

基于质量发展的气象预报服务模型探索

■ 孙石阳 申丹娜 董昊

基于质量发展的气象预报服务模型是指把气象预报服务业务及其支持基础作为气象预报服务的一个整体提供体（不论该提供体的组织架构或开展气象预报服务的形式），融合其标准体系实施机制，促使预报与服务的平衡发展，实现气象预报服务。构建这样的模型，需要从内部运行保障有力、统一协调、高效有序，外部服务效果彰显、绩效突出、投入性价比高，内外互动及时、高效、持续改进机制健全等角度出发来实现。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.036

数值天气预报（NWP）与人工智能（AI）的科技应用在全球气象领域呈加速发展态势，气象专家试图一方面通过数值预报模式从本源上来解决提高天气预报准确性问题；另一方面积极探索从物理模型到智能分析渠道来降低天气预报不确定性问题。美国、欧洲、英国等世界先进数值预报模式正朝“全球模式”“无缝隙”“一体化”发展。中国全球数值预报模式北半球可用预报时效已经接近7.5 d，在参数化、资料同化、软件实施等关键技术研究方面也都取得实质性进展，全球数值天气预报技术和计算机技术的发展为预报服务的一体化业务应用和开展智慧气象服务提供了强有力的基础支撑条件。一种基于“全球一体化无缝隙模式”气象预报发展业态可带来预报上的许多变革，人工干预预报服务的环节将越来越少，人工智能、数值天气预报等核心科技支撑气象预报直通服务的可行性越来越大。NWP与AI技术的发展对气象预报服务业务无疑会产生重大影响，但气象预报和服务的不平衡、不充分、不协同发展的风险也将显著增加，重新审视和分析预报与服务的协同发展问题，对探索构建基于质量发展的气象预报服务模型具有重要现实意义。

1 问题提出与研究方法

1.1 问题提出

图1a表示的是以信息化为基础，以传统气象预报和信息服务为主要预报服务方式向数值天气预报模式、人工智能为主支撑的现代气象预报服务方式的转型示意图。为便于表述，将图1a表示的服务提供简称

为“服务器”。图1b系气象服务标准体系实施示意图，简称为“驱动器”。图1整体揭示的是科技发展融合标准体系实施驱动服务发展的逻辑关联，其发展目标一致，机理相辅相成，过程相互融合；同时也形成了科技发展将改变气象“预报”和“服务”的格局。

1.2 方法探索

将基于反映科技发展和气象服务标准体系实施的“前瞻性、系统性、科技性、专业性”四个共性要求来对两者进行逻辑关联，建立诊断模型，结合对典型案例的诊断分析，摸清科技发展、气象服务标准体系实施对气象预报服务提供的影响机理，为探索构建基于质量发展的气象预报服务模型劈开了一条新径。

根据标准体系实施原理，“科技发展”“驱动器”“服务器”之间用关系式可表示为

$$f(x, y, \Phi, t) = f(a, b, \Phi, t) \propto a(a', b', c', t), \quad (1)$$

式中，各变量因子见图1中标注， \propto 表示通过“驱动器” a 的作用， Φ 表示信息化支撑因子。由式（1）得出，气象服务标准体系实施中的每个因子 a' 、 b' 、 c' 均需作用到气象预报服务中数值预报模式发展（ $a \rightarrow x$ ）、人工智能应用（ $b \rightarrow y$ ）、信息化（ Φ ）支撑三因子中， a 才能有效驱动 $f(a, b, \Phi, t)$ 向 $f(x, y, \Phi, t)$ 模式转变。因此，需重点分析科技发展和标准体系实施驱动下的数值预报模式发展（ $a \rightarrow x$ ）、人工智能应用（ $b \rightarrow y$ ）、信息化（ Φ ）支撑三大因子的特性要求。表1、表2列出的分别是科技发展和“驱动器”驱动“服务器”发展的“前瞻性、系统性、科技性、专

