

界层摩擦辐合原理,可导致强烈的小尺度辐合、旋转和速度集中,最后生成龙卷。

§ 14.8 台风特大暴雨成因分析

我国从有气象、水文观测以来,打破降雨量历史记录的最大的三场特大暴雨,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日台湾省新寮暴雨,24小时最大雨量值为1672毫米,三天总量达2749毫米。这场暴雨是6718号台风向极侧一个东风扰动(或台风倒槽)所造成。第二位是1963年9月10—12日台湾省百新暴雨,24小时最大雨量值为1248毫米,三天总量是1794毫米。这场暴雨是6312号台风所造成。近年来最著名的758河南特大暴雨是第三位,这场暴雨是7503号台风登陆后减弱的低气压深入内陆所造成。可见台风造成的特大暴雨在各种天气系统特大暴雨中占重要地位。

日降雨量超过200毫米的一般都称为特大暴雨。但这样的雨量在台风降雨中并不少见。例如1956年8月1日登陆浙江省象山的强台风(中心最低气压曾达902毫巴),登陆前后日降雨量的中心曾达599.9毫米(浙江东天目山)。1975年一个台风,登陆后一小时的雨量就达到了235毫米。在上举各例中,能下这样大的雨量,其原因至今还没有完全搞清。但个例分析表明,台风造成的这几场特大暴雨,都存在一些共同的条件,本节主要讨论这些条件,可供台风暴雨的业务预报参考。

(1) 台风登陆后维持不消: 台风环流系统在陆上维持越久,对下较大暴雨越有利。不同台风在陆地上维持时间的长短差别很大。维持时间短的不到6小时就消失,维持时间长的可达4—5天不消。下特大暴雨的台风,一般在陆地上维持三天左右或三天以上。

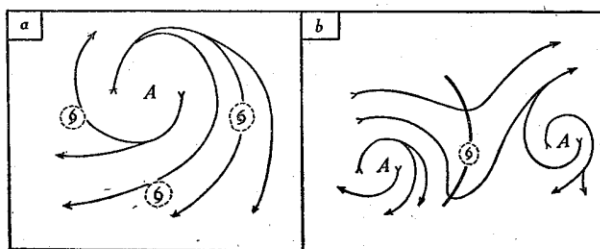


图 14.30 陆地台风上空 200 毫巴流型

在陆地上维持时间较长的台风,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 14.2、14.30 是登陆台风上空常见的流型,即高空急流的南侧(14.2b)、反气旋中心(14.2a)、反气旋边缘(图 14.30a)、尤其常见的是反气旋前方的北风辐散区、东风气流的倒槽区或西风槽区(图 14.30b)。前三种都是对流层上层的辐散流型,这种流型的维持和加强,对台风维持较久有利,第四种流型不利于台风的维持。

7412号台风8月11日晚登陆福建惠安,以后向偏北方向移动,造成了苏皖北部和山东的特大暴雨,在陆地上维持三天之久。这个台风上空有很强的辐散场(图 14.31),这个辐散场是图 14.2 中 a 和 b 两个流型的结合。台风上空反气旋位于对流层上层一支西南急流的东南侧,两个辐散场叠加更加强了台风环流上空的辐散流出。在对流层低层,台风

环流东侧存在一条偏南风急流,这对台风的辐合很有利。在高低空两支急流之间,也就是台风环流所在处,正好是高空辐散与低空辐合的叠加区(图 14.32)¹⁾,持续性的台风特大暴雨就发生在这个地区。

