

doi:10.3969/j.issn.1002-0799.2013.04.007

10~30 d 延伸期预报及其策略思考

朱玉祥¹, 俞小鼎¹, 赵亮², 刘海文³

(1. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 2. 中国人民解放军 61741 部队, 北京 100094;
3. 成都信息工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:在当前的气象预报业务中, 10~30 d 的延伸期预报是“无缝隙预报”中的难点。由于理论基础尚不完备, 致使延伸期的准确预报还存在诸多困难。但对 10~30 d 延伸期预报业务迫切的社会需求, 使其成为众多气象专家关注的研究热点。本文对 10~30 d 延伸期预报的概念、意义进行了阐述, 在此基础上对其物理过程性质和预报困难的原因进行了分析。讨论了延伸期预报的预报对象, 并在借鉴前人成果的基础上, 总结归纳出了低频振荡方法、经验波传播方法、相似预报方法、物理统计方法、动力学方法(集合预报方法)、大气环流模式和中期模式集合方法、动力统计方法、综合集成方法等 8 种做延伸期预报的方法。

关键词:延伸期预报; 可预报性; 热带 MJO; 集合预报

中图分类号: P456

文献标识码: B

文章编号: 1002-0799(2013)04-0038-07

2008 年初发生在我国南方大范围的罕见低温雨雪冰冻灾害, 其灾害损失之严重, 将永远铭刻在人们的心中。另外, 2008 年底 2009 年初发生在我国北方大部分地区的少雨(雪)干旱天气对我国农业的破坏性影响, 2010 年云贵川等地的特大旱情, 2011 年 3—5 月长江中下游地区出现的严重气象干旱以及进入 6 月的旱涝急转。这些持续性异常的(极端)天气气候事件预报都涉及到延伸期预报。回顾这些灾害中我们气象部门的预报, 可以看出在常规天气预报时效内, 提前 5~7 d, 有时甚至能提前 10 d, 气象部门都能比较准确地预报此次持续性的极端灾害天气过程。但限于当前天气预报的技术水平, 对 10 d 以上和月尺度以内的天气预报还难以做出较为准确的预报。但恰恰是这一时间段的预报, 对开展防灾、救灾工作具有极其重要的价值和意义。10~30 d 的延伸期预报, 对气象部门提出了巨大的现实挑战。

延伸期预报是近几年的研究热点, 很多专家从不同的角度对这个问题进行了研究。比如, 金荣花等(2010)^[1]综述了研究进展和业务现状。然而, 由于这

个问题的复杂性, 有限的几篇综述不可能穷尽这方面的所有进展。因此, 本文作者拟对这个问题进行进一步的阐述。

1 延伸期预报的定义及其重要性

世界气象组织规定的延伸期是指 10~30 d, 这是根据目前数值天气预报的能力所作的界定。

现在的天气预报主要包括: 短时预报是指未来 0~12 h 天气参量的描述, 其中 0~2 h 预报为临近预报; 12 h 到 3 d 的短期预报; 4~10 d 的中期预报; 月尺度以上的气候预测。在常规的天气预测和气候预测之间, 即 10~30 d 的延伸期预报, 对现代天气预报是一个巨大挑战。气象部门的无缝隙预报是指预报时限涵盖从短时预报、短期预报、中期预报、延伸期预报、月、季、年际和年代际时间尺度, 在时间上没有缝隙间断的预报预测业务。建立无缝隙预测业务的重点任务为加强延伸期预测能力(肖子牛, 2010)^[2]。

在对 2008 年年初发生在我国南方的罕见低温雨雪冰冻灾害进行反思时发现, 气象部门在常规天气预报时效内, 提前 5~7 d, 甚至提前 10 d 都能够比较准确地对此次持续性极端灾害天气过程进行预报, 但限于当前天气预报的技术水平, 10 d 以上和月尺度以内的天气预报还难以做出较为准确的预报。

收稿日期: 2013-02-01; 修回日期: 2013-05-06

基金项目: 国家重大科学研究计划(2012CB957804)和国家自然科学基金项目(40805026)共同资助。

作者简介: 朱玉祥(1976-), 男, 副教授, 主要从事气象统计方法和青藏高原积雪研究。E-mail: zhuyx@cma.gov.cn

延长对灾害性、关键性、转折性天气的预报时效,是当前社会对天气预报业务提出的紧迫要求。然而,迄今为止,天气预报业务在时效上还存在着延伸期预报困难。提供准确的延伸期天气预报,可以及时预警受天气变化影响的地区、部门、个人提前做好应对准备和措施,从而更好地消除或减少灾难性、大面积气候异常对生产生活造成的负面影响。因此,深入研究 10~30 d 的延伸期预报十分必要,具有重要的科学价值和应用意义。

