

胡启元,姚静,王楠. 陕西省短时临近智能预报服务系统简介[J]. 陕西气象,2019(5):44-50.

文章编号:1006-4354(2019)05-44-07

陕西省短时临近智能预报服务系统简介

胡启元,姚静,王楠

(陕西省气象台,西安 710014)

摘要:陕西短时临近智能预报服务系统(简称 NIFS 短临系统)是一套集实况监测、智能报警、预警发布、人机交互和上下联动为一体的多功能预警业务系统。主要面向省、市、县三级气象部门的一线业务人员,通过与陕西省气象智能网格预报一体化平台、SWAN 系统、国家突发事件预警信息发布系统等集约衔接,实现对省、市、县突发气象灾害临近预警服务的及时有效支撑。NIFS 短临系统首创性研发了陕西 0~2 h 分钟降水预报、对流天气分类识别、暴雨客观预警等产品,通过报警信息自动推送、预报指导客观定量、上下在线互动留痕等方式,帮助各级气象台加快改进现有短时临近预报业务流程体系,并为决策部门改进和完善陕西现行短临预报业务制度提供一定帮助。本文介绍 NIFS 短临系统主要功能及部分关键技术,包括天气实况监测、智能报警、强对流天气预报制作、人机交互订正、预报检验评估、智能管理等系统功能与暴雨预警信号智能报警关键技术,为其他省份气象部门研究开发本地短临业务系统提供参考。

关键词:短临预报;功能介绍;暴雨预警;融合技术

中图分类号:TP311.52;P409

文献标识码:A

陕西位于青藏高原东北侧,地理条件复杂,纵贯 3 个气候带(北亚热带气候、暖温带气候和中温带气候),气象灾害尤其是短时强降水、冰雹、雷暴大风等强对流天气造成的经济损失约占全省 GDP 的 1%~3%,是突发性、灾害性天气频发的省份之一,而陕西现有短时临近业务系统已经无法满足突发强对流天气精细化预报服务制作发布需求。根据中国气象局《现代气象预报业务发展规划(2016—2020 年)》^[1]和陕西省气象局“十三五”规划建设目标,陕西急需发展建设一套智能化、集约化、精细化的短时临近智能预报服务系统。目前国外许多气象部门都已建立了强对流天气短时临近预报系统^[2],如美国航空风暴预报系统(CoSPA)、美国预警决策信息综合应用支撑系统(WDSS-II)、奥地利融合预报综合分析系统(INCA)、澳大利亚短期集合预报系统(STEPS)等,而国内气象部门也开展研发了本地定量降水

预报和强对流概率预报^[3-4],如北京市气象局快速更新同化循环预报系统(BJ-RUC)和多尺度快速更新分析预报系统(RMAPS)、深圳市气象局临近预报决策支持平台(PONDS)、江苏省气象局中尺度 WRF 模式(Jiangsu-WRF)、上海市气象局快速循环同化系统(RUC)等。与上述各短临系统相比较,陕西省短时临近预报业务系统还存在一定差距,主要表现在缺乏支撑全省短时临近预报业务的数据环境和业务系统,没有充分应用雷达、卫星、闪电等新型资料,缺乏雷达产品质量控制、雷达定量降水估测(QPE)、定量降水预报(QPF)等关键技术等,只有部分学者根据实际业务需求而开展的业务化技术研究,如李成伟等人解决雷达超阈值报警问题研究开发的天气雷达电话语音报警系统^[5],周义兵等人研究开发的基于雷达基数据的回波自动报警^[6],以及田静等人开发的气象灾害应急指挥系统用以解决信息快速

收稿日期:2019-04-10

作者简介:胡启元(1989—),男,汉族,陕西西安人,学士,工程师,从事天气预报、短临预警技术研发工作。

沟通问题^[7]等。为了解决需求和不足问题,陕西省短临预报技术攻关团队建设完成了陕西短时临近智能预报服务系统(简称“NIFS 短临系统”),本文介绍 NIFS 短临系统的功能组成,并重点介绍针对省、市、县三级预警工作研发的暴雨客观预警技术,为探索适用于陕西的短临预报技术提供一定帮助。

1 NIFS 短临系统总体设计

NIFS 短临系统以陕西分钟级智能网格降水数据环境为基础,研发客观预报产品和检验产品,为全省短时临近预报业务提供技术支撑,系统主体由短临预报数据环境、预报技术及产品研发系统和前端展示与业务应用系统 3 部分组成,系统总体框架如图 1 所示。

