

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2020.0099

SHI Shengbo, ZHANG Tiaofeng, MA Zhanliang, et al. Study on variation characteristics of frequency of cold wave processes in the northeastern Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(4):1169–1178. [时盛博, 张调风, 马占良, 等. 青藏高原东北部寒潮次数时空变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2020, 42(4):1169–1178.]

青藏高原东北部寒潮次数时空变化特征研究

时盛博^{1,2}, 张调风^{1,2}, 马占良^{1,2}, 李万志^{1,2}, 杨延华^{1,2}, 杨苏华³

(1. 青海省气候中心, 青海 西宁 810001; 2. 青海省防灾减灾重点实验室, 青海 西宁 810001;

3. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 基于青藏高原东北部1961–2015年68个国家气象站点的逐日气温观测资料, 统计了各站月、季、年不同时间尺度的寒潮次数, 并用气候诊断方法分析了寒潮次数时空变化特征。结果表明: 在时间尺度上, 20世纪60年代至21世纪00年代, 寒潮各年代的年平均次数大致经历了“多–多–多–多–少”的变化过程; 1961–2015年青藏高原东北部寒潮年次数的平均值为2.6次, 以 $0.192 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 速率呈显著的减少趋势; 1981年为突变点, 2005–2015年为显著的减少时段, 而1961–2004年为较弱的减少时段; 春、秋、冬三季寒潮次数的平均值分别为0.7、0.7、1.2次, 秋季减少趋势通过了显著性检验, 2月和11月减少的趋势最为明显。在空间尺度上, 年度、春季、秋季寒潮次数显著减少的站点数量分别达19、44和21个。寒潮年次数减少的这种变化特征与青藏高原地区20世纪80年代气候变暖以来气温明显升高的趋势基本一致。

关键词: 寒潮; 次数; 变化; 青藏高原东北部

中图分类号: P458.1⁺22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2020)04-1169-10

0 引言

寒潮是中国冬半年主要的灾害性天气, 是一种大型天气过程, 寒潮过境容易造成大范围的剧烈降温、大风和雨雪天气, 剧烈降温还能导致作物冻害、河港封冻、交通运输中断, 大风对农业和渔业生产、航运等造成很大影响^[1-3], 严重的可酿成灾害, 并给国民经济带来巨大的损失^[4-5]。青藏高原地区寒潮天气过程的剧烈降温对越冬作物及畜牧业等的危害十分严重, 有时甚至是毁灭性的^[6]。做好寒潮天气发生和演变规律的研究工作, 不仅能够提高寒潮监测、预测预警和影响评估的技术水平, 还能提升防灾减灾的气象服务能力, 因此具有十分重要的意义。

在东亚区域, 丁一汇等^[7]和赵思雄等^[8]对东亚寒潮爆发后冷涌发展的过程, 马晓青等^[9]对冬季强

寒潮事件与大气低频波动, 周星妍等^[10]和孙淑清等^[11]对冬季北大西洋风暴轴异常对我国寒潮活动的可能影响, 高守亭等^[12]对寒潮期间高空波动与东亚急流的相互作用, 陈海山等^[13]对中国冬季极端低温事件与天气尺度瞬变波的可能联系等问题进行了深入的研究, 揭示了寒潮和极端低温事件发生发展的机理。在青藏高原及周边区域, 周长春等^[14]对四川盆地寒潮概况, 孙玉莲等^[15]和李岩瑛等^[16]对甘肃省寒潮沙尘暴天气的特征, 保广裕等^[17]、何卓玛等^[18]、孙瑛^[19]对青海省寒潮天气的分型及其预报, 郑玉萍等^[20]对乌鲁木齐市寒潮气候特征预报技术问题进行了研究分析, 总结了预报思路和指标。但上述这些研究成果还不能满足寒潮预报服务工作的需求, 仍然需要做进一步的研究。

本文应用国家站的地面气象观测资料, 对青藏

收稿日期: 2018-07-16; 修订日期: 2020-06-17

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF201611; CCSF201929); 青海省科技计划项目(2019-ZJ-603); 青海省气象局科技项目“青藏高原东北部冬半年低温事件研究及预报方法探讨”资助

作者简介: 时盛博(1986–), 男, 青海乐都人, 工程师, 2009年在西北农林科技大学获学士学位, 从事气候业务管理及高原气候应用研究. E-mail: 382749802@qq.com

通信作者: 张调风, 工程师, 从事气候预测工作和研究. E-mail: ztf_qhzhx@163.com.

高原东北部68个站点1961–2015年寒潮次数的年代际变化规律、周期和突变的特征、空间分布特点进行统计分析,目的是为青藏高原寒潮天气的监测、预报和影响评估提供背景数据,供其决策参考应用。

1 资料和方法

利用青海省和甘肃省气象信息中心提供的1961–2015年青藏高原东北部68个气象站点逐日气温观测资料(图1),气象资料经过均一化处理,满足三性要求。根据中国气象局预报网络司下发的《冷空气过程监测业务规定》中相关要求,依据单站24小时、48小时、72小时降温幅度($\Delta T_{24} \geq 8^\circ\text{C}$ 或 $\Delta T_{48} \geq 10^\circ\text{C}$ 或 $\Delta T_{72} \geq 12^\circ\text{C}$)和日最低气温($T_{\min} \leq 4^\circ\text{C}$)统计单站的寒潮次数。20世纪60年代和70年代,该区

域个别站点气象观测记录存在缺失,为保证数据的完整性和连续性,在统计寒潮次数序列时采用了常用的算数平均法。

首先统计气象站的月序列和季节、年的序列,然后生成青藏高原东北部月、季、年的平均序列。时段分别为冬季(12月–翌年2月)、春季(3–5月)和秋季(9–11月)。利用EOF方法将该地区分为:东北区(含有33个台站)、西南区(含有19个台站)、西北区(含有16个台站)(图1)。

