

基于MICAPS4平台框架的格点预报智能编辑系统设计与应用

胡皓¹ 王建鹏¹ 薛春芳² 高嵩³ 贺雅楠³ 潘留杰¹ 戴昌明¹

(1 陕西省气象台, 西安 710014; 2 陕西省气象局, 西安 710014; 3 国家气象中心, 北京 100081)

摘要: 阐述了格点预报智能编辑系统的架构设计思路、系统的主要功能、智能订正规则的技术方案以及应用效果。系统采用C/S结构, 基于MICAPS4平台框架开发, 系统由数据接口、天气分析模块、格点要素预报制作模块、灾害及影响天气预报制作模块、综合预报产品制作发布模块、监控模块等六个模块组成, 具有操作性强、开放性强、扩展性强等特点。2017年7月系统在省级及11个地市气象台站全面部署并正式投入业务应用, 实现同时显示即时更新的省市预报的效果, 达到省市共织“一张网”目的, 有力地支撑了陕西的格点预报业务。

关键词: MICAPS4, 格点预报系统, 智能编辑, 交互平台

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.05.003

Design and Implementation of a Smart Gridded-Forecast Editing System Based on MICAPS4 Platform Framework

Hu Hao¹, Wang Jianpeng¹, Xue Chunfang², Gao Song³, He Yanan³, Pan Liujie¹, Dai Changming¹

(1 Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710014 2 Shaanxi Meteorological Service, Xi'an 710014

3 National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: This study elaborates the framework, main functions, technical scheme of intelligent correction rules and application effect of the smart grid meteorological forecast system. The system adopts C/S structure and is developed based on the framework of MICAPS4 platform. It consists of six modules: data interface, weather analysis module, grid element forecast module, disaster weather forecast module, integrated forecast product release module and monitoring module. It is characterized by strong operability, openness, and expansibility. In July 2017, the system was fully deployed and officially put into operation in Shaanxi Meteorological Observation and 11 local meteorological stations. In this way, the effect of simultaneous display and real-time update of the weather forecast is realized, and the goal of “one net” is achieved, which effectively supports the grid forecast operation in Shaanxi.

Keywords: MICAPS4, gridded-forecast system, intelligent editing, interactive platform

0 引言

为了提高天气预报准确率和预报产品快速制作与推送, 气象工作者开展了大量的预报系统建设工作^[1-4]。中国气象局自主开发的业务软件系统——气象信息综合分析处理系统 (MICAPS) 是我国气象业务的基础软件, 其强大的人机交互气象信息处理和天气预报制作功能, 已成为全国气象预报制作的业务平台, 在天气预报及气象服务中发挥了重要作用^[5]。从1994年中国气象局组织研发的MICAPS第一版到2007年第三

版, 为用户提供了灵活的接口和二次开发基础。如国家气象中心开发的基于MICAPS3.2平台的格点编辑平台^[6]、河北省灾害天气个例库与预报训练系统^[7]、安徽省人影业务平台^[8]、中国气象局武汉暴雨研究所开发的中小流域降水与水文精细化预报平台和暴雨洪涝预报预警模块^[9-10]等。

近年来, 数值预报技术的进步, 探测手段的日臻完善和丰富, 以及高性能计算机快速发展和应用, 现代天气预报技术取得了显著的进步^[11]。预报方式从站点预报逐步转变为格点预报, 时间分辨率精确到逐3 h或1 h, 陕西省现有天气预报业务系统已不能满足精细化预报服务制作发布需求, 在此基础上发展建设智能化、集约化、精细化气象预报业务系统迫在眉睫。一些省市气象部门开发了基于WebGIS技术的

收稿日期: 2019年3月11日; 修回日期: 2019年12月18日

第一作者: 胡皓(1984—), Email: 123723129@qq.com

资助信息: 中国气象局气象预报业务关键技术发展专项子项目 (YBGJXM(2019) 03-06)

