

2002年夏季气候及汛期实时预测与检验*

林朝晖 孙建华 卫捷 周广庆

张小玲 陈红 郎咸梅

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 简要介绍了中国科学院大气物理研究所2002年汛期预测的结果。作者首先利用 IAP ENSO 预测系统, 较好地预测出2002年夏季将有一个强度偏弱的 El Niño 事件发生; IAP 动力学气候预测系统 (IAP DCP-II) 的跨季度预测结果则表明2002年夏季我国华北和东北大部将持续干旱少雨, 长江下游和南方大部地区降水较常年偏多; 在数值预测的基础上, 结合其他的动力统计预测方法, 最终得到中国科学院大气物理研究所2002年夏季早涝趋势的跨季度集成预测结果。与实况比较表明, IAP DCP-II 预测和集成预报均较好地预测出我国夏季早涝的大范围形势分布, 特别是动力数值预测的效果在我国东部略优于集成预测。至于汛期(6~8月)每天的天气分析研究和数值天气预报, 则表明国内外现有的中高分辨率数值天气预报模式均有很好的预测能力, 并给出了我国长江流域和华北地区2002年持续性降水的天气学模型。

关键词: 动力气候预测; 集成预测; 数值天气预报; 持续性降水

1 引言

我国地处东亚季风区, 大范围的旱涝等气候灾害频繁发生。统计资料表明, 近年来我国每年遭受气象灾害的损失均要超过2000亿元。显然, 对严重的气象灾害尽早做出预测, 可以减轻这些灾害所造成的损失。在中国科学院大气物理研究所, 短期气候预测于20世纪80年代初正式开始, 当时主要用动力学方法、环流相似法、指标相似法以及统计学方法等一起试做夏季降水的跨季度预测(3月份报当年6~8月雨量距平), 并参加中国气象局3月份的气候预测会商。当时的预测是对上述各方法的预测结果经主观集成后做出的, 后命名为集成预测方法(后来的数值气候预测结果也被集成进去)。

至于数值气候预测, 中国科学院大气物理研究所于1988年在国际上率先利用气候系统模式开展跨季度数值气候预测^[1], 随后建立和发展了 IAP 跨季度动力学数值气候预测系统, 并在每年的预测实践中得到不断的改进和完善^[2~6]。该数值预测的结果不但作为重要参考意见参加国家气象局的模式预测会商, 而且也是中国科学院大气物理研究所汛期旱涝形势集成预测的主要依据。

2003-05-27 收到, 2003-07-09 收到修改稿

* 奥运科技专项“北京市夏季异常天气预测及应急措施研究”(2001BA904B09)、中国科学院知识创新项目 KZCX2-203 及大气物理研究所知识创新项目联合资助。

此外,中国科学院大气物理研究所还一直开展中国灾害天气机理和预测的研究,在发展月、季、年际的气候预测系统的同时,也不断发展与改进短期预报系统。每年汛期(6~8月),均采用有限区域天气模式每天对雨区和天气形势进行实时预测,并举行每周的天气形势会商,藉以分析研究致雨的天气系统结构和演变特征及检验数值预报的能力(以便发展更新一代的数值预报模式)。在实时预测中我们采用了现有的国内外中、高分辨率多个模式同时作预报,以便比较分析。

本文主要对中国科学院大气物理研究所2002年夏季(尤其是汛期)预测进行了小结,包括2002年ENSO事件的预测,夏季旱涝趋势的跨季度动力气候数值预测和集成预测,以及夏季天气形势的分析及实时预测检验。其中,汛期旱涝跨季度预测均是于每年3月份完成并提交上级有关决策部门,而天气形势的实时预测则是汛期期间提前1天预报。文中我们还将实时预测结果与观测进行了比较,分析了各种预测方法的优点和不足之处,以期将来进一步改进和完善中国科学院大气物理研究所的短期气候预测系统和短期天气预报系统,为进一步提高预测准确度提供经验。

2 跨季度气候异常预测

2.1 大尺度气候背景场分析

图1为2001/2002年北半球冬季(2001年12月~2002年2月)平均500 hPa高度场及其距平场。在冬季,亚洲中高纬度地区基本维持正距平形势,(90~120°E, 35°N

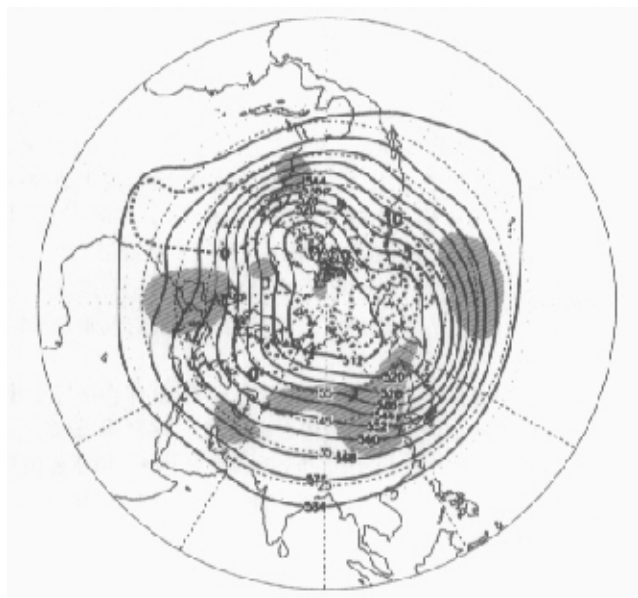


图1 2001/2002年北半球冬季平均500 hPa高度场及其距平场
单位:位势什米,虚线为位势高度负距平区,阴影区为位势高度大于3位势米的正距平区

以北)地区, 500 hPa 高度距平大于 30 位势米。特别是 2 月, 整个北半球中高纬度受正距平控制, 增暖非常明显(图略), 表明 2001/2002 年冬季东亚冬季风环流较弱。2002 年春季 500 hPa 平均高度场和距平场的形势表明(图 2), 在东亚中高纬度地区($90^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$, 30°N 以北) 500 hPa 高度场基本上仍然维持正距平形势, 欧亚大陆 EU 型波列清楚。冬春在这种大气环流形势控制下, 我国气候显著异常。总体说来, 冬春季气候以下旱为主, 并有明显暖冬特征; 春季, 我国北方(除河套以西)大部地区出现了明显春旱。

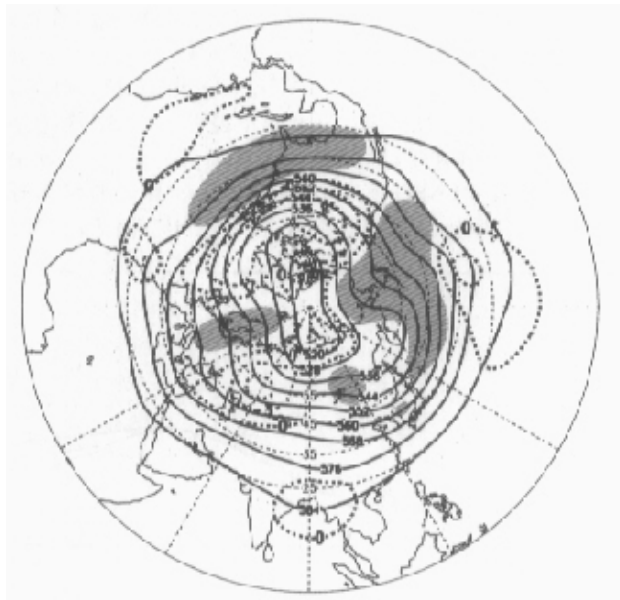


图 2 2002 年春季北半球平均 500 hPa 高度场及其距平场

单位: 位势什米, 虚线为位势高度负距平区, 阴影区为位势高度大于 3 位势米的正距平区

许多研究表明青藏高原积雪会造成亚洲大气环流较大的年际变化, 对 2001/2002 冬季及 2002 年春季青藏高原积雪资料分析表明, 在此期间高原积雪属正常年份。

