

登陆台风特大暴雨成因分析

陈 联 寿

我国从有气象和水文观测以来，打破降雨量历史记录的三场特大暴雨都和台风活动有关。这三场特大暴雨中占首位的是1967年10月17—19日台湾省新寮特大暴雨，日降雨量达1672毫米，三天降雨总量达2749毫米，主要降雨系统是6718号台风的倒槽。第二位是1963年9月10—12日台湾省百新特大暴雨，日降雨量达1248毫米，三天降雨总量为1794毫米。这场暴雨是由6312号台风造成。著名的“75.8”（1975年8月5—7日）河南省特大暴雨，是由7503号台风登陆以后减弱的低气压造成。这三场特大暴雨都给人民生命财产带来了不同程度的危害，雨量之大是罕见的。

台风特大暴雨的个例分析表明，各次台风特大暴雨虽然具体原因和过程不同，但可以概括出以下六个共同特征，通过对这些特征的分析可以提供台风特大暴雨的预报着眼点。

一、台风登陆后维持不消

不同的登陆台风在陆地上维持时间长短差别很大。短的不到6小时，长的可维持4—5天。造成特大暴雨的台风一般在陆上要维持3天以上。

在陆上维持不消的台风，在它的上空——对流层上部一般都存在较强的辐散流场，对流层下部则存在有利的辐合环境。图1是登陆台风上空常见的四种流型，即对流层上部急流轴的南方（A）、高空的反气旋中心（B）、反气旋边缘（C）、高空西风带槽区或东风倒槽区（D）。A、B、C三种都是对流层上部的辐散流型，它们的维持和加强有利于台风维持不消。D型不利于登陆台风的维持。

7412号台风环流在陆地上维持达3天之久，后期造成了苏皖北部、山东西部的特大暴雨，是和这个台风上空存在着很强的辐散流场有关。这个辐散流场是图1中A和B两种流型的结合，台风上空的反气旋位于对流层上部一支西南急流的东南方，这两个辐散场的叠加更加强了台风环流上空的辐散流出。

7503号台风登陆后，在陆地上维持将近5天，在它的上空，同样也存在一个范围很大的反气旋辐散流场，它包括三个反气旋中心，台风低压环流正好在中间一个反气旋中心之下。1956年8月1日登陆浙江象山的大台风，它的环流在陆地上维持了将近4天，在它的上空，同样也存在一个加强的反气旋辐散流场。

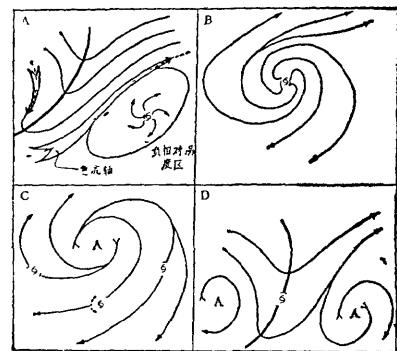


图1 登陆台风上空200毫巴流型

相反，7315号台风登陆前后移到对流层上部一个槽区之下，登陆后不到8小时就消失在闽西南的山区。

影响台风在陆地上维持时间长短的另一个因素是风的垂直切变。垂直切变越小，越有利于台风在陆上维持。个例分析表明，在海洋上风的垂直切变要求 ≤ 10 米/秒，才对台风维持有利。7503号台风在陆地上7日以前垂直切变都 ≤ 10 米/秒，尤其4、5、6三天，切变值甚小（4日4米/秒，5日4米/秒，6日5米/秒），7日剧增到10米/秒，8日台风环流便消失。垂直切变是计算台风中心上空200毫巴与850毫巴风的纬向分量差值 $(u_{200} - u_{850})$ 得出的。

使登陆台风维持不消最关键的一点是能源问题。登陆台风由于潜热能源被切断，暖心结构破坏，一般是不易维持下去的。但如果台风登陆后，能够持续不断地得到充沛的水汽供应，则台风可维持。登陆台风获取充沛水汽的方式和水汽的输送通道将在水汽一节中讨论。

统计分析表明，台风登陆后维持时间长短还和台风原来的强度有关，尤其和台风登陆时的强度有关。从图2可看出，在陆地上维持80小时之内的台风，其维持时间长短与登陆时台风中心气压成反比；而维持时间在4天以上的台风，其维持时间与登陆时强度无关，它一般是由中低纬度环流之间的相互作用来维持的。

