

# 2017年6月湖南致洪暴雨的天气分析

靳莉君<sup>1</sup>, 黄昌兴<sup>2</sup>, 朱春子<sup>2</sup>, 刘静<sup>1</sup>, 张麓瑀<sup>2</sup>, 高唯清<sup>2</sup>

(1.黄河水利委员会水文局,河南 郑州 450004; 2.水利部信息中心,北京 100053)

**摘要:**利用实况观测资料和欧洲中长期天气预报中心再分析资料,对2017年6月底湖南一次致洪暴雨过程进行诊断分析。结果表明:高空冷涡和副高的稳定维持为暴雨发生提供了有利的大尺度环流条件,中低层低涡切变线和地面锢囚锋是此次暴雨的主要影响系统。2支高空急流增强和靠近诱发了低空急流爆发,高低空急流耦合形势的增强促进了暴雨的持续和加强。低空急流为暴雨发生提供了充沛的水汽和不稳定能量,暴雨区表现为显著的对流不稳定,并且在假相当位温垂直梯度增加的阶段对应暴雨强度亦增大。水汽通量以及辐合大值区对暴雨落区预报具有一定的指示意义。

**关键词:**致洪暴雨;湖南;高低空急流;水汽输送

中图分类号:P426.616

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)05-0091-06

2017年6月22日~7月1日,湖南省出现入汛以来大范围、高强度的持续性降雨。这次持续性降雨可以分为2次过程,第1次过程集中在6月22日夜间~25日白天,第2次过程集中在6月29日~7月1日,两次暴雨过程间隔较短。由于该区前期(入汛以来)降雨较少,因此第1次过程在很大程度上缓解了旱情,未发生严重灾害,但也造成资水下游控制站桃江站(益阳)24日23时洪峰水位40.17m,超警戒水位(39.20m)0.97m。与之相比,第2次过程雨强更大、范围更广、持续时间更长,并且与第一次过程暴雨区高度重叠。在前期降雨累加作用下,沅江中游、资水等19条河流发生超保洪水,湘江下游长沙至靖港江段水位超历史。7月1日8时,长江中游干流莲花塘站(岳阳)水位达到32.52m,超警戒水位(32.50)0.02m,形成2017年长江第1号洪水<sup>[1]</sup>。从6月29日~7月1日总降水量分布来看,降水主要集中在湘东北及湘中地区,全省平均降水量为106.54mm,岳阳市瓮江站累积降水量最大,达到483mm。24h内最强降水发生在6月30日20时~7月1日20时,全省共有402站暴雨(50~100mm),284站大暴雨(100~250mm),5站特大暴雨(250~400mm),其中长沙市宁乡县4站特大暴雨,最大降水量出现在老粮仓站,24h降水量高达328mm,6h为176mm。

湖南尤其是湘西、湘北一带是我国著名的暴雨高

发区,对此前人从不同暴雨个例以及暴雨发生的气候特征出发,开展了一系列的研究工作,得出了很多有意义的结论<sup>[2-5]</sup>,但特别针对致洪暴雨的研究却不多见。湖南地处长江流域的中游,除西南多山外,大部分地区湖泊江河纵横,境内洞庭湖区受长江洪水的影响较大,是洪涝灾害发生最为集中之地,并于近年来呈现加剧的趋势<sup>[6]</sup>。为做好该区致洪暴雨的预报预警工作,本文将利用实时观测资料、欧洲中长期天气预报中心(ERA-Interim)提供的每天4次1°×1°再分析资料,采用天气学诊断分析方法对2017年6月29日~7月1日暴雨过程进行综合分析,探讨强降水天气形成的环流背景及内在物理机制,为今后准确预报致洪暴雨提供一些有用的参考信息。

