

近10年深圳气象科研成果分类及特点

张立杰 胡娟 张凯 李游 郑慧

从应用研发、基础研究两方面对深圳气象近10年的科学研究和研发成果进行了分类总结。在应用研发领域，深圳气象在临近预报方法、数值预报方法以及气象服务方法等领域都取得了较为丰硕的成果，在很大程度上满足了城市防灾减灾和决策服务对及时、快速和准确的气象信息的需求。在基础研究方面，深圳气象主要在天气学、城市气候和大气环境等应用基础研究领域取得了一些成果。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.034

深圳濒临南海，饱受台风、暴雨、强对流等灾害性天气的影响，城市的生命和财产安全遭受到严重威胁。深圳的快速城市化与工业发展，在一定程度上带来了局地气候和大气环境的变化，诸多研究表明，深圳出现了城市热岛加剧、灰霾增多等问题，并给市民的生活带来不利影响。

为解决这些问题，更好地服务城市防灾减灾和可持续发展的需要，深圳市气象局依靠科技创新着力推进现代气象业务体系建设和提升气象服务能力，逐渐形成了以“业务中发现问题-科学研究解决问题-业务服务中检验问题”为特色的良性循环机制。尤其是近10年来，深圳市气象局取得了大量的科技创新成果，并推动了气象监测、预报、预警水平及服务能力的快速提高。本文着重对近10年深圳在气象科技创新领域取得的成果作简要总结，以期为国内不同城市的气象科技创新发展提供参考。

1 应用研发

1.1 临近预报方法

由于地处华南沿海，天气复杂多变，临近预报对于深圳具有特别重要的意义。深圳市气象局在临近预报的技术方法研究上投入了大量的人力和物力。2009年，兰红平等基于雷暴云团边界追踪技术开发了一种短时临近预报方法，主要通过模式识别技术进行云团边界识别、拓扑处理，建立云团生命时序与族谱关系，并在此基础上通过雷暴云团外推进行临近预报。该方法主要解决了三个技术难题：一是对已预处理的雷达数据进行边界识别；二是利用四分树匹配分析因子、重叠因子、外接矩形因子、轮廓综合因子、局部相似判定因子等六个判断因子，分别识别出每个

云团的时间序列，以及每个云团的运动方向、速度、面积、强中心，以及所处的状态等信息；三是对云团的移动方向、速度、面积、强度进行线性外推。通过这些技术，可获得雷暴云团的空间位置信息、发展轨迹、演变特征和未来预测。该方法在一定程度上推动了临近预报预警技术的发展。

在兰红平等工作的基础上，曹春燕等尝试将计算机视觉领域的重要方法——光流法引入对流临近预报外推算法方案中。光流法具有高弹性、高灵活性等特点，可以模拟出接近理想的运动矢量场，能准确地实现对目标物的识别、追踪和运动估计，被应用于医学、天文、气象等领域。光流法的基本原理是由于运动目标和观测器之间的相对运动，以图像量化作为识别对象，在序列图像中产生瞬时位移，体现图像亮度模式的表现运动，图像中所有像素点的亮度光流构成了图像的光流场，而光流法的核心就是从连续的图像系列中计算光流场。与传统的交叉相关法相比，光流法立足于变化，而不是选定不变特征再跟踪不变特征移动的方式。将光流法应用于临近预报，开发基于光流法的雷达回波预报产品，不仅得到了回波的外推预报，还很大程度上弥补了传统的雷暴外推（交叉相关法）的缺陷，提升了临近预报系统的性能。

陈元昭等利用广东省12台天气雷达的资料开展研究，开发了基于粒子滤波法的新临近预报方法。该方法首先在雷达数据质量控制中应用了一种双边滤波器；同时采用基于Lucas-Kanade算法和Harris角点检测算法的光流方法跟踪雷达回波并提取回波运动矢量；然后，将运动矢量用粒子滤波混合算法进行混合，以估计真实回波运动的最优运动矢量；最后，基于获得

收稿日期：2018年12月6日；修回日期：2019年4月15日

的运动矢量场采用准拉格朗日外推方法进行雷达回波外推。应用检验表明,这种改进对于飑线等西风带系统带来的降水天气过程,粒子滤波融合法30 min的击中率为82%,较传统方法有所提升,在应对“5·20”暴雨和“山竹”台风等多次气象服务保障过程中发挥了重要作用。

