

气象和大气科学新增长点——美国气象学会 2024年年会带来的启示

■ 周圻 张伊 贾朋群

长期以来，美国气象界学术活动，尤其是每年初举办的年度会议，对于气象和大气科学学科发展具有风向标的意义。2024年年会是全球新冠疫情后全面恢复线下学术活动的重要一年，年会的“桥头堡”作用依然如故：不忘已有学科发展，同时拥抱新技术。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.01.001

全球气象界关注的美国气象学会(AMS)2024年年会，于2024年1月28日—2月1日召开。这次会议以“生活在不断变化的环境中”为主题，强调在全球未有之大变局背景下，气象界应该为社会发展做出更重要的贡献。年会在保留了气象科学研究和业务服务等“舒适区”主题的同时，还在不同的分会场提出一些颇具新意的主题或讨论视角。

刚刚过去的2023年，全球区域冲突不断的同时，

全球温度异常达到了一个空前的水平(图1)。几乎人人能够切身感受到的全球政治、气候危机，急需气象科学更深刻和有效地为全社会提供服务。在这样的背景下，本次会议的主题：气候科学如何有效服务社会显示了巨大的意义。这样的服务的核心之一，就是在人类面对减排调整能源结构(图2)，在21世纪中后期实现净零碳排放和迈向全面的碳中和社会方面，气象行业肩负重要的使命。

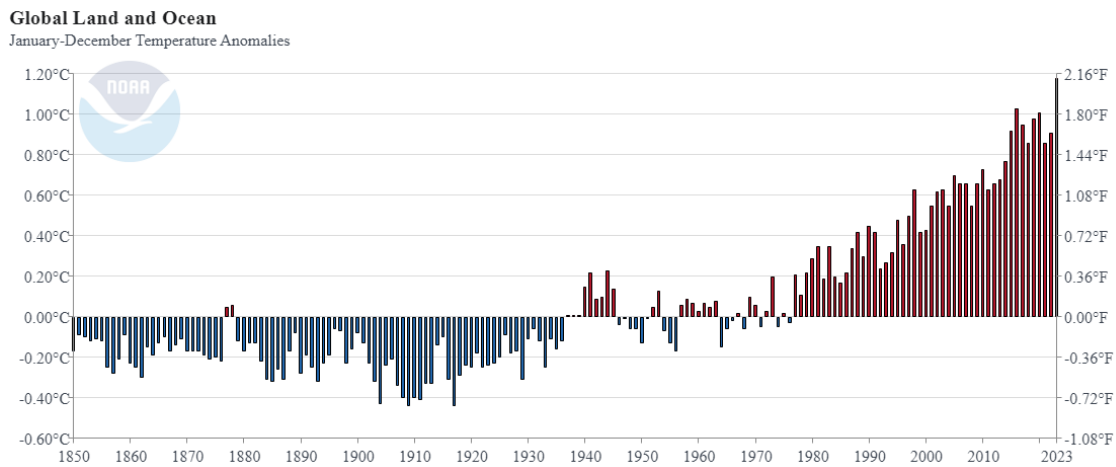


图1 1850年以来全球陆地和海洋温度逐年变化(来源: AMS网站: AMS 2024 Session Highlight: Transition to Carbon-Free Energy Generation, January 22, 2024; 图2同)

本文主要基于会议前期安排方案和少量会议内容，挑出年会上的新理念、新视角和新方法与读者共享，同时试图解读这些新内容对气象和大气科学学科整体在未来发展中可能的影响。文中图表信息来自会议相关报告或材料(可参考: <https://ams.confex.com/ams/104ANNUAL/meetingapp.cgi/>)。需要指出的

是，虽然一些主题很有创意，但相关的会议报告和墙报内容未必能够驾驭这样的主题，但这也是学术交流的意义所在：探讨和孕育新的研究方向，尽管开始时可能遇冷，但学者提出概念、学术交流的扶植作用，对有价值的方向的未来发展一定会在随后研究中逐渐体现。

资助信息：国家自然科学基金战略项目(42342025)