另外, 在短期气候预测中应予以考虑的是气候年代际变化的背景问题。自 20 世纪 70 年代中后期开始, 在全球气候变化的背景下, 华北夏季降水近 20 年一直处于降水负距平阶段, 干旱和暖冬现象日益加剧, 而干旱引发的华北地区环境变化诸如沙尘暴灾害大气频发也日益显著。现阶段华北仍处于年代际少雨时期, 在此气候背景下, 湿润年降水不会太多, 而干旱年干旱强度会更强。但对于新疆大部分地区, 降水则呈现年代际增加的趋势。

2.2 2002 年春夏 ENSO 事件的预测

作为气候年际变化的强信号之一, ENSO 循环对我国夏季气候有着十分显著的影响, 也一直是我国汛期气候预测的重要预报因子之一。自 2001 年夏季以来, 赤道东太平洋海表温异常(SSTA)一直维持负距平; 从 2002 年 2 月开始, 赤道东太平洋海表

温度回升十分明显,南美附近太平洋海温已明显偏高。

利用 IAP ENSO 预测系统,我们在 2002 年 3 月对当年 ENSO 事件进行了实时预测。IAP ENSO 预测系统是基于中等复杂程度的海气耦合环流模式 (IAP TOGA-I) 而建立起来的,其海洋环流模式覆盖范围是 ($121^{\circ}\text{E}\sim 69^{\circ}\text{W}$, $30^{\circ}\text{S}\sim 30^{\circ}\text{N}$),分辨率是 (经度 2° , 纬度 1° , 垂直方向 14 层,其中 9 层在海表至水深 240 m 的水层内)^[7];而大气环流即为 IAP 全球二层格点大气环流模式,分辨率为 5° (经度) $\times 4^{\circ}$ (纬度),有关 IAP ENSO 预测系统的详细介绍可参见文献 [4]。系统性后报试验表明 IAP ENSO 做出的“预测”直至第 15 个月相关系数仍高于 0.54,根方差为 0.89°C ,都远远胜于持续性预测。前 4 个月相关系数略低于持续性预测则是由于我们没有海表下斜性层足够的观测资料。

图 3 给出的是 2002 年 3 月发布的利用 IAP ENSO 预测系统分别以 2002 年 1、2、3 月 1 日 H 为初值的预报及其集合预报结果。预测结果表明,在 2002 年春季维持近 4 年的海温负距平将结束,并转为正距平,但正距平强度不会很大,是一次中等 (偏弱) 的 El Niño。同时结合其他各种 ENSO 预测方法,我们最终给出的集成预测结果是:在夏季将有强度偏弱的 El Niño 事件形成。与观测事实比较表明,该预测结果与事实基本吻合。

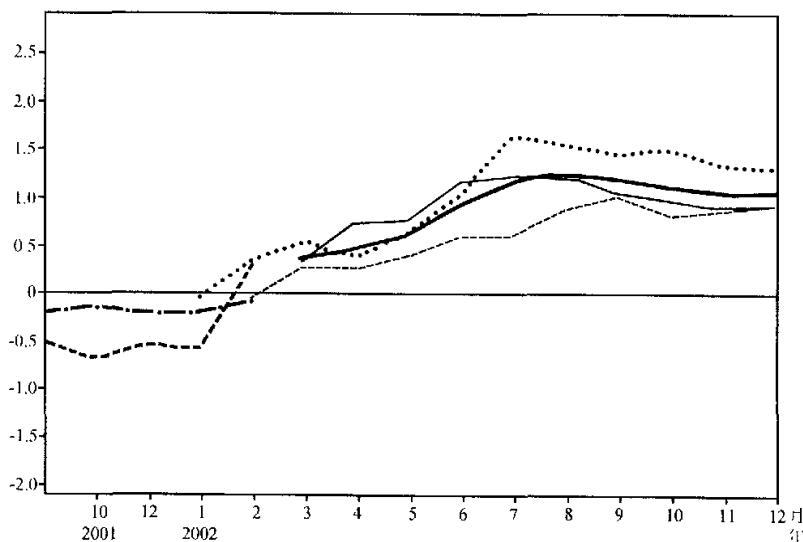


图 3 分别以 2002 年 1、2、3 月 1 日为初值的预报及其集合预报
粗虚线为观测的 Nino3 区海温异常,点虚线为初始化结果,粗实线为集合预测结果,
其他细线分别为不同初值预测结果,单位: $^{\circ}\text{C}$

2.3 2002 年汛期旱涝趋势跨季度数值预测

在上述 IAP ENSO 预测系统对热带太平洋地区海温异常预测的基础上,我们在 2002 年 3 月利用 IAP 跨季度数值气候预测系统对 2002 年夏季旱涝趋势进行了实时跨季度预测。这里所启用的是第二代 IAP 数值气候预测系统 (IAP DCP-II),简单说来,它除了上节所述的 IAP ENSO 预测系统之外,还包括积分方案和“距平耦合”技术系统,集合预测技术系统,订正系统以及预测产品和分析系统,具体可详见相应文献 [3,

5]。另外在实际的预测过程中,我们采用了“两步法”,即先用 IAP ENSO 预测系统预报出海表温度距平 (SSTA),再将其与实测的初始海表温度距平作某种混合,然后由这样得到的 SSTA 为大气环流模式提供海面上的边界条件,积分大气环流模式(包括陆表过程模式)作出气候预测。自 1998 年 IAP DCP-II 应用于我国夏季旱涝趋势实时预测以来,该系统每年均较好地预报出我国夏季大范围的旱涝形势分布^[3,8,9],从而表明该预测系统对我国夏季旱涝形势有着较好的跨季度预测能力。

考虑到短期气候预测的结果在一定程度上也依赖于初始场,为此我们在实际预测过程中采用了集合预测的技术,以消除初始场误差对预测结果的影响。在 2002 年的实际预测过程中,我们选取的集合样本为 28 个,即选取 2002 年 2 月 1 日~2 月 28 日的 NECP 实时分析资料插值到模式的网格点和层次上,从而获得集合预测时所需要的 28 个大气初值。预测过程中模式的积分时段为 2002 年 2 月 15 日至 8 月 31 日,我们最终取 6~8 月的平均为夏季平均,另外在处理 28 个集合样本获得的最终集合预报结果时,采用了简单的算术平均。

