

Characteristics of Frequency, Intensity and Climate of Cold Wave in Altay 1954-2017a

Ernan Bo^{1,2}, Jiangwei Zhao³, Lijuan Chen³, Natihan Ha³

¹Institute of Desert Meteorology, Chinese Meteorological Administration at Urumqi, Urumqi Xinjiang

²Center for Central Asian Atmospheric Science Research, Urumqi Xinjiang

³The Altay Meteorological Bureau Altay, Altay Xinjiang

Email: burlen_928@126.com

Received: Jul. 9th, 2020; accepted: Jul. 23rd, 2020; published: Jul. 30th, 2020

Abstract

Based on the daily minimum temperature data of Altay reference climate station from 1954 to the spring of 2017, taking the daily minimum temperature and its cooling range as indexes, the single factor intensity evaluation index of cold wave process is calculated, that including cold wave cooling range, maximum 24 h cooling range, maximum 48 h cooling range, maximum 72 h cooling range, process minimum temperature and process minimum temperature anomaly. Evaluation of each cold wave weather process by cold wave comprehensive intensity index I_Y , the results are as follows: 1) Taking the cold wave weather process standardization index I_A as the index, the process of ranking the top ten from large to small intensities generally distributes relatively evenly during each month during the general cold wave and strong cold wave, and all the extremely strong cold wave processes are in March. 2) Taking the cold wave weather process maximum 24 h, 48 h and 72 h standardization index I_{24h} , I_{48h} and I_{72h} as indicators, the general cold wave process occurred twice, once and 4 times in March respectively during the cold wave process of the top ten intensities from largest to smallest, all appeared in April for 3 times, and appeared in May for 5 times, 6 times and 3 times respectively, the strong cold wave process appeared 6 times, 6 times and 5 times in March respectively, and twice, twice and 3.5 times in April respectively, and there were twice, twice and 1.5 times in May respectively. The extremely strong cold wave process all appeared in March. 3) Taking the cold wave weather process minimum temperature standardized index I_{TD} as an indicator, the top ten cold wave processes of all levels with intensity from large to small all appeared in March. Taking the cold wave weather process the lowest temperature anomaly standardized index I_{JP} as an indicator, the general cold wave occurred 4 times in April and 6 times in May for the top ten cold waves with intensity from large to small, while strong cold waves process and super strong cold waves process all occurred 9 times in March and once in April. 4) Taking the comprehensive evaluation index I_Y of the cold wave process intensity of each level as the index, the general cold wave process with the intensity ranked in the top ten from largest to smallest occurred only once in March, 4 times in April, and 5 times in May, 8 times of the strong cold waves in the top ten appeared in March and twice in April, 9 times of the extremely strong cold waves in the top ten appeared in March and once in April. 5) The intensity of the general cold wave and strong cold wave in spring showed a weakening trend, but not significant, while the extra-strong cold wave process was weak and significant.

Keywords

Cold Waves Process, Standardized Index, Intensity, Altay

1954~2017a阿勒泰市春季各级别寒潮过程强度评估

博尔楠^{1,2}, 赵江伟³, 陈丽娟³, 哈那提汗³

¹中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐

²中亚大气科学研究中心, 新疆 乌鲁木齐

³阿勒泰地区气象局, 新疆 阿勒泰

Email: burlen_928@126.com

收稿日期: 2020年7月9日; 录用日期: 2020年7月23日; 发布日期: 2020年7月30日

摘要

利用阿勒泰基准气候站日最低气温资料, 资料长度从1954年到2017年的春季, 以日最低气温及其降温幅度为指标, 计算寒潮过程单要素强度评估指标包括: 寒潮降温幅度, 最大24 h降温幅度, 最大48 h降温幅度, 最大72 h降温幅度, 过程最低气温, 过程最低气温距平; 以寒潮综合强度指数 I_V 评估各次寒潮天气过程, 结果表明: 1) 以寒潮天气过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标, 强度从大到小排列前十位的过程一般寒潮和强寒潮过程各月分布比较均匀, 特强寒潮过程全部出现在3月。2) 以寒潮天气过程最大24 h、48 h和72 h降温幅度标准化指数 I_{24h} 、 I_{48h} 和 I_{72h} 为指标, 强度从大到小排列前十位的寒潮过程中一般寒潮过程出现在3月的分别有2次、1次和4次, 出现在4月的均为3次, 出现在5月的分别有5次、6次和3次; 强寒潮过程出现在3月的分别有6次、6次和5次, 出现在4月的分别有2次、2次和3.5次, 出现在5月的分别有2次、2次和1.5次; 特强寒潮过程全部出现在3月。3) 以寒潮天气过程最低气温标准化指数 I_{TD} 为指标, 强度从大到小排列前十位的各级别寒潮过程全部出现在3月。以寒潮天气过程最低气温距平标准化指数 I_P 为指标, 强度从大到小排列前十位的寒潮过程中一般寒潮过程中4次出现在4月, 6次出现在5月; 强寒潮和特强寒潮过程均有9次出现在3月, 1次出现在4月。4) 以各级别寒潮过程强度综合评估指标 I_V 为指标, 强度从大到小排列前十位的一般寒潮过程3月只出现了1次, 4次出现在4月, 5次出现在5月; 排列前十位的强寒潮过程中8次出现在3月, 2次出现在4月; 排列前十位的特强寒潮过程中9次出现在3月, 1次出现在4月。5) 春季一般寒潮和强寒潮过程强度均为强度呈减弱的趋势, 但不显著; 而特强寒潮过程为强度减弱且显著。

关键词

寒潮过程, 标准化指数, 强度, 阿勒泰

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

寒潮天气通常会造成剧烈降温和大风,有时还伴有雨、雪、雨凇或霜冻,给国民经济造成巨大损失。寒潮天气往往伴随多种灾害性天气,寒潮多发生在秋末、冬季、初春时节,是新疆的重要气象灾害之一,对农业、牧业、工业、交通和人民生活有很大影响,使新疆原本就相对落后的经济雪上加霜。寒潮爆发后造成剧烈降温,隆冬季节有时会出现极端低温,例如,2012年12月18~22日北疆大范围的寒潮天气过程,北疆大部气温降至近20a来12月最低,18~20日连续降温,北疆最低气温普遍累计下降 $8^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$,塔城、阿勒泰、哈密北部 $10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$,多地出现了历史极端最低气温,国家站3站约 -40°C ,区域站28站约 -40°C 、18站约 -42°C 、4站约 -45°C ,阿勒泰 -39.1°C ,阿勒泰地区的富蕴县吐尔洪乡 -49.1°C ;春播关键期的寒潮危害更大,2014年4月23日北疆大范围寒潮过程,北疆大部24h最低气温降温 10°C 以上,塔城、阿勒泰、昌吉州东部的部分降温 12°C ,北疆和东疆大部地区以及巴州焉耆盆地的最低气温降至 0°C 以下,北疆、东疆大部降至 0°C 至 -5°C ,偏北、偏东 -5°C 至 -10°C ,山区 -10°C 以下,36站达到寒潮标准。由于剧烈降温导致牲畜死亡3606头(只)、受灾29,200头(只),此次寒潮天气共造成经济损失9.32亿元。

