第 38 卷第 5 期　　西南大学学报(自然科学版)　　2016 年 5 月
Vol. 38　No. 5　　Journal of Southwest University (Natural Science Edition)　　May.　2016

DOI：10.13718/j.cnki.xdzk.2016.05.027

近 41 年西南地区极端温度变化趋势①

罗　玉[1]，　范广洲[1,2]，　周定文[1]，　华　维[1]，　张永莉[1]

1. 成都信息工程学院 大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室，成都 610225；
2. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心，江苏 南京 210044

摘要： 利用西南地区 90 个气象台站 1970－2010 年逐日最高和最低温度资料，采用世界气象组织(WMO)定义的极端温度指数分析了西南地区近 41a 极端温度事件的时空变化、突变及周期特征. 结果表明：近 41 年来在西南地区暖日数与冷日数具有较好的局部对称特征，暖夜数与冷夜数具有较高的对称性. 暖指数近 41 年均表现为增多的趋势；冷指数主要为减少的趋势. 暖日数与冷夜数分别在 2004 年与 1994 年前后发生了 1 次明显突变，冷日数突变出现在 1997 年，仅暖夜数未发生突变. 暖指数与冷指数的周期振荡并不完全一致，但均存在 1 个 4 年的周期振荡.

关　键　词： 西南地区；极端温度；变化趋势

中图分类号： P468.0^{+}21　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1673－9868(2016)05－0161－07

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第 5 次报告指出[1]，全球平均温度在 1901－2012 年间增加了 0.89 ℃，尤其近 62a 全球气温以 0.12 ℃/10a 的速率快速上升. 在全球变暖的背景下，极端气候事件(如干旱、洪水、低温、高温)频发，尤其以极端温度事件为代表的极端气候事件显著增加，引起了国外学者的广泛关注[1－5]. 我国学者也对中国极端温度事件进行了深入讨论. 杨萍等[6]指出近 40 年我国冷日指数和暖日指数在局部地区变化趋势相反，即具有局部对称性；冷夜指数和暖夜指数在我国绝大部分地区呈现出变化强度相仿、变化趋势相反的较好的对称性特征. 翟盘茂等[7]发现自 1951－1999 年近 50 年中国北方除华南南部以外，夜间温度极端偏低的日数呈显著偏少，白天温度偏高的日数呈增多趋势. 杨淑群等[8]指出 2006 年是四川地区自 1951 年以来发生极端高温伏旱事件最严重的一年. 郭渠等[9]认为 1960－2007 年重庆夏季极端最高气温主要分为渝西、渝东南、渝东北以及渝中 4 个异常模态. 龚志强等[10]认为 1948－2005 年近 58 年中国 7 个温度变化特征区极端高温每年的出现天数呈增长趋；极端低温天数则呈减少趋势. 张天宇等[11]指出 1961－2006 年近 46 年重庆年极端高温强度和年极端最高气温均在不断增强. 胡豪然等[12]指出近 50 年川渝地区极端高温事件的高发区位于 103°E 以东部，发生频次最低的为川西南山地区. 可见，对于我国极端温度的研究已有不少成果，但有关西南区域极端温度事件的研究相对较少，基于此，本文利用 1970－2010 年逐日最高和最低温度资料对西南地区极端温度事件的时空变化特征进行研究.

1　资料及方法

本文所用资料为国家气象信息中心提供的 1970－2010 年西南地区(川、渝、黔、滇)90 个气象台站的逐日最高和最低温度资料，对站点中的缺测数据进行气候平均插值处理. 气候平均采用 1981－2010 年平均值. 西南地区范围为 21°－35°N，97°－110°E，站点分布如图 1 所示.

---

① 收稿日期：2014－09－01
基金项目：国家自然科学基金项目“青藏高原夏季风与东亚夏季风的相互关系研究”(41275079)；国家青年科学基金项目：青藏高原绕流系统对我国天气气候的影响(41305077)；国家自然科学基金项目(41405069).
作者简介：罗　玉(1989－)，女，四川成都人，硕士研究生，主要从事气候变化与数值模拟研究.

