牛若芸,苏爱芳,马杰,等. 2011. 典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨大气环流特征差异及动力诊断分析 [J]. 大气科学, 35 (1): 95-104. Niu Ruoyun, Su Aifang, Ma Jie, et al. 2011. The difference of the atmospheric circulation features and dynamical diagnosis about the typical Meiyu patterns of southern flood (drought) and northern drought (flood) [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (1): 95-104.

典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨大气环流特征 差异及动力诊断分析

牛若芸1 苏爱芳2 马杰1 吕学东3

1国家气象中心,北京 100081
 2河南省气象局,郑州 450003
 3四川省气象局,成都 610071

摘 要利用 NCEP 逐日再分析资料,采用合成分析和动力诊断方法比较研究了典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨 大气环流特征差异,逐一考察了近20种物理量对其主雨带位置的诊断识别能力。结果表明:典型南涝(旱)北旱 (涝)梅雨极涡偏强(弱),亚欧中高纬槽脊振幅较大(小),中纬度110°E~150°E 地区位势高度明显偏低(高), 冷空气势力偏强(弱);相应南亚高压主体东段偏南(北);副高主体明显偏东(西),西伸脊线偏南(北);印度季 风槽强度偏弱(强);高、低空急流在江淮流域形成的高空辐散和低空辐合均偏弱(强);江淮流域水汽输送偏弱 (强),主要源于西南季风气流(西南季风和副高南侧东风气流);低空急流轴左侧经向风强梯度辐合区、500 hPa 垂直上升运动中心、925 hPa和300 hPa总变形高值带、低层水汽通量经向强梯度辐合区、中层Q 矢量辐合中心与 主雨带位置吻合良好。

关键词 典型南涝(旱)北旱(涝) 梅雨 大气环流特征差异 动力诊断 **文章编号** 1006-9895(2011)01-0095-10 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

The Difference of the Atmospheric Circulation Features and Dynamical Diagnosis about the Typical Meiyu Patterns of Southern Flood (Drought) and Northern Drought (Flood)

NIU Ruoyun¹, SU Aifang², MA Jie¹, and LÜ Xuedong³

1 National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Meteorological Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450003

3 Meteorological Bureau of Sichuan Province, Chengdu 610071

Abstract By using NCEP reanalysis data and composition analysis and dynamical diagnosis, this paper compares the difference of the atmospheric circulation features about the typical Meiyu patterns of southern flood (drought) and northern drought (flood), and investigate the performance of dynamic identification of nearly 20 kinds of physical quantities for the main rain belt. The results show that: for the typical Meiyu pattern of southern flood (drought) and northern drought (flood) the polar vortex is stronger (weaker), the amplitudes of roughs and ridges in the middle-high latitudes of Asia – Europe are larger (smaller), the geopotential height in the middle latitudes during

收稿日期 2010-02-10, 2010-07-06 收修定稿

资助项目 2011年中国气象局项目"南方强雨带位置预报技术集成与应用",国家科技支撑计划课题(2009BAC51B05)

作者简介 牛若芸,女,硕士,高工,主要研究方向为中期延伸期预报方法及灾害性天气形成机制。E-mail: niury@cma.gov.cn

 $110^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$ is lower obviously, the above differences indicate the power of cold air is stronger (weaker); correspondingly the east part of main body of the South Asia high is more southward (northward); the main body of the western Pacific Ocean subtropical high is more eastward (westward) and its western ridge line is more southward (northward); the Indian monsoon trough is weaker (stronger); both the upper divergence and the lower convergence over the Changjiang – Huaihe River valley caused by the upper and lower level jets are weaker (stronger); the water vapor transport flux over the Changjiang – Huaihe River valley is smaller (larger) which is mainly originated from the southwestern monsoon current (from the southwestern monsoon current and the easterly current on the south side of the western Pacific Ocean subtropical high). It is in good agreement with the main rain belt, such as the strong gradient convergence region of meridional wind on the left side of the low level jet axis, the center of vertical ascending motion at 500 hPa, the high value band of total transfiguration at 925 hPa and 300 hPa, the strong gradient convergence region of meridional vapor flux in the lower atmosphere, the convergence center of Q vector in the middle atmosphere.

