气候变化条件下的极端天气与气候事件

章国材

（国家气象中心，北京　100081）

1　引　言

近20多年来，气候变化，特别是全球气候变暖问题引起了各国政府和公众的高度重视，IPCC(2001)报告指出，全球平均温度在20世纪以来升高了约0.6℃。事实上，许多重要的气候影响不是取决于平均值的变化，而是取决于一些超出正常变化范围的罕见的极端天气、气候事件。极端天气和气候事件是小概率事件，但对人类环境和社会经济影响很大。

20世纪80年代以来，全世界许多国家和地区频繁出现由极端天气与气候事件引发的自然灾害。在我国，1998年发生了全流域的特大洪水；华北地区却日趋干旱，1985年以后黄河是年年断流，1997年断流日数超过226天(李瑞环，1999)。在欧洲的德国、奥地利和捷克等国2002年8月发生的百年未遇的特大洪水造成了数百亿美元的经济损失。今年8月29日在约翰内斯堡全球可持续发展大会期间，WMO的一份报告指出，肆虐全球的洪灾和干旱等自然灾害正在加剧，人类生存环境面临严峻挑战。这些极端事件的发生频率和强度变化是在目前全球气候变暖背景下发生，它们是否与温室效应加剧相联系？在未来气候将进一步趋于变暖，极端事件的情景又将如何？我们将如何防范越来越频繁发生的极端天气与气候事件？这些问题都是气候变化科学研究的前沿课题。深入开展极端气候事件的变化研究，对于提高灾害性天气气候事件的预测水平，为国家制定可持续发展战略具有十分重要的现实意义。

2　近百年气候变化

在过去的一个世纪中，由于人类向大气中排放的二氧化碳不断增多，使得大气的温室效应不断增强。与此同时，全球平均温度增暖了约0.4～0.8℃，20世纪成为近1000年来最暖的一个世纪。研究还表明，近50年的气候变暖主要归因于人类活动的影响。从地域分布上看，虽然全球绝大部分地区的气温均呈上升趋势，但是温度上升最强烈的地方出现在北半球中高纬度的大陆上，北大西洋、中国的西南地区、美国东南部以及非洲的部分地区，温度甚至有所下降。近百年来全球温度的增暖主要发生在两个时期：一是20世纪10年代到40年代；二是从70年代后期开始到现在。前一时期增暖的主要区域是北大西洋、北美大陆及其附近地区。但在40年代后期到70年代中期，北半球大部分地区的温度却略有下降。自1976年以来，北半球中高纬度地区气温急剧上升，其中冬季气温的增加幅度比夏季的增加幅度要大得多，大陆的增温幅度比海洋大。最近20年是20世纪中最暖的20年，其中1998年达到了全球平均气温的最高值。

在气候变暖背景下，20世纪全球大部分地区的年降水量也是增加的，北美大陆、澳大利亚和南美洲南部降水百分率增加的最多，整个非洲大陆主要呈现明显的变干趋势，降水百分率减少最多的地区在撒哈拉地区和南美洲南部太平洋沿岸地区。

在全球气候增暖的背景下，中国的平均气温也在升高，如图2所示，近100年来中国的气温

图 1 (a)1860 年以来全球地面温度变化;(b) 近 1000 年来北半球地面温度变化 (IPCC,2001)

图 2 1880 年以来中国的地面温度变化(Wang and Gong, 2000)

上升了 0.5℃左右(王绍武等,2000),其变化趋势总体上与全球的平均气温的变化趋势相一致。20 年代到 40 年代我国气温持续升高,50 年代到 80 年代初气温有所下降,80 年代中期开始又持续增温。从 1950 年开始,我国有较完整、较全面的气象资料,分析结果反映出近 50 年我国北方地区的气温呈显著上升趋势,华北和东北地区的增温幅度最大,达到 0.4~0.8℃/10 年左右,长江流域和西南地区气温略降,南方大部分地区没有明显的冷暖趋势。近 50 年来华北地区降水量趋于减少,长江流域和西北地区降水量呈上升趋势。鉴于各地气候差异大,年降水总量的变化无法反映气候变化的全貌,因此,相对于当地多年平均来说,降水百分率增加最多的地区在新疆南部,达到 15%/10 年(秦大河,2001)。

3 国际上的极端事件研究

极端天气与气候事件的研究近年来受到了国际社会越来越广泛的重视(IPCC, 1996; IPCC,2001)。从研究方法和内容来看,主要可分为观测研究和模拟研究两个领域,以下是关于

20 世纪极端事件的一些主要研究成果。

3.1 观测研究

对于区域性研究，Karl(1991)等人的研究揭示了在美国和前苏联极端最低温度在过去几十年有明显上升的趋势，而极端最高温度的变化则表现出较强的区域性，从大范围来看无显著的变化趋势；Plummer(1996)对澳大利亚的研究表明，极端最低温度具有与平均温度类似的上升趋势，而极端最高温度的变化趋势则很弱；Gruza(1999)发现俄罗斯的极端高温日数在过去几十年里显著增加，Heino(1999)揭示了欧洲中部和北部霜冻日数逐步减少，翟盘茂等人的研究表明过去 40 年里中国的极端温度明显上升；另外，其他一些研究也都进一步证实了在全球范围内热日增多而冷日减少。

