

欧亚大陆冬季雪深的时空演变特征 及其影响因子分析

陈海山^{1,2}, 许 蓓^{1,2}

(1. 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044;

2. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用美国冰雪资料中心(National Snow and Ice Data Center)提供的前苏联1948~1994年逐日积雪深度资料, 定义了冬季雪深增量的概念, 探讨了欧亚大陆秋末雪深、冬季雪深、冬季雪深增量的时空演变规律, 通过比较分析三者的异常变化特征, 揭示了三者之间可能存在的联系。经验正交函数分解(EOF)结果表明: 欧亚大陆冬季雪深、冬季雪深增量的第一模态的空间分布特征均为大致以50°N为界的南北反相变化, 欧亚大陆北部的积雪深度和冬季雪深增量都呈现出一致性的变化趋势; 两者对应的时间序列均反映了显著的年代际变化特征, 且年代际转变均发生在20世纪70年代中期前后。第二模态则呈现出欧亚大陆东、西部反相的偶极型空间分布特征。进一步分析表明, 欧亚大陆秋末雪深无论从空间分布还是时间演变来看与冬季雪深几乎不存在相关性。欧亚大陆冬季雪深变化主要是冬季雪深增量影响所致, 与秋末雪深无关。

关键词: 欧亚大陆; 冬季雪深; 时空变化; 影响因子

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2012)02-0129-07

自Blanford^[1]提出积雪效应之后, 积雪与大气环流之间的相互作用一直为人们所关注。研究表明, 温度或者大气环流变化是造成积雪异常的根本原因^[2-4]。大陆尺度的积雪异常会通过反照率改变地表热力状况及地气之间的热量交换^[5,6], 积雪水分效应会影响地表水平衡从而对地气系统之间的水汽、能量交换产生影响^[7,8]。此外, 积雪的异常会引起大气异常遥响应, 通过环流的调整, 能够对大范围乃至全球气候产生影响^[9-13]。

积雪深度(雪深)与雪盖面积(积雪覆盖面积)是积雪的两个关键特征量, 二者虽然存在一定的联系, 但二者所反映的积雪异常变化特征通常并不完全一致, 甚至存在十分显著的差异。从积雪对大尺度环流的影响研究来看, 多数研究采用雪盖面积来反映积雪的异常变化, 忽略雪深的变化或认为雪深的变化与雪盖面积的变化具有一致的信息; 在大量的数值模拟^[14-17]、统计分析中^[18-20]通常把雪深、雪盖面积合为一体或者并不考虑雪深的

变化。然而, Wagner^[21]和Baker等^[22]很早就提出了加倍雪深进行积雪强迫会使区域温度降低, 认为雪深变化的作用是十分重要的。陈海山等^[23,24]欧洲中期预报中心积雪深度资料研究发现欧亚中高纬冬季积雪异常与同期大气环流具有密切的联系, 在一定程度上反映了冬季积雪深度的异常分布可能对大气欧亚—太平洋(EUP)遥相关型和东亚冬季风活动产生影响。Ge和Gong^[25]利用格点雪深资料定量计算了北美雪盖面积、雪深之间的关系, 结果表明两个变量在区域尺度上并不一致, 认为雪深的影响要重要的多, 雪深与气候遥相关指数的关系也明显强于雪盖面积^[26]。以上研究表明, 雪深是能够表现积雪反馈作用的一个重要积雪异常变化的表征量, 这也意味着雪深异常变化的作用不容忽视的。

要深入理解积雪异常的气候效应, 首先必须对积雪本身的变化特征及其可能原因有足够的认识^[27]。已有的研究指出积雪异常本身存在显著的

收稿日期: 2011-02-18; **修订日期:** 2011-08-11

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206017)、教育部留学回国人员科研启动基金项目、江苏省“333高层次人才培养工程”和“青蓝工程”、江苏高校优势学科建设工程资助项目(PADA)资助。

作者简介: 陈海山(1973-), 男, 云南易门人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为陆面过程、气候数值模拟与短期预测。E-mail: haishan@nuist.edu.cn

