

基于预报竞赛的CMA-Meso模式精细化要素 预报技巧评分结果分析

熊秋芬 付雅芳 张昕

第八届全国气象行业天气预报职业技能竞赛历史个例天气预报单项中逐3 h精细化要素预报的评分结果表明，CMA-Meso模式对要素预报有一定的预报技巧，特别是对连续性降雨过程气温的预报效果较好。预报员对模式也有较强的订正能力，在模式出现偏差时做出了正确的订正。

中图分类号：P4

文献标志码：A

DOI：10.3969/j.issn.2095-1973.2024.03.012

全国气象行业天气预报职业技能竞赛（简称全国预报竞赛）作为预报能力提升、培养人才的有效途径之一，旨在促进气象业务现代化建设，面向天气预报业务发展需求，培养锻炼天气预报员业务素质和基本技能，提高天气预报业务水平，提升气象预报预测能力，营造人才成长与发展的良好氛围，团结动员广大天气预报业务人员为气象事业又好又快的发展做出积极的贡献。

自2008年1月首届全国预报竞赛至今，中国气象局已经举办八届竞赛，竞赛内容和资料在不断完善。第一至第四届竞赛项目包括历史个例天气预报、实时天气预报、预报专业知识、预报分析与问答四个单项。从第五届竞赛开始，将实时天气预报单项改为强对流天气临近预报。第七届预报竞赛方案中将历史个例天气预报做了调整，由原来的2个灾害性天气预报改为1个精细化要素预报、1个灾害性天气预报。其中，精细化要素预报是对指定站点进行逐3 h气温和降水量预报。采用的评分办法是预报员的预报结果与实况进行对比检验，没有考虑模式预报效果和预报员对模式的订正能力。第八届预报竞赛又将精细化要素预报的评分改为对CMA(GRAPES)模式（简称CMA-Meso）的技巧评分，并且只提供CMA-Meso模式的预报产品，不提供ECMWF等国外的数值模式产品，旨在考察没有国外数值模式的情况下，参赛选手（简称预报员）对国产模式的应用和订正能力。因此“精细化”是对预报员预报能力的一种新挑战，在数值预报基础上的订正能力越来越重要。

2023年11月第八届全国预报竞赛在北京举办，来自全国气象行业的36支代表队共108名预报员参加了角逐。本文基于本届竞赛中精细化预报的评分结果，先将CMA-Meso模式的要素预报与实况对比检验，再对预报员的预报结果以及相对于模式的技巧分进行分析，找出CMA-Meso模式和预报员在灾害性天气预报中存在的不足，为提高精细化预报能力、模式开发人员改进模式、预报员培训课程体系的设计提供参考。

1 资料和评分方法

1.1 资料

按照第八届全国预报竞赛方案，精细化要素预报的内容是对本省及周边或天气过程影响范围内的3个指定站点（站点选取范围为基准站、基本站和一般站）未来24 h内逐3 h降雨、气温进行预报。

根据上述方案要求，选取了2016—2020年全国范围内不同时间、不同地域的影响范围较大的14次暴雨过程作为精细化预报个例，每个省份挑选3个站点作为降雨、气温的预报站点。相邻省份所用的暴雨过程相同，但预报的站点不一定相同。给预报员提供的预报资料为前2 d至预报当天05时（北京时，下同）的地面、高空、卫星云图和CMA-Meso模式预报产品，但预报个例的真实时间皆换成了假定时间，均为2025年8月6日00时—8月8日05时。

参与评分的资料有14次暴雨过程中所选站点的逐3 h降雨、气温观测数据（图1a~1b）；预报员

收稿日期：2024年1月17日；修回日期：2024年4月12日

第一作者：熊秋芬（1968—），Email：xiongqf@cma.gov.cn

通信作者：付雅芳（1982—），Email：fuyafang_bj@163.com

资助信息：中国气象局短时临近预报教学与科研团队；国家自然科学基金项目（42375019）；中国气象局气象干部培训学院项目（2023CMATCPY02）

逐3 h降雨、气温站点预报结果(图1c~1d); CMA-Meso模式10 km×10 km逐3 h降雨、气温预报产品。模式起报时间均为2025年8月7日20时、预报时段为

