

基于物联网的城市单元体微气候环境 观测管理模式

■ 曾庆锋 高瑞泉 温精敏 李磊 许磊 汤洋 赖鑫

为利用好深圳丰富的科技创新资源，提升城市生态气象服务，深圳市气象局在基于物联网技术的城市单元体微气候环境观测资源归集管理方面进行大量探索工作。城市单元体微气候观测管理使得深圳市气象局获取了大量单元体观测数据，补充了传统气象观测体系，将气象探测社会化从理念到落实，并构建了城市气象、生态气象、气候、环境和健康评价体系。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.031

城市由不同单元体组成，如公园、医院、学校、社区、工业区和商业区等，由于其单元功能、建筑体量和土地类型不同，其微气候环境也各具特色。然而，一方面，城市化的速度在全球范围内急剧加快，显著改变了地面空间形态和下垫面属性，造成人为热、温室气体和气溶胶大量排放，导致城市灾害性气候、热岛效应、空气污染等问题严重。另一方面，随着社会的发展，城市居民对气候环境品质的追求在不断提升，其中最基本的一个需求是了解自身所处单元体的微气候环境情况，以获得更舒适、安全的环境提供参考。环境的恶化已严重影响到城市居民的日常生活，使得对微气候环境的研究更显迫切。城市微气候的研究始于20世纪70年代，德国斯图加特市为减低弱风条件下的污染，绘制了第一张都市气候图，从而展开了城市微气候的研究工作。我国在城市微气候研究最早是1997年东南大学柳孝图等分析城市区域热环境变化趋势，介绍城市规划和建筑设计措施对于改善城市区域微热环境的效用。随后众多学者针对城市不同单元体的微气候特征及其与城市规划设计、建筑设计、智能建筑、人体舒适度关系等各方面展开了广泛研究。

当前深圳在不到2000 km²的土地上容纳了上千万人口，市民对包括冷、暖、干、湿及污染等气候环境品质信息的需求非常强烈。为给深圳市公共安全、气象预警预报、政府决策及气候环境服务提供强有力的数据支撑，深圳市气象局在全市部署了超过200个自动气象站。虽然这些探测设备的数量已足够多，但这

些传统气象观测仍不能完全满足深圳市民日益精细化的环境品质信息需求。主要体现在4方面：1) 受限于高昂的价格和苛刻的安装环境，自动气象站的数量不可能无限增加；2) 气象要素在城市内呈高度非均匀状态，有限数量站点对于这种非均匀性的描述能力相当有限；3) 室内是居民工作和生活的主要空间，开放空间的探测设备提供的数据对室内环境品质不具备代表性；4) 常规气象观测与民众所关心的人居、气候和环境而言，气象观测要素相对较少。

随着技术的发展，现今实现了对微气候环境的低成本和智能化探测。与此同时深圳市民对自身所处的单元体气候环境越来越重视，为定量评估和优化所处单元体的微气候环境品质，越来越多业主根据单元体特点和具体需求，在单元体内定制化地布设大量智能化、低成本但精度达标的气候环境传感器。由此积累了丰富的城市单元体微气候环境资料，并形成良好的社会观测环境。与传统气象观测相比，单元体观测仪器的不局限安装于室外，也不要求具有大范围的区域代表性，但这些观测数据经物联网技术汇集并经合理算法进行质量控制后，是对传统气象观测的补充。为利用好深圳丰富的科技创新资源，做大城市气候环境探测资源池，提升城市生态气象服务，深圳市气象局在城市单元体的微气候环境观测资源归集管理方面进行大量探索工作。本文对该工作的现状和经验进行详细介绍。

1 技术与方法

“城市单元体”可定义为功能相对单一的城市组

收稿日期：2018年11月30日；修回日期：2019年4月10日

成部分,通常包含数栋建筑和配套空间,为城市居民的生活、工作、教育、治疗和休息等提供场所,例如学校、医院、公园、社区、工业区和商业区等。城市单元体微气候是指在城市单元体内的区别于周边条件和环境的气候现象,其变化对于人们的身体健康和生活舒适度产生非常强烈的影响,与人民幸福生活息息相关。由于单元体功能、建筑体量、土地类型和环境的不同,其微气候特征存在较大差别,其在众多研究中均有体现。

1.1 观测要素

与传统的气象观测不同,单元体微气候观测具有较强的针对性,观测内容由主体需求结合单元体特征针对单元体气候环境主要特质进行设计,其观测自成完整体系,可能囊括气象、环境、人居、健康、节能和安全等方面。例如,校园、医院,一般对气温、湿度、噪声、CO₂、紫外线、PM_{2.5}、光强和总挥发性有机化合物(TVOC)等要素进行观测;公园,一般对雨量、风速、风向、气温、气压、湿度、噪声、CO₂、紫外线、PM_{2.5}、光强和TVOC等要素进行观测。总的来讲,单元体微气候观测是根据单元体需求融合了多方面监测功能的定制化观测,其观测结果可为单元体微环境调整和决策提供数据支撑。