Key words typical Meiyu patterns of southern flood (drought) and northern drought (flood), difference of the atmospheric circulation features, dynamical diagnosis

1 引言

梅雨是江淮流域春末夏初过渡季节中的重要天 气气候现象(周曾奎,1996)。叶笃正和黄荣辉 (1996)研究指出,全国涝灾主要集中在江淮地区, 其中6~7月份的旱涝大部分是由梅雨异常引起的, 因此梅雨一直是我国气象学者研究的重要课题。例 如:丁一汇等(2007)系统性地研究了东亚梅雨系 统的天气一气候学特征;毛文书等(2008,2009) 比较了江淮梅雨丰、枯梅年大气环流和水汽输送特 征的差异;竺夏英等(2008)分析了早、晚梅年海 气背景特征;王慧等(2008)讨论了夏季风强度与 梅雨异常的对应关系;杜银等(2008)研究了东亚 副热带高空西风急流东西向形态变化对梅雨期降水 空间分布的影响;徐海明等(2001)分析了江淮人 梅前后大气环流的演变特征和西太平洋副热带高压 西伸北跳的可能机制。

前人诸多研究往往是将江淮流域作为一个整体 来探讨梅雨形成的大气环流特征及其影响机制,然 而,由于对流层高、中、低层多个大尺度环流系统 都可对江淮梅雨产生直接或间接的影响,每年影响 梅雨的主导因素又不尽相同,导致各年梅雨的空间 分布存在明显差异(牛若芸和金荣花,2009)。虽 已有学者对江淮梅雨空间分布差异特征进行了分析 (闵屾和钱永甫,2008),但对梅雨空间分布差异形 成的大气环流特征差异的对比研究却较少。此外, 前人对梅雨大气环流特征差异的研究时段多选定为 整个梅汛期(6~7月),但江淮梅雨引发的洪涝灾 害却主要是梅汛期中的某一时段相对集中或持续出 现的强降雨所致,同时梅汛期中还会包含着相对干 期。

为了使研究更具代表性,本文将研究时段锁定 在能体现梅汛期集中降雨时段的梅雨期,首先筛选 出1954~2009年期间梅雨量呈典型南涝(旱)北 旱(涝)分布的梅雨期,继而利用合成分析法比较 研究典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨的大气环流特 征及其差异,并采用现代动力诊断技术考察了多种 物理量对典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨主雨带位 置的诊断识别能力。所得研究结论对准确预报江淮 梅雨主雨带位置、提高江淮梅雨预测水平、提升国 家防灾减灾能力等都有着重要意义。

2 资料和方法

2.1 资料

使用的 1954~2009 年逐日降雨量为中国气象 局国家气象信息中心数据库中国家级基本气象站点 资料,资料消除了台站迁移,并经过了均一性检查 和严格的质量控制,其中包含江淮流域(湖北宜昌 以东、28°N~34°N 之间的陆地区域)的 56 个气象 站点资料(图 1a)。梅雨期起止时间为国家气候中 心整编资料,其具体确定方法请参阅《中国夏季旱 涝及环境场》(赵振国等,1999)。本文中提及的历 年梅雨信息均指发生在 6、7 月份的典型梅雨。

分析大气环流特征差异和主雨带位置动力诊断 所使用的资料取自美国 NCEP/NCAR 逐日平均再 分析资料,水平分辨率为 2.5°×2.5°。

2.2 方法

分析方法主要包括经验正交函数(EOF)分解、合成分析、动力诊断等,组合衍生物理量由 NCEP/NCAR 再分析资料的基本物理量合成后计 算所得,总变形和Q 矢量散度计算方法如下:

①总变形。风场变形可分解为伸缩变形 *E*₁ 和 切变变形 *E*₂ 两部分(韩桂荣等,2005),总变形 *E* 用下式计算得出:

其中,

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}, \qquad (1)$$

$$E_1 = rac{\partial u}{\partial x} - rac{\partial v}{\partial y},
onumber \ E_2 = rac{\partial u}{\partial y} - rac{\partial v}{\partial x}.$$

② Q 矢量散度。在 Q 矢量散度 $\nabla_{h} \cdot Q = \partial Q_{x} / \partial x + \partial Q_{y} / \partial y$ 计算过程中,使用了 Yang and Gao (2006) 推导出的非均匀饱和湿大气中的 Q 矢量计 算公式,该 Q 矢量不仅包含了潜热释放效应,而且 还充分考虑了相对湿度的作用 (水汽效应),比干 Q 矢量和饱和湿 Q 矢量具有更完备的物理意义 (高守 亭等, 2008),计算公式如下:

$$\begin{cases} Q_{x} = \frac{1}{2} \Big[f\Big(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial x}\Big) - h \frac{\partial \mathbf{v}_{h}}{\partial x} \cdot \nabla_{h} \theta_{e}^{*} \Big], \\ Q_{y} = \frac{1}{2} \Big[f\Big(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial y}\Big) - h \frac{\partial \mathbf{v}_{h}}{\partial y} \cdot \nabla_{h} \theta_{e}^{*} \Big], \end{cases}$$

$$(2)$$

式中, Q_x 和 Q_y 分别为 x 和 y 方向上的 Q 矢量分量, 广义位温 $\theta^* = \theta \exp[(Lq_s/c_p T)(q/q_s)^k], h = (R/p)(p/p_s)^{R/c_p}, k=11.$

