的云量信息,气象能见度对测量结果影响较大,且在黄昏和拂晓时测量准确度难以保证,因此后期采用激光云高测量技术和红外成像测量技术,激光云高测量技术发展较为成熟,红外成像测量技术由于易受到水汽和气溶胶的影响,只适用近似为黑色的云,因此仍在研究当中。传统能见度测量技术主要分为透射式测量技术、散射式测量技术和摄像式测量技术等,透射式测量技术由于其在工程实现上可靠性较低,因此后期采用“双基线”透射式能见度测量技术以提高工作性能,散射式测量技术已经应用到业务观测中,在此基础上发展双光路的前向散射式测量技术可有效克服光学污染和光源老化等问题,也得到一定范围的应用,摄像式能见度测量技术主要通过数字摄像机模拟人眼,比传统的透射式、散射式能见度仪更具备客观性,但由于无法采用不发光的目標物进行摄像法测量,因此仍需不断完善。

天气现象观测技术主要利用多种常规观测技术对降水、视程障碍和雷电等部分天气现象进行自动观测,1969年开始研究散射式降水现象测量技术,可测降水强度和能见度,但对毛毛雨和混合型降水的测量精度和识别度较低,20世纪90年代成像式降水现象测量技术开始发展,可直接测量降水粒子的大小和速度,区分降水类型,但易受风的影响,在强降雨条件下测量精度较低,后期研究出谐振技术,可对冻雨等危险天气进行定量监测,但长期工作易被沙尘附着,会使测量出现误差;对于视程障碍现象,采用成像技术对水、冰、泥、雪和霜等不同状况进行观测进而识别地面凝结现象;对于雷电现象的探测技术,七八十年代主要采用声、光和电磁场等技术,后期采用基于干涉法的VHF雷电定位技术探测云闪,提高定位精度,探测范围一般在200 km以内,多站定位目前采用三维定位技术,且已广泛应用于各个行业中。

其他气象要素观测技术主要是对蒸发、辐射和日照时数等要素的观测,对于蒸发的测量,主要采用以液位传感器和超声波蒸发计为代表的自动水位测量技术;辐射的测量目前主要分为两种技术,一种是采用相机对特定天空进行图像拍摄的成像固定型天空背景探测仪器,另一种是采用一个或多个光强接收装置对天空进行扫描获得天空背景辐射分布的非成像扫描型全天空背景测量仪器^[4];传统日照时数观测主要是在日照纸上涂抹感光剂,记录太阳烧灼焦距技术和通过测定太阳辐射度推算出日照时数^[5],发展到到目前直接采用光电探测技术,传统技

术受天气影响较大,光电探测技术能够满足目前日照观测准确性和自动化的要求^[6]。

2) 地基遥感气象观测技术

地基遥感气象观测技术根据遥感器的工作方式可分为主动式遥感和被动式遥感,主动式遥感可称为雷达,被动式遥感可分为基于自然辐射源的被动遥感技术和基于人工辐射源的被动遥感技术。

对于天气雷达的观测,传统上主要有相控阵、合成孔径和脉冲多普勒3种技术^[7],目前结合协同自适应观测技术发展了网络化天气雷达^[8]。

基于自然辐射源的被动遥感技术发展历史悠久,从古到今按照测量波长的范围可以分为宽带辐射测量技术、多通道辐射测量技术和辐射光谱测量技术,按照辐射测量扫描的工作方式可分为天顶垂直测量技术、全天空扫描测量技术以及太阳跟踪测量技术。基于人工辐射源的被动遥感技术最具典型代表的是GNSS-MET测量技术,该技术始于1964年,发展到目前能在各种气象条件下监测地球大气,其长期稳定性、分辨率、覆盖范围和精度都是前所未有的,可进行反演,但不可得到该高度以下大气的信息。

3) 移动气象观测技术

移动气象观测技术主要应用在移动沿途或特定地点的气象观测,可分为专用移动气象观测技术和通用交通工具气象观测技术。

专用移动气象观测技术主要用于突发性事件的现场气象监测,传统可分为便携式气象观测技术和专用车载气象观测技术,目前以智能机器人为平台的移动气象探测技术正在兴起,该技术可适用于一些危险或人员车辆无法到达的区域进行气象勘测。