本文利用气候变化趋势分析、Moletwave小波方差方法、Mann-kendall突变方法,对寒潮次数年、季序列的长期变化规律及其稳定性进行了诊断和研究,在此基础上对它们发生变化的可能原因进行了讨论。

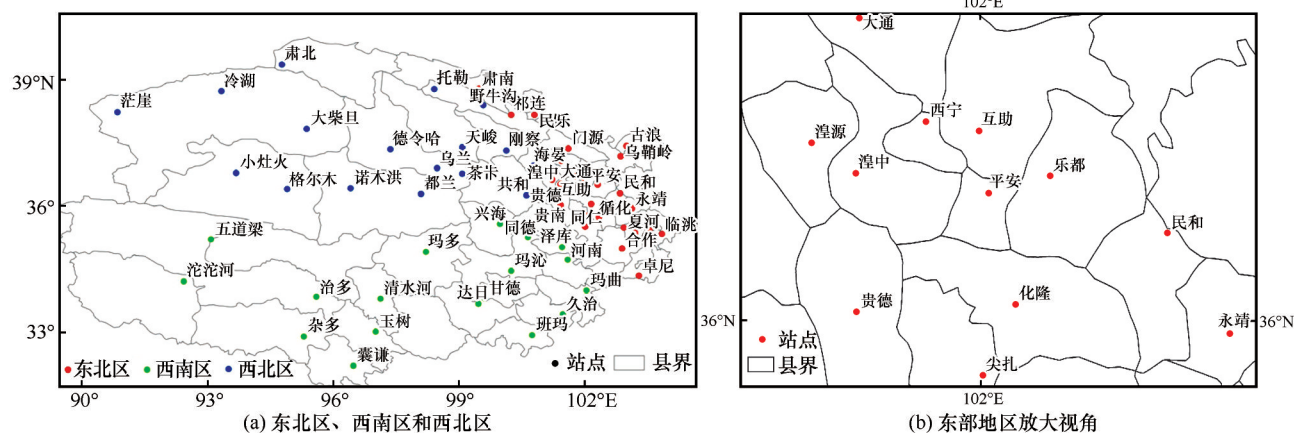


图1 青藏高原东北部国家气象站点分布

Fig. 1 Distribution of national weather stations in the northeastern Qinghai-Tibet Plateau: the three sub-regions (a) and the eastern enlarged view (b)

2 结果与分析

2.1 寒潮年和季节次数的时间变化特征

从年和季节寒潮次数的时间变化曲线看出[图2(a)],年平均次数为2.6次,1961年以来,年寒潮出现总次数呈减少趋势,年平均次数每10年减少0.192次,各年与年寒潮平均次数的相关系数值为-0.41,相关系数值通过了 $\alpha=0.01$ 的统计检验。青藏高原东北部3个区各年与年寒潮平均次数的相关系数值分别为-0.50(西北区)、-0.27(东北区)、-0.21(西南区),其中西北区、东北区相关系数值分别通过了 $\alpha=0.001$ 、 $\alpha=0.05$ 的统计检验。可见,青藏高原东北部年寒潮出现次数呈显著的减少趋势,其东北区和西北区减少的趋势比西南

区更显著,这种状况与20世纪80年代以来该区域气候变暖的趋势基本一致^[21–22],即年内冷日减少、暖日增多,观测站达到寒潮标准的日数也相应减少。

从春、秋、冬三季寒潮平均次数的时间变化曲线图看出[图2(b)、2(c)、2(d)],1961–2015年三个季节均呈减少趋势。青藏高原东北部春、秋、冬三季每10年的气候变化倾向率分别为-0.060、-0.070、-0.049次,各年与春、秋、冬三季寒潮平均次数的相关系数值分别为-0.23、-0.27、-0.16。统计得出,青藏高原东北部秋季相关系数值通过了 $\alpha=0.05$ 的统计检验,即青藏高原东北部秋季寒潮次数减少的趋势比较显著,而冬季和春季寒潮次数减少的趋势并不显著。

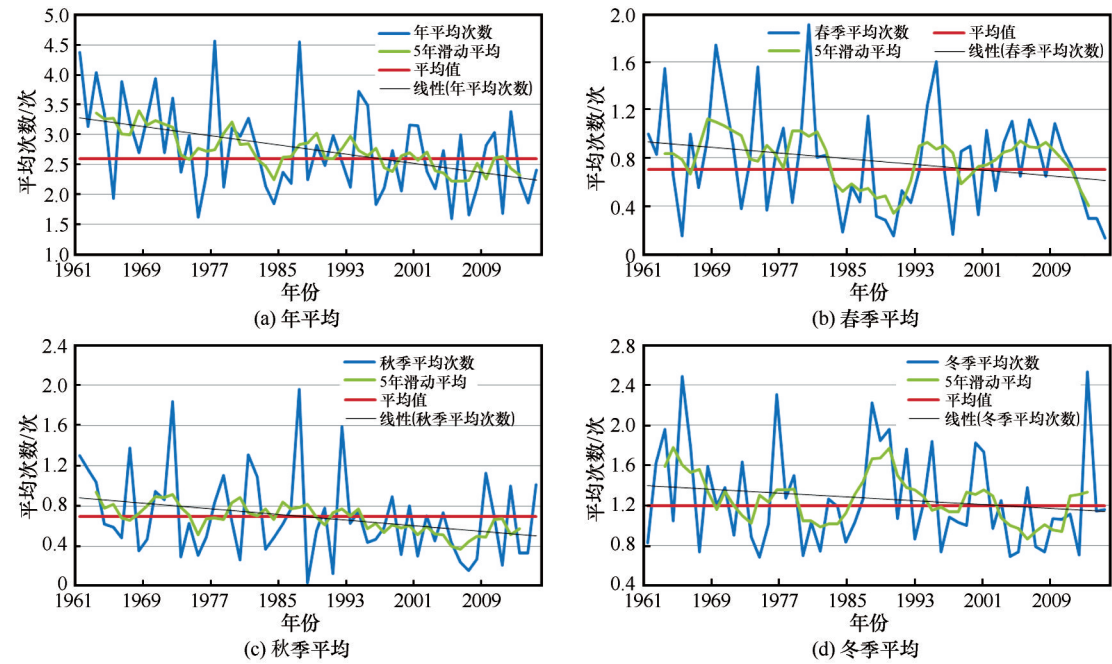


图2 年和季节寒潮次数的时间变化曲线

Fig. 2 Variations of the frequency of cold wave processes, annually (a), spring (b), autumn (c) and winter (d)