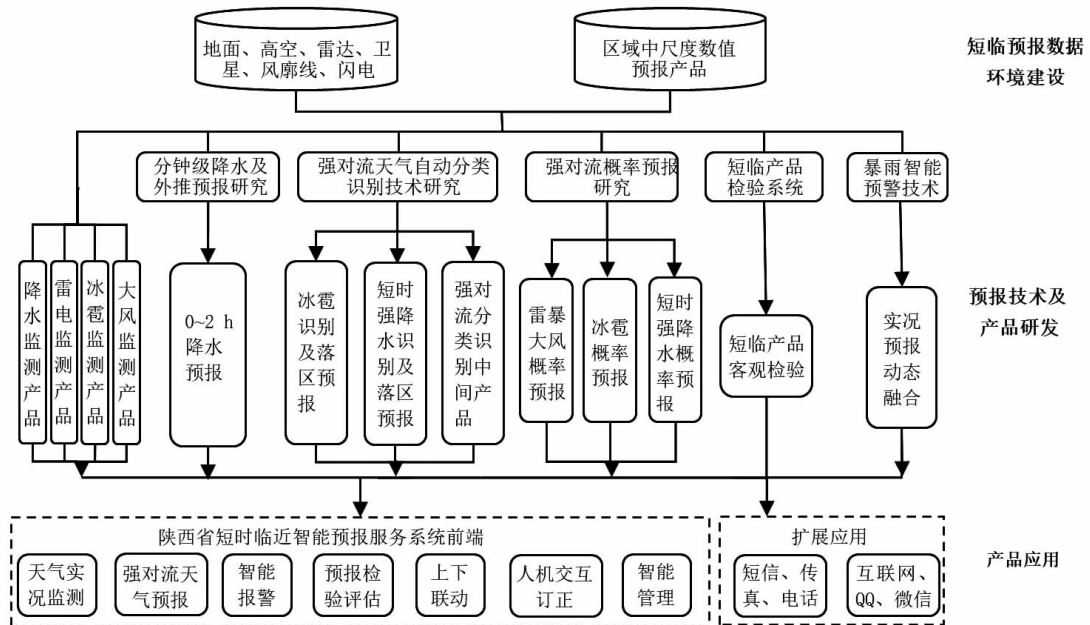


图 1 陕西短时临近智能预报服务系统总体结构

短临预报数据环境即短时临近预报基础数据环境,是以 CIMISS 为基础搭建临近数据存储环境,能够采集及存储常用观测资料、雷达卫星资料、欧洲中心(EC)等高分辨率数值模式产品、陕西智能网格预报以及其他信息等数据,制订出各类数据产品的访问标准,开发省、市、县三级共用的访问接口,系统内部通过共用访问接口在各模块之间交换数据,同时数据接口向各类业务系统开放,各类业务系统通过数据接口访问临近预报数据,实现了安全、便捷的数据共享机制。

预报技术及产品研发系统由分钟级降水及外推预报研究、强对流天气自动分类识别技术研究、强对流概率预报研究、短临产品检验系统以及暴雨智能预警技术研究组成。(1)分钟级降水预报研究 通过对降水进行分类统计,研究陕西省动态 Z-I 关系,实现雷达 QPE 数据实时生成,并结合光流法外推技术,实现分钟降水外推预报。

(2)强对流天气自动分类识别技术研究 通过统计冰雹、短时强降水等历史个例数据,分类整理并对天气过程建模,利用机器学习方法,研究基于图像识别的短时强降水、冰雹自动分类识别技术,并给出自动识别客观产品。(3)强对流概率预报研究 在分析强对流天气历史个例和中尺度数值模式产品的基础上,遴选配料指标并进行权重优配,研究各类强对流天气分类概率预报。(4)短临产品检验系统 采用 FSS 点对面检验技术,对 NIFS 短临系统主客观产品进行定量统计检验。(5)暴雨智能预警技术研究 采用实况、预报动态融合方法与 GIS 动态更新空间分析技术,实现暴雨预警信号省、市、县三级客观预报产品滚动更新生成,本文将重点介绍该技术研究方法。

