第48卷第7期 中国科学技术大学学报 Vol.48,No.7
2018年7月 JOURNAL OF UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA Jul. 2018

文章编号:0253-2778(2018)07-0580-14

湖南汛期区域持续性暴雨环流型与暴雨落区关系

彭莉莉,谢 傲,罗伯良,张 超,戴泽军,李易芝

(湖南省气象科学研究所,气象防灾减灾湖南省重点实验室,湖南长沙 410118)

摘要:利用1961~2016年湖南省内88个气象台站逐日降水资料和美国国家环境预测中心(NCEP)及国家大气研究中心(NCAR)再分析资料,根据区域持续性暴雨定义,统计分析了湖南汛期发生区域持续性暴雨典型环流型特征及其与首日暴雨落区配置关系.结果表明:①湖南汛期发生区域持续性暴雨典型环流型有两槽一脊、两槽两脊、两脊一槽、纬向波动、台风低压和多涡旋型6类;②区域持续性暴雨主要发生在6、7月,其次是5、8月,4月和9月发生概率较小,各类环流型区域持续性暴雨日发生累计频次空间分布特征各异;③区域持续性暴雨典型环流型类内500hPa中高纬具有相似共性,均有利于持续引导北方冷空气南下至湖南,但因低纬西太平洋副热带高压强度与形态配置不同,低层850hPa西南季风北伸范围存在差异,导致区域持续性暴雨过程首日暴雨落区南北、东西空间差异明显.

关键词:区域持续性暴雨;环流型;暴雨落区;汛期

中图分类号:TP391 **文献标识码**:A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2018.07.008

引用格式:彭莉莉,谢傲,罗伯良,等. 湖南汛期区域持续性暴雨环流型与暴雨落区关系[J]. 中国科学技术大学学报,2018,48(7):580-593.

PENG Lili, XIE Ao, LUO Bailiang, et al. Relations between circulation patterns and precipitation area of regional persistent torrential rain during flood season in Hunan[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2018,48(7):580-593.

Relations between circulation patterns and precipitation area of regional persistent torrential rain during flood season in Hunan

PENG Lili, XIE Ao, LUO Bailiang, ZHANG Chao, DAI Zejun, LI Yizhi

(*Institute of Meteorological Sciences of Hunan Province, Key Laboratory of Preventing and Reducing Meteorological Disaster, Changsha* 410118, *China*)

Abstract: Based on daily rainfall data and the NCEP/NCAR reanalysis data from 1961 to 2016, and according to the definition of regional persistent torrential rain (RPTR), features of typical circulation pattern of RPTR during the flood season in Hunan province and their relation to the distribution of first-day precipitation area were statistically analyzed. Results are as follows:①RPTR often occurs in six major circulation patterns, namely, two-trough-one-ridge, two-trough-two-ridge, two-ridge-one-trough, zonal fluctuation, typhoon depression and mutil-vortex;②RPTR occurs mainly in June, July, followed by May and August, and the probability of occurrence in April and September is small. Besides, the spatial

收稿日期:2018-03-22;**修回日期**:2018-06-06

基金项目:湖南省自然科学基金(2017JJ3170),中国气象局省所科技创新发展专项(2018),中国气象局武汉暴雨研究所2018基本科研业务费项目(IHRKYYW201804)资助.

作者简介:彭莉莉,女,1981年生,硕士/副研级高工.研究方向:持续性暴雨和干旱的监测与预报. E-mail: pll505@163.com

通讯作者:罗伯良,硕士/正研级高工., E-mail: luobailiang@163.com

distribution of RPTR cumulative frequency varies in different circulation patterns; ③Similar characteristics of circulation at 500hPa are found in the middle-high latitude, which are conducive to the southwards moving of northern cold air to Hunan. However, due to the different intensities and morphological configurations of low latitude of the West Pacific subtropical high, the northern extension of southwest monsoon at 850hPa varies accordingly, resulting in significant difference in torrential rainfall area on the first day.

Key words: regional persistent torrential rain (RPTR); circulation pattern; torrential rainfall area; flood season

0　引言

暴雨是我国主要的天气灾害，夏季南方暴雨频发常造成严重洪涝，危及人民的生命财产安全，并带来严重的国民经济损失.我国暴雨具有突发性、频发性和持续性的特点，其中持续性暴雨最易造成大范围严重洪涝[1-4].湖南地处亚热带季风湿润气候区，汛期暴雨频发，暴雨灾害已成为湖南省发生最频繁的自然灾害之一，持续性暴雨造成的灾害尤甚.例如：1996 年 7 月上中旬四水流域和湖区相继发生持续性暴雨，1998 年 6 月中下旬湘中以北持续了 10d 以上暴雨，1999 年 6 月下旬暴雨持续 1 周，先后给湖南人们生命财产和国民经济造成巨大损失[5]，其中 1998 年汛期持续性暴雨导致湖南直接经济损失 329 亿元.

我国关于持续性暴雨的研究中，20 世纪 60 年代初陶诗言等[6]在研究夏季江淮流域持久性旱涝的环流特征时就指出持久性旱涝要求具有环流的稳定性.20 世纪 80 年代，陶诗言等[7]研究提出了经向型和纬向型持续性暴雨模型，其中经向环流型的基本特点是，日本海高压和青藏高压稳定对峙，冷空气不断沿贝加尔湖高压前部流入两高压之间的高空槽或切变线中；纬向环流型基本特点是，从宽广的西伯利亚低槽中分裂东南下的冷空气与副热带高压西侧的暖湿气流不断交汇，形成持续性暴雨.随后，雷雨顺[8]开展了 10 次经向型持续性暴雨的合成分析，提出暴雨区北方和东方各有一阻塞高压，二者同时出现所构成的稳定大形势是形成经向型特大暴雨的基本环流背景.张端禹等[9]研究提出了华南前汛期 4 类持续暴雨环流类型；鲍名[10]统计给出了 4 类典型的区域持续性暴雨类型及其大尺度环流背景.针对长江中下游和华南持续性暴雨，国内其他学者也进行了研究[11-15].

针对湖南地区暴雨的研究已不少.程庚福等[16]对湖南雨季暴雨进行了一系列研究，提出造成湖南暴雨过程的环流形势基本上有 3 种：经向型、纬向型和环流调整型.周慧等[17]通过对 376 次大暴雨天气过程高低空环流形势特征分析，建立了 5 类天气学分型，即低槽＋切变＋锋面型、低涡切变＋锋面型、副热带高压边缘型、热带低压型(包括台风、低压和热带辐合)、东风带系统型.池艳珍等[18]指出持续性暴雨由于时空尺度相对较大而对大尺度环流更具依赖性，故对它的研究须注意到与它相关的大尺度环流的特征.但目前关于湖南汛期区域持续性暴雨气候学的研究如大尺度背景环流形势的研究少见，另外，暴雨过程首日落区预报问题在实际业务工作中尤其重要.因此，本文首先对造成湖南汛期区域持续性暴雨的大尺度背景环流形势进行分类，然后探讨其与暴雨首日落区的关系，为湖南汛期区域持续性暴雨过程预报服务提供可靠的科学依据.

1　资料与方法

本文使用的降水资料为 1961～2016 年湖南省气象台站逐日降水资料，该资料来自于湖南省气象信息中心，并通过解码、缺测处理、异常值检测、报表审核等对数据的准确性、完整性和一致性等进行了质量控制.由于部分站点建站时间晚，为了保证研究时段内数据的完整性，本文从湖南省 97 个气象台站中筛选出 88 个台站的逐日降水数据进行分析.

