Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2024, 13(2), 422-430
Published Online March 2024 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2024.132044

中国东部地区冬季低温季节内变化特征初步分析

刘　冰，赵国蓉

青海省海北州气象局，青海 海北

收稿日期：2024年2月21日；录用日期：2024年3月22日；发布日期：2024年3月28日

摘　要

本文基于中国气象数据网提供的1979~2013年共192站逐日最低温度观测资料及NCEP/NCAR、NCEP/DOE、JRA-55、ERA-Interim四套再分析资料，利用功率谱、Butterworth带通滤波等方法分析探讨了近35年来华东地区冬季12~2月多年平均低温阈值与低温日数及，并初步分析了季节内变化特征。结论如下：1) 华东地区阈值由北到南递增，高值区在浙江、江西、福建，低值区在山东、安徽、江苏，有南暖北冷的空间分布特征。JRA资料的低温阈值空间分布与观测资料更为接近，适用性更好。该地区低温日数和高低值区与阈值空间分布正好相反，有南低北高形势，NC1、NC2资料低温日数空间分布能重现观测结果。2) 华东地区低温事件有明显的季节内变化，其中1月低温日数最多，说明持续性低温事件最有可能出现在1月。华东地区冬季12~2月最低温度存在较强的10~20 d低频振荡周期。

关键词

低温阈值，季节内振荡，再分析资料

A Preliminary Analysis of Intraseasonal Variation of Winter Low Temperature in Eastern China

Bing Liu, Guorong Zhao

Haibei Meteorological Bureau of Qinghai Province, Qinghai Haibei

Received: Feb. 21st, 2024; accepted: Mar. 22nd, 2024; published: Mar. 28th, 2024

Abstract

In this paper, based on the daily minimum temperature observation data of 192 stations from 1979

文章引用: 刘冰, 赵国蓉. 中国东部地区冬季低温季节内变化特征初步分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(2): 422-430.
DOI: 10.12677/ccrl.2024.132044

to 2013 provided by China Meteorological Data Network and four sets of reanalysis data from NCEP/NCAR, NCEP/DOE, JRA-55 and ERA-Interim, the multi-year mean low-temperature threshold and the low-temperature days in winter from December to February in East China in recent 35 years were analyzed by means of power spectrum and Butterworth band pass filtering, and the characteristics of intraseasonal variation were preliminarily analyzed. The conclusions are as follows: 1) The threshold value increases from north to south in East China, with the high-value area in Zhejiang, Jiangxi and Fujian, and the low-value area in Shandong, Anhui and Jiangsu, showing the spatial distribution characteristics of warm in the south and cold in the north. The spatial distribution of low-temperature threshold of JRA data is closer to that of observation data and has better applicability. The spatial distribution of low-temperature days and high- and low-value areas in this region is the opposite of the threshold value, with a situation of low-temperature days in the south and high in the north. The spatial distribution of low-temperature days in NC1 and NC2 data can reproduce the observed results. 2) The low-temperature events in East China have obvious intraseasonal variation, and the low-temperature days in January are the highest, indicating that the sustained low-temperature events are most likely to occur in January. The minimum temperature in winter from December to February in East China has a strong low-frequency oscillation period of 10~20 d.

Keywords

Low-Temperature Threshold, Intraseasonal Oscillation, Reanalysis Data

Copyright © 2024 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

我国华东地区，是我国重要的经济发达地区、重点农业生产区、人口稠密区[1]。华东地区常有低温事件发生，并引起一系列低温灾害，对于经济、农业、交通等方面都有严重影响[2]。因此，对该地区低温事件的特征和成因等研究，已引起很多学者关注。近几年发现全球温度变暖趋缓，但这种停滞期温度由于全球变暖的影响，温度整体依旧很高[3]，其中最明显的就是冬季增温[4]。由此可见，对冬季低温的研究，有利于分析全球变暖背景下我国极端低温的变化特征。