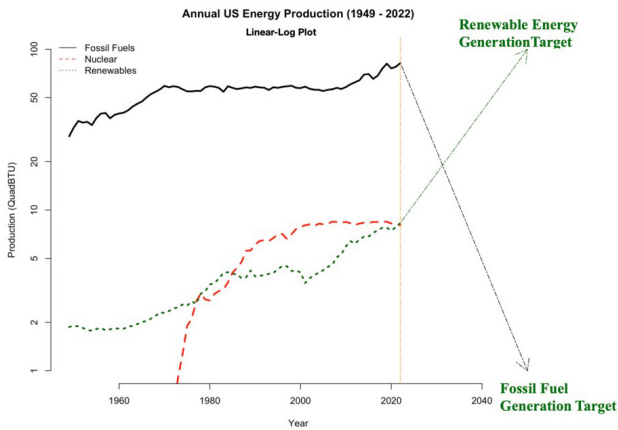


图2 1949年以来美国能源结构变化和2040年前后的期待

1 学科进步和业务需求共同推动业务服务出新

在年会最重要的环节之一“市政厅会议——机构更新”，美国国家气象局（NWS）阐述了下一代水预报能力。随着各种水相关灾害，特别是干旱、洪水和水资源管理风险的挑战加剧，美国气象部门在构建下一代水预报能力时，将一些新要素，例如全年水供给和水质等要素的预报，纳入业务以推进和扩展基于影响决策的支撑服务。为了实现这一能力，多个系统在

研发中，包括NOAA的下一代水资源模拟框架（Next Generation Water Resources Modeling Framework, NextGen），国家水模式（National Water Model, NWM），洪水泛滥制图（Flood Inundation Mapping, FIM），企业涉水解决方案（Enterprise Hydrofabric Solution）和降水频率图集（Precipitation Frequency Atlas, PFA）等。

水预测能力提升项目还得到了美国《两党基础设施法》8200万美元的资金支持，是NWS历史上最大的一笔水项目的联邦资金投入。该项目的核心内容NextGen并非一般意义上的模型，而是基于标准和模型的互操作行业软件工具，该工具为各种开发提供了基础和环境，也更有利于合作开发（图3）。一方面，NOAA设置了3.6亿美元的投资上限，选择与阿拉巴马大学及学界和私企伙伴合作，成立了第一个定位在“水”的合作研究所，该合作研究所也是对口NWS的唯一合作所；另一方面，开发工作将采取透明的开源代码，使用标准地理空间数据模型和程序库，从而满足多机构促进科学和互操作性的需要，科学选择和使用优越的模型。NOAA计划在21世纪20年代末推出全新的水预报能力产品。

