

新疆阿勒泰地区冬季极端低温事件特征分析

张林梅^{1,2}, 黄阿丽², 谢秀琴²

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730002; 2. 新疆阿勒泰地区气象局, 新疆 阿勒泰 836500)

摘要:利用阿勒泰地区7个测站1961~2011年冬季(11月到翌年3月)逐日最低温度资料,采用百分位定义法给出各站发生冬季极端低温事件的阈值。采用气候趋势系数和气候倾向率、Gumbel分布函数及R/S分析等多种统计方法分析阿勒泰地区各站冬季极端低温事件的气候特征。结果表明:阿勒泰地区各站冬季极端低温事件发生阈值为 $-26 \sim -36$ °C。阿勒泰地区冬季极端低温事件频次倾向率均呈减少趋势,强度倾向率均呈减弱趋势。50 a一遇冬季极端低温事件极值东部较低,西部较高。阿勒泰地区西部地区冬季极端低温强度 < -50 °C的概率较小,东部地区冬季极端低温事件强度 < -50 °C概率较大。根据R/S分析,阿勒泰地区冬季极端低温事件未来发生频次可能会有所增多,冬季极端低温事件未来发生强度可能会有所增强。

关键词:冬季极端低温事件;Gumbel分布;R/S分析

文章编号:1006-7639(2013)-01-0089-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0089

中图分类号:P423.3⁺4

文献标识码:A

引言

近10 a来,气候变暖背景下的极端气候事件的变化引起了广泛的关注。极端气候事件的复杂性表现为空间上的区域差异和事件的多尺度性^[1]。极端温度作为一种极端气候事件,引起了不少气象学者的关注。吴爱敏^[2]通过分析甘肃庆阳极端气温气候特征,利用支持向量机方法,制作了代表站的极端最高和最低气温的预报模型;杨金虎等^[3]通过对年冬季极端低温事件发生的频次及强度研究表明,指出了近45 a来西北地区冬季极端低温事件发生频次显著,但其强度在减弱。

阿勒泰地区位于新疆最北部,地形复杂,有高山丘陵、河流湖泊、沙漠戈壁,是气候的敏感和脆弱地带。整个地势东北高,西南低,自东北部向西南至额尔齐斯河和准噶尔盆地急剧倾斜。特殊的自然地理条件形成了该地区区域气候特征及对全球气候变暖区域响应的复杂性和特殊性^[4]。齐贵英^[5]利用1962~2008年阿勒泰地区7站月均最高和最低温度距平资料分析表明,冬季最高气温和最低气温呈显著上升趋势,最低温度的上升幅度高于最高温度。

庄晓翠^[6]等采用阿勒泰地区7个气象站1961年9月至2006年5月的地面观测资料,概括出了该地区寒潮天气的气候特征,并建立了该地区寒潮天气的预报指标。尽管前人已经对阿勒泰地区冬季温度的研究做了一定的工作,但对冬季极端低温变化缺乏研究。本文拟通过阿勒泰地区各测站冬季日最低温度,采用百分位法定义相应测站冬季极端低温事件的阈值。并采用多种统计方法对阿勒泰地区冬季极端低温事件的气候特征进行分析,以揭示冬季极端低温事件发生变化规律和特点,从而提高应对冬季极端低温事件的能力。

1 资料及其方法

1.1 资料

阿勒泰地区属于北温带寒凉区大陆性气候,冬季严寒漫长,长达5个月(当年11月至翌年3月)。所用资料为阿勒泰地区完整的7个国家级基准、基本气象站(吉木乃、哈巴河、布尔津、阿勒泰、福海、富蕴、青河站等)($44^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{N}$, $85 \sim 91^{\circ}\text{E}$)1961~2011年冬季(11月至翌年3月)逐日最低温度资料。

