

集合预报产品在省、市、县天气预报中的应用情况调查

■ 陈圣劼 孙泓川 康志明

用“包含了不确定性”的“完全预报”来取代现行“确定性单一值”的“不完全预报”是一个已被广大预报员接受的概念，但预报员对用户使用不确定性信息的信心相较于2011年结果变化不大，一定程度上反映出公众气象科普工作进展缓慢，需加大集合预报的公众科普宣传力度。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.02.008

天气的演变是一个具有不确定性因素在内的随机动力过程，大气混沌特性叠加数值预报模式初值的不确定性及其本身的近似误差，因此单一的确定预报无法完全描述大气的真实演变过程。鉴于此，“集合预报”的概念被提出。集合预报是针对数值预报不确定性问题发展起来的新一代随机动力概率预报技术，它既能给出单一的最佳可能预报，也能定量描述天气事件发生的不确定性，同时提供概率预报产品。集合预报的业务应用在发达国家已较为成熟，其在天气预报业务系统中的重要地位和作用已获得广泛认可。集合预报通过多初值、多物理方案产生不同的预报成员，可通过概率预报描述预报的不确定性，具有更大的应用价值。中国气象局《现代天气业务发展指导意见》明确提出以集合数值预报为依托，提高降水、灾害性天气和其他极端天气的概率预报水平。

从2007年开始，国家级业务单位不断积累着在定量降水预报（QPF）、中期预报、台风海洋预报和强对流预报等业务中的集合预报产品应用技术和经验。2011年，集合预报数据开始进入国家气象中心实时数据库。2012年，国家气象中心逐步建立了完整的业务应用流程。在此背景下，各省开始了集合预报的业务应用系统建设。江苏省气象部门于2013年引入国家气象中心的集合预报工具箱、集合预报和多模式集成功能综合分析显示平台（NUMBERS）等集合预报业务系统；2014年完成针对多种集合预报模式数据的可视化模块开发，在江苏预报业务一体化平台进行集中展示，其集合预报产品包括端须图、面条图、邮票图、概率预报、集合统计量、离散度、EFI指数等。在探索集合预报产品快捷展示方式的同时，江苏省气

象部门预报员也积极开展了集合预报的后处理释用技术的研究。江苏先后实现了偏差订正、频率匹配、概率匹配平均、最优百分位、评分最优化订正（OTS方法）、集合预报模式输出统计（EMOS）方法、标准化距平模式输出统计（SAMOS）方法等国内、外主流的后处理释用技术的本地化应用。针对暴雨等灾害性天气事件，基于大量暴雨样本系统检验和评估了EC集合预报及多种后处理释用产品的预报能力。评估结果进一步加深了对各集合预报产品区域暴雨预报能力的认识，为预报员更直接快速地选取有效的集合预报产品提供参考。此外，针对集合预报模式的不确定性进行相应研究，开发了“集合预报信心指数”。集合预报后处理技术均纳入江苏本地化的RIOF（Refined Integration Optimal Forecast）技术体系，最终进入智能网格精细化无缝隙预报系统。

2019年8月，通过手机app对江苏省、市、县三级预报员进行了集合预报产品应用情况的调查（问卷及统计数字见附录）。调查内容包括对集合预报产品的基本认识、集合预报产品的获取和分析、集合预报产品的应用、集合预报产品的作用以及目前集合预报应用的不足和改进建议等方面。希望以江苏为代表的调查结果能帮助科研人员和业务管理者了解一线业务预报员目前使用集合预报产品的实际状况，以对未来进一步推进集合预报产品的应用有参考和指示意义。

1 基本情况

此次调查采用调查问卷匿名回答的形式，共有来自江苏省、市、县三级气象业务部门的251位预报员参与调查，其中省级预报员28名（11.16%），市级

收稿日期：2019年9月18日；修回日期：2019年11月15日

第一作者：陈圣劼（1987—），Email: chenshengjieshiz@163.com

通信作者：康志明（1978—），Email: Kangzm@cma.gov.cn

资助信息：江苏省气象局重点项目（KZ201801）；气象预报业务关键技术的发展专项（YBGJXM（2019）04-04）

103名(41.04%)，县级120名(47.81%) (图1a)，市、县级的基层台站预报员占了此次调查对象的大多数。不同岗龄的参与调查人数总体呈现平均分布：1~3年69人(27.49%)，4~6年54人(21.51%)，7~10年53人(21.12%)，10年以上75人(29.88%) (图1b)，反映了此次调查涵盖了省、市、县三级不同资历业务一线预报员的群体。此外，在职称方面 (图1c)，参与调查的预报员以工程师(118人)和副高级工程师(45人)为主，共占64.94%，另有正研级高工6人(2.39%)和助理工程师82人(32.67%)，调查群体在预报专业技术能力上总体呈现中高级水平。在学历方面，以大学本科和硕士研究生学历为主，分别有117人(46.61%)和103人(41.04%)，共占调查总人数的87.65%，另有博士研究生20人(7.97%) (图1d)，显示江苏预报员普遍具有较高的学历层次，博士群体主要集中在省级(17人)。为更详细地分析调查结果及其可能原因，在本文的分析中，除了总体样本的统计外，还按照“工作单位”“岗龄”“学历”“职称”4个子样本集进行了统计，如果子样本集的结果与总样本没有明显差异，我们就只给出总样本的分析结果，否则，会进一步分析子样本集的不同。

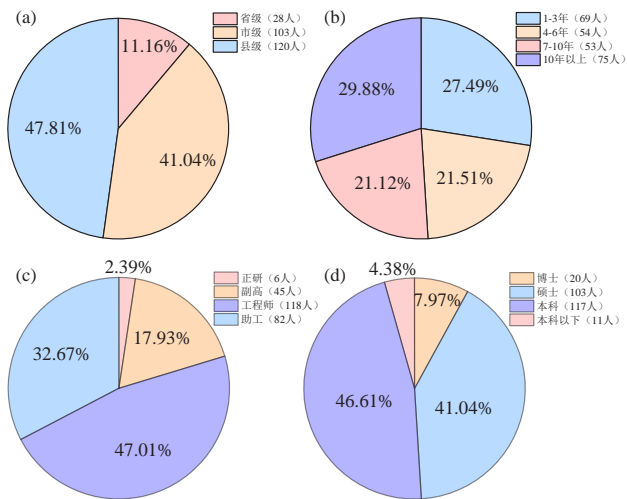


图1 调查样本分布

(a) 机构级别; (b) 岗龄; (c) 职称; (d) 学历

2 调查结果

2.1 预报员对集合预报的基本认识

集合预报具有丰富的预报信息，不仅在科学上是一个新的课题，在人的思维方式上也是一个挑战。要理解并用好集合预报，首先需要对集合预报有清楚的认识。对于集合预报的认识包括多个方面，集合预报的基本概念、种类、基本输出产品及其相关后处理技

