

浙江中北部枯梅年和丰梅年大尺度环流和结构特征差异的对比研究

何凤翮¹, 陈红梅², 张建海²

1. 浙江省衢州市气象局, 浙江衢州 324000

2. 浙江省绍兴市气象局, 浙江绍兴 312000

摘要 利用实况雨量和客观分析资料, 对 2007、2008 年浙中北梅汛期降水的大尺度环流形势和结构特征上存在的差异进行了比较。结果表明, 2007 和 2008 年分别是浙中北枯梅年和丰梅年降水的典型年份, 前者梅雨带在淮河流域, 后者梅雨带在浙中北地区。虽然对流层高中低 3 层, 两者的影响系统相同, 但枯梅年副热带西风急流和南亚高压东部脊线位置偏北, 丰梅年则偏南; 枯梅年低层来自孟加拉湾的偏西风在南海转向北上后输送至淮河流域, 未与来自西太平洋的东南气流结合在一起, 丰梅年在南海转向后的西南气流向东北方向输送至闽浙海陆交界处, 与副高西南侧的东南气流合并起来; 枯梅年副高偏西, 588 线西脊点在 118°E 附近, 阻止了北方弱冷空气的南下, 丰梅年副高偏东, 西脊点位于 124°E 左右, 有利于在闽浙海陆交界处形成一个水汽通道。在梅雨锋结构上, 锋区温度相对较低, 也没有明显的温度梯度, 但相当位温和水汽的梯度十分显著, 枯梅年相当位温密集带呈纬向分布, 且异常偏北, 丰梅年则偏南并呈东北西南走向。在涡散度结构上, 丰梅年高层辐散和低层辐合都强于枯梅年, 正涡度区的伸展高度也更高。

关键词 浙中北; 枯丰梅年; 环流形势; 结构特征; 对比分析

中图分类号 P47

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)22-0090-09

Comparative Study on Large-scale Circulation and Structural Characteristics During Rich and Rare Meiyu Years in North-Central of Zhejiang Province

HE Fengpian¹, CHEN Hongmei², ZHANG Jianhai²

1. Quzhou Meteorological Bureau, Quzhou 324000, Zhejiang Province, China

2. Shaoxing Meteorological Bureau, Shaoxing 312000, Zhejiang Province, China

Abstract With available data of rainfalls, the large-scale circulation and structural characteristics during rich and rare Meiyu years in north central of Zhejiang Province in 2007 and 2008 are comparatively analyzed. The results are as follows. (1) The years of 2007 and 2008 are, respectively, the typical rare Meiyu year and rich Meiyu year, with the former's rainbands being situated in

Huaihe river basin and the latter's rainbands in north central of Zhejiang Province. (2) Although it is the same weather system in troposphere, the location of subtropical westerly jet and ridge line of southern Asia high is northerly in rare Meiyu year while southerly in rich Meiyu year. In rare Meiyu year, the west flow of low-level which comes from the Bay of Bengal steers in South China Sea and transports water vapor to Huaihe river basin, does not combine with the southeast flow which comes from southwest of subtropical high; while in rich Meiyu year, the southwest flow from South China Sea transports to Zhejiang and Fujian coastal regions and combines with southeast flow from western Pacific. The subtropical high is westerly and the west ridge point of 588 line is close to 118°E and it blocks the weak cold air in rare Meiyu year while in rich Meiyu year, the subtropical high is easterly and the west ridge point of 588 line lies at 124°E, favorable to form a water vapor channel in Zhejiang and Fujian coastal regions. (3) Comparative analysis of the structure of Meiyu front between rich and rare Meiyu years indicates that the temperature is relatively low and there is no obvious temperature gradient, while the gradient of equivalent potential temperature and moisture is quite significant. In rare Meiyu year, the dense band of equivalent potential temperature has a zonal distribution and is

收稿日期: 2009-09-01

作者简介: 何凤翮, 高级工程师, 研究方向为预报技术研究, 电子信箱: kinhae@sina.com

abnormal northerly, while in rich Meiyu year, it is southerly with a distribution from southwest toward northeast. With respect to the vertical profile, the convergence on low-level and divergence on upper-level in rich Meiyu year are even more obvious than those in rare Meiyu year, with an extended region of positive vorticity.

Keywords north-central region of Zhejiang Province; rich and rare Meiyu years; circulation situation; structural characteristics; contrast analysis

0 引言

在中国,“梅雨”通常是指6月中旬到7月中旬发生在湖北宜昌以东 $28^{\circ}\text{N}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 之间的长江中下游地区和淮河流域的连阴雨天气^[1]。梅雨季节里,长江中下游多阴雨天气,雨量充沛,空气湿度很大。浙江省位于 $27.2^{\circ}\text{N}\sim 31.5^{\circ}\text{N}$ 、 $118^{\circ}\text{E}\sim 123^{\circ}\text{E}$ 之间,其中北部地区亦处于江淮梅雨带,梅雨季节里浙中北经常会出现频繁的强降水过程,例如1991年和1999年浙江杭嘉湖地区都出现了大范围、持久性暴雨,导致这一带洪水泛滥,给国民经济和人们生命财产造成巨大损失,其中1999年梅汛期洪涝造成的灾害损失高达全省工农业总产值的2.5%以上。然而梅雨的年季变化很大,每年梅雨的起迄时间、长度、降水量等存在很大的差异,虽然浙中北也属于江淮梅雨带,但1999–2007年浙江没有典型的梅雨出现,个别年份甚至为空梅年,多数年份6–7月的降水集中于淮河流域,例如2003年、2005年、2007年等都属于典型的江枯淮多型年份,淮河流域都出现了大面积的洪涝灾害,特别是2003年淮河流域平均降水强度超过了1991年,仅次于1954年,为近50年来第2位^[2],而在这三年的梅汛期长江中下游降水却明显偏少,浙江在梅汛期都出现在大范围的高温天气,造成电力、水资源供应的紧张局面。而2008年浙江却又出现了自1999年以来最为典型的梅汛期降水。由此可见,梅雨锋暴雨的年季差异和雨带的具体落区是十分复杂多样的,梅雨持续时间的长短和降雨量的多寡与当地的旱涝灾害密切相关,一直以来受到气象学者的关注和研究。

近年来,利用多种非常规探测资料和高分辨率的有较完善物理过程的中尺度模式,对直接引发暴雨的梅雨锋上的涡旋扰动及中尺度系统的发展过程及其影响物理因子进行不少研究^[3–8],揭示了一些新的事实,但由于暴雨涉及到多种尺度的系统以及它们之间的相互作用,因而对于梅汛期环流特征的研究仍是不可忽视的。赵思雄等^[9–10]对1998年丰梅年和2001年少梅年的环流特征作了对比,发现1998年梅雨期造成长江中下游地区严重洪涝灾害的“二度梅”与中高纬双阻塞形势的形成及维持,有利冷空气南下等关系最为密切。此外,季风气流的短期变化与雨带的进退和维持有密切关系,特别是在 $20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 纬度带内出现的低空风场辐合带对梅雨锋降水有重要作用。隆霄^[11]等对1999年6月长江中下游梅雨暴雨的环流特征分析发现:对流层低层来自孟加拉湾的西