精细化格点预报平台^[12-15]。2016年中国气象局推出了第四版MICAPS业务平台，该系统满足了海量气象数据的快速应用需求，提供了数据快速解析与数据高速下载支持；满足多样数据的编辑绘制需求，提供了强大的人机交互功能。同时，为适应各专业方向对数据的快速应用，研发了灵活的客户端配置方式并搭建了开放的二次开发框架^[16]。陕西省气象台在此基础上针对格点预报的编辑制作开发了智能编辑系统，集成了MICAPS4的GIS技术、数据处理及显示、点线面绘制等功能，通过系统省市两级气象台能快速制作发布陕西范围空间分辨率3 km、时间分辨率0~72 h内逐小时的精细化气象要素预报，达到省市共织“一张网”目的，为陕西格点预报业务化运行提供有力的平台支撑，在现代气象预报业务中发挥了重要作用。

1 MICAPS4平台框架简介

MICAPS4平台采用Microsoft Visual C#语言开发，开发工具：Visual Studio 2015，运行时库：.Net Framework4.0。平台框架分为两大部分：1) 数据模型和数据处理、数据显示（图1）。MICAPS4系统定义了标准的内存数据模型，分为矢量数据、格点数据、栅格数据，所有输入数据最终转换为这三类数据模型，这部分包括数据模型的定义、数据分析算法、数据显示。2) 模块化应用程序框架。MICAPS4系统提供了可扩展的插件式应用程序框架（MEF），能方便地挂接新增各种应用程序。插件在系统中称之为模块，这部分包括了模块管理和加载、系统接口和服务、界面交互。

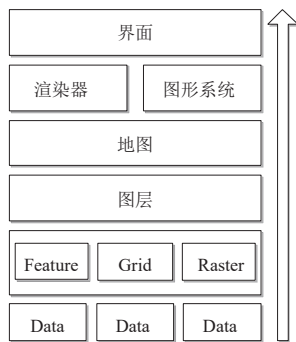


图1 数据模型和数据处理、数据显示框架
Fig. 1 Data model, processing and display frame

2 系统设计与实现

2.1 格点预报业务流程分析

格点预报业务改变了传统的预报制作方式，由之前98个县站和1298个乡镇站的站点预报、模糊预报向数字化、精细化、智能化格点预报逐步转变。同时，还将原来的间隔12 h预报优化为48 h内逐小时预报、

48~240 h逐3 h。这使业务流程更加扁平高效，业务布局更加集约合理，业务技能更加客观智能，实现省市两级不同岗位、不同产品间的预报协同实时制作。图2为陕西格点预报业务流程，系统导入本地的客观预报产品，预报员利用系统提供的智能编辑工具，对客观产品进行主观编辑订正。然后产品分发到中国气象局“网格预报云”和本地的格点预报产品数据库中，服务部门通过格点预报自动分析生成器发布各类气象服务产品。

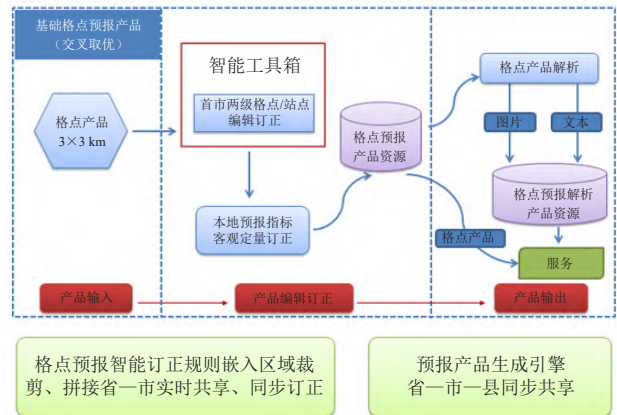


图2 陕西格点预报业务流程
Fig. 2 Gridded-forecast operational flowchart in Shaanxi Province

2.2 格点预报数据库设计

格点预报数据库旨在营造一套具有存取高效、管理便捷、交互性强、可快速扩展特点的数据存储、备份、传输、分发、检索和查询环境。根据现有各种资料自身特点，在保证数据质量和稳定性的前提下，准确判断，合理分类，通过结构化的管理方式，不断优化和提升数据访问效率和可操作性。

