

周洁雯, 卢楚翰, 孙 燕. 基于客观识别的东亚区域温带气旋活动及其气候效应的研究综述[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 907-917. [ZHOU Jiewen, LU Chuhan, SUN Yan. Review of Extratropical Cyclone Activities over East Asia and Its Climatic Effects Research Based on Objective Identification [J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6): 907-917], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0907

基于客观识别的东亚区域温带气旋活动及其气候效应的研究综述

周洁雯¹, 卢楚翰¹, 孙 燕²

(1. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044;
2. 江苏省气象科学研究所, 江苏 南京 210008)

摘 要:温带气旋是影响我国天气气候变化的重要系统,对东亚区域气旋活动及其气候效应的研究有助于加深东亚地区天气气候变化机理的认识。本文回顾了东亚气旋的识别方法、变化规律及气候效应的研究,主要进展如下:(1)1990年代以后,自动识别方法逐步替代了人工识别,各类算法对天气尺度气旋表达较好,但对多中心结构的温带气旋以及中小尺度气旋的识别和追踪能力还有待提高;(2)东亚气旋的尺度、性质、路径具有明显的多样性,气旋活动过程中的性质转变以及多尺度相互作用等方面近年来受到明显重视;(3)东亚气旋活动与区域气候异常以及伴随的强降水、大风等灾害性极端天气气候事件有密切联系,气旋区的识别和追踪有助于定量研究气旋演变与极端天气事件之间的局地联系。

关键词:温带气旋;自动识别;灾害性天气

文章编号:1006-7639(2017)06-0907-11 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0907

中图分类号:P46,P443

文献标志码:A

引 言

东亚气旋是影响区域天气气候变化的重要系统之一,其活动区域自中国内陆温带地区延伸至西北太平洋海域,且一年四季均有发生,活动范围广。东亚地区作为世界人口最密集、工农业生产高度集中的区域,气旋活动对该区域天气气候影响甚大。近年来,由于受气旋活动频繁影响,东亚地区极端强降水、持续性连阴雨以及沿海大风等灾害性天气气候事件时有发生,造成的损失随着经济的迅速发展而呈明显上升趋势。据统计,我国海上汛期发生的重大海损事故中三分之二由气旋大风造成^[1]。

20世纪下半叶以后,国内外许多学者对东亚气旋进行了多方面的研究。吴伯雄等^[2]在前人研究的基础上对东亚移动性温带气旋的发生、出现频数、移动路径及生命周期等气候特征进行了统计。随着相关记录的充实,东亚气旋的空间结构及其演变规律备受关注。此外,天气尺度气旋的识别及追踪方

法一直是国内外研究热点^[3-4]。本文将对20世纪90年代以后东亚区域气旋活动及其气候效应的研究动态进行回顾。

1 温带气旋的客观识别

1.1 识别方法的发展

早期气旋系统识别依靠人工经验分析,因主观、耗时及结果缺乏一致性而被逐步淘汰。随着计算机技术的引入以及全球再分析资料的陆续发布,基于欧拉观点的自动识别方法得到广泛应用,该方法通常利用带通滤波提取特征频带,如2.0~6.5 d的扰动信号,并以其方差作为扰动强度^[5-6],其优点在于计算简便,能识别某个频带上的综合扰动特征,不仅包括气旋/反气旋等闭合气压系统,还包含低槽、切变线等天气尺度扰动。

倘若专门针对气旋系统识别,拉格朗日观点则更为适用。尽管拉格朗日方法在识别对象时,选取

收稿日期:2017-06-05;改回日期:2017-08-17

基金项目:国家自然科学基金(41575081)、江苏省自然科学基金(BK20161603)和江苏高校优势学科建设工程项目PAPD共同资助

作者简介:周洁雯,女,硕士研究生,研究方向为大气环流与短期气候预测。E-mail:zjw_nuist@126.com。

通信作者:卢楚翰,博士,副教授,研究方向为大气环流异常及极端天气气候。E-mail:luchuhan@nuist.edu.cn。

特定的标准参数具有一定的主观性,但能获得更为全面的气旋属性和特征。RICE^[7]首先基于拉格朗日观点,在处理格点数据时开发了客观判断温带气旋的算法。1990年代以后,基于拉格朗日(个体变化)的气旋尤其是温带气旋的客观识别方法和特征信息获取成为关注的新热点^[8-14]。其中,应用客观判定和追踪方法开展东亚气旋活动的研究集中在2000年以后^[11,14-17]。气旋客观识别方法的发展使得客观分析温带气旋变化以及利用气候模式模拟和预估温带气旋成为可能^[3]。

与欧拉方法相比,基于拉格朗日方法的自动识别算法相对复杂,识别和追踪气旋的效率偏低,但随着计算技术的提升其得到了逐步完善。当前,主流的识别算法多以天气尺度气旋为识别对象,主要基于气旋中心点位置和强度的变化。气旋中心点依据最小局地气压值或最小气压拉普拉斯项的位置确定,通过空间滤波或限定气旋的最短生命周期实现温带气旋的判别^[18-19]。近年来,对气旋的识别和追踪对象从气旋(中心)点扩展至气旋影响区^[9,20-21]以及气旋体^[22]。这一方面有利于从整体上把握气旋的影响范围和强度特征^[23-24],从而便于划分气旋尺度;另一方面对气旋结构的准确表达能够降低气旋判别和追踪结果的不确定性^[13,21]。其中,气旋区可近似定义为中心点外围零值涡度线包围的区域^[23]或气旋中心点临近的1000 km区域^[25]或以气压梯度零值点的位置至中心点之间距离作为气旋近似半径

所包围的区域^[26-27]。最近,基于气旋最外围等值线方法提出了一种基于新混合网格的气旋区二维识别及追踪方法,这对于获取高纬度地区的气旋活动规律以及短生命期的致灾风暴具有较好的性能^[28]。

1.2 面临的挑战

尽管各种自动识别方法能够客观、高效地识别温带气旋的长期活动,但由于温带气旋时常具有复杂的形状和结构,一些不闭合的低槽或者具有多中心的成熟气旋的出现往往增大了基于中心点的气旋识别和追踪过程的不确定性^[13]。如2012年夏天的超级北极气旋^[29],基于气旋中心点与基于二维气旋区的识别方法对气旋生成早期的识别路径存在较大差异(图1)^[28],前者在早期识别出一个不闭合且位置更偏南的低压系统,而后者识别的气旋和路径与人工识别的闭合系统路径更为吻合,即该路径上系统始终闭合;前者识别的系统中心气压只在2个不同系统合并后才突然下降,明显受到位置偏北的闭合气旋(后者识别)影响。NEU等^[19]利用统一资料对目前广泛应用的15组温带气旋自动识别和追踪算法进行综合评估,发现不同算法结果具有较大差异,尤其对尺度较小、强度偏弱的气旋系统的识别不确定性最大。造成结果差异的原因主要与各算法对温带气旋复杂结构的表达能力以及不同识别要素和参数选取的差异有关。此外,影响不同地区的气旋属性也存在差别。如东亚地区,温带气旋、局地热低压和季风型气旋共同存在^[30]。