本文采用世界气象组织(WMO)世界气候研究计划(WCRP)的气候变率和预测研究项目(CLVAR)中气候变化检测、监测和指数专家组(ETCCDMI)推荐使用的极端天气气候事件监测指标中的4个温度指数[2]. 具体指标定义见表1.

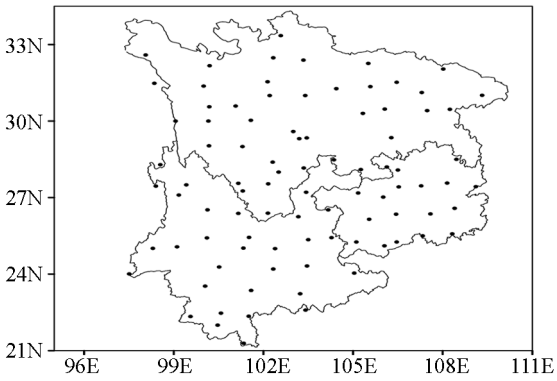


图1 西南地区90个气象台站站点分布

将1970－2010年逐日最高温度(日最低温度)序列的第90(10)个百分位值的41年的平均值定义为该站极端暖(冷)事件的阈值[7]. 将西南地区的90个台站逐日最高温度(日最低温度)资料减去41年的平均值作为每站的逐日最高温度(日最低温度)距平序列，将每站逐日最高温度(日最低温度)距平序列按升序排列为 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_i, \cdots, x_n$，当某个值小于或等于 x_i 的概率：$p=(i-0.31)/(n+0.38)$，其中 i 为 x_i 的序列号，n 为降水序列的总长度，则 $p=90\%$($p=10\%$)所对应的 x_i 的值即为第90(10)个百分位值[4]. 当日最高温度距平值高于(低于)第90(10)个百分位所对应的阈值作为暖日(冷日)事件[13]；当日最低温度距平值高于(低于)第90(10)个百分位所对应的阈值作为暖夜(冷夜)事件[13].

