

# 我国延伸期预报业务现状及其协同运行机制分析

杨滢茹 邓星辰 虞越越 周玉 谈佳铭 谷金穗

(南京信息工程大学大气科学学院/气象灾害教育部重点实验室(KLME)/气象与环境联合研究中心(ILCEC)/气象灾害预报预警与评估省部共建协同创新中心(CIC-FEMD), 南京 210044)

**摘要:** 10~30 d延伸期预报是构建“无缝隙预报”的必然要求,在防灾减灾工作和各行业气象保障服务中起着至关重要的作用。我国自2002年起,对延伸期预报业务进行了多方面的探索,但仍存在预报方法和技术不纯熟、人才队伍较薄弱、预报体制不完善等问题,当前的延伸期预报业务仍较难满足业务需求。通过文献调研法、问卷调研法、访谈调研法对比分析了国内外延伸期预报业务现状、人才队伍以及协同运行机制建设现状,提出了制约我国延伸期预报业务进一步发展的可能因素,并提出了若干对策,为延伸期预报业务相关决策提供科学的支撑和依据。

**关键词:** 延伸期预报业务,现状分析,人才队伍,协同运行机制

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.02.002

## Investigation on the Current State of Extended-Range Forecast and Its Cooperative Operation System in China

Yang Yanru, Deng Xingchen, Yu Yueyue, Zhou Yu, Tan Jiaming, Gu Jinsui

(School of Atmospheric Science/ Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education (KLME)/ International Joint Laboratory on Climate and Environmental Change (ILCEC)/ Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorology Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044)

**Abstract:** As a necessary component of the seamless weather and climate forecast system, the 10–30 day extended-range forecast plays a crucial role in disaster prevention and mitigation as well as in meteorological services for various industries. Since 2002, the operational extended-range forecast has been explored from multiple aspects in China. However, because of the limitation in forecast methods and techniques, the shortage of the specialist team and the incomplete forecast system, the current extended-range forecast cannot satisfy the demand of meteorological service. Through literature review, questionnaire and interview with experts, this study compares and analyzes the current states of operational extended-range forecast, specialist team and collaborative system and mechanism in China and at abroad, puts forward the possible factors restricting the further development of extended-range forecast in China, and offers several improvement measures. This study provides scientific support and basis for the decision-making of operational extended-range forecast.

**Keywords:** operational extended-range forecast, current state analysis, specialist team, collaborative system and mechanism

### 0 引言

随着全球气温增暖,近年来气象灾害天气事件频发<sup>[1]</sup>,国际上对极端灾害事件的关注日趋增加。我国作为世界上受灾影响较大的国家之一<sup>[2]</sup>,近年来极端气候事件发生的频次也呈现上升趋势<sup>[3]</sup>,由极端事件引发的气象灾害也愈加显著。2021年河南郑州“21·7”

特大暴雨就是近期发生在我国的最为典型的一次灾害性事件,此次暴雨灾害造成重大人员伤亡以及高额经济损失。同时,夏季大范围持续性高温、东北夏季低温冷害、华西持续秋雨、寒潮、台风、霜冻等灾害性天气无一不表明现代社会对提高灾害天气的延伸期预报时效及准确率的迫切需求<sup>[4]</sup>。另外,从天气影响社会经济高质量发展的角度来看,提高气象服务水平也是保障工业生产、满足民生需求、提高经济效益的必然要求。

10~30 d延伸期预报作为数值天气预报和短期气候预测之间的桥梁,是搭建无缝隙、一体化气候预测系统的关键与挑战<sup>[5]</sup>,也是提高防灾减灾能力<sup>[6]</sup>和稳定各行各业运转的重要保障。然而,相比于短中期预报

收稿日期:2021年12月6日;修回日期:2022年6月16日

第一作者:杨滢茹(2001—),Email:1731961980@qq.com

通信作者:虞越越(1987—),Email:yuyy@nuist.edu.cn

资助信息:中国气象局软科学基金项目(2021ZZXM43);国家重点研发计划(2019YFC1510201)

和季节预测, 延伸期预报的研究相对偏少<sup>[7-10]</sup>。直至近几年, 延伸期预报业务才开始逐渐得到关注。世界气象组织以及国内外气象业务部门和研究机构一致认为, 更好地认识与次季节尺度相关的物理过程、寻求次季节尺度可预报性来源、建立和发展次季节尺度预测系统, 是大气科学领域未来研究的重点问题之一<sup>[11-12]</sup>。2014年, “世界气象研究计划(WWRP)”和“世界天气研究计划(WCRP)”两大科研团体共同发起的“国际次季节至季节尺度预测计划(S2S)”正式启动。

近年来, 我国气象业务部门开始发展延伸期预报业务。从2002年开始, 国家级气象中心研发了国家级延伸期监测应用和预报模型, 并建立了延伸期预报业务系统。2005年9月, 延伸期预报业务开始准业务化。2008年开始, 国家气象中心进一步推进延伸期预报业务的建设, 开发新的预报方法, 制定了预报规范和预报流程。2010年5月, 国家气象中心和国家气候中心建立了联合会商机制和流程, 统一了延伸期预报业务规范、流程和产品等。目前, 已有研究从延伸期预报的预报因子、预报方法等方面系统分析了我国延伸期预报业务现状和进展, 普遍认为10~30 d预报时段存在一些可预报源, 可作为延伸期预报因子, 主要包括: 季节内振荡(MJO/ISO)、ENSO等准周期性模态变率<sup>[13]</sup>, 平流层和对流层相互作用<sup>[14-17]</sup>, 下垫面异常(如海温、积雪、土壤湿度等)<sup>[18]</sup>, 火山喷发、人为排放气溶胶等外部强迫<sup>[13]</sup>。延伸期预报采用的预报方法主要包括动力学方法、统计学方法和动力-统计方法, 其中动力统计相结合的方法是当前国际上延伸期预报最通行的预报技术<sup>[1]</sup>。其中, 采用的统计方法主要有低频天气图法<sup>[19]</sup>、长短时记忆神经网络法<sup>[20]</sup>、多种回归模型(如: 偏最小二乘回归方法、多变量时滞回归模型、扩展复数自回归模型等)<sup>[21-23]</sup>等。延伸期天气预报作为一项新的预报业务, 仍存在理论不够完善、预报产品较为单一、预报技术不够成熟等问题, 往往较难满足当前业务需求<sup>[6]</sup>。

除了延伸期预报方法、技术、手段等方面亟待科研攻关, 人才培养体系和协同运行机制建设对延伸期预报业务的发展也至关重要。高层次、专业化人才是气象事业发展的核心竞争力, 是推进气象现代化建设的核心和紧缺资源。因而, 全面推进气象人才工程的建设工作是构建术业有专攻、创新有活力的延伸期预报人才体系的重点。同时, 进一步完善气象科技运行机制, 优化资源配置, 加强技术产研融合, 提升跨级别、跨部门间协作, 营造良好的气象科技创新和落地应用联动环境, 搭建科学合理的延伸期预报业务布局、规范化的预报流程, 对延伸期预报业务发展也至

关重要。然而, 我国延伸期预报人才队伍的外引与内培仍有所欠缺, 预报规范以及跨级别、跨部门间的协作仍不够完善也是影响和制约我国气象科技实现突破的基本问题之一。针对延伸期预报人才队伍以及各部门、级别间协同机制建设现状, 目前鲜有系统性的调研以及客观定量的分析研究。

本文通过文献调研法、问卷调研法、访谈调研法对比分析了国内外延伸期预报业务现状、人才队伍以及协同运行机制建设现状, 提出了制约我国延伸期预报业务进一步发展的可能因素, 并提出了若干对策, 为延伸期预报业务相关决策提供科学的支撑和依据。

## 1 研究方法

为了解我国延伸期预报的现状, 分析我国事业单位对该方面人才需求情况, 并进一步研究各级气象业务单位的延伸期预报能力协同建设机制, 调查组采用文献调研法、问卷调研法、访谈调研法对延伸期预报业务开展了系统性调研。

### 1.1 文献调研

通过查阅延伸期预报业务的相关文献资料, 浏览美国国家环境预报中心(NCEP)、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)以及中国天气网等多个业务单位官方网站搜集相关资料, 获取反映我国和发达国家和地区延伸期预报能力现状的基本信息。

### 1.2 问卷调研

基于文献调研成果, 设计针对我国气象业务单位延伸期预报业务的调查问卷, 调研我国延伸期预报业务现状, 并了解我国延伸期预报的人才队伍现状和需求, 以及跨级协作程度和指导交流方式等相关信息。向我国各级气象业务单位的工作人员发放问卷, 开展线上随机抽样调查, 共回收有效问卷244份。问卷参与者分布全国各个地区(图1a), 其中华东地区填写人数最多, 占比28.7%; 填写人员遍布各级气象业务单位(图1b), 其中市局局参与人数最多(占比54.5%); 各级填写单位主要来自气象台、气象探测中心/观测站、气候中心, 也有来自气象信息中心、气象服务中心、生态与农业中心、突发事件预警信息发布中心、气象灾害防御技术中心、气象科学研究所等部门(图1c)。因此调研对象具有一定的广泛性和差异性, 在一定程度上保证了本问卷调研结果的代表性和可信性。