前端展示与业务应用系统即 NIFS 短临系统前台显示网站,能够将由预报技术及研发系统生成的各类客观预报产品以图像、声音、文本等方式

提供给各级预报人员使用。该系统包括综合监测、智能报警、预报分析、预报制作、产品共享、中试平台、值班日志、智能管理等 8 个模块,具有报警、会商、产品制作、多种资料叠加滚动显示、预报产品实时检验等功能,为全省短临预报业务提供技术支持。

2 NIFS 短临系统功能介绍

2.1 综合监测模块

综合监测功能主要实现了对陕西境内以及警戒区(省界外延 50 km 内)和监视区(警戒区界外延 50 km 内)发生的各类灾害性天气实时监测显示、阈值识别、统计分析等。灾害性天气包括短时强降水、暴雨、冰雹、大风、雷暴等。以综合图的方式将最近已经发生的所有灾害性天气在一个页面中显示,实现各站点气象要素包括空间分布、时间曲线、极值统计、阈值统计等在内的多类统计数据综合显示。

该模块提供分区域显示功能,对温度、降水以及重要天气等监测要素通过 WebGis 技术实现分市、县显示,同时实现省、市、县不同范围的监测、统计功能。如省气象台使用全省数据统计,市气象台使用本市数据统计、县气象台统计分析本县数据。另一方面系统根据省、市、县各地灾害种类信息,提供各区域内声音、动态小图标、弹出小窗口显示等功能,对区域内灾害天气的加强、减弱给出声音、文字等提示。

2.2 智能报警模块

智能报警模块分为实况资料智能报警、预报产品智能报警和预警信号显示。实况资料智能报警根据自动站观测(雨量、风速)、闪电定位、雷达、卫星资料以及短时强降水、冰雹自动识别数据等建立监测阈值库,当实况出现超过阈值数据时或者某类识别产品时,系统实时自动报警(声音、图像等多种方式),报警信息会通过短信或者电话提醒值班人员。另一方面智能报警模块利用分钟级降水预报产品与短时强降水、冰雹客观识别产品以及外推预报产品等数据,对可达到强降水阈值或将出现冰雹等天气的地区进行智能报警,提示业务人员发布各种级别的预警信号。

2.3 预报分析模块

预报分析模块分为临近分析与短时分析两个功能,分别针对短时临近预报和对流性天气预报设计分析模块,为短临预报员进行中尺度天气分析提供有力的技术支撑。预报分析模块具备人机交互功能,使预报员能够根据自己的工作习惯快速调用不同的观测及模式产品,分析预报对流性天气落区。

临近分析功能基于地面观测资料、多普勒雷达产品、双偏振雷达产品、风廓线雷达产品、风云卫星资料等四类数据产品,帮助预报员进行多源资料的实况分析。多普勒雷达产品包括短临攻关团队研发的三维拼图、组合反射率因子、液态含水量、回波顶高、外推风场产品以及冰雹、短时强降水分类识别数据。双偏振雷达产品包括部署在铜川和咸阳的两部双偏振雷达的强天气概率、冰雹潜势预测、粒子识别等资料。风廓线雷达产品为西安泾河站垂直方向上逐 6 分钟不同高度的风力风向数据。短时分析功能为业务人员提供 WARMS、RMAPS、EC 细网格、GRAPS-3 km、GRAPS-MESO 等 5 种数值模式产品,智能选取各种模式中最大的强对流参数进行显示,帮助预报员对当日的强对流潜势做出分析和预判。

2.4 预报制作模块

预报制作模块包括预警、预警信号、短时短临预报和中尺度系统分析制作功能。该模块提供各种交互工具。预报员能够以分钟级降水预报等客观预报产品为基础,绘制灾害性天气落区,自动生成文字产品,快捷上传发布预报;同时能够对相关市县进行提示,相关市县接到提示后点击确认,然后根据需要制作本地预报。当省、市、县任何一级已经对相关预报做过处理,则会在另外两级的系统上显示“已处理”图标,实现省、市、县三级预报产品互动交流,并且预报员在该模块中的任何相关操作都能够自动被系统记录留痕。

2.5 产品共享模块

产品共享模块包含了预警共享、预警响应、预警统计、历史预警查询等功能。预警共享功能能够帮助省、市、县三级业务人员方便切换查看各单位已发布的预警信号。预警响应功能主要用于