从1961 – 2015年青藏高原东北部年寒潮次数各年代的平均统计可以看出(表1), 20世纪60年代至21世纪前10年, 各年代年寒潮平均次数与1981 – 2010年30年的气候平均值相比, 各年代年平均次数大致为“多 – 多 – 多 – 多 – 少”的变化过程, 2011 – 2015年为2.3次, 继续维持偏少的情况。

表1 1961 – 2015年年代际寒潮次数统计						
Table 1 The decadal mean spring, autumn and winter cold wave time, 1961 – 2015						
	1961 – 1970年	1971 – 1980年	1981 – 1990年	1991 – 2000年	2001 – 2010年	1981 – 2010年
春季平均值/次	1.0	0.9	0.5	0.7	0.9	0.7
秋季平均值/次	0.8	0.7	0.8	0.7	0.5	0.7
冬季平均值/次	1.5	1.2	1.3	1.3	1.0	1.2
年平均值/次	3.4	2.8	2.7	2.7	2.5	2.6

20世纪60年代至21世纪前10年, 各季节各年代的寒潮次数与1981 – 2010年30年的平均值相比, 秋、冬季和春季分别为“多 – 多 – 多 – 多 – 少”和“多 – 多 – 少 – 多 – 多”的年代变化过程(表1)。2011 – 2015年的寒潮平均次数春、秋季偏少, 冬季偏多。各年代寒潮次数变化过程, 秋季和冬季与年度完全一致, 春季, 20世纪60 – 70年代、90年代与年度一致, 而80年代和21世纪前10年与年度变化过程完全相反。

2.2 寒潮月次数的时间变化特征

从寒潮次数30年气候平均值、寒潮次数前后月之间变化百分比的统计值可以看出(表2), 青藏高原东北部30年的月平均寒潮次数, 1961 – 1990年1 – 2月和10 – 11月比上月增加, 12月与上月

持平, 3 – 5月比上月减少; 1971 – 2000年1月和10 – 11月比上月增加, 12月与上月持平, 3 – 5月比上月减少; 1981 – 2010年1月和10 – 12月比上月增加, 2 – 5月比上月减少。青藏高原东北部全区55年的月平均寒潮次数, 1961 – 2015年1月和10 – 12月比上月增加, 但2 – 5月比上月减少。1981 – 2010年寒潮次数30年月际气候平均值的变化趋势与55年寒潮平均次数前后月之间的变化趋势完全一致, 1961 – 1990年、1971 – 2000年30年气候平均值除12月持平和1961 – 1990年2月增加外, 其余时段30年月际气候平均值的变化趋势也与55年寒潮平均次数前后月之间的变化趋势完全一致。1961 – 2015年月平均寒潮次数前后月之间变化的百分比, 全区9月至翌年1月为正值, 呈波

表2 1961 – 2015年月平均次数寒潮变化统计

Table 2 The monthly average times of cold wave, 1961 – 2015

	1月	2月	3月	4月	5月	9月	10月	11月	12月
1961 – 1990年平均/次	0.48	0.49	0.38	0.30	0.12	0.10	0.29	0.40	0.40
1971 – 2000年平均/次	0.46	0.42	0.36	0.23	0.13	0.09	0.27	0.38	0.38
1981 – 2010年平均/次	0.48	0.36	0.34	0.24	0.13	0.06	0.25	0.35	0.37
1961 – 2015年平均/次	0.48	0.43	0.37	0.28	0.12	0.10	0.24	0.36	0.38
月-月之间变化百分比/%	21	-12	-16	-32	-133	99	58	33	5
序列气候变化倾向率 <i>b</i> /次	-0.001	-0.005	-0.003	-0.003	-0.002	-0.001	-0.002	-0.004	-0.001
序列相关系数 <i>r</i>	-0.04	-0.25*	-0.14	-0.18	-0.03	-0.09	-0.18	-0.22*	-0.07
序列的标准差/次	0.27	0.29	0.29	0.28	0.13	0.11	0.20	0.30	0.27
月次数占年次数百分比/%	17.3	15.6	13.5	10.0	4.5	3.5	8.9	13.0	13.7

注：*表示通过 $\alpha=0.10$ 的显著性水平检验。

动性的增加趋势，2 – 5月为负值，呈线性的减少趋势。

从月寒潮次数气候变化倾向率的统计值看出(表2)，青藏高原东北部月平均序列均呈减少的趋势，每10年的气候变化倾向率为-0.05 ~ -0.01次。月平均序列与年份相关系数值为-0.25 ~ -0.03，其中，2月和11月的相关系数值通过了 $\alpha=0.10$ 的统计检验。可见，2月和11月青藏高原东北部寒潮次数呈较显著的减少趋势。

从月寒潮次数标准差、月寒潮次数占年寒潮次数百分比的统计值看出(表2)，青藏高原东北部1 – 4月和11 – 12月寒潮次数占年寒潮次数百分比为10.0% ~ 17.3%，其他月份为3.5% ~ 8.9%。青藏高原东北部1 – 4月和11 – 12月寒潮次数的标准差为0.27 ~ 0.30次，其他月份为0.11 ~ 0.20次。可见，5月、9月和10月寒潮次数标准差变化小，这3个月寒潮出现的次数较稳定，1 – 4月和11 – 12月寒潮次数标准差变化相对较大，这6个月寒潮出现的次数不稳定。春季、秋季和冬季寒潮出现次数占年次数的百分比分别为28.0%、25.4%、46.6%。也就是说，青藏高原东北部冬季寒潮出现的比例偏大，而春、秋季所占比例基本相当。

