

曹勇,刘凑华,宗志平,等. 2016. 国家级格点化定量降水预报系统. 气象, 42(12):1476-1482.

# 国家级格点化定量降水预报系统<sup>\*</sup>

曹 勇 刘凑华 宗志平 谌 芸 代 刊 陈 涛 杨 寅

国家气象中心,北京 100081

**提 要:** 利用主客观融合降水反演、降水统计降尺度、降水时间拆分等技术构建了国家级格点化定量降水预报系统。该系统结构合理,模块功能明确,于 2014 年 6 月在国家气象中心投入业务使用,生成 0~168 h 时效,10 km 分辨率,逐 3 h 的格点化定量降水预报产品。通过对 2015 年第 13 号热带气旋苏迪罗的格点化降水预报个例检验,结果显示,相比欧洲中期数值预报中心的确定性模式预报和预报员主观预报,该产品能更好地体现台风降水的时空精细化分布特点,对福建东北部和浙江东南部的特大暴雨中心位置表现更准确细致。通过对 2015 年 4—9 月的格点化产品整体效果检验,结果显示,相比欧洲中期数值预报中心的确定性模式预报和由反距离客观分析后的预报员主观预报,该产品既能保持和预报员主观预报相同的准确率,同时也能较明显地提高降水预报的时空精细化程度。

**关键词:** 定量降水预报, 格点化, 主客观融合, 统计降尺度

**中图分类号:** P456, TP

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.12.005

## State-Level Gridded Quantitative Precipitation Forecasting System

CAO Yong LIU Couhua ZONG Zhiping CHEN Yun DAI Kan CHEN Tao YANG Yin

National Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** A state-level gridded quantitative precipitation forecasting system has been built by using the fusion of subjective and objective precipitation inversion, precipitation statistical downscaling, time split method and other techniques. The technical structure of this system is reasonable, and its module features a clear division. It has been put into meteorological operation in the National Meteorological Center, China Meteorological Administration since June 2014, being able to generate gridded quantitative precipitation forecast products with forecast time length of 0—168 h, 10 km resolution and 3 h interval. The gridded precipitation forecast of the 13th tropical cyclone “Soudelor” in 2015 is tested and the results show that, compared to the deterministic model forecasts of the European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) and the subjective forecasts, this forecast can better reflect the spatio-temporal distribution of typhoon precipitation, and more accurately express the severe rainstorm center in northeast of Fujian and southeast of Zhejiang. The overall effect of the gridded forecasts from April to September 2015 is verified. The results indicate that, compared to the deterministic model forecasts of the ECMWF and the forecasters’ subjective forecasts after inverse-distance objective analysis, the forecast products can maintain the same predictive accuracy as subjective forecasts, and meanwhile can obviously improve the degree of spatio-temporal precision of precipitation forecasts.