通用交通工具气象观测技术主要是利用交通工具加装气象和环境监测传感器,实现流动观测的气象观测技术,这是近年新兴起的一种气象观测技术。

1.3 地面气象观测仪器发展过程

地面气象观测技术的发展主要取决于地面气象观测仪器的发展,而气象观测仪器的发展主要是气象观测传感器和自动气象观测设备的发展。

1) 地面气象传感器

地面气象传感器主要分为温度、湿度、降水、风向风速、气压、蒸发、辐射和日照等。对于温度传感器而言,主要可分为流动温度传感器、金属电阻温度传感器、半导体电阻温度传感器、半导体二极管和热偶温度传感器^[9]。早期气象勘测主要采用玻璃液体温度表、双金属温度计、金属电阻温度表等实现人工读数或半自动日记测量,随着电子技术发展,半导体温度表、热电偶温度计、晶体温度计和红外地表温度计均可实现温度的自动化测量,但主要用于业务采集的是铂电阻温度传感器,由于其应用

温度范围广、稳定性好、精度高等特点,是中低温区(-200~650℃)最常用的一种温度检测器,国内目前使用的 PT100 铂电阻温度传感器如图 1 所示。



图 1 国内 PT100 温度传感器

Fig. 1 Domestic PT100 temperature sensor

对于湿度的测量,早期主要采用干湿表、毛发湿度表等实现人工读数或半自动自记测量,随后湿敏电容传感器和湿敏电阻传感器广泛应用于自动化测量,还用于测量霜、露^[10],由于其相应迅速,测量大气湿度廓线准确度较高,因此也广泛应用于探空仪中,目前国内使用的湿度传感器如图 2 所示。



图 2 国内湿度传感器

Fig. 2 Domestic humidity sensor

地面测风仪器可分为机械旋转式、风压式、散热式和超声波式^[11],传统的机械式风杯风向标风速风向传感器技术成熟,成本较低,但由于其长时间工作会发生机械磨损,因此人工维护成本较高,后期为克服这一缺点,设计出超声式风速风向传感器,但该传感器需要采用多个超声探头,因此成本较高^[12],目前业务中广泛应用的是机械旋转式测风传感器,新型的测风传感器主要有超声波测风仪、散热式风速、MEMS 热式风速风向传感器等,机械式风传感器如图 3 所示。



图 3 国内机械式风传感器

Fig. 3 Domestic mechanical wind sensor

对于降雨测量,传统降水仪器包括雨量器、翻斗式雨量计、虹吸式雨量计、称重式雨量计、光学雨量计、撞击式雨滴谱仪、光学式雨滴谱仪等,目前气象业务中广泛使用

的是翻斗式雨量计,可测降雨量和降雨强度,由于称重式雨量计^[13-14]具备固态降水观测能力,测量精度和分辨率均优于翻斗式雨量计,因此目前称重式雨量正进行业务化推广。称重式降水传感器如图 4 所示。



图 4 称重式雨量计

Fig. 4 Weighing rain gauge

气压测量方面,传统采用的是振筒式气压传感器,硅膜盒电容式气压传感器是新型气压感应元件,但目前仍采用芬兰 VAISALA 公司的气压传感器,国产气压传感器的使用仍需进一步研究。国内使用的气压传感器如图 5 所示。



图 5 国内气压传感器

Fig. 5 Domestic air pressure sensor

蒸发传感器主要是采集水分经蒸发而散布到空气中的量,我国气象站传统测定水面(含结冰时)主要使用的仪器有小型蒸发器和 E601B 型蒸发器,2003 年起 AG1-1 型超声波蒸发传感器在基准气候站正式投入使用,用于测量非结冰期的水面蒸发量,该传感器精确度高、稳定性好、故障率低,但恶劣环境下易出现野值^[15],因此目前业务上主要采用高精度超声波探测,内置温度补偿以提高精度,如图 6 所示。



