



2009年春季长江中下游地区连阴雨过程分析

孙明明

浙江省嵊州市气象局, 浙江嵊州 312400

摘要 2009年2月14日至3月8日, 长江中下游地区出现低温连阴雨天气, 对该地区的工农业生产、经济发展、人民生活产生了极大的影响。本文利用合成平均方法对2009年长江中下游地区出现的低温连阴雨天气进行客观分析, 并与2008年同期的连晴少雨过程进行对比, 发现持续低温连阴雨过程除须有深厚、大尺度的环流背景支持外, 还需干冷空气与暖湿气流在长江中下游地区交汇, 促成大气的不稳定; 对比连阴雨过程中的西风指数和降水强度, 发现两者的对应关系非常好, 一定程度上反映了大尺度环流的强弱对天气过程强度的直接影响, 涡度、散度的垂直分布使较强的上升气流发生在中低层, 使水汽与动力抬升条件达到最佳配置, 非常有利于降水的产生; 通过观察这次典型的春季低温连阴雨过程开始前5天的形势场, 发现在对流层中下部, 被青藏高原分成的南北两支气流的分布对此类连阴雨过程的提早预报具有一定的指导意义。

关键词 连阴雨; 环流形势; 水汽; 位温; 涡度; 散度

中图分类号 P458.3

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)16-0077-06

Analysis of Persistent Rainy Process in the Middle and Lower Region of the Yangtze River in the Spring of 2009

Sun Mingming

Shengzhou Meteorology Bureau, Shengzhou 312400, Zhejiang Province, China

Abstract The persistent rainy process in the middle and lower Region of the Yangtze River during the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2009, had a strong impact on the industrial and agricultural production, the economic development and the people's life in the region. By using the Synthesis Average method, the persistent rainy process in the middle and lower region of the Yangtze River in the spring of 2009 is analyzed. In order to find the causes of this process, a comparative analysis is made between this process and the less rainfall process during the same period, 2008 in this paper. It is found that the persistent rainy process must have been supported by deep and stable large-scale atmospheric circulation, and the large-scale circulations at different heights constitute a forward trough, which further promotes the occurrence of precipitation. The India-Burma trough is usually the direct influencing system of the persistent rainy process. A comparative analysis is also made between the westerly index and the rainfall intensity during the period of the persistent rainy process, then the same tendency is evidenced clearly. The dry-cold air from Siberia brought by the northwest flow behind the East Asian trough and the warm-moist air from bay of Bengal intersected in the middle and lower region of the Yangtze River, made the water vapor rich in this area. Besides the water vapor condition, the persistent rainy process needs also the atmospheric dynamic conditions. The vertical cross-section of average vorticity field at 30°N during the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2009 shows that the vorticity field was the highest at 500hPa to 300hPa. It means that the level needs great deal of gas to keep the strong rotation, so to bring about the deep ascending motion. And the vertical cross-section of average divergence field at 30°N during the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2009 shows that the vorticity field was the highest at 850hPa to 500hPa. It means the ascending motion is stronger at the middle and low level. This paper also shows that the atmospheric circulations at different levels make the strong updraft at the middle and low level where water vapor is rich. The vertical distributions of vorticity and divergence make the strong updraft at the middle and low level that could get the best configuration of

收稿日期: 2009-12-04; 修回日期: 2010-07-29

作者简介: 孙明明, 助理工程师, 研究方向为天气气候和公共气象服务, 电子信箱: sunmingming135@yahoo.com.cn



water vapor and dynamic lifting, and is propitious to precipitation. Some studies show that the north flow and the south flow were divided by Tibetan Plateau at lower-middle troposphere five days before the beginning of the persistent rainy process. Because the deep circulation situation is the necessary preparations for the persistent rainy process in advance, the north and south flows could be used to forecast the process to an extent.