图 4 给出 IAP DCP-II 对 2002 年我国夏季降水距平百分率的预测结果。从图中我们可以看到,数值预测的结果是:2002 年夏季我国华北大部、东北南部地区干旱少雨;我国南方大部地区降水偏多,同时在长江下游存在降水正距平中心;河套地区西部的降水距平较常年偏多;我国西部地区降水总体较常年偏多,特别是在新疆西部、北部以及内蒙西部存在降水正距平中心。此外从集合预测的离差分布以及降水正距平的概率分布(图略)可以发现,在我国东部地区集合预测的离差较小,因此这些地区预测的可信度较高;同时在华北大部分地区降水正距平的概率也相对较小(在 10%~30% 之间),从而说明这些地区干旱的概率相对较大,而在我国南方大部分地区,特别是江南东部降水正距平的概率较大(大于 70%),说明在这些地区夏季降水偏多的概率很

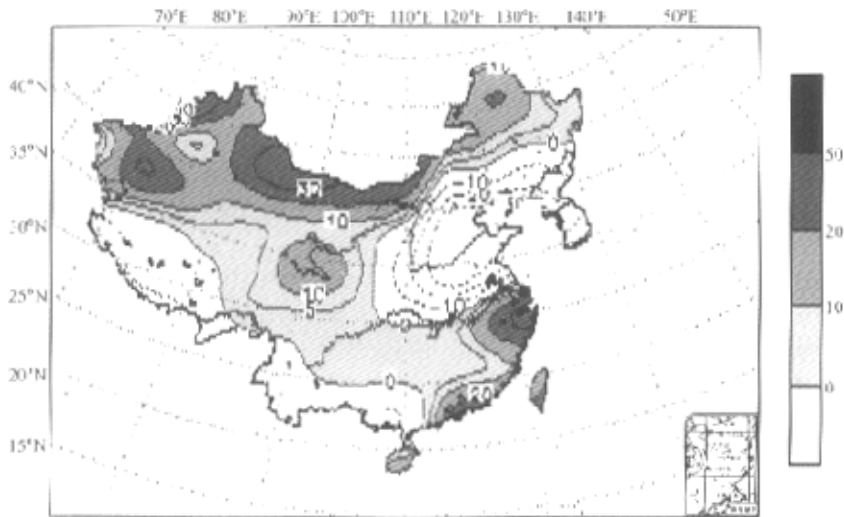


图 4 IAP DCP-II 对 2002 年夏季 (6~8 月) 全国降水距平百分率的预测结果 (单位: %)

大。相对而言,在我国西北大部分地区集合预测的离差较大(大于30%),因此在这些区域集合预测的可信度相对较低。

图5给出2002年我国夏季降水距平百分率观测实况。从图中可以看到,2002年夏季我国华北和东北大部分地区干旱少雨,只是在河套西部地区存在降水正距平区;长江下游及南方大部地区降水较常年偏多,特别是降水正距平中心主要位于湖南洞庭湖地区,同时在新疆西部和北部也存在降水正距平区。

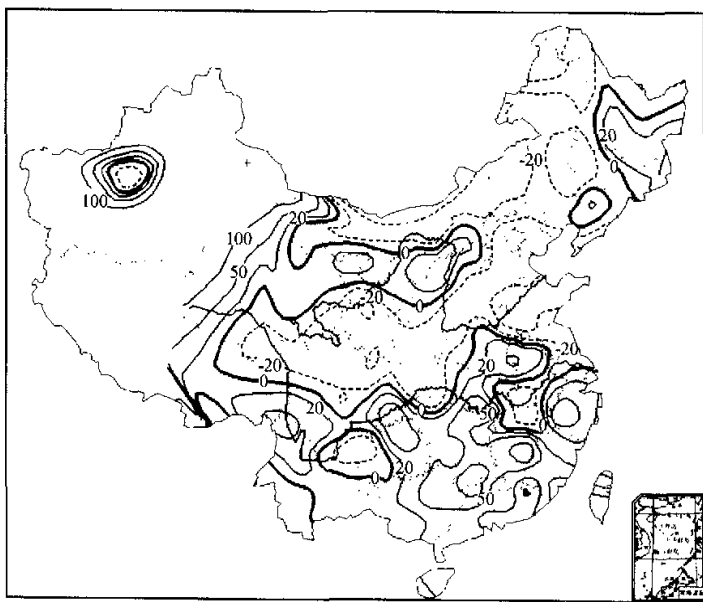


图5 2002年夏季(6~8月)全国降水距平百分率实况(单位:%)

比较图4和图5我们可以发现,IAP DCP-II很好地预报出我国华北、东北干旱少雨的大范围形势;同时预报出来的长江下游以及我国南方大部的降水正距平区也与观测实况十分接近;另外对于河套西部存在的多雨区,以及新疆西部、北部的多雨区,也均被IAP DCP-II较好地预测出来。但对我国南方存在的强降水中心,IAP DCP-II预测的幅值与实测相比明显偏弱。

此外,在利用现有的IAP DCP-II进行实时预测的同时,郎咸梅等¹⁾还利用IAP 9L AGCM对2002年我国汛期降水异常进行了集合预测试验,结果表明,该模式对我国大部分地区夏季降水距平趋势的预测与实况相当吻合。

2.4 季度气候异常的集成预报

如引言中所述,除了数值气候预测之外,我们还应用指标相似法以及统计学方法等进行跨季度气候预测。现阶段主要考虑的是下述3种强迫因子对长期天气变化的影

1) 郎咸梅、王会军、周广庆、姜大膀,应用IAP9L-AGCM对2002年中国夏季气候的预测及效果检验,南京气象学院学报,2003,即将发表。

响: (1) 季节强迫因子; (2) 低频强迫 (如 ENSO 循环的强迫); (3) 边界条件变化的强迫 (如 SST 异常, 欧亚大陆积雪, 陆地土壤水分的异常等)。在对夏季旱涝趋势进行预测时, 主要考虑的是外强迫作用的影响。

如图 1 和图 2 所示, 去冬今春东亚冬季风环流较弱, 将预示今夏东亚夏季风环流也偏弱, 西太平洋副热带高压位置偏南。另外, 东亚冬季风较弱, 预计南海夏季风爆发偏晚。在东亚夏季风降水季节强迫非常明显, 我国地处典型的东亚季风气候区, 季节推进带来的气候与天气变化非常明显。2001/2002 年冬季以及 2002 年整个春季的大气环流形势, 预示着 2002 年季节推进可能属于正常略偏晚, 这有利于雨带在长江流域维持, 因此华北地区降水偏少。

此外, 结合 IAP ENSO 预测系统以及其他几种 ENSO 预测模式的预测意见, 预计将有一个强度偏弱的 El Niño 事件在 2002 年夏季形成。这样的海温背景场有利于我国夏季主要雨带的分布基本上与季节推进一致, 长江流域降水偏多, 华北地区降水可能偏少。

