

许小峰, 2022. 气象水文气候信息: 国际社会合作的经历与启示[J]. 气象, 48(3): 261-271. Xu X F, 2022. Meteorological, hydrological and climatic information: experience and inspiration of international cooperation[J]. Meteor Mon, 48(3): 261-271 (in Chinese).

气象水文气候信息: 国际社会合作的经历与启示*

许小峰

中国气象局, 北京 100081

提 要: 围绕 2022 年世界气象日主题, 回顾了大气科学发展进程中不同阶段对气象水文信息的认识过程, 及国际社会在气象观测和数据交换领域的合作经历与成效, 特别是世界气象组织成立后所取得的成就与面临的挑战, 并分析了世界气象组织在资料政策领域取得的最新改革成果。

关键词: 气象信息, 实证定量, 国际合作, 改革

中图分类号: P411, P468

文献标志码: A

DOI: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2022. 022401

Meteorological, Hydrological and Climatic Information: Experience and Inspiration of International Cooperation

XU Xiaofeng

China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract: In view of the theme of the World Meteorological Day in 2022, this paper reviews the understanding process of the importance of meteorological and hydrological information in the development of atmospheric science, as well as the cooperation experience and results of the international community in the field of meteorological observation and data exchange, especially the achievements and challenges since the establishment of the World Meteorological Organization (WMO). Finally, the latest achievements of WMO reform in the field of information policy are introduced.

Key words: meteorological information, verification quantitative, international cooperation, reform

引 言

2022 年世界气象日的主题为“早预警、早行动: 气象水文气候信息, 助力防灾减灾 (Early Warning and Early Action. Hydrometeorological and Climate Information for Disaster Risk Reduction)”, 这一主题语相对于往年 (姜彤等, 2020; 丁一汇, 2019) 的相对单一内涵有所变化, 是一个综合性的概念: 为了达到防灾减灾的目标, 需要依赖早预警、早行动和

信息支持的举措。从气象行业的具体实践来看, 信息是预警的基础, 预警是行动的依据, 行动是防灾减灾各项举措的落实, 这三个环节构成完整体系, 旨在实现最终目标 (汤绪, 2014)。结合世界气象组织 (WMO) 的职责看, “预警”“行动”可以为各国提供技术、经验、标准等间接支持, “信息”的获取则要更多地采取具体协调行动, 针对全球天气、气候和水这些无国界因素的变化和相互影响, 构建满足多方需求的高效信息系统。

现代气象科学与业务紧密依赖于基础信息或数

* 国家自然科学基金项目 (42142009) 资助

2022 年 2 月 10 日收稿; 2022 年 2 月 22 日收修定稿

作者: 许小峰, 主要从事天气气候及气象科技史研究. E-mail: xuxf@cma.gov.cn

据产品的获取和分析,也可以说,全球气象信息数据交换共享问题是促成 WMO 成立的核心因素。但从世界气象日主题语选择看,由于要考虑对公众的影响力及认知度,一般很少从信息、数据角度来考虑,往往更注重应用领域的目标或价值,或关注基础观测业务的重要性。自 1961 年正式设立世界气象日以来,仅在 2004 年的主题直接提到了信息——“信息时代的天气、气候和水”(王永光,2004)。今年的主题则强调气象水文气候信息在防灾减灾中的助力甚至推动作用,这是由于在防灾减灾全过程中需要各类综合信息,包括多源观测数据以及分析加工产品形成的地球系统资料。

1 气象学走向实证、量化的转变进程

从气象科学与业务的发展进程和历史脉络看,各类信息显然都是不可或缺的基础。但对量化数据重要性的认知则经历了漫长的历史进程,可追溯到古希腊文明时期。目前世界公认最早的系统性阐述气象科学的论著《气象汇论》(*Meteorologica*)是由古希腊著名的哲学家、科学家和教育家亚里士多德于公元前 340 年前后撰写完成的(Frisinger,1972)。在这本著作中,亚里士多德对地球系统各类现象和变化进行了全面的论述、分类和解释,对后来西方气象学近 2000 年的发展产生了重要影响。但受限于那个年代对自然演变的思考方式及对自然现象量化手段的缺乏,所有论断都更像是各类状态和变化的哲学思辨,而不是科学分析的结果。缺乏实证性的推论难免出现诸多漏洞,与现代气象科学的认知不属同一个理论体系,但其中确实有不少重要分析和论断经受住了时间检验,体现了逻辑推理的魅力。如,关于太阳辐射角度与地球表面温度的关系、人类居住条件与纬度的关系、海水蒸发上升成雨回落的水循环过程等(杨萍等,2014),这些现在看似简单的道理能在那个年代被揭示绝非轻易所得,在只能通过观察而缺乏量化信息获取能力的条件下做出这些自然演变本源性的分析推理也非常人所能。但正如黑格尔(1960)评价所言:“亚里士多德的物理学著作主要是哲学的,而不是实验的”,在自然科学和技术都处于萌芽状态的历史阶段,尽管确实取得了许多重要成果,但因为只能通过自然哲学的方法来探讨

