

# 从2022年世界气象科技博览会看气象装备发展

■ 王柏林 白海

从2022世界气象科技博览会可以看出气象装备技术有以下四个发展趋势：一是新材料、新技术引领气象装备技术发展；二是向智能化、小型化、信息化、网络化方向发展；三是向具体行业应用需求方向发展；四是向深挖数据潜能方向发展。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.01.005

2022年世界气象科技博览会 (Meteorological Technology World Expo, MTWE) 于10月11—13日在法国巴黎开幕<sup>①</sup>，27个国家145家展商，30多场新产品发布与技术交流，超4500名专业观众来自100多个国家。同期还举办了世界气象组织气象与环境仪器及观测方法技术会议 (TECO-2022) 和卫星通信论坛 (Satcom 2022)，颁发了2020年和2022年世界气象组织“维拉·维萨拉教授奖”<sup>②</sup>，表彰气象仪器和观测方法优秀研究论文、在发展中国家研发和推广气象仪器和观测方法的科研人员。国家卫星气象中心风云四号微波星地面系统总设计师郭强等撰写的论文《全球首台静止轨道红外高光谱观测的谱标定：方法和初步评估》，代表中国首获优秀论文奖<sup>③</sup>。

虽然气候快速变化的背景令人担忧，但近年来技术创新和进步显著，全球知名行业市场研究预测公司 The Insight Partners 分析预测全球天气监测系统市场将从2021年的17.5亿美元增长到2028年的29亿美元<sup>④</sup>。本届展会展出了近年新推出的天气、水文、海洋和环境观测技术、仪器装备、软件系统、解决方案等，展会专刊 *Meteorological Technology international* 重点关注了气象数值模式伴随着人工智能和计算能力提升取得的最新发展、欧盟推出1.5亿欧元数字孪生地球计划、3D打印低成本气象仪器、气象信息助力汽车自动驾驶，以及气象雷达与气象传感器新技术新产品。

## 1 世界气象科技博览会简介

2011年9月第一届世界气象科技博览会创办于比利时布鲁塞尔，迄今已在欧洲举办十届（2020年和2021年受COVID-19疫情影响停办两届，表1），是世界上最大的气象、水文、海洋和环境监测技术和服务

供应商、制造商的展览盛会，从2012年开始世界气象组织同期举办气象与环境仪器及观测方法技术会议，观众主要来自于气象、水文、环境政府服务和研究机构，大学和天气行业的专业买家和用户，包括航空、公路、铁路、海事、零售、可再生能源、海上工业、保险、休闲、公用事业等领域。

表1 历届展会情况

时间(年-月)	展会地点	参展厂商/家	注册观众/人
2022-10	法国巴黎	145	4500+
2021-09	/	/	停办
2020-09	/	/	停办
2019-06	瑞士日内瓦	175	4000+
2018-10	荷兰阿姆斯特丹	200	4000+
2017-10	荷兰阿姆斯特丹	180	3500+
2016-09	西班牙马德里	180	3000+
2015-10	比利时布鲁塞尔	165	3000+
2014-10	比利时布鲁塞尔	160	3000+
2013-10	比利时布鲁塞尔	160	2500+
2012-10	比利时布鲁塞尔	160	2500+
2011-10	比利时布鲁塞尔	100	1500+

2018年在荷兰阿姆斯特丹举办的第八届世界气象科技博览会，参展厂商多达200家，为历年鼎盛，中国华云、国睿科技、四创电子、成都锦江、航天新气象、深圳西大仪器、杭州佐格等9家中国气象装备制造企业参展，展览了多普勒天气雷达、激光测风雷达、毫米波云雷达、自动气象站、漂流浮标以及智慧气象预报预警系统等国产化气象装备和软件技术。

今年是COVID-19疫情后的首届世界气象科技博览会，共有来自27个国家的145家展商参展，展商既有Vaisala等气象装备生产企业，又有ESRI等软件企

收稿日期：2022年10月25日；修回日期：2022年12月30日

第一作者：王柏林（1979—），Email: wbl3309@126.com

资助信息：中国气象局气象发展与规划院专项研究资金项目（ZCYJ2022004）

① 世界气象科技博览会介绍. <https://www.meteorologicaltechnologyinternational.com/news/meteorological-technology-world-expo>.

② 维拉·维萨拉教授奖. <https://public.wmo.int/en/about-us/awards>.

③ 我国科学家首获维拉·维萨拉优秀论文奖. [https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqkj/2011xkjdt/202208/t20220808\\_5022040.html](https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqkj/2011xkjdt/202208/t20220808_5022040.html).

④ 关于到2028年的天气监测系统市场预测. <https://www.theinsightpartners.com/reports/weather-monitoring-system-market>.