2.3 寒潮次数的周期变化特征

应用Moletwave小波方差分析青藏高原东北部寒潮平均次数序列，统计结果得出，寒潮年平均次数时间序列存在5年、8年、29年的准周期变化[图3(a)，图中峰值点对应的周期通过了 $\alpha=0.05$ 的统计检验，以下相同]，春季平均次数时间序列存在3年、6年、8年、13年、28年的准周期变化[图3

(b)]，秋季[图3(c)]和冬季[图3(d)]平均次数时间序列分别存在3年、5年、8年和6年、12年、28年的准周期变化。

2.4 寒潮次数的突变特征

Mann-Kendall方法的检验临界值 $T=\pm 1.96$ ， $\alpha=0.05$ 。当 UF 超过信度线，表示时间序列存在明显的变化趋势， UF 、 UB 大于(小于)0表示趋势上升(下降)。如果 UF 和 UB 的交叉点位于信度检验的两线之间，这点便是突变点的开始点。

应用Mann-Kendall方法分析青藏高原东北部全区寒潮年平均次数序列，统计特征参数得出[图4(a)]，寒潮年平均次数的 UF 曲线基本呈下降趋势，而 UB 基本呈上升趋势。1962 – 2015年 UF 值均小于0，1976年、1984 – 1986年、1993年、1997年、1999年和2005 – 2015年 UF 值在-2.47至-1.96之间，其他年份的 UF 值在-1.95至-0.45之间。 UB 和 UF 曲线在信度区间内相交5次，相交年份分别为1975年、1977年、1979年、1981年和1987年，1981年后， UB 值逐渐增大、 UF 值波动减小，从 UB 值和 UF 值相交点的后期变化趋势判断，1981年为较明显的突变点。从95%信度检验水平和突变点看出，1961 – 2004年寒潮年平均次数为减少趋势，而2005 – 2015年呈显著减少趋势。

分析青藏高原东北部全区季节 UF 、 UB 曲线特征参数和 UF 、 UB 值相交点的后期变化趋势得出，春季[图4(b)]寒潮平均次数1992年为较明显的突变点，1961 – 1992年寒潮平均次数存在减少趋势，而1993 – 2013年寒潮平均次数呈显著的增加趋势。秋季和冬季寒潮平均次数无较明显的突变点(图略)。

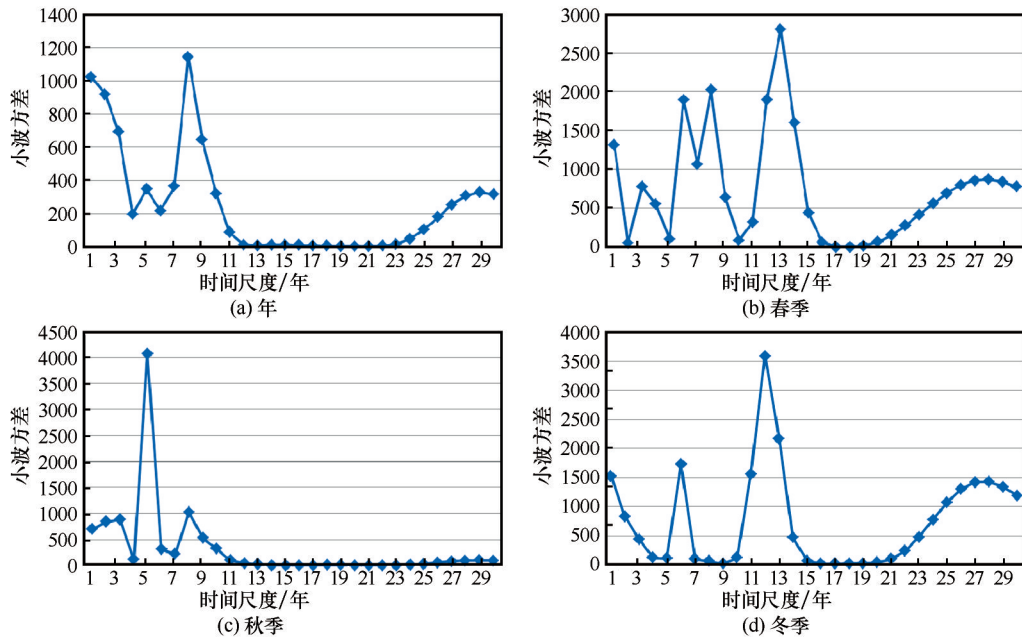


图3 寒潮平均次数序列 Moletwave小波方差

Fig. 3 The Moletwave wavelet square diagrams of average number of cold wave , annually (a) , spring (b) , autumn (c) and winter (d)

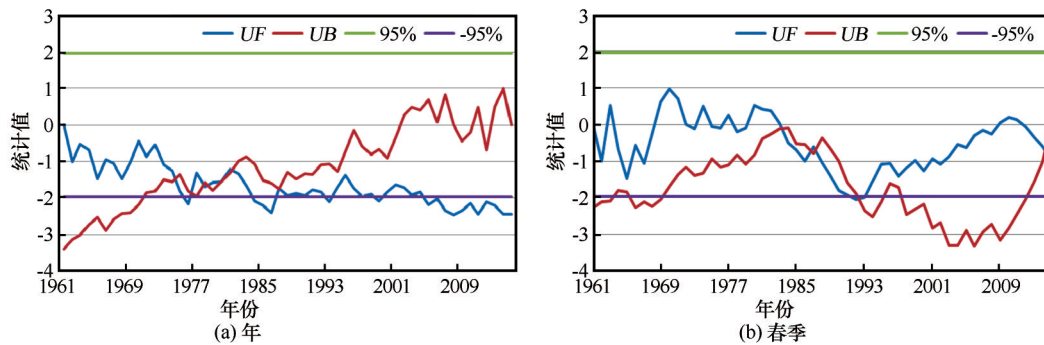


图4 寒潮平均次数序列突变点及趋势检验

Fig. 4 Test chart of the mutation point and trend of the average number of cold wave , annual (a) and spring (b)

