

南京信息工程大学

硕士学位论文

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

姓名：王新敏

申请学位级别：硕士

专业：气象学

指导教师：江志红；翟盘茂

20070101

摘要

基于 1958~2001 年 ERA-40 再分析海平面气压场资料, 客观定义了东亚温带气旋。通过改进气旋客观识别与追踪算法, 计算得到 1958~2001 年气旋位置、强度和路径数据库。在此基础上, 研究温带气旋频数、路径和强度的变化特征, 分析了蒙古气旋的气候特征及其与春季中国北方沙尘暴的关系, 初步探讨了东亚温带气旋变化与对流层低层斜压锋区强度的变化和东亚气温气候变化的关系。结果表明:

1)、年代际变化是 1958~2001 年东亚气旋气候变化的重要特征。20 世纪 70 年代中期到 80 年代, 气旋数目呈明显增加态势, 80 年代末到 90 年代起又开始回落。春季是一年中气旋多发季节; 春、夏、秋、冬四季气旋频数变化年际差异明显, 而气旋频数的年代际变化和长期趋势较为一致。年际变化和年代际变化特征都表现出春季的主要贡献。

空间分布显示温带气旋主要沿 40° - 50° N 一带移动, 蒙古地区是温带气旋发生的高频区域。这种分布特征是东亚中纬度斜压锋区的反映。80 到 90 年代空间分布的变化主要表现为 100° - 110° E, 45° N 附近区域频数减弱最明显。90 年代较 80 年代相比, 温带气旋高频活动中心向北偏移了大概 2 个纬度。

在全年和四季的背景下东亚北方温带气旋强度都呈减弱趋势。

2)、1979~2001 年, 蒙古气旋频数减少、强度减弱。蒙古气旋活动偏多年和偏少年对流层低层 850hPa 温度场距平分布存在明显差异。在蒙古及东亚地区偏多年对应较强的负距平, 偏少年对应较强的正距平。

3)、春季蒙古气旋与中国北方沙尘暴有密切的关系。沙尘暴发生区域基本上与大风区相对应, 主要分布在蒙古气旋中心附近或气旋外围的偏南象限。两者发生日数有比较一致的多年变化趋势。80 年代早、中期春季蒙古气旋活动与沙尘暴日数都处在一个相对高值的阶段, 但从 80 年代后期到 90 年代两者呈一致的波动下降趋势。两者高相关区域与沙漠分布区域有显著的对应关系。

4)、1958~2001 年斜压锋区强度与气旋频数之间存在显著正相关, 锋区偏强(弱)的年份对应气旋频数偏多(少), 似乎表明温带气旋的频数变化受到斜压锋区的影响。

关键词: ERA40, 气旋识别与追踪算法, 温带气旋, 蒙古气旋, 斜压锋区

Abstract

Based on the ERA-40 SLP data during 1958~2001, the cyclone detection and tracking algorithm is further improved in this study. Referring to objective definition of extratropical cyclones of East Asia, the data files about the position, intensity and track are obtained. Variation of extratropical cyclones in northern East Asia is studied and the climate characteristic of the Mongolia cyclone and the relationship between the Mongolia cyclone and the Chinese northern sandstorm in spring is analyzed. The relationship among the variation of extratropical cyclones of East Asia and the intensity of baroclinic front zone in lower of troposphere and climate change of East Asia temperature is further discussed. The possible reasons of variation of extratropical cyclones under the background of global warming are revealed. The results indicate:

1) The decadal variability is important characteristic of extratropical cyclones in northern East Asia. The number of cyclones increased from the mid-1970s to end-1980s. Then, the number of cyclones decreased up to early 1990s. Since the mid-1990s, cyclone frequencies have increased again. The highest cyclone number occurs in spring (MAM). The annual and decadal variability contribute main in spring. Extratropical cyclones move mainly follows 40° - 50° N, Mongolia is a region with high frequency of extratropical cyclones. From 1980s to 1990s, variation of extratropical cyclones in northern East Asia in spatial distribution shows that frequency decreasing is mainly at about 45° N, 100° ~ 110° E. The high frequent activity centres have northward shift about two latitudinal bands from 1980s to 1990s. The intensity of extratropical cyclone has decreased under annual and seasonal bases.

2) During 1958~2001, the frequency and intensity of Mongolia cyclones decreased. There is significant tropospheric temperature anomalous difference between its active years and its suppressed years, respectively corresponding to stronger negative and positive departure.

3) Dust storms are consistent with strong wind regions, which generally locate nearby the center or the periphery of cyclone. The further analysis shows that the secular trends of dust storms are consistent with the variation of Mongolian cyclone activities and there are obvious correlation coefficients between both. The regions with high correlation coefficient are consistent with the distribution of the deserts.

4) When calculating the correlation for the period of 1958~2001, it is found that

the annual number of cyclones and the mean intensities of the baroclinic front zone are significantly positively correlated, stronger (weaker) frontal zone are corresponding to more (less) cyclone frequency. It indicates that variation in the number of extratropical cyclones is influenced by that of the intensity of the baroclinic front zone, which is mainly related to the temperature change in the lower troposphere at the higher latitudes in NE Asia region.

Keyword: ERA40, cyclone detection and tracking algorithm, extratropical cyclone, Mongolia cyclones, baroclinic front zone

第一章 前言

本章介绍了温带气旋研究的重要性、国内外研究进展、本文的研究目的、研究的主要内容、研究方法、主要技术关键、研究成果和结论。

1.1 温带气旋研究的重要性

温带气旋是发生在南北半球中纬度的斜压性低气压系统。温带气旋作为中纬度重要的天气系统，受斜压不稳定所驱动，不仅给中纬度地区频繁带来风、沙、降水甚至灾害性天气，对自然生态环境和人类社会产生重要影响，而且它还是气候系统中一个能量、动量和水汽传输的载体。

近年来许多的研究表明东亚温带气旋活动的特征及变化与许多天气气候极端事件特别是沙尘暴有着密切的联系。Qian et al. [2001]发现近半个世纪以来中国沙尘天气的减少与北方气旋呈减弱趋势有关。王小玲等 [2004]发现春季海平面气压的变化从根本上影响了中国沙尘天气发生的频数。周秀骥等[2002]指出2000年春季影响北京的沙尘暴过程起沙的动力条件与春季冷空气活动等气候因素有关，又指出2000年春季蒙古共和国到我国北方地区温带低气压活动增多，可能是2000年沙尘天气频繁的直接原因。因此揭示东亚温带气旋活动的特征及其变化趋势对理解东亚天气和气候变化和极端事件具有重要意义。

国际上对温带气旋的研究非常关注，早期欧美学者对温带气旋的发生发展和大尺度结构做过许多研究。早期的温带气旋的模式是由J. 皮叶克尼斯提出的锋面理论，成功解释了欧洲温带气旋发生发展的物理机制。后来人们对温带气旋的发展又从不同的角度进行研究。从波动角度出发，把气旋的发展看成是斜压波动不稳定造成；从气压变化出发，研究大气中静的质量辐合辐散与气旋发展的关系；从涡度变化出发，用流场中的涡度生成说明气旋的发展；从潜热释放的影响出发说明气旋的维持；用高层位涡解释地面气旋的生成发展。同时对温带气旋气候学的研究一直没有间断。近年来，随着再分析资料信息量和质量的提高，对全球变暖背景下温带气旋的气候学的研究又有了新的探索。研究表明20世纪的后半段北半球的气旋活动已经显著改变[e.g., Simmonds and Keay, 2000; Gulev et al., 2001; McCabe et al., 2001]。总的特征包括一个风暴路径位置

的向极的偏移，风暴强度的增加，而总的风暴数目却在减少。

当今，气候变化特别是全球变暖问题引起了各国政府和公众的高度重视。研究东亚地区温带气旋发生频数的年变化、年际变化和年代际变化历史气候特征，这对于加深了解全球变暖背景下区域气候变化问题和应用于评价气候变化对东亚生态系统的影响等有一定的科学意义，是研究气候变化、包括极端天气气候事件的变化规律及其可能影响的重要组成部分。

有关温带气旋的变化也受到 IPCC [2001] 的高度关注。东亚地区是温带气旋的多发地区，但是长期以来，对东亚温带气旋的变化研究很有限。本研究试图利用可靠的欧洲中心再分析资料，采用客观统计算法，以期对气候变暖背景下东亚温带气旋活动的变化规律有一个全新全面的认识。

***温带气旋的主要表征量**

据丁一汇等[1996]:

气旋定义: 占三度空间的在同高度(等压面)上, 具有闭合等压(高)线, 中心气压(高度)低于周围的大型涡旋。水平尺度或范围(以最外围一条闭合等压线的直径长度表示)在二三百公里到 2000-3000 km 之间, 平均直径 1000km。在北(南)半球, 空气作逆(顺)时针旋转。

气旋路径: 地面气旋中心经过的路线, 有时指某时段内气旋频率最高的地区的连线。

气旋频率: 一段时间内某个区域内出现气旋活动的总次数。经常有月频率、季频率。分析的区域一般以 5 经度×5 纬度为一个单元。

气旋强度: 以中心气压值表示或用每个气旋中心气压的局地拉普拉斯表示。

气旋的强度变化: 当气旋中心气压随时间降低时, 称气旋加深; 当气旋中心气压随时间升高时, 称气旋填塞。气旋在短时间内大幅度加深称为气旋的爆发性发展。

1.2 国内外温带气旋的研究进展

对温带气旋的研究方法大致可以归纳为两类: 一是根据气旋的天气学定义, 利用气旋客观识别与追踪算法判定追踪气旋, 进而研究其频数、路径和强度的

变化特征[Serreze et al., 1997;Geng and Sugi, 2001]; 二是依据长序列的小时变压资料, 利用百分位数等极端事件分析方法来探讨气旋活动特征[Barring and von Storch, 2004;Alexander et al., 2005;Zou et al., 2006]。资料方面主要应用 NCEP/NCAR 再分析海平面气压场资料, ERA-40 再分析海平面气压场资料和测站气压观测资料。

1.2.1 北半球温带气旋的年代际变化特征

研究表明, 全球变暖的一个潜在影响即是温带气旋频数或强度的改变[McCabe et al. 2001]。近些年大量的研究表明, 在 20 世纪后半叶, 北半球冬季气旋频数在高纬度 (60° - 90° N) 增加, 而在中纬度 (30° - 60° N) 有明显的减少, 这意味着风暴路径有向北极的偏移趋势[Gulev et al., 2001; McCabe et al., 2001], 同时气旋活动强度在中、高纬度都在增加[McCabe et al., 2001]。在北大西洋和北太平洋两个气旋多发区, 20 世纪 70 年代以后冬季强气旋 (中心气压值 ≤ 970 hPa) 事件有显著的增加[Lambert, 1996;Graham and Diaz, 2001], 尤其是在北大西洋和西太平洋地区, 冬季气旋密度、气旋强度和加深率都在增加[Geng and Sugi, 2001; Gulev et al., 2001]。而值得注意的是东太平洋和北美大陆却表现出许多相反的变化特征, 而且大西洋和太平洋气旋活动的年代际变化还展示出南北的偶极子型[Gulev et al., 2001]。

近来的研究还表明, 在东亚地区, 温带气旋的活动与沙尘暴的变化密切相关[Qian et al., 2001; 王小玲等, 2004], 这也使得东亚地区温带气旋的变化研究得到越来越多的关注。姚素香等[2003]分析了春季东亚内陆和沿海地区气旋活动频数、气旋移动路径等气候特征及其年际、年代际变化发现春季内陆存在三个明显的气旋活动频数较大的地区, 分别位于蒙古高压南缘、贝加尔湖以东地区和我国东北北部。并且发现气旋活动频数与北方地区春季降水量及沙尘暴发生次数具有一定关系。王艳玲和郭品文[2005]利用 1948~2002 年 NCEP/NCAR、再分析逐日海平面气压资料以及中国站点降水和气温资料, 分析了春季北方气旋活动频数和强度的时空变化特征, 以及两者与中国降水和气温的相关关系。结果表明: 春季北方气旋活动频繁, 存在明显的两个高值中心, 分别位于蒙古

国的中部和我国东北北部地区。春季北方气旋活动频数和强度均存在明显的年际和年代际变化。春季北方气旋活动频数主要对我国北方地区的降水和气温以及沙尘暴次数有一定影响。Zou et al.[2006]利用 1951~2004 年的站点 6 小时变压资料得到的中国区域的强气旋事件的变化趋势,结果表明,近 50 多年来,除东部沿海地区外,中国大部分地区强气旋事件都有明显的减弱趋势(图 1.1)。

这种减弱变化对应了近半个世纪以来海平面气压梯度的减小[王小玲等, 2004]和中国沙尘天气的减少趋势[王小玲等, 2004; Qian et al., 2001]。

图 1.1 1951-2004 年中国年 6 小时变压第 99 百分位数变化趋势 (hPa/10 年)(叉号表示通过 5%信度检验)[Zou et al., 2006]

1.2.2 温带气旋的长期变化的成因分析

在全球变暖的进程中,北半球冬季气温的升高趋势表现的最为剧烈,尤其是在中高纬度地区更为明显[IPCC, 2001]。McCabe et al. [2001] 发现冬季中纬度和高纬度气旋频率的变化与北半球冬季温度的变化有较好的相关,认为全球变暖可能是导致北半球气旋路径向北偏移的原因。Geng and Sugi [2001]发现北大西洋地区气旋活动与对流层低层大尺度斜压性和北大西洋涛动 (NAO) 关系密切,它们之间有正相关关系,变化趋势相一致。Graham and Diaz [2001]和 Gulev et al.[2001]等人也有相一致的研究结果。有学者还指出气旋事件的变化和海温有关[Lambert, 1996;Graham and Diaz, 2001]。

总之,由于人类活动导致的全球变暖可能是导致北半球气旋路径向北偏移的主要原因。另外,对流层低层大尺度斜压性和北大西洋涛动 (NAO) 也可能是影响控制北大西洋地区气旋活动的重要因素,太平洋强气旋事件的变化和赤道与中纬度的海温梯度有关。

1.3 本文的研究目的

研究东亚地区温带气旋发生频数的年变化、年际变化和年代际变化特征,研究东亚温带气旋的活动变化及其与沙尘暴等天气的关系,可以更好地理解认识东亚温带气旋的天气气候变化及其带来的极端事件。加深了解全球变暖背景下区域气候变化问题和应用用于评价气候变化对东亚生态系统的影响。有助于认

识中纬度天气系统的发生发展规律及其可能的物理机制；对于短期预报和短期气候预测具有现实的理论和指导意义。

1.4 研究的主要内容

该论文利用1958~2001年ECMWF再分析海平面气压场资料，改进气旋自动识别与追踪算法。研究东亚温带气旋的频数、路径、强度的季节变化、年际变化和年代际变化等多尺度变化特征和气候变暖背景下东亚温带气旋的活动变化，并初步探讨和解释可能的变化原因。特别研究蒙古气旋的特征及变化以及春季蒙古气旋与中国北方沙尘暴的关系。

主要包含如下几个方面的内容。

第一章为前言，分析了温带气旋研究的重要性，介绍了国内外对温带气旋的研究进展，并总结了本论文的研究特色、研究成果和结论，对各章的主要内容做了简要介绍。

第二章是对本研究使用的资料和方法介绍。

第三章详细介绍了气旋自动识别与追踪算法并研究了北方温带气旋的频数、路径及强度特征及变化。

第四章主要分析了蒙古气旋的特征及变化。

第五章主要分析了春季蒙古气旋与中国北方沙尘暴的关系。

第六章分析了温带气旋的气候变化与大气环流的关系。

最后为总结。

1.5 本文的研究方法

利用 ERA-40 再分析海平面气压场资料，客观定义了温带气旋，改进了气旋识别与追踪算法来判定追踪气旋。应用气候诊断技术统计分析了温带气旋频数、路径和强度的变化特征。利用环流分析、相关分析、天气诊断分析、合成分析等方法进一步讨论了温带气旋变化对沙尘暴的影响及其与对流层低层气温变化和斜压锋区的变化关系。对在气候变暖背景下温带气旋的可能变化原因进行了探讨。

1.6 本文的研究特色

主要包括：

1) 改进了气旋的客观定义及自动识别与追踪算法：以气旋的天气学定义为基础并考虑东亚天气气候特点,设计一种新的利用计算机进行运算的气旋自动识别与追踪算法。

2) 揭示东亚温带气旋的变化规律及温带气旋频数与斜压锋区的变化以及气温变化的关系,初步探讨了温带气旋可能的变化原因。

3) 分析了春季蒙古气旋与中国北方沙尘暴的关系。

在气候变化及其异常机制研究方面有一定特色。

1.7 主要技术难点和关键问题

1) 考虑东亚地区的地形等特点;

2) 解决东亚温带气旋的客观定义和改进气旋自动识别与追踪算法;

