

文章编号: 2096-1618(2023)05-0556-10

无缝隙网格预报业务的决策理论适用性研究

贾净翔¹, 胡文东^{1,2,3}, 王承伟⁴, 邵建⁵, 胡亮帆¹, 郝艳琼¹, 徐文嘉¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 软件自动生成与智能服务四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 3. 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 4. 黑龙江省气象台, 黑龙江 哈尔滨, 150030; 5. 银川市气象局, 宁夏 银川 750002)

摘要:为进一步完善无缝隙网格预报工作,利用决策科学相关理论加强对预报人员的业务支持,提高智能化水平,从预报业务环境出发,根据预报员面临的业务压力,对多种决策理论进行了适用性分析,结果表明:(1)无缝隙网格预报极大提升了业务能力和水平,预报员作为业务体系核心的地位并未改变,必须通过科学技术直接加强对预报员的支持。(2)技术进步背景下当前预报员面临的业务难点已经突破了传统的范畴,更加清晰地体现为决策困难。(3)当前形势下的预报过程,对预报员来说存在具体限制性环境条件,传统的经典决策、完全决策、连续有限对比决策等理论适用性不强。(4)当前气象业务预报的特性更倾向于非理性决策、行为决策和现实渐进决策。(5)在无缝隙网格预报业务条件下,探讨了预报员有限理性的原因与表现以及知觉偏差对预报的影响。发现倾向风险更小而非结果最优,一般寻求相对满意方案。(6)在上述分析的基础上,从研究、关注、辅助、支持预报员的角度,更加突出人在预报业务体系中的核心地位,提出了无缝隙网格预报中业务决策智能支持系统的适用性决策理论,为智能网格预报后续开发工作提供理论指导,并为研究型业务的全面建立提供支持。

关键词:无缝隙网格预报;业务决策;智能;支持系统;适用性

中图分类号:P456

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2023.05.010

0 引言

对气象工作者来说,进入新时代必须紧密围绕国家重大发展战略以及人民群众对美好生活向往的需要,加强气象预报精细化、专业化、个性化、全球化,提高气象预报可靠性、开放性、可移植性及工作效率^[1-5]。当今现代信息技术迅猛发展,云计算、大数据、人工智能、移动互联网等与气象科技相结合,为气象业务的重大进步打下了坚实的基础,逐步实现保障运行稳定、可靠、方便、易维护的目标^[6-7]。

当前无缝隙精细化网格气象预报已成为国际主流趋势^[8-10]。WMO世界天气研究计划2014年提出地球系统无缝隙预报:从分钟到月^[11],2017年世界气候研究计划、世界气象研究计划和全球大气观察计划,明确将无缝隙预报作为未来几十年指导方针^[12-13]。2019年WMO指出,气象业务将转向在无缝隙的地球系统框架,强调从分钟到年代际,从局地到全球预报系统,并提出从分钟级到世纪尺度、从米到全球空间尺度的

预报发展趋势^[14]。

美国在2003年开展了国家数字预报数据库^[15],提供逐小时更新2.5/5 km分辨率,从0~45 d延伸期的无缝隙网格天气预报。澳大利亚2012年开始分辨率为5 km的8 d内网格指导预报^[16]。

中国气象局把握时代发展方向,2014年开始这一业务系统研发^[5]。近年来充分利用最新科技成果,初步建成无缝隙网格化预报业务,大幅提高气象服务与保障能力^[7,17-20]。但这一工作开展时间相对较短,一方面在技术层面存在不足^[5,21-23];另一方面对预报人员来说,预报工作中每一个维度的信息量均呈爆炸式增长,原本顺畅的思维过程突然出现了巨大问题,需要通过技术手段加以解决^[24-25]。而第一步就是进行细致分析,找出可行的科学途径以提供正确的指导方针。

本文针对无缝隙网格预报的新情况,从预报员日常预报工作量对比分析入手,以提高业务能力为目的,对预报业务环境的各项约束性条件进行分析,探讨辅助预报员进行预报决策的适用性理论,从而为建立智能业务系统提供相关的科学基础。

1 预报工作量的爆炸性增加

天气预报的最终产品是多维度的数据,概括地说

收稿日期:2022-05-28

基金项目:国家重点研发资助项目(2018YFC1507305);黑龙江省科技厅资助项目(YS18Z01);四川省科技厅资助项目(2018CZDZX0049、2020GFW007);软件自动生成与智能服务四川省重点实验室资助项目(2021003);中国气象局-成都信息工程大学气象软件工程联合研究中心资助项目(2021003);宁夏科技厅资助项目(2018BEG03002);中国气象局资助项目(CMAYBY2019-131)

通信作者:胡文东. E-mail:hu.wendong@163.com

有天气要素、空间分布和时间变化。而每一个维度中数量的增加,最终将导致信息量的巨大增长。以短期预报为例进行分析。

1.1 预报对象数量空间的变化

首先从空间分布来说,以往的传统预报过程中,一般仅预报 20 个站点左右,很少达到 30 个站点。而无缝隙网格预报业务中,中国为 5×5 km²的网格分布,重点区域 1×1 km²。按国土面积(不计海区)960 万 km²粗略计算,县级行政单位 2856 个,平均3361 km²,县的预报员在一次预报中则需考虑 135 个格点。对省级行政单位来说,共有 34 个省(简称为省)级行政区,则平均面积282353 km²。每个省的预报员在当前业务中,对某一个时刻的预报则需面对 11294 个格点。目前预报地点已较以往增加了近 400 倍,而许多省的格点更加细密,空间分辨率更高。面对重点区域 1×1 km²的网格,空间点上任务增加更多。

以面积相对较小的宁夏(6.64 万 km²)为例(表 1)。传统预报时省级预报员关注站点为 20 个,市级预报员平均关注站点 4 个(13 ~ 284 km²)。格点预报业务中 5×5 km²的格点预报省级预报员关注点数为 2657 个(1×1 km²则为 63762 个),市级平均为 531 个(1×1 km²为 12752 个)。所以省级工作量增加了约 132 倍(1×1 km²约 3188 倍),市级增加约 144 倍(1×1 km²约 3183 倍)。