Keywords persistent rainy days; atmospheric general circulations; water vapor; potential temperature adjustment; vorticity; divergence

0 引言

春季长江中下游连阴雨天气是东亚地区特有的大尺度天气现象,常造成巨大的经济损失,是需要密切关注和深入研究的重大灾害性天气现象。一次低温连阴雨过程是连续4天日平均气温低于 12°C 、日平均云量大于80%的阴雨天气。

2009年2月14日至3月8日,长江中下游地区出现了持续的低温连阴雨天气。本次过程中,在浙江省的常规气象观测站中,累计雨量达150mm以上有45站,200mm以上有23站,全省平均雨量达171.8mm。

近年来,许多研究从大尺度环流背景入手分析连阴雨过程。例如,王继志、郭进修等^[1]对历史上113次低温连阴雨过程进行分析,发现该过程总是发生在超长波稳定时期,并且有偏东路径的冷空气不断向较低纬度地区扩散南下。刘延英、彭治班等^[2]统计了多次连阴雨过程和连晴过程开始前5d的700hPa流场形势,被青藏高原分流的两支气流在过程开始前就已经有明显的差别,因此可以在一定程度上预测相应天气过程的发生。

因2008年同时期雨量相对较小,出现了一段时间的连晴天气,本文对2008和2009年同时期的一些形势场特征进行对比分析,发现连阴雨过程的天气特点,提高对此类天气的敏感性,以便更加准确地做出预报。

1 方法和资料

利用合成平均的方法将2009年2月14日至3月8日长江中下游地区低温连阴雨过程和2008年同期少雨连晴过程的环流背景进行对比,分析这两次过程的前期和过程中500hPa与700hPa平均高度场的差异,找出致使此低温连阴雨过程发生的根本原因。从不同高度场上环流形势的相互配置、西风指数、水汽通量散度和涡度、散度等动力要素在垂直空间上的分布,客观地分析对这个低温连阴雨过程的影响。

文中所用资料:美国国家环境预测中心(NCEP)每日4次的 $1.0^{\circ}\times 1.0^{\circ}$ 分辨率再分析格点资料,气象信息综合分析处理系统(Micaps)站点资料,中国常规气象站的降水观测资料。利用GrADS、Excel等软件进行绘图,所述时间均为北京时。

2 连阴雨期间的环流形势分析

图1给出了2008年和2009年2月14日至3月8日期间长江中下游地区的总雨量分布。可以看出,2008年雨量较正常年份明显偏少,期间出现了几次连晴过程。下文将把2008年与2009年作为两个相反个例进行对比,找出2009年连阴雨过程出现时的天气特点。

2.1 200hPa的环流形势分析

王继志、郭进修等^[1]对历史上113次低温连阴雨过程进

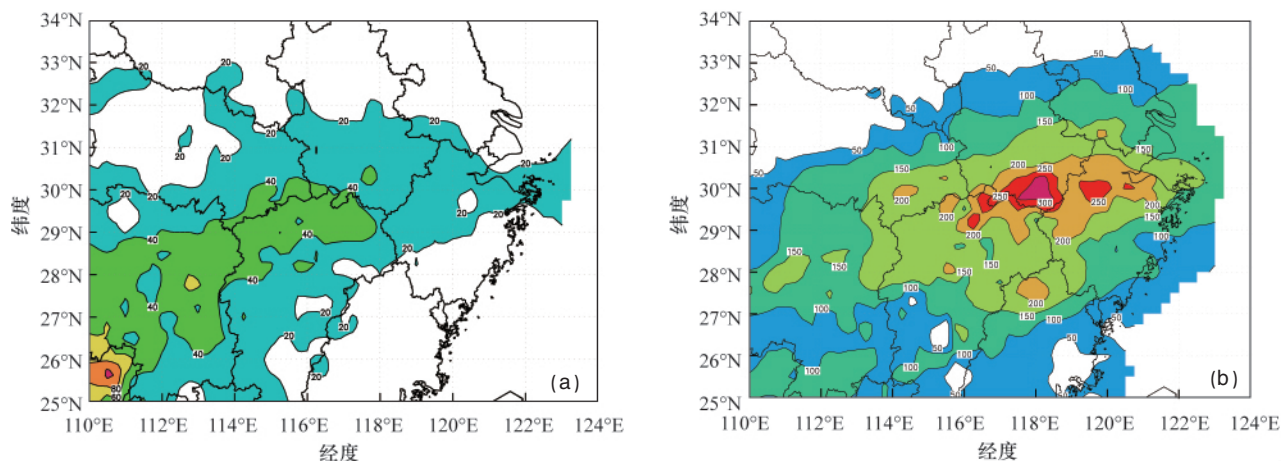


图1 2008年(a)和2009年(b)2月14日至3月8日长江中下游地区的总雨量(单位:mm)