收稿日期：2018年11月18日；修回日期：2019年4月13日

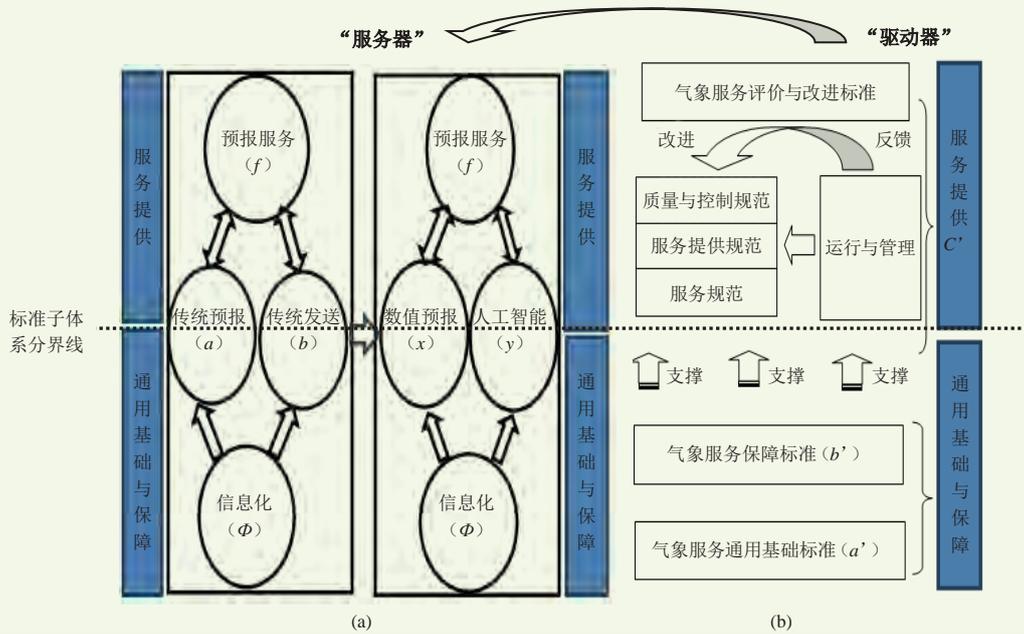


图1 科技发展驱动服务提供发展 (a) 和标准体系实施驱动服务提供发展 (b) 关联示意图

表1 科技发展驱动气象预报服务提供 (“服务器”) 发展特性要求

属性	因子		
	数值预报发展(a→x)	人工智能应用(b→y)	信息化支撑(φ)
前瞻性	网格数据精细化	预报服务精准化	信息化(数据同化、模式耦合)
系统性	预报服务一体化	预报服务一体化	信息化、标准化、质优化
科技性	预报模式全球化	预报服务智能化	信息化(大数据、云计算、互联网)
专业性	模式数据全息化(无缝隙)	预报服务精准化	信息化(数据采集、分析、挖掘、识别、学习、清洗、整理、入库)

表2 标准体系实施 (“驱动器”) 驱动气象预报服务提供发展特性要求

属性	因子			
	通用基础与保障 (a', b')	气象服务提供 (c')		
		提供与控制	运行管理	评价与改进
前瞻性	统筹预报服务一体化、信息化	信息化	标准化、质优化	PDCA、质优化
系统性	协同服务提供规范化、系统化	信息化	一体化、信息化	PDCA、信息化
科技性	促进服务提供信息化、科技化	智能化	一体化、信息化	PDCA、信息化
专业性	保障服务提供科技化、质优化	精准化	智能化、科技化	PDCA、信息化

业性”的特性要求。

分析表1、表2, 要将科技发展与气象标准体系实施融合发展以达到质量发展的效果, 提出以下四个共性发展要求: 1) 信息化融合需要贯穿“四性”发展特性统筹建设; 2) 精细化、精准化、全球化融合需要加强高质量标准实施; 3) 质优化融合要科学建立预报服务质效管理机制; 4) 一体化、科技化、智能化融合要强化科技发展的支撑力。

2 概念评估与分析

2.1 国际案例

表3给出ECMWF和NOAA提供模式的概念评估对比实例。其中, NOAA关于科研应用定位的“巴斯德

象限”理念和科研成果转换的“领结”型驱动概念很值得关注。“巴斯德象限”系由普林斯顿大学 Donald Stokes提出的一个关于科学与技术相互关系的概念模型, 象限代表的是既受研究驱动又面向应用的基础研究, 说明科研过程中的认识世界和知识应用的目的是可以并存的; 科研成果转换的“领结”形状的驱动概念形象地表示了NOAA从科研合作到测试检验, 到用户使用的规范化、质量化的过程。