表 1 宁夏回族自治区气象台传统预报与网格预报工作量对比				
内容	预报员类别	传统站点预报	格点预报(5×5 km ²)	格点预报(1×1 km ²)
关注站	省级预报员	20	2657	63762
点数	市级预报员	4	531	12752
关注面积/	省级预报员		66400	
km ²	市级预报员		13284	

黑龙江面积较大,为 47.3 万 km²。初步计算表明省级工作量增加了 243 倍,市级工作量增加了约 144 倍(表 2)。

表 3 宁夏回族自治区气象台传统预报与网格预报的时间、要素对比				
对比内容	传统站点预报		格点预报	
预报更新频次	1 日 3 次		短期格点要素预报 1 日 3 次;0 ~ 2 h 临近预报逐 6 min 更新;2 ~ 12 h 短时预报逐 1 h 更新	
时间分辨率 (每次预报的最小间隔)	间隔 6 h		短期格点要素预报间隔 3 h;0 ~ 2 h 临近预报间隔 10 min;2 ~ 12 h 短时预报间隔 60 min	
预报时效 (每次预报的最长时间)	168 h		240 h	
预报要素数	7		21	
具体预报要素	天气现象、极值气温 2 项、极值湿度 2 项、风、灾害天气		短期格点要素预报:极值气温 2 项、时刻气温、极值湿度 2 项、时刻湿度、时刻风(2 项)、能见度、多时段降水量(3 项)、降水相态、总云量等 14 个常规要素,以及短时强降水、雾、霾、沙尘、冰雹、雷暴、雷暴大风等 7 类灾害性天气。 0 ~ 2 h 临近预报、2 ~ 12 h 短时预报:降水量	

表 2 黑龙江省气象台传统预报与网格预报工作量对比				
内容	预报员类别	传统站点预报	格点预报(5×5 km ²)	格点预报(1×1 km ²)
关注站	省级预报员	84	20415	502331
点数	市级预报员	2 ~ 13	288 ~ 3305	7302 ~ 83623
关注面积/	省级预报员		473000	
km ²	市级预报员		6000 ~ 85000	

尽管相邻区域的天气在较大尺度上总体相近,在传统预报中可通过“相邻则相似”的思路降低工作量。但无缝隙网格预报的特点,就在于突出每一个格点的天气独特性,沿用以往的方法会平滑掉不同格点特有的天气,从而从根本上否定网格预报的意义和存在价值,所以传统预报中的思路并不适用。

对于如此众多的格点,沿用以往的方法难以有效把控。而中国是世界上地形、地貌最为复杂,天气气候差异极为明显的国家之一,格点之间的差异巨大,所以无论从网格预报的本质要求还是客观现实来说,都要求我们努力分析每一格点特有的天气要素,不能简单沿用“相邻则近似”的方法,因而预报空间上的巨大工作增量无可避免,传统方法不再适用。

1.2 预报对象时间与要素的数量变化

在时间的维度上来说,传统预报的时间密度相对有限,而无缝隙网格预报业务则时间分辨率进一步提高。从要素来看,无缝隙网格预报业务要素大幅增多并有继续增加的可能,较传统预报要素相比增长明显。

另外,在一个值班期间,无缝隙网格预报业务要求进行滚动更新预报,所以预报员分析气象信息、考虑预报内容的工作时间大幅减少,而从预报频次来看工作强度也是急剧增加。

同样以宁夏为例(表 3),传统预报 1 天更新 3 次,最高时间分辨率 6 h,最长预报时效 168 h,预报要素 7 项;而格点预报则全面急剧增加。

1.3 无缝隙网格预报的革命性进步

只有在遥感探测、高速通信、数据处理、边缘计算等众多相关技术进步的强大支持下,无缝隙网格预报业务的基础才得以实现。从而极大地提高了天气预报服务的能力和水平,天气信息的种类、密度和质量与以往业务相比均产生了革命性的本质飞跃。

预报业务当中的核心是预报员^[1-2,26-27],尽管相关技术打下了良好的基础,但最终预报是由预报员依据自身经验、经过科学分析作出,而不是计算机自动产生。所以,从多个维度共同作用来说,在无缝隙网格预报业务中,预报员要考虑的预报产品信息量普遍较传统预报增加了104~106倍甚至更多,呈现爆炸式增长的态势。信息量的爆增再加上预报频次的提高,导致预报员有效分析思考的时间消亡式萎缩,所以预报员面临的业务值班压力极为巨大,有必要借助决策科学为预报员提供更加有力的支持。

2 预报过程的决策本质

2.1 网格预报的智能化决策支持

解决这一难题的出路在于业务系统的智能化^[28],利用技术优势提高业务预报能力^[29]。而智能化系统的不断完善与进步,是否导致在预报业务中完全取代人类,则是一个充满挑战的问题^[29-32],同时也是一个非常敏感、事关预报人员前途和命运的重大现实问题,还是一个关于世界观和方法论的哲学问题^[26],本文不进行讨论。

尽管如此,在可以预见的将来,预报员的作用仍然无法忽视,更无法被替代,特别是在重大关键性预报过程中。例如面临是否炸坝泄洪,关系数十万成百上千万人;从天气角度确定重大军事行动的时机,关系国家和民族乃至人类文明的前途与命运。将这样的最终决定权交给某种智能系统或计算机,在一定的历史时期内仍然难以令人信服。

在当前的技术形势和业务条件来看,预报员在预报业务体系中的核心地位依然无可撼动,仍然是无可替代的决定性因素。计算机,包括人工智能技术在目前阶段还远不能完全取代人类预报员,而只是为预报员提供支持。

