

ECMWF 高分辨率模式对宁波降水预报能力的评估

吕劲文 申华羽 方艳莹 杨小荣

(宁波市气象局, 宁波 315012)

摘要: 基于 2012-2018 年宁波气象观测站逐日逐小时雨量和 ECMWF 细网格模式降水产品, 评估模式对不同量级面雨量过程的预报水平, 并简要分析了模式对台风降水的预报性能。结果表明: (1) 模式对于宁波的面雨量预报具有一定的参考性, 各量级的预报模式总体而言小于实况雨量, 从小雨到大雨量级, 模式的预报能力随着时效延长, 呈逐渐减小的趋势, 并且降水量级越大, 预报能力越弱。模式对于小雨和中雨两个例容易出现空报, 而对于大雨和暴雨则容易出现漏报。(2) 台风降水的评估表明, 不同等级的降水预报中各评估指标普遍在 12~48h 表现出较高的稳定性和可信度, 而 60~72h 预报开始逐渐转差, 因此业务工作中台风降水预报可主要参考 72h 以内的模式产品。

关键词: 面雨量 EC 细网格模式 评估 宁波

引言

ECMWF 细网格数值预报产品是气象业务重点参考的数值模式产品之一。2011 年 9 月中央气象台开始下发, 前 72h 的时间分辨率达到 3h, 72~240h 的时间分辨率为 6h, 空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 2015 年 1 月开始进一步细化到 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ 。预报科研人员对细网格产品的不同要素在不同区域进行了初步的检验评估^[1-3], 表明 ECMWF 细网格模式较 T639、日本数值模式等模式产品有更好的预报性能, 并且能为区域降雪、降水等要素的定点、定量和定时预报提供一定的依据^[4-7]。

面雨量的预报服务是各级政府和有关部门组织区域防汛、抗洪和水库调度等决策的重要依据, 也是沟通水文预报和气象预报的桥梁。近年来研究人员^[8-11]直接采用数值模式降水产品对不同省份各主要流域、盆地的面雨量预报进行了评估, 结果表明模式产品对于面雨量预报具有较好的参考价值, 部分研究分析了模式对不同降水量级的预报能力, 表明预报效果普遍随降水等级增大而下降。1323“菲特”台风等造成的强降水过程引发城市内涝、山体滑坡、泥石流等灾害, 给人民生命、财产造成了较大损失。EC 细网格降水产品已积累了多年, 目前宁波对该产品长时间尺度的面雨量评估还比较少。本研究以 ECMWF 细网格模式降水产品为基础, 所做的宁波不同量级面雨量过程和台风降水的预报评估工作, 可帮助预报员了解 EC 模式降水产品在宁波的总体预报性能, 同时为日后开展台风降水预报提供参考。

1. 资料和方法

1.1 资料介绍

所用气象资料为 2012~2018 年逐日资料, 包括: (1) 宁波气象观测站逐小时降水资料, 包括国家基本(准)气象站和中尺度自动气象站(以下统称观测站), 数据来源于浙江省气象信息中心, 资料保存时已进行过自动质量控制, 应用时进一步进行了人工质量控制, 有效资料量达到 80% 以上的站点才参与本文的分析; (2) ECMWF 细网格预报(以下简称 EC 细网格)的降水资料, 逐日 2 次, 起报时间为 08 时和 20 时(BT, 下同), 检验时效 120 h。

1.2 研究方法

1.2.1 面雨量计算方法

宁波观测站空间密度低于 10km, 分布较为均匀, 本研究采用算术平均法。站点逐小时雨量用于计算 12h 累积雨量, 而后计算行政区域内站点的算术平均值来代表行政区域面雨量(以下简称面雨量)。计算 EC 细网格预报的面雨量时, 先将格点预报插值到观测站点, 然后进行算术平均。

1.2.2 个例挑选

根据观测站降水资料和模式资料,分别计算 08 时~20 时(白天)、20 时~次日 08 时(夜间)面雨量,挑选小雨(0.1~9.9mm)、中雨(10.0~24.9mm)、大雨(25.0~49.9mm)和暴雨(≥ 50.0 mm)(参考 2013 年浙江省气象局《科技与预报处关于调整中短期天气预报降水、气温质量评定(检验)办法的通知》)个例为分析对象。通过上述资料分析和处理,得到 2012~2018 年宁波不同量级面雨量实况个例和预报个例。

