

国家级极端高温短期气候预测 系统的研制及应用

刘绿柳 孙林海 廖要明 朱艳峰
邹旭恺 王有民 颜京辉

(国家气候中心, 北京 100081)

提 要: 目前, 国家级旬、月极端高温预测的业务工作尚未展开, 国家级极端高温短期气候预测系统的研制为中国高温预测业务提供了一个有效平台。该系统以百分位相对阈值和 35°C 、 38°C 绝对阈值作为高温阈值指标, 应用月动力预测模式、动力预测与统计降尺度相结合、物理统计相似三种不同的方法, 预测未来 1~40 天的旬、月极端高温发生概率及高温日数, 定期滚动发布预测产品。并以相关系数为衡量指标, 应用交叉检验方法对三种方法的预测效果进行分析, 结果表明不同方法高相关区的空间分布存在差异, 在进行高温预测时, 应综合各方法高相关区的预测结果给出综合预测意见。对 2007 年 7 月极端高温预测个例分析表明三种方法均有一定的预测技巧。
关键词: 高温预测 月动力延伸预测模式 统计降尺度 物理统计相似

Development and Application of National Prediction System for Extreme High Temperature

Liu Lülüu Sun Linhai Liao Yaoming Zhu Yanfeng
Zou Xukai Wang Youmin Yan Jinghui

(National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract: At present, national prediction system for dekad and monthly extreme high temperature has not been undertaken. Here, a national forecast system for extreme high temperature was developed. It is a powerful platform that regularly issued three kinds of predicting products at website with three methods of dynamical monthly forecast model, statistical downscaling and physical analogue using percentile values at 90%, 95% and 99% as relative thresholds and 35°C or 38°C as absolute thresholds. The products consist of probability prediction, the number of day exceeding 35°C or 38°C involving 7 periods: 1—10 day, 11—20 day, 21—30 day, 1—30 day, 6—35

资助项目: 中国气象局 2007 年多轨道业务建设项目“高温热浪监测预警业务系统”

收稿日期: 2008 年 2 月 28 日; 修定稿日期: 2008 年 8 月 25 日

day and 31—40 day. The spatial distribution of correlation coefficient between hindcast and observation shows that high value areas are different among these methods. So it is hard to say which method is better than others. Thus three predicted results should be considered as well as distribution of correlation coefficient before final extreme high temperature prediction. The predictions by these methods for July, 2007 were generally close to the observation. But the result by statistical downscaling method is better, and that by DERF is worse relatively.

Key Words: extreme high temperature prediction dynamical monthly forecast model statistical downscaling physical analogue

引 言

20 世纪 90 年代以来,受全球气候变化和人类活动的共同影响,全球的高温热浪事件频繁发生,尤其是极端高温热浪事件呈现出强度大、频次高、影响范围广等特点。极端高温事件对人类健康、生命安全和经济社会发展的影响程度绝不亚于地震、海啸、台风、暴雨等灾害。面对日益严重的极端高温热浪的袭击,有必要采取更为积极科学的应对措施,加强高温热浪预测预警系统的建设,提高综合决策服务能力。

针对高温热浪的监测和预警,美国、法国、加拿大、澳大利亚、以色列等国家开展了高温热浪相关的研究与业务服务工作,国内一些地区也相应开展了一些基础性的研究工作。在针对高温的短期气候预测方面多采用统计方法进行城市高温日数预测的研究与应用,如应用均生函数方法建立回归模型预测高温日数^[1-3],以北太平洋海温因子、500hPa 高度场为预测因子建立回归模型预测高温日数^[4],应用功率谱分析、逐步回归等统计方法预测高温日数^[5-7]。应用统计方法所建立的预报对象和预报因子之间多是统计关系,动力学意义不足,历史拟合率可能较高,但预报准确率有限且不稳定。近年来短期气候预测研究在世界范围内得到快速发展^[8-10],学术水平有了明显提高,给我国的短期气候预测注入了新的活力^[5]。但是模式对大尺度变量特征模拟较好,而对于温度、降水等地表气象

要素的预测技巧较低^[11]。

国家级极端高温短期气候预测系统应用动力、统计、动力统计相结合三种方法预测极端高温,定期滚动发布高温预测产品,为防灾减灾提供参考信息。其中动力方法充分利用国家气候中心的月动力延伸预报模式的回算与预测信息,动力统计相结合的方法将月动力延伸预报模式预测信息与统计降尺度方法相结合,一方面克服了单纯统计方法动力学意义不足的缺陷,又能够充分利用短期气候预测模式的优点。并应用交叉检验方法以 ACC 为指标分析了三种方法的预测技巧。