从帮助、辅助人类的角度出发,网格预报的智能化需要支持预报人员的自动化系统。这个系统的科学本质是什么,则取决于预报员在当前预报中工作的性质,特别是预报员在业务工作中面临的核心困难。

2.2 当代预报员面临的困难分析

预报过程中当代预报员的工作是什么性质,其本质的困难是什么,要从科学预报的历程分析。

具有科学基础的天气预报的历史很短。从预报人员面临困难的角度来看,大致分为早期、现代和当代3个阶段。早期具有科学意义的预报,是依据天气学理论的经验外推预报。这时预报员的困惑在于,未来基本情况究竟如何,没有相对可靠的技术支撑。在成熟的数值预报产品出现后,环流形势、天气系统等相对明确且远优于预报员的经验,现代预报员一般不再进行外推,而是根据自身的经验、体验与理解,对数值模式结果进行气象意义的解读。几十年来数值预报等各种产品持续改进,未来天气的物理图像日渐清晰准确,但在解读时受到有限模式、有限产品确定预报的局限,当前的困惑在于相对较小概率的灾害性天气。而多种预报模式、集合与超集合等众多产品表现出优异的性能,数值预报真正漏报的显著过程极为罕见,所以当代预报员面临的问题与以往发生了本质的变化。

简单地说,早期预报员面临的是极度缺少可靠信息的困难,现代预报员是可靠信息有限的困难。而对当代预报员则是这些信息过于庞大无法有效处理而形成的信息浪费,即信息过饱和情况下的决策困难。常见的情况是,在有限时间内根本无法浏览数值产品的宝贵信息,从而造成有效信息的弃置。在预报失误分析中这个现象十分显著:在绝大多数情况下,尽管数值预报提供了具有明确意义的预报线索,却因各种条件限制未能引起足够关注。

所以当代预报员工作的核心之一,是从众多相对可靠的信息中,在紧迫的时间内,迅速选定最为适合的信息作为关键支撑。而这个问题从行为科学上说是决策问题^[33]。

3 决策及其理论类别概述

决策就是在若干个可能的备选方案中进行选择。决策理论是根据系统的状态和评价准则选择最优策略的数学理论。

决策本身是极其常见的过程。每当出现多种选项的情况下,人类必然会从多方面考虑进行决策,根据不同的目标,在各种约束条件下,分析收益效果与支出付出、权衡优点和不足,进行选择^[34-35]。

一般来说,决策理论主要有以下几种^[34-40]:

(1) 古典决策理论。认为决策的目的是为了在最小付出的同时获得最大的效益,决策过程中的全部行

为均是完全理性的。

(2)客观理性决策,又称完全理性决策理论。认为决策者决策前能考虑一切行动及其影响,选择最大价值对策,具有最大限度的理性做出最优的选择。

(3)连续有限比较决策理论。认为决策者无法实现完全理性,无法把握各种复杂因素,只能在有限的方案中选出相对满意的,只是有限的选优。

(4)理性、组织决策理论。认为需要通过组织、运用权力和沟通的方法进行协调,以弥补单一决策者的欠缺,便于集中更多的智慧选择更加有利的方案,增强决策的理性。

(5)非理性决策理论。突出潜意识的作用,和非理性不自觉的倾向对决策的不利影响,强调对这种倾向的控制与抑制。

(6)行为决策理论。认为理性的标准无法确切地说明决策过程,提出“有限理性”标准和“满意度”原则。决策过程分析中还要考虑决策者个人因素,如态度、情感、经验和动机等个性要素。

(7)现实渐进决策论。主张决策者所面临的现实发挥更加重要的作用,而不是决策者的理性。认为决策者无法拥有全部智慧和有关信息,且受到时间、费用等条件限制,只能被迫地以被动、相对消极的方法,在“有偏袒的相互调整”过程做出决策。

4 业务预报的基本特点分析

4.1 决策的独立性与预报员个体的重要性

在天气预报工作中,一方面存在组织管理行为,如对预报员的任务分配、协调与沟通产生于前期行政组织阶段,天气会商在预报决策核心阶段,天气服务与联防在决策后的直接行动阶段。但在其他业务预报阶段,组织管理行为并不明显。另一方面在每一次预报业务过程中,由于预报人员的数量相对有限,须各自承担某项主要任务。特别是预报员针对某一时段的天气进行预报时,往往更加突出预报员个人的预报决策,尤其对当值的首席预报员来说,往往预报业务环境决定了其个人的独立决策的高度重要性^[41-42]。

通过对无缝隙网格预报的压力分析可知,在短暂的滚动预报发布间隔时间内,多个数值预报模式,众多垂直层面,几十上百的物理量,多种集合和超集合产品,其图像文件往往成千上万,预报员即使匆匆浏览一遍也难以实现。数值模式各有特性,不同的模式对当前的天气情况预报能力各有不同。而预报员所期望的是明确究竟哪个模式更适用于当前的天气。前述的诸

多决策理论哪些适合于这种预报决策过程,将决定人工智能决策支持系统的核心功能设计。

这一决策显然是在极其有限时间、不完全信息与过饱和信息共存的背景下,预报员(特别是首席预报员)个人特质发挥重要作用的决策过程^[27]。

4.2 预报过程中决策过程的环境背景

在上述的决策理论中,早期更加理想化,同时也更为僵化,例如设定以下条件:(1)决策者可获得与决策情况有关的所有的信息;(2)在识别和诊断问题时,能够处理和记忆所有与决策有关的信息;(3)能识别所有可行的解决问题的方案,并充分了解每个方案的结果;(4)多重目标可以用单一的、简单的数学公式表示;(5)决策者的理性可保证选择最优的方案;(6)建立一个合理的、自上而下执行组织系统;(7)所有的决策者都用相同的方式处理信息,并做出相同的决策。