最后以 IAP 跨季度数值气候预测系统的预测结果为集成预报的第一近似, 同时结合考虑 IAP 9 层大气环流模式以及前述几种预测结果, 经过所内气候及短期天气预测方面的专家, 对影响汛期降水的气候外强迫作用及其内部动力过程进行认真的分析与广泛而细致的讨论, 最后形成中国科学院大气物理研究所对 2002 年我国夏季 (6~8 月) 旱涝趋势的跨季度集成预报意见: 预计 2002 年汛期 (6~8 月) 淮河以南及长江中下游地区降水可能偏多 2 成左右, 部分地区偏多 3 成以上并可能出现局部洪涝; 我国西南地区的东部降水可能比常年偏多两成左右; 河套西部与内蒙古东部及东北地区的西北部降水也可能偏多 2 成左右; 河套东部及华北和东北南部降水可能比常年偏少 2 成左右, 有可能出现旱情; 西南地区的西部降水可能比正常偏少两成左右; 东南沿海地区降水估计偏少 2 成左右 (图 6)。与观测实况比较可知, 集成预测的结果与实测总体说来比较接近。

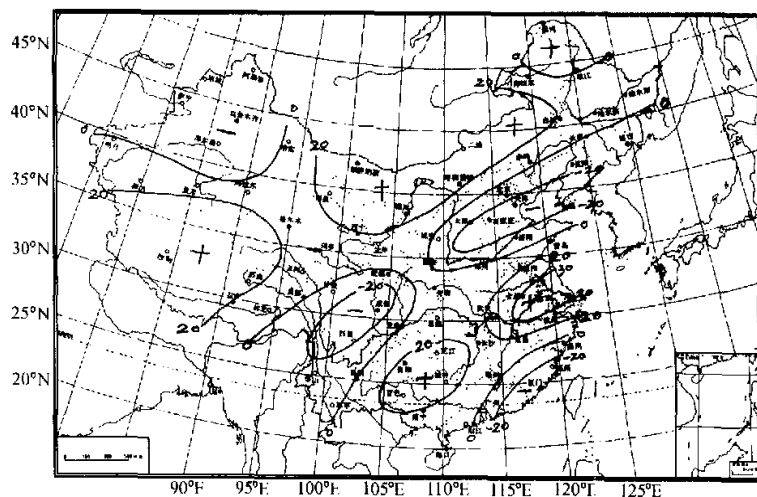


图 6 2002 年夏季 (5~8 月) 降水距平百分率趋势集成预测结果 (单位: %)

我们的跨季度旱涝趋势预测的结果每年均参加中国气象局的汛期气候会商, 2002年集成预测结果评分为66分(超过多年预测平均水平)。在中国气象局发布的最后综合稿中, 对于河套西北部及长江中上游地区的降水预测, 采纳了我们的预测结果。此外, 上述气候预测结果也通过主管部门送交中央有关部门, 并刊登于《昨日要情》, 从而为国家的防灾、减灾做出了贡献。

3 夏季天气形势分析及其预测

3.1 长江流域梅雨

2002年6~8月, 长江中下游的降水主要集中在6月16日~7月2日和7月16日~7月26日(图7d)两个时段, 表现出明显的“二度梅”特征。此外, 8月中下旬也有持续性的降水, 但降水主要发生在长江中游的洞庭湖流域。该年长江流域的降水主要受西太平洋副热带高压、季风涌、冷空气和青藏高原东移的中尺度对流系统(MCSs)影响^[10]。

6月16日副高北跳到 25°N , 长江流域的梅雨开始。7月上旬, 副高南落到 15°N 以南, 长江流域的梅雨中断。7月中下旬, 副高再一次北跳到 25°N 以北, 长江流域出现“二度梅”。7月底8月初, 副高北跳到 35°N 以北, 并迅速向西扩展(图7g), 控制长江中下游地区, 梅雨结束。

对应于长江流域的3段强降水过程, 季风涌3次北进到达长江流域(图7e)。随着季风涌一次次北进, 伴随着大量的水汽北上。6月上旬南海水汽输送到华南, 开始了华南前汛期的强降水。6月中、下旬强水汽输送到江南地区, 长江流域进入第一段梅雨期。7月上、中旬水汽向北推进到淮河流域, 长江流域梅雨中断。7月中、下旬随着副高的再一次北进, 沿副高外围西南暖湿气流到达 30°N 以南, 长江流域进入第二段梅雨期。8月中旬, 仍有季风涌到达长江流域, 造成长江流域第3次较强的降水, 但主要发生在洞庭湖流域。与季风涌3次到达长江流域相配合, 冷空气也3次南侵到 30°N 附近(图7c), 与季风涌带来的暖湿气流交汇, 有利于较强降水的产生。此外, 500 hPa的涡度(图7a)反映出产生于青藏高原东坡的MCSs对长江流域的降水有一定的增幅作用, 当MCSs东移到梅雨锋上时会加强长江流域的降水。

2002年夏季, 长江中下游虽然出现了“二度梅”, 与常年同期相比, 整个长江流域降水基本正常, 没有引起类似于1998年的长江大洪水。但8月份洞庭湖地区降水仍很频繁, 降水量都在300 mm以上。长江中游的湘江、沅水、资水、澧水和洞庭湖水系的频繁降水, 与这些水域较高的底水相遇, 使洞庭湖水位急剧上涨, 造成了8月中、下旬湖南的严重洪涝灾害。2002年8月欧亚中高纬环流由梅雨盛行期的“双阻型”调整为“单阻型”, 阻塞高压位于东西伯利亚地区, 其西侧的里海至乌拉尔山是深厚的低压槽。西太平洋副热带高压的位置偏东、偏北, 沿副高外围的东南气流和西南气流同时到达长江中游南部地区(图略), 导致洞庭湖水系频繁出现降水。而在长江上游, 季风涌较常年偏弱, 长江上游降水较1998年偏少, 因此, 并未引起类似于1998年的长江全流域大洪水。