1.2.3 评估方法

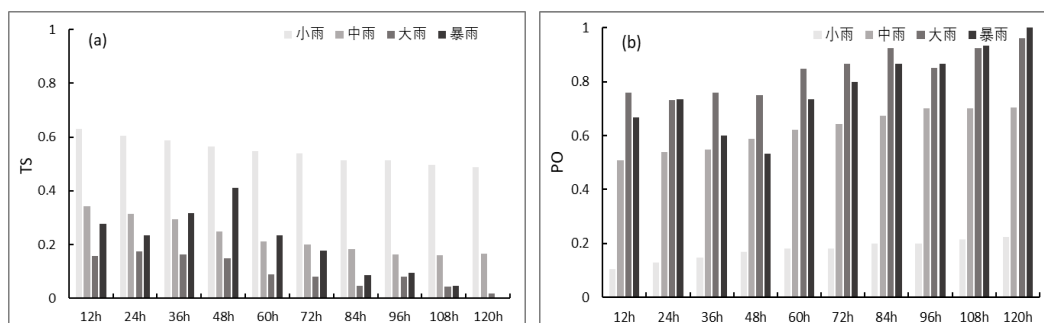
采用 2×2 列联表计算模式降水的几种评分指数。(1)TS 评分,也可称为临界成功指数, $TS = A/(A + B + C)$; (2)漏报率 PO, $PO = C/(A + C)$; (3)空报率 NH, $NH = B/(A + B)$; (4)预报偏差 BIA, $BIA = (A + B)/(A + C)$, $BIA > 1$ 表示模式容易空报,而 $BIA < 1$ 表示模式容易漏报; (5)公平评分技巧, $ETS = (A - CI)/(A + B + C - CI)$, 其中 $CI = (A + B)(A + C)/(A + B + C + D)$, CI 表示随机预报的值, ETS 表示除去随机偶然事件后,事件发生且预报正确的次数与事件发生总次数(预报或者观测)的比率, 阈值范围为 $-1/3 \sim 1$, $ETS = 0$ 表示无预报技巧,理想情况下 $ETS = 1$ 。

表 1 降水检验列表

预报事件	观测事件	
	发生	未发生
发生	A	B
未发生	C	D

2. 模式对不同量级降水的预报能力评估

逐 12 h 预报评分见图 1。可见随着时效延长,小雨和中雨个例的 TS 评分均呈现缓慢下降的趋势,分别从 0.63 和 0.34 逐渐减小至 0.49 和 0.16,大雨个例的 TS 评分前几个预报时次总体稳定在 0.15~0.175 之间,60h 开始呈现明显的减小,而暴雨个例的 TS 评分也有相似的特征,12h~48h 相对较高,普遍在 0.2 以上,并且暴雨个例和小雨和中雨个例不同,前几个时次的评分没有呈现逐渐减小的趋势,48h 的 TS 评分反倒是最高的,这主要与宁波的暴雨个例总体较少,并且绝大多数为台风暴雨有关,模式对于台风暴雨的预报效果将在下文分析。不同量级降水的 PO 和 NH 评分看,小雨量级 PO 多数预报时次维持在 0.2 以下,而 NH 在 0.3~0.4 之间,表明模式对于小雨量级的降水更多的表现为漏报;而模式对于中雨个例的预报 PO 和 NH 评分相仿,随着时效延长,空报率和漏报率都有所上升,稳定在 0.5~0.75 之间;对于大雨个例而言,模式的 PO 和 NH 评分明显高于小雨和中雨个例,两种评分普遍在 0.7 以上,并且漏报率还略高于空报率;暴雨个例的 PO 和 NH 在多数预报时次低于大雨个例,并且漏报率总体高于空报率,72h 预报空报率明显低于大雨个例,并且数值与中雨个例相仿,介于 0.2~0.4,表明 12~72,的暴雨预报具有一定的可信度,84h 开始空报率明显升高。从 BIA 看(图略),小雨和中雨个例多数预报时次 $BIA > 1$,表明模式对于较小量级降水的预报容易出现空报,而对于大雨和暴雨个例的预报 BIA 普遍 < 1 ,表明对于较大的降水,模式更多的表现为漏报。和从 ETS 评分情况看,去除掉偶然预报正确项之后,小雨、中雨和大雨仍然表现为随着时效延伸评分逐渐降低的特点,小雨量级的评分明显低于 TS 评分,其他量级的降水和 TS 评分相差不大。