**Key words:** quantitative precipitation forecast, gridded, fusion of subjective and objective, statistical downscaling

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306002)资助

2016 年 3 月 8 日收稿; 2016 年 8 月 12 日收修定稿

第一作者:曹勇,主要从事短期天气预报研究. Email:caoyong@cma.gov.cn

## 引 言

当前我国发布的降水预报产品,在国家级和省级层面以落区等级预报为主,在市级和县级层面以站点预报为主,并配合文字性预报材料,对公众或政府部门提供预报决策服务(端义宏等,2012)。由于这种形式产品的预报不够精细,内容相对刻板,已经难以适应当前高速发展的社会对降水预报的需求(宗志平等,2012)。此外,以降水预报为前端的下游气象服务,如农业气象、水文气象、环境气象、交通气象等对降水预报的精细化程度的需求也越来越高(曲晓波等,2010;尹志聪等,2015;尤凤春等,2013),因此,当前亟需建立一套时空全覆盖、点线面预报相协调的格点化降水预报系统和产品满足上述需求。美国海洋和大气局下属的定量降水预报部门经过若干年的技术及平台的研究设计,已构建起较为成熟的格点化定量降水预报系统,能够提供 0~168 h 预报时效的格点化定量降水预报产品,最短时间分辨率在 6 h、最高空间分辨率在 5 km,并能提供如 GRIB2、shapefile、KML 等多种流行的气象存储格式供公众下载使用(Novak et al,2014)。其格点化定量降水预报产品储存于国家数字预报服务器中,并以网页互动的形式展示和访问。近些年,国内部分省(市)也开始对格点化定量降水预报相应的技术探索和研究,如,广东省建立以数据中心、网络释用、格点交互编辑、产品服务及检验反馈等部分构成的格点化预报业务系统,发布 5 km 分辨率,部分产品时间分辨率逐 1 h,预报时效 168 h 的格点化产品(吴乃庚,2015)。国家气象中心为适应当前社会对降水预报的需求发展,于 2012 年起开展国家级格点化定量降水预报系统的研究,通过近 3 年的技术摸索和储备,搭建起国家级格点化定量降水预报系统。

## 1 系统设计思路

由于数值模式不断的发展和成熟,其降水预报的准确率也在逐步提升(Bidlot et al,2009),通过模式后处理技术,降水预报的准确率在模式基础上又进一步提高(赵声蓉等,2012;Yuan,2007),但因大气固有的混沌效应、模式初值的误差及物理过程参数化等原因(Lorenz,1972),定量降水预报依旧需要预报员,根据自身对大气物理过程的认识和经验,以

及对模式误差特性的了解,进行主观订正。因此当前国内外降水预报业务的基本流程均是在模式降水预报基础上,预报员进行主观订正,增加预报员的订正信息,以提高降水预报的准确率。但是经过预报员主观订正的降水预报为落区等级预报,虽然提升了预报准确率(Novak et al,2011;Brennan et al,2008;Clark et al,2004),但是精细化程度降低,降水分布的细节信息丢失。为此,格点化定量降水预报系统的设计思路就是在不增加日常预报业务流程复杂程度的原则下,通过一系列统称为降水信息恢复技术的应用,在预报员主观等级落区预报的基础上,恢复降水分布的局部信息和特征,提高降水预报的精细化程度。

鉴于当前我国降水预报业务主要依托 MI-CAPS 工作平台(李月安等,2010),模式降水数据为 MICAPS 第 4 类格式,而预报员降水落区等级预报为 MICAPS 第 14 类数据,为此预期的目标主要是将定量降水格点化的过程融入现行的预报业务流程,即在预报员制作完成主观降水等级落区预报产品后,通过后期技术的处理,生成高时空分辨率的格点化降水预报产品,该产品既能体现预报员对于模式降水预报的订正,完全遵从预报员的主观预报订正意图,又可以提高预报产品的精细化程度。这个过程完全由计算机自动化实现,无需预报员的干预。具体预报产品的指标如下,时间分辨率最短达到逐 3 h、空间分辨率达 10 km,预报时效为 0~168 h,每日随日常业务实现 4 次滚动更新。

## 2 系统结构及主要技术

### 2.1 系统结构

该系统主要实现降水信息恢复的功能,具体由三部分技术模块构成,如图 1 所示,分别为主客观融合降水反演技术模块、降水统计降尺度技术模块、降水时间拆分技术模块。技术模块之间均有相应的数据接口实现衔接,实现了技术的模块化分工,因此只要符合接口的数据标准,可以实现单个技术模块的升级和完善,而不影响整个系统的架构和运行。

### 2.2 主客观融合降水反演技术

主客观融合降水反演技术主要实现与业务模式分辨率相当的粗网格格点化定量降水预报产品,图 2 为该技术流程图,可见流程主要由三步算法构成。

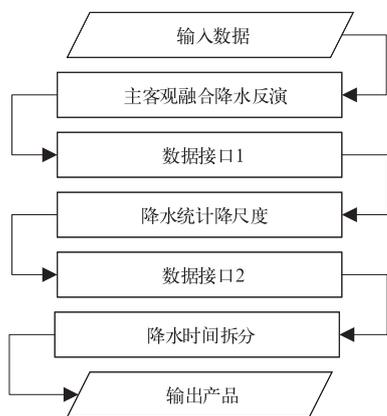


图 1 格点化定量降水预报系统结构图  
Fig. 1 Architecture diagram of gridded quantitative precipitation forecast technology