3 典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨的 确定

115⁰E

34°N

33°N

32°N

31°N

30°N

29°N

28°N

1954~2009年期间分别有 51 个非空梅年和 5

个空梅年,51个非空梅年中还包含有11个二度梅 年。鉴于二度梅年份的前后两个雨期划定标准相 同,但两个雨期的降雨量和大气环流特征却往往存 在差异,为使研究更加细致、所得结论更加可靠, 本文将二度梅年份中的两个雨期视为两个"独立" 的梅雨期进行研究,这样共计得出61个梅雨期, 其中二度梅年份的前后两个梅雨期用四位年后增添 序号来标识,如:19981和19982。

对这 61 个梅雨期、56 个气象站经标准化处理 后的梅雨量做经验正交函数(EOF)分解,结果表 明:第1载荷向量场反映的是江淮梅雨呈全区一致 性分布的特征(图略),方差贡献为56.4%;而第2 载荷向量场反映的正是江淮梅雨呈南、北两区反位 相分布特征(图1b),方差贡献为15.1%,东西走 向的零等值线大致沿长江将江淮流域分为南、北 区,北部为载荷向量负值区(29 站),南部为载荷 向量正值区(27 站)。在确定典型南涝(旱)北旱 (涝)梅雨型和梅雨期时,以EOF 第2 载荷向量分 区结果为基础,并综合考虑南、北两区区域之间梅 雨量整体异常的差异程度,区域内部梅雨量异常的 分布状况,具体方法如下:

(1)第2载荷向量场时间系数(T₂)的绝对值 是前3个载荷向量场时间系数(T₁、T₂、T₃)绝对 值中的最大值;

(2)南(北)区梅雨量距平百分率的区域平均值 R_{JS}(R_{JN})与T₂同(异)号,且|R_{JS}-R_{JN}|>50%;

(3)南(北)区标准化后的梅雨量区域平均值 *R*_{ss}(*R*_{sn})与*T*₂同(异)号;

(4)南(北)区标准化后的梅雨量与 T₂ 同(异)号站数占该区总站数的 60%以上;

(5) 某梅雨期降雨量同时满足上述4个条件





120°F

Fig. 1 Spatial distributions of (a) 56 stations and (b) the second EOF loading vector for the normalized Meiyu precipitation of 61 Meiyu periods over the Changjiang – Huaihe River valley



图 2 江淮流域典型(a)南涝北旱和(b)南旱北涝梅雨降雨量合成(单位:mm)

Fig. 2 Composite precipitation for the typical Meiyu patterns of (a) southern flood and northern drought (SFND) and (b) southern drought and northern flood (SDNF) over the Changjiang – Huaihe River valley

表1 江淮流域典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨各指标量

 Table 1
 Indicators for the typical Meiyu patterns of southern flood (drought) and northern drought (flood) over the Changjiang –

 Huaihe River valley

梅雨型	梅雨期	T_1	T_2	T_3	$R_{\rm SS}$	$R_{ m SN}$	$R_{ m JS}$	$R_{ m JN}$	A	В	С	D
南涝北旱	19660625 19660712	0.8	3.4	0.9	0.51	-0.27	41.9%	-27.8%	85%	15%	$14\frac{1}{10}$	86%
	1973061619730625	-1.1	3.6	-0.3	0.31	-0.55	26.8%	-50.2%	74%	26%	0	100%
	1992-06-20~1992-07-03	-2.8	3.9	-1.3	0.15	-0.85	12.5%	-74.4%	63%	37%	0	100%
	19930629 19930708	-1.1	4.4	0.4	0.46	-0.70	37.5%	-64.4%	89%	11%	0	100%
	1998-07-17-1998-08-02	1.9	2.7	2.1	0.63	-0.12	52.4%	-12.3%	74%	26%	28%	72%
	2008060720080623	0.1	2.5	0.6	0.34	-0.28	25.7%	-28.0%	70%	30%	$24\frac{0}{0}$	76%
北旱南涝	1956-06-26~1956-07-14	-1.0	-3.5	-0.4	-0.61	0.30	-51.7%	30.4%	7%	93%	69%	31%
	$1982\text{-}07\text{-}09 {\sim} 1982\text{-}07\text{-}25$	0.6	-5.1	-1.1	-0.58	0.71	-49.5%	67.3%	$4\frac{0}{0}$	96%	83%	17%
	1991 06 02 1982 06 19	0.5	-2.9	0.5	-0.29	0.44	-24.9%	34.2%	22%	78%	69%	31%
	1991 06 30 1991 07 12	3.7	-6.9	4.6	-0.45	1.29	-35.7%	105.8%	22%	78%	83%	17%