2.5 寒潮次数的空间变化特征

2.5.1 年次数

各站寒潮年平均次数的空间变化分布可以看出[图5(a)],称多清水河、柴达木盆地西北部、甘德、海晏为相对高值区域。寒潮年平均次数青藏高原东北部的北部(指东北和西北区,简称高原北部,以下相同)自东南向西北递增,青藏高原东北部的南部(指西南区,简称高原南部,以下相同)自甘德和称多清水河一线向北向南递减,高原南部和北部寒潮年平均次数的最大值分别为6.9次和9.3次,分别出现在称多清水河和冷湖,高原南部和北部寒潮年平均次数的最小值均为0.6次,分别出现在碌曲和同仁。

从各站寒潮历年出现次数极大值的空间分布

可以看出[图5(b)],称多清水河、海晏、柴达木盆地西北部为相对高值区域。研究区域的西北区自西北向东南递减,研究区域的东北区自西北向东南递减,研究区域的西南区自称多清水河向北向南递减。高原北部历年次数的极大值为22次,出现在冷湖。高原南部历年次数的极大值为15次,出现在称多清水河。

从各站寒潮历年出现次数极小值的空间分布可以看出[图5(c)],高原北部冷湖的极小值为3次,高原南部称多清水河的极小值为1次。寒潮历年出现次数的极大值和极小值,高原北部的冷湖相差7.3倍,高原南部的称多清水河相差15倍。

从各站寒潮年次数序列标准差的空间分布可以看出[图5(d)],柴达木盆地西北部、称多清水河

从各站寒潮年次数与年份序列相关系数值的空间分布可以看出[图5(f)], 青藏高原东北部除循化、民和、广河等19站呈正相关外, 其余49站均呈负相关。格尔木站周边为正负转换中心, 等值线相

对较密。循化、民和、广河等 19 站的相关系数值为 0 ~ 0.23, 冷湖等 49 站相关系数值为 -0.01 ~ -0.52。其中, 格尔木、冷湖等 19 个站的负相关系数值通过了 $\alpha=0.05$ 的统计检验, 负相关台站占青藏高原东北部总站数的比例达到 28%。由此得出, 1961 - 2015 年, 72% 的台站寒潮年次数呈减少趋势, 28% 的台站寒潮年次数呈显著减少趋势, 这与 20 世纪 80 年代青藏高原地区气候变暖以来, 日最低气温明显升高的趋势基本一致^[23-24]。

2.5.2 季节次数

从各站春季寒潮次数序列气候变化倾向率的空间分布可以看出[图 6(a)], 青藏高原东北部除乌兰、永靖、治多等 5 站呈增加趋势外, 其余地区均呈减少趋势。乌兰、治多站周边为正负转换中心, 等值线相对较密。乌兰、永靖、治多等 5 站每 10 年的气候变化倾向率为 0.03 ~ 0.20 次, 冷湖等 63 站每 10 年的气候变化倾向率为 -0.54 ~ -0.01 次。由此得出, 1961 - 2015 年, 青藏高原东北部春季 93% 的台站寒潮次数呈减少趋势。从春季寒潮次数与

