

长江上游与洞庭湖洪水遭遇水雨情及天气特征综合分析

田刚¹ 陈良华² 张萍萍¹ 王继竹¹ 陈晨³

(1 武汉中心气象台, 武汉 430074; 2 三峡水利枢纽梯级调度通信中心, 宜昌 443133; 3 宜昌市气象局, 宜昌 443100)

摘要: 利用水雨情数据和NCEP/NCAR再分析资料, 针对三峡水库调度的不同关键期, 分析了1981—2012年长江上游、洞庭湖流域的洪水、降水及天气特征, 比较了只形成长江上游大洪水与造成上游、洞庭湖遭遇洪水的天气特征异同。结果表明: 消落期长江无需防范干流大洪水, 汛期、蓄水期需防范上游大洪水和7—9月出现的上游、洞庭湖洪水遭遇。长江上游、洞庭湖洪水是否遭遇关键看东部长江中下游副热带高压进退是否明显, 中低层洞庭湖是否有明显的反气旋性系统进行持续顶托。

关键词: 长江上游, 洞庭湖, 洪水遭遇, 天气特征

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.04.006

Synthetical Analysis of Floods, Precipitation and Weather Features for Encountering Floods in the Yangtze River and Dongting Lake

Tian Gang¹, Chen Lianghua², Zhang Pingping¹, Wang Jizhu¹, Chen Chen³

(1 Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074

2 Three Gorges Cascade Dispatch and Communication Center, Yichang 443133

3 Yichang Meteorological Bureau of Hubei Province, Yichang 443000)

Abstract: Based on precipitation data, hydrological information and the NCEP/NCAR reanalysis data during 1981–2012, the floods precipitation and weather features are analyzed for the Yangtze River and Dongting Lake area. The similarities and differences of weather characteristics are compared between the floods events regions. in the upper Yangtze River and Dongting Lake regions, during the different dispatch key period for the Three Gorges Reservoir. The results show: The big flood in mainstream of the Yangtze River is impossible for the drawdown period, the big flood may appear in the upper reaches of the Yangtze River for the rainy season and the impoundment periods, and the synchronized floods in the Yangtze River and Dongting Lake occur often between July and September. The east-west direction movement of the subtropical anticyclone in the Western Pacific plays a key role for the Yangtze River flood, the chief factor of flood encountering in the Yangtze River and Dongting Lake regions is whether there sustainable exists an anticyclone circulation in the middle and lower layers of troposphere over the Dongting Lake.

Key words: the Yangtze River, Dongting Lake, flood encounter, weather features

0 引言

历史上长江流域多次发生大洪水, 特别是当长江上游洪水与中下游支流洪水遭遇时, 往往形成灾害性的大洪水, 其中尤以洞庭湖洪水遭遇次数最多, 灾害影响也最为显著^[1]。随着三峡工程的建成, 发挥其防洪调节作用并合理利用洪水资源, 实现上游洪水与中下游支流洪水错峰成为了现实, 特别是尽早制定调度

计划来应对洪水及上下游洪水遭遇, 化灾害为资源, 可以更好发挥三峡等水利工程的综合效益。近年来, 国内外许多水文气象工作者对长江流域洪水过程开展了多项研究, 如陈璐等^[2]、闫宝伟等^[3]、戴明龙^[4]等从水文角度开展了长江上游干支流、长江与清江、长江与洞庭湖的洪水组成与遭遇分析, 陈金荣等^[5]、张有芷等^[6]、毕宝贵等^[7]、周允中等^[8]、陈菊英^[9]从气象角度研究了洪水产生的天气背景, 郭生练^[10]、李安强^[11]、胡挺^[12]则从防洪出发提出了水库联合优化调度方法。但目前将洪水分析、天气分析和调度规程结合起来的研究较少, 特别是只形成长江上游大洪水与造成上游、

收稿日期: 2017年12月13日; 修回日期: 2018年5月24日

第一作者: 田刚(1976—), Email: yctg@163.com

资助信息: 中国长江电力股份有限公司科研项目(2414020007); 中国气象局山洪地质灾害防治气象保障工程项目

中下游遭遇洪水的天气特征有何区别,洪水调度上各关键期应重点关注哪类天气上,此类研究较为鲜见。

本文以洪水分析为基础研究洪水遭遇的天气学特征,利用长江流域主要控制站宜昌、城陵矶、螺山等站日平均流量,分析洪水时空分布特征和洪水遭遇特征,利用长江流域701个国家气象站分析了长江上中游致洪降雨特征,并采用物理量诊断分析方法,分析不同类型洪水遭遇的天气特征,以期从水文、气象两方面,总结只形成长江上游大洪水和长江上游、洞庭湖遭遇洪水的相关规律,为三峡水利枢纽综合调度和水资源合理利用提供决策依据。

1 资料和方法

1.1 资料

水文资料使用长江流域主要控制站宜昌、城陵矶、螺山以及屏山、高场、富顺、朱沱、北碚、寸滩、武隆日平均流量,为实现连续性分析,对2003年三峡蓄水后宜昌站以下流量进行了还原计算;降水资料为长江流域701个国家气象站逐日降水;天气诊断使用NCEP/NCAR再分析资料,水平分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。以上资料时段均为1981—2012年5—11月。

1.2 洪水统计标准

与水文部门常规的标准定义不同,本文主要讨论对三峡水库各关键期实时调度有影响的洪水及洪水遭遇过程,相关标准定义如下。

1) 宜昌、洞庭湖洪水过程标准

宜昌站需满足以下条件:一是流量增幅 $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{s}$;二是流量峰值要达到标准,即按照三峡水库运行调度规程划分各关键期,流量峰值消落期(5月1日—6月10日) $\geq 20000 \text{ m}^3/\text{s}$,汛期(6月10日—8月31日) $\geq 45000 \text{ m}^3/\text{s}$,蓄水期(9—11月) $\geq 30000 \text{ m}^3/\text{s}$;

城陵矶站需满足以下条件:一是流量增幅 $\geq 3000 \text{ m}^3/\text{s}$;二是流量峰值 $\geq 20000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2) 长江上游、洞庭湖洪水遭遇的标准

若满足洪水过程标准的宜昌站、城陵矶站洪峰传播至螺山站的时间间隔在5 d以内,均视为洪水遭遇,用宜昌站洪峰出现时间来定义洪水遭遇编号。本文重点讨论长江上游、洞庭湖洪水遭遇过程,以及未出现宜昌站、城陵矶站洪水遭遇但宜昌站最大日平均流量超过 $45000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的长江上游大洪水过程。

2 洪水特征

2.1 洪水过程

1981—2012年,宜昌站共出现89次洪水过程,

平均每年2.78次,其中消落期21次,汛期38次,蓄水期30次,1998年最多达到8次,2006年没有出现洪水过程;城陵矶站洪水过程共出现58次,平均每年1.82次,其中消落期6次,汛期45次,蓄水期7次,1998年最多达到6次,有6年全年没有出现洪水过程,即5年中有1年洞庭湖全年无洪水,消落期、蓄水期均是5年中有4年洞庭湖无洪水。

宜昌站洪水过程起涨日期主要集中出现于5月中旬到9月下旬。城陵矶站洪水过程起涨日期分布于5月上旬至11月上旬;宜昌站洪水过程洪峰日主要集中出现于5月中旬到9月下旬,6月中旬近32年无洪峰。城陵矶站洪水过程洪峰日分布于5月中旬到11月中旬,主要集中出现于6月中旬到8月上旬。

