

文章编号:2096 - 5389(2018)06 - 0015 - 07

副高影响下遵义市区域性暴雨的天气系统特征研究

杨 熠¹, 简茂球², 谢和林¹

(1. 贵州省遵义市气象局, 贵州 遵义 563000; 2. 中山大学大气科学学院, 广东 广州 510275)

摘 要:利用常规观测资料和 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料,对 2007—2016 年 6—8 月 8 次副高影响下的区域性暴雨天气过程,采用统计学、天气学方法和合成技术进行分析,结果表明:在副高东退、引导高空槽东移的大尺度背景条件下,配合低层辐合系统是造成遵义市区域性暴雨过程的天气系统;暴雨过程有 3 种类型:低涡槽型、高空槽气旋旋转型和高空槽低涡切变型;3 种类型的天气系统进行合成分析后,找出了暴雨落区与高空系统、物理量配置之间的关系。

关键词:区域性暴雨;天气系统;合成分析;暴雨落区

中图分类号:P458.1⁺21.1 **文献标识码:**A

Study on the weather system characteristics of regional rainstorm in Zunyi under the influence of subtropical high

YANG Yi¹, JIAN Maoqiu², XIE Helin¹

(1. Zunyi Meteorological Office of Guizhou Province, Zunyi 563000, China;

2. School of Atmospheric Sciences, Sun Yat - sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: By using conventional observation data and NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ reanalysis data, eight regional rainstorms took place in the summer from 2007 to 2016 under the influence of subtropical high. Statistical, weather and synthetic methods were used to analyze. The results indicate that regional rainstorms were caused by high - level trough movement and the lower system. There were three types after classification: Low vortex groove type, high - level trough rotary type and high - level trough low vortex shear type. A synthetic analysis was performed for each type of high altitude system. The relationship between rainstorm zone and altitude system and physical quantity configuration was found out.

Key words: regional rainstorms; weather system; synthetic analysis; heavy rain fall area

1 引言

遵义市位于贵州省的北部,介于 $106^{\circ}17'22'' \sim 107^{\circ}26'25''E$, $27^{\circ}13'15'' \sim 28^{\circ}04'09''N$ 之间,处于云贵高原向湖南丘陵和四川盆地过渡的斜坡地带,地形起伏大,地貌类型复杂。海拔高度一般在 800 ~ 1 300 m,在全国地势第二级阶梯上。由于遵义市境内地形复杂,故由持续性暴雨引发的洪涝和由突发性局地暴雨引发的泥石流等各种自然灾害时有发生^[1]。2010 年 7 月 8—13 日遵义市出现大范围持

续暴雨,因灾死亡 9 人,失踪 2 人,造成直接经济损失 8.1 亿元^[1-2]。2011 年 6 月 18 日湄潭 24 h 降雨量达 202.8 mm,突破该站 1942 年以来的气象记录。2014 年习水良村镇特大暴雨造成山洪泥石流,因灾死亡 13 人,直接经济损失 12.7 亿元^[1-3]。

众所周知,副热带高压的位置与我国的暴雨天气有密切联系,黄士松等^[4]20 世纪 60 年代初开创性地提出副高结构概念后,人们对副高形态和降水的关系进行了大量研究^[5-9]。2000 年以来,张素琴等^[6]以及龚道溢等^[10]先后用 500 hPa 特定区域的高

收稿日期:2018 - 05 - 07

第一作者简介:杨熠(1990—),女,工程师,主要从事中短期天气预报工作,E-mail:598218366@qq.com。

资助项目:遵义市气象局青年基金科研项目(QN[2017]03);西太平洋副高位置与黔北暴雨的相关性研究。

度场表征副高活动,结果表明与长江中下游汛期降水关系密切。金荣花^[11]等人探讨了夏季不同大气环流背景下区域性暴雨过程副高结构特征及其对降水的贡献;池再香^[12]等人通过对黔东南州 1996—2005 年夏季发生局地暴雨的主要影响系统、各种物理量场的特征等的综合分析,得出 9 次局地暴雨都与西太平洋副热带高压位置变化密切相关。而遵义夏季的区域性暴雨也与副高位置有紧密关系,但是在这方面研究的成果比较少。

本文通过对 2007—2016 年 6—8 月区域性暴雨天气个例进行分析,筛选出在副高东退、引导高空槽东移的大尺度背景条件下,配合低层系统造成的 8 次区域性暴雨天气过程,利用合成分析方法,探讨暴雨落区与高空系统、物理量配置之间的关系,以期为之后工作中遇到类似过程提供参考依据。

