

2020年夏季长江流域异常暴雨洪涝气象特征分析

孟英杰, 王孝慈, 王继竹, 李 曲

武汉中心气象台, 湖北 武汉
Email: 6294940@qq.com

收稿日期: 2021年6月5日; 录用日期: 2021年7月3日; 发布日期: 2021年7月12日

摘 要

2020年夏季长江中下游经历了超级暴力梅和8月上游极端强降雨, 造成长江流域降水异常偏多, 发生了全流域性洪水。本文利用NCEP/NCAR再分析资料和常规气象水文观测资料, 分析了2020年夏季长江流域严重洪涝期间的气象特征, 大尺度的环流形势分析表明: 西太平洋副热带高压、中高纬阻塞高压、孟加拉湾越赤道气流均较历史同期异常偏强, 西太平洋副热带高压北跳早, 长时间稳定维持在 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$, 且强度偏强, 造成长江中下游梅雨期异常。中高纬度经向环流发展, 阻高形势稳定强盛, 冷涡活跃, 有利于冷暖空气持续在长江流域交汇, 雨带位置相对稳定。孟加拉湾越赤道气流较常年爆发早、强度强, 造成南海夏季风爆发略偏早, 强度偏强, 为向长江流域发生致洪暴雨提供充足的水汽输送。另外由于大尺度环流经向性增大, 大气斜压性增强, 多低空急流、气旋性低涡系统以及切变系统的产生, 也是2020年夏季降雨极端强的重要原因。

关键词

长江流域, 暴雨, 洪涝, 环流特征

Analysis of Meteorological Characteristics of Abnormal Rainstorm and Flood in the Yangtze River Basin during the Summer of 2020

Yingjie Meng, Xiaoci Wang, Jizhu Wang, Qu Li

Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan Hubei
Email: 6294940@qq.com

Abstract

The summer precipitation in the Yangtze River Basin in 2020 is more than normal; it experienced the super violent Meiyu period and the extreme rainfall process in the upper reaches of the Yangtze River in August. It caused the disaster flood of the whole Yangtze River Basin. Based on the NCEP-NCAR reanalysis data and the conventional meteorological and hydrological observation data, we analyzed the meteorological characteristics of severe rain and flood disasters in the Yangtze River Basin in the summer of 2020. The analysis of large-scale circulation patterns showed that the Western Pacific subtropical high, the blocking high covering the middle-high latitude and the cross-equatorial flow in the bay of Bengal were stronger than those in the same period in history. The Western Pacific subtropical high was jumped earlier to the north and maintains at 20°~25°N for a long time, and the intensity of subtropical high was stronger, causing the abnormal Meiyu period in the middle and lower reaches of the Yangtze River in 2020. With the development of meridional circulation in middle and high latitudes, the situation of blocking high was stable and strong, and the cold vortex was active, which was conducive to the continuous intersection of cold and warm air in the Yangtze River Basin, and the position of rain belt was relatively stable. The cross-equatorial flow in the Bay of Bengal broke out earlier and stronger than usual, which caused the South China Sea summer monsoon to break out earlier and stronger, and provided sufficient water vapor transport for the flood causing rainstorm in the Yangtze River Basin. In addition, due to the increase of meridional characteristics of large-scale circulation, baroclinic characteristics of atmosphere, and the production of low-level jet, cyclonic vortex system and shear system, it was also an important reason for the extremely strong rainfall in summer 2020.

Keywords

Yangtze River Basin, Rainstorm, Flood, Circulation Characteristics

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2020年夏季长江流域出现全流域性洪水,长江干流先后发生5次编号洪水,三峡水库发生建库以来最大入库洪峰。洪水的形成与2020年长江流域梅雨期超级暴力梅和8月上游极端降雨过程有密切的关系。针对长江流域致洪暴雨,张顺利[1]、王晓芳[2]、孙晓晴[3]等指出稳定的阻塞高压、贝加尔湖槽及副热带高压与长江流域致洪暴雨有密切关系。陶诗言[4]、牛若芸[5]、张庆云[6]等分析指出我国东部夏季暴雨带的位置受西太平洋副热带高压调节,梅雨区入梅偏早与西太平洋副热带高压季节性北跳提前有关。陶诗言[7]、李跃清[8]等指出长江上游暴雨的主要水汽来源于孟加拉湾、南海和太平洋,南海南部大气低频振荡为长江流域暴雨,输送了大量不稳定的暖湿空气。吴哲珺等[9]指出了暴雨过程中东侧西太平洋副热带高压、西侧西南涡的配置有利于低空急流的形成与发展。

上述研究关注重点多是针对暴雨过程,而对长江流域持续性暴雨洪涝和其成因的研究相对较少。对此,本文针对2020年夏季(6~8月)长江流域雨情、水情异常情况,通过分析造成水雨情异常的强降雨过程中的环流特征、水汽输送等,研究2020年长江流域异常致洪降雨的成因,对于认识暴雨洪涝发生原因,

更好地开展长江流域致洪暴雨预报有积极作用。

2. 使用资料及来源

长江流域覆盖 $24^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\sim 122^{\circ}\text{E}$, 横跨西藏、青海、云南、四川、贵州、重庆、甘肃、陕西、湖北、湖南、河南、江西、安徽、江苏、浙江、上海等省(区、市), 由金沙江流域、岷沱江流域、嘉陵江流域、乌江流域、长江上游干流、汉江流域、长江中游干流、洞庭湖流域、鄱阳湖流域、长江下游干流等 10 个子流域组成。使用三峡站代表长江上游来水总体情况, 螺山站代表长江中游来水总体情况, 向家坝、高场、富顺、武隆、北碚、城陵矶分别代表金沙江、岷江、沱江、乌江、嘉陵江、洞庭湖流域的来水情况。