美国科学基金（NSF）是AMS年会不变的热点。

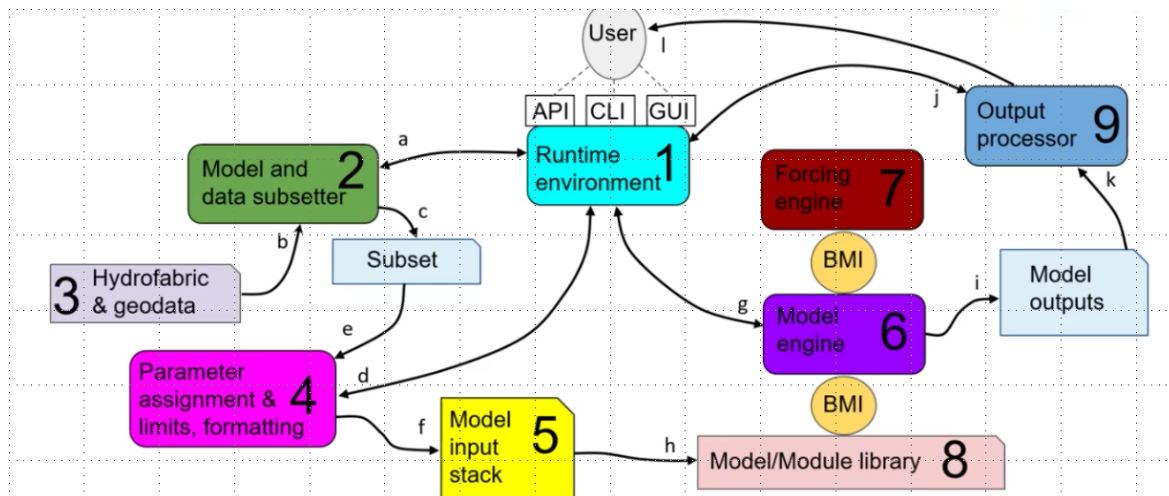


图3 NextGen组成图（来源：<https://ams.confex.com/ams/104ANNUAL/meetingapp.cgi>；图4—图8同）

本次年会全新亮相了其最新的观点：NSF正在进入新的阶段，即基于应用的、转化的和跨学科研究正在形成。NSF的这一观点和主导的“机构更新”会议分主题“NSF资助：将你的研究结果放到社会和经济中（NSF Funding: Move Your Research Results to Society and the Economy）”，无疑在重新诠释NSF主导的基础研究与应用基础研究的边界。NSF认为，支持能够快速得到结果并影响社会和经济的研究，应该放在更加

重要的位置，而这类研究与业界、地方和公共机构的合作尤其重要。NSF的这一将“个人好奇心”更紧密地与社会发展联系起来的新视角，或代表了社会和学科一并进入高度发展阶段并面临新的巨大挑战时期的有些无奈却是必须的选择。

在大数据研究中，曾经有数据企业通过收集道路上行驶车辆雨刷器摆动频率，获取降水强度信息。在业务模式模拟能力升级的背景下，一些反向问题也

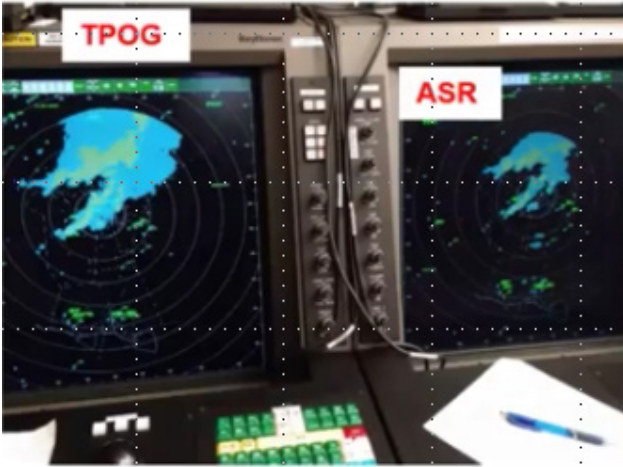


图4 TPOG和ASR (机场搜索雷达) 产品对比

被提出：应用端最需要什么细节，预报模型或监测算法就提供什么产品。例如，美国联邦航空局（FAA）气象部门在天气预报产品中推出航站楼玻璃窗降水（Terminal Precipitation on the Glass, TPOG）预报（图4），这一响应机场空管员要求给出的降水量衍生产品，目的是减少机场周围有关降水的虚假、缺失和过时描述，更好地应对快速变化的降水。

2 云物理或成为未来 10 年的研究核心

云物理研究具有悠久的历史，但一直是相对小众的领域。然而，云物理过程的重要性非常明显，例如，云物理相关的大气云层是天气、气候模拟的最重要元素之一，但在模拟活动中大多只能用参数化方式对其进行一般性描述，是目前天气和气候模拟最主要的误差来源之一。随着人工智能（AI）技术全面介入地球系统模拟研究，本届年会新增云微物理系列专题研讨会（First Symposium on Cloud Physics），可以说是恰逢其时。从会议设立的主题看，首次云物理研讨会关注的一些内容也颇具新意，例如：基于粒子的概率方法（Probabilistic Particle-Based Method）、冬季风暴云属性、卷云和深对流云、向人影学习的气候干预、云微物理跨尺度参数化和中尺度云组织等。

