

1999年杭嘉湖平原一次连续暴雨过程诊断分析*

郭可义 盛文斌

(浙江省嘉兴市气象局,嘉兴 314001)

提 要

用新的曲面拟合法(NMOCSE)对江淮和杭嘉湖平原一次连续暴雨过程作物理诊断,结合天气形势讨论了准静止华北高压的形成及其对江淮和杭嘉湖平原连续暴雨的贡献。指出,当江淮和杭嘉湖平原处在梅雨期时,应特别注意华北高压的强度和位置,一旦构成阻塞形势,就极可能发生大范围、持续性的强降水过程。

关键词: 曲面拟合法 物理诊断 连续暴雨 华北高压

引 言

1999年6月24日到7月1日,在太湖流域的苏南、上海市和杭嘉湖平原出现了连续8天的强降水过程。太湖地区和钱塘江流域河流水位猛升,8天的强降水给嘉兴市造成的直接经济损失达到39亿元人民币。

应用国家气象中心下传的有关资料以及太湖和钱塘江流域(苏南、上海市和杭嘉湖平原)42个测站的降水资料(其中杭州市7站,湖州市4站,嘉兴市6站,上海市11站,苏州市7站,无锡市3站,常州市3站及高淳站),用新的曲面拟合法(NMOCSE^[1])分析本次连续性暴雨过程。表1是6月24日至7月1日嘉兴市6个测站的雨量情况,表2给出同期太湖流域逐日暴雨站数和08:00(北京时,下同)700 hPa图上江淮切变的位置。从表1和表2可以看出这次连续暴雨过程的主要特点:

①1999年6月24~30日全市各站7天的雨量为本站6月常年平均雨量的1.7~2.2倍,桐乡、嘉善站甚至超过本站6月雨量的历史极值;而6月24日至7月1日8天的雨量,全市都在374.9~448.2 mm;除海盐、海宁外其余4站均超过本站6月雨量的历史极值。所以这次过程堪称嘉兴市的历史之最(与嘉兴相邻的上海市称这次过程为“百年不遇”);②嘉兴历史上6月份没有连续两天的暴雨,而6月24日至7月1日的8天中6个站都出现了两天或三天的连续暴雨,桐乡站甚至两次发生连续3天的暴雨,也创造了历史记录;③对杭嘉湖平原来说,6月24日至7月1日8天的强降水又可以分成两次连续暴雨过程,即6月24~27日和6月29日到7月1日两段,主要雨日在6月24~26日和6月29日至7月1日。6月28日前后暴雨带位置偏北,在高淳、常州、江阴、张家港一线。若以700 hPa图上江淮切变线代表梅雨锋,则6月24~25日其位置在32.5°N,6月26~27日北移到33.0°N,6月28日继续北移到33.5°N,6月29日至7月1日又南退到31.5°~

* 2001-01-15收到,2001-05-16收到修改稿。

32.0° N。可见 700 hPa 江淮切变的位置在 31.0° ~ 33.0° N 之间时,最有利于杭嘉湖地区发生暴雨过程,当切变北移到 33.0° N 以北时,暴雨区也相应北推。说明杭嘉湖平原的两次连续暴雨过程与 700 hPa 江淮切变的位置关系密切,在实际预报工作中可供参考。

表 1 1999 年 6 月 24 日至 7 月 1 日嘉兴市各站雨量

	mm					
	嘉兴	平湖	海盐	海宁	桐乡	嘉善
6 月 24 ~ 7 月 1 日	396.9	383.5	374.9	374.9	448.2	394.5
6 月 24 ~ 30 日	344.6	300.1	305.8	306.4	385.3	344.4
1999 年 6 月	543.4	569.3	546.2	527.9	632.0	560.6
历年 6 月平均	162.3	157.6	174.7	180.3	175.3	168.3
6 月雨量历史极值	357.4	352.7	429.5	377.8	351.6	329.6

