

李文慧, 谭桂容, 2020. 中国冬季气温的次季节尺度振荡及其与年际异常的关系[J]. 高原气象, 39(1): 110-119. LI Wenhui, TAN Guirong, 2020. Sub-seasonal Scale Oscillations of Winter Temperature in China and the Relationship with Interannual Anomalies[J]. Plateau Meteorology, 39(1): 110-119. DOI: 10. 7522/j. issn. 1000-0534. 2019. 00053.

中国冬季气温的次季节尺度振荡及其与年际异常的关系

李文慧, 谭桂容

(南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心/
气候与环境变化国际合作联合实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用全国756站逐日平均气温资料和旋转经验正交展开方法(EOF)、功率谱方法, 分析了中国冬季气温次季节尺度振荡的基本特征, 并对次季节尺度振荡引起的冬季气温年际异常进行了研究。结果表明: (1)中国冬季气温的次季节尺度振荡存在地域差异。中国南部、西部和东部地区的冬季气温次季节尺度都存在10~20天和20~60天的振荡变化, 只是南部和东部地区10~20天振荡较西部更显著。(2)冬季气温的10~90, 10~20和20~60天主振荡的强度具有明显的年际变化, 其中西北、华中、华南地区振荡周期的年际变化相似; 华北、东北地区振荡周期的年际变化相似; 西南地区 and 云南省振荡周期的年际变化相似。(3)中国冬季气温的次季节尺度振荡与冬季气温的年际变化有密切的关系。区域主振荡强弱年对应的中国冬季气温存在明显的异常, 且相应的次季节变化与冬季气温年际变化存在负相关关系。

关键词: 次季节尺度振荡; 年际变化; 冬季气温异常

文章编号: 1000-0534(2020)01-0110-10 **中图分类号:** P432 **文献标识码:** A

DOI: 10. 7522/j. issn. 1000-0534. 2019. 00053

1 引言

地球大气的运动十分复杂, 在空间和时间上可分为多种尺度的运动。近年来, 次季节尺度振荡受到广泛关注, 其时间尺度(10~90天)介于天气尺度和季节尺度变化之间, 因此次季节尺度振荡能在很大程度上影响各地的天气和气候变化。次季节尺度振荡的研究将在天气预报与短期气候预测之间建立起一座桥梁, 为中长期天气预报到季节预测填补缝隙, 同时也在延伸期预报中扮演着重要角色(梁萍等, 2013; 孙国武等, 2010, 2011, 2014)。

次季节尺度振荡对世界不同地区降水或温度有重要的影响, 如东亚冬季风的建立及其活动以及中国西北春季降水和东部夏季降水都同次季节尺度振荡密切相关(唐东升等, 1994; 任宏利等, 2006; 占瑞芬等, 2008; 李艳等, 2018; 陈申鹏等,

2017), 中国冬季的寒潮过程也在强的次季节尺度振荡背景下发生(马晓青等, 2008)。次季节尺度振荡主要包括准双周振荡(Quasi-biweekly Oscillation, QBWO)和季节内30~60天振荡(Intra-seasonal Oscillation, ISO)。如东亚地区冬季冷空气活动具有明显的准双周振荡现象, 这种低频振荡存在明显的年际变化(金祖辉等, 1996; Compo et al, 1999)。丁一汇(1991)研究了东亚寒潮爆发过程主要表现为QBWO低频模态的传播。起源于热带西太平洋地区并向西北方向传播的低频环流影响中国南方的温度, 并表现出约10天的周期(Chen et al, 2016; Wang et al, 2007)。刘樱等(2016)指出30~60天低频环流场上西西伯利亚附近的低频反气旋及日本海附近的低频气旋是造成华北持续性异常低温事件的重要低频影响因子。2008年初中国南方的低温雨雪冰冻天气都在近地面气温30~60天

收稿日期: 2019-01-10; 定稿日期: 2019-05-21

资助项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1505804); 国家自然科学基金项目(41575070, 41575085, 41475090)

作者简介: 李文慧(1993—), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 主要从事短期气候预测研究. E-mail: 741951931@qq.com

通信作者: 谭桂容(1970—), 女, 湖南人, 研究员, 主要从事短期气候异常及其预测研究. E-mail: tanguirong@nuist.edu.cn

振荡的负位相控制, 10~20天振荡的同位相叠加使降温更加明显(马宁等, 2011)。另一方面, 杨松等(1990)还发现冷空气活动存在明显的单周和准40天的振荡, 强冷空气活动期间主要为准40天周期振荡控制(齐冬梅等, 2016)。近年来延伸期预报(10~30天)业务的需求不断增长, 越来越多的研究开始关注10~30天低频变化对降水和温度的影响, 如中国江南地区4—6月降水有显著的10~30天变化周期, 低频降水异常既与中高纬环流有关, 又受热带加热异常的影响(谭桂容等, 2016)。大西洋低纬度10~30天低频对外长波辐射异常可通过大西洋急流的异常影响乌拉尔山地区环流及中国冬季气温(谭桂容等, 2018)。次季节尺度变化一般表现出类似于年际、年代际变化的空间分布(Yao et al, 2016), 可通过调整季节内振荡的活跃/中止期长短及其强度影响到季节异常的幅度, 还可通过调整天气尺度活动间接影响季节异常并为季节性天气预报提供重要信号(Goswami et al, 2003, 2006; Waliser et al, 2003)。对不同时间尺度的变化和不同时间尺度相互作用的研究是弥合天气预报和气候预测之间的空隙、进行延伸期预报的关键(Wu et al, 2006; Palmer et al, 2008)。热带季节内振荡及其非绝热加热异常触发的Rossby波列影响热带外大尺度环流, 并可能对北大西洋涛动(NAO)和北极涛动(AO)的发展起触发和增幅作用(Lin et al, 2008; Zhou et al, 2005)。Lin et al(2008)指出加拿大冬季地面气温异常是与MJO对流异常有关的Rossby波列影响的结果。中国冬季持续低温事件受中高纬大气低频环流和热带大气低频对流活动共同影响(朱毓颖等, 2013)。

以往的研究要么针对某个区域进行, 要么只针对次季节尺度某一频带进行分析。本文运用逐日站点资料对冬季气温异常的次季节尺度主振荡区域特性进行全面分析, 得到中国各区域次季节尺度主振荡的空间分布; 并就次季节尺度对冬季气温年际异常的影响进行分析, 研究结果有利于进一步了解冬季气温异常的次季节主振荡特征及其对年际异常的影响。

