

文章编号: 1000-2022(2000)-01-0133-06

‘98. 7’连续暴雨过程诊断分析*

曹晓岗

(江西省气象台, 南昌 330046)

摘要: 给出了 ‘98. 7’连续暴雨过程期间江西 及其附近地区逐日 物理量的绝对极大值, 对这次连续暴雨过程的最强降水日进行了诊断分析。得到了盛夏季节连续暴雨的动力、水汽、稳定度等条件均明显强于江西雨季(4 月至 7 月上旬)产生暴雨的相应条件。计算结果表明, 螺旋度、 Q 矢量散度在这次连续暴雨过程中与降水强弱有较好的对应关系。

关 键 词: 连续暴雨; 诊断分析; 螺旋度; Q 矢量散度

中图分类号: P458. 1⁺ 21. 1 **文献标识码:** A

1998 年 7 月 18~8 月 1 日的连续暴雨过程(见表 1)发生在江西盛夏季节, 历史上非常罕见。盛夏季节强降水的物理条件与江西雨季(4 月~7 月上旬)有哪些异同呢? 为此我们从热力、水汽、动力等基本物理条件入手进行诊断分析, 首先将研究时段内暴雨开始前江西及周围湘、鄂、皖有关地区的假相当位温、 K 指数、比湿、水汽通量散度、涡度、垂直速度、螺旋度、 Q 矢量等逐日物理量中取最大值进行分析。同时将这些物理量与 1982~1991 年江西雨季的 36 次典型大暴雨过程的相应物理量的最大值的平均进行比较。其次对本次过程的最强雨日的物理量分布特征进行了诊断分析。

1 逐日物理量诊断分析

1. 1 热力条件

由表 2 可以看到, 7 月 17~31 日 20 时, 即暴雨开始时的江西及其附近的中低层 θ_{se} 的最大值均高于雨季平均值(850 hPa 为 361 K, 700 hPa 为 352 K)。在连续大暴雨的 15 d 中有 14 d 850 hPa 的 $\theta_{se} \geq 372$ K, 700 hPa 15 d 均高于 356 K。本次连续大暴雨过程正是发生在一年中气温最高的时段。另外气温越高, 空气达到饱和时含水量越多, 这样 θ_{se} 的值大大高于雨季大暴雨的平均状况就不足为奇了。连续大暴雨期间, 长江及其以南的大部分地区中低层处 θ_{se} 的高值区中, 在江淮之间形成了 θ_{se} 的锋区。

1. 2 稳定度指数

由于低层大气的持续升温, θ_{se} 在低层增加较快, 高层大气温度变化则相对平缓。因而高低空的 θ_{se} 差值较大, 即低空积聚了大量的不稳定能量, 由表 2 可看到与 $\Delta\theta_{se, 500-850}$ 其值均比雨季大暴雨的平均最小值(- 9)要小很多。

* 收稿日期: 1999-03-05; 改回日期: 1999-07-20
作者简介: 曹晓岗, 男, 1957 年 8 月生, 学士, 正研级高级工程师

表 1 1998 年 7 月连续暴雨过程逐日降水情况表

Table 1 Daily precipitation during continuous torrential rain period in July 1998

日期 (20~20 时)	降雨中心		暴雨*	大暴雨* *	主要暴雨落区
	日雨量(mm)	站名	站数	站数	
7. 18	190	婺源	7	2	上饶、九江
7. 19	78	资溪	4	0	抚州、上饶南
7. 20	233	婺源	6	1	上饶南、九江
7. 21	122	武宁	5	1	南昌、九江
7. 22	196	彭泽	10	3	九江、南昌、上饶北
7. 23	123	星子	5	3	上饶、宜春北、九江东
7. 24	173	新建	10	12	南昌、宜春、九江、上饶
7. 25	176	德安	10	5	九江、南昌、宜春北、上饶
7. 26	85	铜鼓	11	0	上饶、宜春北、九江南
7. 27	68	都昌	2	0	九江、抚州
7. 28	31	修水	0	0	
7. 29	59	九江	6	0	九江、宜春北
7. 30	144	修水	7	5	九江南、宜春北
7. 31	78	德兴	1	0	上饶
8. 1	56	彭泽	3	0	九江北

* 指 50.0 mm< 日降水量≤ 100.0 mm 的站数; * * 指 100.0 mm< 降水量的站数

表 2 1998 年 7 月 17~31 日 20 时热力、水汽和稳定度条件

Table 2 Thermal water vapor and stability parameters at 2000 BST during July 17~31 1998

