

中国南方地区冬季风降水异常的分析*

何溪澄^{1,2} 丁一汇³ 何金海¹ 李巧萍⁴

1 南京信息工程大学, 南京, 210044

2 广州热带海洋气象研究所, 广州, 510080

3 国家气候中心, 北京, 100081

4 中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029

摘 要

1997/1998 和 1998/1999 年冬季是中国南方典型的多雨年和少雨年, 它们分别发生在 El Niño 年和 La Nina 年。为了解这两个冬季降水异常的原因, 通过对比分析方法对这两个冬季的大气环流和水汽输送的差异进行了研究。结果表明: 多雨年与 ENSO 事件的暖期相联系, 西风带槽脊偏东偏弱, 东亚冬季风减弱, 副热带高压增强, 对流层低层距平流场上呈现两个反气旋和一个气旋性环流, 中心位于长江流域的气旋性环流的垂直结构和形成机理与菲律宾海反气旋不同。少雨年赤道海温的距平分布及高低层环流系统都与多雨年几乎相反。研究还揭示, 冬季中国南方地区的水汽主要来自南支西风带低槽前部的西南气流和南海—中南半岛上空的转向气流, 水汽输送通道随高度有明显的变化。1997/1998 年冬季加强的南支西风气流和菲律宾海异常反气旋有利于水汽向中国大陆输送; 1998/1999 年南支西风气流弱, 中国东南沿海低层为冷性高压控制, 两支水汽输送带都大大减弱。这种水汽输送的明显年际变化是造成这 2 年冬季南方降水明显差异的一个关键因子。

关键词: 冬季风, 降水, 环流场差异, 水汽输送。

1 引 言

东亚地区是全球著名的季风区, 东亚冬季风不仅是全球最强大的冬季风, 也是影响中国冬季气候的主要因子。随着社会、经济的发展, 冬季气候及其对中国农业、能源、水资源等方面的影响越来越引起人们的关注, 冬季降水和温度距平的预测工作已成为气象部门一项重要的业务。冬季降水发生在冬季风影响的条件下, 它不但具有年代际变化^[1], 也具有明显的年际变化, 在某些年份, 异常多的降水甚至会引起冬汛, 而在另外一些年份, 异常少的降水导致干旱, 给人民生活带来严重影响。

20 世纪 70 年代末的冬季风试验及随后的研究揭示了冬季风和冷涌的一些观测事实, 特别是指出冷涌发生时中低纬大气环流的相互作用^[2-3]。Chang 和 Lau^[4]通过对 4 个冬季年中 8 个典型活跃

期和 5 个典型不活跃期的合成分析, 指出活跃期斜压扰动发展激发出冷涌, 使近赤道地区对流活动增多, 对流加热导致对流层高层出现行星尺度的辐散气流, 使得 Hadley 环流和 Walker 环流加强。近 10 年来, 对东亚冬季风的研究有了一些新的进展, 科学家们对东亚冬季风与 ENSO 的关系进行了一些统计分析和数值试验, 普遍认为 ENSO 事件对东亚冬季风有较大影响。郭其蕴等^[5]认为 El Niño 年与 La Nina 年东亚大陆气压场的差异主要表现在冷空气南下路径不同, El Niño (La Nina) 年冷空气路径偏东 (西), 中国南方多 (少) 雨。Zhang Renhe 等^[6]对 1986/1987 年和 1991/1992 年两个 El Niño 事件下的海表面温度距平和大气环流特征进行了诊断, 发现在 El Niño 事件的成熟位相 (1987 年的夏季和 1991/1992 年的冬季), 赤道西太平洋上空的对流受到抑制, 东亚沿岸的低层有着明显的偏南风距平, 增

* 初稿时间: 2005 年 6 月 21 日; 修改稿时间: 2005 年 8 月 1 日。

资助课题: 国家“十五”科技攻关项目“全球与中国气候变化的监测和预测”(2001BA611B-01)。

作者简介: 何溪澄, 男, 1963 年生, 副研究员, 硕士, 主要从事数值预报和季风的研究。E-mail: xche@grmc.gov.cn

强了 1987 年的夏季风,减弱了 1991/1992 年的冬季风。陶诗言等^[7]认为在 ENSO 暖(冷)期冬季,亚洲上空的环流型不利(有利)于寒潮向南爆发,导致亚洲冬季风弱(强),华南地区降水为正(负)距平。穆明权等^[8]利用 40 a 的全球月平均资料,讨论了东亚冬季风的年际变化特征,结果表明,东亚冬季风年际变化中包含有明显的 ENSO 信号,大多数 El Niño 事件爆发后东亚冬季风偏弱,大多数 La Nina 爆发后东亚冬季风偏强。Wang 等^[9-10]则提出在 ENSO 的强盛期,存在太平洋—东亚遥相关,指出对流层下部菲律宾海附近的反气旋距平是罗斯贝波对西太平洋受抑制对流加热响应的结果,反气旋的发展与局地海表冷却的加强同时发生,东北信风的存在使得反气旋和海温冷却之间维持着正热力反馈关系,该异常反气旋促使南海地区的南风增强。陈文^[11]也通过合成的 El Niño 和 La Nina 年资料的分析,指出 ENSO 事件显著地影响东亚冬、夏季风的循环,在 El Niño 爆发前的冬季,东亚地区往往有异常强的北风,而在 El Niño 盛期的冬季,东亚地区则出现异常的南风。

上述研究从不同侧面加深了我们对东亚冬季风的认识,揭示了 ENSO 事件是影响东亚冬季风强度的一个重要因子,然而与夏季风的研究相比,东亚冬季风的研究工作还明显偏少,特别是针对中国冬季风条件下降水的环流形势和冬季水汽输送的研究较少,对影响中国南方地区冬季降水异常的物理因子及其相互关系的认识还很不够。因此,为了更多地了解冬季风条件下降水异常年份的环流特征,更好地开展冬季季尺度气候预测,本文选取强 El Niño 年 1997/1998 年和强 La Nina 年 1998/1999 年两个冬季作为典型个例,研究中国冬季多雨年和少雨年

的环流和水汽输送差异及其与 ENSO 的关系。

2 资料和分析方法

本文所用的资料有:(1)NCAR/NCEP 月平均和逐日平均的再分析资料,资料水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格,物理量包括气压场、高度场、风场、湿度场等。(2)中国气象局整编的中国大陆 687 个地面气象观测站的逐日实测降水资料,资料长度为 1951 年 1 月—2000 年 12 月。

为方便计,文中所称 1997/1998 年冬季是指 1997 年 12 月至 1998 年 2 月,冬季降水量指冬季 3 个月的累积降水量,其他年份类同。环流场的冬季长期平均指 1968—2003 共 36 a 的平均,距平指冬季平均与冬季长期平均的差值。