第一步为等级识别算法:利用预报员主观等级落区预报,识别空白格点场的每个格点降水所在等级并标记,根据我国现行的 24 h 降水等级划分标准,预报员主观预报等级分别为 0.1,10,25,50,100 以及 250 mm,同时通过该步算法根据格点降水等级实现模式降水预报有效信息的筛选——若某格点上的模式降水符合预报员落区等级预报,则认为有效降水信息,反之则认为无效降水信息。如图 3 所示, A、B 两格点被判别为 25~50 mm 等级, A 点模式降水为 32 mm 被筛选为有效信息, B 点降水为 18 mm 被筛选为无效信息。第二步为分等级反距离权重客观分析算法,该步算法分等级进行的是为了保证客观分析结果严格遵守预报员的主观

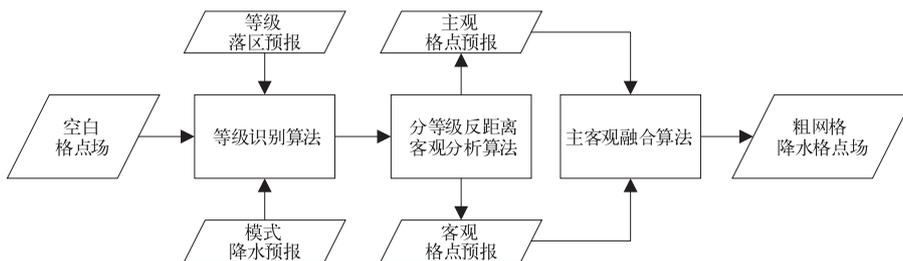


图 2 主客观融合降水反演技术流程图  
Fig. 2 The flowchart of the fusion of subjective and objective contour inversion

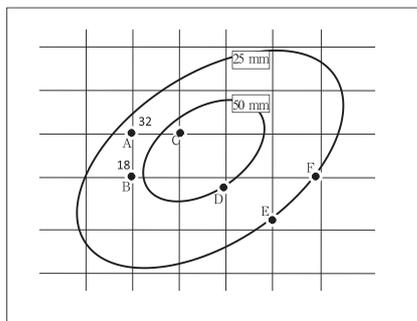


图 3 主客观融合降水反演技术算法概念示意图  
Fig. 3 Concept schematic diagram of subjective and objective precipitation fusion technology

落区预报,避免分析结果出现跨等级违背预报员预报意图的情形。使用反距离权重客观分析作为基本算法的原因主要考虑该算法设计相对简单,计算速度快,在有效信息较均匀分布时结果可靠,不足之处是算法主要考虑空间距离为权重系数,未考虑气象内在的空间分布特点,在有效信息分布不均匀时,结果准确率会受影响。该步算法分别生成两类分析结果,第一类是将预报员的落区等值线离散化为网格

密度的站点预报后,分等级反距离权重客观分析得到主观格点预报产品(图 3),使用 D、E、F 等点作为站点信息进行客观分析至网格点得到主观格点预报产品,第二类是将筛选的有效模式降水预报进行反距离权重客观分析得到基于模式有效信息的客观格点预报产品(图 3),使用 A 点等有效信息进行客观分析至网格点得到客观格点预报产品。第三步为主客观融合算法,该步算法假定,格点靠近预报员的落区等值线时应更多的参考主观格点预报,而远离预报员的落区等值线时应更多的参考客观格点预报,因此利用式(1)通过权重系数动态加权生成最终的粗网格降水格点场,其中  $Var_{i,j}^s$  是主观格点场,  $Var_{i,j}^o$  是客观格点场,  $Var_{i,j}^f$  是最终格点场,而权重系数  $\omega$  由式(2)可知,是格点到最近等值线距离的 e 指数衰减函数,衰减半径  $R$  一般经验选取为业务模式的分辨率,  $r_{i,j}$  为格点到最近距离等值线的距离。