季节也是影响登陆台风维

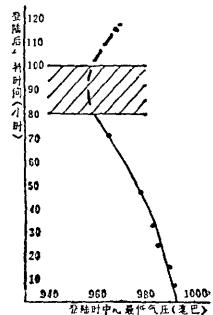


图2 1949—1976年
7、8月台风
登陆时强度与
其在陆上维持
时间的关系图

持时间长短的一个因素。盛夏登陆的 62 个台风在陆上的平均维持时间为 40.9 小时，而 7 个秋冬季节登陆的台风，平均维持时间仅 12.3 小时。

二、台风的停滞

登陆台风维持不消，并在一个地区停滞少动，才有可能在这个地区集中地连下暴雨。上述破记录的三场台风特大暴雨都发生在台风停滞阶段。个例分析表明，登陆台风的停滞，经常发生在下面 6 种形势下：

图 3 A 是鞍形场，台风移到太平洋高压、青藏高压、西风槽和赤道辐合区之间。在鞍形场的中心区引导气流很弱，或者引导气流相互抵消，因此台风移动很慢或者停滞。

图 3 B 台风四周为高压区所包围，在对流层中下层对台风环流的维持是一个良好环境，但因台风周围气流互相抵消，对台风移动起停滞作用。

图 3 C 是台风与另一个低压系统（另一个台风、冷涡或云团）接近，将使台风的移动出现回旋或原地停滞。例如 7504 号台风，在陆地上曾先后与冷涡和 7506 号台风相遇，这个台风在陆地上维持的 5 天内，一直在 5 个纬距内回旋。7209 号台风登陆后与其后部一块热带云团相接，这个台风在陆上维持的 3 天中，一直活动于闽赣一个小范围的地区内。

图 3 D 和 3 E 分别是台风在陆地上向北移动时与高压（东移的青藏高压或西风带高压脊）相遇和台风在陆地上向西移动时与中纬度西风槽相遇。这两种情况都将使台风减速或停滞。

图 3 F 中对流层低层台风北侧为偏东风，中层为偏西风。由于台风上空不同层次引导气流方向相反，引导作用抵消，使台风停滞。7503 号台风 8 月 6—7 日一直停滞在豫南，这可能与 6 日两层引导气流相反有关。

三、源源不断的水汽输送

登陆台风造成特大暴雨，不仅要有深厚的潮湿气层，而且要具备水汽源源不断注入台风暴雨区的条件。

我国登陆台风特大暴雨水汽来源，主要由一支东南气流从西太平洋或一支西南气流从南海有时从印度洋把低纬洋面上的潮湿空气输入登陆台风。当这两支水汽通道被切断，台风的降雨将显著减弱。登陆台风特大暴雨的水汽输送模式一般是这样的，在对流层低层有一个湿舌从台风中心的东侧或南侧伸入台风环流，湿舌中心比湿数值至少在 12—16 克/千克之间。对流层下层（850 或 700 毫巴）有一支低空急流（ ≥ 12 米/秒）穿过湿舌中部卷入台风环流。在一次特大暴雨过程中，湿舌和急流的位置可有些摆动，但水汽输送通道一直是维持和稳定的。

登陆台风获得充沛水汽有三种方式，第一种，当台风向西北或偏北方向移动时，热带辐合区全线北抬，因此登陆台风始终在这个辐合区里（图 4 A），从而维持充沛的水汽输送。第二种，对流层低层有东南急流或西南急流卷入台风环流，这两支急流从西北太平洋、南海甚至孟加拉湾将非常潮湿的空气输入台风（图 4 B）。这在卫星云图上可以看到台风云团的东部向南拖了一条很长的云尾，它是一条由积雨云组成的云带，