注: A、B(C、D): 南区(北区)标准化后的梅雨量大于、小于0的站数占南区(北区)总站数的百分比。

时,即定为典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨期和梅雨型,其中, $T_2>0$ 为南涝北旱型, $T_2<0$ 为南旱北 涝型。

依据上述标准确定出 6 个典型南涝北旱梅雨 期,分别为 1966、1973、1992、1993、1998_2、 2008;4 个典型南旱北涝梅雨期,分别为 1956_2、 1982、1991_1、1991_2 (表 1)。图 2 给出了典型南 涝北旱和南旱北涝梅雨期合成的降雨量,图中清晰 显示了梅雨量经向分布上的差异,南涝北旱型主雨 带 (200 mm 以上的强降雨带)位于 28°N~30.5°N, 南旱北涝型主雨带位于 30°N~33.5°N。

4 典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨大 气环流特征差异

4.1 高度场

在合成的 200 hPa 和 500 hPa 位势高度场上

(图 3)可以看到,尽管典型南涝北旱和南旱北涝梅 雨的大尺度环流特征存在许多相似之处,如:亚欧 中高纬地区呈两槽两脊型,南亚高压、西太平洋副 热带高压(简称副高)、印度季风槽等与梅雨关系 密切的大型天气系统也都是这两个高度场中的重要 组成部分。但同时典型南涝北旱和南旱北涝梅雨的 大尺度环流特征也存在着差异,这些差异也正是造 成梅雨量呈南涝北旱和南旱北涝分布的重要原因。

南涝北旱梅雨型极涡位置偏南、强度偏强,差 值场上对应有-8 dagpm负中心;亚欧中高纬槽脊 振幅较大、位置偏西;雅库茨克高压脊强度偏强, 差值场显示有3 dagpm的正中心,迫使冷空气从其 底部东移南下并到达了较低的纬度;相应中纬度 110°E~150°E地区位势高度明显偏低,并成为中 纬度带高度差异最显著的地区;南旱北涝梅雨极涡 位置偏北、强度偏弱;亚欧中高纬槽脊振幅较小、

34°N

33°N

32°N

31°N

30°N

29°N

28°N

位置偏东; 雅库茨克高压脊强度偏弱。这些差异表 明, 南涝北旱梅雨型冷空气势力较强、路径偏西、 影响地域偏南; 南旱北涝梅雨型冷空气势力较弱、 路径偏东、影响地域偏北。

冷空气势力的强弱还对南亚高压、副高、印度 季风槽的强度或位置产生了影响。南涝北旱梅雨型 冷空气势力较强,迫使南亚高压主体东段(80°E以 东)逐渐向南倾斜,120°E~140°E南亚高压脊线位 于 25°N附近,已向南偏斜了 2 个纬距,位置偏南; 副高主体明显偏东,西伸脊点在 130°E,脊线自 150°E向西逐渐南倾,120°E副高脊线位于 21°N, 位置偏南;印度季风槽强度偏弱。南旱北涝梅雨型 冷空气势力较弱,南亚高压主体东段沿纬圈分布, 脊线基本保持在 27°N附近,位置偏北;副高主体 明显偏西,西伸脊点伸至 115°E附近,脊线自 150°E 向西虽也有南倾趋向,但幅度较小,120°E副高脊线 位于 24°N,位置偏北;印度季风槽强度偏强。

4.2 风场

高、低空急流在梅雨形成中的重要作用已得到 学者们共识,其影响机制主要是在高空产生辐散、 低空产生辐合,促使垂直上升运动发展和加强,为 强降雨的产生提供所必需的动力和水汽条件(朱乾 根等,2001;杜银等,2009)。合成的200 hPa 和 700 hPa 风场(图4)显示,典型南涝北旱和南旱北 涝梅雨江淮流域均处于高空急流右侧的辐散区、低 空急流左侧的辐合区中,但两流场中高、低空急流 的范围、强度、位置存在明显差异,相应在江淮流 域形成的高空辐散、低空辐合强度也不尽相同。

典型南涝北旱梅雨(图 4a)高空急流带($u \ge$ 30 m/s)东西横跨 140 个经度(40°E~180°E),覆 盖范围广;主急流核位于 100°E 附近、位置偏西, 中心风速为 33 m/s、强度偏弱;主急流核以东急流 轴向南倾斜;在处于急流核右前方的江淮流域形成 的辐散偏弱,散度中心为 3×10^{-6} s⁻¹。南旱北涝梅 雨(图 4b)高空急流东西跨度仅有 70 个经度(80°E~ 150°E),覆盖范围较小;急流核位于 125°E 附近、位 置偏东,中心风速为 36 m/s、强度偏强;急流轴基 本与纬圈平行;在处于急流核右后方的江淮流域形 成的辐散较强,散度中心达到了 5×10⁻⁶ s⁻¹。