德国马普气象研究所介绍了在云观测方面的进展。该所研制的云风筝，云中观测空间分辨率达到惊人的0.13 m，远比飞机观测的大约33 m更加精细（图5）。学者在会上演示了风筝随考察船在海上云区采样的情景，让与会者对风筝这一最古老的高空大气探测工具又有了新的认识。

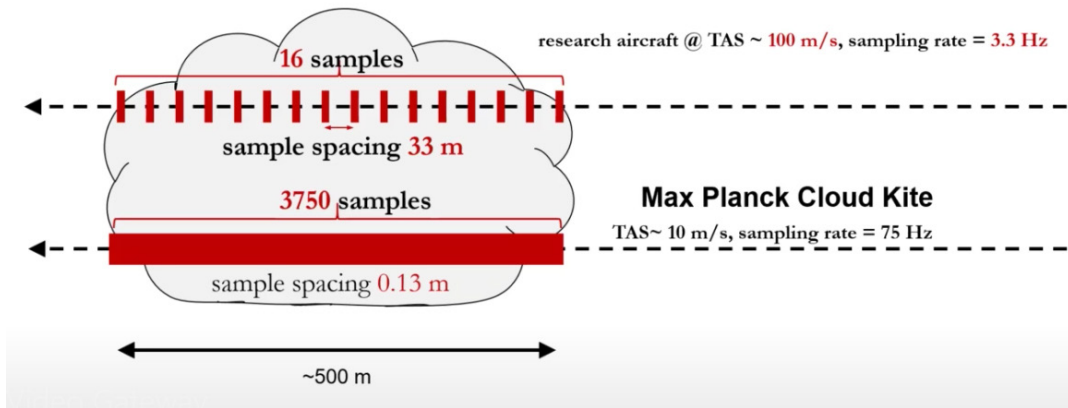


图5 德国马普气象研究所云风筝探测示意图

3 研究和管理如何高效对接业务要求

在第13届研究向业务转化会议上，专门针对地方气象部门预报员现场预报（Field Forecasting）需求无法有效化为研究主题开展了专题讨论。按照目前美国国家气象局的管理流程，瞄准业务发展的技术开发活动的第一步是独立于研发者确定需求，然后经过正式论证后再向研发人员转述。尽管这样的流程已是常态，但是难言是最优的，因为这样的程序耗时，而满足经过验证的需求涉及的资源并未被充分讨论和得到保证。这就导致论证过的需求无法及时到达研发人员

案头，而论证修改过程也会让现场预报需求在研发得到的解决方案中被打折扣。为了更好地改变这一状况，气象管理人员在年会上揭示和分析问题，提出用更加立体的方案替代过去方案（图6），其中加入了能力和需求决策支撑（Capabilities and Requirements Decision Support, CaRDS）机制，让过程立体化，从而在研究（R）和业务（O）之间更加顺畅和高效地联系起来。