2 资料与方法

本文所用资料:①遵义地区 14 个区域站 2007—2016 年 6—8 月地面观测资料;②每天 08 时和 20 时的高空观测资料的;③NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料;④、②和③选用资料时间段和①同步。

规定一次过程中有 3 个及以上区域站 24 h 累计雨量 ≥ 50.0 mm,则为 1 次区域性暴雨;在文中将暴雨发生的第 2 d 的日期代表此次过程的发生日期;通过统计分析 2007—2016 年 6—8 月区域性暴

雨个例的影响系统,选取与副高有关的 8 次典型区域性暴雨作为研究对象,由于这几次个例地面场上遵义地区不是处于低压带控制就是均压场控制,无冷空气影响,故暂不分析地面图,而是将其高空形势场通过分类后分别进行合成分析,以期找出它们之间的共性和个性特征。

分类的原则:将影响系统相近移动路径相似的一个个例分为一类。

合成分析方法:分别根据小时雨强来找出每个个例暴雨开始前、强盛时、结束后 3 个时次,再按分的类型,将每类的这 3 个时次同一高度层的数值进行算术平均,再用算术平均值来绘图。

3 个例选取及分类

从 2007—2016 年中挑选出 8 次受副高东退造成高空槽东移引起我市区域性暴雨的个例,它们发生的时间及降雨情况如表 1 所示,影响范围最广的一次发生在 2010 年 6 月 19 日,几乎全遵义地区都达到了暴雨量级(10/14),小时雨强最大的一次发生在 2014 年 7 月 3 日,为 $42.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, (单位,下同)过程雨量最大的一次发生在 2007 年 7 月 29 日,为 95.0 mm;有 3 次过程的暴雨中心站和最大小时雨强站发生在同一个站点,其余过程发生的站点则不一样;在 8 次过程中除了 2 次过程没有全区降雨外,其余都是全区降雨。

表 1 2007—2016 年与副高相关的暴雨个例降雨情况
Tab. 1 Examples of rainstorm related to subtropical high from 2007 to 2016

发生时间(UTC)	暴雨中心雨量/mm	弱(无)降水中心雨量/mm	最大小时雨强/(mm/h)	暴雨个数
2007-07-23 12:00—2007-07-24 12:00	68.5(正安)	1.0(赤水)	33.6(余庆)	6
2007-07-28 12:00—2007-07-29 12:00	95.0(仁怀)	0.0(余庆)	27.1(播州)	5
2008-06-30 12:00—2008-07-01 12:00	85.8(赤水)	0.0(余庆)	35.0(赤水)	4
2010-06-18 12:00—2010-06-19 12:00	93.8(赤水)	24.1(仁怀)	40.1(正安)	10
2011-08-22 12:00—2011-08-23 12:00	55.8(道真)	1.1(凤岗)	41.1(道真)	3
2014-07-02 12:00—2014-07-03 12:00	61.7(仁怀)	12.0(余庆)	42.1(桐梓)	5
2015-08-17 12:00—2015-08-18 12:00	60.9(道真)	0.4(赤水)	24.3(绥阳)	4
2016-07-18 12:00—2016-07-19 12:00	67.7(凤岗)	3.6(余庆)	35.3(凤岗)	3

根据 8 次个例的 500 hPa 影响系统,将其分为 2 类:低涡槽型和高空槽型,前者能画出低涡及槽,呈现“北涡南槽”型^[13],而后者只有高空槽,无涡对应;其中,高空槽类又根据 700 hPa 的影响系统,分成气旋旋转型和低涡切变型,前者只能看出气旋式旋转不能画出闭合曲线,而后者可以画闭合曲线定义出低涡^[14]。经过以上分类统计,低涡槽类的个例有 4 次,高空槽气旋旋转型和高空槽低涡切变型分

别有 2 次。

合成分析的原则是要根据每类个例的开始时间、强盛时间和结束时间按高度进行算术平均,通过统计,具体如表 2 所示,开始时间是根据 14 个区域站中有一个站开始降雨计算,强盛时间是按小时雨强最强的时刻计算,结束时间是按区域站全部降雨停止时刻计算。