问题,缺少科学方法和实证、量化数据的支撑,因此仅凭观察与思辨所推断的许多结论在后期自然科学发展进程中逐渐被颠覆,也属必然。

15 世纪欧洲文艺复兴后,社会文化氛围发生了巨大改变,哥白尼、开普勒、伽利略、笛卡尔、牛顿等重量级的科学家先后登场,传统的以“地心说”为核心的天文学及亚里士多德的物理学不断遭遇挑战。其中,最具转折性意义的代表人物是被爱因斯坦(Einstein et al,1954)称为“近代科学(特别指物理学)的奠基人”——伽利略。这位“科学方法”和“现代物理学”的开创者(Weidhorn,2005;King,1993)对当时人们认识世界方式产生了重要影响,他于 1615 年在写给大公爵夫人克里斯蒂娜的一封信^①中提出了该相信谁的问题,对科学研究应遵循的原则提出了明确观点。“在我看来,在自然问题的争论中,不应遵从《圣经》段落的权威,而应顺应最有价值的经验和相关的实证,圣经和自然都同等地来自神的旨意,前者是圣灵的口授,后者是对上帝指令的最忠实的执行”。在这封信中,伽利略还推论说:“上帝为自己的启示写了两本书,一本是《圣经》,另一本是用数学公式写的伟大的自然之书,科学家可以通过实验向自然提出问题,然后用获得的数据来做出解释”(Camuffo,2021)。伽利略认为自然规律是数学性的,选择恰当的数学证明可以探索任何与量化相关的问题。他通过研究重力影响下的落体运动问题,推翻了亚里士多德物理学中不同重量物体下落速度不同的论点;通过实验和计算方法证明物体只要不受外力作用,就保持其原来的静止状态或匀速运动状态不变,即惯性原理;力是使速度改变的原因,即加速度概念,纠正了亚里士多德物理学认为力的持久作用是保持物体匀速运动原因的观点;利用自己制作的望远镜对天体运行进行了观测,包括太阳黑子、月球表面状况,木星、金星、土星、海王星等的运行状态,银河系的构成等,其结果为哥白尼的“日心说”提供了最直接的证据,望远镜的直观性对“地心说”造成了颠覆性的冲击。伽利略也同样将定量、实测的方法引入到气象领域,改变了仅靠观察、思辨而无检验、量化的研究方式,成为推进气象学走向现代科学的引领者。

热和冷,是亚里士多德物理学中的基本概念,但在其中多是被定性阐述和论断。在伽利略的物理学

^① <https://web.stanford.edu/~jsabol/certainty/readings/Galileo-LetterDuchessChristina.pdf>

体系中,则必须解决对冷热进行量的测算问题。根据热胀冷缩原理,伽利略发明制作出了温度计(Galileo thermoscope),利用空气在顶部圆球内的热胀冷缩来推动玻璃管中水位高度的变化,达到测量温度高低的目(图 1)(Chilton,1968)。而与伽利略同时代的人依据同样的原理,以这一温度计的设计为雏形,经过多次改进最终达到了可以应用的阶段。随后,不仅测温仪器不断得到了改进,测风、测湿、测压等设备也先后问世(图 2),体现了科学革命推进实测技术发展的时代特征(许小峰和张萌,2014)。

依照伽利略“自然之书是用数学公式书写的”理念,当时无论是贵族还是学者在掌握了观测仪器后,

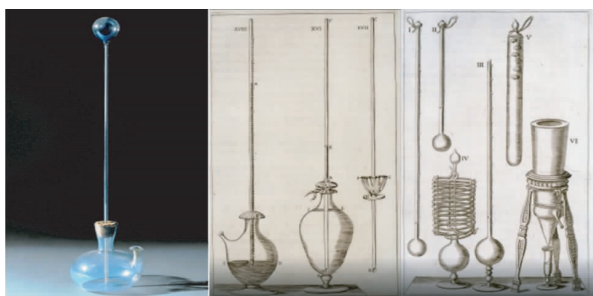


图 1 存放在佛罗伦萨伽利略博物馆的伽利略温度计和设计图

Fig. 1 Galileo's thermoscope and design drawing in Museo Galileo, Florence^②

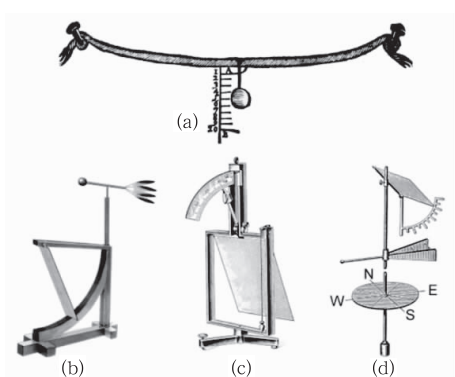


图 2 (a)湿度计,(b)风向计,(c)风力计,(d)风力风向计

Fig. 2 (a) Rope hygrometer by Sanctorius with spherical ballast-pointer, (b) reconstruction of Leonardo anemometer, (c) a pressure-plate anemometer, (d) wind anemometer

都希望通过观测数据揭示自然的奥秘,围绕温度可能的时空变化激发了更多的好奇心,比如,温度如何随纬度或高度等地理特征变化、最冷或最热条件下的温度、水结冰或蒸发时的温度、吹北风或南风时温度会有什么变化、暴露在阳光下或阴凉处温度的差异等。要解决这些问题,单点的观测已不能满足。

塔斯卡尼大公斐迪南二世·德·美第奇(Ferdinando II de' Medici)是曾给与了伽利略重要支持并深受其影响的一位重要人物,他除了在温度计、气压计等设备研制中做出重要贡献外,还组织建设了世界上第一个观测网:美第奇气象观测网络(1654—1670)。该网络采用同样的温度计,在不同地点、相同时间进行温度观测和结果比对;共由 11 个观测站组成,其中 7 个设在意大利境内,另外 4 个分别设在奥地利、波兰、德国和法国境内。图 3 显示了在意大利境内的站点和所使用的温度计。每个站点的观测都由经过训练的观测员负责,每 3~4 h 进行一次,每周都将观测数据送往位于佛罗伦萨的观测网总部(Camuffo and Bertolin,2012)。虽然这个观测网未能持续很长时间,在教会的干预下,观测了十多年后被叫停了,但现代气象科学之路已由此开启,为实证、量化、数学方法打开了现代气象研究之门,一系列相关科技进展推动着气象学伴随科学革命走向现代之路。

1643 年,伽利略的学生、意大利著名科学家托里拆利(Torricelli)成功完成了气压实验,测出了 1 个标准大气压的大小为约 760 mm 汞柱高度(Gillispie,1960),后来的发展证明气压是与大气运动相关的重要变量;1662 年英国科学家克里斯托弗·雷

