

“96.8”暴雨过程的尺度分离动能方程的诊断*

于玉斌 姚秀萍

(北京气象学院,北京 100081)

提 要

用尺度分离的动能平衡方程,对 1996 年 8 月 3~5 日华北地区台风暴雨过程雨区内的动能制造和转换进行诊断.结果表明:动能在暴雨发展过程逐渐减小,动能转换项也是逐渐减小的.暴雨发生前,尺度相互作用制造项 GKMS 起最重要的作用,大尺度动能制造项次之,中尺度动能制造项消耗少量的动能;暴雨发生时,尺度相互作用和天气尺度运动仍制造动能,只是比发生前明显减少,中尺度运动由消耗动能转变为制造动能,动能转换主要来源于低层且数值明显减少;暴雨发生后,动能制造项数值仍为正,此时天气尺度动能制造最重要,但数值比前两阶段小,动能的转换主要出现于高层.可见,此次暴雨过程总动能的制造项一直为正,主要出现于高层,只是其制造量逐渐减小;动能转换是从低层向高层进行的,水平转换项起主要作用,是一种尺度减小的动能转换过程.

关键词: 尺度分离 尺度相互作用 动能 制造 转换

引 言

研究多尺度之间的相互作用,从而构成一个完整的多尺度串级概念模式是大气能量学的一个基本研究课题.因此,两种尺度之间,特别是天气尺度与中尺度之间的相互作用尤为重要. Holopainen 等^[1]曾利用滤波分离尺度研究了次网格尺度运动在气流出口区的加速作用. 陈受钧^[2]采用 Sharpiro 滤波方法分离出天气尺度和次天气尺度系统,然后推导出动能相互作用方程,并对暴雨过程两种尺度系统的相互作用进行了诊断.但他们应用的方程形式只能了解不同尺度系统相互作用的整体效果,而不能了解其中具体的物理过程.为此,1986 年,Carney 和 Vincent^[3]建立统一表示不同尺度相互作用的动能方程组,简称 CV 尺度分离动能收支方程组,将其应用于研究对流活动对大尺度气流的影响,但 CV 尺度分离动能收支方程组对原始资料的要求较高,即要有一个高密度的站网,且测量时间间隔为 3 小时,获取上述资料,代价很大,因而,是否能导出适用于常规资料的动能收支方程式,这是一个很自然想到的问题. 90 年代,陈受钧等^[4]为了解决这个问题,应用 Holopainen 和 Nurmi^[1]的水平滤波技术,重新导出不同尺度相互作用的动能方程组(下称 CBK 尺度分离动能方程),使得在中尺度和天气尺度之间出现的过程,可通过相同尺度之间相互作用引起的系统动能增减以及不同尺度之间相互作用造成的尺度之间的能量转换给以清晰的解释.

* 本文由自然科学基金项目 49775259 号资助.

1997-07-16 收到,1997-11-03 收到修改稿.

1996年8月3~5日,由于受9608号台风和其减弱后的低气压以及高空槽的共同影响,我国东部地区从南向北普降大到暴雨,部分地区降大暴雨,局部地区降特大暴雨,过程雨量分布如图1所示:

其中,河北省出现了“63.8”以来最强的暴雨过程,最大降水量达411mm,造成了严重的经济损失.因此,对它进行研究具有重要的参考价值.

对于“96.8”特大暴雨已经有很多人从天气学等多种角度进行分析探讨¹⁾²⁾,但从能量的角度进行分析还很少.所以从动能的角度对此次暴雨过程进行分析,对暴雨的诊断分析、暴雨的短期预报有一定的指导作用和参考价值.本文用尺度分离的动能方程对暴雨过程进行诊断,揭示此次特大暴雨过程动能的制造和转换特征.

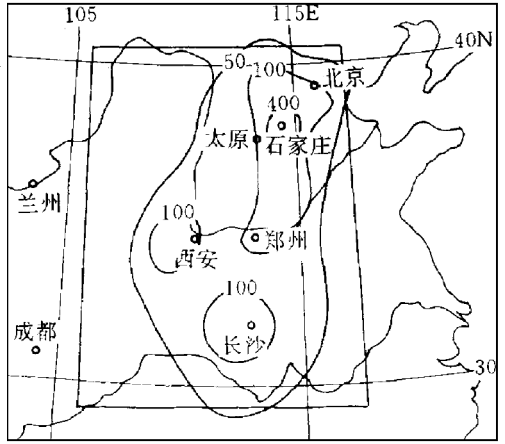


图1 1996年8月3~5日暴雨过程雨量分布图(单位:mm)

1 资料的处理与方法

本文暴雨资料取8月3日00:00 UTC至8月5日00:00 UTC共5个时次的常规实时探空资料,其中选取8月3日00:00 UTC、4日00:00 UTC、5日00:00 UTC为暴雨发生前、暴雨发生时、暴雨发生后的代表时刻.采用以Barnes空间滤波方法为基础的Maddox方案^[5].对常规资料进行客观分析和尺度分离,方案中两个系数取为: $C_1 = 5000$, $G_1 = 0.3$, $C_2 = 40000$, $G_2 = 0.4$, $\gamma = 1.25$,最大响应波长 $\lambda_{max} = 500$ km,滤波器的响应曲线见图2.