文中整层大气垂直积分的纬向和经向水汽输送采用公式

$$Q_\lambda = \frac{1}{g} \int_{300}^p q u d p$$

$$Q_\varphi = \frac{1}{g} \int_{300}^p q v d p$$

其中 λ 是经度, φ 是纬度, p_s 是地面气压, u , v 分别是纬向风和经向风, q 是比湿。

等压面层上的水汽输送定义为 $Q_k = \frac{1}{g} V_k q_k$, 其中下标 k 为垂直层次。

3 1997 年和 1998 年冬季降水量与 ENSO 特征

1997 年中国冬季降水量除东北大部分地区、华北西部偏少外,其余地区降水偏多,尤其是东部沿海和长江以南地区降水明显偏多。从 1997 年冬季中国大陆气象观测站实测降水量分布(图 1a)可见,长江中

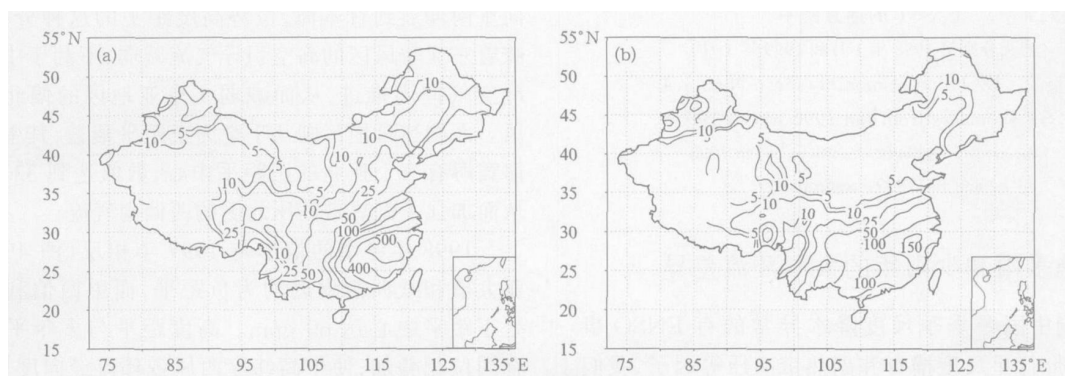


图 1 中国大陆冬季降水量分布(a. 1997 年, b. 1998 年;单位:mm)

Fig. 1 Precipitation over China mainland in the winter of 1997 (a) and 1998 (b) (units: mm)

下游和华南大部分地区的降水都超过 200 mm, 500 mm 的降水中心在浙江省的西南部和江西、福建两省的北部, 降水主要发生在东亚锋区附近, 降水量有比较明显的东西向带状分布特征。1998 年冬季的情形则几乎相反(图 1b), 中国大部地区降水偏少, 长江中下游和华南地区的降水量减少更加明显, 最大累积降水量不到 200 mm, 约为 1997 年冬季的 1/3。

从图 1 还可看出, 中国冬季最大降水不在华南沿海, 而在 25° — 30° N 纬度带。北方地区冬季由于持续受干冷的偏北冬季风控制, 在 35° N 以北地区虽然偶有大的降雪天气, 但冬季累积降水量不大。

气候异常在相当程度上受到海洋热状况异常的制约。从 Nino3.4 区(5° S— 5° N, 120° — 170° W) 平均海温距平的逐月变化(图 2) 上, 可见赤道东太平洋从 1997 年 3 月开始增温, 到 1997 年底达到极盛期, Nino3.4 海温距平指数达到 2.8。极盛期后, 赤道中东太平洋海温以较快的速率下降, 5 月到 6 月指数从 0.71 突降到 -0.78, 12 月下降到最低值 -1.69。按照通用的将指数大于 1.0 (小于 -1.0) 视为 El Niño (La Niña) 事件成熟期的约定^[6], 1997 年冬季和 1998 年冬季分别处于强 El Niño 和 La Niña 事件的成熟期。

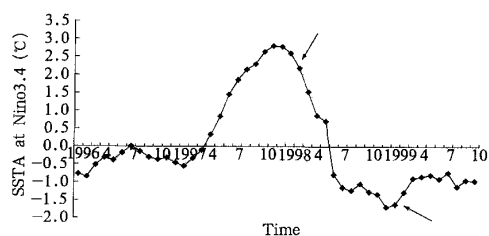


图 2 1996 年 1 月至 1999 年 10 月 Nino 3.4 区 SST 的逐月距平

(箭头分别是 1998 年 1 月和 1999 年 1 月)

Fig. 2 Evolution of monthly mean Nino 3.4 SST anomalies from Jan 1996 to Oct 1999 (the arrows highlight the values of Jan 1998 and Jan 1999, respectively)

4 冬季多雨和少雨年的大气环流差异

影响中国冬季季尺度降水异常的有 ENSO 事件、西风带行星尺度槽脊和副热带高压等因子, 我们将通过对比分析方法, 研究冬季多雨年和少雨年的

大气环流差异。

4.1 海平面气压场

西伯利亚高压(又称蒙古高压)和阿留申低压是冬季亚洲和北太平洋地区的主要行星尺度系统, 西伯利亚高压的强度与亚洲冬季风的强度有着较好的正相关^[12]。1997 和 1998 年冬季西伯利亚高压的中心位置接近常年, 但中心气压 1997 年(1998 年)比常年平均低(高)。阿留申低压的位置两年有较大变化, 1997 年低压中心位置在 150° W, 比常年东移了 30° , 而 1998 年阿留申低压分裂成两个中心, 主要中心位于 165° E, 比常年位置西移了 15° (图略)。海平面气压场的差异在 1997 年与 1998 年的差值场中反映得更加明显, 从图 3 可见, 低纬度地区为正值区, 正值中心在菲律宾以东的太平洋海面, 表明西太平洋副热带高压在 1997 年要明显强于 1998 年。中高纬度, 从中西伯利亚到中国南方地区为负值区, 西北太平洋地区为正值区, 这表明 1997 年东亚中高纬行星尺度系统偏弱, 是弱冬季风年, 而 1998 年东亚中高纬行星尺度系统偏强, 是强冬季风年。

4.2 500 hPa 位势高度场

多年平均图上, 冬季 500 hPa 中高纬度平均环流呈 3 槽 3 脊型, 其中东亚大槽和欧洲槽分别位于 140° 和 30° E 附近。在 1997 年冬季位势高度场上(图 4a 中的实线), 东亚大槽偏东偏弱, 北太平洋中高纬度地区为一个宽阔的槽区, 欧洲槽东移到 55° E 附近, 在两大槽之间亚洲中部地区的高压脊也有所减弱。而副热带高压较常年同期显著偏强, 5880 gpm 的等值线范围横贯印度洋和西太平洋。