降雨资料来自长江流域气象中心实时数据库及整编的历史资料库, 包括长江流域 724 个国家气象站 (图 1) 逐日 08 时 24 h 降雨量、1 h 降雨量。大气环流特征分析使用的资料取自美国国家环境预报中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 提供的 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 6 h 全球分析资料。水文资料来自长江水利委员会和水利部水文情报网。



Figure 1. Division of the Meteorological Stations in the Yangtze River Basin

图 1. 长江流域气象站点分布图

3. 长江流域夏季降雨情况

2020 年夏季(6~8 月)长江中下游经历了超级暴力梅和 8 月上游极端强降雨。长江中下游梅雨区 6 月 9 日入梅(比常年偏早 5 天), 梅雨期长达 52 天(常年 29 天), 长江中下游梅雨区在梅雨期平均累计降雨量 754 mm, 较常年偏多近 1.7 倍, 居 1961 年以来同期首位。从夏季全流域降雨情况来看, 区域性强降雨过程有 14 次, 6~8 月先后出现了 6 次、5 次、3 次(详见表 1), 站点平均累积降雨量为 723 毫米, 较历史同期偏多近 5 成, 同样居 1961 年以来首位, 特别是嘉陵江上中游、岷沱江上中游、清江、澧水、鄂东北、长江下游北部等地平均雨量较历史偏多近 1 倍以上。另外, 降雨的极端性强, 嘉陵江、岷沱江、清江、鄱阳湖等地的芦山、绵竹、建始、九江等 20 县市日降雨量突破历史极值, 其中, 岷江芦山日降雨量为 423 毫米、小时雨强达 135 毫米。

从 6 月起, 长江流域降雨逐渐增多, 由前期降雨偏少转为偏多, 6 月平均降雨量为 253 毫米, 较常年同期偏多近 4 成。6 月上旬强降雨区主要在江南且雨区相对分散; 6 月中旬主雨带明显北抬、西伸, 发生

了两次强降雨过程，影响乌江、长江中游干流以北以及嘉陵江等流域，降雨强度明显增强，乌江下游的正安县避峰镇在 12 日 03 时出现了半小时降雨量超过 100 毫米，小时雨量达 163 毫米的超历史极值；6 月下旬，出现了入汛以来最强降雨过程，降雨范围涉及长江上游干流、乌江以及长江中下游大部地区，尤其是长江上游重庆至宜昌段、乌江下游、清江、澧水、长江下游等流域接连受到强降雨侵袭，多地日降雨量突破极值，引发长江上游部分支流和太湖出现超警以上洪水。进入 7 月，长江流域强降雨较 6 月的范围、强度以及极端性均增大、增强，平均降雨量 300 毫米，居历史 7 月同期首位，降雨带主要集中在长江上游东部以及长江中下游地区，雨区的重叠度高，长江上游干流重庆至宜昌段、乌江下游、清江、澧水、长江中下游干流和鄱阳湖等流域的面雨量高居历史同期前列，特别是 7 月 4~9 日主雨带基本维持在长江沿线，鄱阳湖流域、长下干、清江等流域有 10 县市日雨量突破历史极值。8 月上旬强降雨强度减弱，但到 8 月中旬随着雨带季节性北抬，10 日~17 日在长江上游出现两次强降雨，降雨强度大、雨带稳定、极端性强，主雨区位于岷沱江中下游至嘉陵江中游一线，岷江、沱江、涪江、嘉陵江干流流域累积面雨量居历史同期第一位，站点累计雨量有 9 站超过 800 毫米，73 站点位居历史同期首位，站点日雨量 11 站超过历史极值，其中岷江流域的芦山站日雨量达 423 毫米。

Table 1. List of regional heavy rainfall processes in the Yangtze River Basin from June to August in 2020
表 1. 2020 年 6~8 月长江流域区域性强降雨过程列表

序号	起止时间	降雨范围	强降雨中心	累积面雨量 ≥ 50 mm 落区 (单位: mm)
1	6 月 1~3 日	长江下游南部	鄱阳湖流域	饶河 148、修水 79、鄱阳湖区 74、信江 59、抚河 58、陆水 54
2	6 月 7~9 日	长江流域自西向东	汉江及两湖流域	沅江 56、洞庭湖区 55、湘江 54、澧水 53
3	6 月 11~13 日	长江干流	乌江、长江上游干流、汉江中下游、长江中下游干流及北部	清江 149、皇庄以下 105、武汉 97、清江 79、江汉平原 74、鄂东北 70、乌江上游 68、万宜区间 53、乌江中游 53
4	6 月 15~17 日	长江流域自西向东	嘉陵江、汉江、乌江上中游、清江、长江下游干流及北部	石泉以上 81、滁河 75、石泉安康 68、渠江 66、嘉陵江 61、长下干 60、清江 54、涪江 51
5	6 月 20~25 日	长江中下游自北向南	乌江、长江干流、两湖流域、长江下游	乌江下游 149、抚河 131、澧水 123、鄂东北 107、信江 102、饶河 98、青弋水阳江 97、长下干 92、武汉 90、鄱阳湖区 88、赣江 84、修水 84、陆水 79、江汉平原 78、乌江中游 74、沅江 73、湘江 60、万宜区间 57、寸万区间 55、清江 52、皇庄以下 51
6	6 月 26~30 日	长江流域自西向东	长江上游干流南部、长江中下游干流及北部	清江 137、皇庄以下 109、向寸区间 105、乌江下游 102、饶河 91、鄂东北 91、江汉平原 89、滁河 89、寸万区间 85、信江 83、万宜区间 81、长下干 81、武汉 78、澧水 75、青弋水阳江 72、丹皇区间 60、渠江 58、乌江中游 58、洞庭湖区 57、陆水 55
7	7 月 1~3 日	长江中下游自西向东	长江上游干流、乌江、长江中游干流、两湖湖区	饶河 171、澧水 109、青弋水阳江 100、江汉平原 85、皇庄以下 83、信江 81、鄱阳湖区 81、武汉 75、鄂东北 72、修水 69、万宜区间 56、乌江下游 56、清江 53
8	7 月 4~9 日	雅砻江、长江中下游干流及两湖流域	长江中下游干流、两湖流域中北部	青弋水阳江 311、饶河 311、武汉 310、鄱阳湖区 261、鄂东北 249、修水 246、信江 239、陆水 238、抚河 204、澧水 202、皇庄以下 199、江汉平原 170、长下干 141、赣江 135、清江 129、乌江下游 110、洞庭湖区 96、沅江 92、乌江上游 89、资水 85、乌江中游 73、雅砻江 60