## 1 大尺度环流背景和主要影响系统

这次暴雨发生前,亚洲中高纬度环流处于调整阶段。第一次暴雨发生后,500hPa中高纬地区由阻塞形势转为受平直西风气流控制,乌拉尔山以东、巴尔喀什湖以西以及鄂霍次克海以东为高空槽区,贝加尔湖以东、鄂霍次克海以西为弱高压脊,此外,巴尔喀什湖以东、贝加尔湖以西还分布着一浅槽,从温压场配置看不利于该槽发展。乌拉尔山附近的低槽在东移过程中加深,引起贝加尔湖弱脊向极发展,同时鄂霍次

收稿日期:2017-12-06

作者简介:靳莉君(1986-),女,河南新密人,工程师,主要从事中短期天气预报工作。E-mail:jnlijun26@aliyun.com

克海低压槽向北收缩,亚洲中纬度重新形成两槽一脊环流型。在贝加尔湖高压脊向北加强过程中,高压脊南端的高度场降低,同时从高原上有短波槽东移,从而在江南北部形成低涡,造成南方大部地区处于大气位势不稳定区。西太平洋副热带高压(以下简称“副高”)呈东北-西南向带状分布,其脊线在 $17^{\circ}\text{N}$ 、西脊点在 $110^{\circ}\text{E}$ 附近,位置偏西、偏南。6月29日副高位置最偏西,西伸脊点越过 $110^{\circ}\text{E}$ ,7月1日,受台风“南玛都”生成影响,副高经历短暂断裂及东退,但台风整体对其影响较小。副高稳定少动是这次暴雨环流形势的主要特征,它把来自南海、西太平洋和孟加拉湾的水汽源源不断的向暴雨区输送。在中低层,6月30日20时渝黔湘交界地带带有低涡生成并伴随“人”字形切变线,并且700hPa和850hPa切变线位置基本重合。对应地面图上沿湖南东北部和中部至贵州北部为一条锢囚锋,是此次暴雨天气的主要影响系统。

## 2 高、低空急流对暴雨的作用

此次暴雨天气过程存在2支高空急流,1支为西北风急流,位于我国西北西部上空并呈西北-东南走向,另1支为西南风急流,位于长江中下游至朝鲜半岛之间,为西南-东北走向。暴雨发生前,2支急流所处纬度相近,但相隔大约10个经距,在2支急流之间是一条弱西风带,此时850hPa低空急流尚未建立。从29日白天开始,200hPa上的西北风急流迅速向东南方向传播,至30日02时(见图1a),急流前沿已到达湘西上空,中心最大风速为 $45\text{m/s}$ 。西南风急流向西扩展并控制江淮,2支高空急流相隔缩至4~5个经距,此时湖南位于高空西北风急流右前方、西南风急流右后方,为正涡度平流及辐散区,高空强烈的抽吸作用有利于低层上升运动的发展。从850hPa的垂直运动分布来看(见图1c),湘中以北大部地区都处于上升运动控制下,最大上升速度超过 $0.7\text{Pa/s}$ 。低层在湘西南—湘中—湘东北一带有西南风急流建立,中心最大风速 $14\text{m/s}$ ,形成了对暴雨十分有利的形势。在随后6h,岳阳市降水明显增强,最大降水量岳阳县 $127\text{mm}$ 。30日08时,高空西北风急流继续向东扩展至湘西北部、强度维持,另1支西南风急流则有所东退,200hPa上在西北风急流右前方形成 $4\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 的辐散中心。受高空“抽吸泵”作用,低空急流进一步加强,中心风速由 $14\text{m/s}$ 增加至 $16\text{m/s}$ ,低层强上升运动区仍位于湘中以北。对应这个时段,不论是降水强度还是降水范围均较前一个