注:雨量取 20:00 至次日 20:00;平均值和极值截止 1998 年。

表 2 1999 年 6 月 24 日至 7 月 1 日太湖流域暴雨站数和江淮切变位置

	6 月 24 日	6 月 25 日	6 月 26 日	6 月 27 日	6 月 28 日	6 月 29 日	6 月 30 日	7 月 1 日
太湖流域和杭嘉湖平原暴雨站数	29	20	21	16	6	18	27	13
杭嘉湖平原暴雨站数	13	18	15	3	0	11	6	12
嘉兴市暴雨站数	4	6	4	1	0	1	4	6
江淮切变位置(°N)	32.5	32.5	33.0	33.0	33.5	31.5	32.0	

注:雨量取 20:00 ~ 次日 20:00;江淮切变取自 08:00 700 hPa 图。

1 强降水过程物理量诊断

1.1 新的曲面拟合法(NMOCSF)及其特点

众所周知,传统的物理量诊断受客观分析方法的限制,在计算某些物理量时只能用差分代替微分,因客观分析和差分近似造成的误差往往可以改变物理量的符号。而我们作客观分析和诊断分析时采用了新的曲面拟合法(NMOCSF^[1])。即在有限区域内根据某物理量的若干离散点值,用多个连续、光滑曲面的迭加去逼近该物理量的非线性分布,使区域内任何一点的物理量拟合值仅为该点的经度和纬度的函数,而区域内所有离散点上物理量的拟合值与真值的平均误差小于给定的精度。下面以 850 hPa 水平水汽通量散度 M_{h_1} 的计算为例,介绍曲面拟合过程。

设 λ 、 φ 分别代表某点的经度和纬度, g 为地球重力加速度, a 为地球半径。先根据探空报告求得计算区域内各站点 850 hPa 的西风分量、南风分量和比湿的真值,再用 NMOCSF 拟合它们的二维曲面函数 $u(\lambda, \varphi)$ 、 $v(\lambda, \varphi)$ 、 $q(\lambda, \varphi)$,进而得到它们的一阶偏导数 $u'_\lambda(\lambda, \varphi)$ 、 $v'_\varphi(\lambda, \varphi)$ 、 $q'_\lambda(\lambda, \varphi)$ 、 $q'_\varphi(\lambda, \varphi)$ 。

$$\text{又设, } f(\lambda, \varphi) = u(\lambda, \varphi) \cdot q(\lambda, \varphi) / g \quad (1)$$

$$h(\lambda, \varphi) = v(\lambda, \varphi) \cdot q(\lambda, \varphi) / g \quad (2)$$

则,水平水汽通量散度 M_{h_1} 的二维曲面方程为:

$$M_{h_1}(\lambda, \varphi) = f'_\lambda(\lambda, \varphi) + h'_\varphi(\lambda, \varphi) - v(\lambda, \varphi) \cdot q(\lambda, \varphi) \cdot \text{tg } \varphi / a / g \\ = [(q \cdot u'_\lambda + u \cdot q'_\lambda) + (q \cdot v'_\varphi + v \cdot q'_\varphi) - v \cdot q \cdot \text{tg } \varphi / a] / g \quad (3)$$

作为客观分析方法, NMOCSF 的主要特点是: ①拟合函数连续, 曲面光滑, 因此在计

算物理量涉及偏导数运算时均可直接求偏导数,避免了差分法造成的误差,且求得的物理量仍为连续函数,曲面光滑;②在多重拟合过程中,每次拟合都以上一次拟合后的站点误差作为新的拟合对象,直至站点平均误差小于给定的精度,故拟合精度高,且精度可以选择;③因为拟合的曲面函数连续,因此可以任选网格距求得相应的网格点值,也可以求得计算区域内任意点上的物理量值。

1.2 暴雨期若干物理量特征

我们用曲面拟合法(NMOCSE⁽¹⁾)计算了6月23日至7月1日逐日08:00 850、700、500 hPa各层的14个物理量(高度、温度、温度露点差、比湿、西风分量、南风分量、全风向、全风速、湿静力能、假相当位温、水汽通量、水平水汽通量散度、散度、涡度)及K指数,计算范围(20°~40°N,110°~130°E),网格距0.5°×0.5°。

(1) 大降水过程的热力条件 从计算结果看,逐日湿静力能和假相当位温 θ_{sc} 的分布十分相似,而假相当位温更便于讨论,因此我们用 θ_{sc} 来讨论该过程的能量场特征。