术等。

对251名江苏基层台站预报员的调查结果显示，97.21%的预报员对集合预报或多或少有一些认识或使用，极少数人员(7人，2.79%)至今完全没有接触集合预报(图2)。对集合预报了解的人数比例较2011年的调查结果(66.9%)有大幅提高。完全没有接触的人员主要是县级单位、大学本科以下学历或助理职称(刚工作不久)的预报员(图略)。从开始接触集合预报的时间来看(图2)，一半以上的(59.36%)预报员是从从事预报工作以来才开始接触集合预报，部分(37.85%)预报员在校期间已对集合预报有所了解或使用，其中本科阶段起步的居多(21.51%)。可见，基层台站预报员对于集合预报的了解、使用或研究大多数起步于实际业务工作。为更早、更深入的认识，并在实际工作中尽可能熟练地应用集合预报，加强在校期间关于集合预报的专业气象知识的学习很有必要。

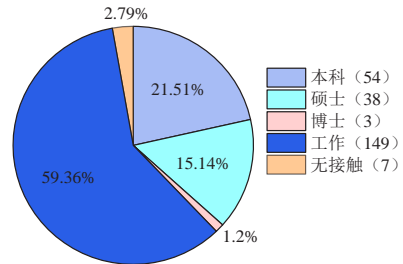


图2 开始接触集合预报的时段

调查显示一半以上的(59.36%)预报员是从从事预报工作以来才开始接触集合预报，那么预报员如何在工作中加深对集合预报认识呢?由图3可见，绝大多数预报员(170人以上，67.73%)表示是通过参加相关业务培训和实际预报应用进一步加深对集合预报的理解;52名(20.71%)预报员通过参与科研项目或研发集合预报相关技术的方式进一步认识集合预报;调查也有极个别(5人，2%)预报员对集合预报没有兴趣进一步了解。

虽然绝大多数预报员在预报业务中都使用了集

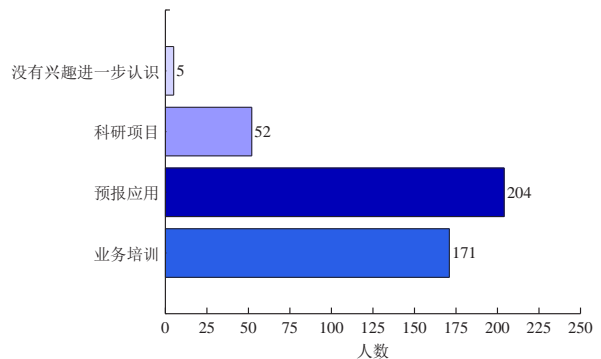


图3 进一步认识集合预报的方式

合预报产品，但调查发现大多数预报员对集合预报产品的基本知识如定义、算法和特点的了解程度并不够，少数了解的人数占56.67%，不了解的人占12.35%，仅有29.08%和1.99%的预报员大部分了解和完全了解（图4），说明预报员在使用集合预报时多半呈现一知半解的状态。集合预报熟悉程度较高的（完全了解和大部分

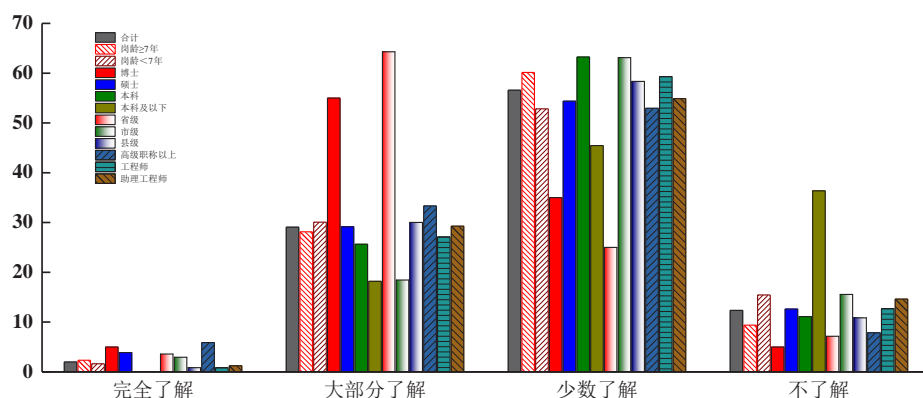


图4 对集合预报基本产品定义、算法和特点的了解程度

了解) 预报员集中在省级、高级职称以上或博士学位预报员中，省级预报员高达67.86%，高级职称以上39.22%，博士学位群体中有60%，而资历深（岗龄≥7年）浅（岗龄<7年）对集合预报熟悉程度的比例相当（图4）。原因是省级预报员参加集合预报业务培训（85.71%）和科研工作（39.39%）的机会明显多于市、县级（业务培训65.92%和科研工作18.83%）（图略），而市、县级预报员主要通过实际预报应用来认知集合预报。高级职称以上或博士学位群体相比其他职称或学历人员拥有更高比例的业务培训和科研经历，所以对集合预报有更深入的了解。

2.2 集合预报产品的获取和分析、处理

集合预报产品的获取、分析和处理是预报员使用集合预报产品，开展集合预报相关研究的前提。从集合预报产品的获取方式来看（图5a），大多数预报员直接从省级或国家级业务网站获得各类集合预报产品，尤其是江苏省自主开发的业务网站（239人直接从省级业务网站获取集合预报产品，占95.22%）。少数预报员（19.12%）也会使用本级部门集合预报研究成果转化的产品，极少数预报员（9.16%）直接浏览国外业务网站。可见，省级部门研发的集合预报产品和业务展示平台是基层台站预报员应用集合预报产品

的主要支撑，在集合预报应用和推广中，省级部门是做好承上启下，联系集合预报基础研发和实际基层应用的关键环节。

调查显示，对于集合预报原始数据的数据类型、时空分辨率等信息有所了解的人数不及一半，而对于读取集合预报数据的处理方式，完全不了解的人数高达89人（35.46%）（图5b）。对集合预报后处理技术的认识上（图5c），各类后处理技术（统计后处理、降尺度处理、聚类分析等）了解的人数均不及调查总人数的一半，完全不了解的人数73人，占29.08%。要充分用好这些集合预报后处理产品，还需相关研发人员加强相关技术的宣讲、推广和答疑等。

在国家级和省级的业务网站中，除了中国GRAPES模式外还包括了欧洲ECMWF和美国的GFS等模式的预报（图6）。调查表明，业务中应用的集合预报产品主要来源是欧洲ECMWF（232人）、中国GRAPES（166人）和美国NCEP（112人），有少量预报员使用过加拿大CMC（5人）和其他来源（16人）的集合预报，其中86.85%的预报员最常使用的集合预报模式是ECMWF，9.16%的预报员最常使用的模式是中国的GRAPES，其他模式只有较少预报员认为是最常用的。可以看出欧洲ECMWF集合预报还是预报员使用最多、最常用的集合预报模式，中国的GRAPES还有