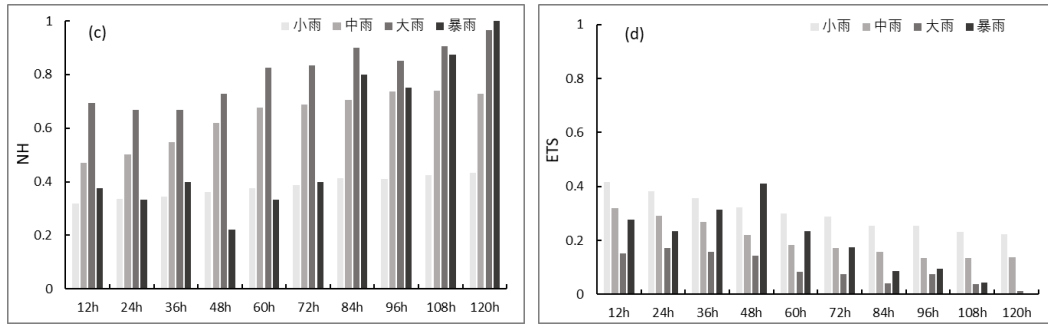


图 1 EC 细网格不同预报时效的 Ts、PO、NH 和 ETS 评分柱状图

宁波位于北亚热带湿润季风气候区，夏季是降水最多的季节^[12]，分析发现小雨两个例的空报主要出现在 4~10 月，峰值出现在 7 月份，并且多为白天时段，这可能与 EC 细网格容易在夏季午后空报对流降水有关。模式对于中雨两个例的空报出现在 5、6 月份以及 8、9 月份，峰值出现在 6 月份，对应着宁波的梅汛期和台汛期，表明上述宁波梅汛期和台汛期模式有中雨空报的可能，而 12 月和 1~3 月空报个例少。大雨和暴雨两个例多数集中在上述两段汛期，对于梅汛期的暴雨个例，模式绝大多数预报时次都出现了暴雨漏报，而台风暴雨既有空报也有漏报，同时除了台风降水，多数大雨和暴雨两个例预报中模式雨量小于实况雨量，因此在非台风天气系统影响下模式预报大雨或暴雨过程时需要高度关注。

总体而言，各量级的预报模式小于实况雨量，从小雨到大雨量级，模式的预报能力随着时效延长，呈逐渐减小的趋势，并且降水量级越大，预报能力越弱。模式对于小雨和中雨容易出现空报，空报主要出现在夏季，而对于大雨和暴雨则容易出现漏报，对于非台风降水，模式预报大雨或暴雨过程时需要引起重视。

3. 模式对台风降水的简要评估

宁波地处华东沿海，几乎每年都会受到台风影响^[12]，台风降水的预报服务是当前工作中的重点。研究中主要对宁波面上有出现中到大雨的台风个例进行评估，2012~2018 年中共有 23 个台风对宁波产生了较明显的降水影响，而北上路径台风如 1215 布拉万等，面上仅有小雨量级的降水，因此此类台风不做评估，参与评估的台风信息见表 2。评估中所用指标除前文所述的 TS 评分外，还包括均方根误差 RMSE 和平均绝对偏差 MAE，计算公式如下： $RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 / n}$ $MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$ ，式中 x_i 为预报面雨量、 y_i 为实况面雨量、 n 为个例数。

表 2 2012~2018 年对宁波有较明显降水影响的台风名称及降水时段

年份	台风	主要降水时段（月日时）	年份	台风	主要降水时段（月日时）
2012	1209 苏拉	080208-080408	2016	1617 鲇鱼	092808-092920
	1212 海葵	080708-080820		1619 艾利	100720-100820
2013	1312 潭美	082108-082308		1709 纳沙	072920-073008
	1323 菲特	100520-100820	2017	1718 泰利	091408-091508
2014	1412 娜基莉	080108-080120		1720 卡努	101420-101620
	1416 凤凰	092208-092308	1810 安比	072120-072208	
	1509 灿鸿	071008-071208	1812 云雀	080220-080308	
2015	1513 苏迪罗	080920-081020	2018	1814 摩羯	081208-081308
	1515 天鹅	082220-082420		1818 温比亚	081608-081708
	1521 杜鹃	092808-092920		1822 山竹	091620-091720
2016	1601 尼伯特	070908-070920		1825 康妮	100420-100508
	1614 莫兰蒂	091420-091608			

