

1991 年江淮梅雨的湿有效能量分析*

刘延英 仪清菊 周 丽 徐祥德

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

利用新给出的湿有效能量的表达式计算了 1991 年 5~7 月亚洲地区逐日的湿有效能量。结果表明: (1) 亚洲地区的湿有效能量变化特点能很好地揭示该地区春向夏的季节转变; (2) 江淮地区入梅前后湿有效能量有显著差异, 入梅前该地区湿有效能量低, 梅雨期湿有效能量高; (3) 1991 年江淮地区 3 段持续性暴雨在湿有效能量上有明显反映, 暴雨发生在江淮地区大气对总湿有效能量贡献大的时段。

关键词: 湿有效能量, 梅雨, 暴雨。

1 引 言

对于 1991 年 5~7 月江淮地区梅雨期的连续性暴雨, 许多学者进行了较全面和深入的研究, 发表了大量研究论文, 并编辑出版了专著^[1]。但是, 这些论文和著作都没有涉及到湿有效能量与梅雨及暴雨的关系。因此这次梅雨的湿有效能量特点及其与暴雨的关系至今还不清楚。本文欲在这方面进行尝试。

2 湿有效能量计算方法

计算湿有效能量(MAE)有多种方法。最初, Lorenz 用图解法计算, 之后又提出数值解法^[2,3]。1983 年, 吴宝俊给出了 MAE 的近似表达式^[4]。1993 年刘延英在质量守恒和 θ_{se} 保守的条件下, 在一个有限球面区域里求出参考状态气压并给出计算 MAE 的表达式^[5], 用于计算分析台风系统的 MAE, 取得很好效果。本文分析的 MAE 就是采用最后一种方法计算出来的, 其表达式如下:

$$MAE_{\Sigma} = \frac{c_p}{g} \iint_{\Sigma} \int_{p_1}^{p_2} [1 - (\frac{p}{p_1})^{\kappa}] T_{se} dp d\Sigma \quad (1)$$

$$MAE_o = \frac{c_p}{g} \iint_o \int_{p_1}^{p_2} [1 - (\frac{p}{p_1})^{\kappa}] T_{se} dp d\sigma \quad (2)$$

$$A_{mk} = \frac{c_p}{g} [1 - (\frac{p}{p_1})^{\kappa}] T_{se} \quad (3)$$

* 初稿时间: 1998 年 3 月 13 日; 修改稿时间: 1998 年 10 月 19 日。

资助课题: 高原攀登 B 课题和 95-专-03 攀登专项课题。

其中 $T_{sc} = \theta_{sc} \left[\frac{p}{1000} \right]^\kappa$, $\kappa = \frac{R}{c_p}$, MAE_Σ 为整个封闭区大气总湿有效能量, MAE_o 为局部地区大气对 MAE_Σ 的贡献, A_{mk} 为单位重量气块对 MAE_Σ 的贡献, 其它为惯用符号。

用上述方法计算出的 MAE , 不但数值量级与 Lorenz 的相同, 而且符合湿有效能量的本来意义。

取有限区域 A 区 ($0 \sim 60^\circ N, 50 \sim 150^\circ E$)、B 区 ($7.5 \sim 55^\circ N, 70 \sim 142.5^\circ E$)、C 区 ($15 \sim 47.5^\circ N, 85 \sim 135^\circ E$) 和 D 区 ($22.5 \sim 40^\circ N, 100 \sim 130^\circ E$) 作为封闭空间, 计算每个时刻的参考气压, 进而计算出相应区域大气的 MAE_Σ 。图 1 给出了不同封闭区总湿有效能量 (MAE_Σ) 随时间的变化曲线。从图 1 可见, 尽管各区域面积大小不同, 但是每个区域里的大气每时每刻总是具有湿有效能量。这是因为在足够大的范围内的真实大气, 总是包含着具有湿斜压性和(或)对流不稳定性的部分。按照有效能量观点, 当把一封闭大气调整到正压和稳定状态(参考状态)时, 该真实大气相对参考状态的能量就是该真实大气的总的有效能量。因此不同封闭区域里总湿有效能量恒为正值。在以往的文献中, 有效能量有时会出现负值的情况, 那是指一部分大气对整个封闭大气总有效能量的贡献而言的。为了方便起见, 常把它简称为有效能量。本文下面也会用到这种有效能量概念。为了区分上述两种不同概念, 本文特增加了式(1)。这里再约定, 只要不特指是整个封闭区的总湿有效能量 (MAE_Σ) 就是一部分大气对整个封闭区大气总湿有效能量的贡献 (MAE_o 或 A_{mk})。