6月23日08:00 700 hPa θ_{sc} 图上,湖南、湖北东部、江西、安徽、江苏、浙江和福建北部处在低槽前的暖区,是大范围的 θ_{sc} 高值区,其南北宽度很宽,它的北面和东面是 θ_{sc} 的低值区,福建南部、广东东部、台湾到西北太平洋则是 θ_{sc} 的次低值区,从山东经河南到湖北有一支锋区,大致呈东北西南走向。24日08:00,这支锋区迅速南压到江淮流域。图1是6月24日至7月1日(缺6月25日)08:00 700 hPa平均 θ_{sc} ,由图可见 $\theta_{sc} \geq 68^\circ\text{C}$ 的区域在湖南、湖北南部、江西北部、皖南、苏南、浙江北部西部和上海市,7天平均 θ_{sc} 高值区的长轴在湖南北部经湖北东南部、皖南、嘉兴市到东海,其北面在湖北中部到江淮流域有一支锋区,锋区北面以我国华北和朝鲜半岛为中心是 θ_{sc} 的低值区(从下文的分析可以看出该低值区与华北高压相对应)。另外,在我国东南部到西北太平洋是 θ_{sc} 的次低值区(与西北太平洋副高相对应)。两高之间在江淮流域的锋区维持了8天左右。应该强调的是,在等压面图上我们难以从等温线的分布上看出这支锋区,而在 θ_{sc} 图上它却十分明显,实际上它就是江淮梅雨锋。正是这支锋区的存在,为中小尺度系统的活动提供了背景。其中6月27~28日锋区曾北移到皖北、苏北,杭嘉湖地区雨势减弱,29日锋区又迅速南压,江淮和杭嘉湖平原开始第二段暴雨过程。整个过程暴雨落区和这支锋区的移动配合十分

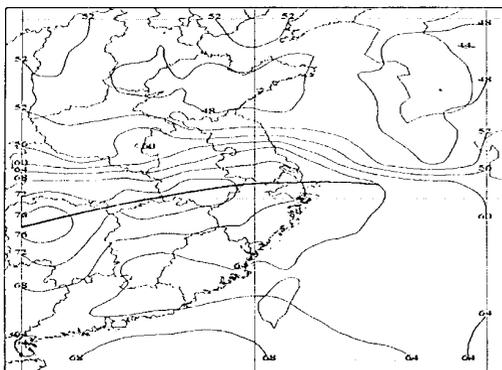


图1 1999年6月24日~7月1日08:00 700 hPa 平均 θ_{sc}

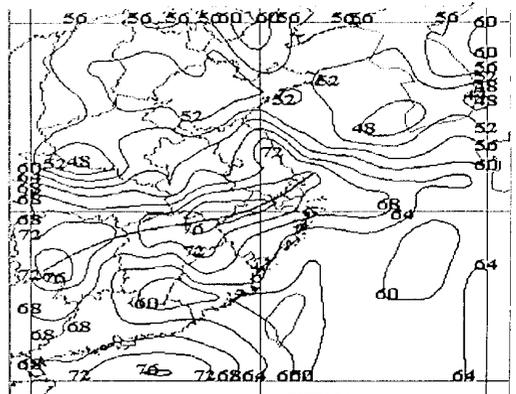


图2 1999年7月1日08:00 700 hPa θ_{sc}

好,暴雨主要发生在锋区南侧靠近 θ_{sc} 高值区附近。但是,值得注意的是,6月30日08:00 θ_{sc} 图上,高值区的长轴东段略向北移,嘉兴处在长轴的南面,而7月1日的相应图上虽然 θ_{sc} 高值区的长轴东段又略向南移,但杭嘉湖平原大部分仍在长轴的南面(图2),说明这两天杭嘉湖地区的暴雨并非受长轴北侧锋区影响而发生。从图2中又可看到 θ_{sc} 高值区长轴东段的南面沿浙江北部也存在一支锋区,该日杭嘉湖地区的暴雨就发生在这支锋区北侧靠近 θ_{sc} 高值区附近。因此,我们认为,在 θ_{sc} 高值区长轴的两侧,只要有锋区存在,就具备发生大降水的背景。