2 延伸期天气过程的物理性质和预报困难的原因

2.1 延伸期天气过程的物理性质

大尺度的对流层扰动能够在 7~14 d 内环绕地球运行一圈,中纬度西风带的大气平均 30 d 左右绕地球一圈。在延伸期天气过程中,地球大气系统的各个部分彼此间存在复杂的相互影响,其相互作用使得大气某一部分的演变不仅由临近地区的自身状态所决定,而且还取决于遥远地方的大气状况。

大气运动在空间上是多尺度的,在时间上是多周期的。对于延伸期预报,由于初始场中的短波迅速衰减,起关键作用的应该是长波和超长波,长波和超长波构成了延伸期天气过程的主导系统。

由于来自地球内部的向上热传导过程由于放射性衰减几乎可以忽略,因此地球大气的最终能量来自太阳辐射(Peixoto 和 Oort, 1995)^[3]。据有关计算发现,大气位能转换成动能所需要的时间,与由于摩擦引起的动能消耗或总动能被耗散所需要的时间相等,近似为 7 d,与自然天气周期的平均长度相一致。对于 7 d 以内的中短期天气过程来说,它所需要的动能完全可以靠大气本身的位能转换来维持,可以不需要同外界发生能量交换。因此,7 d 以内的天气预报,主要是大气系统对初值的记忆,在数值预报模式中表现为通过资料同化方法,得到尽可能准确的、与数值模式相匹配的初始场。但是对于延伸期及更长时间尺度的天气过程来说,其所需要的动能仅靠大气本身的位能转换是不足以维持的,需要外界提供能量来满足补偿动能的消耗。由此可见,与外界发生能量交换即非绝热性是包括延伸期在内的长期天气过程最重要的物理性质。对于大气来说,延伸期的外强迫源包括大气顶的太阳辐射,下界面的海洋以及冰雪和土壤湿度等陆面因子。

2.2 延伸期预报困难的原因

与初始条件相关的可预报性称为“第一类可预报性”,而与缓变的边界条件含有的信息相联系的可

预报性为“第二类可预报性”(Kalnay, 2001)^[4]。两周以内的预报可以归为第一类可预报性问题,主要由初始条件控制。月以上的预报可以归为第二类可预报性问题,主要是大气向上下边界(上边界包括太阳辐射等;下边界包括海温、土壤湿度、冰雪等)强迫的适应。延伸期预报困难的原因在于其预报时效超越了确定性预报的理论上限(两周左右),而预报对象的时间尺度又小于气候预测的月、季时间尺度。由于大气是一个非线性动力系统,即使采用完美的大气模式(当然大气模式不可能是完美的),很小的不可避免的初始场误差也会通过与大尺度运动的非线性相互作用而影响大尺度形势,在确定性预报的理论上限后也会使逐日预报的误差达到与自然变率相当,逐日预报就失去了价值。从上述可见,由于在延伸期预报领域尚未形成较为完备的理论体系,无法对延伸期预报实践进行科学有效指导,从而成为长期以来困扰气象预报的难题。

2.3 延伸期预报可用的预报因子

虽然理论基础尚不完备,但对延伸期预报的研究还是找到了一些可用的预报因子。根据现有的研究成果,低频信号 MJO 是延伸期预报的一个重要因子(Ferranti 等, 1990)^[5]。另外,平流层的信号在延伸期时间尺度内能传到对流层,这也是做延伸期预报的一个因子(Baldwin 等, 2003)^[6]。丑纪范等(2010)^[7]指出,10~30 d 的预报虽然超出了逐日天气的可预报时限,但仍存在可预报的分量,并且以数值模式为基础,阐述了 10~30 d 可预报分量的提取方法。丑纪范(2011)^[8]又进一步指出,10~30 d 预报依赖于空间和时间尺度,预报包含了可预报分量和混沌分量。