李宪之[1]早在1955年就指出东亚寒潮可以分为三大类型。刘传凤[2]研究了影响中国大陆的冷空气源地和路径。后来,经丁一汇和张培忠等[3][4]的进一步研究证实,侵袭中国的寒潮源地主要有三个:一是新地岛以西的北冰洋洋面;二是新地岛以东的北冰洋洋面;三是冰岛以南的大西洋洋面。通过大量有关寒潮的主要源地、寒潮的统计特征、寒潮天气系统及其天气过程、寒潮的成因及预报等研究,形成了比较系统和经典的寒潮理论[5][6][7]。最近,Chan等[8]对东亚冬季风进行了全面总结,这对于了解相关寒潮形成的环流背景和条件是十分有益的。近十几年来,中国的气温出现了明显的升高趋势,尤其在春季[9]。在此背景下,很多研究发现中国寒潮的发生频率和强度也出现了明显变化。统计分析表明,从20世纪50~80年代中国各类寒潮的发生频次呈减少趋势,且强度有所减弱。我国幅员辽阔,气候条件差异很大,寒潮过程特点各不相同。特别是在气候变暖的大背景下,我国寒潮特征也发生了改变[10]。因此对于寒潮及寒潮天气的研究仍然是近期乃至今后研究的重点。近年来对于新疆的寒潮研究也取得了一定的进展[11]-[17],造成寒潮过程中的强降水的原因是西方冷空气与中亚南支槽东移北上的暖湿气流在伊犁河谷、天山山区和新疆北部沿天山一带汇合,并配合动力作用和水汽条件共同形成的。中低层强冷空气先行入侵,在哈萨克丘陵附近形成锋生冷锋,在快速入侵新疆的过程中与干热的下垫面接近,导致新疆北部出现剧烈降温及不同程度的大风沙尘天气;冷锋进入后在天山山脉北侧形成寒潮静止锋,由于高空后倾的干冷空气不断侵入,再次出现锋生过程,导致新疆北部沿天山及天山山区的持续降温及大到暴量的雨转雪过程。虽然新疆寒潮天气的研究较多,但是对强冷空气的源地和强冷空气的活动预报不够精准。新疆老一辈预报专家从大型环流形势角度对寒潮天气进行了细致分析,1986年出版的《新疆短期天气预报指导手册》中揭示了新疆寒潮的大尺度环流和演变特征[18],但是新疆范围广,还未形成当前新资料技术条件下的寒潮精细化和定量的评估能力,缺乏利用新资料预报降温幅度和最低温度的定量方法,寒潮精细化强度评估能力亟待增强。进入21世纪,气象工作者继续对寒潮进行研究,赵俊荣等[19]、李海花等[20]开展了2008年4月天山北坡和北疆北部一次强寒潮天气的成因分析,张林梅等[21]应用实况和T213物理量场分析了2009年2月阿勒泰寒潮天气的强降温及降水原因,庄小翠[22][23]等分析了新疆寒潮天气及预报指标,李海燕等[24]总结了新疆一次超极地路径的寒潮天气特征。陈豫英等[25]揭示了宁夏境内一场寒潮的影响系统配置、冷空气路径,李效珍等[26]根据历史资料分析了大同地区几类寒潮天气的气象条件和预报着眼点;高振荣等[27]得出高空急流在甘肃河西寒潮爆发的作用,孙玉莲等[28]对比分析了甘肃临夏地区2次寒潮天气的成因,赵玉广等[29]分析了河北的寒潮天气的形势特征和预报着眼点。

阿勒泰市位于新疆北部,地处中纬度地区,四季分明,研究日气温变化特征极具代表性,为当地防

御寒潮过程的不利影响,尤其是在春季,但目前寒潮过程的业务评估产品无法满足社会公众服务的需求,关于寒潮降温过程气候评价的研究较少,不能定量评估寒潮过程的发生次数和强度。本文以阿勒泰市为研究区域,分析表征寒潮降温过程强度的指标,根据量化指标客观判识阿勒泰市春季寒潮降温过程的频数和强度,深入研究阿勒泰市寒潮降温过程的基本规律,对寒潮过程的强度进行定量评估研究,以期为提升阿勒泰市灾害防御水平提供技术支持。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

选取阿勒泰基准气候站日最低气温资料,资料长度从 1954 年到 2017 年的春季(每年 2 月 26 日至 5 月 31 日,共计 63 年)。阿勒泰市的春季为 3~5 月,即 3 月 1 日至 5 月 31 日。而根据《寒潮等级》(GB/T21987-2008)中的规定,寒潮的降温幅度涉及时间尺度包括 24 h、48 h 和 72 h,即 2 月 28 日至 3 月 1 日(平年)24 h 最低气温降幅 $\geq 8.0^{\circ}\text{C}$,或 2 月 27 日至 3 月 1 日 48 h 最低气温降幅 $\geq 10.0^{\circ}\text{C}$,或 2 月 26 日至 3 月 1 日最低气温降幅 $\geq 12.0^{\circ}\text{C}$,且 3 月 1 日最低气温 $\leq 4.0^{\circ}\text{C}$,则为一次寒潮降温过程。根据本文的研究需要上述时段的寒潮天气过程均可算发生在 3 月(即春季)的寒潮过程,因此资料时段为每年的 2 月 26 日开始。

2.2. 研究方法

2.2.1. 寒潮过程定义

降温剧烈是寒潮天气的基本要素,本文定义了阿勒泰站寒潮降温过程的系列要素强度特征指标,包括降温日和降温过程要素,即降温过程初日、降温过程终日、降温持续日数、过程降温幅度、过程最大 24 h、48 h 和 72 h 降温幅度及过程最低气温和过程最低气温距(表 1)。

Table 1. Definitions of various cooling concepts

表 1. 各类降温概念定义

名称	定义
降温日	气象观测站日最低气温较前一日下降,即当日 $\Delta T_{24} < 0.0^{\circ}\text{C}$,定义为一个气温下降日,简称降温日。
降温过程、降温初日、终日	气象观测站 24h 变温 ΔT_{24} 由 $\geq 0.0^{\circ}\text{C}$ 转为 $< 0.0^{\circ}\text{C}$ 的第一日定义为降温过程初日,持续至 ΔT_{24} 再次 $\geq 0.0^{\circ}\text{C}$ 的前一日定义为降温过程终日
持续日数	降温初日至终日的日数定义为降温过程持续日数
最大 24 h 降温幅度	降温过程中 ΔT_{24} 最低值
最大 48 h 降温幅度	降温过程中 ΔT_{48} 最低值,如降温过程持续时间不足 2 d,则过程 48 h 最大降温幅度不统计
最大 72 h 降温幅度	降温过程中 ΔT_{72} 最低值,如降温过程持续时间不足 3 d,则过程 72 h 最大降温幅度不统计
最低气温	过程终日的日最低气温
最低气温距平	过程终日的日最低气温与同日多年平均值之差