1.2 数值预报方法

过去10年,深圳市气象局通过技术引进、吸收再创新的途径,与国内外多家机构合作开展了多项研究,建成了有深圳特色的数值预报系统。Hou等利用WRF对深圳及周边的雷达资料和自动气象站资料进行了同化,表明其短时预报的效果令人满意,同化对于预报技巧的提高可以延伸至9 h。基于这种技术,深圳市气象局开发了逐时循环同化系统(Hourly Assimilation and Prediction System, HAPS)。Pan等同样利用WRF同化了深圳及周边的大量观测资料,与Hou等基于三维变分的同化方法有所不同,Pan等使用了基于张弛逼近(Nudging)的四维数据同化技术(FDDA)。在实际工作中,两套模式并行运行,表现上也各有千秋,HAPS在降雨的短时预报中发挥了重要作用,而FDDA因为同化了大量地面自动气象站资料,在风、温的预报中有一定优势。

欧洲中期数值预报中心(ECMWF)精细化数值预报产品和NCEP/NCAR的全球模式预报产品一直是深圳市气象局开展预报业务的重要支撑,为充分挖掘这些产品的价值,深圳市气象局组织对这些模式产品进行了二次开发。兰红平等在ECMWF的15 d数值预报产品基础上开发了时间滞后集合预报产品,结果表明,采用时间滞后集合对于气温的预报比直接用单次预报的准确率有一定提升。陈申鹏等利用NCEP/NCAR格点资料和华南地区主要站点的降水资料,结合华南地区汛期强降水过程的大气低频系统的地理位置和相互配置,建立了华南汛期大气低频系统延申期强降水预测模型,并应用在业务服务中,通过两年的实践表明,该模型可以提前10~30 d预报华南地区强降水过程,具有一定的预报能力,这也意味着,低频系统预测模型在华南地区实现本地化,成为深圳中长期降水预报的重要支撑。

1.3 气象服务

孙石阳等根据深圳气象服务特点,剖析存在的问题,提出转型发展的重要性和必要性,对气象服务转型发展的实现目标、前提条件、业务体系建设及配套政策进行了深入研究和探索。刘锦泉等根据深圳现有气象信息发布方式,分析了建立综合气象信息发布

平台的必要性,研究团队采用地理信息系统可视化、人机交互式设计,并运用单一信息源生成与多种信息源发布模式对接的方法,开发了气象灾害预警、预报产品及监测资料的发布平台,平台的实际应用极大地提高了信息发布效率,并为今后增加发布渠道提供了扩展空间。刘东华等利用高性能计算技术、智能语音识别技术、智能语音合成、海量气象监测与预报数据库,提出了个性化气象信息服务模式,设计了深圳市个性化气象信息服务系统,同时拓宽了公众获取气象信息的渠道,并可实现实时交互。谢坤、陈申鹏等结合重要天气过程详细分析了“深圳天气”微博、微信等互联网新媒体在气象服务中的应用,对微博、微信的优势和劣势进行了对比分析,在发布方式方面,微博发布方式属于点对面,对用户没有“非看不可”的硬性要求,信息送达率相对较低,有些信息可能会被公众忽略,所以微博通常发布频率很高,重大灾害天气影响期间最频繁约1条/15 min;微信推送次数虽然受限,但属于真实的朋友圈建立的联络方式,信息送达率可达100%,重要天气过程时的一条推文创下过40多万阅读量的记录。目前“深圳天气”微博粉丝已达180多万,微信粉丝110多万,成为深圳气象公共服务的叫得响品牌。

