

云南初夏罕见暴雨天气的中尺度特征^①

许美玲 段 旭 孙绩华

(云南省气象台,昆明 650034)

提 要

应用 Barnus 带通滤波方法,对 2001 年 5 月 30 日~6 月 2 日云南初夏罕见的暴雨天气过程进行了尺度分离,初步揭示了此次暴雨天气发生的流场、能量场和动力场的中尺度特征,对提高暴雨天气预报能力具有积极意义。

关键词: 带通滤波 尺度分离 中尺度 暴雨

引 言

众所周知,暴雨等强对流天气是中小尺度系统直接作用的结果,在降水时间、强度和空间分布上存在不均匀性,具有明显的中尺度特征。因此,分析研究中尺度系统对暴雨的作用,对于指导暴雨预报具有十分重要的意义。应用研究表明^[1,2],采用中尺度滤波方法,从实际流场中提取中尺度系统进行分析,可提高对暴雨等强对流天气的认识。

2001 年 5 月 30 日~6 月 2 日,云南省发生了历史上罕见的连续性暴雨天气,导致了云南许多气象台站初夏的降水量大幅度突破历史纪录,从 5 月 30 日 20 时~6 月 2 日 20 时的累计总雨量图(略)可见,大于 150mm 的强降水集中出现在滇中及以南地区;持续的强降水天气使云南的楚雄、玉溪、临沧、德宏、保山等地公路被冲毁、水库告急和泥石流等,出现了罕见的初夏洪涝灾害。本文应用 Barnus 带通滤波方法对此次暴雨天气过程进行了尺度分离,探讨云南持续性暴雨天气的中尺度特征。

1 尺度分离

将 2001 年 5 月 30 日~6 月 3 日的探空

资料,客观分析为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的经纬网格点资料,范围取 $15^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 、 $80^\circ \sim 120^\circ \text{E}$,采用 Barnus 带通滤波方法进行尺度分离^[3],先用一个低通滤波器过滤原始资料。取滤波常数 $C = 150000$, $G = 0.3$,可使低通滤波器在 800km 波长附近的响应函数值很小或接近零,从低通滤波响应曲线图(略)可见,在 $\lambda = 800\text{km}$ 处, $R \approx 0.10$,从总场($R = 1.0$)中减去低通滤波响应值则可得到较短波长的响应曲线(带通滤波器),则它在 $\lambda = 800\text{km}$ 处, $R \approx 0.80$ 。这样就分离出 $\lambda = 800\text{km}$ 的中短波系统。具体方法如下。

首先计算低通滤波场的初值 $F_0(i, j)$:

$$F_0(i, j) = \sum_{n=1}^N W_n F_n(i, j) \left[\sum_{n=1}^N W_n \right]^{-1}$$

其中 $W_n = \exp\left(-\frac{r_n^2}{4c}\right)$ 为距离权重函数, c 是一个与空间波长有关的参数, $F_n(i, j)$ 是 $F_0(i, j)$ 周围的格点值, N 为格点数,这里取为 8 个格点。

然后对初值进行订正:

$$F_l(i, j) = F_0(i, j) + \sum_{n=1}^N W'_n D_n(i, j) \times$$

^① 本文由云南应用基金资助项目 2000D0091M、云南省气象局“十五”攻关课题《云南季风区中尺度天气系统特征及预报方法研究》共同资助

$$\left[\sum_{n=1}^N W'_n \right]^{-1}$$

其中 $D_n(i, j) = F_n(i, j) - F_0(i, j)$ 为余差, $W'_n = \exp\left(-\frac{r_n^2}{4Gc}\right)$ 为修正的距离权重函数。

最后带通场为:

$$B(i, j) = F_n(i, j) - F_0(i, j)$$

2 暴雨天气的中尺度特征

2.1 低层中尺度流场

分析暴雨发生的大尺度环流形势, 5月30日~6月2日500hPa 青藏高原东侧至云南一直处于青藏高压和西太平洋副高之间的辐合区中, 暴雨期间副高外围不断有西南气流从中南半岛、孟加拉湾向云南输送, 低层700hPa 河套地区有冷高压生成东南移, 低纬地区不断有西南气流北上。图1给出5月30日~6月2日滤波前后的700hPa 流场分布情况。从滤波前的流场分布可见(图1a、b、c), 5月30日随着西风带高压的南移, 其