分析以全风速 v≥8 m/s 表征的 700 hPa 低空 急流分布特征可知(图 4c、d),典型南涝(旱)北 旱(涝)梅雨在我国南方地区均分布有东北一西南 走向的急流带,急流带向东一直伸展到西半球。江 淮流域低空辐合缘于低空急流轴左侧的经向风辐合 所致。相比之下,典型南涝北旱梅雨低空急流位置 偏南,急流核偏东(160°E附近),到达江淮流域的 偏南气流风速较小、经向梯度较弱,形成的辐合也 偏弱;典型南旱北涝梅雨低空急流位置偏北,急流 核位于135°E附近,位置偏西,相应到达江淮流域 的偏南气流风速较大,并产生了较强的经向梯度, 辐合偏强,散度中心为-2.5×10⁻⁶ s⁻¹。

4.3 水汽场

充沛的水汽供给对梅雨带的形成至关重要,下 面利用可表征水汽强度的水汽通量来对比分析典型 南涝(旱)北(涝)旱梅雨型水汽输送状况。图5 清楚地显示,南涝北旱梅雨型江淮流域的水汽输送 偏弱,水汽通量超过400 kg·m⁻¹·s⁻¹的强水汽输 送带位于江淮流域南侧,江淮流域长江以南地区的 水汽通量在200~400 kg·m⁻¹·s⁻¹之间、长江以北 普遍低于200 kg·m⁻¹·s⁻¹。南旱北涝梅雨型江淮流 域的水汽输送偏强,水汽通量超过400 kg·m⁻¹·s⁻¹ 的强水汽输送带北推入江淮流域,其北界位于长江 附近,江淮流域长江以北的水汽通量也超过了 200 kg·m⁻¹·s⁻¹。

典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨江淮流域的水 汽输送差异与其水汽源地及输送路径的差异有关。 南涝北旱梅雨型江淮流域的水汽输送主要源于西南 季风气流,该气流途经阿拉伯海一孟加拉湾一中南 半岛一南海海域后,沿副高西侧外围将水汽输送至 江淮流域;而副高南侧东风气流的水汽输送相对较 弱,水汽通量在200 kg·m⁻¹·s⁻¹以上的大值区位 于135°E以东。南旱北涝梅雨型副高南侧东风气流 的水汽输送明显加强,水汽通量在200 kg·m⁻¹·s⁻¹ 以上的大值区向西伸展到120°E附近,该东风气流 在南海与来自阿拉伯海一孟加拉湾的西南季风气流 汇合,然后折向北共同向江淮流域输送了大量的水 汽。可见,南旱北涝梅雨型江淮流域的水汽输送则 是由西南季风和副高南侧东风气流共同输送所致。

5 典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨主 雨带位置的动力诊断

主雨带落区一直是梅雨预报的重点和难点,准 确诊断主雨带位置对于做好梅雨主雨带落区预报服 务、有力实施气象防灾和减灾工作有着积极意义。



图 3 典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨位势高度及其差值场合成(单位: dagpm): (a) 200 hPa; (b) 500 hPa。黑线:南涝北旱型;红线:南 旱北涝型;虚线:高压脊线;彩色:南涝北旱型减去南旱北涝型;方框:江淮流域(28°N~34°N,111°E~122.5°E)(下同) Fig. 3 Composite geopotential heights for the typical Meiyu patterns of SFND (black isolines) and SDNF (red isolines) and their differences (units: dagpm): (a) 200 hPa; (b) 500 hPa. Dashed lines: high ridge lines; color: height differences by pattern of SFND minus pattern of SDNF; rectangle: the Changjiang – Huaihe River valley (28°N – 34°N, 111°E – 122.5°E) (the same below)



图 4 典型南涝北旱型 (a, c) 和南旱北涝型 (b, d) 梅雨风矢和散度 (彩色) 合成: (a, b) 200 hPa; (c, d) 700 hPa。等值线: 200 hPa为 *u*≥30 m/s 高空急流 (间隔 3 m/s), 700 hPa 为 *v*≥8 m/s 低空急流 (间隔 2 m/s)

Fig. 4 Composite wind vectors and divergence (shading) for the typical Meiyu patterns of (a, c) SFND and (b, d) SDNF: (a, b) 200 hPa; (c, d) 700 hPa. Contours: upper level jet with $u \ge 30$ m/s at 200 hPa (interval is 3 m/s), low level jet with $v \ge 8$ m/s at 700 hPa (interval is 2 m/s)