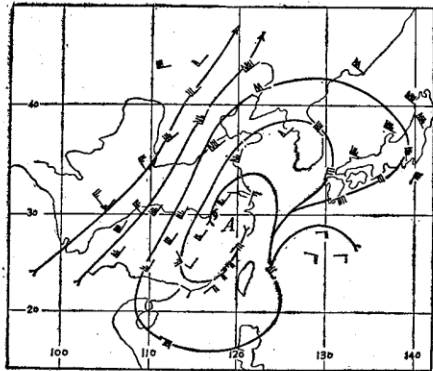


图 14.31 1974年8月13日20时
200毫巴流场

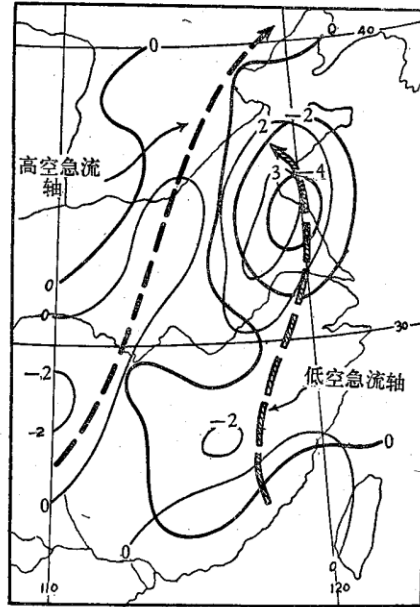


图 14.32 1974年8月13日08时高低空
急流位置和散度场(单位: 10^{-2} /秒)
实线为850毫巴,细实线为200毫巴,粗虚线为急流轴

7503号台风登陆后,在陆地上维持将近5天,在它的上空,同样也存在一个的反气旋辐散流场,台风低压环流正好在中间一个反气旋中心之下(图 14.33)。1956年8月1日登陆浙江象山的大台风,在陆地上维持了将近4天,在它的上空,也存在一个加强的反气旋辐散流场。

登陆台风上空的辐合流场,将不利台风维持,例如7315号台风登陆前后移入对流层上层的一个槽区之下,这个台风在福建厦门附近登陆后,在福建南部维持不到8个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一般 ≤ 10 米/秒,对台风维持较为有利。7503号台风在陆地上逐日风的垂直切变(表 14.1)²⁾表明,7日以前垂直切变都 ≤ 10 米/秒,尤其4,5,6三天,切变值甚小,7日剧增,8日台风低压消失。垂直切变是计算台风陆地中心上空200毫巴与