目前应用较多的再分析资料主要有美国国家环境预测中心(NCEP)及国家大气研究中心(NCAR)联合制作的数据集(1948 年至今)和欧洲中期天气预报中心 ECMWF 提供的 ERA-40(1958～2002 年)、ERA-interim(1979 年至今)等.赵天保等[19]、邓小花等[20]对有关再分析资料进行了对比分析，结果表明，以上几种数据都能够反映中国区域的位势高度场和风场的时空分布，但在不同的时间段，都有各自的优缺点.黄刚[21]的研究表明，20 世纪 70 年代以

后NCEP/NCAR资料对中国北方地区对流层上层的位势高度和温度的描述更接近于实际探空值;施晓晖等[22]发现NCEP/NCAR再分析资料的风速在春、夏、秋季具有一定的可信度.考虑到本文的研究时段较长(1961～2016年),目前能够完全满足本研究所需覆盖时段的再分析数据只有NCEP/NCAR,且其在中国地区的适用性和可靠性亦得到了研究认可,因此,本文使用的位势高度场和风场数据采用NCEP/NCAR再分析资料,其水平分辨率为2.5°×2.5°.

不同学者根据不同的研究目的,对持续性暴雨的定义不同.本文根据湖南汛期(4～9月)区域持续性暴雨致灾性临界要求[23],即一定的强降水范围、防汛预报服务需求[24]和足够的研究样本,提出湖南汛期区域持续性暴雨过程的标准:①湖南境内至少出现9站日降水量(以北京时20:00为界)超过50mm的区域性暴雨;②区域性暴雨持续2d及以上.按照上述标准,统计得到1961～2016年湖南汛期共发生107次区域持续性暴雨过程.

2 湖南汛期区域持续性暴雨过程的环流类型与暴雨气候特征

20世纪90年代初,丁一汇[25]研究指出,大尺度环流条件对暴雨发生发展有明显的制约作用.因此,这里利用1961～2016年NCEP/NCAR再分析资料,对近56年湖南汛期发生的107次区域持续性暴雨过程500hPa环流形势进行分析.在文献[16]研究归纳的500hPa 3种基本环流的基础上进一步普查,发现湖南汛期发生区域持续性暴雨过程欧亚地区(40°E～180°E)中高纬环流形势可分为6类,即:两槽一脊、两槽两脊、两脊一槽、纬向波动、多涡旋和台风低压,其中两脊一槽型根据脊的空间位置匹配不同,进一步可细分为贝乌型(贝加尔湖、乌拉尔山地区为脊)和鄂乌型(鄂霍茨克海、乌拉尔山地区为脊).表1给出了湖南汛期各月区域持续性暴雨过程6类环流型出现次的数统计结果.由表1可知,湖南汛期区域性暴雨过程主要发生在6,7月,二者合计占总次数的61.7%,其次是5,8月,4月和9月发生概率较小.湖南发生区域持续性暴雨环流背景以两槽一脊和两脊一槽之鄂乌型为主,分别占区域持续性暴雨总次数的30.8%,27.1%;其次是纬向波动和两脊一槽之贝乌型,分别占总次数的12.1%和10.3%;台风低压型共出现10次,主要出现在8月,有8次,7,9月份各有1次;而两槽两脊和多涡旋环流型过程较少,分别只有6次和5次.因此,下文将主要讨论其中出现频率较多的4类区域持续性暴雨典型环流特征及其与首日暴雨落区关系.由于每一类型持续性暴雨有多个个例,限于篇幅,我们对各类持续性暴雨根据暴雨首日落区差异仅给出一到两例实况图,但文中统计分析不局限于图中个例情况.

表1 1961～2016年4～9月区域持续性暴雨过程各类环流类型出现次数

Tab.1 Occurrence number of RPTR (regional persistent torrential rain) under different circulation types from April to September in 1961～2016 in Hunan Province

月份	两槽一脊	两槽两脊	两脊一槽		纬向波动	多涡旋	台风低压	合计	
			贝乌型	鄂乌型				次数	占比
4	1			1	2			4	3.74%
5	6		1	5	6			18	16.82%
6	14	3	6	15	3	2		43	40.19%
7	10	2	3	6	1		1	23	21.50%
8	1	1	1	2	1	2	8	16	14.95%
9	1					1	1	3	2.80%

图1给出了6类环流型暴雨过程暴雨累计频次空间分布图.由图1可见,各环流型背景下全省境内都有可能出现暴雨,但发生的频次和空间分布存在一定差异,其中两槽一脊型(图1(a))和两脊一槽鄂乌型(图1(b))暴雨发生累计频次北多南少空间分布特征明显,暴雨频次累计最大中心值分别达23次、24次,最大中心分别出现在湘西北和湘东北;两脊一槽贝乌型(图1(c))暴雨发生累计频次空间分布具有相似的南北空间分布特征,但暴雨频次累计最大中心值只有10次,发生频次约为前两者的一半;纬向波动(图1(d))和两槽两脊型(图1(e))湘西北发生暴雨的概率相对较大,台风低压型(图1(f))

暴雨主要发生在湘东南，暴雨频次累计最大值达10，暴雨发生频次由湘东南向湘西北递减，而多涡旋型（图 1(g)）环流背景下，全省各地均有发生暴雨的可能，但发生概率相对较小.



图 1　1961～2016 年各环流类型区域持续暴雨站次累计分布图

Fig.1　Cumulative distribution of RPTR under different circulation types

3 湖南汛期区域持续性暴雨过程环流类型特征与暴雨落区

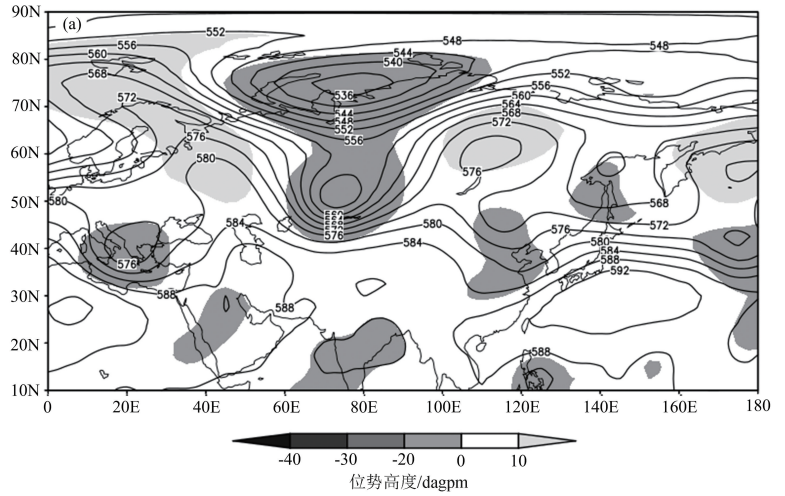
3.1 两槽一脊

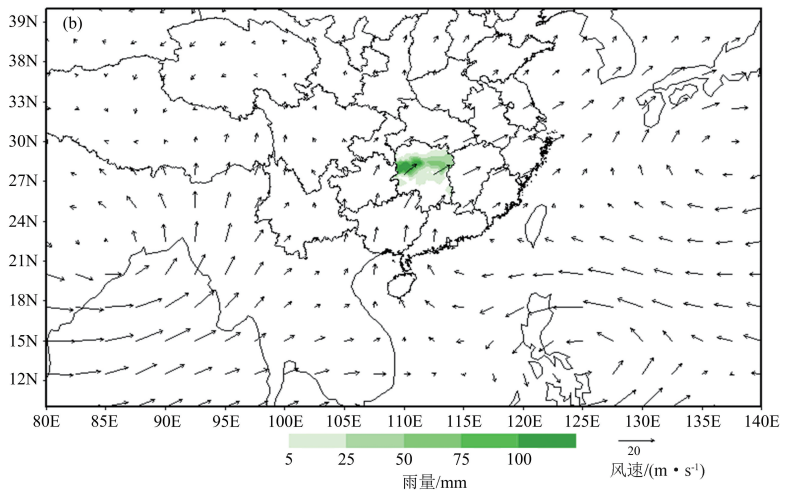
表 2 给出了 1961～2016 年湖南汛期两槽一脊型区域持续性暴雨过程的统计结果.由表可见,近 56 年该环流型暴雨过程发生 33 次,时间上主要集中在 6,7 月,持续时间以 2d 为主,个别过程持续 3～4d 统计普查发现,两槽一脊型区域持续性暴雨过程 500hPa 高度环流形势场上在欧亚中高纬度表现出一定共性,暴雨发生时高压脊或阻塞高压位于贝加尔湖附近,其两侧为较深的低槽,降水系统自高纬度地区经贝加尔湖附近南下或自巴尔喀什湖地区东移影响湖南.但在过程中因低纬和副热带系统配置不同,暴雨过程首日落区则存在明显差异,33 次过程中有 30 次首日暴雨落区在湘北或湘中以北,3 次在湘南.