图 6 国内超声蒸发传感器

Fig. 6 Domestic ultrasonic evaporation sensor

根据不同辐射源和辐射波段辐射数据的需求,目前,用于气象辐射测量的仪器主要包括绝对直接辐射表、直接辐射表、光谱直接辐射表、总辐射表、散射辐射表、分光总辐射表、净全辐射表、紫外辐射表、光合有效辐射表、地球/大气辐射表。测量总辐射,国内主要采用两个球形玻璃罩,以减少测量误差,精度较高,如图7所示。



图7 国内总辐射表
Fig. 7 Domestic total radiation table

传统用来测量日照的仪器主要是暗筒式日照计和聚焦是日照计,2001年以来,采用直接辐射表进行同步观测^[5],但由于传统日照计自动化程度低,测量结果主观性强,精度较低,资料的可比性和一致性难以保证^[16],经过技术的发展,研制了一些新型的日照计,主要有光热型日照计^[17]、光电型日照计^[6]等,目前国内日照计自带嵌入软件计算日照时数,并具备状态监测、自动加热以及温度补偿等功能,如图8所示。



图8 国内数字日照传感器
Fig. 8 Domestic digital sunshine sensor

候)站示例组成结构,主要采用主从采集结构,图10所示为目前综合气象观测系统。

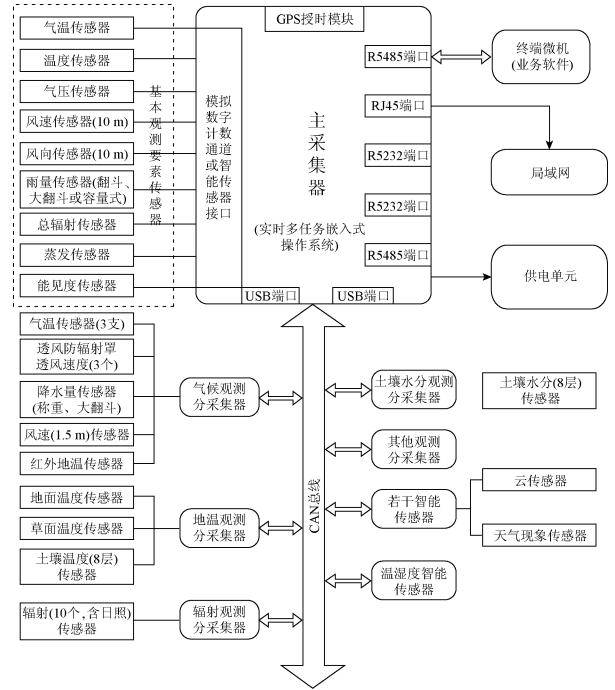


图9 新型总线式自动气象站结构
Fig. 9 The structure of new bus-type automatic weather station



图10 综合气象观测系统
Fig. 10 Integrated meteorological observation system

第1代自动气象站始建于1950年末,结构简单,准确度低。1960年代,由于半导体元件和脉冲数字电路的发展,使得观测项目、精度、控制能力和可靠性都有了显著提高。1970年代,研制出晶体管式自动气象站,完成初步试验考核。1980年代随着单片机技术的快速发展和应用,自动站性能大幅提高。1990年代后期,我国第一批自动气象站完成设计定型并投入业务应用。近几年,我国自动气象站发展愈加成熟,逐渐向无人化、智能化发展。

1.4 地面气象观测方法发展过程

地面气象观测方法的发展是地面气象观测技术和仪

2) 自动气象观测设备

自动气象观测设备主要是指自动气象站。自动气象站是一种能自动收集、处理、存储和传输气象信息的装置,主要测量温度、湿度、雨量、气压、风向、风速和地温等要素^[18],其作为一个自动化测量系统,由硬件和软件两部分组成^[19],硬件主要由传感器、采集器、供电系统、通信设备及外围设备(计算机、打印机)等组成,软件包含采集软件(在采集器内运行)和业务软件(在配接的用户微机终端上运行),主要功能包括自动观测和传输资料。图9所示为目前中国气象局制定的新型自动气象(气