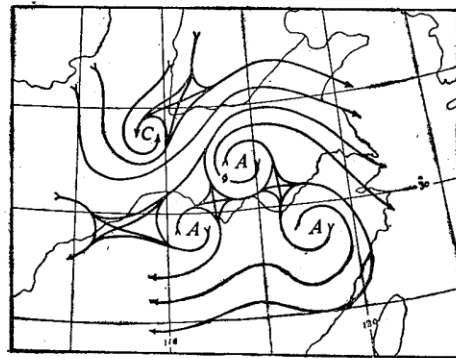


图 14.33 1975年8月7日20时150毫巴流场

1) 中央气象台,1974年台风总结。

2) 中央气象台等,一九七五年八月河南、湖北特大暴雨的初步分析。

表 14.1 1975 年 8 月 4—7 日(20 时)风的垂直切变

日	4	5	6	7
垂直切变(米/秒)	4	4	5	10

850 毫巴风的纬向分量差值 ($u_{200} - u_{850}$) 得出的。

当台风环流的北半圆或东北-西南走向的前半圆进入到对流层上层急流(西风急流)之下,垂直切变将剧增,台风将不易维持下去。

台风登陆以后,由于潜热能源被切断,台风暖心结构将遭破坏,台风是不易维持的。但是,登陆台风如果继续得到充沛水汽的供应,则这部分水汽将继续作为潜热能源维持台风。

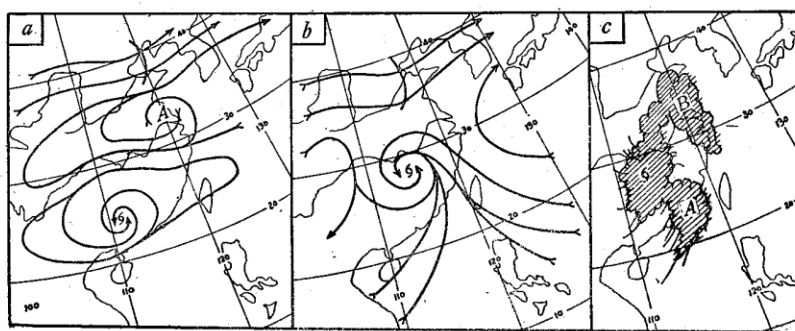


图 14.34 登陆台风维持不消的水汽输送方式

登陆后维持不消的台风有三种方式获得充沛水汽。第一种方式,登陆台风仍处在热带辐合区之中,而没有脱离这个辐合区(图 14.34a),尤其是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,登陆台风始终在辐合区里而得到充沛水汽。第二种方式,对流层低层有东南急流或西南急流卷入台风环流,这两支急流从西太平洋、南海甚至孟加拉湾将非常潮湿的空气输入台风(图 14.34b)。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)或其他低涡云团(A))合并(图 14.34c),这时台风将同时获得水汽和正涡度而得到发展。另外,水汽的凝结潜热释放使台风上空气柱增暖,等压面抬高,维持和加强台风流层辐散,这也对台风维持有利。

登陆台风环流维持不消的另一种能源是斜压能量。当台风登陆后移入中纬度,如与高空锋区叠加,则台风环流将逐渐变性为温带系统,其水平力管场将可能释放斜压位能,并转化为动能,使变性环流系统得以继续维持。台风获得这种斜压能量来维持其环流系统,是中低纬度环流相互作用的一种方式 and 结果。因此环流形势上的“南台北槽(或北锋)”对台风环流的维持很有利。

综上所述,登陆台风源源不断的水汽输入、高空强的辐散、小的风速垂直切变以及水平力管场斜压位能的释放,都将延长登陆台风环流系统的寿命。

台风登陆后维持时间的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。图 14.35 是用 1949—1976 年 7, 8 两月全部登陆台风的资料,按台风登陆时的强度(中心最低气压)和陆上维持时间点上点子。图中 40 小时之内点子较密,以 10 小时间隔求出这个时段内各点的平均气压和平均维持时间;40 小时后点子较疏,每隔 20 小时求出平

均气压和平均维持时间。于是得到两者的关系曲线。曲线表明,在80小时之内,台风陆上维持时间长短与登陆时最低中心气压成反比。至于维持4天以上的台风,与登陆时强度无关,一般由中低纬度环流系统相互作用使其维持。

季节,也是影响维持时间长短的一个因素。

表 14.2 表明,盛夏登陆台风在陆上平均维持 40.9 小时,而秋冬季节仅维持 12.3 小时。

表 14.2 1949—1976 年 7, 8 月和 10, 11 月
登陆台风在陆上平均维持时间

季节(月)	平均维持时间(小时)	台风个数
7—8	40.9	62
10—11	12.3	7

(2) 台风的停滞: 登陆台风维持不消, 并在一个地区停滞少动, 这样, 在这个地区就可能连下暴雨。我国破历史记录的特大暴雨的形成, 都相应和三个台风的停滞减速有关。

我国台湾省新寮特大暴雨发生在 1967 年 10 月 17—19 日, 这时正好是 6718 号台风在穿过菲律宾吕宋岛前后的减速阶段, 台风北方一个东风扰动 17 日上午移近台湾省, 以后一直停滞在台湾省。这场特大暴雨就下在这个停滞阶段。

台湾省百新的特大暴雨下在 1963 年 9 月 10—12 日, 这也正好是 6312 号台风中心移近百新并出现移速显著减慢的时期。

758 河南特大暴雨发生在 1975 年 8 月 5—7 日, 这场特大暴雨同样也下在 7503 号台风登陆后减弱的低气压在鄂北豫南停滞少动的时期。可见台风停滞少动是台风特大暴雨的重要背景之一。