表 2 1961～2016 年湖南汛期两槽一脊型区域持续性暴雨过程

Tab.2 RPTR under the condition of two-trough-one-ridge during the flood period in 1961～2016 in Hunan

发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d
1962-06-23～1962-06-24	2	1977-06-13～1977-06-14	2	1999-05-16～1999-05-17	2	2010-06-19～2010-06-20	2
1965-09-11～1965-09-12	2	1979-06-04～1979-06-06	3	1999-05-25～1999-05-26	2	2010-07-11～2010-07-12	2
1968-06-17～1968-06-18	2	1979-06-26～1979-06-27	2	1999-07-16～1999-07-17	2	2011-06-04～2011-06-05	2
1969-07-16～1969-07-17	2	1980-08-11～1980-08-12	2	2002-05-13～2002-05-14	2	2011-06-14～2011-06-15	2
1970-07-10～1970-07-13	4	1986-06-21～1986-06-23	3	2003-06-05～2003-06-06	2	2012-06-10～2012-06-11	2
1974-04-19～1974-04-20	2	1992-07-05～1992-07-06	2	2005-05-31～2005-06-01	2	2014-07-15～2014-07-17	3
1975-05-08～1975-05-09	2	1993-07-03～1993-07-04	2	2006-07-07～2006-07-09	3		
1976-06-07～1976-06-08	2	1995-06-30～1995-07-2	3	2008-06-09～2008-06-10	2	平均	2.2
1976-07-08～1976-07-09	2	1996-05-24～1996-05-25	2	2009-07-02～2009-07-03	2		





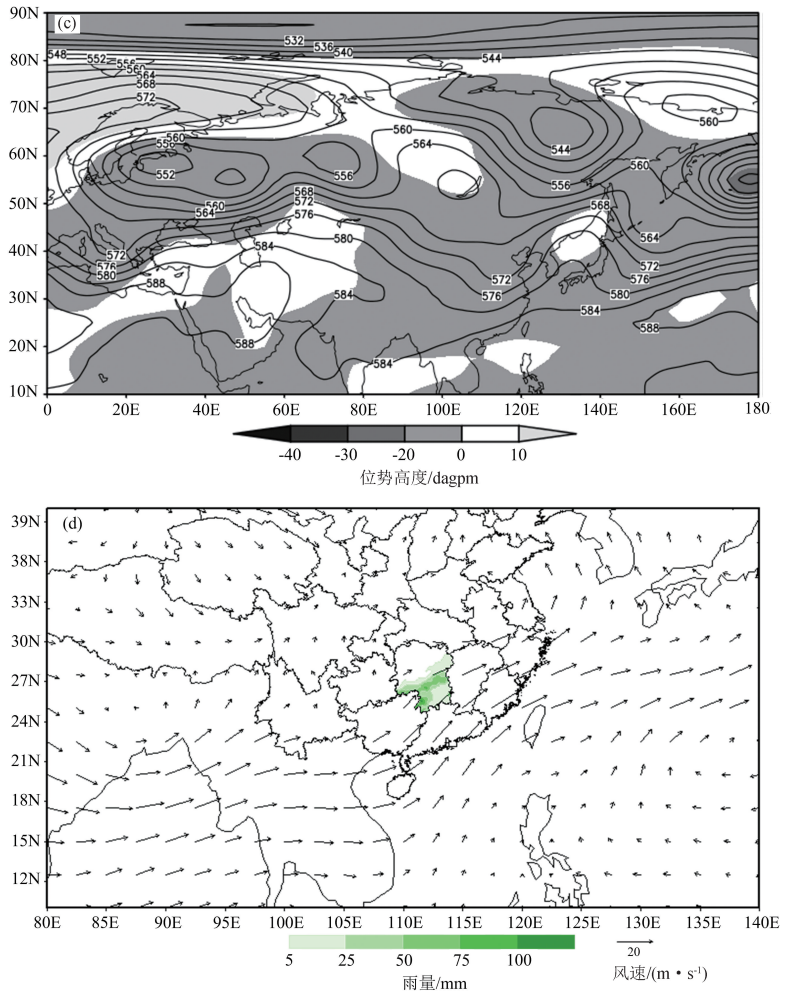


图 2　2014 年 7 月 15 日 500hPa 位势高度及其距平场(a)和 850hPa 风场与地面雨量(b),1976 年 7 月 8 日 500hPa 位势高度及其距平场(c)和 850hPa 风场与地面雨量(d)

Fig.2　Geopotential height and its anomaly at 500hPa on 15 July 2014(a) and 8 July 1976(c), wind at 850hPa and rainfall on 15 July 2014(b) and 8 July 1976(d)

图 2 为表 2 中两例典型过程的 500hPa 位势高度、850hPa 风场与降水量图.从图 2(a)可见,2014 年 7 月 15 日 500hPa 高度场上,贝加尔湖为阻塞高压,两个低槽分别位于巴尔喀什湖和东北亚沿海,低纬西太平洋副高偏强,588 dagpm 线位于江南南部,副高脊线在 28°N 附近,较常年 7 月明显偏北,西太平洋副高西伸脊点在 105°E 左右;850hPa 风场上(图 2(b)),台湾以东洋面上为副热带高压反气旋控制,菲律宾地区为热带气旋环流控制,其北侧偏东风经华南转为偏南－西南风,向长江以南地区输送水汽和能量.湖南北部处于东亚槽槽底西北气流和西太平洋副高西北侧西南气流交汇处,有利于持续暴雨的发生,这与盛夏贝加尔湖地区有阻塞高压时长江流域(湖南中北部)多雨的统计研究结论一致[26-27].1976 年 7 月 8 日 500hPa 高度场(图 2(c))上,欧亚中高纬环流型与图 1(a)相似,贝加尔湖为高压脊,巴尔喀什湖和东亚沿海虽同样为低槽,但槽底位置与前者存在明显差异,巴尔喀什湖槽底位置偏北,东亚沿海槽底伸达长江以南,东亚高空出现北脊南槽环流型,南支锋区南压.同时,低纬西太平洋副高位于台湾以东海洋上,西太平洋副高强度较常年明显偏弱,西太平洋副高西伸脊点异常偏东;850hPa 风场上(图 2(d)),孟加拉湾西风气流经中南半岛在南海转为西南季风气流,向华南江南南部地区输送水汽和能量.湖南中南部处于南支槽前和东亚槽槽底,有利于持续暴雨落区偏南.