2025年8月8日08时—9日08时。评分时分别将模式的格点降雨和气温用双线性插值方法插值到3个站点上(图1e~1f)。

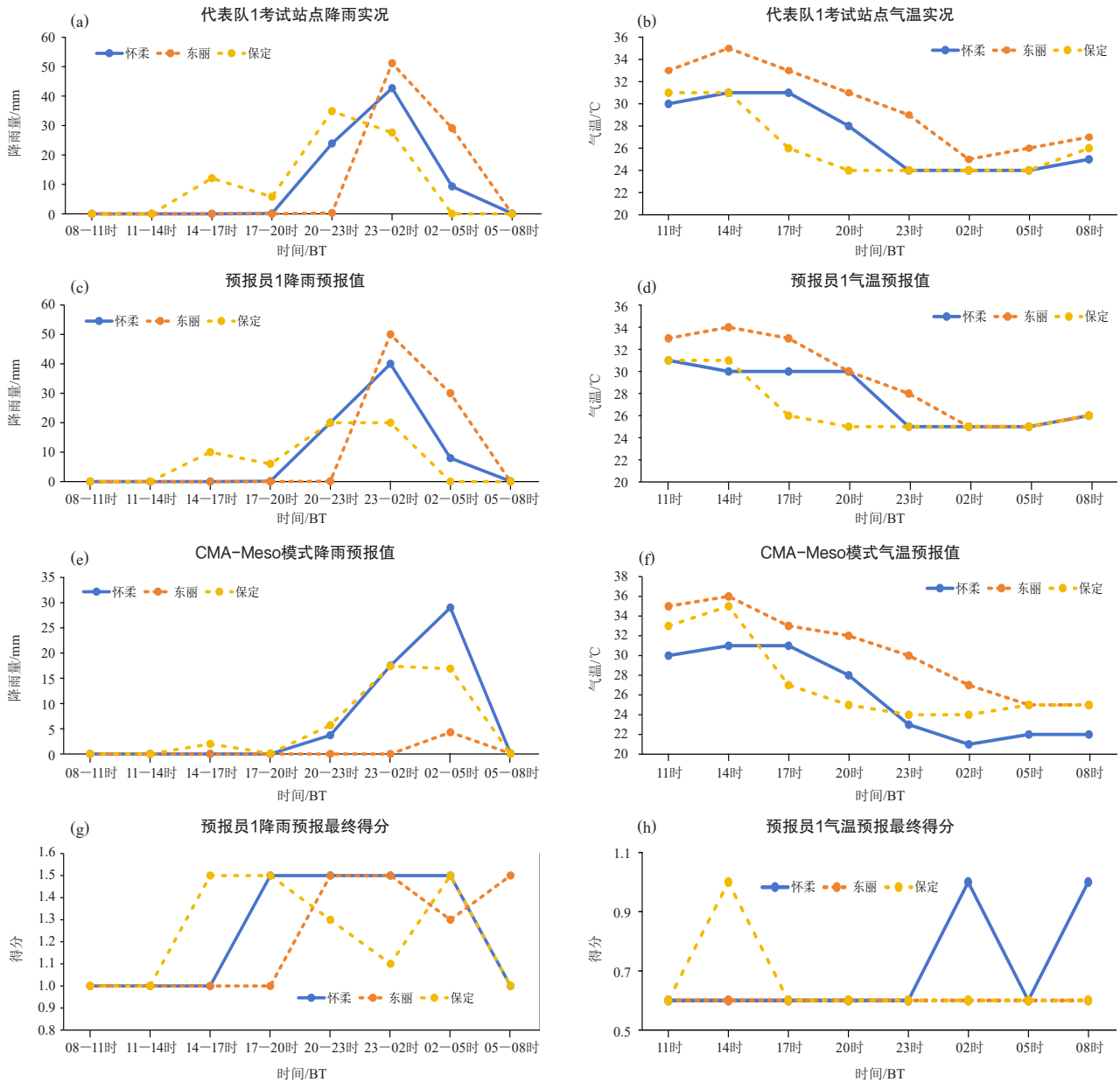


图1 代表队1考试站点降雨(a)、气温(b)实况, 预报员1降雨(c)、气温(d)预报值, CMA-Meso模式降雨(e)、气温(f)预报值及预报员1降雨(g)、气温(h)预报最终得分(图中数据均取自全国预报竞赛考试系统, 下同)

1.2 评分方法

第八届全国预报竞赛方案的精细化要素预报和模式预报均为60.0分, 每站、每个时次降雨、气温分数分别为1.5分和1.0分, 因此3个预报站点、8个时次降雨占36.0分、气温占24.0分。逐3 h降雨量值评定方法见图2, 不论是预报员还是数值模式的预报, 只有在预报值和实况降雨差值比较小时, 才有可能得分, 否则