$$Var_{i,j}^f = \omega \times Var_{i,j}^s + (1 - \omega) \times Var_{i,j}^o \quad (1)$$

$$\omega = e^{-\frac{r_{i,j}}{R}} \quad (2)$$

### 2.3 降水统计降尺度技术

降水统计降尺度技术主要是为了实现粗网格降水场到细网格降水场的转化。传统的思路与方法是通过双线性数学插值实现,但这样的处理方式忽略了粗分辨率和细分辨率降水之间的气象关系,结果的准确性有限(Tobin et al,2011)。当前主要使用降尺度技术提高降水的空间分辨率,由于动力降尺度需要成熟可靠的中尺度模式的支持和耗费大量的计算机资源和计算时间(Pavlik et al,2012),实际预报业务中一般利用统计降尺度技术来提高降水的空间分辨率,如美国海洋和大气局下属的水文预报中心,使用地形地图投影技术进行降水降尺度(Schaake et al,2004)。本系统提出使用降尺度比

例矢量技术,该技术利用粗分辨率与细分辨率的定量降水估测产品,建立大尺度降水到小尺度降水的气象统计关系并确定降尺度比例矢量,由于比例矢量关系由实况降水所得,能体现出局地由于地形或者气候特点导致的降水的精细尺度的变化,体现不同空间尺度降水的气象关系。该技术建立降尺度比例矢量使用的数据为国家气象信息中心的定量降水估测产品,该产品利用了地面观测和卫星反演降水各自的优势,在降水量值和空间分布上均更为合理,同时融合产品平均偏差和均方根误差也均减小(沈艳等,2013)。该数据的时间分辨率为 1 h,空间分辨率为 10 km,所用时间段为 2008—2014 年共 7 年。图 4 为降水降尺度技术的流程图,主要通过三步算法实现功能。

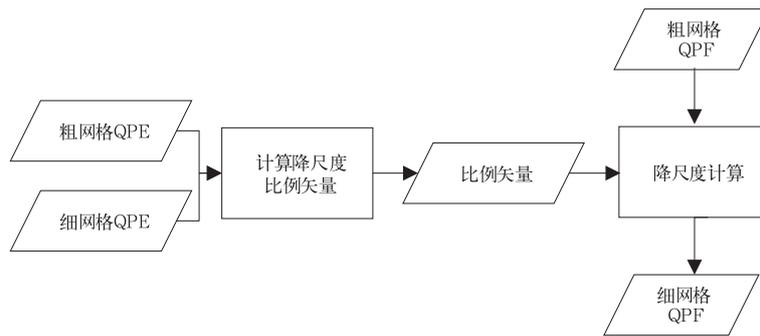


图 4 比例矢量降尺度技术流程图

Fig. 4 Flowchart of scale vector downscaling techniques

第一步使用定量降水估测产品,分别以每日为中心前后 15 d 7 a 数据生成滑动平均的全国逐日的 10 km 分辨率细网格和 30 km 分辨率粗网格的降水气候分布,粗细网格场之间关系如图 5 所示,任意一粗网格格点  $X_{i,j}$ ,对应 9 个细网格格点( $A_{i,j}^1, A_{i,j}^2, A_{i,j}^3, \dots, A_{i,j}^7, A_{i,j}^8, A_{i,j}^9$ )。第二步计算每个粗网格格点的降尺度比例矢量  $\beta$ ,计算方法如式(3)所示,主要是计算每个细网格格点与对应的粗网格格点之间

