

需求引领的协同创新机制研究和启示 ——基于数值预报协同的多案例研究

张雅乐¹ 王梅华¹ 贾朋群¹ 钟琦¹ 薛建军¹ 赵桂香²

(1 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 2 山西省气象台, 太原 030000)

摘要: 数值预报是气象事业高质量发展面临的攻坚难题之一。数值预报的发展迫切需要与预报其他环节, 以及与气象观测、服务之间的协同, 迫切需要科研和业务之间的协同。基于气象业务内、外协同的时代要求, 以及创新生态系统的理论体系, 选择美国和中国以数值预报为核心, 上下游业务协同、科研业务相融合的案例, 通过深度解析个案, 并将案例进行横向重复验证和比较研究, 从联合方式、预报精准需求导向、业务和科研融合的研究型业务范式及背景基础四个维度深入剖析, 发现业务协同中出现创新生态系统的新形态, 组织结构中统筹管理与业务运作有机结合, 需求导向和技术导向协同正向反馈, 以及全要素多维度协同创新的经验。基于案例分析, 提出建立更具整体性的内部协作联动, 健全不同生态位的协同与治理方式, 以及多主体跨学科协同自循环驱动的三方面协同机制。

关键词: 数值预报, 观测试验, 协同创新生态系统, 案例研究

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.06.003

Research and Enlightenment of Demand-Led Collaborative Innovation Mechanism: Multi Case Study Based on Numerical Prediction Collaboration

Zhang Yale¹, Wang Meihua¹, Jia Pengqun¹, Zhong Qi¹, Xue Jianjun¹, Zhao Guixiang²

(1 China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081; 2 Shanxi Meteorological Observatory, Taiyuan 030000)

Abstract: Numerical prediction is one of the critical problems to be addressed for the high-quality development of meteorological cause. The development of numerical prediction urgently needs the coordination not only with other aspects of prediction, but also with meteorological observation and service. It also needs the coordination between scientific research and operation. To meet the requirements of the times for the internal and external collaboration of meteorological operations, and based on the theoretical system of innovative ecosystem, we choose the cases of the United States and China, which take numerical forecasting as the core, combine upstream and downstream operations, and coordinate scientific research and operation. This study deeply analyzes the cases, and conducts horizontal repeated verification and comparative study on the cases. The cases are analyzed from four dimensions: joint mode, demand-led accurate forecasting, research-oriented operation paradigm that integrates research and operation, and background basis. It is found that there is a new form of innovation ecosystem in operation collaboration. The combination of overall management and operation, and the positive feedback of demand-oriented and technology-oriented collaboration are identified in the organizational structure, so does the experience of multi-dimensional total-factor collaborative innovation. Based on the case analysis, it is proposed to establish a more integrated internal collaboration and linkage mechanism, improve the coordination and governance methods of different niches, and set up multi-subject, interdisciplinary, and self-circulation-driven coordination mechanism for three-side collaboration.

Keywords: numerical prediction, observation experiment, collaborative innovation ecosystem, case study

收稿日期: 2022年9月15日; 修回日期: 2023年7月25日
第一作者: 张雅乐(1983—), Email: 552350554@qq.com
通信作者: 王梅华(1962—), Email: wangmh@cma.gov.cn
资助信息: 中国气象局气象发展与规划院专项研究资金项目 (ZCYJ2022002)

0 引言

“监测精密”是基础, “精准预报”是根本, “服务精细”是目标。作为立业之本的“精准预报”, 在整个气象业务发展和实施过程中起着“龙头”带动作用。而数值预报作为“精准预报”之基础和核心, 在全链

条业务协同发展中成为“国之重器”。数值预报作为战略科技创新力量，在国家高度重视，气象人的奋力拼搏中，基本形成了从区域高分辨率到全球的确信性与集合预报相结合的完整数值预报业务体系，初步建立了再分析产品业务。近年来，气象部门越来越重视数值预报与预报其他环节、观测、信息、服务和科研的上下游、左右岸协同联动，也探索并建立了诸多协同机制^[1-3]。

以数值预报为代表的国家“芯片”，在大发展、大变革、大调整的宏观局势下，在精准性、灵活性及快速应对能力等方面直面新挑战。如何盘活已有资源，优化科研管理机制，快速灵活地适应环境变化，扩大协同创新范围，增强协同创新能力将成为关键。科研与业务协同、观测与预报协同创新“做什么、怎么做、效果如何”分别对应协同创新的需求响应、资源整合、成果转化3个阶段。我国当前业务协同在每个阶段均存在一定短板：在需求响应阶段，传统的自上而下需求沟通模式、严谨的管理审核流程，无形中降低了研发的响应速度；在资源整合阶段，某一研发或业务单位对其他单位的协调力度有限，难以有效调动整个业务链开展多方协同，从而造成协同不畅，研发周期长、合作回报低等问题；成果转化阶段主要呈现“岛屿”特征，标准、知识产权等界定规则各异，加上参与主体自我倾向，使得创新协同难以向更高层次发展。