### 1.3 访谈调研

调查组走访了延伸期预报业务基础较好的国家气候中心和浙江省气候中心, 围绕延伸期预报业务的人事政策、落实情况以及面临的问题与挑战等方面与上述两个单位的延伸期预报员展开了访谈调研。

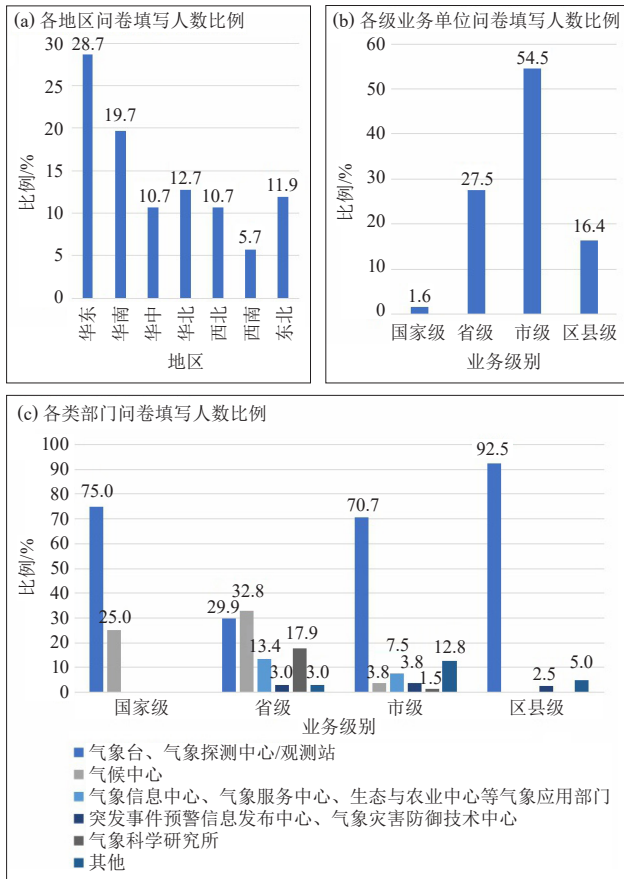


图1 各地区 (a)、各级业务单位 (b)、各级气象局各类部门 (c) 参与问卷人数比例

Fig. 1 Proportion of participants in the questionnaire for different regions (a), different levels (b), different departments of national, provincial, municipal, and county level meteorological bureaus (c)

## 2 主要调研结果

### 2.1 国内外延伸期预报业务现状

#### 2.1.1 国内现状

我国延伸期预报业务相较于发达国家和地区而言起步较晚<sup>[2]</sup>, 但自2002年开展以来, 业务水平得到快速发展。访谈浙江省延伸期预报员得知, 从2013年开始, 国家要求各省发布延伸期预报产品, 自此延伸期预报业务作为常规性预报业务开展。基于调研结果, 从延伸期预报业务在我国的覆盖率、预报产品、预报时效、预报频率、预报所采用的方法和预报因子以及延伸期预报未来发展方向几个方面阐述我国延伸期预报业务现状。

##### 1) 延伸期预报业务覆盖率

问卷调查结果显示, 目前延伸期预报业务普及度仍不高, 各级、各地区气象业务单位之间的差异较大。244名参与问卷调查人员中有43.4%的填写者所

在气象局开设了延伸期预报业务。对于同一地区省、市、区县级气象单位 (图2), 省局开展延伸期预报所占比例最大, 其中华南、西南地区参与调查的所有省级业务单位都开展了相关业务; 市级业务单位开展比例明显减少; 区县级最少, 东北、华中和华北地区区县级气象局几乎没有独立开展延伸期预报业务。以上调研内容与浙江省气候中心延伸期预报员所说的“该业务主要为国家级和省级部署”情况一致。

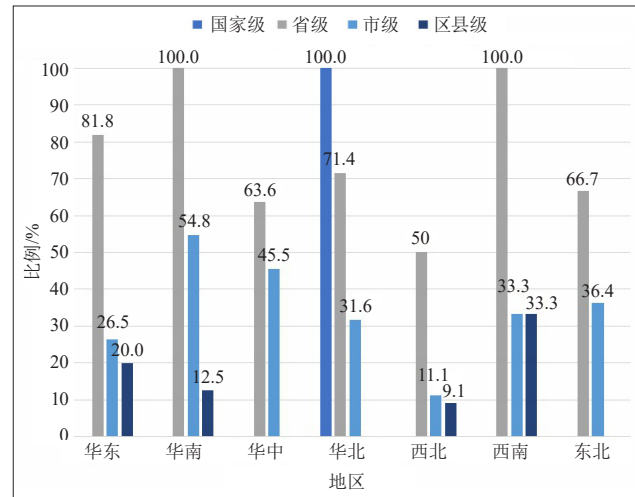


图2 各区域各级气象局已开展延伸期预报业务的比例  
Fig. 2 Proportion of meteorological bureaus at different levels in each region that issue operational extended-range forecast

##### 2) 延伸期预报的预报产品

问卷调查研究分析表明, 我国延伸期预报产品类型较为集中 (图3), 主要为降水量、温度距平、降水距平百分率, 部分业务单位也对强降水、强降温、高温等极端天气进行预报。少数业务单位对台风、大气扩散条件、季度性展望验证、PM<sub>2.5</sub>等影响环境空气质量的大气污染物浓度<sup>[24]</sup>等产品展开。而针对日较差、紫外线指数、酷热指数、土壤湿度、MJO预报、风寒指数、帕尔默干旱指数等的延伸期产品较少。

基于文献调研、中国气象网等网站公开信息查询, 国家气候中心的延伸期预报在近两年的预报产品中, 除了对温度和降水的常规延伸期预报, 还创新性地利用智能网格实况及集合预报产品, 采用滚动建模和格站融入技术, 新增了延伸期气温距平 (逐候、逐旬) 网格预报产品和降水网格预报产品。经专家评审, 延伸期预报日最高 (低) 气温预报精度有改善、气温距平预报产品的效果较集合预报已有一定的提升, 基于多模式统计订正技术的11~30 d延伸期降水网格预报产品实现了延伸期时段的定量降水精细, 报强降水

的预报效果有提升<sup>①②</sup>。

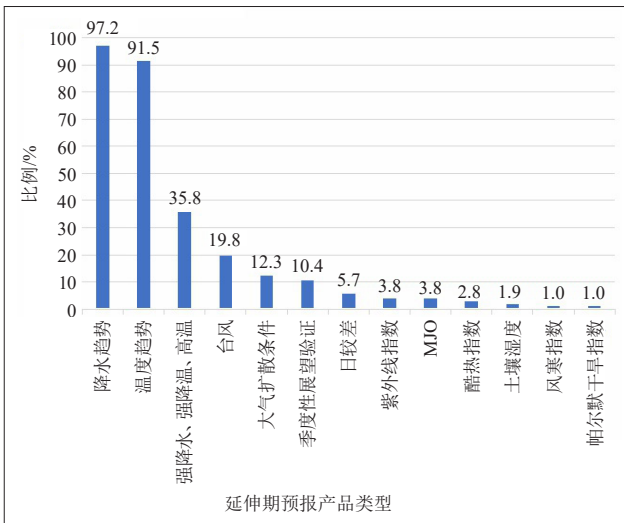


图3 各类延伸期预报产品比例

Fig. 3 Proportion of various extended-range forecast products

### 3) 延伸期预报的预报时效和发布频率

在预报时效方面，延伸期预报的时间尺度通常为10~30 d。问卷调查结果（图4a）也表明，绝大部分业务单位发布延伸期预报时效为10~20 d或21~30 d，仅有12.7%的业务单位提供预报时效超出30 d的预报产品。

在预报产品的发布频率方面，被访谈的延伸期预报员指出，省级气象局于2015年开始便开展了对降水和气温的逐日延伸期预报。文献调研表明，中国气象局目前已经实现逐日发布多项预报产品<sup>[1]</sup>，成都市气象局对于大气污染物浓度的发布频率为每3 d一次<sup>[24]</sup>。但问卷调查结果（图4b）显示，我国大部分地区延伸期预报产品还是以逐旬发布为主，占比达47.2%。19.9%的气象单位逐周发布。在发布逐日预报产品的单位（占比17%）中，按地域划分，华东地区占比最多；按业务单位级别划分，国家级逐日预报占比100%，这与金荣花等<sup>[2]</sup>在中国气象局延伸期预报业务预报频率方面的调研结果吻合。此外，有16%的业务单位仅提供重要天气过程的10 d以上的预报，主要分布于市局和区县局。

### 4) 延伸期预报的预报方法和预报因子

相关资料表明，目前，中国气象局主要采用月动

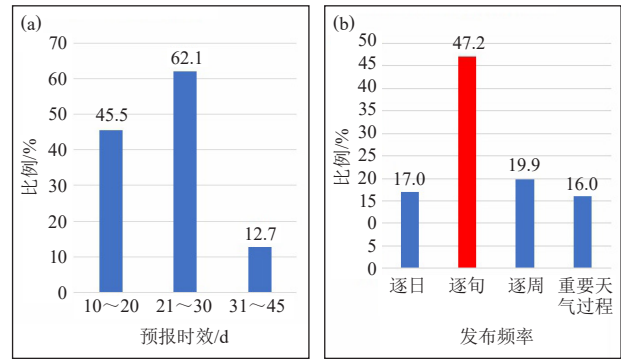


图4 各业务单位延伸期预报时效(a)、发布频率(b)比例

Fig. 4 Proportion of various forecast range (a) and frequency (b) of issuing extended-range forecast products

