

文章编号:1004-9045(2008)04-0313-07

梅雨期武汉两类暴雨“配料”特征的对比分析

李武阶,李俊,石燕,冯光柳

(中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

摘要:选取 1998—2005 年 6—7 月武汉市的 17 次暴雨过程,根据暴雨发生的机理,将武汉暴雨划分为两种主要类型,即由对流有效位能释放产生的浮力抬升引发的暴雨以及由大尺度动力强迫抬升引发的暴雨。分析表明:梅雨期武汉市 65% 的暴雨过程是由浮力抬升引起的;对流有效位能、 K 指数、可降水量、中高层平均相对湿度等物理量对武汉市梅雨期暴雨预报有很好的指示意义。通过两类暴雨发生前配料特征的对比分析,揭示了两类暴雨的温湿度条件、大气层结状况以及不稳定能量积聚等方面存在的异同点。

关键词:暴雨;配料;水汽;对流有效位能

中图分类号:P458.1*21.1

文献标识码:A

1 引言

梅雨锋暴雨历来是我国气象学家研究的重点^[1-6],其预报也始终是我国气象科研与业务工作者面临的具有挑战性的问题。近年来,李俊、李武阶等^[7]将“配料法”引入到梅雨锋暴雨分析预报中,通过对一次典型暴雨过程的分析,阐述了单站暴雨过程中所选配料的演变特征及其与暴雨的关系以及区域性暴雨发生前的配料分布特征。那么,所选配料与暴雨的关系是否具有普遍性,必须经过大量暴雨个例的合成分析才能得以验证和完善。对于每一次暴雨过程,无论其天气形势如何不同,都具有共同的基本配料,但对于不同类型的暴雨天气过程,由于其形成的内在机制不尽相同,其配料建立的过程也不尽相同。陶诗言、张小玲等^[8]根据观测分析研究,概括出长江流域梅雨锋上主要有三类暴雨,即梅雨锋上 β 中尺度的对流性暴雨、梅雨锋东部(115°E 以东)的初生气旋暴雨和梅雨锋西端深厚高空低压槽前部的持续性强暴雨。前一类暴雨局地性特征明显,其范围一般小于 300 km,暴雨的瞬时强度大,暴雨发生所需的强上升运动由局地强的对流有效位能(CAPE)释放的浮力抬升引起。后两类暴雨的共同点在于都有明显的大尺度强迫过程,使持续暴雨所需的垂直上升运动得以维持。显然,上述三类暴雨主要是根据暴雨发生的地域来划分的。针对同一地区的暴雨,如果按照不同的标准(如天气类型、发生的时间、内在机制等)来划分,将会得出不同的暴雨类型。本文将以前一类暴雨为例,根据暴雨发生的机理,将武汉暴雨划分

为两种主要类型,即由对流有效位能($CAPE \geq 1000$ J/kg)释放产生的浮力抬升引发的暴雨(以下简称为“第一类暴雨”或“浮力抬升暴雨”)以及由大尺度动力强迫抬升引发的暴雨($CAPE < 500$ J/kg)(以下简称为“第二类暴雨”或“强迫抬升暴雨”)。共挑选 1998—2005 年 6—7 月武汉市的 17 次暴雨过程,其中 11 次属于第一类暴雨,6 次属于第二类暴雨,可见梅雨期武汉地区的暴雨过程发生时多为对流性的暴雨,占 65%。下面分别就武汉两类暴雨发生前的配料特征进行对比分析,探讨两者之间的异同点,为武汉单站暴雨的预报提供思路。所选暴雨配料与文献^[7]相同,主要包括:可降水量(PW)、整层平均相对湿度(MRH)、对流有效位能($CAPE$)、对流抑制能量(CIN)、 K 指数(KI)、最有利抬升指数(BLI)等。

2 第一类暴雨的配料特征分析

表 1 是第一类暴雨 11 次过程发生初始时刻的配料计算结果,其中 DATE 和 TIME 分别表示过程发生的日期和初始时刻(北京时), R_{24} 和 R_{12} 分别表示起始时刻之后 24 h 和 12 h 的降水量(mm), PW 为可降水量(mm), PW_{24} 为可降水量前 24 h 的变化量(mm), PW_p 为可降水量占当月气候平均值的百分比(%), RH_1 、 RH_2 分别表示整层(地面至 300 hPa)以及中高层(700—300 hPa)平均相对湿度(%), RH_3 、 RH_4 分别表示整层和中高层平均相对湿度前 24 h 的变化量(%), BLI 、 KI 、 $CAPE$ 、 CIN 分别代表最有利抬升指数(°C)、 K 指数(°C)、对流有效位能(J/kg)和对流抑制能量(J/kg), θ_{sc} 表示地面假相当位温(K)。