Continued

9	7月10~12日	长江干流及北部	长江上游干流、中下游干流及北部	嘉陵江 66、乌江下游 61、澧水 60、滁河 56、修水 55、寸万区间 53 滁河 218、清江 191、青弋水阳江 170、长下干 153、澧水 126、武汉 124、鄂东北 117、万宜区间 106、乌江下游 105、向寸区间 103、丹皇区间 90、寸万区间 88、渠江 86、皇庄以下 77、修水 72、江汉平原 68、乌江中游 65、陆水 64、雅砻江 59、乌江上游 55、石泉安康 55、饶河 53、沅江 50
10	7月14~19日	长江流域自西向东	长江上游、沅江、长江中下游干流及北部	青弋水阳江 92、清江 83、万宜区间 77、涪江 72、寸万区间 68、陆水 67、洞庭湖区 58、饶河 57、向寸区间 56、嘉陵江 50
11	7月24~27日	长江流域自西向东	嘉陵江、长江上游干流、洞庭湖流域、长江下游	涪江 229、沱江 214、岷江 170、嘉陵江 91、金中流域 70、金下流域 64、石泉以上 62
12	8月10~12日	长江上游及汉江上游	嘉陵江、岷沱江	沱江 153、涪江 132、岷江 122、嘉陵江 62
13	8月14~17日	长江上游及汉江上游	嘉陵江、岷沱江、汉江上游、金沙江中下游	万宜区间 83、丹皇区间 71、清江 69、澧水 53
14	8月19~20日	长江中游	汉江中下游、长江中游干流	

4. 长江流域夏季汛情特征

2020年5月流域来水偏少,长江流域干流主要控制站月平均水位相比历史同期偏低0.45~3.75米,5月至6月上旬长江上中游日平均流量较历史同期偏低,6月中旬前后日平均流量快速上涨。从三峡、螺山、城陵矶日平均流量图(图2)可以看到,三峡站流量随上游流域强降雨的发生发展波动明显(图2(a)),上游流量变化可以为四个阶段:第一阶段(6月11~25日),持续3次强降雨过程造成上游流量波动上涨,三峡入库流量达到 $20,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,22日形成“乌江2020年第1号洪水”(图略),6月23日上游干流上涨至峰值 $35,692\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$;第二阶段(6月26日~7月3日)雨带主要集中在长江干流以及乌江流域的2次强降雨过程使得长江上游流量持续增长,三峡入库流量于7月2日达到 $50,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,形成长江2020年第1号洪水;第三阶段(7月14日~27日)2次强降雨,使得三峡入库流量先后在7月17日10时、26日14时涨至 $50,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,形成长江2020年第2号、3号洪水;第四阶段(8月10日~17日)长江上游2次极端强降雨,造成8月14日5时、17日14时先后形成长江2020年第4号、第5号洪水,20日8时,三峡水库出现建库以来最大入库洪峰流量 $75,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 。对比1998年流量变化,可以看到2020年流量超过 $50,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的洪水有5次,1998年有8次,从流量变化情况来看,2a之间都是6月之前流量偏低,不同之处在于2020年的流量增长时间早于1998年,特别是洪峰形成更迅猛、峰值更高。

由于长江中游干流不仅受中游汇水影响,上游来水对中游流量变化影响也非常大,这一点在1998年螺山、城陵矶流量曲线上表现明显(图2(b),图2(c)),受上游来水影响,8月洞庭湖汇水有所下降,但由于上游洪峰来水,中游干流流量仍持续偏高。2020年螺山流量变化对比1998年,可以看到2020年中游干流流量明显低于1998年,且7、8两月波动平缓,随上中游强降雨发生发展的波动不明显,峰值也低于1998年,明显表现出上游对洪峰的调蓄作用。受上游来水影响,长江干流螺山流量自6月底开始上涨,7月3日达到 $44,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,叠加洞庭湖来水影响,12日洪峰流量达到 $53,550\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,之后洞庭湖来水逐渐减少,但上游洪峰经三峡水库拦洪消峰后于7月20日抵达干流螺山站,28日达到峰值 $55,600\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,随后减退缓慢,9月3日流量降至 $44,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。长江中下游干流沿线、两湖湖区也长时间高水位波动,7月8日长江干流监利以下全线超过警戒水位,9月1日才全线退出警戒水位。