力延伸集合预测二代产品DERF2.0对10~30 d天气进行预测，此外，我国自主研发的次季节-季节-年际尺度一体化第三代气候模式预测业务系统（BCC-CPSv3）于2021年通过评审<sup>③</sup>，并逐步形成延伸期、月、季节到年际的客观化气候趋势预测业务体系。以气候模式为代表的客观化气候预测核心技术有了长足发展，客观化预测水平大大提升<sup>④⑤⑥</sup>。同时，我国多个省市级气象部门依据各自地区的天气特征，开发了具有地方特色的延伸期预报方法，采用可以较好表征10~30 d时段天气特征的因子作为可预报源开展业务。如：上海市气候中心以采用孙国武等提出的低频天气图法为主<sup>[25]</sup>，将MJO信号与数值模式预报得出的信息作为预报源<sup>[26]</sup>，在延伸期天气过程预报方面取得了进展。同时，基于动力相似模式识别，从大气非线性动力系统演变相似性着眼，结合机器学习方法，实现对动力模式历史回报、预报数据和降水历史观测资料等大数据融合运用，建立起对上海气候中心延伸期降水客观化预报的有效技术支撑<sup>[27]</sup>。四川省采用动力应用法，利用第二代气候预报系统（Climate Forecast System version 2, CFSv2），建立延伸期高温、降水和强降温过程的预报模型，预报延伸期逐日环流场和四川省台站逐日降水、最高温度和最低温度。3次预报试验和回报结果表明：该方法可以实现提前11~30 d报出大型天气的主要发生时段、落区和强度<sup>[28]</sup>。山东省自2017年起，开展延伸期高温过程的预测业务试验，采用CFSv2/WRF嵌套的动力降尺度方法，对山东省高温过程进行了逐旬滚动预报，建立了相应的业务流程<sup>[29]</sup>。天津市气象

① 国家气象中心三项成果通过业务化评审. [https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxkj/2011xkjdt/202112/t20211229\\_4337305.html](https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxkj/2011xkjdt/202112/t20211229_4337305.html).

② 中央气象台开展预报产品业务化评审. [https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/ywfw/202112/t20211227\\_4327719.html](https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/ywfw/202112/t20211227_4327719.html).

③ 国家气象信息中心. [http://data.cma.cn/dataService/cdcindex/datacode/A.0012.0001/show\\_value/normal.html](http://data.cma.cn/dataService/cdcindex/datacode/A.0012.0001/show_value/normal.html).

④ 气候趋势预测产品应用前景看好. [https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/ywfw/202112/t20211229\\_4335792.html](https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/ywfw/202112/t20211229_4335792.html).

⑤ 气候预测：奔“早”而行 向“准”发力|2021我们的答卷. [https://www.cma.gov.cn/2011xzt/2021zt/20211227/202204/20220411\\_4748641.html](https://www.cma.gov.cn/2011xzt/2021zt/20211227/202204/20220411_4748641.html).

⑥ 北京冬奥会气象服务盘点系列报道·科技.“国之重器”显锋芒 洞悉风雪啸长空. [https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxw/2011xqxw/202203/t20220307\\_592822.html](https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxw/2011xqxw/202203/t20220307_592822.html).

局依托延伸期尺度过程预测研究成果,将环流相似、低频关键区分析、DERF2.0气候模式解释应用等预测方法应用到海河流域延伸期强降水过程预测中,用于预警灾害性天气<sup>①</sup>;同时,天津市气象局目前正重点研发基于时空投影模型的京津冀延伸期天气过程预测技术,期望进一步提升京津冀地区10~30 d天气过程的预测预报能力<sup>②</sup>。福建省气候中心率先将大气低频理论运用于延伸期预报方法研究和业务<sup>③</sup>,以ISO作为对持续性异常事件的主要预报源,对前汛期持续性暴雨进行预测<sup>[30]</sup>,并以海温、季风槽等预报因子对台风活跃期展开监测,提高了对暴雨和台风等灾害性天气过程的延伸期预报能力<sup>[31]</sup>;同时利用低频扰动增量法,抓住大气低频信号,以此提高华南地区冬季低温延伸期预报的准确率<sup>[32]</sup>。江苏省气象局自主研发统计和动力相结合的延伸期预报技术,其中统计方面主要基于大气低频振荡特征,通过建立低频天气图的方法研发了多变量的时滞回归模型,动力方面主要基于国内外主流气候模式结果,通过可预报分量提取技术,进行误差订正,插值到站点或分辨率更高的格点上来得更精确的延伸期预报产品<sup>④</sup>。粤港澳大湾区采用机器学习算法,建立了更为客观的延伸期预报技术体系<sup>⑤</sup>。

问卷分析结果进一步印证了上述延伸期预报业务的相关研究。总体而言,我国各业务单位在延伸期预报业务中采用的预报方法多样(图5)。其中采用国内外模式预报方法的业务单位占比达50.9%,相似分析预测、概率统计、解释应用预测、多元回归、低频图等统计方法的使用也较普遍。对于延伸期预报的预报因子使用,大部分单位采用大气低频振荡因子,少部分采用土壤湿度、海温等地表缓变信号和平流层极涡季节内缓变信号作为可预报源展开该时段内的预报。我国目前仍存在用于业务预报的预报因子单一的问题。

### 2.1.2 国内外现状对比

通过阅读国内外延伸期预报相关文献,浏览各国、各地区气象局以及S2S官方网站的资料等调研方法<sup>⑥</sup>,对美国、欧洲、加拿大、英国、韩国五个发达国家和地区以及发展中国家印度的延伸期预报业务现状分别展开了调研,并结合我国业务现状进行对比分析。调研结果如表1所示。

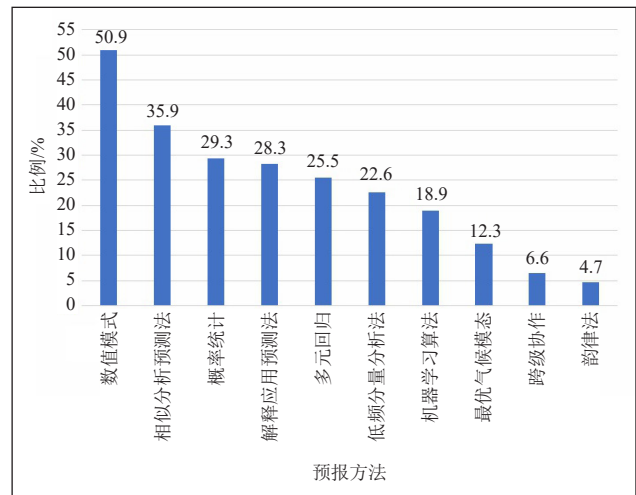


图5 各业务单位延伸期预报采用的预报方法比例  
Fig. 5 Proportion of usage of forecast methods for extended-range forecast

欧洲中期天气预报中心(ECMWF)是当前国际领先的中期预报数值中心<sup>[33]</sup>,预报水平一直处于国际前沿地位<sup>[34]</sup>。预报方法及预报频率:ECMWF基于海气耦合模式<sup>[35]</sup>(前10 d采用大气模式,10 d以后的延伸期预报将中期天气预报延伸,考虑海气耦合作用),以每周两次的预报频率发布未来0~46 d的预报产品。预报产品包括:1) 12 h累计降水量<sup>[35]</sup>、海表温度、850 hPa比湿;2) 距平(周平均):地表温度场距平、地表2 m气温场距平、总降水量、平均海平面气压、200/500/700/850 hPa高度场、2 m最高/最低气温距平、10/200/500/700/850 hPa温度距平值、地表气压及距平、10/100 m和10/200/500/700/850 hPa风场距平、日照时数、海表面温度距平;3) 绝对值:200/500/700/850 hPa高度场;4) 概率分布(周平均):地表面温度场、地表2 m气温场、总降水量、平均海平面气压;5) 距平概率:地表面温度场、地表2 m气温场、总降水量、平均海平面气压、降水距平百分率;6) 极端预测指数(EFI)和尾部偏移(SOT):地表2 m气温场、总降水量;7) 周平均海平面气压场、每月预测集合平均值的周平均值、地表2 m气温周平均距平大于零的概率<sup>⑦</sup>。在预报效果方面,随着天气数值模式不断发展,嵌入了海温、陆面等外强迫信息,ECMWF模式相应预报时效和水平不断提升<sup>[36-38]</sup>,10 d内ECMWF模式预报准

① 天津:提升海河流域水旱监测预报及风险预警能力。https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xgzdt/201907/t20190724\_530863.html。

② 天津:组建延伸期预测创新团队。https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xgzdt/201911/t20191104\_538952.html。

③ 福建省气候中心:青年勇担当 风雨砺初心。https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202009/t20200929\_564113.html。