收稿日期:2008-09-10;定稿日期:2008-09-27

基金项目:湖北省科技攻关计划项目(2003AA308B01)、中国气象局武汉暴雨研究所暴雨基金项目(IHR2005K04)共同资助

作者简介:李武阶,男,1968 年生,副研究员,主要从事暴雨分析与预报技术研究。E-mail:liwuji@whhr.com.cn

表 1 武汉市第一类暴雨 11 次过程的配料计算结果

DATE	TIME	R_{24} (mm)	R_{12} (mm)	PW_{24} (mm)	PW (mm)	PW_p (%)	RH_4 (%)	RH_2 (%)	RH_3 (%)	RH_1 (%)	BLI (°C)	KI (°C)	$CAPE$ (J/kg)	CIN (J/kg)	θ_{sc} (K)
1999-06-22	20 时	111.6	103.9	27.2	66.3	138.1	26.3	78.8	31.6	82.1	-3.0	35.0	1781.4	10.0	363.0
2000-06-22	08 时	69.3	69.3	-0.2	51.3	106.8	-21.5	43.0	-7.6	65.0	-5.0	36.0	1846.7	13.5	352.7
2003-06-22	20 时	100.5	96.3	-4.0	59.5	123.9	-2.5	67.3	-5.5	67.0	-3.0	35.0	1737.4	31.4	360.8
2004-06-23	08 时	74.6	29.5	22.7	56.9	118.6	46.0	71.3	33.7	74.3	-3.0	28.0	1439.7	47.4	361.1
2005-06-25	20 时	103.2	43.3	18.3	59.8	124.6	41.8	70.3	27.4	69.4	-5.0	37.0	3166.4	1.0	366.0
1998-07-16	20 时	72.3	72.3	4.4	65.5	113.0	3.5	53.8	3.7	60.6	-5.0	39.0	2567.5	51.7	369.5
1998-07-20	20 时	285.7	145.5	24.3	71.7	123.7	48.3	70.0	28.9	73.1	-4.0	39.0	2617.2	29.3	373.9
1998-07-28	20 时	83.4	26.4	14.9	74.6	128.6	30.8	82.8	20.9	84.6	-6.0	39.0	3588.8	8.7	374.7
2003-07-08	08 时	99.9	79.2	25.3	66.7	115.1	60.5	87.5	29.5	88.6	-3.0	41.0	1086.6	45.9	356.3
2004-07-10	08 时	58.9	10.9	7.9	59.5	102.6	53.3	85.8	29.6	84.0	-4.0	38.0	2159.3	39.2	357.2
2004-07-17	20 时	77.5	39.0	18.5	65.6	113.2	21.5	75.3	20.3	77.3	-2.0	37.0	1114.7	40.1	360.6
6 月平均				12.8	58.8	122.4	18.0	66.1	15.9	71.6	-3.8	34.2	1994.3	20.7	360.7
7 月平均				15.9	67.3	116.0	36.3	75.9	22.2	78.0	-4.0	38.8	2189.0	35.8	365.4
6-7 月平均				14.5	63.4	118.9	28.0	71.4	19.3	75.1	-3.9	36.7	2100.5	28.9	363.3

由表 1 可见,第一类暴雨发生前水汽条件比较充足,表现在:(1)91%的暴雨过程可降水量 $PW > 56$ mm,尤其是 7 月几乎所有过程的可降水量 $PW \geq 60$ mm,最大可降水量达 74.6 mm;6、7 月平均可降水量分别为 58.8、67.3 mm;(2)所有过程的可降水量都达到多年平均的 100%以上,其中 82%的过程超过 110%;6、7 月过程平均的 PW_p 分别达到 122%和 116%,且最大 PW_p 分别达 138%和 129%。(3)64%的过程整层平均相对湿度超过 70%,中高层平均相对湿度超过 70%的暴雨过程更多,共 8 次,占第一类暴雨过程的 73%。7 月份无论是整层还是中高层,其平均相对湿度超过 70%的比例更高,达 83%。所有过程平均的整层平均相对湿度和中高层平均相对湿度均超过 70%,其中 6、7 月过程平均的整层平均相对湿度分别达到 72%和 78%,中高层平均相对湿度则分别为 66%和 75%;(4)第一类暴雨发生前水汽出现明显增长。无论是可降水量还是整层和中高层平均相对湿度,前 24 h 变化量除两次过程为负增长外,其余均为正增长(占总次数的 82%),其中:64%的过程发生前 24 h 可降水量增加达到 15 mm 以上,最大增长量达 27.2 mm。11 次过程平均增加 14.5 mm。73%的过程整层和中高层平均相对湿度均增加 20%以上,中高层平均相对湿度增长幅度更大,最大达 61%。11 次过程平均的增长幅度,整层和中高层平均相对湿度分别达 19%和 28%。

此外,从表 1 中还可看出,第一类暴雨发生前,暴雨区处于高温高湿的环境中,大气层结极不稳定,积聚了很强的不稳定能量,表现在:(1)除 1 次过程的 K 指数为 28 °C 外,其余过程 K 指数 ≥ 35 °C,占过程总数的 91%。7 月过程平均的 K 指数已接近 39 °C;(2)

所有过程的最有利抬升指数均小于 0 °C,其值位于 -2~-6 °C,平均为 -4 °C;(3)所有过程的对流有效位能均大于 1000 J/kg,其中 8 次过程(占总数的 73%)的对流有效位能大于 1500 J/kg。11 次过程平均的对流有效位能为 2100.5 J/kg,其中 6 月平均为 1994.3 J/kg,7 月平均为 2189 J/kg。与此相对应,对流抑制能量除 1 次过程为 51.7 J/kg 外,其余过程均小于 50 J/kg,表明暴雨区上空只需很小的上升运动就能使气块到达自由对流高度,有利于暴雨的产生。(4)除一次过程地面 θ_{sc} 为 352.7 K 外,其余 91%的过程地面 θ_{sc} 均大于 355 K。所有过程平均的 θ_{sc} 值为 363.3 K,其中 6 月为 360.7 K,7 月为 365.4 K,表明暴雨发生前,近地面大气拥有高温高湿的环境。

