文章编号:1674-2184(2012)03-089-08

东亚冬季风的时空变化及其与ENSO、AO相互关系的研究进展

张 静[1,2],李跃清[2],蒋兴文[2]

(1.成都信息工程学院大气科学学院,成都 610225;2.中国气象局成都高原气象研究所,成都 610072)

摘要:作为亚洲季风系统中的一个重要组成部分,东亚冬季风的变化对北半球甚至全球的天气气候都有重要的影响。本文回顾了近些年国内外关于东亚冬季风变化特征,主要包括其时间和空间演变及其与ENSO、AO之间相互作用等研究的主要进展。目前已有的研究结果表明,东亚冬季风系统是一个贯穿于整个大气对流层的深厚型环流系统,其异常表现为东亚区域整层环流系统的异常;东亚冬季风具有2a,5~7a的年际变化和10a以上的年代际变化,有空间分布的不均匀性及爆发与撤退日期的突变性;强弱冬季风年的异常环流形势在对流层各层以及高纬度、中纬度和低纬度地区都有所表现;在年际尺度上,ENSO、AO与东亚冬季风有一定的相关性,但是在年代际上,东亚冬季风同两者之间有着更显著的联系,通过大气动力和热力过程,它们之间相互影响、相互作用,共同影响我国、东亚甚至于全球天气气候的变化。

关键词:东亚冬季风;ENSO;AO;研究进展

中图分类号:P462.4 **文献标识码**:A doi:10.3969/j.issn.1674-2184·2012.03.019

引言

季风是下垫面附近的大气现象,它的形成是海陆分布、大地形和行星风带相互作用的结果。作为一个系统,它有强度的变化,也有空间结构的变化[1]。亚洲是世界上最大的大陆,其南面和东面都是海洋,连同非洲、澳洲的热带和副热带地区,形成了世界上最大、最典型的季风区。亚洲季风既有显著的夏季风,也有典型的冬季风。目前,关于东亚夏季风的分析已有许多研究结果,对于它的爆发、活动特征及其异常变化有了较深入的认识。

东亚冬季风(EAWM)是亚洲季风系统的一个重要组成部分,它是指东亚地区(一般范围为20~50°N,80~140°E,包括中国、蒙古、朝鲜、韩国以及日本地区)冬季近地面层盛行的季风以及相关的气候特征现象。由于所处位置的复杂性,东亚冬季风的盛行风向也比较复杂,南海—西太平洋一带为热带季风区,盛行东北季风,东亚大陆—日本一带为副热带季风区,30°N以北盛行西北季风,以南盛行东北季风[2]。

东亚冬季风活动的主要特征是以寒潮的形式爆发,当其进一步向南海等地低纬地区推进的时候称为冷涌,其所到之处伴随有低层偏北风的加强、地面气温的急剧下降,降雨、降雪等低温冷害现象。它的主要成员包括:低层经向风场、西伯利亚高压、阿留申低压、对流层中层的东亚大槽、对流层高层急流等。东亚冬季风地面最主要的特征是沿西伯利亚高压东侧的西北气流,这支西北气流在日本南部分为两支,一支向东进入热带外中西太平洋地区,另一支沿着东亚沿岸进入中国南海;500hPa上,日本海附近上空有一个宽广的低槽,即东亚大槽;对流层高层有一位于日本东南部的急流中心—东亚急流,该急流与强斜压性、大的垂直风切变有关[2]。

强弱冬季风年的东亚环流系统和天气气候特征有明显的差异。强冬季风年,地面西伯利亚—蒙古高压、阿留申低压均偏强,东西向的海平面气压差加大,低层风场上,东亚大陆沿岸盛行偏北气流,北太平洋上有一明显的气旋性异常环流,环流的经向型显著,配合中层500hPa上东亚大槽的加深以及南压,引导冷空气进一步南下,造成我国大部分地区气温明显下降,降水偏少,弱冬季风年的形势与之相反[3]。由于东亚冬季风的控制面积大,影响时间长,是北半球冬季最活跃的环流系统,且与南半球印尼—北澳夏季风有密切联系,因此,强东亚冬季风异常不仅给东亚地区带来寒潮、低温冷害、大风等灾害性天气,还能影响到马来西亚南部、印度尼西亚、澳大利亚等地汛期的旱涝灾害[4,5]。

在整个20世纪的大部分时间内,在大多数相关研究中,都把印度季风和亚洲季风混为一谈,认为两者是可以相互代替的。但随后人们逐步认识到东亚和西北太平洋大部分地区天气的逐年变化特征是一个典型的季节性转变风场和一个明显的雨季,了解到东亚季风和印度季风是两个不同的系统[6]。70年代之后,对东亚冬季风的研究逐渐丰富,但由于资料、计算等方面条件的限制,对东亚季风认识的不够深入。80年代后期,由于气象卫星等资料的应用,对季风的研究取得了突破性的进展[7]。自

收稿日期:2012-08-02

作者简介:张静,研究方向大气科学。E-mail:yueqingli@163.com

80年代以来,对季风的研究已经超出了气候学的范畴,而是把它作为一个天气现象来进行研究。不仅研究其平均状态、季节变化、年际(年代际)变化、基本成因以及季风气候区划等问题,而且还进一步研究季风的环流系统、爆发与撤退过程、中短期变化以及物理机制,及其与整个大气环流的相互联系和相互作用等问题[2]。

研究表明,冬季风、AO和ENSO是大气和海洋变化中的重要现象,它们的发展演变显著影响着全球大范围的天气和气候变化[8]。冬季风除了同ENSO、AO相互联系造成大尺度环流异常外,强(弱)冬季风盛行当年,它们之间的相互配合也会造成我国同期气温和降水的异常分布。由此引起了很多学者的高度重视,开展了大量研究工作,系统分析了东亚冬季风的发展变化特征、冬季风与ENSO、AO的相互作用等,取得了一些重要的成果[9~18]。由于研究资料与方法的不同,研究时段与区域的不同,导致所得的研究结论之间存在一定的差异性。

