

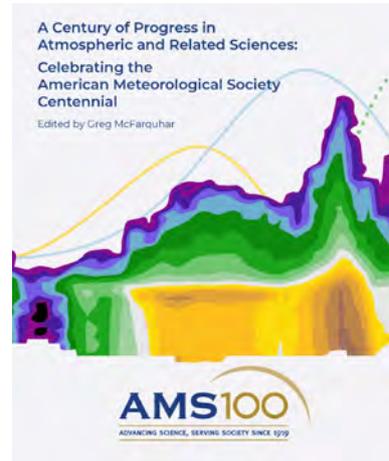
回望2018——七大脉络彰显气象科学持续发展的动力

刚刚过去的2018年，全球气象界在看似波澜不惊形势下，实际上在酝酿一些根本的改变。2018年正值第一次世界大战结束百年，这一时刻让很多学者反思那场战争因对气象信息的需求带来的对整个学科的推动，尤其是回顾自一战期间英国学者理查孙尝试手工数值天气预报之后100年来气象科学的进步，更是百感交集和对未来有了更多期待。本文从AMS百年文集试图对同样时段的梳理开始，以偏概全凝炼出2018年气象发展的脉络，与读者一起在回顾中更准确地前瞻和憧憬学科的发展。

本刊

脉络1 AMS百年文集：秀出世纪成就 剑指来日风流

历史并不算悠久的美国气象学会（AMS），即将迎来成立100年。如果说，二战前后当战争促进气象大发展时，美国还是参与者，那么罗斯贝等众多欧洲裔学者战后移民美利坚，芝加哥学派替代更加经典的挪威学派成为大气科学发展的新引擎，并在1950年成就NWP最先在美国获得成功，美国气象界无疑从20世纪下半叶开始已经走在了世界的前列。借美国气象学会走过百年，这本文集的推出，从2018年下半年开始、并在2019年持续进行。文集计划用27章梳理气象科学的百年进步，从已经在网上发表的10章左右内容和近20章信息的题目看，这本文集既有对学科经典领域的再划分（例如，应用气象学科按照基本应用、应对人口增长和其他应用被划分成3个分学科；大气化学则按照气态和非气态进行划分），又有对可能成为新的分支学科领域的探索（例如，将强对流风暴的科学和业务捆绑在一起的主题评述）。这些创新性的思想，无疑是对过去发展的凝练，并会对未来气象和大气科学的发展具有重要的启发性意义。



AMS百年文集版眼

脉络2 你方唱罢我登场，气象卫星“专门星座”时代开启

随着世界气象卫星强国在2017年及之前，大多完成了新一代气象业务卫星的发射和业务化，气象业务卫星换代告一段落。2018年，是全球针对重要地球系统变量专门卫星或星座发射竞争开始进入白热化的一年，这或许开启了气象卫星的“专门星座”的新时代。

ESA“探索地球”专门卫星系列引领潮流。8月22日，欧空局（ESA）研发20年的Aeolus（风神）卫星终于顺利升空。星上被称为“阿拉丁”的多普勒紫外激光雷达（ALADIN），实现了监测、绘制全球风速风向等风况。风神卫星改变了之前卫星只能通过追踪云层、气溶胶（烟、尘、雾、霾），或者通过测量海洋表面变化，间接获得风况的状况，可以说是填补了一项空白。更加难得的是，风神卫星是ESA“探索地球”系列中的第5项，它与之前的地球引力和地磁（Swarm卫星，3颗）、土壤湿度与海水盐分（SMOS，2颗）和冰冻圈等4种卫星或星座，共同构成对地球重要变量的星座探测。



风神卫星

欧美日多机构跟上。2018年9月和10月，美国和日本分别发射了监测地球冰变化的ICESat-2卫星和“呼吸2号”温室气体观测卫星。美国NASA的Parker太阳探测器和欧洲空间局的太阳卫星，都将进入瞄准太阳的轨道，目标是解开“日冕为何温度如此之高”和“太阳风的动力来自何处”这两个长期困扰学者的谜团。