随着对气候研究的深入，仅用观测资料并不能满足研究需要，各种再分析资料的出现填补了这个空缺，在全球大气环流、气候变化和诊断等方面取得了一些成就[5] [6]。谢潇等[7]研究了再分析资料在中国的适用性，指出再分析资料在中国东部比西部更可靠，低纬可信度高于高纬，但高海拔地区，由于地形的影响，可信度较低。You 等[8]研究了 1958~2011 年中国再分析与观测温度资料，发现 NCEP/NCAR 和 ERA 资料可以再现站点资料极端低温的变化趋势。何冬燕等[9]揭示了三种再分析资料地表温度在青藏高原的适用性，其中 ERA-Interim 适用性较好，NCEP/NCAR 与 NCEP/DOE 在该地区的适用性与 ERA-Interim 相反。

黄帅等[10]研究发现，西南地区持续性低温过程发生次数呈下降趋势，在贵州大部分地区、四川中部及云南东部地区持续时间呈上升趋势，在四川西南及四川、云南交界处呈下降趋势。区域持续性低温过程发生的次数、持续时间及影响台站数都呈现下降趋势。伍红雨等[11]研究发现，我国冬季寒潮的减弱表现为北方极端最低温普遍上升 5~10℃；除了高原地区，我国大部分地区的极端最高温有所降低。王小鹏[12]通过分析我国极端温度的变化，发现在我国华南及长江中下游地区出现了极端阈值的最大值。

全球大气运动的基本特征之一是存在于其中的大气低频振荡[13]。它的变化对于研究降水、低温等都有重要意义。上世纪 70 年代早期，Madden 和 Julian 发现有周期约为 40 天的振荡存在于赤道周围的大气中[14] [15]。30~60 d 的准周期振荡在整个热带甚至全球大气都存在，是重要的大气环流系统之一，其被称为季节内振荡(Intraseasonal Oscillation, ISO)，把赤道周围大气季节内振荡称为 MJO (Madden-Julian Oscillation) [16]。随后，许多学者对此进行研究，白旭旭等[17]发现我国东部春季降水异常是由于 MJO 活动对大尺度环流异常、水汽输送和对流层中低层的涡度异常的影响。时珉[18]围绕 MJO 强度与频率的年际变化，探讨了其对我国冬季降水及气温的影响，发现 MJO 的变化有利于冬季长江地区降水的增多及其与华北部分地区冬季温度的降低。本文拟通过逐日低温数据计算低温阈值，筛选低温日数，并评估四种再分析资料在低温研究中的适用性，同时确定华东地区低温变化的显著低频振荡周期。通过研究其低频特征，提高对极端低温天气的认识。

2. 资料和方法

本文使用的观测资料是由中国气象数据网提供的 1979~2013 年共 192 站逐日最低温度观测资料，使用中对出现断点数据的台站进行了剔除；四种再分析资料是 NCEP/NCAR (以下简称 NC1)、NCEP/DOE (以下简称 NC2)、JRA-55 (以下简称 JRA)、ERA-Interim (以下简称 ERA)逐日最低温度再分析资料，NC2 逐日高度场、风场、温度场，垂直方向共 17 层，及海平面气压场再分析资料。由于五种资料的分辨率不同，NCEP 再分析产品为高斯网格点，JRA 和 ERA 为 2.5˚ × 2.5˚均匀网格点。为便于比较，本文使用 Cressman 和双线性插值法分别将站点资料和 NCEP 再分析资料插值到 2.5˚ × 2.5˚的均匀网格点。

本文中将某站点 1979~2013 的观测资料中逐年日最低温度按升序排列，得到每年第 5 个最低温度的百分位值[19]，再取其 35 年平均值作为该站的极端低温阈值(以下简称为阈值) [20]。

华东地区[21] [22]范围为 114~123˚N，23~38˚E，包括山东、安徽、江苏、江西、浙江、福建和上海。

本文运用 Butterworth 带通滤波器和功率谱方法对华东地区冬季低温季节内变化特征进行初步分析。

3. 观测资料低温阈值与日数变化特征及其与再分析资料的比较

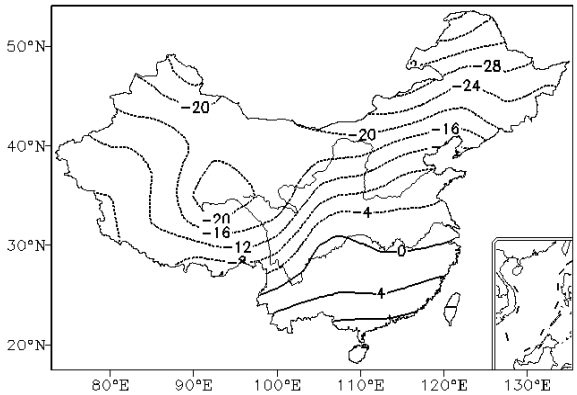


Figure 1. Spatial distribution of low-temperature threshold of national observation data during 1979~2013 (unit: ˚C)
图 1. 1979~2013 年全国观测资料低温阈值的空间分布(单位：˚C)