因此,系统地总结冬季风时空变化特征及其与ENSO、AO的联系的主要研究工作,对于进一步理解东亚冬季风的变化特征,深入认识海洋与大气、热带与热带外地区的相互作用,推动东亚冬季风及其影响的研究都是非常必要的。本文基于近几十年国内外关于东亚冬季风的主要研究成果,简要概述了东亚冬季风的时空变化特征、东亚冬季风与ENSO、AO的相互作用等方面的新进展。

1 东亚冬季风的变化特征

1.1 各种东亚冬季风指数简介

为了定性和定量的分析东亚冬季风的变化特征,已有许多学者利用东亚冬季风系统各成员的相关变化特征定义了多种具有代表性的、能表征东亚冬季风变化的指数。

季风环流是由于海陆间的热力差异所造成的区域性大气环流系统,因此,可以用海陆间的热力差异来表征其变化。由于季风活动与西伯利亚冷高压和阿留申低压密切联系,一些研究通过计算大陆高压和阿留申低压所在关键区区域平均的海平面气压值,由此定义冬季风的强度。早在20世纪80年代,郭其蕴[19]利用110°E和160°E间的海陆气压差定义了东亚夏季风指数。其后,施能[20]在此基础上做了改进,采用了标准化海平面气压差得出冬、夏季风指数序列。赵平[21]等在研究东亚-北太平洋遥相关时,又利用东亚大陆—西太平洋之间海平面气压差定义了一个冬季风指数。这类季风指数的变化表明,海陆气压差越大(小),冬季风越强(弱)。

从流场角度来看,东亚冬季风以低空风系为主要特征,大气对流层低层和地面风向的变化在一定程度上能反映冬季风的强弱。20世纪90年代中后期,在认识到低空风场变化特征对东亚冬季风变化的表征作用后,Ji[22]、Chen[23]以及梁红丽等[24]分别用不同区域的1000hPa月平均标准化经向风表示东亚冬季风的异常变化。其后,Yang等[25]利用20~40°N,100~140°E区域内平均的850hPa经向风场定义了一个冬季风指数,而王会军[26]直接利用东亚典型区域,冬季850hPa标准化平均风速定义东亚冬季风的强度,黄先香[27]对东亚范围冬季1000hPa的U、V风场进行EOF分解,将风场第一特征向量(EOF1)模态的时间系数定义为冬季风指数序列。

依据气象预报经验,直接影响冬季风南下爆发的环流系统是对流层中层的大气系统[28]。在对流层中层,北半球冬季的环流形势主要表现为三槽三脊,尤其是中国大陆东海岸的东亚大槽最显著。因此,500hPa东亚大槽的活动也能表征冬季风的变化。朱艳峰[28]利用500hPa纬向风场第二特征向量的分布型,定义了一个能反映全国冬季平均气温异常变化的指数。孙伯民和孙淑清[29]、崔晓鹏和孙照渤等[30]则利用不同区域平均的500hPa位势高度场大小作为东亚冬季风强弱的指标。

上述工作主要是仅考虑某一个气象要素变化所得到的各种指数,也有一些学者在指数定义时同时考虑多个气象要素的变化特征。如晏红明等[31],选取相关代表性较好的海平面气压、具有一定独立性的500hPa高度场和反映冬季风活动热力特征的地面温度三个要素综合定义了一个冬季风指数,这个综合指数能较好表现出冬季风异常及其对应的大气环流异常。

2004年,Jhun和Lee[32]发现对流层高层西风急流的异常也是一个很好的反映东亚冬季风强弱的指标,并利用副热带两个区域平均的300hPa纬向风差定义了一个新的冬季风指数。之后,况雪源等[33]对区域(10~70°N,50~180°E)内200hPa冬季标准化纬向风场进行EOF分解,其第一特征向量时间序列表征的西风急流强度指数能较好的体现冬季风强度的变化。2010年,基于高纬和低纬地区、对流层低层和高层相互联系的思路,Li和Yang[34]在同时考虑热带、副热带和温带地区的大气海洋物理过程后,利用对流层高层纬向风的平均风切变,定义了一个新的反映东亚冬季风的指数(称为L-Y EAWM Index),这个指数不仅同现存的各类冬季风指数之间有很强的相关性,而且能更好地表征冬季风系统相关的物理过程,也能很好的反映各冬季风成员的变化,有助于提高对东亚冬季风变化及其对东亚地区天气和气候影响的认识。

虽然根据冬季风系统成员变化特征定义的各类指数都能在一定程度上反映出冬季风的变化,但是各类指数的反映能力是有差异的,它们对东亚冬季风系统各成员的相应异常变化的表征各有所长。因此,有不少工作对已有的各类指数进行了分析对比。高辉[35]从上述指数中选取了4类具有代表性的指数,分析研究了各类季风指数的变化特征。结果表明,所选的4类指数都具有能很好表征东亚冬季环流异常的能力,但是,各指数都与影

响中国冬季气温的冷空气的相关性不明显。WANG等[36]通过对18种季风指数的比较分析后得出,现存的季风指数主要分为低层风场、高层纬向风场、东西向的海陆气压差以及东亚大槽4类。这4类指数都能很好地反映东亚冬季风的年际变化,除了东西向的海陆气压差指数,其它3类指数都能很好地描述冬季风的年代际变化;ENSO-EAWM间的相关性,低层风场指数表现得最好,AO-EAWM间的相关性,东亚大槽指数的表征能力最强;虽然略有差异,但所有的指数都能反映出东亚冬季风系统成员的异常变化,如强季风年,地面西伯利亚高压、阿留申低压加强,对流层中层东亚大槽加深,对流层高层东亚西风急流加强等特征。但是,可能由于地形原因,所有的指数都没能很好地反映出大部分华中地区地面气温的异常变化。

以上各类冬季风指数的定义分别集中于地面、对流层中低层和高层大气变化,大多都只是单一的考虑了冬季风系统一个侧面的变化特征,而冬季风的变化是由各个不同成员之间的协同作用造成的,单一的成员不足以完全表征冬季风的异常变化。因此,在定义冬季风指数时,需要综合考虑更多东亚冬季风系统成员的耦合变化及其共同影响。