小卫星推波助澜。2018年，美国著名的SpaceX公司完成了“SSO-A：小卫星快车”发射任务，将64颗小卫星送入地球轨道。而美国“火箭实验室”公司为了战略性应对小卫星发射市场，研制了小型运载火箭“电子”号，2018年12月成功将13颗立方体卫星送入轨道。在大型卫星面临制造和发射成本过高、研发时间周期长等风险时，2018年，重量在10~100 kg的微小卫星在遥感、通信两大领域快速发展，并有未来部分或全部替代大型卫星的趋势。作为对这一趋势的呼应，美国气象部门2018年停止了著名的合作项目COSMIC二期，选择继续从3家公司购买主要通过小卫星获得的无线电掩星大气探测数据。

数字

2.7%

全球碳项目最新研究显示，2018年全球工业碳排放二氧化碳可能增加2.7%，达到历史最高，这标志着在排放相对平稳期过后，连续第二个大幅度增加年。

1.4℃

法国气象局的统计表明，2018年该国平均温度较1981—2010年平均温度高出1.4℃，超过2012年的1.2℃和2011年的1.1℃，是法国记录以来最热年。

脉络3 新一代导航卫星和“伪卫星”平台带来天基观测新变数

2018年12月23日,美国空军成功将首颗新一代全球定位系统卫星GPS III发射升空。较上一代卫星, GPS III具有更强大的信号系统,其提供的一种新的民用信号,可以与其他导航卫星兼容,这意味着数据精度的提升。因此,借助导航卫星的无线电掩星大气探测技术和依据GPS准确定位的探空仪等,未来性能的进一步提升成为可能。

另外,主要由企业创新主导的天基观测“伪卫星”技术,例如,空中客车公司于2018年8月5日试飞的“西风神”HAPS(太阳能高空伪卫星)太阳能无人机,创下在空中停留超过25天的记录。这次飞行的高度达到7万英尺,超越了其他飞机和大部分云层。另一家企业——美国世界观察公司,则在2018年试验通过高海拔热气球形成“同温层卫星”平台。这类热气球可以达到16~30 km的高度,占据了飞机和卫星之间的最佳地球探测位置。目前,热气球飞行的最长时间为5天,未来将延长到数周。无疑,当这些技术成熟时,作为一个“动态”的“伪”卫星或下一代亚轨道星体,在地球观测中更多的作为非常可期。

国际“业务数值预报”主题被引频次最高的前10篇论文

排名	篇名	第一作者	来源	被引
1	The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation	Molteni, F	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1996, 122(529)	877
2	The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics	Kobayashi, Shinya	Monthly Weather Review, 1998, 126(6)	662
3	The operational CMC-MRB Global Environmental Multiscale (GEM) model. Part I: Design considerations and formulation	Cote, J	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2005, 131(608)	609
4	A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere	Davies, T	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1999, 125(560)	552
5	Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF Ensemble Prediction System	Buizza, R	Monthly Weather Review, 1992, 120(2)	458
6	A comprehensive radiation scheme for numerical weather prediction models with potential applications in climate simulations	Ritter, B	Monthly Weather Review, 2011, 139(12)	402
7	Operational convective-scale numerical weather prediction with the COSMO model: Description and sensitivities	Baldauf, Michael	Bulletin of the American Meteorological Society, 2006, 87(7)	375
7	Improving weather forecasting and providing new data on greenhouse gases	Chahine, Moustafa T.	Monthly Weather Review, 1996, 124(6)	375
9	A system simulation approach to ensemble prediction	Houtekamer, P L	Monthly Weather Review, 2004, 132(2)	364
10	An hourly assimilation-forecast cycle: The RUC	Benjamin, S G	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1999, 125(557)	356