距平场上(图 4a 中虚线), 东北太平洋上空出现 -120 gpm 的距平中心, 乌拉尔山附近也为一个负距平区, 而东亚位于正距平区, 正距平中心从贝加尔湖向东南伸展到日本海, 位势高度距平的这种分布, 意味着东亚季风区的高空引导气流减弱, 不利于中低层冷空气向南推进, 从而减弱了东亚地区的偏北冬季风。而副热带地区则几乎全为正距平覆盖, 其中在菲律宾海有一个独立的正距平中心, 数值达到 33 gpm, 从而加强了副热带高压北侧的西偏南气流。

1998 年冬季的情形与 1997 年相反(图 4b), 东亚大槽和欧洲槽附近均为负距平, 而中西伯利亚脊处正距平中心达 60 gpm。高度距平与多年平均槽脊同位相叠加, 使中高纬度西风带环流经向度加大, 有利于冷空气向南推进, 增强了东亚冬季风。而副

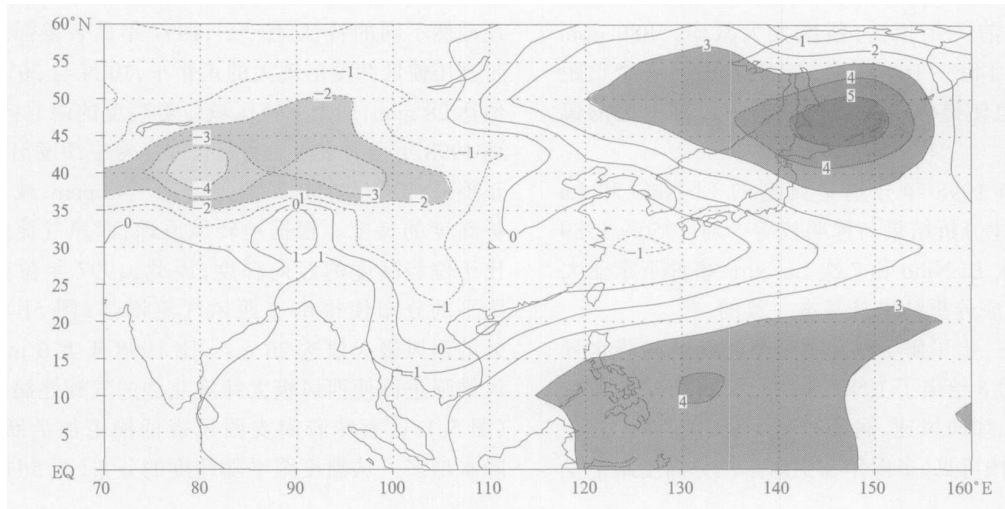


图3 冬季海平面气压差值场(1997年—1998年)

(浅阴影区表示气压差小于 - 2 hPa ,深阴影区表示气压差大于 3 hPa)

Fig.3 Differences of winter sea level pressure between 1997 and 1998

(the heavy shading denotes above 3 hPa , and the light shading below - 2 hPa)

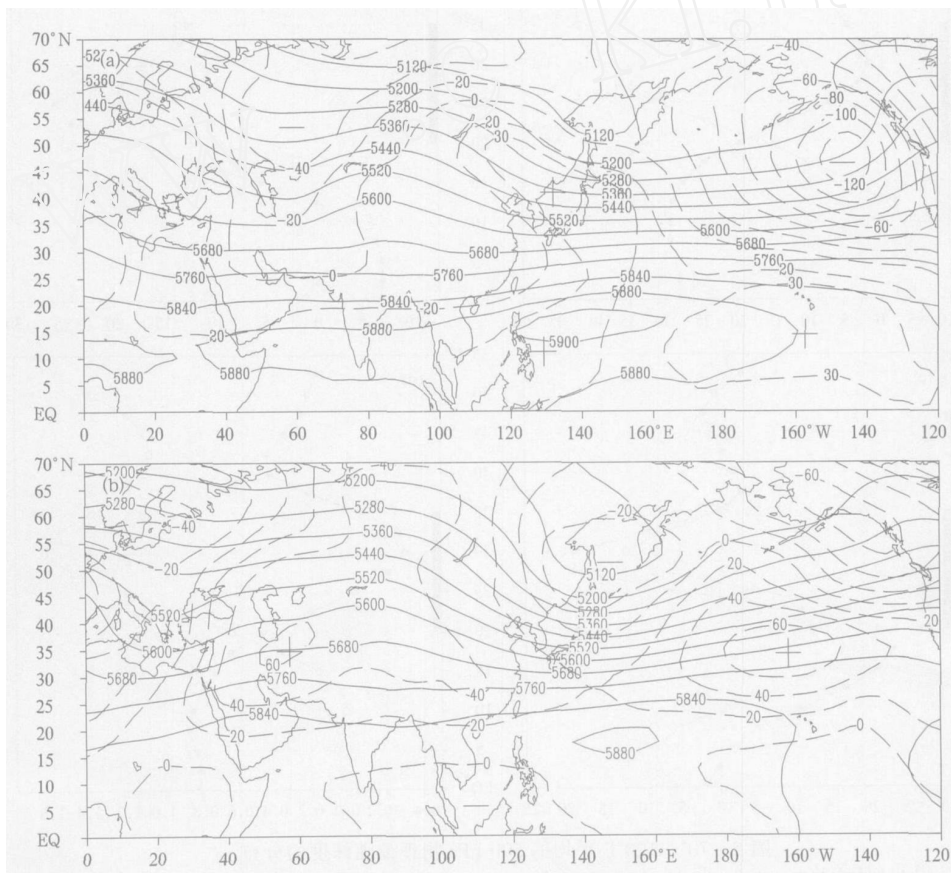


图4 冬季平均的 500 hPa 位势高度场(实线)和距平(虚线)

(a. 1997 年 , b. 1998 年 ;单位 : gpm)

Fig.4 Winter mean 500 hPa geopotential heights (solid lines) and anomalies (dashed lines)

for 1997 (a) and 1998 (b) ,respectively (units: gpm)

热带高压与前一年相比,强度大大减弱,5880 gpm 等值线只在 $140^{\circ}\text{--}160^{\circ}\text{E}$,南海南部出现了一个负距平中心,这也使得中国华南和南海中北部地区的偏北气流加强。

1997 和 1998 年分别是典型的 El Niño 和 La Nina 年,上述分析结果与穆明权等^[8]对 1950—1989 年期间 10 次 El Niño 和 7 次 La Nina 事件下东亚大气环流的合成分析结果是基本一致的。

为了进一步了解 500 hPa 环流场特征与降水异常的关系,图 5 给出了 1997 和 1998 年纬向平均的位势高度距平、纬向风速、涡度和温度距平随纬度的分布廓线。由图可见,多雨年和少雨年位势高度距平呈