1.2 物联网观测传感器技术

微气候单元体观测的传感器利用精密集成技术,将不同传感器模块进行组合,并采用集成度高的数字电路及MEMS工艺,具备观测全面、抗干扰能力强、实时性高、体积小等特点。不同传感器模块负责不同类型的数据采集,中央处理器负责整理所有的传感器数据,还可执行模块校准、位置信息更新等远程数据处理服务器发出的命令。所采用的传感器均为小型化器件,从而大大缩小了观测设备的几何尺寸。例如,深圳市气象局微气候观测试点的传感器,可测量温度、湿度、甲醛、颗粒物、PM_{2.5}、TVOC、噪音等9种要素,其采集器尺寸仅为30 cm×6 cm×8 cm,远小于自动气象站尺寸。

传感器采集频次快(秒级观测),可通过无线通信模块发送到远程数据处理器进行处理,实现在局部区域内多观测点的数据监测和资源共享功能。经过处理后的数据能够较准确地反映城市单元体的微气候及环境品质。这些数据可用于两条链路:一条通路链接本地服务器及单元体内智能设备,用于自动调控单元体的微气候和环境;另一条通路则链接城市单元体中心服务器,并将数据分发到数据管理机构等。传感器将环境智能、自主控制和自治的物联网结合在一起,

提供能够和环境交互以及基于它们各自目的自主运行机制。同时传感器为即插即用式,可以灵活地安装于室内户外不同位置,满足单元体不同场景下的监测需求,而且成本相对较低,适合较全面观测。

1.3 数据质控及处理

传感器采集数据的质量控制工作在本地服务器上完成,一般经过判断、训练及修正模块完成检验和修订工作后才被发送往中心服务器,以保证观测数据的准确性。判断模块的主要作用在于检测数据的真实性,这是观测数据进行质量控制的关键环节,所采用主要方法是极值检验、时间一致性检验和空间一致性检验。训练模块主要是建立传感器采集数据与真实数据的回归模型,为下一步的修正模块修订数据提供模型参数。因为城市单元体观测仪器采用较多较低成本的功能模块组合布设,为了让这些传感器采集的数据可信和可用,需要利用已有的较高精度的传感器数据去校准。可采用基于支撑向量机等方法建立训练模块,根据某点观测的时间序列及周边较高精度观测的时间序列建立回归模型,将输入向量映射到一个高维的特征向量空间,并在高维特征空间构造最优回归函数,解决非线性回归问题。修正模块是根据训练模块建立的回归模型,对经过判断模块初步质量控制后的观测数据进行进一步的回归修正。对单元体传感器采集数据和附近位置专业级气象站仪器进行对比分析,发现两者绝对误差均值为0.17℃,说明单元体微气候探测设备的精度是可信的。

2 运行管理模式

为强化城市单元体微气候观测能力和促进单元体观测体系的健康可持续发展,深圳市气象局对城市单元体微气候的数据观测、收集、处理、应用和行为进行了规范,做到观测工作有制度、有流程、有规范,更好归集社会探测资源,确保城市单元体观测绩效。

2.1 把关数据源

对从事微气候设备研发、观测、产品开发或与气象部门合作开发气象环境观测服务的单位(企业)进行引导和管理,向其推广《地面气象观测规范》和《自动气象站通用技术规范》等国家观测规范,制定《自动气象站维护技术规范》和《回南天观测指南》等指导性技术规范以及《城市单元体微气候环境观测管理办法》,为单元体微气候的观测环境、仪器技术性能、仪器设施位置、仪器安装要求及数据精度、稳定性和连续性等方面作参考,从数据源头把关。

2.2 提供观测技术支持

对从事微气候设备研发、观测、产品开发、服务或与气象部门合作开发气象环境观测服务的单位（企业）提供微气候单元体观测专题培训和技术指导，规范单元体数据观测、收集和处理等方面工作：1）指导企业做好单元体的多元素探测传感器的通信模块和数据传输技术研发和应用；2）指导企业做好多元素探测传感器集群地理协同与校准工作，规范记录每个传感器位置情况，并将一系列环境参数添加至设备，为其他设备或未布置设备提供地理数据协同与校准；3）协助企业进行对比观测试验和数值模型训练，从而降低个体传感器误差，提高测量数值精度；4）提供数据质量控制方面的方法和技术支持；5）提供数据分析应用、科学数字化、可视化和分析应用方面的技术指导和支撑。

