

1998 年南海夏季风爆发前后区域动能收支研究

魏贵洲 钟 中 卢 伟

(解放军理工大学气象学院, 南京 211101)

摘要 利用 1998 年南海季风试验(SCS MEX)资料和区域动能收支方程,对南海南部和北部两个区域该年夏季风爆发前后的区域总动能和区域扰动动能收支进行了诊断分析。结果表明,南海北区夏季风爆发前后动能主要在高层制造,大部分动能被摩擦消耗,南区夏季风爆发前后动能主要在高层被破坏,摩擦项充当动能源。扰动动能主要在高层和部分在低层制造。在此期间,南海地区一直向邻近区域输出动能。

关键词 南海 夏季风 爆发 动能

引言

在未来十几年实施的国际“气候变化及可预报性研究(CLI VAR)”计划中,季风问题仍是重要的研究内容之一^[1]。这是因为一方面季风的活动和异常直接影响很多国家人民的生产和生活,另一方面季风活动的异常还对其他区域天气系统及气候的重要异常事件有一定的影响^[2]。南海夏季风的爆发标志着东亚夏季风的来临和中国东部雨季的开始^[3],南海季风异常最直接的影响是造成我国南方地区季风降水时空分布的变异性,引起严重的洪涝/干旱灾害^[4],研究南海季风有助于长江及以南地区的旱涝预测,为该地区的防灾减灾提供科学依据。1998 年是 1997 年开始极强的厄尔尼诺异常现象的次年,由于赤道东太平洋海温持续偏高,西太平洋海温持续偏低,加之极涡、鄂海阻高、沿海低槽等中高纬天气系统异常活跃,使该年夏季西太平洋副热带高压脊线经常维持在较偏南的位置上,季风雨带也因此主要活跃在长江及以南地区,造成该地区 40 多年未遇的全流域大洪水。在这样的大气候背景下对南海季风进行研究具有特殊的意义。

在季风能量学方面,很多学者曾开展过相关的工作。为进一步揭示夏季风爆发对东亚大尺度大气环流的影响,丁一汇^[5]在 20 世纪 80 年代初期

利用美国国家气象中心(NMC)业务客观分析获得的 1979 年 5 月 1 日至 6 月 30 日一天两次 8 层的 u 、 v 、 T 、 ϕ 资料,运用动能方程分三个研究区(华南、华中和日本)对 1979 年夏季风爆发前后中国东部和日本上空天气尺度扰动动能和总动能的收支进行了计算;后来他又利用 1972 年 7 月和 1975 年 7 月的 NMC 资料作过西太平洋地区信风期和活跃季风期动能收支的对比研究^[6];谭锐志^[7]利用 ECMWF 10 层格点资料,做过东亚夏季风中断、过渡与活跃期的区域能量学研究,指出季风演变具有鲜明的阶段性能量学特征。由于资料缺乏、资料垂直分层少、时次少等原因,以前的学者计算的精度不高。1998 年南海季风试验(SCS MEX)获取了该年南海夏季风爆发前后南海及其周边地区较高分辨率的气象观测数据,但依据所获得的资料对该年南海夏季风的能量收支进行系统性研究的工作有待进一步深入。本文充分利用试验获取的数据,通过对 1998 年南海夏季风爆发前后动能收支的诊断分析,明确了该年季风爆发前后该区域大气动能收支特征,对季风的爆发机制有了更深入的认识。

1 资料和计算方法

本文动能收支计算的资料是广州热带海洋气象研究所制作的 1998 年 5 月 1 日至 6 月 30 日 11 层

(100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 850, 925, 1000 hPa) 一天 4 次的 u, v, T, ϕ, ω 区域同化分析资料(水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度)。很多研究表明,南海夏季风爆发在南海北部和南部是不同步的^[4],为此本文在计算过程中将南海分成南北两个区域,其中北区位于 $110^\circ \sim 125^\circ \text{E}, 10^\circ \sim 20^\circ \text{N}$,南区位于 $110^\circ \sim 125^\circ \text{E}, 0^\circ \sim 10^\circ \text{N}$,如图 1 所示。