时段明显加强和扩大,岳阳市平江县6h最大降水量达到 $196\text{mm}$ 。之后,高空西北风急流逐渐减弱并北抬,另1支高空急流则明显加强,30日14时,在长江中下游—朝鲜半岛之间再次建立新的高空西南风急流,中心最大风速由 $30\text{m/s}$ 增加到 $40\text{m/s}$ ,此时低空急流移至江西北部上空。从图1d看,缺少低空急流配合,低层垂直运动已经开始减弱,仅在湘东北局部维持 $0.1\sim 0.3\text{Pa/s}$ 的上升运动区。对应该时段降雨整体减弱,岳阳雨势有所减小,长沙降雨开始。随后低空急流进一步东移,高空急流维持。1日02时,高空西南风急流呈现略微加强态势,200hPa高空湘东辐散加强。长沙雨强明显增大,宁乡县多站降雨超过 $100\text{mm}$ ,最大点雨量 $146\text{mm}$ 。至1日08时(见图1b),高空西南风急流向东北方向移动并加强,大于 $40\text{m/s}$ 急流范围明显增大,这一增长过程使得200hPa湖南上空变为一致性辐散区,850hPa辐合和上升运动加强,低空急流重新建立,并且大于 $16\text{m/s}$ 的急流核从湘西南一直延伸到湘东北。根据前文分析,渝黔湘交界地带带有低涡生成并伴随“人”字形切变线,对应1日上午湘西南和湘东北降雨明显增强,岳阳、长沙、湘潭等地出现短时强降雨,最大1h雨强出现在岳阳平江县 $117\text{mm}$ ,长沙宁乡县最大6h雨量 $176\text{mm}$ 。1日14时以后,高空西南风急流进一步东移,低空急流的末端仅维持在湘南上空,湘南降雨持续至20时,湘中以北降雨开始减弱,之后低空急流移出湖南,全省强降雨趋于结束。

综上所述可以看出,2支高空急流的增强和靠近有利于其右侧高空辐散作用增强,进而使得湖南地区低层上升运动强烈发展,并诱发了低空急流建立和发展。暴雨区主要位于高空西北风急流右前方、西南风急流右后方以及低空急流左侧。随着低空急流加强,降雨强度和范围均呈现加强态势,并在低空急流减弱后,低层辐合和上升运动条件都变差,雨势也随之减小。在高低空急流耦合最强的时段和区域,湖南降雨强度和范围也达到最强。

## 3 大气稳定度分析

不稳定层结结构是暴雨天气发生的重要条件。图2a给出了暴雨发生前低层假相当位温和比湿的水平分布。由图可见,中心为 $354\text{K}$ 的暖舌自西南向东北方向延伸,并控制了湘西南大部,同时也是比湿的舌区,湘南大部比湿超过 $14\text{g/kg}$ 。湘中存在明显的能量锋区,锋区北侧比湿和假相当位温明显减小,对应为干冷空