1.2　东亚冬季风的时空变化特征

通过对各种定义下的指数序列进行小波分析、功率谱分析、滤波分析等,可以得到,东亚冬季风年际变化的主要周期是2年和5~7年,也有9~11年和25~30年[37]的年代际周期。其线性趋势表明,在近50a,各个年代的变化程度并不一致,有增有减,但冬季风总体上呈由强到弱的减弱趋势。在年代际尺度上,所有的指数在1980s表现出偏弱的转折,但其转折时间不同。WANG等[36]指出,高层纬向风切变、东亚大槽以及大多数低层风场指数能很好的反映出季风起始于1986年的减弱,但东西向的海陆气压差所反映出的转折时间超前于观测时间,所以该类指数在描述冬季风的年代际变化特征时不具有优势。

李崇银等[9]、穆明权等[10]指出,东亚冬季风的2年和5~7年的准周期变化主要是与ENSO的相互作用和影响相关,而9~11年和25~30年的准周期变化可能主要受北太平洋海温年代际变化的影响[38]。陈文等[15]通过分析准定常波在AO与东亚冬季风年际尺度联系的作用后指出,东亚冬季风的年际和年代际变化与西伯利亚高压、阿留申低压的变化密切相关。同时动力理论分析的结果也表明,北半球准定常行星波在三维球面大气的传播波导的年际、年代际振荡也在一定程度上显著影响东亚冬季风的年代际变化。

季风变化具有一定的周期性,但也有随机性的突变发生。因此,季风长期变化中的突变性也引起了人们的关注。徐建军等[39]依据施能[20]定义的东亚冬季风指数,采用滑动t检验方法对季风指数序列进行了统计检验,结果表明,在近百年(1873~1993年)中,1924年的剧增和1902年的剧减是气候突变现象,与之对应的大气环流也同步发生突变。韦道明等[40]也利用标准化变差度,计算分析了东亚冬季风的建立和撤退日期,也具有突变性。

雷永荟[41]通过对冬季风指数的EOF分解,表明冬季风在不同的地理区域并不总是呈现一致的变化趋势。依据V场气候平均图和均方差图上,极值中心的位置和形态给出的三个关键区域作为东亚冬季风的三个子系统,它们处在不同的纬度上,分别位于我国南海、东海和日本海。韦道明等[40]对(90~150°E,20~50°N)的东亚地区1000hPa温度场、海平面气压场进行EOF、REOF分析,根据载荷大值区的分布将该区域划分为3个分区—蒙古、日本和中国东部,分别反映了东亚冬季风系统的3个子系统—蒙古高压、东亚大槽(阿留申低压)和中国东部冷高压脊的不同影响特征。Li和Yang[34]定义的L-Y EAWM Index表明,当处于高(低)指数时,东亚地区对流层高层西风急流偏强(弱),中层东亚大槽偏深(浅),低层西伯利亚高压偏强(弱),并且,东亚地区低层盛行异常的偏北(南)风,由此引起东亚地区地面和低层温度下降(上升),东南亚和热带西太平洋地区冷涌多(少)发。该指数很好的反映了强(弱)东亚冬季风系统的整体变化及其影响特征。

由上可知,东亚冬季风是一个多时间尺度与空间尺度的深厚环流系统,其异常往往体现为整个对流层大范围、三维大气环流的时空异常变化。因此,从半球和全球尺度,综合考虑不同纬度、不同高度、不同区域的时空变化与相互作用,在此基础上,深入分析大气和海洋变化的影响是东亚冬季风研究的重点和难点。

2　冬季风与ENSO的相互作用

通常东亚冬季风以冷涌的形式向赤道甚至南半球推进,其强度和频度将激发低纬地区的对流活动,而对流活动的变化又会导致垂直环流的变化,最终强弱冬季风的环流异常就体现在Hadley环流以及Walker环流的变化中。冷涌南下伴随的经向偏北风,通过大气季节内振荡、对流活动可以导致赤道西太平洋的纬向风异常,影响热带海洋地区的热力特征和对流活动,并依靠海温这个中介对ENSO海区的温度产生作用,从而最终影响ENSO的发生发展。关于东亚冬季风与ENSO的联系,不少学者进行了一系列的观测分析、诊断研究和数值试验,得出了许多有意义的结果[8~13]。

李崇银[42]发现东亚冬季风变化与ENSO事件的密切关系,并指出强东亚冬季风的频繁活动是厄尔尼诺发生的触发机制之一。强(弱)东亚冬季风年,对应的海温分布为中东太平洋偏冷(暖),西太平洋偏暖(冷)的拉尼娜(厄尔尼诺)型[43]。李跃清等[8]进一步指出:东亚冬季风

变化可作为厄尔尼诺（拉尼娜）事件、短期灾害性气候异常的一种前兆信号。穆明权等[44]分析了东亚冬季风的年际变化特征，指出东亚冬季风年际变化中包含有明显的ENSO信号，大多数厄尔尼诺事件爆发后东亚冬季风偏弱，大多数拉尼娜事件爆发后东亚冬季风偏强。琚建华等[16]进一步指出，强东亚冬季风并不总是对应着后一年冬季ENSO循环的暖位相，它们的关系有年际和年代际的差异。东亚冬季风的强弱变化能否引起赤道东太平洋的海温异常，取决于与冬季风系统的QBO，以及季风和海洋系统年代际背景场的相互配置。