风气流和西太平洋副热带高压前缘的东南气流为暴雨的产生和发展提供了有利的大尺度条件,梅雨锋区水汽辐合非常明显,高低空急流的存在和维持为暴雨发生提供了有利的抬升机制。对于1999年的梅雨,张培群等^[12]的分析结果也认为,前期偏强后期偏弱的南海季风以及持续维持的夏季亚洲中纬度大陆高压和中低纬度环流系统对1999年汛期持续的暴雨有着非常重要的作用。对于本文将要分析的2007年和2008年浙中北梅雨,刘岩等^[13]认为2007年浙江地区梅雨期降水与正地闪具有较好的相关性,张子涵等^[14]分析2008年浙江梅雨后发现西太平洋副高的西伸脊和北界位置对梅雨期发生强降水有重要指示意义。本文将利用实测雨量资料和客观分析资料对代表浙江中北部枯梅年的2007年和丰梅年的2008年的大尺度环流形势和动力热力学结构进行对比分析,揭示出二者之间的差异,为业务梅汛期暴雨预报提供参考。

1 方法和资料

利用合成平均的方法对典型丰梅年和枯梅年的天气形势和物理量场进行对比,所用客观分析资料包括由中国气象局下发欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的每日一次 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 分辨率的北半球分析场,和由日本气象厅(JMA)提供的每日两次 $1.25^{\circ}\times 1.25^{\circ}$ 分辨率分析场,资料范围为 $40^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$, $20^{\circ}\text{S}\sim 60^{\circ}\text{N}$,将JMA资料通过客观分析方法内插到以 120°E , 26°N 为中心,格距60 km,格点区域 121×121 的正方形区域,覆盖面积 $7200\text{ km}\times 7200\text{ km}$,垂直分23层,最高层位于100 hPa;降水资料为中国常规气象站的观测资料。

2 典型枯梅年和丰梅年的天气特征

2007和2008年可以分别作为浙中北枯梅年和丰梅年的典型代表。2007年,浙江6月23日入梅,7月11日出梅,入梅较常年明显偏迟,出梅接近常年,梅汛期连续了1999年以来梅雨天气不典型的特点,降水显著偏少,浙中北平均梅雨量仅44 mm,为常年的15%左右,接近空梅。此外,梅雨期间还出现了大范围 35°C 以上持续高温天气,整个梅汛期大部分地区高温日数在10 d以上。2008年梅汛期则是浙江进入新世纪以来最为典型的一年,全省6月8日入梅,7月4日出梅,入梅、出梅均比常年偏早约一周,梅期26 d,比常年偏多3 d,梅雨量342 mm,比常年约偏多20%。梅汛期暴雨过程频繁、影响范围广,降水集中,呈现明显的阶段性,期间共有5次系统性强降水过程,时段分别为6月8–11日,13–14日,17–18日,22–24日,26–28日。整个梅汛期浙江全省共出现1 206站·次日雨量50 mm以上的暴雨,113站·次日雨量100 mm以上的大暴雨。

图1给出了2007和2008年浙江及其邻近省份的总降水量分布。可以看出,2007年强降雨带位置偏北,主要位于淮河流域,浙中北的降水量很小,基本为50 mm以下。对比2007年的梅雨分布,2008年梅雨带则有明显的南移,强降雨带呈东北–西南走向分布,最大降水中心位于浙江、安徽和江西3省交界处,中心降水量650 mm以上,单站最大降水为安徽歙

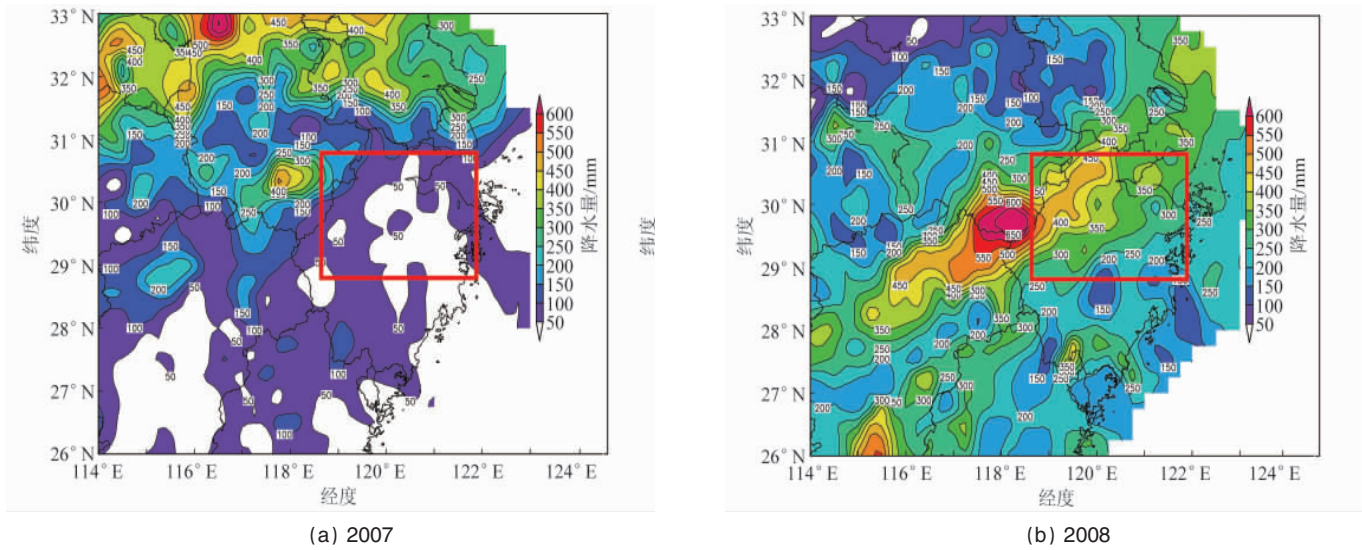


图 1 梅汛期累计降水量分布 (仅给出 ≥ 50 mm 区域)

Fig. 1 Distribution of rainfalls (only areas with rainfall ≥ 50 mm are demonstrated)

县,达 684.6 mm。就浙江而言,浙中北地区也是一个强降水区,尤以浙江西北部的杭州和湖州为最强,给太湖和新安江的安全渡汛造成严峻形势。共同之处是这两年中安徽南部都有一个雨量中心,可能与大别山地形对降水增幅作用有关。