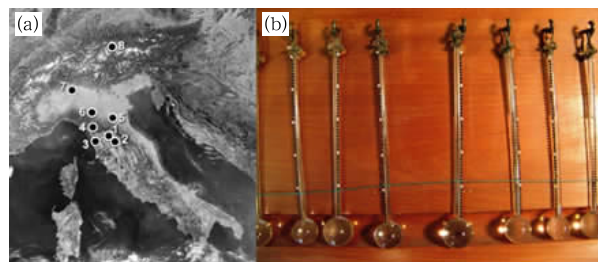


图 3 世界最早的气温观测网络在意大利境内的 7 个站点(a)和所使用的温度计(b)

Fig. 3 The world's earliest temperature observation network with seven sites in Italy (a) and the used thermometers (b): the Medici Network (1654—1670)

② https://www.researchgate.net/publication/343974887_MUSEO_GALILEO_Florence_Italy_-_OBRA_S_DANHONI_NEVES

恩爵士(Sir Christopher · Wren)发明了机械式、自排空、翻斗式雨量计(Weld, 2011);1724年,德国物理学家华伦海特(Fahrenheit)推出了华氏温标;1742年,瑞典人摄尔休斯(Celsius)建立了摄氏温标(Romer, 1982);1805年,英国人弗朗西斯·蒲福(Francis Beaufort)为风力制定了等级表(Oliver, 2008);等等。这些技术的进步和标准的确立,为观测网建设奠定了基础,使得不同地点观测的数据有了统一的测量标准。

18世纪后期到19世纪,欧美许多国家都开始建设气象观测网站,记录每天发生的天气变化;18世纪中叶,欧美等地的气象学家开始通过风筝开展高空探测的试验,到20世纪30年代,逐步建立起了以气球携带探空仪方式组成的探空网络;19世纪中叶,具有应用价值的现代天气图分析在欧美一些国家开始出现(Miller, 1933);1837年,电报的发明(Coe, 2003)使人们能够迅速从远程收集观测信息,这使得实时掌握分析天气形势变化成为可能;1863年9月,第一张欧洲区域的实时等压线图(图4)在法国绘制完成,开启了以天气图为基础的天气分析与预报业务时代。

天气观测网与实时天气业务的建立,一方面促进了气象科研与业务水平的提升与结合,著名的挪威学派、芝加哥学派在获取完整的实时气象数据基础上,完成了以数学、物理学为基础的大气动力学的创立,气象学成为一门独立的学科体系,并实现了从天气分析预报到数值天气预报业务的转变(Namias, 1983; Thompson, 1983; 杨萍等, 2021),二

次大战后天气雷达在气象业务中的应用和20世纪60年代开始发展的气象卫星又进一步丰富了大气探测的各类信息。另一方面,无国界的大气流动与演变也促使人们意识到,如果没有跨越地域的气象信息交换合作,无论是对于某一国家还是对于全球,天气、气候的准确预报都难以实现,气象信息交换合作成为伴随气象科技发展,始终受到各国气象界关注并尽力解决的问题。

2 对气象信息交换的全球共识及国际气象组织

18世纪大气科学在观测领域取得的重要进展,促进了跨区域测量并进行数据交换的需求。1723年,由英国皇家学会发起,通过志愿者实现了最早横跨欧洲、亚洲和北美气象年度信息的收集,被认为是国际气象数据合作的首个范例(Zillman, 2018a)。19世纪初期,欧美各国已开始分享气象数据(Cawood, 1977)。1845年,在英国剑桥举行的英国科学促进会第十五次会议上专门讨论了这一议题,与会人员包括英国和欧洲其他一些国家的气象学家代表(British Association for the Advancement of Science, 1846),会议代表报告了在欧洲、美洲、亚洲等地进行的大气观测结果分析,准备将这些结果印刷出版进行交换,并提出要进一步召开专门会议讨论相关议题;1853年第一次国际气象会议在比利时布鲁塞尔召开,美国、英国、法国、比利时、俄国、丹麦、挪威、荷兰、瑞典、葡萄牙等国代表参会,会上具体讨论了利用船舶日志交换气象数据的具体方案,为后来的气象国际合作起到了重要推进作用(Zillman, 2018a)。

1872年,52名气象学家在德国莱比锡举行会议,讨论了建立国际气象合作的可行性。气象学家、荷兰气象局局长白贝罗(C. H. D. Buys Ballot)发表了题为《关于统一气象观测系统的建议》(Buys-Ballot, 1872)的重要文章,详细阐述了气象学作为一门科学所应遵循的发展方向,从中可以看到气象国际合作的初心,以及信息获取与交换的重要价值。他明确提出:“拥有一个全球气象观测网络,国家之间自由交换观测数据,建立标准化的观测方法,应用符合国际协议的度量单位以使观测结果便于比较,这些都是至关重要的”,该观点得到了与会者的认同,这为正式建立一个国际机构协调全球气象信息

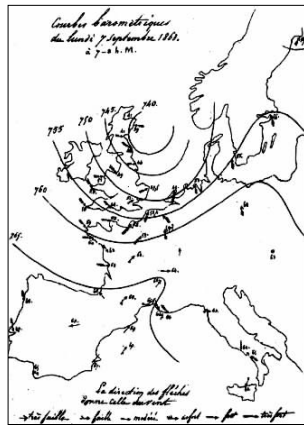


图4 在法国绘制完成的第一张欧洲区域实时等压线图

Fig. 4 The first isobaric map published in France in 1863 (© Météo-France)

的获取和交换起到了推动作用。随后,1873年,第二届国际气象大会同意筹备成立国际气象组织(International Meteorological Organization, IMO),并先设立一个常务委员会负责起草国际气象组织的规则和章程,白贝罗当选为第一任主席(Sarukhanian and Walker, 2015)。这次会议后来被确认为国际气象组织工作开始的标志。当时常委会还审议了两个具有超前性的提案,一是建立一个由世界各国政府参与的气象组织,并常设一个有经费支持的秘书处;二是建立一个国际气象基金,用来对在偏远地区建设观测台站提供支持。这两个提议在 19 世纪 70 年代提出尚不具备条件,但却为后续发展埋下了种子,不仅在之后历年会议上常被提出讨论,并且根据条件发展成熟最终发芽结果(见 4.2.5 节)。