经客观分析,常规资料转化为水平网格距为90 km的31×31的正方形网格点资料,其中心(16,16)位于35°N 115°E.

对于速度场、位势场及摩擦力可分解为天气尺度场和次天气尺度场两分量之和(黑体

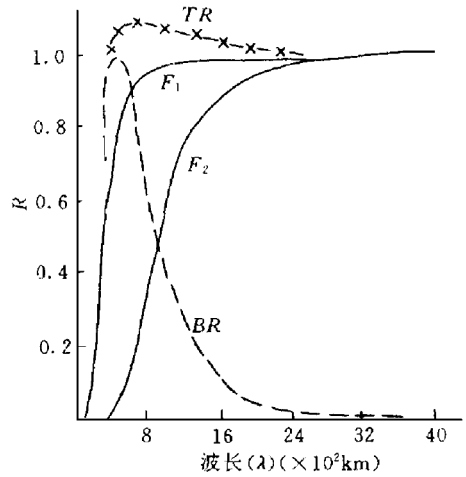


图2 尺度分离滤波器的响应曲线 (F_1 和 F_2 是用来决定带通滤波器的低通滤波器,其响应函数为BR,TR代表总场的响应曲线, F_2 为大尺度场)

1)河北省气象台.96.8河北特大暴雨天气过程分析和预报.全国数值天气预报及其产品释用研讨会.北京:1997年3月.

2)范爱芬.河北6.30连续暴雨过程分析.全国数值天气预报及其产品释用研讨会.北京:1997年3月.

字为矢量,下同),即:

$$\mathbf{V} = \hat{\mathbf{V}} + \mathbf{V}'$$

$$\Phi = \hat{\Phi} + \Phi'$$

$$\mathbf{F} = \hat{\mathbf{F}} + \mathbf{F}'$$

(“ $\hat{\quad}$ ”表示天气尺度场,“ $'$ ”表示次天气尺度场)

总动能可以表示为: $K = \hat{K} + K' + \hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$, \hat{K} 为天气尺度运动动能, K' 为次天气尺度运动动能, $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 为尺度相互作用动能. Chen 等^[4]得到 \hat{K} , K' 和 $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 方程为:

$$\frac{\partial \hat{K}}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \hat{K} + \omega \frac{\partial \hat{K}}{\partial p} = -\hat{\mathbf{V}} \cdot \nabla \hat{\phi} + \hat{\mathbf{V}} \cdot \hat{\mathbf{F}} + \mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{V}} + \mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{V}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial K'}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla K' + \omega \frac{\partial K'}{\partial p} = -\mathbf{V}' \cdot \nabla \phi' + \mathbf{V}' \cdot \mathbf{F}' - \mathbf{I} \cdot \mathbf{V}' - \mathbf{J} \cdot \mathbf{V}' \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}')}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla (\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}') + \omega \frac{\partial (\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}')}{\partial p} = -(\mathbf{V}' \cdot \nabla \hat{\phi} + \hat{\mathbf{V}} \cdot \nabla \phi') + \mathbf{V}' \cdot \hat{\mathbf{F}} + \hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{F}' - \mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{V}} - \mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{V}} + \mathbf{I} \cdot \mathbf{V}' + \mathbf{J} \cdot \mathbf{V}' \quad (3)$$

其中

$$\mathbf{I} = -(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \hat{\mathbf{V}},$$

$$\mathbf{J} = -\omega \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial p} + \omega \frac{\partial \hat{\mathcal{V}}}{\partial p}$$

分别表示次天气尺度对天气尺度流场的水平和垂直作用.

为了便于研究,定义:

GKS = $-\hat{\mathbf{V}} \cdot \nabla \hat{\Phi}$ 为天气尺度气流穿越天气尺度等高线产生的天气尺度动能.

GKM = $-\mathbf{V}' \cdot \nabla \Phi'$ 为次天气尺度气流穿越次天气尺度等高线产生的次天气尺度动能.

GKMS = $-(\hat{\mathbf{V}} \cdot \nabla \Phi' + \mathbf{V}' \cdot \nabla \hat{\Phi})$ 为天气尺度气流穿越次天气尺度等高线和次天气尺度气流穿越天气尺度等高线产生的动能,即尺度相互作用动能.