空间差异,欧亚大陆中高纬的雪深分布有独特的特征,Kripalani和Kulkarni^[28]以及Ye和Bao^[29]发现西部雪深和东部雪深变化趋势相反,呈现反位相的偶极子分布结构。但是,这些研究往往关注积雪本身的变化特征,而在较高纬度地区和部分中低纬山区,积雪具有相对缓变的特点,这意味着冬季积雪主要来自于秋、冬两季降雪的贡献,而不同季节降雪或融雪,在很大程度上反映并存储这段时间内大气环流演变的综合信息^[30]。正是基于以上考虑,本文意图从积雪深度角度入手,针对欧亚大陆积雪深度,提出了欧亚大陆冬季雪深增量这一概念,对比分析冬季欧亚大陆积雪深度、欧亚大陆雪深增量、秋末雪深各自的时空变化特征及其可能的内在联系,旨在从另一个角度理解冬季积雪的异常变化,从而为积雪—大气的相互作用研究提供一定的参考。

1 资料与方法

1.1 资料

本文所用资料为美国冰雪资料中心提供的Historical Soviet Daily Snow Depth Version 2 (HS-DSD)前苏联的逐日积雪深度资料,该资料来自于1881~1995年前苏联境内284个WMO标准测站(范围35°N~75°N,20°E~180°E)。研究时段取为1948~1994年,采用12月、1月和2月雪深的平均值为冬季雪深值,若缺测年份超过3a,则定义为缺测站点。根据此定义,最终选取169站作为研究对象,站点分布如图1所示。

1.2 冬季雪深增量的定义

Dey等^[31]将欧亚大陆(70°N以南)的春季融雪面积定义为3月和5月的雪盖面积之差;穆松宁^[31]根据该定义提出了欧亚大陆北部季节新增雪盖指数定义,本文在此基础上进行了修改,定义了冬季

雪深增量概念。由于积雪本身具有一定的持续性,各季节末月的雪深既包括了该季节降雪(或融雪)的累积结果,也包括了其上一个季节积雪的贡献,因此,采用冬季(12月、1月、2月)雪深的平均值与其前期11月雪深之差代表冬季的雪深增量,该增量在很大程度上能够反映冬季降雪量的变化。

2 欧亚大陆冬季雪深的时空演变特征

为了了解冬季积雪异常的空间分布,对欧亚大陆冬季平均的积雪深度进行了经验正交函数分解(EOF)^[32]分析,得到了能够反映冬季雪深异常变化的前两个主要模态。图2a为欧亚大陆冬季雪深EOF第一模态的空间分布,其方差贡献为10.45%。第一模态反映的异常空间分布特征表现为:欧亚北部为负值区,其中欧洲中部、东欧平原以及中西伯利亚地区为雪深异常的大值变化区;欧亚大陆南部主要为正值区。上述空间分布反映了欧亚大陆冬季积雪深度沿大致50°N的南北反相分布特征。图2b为第一模态对应的时间系数,表现出明显的年代际特征。20世纪70年代中期以前,基本对应正的时间系数,在此期间欧亚北部冬季雪深异常偏小,南部雪深则异常偏大;20世纪70年代中期之后,欧亚北部的雪深明显增加,而南部区域则显著减小。该模态主要体现了欧亚大陆冬季雪深的年代际变化分量。图3为冬季雪深EOF分析的第二模态,从空间分布来看,负值区主要分布在欧洲中西部,欧洲东部至贝加尔湖一带总体上为正值区,东西伯利亚为负值区,该空间分布型的方差贡献为9.39%,主要反映了欧亚大陆中部与东、西部反相分布的变化特征,呈现“-+”分布特征;这与Kripalani等^[28]和Ye H等^[29]对欧亚大陆积雪分布特征分析的结论类似。其相应时间系数序列(图3b)则表现出明显的年际变化。这一分量主