1879年,国际气象组织(IMO)在罗马正式成立(图 5)。成立之后,IMO 做了大量工作,其中最有效的成果集中在制定观测方法、标准化观测设备和观测资料的整理交换等方面,也包括组织跨区域的观测、研究实验,针对某一领域成立专门委员会并研究相关问题等。如 1889 年出版了第一套国际气象报表;1896 年在巴黎出版了“国际云图集”;支持开展了“国际极地年 1882—1883(The International Polar Year 1882—1883)”活动,这是第一个高度组织化的国际气象科学计划;1907 年“全球观测网委员会(Commission for the Réseau Mondial)”的成立,标志着建立全球气象站网络的努力正式开始,可以认为是 IMO 成立后的里程碑事件。

1935 年在华沙召开的 IMO 主任会议被认为是决定该组织未来发展的一次重要会议,标志性事件是将 IMO 转变成为政府间机构的问题得到了认可,



图 5 国际气象大会于 1879 年 4 月
在罗马召开^③

Fig. 5 International Meteorological Congress held in Rome in April 1879 (from the WMO's website)

并决定未来在召开主任会议时将邀请函发给各国政府,由政府指派气象机构主任参加会议并代表政府行使投票权。这一做法是基于伴随气象重要性的提升,需要政府发挥更大的影响,包括提供财政上的支持而提出的。为此,华沙会议上组织起草了一份世界气象公约(World Meteorological Convention),提交给了 1939 年举行的 IMO 柏林会议。在柏林会议上又专门成立了公约草案研究委员会,以完善该公约草案,提交给计划于 1941 年召开的华盛顿会议上讨论,但因二次大战的爆发这项工作未能如期完成。

二战后,IMO 继续推进修改章程和将 IMO 纳入政府间组织的工作,并以柏林草案作为新公约的基础。经多次讨论后,1947 年 9 月在华盛顿召开了各国气象局长会议,会议决定把已成立了 70 多年的国际气象组织(IMO)改组为政府间组织:世界气象组织(WMO),随后《世界气象组织公约》(Convention of the World Meteorological Organization)正式签署,并于 1950 年 3 月 23 日正式生效。

1951 年春天,WMO 在巴黎召开第一届大会(图 6;Howard, 1973),同年底,联合国(UN)大会通过决议,WMO 正式成为 UN 的一个专门机构。IMO 最终结束了其阶段性的使命,但它创建了一个独特的国际气象合作机制,为 WMO 的成功组建和运行奠定了基础。

3 WMO 在气象信息交换上所做的努力与成效

《世界气象组织公约》中确立了六项宗旨,可简



图 6 1951 年 3 月 WMO 第一届大会在巴黎召开

Fig. 6 The First World Meteorological Congress held in Paris, France in March/April 1951

^③图 5~图 8 均源自 WMO 网站, <http://public.wmo.int/>

要概括为:①促进在建立气象观测站网方面的全球合作;②促进建立和维持气象和相关资料的快速交换系统;③促进气象和相关观测的标准化,并确保观测和统计信息的统一出版;④推进气象学在航空、航运、水利、农业和其他人类活动方面的应用;⑤促进水文业务,增进气象与水文部门间的密切合作;⑥鼓励在气象学领域的研究和训练及相关国际合作。可以看到,全球气象信息的获取、标准化和快速交换在其中所占重要比重。

遵循这些宗旨,成立 70 多年来,WMO 虽然也会根据局势变化不断调整工作重心,但始终将推进全球观测系统建设领域合作和气象数据自由而不受限制的国际交换以满足日益增长的科学和业务需求作为其最重要的任务,并切实促进了气象信息走向全球化交换和应用及标准化的步伐。

1955 年 WMO 第二次大会在日内瓦举行,就明确提出为了满足未来天气预报和预警系统的需求,要建立一个完整、强大的全球气象观测和数据收集系统,并为此开展了一系列卓有成效的工作。1957—1958 年,WMO 联合国际大地测量与地球物理联合会(IUGG)及其上级组织国际科学联合会(ICSU)共同推进了国际地球物理年(International Geophysical Year)活动,针对南半球常规气象信息的空缺开展了联合观测和数据收集,成功绘制了包括热带区域的完整全球天气图,吸引了诸多科学家共同在联合国框架下参与大型科学计划(Edwards, 2010)。受苏联 1957 年成功发射首颗人造卫星的启发,WMO 执行理事会 1958 年会议就卫星在气象探测领域的潜力开展了长时间的讨论,并在 1959 年届会上建立了一个卫星专家组,研究分享卫星技术发展的信息,计划在天基对地观测领域开展国际合作。1960 年美国成功发射第一颗气象卫星 TIROS-1 后,进一步促进了这一领域合作的快速发展(Davies, 1990)。基于气象卫星的发射成功,WMO 在全球气象监测领域合作的实践与构想,当时国际有影响力的政治家与科学家对于和平利用太空开展大气科学研究所形成的共识等,联合国于 1961 年 12 月通过了第 1721(XV I)号决议,呼吁 WMO 与相关组织协商,通过适当的组织方式为各国提供更多影响天气、气候的地球物理信息,以支持各成员国开展相关研究和业务的能力。WMO 立即做出了回应,提出了“世界天气监测网(World Weather Watch, WWW)”概念,以及开展气象观测、监测和预测国际合作的整体