业，还有Eumetsat等国际组织，主要来自于欧美发达国家，前5名依次为美国（32家）、法国（22家）、德国（17家）、意大利（10家）、英国（10家）；受疫情影响，亚洲仅有4个国家参展，其中韩国（9家）、印度（4家）、日本（1家）和中国（1家，深圳西大仪器）。

中国华云气象科技集团有限公司自2012年以来一直密切关注并积极参与了近5届世界气象科技博览会，虽然今年因疫情未能现场参展，但我们借助展会网络平台以气象装备为切入点，通过参展的气象装备来分析气象探测技术发展特点和发展趋势。2022年世界气象科技博览会参展的气象装备比较突出的亮点依旧是天气雷达、测风激光雷达、结合新技术的气象传感器以及气象数据分析技术。通过比较，介绍基本代表世界气象装备技术走势的展会亮点产品和热点资讯，并分析气象装备技术发展趋势。



图1 基于卡车的机动X波段天气雷达系统 (EWR)

EWR公司拟于2023年推出一款基于模块化平板阵列架构的多功能相控阵雷达（图2），工作频率范围8.5~10.5 GHz，瞬时工作带宽为10 MHz，扫描方位角/仰角 $\pm 45^\circ$ 。四平板架构天线峰值发射功率160 W，波束宽度方位角和仰角均为 $3^\circ$ ，天气探测（ $< 18 \text{ dBz}$ ）距离不小于90 km，目标探测（ $0 \text{ dBsm}$ ）距离为22 km，功耗不大于1200 W。

捷克Meteopress公司<sup>②</sup>2021年研发的移动固态双极化C波段天气雷达（图3），配备2.4 m或4.5 m天线的雷达系统重量分别



图2 紧凑型多功能相控阵雷达系统 (EWR)

## 2 亮点产品

### 2.1 天气雷达

天气雷达新技术和新产品一直是世界气象科技博览会中最被关注的产品。随着氮化镓材料价格不断下降，固态发射机技术现在被广泛认为是多普勒天气雷达的首要选择，而相控阵技术有望在未来为天气雷达产品带来令人兴奋的技术飞跃。

美国EWR Radar Systems公司<sup>①</sup>成立于1982年，是机动X波段天气雷达解决方案的行业领导者，2006年成功研制使用固态氮化镓发射机的E700XD型天气雷达，EWR固态雷达已全球部署了100多套，目前EWR不仅是美国地面天气雷达系统的头号供应商，还为美国海军陆战队和美国空军提供产品。EWR公司此次展出了基于卡车的移动固态双极化X波段天气雷达系统（图1）。

约为500 kg和1200 kg，使用氮化镓发射机、基于太阳能供电、具备Starlink互联网连接功能，提高了雷达系统可靠性，降低了供电和网络要求，为用户提供较低的采购、建安和运营经费需求。

雷达被安装在标准集装箱中，1小时内可全自动部署，展开后雷达高度为7 m，天线可以 $0^\circ \sim 55^\circ$ 仰角扫描，转速为1~10 RPM。雷达具有自我保护功能，当风和振动传感器联合探测到气旋和龙卷风等危险后，雷达停止旋转并收回铁塔，“躲避”以保护设备；当危险情况过去后，雷达将恢复工作。Meteopress公司从2022年9月开始接受移动雷达系统预订，预计2023年第二季度交付。

芬兰Vaisala公司<sup>③</sup>新推出了WRS300型C波段天气雷达（图4），水平和垂直通道设置独立固态氮化镓发射机，根据电源配置每个发射机选配两个或四个固态

① 美国EWR Radar Systems公司介绍. <https://ewradar.com/>.

② 捷克Meteopress公司介绍. <https://www.meteopress.cz/>.

③ 芬兰Vaisala公司介绍. <https://www.vaisala.com/zh>.