现截然不同的特征(图 5a),1997 年显著偏强的副热带高压使低纬度出现大的正距平,10°N 与 30°N 的差值达 28 gpm,加大了该区域位势高度的南北向梯度。而 1998 年强的中西伯利亚长波脊使中纬度出现大的正距平,10°N 与 30°N 的差值为 -43 gpm,减小了位势高度的梯度。根据地转风原理,西风气流强度正比于位势高度的经向梯度,因此,1997 年位势高度距平的分布使得南支西风气流增强(图 5b),25°N 处的西风极大值达 26 m/s,比 1998 年大 6 m/s。西风增强进而使西风极大纬度北侧的气旋性涡度加大(图 5c),这意味着南支西风带低槽更加活跃,锋区降水增多。从温度距平随纬度的分布(图 5d)可见,

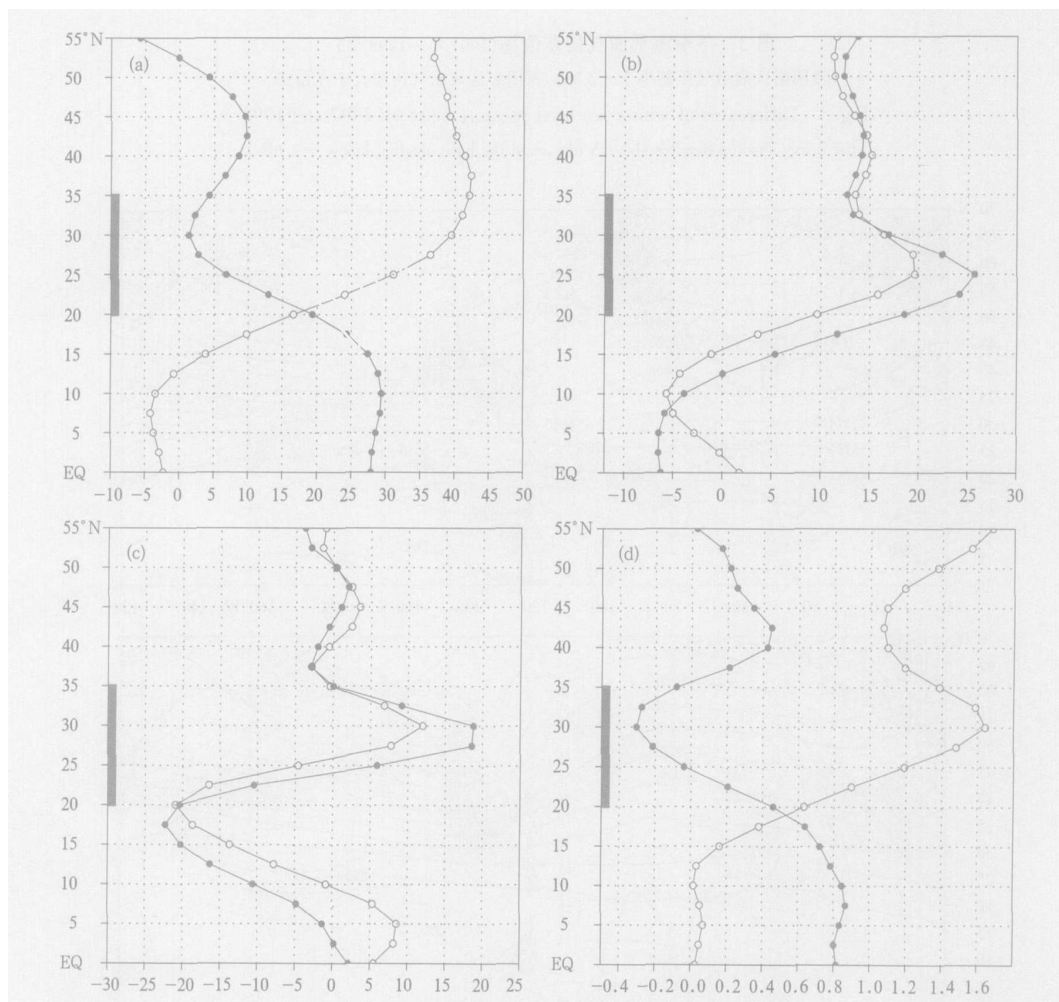


图 5 $70^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$ 平均的 500 hPa 物理量随纬度的分布

(a. 位势高度距平, 单位: gpm; b. u 分量, 单位: m/s ; c. 涡度, 单位: 10^{-6}s^{-1} ; d. 温度距平, 单位: $^{\circ}\text{C}$;
其中实线(空心)圆点代表的曲线是 1997 年(1998 年), 纵坐标上的黑色区域表示降水区纬度范围)

Fig. 5 Meridional distributions of geopotential height anomalies (a; gpm), zonal wind (b; m/s), vorticity (c; 10^{-6}s^{-1}), temperature anomalies (d; $^{\circ}\text{C}$) averaged over $70^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$ at 500 hPa (curves with solid and open circle for the winter of 1997 and 1998, respectively; thick black segment on ordinate: latitude range of precipitation)

由于 1997 年冬季东亚大槽减弱东移,使日本海附近温度出现正距平,强的副热带高压使低纬也出现正距平,中国南方地区则由于上游西风槽频繁带来冷空气而呈现负距平。1998 年冬季的温度距平分布则相反。从图 5d 中还可以看出,在 10° — 30° N 纬度带内,1997 年(1998 年)的距平温度梯度同常年温度梯度同(反)号,加强(减弱)了该区域的温度梯度。而在 30° — 42.5° N 的纬度带,情形则相反,温度梯度在 1997 年减弱,1998 年增强。

4.3 850 hPa 风场

多雨年和少雨年环流的差异在 850 hPa 距平风场上反映得也很清楚。受 ENSO 事件和弱冬季风的影响,1997 年冬季赤道附近有较强的纬向风距平,中国东部地区和南海出现一致的偏南风距平。图 6a 中

有两个反气旋环流,中心位于菲律宾海的距平反气旋 A_1 占据着整个副热带地区,它的稳定存在,加强了其西北侧的西南气流,有助于低纬暖湿气流向北输送。另外一个反气旋环流 A_2 位于日本北海道附近,它是图 4 中位于此处的正气压距平在 850 hPa 风场上的反映。在这两个反气旋之间,是西南风转东南风的气旋性环流,环流中心在长江流域,该气旋及其东侧暖式气旋性切变线有利于暖湿空气辐合上升,是造成中国南方地区多雨的主要天气系统。

图 6b 是 1998 年的距平流场,可见副热带地区是气旋性环流,中心在南海南部,另一个气旋性闭合环流中心在库页岛以西,东亚 32.5° N 附近是一个脊区。中国南方地区处在反气旋气流中,比常年更强的东北季风 and 反气旋涡度使该地区降水减少。

