

中国

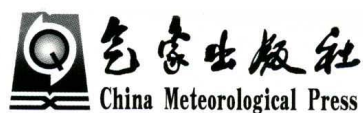
干旱、强降水、高温和低温 区域性极端事件



任福民 龚志强 王艳姣 邹旭恺 李忆平 · 著

中国干旱、强降水、高温和 低温区域性极端事件

任福民 龚志强 王艳姣 邹旭恺 李忆平 著



内容简介

区域性极端天气气候事件研究是近 10 年极端天气气候事件研究领域一个新兴的方向,其基础是如何识别区域性极端天气气候事件。研究团队发展了一种基于“糖葫芦串”模型的区域性极端天气气候事件客观识别方法(OITREE),并基于该模型开展了针对四种中国区域性极端天气气候事件(气象干旱、强降水、高温、低温)的观测研究,并利用 CMIP5 模式尝试性开展了模拟与预估研究,取得了较为系统性的研究成果。本书正是这些新成果的总结。

该书重点突出、内容新颖、可读性强,可作为科研和大专院校大气科学教学的参考读物,也可作为气象相关领域业务科技人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

中国干旱、强降水、高温和低温区域性极端事件/任福民等著.
—北京:气象出版社,2014.12
ISBN 978-7-5029-5807-7

I. ①中… II. ①任… III. ①气象灾害-研究-中国
IV. ①P429

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 301352 号

出版发行:气象出版社	
地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号	邮政编码:100081
总 编 室:010-68407112	发 行 部:010-68409198
网 址: http://www.qxcbs.com	E-mail: qxcbs@cma.gov.cn
责任编辑:李太宇	终 审:王祥国
封面设计:博雅思企划	责任技编:吴庭芳
印 刷:北京地大天成印务有限公司	
开 本:787 mm×1092 mm 1/16	印 张:17.25
字 数:450 千字	
版 次:2015 年 1 月第 1 版	印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷
定 价:120.00 元	

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

序

干旱、暴雨、高温、低温等极端天气气候事件一直备受各界关注。关于极端天气气候事件的研究,国际科学界在过去 30 余年取得了迅猛的发展,成果主要集中在:(1)全球变暖与极端天气气候事件的关联;(2)对主要的极端天气气候事件的特征和形成过程进行了大量研究;(3)根据观测和模式对极端天气气候事件的归因进行研究;(4)研究了极端天气气候事件的规律、灾害和风险问题。这些成果促进了中国在该领域的研究进展。

至今,中国极端天气气候事件的研究成果多集中在针对单点的极端天气气候事件方面。然而,极端天气气候事件更常见的是表现为具有一定影响范围和持续时间的区域性极端天气气候事件。区域性极端天气气候事件研究是近 10 年在极端天气气候事件研究领域兴起的一个新的方向。以任福民为首的研究团队在该领域发展了一种基于“糖葫芦串”模型的区域性极端天气气候事件客观识别方法(OITREE),并将该方法应用于四种中国区域性极端天气气候事件(气象干旱、强降水、高温、低温)的研究,不仅在观测研究方面取得了系统性成果,而且在 CMIP5 模式模拟与预估方面也做了有益的尝试。

该书重点突出、内容新颖。全书的文字可读、通顺,图表精美,值得研究人员或业务工作者阅读。



于北京

2014 年 9 月

前 言

极端天气气候事件(以下简称“极端事件”)研究一直是近 30 年科学界一个热门而重要的领域。其中,区域性极端事件研究是近 10 年该领域的一个新的方向。本研究团队在该领域发展了一种基于“糖葫芦串”模型的区域性极端事件客观识别方法(OITREE),并将该方法首先应用于四种中国区域性极端事件(气象干旱、强降水、高温、低温)的研究,取得了系列性研究成果。本书的目的是回顾区域性极端事件的研究进展,并重点将本研究团队在这个方向的新成果加以总结。

全书共分 7 章。第 1 章由任福民主笔,对极端天气气候事件研究做了简要回顾并重点回顾了区域性极端事件研究进展;第 2 章由任福民主笔,详细介绍了基于“糖葫芦串”模型的区域性极端事件客观识别方法(OITREE);其余 5 章为 OITREE 方法的应用研究成果。第 3 章由李忆平和任福民主笔,对中国区域性气象干旱事件做了总结;第 4 章由邹旭恺主笔,介绍了中国区域性强降水事件;第 5 章由王艳姣主笔,对中国区域性高温事件做了总结;第 6 章由龚志强主笔,介绍了中国区域性低温事件;第 7 章由任福民主笔,对中国区域性极端事件的模拟和预估研究做了简要小结。

本书内容主要是在国家自然科学基金面上项目“近 60 年中国区域性气象干旱事件的变化”(41175075)、中国气象局气候变化专项“近 50 年我国干旱频发地区的区域性气象干旱事件的检测与变化”(CCSF201333)、全球变化重大科学研究计划(2010CB950501)和国家科技支撑计划(2007BAC29B04)共同支持下的研究成果总结。在本书出版之际,作者还要向在本书成果研究、撰写和出版过程中给予热情关心和鼓励、提供大力支持和帮助的张智北教授、吴国雄院士、丁一汇院士、吴立广博士、Blair Trewin 博士、陈德亮教授、李维京研究员、董文杰教授、翟盘茂研究员、肖子牛研究员、马柱国研究员、罗勇教授、赵宗慈教授、张祖强博士、宋连春研究员、张强研究员、刘雅章教授、Francis W. Zwiers 教授、Omar Baddour 博士、Manola Brunet 教授、何金海教授、Dushmanta Pattanaik 博士、刘长征博士和李太宇编审致以诚挚的谢意!