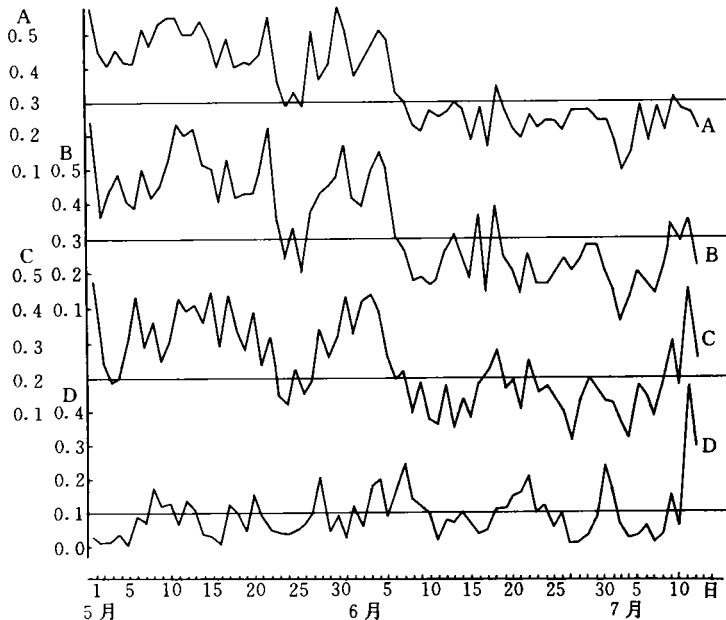


图 1 1991 年 5 月 1 日~7 月 12 日不同区域的 MAE_Σ (单位: $10^5 J/m^2$, 下同)

3 亚洲春夏季节转变的标志

一般 6 月初大气环流有一次突变。在亚洲, 这种现象表现在青藏高原南侧的西风急流

消失,印度的西南季风开始爆发,高原上空建立起一个副热带高压脊,并在亚洲南部上空建立一支高空东风急流^[6,7]。1991 年印度的西南季风爆发于 6 月上旬中,亚洲大气环流发生了突变。亚洲大气环流突变时,能量场上有什么表现,是湿有效能量研究必须回答的问题。从图 1 可见,1991 年 6 月 7 日前后 3 个较大封闭区计算出的 MAE_{Σ} 有很大差别:6 月 7 日前后 A 区基本上分别维持在 $40 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ 和 $30 \times 10^3 \text{ J/m}^2$, B 区也在 $40 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ 和 $30 \times 10^3 \text{ J/m}^2$, C 区在 $30 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ 左右和 $20 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ 。两天左右时间内湿有效能量减少了 20% 以上。故可根据亚洲地区 MAE_{Σ} 的这个变化,确定 6 月 7 日是 1991 年亚洲大气环流能量变化的突变日。从这一天起,亚洲地区从春季进入大气斜压性较小的夏季。从图 1 还可见到,并不是任何区域的 MAE_{Σ} 都能反映亚洲地区的季节变化,最小封闭区 (D) MAE_{Σ} 没有季节性的陡减现象。这说明这个小封闭区 MAE_{Σ} 的变化不能反映面积比它大得多的亚洲地区总体的季节改变。

图 2,3 给出了亚洲大气环流突变前后各 20 d 的 500 hPa 上湿有效能量 (A_{mk} 以 A 区为封闭调整区,下同) 的平均值。从图可见,突变前湿有效能量零值线约在 30°N , 印度半岛是同纬度的低值区;突变后整个零值线北抬 5 个纬度,印度半岛变成高值区,而且青藏高原成为高能量中心所在地。

4 江淮梅雨期的湿有效能量

按照中央气象台长期预报科的统计标准^[8],1991 年江淮地区于 5 月 18 日入梅^[1]。梅雨期由 3 段组成,即第 1 阶段 5 月 18~26 日,也叫早梅期;第 2,3 阶段分别为 6 月 2~19 日和 6 月 30 日~7 月 13 日,后两段为典型梅雨期。众所周知,梅雨期的天气气候特点是