在降水的研究方面，尽管在资料的完整性和研究工作上还很有限，研究成果还是揭示了极端降水变化的一些基本特点。Karl(1995)等人的研究揭示了美国、前苏联和中国在过去几十年里强降水占季节和年总降水量的比率有明显增加的趋势；Easterling 等人(2000)的研究显示出在过去 50 年中，雨季的极端降水和总降水变化的线性趋势在全球不同地区存在着明显的差异，但共同的特点是极端降水的线性趋势比总降水在幅度上要大(图 3)。这表明在对气候变化的响应上，极端降水事件表现得更加明显。另外一些研究(IPCC,2001)共同表明，在过去几十年中北半球中高纬度地区极端降水事件的频率平均上升了 2%～4%。

图 3　全球各地区雨季期间强降水(超过第 90 个百分位数)和总降水的变化趋势(%/10 年)

热带气旋、温带气旋、旱涝、龙卷风、冰雹等极端天气事件的研究也越来越受到关注，但由于缺乏足够的大范围、长时间的观测资料，进展还很有限。

澳大利亚海域、东北太平洋、印度洋在过去几十年内无论是热带气旋总频数还是强热带气旋频数都没有明显的变化趋势(IPCC,2001)；Chan(1996)等人发现西北太平洋的热带气旋则表现出显著的年代际变化特征，19601980 年期间表现为下降，而 19811994 年又明显上升；对北大西洋 1899 年以来的飓风资料分析表明，飓风频率除了表现出明显的年代际变化外，也不存在显著的长期变化趋势(IPCC,2001)。

对温带气旋的研究目前仅有一些区域性的结果(IPCC,2001)，多数研究结果表明在 20 世纪的后半叶北半球温带气旋活动趋于增多，而南半球则趋于减少。

1900～1995 年严重干旱/雨涝没有表现出明显的全球性长期变化趋势，但在最近的二、三十年中撒哈拉、亚洲东部和南非干旱更趋严重，而美国和欧洲等地雨涝增多(IPCC,2001)。

对龙卷风、冰雹等小尺度极端天气现象的研究，目前还面临严重的资料困难。由于这些现象的尺度太小，加上局地性又太强，现有的观测资料很难全面反映出它们的真实情况。尽管如此，一些试探性研究(IPCC,2001)表明，冰雹和闪电与平均最低温度和湿球温度之间存在显著的关系；自 1920 年以来美国的龙卷风在强度上表现出增强的趋势。

3.2 模拟研究

耦合模式已越来越广泛地应用于气候变化研究，目前较多涉及的领域包括气候变化的检测、原因分析和情景预测。模拟的气候至少要大于次大陆大小的空间尺度和季节到年代的时间尺度才可信。对模式的评估结果表明，没有哪一个单一模式是“最好的”，需要综合利用各家模式的结果，而耦合模式则被公认为适合于进行未来气候的情景预测(IPCC, 2001)。

在全球气候短期(日、年内和年际)变化和较长期(年代际)变化中，自然环流型如 ENSO 和 NAO 起着根本性的作用。气候变化既可以通过平均值的改变也可以通过明确的气候环流型的改变得到充分体现，这些变化会引起气候变量极端值和频率的改变。

对于情景预测中变率的模拟，许多模式结果表明(IPCC,2001)，大气中温室气体含量的增加将导致日、季节、年际和年代际变率发生变化。预计在许多地区温度日较差将下降，夜间最低温度的上升将强于白天最高温度的上升。一些模式(IPCC,2001)显示在北半球陆地冬季气温的日变率减小，而夏季日变率将升高。未来 100 年内 El Nino 事件几乎不发生变化或只在强度上略有增加；在热带太平洋将出现类似于 El Nino 的平均状况，赤道中、东太平洋海表温度将较赤道西太平洋变得更暖而且相应地降水型将东移。即使 El Nino 强度只有微小的变化甚至不发生改变，全球变暖也可能导致更严重的干燥和暴雨的极端事件，使得许多地区出现与 El Nino 事件相关的干旱和洪涝的风险增加。对于自然出现的海－气环流型如 NAO 等的频率和结构会如何变化问题则没有明显的一致性结论。在极端事件的模拟方面，气候模式已经再现了从观测资料中证实发生在全球许多地区的有关极端值的许多变化，如温度日较差的下降、伴随极端热日增多的平均温度升高、极端冷日减少以及雨强增强等。情景预测中关于极端事件的一些主要结论是：