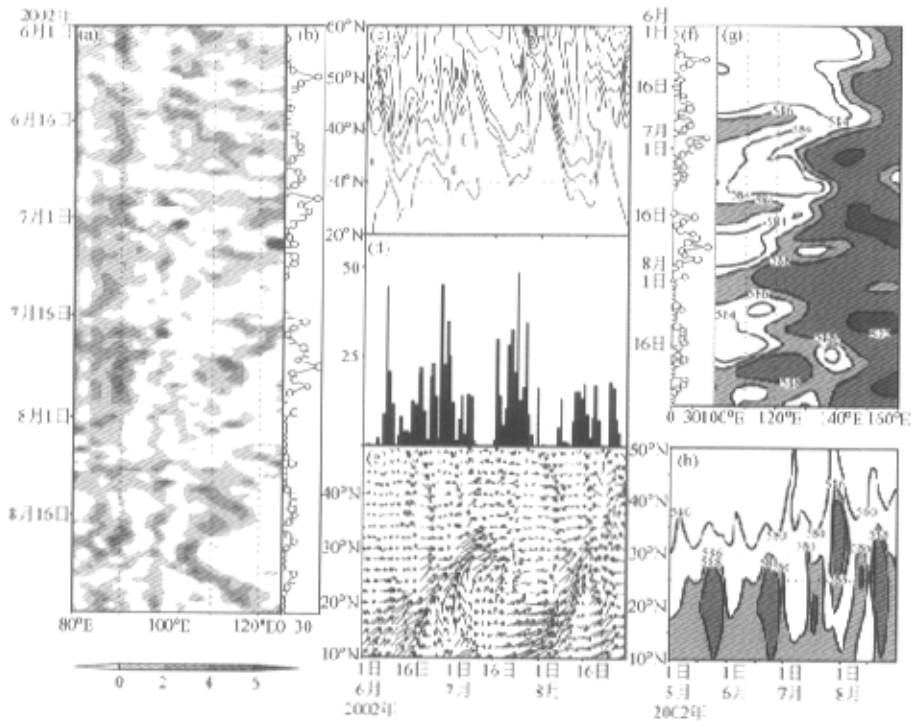


图 7 长江流域 2002 年持续性降水的天气学模型

(a) 为沿 30°~35°N 500 hPa 涡度 (≥ 0 , 单位: $10^{-6} s^{-1}$) 的经度-时间剖面; 为直观起见, (b)、(d)、(f) 均为长江中下游 17 站 6~8 月逐日降水量 (单位: mm); (c) 为 110°~120°E 平均的 700 hPa 温度 (单位: °C) 的时间-纬度剖面; (e) 为 110°~120°E 平均的季风涌随时间的演变, 表示整层 (地面~300 hPa) 积分的 qV (单位: $kg m^{-1} s^{-1}$); (g)、(h) 分别为 500 hPa 位势高度 (单位: 10 gpm) 27.5°~32.5°N 平均的经度-时间剖面及 110°~130°E 时间-纬度剖面

3.2 华北地区降水及高温天气

2002 年夏季华北的降水主要集中在 6 月中下旬以及 7 月中旬至 8 月上旬两段时期 (图 8d), 华北 6 月和 7 月底、8 月初的降水系统是不同的。6 月中下旬降水期间, 副高位于 30°N 以南 (图 8h), 季风涌不能到达 30°N 以北地区。降水主要由西风带的扰动东传到达华北地区 (图 8a) 冷空气南下 (图 8c) 造成。7 月底 8 月初, 副高北跳到 30°N 以北, 沿副高外围的东南气流到达华北, 与此同时, 冷空气一次次南侵造成华北降水。由此可见, 6 月的降水主要是受西风带系统的影响, 而 7 月下旬、8 月上旬的降水主要是受东亚季风系统的影响, 因此, 6 月的降水强度明显比第二段降水过程弱, 表现为连阴雨的特征。此外, 当 7 月底副高北跳到 40°N 附近时, 副高西伸与大陆高压相连 (图 8g), 华北地区持续几天受高压控制, 北京地区出现了高温湿热天气。下面将对 6 月的连阴雨过程和 7 月下旬、8 月上旬的高温湿热过程作一叙述分析。

2002 年 6 月 20~30 日华北地区 10 天的实际降雨量为 112 mm, 比历史同期偏多

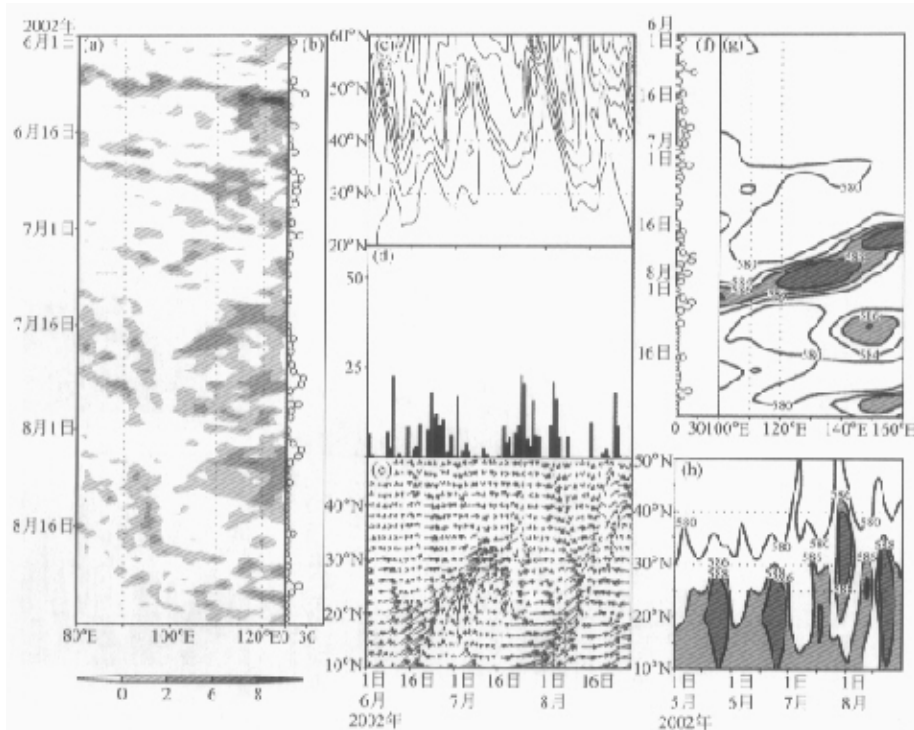


图8 华北地区2002年持续性降水的天气学模型

(a) 为沿 $40^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 500 hPa 湿度 (≥ 0 , 单位: 10^{-5} s^{-1}) 的经度-时间剖面; 为直观起见, (b)、(d)、(f) 均为华北地区 5 站 6~8 月逐日降水量 (单位: mm); (c) 为 $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的 700 hPa 温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 的时间-纬度剖面; (e) 为 $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的季风涌随时间的演变, 表示整层 (地面~ 300 hPa) 积分的 qV (单位: $\text{kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$); (g)、(h) 分别为 500 hPa 位势高度 (单位: 10 gpm) $37.5^{\circ}\sim 42.5^{\circ}\text{N}$ 平均的经度-时间剖面 and $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 时间-纬度剖面

40%, 平均气温为 27.6°C , 比历史同期平均气温低 0.7°C , 冷空气活动频繁。2002 年 6 月 20~30 日 500 hPa 位势高度分布和 850 hPa 的水汽输送 (图 9) 显示, 在欧亚 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 的中高纬地区, 有两个弱的阻塞高压, 分别位于 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{E}$ 的东欧和 $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 的地区, 鄂霍茨克海上一深厚的闭合低压, 从里海至贝加尔湖是一宽广的低压槽, 其北面的西西伯利亚有一闭合低压, 从低压槽中不断分裂小槽, 干冷空气随西风带东移的小槽到达华北地区上空。在对流层低层, 来自渤海和黄海的水汽随东南气流向黄河以北的华北地区输送。当来自西风带中的扰动到达华北地区, 与暖湿气流交汇, 产生一次次降水过程。虽然华北地区的水汽输送, 远不及同期由季风涌输送到长江流域的多, 但华北冷空气活动却很频繁, 扰动也较强。因此这段时期华北的天气以阴雨天气为主, 气温偏低, 湿度很大, 但不容易出现强降水。

2002 年 7 月 31 日~8 月 4 日北京出现了历史上罕见的高温闷热天气, 电视台称为“桑拿天气” (其实以叫“蒙闷天气”为宜, 通俗且反映实质)。它主要是由于异常的高