由站点资料阈值空间分布(图 1)可以看出，0℃线沿云贵高原－长江中下游平原分布，以北阈值为负，以南为正。在华东，阈值范围在−8~8℃之间，并由北到南逐渐增大，其中山东、安徽、江苏省及上海市阈值为负，江西、浙江和福建的阈值为正，这可能是由于地形和纬度的影响，华东地区长江以北为华北平原与长江中下游平原，以南为江南丘陵、浙闽丘陵，地势南高北低，有丘陵或山脉的阻挡作用，使华

东出现南暖北冷的空间分布特征。

由再分析资料低温阈值(图 2)可以看出，四种资料的 0℃线都穿过华东地区，其中 NC1 资料 0℃线位于云贵高原、两广丘陵及浙闽丘陵，JRA 的 0℃线位于云贵高原－江南丘陵，ERA 与 NC2 资料的 0℃线位置与 NC1 分布相似。四种资料的阈值空间分布在华东地区有由北到南逐渐增大的趋势，其中 NC1 资料(图 2(a))中福建和上海的阈值为正，在 0~8℃之间，其中福建地区的阈值约为 8℃；山东、安徽、江苏、浙江及江西阈值为负，其中山东地区阈值约为−12℃。NC2 资料(图 2(b))中浙江、福建、上海及江西的阈值为正，在 0~8℃之间；山东、安徽、江苏阈值为负，其中山东地区阈值约为−12℃。ERA 资料(图 2(c))中浙江、福建、上海及江西的阈值为正，在 0~8℃间；山东、安徽、江苏阈值为负，其中山东地区阈值约为−8℃。JRA 资料(图 2(d))中仅有山东地区阈值为负，约为−4℃。