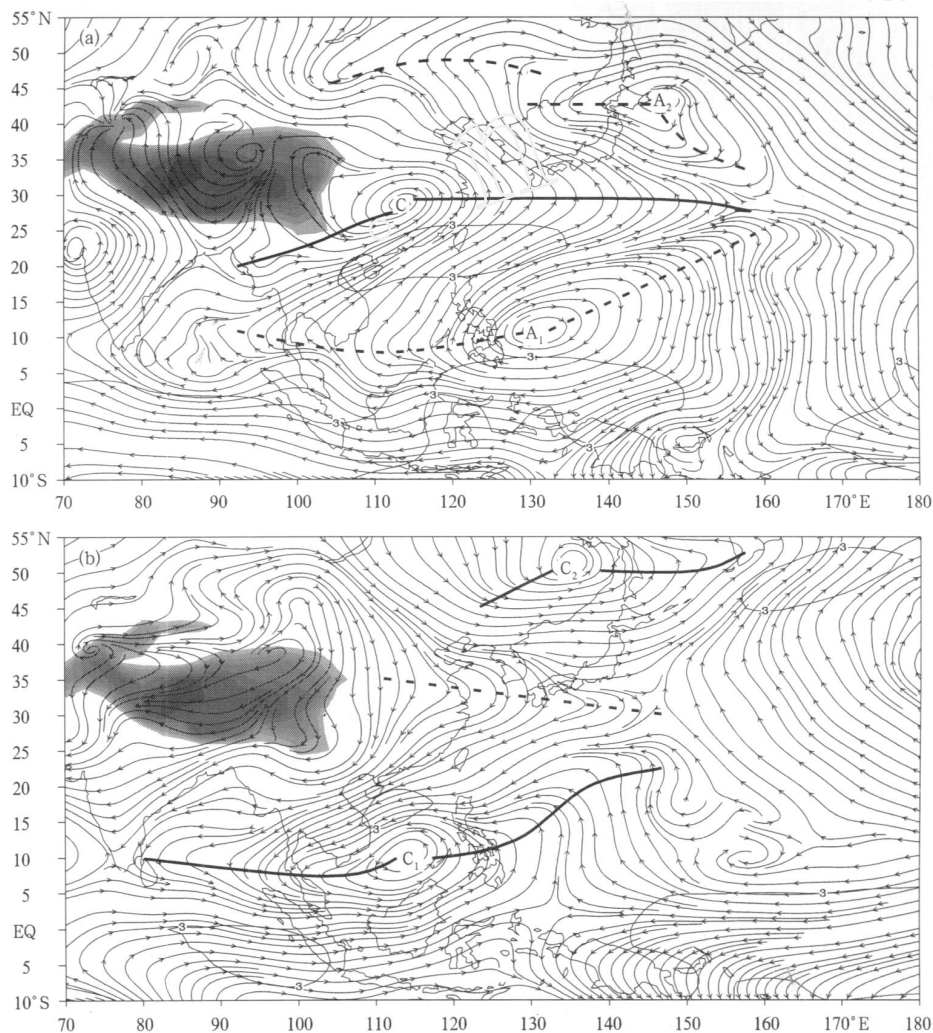


图 6 冬季 850 hPa 距平流场

(a. 1997 年, b. 1998 年;单位: m/s ;细实线是距平等风速线,粗实线和粗虚线分别是槽线和脊线)

Fig. 6 Winter 850 hPa anomalous streamline fields for 1997 (a) and 1998 (b)

(thin solid line: anomalous isotachs, m/s ; thick solid/ dash line: trough/ ridge line, respectively)

对比图 6a 和 6b 可见,1997 年冬季东亚地区低中高纬度分别是脊、槽、脊,1998 年分别是槽、脊、槽,环流系统的分布在这两年基本相反。

4.4 200 hPa 风场

1997 年 200 hPa 距平风场上最显著的特征是位于东亚的气旋性环流(图 7a),这个距平气旋也出现在其他 ENSO 暖事件中,Wang 等^[9]认为它是太平洋—东亚遥相关型的一个成员,Lau 等^[13]用 GCM 模式也模拟出在 ENSO 暖期对流层高层存在一个距平气旋,但他们的文章中没有对该气旋展开讨论。从本节分析可见,该距平气旋在垂直结构上不同于菲律宾海反气旋,前者具有相当正压结构,中心位置随高度基本不变,强度随高度增强;而后者

在对流层低层明显,强度随高度衰减。在形成机理上两者也不相同,菲律宾海反气旋的发展与局地海温冷却相联系,热力强迫起着重要的作用,而东亚地区的气旋性环流可能是低层南北两个反气旋环流动力强迫的结果。环境温度距平分布(图 5d)和热成风关系,使得气旋中心南北两侧的西风和东风距平数值随高度增加,气旋环流也就在高层更加明显。

图 7b 是 1998 年 200 hPa 距平流场,可见低层位于南海南部的气旋性环流在 200 hPa 消失,东亚地区为一个反气旋环流。另外,由于 1998 年冬季海洋性大陆附近对流活动增强,高空辐散气流也相应加强,使印度洋和海洋性大陆出现偏东风距平,赤道西太平洋地区出现偏西风距平。