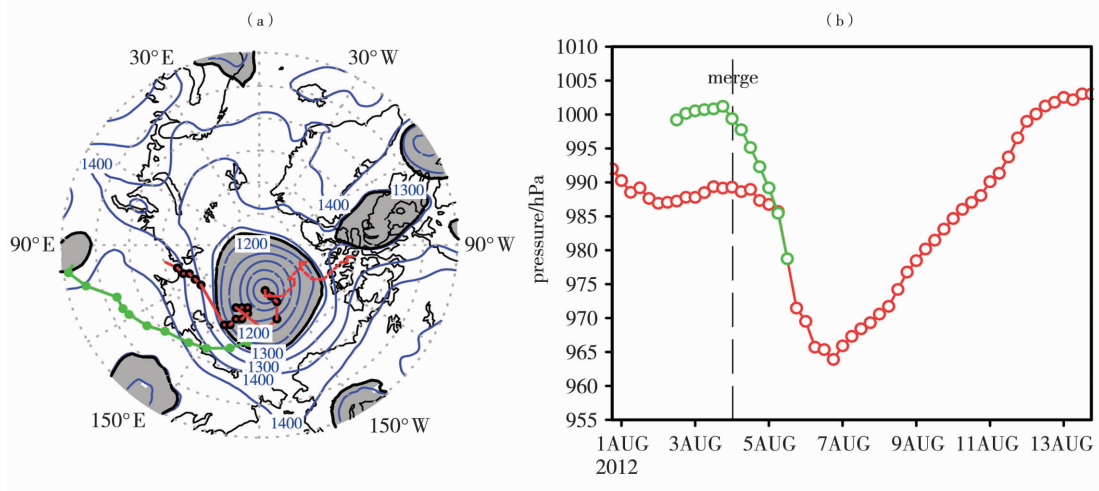


图1 2012年8月超级北极气旋的移动路径(a)及对应的中心海平面气压(b)^[28]

(蓝色等值线为8月6日18:00(世界时)的850 hPa位势高度场(单位:gpm),且等值线间隔为20 gpm;

灰色阴影为气旋影响区;红线为基于二维气旋区识别方法的路径(T1),绿线为基于气旋中心点识别方法的路径(T2))

Fig.1 The moving tracks of the Great Arctic cyclone in August 2012 (a) and corresponding central sea surface pressures (b)^[28]

(The blue lines for the geopotential height field on 850 hPa with 20 gpm interval at 18:00 UTC 6 August 2012 (Unit:gpm), the grey shadows for the detected cyclonic areas, the red and green lines denote the trajectories of cyclone based on two-dimensional cyclone area and cyclone center point identification methods, respectively)

需要指出的是,许多气旋自动识别算法通过最短生命周期滤除局地热低压和不闭合低压系统。然而,一些短周期的切断低压、中尺度气旋往往会造成较大的局地影响,如2009年12月上旬在葡萄牙登陆的XOLA风暴,其瞬时风速达 $39.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[31]。中尺度气旋的频繁发生,对局地气候异常产生重要影响^[32]。HEWSON等^[33-34]指出29%的大西洋地区气旋生命周期在1d以内。春季影响我国江淮地区的气旋中,次天气尺度气旋发生频率占68.6%^[35]。在中期的中纬度风暴诊断比较计划(intercomparison of midlatitude storm diagnostics, IMI-LAST)中,HEWSON等^[34]特别关注中尺度气旋结构,认为ERA-Interim再分析资料对于中尺度气旋表现较好,但对风暴气旋迅速增加的描述较差。此外,采用中心点识别方法时,在气旋中心点的邻近区域容易出现许多不闭合的局地低压点,往往利用设定的搜索半径合并邻近区域最低值点。但当多个独立的闭合中、小尺度气旋系统位置靠近时,需要将它们加以区分。因此,有必要建立和利用具有中尺度气旋识别能力的自动识别算法来加深热带外地区中尺度气旋活动变化的研究。

2 气旋活动特征量的定义及应用

为掌握气旋的演变规律,需要提取不同的气旋特征量。其中,确定气旋中心点位置是气旋识别和追踪的基础。在确定气旋中心位置的同时也应注意可能存在的不闭合系统^[36]。基于气旋中心点位置及其中心气压,可提取气旋的生成源地、消亡地^[37]、生命周期^[38]、发展率^[39]等特征量及其地理分布和区域差异。值得注意的是,在背景场气压普遍较低时,气旋中心点强度不能很好地代表气旋的整体强弱^[23]。因此,可考虑通过空间滤波或限定气旋的最短生命周期实现对天气尺度气旋的判别,并在识别前先滤除行星波尺度以上的背景场^[18]。此外,以气压场或低层位势高度场识别气旋中心时,容易受到分辨率的影响,分辨率低的资料对小尺度气旋或处于初始生成阶段的气旋识别能力较弱^[20,40];而以相对涡度识别气旋中心时,受分辨率影响较小^[18],但当水平分辨率高于 1° 时易出现许多小尺度的特征区^[41]。

为获取更丰富的气旋结构及变化特征,以气旋系统为识别对象,进一步定义、分析基于气旋影响范围的特征参数(面积、深度等)随气旋演化的变化特征。然而,不同研究对于气旋系统范围的识别判据存在一定的差异。如SINCLAIR^[23]选取的特征量为

相对涡度零值线内的整体涡度强度;SIMMONDS^[26]以气旋中心临近的区域气压拉普拉斯正值区为气旋区;RAIBLE等^[25]则是选取气旋周边1000km范围内的整体梯度来表征气旋强度,但在确定其系统边界时存在一定的难度。气旋范围的界定有助于从整体上把握气旋的影响面积及其相应的气旋强度。QIN等^[35]利用气旋影响区域和整体深度定义了气旋强度指数,发现其较气旋中心气压指数更能代表区域气旋活动的强度变化特征。

由于一些气旋在遇到地形或局地加热不均时容易出现非规则圆的复杂外形,因此WERNLI等^[20]提出了基于最外围闭合等值线的气旋区识别方法,其优点在于能够直观地描述气旋的具体形状,有助于直观、准确地界定气旋影响范围,并且由于不对气旋生命周期作限制,可以识别不同尺度的各类气旋。然而,在识别过程中仍然会遗漏强度较弱的气旋系统。同时,选取不同等值线间隔将在一定程度上也影响对气旋识别的结果。在此基础上,HANLEY等^[13]进一步提出了多中心气旋识别方法。事实上,由于温带气旋常具有复杂形态,此类方法的应用研究开展甚少。

3 东亚区域气旋活动的变化规律

东亚气旋属于多发性天气系统,可分为北方和南方气旋两大类。北方气旋一般发生在 45°N — 55°N 之间的中国黑龙江、吉林和内蒙古等地及交界处,包括东北气旋、蒙古气旋、黄海气旋、黄河气旋等,这类气旋尺度较大(多为天气尺度),内部具有明显的冷性结构和不稳定层结^[42],中纬度斜压不稳定是其主要发展机制^[43]。南方气旋多出现于 25°N — 35°N 之间的中国江淮地区、东海及日本海南部广大地区,包括江淮气旋、东海气旋等,对流层中层槽脊系统及凝结潜热加热是其发展的主要因子^[44]。已有许多研究基于个例过程深入分析了东亚气旋的生成和发展机理,在此不再赘述,下面主要介绍东亚气旋长期活动变化规律的研究进展。

3.1 气旋活动的月、季变化特征

从东亚气旋活动空间分布看,西西伯利亚、蒙古国、东亚沿海为东亚主要气旋生成区^[45]。在滤除高海拔(1500m以上)地形区情况下,气旋活跃程度在东亚沿海整体上自北向南逐渐减弱,中国东北地区至鄂霍茨克海气旋活动最为频繁(图2)^[28]。东亚气旋在夏半年发生最为频繁,由冬季至夏季,活动区域向南、向东扩大。其中,春季北方气旋活动最频繁,分别位于蒙古国中部和中国东北地区北