器发展的强有力支撑。常规“六要素”测量方法通常采用接触式,即将传感器置于被测量物质中,如铂电阻气温传感器则是利用金属铂在温度变化时自身的阻值会发展变化的特性来测量温度值,硅压阻气压传感器是利用压电材料本身具有压电效应实现对压力的测量。“云、能、天”的观测长期以来主要依靠人工目测的方法,由于测量这些项目较为复杂,人工观测可靠性低,因此近年来相关自动观测技术不断发展。对于其他气象要素观测,蒸发测量主要采用超声波测距原理,连续观测,并结合温度补偿的方法提高精度;测量辐射增热的方法主要是直接测温法和补偿法;测量日照传统采用烧痕法、对比法、扫描法、直接测量法和总辐射测量法,目前比较流行的方式是对比法,通过对辐射传感器测量到的辐射进行对比鉴别。

对于地基遥感气象观测技术而言,由于无法直接测量,大多采用反演法,如可利用辐射源的发射、散射等特性,结合传感器对这些特性的响应,开展温湿廓线、大气成分、云和降水等信息的反演。

2 地面气象观测技术发展不足

目前,随着技术的不断更新和科技的不断进步,大部分地面气象观测项目已经实现了自动观测,有些观测项目如云、天气现象、日照时数、蒸发等气象要素尚未能在业务中完全实现自动观测,全温域、全量程的高精度测湿技术、降水尤其是固态降水的准确测量技术等仍是常规地面气象观测的难题,与此同时,微观气象参数的研究还只停留在科学研究领域,未达到业务化要求。而影响地面气象观测技术发展的主要是气象观测仪器的发展。

目前大部分气象传感器自身不能直接将采集的电信号直接转换为气象要素,需要通过专用的采集器进行转换,因此使得其模块化程度不高、可更换性差、计量检定困难,并且我国采用的关键传感器元件部分来自国外,如湿度测量的湿敏电容大部分依赖进口,国内自主研发的产品与国外比较而言相对落后一些,在精度、稳定性等方面仍有很大的发展空间。另外一些通用的传感器发展还不完善,如环境湿度的测量,环境大气气压的测量等,湿敏电容和湿敏电阻传感器是测湿的主流仪器,部分部门也采用铂电阻通风干湿表进行湿度的测量,但其不能在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下使用,因此为了扩大适用温度范围,仍需进一步改善,并且目前设计的露点仪虽然精度很高,但由于其成本较大,因此只能使用在实验室中,用于野外观测业务的露点仪还需长期研究;对于压力传感器,目前所能测得的气压主要是本站气压,大气环境气压的测定仍在研究当中,各个不同传感器的特征参数不一样,所以气压传感器不可互换,若出现故障,需要更换,必须修改系统内气压传感器的特征参数,兼容性较差,新型的硅阻式压力传感

器由于其受环境影响较大,直接对其加热并控制工作温度可达到较高的精度,但集成度降低,并且该方式的有效性与原始芯片的质量有关^[20],适用性较差,硅谐振技术成本较高,要广泛应用于业务测量仍需进一步研究。其余传感器,如测量降水的雨滴谱仪大多只能测量降水粒子的尺度谱分布,测量其他要素的能力不足;蒸发观测更多的是对蒸发能力的测量,而不能实际代表一个地方的蒸发量,并且降水和蒸发的影响需要人工加水或者减水,会给观测带来很大的影响;超声波测风传感器由于没有转动部件,大大提高抗风和冰雹等自然灾害的能力,但其测风精度不够;随着对气象辐射数据质量要求的逐渐增加,气象辐射测量仪器的性能和配置也要逐渐提高。

气象观测站点易受探测环境变化的影响,产生的气候资料序列不均一,给气候变化研究和分析带来严重影响,并且部分气象观测站所处地域较偏远,一旦发生故障,信息传递无针对性,人工维修不便。

阻碍地面气象观测仪器发展很大方面在于我国材料和加工工艺等关键领域发展不完善,往往一个产品设计出来,由于材料和加工水平达不到要求导致产品达不到设计指标,限制我国地面气象观测技术的发展。