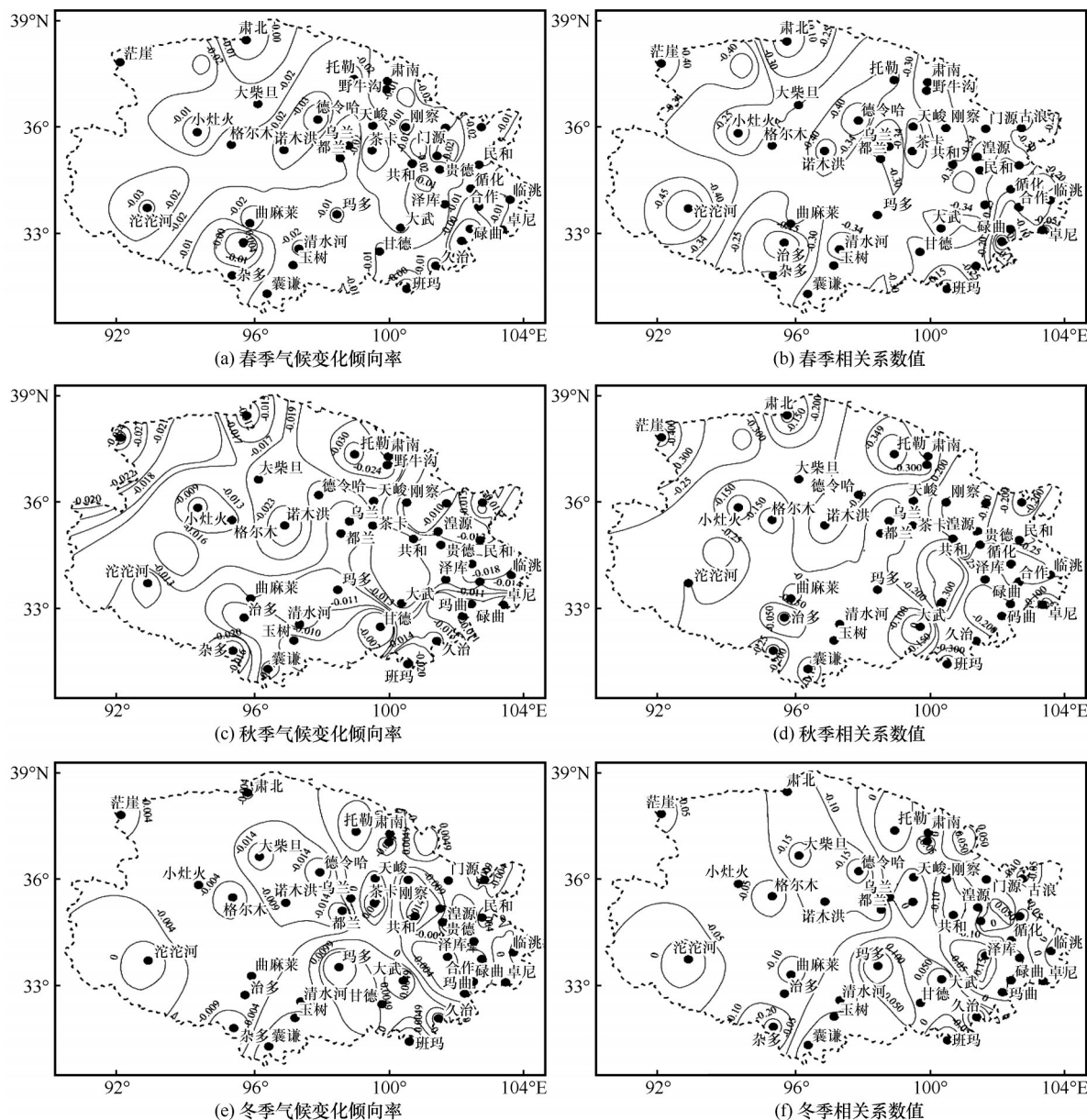


图 6 季节寒潮次数气候变化倾向率和相关系数的空间分布

Fig. 6 Two dimension distributions of the tendency rate of climate change and correlation coefficient for the frequency of cold wave processes: climate change trend rates in spring (a), autumn (c) and winter (e), respectively; correlation coefficients in spring (b), autumn (d) and winter(f), respectively

年份序列相关系数值的空间分布可以看出[图 6(b)], 青藏高原东北部除乌兰、永靖、治多等 5 站呈正相关外, 其余地区均呈负相关。乌兰、治多站周边为正负转换中心, 等值线相对较密。乌兰、永靖、治多等 5 站相关系数值为 0.03 ~ 0.20, 冷湖等 63 站相关系数值为 -0.51 ~ -0.01, 其中 44 个站的负相关系数值通过了 $\alpha=0.05$ 的统计检验, 占青藏高原东北部总站数的比例达到 65%。由此得出, 1961 - 2015 年, 青藏高原东北部春季 65% 的台站寒潮次数呈显著的减少趋势, 这与 20 世纪 80 年代青藏高原地区气候变暖以来, 春季各月日最低气温显著升高的状况基本一致^[23-24]。

从各站秋季寒潮次数序列气候变化倾向率的空间分布可以看出[图 6(c)], 青藏高原东北部除乌兰、海晏、平安等 5 站呈增加趋势外, 其余地区均呈减少趋势。乌兰、甘德站周边为正负转换中心, 等值线相对较密。乌兰、海晏、平安等 5 站每 10 年的气候变化倾向率为 0.02 ~ 0.13 次, 冷湖等 63 站每 10 年的气候变化倾向率为 -0.43 ~ -0.01 次。由此得出, 1961 - 2015 年, 青藏高原东北部秋季 93% 的台站寒潮次数呈减少趋势。从秋季寒潮次数与年份序列相关系数值的空间分布图看出(图 6d), 青藏高原东北部除乌兰、海晏、平安等 5 站呈正相关外, 其余地区均呈负相关。乌兰、甘德站周边为正负转换中心, 等值线相对较密。乌兰、海晏、平安等 5 站相关系数值为 0.01 ~ 0.09, 冷湖等 63 站相关系数值为 -0.49 ~ -0.01, 其中 21 个站的负相关系数值通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验, 占青藏高原东北部总站数的比例达到 31%。由此得出, 1961 - 2015 年, 青藏高原东北部秋季 31% 的台站寒潮次数呈显著的减少趋势, 绝大多数台站(93%)秋季寒潮次数存在减少的趋势。这与 20 世纪 80 年代青藏高原地区气候变暖以来, 秋季各月日最低气温和日最高气温显著升高的状况基本一致^[25]。

从各站冬季寒潮次数序列气候变化倾向率的空间分布可以看出[图 6(e)], 青藏高原东北部 27 个站为增加趋势, 41 个站为减少趋势。果洛和玉树州东部呈增加趋势的站点, 在区域上连成一片。乌兰、玛沁、玛多站周边为正负转换中心, 等值线相对较密。互助等 27 站每 10 年的气候变化倾向率为 0 ~ 0.20 次, 海晏等 41 站每 10 年的气候变化倾向率为 -0.27 ~ -0.01 次。由此得出, 1961 - 2015 年, 青藏高原东北部冬季 60% 的台站寒潮次数呈减少

趋势。从冬季寒潮次数与年份序列相关系数值的空间分布可以看出[图 6(f)], 青藏高原东北部除祁连、同仁、玉树等 27 站相关系数值为 0.01 ~ 0.26 外, 其余 41 站相关系数值为 -0.24 ~ -0.01, 除 1 个正相关站的相关系数值通过了 $\alpha=0.05$ 的统计检验外, 其余 26 个正相关和 41 个负相关站相关系数值均未通过 $\alpha=0.05$ 的统计检验。北部地区正相关站数占北部总站数的比例为 37%, 南部地区正相关站数占南部总站数的比例为 47%。由此得出, 1961 - 2015 年, 青藏高原东北部冬季 60% 的台站寒潮次数呈减少趋势(负相关的站点), 减少的趋势北部地区比南部更明显。这与 20 世纪 80 年代青藏高原气候变暖以来, 北部地区升温的趋势比南部地区更显著的状况基本一致^[24-25]。

3 结论

(1) 青藏高原东北部寒潮年次数的平均值为 2.6 次, 1961 - 2015 年寒潮年次数每 10 年减少 0.192 次, 年次数与年份序列的相关系数值为 -0.41, 寒潮年次数减少的趋势通过了 $\alpha=0.01$ 的统计检验。20 世纪 60 年代至 21 世纪前 10 年, 年平均次数大致经历了“多 - 多 - 多 - 多 - 少”的年代变化过程。