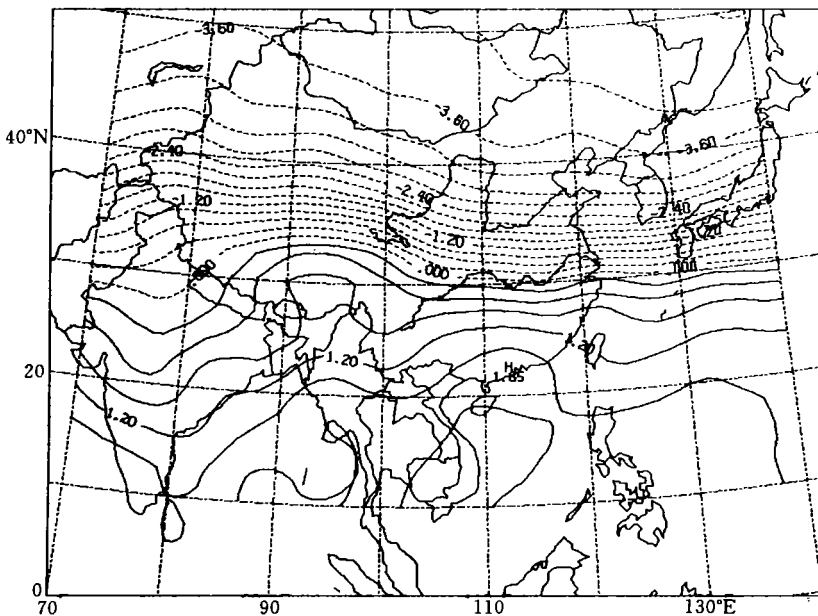


图 2 1991 年 5 月 1~20 日 500 hPa 上 A_{mk} ($10^3 \text{ J/hPa} \cdot \text{m}^2$, 下同) 的平均分布

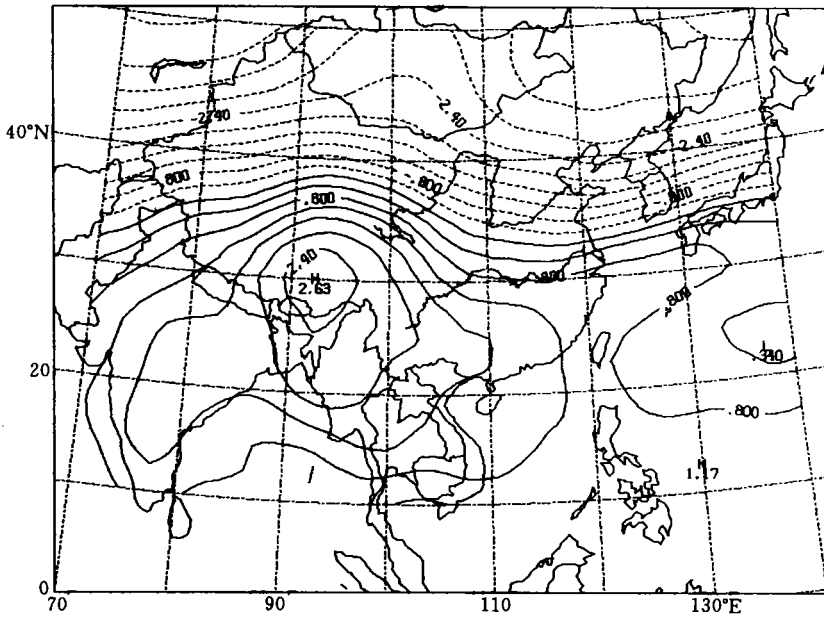


图3 1991年6月6~25日500 hPa上 A_m 的平均分布

高温、高湿和多阴雨。从湿有效能量观点看,梅雨期应是高能量时段。图4给出了5月1日到7月13日江淮地区(27~33°N,110~123°E,约 10^6km^2)的湿有效能量(MAE_e)的变化。从图可见,5月18日前后 MAE_e 的数值有明显差别:入梅以前在0左右且长期稳定,入梅以后数值大于0;特别是3段梅雨期, MAE_e 值大多在5以上。从该地区湿有效能量演变看,3段梅雨期的能量特点是清楚的,把1991年的入梅日定在5月18日是恰当的。

