

强热带风暴碧利斯特大暴雨山洪成因分析

姚 蓉 黎祖贤 叶成志 黄小玉 许 霖

(湖南省气象台,长沙 410007)

提 要: 利用常规观测资料及候平均要素等资料,从前期天气背景、大气环流演变及产生强降水的动力、热力、水汽和不稳定条件,分析了 0604 号强热带风暴碧利斯登陆后在湘东南产生的特大暴雨过程。结果发现地面中尺度辐合线产生的上升运动与地形的动力抬升结合,加强了特大暴雨产生的动力作用,高温高湿有利于扰动形成和对流不稳定能量产生,为湘东南特大暴雨产生提供了极好的热力条件,南海季风爆发及西南季风槽的形成成为湘东南暴雨上空提供了源源不断的水汽,大陆高压与副高对峙导致了“碧利斯”在西移过程中减缓。造成湘东南特大暴雨山洪除了气象成因外,薄弱的地质环境条件是“碧利斯”得以诱发地质灾害的内因。

关键词: 季风槽 气象成因 地质环境条件

Causality Analysis of Super Rainstorm and Mountain Torrents by Strong Tropical Storm “BILIS”

Yao Rong Li Zuxian Ye Chengzhi Huang Xiaoyu Xu Lin

(Hunan Province Meteorological Observatory, Changsha 410007)

Abstract: Based on the weather background, atmospheric circulation evolution and the meteorological conditions, including dynamic, thermodynamic, water vapor and the instability condition, the torrential rain in the southeast of Hunan Province caused by “BILIS” (the No. 4 strong tropical storm in 2006) is examined by using the conventional observations and pentad-averaged meteorological elements. Results show that the ascending motion generated by the surface meso-scale convergence line and the dynamic lifting of topography strengthened the dynamic force of torrential rain. In addition, the high temperature and high humidity provided extremely good thermal energy, which is propitious to the development and the generation of convective instability energy. The eruption of the South China Sea monsoon and the formation of monsoon trough in the

southwest offered water vapor continuously. Moreover, the continental high and subtropical high confronted each other and slow down the westward drift of “BILIS”. Besides the meteorological factors, the frangible geology environmental condition is the internal cause of the geological disaster induced by “BILIS”.

Key Words: monsoon trough meteorological factors geological environment condition

引言

台风暴雨预报长期以来一直是广大预报和科研人员关注的重点。我国热带气旋造成灾害的主要部分往往是由热带气旋引发的暴雨洪涝所致。近年来对于台风的研究已取得了很大进展。李英等的研究表明 TC 登陆后,因陆面摩擦、能量耗散,其总趋势是衰亡。但有的登陆 TC 登陆即消亡,有的却能在陆面维持数天,甚至变性成为温带气旋。严重的 TC 灾害往往是那些在陆地上经久不衰的 TC 造成的。TC 登陆后的维持和衰减除与其登陆地理位置、季节、登陆时本身的强度有关外,还受到大尺度环流的重要影响^[1]。许映龙等在分析台风云娜陆上维持原因时指出:低层水汽源源不断的输送、中纬度天气系统与台风云娜相互作用在其北侧低层建立偏东风急流和力管场,高层强辐散流场东南侧或南侧的流出气流以及垂直切变小区中是云娜在陆上维持的条件^[2]。黄克慧等通过对中尺度自动站、常规气象要素、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 格点资料和多普勒雷达资料,从动力和热力条件诊断分析得出了台风云娜后部降水增幅的原因^[3]。杨宇红等利用 MM5 数值模拟的输出资料和常规资料对 0418 号台风艾莉暴雨发生的成因进行了研究分析。结果表明,台风暴雨区位于对流有效位能(CAPE)高值区、总风暴相对螺旋度中心、对流层低层湿非地转 Q 矢量散度辐合辐散交界处。敏感性数值试验表明地形对垂直运动有明显影响,并且影响暴雨强度及分布^[4]。金荣花等利用

1975—2005 年台风资料及 NCEP/NCAR 逐日再分析等资料,分析了登陆北上台风的气候特征及其大尺度环流和物理量分布特征,指出西北太平洋副热带高压位置和强度变化对台风登陆北上起决定性作用,西风带系统和南亚高压活动对台风登陆后北折和持续北上也有不可忽视的影响^[5]。