表 2 给出第一类暴雨 11 次过程的配料距平计算结果。表中 D_{PW} 、 D_{RH1} 、 D_{RH2} 、 D_{BLI} 、 D_{KI} 、 D_{CAPE} 、 D_{CIN} 、 $D_{\theta_{sc}}$ 分别表示可降水量、整层平均相对湿度、中高层(700—300 hPa)平均相对湿度、最有利抬升指数、 K 指数、对流有效位能、对流抑制能量以及地面 θ_{sc} 与当月对应量 10 年(1990—1999 年)平均值的差值(即距平值)。

由表可见,表 2 中配料距平反映的第一类暴雨发生前的温湿特征与大气层结特征同表 1 配料反映的特征非常一致。表现为:(1)所有过程的可降水量距平均为正,最大正距平超过 18 mm,11 次过程平均距平为 9.9 mm。值得注意的是,可降水量距平超过 10 mm 与大暴雨过程有很好的对应关系,有 5 次过程可降水量距平超过 10 mm,其中 4 次过程(占 80%)出现大暴雨。(2)整层平均相对湿度距平除两次过程为负距平外,其余均为正距平。通过仔细分析发现,这两次过程中高层空气相当干燥,平均相对湿度仅为 43%和

表 2 武汉市第一类暴雨 11 次过程的配料距平计算结果

DATE	TIME	R_{24} (mm)	R_{12} (mm)	D_{PW} (mm)	D_{RH1} (%)	D_{RH2} (%)	D_{BLI} (°C)	D_{KI} (°C)	D_{CAPE} (J/kg)	D_{CIN} (J/kg)	D_{θ_s} (K)
1999-06-22	20 时	111.6	103.9	18.3	15.6	25.5	-4.0	9.0	1478.4	-74.0	17.0
2000-06-22	08 时	69.3	69.3	3.3	-1.5	-10.3	-6.0	10.0	1543.7	-70.5	8.5
2003-06-22	20 时	100.5	96.3	11.5	0.5	14.0	-4.0	9.0	1434.4	-52.6	15.0
2004-06-23	08 时	74.6	29.5	8.9	7.8	18.0	-4.0	2.0	1136.7	-36.6	15.4
2005-06-25	20 时	103.2	43.3	11.8	2.9	17.0	-6.0	11.0	2863.4	-83.0	19.3
1998-07-16	20 时	72.3	72.3	7.5	-8.4	-3.5	-3.0	5.0	1482.5	-24.3	11.4
1998-07-20	20 时	285.7	145.5	13.7	4.1	12.8	-2.0	5.0	1532.2	-46.7	15.0
1998-07-28	20 时	83.4	26.4	16.6	15.6	25.5	-4.0	5.0	2503.8	-67.3	15.7
2003-07-08	08 时	99.9	79.2	8.7	19.6	30.3	-1.0	7.0	1.6	-30.1	0.7
2004-07-10	08 时	58.9	10.9	1.5	15.0	28.5	-2.0	4.0	1074.3	-36.8	1.4
2004-07-17	20 时	77.5	39.0	7.6	8.3	18.0	0.0	3.0	29.7	-35.9	4.2
6 月平均				10.7	5.1	12.9	-4.8	8.2	1691.3	-63.3	15.0
7 月平均				9.3	9.0	18.6	-2.0	4.8	1104.0	-40.2	8.1
6-7 月平均				9.9	7.2	16.0	-3.3	6.4	1371.0	-50.7	11.2

54%,其距平值也为负,而且过程时间短(12 h 内降水已结束),属于浅薄的对流降水。因此,有些快过程采用 12 h 间隔的探空资料无法反映暴雨区上空水汽的变化。另外,对比分析 D_{RH1} 、 D_{RH2} 发现,每次暴雨过程发生前,只要 $D_{RH2}>0$, D_{RH2} 基本上比 D_{RH1} 大 10%以上,这同样也说明暴雨发生前中高层平均相对湿度会出现较大幅度增长;(3) 除一次过程的最有利抬升指数距平为 0 °C 外,其余 10 次过程均为负距平,占过程总次数的 91%,其值在 -6~-1 °C 之间,平均为 -3.3 °C。(4) 所有过程的 K 指数均为正距平,其中 6 月平均的 K 指数距平为 8.2 °C,高出 7 月的平均距平值 3.4 °C,这是由于 7 月多年平均的 K 指数值比 6 月高的缘故。11 次过程平均的 K 指数距平值为 6.4 °C。(5) 除两次过程

的对流有效位能正距平值较小外,另外 9 次过程的对流有效位能均超过多年平均值 1000 J/kg 以上,最大正距平值达 2863.4 J/kg。所有过程平均的对流有效位能距平值约为 1371 J/kg。与此同时,所有过程的对流抑制能量全为负距平,其平均的距平值约为 -50.7 J/kg,极有利于对流的产生。(6) 所有过程的地面 θ_s 均出现正距平,其中 6 月有 4 次过程(80%)距平超过 15 K。11 次过程平均的地面 θ_s 距平值约为 11.2 K,表明暴雨发生前,地面增温增湿明显。