(2) 切变线和低空急流 图3是6月24日~7月1日08:00 700 hPa 平均风场(缺25日),由7天平均图可见,在湖北中北部、河南南部、安徽中部、江苏中部到东海(即 $31.5^{\circ} \sim 33.5^{\circ} \text{N}, 110^{\circ} \sim 127^{\circ} \text{E}$) 的范围内有一条切变线,这就是江淮切变,切变的北面是华北高压底部的偏东风,在山东南部和安徽、江苏的北部风速达到 8 m/s (逐日风场曾达到 12 m/s 以上);切变的南面在 $25^{\circ} \sim 31.5^{\circ} \text{N}$ 范围内(湖南、江西、福建、浙江、皖南、苏南)是西北太平洋副高外围的西南到西风,风速普遍 $\geq 12 \text{ m/s}$,反映出两大高压系统的对峙使江淮切变得以维持。另外,从图3中还可以看到,在安徽南部到浙江西北部有一片 $\geq 20 \text{ m/s}$ 的 W-WSW 风,其东西方向约 330 km ,南北方向约 165 km ,杭嘉湖平原正处在这支低空急流的右前方。由此可以认为,700 hPa 等压面上 $\geq 20 \text{ m/s}$ 低空急流的下风方是暴雨的易发区。

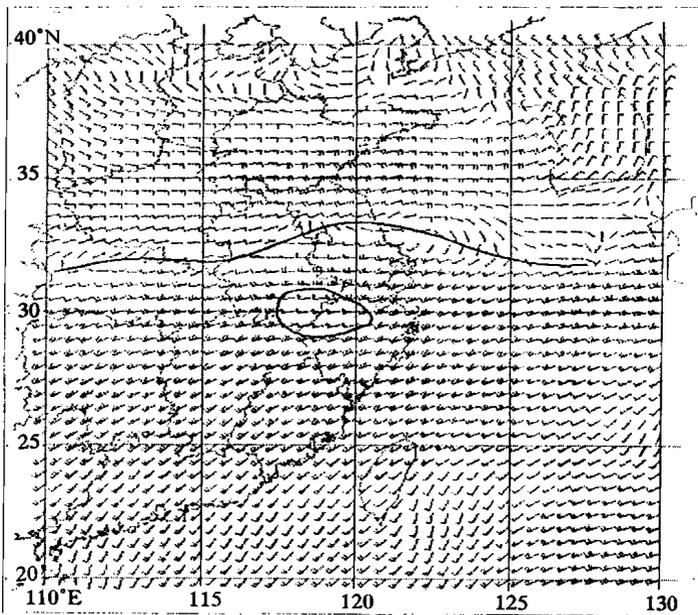


图3 1999年6月24日~7月1日08:00 700 hPa 平均风场

图4是7月1日08:00 700 hPa 的风场,与图3的差别是:图3中河南南部和湖北北部为一支东风,图4中则转为东北到偏北风,从而使切变西段向南压,且湖北南部的风场

也转成西北风,反映出切变向东收缩的趋向,预示着强降水过程即将结束;另外,图4中 ≥ 20 m/s低空急流的范围东扩到杭嘉湖平原、苏南和上海市,这也是强降水过程将要结束的信号。

