

姚愚, 陶云, 邢冬, 等. 1961–2014年冬半年云南冷空气活动气候特征分析[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 122–129. [YAO Yu, TAO Yun, XING Dong, et al. Climatic Characteristic Analysis on Cold Air Activities in Winter Half Year from 1961 to 2014 over Yunnan [J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(1): 122–129. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.01.022.]

## 1961–2014年冬半年云南冷空气活动气候特征分析<sup>\*</sup>

姚 愚<sup>1</sup>, 陶 云<sup>2</sup>, 邢 冬<sup>2</sup>, 段长春<sup>2</sup>, 陈 艳<sup>2</sup>, 任菊章<sup>2</sup>, 何 华<sup>3</sup>

(1. 云南省气候中心, 云南 昆明 650034; 2. 云南省气象科学研究所, 云南 昆明 650034;  
3. 云南省气象台, 云南 昆明 650034)

**摘 要:** 利用云南122个测站的日平均气温和最低气温资料, 统计分析了1961–2014年间冬半年影响云南的三类冷空气的时空变化特征。结果表明: ①随着气候变暖, 影响云南的三类冷空气近54年的总趋势为一致性减少, 减少最显著的是一般冷空气。从空间上看, 这种减少趋势为全省一致性的。减少突变点一般冷空气发生在2002年附近, 强冷空气出现在1994年附近, 寒潮在1978年附近。②三类冷空气的空间分布不尽相同。一般冷空气从西北向南减少; 强冷空气从北向南, 自东向西减少; 寒潮自东向西减少。③三类冷空气主要集中在12月、1月和2月, 其中1月最多。冬季低温型多于降温型, 春季和秋季降温型多于低温型。④云南三类冷空气发生频次皆有明显的年际变化, 一般冷空气和强冷空气还有明显的年代际变化。⑤三类冷空气最早初日总体皆呈由西北部 and 东部向南和向西逐步延迟的分布特征, 最晚终日跨度较大, 总体呈由南向北、由西向东逐步推后。三类冷空气维持时间相差较大。⑥三类冷空气与气温变化均呈反相关关系, 即气温偏高(低), 则三类冷空气频次偏少(多)。

**关键词:** 云南; 冷空气; 气候特征; 时空变化

**中图分类号:** X43; P426.616 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)01–0122–08

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.01.022

冷空气特别是强冷空气(寒潮)是重要的灾害性天气之一, 冷空气的活动长期以来都是气象工作者关注的热点问题。1950年代, 李宪之<sup>[1]</sup>把东亚寒潮划分为甲、乙、丙三种类型; 陶诗言<sup>[2]</sup>研究了影响中国大陆的冷空气源地和路径, 把45°~65°N, 70°~90°E范围划为寒潮关键区。1990年代, Ding<sup>[3]</sup>、张培忠等<sup>[4]</sup>进一步研究指出影响中国强冷事件的源地主要位于冰岛以南的大西洋洋面、新地岛以西和以东的北冰洋洋面和泰梅尔半岛。1980年代早期, 仇永炎等<sup>[5–6]</sup>、刘怡等<sup>[7]</sup>分析了寒潮天气的物理过程, 对寒潮中期预报方法进行了一系列探索。近10年来, 康志明等<sup>[8]</sup>、王遵娅等<sup>[9]</sup>、李峰等<sup>[10]</sup>、钱维宏等<sup>[11]</sup>对寒潮的活动规律及成因做了进一步深入研究。Easterling等<sup>[12]</sup>、翟盘茂等<sup>[13]</sup>、任国玉等<sup>[14]</sup>、张宁等<sup>[15]</sup>、任福民等<sup>[16]</sup>、丁一汇等<sup>[17]</sup>对与冷空气有关的温度指标在近50年中的变化进行研究, 发现极端最低气温出现明显的上升趋势, 暖夜显著增加, 霜冻日数显著减少, 年内温度极差显著减少等。中国极端气温的变化总体上与全球极端气温的变化一

致, 但存在较大的季节和地域性差异, 也意味着强冷空气(寒潮)也存在明显的区域特征, 例如 Tsing–Chang Chen等<sup>[18]</sup>分析了东亚冷涌的年际变化; 伍红雨等<sup>[19]</sup>、ZHAO Ming等<sup>[20]</sup>、陈豫英等<sup>[21]</sup>、孟祥君等<sup>[22]</sup>对华南、秦皇岛、宁夏及东北等地的寒潮变化进行了分析。

云南位于青藏高原东南侧, 独特的地理位置及地形地貌形成了独特的气候特征。云南虽远离冷空气发源地, 又有青藏高原和重重山脉阻挡, 但一年四季都能受到北方冷空气的影响。由于低纬高原冷空气活动相对中国北方少, 冬季气温相对较高, 防寒能力弱, 一旦出现强冷空气和寒潮天气过程, 极易产生较大损失<sup>[23]</sup>。低温雨雪冰冻灾害是云南主要灾害之一, 冬季的寒潮、春季的倒春寒以及夏季的低温都会给人们日常生活和社会经济发展带来严重影响和损失。云南2002年7月下旬到8月中旬发生了1980年以来范围最大、持续时间最长、危害最为严重的一次夏季低温冷害天气<sup>[24]</sup>; 2008年1月中旬至2月中旬云南发生了严重低温雨雪冰冻灾害, 导致28人死亡, 直接

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017–06–09 修回日期: 2017–08–07

基金项目: 国家自然科学基金(41565002、41365007、41665005); NSFC云南联合基金重点项目(U1502233)