2006 年 7 月中旬强热带风暴碧利斯登陆后,在西行影响湖南时,造成的特大暴雨打破了湘东南个别县市日降雨量记录,超强降水导致了特大山洪和地质灾害的发生。从强热带风暴碧利斯登陆后的大尺度环流背景和水汽、动力、热力条件分析着手,结合湘东南地质环境条件探讨特大暴雨及山洪灾害的成因,希望能为湖南台风暴雨过程预报提供有价值的参考。

1 天气实况

0604 号强热带风暴碧利斯于 2006 年 7 月 9 日在西太平洋生成,7 月 14 日 12 时 50 分在福建省霞浦县北壁镇登陆,登陆时中心气压 975hPa,近中心最大风力 11 级,风速 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。登陆后风暴中心向西北方向移动,穿过福建省北部进入江西境内;15 日 14 时位于 26.2°N 、 114.7°E ,中心最大风速 $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,移向 260° ,移速 $10\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$;15 日 17 时减弱成低气压。

1.1 雨情

受“碧利斯”登陆减弱后的低气压影响,湘中以南出现了一次连续性暴雨过程,7 月

14—17 日,湖南省东部、南部地区共有 29 站次暴雨,14 站次大暴雨,永兴、郴州、宜章出现了 200mm 以上特大暴雨。14—17 日过程累计雨量超过 100mm 的有 24 县市,超过 200mm 的有 11 县市,超过 300mm 的有 4 县市,永兴、郴州 2 县市超过 400mm,永兴降水最大,达 473.6mm,15 日 2 时至 16 日 2 时,24 小时降水达 343mm。

1.2 水情、灾情

“碧利斯”特大暴雨山洪过程具有影响时间长、降水强度大、影响范围较广等特点。据统计,至 7 月 21 日,郴州、衡阳、永州、株洲、娄底、益阳等 6 个市 33 个县(市、区)549 个乡镇(镇)729 万多人受灾,全省因灾死亡 346 人,失踪 89 人,其中,郴州市所属的资兴市死亡 197 人,失踪 69 人。受灾地区一度被洪水围困的有 12.4 万人,紧急转移 82.6 万人,全省需紧急临时安置人员达 12 万人。直接经济损失超过 78 亿元。

暴雨引发山洪爆发,江河水位陡涨。15 日 5 时东江水库出现建库以来入库最大洪水,洪峰达 $9300\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,为百年一遇。来水上涨,超警戒水位 5.88m,超历史最高水位 1.53m。湘江干流全线超警戒水位,部分接近历史最高水位。

2 特大暴雨成因分析

国家气象中心统计的历史资料分析表明,台风在我国登陆后的平均维持时间一般约 26 小时,即 1 天多。其中,59.3%在 1 天之内消失,28%可维持 1 天以上但不超过 2 天,持续时间超过 2 天的仅占 12.7%,维持时间最长的是 1952 年的 7 号台风,长达 129 小时(超过 5 天),登陆浙江后向西北移动。而“碧利斯”登陆后向西偏南移动并维持 120 小时,这是有记录以来生命史最长的 TC 之一。

湖南地处内陆地区,台风经沿海登陆后由于受到地面摩擦影响,移入时动力和水汽条件削弱,一般来说影响程度不及沿海省份,但当有西风带系统配合时,可出现较大范围的强降水。台风对湖南的影响主要集中在 7—9 月,尤其以 8 月居多。据统计分析表明^[6],影响湖南的台风暴雨占盛夏暴雨总数的 31.7%,每次过程平均时间为 1~2 天。与历年相比,影响时间偏早、过程时间偏长、无西风带低槽配合,并且“碧利斯”强热带风暴本身强度不强,而产生的降水如此明显,上述诸多因素加大了此次预报的难度和不确定性。

2.1 前期气候背景及大气环流演变特征

2.1.1 前期气候背景分析

据国家气候中心 2006 年 5 月发布的第 1 期季风监测报告,5 月第 4 候,对流层低层索马里和 80°E 附近越赤道气流均较第 3 候明显加强,监测区内出现了明显的西南风,同时南海地区对流活动明显加强、北抬,南海夏季风爆发,和常年相比,爆发时间属于正常(南海夏季风爆发的平均时间为 5 月第 4 候)。