下级预报单位对上级指导与发布的预警信号信息第一时间进行响应确认,具体响应机制为当上级指导发布之后,系统立即发送短信给预警落区内的下级用户,如果下级用户在两分钟之后未点击确认收到,系统将进一步进行电话语音提醒,实现了上下级用户联动响应,最大限度发挥数字通信优势、减少人力劳动,提高短临监测预警时效性。预警统计和历史预警查询功能是用来统计通过NIFS短临系统发布的各类预警信号的数量和期数,方便预报员查阅具体预警内容,并针对各类汇报材料所需历史预警信息进行快速查找整理。

2.6 中试平台模块

中试平台模块利用8种不同的算法来研究陕西不同地区的雷达回波强度与降水强度($Z-I$)关系,包括固定分级、固定不分级、动态分级、动态不分级、卡尔曼固定分级、卡尔曼固定不分级、降水多项式、机器学习法,分别进行外推得到分钟降水预报,外推时效为2 h,时间分辨率为6 min,空间分辨率是 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$,其中降水多项式算法经过多次过程检验效果最好。该模块研究得出的分钟级降水预报填补了陕西省在短时临近定量降水预报研究领域的空白,为进一步研究0~2 h短临预报技术工作初步奠定了基础。目前分钟级降水预报产品已在陕西省气象服务中心研发的“陕西气象”APP上应用,向用户提供定点定量的降水预报,方便公众出行。

2.7 智能管理模块

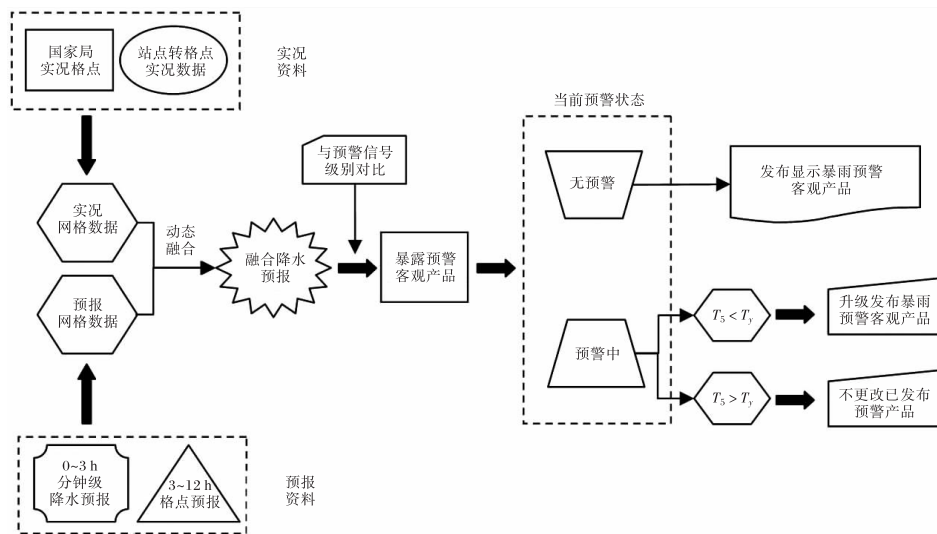
智能管理模块主要具有创建账户及用户管理功能,实现全省包括省、市、县预报人员岗位身份管理,明确预报业务人员的岗位、所在地市、所在单位及相关权限。管理人员和业务人员根据不同的权限进入不同的模块,其在智能业务系统上的所有本地操作都将编入值班日志。另一方面该模块支持配置包括预警信号、短临预报、中尺度预报等在内的产品模板,以及各类产品对外服务路径,方便预报人员根据本地预报产品特点进行本地化应用。

3 系统特色技术介绍

为进一步提高暴雨预警信号发布的及时性及客观性,NIFS短临系统增加基于实况资料、0~3 h分钟级降水预报和2~12 h智能网格产品的暴雨预警信号智能报警功能。该功能将降水实况资料与格点预报产品进行动态融合,根据暴雨预警信号发布规则,实现省、市、县三级暴雨预警信号客观预报产品滚动更新生成,方便预报员快速反应、制作并发布预报产品,切实提高短临预报预警时效性。

3.1 暴雨预警信号智能报警业务流程

暴雨预警信号智能报警业务流程如图2所示,主要分为五个部分:降水实况资料和预报产品的采集和选取、实况和预报动态融合生成融合格点预报、判断达到智能报警级别的地区当前预警发布状态、实时更新显示暴雨预警信号客观产品落区和订正发布暴雨预警信号文字产品。具体流程如图2。