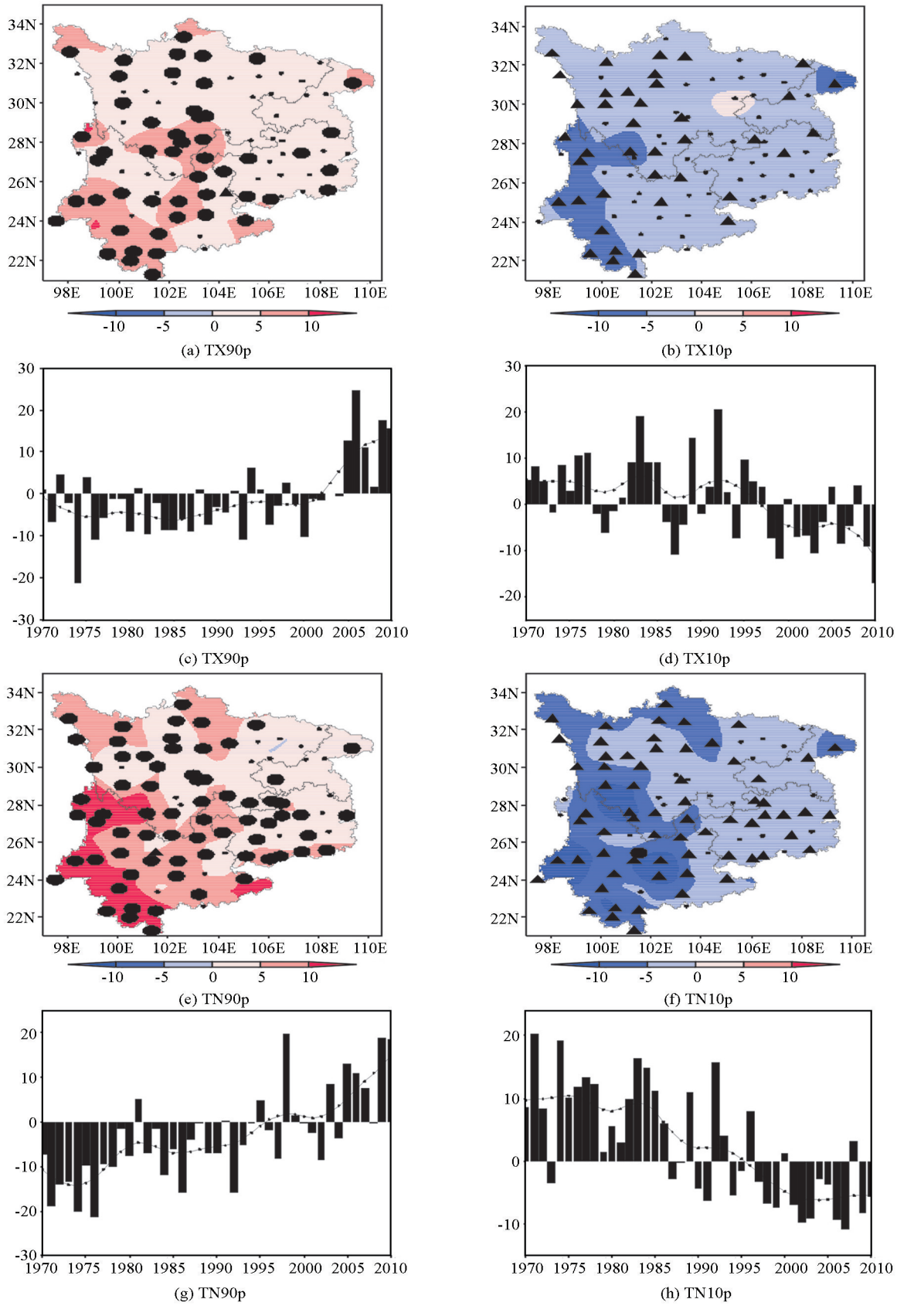
采用F检验方法[14]检验极端温度事件的变化趋势是否稳定，利用低通滤波方法[14]滤掉年际变化来研究西南地区极端温度指数的长期变化趋势，通过Mann-Kendall检验方法[14]对西南地区近41年的极端温度指数进行突变检验，采用Morlet小波分析方法[14]分析极端温度指数的振荡周期.

表1 ETCCDMI定义的极端温度指数

名 称	定 义	单 位
TX90p (暖日数)	日最高气温大于90%分位值的日数	d
TX10p (冷日数)	日最高气温小于10%分位值的日数	d
TN90p (暖夜数)	日最低气温大于90%分位值的日数	d
TN10p (冷夜数)	日最低气温小于10%分位值的日数	d

2 西南地区极端温度的时空变化特征

倾向率空间分布与距平时间序列，对于TX90p(图2a)而言，近41年来西南地区TX90p在绝大部分地区均为增加趋势，其中川西高原西北部，四川盆地北部以及南部大部分地区，重庆东北部，云南大部分地区增加显著，气候倾向率最大达14.7 mm/10a，通过0.05的显著性检验，通过显著性检验站点数占总台站数的55.6%(表2)；TX90p在西南地区的减少趋势并不明显，减幅远不及其他地方的增幅，气候倾向率最大为－6.2 mm/10a，仅有在云南东部的1个台站通过了0.05的显著性检验，占总台站数的1.1%. TX10p(图2b)在西南绝大部分地区呈减少趋势，在川西高原南部，重庆北部，云南西北部、西部以及西南部的台站减少趋势显著，占总台站数的44.4%，气候倾向率最大达－16.7 mm/10a；TX10p仅在四川盆地东部增加趋势显著，气候倾向率最大达1.7 mm/10a. TN90p(图2e)在西南地区大部分地区呈增加趋势，在川西高原南部少部分地区，云南西北部、西部以及南部、东部增加趋势最为显著，其次为川西高原北部、南部，以及四川盆地北部以及南部，贵州大部分地区，贵州南部，最大气候倾向率达24.8 mm/10a，通过0.05的显著性检验，通过显著性检验站点数占总台站数76.7%；TN90p在四川盆地的东部少部分地区呈减少趋势，但并不显著，仅在云南中部的1个台站减少趋势通过了0.05的显著性检验，占总台站数的1.1%. TN10p(图2f)在西南绝大部分地区呈减少趋势，在川西高原北部、西部以及南部，四川盆地北部，重庆北部以及云南大部分地区减少趋势最为显著，最大气候倾向率达－22.5 mm/10a，通过0.05的显著性检验，占总台站数的73.3%；TN10p在西南地区的增加趋势并不显著，最大气候倾向率达3.1 mm/10a，仅在云南中部的1个台站增加趋势通过了0.05的显著性检验，占总台站数的1.1%.