比例系数,构建降尺度矢量。

$$\beta_{i,j} = (\beta_{i,j}^1, \beta_{i,j}^2, \beta_{i,j}^3, \dots, \beta_{i,j}^7, \beta_{i,j}^8, \beta_{i,j}^9) \quad (3)$$

$$\beta_{i,j}^m = A_{i,j}^m / X_{i,j}, \quad m = 1, 2, 3, \dots, 7, 8, 9$$

第三步使用待降尺度的粗网格降水,在每个粗网格格点乘以降尺度比例矢量,即获取降尺度后的细网格降水预报结果。

### 2.4 降水时间拆分技术

降水时间拆分技术主要是提高降水预报的时间分辨率,能将预报员的订正信息合理的分配于各个精细化预报时段内,在提高降水预报时间分辨率的同时也提高精细化时段内的降水预报准确率。该技术假定,业务预报中使用的数值模式的降水资料为模式起报 12 h 后的预报资料,模式启动后的搅动影响已经明显减弱,因此能较好地反映出降水的时间变化过程,但是降水量的预报准确度不高。因此需要将预报员对降水预报的订正信息合理的分配到模

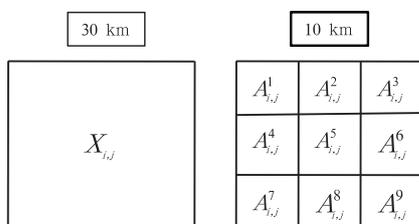


图 5 粗网格和细网格降水空间关系示意图

Fig. 5 Precipitation space relationship between coarse grid and fine grid

式原始的降水预报中,已达到订正高时间分辨率模式降水的目的。该技术同样经过三个步骤实现功能,第一步利用模式降水信息计算每个格点逐 3 h 降水累计分布曲线,第二步利用模式逐 3 h 降水和总降水量获取逐 3 h 降水比例关系系数,第三利用上述逐 3 h 降水比例关系系数,将 24 h 格点化定量降水预报拆分成逐 3 h 格点化定量降水预报,以提高降水预报的时间分辨率和在该时段内的准确率。

若某网格点的格点化降水预报不为零,而参考模式降水预报为零,则搜寻周边最近网格点的比例关系系数,作为该点的比例系数关系使用。

表 1 为降水时间拆分技术原理示意表,假定某格点模式 24 h 降水预报为 50 mm,而最终格点化 24 h 降水预报为 80 mm,经拆分技术处理后,逐 3 h 降水如上表所示。

表 1 降水时间拆分技术示意表

Table 1 Time split techniques for precipitation

	3 h	6 h	9 h	12 h	15 h	18 h	21 h	24 h
模式分段降水/mm	5	10	20	0	0	5	10	0
模式累计降水/mm	5	15	35	35	35	40	50	50
拆分比例系数	0.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0
格点化拆分降水/mm	8	16	32	0	0	8	16	0

### 3 应用及效果

2015 年第 13 号热带气旋苏迪罗登陆我国,给我国东部多个省(市)造成不同程度的影响,其中浙闽苏台等地受灾严重(胡余忠等,2015)。研究选取包含登陆时间点在内的 8 月 8 日 08 时至 9 日 08 时数据,由于我国降水预报业务仅针对陆地区域,所以海洋上降水未做讨论。格点化定量降水预报和预报员主观预报均是 8 日 08 时起报的 24 h 时效的预报,由于实际预报业务中模式资料获取的滞后性,一般都是用业务预报时次的前 12 h 起报的模式资料作为参考预报,所以欧洲中期天气预报中心的确定性模式预报选取 7 日 20 时起报的 36 h 时效的预报,将上述三类预报结果进行对比分析。国家气象信息中心的定量降水估测产品(图 6a)显示,在福建东北部及浙江东南部普遍出现了 100 mm 以上的大暴雨,其中有 A、B 两处降水量级在 250 mm 以上的特大暴雨中心区域,经后期实况检验,国家气象中心对此时段台风的降水做出了较准确的预报,24 h 时效的大暴雨及以上量级预报的 TS 评分达到 0.47,但预报产品主要以落区等级预报为主(图 6b),在精细化预报上表现不足,尤其对于 A、B 两处特大暴雨中心区域没有做出更细致预报,利用反距离空间插值分析至 10 km 分辨率,预报产品的均方根误差为 53 mm。欧洲中期天气预报中心的确定性模式预报结果偏弱(图 6c),且将降水中心区域考虑在福建沿海的中部区域,福建东北部及浙江东南部的降水量