T_5 指已发布的预警信号级别, T_1 指暴雨预警客观产品级别。

图2 暴雨预警信号客观产品生成流程

步骤一 系统数据处理后台程序采集过去 12 h 降水实况资料和未来 0~12 h 降水预报产品。降水实况资料包括中国气象局下发的实况格点降水数据(时间分辨率 1 h),以及由气象观测站点降水数据转成的格点降水数据(时间分辨率 10 min)。降水预报产品包括预报时效 0~3 h 的分钟级降水预报(时间分辨率 6 min),以及预报时效 3~12 h 的智能格点降水预报(时间分辨率 1 h)。由于动态融合数据处理程序所需要的实况与预报资料时间分辨率为 10 min,因此将上述实况和预报产品统一在后台处理为时间分辨率为 10 min 的数据进行使用。

步骤二 将采集和处理完成的降水实况和预报产品,每 10 min 通过动态融合技术生成 0~12 h 融合降水量格点产品,系统按照融合降水量与预警信号级别对应关系(表 1),对所有格点进行预警信号级别判断,得出暴雨预警信号客观格点预报产品,该产品中格点数据表示该格点所处的预警信号级别(如无级别或蓝、黄、橙、红色预警信号级别)。

表 1 融合降水量与预警信号级别对应表

预警信号级别	12 h	6 h	3 h
蓝色	≥ 50 mm	—	—
黄色	—	≥ 50 mm	—
橙色	—	—	≥ 50 mm, <99 mm
红色	—	—	≥ 100 mm

步骤三 系统每 10 min 更新省、市、县三级暴雨预警信号客观预报产品,分别以红、橙、黄、蓝四个级别在网页表格和 GIS 地图上显示预警信号客观落区。

步骤四 当生成暴雨预警信号客观格点预报产品之后,系统结合产品共享模块中实时预警状态信息,对达到蓝色以上预警信号级别的格点所在地区进行预警状态判断,判断该地区是否处在预警中或无预警状态:①若该地区处在无预警状态,则提醒用户需发布暴雨预警信号,并提供暴雨预警信号客观预报产品作为模板供用户在模板上

进行订正及发布;②若该地区已处于预警中,则判断已发预警等级高低,若低于暴雨预警信号客观预报产品等级,则提醒用户需升级发布更高一级的暴雨预警信号产品。同时系统每 10 min 进行暴雨预警信号智能报警提示。

步骤五 在暴雨预警信号客观格点预报产品的基础上,用户可以选择直接按照暴雨预警信号客观预报进行发布,也可以选择对客观预报产品落区进行订正修改后发布:①若用户直接按照客观落区产品进行发布,系统直接生成以暴雨预警信号客观预报为预警内容的预警信号产品,用户可直接保存发布;②若用户需要对暴雨预警信号客观预报订正修改,则可以在 GIS 地图显示的暴雨预警信号客观预报产品落区上,利用交互工具订正,订正后保存发布。

3.2 实况与预报产品动态融合技术

主要介绍 3.1 步骤二中提到的实况与预报产品的动态融合技术。在实况数据和预报数据完整的情况下,将格点实况与格点预报数据按照不同融合规则实时计算融合降水量。由于 0~3 h 和 3~12 h 预报时段分别采用了逐 10 min 更新的分钟级降水格点预报和逐小时更新的智能网格降水预报,因此针对 0~3 h 和 3~12 h 两个预报时段采用不同的动态融合规则,生成不同更新频率的融合降水产品。具体融合规则如下。

(1)0~3 h 预报时段,每 10 min 进行实况与分钟级降水预报动态融合,更新生成融合降水产品。融合规则为:①判断某格点在未来 m min 是否达到红色或橙色预警信号,采用的融合公式为 $X_m = R_{180-m} + P_m$, $m = 10, 20, \dots, 180$ min, X_m 指该格点未来 m min 内的累计融合降水量, R_{180-m} 表示该格点过去 $180-m$ min 累计实况降水量, P_m 表示该格点未来 m min 内的累计预报降水量;②判断某格点在未来 m min 是否达到黄色预警信号,采用的融合公式为 $X_m = R_{360-m} + P_m$, $m = 10, 20, \dots, 180$ min, X_m 指该格点未来 m min 内的累计融合降水量, R_{360-m} 表示该格点过去 $360-m$ min 累计实况降水量, P_m 表示该格点未来 m min 内的累计预报降水量;③判断某格点在未来 m min 是否达到蓝色预警信号,采用的融合公