鉴于认识水平有限,书中不足或错误之处在所难免,热切盼望有关专家和读者不吝赐教。

作者

2014 年深秋于北京

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 极端天气气候事件研究回顾	(2)
1.3 区域性极端事件研究进展	(8)
参考文献	(10)
第 2 章 区域性极端事件客观识别方法	(17)
2.1 研究思路	(17)
2.2 客观识别方法(OITREE)介绍	(18)
2.3 方法效果检验	(25)
2.4 小结	(29)
参考文献	(30)
第 3 章 中国区域性气象干旱事件	(33)
3.1 区域性干旱事件客观识别方法参数确定	(34)
3.2 区域性气象干旱事件变化特征	(36)
3.3 极端区域性气象干旱事件	(40)
3.4 重度区域性气象干旱事件	(60)
3.5 华北地区区域性气象干旱事件	(75)
3.6 西南地区区域性气象干旱事件	(80)
3.7 小结	(85)
参考文献	(86)
第 4 章 中国区域性强降水事件	(88)
4.1 区域性强降水事件客观识别方法参数确定	(88)
4.2 区域性强降水事件变化特征	(90)
4.3 极端区域性强降水事件	(93)
4.4 重度区域性强降水事件	(135)
4.5 小结	(162)
参考文献	(162)
第 5 章 中国区域性高温事件	(164)
5.1 区域性高温事件客观识别方法参数确定	(164)
5.2 区域性高温事件变化特征	(167)

5.3	极端区域性高温事件	(171)
5.4	重度区域性高温事件	(192)
5.5	小结	(207)
	参考文献.....	(208)
第 6 章	中国区域性低温事件.....	(210)
6.1	区域性低温事件客观识别方法参数确定	(210)
6.2	区域性低温事件变化特征	(212)
6.3	极端区域性低温事件	(217)
6.4	重度区域性低温事件	(240)
6.5	小结	(255)
	参考文献.....	(256)
第 7 章	中国区域性极端事件的模拟和预估.....	(257)
7.1	资料和方法	(257)
7.2	区域性气象干旱事件	(258)
7.3	区域性强降水事件	(259)
7.4	区域性高温事件	(261)
7.5	区域性低温事件	(263)
	参考文献.....	(268)

第1章 绪论

1.1 引言

近年来,全球范围极端天气气候事件(以下简称“极端事件”)频发,给社会经济带来严重影响。2003年夏季欧洲热浪、2005年登陆美国的卡特里那飓风、2008年年初中国南方冰冻雨雪灾害、2009/2010年中国西南大旱以及2010年6—8月席卷全球的多种事件并存——北半球高温热浪与南半球低温、肆虐南亚和中国的暴雨洪水及其次生滑坡泥石流灾害,引起了全球各界的极大关注。

极端事件是天气气候的状态严重偏离其平均态,在统计意义上属于不易发生的小概率事件。对于某一特定范围(单点或某一区域)和时间尺度(日、月或年等)的某种天气气候现象,当表征它的指标满足统计上的极端性标准——该指标值高于(或低于)其分布的上限(或下限)末端附近的某一阈值时,称之为极端天气气候事件(WMO,2010)。

如果从研究角度追溯科学界对极端事件关注的进程,大致可以集中在近30年的历史,其成果也主要集中在气候变化方面。20世纪80年代初,美国气象学家Karl等(1984)首先关注极端温度及日较差的研究。由于资料所限,接下来的几年主要围绕北美地区的相关问题进行研究(Karl *et al.*,1986;Plantico *et al.*,1990)。逐步加强的国际合作与交流使得科学界可以更广泛开展这一领域的观测研究(Karl *et al.*,1991;Karl *et al.*,1993)。

20世纪80年代以来,有两个事件有力地推动了极端事件的研究。一是1988年IPCC的成立及1990年IPCC第一次气候变化评估报告的发表;二是1993年WCRP科学委员会在热带海洋和全球大气计划(TOGA)成果的基础上提出了气候变率和可预报性研究(CLIVAR)计划。

随着研究的深入,各种极端事件的指数如雨后春笋般涌现。1997年6月3—6日,由CLIVAR、GCOS和WMO共同资助在美国北卡州阿什维尔市举办“气候极值的指数与指标研讨会”。为了进一步协调、规范、发展和推广这些指数,2003年成立了CCI/CLIVAR气候变化检测、监测和指数专家组——ETCCDMI;2005年,海洋学与海洋气象学联合技术委员会(JCOMM)加入支持后更名为CCI/CLIVAR/JCOMM气候变化检测和指数专家组(ETCCDI)。ETCCDI的成立不仅推动了极端事件的观测研究,而且加快了极端事件模拟与预估方面的研究步伐。