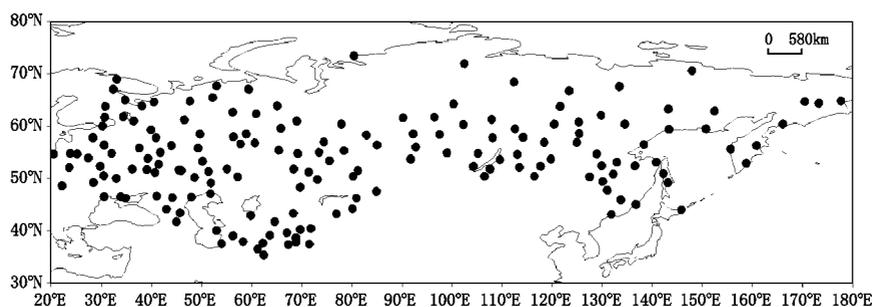
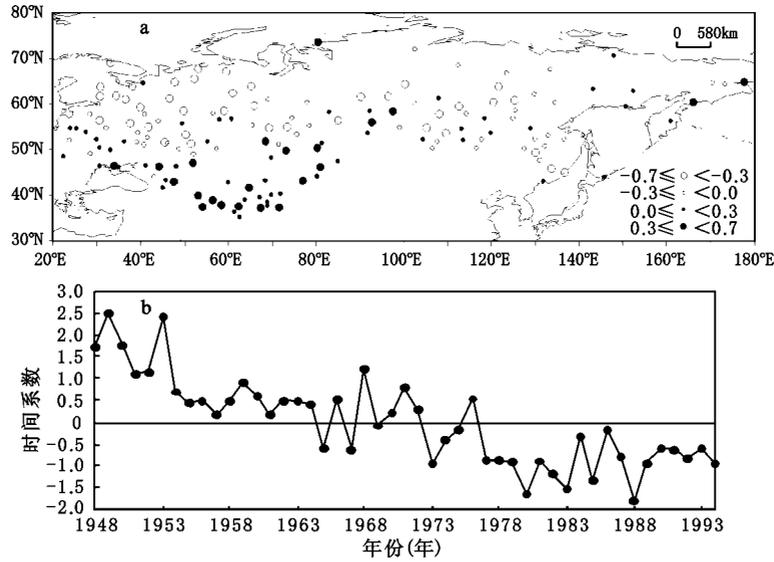


图1 欧亚大陆169站站点分布

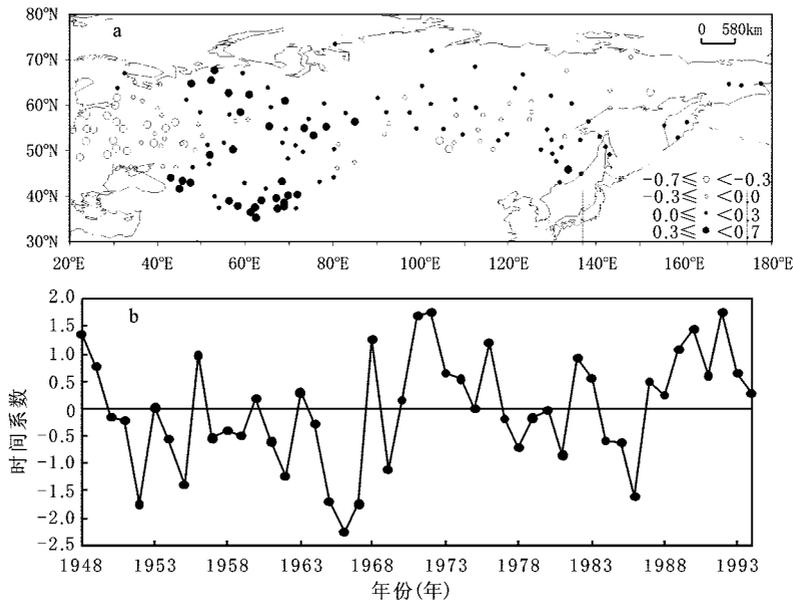
Fig.1 The geographic distribution of 169 sites over Eurasian Continent



注:0.3为通过0.05信度检验的相关系数,0.7为最大值。

图2 欧亚大陆冬季雪深EOF第一模态空间分布(a)及其对应的标准化时间系数序列(b)

Fig.2 Spatial distribution of the first EOF mode of winter snow depth (a) and its time coefficient (b)



注:0.3为通过0.05信度检验的相关系数,0.7为最大值。

图3 欧亚大陆冬季雪深EOF第二模态空间分布(a)及其对应的标准化时间系数序列(b)

Fig.3 Spatial distribution of the second EOF mode of winter snow depth (a) and its time coefficient (b)

要反映了冬季雪深的年际异常特征。

3 欧亚大陆冬季雪深与秋末雪深、冬季雪深增量的可能联系

由于积雪本身具有一定的持续性,冬季积雪深度的分布取决于3个方面,一是前期秋末积雪分布状况;二是当季降雪影响;三是当季积雪的融化情况。考虑到冬季欧亚大陆中高纬冬季温度较低的