1 系统结构及功能

高温阈值指标有两种,即绝对温度阈值与相对温度阈值。在国内,目前中短期天气预报业务上通常采用日最高气温大于等于 35℃ 和 38℃ 作为极端高温的绝对温度阈值指标。该定义简单明了,大众较为接受,但并不适用于全国所有地区,尤其是西部的高原地区。相对温度阈值指标有两种,一种是基于百分位数的百分位阈值,另外一种是基于概率统计分布方法计算的多少年一遇的指标。基于百分位数的温度指标广泛应用于全球极端气候事件的研究^[12-15]。

国家级极端高温短期气候预测系统应用绝对温度与相对温度两种阈值指标、三种方法进行预测。整个系统在 Linux 平台上开发,可定期自动生成预测产品。系统程序由 Fortran、Grads 和 Shell 共同编写完成,其中

资料接收和计算由 Fortran 语言编写设计,绘图由 Grads 实现,作业运行及产品分发由 Shell 脚本开发并兼具实时运控功能。整个

系统由三个子系统组成:数据库管理与维护子系统、高温预测子系统和产品制作分发子系统(图 1)。

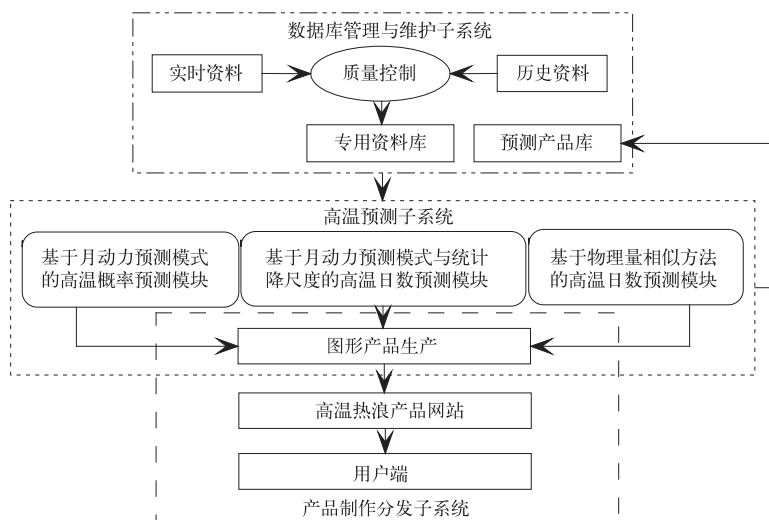


图 1 极端高温短期气候预测系统结构

1.1 数据库管理与维护子系统

该子系统由以下四部分构成:

(1) 实时资料库:包括月动力延伸预测模式(DERF)逐日积分结果资料、在此基础上加工生成逐候滚动的候平均 200hPa、500hPa 和 700hPa 高度场、200hPa、700hPa 纬向和经向风场、海平面气压场等数据,资料网格为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;国家气候中心月尺度定期业务产品,包括 74 项环流特征量、9 项海温指数、500hPa 高度场。

(2) 历史资料库:与实时资料库对应的月动力延伸预测模式回算的 1982—2004 年以来的候平均 200hPa、500hPa 和 700hPa 高度场、200hPa、700hPa 纬向和经向风场、海平面气压场等;1951 年以来月尺度 74 项环流特征量、9 项海温指数、基于 500hPa 高度场计算的 5 个大气遥相关指数,共 88 项;5—10 月中国 313 个站各月 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数。此外还包括 1982—2004 年 NCEP/NCAR 候平均 200hPa、500hPa 和 700hPa 高度场、200hPa、700hPa 纬向和经向风场、海平面气压场;全国基本站建站以来逐日最高温度数据。

(3) 专用资料库:包括两部分:①DERF 模式逐日极端温度阈值资料,资料网格为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;②统计降尺度模型使用的 DERF 模式各预测因子的多年平均值与方差,资料网格为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,预测因子及对应因子标准化历史序列,各观测站点标准化历史序列、天气发生器各统计参数值。

(4) 预测产品库:包括高温预测的历史回报产品与实时预测产品。

该子系统的主要功能:(1)实时接收按日、候、月三种方式整理的资料,并做缺测数据处理;(2)实时预测产品归档。

1.2 高温预测子系统

该子系统包括三个模块,提供中国区域旬、月时间尺度(7 个预测时段)的高温预测结果,并将结果以图形形式输出,预测内容包括时段内不同阈值极端高温最大概率、 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 高温日数(表 1)。