3.2　两脊一槽

3.2.1　鄂乌型

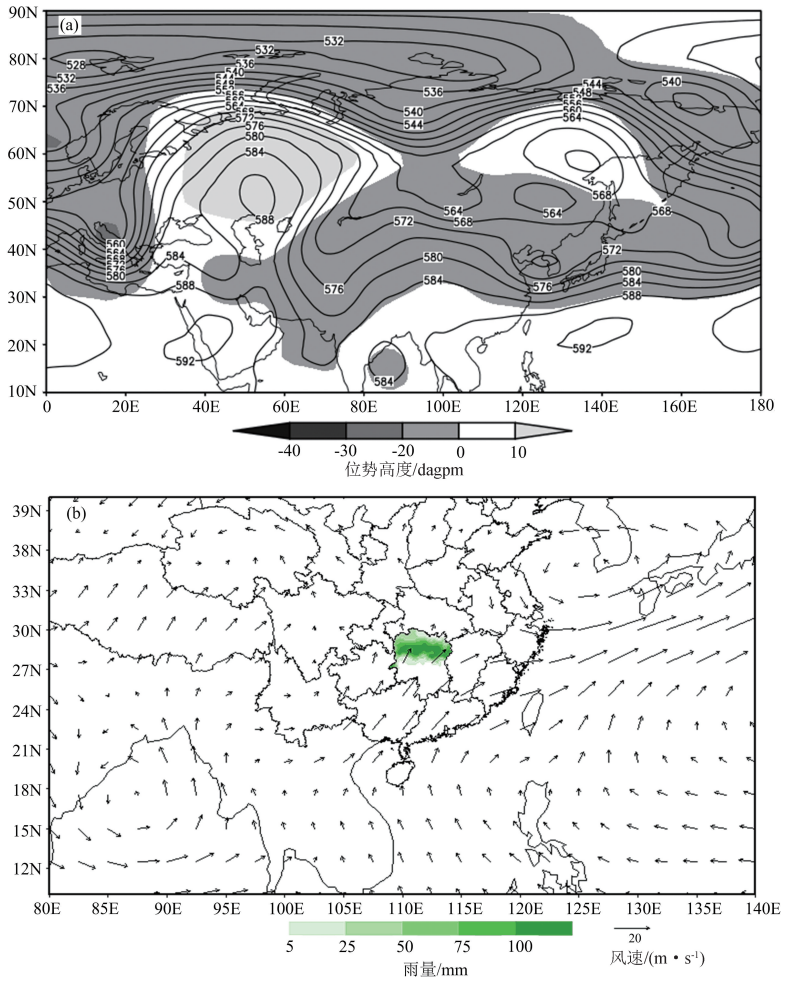
表 3 为两脊一槽鄂乌型区域持续性暴雨过程的统计结果,可以看出近 56 年鄂乌型区域持续性暴雨

过程共发生 29 次,发生时间主要在 6,7 月份,平均持续时间为 2.5d,过程最长持续时间达 5d.鄂乌型区域持续性暴雨过程 500hPa 高度场上表现出一定共性,即鄂霍茨克海和乌拉尔山地区为高压脊或阻塞高压,亚洲中高纬为宽广的低槽.但低槽的形态差异和低纬西太平洋副高的强度与形状导致暴雨落区不同,该环流型 29 次过程中首日暴雨落区在湘北有 18 次,湘中以南有 11 次.

表 3 1961～2016 年湖南汛期两脊一槽之鄂乌型区域持续性暴雨过程

Tab.3 RPTR under the condition of Urals-Okhotsk during the flood period in 1961～2016 in Hunan

发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d
1961-05-31～1961-06-01	2	1990-06-06～1990-06-07	2	1998-07-22～1998-07-23	2	2009-06-09～2009-06-10	2
1961-06-09～1961-06-12	4	1995-05-31～1995-06-01	2	1998-07-29～1998-07-30	2	2012-06-26～2012-06-27	2
1966-06-28～1966-06-30	3	1996-07-10～1996-07-11	2	1999-04-24～1999-04-25	2	2012-07-16～2012-07-18	3
1980-08-04～1980-08-06	2	1996-08-18～1996-08-19	2	1999-06-27～1999-07-01	5	2014-07-04～2014-07-05	2
1981-06-27～1981-06-29	3	1997-06-07～1997-06-08	2	2000-06-20～2000-06-22	3	2016-07-02～2016-07-04	3
1983-06-19～1983-06-20	2	1998-06-13～1998-06-14	2	2004-05-11～2004-05-12	2		
1984-05-30～1984-06-01	3	1998-06-18～1998-06-19	2	2004-05-15～2004-05-16	2	平均	2.5
1989-06-29～1989-07-01	3	1998-06-23～1998-06-26	4	2006-06-06～2006-06-07	2		



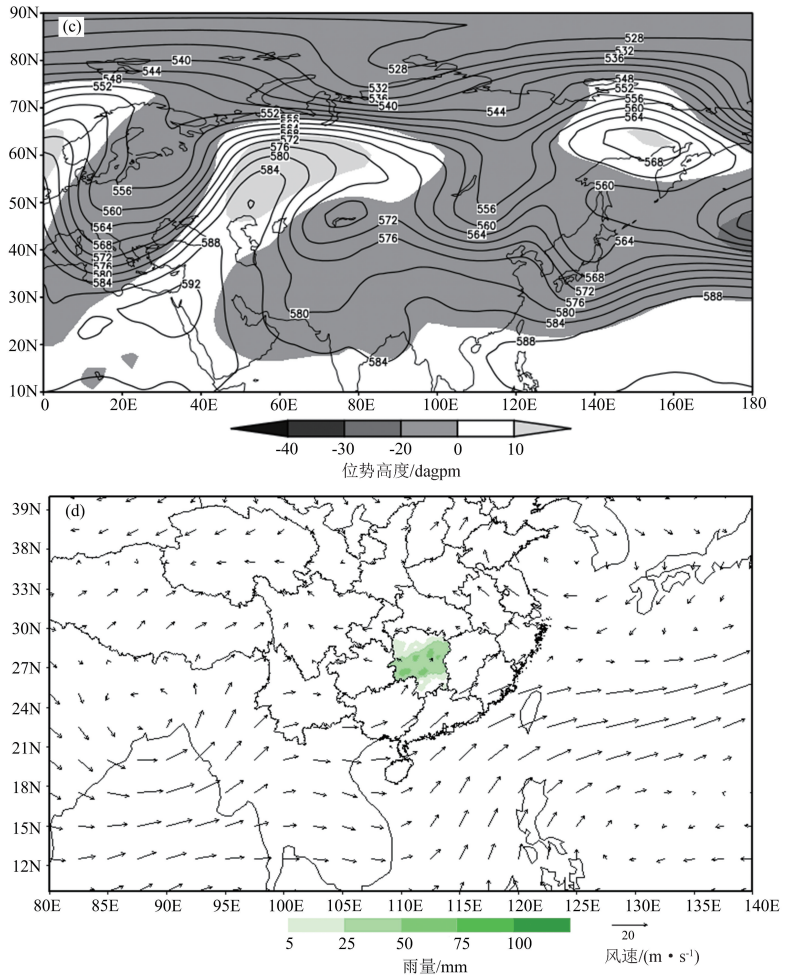


图 3　1998 年 6 月 13 日 500hPa 位势高度及其距平场(a)和 850hPa 风场与地面雨量（b),2006 年 6 月 6 日 500hPa 位势高度及其距平场(c)和 850hPa 风场与地面雨量（d)

Fig.3　Geopotential height and its anomaly at 500hPa on 13 June 1998(a) and 6 June 2006(c), wind at 850hPa and rainfall on 13 June 1998(b) and 6 June 2006(d)