2.2 洪水遭遇过程

1981—2012年长江上游大洪水过程共出现24次(表1),平均每年0.75次,其中汛期19次,占79.2%,平均历时15 d,最短8 d,最长32 d;蓄水期5次,占20.8%,平均历时15 d,最短8 d,最长20 d;消落期未出现大洪水过程。洪水过程出现时间最早为6月24日,最迟为9月19日;洪峰最早为出现为7月3日,最迟为9月21日。

长江上游、洞庭湖洪水遭遇共30次(表2),消落期遭遇6次,平均历时33 d,最短16 d,最长49 d,宜昌站洪峰均小于 $30000 \text{ m}^3/\text{s}$,且未出现螺山大于 $50000 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪峰;汛期遭遇20次,平均历时23 d,最短11 d,最长56 d,宜昌站洪峰均超过 $45000 \text{ m}^3/\text{s}$,在 $55000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上的过程有11次;蓄水期遭遇4次,平均历时34 d,最短22 d,最长52 d,宜昌站洪峰在 $45000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上的过程有1次(表3)。洪水过程出现时间最早为5月8日,最迟为9月22日;洪水遭遇最早出现为5月17日,最迟为9月23日。

持续高流量、高水位常常是由多个洪水遭遇过程造成的,如1998年长江洪水过程中螺山7月19日—8月15日(表4)、8月16日—9月25日两次持续性洪水,均分别有3次上游与洞庭湖洪水遭遇,1999年7月9—26日、2005年5月24日—7月11日持续洪水,也有相似情况。

2.3 洪水影响分析

综合洪水过程和遭遇过程特征,消落期长江上游虽多次出现 $20000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上洪水,但无 $30000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上过程,洞庭湖洪水最多一年出现1次超过 $20000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上的过程;遭遇过程最大仅为 $46600 \text{ m}^3/\text{s}$,仅16%年份可出现洪水遭遇。由于消落期洪水遭遇洪量小、次数少,长江未有形成重大汛情的情形,但需考虑

表1 长江上游大洪水过程流量特征 (单位: m³/s)
Table 1 List of water flow of floods in the upstream of Yangtze River (unit: m³/s)

洪水编号	洪峰流量	流量增幅	日最大增幅	洪水编号	洪峰流量	流量增幅	日最大增幅
1: YC19810719	69500	42400	17400	13: YC19970720	48200	19800	6800
2: YC19810821	45100	21700	10600	14: YC19980717	55600	22000	8200
3: YC19820718	50400	32000	11400	15: YC20000703	52300	32400	11100
4: YC19830804	52600	33000	12900	16: YC20000718	52000	19500	10500
5: YC19830823	46400	22600	7400	17: YC20030904	45000	24400	11200
6: YC19830912	48500	27700	9000	18: YC20040908	59100	39400	13500
7: YC19840710	55500	31300	8500	19: YC20090807	55600	33400	9150
8: YC19840729	47900	12500	7100	20: YC20100720	66000	39000	26300
9: YC19840808	45500	15900	9400	21: YC20100824	54300	37800	10300
10: YC19910815	50400	34200	9200	22: YC20110921	45700	30700	16100
11: YC19920719	47700	26300	11200	23: YC20120712	52700	14000	5500
12: YC19930814	45600	20100	9300	24: YC20120903	50400	33200	14400

表2 长江上游与洞庭湖洪水遭遇过程流量特征 (单位: m³/s)
Table 2 List of water flow of encountering floods in the upper Yangtze River and Dongting Lake (unit: m³/s)

洪水编号	洪峰流量	流量增幅	日最大增幅	洪水编号	洪峰流量	流量增幅	日最大增幅
1: ZY19820731	53200	7100	2300	16: ZY19980816	65100	5300	1300
2: ZY19820922	50700	21800	2100	17: ZY19980825	65100	5300	1300
3: ZY19830717	59300	8500	3000	18: ZY19980831	65100	5300	1300
4: ZY19840603	41800	14400	5300	19: ZY19990701	63700	32900	8000
5: ZY19870724	51900	16300	5900	20: ZY19990708	68200	10100	4200
6: ZY19880906	60800	36100	4800	21: ZY19990720	68200	10100	4200
7: ZY19890714	52000	13200	4200	22: ZY19990908	45700	7800	1600
8: ZY19920520	42200	17100	4300	23: ZY19990918	40400	1800	1200
9: ZY19930817	54900	6700	1800	24: ZY20020517	46600	13900	2100
10: ZY19930831	55500	8800	2400	25: ZY20020818	67400	29300	4700
11: ZY19950604	37400	16900	3700	26: ZY20050606	40900	16300	1900
12: ZY19980702	61100	25800	6400	27: ZY20050610	40900	16300	1900
13: ZY19980724	67500	11300	4200	28: ZY20070730	50100	12700	1900
14: ZY19980807	67500	11300	4200	29: ZY20100728	46900	1300	900
15: ZY19980812	67500	11300	4200	30: ZY20120724	57100	20700	2700

表3 长江上游与洞庭湖洪水遭遇过程宜昌站各级洪水次数
Table 3 Times in flood grades at Yichang Station for encountering floods in the upper Yangtze River and Dongting Lake

宜昌站流量等级/(m ³ /s)	消落期/次	汛期/次	蓄水期/次
<30000	6		
30000~45000	0		3
45000~55000	0	9	1
>55000	0	11	0

消落时加大下泄与中下游洪水遭遇的影响;汛期,长江上游多次出现30000 m³/s以上洪水,洞庭湖洪水多有超过20000 m³/s以上的洪水,遭遇过程最大可达68200 m³/s,一年最多可出现7次遭遇过程,有35%年份可出现洪水遭遇。汛期洪水遭遇洪量大、次数多,平均3年就会出现上游、洞庭湖洪水遭遇的情形;蓄水期,长江上游多次出现30000 m³/s以上洪

表4 1998年7月19日—8月15日长江上游与洞庭湖洪水遭遇过程流量特征 (单位: m³/s)

Table 4 List of water flow during encountering floods in the upper Yangtze River and Dongting Lake during the period from 19 July to 15 August 1998 (unit: m³/s)

洪水编号	控制站	开始/洪峰/结束日期	洪峰流量	过程增幅	日最大增幅
ZY19980724	宜昌	07-23/07-24/07-30	51600	7200	4600
	城陵矶	07-19/07-31/08-15	35800	16700	4800
	螺山	07-19/07-26/08-15	67500	11300	4200
ZY19980807	宜昌	07-31/08-07/08-09	61200	27400	7900
	城陵矶	07-19/08-07/08-15	35800	16700	4800
	螺山	07-19/07-26/08-15	67500	11300	4200
ZY19980812	宜昌	08-10/08-12/08-15	60200	10500	6000
	城陵矶	07-19/08-12/08-15	35800	16700	4800
	螺山	07-19/07-26/08-15	67500	11300	4200

水,宜昌流量达到45000 m³/s,上游大洪水5~6年出现1次;洞庭湖最多一年出现两次超过20000 m³/s以上

的洪水，但80%的年份无洪水；遭遇过程最大也可达60800 m³/s，最多一年出现2次蓄水期遭遇过程，最晚可出现在9月底，但出现遭遇的年份不足10%。蓄水期洪水遭遇洪量虽大，但次数少，10年以上才会出现1次洪水遭遇的情形。

