

深圳城市气象综合探测系统简介

毛夏¹ 江崧² 庄红波² 饶华炎² 谭明艳²

(1 深圳市气象局, 深圳 518040; 2 深圳市国家气候观测台, 深圳 518040)

摘要: 深圳城市气象综合探测系统建设始于1994年,目前已形成较为完善的灾害监测、气候监测体系,其中灾害监测的核心是支撑预警业务和保障灾害管理,气候监测的核心是坚持以人为本和融入绿色发展。灾害监测重点关注5个环节:加密区域站网,提高监测信息的时空密度;多基雷达联测,有效锁定可能移入并致灾的天气系统;立体遥感监测,改善预报模式的初始场;敏感区域监测,弥补预报业务的盲点和薄弱环节;应急移动监测,提升突发事件现场保障服务能力。气候监测突出融入绿色发展的理念,重点是通过综合观测基地解决多圈层综合观测问题、通过自动气候站网解决各类局地小气候观测问题、围绕关注市民健康开展大气成分监测、围绕气候资源利用开展气候资源监测、围绕应对气候变化开展温室气体监测、通过人口分布监测以利气候业务、研究、服务等工作更加以人为本。

关键词: 城市气象, 探测

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.06.002

A Brief Introduction to Shenzhen Urban Meteorological Observing Network of Networks

Mao Xia¹, Jiang Yin², Zhuang Hongbo², Rao Huayan², Tan Mingyan²

(1 Meteorological Bureau of Shenzhen, Shenzhen 518040 2 Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen 518040)

Abstract: The Integrated Meteorological Detection System of Shenzhen, which was established in 1994, has been turned into a complete supervising platform comprised of disaster and urban climate monitor. The core of disaster monitor is supporting the early warning business and guaranteeing the disaster management. The development of urban climate monitor sticks to people foremost and green development. There are mainly five components concerned by the disaster monitor. Firstly, the network of regional stations is becoming denser in order to improve the temporal and spatial revolution of meteorological information. Secondly, multi-based radar co-observation keeps its eye on disastrous weather systems moving into Shenzhen. Parameters obtained by the remote sensing system improve the forecast model initial field. Furthermore, supervising the sensitive areas makes up for the weak even blind segments in forecasting; and the mobile monitoring enhances the abilities in security service in emergence. The urban climate monitor which emphasizes the green development is composed of seven topics. The problems in multi-layer observation are solved by integrated observation stations. Automatic climate stations overcome difficulties in various small local climate observations. The atmospheric composition monitor pays attention to the health of citizens. The climate resource monitor focuses on the utilizing of climate resource. The greenhouse gases monitor deals with the climate change. Through supervising population distribution, it is capable of making meteorological businesses more humanistic, including the climate observation, research, service and so on.

Keywords: urban meteorology, observation

1 引言

城市气象观测的历史可以回溯到16世纪,1653年由意大利斐迪南二世领导,在佛罗伦萨等10个城市建立了欧洲气象观测网(Rete Medicea);1820年霍华德(Luke Howard)利用伦敦气象站网资料,发现了“城市热岛”现象^[1];从19世纪60年代开始,世界

各地的城市气候研究,推动了城市气象观测的快速发展,如Oke^[2,3]、Landsberg^[4]等综合评述了当时通过城市气象观测,在城市气候学方面的研究进展。进入21世纪,大规模、跨学科的城市气候科学试验相继实施,推动了城市气象观测理念、方法和技术的不断进步,如在美国盐湖城开展的Urban 2000^[5]、瑞士巴塞尔的BUBBLE 2001^[6]、法国马赛的ESCOMPTE 2001^[7]、美国俄克拉荷马的Joint Urban 2003^[8]、英国伦敦的DAPPLE 2004^[9]和日本东京的TOMACS 2011^[10]等。美国国家研究委员会(National Research

收稿日期:2013年5月31日;修回日期:2013年9月22日

第一作者:毛夏(1963—),Email:maoxia@139.com

资助信息:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206034);华南区域气象中心科研项目(GRMC2012M17)

Council) 2008^[11]和2010年^[12]的两份报告分别强调了城市大气边界层廓线观测和城市气象科学试验基地建设的重要性。2008年,世界气象组织为城市地面观测网的设计和站点的选址编制了指南^[13]。