第一作者简介: 姚愚(1973–), 男, 云南昆明人, 高级工程师, 主要从事气候诊断及气候预测研究. E-mail: 569187261@qq.com

通讯作者: 陶云(1971–), 女, 云南个旧人, 正研级高级工程师, 主要从事气候诊断及气候变化研究. E-mail: cqkty@163.com

经济损失 90.9 亿元, 占 2008 年全省总经济损失的 59%, 损失位居第一位, 创下了云南气象灾害的新纪录<sup>[25]</sup>。在气候变暖背景下, 随着地方经济的快速发展, 冷空气活动造成的灾害更不容忽视, 云南省气象工作者<sup>[26–31]</sup>对影响云南的冷空气进行了研究, 对影响云南的冷空气路径、活动规律有了一定了解。但以往对云南强冷空气的研究主要集中在天气个例诊断分析, 对云南不同等级冷空气的变化规律研究不多, 本文将影响云南的冷空气划分为一般冷空气、强冷空气和寒潮三类, 对三类冷空气的气候变化规律进行分析, 为深入了解云南冷空气的气候变化特征、提高冷空气预测预报水平和增强气象防灾减灾能力提供参考。

## 1 影响云南冷空气等级的划分

依据《中华人民共和国国家标准》中《冷空气等级》(GB/T20484–2006)冷空气划分标准<sup>[35]</sup>, 结合《云南省天气预报员手册》寒潮标准<sup>[32]</sup>, 考虑到云南特殊的地理环境和地形条件造成冷空气对云南日平均气温的变化较日最低气温变化明显, 云南业务上长期使用日平均气温的降温幅度及日最低气温值来表征冷空气影响云南的两种主要形式, 即日平均气温骤降型和持续低温型, 故本文中使用日平均气温和日最低气温两个气象要素来划分影响云南冷空气的分类。在统计分析云南各个区域代表站(滇东北: 昭通; 滇中: 昆明; 滇西北: 大理; 滇东南: 文山; 滇南: 普洱)24 h、48 h 及 72 h 日平均气温不同降温幅度出现的比率及日平均气温变化比率后, 定义了影响云南冷空气的分类标准(表 1)。

## 2 资料与方法

本文所用资料主要是由云南省气象局信息中心提供的云南 122 个气象测站 1961–2015 年逐日

日平均气温和最低气温资料。利用表 1 对云南 1961–2014 年冬半年(10 月 1 日–次年 5 月 31 日)出现的三类影响云南各站的冷空气进行了统计, 每类冷空气又分为降温型和低温型两种形式。主要方法有相关分析、一元回归分析、Mann–Kendall 检验方法、功率谱周期分析。

## 3 结果分析

### 3.1 云南三类冷空气的空间分布

图 1 为云南 122 个气象站 1961–2014 年三类冷空气的多年平均日数的空间分布(图 1)。

云南一般冷空气日数的空间分布(图 1a), 总的分布特征为从西北部向南部逐步减少。滇西北大部 and 滇中局部一般冷空气日数超过 30 d/年, 香格里拉一般冷空气日数最多为 45.7 d/年; 滇东北、滇中及滇西的部分地区一般冷空气日数在 20~30 d/年; 滇西南和滇东的部分地区一般冷空气日数在 10~20 d/年; 滇南大部、滇西南边缘和北部金沙江河谷地区一般冷空气日数在 10 d/年以下, 勐腊、元江、河口、红河四个站 1961 年以来未出现一般冷空气日数。云南一般冷空气年均日数与年平均气温的空间分布<sup>[32]</sup>较为相似, 说明冷空气活动频次对年平均气温的分布有一定的影响。

云南强冷空气日数的空间分布表现出自东向西、自北向南逐步递减的特征(图 1b)。滇东和滇西北局部强冷空气日数超过 10 d/年; 昭通强冷空气日数最多为 18.3 d/年; 滇中及以西、滇西北和滇南的局部地区强冷空气日数在 5~10 d/年; 滇西南、滇西和滇南的部分地区强冷空气日数在 3~5 d/年。全省有 12 个测站年平均强冷空气日数在 3 d 以下, 零星分布在滇西和滇南的边缘地区, 其中元江县 1961 年以来未出现强冷空气日数。

表 1 云南不同等级冷空气划分标准

		一般冷空气	强冷空气	寒潮
降温型	滇东北	日平均气温 24 h 下降 4~6℃或 48 h 下降 5~8℃或 72 h 下降 7~10℃, 且日最低气温≤5℃	日平均气温 24 h 下降 6~8℃或 48 h 下降 8~10℃或 72 h 下降 10~12℃, 且日最低气温≤5℃	日平均气温 24 h 下降 8℃以上或 48 h 下降 10℃以上或 72 h 下降 12℃以上, 且日最低气温≤5℃
	其他地区	日平均气温 24 h 下降 2~4℃或 48 h 下降 3~6℃或 72 h 下降 5~8℃, 且日最低气温≤5℃	日平均气温 24 h 下降 4~6℃或 48 h 下降 6~8℃或 72 h 下降 8~10℃, 且日最低气温≤5℃	日平均气温 24 h 下降 6℃以上或 48 h 下降 8℃以上或 72 h 下降 10℃以上, 且日最低气温≤5℃
低温型		日平均气温较平均值低 1~3℃, 且日最低气温≤5℃	日平均气温较平均值低 3~5℃, 且日最低气温≤5℃	日平均气温较平均值低 5℃以上, 且日最低气温≤5℃