(1) 基于 DERF 模式的极端高温概率预测模块:首先利用 DERF 模式回算的 1982—2002 年逐日平均温度数据,采用百分位数的

方法计算日平均温度的历史极值,包括 90%、95%和 99%百分位数,分别对应 10%、5%和 1%极端高温阈值。然后根据每次预测的逐日平均温度数据,统计各级极端高温发生的概率及出现天数。

(2) 基于 DERF 模式与统计降尺度的高温日数预测模块:首先将 DERF 模式输出的大尺度资料降尺度到各观测站点,计算各站点预测时段的平均最高温度距平。然后将最高温

度距平值输入到随机天气发生器,生成逐日最高温度值序列。最后对逐日最高温度序列进行统计分析,计算各时段内 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 与 38°C 的高温日数。

(3) 基于物理量相似方法的高温日数预测模块:首先对预报月之前的若干月分别计算历年与预报年 88 项指数的相似指数,根据相似指数的临界值选出相似的若干年,其合成结果作为月高温日数预测。

表 1 高温预测主要产品

模块	预测内容	预测时段	预测起始日期
基于 DERF 模式的高温概率预测	(1)10%极端高温概率及概率值 $\geq 60\%$ 的高温日数	1~10 天	每候第 1 天
	(2)5%极端高温概率及概率值 $\geq 60\%$ 的高温日数	11~20 天	
	(3)1%极端高温概率及概率值 $\geq 60\%$ 的高温日数	21~30 天	
	(4)概率值连续 2 天 $\geq 60\%$ 的 10%极端高温最大概率	31~40 天	
	(5)概率值连续 3 天 $\geq 60\%$ 的 10%极端高温最大概率	1~30 天	
		11~40 天	
基于 DERF 模式与统计降尺度的高温日数预测	(1)预测时段内 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数(2)预测时段内 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 的高温日数	6~35 天	4. 21 日至 10. 21 日每候第 1 天
		11~20 天	
		21~30 天	
		31~40 天	
基于物理量相似方法的高温日数预测	预测时段内 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数	11~40 天	5~10 月每月 1 日
		1 日~月底	

1.3 产品制作与分发子系统

该子系统主要完成图形产品分发功能,供用户查询下载,以满足各用户的使用,每候第 1 天与第 2 天下午上传到国家气候中心网站(<http://ncc.cma.gov.cn>),用户可以通过 internet 进行查询、检索与下载。

2 业务应用及模型检验

利用该系统提供的产品,用户可以提前得到中国区域内极端高温发生概率及发生日数、 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 或 38°C 的高温日数分布,为作好防灾减灾等决策服务提供参考信息。其中物理量相似与统计降尺度两种方法是基于绝对温度阈值给出的预测信息,在 35°C 或 38°C 极端高温极少出现的地区预测技巧较低。考虑气候模式都存在系统偏差,如果以绝对阈值

为指标,直接用 DERF 模式输出预测高温日数,预测结果存在较大偏差,从而降低其预测准确率及预测技巧。该系统提供的高温概率预测是应用 DERF 直接输出应用相对阈值指标给出的预测信息,可适用于任何地区。图 2 和图 3 给出了三种方法对 2007 年 7 月极端高温的预测结果,以及与实况的对比。图 2 是基于模式直接输出预测的 10%极端高温发生的最大概率和实况暖日发生频率分布图,图 3 是物理量相似法与统计降尺度方法预测的 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数与实况分布图。可以看出,物理量相似法与统计降尺度方法预测结果与实际情况基本一致,统计降尺度预测效果略好一些,而基于模式直接输出结果预测的 10%极端高温日数效果略差。

为了更好地说明各方法的预测能力,图 4 给出了三种方法预测与实况的相关系数分布,以更直观地展示三种预测模型的预测能

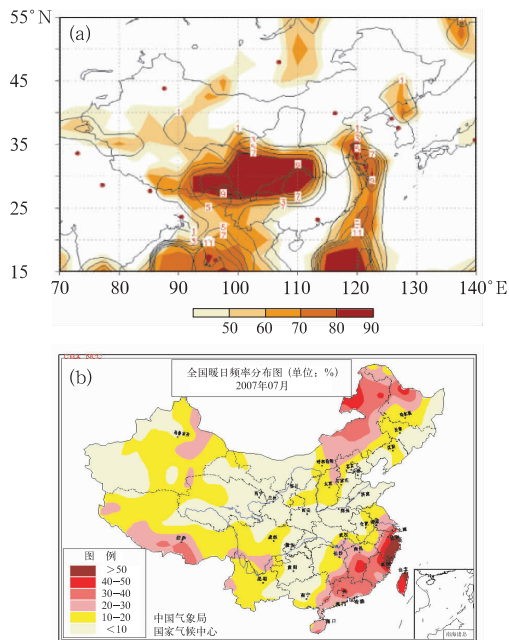


图 2 2007 年 7 月 10% 极端高温预测(a)及观测(b)