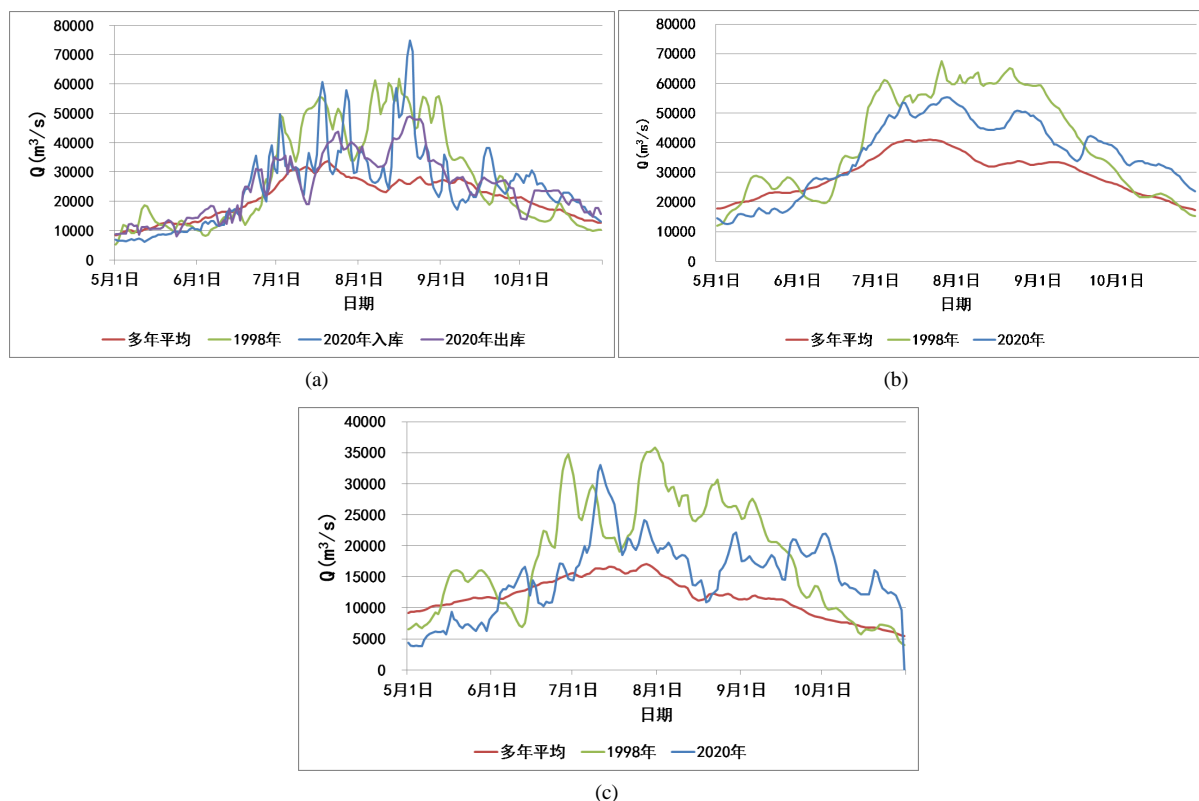


Figure 2. Daily average rate of flow of (a) Three Gorges, (b) Luoshan and (c) Chenglingji
图 2. (a)三峡、(b)螺山、(c)城陵矶逐日平均流量图

5. 长江流域夏季降雨异常环流特征分析

5.1. 西太平洋副热带高压演变特征

受春季前期结束的弱“厄尔尼诺事件”和北印度洋海温异常偏暖的综合作用，2020年副高长时间持续异常，从500 hPa位势高度场距平剖面图(图3(a))可以看出，6月1日副高开始北跳，至6月中旬副高脊线已位于 27°N ，且一直维持在气候平均态偏北一带，因此2020年长江中下游入梅较往年偏早。6月中旬之后副高脊线有小的南落，之后一直稳定维持在 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ，较气候平均态略偏南，因此2020年梅雨期降雨带集中在长江中下游沿江附近及以南大部地区。2020年6月初、6月14~18日及6月下旬~8月中旬，中高纬冷空气活动频繁， 30°N 以北主要为偏北风控制，冷暖气流频繁在中下游沿江一带交汇，利于长江中下游梅雨区降雨的出现。副高脊线一直到7月底才北跳至 30°N 附近，导致2020年出梅时间较气候态偏晚18天，梅雨期超长。

副高面积指数是表示副高空间面积分布的特征量，通过定量地描述副热带高压笼罩范围的变化掌握副热带高压的活动规律。从图3(b)可以看出，2020年6~8月副高面积较气候平均态偏强 $100\sim 120 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，强盛的副高稳定维持在长江中下游沿江偏南地区，使得冷暖气流交汇频繁在此交汇，导致2020年多降雨过程，梅雨期降雨量居1961年以来历史首位。

5.2. 中高纬阻塞高压活动

从2020年6~8月长江流域500 hPa高度场 $50^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 平均位势高度随时间的演变来看(图4)，6月上中旬中高纬呈“两脊一槽”的环流形势，长波槽位于贝加尔湖附近，长波脊位于乌拉尔山、鄂霍茨克海

地区；6月中下旬环流调整为“两槽一脊”型，乌拉尔山一带为低槽区，贝加尔湖为高值区。乌拉尔山附近除在6月1日、10日、19~30日阻塞高压较弱外，其余时间段均为强盛期。从6月2日开始至10日，乌拉尔山阻高稳定维持强盛状态，尤其是8~9日阻塞高压较为强大，中心强度可达5760 gpm。6月10日高压减弱，经历短暂的1天间歇期后，新一轮的降雨开始，一直持续到6月中旬结束，与6月上旬相比此次阻高强度相对较弱。6月下旬至7月初，贝加尔湖地区位势高度显著增加，维持高压状态，这段时期长江流域降雨以移动性降雨为主，在同一地区无明显持续性暴雨过程。

