

# 气象科学的新视野：WMO长期目标实施的启示

■ 王卓妮 贾朋群

WMO第19届大会在学科发展方面响亮地提出了“有针对性的研究”的思维方式，这既是对气象科学发展体量和短板的提示，更是充满了时代感的召唤：当人类发展与地球环境的容纳能力即将到达一个风险极高的临界点时，如何趋利避害就成为最紧迫的刚需。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.03.001

2023年5月22日，在全球气象界的期待和关注中，世界气象组织（WMO）第19届大会召开。大会涉及内容广泛，通过多个维度展示了WMO作为联合国体系下由科技主导的专门机构如何借助学科发展和新的技术，更有效实现其挽救生命财产和推进社会经济发展的使命。

自2019年WMO第18届大会以来，全球气象界与很多国际社会发展热点事件联系在一起（图1）。本文主要以在WMO第19届大会上发布的WMO对其5个长期目标在2020—2022年绩效评估报告以及大会涉及科学和技术进步的相关内容为出发点，从WMO发展的角度，审视气象科学的最新发展态势。

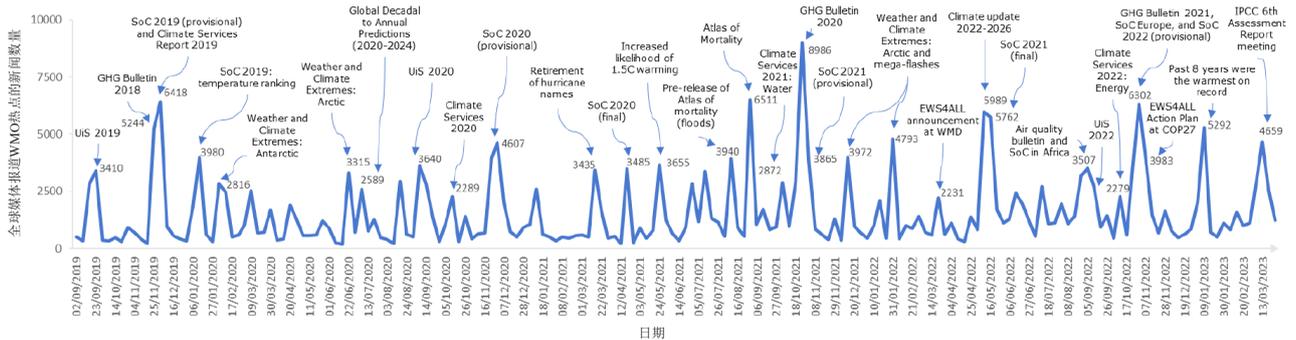


图1 2019年以来全球媒体针对WMO相关报道热点分布（来源：WMO第19届大会资料）

## 1 WMO 活动始终在应用端推进气象科学

WMO的前身国际气象组织（IMO）在150年前成立时，气象还是物理学中的一个应用领域。然而，在物理、化学等领域学者的努力下，随着科技水平的整体提升，气象传感器技术已经成熟，气象观测网开始发展壮大，为现代气象科学的孕育创造了条件。现代气象科学在20世纪初建立，不仅意味着气象和大气科学从物理学等母学科分离出来，在社会影响和实践方面，更是让天气预报从艺术步入科学之路。这样的转化，无疑让以IMO创建为标志的全球气象事业有了更广阔的发展空间。

到WMO于1950年成立时，天气预报成为最早搭上电子计算机快车的自然科学学科，气象借助电子计算机算力指数级的提升，在过去70多年里将数值天气

预报（NWP）从起步几乎做到了极致接近了可预报性的“天花板”。期间，从20世纪60年代首颗气象卫星开始，天基观测更多地为NWP提供观测数据，有效地克服了地基和空基观测的短板。正是借助NWP和气象卫星精细化观测等新手段的进步，让WMO领导的全球气象事业进入新阶段，即由观测直通预报并不断地向更多的潜在服务领域广泛渗透。