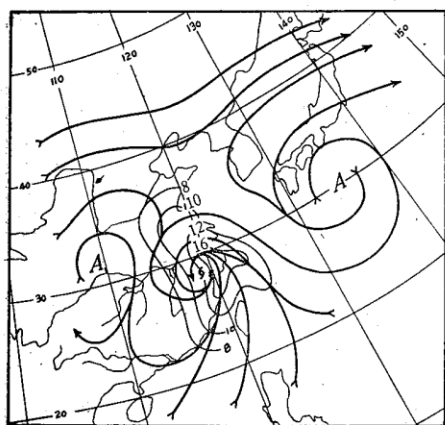


图 14.36 登陆台风特大暴雨的水汽输送模式
细实线为 850 毫巴等比湿线, 单位: 克/千克

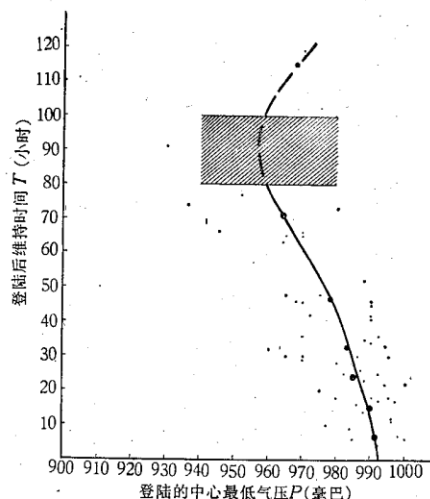


图 14.35 7, 8 月台风登陆时强度与
陆地维持时间的关系

有关台风登陆后停滞问题的诊断和环流特征, 参阅 § 10.5。

(3) 源源不断的水汽输送: 水汽不仅有利于登陆台风的维持, 而且也是台风特大暴雨最根本的条件。登陆台风造成的特大暴雨都具备潮湿空气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问题, 主要由一支东南气流从西太平洋或一支西南气流从南海(有时从孟加拉湾)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。图 14.36 是登陆台风的水汽输送模式, 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)穿过湿舌的中部卷入到台风环流中。在一次特大暴雨过程中，相对于台风中心，湿舌和急流的位置可以稍有摆动，但输送水汽的形势和条件很稳定。

台风特大暴雨中水汽输送的两条通道在卫星云图上都有明显特征。第一类在登陆台风的南侧和北侧分别出现积雨云线和云带，台风云团东部或东南部还与一大片低云区相连通。这些云线和云带都是低空急流水汽输送在云图上的反映。东部大片低云区是热带辐合带中的辐合云区。说明登陆台风并未与热带辐合区分离。7304, 7310, 7311 等台风都具备上述特征，这三个台风对我国华南都造成了特大暴雨。第二类在登陆台风的东部向南拖了一条很长的云尾，这是一条积雨云带，这条云带从低纬度热带洋面一直向北伸展，卷入到台风环流内部。形成一条对登陆台风水汽和能量的输送通道，具备这种特征的登陆台风，对下特大暴雨十分有利。在我国下了破记录特大暴雨的台风——7503号台风，在特大暴雨前期出现了一条积雨云带卷入到台风环流。而形成一条水汽输送通道，美国近百年来造成最大一场特大暴雨的 Camille 飓风，同样也建立了这条积雨云带卷入的水汽输送通道。

(4) 中低纬度环流的相互作用：登陆台风由于离开海面，总趋势是减弱的。当潜热能源转变为斜压能源时，台风变性，但环流可重新加强，从而造成特大暴雨。这种转变过程和中纬度系统的作用有关。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。其作用方式有以下三种：