注: 平均值为 1981~2010 年隆冬(12 月~次年 2 月)日平均气温的平均值

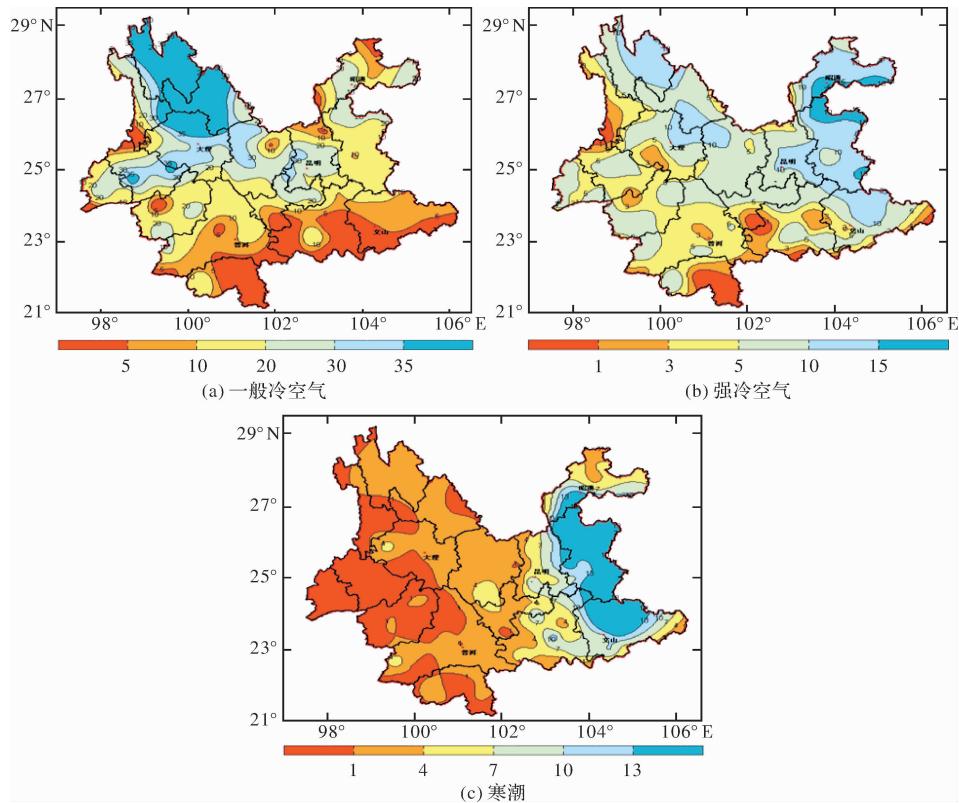
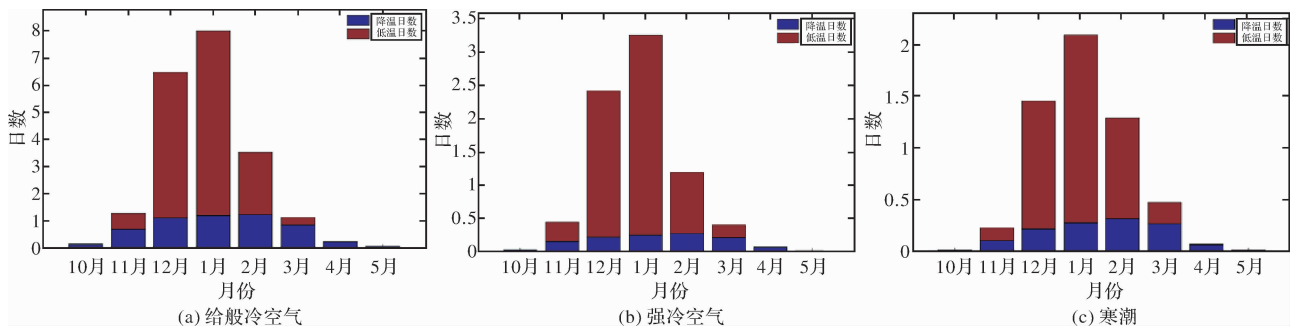


图1 云南 1961 - 2014 年三类冷空气年平均日数空间分布(单位: d)

图2 云南三类冷空气平均出现日数月际变化  
(蓝色: 降温型; 红色: 低温型; 单位: d)

云南寒潮日数呈明显的自东向西逐步递减特征(图 1c)。滇东寒潮日数超过 10 d/年, 宣威寒潮日数最多为 19.9 d/年; 昭通东部、昆明东部、文山西部、红河东南部等地寒潮日数在 7 ~ 10 d/年; 滇中附近地区寒潮日数在 4 ~ 7 d/年; 滇西大部地区寒潮日数在 1 ~ 4 d/年; 滇西南地区寒潮日数在 1 d/年以下, 龙陵最少为 0.04 d/年。

从上述分析可知, 三类影响云南的冷空气的年平均日数空间分布不尽相同, 强冷空气的空间分布具有一般冷空气分布特征, 同时也具有寒潮的分布特点。一般冷空气从西北向南减少; 强冷空气从北向南, 自东向西减少; 寒潮自东向西减少。