中国气象局《气象事业发展“十一五”规划》明确提出:构建城市气象灾害监测系统,加强气象综合观测体系建设,气象灾害监测率达到85%;中国气象局《气象发展规划(2011—2015)》进一步提出,加强关键性、转折性、灾害性天气和极端气候事件实时监测分析,构建国家重点城市群的气象灾害监测体系,完善适应城市精细化、网络化管理的气象灾害监测体系,重点做好人口密集地区、重点保护地区等气象灾害易发或防御薄弱区域的监测,加强山洪地质灾害、海洋、交通、电力、生态、旅游等专业气象监测系统的建设。

深圳是中国第一个经济特区,也是城市化进程最快的城市。1979—2011年的33年间^[14],常住人口增加33.6倍,本地生产总值年均增长24.8%,人均GDP年均增长11.6%。截止到2012年底,深圳的人口密度已达5296人/km²,车辆密度达1110辆/km²,GDP密度达6.5亿元/km²。社会经济快速发展、人民生活水平提高对公共气象服务提出了更高的要求,也促进了气象基础设施建设的快速发展。

深圳城市气象综合探测系统建设始于1994年,经过20年的努力,目前已形成了较为完善的灾害监测、气候监测体系。本文从规划、进展、展望3个方面对该系统做一个简要的介绍。

2 规划

深圳气象事业的规划目标是:力争使全体市民享受到具有世界先进水平的城市气象服务,围绕这个目标深圳城市气象综合探测系统(Shenzhen Urban Meteorological Observing Network of Networks,以下简称SUMON)的发展强调要实现探测系统从天气监测向灾害监测、气候监测的升级,灾害监测的核心是支撑预警业务和保障灾害管理,气候监测的核心是坚持以人为本和融入绿色发展。

支撑预警业务。1995年5月1日,深圳市气象台依据《深圳经济特区防洪防风规定》,通过深圳电视台发布了中国国内首个气象灾害预警信号,并由此开始不断探索完善大城市精准化气象灾害预警业务,其支撑体系之一是SUMON。该系统规划设计中要求:与全国、全省气象大网络、大格局、大思路相衔接;地面中尺度观测网的时空分辨率达1min和4km;有效地锁定深圳周边300km范围内可能移入并致灾的天气

系统,特别是弥补海上探测信息空白和实现雷达多基联网同步观测;加强风、温、湿等要素的三维立体监测,并高频率(2次/h)同化到中尺度模式的初始场;提升移动监测能力实现对突发事件现场的快速追踪监测和应急保障服务;通过动态的需求评估机制,实现观测、预警、服务业务的互动和协调发展。

保障灾害管理。灾害监测的目标是保障人的生命安全,SUMON不仅是气象业务、服务体系的基础装备,而且应该是新时期服务型政府应对公共危机、保障公共安全、处置突发事件的基础设施。以增强公共气象服务能力为重点,突出对可能造成人员伤亡天气事件的实况跟踪监测,突出对气象灾害、次生灾害易发区域的加密监测和实景监视;系统建设一方面要注重需求引领,逐步实现5min内为不同部门、不同单位、不同区域和不同层级的灾害管理人员提供个性化的监测信息,10min内实况监测信息根据需要进学校、进工地、进社区、进企业、进公共场所;另一方面要注重适度超前,通过不断引进新的探测技术和方法,充分应用现代通讯和信息处理技术,服务和推动城市安全管理、灾害风险评估等体系的继续发展。

坚持以人为本。气候监测的目标是提升人的生活质量,SUMON不仅为了深化对城市气候系统的认识,更重要的是满足市民和在深人员对气候信息的广范需求。将人口分布纳入气候监测指标,围绕市民的穿衣着装、饮食健康、出行交通、旅游观光、医疗保健、文化娱乐、空气质量、小区气候适宜度等开展相关的监测;突出对城市气候系统能量平衡的监测;集成传统和非传统的各种探测设施,开展以城市区域以边界层为重点的大气物理、大气化学、生物气候学综合监测。

融入绿色发展。围绕深圳国家创新型城市建设和低碳绿色发展的总体思路,围绕城市气候服务体系建设的需要,依据城市空间结构分别在禁建区、限建区、已建区和适建区,城市发展轴带、城市分区与功能组团,城市划定的绿线、蓝线、紫线、黄线和橙线范围内,选择有代表性的地点,构建城市气候综合监测网;在气候变化敏感区、气候背景参考区、生态气候功能区、气候资源利用区、人工影响天气作业区、人居密集区、水源保护区、自然保护区、旅游景点区、居民区、学校校园等建设城市气候观测站;通过动态监测城市各片区、各类生态单元的气候特征,为全市应对气候变化、气候资源开发利用等提供基础性、权威性、标准化的科学数据支撑。