日期	θ_{se}/K		$\Delta\theta_{se}$ (K)	K 指数 ()	比湿		水汽通量		水汽通量散度	
	850 hPa	700 hPa			(g/k g)	$(g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1})$	$(10^{-8}g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1})$			
									850 hPa	700 hPa
17	372	356	- 29	41	17	11	32	16	- 20	- 20
18	380	364	- 29	42	18	12	28	12	- 20	- 20
19	384	368	- 33	42	18	12	30	12	- 10	- 10
20	376	360	- 27	44	18	13	36	20	- 10	- 10
21	376	364	- 31	42	17	11	36	24	- 20	- 10
22	376	356	- 20	42	17	12	36	24	- 30	- 20
23	376	360	- 23	42	18	12	40	28	- 50	- 30
24	372	360	- 15	38	16	11	32	24	- 40	- 10
25	372	360	- 16	40	16	11	32	20	- 30	- 10
26	372	360	- 26	39	16	11	24	16	- 20	- 10
27	364	356	- 24	39	15	11	32	16	- 20	- 10
28	372	360	- 21	40	16	11	28	12	- 20	- 10
29	372	356	- 24	41	16	10	32	16	- 20	- 10
30	372	356	- 20	40	16	11	32	20	- 10	- 20
31	372	356	- 25	40	16	10	32	16	- 10	- 20
历史 平均	361	352	- 9	36	15	10	25	14	缺	- 34

K 指数 15 d 中有 12 d 其值大于等于 40, 其余 3 d 也在 38~39。江西雨季平均值一般 K 指数 ≥ 32 时, 即满足降大暴雨的条件, 江西雨季大暴雨平均最大中心值为 36, 本次过程不稳定条件明显大于它。不稳定条件强是过程的特点之一。

1.3 水汽条件

1.3.1 比湿

江西雨季 850 hPa 上大暴雨比湿的平均值为 15 g/kg, 700 hPa 上为 10 g/kg。由表 2 可看到在这次连续暴雨期间, 中低层的比湿比均高于(或等于)平均值。

1.3.2 水汽通量和水汽通量散度

由表 2 可看到 850 hPa 逐日的水汽通量均较强, 其值有 13 d 在 $30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, 这比大暴雨雨季平均值要大 $5 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。700 hPa 也比平均偏大。在过程降水最大的 22~25 日, 低层的水汽辐合特别强, 水汽通量散度比平均状况小 $-10 \times 10^{-8} \sim -20 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。另外一个特点是水汽辐合最大的层次出现在 925 hPa。

1.4 动力条件分析

1.4.1 涡度

在连续暴雨过程中, 长江流域中低层大部分时间维持了切变线, 且不断有低涡东移, 因而中低层江南北部, 包括江西北部及其附近始终有大的正涡度维持(见表 3), 并随降水的增大而加大, 23 日 850 hPa 正涡度达 $90 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 是降水最强的一天。江西雨季大暴雨三层涡度的平均均值是 $47.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 由表 3 可见 15 d 中除了 31 日是 $40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 外, 其余在 $60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上, 江西北部及其附近始终有大的正涡度是这次连续暴雨过程维持的重要条件之一。

1.4.2 垂直速度

与天气系统相对应, 850~500 hPa 在暴雨持续期间, 江西及附近维持了较强的上升速度(见表 3)。22 日 500 hPa 最大上升速度为 $-197 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 达到中尺度系统上升运动的量级^[1]。比江西雨季大暴雨的平均垂直上升速度 $-40.4 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 强很多。26 日 20 时以后连续暴雨过程一度减弱, 在表 3 中可看到 500 hPa 上升速度为 $-10 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 明显偏小, 对产生大降水十分不利。

1.4.3 螺旋度^[1]

$$H_p = - \int \omega \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dp。$$

由上式可知在低层 $\omega < 0, \xi > 0, H_p$ 应为正值, 即低层低槽前、切变、低涡和低空急流左前方 $H_p > 0$ 。而在高层 $\omega < 0, \xi < 0, H_p < 0$ 这与具有微弱上升气流的高压后部形势及高空急流有关。这种上下耦合的配置, 表示低层为正涡度的辐合上升区, 高层为较深厚的辐散、负涡度区, 对产生大降水是十分有利的。由表 3 可见 17~31 日 850 hPa 的螺旋度均为正值; 200 hPa 的高空, 除 26 日、31 日螺旋度大于 0 外, 其余均为负数, 26 日后暴雨一度趋于减弱, 28 日全省均无暴雨以上的降水, 31 日是连续过程的结束日。因而螺旋度在这次连续暴雨过程中有较好的对应关系。

1.4.4 Q 矢量散度

文献^[3]指出 Q 矢量散度与上升速度 ω 有较好的对应关系。即

$$\omega \propto Q。$$

$\therefore Q < 0, \omega < 0$, 代表气流上升, 对降水有利。文献^[4]指出 Q 矢量散度的分布与暴雨区上空

1) 王淑静. 螺旋度与区域暴雨落区. 数值预报产品评价公报, 1995. 9~10(双月刊)