图 3 为表 3 中两例典型过程的 500hPa 位势高度、850hPa 风场与降水量图.由图 3(a)可见,1998 年 6 月 13 日 500hPa 高度场上,鄂霍茨克海和乌拉尔山地区为阻塞高压控制,其间为宽广的低槽,乌拉尔山阻高东侧有横槽,西风带锋区呈东西向维持在 50°N 以南.低纬西太平洋副高较强,呈东西带状,台湾以东海面上有 592 dagpm 高压中心,江南南部和华南在 588 dagpm 线控制内,副高西伸脊点位于 98°E 左右.850hPa 风场上(图 3(b)),西太平洋为强大的反气旋环流,长江以南上空为副高外围西南气流控制.湖南中南部位于西太平洋副高 584 dagpm 线内,湖南北部主要受来自中纬度地区沿锋区南侧东移南下冷空气与副高西北侧北上暖湿气流影响,有利于持续暴雨过程开始发生于湖南北部.而 2006 年 6 月 6 日 500hPa 高度场上(图 3(c)),欧亚中高纬环流型与图 2a 基本相似,鄂霍茨克海有阻塞高压,乌拉尔山地区为高压脊,其东侧有切断低压,东亚上空西风带锋区较强,低纬西太平洋副高呈东西带状,588 dagpm 线位于台湾以南,副高西伸脊点位于 115°E 左右.850hPa 风场上(图 3(d)),西太平洋反气旋环流位置偏东,孟加拉湾西风气流经中南半岛在南海转为西南季风气流,并和西太平洋西北侧西南风合并,向华南和江南南部输送水汽和能量.此环流形势下降水系统从巴尔喀什湖东移经高原南下影响,有利于持续暴雨的产生,但位置偏南,易出现在湖南中南部.

3.2.2　贝乌型

表 4 给出了两脊一槽贝乌型区域持续性暴雨过程的统计结果.从表 4 可见,近 56 年该环流型持续性暴雨过程共发生 11 次,大多发生在 6,7 月,5 月

和 8 月各有 1 次，持续时间以 2～3d 为主，最长持续 5d，其平均持续时间为 2.8d，是湖南汛期区域持续性暴雨过程持续时间最长的类型.综合表 3、表 4 进一步发现，当夏季东亚中高纬出现(鄂霍茨克海或贝加尔湖)阻塞高压时，湖南易出现持续性暴雨过程，且持续时间相对最长，这一统计事实也佐证了夏季东亚中高纬(阻塞)高压的建立维持往往使长江流域雨带稳定出现大范围洪涝的结论[28-29].该环流型下暴雨首日落区多出现在湘北或湘中以北.

图 4 是表 4 中典型的贝乌型持续性暴雨过程的大气环流形势.500hPa 位势高度场上(图 4(a))，乌拉尔山有阻塞高压，贝加尔湖为高压脊，巴尔喀什湖附近有深槽，另外东亚沿海低槽位于日本海.低纬西太平洋副高呈东西带状，强度较强，脊线较常年偏北，孟加拉湾为南支低槽，该槽分裂出短波东移影响湖南.850hPa 风场上(图 4(b))，中南半岛-华南-长江以南为一致西南季风气流，向湖南地区输送水汽和能量，与巴尔喀什湖低槽东移南下引导地面冷空气相遇，有利于湖南持续性暴雨过程的发生.

表 4 1961～2016 年湖南汛期两脊一槽之贝乌型区域持续性暴雨过程

Tab.4 RPTR under the condition of Baikal-Urals during the flood period in 1961～2016 in Hunan

发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d
1967-06-19～1967-06-20	2	1994-07-17～1994-07-18	2	2002-06-14～2002-06-16	3
1982-06-14～1982-06-17	4	1995-06-25～1995-06-27	3	2004-07-18～2004-07-20	3
1988-08-25～1988-08-26	2	1996-05-31～1996-06-02	3	2010-06-23～2010-06-24	2
1994-06-12～1994-06-13	2	1996-07-13～1996-07-17	5	平均	2.8

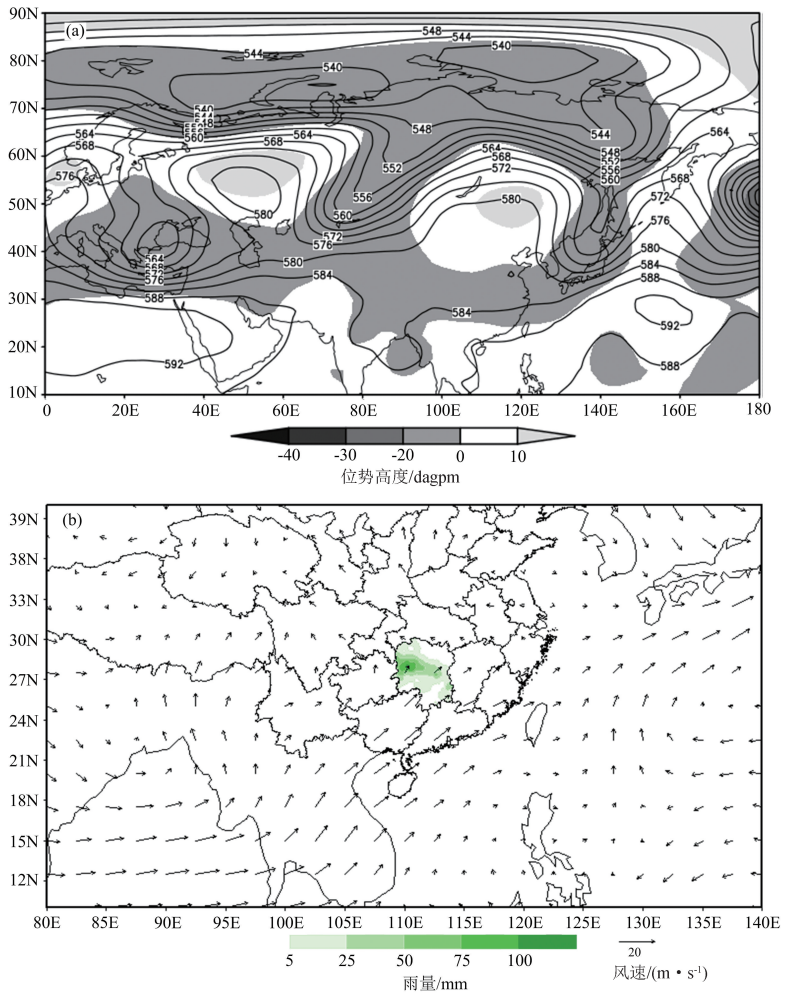


图 4 2010 年 6 月 23 日 500hPa 位势高度及其距平场(a)，以及 850hPa 风场与地面雨量(b)

Fig.4 Geopotential height and its anomaly at 500hPa on 23 June 2010(a) ,and wind at 850hPa and rainfall (b)