收稿日期:2012-08-30; 改回日期:2012-10-31

基金项目:国家气象局公益性行业专项“新疆北部致灾暴雪成因分析和预报技术研究”(GYHY201106007)资助

作者简介:张林梅(1983-),女,云南曲靖人,工程师,现从事短期预报. E-mail:zlmxjalt@sina.com

1.2 冬季极端低温事件的定义

冬季极端低温事件的阈值采用百分位法定义^[6]。本文极端低温的定义为:首先将 1961~2011 年冬季逐日最低气温资料按照降序排列,再将第 95 个百分位值定义为该测站的年冬季极端低温事件阈值。具体参照 Bonsal^[7]的计算方法:如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按升序排列 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$, 某个值小于或等于 x_m 的概率为 $P = (m - 0.31) / (n + 0.38)$ 。其中, m 为 x_m 的序号, n 为某个气象要素值的个数。第 95 个百分位值是指 $P = 95\%$ 所对应的 x_m 值。

1.3 分析方法

趋势变化采用气候趋势系数和气候倾向率进行分析^[8-9];冬季极端低温事件的分布采用 Gumbel^[10-11]分布来拟合,其参数估计采用概率加权法(PWM);时间序列持续性或反持续性判断采用 R/S 分析^[12-13]。

2 冬季极端低温事件的基本统计特征

2.1 冬季极端低温事件的频次变化

参照 Bonsal 的计算方法,可得到阿勒泰地区各站冬季极端低温事件的阈值。各站冬季极端低温事件阈值为 $-28 \sim -36 \text{ }^\circ\text{C}$ (图 1a),存在地理差异。总的来说,等值线分布均匀,且等值线自西向东、自北向南逐渐减小。西部地区冬季极端低温事件阈值较高,吉木乃站极端低温事件阈值最高($-26 \text{ }^\circ\text{C}$);东部地区极端低温事件阈值较低,青河站极端低温事件阈值最低($-36 \text{ }^\circ\text{C}$)。阿勒泰地区冬季极端低温事件阈值大小的分布与测站海拔高度与当地地形有密切的关系,但各站特殊地形对其冬季极端低温事件的影响机理还有待于进一步的研究。

为了搞清楚阿勒泰地区近 51 a 来冬季极端低温事件频次的年变化特征,本文统计出了各站年冬

季日最低温度低于该站冬季极端低温事件阈值的日数建立时间序列。阿勒泰地区各站冬季极端低温事件发生频次多年平均的空间分布见图 1b。南部、东部为冬季极端低温事件相对多发区,福海站发生频次最多(8.27 d/a);西部、北部地区为冬季极端低温事件相对少发区,布尔津站发生频次最少(6.00 d/a)。由此说明了福海、富蕴、青河站是冬季极端低温事件的频发区。这与文献^[6]的结论有相似之处和不同之处,相似之处是东部是寒潮次数发生较多的地方,亦是冬季极端低温事件发生的高发区,不同之处是吉木乃、阿勒泰市虽是年平均冬季极端低温事件发生频次小值区,但其寒潮发生次数却较多。这也说明了冬季极端低温发生频次与寒潮发生次数没有必然联系。

此外,还统计了阿勒泰地区 1961~2011 年冬季极端低温事件发生频次年代际分布(表 1),各站冬季极端低温事件发生频次基本呈“反抛物线”式。1960 年代发生的最多,此后在 1970 年代、1980 年代相继下降,到 1990 年代最少,但 21 世纪以来各站呈大幅上升趋势。

为了得到阿勒泰地区冬季极端低温事件发生频次的年际变化特征,本文计算了各站近 51 a 来冬季极端低温事件发生频次的趋势系数和倾向率(表 2)。各站冬季极端低温事件发生频次的倾向率均呈负趋势,即频次呈减少趋势,其中富蕴、青河站减少趋势显著,每 10 a 平均减少 2.47~2.91 d,通过了 0.05 的显著性水平检验;福海站每 10 a 平均减少 1.35 d,但没有通过显著性检验。各站年冬季极端低温事件发生频次的趋势系数均为负相关,即阿勒泰地区冬季极端低温事件发生频次趋于下降趋势,富蕴、青河站的趋势系数通过了 0.05 的显著性水平检验。总的来说,东部冬季极端低温事件发生频次减少趋势显著。