表 2 合成分析的各类个例情况
Tab.2 Synthesis analysis of various examples

类型	开始时间(UTC)	强盛时间(UTC)	结束时间(UTC)	持续时长(h)
低涡槽	2007-07-23 12:00	2007-07-24 10:00	2007-07-24 12:00	25
	2014-07-02 20:00	2014-07-03 09:00	2014-07-03 12:00	17
	2007-07-28 12:00	2007-07-28 23:00	2007-07-29 12:00	25
	2008-06-30 14:00	2008-06-30 15:00	2008-07-01 12:00	23
气旋旋转	2011-08-22 13:00	2011-08-22 19:00	2011-08-23 02:00	14
	2010-06-18 16:00	2010-06-18 22:00	2010-06-19 10:00	19
高空槽	2015-08-17 12:00	2015-08-17 23:00	2015-08-18 12:00	25
	2016-07-18 12:00	2016-07-19 11:00	2016-07-19 12:00	25

4 3 类区域性暴雨的天气系统配置

4.1 低涡槽型

低涡槽型中 500 hPa 高度场上副高脊线是在 25°N 附近与 115°E 交汇,低涡位于内蒙古中部偏西,槽从河套东部延伸向川东南,虽然一开始低涡画不出闭合线来,但是气旋式旋转很明显(图 1a),特别是在东移过程中发展加强(图 1b),形成了一个完整的闭合低涡,构成“北涡南槽”的分布格局(图 1c),天气过程强盛时槽线进入遵义西部,随着槽线

移动至遵义东部,过程趋于结束,整个过程副高主体稳定少动;700 hPa 高度场上遵义地区上空主要受切变右侧的西南急流影响,在川东有个气旋式旋转的涡旋,切变位于川东南(图 1d),随着涡旋东移至渝西,切变线靠近遵义西部,天气过程达到强盛时刻(图 1e),由于受副高的阻挡,直至过程结束切变线也未移动(图 1f);850 hPa 高度场上在川东南的位置有个低涡,遵义地区主要受低涡东侧的偏南急流影响(图 1g),由于受副高的阻挡,但在整个过程中低涡基本没移动,逐渐减弱(图 1h,1i)。