从每天的湿有效能量图(图略)上看出,江淮梅雨期的能量来自青藏高原和中南半岛。在对流层中层,梅雨期青藏高原上空一直存在一高能量中心(图3),它是梅雨期对流层中

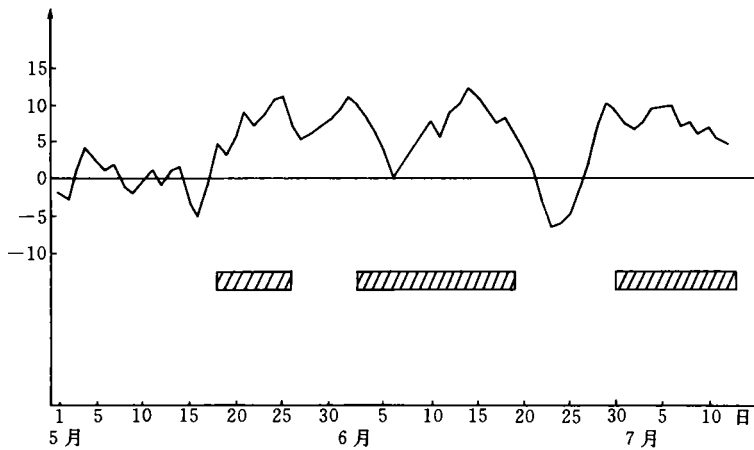


图4 1991年江淮地区梅雨前后 MAE_e (10^5J/m^2) 演变曲线
(图下阴影为梅雨期)

层的能量源地。进一步分析,这个高能量中心的形成机制在不同梅雨期是不同的:典型梅雨期,其中心能量主要来自于对流层下层的孟加拉国和东印度地区;早梅期,高能量中心的产生和输送机制与朱福康和赵卫的分析结果一致,即青藏高原的加热作用首先加热当地大气然后逐渐向东扩展^[9]。在对流层下层,中南半岛北部(图 5,6)是江淮梅雨期的能量