因此消落期洪水调度主要是做好中小洪水的利用，汛期、蓄水期需防范洪水遭遇，主要关注7—9月，汛期是重点防范时期。

3 长江上游大洪水与上游、洞庭湖洪水遭遇降雨特征

3.1 长江流域洪水过程暴雨时空分布特征

流域暴雨时空分布上，流域暴雨中心随时间变化总体上呈自东向西递减特征。年暴雨站数上游少于中下游，流域暴雨中心在鄱阳湖水系的饶河信江。月暴雨中心5—7月呈自中下游向上游逐渐西移特征，8—9月稳定在长江上游，10—11月向由上游向中下游移动，长江中下游暴雨出现时间早于上游。各关键期上（图1），消落期暴雨中下游远多于上游，流域暴

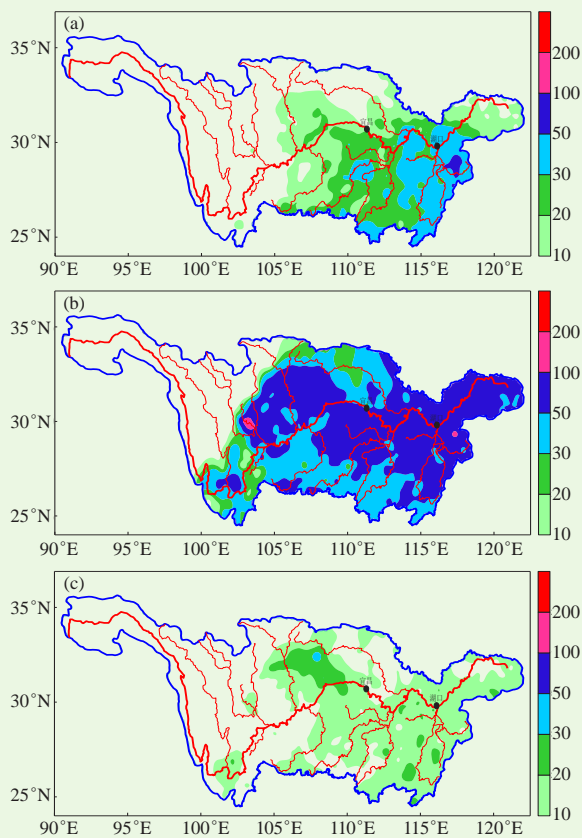


图1 长江流域消落期 (a)、汛期 (b) 和蓄水期 (c) 暴雨累计站次空间分布

Fig.1 Spatial distribution of accumulated times and station number of the rainstorm in the Yangtze River Basin: (a) for the drawdown period (b) for the rainy season, (c) for the impoundment period

雨中心位于长江中下游的饶河信江附近；汛期暴雨范围西扩，中心呈多点分布，流域暴雨中心位于上游青衣江；蓄水期暴雨明显减少，上游略多于中下游，流域暴雨中心位于上游渠江、三峡区间和中游鄱阳湖流域。

暴雨过程与洪水过程的相关上，洪水过程更多与降水集中期相关。从按泰森多边形法计算的暴雨笼罩面积来看，9月蓄水期长江上游暴雨笼罩面积（图2a）虽只略多于5月消落期，中下游暴雨笼罩面积（图2b）5月还远多于9月，但9月出现的上游洪水过程和上游、洞庭洪水遭遇过程强度要明显大于5月。因此流域致洪暴雨要重点关注雨区的季节性移动和持续性集中降水时段。

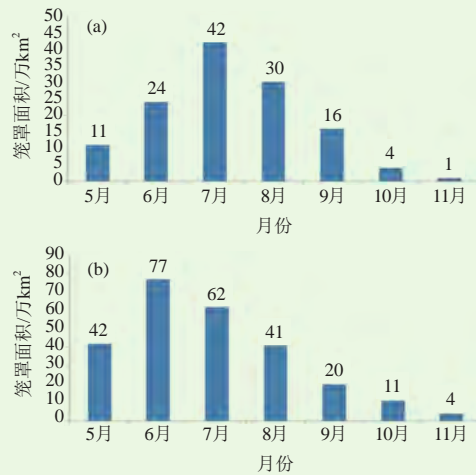


图2 长江上游 (a)、中下游 (b) 5—11月暴雨笼罩面积 (单位: 万 km²)

Fig. 2 The covered areas by rainstorms in rainy months from May to November: (a) for the upper, (b) for the middle and lower in the Yangtze River Basin (unit: 10⁴ km²)

3.2 长江上游大洪水与上游、洞庭湖洪水遭遇过程降雨特征

为分析洪水遭遇特征，按图3将宜昌以上长江上游分为金沙江、岷沱江、嘉陵江、乌江、宜宾至重庆、三峡区间（重庆至宜昌）6个子流域，洞庭湖流域为洞庭湖湖区及湘、资、沅、澧四水。长江上游大洪水（简称未遭遇型）和长江上游、洞庭湖遭遇洪水（简称遭遇型）两类过程降雨呈现以下特征。

1) 从洪水的子流域组合来看（表5），长江上游大洪水多数过程累加强降水子流域大部在4个以上，嘉陵江流域最多，其次为三峡区间、岷沱江，金沙江最少；遭遇过程上下游均未出现强降水也有可能出现洪水遭遇，因此需特别注意考虑前期洪水影响，遭遇过程乌江、宜宾-重庆、三峡区间三流域出现强降水组合情形最多。



图3 长江中上游流域七流域划分及站点分布示意图
Fig. 3 Locations of the subbasin divisions and rainfall stations in the middle and upper Yangtze River basin

表5 长江上游大洪水和上游、洞庭湖洪水遭遇强降雨流域组合次数统计

Table 5 Numbers of big floods and encountering floods with various number of subbasin regions in the Yangtze River and Dongting Lake

出现强降雨子流域数量	0	1	2	3	4	5	6	7	合计
长江上游大洪水次数		3	3	2	12	5	1		24
上游、洞庭湖洪水遭遇次数	1	0	0	6	6	4	6	4	30

2) 从洪水过程的过程面雨量平均来看(表6),影响长江上游大洪水长江上游过程平均面雨量汛期、蓄水期均为66 mm,极端最大为139 mm。上游各子流域过程平均面雨量在57~85 mm,极端最大在127~225 mm。对上游降水过程面雨量,4个以上子流域均达到55 mm,整个上游达到65 mm的降水要注意上游大洪水的可能。

表6 长江上游大洪水各子流域过程面雨量(单位: mm)
Table 6 The maximum and average rainfall of the big floods in each branch in the upper Yangtze River (unit: mm)

流域面雨量	金沙江	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜宾-重庆	重庆-宜昌	长江上游合计
过程平均	57	71	85	54	61	71	66
过程最大	136	185	146	127	152	225	139

如表7所示,影响长江上游、洞庭湖遭遇洪水过程,多年平均过程面雨量宜昌以上为83 mm,各关键期平均为消落期83 mm、汛期88 mm、蓄水期

表7 长江上游、洞庭湖遭遇洪水长江上游、洞庭湖流域过程面雨量(单位: mm)

Table 7 The maximum and average rainfall of the encountering floods in each branch in the upper Yangtze River and Dongting Lake (unit: mm)

流域面雨量	金沙江	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜宾-重庆	重庆-宜昌	上游合计	洞庭湖	螺山以上
过程平均	77	73	78	99	94	97	83	97	87
过程最大	138	178	157	195	211	197	144	245	175

81 mm;洞庭湖多年平均过程面雨量为97 mm,各关键期平均为消落期97 mm、汛期95 mm、蓄水期93 mm;螺山以上过程平均面雨量为87 mm;上游子流域为77~97 mm。对降水过程面雨量长江上游达到80 mm、洞庭湖超过90 mm的降水要注意可能形成遭遇型洪水。