Fig. 1 Total precipitation in the middle and lower region of the Yangtze River in the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2008 (a) and 2009 (b) (unit: mm)

行分析,发现低温连阴雨过程总是发生在超长波稳定时期,并且要有偏东路径的冷空气不断向较低纬度地区扩散南下。图2给出了2009年2月14日至3月8日低温连阴雨期间

200hPa平均高度场,对比发现,与500hPa的环流形势位置对应较好,东亚大槽的槽底较宽,经度横跨 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,槽线位置均在朝鲜至日本半岛附近,槽底位置在 30°N 以北; 30°N 以南

气流比较平缓,大体呈西南偏西气流,有利于将孟加拉湾的水汽向长江中下游地区输送,并与东亚大槽槽后西北气流带来的西伯利亚干冷空气在 30°N 附近交汇,为降水提供有利条件。同时,500hPa 系统稍落后于 200hPa,呈前倾槽形式,高层槽后冷平流与低层槽前暖平流形成上干下暖湿的不稳定形势,进一步促进了降水的发生。

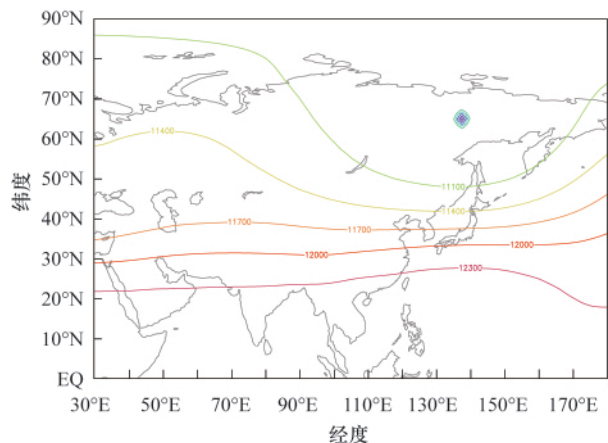


图2 2009年2月14日至3月8日200hPa平均高度场(单位:m)

Fig. 2 Average geopotential height field at 200hPa during the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2009 (unit: m)

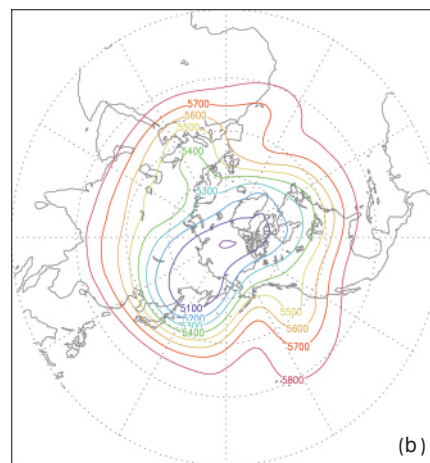
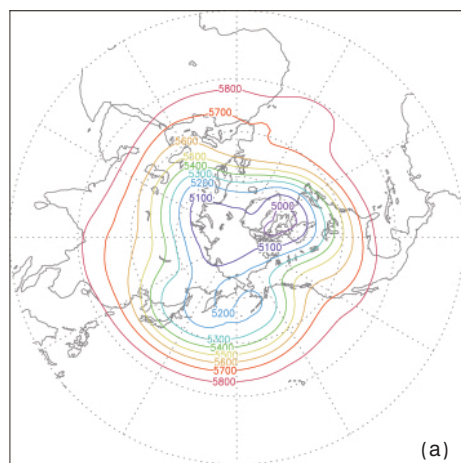


图3 2008(a)年和2009年(b)2月14日至3月8日500hPa平均高度场(单位:m)

Fig. 3 Average geopotential height field at 500hPa during the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2008 (a) and 2009 (b, unit: m)