VLI = $\mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{V}}$, VLJ = $\mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{V}}$ 为次天气尺度水平和垂直运动对天气尺度动能局地变化的贡献. $(\mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{V}} + \mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{V}})$ 为正值表示天气尺度动能增加,负值表示天气尺度动能减小.

VSI = $-\mathbf{I} \cdot \mathbf{V}'$, VSJ = $-\mathbf{J} \cdot \mathbf{V}'$ 为次天气尺度水平和垂直运动对次天气尺度动能局地变化率的贡献. $-(\mathbf{I} \cdot \mathbf{V}' + \mathbf{J} \cdot \mathbf{V}')$ 为正值表示为次天气尺度动能增加,负值表示为次天气尺度减小.

GK = GKS + GKM + GKMS 为总动能制造项.

$\mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{V}}$, $\mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{V}}$ 是动能 \hat{K} 和 $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 之间的转换函数,当 $\mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{V}}$ 与(或) $\mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{V}}$ 为正值时, \hat{K} 增加, $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 减小, $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 向 \hat{K} 转换,反之,转换方向相反.

$-\mathbf{I} \cdot \mathbf{V}'$, $-\mathbf{J} \cdot \mathbf{V}'$ 是动能 K' 和 $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 之间的转换函数,当 $-\mathbf{I} \cdot \mathbf{V}'$ 与(或) $-\mathbf{J} \cdot \mathbf{V}'$ 为正值时, K' 增加, $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 减小, $\hat{\mathbf{V}} \cdot \mathbf{V}'$ 向 K' 转换,反之,转换方向相反.

从动能方程(1),(2),(3)可以看出:

总动能的制造取决于天气尺度、次天气尺度运动动能的制造,即流线穿越同尺度等高线所取得的动能(GKS,GKM)和天气尺度、次天气尺度运动相互作用的动能制造,即流场穿越不同尺度等高线所取得的动能(GKMS).

相同尺度流场和高度场的相互作用只能引起该尺度系统自身动能的增减,而不能引起另一种尺度系统动能的变化. 不同尺度流场和高度场的相互作用只能改变 $(\hat{V} \cdot V')$,而不是 \hat{K}, K' .

在天气尺度和次天气尺度运动之间没有直接的动能传递,而是通过水平转换项(VLI, VSI),垂直转换项(VLJ, VSJ)与尺度相互作用动能 $\hat{V} \cdot V'$ 之间进行转换,以此实现动能的转换. 若转换项为正,说明 $\hat{V} \cdot V'$ 减小,而 \hat{K}, K' 增加,即 $\hat{V} \cdot V'$ 转换给 \hat{K}, K' ;若转换项为负,转换方向相反. 因此, $\hat{V} \cdot V'$ 起着中间的联系作用. 尺度分离动能方程各项之间联系可以由图3示意表示.

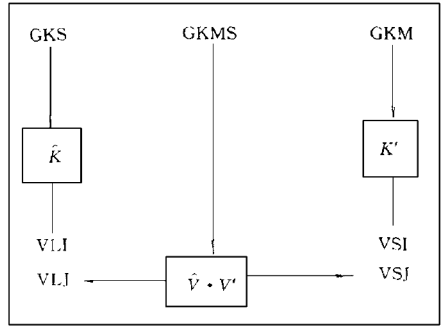


图3 尺度分离动能方程各项之间联系示意图

利用尺度分离动能方程进行诊断时,所取的资料点是以 $35^{\circ}\text{N } 115^{\circ}\text{E}$ 即网格(16,16)为中心的包含暴雨区所围成的 9×13 的网格资料,计算了暴雨过程的8月3日00:00 UTC、12:00 UTC,4日00:00 UTC、12:00 UTC,5日00:00 UTC 5个时次动能方程各项空间平均的垂直分布,以及高层(100~300 hPa),中层(300~700 hPa),低层(700~1000 hPa)及整层(100~1000 hPa)的 GKS, GKMS, GK, VLI, VLJ, VSI 和 VSJ.

2 环流特征

此次暴雨过程主要是受9608号台风和其减弱后的低气压以及高空槽的共同影响而造成. 从流场和高度场的迭加图(图4)可以看出台风及其低压在北上时,其东侧的西南气流和高压坝南侧的东南气流出现气流汇合,在气流的汇合区产生暴雨.

经尺度分离后可以发现大尺度流场上大尺度气流比较平滑(见图5a),台风低压中心位于网格(11,13)处,其右侧为副热带高压,暴雨区位于副高反气旋性环流的西侧. 在中尺度流场(图5b)上存在许多中尺度系统,强降雨带位于气旋环流的东北侧,气旋性环流从低层直至对流层顶附近.