伴随技术进步、行业组织形态升级变革，无边界的组织形态成为发展趋势。气象部门如何进一步打开边界，主动与行业内外各种组织进行合作，气象系统内部如何构建创新生态系统逐渐成为研究热点。本研究基于创新生态系统的理论体系，选择国内外以数值预报为核心、科研业务相结合的案例，深度剖析个案，并将案例进行横向比较研究，提炼出以需求为导向的业务协同相关经验，并提出协同创新相关启示。

1 协同创新发展溯源

1.1 创新生态系统

创新生态系统概念可追溯到20世纪90年代商业生态系统，创新生态系统理论认为宏观环境、政府、组织机构，以及生产经营供给方、需求方等相关联的群体共同构成了动态的创新生态系统^[4]。从创新网络的视角界定，创新生态系统需要以核心技术、产品为中心，成员通过一系列价值创造、资源供给、相互合作组成网络体系。从系统结构的视角界定，创新生态系统各要素基于不同价值、处于不同的生态位进行构架，彼此相关并在不同位置发挥不同的作用^[5]。

1.2 协同

协同学由德国理论物理学家赫尔曼·哈肯创建于20世纪70年代，起源于激光物理规律的研究。该理论认为子系统之间如果可以相互配合产生协同效应，那么由子系统组成的大系统可以处于自组织状态，即在一定条件下，从无序混沌现象走向有序协同的状态^[6]。对千差万别的自然系统或社会系统而言，均存在着协同作用，协同作用是系统有序结构形成的内驱力。协同关系中需要多方有共同目标，合作中彼此高度信任，共同承担责任和风险，共享权力和成果，提高自组织能力达到最佳状态，也协助其他成员实现能力提升^[7]。

1.3 创新生态系统协同

以上两个理论都强调整体性即系统论，均具备多元主体、动态变化的特点。因此，创新生态系统协同内涵可界定为：在生态系统中，主体通过协同各方面要素、主体间协调多重复杂关系最大化实现创新价值，具有动态演化性、栖息性、自组织成长性、互惠互利性、可持续性、可调控性、协同整合、共存共生、共同进化等特征。协同作用是创新生态系统有序结构形成的内驱力。因此，建立协同机制是一个系统或组织有序健康发展的内在动力^[8]。本文认为以数值预报为核心的气象部门内外协同创新生态系统是在党和国家的统一领导下，特定领域内的各类主体发挥协同创新的比较优势、整合资源力量、优化资源配置，为实现精准预报而形成的相互合作、相互依存、风险共担、利益共享的组织体系。

2 研究方法

2.1 资料来源及研究思路

本文聚焦气象部门内创新生态系统协同机制研究。采用文献研究法，通过图书资料、文献数据库等渠道广泛收集国内外有关协同机制相关研究，在此基础上进行归纳总结分析，为进行理论研究提供基础。采用案例式探索研究，基于气象业务协同迫切问题选取国内外典型案例，通过实地调研、专家访谈等方式采集数据，以数值预报业务协同发展为主线，围绕观测、预报、服务进行纵向深入研究。形成适用于气象行业的本土概念并进行比较分析，通过标签编码寻找要素单元，并探寻要素成员“条件、过程、结果”的内在及相互逻辑关系，结合理论再分析，力图刻画出气象行业创新生态系统协同机制。

2.2 案例选择

对于多案例研究的案例数量尚未有一致标准，一

般认定为3~6个。在对数值预报关联协同问题进行分析及案例收集的基础上,对案例材料进行对比分析和筛选,结合数据的可获取性、案例对理论的可发展而非验证性,最终确定服务于数值预报的科学试验作为本研究的案例。选择2022年气象部门内基于预报需求的汛期暴雨预报、2022年气象部门内外协同的台风三维加密观测预报试验、研究先行的美国奥林匹克山脉(OLYMPEX)野外观测试验、线上协同开展的2021年春季预报试验4个案例(表1)。选择以科学观测试验为支撑的数值预报作为典型案例主要有3个原因:1)数值天气预报和科学观测试验都面向国家重大战略气象服务保障、全球气象业务服务和地球系统前沿研究的需求,其建设与发展都是推进大气科学基础性、前瞻性和原创性的前沿探索。2)数值预报要利用常规观

测,以及雷达、卫星等气象观测资料,数值预报产品为“预报精准”提供支撑,精准的预报为精细化服务提供可能性。所以,数值预报联系着观测、预报和服务。3)数据资料是数值预报的初始场,科学观测试验数据在区域、台风等数值模式,高分辨率快速更新循环同化预报系统等研发中发挥着重要作用,促进了科研成果在业务中的转化应用。

本研究采用多源方式收集数据,主要分为直接、间接来源(表2)。直接来源以近2年访谈、实地调研材料为主,访谈对象涉及不同层级管理、业务负责人和参与成员,覆盖决策层到业务团队负责人及成员。访谈总时间约49 h,整理形成文档资料28万字。间接来源涉及范围较广,包括研究类书籍和论文、互联网等公开渠道获得的报道和报告等。最大限度保证研究的可信度。