相对于极端事件的观测研究、模拟与预估,极端事件的气候预测问题受到关注的时间明显偏晚。与极端事件的中短期天气预报(Gallus *et al.*,1999;Sobash *et al.*,2011)相比,极端事件气候预测问题被关注的程度以及所达到的水平都还较低。在中国,该领域的研究始于最近

几年,如刘绿柳等(2008)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。

1.2 极端天气气候事件研究回顾

1.2.1 常用研究方法

(1) 极端事件及其重现期

根据所关注的极端事件,选择合适的要素或指数。假设该要素或指数的概率密度函数(PDF) $f(x)$ 如图 1.1 所示,则容易得到定义该极端事件的两个阈值 x_N 和 x_M 。当 $f(x) \leq x_N$ 或 $f(x) \geq x_M$ 时称之为极端事件,其概率 $F(x_N) = P(X \leq x_N) = \int_{-\infty}^{x_N} f(x)dx$ 通常很小(如 1%、5% 等)。故极端事件也可简单理解为“小概率事件”。

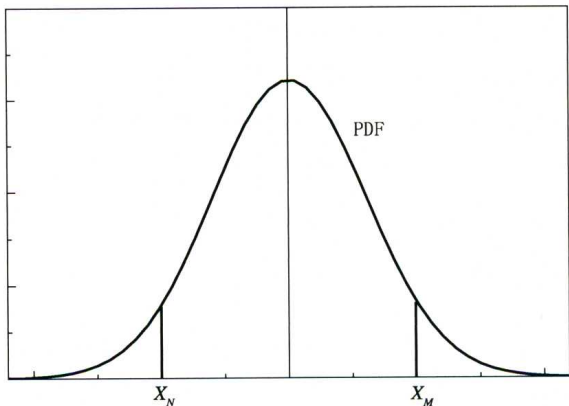


图 1.1 概率密度函数(PDF)示意图

表征极端事件的另一个重要概念是重现期。极端事件重现期(T)是小概率 $F(x_N)$ 的倒数,即 $T = \frac{1}{F(x_N)}$ 。它实质上是“小概率事件”的另一种表述方式。

(2) 经典极值分布

概率分布函数 $F(X) = P(X \leq x)$ 的选用十分关键。假设 X 为一随机变量(如某地日最高气温或日降水量),令 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ 为 X 的一组随机样本,假定按升序排列为 $x_1^* < x_2^* < x_3^* < \dots < x_m^*$ 。容易理解,最大值 x_m^* 和最小值 x_1^* 分别满足

$$x_m^* = \max(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) \tag{1.1}$$

$$x_1^* = \min(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) \tag{1.2}$$

针对抽样序列 x_m^* 和 x_1^* ,如何得到其相应的概率分布函数 $F_m(x)$ 和 $F_1(x)$ 呢?

当抽样序列 x_m^* 和 x_1^* 的样本序列长度 $n \rightarrow \infty$ 时,极值 x_m^* 和 x_1^* 通常有三种典型分布(丁裕国等,2009):

Gumbel 分布:

$$F(x) = P\left(\frac{X-\theta}{\beta} < x\right) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\theta}{\beta}\right)\right] \quad -\infty < x < \infty \tag{1.3}$$

柯西型分布:

$$F(x) = P\left(\frac{X-\theta}{\beta} < x\right) = \exp\left[-\left(\frac{x-\theta}{\beta}\right)^{-\alpha}\right] \quad 0 < x < \infty, \alpha > 0 \quad (1.4)$$

Weibull 分布:

$$F(x) = P\left(\frac{X-\theta}{\beta} < x\right) = \exp\left[-\left(-\frac{x-\theta}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad x \leq 0 \quad (1.5)$$

其中, 参数 θ 为门限值, β 为尺度参数。

(3) 两类典型抽样

针对前述抽样, 给出两类典型抽样及其广义极值分布。

第一类为年极值抽样, 亦称 BM(Block Maxima) 抽样或 AM(Annual Maxima) 抽样, 即每年抽取一个极值。此类抽样中前面三种分布型(1.3)~(1.5)可有一个通式:

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - k \frac{x-\theta}{\beta}\right]^{-\frac{1}{k}}\right\} \quad (1.6)$$

其中, k 为线型参数。

第二类为超门限峰值抽样, 亦称 POT(Peaks over Threshold) 抽样, 即将超过某一阈值的所有样本入选抽样序列。此类抽样的概率分布函数符合广义帕雷托分布(Generalized Pareto Distribution, GPD):

$$F(x) = 1 - \left[1 - k \frac{x-\theta}{\beta}\right]^{-\frac{1}{k}} \quad k \neq 0, \theta \leq x \leq \frac{\beta}{k} \quad (1.7)$$

