

# 发展精细化行业气象服务的初步思考

■ 谢静芳 李云峰

精细化预报业务开展已经十余年，但精细化行业气象服务的发展仍处于起步阶段，尤其能源电力、交通等重点行业，预报产品的时空分辨率和可用性还比较有限，服务内容和形式还有待优化和改进。应学习借鉴奥运气象服务等国内外成功经验，创新理念和发展思路，创新谋划服务体系，创新服务技术研发，建立有利于精细化行业气象服务发展的服务体系。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.06.021

近些年来，在精细化行业气象监测和预报业务的支撑下，面向公众和行业的精细化气象服务得到迅速发展，开展了不同形式的精细化气象服务。比如：基于用户位置的手机APP天气预报服务，基于GIS系统为行业用户提供指定位置的气象信息服务，基于交通沿线天气信息开展的交通气象服务等。形成了以精细化预报业务产品为主要支撑的精细化行业气象服务发展模式。

随着精细化行业气象服务的发展，长期以来形成的以预报业务产品为主要支撑的行业气象服务发展模式，在精细化发展过程中面临着新的压力和挑战。尤其是在能源电力、铁路交通等行业，精细化行业气象服务对精细化预报产品的需求，已经超过了当前精细化气象预报业务产品的范畴，单纯依靠现有的精细化气象预报业务产品，已经难以满足用户的需要。应围绕重点行业服务需求，基于先进的数值模式、多模式集成、多源数据融合、机器学习等技术，提高精细化预报产品对行业服务的支撑能力，更好地满足精细化行业气象服务发展的需求。

在数值预报、计算机和通信技术飞速发展、精细化行业气象服务需求不断增长的背景下，总结精细化行业气象服务发展历程和现状，分析存在的问题和精细化行业气象服务的发展需求，思考精细化行业气象服务的发展途径，对于建立和完善精细化预报产品和服务技术支撑体系，发展具有国际先进水平和竞争实力的行业气象服务具有重要意义。

## 1 精细化行业气象服务发展概述

精细化行业气象服务，是在行业需求引导下、在精细化天气预报支持撑下，逐步发展起来的。精细化

数值预报技术的发展，精细化业务预报产品的支撑，对精细化行业气象服务的发展都具有十分重要的基础性和决定性作用。

### 1.1 精细化行业气象服务初步发展

从20世纪80年代开始，从供热采暖、粮食晾晒到电力、交通等各行业，我国专业气象服务逐步发展起来。到21世纪初，以用户的群体性和行业化服务需求为主要特征的电力、交通等行业气象服务得到快速发展。这一时期，基于预报业务产品的支撑，服务产品主要是城市站点或者区域范围的、日的或更长时间的气象要素量值或等级的预报。

精细化行业气象服务始于2005年前后。这一时期，尽管数值模式对天气形势的预报水平已经超过了有经验的预报员。但其要素预报能力和可用性仍然有限，对暴雨、强对流等天气，尚不能提供可用的预报。基于数值模式的物理量预报，采用天气学和统计学释用的方法，制作的精细天气要素预报等精细化预报产品，成为行业气象服务的主要内容。同时，在道路交通等领域，研究总结天气对行业气象灾害或事件的影响，建立天气模型和天气指标，使电力、交通等行业气象服务，在天气预报业务产品的基础上得到了进一步深化，形成了基于天气影响并有别于预报业务产品的行业气象服务产品。

### 1.2 基于预报业务产品的行业气象服务

2010年以后，随着欧洲ECMWF细网格预报模式、美国WRF中尺度数值模式、我国T639、GRAPES等数值预报模式的发展和业务应用，模式预报的气温、降水、风速等气象要素预报性能和时空分辨率显著提高，暴雨等灾害性天气的强度和落区预报的可用

收稿日期：2018年11月15日；修回日期：2019年8月1日

性显著改进。国家气象中心和省级气象台，先后开展了空间分辨率为 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 、预报时段为24 h的降水落区和灾害性天气落区预报业务和精细化网格预报释用。