表1 案例概况和选取说明
Table 1 Case overview and selection criteria

案例	气象部门基于预报需求的汛期暴雨预报	气象部门内外协同的台风三维加密观测预报试验	美国奥林匹克山脉(OLYMPEX)野外观测试验	美国春季预报试验
时间	2022年6月	2022年8月	2015年	2021年5—6月
地点	中国北京	中国北京、上海、广州、香港	美国	美国
事件	2022年6月26—29日,中国大部地区东北冷涡影响下大到暴雨加密观测及预报	2022年第7号台风“木兰”三维加密观测预报试验及业务应用	复杂地形区的降水预报,突发强降雨的小尺度湍流和云物理相互作用机理研究	改进危险对流天气的预测的新兴概念和技术
选取依据	基于汛期重大天气过程预报难点,气象部门内多单位联合,首次启用我国新一代静止轨道气象卫星风云四号B星(FY-4B)开展加密观测同化试验,是“目标观测—资料同化—数值模式—客观产品—预报应用”协同工作探索	气象部门内外协同,与香港天文台首次针对台风开展空-天联合探测试验,也是气象部门与高校、科研院所等多部门科研、业务紧密结合的实践	科研与业务结合,从事强降雨预报云物理机理研究的高校专家主持的观测试验	跨部门跨国界,科研与业务相结合,以提高预报能力为主线 and 信念,每年持续,2021年以线上方式开展协同试验

表2 案例数据来源及编码
Table 2 Source and label of case data

数据来源	数据分类	一级编码			
		气象部门基于预报需求的汛期暴雨预报	气象部门内外协同的台风三维加密观测预报试验	美国奥林匹克山脉(OLYMPEX)野外观测试验	美国春季预报试验
一手资料	深度访谈资料	A1	B1	C1	D1
	非正式访谈资料	A2	B2	C2	D2
	现场观测资料	A3	B3	C3	D3
二手资料	机构官网资料	a1	b1	c1	d1
	媒体报道、网站资料	a2	b2	c2	d2
	文献、宣传册、PPT等资料	a3	b3	c3	d3

3 案例分析

3.1 联合方式的构建

所选4个案例中已探索出多类型的联合(表3)。我国汛期暴雨预报体现出气象部门内多单位联合范式,由中国气象局地球系统数值预报中心发起,各单位快速集结,最终由国家气象中心、国家卫星气象中心和中国气象局地球系统数值预报中心联合申请开展我国新一代静止轨道气象卫星风云四号B星(FY-4B)东北冷涡专项加密观测试验,同时气象部门管理层级给

予大力支持和充分的资源调配。台风三维加密观测试验呈现了气象部门内外协同合作的范式。中国气象局地球系统数值预报中心、国家气象中心、国家卫星气象中心、中国气象局气象探测中心4家业务单位,携手中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室、复旦大学大气海洋科学系以及香港天文台,联合开展了风云四号卫星高光谱探测仪和香港机载下投探空仪协同的台风加密观测试验。值得注意的是,中国气象局和香港天文台针对台风开展的空-天联合探测试验也基于双方合作机制。

表3 联合方式和代表性做法
Table 3 Joint approach and representative practices

案例	气象部门基于预报需求的汛期暴雨预报	气象部门内外协同的台风三维加密观测预报试验	美国奥林匹克山脉 (OLYMPEX) 野外观测试验	美国春季预报试验
资料来源	A1, a1	B2, b2	C2, C3, c1	d1, d2
牵头单位	中国气象局地球系统数值预报中心、国家气象中心、国家卫星气象中心	中国气象局地球系统数值预报中心、国家气象中心、国家卫星气象中心、中国气象局气象探测中心	华盛顿大学云物理学家Houze教授	美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 危险天气试验台(HWT)
联合单位	中国气象局观测司、航天科技集团等	中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室、复旦大学大气海洋科学系、广东省气象局、香港天文台等	美国华盛顿大学、科罗拉多大学、北达科他大学、NOAA、国家天气研究中心 (NCAR)、西北太平洋国家实验室 (PNNL) 等, 加拿大环境与气候变化中心	NOAA全球系统实验室(GSL)、NOAA/NCEP环境建模中心(EMC)、NOAA地球物理流体动力学实验室(GFDL)、俄克拉何马大学多尺度数据同化和可预测性 (MAP) 小组等
参与人员	资料同化研发人员和研究生、预报员、卫星研发人员、观测仪器应用人员等	资料同化研发人员、预报员、大学教授、科研人员、雷达等观测仪器研发和保障人员、飞机驾驶人员等	大学教授、研究生、访问学者、科研人员、预报员、雷达等观测仪器研发和保障人员、飞机驾驶人员等	预报员、大学教授和研究生、科研人员、模式研发人员、编程人员