JRA 资料 0℃位置与阈值的空间分布与观测资料最接近，能较好地再现观测资料的结果。

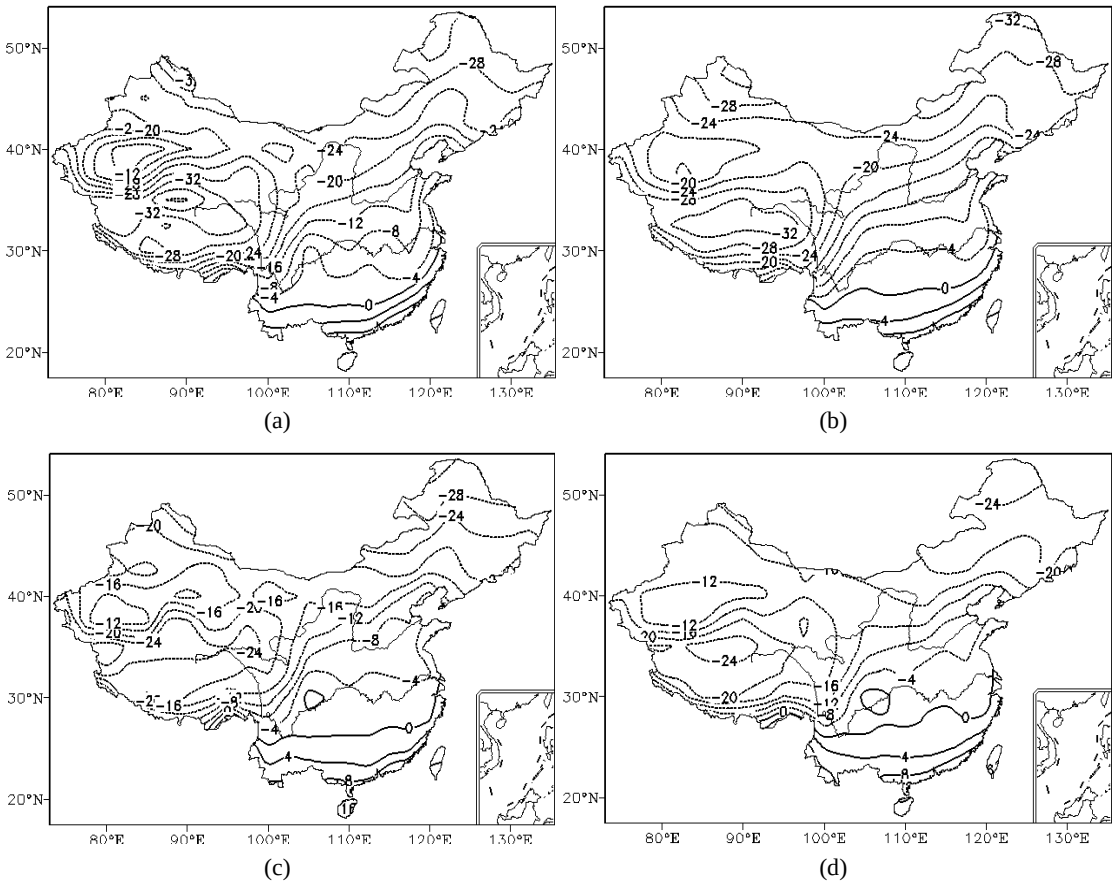


Figure 2. Spatial distribution of multi-year mean low-temperature threshold of national reanalysis data during 1979~2013 (unit: ˚C): (a) NC1; (b) NC2; (c) ERA; (d) JRA

图 2. 1979~2013 年全国再分析资料多年平均低温阈值的空间分布(单位：˚C)：(a) NC1；(b) NC2；(c) ERA；(d) JRA

对观测与再分析资料的阈值做差值发现，在华东，NC1、NC2、ERA 资料阈值差值空间分布相似，在福建、浙江、上海、江苏、山东沿海地区差值偏高，而 JRA 资料只有在江西偏低。而前两种资料取值范围在−8~4℃间，后两种资料范围在−4~4℃间，所以 ERA 与 JRA 资料的表现较好。

总体来说，两类资料低温阈值 0℃线都穿过华东地区，并将华东地区分成正值区与负值区，其中 JRA 资料低温阈值与阈值差值与观测资料最为接近，能更好地再现华东地区低温阈值空间分布的特征。

在华东，观测资料多年平均低温日数(图 3)由北向南递减，低值线与高值线都穿过华东地区，范围在 17~21 天之间，其中山东、安徽地区为大值区，浙江、福建为低值区。出现这种现象的原因可能也与地形和纬度有关，在阈值已经讨论过，这里就不再赘述。