同样，ENSO也能反过来影响东亚冬季风的发生发展。研究结果[14]表明，ENSO事件的成熟期经常发生在冬季，伴随有异常的冬季风。厄尔尼诺发展盛期时的冬季，西太平洋地区存在有一对异常反气旋中心，一个位于菲律宾海域，一个位于中纬度地区黑潮续流区域。异常偏南风盛行于菲律宾海反气旋的西北部，导致东亚沿岸出现偏弱的冬季风，对应该区域的暖冬。陶诗言等[45]认为在ENSO暖（冷）期冬季，亚洲地区整层环流包括高度场、温度场和风场的相互配合不利（有利）于寒潮向南爆发，导致亚洲冬季风弱（强），华南地区降水为正（负）距平。郭其蕴等[13]指出，厄尔尼诺年与拉尼娜年东亚大陆气压场的差异主要表现在冷空气南下路径不同。厄尔尼诺年，冷空气路径偏东，赤道低压带向东扩展，低压中心也减弱东移，南下侵入我国的冷空气因势力较弱，在我国南方与低纬暖湿气流交汇，导致南方多雨，而拉尼娜年，冷空气路径偏西，同时赤道低压中心位于澳大利亚北部，低压中心比较深，所以亚洲大陆上强大的冷空气可以一直南下到西南太平洋及东南亚地区，造成我国南方降水偏少。Zhang等[46]的研究也发现，ENSO通过赤道西太平洋地区对流活动的变化对东亚冬季风产生影响。该地区的对流活动被赤道太平洋地区SST异常的演变所影响，在成熟期时被抑制，对东亚和西太平洋地区的直接季风环流产生重大的影响。李跃清等[47]指出，东亚冬季风系统与ENSO循环具有密切的耦合关系，东亚冬季风异常变化与ENSO循环作用互为双方发生发展的一种重要机制，由此建立了东亚冬季风系统与ENSO循环相互作用的概念模型，并提出了前期ENSO对东亚冬季风的作用相对强于前期东亚冬季风对ENSO的作用。东亚冬季风指数（L－Y EAWM Index）和ENSO循环具有密切的关系，其与Nino－3.4区SST的同期冬季相关系数为－0.51，指数达到了99%显著性水平，并且，与前期秋季SST的相关系数也达到－0.36，表明了两者之间的一种持续联系[34]。

关于两者之间相互影响的可能机制，Wang等[14]通过一些观测事实和数值模拟结果分析发现，连接东太平洋暖（冷）事件和弱（强）冬季风的一个关键系统是位于西北太平洋地区对流层低层的反气旋（气旋）。该反气旋在海表面有最大值，随着高度的增加而减弱，所以太平洋—冬季风遥相关仅局限于对流层低层。在对几次典型厄尔尼诺事件的合成分析后得出了太平洋—冬季风遥相关的建立和维持机制。在厄尔尼诺成熟期，西北太平洋地表风场由气旋迅速转为反气旋，逐渐加强且向赤道移动，与此同时反气旋东部的海表温度冷却加强，两者之间存在有相互促进的正反馈作用。之后的整个冬季和次年春季，两者又继续发展且向东部延伸。海表温度的降低，通过海—气之间潜热、显热的相互交换导致对流不稳定的抑制和地面气压的上升，地面气压反过来加强地表风场和边界层的辐散，导致菲律宾海南部同赤道之间的纬向风由偏西风转为偏东风。中太平洋的增暖也给西太平洋的海气相互作用建立了一个有利的环流背景，通过增强副热带高压而在中高纬地区引发一股向东移动的气流，从而加强阿留申低压和西风急流的东移。这样的环流背景有利于冷涌爆发到菲律宾海，从而导致菲律宾海的气压突然上升。这说明太平洋—冬季风遥相关的形成和维持起因于大气—海洋的相互作用。菲律宾海异常反气旋的西北部盛行偏南风，南支槽前西南气流加强，其共同作用使南海和中国东南沿海出现显著的偏南风距平，导致东亚沿岸冬季风减弱，地表温度上升，偏南气流同时携带暖湿气流，加之高原南侧的西风带低压扰动活跃，从而导致我国南方地区降水增多。

综上可知，虽然已有学者得出了ENSO－EAWM之间相互影响的可能机制，但是，这多是基于对一些典型ENSO事件分析的结果。由于ENSO循环是年际气候变化中最强的信号，它与大范围的大气环流异常相联系，ENSO的演变有其自身的差异性和复杂性，如有起源于热带东太平洋海温异常的多数事件，也有起源于热带中太平洋，甚至是西太平洋地区的少数事件，ENSO事件对我国气候的影响取决于其爆发的时间、发展阶段及其不同类型等。因此，需要进一步深入研究各种类型ENSO事件对东亚冬季风的具体影响形式和物理机制，以便更全面的认识两者之间的相互作用。

3 东亚冬季风与AO的相互作用

北极涛动（AO）是冬半年北半球中高纬度地区大气环流尺度最大、最重要的模态，它对冬季北半球气候有着显著影响。当AO位于正位相时，北太平洋为一对偶极性异常环流，高纬度地区和整个北极圈为气旋性异常环流，中纬度为反气旋异常环流，负位相时环流形势与此相反。这种形势越到高层越明显，范围也越大[17]。AO描述中纬度西风的强度和位置，当其强度和位置发生变化时，天气就会发生变化，当这种变化维持的时间足够长，就造成了气候的变化。作为北半球行星尺度的一个系统，再配合其他天气系统的变化发展，AO能在大范围的空间和时间内影响整个北半球冬季的天气气候变化。

龚道溢[48]分析了近百年北极涛动对中国冬季气候的影响,AO 指数偏强时,中国大部分地区冬季气温偏高,同时降水也偏多。西伯利亚高压是影响中国冬季气温最重要的环流系统之一。在年际尺度上,西伯利亚高压对我国气温的影响远远强于 AO,但 AO 对我国降水的影响却比西伯利亚高压显著,这说明 AO 对我国冬季气温和降水的影响机制是不一样的。在年代际尺度上,AO 对我国降水和气温的影响都显著。

帅嘉冰等[49]对中国冬季降水与 AO 关系的年代际变化进行分析后指出,我国冬季降水量与 AO 为正相关,且其相关关系具有明显的年代际变化特征。低纬 SST 可能对我国冬季降水与 AO 关系的年代际变化有影响。