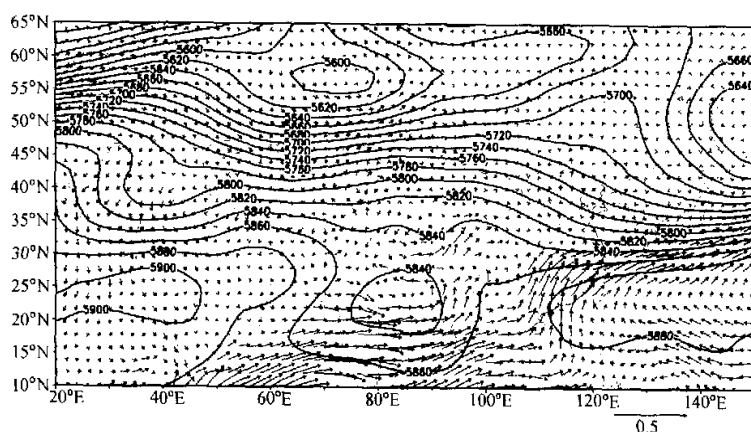


图9 2002年6月20~30日500 hPa位势高度(单位: gpm)和850 hPa的水汽通量(单位: m s^{-1})

湿和高温引起。其相对湿度一般在70%以上(正常值则在50%左右),高温、高湿加上无风,使人体不能向大气辐射热量和出汗以达到散热目的,反而是大气向人体辐射热量,人体内水分也不能从皮肤以汽或者汗的形式散出,于是使人感到非常难受。另外,由于低空水汽几近饱和,也使天空呈乳蒙色状态。形成这样的湿热天气主要是西太平洋副热带高压控制华北地区,下沉气流和低层逆温抑制低层的水汽向高空输送,造成近地面气层中湿度较大。这次过程与北京一般的高温酷暑天气不同,北京的高温天气大部分是由大陆高压脊控制^[11,12],强下沉增温比较明显,大气湿度较低;而这次则以湿度大为主,温度并不高。

对北京站高温期间观测探空的分析也发现(图10),高温期间低层湿度较大,而中层较干,在低层的高湿层之上有一逆温层,此逆温层阻碍了低层水汽的向上输送。逆温层的存在使低层大气较稳定,对流抑制能量到达 30 J kg^{-1} ,但逆温层之上对流有效位能达到 2665 J kg^{-1} 。这种层结的分布,如遇触发机制(冷空气的活动,局地的上升运动)使对流有效位能释放,就会有强对流发展。在这次过程中,40~50°N之间的中纬度地区有两次短波槽东移影响华北北部地区,正好造成了两次强对流过程,第一次在1日(即北京时1日晚上到2日凌晨),第二次是4日;4日东移的低槽比1日的强,北风到达40°N以南的地区,这股较强的冷空气使蒙闷天气结束。7月2日凌晨,京北怀柔、密云、平谷、延庆等地则突降大暴雨。最大降雨量达270 mm,但城区却滴雨未下,这次降水与第一股弱冷空气有关,但因京北山地阻隔以及控制华北平原的副热带高压过于强大,造成冷空气南下受阻,从而并未形成大范围暴雨。8月4日22时25分(北京时),一场暴风雨夹杂着冰雹突袭通州区,最大直径达60 mm的冰雹和瞬间风力达10级的大风使通州区内20余万亩农田、果林和菜地受到不同程度的损失。

3.3 2002年汛期天气形势实时预测

实时预测采用有限区域准静力平衡(模式I)和非静力模式(模式II)两个模式同时运行。模式的初值都采用NCEP的再分析资料,初始时刻是每天的00时(北京时08时),进行24 h预测,预测系统的流程见图11。模式I水平分辨率为80 km;模式II采

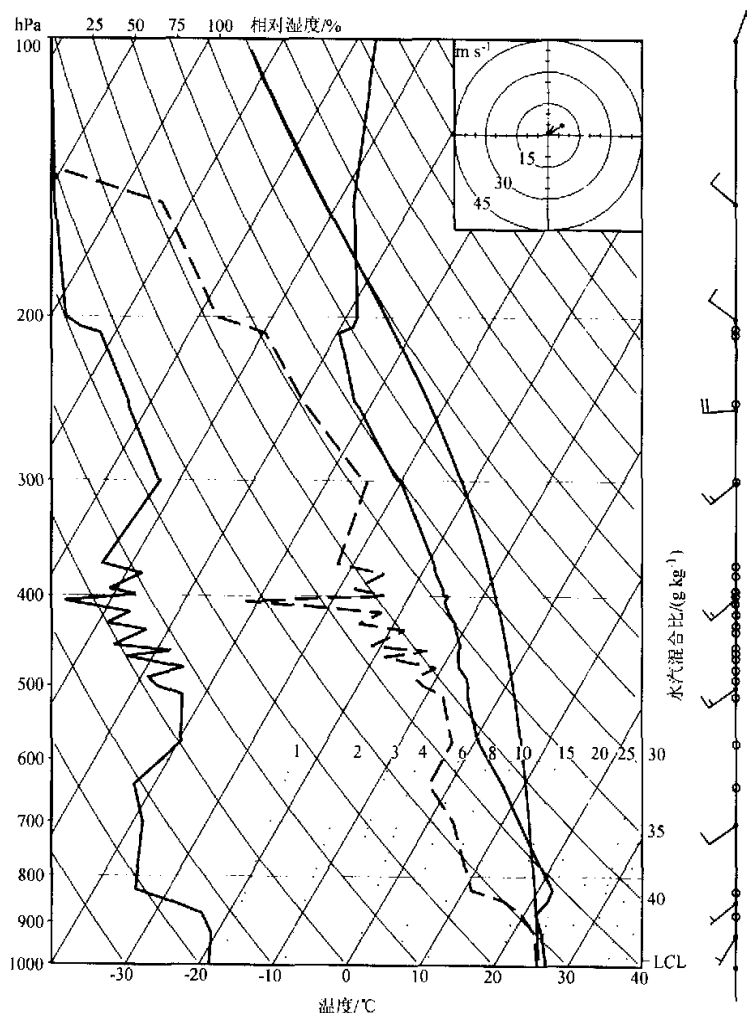


图 10 北京站观测的 2002 年 7 月 31 日 00 时 (世界时) skew T - $\lg p$ 图

左侧实线: 相对湿度; 右侧实线分别为温度和干绝热线; 虚线: 露点温度; 此时的对流有效能 (CAPE) 为 $2\,665\text{ J kg}^{-1}$, 抑制能量 (CIN) 为 30 J kg^{-1}

用了两重双向嵌套, 分辨率分别为 45 km 、 15 km 。在 6 月和 7 月上、中旬, 由于预测的重点区域是华南和长江流域, 中心点定在 (30°N , 110°E); 7 月下旬和 8 月份, 预测的重点区域是华北和东北地区, 中心点定在 (40°N , 110°E)。积云对流参数化过程和显式云降水过程分别采用了 GRELL 方案和混合冰相过程。

由于模式 II 在 2002 年初次用于实时预测, 其预测结果没有进行 TS 评分的定量对比, 而只对模式 I 的降水预测结果进行 TS 评分, 因而, 对这两个模式的降水预报结果不能给出准确的 TS 评分对比。然而, 从 3 个月的预测结果看, 这两个模式对大范围雨