大实心圆，实心三角形分别表示气候倾向率正趋势，负趋势通过 0.05 显著性检验的站点及对应的(c)、(d)、(g)、(h)距平时间序列(虚线为指数距平 11 年的低通滤波的结果.

图 2　1970－2010 年西南地区暖日数(TX90p)

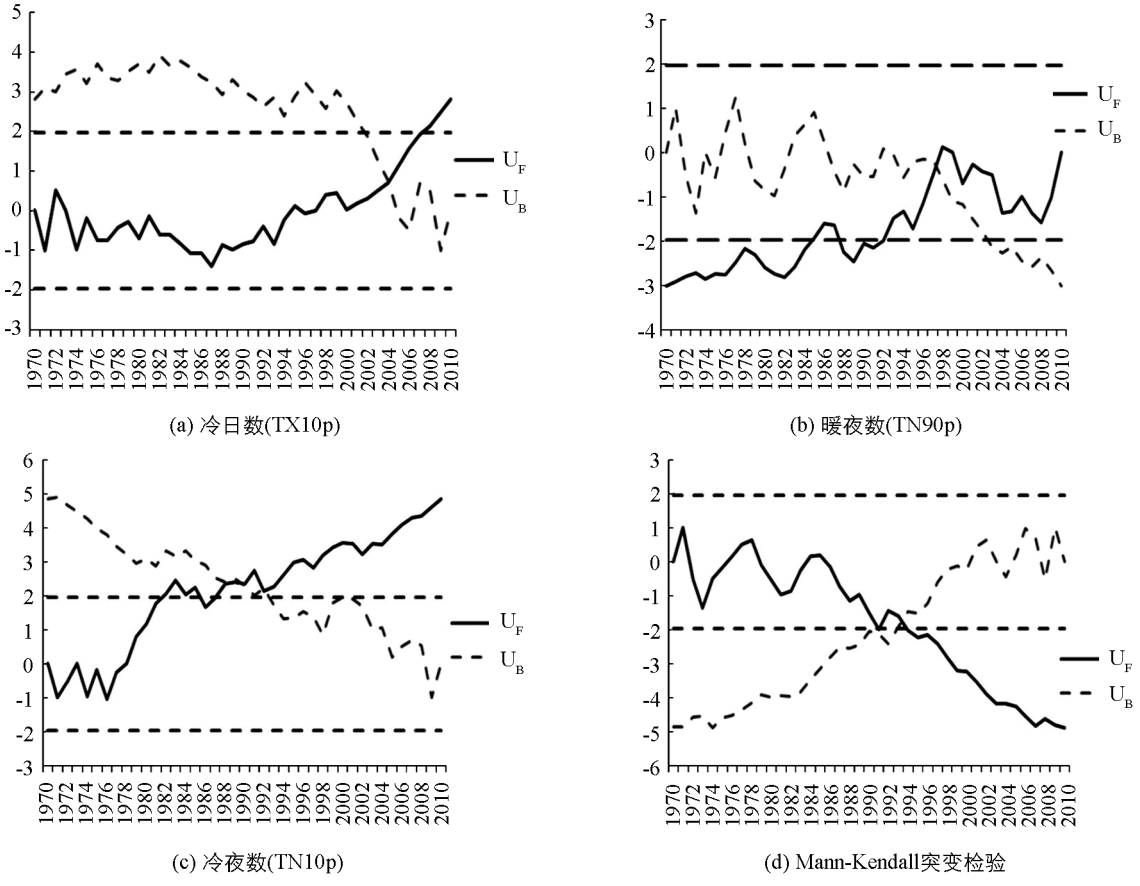
由图2中暖日数(TX90p)(图2c)、冷日数(TX10p)(图2d)、暖夜数(TN90p)(图2g)、冷夜数(TN10p)(图2h)的距平时间序列可见，暖日数(TX90p)、冷日数(TX10p)、暖夜数(TN90p)以及冷夜数(TN10p)的距平时间序列，气候倾向率分别为－7.51，6.73，－12.21，10.72 mm/10a，其中TN90p、TN10p通过0.05的显著性检验，TX90p、TX10p通过0.1的显著性检验. TX90p在年代际变化上增加趋势显著，自1970年到2004年以负距平为主，从2005年到2010年连续6a为正距平，为41年来暖日数最多的时期. TX10p41年来呈显著的下降趋势. 在年代际变化上，冷日数阶段性波动明显，自1970年到1988年正负距平大体相当，从1998年到2010年以负距平为主. TN90p41年来呈显著的增加趋势，自1970年到1994年以负距平为主，自1995到2010年以正距平为主. TN10p41年来呈显著的减少趋势，自1970年到1993年冷夜数以正距平为主，自1994年到2010年以负距平为主.