对比预报业务场景,可以发现上述这些条件往往无法满足^[43]。简单地说,尽管当前已经得到了超出其处理和理解掌握能力的大量信息,但预报员永远不可能获得关于天气预报所需的全部信息。紧迫的时间内,在识别和诊断问题时也无法处理和记忆所有与决策有关的信息。预报员无法有效识别所有的方案,不可能充分了解每个方案的各方面影响。在预报业务中显然不能将多重目标用单一的、简单的数学公式表示。而处于压力中心的预报员也难以保持足够的理性以保证选择最优的方案。而预报业务环境和具体流程决定了,不可能实施行政机关形式的组织系统。在预报时难以避免地存在预报员之间明显的个体差异性,即使同一个预报员对同样的天气也在预报中还会受到一定的随机因素影响,所以个体之间的不同导致无法采用相同的方式处理信息,无法以同样方式理解这些信息,更不可能基于以上条件做出相同的预报决策。

所以在预报业务中,决策环境的特殊性与诸多决策理论的前提条件相矛盾,必须分析适合的决策理论才可满足业务需求。

5 预报业务决策过程理论的适用性分析

通过预报业务环境分析,可知预报决策不同于一般意义的决策过程。预报业务决策和适用性取决于以下关键因素。

5.1 预报决策者的利害关系分析

中国天气预报员的主体属于政府雇员,代表政府履行提供天气服务的法定职责。中华人民共和国气象

法规定,国家对公众气象预报和灾害性天气警报,由各级气象主管机构所属的气象台站按照职责发布。所以对气象及其衍生、次生灾害,气象部门是各级政府防灾减灾工作启动的发令枪和消息树,而预报员则是在前线的吹哨人。

气象法规定,若因玩忽职守,导致重大漏报、错报公众气象预报、灾害性天气警报的,给予行政处分;致使国家利益和人民生命财产遭受重大损失,构成犯罪的,依法追究刑事责任。

尽管科技在迅速进步,预报水平在不断提高,但仍然存在难以准确预报的灾害性天气。在面临一般情况的多种选项时,就会自然地趋利避害。而预报员在进行重大灾害性天气预报过程中,不仅存在普通人的趋利性心理,还会考虑其预报业务决策带来的行政甚至法律后果。

从主观意愿来说,任何一个预报员都希望能够准确预报。即使没有确定形式的奖惩或回报,单纯从行为心理学来说,也可体现出专业能力与水平,表现为个人价值的实现和心理上的满足。如果预报正确当然是最好结果,但不正确也无可避免,所以预报气象灾害偏大偏重,还偏小偏轻,不同的决策有可能导致不同后果。

如果对灾害性天气预报偏大偏重,则相关人员会从主观上高度重视,各项防范措施会更加严密周全,面对实际情况虽有虚警与不足,却不会由此造成重大生命与财产的直接损失。如果面临追究,大多只能归结到技术水平和业务能力的欠缺,多以批评为主。

但如果灾害性天气预报偏小偏轻,则相关人员首先在主观上易产生松懈情绪,防范措施必然会相对偏弱。面临超出预期的灾害防范能力难免有所不足,由此往往造成重大生命与财产的直接和间接损失。如果对预报员追责,则难以摆脱责任心不强,以至玩忽职守的指责。存在定性为重大漏报、错报的可能。

所以在此岗位上,无论是否存在明确的认知,预报员的职业定位在潜意识当中决定了其业务预报决策的主观偏向性为:宁空勿漏。

5.2 预报业务质量分析

在业务一线,预报员,特别是从业年限较长的预报员,普遍认同上述情况,而且工作越久的预报员往往越在重大过程中对天气的预报越严重。

除了专题访谈和长期工作中的直观印象外,统计数字同样证实:空报多,漏报少。

由中央气象台资料,分析2020年主汛期中国大部分省、自治区、直辖市小雨、中雨、大雨、暴雨的预报情况(图1~4),可知各类降水的空报率均高于漏报率,

而漏报率高于空报率只是个别现象。两者之差分别为19.98%、12.67%、7.10%、5.97%。随着量级的增加,预报难度迅速提高,空报率和漏报率也在提高,但空报率高于漏报率的现象一直普遍存在。