部^[11,46];夏季南方气旋活动频繁,8月发生频数最多,主要集中在我国东部沿海及日本南部海面^[12]。

东亚气旋的活动路径主要以向东/偏东北方向移动为主,而我国北方冬半年气旋还有次多的东南路径^[47]。ZHANG等^[45]通过聚类分析得到东亚气旋

有5条主要移动路径,其中125°E以西的路径中2条生成于蒙古地区,另外2条分别位于黄河下游以及长江下游。在气旋移动过程中,700 hPa风场对气旋移动趋势具有较好的指示意义,且气旋的移动速度具有明显的区域特征,气旋位置越偏北,移动越快^[47]。

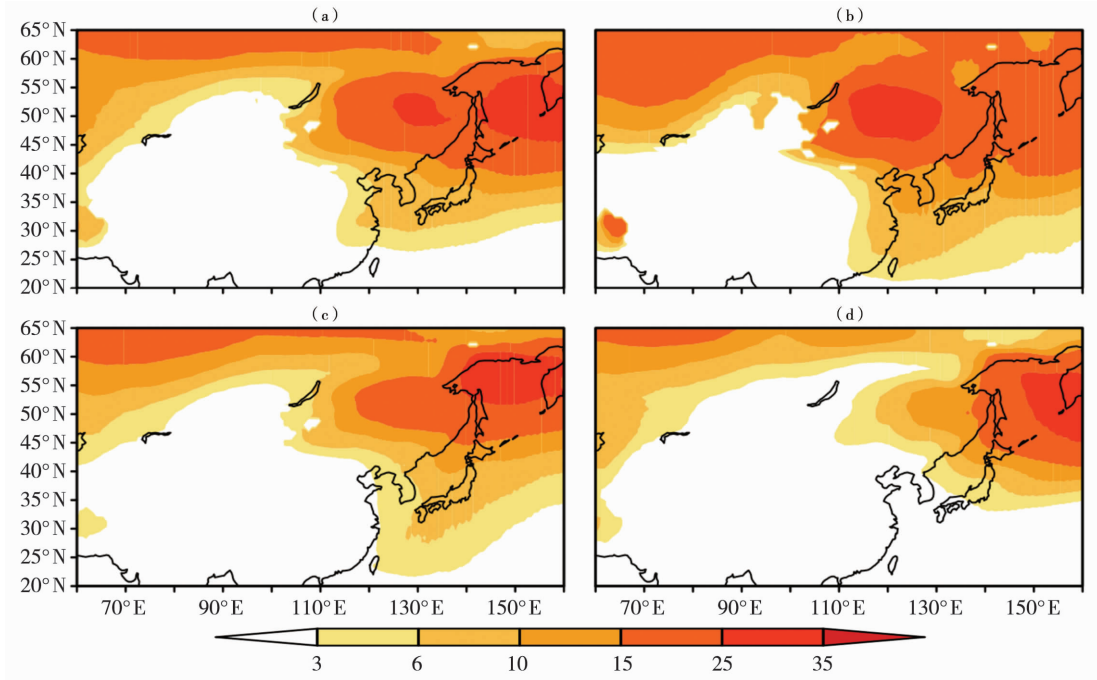


图2 1979—2013年春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季东亚区域气旋发生的相对频率(单位:%)^[28]

Fig. 2 The relative frequencies of cyclone over East Asia region in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) during 1979–2013 (Unit:%)^[28]

3.2 气旋频数、强度及路径的年际和年代际变化

东亚地区南方、北方气旋活动频数存在明显的年际和年代际变化。北方气旋在1980年代前后出现由强变弱的年代际变化,不同研究其转折年份以及变化季节有一定差异。伴随着一次全球性的年代际气候跃变,1980年代初期北方气旋年活动频数出现显著突变^[12,47],亚洲北部(80°E—140°E、40°N—60°N)的温带气旋年个数出现明显下降趋势(图3),北方气旋活动年代际减弱在不同季节均有所体现^[46]。姚素香等^[11]指出1970年代末春季北方气旋由多变少。夏季蒙古气旋在1990年代早期出现显著减弱趋势,这与东亚夏季风年代际减弱联系密切,气旋活动的减弱主要由蒙古西部显著增温导致的经向温度梯度减弱以及大气斜压性减弱有关^[48]。CHEN等^[49]研究指出冬季亚洲北部地区的气旋/反气旋数目在1980年代中期之后均出现增多趋势,这与WANG等^[46]揭示的冬季亚洲北部气旋活动减弱趋势不同。此外,CHEN等^[49]进一步指出气旋的变率对反气旋的活动变化起支配作用,北极锋区急流的变化与气旋/反气旋活动的变化联系紧

密。与北方气旋活动减弱不同,南方气旋的活动频数在1980年代末以后出现增多趋势^[12,14],但江淮气旋以1986年为转折点,年平均发生次数却呈下降趋势,表现出一定的区域特征^[50]。

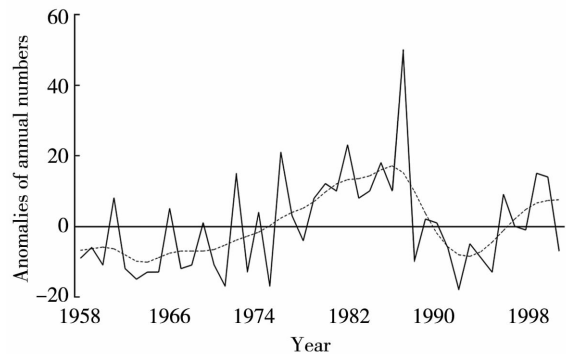


图3 1958—2001年亚洲北部(40°N—60°N、80°E—140°E)温带气旋年个数距平^[46]
(平滑曲线为低频滤波)

Fig. 3 Anomalies of annual numbers of extratropical cyclones in northern East Asia (40°N–60°N, 80°E–140°E) during 1958–2001^[46]
(The smooth line is low frequency filtered)

从气旋活动强度看,东亚气旋活动强度变化具有自身的区域性特征,其变化与北半球冬季气旋在1980年代末之后的增强有明显差别^[51]。研究指出,北方气旋的全年及各季节的平均强度均呈减弱趋势,且夏季减弱趋势最为明显^[46];春季北方气旋强度与频数的年代际变化趋势近乎相同,均在1970年代中后期出现显著突变,之前偏强,之后偏弱,且强度与频数间不存在显著相关,强度的变化周期主要为准7 a和14 a^[16]。然而,江淮气旋生成期气压值有下降变化,生成强度随时间变化呈现增强趋势,2000年以后尤为明显^[50]。

对于气旋移动路径的研究主要强调季节性变化,而对年际和年代际变化研究较少。研究指出,冬季东北亚地区至西北太平洋区域的气旋,其移动路径的年际变化主要受上游涡旋的影响,而定常的大气环流背景影响相对较弱^[52]。此外,东亚季风对于黑潮区域的气旋活动存在明显的调制作用,当东亚季风增强时,强度较强的气旋路径主要集中于黑潮部分的中国东海以及日本海区域,而弱季风年气旋活动相对分散^[53]。