过程面雨量长江上游大洪水北部大于南部,即长江上游乌江明显偏少、嘉陵江明显偏多。而上游、洞庭遭遇洪水过程面雨量南部大于北部,长江上游乌江明显偏多、嘉陵江相对偏少。

3) 从雨水总量的组成来看,考虑前期降水的雨水总量与洪水过程总量组成占比相似。对于长江上游大洪水,朱沱站对应的金沙江与岷沱江洪量组成占比较多,平均约占57.0%,武隆对应的乌江洪量组成占比较少,约占7.6%;遭遇型洪水长江上游占比较多,除ZY20020517过程外宜昌站均在55%以上,最大可达82%,洞庭湖占比较少,多在30%~50%。

4 长江上游大洪水与上游、洞庭湖洪水遭遇过程各关键期天气特征异同

长江上游大洪水与造成上游、中下游遭遇洪水的天气概念模型,陈璇等^[13]、张萍萍等^[14]分别进行过总结,指出汛期、蓄水期影响长江上游大洪水的降雨天气型可分为巴尔喀什湖(以下简称巴湖)槽东移型、贝加尔湖(以下简称贝湖)槽稳定型和东北低涡型3种环流类型;影响长江上游、洞庭湖遭遇洪水的降雨天气型可分为东北、巴湖槽东移型和贝湖槽东移型、乌山东部槽型、双阻梅雨锋型及东北冷槽尾部型5种类型,消落期主要是东北、巴湖槽东移型和贝湖槽东移型、东北冷槽尾部型3种,汛期5种均可出现,蓄水期以东北、巴湖槽东移型和贝湖槽东移型为主。针对长江上游、洞庭湖流域遭遇洪水不同关键期特征,张萍萍等^[15]进一步分析得出:消落期重点考虑冷空气影响作用,汛期重点考虑暖湿气流增强与北部弱冷空气南下的相互作用;蓄水期重点考虑副热带高压(以下简称副高)西伸并稳定维持而形成的华西秋雨。

由于消落期未出现长江上游大洪水且遭遇型洪水强度总体较弱,防洪调度更加关心汛期、蓄水期。本文结合以上分析,引入张萍萍提出的综合指数,分别针对汛期19次未遭遇、20次遭遇型洪水和蓄水期5次未遭遇型、4次遭遇型洪水,从大尺度环流背景、天气系统特征以及物理量场几个方面,对比汛期、蓄水期长江上游大洪水与上游、洞庭湖洪水遭遇两类洪水过程异同,并简要相似降雨型两类洪水过程特征异同。

4.1 汛期对比

1) 环流及天气系统。从图4及表8可见,两类过

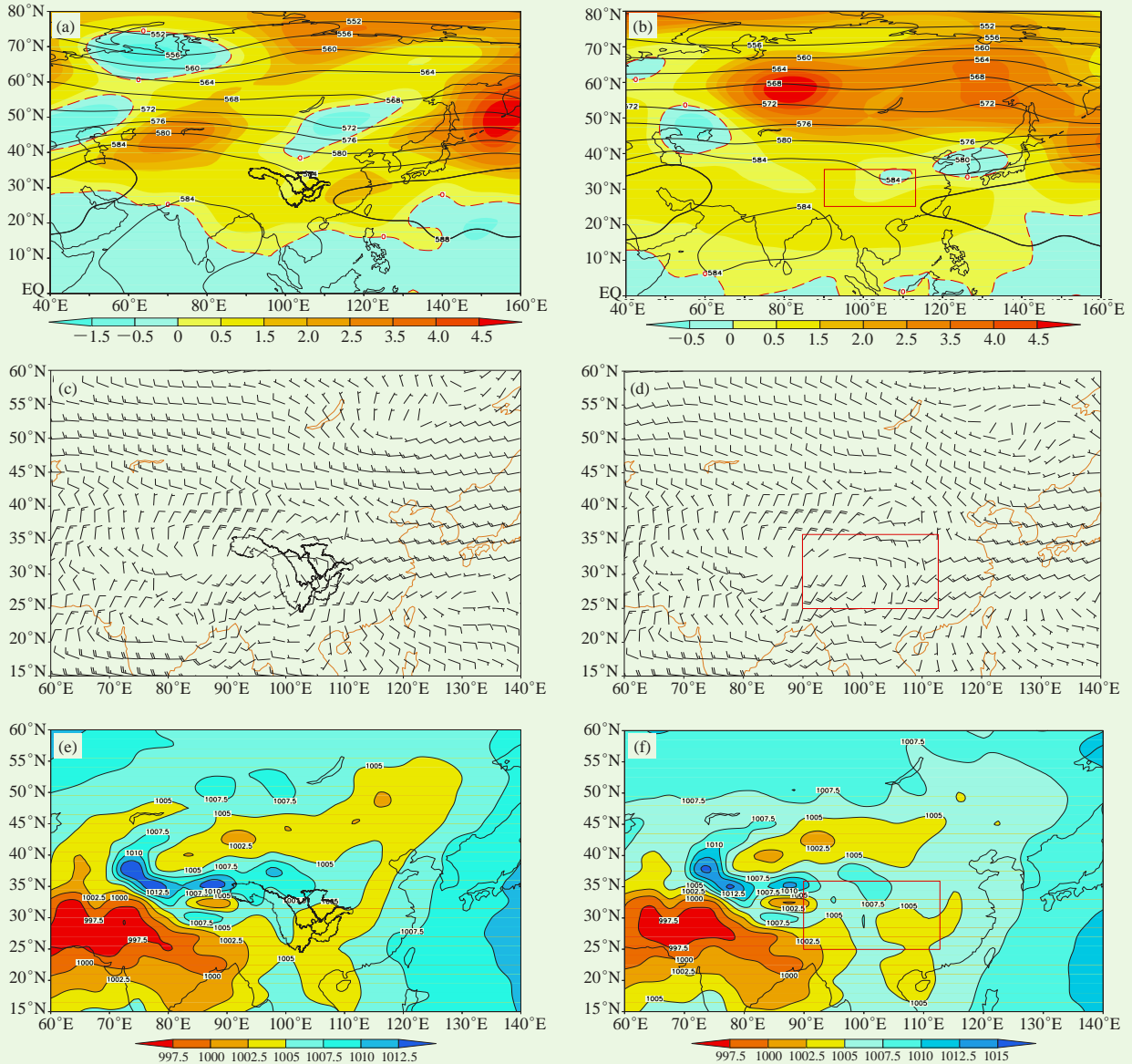


图4 汛期长江上游大洪水 (a、c、e) 和长江上游、洞庭湖遭遇洪水 (b、d、f) 500 hPa位势高度平均场 (a、b; 等值线, 单位: dagpm) 及距平场 (a、b; 阴影)、700 hPa平均风场 (c、d, 单位: m/s)、海平面平均气压场 (e、f; 单位: hPa) (红色方框代表长江上游和洞庭湖流域位置, 下同)

Fig. 4 The 500 hPa average geopotential height (a, b; black solid lines; unit: dagpm) and anomaly fields (a, b; shadow areas), the 700 hPa average wind field (c, d; unit: m/s), the average sea level pressure (e, f; unit: hPa) for the upstream-flood (a, c, e) in the Yangtze River and encountering flood (b, d, f) in the Yangtze River and Dongting Lake during the rainy season (the red box denotes location of the upper Yangtze River and Dongting Lake basin, as same below)

程长江流域附近500 hPa高度场、700 hPa平均风场结构均较为相似。500 hPa高度场副高偏北偏强、脊线北抬至25°附近, 巴湖、贝湖南部 (未遭遇型) 或河套—东北一线 (遭遇型) 为负距平区, 700 hPa风场青藏高原至长江中游存在一明显切变线, 地面图上河套附近存在一个明显的冷高压, 表明两类过程的天气背景、主要影响天气系统基本是相同的。反映出在巴湖有不断东移的短波槽补充和副高北抬西伸背景下, 受贝湖南部 (未遭遇型) 或河套—东北 (遭遇型) 高空