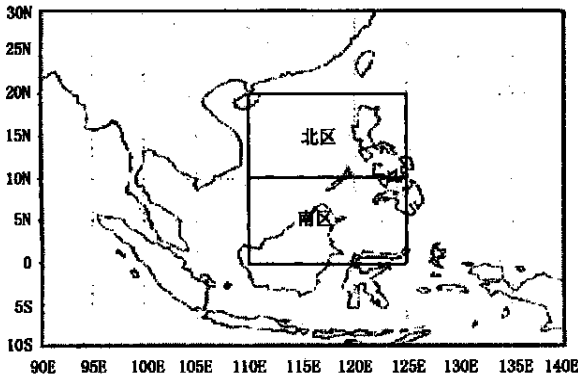


图 1 两个计算区的位置

区域平均的总动能方程和扰动动能方程^[8,9]可分别写成:

$$\left| \frac{\partial K}{\partial t} \right| = - [\nabla \cdot \mathbf{VK}] - \left| \frac{\partial \omega K}{\partial p} \right| - [\mathbf{V} \cdot \nabla \phi] - [E] \quad (1)$$

$$\left| \frac{\partial K_e}{\partial t} \right| = - [\nabla \cdot \mathbf{VK}_e] - \left| \frac{\partial \omega K_e}{\partial p} \right| - \left| [u^* \omega^*] \frac{\partial [u]}{\partial p} + [v^* \omega^*] \frac{\partial [v]}{\partial p} \right| - [\mathbf{V}^* \cdot \nabla \phi^*] - [E^*] \quad (2)$$

式中 $[]$ 代表区域平均,“*”代表对区域平均值的偏差,即扰动量;本文计算推导过程中均将参变量分解为区域平均和扰动量之和,即令参量

$$A = \bar{A} + A^* \quad (3)$$

并在方程中保留二次扰动量; K 和 K_e 分别是单位质量空气的动能和扰动动能, \mathbf{V} 是水平风矢量,

$$K = \frac{1}{2} (u^2 + v^2), K_e = \frac{1}{2} (u^{*2} + v^{*2}) \quad (4)$$

$\left| \frac{\partial K}{\partial t} \right|$ 和 $\left| \frac{\partial K_e}{\partial t} \right|$ 是总动能和扰动动能的局地变化; $- [\mathbf{V} \cdot \nabla \phi]$ 和 $- [\mathbf{V}^* \cdot \nabla \phi^*]$ 分别是相应的动能制造项,代表越等压线或非地转加速流的非绝热动能产生,直接计算此项有困难,实际计算是对它作了分解; $- [\nabla \cdot \mathbf{VK}]$ 和 $- [\nabla \cdot \mathbf{VK}_e]$, $-\left| \frac{\partial \omega K}{\partial p} \right|$ 和

$-\left| \frac{\partial \omega K_e}{\partial p} \right|$ 分别是动能的水平辐合和垂直通量输送项; $[E]$ 和 $[E^*]$ 为消耗项,代表摩擦作用和网格与次网格尺度运动之间的能量转换,因为不能完全了解摩擦过程的机制,所以用余项来估算此项; $-\left| (u^* \omega^*) \frac{\partial [u]}{\partial p} + (v^* \omega^*) \frac{\partial [v]}{\partial p} \right|$ 代表区域平均动能与扰动动能之间的能量转换。

2 1998 年南海夏季风爆发前后天气形势回顾

何金海,王黎娟^[10]等用澳大利亚高压、越赤道气流、南海夏季西风、季风槽、西太平洋副热带高压等系统的排列和用气柱稳定度的突变等方式判断 1998 年南海夏季风爆发日期为 5 月 23 日(或第 5 候,5 月 21 ~ 25 日)。Li Chongyin 和 Wu Jingbo^[11]等通过对 850 hPa 风场、对流层上层流场、高空急流变化以及南海地区的对流活动进行分析,指出 1998 年南海夏季风首先于 5 月 18 日在南海北部爆发,5 月 21 日南海季风全面爆发。说明 1998 年南海夏季风爆发日期较正常偏晚(对南海夏季风而言,定义 5 月 11 ~ 20 日爆发的为正常,5 月 10 日前爆发为提前爆发,5 月 21 日以后爆发为晚爆发^[12]),季风偏弱。在此期间,天气系统活动频繁,观测到多次强对流性风暴。

南海夏季风爆发过程在流场演变上主要表现为爆发前占据南海的副热带高压向东撤退到西太平洋,南海由偏东风控制变为偏西南季风控制,对流云带由赤道附近向北跳到 $10^\circ \sim 20^\circ \text{N}$ 。5 月 6 ~ 10 日南海—孟加拉湾南部受西太平洋副热带高压控制而盛行东风,在印度以南出现了一个近赤道反气旋。5 月 11 ~ 15 日该反气旋向北发展,中心移动到 $82^\circ \text{E}, 17^\circ \text{N}$ 附近,西太平洋副热带高压向东移出孟加拉湾。5 月 16 ~ 20 日,此反气旋继续向北移动并发展,中心移到 $87.5^\circ \text{E}, 17.5^\circ \text{N}$ 附近,与此同时孟加拉湾气旋东部的西南风突然加强并进入中南半岛地区,南海北部开始盛行由南海越赤道气流和孟加拉湾气旋东部西南风共同组成的西南气流。5 月 21 ~ 25 日孟加拉湾气旋消失,东亚越赤道气流开始加强,在南海 $5^\circ \sim 20^\circ \text{N}$ 出现一支强西风,并且这支强西风于 6 月 1 ~ 5 日随南海赤道反气旋向北移到南海北部。由此,可以认定 5 月 21 ~ 25 日为 1998 年南海夏季风爆发时间,与多年平均相比大约晚 1 候