许国宇等[50]分析了 AO 对北京极端低温事件的影响,结果表明,AO 指数与同期北京气温距平为显著正相关。当 AO 处于负位相时,北京冬季气温变率偏大,更容易出现极端天气气候事件。极端低温事件暴发期间,中高纬环流处于 AO 负位相,这种环流分布状态有利于北京地区冷空气暴发的关键系统(低层西伯利亚高压、中层欧亚地区阻塞)发展。

杨辉等[17]还指出,当 AO 异常强时,西太平洋副热带高压偏弱,东亚高空西风急流偏弱,东亚大槽偏弱,阿留申低压和西伯利亚高压偏弱,因此导致东亚冬季风偏弱,进而使得我国东部、东北、新疆和内蒙古温度偏高,除内蒙古、新疆降水偏少外,大部分地区降水偏多,其异常降水中心在华南沿海一带;而当它偏弱时,环流形势正好相反,冬季风偏强,我国温度偏低,江南、华南、内蒙古和新疆降水偏多,其他地区降水偏少,异常降水中心位于江南。Li 和 Yang[34]的 L - Y EAWM Index 不仅与 ENSO 循环有密切关系,而且与 AO 也具有密切的联系。该冬季风指数与 AO 的同期相关系数为 -0.52,达到了 99% 显著性水平。如图 1 和图 2 所示,当 AO 为负(正)异常时,东亚冬季风偏强(弱),东亚地区冷涌表现为多(少)活跃。

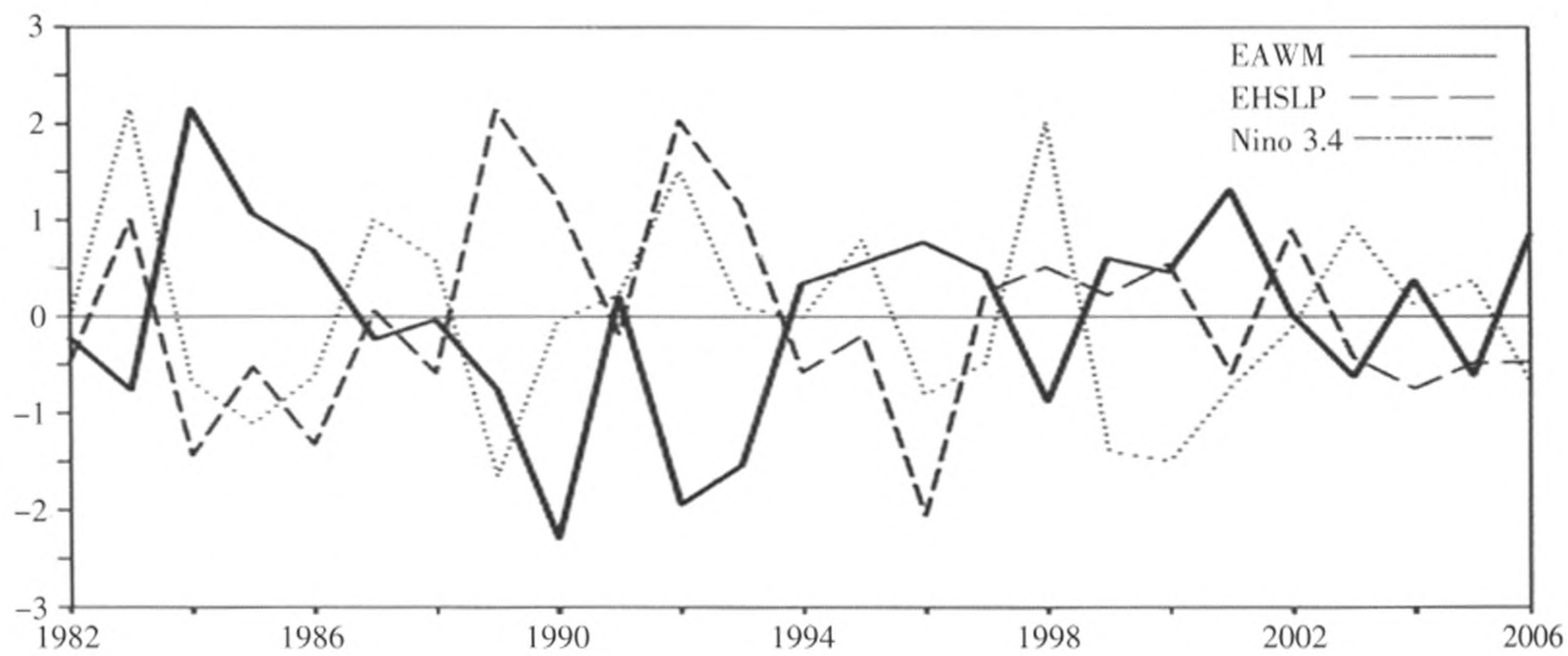

图 1　标准化冬季风指数 EAWM、东半球 SLP 以及尼诺 3.4 区 SST 指数曲线[34]