力,供预测、决策时参考。图 4a 为基于 DERF 模式回报的超前时间为 10 天的 1982—2004 年 7 月 10% 极端高温最大发生概率与相应时段 10% 极端高温发生频率的相关系数。图 4b 为基于物理量相似方法回算的 1990—2006 年 7 月 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数与实况的相关系数。图 4c 为基于 DERF 与统计降尺度模型,用交叉建模方法回算的 1982—2004 年 7 月 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数与实况的相关系数。

从图中可以看出,(1)DERF 模式回算的 10% 极端高温发生概率与实况的相关系数在全国大部地区为正,显著相关区域位于新疆中部、甘肃东部、内蒙古中部、山东西部、河南东部和海南;(2)物理统计相似方法的正相关显著区主要位于新疆北部、西藏东南部、四川中部、华南东部、福建东部、东北西部和内蒙古东北部,负相关显著区主要分布青海南部和云南东部部分地区;(3)统计降尺度方法在新疆西北部与东南部,西藏西部、云南大部、贵州西部、内蒙古东部与中部部分地区、东北

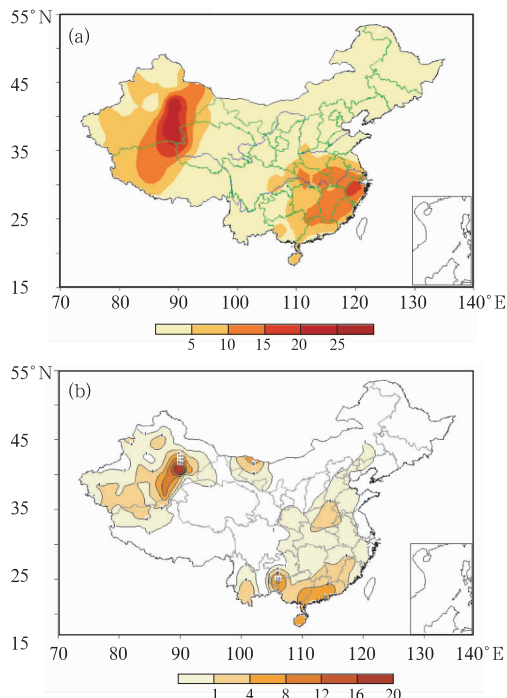
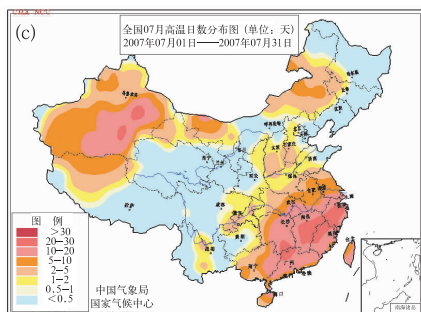


图 3 2007 年 7 月 35°C 高温日数预测
(a)物理相似,(b)统计降尺度,(c)观测



地区北部与东部正相关显著。

从相关系数的分布图可以看出不同方法高相关区域的分布互为补充,很难说哪种方法更优。因此在 35°C 极端高温预测及制定相关决策时主要参考物理量相似与统计降尺度两种方法高相关区的预测结果给出综合预测信息。如果考虑以百分位阈值为指标的高温预测,最好参考基于 DERF 模式的概率预测结果。另外应该及时总结不同方法在业务服务中的应用效果,进一步发展完善该预测系统。