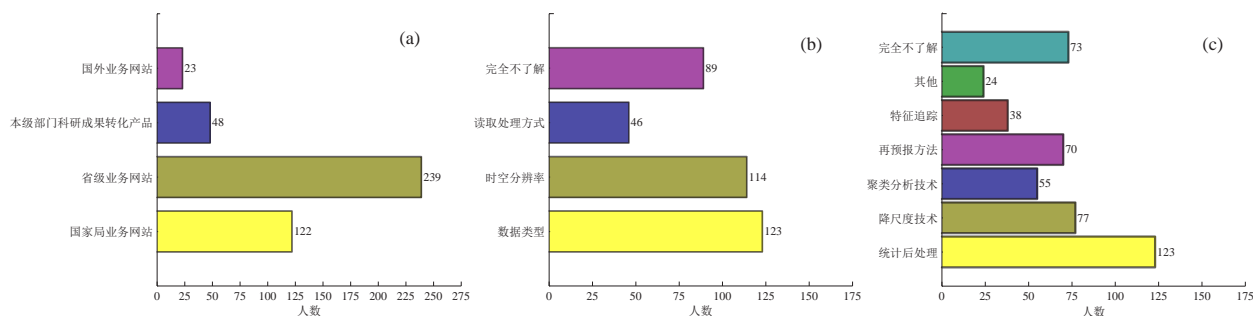


图5 集合预报产品的获取和分析、处理
(a) 获取方式；(b) 数据分析；(c) 后处理技术

较大差距。

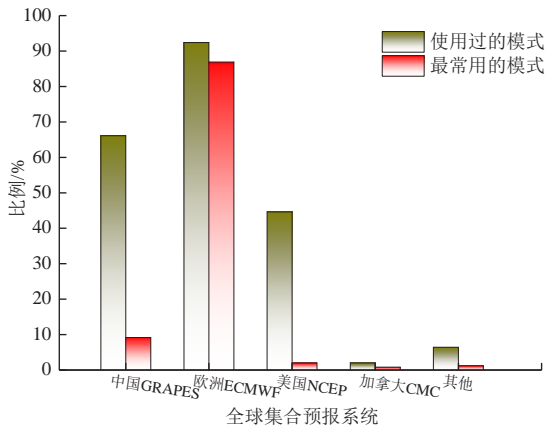


图6 预报员使用过的和最常用的全球集合预报系统

2.3 集合预报产品的应用

认识集合预报是基础，应用集合预报是导向。集合预报具有丰富的预报产品，图7显示了预报员在实际业务工作中常用集合预报产品的调查结果。预报员最常用的是要素的概率预报，其次是反映不同模式成员气象要素空间分布的邮票图、单站箱线图和集合平均或集合中位数，面条图的使用相对略少，可能的原因是面条图更多是用于分析形势场的不确定性，不直接反映预报要素。离散度主要用于表征预报的不确定性，使用相对也较少，排在面条图之后。使用最少的是分位值，可能原因是分位值作为预报参考需要结合研究结论和统计分析结果的支撑，而目前产品的展示方式有缺陷，预报员对各分位值的指示意义认识不够。这些集合预报产品按照其特点可以归纳为三类：基于集合预报生成的确定性产品、集合预报概率产品、指示预报不确定性的相关产品（邮票图、面条图、端须图等），其中预报员最常使用的是集合预报生成的确定性产品（37.85%），其次是集合预报概率产品（33.47%），最不常使用的是集合预报指示不确定性的相关产品（28.69%）。调查结果一定程度上反映了预报业务和服务需求的一些实际情况：海量常规

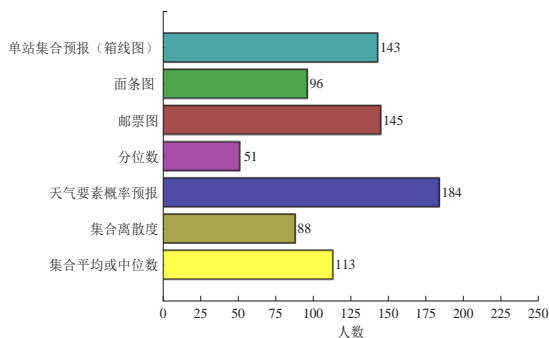


图7 集合预报基本产品的使用情况

预报资料的处理和分析已经让预报员疲于应付，因此预报员更愿意接受预报意义直接明确的不确定性产品，而不愿意耗时去分析相对难懂的不确定性产品；随着模式预报能力的提升和预报员队伍的年轻化，直接应用模式要素预报产品已经成为主流，展示形势场预报不确定性的集合产品受到了冷落；现行的预报发布规范、内容和格式仍是确定式的，分析得到的不确定性信息仍然无法表达在预报结论中，这也是预报员不愿意去主动分析不确定性信息的原因之一。

基层台站预报员当前对集合预报的应用多见于何种场景，有64.14%的人回答是仅业务值班，31.08%的回答是业务和科研使用，只有极少数的人回答是“仅科研”（2.79%）或“从不使用”（1.99%）（图8），可见，已有相当一部分预报员不仅仅是在预报业务上使用集合预报产品，而且也深入到集合预报相关的科研活动中。省市县三级样本的统计表明，与市县级相比，省级有更多比例的预报员在业务和科研上均使用集合预报产品（省级为46.4%；市级为25.2%；县级为32.5%）。分不同岗龄的统计可以看出，随着预报员岗龄的增长，仅用于业务值班的比例逐步增加，而极少数从不使用的人群中的只分布在最年轻预报员（1~3年，占比5.8%）和最资深预报员（占比1.3%），业务和科研均使用集合预报比例最高的是7~10年预报员（34.0%），说明这个岗龄段的预报员作为业务和科研的骨干，能够更好的结合业务做一些研发工作（图8）。

在日常业务值班中，经常使用（48.21%）和偶尔使用（49.00%）集合预报的预报员占到了绝大多数，只有极少数的预报员（2.79%）从不使用。这说明使用集合预报产品已经成为大部分预报员业务值班中的一种习惯，特别是有将近一半预报员在值班中经常使用，其中省级预报员经常使用（67.9%）的比例明显高于市（47.6%）、县（45.8%），这也侧面印证了集合预报产品已经成为重要的预报工具（图9），机构级别越高，使用集合预报的程度越高。