1996年, 中国气象局和香港天文台签署气象科技长期合作谅解备忘录, 确定双方的合作机制, 每两年轮流举行一次高层会议。2001年, 双方签署《中国气象局与香港天文台气象科技长期合作安排》, 进一步完善了合作机制, 确定了主要合作领域。随着合作机制的不断畅通, 与香港气象部门的合作从最初的五个领域扩大到包括气象探测、天气预报警报、气象服务、地区合作、国际组织合作活动等十余个领域。香港回归25年来, 双方的沟通合作更加畅通, 合作机制不断完善, 合作领域不断扩大, 为推动区域气象合作和区域防灾减灾提供了有力支撑。

3.2 精准预报需求导向

本文研究的案例均体现出以上游业务需求为重要牵引的特征(表4)。汛期暴雨预报的案例起源于中央气象台2022年6月22日早间会商对6月26—29日我国一次大范围强降水过程的预判, 但多个国家主要业务模式预报存在不确定性。为提高预报准确率开展的加密观测同化试验基于数值预报对资料的需要而制定, 数值预报又将低涡位置和移速的预报难点作为导向。美国奥林匹克山脉野外观测试验则聚焦复杂地形区的降水预报这一难点提出。春季预报试验每年选择强对流天气最活跃的春季, 通过运用实时数据预报实时天

表4 业务协同代表性做法
Table 4 Representative practices for operation collaboration

案例	气象部门基于预报需求的汛期暴雨预报	气象部门内外协同的台风三维加密观测预报试验	美国奥林匹克山脉 (OLYMPEX) 野外观测试验	美国春季预报试验
资料来源	A1, A2, a1, a3	B2, b1, b2, b3	C2, C3, c1	d1, d2, d3
起因	中央气象台2022年6月22日早间会商对6月26—29日我国将大范围出现一次强降水过程的预判, 但多个国家主要业务模式预报存在一定的不确定性, 特别是对低涡的位置和移速存在较大差异	中央气象台通过FY-4B在南海上空拍摄到的分钟级卫星云图, 提前1 d捕获到了2022年第7号台风“木兰”的前身南海低压, 台风未来的发展强度及移动路径成为预报的难点	由于之前其他观测试验布局不能提供全面的观测证据, 地形降水小尺度的湍流特征, 与云微物理怎样发生相互作用等无法进一步进行研究, 典型降水事件相关的多尺度系统的水平尺度、垂直高度、云水粒子的变化和微物理过程研究需要的高精度观测证实	在2020年基础上, 检验和评估多模式结果, 需要实时天气的集合预报、确定性产品预报产品, 为模型开发人员提供有针对性的反馈
目的	针对本次过程, 利用FY-4B加密观测同化试验, 从源头上掌握影响我国汛期的天气系统, 以期提高CMA-GFS预报准确率	为提高南海区台风预报精度, 中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室、复旦大学大气海洋科学系、广东省气象局、香港天文台等联合开展试验	研究云物理过程和小尺度波动动力过程及相互作用机理	对强对流天气预测的新兴概念和技术改进, 提升灾害性天气全过程和预警预测能力, 保持模式开发关键领域的势头
观测协同过程	FY-4B的加密观测产品按照预定方案开展加密观测试验, 并将数据准时提供给天气预报室预报员和地球系统数值预报中心同化系统	FY-4B发挥天基优势, 开展高光谱、高时间和高空间分辨率的多载荷联合探测加密观测; 往返平漂探空根据天气过程监测需求开展“定制化”探测服务; 机载下投探空以空基探测补充传统海面气象观测的不足	飞机目标观测分别在对流区三个关键高度开展, 且不同高度飞机分别携带不同观测仪器, 如在零度层飞机携带多波段雷达、辐射计、遥感仪, 并可下投探空; 在中低层关键区域的飞机装备了多种高精度的云微物理探测仪	多雷达、多观测仪器对灾害性天气开展观测
数值预报协同过程	搭建FY-4B探测仪加密观测实时同化和预报试验系统; 6月25日08时起, 加密观测预报数据输出, 完成相关分析工作后将同化结果提交中央气象台	加密目标观测数据快速进入CMA-GFS全球四维变分资料同化系统	在观测试验期间, 华盛顿大学数值预报领域教授牵头数值预报组一直开展精细业务化预报; 观测试验结束后利用数值模式开展验证	结合试验整体方案利用数值预报模式开展灾害性天气预测和模式评估
预报协同过程	预报员就FY-4B快速扫描加密观测产品、数值预报敏感性对比试验结果进行了连续跟踪讨论	预报员结合加密观测同化的预报数据和产品进行分析, 用于全国天气会商	华盛顿大院教授和气象台预报员制定每日天气形势分析简报, 为观测试验的起降和移动路径提供支持	参与试验期间的灾害性天气预报, 运用试验数据和业务数据开展预报并进行反馈