④ 江苏省延伸期预报业务。https://www.cma.gov.cn/2011xzt/2019zt/20190513/2019051308/201905/t20190513\_524481.html。

⑤ 粤港澳大湾区气象发展规划(2020—2035年)。https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202110/t20211030\_4090559.html。

⑥ http://s2s.cma.cn/climate。

⑦ https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts。

准确率稳步提升(图6a)。同时,集合预报的运用也使得可预报时效水平逐步提升(图6b)。近些年来延伸期时效模式预报水平的变化,不难看到12~18 d预报技巧在2005年后进步明显。

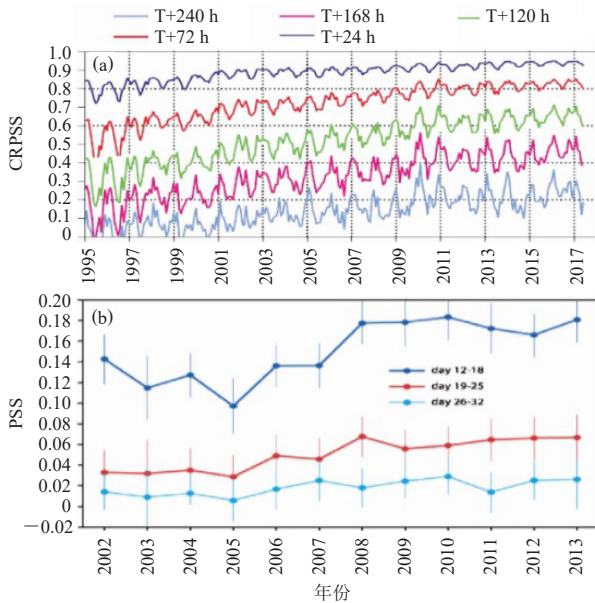


图6 ECMWF模式不同预报时效的预报评分(a)、周平均500 hPa高度场的预报评分(b)时间序列<sup>[36]</sup>

Fig. 6 Time series of prediction score at various forecast range (a), and prediction score for weekly mean 500 hPa height field (b) by ECMWF model<sup>[36]</sup>

美国国家海洋和大气管理局(NOAA)下属的美国气象环境预报中心(NCEP)<sup>①</sup>在延伸期预报方面,致力于深入延伸期预报前沿方法的研究,提高预报精确度和预报时效,以增强对极端天气的预报能力。预报方法及频率:NCEP采用海气耦合模式进行延伸期的数值预报部分,其中大气部分利用全球预报系统(GFS),海洋部分采用普林斯顿地球物理流体动力学实验室(GFDL)海洋模式<sup>[35]</sup>。并以逐日的预报频率发布未来0~44 d的预报产品,主要发布预报时效为6~10 d和8~14 d的延伸期预报产品。其中,对于8~14 d业务预报,NCEP采取的方法包含统计方法(如:神经网络等机器学习算法、遥相关等基于经验模态分解、对主成分(PC)的回归、滞后多元线性回归、自然相似、经验位相传播EPP等)和数值方法(如:中期集合预报、高分辨率的中期模式<sup>[35]</sup>)等。其延伸期预报产品,除逐日发布地表2 m气温、降水量距平和百分率、200/500/700/850 hPa高度场及距平、200/500/700/850 hPa和10 m风场<sup>[1]</sup>、极端温度、极端

降水、极端风速等常规的预报产品外,还对遥相关指数<sup>[39]</sup>、MJO指数<sup>[40]</sup>、风暴路径和阻塞高压等环流系统<sup>[41]</sup>以及外强迫条件(如海温等)进行了有效的监测<sup>②</sup>。

加拿大环境和气候中心(ECCC)的延伸期预报基于全球集合预报系统<sup>[19]</sup>,逐周发布未来0~32 d的预报结果。延伸期预报产品包含温度、降水、风场以及位势高度场等常规产品,如:温度的偏低、偏高和正常<sup>[35]</sup>、海表面温度及距平、2 m气温及距平、2 m最高/最低气温距平、200/500/700/850 hPa高度场及距平、总降水量、降水距平百分率、地表气压及距平、平均海平面气压及距平、200/500/700/850 hPa和10 m风场。

英国气象局(UKMO)延伸期预报主要采用HadGEM3气候模式中的海气耦合模式,同时也会采用欧洲中期天气预报中心和美国等模式预报产品的全球预报模式,并按照逐周的预报频率发布未来5~31 d的预报产品。其中预报产品除了温度、降水、风场以及位势高度场等常规产品外,还有4~10 d、11~17 d、18~31 d的累计降水、日照、风速、风向和能见度<sup>[41]</sup>。

日本气象厅(JMA)利用全球集合预报系统<sup>[6]</sup>,逐周发布0~33 d预报产品,对累计降水量及其距平、平均海平面气压及距平;2 m气温及距平、2 m最高/最低气温距平、海表面温度及距平<sup>[1]</sup>、200/500/700/850 hPa温度距平、总降水量、降水距平百分率、地表气压及距平、200/500/700/850 hPa和10 m风场、200/500/700/850 hPa高度场及距平、850 hPa比湿进行预报。

韩国气象局(KMA)多采用动力和统计相结合的方法来驱动全球谱模式<sup>[40]</sup>,逐周发布0~30 d预报产品,对海表面温度及距平、2 m气温及距平、2 m最高/最低气温距平、200/500/700/850 hPa温度距平、200/500/700/850 hPa高度场及距平、总降水量、降水距平百分率、200/500/700/850 hPa和10 m风场进行预报。

对于发展中国家印度<sup>[41]</sup>而言,印度气象局(IMD)采用物理统计法(如:相似法、大尺度环流参数与降水的非线性关系<sup>[41]</sup>)对5~20 d的周最高、最低温度和距平值、周范围内日均降水量与距平、850 hPa风场的周平均和距平值、20~25 d印度夏季风的变化<sup>[42-43]</sup>进行逐周预报。其针对印度夏季风的预报,常采用相似法将预报的主成分和对应空间模态进行重组,来预报20~25 d的印度夏季风变化。

国内外延伸期预报业务现状的对比分析表明,国内外延伸期预报业务产品均包含对基本气象要素(降

① <https://mag.ncep.noaa.gov/model-guidance-model-parameter.php>.

② <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/forecasts/>.

水、温度、风场、气压)趋势变化的预报,部分国家和地区还对持续性环流造成的重大天气过程进行预报。发展中国家(印度、中国)延伸期预报产品虽然涵盖面较广,但相比欧美等发达国家和地区,缺少对部分外部强迫条件及风暴路径和阻塞高压等环流系统的监测。但另一方面,对比印度,中国气象局延伸期预报除含有MJO的监测和大气污染过程等的预报产品外,延伸期预报发布频率与预报时效更为领先,与主要发达国家和地区持平。在延伸期预报技术和方法方面,国内外气象部门均大多采用动力-统计相结合的预报方法。其中,欧洲中心、美国、英国、加拿大等发达国家和地区多采用海气耦合模式和全球集合预报系统相结合的预报方法,将动力-统计相结合的方法应用于延伸期预报业务中,实时业务模式主要以向公众发布未来2周的预报产品为主。而我国国家级气象部门主要采用由我国自主研发的月动力延伸预测模式系统与NCEP、ECMWF的预报模式资料相结合的国内外模式,并针对各地区的区域特色,采用不同的预报方法(如:韵律方法<sup>[44]</sup>等相似分析法、概率统计、解释应用预测法、低频波图、多元回归、CFSv2模式<sup>[45]</sup>、时空投影模型<sup>[13, 45]</sup>、MJO降尺度模型<sup>[46-47]</sup>等)来制作针对性的延伸期预报产品,将其应用于实际的业务中。

### 2.1.3 延伸期预报未来发展方向

目前,WWRP和WCRP两大科研团体共同发起的S2S预测已经进入第二阶段(S2S预测改进),国内外延伸期预报研究重点主要包含MJO预测和遥相关、土地初始化和配置、海洋海冰初始化条件和配置、气溶胶影响、平流层以及S2S的集合分析<sup>①</sup>。延伸期预报领域通过研究MJO和高影响天气的关系以及热带-温带间的相互作用来发掘延伸期预报在2周到2个月时间尺度内的预报潜力。此外,陆气相互作用、关键海冰过程、气溶胶的可预报性、平流层和对流层的耦合作用等方面的相关研究均有序开展,旨在提高延伸期预报的能力与准确性<sup>②</sup>。

我国除参与该方面相关研究外,还计划以大城市为引领,加深对延伸期预报业务的研究。北京将作为大城市代表着重发展5 km分辨率11~30 d延伸期预报,并分区提供15 d逐日、10 d逐15分钟精细化预报产品,对日益频繁的极端天气展开预报,推动气象信息向生产要素转变,为中国气象现代化建设做出卓有成效的贡献<sup>③</sup>。