两个国际案例的对比, 可以解析出案例的主要特征。

- 协同发展型, 即ECMWF型。科技发展支撑从气象监测、数据存储、数据分析、数值预报、数值服务、信息提供、服务反馈、评估改进的发展全过程,

表3 ECMWF和NOAA服务模式概念评估对比

欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 模式		美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 模式	
服务器发展	驱动器驱动	服务器发展	驱动器驱动
信息化统筹建设力	升级全球模式、提供全球预测, 预测技能处全球领先。拟成立新的数据中心。	遵守全球数据处理和预报系统手册; 高性能计算设备由2个Cray XC40s组成。	建模策略不只针对建模本身, 而是基于如何打造最好数值预报模式和通过模式开展最优服务所需的一系列基本保障、服务实现、评估改进、统筹管理。
质量标准支撑力	中期预报发布提前; 模式分辨率由18 km转为5 km; 预报时效10年内延长了2 d; 55个成员站点接入RMDCN。	满足WMO数据、产品、文档和培训的系列标准; 为WMO成员提供一系列预测产品; 提供系统测试插件包 (MIR)。	研发投入定位“巴斯德象限”, 并实施基础科学和技术创新应用的科学平衡投资。
质优化管理实施力	提供13个月的准确预测; 对风暴极端阵风的风险预测提前6~7 d。数值预报能力可直接影响预报服务的一体化进程。	保证用户利益。改变暖-雨微物理参数化方法, 提高陆地-水边界附近降水的表征; 系列改进大气观测; 集成预测配置测试等。	考虑满足用户群体的需求, 通过检验评估来平衡用户需求 and 科研成果转换, 如定期改进低风险项目-风暴预测模型以获得增量收益, 以及具有高潜在收益但不太确定成功的高风险探索性研究项目。
科技发展支撑力	数值模式提供短期和中期、月的天气预报, 提供严重天气事件风险指数、事件概率、特定地点可能值的范围、另类天气场景模拟、每周平均异常天气等。	海气耦合模式更加成熟, “无缝隙”预报系统使不同时间范围的预报更加一致; 热带气旋、极端天气指数预报能提前6 d给出趋势一致的越来越强的信号。	建立了研究转化加速计划 (RTAP) (NAO 216-105B), 加强研发转型文化建设; 督促研发在1~3年内“合格”, 改进流程, 加速研发运营、应用、商业化效用。
			最新全球预测系统 (NGGPS) 极大地改善美国的天气和飓风预报。其卫星监测、数据同化、模式能力保障了在龙卷风形成之前的几个小时能进行准确预测。
			建立了一个S4的基础项目, 以使更多研究团体参与NOAA数值模拟, 向来由政府, 私营部门和学术界的研究人员提供访问包括海洋、天气、空气质量和土地在内的各种NOAA数值模型。

形成了以“信息化”为纽带的协同发展“驱动器”。其发展机理为: “驱动器”从预报能力建设和提高服务水平两侧提供协同发展的驱动力, 实施数值精细预报能力和智慧服务水平的均衡发展, 从而打造集“一体化”“智慧化”“标准化”“信息化”的现代气象预报服务平台。

● 互动发展型, 即NOAA型。以“数值预报模式+人工智能”为核心科技支撑, 不断融合并促进数值精细预报能力与智慧气象预报服务水平提高的同步均衡及规范化发展。其发展机理为: 打造集“精细化数值天气预报全球模式”与“人工智能气象预报服务模式”业务于一体, “基础科研向成果应用转换”与“天气有准备的国家”目标于一致的现代化综合气象预报服务平台。

2.2 地区案例

2.2.1 香港天文台 (HKO) 模式

通过科学创新和服务奉献来建设一个更美好社会, 一直是香港天文台的核心愿景, 其天气预报和警报服务成功通过ISO认证, 以“MET+”的概念开发创新气候服务, 并支持适应、恢复和减缓的气候变化战略 (ARM), 香港天文台“驱动器”不仅体现在科技对预报服务的技术支持上, 也体现在用科技来支撑工作环境的质量改善和绿色、低碳、环保的办公意识和自觉实施中, 同时也融入到单位文化培养和员工素养的提高中。HKO模式的机理是让科技发展的作用充分渗透到气象服务提供、标准实施的每一个环节, 实现精准预报和精细服务提供“天人合一的质量和效果最优”的发展平衡。