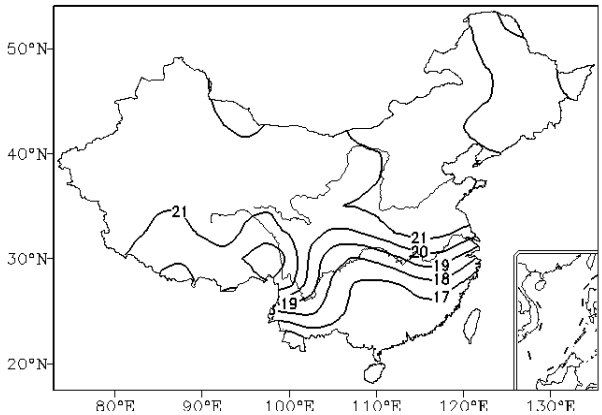


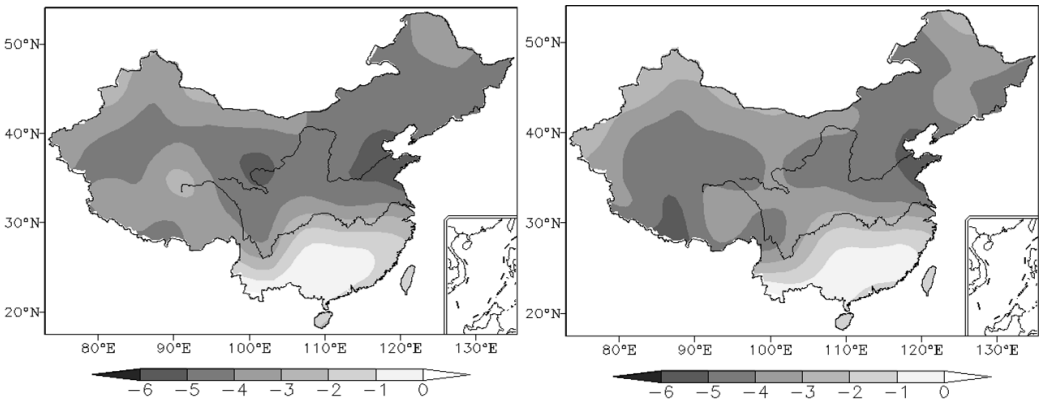
Figure 3. Spatial distribution of multi-year mean low-temperature days of the national observation data during 1979~2013 (unit: d)

图 3. 1979~2013 年全国观测资料多年平均低温日数的空间分布(单位：天)

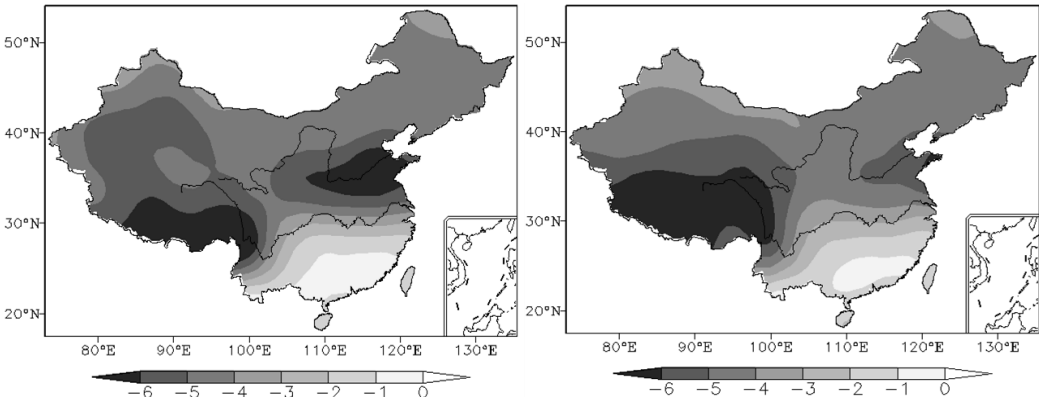
再分析资料的多年平均低温日数偏低，低温日数空间分布与观测资料相似。华东地区四种资料低温日范围在 15~17 天左右，其中 NC1、NC2、JRA 高值区在山东、安徽、江苏地区，ERA 高值区在江西地区；NC1、NC2、JRA 低值区位于浙江、福建及上海，ERA 低值区位于山东。ERA 资料的高低值区与另外三种资料相反。总体来说，NC1、NC2、JRA 资料多年平均低温日数与观测资料最为接近，ERA 资料的适用性较差。

在华东，再分析资料的低温日数偏低(图 4)。与观测资料比较，NC1、NC2 资料偏低 0~6 天左右，ERA、JRA 低温日数偏低 0~6 天及以上，有较明显的大值中心。四种资料低值区均在福建地区附近，在山东出现大值中心。

总体来说，近 35 年来，华东地区观测资料多年平均低温日数有南低北高的空间分布特征，主要高值区分布在山东、安徽和江苏一带，低值区分布在浙江、江西、福建地区。再分析资料与之比较发现 NC1、NC2、JRA 的结果与观测资料最为接近。



(a) (b)



(c) (d)