3 地面气象观测技术的发展与展望

我国地面气象观测技术总体上朝着基于互联网的遥感遥测、多功能、小型化、模块化、网格化、自组网、自供电、自动化、高准确度、高时空分辨率、精细化方向发展。根据不同的气象观测技术发展方向也有所不同。

3.1 自动与智能地面气象观测技术

地面气象观测自动化技术的发展主要是气象观测传感器的发展,目前部分已实现自动化观测,但如日照时数、云和天气现象等传感器还未满足自动化观测的需要,因此全面向自动化观测发展是主要趋势。对于部分已实现自动化观测的传感器而言,采用 MEMS 技术开发高精度、小型化的智能传感器将是未来的主要发展方向。温度传感器中提出的阵列式温度传感器^[21]可作为发展趋势,以提高观测精度;在湿度传感器中,低温低湿、高温高湿条件下的湿度测量仍是发展热点之一;气压传感器中的硅谐振技术向着规模化方向发展;风向风速测量中,固态测风技术我国已逐步用于军事发展,其应用前景广阔,可进一步研究;对于降水传感器而言,由于其实际测量中准确度有限,因此可以从减小误差、提高降水量和降水强度的测量准确度入手,充分利用光学技术等非接触式方法,研发新原理新方法的降水微观参数测量仪器;蒸汽测量可利用水平衡法、能量平衡法等建立测量实际蒸散率和潜在蒸散率的关系,进而得出实际的蒸散率;气象辐射测量中分光谱和精细化复合测量仪器也是未来的一个

方向。随着传感器技术、微电子技术、通信技术和计算机信息技术的发展,智能化传感器技术结合物联网、互联网应用、气象采集和电子信息等技术为一体,将提升气象观测的模块化、集成化和网络化,例如未来的传感器可集成到一粒米的大小,将其播撒到各个无人区域采集气象信息,每个传感器都可采集一定范围的信息,由于分布较密,因此采集精度与准确性较高,若部分传感器有损坏,也不会影响整体的采集精度。

地面气象观测技术智能化不仅包含气象观测自动化技术,还结合物联网技术、现代电子技术、通信技术 etc 向着自组网、自适应、自我管理、自供电的无人化发展。自组网可自动连接成网络环境,如传感器与传感器之间可连接成一个网络,若部分传感器发生故障,其余传感器仍可重新组网,传感器上集成移动数据收集器(MDC)^[22]和北斗模块,将检测到的数据传输给总站,总站结合地理信息系统可监测到传感器的覆盖率。由于当前气象站大多在野外,面临的环境不同,有些产品的环境适用较窄,因此自适应系统就是能够提高对环境的适用性,可在不同的环境下工作。为解决野外维修不便等问题,自我管理系统可结合当前流行的大数据,实时循环收集各个模块正常工作的数据状态打包反馈到总站中,若出现故障,则第一时间向总站发出报警信号。由于在野外工作,实现长期电源供电也不现实,因此可以结合高效储能平板集热^[23]供电,晴天收集热能,雨天或阴天将热能转化为电能,以达到自供电的要求。

3.2 专用和通用地面气象观测技术

专用地面气象观测技术主要是专用于水利、农业、交通、能源等气象观测技术。例如农业气象观测技术^[24],主要观测农业生物的生长发育动态,农业生长过程及其气象、土壤、生物环境所进行观测的技术,未来可对作物生长情况实现实时监测,比如监测小麦的生长,通过各个传感器检测到小麦当前生长的土壤水分、温度、光照辐射等参数,将数据传输给控制平台,提前在控制平台输入适合小麦生长的各个参数区间与检测到的数据对比,若某个参数不在正常范围内可报警,或者可在试验田中采用网格化方法精准监控出生长不良的作物。在交通气象观测技术中,气象交通信息系统可根据不同地段、不同保障需求合理布局气象传感器,联合互联网技术和一些非专业气象观测数据给交通部门和公众提供实时有效的交通气象信息。

通用地面气象观测技术主要是通用交通运输工具气象观测技术,利用民间的交通运输工具,加装气象和环境监测传感器,实现流动观测,并且大多在移动平台及特殊环境中使用。未来可发展在线检定,能在线监控仪器状态并进行检定和校准,由于时间短,检定方便,可避免经常性检定导致影响仪器正常使用,受振动、晃动及环境因