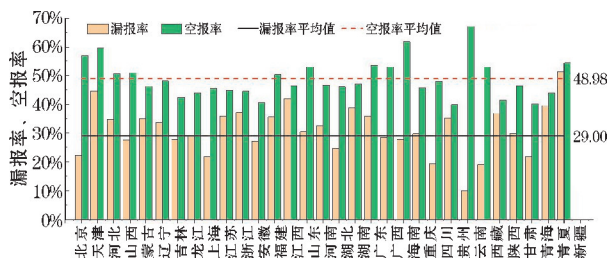


图1 2020年6-9月小雨预报空报率与漏报率统计

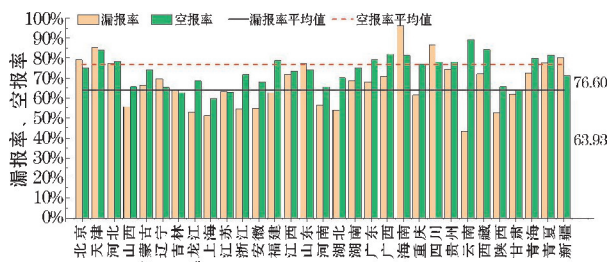


图2 2020年6-9月中雨预报空报率与漏报率统计

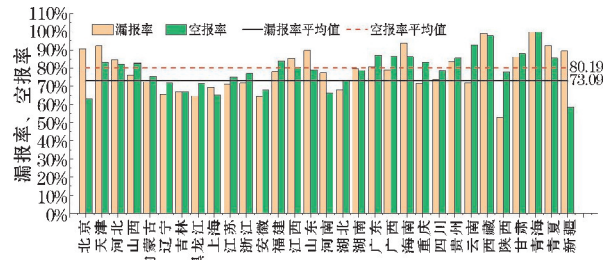


图3 2020年6-9月大雨预报空报率与漏报率统计

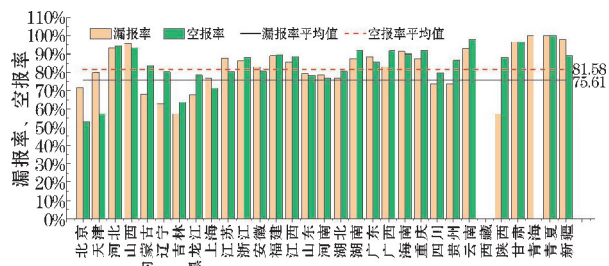


图4 2020年6-9月暴雨预报空报率与漏报率统计

在面对不同强度的天气时,决策的倾向性存在变化趋势。对不同的天气现象来说,预报员往往有意识或不自觉地采用不同的预报策略。例如针对重大灾害性天气,考虑到社会经济影响和自身可能面临的问题,大多倾向于采用宁可空报不愿漏报的策略,相对更加保守。

分析2019年预报检验结果进一步证实了这一情况。一般性降水平均TS为51%,空报率为39.89%、漏报率为22%;大雨TS为19%,空报率71.43%、漏报

率64.41%;而暴雨TS为9%,空报率为85.28%、漏报率82.64%。数据表明降水的量级越大,预报员保守的趋向越加明显,空报率越高。强对流灾害监测预警的情况类似,2019年宁夏暴雨、冰雹预警信号评分结果显示:暴雨、冰雹准确率分别为36%、33.3%,而空报率为44.3%、66.7%,同样空报率更高。据不完全统计,省级预报员中至少有70%在遇到可能出现的较为明显降水天气时,更加倾向于预报偏大量级的降水。

5.3 决策的环境压力分析

首先是时间的紧迫性极为突出。尽管从科学角度来说,完整表述天气过程的信息并不完备,但预报业务中预报员得到的资料数量之大,远远超过其分析、处理的能力极限。如同战舰在过饱和攻击下超出计算机能力极限而崩溃一样,大脑对海啸般的信息也无法进行科学理性的思考。更重要的是,即使在较为充裕的情况下,有效的预报分析时间往往也只有几十分钟。以宁夏为例,因地处典型季风边缘,为干旱、半干旱气候,全区年平均降水仅为160~600 mm^[44-45],所以总体上大降水的压力相对较小。在非汛期最为理想情况下一次预报可有60~120 min用于分析思考,而汛期最充裕的一次预报不足40~60 min的有效思考时间。

所以相对更关键的问题是:针对当前天气情况下,在诸多性能相对不错的数值预报产品中,如何有效地识别更具有预报指导意义的信息并及时分析,即大数据背景下信息的有效性和贡献度,而不宜片面追求信息的完备性,因为所谓的完备性只是一个相对的概念。

5.4 决策者之间的差异性分析

人与人之间总会有巨大的差异,决策者的差异必然会对决策产生至关重要的影响,所以在军事斗争中,对敌方指挥员个人情况和背景资料的掌握必不可少^[46-48]。

对天气预报员也一样,每个人的性格特点、学业基础、工作状态、业务经历、预报经验、专业修养、对局势理解、对过程的体会、预报倾向都存在不同且不断变化,所以其预报结论必然不同。

由上述分析可知,在业务预报中,确定预报结论的决策因人而异,因时而异,因天气而异,因当时的具体情况而异。

5.5 业务预报决策分析

对预报员来说,由于受决策时间和可利用资源的限制,其决策过程的理性只是相对的。压力环境下的理性往往介于完全理性和非理性之间,在识别信息时

也会受影响而产生偏差。而在重大灾害性天气预报的风险型决策中,人性的基本特征为厌恶风险,倾向于接受风险较小的方案。而且往往只求比较满意的结果,而不愿寻求最佳方案,当然时间等条件对此也有影响。

基于以上关键因素的分析基础,对上述7种决策理论简要小结:

古典决策理论。要求全部行为均在理性的情况下进行,且追求最小的代价实现最大的效益。在实际预报过程中,预报员更加倾向于风险较小的保守方案,而不是追求信息的完备性,且行为决策还与预报员自身紧密相关。而天气预报业务目的是为防灾减灾、保障社会经济发展和人民财产安全生产生活的需求,并不是简单的追求利益获取。因此该理论不适用于预报业务。

客观理性决策。要求在决策前考虑一切行动及其影响,最大限度的理性决策。而预报员是岗位上有人思想有情感也有各种欠缺和不足的具体的,不能对当时天气情况做出完全理性的判断。从检验评估的结果分析,当前无论是科学技术手段还是气象工作者,都难以对天气预报做出最佳的决策方案,无可避免地带有了一定程度的误差。一味追求绝对理性需要花费大量的人力物力财力,客观上不可实现。因此这一理论不适用于预报业务。

对连续有限比较决策理论。虽说实际预报业务中确实没法做到绝对理性,但此理论过于强调在供选择的方案中选出一个满意的方案。此理论中决策者需对决策环境的看法简化,往往忽视决策环境中的各种复杂因素,导致看到的有限几个方案及其部分结果中选择决策者满意的方案。在实际预报中,各种因素对气象工作者有很大影响,无论是气象工作者的心理因素,或者是学业能力等等的内在因素,还是气象部门外在的利害关系等等外在因素,对决策都有着不同程度的影响,不应忽视客观存在的内外决策环境因素对决策的作用。业务中空报率高于漏报率也是一种趋利避害的保守情况,反而是过量的信息和欠缺的分析工具,导致决策者难以对信息进行高效率的分析利用,这些都是客观内在外在的因素影响下导致的决策结果。因此该理论不适用于预报业务。

分析理性、组织决策理论。强调集思广益,通过组织、运用权力规章制度和沟通的方法,来弥补个人的决策欠缺。然而在实际预报中,此理论过于强调部门组织规则制度对决策者的影响,人们在从事组织决策时的行为并非总是遵循理性选择模式,而且也不可能达到一种最优选择。气象工作者在进行预报工作时已经面临着较大的压力与难度,无论是气象法还是部门的规章制度都对一线气象工作者做出了要求,如果在此