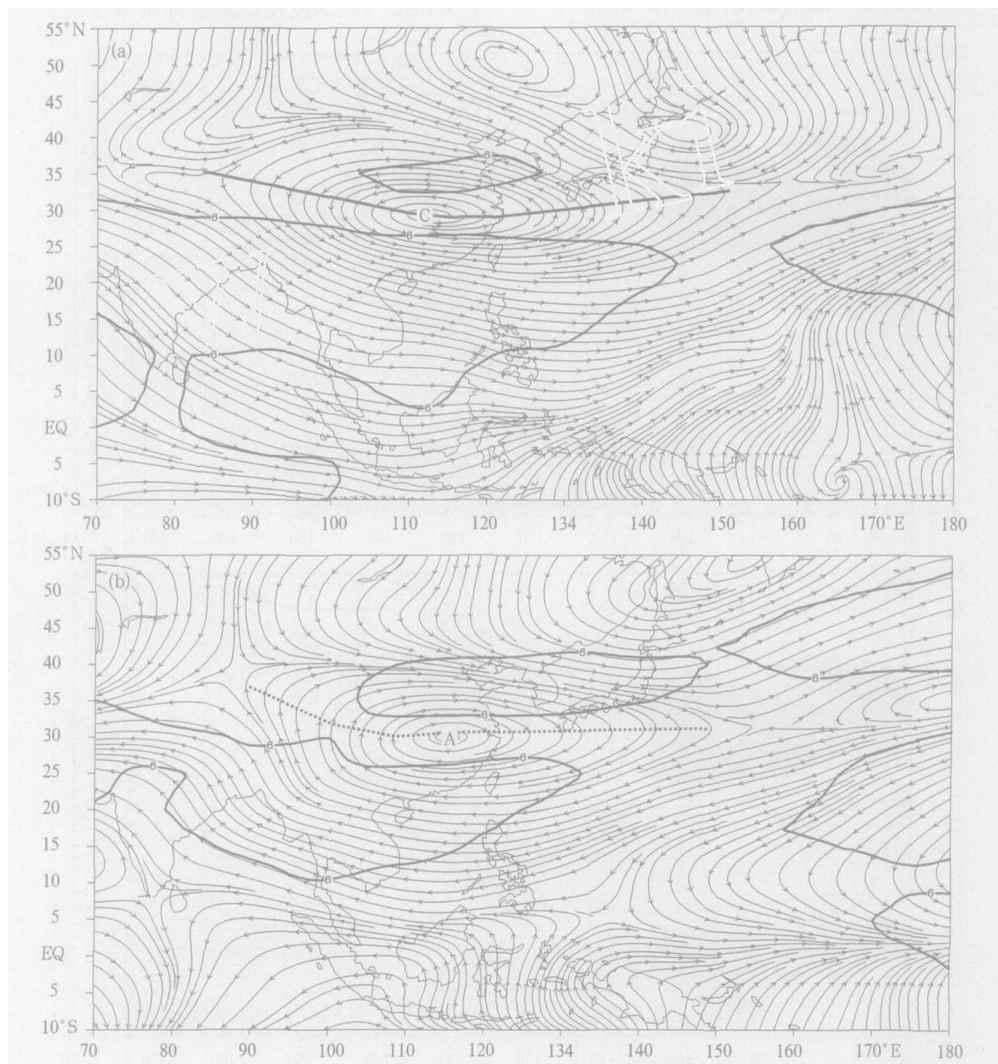


图 7 同图 6,但为 200 hPa

Fig. 7 As in Fig. 6 except for 200 hPa

5 冬季多雨和少雨年的水汽输送差异

为了进一步了解冬季降水异常的原因,我们对两个典型年冬季的水汽输送特征进行了分析。图 8 显示的是这两年冬季 3 个月平均的垂直积分水汽通量,由图可见,除了低纬地区一支偏东风水汽输送带外,冬季东亚和西北太平洋中纬度地区稳定存在着一支沿南支西风带的水汽输送带,在南海与中南半岛附近也出现一定的向北经向风水汽输送,因而

中国南方地区的水汽来源,部分来自南支西风低槽前的西南气流,部分来自中南半岛和南海中南部的转向气流。冬季印度洋区域盛行东风,其上的暖湿空气对中国的降水贡献不大。比较图 8a 和 8b 可以看出,在垂直积分的水汽通量矢量场上,副热带反气旋在 1997 年冬季位置偏南,与孟加拉湾处的南支低槽共同形成了中国南方地区的西南风水汽输送,而在 1998 年,反气旋环流偏西偏北,南支低槽弱,水汽输送明显减小。

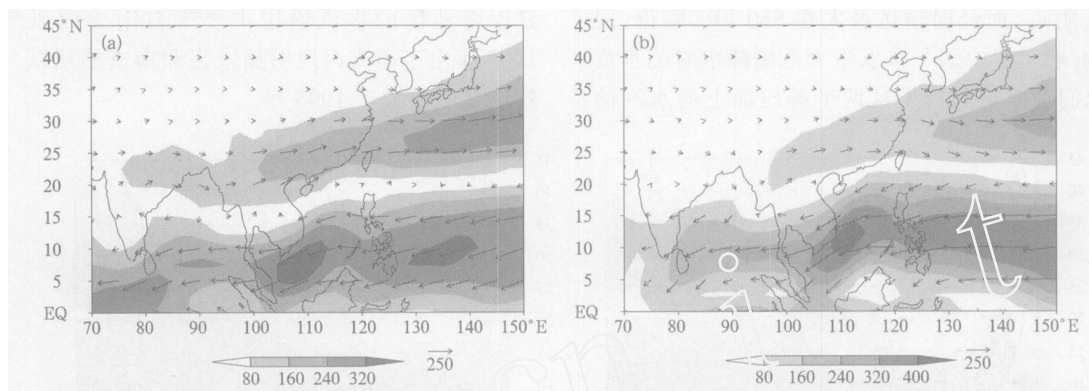


图 8 1997(a)和 1998 年(b)冬季整层水汽输送场

(阴影区表示水汽输送大于 $80 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$,等值线间隔也为 $80 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$)

Fig. 8 Vertically integrated water vapor transfer in the winter of 1997 (a) and 1998 (b)

(Shading denotes above $80 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$, and intervals are also $80 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$)

冬季水汽输送在不同垂直层次有明显不同的特征,为此,我们计算了中国南方地区面积平均的纬向和经向水汽输送随高度的分布廓线(图 9),平均范围为 $20^\circ\text{--}30^\circ\text{N}$, $105^\circ\text{--}120^\circ\text{E}$ 。冬季纬向水汽输送

(图 9a)的基本特征是:1000 和 925 hPa 是东风水汽输送(图略),850 hPa 上在少雨年仍是弱东风,多雨年已转为西风,西风水汽输送在 700 hPa 达到最大值。1997 年冬季风弱,因此低层东风分量减小,但

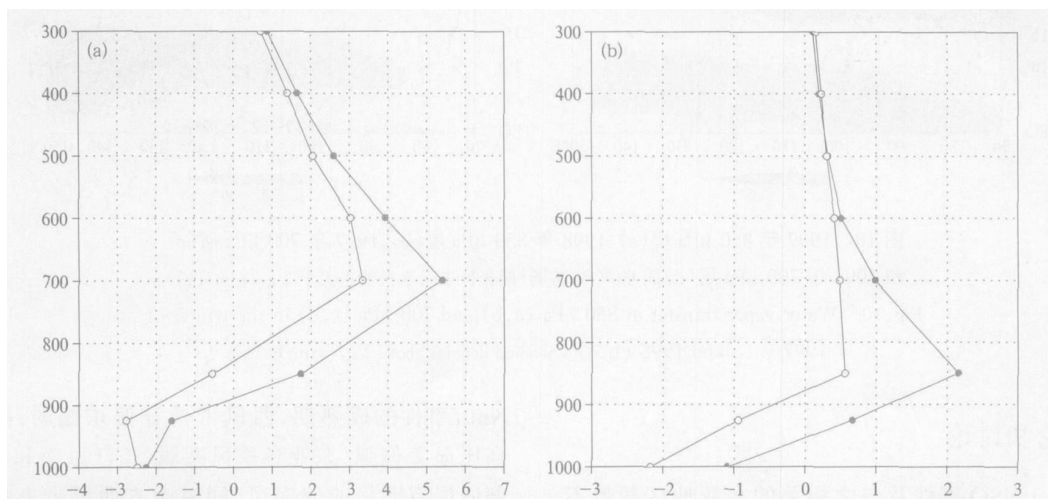


图 9 面积平均 ($20^\circ\text{--}30^\circ\text{N}$, $105^\circ\text{--}120^\circ\text{E}$) 的水汽输送随高度的分布

(a. 纬向水汽输送, b. 经向水汽输送;单位: $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa})$)