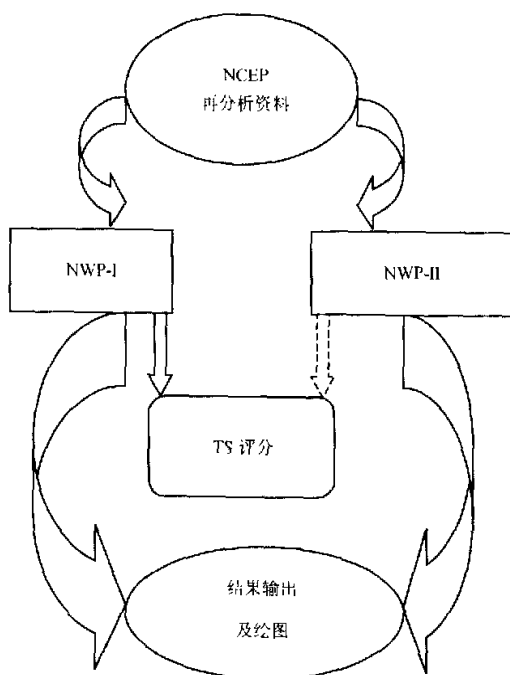


图 11 汛期短期天气实时预测系统

区的预测都较好，模式 II 对强降水中心的预报大多也比较成功。对比模式 II 两个区域（即 45 km、15 km）的预测结果，发现 15 km 格距模拟的强降水一般比 45 km 结果的强度强、范围大，但也会出现一些空报的中心。

图 12 是 6 月 20 日的观测和两个模式的预测结果，模式 II 较成功地报出了长江流域的梅雨和河套的降水区，但在两广的北部和贵州地区空报了一个雨区。模式 I 预报的长江流域梅雨范围较好，但河套地区的降水区漏报了。

4 讨论

本文简要介绍了中国科学院大气物理研究所利用动力统计和数值预测等方法对 2002 年汛期气候异常所进行的预测，总体说来大范围形势的预测结果与实况相当吻合。多种 ENSO 预测方法的综合预测表明热带东太平洋的负海温距平于 2002 年春季结束，同时在 2002 夏季将有一个强度偏弱的 El Niño 事件发生，这与观测事实基本吻合；此外无论是数值预测还是集成预测，都较好地预测出 2002 年我国夏季旱涝的大范围分布形势，如我国华北、东北地区大范围的干旱少雨，长江下游以及我国南方大部分地区降水的异常偏多，河套西部的多雨区，以及新疆西部的多雨区等。

但与实测结果仔细比较可以发现，夏季旱涝趋势的预测结果还存在一定的偏差，如：除在内蒙古东部和南部动力学数值预测结果正确以外，无论是动力数值预测，还

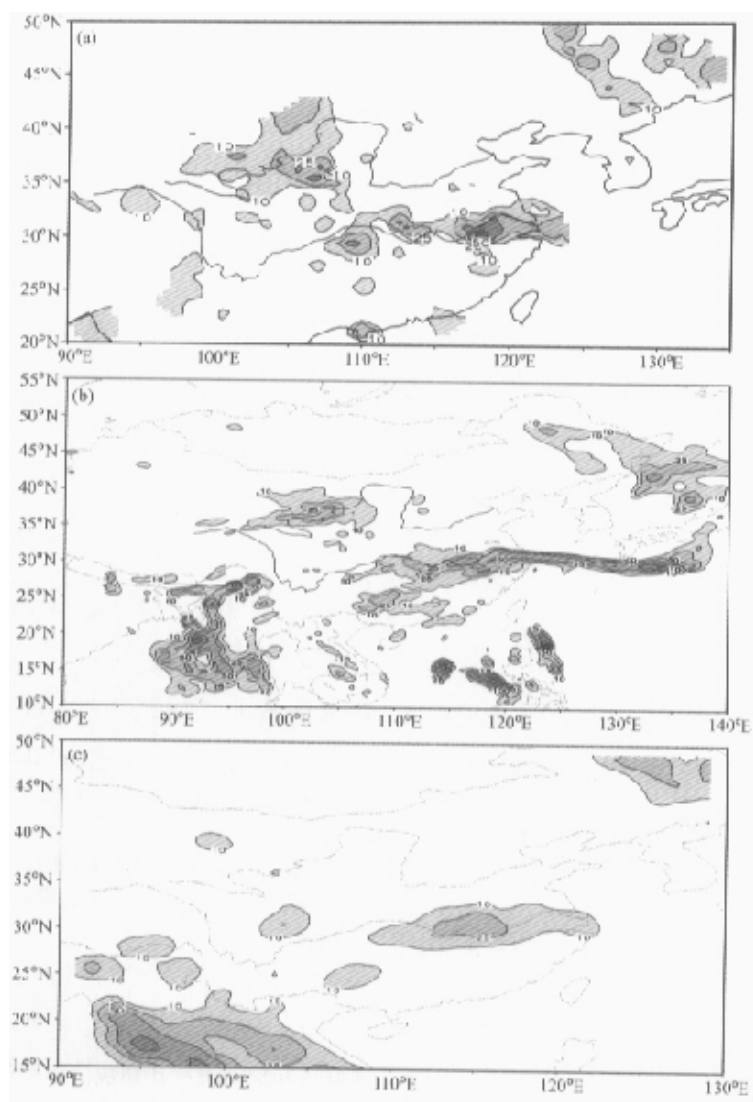


图 12 2002 年 6 月 20 日 00 时~21 日 00 时 (世界时) 的 (a) 观测降水和 (b) 非静力平衡模式 (水平分辨率 45km) 预报的降水以及 (c) 准静力模式预报的降水 (单位: mm)

是集成预测,在内蒙古大部分地区预测的降水异常均为正距平,都与实际观测几乎完全相反;对于我国西部的大面积(数省)平均实况似为降水偏少(尚需与资料核实),但预测结果却是异常偏多。这些均表明现阶段对我国西部和内蒙古等地区的跨季度预测能力仍然相对较低。此外,虽然我们较好地预报出我国东部的大范围降水趋势,但对于我国南方存在的强降水中心,IAP DCP-II 预测的位置偏南,强度也偏弱,集成预

测的强降水中心与实测也有一定的偏差(偏向西南),强度也偏弱。

此外,比较数值预测与集成预测的结果还可以发现:在我国东南沿海区域,IAP DCP-II 较好地预测出闽粤沿海降水偏多的旱涝分布形势,但集成预测的结果与实测相反,为少雨区;对于我国华北的干旱少雨区,IAP DCP-II 预测的干旱区范围与实测更为接近,预测的干旱区南界在 30°N ,同时干旱少雨的中心也与实测较为吻合(在黄河中下游,河北和山东);集成预测得到的华北少雨区范围明显比实测偏小,其南界在北纬 35°N ,同时干旱少雨区的中心与实测相比也偏东偏北;对于新疆北部存在的多雨区,IAP DCP-II 也较好地预测出来了,然而集成预测的结果却为负距平,与实测相反;但是对于青海甘肃两省东部以及南部地区存在的少雨区,集成预测的结果要稍好于 IAP DCP-II 的预测结果。