2 学科发展研究

2.1 天气学研究

特殊的地理位置和地形地貌使深圳灾害性天气频发,受热带气旋影响频繁,全方位探究灾害性天气特征,了解其演变规律,认识灾害性天气形势和形成的物理机制,是准确把握灾害性天气形势、做好灾害性天气预报的基础前提。张蕾等利用深圳机场跑道两端气象观测资料,针对飑线、强对流、连续暴雨和冷空气等典型灾害性天气过程,分析了不同天气条件下水平梯度变化特征。谢坤等对热带气旋海高斯登陆后重新加强并导致深圳暴雨的情况进行分析,分析表明,弱冷空气扩散南下,“海高斯”变性加强,且GPS/MET大气水汽含量变化和强降水具有一定的对应关系,强对流发生前的快速增加过程,对强对流天气预报具有指示意义。谢小敏等对30年的前汛期西风带大暴雨期间的500、850 hPa和地面环流形势进行分析,发现深圳市前汛期有77%的大暴雨过程由西风带系统引起。2012年,胡娟等通过近40年深圳出现的台风、暴雨等灾害性天气过程的环流特征,构建了深圳市重大灾害性天气的概念模型和指标体系,并研发了基于Web网页的各类灾害天气过程概念模型查询系统,对提高预报准确率、做好城市防灾减灾具有重要

意义。2014年, Li等结合探空资料、铁塔资料、利用CFD(计算流体力学)模拟分析了台风莫拉菲登陆期间深圳东部山地的风场精细结构, 为深圳强风致灾等问题的研究提供了新的技术手段。为进一步了解珠三角地区重大短时强降水发生的环境特征, 2016年, 陈元昭等利用珠三角地区自动气象站资料、探空资料、卫星资料研究了7年间68个重大短时强降水事件的环境流型和关键物理参数, 结果表明, 珠三角地区重大短时强降水天气流型主要有台风型、西南季风型、北部湾低压型、冷切变线型和热带云团型5种, 将不同流型配置方法、重大短时强降水对应的关键环境参数以及根据箱线图展示的参数范围设定适宜的阈值方法相结合, 为珠三角地区显著强降水的预报改进提供了重要参考。

2.2 城市气候研究

深圳自1980年成立经济特区后, 人口、GDP及城市建成区面积都快速增加, 其城市化进程的速度之快在全世界范围内都极为罕见。然而, 快速城市化对深圳的气候造成了显著影响。早期, 张小丽等对新时段的气候要素平均值的演变特征进行了分析, 指出新的气候平均值出现了气温上升、雨量增加、湿度下降和日照减少等特点; 张恩洁等的分析表明, 近50年间深圳增温速率为 $0.034\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 明显高于全国水平。王博等在张小丽、张恩洁等研究基础上, 分析了不同年代的气候要素平均值的变化趋势, 并进一步指出了深圳的气候存在着夏季延长, 秋、冬季渐短及雷雨影响时段略有延长的事实。李辉等利用56年来对深圳造成风雨影响的热带气旋特征进行分析, 结果表明, 影响深圳的热带气旋年内变化呈单峰型分布, 其中8月出现对深圳造成严重影响的热带气旋概率最大。

随着深圳探测数据的不断积累, 关于深圳城市气候特征的研究也不断深入。张立杰等利用自动站气温观测资料, 对深圳的城市热岛现象进行了研究, 发现深圳的近地层气温分布是海陆作用叠加城市热岛效应形成的结果。特别值得一提的是, 该研究所用资料空间密度很高, 在深圳近 2000 km^2 的土地上, 共收集了103个自动气象站的资料, 所反映出的近地层气温空间结构与卫星遥感资料具有非常好的一致性。李磊等对深圳快速城市化的气候效应及物理机制展开分析, 在得出城市化造成高温日数显著增多、夜间变得更为炎热、相对湿度显著降低以及短历时降水强度增加等局地变化结论的基础上, 从发展战略和规划层面对城市发展提出可针对性采取一定措施, 从而保护和调节城市气候, 例如: 海绵城市建设、低碳发展战略、自