为探讨武汉第一类暴雨发生前暴雨区上空配料的空间分布特征,制作了第一类暴雨发生前部分配料和相应距平的分布图。图 1 为第一类暴雨发生前表征水汽条件的配料(a)和相应距平(b)的分布图。

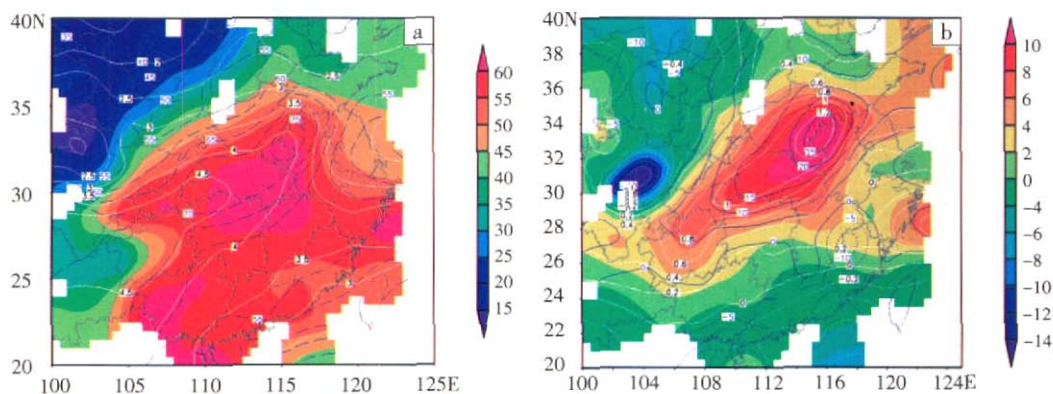


图 1 第一类暴雨发生前表征水汽条件的配料(a)和相应距平(b)的分布图

(a) 中彩色阴影区表示可降水量,单位:mm;白色线为中高层平均比湿,单位:g/kg;蓝色线为中高层平均相对湿度,单位:%;
图 b 中除变量为图 a 中相应配料的距平外,其图例说明与图 a 相同)

对比分析图 1a、b,可发现,暴雨区上空表征水汽的配料分布特征为:整个鄂东地区水汽比较充足,出现了可降水量 ≥ 60 mm 的中心,除鄂东南的南部外,

其它地区均超过多年平均值 8 mm 以上,可降水量达到了多年平均的 115%以上;暴雨区上空中高层平均比湿在 4 g/kg 以上,超过多年平均值 0.6~1.0 g/kg,中

高层平均相对湿度也在 65%以上,其中江汉平原和鄂东北超过 70%,超过平均值 10%~20%。此外,整层平均比湿的大值区也出现在该地区,最大值超过 10 g/kg,超过多年平均值 0.5 g/kg,同时该地区整层平均相对湿度超过 70%,大部地区超过平均值 5%~10%(图略)。

图 2 为第一类暴雨发生前表征大气不稳定状况的配料(a)和相应距平(b)分布图。比较图 2a、b 可发现,鄂东地区上空大气层结极不稳定,最有利抬升指数出

现-3.5 °C 以下的极小值中心,对应的距平值也在-3 °C 以下;同时该地区成为了对流不稳定能量积聚的中心,对流有效位能均在 1400 J/kg 以上,中心值超过 2000 J/kg,对应的距平值超过 800~1200 J/kg。而对流抑制能量均在 60 J/kg 以下,中心值小于 30 J/kg,对应的距平值在-30 J/kg 以下。此外,K 指数基本上都在 36 °C 以上,超过多年平均值 6~8 °C;地面均大于 356 K,中心值超过 362 K,大部地区增温在 8~12 K(图略)。

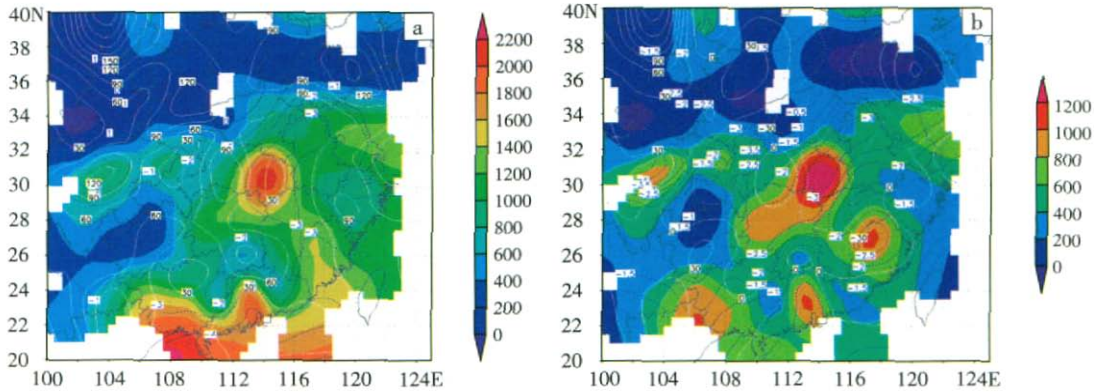


图 2 第一类暴雨发生前表征不稳定状况的配料(a)和相应距平(b)的分布图
(a 中彩色阴影区表示对流有效位能,单位:J/kg;白色线为对流抑制能量,单位:J/kg;蓝色线为最有利抬升指数,单位:°C;图 b 中除变量为图 a 中相应配料的距平外,其图例说明与图 a 相同)