方案。1962 年 12 月 14 日联合国大会通过其第 1802 号决议对这一报告给予了认同,要求 WMO 进一步制定具体的业务计划,并要求 ICSU 在 WMO 报告基础上扩充其科研方案。经过一系列的完善、讨论和协调等准备工作,1967 年第五届世界气象大会正式通过了《世界天气监测网计划和实施方案》(Plan and Implementation Programme for the World Weather Watch),并敦促所有成员积极配合并加快推进实施。接下来的十年是在 WMO 协调下各国通力合作的阶段,最终成功完成了全球观测系统(GOS)、全球通信系统(GTS)和全球数据处理系统(GDPS),构成了 WWW 的核心架构,可以提供给当时 140 多个成员国和区域的气象水文部门共享使用。WWW 系统也成为迄今为止设计最合理、合作最成功、应用最广泛的全球公共资源体系,在此基础上,WMO 及与其他组织合作开展的多项科学与业务试验计划得以成功开展(Zillman, 2018b)。

然而,WMO 在全球数据获取与交换领域引领的有效合作并非一帆风顺,甚至一度进入危机状态。20 世纪 80 年代开始,伴随一些国家尝试通过市场机制改变多年来由政府部门提供某些公共产品的政策,气象服务被列为商业产品,这导致气象信息的无条件交换也受到冲击,曾保持密切合作的国家气象机构之间开始出现竞争和冲突,曾形成互补的公共、私营和学术部门之间的关系也趋于紧张,WMO 各成员之间自由交换观测数据和产品的政策开始受到限制(Zillman, 1997)。为了避免 WMO 最重要的根基受到损害,1991 年第 11 次世界气象大会后,执行理事会成立了专门工作组,试图协调化解出现的数据政策困境。工作组向 1995 年召开的第 12 届世界气象大会提交了一个政策性框架,供大会讨论,但仍难以弥合各方的分歧,于是大会又成立了一个开放性的特别小组探讨解决方案。试图达成共识的努力非常艰难,特别小组最终提交了一份充分协调了各方意见而达成脆弱共识的“粉色文件”供大会讨论,最后由时任世界气象组织主席、中国气象局局长邹竞蒙先生主持大会并宣布决议通过。这就是 WMO 历史上著名的 40 号决议。其核心是明确重申自由和不受限制的气象数据国际交流是气象组织的一项基本原则,并对所谓的“基本”和“附加”数据与产品进行了新的区分,兼顾了不同类型数据在交换中的区别,为商业气象活动中所遵循的准则提供了政策指导(Zillman, 2019)。

40号决议的通过,推动了WMO的信息获取与资料交换业务的进一步发展。2007年召开的第15次世界气象大会通过了第30号决议,批准同意加强世界气象组织各观测系统之间的集成综合,并将集成的新系统定名为世界气象组织全球综合观测系统(WIGOS),通过加强系统集成、加强观测数据质量、加强标准化实施和加强观测产品的增值开发,WIGOS使得观测数据获取和分发效率更高,数据产品应用价值更高,新开发的观测系统按照标准化要求易于和原有系统融合集成,从而使得发展效益显著提升(张文建,2010)。2016—2019年为WIGOS试运行阶段,2020年WIGOS开始全面业务化运行。

4 WMO全球数据交换政策的最新重要进展

受40号决议通过的鼓舞,WMO继续在数据自由交换领域不断推进:1999年第13次世界气象大会通过了第25号决议,将数据自由交换政策拓展到了水文领域;2015年第17次世界气象大会通过了第60号决议,进一步向气候数据交换领域扩充;2019年第18次世界气象大会通过了关于数据政策和实践的第56号决议。但由于WMO内部机构管理效能问题,在水文和气候数据交换政策的落实上并不十分顺畅,同时,40号决议通过时所面临的问题并未随着时间而消失,且随着在气象领域商业化活动的增加,又面临新的争论和挑战(Blum,2019)。

4.1 第18次世界气象大会

经过反复讨论和精心准备,2019年第18次世界气象大会通过了日内瓦宣言:《构建天气、气候和水行动共同体》。宣言再次强调“各成员承诺按照世界气象大会第40号(Cg-12)、第25号(Cg-13)和第60号(Cg-17)决议的规定,扩大和加强气象、水文和气候数据及产品的自由和无限制的交流,……”;同时,在关于公共与私营部门关系方面,提出“WMO的如下作用不断演变,即促进建立和扩大公共、私营和学术等部门各利益相关者之间的伙伴关系,从而显著提高所有国家的高质量天气、气候、水和其他相关环境信息和服务的可用性”。

第18次世界气象大会的另一个亮点是审议批

准了执行理事会提交的“向更综合的‘地球系统’方法进行战略转变”的计划。所谓“地球系统”,是涵盖了大气、水、陆地、冰冻和生物圈层的整体,这显然极大拓展了WMO的工作领域,尽管这些新领域不可能由WMO单独完成和承担,但势必将推进世界范围地球科学领域更广泛的合作,包括数据交换方面的合作。

4.2 2021年特别届会

2021年10月,WMO召开了特别届会,在落实层面上对第18次世界气象大会成果进行具体政策研讨和准备。这次会议得到了WMO的高度评价,会议闭幕时WMO网站以“世界气象大会以具有里程碑意义的决定结束了历史性会议^④”为题进行报道。

所谓“里程碑意义的决定”,与数据与信息交换政策领域取得的显著进展密切相关。本次会议通过了三个重要决议:“WMO统一的地球系统资料国际交换政策(WMO unified policy for the international exchange of Earth System Data)”“建立全球基本观测网(GBON)有关技术规则修正案(Amendments to the technical regulations related to establishment of the Global Basic Observing Network)”“观测系统融资机制(systematic observations financing facility, SOFF)”。“里程碑”和“历史性”,说明要协调世界各国在这些问题上达成一致,取得的每一点进展都来之不易。

与WMO历次通过决议相比,这次大会取得的显著进展体现在哪些方面?综合分析上述三个重要文件以及配套的相关改革措施可以发现,主要体现在新资料政策的完整性、系统性、参与性、双向性、持续性和导向性等多重特征。