2 资料来源与方法介绍

主要选取由中国气象局国家气象信息中心提供的1959—2011年中国756站逐日平均温度资料, 为了便于分析, 因此选取1959—2011年连续无缺测的站点(410站)进行研究。定义当年12月1日至翌年2月28日为冬季, 并去除年循环的温度距平序

列。文中涉及的地图是基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)2891号的中国地图制作, 底图无修改。

本文主要采用Lanczos滤波器(Duchon, 1979)(滤波参数 $n=100$)对去年循环后的温度资料进行10~90天的带通滤波, 进而对低频振荡分量进行REOF分解、得到中国各区域次季节尺度振荡的空间分布。利用功率谱分析得到中国各区域次季节振荡主周期, 还利用了合成、 t 检验等方法, 这些方法在相关文献(魏凤英, 1999)中有详细叙述, 这里不再赘述。

3 中国冬季气温的次季节尺度振荡特征

3.1 中国冬季气温次季节尺度的空间分布型

为了考察中国冬季气温的次季节尺度振荡特征, 首先对1960—2011年去除年循环的冬季气温距平序列通过Lanczos滤波器进行10~90天带通滤波。然后对滤波后的温度序列进行REOF分析, 并且根据North et al(1982)特征值误差的要求, 对前7个模态进行旋转, 得到冬季气温次季节尺度的主要空间分布型。图1为中国冬季次季节尺度气温REOF分析的7个空间模态。7个模态的方差贡献率分别为25.34%, 24.40%, 13.67%, 11.94%, 3.82%, 2.90%和2.27%, 累积达84.37%。图中载荷较大的集中区代表这些区域气温的振荡周期存在一定的一致性, 将这些大值集中区作为分区的依据。第一模态[图1(a)]显示大部分地区为载荷正值, 正载荷高值主要位于贵州省及华南地区。载荷负值在新疆北部、西藏及东北和华北的部分地区, 但其绝对值较小(小于0.2), 表明中国大部分地区的低频气温变化一致; 第二模态[图1(b)]除西南地区为较小的载荷正值(小于0.1)外, 其余地区表现为负载荷, 且负载荷绝对值大值中心区位于吉林省、辽宁省和华北地区, 即西南地区与中国其他地区低频气温反向变化的特征, 前两个模态方差贡献都较大, 为低频气温分布最常见的两个模态; 第三模态[图1(c)]与第二模态空间分布相似, 但负载荷绝对值大值中心位于西北地区; 第四模态[图1(d)]东北和华北部分地区及西南部分地区表现为绝对值很小的负载荷(小于0.1), 其他地区皆为载荷正值, 且正载荷大值中心位于华中地区; 第五模态[图1(e)]正载荷大值中心区位于西南地区, 其余地区载荷绝对值较小; 第六模态[图1(f)]东北、华北北部、西北、西南部分华南地区为载荷正值, 且正载荷大值中心位于东北地区; 华北和华东地区为绝对值较小负载

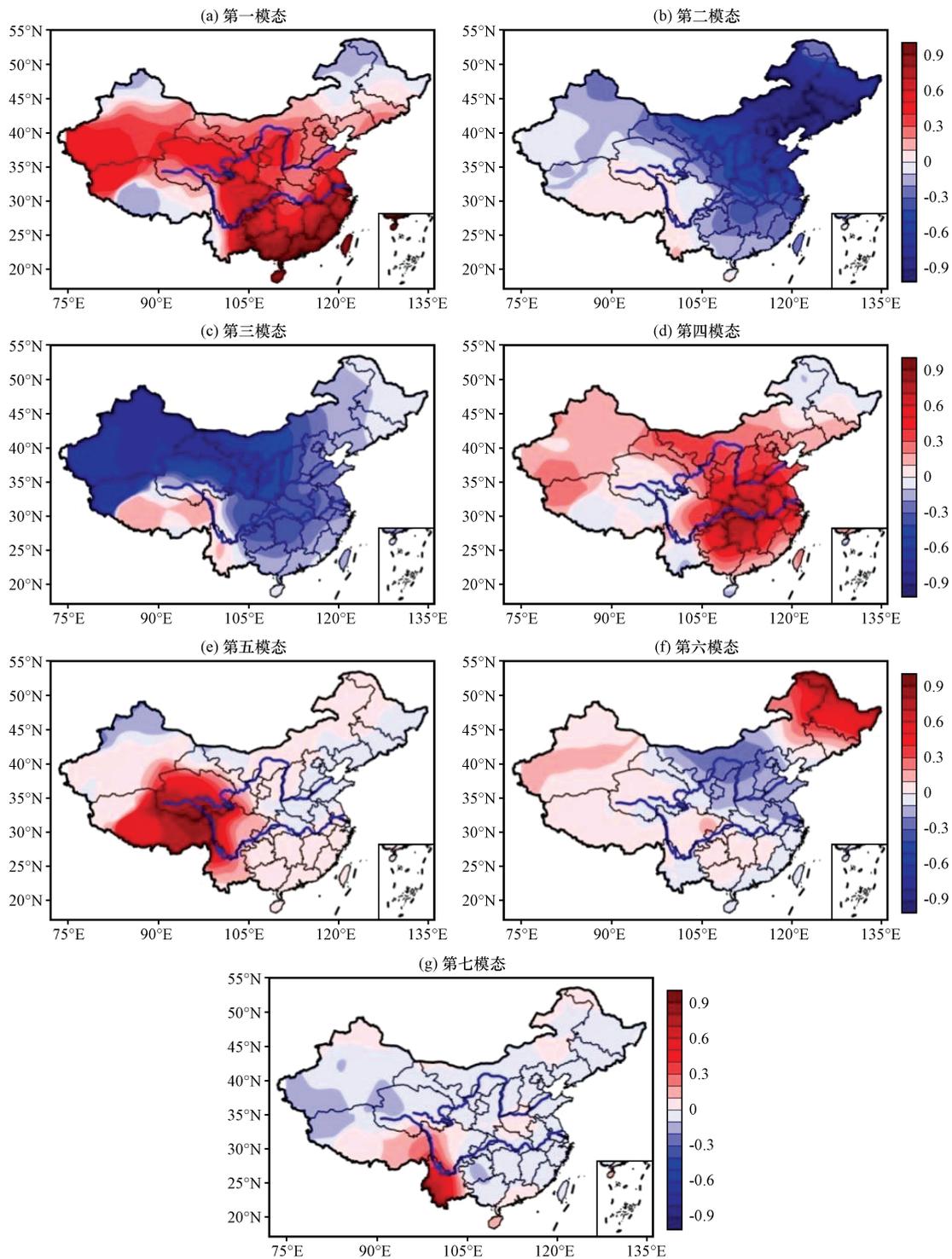


图1 中国冬季次季节尺度气温 REOF 分析的 7 个模态

Fig. 1 Seven modes of REOF analysis of winter sub-seasonal temperature in China

荷,其绝对值小于0.3;第七模态[图1(g)]正荷载大值中心区位于云南省,高荷载涵盖区域很小,其余地区荷载绝对值较小。因此可得中国冬季气温的次季节尺度振荡存在地域差异。按荷载绝对值 ≥ 0.6 的高荷载分布区域来考虑,将我国划分为华南地区、华北地区、西北地区、华中地区、西南地区、东北地区、云南地区7个冬季气温次季节振荡周期集中区。