从图 1 的分析中还可发现,第一类暴雨发生前,水汽的中心不在鄂东地区上空,而是位于河南东部到安徽西北部,其中高层平均相对湿度中心值超过 75%,超过多年平均值 25%,与此同时,该地区也成为了中高层平均比湿的正距平中心,中心距平值超过 1.2 g/kg。造成上述结果的原因一方面可能是由于该地区位于江淮梅雨锋上,本身空气湿度就较大;另一方面也可能由于前期降水的作用造成该地区空气湿度增大的缘故。而鄂东地区位于梅雨锋南侧的暖湿气流中,水汽正处于不断累积过程之中,这可从第一类暴雨发生前水汽条件的配料前 24 h 差值分布图(图 3)

中清楚地反映出来。
由图 3 可见,无论是可降水量还是中高层平均比湿和中高层平均相对湿度,其 24 h 增量均在鄂东地区上空形成了高值中心,可降水量增量超过 12 mm,中高层平均比湿的增量超过 1.5 g/kg,中高层平均相对湿度的增量也超过 25%。

由以上配料分布特征的分析可知,第一类暴雨发生前,暴雨区上空已成为大气层结不稳定中心、对流有效位能积聚中心以及水汽快速增长中心。

3 第二类暴雨的配料特征分析

采用与第一类暴雨相同的方法分析第二类暴雨的配料分布特征。表 3 给出武汉市第二类暴雨 6 次过程初始时刻的配料计算结果,其中变量代表的物理意义与表 1 相同。

从表中可看出,第二类暴雨发生前的水汽条件比第一类暴雨更加充足,整层大气基本接近或达到饱和,表现在:(1)所有暴雨过程的可降水量 $PW > 56$ mm,7 月所有过程的 $PW \geq 65$ mm,最大可降水量接近 72 mm。6、7 月平均可降水量分别为 63.5 mm 和 69.8 mm,分别达多年平均的 132%和 120%;(2)所有过程的可降水量都达到多年平均的 115%以上,其中 50%的过程超过 120%,6、7 月最大值分别为 147%和 124%;(3)除一次过程的整层平均相对湿度为 79%外,其它 5 次过

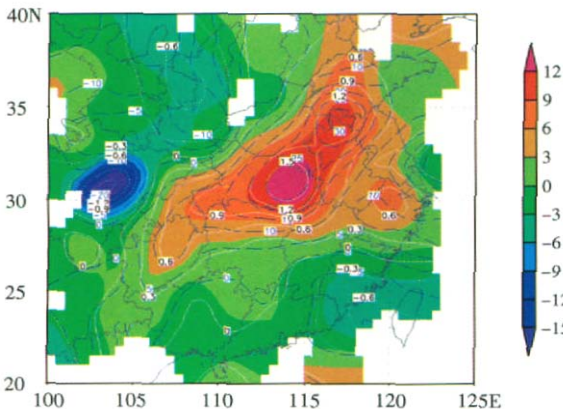


图 3 第一类暴雨发生前表征水汽条件的配料 24 h 差值分布图
(彩色阴影区表示可降水量差值,单位:mm;白色线为中高层平均比湿差值,单位:g/kg;蓝色线代表中高层平均相对湿度差值,单位:%)

表 3 武汉市第二类暴雨 6 次过程的配料计算结果

DATE	TIME	R_{24} (mm)	R_{12} (mm)	PW_{24} (mm)	PW (mm)	PW_p (%)	RH_4 (%)	RH_2 (%)	RH_3 (%)	RH_1 (%)	BLI (°C)	KI (°C)	$CAPE$ (J/kg)	CIN (J/kg)	θ_{sc} (K)
1999-06-26	08 时	126.7	44.8	22.5	70.7	147.3	27.8	95.0	21.7	95.3	1.0	35.0	0.0	0.0	336.0
2001-06-18	08 时	53.7	53.7	25.1	70.2	146.3	34.3	95.3	26.2	97.3	0.0	39.0	16.0	137.5	350.7
2004-06-03	20 时	86.3	23.6	15.8	57.0	118.7	14.0	85.3	22.1	86.9	2.0	33.0	39.7	0.8	340.3
2004-06-14	08 时	60.5	33.1	18.5	56.2	117.1	16.0	87.3	19.1	86.4	2.0	35.0	0.0	0.0	334.4
2002-07-23	08 时	96.0	11.5	6.3	71.9	124.0	14.3	91.8	7.1	93.6	-4.0	39.0	23.0	0.0	360.1
2003-07-04	20 时	81.1	58.9	13.6	67.6	116.6	38.8	71.3	29.3	79.1	-3.0	39.0	149.8	0.4	352.7
6 月平均				20.5	63.5	132.3	23.0	90.7	22.3	91.5	1.3	35.5	13.9	34.6	340.3
7 月平均				9.9	69.8	120.3	26.5	81.5	18.2	86.3	-3.5	39.0	86.4	0.2	356.4
6-7 月平均				16.9	65.6	128.3	24.2	87.6	20.9	89.8	-0.3	36.7	38.1	23.1	345.7