3 梅汛期环流特征分析

首先分析高层环流形势,图 2 分别给出了 2007 年和 2008 年整个梅汛期 200 hPa 平均形势场。对比发现,无论浙中北是枯梅年还是丰梅年,两者在对流层高层的主导天气系统完全相同,由图可见,主要影响系统有副热带西风急流、热带东风急流和南亚高压。35°N~45°N 是副热带西风急流所在位置,急流中心风速很大,中心值在 40 m/s 以上,在 15°N 以南则有热带东风急流所在,但其中心风速较西风急流明显偏小,两支急流在高层构成一个巨大的反气旋环流,这就是南

亚高压,强大的南亚高压一直从青藏高原向东延伸至西太平洋。仔细对比可以发现,盘据在青藏高原上空的南亚高压主体部分位置在枯梅年和丰梅年也基本没有差别,从其逐日演变看(图略),高压中心在整个梅汛期始终稳定少动,中心基本稳定在 30°N 附近。两者的重大差别在位于中国华南的南亚高压东侧部分的脊线位置,对比可见,2007 年梅汛期高压东侧脊线位置明显偏北,约在 27°N 附近;而 2008 年高压东侧脊线位置在 23°N 左右,较 2007 年偏南约 4°纬距,与此对应,高空西风急流在浙江上空的位置也有相应的南落。图 2(b)显示,20 m/s 的风速区已经覆盖整个浙江中北部,这里正好是高空西风急流南侧和南亚高压东北侧的偏北大风区,有很强的高空辐散。由此可见,南亚高压东侧脊线和副热带西风急流南侧边缘的位置大致决定了梅雨带的分布。

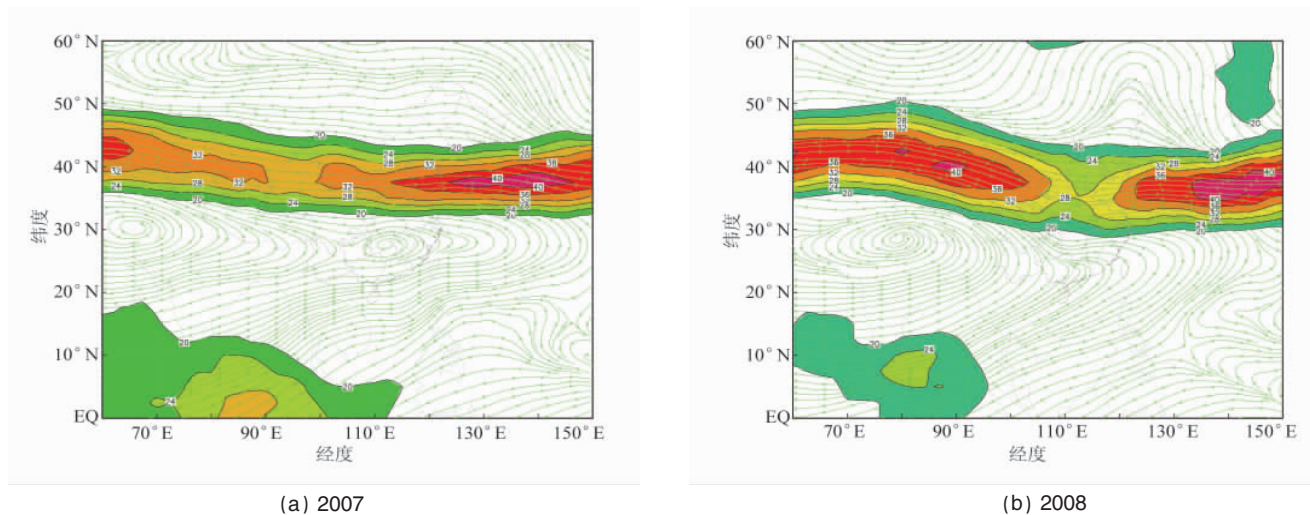


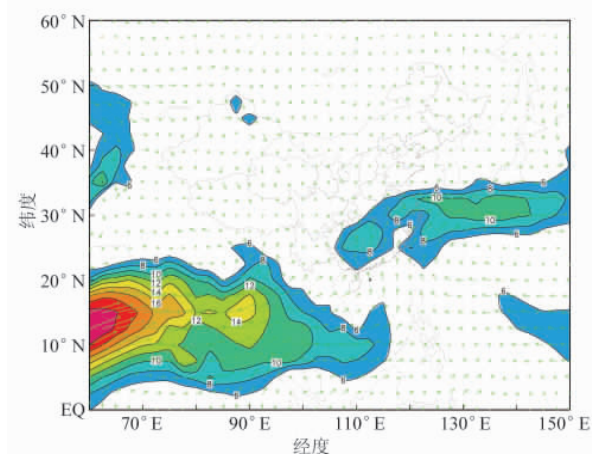
图 2 梅汛期 200 hPa 平均流场和全风速场 (阴影部分)

Fig. 2 Mean flow field and mean wind velocity at 200 hPa in Meiyu year (shaded area)

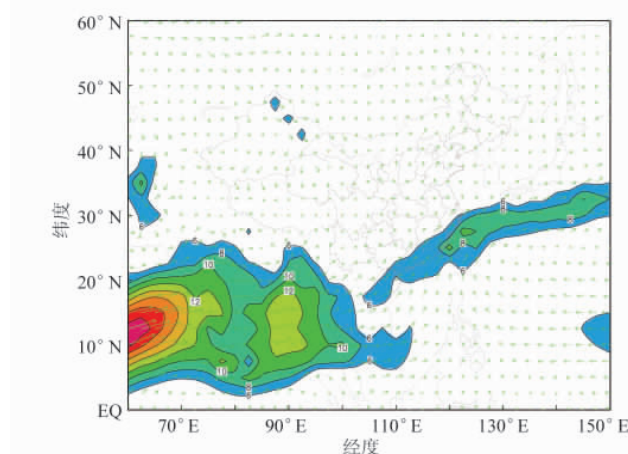
接下来再对低层的环流形势进行对比。梅雨锋是西南季风和北方冷空气两种不同性质空气之间的交界面,是受青藏高原强迫绕流的偏南暖湿气流和其北侧冷空气在长江流域交汇而形成的,因此低层的西南季风在梅雨的形成中起着极其重要的作用。图3给出梅雨期平均的850 hPa流场和风速场,可以发现浙中北枯梅年和丰梅年两者存在的差别。首先分析2007年的环流形势,在平均形势图上,中高纬是偏北风,表明有弱冷空气南下;在西南地区至孟加拉湾有一个较深的低槽维持;在低纬共有两支气流,一支是越过印度和孟加拉湾的强劲西风气流,该支气流在到达南海后迅速转向为南风,另一支是来自西太平洋的位于副高南侧的东南气流,它也在海南转为偏南风,对比两支偏南风气流的强度可见,来自孟加拉湾的偏南气流要强于来自副高南侧的那支,表明前者占主导作用。两支气流在到达中国华南和东南沿海地区时并没有合并在一起,而是仍然沿其原来的方向向偏北方向输送。图3(a)显示,来自孟加拉湾的偏南气流从南海北上穿越华南后向北输送并在30°N附近转向东北方向经过淮河流域,而来自于副高西南侧的偏南气流其主体并没有到达中国大陆,而是沿着福建、浙江沿海流向东北方向,两者在到了黄海南部东东北部的时候才合并增加并转向偏东方向向日本南部输送。