3 进展

深圳城市气象综合探测系统建设始于1994年。

20年来,在中国气象局、广东省气象局的精心指导下,通过反复调研分析深圳城市防灾减灾的实际需求,通过不断跟踪借鉴发达国家城市气象探测体系建设的成功经验,通过“深圳市台风、暴雨预警系统”(1995)、“深圳市防灾预警气象雷达”(2002)、“深圳市气象灾害预警综合服务系统”(2005)、“深圳市地质灾害预警预报系统”(2006)、“深圳市天文观测系统”(2006)、“深圳市气象灾害应急预警工程”(2007)和“大运会气象信息系统”(2010)等政府投资项目的持续推动,目前已基本成型(如图1所示),并形成了一定的特色,主要表现在两个方面:精细的灾害监测、综合的气候监测。

3.1 精细的灾害监测

围绕精准发布气象灾害预警信号和强化城市灾害管理能力,探测系统需要以监测灾害为核心进行全面升级,需要针对灾害预报和管理中的难点问题及薄弱环节,强化探测系统的支撑能力,并通过适度超前的建设,推动预报预警业务和灾害管理能力的持续提升。深圳的业务实践表明,灾害监测需要重点关注5个环节:加密区域站网,提高监测信息的时空密度;多基雷达联测,有效锁定可能移入并致灾的天气系统;立体遥感监测,改善预报模式的初始场;敏感区域监测,弥补预报业务的盲点和薄弱环节;应急移动监测,提升突发事件现场保障服务能力。

加密区域站网。截至2012年,深圳市已建各类

区域气象观测站156个,空间分辨率3.5km,时间分辨率1min。在均匀网格化布局的原则下,重点突出:预警业务需求,如在城市中心区、天气敏感区、自然地理地貌特征点(如梧桐山、羊台山、七娘山、伶仃岛等)加密设站;灾害管理需求,如每个街道办辖区不少于2个站;专业服务需求,如在水库、港口、码头、机场、海关、学校、体育馆、旅游景点和郊野公园等地点设站。区域气象站网实行分级分类管理,按照站点的代表性、连续性和可靠性,以及观测环境、探测要素、资料积累时间和观测设备类型等确定站点的级别,一级站要求有地面观测场、区域代表性好、探测要素齐全(至少有风向、风速、气温、气压、湿度、降水和能见度7个基本要素)、Vaisala MAWS301型自动站、每分钟观测、数据实时传送、运行稳定可靠(有1年以上的完整数据)、高等级运维保障(12小时内故障修复);二级站要求有观测场(可以是楼顶平台)、区域代表性较好、探测要素齐全(6要素)、入网许可设备、每分钟观测、数据实时传送、运行稳定可靠(1年数据)、高等级运维保障(12小时内故障修复);三级站要求站点周边相对开阔遮挡少、有一定的代表性、探测要素较全(4要素)、入网许可设备、运行稳定、次级运维保障(24小时内故障修复);临时站(含试验站),无探测环境、探测要素、运维保障等方面的具体要求。