3) 揭示东亚温带气旋的变化规律及可能的变化原因。

1.5 本文的研究成果和结论

本研究得到主要结论如下:

1)、改进的气旋识别与追踪算法能较为客观真实地识别东亚温带气旋。

2)、东亚北方温带气旋活动具有明显的季节变化、年际变化和年代际变化。

20世纪70年代中期到80年代,气旋数目呈明显增加态势,80年代末到90年代起又开始回落。春季是一年中气旋多发季节,冬季最少,以5月发生频数最多,1月发生频数最少;春、夏、秋、冬四季气旋频数变化年际差异明显,而气旋频数的年代际变化和长期趋势较为一致。年际变化和年代际变化特征都表现出春季的主要贡献。

空间分布显示温带气旋主要沿 40° - 50° N一带移动,蒙古地区是温带气旋发生的高频区域。这种分布特征是东亚中纬度斜压锋区的反映。80到90年代空间分布的变化主要表现为 100° - 110° E, 45° N,频数减弱最明显。进一步分析表明,90年代与80年代相比,气旋源地(高频活动中心)已经明显向北偏移,偏移了大概2个纬度。

在全年和四季的背景下东亚北方温带气旋强度都呈减弱趋势。温带气旋强度减少最明显的是夏季。

3)、对蒙古气旋的研究表明,1979~2001年,蒙古气旋频数减少、强度减弱。蒙古气旋活动偏多年和偏少年对流层低层850hPa温度场距平分布存在明显

差异，在蒙古及东亚地区偏多年对应较强的负距平；而偏少年相反，对应较强的正距平。这不仅表明蒙古气旋活动偏多年和偏少年大气环流存在明显差异，也表明蒙古气旋频数与蒙古及东亚地区 850hPa 温度的负相关关系。

4)、中国北方春季沙尘暴天气现象与春季蒙古气旋有着密切的关系。沙尘暴发生区域基本上与大风区相对应，主要分布在蒙古气旋中心附近或气旋外围的偏南象限。空间相关系数分布进一步表明蒙古气旋与沙尘暴的密切关系。春季蒙古气旋日数与中国北方沙尘暴日数有比较一致的多年变化趋势。20 世纪 80 年代早、中期春季蒙古气旋活动与沙尘暴日数都处在一个相对高值的阶段，但从 80 年代后期到 90 年代两者呈一致的波动下降趋势。两者相关系数达 0.68，呈显著正相关。

5)、分析温带气旋与对流层低层 850hPa 斜压锋区强度的变化和东亚气温气候变化的关系表明，1958~2001 年斜压锋区强度与气旋频数之间存在显著正相关，两者有较好的对应关系。似乎表明温带气旋的频数变化受到斜压锋区的影响。

第二章 资料和方法

2.1 资料集的选取

2.1.1 ERA 40 再分析资料

本研究采用欧洲中心 (ECMWF) 的 ERA 40 四个时次 (00 UTC、06 UTC、12 UTC、18UTC) 再分析资料。资料的时段为 1958~2001 年, 所用要素主要包括各层纬向风 U 、温度 T ; 海平面气压 SLP 和 10 米风速 (u 、 v 分量) 等。资料范围 0° - 360° E, 90° S- 90° N, 水平分辨率均为 2.5° 经度 \times 2.5° 纬度。

在第三章应用气旋识别与追踪算法计算时采用海平面气压 SLP (00UTC, 12UTC)。在第四章分析蒙古气旋偏多、偏少年大气环流差异时用到 850hPa 温度 T (4 时次平均)。在第六章分析气旋变化的原因时采用 200hPa 纬向风和 850hPa 温度 (4 时次平均)。

2.1.2 中国沙尘暴观测资料集

沙尘暴资料集为中国气象局国家气象信息中心 743 个测站的逐日观测资料, 资料的时段为 1954~2003 年, 本研究在选取沙尘暴站点时经过资料控制。用于第五章的分析。

根据地面气象观测规范规定, 沙尘天气分为三个不同的等级: 强风将地面大量尘沙吹起, 使空气很混浊, 水平能见度小于 1.0km 为沙尘暴; 大风将地面沙尘吹起, 使空气相当混浊, 水平能见度在 1.0km 至 10.0km 以内为扬沙; 尘土、细纱均匀地浮在空中, 使能见度小于 10.0km 为浮尘。中国北方沙尘暴日的确定, 参考中国气象局预测减灾司制定的沙尘天气预警业务服务暂行规定 (修订) (2003 年 3 月 1 日起执行), 本研究定义同一日有三个或三个以上观测站出现沙尘暴定为一个沙尘暴日, 统计得到包括沙尘暴日期和站点的数据集。

2.1.3 沙尘暴发生的动力和热力要素资料

2.1.3.1 国家气象中心 T106 模式输出分析场产品

资料时段只有 1995~2000 年, 时次为 12 时 (UTC)。所用要素为经格点插值的 673 站垂直速度和假相当位温。

2.1.3.2 中国地面定时观测风向风速资料

资料来源于中国气象局气象信息中心

2.1.3.3 ERA 40 近地面风速再分析资料

与 T106 资料对应,所用要素为 ECMWF 再分析资料的 10 米风速资料(u 、 v 分量)。第五章计算蒙古气旋对沙尘暴的影响时,采用 10 米风速等资料,用于分析全风速。

2.1.4 历史天气图

来源于中国气象局国家气象中心,为正式出版物。

2.2 资料的质量控制

2.2.1 在应用海平面气压 SLP 计算温带气旋时,考虑到海拔高度影响在计算范围 70°E - 140°E , 25°N - 60°N 中去掉青藏高原(110°E 以西和 40°N 以南地区)参考[伍荣生, 2002]。

2.2.2 本研究对沙尘暴资料选取原则

① 月内逐日资料缺测达 5 日的,该月资料定为缺测;一年中有一个月缺测的,该年年值为缺测;

② 资料应包括气候平均场(1971~2000 年)时间段。

不符合上述要求的资料予以剔除。原始资料库中包含 743 个台站,经过上述质量控制后最终选取了 552 个站点,有 191 个站点被剔除。覆盖了中国北方大部分地区,具有较好的代表性。

2.3 分析方法

利用 ERA-40 再分析海平面气压场资料,对温带气旋客观定义,改进气旋客观识别与追踪算法判定追踪气旋,应用气候诊断技术统计分析温带气旋频数、路径和强度的变化特征。利用环流分析、相关分析、天气诊断分析、合成分析等方法进一步讨论温带气旋变化对沙尘暴的影响及其与大气环流的关系、以及对在气候变暖背景下温带气旋的可能变化原因的探讨。

第三章 东亚北方温带气旋的变化

本章较为详细地介绍了对北半球几个主要区域的温带气旋的变化研究，而且对气旋自动识别与追踪算法及其主要的改进作了详细地描述。最后利用改进的气旋识别与追踪算法计算分析了东亚温带气旋的频数和强度变化以及各个季节的变化特征。

目前对北半球温带气旋的变化研究已经在几个区域取得了明显进展，主要集中在以下几个区域。

北大西洋、北太平洋地区：McCabe et al.[2001] 利用 1959-1997 年 NCEP/NCAR 再分析资料海平面气压场 (SLP-6 小时间隔) 研究发现：北半球中纬度 30° - 60° N 气旋活动明显减少而高纬度 60° - 90° N 气旋频率明显增加，暗示风暴路径有一个向北极的偏移，同时两个区域风暴强度增加。(定义气旋中心为气旋中心值比周围所有相邻的格点值至少低 1hPa, 且气旋中心连续存在 12 小时以上。气旋频率定义为 5 个纬度带里的气旋数目。气旋强度用每个气旋中心气压的局地拉普拉斯表示)。Lambert[1996] 通过分析 1899-1991 年北大西洋 (80° W- 50° E) 和北太平洋地区 (110° E- 120° W) 的 SLP 格点资料 (注：资料不完全均一) 发现：20 世纪 70 年代以后，在北大西洋和北太平洋两个地区强气旋 (中心气压值 ≤ 970 hPa) 的数目有显著的增加。北大西洋是北半球气旋发生频率最大的区域，Geng and Sugi[2001] 利用 1958-1998 年 6 小时间隔 NCEP/NCAR 海平面气压再分析资料 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度网格，对气旋路径计算内插到 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ 。采用客观的算法应用主分量分析了北大西洋冬季气旋密度，讨论了气旋的强度、加深率、移动速度、气旋密度的长期变化，结果发现在北大西洋冬季气旋密度、加深率、中心气压梯度和移动速度都在增加。Graham and Diaz[2001] 利用 1948-1998 年 NCEP/NCAR 再分析资料 6 小时间隔海平面气压再分析资料 ($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$) 和各种实测资料、模式输出资料等，发现自 1948 年以来，太平洋地区 25° - 40° N 强气旋增加。Gulev et al.[2001] 利用 1958~1999 年 6 小时间隔 NCEP/NCAR 再分析资料对北半球气旋活动包括气旋频率、强度、生命史和加深率的长期和年代际变化分析表明：过去的 42 年西太平洋和大西洋都表现出气旋强度和加深率的增加，而东太平洋和北美大陆表现出许多相反的变

化特征。大西洋和太平洋气旋活动的年代及变化还展示南北的偶极子型。

冰岛地区: 冰岛低压是北半球6个大气活动中心之一。Serreze et al.[1997]利用1966-1993年一天两次(00, 12UTC)海平面气压资料研究发现冰岛低压在增加。并且研究了冰岛低压与北大西洋涛动NAO的关系以及与北半球环流近来的变化的关系,发现60°N以北区域总的气旋数目有明显的增加而30°-60°N区域有相反的变化。另一方面,近来的一些研究观测到北大西洋风暴强度的增加,在北冰洋中心最为显著,这与高纬度海平面气压减少一致,这种气旋活动和SLP的区域分布型与近来的高纬度海冰条件和地面温度的变化相一致。

东亚地区: Qian et al.[2001]发现近半个世纪以来中国沙尘天气的减少与北方气旋呈减弱趋势有关。王小玲等[2004]发现春季海平面气压的变化从根本上影响了中国沙尘天气发生的频数,海平面气压在中高纬度地区降低,中低纬度地区升高,气压梯度发生改变,从而引起地面风速减小,进一步影响到沙尘天气发生频数减少。

五大湖地区: Angel [1997]对 1900-1990 年冬季经过五大湖地区(40°-50°N, 93°-75°W)的气旋(至少存在 24 小时)的频率和强度变化发现:自 1900 年以来在五大湖地区强气旋数目($\leq 993\text{hPa}$)显著增加;然而与以前研究的北美和北半球的趋势不同,随着气旋数目的增加,气旋的强度减少。

基于中国站点观测资料,朱乾根等[1981]根据 1951-60 资料统计得出东亚气旋源地、移动路径。寿绍文等[2002]进一步研究北方气旋和南方气旋的气候特征。张尚印[1984, 1989]依据 1956-1978 观测资料分析了东亚温带气旋活动及其与春季降水的关系。

温带气旋是重要的天气系统,对天气气候有重要的影响。因此研究东亚温带气旋活动的变化特征是很重要的。但是以前对东亚温带气旋的研究还很有限,主要资料序列短,还缺乏客观的方法。本章研究试图利用连续的更可靠的欧洲中心再分析资料,设计客观统计算法对东亚温带气旋活动变化和气候变暖对东亚温带气旋发生频率的影响进行深入研究诊断气旋的频率和强度的变化。

3.1 气旋客观识别与追踪算法

气旋的自动识别和追踪算法,不同于天气图时代的人工读取,而是基于温

带气旋的客观定义，即依靠对再分析海平面气压场的低压中心（天气尺度系统）的客观识别。通过比较气旋中心格点与其周围格点值的大小，判别低压中心；对不同研究区域针对气旋中心格点值与其周围格点值的平均的差值满足一定的阈值使低压中心达到一定的强度。另外气旋中心要有一定的生命史（一般至少连续存在 12 或 24 小时）。气旋路径追踪程序用来判别一个气旋是新生的或是仅仅从上一时次移动过来的。

文中采用气旋中心自动识别与气旋路径追踪算法，并进行了改进。所用资料取自 ECMWF 的 ERA-40 1958~2001 共 44 年 MSLP 再分析资料 00、12(UTC) 两个时次，其空间分辨率为 2.5° 经度 \times 2.5° 纬度。计算范围集中在 80° - 140° E， 25° - 60° N 的东亚中纬度区域（去掉青藏高原 110° E 以西和 40° N 以南地区，参阅 [伍荣生, 2002]）。分析针对东亚北方区域气旋活动 80° - 140° E， 40° - 60° N。

关于气旋的自动识别和追踪，已经有许多文献描述。诸如：Murray and Simmonds[1991]；Konig et al.[1993]；Sinclair[1994]；Serreze et al.[1997]；Blender et al.[1997]以及 Geng and Sugi [2001]。文中算法本质上与 Serreze et al.[1997]和 Geng et al.[2001]等自动识别与追踪算法有许多相似，但在细节方面有许多改进。

本文根据气旋的天气学定义，作地面气旋的客观定义如下：

假如 t 时刻 SLP 场（不包括边界点）的任意一个格点 (i, j) ，满足：

- 1) 该点的 SLP 数值比周围 8 个格点的 SLP 数值均低；
- 2) 该点的 SLP 数值与周围 8 个格点的平均的 SLP 数值的差大于 2hPa；
- 3) 该点的气压值必须小于某一阈值 P 。

2hPa 的选取，既保证了气旋有一定的强度，也可以避免气旋在随后的追踪中因标准太高而造成中断的现象。

阈值 $P(i, j, t)$ 确定：根据 30 年海平面气压逐日气候场分析，逐日海平面气压气候态呈现季节内变化，冬季 1 月最高可达 1030 hPa 附近，春季逐渐降低，到夏季 7 月降到最低值 1005 hPa，秋季又逐渐增加（图 3.1）。为了完全客观地确定适应当时当地的背景场和气候场的阈值，避免人为假设，本文对所选范围（ 70° - 140° E， 25° - 60° N）逐时刻 SLP 场的所有格点的 30 年海平面气压的气候平均值的所选研究范围的空间场按升序排列，其中三分之一对应低值，三分之一对应中间值，另外三分之一对应高值。我们取三分之一位数对应的值再经过 11 点

滑动平均后作为阈值。海平面气压的气候平均值取 ECMWF 的 1971-2000 年时间序列。11 点滑动平均的目的是滤掉天气过程的影响。这样，阈值 P 对每一时刻而言就不是某一固定的值，它是随季节和地域而变化的动态的值。

图 3.1 1971-2000 年逐日海平面气压气候平均 (80° - 140° E, 25° - 60° N) (单位: hPa)

若格点 (i, j) 满足上述三个条件，则称其为一个气旋中心，格点 (i, j) 对应的经纬度 (λ, Φ) 即是气旋中心的位置，格点对应的气压数值即表示气旋中心的强度 (单位: hPa)。

若有 k 个格点满足上述条件，称 t 时刻有 k 个气旋中心。为了避免一个气旋两个中心的情形，我们规定同一时刻所有气旋中心的距离必须大于 500km。如果任意两个气旋中心的距离小于或等于 500km，那么去掉其中一个弱的中心。

对 12-h 间隔的所有时刻的 MSLP 场计算。算出所有时刻的气旋中心后，要对相邻时刻的气旋进行连续追踪，我们认为气旋至少要存在 24-h 以上。在东亚暖季大陆上，尤其是中国的西北、西南沙漠、盆地的夏季，会有很多局地热低压，根据移动性，可以去掉地形造成的局地热低压[朱乾根等，1981]。

对 t 时刻的 k_1 个气旋和 $t+1$ 时刻的 k_2 个气旋分别求距离，假如

- 1) $t+1$ 时刻的第 M 个气旋中心和 t 时刻的第 N 个气旋中心的距离最近;
- 2) 且两个气旋中心的距离小于 1200km[朱乾根等，1981];
- 3) 且气旋移动方向符合引导气流方向;

那么，我们称 $t+1$ 时刻的第 M 个气旋是 t 时刻的第 N 个气旋移动而来，编为同一个编号，否则视为一个新生的气旋，给以新的编号；依次类推。

通过上面识别和追踪计算，我们可以获得以下信息文件：

- 1) 总的信息，包括年、月、日、时气旋数，每个气旋的起止日期 (时间步长);
- 2) 详细信息，包括每个气旋的中心位置、移动路径和中心强度;

对计算结果和历史天气图进行验证，随机选取 1971 年 4 月、1986 年 5 月和 1999 年 7 月，结果发现：对春季的拟合效果相当好。算法结果都可以真实地反映气旋的强度、位置和路径的各项特征。对较为复杂的路径也有识别能力。与

历史天图的差别在于，在气旋生成和填塞消亡的起止日期上有些差别。2.5°经度×2.5°纬度的分辨率对天气尺度气旋较好，对于与梅雨相联系的江淮气旋这种中间尺度气旋来说太大。