3.3 爆发性气旋活动规律

爆发性气旋又称“气象炸弹”,定义为在考虑地转调整到 60°N 时气旋中心气压加深率大于 $1\text{ hPa}\cdot\text{h}^{-1}$ 快速发展的气旋,具有中心气压急剧降低、强度急剧增大的特点。西北太平洋和北大西洋是发生爆发性气旋的两个主要区域,但这两个区域的爆发性气旋有明显不同,包括其发生频率^[54]、强度^[45,54-55]以及经向移动范围^[29,55]。其中,西太平洋爆发性气旋可划分为太平洋海洋型、鄂霍茨克海-日本海型、太平洋型,后两种类型主要生成于东亚大陆^[56]。东亚区域爆发性气旋在冬季出现最多,其次是春季^[45,57]。仪清菊等^[58]分析指出西太平洋爆发性气旋的初始扰动有一半是来自黄淮、江淮地区和渤海、黄海以及东海海区。

东亚沿海特别是黑潮区的海气相互作用和大气斜压性增强对形成和发展爆发性气旋起重要作用。由于海表热通量输送、相应的热力强迫垂直结构以及斜压性加强^[59-60],使得气旋入海后迅速发展,水平尺度增大,并导致爆发性气旋主要出现于邻近洋面上^[58]。另外,东亚寒潮活动导致的大陆冷高压越强,所激发的下游气旋发展过程越激烈,相应的高空超长波系统配置也是促使气旋猛烈发展的重要因素^[61]。近期,冬季西北太平洋尤其是日本东部爆发性气旋出现明显增加^[47],主要与日本东部区域低层大气斜压性增强以及亚洲大陆东部沿海蒸发和湿度

增加有关^[62]。此外,东亚季风对西北太平洋爆发性气旋活动存在明显的调制作用,当东亚季风增强时爆发性气旋主要集中于黑潮及其延伸区;成熟阶段的爆发性气旋能激发静止罗斯贝波对下游天气产生影响^[53]。

3.4 东亚气旋活动的多样性

东亚气旋具有较明显的复杂性和多样性。从时空尺度看,东亚气旋由小尺度、中尺度、次天气尺度和天气尺度系统构成。对于某一特定的研究区域,可能同时存在多种类别气旋系统的共同影响。如春季影响江淮区域的气旋,既包括尺度较大的北方气旋,也包括中尺度东移的西南低涡、大别山低涡^[63]以及局地生成的低压系统。QIN等^[35]基于最外围闭合等值线气旋区自动识别方法得出,春季影响江淮地区的次天气尺度气旋的发生频率明显高于天气尺度气旋(图4)。然而,北方地区同样经受切断低压、来自低纬度地区热带气旋的影响,许多热带气旋进入中纬度地区后性质发生改变,其结构由轴对称向非对称转变并伴随斜压不稳定^[64-65]。不同类型的气旋也可能出现相互影响的情况,如YAMAMOTO^[66]发现北方冷低压与邻近的南方暖湿低涡相互融合和作用,导致了日本地区明显的降水过程。另外,不同尺度气旋之间可能存在相互吸收、分裂等相互作用过程^[21],致使气旋尺度及性质可能也随之发生变化。不同尺度天气系统相互作用的观点在近年来得到明显重视^[67-68]。

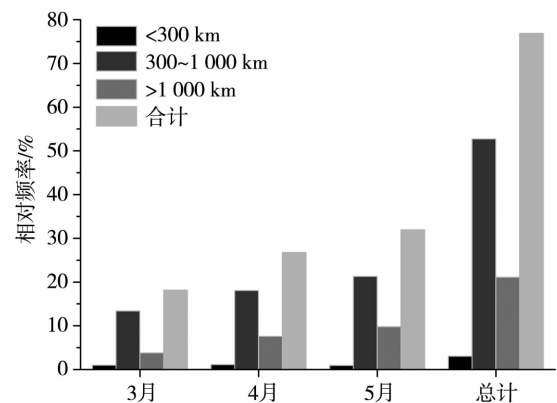


图4 春季影响江淮地区的3种不同尺度气旋发生相对频率的气候平均值^[35]

Fig. 4 Climatology mean value of monthly relative frequency for three types of cyclones over the Yangtze - Huaihe area in spring^[35]

3.5 东亚气旋的数值模拟

随着气候模式对比计划的开展,东亚气旋历史及其未来不同气候变化背景下的长期活动特征以及

变化规律研究近年来也得到关注。研究表明,在现有的温室气体排放背景下,国际主流气候模式能够再现温带气旋活动的主要特征^[69]。张颖娴^[70]进一步研究了 CMIP5 的 6 个全球气候模式对温带气旋的模拟能力,发现总体上各模式能再现近 40 余年东亚气旋活动的主要特征,但模拟的东亚大陆气旋活动的频率偏高,存在一定的系统性偏差。此外,气候模式能较好地再现如 ENSO 等大尺度主要模态变率对风暴轴的影响^[71]。此外还发现,由人类活动影响带来的气候变化导致了温带气旋活动出现明显变化^[72-77]。其中,在不同温室气体排放情景下,极端强温带气旋数目增多,而气旋总数略有减少^[78]。相关研究多集中于北半球以及北大西洋扇区,而东亚区域气旋活动变化的模拟研究偏少。研究表明,在 RCP4.5 浓度路径下,气候系统模拟揭示的 21 世纪东亚温带气旋活动变化与北半球的情况相似,南方气旋和北方气旋的生成、活动频率以及气旋中心气压值将明显下降,对流层中层斜压区将向高层和高纬度扩展,一定程度上抵消了高纬气旋数目的减少^[70]。

4 东亚气旋活动的气候效应

作为影响东亚地区天气气候变化的重要系统之一,东亚气旋的位置、强度、移动方向等特征的演变对降水、风速等区域天气气候产生影响,进而导致极端天气事件的发生^[79]。下面从东亚气旋对降水、大风、气温的气候影响方面做回顾。

4.1 降水

东北冷涡、西南低涡以及江淮气旋是影响我国区域性降水的代表性气旋。东北冷涡初期大多为典型的温带气旋,产生的区域性降水以稳定性或混合性为主,是重要的强降水型。它的出现会诱发中小尺度系统,具有突发性和反复性,因而在形成、发展、持续至消退期均可造成局地暴雨,并常伴随冰雹、雷暴等强对流天气^[80];当其与热带系统相结合时,也会激发极强的暴雨^[81]。东北冷涡频数、强度与东北降水呈正相关,夏季最为显著^[82-83]。除局地效应以外,东北冷涡的频数还与长江流域的降水有显著正相关^[84],其强度也与梅雨期降水^[85]以及前汛期华南降水^[86]呈正相关,强东北冷涡引导北方干冷空气南侵,与低层强盛西南暖湿气流在梅雨区北缘交汇,形成“上干下湿”的不稳定层结,在上升运动的触发下最终导致梅雨量偏多^[85]。

西南低涡是在青藏高原特殊地形与一定环流形势下形成于我国西南地区对流层低层的低涡系统,其生成与发展对我国西南、华东、华北、华南等地区

的降水均有不同程度的影响^[87]。西南低涡中停滞型低涡将使我国西南地区及四川盆地产生阴雨^[88]、暴雨^[89-90]天气,此类低涡引发的降水强度较小、频数较少^[91]。但在有利的环流形势配合下,少数西南低涡能够移出源地,并发展东移,产生的降水强度较大。刘祥^[91]统计显示,影响华南地区的移动型低涡产生的降水强度均在大雨以上,集中表现为暴雨和大暴雨。王作述等^[92]认为从造成暴雨的强度、频数和范围而言,西南低涡是仅次于台风及其残余低气压位居第二的暴雨系统。刘国忠等^[93]指出,在移动中维持和发展的西南低涡才会带来大范围的致洪暴雨,涡旋的维持和发展增大了暴雨的强度及延长了降水的持续时间^[94]。因其发生频数的季节变化,西南低涡暴雨主要集中在夏半年^[95-96]。