气, 现场发现并解决预报中的难题。以上案例均始于解决预报业务重点和科学研究的难点, 试验以研究先行, 研究以业务难点为导向。

3.3 业务和科研融合的研究型业务范式

科研业务紧密结合, 将创新研究成果转变为业务, 同时具备从业务到研究的反馈能力, 是科研业务快速提升的关键。在汛期暴雨预报加密观测试验、台风三维加密观测试验中, 加密观测的数据在数值预报和预报分析中同时使用。预报员就FY-4B快速扫描加密观测产品、数值预报敏感性对比试验结果进行了连续跟踪讨论, 并将相关数据用于天气会商。2021年有130人参与了春季预报试验, 与地方气象部门预报员、高校研究人员、美国强风暴实验室(NSSL)研究、模式研发和编程人员一道, 并肩工作以评估新兴研究概念和工具, 共同参与试验性预报和预警。在这些观测试验中, 参与研发的人员包括观测仪器、资料同化、模式开发、基础理论研究等领域人员, 同时还有业务观测仪器保障人员、预报员、编程人员等。同化技术研发人员与不同仪器研发专家、设备保障人员建立起有效的沟通模式; 预报员可以直接获知最新的研究进展; 科研人员获取需求以制定具有实际效益的研究策

略。这种协作方式确保了研究和业务之间的有效双向路径, 不断改进预报和预警的准确性, 也给研发人员提供了更明确的攻关导向。

3.4 案例实施的基础

所选案例的背后离不开国家对关键领域关键问题的重视和支持, 离不开科研业务人员对于一个科研问题矢志不渝的探索(表5)。长期以来共同的目标逐渐成为一种信念, 甚至转化为一种文化氛围。汛期暴雨预报和台风三维加密观测预报试验在重大天气过程到来前, 都面临加密观测“关键区域”的选择, 目标观测作为一种观测策略能在改进预报水平的同时相对减少人力物力的支出。参与这2次过程的专家围绕此问题均有二十余年的研究积累, 基于多个项目的支持, 有CMA模式中发展成熟的切线性和伴随模式技术的奇异向量(SV)方法, 有我国原创条件非线性最优扰动(CNOP)目标观测方法, 为产生数值预报需要的高质量天气初值提供了前提条件。中国气象局数值预报团队迅速搭建加密观测实时同化和预报试验系统, 使得加密观测数据产生即进入同化系统进行高效同化。也得益于高校、气象系统业务人员参与共同课题, 使得成果可以共享共用。

表5 实施相关背景
Table 5 Implementation background

案例	气象部门基于预报需求的汛期暴雨预报	气象部门内外协同的台风三维加密观测试验	美国奥林匹克山脉(OLYMPEX)野外观测试验	美国春季预报试验
资料来源	A1, A2, a1, a3	B2, b2, a3	C2, C3, c1, c3	d1, d2, d3
多渠道持续支持	台风加密观测试验中目标观测方法的发展基于科技部重点研发计划、国家自然科学基金项目、气象部门业务研发项目等多渠道科研项目支持。仪器设备研发生产基于气象部门重大工程、地方财政经费等支持		试验科学问题的产生基于项目牵头人Houze教授在前期陆续参加美国西部Cascade山区开展的通过观测试验、欧洲阿尔卑斯山脉的中尺度观测试验(MAP)提出的降水机制上的深化	春季预报试验不受联邦运营基金的支持, 通过资助NOAA危险天气试验平台研究的赠款获得
协同平台/试验平台	技术层面暂没有规范统一的协作平台, 加密观测实时同化和预报试验系统在前期基础上临时搭建		以项目管理的方式, 项目每年召开年会、子课题每月召开推进会, 子课题内各小组每周召开组会	有试验集成框架, 技术层面提供开源资源, 友好的技术支持, 相同的工具
交流方式	气象系统内部以会议沟通为主, 与系统外技术沟通渠道多为线上视频会、微信群发布信息及交流、电话等	协同试验方案制定等以线上会议、微信群发布信息及交流为主, 单点之间以电话、邮件、微信等	定期的面对面会议, 会后生成会议纪要; 部分共享文件可一起编辑利用, 通过互联网旗下产品实现	社区论坛, 用于发布试验方案、问题和交流
方案设计时长	天气过程前约4 d, 模式预报有大范围强降水过程时决定开展加密观测试验, 方案设计用时约2 d	天气过程前约3 d, 方案设计用时约1 d	提前1 a设计总体方案, 以组会的形式协调后续试验推进时间	已形成, 持续6 a, 根据上一年试验及最新业务需要不断调整更新方案

奥林匹克山脉野外观测试验的观测协同过程是一大亮点, 将此前多个项目的研究结论用于河谷加密观测布设、飞机目标观测高度的选定和不同高度飞机携带观测仪器的选择上。美国2021年的春季预报试验以线上形式展开, 试验为了保持强对流模型开发关键领域的势头, 并扩大了上一年的虚拟活动^[9]。回看春季预报试验, 从2000年实施至今, 每年从方案制定到成果产出均在上一年的基础上展开。组织者和参与

者有共同的战略目标并坚持至今, 即通过密集的实时预报和评估以加速危险对流天气的预测的新兴概念和技术的业务应用。春季预报试验是由NSSL、NOAA的风暴预报中心(SPC)和NWS预报办公室(Forecast Office)共同发起和组织, 因为平台的成果共享性、容错性强, 使其收获了广泛的“外围”合作机构和项目, 成为NOAA与部门外机构在技术层面上保持广泛交流和合作的重要平台。