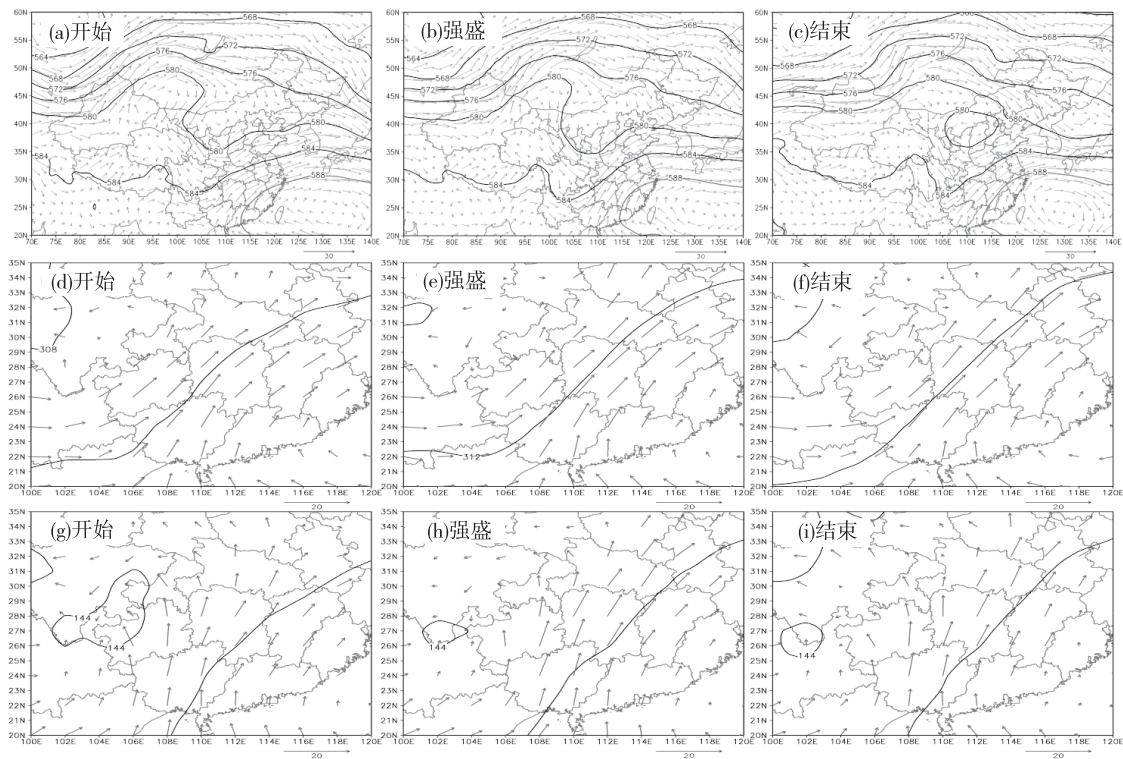


图 1 低涡槽型区域性暴雨合成后的天气形势图
500 hPa(a,b,c)、700 hPa(d,e,f)、850 hPa(g,h,i)的开始时刻、强盛时刻和结束时刻天气形势图
Fig.1 Synthesis weather pattern about regional rainstorm of low vortex trough
Weather chart at the start, strong and end time of 500 hPa(a,b,c), 700 hPa(d,e,f) and 850 hPa(g,h,i)

从低涡槽型的高空形势中可看出,主要起作用的系统是 500 hPa 低涡槽和 700 hPa 上的气旋式切变,850 hPa 上为低涡东侧的偏南急流控制;低涡槽南段自川东往东南压至遵义上空,气旋式切变从川东南东移至遵义西部;由于受副高稳定少动的影

响,低层系统移动不明显;在发生暴雨的强盛时刻,500 hPa 低涡槽的南段和 700 hPa 气旋式切变正好位于遵义西部,暴雨落区容易发生在遵义地区的西部、北部和东北部(图 2a),随着低涡槽的移出,降雨趋于结束。

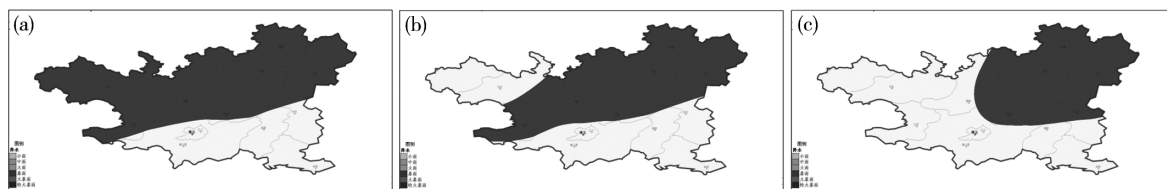


图 2 3 类区域性暴雨落区示意图 (a)低涡槽型 (b)高空槽气旋旋转型 (c)高空槽低涡切变型

Fig. 2 Schematic diagram about three types of regional rainstorm falling areas

(a) Low vortex groove type (b) High - level trough rotary type (c) High - level trough low vortex shear type

4.2 高空槽气旋旋转型

高空槽气旋旋转型中 500 hPa 高度场上副高主体还在海上,进入中国的北界主要位于 25°N 附近与 100°E 交汇(图 3a),随着副高主体的南退,高空槽南压至遵义上空,暴雨天气过程达到强盛时刻(图 3b),之后往东南方向移出遵义境内至黔东南(图 3c);700 hPa 高度场上在川东有个气旋式旋转的涡旋,切变在川东南,遵义地区上空受切变右侧的西南气流影响(图 3d),暴雨强盛时刻气旋中心正好位于渝中,切变影响遵义地区(图 3e),过程结束后气旋中心东移至湘西北,切变至湘西一带(图 3f);850 hPa 高度场上黔西地区有个低涡,遵义地区主要受低涡东北侧的东南气流影响(图 3g),暴雨强盛时低涡正好位于遵义上空(图 3h),随后低涡往东北方向移动出遵义至湘西北(图 3i),天气过程结束。

从高空槽气旋旋转型可以看出,主要的影响系统是 500 hPa 上的高空槽、700 hPa 上的气旋式切变和 850 hPa 上的低涡;高空槽南段从川东北往东南方向经过遵义地区移动至黔东南,气旋式涡旋从川东东移经过渝中至湘西北,低涡从黔西往东北方向经过遵义地区移至湘西北;由于受副高南退影响,高空槽移动还是比较快;在发生暴雨的强盛时刻,高空槽南段和 850 hPa 上的低涡正好在遵义地区上空,700 hPa 上气旋式涡旋中心位于渝中,切变线位于遵义地区中部,这种天气形势背景下暴雨落区容易发生在遵义地区的北部和东北部(图 2b)。