冷空气：冷空气对台风暴雨的加强作用，已在本章 § 14.4 中讨论过，这种作用主要有加强低空辐合、对台风中暖湿气层的抬升作用、位势不稳定能量的不断释放、位能转化动能等方面。陆地上很弱的台风低压在弱冷空气作用下，经常可以造成比刚登陆的强台风更强的特大暴雨。例如在浙江温岭登陆的 7504 号台风、福建惠安登陆的 7412 号台风、福建晋江登陆的 7503 号台风，当这三个台风深入内陆与弱冷空气接触后，分别在皖东、苏北鲁南、豫南下了远远超过它们强台风阶段在登陆地区所下的暴雨，所以能造成这样大的暴雨，与冷空气对这三个台风在后期衰减阶段的作用是分不开的。

中纬槽：登陆以后在陆地上深入到长江以北的台风，它在内陆所下的特大暴雨几乎都和北纬度的加深槽有关。当这种槽与台风环流同经度南北叠加时、槽后偏北风以及槽底或槽前正涡度区与台风东南风和潮湿气团相互作用，造成台风中心以北槽区的暴雨。中纬槽与台风的叠加在卫星云图上表现为南北云区连通，在天气图上则表现是环境东风消失。这种叠加使台风向偏西或西北方向的移速，显著减慢，这时台风将沿着南北向的连通云区缓慢地向槽底所在部位偏北移动，同时使这条云区能稳定维持并连降暴雨。

急流：低空急流不仅是一条水汽输送通道，并在急流的左侧将提供正涡度。因此，与低空急流相联系的登陆台风、水汽来源和低空辐合条件都具备，有利于造成特大暴雨。尤其当低空低纬西南风急流左侧辐合区与高空中纬西风急流右侧辐散区上下叠加(图 14.37)，或低空东南风急流左侧辐合区与高空急流右侧辐散区上下叠加时(图 14.38)，对台风产生特大暴雨更为有利。

一次台风特大暴雨，中低纬度环流这三方面的相互作用经常同时存在。例如 7412 号台风于 8 月 11 日 20 时登陆福建惠安后，12 日晨减弱为低气压，13 日到安徽，14, 15 日

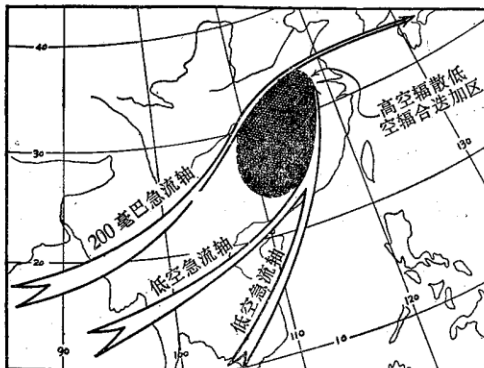


图 14.37 高空急流右侧辐散区与低空西南急流左侧辐合区的叠加

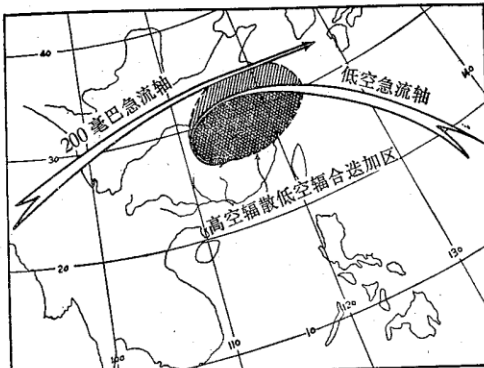


图 14.38 高空急流右侧辐散区与低空东南急流左侧辐合区的叠加

移到山东。这个台风登陆以后向偏北方向移动是与中纬度一个加深槽的结合有关。12日台风云团与槽区云带完全连接,台风倒槽向北伸展与云带走向一致。13日有冷空气南下并与台风倒槽结合。12—14日这两天,台风倒槽区所在的安徽中北部和山东沂蒙山区雨量突然加大。就在这一天,从图 14.32 可以看到,200 毫巴和 850 毫巴高低空同时存在两支偏南急流,暴雨区落在两支急流之间低空辐合和高空辐散的叠加区。这次过程高空辐散区的加强非常突出,200 毫巴反气旋从 11 日 1248 位势什米到 13 日剧增至 1256 位势什米,这对增强低空正涡度辐合和垂直运动十分有利。