对比2008年850 hPa梅汛期平均形势,相同之处是低层

同样存在分别来自孟加拉湾和西太平洋副高西南侧的两支气流,前者也起主导作用,并且也是在到达南海后转向;不同之处是显而易见的:2008年浙中北梅汛期来自孟加拉湾的西风气流在南海转向的偏北程度不像2007年那样强,只是转向成为一支西南季风,其主体也没有深入中国内陆,而是沿着东南沿海海陆交界线流向东北方向。另一个不同之处是它在到达福建、浙江沿海时已与来自副高南侧的偏南气流合并,可以看到,由于两支气流的合并作用,偏南气流在闽浙沿海较未合并前的单支有了明显的加强,强风带上已出现10 m/s的风速中心,接近低空急流的标准,其强度强于2007年闽浙沿海的那支西南气流,且风速轴线也更加接近于大陆沿海,正是该支强劲西南气流的存在和维持为2008年浙中北典型梅雨的形成输送了大量水汽。大范围的暴雨一般出现在200 hPa高空急流入口区的右侧,850 hPa低空急流左侧。2007年淮河梅雨和2008年浙中北梅雨的分布也与这样的高低空急流配置相一致。这是因为在高空急流入口区右侧有正涡度平流,这里高空有气流辐散,其下方形成高空急流入口区次级环流的上升支,与低空切变辐合抬升运动相叠加,非常有利于发展形成深厚的上升气流,低层的偏南气流将低空急流南侧的潮湿不稳定空气从急流之下的边界层内向北输送,在低空急流北侧生成暴雨。同时由于高空辐散的抽吸作用将导致地面减压,有利于地面气旋加深,静止锋波动的发展。



(a) 2007



(b) 2008

图3 梅汛期850 hPa平均流场和全风速场(阴影部分)

Fig. 3 Mean flow field and mean wind velocity at 850 hPa in Meiyu year (shaded area)

前面探讨了浙中北枯梅年和丰梅年高层和低层的大尺度环流形势,下面对流层中层的环流特征进行对比。图4为2007年和2008年梅雨期500 hPa平均高度场。对于2007年梅雨期500 hPa环流(图4(a)),在中高纬60°E~80°E的乌拉尔山地区是高压脊,而贝加尔湖地区是槽,在鄂霍次克海地区也有一个高压存在。就中高纬而言,这种槽脊分布形势也是比较典型的梅雨环流,因为它有利于高压脊前的冷空气南下,但冷空气只到达了淮河流域而没有到达长江中下游,进

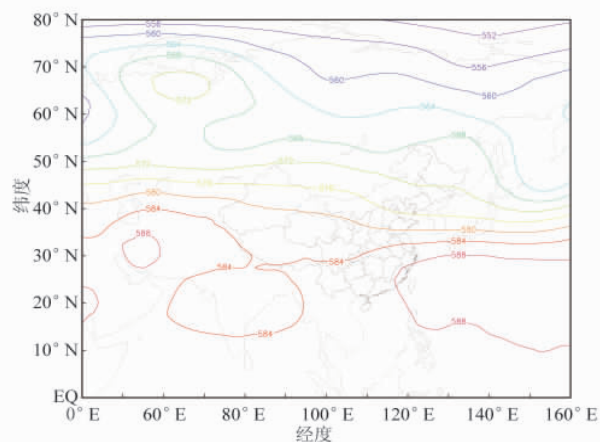
而造成2007年浙中北枯梅,原因在于中低纬副高的位置。如图所示,西太平洋的副高强大且明显偏西,588线西脊点西伸至118°E,浙中北在副高脊控制下,北方南下的冷空气很难到达此处。另外,偏西的副高也阻挡了水汽输送到浙中北,却有利于其输送到淮河流域。

再看2008年梅雨期500 hPa环流(图4(b)),需要说明的是,2008年梅汛期500 hPa形势场与其对流层高层和低层环流形势在整个梅汛期基本稳定少变不同,500 hPa形势场在

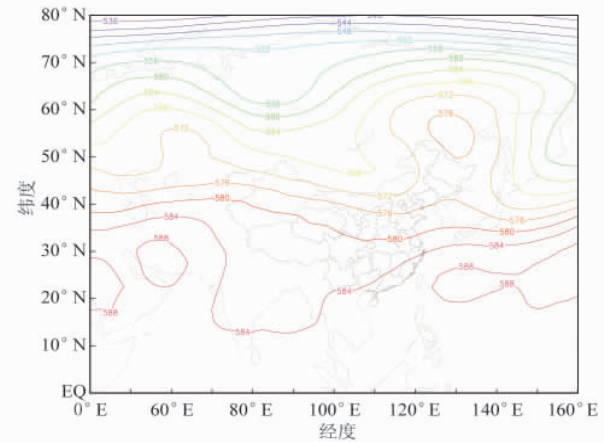
梅汛期后期出现一个重大调整,如果取整个梅汛期平均反而会掩盖这一重要的转折性信号,因而图 4(b)显示的是自 6 月 12 日至梅汛期结束的平均场(梅汛期初期形势图略)。2008 年浙中北梅汛期 500 hPa 形势可以分为两个阶段,第一阶段为 6 月 7–11 日,即梅汛期第一场暴雨时段,持续时间较短;第二阶段持续时间很长,为 6 月 13–28 日,是梅汛期后四场强降水过程阶段。逐日演变分析表明,在第一阶段 500 hPa 中高纬为两槽一脊型,贝加尔湖地区是高压脊,而 $60^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{E}$ 的乌拉尔山地区、 $130^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 的鄂霍次克海地区为槽,这种槽脊的分布与典型的梅雨环流相反,不利于冷空气南下到达长江中下游。因此,如果这种中高纬的槽脊配置形势长时间维持将不利于梅雨锋的稳定建立。然而从 6 月 12 日起,中高纬环流形势进行了大幅度迅速调整,前期两槽一脊形势被破坏,新的环流形势已经建立起来并且维持了相当一段时间。如图 4(b)所示,中高纬已经演变为两脊一槽型,是梅雨期中后期典型的双阻形势。原先贝加尔湖地区的高压脊已被低压

槽所取代,乌拉尔山和鄂霍次克海地区则演变为稳定强大的高压脊,来自极地的冷空气沿乌拉尔高压脊前的西北气流东移南下,鄂霍次克海阻高的存在阻挡了冷空气东移,使其滞留在贝加尔湖槽区,不断渗透南下到长江中下游地区,两个阻塞高压的长久维持是形成浙中北典型梅雨的重要原因。