为此,本文选用了近20种基本物理量和组合衍生物理量,采用现代动力诊断技术在三维空间中逐一

考察了它们对典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨主雨 带位置的诊断识别能力,发现低空急流轴左侧经向



图 5 典型 (a) 南涝北旱型和 (b) 南旱北涝型梅雨垂直积分 (地表到 300 hPa) 的水汽输送通量 (单位: kg·m⁻¹·s⁻¹) 合成。阴影:水汽输送大值区

Fig. 5 Composite of the vertically integrated (from surface to 300 hPa) water vapor transport flux for the typical Meiyu patterns of (a) SFND and (b) SDNF. Shading: the area with water vapor transport flux above 200 kg \cdot m⁻¹ \cdot s⁻¹

风强梯度辐合区、500 hPa 垂直上升运动中心、925 hPa 和 300 hPa 总变形高值带、低层水汽通量经向强梯度辐合区、中层 Q 矢量辐合中心与主雨带位置吻合良好。

(1) 低空急流轴左侧经向风强梯度辐合区

典型南涝北旱和南旱北涝梅雨的主雨带与低空 急流轴左侧经向风强梯度辐合区有着良好的对应关 系,图 6a 和 6b 中低空急流轴左侧经向风形成的强 梯度区近乎垂直,主雨带分别位于风速在 2~4 m/s 和 1~5 m/s 的强梯度辐合区。图 7a 和 7b 给出的 低层 700 hPa 经向风分布也显示,主雨带与江淮流 域范围内经向风形成的强梯度辐合区基本吻合。

(2) 500 hPa 垂直上升运动中心

图 6c 和 6d 显示,典型南涝(旱)北旱(涝)梅 雨在江淮流域上空存在着强烈的垂直上升运动,上 升运动中心随高度增加略向北倾斜,其中 400~ 600 hPa、尤其是 500 hPa 的上升运动中心与主雨 带符合最好,垂直速度为-10×10⁻² Pa/s 的上升运 动区与主雨区基本吻合(图 7c 和 7d)。

(3) 925 hPa 和 300 hPa 总变形高值带

变形风场对梅雨锋的产生、发展及维持有着重 要作用。总变形计算结果显示(图 6e 和 6f),典型 南涝(旱)北旱(涝)梅雨型江淮流域对流层高、低 层分别有一个总变形高值中心,低层高值中心随高 度增加向北倾斜,高层高值中心随高度增加向南倾 斜,相应也发现了两个总变形高值带与主雨带位置 吻合良好的高度层,分别在 925 hPa(图 7e 和 7f) 和 300 hPa(图 7g 和 7h)。

(4) 低层水汽通量经向强梯度辐合区

在图 6g 和 6h 上, 江淮流域上空均有一坡度陡 立的水汽通量经向强梯度辐合区, 主雨带恰位于经 向强梯度辐合区中,其南界紧邻低层水汽通量达10 g·m⁻¹·s⁻¹·Pa⁻¹的高值中心北缘,北界止于水汽 通量在4g·m⁻¹·s⁻¹·Pa⁻¹以上的区域。850 hPa 图清晰显示(图7i和7j),水汽通量超过4g·m⁻¹· s⁻¹·Pa⁻¹的经向强梯度辐合带与主雨带基本重合。

(5) 中层 Q 矢量辐合中心

Q矢量散度剖面图 (图 6i 和 6j)上,自对流层 低层到高层有一条随高度增加向北倾斜、宽度约 7~ 9个纬距的Q矢量辐合带,Q矢量辐合中心位置在 低层较主雨带偏南,在高层较主雨带偏北,而在中 层 500~600 hPa 与主雨带最为接近,特别是南涝 北旱型在 600 hPa、南涝北旱型在 500 hPa 的Q矢 量辐合中心与其各自的主雨带位置吻合最好(图 7k和 71),Q矢量散度临界值依次为 -2×10^{-17} s⁻³/Pa 和 -3×10^{-17} s⁻³/Pa。

6 结论

(1) 典型南涝(旱) 北旱(涝) 梅雨极涡位置偏 南(北)、强度偏强(弱),亚欧中高纬槽脊振幅较 大(小)、位置偏西(东),雅库茨克高压脊强度偏 强(弱),中纬度110°E~150°E地区位势高度明显 偏低(高),表明冷空气势力较强(弱)、位置偏西 (东)、影响范围偏南(北);南亚高压主体东段偏南 (北),120°E~140°E脊线偏南(北)2个纬距;副 高主体明显偏东(西),西伸脊线偏南(北),120°E 副高脊线偏南(北)3个纬距;印度季风槽强度偏 弱(强)。

