

4—9月东北大陆型冷涡消亡方式及其统计特征*

范子琪¹ 朱科锋² 薛明^{1,3}
FAN Ziqi¹ ZHU Kefeng² XUE Ming^{1,3}

1. 南京大学中尺度灾害性天气教育部重点实验室/大气科学学院, 南京, 210023
 2. 南京气象科技创新研究院/中国气象局交通气象重点开放实验室, 南京, 210041
 3. 美国强风暴分析预报中心/俄克拉何马大学气象学院, 诺曼, 73072
1. *Key Laboratory of Mesoscale Severe Weather/Ministry of Education and School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China*
2. *CMA Key Laboratory of Transportation Meteorology, Nanjing Joint Institute for Atmospheric Science, Nanjing 210041, China*
3. *Center for Analysis and Prediction of Storms, School of Meteorology University of Oklahoma, Norman 73072, USA*
- 2022-10-24 收稿, 2023-06-04 改回.

范子琪, 朱科锋, 薛明. 2023. 4—9月东北大陆型冷涡消亡方式及其统计特征. 气象学报, 81(5): 727-740

Fan Ziqi, Zhu Kefeng, Xue Ming. 2023. Decay processes and statistical characteristics of continental Northeast China Cold Vortex from April to September. *Acta Meteorologica Sinica*, 81(5):727-740

Abstract The Northeast China Cold Vortex (NCCV) is a major precipitation-producing weather system in northern China. Based on the ERA-Interim reanalysis data, the NCCV cases from April to September during 2009–2018 are identified and objectively clustered into 5 categories according to the location of the NCCV center. Among them, the northwest type, northeast type and southeast type continental NCCVs, named based on their locations, have significant impacts on northern China. The NCCV decay mainly involves two processes: The erosion of upper level PV (potential vorticity) by diabatic heating and reabsorption of the vortex PV back into the stratospheric reservoir. Statistical characteristics of the three types of continental NCCV that decay in the above two ways respectively are compared and analyzed. It is found that: (1) The decay of the northwest and southeast vortexes is mostly caused by diabatic processes, while the decay of the NCCVs is mostly attributed to reabsorption; (2) the intensity of the reabsorption decay type is generally stronger than that of diabatic decay type, as the north stratospheric reservoir is closer to the former. Besides, the latter is continuously weakened by latent heat release associated with precipitation; (3) the lifetime as well as the fraction of the decay phase for the diabatic decay type are longer than those of reabsorption decay type; (4) the location of the high-level trough relative to the NCCV and precipitation within the NCCV are two main factors that impact the NCCV decay. Strong precipitation near the NCCV center can directly erode the core of the vortex, resulting in diabatic decay. When the NCCV is ahead of or at the bottom of the high-level trough, the NCCV can be easily advected northward, leading to its absorption by the stratospheric reservoir.

Key words Northeast China Cold Vortex, Statistical characteristics, Reabsorption, Diabatic decay, Potential vorticity

摘要 利用ERA-Interim再分析数据, 主观识别了2009—2018年4—9月东北冷涡, 并根据冷涡所在位置将其客观聚类为5类, 其中3类大陆型冷涡主要影响中国东北地区, 称为西北类、东北类和东南类冷涡。东北冷涡的消亡方式主要有2种, 一是系统高层受非绝热加热侵蚀, 二是被平流层高位涡源再吸收。对比分析非绝热消亡和再吸收消亡方式3类大陆型冷涡统计特征的差异及原因。结果表明: (1) 西北类和东南类冷涡以非绝热消亡为主而东北类冷涡以再吸收消亡为主; (2) 再吸收消亡冷涡强度一般

* 资助课题: 国家自然科学基金项目(41730965)、国家重点研发计划重点专项(2018YFC1507303)。

作者简介: 范子琪, 主要从事东北冷涡及其强对流研究。E-mail: zqfan@smail.nju.edu.cn

通信作者: 薛明, 主要从事强对流天气机理和预报研究。E-mail: mxue@ou.edu

强于非绝热消亡冷涡,这主要是由于前者的北侧平流层高位涡源持续向冷涡系统补充高值位涡,而后者强度不断被降水潜热释放削弱;(3)非绝热消亡冷涡持续时间比再吸收消亡冷涡长,且前者消亡阶段时间占生命期的比例更大;(4)降水和高空槽与冷涡的位置关系是影响冷涡消亡的主要因素。在冷涡气旋环流内部接近冷涡中心的较强降水能直接侵蚀高层冷涡内核区,导致其非绝热消亡;冷涡位于高空槽前或槽底有利于冷涡向北平流以被高位涡源再吸收而消亡。

关键词 东北冷涡,统计特征,再吸收消亡,非绝热消亡,位涡

中图法分类号 P468 P434

1 引言

东北冷涡是中国东北地区特有的天气系统,一般持续不少于3 d,是一种深厚的天气尺度冷性涡旋(孙力等,1994;刘英等,2012)。其移动缓慢,具有较强的准静止性(孙力,1997),是造成中国东北地区急剧降温、突发性短时强降水、冰雹、雷雨大风甚至龙卷等灾害天气的主要系统(Zhao, et al, 2007; Zhang, et al, 2008; Hu, et al, 2010; 才奎志等, 2022)。已有统计研究表明:中国东北地区50%以上的雷暴大风天气由东北冷涡引发(杨磊等,2023);53%的暖季降雹是由东北冷涡过程直接导致的(Zhang, et al, 2008)。

东北冷涡一年四季均可发生,但其发生频率具有明显季节特征,夏季发生频率更高,秋末和初冬发生较少(郑秀雅等,1992;闫玉琴等,1995;何金海等,2006)。孙力等(1994)对1956—1990年东北冷涡时、空分布进行统计分析发现,35 a中4—10月中国东北地区37%的时间受东北冷涡控制,特别是夏季(6—8月),可达42%。东北冷涡持续时间也具有一定的季节周期,多数东北冷涡的持续时间小于一周,但夏季和冬季发生的东北冷涡持续时间往往更长(Hu, et al, 2010)。空间分布上,东北冷涡主要分布在东北平原和三江平原(孙力等,1994;王蕾等,2020),其活动区域在夏季存在明显月振荡,5月东北冷涡活动区域偏北,主要集中在45°N以北地区;6月东北冷涡最南可扩展到40°N以南;7—8月,随着东亚高空急流的减弱和北退,东北冷涡的活动区域逐月向北收缩(谢作威等,2012)。

东北冷涡发展阶段产生的短时强降水等灾害天气最多(孙力等,1995;何晗等,2015),以往研究主要关注冷涡发展阶段灾害天气的机理与预报。研究(吴迪等,2010a;迟静等,2021)发现,低空急流与东北冷涡伴随的干侵入对冷涡各类灾害天气的产生起到关键作用。低空急流作为水汽输送带,持

续不断向冷涡系统输送低层暖湿空气,为强对流等提供充足的水汽。同时,低空急流输送的暖湿空气与冷涡西北侧干侵入伴随的中高层干冷空气垂直叠加,增强了局地不稳定性(吴迪等,2010b),配合局地抬升(Xia, et al, 2019)、地形重力波(Su, et al, 2017)、冷池阵风锋(Abulikemu, et al, 2019)等,极易在冷涡发展阶段造成灾害天气。

然而,除东北冷涡发展阶段外,冷涡消亡阶段也常伴随产生各类灾害天气。陈相甫等(2021)对2011—2020年夏季东北冷涡短时强降水的统计结果表明,有超过25%的冷涡短时强降水发生在冷涡消亡阶段。对东北冷涡消亡阶段特征认识不够深入,是导致日常天气预报业务中常出现错报、漏报现象的重要原因(张云等,2008;应爽等,2014)。

冷涡的消亡方式主要分为2种:非绝热消亡和再吸收消亡。前者为冷涡内部降水潜热释放等非绝热过程导致的系统消亡(Gouget, et al, 2000; Portmann, et al, 2018)。具体过程为:中层非绝热加热在垂直方向产生“上负下正”非绝热位涡扰动对,其中正位涡扰动一般产生在对流层中、低层,负位涡扰动位于对流层高层;负位涡扰动在对流层高层侵蚀冷涡对应的高位涡区,导致系统消亡(Uccellini, 1990)。再吸收消亡主要是在平流作用下,冷涡被平流层高位涡源吸收,即其并入高位涡源而导致的消亡(Hoskins, et al, 1985)。此处冷涡消亡方式分类的依据是冷涡消亡中起主导作用的方式,实际上2种消亡方式可能同时存在,只是另一种消亡方式作用相对较小。Portmann等(2021)首次根据2种消亡方式对1979—2018年全球冷涡进行区分,指出再吸收消亡与非绝热消亡的比例约为1:1;再吸收消亡冷涡强度明显大于非绝热消亡冷涡,且再吸收消亡冷涡位置相对非绝热消亡冷涡明显偏北。该工作初步建立了全球冷涡消亡方式与冷涡强度、位置等特征的联系。如前所述,消亡阶段是东北冷涡发展演变过程的重要组成部分,但目前关于东北