由500hPa的逐日演变可以看出,北方不断有东亚大槽东移,南方不断有南支槽或短波槽东移。王继志等^[1]通过研究历史上的连阴雨过程,发现其发生的关键不仅需要稳定的形势,而且需要在此形势支配下有偏东路径的冷空气不断向较低纬度地区扩散南下。由图4可以看出,35°N以北位温场落后于高度场,则槽后有冷平流,携带西伯利亚干冷空气南下;35°N以南位温场较平,由于长江中下游地区处于南支槽槽前的西南气流中,将孟加拉湾暖湿气流向北输送,两股气流在

2.2 500hPa的环流形式和西风指数对降水的影响

维持长期的降水必须有稳定的行星尺度天气系统的支持。行星尺度系统本身并不产生降水,而是制约影响天气尺度系统在一固定地带活动,从而产生持续降水^[3]。对长江中下游而言,印缅常定槽是最直接的影响系统,这样表现在地图上的静锋才能持久。由于印缅槽和地中海低压这两个长波系统的稳定维持,两槽间的高压脊难以发展。由图3(b)可知,2009年东、西半球基本上各有一个对偶性极涡中心,最重要的是东半球极涡或北方大低压之南伸槽与印缅槽在经度上较接近,涡、槽相贯通,使长江中下游流域为一支较强劲的西南气流^[4],这是产生大范围连阴雨的重要背景条件。同时,欧洲南部地中海附近都有深槽,有分裂槽东出,抑制西亚脊的发生和发展,对印缅槽的维持与发展也有直接作用。

如图3(a)所示,2008年长江中下游流域的等高线比较稀疏,西南风较小,并且欧洲南部的深槽、贝加尔湖附近脊的位置偏东,使脊前西北气流越过长江中下游地区,不能与本来就比较弱的西南气流在相应地区交汇,从而无法形成长时间大规模的降水。

一般来说,冬季风活跃期对应连晴时段,冬季风减弱期对应连阴雨时段。由图4给出的2009年春季低温连阴雨期间500hPa平均高度场可以看出,孟加拉湾低槽与副热带高压相互配合,使得长江流域稳定维持一支强盛的西南气流,为连阴雨过程提供源源不断的水汽输送。

30°N附近交汇。由于副热带高压稳定,地面冷高压不能彻底南下,冷高压中心始终维持在贝加尔湖西南地区附近,长江流域总是处于冷高压底部锋区中。这样,就形成了冷暖气流在长江流域交汇的格局,致使出现连阴雨天气并得以维持^[5]。

再通过西风指数的进行定量分析,2009年的东亚大槽较深,有利于亚洲地区维持高指数环流,表现为巴尔喀什湖、贝加尔湖直至库页岛一带以平浅低压槽为主,造成中纬度气流平直或仅有小槽小脊活动。从图5可以看出,这期间的西风

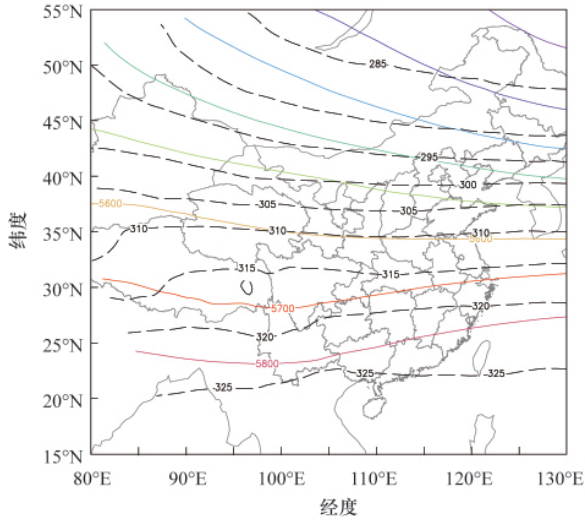


图4 2009年春季低温连阴雨期间500hPa的平均高度场(实线,m)和平均位温场(虚线,K)

Fig. 4 Average geopotential height field (solid, m) and average potential temperature (dashed, K) at 500hPa during the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2009