冷槽、副高外围暖湿气流和河套附近南下地面冷空气共同影响, 两类过程均是冷暖空气在长江流域一带辐合交汇形成致洪降水。

但两类过程存在一定差异, 主要表现为造成降水的环流及天气系统比较而言未遭遇型普遍相对偏西。500 hPa副高西伸脊点未遭遇型要较遭遇型偏西3个经度 (表8), 700 hPa风场 (图4c、图4d) 辐合区未遭遇型较遭遇型更加偏西偏北, 地面气压场位于长江上游和洞庭湖区域的暖低压范围未遭遇型也较遭遇型更

加偏西。另外，未遭遇型低纬度地区500 hPa高度表现为负距平，副高强度、面积指数也较弱，反映出低纬度地区热带低值系统未遭遇型相对活跃，对副高的东退南压有更强抑制作用。

2) 物理量指数。由表9可见，汛期两类过程长江上游、洞庭湖面上K指数、面上可降水量的强度相近，K指数场、可降水量场的形态、结构也极为相似（图略），表明两类过程的热力、水汽条件也基本相近。均反映出四川盆地至长江中下游有强烈的水汽输送，青藏高原至四川盆地有很强的不稳定性能量。

但两类过程700 hPa面上涡度、面上综合指数（表9）在洞庭湖差异明显，未遭遇型洪水均为负值，遭遇型洪水为正值。700 hPa涡度场（图5a、图5b）上洞庭湖流域未遭遇型大部处于负涡度区，而遭遇型负涡度区位置更为偏东；遭遇综合指数场上（图5c、图5d），未遭遇型洞庭湖流域大部为低值区，上游流域为明显高值区，位于105°E遭遇型遭遇综合指数15线明显南伸。反映出洞庭湖附近，未遭遇型反气旋环流很强，而遭遇型仍以气旋性环流为主。

以上表明，两类过程的天气背景、主要影响天气

表8 汛期两类洪水副高指数对比

Table 8 Characteristic indexes of subtropical high for two kinds of flood during the rainy season

洪水过程	副高脊线/°N	副高面积指数/个	副高强度指数/(gpm/°)	副高西伸脊点/°E	南亚高压脊线/°N
未遭遇型	25	153	350	112	30
遭遇型	25.7	177	415	115	29

表9 汛期两类洪水长江上游和洞庭湖物理量场对比

Table 9 Physical quantities for two kinds of flood during the rainy season

洪水过程	面上可降水量/mm		面上K指数/°C		700hPa面上涡度/s ⁻¹		面上综合指数	
	长江上游	洞庭湖	长江上游	洞庭湖	长江上游	洞庭湖	长江上游	洞庭湖
未遭遇型	32.57	52.34	41.35	32.22	5.16	-8.64	12.55	-0.18
遭遇型	31.95	55.5	41.06	33.5	4.72	7.16	12.02	16.06

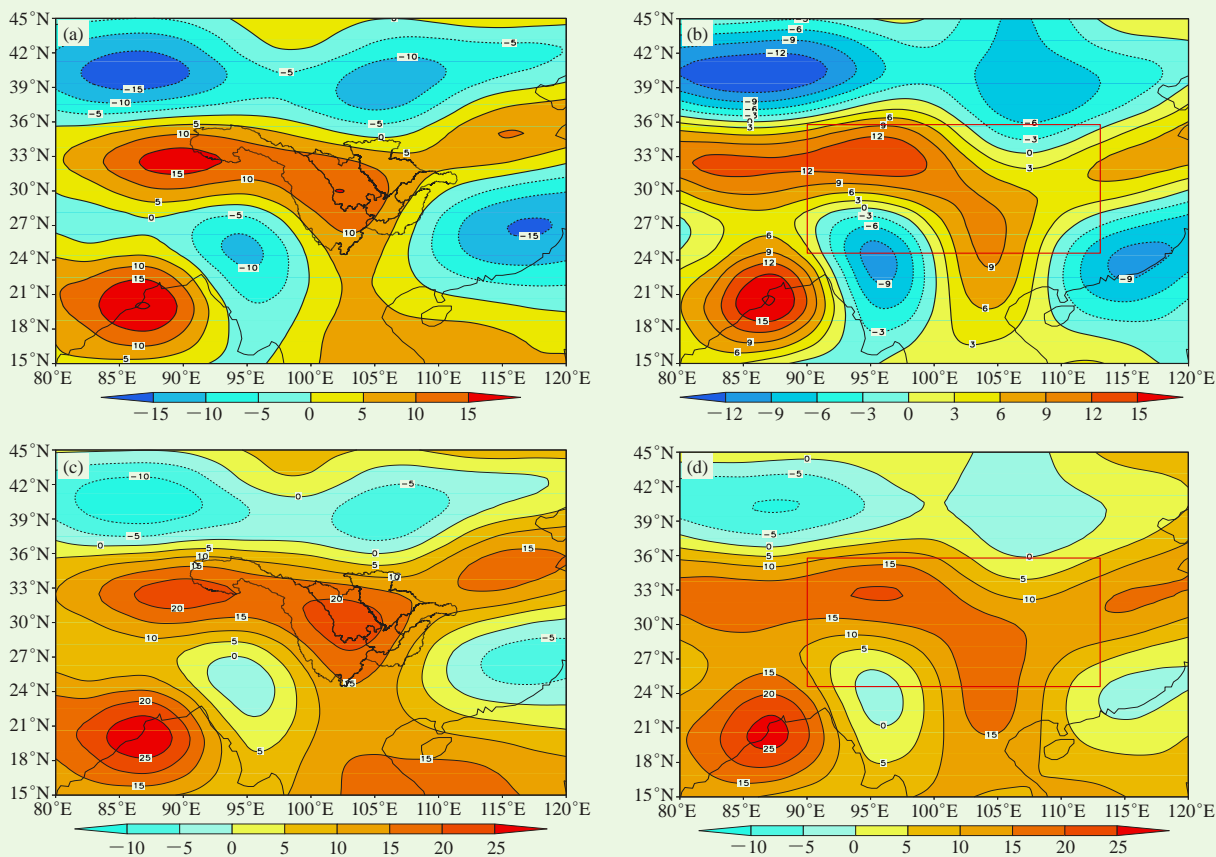


图5 汛期长江上游大洪水 (a、c) 和长江上游、洞庭湖遭遇洪水 (b、d) 的700 hPa平均涡度场 (a、b)、平均综合指数场 (c、d)
Fig.5 The 700 hPa average vortex field (a, b), the average composite index (c, d) for the upstream flood (a, c) and encountering flood (b, d) in the Yangtze River and Dongting Lake during the rainy season

系统和热力、水汽条件相似，但未遭遇型的长江上游大洪水较遭遇型洪水，影响降水的环流及主要天气系统位置更为偏西，长江流域东部系统顶托作用更强，东部反气旋性系统可能是影响天气系统降水位置的关键因素。

4.2 蓄水期对比

1) 环流及天气系统。从图6及表10可见，两类过程长江流域附近500 hPa高度场、700 hPa平均风场结构存在较明显的差异。虽然与汛期相比，两类过程均存在副高增强北抬，贝湖附近有明显的阻塞高压。但500 hPa高度距平场上，中国区域内负距平区未遭遇