3.2 区域次季节尺度振荡特征

为分析每个区域的次季节尺度振荡特征,揭示次季节尺度振荡的区域差异,对 REOF 分析后 7 个模态的时间系数进行功率谱分析,并对不同模态功率谱估计值求其相关系数。可得第一和第七模态,第三和第五模态、第二、第四和第六模态之间的相关系数都大于 0.99,故将具有相似振荡周期的模态

归为一类。第一和第七模态为第一类,主要反映南部地区气温振荡特性,简称南部地区;第三和第五模态为第二类,简称为西部地区;第二、第四和第六为第三类,简称为东部地区。图2为7个区域的功率谱分析结果,可见各区都在30天功率谱估计值达到第一峰值,并通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平。其中南部地区存在10~32天的周期振荡[图2(a)];

中国西部地区存在10~35天的周期振荡[图2(b)]。与南部地区相比,西部地区10~20天的振荡较弱,20天以上的功率谱估计值较强。中国东部地区存在10~30天的周期振荡,且10~20天的功率谱估计值较强[图2(c)]。故东部和南部地区10~20天振荡较强,西部地区10~20天振荡相对较弱,但20天以上振荡较东部和南部地区强。

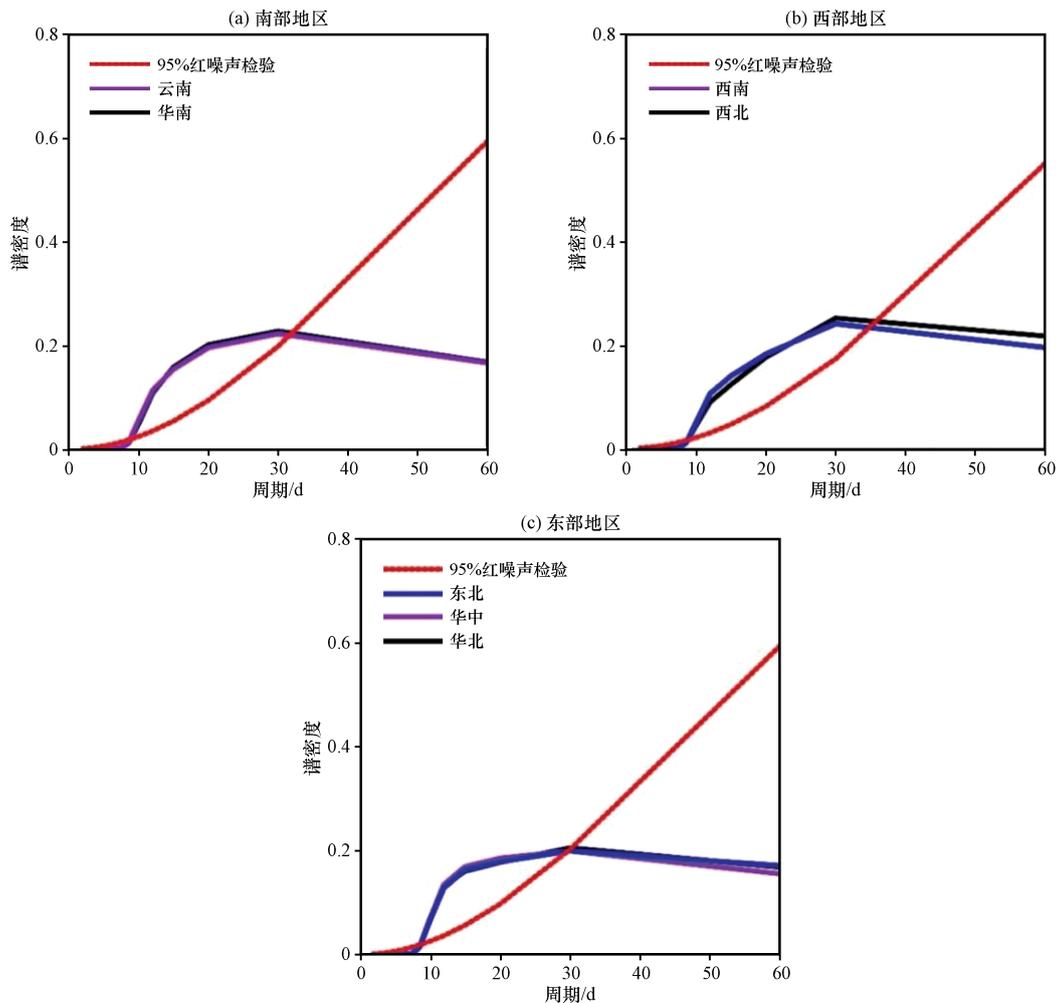


图2 7个区域的多年平均功率谱分析

Fig. 2 Multi-year average power spectrum analysis of the seven regions

3.3 区域次季节尺度振荡主周期

由上文分析可知,东部和南部地区具有较强的10~20天振荡,而西部地区10~20天的振荡较弱。因此这里只选取了第二和第三模态(分别代表东部和西部地区)时间系数进行分析。由图3可见,东部和西部地区都在30天左右功率谱估计值达到最大。其中东部表现出两种显著振荡周期,即为10~20天和20~60天两种显著振荡周期。其中10~20天振荡周期的最强振荡周期在15天左右,20~60天振荡主要以30天振荡最为显著。西部地区在10~20天振荡的功率谱估计值较小,20~60天振荡相对较

强,这与图2得出的结论一致。以往的研究表明东亚地区冬季冷空气活动和降水具有明显的10~20天振荡(金祖辉等,1996),Blackmon et al (1984a, 1984b)基于北半球冬季500 hPa高度资料的分析也指出10~20天振荡起源于中纬度地区,并有西北—东南向波导存在。李华凝等(2018)指出冬季经向风准双周振荡的在20°N—40°N之间东传较强,且在105°E附近存在显著增强的现象;在60°N也存在明显的东传,但其只能传播到90°E附近,随后向东南方向传播,这也说明中国东南部10~20天振荡较西部地区更强。图3也反映了不同