外围的偏南气流与滇缅高压东侧的偏西气流汇合, 形成了东北-西南向的辐合线, 5月31日~6月1日由于西太平洋副高加强西伸, 云南转为西南气流控制, 并出现了较为明显的西南低空急流, 滤波前的流场分布大致反映了天气系统的活动; 但在这样的大尺度环流背景下, 我们很难找到产生暴雨天气的中尺度系统。图1d、e、f给出了滤波后的700hPa 流场。我们可以清楚地看到, 在大尺度辐合线或西南急流上在云南分离出明显的中尺度气旋或中尺度辐合线, 未来暴雨天气就发生在这些中尺度系统附近。进一步分析, 30日08时(图1d), 在云南中部出现了一中尺度气旋, 未来12小时的暴雨就发生在这个中尺度气旋辐合区附近; 30日20时(图略)中尺度气旋减弱为一弱的中尺度辐合线; 31日08时随着西南气流的加强, 在云南中部及西南角又出现明显的中尺度气旋和中尺度辐合线(图1e), 相对应云南中部的楚雄、玉溪等地出现了连续性暴雨天气。31日20

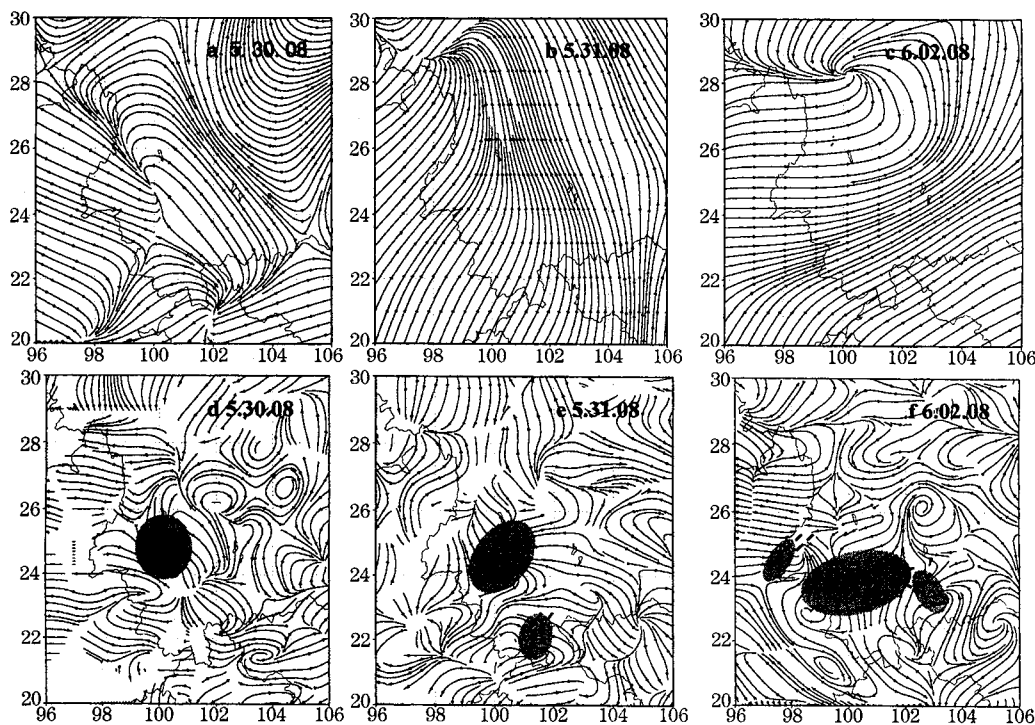


图1 2001年5月30日~6月2日滤波前(a、b、c)后(d、e、f)700hPa 流场(阴影区为暴雨落区)