4 案例创新协同机制特点

4.1 组织结构创新

统筹管理与业务运作有机结合。气象部门作为核心主体，扮演打造创新生态系统的统筹角色。一是气象事业是科技型、基础性、先导性社会公益性事业，气象部门履行公共气象服务以及防灾减灾等职能，肩负着气象事业高质量发展服务经济社会发展，保障人们安全福祉等使命。二是气象部门代表政府意志，可以为内外多方合作提供政策支持，寻求更多的资源支持。三是气象部门作为整体可以统筹全国气象系统资源，从更高层进行整体管理，牵头组织联合攻关，发挥多单位优势和强项，合理分配人员、仪器装备，实现科研业务成果跨部门的整体协同。

在传统需求沟通和实践中，气象部门一般通过研发合同的形式将需求分配到气象部门相关单位或企业，气象部门内的各个单位都是作为封闭节点参与到运作中的。而以上案例中，气象部门在统筹领导过程中的适度“松散”组织使得参与者或单位更好地找到结合点和结合方式。发起顺序和逻辑则打开了气象部门内外各节点的边界，在组织边界内部创立了新的生态系统，拥有独特的运行特点。

4.2 需求导向和技术导向协同创新

内部创新协同机制。以上案例中，观测试验将数值预报对数据资料的需求作为“用户”，数值预报将预报员的需求作为“用户”，观测试验、数值预报作为不同生态位上的前瞻性研究，通过创新协同为其下游研究和业务应用提供技术支撑，体现了“用户”需求的驱动；同时，作为下游的应用型研究或业务会将应用成果及时反馈回上游支撑链。这种形式构建了前沿研究与内部业务需求互相反馈、螺旋式进阶机制，使得创新成为以业务需求为牵引的创新，需求导向与技术创新得到很好的平衡。

外部创新生态机制。气象部门与高校、科研院所之间联合攻关的过程中，一直存在创新成果产权归属、转让等方面的问题，即各自专注于创新独占生态内循环，造成开放度有限、效率低等问题。通过以上案例的探索，多单位多团体实现了在开放中获益的新生态布局。合作过程中，知识和技术以互换的形式不断升级，气象系统与高校、科研院所、企业等形成价值共创共享的共同体。

4.3 多维度创新

全链条创新。传统的创新更多关注于技术研发领域的创新，上述案例诠释了创新不仅出现在技术领域，协同作为一种创新，发生在战略、管理、文化、

制度创新等各领域各环节。与大学、科研机构的合作，对仪器生产企业的价值赋能，与各方政策的理解与融入都体现了协同创新的新颖性，同时这种创新进一步反哺了技术创新能力。

文化创新。人才是发展的第一要素，多领域的创新需要研发、业务、管理多环节全员共创。吸引和留住高素质、自我驱动型的人才，有必要使各类人才产生单位认同感。同时，这种文化认同与资源投入、制度保障的有机结合，便可形成具有可持续性的保障激励机制，即长期稳定的资源投入、职业发展机会、基于任人唯贤的工作环境、适合各类人才成长发展的计划。

网络创新。气象部门长期与知名高校、科研院所一起对关键技术进行长期研究，为气象部门资料同化、数值模式研发等关键领域输送了多学科背景人才。同时，通过合作培养，气象部门为毕业生提供了宝贵的实习和就业机会。以上案例的成功开展，还离不开气象部门相关科研业务人员注重与仪器研发企业的合作，通过提需求的方式向企业征集产品研发方案，或直接参与仪器研发调试。

4.4 尚未解决的问题

所选的案例中，我国气象部门的大协同已经开展诸多探索和尝试，显现出自循环生态系统的特征。但以预报精准带动业务和科研融合依然需要加强。

1) 由于技术层面缺乏整体规范，造成了工作重复，效率降低。目前各类观测数据已经逐步形成了各自的标准，因为数据标准各异，当多源观测资料进入模式时，资料同化人员相当大的精力会用于处理数据接口。对于数值预报而言，多个环节层层嵌套，都需要统一的标准“接口”，但目前我国数值预报研发体系中，处于研发链各个环节的科研人员，均需投入很多精力和时间处理“接口”问题。

2) 研究与业务中集优势力量协同攻关依然不足。以已经开展的观测试验为例，从事数值预报的业务人员、预报人员、相关高校研究所的科研人员等参与度不高，还没有形成完善的联合观测试验机制。

3) 气象部门与高校、科研机构、企业之间的合作，人才如何储备和持续培养，多学科的交融或人才转型也是协同过程中极具挑战性的领域之一。

4) 美国春季预报试验建立的相对完整且标准统一的试验协同平台，确保了试验有序高效推进。其提供多种预报产品供科研业务人员使用，通过共享成果使得实验室、大学等能深度捆绑。平台的试验属性为协同提供了高容错率，充当孵化器提供了适宜的学术和实践环境，这些经验均值得进一步借鉴。