值预报偏弱,此外,该模式分辨率为 16 km 左右,也相对较粗,同样利用反距离空间插值分析至 10 km 分辨率,预报产品的均方根误差为 46 mm。通过国家级格点化定量降水预报系统处理出的格点化产品,相比于欧洲中期天气预报中心的确定性模式和预报员主观落区预报能较明显地表现出浙江南部和福建东北部 A、B 两处的特大暴雨中心区域,体现出空间变化的局地性特点(图 6d),通过计算,该预报产品的均方根误差为 41 mm,精细化程度较主观落区预报和确定性预报明显提高。由于格点化定量降水预报的核心思路是在预报员主观落区基础上恢复降水的空间细节分布,因此当预报员主观预报出现较明显空报时,该产品也不可避免地会出现空报现象,如在福建中部格点化定量降水预报和预报员主观落区预报均较定量降水估测产品偏强。

通过均方根误差及 TS 评分检验一段时间内的格点化定量降水预报产品的总体效果,检验时段为 2015 年 4 月 1 日至 9 月 30 日,为了体现检验结果的客观性,欧洲中期天气预报中心的确定性模式预报和预报员主观预报均利用反距离空间插值分析至 10 km 分辨率,权重系数为距离倒数。利用国家气象信息中心的定量降水估测产品对上述 3 种预报进行检验,国家气象信息中心的定量降水估测产品质量已在上文论述。结果发现(图 7):对于暴雨及以上量级 TS 评分,格点化定量降水预报和预报员主观预报一致为 0.17,而欧洲中心确定性预报暴雨评分为 0.14,但是预报员预报结果的均方根误差为 35 mm,较欧洲中期天气预报中心的确定性模式的