与此同时，行业气象服务也得到显著发展。互联网、大数据、移动通信等技术在行业气象服务中得到更广泛应用，基于时空分辨率更精细的气象要素预报产品，开展了基于用户位置的天气信息服务和交通气象服务。

2017年，中国气象局提出应用智能网格预报业务产品，开展精细化行业气象服务的要求，推动了精细化格点预报产品在行业气象服务中的应用，以精细化预报业务产品为支撑，公路和铁路沿线天气预报等基于位置的行业气象服务陆续开展起来。

### 1.3 2008年奥运气象服务

为奥运会及其他体育运动和赛事活动提供的气象服务，也属于行业气象服务，但2008年奥运气象服务发展之路不同于其他行业。依靠为奥运气象服务建立的精细化监测、预报和服务体系，奥运气象服务在较短时间内实现了服务能力的跨越发展。

#### 1.3.1 服务需求

根据国际奥委会的要求，奥运会天气预报要做到一天至少4次滚动更新、每3 h一次预报，个别情况下每1 h一次预报，预报的气象要素包括气温、湿度、风速、风向等要素的定量预报。奥运会气象服务需求，在时空精细度、要素预报内容和定量化预报等方面，已经超出了当时的短期和短临天气预报业务产品的范畴。

#### 1.3.2 服务体系建设

围绕奥运会精细化服务需求，开展了全面系统的预报和服务体系建设。包括：开展精细化观测系统、精细化模式、精细化预报预警和服务系统的建设和开发；开展数值预报天气学、统计学释用，将自动气象站、浮标站、边界层风塔、风廓线雷达、新一代Doppler气象雷达 VAD风资料同化进模式，建立以天气雷达、风廓线雷达、浮标站、自动站等为依托的气象综合探测系统；实现了赛场及其周边高时空分辨率的立体化探测；引进了高性能计算机系统，建立了以多种数值预报模式为基础的精细化短期、短时预报预警系统；形成了以精细化数值预报模式、业务平台、服务系统、技术研发为支撑的预报业务和服务体系。

#### 1.3.3 服务发展模式

2008年奥运会气象服务，应用了先进的气象监测设备、数值模式、预报技术、信息服务技术等，创立

了发展精细化行业气象服务的经典范例。

当前，行业气象服务精细化、个性化发展趋势日趋显著，对精细化预报产品的需求也日趋迫切。长期以来形成的以预报业务产品为主要支撑的行业气象服务发展模式，在精细化发展过程中面临着新的压力和挑战。尤其是在能源电力、铁路交通等行业，精细化行业气象服务对精细化预报产品的需求，已经超过了当前精细化气象预报业务产品的范畴，单纯依靠现有的精细化气象预报业务产品，已经难以满足用户的需要。回顾和总结奥运气象服务的发展模式和成功经验，深刻认识精细化数值预报技术和精细化预报产品的重要支撑作用，对于明确精细化行业气象服务发展思路，建设和发展精细化行业气象服务体系等，都具有重要参考价值 and 科学指导意义。

## 2 精细化行业气象服务现状

精细化预报业务开展已经十余年，但精细化行业气象服务的发展仍处于起步阶段，尤其能源电力、交通等重点行业，预报产品的时空分辨率和可用性还比较有限，服务内容和形式还有待优化和改进。

### 2.1 以预报业务产品为支撑的服务模式

本文中，精细化预报业务产品是指根据中国气象局对气象部门天气预报业务的有关规定，由各级气象台站制作和发布的精细化气象预报产品，包括2006年开始的精细化天气预报业务产品、2017年到目前的智能网格预报业务产品，以及2020年发展规划中的业务预报产品等。精细化数值模式预报产品是指研究运行或业务运行规定之外的数值预报模式提供的精细化格点气象预报产品。

在行业气象服务发展过程中，短时、短期、中期和长期天气预报以及灾害性天预警等预报业务产品，是支撑行业气象服务的主要预报产品。精细化行业气象服务，尤其是省级气象部门开展的精细化行业气象服务，则主要是以精细化预报业务产品为支撑。开展的精细化行业气象服务主要包括：基于GIS系统和交通线路位置的交通气象服务，其他行业用户基于指定位置的气象信息服务等。