基础上不仅不对预报人员施加更多人文关怀和制度思考,则可能陷入了官僚主义的管理陷阱,不利于工作的开展。该理论更加适用于管理类决策,而对预报业务这类特定条件下专业技术决策有所不足。因此该理论不适用于预报业务。

非理性决策理论。强调潜意识的作用,而预报业务中,长期的一线工作经验能够给予气象工作者更加出色的判断决策能力。当针对某一特殊熟悉的天气进行预报时,往往更加突出个人的主观预报决策,预报业务的工作环境就影响决定了其岗位上预报员的主观决策,对预报结果来说,是客观存在的因素。因此该理论适用于预报业务

行为决策理论。充分考虑了决策者所受到的各种影响,且对决策结果有着一定的容忍度,接受一定程度的理性与满意度。既考虑了预报员工作时所受的客观条件,也承认了不同预报员的差异性主观性,此理论侧重并认可对决策者的认知和主观心理过程,倾向于对决策行为的心理解释,而不是单纯对决策正误的评价,能提炼出其他理性决策理论中完全没有考虑到的个人主观意识行为造成的变量。充分体现了对预报员认知心理因素上的考虑,同时也满足了实际业务下的任务要求。因此该理论适用于预报业务。

现实渐进决策。此理论是一种保守型决策,是一种强调决策者由于决策环境被迫采取消极的决策方案。在预报业务过程中,预报员大多采用宁可空报不愿漏报的策略,预报员对自己决策过程中的决策结果表现为偏大偏重,这个决策过程本身就是一种现实渐进决策理论的体现。相比于复杂的理性选择和推断,此决策能大大简化决策过程,对预报员而言也是一种趋利避害一举两得的保守型方案;一方面既完成了对重大天气灾情的预报预警,很好的履行了自己的职业责任,另一方面也大大缓解了预报员对决策结果的决策压力。由此可知,这一决策理论方案显然是肯定了决策环境等各方面因素的限制条件下,出于决策者自己合理的主观决策,满足现实中预报业务的需要。因此该理论适用于预报业务。

综上所述,预报员在面临各种压力的情况下,表现出非理性决策、行为决策和现实渐进决策的特点,在业务预报平台的建设中适用上述决策理论。因此,在解决上述问题的过程中,开发基于人工智能、大数据的灾害天气智能监测感知、网格预报智能生成以及灾害天气智能识别等技术是关键,本文的工作正是其前期的基础性分析。

从管理角度讲,还应从预报工作的具体情况出发,以人为本,科学制定更为适合的管理及考核制度,充分

理解预报员的业务特点,加强人文关怀,减轻预报员多方面的压力,帮助其排除干扰与杂念,专心致力于更加精准的预报。

5.6 适用业务预报决策基本特点初步分析与研究型业务

在上述适用决策理论中,每一种均有其自身特点。

对非理性决策来说,其非理性是相对的而非通常意义上的任性或随意。所谓的非理性来源于前期科学知识 with 理性经验的充足积累,在预报时间紧迫的特定压力环境下,触发近于条件反射式的决策过程。采用非理性决策时,首先要发挥非理性因素对理性因素的诱导和补偿作用,其次要注意理性因素对非理性因素的支配和定向作用。

在其他类别的决策过程中,决策者的行为因素往往对决策结果无显著影响。但行为决策中,决策者本身的行为对结果的影响特别突出,关注实际决策行为中的现实因素,尤其是行为认知对决策结果的影响,强调决策者的认知程度存在不足和行为的有限理性,注重实际决策环境中的高度不确定性。理性决策追求最优选择,但行为决策只要获得令人满意的结果即可。

现实型渐进决策认为,决策者不可能拥有全部智慧和有关决策的全部信息,而决策的时间、费用又有限,故只能采用应付局面的办法,在“有偏袒的相互调整中”作出决策。该种决策程序简单,实用、可行,并符合利益要求以解决现实问题。其决策结果并非最优,但可实现基本满意。

中国气象局《研究型业务试点建设指导意见》指出:对原有以业务值班为主业务升级再造,通过业务与科研的深度融合,使之兼具业务运行和科研开发双重属性和职能。这就要求我们,一方面要深入研究并通过科技手段加强业务,这一工作一直受到高度关注并持续推进。另一方面还要加强对业务主体即预报人员的研究与直接辅助,而这类工作相对较为欠缺。本文的工作既是对网格预报业务的研究,也涉及在新型业务环境下对预报员的尝试性研究,通过引入决策科学技术,辅助预报员减轻事务性工作压力,从而促进其更加专心地加强对天气的深入分析,逐步完善研究型业务。

6 结束语

在中国气象局无缝隙网格预报总体规划和实施方案的指导下,结合部分省市的预报业务实践,充分利用各相关学科的研究成果,推进无缝隙网格预报工作,进一步加强对预报人员的技术支持,针对预报业务的具

体环境,分析了决策科学的理论适用性。结果表明:

(1)中国无缝隙网格预报极大地提高了天气预报服务的能力和水平,与以往业务相比产生了革命性的本质飞跃。

(2)预报员仍然处于业务系统的核心地位,在可预见的历史时期内尚难以被 AI 或其他任何技术取代。但预报员需处理的信息量较传统预报增加了 104 ~ 106 倍以上,呈现爆炸式增长,且预报频次的提高,导致其分析思考时间消亡式萎缩,以往的分析思路与方法无法适应当前业务需求,预报员业务负荷急剧增长。

(3)在数值预报产品性能持续提高的背景下,当前的业务工作中未来天气的物理图像日渐清晰日益准确的情况下,预报员面临的任务与困难明显超越传统的天气分析预报的范畴,更加突出地体现出决策行为的特点。进一步明确人在预报业务体系中的核心地位,充分挖掘预报员天气学原理指正下的宝贵经验,并与发挥计算机的特长相结合,应用决策科学的理论与方法为预报员提供技术支持,是改进完善无缝隙网格预报的重要途径。