暴雨过程中,大尺度流场稳定少变,所以此次暴雨是在稳定少变的大尺度环流背景下,不同强度的中尺度流场的迭加以及高空辐散作用的存在下出现的.

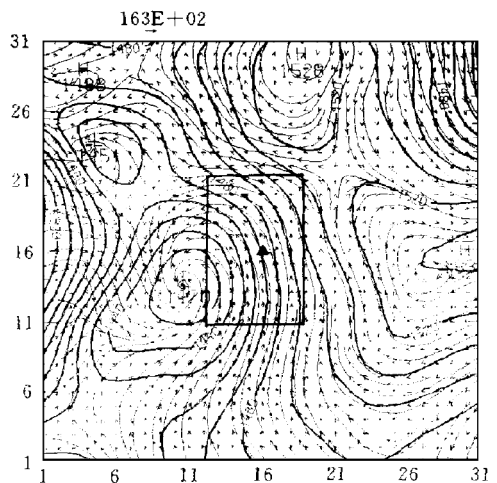


图4 暴雨发生时(8月4日00:00 UTC)850 hPa高度上流场和高度场的迭加图 (▲为暴雨中心 方框内为暴雨区)

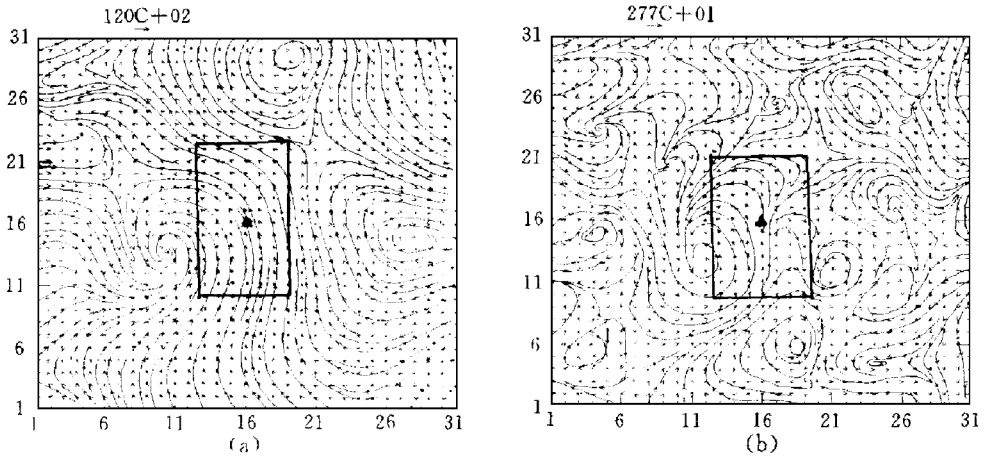


图5 1996年8月4日00:00 UTC 850 hPa 高度上的流场

(a)大尺度 (b)中尺度流场(说明同图4)

3 尺度分离动能方程对暴雨过程的诊断及其结果

3.1 动能产生项特点

和1994年华南特大暴雨过程一样^[6],由表1可见:“96.8”特大暴雨过程中,不同阶段各产生项的数值有较大差异.在暴雨发生前,整个对流层内动能的制造为 11.74 W/m^2 ,

表1 动能方程各项空间平均值(单位: W/m^2)

	层次/hPa	GKS	GKM	GKMS	GK	VLI	VLJ	VSI	VSJ
发生前	100~300	3.01	0.07	2.96	6.04	-0.04	0.03	0.18	0.00
	300~700	1.15	-0.17	0.85	1.83	-0.94	-0.09	0.32	0.02
	700~1000	1.39	0.02	2.46	3.87	-1.11	0.02	0.19	-0.02
	100~1000	5.55	-0.08	6.27	11.74	-2.09	-0.03	0.68	0.01
发生时	100~300	1.46	0.09	2.42	3.97	0.02	0.05	0.16	-0.04
	300~700	-0.44	0.00	-0.46	-0.90	-0.18	-0.02	0.16	0.00
	700~1000	1.95	0.22	2.82	4.99	-0.37	-0.03	0.07	0.02
	100~1000	2.97	0.31	4.78	8.06	-0.53	0.01	0.39	-0.02
发生后	100~300	0.22	0.17	2.17	2.56	0.24	0.09	0.23	-0.01
	300~700	0.05	0.10	-1.13	-0.98	-0.11	0.05	0.11	-0.01
	700~1000	1.38	0.09	0.50	1.97	-0.15	0.01	0.04	0.00
	100~1000	1.65	0.36	1.54	3.55	-0.02	0.15	0.38	-0.02