(1)在几乎所有的陆地地区，酷热天气和热浪频率可能增多，而寒冷天气和霜冻日数减少。

(2)在北半球陆地地区，冬季气温的日际变率表现为总体下降，而夏季的日际变率上升。

(3)极端降水事件的强度和频率在许多地区很可能上升，而且极端降水事件的间隔将缩短。

(4)内陆地区夏季的总体干燥形势将可能导致夏季干旱。

(5)全球变暖将可能导致亚洲夏季风降水的变率增大。

(6)热带气旋的最大风力在一些地区将可能增加 5%～10%，降水率可能增加 20%～30%。

(7)缺乏足够的信息来确信小尺度极端现象将如何变化。很小尺度的天气现象如雷暴、龙卷、冰雹、雹暴和闪电等是不能用全球模式来模拟的。

4 中国近百年极端气候事件的变化

我国人口众多、地处气候脆弱区，极易受到极端天气和气候事件的影响，造成灾害。以下简要地从极端高温和低温事件、强降水事件、干旱、影响我国的热带气旋和沙尘暴等方面分析我国观测时期的极端事件变化规律。

4.1 极端高温/低温事件

研究结果指出，1951～1990 年期间我国平均最高温度略有上升，最低温度显著增温，日较差显著变小，最低、最高温度的线性变化趋势表现出较为一致的年代际变化特点，但却反映出非

常明显的不对称性趋势(翟盘茂等,1997)。在最近40～50年中,极端最低温度和平均最低温度都趋于增高,尤以北方冬季更为突出(任福民等,1998),同时自1950年代开始,全国范围寒潮活动逐渐减弱,尤其是在1980年代和90年代初;低温日数也趋于减少(Zhai et al.,1999),这种变化可能与冬季风的明显减弱有关。

我国冬季极端最低温度升高趋势比平均最低温度升高趋势(Karl et al.,1991;叶笃正等,1992)更为显著,平均温度的增温趋势小于极端最低和平均最低温度的增温趋势。Sun et al.(1998)研究结果表明,我国东部的高温日数也趋于减少。

4.2 强降水事件

降水量和降水频率的变化与降水强度的变化密切相关。研究(Zhai,1999)表明,在过去几十年中,中国降水呈增长趋势的测站与呈下降趋势的测站大致相当。大范围明显的降水增长趋势主要发生在中国西部地区,其中以西北地区尤为显著。但是,中国东部季风区降水变化趋势的区域性差异较大,长江流域降水趋于增多,华北地区降水趋于减少。从全国平均来看,我国总的降水量变化趋势不明显,但雨日显著趋于减少。降水总量不变或增加但频率减少意味着降水过程呈可能存在强化的趋势,干旱与洪涝可能会趋于增多(翟盘茂等,1999)。最近的研究(潘小华,翟盘茂,2002)指出,中国的极端降水事件趋多、趋强。极端降水平均强度和极端降水值都有增强的趋势,极端降水事件趋多,尤其在20世纪90年代,极端降水量比例趋于增大。华北地区年降水量趋于减少,虽然极端降水值和极端降水平均强度趋于减弱,极端降水事件频数显著趋于减少,但相比之下极端降水量占总降水量的比例仍有所增加。西北西部总降水量趋于增多,极端降水值和极端降水强度不发生显著变化,但极端降水事件趋于频繁。长江及长江以南地区年降水量和极端降水量都趋于增加,极端降水值和降水事件强度都有所加强,极端降水事件增多,即极端降水事件趋强、趋多。由此看来,中国降水极端事件的变化问题是值得进一步深入探讨的。

4.3 干旱事件

干旱是我国最主要的气象灾害,它造成的经济损失占各种气象灾害造成的总的经济损失的50%左右。我国北方降水量远不及南方,近年来,北方干旱问题越来越突出,使得华北水资源形成危机。20世纪70年代以来黄河断流现象日益严重,1997年、1999年和2000年我国北方地区均发生了历史上罕见的严重干旱,持续干旱现象严重影响和制约了我国北方的农业和牧业发展,干旱缺水还导致地下水环境明显恶化、土地沙化并且加剧了环境恶化和污染,同时也是我国西北地区经济发展最大的障碍之一。

从近100年降水的仪器实测资料分析(叶笃正等,1996)发现长江、黄河两流域旱涝变化具有明显的阶段性和跃变。20世纪我国气候有明显的变干趋势;并且在20年代和60年代中期发生了两次气候由湿变干的气候跃变,这种气候跃变的发生是全球性的。分析还表明,长江、淮河流域从70年代起降水明显增多,洪涝加剧;而黄河流域从1965年起连续干旱,而且不断加剧。从近40年详细的降水资料分析(叶笃正等,1996)表明长江、黄河流域的旱涝年际变化很大,而且此两流域旱涝发生呈反相趋势,一般具有2～3年的周期。

如图4所示,华北地区近45年来主要是以旱为主,而且存在非常强的干旱化趋势,其旱涝变化有64～72月周期;华北干旱主要以夏、秋旱为主,而且多两季连续干旱,自1999年起的连续干旱是近半个世纪以来最为严重的一次(李庆祥等,2002)。