尽管国家和省级气象部门研发和运行的数值模式预报产品，以及快速循环同化系统的短临预报产品，在时空分辨率和计算更新时次上，都超过了预报业务产品的规定，但其为精细化行业气象服务提供预报产品和发展支撑的能力还非常有限。

近年来，以精细化预报业务为主要支撑的行业气象服务模式，开始遇到前所未有的需求挑战。电力能源、铁路交通等行业，对精细化气象服务需求发展

迅速，基于自身行业生产、安全和发展的需要，一些行业部门或气象服务公司，开始建设和发展自己的精细化数值预报模式和气象服务系统，以满足行业气象服务的需求。其精细化预报产品的时空分辨率、计算更新时次，尤其是短临数值预报等技术性能指标，更接近用户的需求，服务产品更对接用户的应用场景。基于预报业务产品和气象阈值的精细化行业气象服务，在服务市场的竞争与服务能力的发展中，正面临严峻挑战。

近年来，中国气象局公共气象服务中心致力于发展支持行业气象服务的精细化数值预报业务，提供时空分辨率、预报准确率和计算更新时次更加优化的精细化格点预报和服务产品。2019年，公共气象服务中心基于多个全球数值模式预报产品、国家气象中心5 km智能网格预报产品、省市气象台上传的县级城市主观预报产品、逐小时地面实时观测资料，应用时空降尺度、模式误差滚动订正、多模式变权重集成、主客观预报融合、逐时实况滚动订正24 h预报等技术和方法研制的精细化预报服务产品制作系统，提供给全球任意位置需求点的15 d内不同时效不同时间分辨率（24 h内逐小时预报基于实况逐时滚动订正更新，2~3 d逐小时预报、4~10 d 3 h预报和11~15 d逐12 h预报每日4次更新）、实况与预报一致的预报服务产品。在此基础上，基于气象中心智能网格预报产品，应用机器学习降尺度方法，加工全国范围0~24 h 1 km逐小时降水预报产品。以全国实时气象雷达、气象卫星数据和地面分钟降水观测资料为基础，基于气象学原理，以快速循环为理念，应用人工智能技术，通过并行计算和大数据处理技术加工，形成天气雷达分钟降水产品，其时间尺度上精细到5 min、空间尺度上精细到街道。大幅度提升气象服务数据的可用性与易用性，以满足公共气象服务中心短临预报和气象服务应用的需求。

对于多数省级气象部门来说，由于缺乏研发运行数值预报模式等精细化预报技术的能力，对于本地的行业用户精细化服务需求难以及时有效响应，在一定程度上制约了行业气象服务的发展。依靠引进和运行先进的数值预报模式，虽然能解决一时之需，但若形成持续的发展支撑，在资金、技术、人才等方面都存在困难。

## 2.2 以要素预报产品为主的行业服务

近年来，随着数值预报技术的发展，预报时空分辨率和定量化预报能力不断提高，精细化要素预报产品也成为了精细化服务产品的主要内容。目前，精细

化行业气象服务主要是在预报产品中增加了行业用户的位置，或者提供基于用户位置的实时定量预报等，除了预报的时空分辨率以外，预报内容和产品形式等，与公众气象服务产品的差异越来越小。

## 2.3 精细化预报产品准确性的影响

精细化预报产品的时空分辨率显著提高，并且对气温等连续分布的气象要素也有较好的预报能力，但对于分布不连续的强对流等突发灾害天气，其预报准确率和可用性仍然有限。因此，虽然有了精细化的预报业务产品，但对于暴雨、暴雪、大风、雷电等灾害天气，目前的精细化预报业务产品还难以直接应用于精细化行业生产和精准防灾，为行业用户提供的仍然是区域的和气象阈值的预报服务产品。如何将准确性有限的精细化预报产品，更有效地应用于精细化行业气象服务，也是目前需要研究解决的主要技术问题。