《寒潮等级》(GB/T21987-2008)中定义了某地(单站)寒潮标准:以日最低气温为指标,某气象观测站 24 h 降温幅度达到或超过 8.0°C (或 48 h 降温幅度达到或超过 10.0°C ,或 72 h 降温幅度达到或超过 12.0°C),同时日最低气温降至 4.0°C 或以下,记为一次寒潮过程。可见,《寒潮等级》定义了单站或区域“寒潮日”的标准,本文借鉴毛炜峰[30] [31]等从降温过程角度判识单站寒潮过程及其等级,将寒潮过程最大 24 h、48 h 和 72 h 降温幅度及过程最低气温作为指标,并借鉴《寒潮等级》(GB/T21987-2008)中寒潮过程的判识标准,确定单站寒潮过程。

2.2.2. 寒潮过程发生频数及强度特征指标统计标准

某月(或某旬)寒潮过程发生频数的统计标准为:寒潮降温过程的开始日期与结束日期在同一月(旬)内,则记录该月(旬)出现 1.0 次寒潮过程;若寒潮降温过程的开始日期和结束日期在相邻的两个月(旬),则两个月(旬)分别记录出现 0.5 次寒潮过程。某月(旬)寒潮过程强度特征指标的统计标准为:寒潮降温过程的开始日期与结束日期在同一月(旬)内,则此次寒潮过程强度特征量参与该月(旬)寒潮强度指标统计;若寒潮降温过程的开始日期和结束日期分别在两个相邻月(旬),则计算两个月(旬)的寒潮要素强度指标时均考虑此次寒潮过程的贡献。

2.2.3. 寒潮过程强度标准化指数

标准化强度指数:计算寒潮过程各单要素特征量序列的标准化值,再根据标准化值排序,确定寒潮过程单要素强度的排序。将选取的各单要素标准化值的等权重和作为综合强度指数 I_Y ,再根据 I_Y 排序确定寒潮过程综合强度的排序,客观、科学的反应一次寒潮过程的强度。

3. 春季各级别寒潮过程单要素强度评估

寒潮过程单要素强度评估指标包括:寒潮降温幅度,最大 24 h 降温幅度,最大 48 h 降温幅度,最大 72 h 降温幅度,过程最低气温,过程最低气温距平。各项指标均可从一定角度反映寒潮降温过程的强度。以下分别以 6 项单要素强度评估指标为依据,定量评估阿勒泰市最强寒潮降温过程。

3.1. 春季各级别寒潮过程降温幅度强度评估

1954~2017 年春季(3~5 月)阿勒泰市共发生一般寒潮天气过程 110 次,平均降温幅度为 -10.8°C 。以 110 次一般寒潮天气过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标,强度从大到小排列前十位的过程有 4 次出现在 3 月,3.5 次出现在 5 月,2.5 次出现在 4 月。最强一般寒潮过程出现在 1976 年 3 月 4 日至 3 月 10 日,最低气温由 3 月 3 日 -6.0°C 降至 3 月 10 日 -21.2°C ,降温幅度达 -15.2°C (表 2(a))。

近 64a 阿勒泰市共发生强寒潮天气过程 76 次,平均降温幅度为 -13.0°C 。以 76 次强寒潮天气过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标,强度从大到小排列前十位的过程在 3 月、4 月和 5 月分别出现了 3.5 次、3 次和 3 次。最强强寒潮过程出现在 1958 年 3 月 21 日至 24 日,最低气温由 3 月 20 日 3.8°C 降至 3 月 24 日 -25.9°C ,降温幅度达 -22.1°C (表 2(b))。

1954~2017 年春季(3~5 月)阿勒泰市共发生特强寒潮天气过程 40 次,平均降温幅度为 -17.3°C 。以 40 次一般寒潮天气过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标,强度从大到小排列前十位的过程全部现在 3 月,而一般寒潮过程和强寒潮过程前十个月分布比较平均。最强一般寒潮过程出现在 1977 年 2 月 27 日至 3 月 1 日,最低气温由 2 月 26 日 -5.8°C 降至 3 月 1 日 -34.1°C ,降温幅度达 -28.3°C (表 2(c))。

Table 2. (a) Nearly 64 years Altay region takes the process cooling amplitude standardization index I_A as the index general cold wave process intensity ranking; (b) Nearly 64 years in Altay region the intensity ranking of strong cold tide process is based on the I_A of standardized index of process cooling amplitude; (c) Nearly 64 years in Altay region the intensity ranking of super-strong cold wave process is based on the standardized index I_A of process cooling amplitude

表 2. (a) 近 64a 阿勒泰市以过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标的一般寒潮过程强度排序; (b) 近 64a 阿勒泰市以过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标的强寒潮过程强度排序; (c) 近 64a 阿勒泰市以过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标的特强寒潮过程强度排序

(a)

排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$	过程最低气温/ $^{\circ}\text{C}$	最低气温距平/ $^{\circ}\text{C}$	最大 24 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$	最大 48 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$	最大 72 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$
1	1976/3/4	1976/3/10	7	-15.2	-21.2	-5.6	-7.5	-9.2	-12.0
2	1982/4/23	1982/4/26	4	-15.2	-3.6	-7.9	-9.9	-11.9	-13.6

Continued

3	1970/4/29	1970/5/2	4	-14.6	-3.8	-9.1	-8.8	-9.0	-9.3
4	1961/5/23	1961/5/25	3	-14.3	3.4	-5.7	-8.8	-11.3	-14.3
5	1961/5/29	1961/5/31	3	-14.3	3.2	-7.4	-10.5	-12.8	-14.3
6	1963/4/25	1963/4/27	3	-13.9	-5.3	-10.5	-7.3	-11.5	-13.9
7	1990/5/16	1990/5/17	2	-13.9	2.7	-6.7	-7.4	-13.9	
8	1993/3/2	1993/3/5	4	-13.8	-24.2	-6.5	-4.9	-8.6	-12.7
9	1956/3/14	1954/3/16	3	-13.7	-24.5	-13.6	-5.7	-9.5	-13.7
10	2004/3/26	2004/3/28	3	-13.6	-13.7	-9.4	-5.5	-10.4	-13.6

(b)

排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/°C	过程最低气温/°C	最低气温距平/°C	最大24 h降温/°C	最大48 h降温/°C	最大72 h降温/°C
1	1958/3/21	1958/3/24	4	-22.1	-25.9	-16.4	-7.6	-11.3	-15.2
2	1971/2/28	1971/3/3	4	-17.2	-36.4	-19.4	-6.4	-10.0	-14.0
3	2001/5/19	2001/5/22	4	-16.4	1.5	-7.5	-5.0	-10.0	-14.0
4	1961/5/3	1961/5/5	3	-15.8	-1.5	-8.0	-5.8	-11.6	-15.8
5	1970/4/4	1970/4/5	2	-15.8	-5.7	-4.1	-9.9	-12.4	
6	1975/3/6	1975/3/11	6	-15.5	-19.8	-3.6	-7.3	-12.1	-13.6
7	1989/4/9	1989/4/12	4	-15.5	-5.7	-5.4	-6.6	-11.5	-14.6
8	1999/3/23	1999/3/25	3	-15.5	-22.4	-15.5	-11.3	-13.5	-15.5
9	1957/5/11	1957/5/15	5	-15.9	-2.2	-9.5	-7.3	-12.8	-13.3
10	1963/4/1	1963/4/3	3	-14.9	-13.1	-10.9	-6.1	-10.3	-14.9

(c)