江淮气旋产生于长江中下游和淮河流域,是具有明显冷、暖锋结构的低值系统,其降水特征随季节变化,春、夏季常为暴雨,秋季则多为一般性降水。多数的江淮气旋可造成强降水^[97]。据统计,发展型江淮气旋占气旋总数的 30%,其中 70% 的发展型江淮气旋产生了暴雨;暴雨、大暴雨和特大暴雨的最大概率都出现在 7 月^[1],暴雨区一般出现在气旋中心附近或偏于暖区的地方。江淮气旋也是长江流域梅雨天气的型式之一^[98],江淮梅雨量的多寡往往与江淮气旋的活动密切相关^[99-100]。QIN 等^[35]指出春季影响我国江淮地区的多尺度气旋活动强度与我国中东部地区的同期降水存在显著的正相关关系。其中,60% 的极端降水事件是由影响该区域的温带气旋造成,当该区域气旋活动增强时,暴雨等强降水事件出现的概率明显增加。

4.2 大风、沙尘暴

众多研究表明,温带气旋是造成大风尤其是海上大风的主要系统之一,温带气旋引起的大风分布广且不均匀^[101],其范围一般与气旋发生频数的地理分布、移动路径^[102]、锋面位置^[101]、气旋强度^[103]有关,风力一般不及热带气旋,但由于出现频数较多,且具有突发性特点,造成的灾害损失不亚于热带气旋^[102],影响地区主要为沿海地区和北方部分内陆地区。造成我国东部沿海大风的气旋主要有黄河气旋、江淮气旋、东海气旋等,其中江淮气旋最多^[102,104-107]。江淮气旋的统计结果显示,发展型气旋中 77.2% 伴随大风,尤其是 1 月、8 月和 11 月,所有发展型气旋都能产生 8 级以上大风^[1]。气旋造成东部沿海大风主要有两类,一是因气旋自身环流强而造成的沿海大风^[102],但我国大陆与近海的温带气旋一般较弱,其本身强度大而造成的沿海大风

较少;二是气旋系统与附近高压结合产生的大风,此类较多,且具有风力大、范围大、维持时间较长的特点^[102]。强气压梯度和变压梯度是造成地面和海上大风的主要因子^[108]。周淑玲等^[109]针对温带气旋的南向大风研究发现,气压梯度、低空暖平流和低空急流在北方气旋造成的南向大风中起主要作用,地面变压起次要作用;而南方气旋还多了高空暖平流和高空急流的次要作用。温带气旋入海后往往有爆发性发展,导致气压快速降低,进一步造成风暴潮^[110-111]、巨浪^[112]等。

沙尘暴是一种与风力紧密联系的灾害性天气,北方气旋主要以大风天气为主,势必对沙尘暴产生重要影响,其中春季最为显著。姚素香等^[11]指出,春季气旋频数高的时段,我国北方地区春季沙尘暴次数较多。王艳玲^[15]进一步说明,1980—1990年代春季北方气旋活动频数的减少和平均强度的减弱导致了沙尘暴的减少,同时气旋频数的减少使得沙尘暴多发区域降水增多,也在一定程度上减弱了沙尘暴的发生和维持。其中,春季蒙古气旋与中国北方沙尘暴关系最为密切。较多的个例分析和模式模拟等证明,配合前期降水较少、土壤湿度较低的情况,陆地快速发展气旋引发的春季大风极易造成中国北方地区的沙尘暴^[113],沙尘暴发生区域基本与大风区对应,主要分布在蒙古气旋中心附近或气旋外围的偏南象限^[17]。

4.3 气温

气旋活动还与区域温度变化有密切联系。相对于气旋强度,春季北方气旋活动频数与气温的相关性更显著,北方气旋活动强时,我国新疆北部气温明显下降,而甘肃南部、宁夏、陕西大部、内蒙古南部则偏冷^[16]。北方气旋中,尤以东北冷涡对温度的影响明显,据统计,东北夏季70%的低温由冷涡造成^[114],东北冷涡持续性活动是导致东北地区夏季低温的一个关键因子^[82,84],它的“气候效应”会影响东北地区对流层低层的月平均气温^[83]。此外,东北冷涡还可以引导冷空气南下,影响中低纬度地区^[86]。ZHANG等^[115]研究发现,欧亚大陆冬季反气旋(气旋)活动增强(减弱)造成近十多年来极端低温事件的显著增多。

由于极端天气气候事件的发生具有局地性,近期有研究尝试基于客观定义的气旋影响范围分析气旋的出现与其内部极端降水的联系^[116-117],以及锋区与其邻近区域降水的联系^[118]。对于气旋影响范围的识别,还能客观识别多中心的成熟气旋。在多中心气旋出现的情况下,即使中心气压偏弱,仍可能

导致区域性强降水的出现^[66]。不同尺度气旋之间也可能存在相互作用过程^[21],气旋尺度和强度的变化及相互作用会对区域天气产生重要影响。此外,通过捕捉30~50d低频分量上的气旋或反气旋天气系统,将低频环流应用于延伸期(10~30d)天气过程预报^[119]。

5 结语和讨论

通过对近期东亚区域气旋活动及其气候效应的一些研究进展及动态的回顾,从东亚气旋的客观识别方法、活动规律以及气候效应等方面加深了对东亚气旋活动的客观认识。温带气旋由于其自身的复杂结构以及多尺度特点,对其活动的客观研究是当前研究热点之一。为系统评估不同算法对温带气旋的识别与追踪的不确定性,近年来国际上有超过15个研究团体参与了IMILAST计划。东亚地区作为北半球大陆上主要涡源区之一,由于复杂的下垫面构成(地形、海陆分布等),气旋活动有其独特性,不同算法对该区域气旋活动识别的不确定性以及不同尺度气旋的活动规律差异等有待进一步研究。如,由于北方气旋尺度较大、生命周期较长的特点,利用自动判别算法分析其活动的研究较多^[45-46,120],但对尺度较小、移速较快的南方气旋尤其是江淮气旋的自动识别方面涉及较少。如何根据气旋个体的影响尺度,有效划分和判别不同尺度气旋的长期活动规律,通过大样本数据集探讨其形成以及发展机理值得深入研究。同时,通过定量描述不同尺度气旋的强度特征,明确其与对应区域强降水、沿海大风等极端天气气候事件的联系有待进一步开展。

参考文献:

- [1] 江苏省气象局预报课题组. 江苏省重要天气分析和预报手册(上册)[M]. 北京:气象出版社,1988.
- [2] 吴伯雄,刘长盛. 东亚气旋活动的统计研究[J]. 南京大学学报(自然科学版),1958(2):11-21.
- [3] 张颖娟,丁一汇. 北半球温带气旋客观研究方法及其模拟和预估的研究进展[J]. 气象科技进展,2015,5(1):6-17.
- [4] ULBRICH U, LECKEBUSCH G C, PINTO J G, et al. Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009,96(1):117-131.
- [5] WALLACE J M, GUTZLER D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter[J]. Monthly Weather Review, 1981,109(4):784-812.
- [6] BLACKMON M L, LEE Y H, WALLACE J M, et al. Time variation of 500 mb height fluctuations with long intermediate and short time scales as deduced from lag-correlation statistics[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2010,41(6):981-991.