1.2.2 极端温度和极端降水

(1) 极端温度

继前面提到有关极端温度的研究之后, Horton(1995)和 Easterling 等(1997)对全球分析后进一步指出, 日最高(低)温度的不同变化趋势使得平均温度上升, 并导致了温度日较差减小。

此后, 出现了大量针对全球不同区域极端温度变化的研究。这些研究从不同区域和多种角度对区域性极端温度的变化给出了更为精细的变化特征和区域性差异。在中国较早的研究有翟盘茂等(1997)、任福民等(1998)、Zhai 等(1999)和严中伟等(2000), 这些研究进一步证实了中国区域极端温度变化中存在的不对称变化特征; 后来的一些研究(谢庄等, 2007; 杨萍等, 2010a; 李庆祥等, 2011)进一步加深了对极端温度季节特征和阈值确定的认识。1961 年以来澳大利亚的极端暖昼和极端暖夜增多, 而极端冷昼和极端冷夜减少(Plummer *et al.*, 1999)。在北欧和中欧, 20 世纪与极端温度的不对称变化相关联, 日较差和霜冻日数均呈明显的下降趋势(Heino *et al.*, 1999)。

由于在极端事件或气候极端值上缺乏统一的定义, 加之缺乏覆盖面广足够长序列的资料, 这期间的研究主要是区域性或局限于某一国家内的。在 ETCCDI 的框架下, Frich 等(2002)率先分析了全球极端事件在最近 50 年的变化; Alexander 等(2006)则利用统一的指标和更丰富的资料进一步分析指出全球范围极端温度变化中存在的不对称变化特征。

(2) 极端降水

对极端降水的关注相对极端温度来得晚。Iwashima 等(1993)首先关注了日本极端降水

的研究,指出日本大雨日数表现出明显增多。Karl 等(1998)指出 1910 年以来,美国日极端降水事件明显增多。Suppiah 等(1998)分析了澳大利亚的极端降水事件,指出无论对于夏半年还是冬半年,大雨日数均表现为上升趋势。Tarhule 等(1998)对尼日利亚极端降水的分析表明,撒哈拉地区近期降水的变化主要是由于 8—9 月高强度雨日的减少引起的。Kunkel 等(1999a)分析了北美短期(1~7 d)极端降水事件,表明存在明显的年代际变化。Mason 等(1999)分析指出,南非约 70%范围的降水极端事件强度在 1931—1960 年和 1961—1990 年均表现出显著增强的趋势。Roy 等(2004)指出,印度 1910—2000 年极端降水事件频数总体上呈上升趋势,其中最大上升趋势出现在印度西北部至南部,而恒河平原东部则表现为下降趋势。Goswami 等(2006)对印度季风降水的分析表明,1951—2000 年日极端降水事件的频数和量级显著上升。1961—1995 年,英国日降水量的强度分布发生了明显改变(Osborn *et al.*, 2000),平均而言,冬季强度变得更强而夏季强度减弱。

Zhai 等(1999)分析表明,中国年降水量、1 和 3 d 最大降水量以及不同级别的强降水总量没有发现明显的极端化倾向,但中国降水极值变化反映出明显的区域性特点;另一些专家从不同季节和区域分布的角度分析了中国各种类型极端降水事件的变化特征(刘小宁等,1999;翟盘茂等,2007;宁亮等,2008;杨金虎等,2008;闵岫等 2008;杨金虎等,2008a;陈海山等,2009;崔方等,2009;陈波等,2010;王志福等,2009);另外,大城市极端强降水事件(王萃萃等,2009)和不同强度降水事件(王小玲等,2008)的变化问题也受到了关注。

针对全球的研究,Frich 等(2002)指出 1946—1999 年全球极端降水显著的增多趋势主要表现在湿期的总量和暴雨日数上。Alexander 等(2006)分析指出,全球降水普遍表现为显著增多的趋势,在整个 20 世纪总体表现为变湿的趋势,但这些变化在空间上的一致性较温度要弱。

1.2.3 干旱

干旱是一种常见而复杂的现象,它可分为气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱(American Meteorological Society, 1997)。干旱的观测研究成果丰硕,但主要集中在近十余年,特别是气象干旱方面。从干旱指数应用的角度,可对这些研究大致分为如下几类:

在帕默尔干旱指数(PDSI)应用研究方面,Dai 等(1998)分析了 1900—1995 年全球干旱变化,发现在许多陆地重旱和过湿事件存在明显的多年至年代变化。20 世纪美国干旱表现出很强的变率,其中 30 和 50 年代的干旱事件几乎决定了所有长期趋势(Karl *et al.*, 1996;Kunkel *et al.*, 1999b)。匈牙利的干旱呈现增多趋势,而湿期减少(Szinell *et al.*, 1998);Zou 等(2005)研究显示,尽管对中国而言干旱面积不存在明显的升降趋势,但华北地区干旱面积显著增大;李新周等(2006)分析表明,中国北方干旱化具有显著的年际、年代际特征;Brázdil 等(2009)分析指出,1881—2006 年捷克干旱事件的持续时间趋于更长且严重程度趋于加重。