本届大会，在某种意义上，也是一个里程碑，即全球气象人的视野已经完成从天气、气候到地球系统的过渡。在这一重要过渡的关键时刻，回首比WMO的历史更加悠久的近现代气象科学的发展，无疑能带给我们全新的体验：WMO开展的丰富活动，一直在应用端推进气象和大气科学学科的持续发展。

WMO推进学科发展的最新态势，从本届大会

资助信息：国家自然科学基金项目（42142009）

表1 用国家自然科学基金“大气科学”学科代码关联WMO大会相关内容

学科领域 <sup>1</sup>		WMO未来战略		WMO 2020—2022年战略绩效报告			
		学科支撑		学科缺口			
		2024—2027年战略	其他内容 <sup>2</sup>	目标1: 社会需求	目标2: 地球系统观测预测	目标3: 科学与创新	目标4: 能力建设
分支学科	天气						
	气候						
	古气候						
	大气动力						
	大气物理						
	大气化学						
	生态气象						
	行星大气						
支撑技术	遥感探测						
	数据						
	模式						
	地球系统						
发展领域	气候变化						
	大气环境						
	应用气象						
新领域或新理念 <sup>3</sup>		冰雪圈下游影响; 科学到服务价值链; 环境可持续性; AI等新技术	科学转化为服务价值周期; 数字战略; 与社会科学融合; 扩展超出传统学科的知识; 领导净零排放	气候服务法规及遵守; 服务效益评估; 从NWP过渡到新的地球系统范围	描述海气交换特征的新工具; 地球系统知识欠缺; 以数据为基础的新兴服务	过程、变化的驱动因素; 新兴服务; 描述海气作用的工具	EW4ALL监测数据差距; 新的专门培训资源; 学习需求无法满足

注: 学科支撑: 为密切相关; 为相关; 为一般相关。学科缺口: 为重度; 为中度; 为轻度。

上角标: 1指中国国家自然科学基金大气科学(编码D05)领域的15个分支领域(D0501—D0515); 2主要包括:《2024—2027年WWRP实施计划》(草案)、《2024—2027年GAW计划科学与实施计划》(草案)、WMO三个委员会(研究理事会、基础设施委员会和服务委员会)主席报告和科学咨询组报告等WMO大会前文件; 3指目前的分支领域里尚没有覆盖或覆盖不全面,需要全新学科领域或多学科交叉、融合才可能完全覆盖的新概念、新思想和新做法等。

前WMO公布的会议材料可以窥见。本届大会与气象和大气科学的支撑密切相关的材料包括但不限于: 1) WMO的3个委员会(服务、基础设施和研究理事会)主席报告; 2) 2024—2027年战略计划; 3) 2020—2022年5个战略目标绩效评估报告; 4) 世界天气研究计划(WWRP) 2024—2027年实施计划; 5) 科学咨询组评估报告。在表1中,我们用中国国家自然科学基金大气科学(编码D05)分支学科代码(D0501—D0515),对这一态势给出一个初步的衡量。

结果表明, WMO未来战略的实施, 重点内容依然需要学科几乎全领域的发展作为有力的支撑, 还需要一些新的理念和知识扩展, 尤其是研究向业务和服务转化全价值链所涉及的科学问题。2020年以来, WMO围绕社会需求、地球系统、科学创新和能力建设等方面的目标开展的活动中, 学科支撑的缺口也显现出来, 其中适应地球系统科学的新数据、新工具、新规范、新服务和新培训等尤其突出。