与以前的算法比较，本文主要的改进体现在以下几个方面：

- 1)气旋中心的海平面气压值小于一个新定义的三分位阈值。
- 2) 对于多个中心，每个气旋中心的距离应该大于 500km。否则的话，强度较弱的—个将被去掉，保证天气尺度系统而将中间尺度的低压剔出。
- 3)对于热季的局地性的大陆热低压，特别是中国西北和西南部夏季沙漠和盆地也予以剔出。
- 4) 考虑海拔高度，去掉青藏高原。

下面是两个个例。

表 3.1 : 1971.4.6-9 (可参阅寿绍文等[2002]对此个例的描述)

year	number	step	yy/mm/dd/hh	Lat (°N)	lon (°E)	central pressure (hPa)
1971	19	1	1971/ 4/ 6/ 0	45.0	107.5	995.7
1971	19	2	1971/ 4/ 6/12	47.5	115.0	989.8
1971	19	3	1971/ 4/ 7/ 0	50.0	120.0	997.3
1971	19	4	1971/ 4/ 7/12	50.0	120.0	999.1
1971	19	5	1971/ 4/ 8/ 0	50.0	130.0	995.8
1971	19	6	1971/ 4/ 8/12	50.0	132.5	999.4
1971	19	7	1971/ 4/ 9/ 0	50.0	132.5	1001.9
1971	19	8	1971/ 4/ 9/12	50.0	132.5	1007.2

表3.2 : 1986.5.10-15

year	number	step	yy/mm/dd/hh	Lat (°N)	lon (°E)	Central pressure (hPa)
1986	53	1	1986/5/10/0	45.0	107.5	1004.2
1986	53	2	1986/5/10/12	45.0	105.0	994.7
1986	53	3	1986/5/11/0	47.5	102.5	997.2

1986	53	4	1986/5/11/12	45.0	107.5	990.2
1986	53	5	1986/5/12/0	45.0	112.5	991.2
1986	53	6	1986/5/12/12	45.0	117.5	990.9
1986	53	7	1986/5/13/0	45.0	122.5	991.9
1986	53	8	1986/5/13/12	45.0	125.0	997.2
1986	53	9	1986/5/14/0	40.0	130.0	993.9
1986	53	10	1986/5/14/12	40.0	130.0	994.0
1986	53	11	1986/5/15/0	40.0	137.5	996.5

3. 2 时空分布特征

利用1958~2001年ERA-40 海平面气压SLP资料和上述算法,对东亚北方温带气旋的变化分析表明东亚北方温带气旋有明显的季节变化、年际变化和年代际变化。图3.2是1958~2001年格点上发生的温带气旋年平均数。图中显示东亚北方温带气旋主要发生在40°-55°N之间,显然,北方温带气旋这种空间分布特征与中纬度斜压锋区位置是一致的。从中也可以直观地看出我们习惯上在天气预报和分析中经常提到的蒙古气旋(经常在蒙古中部和东部发生发展的气旋)和东北低压(也称东北气旋,大多从蒙古或黄河流域移动到东北地区)。温带气旋高频活动中心位于45°-50°N, 100°-120°E的蒙古中部和蒙古东部地区及其与中国东北交界地带,这与朱乾根等[1981]的结论基本吻合。

图 3.2 1958~2001 年格点上发生的温带气旋年平均数 (单位: 个/年)

统计季节分布发现(图略)东亚温带气旋月平均发生频数 9.9 个, 5 月最高; 4 月次之; 1 月最少。且夏半年明显多于冬半年暖季发生次数高于冷季。春季 3-5 月气旋发生频数最高, 占全年总气旋发生数的 31.2%; 冬季 12-2 发生频数最低, 占全年总气旋发生数的 16.3%; 其次是夏季 6-8 和秋季 9-11 分别占 29.2%, 23.3%。

3.3 变化

3.3.1 频数变化

图 3.3a 表示 1958~2001 年东亚北方温带气旋发生个数距平。1976, 1980, 1982, 1985 和 1987 年为发生相对高值的年份, 其中以 1987 年为最多。相反低频活动年份为 1965, 1968, 1971, 1975, 1992 和 1993 年。而且还存在着明显的年代际变化, 从 70 年代中期到 1980 年代中后期, 气旋的数目增加, 80 年代末开始减少, 自 90 年代中期以后又增加。小波分析(图 3.3b)表明明显的年代际变化和 70 年代早、中期和 80 年代末到 90 年代初的准 2 年的振荡。

图 3.3a 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 发生频数距平 (单位: 个) (相对于 1958~2001 年)

图 3.3b 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 发生频数的小波分析

各个季节(MAM, JJA,SON,DJF)的频数变化如图3.4所示。很明显, 年变化存在着较大的差别。春季以1987, 1985, 1982和1983年频数最高, 而1965, 1968, 1993 和1997年频数最低。夏季气旋数在1981、1987年达到高点, 1993年落至谷底。秋季1972、1987年气旋活动最活跃, 冬季1987、1997年最活跃。

图 3.4 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 各季节的频数距平 (1958~2001 年)

在年代际变化方面, 各季都表现为自80年代末呈一致的减少趋势。而从70年代到80年代, 他们均反映出增加态势。年际变化和年代际变化特征都表现出春季的主要贡献。

1958~2001年温带气旋 (80°-140°E) 发生频数随纬度分布 (图3.5) 显示 1958~2001年, 从60年代到90年代, 42°-52°N纬带对气旋频数的贡献最大。另外 60-80年代最大频数位于43°-50°N, 而90年代高频中心位于45°-52°N。向北偏移了大概2个纬度。表明温带气旋高频活动中心具有向北的移动趋势。从60到90年

代，高频中心反映出明显的年代际信号。东亚气旋活动向北偏移的现象和 McCabe et al. [2001]关于北半球气旋路径向北偏移的结论一致。春季的变化也反映高频活动中心具有向北的移动趋势(图3.6)。

图 3.5 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E) 发生频数随纬度分布

图 3.6 1958~2001 年春季温带气旋 (80°-140°E) 发生频数随纬度分布

通过计算 1990-1999 年与 1980-1989 年的温带气旋格点频数的差值，进一步分析气旋的空间变化。结果显示在图 3.7。说明 80 到 90 年代空间分布的变化主要表现为 100°-110°E, 45°N 附近区域气旋频数减弱最明显，与前面整个区域的时间变化 (图 3.3a) 相对应，说明该区域对整个区域的贡献最大。春季也有类似的结果 (图 3.8)。

图 3.7 温带气旋格点年平均数差值 (1990-1999 减 1980-1989)

图 3.8 春季温带气旋格点年平均数差值 (1990-1999 减 1980-1989)

3.3.2 强度变化

下面的研究中气旋的强度定义为气旋生命史中气旋中心的最低气压值。按照这一标准，1958~2001 年平均的强度变化见图 3.10。它显示了一个减弱趋势 1968 年最强，1988 年最弱。强度的季节变化见图 3.10，四季的气旋强度都表现为减弱趋势，其中减少最明显的是夏季，而在春季和冬季减弱的不明显。这个结果与 McCabe et al.[2001]对北半球冬季气旋强度增加的发现不相一致，也反映出东亚温带气旋的区域特征。

图 3.9 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 年平均强度

图 3.10 1958~2001 年各季温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 年平均强度

3.4 小结

1)、改进的气旋识别与追踪算法能较为客观真实地识别东亚温带气旋。

2)、东亚北方温带气旋活动具有显著的季节变化、年际变化和年代际变化。

20 世纪 70 年代中期到 80 年代, 气旋数目呈明显增加态势, 80 年代末到 90 年代起又开始回落。春季是一年中气旋多发季节, 冬季最少, 以 5 月发生频数最多, 1 月发生频数最少; 春、夏、秋、冬四季气旋频数变化年际差异明显, 而气旋频数的年代际变化和长期趋势较为一致。年际变化和年代际变化特征都表现出春季的主要贡献。

空间分布显示温带气旋主要沿 40°-50°N 一带移动, 蒙古地区是温带气旋发生的高频区域。这种分布特征是东亚中纬度斜压锋区的反映。80 到 90 年代空间分布的变化主要表现为 100°-110°E, 45°N 附近区域气旋频数减弱最明显。进一步分析表明, 90 年代与 80 年代相比, 气旋高频活动中心已经明显向北偏移, 偏移了大概 2 个纬度。

在全年和四季的背景下东亚北方温带气旋强度都呈减弱趋势。

第四章 蒙古气旋的特征及变化

蒙古气旋（亦称蒙古低压）总是与冷空气活动相伴，是造成春季中国北方沙尘暴的主要影响系统。周秀骥等[2002]指出 2000 年春季蒙古共和国到我国北方地区温带低气压活动增多，可能是造成 2000 年春季沙尘天气频繁的直接原因。

2006 年入春以来，冷空气和蒙古气旋活动频繁，且冷空气势力较强，加之北方地区持续干旱少雨，气温的回升致使地表层解冻，土壤水分蒸发大，土质疏松地表土质干土层增厚，为初春沙尘天气频繁发生提供了条件。据中国环境监测总站监测，截至 2006 年 4 月 19 日中国北方地区共出现 8 次较大范围沙尘天气过程，其中伴随蒙古气旋 4 次以上，导致 50% 的重点城市环境空气污染加重。在国家考核的 113 个环保重点城市中，55 个城市优良天数比去年同期减少，其中北方地区的北京、银川等 10 个城市优良天数比去年同期减少 10 天以上。特别是 3 月 26-27 日（图 4.1），伴随着强冷空气过程和蒙古气旋的共同作用，我国北方出现了大范围的大风和沙尘天气，部分地区出现了强沙尘暴。受蒙古气旋冷锋南下及气旋后部西北大风影响，沙尘席卷大江南北，内蒙古、宁夏、陕西、山西、北京、天津、河北、辽宁、山东、河南等地的部分地区出现沙尘天气，沙尘覆盖渤海、黄海西部上空，其中内蒙古中部和东部的部分地区出现了沙尘暴和强沙尘暴，苏尼特左旗能见度仅为 100 米；内蒙古的部分地区出现瞬间风速为 17~26 米/秒的大风。

作为中纬度重要的天气系统，蒙古气旋对我国天气气候的影响大，范围广，灾害重。应当引起我们的关注。以前针对蒙古气旋的研究，多采用对天气图读取、人工统计的方法，资料序列短，不能实现客观及自动化，也没有涉及蒙古气旋的变化。本章结合天气预报实际，针对蒙古气旋的特征及其在气候变暖背景下的变化进行分析讨论，试图揭示蒙古气旋的气候特征及变化规律。

图 4.1 2006 年 3 月 26 日蒙古气旋与沙尘天气图像
(<http://news.sina.com.cn/c/2006-04-10/10469578493.shtml>)

4.1 资料和方法

20 世纪 70 年代末期, 随着卫星资料的加入, 同化技术的应用使再分析资料发生了明显的变化, 国际上一些学者指出 NCEP/NCAR 和 ECMWF 的再分析资料 (ERA40) 在 1979 年以后较之前期更为可靠。为此, 本研究选取 1979~2001 年 ECMWF 海平面气压场再分析资料 00、12UTC 两个时次, 其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。采用改进的气旋客观识别与追踪算法(见第三章)。获得 1979~2001 年 $80^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{E}$, $40^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 范围的全年北方气旋数据资料集。经与中国气象局国家气象中心绘制的天气图进行个例验证, 这种方法对气旋的位置(以经、纬度表示)、强度(以中心气压表示)以及气旋的移动路径都有较好的识别能力。

蒙古气旋定义: 兼顾地理位置和北方气旋高频区域分布, 在全年北方气旋数据资料集的基础上, 本文定义凡经过 $100^{\circ} \sim 115^{\circ} \text{E}$, $42.5^{\circ} \sim 52.5^{\circ} \text{N}$ 范围内的温带气旋称为蒙古气旋。据此建立春季蒙古气旋数据库。

4.2 蒙古气旋的特征及变化

4.2.1 蒙古气旋的频数

4.2.1.1 蒙古气旋的年际、年代际变化和趋势

图 4.2 是蒙古气旋年发生频数距平图(相对于 1979~2001 年)。可以看出气旋活动存在有明显的年代际变化, 从 80 年代到 90 年代, 蒙古气旋频数呈明显减少趋势。80 年代早中期蒙古气旋活动日数呈正距平, 80 年代中期达到高峰。1987 年正距平近 +80 天; 80 年代末开始至 90 年代转为负距平, 到 1993 年负距平达 -40 天。说明年代际变化和年际变化十分明显。

图 4.2 1979~2001 年蒙古气旋发生频数距平(相对于 1979~2001)(单位: 日)

4.2.1.2 蒙古气旋的季节变化

表 4.1 是 1979~2001 年蒙古气旋的春(3-5 月)、夏(6-8 月)、秋(9-11 月)、

冬（12-2月）四季出现的频数百分率。表中反映出蒙古气旋活动具有明显的季节性，以春季蒙古气旋出现的频数最高，占31.74%，冬季蒙古气旋活动最少，只占16.07%；夏、秋季蒙古气旋出现的比例分别占28.57%，23.67%。

1979~2001年1~12月蒙古气旋各月频数分布（见图4.3）显示，蒙古气旋4月、5月出现频数最多，年平均出现日数多达13天；12月出现频数最少，年平均出现日数仅为5天。显然，暖季（4-9月）出现频数高于冷季（10-3月）。

表 4.1 1979~2001 年蒙古气旋出现的频数百分率

3-5 月	6-8 月	9-11 月	12-2 月
31.74%	28.57%	23.67%	16.07%

图 4.3 1979~2001 年 1-12 月蒙古气旋年平均发生频数（单位：日）

为了研究蒙古气旋的季节变化特点，本文对1979~2001年春、夏、秋、冬四季蒙古气旋的频数演变及趋势作了进一步的分析（见图4.4）。结果表明：春、夏、秋、冬四季蒙古气旋活动存在明显的年代际变化，从80年代到90年代，呈一致的波动减少的趋势，20世纪80年代中期各个季节，蒙古气旋活动都表现最强，峰值分别出现在1986、1984、1987、1984年，年平均在50~60天，冬季40天。自80年代末开始，气旋活动开始明显减少至90年代达到最弱。低值分别出现在1997、1992、1994、1994年，年平均日数在20天以下，冬季只有10天。其中春季减少的最为明显，冬季减少最缓慢。春、夏、秋季节与全年变化基本相似，其中春季变化与全年最为一致。

图 4.4 1979~2001 年春、夏、秋、冬蒙古气旋频数（直方图表示蒙古气旋的出现频数，实线表示滤波，虚线表示趋势）

4.2.2 蒙古气旋的强度变化

图 4.5 是蒙古气旋的年平均中心最低气压变化。蒙古气旋强度以每个气旋生命史中中心气压最低值表示。反映出 1979~2001 年，蒙古气旋强度呈减弱趋势，其中 1987 年蒙古气旋强度最强，1989、1994、1997 年强度偏弱。90 年代较之 80 年代，气旋强度明显减弱。

图 4.5 1979~2001 年蒙古气旋年平均强度变化 (单位: hPa)

4.3 蒙古气旋发生偏多年、偏少年大气环流分析

为了分析蒙古气旋活动偏多年和偏少年大气环流特点,本文按照 1979~2001 年蒙古气旋年发生频数高低,分别选择偏高的 5 个年份: 1983, 1984, 1985, 1986, 1987 年,以及偏低的 5 个年份: 1992, 1993, 1994, 1995, 1998 年进行合成分析,图 4.6 a-b 分别表示偏多年和偏少年的 850hPa 温度的距平合成图(距平相对于 1971~2000 年)。图 4.6 清晰地反映出蒙古及东亚地区偏多年对应较强的负距平-0.6;而偏少年相反,对应较强的正距平+0.6。这不仅表明蒙古气旋活动偏多年和偏少年大气环流存在明显差异,也表明蒙古气旋频数与 850hPa 温度的负相关关系。

图 4.6 蒙古气旋发生偏多年(a:1983 to 1987)、偏少年(b: 1992, 1993, 1994, 1995, 1998) 850hPa 温度距平合成图(相对于 1971~2000)

4.4 小结

蒙古气旋活动存在明显的季节变化、年际变化和年代际变化。1979~2001 年,蒙古气旋频数减少、强度减弱。20 世纪 80 年代中期,蒙古气旋活动最强,80 年代末开始到 90 年代蒙古气旋日数明显下降。

春季蒙古气旋出现的频数最高,冬季出现频数最少。从 80 到 90 年代,春、

夏、秋、冬四季蒙古气旋活动呈一致的波动减少的趋势。其中春季变化与全年最为一致。

蒙古气旋活动的年际差异也十分明显，蒙古气旋活动偏多年和偏少年对流层低层 850hPa 温度场距平分布存在明显差异，偏多年对应较强的负距平；而偏少年相反，对应较强的正距平。这不仅表明蒙古气旋活动偏多年和偏少年大气环流存在明显差异，也表明蒙古气旋频数与 850hPa 温度的负相关关系。说明大气环流是影响气旋活动的一个重要因素。