5 月第 5 候对流层高层南海地区上空东北气流明显加强,对流层低层索马里越赤道气流亦进一步加强,中南半岛完全被西南风所控制,大尺度环流背景及华南地区天气实况显示,东亚夏季风环流形势已经建立。夏季风的建立为我国暴雨的发生提供了充沛的水汽条件。

2.1.2 大气环流演变特征

10 日 20 时 500hPa 亚洲北部地区为宽广的低压区,锋区在 40°N 附近。11 日开始副高加强西伸,锋区北抬;12—13 日强热带风暴碧利斯沿着副高南侧向西偏北方向移动,14 日 08 时西太平洋副高位于 130°E 以东洋面上,华北有块状高压形成;14 日晚“碧利斯”登陆后倒槽位于福建、浙江境内;15 日低压中心移至江西境内,低槽南段位于江西

和湘东南至广东、广西境内,至16日低压移动缓慢,槽底仍维持在湖南和广东、广西,此时华北高压加强西退,副高仍位于 120°E 以东洋面上,湖南省处在两高之间低压范围内;17日08时低压倒槽西移;18日开始低压中心减弱并移出湖南省,强降水过程结束。

2.2 动力条件分析

2.2.1 大陆高压与副高的夹击作用是“碧丽斯”低压环流维持的主要原因

14日08时100hPa南亚高压中心位于河西走廊,中心强度1691dgpm,江南大部处于1680dgpm高压环流之中,强热带风暴碧丽斯低压中心伸展至250hPa,配合有一 -32°C 的暖心结构,对流层中、低层结构与之相似,表明深厚的暖心结构垂直伸展高度较高,有利其结构维持。低层郴州与广东清远之间开始出现风向与风速切变,地面湘东南分析有一中尺度辐合线,低层扰动加剧了上升运动的发展,为特大暴雨产生提供了动力条件。14日晚在其后部即风切变线附近产生了明显的暴雨和特大暴雨区。14日晚登陆后至15日08时,“碧丽斯”减弱后低压中心已由福建移至江西境内,结构仍较完整,低压中心伸展至200hPa高度上,250hPa图上福建西部至江西东部 -32°C 暖性低压中心仍旧维持(见图1a),表明“碧丽斯”尽管登陆前强度并不太强,但登陆后,填塞速度较慢。100hPa南亚高压中心强度加强为1703dgpm,中心位置较前一日有所东移,导致“碧丽斯”向北移动受阻,由于副高脊加强西伸(见图1b),副高与台风之间的位势梯度加大使南风加强或维持,补偿了台风由于陆地摩擦作用而衰减的动量,也使台风东侧的水汽输送通道得以维持或加强,从而抑制了登陆后台风强度的迅速衰减,此时低层东北风与西南风之间的风切变仍位于湘东南,使得湘东南产生了持续性暴雨和大暴雨。15日20时250hPa

暖中心继续维持,但低压中心自低层向高层开始向右倾斜。16日08时250hPa低压中心暖性结构消失,但低压中心环流维持,低压倒槽明显前倾,此时高层已有冷空气入侵,低压环流外部斜压性加强,造成低层辐合加强、对流不稳定能量及潜热能释放,同时100hPa南亚高压中心西移,大陆高压有所西退,在副高推动下,低压中心缓慢进入湖南,大陆高压与副高对峙,16—17日08时强降水范围扩大,湘中以南部分地区出现暴雨。17日08时低压环流减弱西移,对流层中低层湖南处于倒槽切变中,强降水中心也随之西移,湖南降水强度减弱,18日开始500hPa高度自东向西回升,暴雨过程结束。