4.4 热带气旋

影响中国台风(在中国大陆或两个最大岛屿的任何一个造成降水的)频数(图5)在过去40

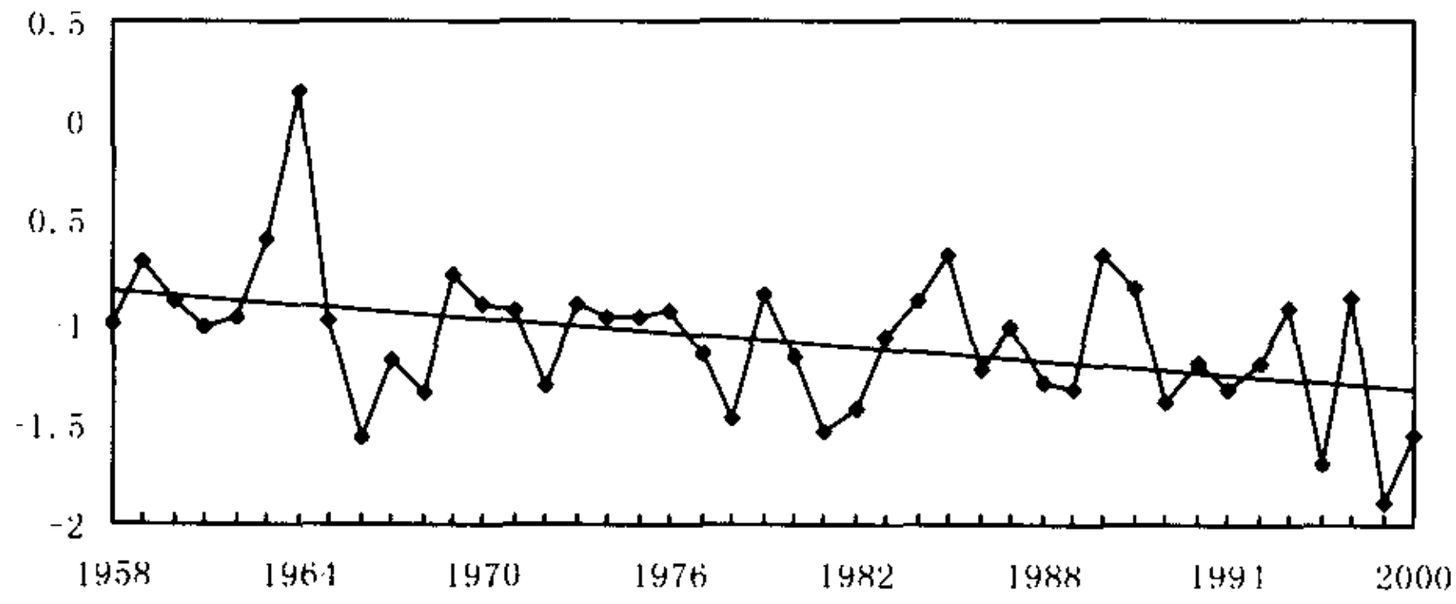

图 4　华北地区近 43 年来年平均干湿指数演变特征(直线为线性趋势)

年中没有显著的变化趋势(任福民等,2002)。但是,它的年际变化却十分明显,在 1960 年代初、1970 年代以及 1989～1990 年期间台风活动异常偏多,而 1950 年代后期、1960 年代后期、1985 年和 1992～1993 年台风活动明显偏少;台风频数最多的年份是 1978 年,为 22 个,最少的年份是 1985 年,为 6 个。