来源: SCI-E数据库

检索时间: 2019年1月22日

田晓阳 提供



GPS III 卫星



左: 空客公司 Zephyr HAPS 无人机; 右: 搭载在热气球上的“同温层卫星”平台



3/8倍

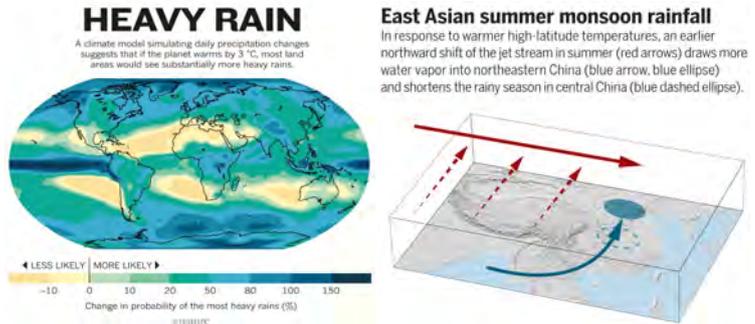
2018年末成功升空的美国新一代GPS首颗卫星,其定位精度是当前系统的3倍,而抗干扰能力更是目前系统的8倍,卫星的研发机构为洛克希德-马丁公司。

第1

西班牙媒体在预测2019年将进一步发展的十大人道主义危机时,将气候变化列为第1位,指出如果导致气候变化的因素不发生改变,或导致上亿人流离失所。

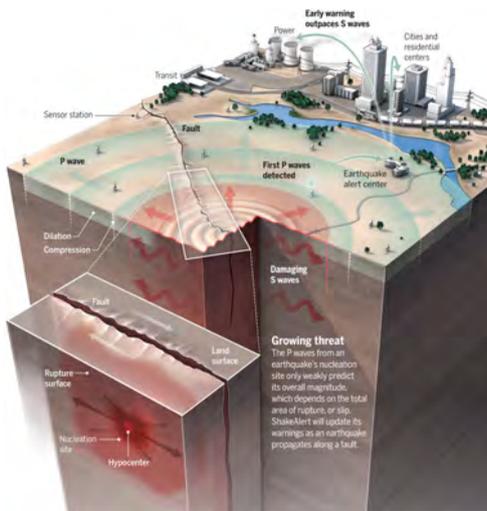
脉络4：气候变化怎样改变天气预报？

气候变化改变全球天气，在2018年成为更被关注的主题，最新的模拟研究表明，在升温背景下，全球风暴将更湿和更不稳定。2015年发表的一篇预测强暴雨趋势增加的成果，也在最近被验证。影响中国天气的主要系统，例如，东亚夏季风降水，在高纬度地球温度更高的背景下，带来夏季降水的急流北抬偏早，或许将给东北地区带来更多降水并缩短中部地区的雨季。



左：未来全球强暴雨增加趋势分布；右：东亚夏季风降水机制调整

脉络5 地震火山预警与预报合一，或许提供激烈天气预报新思路



地震早期预警系统

2018年10月，美国第一个地震早期预警系统ShakeAlert投入运行。系统利用地震中传播更快的压力波（P）与造成损害更大、但传播速度更慢的横波（S）的时间差，用P分析S的危害和地点，并通过电子预警以与时间赛跑的方式预警。这样的“无预报”手段的预警之所以成立，完全因为当今网络化的社会信息体系才可行。

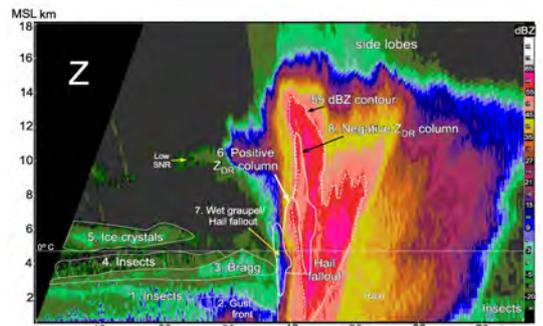
不独有偶，意大利佛罗伦萨大学的地质学家，2018年研发了世界上第一个自动化的火山预报系统，并提前1小时预测了埃特纳火山将要喷发。系统通过追踪次声波判断喷发是否将要发生，并成功向意大利政府发出预警。而在今年AGU会议上，美国、英国等学者利用人工智能手段，成果地快速处理卫星数据。正是这种处理的新算法，“意外”地自动捕捉到了火山爆发前的地面运动，从而建立了预测火山喷发系统的雏形。如果进一步试验成功，这一借助AI和卫星大数据的预测技术，将使世界上大约8亿居民受益，他们居住在全球海面以上大约1400座可能爆发的火山周边。