这次台风登陆后期下了特大暴雨,皖北鲁西暴雨区日降雨量一般达到 150—250 毫米,暴雨中心达到 300—400 毫米。并造成了这一带的山洪爆发。在这次台风特大暴雨过程中,中低纬度环流的相互作用十分突出。

(5) 中尺度系统的影响: 中尺度系统是一场较大暴雨必需具备的条件。中尺度扰动引起地面气压的变化很小,一般在 1—2 毫巴左右,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表现不明显。经过滤波得出的中尺度扰动分析表明,其波长约为 50—300 公里,周期约为数小时。它的铅直速度可达 10^2 厘米/秒。而天气尺度系统中仅 1—10 厘米/秒。中尺度扰动这样强的铅直速度对质量、动量和能量的垂直输送都很重要。

中尺度扰动一般对应一个中尺度雨团,其尺度一般为 50—200 公里,生命史几小时到十几小时。一场较大的暴雨一般由几个中尺度雨团连续经过造成。尤其在一场台风特大暴雨中,要有产生这种中尺度扰动和雨团的源,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,这样才能在这个地区造成持续性特大暴雨,甚至成灾暴雨。

7503 号台风的特大暴雨过程中,中尺度雨团的活动非常突出。在暴雨区,5 日有 4 个雨团,其中三个雨团晚间汇集到板桥水库并合并(图 14.39)¹⁾,使降雨急剧加强,3 小时降雨竟达 566 毫米。6 日和 7 日,分别有 8 个和 9 个雨团活动,这些雨团在汇集和合并时,都出现雨量急剧加强现象。雨团合并以后一小时的降雨量都达到 60—200 毫米,这是非常罕见的雨强。

1) 758 暴雨会成南京组,758 河南特大暴雨成因分析。

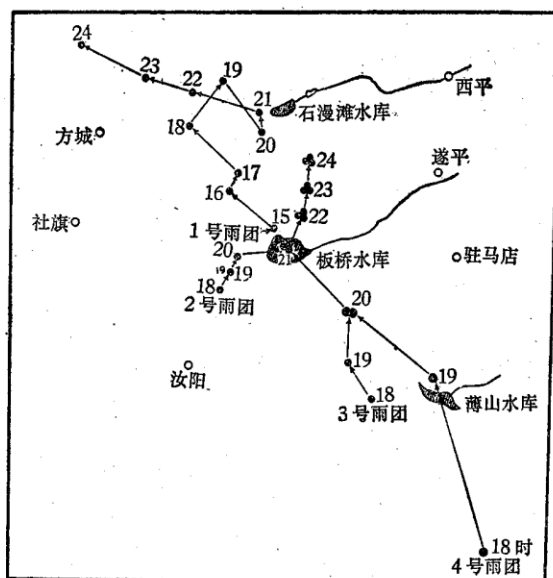


图 14.39 中尺度雨团中心路径

点号为雨团中心, 两点为两个雨团合并, 三点为三个雨团合并, 雨团旁注数字是 5 日北京时

7503 号台风豫南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。尤其是两条切变线碰头点, 是触发和加强雨团的有利条件。

关于雨团的移动问题, 个例分析表明, 它基本上与 500 毫巴引导气流一致, 有的稍偏右一些。但移动速度远较 500 毫巴气流速度慢, 只有引导气流的 3—4 成。当一群雨团进入到流场汇合线后, 将移向汇合区并发生合并, 从而造成连续几场特大暴雨。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合。它们的移动, 与台风东侧强切变线的存在和移动有关。目前在业务预报中, 对这类中尺度强降雨系统一般用雷达来进行追踪。