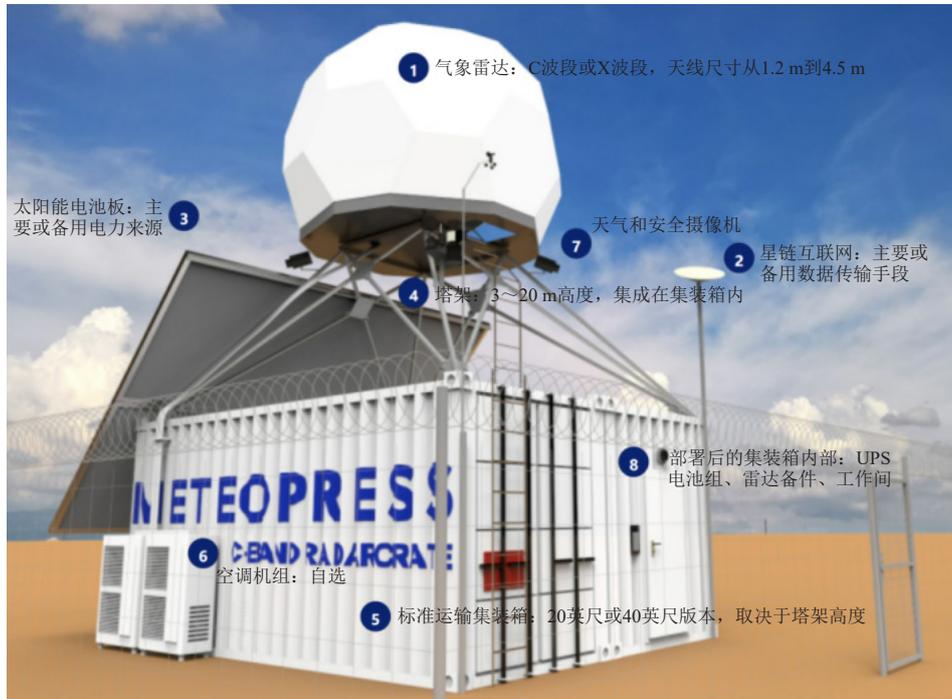


图3 基于标准集装箱的低功耗固态C波段天气雷达 (Meteopress)

功率放大器并行运行，冗余设计提高了雷达的可靠性；增加雷达远程操作和自动、持续校准功能，减少了现场访问和维护过程，降低了雷达维护成本、提高了使用寿命。



图4 WRS300型雷达 (Vaisala)

美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 拟用 2013—2018 年 60 亿美元对全球最著名的下一代天气雷达 (NEXRAD) 网络进行升级改进<sup>①</sup>(图5)。NEXRAD 网络由 159 部高分辨率 S 波段天气雷达组成，其中美国气象局 122 部、美国联邦航空管理局 12 部、美国空军 25 部。NOAA 正在推行服务寿命延长计划 (SLEP) 延长 NEXRAD 网络的运行能力大约到 2035 年。SLEP 连同常规的信息技术更新和维持工程项目，以解决雷达组件过

① WSR-88D 使用寿命延长计划介绍. <https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/SLEP/SLEP.aspx>.

时问题，有望支持 NEXRAD 网络持续运行到 2040 年。

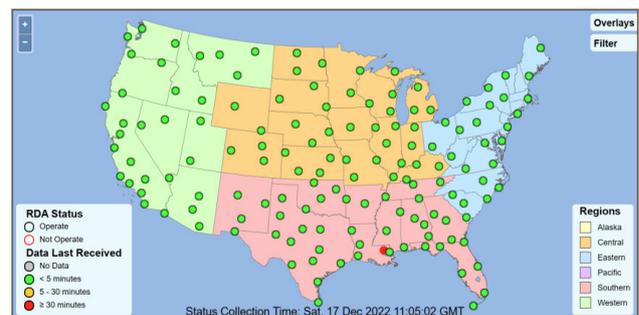


图5 NEXRAD 网络在过去 30 年不断升级

天气雷达领域的下一个重大创新将是相控阵技术，NOAA 正在开展相控阵雷达 (PAR) 技术研究和开发，该技术使用包含数千个独立元件的集成平面天线进行电子扫描，取代当前 NEXRAD 网络使用的机械扫描天线，使全天空扫描从 4~5 min 提升到 60 s 以内，帮助天气预报员更好地监测不断变化的天气过程。

NOAA 仍在探索 NEXRAD 后续系统的技术发展方向，以保持处于最新的雷达气象学理论和技术前沿，有可能是延长目前系统寿命，还可能是另一种旋转雷达天线，亦或是相控阵技术，最终选择何种替代方案将取决于 NOAA 仍在进行的成本调查分析结果。

## 2.2 测风激光雷达

飞机起飞过程中产生的尾流涡旋影响机场运营的

安全和效率，在最近几届世界气象科技博览会中，能够有效监测飞机尾流涡旋和风场变化的测风激光雷达成为了亮眼产品。

德国Leonardo公司<sup>①</sup>2020年研制的SKIRON 3D多普勒相干脉冲激光雷达系统(图6)，配备了基于扭矩电机的新型3D扫描仪，适合执行快速RHI扫描，通

过发射电磁脉冲并检测反射脉冲以确定径向风速，可以探测强风、低空风切变、阵风锋、湍流和尾流涡旋。SKIRON 3D测风激光雷达采用1550 nm波长激光，最大探测距离可达30 km，距离分辨率为100 m，角分辨率为0.2°~3.0°，径向风速测量范围为±70 m/s、测量精度< 1 m/s，



图6 测风激光雷达 (SKIRON 3D)