4.3 高空槽低涡切变型

高空槽低涡切变型中 500 hPa 高度场上副高主体在 30°N 附近与 108°E 交汇,高空槽从河套中部延伸至川东南(图 4a),随着高空槽的东移,暴雨过程的强盛时刻其南段正好位于遵义地区上空(图

4b),随着高空槽的移出天气过程结束(图 4c),整个过程副高主体稳定少动;700 hPa 高度场上有一低涡在川东,遵义地区主要受低涡外围的西南气流影响(图 4d),随着低涡往东北方向移至渝北的过程中,遵义地区上空逐渐从西南气流转化为切变影响,预报暴雨过程强盛时刻的到来(图 4e),随后低涡切变略西进(图 4f),天气过程趋于结束;850 hPa 高度场上在川东也有一个低涡,遵义地区处于低涡的东侧(图 4g),天气过程强盛时刻低涡中心正好东移至遵义地区上空(图 4h),虽然在过程结束时低涡未移出遵义境内(图 4i),但是 500 hPa 上已转为槽后偏北气流影响,不利于低涡的发展。

从高空槽低涡切变型中可以看出,主要的影响系统是 500 hPa 上的高空槽、700 hPa 上的低涡切变和 850 hPa 上的低涡;高空槽南段从川东南经过遵义地区南压至黔东南,低涡切变从川东往东北方向移动至渝北的过程中切变影响遵义,低涡从川东移至遵义上空;在发生暴雨的强盛时刻,高空槽南段位于遵义地区西部,700 hPa 上的低涡位于渝北,切变在遵义地区中部,850 hPa 上的低涡正好在遵义地区上空,暴雨落区容易发生在遵义地区的东北部(图 2c)。

5 3 类区域性暴雨的物理量分析

从能量条件来看(表 3),这 8 次个例中不管是暴雨中心区域还是弱降雨中心(本文将弱或者无降雨的中心统称为弱降雨中心),K 指数都超过了 32°C ,平均值是在 36°C ,能量条件都很好^[15-16];当暴雨中心 850 hPa 的水汽辐合强度与弱降雨中心相等或者更强时,在此情况下,不是暴雨中心的水汽输送比弱降雨中心区强,就是上升运动比其强(如表 3 中第 1、第 3、第 7 和第 8 个例);当 850 hPa 的水