从数据源采集而来的各种原始数据（包括模式产品数据、观测资料数据以及其他资料数据）通过入库操作进入原始数据库归档存储，后经降尺度插值方法处理生成降尺度格点基数据入库，再由客观订正和标准化处理进入基础格点预报产品数据库。支撑精细化格点预报业务系统的数据I/O的格点预报编辑库，经过省市两级预报员订正最终形成省市格点预报产品库。需求驱动的格点预报生成器后生成格点预报解析产品库经由网络对外发布（图3）。

2.3 系统架构设计

格点预报智能编辑系统采用C/S结构，基于MICAPS4平台框架开发。系统由数据接口、天气分析模块、格点要素预报制作模块、灾害及影响天气预报制作模块、综合预报产品制作发布模块、监控模块等

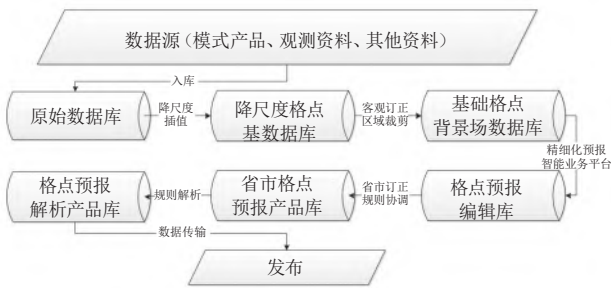


图3 陕西格点预报数据库架构

Fig. 3 Gridded-forecast database frame of Shaanxi Province

六个模块组成。同时系统嵌入智能订正技术规则，包括等值线反演技术、格点场变分技术、主客观融合技术、要素一致性规则、格点/站点一致性规则、本地预报指标订正等。实现一个开源开放和汇集众智的智能化精细化气象格点预报众创型业务系统（图4）。

使用权限验证的用户登录系统客户端，通过信息传递与后端数据库将格点预报以数据交换的方式提交给系统前端，经过系统自动验证后格点预报被传递给省市格点/站点要素预报制作模块、省市灾害及影响天气制作模块，对数据进行必要的加工并设置一定的发送策略，最后进行格点预报产品发送，同时数据传递给综合产品预报制作模块，人工进行加工后进行产品发送；数据传递的每一个环节都通过监控模块记录并展现在相应的界面，系统所有数据和日志由数据管理统一管理和调度，系统内部进行检索和统计并通过界面展现。



图4 陕西格点预报智能编辑系统理念设计

Fig. 4 Design blueprint of Shaanxi smart gridded-forecast editing system

2.4 系统智能处理技术规则实现

2.4.1 等值线反演技术

通过计算等值线（落区线）的拓扑关系，构建等值线闭合区域归属关系树。计算每个格点所在等值线闭合区域A。在等值线闭合区域归属关系树中，查

找等值线闭合区域A的所有内部第一层等值线闭合区域。计算格点到等值线闭合区域A，以及A所有内部第一层等值线闭合区域的距离。将等值线闭合区域的值，与格点到等值线闭合区域的距离利用反距离加权算法计算出格点值。

2.4.2 格点场变分技术

开发实现带约束条件的变分方法。降水量逐小时、3 h、6 h、12 h降水值满足累积降水等于24 h降水；温度采用连续变量变分法。例如：如果 $R_{24}=0$ ，所有的 $R_{06}=0$ ；如果 $R_{24} \neq 0$ 、而 $R_{06}=0$ ，根据距离分配原则，将 R_{24} 分配给雨区距离最近的几个时次；如果 $R_{24} \neq 0$ 、而 R_{06} 不全等于0，在24 h时效内，采用变分法求解满足约束条件的最优解，约束条件为：1) 4个时次的 R_{06} 累加等于 R_{24} ；2) 每个时次的 R_{06} 尽量和预报员考虑的降水等级一致；3) 每个时次相对调整幅度尽量小。

2.4.3 主客观融合技术

开发适用于陕西的主客观预报融合技术。根据预报产品检验结果，制定本省主客观预报融合规则，形成对下格点预报指导产品。用主客观预报融合的技术取代单纯的数学插值方案，既弥补客观产品在大量级降水上的不足，又发挥了客观产品在小量级降水上的优势（图5）。