## 2.4 沿用传统服务技术和方法

在应用精细化预报产品的同时，缺乏相应的精细化气象服务技术研发和应用。这种状况不仅影响了精细化气象服务的有效性，也影响了精细化行业气象服务的发展。

一是在基于影响的气象服务方面，缺少与精细化用户特征相结合的精细化气象服务指标。有的行业气象服务，将基于用户位置的精细化预报，与现有的宏观综合气象服务指标相结合，提供影响等级提示和服务指南。由于现有的行业气象服务指标，是基于较大范围和较长时间内的历史灾害事件与历史天气事件的关系建立的，其影响程度和等级由固定的天气要素阈值确定，对于具体位置、具体对象和具体环境特征而言，缺乏精准性。比如：在高速公路上，同样的降雨量和降雨强度，对于排水不畅的汇水区低洼路段和排水性好的高岗路段，对交通产生的影响是完全不同的，精细到路段的天气预报，必须与精细区分的路段特征相结合，才能制作出精细影响的服务产品。因此，应用现有的宏观综合气象服务指标，不仅无法实现精细化的行业气象服务，反而可能给出错误的天气影响提示和服务建议。

二是在服务产品的内容、形式和展示方面，缺乏对精细化预报数据和服务信息的可视化产品的设计研发。产品内容和形式等，多数仍然沿用传统的技术方法，比如：对于时空更精细的定量降雨预报产品，仍然采用区域降雨量等级色斑图，在城市位置展示站点信息等传统的信息显示方式等。信息展示内容比较单一、传统，信息量少、展示精度低，也没有与用户的天气信息应用场景相结合，用户难以从精细预报数据中，精准辨识和高效获取所需的关键天气和行业影响信息。

### 3 精细化行业气象服务发展需求

基于精细化气象预报发展精细化行业气象服务，其需求主要体现在以下几个方面。

#### 3.1 满足发展需求的精细化预报支撑

尽管精细化气象预报业务产品，对于很多行业气象服务来说，仍然是精细化气象服务的重要支撑。但对于铁路交通、电力能源等行业气象服务，气象预报业务产品的支撑能力明显不足。比如：铁路防洪需要逐个路段的逐1 h甚至更短时间更新的降雨量实况和临近预报，高铁列车运行需要列车位置的分钟量级大风监测和临近预报等。

要发展具有国际先进水平和竞争实力的精细化行业气象服务，必须首先解决精细化预报产品的支撑问题。针对能源、交通等重点行业气象服务领域，围绕行业气象服务需求和发展，在国家层面上建立发展战略，推动先进的数值预报模式、快速循环同化预报系统、多模式集成、多源数据融合、机器学习等的最先进的技术研究和成果的应用，提升突发灾害天气的短临精细化预报有效性和可用性，研发与用户应用场景相结合的精细化行业气象服务产品和系统，实现精细化行业气象服务能力的有效提高。

#### 3.2 更精准地对接行业需求

WMO将基于影响的预报和服务的发展演变过程分为若干阶段，包括：综合天气预报、基于固定气象阈值的预警、使用用户相关阈值的天气预警、与空间/时间相关的阈值和天气预警、基于影响的多灾害预报和预警服务等。

根据WMO的划分方法，我国行业气象服务目前主要还处于基于固定天气阈值的预警阶段，未来应发展基于用户阈值和与时空相关阈值的气象服务，也就是应用精细化天气预报，对接行业用户的天气精细影响特征和信息精细化应用场景，提供更有针对性的天气影响服务。

#### 3.3 研究精细化服务技术

精细化气象服务不同于精细化天气预报。与精细化天气预报相比，精细化气象服务应更注重用户生产过程中的天气影响的精细化服务。通过为特定用户提供特定的气象服务产品，实现精准应对天气影响和精准防灾的目的。

发展精细化行业气象服务，必须开展精细化服务技术研究。包括：研究精细化预报产品的准确性、可用性和服务应用策略，研究基于用户的天气影响精细化特征的精细化行业气象服务指标，设计基于气象信息应用场景的精细化服务产品等。

### 4 发展精细化行业气象服务的初步思考

目前，精细化行业气象服务既面临着技术基础薄弱、资源能力不足、发展定位不清等困难，也存在着服务需求迫切、市场前景可观等发展机遇。如何提高认识、正确定位、实现快速发展，有许多问题需要我们认真思考。