式为 $X_m = R_{720-m} + P_m$, $m = 10, 20, \dots, 120$ min, X_m 指该格点未来 m min 内的累计融合降水量, R_{720-m} 表示该格点过去 $720 - m$ min 累计实况降水量, P_m 表示该格点未来 m min 内的累计预报降水量。

(2)3~12 h 预报时段,每 1 h 进行实况与智能网格预报动态融合,更新生成融合降水产品,该预报时段内不判断红色和橙色预警信号。融合规则为:①判断某格点在未来 n h 是否达到黄色预警信号,采用的融合公式为 $X_n = R_{6-n} + P_n$, $n = 3, 4, 5, 6$ h, X_n 指该格点未来 n h 内的累计融合降水量, R_{6-n} 表示该格点过去 $6 - n$ h 累计实况降水量, P_n 表示该格点未来 n h 内的累计预报降水量;②判断某格点在未来 n h 是否达到蓝色预警信号,采用的融合公式为 $X_n = R_{12-n} + P_n$, $n = 3, 4, 5, \dots, 12$ h, X_n 指未来该格点当前时刻到未来 n h 内的累计融合降水量, R_{12-n} 表示该格点过去 $12 - n$ h 累计实况降水量, P_n 表示该格点未来 n h 内的累计预报降水量。

3.3 预警信号智能报警规则

在得出融合降水量以及对应的预警信号级别情况下,系统将按照以下规则执行智能报警提示(预警推荐),并在表格或 GIS 地图上显示。

(1)红色预警信号智能报警提醒规则:①对于县级气象局,当辖区内 1 个区域站融合降水量达到红色预警信号级别时,向该县级气象局业务人员报警并建议发布红色预警信号;②对于市级气象台,当其辖区内 1 个县达到红色预警信号级别时,向该市台报警并建议发布红色预警信号;③对于省气象台,当其辖区内 1 个地市达到红色预警信号级别时,向省台报警并建议发布红色预警信号。

(2)橙、黄、蓝色预警信号智能报警提醒规则:①对于县级气象局,当辖区内 1 个区域站融合降水量达到橙、黄、蓝色预警信号级别时,向该县级气象局业务人员报警并建议发布相应预警信号;②对于市级气象台,当其辖区内 2 个县达到橙、黄、蓝色预警信号级别时,向该市台报警并建议发布对应预警信号;③对于省气象台,当其辖区内 2 个地市达到橙、黄、蓝色预警信号级别时,向省台

报警并建议发布对应预警信号。

4 总结

(1)本文从 NIFS 短临系统总体设计、常用功能和特色技术等方面,介绍了 NIFS 短临系统的特点和定位。系统综合监测模块实现了对强对流等灾害性天气的实时监测,使省、市、县值班人员能够全方位掌握短时强降水、冰雹、雷暴大风等强对流天气动态,从而做出更准确的判断。智能报警模块能够根据阈值对监测范围内强天气进行报警,有效提醒值班员关注强对流天气。预报分析模块具备人机交互功能,使预报员能够根据自身的工作习惯、快速调用不同的观测及模式产品,对强天气落区进行分析预报。产品制作模块用来制作发布各类预警信号和短临产品,确保省、市、县三级预报预警信息“在线监控,在线显示,在线管理”,实现一键式、多渠道、靶向式发布,确保信息发布准确且有针对性,使预警时间大大提前。

(2)2018 年 5 月 1 日开始 NIFS 短临系统在陕西 11 个地市和全部县区气象局进行业务应用,在 NIFS 短临系统支撑下各级气象部门的强对流天气监测预警能力、气象风险预报预警能力得到显著增强,交通气象、旅游气象、电力气象、能源气象、林业气象和人影气象等领域服务水平得到大幅度提高。全省各级气象部门充分应用 NIFS 短临系统分钟级降水预报产品,实现了对点、面的精细化气象服务,为第三届丝博会开幕式入城仪式、“西安农民节”、第二届“西商大会”、“汉江龙舟节”、“农科城马拉松赛”、第二十五届农高会、国庆及中秋假日等旅游活动等提供高精度支撑产品,受到社会各界好评。未来 NIFS 短临系统将不断根据各方反馈和业务需求进行更新和完善,进一步推进全省短临预报集约和预警技术发展,保证陕西气象业务高效率、高效益地发展。

参考文献:

- [1] 中国气象局. 现代气象预报业务发展规划(2016—2020年)[Z]. 2016:4-6.
- [2] 郑永光,周康辉,盛杰,等. 强对流天气监测预报预警技术进展[J]. 应用气象学报,2015,26(6):641-657.