进一步分析业务值班中，预报员会在哪些天气场景使用集合预报的调查显示（图10），预报员在预报灾害性天气时最爱用集合预报产品，其次分别是常规天气、极端天气预报、专项气象预报服务。近年来，大量学者对集合预报在灾害性天气预报中的应用开展了大量的研究工作，形成了相对成熟的预报技术和较为丰富的预报产品，所以相当一部分预报员在面对灾害性天气的时候，会去参考集合预报的结果。而出乎意料之外的是，常规天气的使用占到了第二，一方面说明使用集合预报产品已经成为部分预报员日常预报

值班的一种习惯；另一方面也说明随着集合预报释用技术的深入开展，集合预报的优势和作用已经从灾害性天气、极端天气预报领域拓展，渗透到日常天气预报的方方面面，并得到预报员的认可。然而，在集合预报有很强指示意义的极端天气预报上，预报员使用的比例仅有54%，这可能与极端天气发生概率低，部分预报员在实际预报值班过程中并未碰见这类天气过程有关。一定程度上反映出预报员对集合预报对极端天气指示作用的意义认识还不够。专项气象服务中使用集合预报的比例不足50%，这可能与专项服务更加强调确定性预报结论的需求有关。

2.4 集合预报产品在预报服务中的作用

针对集合预报产品在目前天气预报服务中的应用效果调查是每位产品开发人员或业务管理、推进者最为关心的问题。调查显示（图11），有超过一半预报员（52.59%）认为集合预报能起到主要参考的作用，还有45.82%的预报员认为有补充参考的作用（尤其在省级层面），只有极个别预报员（主要是市、县）认为作用不大。分年龄统计年资较轻的预报员更多认为集合预报是主要参考（1~3年占69.6%，4~6年占50%），年资偏高的预报员更倾向于集合预报作用是补充参考。调查结果

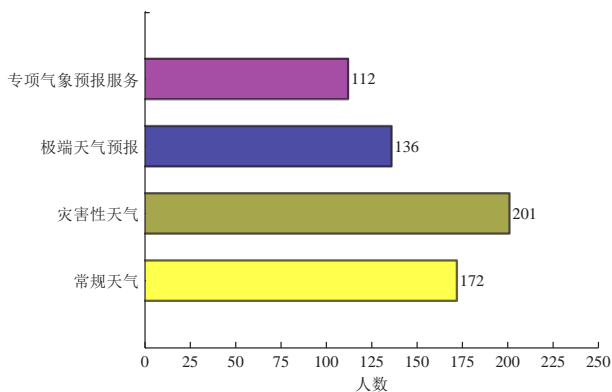


图10 使用集合预报的天气场景

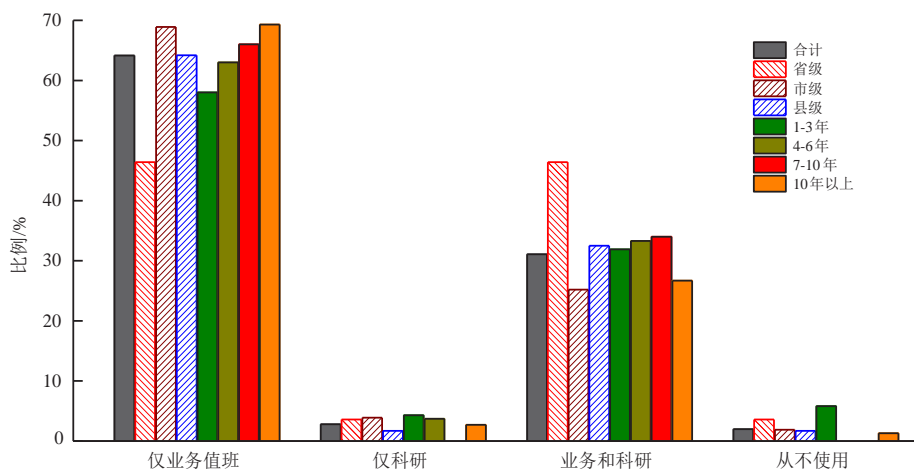


图8 集合预报的使用场景

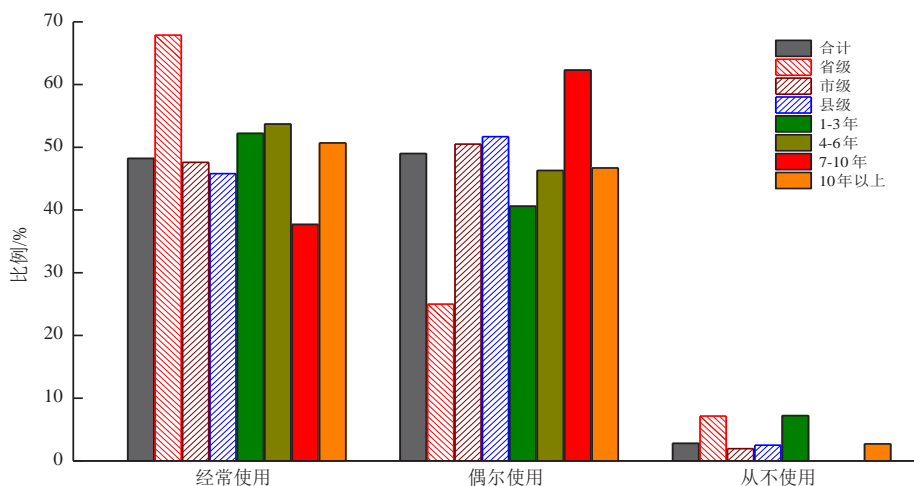


图9 日常预报值班中集合预报使用情况

呈现了一个非常有意思的现象，认为集合预报能起主要参考作用的省级预报员比例明显低于市县级（省级为17.9%，市级为39.8%，县级为71.7%）。也就是说最经常使用集合预报产品、对集合预报产品了解最深的省级预报员反而对集合预报的能力和作用最缺乏信心，最大可能的原因是随着对集合预报认识的加深，省级预报员反而更清楚地了解目前集合预报的不足和局限性。

如何更好地把集合预报相关产品信息应用在日常的天气预报制作和服务的问题上（图略），绝大多数的预报员（97.61%）（其中省级预报员100%）认为在现有预报规范下（即最后发布的是单一值确定预报），预报员可以通过斟酌预报用语、调整量级等来表达对预报的把握程度，但这种方式预报可信度信息得不到最大程度的应用。要使它能得到最大程度的应用，现有的预报规范需要修改（由确定性预报变为概率预报），从而把集合预报的不确定性信息应用在日

常的天气预报制作和服务上。这个调查结果相比于2011年的86.4%有了明显的提升,说明随着集合预报技术的发展和应用的推进,预报员对集合预报的应用价值有了更充分的肯定。而认为“把集合预报相关产品信息应用在每天的天气预报制作和服务没有用处,反而造成混乱”的观点(2.39%)主要集中在岗龄1~6的年轻预报员中,表明资历较浅的年轻预报员对集合预报相关产品的信息应用仍存在不解和困惑。