表2 1970－2010年西南地区的相对极端温度指数各站气候倾向率正、负趋势通过0.05显著性检验占总站数的百分率

指数	正趋势/%	负趋势/%
TX90p	55.6	1.1
TX10p	0	44.4
TN90p	76.7	1.1
TN10p	1.1	73.3

3 西南地区极端温度的突变分析

采用Mann-Kendall方法对西南地区极端温度暖日数(TX90p)、冷日数(TX10p)、暖夜数(TN90p)、冷夜数(TN10p)做突变检验，图3中U_F为按顺序时间序列计算出的统计量序列，U_B为按逆序时间序列计算出的统计量序列. 若U_F或者U_B的值大于0，则表明序列呈上升趋势，小于0则表明呈下降趋势. 当它们超过临界直线时，表明上升或下降趋势显著. 超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域. 如果U_F和U_B两条曲线出现交点，且交点在临界线之间，那么交点对应的时刻便是突变开始的时间.



(a) 冷日数(TX10p)　(b) 暖夜数(TN90p)

(c) 冷夜数(TN10p)　(d) Mann-Kendall突变检验

图3 1970－2010年西南地区暖日数(TX90p)(a)、冷日数(TX10p)(b)、暖夜数(TN90p)(c)、冷夜数(TN10p)(d)Mann-Kendall突变检验

由图 3(a)可知，U_F 与 U_B 在 2004 年存在 1 个交点，并且交点落在 $U_{0.05}=1.96$ 内，说明 TX90p 在 2004 年前后发生了 1 次突变，在 2005－2010 年一直有增多的趋势，U_F 线超过 1.96 线，因此增多的趋势通过 $\partial=0.05$ 的显著性水平检验，说明 TX90p 在 2004 年发生了 1 次明显的突变，既在 2004 年后 TX90p 明显增加. 由图 3(b)，U_F 与 U_B 在 1997 年存在 1 个交点并且交点落在 $U_{0.05}=1.96$ 内，说明 TX10p 在 1997 年前后发生了 1 次突变，在 1998－2010 年 TX10p 冷日数呈下降趋势，但 U_F 线并未超过－1.96 线，说明在 1997 年前后突变并不明显. 由图 3(c)可知，U_F 与 U_B 的交点落在 $U_{0.05}=1.96$ 外，说明 TN90p 在 41 年来并未发生突变. 图 3(d)，U_F 与 U_B 在 1994 年存在 1 个交点并且交点落在 $U_{0.05}=1.96$ 内，说明 TN10p 在 1994 年前后发生了 1 次突变，在 1995－2010 年 TN10p 呈下降趋势，并且 U_F 线超过－1.96 线，说明在 1994 年前后 TN10p 发生了 1 次明显的突变.