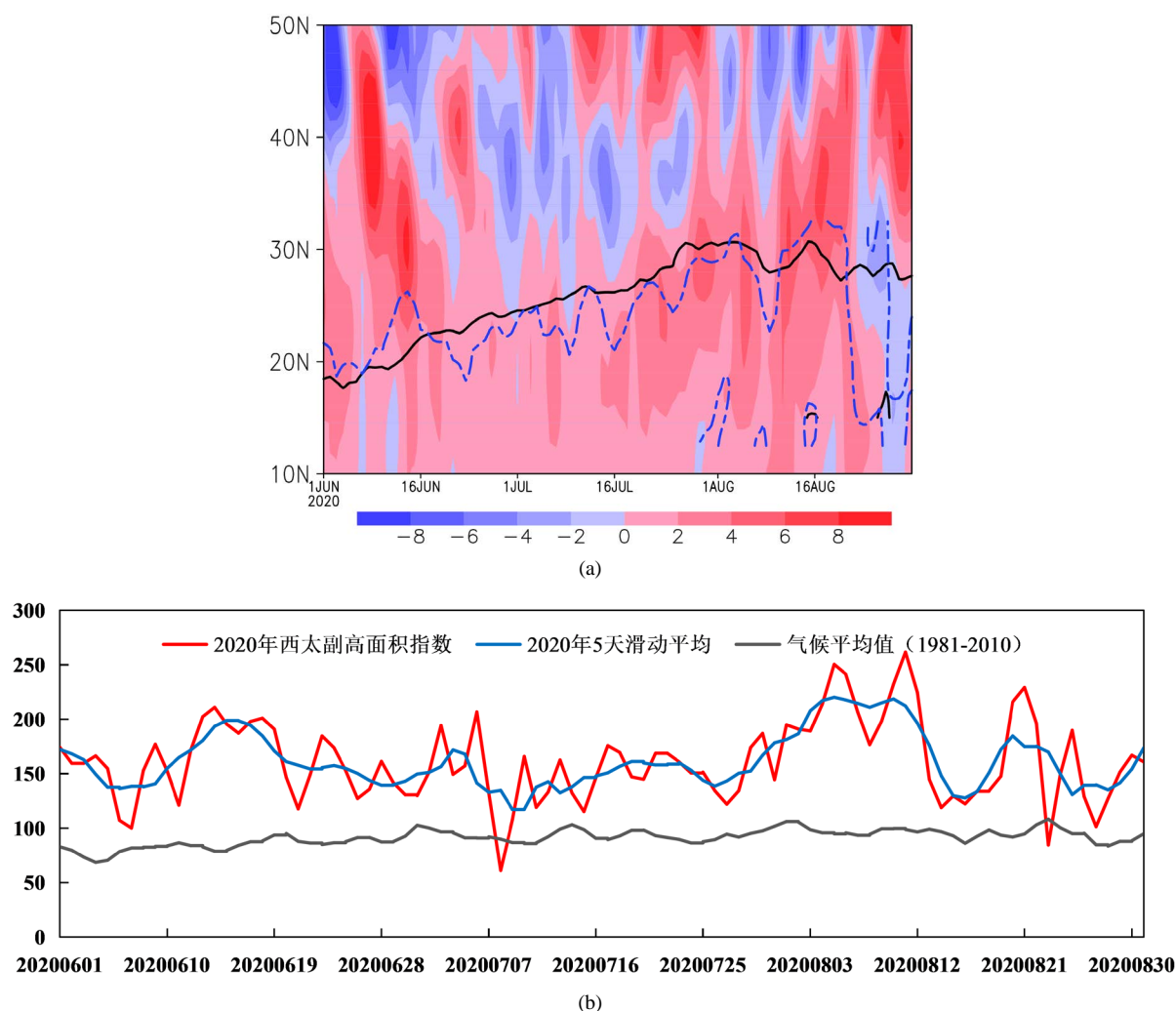


Figure 3. The location and area index of the Western Pacific subtropical high from June to August in 2020. (a) Time-latitude profile of 500 hPa geopotential height field anomaly along $110^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ (unit: gpm) (the blue dotted line is the ridge line of the subtropical high in 2020, and the black solid line is the climatic average ridge line of the subtropical high); (b) West Pacific subtropical high area index (unit: 10^5 km^2) (where the red line is the West Pacific subtropical high area index, the blue line is the five-day moving average of the subtropical high area, and the black line is the climatic average of the subtropical high area)

图 3. 2020 年 6~8 月西太平洋副热带高压位置及面积指数图。(a) 500 hPa 位势高度场距平沿 $110^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 的时间 - 纬度剖面(单位: gpm)(其中, 蓝色虚线为 2020 年副高脊线, 黑实线为气候平均副高脊线); (b) 西太平洋副热带高压面积指数(单位: 10^5 km^2)(其中, 红线为西太副高面积指数, 蓝线为副高面积 5 天滑动平均值, 黑线为副高面积气候平均值)

7 月开始, 乌拉尔山阻塞高压一直处于稳定且强盛期, 亚欧大陆一直稳定维持着“两脊一槽”型,

低槽位于西西伯利亚地区至西亚地区。尤其是7月7~8日、15~16日阻高中心强度达5760 gpm, 同时贝加尔湖地区在该时段处于位势高度低值区, 对应着7月4~9日长江干流沿线地区连续4~6天和15~16日长江上游干流、下游干流的2次强降雨过程。