冷涡消亡阶段及消亡方式的统计分析较少,加强这方面的研究,将有利于提升对东北冷涡消亡阶段特征、降水分布等的认识,进而提高对东北冷涡背景下的强降水预报准确度。

考虑到东北冷涡在夏季发生频率最高,且包括冰雹在内的冷涡背景下强对流天气在春末、秋初也相对多发(张仙等,2013),本研究以2009—2018年4—9月东北冷涡为研究对象,针对东北冷涡消亡阶段特征及冷涡消亡方式进行统计分析,旨在揭示不同消亡方式东北冷涡强度、位置、持续时间等的差异,并探究该差异的主导环境因素,为东北冷涡消亡阶段的预报提供理论支撑。

2 数据和研究方法

2.1 数据

东北冷涡的主观识别和结构、演变特征统计分析采用ERA-Interim再分析数据(Berrisford, et al, 2011)。该数据的时间分辨率为6 h、水平分辨率为 $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$,已被广泛用于中国区域气候环境特征分析(Song, et al, 2015; Liu, et al, 2018; Xu, et al, 2021)、数值预报模式环境场评估等研究(Chen, et al, 2017; Cai, et al, 2021)。

东北冷涡过程的降水分布研究选用中国气象局国家气象信息中心提供的地面站点与CMORPH卫星(Joyce, et al, 2004)二源融合的格点降水产品(Shen, et al, 2014)。该产品的空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,时间分辨率为逐小时,覆盖(15° — 60° N, 70° — 140° E)区域。相比于未融合的地面站点和CMORPH卫星降水数据,该融合产品具有均方根误差小、系统和随机偏差小的特点(沈艳等,2013)。该产品已被广泛用于中国降水日变化特征分析、高分辨模式降水预报评估等研究(Wu, et al, 2018; Zhu, et al, 2021)。

2.2 东北冷涡的定义

东北冷涡的定义参考郑秀雅等(1992),即在(35° — 60° N, 105° — 145° E)范围(中国东北地区)内,500 hPa高度上至少包含一条闭合等高线,并有冷中心或冷槽相配合的气旋系统为东北冷涡。同时,结合东北冷涡位置及演变过程,对东北冷涡演变过程给出以下定义:500 hPa冷涡中心进入东北地区或冷涡在东北地区内生成的时刻为东北冷涡

过程初始时刻;离开东北地区或处于东北地区内但不包含闭合等高线的时刻为东北冷涡过程消亡时刻;东北冷涡持续时间定义为东北冷涡过程初始时刻至消亡时刻的时段;利用500 hPa闭合低压环流最外围闭合的位势高度等值线的值与冷涡中心最低位势高度的差值代表冷涡强度,定义冷涡强度最强时刻为东北冷涡过程成熟时刻。以成熟时刻为界,规定初始时刻至成熟时刻为冷涡发展阶段,而成熟时刻至消亡时刻为冷涡消亡阶段。本研究在选取东北冷涡个例时,与以往判别方法中对冷涡持续时间的限定稍有不同,文中定义为“至少持续1 d”(而非多数定义的3 d)。这是因为在主观识别过程中,发现东北冷涡的持续时间受数据时、空分辨率和东北地区范围限定的影响较大,大量持续时间短于3 d的东北冷涡过程也能发展得十分旺盛并造成较强的降水。其次,受东北地区空间限定的影响,主观识别所得的冷涡初始时刻可能并不是冷涡真正的初生时刻,为尽可能选取包含整个生消过程的冷涡个例,冷涡成熟时刻晚于初始时刻少于1 d的冷涡过程也不予考虑。综上,选取持续时间大于1 d,冷涡成熟时刻晚于初始时刻至少1 d的201次东北冷涡过程作为研究对象。

2.3 东北冷涡的分类

利用K-means(Lloyd, 1982)客观聚类方法,根据成熟时刻东北冷涡500 hPa中心位置对其聚类。由于K-means方法无法确定最优聚类数,故在文中预先测试将东北冷涡分成3至9类。进一步参考Fang等(2021)的研究,计算轮廓系数(Rousseeuw, 1987),该系数通过向量间距离,结合类别内聚合性和类别间差异,判断聚类效果的好坏;系数值的变化为 $[-1, 1]$,系数值越接近1聚类效果越好。计算了3—9类轮廓系数值,发现分为5类时轮廓系数值最大,因此确定最优聚类为5类。

图1给出了成熟时刻东北冷涡中心的空间分布,大部分冷涡中心位于 45° N以北,小部分可达 45° N以南,与已有研究结果(孙力等,1994;谢作威等,2012)基本一致。前3类东北冷涡成熟时刻主要分布在亚欧大陆上,占57.2%,称为大陆型冷涡,第4—5类东北冷涡主要位于亚欧大陆东侧的海上,称为海洋型冷涡。第1—2类冷涡位置相对偏北,其中第1类冷涡主要位于大兴安岭以西,以下

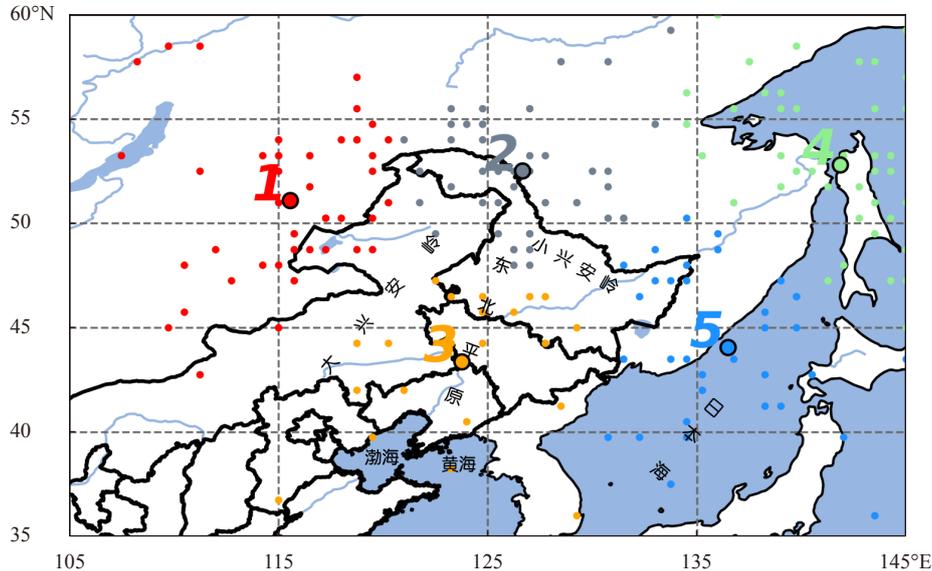


图1 2009—2018年4—9月500 hPa东北冷涡中心成熟时刻空间分布(不同颜色数字和圆点代表K-means客观聚类后的冷涡类别,其中较大黑边彩色点代表各类平均冷涡中心位置)

Fig. 1 Spatial distribution of the NCCV center at its mature phase from April to September during 2009–2018 (colored dots and numbers represent different kinds of the NCCV objective clusters, large colored dots with black edge represent mean locations of the objective clusters)

称为西北类冷涡,第2类冷涡位于大兴安岭以北至小兴安岭北侧区域,在大陆型东北冷涡中,该类冷涡平均位置最偏北,以下称为东北类冷涡;第3类冷涡位置偏南,位于东北平原南部及黄、渤海区域,以下称为东南类冷涡。第4和第5类海洋型冷涡位于日本海以北。东北冷涡成熟时刻降水主要分布在冷涡的东至东南侧,相比大陆型冷涡,海洋型冷涡东至东南侧的降水对中国东北地区影响较小。此外,海洋型冷涡下垫面与大陆型冷涡存在明显差异,冷涡的演变发展过程可能也存在较大差异。基于上述原因,文中的分析暂不考虑后2类冷涡,重点分析前3类对中国东北地区有重要影响的大陆型东北冷涡。

3 东北冷涡消亡阶段统计特征

不同类别东北冷涡的统计特征,如持续时间、强度、移动路径等存在明显差异。图2给出3类大陆型冷涡持续时间和强度的频率与频次分布,此处某一时长或强度区间的频率为该区间内的某类大陆型冷涡样本数与该类冷涡总数的比。可以看到,冷涡持续时间以2—5 d为主;3类冷涡强度频率分布都呈双峰型,峰值分别为60—90 gpm和120—

150 gpm。其中,西北类冷涡持续时间较长,超过4 d的冷涡频率最大,且超过7 d的多数为西北类冷涡。相比而言,东北类冷涡的持续时间略短于西北类冷涡,60%以上的东北类冷涡持续时间短于4 d,但东北类冷涡在3类冷涡中强冷涡占比最大,其中有15%左右超过210 gpm。东南类冷涡则是3类冷涡中强度最弱的冷涡,绝大多数东南类冷涡强度低于180 gpm,但其持续时间略长于东北类冷涡,80%以上的东南类冷涡持续时间长于3 d。总体而言,3类冷涡中西北类冷涡持续时间较长,而东北类冷涡的强度最强。

图3给出了3类冷涡的路径分布。西北类冷涡的路径主要为西北—东南向,大部分西北类冷涡初始和成熟时刻所在位置距离较近,这可能是部分西北类冷涡在冷涡中心移入中国东北地区前已经得到一定发展,故进入后迅速达到成熟阶段。成熟后,西北类冷涡继续向东南移动较远距离,其消亡阶段路径远长于发展阶段(图3a)。东北类冷涡的路径以自西向东为主,在小兴安岭附近成熟后,继续东移消亡,在3类冷涡中东北类冷涡的消亡位置最偏北(图3b),其中大部分东北类冷涡在成熟后就迅速消亡。东南类冷涡的路径走向与西北类冷