程无论是整层还是中高层,其平均相对湿度均超过 85%,占该类暴雨过程总次数的 83%。特别是 6 月份,所有过程的整层和中高层的平均相对湿度均超过 85%。其中 6、7 月整层平均相对湿度分别达到 92%和 86%,中高层平均相对湿度则分别为 91%和 82%;(4) 第二类暴雨发生前水汽也出现明显增长。无论是可降水量还是整层和中高层平均相对湿度,所有过程均为正增长,其中:83%的过程发生前 24 h 可降水量增加达到 14 mm 以上,最大增长量达 25.1 mm。6 次过程平均增加 16.9 mm,其中 6、7 月平均增加量分别达 20.5 mm 和 9.9 mm。83%的过程整层平均相对湿度均增加 19%;中高层平均相对湿度增长幅度均在 14%以上,小于第一类暴雨的增长幅度。6 次过程的平均增长幅度,整层和中高层平均相对湿度分别达到 20.9%和 24.2%。

从表 3 中还可看出,第二类暴雨发生前,暴雨区

的温度条件、大气层结不稳定状况以及积聚的不稳定能量均比第一类暴雨弱,但 K 指数的强度基本相同,表现在:(1)除 1 次过程的 K 指数为 33 °C 外,其余过程(占 83%)的 K 指数均在 35 °C 以上。尤其 7 月过程平均的 K 指数达 39 °C;(2)6 月所有过程的最有利抬升指数均 ≥ 0 °C,其值位于 0 °C 与 2 °C 之间,平均为 1.3 °C,为中性或稳定层结,而 7 月 2 次过程的最有利抬升指数均 ≤ -3 °C,仍属于不稳定层结;(3)所有过程的对流有效位能均很小,其中 6 月平均不到 15 J/kg,7 月平均也小于 100 J/kg。(4)除一次过程地面超过 360 K 外,其余过程的地面均小于 353 K。所有过程平均的值为 345.7 K,比第一类暴雨下降了约 17 K,其中 6 月为 340.3 K,下降了约 20 K,7 月为 356.4 K,下降了约 9 K。

表 4 给出了武汉市第二类暴雨 6 次过程的配料距平(表中变量代表的物理含义与表 2 相同)。

表 4 武汉市第二类暴雨 6 次过程的配料距平计算结果

DATE	TIME	R_{24} (mm)	R_{12} (mm)	D_{PW} (mm)	D_{RH1} (%)	D_{RH2} (%)	D_{BLI} (°C)	D_{KI} (°C)	D_{CAPE} (J/kg)	D_{CIN} (J/kg)	$D_{\theta_{sc}}$ (K)
1999-06-26	08 时	126.7	44.8	22.7	28.8	39.3	0.0	9.0	-303.0	-84.0	-6.0
2001-06-18	08 时	53.7	53.7	22.2	30.8	42.0	-1.0	13.0	-287.1	53.5	6.9
2004-06-03	20 时	86.3	23.6	9.0	20.4	32.0	1.0	7.0	-263.3	-83.2	-2.3
2004-06-14	08 时	60.5	33.1	8.2	19.9	34.0	1.0	9.0	-303.0	-84.0	-7.4
2002-07-23	08 时	96.0	11.5	13.9	24.6	34.5	-2.0	5.0	-1062.0	-76.0	3.9
2003-07-04	20 时	81.1	58.9	9.6	10.1	14.0	-1.0	5.0	-935.2	-75.6	-2.3
6 月平均				15.5	25.0	36.6	0.3	9.5	-289.1	-49.4	-2.2
7 月平均				11.8	17.3	24.3	-1.5	5.0	-998.6	-75.8	0.8
6-7 月平均				14.3	22.4	32.0	-0.3	8.0	-525.6	-58.2	-1.2

由表可见,表 4 中配料距平反映的第二类暴雨发生前的温湿特征与大气层结特征同表 3 中配料反映的特征非常一致。表现为:(1)所有过程的可降水量距平均为正距平,最大正距平接近 23 mm,6 次过程平均距平值超过 14 mm。(2)整层平均相对湿度距平均为

正值,除 1 次过程正距平值为 10%外,其余均接近或超过 20%,6 次过程平均的距平值为 22.4%,其中 6 月为 25%,7 月为 17.3%。(3)最有利抬升指数距平值在 -2~1 °C 之间,平均为 -0.3 °C。(4)所有过程的 K 指数均为正距平,过程平均的 K 指数距平值为 8 °C,其

中 6 月平均的 K 指数距平为 $9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 7 月为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。(5) 所有过程的对流有效位能均为负距平, 过程平均的对流有效位能距平值为 -525.6 J/kg , 最小负距平值达 -1062 J/kg 。与此同时, 除 1 次过程的对流抑制能量为正距平外, 其余过程全为负距平, 6 次过程平均的距平值为 -58.2 J/kg 。(6) 地面以负距平居多, 只