为0分。降雨评分分为3项, 分别是预报员基础分、预报员相对于CMA-Meso技巧评分及预报员的最终得分, 具体评分办法见表1~表3。逐3 h整点气温评分标准及技巧评分见表4。

1.2.1 逐3 h降雨评分

降雨评分(满分1.5分)分为基础分(满分0.5分)和技巧分(满分1.0分)两部分。对于某站、某时次而

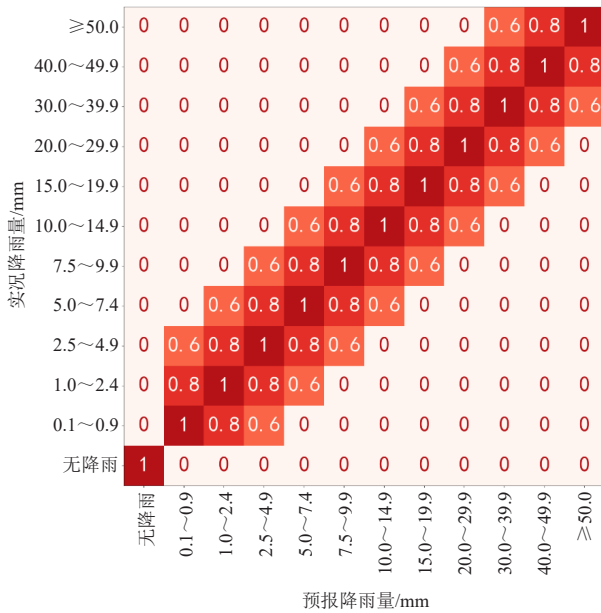


图2 第八届全国预报竞赛精细化要素预报降雨量值评定方法

表1 基础分评定表格 (满分0.5分)

基础分值	预报员评分
0.5	1.0
0.4	0.8
0.3	0.6
0	0

表2 技巧分评定表格 (满分1.0分)

CMA-Meso评分	预报员评分			
	1.0	0.8	0.6	0
1.0	0.5	0.4	0.3	0
0.8	0.6	0.5	0.4	0.1
0.6	0.7	0.6	0.5	0.2
0	1.0	0.9	0.8	0.5

表3 最终得分表格 (满分1.5分)

CMA-Meso评分	预报员评分			
	1.0	0.8	0.6	0
1.0	1.0	0.8	0.6	0
0.8	1.1	0.9	0.7	0.1
0.6	1.2	1.0	0.8	0.2
0	1.5	1.3	1.1	0.5

表4 气温的技巧评分

CMA-Meso评分	预报员评分	
	正确	错误
正确	0.6	0
错误	1.0	0.3

言, 先根据图2的评分办法分别评定预报员和CMA-Meso模式得分情况, 再根据表1评出预报员基础分, 然后由表2评定出预报员相对于CMA-Meso模式的技巧分。预报员的最后得分为基础分和技巧分两项分值总

和, 具体见表3。

由表2、表3可以看出, 只有在CMA-Meso模式降雨评分低于预报员评分的情况下, 才有正的预报技巧, 反之是负技巧; 如果CMA-Meso模式预报效果好, 评分本身就较高, 那么预报员的订正空间并不大。如果CMA-Meso模式和预报员都没有预报出相应的降雨量级, 也有0.5分, 表明降雨预报难度比较大。

1.2.2 逐3h整点气温

气温评分, 不管是预报员还是CMA-Meso模式预报的气温值均取整数(如20℃)。对于某站、某时次而言, 先按照|预报值-实况值|≤2℃为正确(1.0分)、否则为错误(0分)的原则分别评定预报员和CMA-Meso模式的气温预报是否正确(图1d、1f与图1b对比), 再根据表4计算预报员相对于CMA-Meso的技巧分。

由表4也可以看出, 只有在CMA-Meso模式预报错误而预报员评分正确的情况下, 才有较高的预报技巧、得1.0分; 反之是负技巧。如果CMA-Meso模式和预报员的预报均正确, 那么得0.6分。如果CMA-Meso模式和预报员的预报均错误, 也有0.3分, 表明气温预报难度比较大。

2 评分结果

2.1 CMA-Meso要素预报评分结果

图1给出了北京怀柔、天津东丽和河北保定3个站逐3h降雨(图1a)和气温(图1b)实况和将CMA-Meso模式的格点值插值到上述3个站的预报值(图1e、1f), 按照降雨评分办法, 可以得到CMA-Meso模式对怀柔、东丽和保定降雨预报得分总和为11.8分(满分24.0分), 得分率49.2%。再依据|预报值-实况值|≤2℃为正确、否则为错误的原则, CMA-Meso模式对怀柔、东丽和保定气温的预报得分为21.0分(满分24.0分), 得分率87.5%。表明模式对降雨和气温都有较好的预报能力, 但降雨的预报能力低于气温。