2.3 规范数据管理

规范城市单元体微气候的采集要素以及数据、储存和应用程序接口（API）格式等内容。规定单元体观测应自成完整体系，同时数据应有统一的数据格式。数据格式建议参考气象局地面气象要素数据文件格式，内容包括测站基本信息、站号、观测时间、纬度、经度，海拔高度、观测方式、观测数据、质量控制标识、文件更正标识等，并附上东、南、西、北4张以上设备位置图。数据传输和接口由公司各自按照统一API格式开发，并编制好技术文档。

单元体数据各自存储，确保数据本身的安全。

一般建议数据储存在服务器7天做临时调用，同时数据备份在备份服务器做永久保管，每个月定期备份至数据备份容灾服务器。数据服务器对数据库数据进行打包，对单元体探测设备和要素进行编制形成调用函数和命令，定义标准化和统一的API接口，用户发起HTTP请求，利用API接口将相应数据直接录入气象局数据库，实现数据共享。

2.4 反馈观测数据

共享数据在气象局入库后，经过质量控制、审核、分析处理等工作后通过深圳气象数据网、“四小微”等众多途径实时反馈给单元体。同时，气象局利用公众开放日、公务员义务活动等多途径对气象探测原理、探测数据重要性、探测数据应用以及单元体微气候观测和产品等内容进行宣传，为单元体探测和数据共享提供“土壤”。

3 管理成效

通过这种模式创新管理，目前深圳市气象局获取了47个单元体379套设备，获取气象、环境、能源和人居等多元观测数据，其数据量每天超过500万组。单元体有商业区、办公楼、学校、公园、旅游区等类别，主要分布在深圳市中西部、沿海及东北部人口和建筑密集区域（图1）。观测要素有雨量、风速、风向、气温、湿度、气压、噪声、CO₂、紫外线、PM_{2.5}、光强、TVOC等十多种微气候要素。深圳市城市单元体微气候环境观测资源归集管理工作带来的成效如下。

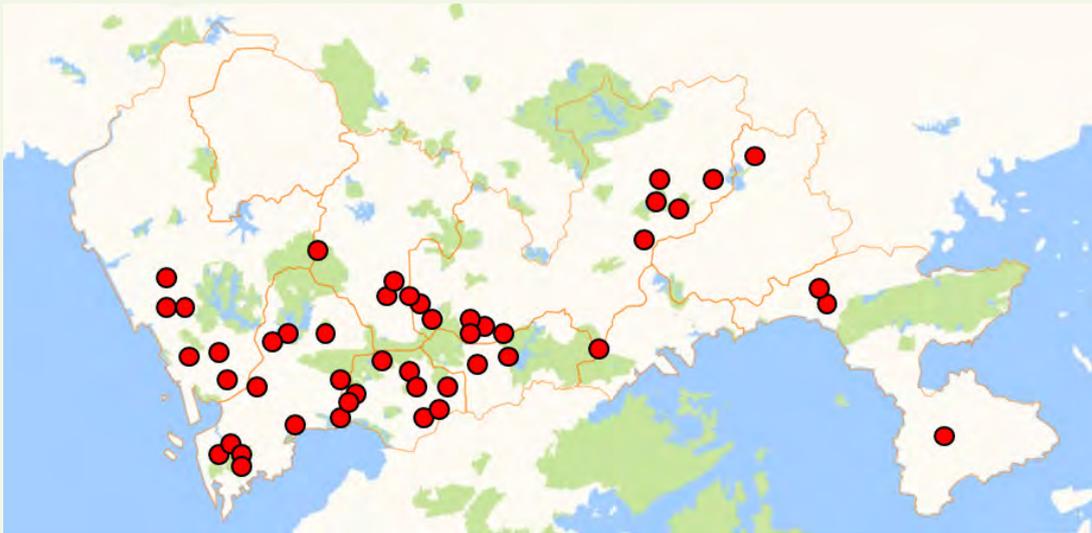


图1 深圳市微气候观测单元体分布图

3.1 补充传统气象观测体系

通过对城市单元体微气候观测管理，从社会资

源中吸纳除气象外的环境、能源和人居等非主流的气象观测数据，完善生态气象观测体系，补充主流气象

探测资源。一方面，这些观测数据有效弥补现有气象观测体系的不足，也可构建城市气象、生态气象、气候、环境和健康评价体系，不但为天气监测、预警预报、气象服务、防灾减灾和政府决策提供另一支撑，助推气象行业发展，而且为生态气象、人居环境和居民美好生活提供数据和技术支撑。另一方面，通过城市单元体微气候观测资源的管理和归拢，逐渐构建更加成熟的气象探测社会化的理念和体系，令其纳入健康可持续发展轨道。