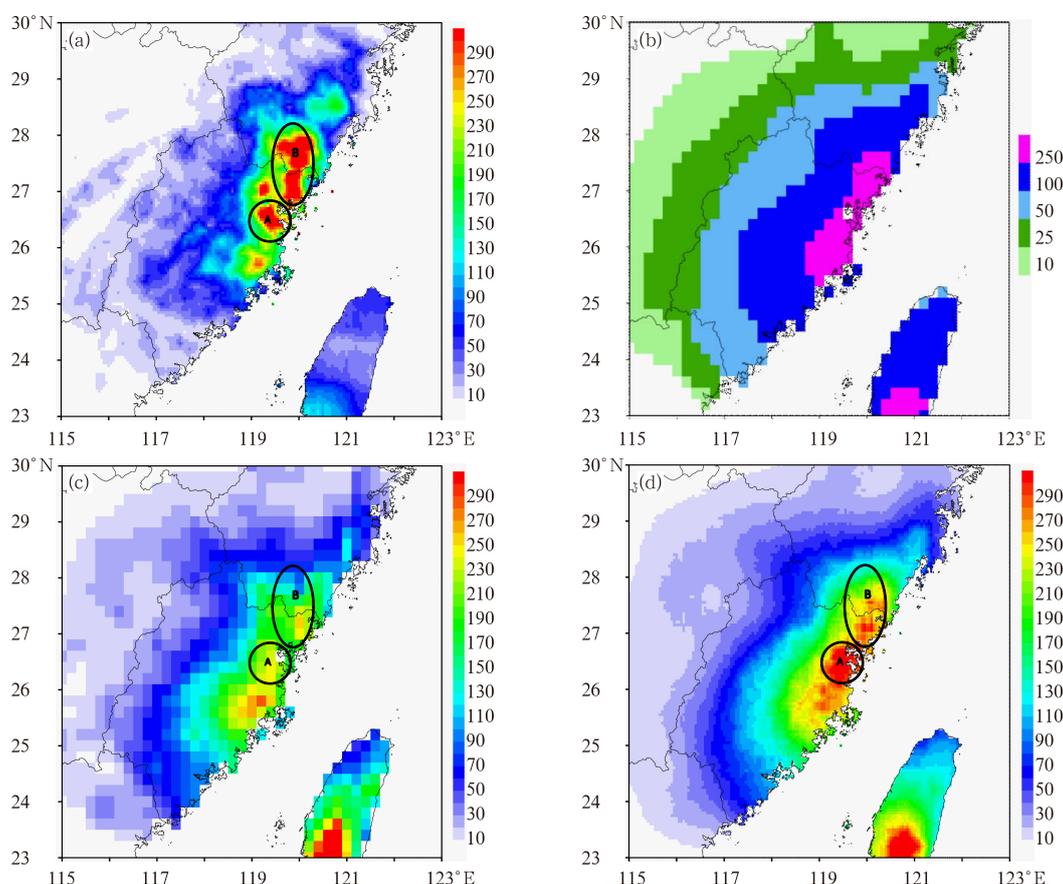


图 6 2015 年 8 月 8 日 08 时至 9 日 08 时降水预报和实况对比图(单位:mm)

(a)24 h 定量降水估测, (b)8 日 08 时起报 24 h 时效预报员主观预报, (c)7 日 20 时起报 36 h 欧洲中期数值预报中心确定性预报, (d)8 日 08 时起报 24 h 时效格点化定量降水预报

Fig. 6 Comparison chart of forecasts and observations from 08:00 BT 8 to 08:00 BT 9 August 2015 (unit: mm)  
 (a) 24 h quantitative precipitation estimation, (b) 24 h subjective forecast, (c) 36 h deterministic model forecasts of ECMWF, (d) 24 h gridded precipitation forecast

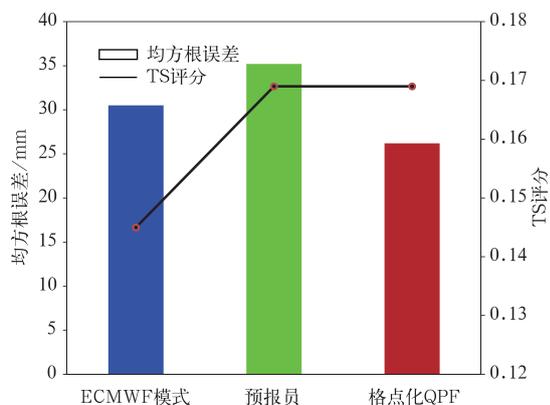


图 7 2015 年 4—9 月预报员、欧洲中期数值预报中心确定性模式及格点化 QPF 均方根误差及 TS 评分对比图

Fig. 7 The RMSE and TS comparison chart of deterministic forecasts, subjective precipitation forecast and gridded precipitation forecast for torrential rains from April to September 2015

均方根误差 30 mm 高,但格点化定量降水预报能均方根误差能由预报员的 35 mm 下降至 26 mm。对其他量级降水检验(图略)发现,格点化定量降水预报和预报员主观预报 TS 评分较欧洲中心确定性模式都有一定提高,而中雨量级 TS 评分较欧洲中心确定性模式略偏低,因此总体而言,格点化定量降水预报产品的准确性较欧洲中心确定性模式提高,同时通过均方根误差检验结果发现,格点化定量降水预报较预报员主观预报和欧洲中心确定性模式误差结果更小,因此在精准性上有所提高。

#### 4 结论和展望

本文详细介绍了国家气象中心格点化定量降水预报系统的构成以及实际应用效果。精细化的格点定量降水预报是现代天气预报服务需求中的一个重

要问题,该预报系统较好地把握模式定量化的优点和预报员主观预报在量级上的优势结合在一起,从主客观融合的角度来解决精细化格点定量降水预报问题,该系统于 2014 年 6 月在国家气象中心正式投入业务应用通过该技术的应用,国家气象中心发布的产品由等级落区指导产品转变为高时空精度的格点化产品,可为省、市级气象部门制作本地的精细化预报提供较好的指导产品,此外也为国家气象中心自身的精细化预报服务提供了有力的支撑,如 2015 年“九三阅兵”预报保障服务,台风精细化降水预报服务等都以该技术和产品为基础进行制作,同时也为以降水预报为前端的下游气象服务,如农业气象、水文气象等对降水预报精度有较高需求的部门提供了较好的数据和技术支撑。该系统后期将进一步整合和完善定量降水预报格点化技术,使其在提高降水预报中的作用更合理和突出,另外还会进一步完善降水统计降尺度,主客观融合降水反演等技术,通过这些技术的升级来进一步提高格点化产品的时空分辨率和质量。