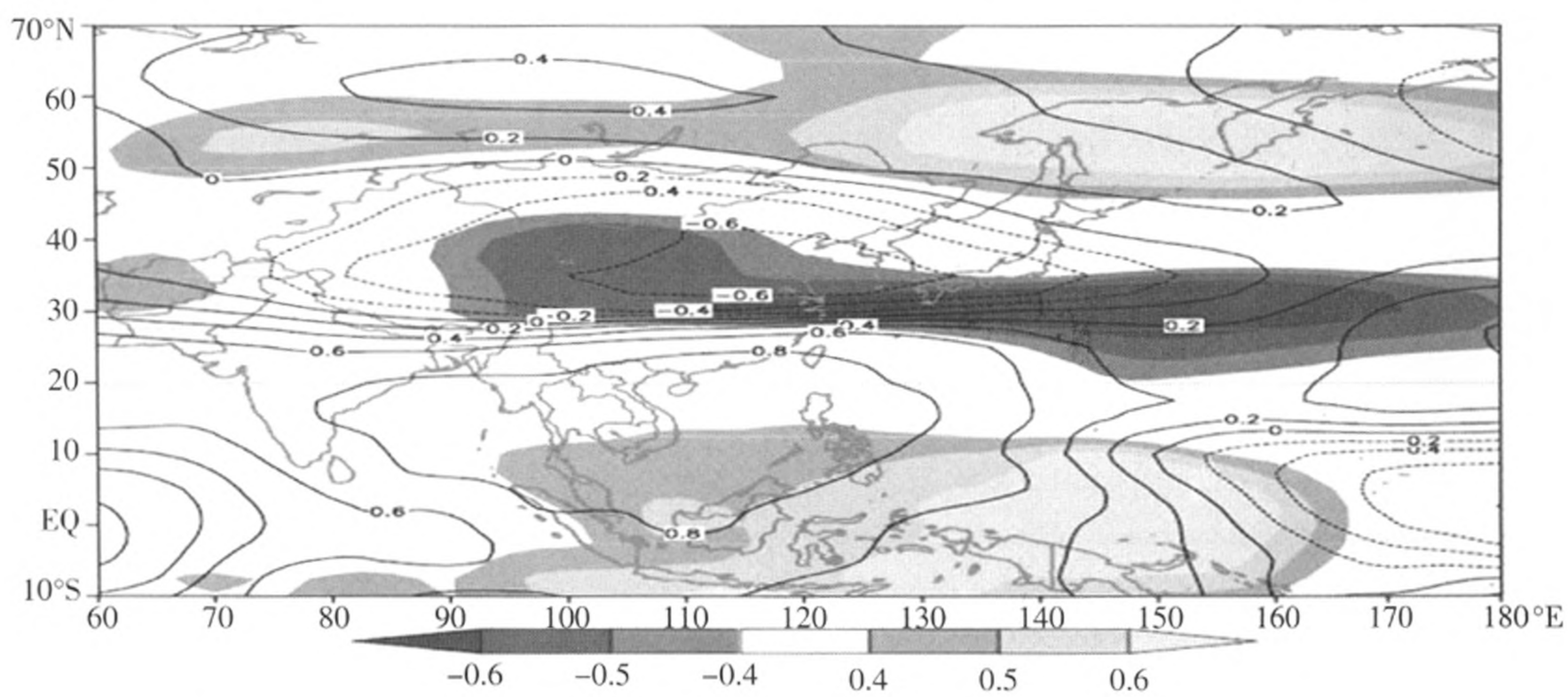

图 2　冬季 200hPa 纬向风场同 EHSLP 的相关系数场(阴影)以及 200hPa 纬向风场同尼诺 3.4 区 SST 的相关系数场(等值线),0.40,0.51,0.62 分别为 95%、99%和 99.9%的信度检验临界值[34]

AO 对中国同期天气气候的影响是显著的,但其对后期天气变化也有贡献。杨辉[51]通过对 12 月 AO 的位相与次年 1 月中国南部地面气温和降水的关系进行分析后指出,12 月的 AO 指数同次年 1 月中国南部降水和气温

间有很明显的相关性，AO 指数为正（负）时，中国南部1月降水偏多（少），气温偏低（偏高）。对流层高低层的环流相互配置，导致了 AO 与滞后的中国南部地面气温和降水之间的明显的相关性。

龚道溢等[52]指出 AO 与东亚冬季风有显著的反位相关系，并通过西伯利亚高压的作用来影响东亚冬季风。武炳义等[18]在分析研究了北极涛动影响东亚冬季风的主要机制后指出，当 AO 为正位相时，极涡的面积指数偏小，极涡的强度指数偏大，中纬度西风带加强并且位置偏北，冷空气被限制在极地，使其南下被抑制，从而欧亚大陆以及东亚地区冬季风偏弱，容易出现暖冬，反之相反。还有一些相关研究[53-54]从行星波的角度分析冬季风和 AO 间的相互作用后得出，对应于北半球冬季行星波活动的高指数年，行星波更多的在对流层传播，因而极涡相对稳定、偏冷，这使得东亚地区的高空西风急流、东亚大槽都偏弱，同时低空的西伯利亚高压、阿留申低压也均减弱，进而导致东亚冬季风强度减弱，最终东北亚地区的西北风减弱，气温偏高。

李勇等[55]利用偏相关系数方法，分析了若干环流和海温因子对我国冬季气温的影响后指出，在年际尺度上，ENSO、AO 与冬季风的相关系数都不显著，ENSO 通过西太平洋遥相关型（WP）影响东亚冬季风，进而对我国冬季气温产生影响，AO 则可能通过 WP 或者西伯利亚高压对我国冬季风产生影响；在年代际尺度上，两者与冬季风显著相关，可明显的影响我国气温的变化，并且 AO 比 ENSO 的影响范围大，与除长江上游沿江地区外的其他地区均有关联，而 ENSO 与温度的关联区则位于35°N 以北的整个北方及长江中下游地区。但也有研究[56-57]指出，ENSO 对我国冬季气候影响较为显著的区域主要位于我国东南沿海地区，AO 则主要影响东北、华北地区。这表明现有的结论之间存在有一定的争议性，因此，关于两者影响的具体区域及其原因仍需要进一步分析。

总之，关于东亚冬季风与北极涛动的相互联系，还需要深入研究。由于 AO 具有明显的月尺度变化特征，同季节尺度变化特征有一定的差异，由此对东亚冬季风的影响也有所不同。所以，从不同时间尺度上综合分析两者之间的相互影响是很有必要的。

4 结论及讨论

4.1 结论

以上综述了近些年东亚冬季风及其与 ENSO、AO 关系的主要进展。可以得出，东亚冬季风系统是一个贯穿于整个大气对流层的深厚型环流系统，其异常表现为东亚区域整层环流系统的异常；各类表征东亚冬季风变化的冬季风指数具有 2a，5～7a 的年际变化和 10a 以上的年代际变化，并且具有空间分布的不均匀性及爆发与撤退日期的突变性；强弱冬季风年的异常环流形势在对流层各层以及高纬度、中纬度和低纬度地区都有所表现；在年际尺度上，ENSO、AO 与东亚冬季风有一定的相关性，但是在年代际上，东亚冬季风同两者之间有着更显著的联系，通过大气动力和热力过程，它们之间相互影响、相互作用，共同影响我国、东亚甚至于全球天气气候的变化。因此，东亚冬季风及其影响的研究仍然是一个非常重要的课题。