然通风规划等。

2.3 大气环境研究

随着城市化的快速发展, 大气环境也受到严重影响, 开展大气环境研究, 分析灰霾、臭氧等典型污染特征及成因, 对城市大气环境治理和改善具有重要的参考意义。王明洁等在大运会(26届世界大学生运动会)召开前夕, 对大运会即将召开时段深圳重度灰霾天气特征及环流形势进行分析, 研究了可能造成该时段重度灰霾天气的主要原因以及发生重度灰霾的可能性, 为做好大运气象服务保障工作提供科学支撑。杨琳等研究了深圳地区灰霾分布特征、预报预警方法, 建立了灰霾预警预报模型, 检验表明, 该模型具有一定的可靠性, 为灰霾防治和预警系统的建立提供了科学依据。张丽等利用深圳国家基本气象站观测数据和竹子林大气成分站颗粒物、污染气体的浓度资料, 对典型灰霾过程粒子浓度的日变化特征进行对比分析, 分别给出了在变性高压脊控制下、在热带气旋外围下沉气流控制以及在低槽或切变线影响下, 灰霾污染物的变化特征。2015年王明洁等利用精细化的观测资料对深圳不同季节灰霾的污染特征进行研究分析表明, 约80%的中重度灰霾出现在风速小于 2 m/s 和相对湿度在70%~90%情况下。2017年, 梁碧玲等利用3年深圳国家基本气象站的观测资料和11个国家级环境监测点的臭氧数据, 对其污染特征及气象条件进行了分析, 分析结果为深圳地区臭氧污染监测预报和进一步深入研究臭氧污染机理提供了参考。

3 小结

过去的10年, 深圳气象无论在临近预报、数值预报以及气象服务方法还是在天气学、城市气候和大气环境等学科发展研究方面都取得了较为丰硕的成果。

未来, 随着临近预报技术和数值预报方法越来越成熟, 预报预警越来越精细和精准, 以及决策部门和公众对气象服务的需求越来越高, 如何提高服务效率和信息发布的精准度, 做到将合适的信息发送给合适的接收者, 均值得在业务服务中不断实践、应用和分析研究。在基础研究领域, 随着气象探测网络的进一步完善, 探测资料质量日益提高, 有助于对典型天气过程的特征进行更为深入和精细化分析, 而关于城市气候、大气环境变迁后的物理、化学机制和社会经济机制的大量科学问题将可能得到进一步研究和解决, 从而对建设更安全和可持续发展的深圳有一定的促进作用。

致谢: 本文由“中国气象局华南区域中心科技攻关项目(GRMC2015M05)”资助。

深入阅读

Hou T, Kong F, Chen X, et al, 2015. Evaluation of radar and automatic weather station data assimilation for a heavy rainfall event in southern China. *Advances in Atmospheric Science*, 32: 967-978.

Li L, Chan P-W, Hu F, et al, 2014. Numerical simulation on the wind field structure of a mountainous area beside South China Sea during the Landfall of typhoon Molave. *Journal of Tropical Meteorology*, 20(1): 66-73.

Pan L, Liu Y, Liu Y, et al, 2015. Impact of four-dimensional data assimilation (FDDA) on urban climate analysis. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7(4): 1997-2011.

Chen Y Z, Lan H P, Chen X L, et al, 2017. A nowcasting technique based on application of the particle filter blending algorithm. *Journal of Meteorological Research*, 31: 931-945.

曹春燕, 陈元昭, 刘东华, 等, 2015. 光流法及其在临近预报中的应用. *气象学报*, 73(3): 471-480.

陈申鹏, 孙国武, 曾鼎文, 2017. 大气低频系统与华南强降水过程的研究. *高原气象*, 36(2): 480-490.

陈元昭, 俞小鼎, 陈训来, 2016. 珠江三角洲地区重大短时强降水的基本流型与环境参量特征. *气象*, 42(2): 144-155.

胡娟, 王明洁, 张蕾, 等, 2012. 深圳重大灾害性天气的概念模型系统介绍. *广东气象*, 34(4): 35-37.

兰红平, 李磊, 马晓光, 2011. 深圳单点气温的时间滞后集合预报研究. *气象科学*, 31(2): 200-204.

兰红平, 孙向明, 梁碧玲, 等, 2009. 雷暴云团自动识别和边界相关追踪技术研究. *气象*, 35(7): 101-111.

李辉, 郑群峰, 王博, 等, 2010. 1952—2008年影响深圳市热带气候的气候特征. *广东气象*, 32(5): 12-14.

李磊, 张立杰, 张小丽, 等, 2012. 地理特征、人口分布及用电负荷对深圳城市热岛的影响分析. *环境科学学报*, 32(12): 3073-3077.

李磊, 王德立, 谭明艳, 2015. 快速城市化对深圳气候的影响. 第32届中国气象学会年会.

梁碧玲, 张丽, 赖鑫, 等, 2017. 深圳市臭氧污染特征及其与气象条件的关系. *气象与环境学报*, 33(1): 66-71.