型仅在青藏高原东部至四川盆地，遭遇型负距平则从青藏高原一直延伸到整个长江流域，且巴湖附近的负距平区遭遇型位置更为偏东偏强。未遭遇型500 hPa副高在华南断裂为大陆高压，洞庭湖为正高度距平，700 hPa风场东南沿海多低值系统，地面气压场上游流域依然存在暖性低压，表明未遭遇型东南台风明显偏多、偏强，冷空气影响偏北，这与遭遇型副高东退入海、洞庭湖为负高度距平、长江上游地面无明显暖低压、700 hPa风场（图6d）东南沿海低值系统偏弱差异明显。

2) 物理量指数。由表11可见，虽然蓄水期两类

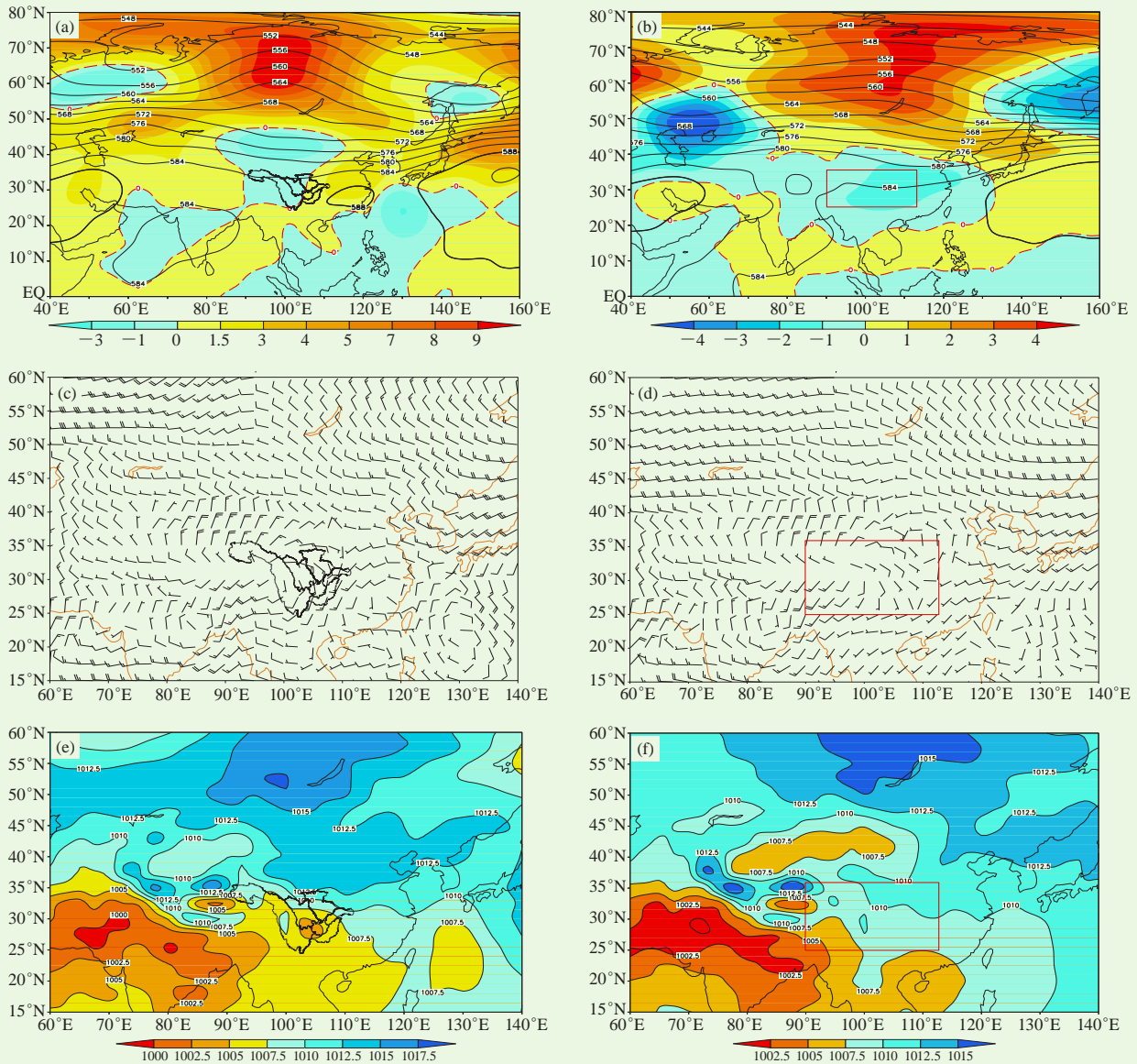


图6 蓄水期长江上游大洪水 (a、c、e) 和长江上游、洞庭湖遭遇洪水 (b、d、f) 500 hPa位势高度平均场 (a、b; 等值线) 及距平场 (a、b; 阴影)、700 hPa平均风场 (c、d)、海平面平均气压场 (e、f)

Fig. 6 The 500 hPa average geopotential height (a, b; black solid lines) and anomaly fields (a, b; shadow areas), the 700 hPa average wind field (c, d), the average sea level pressure (e, f) for the upstream flood (a, c, e) and encountering flood (b, d, f) in the Yangtze River and Dongting Lake during the impoundment period

表10 蓄水期两类洪水副高指数对比

Table 10 Characteristic indexes of subtropical high for two kinds of flood during the impoundment period

洪水过程	副高脊线/°N	副高面积指数/个	副高强度指数/(gpm/°)	副高西伸脊点/°E	南亚高压脊线/°N
未遭遇型	28	183	451	110	28
遭遇型	27.1	148	435	132.5	27

表11 蓄水汛期两类洪水长江上游站和洞庭湖站物理量场对比

Table 11 Physical quantities for two kinds of flood during the impoundment period

洪水过程	面上可降水量/mm		面上K指数/°C		700 hPa面上涡度/s ⁻¹		面上综合指数	
	长江上游	洞庭湖	长江上游	洞庭湖	长江上游	洞庭湖	长江上游	洞庭湖
未遭遇型	31.47	48.47	39.62	30.52	5.31	-14.46	12.42	-6.56
遭遇型	28.16	51.28	38.27	31.23	1.69	4.89	8.33	13.14

过程长江上游、洞庭湖面上K指数、面上可降水量的强度略有不同，K指数场、可降水量场的形态、结构也有一定差异（图略），主要表现在长江上游K指数、可降水量未遭遇型较遭遇型更强，但仍反映出四川盆地至长江中下游的强烈水汽输送，以及青藏高原至四川盆地存在很强的不稳定性能量。

而蓄水期两类过程700 hPa面上涡度、面上综合指数在洞庭湖的表现与汛期相似，也呈现洞庭湖流域700 hPa涡度场（图7a、图7b）未遭遇型为反气旋性环

流，遭遇型为气旋性环流，未遭遇型东部动力持续顶托明显。遭遇综合指数上未遭遇型上游为正值区，洞庭湖为负值区，遭遇型上游、洞庭湖均为正值区。

以上结果表明，蓄水期未遭遇型台风更为偏多偏强，副高西进，冷空气影响偏北，洞庭湖一带存在较强的反气旋性系统顶托。而遭遇型台风偏弱，副高东退，冷空气影响范围更为偏南，洞庭湖一带无反气旋性系统持续顶托。