左右。作为南海夏季风爆发主要特征之一的高空反气旋于 5 月 11~15 日突然由南海南部北跳到中南半岛,在 5 月 16~20 日南海南部开始出现强高空东风,并且该支东风在南海季风爆发以后一直维持在南海上空。

3 夏季风爆发前后区域总动能收支

由于 1998 年南海夏季风在北部和南部是分阶段爆发的^[4],而季风演变又具有鲜明的阶段性能量学特征^[7],季风爆发后还会出现中断现象,为此本文分区域并分时段进行能量计算。具体时段划分如

下:5 月 14~18 日和 5 月 18~22 日分别作为北区爆发前、后时段;5 月 17~21 日和 5 月 21~25 日分别作为南区爆发前、后时段。图 2 和图 3 分别给出了南海北区和南区 5 月 11 日至 6 月 4 日对流层中下层(1000~500 hPa)的总动能(K),扰动动能(K_e),纬向风(u)和经向风(v)随时间变化的曲线。由图 2 可以看出,北区动能从 5 月 18 日起显著增加并且风向由东南转为西南;由图 3 同样可以看到从 5 月 21 日后南区动能和风场也有和北区相似的演变特征。

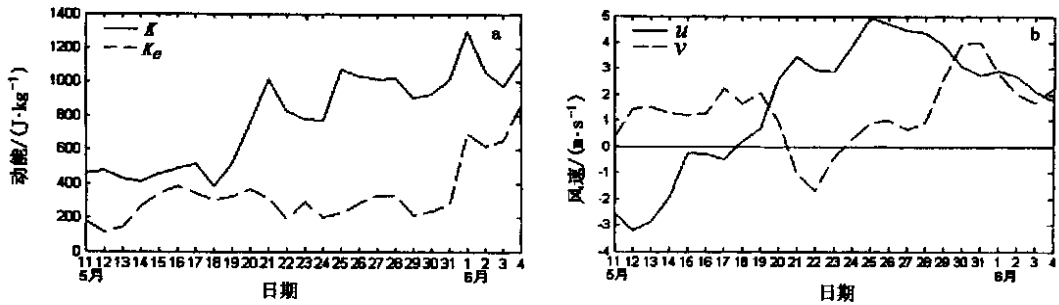


图 2 北区动能(a)和风速(b)的时间变化曲线(1000~500 hPa)

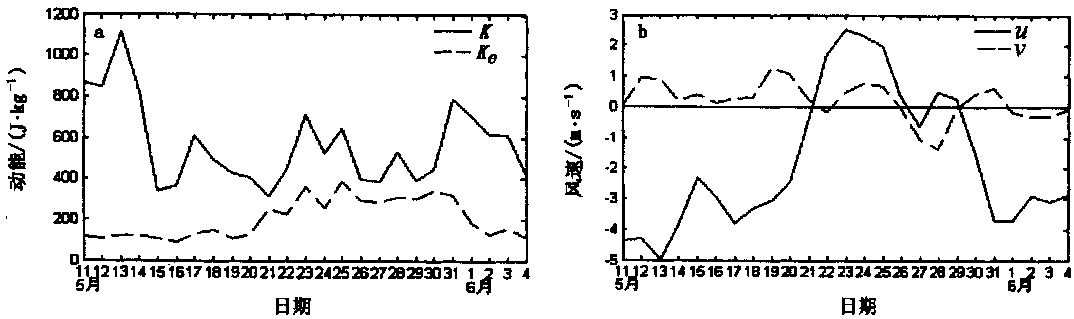


图 3 南区动能(a)和风速(b)的时间变化曲线(1000~500 hPa)

为计算方便起见,区域平均的总动能方程(1)中动能制造项可作如下分解:

$$- [\mathbf{V} \cdot \nabla \phi] = - [\nabla \cdot \mathbf{V} \phi] - \left| \frac{\partial \omega \phi}{\partial p} \right| - [\omega \phi] \quad (5)$$