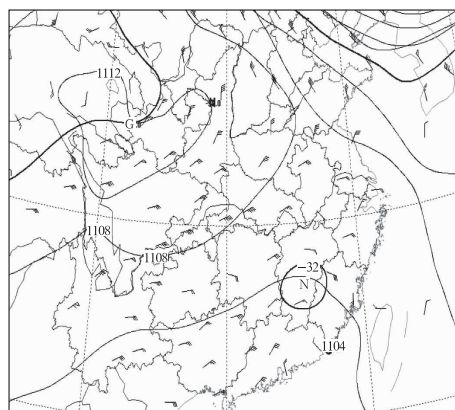


图1a 2006年7月15日08时
250hPa高空图

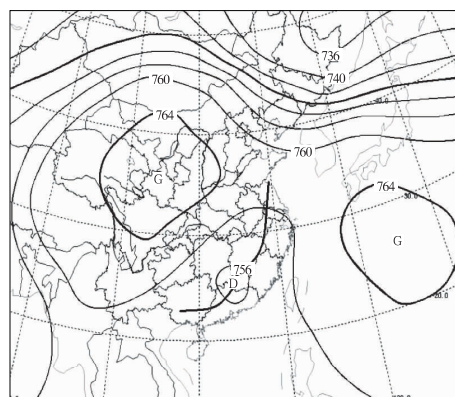


图1b 2006年7月15日20时
400hPa高空图

2.2.2 特殊的地形及下垫面条件是湘东南暴雨增幅的原因

14 日 20 时至 17 日 08 时雨量实况结合同时次的多普勒天气雷达、卫星云图分析,14 日晚有大片的回波在江西东南部生成,沿着罗霄山脉发展成强回波中心带,回波整体不断往东南方向移动,因此形成沿罗霄山脉的强降水中心。15 日开始,由于热带低压中心缓慢向偏西方向移动,强降水随之西移,罗霄山脉的西南侧为南岭山脉,回波带在移过山脉时,回波强度加强。分析其原因,湘东南的特殊地形对此次过程特大暴雨中心的形成具有重要作用。湘东南东邻东北—西南向的罗霄山脉,南倚准东西向的南岭山脉,特大暴雨中心永兴、郴州、宜章、资兴等地正好位于两支山脉的夹角处,气流遇喇叭口地形,暴雨增幅作用明显。此外,14 日晚出现强降雨后,饱和湿土和内陆湖面水库等大型水体都是登陆热带气旋的潜热能源,饱和湿土、水面与大气边界层之间的多种交换过程不仅会延长热带气旋寿命,而且会产生更强的降水。从降水实况分析,强降水中心沿着河流分布的特点明显,耒阳、永兴、资兴、郴州位于耒水流域及东江水库,均为特大暴雨中心。这还可能是因为湖面与陆地之间温度梯度造成的扰动,形成了中尺度辐合线。由此可见,多水面覆盖的下垫面特征也是造成湘东南成为特大暴雨中心的另一重要原因。

2.3 热力条件分析

从 1 月第 4 候至 7 月第 3 候 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 候平均假相当位温-时间剖面图(图 2a)上,7 月第 3 候 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 范围内假相当位温达到了自 2006 年以来的最高值,为 $350\sim 360\text{K}$,相应的,露点温度达到了 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 的最高值(图 2b)。由此表明该区域已处于高温高湿和高能阶段,有利于扰动形成和对流不稳定能量产生,为湖南暴雨和特大暴雨产生提供

了极好的热力条件。

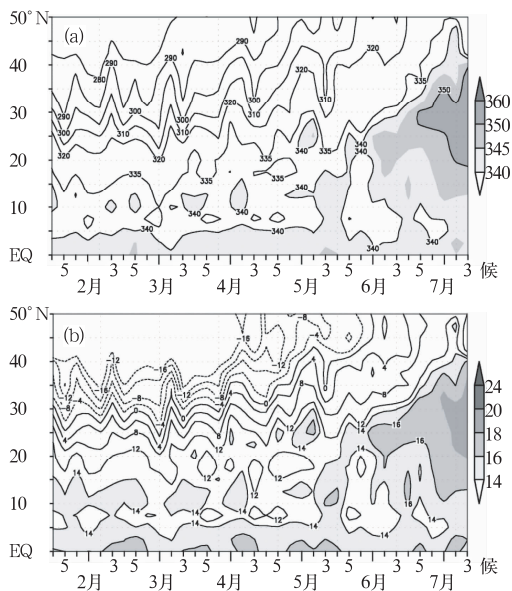


图 2 2006 年 1 月第 4 候至 7 月第 3 候 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均假相当位温(a)和露点温度(b)的时间-纬度剖面图