表5给出了本次竞赛中CMA-Meso模式要素预报的总体得分情况, 降雨、气温预报平均得分分别为11.6分、17.7分, 得分率分别为48.3%和73.8%。气温预报最高分为满分24.0分, 表明模式对某些过程中的气温预报与实况完全一致, 有非常高的预报能力。另外

表5 CMA-Meso模式和预报员要素预报得分和得分率(单位: %)

预报主体	类别	降雨预报得分/得分率	气温预报得分/得分率	总分/得分率
CMA-Meso模式	平均	11.6/48.3	17.7/73.8	29.3/61.0
	最高	17.2/71.7	24.0/100	38.0/79.2
预报员	平均	12.9/53.8	19.1/79.1	32.0/66.6
	最高	24.0/100	24.0/100	48.0/100

降雨的最高得分为17.2，得分率为71.7%。降雨、气温两项要素总和平均分为29.3分，得分率为61.0%；最高得分38.0分，得分率为79.2%。

2.2 预报员要素预报评分结果

从108名预报员要素预报的得分来看(表5)，降雨与气温的平均分分别为12.9分和19.1分，得分率分别为53.8%、79.1%，最高分均为满分。降雨、气温两项要素总和平均分为32.0分，得分率为66.6%。对比CMA-Meso模式要素预报得分，除气温的最高分外，预报员的各项平均分和最高分高于CMA-Meso模式的评分，表明预报员对模式有一定的订正能力。

2.3 最终评分结果

表6显示，预报员降雨平均基础分得分为6.5分、平均技巧分为12.6分，得分率分别为53.8%、52.7%；降雨总分的平均值为19.1分，得分率为53.1%。降雨基础分最高达满分12.0分；降雨技巧分最高为17.9分，得分率为74.6%；降雨得分的最高分为29.7分，得分率为82.5%。

表6 预报员基础分、技巧分和最终得分及得分率(单位: %)

类别	降雨总分/ 得分率	降雨基础分/ 得分率	降雨技巧分/ 得分率	气温技巧分/ 得分率	最终得分/ 得分率
平均	19.1/53.1	6.5/53.8	12.6/52.7	13.7/57.1	32.8/54.7
最高	29.7/82.5	12.0/100	17.9/74.6	20.4/85.0	45.9/76.5

气温的平均技巧分为13.7分，得分率为57.1%；最高技巧分为20.4分，得分率为85.0%。降雨、气温2个要素合计的最终得分的平均分和最高分分别为32.8分、45.9分，得分率分别为54.7%、76.5%。

从逐3 h要素预报的平均得分来看(图3)，预报员对20—23时、23时一次日02时降雨预报的得分较其他时段略低，得分最高的时段为08—11时；预报员对14时气温的预报得分最低，02、05、08时预报得分较高。

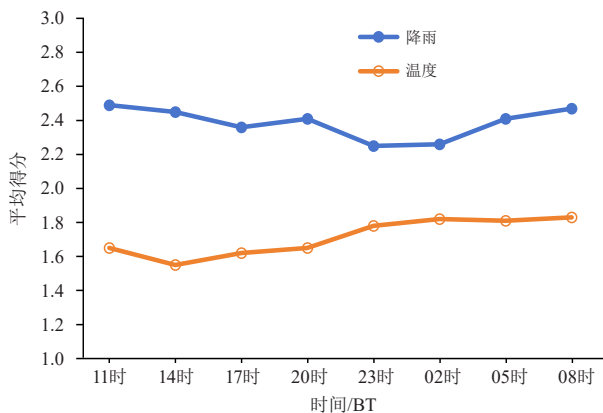


图3 预报员逐3 h降雨、气温预报结果的平均得分

3 评分结果分析

评分结果显示，CMA-Meso模式预报降雨、气温的平均得分率分别为48.3%和73.8%，体现了CMA-Meso模式对暴雨过程中的降雨、气温有一定的预报能力，特别是气温的预报能力比较突出，在某些过程中逐3 h气温预报完全正确。

使用技巧评分前，预报员降雨、气温预报平均得分率分别为53.8%、79.1%，比CMA-Meso模式高5~6个百分点。使用技巧评分后，预报员降雨、气温平均得分率分别53.1%、57.1%，有一定的正技巧，预报员的预报结果优于CMA-Meso模式，显示预报员对降雨过程的起止时间、持续性和强度以及气温的变化有预报能力，对CMA-Meso模式也有一定的订正能力。另外，不论是降雨还是气温，技巧评分后的平均得分率低于技巧评分前，也间接说明CMA-Meso模式有一定的预报能力，否则技巧评分会很高。