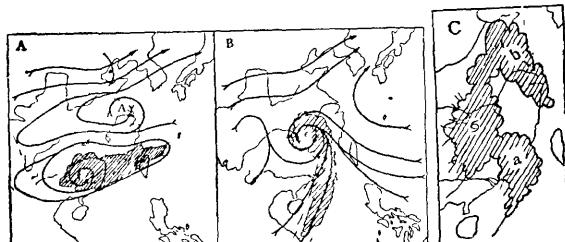


图 4 登陆台风获取水汽的三种方式

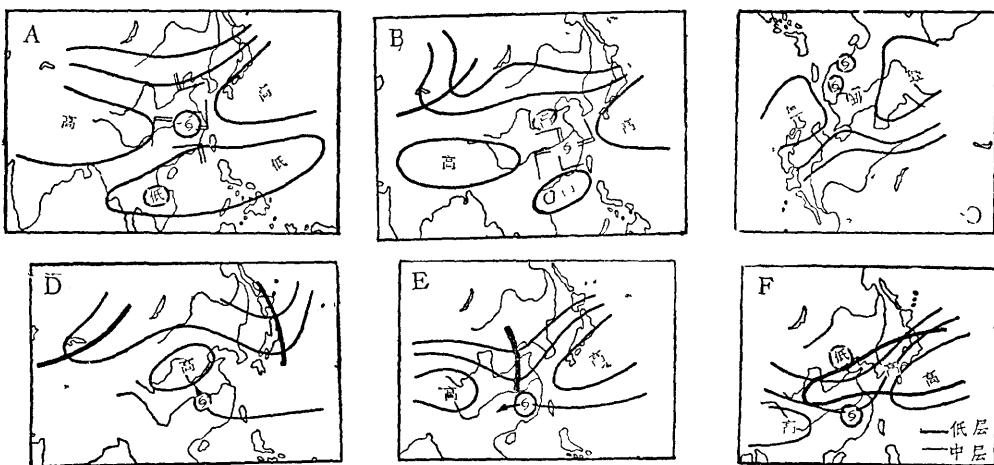


图 3 登陆台风停滞的六种形势

这条云带实际上是登陆台风的水汽和能量输送通道，对下特大暴雨十分有利。在河南下特大暴雨的7503号台风就出现过这种云带，美国近百年来造成最大一场暴雨的Camille飓风同样也具备这种云带。第三种方式是登陆台风云团与另一个热带云团（例如东风波云团b或其它低涡云团a）合并，台风将由此获取水汽和正涡度而得到发展（图4C）。

四、中、低纬环流的相互作用

个例分析表明，造成特大暴雨的台风，多数存在与中纬度环流系统的相互作用，这种作用还经常使已经减弱的台风低压重新得到加强或发展。常见的作用方式有以下二种：

第一种是台风与冷空气相互作用。当登陆台风与冷空气相遇时，可以使低空辐合加强、暖湿空气沿极锋抬升使上升运动加强、位势不稳定能量的不断释放以及使台风低压变性为半冷半暖斜压结构的温带气旋。这种作用经常可以使减弱的台风低压造成比刚登陆的强台风更强的特大暴雨。例如7504、7412、7503号台风，在它们后期都下了比登陆时更大的特大暴雨，这和这三个台风后期都和冷空气接触分不开的。

第二种是台风与中纬度的槽相互作用。当台风与中纬度槽南北迭加时，台风东部东南气流将向槽前正涡度区输送水汽，这将加强槽前暴雨。在卫星云图上可以看到中纬度极锋云带与台风云团发生连结，这将显著减弱台风移速，这条稳定维持的云带将连降暴雨。

一次台风特大暴雨，中低纬度环流相互作用是经常同时存在的。例如7412号台风8月11日登陆福建后与中纬度一个加深槽南北迭加，使台风缓慢向偏北移动。13日有冷空气南下并与台风倒槽结合。200毫巴和850毫巴高低空同时存在两支偏南急流，台风环流位于这两支急流之间低空辐合和高空辐散的迭加区。

五、中尺度系统的源和汇

中尺度系统是一场特大暴雨必须具备的条件。中尺度扰动引起地面气压的变化很小，一般为1—2毫巴，这和气压日变化振幅接近。因此这种中尺度扰动在常规天气图上揭示不出来，经滤波得出的中尺度扰动的分析表明，其波长约为50—300公里，周期约为10小时上下。中尺度系统的垂直速度可达 10^2 厘米/秒，而一般天气尺度系统仅为1—10厘米/秒。中尺度系统这样强的垂直速度对质量、动量和能量的垂直输送很重要，因此它是一场特大暴雨必须具备的条件。

中尺度扰动一般对应一个中尺度雨团，这种雨团的尺度一般为50—200公里，寿命有几小时到十几个小时。一场特大暴雨一般由几个中尺度雨团连续通过造成，尤其要有产生这种中尺度雨团的“源”，并使这些产生出来的雨团沿一定路径汇集或停滞到一个地

区，这样就可能在这个地区造成持续性特大暴雨或成灾暴雨。

7503号台风8月5—7日在豫南造成的特大暴雨中，中尺度雨团的活动非常突出。这三天每天都产生4—9个雨团，当这些雨团在汇集和合并时，都出现了雨量急剧加强的现象。对这场特大暴雨的个例分析表明，雨团的产生和发展与天气尺度台风环流背景下强中间尺度辐合区的活动有关，例如加强的台风中的切变辐合线经常引起辐合区上空强积云对流发展，形成雨团。另外，当雨团移到这些中间尺度辐合线或切变线上，都将得到加强。尤其是两条切变的碰头点，是触发和加强雨团的有利条件。