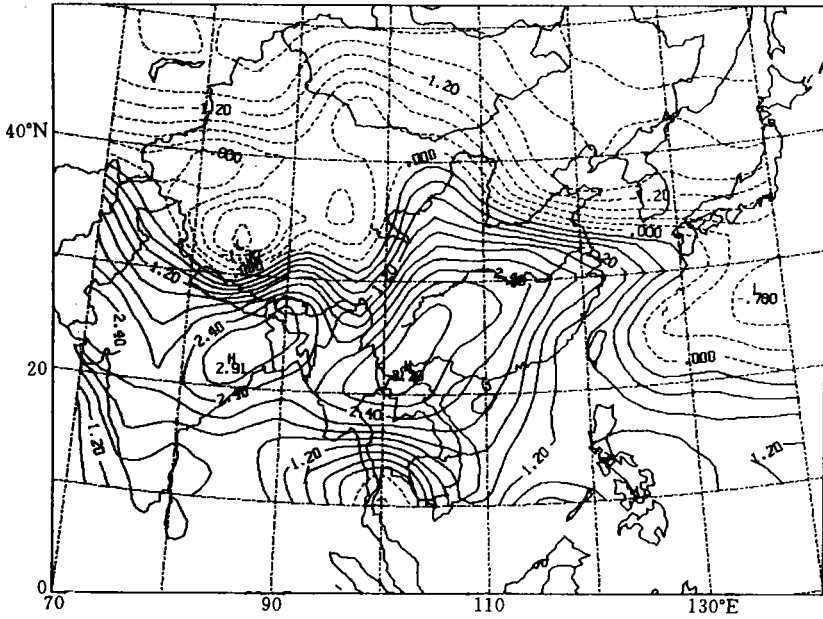


图 5 1991 年 6 月 11~15 日 700 hPa 上 A_{mk} 的平均分布

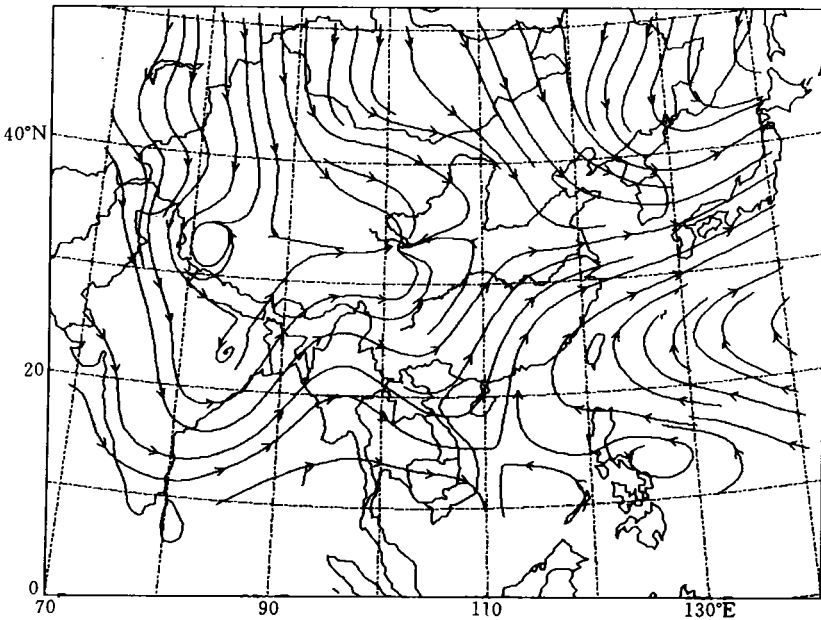


图 6 1991 年 6 月 11~15 日 700 hPa 上平均流场

源地。典型梅雨期,能量由来自印度洋的西南季风输送。而早梅期,尽管梅雨云雨带南侧亦为西南气流,但气流的上游是中纬度西风带的西风和南海南部的东南季风。这时候西南季风尚未爆发,印度地区仍被西北季风所控制(图7)。

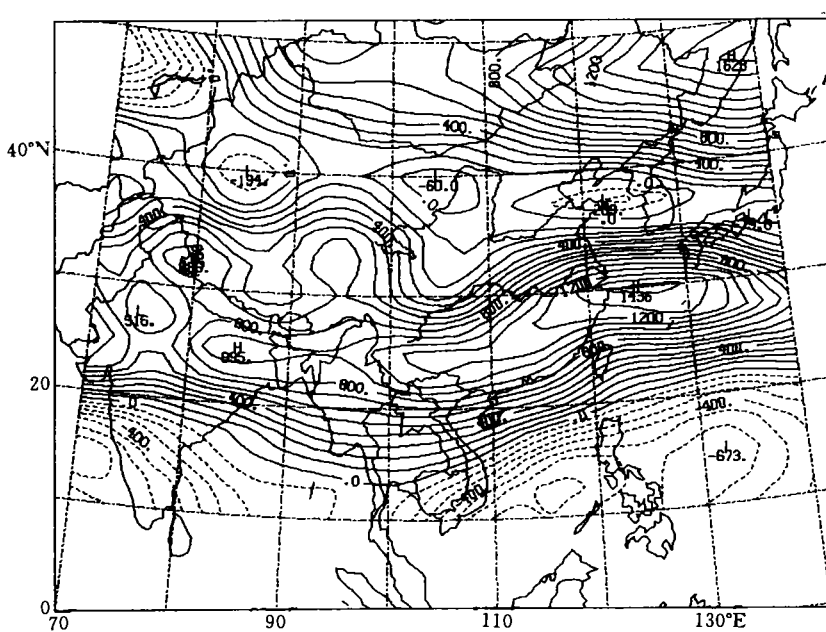


图7 1991年5月20~24日700 hPa上平均流场

总的来说,江淮梅雨期(含早梅期),江淮地区的 MAE_e 处于高值时段(见图4)。从亚洲地区总湿有效能量 MAE_{Σ} (图1)来看,早梅期与典型梅雨期不同,典型梅雨期 MAE_{Σ} 处于低值阶段,是夏季能量型;而早梅期主要处于 MAE_{Σ} 的高值时段内,是春季能量型。但是,作为亚洲大陆一部分的江淮地区,过早地进入大气斜压性较小的夏季,它就不可能不影响亚洲地区的 MAE_{Σ} 。从图1可见,在亚洲大气环流突变之前,正是在江淮早梅期, MAE_{Σ} 呈现出夏季的数值。从 MAE_{Σ} 数值看,早梅期也是梅雨期。不过,在早梅期时,亚洲地区 MAE_{Σ} 的夏季数值是滞后的,其维持时间也比早梅期短。这是1991年江淮早梅期不同于典型梅雨期又一个能量特点。

5 持续性暴雨的湿有效能量

在1991年5~7月江淮梅雨季节里,暴雨持续之长,雨量之大,影响范围之广皆为本世纪所罕见。这次江淮梅雨暴雨主要由3段持续性暴雨所组成(图8,图中竖线为降水量),3段持续性暴雨一段比一段强。将最大平均日雨量与江淮地区 MAE_e (图4)对照,可以发现3段持续性暴雨当天江淮地区 MAE_e 在 $5(10^5 \text{ J/m}^2)$ 以上(占28/29)。

图9,10是一段持续性暴雨 A_{mk} 的经向垂直剖面分布和经向垂直环流的平均情况。从图可见,江淮雨带上空为深厚正值能量层。雨带以北为强的能量锋区。暴雨带位于能量锋区南侧的上升运动区里。暴雨过程就是通过这种正的垂直环流释放湿有效能量的。