### 3.2 三类冷空气的月际变化

云南冷空气的影响主要发生在冬半年(10 月至次年 5 月), 利用云南 1961 ~ 2014 年冬半年(10 月

至次年 5 月)的三类冷空气的频次资料, 计算了云南三类冷空气各自降温型和低温型日数的月际变化(图 2)。

云南一般冷空气(图 2a)年平均日数为 18.61 d, 其中低温型为 15.41 d, 占总天数的 82.8%, 降温型为 5.35 d, 占总天数的 28.7%。在逐月分布上, 从 10 月到次年 1 月冷空气日数开始逐渐增加, 之后逐渐减少, 主要集中于冬季 12 月、1 月和 2 月, 其中以 1 月为最多, 符合冷空气冬季活跃的特点。10 月和 5 月一般冷空气平均日数分别为 0.12 d 和 0.04 d, 均为降温型。11 月一般冷空气总日数为 1.11 d, 低温型和降温型分别为 0.60 d 和 0.67 d, 二者较为接近。12 月、1 月和 2 月一般冷空气日数最多, 平均日数分别为 5.82 d、7.21 d 和 3.06 d, 其中低温型分别为 5.38 d、6.82 d 和

2.31 d, 占月冷空气总日数的 92.4%、94.6% 和 75.5%, 故云南冬季一般冷空气主要为低温型。3 月和 4 月一般冷空气日数分别为 1.03 d 和 0.22 d, 降温型分别为 0.83 d 和 0.21 d, 分别占月冷空气总日数的 80.6% 和 95.5%, 故云南春季一般冷空气主要表现为降温型。

云南强冷空气(图 2b)和寒潮(图 2 c)年平均日数的逐月分布与一般冷空气极为相似, 秋季和春季各月强冷空气和寒潮的总日数较少, 冷空气类型以降温型为主; 冬季 12 月~2 月强冷空气和寒潮的总日数较多, 1 月为最多, 类型则以低温型为主。

### 3.3 三类冷空气的年际及年代际变化

利用 1961–2014 年逐年三类冷空气频次资料对其年际和年代际变化特征进行了分析(图 3)。

一般冷空气逐年日数(图 3a)存在明显年际变化和年代际变化。云南多年平均一般冷空气日数为 18.6 d, 1971 年最长达 26.7 d, 2014 年最少为 11.1 d。1961–2014 年一般冷空气日数减少趋势非常明显, 平均减少了 10.3 d, 减少速率为  $-1.9 \text{ d}/10 \text{ 年}$ , 复相关系数为 0.72, 可通过 99.99% 的显著性检验。在年代际变化上, 一般冷空气在 1990 年代末期有一次明显的由偏多到偏少的转变。1961–1996 年一般冷空气日数处于偏多期, 平均日数为 21 d, 较多年平均偏多 2.4 d; 1997–2014 年处于偏少期, 平均日数为 14 d, 较多年平均偏少 4.5 d。比较每 10 年一般冷空气日数的变化(表 2), 1960 年代和 1970 年代偏多, 1980 年代以后开始减少, 之后减少趋势越来越明显, 21 世纪初期偏少日数已达到 4~7 d 左右。

强冷空气的逐年日数(图 3b)也存在明显年际变化和年代际变化。云南多年平均强冷空气日数为 7.3 d, 1975 年最长达 14 d, 2012 年最少为 2.9 d。1961–2014 年强冷空气日数减少趋势非常明显, 平均减少了 4.9 d, 减少速率为  $-0.9 \text{ d}/10 \text{ 年}$ , 复相关系数为 0.49, 可通过 99.9% 的显著性检验。云南强冷空气在 1990 年代初期有一次明显的由偏多到偏少的转变。1961–1992 年强冷空气日数处于偏多期, 平均日数为 8.6 d, 较多年平均偏多 1.3 d; 1993–2014 年处于偏少期, 平均日数为 5.4 d, 较多年平均偏少 1.9 d。比较每 10 年强冷空气日数的变化(表 2), 1960 年代和 1970 年代强冷空气日数偏多, 1980 年代开始减少, 之后减少趋势越来越明显, 21 世纪初期偏少日数达到 2 d 左右。

在寒潮逐年日数演变图上(图 3c), 云南多年平均寒潮日数为 4.9 d, 1975 年最长达 13.7 d, 1986 年最少为 0.7 d。1961–2014 年云南冬半年寒潮日数为减少趋势, 平均减少了 2.5 d, 减少速率为  $-0.5 \text{ d}/10 \text{ 年}$ , 复相关系数为 0.25, 可通过 90% 的显著性检验。云南寒潮逐年日数的年代际变化特征不明显。比较每 10 年寒潮日数的变化(表 2), 1960 年代和 1970 年代寒潮日数偏多, 1980 年代开始减少, 2001–2010 年偏少最多, 达到 1 d。

综上分析, 影响云南三类冷空气逐年日数均有明显的年际变化, 一般冷空气和强冷空气还有明显的年代际变化。在气候变暖背景下, 三类冷空气逐年日数变化均呈减少趋势, 减少最显著的是一般冷空气, 其次是强冷空气。寒潮作为极端低温天气事件, 相对其他冷空气而言, 减少并不显

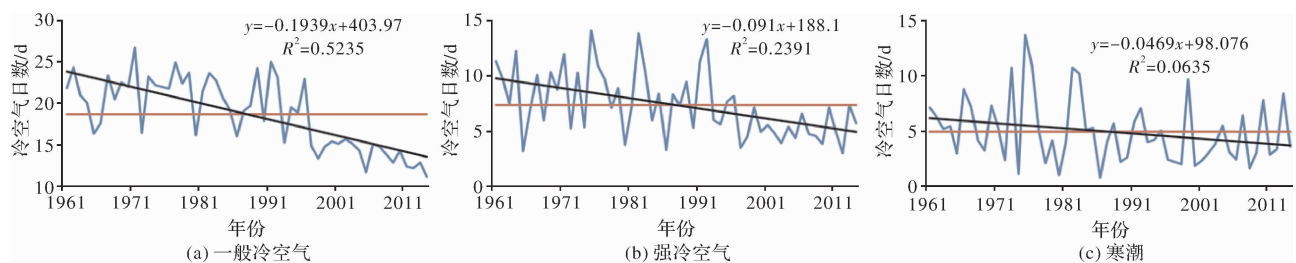


图 3 影响云南三类冷空气年均日数的时间演变图  
(蓝曲线: 冷空气日数; 红直线: 平均值; 黑直线: 趋势线; 单位: d)