## 2 WMO的长期目标需要气象科学的长足发展作支撑

本届大会最重要的议程之一, 就是讨论WMO在未来4年(2024—2027年)的新战略。WMO不仅提供了新战略的讨论文本和背景介绍文件, 还给出上届大

会通过的战略规划实施3年(2020—2022年)的绩效评估。绩效评估按照5个长期目标(LTG)分别提交报告, 其中前4个都与学科发展密切相关。汇总这些文件, 为我们了解WMO过去做了什么、现在的位置和未来希望怎样做打开了一扇窗。WMO过去和未来的战略都设立了5个长期目标, 但2024—2027年战略规划中还新增了3个新战略目标(SO), 即冰冻圈变化及对下游影响、战略伙伴关系和环境可持续性。WMO在本届大会上最终通过的“2024—2027年战略计划”, 在前一份战略实施情况达到令人满意水平前提下, 将为实现联合国“全民早期预警”目标做出更多贡献。

针对2020—2022年战略实施情况, 效益评估报告表明, WMO针对LTG按照分级指标, 给出细化领域的成绩(标记为“走上正轨”和“继续努力”)和负面的影响(标记为“疫情影响”和“面临的挑战与风险”), 其中“面临的挑战与风险”选项, 在某种意义上诠释了全球气象事业发展的瓶颈问题, 这些问题中, 一些挑战和风险的背后, 源自基础科学研究的短板或知识欠缺。

在表2中, 给出前4个LTG效益评估中部分“面临的挑战与风险”选项内容和背后所涉研究活动短板的分析。在分析中, 将选中的问题按照研究短板和方向

表2 2020—2022年WMO第1~4个长期目标绩效评估部分“挑战和风险”内容

长期目标	挑战/风险数	研究短板例子	方向性问题或不足
社会需求	13	缺乏气候服务技术法规 区域气候展望的预测时间从季节扩展到年 服务社会经济效益的评估不足 实施航空、海事服务质量管理	气候服务能力的数据不完整 气候服务ISO流程代价高昂 需制定WMO报告发布时间战略 技术法规不被遵守
地球系统观测 预测	9	印度洋和西南太平洋海洋气象服务不足 海洋观测数据管理需求 农业和航空气象指南落后于计划 数据和元数据需求增长，超越传统气象数据 无缝隙GDPFS扩展到新的地球系统范围	岛屿和最不发达国家GBON差距很大 南半球观测少和部分北半球观测可用不足 发展中国家气象部门留住IT员工 大量气象中心（150+）由WMO秘书处管理，形成对协调机制的新需求
科学与创新	9	地球系统知识差距 新兴服务需修订兼管框架 退化的全球观测网威胁数据基础 沉积评估和海水交换特征描述创新工具开发缓慢	广泛科学界参与缩小知识差距 利益相关者参与
能力建设	8	社区平台数据不足	WMO、国家气象部门和可持续发展目标联系的强化并传达给UN和其他伙伴 全员学习

注：资料来源于2020—2022年第1~4个战略目标的绩效评估报告。

性问题进行了划分。

4个长期目标共计39个挑战与风险点，虽然与绩效评估报告百个左右进展顺利的正面评估点相比较少，但更多的挑战，包括新的学科发展支撑点，却更多地与这些风险点联系在一起。如果技术上的风险所有阶段都会有不同内容，那么，这些风险点中，与社会科学学科交叉实现整个价值链的气象效益放大，是在“全民早期预警”宏大目标下急需补足的空白。例如，在长期目标3“科学与创新”中，需要通过前沿研究解决地球系统的知识差距，并将之纳入WMO研究计划的实施计划，这就需要更广泛的科学家的参与来减少知识差距，因为许多知识差距本身具有区域特征，从本质上还是跨领域的、跨学科的。又如，“科学与创新”战略目标还强调“加强以科学为服务的价值链，确保科技进步以提高预测能力”，而现有挑战是服务还不能满足用户需求，利益相关者参与用户咨询需要面对面互动；同时，由于用户群体的多样化，科研人员为响应用户需求来开发新功能就更具挑战，必须以更系统的方式处理用户参与。