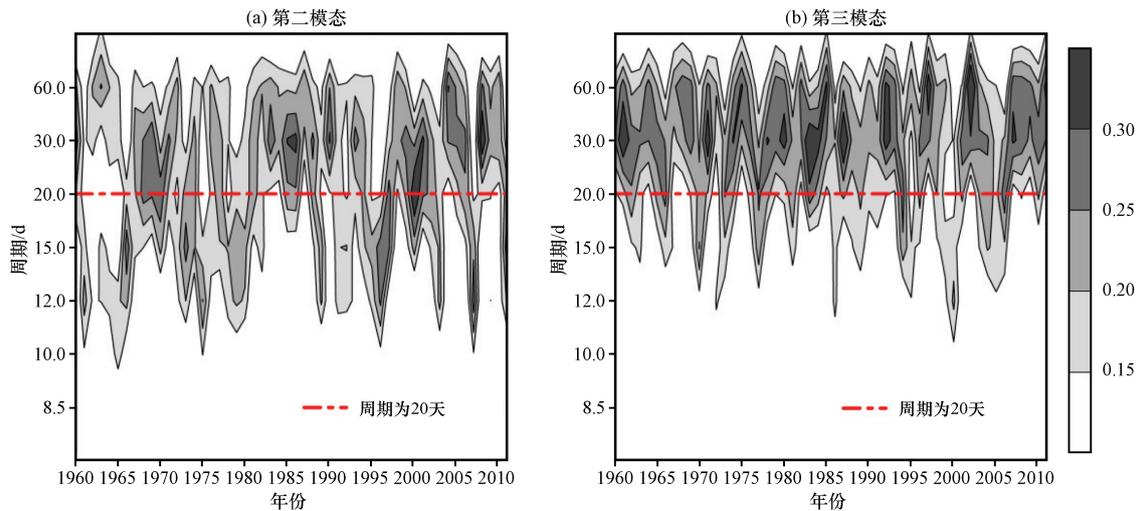


图3 1960—2011年第二模态(a)和第三模态(b)时间系数功率谱的年度变化

Fig. 3 Interannual variation of the power spectrum of the second (a) and third (b) modes time coefficients from 1960 to 2011

区域不同时间尺度的振荡强度具有明显的年度变化。

3.4 区域次季节尺度振荡强度的年度变化

区域次季节时间尺度振荡主要存在两种振荡周期，即时间尺度为10~20天和20~60天的振荡。这里先对区域逐年的10~90天、10~20天、20~60天低频气温方差进行标准化处理，进而分析区域10~90天、10~20天、20~60天低频气温方差的年度变化，并且以同尺度中两两之间相关系数的大小评定区域之间年度变化的相似程度。结果西北、华中、华南(1、3、4区域)的振荡周期具有相似的年度变化；华北、东北(2、6区域)振荡周期具有相似的年度变化；西南和云南(5、7区域)两区域振荡周期年度变化相关系数相对高但并未通过显著性检验。其中1、3区之间10~90天、10~20天、20~60天低频气温方差的相关系数分别为0.63, 0.63和0.65；1、4区之间各尺度之间相关系数分别为0.85, 0.77和0.79；3、4区之间各尺度之间相关系数分别为0.69, 0.57和0.78(表1~3)。2、6区域3种尺度的

表1 区域10~90天低频气温方差的相关系数

Table 1 10~90 days low frequency temperature variance correlation coefficient

	华北	西北	华中	西南	东北	云南
华南	0.48	0.63	0.85	-0.11	0.03	0.06
华北		0.45	0.54	-0.35	0.59	-0.11
西北			0.69	-0.17	0.04	0.04
华中				-0.13	0.09	0.08
西南					-0.24	0.25
东北						-0.16

表2 区域10~20天低频气温方差的相关系数

Table 2 10~20 days low frequency temperature variance correlation coefficient

	华北	西北	华中	西南	东北	云南
华南	0.47	0.63	0.77	0.16	0.11	0.08
华北		0.45	0.63	-0.02	0.57	0.02
西北			0.57	0.09	0.17	0.07
华中				0.08	0.23	0.19
西南					-0.15	0.32
东北						-0.18

表3 区域20~60天低频气温方差的相关系数

Table 3 20~60 days low frequency temperature variance correlation coefficient

	华北	西北	华中	西南	东北	云南
华南	0.39	0.65	0.79	0.05	-0.04	0.18
华北		0.34	0.37	-0.14	0.52	-0.05
西北			0.78	0.07	-0.1	0.08
华中				0.14	-0.09	0.08
西南					-0.02	0.29
东北						-0.02

低频气温方差的相关可见相似区域的次季节各个尺度的年度变率存在一致性。图4给出了1、3、4区域3种尺度标准化的低频气温方差的年度变化。由图可见区域10~90天、10~20天和20~60天低频气温的振荡强度具有明显的年度变化特征，且各尺度振荡方差具有相似的年度变化特征。

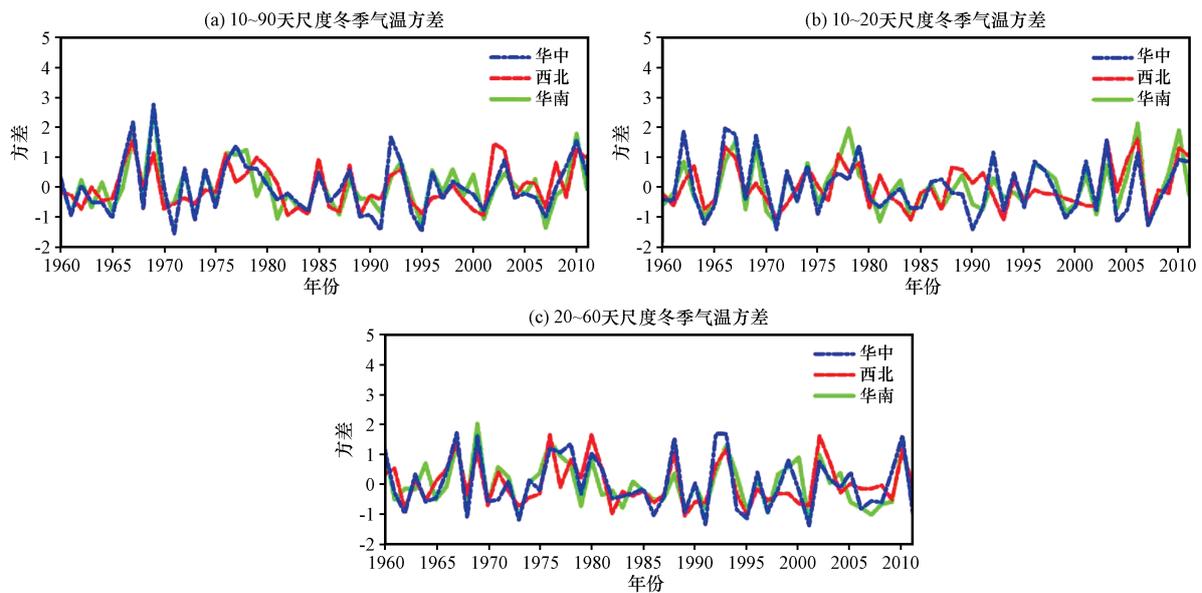


图4 标准化的低频气温方差的年际变化

Fig. 4 Interannual variation of standardized low frequency air temperature variance