本文对 1998 年南海夏季风爆发前后按北区和南区分层次分别计算了区域总动能收支,计算结果如表 1 至表 4 所示。

由表 1 至表 4 中数据对比分析可以看出,动能随时间的变化项是一小项,这与相关参考文献中对区域动能演变特征的计算结果是一致的。区域夏季

风爆发前后总动能随时间的变化趋势在南北区域有所不同。在北区,季风爆发前动能除 850 hPa 以下略呈减小趋势外,其他各层平均总动能都是随时间增加的;季风爆发后则基本上相反,即低层呈增加趋势,其他层次以趋于减弱为主。在南区,爆发前整层趋于减小,爆发后 300~500 hPa 层趋于减小,而高层和低层则趋于增大。对动能水平辐散项计算结果表明,该项的量值与文献[5]的结果相比略偏大,两区域夏季风爆发前后都表现为高层有动能流出,中下层有动能流入,最大流出层在 100~200 hPa,最大流入层在 700~850 hPa,整层表现为动能流出,

即动能水平辐散项把动能向区域外输送,与文献[5]的结果相一致。动能垂直输送项两区域均表现为夏季风爆发前和爆发后就整层而言有自相消的特点,

因此整层动能的垂直输送是小项,表明动能输送以水平输送为主。

表 1 北区夏季风爆发前区域总动能收支

层次/hPa	$-\left \frac{\partial K}{\partial t}\right $	$-[\nabla \cdot VK]$	$-\left \frac{\partial \omega K}{\partial p}\right $	I	II	III	总制造	$[E]$
100~150	0.036	-8.824	0.135	9.164	-107.431	0.412	-97.855	-106.579
150~200	0.017	-8.179	0.102	18.032	-67.429	1.056	-48.340	-56.434
200~250	0.019	-4.817	-0.072	27.671	-32.119	0.732	-3.716	-8.624
250~300	0.025	-1.809	-0.018	33.059	-18.430	0.341	14.971	13.117
300~400	0.030	-0.923	-0.043	70.257	-9.544	0.010	60.723	59.728
400~500	0.031	0.090	-0.008	64.848	-1.132	-0.603	63.113	63.163
500~700	0.069	0.920	-0.031	104.923	1.237	-1.048	105.113	105.932
700~850	0.014	1.415	-0.046	52.338	9.323	-0.888	60.773	62.128
850~925	-0.010	0.701	-0.024	14.391	4.447	-0.281	18.558	19.245
925~1000	-0.003	0.468	-0.019	7.079	1.656	-0.110	8.625	9.076
整层	0.228	-20.958	0.024	401.762	-219.422	-0.379	181.965	160.752

$W m^{-2}$

注:I列为 $-\left[\omega\right]$,II列为 $-\left[\nabla \cdot VK\right]$,III列为 $-\left|\frac{\partial \omega K}{\partial p}\right|$,下同

表 2 北区夏季风爆发后区域总动能收支

层次/hPa	$-\left \frac{\partial K}{\partial t}\right $	$-[\nabla \cdot VK]$	$-\left \frac{\partial \omega K}{\partial p}\right $	I	II	III	总制造	$[E]$
100~150	0.035	-10.706	0.347	64.066	-132.992	4.340	-64.586	-74.952
150~200	0.001	-11.741	0.016	95.333	-118.545	1.899	-21.313	-33.039
200~250	-0.026	-8.628	-0.267	96.422	-88.878	-0.532	7.012	-1.856
250~300	-0.035	-3.887	-0.058	86.103	-53.350	-0.724	32.029	28.119
300~400	-0.061	-2.739	-0.065	149.429	-46.836	-1.120	101.472	98.730
400~500	-0.047	-0.766	0.042	127.869	-17.877	-1.131	108.861	108.184
500~700	-0.039	1.293	0.014	205.454	-8.891	-2.153	194.410	195.756
700~850	0.020	2.127	-0.082	110.310	6.175	-1.544	114.941	116.966
850~925	0.013	0.642	-0.026	36.317	2.390	-0.608	38.099	38.701
925~1000	0.010	0.313	-0.049	18.061	0.642	-0.305	18.398	18.653
整层	-0.129	-34.092	-0.128	989.364	-458.162	-1.878	529.323	495.262