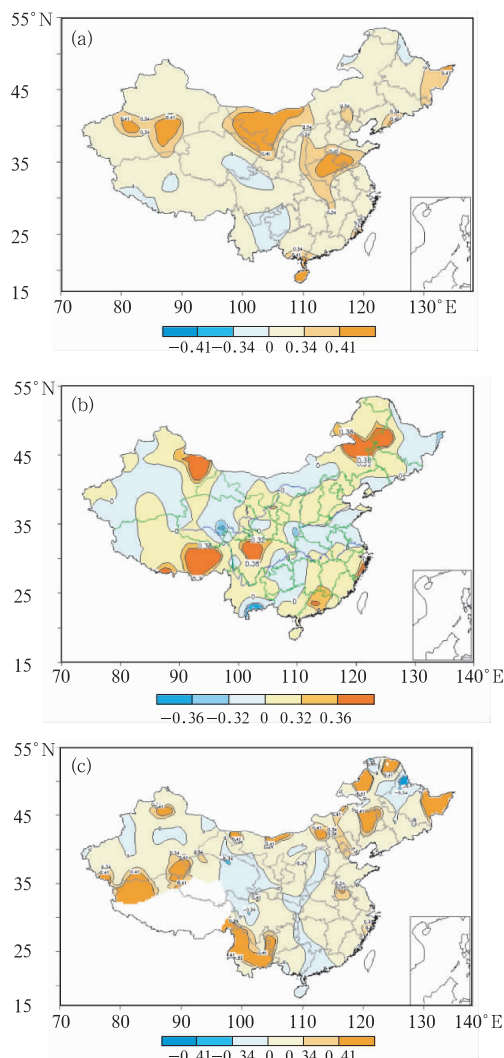


图 4 7 月高温日数相关系数分布图

(a) 基于模式直接输出的 90% 百分位数,

(b) 物理量相似, (c) 统计降尺度

3 结束语

本文介绍了国家级极端高温短期气候预测系统的建设框架、主要内容和功能。应用该系统进行了历史回报,通过与观测资料的对比及相关系数的分析表明,三种方法均能成功预测出中国部分地区高温发生情况,其中基于物理统计相似与统计降尺度方法预测的 2007 年 7 月 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数分布形态与实况基本一致。相关系数分布形态表明三种

方法高相关区的分布存在区域差异,但互为补充,在进行极端高温预测与决策时最好根据具体需求综合参考不同方法的预测与检验结果,根据高相关区的预测结果给出最终意见。随着极端事件科研与业务的进一步发展,高温预测内容、范围及方法也将进一步拓展,该预测系统也会进一步完善。

参考文献

- [1] 张尚印,王守荣,张永山,等. 我国东部主要城市夏季高温气候特征及预测[J]. 热带气象学报, 2004, 24(6): 750-760.
- [2] 张尚印,张德宽,徐祥德,等. 长江中下游夏季高温灾害机理及预测[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(6): 840-846.
- [3] 张德宽,杨贤为,邹旭恺. 均生函数—最优子集回归在高温极值预测中的应用[J]. 气象, 2006, 29(4): 44-47.
- [4] 董蕙青,涂方旭,李雄. 广西高温天气的气候特征及短期气候预测[J]. 广西气象, 2000, 21(增刊): 50-54.
- [5] 周后福,王兴荣,翟武全,等. 基于混合回归模型的夏季高温日数预测[J]. 气象科学, 2005, 25(5): 505-512.
- [6] 连志鸾,王丽荣. 石家庄高温的天气气候特征及其预报流程[J]. 气象, 29(10): 17-21.
- [7] 连志鸾,尤凤春. 石家庄高温闷热天气气候特征与预报方法[J]. 气象, 31(6): 55-60.
- [8] 史久恩,徐群. 长江中下游夏季降水的长期预报初步研究[J]. 气象学报, 1962, 31(2): 129-139.
- [9] 张万诚,解明恩,张荣华. 均生函数场预报模型对降水预报的试验研究[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 379-384.
- [10] Johnson S D, Battisti, D S, Sarachik, E S. Empirically derived Markov models and prediction of tropical Pacific Sea surface temperature anomalies[J]. Journal of Climate, 2000, 13(1): 3-17.
- [11] 林纾,陈丽娟,陈彦山,等. 月动力延伸预报产品在西北地区月降水预测中的释用[J]. 应用气象学报, 2007, 18(4): 555-560.
- [12] Jones, P D, Horton, E B, Folland, C K, et al. The use of indices to identify changes in climate extremes[J]. Climate Change, 1999, 42, 131-149.
- [13] Zhang, X, Hegerl G, Zwiers F W, et al. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes[J]. Journal of Climate, 2005, 18, 1641-1651.
- [14] 江志红,丁裕国,陈威霖. 21 世纪中国极端降水事件预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 202-207.
- [15] 黄丹青,钱永甫. Community Climate Model 3 模拟夏季极端降水的初步分析[J]. 南京大学学报(自然科学), 2007, 43(3): 238-248.