Leonardo公司2021年7月在法兰克福机场进行的观测实验取得了技术突破(图7)，证明了用单台激光雷达检测尾流涡旋和风切变的可行性。

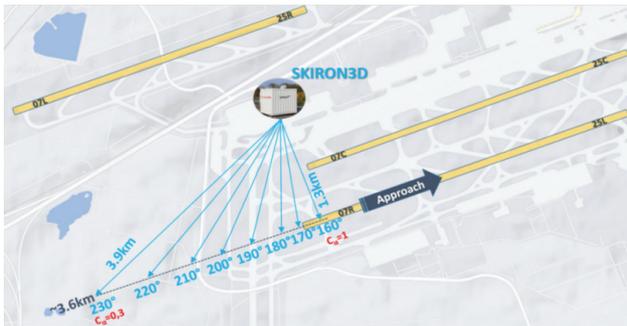


图7 测风激光雷达绘制法兰克福机场的尾流扫描设置 (SKIRON 3D)

芬兰Vaisala公司于2018年收购法国Leosphere公司后，迅速补强了测风激光雷达产品线。今年在展会上推出了其最新的风力测量解决方案 WindCube 扫描套件(图8)，使用更坚固的外观、新的扫描头和激光设计，最大测量范围高达18.9 km。设备支持4G连接，用户利用WindCube进行3D体积扫描提高态势感知，获得整个风场的清晰图像，可为气象、航空和风能行业提供了更大范围更可靠更准确及时的情报。

### 2.3 新型能见度仪

可靠、准确的能见度评估对交通或其他关键基础设施安全至关重要，本届世界气象科技博览会展出了多种结合AI技术和大数据技术的新型能见度观测方法和观测仪器。

为了克服来自观测人员主观报告的缺点，奥地利Joanneum Research公司<sup>②</sup>于2018年提出了能见度创新解决方案“visIvis”(图9)，通过基于视觉的方法从标准相机中自动获得能见度值。该方法使用传统的静态数码相机图像，基于照明补偿以及结构和纹理识别的概念，结合能见度探测仪器和方法来确定站点的能见度。操作员可以使用现有的网络摄像头或专业工业摄像头，根据训练数据，自动找到适合能见度测量所需区域图像数据。经评估，系统用户可以非常快速地记录当前典型的能见度情况。

visIvis的最新成果是使用迁移学习方法和相对较少的训练数据，将能见度系统转换为监测道路或机场跑道等关键基础设施的积雪检测系统，从而在同一摄像机位置产生更高附加值。

韩国Sijung公司<sup>③</sup>是韩国标准科学院技术出资成立的研究所企业，以市政系统图像技术为基础，利用人工智能开发JS-08视频分析能见度系统(图10)，用于

① 德国Leonardo公司介绍. <https://www.leonardogermany.com/en/home>。  
② 奥地利Joanneum Research公司介绍. <https://www.joanneum.at/en>。  
③ 韩国Sijung公司介绍. [www.sijung.com/ko](http://www.sijung.com/ko)。

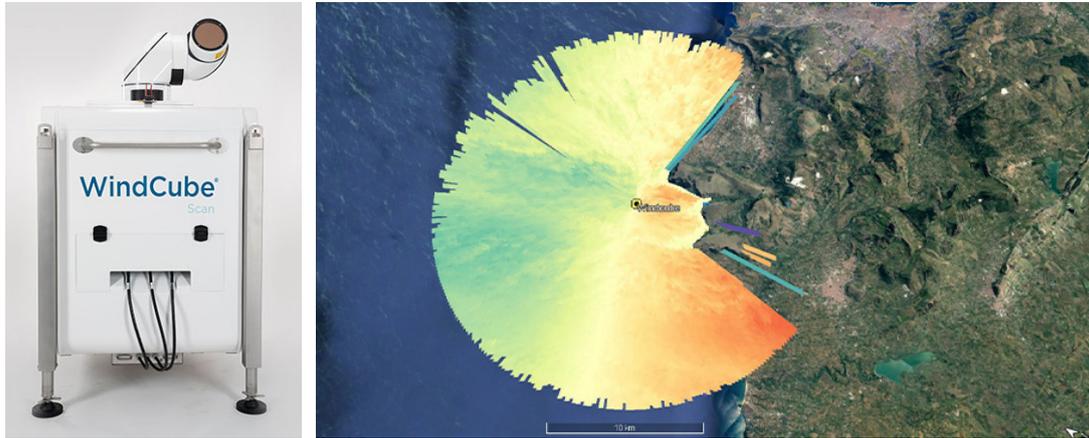


图8 测风激光雷达应用 (WindCube)



图9 基于相机的能见度测量 (visvis)