刚刚过去的2023年，美国最重要的气象灾害非毛伊岛火灾莫属。本次年会另一个令人深刻的印象，是

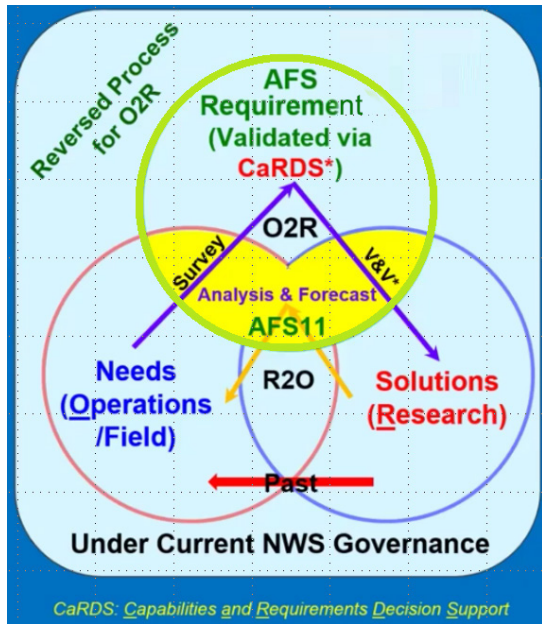


图6 面向地方气象预报难题的R2O机制

对2023年8月毛伊岛火灾教训的反思。在第12届天气有序国家建设会议和第15届新能源学术会等会议，都设立了毛伊岛火灾相关的分会主题。来自气象业务和研究，以及更大范围的学者和官员，从实时火险天气预测、火灾天气发展态势、2023年火灾生物质燃烧量、NASA火险资源管理系统（FIRMS）的有效性、火灾风险认知、火灾中大气流动力作用调查、夏威夷中尺度气象网信息和野火危机增加等角度，较全面的反思需要从这次灾害汲取的教训和各种改进之处。

4 文化也是一种自律

促进地球科学的文化变革：专业学会的作用（Facilitating a Culture Change in Geosciences: Role of Professional Societies）是年会上颇具新意的主题。本次会议将地球科学文化——定义为科学家、他们的机构、他们的专业学会和他们的网络之间多年经验和互动所产生的共同价值观、规范、传统和实践——充满了对少数群体和边缘化社区的排斥和剥削行为。专业学会帮助定义和制定地球科学专业的标准。他们独特的影响力来自其高度可见的职能，包括：广泛的会员基础、出版期刊、授予奖项和荣誉、影响政策决策以及提高公众对与科学学科相关的各种问题的认识。在讨论环节，AMS、美国地球物理联合会（AGU）、美国地理学会（GSA）等主要地球科学领域专业学会的主席和当选主席接触，以反思社会为推动文化变革而采取的行动，并促进多样性、公平性、包容性和归属感。

美国拥有约2400万亚裔美国人和太平洋岛民（AAPI），会议特意安排讨论了AAPI在天气、水和气候事业中的作用。会议认为，AAPI为美国的公共、私营和学术部门做出了杰出贡献，帮助塑造了天气、水和气候行业。本次市政厅会议举行小组讨论，重点介绍其中的一些贡献，并提请注意亚太裔社区个人继续面临的独特障碍。小组成员分享了他们在推进WWC（天气、水和气候）行业的科学知识、技术创新和经济机会方面的专业贡献。本次小组讨论将提供一个分享他们的见解和经验的平台。市政厅会议以互动对话结束，与会者可以积极参与、提出问题并发表自己的观点。反馈和讨论结果可用于告知和支持AMS更大的多样性、公平性、包容性、正义和可访问性举措。

此外，在第5届多样性、公平和包容会上，还就地球系统科学中的新科学殖民主义（Scientific-Neo-Colonialism）展开讨论，欧洲学者在会上介绍了EGU的教训。他们将研究人员进入地方或土著地区开展不涉及社区、知识拥有者和当地人员的研究并收集数据等活动，而在随后的数据分析和发表中没有当地人员参与显现比喻为“直升机科学（Helicopter Science）”。这一形象但令人深思的视角，直指提高对“直升机研究”和“科学新殖民主义”潜在剥削做法的认识。学者呼吁科学组织、出版商和供资机构今后为实现更加公平、多样和包容的地球科学环境而作出可能的努力。

5 气象数据的新视角

如果说美国气象学会上一次年会以大数据为主题，探讨了大体量和多样化的数据在揭示地球系统规律方面的意义，那么本次年会则提出了一个反向问题：即今天NWP在1 h的预报周期窗口每天的数据量达到320 TB，且预计在未来几年内将增长到每天数据量为超过PB量级，大数据量带来的一个严重问题是，利用当前的数据访问机制，有效地分发如此大量的数据将变得越来越困难。

在第40届环境信息处理技术会议上，出现了“民主化数据（Democratizing Data）”的讨论主题。与会者从联合知识网络、开放NWP数据的教训、开放数据使用环境、气象数据基于云的整合实现其价值等方面，全面探讨了以“7V”（数量、速度、多样性、可变性、准确性、可视化和价值）为标签的气象大数据，不再是一般用户眼中的猛兽，从而实现“民主化数据”理念背后“数据公平”的真谛。