表 2 1961–2014 年云南三类冷空气平均日数每 10 年变化

年份	一般冷空气		强冷空气		寒潮	
	平均值	距平值	平均值	距平值	平均值	距平值
1961–1970	20.9	2.3	8.5	1.2	5.7	0.8
1971–1980	21.9	3.3	8.7	1.4	5.6	0.7
1981–1990	20.4	1.8	7.9	0.6	5.0	0.1
1991–2000	18.3	-0.3	7.2	-0.1	4.4	-0.5
2001–2010	14.2	-4.4	5.1	-2.2	3.9	-1.0
2011–2014	12.1	-6.5	5.2	-2.1	4.5	-0.4

d/年

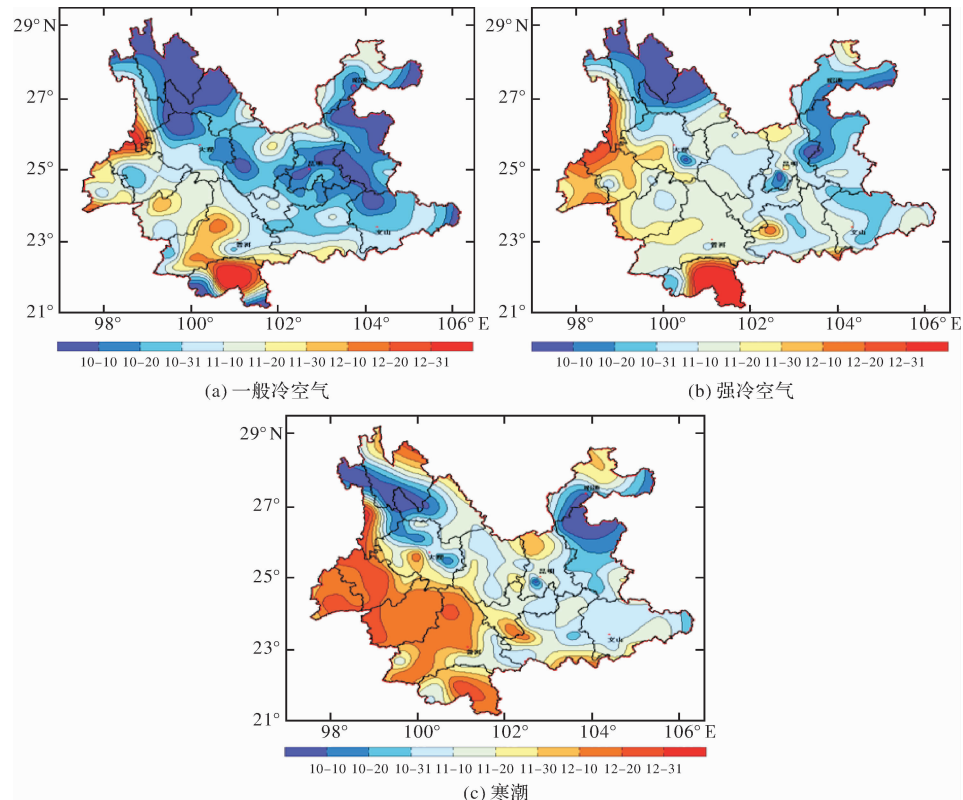


图4 云南三类冷空气出现的极端初日期

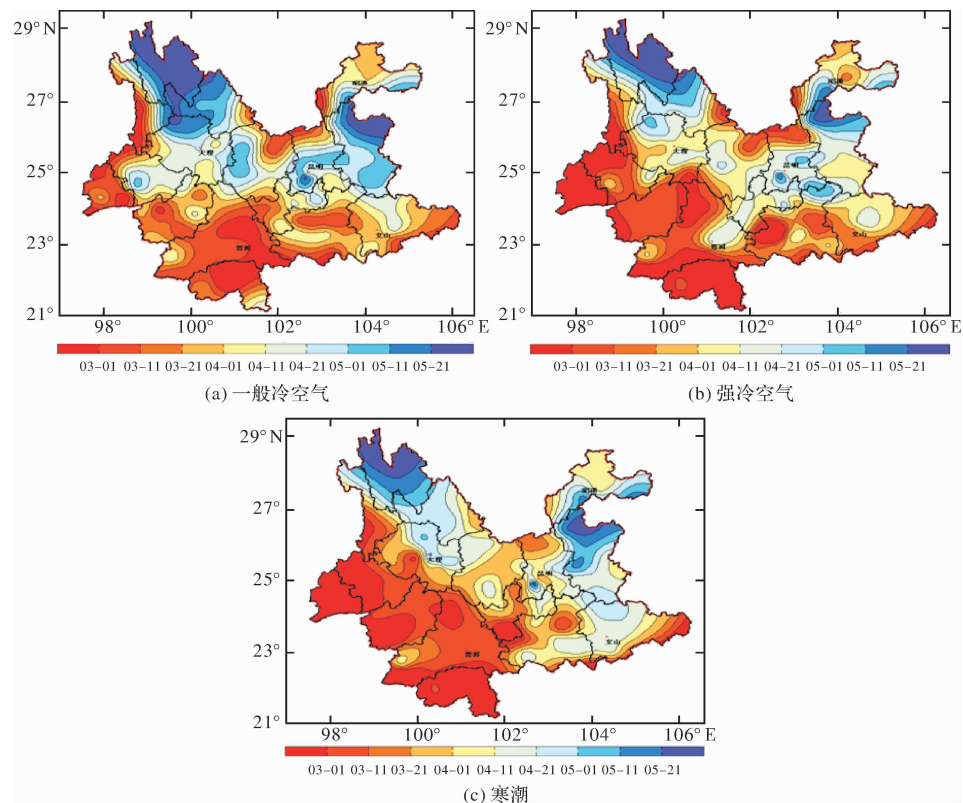


图5 云南三类冷空气出现的极端终日期

著。从趋势变化的空间分布看(图略),云南大部分地区(全省84%~89%的测站)三类冷空气的变化趋势均呈减少趋势,说明这种减少趋势是全省

一致性的。以往研究表明冷空气活动与云南省平均气温变化趋势相反<sup>[33]</sup>,计算逐年三类冷空气出现日数与云南10月~翌年5月平均气温、最低气



温及最高气温的相关系数(表3)。从表3中可看出云南三类冷空气日数与气温均呈负相关,除寒潮与最高气温相关较差没通过显著性检验外,其余相关系数都在 $-0.35$ 以下,皆通过了99%的显著性检验,负相关最高达 $-0.82$ ,印证了前述冷空气活动与气温变化趋势相反的结论,即气温偏高(低),则三类冷空气频次偏少(多)。

表3 云南三类冷空气出现日数与气温的相关系数

	平均气温	最低气温	最高气温
一般冷空气	-0.80	-0.42	-0.42
强冷空气	-0.82	-0.35	-0.70
寒潮	-0.62	-0.85	-0.16

前述分析表明,1980年代至1990年代,云南三类冷空气平均日数距平值由正转负。为确定突变点,对云南三类冷空气年均日数序列进行了Mann-Kendall检验(简称M-K检验)<sup>[34]</sup>。云南三类冷空气发生突变的时间不一致,寒潮最早发生在1978年附近,一般冷空气最晚发生在2002年,强冷空气的突变点出现在1994年,皆为由多转少的突变点。一般冷空气和强冷空气日数的减少趋势在2002年后大大超过了0.001显著性水平的临界线,说明减少趋势十分显著,与前述趋势分析的结论一致。寒潮日数的减少趋势在2000年后也超过了0.05显著性水平的临界线,其减少趋势在三类冷空气中相对较弱。