5 启示

5.1 建立更具整体性的内部协作联动机制

战略协同。目前，气象部门内业务单位间相继联合印发了工作方案，建立多单位联合工作机制，体现出战略协同中重点关注的方向、价值观定位等引导性。从战略协同角度，其核心在于组织间的使命和价值观上的协同。以“精准预报”带动“精密观测”为例，在已有两两联合工作方案基础上，进一步起草多单位联合工作方案。同时，各单位内部战略制定过程，考虑自身发展的同时，也需体现单位间战略协同的契合度，从而实现文化协同、习惯协同更高境界的协同。

组织协同。分工的专业化特点，导致单位之间和单位部门之间不自觉地维护职能的“墙”。从组织协同的整体性看，需要保证信息传递、决策、执行的高效和准确，因此有些组织内阻碍协同度提高的“墙”需要拆掉或弱化，尽可能保持决策层与一线操作者的

信息同步和对称，才能保证高效决策和精准执行。

业务协同。业务协同关注业务操作、执行层面的协作。一线业务人员更关注具体业务的落地生效，这与管理层的战略性价值在时空层面有深刻差异。如一次天气过程，需要建立起让个体、碎片化业务在一个连续性的平台，从而实现整体优化，推动实现真正的“规模经济”。如设立一个每年固定时间、持久的项目，以需求为研究导向，以项目为依托建立起常态化协同工作机制，由预报团队提出预报困难，数值预报团队提出可能的解决方案，卫星、雷达等观测团队联合制定观测方案提供数据支持，固化为惯例，通过搭建协同平台整合推进。

5.2 健全不同生态位的协同与治理方式

如果将气象部门看作一级生态系统，其内部数值预报、观测等业务则各自作为嵌套的二级生态系统。二级系统开展活动则存在系统内外的互动协同，针对不同属性的参与者，应该采用不同的协同方式（图1）。

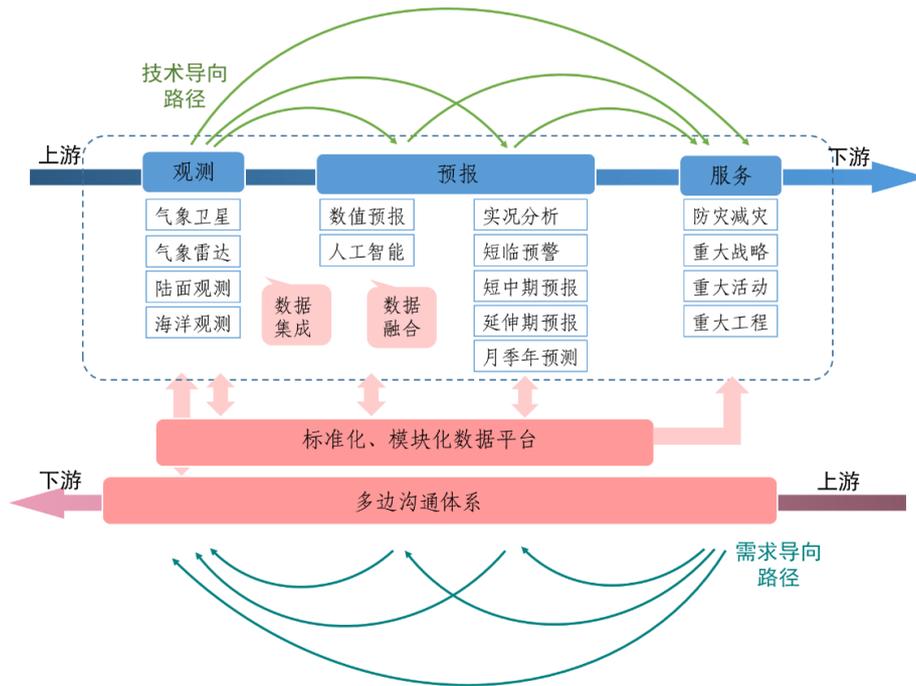


图1 需求导向和技术导向相互作用的网络效应

Fig. 1 Network effect of the interaction between demand orientation and technology orientation

系统外参与者之间以协同为主。一是将各系统参与者分为技术需求和技术供给两类角色，搭建多边交流的供给、需求两张网，依托网络效应实现两类角色的协同，即需求网络扩展带动供给网络的发展，技术供给网络在基于需求推动发展的基础上，也会拉动需求网络的发展，两张网螺旋式相互推动，从而形成自循环系统协同。二是需要构建标准模块化架构和多边

网络沟通体系，旨在简化协同难度和合作流程。针对外部生态系统参与方，需要建设内外系统均可用的技术平台，把流动的资源（如多源数据）、技术等高度标准化、模块化并集成于平台，实现业务系统的易移植、高容错和高效率。这套标准在借鉴国际现有标准的同时，可制定中国数据标准，自主创新的同时亦可激发内生动力。

系统内各层级参与者以治理为主，即各系统对内部参与者协同活动开展宏观调控治理。当内部参与者之间的协同不符合系统整体期望时，系统内部进行及时修正。当内部参与者身份具备双重属性，同时与外部生态系统参与者开展协同互动时，可将其视为外部参与者，如没有损害系统自身的利益，则可适当宽松无需主动介入。