4　西南地区极端温度的周期分析

由图 4(a)小波变换实部图可以看出 TX90p 存在 2 个明显的特征时间尺度，分别是 4，12～14a. 在 4a 的时间尺度上，在 1995－2010 年暖日数周期性特征比较明显. 对于 12～14a 周期而言，在 70 年代表现为 12a 左右的特征时间尺度，在 80 年代到 2010 转换为 14a 的时间尺度. 由图 4(b)小波方差可以准确地诊断出周期振动的相对强度，对应的峰值的尺度作为该序列的主要时间尺度，TX90p 存在两个明显的峰值，分别为 4a 和 14a，以 14a 的周期最为突出，在 3a 的周期上也存在较小的峰，说明 TX90p 存在着 3，4，14a 的主要周期. 由图 4(c)可知，TX10p 存在着 4，6～8，10～12a 的周期变化，在 4a 的时间尺度上，在 90 年代中期周期性较强，在 90 年代后期到 2010 年周期性较弱. 对于 6～8a 的时间尺度上，自 70 年代到 90 年代初期周期性较强. 在 10～12a 的时间尺度上，自 90 年代到 2010 年表现为 10～12a 的周期. 由图 4(d)小波方差可以看出，TX10p 存在 3 个明显的峰值，分别为 4，7a 以及 11a，以 7a 周期最突出，由此说明 TX10p 存在 4，7a 以及 11a 的主要周期. 由图 4(e)可知，TN90p 存在着 4a 和 14a 的周期变化，在 4a 的时间尺度上，TN90p 的周期性振荡特征在 90 年代中期到 2010 年表现明显；对于 14a 的时间尺度，自 70 年代中期到 80 年代初期表现为较弱的周期性振荡，自 80 年代中期到 2010 年表现为较强的周期性振荡. 由图 4(f)小波方差图可以看出 TN90p 存在 2 个明显的峰值，分别对应 4a 和 15a，也有着以 3a 为周期的较小的峰，说明 TN90p 存在着 3，4a 以及 14a 的主要周期. 图 4(g)TN10p 存在着 1，4，6～8a 以及 10a 的周期性振荡. 在 1a 的时间尺度上，在 1970 年至 80 年代中期表现较为强烈；在 4a 的时间尺度上，自 90 年代初期到 20 世纪初期表现较强，之后至 2010 年表现较弱；对于 6～8a 的时间尺度，在 70 年代到 80 年代中期表现较强；在 10a 的时间尺度上，在 80 年代中期至 90 年代中期表现较为强烈，自 90 年代中期到 20 世纪中期表现较弱. 由图 4(h)小波方差图可以看出，冷夜数存在着明显的 2 个峰值，分别为 1a 和 2～4a，也存在对应着 6～8a 以及 10a 较小的峰值，说明 TN10p 存在以 1，4a 以及 7，10a 的主要周期.

5　结　论

1）近 41 年来西南地区极端温度事件空间分布特征为：暖日数与冷日数均在云南西南部及重庆北部变化趋势显著相反，具有局部对称性的特征，暖夜数与冷夜数在西南绝大部分地区变化趋势相反，变化强度相仿，具有高度对称的特征.

2）在时间变化上，近 41 年来暖指数(暖日数、暖夜数)均呈现显著增加趋势；冷指数(冷日数、冷夜数)均呈现显著减少趋势. 这一结论表明西南地区近 41 年来呈增暖趋势，并且对我国温度的总体上升具有一定的贡献[5].

3）近 41 年来暖日数在 2004 年左右发生了 1 次明显突变，在 2005－2010 年一直有显著增多的趋势；冷夜数在 1994 年发生了 1 次明显突变，1995－2010 年一直有显著地减少的趋势；冷日数在 1997 年发生了 1 次突变，但并不明显；暖夜数并未发生突变.