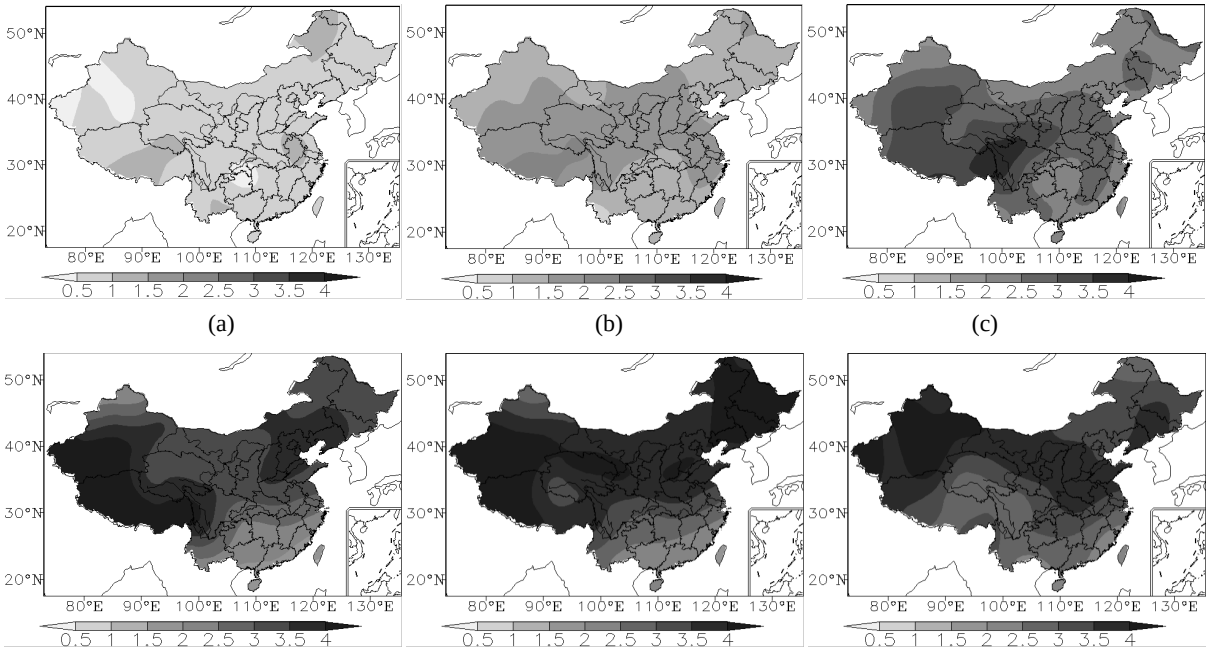
Figure 4. Low-temperature days difference of observation data and reanalysis data during 1979~2013 (unit: d): (a) NC1; (b) NC2; (c) ERA; (d) JRA

图 4. 1979~2013 年观测资料与再分析资料低温日数差值(单位：天)：(a) NC1；(b) NC2；(c) ERA；(d) JRA

4. 冬季低温季节内变化特征初步分析

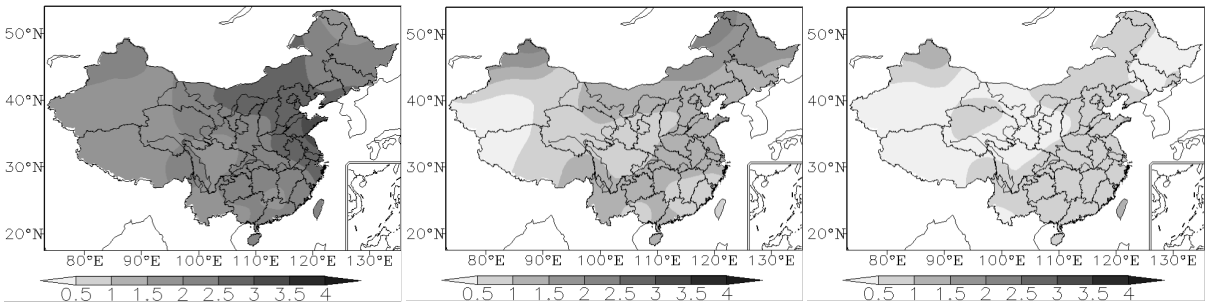
统计分析多年平均的逐旬低温日数(图 5)发现，在华东地区，12 月上旬、2 月中旬、2 月下旬(图 5(a)、图 5(h)、图 5(i))出现低温日数的站偏少，范围主要在 0~1.5 天之间；12 月中旬、2 月上旬(图 5(b)、图 5(g))低温日数逐渐增多，但还没有达到最大值，范围在 1.5~2.5 天左右；12 月下旬(图 5(c))，低温日数范围在 2.5~3 天；而整个 1 月低温日数(图 5(d)、图 5(e)、图 5(f))整体偏高，高值区主要在山东、安徽和江苏，低值区主要在上海、浙江、江西、福建。12~2 月低温日数的季节内变化特征明显，1 月低温日数较多，持续性低温事件最有可能出现在 1 月。