利用离散谱分析方法对云南三类冷空气逐年日数的变化周期进行分析(图略),三类冷空气日数的变化周期基本一致,都具有6~7年变化周期,寒潮和强冷空气还具有2~3年变化周期,但都未通过显著性检验。

### 3.4 云南三类冷空气极端初(终)日期

由于受地形、纬度和海拔高度等因素影响,云南各地三类冷空气最早开始(结束)的时间存在较大差异。三类冷空气最早初日(图4)总体皆呈由西北部和东部向南向西逐步延迟的分布特征,一般冷空气和强冷空气最早初日跨度从10月上旬到次年1月以后,寒潮则从10月上旬至12月下旬。最晚终日(图5)总体呈由南向北、由西向东逐步推后,从1月到5月下旬相继结束。

冷空气有108个站(占总数的88.5%)最早初日在10月上旬至11月中旬(图4a),最集中时段是10月下旬有28个站(占总数的23.0%)。1993年10月1日(德钦)和1987年10月1日(香格里拉)是云南1961年以来一般冷空气最早初日,1963年2月10日(景洪)是最晚初日。各年代一般冷空气最早初日变化为不断推迟的趋势(图略),1960年代大部地区最早初日在11月中旬以前,1970–1990年代大部地区在11月下旬以前,进入21世纪后初日进一步推后,大部地区在12月中旬以前。

云南111个测站(占总数91.0%)一般冷空气最晚终日出现在2月至5月上旬(图5a),1963年2月12日(景洪)是云南1961年以来一般冷空气最早终日;1977年5月31日(德钦)是最晚终日。最晚终日年代际变化为早–晚–早的趋势(图略),1960年代大部地区在4月中旬以前,1970–1980年代大部地区推迟至5月上旬以前,1990年代以后大部地区又提早至4月上旬以前。

强冷空气有100个测站(占总数82.0%)最早初日在10月上旬至11月中旬(图4b),最集中时段是11月上旬有52个测站(占总数42.6%)。1975年10月3日(德钦)是云南1961年以来强冷空气最早初日,1963年2月11日(勐腊)是最晚初日。各年代最早初日变化为晚–早–晚趋势(图略),1960–1970年代云南大部地区在12月中旬以前,1980–1990年代大部地区提早至12月上旬,进入21世纪后大部地区又推迟至12月中下旬。云南109个站(占总数89.3%)强冷空气最晚终日出现在1月至4月(图5b)。1974年1月6日(红河县)是云南1961年以来强冷空气最早终日;1996年5月28日(香格里拉)是最晚终日。云南大部地区最晚终日年代际变化为不断提早的趋势(图略),由4月中旬(1960–1970年代)到4月上旬(1980–1990年代)再到3月下旬(2001年以后)。