500 hPa 常对应着较强的负值散度区,最大暴雨中心与 Q 矢量负值强中心相匹配。分析本次连续暴雨过程也有着类似的分布特征。由表 3 可见过程减弱的前一天(26 日)和过程结束日(31 日)为正值,其余均为负值,在 22 日负最大为 $-297 \times 10^{-11} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,次日为本过程日降水强度最强的一天。

表 3 1998 年 7 月 17~31 日 20 时动力条件
Table 3 Dynamical parameters at 2000 BST during July 17~31 1998

日期	涡度 (10^{-5}s^{-1})			3 层涡度和 (10^{-5}s^{-1})	垂直速度 ($10^{-4}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)			螺旋度 ($10^{-9}\text{hPa}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$)		Q 矢量散度 ($10^{-11}\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)
	850 hPa	700 hPa	500 hPa		850 hPa	700 hPa	500 hPa	850 hPa	200 hPa	
17	40	30	20	90	- 14	- 34	- 53	215	- 1 180	- 172
18	20	30	10	60	- 26	- 38	- 47	132	- 2 003	- 189
19	50	20	- 10	60	- 27	- 45	- 53	73	- 773	- 53
20	40	20	- 10	50	- 33	- 71	- 95	93	- 1 349	- 104
21	50	50	10	110	- 47	- 110	- 146	101	- 957	- 285
22	70	70	20	160	- 64	- 146	- 197	642	- 1 316	- 297
23	90	80	50	220	- 42	- 83	- 76	1 789	- 1 136	- 208
24	70	70	70	210	- 29	- 43	- 45	750	- 324	- 39
25	60	50	40	150	- 33	- 61	- 47	1 024	- 891	- 165
26	40	40	30	110	- 24	- 50	- 10	286	55	111
27	10	30	20	60	- 25	- 41	- 49	147	- 1 117	137
28	40	40	40	120	- 23	- 56	- 57	603	- 505	- 155
29	40	40	30	110	- 28	- 79	- 134	484	- 1 273	- 121
30	40	40	30	110	- 32	- 72	- 99	203	- 591	- 211
31	30	20	- 10	40	- 44	- 74	- 83	146	445	104

2 个例分析

以 1998 年 7 月 23 日为例分析各物理量场的空间分布及其对暴雨的影响。7 月 23 日地面冷高压脊从华北伸向湖北北部,湖南西部有个 996. 9 hPa 的低压,倒槽伸向长江中下游,中层切变位于江南北部,湖南西北部有个 140 位势什米的低涡,低空急流由西南经广州、郴州伸向江西中北部,高空低槽在济南、汉中、桂林一线。受这些系统的综合影响,该日江西出现了 12 站大暴雨、10 站暴雨,这样强的降水其能量、水汽、稳定度、动力等物理量是如何分布的呢?

2.1 假相当位温

在 1998 年 7 月 23 日 20 时 850 hPa θ_e 场上(图 1a),我们可以看到江西北部有个大于等于 376 K 的高能中心,江南处高能舌中。低能舌从华北伸向华中,能量锋区位于江淮之间,长江中上游及江西北部积聚了大量的能量,这种分布对江西产生大暴雨是十分有利的。

2.2 水汽条件

在 850 hPa 比湿场上,可看到长江流域及其以南的广大地区比湿均处 $\geq 16 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的高湿区中。850 hPa 水汽通量(图 1b)大值区呈东北西南的分布,在桂林附近有个 $\geq 40 \text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大中心,江西处大中心的前部,这样强的水汽通量中心在以往分析的暴雨个例中