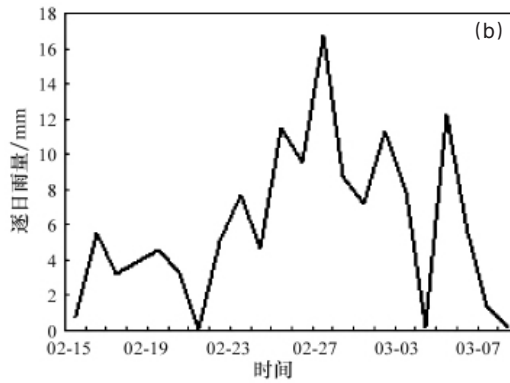
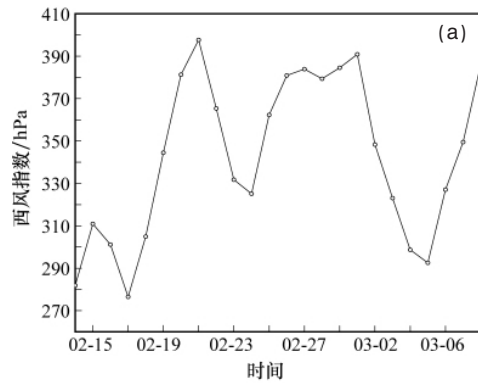


图5 2009年2月14日至3月8日西风指数(a)和长江中下游35站逐日雨量(b)演变

Fig. 5 500hPa westerly index (a) and daily precipitation of 35 stations in the middle and lower region of the Yangtze River (b) in the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2009

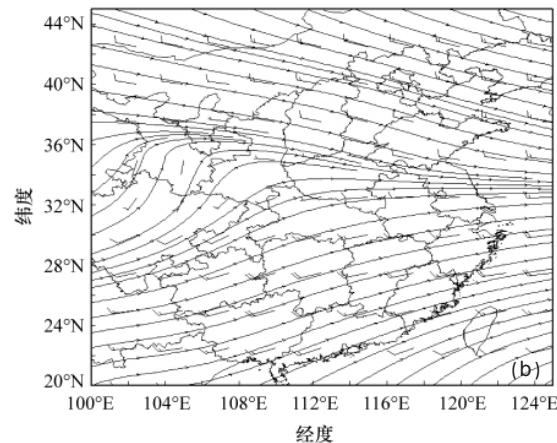
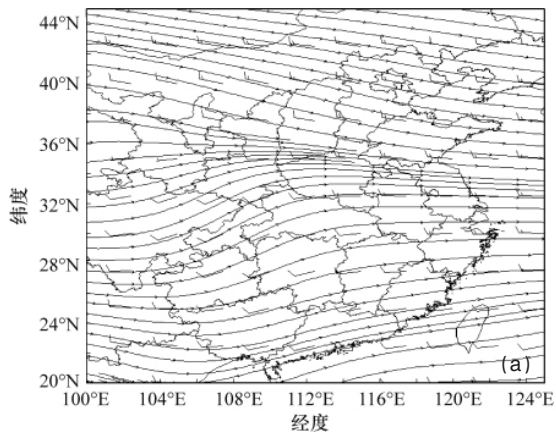


图6 2009年连阴雨前5d(a)和连阴雨期间(b)700hPa上平均的风场和流场

Fig. 6 Average flow field at 700hPa during the 5 days before the persistent rainy process (a) and during the persistent rainy process (b) in 2009

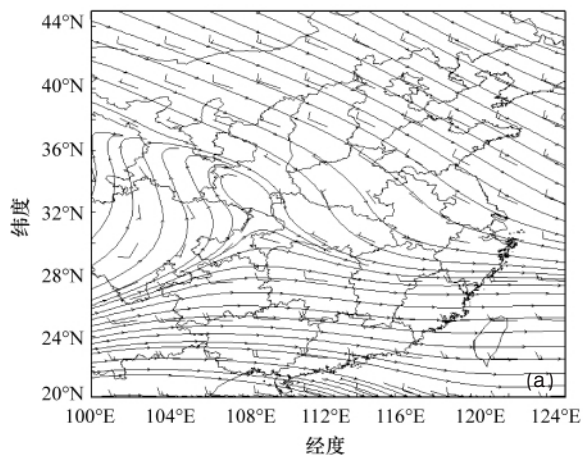
指数明显大于200,并且除了连阴雨期的起止时间,其余时间的降水强度与西风指数呈现出很好的对应关系。