状况,忽略冬季融雪情况,以下重点从秋末雪深和冬季雪深增量两个方面来探讨冬季雪深异常变化的决定性因素。

3.1 欧亚大陆秋末雪深的时空演变特征

欧亚大陆秋末雪深定义为欧亚大陆秋末11月积雪深度平均值,其EOF模态空间以及时间变化如图4所示。图4a是秋末雪深的EOF第一模态空间型,方差贡献占16.53%,欧亚大陆上的大值变化

几乎均为正值,但是并未呈现一致变化分布型,如此空间分布与冬季雪深、冬季雪增量的第一型分布存在很大的差异,而该时间系数序列与冬季雪深、冬季雪深增量的相关性为-0.18和-0.11,这表明秋末雪深的第一型与冬季雪深、冬季雪深增量并无太大关联,即秋末雪深的分布并未影响到冬季雪深情况或者影响冬季雪深不大。同样,秋末雪深的第二个空间型(图4b),其方差贡献为10.10%,在欧洲北部为大值变化区,而与西伯利亚

以及里海一带成反相变化,与冬季雪深、雪深增量第二型空间分布相似,但是大值分布区的具体位置差别较大,冬季雪深、雪深增量第二型空间分布的显著特征在于,欧洲大部与西伯利亚地区存在反相偶极子变化,而秋末雪深第二型分布并不明显。秋末雪深第二型时间系数序列与冬季雪深、冬季雪深增量的相关性为-0.06和0.04,该相关较之于第一型更小,可以推断,秋末雪深的变化,不是影响冬季雪深、雪深增量的主要因素。

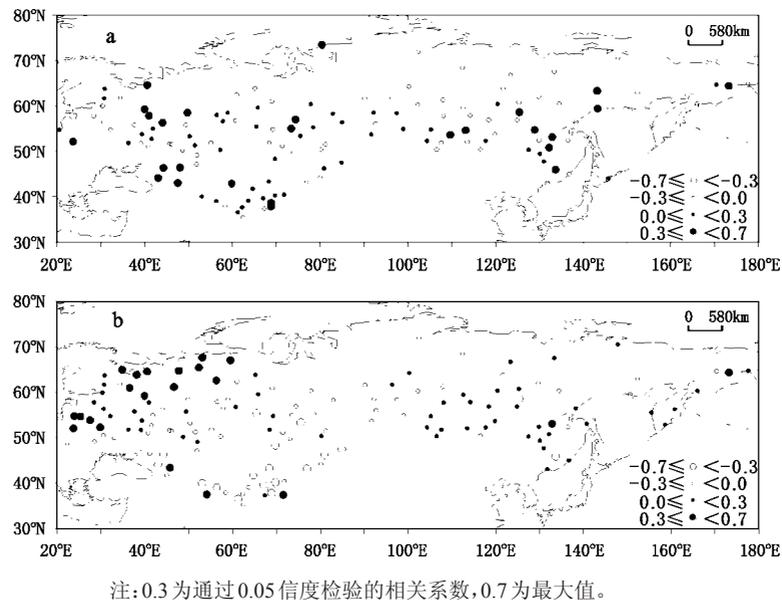


图4 欧亚大陆秋末雪深 EOF 第一(a)、第二(b) 模态的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the first (a) and second (b) EOF mode of snow depth in late Autumn