2.2.2 深圳市气象局 (SZMB) 模式

深圳市气象局近年出台了有关科技实施的文件和标准不少。分析统计2014—2017年按照标准体系实施要求制修订、发布的标准文件, 得出2014—2017年气象服务标准实施中各子体系标准增修订数与标准体系增修订总数的比率 (图2a) (该比率反映该子体系标准的实施优势); 图2b分析的是2014—2017年深圳气象发展指数 (SZMDI) 各一级指标平均增长数与指数平均增长总数的比率 (该比率反映该单项指标的发展优势)。比较图2a和图2b, 可以发现: 1) 信息标准尽管比率只占4%, 但其均为新增标准, 且SZMDI创新驱动的增长比率最高 (29.9%), 可以认为信息化 (Φ) 支撑在创新发展深圳气象侧效果是显著的; 2) 创新驱动优势明显, 主要体现在人力资源管理 (15%)、财务与合同管理 (12%)、服务提供运行与管理 (29%)、服务提供与控制 (13%)、服务评价与改进 (10%) 等标准的实施优势上 (图2a), 科技创新优势与科技创新标准实施的驱动效果完全吻合。

3 构建气象预报服务模型探索

以“需求调整、科学环境、设施设备、合作互动、研用平衡、卓越劳动、转换应用、绩效考核”为PDCA驱动原则, 结合国际和地区模式特色进行优化及改进, 构建基于质量发展的气象预报服务模型框架图 (图3)。图中平衡器的原理是: 因子x、y分别支撑预报水平和服务能力发展, 两个向上的虚线箭头分别表示因子x、因子y的发展优势, 平衡器的平衡机制来源于因子x、因子y的自身发展优势及其各自对对方为达到有效适应并平衡这种优势的目的所需要的“链

2014—2017各子体系标准增修订数/标准体系增修订总数比率(单位:%)
各子体系标准化实施优势



2014—2017年SZMDI各一级指标平均增长数/各一级指标平均增长数总数比率(单位:%)：指标发展优势



图2 标准体系实施 (a) 与SZMDI各项一级指标发展 (b) 优势关联图

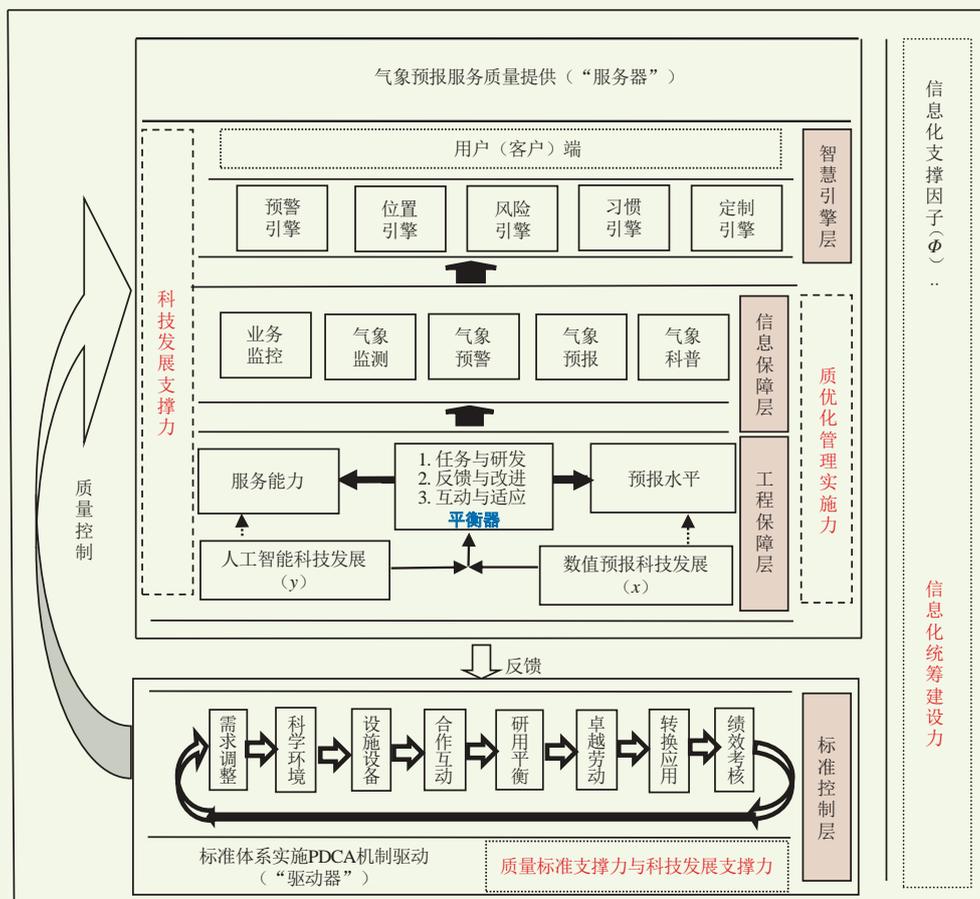


图3 基于科技发展融合标准体系实施的质量发展气象预报服务模型架构图

式”强迫作用，而这种强迫作用均来自“驱动器”与“服务器”之间的互动和通过PDCA驱动。

该模型的实施，需要实现以下几个方面。

1) 融合实施。模式除了科技发展自身融合“服务器”、“驱动器”外，还有“服务器”与“驱动器”之间在标准控制层、工程保障层、信息保障层、智慧引擎层之间的融合。在融合中实施，在实施中融合。