4.2.1 完整性

值得关注的是,资料交换政策决议的标题直接使用了“地球系统资料”这一概念,具体内容中也明确提出一些重要理念,如:“需要采取综合的地球系统方法进行监测和预测,地球系统各组成部分之间存在紧密的相互作用和依赖”“同意为WMO所有领域和学科制定统一的资料政策”“WMO致力于扩大和加强地球系统资料的免费和无限制的国际交换”等,明确了地球系统的核心与推荐资料所包含的七大领域:“天气、气候、水文、大气成分、冰冻圈、海洋、

^④ World Meteorological Congress concludes historic session with landmark decisions

空间天气”,并敦促会员“采取必要行动,促进在国内和国际上关于地球系统资料共享和交换的国家政策和规则与通过本决议颁布的政策保持一致”。从这些内容中可以看出,WMO一方面从以往将天气、气候、水等资料交换政策分别处理的方式转换为制定统一完整的政策,避免了各领域分支单打独斗、无效重复、缺乏协调的弊端,同时将原来的天气、气候和水的领域扩展到了整个地球系统,为不断增加的多方面资料需求提供了解决方案,是对当前形势发展的响应。当前,在应对气候变化、生态环境保护、自然灾害防御等方面面临的紧迫需求,已远超传统信息所能提供的支持,如果对涵盖领域不能做出实质性拓展,那么无论是从科研还是相关的业务发展和服务的角度,都会遇到基础信息系统性缺失的障碍,难以构成统一、完整、融合的体系,更无法提供切合实际需求的服务产品。从这一现实看,将资料交换政策拓展到地球系统领域,提供完整的推进方案,是此次会议通过决议的重要亮点。

4.2.2 系统性

系统性则是针对 WMO 内部组织间的协调问题,这涉及到近年来 WMO 开展的一系列机构改革措施。为了适应未来面向“地球系统”的战略性转变,早在 2015 年的第 17 次世界气象大会,就责成执行理事会(EC)为未来的 WMO 组织结构提出改革方案。2018 年通过的改革方案,其中一个较突出的改革内容,就是将原有的八大技术委员会和科学委员会及两个研究计划合并为三个委员会,即基础设施委员会、服务委员会和科学委员会(图 7)。改革的目的是提高效率和运行的协同性,避免因职能交叉而导致许多决策无法落实,如第 25 号(Cg-13)和第 60 号(Cg-17)决议在在执行中就曾因缺乏协调而导致推进不力的情况。WMO 组织结构改革为这次特别届会的决定铺平了道路,也为新的资料政策落实减少了障碍,有利于系统性推进。

4.2.3 参与性

在统一资料政策文件中进一步确认了《日内瓦宣言》中关于加强公共与私营部门合作的原则,提出要各国公共、私营和学术部门的所有利益攸关方进行协调,促进 WMO 相关活动、政策和标准的确立,并在文件的附录 3 中系统地阐述了这项合作的指导原则,包括总体指导原则和将资料划分为“核心资料”与“推荐资料”的具体提供和交换指导原则。显然,这些指导性政策的确定,有助于增加国际气象

数据交换的参与度,使不同利益主题在参与相关资料活动时有了政策依据。另一方面,在 GBON 修正案中,还特别提到与国际海洋观测相关组织的合作问题,要求 WMO 秘书长“与政府间海洋委员会(IOC)和全球海洋观测系统(GOOS)共同发起机构合作,探讨在实施和进一步发展 GBON 的过程中,利用海洋观测方面的国际合作的可能性”,这也将增加未来全球气象观测参与的广泛性,有望获取更完整的地球系统观测数据。

4.2.4 双向性

所谓双向性,是指不能仅要求各国单向地提供观测资料,技术发达国家通过获取资料加工而成的高质量产品也应对资料提供方予以反馈。这显然是一个合理的机制设计。尽管有不少国家或组织已做了不少贡献,使得许多产品都能通过网络或其他方式共享,但通过 WMO 决议方式,明确约定免费使用交换资料后的一种责任,应该说是制度层面的创新,这明确了信息提供方与使用方的双向责任。决议中相关的阐述包括:“全球数值预报系统的成果在支持所有天气、气候、水和相关环境产品和服务方面发挥着关键作用,因此,重要的是扩大和加强所有会员免费和无限制地获取这种成果”“这些全球预报系统反过来又依赖于地基和空基观测系统提供的来自全球所有地区对观测持续、有力和可靠的投入”,要求 WMO 秘书长“促进与数值天气预报中心和其他利益攸关方的进一步合作,以确保全体会员全面、免费和无限制地获取地球系统监测与预报数据,以支持它们提供公共天气、气候、水和相关环境服务”“WMO 的长期目标是缩小会员之间在天气、气候、水和相关环境服务方面的能力差距,包括他们获得并受益于模式数据和衍生产品的能力,而这些资料和产品对拯救生命和保护财产的关键任务至关重要”“如果没有互惠,国际资料交换就无法持续”,等等。从这些内容可以看到新的“资料交换政策”决议的鲜明特点,它明确了数据与产品价值实现的双向依赖性,构成信息双向交换的政策依据。双向性原则的确立,使数据产品的提供不再仅是一种自愿的选择,而成为应承担的责任。

4.2.5 持续性

以往 WMO 决议在执行过程中常会面临一个无法回避的问题,就是由于缺乏技术和资金上的支撑,导致其在欠发达国家难以很好落实。在观测系统建设上同样如此,由于发展不平衡,本就无法覆盖