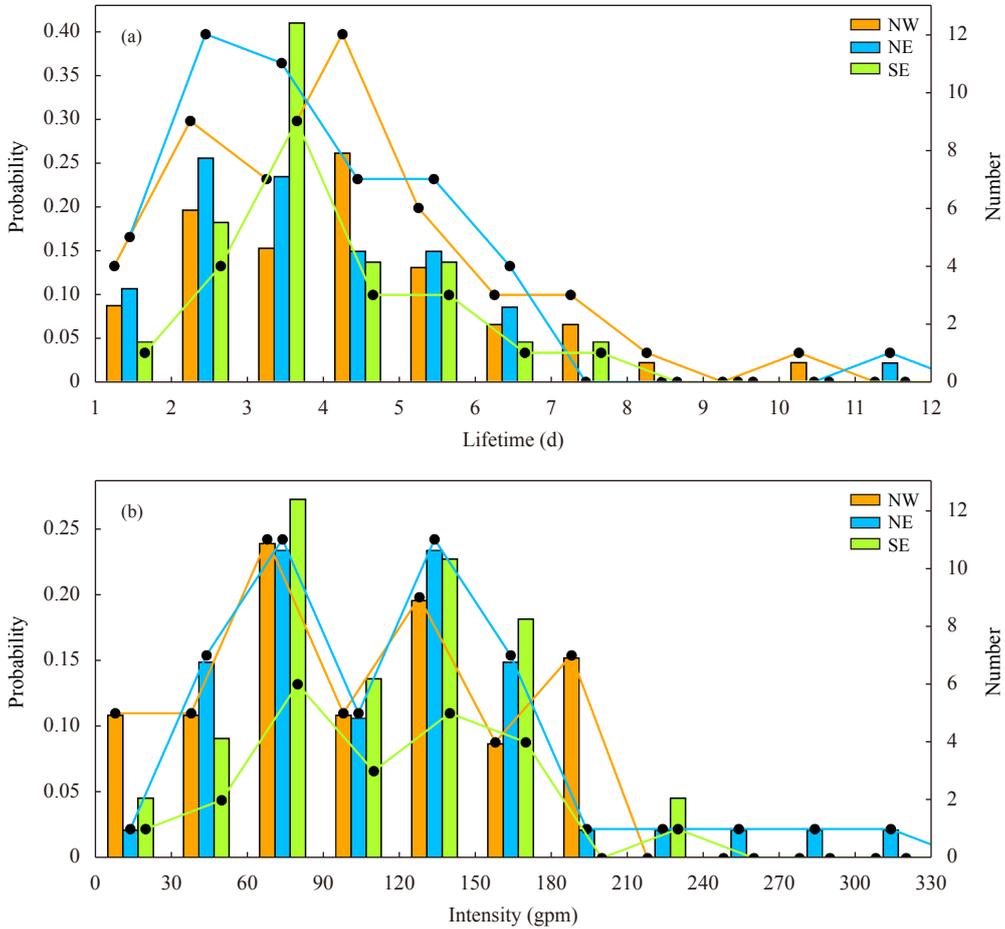


图2 大陆型冷涡 (a) 持续时间和 (b) 强度频率 (柱状) 与频次 (折线) 分布
 Fig. 2 Probability (bars) and number (lines) of (a) lifetime and (b) intensity of continental NCCVs

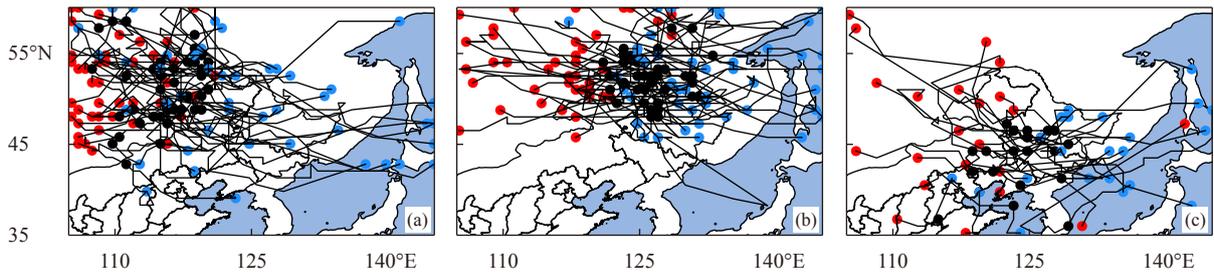


图3 2009—2018年4—9月大陆型冷涡路径分布 (a. 西北类, b. 东北类, c. 东南类; 黑线代表冷涡过程路径, 红、黑和蓝点分别代表初始、成熟和消亡时刻冷涡中心位置)

Fig. 3 Tracks of continental NCCVs (a. northwest vortex, b. northeast vortex, c. southeast vortex; black lines represent the tracks of the NCCVs; red, black and blue dots represent center locations of the NCCVs at their initial, mature, and decay phases, respectively)

涡类似, 以西北—东南走向为主(图3c), 其生成位置相对偏南, 多数东南类冷涡于50°N以南生成, 且其中部分冷涡的路径表现为成熟后继续向北移动。由此可见, 持续时间最长的西北类冷涡在消亡阶段对应的路径相对较长, 而持续时间较短的东北

类和部分东南类冷涡在消亡阶段对应的路径则相对较短。

图4是3类冷涡消亡阶段时长占该类冷涡总持续时间比例(Fraction of Decay Phase, FDP)的频率与频次分布。3类冷涡FDP在50%—60%的频率

和频次均为最大,即冷涡消亡阶段时长略长于发展阶段。值得注意的是,虽然3类冷涡在FDP峰值(50%—60%)的发生频次相当,但频率有所差异,其中西北类冷涡和东北类冷涡在该区间的频率为0.3左右,而东南类冷涡则高达0.55,即一半以上的东南类冷涡的消亡阶段时长略长于发展阶段。另外,西北类冷涡在FDP>70%时频率和频次存在次峰值,而东北类冷涡在FDP<40%存在次峰值。总体而言,3类冷涡消亡阶段持续时间占比有明显差异,西北类和东南类冷涡主要表现为消亡阶段持续时间(FDP>50%)长于发展阶段,部分东北类冷涡消亡阶段持续时间(FDP<50%)短于发展阶段。该差异说明冷涡消亡阶段对冷涡总持续时间的贡献不同,在一定程度上表明不同类别冷涡的主导消亡过程效率可能存在差异。

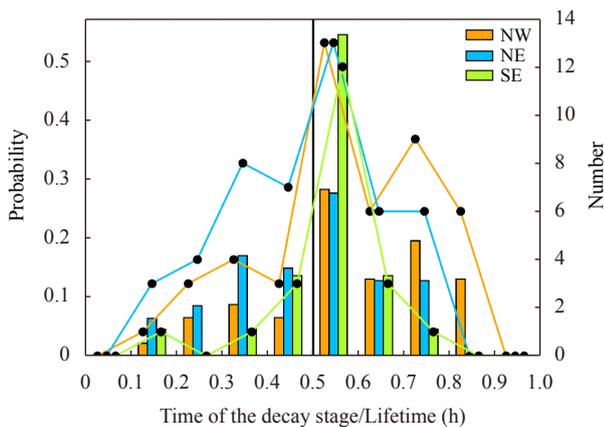


图4 大陆型冷涡消亡阶段持续时间与总持续时间之比的频率(柱状)与频次(折线)分布

Fig. 4 Probability (bars) and number (lines) of the continental NCCV decay phase

4 两种消亡方式下冷涡特征及主要影响因子

4.1 两种消亡方式下冷涡特征

现有研究 (Portmann, et al, 2018; Rossa, et al, 2000) 多从位涡角度描述冷涡的演变过程, 主要因为位涡与绝对涡度和垂直位温梯度的乘积成正比, 具有同时表现热力和动力特征的优势。位涡在绝热无摩擦条件下具有守恒性, 在等熵面上冷涡系统更容易被识别和追踪, 降水潜热释放产生的位涡扰动及其影响也更易被追踪分析 (Hoskins, et al, 1985)。文中使用位涡来判定东北冷涡的消亡方式, 并利用

该变量对冷涡结构、消亡特征进行分析。

Portmann 等 (2021) 对不同消亡方式全球冷涡的统计特征进行对比分析, 依据质点向前轨迹追踪结果对消亡方式进行判别: 若冷涡系统内空气质点在消亡过程中 50% 以上进入与平流层相连的高位涡源 (大于 2 PVU 的高位涡区域), 该类型属于再吸收消亡, 否则为非绝热消亡。参考上述判别方式, 本研究以 250 hPa 位涡为基准, 若消亡时刻东北冷涡对应高位涡区与北侧平流层高位涡源相连并与其合并则认定该冷涡的消亡方式为再吸收消亡, 否则为非绝热消亡。

如图 5 所示, 西北类和东南类冷涡均以非绝热消亡为主, 其中 77.3% 的东南类冷涡受降水潜热释放等非绝热过程作用直接消亡。西北类和东南类冷涡的主要移动路径为西北—东南向 (图 3), 低层东南部有来源于黄、渤海及日本海的暖湿空气, 较好的水汽条件有利于降水产生。该现象与李永生等 (2016) 的研究结果基本一致。然而, 东北类冷涡距离海岸线较远, 其水汽条件相对较差, 移动路径常偏东、偏北, 消亡方式以再吸收消亡为主 (占 63%)。