5.3 多主体跨学科的协同自循环驱动

基于紧迫的社会经济需求和不断扩大的天气和气候服务市场对信息和服务的需求不断增长、科学和技术的迅速发展、气象相关企业商业模式的变化等驱动因素交织在一起，要求气象系统必须开展更广泛和深入的协同合作。

气象部门作为生态系统，为实现内外有机衔接需要建立一个协同体系，负责内外部业务需求、技术资

源匹配(图2)。这个体系由技术需求、超前研发、业务整合三个平台组成。技术需求平台需要以技术研发功能为主的单位承担搭建，负责收集来自部门内外的技术需求信息。信息汇入后可以分为两个平台并行运转。对新产品或前沿技术，由科研院所等超前研发单位承担平台搭建，负责前沿技术的业务转化。对较为成熟的技术资源，其亟需解决的重点不再是研发落地，而是整合治理，即需要可以集研发、专项业务团队资源于一体的单位承担。这个单位主要具备三个特点，或下设三个团队：搜寻对接全球气象相关技术资源并可以引进生态系统内部；了解业务全链条和气象系统内部各业务单位的主体需求，进行技术业务拆解、匹配重组；负责协同创新网络体系搭建，不承担具体技术业务研发。

气象部门负责协同体系搭建，侧重于平台搭建、

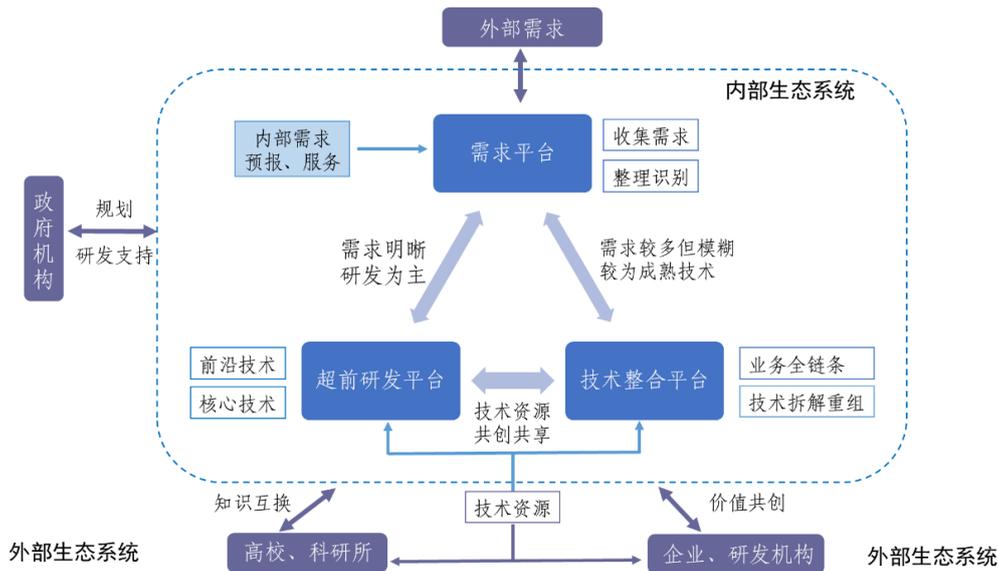


图2 内外生态系统协同结构及流程图

Fig. 2 Collaborative structure and flowchart of internal and external ecosystems

基础设施和制度建设。除保留核心技术研发外，可将系统发展演化交由需求、供给参与者通过网络效应实现全员创新。这种开放式的协同创新生态体系同时包括气象部门外的高校、科研院所、企业等成员，通过价值共创、知识互换等方式可以有效调动外部协同。这种良性循环可以逐步降低研发成本、提高研发效率。

参考文献

[1] 气象高质量发展纲要(2022—2035年). 国务院, 2022. http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011qxqxw/dzygwyw/202205/t20220519_4839180.html
 [2] “十四五”数值预报业务发展规划(气发〔2021〕100号). 中国气象局, 2021.

[3] 新型气象业务技术体制改革方案(2022—2025年)(中气党发〔2022〕93号). 中国气象局, 2022.
 [4] Moore J F. Predators and prey: a new ecology of competition. Harvard Business Review, 1993, 71(3): 75-86.
 [5] Adner R. Ecosystem as structure. Journal of Management, 2016, 43(1): 39-58.
 [6] 吕一博, 蓝清, 韩少杰. 开放式创新生态系统的成长基因——基于iOS、Android和Symbian的多案例研究. 中国工业经济, 2015(5): 148-160.
 [7] 魏江, 寿柯炎. 企业内部知识基与创新网络的架构及作用机制. 科学学研究, 2015, 33(11): 1727-1739.
 [8] 刘海兵, 许庆瑞. 后发企业战略演进、创新范式与能力演化. 科学学研究, 2018, 36(8): 1442-1454.
 [9] Clark A J, Jirak I L, Gallo B T, et al. A real-time, virtual spring forecasting experiment to advance severe weather prediction. Bulletin of the American Meteorological Society, 2021, 103(4): E814-E816.