3.2 欧亚大陆冬季雪深增量的时空演变特征

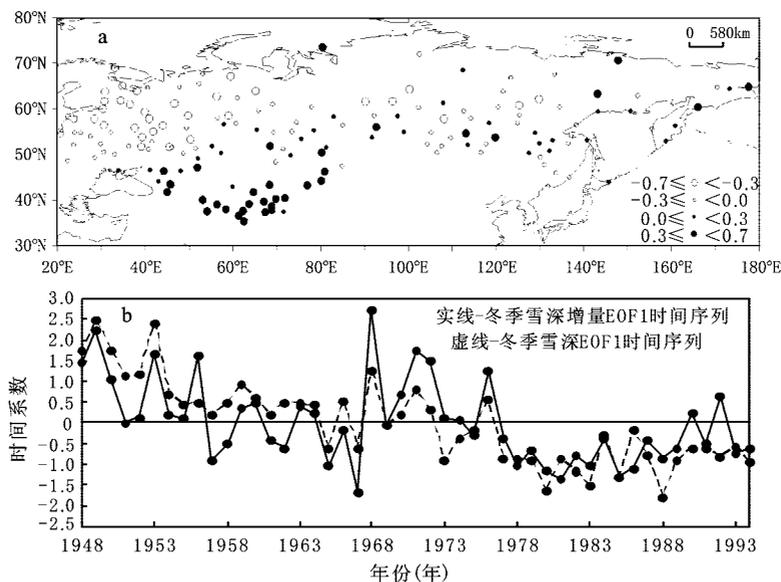
根据前文定义的冬季雪深增量概念,计算了欧亚大陆冬季平均的雪增量场,并对其进行了 EOF 分析,得到了雪深增量异常变化的空间分布。图5a为欧亚大陆冬季雪深增量的 EOF 第一模态分布,第一模态的方差贡献占 10.77%。由图可见,其分布特征与冬季雪深第一模态非常相似,在欧亚大陆呈现沿 50°N 左右南北反相变化。图5b为两者时间系数序列曲线图,曲线分布趋势大致相同,相关系数达 0.746,且均在 20 世纪 70 年代中后期,发生明显的突变,即以 70 年代后期(1976 年左右)为界,前后呈现反位相的变化。总体来说,冬季雪深增量、冬季雪深的第一模态空间分布以及时间系数序列表明,两者的时空分布非常类似。

图6给出了冬季雪深增量第二模态的时空分

布,该空间分布型的方差贡献为 9.75%,主要特征是欧亚大陆中部与东、西部反相分布变化特征,这与冬季雪深分布的第二模态所表现出来的特征完全一致。图6b是两者的时间系数序列曲线图,其相关系数为 0.66,表现出年际变化特征。冬季雪增量、冬季雪深在第一、二模态所表现出来的时空分布特征的一致性。因此,结合秋末雪深、冬季雪深增量的 EOF 结果可以认为冬季雪深增量的变化是影响冬季雪深分布的决定性因素。

4 结 论

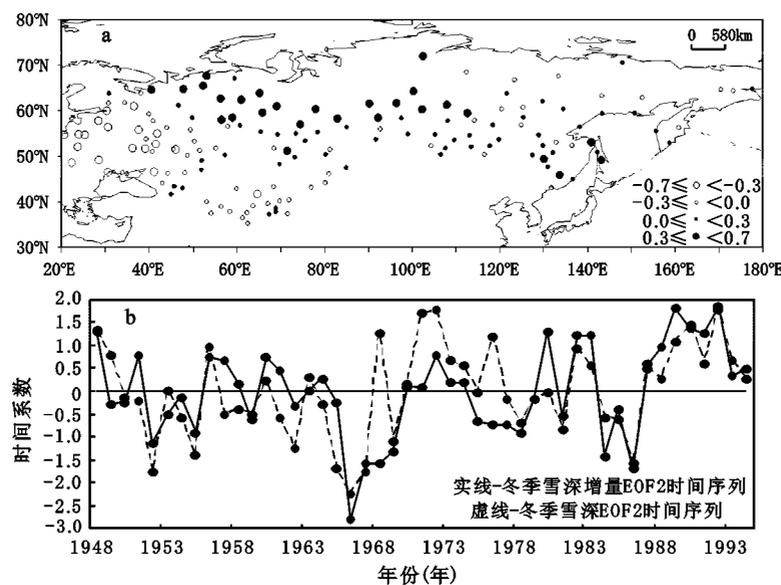
本文利用前苏联的逐日积雪深度资料,引入了冬季雪深增量的概念,在分析冬季雪深时空变化的基础上,探讨了冬季雪深异常变化与冬季雪深增量、秋末雪深之间的可能联系。主要结论如下:



注:0.3为通过0.05信度检验的相关系数,0.7为最大值。

图5 欧亚大陆冬季雪深增量EOF第一模态空间分布(a)及其对应的时间系数(b)

Fig.5 Spatial distribution of the first EOF mode of winter fresh snow depth (a) and its time coefficient (b)



注:0.3为通过0.05信度检验的相关系数,0.7为最大值。

图6 欧亚大陆冬季雪深增量EOF第二模态空间分布(a)及其对应的时间系数(b)