测量机场跑道能见度。

JS-08通过测量八个方向(45°)中的每个方向能见度来计算主要能见度。系统利用两个180°的全景摄像机,测量八个方向中每个方向的消光系数,以计算能见度,然后找到主要能见度。计算方法是查找屏幕上24个或更多已知距离点的物体反射最暗部分,然后反向计算该值以找到消光系数。据该公司称,这是第一台为主要能见度而开发的人工智能视频分析能见度系统,可用于测量机场跑道能见度。

## 2.4 小型超声风传感器

小型超声风传感器依旧是本届世界气象科技博览会的热点产品,来自美国、欧洲和亚洲等国家的数十家公司纷纷展出了自研新品(图11)。

美国AIRMAR Technology公司<sup>①</sup>新推出的200WX

超声波气象站配置了温度、湿度、气压、风传感器,内置GPS模块和三轴加速度传感器、三轴速度陀螺仪提供航向、位置、对地速度和地对地航向功能,适合安装于移动车辆计算理论风速和风向。同时还推出了适用于海洋船舶和平台的220WX、具备抗结冰功能的220WXH等系列产品。

英国FT Technologies公司<sup>②</sup>新推出的FT205轻型、低功耗超声风传感器专为无人机和空间受限应用而设计,高度为55.1 mm,重量为100 g,最大风速可测75 m/s,集成的电子罗盘使其成为在移动平台上使用的理想选择。

德国OTT HydroMet公司<sup>③</sup>此次带来的专业智能测量传感器Luff WS600,采用一体化集成设计,在通风辐射防护内测量空气温度、相对湿度和气压,利用超声波测量风向和风速,利用24 GHz多普勒雷达测量降

① 美国AIRMAR Technology公司介绍. <https://www.airmar.com/>.

② 英国FT Technologies公司介绍. <https://fttechnologies.com/>.

③ 德国OTT HydroMet公司介绍. <https://www.otthydromet.com/>.



图10 人工智能动态视频分析能见度仪 (JS-08)



图11 超声风传感器

水强度、降水类型、降水量。

法国LCJ Capteurs公司<sup>①</sup>推出了带有集成数据记录器的Anemo-DLG超声风传感器，具有低功耗、自主供电两种版本。集成数据采集器使用户能够选择要检索的数据，以优化其功耗。

波兰PM Ecology公司<sup>②</sup>生产的SUW1A超声风传感器使用耐腐蚀的阳极氧化铝外壳且无移动部件。

## 2.5 结冰传感器

冻雨对航空、交通和能源基础设施是一种极其危险的天气现象，本届世界气象科技博览会展出了两种新型结冰观测方法和观测仪器。

德国Adolf Thies公司<sup>③</sup>展示了与德国气象局合作开发的新型冻雨分析仪以及其预测危险黑冰形成的能力(图12)。冻雨传感器为金字塔形，采用四个传感器板对称设计，克服了风向对降水测量的影响，每个传感器板背面都有振荡电路和温度传感器，通过检测板面温度反演冻雨结冰状况，该测量技术已于2022年

获得国际发明专利授权。冻雨传感器具有紧凑、坚固外壳且无活动部件等特点，能可靠地检测过冷降水事件和结冰情况，不仅适用于自动气象站，也适用于风电机组、桥梁和其他因结冰造成安全问题的工业应用场景。

冻雨传感器与激光雨滴谱仪、人工观测已在德国两个机场进行了两个冬季的评估，利用最新的冻雨探测技术与现有自动气象站数据相结合，交叉比较降水温度和峰值检测，可以显著降低误报，提高检测结果的可靠性。

美国AEM公司<sup>④</sup>展示了下属德国子公司Lambrecht meteo最新研发的冰负荷传感器(图13)，该传感器采用类似于称重降水传感器的重量测量原理，冰负荷测量探头重3.3 kg，最大可测得20 kg覆冰重量，测量精度为覆冰重量的1%。冰负荷监测为即将到来的结冰事件提供早期预警，提高输电塔、输电线路、风力涡轮机、空中缆车等设施安全。