关于雨团的移动问题，分析还表明，它基本上与500毫巴引导气流一致，有的略向右偏。雨团移速远较500毫巴引导气流速度偏慢，只有引导气流的3—4成。当一群雨团进入流场汇合线后，将移向汇合区并发生合并，从而使一个地区连降暴雨，加大雨量。在台风流场中，雨团产生以后经常受台风偏南或东南气流引导，向偏北或西北方向汇集，它们的活动与台风东侧强切变线的存在和移动有关。

六、有利的地形条件

几乎每一场台风特大暴雨都和地形的作用有关。在破记录的三场台风特大暴雨中无一例外。台湾省新寮位于东风迎风坡上，6718号台风倒槽前强劲东风与地形正交辐合；百新是喇叭口向东北开口的地形，6312号台风的东北风与之正交辐合；7503号台风造成的特大暴雨，发生在伏牛山余脉的东麓，那里是三面围山、口朝东开的一个马蹄形地形，台风潮湿的偏东气流就从开口处注入。

在特大暴雨中，地形最突出的作用在于两方面，一是迎风坡对潮湿空气上升运动的加强作用，二是当大型流场稳定，并使台风或台风倒槽在一个有利于地形辐合的位置停滞时，则将产生稳定的地形辐合线。个例分析指出，这种辐合线将是制造中尺度降雨系统的一种“源”，在这里将源源不断地产生出雨团。固定的地形迫使各个中尺度雨团沿同一条路径移动，这一

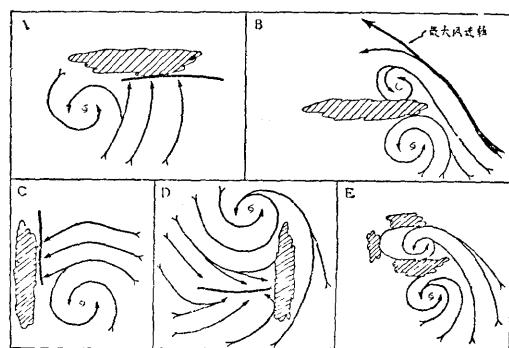


图5 地形辐合线形成的五种模式

点在台风特大暴雨中是很重要的。

我们可以把台风背景下地形辐合线（区）的形成概括为5个模式（图5）。

图5中A图是东西向山脉，辐合线由台风中心以东偏南气流与山脉形成，在我国华南登陆的台风中，在南岭山脉南麓经常出现这种辐合线。

B是东西向山脉，有一支东南风急流从山脉东端经过，急流与地形之间将是切变涡度汇集区。因此山脉北侧是产生小涡的有利环境。我国东南沿海登陆的台风常在南岭山脉东端的北侧生成这种辐合区。7503号台风在东西走向的桐柏山余脉北侧生成过这种辐合区，这个辐合区在这次特大暴雨中成为中尺度强雷暴的发源地。

C是南北向山脉，地形辐合线由台风中心以北偏东风或东南风与地形相交形成。我国华东沿海登陆或东南沿海登陆的台风，经常在浙闽丘陵、武夷山的前沿山群前方生成辐合线。登陆福建的西移台风，当移至闽西赣东时，在井冈山的东麓也生成这种辐合线。

D也是南北向山脉，当台风从山脉北端经过，台风西部的西北气流与台风南部的西南气流将在山脉西侧形成一条与山脉相交的汇合线，尤其在这条汇合线与山脉西麓碰头处，地形辐合甚强。6909号台风从井冈山北端经过时，在井冈山西侧的湖南省造成了特大暴雨。

E是向东开口的马蹄形山脉，注入这个缺口的东南潮湿气流将在山脉包围区形成地形涡。当台风停滞、东南气流持续，这个地形涡有利于中尺度雨团的形成。

台风特大暴雨中的中尺度雨团，经常在上述地形辐合线（区）中产生；对于已经生成的雨团，当移到这些地形辐合线上时，将有显著加强。

另外，中尺度雨团经常沿山谷、河道等低洼地带移动，很少翻越山岭；雨团移入山谷后，移速显著减慢，雨量急剧加强；移出山区后，强度减弱，移速加快。

在一一场台风特大暴雨中，以上六个条件是互相联系的，例如强的中尺度雨团“源”的问题，和台风停滞、维持不消、水汽通道等有关。作为台风特大暴雨的大尺度背景，维持不消和停滞是两个最为重要的条件。