伴随着WMO在上一届大会上启动全面改革，科学要素更加深刻地影响WMO活动。其中，WMO组织和参与的一些重大项目未来更新和实施技术路线，触及学科发展的前沿并在推动学科纵向发展和横向应用的两端，展示了全球科学界最新和独特的判断；而上届大会新成立的研究理事会（The Research Board, RB）和科学咨询委员会（The Scientific Advisory Panel, SAP），更是从组织结构方面保证了气象科学和大量相关学科知识和发展在WMO活动中的核心地位。在表3中，总结了在第19届大会上成为热点的一些观测计划及相关科学机构报告中学科发展的要素。

WMO设立RB的目的是将其战略目标和大会、届

表3 WMO第19届大会相关材料中部分学科发展内容

文件*	科学问题	新科学概念或内容
2024—2027年世界天气研究计划实施计划（草案）	海冰预测 合并的极地地面观测网 城市百米级应用模拟 全球全民预警 从业和教育工作者参与农业应用	海冰中的铅 海冰上的积雪深度 在适当尺度上观测 跨越天气和水边界的短时间尺度 用户行为科学信息用于沟通 确定重要过程优先级改进预测
2024—2027年GAW计划—研究促进大气成分服务	完全可溯源大气成分观测 新兴需求和新兴技术 大气成分数据与模式结合 工具的开发 天气-气候-化学综合预测	测量协议一致性和可访校准中心 测量干沉降新方法，微塑料观测 “逆向建模”领域和吸纳交通、能源等社会数据 人工智能和机器学习新方法
研究理事会主席报告	科学支撑服务	培育综合和多学科研究方法，确保创新惠及所有区域，加强低收入国家研究能力
科学咨询委员会报告	颠覆性的科学和关键挑战	建议：开发全球千米级（k-尺度）观测和模式；制定数字战略

注：\*为WMO第19届大会前发布的版本。

会决定转化为总体科学研究战略，而RB主要通过与合作者合作，以高效、包容、灵活和前瞻的方式，瞄准前述LTG-3“推进有针对性研究”，给出科学意义上的解决方案。从这个意义上说，第19届大会RB主席首次提交给大会的报告，通过描述“科学支撑服务”整体框架，对大会和LTG-3做出了积极的回应。

SAP是WMO的科学咨询机构，就其研究战略和最佳科学方向提出建议。自上届大会成立以来，SAP通过发表多份重量级报告，如“科学和技术愿景报告”“天气预报白皮书”等，宣示了WMO面临的颠覆性科学和关键挑战。对这些挑战的全面认知，无疑是指导WMO未来活动中科学核心内容的关键所在。

### 3 WMO以地球系统为视角的全球气象管理倒逼气象科学的扩展、交叉和融合

本届大会的科学内容中，一些重大气象观测和研究计划的实施或延长更新战略，是最具吸引力的。其中，WWRP进入第25个年头，地球多圈层相互作用关键区域和全球变化放大区域——地球极地成为重点。

极地预测年(YOPP)项目以及在海洋和极地存在大量季节内到季节预测信号的S2S预测项目将成为WWRP新增长点。新项目不仅补充和分析最新获得的数据,还开展千米尺度的模拟研究,有望更加清晰地解析大气-海冰-海洋耦合过程。

1989年建立并致力于提高人类对大气成分及其社会影响科学认知的全球大气监视网(GAW)计划,以大气成分是地球系统健康的一个关键、重要的部分为出发点,直接立足地球系统模式,更好地整合大气成分与不同圈层的耦合、反馈,从而更好地预测空气质量和检测环境变化。

虽然科学试验能集中和快速提升科学认知,但气象转化为服务等社会职能时,要在全链条上有效实现和放大气象活动的价值,一些规范和跨界研究势在必行。在气象科学与多学科交叉和融合方面,本届大会多次提及全球气象提供更好的服务,要与社会科学交叉,汲取可能是以前缺失或不足的知识。这一点可以从气象服务的主要对象:大众和决策者本身的复杂性,以及他们是否、怎样理解气象服务产品和在生活及决策中体系气象服务的最终价值等环节理解和诠释。