以往地震、火山等难以驾驭的灾害的预警，有了新的预报预警途径，即完全由数据驱动的预报方法和借助社会信息网络预警，也提示气象学者：龙卷、爬线等中小尺度强对流系统，是天气灾害中导致人员伤亡的重要事件，但其生命期显然要长于地震，而预测难度在某种意义上不会超过火山喷发。地球科学中与预测相关的研究，不仅具有学科意义，更有深厚的应用需求，相互借鉴或许能启发学者开辟新思路。

脉络6：揭示细节：双偏振雷达和遥感更强能力的展示

NCAR学者展示了S-波段双偏振多普勒雷达（S-Pol）最先进的风暴探测能力。与一般业务雷达需要快速扫描有所不同，主要用于研究的S-Pol扫描速度更慢，但能获得很多研究所需的更高分辨率和质量更好的数据：对流系统的S-Pol雷达图中，可以区分出8个不同区域并给出识别标志。

另一个例子中，学者利用全球水文地貌河流数据库，计算得到全球在年平均流量时的河流和水体表面积为（773000 ± 79000 km²），占地球非冰川陆地面积的0.58% ± 0.06%，这一更详尽的数据以及对河流水体的解析，较之前的估计增加了44 ± 15%。这种通过积累得到的细节分析，以及对总体更好的概括，是遥感相关学科未来收获的一个代表，而这样的细节揭示，其意义无疑跨越学科，推进科学的整体进步。



双偏振雷达图像中可以区分出天气系统中更多的区域

数字

1.2 万亿千瓦时

初步统计表明，至2018年底，我国大陆已建5万千瓦及以上水电站约640座，全国水电总装机容量约3.5亿千瓦，年发电量约1.2万亿千瓦时，双

且继续稳居世界第一。

3.4%

一家独立研究机构最新数据显示，美国能源相关碳排放于2007年达到峰值，之后到2015年以年均1.6%的幅度下降。但自2016年以来下降放缓，2018年不降反升，增加了3.4%。

脉络7：想象力和细节：更多介入创新与决策

2018年在气象天基观测领域，想象力刺激着学界。全球气象界都非常关注的欧洲中期天气预报中心（ECMWF）的学术会议，2018年用户年会的主题为“ECMWF模式输出应用：唯一的限制是你的想象力”。这样的主题也在提示全球气象界和应用气象涉及的领域，预报手段的更新以及模拟技术的发展，实际上在AI和大数据时代里，孕育了更多以前无法想象的拓展。这一点，在前述的地震和火山预警内容中已经有了揭示，而在气象科学的主要领域，这样的痕迹也是到处可见的。

在这次会议上，针对气象服务的经典领域，ECMWF提出要把预报模式的输出想象成现实生活天气条件的VR（虚拟现实），从这个视角出发，支持更多的决策就有了灵感。各种更加丰富的信息图表，实际上能够对预报员给出强力的信息支撑，一些以前难度很大的瞬间决策，或许能够更多和更好地实现。基于此，本次会议聚焦于“处理模式输出”和“影响预报”两个主题，前者围绕支持预报员决定什么时候发布天气预警，确定模式输出可视化的策略；后者则针对水资源、能源、农业、防火和健康等主要应用领域，开发更多和更深入、好用的影响预报产品。会议的内容显示，这些活动中，深入学习和大数据再利用等信息手段不可或缺，而ECMWF对其产品从“可用”到“好用”再到“更酷地利用”，想象的翅膀和帮助用户建立信心是最好的手段。