(2) 1961 - 2015 年春、秋、冬三季寒潮平均次数每 10 年分别减少 0.060、0.070、0.049 次, 三季次数与年份序列的相关系数值分别为 -0.23、-0.27、-0.16, 秋季寒潮次数减少的趋势通过了 $\alpha=0.05$ 的统计检验。1961 - 2015 年 2 月和 11 月年份序列和寒潮次数的相关系数值分别为 -0.25、-0.22, 均通过了 $\alpha=0.10$ 的统计检验。

(3) 在空间变化上, 寒潮次数年度 52 个站、春季 63 个站、秋季 63 个站、冬季 41 个站的气候变化倾向率为负值, 存在减少的趋势。寒潮次数年度 19 个站、春季 44 个站、秋季 21 个站的减少趋势通过了 $\alpha=0.05$ 的统计检验。春季寒潮次数显著减少的站数比秋季多。

(4) 寒潮年次数存在 5 年、8 年、29 年的准周期变化, 1961 - 2004 年寒潮年次数存在减少的趋势, 而 2005 - 2015 年寒潮年次数呈显著减少趋势, 寒潮年次数在 1981 年存在明显的突变点。寒潮年次数减少的趋势和阶段性变化的特征与青藏高原地区 20 世纪 80 年代气候变暖以来气温明显升高的趋势基本一致。

参考文献(References):

- [1] Qian Weihong, Zhang Weiwei. Changes in cold wave events and warm winter in China during the last 46 years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2007, 31(6): 1266 – 1278. [钱维宏, 张玮玮. 我国近46年来的寒潮时空变化与冬季增暖[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1266 – 1278.]
- [2] Wang Zunya, Ding Yihui. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2006, 30(6): 1068 – 1076. [王遵娅, 丁一汇. 近53年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1068 – 1076.]
- [3] Zhang Peizhong, Chen Guangming. A statistical analysis of the cold wave high which influences on China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1999, 57(4): 493 – 501. [张培忠, 陈光明. 影响中国寒潮冷高压的统计研究[J]. 气象学报, 1999, 57(4): 493 – 501.]
- [4] Wei Fengying. Change of the cold wave frequency of China in global warming[J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(3): 289 – 295. [魏凤英. 气候变暖背景下我国寒潮灾害的变化特征[J]. 自然科学进展, 2008, 18(3): 289 – 295.]
- [5] Zhu Chenyu, Huang Fei, Shi Yunhao, et al. Spatial-Temporal patterns of the cold surge events in China in recent 50 years and its relationship with Arctic Sea Ice[J]. Periodical of Ocean University of China, 2014, 44(12): 12 – 20. [朱晨玉, 黄菲, 石运昊, 等. 中国近50年寒潮冷空气的时空特征及其与北极海冰的关系[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(12): 12 – 20.]
- [6] Kang Zhiming, Jin Ronghua, Bao Yuanyuan. Characteristic analysis of cold wave in China during the period of 1951 – 2006[J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(2): 420 – 428. [康志明, 金荣花, 鲍媛媛. 1951 – 2006年期间我国寒潮活动特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 420 – 428.]
- [7] Ding Yihui, Meng Xiao. A case study of development of a cold surge after outbreak of cold wave in East Asia[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1994, 52(4): 442 – 451. [丁一汇, 蒙晓. 一次东亚寒潮爆发后冷涌发展的研究[J]. 气象学报, 1994, 52(4): 442 – 451.]
- [8] Zhao Sixiong, Zeng Qingcun. A study of East Asia strong cold wave: surge crossing equator and influencing the development of tropical cyclone and heavy rainfall in the Southern Hemisphere[J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(3): 507 – 524. [赵思雄, 曾庆存. 东亚强寒潮——冷涌越过赤道并引发南半球热带气旋和强降水的个例研究[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 507 – 524.]
- [9] Ma Xiaoqing, Ding Yihui, Xu Haiming, et al. The relation between strong cold waves and low-frequency waves during the winter of 2004/2005[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2008, 32(2): 380 – 394. [马晓青, 丁一汇, 徐海明, 等. 2004/2005年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 380 – 394.]
- [10] Zhou Xingyan, Zhu Weijun, Gu Cong. Possible influence of the variation of the northern Atlantic storm track on the activity of cold waves in China during winter[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2015, 39(5): 978 – 990. [周星妍, 朱伟军, 顾聪. 冬季北大西洋风暴轴异常对我国寒潮活动的可能影响[J]. 大气科学, 2015, 39(5): 978 – 990.]
- [11] Sun Shuqing, Gao Shouting. The influence of the activity of cold wave in East Asia on the explosive cyclone at its Down Stream[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1995, 51(3): 304 – 314. [孙淑清, 高守亭. 东亚寒潮活动对下游爆发性气旋生成的影响[J]. 气象学报, 1995, 51(3): 304 – 314.]
- [12] Gao Shouting, Tao Shiyan, Ding Yihui. Upper Wave-East Asian Jet interaction during the period of cold wave outbreak[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1992, 16(6): 718 – 724. [高守亭, 陶诗言, 丁一汇. 寒潮期间高空波动与东亚急流的相互作用[J]. 大气科学, 1992, 16(6): 718 – 724.]
- [13] Chen Haishan, Liu Lei, Zhu Yuejia. Possible linkage between winter extreme low temperature events over China and synoptic-scale transient wave activity[J]. Science China: Earth Sciences, 2012, 42(12): 1951 – 1965. [陈海山, 刘蕾, 朱月佳. 中国冬季极端低温事件与天气尺度瞬变波的可能联系[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(12): 1951 – 1965.]
- [14] Zhou Changchun, Shen Guixun, Shi Rui. Researches on cold wave and the profiles of cold wave in Sichuan Basin[J]. Sichuan Meteorological Observatory, 2010, 30(4): 64 – 67. [周长春, 湛贵珣, 师锐. 寒潮研究及四川盆地寒潮概况[J]. 高原山地气象研究, 2010, 30(4): 64 – 67.]
- [15] Sun Yulian, Ren Yulong, Wei Bolong, et al. Contrast analysis of two cold wave weather processes with sand dust in the middle region of Gansu Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2013, 31(1): 150 – 156. [孙玉莲, 任余龙, 韦伯龙, 等. 甘肃临夏地区2次沙尘寒潮天气成因对比[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 150 – 156.]
- [16] Li Yanying, Wang Ruzhong, Qi Gaoxian, et al. The climatic analysis and forecast of cold wave weather in Wuwei City[J]. Journal of Arid Meteorology, 2013, 22(1): 49 – 52. [李岩瑛, 王汝忠, 齐高先, 等. 武威市寒潮天气气候分析及预报[J]. 干旱气象, 2013, 22(1): 49 – 52.]
- [17] Bao Guangyu, Dai Sheng, Zhang Jilong, et al. Climate features, fractal types and forecast of cold weather in Qinghai Province[J]. Qinghai Weather, 2002(2): 2 – 5. [保广裕, 戴升, 张吉龙, 等. 青海省寒潮天气的气候特征、分型及其预报寒潮[J]. 青海气象, 2002(2): 2 – 5.]
- [18] He Zhuoma, Ma Xuelian, Wang Zhiyuan, et al. An analysis of cold wave in Haidong Prefecture[J]. Qinghai Weather, 2008(2): 18 – 20. [何卓玛, 马学莲, 王志远, 等. 海东地区一次寒潮天气的分析[J]. 青海气象, 2008(2): 18 – 20.]
- [19] Sun Ying. Contrastive analysis of twice cold wave in Hainan Prefecture of Qinghai[J]. Qinghai Technology, 2011, 11(6): 72 – 68. [孙瑛. 青海海南地区两次寒潮天气过程对比分析[J]. 青海科技, 2011, 11(6): 72 – 68.]
- [20] Zheng Yuping, Gong Hengrui. Climatic characteristics of cold wave in Urumqi[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2015, 9(6): 56 – 61. [郑玉萍, 宫恒瑞. 乌鲁木齐市寒潮气候特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(6): 56 – 61.]
- [21] Shen Hongyan, Ma Mingliang, Wang Ji, et al. Variation characteristics of extreme air temperature events in Qinghai Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(6): 1371 – 1379. [申红艳, 马明亮, 王冀, 等. 青海省极端气温事件的气候变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2012, 34(6): 1371 – 1379.]
- [22] Luo Shengzhou, Wang Qingchun, Dai Sheng. An analysis of climate characteristics of meteorological disasters in Qinghai Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(6): 1380 – 1387. [罗生洲, 汪青春, 戴升. 青海省气象灾害的若干气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(6): 1380 – 1387.]
- [23] Shen Hongyan, Shi Xinghe, Zhu Xide, et al. Causes analysis on variations of winter air temperature in the Qinghai Province and discussion on their prediction method[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(3): 685 – 691. [申红艳,