(4)当前形势下无缝隙网格预报过程中,传统的经典决策、完全决策、连续有限对比等决策理论因其相关前提条件无法满足而适用性不强。在预报决策过程中,还必须考虑到预报员在业务工作的特有环境中,在时间、信息、资源、工具、分析基础等业务能力方面的限制性约束条件。

(5)在无缝隙网格预报业务条件下,从专业职责、法律条款、检验评估、个体差异、环境压力等方面,探讨了预报员有限理性的原因与表现,表明上述因素的总体综合作用及知觉偏差对预报的影响明显。预报员在工作中表现出倾向于风险更小而非结果最优、满足于相对满意而非最佳方案等关键特点。

(6)预报员在当前无缝隙网格预报工作中,体现为非理性决策、行为决策和现实渐进决策。同时指出,除了预报员个体的决策行为之外,还需以人为本,关注业务制度与行政管理科学化建设并加强人文关怀。通过研究,明确了无缝隙网格预报中业务决策智能支持系统的决策适用性理论,为促进该项业务的进一步改进和完善提供支持,并促进对预报人员的深入研究和研究型业务的建立。

致谢:感谢成都信息工程大学(KYTZ201906、BKJX2019081)对本文的资助

参考文献:

[1] 胡文东,赵光平,丁建军. 省级气象预报业务系

统软件工程开发原则与技术[J]. 气象科学, 2006,26(1):81-89.

[2] 胡文东,夏普明,冯建民,等. 宁夏气象预报预测业务人员现状分析、发展策略与措施研究[J]. 中国科技论坛,2006,21(4):69-85.

[3] 代刊,曹勇,钱奇峰,等. 中短期数字化天气预报技术现状及趋势[J]. 气象,2016,42(12):1445-1455.

[4] 唐文苑,周庆亮,刘鑫华,等. 国家级强对流天气分类预报检验分析[J]. 气象,2017,43(1):67-76.

[5] 金荣花,代刊,赵瑞霞,等. 我国无缝隙精细化网格天气预报技术进展与挑战[J]. 气象,2019,45(4):445-457.

[6] 胡文东,Frédéric CHAVEAU, Maurice MERLET, 等. 以 GrADS 为基础的法国气象中心气象灾害评估业务查询系统设计[J]. 灾害学,2005,20(2):44-48.

[7] 张天航,迟茜元,张碧辉,等. 全国网格化多模式集成空气质量预报的初步建立[J]. 气象,2020,46(3):381-392.

[8] Tompkins A M, Feudale L. Seasonal Ensemble Predictions of West African Monsoon Precipitation in the ECMWF System 3 with a Focus on the AMMA Special Observing Period in 2006[J]. Wea. Forecasting,2008,25(2):768-788.

[9] Pappenberger F, Wetterhall F, Dutra E, et al. Seamless forecasting of extreme events on a global scale[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc.,2013,94(10):985-1011.

[10] Yuan X, Wood E F, Liang M. Integrating weather and climate prediction: Toward seamless hydrologic forecasting[J]. Geophysical Research Letters,2014,41(16):5891-5896.

[11] Brunet G, Jones S, Mills B. Seamless prediction of the Earth system: from minutes to months. [EB/OL]. http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1156_en.pdf,2015.

[12] Rauser F, Alqadi M, Arowolo S, et al. Earth system science frontiers—an early career perspective[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2017,98(6):1120-1127.

[13] Vitart F, Ardilouze C, Bonet A, et al. The subseasonal to seasonal prediction project database[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc.,2017,98(1):163-173.

[14] Sideris I V, Foresti L, Nerini D, et al. NowPrecip: localized precipitation nowcasting in the complex terrain