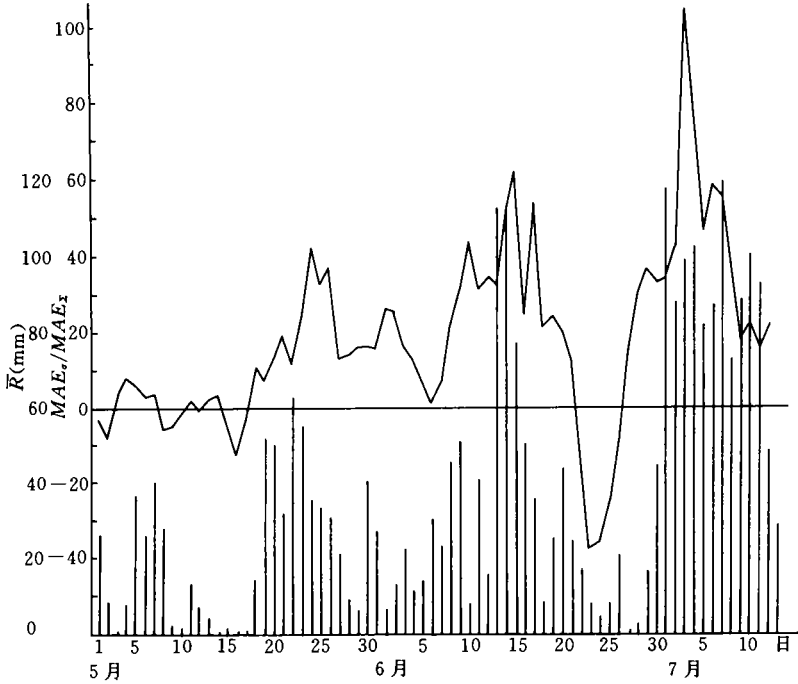


图8 1991年5月1日~7月13日江淮地区最大日降水量10个站的平均值(单位:mm)及MAE相对值(MAE_o/MAE_Σ)

由于 MAE_o 和 A_{mk} 都是一部分大气对整个封闭区大气总湿有效能量 (MAE_Σ) 的贡献。衡量它们贡献的大小,就需要一个标准。从理论上讲,一方面,要看 $MAE_o(A_{mk})$ 的数值大小,另一方面,更重要的是看 $MAE_o(A_{mk})$ 在 MAE_Σ 中所占的比例。在以往的文献里,用 MAE 和 A_{mk} 分析预报暴雨时,只强调前者而不提后者^[10,11],是不够全面的。此外,从图4可见, MAE_o 量本身与降水量也没有明显的对应关系。因此,不能单独用 MAE_o (或 A_{mk}) 的量值来推测暴雨的强度。

图8上面的曲线是江淮地区平均单位面积气柱的 MAE_o 相对于整个封闭区平均单位面积气柱的 MAE_Σ 的比值(即 MAE_o/MAE_Σ)。比值越大,前者对后者的贡献就越大。从图可见,比值曲线亦有3个主峰,它们恰好对应着3段持续性暴雨。

如前所述,1991年江淮早梅雨开始比亚洲大气环流突变来得早。不但如此,就连中央气象台确定的典型梅雨开始时间也比亚洲大气环流突变早一周。从1991年5~7月江淮地区降水量大小、3个较大封闭区的 MAE_Σ 的变化以及江淮地区 MAE_o 对 MAE_Σ 的贡献来看,若把第1阶段典型梅雨开始日定在6月8日,江淮典型梅雨期与亚洲大气环流突变后的大气状态就协调一致了。