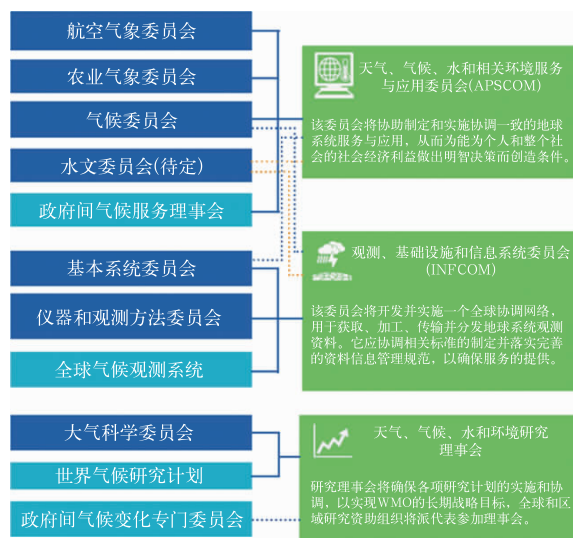


图 7 WMO 业务、科研部分改革方案
Fig. 7 WMO technical commissions reform mapping

全球的陆地气象观测网存在着一些或大或小的漏洞。对此,为确保资料交换决议能得到全面且可持续的落实,WMO 经过长时间的探讨和准备,并与相关金融机构形成共识后,在这次特别届会上通过了为观测系统融资的“SOFF”决议,为解决欠发达地区气象观测网建设问题迈出了坚实一步。尽管在具体落实上仍有许多工作要做,但从解决长期存在的

不平衡发展问题角度看,这确实是一个良好开端,若能取得成功,将为全球气象观测和数据交换提供可持续的支持。这是在 IMO 时期就曾探讨过的议题,那时埋下的种子终于开始发芽生长。

4.2.6 导向性

全球基本观测网 GBON 是 WMO 全球综合观测系统(WIGOS)的一个地面观测子集,已在第 18 次世界气象大会上通过。特别届会通过的技术修正案,是从标准层面对 GBON 进行了技术规范,因此对全球观测系统发展具有明确的导向性。以往的全球气象观测是基于各国或某一区域的观测网整合而成的,虽然建立了一些技术标准,但由于缺乏统一设计和规划,因此有些区域因经济原因没有开展观测,有些区域尽管开展了观测但没有实现共享,还有些区域未能按要求和相关技术标准交换数据,等等。图 8 是根据全球数值天气预报中心报告的陆地表面气压观测情况,由图可见全球气象观测网数据提供尚存在很多不足。这些不足,导致气象观测在为以全球数值预报为基本需求的业务系统提供信息时无法达到最优。GBON 的目标就在于克服这一不足,从满足全球预报服务业务需求角度,来定义和设计观测网络,这也是本次决议的重要特点。同时,SOFF 决议的通过,也使得对于一些空白区域的观测设计有了实现的可能。

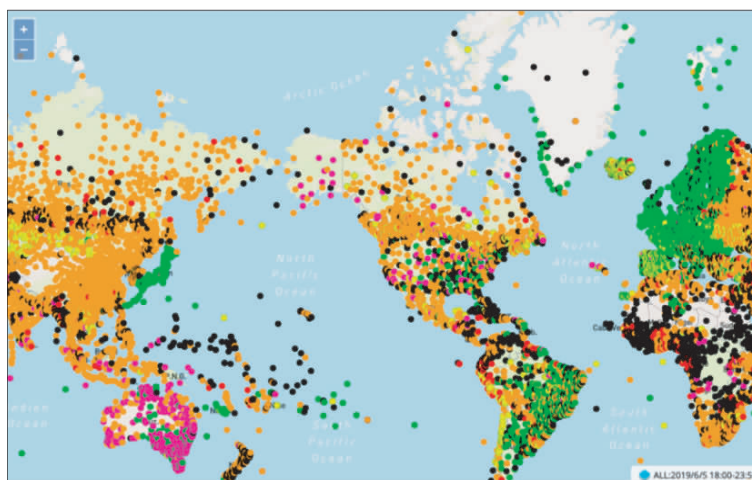


图 8 2018 年 6 月 27 日一个或多个全球数值天气预报中心报告的陆地表面观测气压 (完全报告的站点显示为绿色,部分报告的站点为橙色,按最少功能运行的站点为红色,沉默/未报告站点为黑色)

Fig. 8 Surface land pressure observations reported by one or more global numerical weather prediction centres on 27 June 2018

(green: fully reporting stations, orange: partly reporting stations, red: minimally functioning stations, black: silent (non-reporting) stations)

5 讨 论

以实证、定量、数学方法为特征的近代科学发展为气象学的发展奠定了坚实的科学基础,也对气象观测和数据提出了明确需求,同时为气象研究提供了科学方法,是气象业务和服务走向现代化的引导。现代气象科学的进步,包括向地球系统领域的拓展,依然要沿着这一路径和方向推进。

气象科学和业务的发展离不开全球范围的广泛合作,那些早期的开拓者们清醒地意识到了这一点,通过联合观测、建立组织等活动开展了有效的探索,最终建立了 WMO 这样有效的国际合作组织,推进了气象科技与业务的进步,为气象防灾减灾、应对气候变化、可持续发展等工作提供了有效支撑。

随着社会经济的发展,以气象数据交换为基础的全球合作也将不断面临新的问题和挑战,需要各国的气象工作者进一步加强协商,珍惜已形成多年的合作基础,探讨可行的途径,在兼顾各方利益的前提下形成共识,在新的形势和变化中寻求合理的解决方案。

对以数值预报模式为重点需求的气象观测系统,要加强科学设计,包括填补空白区、增加时空分辨率、提高观测质量、地球系统多圈层要素的增加、多种探测技术的结合使用等, WMO 的 GBON 起到了重要导向作用,但在实践中还需要世界各国协作推进,这将是一个逐步探索完善的过程。

国际社会在气象观测与数据交换领域的合作经验也可供国内借鉴,特别是在地球系统科学越来越受到广泛关注,自然灾害、气候变化、生态环境等问题对人类社会和可持续发展影响越来越大的形势下,任何单一部门都难以构成解决问题的决定性力量,只有寻求广泛、有效的合作才是唯一可行的路径。

参考文献

丁一汇,2019. 太阳活动对地球气候和天气的影响[J]. 气象,45(3): 297-304. Ding Y H, 2019. Effect of solar activity on earth's climate and weather[J]. Meteor Mon, 45(3): 297-304 (in Chinese).