经过对比分析可见,虽然 2008 梅雨期初期 500 hPa 中高纬环流形势与 2008 年有显著差异,中后期鄂霍次克海地区的阻塞高压也较 2007 年更为强大,但总体与 2007 年梅雨期的中高纬形势有类似之处,即大部分时间都为双阻形势,即使低纬的印缅低槽分布也相当接近。两者的重大差别主要在于西太平洋副高的位置,如图 4 所示,2008 年梅雨期西太平洋副高较偏东,588 线在 123°E 以东地区,不像 2007 年淮河梅雨时西伸至中国大陆。分析表明,浙中北梅雨期间副高 588 线西脊点稳定在 $123^{\circ}\sim 124^{\circ}\text{E}$,就可以建立起有利的水汽输送通道,使得梅雨锋能够稳定建立和维持,这是 500 hPa 形势在浙中北枯梅年和丰梅年的最显著差别。



(a) 2007



(b) 2008

图 4 梅汛期 500 hPa 平均高度场

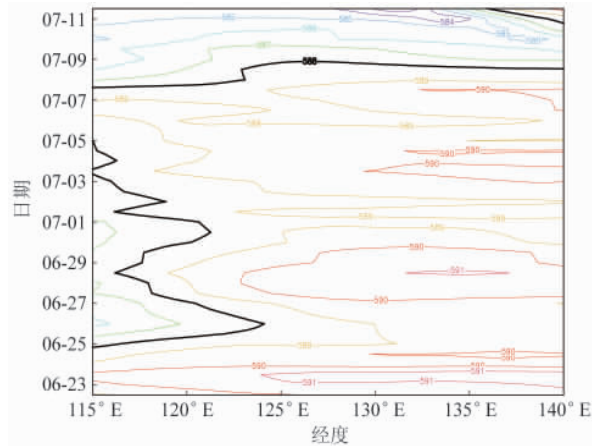
Fig. 4 500 hPa mean geopotential height in Meiyu year

为了更详细地显示副高位置在枯梅年和丰梅年的差异,图 5 给出 500 hPa 位势高度 $10^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 平均的经度-时间剖面在入梅前后的逐日演变。鉴于浙中北具体的地理位置,本文以 120°E 附近特征线 588 线的位置演变进行比较,如图 5(a)所示,无论枯梅年还是丰梅年,在入梅时副高都有一个突然加强过程,在雨带上则表现为跳跃性北抬。其差异在于:2007 年 6 月 23 日至 7 月 11 日整个梅汛期,除 6 月 26 日、7 月 1 日前后 588 线西脊点有两个短暂的东撤外,其余时间其都在 120°E 以西,某些时段甚至西伸至 115°E ,正是由于副高的异常偏东阻断了水汽向为浙中北的输送,未能使梅雨锋形成和维持,相反在梅雨期产生晴热高温天气。而 2008 年梅雨期间,只有 6 月 19 日前后 588 线西脊点西伸至 120°E 附近,此时梅雨带北抬至江淮地区,其余时间 588 线都位于 120°E 以东,偏东的副高能使得在其西北侧的闽浙海陆交界处始终

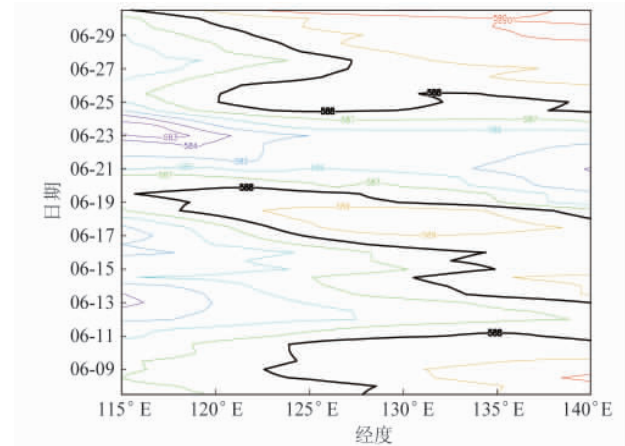
维持着一支低空西南急流,梅雨带正位于低空急流左侧的浙中北地区,并呈东北西南走向。

4 季风短期变化对降水的影响

梅雨锋是季风气团和其他气团之间的交界面,季风短期进退对梅雨的形成及雨带的维持有非常重要的作用,雨带的变化与季风密切相关。图 6 给出了 2007 和 2008 年入梅前后日 850 hPa 的 $116^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均纬向风随时间的演变。首先看 2007 年梅雨期的风场演变,如图 6(a)所示,入梅前西风位置已比较偏北,轴线位于 25°N 附近,6 月 23 日入梅前的 20 日又出现明显北跳,西风轴线已北移至 32°N ,整个浙中北都在西风气流影响下,除 6 月 27 日西风略有减弱外,在 32°N 始终维持着一支强盛的西风急流,由西风和东风构成的切变线则更加偏北,位于 35°N ,梅雨带正位于切变南侧的淮河流



(a) 2007



(b) 2008

图 5 梅汛期 500 hPa 位势高度 10°N~30°N 平均的经度-时间剖面

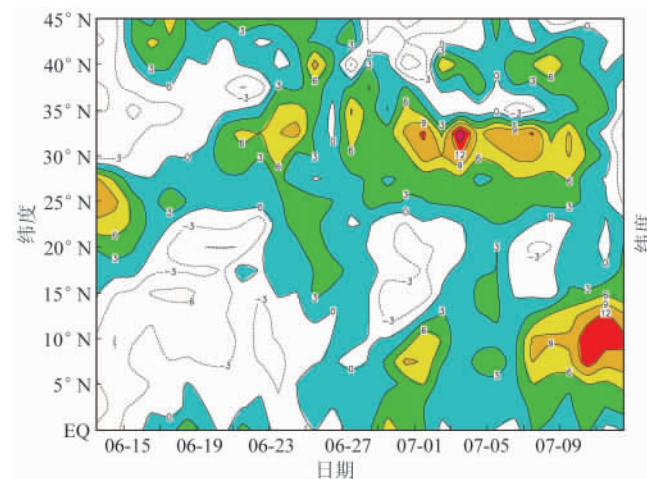
Fig. 5 Evolution of 500 hPa geopotential height in 10°N~30°N 500 hPa with time