其中大中尺度相互作用产生项 GKMS 占总动能制造的 53.41% 左右,天气尺度产生项 GKS 占总动能制造的 47.27% 左右,而 GKM 为负值,其动能消耗为 0.68%. 中尺度动能

制造项 GKM 消耗的动能占 0.8%，可以认为在暴雨发生前 GKS 与 GKMS 动能起着重要作用，且主要表现于对流层高层。这表明高层天气尺度流场穿过等高线向暴雨区辐散而获得天气尺度动能，就大中尺度动能之间相互作用而言，中尺度风场向低压侧穿过大尺度等高线获得动能，中尺度运动流场则失去动能。总动能制造主要存在于高层(100~300 hPa)约占 51.4%，而其他各制造项 GKS, GKM, GKMS 也是在高层为最大。

在暴雨发生时(4日 00:00 UTC)，总动能在整个对流层内制造为 8.06 W/m^2 ，其中大中尺度相互作用产生项 GKMS 所制造的动能为 4.78 W/m^2 ，占动能总制造的 59.3%，大尺度运动产生项 GKS 产生的动能为 2.97 W/m^2 ，约占动能总制造的 37.85%，暴雨发生时总的动能制造比暴雨发生前要小，大中尺度相互作用产生的动能在总动能中的作用增大，而大尺度运动产生的动能相对减少，此时中尺度运动对总动能贡献也由消耗变为制造，只是其制造量较小。从层次分布上来看，暴雨发生时对流层低层(700~1000 hPa)在总动能制造中起着最重要的作用，为 4.99 W/m^2 ，约占总动能制造的 61.9%，中层出现动能的消耗。而对于制造项 GKS, GKM, GKMS 而言，都存在对流层高低层制造动能，中层消耗动能的现象，而且 GKMS 不论在动能的制造还是耗散方面与其它两项相比贡献都是最大的。

在暴雨发生后，整个对流层内总动能的制造大大减少，为 3.55 W/m^2 ，其中，贡献最大的为大尺度运动产生的动能为 1.65 W/m^2 ，占总动能的 46.5%，其次为大中尺度相互作用产生的动能为 1.54 W/m^2 ，此时中尺度运动也产生动能 0.36 W/m^2 ，约占 10.1%，相对暴雨发生时所占比例大些。总动能的制造主要表现于对流层的高层，其次为低层，中层还存在较大的动能耗散，GKS, GKM, GKMS 在对总动能的贡献中，在高层 GKMS 制造的动能明显高于 GKS 和 GKM 很多，在中层 GKS, GKM 制造动能，而 GKMS 却消耗动能，在低层三者都制造动能，只是 GKS 的数值相对大得多，可见，GKS 对 GK 贡献最大。

从以上动能制造项的分析可知，总动能 GK 由 3 部分组成，即 GKS + GKM + GKMS，在暴雨发生前，是能量大量积蓄的阶段，所以对流层总动能在暴雨发生前为最大，暴雨发生时，动能制造减小，暴雨发生后，动能制造仍继续减小，只是后者减小的幅度比前者大得多。在各阶段不同层次总动能制造也有差异，暴雨发生时，对流层低层制造总动能最多，暴雨发生前和发生后对流层高层制造的动能最多，暴雨发生前，在整个对流层动能都是制造的，暴雨发生时和发生后，对流层中层出现动能的消耗。

动能的 3 个制造项对对流层整层总动能的贡献在不同阶段也有不同。除了暴雨发生后 GKS 对 GK 的贡献最大外，在其它两阶段均是 GKMS 对 GK 的贡献最大；除了暴雨发生前 GKM 消耗动能外，暴雨发生时、后都是制造动能，只是制造量数值相对小些；对于不同层次上动能制造项而言，高低层都是制造动能，只是在中层出现动能的消耗，暴雨前是 GKM 消耗动能，暴雨时 GKS, GKMS 都消耗动能，而暴雨后是 GKMS 消耗动能的。

由整个暴雨阶段对流层整层总动能(GK)的变化可知(图略)，总动能的制造是逐渐减小的。暴雨过程 GKS 及 GKMS 的变化曲线与 GK 相似，而 GKM 的变化曲线正好相反，随时次逐渐增大，只是因为 GKM 本身数值很小，所以它的变化对总动能的变化产生的作用不明显。总动能 GK 及其制造项 GKS, GKMS, GKM 在暴雨过程各阶段的垂直分布廓线如图 6 所示。