3 延伸期预报的几点策略思考

虽然延伸期预报难度很大,但正如前文所述,这个时间段的预报存在巨大的社会需求。比如在 2008 年初南方雨雪冰冻天气过程中,如果能有效的预报出延伸期天气状况,则会对物资储备,交通运输、人员调度、物资支援等救灾活动进行合理计划安排,降低冰冻灾害对地方造成的损失。此外,延伸期天气的科学预报对我国抗旱防汛、农业发展、渔业经营、电力生产等与天气气候变化密切相关的产业行业具有较强提示和指导意义。故而,社会对延伸期预报的需求因其对社会经济发展的重要性而显示出迫切性和不断增长的趋势。

正是延伸期预报理论上的不成熟和社会对延伸期预报的迫切需求,对气象研究工作者提出了更高

的时代要求。气象工作者需从基础理论着手,担负起对延伸期预报理论基础研究和实际预报分析的责任。当前条件下,对如何做好延伸期预报工作,提出几点初步思考。

3.1 延伸期预报的预报对象

考虑到延伸期天气过程的物理性质和基本原理,延伸期预报不可能像中短期天气预报一样在预报时效内做逐日天气的预报。延伸期预报对象主要有气象要素的趋势预报和持续性天气过程的趋势预报。

3.1.1 气象要素趋势预报

气象要素延伸期预报是预报气象要素对气候平均状况的距平,如降水量距平、温度距平等。气象要素延伸期预报就是预报未来 10~30 d 某要素相对于同期气候平均状态的异常情况。这样一来,预报结果只有 3 种,即偏高、正常、偏低 3 种,使预报难度降低,从而更具有可操作性。

3.1.2 持续性天气过程趋势预报

持续性天气过程的时间尺度和空间尺度都比较大,有的过程生命史可达 10 d 以上。因此,可以通过天气过程模型,特征量分析,寻找相关指标等方法来进行持续性天气过程的趋势预报。例如,通过能量学模式,以及傅立叶分析技术分析主要波数和能量参数,并且根据寒潮天气过程初始阶段的特点以及其发生、发展规律,有可能初步做出未来 10~30 d 有无寒潮的趋势预报。

3.2 延伸期预报的方法

根据延伸期天气过程的物理性质和大气可预报性的基础理论,延伸期预报可采用下面几种方法。

3.2.1 低频振荡方法

一般来说,大气中存在着 3 个不同时间尺度的季节内低频振荡(ISO)过程,分别为 10~30 d 振荡,30~60 d 振荡,60~90 d 振荡,它们合称为季节内低频振荡。10~30 d 振荡还包括准双周振荡,10~15 d 振荡和 15~30 d 振荡。

季节内低频振荡是大气中很显著的一种振荡现象,它也是从短期天气变化到季节变化、年际变化、年代际变化等整个大气多尺度振荡链条中的重要一环。季节内低频振荡既是高频天气变化的直接背景,又是月和季气候的主要分量,是联系天气和气候的纽带和桥梁。众多研究表明,季节内低频振荡在我国天气气候的演变中扮演了重要角色,其变化的时间尺度正好是延伸期预报的时限范围,因此可以作为预报因子用来做延伸期预报。

由于季节内低频振荡对天气气候的重要影响,对其可预报性的研究和预报试验逐渐增多。主要以统计方法为主,比如回归分析、奇异谱分析、主振荡型分析(POP)(Von Storch 等,1990,1999)^[9-10]。当然,也可以根据低频振荡的周期或准周期性,用相似韵律等方法做延伸期预报。

孙国武等(2010)^[11]引入了一种新的预报方法——低频天气图法,在低频天气图上,低频天气系统(低频气旋和低频反气旋),以及他们的活动特性可以被用来定性的确定南、北气流(冷、暖空气)的汇合,引起降水过程。2009 年 6—10 月利用该方法对上海地区延伸期降水过程预报表明,强降水预报效果较好,且预报时效为 15~45 d,该方法可以在延伸期预报中应用。丁一汇等(2010)^[12]从季节内振荡与中纬度相互作用的角度讨论了制作延伸预报的理论依据,并以江淮梅雨为例探讨了我国延伸预报的可预报性及信号。

梁萍^[13]采用低频信号对梅雨区降水季节内振荡的延伸期预报试验表明,该方法对各年的预报效果因年而异,预报效果差的年份,可能与低频信号在这些年份的影响不显著有关。因此,虽然低频振荡法是现在做延伸期预报的一种常用方法,但对于不同地点、不同时间的预报来说,尚需考虑其他方法。