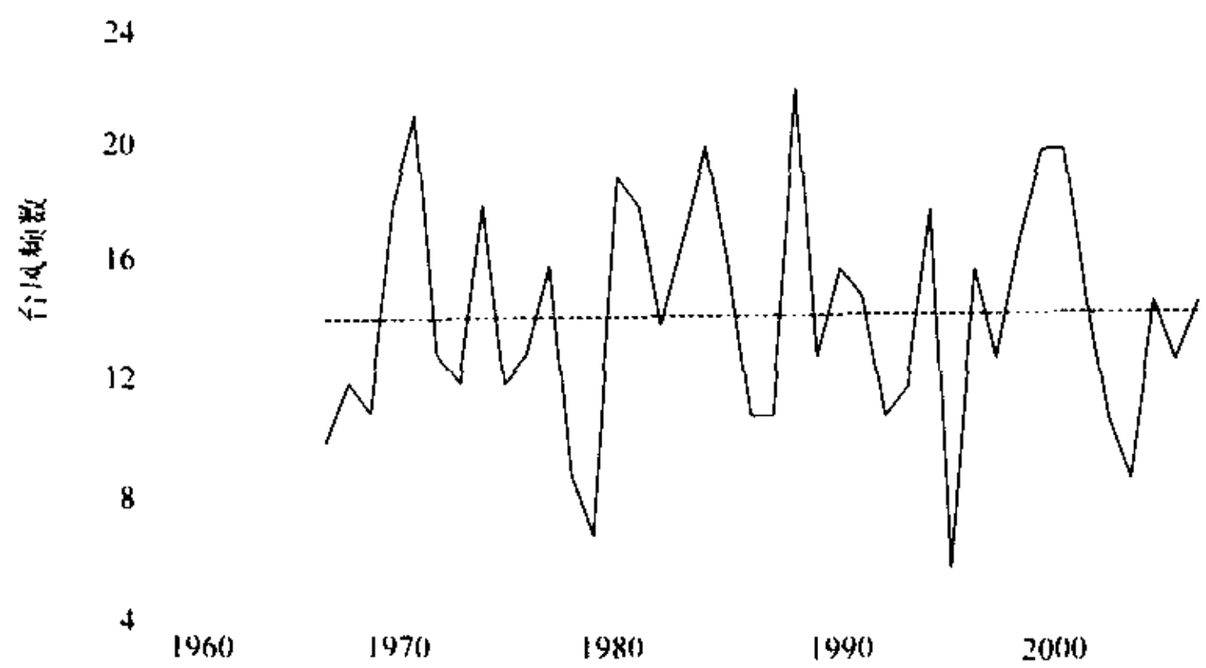

图 5　影响中国的台风(在中国大陆或两个最大岛屿的任何一个造成降水的)频数演变

4.5　沙尘暴

沙尘天气通常发生在我国北方地区,尤其是在西北地区,它们的频繁发生给当地造成严重危害。近年来沙尘天气频繁发生,并且严重影响京津等地,并波及到全国,使得下游地区大气环境受到严重污染。沙尘暴作为一种严重的自然灾害,成为破坏生态环境的突出问题,受到广泛关注.因此,研究气候变化条件下沙尘暴的变化规律,提高沙尘暴监测、预报水平显得十分紧迫。

1954 年以来全国沙尘暴总日数的变化(图 6)反映出,近半个世纪以来,沙尘暴总日数总体上呈减少趋势,50 年代后期和 70 年代沙尘暴出现日数较多,80 年代以来沙尘暴出现日数逐渐减少,1966 年的沙尘暴日数最多,1997 年的沙尘日数最少,我们注意到,1997 年以后沙尘暴总日数又呈增加趋势。过去半个世纪我国北方大部份地区沙尘暴呈减少趋势,青海省西北部和东南的部分地区以及内蒙古的锡林浩特沙尘暴有增加的趋势。

需要进一步研究的是,我国沙尘暴频率的变化与全球变暖的关系如何,近几年沙尘暴天气趋于频繁的原因是什么?