$W m^{-2}$

表 3 南区夏季风爆发前区域总动能收支

层次/hPa	$-\left \frac{\partial K}{\partial t}\right $	$-[\nabla \cdot VK]$	$-\left \frac{\partial \omega K}{\partial p}\right $	I	II	III	总制造	$[E]$
100~150	-0.011	-7.560	-0.051	-18.471	-128.425	-0.569	-147.465	-155.065
150~200	-0.009	-8.247	-0.020	-25.360	-114.551	-0.806	-140.717	-148.974
200~250	-0.016	-4.078	0.045	-28.377	-64.695	-0.015	-93.087	-97.103
250~300	-0.020	-1.250	0.013	-23.870	-31.011	0.593	-54.288	-55.505
300~400	-0.032	-1.417	0.028	-22.661	-44.088	1.365	-65.384	-66.741
400~500	-0.012	-0.853	0.002	-5.202	-22.540	0.274	-27.468	-28.308
500~700	0.000	0.077	-0.010	-20.916	-3.987	-0.355	-25.257	-25.190
700~850	-0.015	0.550	0.002	-26.566	4.342	0.149	-22.076	-21.509
850~925	-0.013	0.341	0.004	-11.456	2.210	0.193	-9.052	-8.695
925~1000	-0.009	0.272	0.002	-6.941	1.049	0.096	-5.797	-5.514
整层	-0.137	-22.165	0.015	-189.820	-401.696	0.925	-590.591	-612.604

$W m^{-2}$

表 4 南区夏季风爆发后区域总动能收支

层次/hPa	$-\left \frac{\partial K}{\partial t}\right $	$-[\nabla \cdot VK]$	$-\left \frac{\partial \omega K}{\partial p}\right $	I	II	III	总制造	$[E]$
100~150	0.037	-7.985	0.038	5.325	-139.318	-0.051	-134.044	-142.028
150~200	0.001	-6.007	-0.063	-1.150	-132.507	-0.772	-134.430	-140.500
200~250	-0.004	-3.119	0.003	-4.047	-91.203	0.188	-95.089	-98.201
250~300	-0.002	-1.445	0.001	3.493	-50.733	0.993	-46.247	-47.690
300~400	-0.009	-1.365	0.011	23.978	-62.210	0.442	-37.789	-39.135
400~500	-0.010	-0.934	-0.003	20.756	-40.223	-0.625	-20.091	-21.019
500~700	-0.002	-1.724	0.009	18.364	-44.659	-0.419	-26.714	-28.427
700~850	0.008	-0.400	-0.003	4.148	-7.566	-0.134	-3.552	-3.963
850~925	0.006	0.494	-0.007	0.052	1.143	-0.015	1.180	1.661
925~1000	0.006	0.578	-0.007	0.368	0.567	0.006	0.941	1.506
整层	0.031	-21.907	-0.021	71.287	-566.709	-0.387	-495.835	-517.796

$W m^{-2}$

动能制造项的垂直分布差别明显。北区夏季风爆发前后动能制造项在 250 hPa 以下各层都为正值,制造动能,动能制造主要在中高层;南区夏季风爆发前后,整层有动能的破坏,动能破坏也主要在高层。在北区季风爆发前后及南区季风爆发后,有效位能向动能转换,最大转换层在 300~400 hPa,南区季风爆发前,动能向有效位能转换。区域位能水平方向在南北两区爆发前后上层辐散,下层辐合,整层辐散,最大辐散层在 100~150 hPa,最大辐合层在 700~850 hPa。位能的垂直辐合项为小项,辐合层辐散层有相消特征。北区爆发前后和南区爆发后都是整层辐合,表明两区域都是通过上升下沉运动使位能转化为动能。北区夏季风爆发前后大部分动能被摩擦消耗, $[E]$ 是一能汇,这也与文献[5]中计算的华南区域季风爆发前后该项计算结果相似。南区爆发前 $[E]$ 为负值,可看作动能源;爆发后除 850 hPa 以下层 $[E]$ 值为负外,其他各层值均为正,也可视为动能源。

$-\left|\frac{\partial K}{\partial t}\right|$ 、 $-\left[\nabla \cdot VK\right]$ 、 $-\left|\frac{\partial \omega K}{\partial p}\right|$ 项与 $-\left[V \cdot \nabla \phi\right]$ 和 $[E]$ 项相比很小,故可以认为网格尺度的动能源汇项在研究区是近于区域平衡的,这与丁一汇^[6]的结果一致,从而也表明本文计算结果是合理的。

4 夏季风爆发前后区域扰动动能收支

区域扰动动能方程(2)中扰动动能制造项可作如下分解:

$$-\left[V^* \cdot \nabla \phi^*\right] = -\left[\nabla \cdot V^* \phi^*\right] - \left|\frac{\partial \omega^* \phi^*}{\partial p}\right| - \left[\omega^* a^*\right] \quad (6)$$