据建华等(2010)^[14]研究印度洋东传 MJO 和南海地区季节内振荡(ISO)的关系,发现二者之间存在较稳定的高滞后相关,根据这一关系利用春季和初夏 MJO 的活动预测后期初、盛夏南海 ISO 的活动,对 2008 年的预测试验表明,可以对夏季南海 ISO 活动提前 15~50 d 进行预测。

金小霞等(2011)^[15]对大气季节内振荡对热带气旋活动影响的研究进展进行了综述,将来有可能利用季节内低频振荡做热带气旋的延伸期预报。

需要指出的是,对于不同地区、不同季节,本方法是否适用,即是否有相应的低频信号与当地、当季的降水、温度等预报对象相对应,需要结合地方特点进行研究。

3.2.2 经验波传播方法

经验波传播(EWP, Empirical Wave Propagation)方法原理如下:首先,对给定的初始时刻,利用傅里叶分析技术,采用纬圈谐波展开方法,把大气波动分解为各种谐波的叠加;然后,根据已经得到的观测资料计算出大气波动的传播速度,并对未来预报时刻进行外推,对波振幅的未来演变情况也相应处理;最后,对未来大气波动进行傅立叶变换,即可得到未来

大气变化的解析预报。经验波传播是一种解析预报方法,“经验”一词只是指在计算位相移动速度时的信息来源于观测资料。有关经验波传播的详细介绍和公式推导可参见张勤等(2010)^[16]文献。目前,美国CPC采用EWP方法对200 hPa速度势场对低频振荡做预报,并进而做延伸期预报。

梁萍(2010)^[13]选取2008年2月12日作为分析场,采用EWP方法进行MJO的延伸预报试验。结果表明:(1)EWP方法采用谐波展开及傅立叶转换方法较滤波方法得到低频信号更为合理;(2)EWP方法对热带ITCZ活跃异常(即热带MJO活动)未来40 d的东传可能具有较好的预报效果,还可能较好地预报出梅雨区的风场距平,具有一定的应用价值;(3)EWP方法对未来1~20 d MJO活动指数(RMM1、RMM2、强度)的预报效果好于未来21~40 d的预报。

3.2.3 相似预报方法

该方法主要利用天气过程模式、持续性天气过程的相似性、大气环流或大气活动中心特征量时间序列的持续性来做延伸期预报。相似预报方法的基本原理是,如果在历史资料中能够找到和大气现在的初始条件相似个例,那么可以用历史相似个例的发展演化过程作为现在时刻对未来的预报。如果能够找到两种环流形势在与预报有关的整个区域的所有变量(包括边界条件)都相似,那么可以相信接下来的环流演变也是相似的。从而可以用这种方法做延伸期预报。

然而,从历史资料中寻找自然相似往往不易找到,这时可以构建一个相似。构建相似从观测资料中计算不稳定模态,研究弱非线性过程,以及初始扰动的频散问题,这是比经验波传播方法更为复杂的方法(张勤等,2010)^[16]。

3.2.4 物理统计方法

本方法首先对延伸期天气过程进行物理机制分析,选取与延伸期天气变化关系密切的具有物理机制的各种大气因子和非大气因子,采用回归、典型相关、SVD、线性转置模型等物理统计预报模型制作延伸期预报。在使用这种方法的时候一定要注意,所选取的预报因子,要有明确的物理意义。这样建立的预报模型才有可能抓住预报因子和预报量之间的本质联系,这样的预报模型性能才能稳定。

Newman等(2003)^[17]用一个统计的线性转置模型(Linear inverse model,简称LIM)做延伸期预报,发现在北半球的一些地区有较强的预报能力。

3.2.5 动力学方法(集合预报方法)

很多个例表明,尽管动力学方法在逐日环流形势的可预报上一般不超过10 d,但对不同的个例预报技巧差别很大。

大气系统在本质上是一个非线性的混沌系统,存在分叉和奇异吸引子特性,集合预报的思想对于具有这种特性的大气演变趋势预报来说,具有巨大的用武之地。集合预报现在已经不仅仅是对数值模式的初始场进行扰动,还包括对物理参数过程的集合。而对区域模式来说,对边界条件扰动的集合也是一个重要的发展趋势。多模式的超级集合方法,也已经在越来越多的业务和科研单位使用。集合预报技术的进步,为做好延伸期预报提供了条件。

如果对某些从初始状态过渡到稳定的奇异吸引子状态需要持续较长时间,或者奇异吸引子状态维持较长时间的天气过程来说,在所取的离散度的扰动足够大的情况下,在集合成员中就有可能做出预报效果较好的延伸期预报。