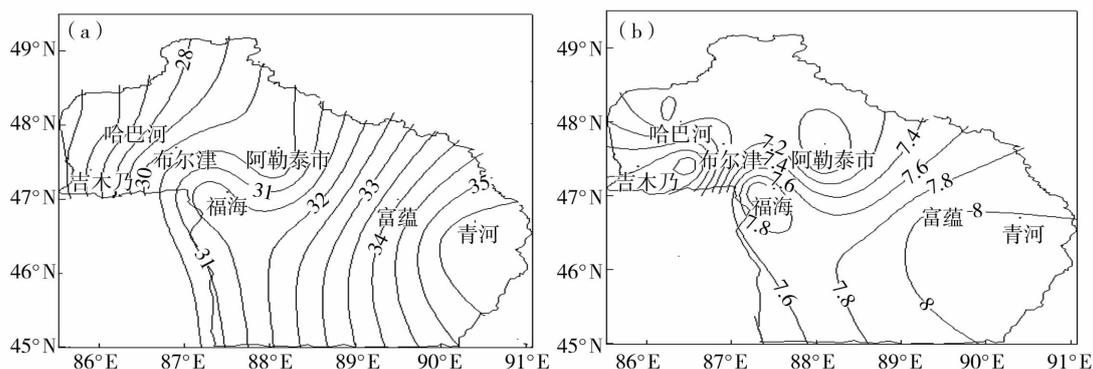


图 1 阿勒泰地区冬季极端低温阈值分布(a)及发生频次分布(b)

Fig. 1 The extreme low temperature threshold(a) and its frequency(b) in Aletai area

表 1 阿勒泰地区 1961 ~ 2011 年冬季极端低温事件发生频次年代际分布(单位:%)

Tab. 1 The decadal distribution of extreme low temperature event frequency from 1961 to 2011 in Aletai area

	哈巴河	吉木乃	布尔津	福海	阿勒泰市	富蕴	青河
1960 年代	0.30	0.31	0.27	0.27	0.29	0.35	0.33
1970 年代	0.18	0.19	0.25	0.27	0.22	0.31	0.32
1980 年代	0.17	0.17	0.15	0.18	0.16	0.15	0.13
1990 年代	0.07	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05	0.08
21 世纪以来	0.29	0.26	0.28	0.24	0.26	0.15	0.15

表 2 阿勒泰地区 1961 ~ 2011 年冬季极端低温事件发生频次变化倾向率和趋势系数(倾向率单位:d/10 a)

Tab. 2 The extreme low temperature event frequency change and tendency coefficient from 1961 to 2011 in Aletai area

频次	哈巴河	吉木乃	布尔津	福海	阿勒泰市	富蕴	青河
倾向率	-0.567	-0.828	-0.549	-1.35	-0.786	-2.91 *	-2.47 *
趋势系数	-0.102	-0.164	-0.115	-0.22	-0.137	-0.41 *	-0.343 *

注: * 表示通过置信度为 0.05 的水平检验

2.2 冬季极端低温事件的强度变化

本文统计出了各站近 51 a 以来的冬季极端低温事件极值在 -38.8 ~ -49.8 °C 之间,其分布如图 2a。等值线的密集区在西部,且数值由西向东、由南向北递减。冬季极端低温事件极值东部地区较低,富蕴站为全地区最低(-49.8 °C);冬季极端低温事件极值西部地区较高,吉木乃站为全地区最高(-38.8 °C),且该站也是全地区

极值高于 -40 °C 的唯一测站。此外,本文还给出了 1961 ~ 2011 年阿勒泰地区各站冬季极端低温事件均值分布(图 2b),即东部为相对低值区,西部为相对高值区。东部地区冬季极端低温事件均值相对较低,且青河站极端低温事件均值最低(-40.8 °C);西部地区极端低温事件均值相对较高,且吉木乃站极端低温事件均值最高(-32.2 °C)。