素影响较大等问题,例如采用智能机器人负载气象和环境监测传感器,利用机器人视觉伺服控制对环境进行非接触式测量^[25]。

3.3 专业和大众地面气象观测技术

专业地面气象观测的特点是观测站少、密度较小、观测代表性较高。因此,专业地面气象观测未来发展的趋势更主要的是保证观测的准确度和在恶劣环境中观测的稳定性。

大众地面气象观测技术特点主要是小型化、便携化、移动化,例如目前的手持气象站、移动气象站等。为了保证大众实时了解小范围区域的气象情况,未来可在共享单车、城市公交、出租车或私家车等交通设备上设置微型气象站,监测温度、湿度等几个常规的要素,由于各个城市交通分布较广,可测的范围也更大,另外也可在汽车雨刷上放置传感器,根据汽车雨刷一定时间内摆动的强度和频率来判断当前各个区域中雨量的大小,或者在雨伞上集成传感器,通过雨打到伞上的力度和密度,可判断各个区域的降雨强度,最后再通过地理信息系统将各个地区通过以上不同的方式获得的数据传到总站,以此增加观测预报的准确性。

4 结 论

地面气象观测技术对灾害预测、人民生活、社会进步和国家发展均有重大意义,目前我国地面气象观测技术大部分已经从传统的人工观测发展到自动观测,但部分观测如云、天气现象、日照和蒸发等仍处于人工观测的状态。地面气象观测技术的发展取决于地面气象观测仪器的发展,传统低精度传感器向高精度传感器方向发展,部分传感器已实现自动化检测,但如湿度传感器和气压传感器等发展较为迟缓,气象观测设备站从人工化向自动化方向发展,目前自动气象站发展较为完善,但大部分区域自动气象站地处偏远,维修与保障不便。地面气象观测仪器的发展必须要有地面气象观测方法的支撑,从传统的接触式方法发展到目前的对比法和反演法。根据上述意义、发展历程、现状和不足可知,自动化地面气象观测技术应向着模块化、集成化和网络化发展,智能化地面气象观测技术应向着自组网、自适应、自动管理的无人化方向发展,专用地面气象观测技术应根据不同的领域向着不同方向发展,通用地面气象观测技术应向着高稳定性方向发展,专业地面气象观测技术应向着高精度专业化方向发展,大众地面气象观测技术应向着普遍化、便携化方向发展。