来自欧洲中期天气预报中心（ECMWF）的学者以“来自PB量级数据的比特量级信息（Bytes from

Petabytes)”为题，介绍了如何从海量气象数据中提取所需信息，从而很好地应对这一挑战。ECMWF发展了一种新的特征提取概念：“多面体（Polytope）”。通过利用高维计算几何领域的工具，Polytope能够从ECMWF的高维（6D/7D）天气预报数据立方体（Datacubes）中，高效地切割出各种复杂的n维形状多面体，后者可用于特征提取，在将数据交付给用户之前实现多个量级的数据缩减。这样处理的最重要意义在于，通过与新功能相结合实现从打包的千兆字节大小的预测字段中检索所需的字节，满足用户请求所需的输入输出设施减少到最低限度。目前，该项功能已经在ECMWF的IFS模式输出端实现。

NOAA学者给出该机构开放数据的量，2023年已经超40 PB，2024年将增加到50 PB（图7）。这些数据如何有效地管理和发挥出最大价值，实际上是在数字化经济普遍落地的当下，摆在各国气象主管部门面前新的和关键挑战。

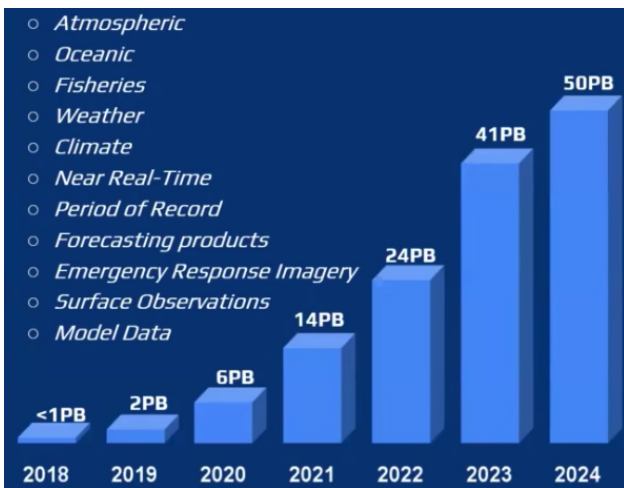


图7 2018—2024年NOAA数据量的增加

6 大模型时代的气象业务

2023年是大模型爆发的一年，大模型对气象行业的渗透也有些令人猝不及防。以IT巨头企业引领的一些研究成果对数值天气预报（NWP）领域产生了重大影响，特别是GraphCast（Google DeepMind）、Pangu-Weather（华为）和FourCastNet（NVIDIA）等成为2023年气象进步最鲜明的标签。AI也成为2024年年会讨论的热点。

为了评估不同大模型预报的性能，ECMWF凭借其数十年的模型比较专业知识，承担了将这些基于机器学习（ML）的模型与自己的基于物理的模型（IFS）进行比较的任务。为了完成这种比较，开发了一个名为ai-models的Python包。该程序包的主要目的是在推

理模式下运行任何基于Python的数据驱动模型。然而，模型本身的代码并不包含在ai-models中；相反，每个模型的推理部分需要打包在自己的Python模块中，然后将其注册为ai-models的插件。必要时，ai-models会下载模型权重。对比验证工作将通过多个来源的选择为每个模型提供初始条件，例如来自中心MARS（Meteorological Archival and Retrieval System）档案的ECMWF高分辨率操作分析、来自气候数据存储的再分析数据、普通GRIB文件以及各种其他来源。此外，ai-models通过将ML模型打包为GRIB格式来管理它们的输出。选择GRIB作为工作格式是为了能够重用该中心的所有基础设施和工具，包括其档案、评估和诊断工具以及网络产品的创建。然而，人工智能模型可以轻松扩展以支持流行的数据格式，例如NetCDF。本质上，人工智能模型充当初始条件、模型及其输出之间的中介。ai-model及其插件之间的所有内部通信都是通过Numpy数组完成的。总之，ai-models为机器学习预测系统提供了单一入口点，处理输入和输出，为用户提供分析和绘制新一代模型所需的数据和元数据。