Fig.6 Spatial distribution of the second EOF mode of winter fresh snow depth (a) and its time coefficient (b)

1) 从欧亚大陆冬季雪增量、冬季雪深的时空特征发现,两者的EOF第一特征向量的空间分布均表现为沿50°N的南北反相分布,两者时间系数的相关系数高达0.75;而在EOF第二特征向量的空间分布均表现出欧亚大陆中部与东、西部雪深反相分布的特点,二者的时间系数序列相关为0.66。

2) 通过比较欧亚大陆冬季雪增量、冬季雪深与秋末雪深之间的差异,发现秋末雪深的前期作

用与冬季雪增量、冬季雪深无明显关系,而冬季雪深变化主要源于冬季雪增量,与秋季降雪无关。冬季雪深增量是影响冬季雪深的主要因素。

从本文的研究来看,冬季雪深增量的异常变化对冬季雪深的变化有非常重要的贡献。因此,深入研究冬季雪深增量的异常变化规律将有助于我们更好地理解冬季雪深的异常变化机理。由于冬季雪深增量可以较为直观地反映冬季降雪的情

况,从这个角度来看,通过冬季雪深增量这一纽带,可以更直观地将大气环流和其他外强迫异常与冬季积雪异常联系到一起,也具有更为明确的物理含义。因此,对冬季雪深增量异常的大气环流背景和外强迫作用进行深入探讨将是下一步工作的重点。

参考文献:

- [1] Blanford H F. On the connexion of Himalayan snowfall and seasons of drought in Indian[J].Proc. Roy.Soc.London,1884,**37**: 3-22.
- [2] Walsh J E,Tucek D R, Peterson M R. Seasonal snow cover and short term climatic fluctuations over the United States[J].Mon. Wea.Rev,1982,**10**:1474-1485.
- [3] Gutzler D S, Rosen R D. Interannual variability of wintertime snow cover across the Northern Hemisphere[J].J.Climate,1992, **5**:1441-1447.
- [4] Serreze M C, McGinnis D, Robinson D. Characteristics of snowfall over the eastern half of the United States and relationships with principal modes of low frequency atmospheric variability [J].J. Climate,1998,**11**:234-250.
- [5] 陈丽娟,吕世华,罗四维.青藏高原春季积雪异常对亚洲季风降水影响的数值试验[J].高原气象,1996,**15**(1):122~129.
- [6] Walland D J, Simmonds I. Modelled atmospheric response to change in northern hemisphere snow cover[J].Climate Dynamics,1997,**13**:25-34.
- [7] Barnett T P, Dumenil L, Schlcse U, et al. The effect of Eurasian snow cover on regional and global climate variations[J].J.Atmos.Sci,1989,**46**:661-685.
- [8] Douville H, Royer J F. Sensitivity of the Asian summer monsoon to an anomalous Eurasian snow cover within the Météo-France GCM [J].Climate Dynamics,1996,**12** (7):449-466.
- [9] 郭其蕴,王继琴.青藏高原的积雪及其对东亚季风的影响[J].高原气象,1986,**5**(1):116~123.
- [10] 张顺利,陶诗言.青藏高原积雪对亚洲夏季风影响的诊断及数值研究[J].大气科学,2000,**25**(3):372~390.
- [11] 王叶堂,何 勇,侯书贵.青藏高原冬春季积雪对亚洲夏季风降水影响的研究[J].冰川冻土,2008,**30**(3):452~460.
- [12] 陈兴芳,宋文玲.冬季高原积雪和欧亚积雪对我国夏季旱涝不同影响关系的环流特征分析[J].大气科学,2000,**24**(5):585~592.
- [13] 于乐江,胡敦欣.青藏高原春季积雪在南海夏季风爆发过程中的作用[J].地球物理学报,2008,**51**(6):1682~1694.
- [14] 卢咸池,罗 勇.青藏高原冬春雪盖对东亚夏季大气环流影响的数值试验[J].应用气象学报,1994,**5**(4):385~393.
- [15] 李震坤,武炳义,朱伟军.春季欧亚积雪异常影响中国夏季降水的数值试验[J].气候变化研究进展,2009,**5**(4):196~201.
- [16] 韦志刚,陈 文,黄荣辉.青藏高原冬春积雪异常影响中国夏季降水的数值模拟[J].高原山地气象研究,2008,**28**(1):1~7.
- [17] 朱玉祥,丁一汇,刘海文.青藏高原冬季积雪影响我国夏季降水的模拟研究[J].大气科学,2009,**33**(5):903~915.
- [18] 陈烈庭,阎志新.青藏高原东春季异常雪盖影响初夏季风的统计分析[C].青藏高原气象会议论文集.科学出版社,1981:151~161.
- [19] 赵 溱.欧亚大陆雪盖与东亚夏季风[J].气象,1984,**7**:586~589.
- [20] 张天宇,陈海山,孙照渤.欧亚秋季雪盖与北半球冬季大气环流的联系[J].地理学报,2007,**62**(7):728~741.
- [21] Wagner J A. The influence of average snow depth on monthly mean temperature anomaly[J].Mon. Wea.Rev,1973,**101**:624-626.
- [22] Baker D G, Ruschy D L and Skaggs R H et al. Air temperature and radiation depressions associated with snow cover[J].J.Appl. Meteor,1992,**31**:247-254.
- [23] 陈海山,孙照渤.欧亚积雪异常分布对冬季大气环流的影响 I 观测研究[J].大气科学,2003,**27**(3):304~316.
- [24] 陈海山,孙照渤,朱伟军.欧亚积雪异常分布对冬季大气环流的影响 II 数值模拟[J].大气科学,2003,**27**(5):847~860.
- [25] Ge Y , Gong G.. Observed inconsistencies between snow extent and snow depth variability at regional/continental scales[J]. J.Climate,2008,**21**:1066-1082.
- [26] Ge Y, Gong G. Physical mechanisms linking the winter Pacific-North American teleconnection pattern to spring North American snow depth[J].J.Climate,2009,**22**:5135-5148.
- [27] 李培基.积雪大尺度气候效应综述[J].冰川冻土,1993,**15**:595~601.
- [28] Kripalani R H, Kulkarni A. Climatology and variability of historical Soviet snow depth data: Some new perspectives in snow-Indian monsoon teleconnections[J]. Climate Dynamics, 1999,**15**: 475-489.
- [29] Ye H, Bao Z. Lagged teleconnections between snow depth in northern Eurasia, rainfall in Southeast Asia and sea surface temperatures over the tropical Pacific Ocean[J].International Journal of Climatology,2001,**21**(13):1607-1621.
- [30] 穆松宁,周广庆.欧亚大陆季节增(融)雪盖面积变化特征分析 [J].气候与环境研究,2009,**14** (5):491~508.
- [31] Dey B,Bhanu Kumar O S R U.An apparent relationship between Eurasian spring snow cover and the advance period of the Indian summer monsoon[J].J.Appl.Meteor,1982,**21**(12):1929-1932.
- [32] 吴洪宝,吴 蕾.气候变率诊断和预测方法[M].北京:气象出版社,2005:371.