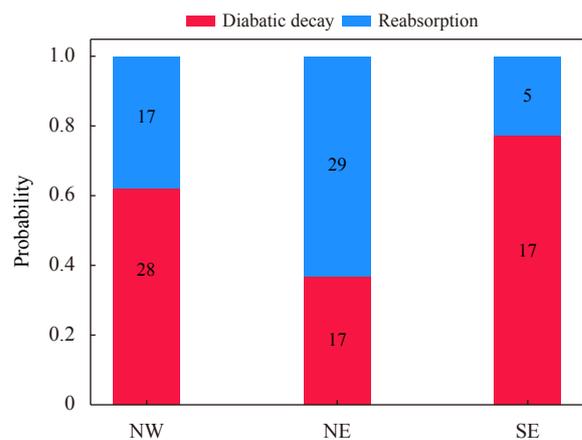


图5 大陆型冷涡消亡方式频率分布(数字代表样本数)

Fig. 5 Probability of the ways of decay for continental NCCVs (the number of NCCV cases is shown on the bar)

图 6 为两种消亡方式冷涡强度、位置与持续时间的统计结果。在强度上 (图 6a), 再吸收消亡冷涡整体强于非绝热消亡冷涡。再吸收消亡冷涡强度中位数约为 125 gpm, 而非绝热消亡冷涡强度中位数则小于 100 gpm。在位置方面 (图 6b), 再吸收消亡冷涡消亡时刻所处纬度高于非绝热消亡冷涡。

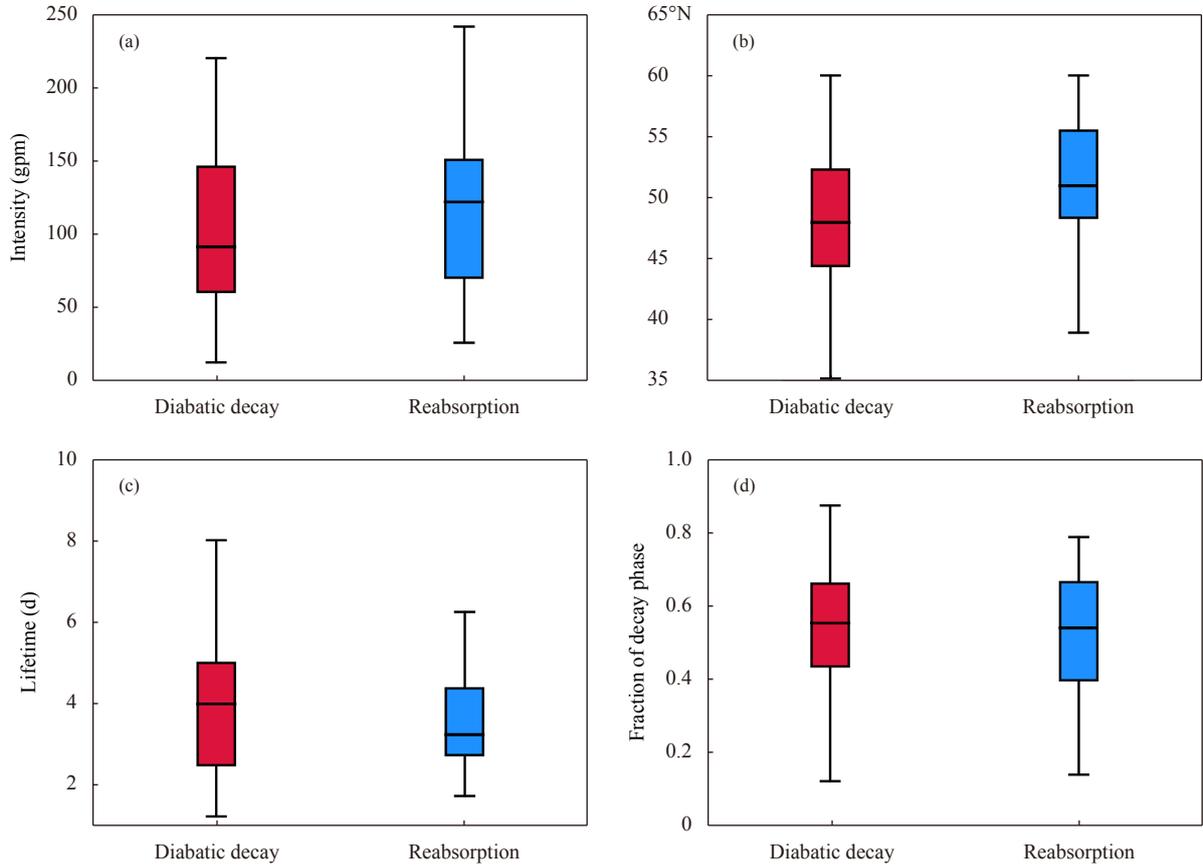


图 6 不同消亡方式下大陆型冷涡平均 (a) 强度、(b) 消亡时刻纬度分布、(c) 冷涡持续时间及 (d) 消亡阶段持续时间占比 (FDP) (箱线的上、下限分别代表 75 百分位和 25 百分位, 箱内黑线代表中位数, 箱上、下黑线分别代表最大值和最小值)

Fig. 6 Box-and-whiskers plots of the continental NCCV mean intensity (a), latitude at decay phase (b), lifetime (c), and FDP (d) under two decay scenarios (shaded boxes span over the 25th and 75th percentiles, and whiskers extend downward to the minimum and upward to the maximum of the data, median values are marked by black lines in the boxes)

冷涡位置对应关系可以部分解释冷涡消亡方式的差异, 冷涡系统位置偏北在一定程度上使其更加接近北侧平流层高位涡源, 更易被高位涡源吸收, 故再吸收消亡冷涡在消亡阶段尤其最终消亡时刻可能更偏北。以上发现与 Portmann 等(2021)的研究结果一致。在持续时间上(图 6c), 非绝热消亡冷涡明显长于再吸收消亡冷涡, 且在消亡阶段时间占比略大于再吸收消亡冷涡(图 6d), 说明非绝热消亡过程的速率慢于再吸收消亡。

进一步分析不同消亡方式 3 类大陆型冷涡的强度、位置和持续时间差异。非绝热消亡的冷涡强度差异较小, 3 类冷涡强度中位数基本一致(图 7a); 再吸收消亡的冷涡强度有明显差异(图 7b), 其中东南类冷涡的强度分布最集中且中位数最大, 东北类和西北类冷涡强度中位数差异不大, 但东北类冷涡

的 75 百分位数及最大值更大, 说明再吸收消亡东北类冷涡中可能包含更多超强冷涡。

在冷涡位置上(图 7c、d), 两种消亡方式西北类冷涡的纬度变化区间差异不大, 再吸收消亡冷涡中位数和 75 百分位数略大于非绝热消亡冷涡。与之不同, 再吸收消亡的东北类和东南类冷涡纬度变化区间整体大于非绝热消亡冷涡。冷涡成熟时, 西北类和东北类冷涡中心位置都偏北(图 1); 但西北类冷涡路径主要为西北—东南向(图 3a), 而东北类冷涡路径主要为自西向东(图 3b), 消亡时刻东北类冷涡中心相较西北类冷涡更加偏北(图 7c、d), 更利于被北侧高位涡源再吸收; 同时, 如图 5 所示, 东北类冷涡以再吸收消亡为主, 而西北类冷涡以非绝热消亡为主, 再次证明在消亡阶段位置相对偏北的冷涡更易被高位涡源再吸收从而消亡。