Fig. 9 Vertical profiles of zonal (a) and meridional (b) water vapor transfer averaged over Southern China

($20^\circ\text{--}30^\circ\text{N}$, $105^\circ\text{--}120^\circ\text{E}$; curves with solid/open circle for the winter of 1997 and 1998, respectively; units: $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa})$)

中高层南支西风分量增大,使得 1997 年整层纬向水汽输送要大于 1998 年。经向水汽输送图(图 9b)上,1000 hPa 受东北季风影响,水汽从东海上空向西南方向输送,但由于水汽通量分布一般是低纬度大于中纬度,华南和南海北部该层的水汽通量常常是辐散。ENSO 事件对经向水汽输送影响很大,在 El Niño 年,925 hPa 已转为南风,850 hPa 则在加强的副热带反气旋的作用下,出现了较大的南风水汽输送。

图 9 揭示了纬向水汽输送贡献最大的层次在 700 hPa 附近,而经向输送最大在 850 hPa 附近,因此为更好地了解中国冬季发生大范围降水时的水汽来源,我们进一步分析了这两个等压面上的水汽输

送场。由图 10a—10d 可知,冬季中国南方地区的水汽输送通道在 850 和 700 hPa 是不同的,多雨年和少雨年也有很大差别。在 1997 年的 850 hPa 层上,菲律宾海北部有一个反气旋环流,环流西侧的偏南气流将反气旋南侧的热带暖湿气流带到南海北部和华南地区,而在 1998 年南海北部受强冬季风影响东北风盛行,只有弱的水汽顺着大陆冷性反气旋的西侧输送到中南半岛和中国西南地区。在 700 hPa 层,来自南海转向气流的水汽输送已不明显,中国长江以南地区的水汽输送主要来自南支西风气流,1997 年由于南支西风明显增强和南支槽活跃,水汽输送要明显大于 1998 年。

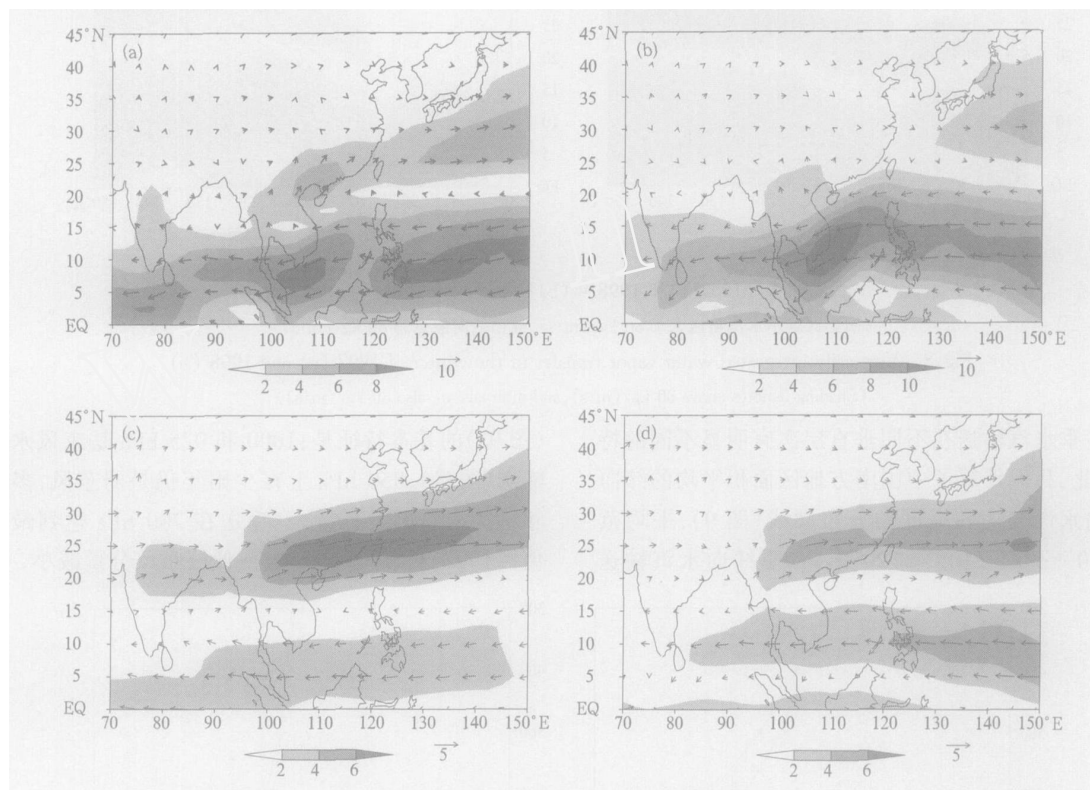


图 10 1997 年 850 hPa 层(a)、1998 年 850 hPa 层(b)、1997 年 700 hPa 层(c)和 1998 年 700 hPa 层(d)的水汽输送场(阴影区表示水汽输送大于 $2 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa})$)

Fig. 10 Water vapor transfer at 850 hPa (a,b) and 700 hPa (c,d) in the winter of 1997 (a,c) and 1998 (b,d) (Shading denotes above $2 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa})$)

6 结论和讨论

(1) ENSO 事件及与之相关的东亚地区截然不同的环流分布是造成这 1997 和 1998 年中国南方地区冬季降水明显差异的主要原因。1997 年位于 El

Niño 事件的成熟期,西风带槽脊偏东偏弱,副热带高压显著偏强,东亚冬季风减弱,长江以南和南海北部低层有明显的偏南风,同时南支西风带上扰动活跃,影响中国南方地区的水汽输送加强。而 1998 年处在 La Nina 事件的成熟期,西风带槽脊强度偏强,

副热带高压偏弱,东亚冬季风增强,中国南方地区低层受稳定的偏北气流控制。

(2) 冬季多雨年,东亚地区对流层低层距平流场上呈现两个反气旋和一个气旋性环流,反气旋中心分别位于菲律宾海和日本北海道,气旋中心位于长江中游,在对流层高层,菲律宾海反气旋消失,而位于长江中游的气旋性环流中心位置维持不变,强度明显加强,这说明该气旋性环流的形成机理和垂直结构与菲律宾海反气旋是不同的。少雨年的情形大致相反,但气旋和反气旋的位置和强度有所不同。

(3) 冬季降水的水汽主要来自南支西风带低槽前部的西南气流和南海-中南半岛上空的转向气流。1997年南支西风气流强,加大了南支水汽输送,菲律宾海的距平反气旋促进其西侧水汽的向北输送;1998年南支西风气流弱,中国东南沿海低层为冷性高压控制,使两支水汽输送都大大减弱。

(4) 冬季的水汽输送通道随高度有明显的变化。925 hPa 附近及以下主要是东北风水汽输送,850 hPa 附近主要是副热带高压西侧的偏南气流将西北太平洋暖湿气流经南海中北部和中南半岛向北输送,700 hPa 及以上主要是南支气流将水汽向东输送。对流层中低层对水汽输送的贡献最大。