20—23时、23时一次日02时是强降雨易发的时段、降雨强度比较大，不论是预报员还是CMA-Meso模式的预报能力均有限，因此得分不高。08—11时得分较高，是因为预报时效短，预报员根据05时的云图，结合模式的预报产品相对容易订正。14时气温预报得分低，是由于有降雨的情况下，天空状况对温度的影响比较大，所以偏差相对较大。通常情况下夜间气温比较稳定，预报难度不太大，得分较高。

108位预报员精细化要素预报最终得分超过平均分32.8分的有38人，分数的中位数为31.1分，大多数低于中位数分值的预报员是因为降雨的订正为负技巧。也有少数预报员不论是降雨还是气温的预报都比CMA-Meso模式效果差，为负的技巧分，应进一步总结经验和提高。

除了上述技巧评分结果外，通过对14个暴雨过程的天气学检验发现，在连续性降水过程中，CMA-Meso模式气温预报较好；而对流性降水过程的降雨和气温预报难度相对比较大。静稳天气背景下，模式预报的08时气温偏高，05—08时、08—11时升温幅度大，而对冷空气过程预报的降温幅度不够大。CMA-Meso模式预报的降雨带整体比实况偏西偏北。造成这种误差的原因之一是模式预报的降雨系统比实况偏西偏北，移动偏慢。有些降雨过程虽然开始时间预报好，量级预报明显偏弱。

4 结论及思考

精细化要素预报技巧评分的结果表明，竞赛评分体系突出展示了预报员对数值预报的订正能力，也说明具有自主知识产权的国产模式在业务预报中得到了应

用。如果预报员没有平时的经验积累，仅凭竞赛时的临场发挥是不可能取得好成绩的。

技巧评分和天气学检验发现，CMA-Meso模式在气温预报、降水强度和落区预报等方面还存在一定的偏差，特别是对山地地形下气温、降雨等要素预报质量不高，要素预报订正结果质量仍然偏低。今后需要分不同类型、不同地域的暴雨过程的预报偏差详细检验，提取更多关键的、有用的信息，为模式开发人员改进模式的动力过程、物理过程，尤其是边界层方案等提供参考。

围绕精准预报能力的培训需求，满足适应预报员转型的需要，丰富预报员培训内容，设计分层分类数值预报应用的课程体系，增加数值模式性能、模式预报误差来源分析、基于物理过程的AI与精细化预报等案例教学，完善实习实训环境，搭建预报员转型的桥梁，使预报员了解数值预报模式的预报优缺点，积累数值预报应用和订正经验，成为以数值预报为基础，综合运用各类气象信息的新型预报员。

在改进预报竞赛内容方面，提供更多时空分辨率和精细化程度更高的资料，使要素预报更精细化。在评分办法方面，除了预报竞赛指定的站点技巧评分办

法外，可以采用CRA (Contiguous Rain Area)、基于目标对象检验法 (Object-based Verification) 等空间检验技术进行模式预报结果的评估，使预报员更全面地掌握数值模式的预报性能，提升预报员综合分析运用各类资料的能力和核心竞争力。

致谢：感谢上海中心气象台漆梁波首席的指导和帮助。

深入阅读

- 符娇兰, 代刊, 2016. 基于CRA空间检验技术的西南地区东部强降水EC模式预报误差分析[J]. 气象, 42(12): 1456-1464.
- 刘凑华, 牛若芸, 2013. 基于目标的降水检验方法及应用[J]. 气象, 39(6): 681-690.
- 熊秋芬, 2010. 全国气象行业天气预报技能竞赛试题解析[J]. 气象软科学, (6): 115-123.
- 叶梦姝, 熊秋芬, 王秀明, 2023. 我们需要怎样的预报员? ——天气预报职业技能竞赛回顾及展望[N]. 中国气象报, 11月24日第3版.
- 郑晓辉, 赵娟, 薛童, 等, 2022. 基于预报精准的研究型业务技术培训需求分析和思考[J]. 气象科技进展, 12(3): 75-77.
- 钟琦, 薛童, 朱禾, 等, 2020. 面向预报员的精细化数值预报产品应用培训需求研究[J]. 气象科技进展, 10(2): 92-99.

(作者单位：中国气象局气象干部培训学院)

(编辑：卢冰)