比较两类过程影响降水的天气系统，表明汛期两

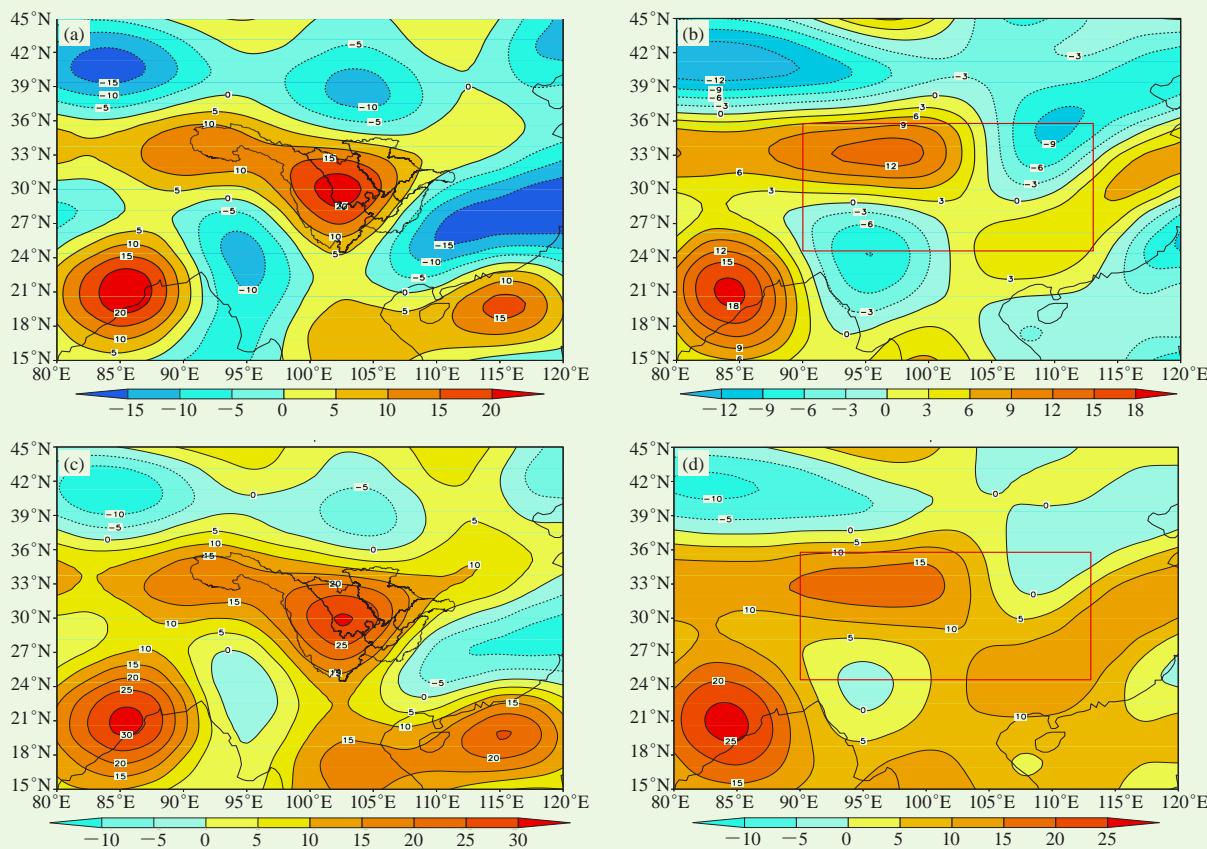


图7 蓄水期长江上游大洪水 (a、c) 和长江上游、洞庭湖遭遇洪水 (b、d) 的700 hPa平均涡度场 (a、b)、平均综合指数场 (c、d)

Fig. 7 The 700 hPa average vortex field (a, b), the average composite index (c, d) for the upstream flood (a, c) and encountering flood (b, d) in the Yangtze River and Dongting Lake during the impoundment period

者基本上是相似的，蓄水期有一定的差异，但均表现为是否出现上游、洞庭湖洪水遭遇的关键因素是动力作用，东部洞庭湖附近反气旋系统的顶托作用造成了两类过程天气系统的降水位置不同。这也较好地解释了两类过程北部嘉陵江和南部乌江雨量之间的差异，未遭遇型长江上游大洪水在临近乌江的洞庭湖流域受反气旋性系统影响，对乌江降水有抑制作用，因此乌江降水常少于嘉陵江；而遭遇型洪水乌江、洞庭湖多为一致的气旋性系统，乌江降水常多于嘉陵江。

4.3 相似降雨型两类洪水过程特征对比

将长江上游大洪水的巴湖槽东移型、贝湖槽稳定型和东北低涡型3类降雨型，按长江上游、洞庭湖遭遇洪水的东北、巴湖槽东移型和贝湖槽型、东北低槽型分别归类，可比较长江上游大洪水和长江上游、洞庭湖遭遇洪水两类过程影响降水的相似降雨型。下面以巴湖、东北低槽东移型为例进行两类洪水典型个例比较。

巴湖、东北低槽东移型多包括几个降水过程，如未遭遇型长江上游大洪水YC20090807包含7月30—31日、8月3—4日两次过程（图8），两次过程中均表现

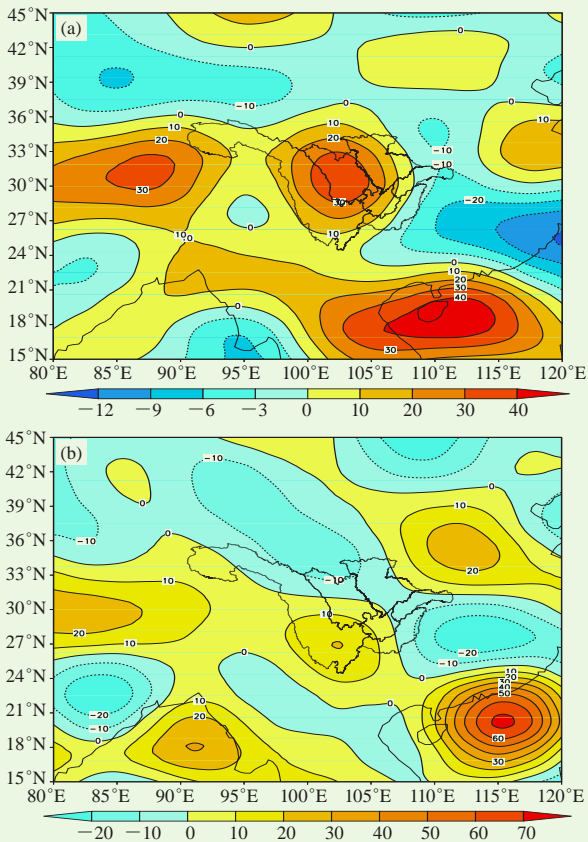


图8 2009年7月30日20时 (a)、8月4日08时 (b) 700hPa 涡度场
Fig. 8 The 700hPa vortex field at 20:00 BT 30 July (a) and 08 BT 4 August (b) 2009

为长江中下游洞庭湖流域700 hPa存在反气旋性系统；而上游、洞庭湖遭遇洪水则表现为洞庭湖至少第一场存在一次气旋性系统，对应出现洞庭湖降水，副高在西伸加强后雨带移向上游，形成洞庭湖退水过程中的洪水叠加。如上游、洞庭湖遭遇洪水ZY19830717包含7月8—9日、7月10—13日、7月14—15日3次过程（图9），前两次洞庭湖均存在气旋性环流。从此型的平均场到第一次降水过程对应物理量场，在降水系统移动期间，洞庭湖流域中低层是否有反气旋性环流持续顶托