排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/°C	过程最低气温/°C	最低气温距平/°C	最大24 h降温/°C	最大48 h降温/°C	最大72 h降温/°C
1	1977/2/27	1977/3/1	3	-28.3	-34.1	-16.3	-12.7	-23.1	28.3
2	1960/3/9	1960/3/10	2	-25.3	-30.3	-15.3	-20.8	-25.3	
3	1999/3/15	1999/3/17	3	-23.3	-30.8	-20.1	-12.2	-20.2	23.3
4	1994/3/5	1994/3/17	3	-23.0	-30.5	-14.1	-14.7	-22.1	23.0
5	1998/3/14	1998/3/17	4	-21.3	-25.8	-14.9	-12.6	-16.4	17.5
6	1966/3/16	1966/3/17	2	-20.6	-22.7	-12.2	-13.2	-20.6	
7	1956/3/19	1956/3/20	2	-20.4	-27.4	-17.4	-11.5	-20.4	
8	1978/2/18	1978/3/2	3	-19.9	-21.4	-4.4	-10.3	-16.6	19.9
9	1955/3/5	1955/3/7	3	-19.6	-29.2	-12.8	-13.6	-17.1	19.6
10	1980/3/6	1980/3/9	4	-19.0	-29.0	-12.8	-9.7	-15.0	16.3

3.2. 春季各级别寒潮过程最大 24 h 降温幅度强度评估

1954~2017 年春季阿勒泰市共发生一般寒潮、强寒潮和特强寒潮天气过程 110 次、76 次和 40 次，最大 24 h 降温幅度平均值分别为-7.8℃、-9.0℃和-12.0℃。以各级别寒潮天气过程最大 24 h 降温幅度标准化指数 I_{24h} 为指标，强度从大到小排列前十位的寒潮过程中一般寒潮过程 2 次出现在 3 月，3 次出现在 4 月，5 次出现在 5 月；强寒潮过程 6 次出现在 3 月，2 次出现在 4 月，2 次出现在 5 月；特强寒潮过程 9 次出现在 3 月，1 次出现在 4 月。最强一般寒潮过程出现在 1977 年 5 月 7 日，最低气温由 5 月 6 日 0.0℃降至 5 月 7 日-11.7℃，24 h 降温幅度达-11.7℃；最强强寒潮过程出现在 1974 年 5 月 15 日至 16 日，最低气温由 5 月 15 日 12.5℃降至 16 日 0.5℃，24 h 降温幅度达-12.0℃；最强特强寒潮过程出现在 1960 年 3 月 9 日至 3 月 10 日，最低气温由 3 月 8 日-5.0℃降至 3 月 9 日-25.8℃，24 h 降温幅度达-20.8℃ (表 3)。

Table 3. (a) Nearly 64 years Altay region with the process maximum 24 h cooling amplitude standardization index I_{24h} as the index general cold wave process intensity ranking; (b). Nearly 64 years Altay region takes the process maximum 24 h cooling amplitude standardization index I_{24h} as the index as the strong cold tide process intensity ranking; (c) Nearly 64 years Altay region with the process maximum 24 h cooling amplitude standardization index I_{24h} as indicators of the intensity of the particularly strong cold wave process ranking

表 3. (a) 近 64a 阿勒泰市以过程最大 24 h 降温幅度标准化指数 I_{24h} 为指标的一般寒潮过程强度排序; (b) 近 64a 阿勒泰市以过程最大 24 h 降温幅度标准化指数 I_{24h} 为指标的强寒潮过程强度排序; (c) 近 64a 阿勒泰市以过程最大 24 h 降温幅度标准化指数 I_{24h} 为指标的特强寒潮过程强度排序

(a)									
排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/℃	过程最低气温/℃	最低气温距平/℃	最大 24 h 降温/℃	最大 48 h 降温/℃	最大 72 h 降温/℃
1	1977/5/7	1977/5/7	1	-11.7	-11.7	-18.8	-11.7		
2	2003/4/30	2003/4/30	1	-11.2	-11.2	-16.7	-11.2		
3	1961/5/29	1961/5/31	2	-14.3	3.2	-7.4	-10.5	-12.8	-14.3
4	2000/5/6	2000/5/7	1	-11.8	1.5	-5.7	-10.1	-11.8	
5	1982/4/23	1982/4/26	4	-15.2	-3.6	-7.9	-9.9	-11.9	-13.6
6	1961/5/8	1961/5/8	1	-9.8	-9.8	-17.3	-9.8		
7	2002/3/16	2002/3/16	1	-9.8	-9.8	0.7	-9.8		
8	1964/5/10	1964/5/12	3	-11.2	3.8	-3.8	-9.7	-10.0	-11.2
9	1965/4/21	1965/4/21	1	-9.7	-9.7	-12.7	-9.7		
10	2002/3/8	2002/3/9	2	-10.7	-10.7	3.2	-9.7	-10.7	

(b)									
排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/℃	过程最低气温/℃	最低气温距平/℃	最大 24 h 降温/℃	最大 48 h 降温/℃	最大 72 h 降温/℃
1	1974/5/15	1974/5/16	2	-12.8	-0.5	-8.7	-12.0	-12.8	
2	2002/3/19	2002/3/19	1	-11.7	-12.5	-2.5	-11.7		
3	2010/3/3	2010/3/3	1	-11.7	-31.7	-15.0	-11.7		
4	1966/3/1	1966/3/1	1	-11.6	-14.5	2.8	-11.6		
5	2005/3/15	2005/3/16	2	-13.7	-15.1	-4.4	-11.6		
6	1989/4/2	1989/4/3	2	-11.5	1.7	3.6	-11.3	-11.5	
7	1999/3/23	1999/3/25	3	-15.5	-22.4	-15.5	-11.3	-13.5	-15.5
8	1977/3/10	1977/3/11	2	-12.2	-17.4	-3.5	-11.2	-12.2	
9	2005/5/3	2005/5/4	2	-12.6	-0.2	-6.7	-11.1	-12.6	
10	1988/4/23	1988/4/23	1	-11.0	-0.6	-4.9	-11.0		

(c)

排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/°C	过程最低气温/°C	最低气温距平/°C	最大 24 h 降温/°C	最大 48 h 降温/°C	最大 72 h 降温/°C
1	1960/3/9	1963/3/10	2	-25.3	-30.3	-15.3	-20.8	-25.3	
2	1982/3/1	1982/3/2	2	-16.5	-22.5	-5.2	-15.0	-16.5	
3	2014/4/23	2014/4/24	2	-17.4	-6.8	-11.1	-14.9	-17.4	
4	1977/3/21	1977/3/21	1	-14.8	-27.0	-17.5	-14.8		
5	1994/3/5	1994/3/7	3	-23.0	-30.5	-14.1	-14.7	-22.1	-23.0
6	2001/3/1	2001/3/2	2	-17.3	-24.0	-6.7	-14.7	-17.3	
7	1999/2/28	1999/3/1	2	-14.5	-18.2	-1.2	-14.3	-14.5	
8	1978/3/8	1978/3/8	1	-13.9	-24.5	-9.2	-13.9		
9	1967/3/1	1967/3/2	2	-18.0	-28.9	-11.6	-13.8	-18.0	
10	1955/3/5	1955/3/7	3	-19.6	-29.2	-12.8	-13.6	-17.1	-19.6