特别是集合预报能够给出延伸期降水、温度等要素预报的概率预报,这有利于做出科学准确的预报结果,对用户根据自己的情况(花费/损失)做出合理的决策也很有帮助。ECMWF在这方面的工作全球领先。

3.2.6 大气环流模式(AGCM)和中期模式集合

考虑到AGCM对大气环流有较好的预报效果,而中期模式一般能在前10 d给出较为准确的逐日预报,左瑞亭和张铭(2000)^[18]提出同时用AGCM和中期模式进行异模式集合预报,使二者相互取长补短的设想。这也是做延伸期预报的一个思路。

3.2.7 动力统计方法

动力统计方法包括动力延伸预报模式和延伸期数值模式产品的统计释用方法。李维京和陈丽娟(1999)^[19]提出一种动力与统计相结合的方法,该方法从大尺度大气动力学方程组出发,推导出月降水距平百分率与月环流的关系,从而建立了月降水距平百分率预报方程,随后用动力延伸预报的500 hPa高度场和实际降水场资料反演出月降水距平百分率预报方程系数。经过独立样本检验,表明该方法对利用动力延伸集合预报的环流形势作月降水距平预报具有一定的能力。

陈豫英等(2011)^[20]使用国家气候中心1982年1月—2010年3月每月1,6,11,16,21,26日下发的未来40 d各候的候平均预测格点场作为预报因子,用宁夏24个测站候平均气温实况资料作为预报对

象,采用逐步回归的 MOS 方法,预报宁夏 24 个测站未来 40 d 逐候平均气温。结果表明,无论是准确性还是稳定性,MOS 预报都比模式直接输出有显著提高,预报结果能满足现行业务需求。

动力统计方法具有物理学和统计学基础,很可能是一种比纯统计预报方法更具有开发应用前景的延伸期预报方法。

3.2.8 综合集成方法

鉴于对外只能发布一种预报结果,需要对各种方法得到的预报结果进行集成。这时可以采用权重线性集成、线性回归集成等方法进行集成(黄嘉佑,2004)^[24]。如果各种方法之间不独立,即存在复共线性时,可采用主成分回归方法进行集成。

当然,开展延伸期预报还有很多其它方法。比如王阔等(2012)^[22]采用滤波并结合 EOF 方法,提取延伸期预报的稳定分量,也提供了一种新的思路和解决问题的途径。但大都可以归为上述 8 种方法,限于篇幅,本文不再赘述。

4 延伸期预报的业务情况

美国气候预测中心(CPC, Climate Prediction Center)开展对 MJO 进行实时监测和预测。MJO 指数为 Wheeler 等(2004)^[23]的定义,采用的方法主要为统计方法(比如,对主成分(PC)的自回归(Jones 等,2004)^[24];滞后多元线性回归、自然相似、经验位相传播 EPP 等方法(Seo 等,2009)等)^[25]。另外,CPC 的业务产品对未来 30 d 展望也用到了数值预报模式的结果^[26]。

欧洲中期天气预报中心(ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)在延伸期预报方面也做了大量工作,需要指出的是 ECMWF 的月预报(Montley forecasts)即是本文中 10~30 d 的延伸期预报。Vitart(2004)^[27]基于海气耦合模式采用集合的方法做延伸期预报。Buizza 等(2007)^[28]建立了变分辨率的集合预报系统(VarEPS),这个系统的预报期限可以达到 15 d,个例分析表明这个系统对延伸期预报有技巧。2008 年 3 月,ECMWF 集成 VarEPS 和月尺度的预报系统为新系统 VarEPS-Monthly,并开始业务运行,考虑到月预报系统对逐日变率没有太多的预报技巧,这个系统主要预报周距平,对应于延伸期预报为 12~18、19~25、26~32 d,回报试验表明,相对于以前的预报系统,延伸期预报效果有明显改善。

在印度,Xavier 等(2007)^[29]发展了一种对印度

夏季风提前 20~25 d 实时预报的两步相似法。这种方法应用到 OLR 资料,首先进行经验正交函数(EOF)分解,选取前 10 个空间模态(EOFs)和对应的主成分(PC),与预报初始时刻相似的空间模态对应的主分量(最新的 5 候)的演化过程作为对未来的预报,最后利用预报的前 10 个主成分和对应的前 10 个空间模态重构预报量,其结果作为预报值。