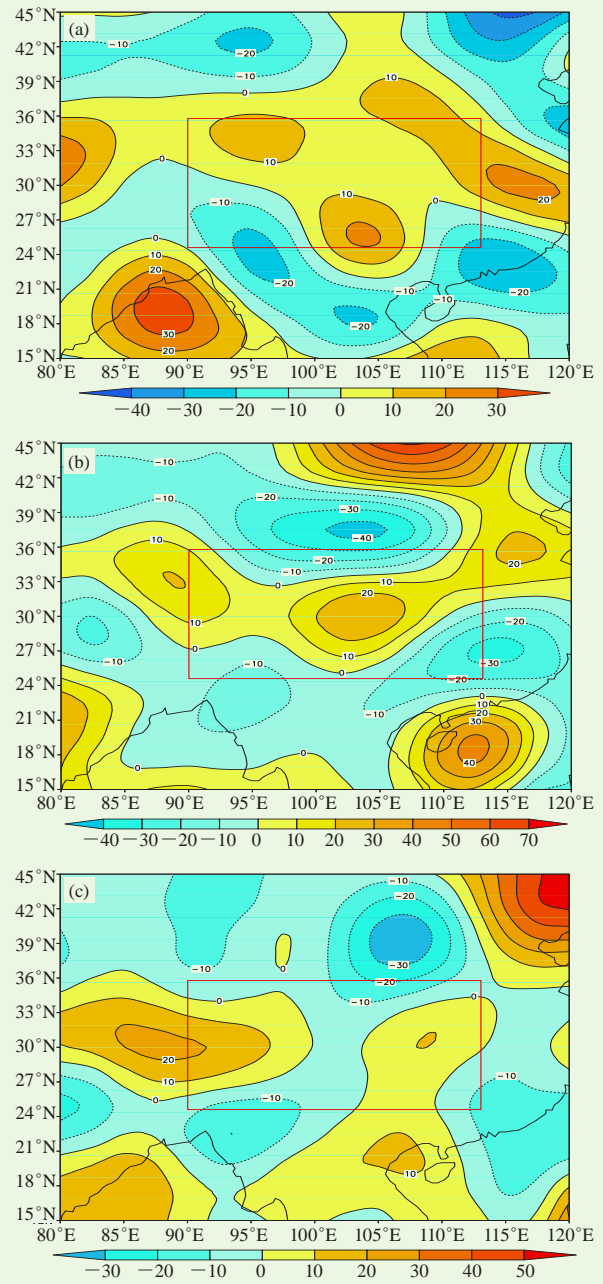


图9 1983年7月9日08时 (a)、7月13日08时 (b)、7月15日08时 (c) 700 hPa 涡度场
Fig. 9 The 700 hPa vortex field at 08 BT 9 July (a), 08 BT 13 July (b) and 08 BT 15 July (c) 1983

是判断遭遇的关键指标。

因此,对相似降雨型从动力原因入手,用洞庭湖流域中低层是否持续存在反气旋性环流来判断遭遇与否也是可行的。

5 结论

1) 在长江干流大洪水关注重点上,消落期雨带主要集中于长江中下游,上游降水强度较小。副高不强,水汽整体输送较弱。既无上游大洪水,即使上游、洞庭湖洪水遭遇也是洪量小、次数少;汛期副高西进明显,水汽输送强烈,对流性不稳定最强,暖湿气流增强与北部弱冷空气南下的相互作用易产生大洪水,75%的年份会出现上游大洪水,3年左右就会出现上游、洞庭湖洪水遭遇的情形,洪水遭遇洪量大、次数较多;蓄水期副高西伸仍较明显,沿海多台风生成,水汽输送和对流性依然较强,在冷空气的影响下可产生上游大洪水和上中游洪水遭遇。上游大水平均5~6年出现1次,长江上游、洞庭湖洪水遭遇10年难得出现一次。因此,消落期主要做好中小洪水的利用并考虑消落时加大下泄与中下游洪水遭遇的影响,汛期、蓄水期需重点防范长江上游大洪水和7—9月出现的上游、洞庭湖洪水遭遇。

2) 在洪水的子流域组合上,长江上游大洪水多数过程累加强降水子流域大部在4个以上,嘉陵江最多,金沙江最少;遭遇过程上下游均未出现强降水也有可能出现洪水遭遇,因此需特别注意考虑前期洪水影响,遭遇过程乌江、宜宾—重庆、三峡区间三流域出现强降水组合情形最多。两类过程三峡区间均易形成洪水组合。过程面雨量关注上,整个上游超过66 mm或4个子流域均超过57 mm的过程要考虑上游出现大洪水的可能;对整个上游达到83 mm、洞庭湖超过97 mm的过程要注意遭遇型洪水可能。

3) 在影响降水的天气背景、主要影响天气系统上,两类过程在汛期基本上是相似的,但未遭遇型的长江上游大洪水较遭遇型洪水,影响降水的环流及主

要天气系统位置更为偏西,长江流域东部反气旋性系统顶托作用更强;蓄水期有较大差异,未遭遇型台风偏多偏强,冷空气影响偏北,洞庭湖一带存在较强的反气旋性系统顶托。而遭遇型台风偏弱,冷空气影响范围更为偏南,洞庭湖一带无反气旋性系统持续顶托。

4) 是否出现上游、洞庭湖洪水遭遇的关键因素是动力作用,东部系统的顶托作用造成了两类过程天气系统的降水位置不同。判断上游、洞庭湖洪水是否遭遇的关键看东部长江中下游副高进退是否明显,中低层洞庭湖是否有明显的反气旋性系统进行持续顶托。

参考文献

- [1] 张洪刚,郭海晋,欧应钧.长江流域洪水地区组成与遭遇规律研究.人民长江,2013,44(10): 62-65.
- [2] 陈璐,郭生练,张洪刚,等.长江上游干支流洪水遭遇分析.水科学进展,2011,22(3): 323-330.
- [3] 闫宝伟,郭生练,陈璐,等.长江和清江洪水遭遇风险分析.水利学报,2010,41(5): 553-559.
- [4] 戴明龙,沈燕舟.长江上游与洞庭湖洪水遭遇规律研究.水资源与水工程学报,2010,21(6): 117-120.
- [5] 陈金荣,罗伯昆.对水文气象预报的认识和实践.人民长江,1982,6(6): 50-57.
- [6] 张有芷,周良芳,张少婕,等.长江中游干流大洪水的遭遇与组成特性分析.水利水电快报,1999,20(2): 1-4.
- [7] 毕宝贵,矫梅燕,廖要明,等.2003年淮河流域大洪水的雨情、水情特征分析.应用气象学报,2004,15(6): 681-687.
- [8] 周允中,杨秀海.长江三峡致洪暴雨及其产生背景.气象科学,1990,10(4): 416-422.
- [9] 陈菊英.1998年长江特大洪水及其形成原因研究.中央民族大学学报:自然科学版,2000,9(2): 134-143.
- [10] 郭生练,陈炯宏,刘攀,等.水库群联合优化调度研究进展与展望.水科学进展,2010,21(4): 498-503.
- [11] 李安强,张建云,仲志余,等.长江流域上游控制性水库群联合防洪调度研究.水利学报,2013,44(1): 59-66.
- [12] 胡挺,梅亚东,汪芸,等.长江上游大型水库群联合优化调度研究.水力发电,2013,39(11): 42-46.
- [13] 陈璇,张萍萍,田刚,等.长江上游流域大洪水天气分型特征分析.长江流域资源与环境,2015,24(12): 2142-2152.
- [14] 张萍萍,张俊,田刚,等.长江上游与洞庭湖洪水遭遇天气概念模型研究.人民长江,2015,46(12): 27-32.
- [15] 张萍萍,董良鹏,陈璇,等.不同关键期长江上游与洞庭湖洪水遭遇过程气候特征对比.干旱气象,2016,34(3): 465-471.