4）周期分析表明，暖日数与暖夜数均存在 3～4 年的短周期，14 年的长周期；冷日数存在 4 年的短周期，7 年和 11 年的长周期；冷夜数存在 1～4 年的短周期，7 年和 10 年的长周期.

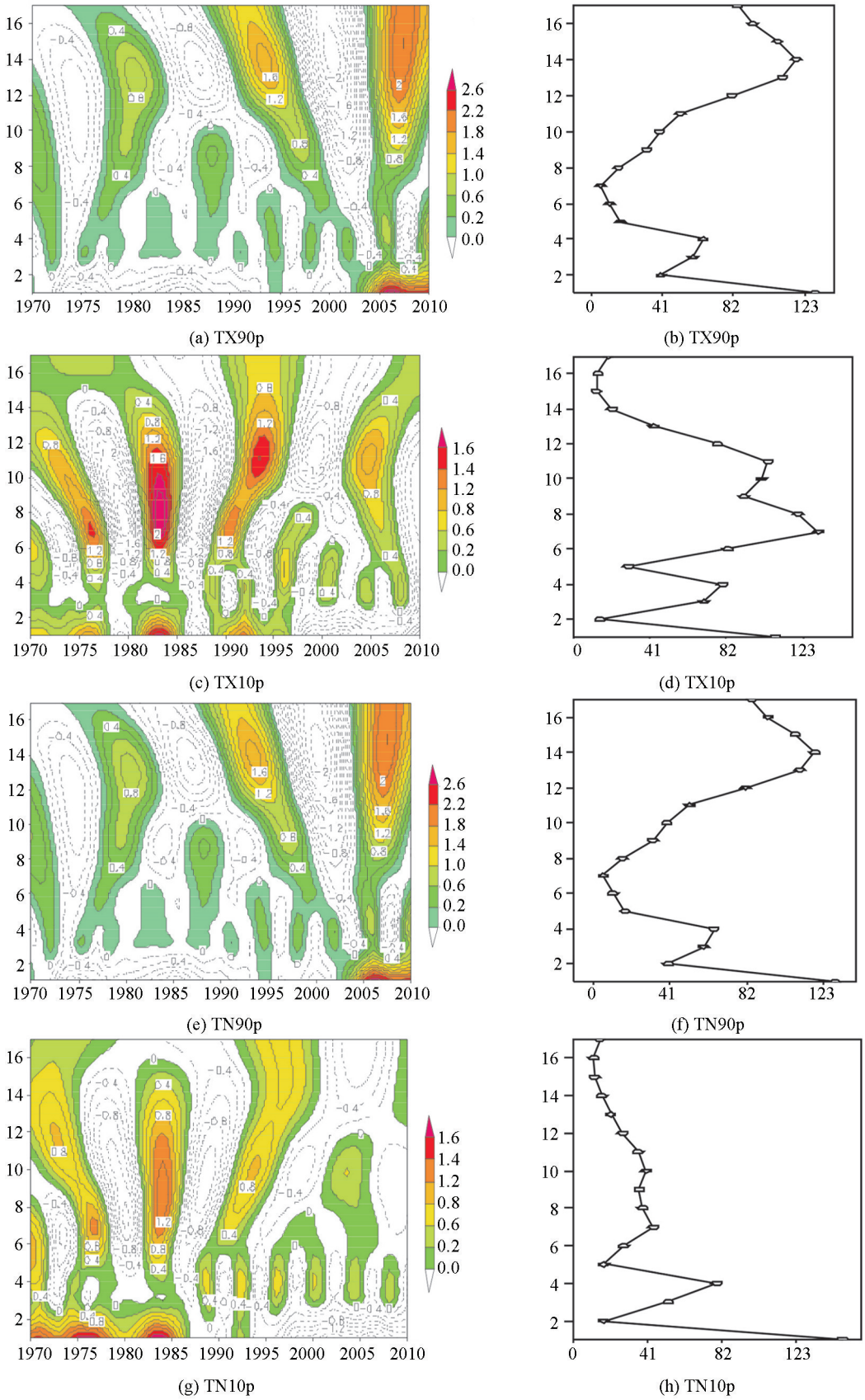


图4 1970—2010年西南地区暖日数(TX90p)(a)、冷日数(TX10p)(c)、暖夜数(TN90p)(e)、冷夜数(TN10p)(g)小波变换实部图及对应的(b)、(d)、(f)、(h)其小波方差图