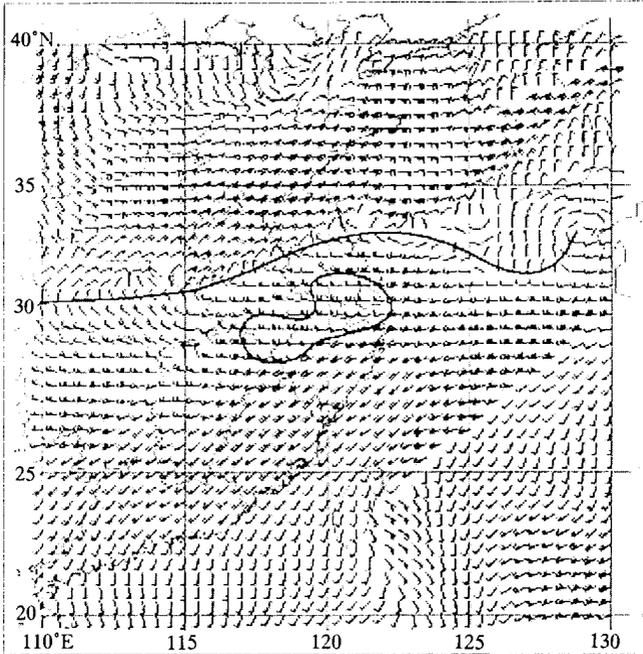


图4 1999年7月1日08:00 700 hPa风场

(3) 低层涡度场特征 08:00 850 hPa 涡度图上,虽然每日涡度的分布有所变化,但是总的看,6月23日~7月1日在湖南、湖北、江西、安徽、上海市、浙江中北部和江苏直至黄海南部是大范围的正涡度带,其中6月24~25日、6月27日~7月1日皖南、苏南、杭嘉湖地区达到 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上的量级(图5)。正涡度带的长轴在两湖交界处经皖南、长江口到东海北部,位置与8天平均 θ_{e0} 的长轴基本一致(见图1),且其北面有等涡度线锋区存在,说明带状高能区有利于生成带状低涡系统,有利于中小尺度云团的发生发展。

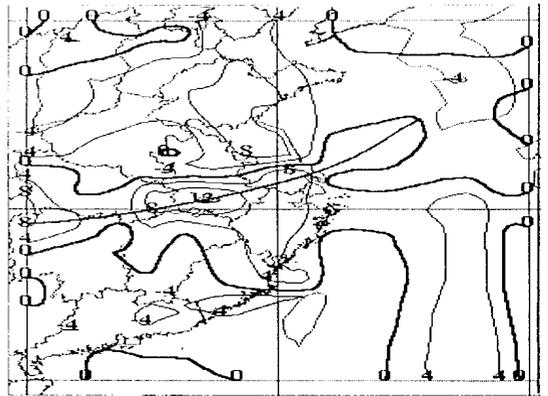


图5 1999年6月29日08:00 850 hPa 涡度

(4) 低层散度场特征 850 hPa 散度图上(图略),6月23日苏南部分地区、上海市和浙江大部分地区为辐合区。从6月24日到27日湖南、湖北、赣北、皖南、苏南、浙江、上海市都维持一条东西向的辐合带,钱塘江口有 $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上的辐合中心。6月28日该

辐合带北移到湖北、安徽、苏北一线,太湖和钱塘江流域为辐散区,与该日杭嘉湖地区无暴雨相吻合。6月29日辐合带又南压到长江流域。30日辐合带再度破坏,但苏南、上海和嘉兴北部仍为辐合区。7月1日苏南、上海、浙江、闽北、江西和湖南为东西向的辐合带,其长轴位置与6月下旬相比明显南压,同时安徽有 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上量级的辐散中心,这些都预示着大降水过程将要结束。

(5) 水汽条件 从6月23日~7月1日的08:00 850 hPa 水平水汽通量散度图上可以看到,在湖南、江西北部、安徽南部、苏南、浙江中北部到上海市有一条与上述风场辐合带相对应的负值带,除6月28日外,苏南、上海市、浙北地区大都有较强的负值(对应水汽辐合)中心。以6月25日08:00为例(见图6),从福建东北部到江淮地区有一片南北走向的强水汽辐合区,杭嘉湖平原和江淮地区达到 $-80 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 以上,十分有利于大降水的发生。而28日的相应图上(图略),江苏、上海和浙江大部为水汽的辐散区,与该日杭嘉湖平原没有发生暴雨相对应。

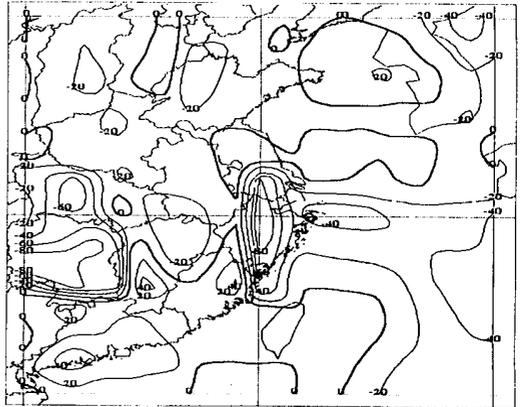


图6 1999年6月25日08:00 850 hPa 水平水汽通量散度

(6) 层结稳定度特征 我们知道,沿等K线锋区靠近K指数高值区的一侧是层结最不稳定的区域,即最有利于对流云团发展的区域。在6月24~30日的K指数图上,从江淮流域到湖北有一支等K线密集带(图7),其中27、28日两天“锋区”北移,29日又往南压到江淮流域。这些特征与相应时段杭嘉湖平原暴雨区的移动配合得很好,说明K指数“锋区”对暴雨预报有指示意义。