#### 4.1 行业气象服务发展的新阶段

精细化行业气象服务正面临着一个新的发展阶段。其标志主要有以下几个方面：

一是作为气象服务基础支撑的天气监测和预报精细化技术得到显著发展，精细化预报水平不断提高，精细化行业服务需求日益增加。

二是以互联网、物联网、大数据、云计算、人工智能等为标志的信息技术的飞速发展，为精细化行业服务技术和方法研究、服务产品和系统开发、开展实时响应和快速跟进服务提供了有力的技术支撑。

三是精细化行业气象服务对精细化预报产品提出了新要求。以天气预报业务产品为主要支撑的精细化行业服务模式和以天气预报业务需求为目标的数值模式等预报技术发展模式，不仅无法满足未来精细化行业气象服务发展的需求，在一定程度上也制约了数值模式等先进预报技术的研发与发展。应发展以行业服务前沿需求为导向的数值模式等预报技术研究体系，将最先进的预报技术成果应用于行业气象服务领域，建立和完善能满足不同层次服务需求的精细化预报产品支撑体系。

#### 4.2 从体系建设上谋划和推动发展

要构建有利于发展的气象服务新体系，需要发展新理念、新思路，解决新问题、新需求。在这方面，奥运会气象服务的成功经验，对我们今天发展精细化行业气象服务，仍然具有指导性作用。美国Accuweather和TWC发展集约化预报与服务的经验，也具有借鉴作用。

借鉴奥运气象服务体系建设经验，探讨有利于发展精细化行业气象服务的发展模式，建立技术研发支撑和服务保障体系。比如：由单纯依靠预报业务产品支撑，发展为预报业务、预报研发、社会力量等多渠道的预报产品支撑。

在现有条件下，要发展具有国际先进水平和竞争实力的行业气象服务，仅依靠市场效益推动下的企业自发行为，其发展能力和前景极为有限。应更有效地发挥国家层面的战略引领、技术引导和发展推动作用，并将发展目标落实到有效提高服务能力和竞争实力上。

### 4.3 创新发展思路，创新技术研究

理念和思路创新，对实现创新发展具有重要意义。创新思考精细化气象服务的理念和发展思路，充分认识精细化服务发展的新阶段，是实现精细化行业气象服务新发展的关键。

要重视精细化气象服务技术、方法、产品等研发创新，研究精细化预报产品在行业精细化服务中的应用技术，发展针对行业的非常规气象要素预报技术，研究探讨人工智能和大数据信息在行业气象服务中的应用技术，强化精细化行业气象服务技术研发和科技成果转化应用，提高对精细化行业气象服务的技术支撑。将研发创新作为与发展精细化预报具有同等重要性的工作，依靠创新研发支持和实现创新发展。

致谢：本文由科技部公益性行业（气象）科研专项（GYHY201306058）资助。

#### 深入阅读

- 高荣珍, 杨育强, 孙桂平, 2007. 基于MM5的青岛近海风速精细化预报. 海洋湖沼通报, (4): 30-36.
- 郭虎, 王建捷, 杨波, 等, 2008. 北京奥运演练精细化预报方法及其检验评估. 气象, 34(12): 18-25.
- 矫梅燕, 2007. 关于提高天气预报准确率几个问题. 气象, 33(11): 3-8.
- 罗慧, 李良序, 胡胜, 等, 2007. 公路交通事故与气象条件关系及其气象预警模型. 应用气象学报, 18(3): 350-357.
- 孙健, 陈钻, 李强, 2016. 美国商业气象服务及技术的进展与启示. 气象科技进展, 6(3): 48-54.
- 杨育强, 高荣珍, 马艳, 等, 2008. 海面风精细化集成预报系统在青岛奥帆赛期间的应用. 气象, 34(12): 241-245.

