

# 我国干旱地区大降水天气过程水汽来源

牟惟丰

(国家气象局国家气象中心)

## 提 要

干旱地区一般远离海洋,大降水天气过程的水汽供应方式往往有其特色。本文提出了我国干旱地区水汽供应方式的几种主要天气形势类型和特点,讨论了先兆过程的作用,南疆低层东风对降水的作用,中层西南气流对水汽的输送,以及本地区内循环水份的重要性。通过以上一些讨论对我国干旱地区大降水的水汽来源和供应方式给出概括的描述。

## 一、引 言

水汽来源和供应方式对于大降水天气过程的分析预报有重要意义。水汽供应不单是产生云雨的物质条件,而且也影响降水的发生和降水量的大小,低层湿度的增大还会加强层结的位势不稳定性,为上升运动的发展提供能量,并反馈影响降水系统的发展和移动。干旱地区一般远离海洋,大降水天气过程的水汽供应方式往往与湿润地区有所不同,有其特色。对我国干旱地区降水的水汽来源的研究在许多文章中都有涉及,但比较分散,分歧和矛盾仍存在。本文在一些文章提供的材料基础上进行了归纳评述,提出我国干旱地区大降水过程水汽供应方式的类型情况,并提出自己的观点。对这一问题进行讨论除了有利于降水的分析预报外,还与水分循环和气候变化相关联,是进一步探讨人对气候影响和合理开发利用水资源的基础。

我国水汽的平均分布以华南一带地区最多,向西北方向减少,平均绝对湿度等值线的梯度最大地带大致位于四川盆地西侧到甘肃东部、陕西中部、山西东南部到河北一线<sup>(1)</sup>,在这一线的西北侧为干旱或半干旱地区;东南侧为湿润或半湿润地区。在多雨的湿润地区,降水天气过程的水汽供应往往可以直接源自海洋上空的水汽平流输送。例如许多文章中都认为我国东南部地区雨季期间的水汽主要来自南海,部分过程中主要来自东海,或与印度西南季风气流及孟加拉湾的水汽平流相联系,以及与南半球越赤道气流相联系等。而在我国西北干旱地区则由于远离海洋水汽源地,大范围东南风的出现机会又很少,故水汽的平流输入较贫乏,往往需有一些特殊的方式和机会才能得到大降水所必需的较为充沛

的水汽条件。

## 二、我国干旱地区大降水天气过程水汽供应的几种主要天气形势

### (1)在特殊有利天气形势下大量水汽从远距离辗转输入降水区

在距离海洋水汽源地较远的干旱地区,大降水天气过程的水汽平流输送往往需几经辗转输入降水区。1977年8月1日陕西榆林地区北部与内蒙交界的沙漠边缘地区出现的大暴雨<sup>(2)</sup>是一次典型例子。在大暴雨出现之前七天,7月25日7704号台风在福建登陆,29日向北偏西方向移到了河南,减弱成为低涡,低涡及其北侧的SE气流带来大量水汽,在华北地区形成一个较宽广的湿舌。以后河套地区又有低空暖倒槽发展,水汽又向西北方输送积累,遇贝加尔湖横槽南下东移,与低空切变线相结合,造成一次历史罕见的特大暴雨。但这类特殊有利的天气形势过程出现机会较少,越是远离海洋水汽源地的地区,越难碰到。

### (2)在稳定持久的降水天气形势下水汽条件逐渐积累

对于水汽平流输入贫乏的干旱较严重地区,在较稳定的有利形势下,水汽条件的逐渐积累是产生大降水的主要水汽供给方式。对于南疆盆地一带来说,由于偏西与偏南方向的低层水汽输送受山脉阻隔,低层东风的水汽平流平均又很弱或为负值,使得大降水过程所需的水汽条件往往需较长时间积累才可以达到,构成这一地区的特色。有利于水汽条件逐渐积累的形势主要有以下两种:

#### (i)在较稳定的大槽(低涡)影响下南北两支锋区气流汇合

上游经向发展,影响槽较深,以及南北两支锋区上的低槽迭加等,与地形的阻挡作用相结合都可以造成新疆西侧低槽(涡)的停滞持久影响。在这类较稳定持久形势的影响下,往往出现南北两支锋区的明显汇合,北支锋区上小槽后的低层冷空气“东灌”形成回流,与南支锋区上槽前的SW气流相交汇形成大降水。这类形势各季都可能出现。在夏季出现的例子如1974年8月14—16日南疆的大降水过程,1978年6月8—12日新疆天山及其两侧的暴雨过程,1981年7月30—8月1日天山南麓的大降水过程,都是在乌拉尔山阻高发展形势下南北两支低槽迭加和锋区汇合的结果。1969年1月16—27日新疆伊犁一带连降大雪,1976年2月26—27日南疆西部的大雪天气过程则是冬季这类形势下的典型例子。