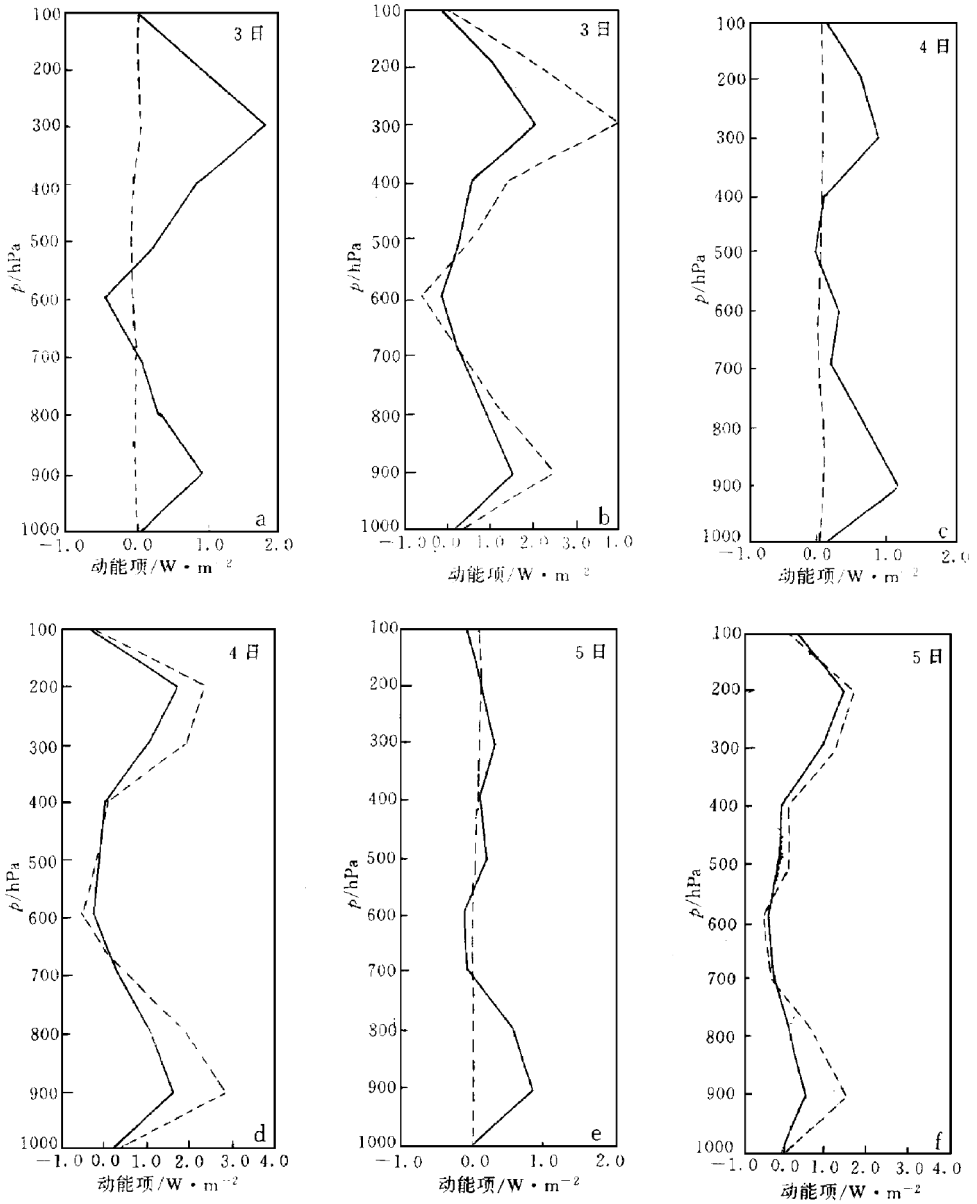


图6 暴雨过程各时次动能制造项的垂直分布廓线(单位: W/m^2)

(a)、(c)、(e)分别为3,4,5日00:00 UTC的GKS(实线)和GKM(虚线)

(b)、(d)、(f)分别为3,4,5日00:00 UTC的GKMS(实线)和GK(虚线)

从图6可见:总动能产生项GK廓线在各阶段相似,都存在两个峰值,一个在对流层高层,一个在对流层低层,且前者比后者大得多,这个结果与陈受钧^[4]的结果类似,且峰值随暴雨过程逐渐减小,而在对流层中层都存在一个负的最大值。

大尺度运动的动能制造项 GKS 及大、中尺度相互作用的动能制造 GKMS 项的垂直廓线显示的特征与 GK 的基本一致,即高、低层同层次上分别存在一个正的最大值,而中层存在一个负的最大值,且 GKMS 对 GK 的贡献最大;中尺度运动的动能制造项 GKM 的垂直分布仅在零附近摆动,不存在很明显的特征。