## 2.2 人才协同培养

根据中国气象局于2015年印发的《关于加强气象人才培养工作的指导意见》以及《全国气象现代化发展纲要(2015—2030年)》,我国对气象人才协同培养的重视程度大幅提升。近三年来,在理论政策的指导下,我国的人才协同培养机制已经在局校合作<sup>[55]</sup>的带动下趋于成熟,为气象部门输送了大批气象预报业务人才,但是人才资源在各预报领域的分配还处于不断调整和完善阶段。因此,为了解延伸期预报人才储备情况及发展策略,探究延伸期预报未来发展的趋势,本研究基于各气象业务单位延伸期预报业务人才队伍现状和需求、经费支持、培训情况三方面的调研结果,揭示了人才协同培养现状以及业务单位对高质量专业化人才的需求状况。

图7中给出了基于问卷调查的人才需求情况。其中,延伸期业务从业人数是指气象业务从业人员中,主要职责或具体的业务岗名称是延伸期预报的人数。人才需求比例来源于问卷调查,是指需要延伸期预报人员的单位与同级别参与问卷的所有单位之比。如图7a所示,多数气象业务单位延伸期预报业务现有从事人员与近三年内招聘的定向人才较少,为1~3;极少数业务单位该项业务的从事人员为8~12人,主要分布于华东和华南地区。学历方面(图7b),延伸期预报业务从业人员学历普遍较高,硕士学历及以上占比70%,其中博士率15%,表明延伸期预报业务对高精尖人才的需求较大。另外,通过分析各级业务单位的人才需求情况,业务单位对延伸期预报定向人才的需求随着单位级别的升高逐渐增多(图7c),这也从侧面说明,各级单位对于延伸期预报业务的关注度随单位级别的升高呈现上升趋势。

除了人才外引,延伸期预报人才队伍的内培也很重要。开展相关业务培训和专项经费支持是培养人才的两大有效途径:延伸期预报相关业务培训能让气象工作者更好地了解此业务,激发兴趣,培养能力;专项经费可保障和促进与延伸期预报业务相关研究的开展。本研究较难获取所有气象局对于经费以及培训业务的资料,因此仅根据问卷调查数据进行讨论。调查问卷分析结果显示,我国延伸期预报业务相关培训的开展情况不容乐观,专项经费支持不足。其中仅有27.5%的气象业务单位近三年来开展了有关延伸期预报的培

① ECMWF. A new book on the challenges of extended-range prediction. <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/science-blog/2019/new-book-challenges-extended-range-prediction>.

② WWRP/WCRP Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project (S2S) ([wcrp-climate.org](http://wcrp-climate.org)). <https://www.wcrp-climate.org/news/wcrp-newsletter/wcrp-news-articles/1373-s2s-phase-ii>.

③ 北京:大城市气象保障服务能力提升工作方案印发. [https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xgzdt/202112/t20211229\\_4337245.html](https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xgzdt/202112/t20211229_4337245.html).

表1 国内外延伸期预报现状对比

Table 1 Comparison of current state of extended-range forecasts between China and foreign countries

国家和地区	预报方法	预报时效	预报频率	预报产品
中国气象局 (CMA)	基于第2代动力延伸预测模式系统的BCC_CSM1.2模式 <sup>[6]</sup> 、CFSv2模式 <sup>[45]</sup> 、大气低频振荡 <sup>[48-51]</sup> 、时空投影模型 <sup>[13, 45]</sup> 、MJO降尺度模型 <sup>[46-48]</sup> 、韵律方法 <sup>[44]</sup> 、时滞回归模型 <sup>[1]</sup>	0~40 d	逐日 <sup>[1]</sup>	1) 降水距平百分率、气温距平、地表2 m气温场; 2) 降水和温度的概率、强降水; 3) 200/500/700/850 hPa高度场; 4) 海平面气压场; 5) 200/500/700/850 hPa风场; 6) MJO实时监测 <sup>②</sup> ; 7) 大气污染过程 <sup>[24]</sup> ; 8) 气温距平(逐候、逐旬)网格预报产品、降水网格预报产品; 9) 海表面温度及距平值、2 m最高/最低气温距平、200/500/700/850 hPa温度距平值、海平面气压距平值、平均海平面气压和距平、地表气压场及距平值、850 hPa比湿
欧洲中期天气预报中心 (ECMWF)	(中期预报延伸的)海气耦合模式 <sup>[6]</sup> 、全耦合模式 <sup>[6]</sup> 、全球集合预报	0~46 d	每周两次	1) 12 h累计降水量 <sup>[55]</sup> 、海表温度、850 hPa比湿; 2) 距平(周平均): 地表温度场距平、地表2 m气温场距平、总降水量、平均海平面气压、200/500/700/850 hPa高度场、2 m最高/最低气温距平、10/200/500/700/850 hPa温度距平值、地表气压及距平、10/100 m和10/200/500/700/850 hPa风场距平、日照时数、海表面温度距平; 3) 绝对值: 200/500/700/850 hPa高度场; 4) 概率分布(周平均): 地表面温度场、地表2 m气温场、总降水量、平均海平面气压; 5) 距平概率: 地表面温度场、地表2 m气温场、总降水量、平均海平面气压、降水距平百分率; 6) 极端预测指数(EFI)和尾部偏移(SOT): 地表2 m气温场、总降水量; 7) 周平均海平面气压场、每月预测集合平均值的周平均值、地表2 m气温周平均距平大于零的概率
美国国家环境预报中心 (NCEP)	海气耦合模式(GFS, GFDL) <sup>[35]</sup> 、中期集合预报、高分辨率的中期模式 <sup>[35]</sup> 等、结合统计方法 <sup>[52-53]</sup>	0~44 d <sup>[1]</sup>	逐日 <sup>[1]</sup>	1) 地表2 m气温场及距平, 总降水量、降水量距平和百分率 <sup>[1]</sup> ; 2) 200/500/700/850 hPa高度场及距平, 200/500/700/850 hPa和10 m风场 <sup>[1]</sup> ; 3) 极端温度、极端降水、极端风速 <sup>[59]</sup> ; 4) 遥相关指数 <sup>[59]</sup> ; 5) MJO指数的监测 <sup>[40]</sup> ; 6) 海温等外强迫条件监测、风暴路径和阻塞高压等环流系统监测 <sup>[41]</sup> ; 7) 海表温度及距平、2 m最高/最低气温距平、200/500/700/850 hPa温度距平、地表气压及距平、平均海平面气压及距平、850 hPa比湿
加拿大环境和气候变化中心 (ECCC)	全球集合预报系统 <sup>[6]</sup>	0~32 d <sup>[1]</sup>	逐周 <sup>[1]</sup>	1) 温度的偏低、偏高和正常 <sup>[55]</sup> ; 2) 海表温度及距平、2 m气温及距平、2 m最高/最低气温距平、200/500/700/850 hPa高度场及距平、总降水量、降水距平百分率、地表气压及距平、平均海平面气压及距平、200/500/700/850 hPa和10 m风场
英国气象局 (UKMO)	基于HadGEM3气候模式的海气耦合模式 <sup>[35]</sup>	5~31 d <sup>②</sup>	逐周	1) 平均、最高、最低温度; 2) 4~10 d、11~17 d、18~31 d的累计降水、日照、风速、风向和能见度 <sup>[54]</sup> ; 3) 海表温度及距平、2 m气温及距平、2 m最高/最低气温距平、200/500/700/850 hPa温度距平、总降水量、降水距平百分率、地表气压及距平、200/500/700/850 hPa和10 m风场、200/500/700/850 hPa高度场及距平、850 hPa比湿
日本气象厅 (JMA)	全球集合预报系统 <sup>[6]</sup>	0~33 d <sup>[1]</sup>	逐周 <sup>[1]</sup>	1) 累计降水量及其距平; 2) 平均海平面气压及距平; 3) 2 m气温及距平、2 m最高/最低气温距平、海表面温度及距平 <sup>[1]</sup> 、200/500/700/850 hPa温度距平、总降水量、降水距平百分率、地表气压及距平、200/500/700/850 hPa和10 m风场、200/500/700/850 hPa高度场及距平、850 hPa比湿
韩国气象局 (KMA)	采用动力和统计方法来驱动全球谱模式 <sup>[54]</sup>	0~30 d <sup>③</sup>	逐周	海表面温度及距平、2 m气温及距平、2 m最高/最低气温距平、200/500/700/850 hPa温度距平、200/500/700/850 hPa高度场及距平、总降水量、降水距平百分率 <sup>[54]</sup> 、200/500/700/850 hPa和10 m风场
印度气象局 (IMD)	采用物理统计法: 相似法、大尺度环流参数与降水的非线性关系 <sup>[42]</sup>	5~20 d <sup>④</sup>	逐周	1) 周最高、最低温度和距平值; 2) 周范围内日均降水量与距平; 3) 850 hPa风场的周平均和距平; 4) 20~25 d印度夏季风的变化 <sup>[42-43]</sup>

注: 表2中预报产品信息参考各国家和地区相关单位官方网站及S2S(CMA)网站。

训, 23.8%的业务单位含有专项经费发展该业务(图略), 且两者比例均随着业务单位级别的降低而减少(图8a)。不仅如此, 业务培训与经费支持的情况均呈现显著的地域差异(图8b), 其中东北地区开展相关业务培训相较于其他地区更多, 占比34.5%; 东北地区业务单位设置专项经费的占比最多, 达41.4%(此现象可能与东北地区省级业务单位人员填写人数较多