2.4.4 格点/站点一致性规则

开发适用于陕西的格点/站点一致性技术规则，实现“站点订正优先、格点插值”以及“格点订正，站点邻近距离最短优先”等功能切换，既能完成站点到格点的反馈也能实现格点到站点的反馈。

2.4.5 格点要素时空一致性规则

开展多要素关联约束机制研究，开发要素时空一致性处理技术，实现订正一种要素后的多要素协同修正。开发融合精细化模式输出产品时空演变特征分析的时空约束处理技术，实现对过程总量、单时效预报、落区中心强度和关键点订正后，基于预报输出产品的时空分布关系，将订正值合理进行时间和空间插值。

2.4.6 多要素融合分析技术规则

研究基于多种基本要素的天气现象转换技术，开发实现降水相态、雾和霾、沙尘等天气现象预报的自动生成转换。

2.4.7 本地预报指标客观订正技术规则

分析提取有共识的各地预报经验或指标，凝练形成客观量化订正规则，开发实现对关键区域、关键天气格点预报要素的客观订正。

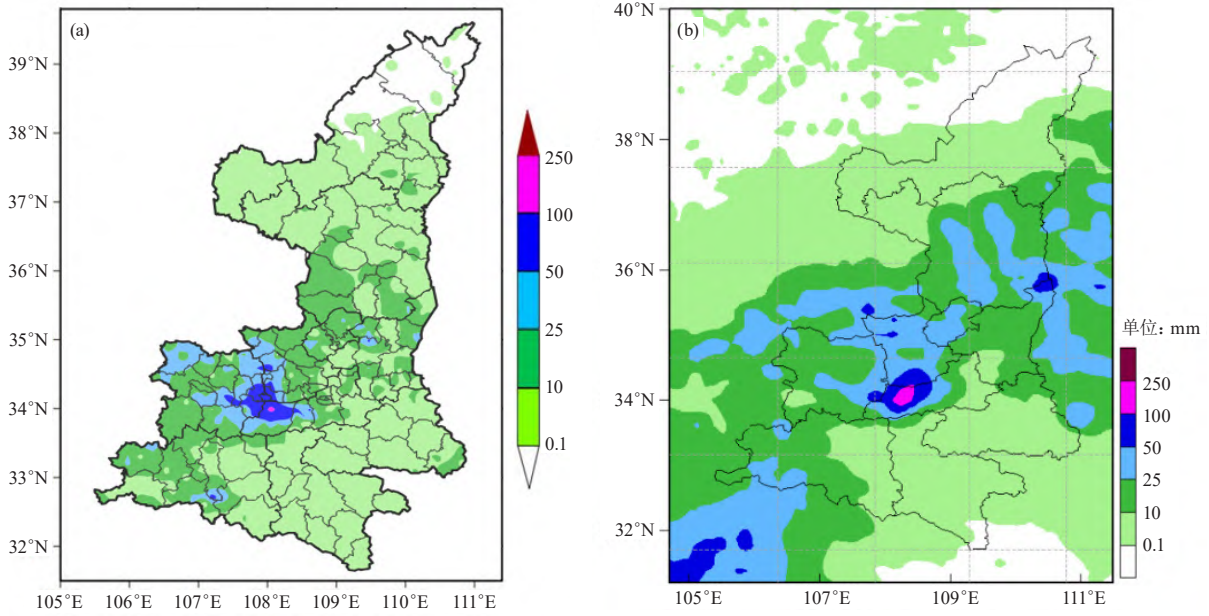


图5 2016年9月19日08时24h降水量与主客观融合预报对比 (单位: mm)

Fig. 5 Comparison between real precipitation and subjective and objective fusion forecasting from 08: 00 BT 24 to 08: 00 BT 19 September 2016 (unit: mm)