① 法国LCJ Capteurs公司介绍. <http://www.lcjcapteurs.com/>。

② 波兰PM Ecology公司介绍. <https://www.pmecology.com/>。

③ 德国Adolf Thies公司介绍. <http://www.thiesclima.com/>。

④ 美国AEM公司介绍. <https://aem.eco/>。

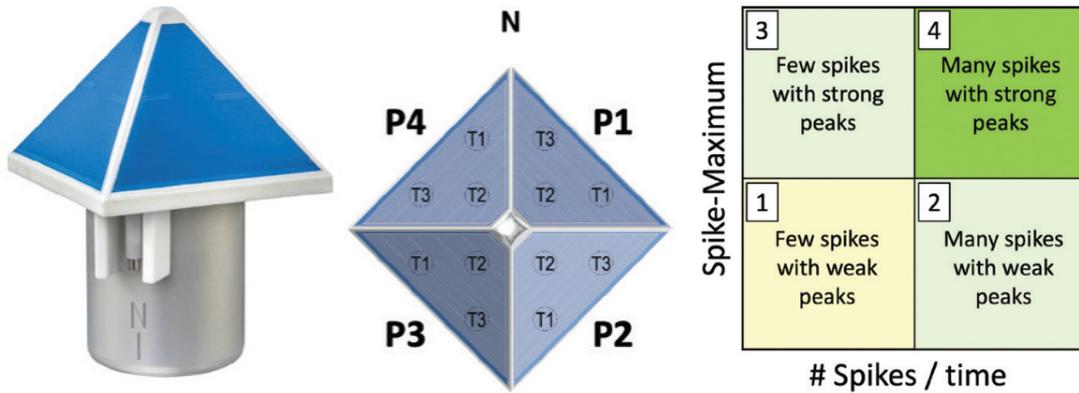


图12 冰冻降水探测技术 (Thies)



图13 冰负荷传感器 (AEM)



图14 热应力风险实时监测预警系统 (LSI)

## 2.6 热应力风险实时监测预警系统

随着全球极端高温事件日益增加，热应力对户外工作者、老年人和病人的影响越来越严重，本届世界气象科技博览会展出了一套热应力风险实时监测预警系统。

意大利LSI Lastem公司<sup>①</sup>认为传统的热应力监测方法已不能满足户外工人健康和安全控制要求，必须提供持续环境监测并在必要时启动实时预警系统，以限制暴露和代谢活动。LSI公司展出了用于固定连续测量和便携短期测量的两款热应力监测气象站（图14），通过测量空气温度、相对湿度、辐射温度、湿温，计算热应力指数，根据不同人群适应程度、代谢活动和衣服来设置限值。通过检查当前情况与自定义限值之间的差距，以手机短信、电子邮件等方式发布警报。

① 意大利LSI Lastem公司介绍. <https://www.lsi-lastem.com/>.

② 意大利Finapp公司介绍. <https://www.finapptech.com/en>.

## 2.7 宇宙射线中子探测器

不断到达地球表面的宇宙射线与土壤、植物、雪中存在的水分子相互作用，形成了悬浮的中子“雾”，通过对中子“雾”进行计数，可以确定土壤、植物和雪中存在的含水量。

源自意大利Padua大学、成立于2019年的创新创业公司Finapp公司<sup>②</sup>，在今年世界气象技术博览会上首次展出了新型宇宙射线中子探测器CRNS (Cosmic Ray Neutrons Sensing) 解决方案（图15），新一代CRNS可安装在距地面或雪面2 m高度，能够监测数十公顷面积、穿透50 cm深的土壤或10 m深的积雪，计数高达3000中子每小时，弥补了土壤水分单点测量和卫星监测方法的劣势。由于CRNS不用安装在土壤中，降低了仪器维护成本，提高了仪器持续工作时间，延长了

仪器使用寿命。

CRNS已在意大利、奥地利、智利、越南、摩洛

哥等国家安装，用于农业、积雪监测项目中的土壤含水量、雪水当量测量。

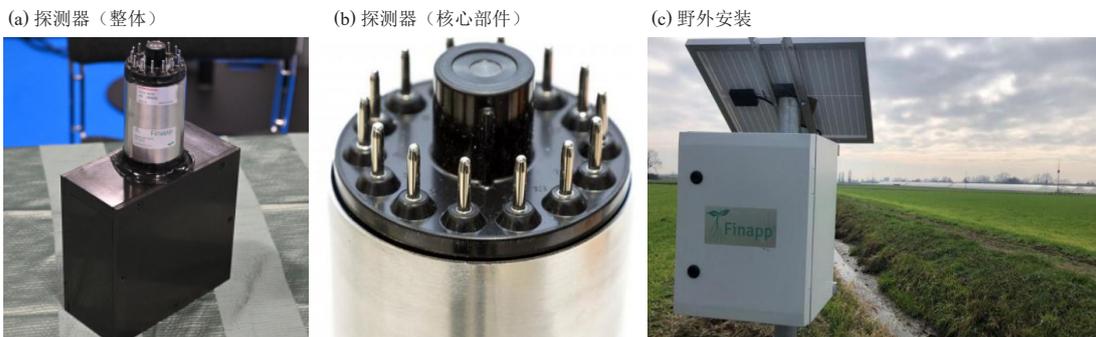


图15 新型宇宙射线中子探测器 (Finapp)