第五章 春季蒙古气旋对中国北方沙尘暴的影响

本章通过天气个例诊断、合成分析方法等研究了蒙古气旋引起沙尘暴的动力、热力条件。同时通过相关分析方法分析了两者的空间分布关系以及年际变化和年代际变化的关系。

沙尘暴是对人类、生态和环境具有严重影响的一种自然灾害，它以沙埋、风蚀、大风袭击和污染大气环境等形式淹没农田、村庄、道路、水源等，严重危害人民生活和健康，甚至生命和财产安全，并加剧了干旱、半干旱地区的荒漠化进程。强烈的沙尘暴可使地面水平能见度低于50 m，破坏力极大，俗称黑风。根据我国[地面气象观测规范]规定，沙尘天气分为不同的等级：强风将地面大量尘沙吹起，使空气特别混浊，水平能见度小于1 km 为沙尘暴；大风将地面沙尘吹起，使空气相当混浊，水平能见度在1 km 至10 km 以内为扬沙；尘土、细纱均匀地浮在空中，使能见度小于10 km 为浮尘。本文研究对象仅限于沙尘暴。

针对沙尘暴的时空分布、变化规律和气候因子等方面的研究,已有诸多成果[周自江等, 2002,2003; 翟盘茂等,2003; Qian 等, 2001; 王小玲等, 2004; 张莉等, 2003]。周自江等[2002,2003]分析了近 47 年我国沙尘暴的时空分布特征以及中国北方典型强沙尘暴事件(1954~2002)。翟盘茂等[2003]分析表明我国的沙尘天气受到多种气候要素的综合影响,西北地区和内蒙古西部沙尘多发区的沙尘天气频数受气象条件影响最为显著;风速、湿度在沙尘天气的季节变化中影响最大,降水在沙尘天气的年际变化中影响最大。Qian 等[2001]认为近半个世纪以来中国沙尘天气的减少与北方气旋呈减弱趋势有关。王小玲等[2004]发现春季海平面气压的变化导致近地面风速的减小从根本上影响了中国沙尘天气发生的频数。张莉等[2003]指出在过去的近 50 年内,造成中国北方沙尘暴频率显著下降趋势的直接自然原因是沙尘源区和发生区平均风速和大风日数的减少。

关于沙尘暴的天气气候动力学的研究,也备受关注[方宗义等, 1997; 叶笃正等, 2000; 周秀骥等, 2002]。沙尘暴的发生需要 3 个条件: 1. 足够强劲的

风力；2. 对流层低层处于层结不稳定；3. 大风经过地区内下垫面植被稀疏，土质干燥疏松，存在充足的沙尘源[方宗义等，1997]。叶笃正等[2000]提出我国北方地区大风日数的增减是气候周期性变化的反映，2000 年强沙尘天气陡增是因为处于反厄尔尼诺事件的高峰期所致造成。周秀骥等[2002]指出 2000 年春季影响北京的沙尘暴过程起沙的动力条件与春季冷空气活动等气候因素有关，进一步提到该次沙尘暴过程与自西北向东南移动的天气或次天气尺度的强锋面结构特征密切相关。并指出一般情况下，我国沙尘暴天气均由春季强冷空气活动所造成，又明确提到2000年春季蒙古共和国到我国北方地区温带低气压活动增多，春季这种活跃的冷空气活动可能是沙尘天气频繁的直接原因。

蒙古是东亚温带气旋的高频活动区。蒙古气旋属于典型的东亚北方温带气旋，是一种与北支锋区相联系[朱乾根等，1981]的天气尺度锋面系统，与冷空气活动密切相连。蒙古气旋产生的大风天气可以持续多日，对沙尘暴的产生和发展起着重要作用。因此着眼于蒙古气旋，探讨其与中国北方沙尘暴的关系对进一步认识沙尘暴的发生发展具有重要意义。

春季是一年中沙尘暴发生频数最高的季节，而且春季沙尘暴的分布范围最广，分布特征与全年最为相似[唐国利等，2005]。春季北方大部地区沙尘暴日数占全年沙尘暴日数的比率都在 50~80% [Zou and zhai,2004]。一方面冷空气活动频繁造成大风天气，另一方面土壤解冻，植被稀疏，天气气候条件和下垫面都有利于沙尘暴的发生。春季冷空气活动异常是提供沙尘暴发生、发展的重要动力条件。因此，本文只讨论春季蒙古气旋活动对沙尘暴天气的影响。

5.1 资料和方法

本文的研究基于 ECMWF 再分析资料和中国地面观测资料以及 T106 物理量场资料。

5.1.1 ECMWF 海平面气压场再分析资料

再分析资料存在的均一性问题已经引起气候变化研究工作的高度关注。20 世纪 70 年代末期，随着卫星资料的加入，同化技术的应用使再分析资料发生了明显的变化，国际上一些学者指出 NCEP/NCAR 和 ECMWF 的再分析资料（ERA40）在 1979 年以后较之前期更为可靠。为此，本研究中海平面气压场再分析资料只截取 1979~2001 年时段。

选取 1979~2001 年 ECMWF 海平面气压场再分析资料 00、12UTC 两个时次，其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。在客观定义温带气旋的基础上，本研究采用改进的计算机自动识别气旋中心和自动跟踪气旋路径算法（见第三章），计算获得 1979~2001 年 $80^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ， $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 范围的全年北方气旋数据资料集。

5.1.2 中国沙尘暴观测资料

和 ECMWF 海平面气压场再分析资料时间序列相对应，选取 1979~2001 年资料可靠、完整的中国站点沙尘暴逐日观测资料，参考中国气象局预测减灾司制定的沙尘天气预警业务服务暂行规定（修订）（2003 年 3 月 1 日起执行），本文定义同一日有三个或三个以上观测站出现沙尘暴定为一个沙尘暴日，统计得到包括沙尘暴日期和站点的数据集。

5.1.3 沙尘暴发生的动力和热力要素资料

5.1.3.1 国家气象中心 T106 分析场资料

资料时段只有 1995~2000 年 12 时 (UTC)。所用要素为经格点插值的 673 站垂直速度和假相当位温。

5.1.3.2 中国地面定时观测风向风速资料

只统计每个站点每日 02、08、14、20 时的 4 个时次中最大风速。

5.1.3.3 ECMWF 近地面风速再分析资料

与 T106 资料对应，所用要素为 ECMWF 再分析资料的 10 米风速资料 (u 、 v 分量)，其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。用于分析全风速。

5.1.4 蒙古气旋定义

兼顾地理位置和北方气旋高频区域分布，在全年北方气旋数据资料集的基础上，本文定义凡经过 $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ ， $42.5^{\circ}\sim 52.5^{\circ}\text{N}$ 范围内的温带气旋称为蒙古气旋（参考第四章）。据此建立春季蒙古气旋数据库。

表 5.1 和表 5.2 是计算机输出的两个个例的蒙古气旋的位置和强度：（时间为 UTC）

表 5.1 1987 年 5 月 15 日：

年/月/日/时	纬度 ($^{\circ}\text{N}$)	经度 ($^{\circ}\text{E}$)	中心气压 (hPa)
1987/5/14/12	45.0	110.0	992.3
1987/5/15/0	42.5	112.5	996.5

1987/ 15/12	42.5	117.5	999.5
1987/ 5/16/0	40.0	120.0	1004.7

表 5.2 2000 年 4 月 28 日

年/月/日/时	纬度 (°N)	经度 (°E)	中心气压(hPa)
2000/ 4/26/12	52.5	102.5	996.6
2000/ 4/27/ 0	52.5	105.0	994.0
2000/ 4/27/12	50.0	105.0	988.6
2000/ 4/28/ 0	47.5	107.5	993.4
2000/ 4/28/ 0	52.5	115.0	992.2
2000/ 4/28/12	52.5	117.5	987.1
2000/ 4/29/ 0	52.5	120.0	992.5

将自动计算的结果和历史天气图进行比较验证发现，计算的气旋中心位置、强度以及移动路径和实况非常接近，说明利用计算机完全可以较好地识别温带气旋。

5.2 春季蒙古气旋日数分布

图 5.1 显示了 1979~2001 年春季 (MAM) 蒙古气旋年平均格点日数分布，可以看出位于蒙古的中东部地区是北方气旋高频活动区。这与朱乾根等[1981]的温带气旋的研究结论是一致的。

图5.1 1979~2001年春季 (MAM) 温带气旋年平均格点日数分布 (阴影部分表示气旋日数大于1 天)

5.3 春季沙尘暴日数分布

图5.2 1979~2001年春季中国北方地区沙尘暴年平均日数分布 (阴影部分表示沙尘暴日数大于1 天, 黑点表示沙尘暴出现站点)

图 5.2 显示 1979~2001 年中国北方地区春季沙尘暴年平均日数分布。我国西北地区、华北北部以及青藏高原和东北平原部分地区沙尘暴出现日数普遍大于 1 天, 是沙尘暴的主要影响区, 其中塔里木盆地及其周围地区、河西走廊、阿拉善盟, 鄂尔多斯高原是沙尘暴的高频发生区, 沙尘暴出现日数在 5~11 天(如新疆民丰 11 天、甘肃民勤 9 天), 这与 Zou and zhai[2004] 的春季沙尘暴的空间分布特征是基本一致的。这些地区受荒漠化影响和危害比较严重, 地表多为沙地和旱地。正是这些植被稀疏或无植被覆盖的地表构成了充足的沙尘源条件, 受到气温升高, 蒸发加剧, 大风多, 降水少, 相对湿度低等气候条件的综合影响[翟盘茂等, 2003], 导致春季沙尘暴的频繁发生。

5.4 蒙古气旋引起沙尘暴的动力、热力条件分析

表 5.3 1995~2000 年 6 个沙尘暴个例统计(其中风速为定时观测值, 单位: (米/秒))

沙尘暴发生日期	发生站数	日最大风速	日最大平均风速	≥5 米/秒站数	蒙古气旋中心(位置、强度)
19950516	13	25	9.6	12	45.0°N、110.0°E; 994.4 hPa
19960423	20	18	10.9	19	47.5°N、115.0°E; 993.1 hPa
19970509	6	12	7.3	5	50.0°N、115.0°E; 994.1 hPa
19980419	20	20	11.1	17	50.0°N、107.5°E; 983.0 hPa
19990424	15	19	9.0	12	45.0°N、110.0°E; 1004.2 hPa
20000428	23	22	9.9	22	52.5°N、115.0°E; 992.2 hPa

图 5.3a 1995~2000 年蒙古气旋引起沙尘暴天气的 ω 垂直廓线
(单位: 10^{-2} Pa/s)

图 5.3b 1995~2000 年蒙古气旋引起的沙尘暴天气的假相当位温垂直廓线(单位: k)

由于 T106 物理量资料所限, 本文仅选取 1995~2000 年每年影响较大的 1 个沙尘暴日共 6 个个例, 来考察蒙古气旋引起沙尘暴的动力和热力条件。本文对每个沙尘暴日的所有发生站点的 20 时各层垂直速度 (ω) 和对流层中下层的假相当位温分别进行平均, 得到每个沙尘暴日的发生区域的各层平均垂直速度和平均假相当位温垂直廓线, 分别显示在图 3a-b。可以看出, 图 5.3a 中 6 例中有 3 例反映上升运动比较强, 上升运动一直伸展到 200hPa 及以上高度。

图 5.4a 1995~2000 年(不含 1999 年)00UTC 5 个蒙古气旋个例与 10 米风速的合成分析图

图 5.4b 2000 年 04 月 28 日 00UTC 海平面气压场、全风速(虚线)、定时观测日最大风速和沙尘暴综合图

研究发现, 沙暴的起沙风速为 5 米/秒, 尘暴更小[申元村等, 2001], 春季沙尘暴与大于 5m/s 有效起沙风速关系密切[张莉等, 2003]。所以, 考察蒙古气旋与大风区的分布关系, 便可以了解沙尘暴与蒙古气旋的分布特征。本文通过对 1995、1996、1997、1998 和 2000 年的 5 个个例合成分析得到蒙古气旋与 10 米风速的分布(由于 1999 年蒙古气旋强度较弱(见表 5.3), 合成分析中剔除该个例), 结果参见图 4a。

合成分析法的要点是: 参加综合的各个例形势场要尽量相似, 要在各个例被综合系统中心相重、保持相对于原系统中心位置不变的情况下进行各个例同要素场的综合平均[许宝玉等, 1997]。

从图 5.4a 可以看出, 大于 5m/s 等风速线的区域分布在蒙古气旋的中心附近以及气旋外围的偏南象限, 距离气旋中心约 10 个纬距左右。图 5.4b 显示 2000 年 4 月 28 日 00UTC 海平面气压场、全风速、定时观测日最大风速和沙尘暴发生站点, 可以明显看出沙尘发生区域与 5m/s 等风速线和定时观测日最大风速有很好的对应关系。

5.5 1979~2001 年春季蒙古气旋日数和沙尘暴日数的变化趋势与相关

图 5.5 1979~2001 年春季蒙古气旋日数与沙尘暴日数年际变化曲线

图 5.5 给出春季蒙古气旋日数与春季沙尘暴日数年际变化曲线。从中可以明显看出两者有比较一致的多年变化趋势。20 世纪 80 年代早、中期春季蒙古气旋活动与沙尘暴发生都处在一个相对高值的阶段,但从 80 年代后期到 90 年代两者呈一致的波动下降趋势,1997 年春季蒙古气旋活动与沙尘暴的发生都减弱到最低值,随后 90 年代末到 21 世纪初两者又出现明显的回升势头。80 年代后期到 90 年代这一时期蒙古气旋活动的减少可能是沙尘暴减少的原因之一。这与 Qian et al. [2001]和王小玲等[2004]中关于温带气旋以及海平面气压场与沙尘暴的关系的研究结果是一致的。1997 年以后到 2001 年沙尘暴活动的再次增加,一方面与这几年北方地区植被覆盖面积的减少有很大关系[Zou and Zhai, 2004];另一方面蒙古气旋活动的增加也是一个重要因素。这也进一步证实了李栋梁等[2004]的研究结论。

图 5.5 也反映出 1979~2001 年两者的年际变化的关系。显然,1982 年以前的几年两者的关系不如 1982 年以后的时期关系紧密,蒙古气旋活动日数明显少于同期沙尘暴发生日数。我们知道,沙尘暴的发生取决于动力条件和丰富的沙尘源。据研究,70 年代末到 80 年代初,整个北方地区(包括东北地区、华北地区、西北地区)都处在干旱严重的时期[Zou and Zhai, 2005],沙尘源条件非常有利于沙尘暴的出现,只要有适宜的动力条件就可产生沙尘暴;另外,与沙尘暴产生所需的动力条件配合的冷空气活动也可以由其它天气系统所引起。

表 5.4 显示出春季蒙古气旋日数与春季沙尘暴日数两者相关系数达 0.68,其中 3、4、5 月相关系数分别为 0.65、0.49、0.57,均大于 0.41(显著水平为 95%)。很明显,无论春季还是 3、4、5 月,两者都表现为显著相关。说明春季以及春季各月蒙古气旋与沙尘暴之间都存在着密切的关系,表明蒙古气旋对

沙尘暴有着重要的影响。而其中3、4、5月尤以3月相关最好，这可能是因为3月份蒙古气旋带来的冷空气活动相对较强的原因。

表 5.4 春季及其分月蒙古气旋与沙尘暴日数相关系数（通过 0.05 显著性检验）

Table 5.4 correlation coefficient between the number of Mongolian cyclone and dust storm (statistically significant at 95% confidence level)

沙尘暴 气旋	3~5月	3月	4月	5月
3~5月	0.68			
3月		0.65		
4月			0.49	
5月				0.57

图 5.6 1979~2001 年春季蒙古气旋日数与中国北方沙尘暴日数的相关系数分布(阴影部分表示相关系数大于 0.4) (95%显著水平)

图5.6 表示1979~2001年春季蒙古气旋日数与北方沙尘暴日数的相关系数空间分布。正相关大于0.4的区域分别位于新疆、内蒙古、河西走廊、东北平原以及西北地区东部和华北的一些地区。特别是，正相关超过0.5以上的高相关的区域分别与塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和科尔沁沙地对应比较好。而且，比较图5.2与图5.6可以看出，沙尘暴的高频发生区域都是与春季蒙古气旋相关比较好的区域。空间相关系数分布进一步表明春季蒙古气旋与沙尘暴有着密切关系。

5.6 小结

中国北方春季沙尘暴天气现象与春季蒙古气旋有着密切的关系。沙尘暴发生区域基本上与大风区相对应，主要分布在蒙古气旋中心附近或气旋外围的偏南象限，甚至可以产生在距离气旋中心较远的位置。春季蒙古气旋带来的大风、垂直上升运动较为明显，为沙尘暴的发生提供了有利的动力条件。