3 系统界面与功能

3.1 系统界面

格点预报智能编辑系统客户端界面分为菜单栏、

格点要素栏、时间轴、显示区、工具栏、智能编辑工具箱、图层管理、地图管理、状态栏。客户端的整体界面如图6所示。



图6 格点预报智能编辑系统界面

Fig. 6 Interface of gridded-forecast intelligent editing system

菜单栏主要是功能模块之间的切换, 分为天气分析模块、格点要素预报制作模块、灾害及影响天气预报制作模块、综合预报产品制作发布模块和监控模块。其中菜单栏的格点要素、短时临近属于格点预报制作模块; 影响预报、环境气象、预警信号制作属于灾害及影响天气模块。用户通过验证的账户登录系

统, 根据岗位权限选择功能模块制作发布产品。

格点要素栏和时间轴提供背景数据加载、要素选择、起报时间和时间间隔的选择。用户选择不同的格点要素, 数据在显示区中进行显示, 显示的方式包括格点值、站点值、等值线、位图、栏栅点、网格填充等。同时地图管理还提供了地理信息、站点信息和区

域锁定等选项。

智能编辑工具箱是系统的核心部分，分为通用工具和智能订正辅助工具。用户可选择不同的编辑工具对预报数据进行点、线、面等编辑修改，格点/站点之间的数据交互满足“站点订正优先、格点插值”以及“格点订正，站点邻近距离最短优先”条件，这样可以保证格点/站点数据一致性。工具栏提供了数据保存、发送、出图等按钮工具，实现数据一键式的发布功能。

状态栏对系统的属性及状态信息进行显示，包括系统版本号、经纬度信息、站点信息、数据下载情况、要素协同进度、数据上传下载速度等。

3.2 系统主要功能

3.2.1 数据调阅

系统采用MICAPS4平台数据检索接口程序，在使用过程中用户首先选择背景数据进行数据加载。目前后端数据库提供了两套背景数据产品，分别为中央台格点预报指导产品和本地格点预报客观产品(DCOEF)，数据格式均为MICAPS第四类格点数据。同时在图层管理中，还提供了各类数值模式的结果查询显示，用户可根据数值预报检验评估结果进行调阅参考。

3.2.2 格点预报数据编辑修改功能

对点的编辑修改：可对画刷实施一定的宽度、数值或加减值，对扫过路径点数值进行改变等操作。对线的编辑修改：进行区域等值线编辑，可对等值线进行删除、增加、拉伸等操作。对面的编辑修改：建立区域的概念，对区域内或者外的值进行修改，实现对区域的复制移动，对区域进行固定值的修改，对区域的数值进行加减，也可对区域数值进行线性渐变或者非线性渐变修改等操作。

格点趋势修改：在图形编辑区绘制修改的区域，弹出“选择曲线类型”选择框，其中格点最大值是所画修改区域中格点值最大的点的变化趋势为代表，格点平均是取所有格点的平均变化趋势，自定义是针对单点（需另外单击要修改的点）变化趋势，“改量”是改变具体的降水量值。在格点曲线调整窗口中可修改单时次，也可按下鼠标左键，拉过要修改的时次进行多个时次的整体调整，如果点击“赋值按钮”，在调整选择点值窗口中进行定值或增减的选择，将对选择的时次进行调整（图7）。

3.2.3 站点预报数据编辑制作功能

基于GIS地图的站点预报编辑修改：对单站要素进行数值修改，可以进行加减值修改等操作；对多站

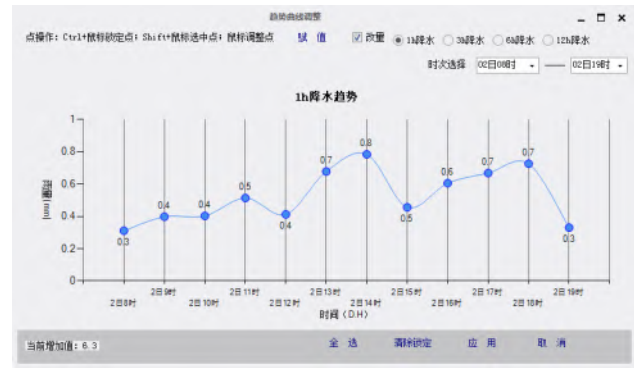


图7 格点预报趋势修改界面

Fig. 7 Modification interface of gridded-forecast trend

的编辑修改：选定区域，可对区域内多站要素的值进行赋值修改以及数值加减修改，也可对区域内多站的数值进行线性渐变或者非线性渐变修改。

基于表格的站点预报编辑修改：通过表格方式显示各个站点的多时次，多要素预报数据。可以以电码或文字快速改变降水量、温度、风向风速、天气现象等，也可以通过鼠标滚轮来快速改变温度、雨量等数值类型的值。考虑到同时次预报值得相似性，通过站点关联锁定可以批量各个站点的预报值。考虑到站点预报值得连续多时的相似性，通过时间关联锁定可以批量某个站点多时次的预报值。