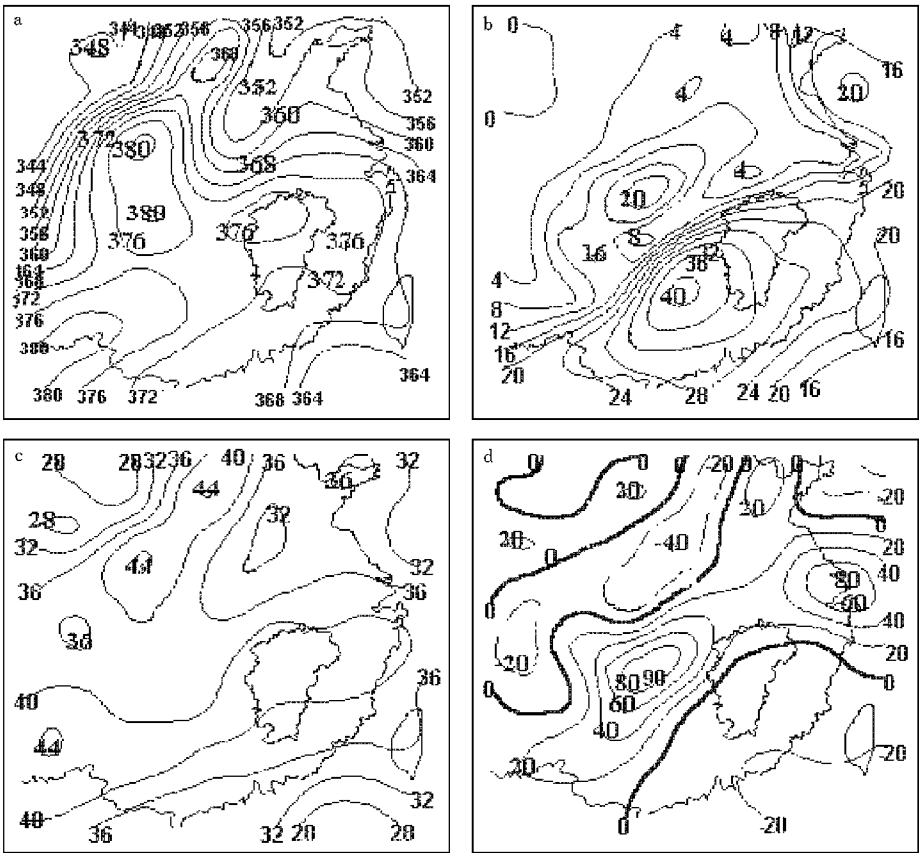


图 1 1998 年 7 月 23 日 20 时 850 hPa 各物理量场

a. θ_{se} 场; b. 水汽通量; c. K 指数; d. 涡度

Fig. 1 The physical quantities at 850 hPa at 2000 BST July 23, 1998

a. θ_{se} ; b. water vapor flux; c. K index; d. vorticity

非常少见, 比江西大暴雨水汽通量的平均场的中心强度几乎强了一倍, 强的水汽通量是江西产生大暴雨的必要条件之一。

2.3 K 指数

江南有一东西向的 K 指数大值区, 江西中北部 $K \geq 40$ 的大值区中(图 1c), 比江西大暴雨的平均状况大了 5 以上。

2.4 动力条件

850 hPa 正涡度大值区与低涡和切变的位置有较好的对应关系, $\geq 90 \times 10^{-5} s^{-1}$ 的高值区位于芷江附近(图 1d) 江西北部处正涡度大值区中。

在低涡的前方, 湖南北部有一个 $-30 \times 10^{-4} hPa \cdot s^{-1}$ 的最强上升运动中心与之对应。江西位于大的上升中心正前方。

在 500 hPa Q 矢量散度图上(图略), 江西、湖南的北部有一个 $-300 \times 10^{-11} hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 大的辐合中心。

上述的各物理量分布对该日江西产生大暴雨是十分有利的。

3 小 结

1998 年 7 月 18 ~ 8 月 1 日的连续暴雨过程, 大部分物理量与暴雨落区有较好的对应关系, 其能量、水汽、稳定度等条件均强于江西的汛期大暴雨的平均状况。中低层 θ_{se} 比平均状况高 10 以上, 水汽通量比平均状况要大 $5 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 稳定度 K 指数大 5 以上。动力条件与连续过程的降水强弱关系对应较好, 降水大的时候, 正涡度与垂直上升速度均明显增大。螺旋度与 Q 矢量在本次过程中与暴雨有较好的对应关系, 可在今后的预报服务中引起足够的重视。

参考文献:

- [1] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 561
- [2] 杨晓霞, 华 岩, 黎清才, 等. 螺旋度在暴雨天气分析与预报中的应用[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(4): 494 ~ 504
- [3] 沈桐立, 马 林, 温市耕. 江淮流域一次特大暴雨的数值模拟及动力分析[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(4): 486 ~ 493
- [4] 赵勤炳, 胡国权, 邱 燕. 区域性强降水动力热力参数的试验研究[C]. 见: 85-906-06 课题组主编. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京: 气象出版社, 1995. 41 ~ 43

Diagnosis of continuous torrential rain event in July 1998

CAO Xiao-gang

(Jiangxi Meteorological Observatory, Nanchang 330046)

Abstract: The absolute maximums of daily physical quantities during continuous torrential rain event in July 1998 are calculated and analysed, with the distribution of physical quantities in July 23 shown. It is found that the thermal, water vapor and stability parameters in the event are obviously stronger than those in general rainy season (April to the early of July), and that the helicity and divergence of Q -vector are correlation with precipitation intensity.

Key words: continuous torrential rain; diagnose; helicity; divergence of Q -vector