3.3　纬向波动型

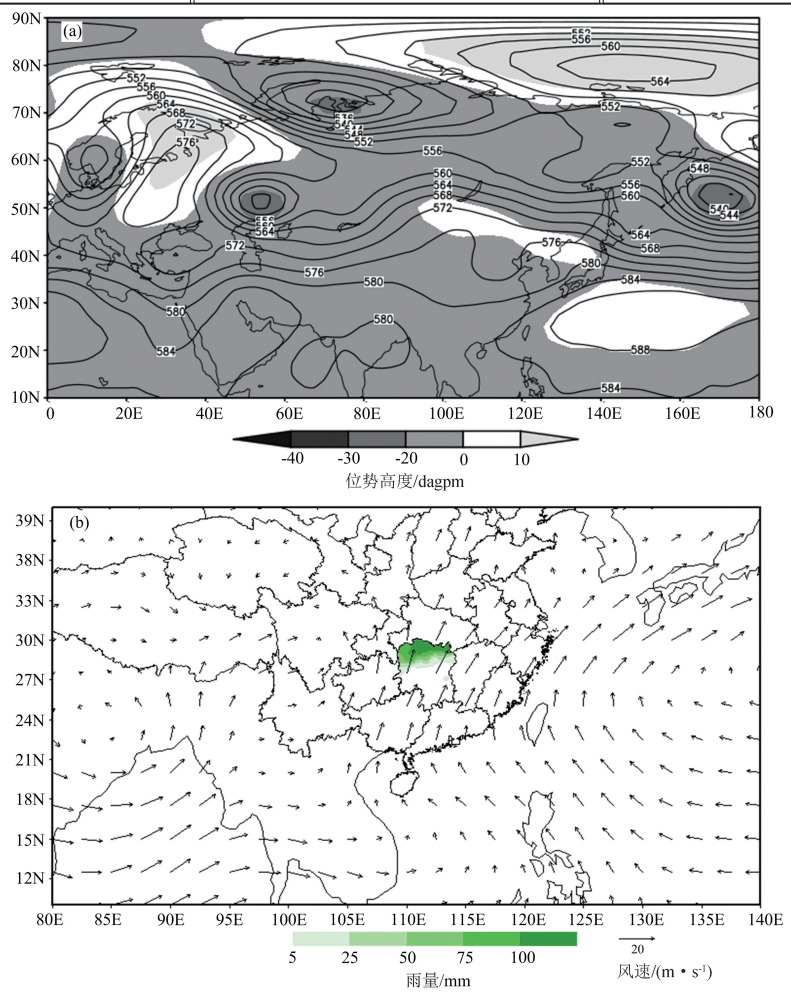
表 5 给出了近 56 年湖南汛期纬向波动型区域持续性暴雨过程的统计结果.由表可见,纬向波动型暴雨过程发生次数较少,共有 13 次,主要发生在 5,6 月,过程持续时间均为 2d,为湖南汛期区域持续性暴雨过程持续时间最短的类型.13 次过程暴雨首日落区有 9 次在湘北,4 次在湘中以南.

图 5 为表 5 中两例典型纬向波动型暴雨过程 500hPa 位势高度、850hPa 风场与降水量图.由图 5(a)可见,1964 年 6 月 24 日 500hPa 高度上乌拉尔山附近有阻塞高压,其东南部有横槽,西风带锋区呈东西向维持在 50°N 以南,欧亚中纬度以纬向环流为主,其上的多短波槽活动有利北方冷空气持续南下,低纬西太平洋副高中心位于台湾以东日本以南洋面,强度较强,副高脊线较常年偏北;850hPa 风场上(图 5(b)),华南至长江流域为一致的强西南气流,受西南暖湿气流和持续补充南下冷空气影响,因副高较强脊线偏北,有利于湖南北部持续性暴雨过程的发生.1961 年 4 月 19 日 500hPa 高度上(图 5(c))欧亚中高纬为纬向多波形势,40°N 以南有明显的东西向锋区,江南华南处于南支槽前,低纬西太平洋副高 584 dagpm 位于台湾以南洋面;850hPa 风场上(图 5(d)),来自中南半岛和南海的一致偏南气流向华南江南输送水汽和能量,由高原东移的降水系统造成的暴雨因副高位置偏南,其落区常易出现在湖南中南部.

表 5　1961～2016 年湖南汛期纬向波动型区域持续性暴雨过程

Tab.5　RPTR under the condition of zonal fluctuation during the flood period in 1961～2016 in Hunan

发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d
1961-04-19～1961-04-20	2	1975-06-10～1975-06-11	2	2002-05-08～2002-05-09	2
1962-05-26～1962-05-27	2	1977-08-13～1977-08-14	2	2002-06-28～2002-06-29	2
1963-05-31～1963-06-01	2	1986-04-13～1986-04-14	2	2006-05-05～2006-05-06	2
1964-06-24～1964-06-25	2	1993-07-19～1993-07-20	2		
1965-05-13～1965-05-14	2	1997-05-15～1997-05-16	2	平均	2



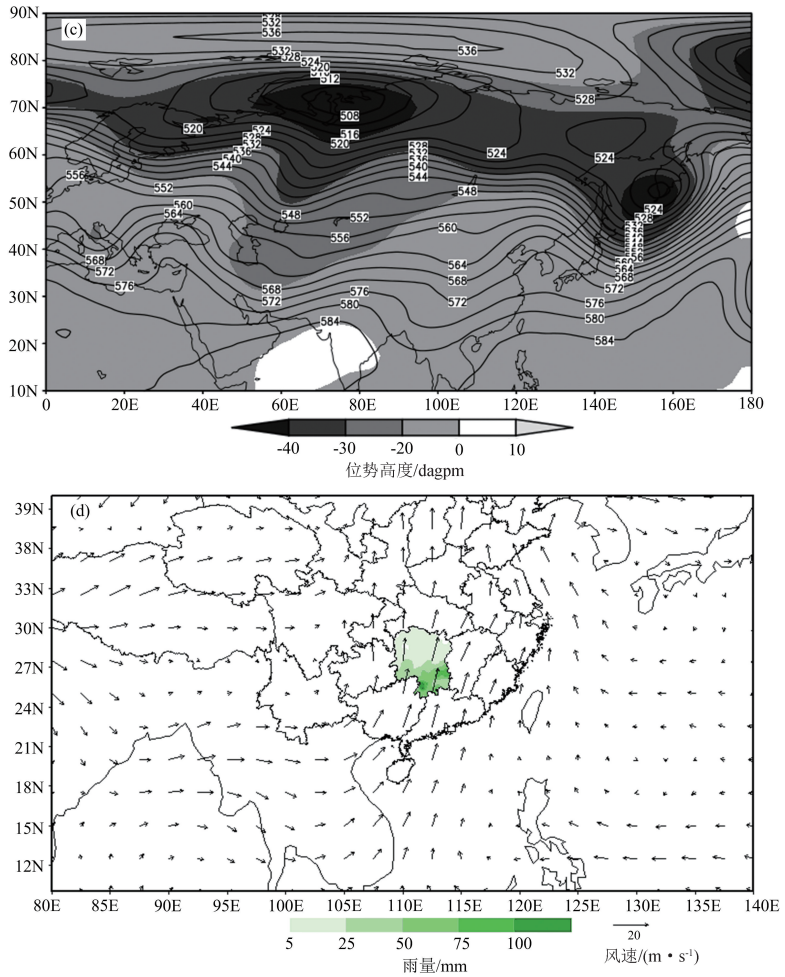


图 5 1964 年 6 月 24 日 500hPa 位势高度及其距平场(a)和 850hPa 风场与地面雨量(b),1961 年 4 月 19 日 500hPa 位势高度及其距平场(c)和 850hPa 风场与地面雨量(d)

Fig.5 Geopotential height and its anomaly at 500hPa on 24 June 1964(a) and 19 April 1961(c), and wind at 850hPa and rainfall on 24 June 1964(b) and 19 April 1961(d)

3.4 台风低压型

表 6 给出了湖南汛期台风低压型区域持续性暴雨过程的统计结果.由表可见,近 56 年台风低压型持续性暴雨过程仅发生 10 次,且年代上主要集中在 20 世纪 90 年代以后,月份上主要发生在 7,8 月,9 月份仅出现 1 次;台风低压型区域持续性暴雨过程一般持续 2d,少数过程持续时间达 3～4d,平均持续时间为 2.4d.10 次过程暴雨首日出现在东南或南部有 8 次,其余 2 次则出现在湘北.