参考文献：

[1] THOMAS S. Climate Change 2013 [M]. Cambridge：Cambridge University Press，2014.

[2] AIEXANDER L V，PETERSON T C，ZHANG X，et al. Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation [J]. J Geophys Res，2006，111.

[3] EASTERLING D R，KARL T R，GROISMAN P Y，et al. Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events：A Brief Review [J]. Bull Amer Meteor Soc，2000，81(3)：417－425.

[4] BONSAL B R，ZHANG X，VINCENT L A，et al. Characteristics of Daily and Extreme Temperatures Over Canada [J]. J Climate，2001，14(9)，1959－1976.

[5] KLEIN TANK A M G，KONNEN G P. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe，1946－99 [J]. J Climate，2003，16(22)，3665－3680.

[6] 杨　萍，刘伟东，王启光，等. 近 40 年我国极端温度变化趋势和季节特征 [J]. 应用气象学报，2010，21(1)：29－36.

[7] 翟盘茂，潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化 [J]. 地理学报，2003，58(S1)：1－10.

[8] 杨淑群，潘建华，柏　建. 2006 年四川极端高温干旱影响系统系统分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2008，30(7)：133－137.

[9] 郭　渠，孙卫国，程炳岩，等. 重庆夏季极端最高气温的时空变化特征分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2009，31(5)：98－105.

[10] 龚志强，王晓娟，支　蓉，等. 中国近 58 年温度极端事件的区域特征及其与气候突变的联系 [J]. 物理学报，2009，58(6)：4342－4353.

[11] 张天宇，程炳岩，刘晓冉，等. 重庆极端高温的变化特征及其对区域性增暖的响应 [J]. 气象，2008，34(2)：1720－1733.

[12] 胡豪然，毛晓亮，梁　玲. 近 50 年川渝地区夏季极端高温事件的时空演变特征 [J]. 高原山地气象研究，2008，28(3)：15－20.

[13] 翟盘茂，刘　静. 气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾 [J]. 中国工程科学，2012，14(9)：55－64.

[14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 2 版. 北京：气象出版社，2007.

Trend of Extreme Temperature in Southwest China in the Recent 41 Years

LUO　Yu[1]，　FAN Guang-zhou[1,2]，　ZHOU Ding-wen[1]，
HUA　Wei[1]，　ZHANG Yong-li[1]

1. *Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province，School of Atmospheric Sciences，Chengdu University of Information Technology，Chengdu 610225，China；*
2. *Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters，Nanjing University of Information Science & Technology，Nanjing 210044，China*

Abstract：Based on the maximal/minimum daily temperature data of 90 meteorological stations in Southwest China during 1970－2010 and 4 extreme temperature indices defined by the world meteorological organization，F test，Mann-Kendall test and wavelet analysis were made to analyze the temporal and spatial distributions of extreme temperature events in Southwest China in the 41 years. The results indicated that in the 41 years，hot days and cold days were basically symmetrical in local places，while hot nights and cold nights were symmetrical in most areas. In the recent 41 years hot extreme indices showed a significant increasing trend，while cold extreme indices showed a significant decreasing trend. There were significant mutations of hot days and cold nights around 2004 and 1994，respectively；a mutation of cold days occurred in 1997；while no mutation was observed in the number of hot nights. The periodic oscillation of hot extreme indices and cold extreme indices were not the same，but both of them showed a four-year periodic oscillation.

Key words：Southwest China；extreme temperature；variation trend

责任编辑　陈绍兰