时该中尺度气旋开始减弱,至6月1日08时(图略),滇中以南地区已转为弱的辐散区,相应的强降水天气也在逐渐减弱。但6月1日20时(图略),在云南中部再次出现中尺度气旋,并向西南方向移动,到6月2日08时(图1f),滇南地区形成了较强的中尺度辐合带,在中尺度辐合带附近出现了35站大雨、26站暴雨的强降水天气过程,与辐合中心相对应的日降水量达127mm,从而引发了楚雄、玉溪、临沧、保山、德宏等地罕见的初夏洪涝灾害。6月3日以后,随着西南气流的减弱,云南大部地区转为辐散区(图略),持续了三天的暴雨天气过程结束。由此可见,在此次暴雨天气过程中,对流层低层中尺度扰动活动是显著的,它在暴雨天气过程中扮演着十分重要的角色;同时也说明此次云南初夏罕

见的持续性暴雨天气是在稳定的大尺度环流形势和有利的环流条件下,中尺度系统不断地发生、发展而引起的。

2.2 中尺度动力场

分析暴雨区动力场特征发现,垂直速度和涡度场也具有明显的中尺度特征。从未滤波前的垂直速度场(略)看,云南上空为较大范围的上升运动区,而滤波后的垂直速度场呈上升运动和下沉运动相间分布的特征,下沉运动区在未滤波前的垂直速度场上不明显。滤波前的涡度场云南范围内呈低层正涡度、高层负涡度分布,滤波后的涡度场存在着明显的中尺度扰动。图2为5月30日~6月1日滤波后过101°E垂直速度和涡度剖面,从垂直速度剖面(图2a、b、c)可见,暴雨期间,滇中以南地区(22~26°N)一直存在着

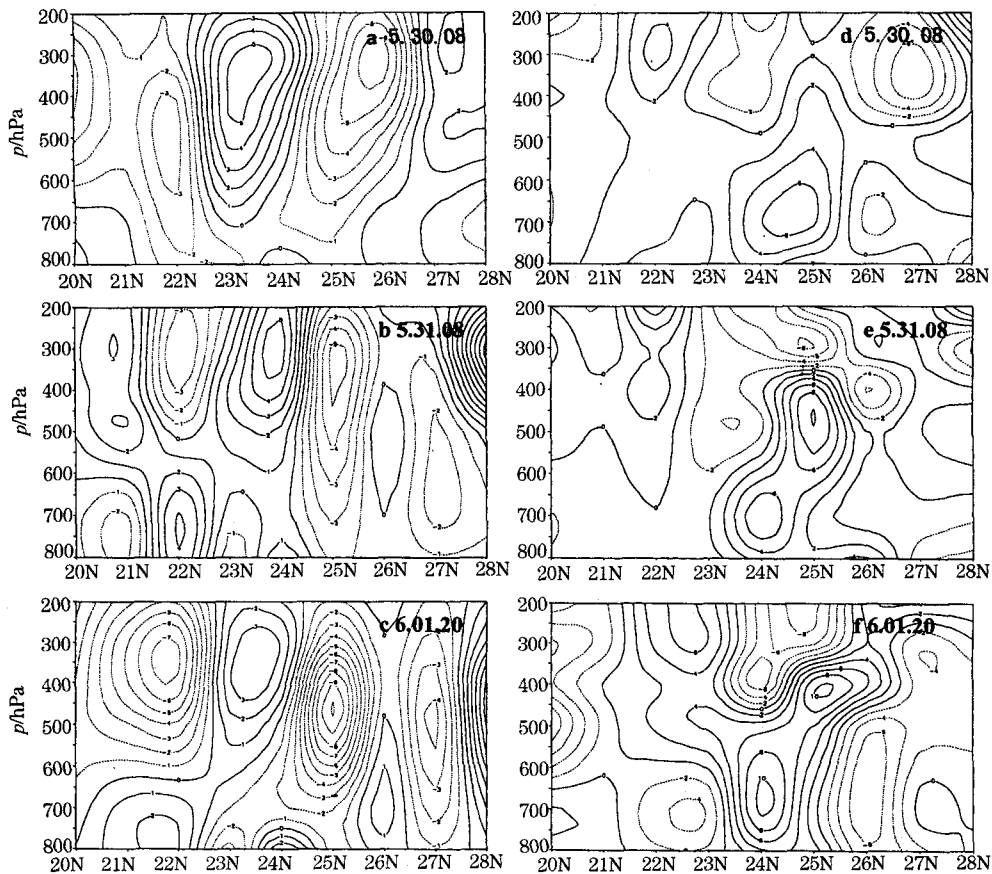


图2 沿101°E的垂直速度(a、b、c,单位: $10^{-4} \text{ m} \cdot \text{hPa}^{-1}$)和涡度(d、e、f,单位: 10^{-5} s^{-1})垂直剖面图