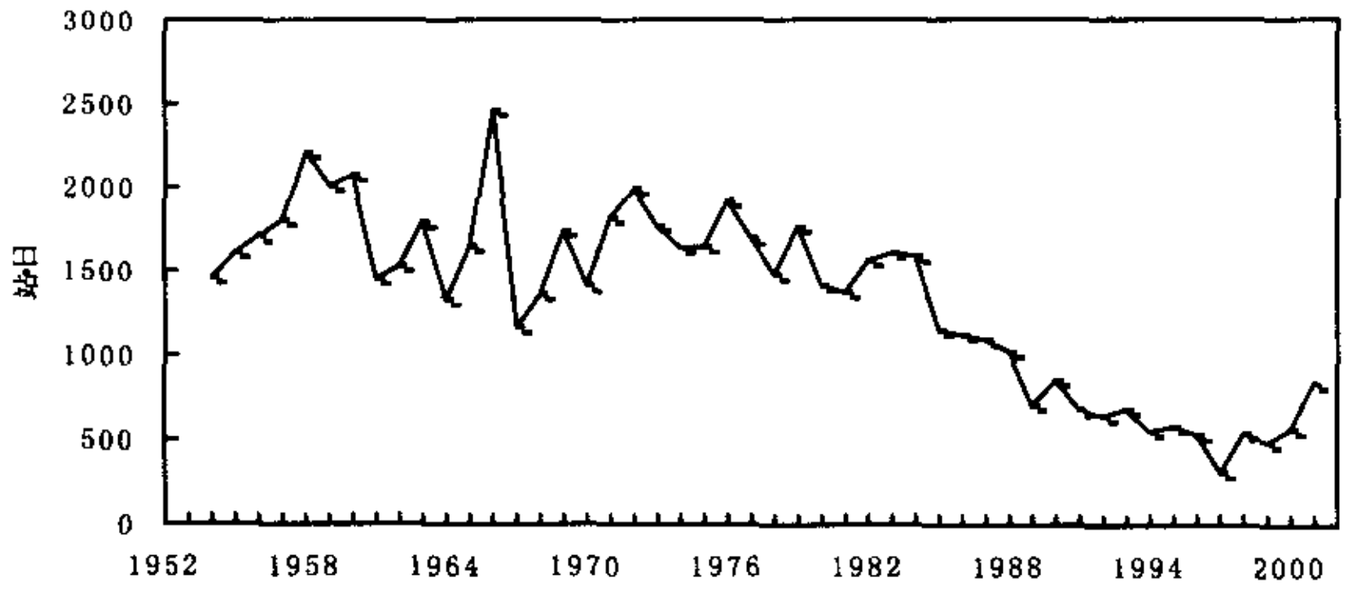

图 6　1954～2001 年全国 681 站沙尘暴年总日数的变化

5　气候变化对极端事件的可能影响

5.1　气候变暖对极端事件的可能影响机制

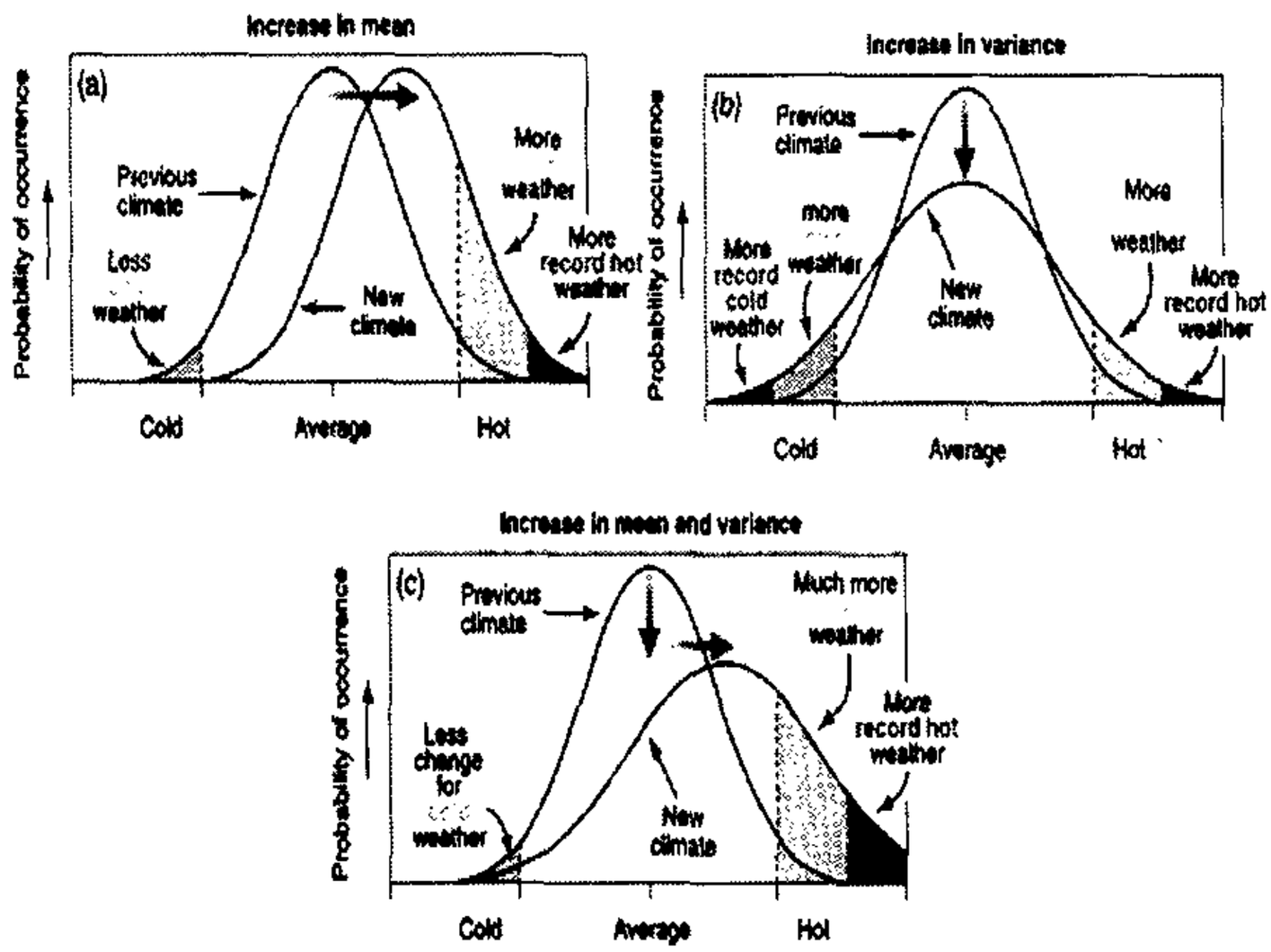

图 7　极端温度的影响作用示意图

a.平均温度升高引起更多创记录的酷热天气；　b.方差增大引发更多创记录的酷热天气；　c.平均温度升高且方差增大导致更多创记录的酷热天气

从物理机制分析来看，温室效应加强不仅会使地面温度变暖，还会使大气保持水分的能力增强，并使得地表蒸发加剧，这意味着大气水分可能增长。地面蒸发能力增强，将使干旱更容易发生，同时为了与蒸发过程相平衡，降水也将增长，易于发生洪涝灾害。由于气候增暖之后，气候系统中水循环过程加剧，降水率加强，会引起大气潜热释放增加，影响风暴强度，因此，可能还会影响到许多中小尺度的极端天气事件(Trenberth et al., 1996)。