Spatial and Temporal Features of Snow Depth in Winter over Eurasian Continent and Its Impacting Factors

CHEN Hai-shan^{1,2}, XU Bei^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China*; 2. *College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China*)

Abstract: Using the former Soviet Union daily snow depth data during 1948-1994 provided by the National Snow and Ice Data Center, USA, an index used to reflect the winter fresh snow depth was defined, the basic features of the variation of snow depth in both late Autumn and Winter as well as the winter fresh snow depth over Eurasian Continent are investigated. The possible linkages among them are disclosed by comparing the variabilities of them. Results from Empirical orthogonal function (EOF) analysis suggest that the leading EOF modes of both the winter fresh snow depth and winter snow depth show a coherent negative anomaly in the Eurasia Continent north to 50°N and positive anomaly in the south part. The winter fresh snow depth and winter snow depth show a consistent trend in the northern Eurasia Continent. Both of the EOF time series display a significant decadal fluctuation and the transition of interdecadal changes happened in the middle of 1970s. The second modes of EOF reflect a east-west dipole pattern over the whole Eurasian Continent. Further analysis suggest that there is no correlation between late autumn snow depth anomaly and winter snow depth anomaly in aspects of both their spatial pattern and temporal evolution. The variability of winter snow depth over Eurasian Continent are mainly decided by the variability of winter fresh snow depth but not that of the snow depth in late autumn.

Key words: Eurasian Continent; winter snow depth; spatial and temporal variation; impacting factors