3.3. 春季各级别寒潮过程最大 48 h 降温幅度强度评估

1954~2017 年春季阿勒泰市共发生一般寒潮、强寒潮和特强寒潮天气过程降温持续时间为 2 d 或以上的分别为 74 次、66 次和 34 次，最大 48 h 降温幅度平均值分别为 -10.7°C 、 -12.4°C 和 -16.7°C 。以各级别寒潮天气过程最大 48 h 降温幅度标准化指数 $I_{48\text{h}}$ 为指标，强度从大到小排列前十位的各级别寒潮过程中一般寒潮过程 1 次出现在 3 月，3 次出现在 4 月，6 次出现在 5 月；强寒潮过程 6 次出现在 3 月，2 次出现在 4 月，2 次出现在 5 月；特强寒潮过程 9 次出现在 3 月，1 次出现在 4 月。最强一般寒潮过程出现在 1990 年 5 月 16 日至 17 日，最低气温由 15 日 16.6°C 降至 17 日 2.7°C ，48 h 降温幅度达 -13.9°C ；最强强寒潮过程出现在 2001 年 3 月 4 日至 5 日，最低气温由 3 日 0.0°C 降至 5 日 13.9°C ，48 h 降温幅度达 -13.9°C ；最强特强寒潮过程出现在 1960 年 3 月 9 日至 10 日，最低气温由 8 日 0.0°C 降至 10 日 -25.3°C ，48 h 降温幅度达 -23.3°C ，最强 48 h 降温特强寒潮天气过程与最强 24 h 降温特强寒潮天气过程为同一次过程(表略)。

3.4. 春季各级别寒潮过程最大 72 h 降温幅度强度评估

1954~2017 年春季阿勒泰市共发生一般寒潮、强寒潮和特强寒潮天气过程降温持续时间为 3 d 或以上的分别为 28 次、21 次和 14 次，最大 72 h 降温幅度平均值分别为 -12.3°C 、 -13.9°C 和 -19.1°C 。以各级别寒潮天气过程最大 72 h 降温幅度标准化指数 $I_{72\text{h}}$ 为指标，强度从大到小排列前十位的各级别寒潮过程中一般寒潮过程 4 次出现在 3 月，3 次出现在 4 月，3 次出现在 5 月；强寒潮过程 5 次出现在 3 月，3.5 次出现在 4 月，1.5 次出现在 5 月；特强寒潮过程 10 次全部出现在 3 月。最强一般寒潮过程出现在 1961 年 5 月 23 日至 25 日，最低气温由 22 日 17.7°C 降至 5 日 3.4°C ，72 h 降温幅度达 -14.3°C ；最强强寒潮过程出现在 1961 年 5 月 3 日至 5 日，最低气温由 2 日 14.3°C 降至 5 日 -1.5°C ，72 h 降温幅度达 -15.8°C ；最强特强寒潮过程出现在 1977 年 2 月 27 日至 3 月 1 日，最低气温由 2 月 26 日 -5.8°C 降至 3 月 1 日 -34.1°C ，72 h 降温幅度达 -28.3°C ，最强 24 h、48 h 和 72 h 降温各级别寒潮天气过程中，排名前十的一般寒潮过程和强寒潮天气过程各月分布较为均匀，特强寒潮天气过程均出现在 3 月(表略)。

3.5. 春季各级别寒潮过程最低气温强度评估

1954~2017 年春季阿勒泰市一般寒潮、强寒潮和特强寒潮天气过程最低气温平均值为分别为 -7.8°C 、 -12.8°C 和 -20.3°C 。以各级别寒潮天气过程最低气温标准化指数 I_{TD} 为指标，强度从大到小排列前十位的各级别寒潮过程全部出现在 3 月，因为 3 月平均气温明显低于 4 月和 5 月，所以以过程最低气温标准化

指数 I_{TD} 为指标最强的十个各级别寒潮过程全部出现在 3 月。最强一般寒潮过程出现在 1985 年 3 月 2 日至 3 日, 最低气温由 3 月 1 日 -19.8°C 降至 3 日 -30.1°C ; 最强强寒潮过程出现在 1971 年 2 月 28 日至 3 月 3 日, 最低气温由 2 月 27 日 -19.2°C 降至 3 月 3 日 -36.4°C ; 最强特强寒潮过程出现在 1977 年 2 月 27 日至 3 月 1 日, 最低气温由 2 月 26 日 -5.8°C 降至 3 月 1 日 -34.1°C , 该过程与最强 72 h 降温特强寒潮天气过程为同一次过程(表略)。

3.6. 春季各级别寒潮过程最低气温距平强度评估

1954~2017 年春季阿勒泰市一般寒潮、强寒潮和特强寒潮天气过程最低气温距平平均值分别为 -5.7°C 、 -7.9°C 和 -10.5°C 。以各级别寒潮天气过程最低气温距平标准化指数 I_{JP} 为指标, 强度从大到小排列前十位的寒潮过程中一般寒潮过程中 4 次出现在 4 月, 6 次出现在 5 月; 强寒潮和特强寒潮过程均有 9 次出现在 3 月, 1 次出现在 4 月。最强一般寒潮过程出现在 1977 年 5 月 7 日, 过程最低气温为 2.5°C , 距平值为 -18.8°C ; 最强强寒潮过程出现在 1971 年 2 月 28 日至 3 月 3 日, 最低气温为 -36.4°C , 距平值为 -19.4°C ; 最强特强寒潮过程出现在 1999 年 3 月 15 日至 17 日, 最低气温为 -30.8°C , 距平值为 -20.1°C (表 4)。

Table 4. (a) Nearly 64 years Altay region the general cold wave process intensity ranking is based on the I_{JP} of the standardized index of the process minimum temperature level; (b) Nearly 64 years Altay region the intensity of the strong cold wave process is ranked according to the I_{JP} of the standardized index of the minimum temperature of the process; (c) Sorting intensity of ultra-strong cold wave process in Altay region 64 years I_{JP} , with the standardized index of minimum temperature of the process as the index

表 4. (a) 近 64a 阿勒泰市以过程最低气温距平标准化指数 I_{JP} 为指标的一般寒潮过程强度排序; (b) 近 64a 阿勒泰市以过程最低气温距平标准化指数 I_{JP} 为指标的强寒潮过程强度排序; (c) 近 64a 阿勒泰市以过程最低气温距平标准化指数 I_{JP} 为指标的特强寒潮过程强度排序

(a)									
排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$	过程最低气温/ $^{\circ}\text{C}$	最低气温距平/ $^{\circ}\text{C}$	最大 24 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$	最大 48 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$	最大 72 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$
1	1977/5/7	1977/5/7	1	-11.7	2.5	-18.8	-11.7		
2	1961/5/8	1961/5/8	1	-9.8	-1.8	-17.3	-9.8		
3	2003/4/30	2003/4/30	1	-11.2	3.3	-16.7	-11.2		
4	2013/5/5	2013/5/5	1	-9.6	0.6	-16.7	-9.6		
5	1978/5/14	1978/5/14	1	-8.6	2.5	-16.4	-8.6		
6	1955/5/4	1955/5/4	1	-8.3	3.7	-16.1	-8.3		
7	1975/5/9	1975/5/9	1	-8.4	-1.4	-16.0	-8.4		
8	1979/4/9	1979/4/11	3	-13.0	-15.5	-15.2	-5.4	-10.6	-13.0
9	2007/4/29	2007/4/29	1	-9.3	2.3	-14.6	-9.3		
10	1966/4/1	1966/4/2	2	-11.1	-16.3	-14.1	-8.1	-11.1	