4 次季节尺度振荡对冬季气温年际异常的影响

4.1 区域低频气温强振荡典型年

为了研究次季节尺度振荡对冬季气温年际异常的影响,在这里首先根据低频气温方差的年际变化选取区域次季节尺度强振荡典型年。具体由区域低频气温占冬季气温的总方差之比的大小,选取最大的7年作为典型强振荡年。表4~6分别给出了10~90天、10~20天、20~60天低频气温振荡典型年。

表4 区域10~90天低频气温强振荡典型年

Table 4 Regional 10~90 days low frequency temperature strong oscillation typical year

区域	强振荡年
华南	1967, 1974, 1978, 1992, 1993, 1998和2010年
华北	1967, 1976, 1979, 1981, 1983, 1985和2004年
西北	1967, 1968, 1979, 1980, 1992, 1993和2001年
华中	1963, 1967, 1978, 1992, 1993, 1998和2010年
西南	1965, 1982, 1992, 1993, 1995, 1996和2009年
东北	1981, 1983, 1987, 2001, 2004, 2005和2011年
云南	1961, 1979, 1993, 1994, 2000, 2001和2002年

4.2 区域强振荡年中国冬季气温异常

为了研究区域低频气温强振荡年中国冬季气温的异常特征,对低频气温强振荡典型年冬季气温的异常特征,对低频气温强振荡典型年冬季气温距平进行合成。次季节强振荡年与冬季气温年际异常的关系存在区域差异。5、7区域10~90天低频

表5 区域10~20天低频气温强振荡典型年

Table 5 Regional 10~20 days low frequency temperature strong oscillation typical year

区域	强振荡年
华南	1962, 1974, 1978, 1983, 1997, 2001和2006年
华北	1966, 1974, 1979, 1995, 1996, 1997和2011年
西北	1962, 1963, 1977, 1989, 1991, 2005和2006年
华中	1962, 1979, 1994, 1997, 2001, 2003和2006年
西南	1967, 1979, 1994, 1995, 2001, 2003和2006年
东北	1966, 1976, 1977, 1979, 1984, 1991和2010年
云南	1964, 1966, 1986, 1991, 1996, 2001和2002年

表6 区域20~60天低频气温强振荡典型年

Table 6 Regional 20~60 days low frequency temperature strong oscillation typical year

区域	强振荡年
华南	1960, 1971, 1975, 1993, 1999, 2000和2002年
华北	1960, 1981, 1983, 1990, 1993, 2001和2004年
西北	1961, 1971, 1980, 1981, 1992, 1993和2010年
华中	1960, 1963, 1978, 1980, 1981, 1990和1993年
西南	1982, 1988, 1989, 1992, 1993, 1996和2009年
东北	1961, 1968, 1983, 2001, 2004, 2008和2011年
云南	1961, 1967, 1975, 1979, 1982, 1993和2000年

气温强振荡典型年冬季气温显著异常(图5),图5(a)和(c)分别为5、7区域10~90天低频气温强振荡年冬季气温距平合成图,打点区域通过95%信度水平检验,这里将通过检验的区域称为显著区。由图5可知,5区域次季节尺度气温强振荡年,除了我国

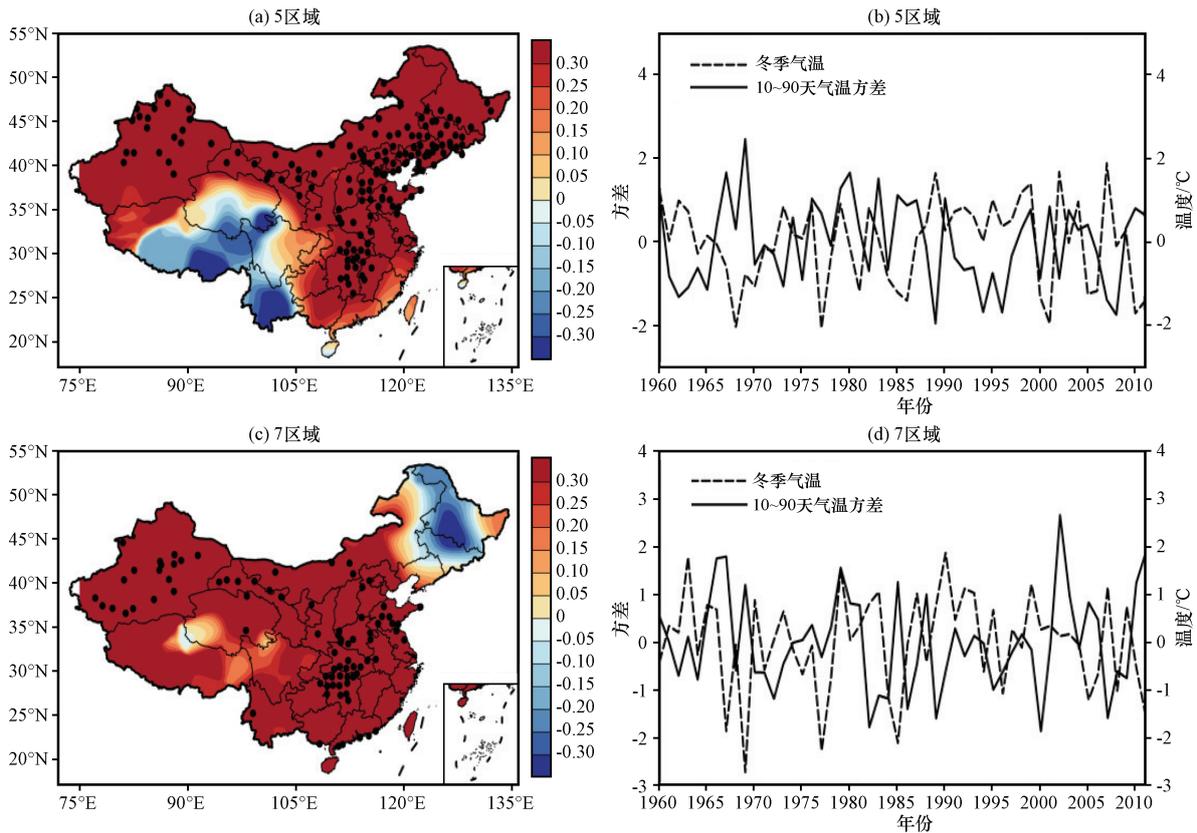


图5 10~90 天气温强振荡年冬季气温距平的合成(a,c,单位:°C)以及显著区(黑点)标准化后的10~90天气温方差和冬季气温(b,d) 打点区通过了95%的信度水平检验