多基雷达联测。在深圳致灾的天气系统90%以上

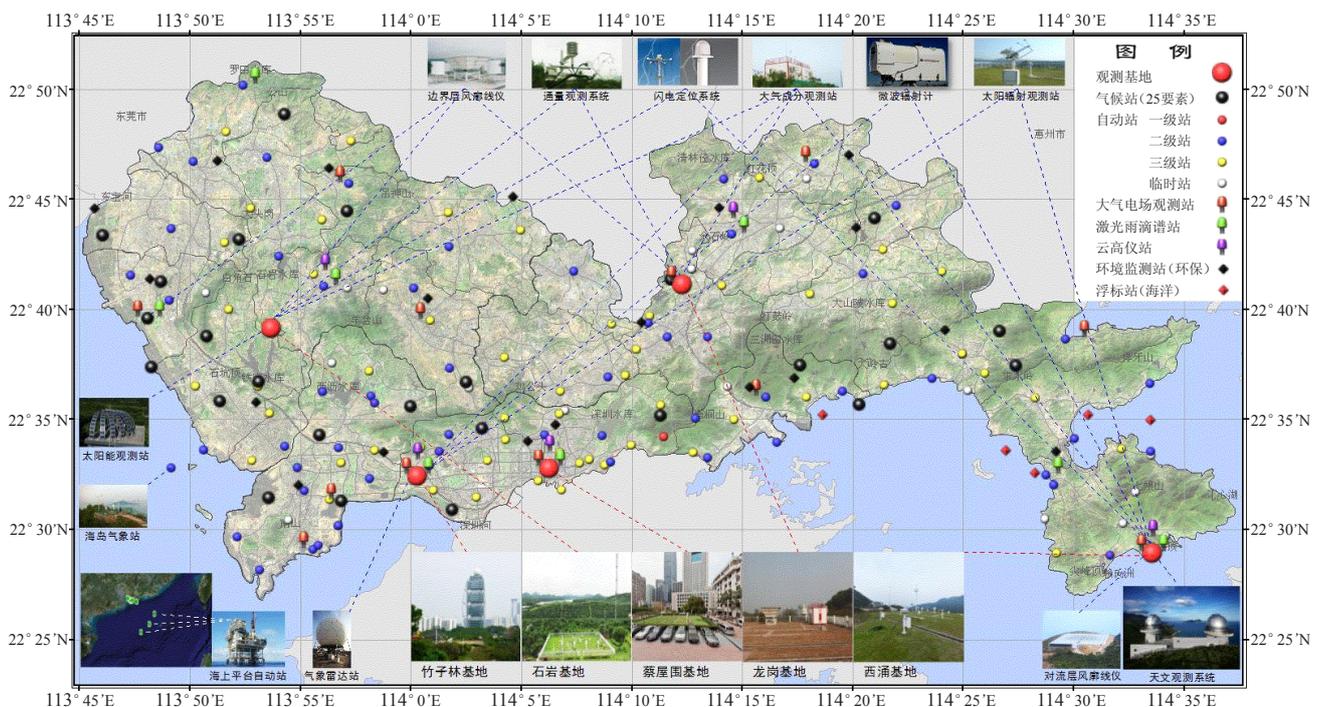


图1 深圳市城市气象综合探测系统设施分布

都是从周边区域移入的，为了对快速移动系统有6h以上的监测跟踪时效，警戒区域半径需300km以上，单基雷达由于探测距离、地球曲率、地物遮挡等因素难以满足灾害监测的需求，需要多基雷达联测。在省气象局的统筹协调下，广东省9部S波段多普勒天气雷达实现了GPS时钟控制的同步联动观测，每完成一个扇区扫描即向中心站传送数据，并转发到深圳，雷达完成立体扫描后1min内数据已进入深圳的超级计算机系统，2~5min内可形成各类应用产品，从而形成了高效的多基雷达联测系统。为了提高雷达区域气象观测站反演降水（QPE）精度，深圳区域配套建设了8个雨滴谱观测站，10个称重式雨量观测站。

立体遥感监测。灾害预报的核心业务支撑是短时临近预报系统，其基础是中尺度数值预报模式。提高数值预报模式的预报能力，关键在于初始场的质量，这要求三维立体观测的有效支撑。目前，SUMON已形成的立体遥感监测系统包括：风廓线仪探测网、雷电探测系统、GPS水汽监测网、微波辐射计网等。风廓线仪探测网由1个对流层风廓线仪和3个边界层风廓线仪组成，能够探测大气水平风场、垂直气流等要素，其中对流层风廓线仪安装在西涌基地，占地面积2500m²，最低数据高度1000m，最高数据高度12km，垂直分辨范围150m，风速探测精度小于1m/s，风向探测精度小于10°，平均时间设置为30min，边界层风廓线仪的最高数据高度4km，分别安装在深圳机场、石岩基地和龙岗基地，平均站距25km。雷电探测系统由覆盖珠三角区域的云地闪监测网络、覆盖深圳市区域的云间闪监测小网和12个地面电场仪站网组成。地闪监测网络与广东全省的网络融为一体，可以全天候监测闪电发生的时间、位置、强度、极性等，空间误差小于500m，时间精度小于1s，每个回击的处理时间小于100ms。云闪监测小网采用Vaisala公司的雷暴闪电传感器LS8000，其中采用了甚高频（VHF）干涉低频（LF）技术结合了磁场方向感测和触地计时技术，地面电场仪可以连续测量地面大气中的电场强度和极性。地基水汽遥感探测系统由6个站组成，分别安装在竹子林基地、甘坑、西丽、细丫岛、西涌基地和石岩基地，平均站距10km，系统通过测量GPS卫星微波信号的延迟量和GPS卫星星历来解算大气水汽含量，可以每30min获得1次大气水汽总量的连续观测信息。两台微波辐射计分别安装在竹子林基地和西涌基地，可实时获取湿度、水汽密度和液态水含量等廓线信息。