2) 互动实施。如数值天气预报科技发展(x)增强(时效性、分辨率、准确性任意一个指标或多个指标表征)，那么根据“驱动器”要求，须对人工智能科技发展(y)进行强化，从而对信息化(Φ)支撑做出对应调整，对标准控制层、工程保障层、信息保障层、智慧引擎层的流程实施再造，达到科学发展目的。

3) 平衡实施。通过信息化(Φ)支撑实施数值

天气预报科技发展 (x) 与人工智能科技发展 (y) 之间的平衡 (平衡器原理)。让信息化 (Φ) 支撑始终走在前面, 因数据与信息涵盖的工程保障层、信息保障层、智慧引擎层等供给侧都呈指数级增长, 建议信息化 (Φ) 支撑能力建设按照其涵盖领域的指数级增长数的总和需求来规划和匡算预算安排。

4) 协同实施。如在大力发展数值天气预报科技 (x) 的同时, 须要同时考虑与服务提供端人工智能科技发展 (y) 的平衡, 统筹调整与加强服务提供有关的标准控制层的质量标准和科技发展支撑力, 科学调配工程保障层、信息保障层、智慧引擎层侧的项目建设。

5) 绿色实施。强化服务提供的质效管理, 还需重点加强能源、环境侧标准的实施力度, 随着科技、信息化快速发展, 信息化 (Φ) 支撑对能源、环境的要求增强, 科技发展在无纸化、绿色办公、科学文化中的保障作用更应得到充分发挥, 这也是降低服务提供成本, 提高服务质量和效益的重要举措。

4 结语

通过建立基于质量发展的概念评估模型, 从“信息化统筹建设力、质量标准支撑力、质优化管理实施力、科技发展支撑力”四个维度对构建基于质量发展的天气预报服务模型进行全新探索, 可为高质量发展天气预报服务业务体系提供科学统筹策略。

1) 科技发展融合“服务器”与“驱动器”的互动发展是构建基于质量发展的天气预报服务模型核心理念, 只有将科技发展融合到天气预报服务提供和标准体系实施互动的全过程, 所构建的质量发展天气预报服务模型才能充分体现高质量发展的效果。

2) 探索构建基于质量发展的天气预报服务模式充分考虑了国内外先进预报服务供给模式的各自科技发展特征和质量管理绩效优势, 重构了以信息化统筹建设力贯穿标准控制层、工程保障层、信息保障层、智慧引擎层的高质量发展天气预报服务提供新模式 (模型架构), 在实施过程中, 需将模型架构图的思路与模型实施要点相结合进行, 为有关决策者借鉴使用。

3) 基于质量发展的天气预报服务模式融入了创新、融合、互动、平衡、协同、绿色的发展特征, 统筹考虑解决以数值天气预报、人工智能、信息化等科技快速发展下的预报与服务的发展平衡问题和天气预报服务的高质量提供问题, 为高质量发展智慧气象服务业务提供战略发展支持依据。

4) 随着科技的快速发展, 以信息化为主链条的气象预报服务业务提供体将更多出现, 基于质量发展的天气预报服务模型对智慧气象预报服务工程建设、研用成果转换、气象预报服务信息一体化供给、智慧气象服务信息引擎等标准建设具有更多、更高期待。

深入阅读

- 陈晓辉, 2015. 科技创新引领标准化管理创新研究. 中国标准导报, (2): 36-39.
- 马雷鸣, 鲍旭炜, 2017. 数值天气预报模式物理过程参数化方案的研究进展. 地球科学进展, 32(7): 679-685.
- 马旭林, 陆续, 于月明, 等, 2014. 数值天气预报中集合-变分混合资料同化及其研究进展. 热带气象学报, 30(6): 1188-1194.
- 许小峰, 2018. 从物理模型到智能分析—降低天气预报不确定性的新探索. 气象, 44(3): 341-349.

(作者单位: 孙石阳, 深圳市气象局/中国气象局发展研究中心;
申丹娜, 中国气象局发展研究中心; 董昊, 天津市气象局/
中国气象局发展研究中心)