(b)									
排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/ $^{\circ}\text{C}$	过程最低气温/ $^{\circ}\text{C}$	最低气温距平/ $^{\circ}\text{C}$	最大 24 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$	最大 48 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$	最大 72 h 降温/ $^{\circ}\text{C}$
1	1971/2/28	1971/3/3	4	-17.2	-36.4	-19.4	-6.4	-10.0	-14.0
2	1958/3/21	1958/3/24	4	-22.1	-25.9	-16.4	-7.6	-11.3	-15.2
3	1999/3/23	1999/3/25	3	-15.5	-22.4	-15.5	-11.3	-13.5	-15.5
4	2011/3/19	2011/3/20	2	-13.7	-25.1	-15.1	-10.8	-13.7	

Continued

5	2010/3/3	2010/3/3	1	-11.7	-31.7	-15.0	-11.7		
6	1976/3/26	1976/3/27	2	-12.9	-19.1	-14.8	-8.6	-12.9	
7	1957/3/1	1957/3/2	2	-12.9	-32.0	-14.7	-10.0	-12.9	
8	1980/3/27	1980/3/28	2	-13.4	-18.4	-14.1	-9.6	-13.4	
9	1969/4/1	1969/4/2	2	-12.1	-15.9	-13.7	-10.8	-12.1	
10	1995/3/13	1995/3/4	2	-13.2	-24.8	-12.9	-7.2	-13.2	

(c)

排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/°C	过程最低气温/°C	最低气温距平/°C	最大 24 h 降温/°C	最大 48 h 降温/°C	最大 72 h 降温/°C
1	1999/3/15	1999/3/17	3	-23.3	-30.8	-20.1	-12.2	-20.2	-23.3
2	1977/3/21	1977/3/21	1	-14.8	-27.0	-17.5	-14.8		
3	1955/3/10	1955/3/11	2	-18.3	-31.3	-17.4	-10.4	-18.3	
4	1956/3/19	1956/3/20	2	-20.4	-27.4	-17.4	-11.5	-20.4	
5	2003/4/14	2003/4/16	3	-16.2	-14.4	-17.1	-9.0	-13.5	-16.2
6	1977/2/27	1977/3/1	3	-28.3	-34.1	-16.8	-12.7	-23.1	-28.3
7	1960/3/9	1960/3/10	2	-25.3	-30.3	-15.3	-20.8	-25.3	
8	1998/3/14	1998/3/17	4	-21.3	-25.8	-14.9	-12.6	-16.4	-17.5
9	1994/3/5	1994/3/7	3	-23.0	-30.5	-14.1	-14.7	-22.1	-23.0
10	1979/3/26	1979/3/28	3	-17.9	-18.2	-13.9	-9.3	-14.8	-17.9

4. 春季各级别寒潮过程三要素强度综合评估

综上所述,采用上述 6 项单要素寒潮降温过程强度评估指标分别对乌鲁木齐市寒潮过程强度进行评估可知,近 64a 阿勒泰市各级别寒潮过程的最强寒潮过程也不尽相同,为了综合客观地分析近 64a 阿勒泰市强度最大的寒潮降温过程,需构建表征寒潮过程强度的综合评估指标。

1954~2017 年春季阿勒泰市共发生一般寒潮、强寒潮和特强寒潮天气过程 110 次、76 次和 40 次,持续日数为 2d 及以上的各级别寒潮过程占各级别寒潮过程总数的 67.3%、86.8%和 85.0%;持续日数为 3 d 及以上的各级别寒潮过程占各级别寒潮过程总数的 25.5%、27.6%和 35.0%。同时阿勒泰市地处中高纬地区,冷空气频发,3 月的极端最低气温明显低于 4 月与 5 月。以过程最低气温标准化指数 I_{TD} 为指标具有显著的气候背景特征,比较不同月份寒潮过程的强度,要弱化过程最低气温气候背景的影响。因此过程降温幅度标准化指数 I_A 、过程最大 24 h 降温幅度标准化指数 I_{24h} 、过程最低气温距平标准化指数 I_{JP} 3 项单要素强度指标的等权重之和来比较不同寒潮过程的强度。强度较强的寒潮的单要或多项要素强度特征量标准化指数多为负值,且负值越大或要素强度特征量标准化指数越小表示相应寒潮过程强度越强,这样不便于读者理解,在实际的业务应用中也会带来一定的不便,所以定义寒潮过程强度 3 要素综合评估 $I_Y = -(I_A + I_{24h} + I_{JP})$,即标准化指数越大寒潮过程强度越强。

以各级别寒潮过程强度综合评估指标 I_Y 为指标,强度从大到小排列前十位的一般寒潮过程 3 月只出现了 1 次,4 次出现在 4 月,5 次出现在 5 月;排列前十位的强寒潮过程中 8 次出现在 3 月,2 次出现在 4 月;排列前十位的特强寒潮过程中 9 次出现在 3 月,1 次出现在 4 月。最强一般寒潮出现在 1977 年 5 月 7 日;最强强寒潮出现在 1958 年 3 月 21 日至 3 月 24 日;最强特强寒潮过程出现在 1960 年 3 月 9 日至 10 日(表 5)。

Table 5. (a) In recent 64 years, the general cold wave process in the top ten places of the strength index of 3 elements in Altay region; (b) The Strong Cold Tide Process in the Top Ten of the Three Elements Comprehensive Strength Index in Altay region in the last 64 years; (c) The process of super-strong cold wave in the top 10 of the strength of 3 elements comprehensive intensity index in Altay region in the last 64 years

表 5. (a) 近 64a 阿勒泰市 3 要素综合强度指标强度前十位的一般寒潮过程; (b) 近 64a 阿勒泰市 3 要素综合强度指标强度前十位的强寒潮过程; (c) 近 64a 阿勒泰市 3 要素综合强度指标强度前十位的特强寒潮过程