2.4 水汽条件分析

2.4.1 充沛的水汽供应是暴雨维持的重要原因

850hPa 候平均矢量风分析,7 月 11—15 日南半球越赤道气流一支经非洲东部、阿拉伯海达印度洋后向青藏高原北部输送,另一支向我国江南和华南上空输送(图 3),另外在南海还有一条明显的水汽通道,正是后面

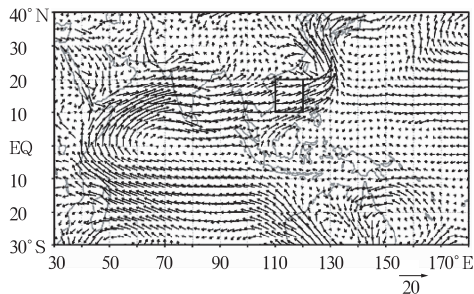


图 3 2006 年 7 月第 3 候 850hPa 候平均矢量风

这两条水汽通道上来自印度洋和南海上空的潮湿的西南暖湿气流,在江南和华南上空交汇,形成了强烈的水汽辐合,为特大暴雨产生提供了充沛的水汽。

2.4.2 与季风槽的相互作用

500hPa 5天高度滑动平均图上能清楚的反映台风与季风槽的相互作用。7月11—15日20时500hPa 5天的平均高度场上还没有发现季风槽的踪迹,从11—16日开始至14—18日季风槽活动相当明显(见图4),而15—19日08时500hPa平均高度上乌拉尔山阻塞高压开始转竖,环流经向度加大(见图4d),位于副高南侧的季风槽消失,季风槽作用已经结束,暴雨过程也告以段落。11—18日500hPa 5天滑动平均图上大气环流有如下特征:乌拉尔山西部为阻塞高压,巴尔克什湖附近有一横槽,西南地区至华南和江南南部季风槽维持了较长一段时间,而此时正是强热带风暴碧丽斯登陆我国影响江南和华南期间,由于二者的相互结合和作用,增强了原本不强的“碧丽斯”的造雨作用。说明特大暴雨出现前期,由于南海对流活动加强,季风云涌活跃,引导了大量的对流云团卷入“碧丽斯”低压环流,为其提供了充沛的水汽和能量,是特大暴雨产生的一个重要原因;而过程后期由于季风槽减弱和消失,水汽供应减少,雨势较前期明显减弱,18日强降水过程影响基本结束。