4.2 讨论

虽然到目前为止，关于东亚冬季风的研究结果很丰硕，但其研究依旧存在一些薄弱环节。主要有：研究使用的资料多为 NCEP/NCAR、欧洲数值预报中心、日本气象厅和英国 Hadley 中心，以及我国国家气候中心提供的气象数据。由于各种数据的时空分辨率、分析方法、插值精度等的差异，对分析结果有一定影响，需要应用高质量的综合气象资料数据集。使用的研究方法，虽有动力诊断分析等方法，但多为趋势分析、相关技术、小波分析、EOF（REOF）分解、突变检验方法、SSA、SVD 等统计方法。需要在观测资料分析的基础上，加强数值模拟与理论分析，通过统计、动力、模式与理论研究结合等方法，深入研究东亚冬季风及其影响。

由于季风指数是东亚冬季风研究与应用的有效途径，虽然已提出了不少东亚冬季风指数，但由于定义的各种指数有其局限性，不足以全面表征东亚冬季风的变化及其影响。因此需要从东亚冬季风系统出发，定义一个能够反映东亚冬季风系统更多成员变化特征的综合性指数，在此基础上开展东亚冬季风变化及其影响的定量定性分析研究。

在 ENSO－EAWM 间相互作用可能机制方面，由于 ENSO 演变及其影响的差异性等因素，需要针对不同类型 ENSO 事件对东亚冬季风的影响深入研究；关于 AO 与 EAWM 的相互作用问题，需要从月、季等多时间尺度上，加强两者之间关系的综合分析。

总之，应用新的资料和新的思路，通过统计、动力与模拟等方法，在季风区海－陆－气相互作用的框架下，深入全面分析研究东亚冬季风的演变特征和具体影响及其物理机制，在此基础上，探寻建立物理意义明确、表征能力强的东亚冬季风指数，这是今后东亚冬季风研究与应用的重要方向。

参考文献

[1] 张家诚. 大气环流的季节变化和季风的概念[C]. 全国热带夏季风学术会议论文集. 昆明：云南人民出版社，1982：1－9

[2] 朱乾根，林锦瑞，寿绍文，等. 天气学原理和方法[M]. 北京，气象出版社，2007：565－598

[3] Huang Ronghui, Chen Jilong, Huang Gang. Characteristics and variations of the East Asian monsoon system and its impacts on climate disasters in China[J]. Adv. Atmos. Sci.，2007，24(6)：993－1023