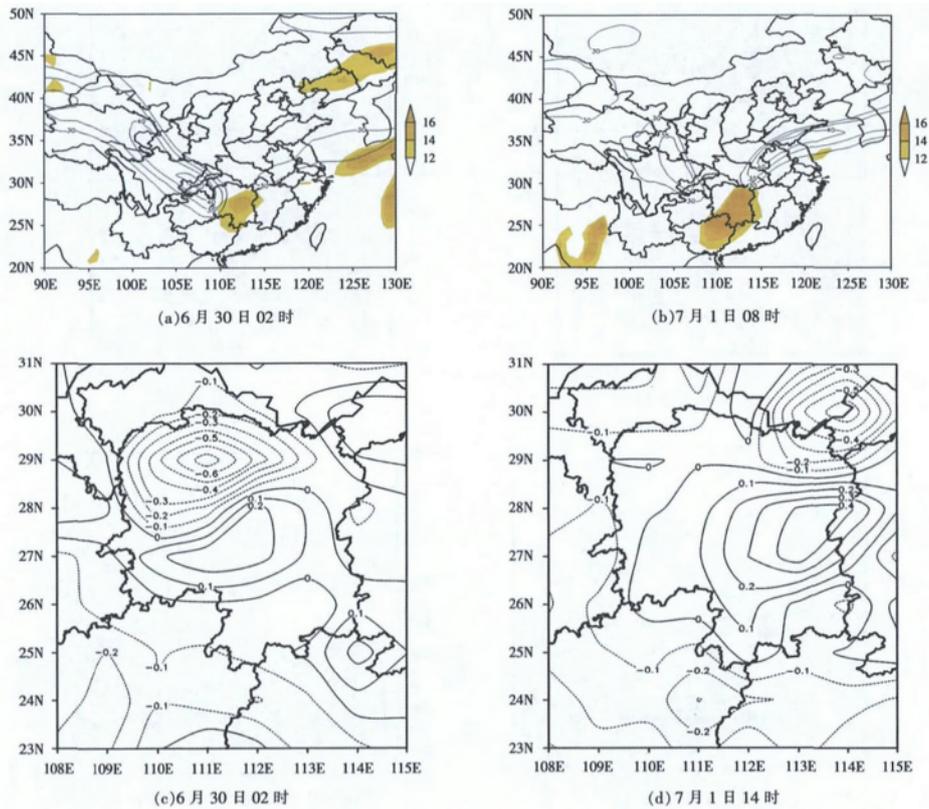


图1 高、低空急流(实线为200hPa风速 $\geq 30\text{m/s}$ ,阴影为850hPa风速 $\geq 12\text{m/s}$ )(a)(b)和850hPa垂直运动(单位:Pa/s)(c)(d)

Fig.1 The high and low level jet (solid lines represent the wind speed of 200hPa over 30m/s, and the shadows represent the wind speed of 850hPa over 12m/s) (a)(b) and the vertical motion (unit: Pa/s)(c)(d)

气。之后,随着低空西南急流建立,暖湿气流大量向北推进,30日02时(图略),湖南大部分地区均在假相当位温暖舌控制下。根据前面分析,此时湘中以北为强上升运动区,因此十分有利于不稳定层结建立。从沿暴雨中心的垂直剖面图来看(见图2c),湘中以北(27.5~29°N)800hPa以下假相当位温随高度减小,为不稳定层结,且大值中心位于强降雨落区以南。600~800hPa之间在27N附近形成335K的低值中心,表示有干冷空气入侵至湘中,600hPa以上假相当位温呈漏斗状向下伸展,为稳定层结。在低层暖湿空气北上和中层干冷空气入侵的共同作用下,湘中以北不稳定能量大量集聚。至此,在中低层大气强烈辐合和上升运动的配合下,暴雨强度明显增强。之后随着暖湿气流东移,低层大气不稳定度逐渐降低。直到7月1日08时(见图2b),低层暖湿气流再次加强,并在黔贵湘交界形成354K假相当位温大值中心以及16g/kg的比湿中心,高能舌向北一直伸展至湘北,降雨区850hPa热力条件较之前明显变好,这与低空急流再次建立相吻合。对应暴雨区假相当位温随时间变化见图2d,从中可以看出,1日08时中

低层大气不稳定度较前一个时次明显增加,原因有二,一是暖湿气流在低层加强,二是冷空气在600~700hPa间侵入。随着降雨发生,不稳定能量再次得以释放,整层大气逐渐转为不稳定度下降期。值得注意的是,在两次暴雨强度加强阶段,中低层大气假相当位温的垂直梯度也表现为明显的增大。

由此可见,强降雨发生期间湘中以北均表现为显著的不稳定层结,这与低空西南急流建立并向北推进以及中层冷空气入侵密不可分。中低层大气强烈辐合以及垂直上升运动的配合,是大气不稳定能量得以释放的重要条件。在暴雨增强阶段,中低层大气假相当位温垂直梯度亦明显增大。

#### 4 水汽特征分析

持续性暴雨的发生与源源不断的水汽输送以及水汽辐合密不可分。彭莉莉等<sup>[7]</sup>对近10年湖南夏季区域持续性暴雨水汽输送分析,认为该区水汽主要来自南海和孟加拉湾,并且以低层(1000~850hPa)水汽输入为主。为了探明本次暴雨过程的水汽来源和水汽源