有 2 次过程的距平值为正。6 次过程平均的地面距平值约为 -1.2 K 。

采用同样的方法制作了第二类暴雨发生前暴雨区上空部分配料和相应距平的分布图。图 4 是第二类暴雨发生前表征水汽条件的配料(a)和相应距平(b)的分布图。

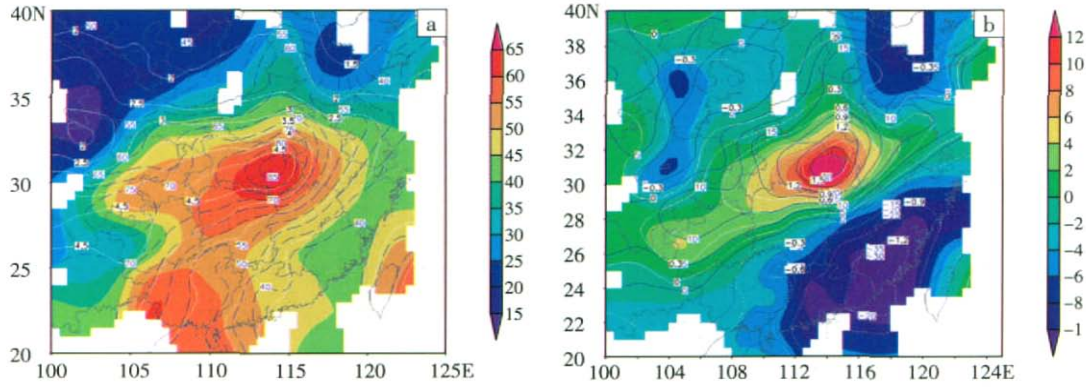


图 4 第二类暴雨发生前表征水汽条件的配料(a)和相应距平(b)的分布图(图例说明同图 1)

对比分析图 4a、b 可以看出, 第二类暴雨发生前, 暴雨区上空水汽非常充足, 已经成为了水汽的辐合中心, 可降水量均大于 60 mm , 超过多年平均值 8 mm 以上, 达到了多年平均的 115% 以上; 暴雨中心可降水量 $\geq 65\text{ mm}$, 距平值超过 12 mm , 达到了多年平均的 125% 以上; 而中高层平均比湿鄂东大部在 4.5 g/kg 以上, 超过多年平均值 1.5 g/kg ; 同时该地区中高层平均相对湿度大部也在 80% 以上, 其中鄂东北了出现 85% 的中心, 超过平均值 $25\% \sim 30\%$ 。整层平均比湿的大值中心也出现在该地区, 最大值在 10 g/kg 以上, 超过多年平均值 1 g/kg , 而且整层接近或达到饱和, 平均相对湿度超过 80% , 超过平均值 15% , 中心最大值达到 90% , 超过平均值 20% (图略)。

图 5 为第二类暴雨发生前表征大气不稳定状况的配料(a)和相应距平(b)的分布图。从图 5a、b 对比分析中可以看出, 除鄂东南为弱不稳定区外, 鄂东其它地区大气层结稳定, 最有利抬升指数鄂东南在 $-0.5 \sim -2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 鄂东其它地区在 $0 \sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 对应的距平值在 $-1 \sim -0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间; 与此相对应, 该地区对流不稳定能量很小, 对流有效位能沿 SE-NW 方向依次递减, 鄂东南南部为 $400 \sim 800\text{ J/kg}$, 鄂东其它地区均在 400 J/kg 以下, 低于多年平均值 $200 \sim 600\text{ J/kg}$ 。而对流抑制能量均在 50 J/kg 以下, 相应距平值小于 0 。 K 指数基本上都在 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, 超过多年平均值 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$; 地面值较低, 位于 $340 \sim 350\text{ K}$ 之间, 除鄂东南增温在 1 K 左右外, 其它地区降温在 3 K 以内(图略)。

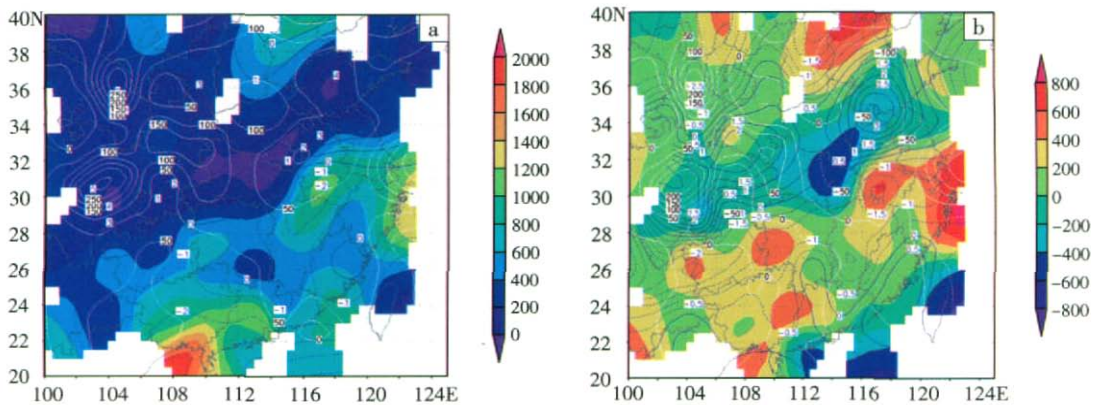


图 5 第二类暴雨发生前表征不稳定状况的配料(a)和相应距平(b)的分布图(图例说明同图 2)