2.3 700hPa 环流形势分析

在中国大陆,受青藏高原地形作用,对流层下部的气流分成南北两支,分别在青藏高原的南、北部。刘延英、彭治班^[2]使用大量连晴和连阴雨天气过程合成资料,分析了长江中下游春季连晴、连阴雨前700hPa流场及青藏高原东北侧、东南侧两气流变化的一般特点。结果发现,连晴前,高原东侧纬向气流较弱,北支气流向南扩展,使高原东侧的流场变成连晴时的经向型;连阴雨前,高原东侧有较强的纬向气流,南支气流向北扩展,这是造成连阴雨时两支气流相向运动较强的主要原因。

如图6所示,在2009年春季连阴雨过程开始的前5d和连阴雨过程期间,700hPa上长江中下游地区位于南支槽前较强的西南气流中,并且在35°N附近都有由西北气流带来的干冷空气与之相汇合,辅合带较为明显,位置稳定,说明在连阴雨过程开始前,其环流形势就已经为整个连阴雨过程做好了充分的准备。

图7给出了2008年同时期的700hPa形势场。可以看出,2008年春季雨量偏少前后的环流形势与2009年有明显区别,主要体现在东亚大槽槽底的位置。2008年同期,由于东亚大槽强度较强,使槽底南压至28°N附近,长江中下游地区基本为东亚大槽槽后的西北气流所控制,下垫面长期处于干冷



的状态,即使有些小的波动也很难产生大规模的持续降水。

由此可以看出,700hPa的环流形势对连阴雨过程的预报具有一定的指导意义,在连阴雨过程开始前,其环流形势就已经为连阴雨过程做好了充分准备,应密切关注对流层下部的环流形势。

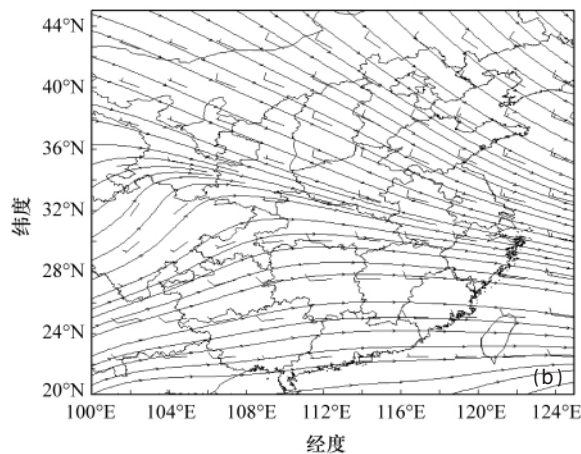


图7 2008年连阴雨前5d(a)和连晴期间(b)700hPa上平均的风场和流场

Fig. 7 Average flow field at 700hPa during the 5 days before the less rainfall process (a) and during the less rainfall process (b) in 2008

2.4 连阴雨过程的水汽条件和动力条件

连阴雨的维持少不了水汽的不断汇聚,在图8所示的水汽通量散度分布中,长江中下游地区为明显的水汽通量散度负值区,证明有大量的水汽在这里聚集。而中国西南地区为一致的西南气流,水汽在这里并无辐合堆积,而是继续北上与干冷的西北气流的在长江中下游地区相汇聚,说明西南风与西北风的这种风向上的辐合十分有利于水汽辐合。

潘旻、李建等^[6]通过研究同期多年平均水汽输送形势,得出青藏高原南麓的副热带西风气流水汽输送是历史同期中

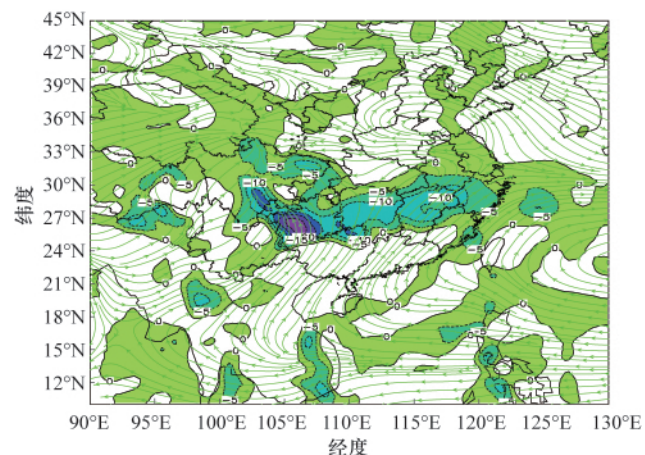


图8 2009年连阴雨期间850hPa上平均的水汽通量散度和流场(单位: $10^{-7}g \cdot cm^2 \cdot s^{-1} \cdot hPa$)