8月北半球中高纬度500 hPa环流调整较为频繁。8月上旬和下旬乌拉尔山阻高为强盛期, 5~8日、25日、30~31日, 这3次过程均对应长江上游嘉陵江、岷沱江暴雨、大暴雨过程。到了8月中旬乌拉尔山则一直处于低值区, 贝加尔湖附近则为显著高压脊, 副热带高压西伸北抬使得中纬度低槽稳定维持在长江上游, 8月10~12日、14~17日、19~20日长江上游仍有明显的暴雨、大暴雨过程, 给嘉陵江、岷沱江及汉江上游等地带来强降雨。从以上分析可以看出, 6~8月长江流域持续性暴雨过程绝大多数是乌拉尔山和鄂霍茨克海地区为阻塞高压、贝加尔湖是低压槽形势。

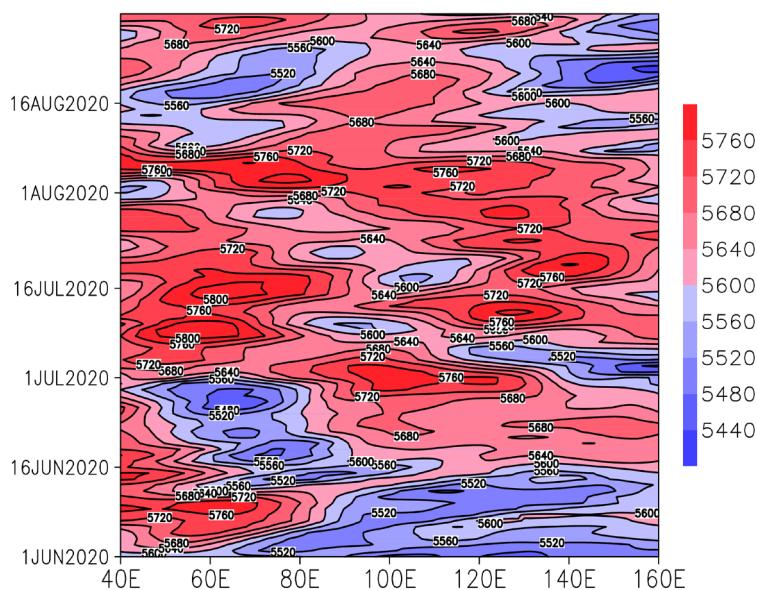


Figure 4. Longitude-time profile of mean geopotential height of 500 hPa at 50°~70°N from June to August in 2020 (unit: gpm)

图4. 2020年6~8月500 hPa 50°~70°N平均位势高度的经度-时间剖面(单位: gpm)

5.3. 越赤道气流

从盛行气流来源看, 南亚夏季低层主要盛行索马里附近来自南半球的西南越赤道气流(45°E附近)和青藏高原东南侧90°E附近的孟加拉湾越赤道气流, 这2支气流对我国夏季南海盛行西南季风的推进早晚和强弱变化有很大的影响[10] [11] [12]。从图5可以看出, 2020年5月第1~3候40°~50°E的索马里越赤道气流为显著的负距平, 表明索马里越赤道气流爆发偏晚, 强度偏弱与今年南海夏季风的爆发对应不是很好。而位于90°E附近的孟加拉湾越赤道气流从5月第1候开始就为非常显著的正距平, 推动南海夏季风于5月第四候爆发, 较常年略偏早。孟加拉湾越赤道气流除了在6月第3候、5候和7月5候、6候为负距平, 减弱南海夏季风的水汽输送外, 其它时间的越赤道气流都非常强盛, 且较往年偏强4~8 m·s⁻¹, 这种持续长时间的水汽输送, 非常利于长江中下游地区梅雨期降雨。另外, 105°E以东的越赤道气流在7月较常年明显偏弱, 赤道辐合带(ITCZ)不活跃且位置持续偏南[13] [14], 在此形势下, 副高位置一直偏南, 迟迟难以北跳, 造成2020年长江中下游出梅晚, 梅雨期延长, 同时, 整个7月在西北太平洋和南海无台风生成, 创新历史记录。

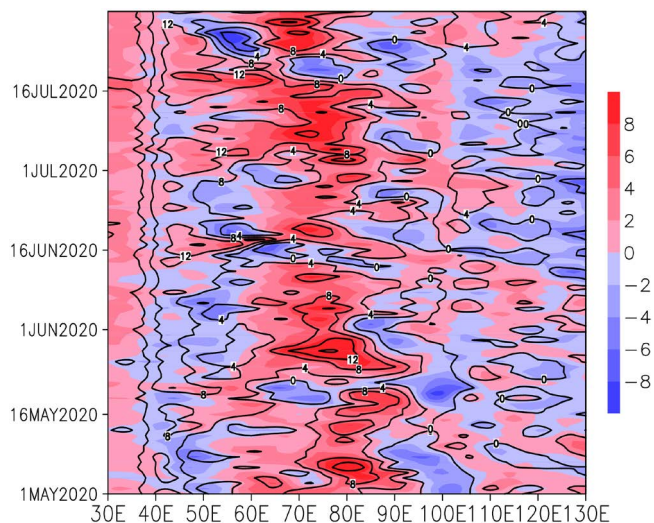


Figure 5. Time-longitude profile of 925 hPa cross equatorial meridional wind (isoline) and its anomaly (shadow) from May to July in 2020 (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 5. 2020 年 5~7 月 925 hPa 越赤道经向风(等值线)及其距平(阴影)的时间 - 经度剖面(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