图 6 给出了第二类暴雨发生前表征水汽条件的配料 24 h 差值分布。从图中可看出, 暴雨区上空可降水量、中高层平均比湿以及中高层平均相对湿度

24 h 的差值分布与其距平的分布非常一致, 可见暴雨区上空也成为了水汽尤其是中高层水汽增长的中心。

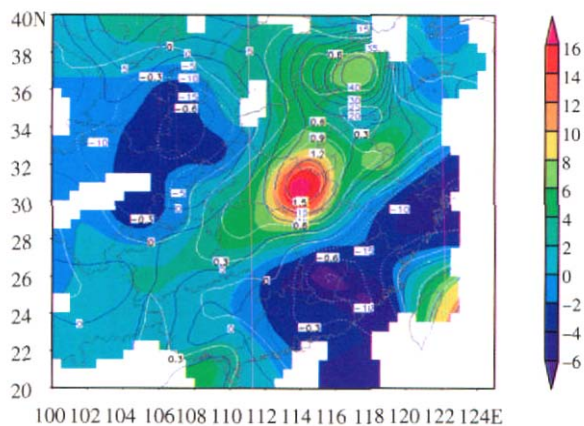


图6 第二类暴雨发生前表征水汽条件的配料
24 h时差值分布图(图例说明同图3)

4 结论

通过对梅雨期武汉两类暴雨发生前配料特征的对比分析,可以得出如下结论:

(1)根据暴雨发生的机理,将梅雨期武汉暴雨划分为两种主要类型:即由对流有效位能释放产生的浮力抬升引发的暴雨(即“第一类暴雨”或“浮力抬升暴雨”)以及由大尺度动力强迫抬升引发的暴雨(即“第二类暴雨”或“强迫抬升暴雨”)。梅雨期武汉暴雨发生时多为第一类暴雨。

(2)武汉两类暴雨发生前配料分布的共同特征是:1)都具有充足的水汽。平均而言,可降水量 ≥ 60 mm,达到多年平均的115%以上;整层平均比湿 ≥ 9 g/kg,中高层平均比湿 ≥ 4 g/kg;整层平均相对湿度和中高层平均相对湿度都在70%以上。2)都出现明显的水汽增长。平均而言,暴雨发生前24 h可降水量增加14~17 mm左右,中高层平均比湿增加1.5~2 g/kg左右,整层平均相对湿度和中高层平均相对湿度分别增加20%和25%。3)具有较高的K指数和较低的对流抑制能量。K指数一般在35℃以上,对流抑制能量一般小于60 J/kg。

(3)武汉两类暴雨发生前配料分布的不同之处在于:1)第二类暴雨发生前的水汽条件比第一类暴雨更加充足,整层大气基本接近或达到饱和。暴雨区成为了水汽的辐合中心,出现了可降水量 ≥ 65 mm的中心,可降水量达到了多年平均的120%以上;整层平均相对湿度和中高层平均相对湿度都在80%以上。2)第二类暴雨发生前,暴雨区的温度条件、大气层结状况以及积聚的不稳定能量均比第一类暴雨弱。第二类暴雨发生时,大气层结稳定,最有利抬升指数一般在0~1℃之间;地面 θ_{se} 值较低,为340~350 K;对流不稳定能量很小,对流有效位能在400 J/kg以下。而第一类暴雨发生时大气层结不稳定,最有利抬升指数 ≤ -2 ℃;地面 θ_{se} 大于356 K,大部地区增温8~12 K。同时暴雨区成为了对流不稳定能量积聚的中心,对流有效位能在1400 J/kg以上。

(4)对流有效位能、K指数、可降水量、中高层平均相对湿度等物理量对武汉市梅雨期暴雨预报有很好的指示意义。在分析过程中,要将上述物理量结合起来分析,尤其要注重分析水汽变量过去12 h和24 h的变化状况。

参考文献:

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980:98-114.
- [2] 张丙辰. 长江中下游梅雨锋暴雨的研究[M]. 北京:气象出版社,1990.
- [3] 丁一汇. 1991年长江淮河流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京:气象出版社,1993:1-255.
- [4] 陶诗言,倪允琪,赵思雄,等. 1998年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究[M]. 北京:气象出版社,2001:74-176.
- [5] 陶诗言,张小玲,张顺利,等. 长江流域梅雨锋暴雨灾害研究[M]. 北京:气象出版社,2004:41-114.
- [6] 赵思雄,陶祖钰,孙建华,等. 长江流域梅雨锋暴雨机理的分析研究[M]. 北京:气象出版社,2004:69-143.
- [7] 李俊,李武阶,廖移山,等. 基于“配料”的梅雨锋强降水预报方法[J]. 气象,2006,32(9):3-8.

Contrast Analysis on Ingredients' Features Between Two Types of Heavy Rain in Wuhan During Meiyu Period

LI Wu-jie, LI Jun, SHI Yan, FENG Guang-liu
(Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: Based on the data of 17 heavy rain events in Wuhan in June-July from 1998 to 2005, heavy rain events in Wuhan during Meiyu period are classified as two main types according to the mechanism. The first type is caused by buoyancy ascent brought by CAPE releasing, which covers 65% of the heavy rain events in Wuhan. The second type is caused by large-scale forcing ascent. The CAPE, KI, PW and RH of middle-high level are important to the forecast of heavy rain in Wuhan during Meiyu period. Through the contrast analysis of the ingredients' features, before the two types of heavy rain happen, the similarities and differences between the conditions such as temperature and humidity, atmospheric stratification and instability energy accumulation are revealed.

Key words: Heavy rain; Ingredients; Water vapour; CAPE