总之,从廓线上反映的是总动能产生项在高、低层为正,在中层为负;动能产生项 GKS, GKMS 变化与 GK 同步,对 GK 的贡献很重要,其中 GKMS 的贡献最大;GKM 的作用很小,说明大尺度运动及大中尺度之间相互作用的运动对动能的制造和消耗起着重要作用。

在暴雨的整个过程中,随着暴雨的产生、发展、减弱,动能的制造也逐渐变小,而 GKM 的变化不大。

3.2 动能转换项特征

由表 1 可以看出,动能的水平和垂直转换项都比动能制造项小,暴雨发生前和暴雨发生时,在对流层整层 VLI, VLJ 之和为负, VSI, VSJ 之和为正,说明此时天气尺度动能向尺度相互作用动能转换,而后者又向中尺度动能转换,且暴雨发生前动能的转换比暴雨发生时强得多。暴雨发生后 VLI, VLJ 之和, VSI, VSJ 之和都为正,此时动能由尺度相互作用动能向两种尺度动能转换;在整个暴雨过程中,暴雨前期由大尺度运动动能向尺度相互作用项转换,暴雨后期是尺度相互作用项向大尺度运动动能转换,也就是说此次暴雨过程是一种尺度增长的能量转化过程。这与蔡则怡的结果类似。从表 1 还能看出动能的转换过程随着暴雨的发生发展到减弱,是逐渐由低层向高层进行的,在动能的 4 个转换项中,水平转换项 VLI, VSJ 的数值变大,可见中尺度或天气尺度的水平运动在动能的转换过程中起着较为重要的作用,且以 VLI 的作用为最大。VLI 的垂直分布(图略)在低层 800 hPa

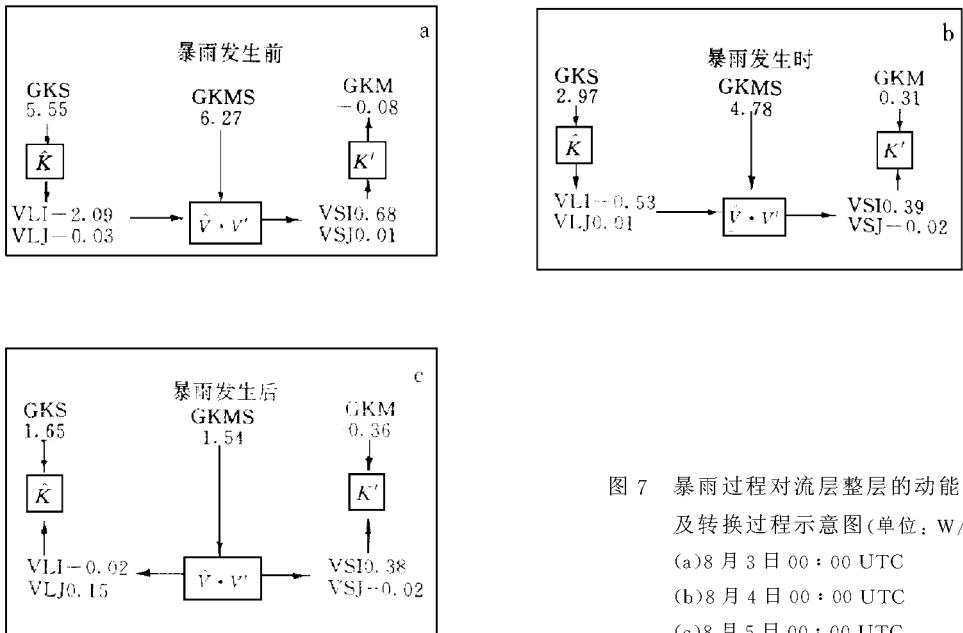


图 7 暴雨过程对流层整层的动能制造及转换过程示意图(单位: W/m^2)
(a)8月3日00:00 UTC
(b)8月4日00:00 UTC
(c)8月5日00:00 UTC

存在一个负的最大值,而高层 300 hPa 或以上存在一个正的最大值,且在暴雨过程中正负两最大值的数值逐渐减小,VLI,VSI,VSJ 的垂直分布没有很显著的特点.中尺度运动动能转换与大尺度运动动能转换之间没有直接的动能转换,而是通过尺度相互作用($\hat{V} \cdot V'$)来完成的,而直接的传递是由中尺度运动对天气尺度动能的贡献 VLI,VLJ 和大尺度运动对中尺度动能的贡献 VSI,VSJ 来进行的,称 VLI,VLJ,VSI,VSJ 为转换项,若转换项为正,说明 $\hat{V} \cdot V'$ 减小,而 \hat{K},K' 增加,即向 \hat{K},K' 转换;若转换项为负,说明 \hat{K},K' 向 $\hat{V} \cdot V'$ 转换,这在表 1 中已能清楚看出了.暴雨过程对流层整层的动能制造及转换过程示意图如图 7.