## 2.8 花粉实时监测系统

花粉过敏是一种在很大程度上被低估的疾病。在公共卫生重点领域，花粉接触、空气污染和气候变化的相互作用导致越来越多的花粉过敏患者。

瑞士Swisens公司<sup>①</sup>在世界气象技术博览会上展示了Swisens Poleno Mars自动花粉监测系统(图16)，以40 L/min速度自动采集2~300 μm大小的花粉颗粒，使用高分辨率数字全息摄影技术捕获并记录飞行中的每颗粒子图像，存储并建立花粉颗粒形态和化学性质全面信息数据集，使用集成在测量系统中的机器学习算法根据记录的属性识别花粉颗粒。

在瑞士气象局的支持下，Swisens已于2022年在瑞士全国建立了拥有18个站点的花粉实时监测网络，实时关注过敏性花粉品种及其浓度数据，发布准确的花粉预警。



图16 花粉实时监测系统 (Swisens)

## 3 其他热点资讯

展会专刊*Meteorological Technology International*还对气象与数字孪生、3D打印、自动驾驶等新技术融

合发展相关热点资讯进行了重点介绍。

### 3.1 数字孪生技术

在欧盟委员会1.5亿欧元的支持下，欧洲气象卫星应用组织(EUMETSAT)、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)和欧洲航天局(ESA)于2022年3月30日正式已经启动了高精度地球数字模型开发计划，创建迄今为止最先进的地球数字孪生“目的地地球”(DestinE)，利用大量的卫星数据，由最新的地球系统模型和高性能计算进行处理，通过监测、模拟自然和人类活动之间的相互作用，以支持未来的可持续发展。DestinE不仅能预测环境灾害和由此产生的社会经济危机，还能开发和测试对地球系统变化信息至关重要的可持续发展情景。

DestinE计划分为三个主要组成部分：核心服务平台、数据湖和数字孪生引擎。ESA将负责DestinE开放核心服务平台：基于云的数字建模和开放模拟平台，该平台将依靠最全面和最复杂的天基观测数据，包括来自地球探索者、哥白尼哨兵系列、气象卫星等不同任务的地球观测卫星数据。EUMETSAT将负责DestinE数据湖：建立在分布式数据源联合体上的数据池。ECMWF将负责数字孪生引擎，包括两个初始数字孪生的开发。

人工智能(AI)、机器学习、云计算、高速连接网络、大数据处理和超级计算机的进步，结合了数值天气预报(NWP)和欧盟哥白尼地球观测积累的信息，都将使地球数字孪生的概念成为现实。DestinE将在未来5~6年逐步实施。首批开发并拟于2030年12月前推出的两个数字孪生将是：

1) 天气诱发和地球物理极端现象的数字孪生：为评估和预测环境极端现象提供能力和服务，决策者将

① 瑞士Swisens公司介绍. <http://www.swisens.ch/>.

能够更准确地预测诸如洪水和森林火灾等极端自然事件的发生和影响。

2) 气候变化适应的数字孪生: 将支持产生分析性见解和测试预测性情景, 以支持区域和国家层面的十年时间尺度的气候适应和缓解政策。

更多的数字孪生将在未来几年被开发出来, 并在2030年之前汇集到一起, 开发出地球系统的“完整”数字副本。可能的新发展或将包括海洋、生物多样性和城市环境的数字孪生。

(a) 超声波传感器



(b) 监测风暴潮



(c) 监测积雪深度



图17 3D-PAWS超声波传感器

制造1台3D-PAWS自动气象站大约需要一周时间, 使用当地采购的材料、微传感器、低成本单片机和3D打印机, 核心系统使用树莓派单片机进行数据采集、处理和通信, 成本为500美元, 与1万美金的商业气象站相比, 成本低且不牺牲测量性能, 能用更多站点填补商业气象站点周围的数据空白。

3D-PAWS最新推出了成本约为400美元的新型超声波传感器, 通过传感器数据质量控制可以确保测量精度10 mm以内, 已部署在美国北卡罗来纳州远程监测山区河流水位变化、在多米尼加共和国监测风暴潮、在美国加州监测积雪深度。3D-PAWS未来还将开发空气质量、土壤湿度、云量和闪电传感器。

### 3.3 气象助力汽车自动驾驶

天气条件会影响到所有的车辆, 无论他们的司机是人类还是机器算法。汽车自动驾驶要想在商业上取得成功, 就需要具有掌握挑战天气的条件。联网自动驾驶汽车(CAV)必须像人类一样适应雾或结冰条件, 认识到当前或未来的天气情况使驾驶存在危险。