参考文献

- [1] GUHA A, BANIK T, ROY R, et al. The effect of EI

- Nino and La Nina on lighting activity; its relation with meteorological and cloud microphysical parameters [J]. *Natural Hazards*, 2017, 85(1): 403-424.
- [2] WANG L, CHEN W, ZHOU W. Assessment of future drought in southwest China based on CIMP5 multimodel projections [J]. *Advanced in atmospheric sciences*, 2014, 31(5): 1035-1050.
- [3] 廖荣伟, 曹丽娟, 张冬斌, 等. 中国地面气温和降水网格化数据精度比较 [J]. *气象科技*, 2017, 45(2): 364-374.
- LIAO R W, CAO L J, ZHANG D B, et al. Validation of gridded precipitation and temperature data over China [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2017, 45(2): 364-374.
- [4] 孙凤莹, 梅海平, 武鹏飞, 等. 地基天空背景辐射测量技术及其应用研究现状与展望 [J]. *大气与环境光学学报*, 2017, 12(2): 81-92.
- SUN F H, MEI H P, WU P F, et al. Current Situation and prospect of ground-based background sky radiance measurement technique and its applications [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2017, 12(2): 81-92.
- [5] 刘娜, 任芝花, 余予. 直接辐射表与日照计观测日照时数的差异评估 [J]. *气象*, 2015, 41(1): 68-75.
- LIU N, REN ZH H, YU Y. Comparative evaluation of sunshine duration observations by pyrhelimeter and operational sunshine recorders [J]. *Meteorological monthly*, 2015, 41(1): 68-75.
- [6] 吕文华, 崇伟, 丁蕾. 光电式自动日照计性能对比实验分析 [J]. *电子测量与仪器学报*, 2015, 29(6): 928-933.
- LV W H, CHONG W, DING L. Test and analysis on performance comparison of photoelectric automatic sunshine duration recorder [J]. *Journal of Electronics Measurement and Instrumentation*, 2015, 29(6): 928-933.
- [7] 郭建明, 谭怀英. 雷达技术发展综述及第5代雷达初探 [J]. *现代雷达*, 2012, 34(2): 1-7.
- GUO J M, TAN H Y. Overview of radar technology development and initial study on the 5th generation radar [J]. *Modern Radar*, 2012, 34(2): 1-7.
- [8] 李思腾, 陈洪滨, 马舒庆, 等. 网络化天气雷达协同自适应观测技术的实现 [J]. *气象科技*, 2016, 44(4): 517-526.
- LI S T, CHEN H B, MA SH Q, et al. Implementation of cooperative adaptive observation technology of networked weather radar [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2016, 44(4): 517-526.
- [9] 吴昊, 张华标, 许令顺. 低温传感器的应用进展 [J]. *低温与超导*, 2014, 41(12): 10-14.
- WU H, ZHANG H B, XU L SH. An overview of application of cryogenic temperature sensors [J]. *Cryogenics*, 2014, 41(12): 10-14.
- [10] 蒲晓虎, 马舒庆, 梁丽, 等. 露、霜自动化观测的研究 [J]. *气象*, 2015, 41(9): 1152-1158.
- PU X H, MA SH Q, LIANG L, et al. Research on dew and frost automatic observation [J]. *Meteorology*, 2015, 41(9): 1152-1158.
- [11] 王晓蕾, 郭俊, 陈晓颖, 等. 两种测风仪的动态对比试验及分析 [J]. *解放军理工大学学报: 自然科学版*, 2014, 15(3): 283-289.
- WANG X L, GUO J, CHEN X Y, et al. Introduction and analysis of dynamic comparison test between two wind sensors [J]. *Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science*, 2014, 15(3): 283-289.
- [12] 陈蓓. 高性能 MEMS 风速风向传感器环境效应研究 [D]. 南京: 东南大学, 2016.
- CHEN B. Study on the ambient effects on the high-performance MEMS wind sensor [D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [13] 曾杨, 莫月琴, 王志成, 等. 几种雨量观测方式对比试验分析 [J]. *气象科技*, 2017, 45(2): 228-232.
- ZENG Y, MO Y Q, WANG ZH CH, et al. Comparative experiment analysis of several rainfall observation methods [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2017, 45(2): 228-232.
- [14] 李林, 范雪波, 孙雪琪, 等. DSC2 型称重式降水传感器测雨性能的分析 [J]. *气象*, 2016, 42(8): 1013-1019.
- LI L, FAN X B, SUN X Q, et al. Analysis on the performance of DSC2 weighing gauge in precipitation observation [J]. *Meteorological Monthly*, 2016, 42(8): 1013-1019.
- [15] 宋树礼, 王柏林. 蒸发传感器工作原理及性能比较 [J]. *气象科技*, 2010, 38(1): 111-113.
- SONG SH L, WANG B L. Principle and performance comparison of different evaporation sensors [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2010, 38(1): 111-113.
- [16] ZHAO SH J, LIU X CH, GAO T CH. Current situation and prospect analysis for sunshine recorder [J]. *Meteorological, Hydrological and Marine Instruments*, 2011, 28(2): 96-99.
- [17] 洪昌伟, 高太长, 赵世军, 等. 光热型电测日照计的研制及初步实现 [J]. *大气与环境光学学报*, 2013, 8(3): 220-225.
- HONG CH W, GAO T CH, ZHAO SH J, et al. Test and