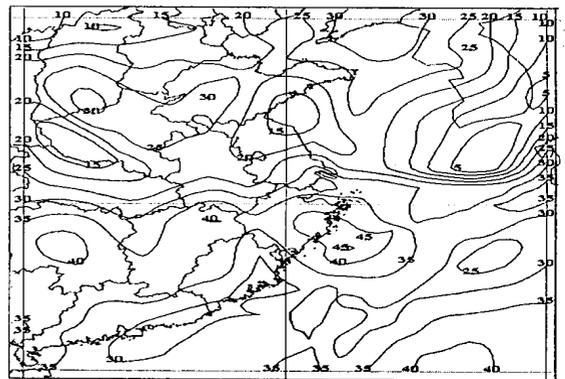


图7 1999年6月25日08:00 K指数

2 江淮梅雨锋的形成、维持和消亡

2.1 西北太平洋副高处在有利于梅雨锋形成的位置且稳定少动

500 hPa 图上,6月19~23日我国大陆东部 35° N 以南地区升温明显,西北太平洋副热带高压西伸北抬,24日588 dagpm 线位于我国东南沿海,在6月24日到7月1日的整个强降水过程中,西北太平洋副热带高压基本稳定,副高脊线 120° E 位置在 $20^{\circ} \sim 23^{\circ} \text{ N}$ 之间,是有利于梅雨锋建立和维持的位置。副高外围从中南半岛至日本岛维持一支西南气

流,把南海和孟加拉湾的水汽源源不断地输送到江淮地区。中低层 700 hPa 图上,从两广到江淮流域有 ≥ 12 m/s 的西南急流存在,有利于低层水汽的输送。可见,西北太平洋副热带高压的加强西伸和稳定是江淮梅雨锋形成的一个基本条件。

2.2 准静止华北高压的作用

(1) 准静止华北高压的形成和变化 本次强降水过程中,华北高压的作用十分突出。700 hPa 图上,6月20~21日由于暖平流较强,新疆到蒙古的西部有高压脊发展,此后该地区持续升温,高压脊缓慢东移,6月23日移到蒙古。而从我国东北南部经华中到西南地区则为宽广的低槽区,蒙古高压与西北太平洋副热带高压之间的辐合区已经十分明显,从6月24日到7月1日这段时间里,虽然华北高压的位置和强度有所变化,但总体来看,稳定少动,为阻塞形势,这段时间华北地区出现了历史上少见的持续高温天气,北京市日最高气温均在 35°C 以上(25日达 38.4°C)。为了区别于西风带中的阻塞高压,我们称之为准静止华北高压。应该说,准静止华北高压的建立和稳定,是江淮切变形成并维持的第二个基本条件。

(2) 准静止华北高压对杭嘉湖平原暴雨的作用 ①由于准静止华北高压的存在,处在高压底部的山东、河南、陕西南部、安徽北部、江苏北部的广大地区维持一支偏东气流,其风速一般为 $6\sim 10$ m/s,有时可达 $12\sim 16$ m/s,甚至更大。这支东风把黄海的水汽源源不断地输送到江淮地区,成为江淮梅雨的水汽源之一。在实际预报工作中,可以把这支东风带的建立作为江淮梅雨期暴雨发生的重要条件。②西北太平洋副热带高压外围的西南气流把南海、北部湾的水汽输送到浙江北部和江淮地区,成为江淮梅雨的主要水汽源,当准静止华北高压维持时,高压底部的东风与副高外围的西南气流结合,使杭嘉湖平原和江淮地区的水汽辐合明显加强。③西北太平洋副热带高压外围的西南气流其性质为暖湿,而准静止华北高压底部的偏东气流相对而言为干冷,所以这两支气流交汇的杭嘉湖和江淮地区层结很不稳定,有利于中小尺度对流云团的发生发展,也即有利于暴雨的发生。④准静止华北高压前后维持了一周多,在这段时间里西北太平洋副高也基本稳定,形成两高对峙的局面,因此在杭嘉湖、上海、苏南地区,强水汽辐合也维持了较长时间,这也是这一地区暴雨过程这么长的主要原因。