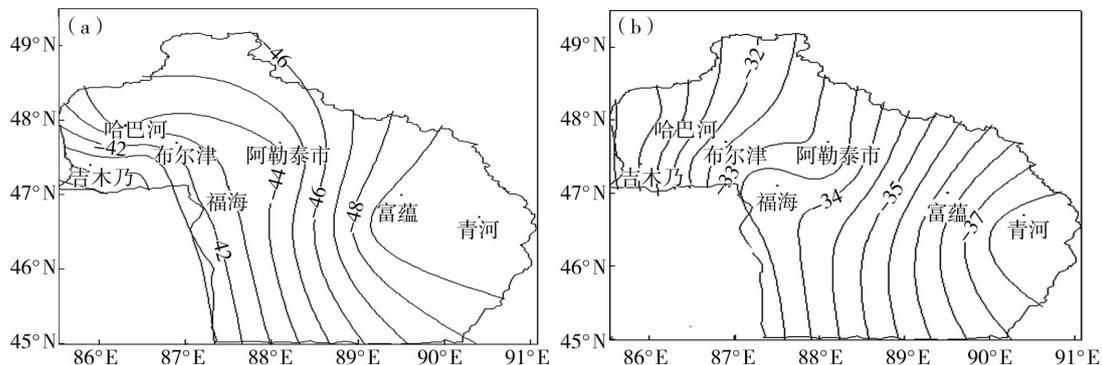


图 2 1961 ~ 2011 年阿勒泰地区冬季极端低温极值(a)及冬季极端低温事件均值分布(b)

Fig. 2 The extreme value of winter low temperature(a) and mean value of extreme low temperature event(b) from 1961 to 2011 in Aletai area

为了搞清楚阿勒泰地区近 51 a 来冬季极端低温事件强度的年际变化特征,本文统计出了各站年冬季日最低温度低于该站冬季极端低温事件阈值的最小值建立时间序列作为冬季极端低

温事件强度序列,然后对该时间序列进行趋势分析。计算了各站近 51 a 来冬季极端低温事件强度的趋势系数和倾向率,见表 3。各站冬季极端低温事件强度的倾向率均呈正趋势,说明各站近

51 a 冬季极端低温事件强度趋于减弱趋势,且哈巴河、福海、富蕴及青河站冬季极端低温事件减弱趋势显著,每 10 a 平均上升 $0.71 \sim 1.06 \text{ }^{\circ}\text{C}$,通过了 0.05 的显著性水平检验,其中富蕴站减弱趋势最为显著。各站冬季极端低温事件强度趋

势系数均为正相关,说明阿勒泰地区近 51 a 冬季极端低温事件强度趋于减弱趋势,且哈巴河、福海、富蕴及青河站通过了 0.05 的显著性检验。总的来说,阿勒泰地区近 51 a 来大部分测站冬季极端低温事件强度减弱趋势显著。

表 3 阿勒泰地区 1961 ~ 2011 年冬季极端低温事件发生频次变化倾向率和趋势系数(倾向率单位: $^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$)
Tab.3 The extreme low temperature events frequency change and trend coefficient from 1961 to 2011 in Aletai area

强度	哈巴河	吉木乃	布尔津	福海	阿勒泰市	富蕴	青河
倾向率	0.82 *	0.39	0.21	0.71 *	0.53	1.06 *	0.93 *
趋势系数	0.262 *	0.136	0.082	0.277 *	0.171	0.347 *	0.011 *

注: * 表示通过置信度为 0.05 的水平检验

3 极端低温强度的概率特征

丁裕国等^[14]用 Gumbel 分布拟合我国极端温度,取得了良好的效果。故本文冬季极端低温事件的分布也采用 Gumbel 分布来拟合,其参数估计采用概率加权法(PWM)。

3.1 Gumbel 分布参数的空间分布特征

从图 3 可见,由冬季极端低温强度的位置参数(图 3 a)可知,位置参数的分布较为简单,数值自西向东、自北向南递减,东部为位置参数的小值区,西部为位置参数的大值区。由冬季极端低温事件的尺度参数(3b)可知,尺度参数较位置参数的分布复杂,西部为等值线的密集区。数值自东向西、自北向南递增,在布尔津、福海一带有一低值中心(2.9);北部、东部为大值区,为 3.3 ~ 3.5。即位置参数与尺度参数的分布呈反向分布。这与相关文献研究的结论相悖,究其主要原因,文献^[10,15]研究对象均为极端极大值,而本文研究对象为极端最小值。