空间相关系数分布进一步表明春季蒙古气旋与沙尘暴的密切关系。正相关显著的区域分别位于新疆、内蒙古、河西走廊、东北平原以及西北地区东部和

华北的一些地区。在塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和科尔沁沙地关系更为显著。

春季蒙古气旋日数与中国北方沙尘暴日数有比较一致的多年变化趋势。20世纪80年代早、中期春季蒙古气旋活动与沙尘暴日数都处在一个相对高值的阶段，但从80年代后期到90年代两者呈一致的波动下降趋势。1997年两者的活动都减弱到最低值，随后又逐渐增多。两者相关系数达0.68，呈显著正相关，说明春季蒙古气旋与沙尘暴之间存在着密切的关系。

第六章 温带气旋可能的变化原因

近来的研究表明,人类活动造成的全球变暖可能是导致北半球温带气旋路径向北偏移的主要原因。另外,对流层低层大尺度斜压性、急流和北大西洋涛动(NAO)也是影响北大西洋地区气旋活动的重要因素。

全球变暖的影响:

在全球变暖的进程中,北半球冬季气温的升高趋势表现的最为剧烈,尤其是在中高纬度地区更为明显。McCabe et al.[2001]发现冬季气旋频率的变化与北半球冬季温度的变化有较好的相关,具体表现为北半球冬季温度与中纬度(30°-60°N)气旋频率呈负相关而与高纬度(60°-90°N)气旋频率呈正相关,两种相关均显著且前者的相关表现更强。那么在这种相关关系下,全球变暖可能造成高纬度气旋活动增加,中纬度气旋活动减少,这支持了全球变暖可能导致北半球气旋路径向北偏移的假设。

李栋梁等[2004]认为20世纪80年代以来的太阳活动加强,全球气候变暖,青藏高原地面加热场强度加强,欧亚西风急流轴北移,西太平洋副热带高压偏北偏西,强度加强,蒙古气旋减弱,西北西部的沙尘源区降水增加,是中国北方沙尘暴减少的主要原因。

与中纬度斜压波的关系:

Geng and Sugi [2001]应用主分量分析发现,在1958-1998年,北大西洋地区气旋活动与对流层低层大尺度斜压性关系密切。通过研究涡动最大增长率(一个表示斜压性的参数)和200hPa纬向风,Geng and Sugi [2001]发现,在北大西洋的北部对流层低层大尺度斜压性和急流都在增强,两者的变化对应北大西洋的气旋活动,与北大西洋的北部气旋密度的增加、气旋加深率、移动速度和中心气压的增强相一致;Graham and Diaz [2001]的研究表明北半球中纬度斜压波活动在过去的40年已经增加,增强的气旋活动明显是由于北太平洋中部增加的对流层上层风和垂直风切变所致。

与NAO的关系:

同时,Geng and Sugi [2001]应用主分量分析还发现,在1958~1998年,北

大西洋地区气旋活动与北大西洋涛动 (NAO) 的关系。北大西洋的北部气旋密度的增加、气旋加深率、移动速度和中心气压的增强也与北大西洋涛动 (NAO) 指数的变化相一致, 即大西洋气旋频率与 NAO 有高的相关。这与 Graham and Diaz [2001], Gulev et al.[2001]等人的研究结果一致, 值得注意的是 1970 年代中期 NAO 的转变, 与之相联系的欧洲风暴路径有相当大的变化。

与海温的关系

Lambert [1996]认为太平洋强气旋事件的变化和赤道与中纬度的海温梯度有关, 这种关系在大西洋中不明显。Graham and Diaz [2001]发现太平洋地区 25°-40°N 强气旋增加也许与西北热带太平洋海温增加有关。

除上述因素外, Gulev et al.[2001]等人研究表明 PNA 主要与东太平洋气旋频率有关, 并且控制海湾地区和北美海岸的气旋活动。

从温带气旋的发生发展的直接原因来看, 气旋的发生和发展与温压场的分布形势和锋生过程有关。气旋出现的最大频数以及主要路径和锋区的平均位置基本一致。经常处于气旋影响下的地区, 其天气气候条件将具有鲜明的特点, 它们在一个地区的气候形成中占有重要的地位。通过波动的发展和切断过程, 冷空气被输送到低纬度, 暖空气被输送到高纬度, 同时完成高、低纬之间动量、热量和水汽的输送, 使高、低纬之间能量和物质分布通过大型涡旋的调整得以维持。气旋的发生和发展及其消亡的过程必将引起复杂的天气变化, 从而对气候的形成和变化产生重大的影响。作为气候形成的内因, 研究气旋的活动及其演变过程在地球-大气系统中的重要作用是一个不可忽视的课题[潘守文, 1994]。

本章将从分析温带气旋与对流层斜压锋区强度的变化和东亚气温气候变化的变化关系入手, 揭示温带气旋发生发展的直接原因。

温带锋区的平均位置在 45°-55°N 附近, 夏季最北可达 70°N 甚至更北, 冬季最南可达 30°-25°N, 南北移动位置与雨带和高空急流的活动相一致。朱乾根等[1981]指出温带气旋的活动与对流层斜压锋区密切相关, 温带气旋的发生、发展一般都是在斜压锋区上进行的。本研究中将通过分析东亚地区对流层低层 850hPa 温度变化以及斜压锋区强度的变化, 探讨 1958~2001 年 44 年来东亚温带气旋活动可能的变化原因。

6.1 斜压锋区的分布

利用 ERA-40 再分析资料, 分别计算了 850hPa 温度平均 (图 6.1 a: 1958~1979 年 b: 1980~2001 年和 c: (1980~2001) 减 (1958~1979))。图 6.1a-b 中温度密集带分别反映了 1958~1979 年和 1980~2001 年温带气旋的位置和强度。平均而言, 东亚锋区的平均位置位于 45° ~ 55° N, 这与图 3.2 和图 3.5 (第三章) 中气旋高频区域和主要的移动路径极其一致。

图 6.1c 所示: 东亚区域中低纬度 (60° ~ 140° E, 20° ~ 40° N) 气温变化呈负值分布, 而中高纬度 40° ~ 70° N 气温变化呈正值分布 ($>0.4^{\circ}$ C), 东亚地区中低纬度变冷, 而中高纬度却明显变暖且高纬度变暖更为明显。这使得南北径向的温度梯度减小, 从而减弱了中纬度斜压锋区。

图 6.1 850 hPa 东亚区域 (80° ~ 140° E, 40° ~ 60° N) 平均温度 ($^{\circ}$ C)
1958~1979 年(a), 1980~2001 (b) and 1980~2001 减 1958~1979(c)

6.2 温带气旋频数与斜压锋区的关系

为了揭示斜压锋区的这种变化特征, 文中计算了 850hPa 东亚区域 80° ~ 140° E 年平均径向温度梯度 (60° N 减 40° N)。两个纬带的平均温度差值反映出斜压锋区的强度, 温度差值越大, 锋区越强。温度差异减小, 即温度对比较弱, 锋区越弱。

图 6.2 (a, b) 分别为气旋频数、850hPa 锋区强度变化曲线。其中经向的温度梯度以 $0.13(10\text{yr})^{-1}$ 减小。计算图 6.2 中 1958~2001 锋区强度与气旋频数的相关系数发现, 年平均气旋频数与平均的斜压锋区强度存在显著正相关 (相关系数为 0.32, 0.05 显著水平), 锋区强度和气旋频数有较好的对应关系。锋区偏强 (弱) 的年份对应气旋频数偏多 (少), 尤其以 1987 年为最明显。似乎表明温带气旋的频数变化受到斜压锋区的影响。

图 6.2 (a): 温带气旋频数变化 (80° ~ 140° E and 40° ~ 60° N) (b):
850hPa 斜压锋区的变化 (80° ~ 140° E and 40° ~ 60° N)

进一步分析气旋强度与斜压锋区强度的变化，两者没有达到显著的相关。这与(McCabe 2001)的关于气旋强度的研究结论也是一致的。1979~2001年东亚气旋频数与对流层斜压锋区强度的变化以及东亚气温的气候变化的相关更好(0.52)。

6.3 小结

分析温带气旋与对流层低层850hPa斜压锋区强度的变化和东亚气温气候变化的关系表明，1958~2001斜压锋区强度与气旋频数之间存在显著正相关，两者有较好的对应关系。锋区偏强(弱)的年份对应气旋频数偏多(少)，尤其以1987年为最明显。似乎表明温带气旋的频数变化受到斜压锋区的影响。气候变暖使斜压锋区减弱，从而可能导致了温带气旋频数的下降。

气旋强度与斜压锋区强度的变化，两者没有达到显著的相关。

总结

利用 ERA-40 再分析海平面气压场等资料，改进了气旋客观识别与追踪算法，应用气候诊断技术统计分析了温带气旋频数、路径和强度的变化特征。进一步讨论温带气旋变化与大气环流的关系、以及对在气候变暖背景下温带气旋的可能变化原因的初步探讨。得到以下研究结论：

1)、改进的气旋识别与追踪算法能较为客观真实地识别东亚温带气旋。

2)、东亚北方温带气旋活动具有显著的季节变化、年际变化和年代际变化。

20 世纪 70 年代中期到 80 年代，气旋数目呈明显增加态势，80 年代末到 90 年代起又开始回落。春季是一年中气旋多发季节，冬季最少，以 5 月发生频数最多，1 月发生频数最少；春、夏、秋、冬四季气旋频数变化年际差异明显，而气旋频数的年代际变化和长期趋势较为一致。年际变化和年代际变化特征都表现出春季的主要贡献。

空间分布显示温带气旋主要沿 40° - 50° N 一带移动，蒙古地区是温带气旋发生的高频区域。这种分布特征是东亚中纬度斜压锋区的反映。80 到 90 年代空间分布的变化主要表现为 100° - 110° E, 45° N, 频数减弱最明显。进一步分析表明，90 年代与 80 年代相比，气旋高频活动中心已经明显向北偏移，偏移了大概 2 个纬度。

在全年和四季的背景下东亚北方温带气旋强度都呈减弱趋势。

3)、对蒙古气旋的研究表明，蒙古气旋活动存在明显的季节变化、年际变化和年代际变化。1979~2001 年，蒙古气旋频数减少、强度减弱。20 世纪 80 年代中期，蒙古气旋活动最强，80 年代末开始到 90 年代蒙古气旋日数明显下降。春季蒙古气旋出现的频数最多，冬季出现频数最少。从 80 到 90 年代，春、夏、秋、冬四季蒙古气旋活动呈一致的波动减少的趋势。其中春季变化与全年最为一致。蒙古气旋活动的年际差异也十分明显，蒙古气旋活动偏多年和偏少年对对流层低层 850hPa 温度场距平分布存在明显差异，在蒙古及东亚地区偏多年对应

较强的负距平；而偏少年相反，对应较强的正距平。这不仅表明蒙古气旋活动偏多年和偏少年大气环流存在明显差异，也表明蒙古气旋频数与蒙古及东亚地区 850hPa 温度的负相关关系。

4)、中国北方春季沙尘暴天气现象与春季蒙古气旋有着密切的关系。沙尘暴发生区域基本上与大风区相对应，主要分布在蒙古气旋中心附近或气旋外围的偏南象限，甚至可以产生在距离气旋中心较远的位置。空间相关系数分布显示正相关显著的区域分别位于新疆、内蒙古、河西走廊、东北平原以及西北地区东部和华北的一些地区。在塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和科尔沁沙地关系更为显著。春季蒙古气旋日数与中国北方沙尘暴日数有比较一致的多年变化趋势。20 世纪 80 年代早、中期春季蒙古气旋活动与沙尘暴日数都处在一个相对高值的阶段，但从 80 年代后期到 90 年代两者呈一致的波动下降趋势。1997 年两者的活动都减弱到最低值，随后又逐渐增多。两者相关系数达 0.68，呈显著正相关，说明春季蒙古气旋是影响沙尘暴的主要的天气系统。

5)、分析温带气旋与对流层低层 850hPa 斜压锋区强度的变化和东亚气温气候变化的关系表明，1958~2001 年斜压锋区强度与气旋频数之间存在显著正相关，两者有较好的对应关系。锋区偏强（弱）的年份对应气旋频数偏多（少），尤其以 1987 年为最明显。似乎表明温带气旋的频数变化受到斜压锋区的影响。气候变暖使斜压锋区减弱，从而可能导致了温带气旋频数的下降。

参考文献:

- Alexander L. V.; S. F. B. Tett, and T. Jonsson. Recent observed changes in severe storms over the United Kingdom and Iceland, *Geophys. Res. Lett.*,2005,32,L13704, doi:10.1029/2005GL022371.
- Angel, J.R., and S.A. Isard. The frequency and intensity of Great Lake cyclones. *J. Climate* [J], 1998, 11, 61-71.
- Bähring, L., and H. von Storch. Scandinavian storminess since about 1800. *Geophys. Res. Lett.*, 2004, 31, doi:10.1029/2004GL020441.
- Geng, Q., and M. Sugi. Variability of the North Atlantic cyclone activity in winter analyzed from NCEP-NCAR reanalysis data [J]. *J. Climate*, 2001, 14: 3863-3873.
- Graham, N.E., and H.F. Diaz. Evidence for intensification of North Pacific winter cyclones since 1948 [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2001, 82: 1869-1893.
- Gulev, S. K., O. Zolina and S. Grigoriev. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data [J]. *Climate Dynamics*, 2001, 17: 795-809.
- Lambert, S. J.. Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1899-1991 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101: 21319-21325,p3-19.
- Li Wei and Zhai Panmao. Variability in Occurrence of China's Spring Dust Storm and its Relationship with Atmospheric General Circulation. *Acta Meteor. Sin.* 2003, 17 (4): 396-405.
- Lisa V. Alexander and Simon F. B. TettRecent observed changes in severe storms over the United Kingdomand Iceland. *Geophys. Res. Lett.*, 2005, VOL. 32, L13704, doi:10.1029/2005GL022371.
- McCabe, G. J., M. P. Clark and M. C. Serreze. Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity [J]. *Journal of Climate*, 2001, 14, 2763-2768.
- Qian Weihong, Quan Lingshen and Shi Shaoyin. Variations of the dust storm in China and its climatic control [J]. *J. Climate*, 2001, 15: 1216-1229.
- Serreze, M. C., F. Carse, R. G. Barry, and J. C. Rogers. Icelandic low cyclone activity: climatological features, linkages with the NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation [J]. *J. Climate*, 1997, 10: 453-464.
- Simmonds, I., and K. Keay.: Variability of Southern Hemisphere extratropical cyclone behavior 1958-97. *J. Climate* [J], 2000, 13, 550-561.

- Wang, X.M. and P.M. Zhai. Variation of Extratropical Cyclone Activity in Northern East Asia. *Advances in Atmospheric Sciences*. 2006 (Submitted)
- Zou, X., L. V. Alexander, D. Parker, and J. Caesar. Variations in severe storms over China, *Geophys. Res. Lett.*, 2006, 33, L17701, doi:10.1029/2006GL026131.
- Zou, X.K. and P.M. Zhai. Relationship between vegetation coverage and spring dust storms over northern China. *Journal of Geophysical Research*, 2004, vol. 109, D03104, doi:10.1029/2003JD003913, 2004.
- Zou, X.K. and P.M. Zhai. Variations in droughts over China: 1951–2003. *Geophys. Res. Lett.*, 2005, vol. 32, L04707, doi:10.1029/2004GL021853.
- 丁一汇, 高等天气学[M].北京: 气象出版社, 2004.
- 丁一汇, 王绍武, 等.大气科学辞典[M].北京: 气象出版社, 1996. 19-20.
- 方宗义,朱福康,江吉喜,等. 中国沙尘暴研究[C]. 北京: 气象出版社, 1997.
- 郭锐, 张杰, 韩涛, 等. 西北特殊地形与沙尘暴发生的关系探讨[J]. 中国沙漠,2004 ,24 (5) :576 - 581.
- 黄嘉佑, 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000, 302-304.
- 李栋梁, 王涛, 钟海玲. 中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测[J]. 中国沙漠,2004,24 (3) :376 - 379.
- 历史天气图[M], 中国气象局国家气象中心
- 刘景涛. 中国西北地区 1993 年 5 月 5 日特强沙尘暴的机理探讨[J]. 应用气象学报,1996 , (3) :371 - 376.
- 潘守文, 现代气候学原理[M], 北京: 气象出版社, 1994, 265-308.
- 钱正安,贺慧霞,翟章,等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征[A]. 中国沙尘暴研究[C]. 北京:气象出版社,1997.
- 申元村, 杨勤业, 景可, 等. 我国的沙尘暴、尘暴灾害及其防治[J].中国减灾,2001,11(2):28-30.
- 寿绍文, 天气学分析[M].北京: 气象出版社, 2002.
- 唐国利, 巢清尘. 近48年中国沙尘暴的时空分布特征及其变化[J].应用气象学报, 2005, 16 (增刊) :128-132
- 王小玲,翟盘茂. 中国春季沙尘天气频数的时空变化及其与地面风压场的关系[J].气象学报, 2004, 62(1):96-103.
- 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].南京气象学院学报, 2005, 28 (3) : 391-397.
- 伍荣生, 现代天气学原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- 许宝玉, 钱正安, 焦彦军. 西北地区五次特强沙尘暴前期形势和要素场的综合分析与预报[A]. 见:方宗义等编.中国沙尘暴研究[C].北京:气象出版社, 1997.1~10

- 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000, 55(5):513-521.
- 姚素香,张耀存,周天军. 近50a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.
- 翟盘茂,李晓燕. 中国北方沙尘天气的气候条件[J].地理学报,2003, 58(增刊):125-131.
- 张莉,任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析[J].气象学报,2003,61(6):743-750.
- 张尚印, 北方气旋的若干统计特征及其发展的天气学分析, 高原气象[J], 1984, 3卷3期, 83-89;
- 张尚印, 春季我国北方气旋的活动与降雨的关系, 大气科学[J], 1989, 13卷2期, 247-251;
- 地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,1979. 21-27.
- 周秀骥,徐祥德,颜鹏,等. 2000年春季沙尘暴动力学特征[J].中国科学,D辑,2002, 32(4):327-334.
- 周自江,王锡稳,牛若芸. 近47年中国沙尘暴气候特征研究[J].应用气象学报,2002, 13(2): 193-200.
- 周自江,章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954-2002)[J].科学通报,2003, 48(11):1224-1228
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,1981.