### 参考文献

- 端义宏,金荣花. 2012. 我国现代天气业务现状及发展趋势. 气象科技进展,2(5):6-11.
- 胡余忠,王祥,王立全,等. 2015. 2015 年 13 号台风“苏迪罗”洪水调查与评价. 中国水利,(19):19-22.
- 李月安,曹莉,高嵩,等. 2010. MICAPS 预报业务平台现状与发展. 气象,36(7):50-55.
- 曲晓波,张涛,刘鑫华,等. 2010. 舟曲“8.8”特大山洪泥石流灾害气象成因分析. 气象,36(10):102-105.
- 沈艳,潘旸,宇婧婧,等. 2013. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估. 大气科学学报,36(1):37-46.
- 吴乃庚. 2015. 广东精细化天气预报技术及业务工作进展情况. 2015 年第十二届全国气象台长会议报告.
- 尹志聪,郭文利,李乃杰,等. 2015. 北京城市内涝积水的数值模拟. 气象,41(9):1111-1118.
- 尤凤春,郭丽霞,史印山,等. 2013. 北京强降雨与道路积水统计分析及应用. 气象,39(8):1050-1056.
- 赵声蓉,赵翠光,赵瑞霞,等. 2012. 我国精细化客观气象要素预报进展. 气象科技进展,2(5):12-21.
- 宗志平,代刊,蒋星. 2012. 定量降水预报技术研究进展. 气象科技进展,2(5):29-35.
- Bidlot J, Ferranti L, Ghelli A, et al. 2009. Verification statistics and evaluations of ECMWF forecasts in 2008–2009. ECMWF.
- Brennan M J, Clark J L, Klein M. 2008. Verification of quantitative precipitation forecast guidance from NWP models and the Hydrometeorological Prediction Center for 2005–2007 tropical cyclones with continental US rainfall impacts. 28th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology.
- Clark M, Gangopadhyay S, Hay L, et al. 2004. The Schaake shuffle: A method for reconstructing space-time variability in forecasted precipitation and temperature fields. J Hydrometeor, 5(1):243-262.
- Lorenz E. 1972. Predictability: does the flap of a butterfly's wing in Brazil set off a tornado in Texas? American Association for the Advancement of Science 139th Meeting
- Novak D R, Bailey C, Brill K, et al. 2011. Human improvement to numerical weather prediction at the Hydrometeorological Prediction Center, 91th Annual AMS Meeting, AMS 24th Conference on Weather and Forecasting, 20th Conference on Numerical Weather Prediction.
- Novak D R, Bailey C, Brill K F, et al. 2014. Precipitation and temperature forecast performance at the weather prediction center. Wea Forecasting,29(3):489-504.
- Pavlik D, Söhl D, Pluntke T, et al. 2012. Dynamic downscaling of global climate projections for Eastern Europe with a horizontal resolution of 7 km. Environmental Earth Sciences,65(5):1475-1482.
- Schaake J, Henkel A, Cong S. 2004. Application of PRISM climatologies for hydrologic modeling and forecasting in the western US Preprints, 18th Conf. on Hydrology, Seattle, WA. Amer Meteor Soc, CD-ROM, 5.
- Tobin C, Nicotina L, Parlange M B, et al. 2011. Improved interpolation of meteorological forcings for hydrologic applications in a Swiss Alpine region. J Hydrol,401(1):77-89.
- Yuan H. 2007. Analysis of precipitation forecasts from the NCEP global forecast system. 22nd Conference on Weather Analysis and Forecasting, 18th Conference on Numerical Weather Prediction.