(a)									
排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/°C	过程最低气温/°C	最低气温距平/°C	最大 24 h 降温/°C	最大 48 h 降温/°C	最大 72 h 降温/°C
1	1977/5/7	1977/5/7	1	-11.7	2.5	-18.8	-11.7		
2	2003/4/30	2003/4/30	1	-11.2	3.3	-16.7	-11.2		
3	1982/4/23	1982/4/26	4	-15.2	-3.6	-7.9	-9.9	-11.9	-13.6
4	1961/5/29	1961/5/31	3	-14.3	3.2	-7.4	-10.5	-12.8	-14.3
5	1970/4/29	1970/5/2	4	-14.6	-3.8	-9.1	-8.8	-9.0	-9.3
6	1961/5/8	1961/5/8	1	-9.8	-1.8	-17.3	-9.8		
7	1961/5/23	1961/5/25	3	-14.3	3.4	-5.7	-8.8	-11.3	-14.3
8	2013/5/5	2013/5/5	1	-9.6	0.6	-16.7	-9.6		
9	1976/3/4	1976/3/10	7	-15.2	-21.2	-5.6	-7.5	-9.2	-12.0
10	1961/4/25	1961/4/27	3	-13.9	-5.3	-10.5	-7.3	-11.5	-13.9
(b)									
排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/°C	过程最低气温/°C	最低气温距平/°C	最大 24 h 降温/°C	最大 48 h 降温/°C	最大 72 h 降温/°C
1	1958/03/21	1958/03/24	4	-22.1	-25.9	-16.4	-7.6	-11.3	15.2
2	1999/03/23	1999/03/25	3	-15.5	-22.4	-15.5	-11.3	-13.5	15.5
3	1971/02/28	1971/03/03	4	-17.2	-17.4	-7.4	-6.4	-10.0	14.0
4	2011/03/19	2011/03/20	2	-13.7	-25.1	-15.1	-10.8	-13.7	
5	2010/03/03	2010/03/03	1	-11.7	-31.7	-15.0	-11.7		
6	1972/03/17	1972/03/19	3	-14.7	-20.5	-9.8	-10.7	-10.9	14.7
7	1957/03/01	1957/03/02	2	-12.9	-32.0	-14.7	-10.0	-12.9	
8	1970/04/04	1970/04/05	2	-12.4	-5.7	-4.1	-9.9	-12.4	
9	1980/03/27	1980/03/28	2	-13.4	-18.4	-14.1	-9.6	-13.4	
10	1969/04/01	1969/04/02	2	-12.1	-15.9	-13.7	-10.8	-12.1	
(c)									
排位	开始日期	结束日期	持续日数	过程降温幅度/°C	过程最低气温/°C	最低气温距平/°C	最大 24 h 降温/°C	最大 48 h 降温/°C	最大 72 h 降温/°C
1	1960/3/9	1960/3/10	2	-25.3	-30.3	-15.3	-20.8	-25.3	
2	1977/2/27	1977/3/1	3	-28.3	-34.1	-16.8	-12.7	-23.1	-28.3
3	1999/3/15	1999/3/17	3	-23.3	-30.8	-20.1	-12.2	-20.2	-23.3

Continued

4	1994/3/5	1994/3/7	3	-23.0	-30.5	-14.1	-14.7	-22.1	-23.0
5	1998/3/14	1998/3/17	4	-21.3	-25.8	-14.9	-12.6	-16.4	-17.5
6	1956/3/19	1956/3/20	2	-20.4	-27.4	-17.4	-11.5	-20.4	
7	1977/3/21	1977/3/21	1	-14.8	-27.0	-17.5	-14.8		
8	1966/3/16	1966/3/17	2	-20.6	-22.7	-12.2	-13.2	-20.6	
9	1955/3/5	1955/3/7	3	-19.6	-29.2	-12.8	-13.6	-17.1	-19.6
10	2014/4/23	2014/4/24	2	-17.4	-6.8	-11.1	-14.9	-17.4	

5. 春季各级别寒潮过程强度变化

根据逐年春季各级别寒潮过程综合强度指标 I_Y 的平均值分析, 近 64a 阿勒泰市一般寒、强寒潮和特强寒潮过程综合强度指数平均值分别平均每 10a 减少 0.013、每 10a 减少 0.025 和每 10a 减少 0.134, 与自然数序列的线性相关系数分别为 0.03、0.06 和 0.343, 其中一般寒潮和强寒潮过程的线性相关系数未通过显著性水平检验, 特强寒潮过程的线性相关系数通过了 0.01 的显著性检验。综合强度指数 I_Y 越大寒潮强度越大, 所以近 64a 阿勒泰市春季一般寒潮、强寒潮和特强寒潮过程强度呈减弱的趋势, 其中一般寒潮和强寒潮过程强度减弱不显著, 特强寒潮过程强度减弱显著(图 1)。

除了将逐年春季寒潮过程综合强度指标 I_Y 求平均值来分析寒潮过程强度变化规律以外, 还可将每年春季各级别寒潮过程中挑出最强寒潮综合强度指数, 从而分析各级别寒潮过程强度变化特征。分析发现, 近 64a 阿勒泰市一般、强和特强寒潮过程综合强度指数平均值分别平均每 10a 减少 0.066、每 10a 减少 0.081 和每 10a 减少 0.214, 与自然数序列的线性相关系数分别为 0.122、0.133 和 0.394, 与综合强度指标 I_Y 的平均值相似, 一般寒潮和强寒潮过程的线性相关系数未通过显著性水平检验, 特强寒潮过程的线性相关系数通过了 0.01 的显著性检验。即近 64a 阿勒泰市春季一般寒潮和强寒潮过程强度减弱但不显著, 特强寒潮过程强度呈减弱的趋势, 且显著(图 2)。

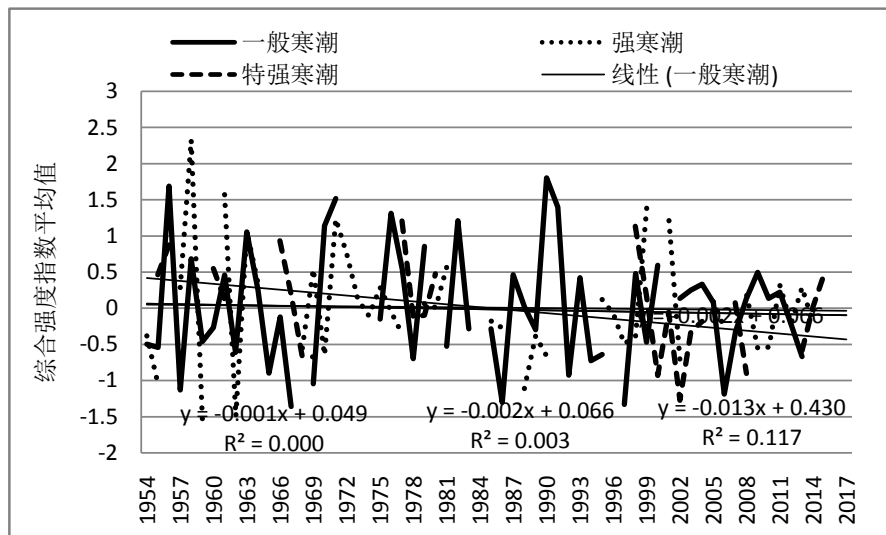


Figure 1. Variation of the mean value of the combined intensity index of cold wave in spring of Altay in the last 64 years