冯蕾,刘环,庞菲菲,等. 陕西一次特大暴雨决策气象服务思考[J]. 陕西气象,2019(5):50-52.

文章编号:1006-4354(2019)05-50-03

陕西一次特大暴雨决策气象服务思考

冯蕾¹,刘环¹,庞菲菲²,吴林荣¹,杜莉丽¹

(1. 陕西省气象台,西安 710014;2. 西安市气象局公共气象服务中心,西安 710014)

摘要:2017年7月25—30日,陕西省出现了一次大范围对流性降水天气过程,降水落区位于陕北和关中北部。强降水时段集中在7月25日晚到27日,具有累计雨量大、小时雨强大、范围广、极端性强、受灾严重、影响严重等特点,此次降雨过程为1961年以来最强暴雨过程,属特大型暴雨过程。针对本次过程,陕西省气象局预报预警准确、信息发布及时、决策服务到位、现场保障有力、省市县三级气象部门通力合作,决策材料获得陕西省委、省政府多位领导批示,为抗洪抢险、转移被困群众提供了强有力的气象保障。通过评估分析暴雨过程中预报预警、应急决策、信息发布等各环节的工作及成效,总结服务特点,以期今后类似重大气象事件气象服务保障提供参考和借鉴。

关键词:陕西;特大暴雨;应急决策;气象服务

中图分类号:P49

文献标识码:C

1 天气概述及灾情

1.1 天气概况

2017年7月25日08时到30日08时,陕西中北部出现大范围的强降水天气,强降水主要位于陕北和关中北部,强降水时段集中在7月25日晚到27日,其中9个监测站降水量超过200 mm,最大榆林吴堡266.4 mm。小时降雨量大于50 mm的24站,榆林地区小时雨量超过60 mm(26日02时横山魏家楼62.8 mm),且子洲(218.7 mm)、米脂(140.3 mm)、横山(111.1 mm)3站日降水量突破历史极值。此次降雨过程为1961年以来最强暴雨过程,属特大型暴雨过程。降雨强度高、总降水量大,加上陕北地区土壤含沙量高,是造成本次严

重灾害的重要原因。

1.2 灾情及影响

暴雨引发严重洪涝并导致子洲、绥德两县城区严重进水,地下管网严重损毁,供水、供电、供气和交通、电力、通信全部中断,城区道路严重损毁,城区低洼地段积水严重,街道淤泥厚度达0.5~1 m。榆林市9县区40.55万人受灾,因灾死亡12人,失踪1人,农作物受灾534.6 km²,倒塌及受损房屋30 512间,直接经济损失47.33亿元。

受强降雨影响,无定河干流和支流3站超警戒水位,其中大理河支流出现最大洪峰3 160 m³/s,超过保证流量(1 350 m³/s)的2.34倍,为历史实测最大水位。子洲清水沟水库发生漫溢决口。

收稿日期:2019-04-15

作者简介:冯蕾(1989—),女,汉族,陕西榆林人,本科,工程师,主要从事决策气象服务和应急气象服务。

- [3] 陈敏,范水勇,郑祚芳,等. 基于BJ-RUC系统的临近探空及其对强对流发生潜势预报的指示性能初探[J]. 气象学报,2011,69(1):181-194.
- [4] 赵璐,赵放,陈列,等. 省市县一体化短临预警业务系统设计及实现[J]. 浙江气象,2017(4):18-23.
- [5] 李成伟. 陕西省天气雷达电话语音报警系统的开发

- 与设计[J]. 陕西气象,2016(3):25-27.
- [6] 周义兵,王毅,周淑巧,等. 基于雷达基数据的探测回波自动报警系统设计与实现[J]. 陕西气象,2016(3):22-24.
- [7] 田静,高社兵. 基于WEB平台的县级气象灾害应急指挥系统[J]. 陕西气象,2015(2):49-50.