本文就两个典型年份讨论了 ENSO 事件和中、低纬度环流系统对中国南方地区冬季降水的影响,一些研究初步表明,这些影响因子之间既有一定的相对独立性,也有一定的联系^[14-15]。就本文选取的个例来说,我们认为强 ENSO 事件可能是主导性的因子,这是因为,在 ENSO 暖事件的强盛期,一方面由太平洋-东亚遥相关强迫出菲律宾海的反气旋距平(图 6a 中的 A_1),加强了副热带高压,另一方面, PNA 型遥相关^[16-17]导致东北太平洋位势高度出现负距平(图 3a),使东亚大槽减弱,日本岛北部出现了另一个反气旋环流(图 6a 中的 A_2),在这两个反气旋环流的动力作用下,中纬度出现西南风转东南风的气旋性环流(图 6a 中的 C)。有利的温度距平分布(图 5d),使这个气旋性环流随高度增强,成为东亚对流层上层重要的环流系统(图 7a)。

参考文献

- [1] 徐建军,朱乾根,周铁汉. 近百年东亚冬季风的突变性和周期性. 应用气象学报,1999,10(1):1-8

- Xu Jianjun, Zhu Qiangen, Zhou Tiehan. Sudden and periodic changes of East Asian winter monsoon in the past century. *Quart J Appl Meteor (in Chinese)*, 1999, 10(1):1-8
- [2] Chang C P, Lau K M. Northeasterly cold surges and near equatorial disturbances over the winter MONEX area during December 1974. Part : Planetary-scale aspect. *Mon Wea Rev*, 1980, 108: 298-312
- [3] 卢文通,丁一汇. 近年来国外关于东亚冬季风期间冷涌对热带环流影响的研究. 热带气象,1987,3(2):177-187
Lu Wentong, Ding Yihui. Recent advances in study of the response of tropical circulation to cold surges during East Asian winter monsoon. *J Tropical Meteor (in Chinese)*, 1987, 3(2): 177-187
- [4] Chang C P, Lau K M. Short-term planetary-scale interactions over the Tropics and midlatitudes during northern winter. Part I: Contrasts between active and inactive periods. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 933-946
- [5] 郭其蕴,王日生. 东亚冬季风活动与厄尔尼诺的关系. 地理学报,1990,45(1):68-77
Guo Qiyun, Wang Risheng. The relationship between the winter monsoon activity over East Asia and the El Niño events. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 1990, 45(1):68-77
- [6] Zhang R, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events. *J Meteor Soc Japan*, 1996, 74: 49-62
- [7] 陶诗言,张庆云. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应. 大气科学,1998,22(4):399-407
Tao Shiyun, Zhang Qingyun. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events. *Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese)*, 1998, 22(4):399-407
- [8] 穆明权,李崇银. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息. : 观测资料分析. 大气科学,1999,23(3):276-285
Mu Mingquan, Li Chongyin. ENSO signals in the interannual variability of East Asian winter monsoon. Part I: Observed data analyses. *Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese)*, 1999, 23(3):276-285
- [9] Wang B, Fu X. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J Climate*, 2000, 13: 1517-1536
- [10] Wang B, Zhang Q. Pacific-East Asian teleconnection. Part : How the Philippine sea anomalous anticyclone is established during El Niño development? *J Climate*, 2002, 15: 3252-3265
- [11] 陈文. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. 大气科学,2002,26(5):595-610
Chen Wen. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon. *Chinese J Atmos Sci (in Chinese)*, 2002, 26(5):595-610
- [12] 丁一汇. 东亚冬季风的统计研究. 热带气象,1990,6(2):119-128
Ding Yihui. A statistical study of winter monsoons in East Asia.

- J Tropical Meteor (in Chinese), 1990, 6(2):119-128
- [13] Lau N C, Nath M J. Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian monsoons as simulated in GCM experiments. *J Climate*, 2000, 13(24): 4287-4309
- [14] 陈隽, 孙淑清. 东亚冬季风异常与全球大气环流变化. 强弱冬季风影响的对比研究. *大气科学*, 1999, 23(1): 101-111
Chen Jun, Sun Shuqing. Eastern Asian winter monsoon anomaly and variation of global circulation. Part I: A comparison study on strong and weak winter monsoon. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1999, 23(1):101-111
- [15] 王会军, 姜大膀. 一个新的东亚冬季风强度指数及其强弱变化之大气环流场差异. *第四纪研究*, 2004, 24(1): 19-27
Wang Huijun, Jiang Dabang. A new East Asian winter monsoon intensity index and atmospheric circulation comparison between strong and weak composite. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2004, 24(1):19-27
- [16] Wallace J M, David S G. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(4): 784-812
- [17] Horel J D, Wallace J M. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the southern oscillation. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(4): 813-829

AN ANALYSIS ON ANOMALOUS PRECIPITATION IN SOUTHERN CHINA DURING WINTER MONSOONS

He Xicheng^{1,2} Ding Yihui³ He Jinhai¹ Li Qiaoping⁴

1 *Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*

2 *Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080*

3 *National Climate Center, Beijing 100081*

4 *Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029*

Abstract

The winters of 1997/1998 and 1998/1999, corresponding to El Niño and La Nina episodes, respectively, were two typical rain-abundant and -scarce seasons for the southern part of China. In order to understand the anomalous precipitation in the two winters, the comparative analysis technique has been employed to investigate the differences of general circulation and moisture transfer between the two seasons. The results show that the abundant rainfall in the winter of 1997/1998 was associated with the warm episode of ENSO event, weak and eastward shifted westerly trough/ridge, weakened East Asian winter monsoon, strengthened subtropical high, and the presence of two anti-cyclonic circulations over Hokkaido, and the Philippine Sea, respectively, and one cyclonic circulation over the Changjiang River Basin in the anomalous wind fields in the lower troposphere. In the rain-scarce winter, however, the patterns of equatorial sea surface temperature anomalies and the circulation systems both in upper and lower levels were almost opposite to those in the rain-abundant winter. It is also revealed that the water vapor over southern China in the winters came mainly from the southwesterly flow ahead of south branch westerly troughs, and the turning flow over the South China Sea-Indo-China peninsula area; and the channels of moisture transfer varied significantly with height. The intensified south branch westerly flow and the anti-cyclonic circulation anomaly over the Philippine Sea in the winter of 1997/1998 were favorable for moisture transfer towards the continental China, however the two moisture transfer streams were dramatically weakened in the winter of 1998/1999 due to the weak westerly flow and the dominance of a cold high system in the lower level over the southeast coast of China. Such a significant inter-annual change of moisture transfer is a key factor resulting in the obvious difference in precipitation between the two winters.

Key words: Winter monsoon, Precipitation, Circulation differences, Moisture transfer.