针对是否应该把这种隐藏在预报背后的预报可信度或不确定性作为天气预报的一部分如实地告诉公众和用户这一问题,大部分预报员(83.67%)认为应该将预报不确定信息告诉用户,这才是客观、科学的态度,让用户根据预报不确定性去安排他们的行为,将有助于最大限度地发挥预报的价值,并同时帮助用户正确理解天气预报不确定性的内容;11.16%的预报员认为因为用户不会用带有不确定性的预报,只会造成混乱所以不应该;5.18%的预报员认为因为人们会觉得气象部门预报不准,还把预报的责任推卸到用户身上,所以不应该。预报员对于用户的看法相较于2011年变化不大,一定程度反映出公众气象科普工作进展缓慢。

上面两项的调查结果表明,绝大多数预报员都愿意应用预报不确定性的产品(97.61%),并且认为应该把预报可信度告诉用户(83.67%)。这说明,用“包含了不确定性”的“完全预报”来取代现行“确定性单一值”的“不完全预报”是一个已被广大预报员接受的概念,它在目前预报员中已有相当的思想基础,尤其是对自己针对的用户更加开放。

如何向大众来表达预报中的不确定性,调查结果(图略)发现,概率是很多预报员所推崇的(32.27%),用不同的语言和颜色也受到一定程度的欢迎(分别为12.35%和19.52%)。超过三分之一的预报员(35.86%)较开放,愿意接受以上各种方式,认为在不同的场合应用不同的方式来表达。

如何让广大公众和用户了解气象预报有不可避免的不确定性本质以避免他们有不切实际的期望(图12)?有相当数量的预报员(42.23%)认为科普是一种首选的工具。其他依次是培训(3.98%)、学校科学常识类教科书(3.9%)和同用户合作(2.39%)。

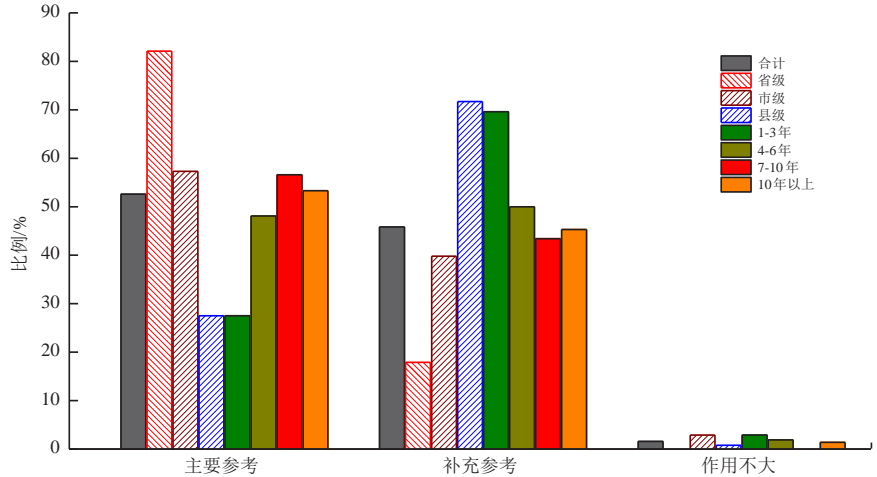


图11 对集合预报产品在目前天气预报服务中作用的想法

而约一半的预报员(47.81%)认为以上这些都很重要,应该多管齐下。相比于2011年的问卷调查,大家对培训的作用认同度变得更高一些,其他变化不大。

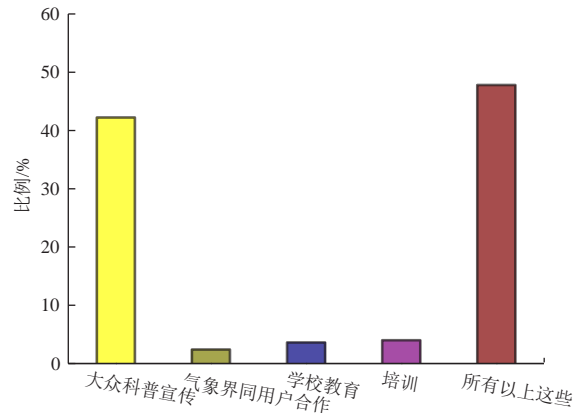


图12 让公众能够接受天气预报有不确定性的事实的关键因素

2.5 不足与建议

通过认识、使用、研究、分析集合预报及其相关产品,探讨和追踪集合预报产品服务方式及效果,预报员对目前集合预报产品本身最大的不足也形成了自己的亲身体会(图13),接近一半(40.24%)的预报员认为是集合预报产品生成的确定性产品准

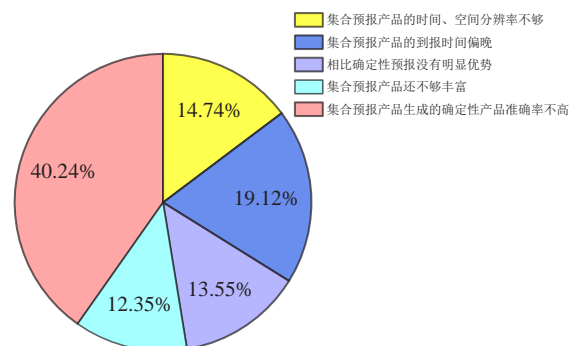


图13 集合预报产品本身最大的不足

确率不高,也有19.12%的预报员认为最大的不足是集合预报产品的到报时间偏晚。此外还有部分预报员认为是集合预报产品的时间、空间分辨率不够(14.74%),相比确定性预报没有明显优势(13.55%)和集合预报产品还不够丰富(12.35%)。

有接近一半(41.04%)的预报员认为对集合预报相关产品的认知程度不够是阻碍集合预报相关产品应用的最大可能原因(图14),还有部分预报员认为主要原因是集合预报产品本身不够可靠、准确和丰富(30.28%)以及集合预报不确定性信息的应用缺少需求(28.69%)。其中省、市级预报员更倾向于认为认知程度不够是最大阻碍(省级为53.6%、市级为49.5%),而县级更倾向于认为最大阻碍是集合预报不确定性信息应用缺少需求(35.5%)。预报员倾向于加大力度发展和使用的集合预报的类型产品主要有全概率预报(143人,56.97%)、离散度预报(不确定性信息预报)(94人,37.45%)和转化为更多的确定性预报(143人,56.97%)。