6 讨论与小结

短期天气分析表明,降水常发生在温度锋或露点锋附近的高温高湿地区和对流不稳

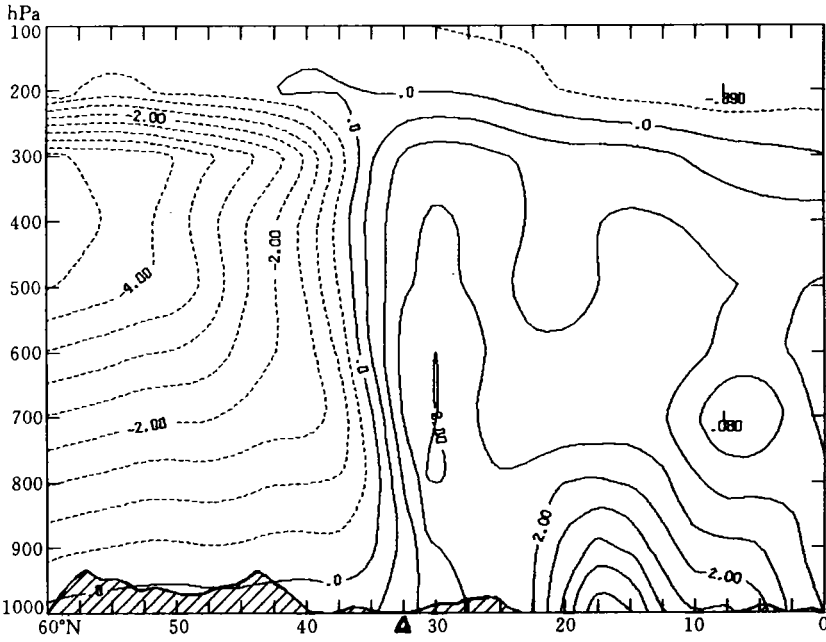


图9 1991年6月11~15日 A_{mk} 经向(117.5°E)垂直剖面图
(图下三角为雨带中心线, 下图同)

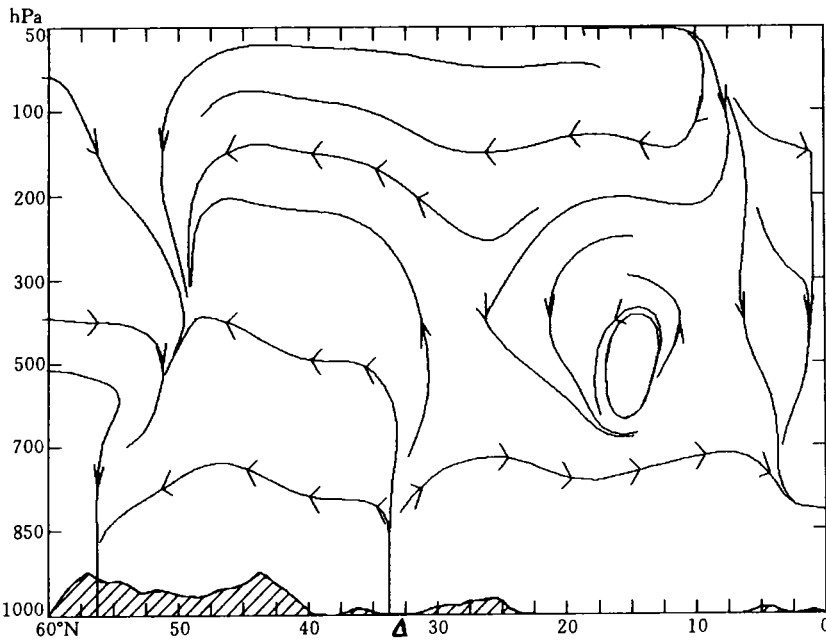


图10 1991年6月11~15日(117.5°E)垂直环流

定区,这种环境场也正是湿有效能量存在的条件。大范围的强降水还需要一个大尺度环流背景。这个大尺度环流背景的特点是:大尺度环流的空间尺度比降水系统的尺度大得多,前者的变化影响后者;这个环流背景所在的区域是一个有限区域。这两个特点使我们在一个有限区域里计算湿有效能量变得有意义。这可从本文的分析结果得到进一步证明。

1991年5~7月亚洲地区每天的湿有效能量变化表明:比江淮梅雨区面积大许多的A、B和C区的湿有效能量变化均能反映亚洲地区春到夏季节的突变,亚洲地区湿有效能量春季远高于夏季,从高到低只有两天左右的变化时间。江淮地区入梅前后湿有效能量亦有显著差异,入梅前该地区湿有效能量低,梅雨期湿有效能量高。1991年,江淮地区3段持续性暴雨在湿有效能量上有明显反映,而且一段比一段更强烈。由此可见,上述结果对亚洲每年春夏季节的区分、江淮地区梅雨期的划分和预报有着实际参考意义。