- [7] RICE J. The derivation of computer – based synoptic climatology of southern Hemisphere extratropical cyclones[D]. Melbourne: The University of Melbourne, 1982.
- [8] MURRAY R J, SIMMONDS I H. A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: Development and operation of the scheme[J]. Australian Meteorological Magazine, 1991, 39(3):155 – 166.
- [9] HODGES K I. A general method for tracking analysis and its application to meteorological data[J]. Monthly Weather Review, 1994, 122(11):2573 – 2586.
- [10] SERREZE M C, CARSE F, BARRY R G, et al. Icelandic low cyclone activity: Climatological features, linkages with the NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation[J]. Journal of Climate, 1995, 10(3):453 – 464.
- [11] 姚素香, 张耀存, 周天军. 近 50 a 春季东亚温带气旋活动频数的气候特征及其变化[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(3):317 – 323.
- [12] 王艳玲, 王黎娟. 东亚地区北方气旋和南方气旋活动频数的时空特征[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(6):43 – 48.
- [13] HANLEY J, CABALLERO R. Objective identification and tracking of multicentre cyclones in the ERA – Interim reanalysis dataset [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2012, 138(664):612 – 625.
- [14] 张颖娴, 丁一汇, 李巧萍. ERA40 再分析资料揭示的北半球和东亚地区温带气旋生成频率变化[J]. 气象, 2012, 38(6):646 – 656.
- [15] 王艳玲. 近 50 a 东亚—西太平洋温带气旋活动的气候特征及异常分析[D]. 南京:南京信息工程大学, 2005.
- [16] 王艳玲, 郭品文. 春季北方气旋活动的气候特征及与气温和降水的关系[J]. 大气科学学报, 2005, 28(3):391 – 397.
- [17] 王新敏. 东亚北方温带气旋的变化及其对中国北方沙尘暴的影响研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2007.
- [18] HOSKINS B J, HODGES K I. New perspectives on the northern Hemisphere winter storm tracks[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2002, 59:1041 – 1061.
- [19] NEU U, AKPEROV M G, BELLENBAUM N, et al. IMILAST: A community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2013, 94(4):529 – 547.
- [20] WERNLI H, SCHWIERZ C. Surface cyclones in the ERA – 40 dataset (1958 – 2001). Part I: novel identification method and global climatology [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2006, 63(10):2486 – 2507.
- [21] INATSU M. The neighbor enclosed area tracking algorithm for extratropical wintertime cyclones[J]. Atmospheric Science Letters, 2009, 10(4):267 – 272.
- [22] KOUROUTZOGLOU J, FLOCAS H A, KEAY K, et al. On the vertical structure of Mediterranean explosive cyclones[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2012, 110(1):155 – 176.
- [23] SINCLAIR M R. Objective identification of cyclones and their circulation intensity, and climatology [J]. Weather & Forecasting, 1997, 12(3):595 – 612.
- [24] WANG X L, SWAIL V R, ZWIERS F W. Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA – 40 with NCEP – NCAR reanalysis for 1958 – 2001 [J]. Journal of Climate, 2006, 19(13):3145 – 3166.
- [25] RAIBLE C C, YOSHIMORI M, STOCKER T F, et al. Extreme midlatitude cyclones and their implications for precipitation and wind speed extremes in simulations of the Maunder Minimum versus present day conditions[J]. Climate Dynamics, 2007, 28(4):409 – 423.
- [26] SIMMONDS I. Size changes over the life of sea level cyclones in the NCEP Reanalysis [J]. Monthly Weather Review, 2000, 128(128):4118 – 4125.
- [27] RUDEVA I, GULEV S K. Climatology of cyclone size characteristics and their changes during the cyclone life cycle [J]. Monthly Weather Review, 2007, 135(7):2568 – 2587.
- [28] LU C. A modified algorithm for identifying and tracking extratropical cyclones [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2017, 34(7):909 – 924.
- [29] RUDEVA I, GULEV S K. Composite analysis of North Atlantic extratropical cyclones in NCEP – NCAR reanalysis data [J]. Monthly Weather Review, 2011, 139(5):1419 – 1446.
- [30] CHEN S J, ZHANG P Z. Climatology of deep cyclones over Asia and the Northwest Pacific [J]. Theoretical and Applied Climatology, 1996, 54(3):139 – 146.
- [31] PINTO P, SILVA A. Situação de vento forte no Oeste em 23 de Dezembro de 2009: Report from Instituto Português do Mar e da Atmosfera [R/OL]. 2010, 40 p. http://www.ipma.pt/resources/www/docs_pontuais/ocorrencias2009/RelVentoOeste.pdf.
- [32] IRVING D, SIMMONDS I, KEAY K. Mesoscale cyclone activity over the ice – free Southern Ocean: 1999 – 2008 [J]. Journal of Climate, 2010, 23(23):5404 – 5420.
- [33] HEWSON T D. Diminutive frontal waves—A link between fronts and cyclones [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2009, 66(1):116 – 132.
- [34] HEWSON T D, NEU U. Cyclones, windstorms and the IMILAST project [J]. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 2015, 67(1):27128 – 27161.
- [35] QIN Y, LU C, LI L. Multi – scale cyclone activity in the Jianghuai area during spring and its relationship with rainfall anomalies [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2017, 34(2):246 – 257.
- [36] SIMMONDS I, BURKE C, KEAY K. Arctic climate change as manifest in cyclone behavior [J]. Journal of Climate, 2008, 21(22):5777 – 5796.
- [37] ZISHKA K M, SMITH P J. The climatology of cyclones and anticyclones over North America and surrounding ocean environs for January and July, 1950 – 77 [J]. Monthly Weather Review, 1980, 108(4):387 – 401.
- [38] GYAKUM J R, ANDERSON J R, GRUMN R H, et al. North Pacific cold – season surface cyclone activity: 1975 – 1983 [J]. Monthly Weather Review, 1989, 117(6):1141 – 1155.
- [39] COLUCCI S J. Winter cyclone frequencies over the Eastern United States and adjacent Western Atlantic [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2010, 57(5):548 – 553.
- [40] LÖPTIEN U, ZOLINA O, GULEV S, et al. Cyclone life cycle