- analysis on performance comparison of photoelectric automaticsunshine duration recorder [J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2013, 8 (3): 220-225.
- [18] 胡新华,李嫦,刘东育,等. 智能气象站与自动气象站的观测数据对比分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2016(1):57-60.
HU X H, LI CH, LIU D Y, et al. Comparative analysis on observation data between intelligent and automatic weather station [J]. Meteorology, Hydrology and Marine Instruments, 2016 (1): 57-60.
- [19] 周青,梁海河,李雁,等. 自动气象站故障分析排除方法[J]. 气象科技,2012,40(4):567-570.
ZHOU Q, LIANG H H, LI Y, et al. Failure analysis and troubleshooting methods of automatic weather station [J]. Meteorological Science and Technology, 2012,40 (4): 567-570.
- [20] 周晓宇,张萌颖,杜利东,等. 高精度硅压阻式气压传感器系统设计[J]. 传感器与微系统,2017,36(4): 97-99.
ZHOU X Y, ZHANG M Y, DU L D, et al. Design of high-precision silicon piezoresistive gas pressure sensor system [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2017,36 (4): 97-99.
- [21] 杨杰,刘清愔,戴伟,等. 用于气象观测的阵列式温度传感器流体动力学分析与实验研究[J]. 物理学报, 2016,65(9):1-10.
YANG J, LIU Q J, DAI W, et al. Fluid dynamic analysis and experimental study of a temperature sensors array used in meteorological observation [J]. Acta Physica Sinica, 2016,65 (9): 1-10.
- [22] 张希伟,戴海鹏,徐力杰,等. 无线传感器网络中移动协助的数据收集策略[J]. 软件学报,2013,24(2): 198-214.
ZHANG X W, DAI H P, XU L J, et al. Mobility-assisted data gathering strategies in WSNs[J]. Journal of Software, 2013, 24 (2): 198-214.
- [23] 彭冬华,陈振乾,施明恒. 太阳平板集热/储能相变传热的数值模拟[J]. 太阳能学报,2009,30(7): 911-915.
PENG D H, CHEN ZH Q, SHI M H. Numerical simulation on phase change heat transfer of solar flat-plate collector with energy storage[J]. Acta Energlae Solaris Sinica, 2009,30 (7): 911-915.
- [24] 余卫东,杨光仙,张志红. 我国农业自动化观测现状与展望[J]. 气象与环境科学,2013,36(2):66-70.
YU W D, YANG G X, ZHANG ZH H. Present situation and prospect of the agrometeorological automation observation in China [J]. Meteorology and Environmental Science, 2013,36 (2): 66-70.
- [25] 贾丙西,刘山,张凯祥,等. 机器人视觉伺服研究进展:视觉系统与控制策略[J]. 自动化学报,2015,41(5): 861-872.
JIA B X, LIU SH, ZHANG K X, et al. Survey on robot visual servo control: Vision system and control strategies[J]. Acta Automatica Sinica, 2015,41 (5): 861-872.

作者简介



行鸿彦,2003年于西安交通大学获得博士学位,现为南京信息工程大学教授、博士生导师,主要研究方向为微弱信号检测与处理、生物医学信号采集与处理、智能化电子测量技术与仪器。

E-mail: xinghy@nuist.edu.cn

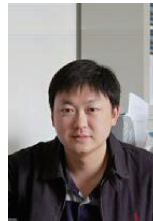
Xing Hongyan received Ph. D. from Xi'an Jiaotong University in 2003. Now he is a professor and supervisor for Ph. D. student in Nanjing University of Information Science & Technology. His main research fields include weak signal detection, bio-medical signal collection and processing, and design of intelligent electronic measurement technology and instrument.



张金玉,现为南京信息工程大学硕士研究生,主要研究方向为智能气象站,信号处理,多点分布式温度采集监测系统等。

E-mail: 1090560798@qq.com

Zhang Jinyu is a M. Sc. candidate in Nanjing University of Information Science & Technology. Her main research fields include intelligent meteorological station, signal processing, and monitoring system for multi-point distributed temperature acquisition.



徐伟,2007年于南京信息工程大学获得硕士学位,博士研究生,现为南京信息工程大学高级实验师,主要研究方向为信号处理与气象仪器仪表研发等。

E-mail: xw@nuist.edu.cn

Xu Wei received M. Sc. from Nanjing University of Information Science & Technology in 2007, and now he is a Ph. D. candidate and senior engineer in Nanjing University of Information Science & Technology. His main research fields include signal processing and research of meteorological instruments.