用功率谱方法对华东地区显著低频振荡周期做显著检验(图 6)。可以看出，华东地区低温 10~20 d 的周期比较明显，通过 95%的信度检验，且不能表现出 20 天以上的振荡周期。



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)



(g) (h) (i)

Figure 5. Spatial distribution of multi-year mean low-temperature days per 10 days in the national observation data in winter from December to February during 1979~2013 (Unit: d): (a) Early December; (b) Mid-December; (c) Late December; (d) Early January; (e) Mid-January; (f) Late January; (g) Early February; (h) Mid-February; (i) Late February

图 5. 1979~2013 年冬季 12~2 月全国观测资料多年平均逐旬低温日数的空间分布(单位：天)：(a) 12 月上旬；(b) 12 月中旬；(c) 12 月下旬；(d) 1 月上旬；(e) 1 月中旬；(f) 1 月下旬；(g) 2 月上旬；(h) 2 月中旬；(i) 2 月下旬

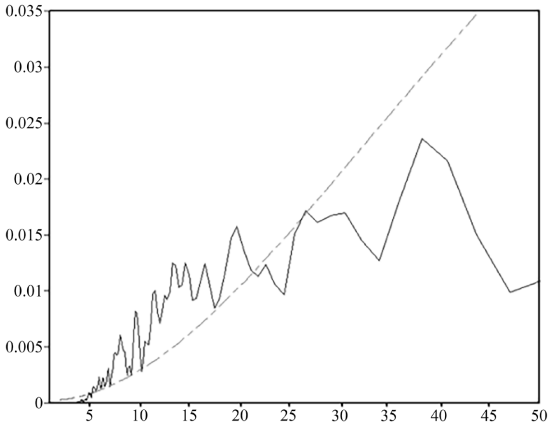


Figure 6. Minimum temperature power spectrum in winter from December to February over East China during 1979~2013 (unit: d)

图 6. 1979~2013 年中国华东地区冬季 12~2 月最低温度功率谱(单位：天)

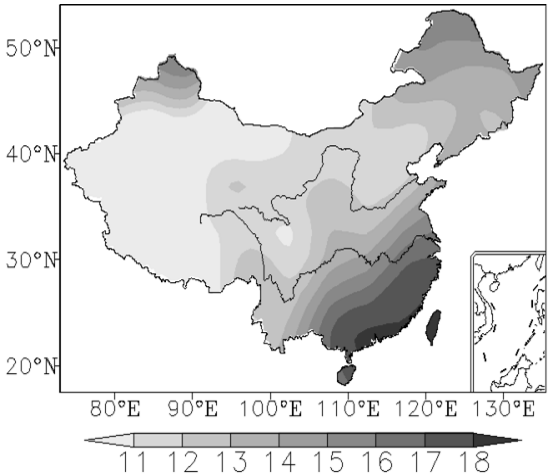


Figure 7. Spatial distribution of variance contribution rate of minimum temperature in 10~20 days after filtering from December to February in winter in China during 1979~2013 (unit: %)

图 7. 1979~2013 年中国冬季 12~2 月滤波后 10~20 天最低温度方差贡献率的空间分布(单位：%)

华东地区方差贡献率形势为是从北向南增加(图 7)，大值区位于福建，方差贡献率约 17%，低值区在山东，方差贡献率约 13%。这说明，与其他地区相比，我国华东地区方差贡献大，较适合 10~20 d 低频振荡特征的研究。

参考 Peng 等[6]区域性持续低温事件识别方法，筛选 1979~2013 年 12~2 月我国华东地区持续性低温过程。通过对最近 10 年逐日平均低温日数分析，发现这 10 年有持续时间长的低温过程，也有持续时间短的过程，表现出较明显的季节内变化特征。