传统的汽车自动驾驶仅使用相机、毫米波雷达、激光雷达和GPS, 美国国家大气研究中心(NCAR)和英国气象局的科学家们正在计划使用气象传感器、基

### 3.2 低成本3D打印气象仪器

美国大学大气研究协会(UCAR)和美国国家气象局(NWS)于2017年发起使用3D打印技术制造低成本自动气象站(3D-PAWS)计划(图17), 最初制造的自动气象站能够收集降雨、湿度、温度和压力数据, 已部署在12个国家, 计划2022年再扩展到2~3个国家。在加勒比岛国巴巴多斯已成功部署60多个监测站, 目标是在岛上建造100个监测站实现精密气象监测和预警。

于芯片的路面标记、高清地图与计算密集型算法融合来优化汽车自动驾驶的能源效率。NCAR研究人员在最恶劣的冬季条件下测试了气象自动驾驶软件, 芬兰自动驾驶先驱者“感知4号”配置了适应天气的自动驾驶系统, 2022年初在降雪天气中创纪录的与正常车辆共享道路成功自动驾驶了前一英里和最后一英里。美国交通部门正在考虑向自动驾驶汽车提供道路天气信息, 例如将交通气象站测量的路面状况信息、在线实时传输扫雪机行车记录仪的录像, 通过专用网络连接到自动驾驶车辆, 帮助推断天气情况。然而, CAV开发的专有性和竞争性将是气象与CAV跨行业合作需要克服的主要障碍。

## 4 气象装备发展趋势

气象装备的每一次重大发展变革, 都是当时科技进步的一个缩影, 尤其是进入20世纪80年代以来, 随着微电子技术和计算机技术的高速发展, 气象装备正处于一个突飞猛进的发展阶段。

纵观当今世界先进气象装备技术, 已然与计算机、人工智能、移动互联网、物联网、低轨互联网卫星等高新技术紧密相连, 朝着高精度、自动化、智能化、网络化的方向发展, 气象观测要素不断扩展, 其

准确性、稳定性和可靠性进一步提高，科技含量的提升必然导致气象观测技术和装备更新换代的速度加快。

随着核心技术、关键技术和应用技术的突破，气象装备技术得到迅速发展，为了满足精准预报和精细服务的需求，观测设备空间网格越来越密，资料时间密度越来越高，从二维观测向三维立体观测发展，从大尺度的天气观测向中小尺度天气观测发展。

从2022世界气象科技博览会可以看出气象装备技术有以下四个发展趋势：

一是新材料、新技术引领气象装备技术发展。随着新材料、信息技术应用普及，关键核心器件成本逐步降低，促进气象装备技术更新迭代加快，例如人工智能、固态氮化镓发射机技术、低轨互联卫星技术、3D打印技术等新材料新技术引领气象装备快速发展。

二是向智能化、小型化、信息化、网络化方向发展。例如利用人工智能技术基于相机的能见度测量、动态视频分析能见度，小型化的超声风传感器和集成温湿风压雨多种要素的微型气象测量仪器。

三是向具体行业应用需求方向发展。例如为满足航空、电力、道路运行保障需求的结冰传感器，为户外工作者提供告警服务的热应力风险实时监测预警系统，为生态农业土壤水分监测服务的新型宇宙射线中子探测器，为公共卫生领域服务的花粉实时监测系统。

四是向深挖数据潜能方向发展。例如利用卫星监测数据和数字孪生技术建立数字地球，利用气象传感

信息助力汽车自动驾驶。

我国的气象装备经过70多年的发展，特别是改革开放以来，在加快振兴装备制造业、推进建设创新型国家的大背景下，在中国气象局的政策支持下，国内气象装备制造企业通过自主研发与引进国外先进技术相结合的方式，一方面对国外先进技术引进、消化、吸收再创新，另一方面加强与国内气象院校、科研机构、业务单位的产学研用结合，开展了自动气象站、无线电探空系统、多普勒天气雷达、风廓线雷达等一批关键气象装备研发，最成功案例莫过于中国华云气象科技集团有限公司与美国洛克希德·马丁公司1995年开展合作，合资组建了北京敏视达雷达技术有限公司，引入当时全球最新进的WSR-88D型多普勒天气雷达，发展成为中国新一代多普勒天气雷达网的主力型号并远销韩国、罗马尼亚、印度等国家20多台，推动了我国的气象装备水平整体突破性发展，国家气象现代化水平上了一个新台阶。

未来，我国气象装备制造企业应继续紧跟世界气象科技发展方向，加强国际气象科技深度合作，加快关键核心技术攻关，发展高精度、智能化的气象探测装备，推进气象装备国产化和迭代更新，助力中国气象高质量发展。

#### 深入阅读

于晋. 2018世界气象科技博览会在荷兰举办. 气象科技进展. 2018, 6(6): 76.

(作者单位：王柏林、白海，中国华云气象科技集团有限公司；王柏林，南京信息工程大学江苏省大气环境与装备技术协同创新中心)