想象力需要细节分析的支撑，同时其应用的领域也包括了气象相关的决策过程。美国NOAA在未来天基气象观测平台发展中，针对其星座到底是由65颗传统卫星组成，还是采用混合了包含86颗卫星的星座，NOAA通过对每个卫星性能的细致分析，制作了两条技术路线的成本-性能改进图。在这张图上，适当的决策点将带来的是：同样的投入，星座性能的提升被“3D风”“实时图像”“近太空大气观测”等要素所覆盖。这种在细节分析的基础上，利用想象力给出支持决策的路线图，是未来气象基础设施改进战略中更好的决策视角和手段。

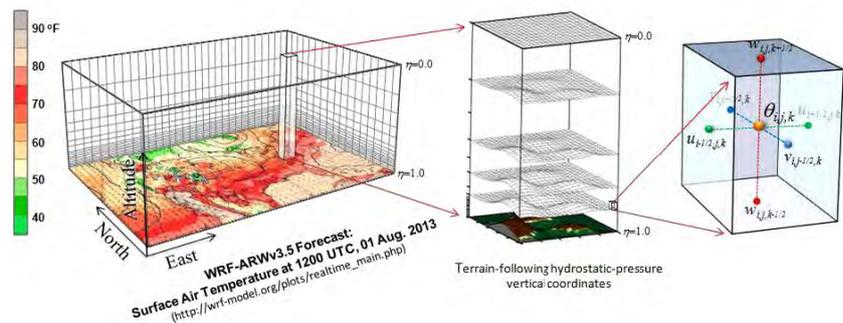
中国“业务数值预报”主题被引频次最高的前10篇论文

排名	篇名	第一作者	来源	被引
1	我国热带气旋研究十年进展	陈联寿	大气科学, 2001/05	613
2	数值天气预报业务模式现状与展望	陈德辉	气象学报, 2004/10	200
3	热带气旋研究和业务预报技术的发展	陈联寿	应用气象学报, 2006/12	178
4	新一代数值预报系统GRAPES研究进展	陈德辉	应用气象学报, 2006/12	154
5	国家气象中心集合数值预报业务系统的发展及应用	李泽椿	应用气象学报, 2002/02	152
6	强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战	郑永光	气象, 2010/07	147
7	集合数值预报发展与研究进展	陈静	应用气象学报, 2002/08	146
8	GRAPES新一代全球/区域多尺度统一数值预报模式总体设计研究	陈德辉	科学通报, 2008/10	133
9	我国台风预报业务的现状及思考	许映龙	气象, 2010/07	131
10	关于提高天气预报准确率的几个问题	矫梅燕	气象, 2007/11	74

来源：CNKI数据库

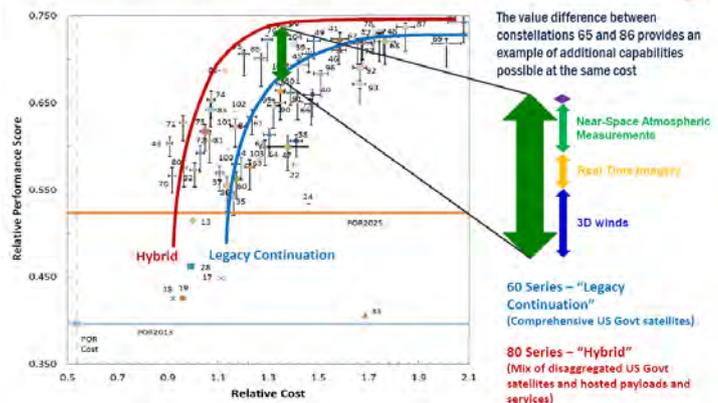
检索时间：2019年1月22日

田晓阳提供



数值天气模式预报结果以大数据方式将物理量的计算值转化为天气VR

Evidence-Based Decision Making Tool



16%

澳大利亚学者利用大约70万张卫星图像，绘制了1984—2016年间全球潮滩范围及变化，发现这一对防风暴、稳定海岸线和粮食生产具有重要意义的生态系统，在33年里减少了约16%。

第12位

Nature基于2015—2017年统计最新公布了中国自然指数，在地球和环境科学前50家机构中，中国气象局位列第12位，中科院大气所（第10位）、中国地震局（第16位）、环境保护部（第35位）和国家海洋局（第40位）等榜上有名。