Fig. 8 Average flow field and moisture flux divergence at 850hPa during the persistent rainy process in 2009 (unit: $10^{-7}g \cdot cm^2 \cdot s^{-1} \cdot hPa$)

国东部降水的主要水汽通道,与张洁等^[7]分析的影响中国春季降水的水汽输送气候态一致。

具备充足的水汽条件,还必须有深厚的动力条件与之配合,才能产生大范围的持续降水。图9给出了2009年春季连阴雨期间散度、涡度垂直分布。由图9(a)可以看出,在长江中下游地区所在经度范围内,垂直空间上涡度基本为正值,但是500~300hPa为涡度高值区,说明高层的逆时针旋转强度高于低层,根据质量守恒原理,高层需要大量的气体上升维持很强的旋转,故产生了深厚持续的上升运动。

图9(b)所示的散度垂直分布也反映了相同的情况,但在长江中下游地区所在经度范围内,散度的高值区位于850~500hPa,说明上升气流在中低层更为明显。而中低层的水汽含量要远高于高层,因此如果高低空的形势场配合使较强的上升气流发生在中低层,则能将水汽与动力抬升条件完美地结合,使两者达到最佳配置,从而更有利于降水的产生。

3 结论

1) 连阴雨须有深厚、大尺度的环流背景作为支持。30°N以南的孟加拉湾水汽向长江中下游地区输送,并与东亚大槽槽后西北气流带来的西伯利亚干冷空气在30°N附近交汇,为降水提供有利条件。同时,500hPa的系统稍落后于200hPa,呈前倾槽形式,进一步促进了降水发生。

2) 维持长期的降水必须要有稳定的长波系统支持,对长江中下游而言,印缅常定槽是最直接的影响系统,此外降水强度与西风指数呈现很好的对应关系。

3) 在700hPa高度上,受青藏高原地形的作用而被分成

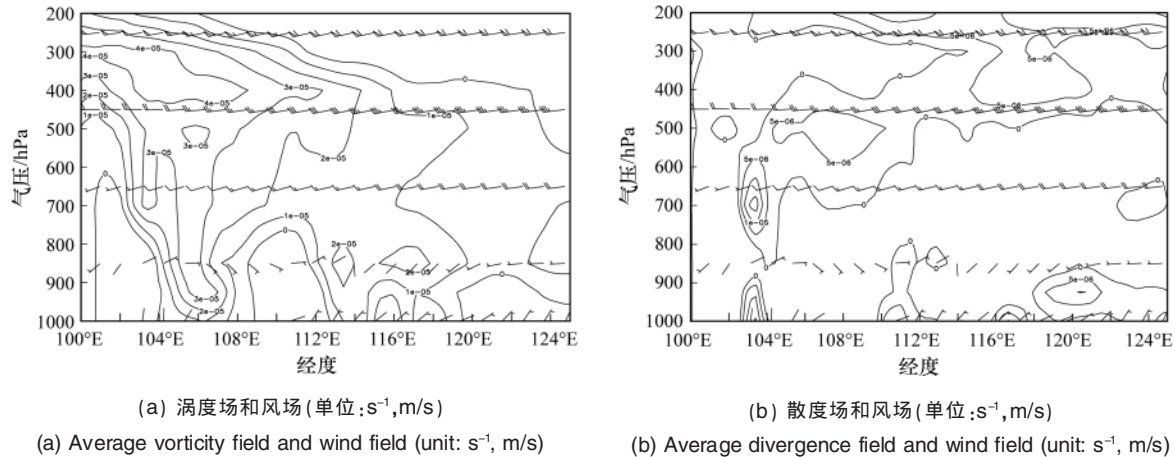


图 9 2009 年 2 月 14 日至 3 月 8 日沿 30°N 的垂直剖面图
Fig. 9 Vertical cross-section at 30°N during the period of Feb. 14 to Mar. 8, 2009