针对目前集合预报产品本身和应用上的不足和阻碍,预报员也提出对上级业务部门在集合预报业务应用上的建议:1)增加集合预报推广和培训(180人,71.71%);2)提高集合预报产品分辨率、准确率(175人,69.72%);3)丰富集合预报产品的种类(163人,64.94%);4)让预报员更多地参与集合预报研发工作(113人,45.02%)。由此可见,预报员认为首要的建议是通过增加集合预报推广和培训的形式来影响更多的预报员,加深认识,从而使得集合预报在业务上得到更好的应用。

3 结论与讨论

为了解目前集合预报在业务部门的应用情况,就相关问题设计了调查问卷,共有来自江苏省、市、县三级气象业务部门的251位预报员参与调查。具体的调查内容包括对集合预报的基本认识,集合预报的应用和研究情况,集合预报在预报服务中的作用,目前集合预报产品的不足以及对提升集合预报产品应用的建议等等。调查结果分类总结和讨论如下:

3.1 对集合预报的认识

调查表明目前绝大多数预报员们(97%)对集

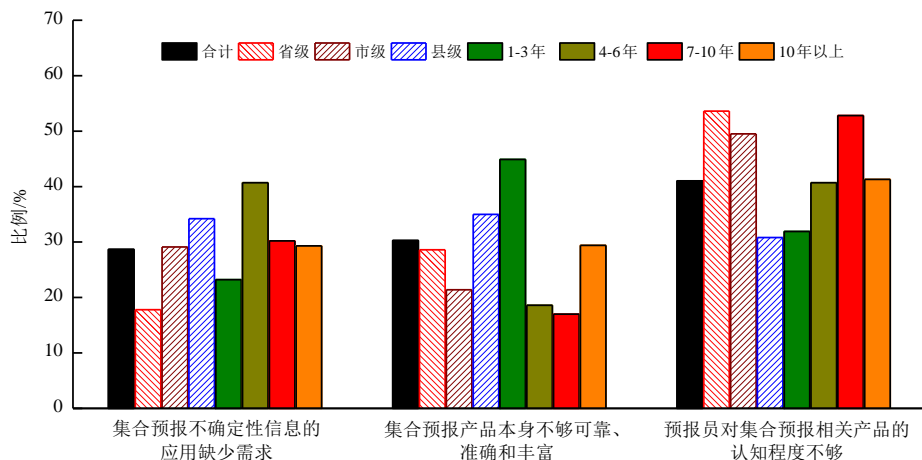


图14 阻碍集合预报相关产品应用最大可能原因

合预报有一定的了解,该比例较2011年的调查结果(67%)有大幅提高。预报员了解集合预报的主要途径是通过参加相关业务培训和实际预报应用,也有相当比例(21%)的预报员通过参与科研项目或研发相关技术从而进一步认识集合预报。虽然绝大多数预报员在预报业务中都使用了集合预报产品,但是大多数预报员对集合预报产品的定义、算法和特点的了解程度并不够。集合预报熟悉程度较高的预报员集中在省级、高级职称以上或博士学位,主要原因是省级预报员参加集合预报相关业务培训和科研的机会明显多于市、县级。因此,通过业务培训,特别是围绕业务应用的培训,从而提升市、县级预报员对集合预报的认识,在目前还是一个急需加强的任务。

3.2 集合预报产品的获取方式和分析、处理

绝大多数预报员直接从省级预报业务网站上获取集合预报产品,表明在集合预报应用和推广中,省级部门是做好承上启下,联系集合预报基础研发和实际基层应用的关键环节。欧洲ECMWF、中国GRAPES和美国GFS是业务中应用的集合预报产品的几个主要来源,其中ECMWF集合预报产品是预报员最常用的,中国的GRAPES模式较之还有较大差距。了解集合预报数据处理和各类后处理技术的人数均不及调查总人数的一半,说明相关的培训和技术推广、宣传等工作仍有待加强。

3.3 集合预报产品的应用

在日常预报中,预报员最常使用的是集合预报生成的确定性产品,其次是集合预报概率产品,最不常使用的是集合预报指示不确定性的相关产品。这个结果与业务流程紧张的现状和以确定性预报结论为主的业务规范有关系。有超过三分之一的预报员不仅在业务值班中,还在科研中使用集合预报产品,特别是

省级的预报员，经常使用集合预报的比例超过了三分之二。预报员在预报灾害性天气时最爱用集合预报产品，其次分别是常规天气、极端天气预报、专项气象预报服务。表明随着集合预报释用技术的深入开展，集合预报的价值已经从灾害性天气、极端天气预报领域拓展，渗透到日常天气预报的方方面面，并得到预报员的广泛认可，集合预报产品已然成为业务天气预报的主要参考产品。对集合预报各类产品及其相关技术继续加以拓展研发，并积极推广应用应是今后相关业务管理者和科研人员开展集合预报工作的重点。

3.4 集合预报产品在预报服务中的作用

超过一半预报员认为集合预报在预报服务中能起到主要参考的作用，其中省级预报员比例明显低于市县级，可能是由于随着对集合预报认识的加深，省级预报员反而更清楚地了解目前集合预报的不足和局限性。即使在目前，以确定预报结论为主的业务规范下，绝大多数预报员都愿意应用预报不确定性的产品（97.61%），并且认为应该把预报可信度告诉用户（83.67%）。这说明，用“包含了不确定性”的“完全预报”来取代现行“确定性单一值”的“不完全预报”是一个已被广大预报员接受的概念，但预报员对用户使用时不确定性信息的信心相较于2011年结果变化不大，一定程度上反映出公众气象科普工作进展缓慢，需加大集合预报的公众科普宣传力度，追踪用户使用不确定信息的体验感受，加强与用户的有效沟通。

3.5 对集合预报产品及应用的不足与建议

绝大多数预报员认为目前集合预报产品最大的不足是生成的确定性产品准确率不高，其次是集合预报产品的到报时间偏晚，最后是集合预报产品的时间和空间分辨率不够、相比确定性预报没有明显优势以及产品不够丰富等。这些不足均是今后集合预报系统改进和完善的研究方向。

在集合预报推广过程中，预报员认为对集合预报相关产品的认知程度不够是阻碍集合预报相关产品应用的最大可能原因。对上级业务部门在集合预报业务应用上的建议，预报员认为最重要的还是应该通过增加集合预报推广和培训来影响更多的预报员，从而推

