关于低空急流对暴雨的触发作用的一种机制

孙 淑 清

夏季暴雨时期，对流层低层常存在一支低空急流，它与暴雨过程关系十分密切。国内外在研究它对产生暴雨的作用时，比较广泛地注意到急流为暴雨区输送了大量的水汽和热量，起到了“传送带”的作用。以后又知道由于急流轴上风速分布的不均匀，以及气旋切变的存在，造成急流轴附近某一特定位置（比如左前方）的动力辐合，有利于产生强大的上升运动。这些都是低空急流的大尺度或天气尺度的特征。关于低空急流的中尺度现象对于暴雨发生所产生的作用，人们还很少注意到。下面就1978年华南前汛期几次较显著的低空急流过程对暴雨的作用来说明这种现象。

一、低空急流轴上的风速脉动

我国高空风的常规观测一般是每天两次，所以研究急流轴的强度变化时，也只能利用每隔12小时风的资料。但是，实际上低空急流轴上风速变化是不均匀的，它的强风速并不能维持12小时以上，而往往是存在着一种周期很短而振幅极大的波动，我们把这种波动称之为风的脉动。利用可以取得的高山站上连续观测到的风速资料来研究这种脉动是可行的。

我们研究了1978年华南前汛期中的3次低空急流过程。6月5—8日的一次低空急流，从北部湾经两广一直伸展到浙、闽沿海。我们用九仙山（海拔1644m）风的记录代表低空急流轴附近风（偏南风）的变化（图1），从图上看出，尽管在定时观测的08、20时风速较大，但是在整个急流时期，风却存在着很大的脉动，周期较短，一般为6—12小时，而振幅很大，普遍达到12m/s以上。如7日06—10时的一次脉动，风速从1m/s猛增至18m/s，1小时内又降至1m/s，前后经历了4个小时，这样的脉动贯穿了整个急流时期。

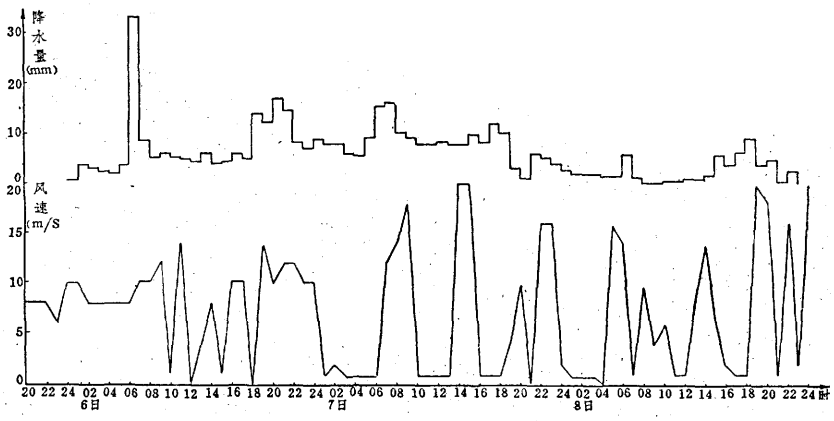


图1 1978年6月5—8日九仙山的风速脉动及周围降水图

另一次低空急流过程是5月26—28日，急流轴稍偏北，从华南伸向长沙—汉口一带。用衡山站（海拔1268m）风的资料来研究它的变化（图2），这段时期中风的变化与上一次情况相类似：在低空急流轴过衡山的时段内（26—27日），存在着6次很明显的风速脉动，风速增长幅度为1小时增大15m/s。5月15—18日的一次急流过程，急流是东西向的，至17日08时后始伸向浙、闽沿海。九仙山上（图略），17日08时以前风速甚小，平均为6—8m/s，风速变化也不大，没有脉动现象。17日08时后，风速猛增，平均达到12m/s以上。就在风速增大的同时，出现了强烈的脉动。

这种低空急流轴上的风速脉动使我们对它有了一种新的认识：通常从常规图表中见到的低空急流轴上的强风，是通过一次一次风速的突增来体现的，它不是处于稳定的状态，象是有一种波动在轴上传播，处于波峰时，风速达到极大，几小时后又处于波谷，风速近乎静稳。这种波动性质从周期及振幅来看，属于