- characteristics over the Northern Hemisphere in coupled GCMs [J]. *Climate Dynamics*, 2008, 31(5):507–532.
- [41] SICKMÖLLER M, BLENDER R, FRAEDRICH K. Observed winter cyclone tracks in the northern hemisphere in re-analysed ECMWF data[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2000, 126(563):591–620.
- [42] 赵思雄, 刘苏红. 夏季北京冷涡强对流天气的中尺度分析[M]. 北京:科学出版社, 1980.
- [43] 丁一汇. 高等天气学[M]. 第2版. 北京:气象出版社, 2005.
- [44] 吕梅, 周毅, 陈中一. 北方气旋和南方气旋发展的反演对比分析[J]. *解放军理工大学学报(自然科学版)*, 2000, 1(1):94–100.
- [45] ZHANG Y X, DING Y H, LI Q P. A climatology of extratropical cyclones over East Asia during 1958–2001[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2012, 26(3):261–277.
- [46] WANG X M, ZHAI P M, WANG C C. Variations in extratropical cyclone activity in northern East Asia[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 26(3):471–479.
- [47] 符娇兰, 董林, 康志明. 影响我国北方冬半年气旋的气候特征及年际变率[J]. *大气科学*, 2013, 37(3):679–690.
- [48] CHEN H S, TENG F D, ZHANG W X, et al. Impacts of anomalous mid-latitude cyclone activity over East Asia during summer on the decadal mode of East Asian summer monsoon and its possible mechanism[J]. *Journal of Climate*, 2017, 30(2):739–753.
- [49] CHEN L, TAN B K, KVAMST N G, et al. Wintertime cyclone activity and its relation to precipitation over China[J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters* 2013, 6(5):387–393.
- [50] 魏建苏, 刘佳颖, 孙燕, 等. 江淮气旋的气候特征分析[J]. *气象科学*, 2013, 33(2):196–201.
- [51] MCCABE G J, CLARK M P, SERREZE M C. Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity[J]. *Journal of Climate*, 2001, 14(12):2763–2768.
- [52] INATSU M, TERAOKURA K. Wintertime extratropical cyclone frequency around Japan[J]. *Climate Dynamics*, 2012, 38(11/12):2307–2317.
- [53] YOSHIKI S, KAWAMURA R. Influence of wintertime large-scale circulation on the explosively developing cyclones over the western North Pacific and their downstream effects[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2009, 114(D13):267–275.
- [54] ROEBBER P J. On the statistical analysis of cyclone deepening rates[J]. *Monthly Weather Review*, 1989, 117(10):2293–2298.
- [55] LIM E P, SIMMONDS I. Explosive cyclone development in the Southern Hemisphere and a comparison with Northern Hemisphere events[J]. *Monthly Weather Review*, 2002, 130(9):2188–2209.
- [56] YOSHIDA A, ASUMA Y. Structures and environment of explosively developing extratropical cyclones in the Northwestern Pacific region[J]. *Monthly Weather Review*, 2004, 132(5):1121–1142.
- [57] 张培忠, 陈受钧. 亚洲及西太平洋地区温带气旋气候图集(1958–1989)[M]. 北京:气象出版社, 1992.
- [58] 仪清菊, 丁一汇. 东亚和西太平洋爆发性温带气旋发生的气候学研究[J]. *大气科学*, 1993, 17(3):302–309.
- [59] 马雷鸣, 秦曾灏, 端义宏, 等. 海洋热通量对东海气旋发展影响的数值试验[J]. *海洋学报*, 2002, 24(增刊1):113–123.
- [60] 徐祥德, 丁一汇, 解以扬, 等. 不同垂直加热率对爆发性气旋发展的影响[J]. *气象学报*, 1996, 54(1):73–82.
- [61] 孙淑清, 高守亭. 东亚寒潮活动对下游爆发性气旋生成的影响[J]. *气象学报*, 1993, 51(3):304–314.
- [62] IWAO K, INATSU M, KIMOTO M. Recent changes in explosively developing extratropical cyclones over the winter Northwestern Pacific[J]. *Journal of Climate*, 2012, 25(20):7282–7296.
- [63] 杨引明, 谷文龙, 赵锐磊, 等. 长江下游梅雨期低涡统计分析[J]. *应用气象学报*, 2010, 21(1):11–8.
- [64] JONES S C, HARR P A, ABRAHAM J, et al. The extratropical transition of tropical cyclones: forecast challenges, current understanding, and future directions [J]. *Weather & Forecasting*, 2003, 18(6):1052–1092.
- [65] SATAKE Y, INATSU M, MORI M, et al. Tropical cyclone tracking using a neighbor enclosed area tracking algorithm[J]. *Monthly Weather Review*, 2013, 141(10):3539–3555.
- [66] YAMAMOTO M. Rapid merger and cyclogenesis of twin extratropical cyclones leading to heavy precipitation around Japan on 9–10 October 2001[J]. *Meteorological Applications*, 2012, 19(1):36–53.
- [67] 高守亭, 赵思雄, 周晓平, 等. 次天气尺度及中尺度暴雨系统研究进展[J]. *大气科学*, 2003, 27(4):618–627.
- [68] FU S M, LI W L, LING J. On the evolution of a long-lived mesoscale vortex over the Yangtze River Basin: Geometric features and interactions among systems of different scales[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(23):11889–11947. DOI:10.1002/2015JDD023700.
- [69] ULBRICH U, PINTO J G, KUPFER H, et al. Changing Northern Hemisphere storm tracks in an ensemble of IPCC climate change simulations[J]. *Journal of Climate*, 2008, 21(8):1669–1679.
- [70] 张颖娟. 北半球温带气旋的气候学及其变率研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2012.
- [71] CHANG E K M. The impact of wave packets propagating across Asia on Pacific cyclone development[J]. *Monthly Weather Review*, 2005, 133:1998–2015.
- [72] CARNELL R E, SENIOR C A. Changes in mid-latitude variability due to increasing greenhouse gases and sulphate aerosols[J]. *Climate Dynamics*, 1998, 14:369–383.
- [73] KNIPPETZ P, ULBRICH U, SPETH P. Changing cyclones and surface wind speeds over the North Atlantic and Europe in a transient GHG experiment[J]. *Climate Research*, 2000, 15(2):109–122.
- [74] RAIBLE C C, BLENDER R. Northern Hemisphere midlatitude cyclone variability in GCM simulations with different ocean representations[J]. *Climate Dynamics*, 2004, 22(2/3):239–248.
- [75] BENGTTSSON L, HODGES K I, ROECKNER E. Storm Tracks and Climate Change[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(15):3518–3543.
- [76] PINTO J G, SPANGHEHL T, ULBRICH U, et al. Assessment of winter cyclone activity in a transient ECHAM4–OPYC3 GHG experiment[J]. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, 15(3):279–291.