有关)。以上有关业务培训和经费支持的分析可以充分验证图7中得出的结论: 气象业务单位级别越低, 对延伸期预报人才的需求以及人才队伍建设的重视程度越低。

### 2.3 各级单位延伸期预报能力协同建设情况

问卷第三部分基于各气象业务单位延伸期预报的主要开展部门、同级单位内跨部门协作方式、不同级

① [http://cmdp.ncc-cma.net/pred/md\\_gen2.php](http://cmdp.ncc-cma.net/pred/md_gen2.php)。

② <https://www.metoffice.gov.uk/weather/forecast/uk>。

③ <http://web.kma.go.kr/eng/weather/forecast/long-range1.jsp>。

④ <http://mausam.imd.gov.in/>。

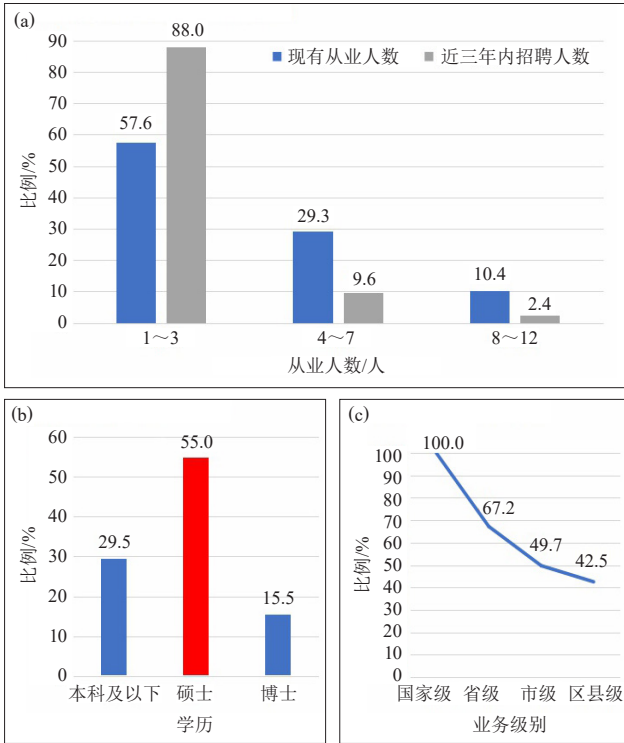


图7 延伸期预报业务从业人数和近三年招聘人数比例 (a)、从业者学历比例 (b)、各级业务单位对延伸期预报人才需求比例 (c)

Fig. 7 Proportion of different numbers of preexisting faculty for making extended-range forecast and recruits in recent 3 years (a), education levels of current faculties in extended-range forecast (b), and proportion of meteorological bureaus at different levels that have demand for talents in extended-range forecast (c)

别单位间的跨级协作方式以及各级业务单位延伸期预报工作范畴四个方面对各级业务单位延伸期预报能力协同建设情况展开调研。

中国气象局延伸期预报员表示，国家级业务单位延伸期预报业务主要在气候中心和气象台开展，与问卷调研结果一致，省级业务单位的气候中心在延伸期预报工作中的参与度相比于气象台更高，市级、区县级业务单位参与延伸期预报业务的主要部门为气象台（图9）。其中，少部分省局、市局、区县局则有信息中心、科研所、科研服务中心和生态农业中心作为辅助部门参与该业务。

国家和省级气象业务单位同级间跨部门协作程度相比于市级和区县级业务单位更高。国家级和省级业务单位中有41.7%开展了跨部门协作，且省级业务单位气候中心间也会就延伸期预报业务展开相关探讨，而市局和区县局中仅有27.5%的气象业务单位有此类协作（图略）。各气象单位跨部门协作方式（图10a）大多为联合会商、预报平台共享，部分单位也采取共享

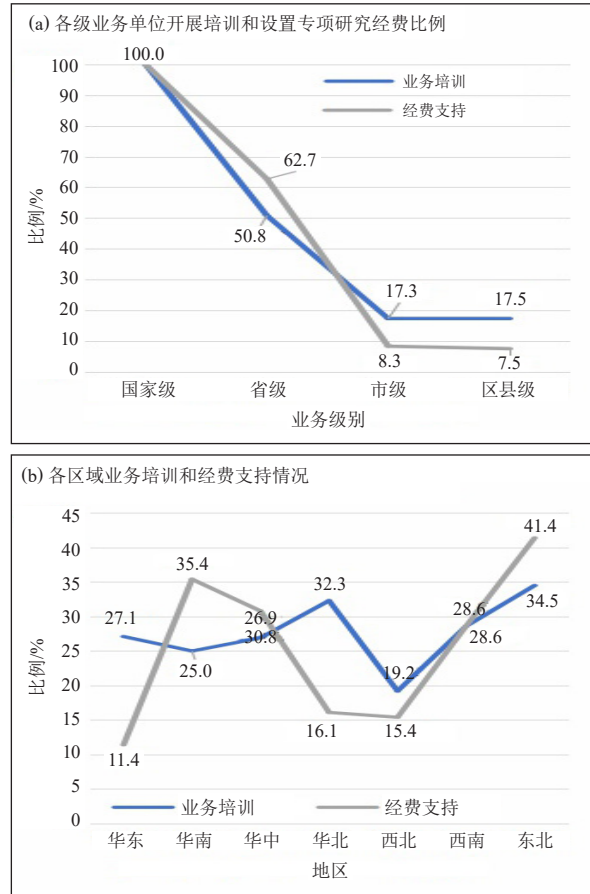


图8 各级业务单位 (a)、各区域 (b) 开展延伸期预报业务培训和设置专项经费发展延伸期预报业务比例

Fig. 8 Proportion of meteorological bureaus at different levels (a) and in different regions (b) that carries out training courses and set up special funds for extended-range forecast

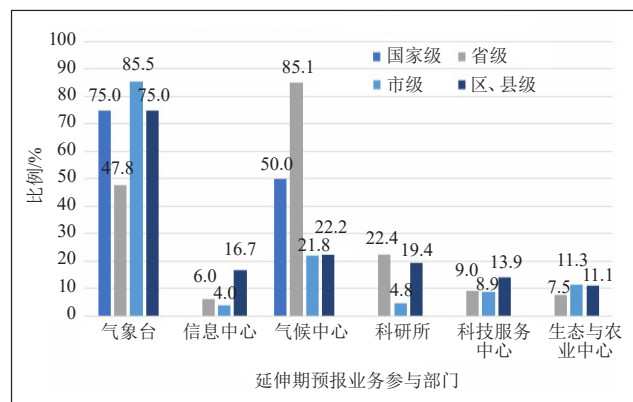


图9 各级业务单位延伸期预报业务的参与部门比例  
Fig. 9 Proportion of participation of various departments in operational extended-range forecast for meteorological bureaus at all levels

基础气象数据预报、开展突发事件预警、制作气象服务产品、人才资源共享、联合技术攻关及理论研究等方式。在跨级协作的方式上（图10b），主要为上级业

务单位将延伸期预报产品与下级单位共享，另外有部分上级单位会指导、协助制定下级业务单位延伸期预报业务的规范、流程、产品种类等，少数则采用延伸期预报人才和专家挂职、关键技术的理论指导和实操培训等方式为下级单位提供相关理论与技术的支持。

而下级单位面对主要来自上级单位延伸期预报产品（图10c），多数会采取优化、检验的二次处理方法对预报产品进行改善，少数单位会将预报评估结果向上进行反馈。

基于上述对各级单位协作的调研，并结合气象工作

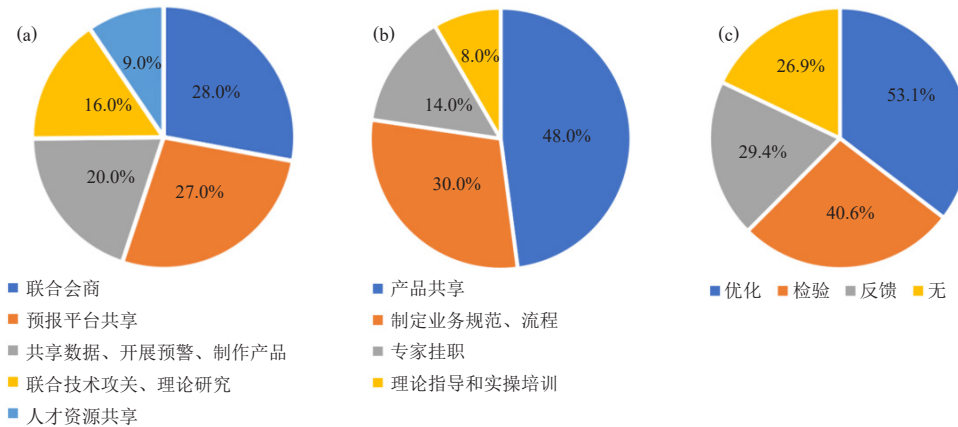


图10 延伸期预报业务跨部门协作方式及比例 (a)、上级对下级单位的指导形式及比例 (b)、下级对上级业务单位产品的处理方式及比例 (c)

Fig. 10 Extended-range forecast operation by cross-department efforts and their respective proportion (a), supervision pathways for the upper-level meteorological bureau to low-level meteorological bureau and their respective proportion (b), processing pathways for the low-level meteorological bureau to the forecast products provided by the upper-level meteorological bureau and their proportion (c)