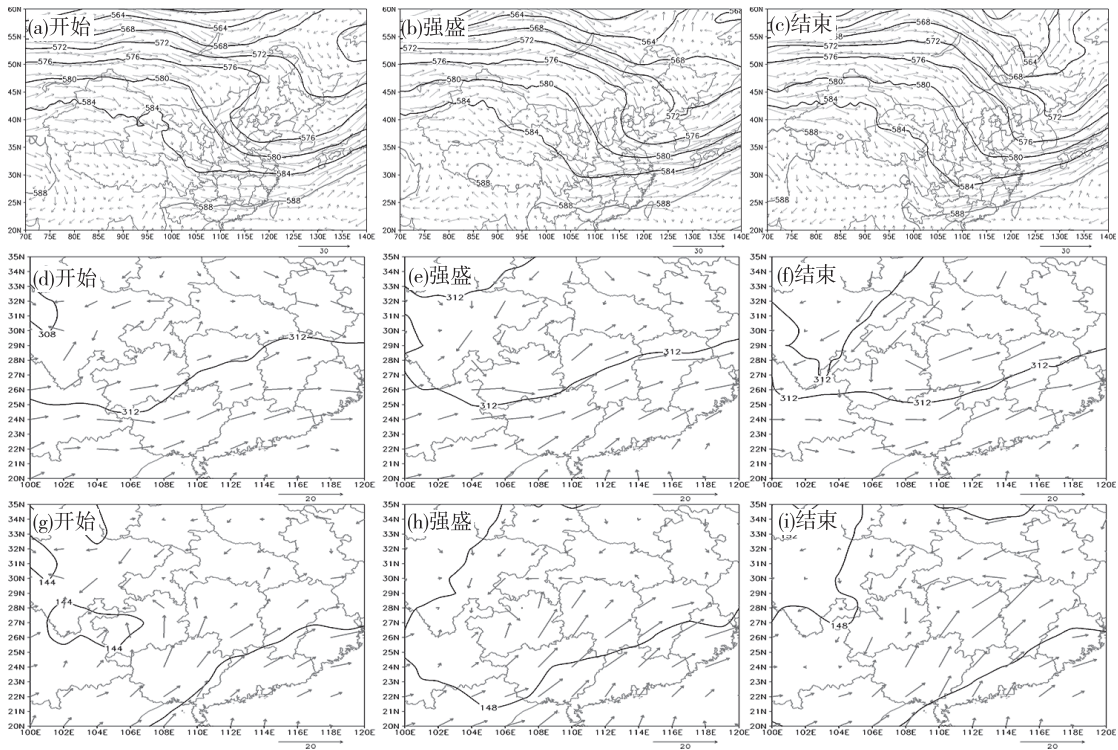


图3 高空槽气旋旋转型暴雨合成后的天气形势图

500 hPa(a,b,c)、700 hPa(d,e,f)、850 hPa(g,h,i)的开始时刻、强盛时刻和结束时刻天气形势图

Fig.3 Synthesis weather pattern about regional rainstorm of high-level trough rotary type

Weather chart at the start, strong and end time of 500 hPa(a,b,c), 700 hPa(d,e,f) and 850 hPa(g,h,i)

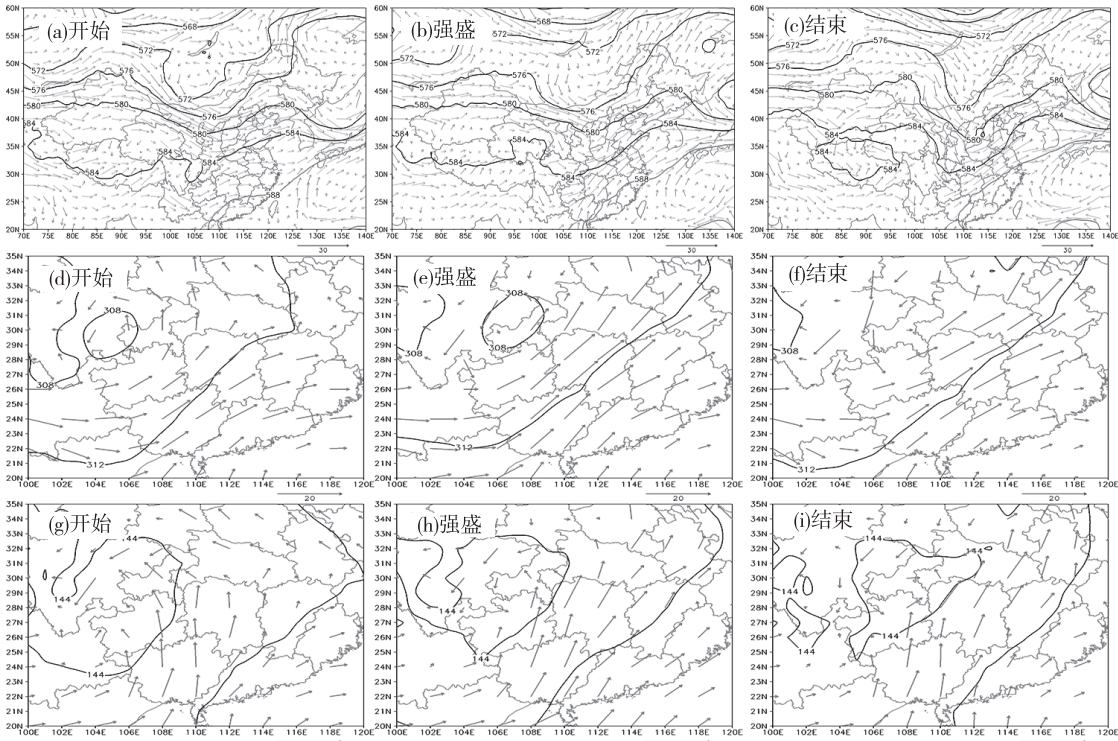


图4 高空槽低涡切变型暴雨合成后的天气形势图

500 hPa(a,b,c)、700 hPa(d,e,f)、850 hPa(g,h,i)的开始时刻、强盛时刻和结束时刻天气形势图

Fig.4 Synthesis weather pattern about regional rainstorm of high-level trough low vortex shear type

Weather chart at the start, strong and end time of 500 hPa(a,b,c), 700 hPa(d,e,f) and 850 hPa(g,h,i)