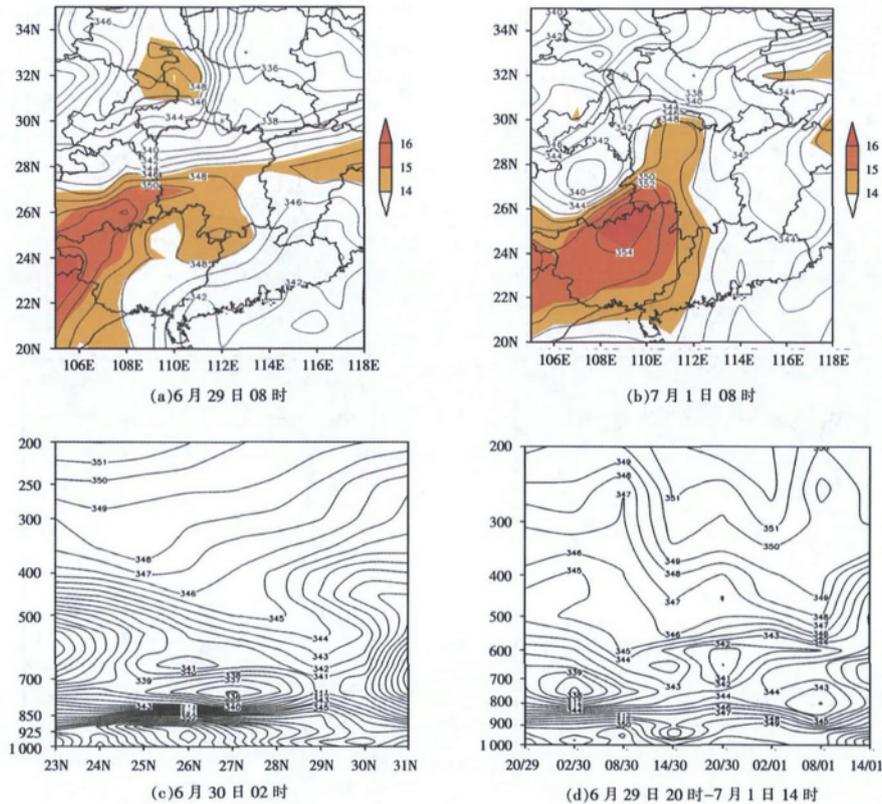


图2 假相当位温(单位:K)水平分布(a)(b)、假相当位温沿 $113^{\circ}\text{E}$ 的垂直剖面(c)及沿 $28^{\circ}\text{N}$ 、 $113^{\circ}\text{E}$ 的时间剖面图(d)

Fig.2 The horizontal distribution of pseudo-equivalent potential temperature (unit: K) (a)(b) and vertical section of pseudo-equivalent temperature along  $113^{\circ}\text{E}$  (c) and time profile along  $(28^{\circ}\text{N}, 113^{\circ}\text{E})$ (d)

汇,选取 $850\text{hPa}$ 作为代表层来分析水汽演变情况。从图3可见,6月30日08时(见图3a),从南海—两广—湘赣建立了一条东北—西南向的强水汽输送带,湖南正好处于这条输送带上,超过 $24\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 的大值中心位于湘西南。低层偏南风源源不断的将水汽向湖南上空输送,为暴雨发生提供了有利条件。同时, $500\text{hPa}$ 冷涡底部有冷空气南下,从而在湘西及湘东北形成水汽通量的负值中心,即水汽辐合区。水汽的强烈辐合为暴雨发展提供了非常有利的不稳定条件,对应30日白天在岳阳、益阳、长沙、怀化一带形成 $50\text{mm}$ 以上的强降水中心。6月30日20时,由于低空西南急流东移,来自南海的水汽输送带强度有所减弱,水汽通量大值区移出湖南,同时,位于湘东北的水汽辐合中心也东移并减弱,对应30日夜间岳阳降水强度开始减小,另外,湘西南位于水汽通量次大值区,降雨持续至1日02时。1日02时,湘西南的水汽通量大值区略向东北方向延伸,导致湘中一带水汽条件变好,长沙降雨有所发展。1日08时,随着低层西南风加强并再次建立低空急流,水汽输送较之前明显增强,湖南上空的水汽通