3.2.4 格点预报要素协同功能

格点预报产品在时间和空间上的矛盾，容易引起如降水产品中预报有明显降水量，而云量产品为晴天等现象出现。系统接入了基于要素关联及时空约束的预报订正融合协同技术，实现了要素协同处理功能。如对于降水采用总量控制，保证1、3、6、12和24 h雨量预报间实现协调同步订正。同时站点12 h雨量根据邻近距离最短优先原则进行订正，以及协同订正相应云量、相对湿度、能见度、天气现象等（图8）。

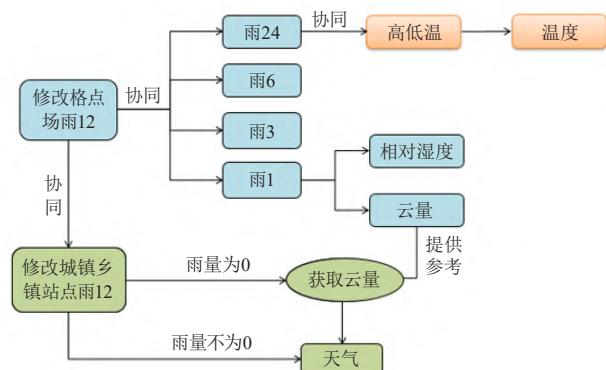


图8 格点预报要素协同订正流程图

Fig. 8 Correction flowchart of synergy factor of gridded-forecast system

3.2.5 省市预报协同制作功能

系统提供了良好的省市协同订正格点预报产品功能，可部署在省市两级气象台站，实现同时显示即时更新的省市预报的效果，以达到共织“一张网”的目的。采用的技术方案是在服务端搭建消息服务总线，负责与各个客户端系统进行即时通信，转发各个客户端的订正结果；在各个客户端上通过多窗口形式显示不同地区的同一时段、同一要素的格点预报。

4 业务应用

陕西作为2017年全国首批格点预报业务试点省份之一，7月开始实施格点预报业务单轨化运行，格点预报智能编辑系统在省级及11个地市气象台站全面推广并正式投入业务应用，常态化制作发布格点、站点预报产品，整体运行正常稳定，对陕西的格点预报业务起到技术平台支撑作用。

系统应用过程中体现了三个主要特点：一是适用性和操作性强。系统设计紧密围绕格点预报业务发展需求，集成了MICAPS4平台强大的人机交互功能，非常适合预报员的使用习惯。同时，系统针对多要素多时次高精度的预报数据，进行时空关联协同处理，使预报员从大量重复编辑订正工作中解放出来，专注于关键性、转折性、灾害性天气预报的编辑制作。二是开放性。系统接入的智能订正技术规则和背景数据可进行配置化修改，如预报员根据本地地形、气候特点研发的本地客观预报产品，可利用MICAPS4的数据接口修改数据路径配置后，接入到背景数据中。三是扩展性强。系统基于中国气象局自主研发的MICAPS4平台框架开发，有专门的团队在不断升级MICAPS4框架，以满足气象业务发展中的各种新需求。MICAPS4提供的可扩展的插件式应用程序框架，能方便地挂接新增应用程序，为格点预报智能编辑系统的改进升级提供技术支持。

5 结论与讨论

格点预报智能编辑系统基于MICAPS4框架开发，系统整体符合预报员使用习惯，具有操作性强、开放性、扩展性强等特点，同时系统中嵌入的智能处理技术规则，能很快捷地编辑制作预报产品，减少重复劳动。围绕省市共织“一张网”目的，系统的投入运行推动了陕西预报业务集约化流程再造。