分析可见（图 2），台风影响过程中，模式对于中雨、大雨和暴雨两个例预报的 TS 评分普遍较总体降水个例有所提高，尤其是中雨两个例，中雨的空报率和漏报率均较总体降水个例有所降低，而梅汛期暴雨模式普遍漏报，因此相较于总体个例，台风暴雨的漏报率有所减小。从预报偏差看，台风降水和所有降水个例有较明显的区别，台风影响下中雨两个例更多的表现为漏报，而大雨两个例尤其是 12~48h 预报则主要表现为空报，与总体降水个例预报相反。另外注意到，不同等级的降水预报中各评估指标普遍在 48h 以前表现较为稳定，而 60~72h 的预报开始逐渐转差，表明受台风的路径和强度预报不稳定性影响 60~72h 以后的降

水预报可信度相对低，因此实际台风降水预报中可主要参考 72h 以内的预报。

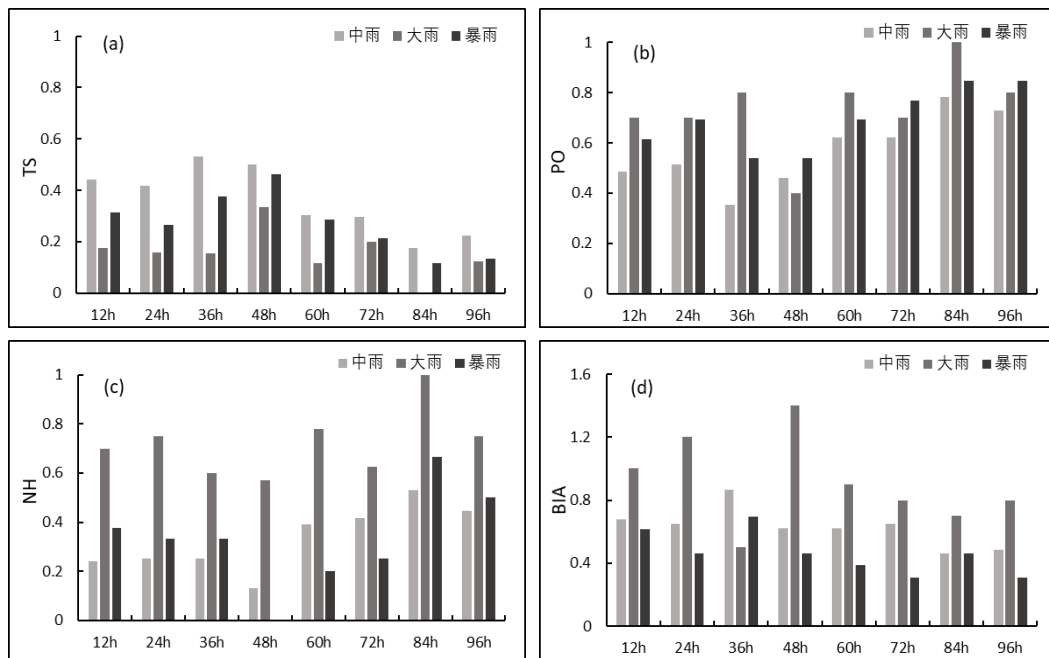


图 2 EC 细网格不同预报时效台风降水 TS、PO、NH 和 BIA 评分柱状图

从各台风个例不同预报时效的均方根误差和平均绝对偏差分析看(图 3), 12~48h 预报相对稳定, RMSE 平均值介于 15~20mm 之间, MAE 介于 13~17mm, 而从 60~72h 预报开始两指标开始逐渐增大, 表明 48h 以内的预报具有更高的稳定性和可信度。进一步分析发现, EC 模式对于海葵、凤凰、灿鸿、温比亚等几个台风密闭云区直接影响的个例预报相对较好, 均方根误差和绝对偏差小, 而对于与冷空气或双台风相结合产生强降水的菲特、山竹、莫兰蒂等的预报则偏差较大。另外, 除了摩羯(强度不强, 结构不对称)、卡努(台风远距离倒槽系统)两个台风几个时次降水预报大于实况, 绝大多个例的降水预报小于实况。