寒潮有89个测站(占总数73.0%)最早初日在10月至11月(图4c),最集中时段是11月上旬有48个测站(占总数39.3%)。1966年10月2日(贡山、维西)是云南1961年以来寒潮最早初日,1983年12月28日(福贡)是寒潮最晚初日。最早初日年代际变化趋势较复杂(图略),总体21世纪初期比1960–1990年代晚。云南95个站(占总数77.9%)寒潮最晚终日出现在1月至4月中旬(图5c)。1999年12月25日(龙陵)是云南1961年以来寒潮最早终日;1980年5月26日(德钦)是最晚终日。云南大部地区寒潮最晚终日年代际变化为不断提早的趋势(图略):由4月中旬(1960–1970年代)到4月上旬(1980–1990年代)再到3月下旬(2001年后)。

### 3.5 云南寒潮持续日数分布

表4是云南五个代表站三类冷空气持续时间,可以看出云南三类冷空气的维持时间相差较大。一般冷空气持续时间最长可达12 d,最短为1 d,持续时间集中在1~3 d;强冷空气持续时间最长可达14 d,最短为1 d,文山和普洱持续时间集中在1~2 d,昆明持续时间集中在1~3 d,昭通和大理持续时间集中在1~4 d;寒潮持续时间最长可达23 d,最短为1 d,昆明、昭通和文山持续时间集中在1~3 d,大理和普洱持续时间集中在1~2 d,这与《云南省天气预报员手册》的结论一致<sup>[32]</sup>。

表 4 1961 – 2014 年云南三类冷空气持续时间

		1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	9d	10d	最长
昆明	一般冷空气	523	145	49	27	12	7	5	5	2	1	10
	强冷空气	294	71	22	9	4	1	0	0	0	0	6
	寒潮	136	56	23	4	5	2	2	2	1	1	13
昭通	一般冷空气	688	181	62	22	5	3	0	0	0	0	6
	强冷空气	401	122	40	32	8	2	4	0	0	0	14
	寒潮	147	85	48	14	14	4	3	5	2	5	23
大理	一般冷空气	662	245	67	25	25	11	3	3	2	1	10
	强冷空气	236	63	19	13	5	2	0	0	0	0	6
	寒潮	32	10	3	2	2	0	2	0	0	0	7
文山	一般冷空气	86	15	8	2	0	0	1	0	0	0	7
	强冷空气	99	24	5	1	3	0	0	0	0	0	5
	寒潮	70	40	21	18	11	6	5	2	0	2	15
普洱	一般冷空气	132	41	12	12	6	0	1	0	0	0	12
	强冷空气	94	41	11	11	6	3	1	1	0	0	8
	寒潮	17	12	4	1	0	1	0	1	0	0	17

## 4 结论

利用云南 122 个测站 1961 – 2015 年逐日平均气温和最低气温资料, 统计分析了影响云南的三类冷空气的时空分布、极端初终日、持续时间等的变化特征, 获得以下几点主要结论。

(1) 三类影响云南的冷空气年平均日数空间分布不尽相同, 一般冷空气从西北向南减少, 寒潮自东向西减少。强冷空气的空间分布从北向南、自东向西减少, 既具有一般冷空气分布特征, 同时也具有寒潮的分布特征。

(2) 冬半年(10 月至次年 5 月)三类影响云南的冷空气主要集中在 12 月、1 月和 2 月, 其中 1 月最多。冬季低温型多于降温型, 春季和秋季降温型多于低温型。

(3) 三类冷空气逐年日数均有明显的年际变化, 一般冷空气和强冷空气还有明显的年代际变化。三类冷空气逐年日数的总趋势为一致性减少, 减少最显著的是一般冷空气。从空间上看, 这种减少趋势为全省一致性的。

(4) 三类冷空气逐年日数先后发生了由多转少的突变。寒潮最早在 1978 年附近, 一般冷空气最晚在 2002 年, 强冷空气在 1994 年, 减少趋势均通过了 0.05 显著性水平检验。三类冷空气都具有 6 ~ 7 年变化周期, 寒潮和强冷空气还具有 2 ~ 3 年变化周期, 但都未通过显著性检验。

(5) 三类冷空气最早初日总体皆呈由西北部和东部向南和向西逐步延迟的分布特征, 一般冷空气和强冷空气最早初日跨度从 10 月上旬到次年 1 月以后, 而寒潮从 10 月上旬至 12 月下旬。最晚终日跨度较大, 总体呈由南向北、由西向东逐步推后。三类冷空气维持时间相差较大。一般冷空气

持续时间最长可达 12 d, 强冷空气持续时间最长可达 14 d, 寒潮持续时间最长可达 23 d。

(6) 三类冷空气发生频次与气温的变化趋势相反, 即气温偏高(低), 则三类冷空气频次偏少(多)。

## 参考文献:

- [1] 李宪之. 东亚寒潮侵袭的研究[M]//中国近代科学论著从刊. 气象学(1919–1949). 北京: 科学出版社, 1955: 35–118.
- [2] 陶诗言. 东亚冬季冷空气活动的研究[R]//中央气象局编. 短期预报手册, 北京: 1957: 20–55.
- [3] DING Yihui. Air mass transformation and propagation of Siberian high and its relation to cold surge in East Asia[J]. Meteor Atmos Phys, 1990, 44: 281–292.
- [4] 张培忠, 陈光明. 影响中国寒潮的冷高压统计研究[J]. 气象学报, 1999, 57(4): 493–501.
- [5] 仇永炎, 赵其庚. 1978 年 10 月份寒潮前后的正压能量转换与季节过渡[J]. 气象学报, 1983, 41(2): 159–166.
- [6] 仇永炎, 刘景秀. 寒潮中期预报研究成果简介[J]. 气象学报, 1985, 43(2): 253.
- [7] 刘怡, 仇永炎. 用轨迹法研究寒潮个例[J]. 气象学报, 1992, 50(1): 62–73.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 李峰, 矫梅燕, 丁一汇, 等. 北极区近 30 年环流的变化及对中国强冷事件的影响[J]. 高原气象, 2006, 25(2): 209–219.
- [11] 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.
- [12] Easterling D R, Horton B, Jones P D, et al. Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe[J]. Science, 1997, 277(5324): 364–367.
- [13] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418–429.
- [14] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基