表 5 至表 8 给出 1998 年南海夏季风爆发前后北区和南区分层次区域扰动动能收支。从表 5 至表 8 可以看出,北区季风爆发前扰动动能在 100~300 hPa 层随时间逐步增加,300 hPa 以下则是逐步减小的;爆发后除了 925 hPa 以下扰动动能有所增加外,整层都随时间逐步减小。南区爆发前 500~300 hPa 和 1000~850 hPa 层减小,其他层增加;爆发后 700~150 hPa 层减小,其他层增加。对扰动动能水平辐合项而言,两区域爆发前后上层辐散,下层辐合(表明在对流层低层由于动能制造不足必须要有大量的扰动动能输入来补偿大量的动能消耗^[6]),整层有扰动动能水平流出,最大流出层在 200~100 hPa,与文献[6]的结果相近。扰动动能垂直输送项,爆发前后辐合辐散层在垂直方向交替出现,上层辐散下层辐合,总作用的结果是该项将低层的扰动动能向高层输送。

$-\left[\nabla \cdot V^* \phi^*\right]$ 和 $-\left[\omega^* a^*\right]$ 是扰动动能的主要制造项,扰动动能垂直通量项的贡献很小。北区爆发前,扰动有效位能向扰动动能转换,最大转换层在 100~150 hPa 层;爆发后 150~850 hPa 层有扰动动能向扰动有效位能的转换,最大转换层在 300~400 hPa 层。南区爆发前,扰动动能转换为扰动有效位能,100~150 hPa 层为最大转换层;爆发后,有扰动有效位能向扰动动能转换,150~200 hPa 层最大。扰动位能水平辐合项,两区域爆发前有位能辐散,两区域爆发后有位能辐合,扰动位能垂直辐散。总体上看扰动动能主要在高层和部分在底层制造。

区域平均动能与扰动动能之间的转换项是个小项,这进一步证明了文献[5]和[6]中所指出的该项

对能量收支贡献很小的结论是可信的。北区爆发前后,高层有扰动动能转换为区域平均动能,表明在高空急流高度,一小部分扰动动能可用来加强区域平均的高空气流,与文献[6]结果一致,整层有少量平

均动能向扰动动能转换;南区爆发前后则均表现为区域平均动能向扰动动能转换,表明此项在季风爆发前后对南区和北区的贡献是不同的。

表 5 北区夏季风爆发前区域扰动动能收支

10^{-1} W m^{-2}

层次/hPa	$-\left[\frac{\partial K_e}{\partial t}\right]$	$-[\nabla \cdot \mathbf{V}K_e]$	$-\left[\frac{\partial \omega K_e}{\partial p}\right]$	I	II	III	总制造	A	$[E^*]$
100~150	0.01	-35.98	0.41	0.70	0.26	0.00	0.96	-0.18	-34.81
150~200	0.15	-34.84	0.60	0.57	0.14	0.00	0.71	-0.51	-34.19
200~250	0.21	-21.78	-0.12	0.71	0.06	-0.01	0.76	0.15	-21.20
250~300	0.11	-8.27	-0.20	0.31	-0.06	-0.01	0.24	-0.13	-8.48
300~400	-0.08	-1.29	-0.26	-0.26	-0.23	0.00	-0.50	0.01	-1.95
400~500	-0.18	1.89	-0.12	-0.10	-0.18	0.00	-0.028	-0.03	1.64
500~700	-0.18	5.40	-0.12	-0.58	-0.33	0.00	-0.91	0.04	4.59
700~850	-0.13	8.51	-0.04	-0.53	-0.34	0.01	-0.85	0.14	7.88
850~925	-0.07	4.00	-0.12	-0.06	-0.13	0.00	-0.18	0.02	3.78
925~1000	0.03	2.26	-0.07	0.01	0.07	0.01	0.09	0.02	2.27
整层	-0.13	-80.10	-0.03	0.77	-0.74	0.00	0.04	-0.47	-80.47

注:I列为 $-\left[\omega^* \sigma^*\right]$,II列为 $-\left[\nabla \cdot \mathbf{V}^* \phi^*\right]$,III列为 $-\left[\frac{\partial \omega^* \phi^*}{\partial p}\right]$,A为 $-\left[\left(u^* \omega^*\right) \frac{\partial[\mathbf{u}]}{\partial p} + \left(v^* \omega^*\right) \frac{\partial[\mathbf{v}]}{\partial p}\right]$,下同