2023年大语言模型爆发式出现，年会上学者提出“即时工程”的新概念，探讨利用ChatGPT等大型语言模型构建应用程序和服务。新概念可以通过提供帮助和文档检索的增强生成（Retrieval Augmented Generation, RAG）处理用户查询，抓取文档并将其索引到矢量数据库。在获取预测产品的推理和行动（Reasoning and Acting, ReAct）的场景中，大型语言模型从预定义的集合中选择最合适的工具并确定该工具的相关参数，如用API检索指定日期给定位置的点预测。总之，利用大语言模型的功能，可以无缝地转换用户的请求，智能回答类似“我的家乡明天会下雨吗？”一类的问题。

7 机构更新信息展示新发展前景

年会在多个分会场请不同业务机构介绍了最新发展。例如，ECMWF最新升级了当家预报模式IF（48R1版本），这个雄心勃勃的新版本带来许多进步，目前的焦点已经转向49R1版本的准备工作，它的特殊意义是将作为下一次哥白尼大气气候再分析（ERA6）以及海洋和大气成分的相应组成部分的科学基础。

除了运营升级之外，ECMWF继续在实现长期战略目标方面取得重大进展，即更高分辨率的预测和数据同化，以及地球系统所有组成部分的一致耦合。这涉及到解决公里级运行的科学挑战与对系统进行技术投资之间的平衡，以使它们灵活并准备好利用快速发展的高性能计算市场。在这两个方面，欧盟委员会在

“目的地地球”计划的框架内组织开展了极其富有成效的合作。

此外，欧美为代表的气象及相关机构，已经就需要长开发周期的雷达、气象卫星等关键基础设施的换代展开充分的调研和讨论，其中瞄准2030年以后的下一代气象监测网络，将具有新的空间和地面架构。其

中，NOAA气象卫星（图8）提供的数据，在2000年还不到1 PB的情况下，今天已经达到约40 PB，到2030年数据量将再翻10倍，达到400 PB量级。2030年以后进入轨道的GeoXO（下一代地球静止气象卫星）和NEON（Near Earth Orbit Network）将是更精细化探测的主要来源。



图8 NOAA当前和下一代气象卫星布局

8 结语

长期以来，美国气象界学术活动，尤其是每年年初举办的年度会议，对于气象和大气科学学科发展具有风向标的意义。2024年年会是全球新冠疫情后全面恢复线下学术活动的重要一年，年会的“桥头堡”作用依然如故：不忘已有学科发展，同时拥抱新技术。年会的背景包括以ChatGPT为代表的人工智能产品在2023年全面走向各个应用领域，可能带来行业发展范式巨大改变的重要发展态势。年会完成了一次全面审视气象和大气科学的发展，确认或已显现的新发展思路和方式的业内自省。

本次年会众多分会议和主题学术活动，包含了其他更多的颇具新意的理念或视角，例如：在气候变化方面，认为需要在瞬息万变中加快气候预测；在数值模拟方面，提出城市和对流高性能计算（HPC）的概念；在数据管理中，提到非卫星类数据管理；在信息技术视角，提出利用地理信息系统（GIS）传达预报

信息。

从本次会议可以看出：一是美国气象界采取务实的战略，引领气象科学学科发展和业务服务能力的提升，本次年会上虽然AI相关内容几乎到处可见，但主流研究和关注点与近年来年会几乎没有太大差别；二是社区的理念在美国学界正在成为其本色特征，在这方面美国气象部门态度的转变发挥了极大的促进作用：新一代预报模式UFS全方位基于社区和开源研发，以及NOAA影响越来越大的面向行业的R2O项目，是这一转变决定性的推进力量；三是年会全面拥抱AI在学科发展上的新态势并将其作为学科发展最重要的新工具和新研究视角，不仅在具体应用端给出AI色彩的解决方案，更从理论上开始进行阐释、归纳、概括，为未来更大规模的应用提供新的框架。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）

（编辑：郑秋红）