致 谢

本研究工作是在我的导师国家气候中心首席翟盘茂研究员的悉心指导下完成的，同时南京信息工程大学江志红教授也给了我细致的指导。翟盘茂研究员不仅学识渊博，治学严谨，而且平易近人，具有精湛的专业技能、敏锐的观察力、创新的开拓精神和诲人不倦的精神风范。在一年多的时间里，在论文进行的过程中，从查阅文献、编制程序到绘图技巧甚至英文写作规范，他都一一对我指导训练，让我感动至深，终生铭记在心。翟盘茂研究员和江志红教授的言传身教使我认识到科学的方法和严谨的治学态度对一名专业科技工作者的重要。在此谨向翟盘茂研究员和江志红教授致以诚挚的感谢和深深的敬意。

我所在的单位河南省气象局党组特别是胡鹏局长以及人事教育处的领导为我求学提供了难得的机会，创造了有利的条件，在此也向他们深表感谢和致以崇高的敬意。在作论文期间，国家气候中心和国家气象中心的许多专家，任富民、杨贵明、乔林、李锋、陈涛、邹旭恺、李威等人给了我热心的帮助，在此向他们以及张艳霞、杨晓丹、王翠翠等同学表示感谢。

感谢南京信息工程大学大气科学学院和研究生部的老师们。

再一次向所有关心、支持和帮助过我的领导、同事和朋友表示衷心的感谢。

王新敏

2007年1月

在学习期间发表或撰写论文和参加的科研活动:

论文:

- 1、 Wang, X.M.(王新敏)and P.M. Zhai. (翟盘茂), 2006: Variation of Extratropical Cyclone Activity in Northern East Asia. *Advances in Atmospheric Sciences*. (submitted). 参加 2006 年 11 月北京 (ESSP) 地球科学联盟国际会议。
- 2、 王新敏等, 春季蒙古气旋对中国北方沙尘暴的影响, 已投稿。参加 2006 年中国气象学会年会交流。
- 3、 王新敏等, 北半球温带气旋的变化研究进展, 气候变化研究进展 (已接受)。
- 4、 王新敏等, 蒙古气旋的气候特征及变化, *气象与环境科学*, 2007 (1)。

科研:

- 1、参加中国气象局气候变化项目(CCSF2006-23)--气候变暖背景下东亚温带气旋的变化研究
- 2、主持河南省气象局重点项目 Z200603 东亚温带气旋的变化及其对黄淮流域的天气影响。

论文附图

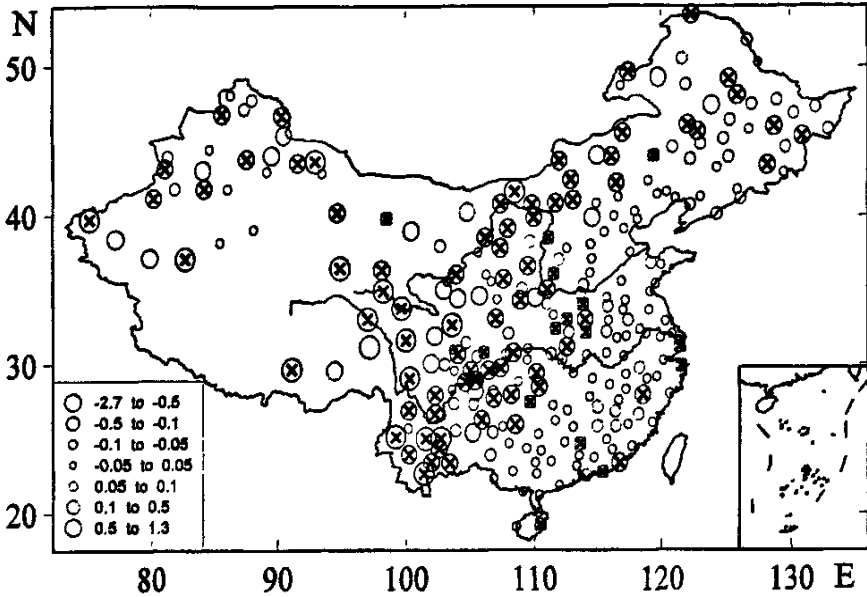


图 1.1 1951-2004 年中国年 6 小时变压第 99 百分位数变化趋势 (hPa/10 年)
(叉号表示通过 5% 信度检验) [Zou et al., 2006]

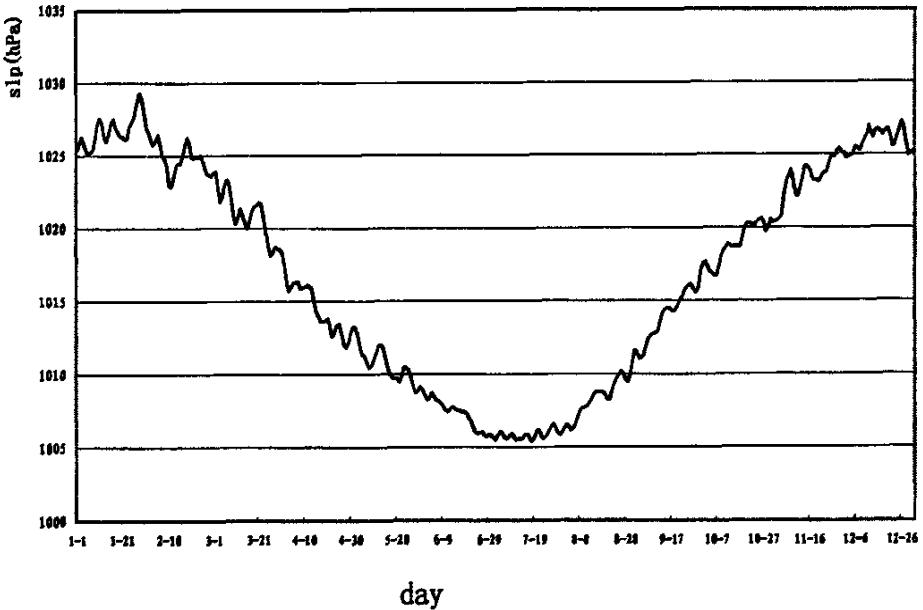


图 3.1 1971-2000 年逐日海平面气压气候平均 (80°-140°E, 25°-60°N) (单位: hPa)

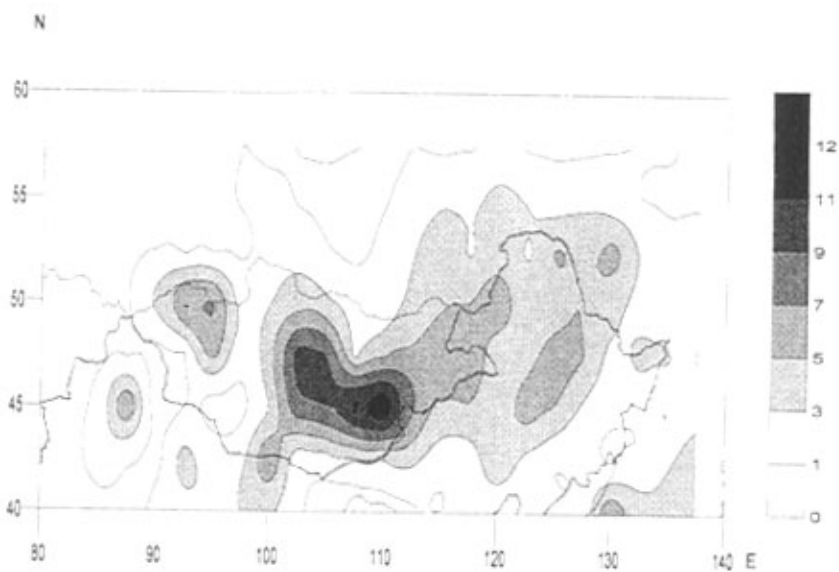


图 3.2 1958~2001 年格点上发生的温带气旋年平均数 (单位: 个/年)

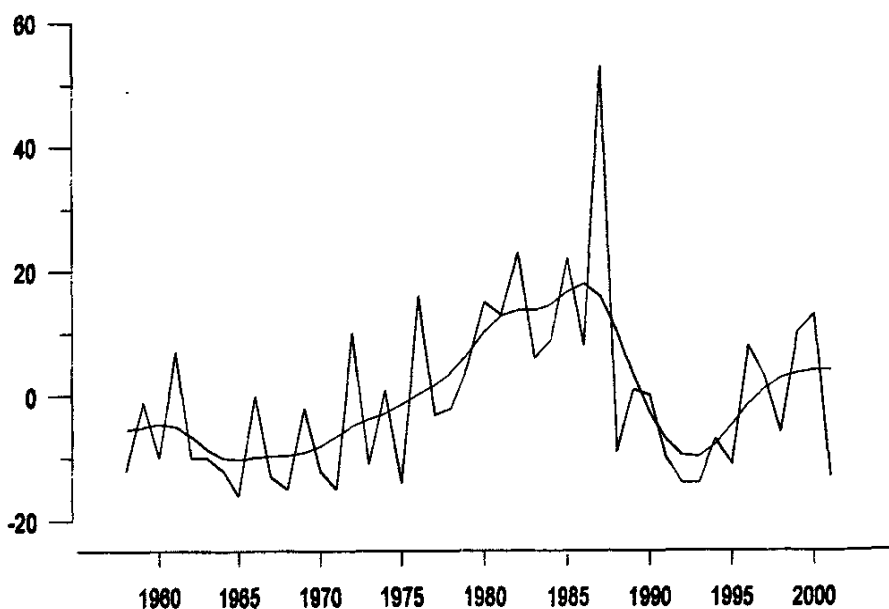


图 3.3a 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 发生频数距平 (单位: 个) (相对于 1958~2001 年)

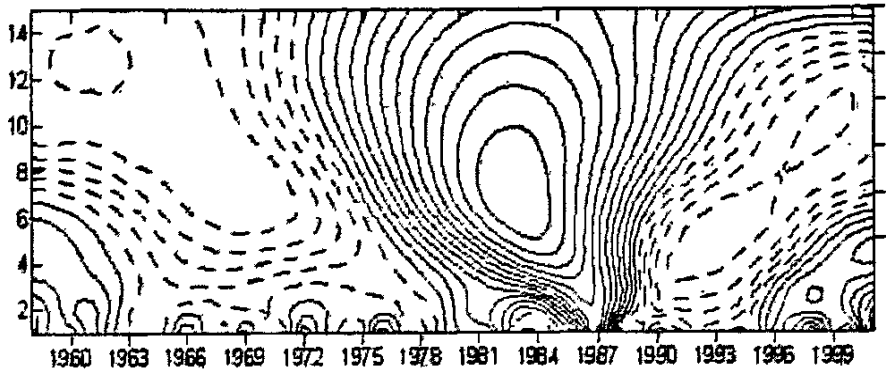


图 3.3b 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 发生频数的小波分析

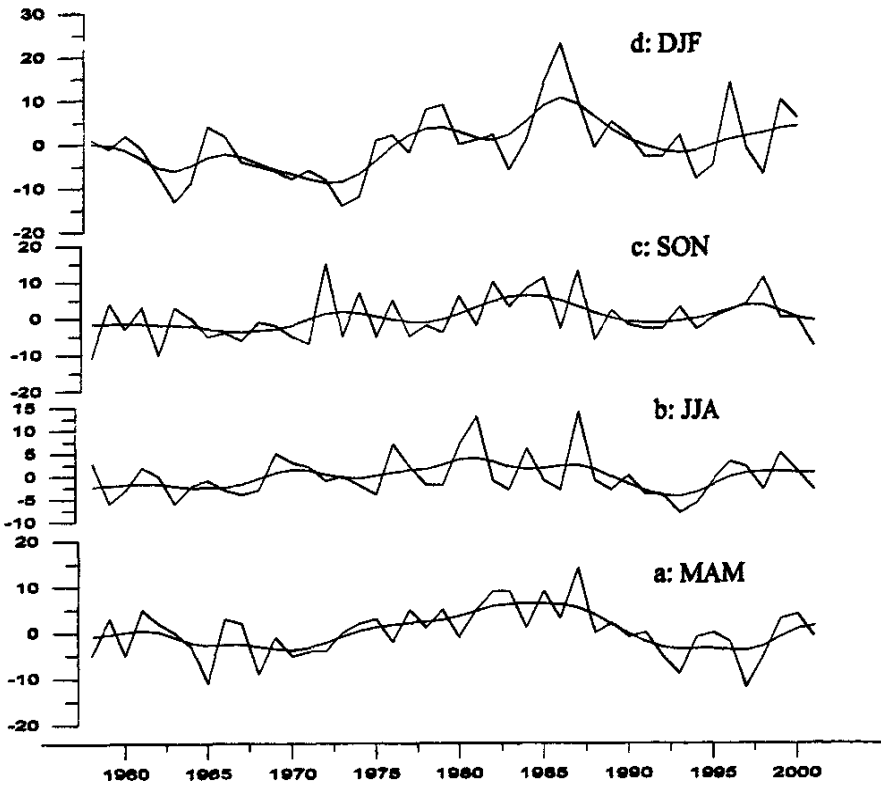


图 3.4 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 各季节的频数距平 (1958~2001 年)