刘爱明, 杨柳, 吴亚玲, 等, 2012. 城市区域大气颗粒物的健康效应研究. *中国环境监测*, 28(5): 19-23.

刘东华, 张琳琳, 2012. 深圳市气象信息服务个性化的设计与展望. *广东气象*, 34(3): 57-59.

刘锦泉, 曾峰, 李游, 2010. 多种发布渠道的气象服务信息综合发布平台的设计. *广东气象*, 32(3): 63-65.

施何俊, 张丽, 张立杰, 2013. 基于自动站资料的深圳灰霾特征对比分析. *中国环境监测*, 29(6): 39-43.

孙石阳, 余立平, 高兴龙, 等, 2011. 深圳市专业气象服务转型发展探索. 第28届中国气象学会年会.

王博, 鄂明, 张丽, 2012. 近60年深圳气候平均值变化特征分析. *气象预报*, 28(2): 67-71.

王明洁, 张蕾, 陈元昭, 等, 2010. 大运会期间深圳重度灰霾天气特征及环流形势. *广东气象*, 32(3): 5-8.

王明洁, 张蕾, 张琳琳, 等, 2015. 基于精细观测资料的深圳不同季节霾及其污染特征分析. *中国环境科学*, 35(12): 3562-3569.

谢坤, 陈申鹏, 2015. 从“深圳天气”微博和微信维护谈新媒体的气象服务. *广东气象*, 37(1): 59-61.

谢小敏, 王明洁, 胡娟, 2010. 深圳市前汛期西风带大暴雨天气形势特征. *广东气象*, 32(3): 9-16.

杨琳, 杨红龙, 陈嘉晔, 等, 2012. 深圳地区灰霾分布特征及预警、预报方法探讨. *环境科学学报*, 32(12): 3065-3072.

张恩洁, 赵昕奕, 张晶晶, 2007. 近50年深圳气候变化研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 43(4): 535-541.

张蕾, 毛夏, 2008. 灾害性天气过程中气象要素小尺度水平尺度分析. *气象*, 34(10): 12-19.

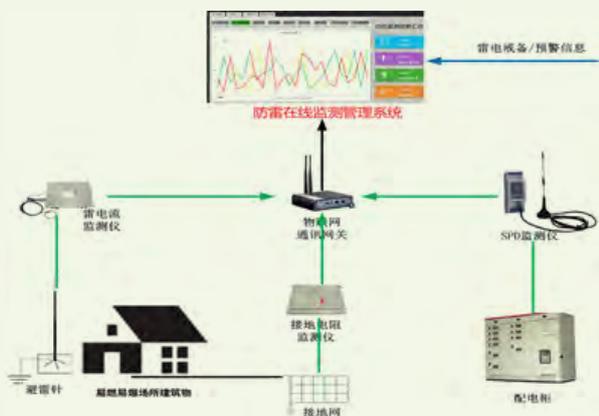
张立杰, 李磊, 江崑, 等, 2011. 基于自动站观测资料的深圳城市热岛研究. *气候与环境研究*, 16(4): 479-486.

张丽, 毛夏, 施何俊, 等, 2014. 深圳市灰霾的城郊差别及成因分析. *热带气象学报*, 30(1): 176-180.

(作者单位: 张立杰、李游、郑慧, 深圳市气象局/深圳市国家气象观测台/深圳南方强天气研究重点实验室; 胡娟、张凯, 深圳市气象局/深圳南方强天气研究重点实验室)

深圳市气象局防雷智能化管理初级系统

李俊山



近几年, 基于物联网的传感器技术、组网技术及智能算法等得到快速发展, 深圳市气象局防雷管理智能化系统(防雷在线监测管理系统)借助这些新技术建立起来(如图)。系统的硬件主要由多要素智能监测终端设备等组成, 软件主要由运行在服务器上的基于GIS平台的在线监测管理系统软件组成。

目前, 该初级防雷管理智能化系统能实现“三个在线”(在线监测、在线告警、在线管理)的实时监控功能, 为未来的智能化管理作一个初级尝试。防雷设施在线安全监测系统通过对避雷器和现场防护环境的实时监控, 可以对具有安全隐患的场所进行提前预警, 提前对存在的安全隐患做出必要的动作, 从而达到防雷减灾的目的。

(作者单位: 深圳市气象局)