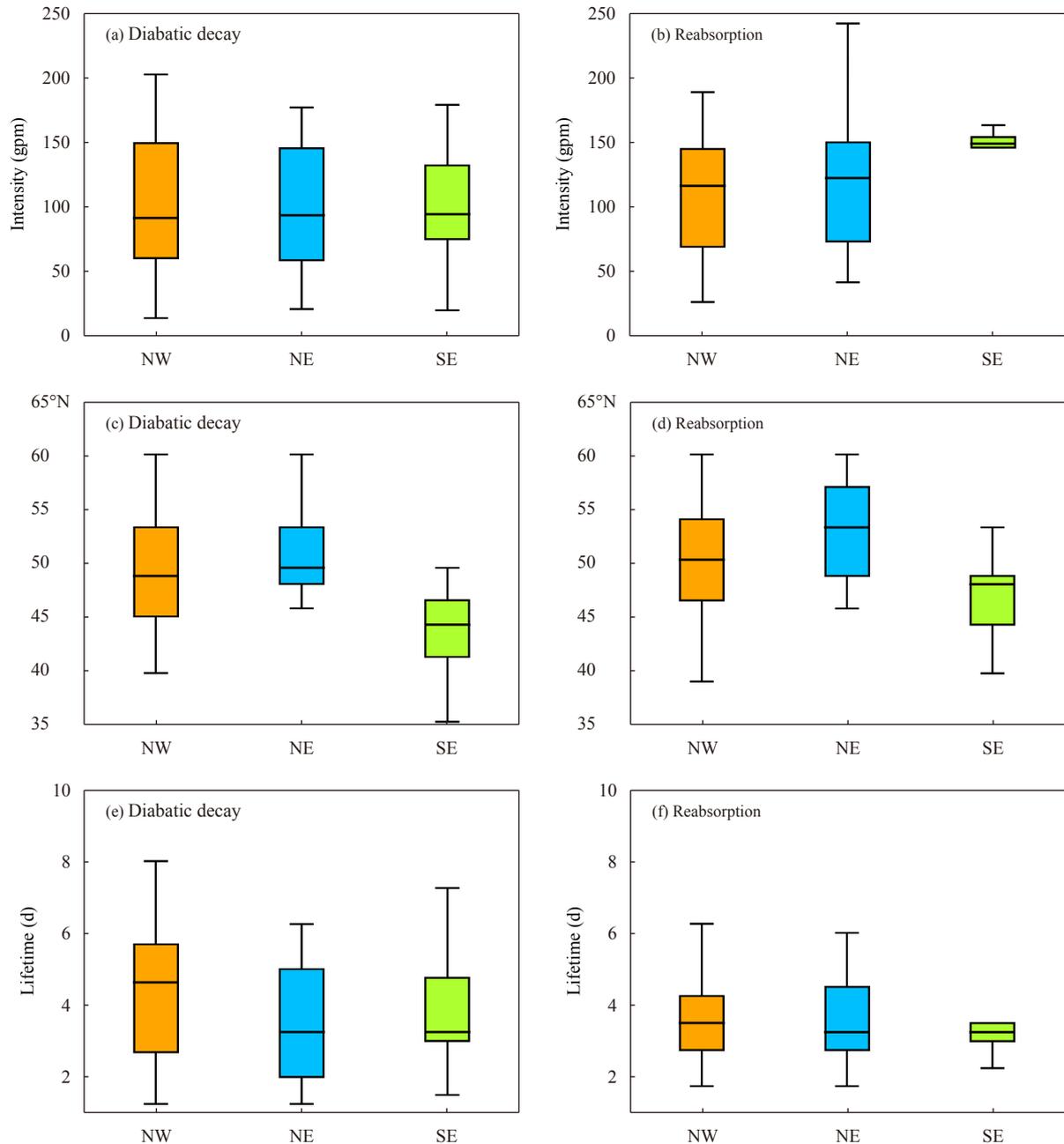


图7 两种消亡方式大陆型冷涡 (a、b) 强度和 (c、d) 消亡时刻纬度分布及 (e、f) 冷涡持续时间的对比 (箱线的上、下限分别代表 75 百分位和 25 百分位, 箱内黑线代表中位数, 箱上、下黑线分别代表最大值和最小值)

Fig. 7 Box-and-whiskers plots of the continental NCCV mean (a, b) intensity, (c, d) latitude at decay phase and (e, f) lifetime under two decay scenarios (shaded boxes span over the 25th and 75th percentiles, and whiskers extend downward to the minimum and upward to the maximum of the data, median values are marked by black lines in the boxes)

在持续时间上(图 7e、f), 西北类和东南类冷涡均表现为非绝热消亡持续时间明显长于再吸收消亡。但东北类冷涡的两种消亡方式持续时间差异较小, 其中非绝热消亡持续时间的 75 百分位数大于再吸收消亡, 即非绝热消亡类型中包含更多长持

续冷涡, 与图 3、4 具有一致性。结合图 6d 可以推测, 东北冷涡的持续时间长短与冷涡消亡方式有一定的对应关系。相较于平流过程导致的冷涡被北侧高位涡源再吸收从而消亡, 降水等非绝热过程产生的中高层负位涡扰动需经平流和湍流混合等

过程才能逐渐导致冷涡系统消亡(Shapiro, 1978; Price, et al, 1993; Wirth, 1995), 即, 非绝热加热侵蚀高层位涡是渐进的过程, 消亡速度较慢。所以, 再吸收过程能导致冷涡系统较快消亡, 故冷涡持续时间较短; 而非绝热过程导致冷涡系统缓慢消亡而表现为持续时间较长。

图 8 利用 200—300 hPa 平均位涡解释两种消亡方式下冷涡强度差异产生的原因。为了消除季节差异导致的位涡趋势波动影响, 图中的位涡为扣除东北地区气候月平均后的距平。以强度差异最大的东南类冷涡为例, 整体上, 非绝热消亡冷涡高

层位涡强度始终弱于再吸收消亡(图 7a、b)。由于对流层高层位涡场在一定程度上反映冷涡系统强度(Hoskins, et al, 1985), 从位涡角度来看, 该强度对应关系可能和再吸收消亡冷涡与平流层高位涡源相距较近有关。非绝热消亡情况下, 北侧平流层高位涡源(图 8a 中 50°N 以北等值线和灰阶)与东南涡分离, 高位涡很难补充到冷涡系统中, 冷涡强度相对较弱。再吸收消亡情况下, 北侧平流层高位涡源南伸明显(见图 8b 中 50°N 以北等值线和灰阶), 能持续向冷涡系统补充高位涡, 从而使该类消亡方式下的冷涡位涡强度较强。

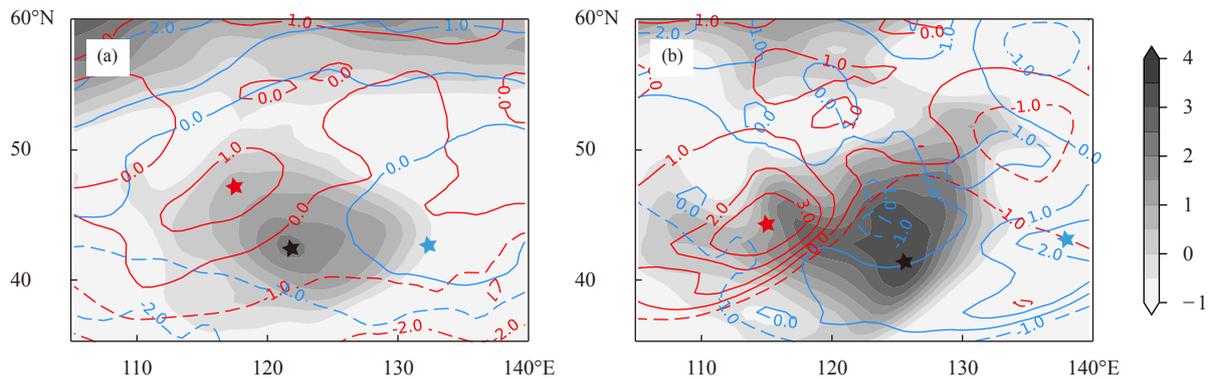


图 8 东南类冷涡 300—200 hPa 平均位涡距平水平分布 (a. 非绝热消亡, b. 再吸收消亡; 红色等值线、灰阶和蓝色等值线分别代表初始、成熟和消亡时刻位涡分布, 单位: PVU; 星形代表冷涡位置)

Fig. 8 Horizontal distributions of mean potential vorticity anomalies of southeast vortex between 200—300 hPa (a. diabatic decay, b. reabsorption; the red, gray and blue contours represent potential vorticity (unit: PVU) distribution at the initial, mature and decay phase, respectively; the stars represent the locations of the NCCVs)

4.2 两种消亡方式冷涡降水分布及高空环流特征

降水潜热释放和高层向北平流是促进冷涡减弱并使其消亡的主要过程。图 9 为两种消亡方式冷涡成熟阶段日降水量平均分布。可见, 非绝热消亡冷涡系统内部包含较强降水, 再吸收消亡冷涡内几乎无明显降水。

非绝热消亡的西北类(图 9a)和东北类(图 9c)冷涡降水主要位于冷涡中心和其东南侧, 表现为典型的锋面逗点状降水结构; 东南类冷涡(图 9e)降水主要位于冷涡中心附近, 且主要降水带和东北平原东侧长白山脉基本平行。对比两种消亡方式下冷涡对应的 850 hPa 低层环流可以发现, 非绝热消亡冷涡系统环流相对较弱, 降水主要分布在冷涡系统

中心附近, 降水中层加热造成的高层负位涡扰动直接侵蚀冷涡中心, 导致冷涡强度减弱和消亡。然而, 再吸收消亡冷涡对应的低层气旋式环流更强(图 9b、d、f), 有利于将西北侧干冷空气输送到冷涡系统东南侧, 使得冷锋雨带位置较非绝热消亡冷涡更远离系统中心。由于再吸收消亡冷涡降水主要在冷涡气旋环流外围形成(如图 9f), 其非绝热加热产生的高层负位涡扰动在下游脊的影响下继续向下游(东北方向)平流, 无法直接侵蚀冷涡内核的高位涡区, 即降水等非绝热过程很难对冷涡造成直接影响。