建立在科学基础之上的气象服务,已经走过了百年。近年来,不断走向成熟的预报技术,在服务中有时并没有取得最佳减灾趋利的效果,也促使气象学者思考如何推进和完善相关政策体系,实现社会层面上更深层次的“保驾护航”。在WMO第3个长期目标中,明确提出了推进与政策相关科学的目标。2022年3月,联合国和WMO明确提出了确保在未来5年内,全球所有人享受早期预警服务的宏大目标,其中既有科学上的内容,也有对落实目标所急需政策的呼吁。而目前全球气象立法等工作的进程(图2),显然还无法满

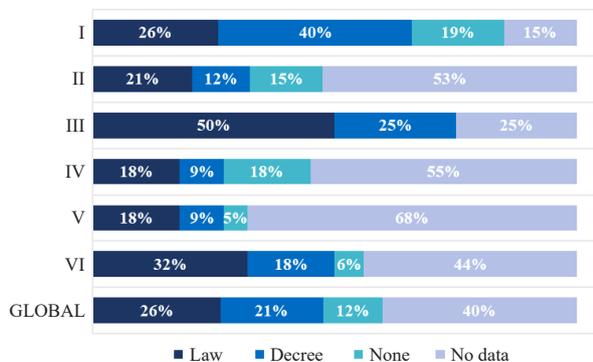


图2 WMO成员按照区协的气象(或水文气象)法规覆盖情况

注:数据来自WMO第19届大会材料。47%的WMO会员颁布气象相关立法或法规(92个)。

足全民预警目标所需要的社会发展环境。正是在这样的背景下,全球气象界认为,完成预报产品并发布出去,远远不是我们所能和应该做的全部,与更多的决策对接才能实现预报价值的最大化,而后一个过程,政策相关科学的介入不可或缺。

#### 4 结语

WMO第19届大会在学科发展方面响亮地提出了“有针对性的研究”的思维方式,这既是对气象科学发展体量和短板的提示,更是充满了时代感的召唤:当人类发展与地球环境的容纳能力即将到达一个风险极高的临界点时,如何趋利避害就成为最紧迫的刚需。在WWRP研究预案中,开展基于地球静止卫星提升非洲国家临近预报能力的研究,就诠释了针对性研究的特征:基于基础和现实,并找寻最可靠的技术路线。沿着这样的思路,21世纪20年代的气象科学就有望像百年前或更早时期研究预测风暴从而拯救人类那样,通过不断扩展自身的知识体系中最急需的内容,同时容纳、融合更多的自然科学和社会、人文科学知识,在人类发展的更高阶段,在构建避免更多和更严重的自然和人为导致的灾害的第一道防线方面,发挥全链条和全价值链的历史作用。

作为联合国的专门机构,WMO在其150年的发展历程中,一直是气象学界关心、关注和支持、支撑的重要组织。一个半世纪以来,全球科技力量通过WMO的互动、联动,成就了全球和区域性重大气象科学计划的实施。在推进气象科学发展的同时,几乎第一时间高效地转化为世界各国气象服务能力的提升。这一点,通过数值预报模式、气象卫星等的发展,已经成为国际科技发展促进人类福祉最具典型和启发意义的传奇和样板。WMO第19届大会以“全民早期预警”为重要抓手,让全球气象界有机会进行全民审视,在地球系统科学视角下,传统气象科学的新发展方向和潜力,必将在现代气象科学走过两个甲子之后,迎来新一轮更加充满希望的全新发展时期。

#### 深入阅读

World Meteorological Organization (WMO), 2023. Nineteenth World Meteorological Congress (Cg-19). accessed 25 May 2023. <https://public.wmo.int/en/about-us/governance/cg-19>.

World Meteorological Organization (WMO), 2023. WMO Performance Assessment Report (2020-2022). <https://public.wmo.int/en/about-us/vision-and-mission/wmo-performance-assessment-report-2020-2022>.

(作者单位:中国气象局气象干部培训学院)