敏感区域监测。在天气尺度的分析中，指标站的要素变化是预报员关注的重点之一，在临近预报的

中小尺度分析中同样需要关注一些敏感区域的要素变化。这些敏感区域往往位于“极”的位置，如城市制高点、风速最大区域、降雨最大区域、城市内涝区等，这些区域通常建站困难，运行维护更加困难，但在这些点上获取的信息在业务和服务上的价值更大。为此，SUMON特别选择了一批“难”点建站，比如在梧桐山等多个山顶最高处、龙歧等大风口、梧桐村等山坳中建站，其中最困难的是在海上石油平台上建站，由于深圳位于南海之滨，南海海域的气象信息缺乏，为此深圳局与中海油深圳分公司合作，经反复设计、试验、选型，成功在距海岸超过250km的南海台风移动的主要通道上建成了3个海上石油平台自动气象站，利用北斗卫星的短信息系统传送观测结果，实现了每5min一次的连续海上监测，传回的信息包括气压、气温、湿度、风向风速、降水、能见度、海浪和海温等，2012年的实时到报率高达96.7%。

应急移动监测。移动观测是对固定气象台站常规气象观测系统的重要补充，在突发公共事件、重大灾害性天气监测、气象防灾减灾中具有重要意义。为满足公共突发应急事件的气象保障服务的特殊需要，深圳市气象应急监测车的观测重点针对时空随机性强的重大灾害性事件（如台风登陆、沙尘暴等气象灾害，爆炸、火灾、有害及污染气体泄漏、恐怖袭击等突发性重大灾难事件）进行现场气象监测和服务，对重要区域（如大城市、高速公路、交通枢纽等）遭遇影响严重的突发性气象事件（如洪水、浓雾等）进行现场气象观测和快速应急服务，对重大活动（如重大工程的关键性作业、重大科学实验、大型运动会等）进行现场气象观测和提供及时的气象保障服务。应急移动监测车配备多要素自动气象站、综合信息加工处理系统、移动数据通信（GPRS、CDMA等）、可视化现场会商及指挥联络等设备，实现气象观测数据的自动监测发送；配备车载X波段天气雷达和移动式探空系统（Vaisala DigiCORA），部分观测项目可以在行进中测量。

3.2 综合的气候监测

城市由于人口分布、功能分区、建筑密度、交通组织和社会活动等众多因素相互交织而形成种类繁多的局地小气候，城市气候在一定程度上是这些小气候的综合体。深圳作为一个特大城市，由于滨海而建、地貌复杂、高速发展等因素导致城市气候更加复杂，构建一个有价值的城市气候观测系统将面临众多复杂困难的选项。SUMON在建设突出融入绿色发展的理念，重点是通过综合观测基地解决多圈层综合观测

问题、通过自动气候站网解决各类局地小气候观测问题、围绕关注市民健康开展大气成分监测、围绕气候资源利用开展气候资源监测、围绕应对气候变化开展温室气体监测、通过人口分布监测以利气候业务、研究和服务等工作更加以人为本。

综合观测基地。城市气候监测系统建设的基本思路是“统分结合”，综合观测基地的任务是“统”，既是现代城市气候业务、科研、服务的科技支撑，也是城市规划、建设、环保、能源、交通和旅游等各行各业的基础设施，要选择有代表性且探测环境能够得到长期保护的站点，集中各类大型、常规和非常规探测设施，形成对各气候圈层的综合探测能力。SUMON系统中，目前已有5个综合观测基地，如图1中所示分别为竹子林基地、蔡屋围基地、石岩基地、龙岗基地和西涌基地。以竹子林基地为例，其拥有的探测设施包括：新一代天气雷达、气象卫星地面接收站、国家基本气象站、区域气象观测站（6要素）、自动气候站（25要素）、微波辐射计、电场仪、雨滴谱仪、云高仪、GPS接收站、太阳辐射观测站、大气成分（雾霾）观测站等。每个基地都有其独特之处，如石岩基地的大气边界层通量观测系统、高精度太阳辐射观测系统、太阳能资源观测站、梯度观测塔（350m）；龙岗基地的边界层风廓线雷达、25下垫面对观测场、太阳射电望远镜；蔡屋围基地的“回南天”观测系统、生物舒适度观测系统、依托城市高大建筑群的垂直气象观测站群；西涌基地的对流层风廓线雷达、太阳高光谱观测系统等。各基地之间通过租用的裸光纤（1G带宽）互联而形成有机的整体。