域。从东西风对比可见西风要明显强于东风,表明 2007 年梅雨期北方冷空气势力偏弱,这也是梅雨带不能进一步南压至浙中北的原因。

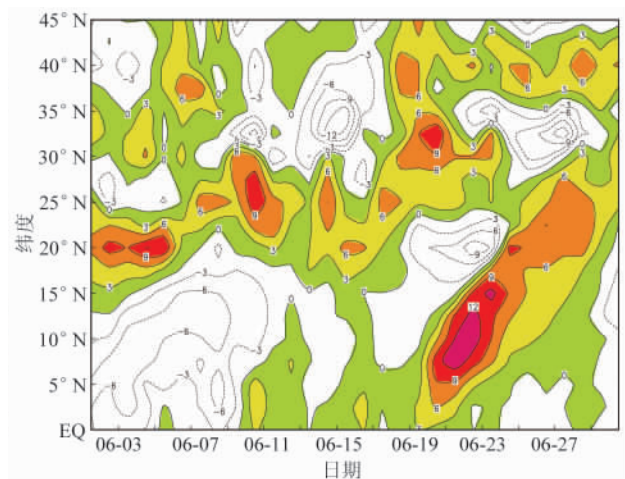
再看 2008 年梅雨期的纬向风演变,如图 6(b)所示,入梅前的 6 月 1 日至 7 日强劲西风急流位于 20°N 附近,较 2007 年入梅前明显偏南,此时雨带还位于中国华南地区,属于前汛期降水。8 日开始西风急流出现一个突然性的北跳,急流带一下子从 20°N 向北推进到 25°N,几乎在 24 h 内北移了 5°纬距,随后从 6 月 8~30 日除个别日子西风急流略有南北摆动外,绝大部分时间一直稳定在 25°N 附近,位置较 2007 年梅雨期偏南约 5°纬距。除了位置偏南不同外,2008 年东风强度也较 2007 年偏强,如 6 月 14 日在 34°N 附近有一个 12 m/s 东风大风核,表明 2008 年梅雨期北方冷空气偏强,这有利于梅雨带的南压,使其维持在浙中北。从图 6(b)还可以看出,8 日以后西风急流在 25°N 附近有几个加强时段,分别为 8~11 日、

13~14 日、17~18 日和 26~28 日,中心风速一般都在 6 m/s 以上,这些时段与梅汛期的几次强降水过程一一对应。伴随着西风的增强,与此对应时段在 30°N 以北的东风有相应增强,增强了的西风 and 东风正好构成一支支梅雨锋切变线,引发梅汛期一次次强降水过程。

需要说明的是,2007 和 2008 年在低纬 10°N 附近都出现过 一个 西风大风核,分别出现在 7 月 11 日和 6 月 22 日,西风风速都在 12 m/s 以上。这主要是由热带气旋影响造成的,其中 2007 年的是 4 号台风“万宜”,由于它北上时浙中北梅雨期即将结束,因而对梅雨带基本没有影响;而 2008 年 6 号台风“风神”影响时浙中北仍处于梅雨期中期,对环流形势的影响十分明显。如图 6(b)所示,22~24 日这次降水过程和梅雨期另外 4 次降水过程有所不同,其西风急流位置北移至 30°N 附近,较其他 4 次显著偏北,而 6 月 22 日 20:00 台风中心位于 119.6°E、15.8°N,未来台风将继续向北移动,正是由于“风



(a) 2007



(b) 2008

图 6 850 hPa 116°E~120°E 平均纬向风随时间变化(单位:m/s)

Fig. 6 Evolution of mean zonal wind velocity in 116°E~120°E at 850 hPa with time (unit: m/s)

神”的北上迫使原来维持在 25°N 的西风带北移至 30°N 。实况降水量分布也表明,这一时段的强降水位于安徽和江苏南部,浙江的降水并不强。

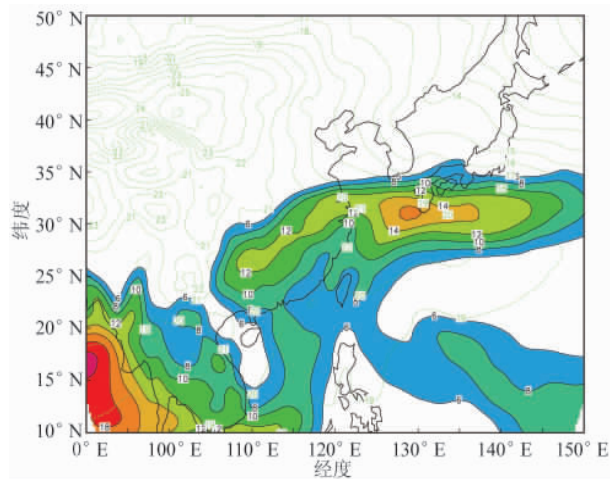
5 温度和湿度场对比分析

图 7 为梅汛期 850 hPa 温度和水汽通量的平均场。对比温度场可见,由于 2007 和 2008 年 500 hPa 中高纬都是双阻型形势,因此在温度场分布上两者也比较接近。由图 7 可知,青藏高原北侧存在大陆暖性气团,温度相对较高,暖中心值在 23°C 以上。冷气团位于日本的北部,从东北方向一直伸展到黄海,北太平洋西部冷的极地海洋性气团和暖的热带海洋性气团在日本南部形成较强的温度梯度,而 2007 年淮河流域和 2008 年浙中北梅雨锋区等温线十分稀疏,“冷暖空气在江淮流域对峙”曾经是一个被普遍接受的梅雨锋概念,而 2007、2008 年梅汛期温度场分析表明梅雨锋两侧的温度梯度并非总是存在的。由图 7 还可以看出,梅雨锋强降水区的温度较其南北两侧偏低,如 2007 年淮河梅雨锋南侧在浙江沿海是一个 22°C 的暖中心,其西北侧也是一个暖区,2008 年的分布也类似。众多气象学家对这一现象进行了解释,谢义炳^[15]认为这是由于梅雨锋区存在大量的降水,使得雨区温度降低从而减弱了地面与低层锋区的南北温度差异。Ninomiya^[16]则认为梅雨锋区温度较低是由于较厚云层的遮挡作用和强降水产生的冷却作用。温度场的这种分布特征非常类似于 Kato^[16]提出

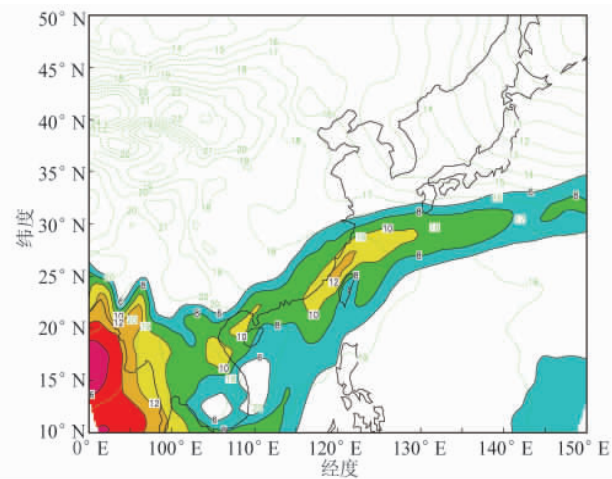
的对流层低层温度场的“三明治”结构,即梅雨锋区南北两侧气团温度高,梅雨锋犹如一条冷舌介于南北暖气团之间。