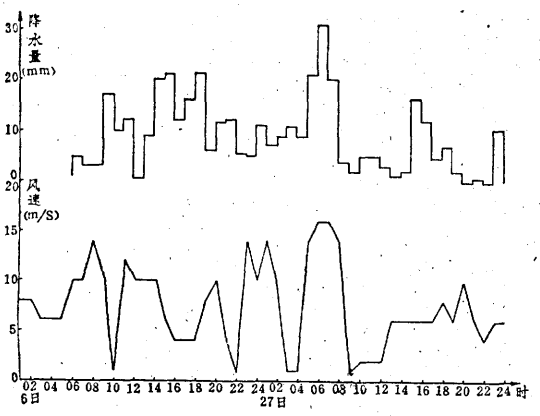


图 2　1978年 5 月26—28日衡山的风速脉动及周围降水图

重力波范畴。

二、强风速脉动对暴雨的触发作用

我们把 6 月 6 日以后急流控制九仙山地区时的风场与这个地区的降水进行对比。从图 1 中看出（雨量值取自距九仙山站 200km 范围内最大的每小时降水量），这个时段内共有 7 次降水峰值，它们分别与九仙山的风速脉动有很好的对应关系。例如 6 日 19—22 时的强降水，就与 18 时开始的一次风速脉动相对应。这次风速从静稳突增至 14m/s，强风持续了 5 个小时后又突然减至 1m/s，降水也从持续高值而很快变弱。5 月中旬的过程也与此相仿，17 日 08 时以前风速小且平稳，这时降水也很弱，没有明显雨峰。以后风速脉动出现，雨势也大为增强，连续出现明显的雨峰，其中 17 日 08—10 时、11—18 时、20—24 时和 18 日 01—07时 4 次强脉动都很好地与 4 次（17 日 09—10 时、13—18 时、21—23 时和 18 日 04—10 时）强雨峰相对应。5 月 27—28 日衡山站的风速脉动也与周围地区的暴雨有密切关系。由于缺乏湖南境内大部分地区雨量记录，因此只取了衡山以南 200—300km 地区的每小时降水量（见图 2），地区虽稍嫌偏南，即使如此，也可以看到衡山的风速脉动与其南侧的雨峰大都相对应，脉动越强，雨势也越大。

众所周知，暴雨从本质上讲是一种中尺度的现象，每一次雨峰一般都对应一次中尺度雨团。急流轴上的风速脉动正好与中尺度雨团的发生相对应。从这 3 次过程看出，大多数情况是先有风速脉动，尔后才有雨团发生，15 次中就有 11 次是这样，间隔可在 1—3 小时不等。有 3 次则发生在同一时刻，只有一次是在雨峰之后才出现大风。这个统计进一步说明，是风的脉动触发了中尺度雨团的发生，它反映了低空急流对暴雨的一种动力作用。

三、风速脉动的重力波特征

普遍认为，低空急流风场是超地转的。实际上只有在急流轴上的大风区或在风速明显增长时，超地转现象才发生。我们计算了各个站上地转风与实测风的演变，以广州为例（见图 3），从 16 日以后，实测风不断增加，至 18 日 08 时达到最大。但是地转风变化却不大，因此，16 日以前风场基本处于地转平衡。16—18 日超地转最为明显，以后又恢复平衡状态。福州、厦门等地（图略）的情况也是这样。6 月 5—8 日急流轴上的实测风与地转风的演变特点（图 4）也与图 3 一致。低空急流在稳定阶段，地转平衡较好，实测风与地转风比较一致。超地转现象往往发生在实测风突然增强的时候。风场的变化是主动的，且较剧烈，以后气压场（地转风）才开始变化（或者根本不变化），而当实测风速开始减弱时，地转平衡得以恢复，地转风才略有增大（见图 4），气压场与风场趋于新的平衡。

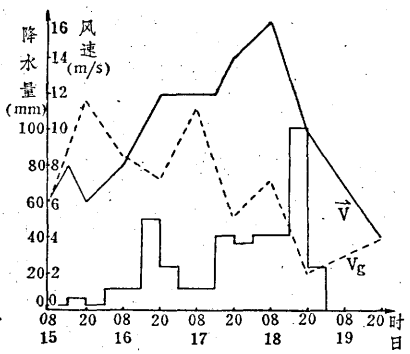


图 3　1978年 5 月15—19日广州实测风与地转风的演变及 6 小时降水量图　虚线为地转风，实线为实测风（下同）

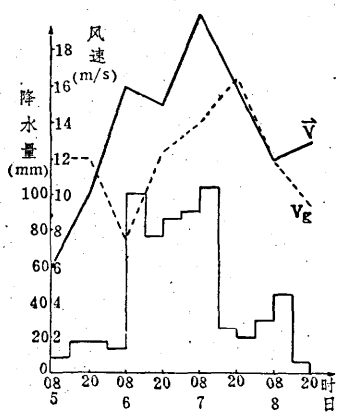


图 4　1978年 6 月 5 — 8 日汕头实测风与地转风的演变及 6 小时降水量图

这种超地转现象与暴雨有着密切的关系，图3、4中分别画出了该站的6小时降水量值。无论是5月15—19日或是6月5—8日，急流轴上各站的强降水几乎全部发生在风速急增，超地转最强的时段内。一旦急流又接近地转平衡时，降水就几乎停止。

上面各节的讨论，给出一个这样的图象，低空急流轴上出现风速的急增时，气压场变化尚很迟缓，以致出现很强的超地转的不平衡。这种很强的风速脉动，触发了中尺度雨团的发生。大气运动的适应理论指出，地转偏差能够激发出重力惯性波，重力惯性波的强度与地转偏差强度成正比。这种重力波系与中尺度的辐合场相联系。我们这里分析的脉动，周期为几个小时，振幅却很强，它正是在强烈的非地转时发生，看来是一种重力波。而且，事实证明它确实触发了中尺度雨团的产生，这些都是与理论结果相吻合的。随着重力惯性波对能量的频散，超地转现象结束，这时急流轴上的脉动也相对缓和，暴雨也就很快停止。

上面的研究，初步揭示了低空急流的一种动力特性，以及这种动力特性对于某一类暴雨的触发作用，这种关系有一定的普遍意义。我们从江淮流域低空急流的分析中也发现了急流轴上的风速脉动，它也导致了中尺度辐合线的产生和中尺度低云的发展，进而促发了暴雨的发生。因此，这种现象是值得引起重视的。