- of Switzerland[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, 146(2): 729–751.
- [15] Glahn H R, Ruth D P. The New Digital Forecast Database of the National Weather Service [J]. Bull. amer. meteor. soc, 2003, 84(2): 195–201.
- [16] Engel C, Ebert E E. Gridded Operational Consensus Forecasts of 2-m Temperature over Australia [J]. Wea. Forecasting, 2012, 27(2): 301–322.
- [17] 贺雅楠, 高嵩, 薛峰, 等. 基于 MICAPS4 的智能网格预报平台设计与实现[J]. 应用气象学报, 2018, 29(1): 13–24.
- [18] 贺雅楠, 高嵩, 薛峰, 等. 基于 MICAPS4 的精细化天气预报平台设计及应用[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 200–206.
- [19] 吴乃庚, 曾沁, 刘段灵, 等. 日极端气温的主客观预报能力评估及多模式集成网格释用[J]. 气象, 2017, 43(5): 581–590.
- [20] 杨波, 郑永光, 蓝渝, 等. 国家级强对流天气综合业务支撑体系建设[J]. 气象, 43(7): 845–855.
- [21] 张宏芳, 李建科, 陈小婷, 等. 基于百度地图的精细化格点预报显示[J]. 气象科技, 2017, 45(2): 261–268.
- [22] 李明娟, 戴昌明, 井宇. 智能网络预报业务发展前景下预报员作用的思考[J]. 陕西气象, 2018, 40(3): 46–48.
- [23] 杨绚, 张立生, 杨琨, 等. 台风大风低矮房屋易损性及智能网格预报的应用[J]. 气象, 2020, 46(3): 429–440.
- [24] Hoffman R. Human factors psychology in the support of forecasting the design of advanced meteorological workstations[J]. Wea Forecasting, 1991, 6(3): 98–110.
- [25] Roberts Rita D, Amanda R S Anderson, Eric Nelson, et al. Impacts of forecaster involvement on convective storm initiation and evolution nowcasting [J]. Wea Forecasting, 2012, 27(10): 1061–1089.
- [26] 陶祖钰. 和预报员谈谈气象中的哲学和逻辑问题[J]. 气象科技进展, 2013, 3(3): 67–69.
- [27] 李泽椿, 谌芸, 张芳华. 由河南 758 特大暴雨引发的思考[J]. 气象与环境科学, 2015, (38)3: 1–12.
- [28] Stuart Neil A, David M Schultz, Gary Klein. Maintaining the role of humans in the forecast process: analyzing the psyche of expert forecasters[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2007, 88(12): 1893–1898.
- [29] 胡文东, 赵光平, 丁建军, 等. 宁夏短时预报业务工作平台系统开发策略与技术措施[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 114–117.
- [30] Stuart Neil A, Patrick S Market, Bruce Telfeyan, et al. The future of humans in an increasingly automated forecast process[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2006, 87(11): 1497–1502.
- [31] David R Novak, David R Bright, Michael J Brennan. Operational forecaster uncertainty needs and future roles[J]. Wea Forecasting, 2008, 23(12): 1069–1074.
- [32] David M L SILLIS. On the MCS forecasters forums and the future role of the human forecaster[J]. BAMS, 2009, 90(5): 619–628.
- [33] Lv Z Y, Zheng L W, Liang X, et al. A fuzzy multiple attribute decision making method based on possibility degree [J]. J Intelli & Fuzzy Syst, 2016, 31(3): 787–794.
- [34] Livi L, A Sadeghian. Granular computing, computational intelligence, and the analysis of non-geometric input spaces[J]. Granular Comput, 2016, 1(1): 13–20.
- [35] Xu Z, Gou X. An overview of interval-valued intuitionistic fuzzy information aggregations and applications[J]. Granular Comput, 2017, 2(1): 13–39.
- [36] Dong Y C, Zhang G Q, Hong W C et al. Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method[J]. Deci Sup Syst, 2010, 49(3): 281–289.
- [37] He Y, Chen H, Zhou L, et al. Intuitionistic fuzzy geometric interaction averaging operators and their application to multi-criteria decision making[J]. Inf. Sci, 2014, 29(1): 142–159.
- [38] Bezerra C G, Costa B S, Guedes L A, et al. An evolving approach to unsupervised and real-time fault detection in industrial processes [J]. Expe Syst Appl, 2016, , 63(1): 134–144.
- [39] Liu H, Gegov A, Cocea M. Rule based systems: A granular computing perspective [J]. Granular Comput, 2016, 1(1): 259 – 274.
- [40] Syau Y R, Skowron A, Lin E B. Inclusion degree with variable-precision model in analyzing inconsistent decision tables[J]. Granular Comput, 2017, 2(2): 321–341.
- [41] Charles A, Doswell III. Weather forecasting by humans—heuristics and decision making[J].

- Wea Forecasting,2004,19(12):1115-1126.
- [42] 漆梁波,徐珺. 豫北“7.9”特大暴雨的短期预报分析和反思[J]. 气象,2018,44(1):1-14.
- [43] 段欲晓,王迎春,叶谦,等. 影响预报员应用先进天气预报技术的因素分析[J]. 气象,2010,36(6):122-127.
- [44] 邵建,胡文东,杨有林,等. 基于图形学的致旱天气系统自动识别技术[J],干旱区研究,2019(3):664-669.
- [45] 胡文东,李艳春,郑广芬,等. 宁夏干旱区强对流降水过程雷达图像纹理特征分析[J]. 中国沙漠,2007,27(2):331-336.
- [46] Rani D Gulati T, Garg H. Multi-objective non-linear programming problem in intuitionistic fuzzy environment: Optimistic and pessimistic view point [J]. Expe Syst Appl,2016,64(1):228-238.
- [47] Yang J B. Rule and utility based evidential reasoning approach for multi-attribute decision analysis under uncertainty [J]. Eur. J. Oper. Res, 2001,131(1):31-61.
- [48] Hong D, Choi C. Multi-criteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory [J]. Fuzzy Sets Syst,2000,114(1):103-113.

Study on Decision-making Theory Applicability for Seamless Grid Forecast

JIA Jingxiang¹, HU Wendong^{1,2,3}, WANG Chengwei⁴, SHAO Jian⁵, HU Liangfan¹, HAO Yanqiong¹, XU Wenjia¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Sichuan Provincial Key Laboratory of Software Auto-developing and Intelligent Service, Chengdu 610225, China; 3. Sichuan Provincial Key Laboratory of Plateau Atmosphere and Environment, Chengdu 610225, China; 4. Heilongjiang Provincial Meteorological Office, Harbin 150030, China; 5. Yinchuan Meteorological Bureau, Yinchuan 750002, China)

Abstract: To improve the seamless grid forecast, strengthen the operational support for forecasters using the theory of decision science and improve the level of intelligence, the applicability of various decision-making theories was analyzed based on the forecast operational environment and the task pressure faced by forecasters, the results show that, (1) The seamless grid forecast improved the service greatly. The key role of human forecaster never changed up to now and it is necessary to help forecaster with science and technology. (2) Under nowadays circumstances, the major operational difficulties faced by forecaster have exceeded the traditional range, which is decision-making difficulties. (3) Some of pre-conditions cannot be met well for the forecasters. The theories such as classic, complete, and continuous limited decision-makings show poor feasibility under current operational situation. (4) The character of operational seamless grid forecast at present tends to be non-rational, behavior, and progressive reality decision-making. (5) The reasons of performance and perception alias of forecasters at current circumstance were analyzed, and the results show that forecasters tended to choose the relative not-bad plan instead of the best plan. (6) In order to highlight the core position of people in the forecast operation system from the perspective of support forecasters, the feasible theories of intelligence decision-making system for seamless grid forecast were proposed based on the study and for support human forecasters. And this work provides support for the comprehensive establishment of research-oriented meteorological operations.

Keywords: seamless grid forecast; operational decisions; intelligent; support system; applicability