者的反馈，延伸期预报业务在各级单位间的分工主要呈现出以下特征：国家级和省级单位负责开发完善相应技术方法；开展延伸期预报业务的市及区县级单位对上级单位输送的产品进行应用和改善；但较多市级和区县级单位并未开展延伸期预报业务。

### 3 结论

本文采用文献调研法、问卷调研法、访谈调研法，从延伸期预报的预报产品、预报方法和预报因子等方面回顾了国内外延伸期预报业务现状。通过对比分析发现，以欧洲和美国为代表的发达国家和地区发布的延伸期预报产品较为丰富，且欧洲、美国、加拿大、英国等将海气耦合模式结合全球集合预报系统作为核心技术发布10~30 d时段的延伸期预报产品，为各国延伸期预报提供可靠的资料来源。相较于欧美，以中国和印度为代表的发展中国家预报产品涵盖面不够广。我国虽然是发展中国家的一员，延伸期预报业务不够成熟，仍处于探索阶段，但相较于其他发展中国家，又呈现出不同的特点。我国相较于印度，不仅预报产品较为全面，而且预报时效和预报频率也较为领先，与主要发达国家和地区持平。此外，我国虽然仍在采用国外前沿模式系统和资料，但近年来在该领域不断探索，自主研发了一套月动力延伸期预测模式系统，并进行持续性的优化改良。同时，我国各气象

部门针对不同区域的地理差异、业务需求，不断创新方法、变革技术，朝着建立一套预报方法区域化、预报产品多样化、预报结果准确化的特色延伸期预报体系的目标不断前进。

其次，本工作就人才协同培养和各级单位延伸期预报能力协同建设展开调研，分析出延伸期预报在当前发展过程中存在的问题：我国业务单位延伸期预报相关培训开展较少、专项经费不足，不利于延伸期预报人才队伍建设及相关科研成果的应用转化。各级单位跨级协作以及同级单位跨部门协作程度较低，市级、区县级业务单位应承担的延伸期预报工作任务不明确，导致级别较低的业务单位对延伸期预报业务重视程度不够或并未开展该业务。但本研究较难获取所有气象局对于经费以及培训业务的资料，因此仅根据问卷调查得到的数据进行讨论。数据的缺失可能会使调查准确度欠缺，如：东北地区业务单位设置专项经费的占比最多，此现象与东北地区省级业务单位人员填写人数较多有关。

最后，基于以上结果以及问卷的“制约延伸期预报发展的因素”和“对开展延伸期预报的建议或创新思路”调研结果，为推进延伸期预报业务的发展，促进延伸期预报业务体制机制建设，本文总结提出了延伸期预报业务现存问题和相应的若干对策，详见表2。

表2 延伸期预报现存问题和对措施

Table 2 Main problems in the current extended-range forecast and suggestions for possible solutions

现存问题	对策
部分业务单位(尤其是区县级气象局)对延伸期天气预报的关注度较低	1) 加强气象教育培训体系建设。 2) 加强国家级、省级、区县级业务单位的合作深度和广度, 组建上下一体、协同高效的气象科技创新队伍。 3) 以质量、绩效、创新等为导向, 建立延伸期预报考核指标体系。 4) 完善延伸期预报科技创新成果的评价机制和激励机制, 从而鼓励和引导业务单位研发人员对延伸期预报的关注和创新。
延伸期预报业务人才队伍水平偏低	1) 加强气象人才培养, 以国家级气象局为龙头, 带领组建延伸期预报基础理论研究、应用服务研究、前沿技术研究人才队伍。 2) 加强对气象跨学科人才和尖端技术的引进, 深化局校企合作深度与广度, 形成高水平的人才队伍。 3) 选派优秀人才访问进修, 强化气象人才教育培训模式, 推动人才队伍的转型升级。
气象业务单位与高校、科研院所所在延伸期预报技术方法以及人才培养方面交流合作较少, 前沿科研成果在业务预报中的推广应用和转化不足, 专业定向人才培养不足	1) 修订人才培养方案。结合延伸期预报的科研攻关和业务需求, 以“厚基础、专业化、强实践、重创新”为培养目标, 修订优化气象人才培养方案。 2) 搭建局校共享的教学、实习、创新平台和基地, 气象业务单位提供本科生和研究生去负责延伸期预报部门实习的机会。 3) 实施延伸期预报人才培养的双向培训。 高校→业务单位: 定期派高校相关领域专家到业务单位开展延伸期预报专题教育培训, 加强对延伸期预报专项研究人员的预报理论和技术指导, 提升业务能力; 业务单位→高校: 派骨干与高校专家开展交流反馈, 明确对延伸期预报人才的需求。 4) 打造“产学研结合、多元融合”的“双师型”师资队伍。通过邀请科研之星、行业气象名师为教师开展进行项目师资实训和培训、赴地方业务单位挂职培训和开展工程化实践, 提升高校教师工程化实践指导和理论创新能力。并邀请气象业务部门延伸期预报方面的行业专家, 参与授课, 打造丰富多元、密切对接业务的师资队伍, 为人才培养服务。 5) 充分发挥高校、科研院所所在延伸期预报理论研究技术攻关方面的优势, 积极向业务单位输送人才, 以提高业务单位延伸期预报水平。
气象业务单位与气象公司的交流合作较少, 服务产品的细化和拓展不够	1) 加强局企合作, 加强对延伸期预报及其交叉领域领军人才的培养和引进, 支持企业与业务人员的协同攻关。 2) 营造良好的气象科技创新和落地应用联动环境, 从而推动科技成果向气象业务服务的有效转化, 真正实现延伸期预报业务化、专业化。
气象局内部对延伸期预报专项人员的内培不够全面	在隶属于中国气象局的中国气象局气象干部培训学院开设延伸期预报专项培训班, 承担延伸期预报中高级专业技术人员的继续教育, 对延伸期预报业务的高新技术进行推广应用培训, 落实延伸期预报新技术新方法在我国实际业务中的应用。
专项经费、延伸期预报理论技术创新的内部奖励机制的缺失	1) 加快设立延伸期预报重大科技创新成果专项资金, 保障延伸期预报业务基础研究和技术攻关的稳定发展。 2) 优化延伸期预报业务科研运行机制, 从而推动延伸期预报业务人才、资金、技术的一体化。 3) 完善延伸期预报理论技术科研资金的增长机制, 建立安全可靠的资金保障体系。
未明确设立跨级业务单位协作的制度、规范、流程	1) 加强组织领导, 健全职责明确、目标清晰的协同合作机制, 加快跨级别、跨部门间的有效衔接。 2) 科学规范预报流程、合理筹划业务布局; 加强地、市级预报业务单位(气象台)对延伸期预报产品的监督和评估。 3) 优化不同级别业务单位的职责分工, 推进延伸期预报业务向集约化方向发展。国家级和省级单位侧重该业务的技术支撑与开发, 市、区县级单位负责实际应用和评估反馈, 增加业务培训, 加强地、市级预报业务单位(气象台)对延伸期预报产品的检验。
业务单位内部相关部门工作缺乏针对性的划分和统筹	改进业务单位内部人员的研发分工, 优化延伸期预报岗位研发人员的比例, 逐步建立起职责清晰、上下一体的延伸期预报业务人员分工体系。