(2) 典型南涝(旱)北旱(涝)梅雨高空急流带 覆盖范围广(小);主急流核位置偏西(东)、强度 偏弱(强);在处于急流核右前(后)方的江淮流域 形成的辐散偏弱(强);低空急流带位置偏南(北),



图 6 典型 (a、c,e、g、i) 南涝北旱型 (28°N~30.5°N) 和 (b、d、f、h、j) 南旱北涝型 (30°N~33.5°N) 梅雨沿 111°E~122.5°E 平均的不同 物理量纬度—高度剖面合成: (a、b) 经向风 (单位: m/s); (c、d) 垂直速度 (单位: 10⁻² Pa/s); (e、f) 总变形 (单位: 10⁻⁶ s⁻¹); (g、h) 水 汽通量 (单位: g·m⁻¹·s⁻¹·Pa⁻¹); (i、j) **Q** 矢量散度 (单位: 10⁻¹⁷s⁻³/Pa)。粗虚线: 主雨带位置

Fig. 6 The composite latitude – altitude cross sections of various physical quantities averaged over $111^{\circ}\text{E} - 122.5^{\circ}\text{E}$ for the typical Meiyu patterns of (a, c, e, g, i) SFND (28°N-30.5°N) and (b, d, f, h, j) SDNF (30°N-33.5°N): (a, b) Meridional wind (units: m/s); (c, d) vertical speed (units: 10^{-2} Pa/s); (e, f) total transfiguration (units: 10^{-6} s⁻¹); (g, h) water vapor transport flux (units: $g \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$); (i, j) \boldsymbol{Q} vector divergence (units: $10^{-17}\text{s}^{-3} \cdot Pa^{-1}$). Thick dashed lines: the location of the main rain belt

急流核偏东(西),到达江淮流域的偏南气流风速 较小(大)、经向梯度较弱(强),形成的辐合也偏 弱(强)。

(3) 典型南涝北旱梅雨江淮流域的水汽输送偏

1期



图 7 典型 (a、c、e、g、i、k) 南涝北旱型和 (b、d、f、h、j、l) 南旱北涝型梅雨不同物理量合成: (a、b) 700 hPa 经向风; (c、d) 500 hPa 垂直速度; (e、f) 925 hPa 总变形; (g、h) 300 hPa 总变形; (i、j) 850 hPa 水汽通量; (k) 600 hPa 和 (l) 500 hPa **Q** 矢量散度。阴影: 梅雨 量超过 200 mm 的主雨带, 其它同图 6

Fig. 7 Composites of the various physical quantities for the typical Meiyu patterns of (a, c, e, g, i, k) SFND and (b, d, f, h, j, l) SDNF: (a, b) 700-hPa meridional wind; (c, d) 500-hPa vertical speed; (e, f) 925-hPa total transfiguration; (g, h) 300-hPa total transfiguration; (i, j) 850-hPa water vapor transport flux; (k) 600-hPa and (l) 500-hPa **Q** vector divergence. Shading: the main rain belt with Meiyu precipitation above 200 mm; others are the same as Fig. 6

弱,主要源于西南季风气流;南旱北涝梅雨型江淮 流域的水汽输送偏强,是由西南季风和副高南侧东 风气流共同输送所致。

(4)动力诊断分析结果表明,低空急流轴左侧经向风强梯度辐合区、500 hPa 垂直上升运动中心、925 hPa 和 300 hPa 总变形高值带、低层水汽通量

经向强梯度辐合区、中层 Q 矢量辐合中心(南涝北 旱型 600 hPa 和南涝北旱型 500 hPa)与主雨带位 置吻合良好。

参考文献 (References)

丁一汇,柳俊杰,孙颖,等. 2007. 东亚梅雨系统的天气一气候学研

究 [J]. 大气科学, 31 (6): 1082-1101. Ding Yihui, Liu Junjie, Sun Ying, et al. 2007. A study of the synoptic - climatology of the Meiyu system in East Asia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (6): 1082-1101.