(6) 地形作用: 每一场台风特大暴雨几乎都和地形有联系。例如新寮暴雨, 地形对东风扰动的降雨起了增幅作用, 百新暴雨曾出现 6312 号台风的东北风与朝东北开口的百新喇叭口地形辐合。有的台风在登陆时暴雨并不严重, 但移到内陆时, 在一定地形条件下造成成灾的特大暴雨。例如 6909 号台风在福建连江登陆时, 出现暴雨, 但并不严重, 当它移到江西、湖南境内, 在井冈山两侧造成了影响严重的特大暴雨。7412 号台风的特大暴雨出现在山东沂蒙山区。7203 号台风在燕山南麓造成了 2 天 400—500 毫米的特大暴雨。7503 号台风特大暴雨, 发生在伏牛山余脉东麓, 那里是三面围山、口朝东开(台风潮湿的偏东气流由此倾入)、马蹄形山脉包围中的一个水库。这几场台风特大暴雨, 都引起了严重的山洪爆发。因此, 地形作用在台风特大暴雨成因分析中是不可忽视的因素。

在特大暴雨中, 地形最突出的作用表现在两方面, 一是迎风坡对潮湿空气上升运动的加强作用, 这在本章 § 14.5 中已有讨论; 第二, 当大型流场稳定, 天气尺度的强降雨系统

(如台风)在一个有利于地形辐合的位置停滞时。不少个例分析表明,地形辐合线(气流与地形的辐合线)将是产生中尺度降雨系统的“源”,这里将源源不断地制造出雨团。固定的地形和稳定的引导气流迫使各个中尺度雨团的移动总是沿着同一条路径。这一点在台风特大暴雨中是很重要的。

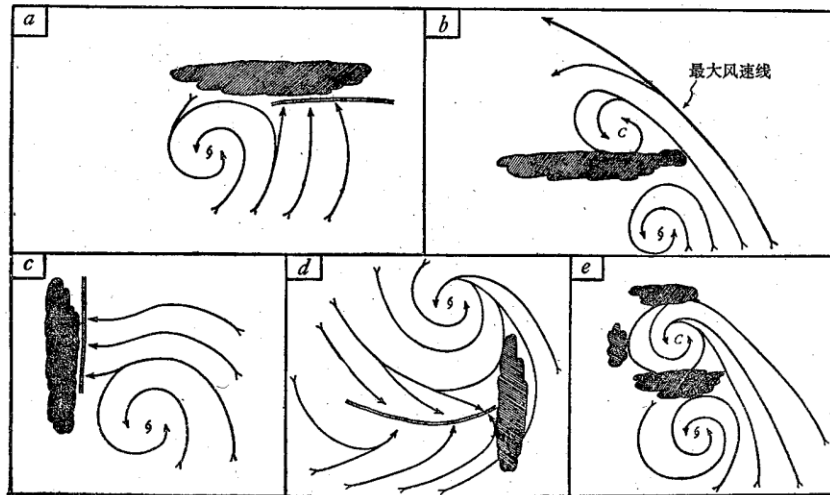


图 14.40 地形辐合线(区)形成的五种形式
双线是辐合线或汇合线,斜线是山区

我们把台风背景下地形辐合线(区)的形成概括为 5 个模式(图 14.40)。图 14.40a 是东西向山脉,辐合线是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。图 14.40b 是东西向山脉,有支东南风急流从山脉东端经过,在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将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。图 14.40c 是南北向山脉,地形辐合线由台风中心北部偏东风或东南风与山脉正交形成。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。登陆福建西移的台风,当移至闽西赣东时,在井岗山的东麓也生成这种辐合线。图 14.40d 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正交的汇合线,尤其在这条汇合线与山脉西麓碰头处,地形辐合甚强。6906 号台风从井岗山北端经过时,在井岗山西侧的湖南省造成了特大暴雨。图 14.40e 是向东开口的马蹄形山脉,进入这个缺口的东南潮湿气流,将在山脉包围区形成地形涡,当大背景台风停滞,东南气流持续,这个地形涡将对产生中尺度雨团十分有利。最典型的例子就是“758”河南特大暴雨。