在水汽输送上,如图 7 阴影所示,两者的水汽通量都呈狭长带状分布,梯度非常明显,其分布与 850 hPa 大风区非常一致,水汽通量大值区分布在低空西南急流带上,表明低空西南急流为暖湿气流,梅雨锋区南缘的水汽输送最强,中心值在 $12\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 以上,正是这支暖湿气流为梅雨区输送了源源不断的水汽。从水汽源地看,孟加拉湾和南海是主要提供源,而西太平洋输送的水汽较少。两者的差别是 2007 年水汽通量大值区明显偏北,2008 年则显著偏南,由前面分析可知,这种差异主要是由于副高不同位置决定的。

图 8 显示的是枯丰梅年平均相当位温分布,与梅雨锋区稀疏的等温线相反,利用相当位温可以很好地把梅雨锋分析出来。如图所示,2007 年在安徽、江苏中北部的淮河流域有一个相当位温密集带,有着很大的梯度,与纬向分布雨带相对应,其南侧是一个宽广的相当位温高度区,代表着暖湿的季风气团,北侧相当位温较小,为相对干暖的大陆气团。而 2008 年相当位温密集带明显偏南,主要位于江西中部至浙中北,呈东北西南走向。对比可见,2007 年淮河梅雨锋和 2008 年浙中北梅雨锋的主要特征都是湿度对比,而无温度梯度,梅雨锋的性质属于极地变性气团与热带气团之间具有高相当位温梯度和对流层低层明显风切变的交界面,但由于 2007 年热带气团向北推进的程度强于 2008 年,使浙中北出现枯梅年。



(a) 2007



(b) 2008

图 7 梅汛期 850 hPa 温度(虚线,单位: $^{\circ}\text{C}$)和水汽通量(阴影,仅给出 $\geq 6\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 的区域)平均场

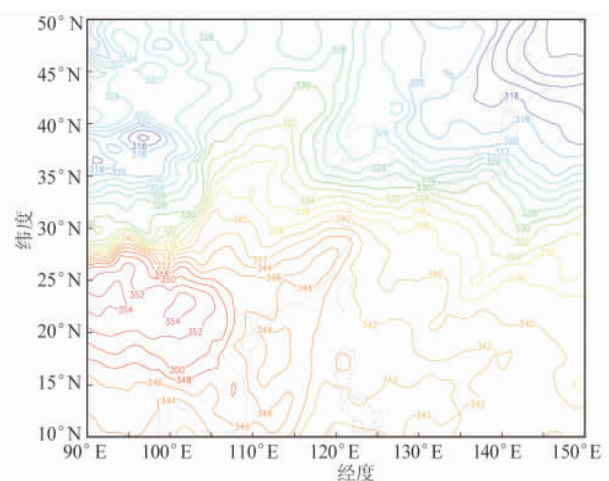
Fig. 7 Mean temperature and water vapor flux on 850 hPa (dashed line is temperature, unit: $^{\circ}\text{C}$, shaded area is water vapor flux, only areas with flux $\geq 6\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ are demonstrated)

6 动力学结构对比

本文以区域 $119^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$, $29^{\circ}\text{N}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 表示浙中北地区,作区域散度平均随时间变化的垂直剖面(图 9),以此诊断枯丰梅年高低层的辐合辐散情况。如图所示,总体上浙中北对流层低层辐合、高层辐散,但 2007 年低层的辐合十分微弱,散度平均值仅为 $-1\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 左右,高层除 6 月 24 日和 7 月 10

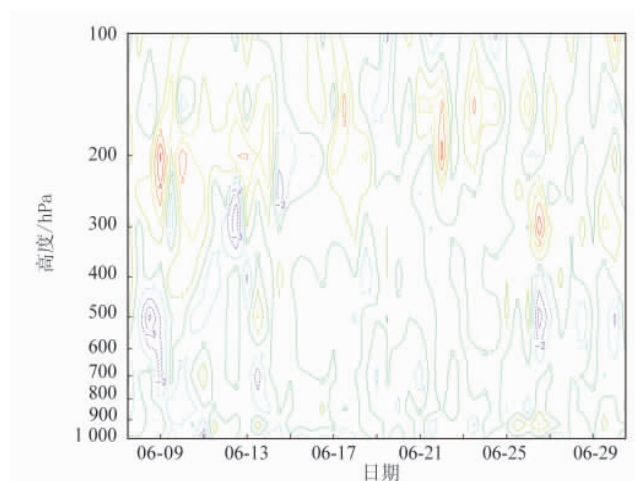
日有较强的辐散外,其余辐散也很小。而 2008 年,无论低层辐合还是高层辐散都较 2007 年显著增强,并且高层的辐散的强度大于低层辐合的强度,高层辐散所造成的抽吸作用能够导致上升运动和低层辐合的强烈发展,这种形势为梅汛期暴雨的产生提供了良好的动力抬升条件。

由图 10 可以看出,涡度场的垂直分布则与散度场正好



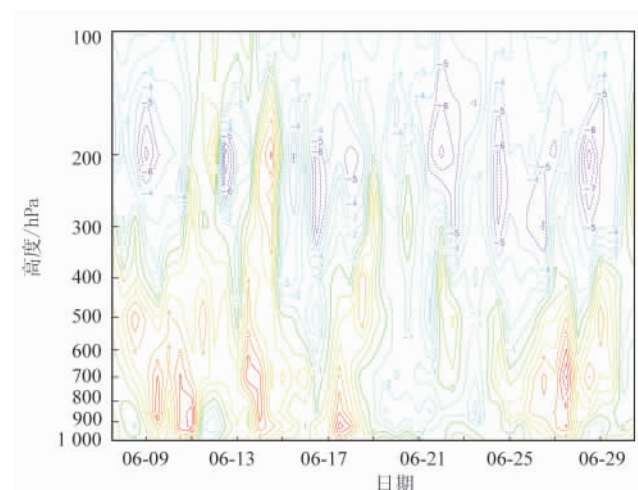
(b) 2008

Fig. 8 Equivalent potential mean temperature on 850 hPa (unit: K)



(b) 2008

Fig. 9 Evolution of vertical distribution of divergence mean in north-central of Zhejiang Province with time (unit: 10^{-5}s^{-1})



(b) 2008

Fig. 10 Evolution of vertical distribution of mean vorticity in north-central of Zhejiang Province with time (unit: 10^{-5}s^{-1})

相反,两者都是高层为负涡度,低层为正涡度,对比发现,丰梅年涡度的大小及正涡度大值区在对流层中低层占据的层次分别远较枯梅年强和深厚,而后的正涡度出现层次则比较浅薄。如图所示,2008年6月14日正涡度区一直发展到200 hPa以上,犹如一个发展成熟的热带气旋涡度的垂直分布,充分说明梅雨锋面气旋已经发展得非常成熟。