表 6 北区夏季风爆发后区域扰动动能收支

10^{-1} W m^{-2}

层次/hPa	$-\left[\frac{\partial K_e}{\partial t}\right]$	$-[\nabla \cdot \mathbf{V}K_e]$	$-\left[\frac{\partial \omega K_e}{\partial p}\right]$	I	II	III	总制造	A	$[E^*]$
100~150	-0.06	-41.40	0.87	0.11	0.83	-0.01	0.92	-0.13	-39.49
150~200	-0.20	-58.56	0.79	-0.47	0.80	-0.01	0.32	-0.55	-57.27
200~250	-0.23	-49.17	-0.51	-0.29	0.54	0.00	0.25	-0.10	-49.45
250~300	-0.15	-22.97	-0.53	-0.11	0.33	0.00	0.22	-0.25	-23.25
300~400	-0.13	-11.31	-0.54	-1.21	0.29	0.01	-0.19	0.00	-12.64
400~500	-0.09	-1.21	-0.05	-1.36	-0.09	0.02	-1.43	-0.07	-2.65
500~700	-0.07	2.74	0.01	-1.63	-0.53	0.01	-2.15	0.05	0.67
700~850	-0.01	5.71	-0.07	-0.25	-0.40	0.00	-0.65	0.22	5.08
850~925	-0.01	2.43	0.00	0.22	-0.11	-0.01	0.11	0.04	2.58
925~1000	0.03	2.07	-0.08	0.12	-0.03	0.00	0.09	0.06	2.09
整层	-0.92	-171.67	-0.11	-4.87	1.63	0.01	-2.51	-0.73	-174.37

表 7 南区夏季风爆发前区域扰动动能收支

10^{-1} W m^{-2}

层次/hPa	$-\left[\frac{\partial K_e}{\partial t}\right]$	$-[\nabla \cdot \mathbf{V}K_e]$	$-\left[\frac{\partial \omega K_e}{\partial p}\right]$	I	II	III	总制造	A	$[E^*]$
100~150	0.10	-39.90	-0.22	-0.07	-0.09	0.00	-0.16	0.02	-40.35
150~200	0.18	-33.32	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.07	-33.37
200~250	0.12	-12.63	0.13	-0.08	0.01	0.00	-0.07	0.01	-12.67
250~300	0.03	-4.47	0.07	-0.07	0.00	0.00	-0.07	0.00	-4.49
300~400	-0.02	-5.50	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	-5.43
400~500	-0.01	-3.02	0.02	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.01	-2.99
500~700	0.15	-1.47	-0.04	-0.21	-0.04	0.00	-0.25	0.00	-1.91
700~850	0.09	-0.13	0.02	-0.16	-0.05	0.00	-0.21	-0.01	-0.41
850~925	0.00	0.53	0.00	-0.04	-0.01	0.00	-0.05	0.00	0.48
925~1000	-0.01	0.70	0.00	-0.03	0.01	0.00	-0.02	0.00	0.70
整层	0.63	-99.21	0.07	-0.66	-0.16	0.00	-0.81	0.10	-100.40

表 8 南区夏季风爆发后区域扰动动能收支

10^{-1} W m^{-2}

层次/hPa	$-\left[\frac{\partial K_c}{\partial t}\right]$	$-[\nabla \cdot \mathbf{VK}_c]$	$-\left[\frac{\partial \omega K_c}{\partial p}\right]$	I	II	III	总制造	A	$[E^*]$
100~150	0.05	-43.84	0.12	0.13	0.07	0.00	0.20	0.28	-43.30
150~200	-0.07	-46.71	-0.04	0.27	0.17	0.00	0.44	0.60	-47.71
200~250	-0.07	-26.04	-0.09	0.26	0.13	0.00	0.39	0.21	-25.48
250~300	-0.03	-8.66	0.06	0.14	0.06	0.00	0.20	-0.03	-8.40
300~400	-0.03	-8.15	0.08	-0.03	0.05	0.00	0.02	0.01	-8.01
400~500	-0.02	-6.24	-0.02	-0.08	0.02	0.00	-0.05	0.01	-6.28
500~700	-0.03	-8.55	-0.03	0.04	0.11	0.00	0.16	-0.07	-8.47
700~850	0.03	-1.66	0.04	0.06	0.07	0.00	0.13	0.01	-1.51
850~925	0.04	1.92	-0.01	0.04	-0.03	0.00	0.01	0.01	1.88
925~1000	0.05	3.11	-0.05	0.03	-0.09	0.00	-0.06	0.01	2.96
整层	-0.08	-144.82	0.06	0.86	0.56	0.00	1.44	1.04	-142.30

$[E^*]$ 是作为余项求出的,包括各种尺度的剩余作用(包括计算误差),其数值可能比实际值偏大,但其符号意义是可信的。两区爆发前后 $[E^*]$ 作用效果一致, $[E^*]$ 在上层为负值,下层为正值,整层平均为负值,表明 $[E^*]$ 项起到扰动动能能源作用。这与文献[6]计算结果有所不同,而与文献[5]中华南区计算结果一致。因此可以认为本区域在季风爆发前后有更小尺度的扰动把扰动动能供给所研究的扰动^[5],而不同研究区域不尽相同。