## 参考文献

- [1] 周波涛, 钱进. IPCC AR6报告解读: 极端天气气候事件变化. 气候变化研究进展, 2021, 17(6): 713-718.
- [2] 金荣花, 马杰, 任宏昌, 等. 我国10~30天延伸期预报技术进展与发展对策. 地球科学进展, 2019, 34(8): 814-825.
- [3] 唐黎标. 我国重大气象灾害的应急管理研究. 防灾博览, 2021, (1): 38-41.
- [4] 康志明, 鲍媛媛, 周宁芳. 我国中期和延伸期预报业务现状以及发展趋势. 气象科技进展, 2013, 3(1): 18-24.
- [5] 赵佳莹, 李永生, 班晋, 等. 2020年黑龙江省夏季延伸期强降水过程预报检验. 黑龙江气象, 2021, 38(2): 4-5, 14.
- [6] 章大全, 郑志海, 陈丽娟, 等. 10~30 d延伸期可预报性与预报方法研究进展. 应用气象学报, 2019, 30(4): 416-430.
- [7] 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件. 大气科学, 2003, (6): 1018-1030.
- [8] 伍荣生. 前言 台风研究中的一些科学问题. 南京大学学报(自然科学版), 2007, (6): 567-571.
- [9] 贾小龙, 陈丽娟, 高辉, 等. 我国短期气候预测技术进展. 应用气象学报, 2013, 24(6): 641-655.
- [10] 董敏, 吴统文, 王在志, 等. BCC\_CSM1.0模式对20世纪降水及其变率的模拟. 应用气象学报, 2013, 24(1): 1-11.
- [11] 丑纪范, 郑志海, 孙树鹏. 10~30 d延伸期数值天气预报的策略思考——直面混沌. 气象科学, 2010, 30(5): 569-573.
- [12] 肖子牛. 我国短期气候监测预测业务进展. 气象, 2010, 36(7): 21-25.
- [13] 徐邦琪, 臧钰歆, 朱志伟, 等. 时空投影模型(STPM)的次季节至季节(S2S)预测应用进展. 大气科学学报, 2020, 43(1): 212-224.
- [14] 虞越越, 严睿恺, 蔡鸣. 平流层大气质量环流脉冲事件与北半球冬季大陆尺度寒潮低温的次季节尺度预测. 气象科技进展, 2021, 11(3): 92-102.
- [15] Yu Y, Cai M, Shi C, et al. On the linkage among strong stratospheric mass circulation, stratospheric sudden warming, and cold weather events. Monthly Weather Review, 2018, 146(9): 2717-2739.
- [16] Yu Y, Cai M, Ren R, et al. A closer look at the relationships between meridional mass circulation pulses in the stratosphere and cold air outbreak patterns in northern hemispheric winter. Climate Dynamics, 2018, 51(7-8): 3125-3143.
- [17] Cai M, Yu Y, Deng Y, et al. Feeling the pulse of the stratosphere: an emerging opportunity for predicting continental-scale cold-air outbreaks 1 month in advance. Bulletin of the American Meteorological Society, 2016, 97(8): 1475-1489.
- [18] 何金海, 梁萍, 孙国武. 延伸期预报的思考及其应用研究进展. 气象科技进展, 2013, 3(1): 11-17.
- [19] 孙国武, 李震坤, 信飞, 等. 延伸期天气过程预报的一种新方法——低频天气图. 大气科学, 2013, 37(4): 945-954.
- [20] 焦艳, 黄菲, 高松, 等. 基于长短时记忆神经网络的辽东湾海冰延伸期预报方法研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(6): 1-11.
- [21] 杨晓军, 韩林君, 张君霞, 等. 基于偏最小二乘回归方法的西北区寒潮延伸期预报. 大气科学学报, 2021, 44(3): 371-380.
- [22] 章毅之, 宋进波, 屠菊清, 等. 多变量时滞回归模型在江南地区初夏降水低频分量延伸期预报中的应用. 大气科学学报, 2017, 40(6): 833-840.
- [23] 杨秋明. 2013年长江下游降水低频分量延伸期预报的扩展复数自回归模型. 物理学报, 2014, 63(19): 463-473.
- [24] 杨欣悦, 谭钦文, 陆成伟, 等. 基于CFSv2的延伸期空气质量数值预报技术及效果评估. 中国环境监测, 2021, 37(5): 175-184.
- [25] 孙国武, 信飞, 孔春燕, 等. 大气低频振荡与延伸期预报. 高原气象, 2010, 29(5): 1142-1147.
- [26] 陈伯民, 梁萍, 信飞, 等. 延伸期过程预报预测技术及31应用. 气

(下转25页)

- 化的影响. 海洋科学进展, 2019, 37(2): 187-198.
- [22] 骆敬新, 刘克修, 范文静, 等. 全球海平面观测系统现状及对我国海洋站观测的启示. 海洋开发与管理, 2014, (7): 9-14.
- [23] 周东旭, 周兴华, 张化疑, 等. 利用GPS连续观测进行中国沿海验潮站地壳垂直形变分析. 武汉大学学报(信息科学版), 2016, 41(4): 516-522.
- [24] Caldwell P C, Thompson P. Joint Archive for Sea Level Data Report: March 2018. The Joint Archive for Sea Level (JASL), 2018.
- [25] Woodworth P L, Player R. The permanent service for mean sea level: an update to the 21st century. Journal of Coastal Research, 2003, 19(2): 287-295.
- [26] Holgate S J, Matthews A, Woodworth P L, et al. New data systems and products at the permanent service for mean sea level. Journal of Coastal Research, 2013, 29(3): 493-504.
- [27] 宿春鹏. 联合卫星测高、GRACE和温盐资料研究海平面变化. 成都: 西南交通大学, 2016.
- [28] 刘冰石. 利用多源观测数据分析2011年来全球平均海平面加速上升成因. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [29] 刘磊, 蒋星亮, 费建芳, 等. 多源卫星高度计新融合产品的研发与评估. 科学通报, 2020, 65: 1888-1897.
- [30] Frederikse T, Jevrejeva S, Riva R E M, et al. A Consistent sea-level reconstruction and its budget on basin and global scales over 1958-2014. Journal of Climate, 2018, 31(3): 1267-1280.
- [31] 金涛勇, 肖明宇, 王锴. 近百年全球平均海平面变化重构研究进展与分析. 中国科技论文在线精品论文, 2017, 10(20): 2314-2319.

## (上接15页)

- 象科技进展, 2017, 7(6): 82-91.
- [27] 李震坤. 基于动力相似模式识别的延伸期降水预报方法. 上海: 上海市气候中心, 2020.
- [28] 董雪峰, 赖欣, 杨淑群, 等. 基于CFSv2的四川省延伸期三类天气过程预报研究. 成都信息工程大学学报, 2021, 36(04): 413-424.
- [29] 伯忠凯. 基于CFS模式的山东省高温过程动力降尺度预测. 济南: 山东省气候中心, 2018.
- [30] 高建芸, 陈彩珠, 周信禹, 等. 2010年福建前汛期典型持续性暴雨过程的低频特征分析. 气象科技进展, 2013, 3(1): 39-45.
- [31] 池艳珍, 何芬, 唐振飞. 2016年登陆和影响福建台风成因分析及预测. 气象, 2017, 43(10): 1287-1295.
- [32] 杨德南, 高建芸, 陈锦鹏, 等. 低频扰动增量法在华南冬季低温延伸期预报中的应用研究. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(2): 10-19.
- [33] 王宇, 钟琦. 欧洲中期天气预报中心(ECMWF)2014年报性能. 气象科技进展, 2015, 5(4): 68-69.
- [34] 纪立人. 欧洲中期天气预报中心情况简介. 气象科技, 1983, (2): 28-30.
- [35] 金荣花, 马杰, 毕宝贵. 10~30d延伸期预报研究进展和业务现状. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(2): 1-5.
- [36] 马杰, 金荣花, 宗志平, 等. 延伸期预报中的可预报性浅析. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 137-143.
- [37] 王延. S2S多模式资料在海洋性大陆区域及我国延伸期降水预报中的应用. 成都: 成都信息工程大学, 2020.
- [38] 何欢然. ECMWF S2S试验对中国东部夏季次季节降水的预报技巧评估及误差订正. 南京: 南京信息工程大学, 2020.
- [39] 湛芸, 董全, 田付友, 等. 美国NCEP集合预报最新进展. 天气预报, 2014, 6(5): 68-74.
- [40] 朱玉祥, 俞小鼎, 赵亮, 等. 10~30d延伸期预报及其策略思考. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(4): 38-44.
- [41] 康志明, 鲍媛媛, 周宁芳. 我国中期和延伸期预报业务现状以及发展趋势. 气象科技进展, 2013, 3(1): 18-24.
- [42] 丁一汇, 梁萍. 基于MJO的延伸期预报. 气象, 2010, 36(7): 111-122.
- [43] 杨秋明. 10~30d延伸期天气预报方法研究进展与展望. 地球科学进展, 2015, 30(9): 970-984.
- [44] 林纾, 惠志红, 郭俊琴, 等. 150天韵律方法月内过程预测系统简介及应用检验. 气象科技进展, 2013, 3(5): 48-51.
- [45] 张东方, 成青燕, 何慧根, 等. CFSv2模式资料在成都市延伸期降水预测中的应用评估. 气象研究与应用, 2021, 42(2): 1-6.
- [46] 信飞, 马悦, 王蔚, 等. 2020年上海梅雨异常特征及延伸期预报分析. 暴雨灾害, 2020, 39(6): 578-585.
- [47] 罗布. MJO在西藏夏季降水延伸期预报中的应用. 南京: 南京信息工程大学, 2020.
- [48] 吴胜安. 基于MJO的海南延伸期气候预测技术研究. 海口: 海南省气候中心, 2018.
- [49] 孙国武, 李震坤, 信飞, 等. 用低频天气图方法进行延伸期预报的探索. 气象科技进展, 2013, 3(1): 6-10.
- [50] 贾旭伟, 李旭, 张莹, 等. 基于低频振荡的西北地区中西部延伸期降水预报研究. 干旱气象, 2016, 34(3): 553-559.
- [51] 孙昭莹, 马振峰, 杨小波, 等. 低频天气图方法在四川盆地夏季延伸期强降水预报中的应用. 高原山地气象研究, 2016, 36(1): 20-26.
- [52] Seo K, Wang W, Gottschalck J, et al. Evaluation of MJO forecast skill from several statistical and dynamical forecast models. Journal of Climate, 2009, 22(9): 2372-2388.
- [53] Jones C, Carvalho L M V, Wayne Higgins R, et al. A statistical forecast model of tropical intraseasonal convective anomalies. Journal of Climate, 2004, 17: 2078-2095.
- [54] 贾旭伟. 基于低频振荡和相似技术的西北地区中部降水过程延伸期预报研究. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [55] 蔡金玲, 何勇, 林巧, 等. 气象领域局校合作的经验与启示. 科技中国, 2019, (1): 17-21.