韩国气象局采用动力和统计相结合的方法做延伸期预报^[30]。他们首先用动力和统计方法对全球海温进行预报,然后采用两步法,用预测的海温驱动全球谱模式做延伸期预报。并且,他们对数值模式预报产品进行统计释用,预报对象为温度和降水的距平值。

在我国,延伸期预报业务主要在国家级和部分地区级、省级气象业务单位开展。国家气象中心(中央气象台)于 2002 年开始开展延伸期预报,并且在 2005 年开始延伸期预报的准业务化,其预报时限主要为 10~20 d,预报对象为降水、温度的量值及其距平百分率,以及相应时间段的主要天气过程。康志明等(2012)^[31]对国家气象中心开展的延伸期预报业务做了介绍。国家气候中心早在“九五”期间便开始延伸期预报方法研究和业务系统建设,在 2003 年开始在业务上基于月动力延伸模式进行了 10~30 d 延伸期的集合预报,提供降水量及其距平百分率和温度及其距平预报(李维京和陈丽娟,1999;李维京和纪立人,2000;李维京等,2005)^[19,32-33]。贾小龙等(2012)^[34]在国家气候中心建立了逐日的 MJO 实时监测业务,国家气候中心也将 MJO 监测预测信息应用到延伸期一月尺度的气候预测业务中。段军泽等(2012)^[35]也在新疆进行了月动力延伸预报产品的应用和检验。2008 年,由上海市气候中心牵头,兰州和沈阳中心台参加的“低频天气系统预报技术及业务化应用”项目,在延伸期预报方面取得突破,该项目完成了适用于夏季延伸期降水过程的低频天气图和低频波演变方法的开发。这种方法已经在这三家单位的日常业务预报中使用。

另外,区域气象中心的广州中心气象台,以及一些省级业务单位(比如宁夏、河南、广西等)也根据当地的天气气候特点,采用各种方法尝试开展延伸期预报业务。

6 结语

我国地域辽阔,气候复杂多变,西部为平均海拔超过 4 000 m 的青藏高原大地形,并且深受冬季风

和夏季风系统的影响, 这些因素都对做好延伸期预报带来了困难。特别是在理论基础尚不成熟的情况下, 做 10~30 d 的延伸期预报面临着巨大挑战, 需要我国气象工作者探索出适合中国气候特点的预测方法。在社会迫切需求的推动下, 有必要对其进行理论研究与业务实践相结合, 通过业务推动科研, 以科研促进业务。同时, 在向公众和其它用户提供预报产品的时候最好能提供概率预报结果, 并且给出信度说明, 这样更科学、更准确。当然, 如何把概率预报结果让公众正确理解, 也是一个需要考虑的问题。

参考文献:

- [1] 金荣花, 马杰, 毕宝贵. 10~30 d 延伸期预报研究进展和业务现状[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(2): 1-5.
- [2] 肖子牛. 我国短期气候监测预测业务进展 [J]. 气象, 2010, 36(7): 21-25.
- [3] Peixoto, Oort: 气候物理学[M]. 吴国雄, 译. 北京: 气象出版社, 1995.
- [4] Kalnay E. Numerical Weather Forecasting and Predictability. Cambridge University Press[J]. 2001.
- [5] Ferranti L, et al. Tropical - extratropical interaction associated with the 30-60-day oscillation and its impact on medium and extended range prediction[J]. J Atmos Sci, 1990, 47: 2177-2199.
- [6] Baldwin M P, et al. Stratospheric memory and extended-range weather forecasts[J]. Science, 2003, 301: 317-318.
- [7] 丑纪范, 郑志海, 孙树鹏. 10—30 d 延伸期数值天气预报的策略思考——直面混沌. 气象科学, 2010, 30(5): 569-573.
- [8] 丑纪范. 天气和气候的可预报性. 气象科技进展, 2011, 1(2): 11-14.
- [9] Von Storch H, et al. Principal oscillation pattern analysis of the tropical 30- to 60-day oscillation in the tropical troposphere. Part I: Definition of an index and its prediction[J]. Climate Dynamics, 1990, 4: 175-190.
- [10] Von Storch H, Zwiers FW. Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge University Press: Cambridge, 1999.
- [11] 孙国武, 信飞, 孔春燕, 等. 大气低频振荡与延伸期预报[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 1142-1147, 1999.
- [12] 丁一汇, 梁萍. 基于 MJO 的延伸期预报[J]. 气象, 2010, 36(7): 111-122.
- [13] 梁萍. 中国梅雨的季节内振荡分析和延伸预报[D]. 中国气象科学研究院, 2010.
- [14] 据建华, 刘一伶, 李汀, 等. 预测夏季南海季节内振荡的一种新方法[J]. 热带气象学报, 2010, 26(5): 521-525.
- [15] 金小霞, 何金海, 占瑞芬, 等. 大气季节内振荡对热带气旋活动影响的研究进展[J]. 热带气象学报, 2011, 27(1): 133-138.
- [16] Huug van den Dool. 短期气候预报的经验(统计)方法[M]. 张勤, 肖子牛, 江志红译. 北京: 气象出版社, 2010.
- [17] Newman M, et al. A study of subseasonal predictability[J]. Mon Wea Rev, 2003, 131: 1715-1732.
- [18] 左瑞亭, 张铭. 月内短期气候预测中若干问题的讨论[J]. 解放军理工大学学报, 2006, 1(3): 76-81.
- [19] 李维京, 陈丽娟. 动力延伸预报产品释用方法的研究[J]. 气象学报, 1999, 57(3): 338-345.
- [20] 陈豫英, 陈楠, 王素艳, 等. MOS 方法在动力延伸期候平均气温预报中的应用 [J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 86-95.
- [21] 黄嘉佑. 气象统计与预报方法[J]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [22] 王阔, 封国林, 孙树鹏, 等. 基于 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻事件 10—30 d 延伸期稳定分量的研究[J]. 物理学报, 2012, 61(10): 1-10.
- [23] Wheeler M, et al. An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction[J]. Mon Wea Rev, 2004, 132: 1917-1932.
- [24] Jones C, et al. A Statistical Forecast Model of Tropical Intraseasonal Convective Anomalies [J]. J Climate, 2004, 17: 2078-2095.
- [25] Seo K, et al. Evaluation of MJO Forecast Skill from Several Statistical and Dynamical Forecast Models [J]. J Climate, 2009, 22: 2372-2388.
- [26] <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/30day/>
- [27] Vitart, F. Monthly forecasting at ECMWF [J]. Mon Wea Rev, 2004, 132: 2761-2779.
- [28] Buizza R, et al. The new ECMWF VarEPS. [J] Q J R Meteorol Soc, 2007, 133: 681-695.
- [29] Xavier P K, et al. Analog method for real-time forecasting of summer monsoon subseasonal variability [J]. Mon Wea Rev, 2007, 135: 4149-4160.
- [30] <http://web.kma.go.kr/eng/weather/forecast/long-range1.jsp>
- [31] 康志明, 鲍媛媛, 周宁芳. 我国中期和延伸期预报业务现状以及发展趋势[J]. 气象科技进展, 2012, 18-24.
- [32] 李维京, 纪立人. 月动力延伸预报研究[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [33] 李维京, 张培群, 李清泉, 等. 动力气候模式预测系统业务化及其应用[J]. 应用气象学报, 2005, 16(增刊): 1-11.
- [34] 贾小龙, 袁媛, 任福民, 等. 热带大气季节内振荡(MJO)实时监测预测业务[J]. 气象, 2012, 38(4): 425-431.
- [35] 段均泽, 刘长征, 白素琴. 月动力延伸预报产品在新疆月尺度降水预测中的应用检验 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(6): 61-64.

Extended-range Weather Forecasts of 10~30 Days and Strategy Thinking

ZHU Yuxiang¹, YU Xiaoding¹, ZHAO Liang², LIU Haiwen³

(1.Training Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 2.61741 Troops of PLA, Beijing 100094, China; 3.Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract In current meteorological forecasts operation, Extended -Range Weather Forecasts (ERWF) of 10~30 days is a difficult problem in seamless prediction. Since no maturity basis of theory leads there, there are a lot of challenges for ERWF. Because the demand of society is huge, many meteorologists focus on the problem of ERWF. The paper firstly sets forth the conception and importance of ERWF; then analyze the physical process of ERWF and difficulties in accurately forecasting ERWF; finally concluded and summarized into the eight methods of ERWF, including low frequency oscillation, empirical wave propagation, physical statistics, dynamical method (ensemble forecasting), general circulation model (GCM) and medium-range model, dynamical-statistical method, super ensemble(compositive integration) method.

Key words extended-range forecasts; predictability; tropical MJO; ensemble forecasting