上述分析中将计算结果和相关研究工作结果进行比较后可以发现,本文计算结果大体上与前人的结果相印证,同时又有所区别,体现了区域能量研究的区域性和时段性差别。因此,必须利用多年高分辨率资料进行计算分析和对比,才能对与南海夏季风爆发相关的区域能量特征的普遍规律有更深入的认识。

5 结论

由1998年南海南区和北区夏季风爆发前后动能方程各项计算结果对比分析可以得到以下结论:

(1)两区域低层大气(700 hPa 以下)动能在夏季风爆发前后变化明显且趋势一致,这与风向调整和最后强盛西南气流控制该区域有关,爆发前动能有减弱趋势,爆发后趋于增强。所以从低层能量和风向变化相结合可以大致判断季风爆发时间,季风爆发在能量上的特征在对流层低层最明显。

(2)南海北区夏季风爆发前和爆发后动能的制造主要集中在高层,主要受中纬度斜压系统影响,大量有效位能向动能转换;南区夏季风爆发前后动能制造项为负值,表明该区域要依靠其他途径获得动

能。北区扰动动能在季风爆发前后主要在低层制造,表明边界层天气过程对动能制造有一定贡献;南区扰动动能则在季风爆发前后主要在高层和部分在低层制造。

(3)总动能和扰动动能在计算区域都是从下层流入上层流出,整层总体表现为流出,说明该时期南海地区对其他地区的天气过程有重要作用。动能垂直方向输送有自相消的特点,动能水平输送总体大于垂直输送。

(4)摩擦作用和网格与次网格尺度运动之间的能量转换项在北区总体表现为能汇,大量动能被摩擦消耗;而在南区总体表现为能源,说明此区域该时段对流活动较强,与天气形势回顾中提及的天气相对应,表明该地区通过网格与次网格尺度扰动的相互作用而得到动能。

以上就1998年个例诊断分析得出的结论,可能并不完全代表南海季风爆发前后的动能收支的普遍特征,计算结果有待进一步对其他年份南海季风爆发过程作诊断研究来进行验证。

参考文献

- 1 ICSU, WMO, UNESCO. CLIVAR—A Study of Climate Variability and Predictability. WMO/ TD, 1995, No. 690
- 2 李崇银. 南海夏季风爆发的大气环流演变特征. 丁一汇, 李崇银主编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 5-12
- 3 罗会邦. 南海夏季风爆发及相关雨带演变特征. 丁一汇, 李崇银主编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 25-32
- 4 孙淑清, 马淑杰. 南海夏季风持续异常的特征及其与大尺度环流的关系. 丁一汇, 李崇银主编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 89-93

- 5 丁一汇. 1979年夏季风爆发前后中国东部和日本上空动能的大尺度收支. *大气科学*, 1984, 8(3): 271 - 281
- 6 丁一汇. 西太平洋地区信风期和活跃季风期动能收支的对比研究. 热带环流和系统学术会议论文集. 北京: 海洋出版社, 1982. 11 - 29
- 7 谭锐志. 东南亚夏季风中断、过渡与活跃期的区域能量学研究. *大气科学*, 1994, 18(5): 527 - 534
- 8 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1989. 180 - 185
- 9 Palmén E, Newton C W. *Atmospheric Circulation Systems, Their Structure and Physical Interpretation*. Academic Press, 1969. 603
- 10 何金海, 王黎娟. 1998年南海夏季风建立前后的突变特征及爆发过程的初步分析. 丁一汇, 李崇银主编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 30 - 33
- 11 Li Chongyin, Wu Jingbo. On the onset of South China Sea summer monsoon in 1998. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, 17(2): 193 - 204
- 12 张家诚. 季风. 北京: 气象出版社, 1984. 1 - 16

Study of Kinetic Energy Budget Before and after Onset of Summer Monsoon over South China Sea in 1998

Wei Guizhou Zhong Zhong Lu Wei

(Meteorological College, P.L.A. University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Abstract: Using the data from the South China Sea Monsoon Experiment (SCS MEX) in 1998 and the regional kinetic energy budget equation, the budgets of the total and turbulent kinetic energy were calculated before and after the onset of monsoon over the southern and northern South China Seas respectively. The results show that the kinetic energy over the northern part mainly formed at the upper levels and dissipated by friction, while the kinetic energy over the southern part mainly dissipated at the upper levels and the friction acts as the sources of kinetic energy. The turbulent kinetic energy was also chiefly produced at the upper levels. The kinetic energy was transported to adjoining areas during this period.

Key words: South China Sea, summer monsoon, onset, kinetic energy