2.3 江淮梅雨锋的南北摆动和消亡

由于准静止华北高压和西北太平洋副热带高压强弱的变化,江淮梅雨锋也随之发生南北摆动。6月28日苏南、皖南、赣北、浙北等地区 700 hPa 等压面高度下降,在西北太平洋副高减弱的情况下,江淮切变没有南压,反而北移到 33.5°N ,其原因在于当副高减弱的同时,华北高压的中心也东移到辽东半岛附近,华北大部分地区呈负变高,且高压底部的东风减弱,转为东南风,因而江淮切变北抬(图略)。28日整个杭嘉湖地区没有一站发生暴雨。29日西北太平洋副高强度继续减弱,而邢台、济南、青岛、郑州、徐州、连云港、阜阳、南京等地有大片正变高,312 dagpm 线向南伸到徐州,说明华北高压明显向南移动。同时朝鲜和日本海出现 308 dagpm 闭合线,低压后部较强的东北风使冷空气南下,江淮切变又南压到 31.5°N 。这时四川到湖北也是低压,江淮地区处在鞍型场内,杭嘉湖地区开始出现第二阶段的连续暴雨过程。

6月30日20:00后大形势开始调整,随着江淮气旋的形成和华北高压的南移,以及

青藏高原东部有小高压东移(1999 年 7 月 1 日 08:00 850 hPa 散度图上位于安徽的 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上量级的辐散中心代表小高压,图略),江淮梅雨锋开始破坏。7 月 1 日,江淮气旋东移入海,杭嘉湖平原下了本次过程的最后一场暴雨,7 月 2 日江淮气旋东北移到黄海,江淮梅雨锋完全破坏。此后,华北高压与加强西伸的西太平洋副高叠加,杭嘉湖平原降水结束。

3 结 论

(1) 用 NMOCSF 诊断的物理量较好地反映出西北太平洋副高、准静止华北高压和江淮切变线的特征。但程序未计算垂直速度等物理量,计算层次少,影响了进一步的分析;

(2) 杭嘉湖地区连续暴雨过程期间,中低层假相当位温、低层涡度场和散度场上都有带状高值区,其长轴大多在两湖到长江口(K 指数高值区长轴位置略偏南),说明这种带状高能区有利于低涡系统的生成;

(3) 杭嘉湖地区连续暴雨过程期间,中低层风场上沿湖北到淮河流域的切变线可视作江淮梅雨锋,一般来说该切变位置在 $31^{\circ} \sim 33^{\circ} \text{ N}$ 时最有利于杭嘉湖地区发生连续暴雨;

(4) 当江淮和杭嘉湖地区处在梅雨期时,应特别注意华北高压的强度和位置,一旦构成阻塞形势,极有可能发生大范围、持续性的强降水过程。

参 考 文 献

- 1 郭可义,田武文.一种新的有限区域曲面拟合方法(NMOCSF).气象学报,1991,49(4):527~537.

DIAGNOSTIC ANALYSIS OF A CONTINUOUS HEAVY RAIN PROCESS OVER JIANGHUAI AND HANGJIAHU PLAINS USING "NMOCSF"

Guo Keyi Sheng Wenbin

(Jiaxing Meteorological Bureau, Zhejiang Province 314001)

Abstract

A continuous heavy rain process at Jianghuai and Hangjiahu plains is diagnosed with a new method of curved surface fitting (NMOCSF). Some valuable standpoints are presented. Combining with the weather situation, the formation of the quasi-stationary North China high and its contribution to the continuous heavy rain process over Jianghuai and Hangjiahu plains are discussed. It is pointed out that special attention should be given to the intensity and the position of the quasi-stationary North China high during the Meiyu season around Jianghuai and Hangjiahu plains. Once the block-up feature forms, a continuous heavy rain process will probably takes place in a large area.

Key words: Curved surface fitting Physical diagnose Continuous heavy rain North China high