量开始显著增大,大值区主要位于湘西南至湘中一带,并在这一沿线形成了更强的水汽辐合区,湘中以北以及湘西大部均在 $-4\times 10^{-7}\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 辐合区域内,湘西南局部水汽辐合超过 $-8\times 10^{-7}\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 。对应湘中以北和湘西南暴雨明显加强。1日20时以后,来自南海的水汽输送维持,同时来自西太平洋的水汽输送有所增强,但由于低空急流东移,因此水汽通量强度维持,但大值区东移,进入湘北的水汽通量减少,水汽辐合中心东移南压至湘中以南,湘北转为水汽辐散,降水渐趋减弱。

从上面分析可以看出,本次暴雨的水汽主要来自南海,湖南位于强水汽输送中心带上,低空急流的建立是这条水汽输送带得以建立并加强的必要条件,随着低空急流减弱,水汽输送强度也开始减弱。水汽输送大值区以及辐合区的位置基本与暴雨落区一致,并且雨势随着水汽输送和辐合的增强而增大。

## 5 小结

本文利用实时观测资料和再分析资料,从大尺度

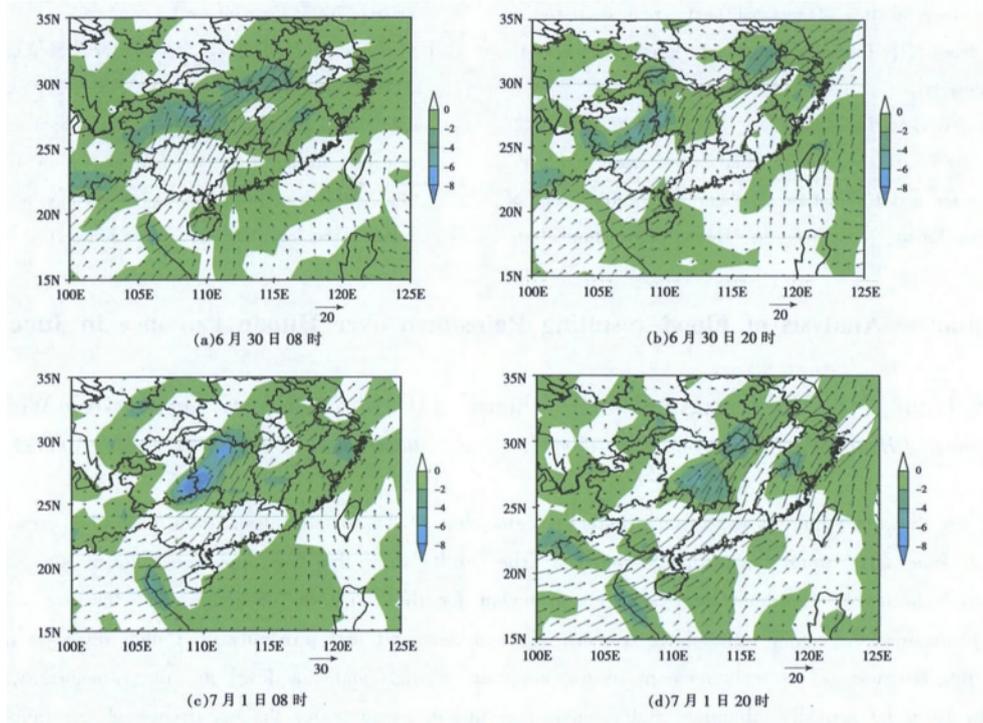


图3 850hPa水汽通量(矢量图,单位: $g/(hPa \cdot cm \cdot s)$ )及水汽通量散度(阴影图,单位: $10^{-7}g/(hPa \cdot cm^2 \cdot s)$ )分布