- 时兴合, 朱西德, 等. 青海省冬季气温变化成因及其预测方法探讨[J]. 冰川冻土, 2015, 37(3): 685 – 691.]
- [24] Li Hongmei, Li Lin, Zhang Jinxu, et al. Changes in extreme climatic events over the sources of the three rivers in the prometaphase 21st century[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(6): 1403 – 1408. [李红梅, 李林, 张金旭, 等. 21 世纪前中期三江源地区极端气候事件变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(6): 1403 – 1408.]
- [25] Luo Shengzhou, Ju Keying, Luo Yannian, et al. Anailysis of the temporal variation in climatic comfortable period for tourism in Xining [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1193 – 1201. [罗生洲, 巨克英, 罗延年, 等. 1954 – 2011 年西宁旅游气候舒适期时间变化分析[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1193 – 1201.]

Study on variation characteristics of frequency of cold wave processes in the northeastern Qinghai-Tibet Plateau

SHI Shengbo^{1,2}, ZHANG Tiaofeng^{1,2}, MA Zhanliang^{1,2}, LI Wanzhi^{1,2},
YANG Yanhua^{1,2}, YANG Suhua³

(1. Qinghai Climate Center, Xining 810001, China; 2. Qinghai Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation, Xining 810001, China; 3. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on daily temperature data from 68 national meteorological stations in northeastern Qinghai-Tibet Plateau from 1961 to 2015, the annual, seasonal and yearly frequency sequence of cold waves and the annual, seasonal and yearly mean frequency sequence of cold waves in the region were obtained. Then climate diagnostic method was adopted to analyze the characteristics of spatial and temporal changes of cold wave frequency. The results indicated that in terms of temporal changes, from the 1960s to the 2000s, the annual average frequency sequence of cold waves had presented an evolution process of “more-more-more-more-less”. The average value of annual cold wave frequency in northeastern Qinghai-Tibet Plateau was 2.6 times. Meanwhile, the frequency sequence appeared a significantly declining tendency, with a declining rate of 0.192 times in every ten years; the annual frequency of cold waves presented an obvious point of abrupt in 1981. From 2005 to 2015, the ten years had a significantly decreasing trend, while from 1961 to 2004, the decreasing tendency became insignificant. The average values of cold wave frequency in spring, autumn and winter in the whole region were, respectively, 0.7, 0.7 and 1.2 times, and the sequence in autumn shown an obviously declining tendency; the declining tendencies of average cold wave frequency in the whole region in February and November were more significant than those in other months. Spatially, the frequency sequence of cold waves in the 19 stations in the whole year, 44 stations in spring and 21 stations in autumn had shown significant declining tendency. The characteristics of above periodic changes and decreasing tendencies has been basically consistent with the tendency of temperature rise in the Qinghai-Tibet Plateau since the 1980s.

Key words: cold wave; frequency; variation; northeastern Qinghai-Tibet Plateau

(责任编辑: 周成林; 编辑: 周成林)