利用标准降水指数(SPI),Bonaccorso 等(2003)指出,西西里岛 1926—1996 年表现出干旱化的趋势;Wang 等(2003)分析了中国北方不同级别干旱的变化,指出 1950—2000 年中国北方主要农业区不同级别干旱均表现出范围扩大的趋势;Sergio(2006)指出伊比利亚半岛干旱的空间分布存在很强的复杂性,而且干旱分类中也存在较大的不确定性;Khan 等(2008)分析指出,澳大利亚墨累达令盆地历史上曾出现过比 2000—2006 年持续干旱更严重的情况;Kasei 等(2010)研究了西非沃尔特河流域 1961—2005 年干旱的强度、面积以及频率的演变

特征。

采用降水量或降水距平百分率,廉毅等(2005)分析指出,1961—2000 年中国东部气候过渡带主要表现为气候干旱化特征;黄荣辉等(2006)指出,从 1976 年迄今华北地区发生持续干旱。

表 1.1 27 个 CCI/CLIVAR/JCOMM 气候变化检测和指数专家组(ETCCDI)推荐指数

序号	简称	名 称 全 称	定 义
1	FD	霜冻日数 Number of frost days	日最低气温 $TN<0^{\circ}\text{C}$ 的日数
2	SU	夏季日数 Number of summer days	日最高气温 $TX>25^{\circ}\text{C}$ 的日数
3	ID	冰封日数 Number of icing days	日最高气温 $TX<0^{\circ}\text{C}$ 的日数
4	TR	热夜日数 Number of tropical nights	日最低气温 $TN>20^{\circ}\text{C}$ 的日数
5	GSL	生长期 Growing season length	一年中从至少连续 6 d 日平均温度 $TG>5^{\circ}\text{C}$ 起算至第一个连续 6 d(7 月以后,南半球为 1 月以后)日平均温度 $TG<5^{\circ}\text{C}$ 的日数
6	TX_x	月最高温度极大值 Monthly maximum value of daily maximum temperature	每月中日最高气温的最大值
7	TN_x	月最低温度极大值 Monthly maximum value of daily minimum temperature	每月中日最低气温的最大值
8	TX_n	月最高温度极小值 Monthly minimum value of daily maximum temperature	每月中日最高气温的最小值
9	TN_n	月最低温度极小值 Monthly minimum value of daily minimum temperature	每月中日最低气温的最小值
10	$TN10_p$	冷夜日数 Percentage of days when $TN<10^{\text{th}}$ percentile	日最低气温小于 10%分位值的日数
11	$TX10_p$	冷昼日数 Percentage of days when $TX<10^{\text{th}}$ percentile	日最高气温小于 10%分位值的日数
12	$TN90_p$	暖夜日数 Percentage of days when $TN>90^{\text{th}}$ percentile	日最低气温大于 90%分位值的日数
13	$TX90_p$	暖昼日数 Percentage of days when $TX>90^{\text{th}}$ percentile	日最高气温大于 90%分位值的日数
14	WSDI	异常暖昼持续指数 Warm spell duration index	每年至少连续 6 d 日最高气温大于 90%分位值的累计日数
15	CSDI	异常冷昼持续指数 Cold spell duration index	每年至少连续 6 d 日最高气温大于 10%分位值的累计日数

续表

序号	简称	名称 全 称	定 义
16	<i>DTR</i>	日较差 Daily temperature range	日最高气温与日最低气温之差的月平均值
17	<i>R_x1day</i>	1 d 最大降水量 Monthly maximum 1-day precipitation	每月最大日降水量
18	<i>R_x5day</i>	5 d 最大降水量 Monthly maximum consecutive 5-day precipitation	每月连续 5 d 最大降水量
19	<i>SDII</i>	降水强度 Simple pricipitation intensity index	湿日(日降水量 ≥ 1.0 mm)降水总量与湿日日数之比
20	<i>R₁₀ mm</i>	中雨日数 Annual count of days when PRCP ≥ 10 mm	日降水量大于等于 10 mm 的日数
21	<i>R₂₀ mm</i>	大雨日数 Annual count of days when PRCP ≥ 20 mm	日降水量大于等于 10 mm 的日数
22	<i>R_{nnmm}</i>	日降水大于某一特定强度的日数 Annual count of days when PRCP $\geq$ nn mm	日降水量大于等于 nn mm 的日数
23	<i>CDD</i>	持续干期 Maximum length of dry spell	日降水量小于 1 mm 的最大持续日数
24	<i>CWD</i>	持续湿期 Maximum length of wet spell	日降水量大于等于 1 mm 的最大持续日数
25	<i>R_{95p}TOT</i>	强降水总量 Annual total PRCP when RR >95 p	日降水量大于 95%分位值的年累积降水量
26	<i>R_{99p}TOT</i>	特强降水总量 Annual total PRCP when RR >99 p	日降水量大于 99%分位值的年累积降水量
27	<i>PRCPTOT</i>	湿日降水总量 Annual total precipitation in wet days	日降水量大于 1 mm 的年累积降水量