黑格尔,1960. 哲学史讲演录. 第二卷[M]. 贺麟,王太庆,译. 北京:商务印书馆. Hegel W F, 1960. Vorlesungen uber die Geschichte der Philosophie. Volume II[M]. He L, Wang T Q, trans. Beijing: The Commercial Press(in Chinese).

姜彤,孙赫敏,李修仓,等,2020. 气候变化对水文循环的影响[J]. 气象,46(3):289-300. Jiang T, Sun H M, Li X C, et al, 2020. Impact of climate change on water cycle[J]. Meteor Mon, 46(3): 289-300(in Chinese).

汤绪,2014. 气象服务发展框架、方向与青年人的参与——基于 WMO 气象服务相关战略及计划的分析与思考[J]. 气象,40(3):261-268. Tang X, 2014. Framework of meteorological service development and young people's duty-analysis and thinking based on WMO weather service strategies and programs[J]. Meteor Mon, 40(3):261-268(in Chinese).

王永光,2004. 信息时代的天气、水和气候[J]. 气象,30(3):3-6. Wang Y G, 2004. Weather, water and climate in the information age[J]. Meteor Mon, 30(3):3-6(in Chinese).

许小峰,张萌,2014. 气象科技发展历程的若干回顾及启示[J]. 气象科技进展,4(6):6-12. Xu X F, Zhang M. 2014. Some reviews and inspirations on the development of meteorological science and technology[J]. Adv Meteor Sci Technol, 4(6):6-12(in Chinese).

杨萍,叶梦姝,陈正洪,2014. 气象科技的古往今来[M]. 北京:气象出版社. Yang P, Ye M S, Chen Z H, 2014. The History of Meteorological Science and Technology[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).

杨萍,许小峰,王志强,2021. 气候学发展历程的回顾与若干启示[J]. 大气科学,45(6):1249-1258. Yang P, Xu X F, Wang Z Q, 2021. Review and enlightenment of the climatology development process[J]. Chin J Atmos Sci, 45(6):1249-1258(in Chinese).

张文建,2010. 世界气象组织综合观测系统(WIGOS)[J]. 气象,36(3):1-8. Zhang W J, 2010. WMO Integrated Global Observing System (WIGOS)[J]. Meteor Mon, 36(3):1-8(in Chinese).

Blum A, 2019. Weather wars: is forecasting a common good or a commodity? [J]. Time, 8:22-26.

British Association for the Advancement of Science, 1846. Report of the Annual Meeting (No. 15)[M]. J Murray.

Buys-Ballot C H D, 1872. Suggestions on a Uniform System of Meteorological Observations[M]. Utrecht: Printing Office "The Industry".

Camuffo D, Bertolin C, 2012. The earliest temperature observations in the world; the Medici Network (1654 - 1670)[J]. Climatic Change, 111(2):335-363.

Camuffo D, 2021. Galileo's revolution and the infancy of meteorology in Padua, Florence and Bologna[EB/OL]. (2021-06-03). <https://journals.openedition.org/mediterranee/12565>.

Cawood J, 1977. Terrestrial magnetism and the development of international collaboration in the early Nineteenth Century[J]. Ann Sci, 34(6):551-587.

Chilton D, 1968. Scientific Instruments and Museums - A History of the Thermometer and its use in Meteorology. By W. E. Knowles Middleton. Baltimore, Johns Hopkins Press. London: Oxford University Press. 1966. Pp. vii+ 249. Illustrated[J]. Brit J Hist Sci, 4(2):179.

Coe L, 2003. The Telegraph: A History of Morse's Invention and Its

- Predecessors in the United States[M]. Jefferson;McFarland.
- Davies A,1990. Forty years of progress and achievement;a historical review of the WMO[R]. Geneva;World Meteorological Organization.
- Edwards P N,2010. A Vast Machine:Computer Models,Climate Data,and the Politics of Global Warming[M]. Cambridge;MIT Press.
- Einstein A,Seelig C,Bargmann S, et al,1954. Ideas and Opinions [M]. New York;Wings Books.
- Frisinger H H,1972. Aristotle and his "Meteorologica"[J]. Bull Amer Meteor Soc,53(7):634-638.
- Gillispie C C,1960. The Edge of Objectivity:An Essay in the History of Scientific Ideas[M]. Princeton;Princeton University Press.
- Howard D,1973. One hundred years of international co-operation in meteorology (1873-1973): a historical review[R]. WMO-No. 345. WMO.
- King P T,1993. Thomas Hobbes: Critical Assessments (Vol. 1) [M]. London;Routledge.
- Miller E R,1933. American pioneers in meteorology[J]. Mon Wea Rev,61(7):189-193.
- Namias J,1983. The history of polar front and air mass concepts in the United States—An eyewitness account[J]. Bull Amer Meteor Soc,64(7):734-755.
- Oliver J E,2008. Encyclopedia of World Climatology[M]. Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Romer R H,1982. Temperature scales: Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Réamur, and Ro/mer[J]. Phys Teach,20(7):450-454.
- Sarukhanian E I,Walker J M,2015. The International Meteorological Organization (IMO) 1879—1950[R].
- Thompson P D,1983. A history of numerical weather prediction in the United States[J]. Bull Amer Meteor Soc,64(7):755-769.
- Weidhorn M,2005. The Person of the Millennium: The Unique Impact of Galileo on World History[M]. New York;iUniverse.
- Weld C R,2011. A history of the Royal Society: with Memoirs of the Presidents[M]. Cambridge;Cambridge University Press.
- Zillman J W,1997. Atmospheric science and public policy[J]. Science,276(5315):1084-1086.
- Zillman J W,2018a. International cooperation in meteorology, part 1: origin and early years[J]. Weather,73(9):295-300.
- Zillman J W,2018b. International cooperation in meteorology, part 2: the golden years and their legacy[J]. Weather,73(11):341-347.
- Zillman J W,2019. Origin, impact and aftermath of WMO resolution 40[J]. Bulletin n°,68:2.

(本文责编:戴洋)