台风特大暴雨中的中尺度雨团,经常在上述这些地形辐合线(区)中产生,它对雨团的发生发展十分有利;对于已经生成的雨团,当移到这些地形辐合线上时,都将有显著加强。

地形对中尺度雨团的移动也有重要影响,雨团大多沿山谷、河道等低洼地带移动,很少翻越山岭。雨团移入山谷后,移速将显著减慢,雨量急剧加强。当雨团移出山区后,强度减弱,移速加快。758 河南特大暴雨的调查表明,在暴雨过程中,山谷水库地带的强雷

暴和龙卷活动非常剧烈。调查还表明,大型水库对中尺度雨团的发生、发展、加强有同样重要的作用。

在一场台风特大暴雨中,以上6个条件是互有联系的,例如强中尺度雨团源的问题和台风停滞、维持不消、水汽通道有关。作为台风特大暴雨的大尺度背景,登陆台风的维持不消和停滞是两个至为重要的条件。

当前的预报水平,对台风(或其他环流系统)特大暴雨不容易报出来,这可能和下面三个原因有关:

(1) 中尺度降雨系统不易掌握: 现用的各层次天气图主要反应出天气尺度系统和大尺度环流形势。由于站网稀疏、时距间隔较长,对中尺度降雨系统不好捕捉和追踪;在理论上对中尺度系统的生消机制和降雨机制也还未搞清。但一场特大暴雨恰好又是中尺度系统接踵造成。因此给特大暴雨预报带来困难。

雷达可以弥补一点这方面的缺陷,但预报时效甚短,定量预报也很困难。

(2) 对暴雨反馈问题难以考虑: 台风暴雨是在台风背景下产生的,它反过来又可以影响台风环流。例如暴雨区由于对流活动很强,动量、能量和质量的垂直输送也很强。尤其是水汽的垂直输送,产生凝结和潜热释放;大规模积云对流的发展能使气柱变暖,浮力加大,因而使对流加强。个例的定量分析对暴雨中垂直运动各因素作了计算比较(ω 方程右端各项)后发现,其中潜热项对上升运动作用最重要。它反过来可以加强高空辐散和低空辐合,于是再加强水汽的垂直输送和降雨量。这种反馈作用对一场台风特大暴雨是很重要的。但反馈作用常在特大暴雨下了后才开始,因此目前还很难估计出这种反馈作用能加大多少雨量。

(3) 暴雨“播种”机制尚未搞清: 当高耸的积雨云塔中的大雨滴掉落到其下面层状云的小雨滴中,这样的过程将激发起降雨的增幅作用,使降雨量大为加强。这种雨滴“播种”机制对一场特大暴雨常起重要作用。

当中低纬度两种云系上下叠加时,有利于雨滴“播种”。例如中纬度锋面层云南移,低纬台风积雨云塔北抬,当上下叠加并出现“播种”过程时,将使降雨急剧增幅,造成特大暴雨。据个例分析认为¹⁾,台湾省新寮特大暴雨就存在这种“播种”作用。当时一次强冷空气移过我国大陆,下暴雨的前两天——10月15日冷锋尾端准静止在我国台湾省,台风北方东风扰动来到时,新寮上空已经存在锋面层状云,这场大暴雨和“播种”作用有关。但由于这种作用的机制尚未搞清,在实际预报中还难以考虑。

§ 14.9 台风暴雨的诊断和预报

预报台风暴雨先要报准台风路径,特别是报准台风近海路径、登陆地点和陆地路径。这是台风暴雨预报的前提。一次台风暴雨预报包括四个基本问题,即有无暴雨或特大暴雨、暴雨的落区落点、雨量和持续时间。

目前台风暴雨预报仍以天气学模式为主,配合用卫星云图和雷达回波作诊断。统计预报也在做建立天气因子和雨量之间的统计关系的试验。用回归方程、判别函数和其他

1) 中国科学院大气物理所暴雨组,我国两次最大暴雨的初步分析。