分析表明 250 hPa 能较好反映冷涡系统与北侧平流层高位涡源的位置关系, 文中以 250 hPa 为例探究两种消亡方式冷涡系统附近高层环流特征。

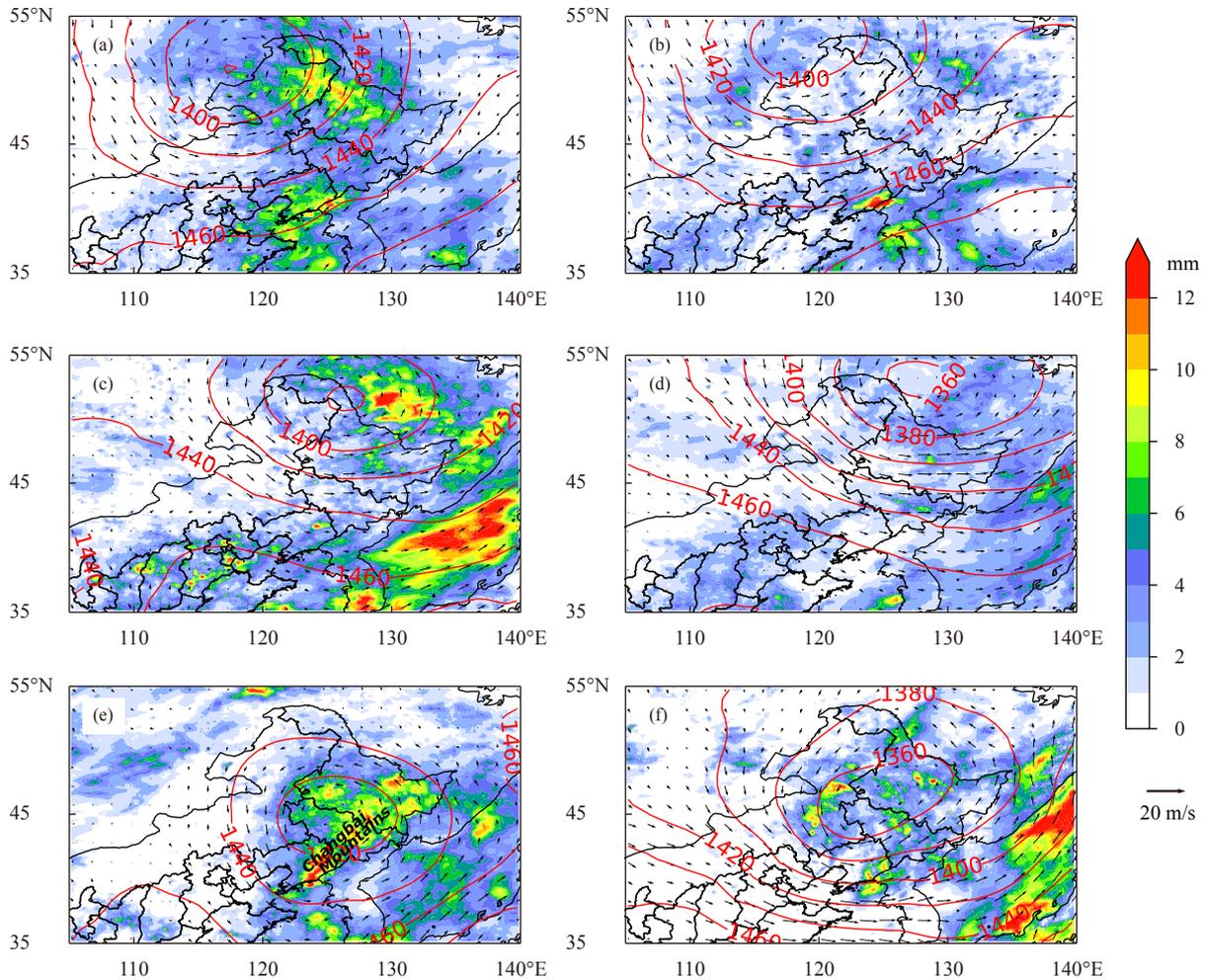


图9 两种消亡方式大陆型冷涡成熟阶段日累计降水量 (a, b. 西北类冷涡, c, d. 东北类冷涡, e, f. 东南类冷涡; a, c, e. 非绝热消亡冷涡, b, d, f. 再吸收消亡冷涡; 红色等值线为冷涡成熟时刻 850 hPa 位势高度, 单位: gpm; 色阶为日累计降水量; 箭头为冷涡成熟时刻 850 hPa 风场)

Fig. 9 Composite daily accumulated precipitation at mature phase of continental vortex under the two decay scenarios (a, b. northwest vortex, c, d. northeast vortex, e, f. southeast vortex; a, c, e. diabatic decay NCCVs, b, d, f. reabsorption decay NCCVs; red contours represent geopotential height at 850 hPa, unit: gpm; shadings represents daily accumulated precipitation; and arrows represent horizontal wind at 850 hPa at the mature phase)

如图 10 所示, 再吸收消亡冷涡对应的高空槽明显强于非绝热消亡冷涡, 且高位涡区也主要位于高层槽底或槽前, 槽前南风强于非绝热消亡冷涡。

再吸收消亡的西北类与东南类冷涡 (图 10b、f) 在消亡时刻位于高空低槽底部或槽前, 槽前强平流将冷涡对应高值位涡迅速向北输送, 使其被平流层高位涡源吸收; 相比之下, 非绝热消亡的西北类和东南类冷涡 (图 10a、e) 在消亡时刻高层位涡强度则很弱, 且环境风场表现为弱西北风或较弱低槽, 不利于系统被再吸收。东北类冷涡 (图 10c、d) 两种消亡方式对应的高空环流特征差异较小, 但纬度差

异明显, 非绝热消亡型 (图 10c) 所处位置相对偏南, 很难被北侧高位涡源吸收。可见, 冷涡系统与高空槽的相对位置一定程度上影响东北冷涡系统被再吸收消亡的可能性, 若冷涡位于高层槽前或槽底, 则更易被北侧平流层高位涡源吸收消亡。如前所述, 由于再吸收消亡冷涡系统距离平流层高位涡源更近, 能持续从高位涡源获得高值位涡以维持强度, 而更强的冷涡系统本身也能促进冷涡被再吸收。这是因为冷涡强度越强, 伴随的气旋式环流越强, 有利于冷涡对应的高值位涡核向北平流。同理, 非绝热消亡的冷涡, 其受到平流层高位涡源的

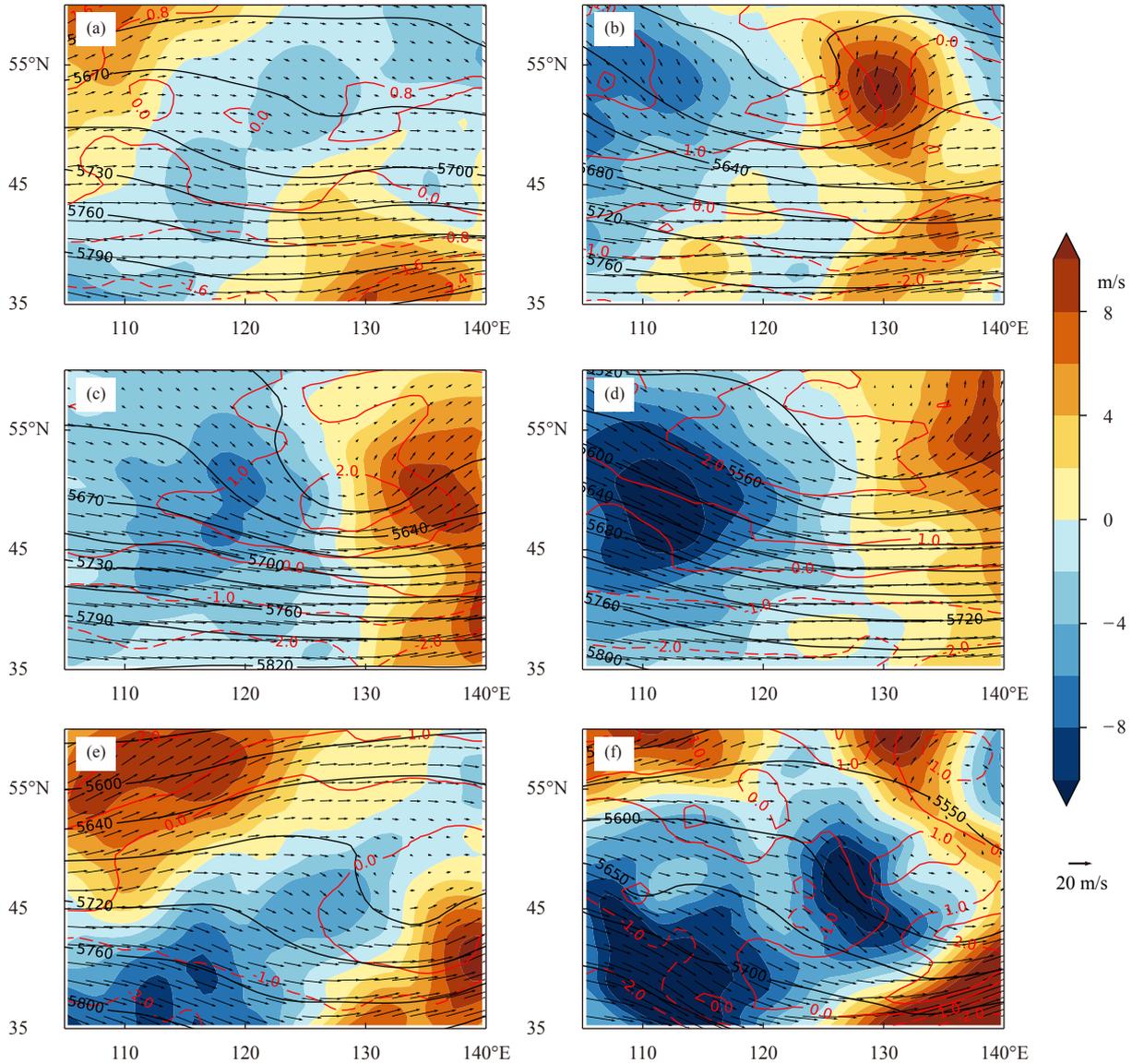


图 10 两种消亡方式大陆型冷涡消亡时刻 250 hPa 形势场 (a, b. 西北类冷涡, c, d. 东北类冷涡, e, f. 东南类冷涡; a, c, e. 非绝热消亡冷涡, b, d, f. 再吸收消亡冷涡; 黑色等值线为 250 hPa 位势高度, 单位: gpm; 红色等值线为消亡时刻 300—200 hPa 平均位涡距平分布, 单位: PVU; 色阶为 250 hPa 经向风风速, 箭头代表 250 hPa 水平风场)