自动气候站网。气候观测不能理解为天气观测在时间尺度上的延长和积累，SUMON中的自动气候站以近地层能量平衡观测为主要目标，观测项目由25个要素组成，包括10m高处的风向、风速、温度、湿度，2m高度的风向、风速、温度、湿度、气压、雨量、向下短波辐射、向下长波辐射、向上短波辐射、向上长波辐射、CO₂浓度、能见度，利用红外辐射探测地表面温度，5层土壤温度（0，5，10，20和40cm）和2层土壤热通量（5和20cm），GPS时钟。自动气候站的任务是完成“统分结合”中“分”的任务，由30个站组成，分别设置在各类有代表性的小气候环境中，如：红树林国家级自然保护区、深圳湾体育中心、盐田港物流中心、梧桐山森林公园、深圳国际机场、海上田园生态旅游区、蔡屋围人居密集区、三洲田丘陵山地、松子坑水库、梅林环境监测站以及深圳浅海合作区等。

大气成分探测。大雾和灰霾是深圳常见的气象灾害，2004年深圳灰霾达175天，是50年年均值的35倍。灰霾和雾害的影响日益严重，同时还潜伏着出现光化学烟雾的可能性。深圳的大气成分观测系统由2个超级站、2个一般站、30个能见度观测站组成，结合MODIS卫星观测资料，初步构成了一个空间布局较为合理、天基地基有效结合、自动化程度较高、持续稳定运行的大气成分观测体系，可以针对不同代表性区域的大气成分及其引发的大气化学和物理特性要素变化的准确、系统和长期观测能力，大气成分观测及区域大气污染控制等提供科学依据。一般站的设备包括：黑碳仪、大气光度计、大气浊度计、臭氧分析仪和能见度仪等；超级站在一般站的基础上增加了气溶胶粒子谱仪、反应性气体监测仪、温室气体监测仪和微脉冲激光云高仪等，同时还特别配备了MARGA ADI 2080，这是一台测量气体和气溶胶中可溶离子成分的在线分析仪器，可以全自动半连续测量气溶胶中可溶性离子成分（NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Ca₂⁺、Mg₂⁺、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻）和气体（NH₃、HNO₂、HNO₃、HCl、SO₂），连续获得每小时气体和气溶胶浓度的平均结果。

气候资源监测。深圳的风能资源相对贫乏，故气候资源监测系统以太阳能资源的监测为主，包括1个太阳能资源观测站，以及在石岩基地和西涌基地按照世界气象组织地面辐射基准站网（Baseline Surface Radiation Network, BSRN）规范，建设两套可以实现城乡对比的高精度太阳辐射观测系统。太阳能资源观测站由4部分组成：其一是不同材料太阳电池并网发电实验系统，利用10种不同材料的太阳能电池组成容量相近的阵列，使用相同的逆变器，做成并网试验平台，可以测试各种不同材料的太阳电池实际发电效率，测试不同的气象条件下同种太阳电池阵列的发电量，以及相同的气象条件下，不同材料的太阳电池的衰减和失效数据等。其二是辐射量与发电效率试验系统，由120块按不同方位角（从正东到正西，间隔15°）和倾斜角（从水平到垂直，间隔10°）安装的小功率太阳能电池组成，每隔1min对太阳能电池的输出同时采样，可以测试相同的地理位置和气象条件下，不同太阳电池阵列安装倾角的系统发电量，测试相同地理位置和气象条件下，不同太阳电池阵列方位角的系统发电量，以及分析和评估不同安装倾角和方位角对光伏发电系统发电量的影响，为光伏发电系统的可行性评估及工程安装提供科学依据。