图 1. 近 64a 阿勒泰市春季各级别寒潮综合强度指数平均值变化

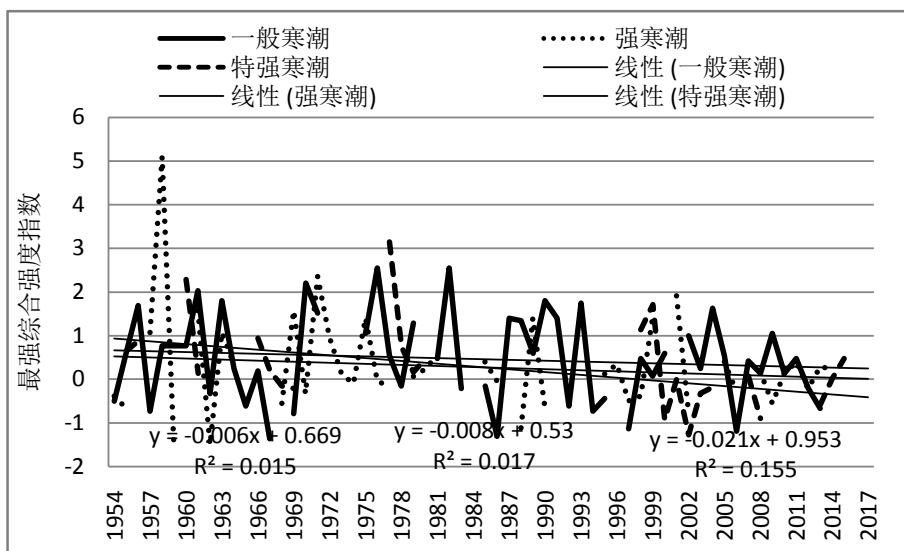


Figure 2. Maximum variation of combined intensity index of cold wave in spring of Altay in the last 64 years

图 2. 近 64a 阿勒泰市春季各级别寒潮综合强度指数最大值变化

可见上述 2 种方法判别春季一般寒潮和强寒潮过程强度均为强度呈减弱的趋势，但不显著；而特强寒潮过程为强度减弱且显著。

6. 结论

1) 以寒潮天气过程降温幅度标准化指数 I_A 为指标，强度从大到小排列前十位的过程中，一般寒潮和强寒潮过程各月分布比较均匀，特强寒潮过程全部出现在 3 月。

2) 以寒潮天气过程最大 24 h、48 h 和 72 h 降温幅度标准化指数 I_{24h} 、 I_{48h} 和 I_{72h} 为指标，强度从大到小排列前十位的寒潮过程中一般寒潮过程出现在 3 月的分别有 2 次、1 次和 4 次，出现在 4 月的均为 3 次，出现在 5 月的分别有 5 次、6 次和 3 次；强寒潮过程出现在 3 月的分别有 6 次、6 次和 5 次，出现在 4 月的分别有 2 次、2 次和 3.5 次，出现在 5 月的分别有 2 次、2 次和 1.5 次；特强寒潮过程全部出现在 3 月。

3) 以寒潮天气过程最低气温标准化指数 I_{TD} 为指标，强度从大到小排列前十位的各级别寒潮过程全部出现在 3 月。以寒潮天气过程最低气温距平标准化指数 I_{IP} 为指标，强度从大到小排列前十位的寒潮过程中一般寒潮过程中 4 次出现在 4 月，6 次出现在 5 月；强寒潮和特强寒潮过程均有 9 次出现在 3 月，1 次出现在 4 月。

4) 以各级别寒潮过程强度综合评估指标 I_Y 为指标，强度从大到小排列前十位的一般寒潮过程 3 月只出现了 1 次，4 次出现在 4 月，5 次出现在 5 月；排列前十位的强寒潮过程中 8 次出现在 3 月，2 次出现在 4 月；排列前十位的特强寒潮过程中 9 次出现在 3 月，1 次出现在 4 月。

5) 春季一般寒潮和强寒潮过程强度均为强度呈减弱的趋势，但不显著；而特强寒潮过程为强度减弱且显著。

基金项目

新疆气象局科研课题项目(MS201811)“阿勒泰地区降温过程及极端低温事件的年、季、月评估研究及春季延伸期尺度预测初步研究”资助。

参考文献

- [1] 李宪之. 东亚寒潮侵袭的研究: 中国近代科学论著专刊: 气象学(1919-1949) [M]. 北京: 科学出版社, 1955: 35-117.
- [2] 刘传凤. 我国寒潮气候评价[J]. 气象, 1990, 16(12): 40-43.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 马杰. 全国大部分降水偏少两次寒潮影响明显[J]. 气象, 2009, 35(3): 120-123.
- [6] 吴晓. 2008年初全国雨雪冰冻寒潮天气的 OLR 资料分析[J]. 气象, 2009, 35(4): 87-93.
- [7] 王遵娅. 两次大范围寒潮侵袭我国[J]. 气象, 2009, 35(3): 124-125.
- [8] Chan, J.C. and Li, C.Y. (2004) The East Asia Winter Monsoon. In: Chang, C.-P., Ed., *East Asian Monsoon*, World Scientific, Singapore, 54-106.
- [9] 丁一汇, 李巧苹, 柳艳菊, 等. 空气污染与气候变化[J]. 气象, 2009, 35(3): 3-14.
- [10] 王遵娅, 丁一汇. 近 53a 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.
- [11] 谭艳梅, 朱文娜, 张利平. 418 寒潮天气过程中的锋生分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(6): 13-16.
- [12] 牟欢, 赵克明. 2010 年春季新疆一次寒潮天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(4): 35-39.
- [13] 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.
- [14] 曹兴, 毛炜峰, 尹冰霞, 等. 不同定义指标下的乌鲁木齐寒潮过程气候特征对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(3): 31-37.
- [15] 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.
- [16] 周雪英, 彭军, 段均泽, 等. 巴州一次寒潮降雪天气的特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(3): 48-55.
- [17] 张俊兰, 牟欢, 谢葭颖. 北疆寒潮天气分析及预报[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(6): 11-18.
- [18] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986.
- [19] 赵俊荣, 郭金强, 田惠萍. 2008 年 4 月天山北坡一次强寒潮天气成因分析[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(1): 54-58.
- [20] 李海花, 刘大峰, 庄小翠, 等. 阿勒泰地区 2008-04-17 寒潮天气过程分析[J]. 陕西气象, 2009(5): 12-15.
- [21] 张林梅, 庄小翠, 胡磊. 新疆阿勒泰地区一次强寒潮天气过程分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 71-75.
- [22] 庄小翠, 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.
- [23] 肉孜·阿基, 李如琦, 唐冶. 2011 年初北疆强寒潮过程诊断分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(3): 7-12.
- [24] 李海燕, 杨霞, 张超. 新疆一次超极地寒潮天气分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(5): 12-19.
- [25] 陈豫英, 陈楠, 聂金鑫, 等. 2011 年宁夏一次寒潮天气过程诊断[J]. 甘肃气象, 2012, 30(1): 88-93.
- [26] 李效珍, 鲁巨, 刘建国. 大同地区秋季寒潮天气分型及预报[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(增刊): 149-152.
- [27] 高振荣, 刘晓云, 田庆明, 等. 甘肃河西地区一次强寒潮天气个例诊断分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(1): 34-39.
- [28] 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): 150-162.
- [29] 赵玉广, 何丽华, 张南, 等. 河北省寒潮天气形势分析及预报[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 94-99.
- [30] 毛炜峰, 白素琴, 陈鹏翔. 1951-2015 年乌鲁木齐市降温过程频数及强度气候特征[J]. 气象, 2016, 42(11): 1374-1386.
- [31] 毛炜峰, 陈颖. 1951-2015 年乌鲁木齐市寒潮过程频数及强度气候特征[J]. 干旱气象, 2016, 34(3): 403-411.