5.4. 大气斜压性演变

一般来说, 持续性降雨与冷空气的活动密切相关, 北方冷槽南下携带高纬度冷空气是强降雨发生的重要影响因子, 冷空气南下, 造成高、低压系统间存在巨大水平气压梯度, 导致气流速度的不断增强, 进而诱导低空急流的发生[9]。图 6 为 2020 年 6~8 月 850 hPa 100°~120°N 平均假相当位温 and 平均经向风风量的纬度 - 时间演变图, 图中阴影区为平均经向北方、南风风量随时间变化。可以看出 2020 年 6~8 月 35°N 以北大部分时间被北风控制, 中高纬地区在 6 月 1~3 日、11~17 日、24~25 日、6 月 29 日~7 月 26 日、8 月 7~10 日、14~17 日等多次出现冷空气南下过程, 同时中低纬南风分量加大, 低空急流加强, 中低层锋面梯度增大, 在锋面附近产生强降雨。其中 6 月中旬开始~7 月中旬基本是较为持续的冷空气南下, 对应着长江流域中下游梅雨期间的 10 次集中的降雨过程。6 月~7 月下旬, 100°~120°N 平均假相当位温纬度 - 时间变化在 850 hPa 的 30°~35°N 附近一直维持 θ_{se} 大值区, 这表明 2020 年梅雨锋在长时间维持在长江流域中下游地区, 锋区较强。尤其是当南风风量显著增大, 西南急流带着充沛的水汽, 配合着北风风量的加强, 给流域中东部地区带来强降雨过程, 如 6 月 15~17 日、7 月 4~9 日、7 月 17~19 日。8 月开始, 受副高西伸北抬影响整个 θ_{se} 大值区北抬, 长江流域中下游降雨过程明显较少, 降雨多集中在长江上游嘉陵江、岷沱江一带。

5.5. 气旋性环流及切变演变

西南低涡是青藏高原特殊地形与环流相互作用下, 产生的中尺度低压系统, 由于 2019 年~2020 年冬季青藏高原积雪异常偏多, 积雪覆盖率达到 50% 左右, 2020 年夏季表现出冷源作用, 青藏高原地区中纬度地区对流层上层冷暖空气交换异常活跃, 伴随融雪产生的水汽丰富, 产生的冷涡增多, 其东部的正涡度平流和负值非平衡强迫与四川盆地浅薄低涡产生耦合作用, 两者同时发展, 造成 2020 年西南低涡形成较往年显著偏多。西南低涡暴雨的发生有明显的不均匀性, 降雨量雨团主要出现在西南低涡东侧的切变线附近, 低空急流急流轴左前方[15][16][17]。图 7 为 2020 年 6~8 月涡度沿 26°~33°N 的平均纬度 - 时间剖面演变(黑色等值线), 其中阴影区为 2020 年涡度场与气候平均场的距平, 红色代表正异常, 值越大表

示较气候态的气旋性弯曲更为明显。从图 7 中可以看出涡度大值区为 6 月 11 日、16 日、23 日、28~29 日及 7 月 10~16 日、19 日、8 月 10 日、16 日。这些涡度大值区与 2020 年 6~8 月的部分强降雨过程对应较好, 表明这些过程的发生往往有西南涡或是中低层切变线的参与。从气旋性环流的时间变化角度来看 6 月上旬开始~6 月 28 日, 涡度除了部分时段为 0, 大部分时间都为正值分布, 表明这个月西南地区的系统非常活跃。而 7 月只有中后旬涡度大值分布较为明显, 西南地区系统较 6 月比出现频次明显降低。到了 8 月只有中旬西南地区多气旋性环流。同时, 从图中也可以看出与往年平均态相比 2020 年西南地区气旋性环流更强, 差值在 $0.5\sim 2\text{ s}^{-1}\cdot\text{e}^5$ 。

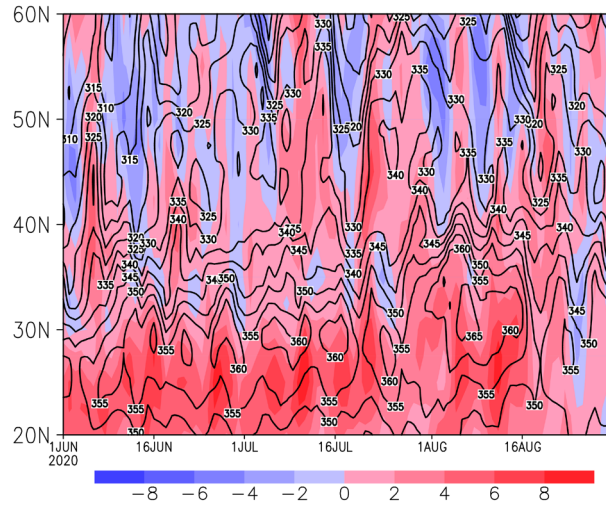


Figure 6. Latitude-time evolution of mean pseudo equivalent potential temperature (solid line, unit: K) and meridional wind volume (shadow, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) along $100^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{N}$ section at 850 hPa from June to August in 2020 (unit: gpm)

图 6. 2020 年 6~8 月 850 hPa 沿 $100^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{N}$ 剖的平均假相当位温(实线, 单位: K)和经向风风量(阴影, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)的纬度 - 时间演变(单位: gpm)