3.2 加深城市微气候环境科学认识

单元体微气候探测从点拓展到面并深入到室内，实现了对单元体的全方位观测。这些长序列、多点位的城市单元体微气候环境数据，有助于更深入地理解

相同区域气候背景下不同类型单元体的微气候特征、规律和机制，具有重要的科学价值。对深圳市一学校微气候与常规气象站数据进行分析，得到单元体内外的微环境的差异性，并发现常规气象观测对城市单元的室内环境几乎没有参考价值。

3.3 带动物联网观测技术创新

由于这管理模式提出了一系列具体要求，促进了如基于物联网的微气候观测组网技术、低成本多要素气候环境传感器技术、传感器集群地理协同与校准引导技术、微气候渲染展示技术等大量技术创新应用于气象观测。例如，建立单元体三维立体模型，在模型之上按不同要素渲染生成图形产品，并且可进行交互式操作，以任意视角展示气候环境要素空间分布（图2）。



图2 深圳市气象局微气候数据产品

3.4 具有科普示范作用

微气候单元体的观测和数据应用，具有科普示范作用，激发了服务对象对气象科学的兴趣和爱好，取得了良好的社会效益。例如开发的校园微气候环境数据产品平台，附带了微气候环境论文写作功能，并可进行转发分享、专家与大众评论拓展、论文排名和评比等项目，使得微气候环境的监测、分析和应用融入学生生活，丰富了学生的课余活动，启发了学生对气象、环境和自然的兴趣（图3）。

4 展望

今后，需进一步完善微气候环境信息监测的规范和机制，利用“互联网+”和云技术，加强单元体的微气候环境数据监测、收集、应用和反馈工作；加强对单元体微气候环境观测数据的质量控制及数据应

用工作，提升其在天气预警预报、气象服务、生态气象以及人居环境改善方面的效能。同时，需扩大城市微气候环境探测模式的应用范围，整合多需求人群，引导更多社会力量参与，以得到更全面的城市微气候环境观测资源。未来随着城市单元体微气候观测工作的不断深入推广，深圳市有望建成以区域自动站为节点（空间分辨率为千米数量级）、以单元体微气候全息观测为拓展（空间分辨率为10 m数量级），更为全面、精细的城市气象探测网络体系。

致谢：本文由国家重点研发计划（2017YFC1501904）、中国气象局华南区域气象中心科技攻关项目（GRMC2015M05）和深圳市科技计划项目（ZDSYS20140715153957030）共同资助。



图3 校园微气候环境分析作品

深入阅读

Baumolle R J, Reuter U, 1999. Demands and requirements on a climate atlas for urban planning and design. Stuttgart: Office of Environmental Protection.

Fountain M, Brager G, Dear R D, 1996. Expectations of indoor climate control. *Energy and Buildings*, 24(3): 179-182.

Grimmond S U E, 2007. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173(1): 83-88.

Hilliaho K, Nordquist B, Wallentèn P, et al, 2016. Energy saving and indoor climate effects of an added glazed facade to a brick wall building: Case study. *Journal of Building Engineering*, 7: 246-262.

Kalnay E, Cai M, 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423: 528-531.

Lai X, Tang Y, Li L, et al, 2019. Study on microclimate observation network for urban unit: A case study in a campus of Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 110: 117-124.

Li L, Chan P W, Wang D L, et al, 2015. Rapid urbanization effect on local climate: intercomparison of climate trends in Shenzhen and

Hong Kong, 1968-2013. *Climate Research*, 63(2):145-155.

Mccarthy M P, Best M J, Betts R A, 2010. Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*, 37(9): 232-256.

Morgan C, De Dear R, 2003. Weather, clothing and thermal adaptation to indoor climate. *Climate Research*, 24(3): 267-284.

Varas-Muriel M J, Fort R, 2018. Microclimatic monitoring in an historic church fitted with modern heating: Implications for the preventive conservation of its cultural heritage. *Building and Environment*, 145: 290-307.

Wolfson N, Erze J, Alperson Z, 1978. Automatic real-time quality control of surface synoptic observations. *Journal of Applied Meteorology*, 17: 449-457.

林满, 王宝民, 刘辉志, 2015. 广州典型小区微气候特征观测与数值模拟研究. *中山大学学报(自然科学版)*, 54(1): 124-129.

柳孝图, 余德敏, 1997. 城市热环境及其微热环境的改善. *环境科学*, 1: 54-58.

邬尚霖, 孙一民, 2016. 广州地区街道微气候模拟及改善策略研究. *城市规划学刊*, 1: 56-62.

(作者单位: 曾庆锋、高瑞泉、温精敏、李磊、赖鑫, 深圳市国家气候观测台; 曾庆锋、李磊, 深圳南方强天气研究重点实验室; 许磊、汤洋, 深圳焱玄阁公司)