Fig. 5 Composites of winter temperature anomalies in 10~90 days strong oscillation years (a, c, unit: °C), and the interannual variation of standardized 10~90 days air temperature variance and winter temperature anomalies (b, d) in the confident area (black dots). Dotted area denotes the winter temperature exceeding 95% confidence level

西南地区,其余地区冬季气温都偏高,尤其在华北、华中和西北地区偏暖明显且通过显著性检验;7区域次季节尺度气温强振荡年,东北地区冬季气温偏冷,中国华北、华中、西北地区显著偏暖。图5(b)和(d)分别为图5(a)和(c)中显著区标准化的次季节尺度气温方差和冬季气温的年际变化曲线,可以看出,显著区次季节尺度气温方差和冬季气温的年际变化具有较高的负相关,计算图5(b)、图5(d)中次季节尺度气温方差和冬季气温之间的相关系数分别为-0.34和-0.31,通过了95%的显著性检验,说明次季节尺度振荡强弱与冬季气温的年际变化密切相关。

图6[(a),(c)]为第1、5区域20~60天低频气温强振荡典型年中国冬季气温距平合成,从图6(a),(c)可以看出,在1区20~60天低频气温强振荡年,华南、华中、华东地区冬季气温显著偏暖;5区20~60天低频气温强振荡年西北、东北冬季气温显著偏暖。并且显著区20~60天低频气温方差和冬季气温的年际变化[图6(b),(d)]也呈负相关,相关

系数分别为-0.1和-0.3。图7(a)为4区10~20天低频气温强振荡典型年的冬季气温距平合成。由图7(a)可知,10~20天低频气温振荡强年,华北、华东、华中和华南地区冬季气温显著偏暖。显著区10~20天低频气温方差和冬季气温年际变化也呈负相关,相关系数为-0.11。表明10~90天、20~60天、10~20天尺度变化都与冬季气温异常存在负相关关系,即次季节尺度振荡越强,冬季气温越冷,且负相关系数的绝对值在中国北部更大。

综上可得次季节尺度振荡强年对应的冬季气温异常存在显著异常区,且对应的次季节尺度气温方差与冬季气温的年际变化序列有较高的相关。这表明气温次季节尺度振荡与季节温度异常密切相关,它们之间可能存在相互作用,这种相互作用包含两个方面:可能是由于年际及以上尺度背景场能够调节次季节尺度的变率;也可能是由于次季节尺度对年际及以上尺度变化存在反馈作用。到底是什么原因还需进一步研究。

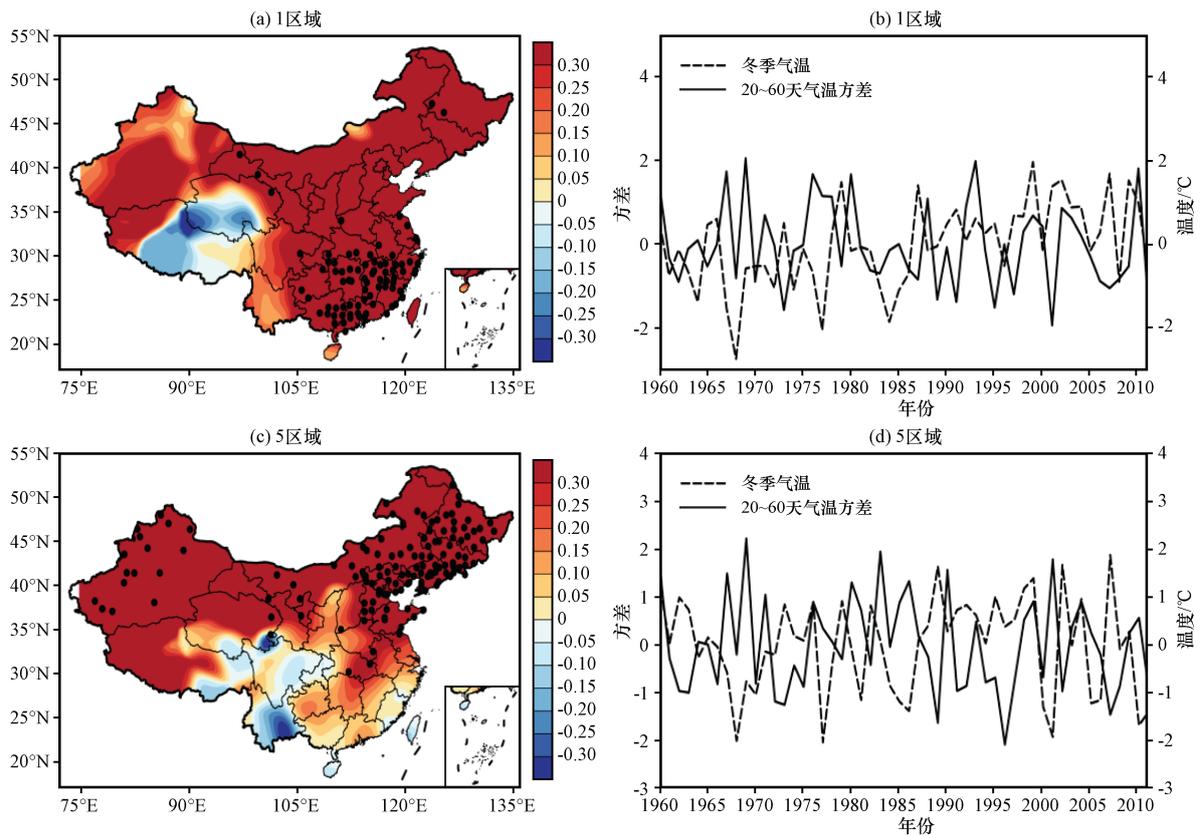


图6 20~60天气温强振荡年冬季气温距平的合成(a,c,单位:°C)以及显著区(黑点)标准化后的20~60天气温方差和冬季气温(b,d)
打点区通过了95%的信度水平检验