Fig. 10 Continental vortex composite environmental conditions at decay phase under the two decay scenarios (a, b. northwest vortex, c, d. northeast vortex, e, f. southeast vortex; a, c, e. diabatic decay, b, d, f. reabsorption decay; geopotential height at 250 hPa, black contours, unit: gpm; v -component wind velocity at 250 hPa, shaded, horizontal wind at 250 hPa, vectors; and potential vorticity anomaly between 200—300 hPa, red contours, unit: PVU)

位涡补充较少, 冷涡整体强度较弱, 很难促进向北平流, 再加上距离高位涡源相对较远, 较难被再吸收导致消亡。

5 结论

对暖季东北冷涡的时、空分布进行了气候统计, 并研究了时、空统计特征与冷涡消亡方式的关系。利用 ERA-Interim 再分析数据, 主观识别

2009—2018 年 4—9 月东北冷涡, 根据冷涡所在位置将其客观聚类为 5 类并集中研究其中 3 类大陆型冷涡。针对冷涡 2 种主要消亡方式即非绝热和再吸收消亡, 统计分析了东北冷涡的演变特征及其与消亡方式的对应关系, 并初步探讨了影响东北冷涡消亡方式的主要因素。得到如下结论:

(1) 利用 K-means 客观聚类方法, 将影响中国东北地区的大陆型冷涡分为西北类、东北类、东南

类。西北类冷涡位于大兴安岭以西,持续时间较长且消亡阶段占总持续时间比例较大;东北类冷涡位于大兴安岭以北至小兴安岭北侧区域,冷涡强度最强;东南类冷涡位于东北平原南部及黄、渤海区域,持续时间最短且冷涡强度最弱。

(2)根据 250 hPa 位涡分布特征将东北冷涡按照消亡方式分为非绝热消亡和再吸收消亡。西北类和东南类冷涡由非绝热消亡主导,东北类冷涡由再吸收消亡主导,其中 62.2% 的西北类冷涡和 77.3% 的东南类冷涡为非绝热消亡,63% 的东北类冷涡为再吸收消亡。

(3)冷涡消亡方式在一定程度上决定了东北冷涡强度和持续时间。在冷涡强度方面,再吸收消亡冷涡距离北侧平流层高位涡源更近,有利于高位涡源持续向东北冷涡输送高值位涡,冷涡强度更强;非绝热消亡冷涡与高位涡源切断联系,并受潜热释放产生高层负位涡侵蚀,强度较弱。在持续时间方面,两种消亡方式东北冷涡持续时间差异主要体现在冷涡消亡阶段非绝热消亡过程慢于再吸收消亡过程,持续时间较长。

(4)降水和高空槽与冷涡的位置关系是影响东北冷涡消亡过程的两个因素。若降水区域与冷涡中心距离相对较近,产生的高层负位涡扰动直接侵蚀冷涡内核区域,促进冷涡非绝热消亡。若冷涡系统强度较强,西部的环流将强干冷空气向东南侧平流,导致降水系统远离冷涡中心区域,产生的负位涡扰动无法影响冷涡内核而主要向下游平流。在对流层高层,若冷涡系统位于高层槽前或槽底,冷涡系统更易向北平流,被平流层高位涡源再吸收进而消亡。同时,较强的东北冷涡对应更强的气旋式环流,在一定程度上也促进其向北平流,更有利于冷涡被再吸收消亡。

参考文献

才奎志,姚秀萍,孙晓巍等. 2022. 冷涡背景下辽宁龙卷气候特征和环境条件. *气象学报*, 80(1): 82-92. Cai K Z, Yao X P, Sun X W, et al. 2022. Climatic characteristics and environmental conditions of tornadoes in Liaoning under the background of cold vortex. *Acta Meteor Sinica*, 80(1): 82-92 (in Chinese)

陈相甫,赵宇. 2021. 冷涡背景下东北地区短时强降水统计特征. *高原气象*, 40(3): 510-524. Chen X F, Zhao Y. 2021. Statistical analysis on hourly heavy rainfall in northeast China induced by cold vortices. *Plateau*

Meteor, 40(3): 510-524 (in Chinese)

迟静,周玉淑,冉令坤等. 2021. 吉林一次极端降水发生发展动力过程的数值模拟分析. *大气科学*, 45(6): 1400-1414. Chi J, Zhou Y S, Ran L K, et al. 2021. Numerical simulation analysis on the generation and evolution of the dynamic and thermodynamic processes of an extreme rainfall in Jilin province. *Chinese J Atmos Sci*, 45(6): 1400-1414 (in Chinese)

何金海,吴志伟,江志红等. 2006. 东北冷涡的“气候效应”及其对梅雨的影响. *科学通报*, 51(23): 2803-2809. He J H, Wu Z W, Jiang Z H, et al. 2007. "Climate effect" of the northeast cold vortex and its influences on Meiyu. *Chinese Sci Bull*, 52(5): 671-679.

何晗,湛芸,肖天贵等. 2015. 冷涡背景下短时强降水的统计分析. *气象*, 41(12): 1466-1476. He H, Chen Y, Xiao T G, et al. 2015. Statistical analysis of severe short-time precipitation under cold vortex background. *Meteor Mon*, 41(12): 1466-1476 (in Chinese)

李永生,刘伯奇,王莹等. 2016. 非绝热加热对 6 月东北冷涡形成演变的影响及其可能机制. *气象与环境学报*, 32(6): 19-26. Li Y S, Liu B Q, Wang Y, et al. 2016. Effect and possible mechanism of diabatic heating on evolution of cold vortex over Northeast China in June. *J Meteor Environ*, 32(6): 19-26 (in Chinese)

刘英,王东海,张中锋等. 2012. 东北冷涡的结构及其演变特征的个例综合分析. *气象学报*, 70(3): 354-370. Liu Y, Wang D H, Zhang Z F, et al. 2012. A comprehensive analysis of the structure of a Northeast China-Cold-Vortex and its characteristics of evolution. *Acta Meteor Sinica*, 70(3): 354-370 (in Chinese)

沈艳,潘旸,宇婧婧等. 2013. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估. *大气科学学报*, 36(1): 37-46. Shen Y, Pan Y, Yu J J, et al. 2013. Quality assessment of hourly merged precipitation product over China. *Trans Atmos Sci*, 36(1): 37-46 (in Chinese)

孙力,郑秀雅,王琪. 1994. 东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流系统之间的关系. *应用气象学报*, 5(3): 297-303. Sun L, Zheng X Y, Wang Q. 1994. The climatological characteristics of northeast cold vortex in China. *Quart J Appl Meteor*, 5(3): 297-303 (in Chinese)

孙力,王琪,唐晓玲. 1995. 暴雨类冷涡与非暴雨类冷涡的合成对比分析. *气象*, 21(3): 7-10. Sun L, Wang Q, Tang X L. 1995. A composite diagnostic analysis of cold vortex of storm-rainfall and non-storm rainfall types. *Meteor Mon*, 21(3): 7-10 (in Chinese)

孙力. 1997. 东北冷涡持续活动的分析研究. *大气科学*, 21(3): 297-307. Sun L. 1997. A study of the persistence activity of Northeast cold vortex in China. *Sci Atmos Sinica*, 21(3): 297-307 (in Chinese)

王蕾,王承伟,闫敏慧. 2020. 2000—2017 年东北冷涡活动气候特征及分析. *黑龙江气象*, 37(1): 15-18. Wang L, Wang C W, Yan M H. 2020. Climate characteristics and analysis of Northeast China cold vortex activity from 2000 to 2017. *Heilongjiang Meteor*, 37(1): 15-18 (in Chinese)

吴迪,寿绍文,姚秀萍. 2010a. 东北冷涡暴雨过程中干侵入特征及其与降水落区的关系. *暴雨灾害*, 29(2): 111-116. Wu D, Shou S W, Yao X P.