此外,尺度参数的分布与冬季极端低温强度标准差的分布(图略)极其相似,位置参数的分布与平均值的分布(图 2b)极其相似。且由公式可知,位置参数、尺度参数均受平均值、标准差的影响,但平均值对位置参数的影响较大,标准差对尺度参数的影响较大。总结参数的空间分布可知,本区东部极端温度较低,其年际扰动也较大;西部极端温度较高,其年际扰动也较小。

3.2 给定临界值的概率及其空间分布(或重现期极值)

由 50 a 一遇极值(图 4a)及 $\leq -50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冬季极端低温事件的概率(图 4b)分布均反映出地形及地理位置对冬季极端低温事件的影响。东部地区 50 a 一遇冬季极端极值较低,青河站为全地区之最低($-49 \text{ }^{\circ}\text{C}$);西部地区 50 a 一遇冬季极端极值较高,吉木乃站为全地区之最高($-39 \text{ }^{\circ}\text{C}$)。从 50 a 一遇极值的空间分布来看,整个阿勒泰地区出现冬季极端低温事件的概率大,特别是东部。

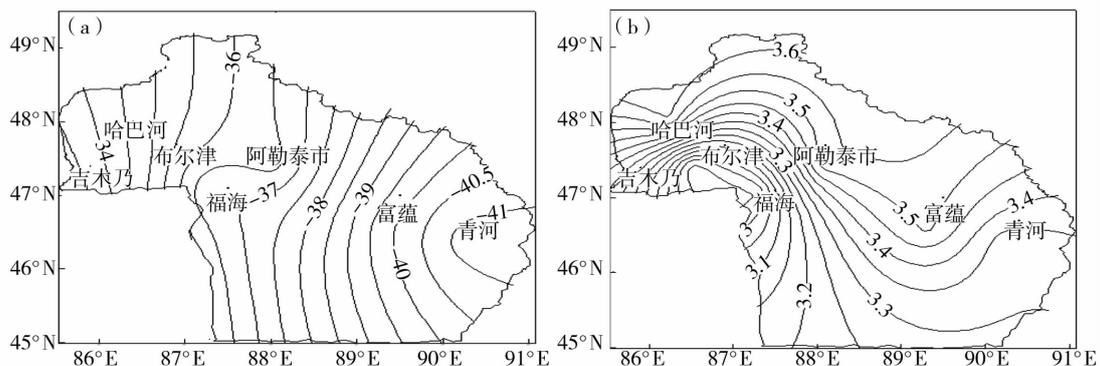


图 3 极端低温强度 Gumbel 位置参数空间分布(a)及尺度参数空间分布(b)

Fig.3 The spatial distribution of Gumbel location parameter(a) and scale parameter(b) in Aletai area

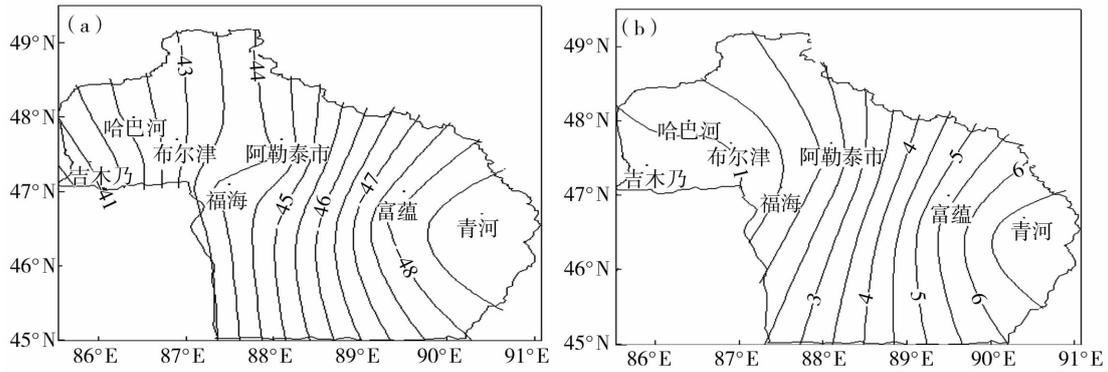


图4 50 a一遇极值分布(单位:℃)(a)及 ≤ -50 ℃的冬季极端低温事件的概率分布(b)(概率值系数扩大100倍)