- 本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942–956.
- [15] 张宁, 孙照渤, 曾刚. 1955–2005 年中国极端气温的变化[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 123–128.
- [16] 任福民, 翟盘茂. 1951–1990 年中国极端气温变化分析[J]. 大气科学, 1998, 22(2): 217–227.
- [17] 丁一汇, 孙颖. 国际气候变化研究新进展[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 161–167.
- [18] Tsing-Chang Chen, Wan-Ru Huang, Jin-ho Yoon. Interannual variation of the East Asian cold surge activity[J]. J Climate, 2004, 17(2): 401–413.
- [19] 伍红雨, 杜尧东. 1961–2008 年华南区寒潮变化的气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 192–198.
- [20] ZHAO Ming, FAN Qinhu, ZHAN Ligang, et al. Analysis on the temporal and spatial characteristics and causes of cold wave in Qinhuangdao [J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 2(5): 12–15.
- [21] 陈豫英, 陈楠, 马金仁, 等. 近 48 年宁夏寒潮的变化特征及可能影响的成因初步研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 939–949.
- [22] 孟祥君, 吴正方, 杜海波, 等. 1961–2010 年东北地区寒潮活动的时空特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(1): 142–147.
- [23] 秦剑, 琚建华, 解明恩, 等. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 35–71.
- [24] 陶云, 刘瑜, 张万诚, 等. 2002 年 8 月云南低温冷害天气的气候特征及其成因分析[J]. 云南大学学报, 2005, 27(2): 129–132.
- [25] 陶云, 吴星霖, 段旭, 等. 2008 年云南滇东北电线覆冰的气象条件[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 82–86.
- [26] 樊平. 昆明准静止锋[J]. 天气月刊, 1956, 3(S1): 14–16.
- [27] 张云瑾, 方召盟, 肖瑶. 云南强冷空气过程的特点[J]. 云南大学学报, 1991, 13(2): 176–182.
- [28] 段旭, 李英, 孙晓东. 昆明准静止锋结构[J]. 高原气象, 2002, 21(2): 205–209.
- [29] 海云莎, 马联翔, 杨向东. 袭击云南的两次强冷空气过程对比分析[J]. 云南气象, 2005, 25(4): 11–14.
- [30] 张腾飞, 鲁亚斌, 张杰, 等. 2000 年以来云南 4 次强降雪过程的对比如分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(1): 64–72.
- [31] 海云莎, 田永丽, 陈新梅. 云南寒潮时空特征及变化分析[J]. 云南大学学报, 2011, 33(S1): 147–152.
- [32] 许美玲, 段旭, 杞明辉, 等. 云南省天气预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 179–193.
- [33] 陶云, 樊风, 段旭, 等. 云南不同气候带气温变化特征[J]. 云南大学学报, 2013, 35(5): 652–660.
- [34] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 69–72.
- [35] GB/T20484–2006 冷空气等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

## Climatic Characteristic Analysis on Cold Air Activities in Winter Half Year from 1961 to 2014 over Yunnan

YAO Yu<sup>1</sup>, TAO Yun<sup>2</sup>, XING Dong<sup>2</sup>, DUAN Changchun<sup>2</sup>,  
CHEN Yan<sup>2</sup>, REN Juzhang<sup>2</sup> and HE Hua<sup>3</sup>

(1. Yunnan Climate Center, Kunming 650034, China; 2. Yunnan Institute of Meteorological Sciences, Kunming 650034, China; 3. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China)

**Abstract:** Based on daily mean temperature and minimum temperature of 122 meteorological observation stations in Yunnan, the temporal and spatial variation characteristics of the number of occurrences of three types of cold air in winter half year from 1961 to 2014 over Yunnan are analyzed. The results show: ① With climate warming, the overall trend of occurrences of the three types of cold air in Yunnan during the recent 54 years has been decreased uniformly, and general cold air decreased the most remarkably. Spatially, this reduction trend is consistent across the whole province. For the abrupt change point of reduction, general cold air appears near 2002, strong cold air appears near 1994 and cold wave near 1978. ② The spatial distribution of occurrences of three types of cold air is not the same. General cold air decreases from northwest to south; strong cold air decreases from north and east to south and west; cold wave decreases from east to west. ③ The three types of cold air mainly concentrate in December, January and February, of which the most is in January. In winter the number of cold air of low temperature form is more than dropping temperature form, while in spring and autumn the number of dropping temperature form is more than low temperature form. ④ There are obvious interannual variations in three types of cold air, while evident interdecadal variations for general cold air and strong cold air. ⑤ The overall features of spatial distribution of the earliest commencement date of three types of cold air delay from northwest and east to south and west. The latest dates of cold air in different area have a larger span and shows the general feature of delaying from south and west to north and east. The lasting days of three types of cold air differ greatly. ⑥ There is a obvious inverse correlation relationship between the number of occurrence of three types of cold air and temperature, that is, the higher(lower) the temperature, the less(more) of the frequency of the cold air.

**Key words:** Yunnan; cold air; climatic characteristic; spatial and temporal variation