- 2010a. Dry intrusion's feature and its relationship with rainfall regions on cold vortex heavy rain process in Northeast China. *Torr Rain Disaster*, 29(2): 111-116 (in Chinese)
- 吴迪, 姚秀萍, 寿绍文. 2010b. 干侵入对一次东北冷涡过程的作用分析. *高原气象*, 29(5): 1208-1217. Wu D, Yao X P, Shou S W. 2010b. Analysis of impact of dry intrusion on a cold vortex process in Northeast China. *Plateau Meteor*, 29(5): 1208-1217 (in Chinese)
- 谢作威, 布和朝鲁. 2012. 东北冷涡低频活动特征及背景环流. *气象学报*, 70(4): 704-716. Xie Z W, Cholaw B. 2012. Low frequency characteristics of northeast China cold vortex and its background circulation pattern. *Acta Meteor Sinica*, 70(4): 704-716 (in Chinese)
- 闫玉琴, 韩秀君, 毛贤敏. 1995. 东北冷涡的环流形势分类及其谱特征. *辽宁气象*, (4): 3-6. Yan Y Q, Han X J, Mao X M. 1995. Classification of the northeast cold vortex at circulation situation and its spectrum signature. *Liaoning Meteor Quart*, (4): 3-6 (in Chinese)
- 杨磊, 郑永光. 2023. 东北地区雷暴大风观测特征及其与东北冷涡的关系研究. *气象学报*, 81(3): 416-429. Yang L, Zheng Y G. 2023. Observational characteristics of thunderstorm gusts in Northeast China and their association with the Northeast China Cold Vortex. *Acta Meteor Sinica*, 81(3): 416-429 (in Chinese)
- 应爽, 袁天宇, 李尚锋. 2014. 一次东北冷涡不同阶段强对流天气特征对比分析. *气象与环境学报*, 30(4): 9-18. Ying S, Yuan D Y, Li S F. 2014. Comparative analysis of severe convective weather characteristics in different stages of Northeast China cold vortex. *J Meteor Environ*, 30(4): 9-18 (in Chinese)
- 张仙, 谌芸, 王磊等. 2013. 冷涡背景下京津冀地区连续降雹统计分析. *气象*, 39(12): 1570-1579. Zhang X, Chen Y, Wang L, et al. 2013. Statistical analysis of continuous hailfall under the background of cold vortex in the Beijing-Tianjin-Hebei region. *Meteor Mon*, 39(12): 1570-1579 (in Chinese)
- 张云, 雷恒池, 钱贞成. 2008. 一次东北冷涡衰退阶段暴雨成因分析. *大气科学*, 32(3): 481-498. Zhang Y, Lei H C, Qian Z C. 2008. Analyses of formation mechanisms of a rainstorm during the declining phase of a northeast cold vortex. *Chinese J Atmos Sci*, 32(3): 481-498 (in Chinese)
- 郑秀雅, 张廷治, 白人海. 1992. 东北暴雨. 北京: 气象出版社, 129-151. Zheng X Y, Zhang T Z, Bai R H. 1992. Heavy Rain over Northeastern China. Beijing: China Meteorological Press, 129-151 (in Chinese)
- Abulikemu A, Wang Y, Gao R X, et al. 2019. A numerical study of convection initiation associated with a gust front in Bohai Bay Region, North China. *J Geophys Res: Atmos*, 124(24): 13843-13860
- Berrisford P, Dee D P, Poli P, et al. 2011. The ERA-interim archive version 2.0. Shinfield Park; ECMWF
- Cai S X, Huang A N, Zhu K F, et al. 2021. Diurnal cycle of summer precipitation over the Eastern Tibetan Plateau and surrounding regions simulated in a convection-permitting model. *Climate Dyn*, 57(1): 611-632
- Chen Y, Hu Q, Yang Y M, et al. 2017. Anomaly based analysis of extreme heat waves in Eastern China during 1981—2013. *Int J Climatol*, 37(1): 509-523
- Fang Y H, Chen H S, Lin Y, et al. 2021. Classification of northeast China Cold Vortex activity paths in early summer based on K-means clustering and their climate impact. *Adv Atmos Sci*, 38(3): 400-412
- Gouget H, Vaughan G, Marengo A, et al. 2000. Decay of a cut-off low and contribution to stratosphere-troposphere exchange. *Quart J Roy Meteor Soc*, 126(564): 1117-1141
- Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. 1985. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart J Roy Meteor Soc*, 111(470): 877-946
- Hu K X, Lu R Y, Wang D H. 2010. Seasonal climatology of cut-off lows and associated precipitation patterns over Northeast China. *Meteor Atmos Phys*, 106(1): 37-48
- Joyce R J, Janowiak J E, Arkin P A, et al. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J Hydrometeorol*, 5(3): 487-503
- Liu Z J, Liu Y S, Wang S S, et al. 2018. Evaluation of spatial and temporal performances of ERA-Interim precipitation and temperature in Mainland China. *J Climate*, 31(11): 4347-4365
- Lloyd S. 1982. Least squares quantization in PCM. *IEEE Trans Inform Theory*, 28(2): 129-137
- Portmann R, Crezee B, Quinting J, et al. 2018. The complex life cycles of two long-lived potential vorticity cut-offs over Europe. *Quart J Roy Meteor Soc*, 144(712): 701-719
- Portmann R, Sprenger M, Wernli H. 2021. The three-dimensional life cycles of potential vorticity cutoffs: A global and selected regional climatologies in ERA-Interim (1979—2018). *Wea. Climate Dyn*, 2(2): 507-534
- Price J D, Vaughan G. 1993. The potential for stratosphere-troposphere exchange in cut-off-low systems. *Quart J Roy Meteor Soc*, 119(510): 343-365
- Rossa A, Wernli H, Davies H C. 2000. Growth and decay of an extra-tropical cyclone's PV-tower. *Meteor Atmos Phys*, 73(3): 139-156
- Rousseeuw P J. 1987. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *J Comput Appl Math*, 20: 53-65
- Shapiro M A. 1978. Further evidence of the mesoscale and turbulent structure of upper level jet stream-frontal zone systems. *Mon Wea Rev*, 106(8): 1100-1111
- Shen Y, Zhao P, Pan Y, et al. 2014. A high spatiotemporal gauge-satellite merged precipitation analysis over China. *J Geophys Res: Atmos*, 119(6): 3063-3075
- Song L N, Liu Z L, Wang F. 2015. Comparison of wind data from ERA-Interim and buoys in the Yellow and East China Seas. *Chinese J Oceanol Limnol*, 33(1): 282-288
- Su T, Zhai G Q. 2017. The role of convectively generated gravity waves on convective initiation: A case study. *Mon Wea Rev*, 145(1): 335-359

- Uccellini L W. 1990. Processes contributing to the rapid development of extratropical cyclones//Newton C W, Holopainen E O. Extratropical Cyclones. Boston: American Meteorological Society, 81-105
- Wirth V. 1995. Diabatic heating in an axisymmetric cut-off cyclone and related stratosphere-troposphere exchange. *Quart J Roy Meteor Soc*, 121(521): 127-147
- Wu Y, Huang A N, Huang D Q, et al. 2018. Diurnal variations of summer precipitation over the regions east to Tibetan Plateau. *Climate Dyn*, 51(11): 4287-4307
- Xia R D, Zhang D L. 2019. An observational analysis of three extreme rainfall episodes of 19–20 July 2016 along the Taihang Mountains in North China. *Mon Wea Rev*, 147(11): 4199-4220
- Xu J Y, Tian R X, Feng S. 2021. Comparison of atmospheric vertical motion over China in ERA-Interim, JRA-55, and NCEP/NCAR reanalysis datasets. *Asia-Pacific J Atmos Sci*, 57(4): 773-786
- Zhang C, Zhang Q, Wang Y, et al. 2008. Climatology of warm season cold vortices in East Asia: 1979–2005. *Meteorol Atmos Phys*, 100(1): 291-301
- Zhao S X, Sun J H. 2007. Study on cut-off low-pressure systems with floods over Northeast Asia. *Meteor Atmos Phys*, 96(1): 159-180
- Zhu K F, Yu B Y, Xue M, et al. 2021. Summer season precipitation biases in 4 km WRF forecasts over Southern China: Diagnoses of the causes of biases. *J Geophys Res: Atmos*, 126(23): e2021JD035530

欢迎订阅 2024 年度《气象学报》

《气象学报》中文版创刊于 1925 年，是由中国气象局主管，中国气象学会主办的全国性大气科学学术期刊，主要刊载有关大气科学及其交叉科学研究的具有创新性的论文；国内外大气科学发展动态的综合评述；新观点、新理论、新技术、新方法的介绍；研究工作简报及重要学术活动报道；优秀大气科学专著的评介以及有关本刊论文的学术讨论等。

《气象学报》中文版 2003 年和 2005 年连续两次荣获中华人民共和国新闻出版总署颁发的第二届、第三届“国家期刊奖百种重点学术期刊”奖；2013、2021 年获“中国出版政府奖期刊奖提名奖”；2013、2015、2017 年入选国家新闻出版广电总局“百强报刊”；2007—2011 年和 2015—2017 年获得中国科学技术协会精品科技期刊工程项目的资助，2008、2011、2014、2017、2020、2023 年被评为“中国精品科技期刊”；2003—2007、2009、2016、2019、2020、2022 年被中国科学技术信息研究所评为“百种中国杰出学术期刊”；2012、2013、2014、2015 年获评“中国最具国际影响力学术期刊”；2016、2017、2018、2019、2020、2021 年获评“中国国际影响力优秀学术期刊”。

《气象学报》为大气科学研究提供了学术交流平台，一直致力于推动中国大气科学基础研究和理论研究的发展，服务于中国气象现代化建设事业。作者和读者对象主要为从事气象、海洋、地理、环境、地球物理、天文、空间及生态等学科的科研人员、高校师生。

《气象学报》中文版为双月刊，国内外公开发行。

2024 年全年共 6 期，定价 240 元/年。

邮发代号：2-368（国内） BM329（国际）

通信地址：北京市中关村南大街 46 号 中国气象学会《气象学报》编辑部

邮政编码：100081

联系电话：010-68406942，68408571（传真）

邮 箱：cmsqxxb@263.net, qxxb@cms1924.org

期刊主页：<http://qxxb.cmsjournal.net>

开户银行：北京建行白石桥支行

户 名：中国气象学会

帐 号：11001028600059261046