图 6 是表 6 中典型的台风低压型暴雨过程 500hPa 高度场、850hPa 风场与雨量图.由图 6(a)可见,乌拉尔山为阻塞高压,东侧有横槽,亚洲中纬度为副热带高压所控制,华南、江南处于 0709 号"圣帕"登陆减弱为热带低压控制;而 850hPa 风场上(图 6(b)),湖南东南部为低压气旋环流控制.由于西移减弱的低压系统处于南北稳定的高压系统包围之中,湖南受西移减速的低压系统影响,湖南中南部发生持续性暴雨过程.

表 6 1961～2016 年湖南汛期台风低压型区域持续性暴雨过程

Tab.6 RPTR under the condition of typhoon depression during the flood period in 1961～2016 in Hunan

发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d	发生时间	持续时间/d
1969-08-10～1969-08-12	3	1996-08-02～1996-08-03	2	2013-08-16～2013-08-17	2
1973-08-13～1973-08-16	4	2000-08-12～2000-08-13	2	2013-09-24～2013-09-25	2
1982-08-17～1982-08-18	2	2006-07-15～2006-07-16	2		
1994-08-05～1994-08-06	2	2007-08-20～2007-08-22	3	平均	2.4

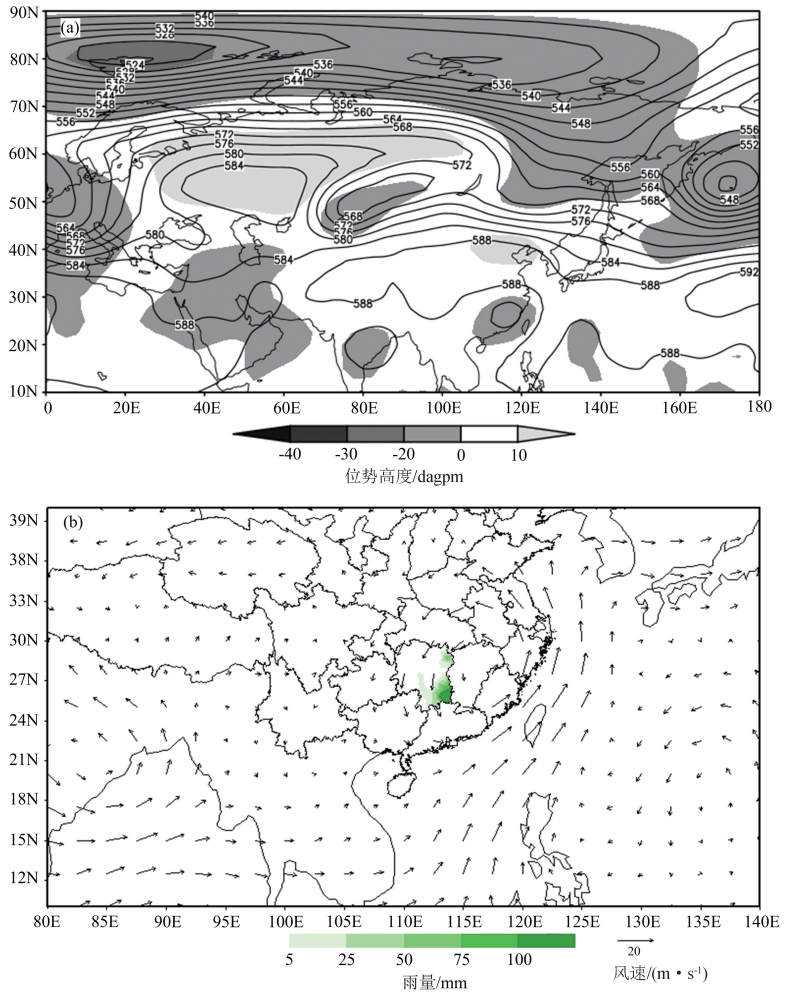


图 6　2007 年 8 月 20 日 500hPa 位势高度及其距平场(a)和 850hPa 风场与地面雨量(b)

Fig.6　Geopotential height and its anomaly at 500hPa on 20 August 2007(a) and wind at 850hPa and rainfall(b)

4　结论

本文归纳了近 56 年利于湖南汛期区域持续性暴雨发生的典型大尺度环流型，统计分析了发生区域持续性暴雨典型环流型特征及其与首日暴雨落区配置关系，得到以下结论：

(Ⅰ)有利于湖南汛期区域持续性暴雨发生的典型环流类型有两槽一脊、两槽两脊、两脊一槽、纬向波动、台风低压和多涡旋型.其中两槽一脊和两脊一槽之鄂乌型发生次数最多，两槽两脊和多涡旋环流型发生次数最少.

(Ⅱ)湖南汛期区域持续性暴雨过程主要发生在 6，7 月，发生次数合计占总次数的 61.7%，其次是 5，8 月，4 月和 9 月发生概率较小.

(Ⅲ)各典型环流型背景下全省境内都有可能出现区域持续性暴雨，但发生的频次和空间分布存在一定差异，两槽一脊和两脊一槽鄂乌型持续性暴雨发生累计频次北多南少空间分布特征最为明显，而台风低压型持续性暴雨主要发生在湘东南.

(Ⅳ)各典型环流型区域持续性暴雨过程发生的 500hPa 欧亚中高纬环流型类内具有相似共性特征，均有利于持续引导北方冷空气南下至湖南，但低纬环流形势各异，尤其是西太平洋副高强度和形态的差异，导致湖南汛期区域持续性暴雨过程首日暴雨落区存在南北、东西空间差异.

由于各月气候平均场有所不同，因而同一种中高纬环流型在不同月份存在一定的差异，其精细的月际变化特征有待于进一步深入研究，其结果也必将对预报员在具体业务预报中客观把握和应用文中得出的预报概念模型大有裨益.

参考文献(References)

[1] 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京：气象出版社，1993.

[2] 中国气象局国家气候中心. 98 中国大洪水与气候异常

[M]. 北京：气象出版社，1998.

[3] 张雁，丁一汇，马强. 持续性梅雨锋暴雨的环流特征分析[J].气候与环境研究，2001，6(2)：161-167.
ZHANG Yan，DING Yihui，MA Qiang. Analysis of the atmospheric circulation in relation to persistent rain storm on the Meiyu front [J]. Climatic and Environmental Research，2001，6(2)：161-167.

[4] 何编，孙照渤. “0806”华南持续性暴雨诊断分析与数值模拟[J].气象科学，2010，30(2)：164-171.
HE Bian，SUN Zhaobo. Diagnostic analysis and numerical simulation of persistent torrential rain in south China in June 2008[J]. Scientia Meteorologica Sinica，2010，30(2)：164-171.

[5] 王孝忠. 湖南的水灾及其防治[M]. 长沙：湖南人民出版社，1999.

[6] 陶诗言，徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征[J]. 气象学报，1962，32(1)：1-10.
TAO Shiyan，XU Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yantze and Hwai-Ho Valleys in summer [J]. Acta Meteorologica Sinica，1962，32(1)：1-10.

[7] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京：科学出版社，1980.

[8] 雷雨顺. 经向型持续性特大暴雨的合成分析[J]. 气象学报，1981，39(2)：168-181.
LEI Yushun. The compositive analysis of the meridional type persistent severe rainstorms [J]. Acta Meteorologica Sinica，1981，39 (2)：168-181.

[9] 张端禹，郑彬，汪小康，等. 华南前汛期持续暴雨环流分型初步研究[J]. 大气科学学报，2015，38(3)：310-320.
ZHANG Duanyu，ZHENG Bin，WANG Xiaokang，et al. Preliminary research on circulation patterns in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China [J]. Transactions of Atmospheric Sciences，2015，38(3)：310-320.