汽无明显辐合,而是处于辐散情况时,暴雨中心的辐散情况也比弱降水中心弱,此情形下,同样不是暴雨中心的水汽输送比弱降水中心区强,就是上升运动比其强(如表 3 中第 2、第 5 个例);对于表 3 中的第 4 个个例,暴雨中心的水汽输送情况明显低于弱降水中心,只是 500 hPa 高度上上升运动比其强,

为什么暴雨中心赤水下了 85.8 mm,而弱降水中心余庆几乎没有下雨呢?从表 4 中或许能找到答案,可以看到暴雨中心的最大小时雨强达到了 35.0 mm/h,并且降雨持续了 13 h,说明雨强大和持续时间长对雨量的累积有正贡献,同理,第 6 个个例也是这种情况。

表 3 8 次区域性暴雨个例的物理量判据

Tab.3 The physical criterion for the examples of 8 regional rainstorms

	W500		W700		W850		850 hPa 水汽通量		850 hPa 水汽 通量散度		K 指数	
	暴雨	弱降水	暴雨	弱降水	暴雨	弱降水	暴雨	弱降水	暴雨	弱降水	暴雨	弱降水
	中心	中心	中心	中心	中心	中心	中心	中心	中心	中心	中心	中心
2014-07-03	-10	-10	-10	-5	-5	0	7	5	-13	-13	36	35
2007-07-24	-5	-5	-5	-5	-5	-5	8	2	1	3	38	36
2007-07-29	-25	-20	-15	-10	-5	0	11	14	-4	-4	38	35
2008-07-01	-10	-5	-5	-5	-5	-5	12	22	12	13	36	36
2011-08-23	0	0	-10	-5	-5	-5	5	5	6	7	33	35
2010-06-19	-20	-20	-10	-10	-5	-5	9	10	-4	-5	32	32
2015-08-18	-15	-10	-15	-15	-10	-10	13	5	-7	8	35	34
2016-07-19	-10	-5	-10	-5	-10	-5	19	20	-1	0	41	41

注:表中 W、水汽通量、水汽通量散度和 K 指数的单位分别为 Pa/s、g/(cm·hPa·s)、10⁻⁷·g/(cm²·hPa·s)和℃。

从表 4 中可以看出,暴雨中心的前一日日较差和降雨持续时长普遍比弱降水中心的高,当然也有 3 次个例是例外,其日较差是暴雨中心比弱降水中心的低,并且还有 1 次个例的降雨持续时长也比弱

降水中心的短,但是最大小时雨强暴雨中心往往是弱降水中心的几倍甚至几十倍及上百倍,说明最大小时雨强对降雨量累积的贡献最大,其次是降雨持续时长。

表 4 8 次区域性暴雨个例中暴雨中心与弱降水中心温度和降雨情况比较

Tab.4 The comparison of the temperature and rainfall of the storm center and the weak precipitation center in the case of 8 regional rainstorms

	前一日最高气温-最低气温/℃		降雨持续时长/h		最大小时雨强/(mm/h)	
	暴雨中心	弱降水中心	暴雨中心	弱降水中心	暴雨中心	弱降水中心
2014-07-03	3.3	4.8	4	9	37.8	8.2
2007-07-24	5.5	4.1	18	6	9.7	0.5
2007-07-29	7.9	3.8	20	0	15.3	0
2008-07-01	14.6	7.8	13	0	35	0
2011-08-23	14.4	15.3	6	6	41.1	0.4
2010-06-19	11.8	11	17	8	22	9.8
2015-08-18	6.3	6.6	18	2	16.2	0.3
2016-07-19	8	5.2	9	4	35.3	1.8

6 小结

①2007—2016 年 6—8 月受副高外围影响的 8 次区域性暴雨个例按高空影响系统,可分为 3 大类:低涡槽型、高空槽气旋旋转型和高空槽低涡切变型;有 4 次个例属于低涡槽型,分别有 2 次个例属于高空槽气旋旋转型和高空槽低涡切变型。

②低涡槽型中主要起作用的系统是 500 hPa 低涡槽和 700 hPa 上的气旋式切变,850 hPa 上为低涡

东侧的偏南急流控制;低涡槽南段自川东往东南压至遵义上空,气旋式切变从川东南东移至遵义西部;由于受副高稳定少动的影响,低层系统移动不明显;在发生暴雨的强盛时刻,500 hPa 低涡槽的南段和 700 hPa 气旋式切变正好位于遵义西部,暴雨落区容易发生在遵义地区的西部、北部和东北部,随着低涡槽的移出,降雨趋于结束。