Fig.3 The distribution of 850hPa water vapor flux (vector graphic, unit:  $g/(hPa \cdot cm \cdot s)$ ) and water vapor flux divergence (shadow graphic, unit:  $10^{-7}g/(hPa \cdot cm^2 \cdot s)$ )

环流背景、主要影响天气系统、大气稳定度、水汽输送等方面,对2017年6月湖南致洪暴雨过程进行了诊断分析,得到结论如下:

(1)此次暴雨发生前,亚洲中高纬度从平直的西风气流转向两槽一脊型环流。江南北部冷涡和副高的稳定维持,为冷暖空气持续交汇提供了有利的环境场,造成本次暴雨的主要影响系统是中低层低涡切变线以及地面锢囚锋。

(2)高空2支急流的增强和靠近有利于其右侧辐散增强,从而诱发低空急流爆发并向湖南上空推进。暴雨区位于高空急流右侧、低空急流左侧,这对暴雨落区预报有较强的指示作用。在高低空急流耦合最强的时段,湖南暴雨区强度和范围亦达到最强。

(3)假相当位温的演变与暴雨发生发展具有很好的对应关系。暴雨区中低层为显著的对流不稳定层结,低层强上升运动和辐合将暖湿气流抬升至高空,促使不稳定能量得以释放。在暴雨增强阶段,中低层大气假相当位温垂直梯度亦明显增大。

(4)本次暴雨水汽源地主要为南海,水汽经桂黔输送至湖南上空。低空急流在向暴雨区水汽输送方面作用显著,在暴雨加强时段水汽通量显著增加,并与冷

空气相遇后,在暴雨区产生强水汽辐合。暴雨落区与水汽通量和辐合的大值区基本一致。

参考文献:

[1] 凤凰网. 湖南告急! 今年长江1号洪水来了 [OL]. [http://news.ifeng.com/a/20170702/51358699\\_0.shtml](http://news.ifeng.com/a/20170702/51358699_0.shtml), 2017.7.3. (IFENG. Hunan is in a hurry! The flood of No.1 on the Yangtze River has come this year [OL]. [http://news.ifeng.com/a/20170702/51358699\\_0.shtml](http://news.ifeng.com/a/20170702/51358699_0.shtml), 2017.7.3. (in Chinese))

[2] 张新主,章新平,张剑民,等. 1999—2008年湖南省暴雨特征分析[J]. 自然灾害学报, 2011,20(1):19-25. (ZHANG Xinzhu, ZHANG Xinpings, ZHANG Jianmin, et al. Characteristic analysis of heavy rainfall in Hunan Province from 1999 to 2008 [J]. Journal of Natural Disasters, 2011,20(1):19-25. (in Chinese))

[3] 张芳华,杨克明,毛冬艳,等. 2005年6月湖南大暴雨过程的天气动力学诊断分析[J]. 气象, 2006,32(3):78-85. (ZHANG Fanghua, YANG Keming, MAO Dongyan, et al. Diagnostic analysis of heavy rainfall in Hunan province in June 2005 [J]. Meteorological Monthly, 2006,32(3):78-85. (in Chinese))

[4] 肖媚. 湖南暴雨气候特征及典型暴雨个例研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2012. (XIAO Mei. Studies on Climatic Characteristic of Rainstorm and a Typical Rainstorm Case in Hunan [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012. (in Chinese))