[10] 鲍名. 近50年我国持续性暴雨的统计分析及其大尺度环流背景[J]. 大气科学，2007，31(5)：779-792.
BAO Ming. The statistical analysis of the persistent heavy rain in the last 50 years over China and their backgrounds on the large scale circulation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences，2007，31 (5)：779-792.

[11] 徐明，赵玉春，王晓芳，等. 华南前汛期持续性暴雨统计特征及环流分型研究[J]. 暴雨灾害，2016，35(2)：109-118.
XU Ming，ZHAO Yuchun，WANG Xiaofang，et al. Statistical characteristics and circulation pattern of sustained torrential rain during the pre-flood season in South China for recent 53 years [J]. Torrential Rain and Disasters，2016，35(2)：109-118.

[12] 邹海波，单九生，吴珊珊，等. 江西持续性强降水的气候特征及其大尺度环流背景[J]. 气象科学，2013，33(4)：449-456.
ZOU Haibo，SHAN Jiusheng，WU Shanshan，et al. Climatic characteristics of persistent heavy rains over Jiangxi and their large scale circulation backgrounds [J]. Journal of the Meteorological Sciences，2013，33(4)：449-456.

[13] 王晓芳，徐明，闵爱荣，等. 2010年5月我国南方持续性暴雨过程分析[J]. 暴雨灾害，2010，29(2)：193-199.
WANG Xiaofang，XU Ming，MIN Airong，et al. Analysis of precipitation and affecting systems features on persistent heavy rain in South China in May 2010 [J]. Torrential Rain and Disasters，2010，29(2)：193-199.

[14] 隆霄，程麟生，王文. 1999年6月长江中下游梅雨暴雨的环流特征分析[J]. 高原气象，2007，26(3)：563-571.
LONG Xiao，CHENG Linsheng，WANG Wen. Analysis on circulation characteristics of Meiyu rainstorm in the lower and middle-reaches of Changjiang River during June 1999 [J]. Plateau Meteorology，2007，26(3)：563-571.

[15] 张培群，何敏，许力. 1999年夏季长江及以南地区洪涝的大尺度环流成因初探[J]. 高原气象，2002，21(3)：243 -250.
ZHANG Peiqun，HE Min，XU Li. Preliminary study on circulation cause of abnormal rich precipitation in and to the south of Yangtze River in Summer of 1999 [J]. Plateau Meteorology，2002，21(3)：243 -250.

[16] 程庚福，曾申江，张伯熙，等.湖南天气及其预报[M]. 北京：气象出版社，1987.

[17] 周慧，杨令，刘志雄，等. 湖南省大暴雨时空分布特征及其分型[J]. 高原气象，2013，32(5)：1425-1431.
ZHOU Hui，YANG Ling，LIU Zhixiong，et al. Characteristics of temporal-spatial distributions of heavy rainstorm in Hunan and its typing [J]. Plateau Meteorology，2013，32(5)：1425-1431.

[18] 池艳珍，何金海，吴志伟. 华南前汛期不同降水时断时段的特征分析[J]. 南京气象学院学报，2005，28(2)：163-171.
CHI Yanzhen，HE Jinhai，WU Zhiwei. Features analysis of the different precipitation periods in the pre-flood season in South China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology，2005，28(2)：163-171.

[19] 赵天保，符淙斌. 中国区域ERA-40、NCEP-2再分析资料与观测资料的初步比较与分析[J]. 气候与环境研究，2006，11(1)：14-32.
ZHAO Tianbao，FU Huanbin. Preliminary

Comparison and Analysis between ERA-40, NCEP-2 Reanalysis and Observations over China [J]. 2006, 11 (1): 14-32.

[20] 邓小花，翟盘茂，袁春红. 国外几套再分析资料的对比与分析[J]. 气象科技，2010，38(1)：1-8.
DENG Xiaohua, ZHAI Panmao, YUAN Chunhong. Comparative analysis of NCEP/NCAR, ECMWF and JMA reanalysis [J]. Meteorological Science and Technology, 2010, 38(1): 1-8.

[21] 黄刚. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化[J]. 气候与环境研究，2006，11(3)：310-320.
HUANG Gang. The assessment and difference of the interdecadal variations of climate change in northern part of China with the NCEP/NCAR and ERA-40 reanalysis data [J]. Climatic and Environmental Research, 2006, 11(3): 310-320.

[22] 施晓晖，徐祥德，谢立安. NCEP/NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国区域气候变化研究中的可信度分析[J]. 气象学报，2006，64(6)：709-722.
SHI Xiaohui, XU Xiangde, XIE Lian. Reliability analyses of anomalies of ncep/ncar reanalysis wind speed and surface temperature in climate change research in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2006, 64(6): 709-722.

[23] 林必元. 暴雨预报的理论与实践[M]. 北京：气象出版社，2006：56-59.

[24] 潘志祥. 湖南省防汛抗旱决策气象服务手册[M]. 北京：气象出版社，2005：76-88.

[25] 丁一汇. 暴雨和中尺度气象学问题[J]. 气象学报，1994，52(3)：274-284.
DING Yihui. Some aspects of rainstorm and meso-scale meteorology [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1994, 52 (3): 274-284.

[26] 赵振国. 中国夏季旱涝及其环境场[M]. 北京：气象出版社，1999：75-78.

[27] 罗伯良，段德寅. 湖南汛期旱涝及其预测[M]. 北京：气象出版社，2001：39-40.

[28] 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，1886：77-79.

[29] 陈菊英，王玉红，王文. 1998 及 1999 年乌山阻高突变对长江中下游大暴雨过程的影响[J]. 高原气象，2001，20(4)：388-394.
CHEN Juying, WANG Yuhong, WANG Wen. The influence of sudden change of Ural Blocking High on heavy rainstorm processes in the middle-lower reaches of Yangtze River in June～July of 1998 and 1999[J]. Plateau Meteorology, 2001, 20(4): 388-394.

(上接第 526 页)

[24] PONS V, LUYET P P, MOREL E, et al. Hrs and SNX3 functions in sorting and membrane invagination within multivesicular bodies [J]. PLoS Biology, 2008, 6(9): e214.

[25] SOBO K, LE BLANC I, LUYET P P, et al. Late endosomal cholesterol accumulation leads to impaired intra-endosomal trafficking [J]. PloS One, 2007, 2 (9): e851.

[26] LE BLANC I, LUYET P P, PONS V, et al. Endosome-to-cytosol transport of viral nucleocapsids [J]. Nat Cell Biol, 2005, 7(7): 653-664.

[27] VAN ROOIJEN B D, CLAESSENS M, SUBRAMANIAM V. Membrane permeabilization by oligomeric alpha-synuclein: In search of the mechanism [J]. PloS One, 2010, 5(12): e14292.

[28] HU K, JIANG Y, XIE Y, et al. Small-anion selective transmembrane "holes" induced by an antimicrobial peptide too short to span membranes [J]. J Phys Chem B, 2015, 119(27): 8553-8560.

[29] MARSH P D. Sugar, fluoride, pH and microbial homeostasis in dental plaque [J]. Proc Finn Dent Soc, 1991, 87(4): 515-525.

[30] PEZZULO A A, TANG X X, HOEGGER M J, et al. Reduced airway surface pH impairs bacterial killing in the porcine cystic fibrosis lung [J]. Nature, 2012, 487 (7405): 109-113.

[31] HELMLINGER G, YUAN F, DELLIAN M, et al. Interstitial pH and pO2 gradients in solid tumors in vivo: High-resolution measurements reveal a lack of correlation [J]. Nat Med, 1997, 3(2): 177-182.

[32] CHEN Q, LIU X, CHEN J, et al. A self-assembled albumin-based nanoprobe for in vivo ratiometric photoacoustic pH imaging [J]. Adv Mater, 2015, 27 (43): 6820-6827.