5. 总结与讨论

1) 华东地区阈值由北到南增大，高值区在浙江、江西、福建，低值区在山东、安徽、江苏，主要原因是华东地区以长江为界，南为江南丘陵、浙闽丘陵，北为华北平原，地势南高北低，有丘陵或山脉的阻挡作用，使华东地区呈现南暖北冷的空间分布特征。JRA 资料的低温阈值空间分布与观测资料更为接近，适用性更好。该地区低温日数和高低值区与阈值空间分布正好相反，有南低北高形势，NC1、NC2、JRA 资料低温日数空间分布能重现观测结果。

2) 华东地区低温事件开始和结束分别在 12 月中旬与 2 月中旬。12~2 月低温日数由少变多再变少，有明显的季节内变化，其中 1 月低温日数最多，说明持续性低温事件最有可能出现在 1 月。用功率谱、方差占比分析得到华东地区适合 10~20 d 低频振荡特征的研究。

本文运用四套再分析资料与观测资料对华东地区逐日低温日数和低温阈值进行了比较分析，但仅仅是分析了再分析资料与观测资料在该地区的空间分布特征，对于时空特征并未进行分析。且不同资料存在地形高度的差异，本文是在未做此订正的基础上进行，应在以后的研究中加以改善。

参考文献

[1] 胡润杰. 近 50 年华东地区夏季降水时空分布及异常成因研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.

[2] 白静漪. 华东区域夏季不同等级降水的异常变化规律及异常环流特征分析[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2013.

[3] IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.

[4] 梁苏洁, 丁一汇, 赵南, 孙颖. 近 50 年中国冬季气温和冬季风以及区域环流的年代际变化研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国气象科学研究院, 2014.

[5] 程胜, 李崇银. 北半球冬半年平流层大气低频振荡特征的研究[J]. 大气科学, 2006, 30(4): 660-670.

[6] Peng, J.B. and Cholaw, B. (2011) The Definition and Classification of Extensive and Persistent Extreme Cold Events in China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, **4**, 281-286. https://doi.org/10.1080/16742834.2011.11446943

[7] 谢潇, 何金海, 祁莉. 4 种再分析资料在中国区域的适用性研究进展[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(5): 58-65.

[8] You, Q.L., Fraedrich, K., Min, J.Z., *et al*. (2013) Can Temperature Extremes in China Be Calculated from Reanalysis? *Global & Planetary Change*, **111**, 268-279. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.10.003

[9] 何冬燕, 田红, 邓伟涛. 三种再分析地表温度资料在青藏高原区域的适用性分析[J]. 大气科学学报, 2013, 36(4): 458-465.

[10] 黄帅, 晋明红. 西南地区低温过程特征及与 MJO 指数的关系[J]. 电力勘测设计, 2014, 6(5): 23-27+46.

[11] 伍红雨, 杜尧东. 1961-2008 年华南区域寒潮变化的气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 192-197.

[12] 王小鹏. 中国特大城市极端温度变化特征及原因分析[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2015.

[13] 程胜, 李崇银. 北半球冬半年平流层大气低频振荡特征的研究[J]. 大气科学, 2006, 30(4): 660-670.

[14] Madden, R.A. and Julian, P.R. (1971) Detection of a 40-50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. *Journal of Atmospheric Sciences*, **28**, 702-708.https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2

[15] Madden, R.A. and Julian, P.R. (1972) Discription of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40-50 Day Period. *Journal of Atmospheric Sciences*, **29**, 1109-1123.

https://doi.org/10.1175/1520-0469(1972)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2

[16] 李崇银，潘静，宋洁. MJO 研究新进展[J]. 大气科学, 2013, 37(2): 229-252.

[17] 白旭旭，李崇银，谭言科，等. MJO 对我国东部春季降水影响的分析[J]. 热带气象学报, 2011, 27(6): 814-822.

[18] 时珉. MJO 与中国冬季气候的关系及全球变暖背景下 MJO 的可能影响[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 2017.

[19] 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(z1): 1-10.

[20] 陈少勇，王劲松，任燕，等. 近 49 年中国西北地区极端低温事件的演变特征[J]. 高原气象, 2011(5): 1266-1273.

[21] 白爱娟，刘晓东. 华东地区近 50 年降水量的变化特征及其与旱涝灾害的关系分析[J]. 热带气象学报，2010, 26(2): 194-200.

[22] 唐宝琪，延军平，李双双，等. 近 55 年来华东地区旱涝时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境，2016，25(3): 497-505.