目前国际上气象预报业务系统研发重点方向集中在应用智能化、数据可视化和大数据应用等方面^[17]，气象大数据在数据可视化和应用方面向业务系统的开发提出了更高的挑战，在可视化方面，由于机器识别

目前仍难以与人脑相比，因此，快速准确地提供完整数据的可视化及分析制作预报支持仍是预报业务系统最重要的功能之一，气象数据的数据量增长速度远远超过计算机性能的发展速度，如何更好、更快地提供数据显示，是系统发展面临的重要挑战。

未来提升格点预报智能编辑系统在预报分析制作上的智能化，依托MICAPS4平台框架，结合丰富的气象分析算法，实现对高时空分辨率的预报数据进行快速读取与订正，同时，对预报员的操作流程进行深入分析，协助预报员在较短时间内对海量气象数据进行快速分析、准确决策，提升预报制作效率。完善气象要素一致性等智能规则的开发，为大量气象数据能够在天气预报业务中快速应用提供技术支持。实现数据检索的智能提示、高度关联的属性设置、翻页与动画设计的便捷性设计，更新交互操作的智能关联方式，提升预报员的用户体验等。格点预报智能编辑系统的改进与完善，将为陕西省的精细化天气预报发展提供一个较好的业务平台。

致谢：软件开发过程中得到了国家气象中心预报系统实验室的大力支持，在此表示感谢。

参考文献

- [1] 李月安,曹莉,沃伟峰,等.强天气监测和潜势预报系统.应用气象学报,2006,17(增刊):141-146.
- [2] 胡胜,罗兵,黄晓梅.临近预报系统(SWIFT)中风暴产品的设计及应用.气象,2010,36(1):54-58.
- [3] 薛峰,刘磊,罗兵,等.气象灾害灾情共享系统的设计与实现.气象科技,2013,46(6):1043-1048.
- [4] 胡皓,薛春芳,王建鹏,等.陕西现代气象一体化格点预报平台简介.陕西气象,2017(2):22-24.
- [5] 李月安,曹莉,高嵩,等.MICAPS预报业务平台现状与发展.气象,2010,36(7):50-55.
- [6] 高嵩,代刊,薛峰.基于MICAPS3.2格点编辑平台设计与开发.气象,2010,36(7):50-55.
- [7] 孙卓,李江波,曾健刚.基于MICAPS3.2的灾害性天气个例库与预报训练系统的设计与应用.干旱气象,2017,35(3):522-527.
- [8] 吴林林,刘黎平,徐海军,等.基于MICAPS3核心的人影业务平台设计与开发.气象,2013,39(3):383-388.
- [9] 王俊超,彭涛,殷志远,等.基于MICAPS3.1的暴雨洪涝预报预警模块的研发.计算机技术与应用,2012,22(4):144-148.
- [10] 王俊超,彭涛,王丽娟.基于MICAPS3.1的中小流域降水与水文精细化预报平台设计与开发.干旱气象,2015,33(4):702-720.
- [11] 李泽椿,毕宝贵,金荣花,等.近10年中国现代天气预报的发展与应用.气象学报,2014,72(6):1069-1078.
- [12] 宁方志,季民,陈许霞.基于GIS的精细化格点预报平台设计与实现—以青岛市为例.测绘与空间地理信息,2017,40(5):33-35.
- [13] 张宏芳,李建科,陈小婷,等.基于百度地图的精细化格点预报显示.气象科技,2017,45(2):261-268.
- [14] 王海宾,范旭亮.基于WebGIS技术的精细化格点预报系统设计与实现.大气科学研究与应用,2014,(2):112-120.
- [15] 王海宾,范旭亮.上海精细化格点预报业务进展与思考.气象科技进展,2016,6(4):18-23.
- [16] 高嵩,毕宝贵,李月安,等.MICAPS4预报业务系统建设进展与未来发展.应用气象学报,2017,28(5):513-530.
- [17] 王海宾,范旭亮,漆梁波,等.澳大利亚气象局图形预报编辑器(GFE)介绍和分析.大气科学研究与应用,2012,43:109-116.