一明显的上升和下沉运动偶。暴雨发生区的整个对流层均为上升运动,最大上升速度中心在500~300hPa之间,在上升运动区的两侧为下沉运动,其中南侧的下沉运动最强,与最大上升运动区构成了一个强的中尺度垂直环流,为强降水天气的发生提供动力机制。从涡度的中尺度扰动场的垂直分布看(图2d、e、f),滤波后对流层低层涡度场存在一个尺度约为200~300km左右的正涡度扰动,未来12小时内暴雨就发生在此扰动区内。正涡度扰动区与中尺度系统密切联系着,它对应着中尺度气旋或辐合线。在对流层高层对应着负涡度扰动区,这样低层正涡度,高层负涡度,有利于在暴雨区上空形成强的上升运动区,它为暴雨的发生提供了所需的动力条件。

以上分析表明,中尺度经向垂直环流圈的存在,中低层的正涡度扰动为连续性暴雨过程提供了稳定、持续的动力机制。

2.3 不稳定能量场

中尺度天气系统的发生发展往往是与对

流运动联系在一起的,对流运动与大气的稳定度有关,文献[4]指出,在湿位涡守恒的制约下,由于 θ_w 面的倾斜,大气水平风垂直切变或湿斜压性的增强,能够导致垂直涡度的显著发展, θ_w 面的倾斜越大,气旋性涡度增长就越激烈。图3给出了5月30日~6月2日沿101°E θ_w 垂直剖面。暴雨期间,26°N以南地区中低层 $\frac{\partial\theta_w}{\partial p} > 0$,大气层结为对流不稳定,高层 $\frac{\partial\theta_w}{\partial p} < 0$,大气层结为对流稳定。分析还发现自过程开始到结束,低层(700hPa以下)24~26°N之间维持着 θ_w 密集带,且随高度向南倾斜,中尺度天气系统就发生在 θ_w 向南倾斜的密集区内,未来暴雨落区也正好集中于 θ_w 陡立密集区。进一步分析,在暴雨发生前(30日08时,图3a),26°N以南地区为强的对流不稳定区($\Delta\theta_w_{500-850}$ 达-8℃左右),南下的冷空气与暖湿对流不稳定空气在云南交汇,形成了较强的 θ_w 密集区,说明暴雨发生前有不稳定能量的聚集。暴雨发生后,对