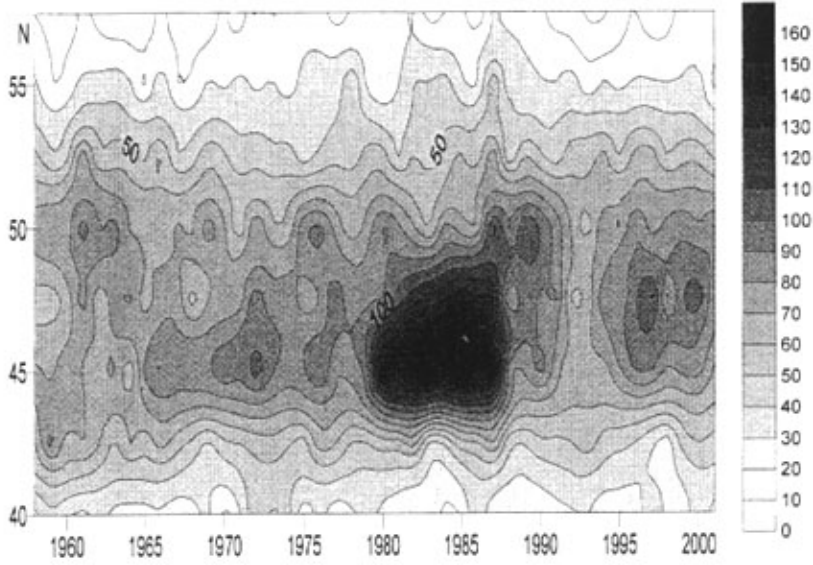


图 3.5 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E) 发生频数随纬度分布

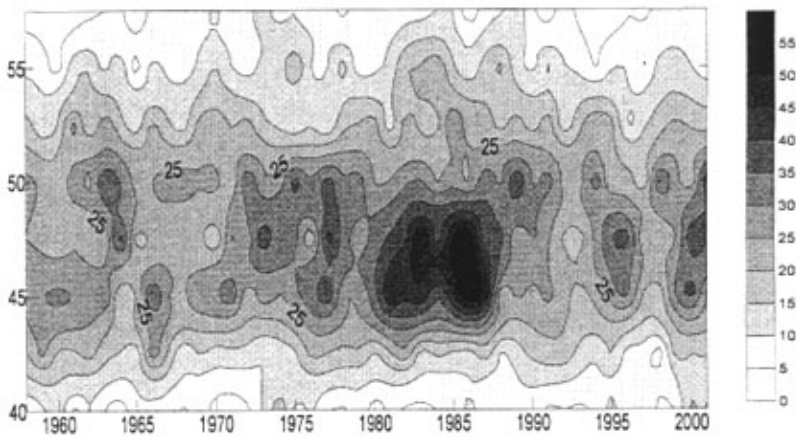


图 3.6 1958~2001 年春季温带气旋 (80°-140°E) 发生频数随纬度分布

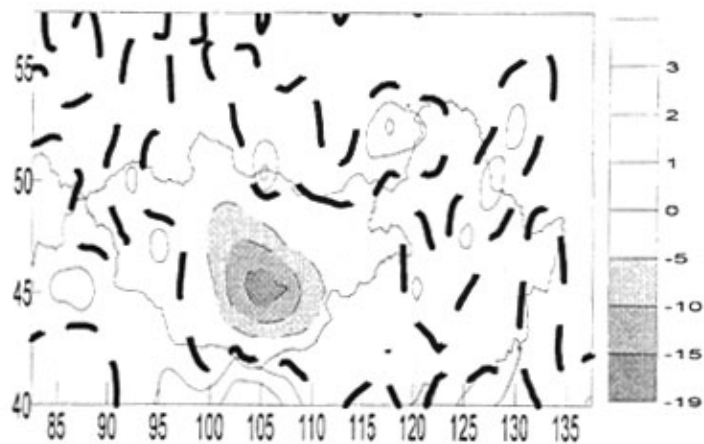


图 3.7 温带气旋格点年平均数差值 (1990~1999 年减 1980~1989)

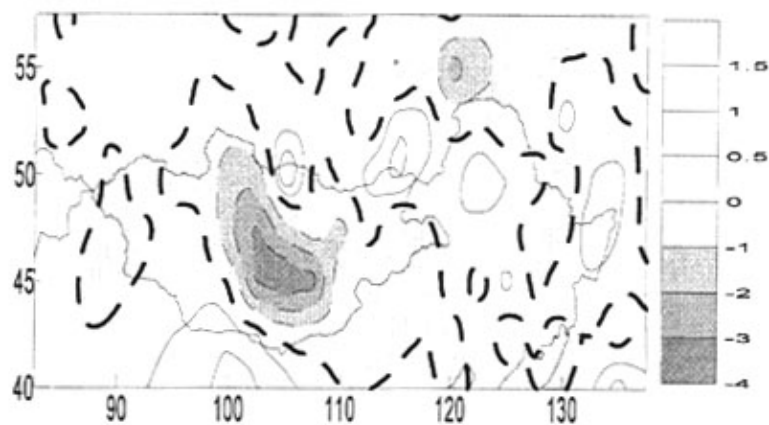


图 3.8 春季温带气旋格点年平均数差值 (1990~1999 年减 1980~1989)

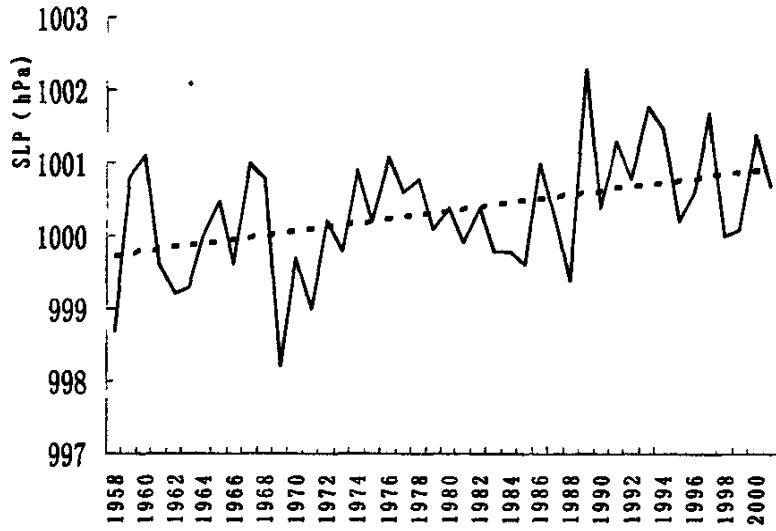


图 3.9 1958~2001 年温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 年平均强度(单位: hPa)

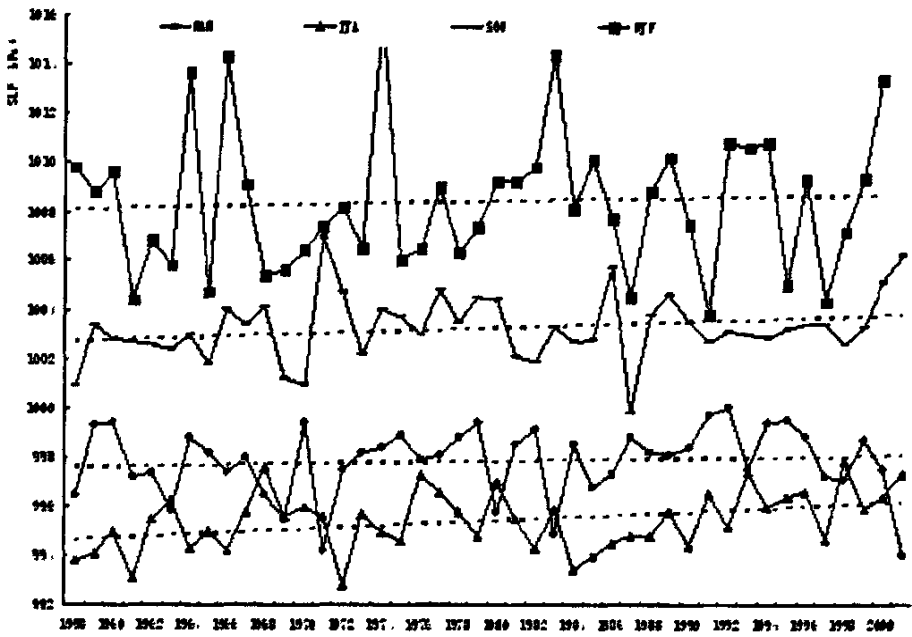


图 3.10 1958~2001 年各季温带气旋 (80°-140°E, 40°-60°N) 年平均强度(单位: hPa)

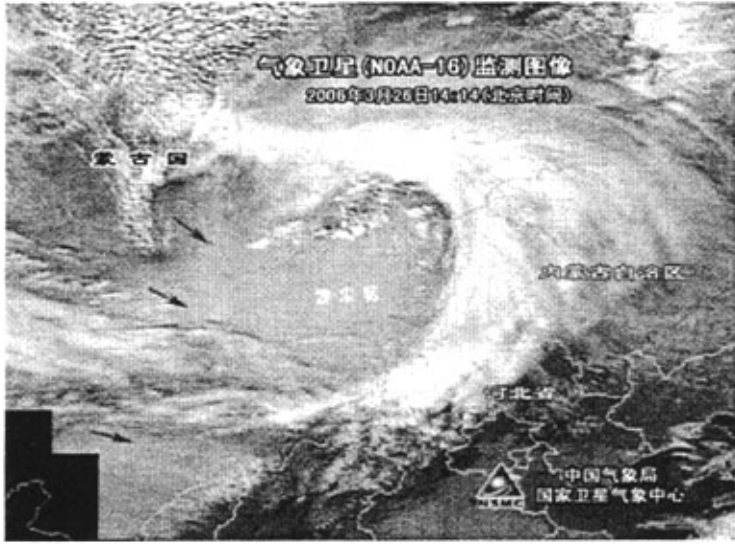


图 4.1 2006 年 3 月 26 日蒙古气旋与沙尘天气图像
 (<http://news.sina.com.cn/c/2006-04-10/10469578493.shtml>)

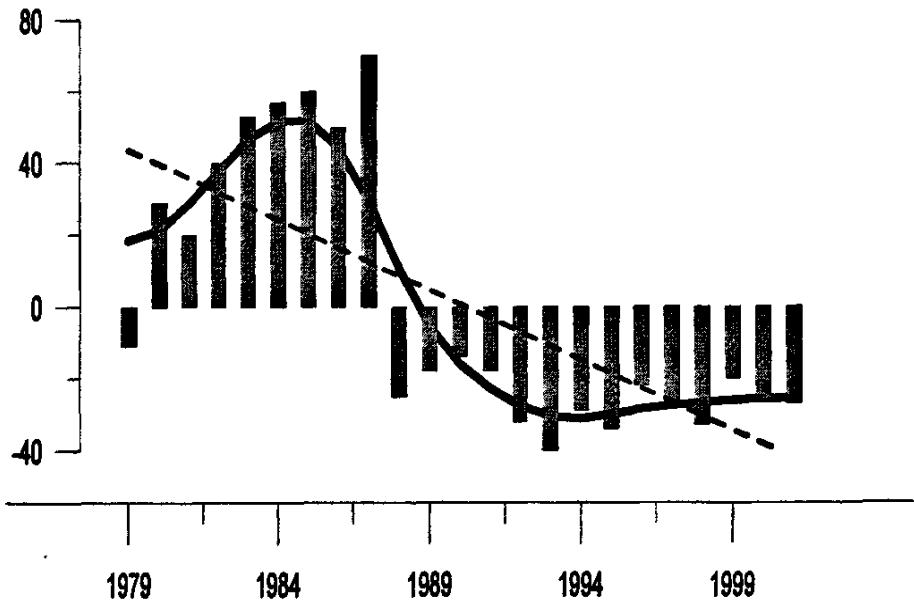


图 4.2 1979~2001 年蒙古气旋发生频数距平 (相对于 1979~2001) (单位: 日)

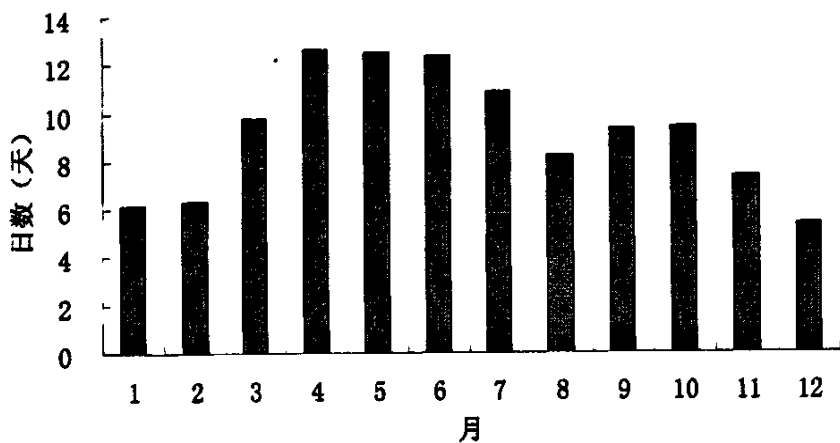


图 4.3 1979-2001 年 1-12 月蒙古气旋年平均发生频数 (单位: 日)

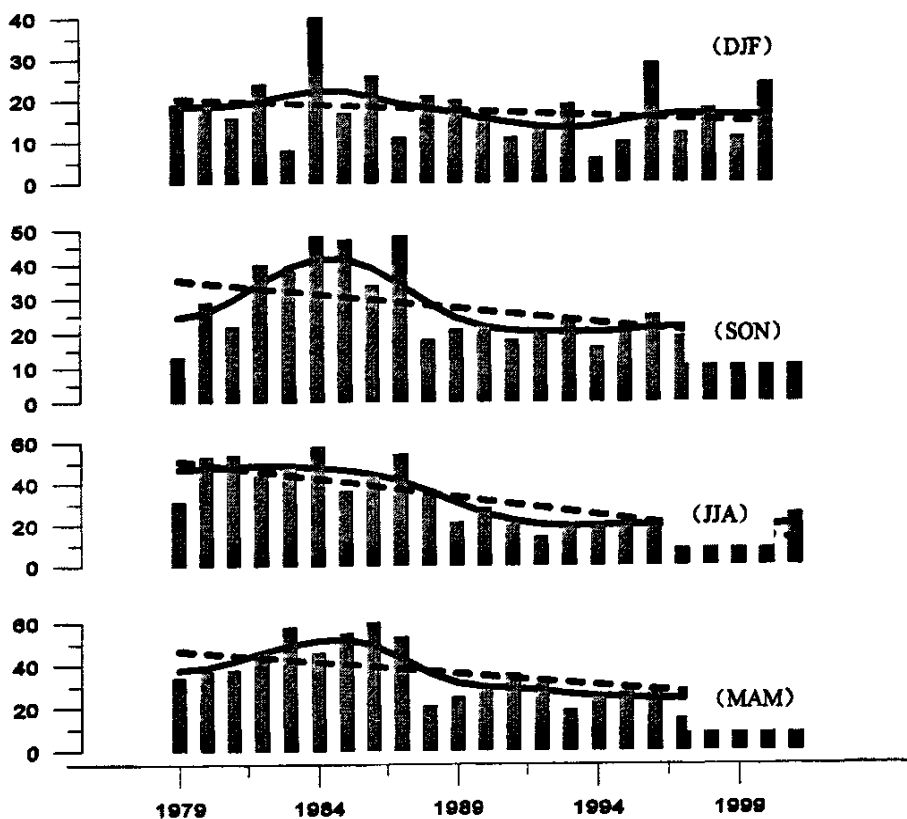


图 4.4 1979-2001 年春、夏、秋、冬蒙古气旋频数 (单位: 日) (直方图表示蒙古气旋的出现频数, 实线表示滤波, 虚线表示趋势)

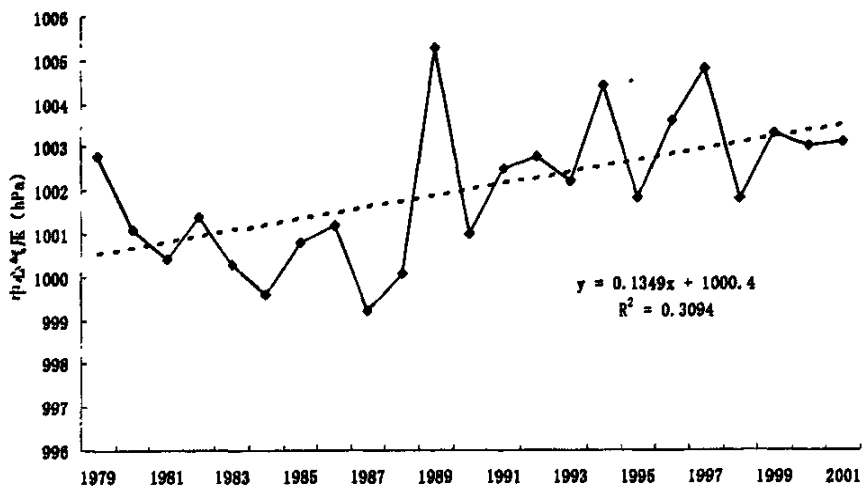


图 4.5 1979-2001 年蒙古气旋年平均强度变化 (单位: hPa)

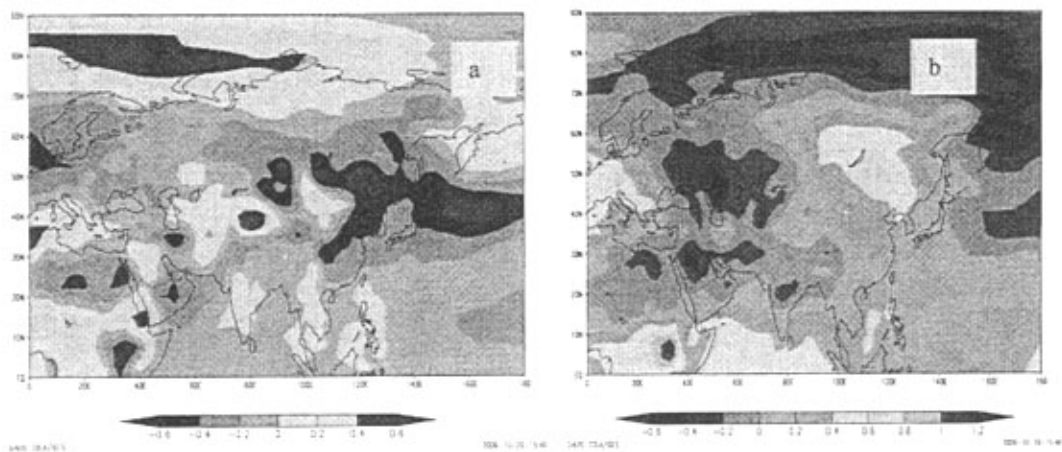


图 4.6 蒙古气旋发生偏多年(a:1983 to 1987)、偏少年(b: 1992, 1993, 1994, 1995, 1998)850hPa 温度距平合成图(相对于 1971-2000)