5.2　平均温度变化与极端高温/低温事件

温度平均值的变化会直接影响到极端高温/低温事件。但是，由于平均值和变率之间复杂的相互作用，使得由平均温度变化引起的极端高温/低温事件的变化变得复杂化。对于符合正

态分布的温度,其平均值的上升则可以导致新的高温出现(图 7a),但平均值的变化并不意味着变率要发生任何改变;即使平均值不变而变率增大则意味冷、热极端事件会增多(图 7b);而当变率和平均值同时增大时,则必然影响到冷、热极端事件的概率,使得极端高温增多而冷事件减少(图 7c)。如果平均温度和变率表现为其它的变化组合形式,则会造成极端高温/低温事件不同的变化结果。

Parker(1994)、Jones et al(1999)对全球温度的年际变率作了分析,结果表明全球温度的年际变率在过去几十年里没有明显的变化。但是,Karl(1995)、Michael(1998)、Collins.(2000)、Moberg et al(2000)的研究则共同显示气温的年内变率在过去 50100 年里在全球范围内确实广泛地表现出下降的趋势。

5.3 降水量与降水频率变化与强降水事件

降水量的变化会直接影响到强降水事件。但是,由于降水量和降水频率之间复杂的相互作用,使得由降水量和降水频率变化引起强降水事件的变化变得复杂化。在降水频率不变的情况下,如果年平均降水量出现某一确定比率的上升(下降),则强降水将会发生更大比率的上升(下降)。当降水频率下降时,即使年平均降水量不变甚至下降,强降水事件也可能会增多。

6 未来研究的重点

从以上分析可以看出,已有的研究成果对于我们认识极端天气与气候事件的历史变化事实及其未来可能的变化提供了较好的基础。然而,要更加全面地认识气候变化条件下极端天气与气候事件,有待于深入研究。急需回答的问题集中体现为:

(1)我们是否已经监测到极端天气事件出现全球性的增加,而且能否建立客观、公认的极端天气与气候事件的通用指数和指标以便于将来继续对它们进行监测?

(2)现有观测资料质量是否能够真实反映极端事件及其变化?

(3)从器测和代用记录的长时间演变来看,近期极端事件的强度、频率和生命期的近期变化是否异常?

(4)对引起极端事件变化的过程究竟了解多少?在模拟与过程研究中如何提高极端事件的指标和预测能力?如何评价人类活动在这些变化中的作用?

(5)模式模拟极端事件的水平如何?我们能否确定在分析这些极端事件的公认统一方法?

(6)对于极端天气事件的模式预测我们有多大信心?其中的不确定性能定量化吗?

(7)如何将情景预测中的这些变化应用于气候变化影响研究?

由此看来,极端气候事件的研究重点主要是:我们能否利用现有资料检测极端气候事件发生的变化;这些变化根据自然气候的变化是否异常;能否提供证据把观测到的极端气候变化与人类活动的影响相联系;通过什么方式减少认识上的不确定性。实际上,这就是要回答下列问题:极端气候事件是否更趋频繁?极端气候变化的原因何在?温室效应影响下的气候极端事件的变化规律如何等问题。如果极端气候事件日趋增多,而且确实由于温室气体的增长引起,那么今后的后果将十分严重。各国政府将不得不投入大量的经费来抵御日趋频繁的极端气候事件带来的灾害。我们有必要开展下列研究:

(1) 充分利用我国的高分辨率观测资料甚至代用资料,全面揭示极端事件的变化。

从目前研究的现状来看,妨碍回答有关问题的难点很多,在认识上还存在着很多不确定性,由于极端气候事件很少发生,在统计上属于边缘分布,很容易与错误资料混淆。高分辨率的长期观测资料严重缺乏,资料质量问题以及如何检测极端事件等问题制约了极端事件变化规律的

认识。因此,对于各类事件的频率、强度和持续作用的定量的、全面的分析显得十分重要。

(2) 开展极端事件与气候变化的关系研究,以揭示极端事件与全球气候变暖的关系。

在极端气候事件变化原因研究上,各种自然和人类活动影响因素交织在一起,很难区分。模式研究方面,问题同样十分突出,目前的气候模式还难以生成研究区域范围的一些重要气候极端事件的小尺度特征,要进一步改进气候模式的物理过程,发展区域模式,研究极端事件。众所周知,我国气候非常明显地受到东亚季风的影响,季风的强弱和进退与极端气候事件的发生规律紧密相关。ENSO、季风对全球变暖的影响常常交织在一起,而且全球变暖也会影响季风系统、甚至 ENSO 的强度与频率。因此,为了比较全面认识极端气候事件变化的规律还有许多工作需要做。一方面要继续加强 ENSO 和季风与极端气候事件关系的研究,提高对极端事件的短期气候预测水平;另一方面要重视气候变化与极端气候事件关系研究,进而回答气候极端事件变化是否与人类活动影响有关。

(3) 提高极端事件监测和预测能力。

在加强气象综合探测系统建设的基础上,发展和完善气候信息的加工和分析系统建设,建立具有监测 ENSO、季风、干旱和洪涝、高温热浪与低温冷害及各类中小尺度的极端天气与气候事件及其发生发展过程的业务系统,开展极端气候事件对国民经济影响的评估工作,开展极端气候事件形成的条件和前期特征诊断分析,并进一步建立预测系统,提高极端事件的预测能力及其可能的评估水平。为了有效为我国气候变化领域的决策服务,还需要对未来气候变暖条件下的极端事件的发生和影响进行预测。

参考文献

[1] Chan, J.C.L., et al., Long - term trends and interannual variability in tropical cyclone activity over the western North Pacific. Geophys. Res. Lett., 1996, 23, 2765 - 2767.