参考文献

- 1 丁一汇主编. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京:气象出版社. 1993
- 2 Lorenz E N. Available energy and the maintenance of moist circulation. *Tellus*. 1978. 30: 15-31
- 3 Lorenz E N. Numerical evaluation of moist available energy. *Tellus*. 1979. 31: 230-235
- 4 吴宝俊. 湿比有效位能的近似表达式. *自然杂志*. 1983. 315
- 5 刘延英等. 一个内陆台风的湿有效能量分析. *应用气象学报*. 1995. 6(1): 63-69
- 6 叶笃正等. 在六月和十月大气环流的突变现象. *气象学报*. 1958. 29(4): 249-263
- 7 陶诗言等. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系. *气象学报*. 1958. 29(2): 119-134
- 8 徐群. 近80年长江中下游的梅雨. *气象学报*. 1965. 35(4): 507-510
- 9 朱福康. 赵卫. 青藏高原地区净辐射对大气环流作用的一些观测事实. *青藏高原气象科学实验文集(三)*. 北京:科学出版社. 1987. 54-61
- 10 吴宝俊. 湿有效位能及其在暴雨分析和预报中的应用. *气象*. 1982. 8(11): 4-7
- 11 刘延英等. 1990年京津冀三次暴雨的分析. *应用气象学报*. 1993. 4(3): 350-355

A ANALYSIS OF THE MOIST AVAILABLE ENERGY DURING THE MAIYU PERIOD IN 1991

Liu Yanying Yi Qingju Zhou Li Xu Xiangde

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, 100081)

Abstract

Used a formula developed by author, the daily moist available energy in East Asia is computed from May to July in 1991. The evolution characteristics of the moist available energy and its relation with the three rainy intervals are briefly studied. The main results are as follow: 1) The evolution characteristics of the moist available energy in the East Asia can reveal the season change from spring to summer. 2) The evolution of moist available energy

over the Yangtze-Huaihe River oscillated obviously, the moist available energy is low in the pre-maiyu period but high during the maiyu period. 3) There are three periods of torrential rain which correspond with the peaks of the moist available energy over the Yangtze-Huaihe River.

Key words: Maiyu period, Moist available energy, Torrential rain.

拥有信息资源,才能拥抱知识经济时代!

3500种中英文社科、科技核心与专业特色期刊全文集成,100万篇理论与应用学术文献按学科专业聚类,80多个专题数据库,180多张光盘,分别面向党、政、军、企、科、教、文、卫决策管理与教育科研。

'98《中国学术期刊(光盘版)·专题文献数据库》宣布发行

《中国学术期刊(光透版)·专题文献数据库》理工系列光盘一览表(97、98年光盘)

序号	专题库名	97年光盘					98年光盘					(97年+98年)光盘		
		文献数 (篇)	刊源统计		光盘数 (片)	订价 (元)	文献数 (篇)	刊源统计		光盘数 (片)	订价 (元)	文献数 (篇)	光盘数 (片)	订价 (元)
			刊种	本数				刊种	本数					
A1	数学	4360	460	1180	1	480	5140	530	1340	1	530	9500	2	1010
A2	力学	1440	290	600	1	240	1510	320	640	1	260	2950	2	500
A3	物理学	3650	480	1150	1	480	5180	540	1420	1	530	8830	2	1010
A4AB	生物学	7590	1220	2940	2	960	8310	1270	2990	2	960	15900	4	1920
A5ABC	地球科学*	5410	580	1280	3	580	8810	650	1380	3	980	14220	6	1560
A6	地球物理学、地理学、天文学	1240	180	360	1	200	1500	270	750	1	220	2740	2	420
A7AB	无线电电子学、电讯技术	6430	720	1810	2	960	6480	730	1860	2	960	12910	4	1920
A8	计算机	5220	660	1630	1	580	7220	890	2020	1	960	12440	2	1540
A9AB	自动化技术**	8050	1140	2830	2	1440	4250	700	1560	2	480	12300	4	1920
B1AB	化学	5430	870	1870	2	580	5530	890	1910	2	640	10960	4	1220
B2	无机化工与新型材料	4430	530	1310	1	580	5580	630	1470	1	640	10010	2	1220
B3AB	有机化工与新型材料	7530	910	2220	2	960	8580	960	2430	2	980	16110	4	1940
B4	矿业工程	4120	320	790	1	480	5520	400	950	1	530	9640	2	1010
B5	石油、天然气工业	1440	160	310	1	240	2500	240	510	1	260	3940	2	500
B6	冶金工业	1270	180	390	1	200	1530	200	420	1	220	2800	2	420
B7AB	金属学、金属工艺	4710	580	1400	2	580	5620	590	1470	2	640	10330	4	1220
B8	燃料化工与其它化学工业	1580	330	660	1	300	2130	400	800	1	330	3710	2	630
B9	轻工业、手工业	4050	530	1100	1	480	4310	550	1200	1	530	8360	2	1010
B10	劳动保护科学***	4310	660	1340	1	480	1280	210	560	1	200	5590	2	680
B11	环境与资源	—	—	—	—	—	4200	560	670	1	680	4200	1	680

(转 757 页)