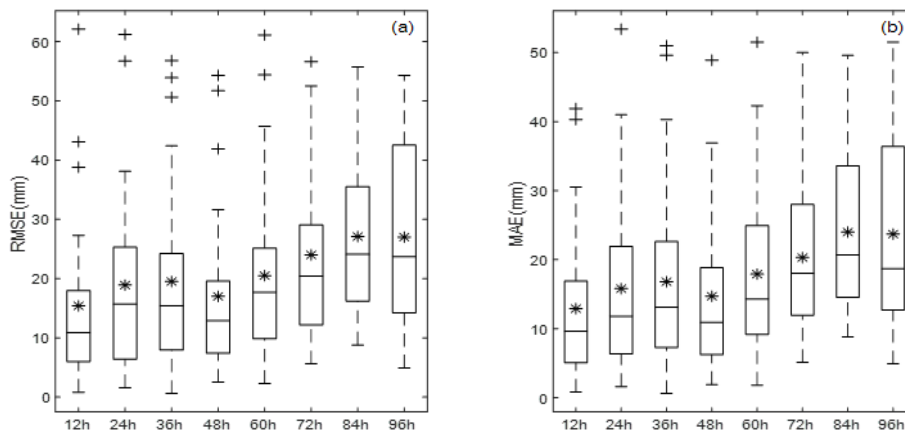


图 3 台风个例不同预报时效的 RMSE 和 MAE

4. 小结

本研究评估了 2012~2018 年 EC 高分辨率模式对宁波降水的预报效果, 结论如下:

(1) 模式对于宁波的面雨量预报具有一定的参考性。各量级的预报模式总体而言小于实况雨量, 从小雨到大雨量级, 模式的预报能力随着时效延长, 呈逐渐减小的趋势, 并且降水量级越大, 预报能力越弱。模式对于小雨和中雨容易出现空报, 空报主要出现在夏季, 而对于大雨和暴雨则容易出现漏报, 对于非台风降水, 模式预报大雨或暴雨过程时需要引起重视。

(2) 台风降水的评估表明, 不同等级的降水预报中各评估指标普遍在 12~48h 表现较高的稳定性和可信度, 而 60~72h 的预报开始逐渐转差, 因此实际台风降水预报中可主要参考 72h 以内的预报。模式对于

台风密闭云区影响的个例,降水预报偏差更小,而有双台风或者冷空气结合的情况下,预报偏差较大。

全球模式对于台风降水的预报具有参考价值,但对于过程极大降水的绝对值仍存在较大偏差,预报总体偏弱,需要关注区域模式的预报产品。另外,台风自身结构复杂,除了本身环流外,还经常与西风带系统或热带系统共同作用,因此台风降水的落区预报更加困难,日后需要深入评估双台风、冷空气、副高等相关系统影响下模式的预报性能。

参考文献:

- [1]赵晓琳. 2012年6-8月T639、ECMWF及日本模式中中期预报性能检验[J]. 气象, 2012, 38(11):1423-1428.
- [2]张宏芳,潘留杰,杨新. ECMWF、日本高分辨率模式降水预报能力的对比分析[J]. 气象, 2014, 40(4):424-432.
- [3]孙素琴,郑婧,金米娜,等. 基于多模式2015年江西省汛期区域性暴雨的检验[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(2):1-7.
- [4]张俊兰,李圆圆,张超. ECMWF细网格模式降水产品在北疆暴雪中的应用检验[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(4):7-13.
- [5]王海燕,田刚,徐卫立,等. ECMWF模式在长江上游流域调度关键期的预报检验评估[J]. 干旱气象, 2017, 35(1):142-147.
- [6]黄楚惠,郝丽萍,牛金龙,等. 基于ECMWF细网格模式产品的湿螺旋度在四川盆地强降水预报的应用试验[J]. 气象, 2014, 40(9):1088-1096.
- [7]潘留杰,张宏芳,陈小婷,等. ECMWF集合预报在中国中部地区的降水概率预报性能评估[J]. 高原气象, 2017, 36(1):138-147.
- [8]毕宝贵,徐晶,林建. 面雨量计算方法及其在海河流域的应用[J]. 气象, 2003, 29(8):39-42.
- [9]朱红芳,王东勇,朱鹏飞,等. GRAPES模式在淮河流域面雨量预报中的应用[J]. 气象, 2007, 33(3):76-82.
- [10]熊传辉,马安国,饶传新,等. 三种数值预报产品在清江流域面雨量预报中的应用检验[J]. 暴雨灾害, 2004, 23(1):24-26.
- [11]朱占云,潘娅英,骆月珍,等. 浙江省水库流域面雨量的多模式预报效果分析与检验[J]. 气象与环境科学, 2017, 40(3):93-100.
- [12]刘爱民,涂小萍,胡春蕾,等. 宁波气候和气候变化[M]. 北京:气象出版社, 2008:1, 135.