Fig.4 The spatial distribution of 50 years extreme low temperature(a) and the probability distribution of extreme cold event with temperature less than -50 °C (b)

阿勒泰地区处于欧亚大陆腹地,是强冷空气南下的关键区,也是遭受强冷空气侵袭较为严重的地区。极寒天气的出现不仅对该地区的支柱产业牧业生产造成严重危害,而且也会对农业生产造成严重的危害。文献^[15]也表明,冬季低温与白灾的形成有很大的关系。故本文给出了阿勒泰地区冬季极端低温事件强度 ≤ -50 ℃界限概率空间分布,概率在0.004~0.068之间。西部出现 < -50 ℃的概率相对较小,吉木乃站为全地区最小(0.004);东部出现 < -50 ℃的概率相对较大,青河站为全地区最大(0.068)。总的来说,东部出现极端低温事件的数值低,且出现 < -50 ℃的冬季极端低温事件的概率大,故富蕴、青河站必须提高防御极端低温灾害的能力,以应对可能出现的极端低温灾害。

4 冬季极端低温事件的持续性分析

根据Hurst指数(下文简称 H)的大小可以判断时间序列趋势成分是表现为持续性,还是反持续性。对于不同的 H 指数($0 < H < 1$),存在3种情况: $H = 0.5$ 时表明时间序列变化是随机的; $0 < H < 0.5$ 时表明时间序列具有长期相关性,但将来的总体趋势与过去的相反,表明时间序列过程具有反持续性, H 值越接近于0,反持续性越强; $0.5 < H < 1$ 时表明时间序列过程具有持续性, H 越接近1,持续性越强。

根据R/S分析基本原理,表4给出了阿勒泰地区1961~2011年冬季极端低温事件发生频次及强度的 H 指数。从表4可知,阿勒泰地区冬季极端低温事件发生频次 H 指数均在 $0 < H < 0.5$,即冬季极端低温事件未来发生频次会有所增多。阿勒泰地区冬季极端低温事件强度的Hurst指数均在 $0 < H < 0.$

5,即冬季极端低温事件未来发生强度会有所增强。进一步分析表明,就阿勒泰地区冬季极端低温事件发生频次而言,哈巴河站的Hurst指数为0.104,表明未来该测站冬季极端低温事件发生频次的反持续性相对最强,即该测站未来冬季极端低温事件发生频次增多幅度大;就阿勒泰地区冬季极端低温事件发生强度而言,布尔津站的Hurst指数为0.104,表明该测站未来冬季极端低温事件发生强度的反持续性相对最强,即该测站未来冬季极端低温事件发生强度增强幅度大。总的来说,阿勒泰地区未来冬季极端低温事件频次可能会增多,强度可能会增强。由于该结论仅基于R/S分析,且其与资料的长度有关,该结论的真实性还有待于序列延长后进一步证实。

表4 阿勒泰地区1961~2011年冬季极端低温事件发生频次及强度的Hurst指数

Tab.4 The Hurst index of the extreme low temperature event frequency and intensity from 1961 to 2011 in Aletai area

	哈巴河	吉木乃	布尔津	福海	阿勒泰市	富蕴	青河
频次	0.104	0.278	0.247	0.144	0.322	0.255	0.265
强度	0.282	0.188	0.104	0.186	0.231	0.249	0.198

5 总结

(1)阿勒泰地区南部、东部为冬季极端低温事件发生的相对多发区,西部、北部地区为相对少发区。1960年代发生的频次最多,此后在1970年代、1980年代相继下降,到1990年代最少,21世纪以来各站呈大幅上升趋势。

(2)阿勒泰地区各站冬季极端低温事件发生频次倾向率均呈减少趋势,其中富蕴、青河站减少趋势显著;各站冬季极端低温事件强度的倾向率均呈减弱趋势,哈巴河、福海、富蕴及青河站冬季极端低温事件强度减弱趋势显著。