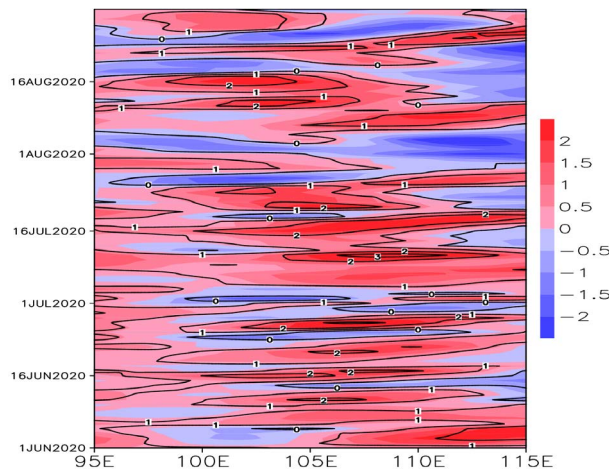


Figure 7. Evolution of vorticity (isoline, unit: $\text{s}^{-1}\cdot\text{e}^5$) and its anomaly (shadow) along $26^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ mean latitude-time profile (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) from June to August in 2020

图 7. 2020 年 6~8 月涡度(等值线, 单位: $\text{s}^{-1}\cdot\text{e}^5$)及其距平(阴影)沿 $26^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ 的平均纬度 - 时间剖面演变(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

6. 结论

1) 2020 年夏季长江流域累积降雨量达 723 mm, 居 1961 年以来首位, 雨区重叠、极端性强、洪涝灾害严重, 刷新了多项气象、水文记录。主雨带集中在嘉陵江、岷沱江、乌江、长江上游干流及长江中下游地区, 雨区重叠度高, 多地日降雨量突破历史极值。受其影响, 长江流域出现全流域性洪水, 岷江、沱江、涪江、嘉陵江、清江、鄱阳湖、滁河、青弋江、水阳江、巢湖等地发生超保证或超历史洪水, 长江干流先后发生 5 次编号洪水, 三峡水库发生建库以来最大入库洪峰 75,000 立方米每秒。

2) 在弱“厄尔尼诺”气候背景下, 西太平洋副热带高压强度显著偏强, 副高脊线位置在 6 月上中旬偏北, 下旬至 7 月期间又持续偏南, 同时中高纬度经向环流发展, 阻高形势稳定强盛, 冷涡活跃, 有利于冷暖空气持续在长江流域交汇, 在长江中下游形成梅雨锋, 从而反复出现致洪暴雨过程。

3) 从盛行西南季风变化来看, 2020 年夏季孟加拉湾越赤道气流对西南季风的推进和强弱影响较大, 从 5 月第 1 候开始南风分量显著增强, 造成南海夏季风爆发略偏早, 且强度偏强, 持续为向长江流域提供水汽输送。

4) 大尺度环流经向性增大, 南北冷暖空气输送频繁, 造成长江流域大气斜压性增强, 多低空急流、气旋性低涡系统以及切变系统的产生, 在 14 次区域性强降雨过程中均伴有西南急流的发展, 配合低涡系统和低层切变线的存在, 是 2020 年夏季降雨极端强的重要原因。

基金项目

国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项能源与水纽带关系及高效绿色利用关键技术(2018YFE0196000)和中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z033)共同资助。

参考文献

- [1] 张顺利, 陶诗言, 张庆云, 卫捷. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件[J]. 科学通报, 2002, 47(6): 467-473.
- [2] 王晓芳, 黄华丽, 黄治勇. 2010 年 5~6 月南方持续性暴雨的成因分析[J]. 气象, 2011, 37(10): 1206-1215.
- [3] 孙晓晴, 金荣花, 肖天贵, 等. 江淮梅雨季亚洲阻塞高压活动统计特征[J]. 气象学报, 2020, 78(4): 580-592.
- [4] 陶诗言, 卫捷. 再论夏季西太平洋副热带高压的西伸北跳[J]. 应用气象学报, 2006, 17(5): 513-525.
- [5] 牛若芸, 金荣花. 2008 年梅雨异常大尺度环流成因分析[J]. 高原气象, 2009, 28(6): 1326-1334.
- [6] 张庆云, 陶诗言. 夏季西太平洋副热带高压北跳及异常的研究[J]. 气象学报, 1999, 57(5): 539-548.
- [7] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998 年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件[J]. 气候与环境研究, 1998, 3(4): 290-299.
- [8] 李跃清, 蒋兴文. 1998 年夏季长江上游暴雨过程的水汽输送特征[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(1): 35-39.
- [9] 吴哲珺, 包云轩, 等. 长江流域一次大暴雨过程的低空急流形成和影响机制分析[J]. 热带气象学报, 2019, 35(3): 409-422.
- [10] 江丽俐, 张程明, 陈红梅. 2011 年长江中下游梅雨锋暴雨的环流特征分析[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(1): 66-71.
- [11] 高辉, 薛峰. 越赤道气流的季节变化及其对南海夏季风爆发的影响[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 57-68.
- [12] 晏红明, 肖子牛, 杞明辉. 阿拉伯海和孟加拉湾夏季风气候特征的差异[J]. 南京气象学院学报, 2003, 2(26): 96-101.
- [13] 卢春成. 夏季南半球越赤道气流与东南亚地区产生多台风的关系[J]. 气象科学, 1987, 12(2): 44-50.
- [14] 毕宝贵, 章国材, 李泽椿. 2003 年淮河洪涝与西太副高异常及成因的关系[J]. 热带气象学报, 2004, 20(5): 505-514.
- [15] 肖红茹, 顾清源, 何光碧, 等. 一次大暴雨过程中高原低涡与西南低涡相互作用机制探讨[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(1): 14-20.

- [16] 矫梅燕, 李川, 李延香. 一次川东大暴雨过程的中尺度分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 699-704.
- [17] 刘晓冉, 李国平, 胡祖恒, 等. 一次高原低涡诱发西南低涡耦合加强的动力诊断分析[J]. 气象科学, 2020, 40(3): 363-373.