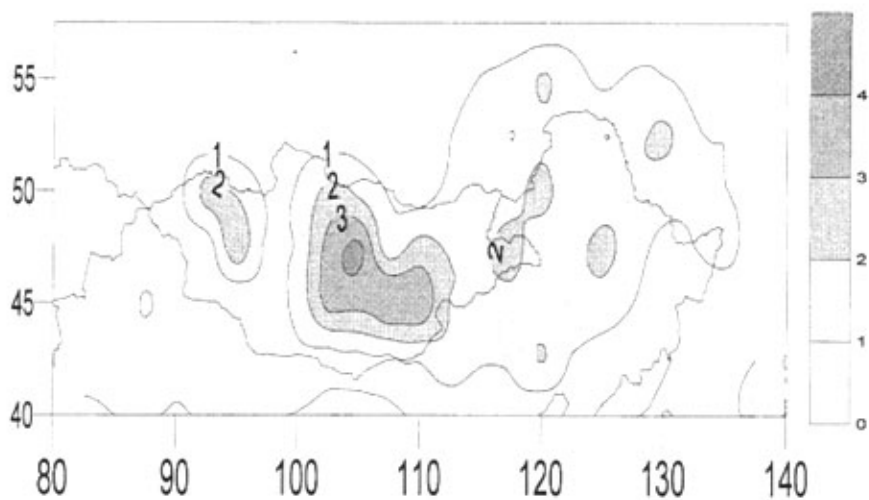


图5.1 1979~2001年春季（MAM）温带气旋年平均格点日数分布（阴影部分表示气旋日数大于1天）

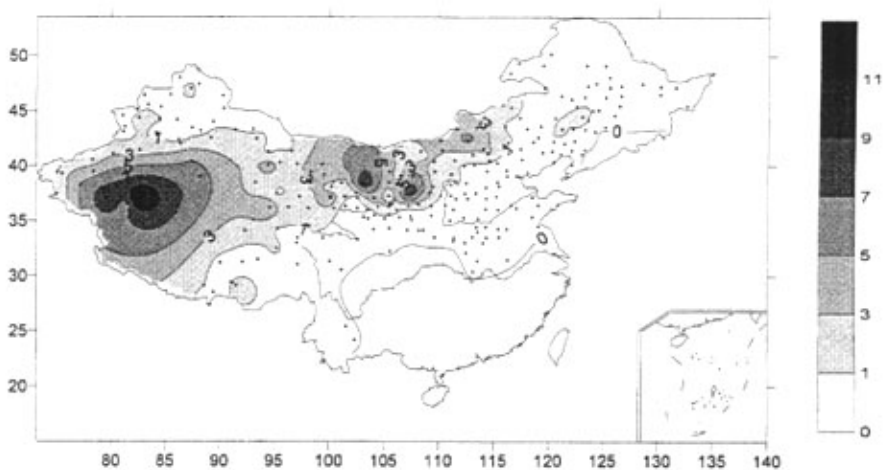


图 5.2 1979~2001 年春季中国北方地区沙尘暴年平均日数分布（阴影部分表示沙尘暴日数大于 1 天，黑点表示沙尘暴出现站点）

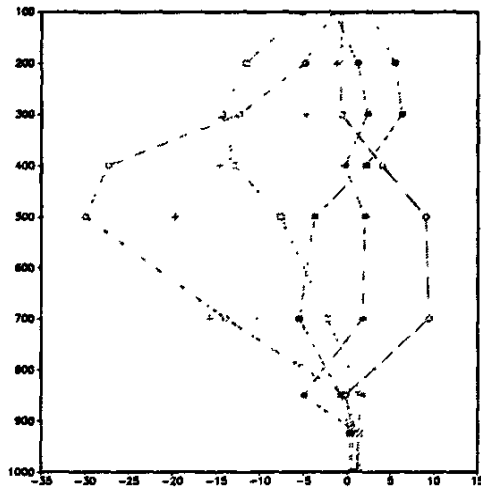


图 5.3a 1995~2000 年蒙古气旋引起沙尘暴的 ω 垂直廓线 (单位: 10^{-2} Pa/s
 950516——带有空心圆圈的实线, 960423——带有实心圆点的虚线
 970509——带有空心方形的点线, 980419——带有实心方形的长短线
 990424——带有+号的点线, 000428——带有圆圈的虚线

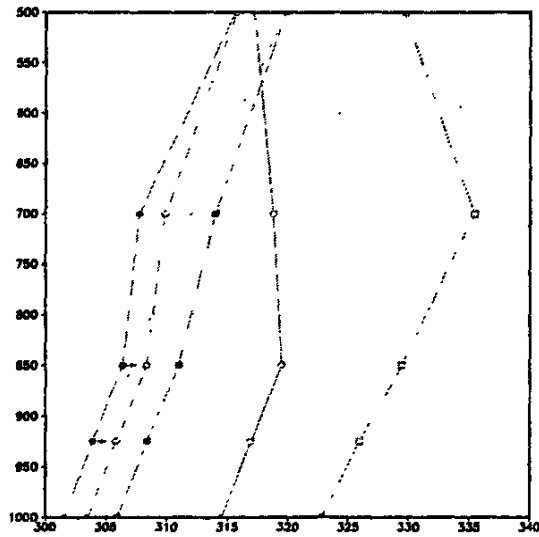


图 5.3b 1995~2000 年蒙古气旋引起的沙尘暴天气的假相当位温
 垂直廓线 (单位: k)
 950516——带有空心圆圈的实线, 960423——带有实心圆点的虚线
 970509——带有空心方形的点线, 980419——带有实心方形的长短线
 990424——带有+号的点线, 000428——带有圆圈的虚线

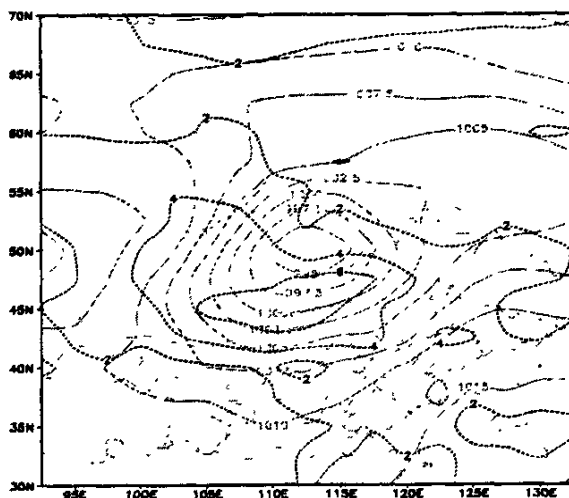


图 5.4a 1995~2000 年 (不含 1999 年) 00UTC 5 个蒙古气旋
个例与 10 米风速的合成分析图

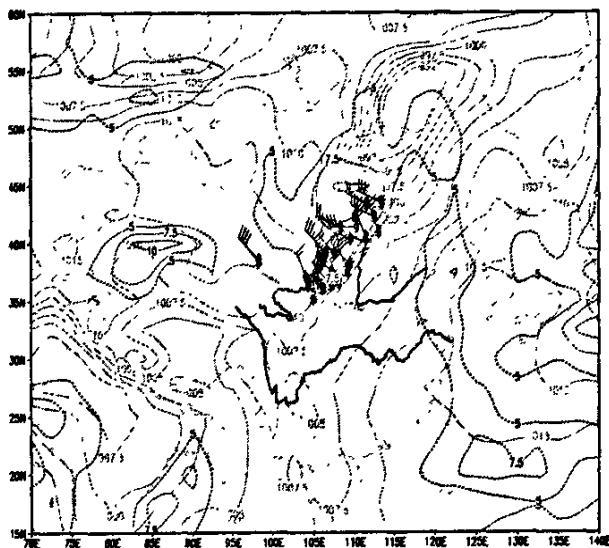


图 5.4b 2000 年 04 月 28 日 00UTC 海平面气压场、全风速 (虚线)、定时
观测日最大风速和沙尘暴综合图

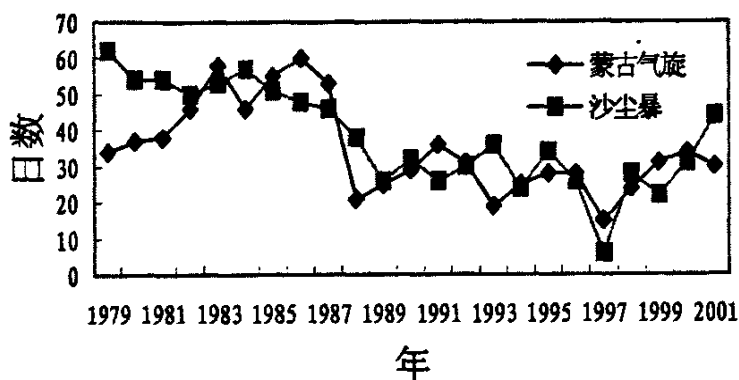


图 5.5 1979~2001 年春季蒙古气旋日数与沙尘暴日数年际变化曲线

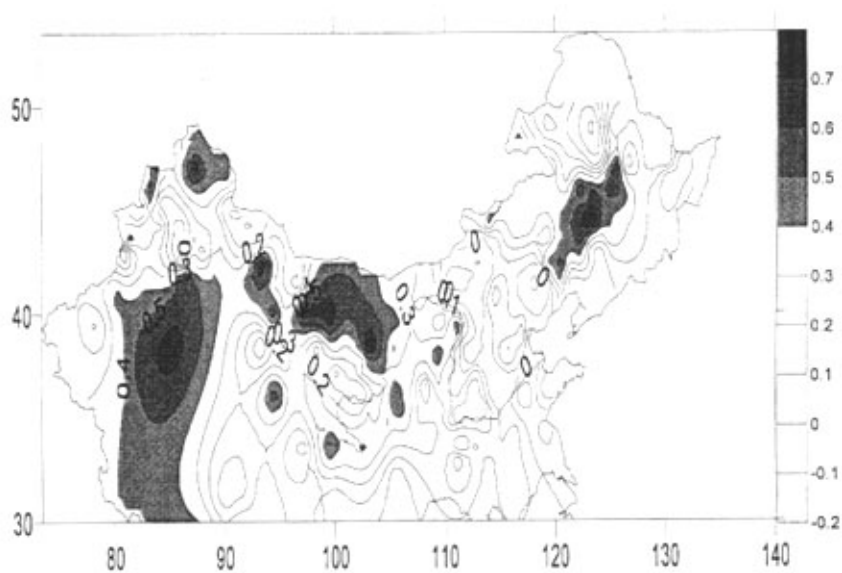


图 5.6 1979~2001 年春季蒙古气旋日数与中国北方沙尘暴日数的相关系数分布(阴影部分表示相关系数大于 0.4) (95%显著水平)

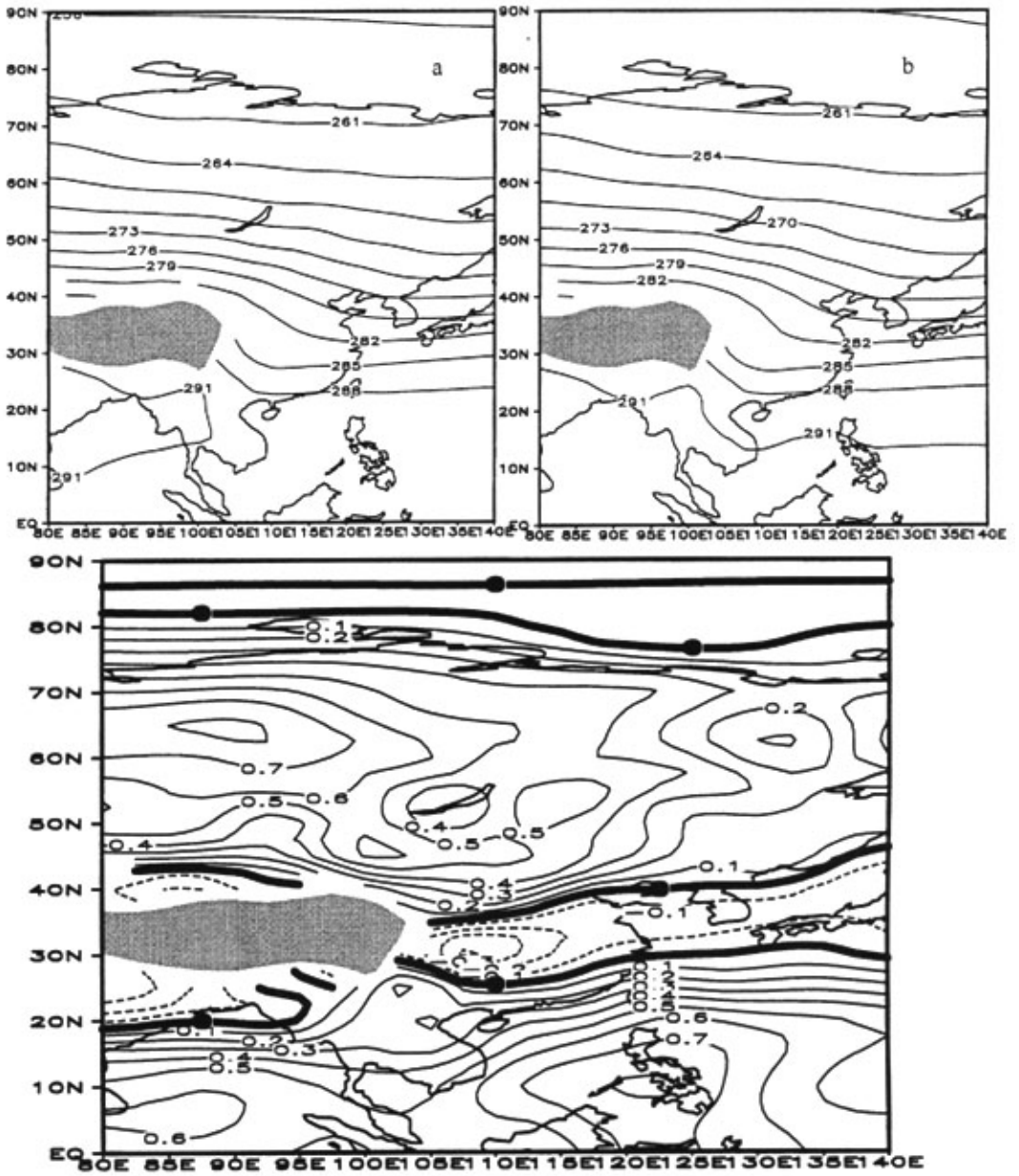


图 6.1 850 hPa 东亚区域 (80°-140°E, 40°-60°N) 平均温度 (单位: k) 1958-1979 年(a), 1980-2001 (b) and 1980-2001 减 1958-1979(c)

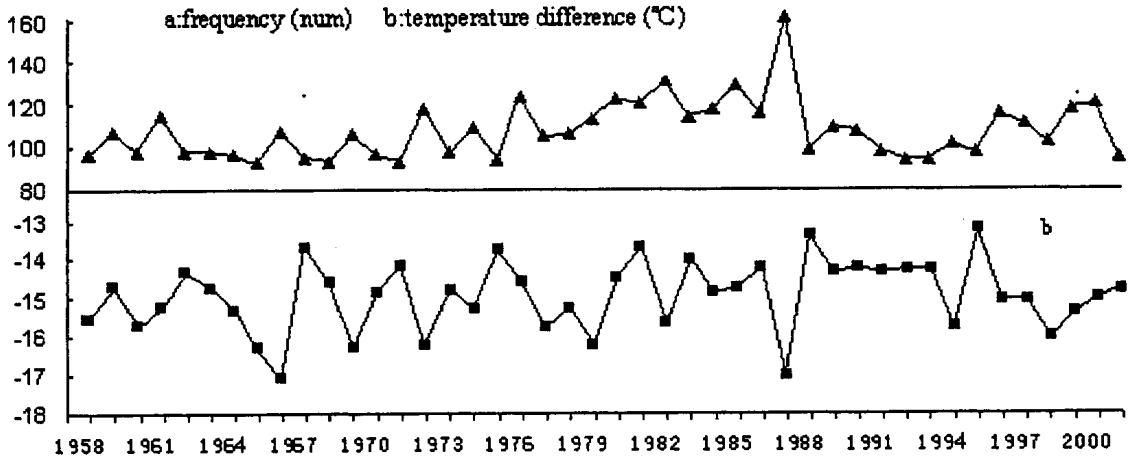


图 6.2 (a):温带气旋频数变化 (80°-140°E and 40°-60°N) (b): 850hPa 斜压锋区的变化 (80°-140°E and 40°-60°N)