(3)阿勒泰地区东部 50 a 一遇冬季极端极值较低,青河站为全地区最低;西部 50 a 一遇冬季极端极值较高,吉木乃站为全地区最高。西部地区冬季极端低温事件强度 $\leq -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 界限概率较小,东部地区冬季极端低温事件强度 $\leq -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 界限概率较大。故富蕴、青河站必须提高防御极端低温灾害的能力,以应对可能出现的极端低温灾害。

(4)根据 R/S 分析,阿勒泰地区冬季极端低温事件发生频次和强度 Hurst 指数均在 $0 < H < 0.5$,说明冬季极端低温事件频次未来会有所增多,冬季极端低温事件强度未来会有所增强。但该结论的真实性还有待于序列延长后进一步证实。

参考文献:

- [1] 任朝霞,杨达源. 近 40a 西北干旱区极端气候变化趋势研究[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(4):10-13.
- [2] 吴爱敏,王建. 甘肃庆阳极端气温气候特征及预报[J]. 干旱气象,2010,28(4):116-120.
- [3] 杨金虎,江志红,魏绎,等. 近 45 a 来中国西北年极端高、低温的变化及对区域性增暖的响应[J]. 干旱区地理,2006,29(5):625-630.
- [4] 庄晓翠,郭城,张林梅. 西北干旱区阿勒泰地区气温日较差的变化特征及 R/S 分析[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(12):85-92.
- [5] 齐贵英. 阿勒泰地区 1962-2008 年最高最低气温变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2011,5(3):33-37.
- [6] 庄晓翠,安冬亮,张林梅,等. 阿勒泰地区寒潮天气特征分析及预报[J]. 沙漠与绿洲气象,2010,4(1):32-35.
- [7] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent LA, et al. Characteristic of daily and extreme temperature over Canada[J]. J Climate, 2001, 14(9):1959-1976.
- [8] 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(增):1-10.
- [9] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报,1995,53(4):431-439.
- [10] 魏锋,丁裕国,王劲松,等. 西北地区 5-9 月极端干期长度的概率特征分析[J]. 中国沙漠,2007,27(1):147-152.
- [11] 罗纯,王筑娟. Gumbel 分布参数估计及在水位资料中的运用[J]. 运用概率统计,2005,21(2):169-175.
- [12] 张晓伟,沈冰,孟彩侠. 和田绿洲水文气象要素分形特征与 R/S 分析[J]. 中国农业气象,2008,29(1):12-15.
- [13] 张利平,王德智,夏军,等. R/S 分析在洪水变化趋势预测应用研究[J]. 中国农村水利水电,2005(2):3840.
- [14] 丁裕国,刘吉峰,张耀存. 基于概率加权估计的中国极端气温时空分布模拟试验[J]. 大气科学,2004,28(5):276-287.
- [15] 张林梅,黄阿丽,李海花,等. 新疆阿勒泰地区 5-9 月极端干期长度的概率特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2011,5(6):27-31.
- [16] 庄晓翠,晋绿生,赵俊荣,等. 阿勒泰地区白灾的天气学分析及防御对策[J]. 新疆气象,2014,27(5):7-9.

Variation of Extremely Low Temperature Events in Winter of Aletai Region

ZHANG Linmei^{1,2}, HUANG Ali², XIE Xiuqing²

(1. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730002, China;
2. Aletai Meteorological Bureau of Xinjiang, Aletai 836500, China)

Abstract: Based on the daily minimum temperature in winter (from November to March) during 1961-2011 at seven stations in Aletai region, the threshold of extremely low temperature at each station was given by using percentile method definition, and the climatic features of extremely low temperature events in winter of Aletai region were analyzed by using the methods of climate tendency coefficient, climatic trend rate, Gumbel function and R/S analysis. The results show that the threshold of the extremely cold events in winter at each station ranged from -26 to $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the frequency tendency rate and intensity of extremely cold events decreased in recent years. The extremely minimum temperature value which encountered in 50 years was lower in the eastern region and higher in the west region, and the probability of extremely low temperature less than $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ was smaller in west region and higher in east region of Aletai. According to the R/S analysis, the extremely cold events in winter may increase and the intensity may be enhanced in Aletai region in future.

Key words: extremely low temperature events; Gumbel distribution; R/S analysis