的南北气流,在连阴雨和连晴过程中有明显的不同。此外,在连阴雨过程开始前,其环流形势就已经为连阴雨过程做好充分准备,为此类典型的春季低温连阴雨过程的预报,具有一定的指导意义。

4) 西南风与西北风风向上的辐合十分有利于水汽在长江中下游地区的汇聚,并且高低空的形势场配合使较强的上升气流发生在水汽充沛的中低层,能将水汽与动力抬升条件达到最佳配置,十分有利于降水的产生。

参考文献 (References)

[1] 王继志, 郭进修. 我国南方低温连阴雨天气的研究[J]. 气象科技, 1981, 1: 1-2.
Wang Jizhi, Guo Jingxiu. *Meteorological Science and Technology*, 1981, 1: 1-2.

[2] 刘延英, 彭治班. 连晴和连阴雨前两支气流变化的一般特点 [J]. 应用气象学报, 1990, 1(3): 298-300.
Liu Yanying, Peng Zhiban. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1990, 1(3): 298-300.

[3] 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. The principle and method of the synoptic meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000.

[4] 孙锦铨, 陈永秀. 长江中下游春季连阴雨天气气候分析[J]. 气象, 1991, 17(5): 31-33.
Sun Jinquan, Chen Yongxiu. *Meteorological Monthly*, 1991, 17(5): 31-33.

[5] 杨柳, 邹建新, 齐丹, 等. 2009 年 2-3 月江苏省长连阴雨过程分析[C] //第 26 届中国气象学会年会灾害天气事件的预警、预报及防灾减灾分会场论文集, 2009: 1564.
Yang Liu, Zou Jianxin, Qi Dan, et al. The analysis of persistent rainy process in Jiangsu Province during the period of February to March in 2009[C]//Symposium of the 26th Annual Meeting of Chinese Meteorological Society of Early-warning of Disaster Weather, Disaster Prevention and Reduction in Partial Meeting Place. 2009: 1564.

[6] 潘旸, 李建, 廖捷, 等. 2009 年 2-3 月我国南风连阴雨天气过程分析 [J]. 气象, 2010, 36(3): 39-46.
Pan Yang, Li Jian, Liao Jie, et al. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(3): 39-46.

[7] 张洁, 周天军, 宇如聪, 等. 中国春季典型降水异常相关的大气水汽输送[J]. 大气科学, 2009, 33(1): 121-134.
Zhang Jie, Zhou Tianjun, Yu Rucong, et al. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 33(1): 121-134.

(责任编辑 朱宇)

本期推理小游戏答案

由于医生和护士的总数是 16 名,从(1)和(4)得知,护士至少有 9 名,男医生最多有 6 名。于是,按照(2),男护士必定不到 6 名。

根据(3),女护士少于男护士,所以男护士必定超过 4 名。所以男护士必定是 5 名。

于是,护士必定不超过 9 名,从而正好是 9 名,包括 5 名男性和 4 名女性,于是男医生则不能少于 6 名。这样必定只有 1 名女医生,使得总数为 16 名。

如果把 1 名男医生排除在外,则与(2)矛盾;把 1 名男护士排除在外,则与(3)矛盾;把 1 名女医生排除在外,则与(4)矛盾;把 1 名女护士排除,则与任何一条都不矛盾。因此说话的人是一名女护士。

本期九宫填数答案

九宫 难度系数 ◆◆◆◆◇

1	8	6	3	2	9	5	7	4
9	3	4	7	8	5	2	6	1
7	2	5	4	1	6	3	9	8
3	4	9	5	7	1	6	8	2
5	6	2	8	3	4	9	1	7
8	7	1	6	9	2	4	3	5
4	5	7	9	6	8	1	2	3
2	9	8	1	5	3	7	4	6
6	1	3	2	4	7	8	5	9
3	1	2	5	8	4	6	9	7
6	9	5	7	3	2	1	8	4
4	7	8	1	6	9	3	5	2
2	8	7	6	4	1	9	3	5
5	3	1	2	9	8	7	4	6
9	6	4	3	7	5	8	2	1