[5] 戴泽军,刘志雄,李易芝,等. 近54a湖南区域暴雨的时空分布特征[J]. 暴雨灾害, 2015,34(1):41-46. (DAI Zejun, LIU Zhixiong, LI Yizhi, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of heavy rainstorms in Hunan region in the past 54 years [J]. Journal of Heavy Rainstorm and Disaster, 2015,34(1):41-46. (in Chinese))

- et al. Climatic characteristics of regional heavy rain over Hunan during last 54 years [J]. *Torrential Rain and Disaster*, 2015,31(1): 41–46. (in Chinese)
- [6] 龙岳林. 湖南水旱灾害成因及水循环安全体系建设研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007. (LONG Yuelin. *Studies on Cause of Flooding–drought Disaster and Circulation of Water on Establishment of Safety System in Hunan* [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2007. (in Chinese))
- [7] 彭莉莉, 罗伯良, 张超. 近十年湖南夏季区域持续性暴雨过程水汽输送特征 [A]. 中国气象学会第 33 届年会论文集 [C], 2016. (PENG Lili, LUO Boliang, ZHANG Chao. Characteristics of water vapor transport during regional continuous torrential rain in recent ten years in Hunan province [C]. *Proceedings of 33th Chinese Meteorological Society* [C], 2016. (in Chinese))

## Diagnostic Analysis of Flood–resulting Rainstorm over Hunan Province in June 2017

JIN Lijun<sup>1</sup>, HUANG Changxing<sup>2</sup>, ZHU Chunzi<sup>2</sup>, LIU Jing<sup>1</sup>, ZHANG Luyu<sup>2</sup>, GAO Weiqing<sup>2</sup>  
(1. *Bureau of Hydrology, YRCC, Zhengzhou 450004, China*; 2. *Information Center, MWR, Beijing 100053, China*)

**Abstract:** Based on the real–time observed data and ERA–Interim  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  6h reanalysis data, the flood–resulting rainstorm over Hunan Province in June 2017 were diagnostically analyzed. The results show that the upper cold vortex and subtropical high were remain steady, which formed a favorable large scale environment for the rainstorm occurring, and the low vortex shear line and ground occluded front were the major influencing systems. The enhancement and proximity of 2 high level jet induced the eruption of the low level jet. Because of the enhancement of the coupling of high and low level jet, the rainstorm was strengthened and sustained. The low level jet provided abundant water vapor and unstable energy for the occurrence of the rainstorm. The rainstorm area showed significant convective instability, and the intensity of rainstorm increased with the increase of vertical gradient of pseudo equivalent temperature. The large area of water vapor flux and convergence provided references for forecasting the falling area of rainstorm.

**Key words:** flood–resulting rainstorm; Hunan Province; high and low jet stream; water vapor transport

(上接第 33 页)

## Lake Hydrological Information Estimation Based on Remote Sensing

ZHU Changming<sup>1</sup>, ZHANG Xin<sup>2</sup>, HUANG Qiaohua<sup>1</sup>

(1. *Department of Geography and Environment, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China*;  
2. *State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

**Abstract:** The information of the lake area, water level and storage are important hydrological parameters, which plays an important role in water resources allocation, planning and disaster warning. In summarizing the existing parameters estimation methods based on remote sensing technology, this paper proposed a technical framework for hydrological parameters measuring and calculation, based on multi–source remote sensing data. Firstly, using lake automatic extraction algorithm, water body was extracted from multi–temporal remote sensing images. Secondly, ICESat laser point cloud data were adopted to estimate water level elevation. Thirdly, according to the lake area, water level and lake underwater terrain, the lake dynamic volume was calculated. Finally, through the recent lake water area, level and storage, a ‘area–level–storage’ model was built for the Bosten lake. The experiments show that this method retrieves the hydrological characteristic parameters highly consistent with the gauged data from the hydrometry stations, and the result has high reliability. This method reflects the merits of remote sensing technology in the water resources survey and monitoring quantitatively. It provides a new technical measurement for local water resources planning and monitoring.

**Key words:** hydrologic parameter; remote sensing; water resources; automatic extraction