Fig. 6 Composites of winter temperature anomalies in 20~60 days strong oscillation years (a, c, unit: °C), and the interannual variation of standardized 20~60 days air temperature variance and winter temperature anomalies (b, d) in the confident area (black dots). Dotted area denotes the winter temperature exceeding 95% confidence level

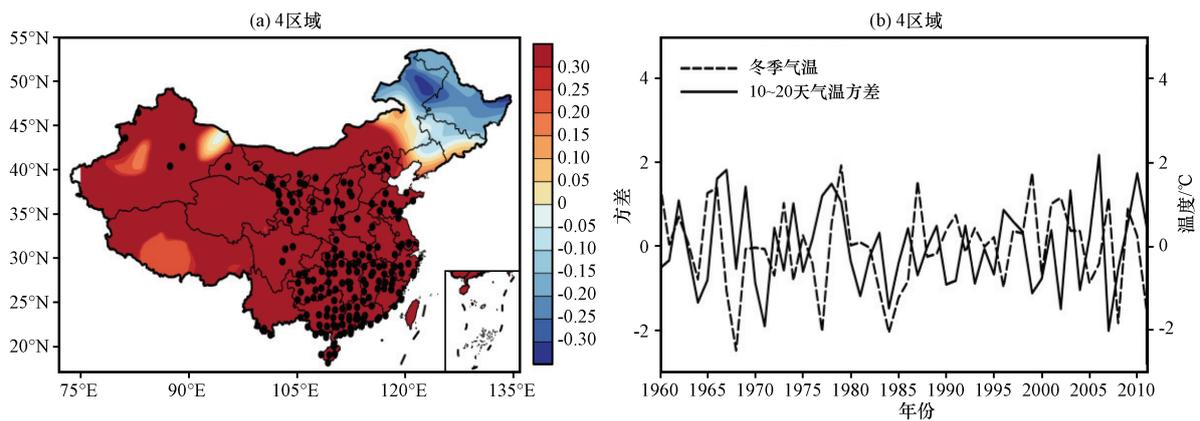


图7 10~20天气温强振荡年冬季气温距平的合成(a,单位:°C)以及显著区(黑点)标准化后的10~20天气温方差和冬季气温(b)
打点区通过了95%的信度水平检验

Fig. 7 Composites of winter temperature anomalies in 10~20 days strong oscillation years (a, unit: °C), and the interannual variation of standardized 10~20 days air temperature variance and winter temperature anomalies (b) in the confident area (black dots). Dotted area denotes the winter temperature exceeding 95% confidence level

5 结论与讨论

分析了我国冬季气温次季节尺度振荡的基本

特征,并初步探究了次季节尺度振荡与冬季气温年际异常之间的关系。得出如下结论:

(1) 中国冬季气温的次季节尺度振荡存在地

域差异。中国南部、西部和东部地区的冬季气温次季节尺度都存在 10~20 天和 20~60 天的振荡变化, 只是南部和东部地区 10~20 天振荡较西部更显著。

(2) 冬季气温的 10~90 天、10~20 天、20~60 天低频振荡强度具有明显的年际变化特征, 其中西北、华中、华南地区振荡方差的年际变化相似; 华北、东北地区振荡方差的年际变化相似。根据区域低频振荡方差占总方差之比的大小确定区域低频振荡的典型强振荡年。

(3) 中国冬季气温的次季节尺度振荡与冬季气温的年际异常存在密切的关系。区域 10~90 天、20~60 天、10~20 天低频强振荡年冬季气温存在显著的异常, 且相应的低频变化与冬季气温距平存在较高的负相关。

以上结果表明 10~90 天、20~60 天、10~20 天尺度变化都与冬季气温异常有密切的关系, 这种关系可能是由于次季节尺度变率受年际以上尺度的调制, 也可能是由于次季节尺度变率对年际以上存在反馈作用。究竟是什么原因, 还需要进一步的研究。

参考文献:

- Blackmon M L, Lee Y, Wallace J M, 1984a. Horizontal structure of 500 mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 41 (6) : 961-980. DOI: 10.1175/1520-0469 (1984) 041<0961: HSOMHF> 2.0.CO; 2.
- Blackmon M L, Lee Y, Wallace J M, et al, 1984b. Time variation of 500mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales as deduced from log correlation statistics[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 41(6): 981-991.
- Compo G P, Kiladis G N, Webster P J, 1999. The horizontal and vertical structures of East Asian winter monsoon pressure surges[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 125 (553): 29-54.
- Chen R D, Wen Z P, Lu R Y, 2016. Evolution of the circulation anomalies and the Quasi-Biweekly Oscillations associated with extreme heat events in southern China[J]. *Journal of Climate*, 29 (19) : 6309-6921. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0160.1.
- Duchon C E, 1979. Lanczos filtering in one and two dimensions[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 18 (8) : 1016-1022. DOI: 10.1175/1520-0450(1979)018<1016: LFI0AT>2.0.CO; 2.
- Goswami B N, Ajayamohan R S, Xavier P K, et al, 2003. Clustering of low pressure systems during the Indian summer monsoon by intraseasonal oscillations [J]. *Geophysical Research Letters*, 30 (8): 1431. DOI: 10.1029/2002GL016734.
- Goswami B N, Wu G X, Yasunari T, et al, 2006. The annual cycle, intraseasonal oscillations, and roadblock to seasonal predictability of the Asian summer monsoon [J]. *Journal of Climate*, 19 (20): 5078-5099.
- Lin H, Gilbert B, Jacques D, et al, 2008. An observed connection between the North Atlantic Oscillation and the Madden-Julian Oscillation [J]. *Journal of Climate*, 22 (2) : 364-380. DOI: 10.1175/2008JCLI2515.1.
- Lin H, Gilbert B, 2008. The influence of the Madden-Julian Oscillation on Canadian wintertime surface air temperature[J]. *Monthly Weather Review*, 137(7): 2250-2262. DOI: 10.1175/2009MWR2831.1.
- North G R, Bell T, Cahalan R, et al, 1982. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function [J]. *Monthly Weather Review*, 110(7): 669-706. DOI: 10.1175/1520-0493(1982)110<0699: SEITEO>2.0.CO; 2.
- Palmer T N, Doblas-Reyes F J, Weisheimer A, et al, 2008. Toward seamless prediction: Calibration of climate change projections using seasonal forecasts [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(4): 459-470. DOI: 10.1175/BAMS-89-4-459.
- Wang X, Chen G H, 2007. Quasi-Biweekly Oscillation over the south China sea in late summer: Propagation dynamics and energetics [J]. *Journal of Climate*, 30 (11) : 4103-4112. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0533.1.
- Waliser D E, Lau K M, Stern W, et al, 2003. Potential predictability of the Madden Julian oscillation [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(1): 33-50. DOI: 10.1175/BAMS-84-1-33.
- Wu M C, Siegfried D, Schubert, et al, 2006. Seasonality and meridional propagation of the MJO [J]. *Journal of Climate*, 19 (10) : 1901-1921. DOI: 10.1175/JCLI3680.1.
- Yao S, Sun Q, Huang Q, et al, 2016. The 10-30 day intraseasonal variation of the East Asian winter monsoon: The temperature mode [J]. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 75: 91-101. DOI: 10.1016/j.dynatmoce.2016.07.001.
- Zhou S T, Alvin M, 2005. The interaction of the Madden-Julian Oscillation and the Arctic Oscillation [J]. *Journal of Climate*, 18(1) : 143-159. DOI: 10.1175/JCLI3251.1
- 陈申鹏, 孙国武, 曾鼎文, 2017. 大气低频系统与华南强降水过程的研究 [J]. *高原气象*, 36 (2) : 480-490. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2016.00006.
- 丁一汇, 1991. 东亚寒潮冷空气的传播和行星尺度作用 [J]. *应用气象学报*, 2(2): 124-132.
- 金祖辉, 孙淑清, 1996. 东亚大陆冬季风的低频振荡特征 [J]. *大气科学*, 20(1): 101-111.
- 梁萍, 丁一汇, 2013. 强降水过程气候态季节内振荡及其在延伸期预报中的应用 [J]. *高原气象*, 32 (5) : 1329-1338. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00125.
- 李艳, 张金玉, 李旭, 等, 2018. 两次典型极端低温过程低频特征分析 [J]. *高原气象*, 37(5) : 1341-1352. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2018.00035.
- 刘樱, 郭品文, 冯涛, 等, 2016. 华北地区冬季持续性异常低温事件与大气低频振荡活动的关系 [J]. *大气科学学报*, 39(3) : 370-380. DOI: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20150314053.
- 李华凝, 姚素香, 储鹏, 2018. 东亚季风区冬季经向风的季节内变化及其可能机理 [J]. *大气科学学报*, 41(4) : 494-501. DOI:

10. 13878/j. cnki. dqkxxb. 20170805001.
- 马晓青, 丁一汇, 徐海明, 等, 2008. 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, 32(2): 380-394.
- 马宁, 李跃凤, 琚建华, 等, 2011. 2008年初中国南方低温雨雪冰冻天气的季节内振荡特征[J]. 高原气象, 30(2): 318-327.
- 齐冬梅, 李跃清, 陈永仁, 等, 2016. 2010年东亚冬季风月内尺度振荡特征及其与西南地区冬季气温的关系[J]. 热带气象学报, 32(1): 19-30. DOI: 10. 16032/j. issn. 1004-4965. 2016. 01. 003.
- 任宏利, 张培群, 李维京, 等, 2006. 西北区东部春季降水及其水汽输送的低频振荡特征[J]. 高原气象, 25(2): 285-292.
- 孙国武, 信飞, 孔春燕, 等, 2010. 大气低频振荡与延伸期预报[J]. 高原气象, 29(5): 1142-1147.
- 孙国武, 孔春燕, 信飞, 等, 2011. 天气关键区大气低频波延伸期预报方法[J]. 高原气象, 30(3): 594-599.
- 孙国武, 李震坤, 冯建英, 2014. 西南地区两次严重干旱事件与大气低频振荡的研究[J]. 高原气象, 33(6): 1562-1567. DOI: 10. 7522/j. issn. 1000-0534. 2013. 00166.
- 谭桂容, 高萌, 张文君, 等, 2016. 中国东南部地区4-6月强降水的低频变化特征[J]. 气象科学, 36(1): 55-62. DOI: 10. 3969/2015jms. 0048.
- 谭桂容, 王一舒, 2016. 中高纬度与热带大气的共同作用对江南4-6月低频降水的影响[J]. 气象学报, 74(3): 335-351. DOI: 10. 11676/QXXB2016. 032.
- 谭桂容, 张文正, 2018. 中国冬季地面气温10-30 d低频变化及其与乌拉尔山环流的关系[J]. 大气科学学报, 41(4): 502-512. DOI: 10. 13878/j. cnki. dqkxxb. 20161115001.
- 唐东升, 王建德, 1994. 东亚冬季风三维环流的低频振荡特征[J]. 南京气象学院学报, 17(3): 351-355.
- 魏凤英, 1999. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社.
- 杨松, 朱乾根, 1990. 东亚地区冬季大气低频振荡与冷空气活动关系的初步研究[J]. 南京气象学院, 13(3): 339-346. DOI: 10. 13878/j. cnki. dqkxxb. 1990. 03. 010.
- 占瑞芬, 孙国武, 赵兵科, 等, 2008. 中国东部副热带夏季风降水的准双周振荡及其可能维持机制[J]. 高原气象, 27(增刊): 98-108.
- 朱毓颖, 江静, 2013. 中国冬季持续性低温事件的低频特征以及中低纬大气低频振荡对其的影响[J]. 热带气象学报, 29(4): 649-655. DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-4965. 2013. 04. 014.

Sub-seasonal Scale Oscillations of Winter Temperature in China and the Relationship with Interannual Anomalies

LI Wenhui, TAN Guirong

(Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME), Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change(ILCEC), collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, Jiangsu, China)

Abstract: Based on the daily averaged temperature data of 756 stations in China, we analyze the basic sub-seasonal characteristics of winter temperatures in China and study the interannual anomalies of winter temperature caused by sub-seasonal oscillations, by using the Rotated Empirical Orthogonal Function (REOF) and power spectrum analysis methods. The results show that: (1) There are regional differences in the sub-seasonal oscillations of winter temperature in China. The sub-seasonal scales of winter temperatures in southern, western and eastern have 10~20 days and 20~60 days oscillations, but the 10~20 days oscillations in the southern and eastern China are more pronounced than in the western China. (2) The intensity of the main oscillations of 10~90 days, 10~20 days and 20~60 days in winter has obvious interannual variations. The interannual variations of the oscillation period in the northwestern, central, and southern China are similar. The interannual variations of the oscillation period in northern and northeastern China are similar, and the interannual variations of the oscillation period in southwestern China and Yunnan province are similar. (3) The sub-seasonal oscillations of winter temperatures in China are closely related to the interannual variations of winter temperatures. There are significant winter temperature anomalies corresponding to the regional main oscillation strength year. And there is a negative correlation relationship between the low-frequency variation and the winter temperature anomalies.

Key words: Sub-seasonal scale oscillation; interannual variability; winter temperature anomalies