动集合预报在业务上更好的应用。

深入阅读

- 陈圣劼, 刘梅, 张涵斌, 等, 2019. 集合预报产品在江苏省暴雨预报中的应用评估. 气象, 45(7): 893-907.
- 代刊, 朱跃建, 毕宝贵, 2018. 集合模式定量降水预报的统计后处理技术研究综述. 气象学报, 76(4): 493-510.
- 杜钧, 陈静, 2010. 天气预报的公众评价与发布形式的变革. 气象, 36(1): 1-6.
- 杜钧, 邓国, 2010. 单一值预报向概率预报转变的价值: 谈谈概率预报的检验和应用. 气象, 36(12): 10-18.
- 杜钧, 康志明, 2014. 天气预报中不确定性问题的调查分析. 气象科技进展, 4(1): 58-62.
- 李俊, 杜钧, 陈超君, 2015. “频率匹配法”在集合降水预报中的应用研究. 气象, 41(6): 674-684.
- 王东海, 杜钧, 柳崇健, 等, 2011. 正确认识和对待天气气候预报的不确定性. 气象, 37(4): 385-391.
- 吴启树, 韩美, 刘铭, 等, 2017. 基于评分最优化的模式降水预报订正算法对比. 应用气象学报, 28(3): 306-317.
- 周迪, 陈静, 陈朝平, 等, 2015. 暴雨集合预报—观测概率匹配订正法在四川盆地的应用研究. 暴雨灾害, 34(2): 97-104.
- Buizza R, 2008. The value of probabilistic prediction. Atmospheric Science Letters, 9(2): 36-42.
- Cui B, Toth Z, Zhu Y, et al, 2012. Bias correction for global ensemble forecast. Weather and Forecasting, 27(2): 396-410.
- Dabernig M, Mayr G J, Messner J W, et al, 2017. Spatial ensemble post-processing with standardized anomalies. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 143: 909-916.
- Ebert E E, 2001. Ability of a Poor Man's Ensemble to predict the probability and distribution of precipitation. Monthly Weather Review, 129(10): 2461-2480.
- Gneiting T, Raftery A E, Westveld A H, et al, 2005. Calibrated probabilistic forecasting using ensemble model output statistics and minimum CRPS estimation. Monthly Weather Review, 133(13): 1098-1118.
- Scheuerer M, 2014. Probabilistic quantitative precipitation forecasting using Ensemble Model Output Statistics. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 140(680): 1086-1096.
- Scheuerer M, Hamill T M, 2015. Statistical post-processing of ensemble precipitation forecasts by fitting censored, shifted gamma distributions. Monthly Weather Review, 143(11): 4578-4596.
- Stauffer R, Umlauf N, Messner J W, et al, 2017. Ensemble postprocessing of daily precipitation sums over complex terrain using censored high-resolution standardized anomalies. Monthly Weather Review, 145(3): 955-969.
- Tilmann G, Raftery A E, 2005. Atmospheric science: weather forecasting with ensemble methods. Science, 310(5746): 248-249.
- Zhu Y, 2005. Ensemble forecast: a new approach to uncertainty and predictability. Advances in Atmospheric Sciences, 22(6): 781-788.
- Zhu Y, Luo Y, 2015. Precipitation calibration based on the frequency-matching method. Weather and Forecasting, 30: 1109-1124.

(作者单位: 中国气象局交通气象重点实验室; 江苏省气象台)

附录

集合预报产品应用调查表和总体统计

一、预报员基本情况

1. 您从事预报工作的年限? (单选)

- 1~3年 [27.49%]
 4~6年 [21.51%]
 7~10年 [21.12%]
 10年以上 [29.88%]

2. 您的最高学历或学位? (单选)

- 大学本科以下 [4.38%]
 大学本科 [46.61%]
 硕士 [41.04%]
 博士 [7.97%]

3. 您的职称是? (单选)

- 助工 [32.67%]
 工程师 [47.01%]
 副高 [17.93%]
 正研 [2.39%]

4. 您在哪一级气象部门工作? (单选)

- 县级 [47.81%]
 地市级 [41.04%]
 省级 [11.16%]

二、预报员对集合预报的基本认识

5. 您何时开始接触集合预报? (单选)

- 本科 [21.51%]
 硕士 [15.14%]
 博士 [1.2%]
 工作 [59.36%]
 无接触 [2.79%]

6. 您工作中通过何种方式进一步认识集合预报? (多选)

- 业务培训 [68.13%]
 预报应用 [81.27%]
 科研项目 [20.72%]
 没有兴趣进一步认识 [1.99%]

7. 您对集合预报基本产品的定义、算法和特点了解吗? (单选)

- 完全了解 [1.99%]
 大部分了解 [29.08%]
 少数了解 [56.57%]
 不了解 [12.35%]

8. 您从何种渠道可获得集合预报产品? (多选)

- 国家局业务网站 [48.61%]
 省级业务网站 [95.22%]
 本级部门科研成果转化产品 [19.12%]
 国外业务网站 [9.16%]

9. 您对集合预报原始数据有哪些了解? (多选)

- 数据类型 [49.00%]
 时空分辨率 [45.42%]
 读取处理方式 [18.33%]
 完全不了解 [35.46%]

10. 您了解过哪些类集合预报后处理技术? (多选)

- 统计后处理 (如概率分布函数等) [49.00%]
 降尺度技术 (如动力降尺度、统计尺度等) [30.68%]

 聚类分析技术 [21.91%] 再预报方法 (如极端天气预报指数、分位数匹配等) [27.89%] 特征追踪 [15.14%] 其他 [9.56%] 完全不了解 [29.08%]

三、集合预报产品应用及研究情况

11. 您在何种场景使用集合预报? (单选)

- 仅业务值班 [64.14%]
 仅科研 [2.79%]
 业务和科研均使用 [31.08%]
 从不使用 [1.99%]

12. 您在日常预报值班中使用集合预报吗? (单选)

- 偶尔使用 [49.00%]
 经常使用 [48.21%]
 从不使用 [2.79%]

13. 您常在哪些天气预报场景中使用集合预报? (多选)

- 常规天气 [68.53%]
 灾害性天气 [80.08%]
 极端天气预报 [54.18%]
 专项气象预报服务 [44.62%]

14. 您使用过哪些常用集合预报产品? (多选)

- 集合平均或中位数 [45.02%]
 集合离散度 [35.06%]
 天气要素概率预报 [73.31%]
 分位值 [20.32%]
 邮票图 [57.77%]
 面条图 [38.25%]
 单站集合预报 (箱线图) [56.97%]

15. 您最常使用哪一类的集合预报产品? (单选)

- 集合预报生成的确定性产品 [37.85%]
 集合预报概率产品 [33.47%]
 集合预报指示不确定性的相关产品 (邮票图、面条图、端须图等) [28.69%]

16. 您使用过的全球集合预报系统有哪些? (多选)

- 中国GRAPES [66.14%]
 欧洲ECMWF [92.43%]
 美国NCEP [44.62%]
 加拿大CMC [1.99%]
 其他 [6.37%]

17. 其中最常用的是? (单选)

- 中国GRAPES [9.16%]
 欧洲ECMWF [86.85%]
 美国NCEP [1.99%]
 加拿大CMC [0.80%]
 其他 [1.20%]

18. 您觉得集合预报产品在目前天气预报服务中的作用如何? (单选)