(作者单位: 吉林省气象服务中心)

(上接99页)

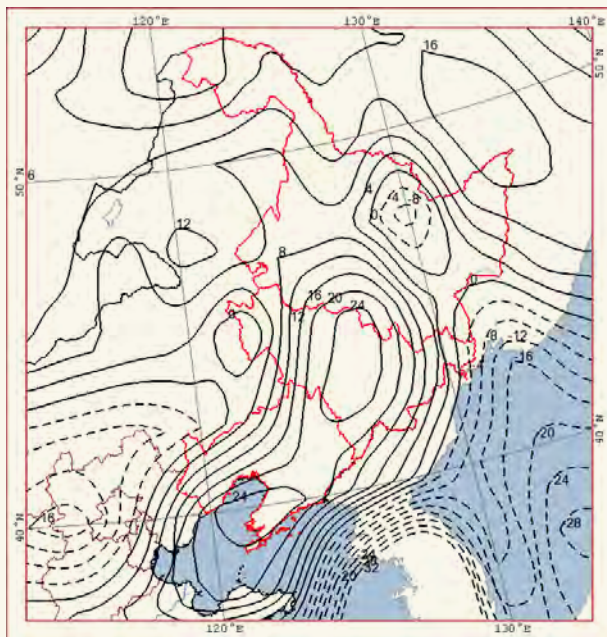


图6 2017年4月24日08时K指数分布

Fig. 6 The K index distribution at 08:00 on April 24, 2017

## 4 结论

采用统计结果和个例分析相结合的方法，对东北冷涡产生雷电的气象潜势条件进行分析，得出以下结论。

东北冷涡具有明显的对流不稳定能量，易带来雷电天气，由于冷涡对流有明显日变化，多发生在午后到凌晨，雷电也多发生在午后到凌晨。东北冷涡对流不稳定能量有明显阶段性，发展阶段以稳定性锋面降

水为主，此时一般没有雷电，成熟阶段受太阳辐射影响，以分散性局地对流降水为主，此时雷电活动开始频繁，能够一直持续到减弱阶段。

本次个例中雷电主要发生东北冷涡东部和东南部，尤其是对流云生成的区域。通过中尺度分析可以判断雷电潜势，本次个例中700 hPa有较强上升运动，850 hPa比湿 $>3 \text{ g/kg}$ ，相对湿度 $>70\%$ ，有中等强度降水，上述条件重合的区域可以判断出潜势能量最大的区域，对应雷电发生区。

#### 参考文献

- [1] 冯民学, 焦雪, 韦海容, 等. 江苏省雷电分布特征分析. 气象科学, 2009, 29(2): 2246-2251.
- [2] 陈万祯. 浅析等电位连接在建筑物防雷中的作用. 河北北方学院学报: 自然科学版, 2010, 26(4): 24-25.
- [3] 高菊霞, 武麦凤, 徐军昶. 陕西两次特强雷电天气过程物理量场对比分析. 陕西气象, 2012(4): 6-12.
- [4] 龚嘉镛, 郭凤霞, 田琨, 等. 基于WRF模式的雷电潜势预报. 气象科学, 2014, 34(2): 206-212.
- [5] 李君, 宋中玲. 雷电潜势预报研究(英文). Agricultural Science Technology, 2014, 15(12): 2197-2200.
- [6] 许爱华, 郭艳, 马中元. “717”庐山强雷电天气过程技术分析. 江西气象科技, 2003, (1): 21-24.
- [7] 郜凌云, 栾健, 王迪, 等. 辽宁省内陆与沿海城市雷暴活动特征对比分析. 气象与环境学报, 2017, 33(02): 95-100.
- [8] 陈力强, 张立祥, 周小珊. 东北冷涡不稳定能量分布特征及其与降水落区的关系. 高原气象, 2008(2): 339-348.
- [9] 孙力, 郑秀雅, 王琪. 东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流系统之间的关系. 应用气象学报, 1994(3): 297-303.
- [10] 陈长胜. 初夏两次东北冷涡强对流天气对比分析. 吉林省科学技术协会. 创新驱动, 加快战略性新兴产业发展: 吉林省第七届科学技术学术年会论文集(下). 吉林省科学技术协会: 吉林省科学技术协会学术部, 2012: 2.