- 杜银,张耀存,谢志清. 2008. 高空西风急流东西向形态变化对梅 雨期降水空间分布的影响 [J]. 气象学报,66 (4):566-576. Du Yin, Zhang Yaocun, Xie Zhiqing. 2008. Impacts of longitude location changes of East Asian westerly jet core on the precipitation distribution during Meiyu period in middle – lower reaches of Yangtze River valley [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (4): 566-576.
- 杜银,张耀存,谢志清. 2009. 东亚副热带西风急流位置变化及其 对中国东部夏季降水异常分布的影响 [J]. 大气科学,33(3): 581-592. Du Yin, Zhang Yaocun, Xie Zhiqing. 2009. Location variation of the East Asia subtropical westerly jet and its effect on the summer precipitation anomaly over eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33(3): 581-592.
- 高守亭,孙建华,崔晓鹏. 2008. 暴雨中尺度系统数值模拟与动力 诊断研究 [J]. 大气科学, 32 (4): 854-866. Gao Shouting, Sun Jianhua, Cui Xiaopeng. 2008. Numerical simulation and dynamic analysis of mesoscale torrential rain systems [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 854-866.
- 韩桂荣,何金海,樊永富,等. 2005. 变形场锋生对 0108 登陆台风 温带变性和暴雨形成作用的诊断分析 [J]. 气象学报,63 (4): 468-476. Han Guirong, He Jinhai, Fan Yongfu, et al. 2005. The transfiguration frontogenesis analyses on 0108 landfall typhoon extratropical transition and heavy rain structure [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (4): 468-476.
- 毛文书,王谦谦,李国平. 2008. 江淮梅雨异常的大气环流特征 [J]. 高原气象,27(6):1267-1275. Mao Wenshu, Wang Qianqian, Li Guoping, et al. 2008. Analyses on the general circulation characteristics of Meiyu over the Changjiang-Huaihe valley [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27(6): 1267-1275.
- 毛文书,王谦谦,李国平,等. 2009. 江淮梅雨丰、枯梅年水汽输送 差异特征 [J]. 热带气象学报,25(2):234-240. Mao Wenshu, Wang Qianqian, Li Guoping, et al. 2009. Characters of the water vapor transfer in the Changjiang-Huaihe Rivers valley [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 25(2):234-240.
- 闵屾,钱永甫. 2008. 江淮梅雨分区特征的比较研究 [J]. 应用气象
 学报,19(1):19-27. Min Shen, Qian Yongfu. 2008. Comparative investigation on Meiyu parameters in different subregions of the Changjiang Huaihe valley [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 19(1): 19-27.

牛若芸,金荣花. 2009. 2008年梅雨异常大尺度环流成因分析 [J].

高原气象, 28 (6): 1326 - 1334. Niu Ruoyun, Jin Ronghua. 2009. Causes analysis of large scale circulation of abnormal characteristics in Meiyu period of 2008 [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 28 (6): 1326 - 1334.

- 王慧,姚建群,施春红,等. 2008. 夏季风强度与梅雨异常的对应关系 [J]. 高原气象, 27 (增刊): 109-117. Wang Hui, Yao Jianqun, Shi Chunhong, et al. 2008. The relationship between Meiyu and the intensity of East Asian summer monsoon [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27 (Suppl.): 109-117.
- 徐海明,何金海,周兵. 2001. 江淮入梅前后大气环流的演变特征 和西太平洋副高北跳西伸的可能机制 [J]. 应用气象学院学报, 12 (2): 150-158. Xu Haiming, He Jinhai, Zhou Bing. 2001. The features of atmospheric circulation during Meiyu onset and possible mechanisms for westward extension (northward shift) of Pacific subtropical high [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 12 (2): 150-158.
- Yang S, Gao S T. 2006. Modified Richardson number in non-uniform saturated moist flow [J]. Chinese Physics Letters, 23 (11): 3003 - 3006.
- 叶笃正,黄荣辉. 1996. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究 [M]. 济南:山东科学技术出版社,387pp. Ye Duzheng, Huang Ronghui. 1996. Study of the Rules and Reasons about Drought/Flood in Yangtze River and Yellow River Valleys (in Chinese) [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 387pp.
- 赵振国,王永光,陈桂英,等. 1999. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京:气象出版社,10-11. Zhao Zhenguo, Wang Yongguang, Chen Guiying, et al. 1999. Summer Drought/Flood and Environment Field in China (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 10-11.
- 周曾奎. 1996. 江淮梅雨 [M]. 北京: 气象出版社. Zhou Zengkui. 1996. Meiyu over the Yangtze - Huaihe River (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.
- 朱乾根,周伟灿,张海霞. 2001. 高低空急流耦合对长江中游强暴 雨形成的机理研究 [J]. 南京气象学院学报. 24 (3): 308-314. Zhu Qian'gen, Zhou Weican, Zhang Haixia. 2001. Mechanism of the formation of torrential rain by coupled high/low level jets over the middle reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 24 (3): 308-314.
- 竺夏英,何金海,吴志伟. 2008. 长江中下游入梅指数及早晚梅年 的海气背景特征 [J]. 大气科学,32 (1):113-122. Zhu Xiaying, He Jinhai, Wu Zhiwei. 2008. Regional Meiyu onset index over the middle and lower reaches of the Yangtze River and the associated ocean - atmospheric features for the early/late Meiyu onset years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (1): 113-122.