表 1.2 常用气象干旱指数表

序号	缩写	名称 全 称	定 义
1	<i>Pa</i>	降水量距平百分率 Precipitation anomaly percentage	降水量距平百分率是表征某时段降水量较常年值偏多或偏少的指标
2	<i>Rsr</i>	土壤相对湿度 Relative soil moisture	土壤绝对湿度值占田间持水量的百分率
3	<i>AI</i>	干燥度指数 Aridity index	干燥度指数是表征一个地区干湿程度的指数,亦称湿润指数

续表

序号	缩写	名 称 全 称	定 义
4	PDSI	帕尔默干旱指数 The Palmer Drought Severity Index	帕默尔干旱指数是表征在一段时间内,某地区实际水分供应持续地少于气候适宜水分供应的水分亏缺指数
5	SPI	标准化降水指数 Standardized Precipitation Index	标准化降水指数是表征某时段内降水量出现概率大小的指数
6	CI	综合气象干旱指数 Composite index	利用近期月、季等多尺度的标准化降水指数,以及改进的湿润指数进行综合而成的综合性指数

在干湿指标应用研究方面,马柱国等(2005)分析表明中国北方近 100 年干湿指标的变化趋势与降水的变化趋势并不完全一致,在有些地区甚至出现相反的趋势。马柱国等(2007)对全球的分析表明,20 世纪下半叶全球干湿变化趋势具有明显的区域差异,非洲大陆、欧亚大陆、澳洲大陆和南美大陆近 52 年主要以干旱化趋势为主,尤以非洲大陆和欧亚大陆最为剧烈。Qian 等(2003)分析显示,中国东部干湿变化在 20 世纪的最后 20 年主要表现为北方干旱而南方湿润的状态。

在其他指标的应用研究方面,Shiau 等(2001)指出描述干旱特征的更好方法是探索干旱事件的持续时间和严重程度的联合指标;基于同时考虑强度和空间分布,Tran 等(2002)提出了空间干燥度指数,并分析了保加利亚的干旱变化,发现干旱可以发生在任何季节并影响到该国的任何地区。邹旭恺等(2008)分析指出,近 50 年干旱化存在较大的区域性差异,其中东北和华北地区干旱化趋势尤为显著;Woodhouse 等(1998)对美国过去 2000 年的分析发现,美国中部 20 世纪 30 年代的大干旱 1—2 个世纪才会发生一次。

1.2.4 极端事件的指数

在极端温度和极端降水的指数研究方面,Folland 等(1999)针对 1997 年在美国举行的“气候极值的指数与指标研讨会”中涉及的温度指标做了总结,给出了一系列重要指数。随后(1994 年),年总降水量和年总降雪量的变化问题开始被重视,进而 1 日或多日强降水以及不同级别的强降水事件也逐步受到关注。

为了表征极端气候事件的综合表现,Karl 等(1996)针对美国问题提出了气候极端指数(Climate Extremes Index,CEI),即定义了一个由传统的气候极端指标组合而成的新指数。由于在全球大多数地区气象资料样本长度短,限制了很多统计量对于极端性的代表性,于是科学家们于 1999 年引入新的定义,即利用超过(或低于)排序序列的某一百分位的多个数值来表征极端性;百分位极值概念的提出,有效解决了因资料不足所带来的极端性的代表问题,同时也给出了极端性判别的季节性指标。

21 世纪初,ETCCDI 总结了极端天气气候指数研究结果,选择了 27 个核心指数作为推荐指标(表 1.1)。这些指数集中在气温极值(序号 1—16)和降水极值(序号 17—27)这两类要素上。ETCCDI 还建立了一个专门的网站 <http://cccma.seos.uvic.ca/etccdi/index.shtml>,这有力地促进了这些指数在很短的时间内在研究和业务应用领域在全球得到广泛使用。翟盘茂等(2012)对这些指数进行了分类介绍,主要划分为极值统计量、绝对阈值、相对阈值及其他等

几类指数。

就干旱指数的研究,可以追溯到较极端温度和极端降水更早的年代。在气象干旱方面,最简单的干旱指数就是不同时间尺度的降水量距平百分率;另一个指标是土壤相对湿度;Penman(1948)提出了干燥度指数;Palmer(1965)提出帕尔默干旱指数(PDSI);McKee 等(1993)发展了单一依赖降水量的标准化降水指数(SPI);在业务应用中中国国家气候中心提出了综合气象干旱指数 CI(张强等,2006)。表 1.2 给出了上述六种常用的气象干旱指数。如果从指数算法中是否仅包含降水一个要素的角度看,这些气象干旱指数可以划分为两类:多因素指数和单因素指数。多因素气象干旱指数包括帕默尔指数、干燥度指数和气象综合干旱指数等。单因素气象干旱指数包括降水距平百分率指数和标准化降水指数等。