③高空槽气旋旋转型中主要的影响系统是 500 hPa 上的高空槽、700 hPa 上的气旋式切变和

850 hPa上的低涡;高空槽南段从川东北往东南方向经过遵义地区移动至黔东南,气旋式涡旋从川东东移经过渝中至湘西北,低涡从黔西往东北方向经过遵义地区移至湘西北;由于受副高南退影响,高空槽移动还是比较快;在发生暴雨的强盛时刻,高空槽南段和850 hPa上的低涡正好在遵义地区上空,700 hPa上气旋式涡旋中心位于渝中,切变线位于遵义地区中部,这种天气形势背景下暴雨落区容易发生在遵义地区的北部和东北部。

④高空槽低涡切变型中的主要的影响系统是500 hPa上的高空槽、700 hPa上的低涡切变和850 hPa上的低涡;高空槽南段从川东南经过遵义地区南压至黔东南,低涡切变从川东往东北方向移动至渝北的过程中切变影响遵义,低涡从川东移至遵义上空;在发生暴雨的强盛时刻,高空槽南段位于遵义地区西部,700 hPa上的低涡位于渝北,切变在遵义地区中部,850 hPa上的低涡正好在遵义地区上空,暴雨落区容易发生在遵义地区的东北部。

⑤当暴雨中心850 hPa的水汽辐合强度与弱降雨中心相等或者更强时,或者当850 hPa的水汽无明显辐合,而是处于辐散情况下,暴雨中心的辐散情况也比弱降雨中心弱,这两种情形下,不是暴雨中心的水汽输送比弱降雨中心区强,就是上升运动比其强,从而使得暴雨中心的降雨量级比弱降雨中心大,这样就可以在工作中预报暴雨落区时,有一定指示意义。

参考文献

- [1] 姚正兰,谢和林,宋芳.遵义市暴雨气候特征分析[J].贵州气象,2017,41(2):14-19.
- [2] 姚正兰,王君军,罗晓松,等.遵义市2010年7月8—13日暴雨洪涝特征及影响评估[J].安徽农业科学,2011,39(7):4 291-4 294.
- [3] 肖蕾,郭晓超,姚正兰.习水2014年8月11日特大暴雨天气过程的成因分析[J].贵州气象,2015,39(5):19-23.
- [4] 黄士松,余志豪.副热带高压结构及其同大气环流有关若干问题的研究[J].气象学报,1962,31:339-359.
- [5] 黄嘉佑.副高、极涡因子对我国夏季降水的影响[J].大气科学,2004,28(4):517-526.
- [6] 张素琴,林学椿.副高持续异常对长江中下游夏季降水的影响[J].气象,26(5):27-31.
- [7] 谭桂容,孙照渤.西太平洋副高与华北旱涝的关系[J].热带气象学报,2004,20(2):206-211.
- [8] 冷春香,陈菊英.西太平洋副高在1998年和2001年梅汛期长江大涝大旱中的作用[J].气象,2003,29(6):7-11.
- [9] 叶笃正,黄荣辉.长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M].济南:山东科学技术出版社,1996:65-77,367.
- [10] 龚道溢,何学兆.西太平洋副热带高压的年代际变化及其气候影响[J].地理学报,2002,57(2):185-193.
- [11] 金荣花,蒙嘉川,裴海瑛.两次区域性暴雨过程副高三维结构对比分析[J].气象,2007,33(4):40-46.
- [12] 池再香,白慧,黄红,等.夏季黔东南州局地暴雨与西太副高环流的关系[J].高原气象,2008,27(1):176-183.
- [13] 郁淑华,高文良,彭骏.高原低涡移出高原后持续的对流层中层环流特征[J].高原气象,2015,34(6):1 540-1 555.
- [14] 高帆,张永婧,李瑞,等.2015年8月3日山东西北部暴雨过程的中尺度特征分析[J].海洋气象学报,2017,37(2):96-101.
- [15] 寿绍文,等.天气学分析[M].北京:气象出版社,2002:16-21.
- [16] 刘希文,李得勤,韦惠红,等.2013年湖北地区两次雷暴大风过程环境及雷达回波特征[J].气象与环境学报,2018,34(1):01-10.

[1] 姚正兰,谢和林,宋芳.遵义市暴雨气候特征分析[J].贵州气象,