集成预报是在动力数值预测结果的基础上,利用其他一些动力、统计预测方法对该预测结果进行修正而形成的,最终的集成预测结果从直观上来说似乎应该优于单纯的动力数值预测。但从本文的比较分析可知,就 2002 年而言,虽然在我国西部部分地区集成预测的效果稍好,但利用 IAP DCP-II 的数值气候预测的结果总体说来却似乎更好(IAP DCP-II 预测的降水距平相关系数为 0.33,而集成预测的距平相关系数为 0.11);1999 年 IAP DCP-II 的预测结果也证实了这一点^[4]。这说明现阶段集成预测的集成方法有待进一步改善。实际上,集成预测的优点在于其同时考虑了众多预报因子(如青藏高原积雪、ENSO、前期冬季风环流等等)的影响,但是其不足之处也正在于此,因为现阶段的集成预测方法并不能给出各个预报因子影响的定量估计,更不可能考虑各种预报因子间的相互作用,但要求预测者作一定的主观判断和综合,也许这就影响了预测效果。因此研究和发发展量化的集成预测方法将是进一步提高集成预测技巧的方向之一。此外短期气候异常虽然由积分气候系统自身的演变得到,但该异常主要取决于下垫面异常(海温、积雪、土壤湿度、极地海冰等)以及初始场的影响。在现阶段无论是在集成预测还是在数值预测中,由于观测资料的缺乏,均未能真正考虑土壤湿度、积雪以及海冰等的影响。因此建立相应的下垫面资料同化系统,并将同化后的下垫面资料用于短期气候预测中,将是未来进一步提高短期气候预测准确度的主要途径,也唯有如此,才有望在不久的将来真正实现短期气候预测的业务化。

此外,本文还对 2002 年夏季的天气形势进行了分析,并给出长江流域和华北地区持续性降水的天气学模型。值得指出的是,传统的暴雨预报是从天气型中概括出一些典型天气型,并根据这些典型天气型做预报。天气型预报方法有一定的参考价值,但预报员不能过分依靠它,有时实际出现的天气与典型天气型相差甚远,但仍出现暴雨和强对流天气,这样就会出现漏报;有时实际出现的天气型与典型天气型完全一样,也不出现暴雨和强对流天气,就会出现空报。本文利用两种数值天气预报模式对 2002 年夏季汛期降水的实时预测结果表明,这两个模式均能对发生在我国的汛期降水有较好的预测能力,目前的数值预报模式的模拟结果已经能用于诊断强对流预报所需的各种参数。因此,在有效的数值模式预报基础上,预报方法要以有效的模式输出释用为主,天气形势和经验预报为辅。现阶段我们正在发展模式的释用技术,并将用于今后的实时预测之中。

致谢 本论文是在陶诗言院士、曾庆存院士以及赵思雄研究员的嘱咐下写成的;曾庆存院士不但对本论文提出了许多有益的意见,而且还对初稿进行了字斟句酌的修改;此外中国科学院大气物理研究所每年的汛期旱涝跨季度预测以及汛期天气形势预测一直是在陶诗言、曾庆存、黄荣辉、李崇银诸院士,以及赵思雄、张庆云、纪立人、周晓平、孙淑清、陈烈庭、金祖辉、李鸿洲等研究员的关怀、指导和亲自参与下,在其他许多同事协作努力下完成的,汛期预测还一直得到中国科学院大气物理研究所领导王会军研究员以及科技处、计算信息科学中心、气候部和国际气候与环境科学中心 (ICCES) 的大力支持,在此一并予以感谢。

参 考 文 献

- 1 曾庆存、袁重光、王万秋、张荣华,跨季度气候距平数值预测试验,大气科学,1990, **14** (1), 10~25.
- 2 李旭,短期气候异常的数值模拟与预测研究,中国科学院大气物理研究所博士学位论文,1992, 136pp.
- 3 林朝晖、李旭、赵彦等, IAP PSSCA 的改进及其对 1998 全国汛期旱涝形势的预测,气候与环境研究, 1998, **3** (4), 339~348.
- 4 周广庆、李旭、曾庆存, 一个可供 ENSO 预测的海气耦合环流模式及 1997/1998 ENSO 的预测,气候与环境研究, 1998, **3** (4), 349~357.
- 5 曾庆存、林朝晖、周广庆,跨季度动力气候预测系统 IAP DCP-II, 大气科学, 2003, **27** (3) 289~303.
- 6 王会军、郎咸梅、周广庆等,我国今冬明春气候异常与沙尘暴气候形势的模式预测初步报告,大气科学, 2003, **27**, 136~140.
- 7 周广庆、曾庆存、张荣华, 一个改进的海气耦合模式及其数值模拟,自然科学进展, 1999, **9**, 542~551.
- 8 林朝晖、赵彦、周广庆、曾庆存, 1999 年中国夏季气候的预测和检验,气候与环境研究, 2000, **5**, 97~108.
- 9 林朝晖、赵彦、周广庆、曾庆存, 2000 年中国夏季降水异常的数值预测,自然科学进展, 2002, **12** (7), 771~774.
- 10 张顺利、陶诗言、张庆云、卫捷,长江中下游致洪暴雨的多尺度条件,科学通报, 2002, **47** (6), 467~473.
- 11 谢庄、崔继良、刘海涛、赵思雄、孙建华、陈红、曾庆存,华北和北京的酷暑天气 I. 历史概况及个例分析,气候与环境研究, 1999, **4** (4), 323~333.
- 12 孙建华、陈红、赵思雄、曾庆存等,华北和北京的酷暑天气, II. 模拟试验和机理分析,气候与环境研究, 1999, **4** (4), 334~345.

Real-Time Weather and Seasonal Climate Predictions for 2002 Summer and Their Verifications

Lin Zhaohui, Sun Jianhua, Wei Jie, Zhou Guangqing,
Zhang Xiaoling, Chen Hong, and Lang Xianmei

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The real-time weather and seasonal climate predictions conducted in the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (IAP/CAS) for year 2002 are summarized. The prediction by IAP ENSO prediction system shows that there will be a moderate El Niño event occurred during 2002 summer, which agrees quite well with the observation. By using IAP dynamical climate prediction system (IAP DCP-II), the real-time extra-seasonal prediction shows that the drought conditions will appear over North China and most part of Northeast China during summer season, on the other hand, over the lower reaches of the Yangtze River valley and most part of South China, the predicted summer rainfall

will be more than normal. Finally, the integrated prediction product for the summer rainfall anomalies is obtained by incorporating the numerical prediction results and the results by other dynamical and statistical prediction methods. Verification results show that either dynamical prediction or integrated prediction all agrees quite well with the observed large-scale patterns of rainfall anomalies distribution during the summer of 2002, and the prediction skill for the dynamical prediction is higher than that for integrated prediction over Eastern China. In addition, the routinely daily weather pattern analyses and numerical weather prediction during rainy season (June–August) in 2002 show that, there exist several patterns with large and meso- α scale characteristics that result in persistent rainfall in the Yangtze River basin and North China, and current generation of numerical weather prediction models with moderate and high resolution can all predict quite well the observed weather pattern and precipitation during rainy season in 2002.

Key words: dynamical climate prediction; integrated prediction; numerical weather prediction; persistence rainfall