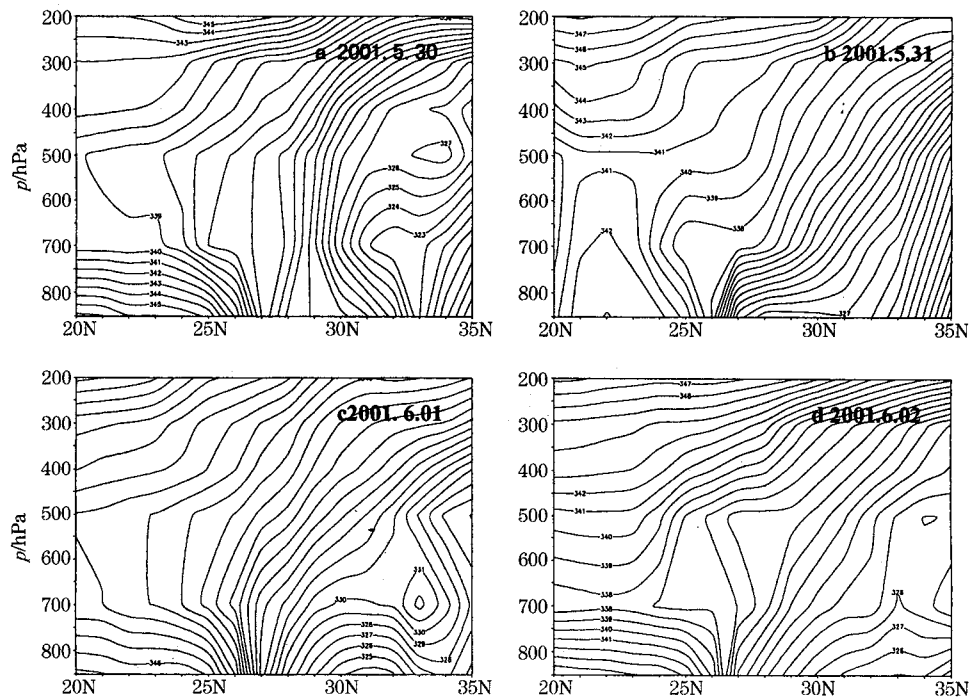


图3 沿101°E θ_w (单位:K)垂直剖面图

流不稳定区和 θ_{se} 密集区开始减弱(3b), $\Delta\theta_{se500-850}$ 仅为 -2°C 左右。这种变化说明了暴雨的负反馈作用,对于短历时暴雨过程而言,暴雨即将结束。对于本次暴雨过程而言,暴雨并未结束,而是一直持续到6月2日。5月31日20时之后,对流不稳定再次加强,到6月1日 θ_{se} 密集带更为陡立、密集,倾斜涡度发展至最强(图3c)。说明对于连续性暴雨,必然存在着不稳定能量的补偿作用。从本次过程分析可知,5月31日~6月2日由于西太平洋副高加强西伸,云南出现了较强的西南低空急流,700hPa全风速达 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,这支西南低空急流将热带低纬地区的能量和水汽输送到云南上空,地面不断有冷空气自四川盆地进入云南,这样 θ_{se} 密集区得以维持加强,使暴雨区上空能量释放后得以重新建立。3日以后 θ_{se} 密集带变疏减弱,过程结束。

以上分析表明,在 θ_{se} 陡立密集区内有利于湿斜压不稳定能量的聚集和中尺度天气系统的发生发展,在中尺度动力扰动的激发下,产生暴雨天气。对于连续性暴雨天气过程,暴雨区上空在相当长时间内维持 θ_{se} 密集区,造成对流活动频繁发生,不稳定能量的补偿作用是连续性暴雨天气得以维持的重要条件。

3 小 结

本文应用 Barnus 带通滤波方法,对2001年5月30日~6月2日云南初夏罕见的暴雨天气过程进行了尺度分离,揭示此次暴雨天气发生中尺度特征。主要结论有:

①云南初夏罕见的持续性暴雨天气是在稳定的大尺度环流形势和有利的环境条件下,在云南不断激发中尺度系统发生、发展而引起的。

②中尺度经向垂直环流圈的存在,中低层的正涡度扰动为连续性暴雨过程提供了稳定、持续的动力机制。

③在 θ_{se} 陡立密集区内有利于湿斜压不稳定能量的聚集和中尺度天气系统的发生发展,在中尺度动力扰动的激发下,产生暴雨天气。对于连续性暴雨天气过程,暴雨区上空在相当长时间内维持 θ_{se} 密集区,造成对流活动频繁发生,不稳定能量的补偿作用是连续性暴雨天气得以维持的重要条件。

参考文献

- 1 陈忠明,缪强. 长江上游区域性暴雨发生前的中尺度特征. 气象, 2000, 26(10): 15~18.
- 2 李英,舒智. 云南春季冰雹、大风天气的中尺度扰动特征. 气象, 2000, 26(12): 16~19.
- 3 丁一汇. 现代天气学中的诊断分析方法. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 1984: 200~202.
- 4 吴国雄,蔡雅萍,唐晓箐. 湿位涡和倾斜涡度发展. 气象学报, 1995, 53(4): 387~405.

Mesoscale Weather Characteristics of a Torrential Rain Event in Yunnan Province in Early Summer

Xu Meiling Duan Xu Sun Jihua

(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034)

Abstract

With the aid of band-pass filter, and scale separating method, the various mesoscale systems of a torrential rain occurred in Yunnan area from 30 May to 2 June in 2001 are analyzed. The results show that some mesoscale weather characteristics such as the instability energy, the streamline field and the dynamical structure before the torrential rain are very clear. It is highly importance for us to improve the forecast of torrential rain events.

Key Words: band-pass filter scale separation mesoscale torrential rain