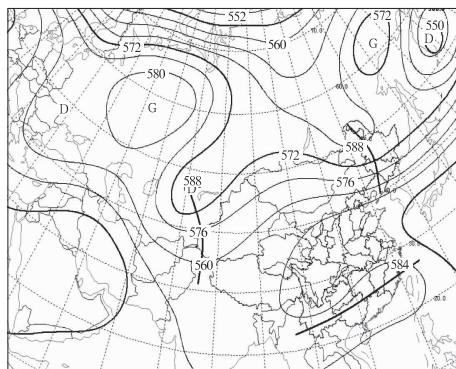


图4a 2006年7月12—16日08时
500hPa平均高度分析

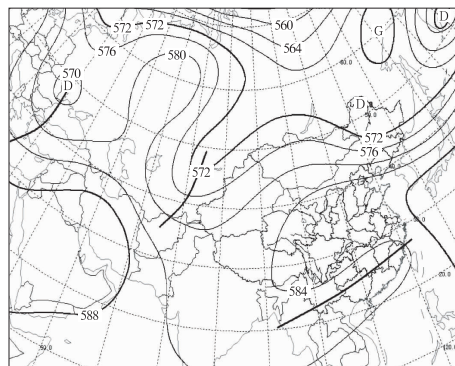


图4b 2006年7月13—17日08时
500hPa平均高度分析

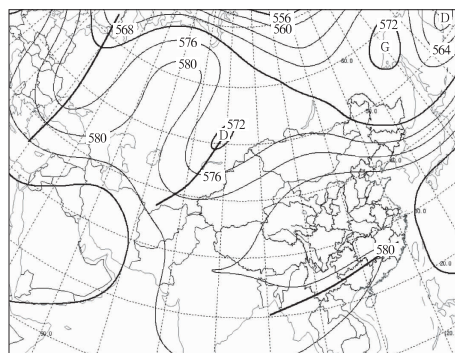


图4c 2006年7月14—18日08时
500hPa平均高度分析

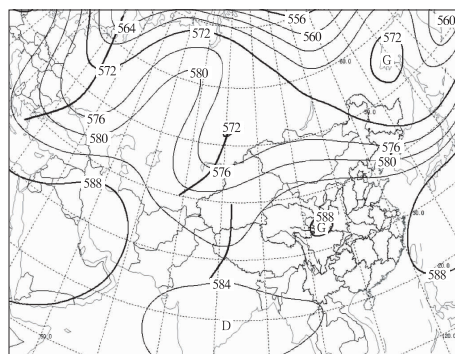


图4d 2006年7月15—19日08时
500hPa平均高度分析

3 湘东南地质环境条件分析

湘南地区分布了大面积的软硬相间的红

壤和浅变质岩、碎屑岩岩层,层面磨擦系数小,在顺层斜坡的岩层(断层)倾角小于坡角时,是一种不稳定的结构面组合,易于滑坡的形成。此外,断裂破碎岩体,破坏了斜坡的完整性和稳定性,也易发生崩塌滑坡。

湘南地区斜坡往往由较厚的残破积松散土体构成,东江水库库岸由较厚的河谷松散堆积土体构成,本身强度较低,渗透性好,易接受降雨的渗入,降雨渗入饱和后,土体下滑,坡体失稳,崩塌滑坡形成,植被发育的花岗岩地区,较厚的松散的砂质土极易接受降雨的渗入破坏而崩塌滑坡。沟谷两岸崩塌滑坡形成的物质进入沟谷中与正在高速流动的地表水混合后,也就形成了泥石流。

人类工程活动对坡体稳定必然造成一定的破坏,如建筑物荷载增加滑动力、人工开挖形成高陡临空面、破坏地面增加水的入渗等,易造成古滑坡复活;而坡下沟旁居住的居民,也会在坡脚开挖破坏坡体稳定性,在坡上开垦而利于降水渗入。坡上、坡下及沟旁居住了村民,"碧利斯"带来的强降水引发的山洪或崩塌滑坡、泥石流造成的灾情十分严重。

4 小 结

(1) 2006 年强热带风暴碧利斯出现在南海夏季风爆发后,夏季风的建立为我国暴雨的发生提供了充沛的水汽条件;研究发现"碧利斯"登陆后自低层至 250hPa 层较长一段时间内仍具有明显的暖心结构特征,减弱填塞较慢;另外大陆高压与西太平洋副高势

力相当,低压环流稳定少动,为暴雨和大暴雨产生和维持提供了有利的大尺度环流背景条件。

(2) "碧利斯"后部低槽、位于湘东南的中低层切变线和地面中尺度辐合线为湖南省特大暴雨产生提供了有利的动力条件;来自印度洋和南海上空的潮湿的西南暖湿气流,在江南和华南上空交汇,形成了强烈的水汽辐合,为特大暴雨产生提供了充沛的水汽;高能高湿激发了对流不稳定的产生,有利于大尺度环流背景下的中尺度系统活动;与季风槽的相互作用可能加强了强热带风暴的降水效率;此外湘东南喇叭口地形作用对降水起到了增幅作用。

(3) "碧利斯"带来的强降水以及持续的强降水导致的土壤过湿、湘东南薄弱的地质环境条件,均易诱发崩塌、滑坡等地质灾害,此外人类活动也加剧了灾害的发生。

参考文献

- [1] 李英,陈联寿,王继志. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征[J]. 气象学报, 2004, 62 (2): 167-179.
- [2] 许映龙,高拴柱,刘震坤. 台风云娜陆上维持原因浅析[J]. 气象, 2005, 31 (5): 32-36.
- [3] 黄克慧. 台风云娜后部强降水分析[J]. 气象, 2006, 32 (2): 98-103.
- [4] 杨宇红,沈新勇,林两位,等. 0418 号台风艾莉暴雨成因分析[J]. 气象, 2006, 32 (7): 81-87.
- [5] 金荣花,高拴柱,顾华,等. 近 31 年登陆北上台风特征及其成因分析[J]. 气象, 2006, 32 (7): 33-39.
- [6] 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.