4 小 结

本文就“96.8”华北大暴雨过程,利用尺度分离方法进行动能方程的诊断,揭示了暴雨过程动能产生转换的特点,归纳如下:

(1)“96.8”暴雨是由北上的台风外围云系和南下的弱冷空气相互作用产生的特大暴雨.在大、中尺度流场上都表现出明显的特点,尺度分离的结果表明,此次暴雨出现于气旋环流与反气旋环流的汇合处.

(2)在特大暴雨过程中,不同阶段动能平衡方程的各项数值有较大的差异.暴雨过程中,总动能产生项 GK 逐渐减小,说明暴雨发生前是总动能充分积蓄的时期;暴雨发生时总动能制造主要源于对流层低层,而暴雨发生前后,主要源于对流层高层.暴雨发生前,发生时 GKMS 对 GK 贡献最大,发生后 GKS 对 GK 贡献最大,暴雨过程与总动能的制造尤其是天气尺度运动和大中尺度相互作用动能制造密切相关,随着总动能的减少,暴雨逐渐减弱.

(3)动能的 3 个制造项 GKS,GKM,GKMS 在暴雨过程中其大小逐渐减小,在高、低层天气尺度运动制造动能,在中层均消耗动能.

(4)暴雨过程动能转换项大小均小于制造项,暴雨发生前,发生时,动能由天气尺度动能向尺度相互作用动能转换,然后后者又向中尺度动能转换;在暴雨发生后动能是由尺度相互作用动能向大、中尺度运动动能转换,说明此次暴雨是一种尺度减小的能量转换过程.在转换项中,水平运动转换项 VLI 和 VSI 所起作用较大,其中以 VLI 最大.整个暴雨过程动能转换的大小逐渐减小,且在层次上是由低层逐渐向高层进行的.

(5)同种尺度运动只能引起该尺度系统自身动能增减,而不能引起另一种尺度系统动能的变化,一种尺度流场与另一种尺度高度场相互作用产生的动能仅仅是($\hat{V} \cdot V'$).不同种尺度(大、中尺度)之间没有直接的动能传递,但天气尺度动能与中尺度动能 \hat{K},K' 之间的转换是通过水平转换项(VLI,VSI),垂直转换项(VLJ,VSJ)与大中尺度运动($\hat{V} \cdot V'$)相互作用的动能之间进行转换的.

参 考 文 献

- Holopainen E and Nurmi P. Acceleration of a diffluent jet stream by horizontal sub-grid scale procession. *Tellus*, 1979, **31**: 246~248.
- 陈受钧,谢安. 次天气尺度与天气尺度系统之间动能交换的诊断分析. *气象学报*, 1981, **39**(4): 408~415.

- 3 Carney T Q and Vincent D G. Meso-synoptic scale interactions during AVE/SESAME 1 10~11, April 1979. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**:353~370.
- 4 Chen Shoujun, Bai Lesheng and Kung E C. An approach to kinetic energy diagnosis of meso-synoptic scale interactions. *Mon. Wea. Rev.*, 1990, **118**:2774~2780.
- 5 Maddox R A. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. *Mon. Wea. Rev.*, 1980, **108**:1108~1121.
- 6 蔡则怡. 9403号强热带风暴雨的大、中尺度运动相互作用. 研讨会技术组编. 1994年华南特大暴雨洪涝学术研讨会论文集. 北京:气象出版社. 1996. 57~61.

DIAGNOSIS OF "96.8" TORRENTIAL RAIN WITH THE SCALE-SEPERATION KINETIC ENERGY EQUATION

Yu Yubin Yao Xiuping

(Beijing Meteorology College, Beijing 100081)

Abstract

Using the scale separation kinetic energy equation, the generations and transformations of kinetic energy during the torrential rain process of North China in August 1996 are calculated. The results show that during the developing process of "96.8" torrential rain, the kinetic energy was gradually decreased, and so was the kinetic energy transformation. Before the torrential rain, GKMS played the most important role, and GKS the second, whereas GKM dissipated a few energy. During the torrential rain, GKMS produced the energy, but less than before apparently, GKM also produced energy, the energy conversions mainly came from low level. After the torrential rain, the producers of the kinetic energy were still greater than zero, at that time GKS was the most important one and the amount was less than the first two periods, and the conversions appeared over upper level. It is shown that during the torrential rain process the total producers of kinetic energy were always positive, they mainly appeared over high level, but the amount of kinetic energy was decreased gradually. The conversion of kinetic energy was from low level to high level, the horizontal term played the main role, and it was an energy transformation process of scale reduction.

Key words: Scale-seperation Kinetic energy Production Transformation