7 结论

通过梅汛期雨量对比,2007和2008年可以分别被认为是浙中北枯梅年和丰梅年的典型代表,本文利用客观分析资料对两者在大尺度环流形势和结构特征上存在的差异进行了对比分析,得到以下结论。

1) 无论是枯梅年还在丰梅年,两者在高层和低层的主导影响系统都相同,在200 hPa是副热带西风急流、南亚高压和热带东风急流,且都稳定少变。850 hPa都有一支低空西南风急流维持,水汽通量大值区分布在低空急流带上,且水汽主要来自孟加拉湾和南海。在对流层中层500 hPa,除2008年梅雨期初期中高纬为单阻型外,中后期也与2007年一样为长久稳定维持的双阻形势。

2) 两者存在的差异是:枯梅年高层西风急流和南亚高压东部脊线位置都偏北,而丰梅年西风急流南边界在浙中北上空,南亚高压东部脊线位于华南,其东北侧的偏北大风为浙中北暴雨区提供了强烈的高层辐散。枯梅年低层来自孟加拉湾的偏西风在南海转向北上流向淮河流域,主体没有和来自西太平洋的东南气流合并,丰梅年在南海转向的西南气流则流向东北方向,并与副高西南侧的东南气流结合在一起,强风区位于闽浙海陆交界处。枯梅年副高西伸明显,588线平均西脊点在118°E附近,它不但使得北方冷空气难以到达浙中北而且也阻挡了水汽向该处输送,丰梅年的副高则偏东,平均西脊点在124°E。

3) 在梅雨锋温湿结构上,2007和2008年强降水带对应的梅雨锋区温度相对较低,同时梅雨锋区没有明显的温度梯度,但相当位温和水汽的梯度非常明显。2007年相当位温密集带呈纬向分布,且异常偏北,2008年则位于浙中北一带,呈东北西走向。在涡散度动力结构上,丰梅年高层辐散和低层辐合都强于枯梅年,正涡度区的伸展高度也更为深厚。

4) 需要说明的是,以上结论仅是从2007和2008两年的对比得到的,2007年梅雨带在淮河流域,浙江中北部降水偏少,2008年梅雨带位于浙江中北部,降水偏多很多,而两年对应的大尺度天气系统相同,都是影响梅雨环流系统,只是因梅雨位置不同,对应环流形势的位置配置有所不同,是否具有普遍意义,在工作中还需要更多的个例检验。

参考文献 (References)

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社,2000.
Zhu Qiangen, Lin Jinrui, Shou Shaowen, et al. Principles and methods of weather[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000.

- [2] 赵思雄,张立生,孙建华. 2007年淮河流域致洪暴雨及其中尺度系统特征的分析[J]. 气候与环境研究, 2007, 12(6): 713-727.
Zhao Sixiong, Zhang Lisheng, Sun Jianhua. Climatic and Environmental Research, 2007, 12(6): 713-727.
- [3] 贝耐芳,赵思雄. 1998年“二度梅”期间突发强暴雨系统的中尺度分析[J]. 大气科学, 2002, 26(4): 526-540.
Bei Naifang, Zhao Sixiong. Scientia Atmospherica Sinica, 2002, 26(4): 526-540.
- [4] 王建捷,陶诗言. 1998年梅雨锋的结构特征及形成与维持[J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 526-534.
Wang Jianjie, Tao shiyan. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2002, 13(5): 526-534.
- [5] 薛根元,顾俊强,周锁铨,等. 浙江梅雨分型与梅汛期前期北半球大气环流演变关系研究[J]. 科技导报, 2005, 23(8): 24-28.
Xue Genyuan, Gu Junqiang, Zhou Suoquan, et al. Science and Technology Review, 2005, 23(8): 24-28.
- [6] 胡伯威,彭广. 暖切变型梅雨锋结构及其形成和维持机制[J]. 大气科学, 1996, 20(4): 463-472.
Hu Bowei, Peng Guang. Scientia Atmospherica Sinica, 1996, 20(4): 463-472.
- [7] 陈丽芳,高坤,徐亚梅. 梅雨锋演变与低涡发展的联系[J]. 浙江大学学报:理学版, 2004, 31(1): 103-109.
Chen Lifang, Gao Kun, Xu Yamei. Journal of Zhenjiang University: Science Edition, 2004, 31(1): 103-109.
- [8] 程麟生,冯伍虎. “987”突发大暴雨及中尺度低涡结构的分析和数值模拟[J]. 大气科学, 2001, 25(4): 465-478.
Cheng Linsheng, Feng Wuhu. Scientia Atmospherica Sinica, 2001, 25(4): 465-478.
- [9] 赵思雄,孙建华,陈红,等. 1998年7月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究[J]. 气候与环境研究, 1998, 3(4): 368-381.
Zhao Sixiong, Sun Jianhua, Chen Hong, et al. Climatic and Environmental Research, 1998, 3(4): 368-381.
- [10] 孙建华,赵思雄. 1998年夏季长江流域梅雨期环流演变的特殊性探讨[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(3): 291-306.
Sun Jianhua, Zhao Sixiong. Climatic and Environmental Research, 2003, 8(3): 291-306.
- [11] 隆霄,程麟生,王文. 1999年6月长江中下游梅雨暴雨的环流特征分析[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 563-571.
Long Xiao, Cheng Linsheng, Wang Wen. Plateau Meteorology, 2007, 26(3): 563-571.
- [12] 张培群,何敏,许力. 1999年夏季长江及以南地区洪涝的大尺度环流成因初探[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 243-250.
Zhang Peiqun, He Min, Xu Li. Plateau Meteorology, 2002, 21(3): 243-250.
- [13] 刘岩,王振会,张慧良. 2007年浙江地区梅雨期闪电特征的分析[J]. 气象科学, 2009, 29(2): 225-229.
Liu Yan, Wang Zhenhui, Zhang Huiliang. Scientia Meteorologica Sinica, 2009, 29(2): 225-229.
- [14] 张子涵,沈翊,刘汉华. 2008年浙江省梅雨期强降水特征分析[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(B09): 108-111.
Zhang Zihan, Shen Yi, Liu Hanhua. Meteorological and Environmental Sciences, 2008, 31(B09): 108-111.
- [15] 谢义炳. 中国夏半年几种降水天气系统的分析研究[J]. 气象学报, 1956, 27(1): 1-23.
Xie Yibin. Acta Meteorologica Sinica, 1956, 27(1): 1-23.
- [16] Ninomiya K. Large- and meso- α -scale characteristics of Meiyu/Baiu front associated with intense rainfall in 1-10 July 1991 [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2000, 78(3): 141-157.
- [17] Kato K. Air mass transformation over the semiarid region around North China and about change in the structure of the Baiu front in early summer [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1987, 65: 737-750.

(责任编辑 朱宇)