干旱指数在研究和业务应用需求的推动下不断得到发展,尤其在单因素指数方面。Byun 等(1999)提出了有效降水的概念,认为可以利用日降水量随时间衰减的累积函数来表征前期降水对于当前旱涝的影响。Lu(2009)提出用逐日加权平均降水量(WAP)来表征当前的旱涝状况,WAP 实际上就是一种有效降水指数,它能在逐日尺度上反映一个地区的干湿状况;但由于它保留了降水量的概念,其自身存在区域性和季节性差异的先天不足,即不同气候区域和不同季节之间无法使用统一的标准来比较旱涝程度,这使得它的应用受到极大制约。基于 WAP 指数,赵海燕等(2011)发展了一个更适合在中国西南地区实时干旱监测业务的指数;赵一磊等(2012)则发展了一种改进的 WAP 指数,该指数去除了区域性和季节性差异,并表现出了良好的性能。基于标准化降水指数(SPI),Vicente-Serrano 等(2009)发展了标准化降水蒸散指数(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI),该指数通过引入潜在蒸散发项,包含多种时间尺度特征并能够反映温度异常对干旱的贡献,即从单因素指数发展为多因素指数。

1.3 区域性极端事件研究进展

进一步分析表 1.1 和表 1.2 的指数和指标,不难发现,这些指数和指标都只是针对单一台站(单点)的极值问题。众所周知,极端天气气候事件,如 2003 年夏季欧洲热浪和 2009/2010 年中国西南大旱通常都是区域性现象,即具有一定影响范围和持续时间的区域性极端事件。

在过去约十年内,区域性极端事件的研究这一领域正受到越来越多的关注。概括来说,这些研究大致可划分为三个阶段:极端性的时空规律分析、时间序列过程性事件的识别和区域性极端事件的识别。

1.3.1 极端性的时空规律分析

在这一阶段,研究主要是针对台站(单点)极值的时空规律分析来进行。重点是分析极值的时空相关特征,方法上主要借助于相关分析和经验正交函数 EOF 等分析工具。

Oladipo(1986)利用 1975—1978 年生长季(4—9 月) 400 多个站逐月降水资料和相关性分析技术研究了北美内陆平原干旱的空间分布型并得到四种差异明显的干旱型。Dai 等(1998)采用区域平均的帕尔默干旱指数(PDSI)分析了 1900—1995 年全球多个地区的干旱与多雨期的变化,得到一些关于年际和年代际变化的明确结论;之后,Dai 等(2004)利用延长的,

更丰富的资料做了更深入的研究,进一步印证了前面的发现。

黄丹青等(2009)利用阈值统计方法分析单站高温和低温事件的累积频率,给出了中国东部地区极端高温和极端低温事件的区域性特征。闵岫等(2008)利用中国 542 个台站 1960—2003 年逐日降水资料,分析了中国极端降水事件的区域性和持续性特征。封国林等(2009)分析了 1957—2004 年中国 194 个台站日最高气温资料中出现极值的自相关特征,指出高温极值在时间演变上存在明显的长期持续性特征(自相关或长程相关性)。龚志强等(2009)采用 NCEP/NCAR 1948—2005 年再分析日平均温度资料研究了温度极端事件的区域性特征。杨萍等(2010)采用空间点过程理论分析了极端事件的区域群发性问题。

1.3.2 时间序列过程性事件的识别

这类研究已经注意到极端事件是过程性的,具有起止时间和持续时间。研究工作主要是针对单点或区域平均时间序列中的过程(或事件)识别来进行,内容涉及不同时间尺度(月、年或日等)的时间序列,并给出了时间序列中不同过程(或事件)的判别标准。

Biondi 等(2002)开发了一个数学模型用于模拟时间序列的过程(事件),Biondi 等(2005)对该模型进行了改进,随后又进一步更新模型(Biondi *et al.*, 2008)用于研究时间序列中的事件,将量值高于或低于某一参考值(阈值)的完整而连续的过程定义为事件。如图 1.2 所示,这样的事件可以由持续时间、累积强度(幅度)和峰值三个变量来进行定量描述。

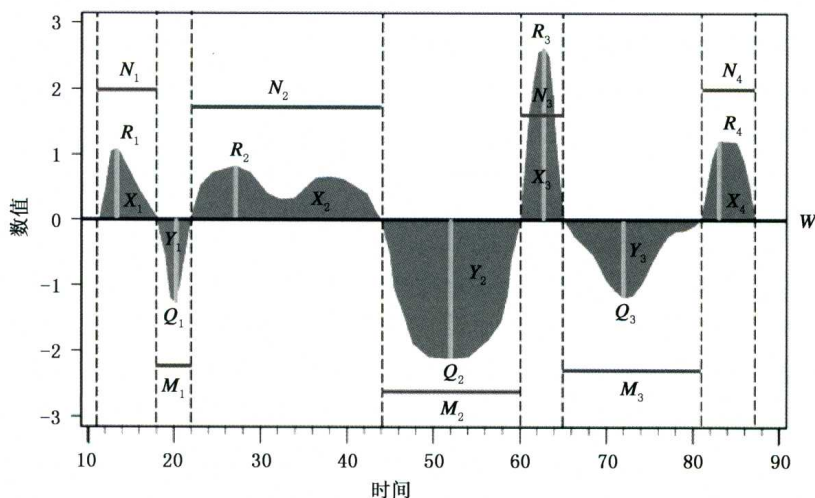


图 1.2 时间序列过程(事件)演变图(Biondi *et al.*, 2008)