- 主要参考 [52.59%]
 补充参考 [45.82%]
 作用不大 [1.59%]

19. 您会如何把集合预报的不确定性信息应用在日常的天气预报制作和服务上? (单选)
- 在现有预报规范下(即最后发布的是单一值确定预报), 预报员可以通过斟酌预报用语、调整量级等来表达对预报的把握程度, 但这种方式预报可信度信息得不到最大程度的应用。要使它得到最大程度的应用, 现有的预报规范需要修改(由确定性预报变为概率预报) [97.61%]
 - 没有用处, 反而造成混乱 [2.39%]
20. 您觉得应不应该把这种隐藏在预报背后的预报可信度或不确定性作为天气预报的一部分如实地告诉公众和用户, 为什么? (单选)
- 应该。将预报不确定信息告诉用户, 这才是客观、科学的态度, 让用户根据预报不确定性去安排他们的行为, 将有助于最大限度地发挥预报的价值。并同时要帮助用户正确理解天气预报不确定性的内容 [83.67%]
 - 不应该。因为人们会觉得气象部门预报不准, 还把预报的责任推卸到用户身上 [5.18%]
 - 不应该。因为用户不会用带有不确定性的预报, 只会造成混乱 [11.16%]
21. 如果要求对公众和用户发布预报的可信度, 您觉得什么样的形式比较合适? (单选)
- 预报事件的概率大小 [32.27%]
 - 不同的用语(如可能性很小、中等、很大) [12.35%]
 - 用不同颜色来表达预报可信度(如红色代表可信度很低, 黄色代表中等, 绿色代表可信度高) [19.52%]
 - 根据不同情景, 所有以上这些都 [35.86%]
22. 让公众能够接受天气预报有不确定性的事实(如同治疗疾病有风险一样), 并科学地运用量化的不确定性信息来决策(使

- 社会或经济效益最优化), 您认为关键因素是什么? (单选)
- 大众科普宣传 [42.23%]
 - 学校教育(教科书) [3.59%]
 - 培训 [3.98%]
 - 气象界同用户合作 [2.39%]
 - 所有以上这些 [47.81%]

四、不足和建议

23. 您觉得目前集合预报相关产品本身的最大不足是什么? (单选)
- 集合预报产品生成的确定性产品准确率不高 [40.24%]
 - 集合预报产品的时间、空间分辨率不够 [14.74%]
 - 集合预报产品的到报时间偏晚 [19.12%]
 - 相比确定性预报没有明显优势 [13.55%]
 - 集合预报产品还不够丰富 [12.35%]
24. 您倾向于加大力度发展和使用集合预报什么类型产品? (多选)
- 全概率预报 [56.97%]
 - 离散度预报(不确定性信息预报) [37.45%]
 - 转化为更多的确定性预报 [56.97%]
25. 您觉得阻碍集合预报相关产品应用最大可能原因是什么? (单选)
- 集合预报不确定性信息的应用缺少需求 [28.69%]
 - 集合预报产品本身不够可靠、准确和丰富 [30.28%]
 - 预报员对集合预报相关产品的认知程度不够 [41.04%]
26. 您对上级业务部门目前在集合预报业务应用上的建议? (多选)
- 丰富集合预报产品的种类 [64.94%]
 - 提高集合预报产品分辨率、准确率 [69.72%]
 - 增加集合预报推广和培训 [71.71%]
 - 让预报员更多地参与集合预报研发工作 [45.02%]

(上接64页)

- PREDICT. Monthly Weather Review, 2014, 142(8): 2860-2878.
- [43] Shu S, Zhang F. Influence of equatorial waves on the genesis of super typhoon Haiyan (2013). Journal of the Atmospheric Science, 2015, 72: 4591-4613.
- [44] Torn R D, Elless T J, Papin P P, et al. Tropical cyclone track sensitivity in deformation steering flow. Monthly Weather Review, 2018, 146: 3183-3201.
- [45] Magnusson L. Diagnostic methods for understanding the origin of forecast errors. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2017, 143: 2129-2142.
- [46] Maddison J W, Gray S L, Martinez-Alvarado O, et al. Upstream cyclone influence on the predictability of block onsets over the Euro-Atlantic region. Monthly Weather Review, 2019, 147: 1277-1296.
- [47] Yu H, Meng Z. Key synoptic-scale features influencing the high-impact heavy rainfall in Beijing, China, on 21 July 2012. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 2016, 68(1): 31045.
- [48] 王毅, 马杰, 代刊. “7·20”华北强暴雨集合预报的中期预报转折和不确定性分析. 气象, 2018, 44(1): 53-64.
- [49] Huang L, Luo Y. Evaluation of quantitative precipitation forecasts by TIGGE ensembles for south China during the presummer rainy season. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2017, 122: 8494-8516.
- [50] 王毅, 何立富, 代刊, 等. 集合敏感性方法在高原涡和西南涡引发暴雨过程中的应用. 高原气象, 2017, 36(5): 1245-1256.
- [51] Zhang M, Meng Z. Impact of synoptic-scale factors on rainfall forecast in different stages of a persistent heavy rainfall event in South China. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2018, 123: 3574-3593.
- [52] Weisman M L, Trapp R J, Romine G S, et al. The Mesoscale Predictability Experiment (MPEX). Bulletin of the American Meteorological Society, 2015, 96(12): 2127-2149.
- [53] Torn R D, Romine G S. Sensitivity of central Oklahoma convection forecasts to upstream potential vorticity anomalies during two strongly forced cases during MPEX. Monthly Weather Review, 2015, 143(10): 4064-4087.
- [54] Berman J D, Torn R D, Romine G S, et al. Sensitivity of northern Great Plains convection forecasts to upstream and downstream forecast errors. Monthly Weather Review, 2017, 145: 2141-2163.
- [55] Torn R D, Romine G S, Galarneau T J. Sensitivity of dryline convection forecasts to upstream forecast errors for two weakly forced MPEX cases. Monthly Weather Review, 2017, 145: 1831-1852.
- [56] Kerr C A, Stensrud D J, Wang X. Diagnosing convective dependencies on near-storm environments using ensemble sensitivity analyses. Monthly Weather Review, 2019, 147: 495-517.
- [57] Lamberson W S, Torn R D, Bosart L F, et al. Diagnosis of the source and evolution of medium-range forecast errors for extratropical cyclone Joachim. Weather and Forecasting, 2016, 31(4): 1197-1214.
- [58] 杜钧, 李俊. 集合预报方法在暴雨研究和预报中的应用. 气象科技进展, 2014, 4(5): 6-20.
- [59] Ancell B C. Improving high-impact forecasts through sensitivity-based ensemble subsets: demonstration and initial tests. Weather and Forecasting, 2016, 31: 1019-1036.