温室气体监测。利用深圳市国家气候观象台所

属西涌天文台的太阳望远镜与德国Bruker公司生产的高分辨率傅里叶光谱仪IFS125HR相结合, 构建了1套地基太阳高光谱观测平台, 克服了传统的地基大气痕量气体的测量主要采用化学分析方法, 分析设备复杂, 只能在近地层进行, 无法得出总量等弱点, 该系统测量大气吸收光谱, 可以地基遥感反演大气中痕量气体、水汽、云和气溶胶的总量及垂直廓线。该系统通过设置, 可以在可见到紫外波段(50000~20000 cm^{-1} , 0.2~0.5 μm)、可见光波段(25000~9500 cm^{-1} , 0.4~1.05 μm)、近红外波段(14000~1850 cm^{-1} , 0.71~5.4 μm)、中红外波段(4800~450 cm^{-1} , 2.08~22.2 μm)等波段开展高光谱观测, 最高光谱分辨率达0.0063 cm^{-1} , 可以精确有效地识别每一根谱线特征, 目前已开展 H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CO , CH_4 和 O_2 等气体柱总量的计算分析工作。

人口分布监测。移动电话是目前普及率最高的通信终端设备, 特别是在深圳这样一个全体市民平均年龄不到30岁并且全部乡村都完成了城市化改造的现代化都市, 移动电话普及率已达90%以上, 移动电话用户的分布及其动态变化在统计意义上已经非常接近实际的人群分布和动态变化。深圳市气象局在2007年提出利用移动基站手机用户信息实时动态监测人口分布的设想, 经与中国移动通信集团广东有限公司深圳分公司近1年的联合研发、调试和升级改造, 系统于2008年11月投入业务运行, 该系统可全年365天不间断地提供时间分辨率1h、空间分辨率1km、2136个网格点、时间延迟小于0.1h的人口密度信息。

4 展望

深圳城市气象探测系统将在不断优化、完善现有设施的基础上, 努力实现从“硬件设施”建设管理, 向“数据挖掘”集成创新转型; 发展的源动力要从“业务应用”切换到“社会共享”。要以城市管理服务人口为对象, 按照基本公共气象服务均等化的要

求, 围绕民生幸福, 围绕服务型政府的人文关怀和精细服务, 构建“大数据时代”的气象探测信息共享平台。通过统一数据标准、制定共享政策、完善业务流程、强化质量控制、多源融合数据、增加服务产品、拓宽服务领域、改善服务手段等措施, 探索建立公平公正、惠及全民、水平适度、可持续发展的普惠型、均等化城市气象探测信息服务体系。

参考文献

- [1] Camuffo D. History of the long series of daily air temperature in Padova (1725–1998). *Climatic Change*, 2002, 53: 7–75.
- [2] Oke T R. Review of urban climatology 1968–73. Geneva: WMO, 1974.
- [3] Oke T R. Review of urban climatology. Geneva: WMO, 1979.
- [4] Landsberg H E. The Urban Climate. New York: Academic Press, 1981.
- [5] Allwine K J, Shinn J H, Streit G E, et al. Overview of URBAN 2000: A multiscale field study of dispersion through an urban environment. *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83: 521–536.
- [6] Rotach M W, Vogt R, Bernhofer C, et al. BUBBLE - An urban boundary layer project. *Theor Appl Climatol*, 2005, 81 (3–4): 231–261.
- [7] Cros B, Durand P, Cachier H, et al. The ESCOMPTE program: An overview. *Atmos Res*, 2004, 69: 241–279.
- [8] Allwine K J. Overview of joint urban 2003-An atmospheric dispersion study in Oklahoma City. Joint Between The 8th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems in the Atmosphere, Oceans and Land Surface and the Symposium on Planning, Nowcasting, and Forecasting in the Urban Zone. Seattle, Washington: American Meteorological Society, J7.1, 2004.
- [9] Arnold S J, ApSimon H, Barlow J, et al. Dispersion of Air Pollution & Penetration into the Local Environment - DAPPLE. *Science of the Total Environment*, 2004, 332:139–153.
- [10] Okada Y. Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS). [2013-05-05]. http://www.mpsep.jp/ZENTAI/Brochure/TOMACS_e_web.pdf.
- [11] NRS. Observing Weather and Climate from the Ground Up: A Nationwide Network of Networks. Washington, DC: National Academies Press, 2008.
- [12] NRS. When Weather Matters: Science and Services to Meet Critical Societal Needs. Washington, DC: National Academies Press, 2010.
- [13] World Meteorological Organization. Urban Observations. In: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO No-8. Geneva: WMO, 2008.
- [14] 深圳市统计局, 国家统计局深圳调查队. 深圳统计年鉴2012. 北京: 中国统计出版社, 2013.