[2] Collins, D.A., et al., Trends in annual frequencies of extreme temperature events in Australia. Australian Meteorological Magazine, 2000, 49, 277 - 292.

[3] Easterling, et al., Observed variability and trends in extreme climate events. Bull. Am. Met. Soc., 2000, 81, 417 - 425.

[4] Gruza, G., et al., Indicators of climate change for the Russian Federation. Clim. Change, 1999,42, 219 - 242.

[5] Heino, R., et al., Progress in the study of climatic extremes in Northern and Central Europe. Clim. Change, 1999, 42, 151 - 181.

[6] IPCC, 2001, Climate Change 2001: The Scientific Bases. Eds. J. T. Houghton, et al, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.

[7] Jones, P.D., et al., Surface air temperature and its changes over the past 150 years. Rev. Geophys., 1999,37, 173 - 199.

[8] Karl et al., A new perspective on recent global warming: asymmetric trend of daily maximum and minimum temperature. Bull. Amer. Meteor. Soc., 74(6), 1007 - 1023.

[9] Karl, T. R, et al., Global Warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change. Geophys. Res. Lett., 1991,18, 2253 - 2256

[10] Karl, T. R, et al, Climate Extremes: Selected Review and Future Research Direstions, 1999,42(1), 309 - 325.

[11] Karl, T. R, et al., Trends in high - frequency climate variability in the twentieth century. Nature, 1995,377,217 - 220

[12] Michaels, P.J., et al., Analysis of trends in the variability of daily and monthly historical temperature measurements. Clim. Res., 1998, 10, 27 - 33.

[13] Moberg, A., et al., Day - to - day temperature variability trends in 160 - 275 - year Trenberth, K. E. and Shea: 1996, "atmospheric circulation changes and links to changes in rainfall and drought", 7th Conference on Climate Variations, AMS, Long Beach, CA. J14 - J19.

[14] Parker, D.E., Effects of changing exposures of thermometers at land stations. Int. J. Climatol., 1994, 14, 102 - 113.

[15] Plummer, N., Temperature variability and extremes over Australia: part 1 recent observed changes, Aust. Meteorol. Mag.

[16] Sun Anjian, Liu Xiaoning, and Gao bo, 1998, Change Trends of Extreme Climate Events in China, Acta Meteor. Sinica, 12(2): 129 - 141.
[17] Wang Shaowu and Daoyi Gong, 2002, Enhancement of the warming trend in China, . Geophys. Res. Lett., 27(16), 2581 - 2584.
[18] Zhai. P. - M., et al., Chanes of climate extremes in China, Climate Change, 1999, 42(1), 203 - 218.
[19] 国家气候中心,'98 中国大洪水与气候异常,气象出版社,1998.
[20] 黄荣辉,郭其蕴等,1997,中国气候灾害分析图集.海洋出版社,58.
[21] 李庆祥等,近半个世纪华北干旱化趋势研究,自然灾害学报,2002,11(3),50～56.
[22] 李瑞环,关于我国水的几个问题,在政协全国委员会常务委员会第三次会议上的讲话,气候变化对我国北方地区淡水资源可持续利用的影响及对策,1999 年 6 月,北京.
[23] 刘江,中国可持续发展战略研究,中国农业出版社,2001,738pp.
[24] 潘小华,翟盘茂,中国近 50 年极端温度和降水事件研究,中国气象科学研究院硕士论文,2002.
[25] 秦大河等,2002,中国西部环境演变评估:中国西部环境演变评估综合报告.科学出版社,2～10.
[26] 任福民,翟盘茂,1951～1990 年中国极端气温变化分析,大气科学, 1998,22(2).
[27] 任福民等,Typhoon impacts on China's precipitation during 1957 - 1996, Advance in Atmospheric Science, 2002 年内将刊出.
[28] 叶笃正,陈泮勤,1992,中国的全球变化预研究,北京:地震出版社,14.
[29] 叶笃正,黄荣辉,长江黄河流域旱涝规律和成因研究,山东科学技术出版社,1996,387pp.
[30] 翟盘茂,任福民,1997,中国近四十年最高最低温度变化.55(4),418～429.
[31] 翟盘茂,任福民等,中国降水极端值变化趋势检测,气象学报,1999,57(2),208～216.

Extreme Events under Climate Change Condition

Zhang Guocai

(*National Meteorological Center*, *Beijing* 100081)

Abstract

Based on the background of recent global and China's climate change, this paper reviewed the recent progress on change of weather and climate extreme events. The possible influences of climate change, especially the global warming on extreme events were analyzed. After discussing the importance of study on the extreme events, some scientific issues need to be further focused were suggested.