- [77] WATTERSON I G. The intensity of precipitation during extratropical cyclones in global warming simulations; a link to cyclone intensity [J]. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 2006, 58(1): 82–97.
- [78] LAMBERT S J, FYFE J C. Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments; results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise [J]. *Climate Dynamics*, 2006, 26(7/8): 713–728.
- [79] 钱维宏. 天气尺度瞬变扰动的物理分解原理 [J]. *地球物理学报*, 2012, 55(5): 1439–1448.
- [80] 张立祥, 李泽椿. 东北冷涡研究概述 [J]. *气候与环境研究*, 2009, 14(2): 218–228.
- [81] 王东海, 钟水新, 刘英, 等. 东北暴雨的研究 [J]. *地球科学进展*, 2007, 22(6): 549–560.
- [82] 孙力, 安刚, 廉毅, 等. 夏季东北冷涡持续性活动及其大气环流异常特征的分析 [J]. *气象学报*, 2000, 58(6): 704–714.
- [83] 何金海, 吴志伟, 祁莉, 等. 北半球环状模和东北冷涡与我国东北夏季降水关系分析 [J]. *气象与环境学报*, 2006, 22(1): 1–4.
- [84] 胡开喜, 陆日宇, 王东海. 东北冷涡及其气候影响 [J]. *大气科学*, 2011, 35(1): 179–191.
- [85] 何金海, 吴志伟, 江志红, 等. 东北冷涡的“气候效应”及其对梅雨的影响 [J]. *科学通报*, 2006, 51(23): 2803–2809.
- [86] 苗春生, 吴志伟, 何金海, 等. 近 50 年东北冷涡异常特征及其与前汛期华南降水的关系分析 [J]. *大气科学*, 2006, 30(6): 1249–1256.
- [87] 段炼. 汛期西南低涡移向频数的年际变化与降水 [J]. *气象*, 2006, 32(2): 23–27.
- [88] 陈艳. 西南低涡的气候特征及与降水的关系研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.
- [89] 赵思雄, 傅慎明. 2004 年 9 月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析 [J]. *大气科学*, 2007, 31(6): 1059–1075.
- [90] 顾清源, 周春花, 青泉, 等. 一次西南低涡特大暴雨过程的中尺度特征分析 [J]. *气象*, 2008, 34(4): 39–47.
- [91] 刘祥. 西南低涡的气候特征及其与华南地区强降水的关系 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [92] 王作述, 汪迎辉, 梁益国. 一次西南低涡暴雨的数值试验研究 [M]. *暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究*. 北京: 气象出版社, 1996.
- [93] 刘国忠, 丁治英, 贾显锋, 等. 影响华南地区西南低涡及致洪低涡活动的统计研究 [J]. *气象*, 2007, 33(1): 45–50.
- [94] JIANG Y Q, WANG Y, HUANG H. A study on the dynamic mechanism of the formation of mesoscale vortex in col field [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(6): 1215–1226.
- [95] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [96] 卢敬华. 西南低涡概论 [M]. 北京: 气象出版社, 1986.
- [97] 寿绍文. 天气学分析 [M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [98] 孙一妹. 一次江淮气旋的诊断分析与数值模拟 [C]//第 26 届中国气象学会年会灾害天气事件的预警、预报及防灾减灾分会场论文集. 2009.
- [99] 庞珺. 江淮流域梅雨期持续性降水与 10–30 天低频振荡的关系及其前期信号研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2013.
- [100] 王黎娟, 黄青兰, 李熠, 等. 江淮流域梅雨期降水的空间非均匀分布与前期海温的关系 [J]. *大气科学学报*, 2014, 37(3): 313–322.
- [101] 张崇耀. 北太平洋温带气旋统计分析研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2001.
- [102] 孙庆阶. 影响我国东部沿海的气旋大风 [J]. *气象*, 1991, 17(6): 27–32.
- [103] 孙庆阶. 影响我国东部海域的温带气旋及其大风统计特征 [J]. *海洋预报*, 1992, 9(2): 28–38.
- [104] 史树森. 我国沿海气旋大风天气气候分析 [J]. *气象*, 1987, 13(11): 33–38.
- [105] 龚葵, 范其平. 一种影响浙北沿海的温带气旋大风集成预报方法 [C]//第 27 届中国气象学会年会灾害天气研究与预报分会场论文集. 2010.
- [106] 吴彩霞, 缪燕, 张霞, 等. 南通地区气旋大风特征及预报方法研究 [J]. *南通航运职业技术学院学报*, 2013, 12(3): 13–18.
- [107] 李艳芳, 程胜, 吴彬. 2012 年 4 月 2 日华东灾害性飑线大风成因分析 [J]. *气象与环境科学*, 2014, 37(4): 59–65.
- [108] 朱男男, 刘彬贤. 一次引发黄渤海大风的爆发性气旋过程诊断分析 [J]. *气象与环境学报*, 2015, 31(6): 59–67.
- [109] 周淑玲, 单宝臣, 盛春岩. 山东近海温带气旋强南向大风的特征分析 [J]. *海洋通报*, 2014, 33(2): 132–139.
- [110] 张金善, 李鑫, 章卫胜. 渤海风暴潮引起的流场变异特征研究 [C]//中国海洋湖沼学会水文气象分会、中国海洋湖沼学会潮汐及海平面专业委员会、中国海洋湖沼学会计算海洋物理专业委员会、山东(暨青岛市)海洋湖沼学会 2007 年学术研讨会论文摘要集. 青岛, 2007.
- [111] 侯淑梅, 孙忠欣, 盛春岩. 温带气旋诱发的渤海风暴潮天气分析 [J]. *气象科学*, 2009, 29(2): 220–224.
- [112] 朱业, 翟国庆, 严俊, 等. 影响浙江海域的温带气旋研究 [J]. *海洋预报*, 2014, 31(5): 43–49.
- [113] 赵琳娜, 赵思雄. 引发北方沙尘暴天气快速发展气旋的数值模拟研究 [J]. *气候与环境研究*, 2004, 9(1): 116–126.
- [114] 丁士晟. 东北低温冷害的气候分析 [C]//东北夏季低温长期预报文集. 北京: 气象出版社, 1983.
- [115] ZHANG X D, LU C H, GUAN Z Y. Weakened cyclones, intensified anticyclones and recent extreme cold winter weather events in Eurasia [J]. *Environmental Research Letters*, 2012, 7(4): 044044. DOI:10.1088/1748–9326/7/4/044044.
- [116] HAWCROFT M K, SHAFFREY L C, HODGES K I, et al. How much Northern Hemisphere precipitation is associated with extratropical cyclones [J]. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(24): 24809. DOI:10.1029/2012GL053866.
- [117] PFAHL S, WERNLI H. Quantifying the relevance of cyclones for precipitation extremes [J]. *Journal of Climate*, 2012, 25: 6770–6780.
- [118] CATTO J L, JAKOB C, BERRY G, et al. Relating global precipitation to atmospheric fronts [J]. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(10): L10805.
- [119] 孙国武, 李震坤, 信飞, 等. 延伸期天气过程预报的一种新方法——低频天气图 [J]. *大气科学*, 2013, 37(4): 945–954.
- [120] HU K X, LU R Y, WANG D H. Seasonal climatology of cut-off lows and associated precipitation patterns over Northeast China [J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2010, 106(1/2): 37–48.

Review of Extratropical Cyclone Activities over East Asia and Its Climatic Effects Research Based on Objective Identification

ZHOU Jiewen¹, LU Chuhan¹, SUN Yan²

(1. *College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China*; 2. *Jiangsu Institute of Meteorological Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract: The extratropical cyclone plays an important role in regional weather and climate changes of China. The studies of cyclone activity over East Asia and its climatic effect are helpful to improve our understanding about the mechanism of weather and climate change in East Asia. This paper reviews briefly the advances in recent research on the identification methods, activity characteristics and their associated impacts of extratropical cyclone over East Asia. The main progresses are as follows: (1) The automatic identification methods about extratropical cyclone had been gradually replaced the early manual identifications since the 1990s with computer technique improving. The automatic identification methods showed good performance on synoptic scale cyclone activity, but the improvement of identification and tracking to multi-center or meso-scale cyclones was still a big challenge. (2) The cyclone activities over East Asia showed obvious diversity including the scale, property and paths. Furthermore, the events of merging, splitting and interaction between multi-scales cyclones occurred frequently over East Asia. The property transition of cyclones and multi-scales interactions during the lifecycle had been paid more attention in recent years. (3) The cyclones over East Asian play a substantial role in affecting the regional weathers and climates. The changes of cyclone activities over East Asian not only caused the anomalies of precipitation, temperature, wind and other atmospheric factors, but also accompanied with extreme weather and climate events such as heavy rainfall, strong winds, blizzards, etc. The identification and tracking of cyclone feature areas was helpful to study quantitatively the local associations between the evolution of cyclone and the extreme weather events.

Key words: extratropical cyclone; automatic identification; disastrous weather