(图中显示了七个事件的持续时间(N_i 和 M_i ,虚线间距红色线段)、大小幅度 X_i 和 Y_i ,蓝色阴影区)和峰值(R_i 和 Q_i ,黄色垂线)以及不随时间变化的参考值 w (水平实线))

厄尔尼诺和拉尼娜事件的判别就是时间序列过程性事件判别的典型事例。许多研究(王绍武, 1985; 臧恒范等, 1991; 王世平, 1991; Wolter *et al.*, 1993; Trenberth, 1997; 李晓燕等, 2007; Trenberth *et al.*, 2001; Hanley *et al.*, 2003; Cane, 2005; Ashok *et al.*, 2007; Kao *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2011)都关注了厄尔尼诺和拉尼娜事件的判别。譬如,根据逐月 NINO 3 指数逐月时间序列及厄尔尼诺事件的判别标准($\text{NINO } 3 \geq 0.5^\circ\text{C}$ 至少持续 6 个月),则容易得到有资料以来的所有厄尔尼诺事件,每次厄尔尼诺事件均包含持续时间、累积强度和峰值强度等特

征量。

1.3.3 区域性极端事件的识别

这类研究已经意识到极端事件同时具有区域性和过程性特征,即是具有一定影响范围和持续时间的区域性事件。研究工作针对不同区域性事件的区域性和过程性提出了不同的判别方法和标准。

Dracup 等(1980)研究了干旱事件的定义,指出干旱事件应该包含持续时间、幅度(平均水分亏缺)和严重程度(累积水分亏缺)等特征量。Tang 等(2006)基于逐日资料对 1951—2004 年夏季(4—8 月)中国的持续性暴雨事件做了分析,并提出了从强度、范围和持续时间三个角度定义持续性强降水事件的标准。Andreadis 等(2005)基于月尺度土壤湿度资料研究了 20 世纪美国的区域性干旱事件,并提出了同时从空间和时间两个角度定义区域性干旱事件的标准;Sheffield 等(2009)沿用 Andreadis 等(2005)的方法,研究了 1950—2000 年全球各大洲的区域性干旱事件。Chen 等(2013)基于台站逐日降水资料,兼顾持续性和日降水的极端性,分析了 1951—2010 中国持续性极端降水事件。

北京大学研究小组在区域性极端事件研究方面做了较全面的工作。Qian 等(2011)研究了 1960—2009 年中国区域性干旱事件,Ding 等(2011)分析了 1960—2008 年中国区域性高温事件的时空变化特征,Zhang 等(2011)识别了近几十年中国区域性低温事件。这些研究工作在区域性极端事件的判别方法及指标上具有如下相同的技术步骤:(1)根据时间序列过程识别方法得到所有单站的过程性事件;(2)给出邻站定义;(3)定义区域性事件:若在同一时间段内有相邻 5 站同时发生同一类型的过程性事件,则定义为一次区域性事件;(4)区域性事件的综合强度指数(CSI): $CSI = F_1 + F_2 + F_3$,其中 F_1 、 F_2 和 F_3 分别是事件持续时间、影响范围和极值强度的标准化指数。

针对区域性极端事件,国家气候中心研究小组开展了一系列研究。任福民等(2010)和 Ren 等(2012)提出了一种区域性极端事件客观识别法(OITREE)。该方法提出“糖葫芦串”模型,并借助该模型的思路,将逐日异常带合理地“串”成一串从而构成一个完整的区域性事件(见第 2 章图 2.1);OITREE 包括五个技术步骤:单点(站)逐日指数选定、逐日自然异常带分离、事件的时间连续性识别、区域性事件指标体系和区域性事件的极端性判别。OITREE 是一种可应用于识别多种区域性极端事件的通用方法,可以根据所关心的问题通过选择合适的单站指数以及设定不同的参数来实现对不同区域性极端事件的识别。目前该方法已经在中国区域性气象干旱事件、强降水事件、高温事件和低温事件等方面得到应用(Ren *et al.*, 2012;龚志强等,2012;王晓娟等,2012;胡浩林等,2013;Wang *et al.*, 2014;Li *et al.*, 2014;任福民等,2014;李韵婕等,2014;曹经福等,2014;安莉娟等,2014)。

参考文献

安莉娟,任福民,李韵婕等. 2014. 近 50 年华北区域性气象干旱事件的特征分析. 气象, **40**(9):1097-1105.
 白莹莹,高阳华,张焱等. 2010. 气候变化对重庆高温和旱涝灾害的影响. 气象, **36**(9):47-54.
 曹经福,任福民,江志红等. 2014. 基于 CanESM2 对中国区域性强降水事件的模拟和预估. 气候变化研究进展, 待发表.
 陈海山,范苏丹,张新华. 2009. 中国近 50 a 极端降水事件变化特征的季节性差异. 大气科学学报, **32**(6):744-