[4] 朱抱真，丁一汇，罗会邦. 关于东亚大气环流和季风的研究[J]. 气象学报，1990，48(1)：4－16

[5] 梁必骐,等.热带气象学[M].广州:中山大学出版社,1990:56-67
[6] Bin Wang. The Asian monsoon. Springer/Praxis Publishing Co., New York,2006:89-102
[7] 江滢.东亚季风指数分类初析[J].气象,2005,31(5):3-7
[8] 李跃清,童文林.东亚冬季风异常与ENSO事件及其预测意义[J].成都气象学院学报,1999,14(1):14-19
[9] Li Chongyin, Sun Shuqing, Mu Mingquan. Origin of the TBO —Interaction between anomalous East Asian winter monsoon and ENSO cycle [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, 18(4):554-566
[10] 穆明权.东亚冬季风异常与ENSO循环关系的进一步研究[J].气候与环境研究,2001,6(3):273-285
[11] 许武成,马劲松,王文.关于ENSO事件及其对中国气候影响研究的综述[J].气象科学,2005,25(2):212-220
[12] 李崇银,胡季.东亚大气环流与厄尔尼诺相互影响的一个分析研究[J].大气科学,1987,11(4):359-364
[13] 郭其蕴,王日昇.东亚冬季风活动与厄·尼诺的关系[J].地理学报,1990,45(1),68-77
[14] Wang, B., R. Wu, and X. Fu: Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian Climate[J]. Climate. 2000, 13(5), 1517-1536
[15] 陈文,康丽华.北极涛动与东亚冬季气候在年际尺度上的联系:准定常行星波的作用[J].大气科学, 2006,30(5):863-870
[16] 琚建华,任菊章,吕俊梅.北极涛动年代际变化对东亚北部冬季气温增暖的影响[J].高原气象,2004,23(4):429-434
[17] 杨辉,李崇银.冬季北极涛动的影响分析[J].气候与环境研究,2008,13(14):395-404
[18] 武炳义,卞林根,张人禾.冬季北极涛动和北极海冰变化对东亚气候变化的影响[J].极地研究,2004,16(3):211-220
[19] 郭其蕴.东亚夏季风强度指数及其变化的分析[J].地理学报,1983,38(3):207-217
[20] 施能,鲁建军,朱乾根.东亚冬、夏季风100年强度指数及其气候变化[J].南京气象学院院报,1996,19(2):168-177
[21] 赵平,张人禾.东亚—北太平洋偶极子型气压场及其与东亚季风年际变化的关系[J].大气科学, 2006,30(2):307-316
[22] Ji Liren, Sun Shuqing. Model Study on the interannual variability of Asian winter monsoon and its influence[J]. Advances in Atmospheric Sciences,1997,14(1):1-22
[23] Chen Wen, Graf H F, Huang Ronghui. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon [J]. Advances in Atmospheric Sciences,2001,17(1):48-60
[24] 梁红丽,肖子牛,晏红明.孟加拉湾冬季风及其与亚洲夏季气候的关系[J].热带气象学报,2004,20(5):537-547
[25] Yang, S., K.-M. Lau, and K.-M. Kim: Variations of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies[J]. Climate. 2002, 15(3), 306-325
[26] 王会军,姜大膀.一个新的东亚冬季风强度指数及其强弱变化之大气环流场差异[J].第四纪研究,2004,24(1):19~27
[27] 黄先香,施能,炎利军.东亚冬季1000hPa异常与我国气候的关系[J].热带气象学报,2007,23(6):623-628
[28] 朱艳峰.一个适用于描述中国大陆冬季气温变化的东亚季风指数[J].气象学报,2008,66(5):781-788
[29] 孙淑,孙柏民.东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系[J].气象学报,1995,53(4),438-450
[30] 崔晓鹏,孙照渤.东亚冬季风强度指数及其变化的分析[J].南京气象学院学报, 1999,22(3):321-325
[31] 晏红明,周文,等.东亚冬季风指数的定义及其年代际异常[J].大气科学学报,2009,32(3):367-376
[32] Jhun J G, Lee E J. A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon[J]. J Climate, 2004, 17(4):711-726
[33] 况雪源,张耀存,刘健.对流层上层西风急流与东亚东季风的关系[J].高原气象,2008,27(4):701-712
[34] Yueqing Li, SONG Yang. A Dynamical Index for the East Asian Winter Monsoon[J]. Climate,2010,(15),4255-4262
[35] 高辉.东亚冬季风指数及其对东亚大气流异常的表征[J].气象学报,2007,65(2):272-279
[36] WANG Lin, CHEN Wen. How well do Existing Indices Measure the Strength of the East Asian Winter Monsoon[J]. Adv Atmos Sci, 2010, 27(4): 855-870
[37] 裴顺强.东亚冬季风及其影响的进一步研究Ⅰ.东亚冬季风变化及异常的特征[J].气候与环境研究,2007,12(2):124-136
[38] Li Chongyin, Xian Peng. Atmospheric Anomalies related to Interdecadal Variability of SST in the North Pacific[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20(6): 859-874
[39] 徐建军,朱乾根.近百年东亚冬季风的突变性和周期性[J].应用气象学报.1999,10(1):1-8
[40] 韦道明,等.东亚冬季风的区域差异和突变特征[J].高原气象,2009,28(5):1150-1157
[41] 雷永荟,等.东亚冬季风异常的空间结构及海陆热力差异的联系[J].南京气象学院学报,2002,25(2):145-152
[42] 李崇银.频繁的强东亚大槽活动与厄尔尼诺的发生[J].中国科学(B辑),1988,31(6):667-674
[43] 杨辉,陈隽,孙淑清.东亚冬季风异常激发厄尔尼诺现象的数值试验研究[J].大气科学,2005,26(5):321-333
[44] 穆明权,李崇银.东亚冬季风年际变化的ENSO信息.II.模拟资料分析[J].气候与环境研究,1999,4(2):176-184
[45] 陶诗言,张庆云.亚洲冬夏季风对ENSO事件的响应[J].大气科学,1998,22(4),399-407
[46] Zhang, R., A. Sumi, and M. Kimoto: Impact of El Ni no on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events[J]. Meteor. Soc. Japan,1996,74(1), 49-62
[47] 李跃清,李崇银,黄荣辉.东亚冬季风变化与ENSO循环的耦合关系研究.ENSO循环机理和预测研究(巢纪平等编),北京:气象出版社,2003:189-197
[48] 龚道溢,王绍武.近百年北极涛动对中国冬季气温变化的研究[J].地理学报,2003,58(4):559-568
[49] 帅嘉冰,郭品文,庞子琴.中国冬季降水与AO关系的年代际变化[J].高原气象, 2010, 29(5): 1126-1136
[50] 许国宇,马晓青.北极涛动对冬季北京极端低温事件的影响分析[J].气象与环境科学,2011,34(2):39-43
[51] Yang Hui. The Significant Relationship between the Arctic Oscillation (Ao) in December and the January Climate over South China[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2011,28(2): 398-407
[52] Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation[J]. Geophys. Res. Lett., 2001,28(10): 2073-2076
[53] 黄荣辉,魏科,陈际龙,等.东亚2005年和2006年冬季风异常及其与准定常行星波活动关系的分析研究[J].大气科学,2007,31(6): 1033-1048
[54] 陈文,黄荣辉.北半球冬季准定常行星波的三维传播及其年际变

化[J].大气科学,2005,29(1):137-146
[55] 李勇,陆日宇,何金海.影响我国冬季温度的若干气候因子[J].大气科学,2007,1(3):506-513
[56] Chen W, Yang S, Huang R H. Relationship between stationary planetary wave activity and the East Asian winter monsoon[J]. Geophys. Res., 2005, 110: D14110, doi:10.1029/2004JD005669
[57] Chen W, Graf H F, Huang R H. The interannual variability of East Asian winter monsoon and it s relation to the summer monsoon[J]. Adv Atmos Sci, 2000, 17(1): 48-60

Review of Study on the Change of East Asian Winter Monsoon and Its Relationships with ENSO and AO

ZHANG Jing[1,2], LI Yueqing[2], JIANG Xingwen[2]
(1. *College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu*, 610225;
2. *Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu*, 610072)

Abstract: As an important member of Asian monsoon system, the change of East Asian Winter Monsoon (EAWM) has a significant effect on the weather-climate of Northern Hemisphere, even on the whole world. The key research on the change characteristics of EAWM, mainly including the spatial-temporal variations and its relationships with ENSO and AO has been reviewed in this paper for the recent decades. It shows that: the winter monsoon is a deep circulation system which exists in all levels of troposphere, its irregular changes can give expression to the abnormal change of the whole circulation on this areas; all of the indexes have interannual variations of 2a, 5-7a and interdecadal changes, it also has the heterogeneity of spatial distribution and the mutagenesis of the eruption and evacuation day; the anomalous circulations during strong(weak) monsoon can be reflected in both higher and lower latitudes and at both lower and upper troposphere, further more, its unusual changes not only have effects on the corresponding time, but also on the later periods. The relationships between EAWM and EASO、AO is more significant in interdecadal scale than interannual scale. Through the thermal and dynamic process, they interact with each other to affect the weather of the East Asian even the whole world.

Key words: EAWM, ENSO, AO, research progress