#### (ii)副热带阻塞性高脊发展,上游低槽停滞

1981年7月4日夜间到5日上午若羌出现的暴雨属于这类例子。在7月1—5日的五天时间里,上游影响槽稳定少动,并不断分裂小槽东移,影响若羌在1、3、4日均下了微雨,下游阻挡高压的生成使得入侵新疆的低槽停滞,是这次暴雨生成的重要条件<sup>(3)</sup>。在这种稳定有利于降水的形势下,数日来水分条件的逐渐积累为后来的暴雨提供了条件。前几次微雨反映有辐合上升运动存在,低层的辐合不仅会从水平方向上集中水汽,而且较弱的上升气流不足挟带云滴一起上升和下落雨滴的蒸发,易使水分在辐合上升区的低层沉积集中,这就是水汽的积累过程。

少量降水蒸发的降温作用,在较长时间的过程中易为逐渐的吸热所抵消,这就增加了

低层空气的潜热含量和层结不稳定能量。在前期已积累成的大水汽区或云盖区的边缘处,最有利于新的对流系统发展。

此外的例子,如1958年8月新疆库车暴雨,1963年8月天池暴雨,1971年7月阿克苏台兰站暴雨,都是出现在副热带高压与西风带低值系统的相对位置为东高西低的形势下,而东部高压在发展上的稳定与西进,跟暴雨的关系相当密切<sup>[4]</sup>。此类形势的大降水过程主要出现在盛夏。

### 三、先兆过程的作用

先兆过程是指在大降水发生之前先有微雨过程出现。先兆过程的辐合上升和降水蒸发可使水汽在辐合区的低层集中,形成局地“水汽库”,若遇再次启动作用,这部分就近聚积起来的水汽将为对流活动的发展提供有利的水汽条件和不稳定能量条件。在前述的两种稳定降水形势下水汽条件的逐渐积累过程中都可以表现为先兆过程的形式。

吴正华等曾指出<sup>[5]</sup>:所谓先兆过程是指某地区强对流天气发生之前12—48小时内,在本地区或邻近地区出现的一次弱对流天气过程。并提出先兆过程在强对流天气之前的出现是较为普遍的现象。但他没有明确先兆过程出现机会的多少与不同地区的关系。一般说来,越是干旱地区出现先兆过程的机率应越大。在水汽条件相当亏乏的地区,一般天气过程下难以有大降水,前期一次小的降水过程所聚积的水汽和能量条件可对后一次过程的降水起关键作用。唐淑娟在南疆地区大降水的云图特征一文<sup>[6]</sup>中曾指出:每场南疆强天气过后盆地内留有小云团,如又有北方冷锋云系或热带云系进入盆地,又可造成南疆大降水天气,因此小云团也是引起南疆大降水天气的重要条件。可见先兆过程在南疆是很常见的普通现象。对于西北东部到华北一带先兆过程也常出现,如吴正华在文献[5]中所举例子。对于江淮一带地区的雨季以及华南一带地区,水汽条件一般较为充沛,无需先兆过程对水汽条件的预先积累也可下暴雨。

### 四、低空东风对南疆大降水作用的讨论

不少人强调低层东风气流对南疆大降水的水汽输送起重要作用。如张学文<sup>[7]</sup>提出,塔里木盆地东缘的底层东风对较大降水过程的水分供应起关键作用,不大的东风就足以支持盆地三分之一面积上常见的较大降水,底层东风进入盆地不仅带来足以维持大降水的水源,而且必然引起上升运动。如果如此,大降水的发生就应具备充分条件。但有人的统计结果是,并非所有较强东风都伴有较大降水,1972年南疆东口出现三站平均风速在5—8m/s计有20次,只有8次出现比较大的降水,可见低空急流(东风)是大降水的必要条件而非充分条件<sup>[8]</sup>。有东风但无小量降水的机率在1972年平均也达45%<sup>[8]</sup>。可见低空东风与南疆降水的关系和起作用的方式有待进一步分析讨论。

#### (1) 东风的冷暖性质与上升造成大降水的可能性

一般认为东风的形成有两类,一类是地面冷锋高压从北疆绕过天山,从东北方向进入南疆,另一类是热低压或倒槽北部形成的一支暖性偏东气流<sup>[9]</sup>。但从气候的角度来说,偏

东低空急流多伴有冷空气活动,冷东风占优势是可以理解的<sup>[10]</sup>。既然大多数东风以冷空气为主,则很难具有发展对流的层结不稳定能量,其辐合上升或地形抬升都会是有限的。

### (2) 东风的水汽输送

南疆东侧平均比湿场的分布是东干西湿<sup>[1]</sup>,低空东风气流是从干区吹向湿区<sup>[11]</sup>。由于比湿的局地变化是由水平平流输送、垂直输送和凝结蒸发这三项决定的,因此仅有水汽通量而无湿平流时,一般不能使局地湿度增大。在干平流情况下要使局地比湿增大和形成降水,需有加倍强的水汽向上输送,这对于相对较为干冷的东风空气来说是较难达到的,因为特别强的水汽向上输送一般只能发生在近地面层相对较为暖湿,层结不稳定明显的空气中。

秦天正<sup>[12]</sup>还随机抽查过 25 个出现东风的例子,其中仅有三次观测到测站的湿度增大,但最大的相对湿度也仅达 54%,实际增大不明显,而其余 22 次例子中湿度均减小。在六次大降水的例子中出现东风时地面与 850hPa 湿度均减小。可见就大多数例子来说,东风的确是较干的,东风的水汽通量并不能使局地湿度增大,也难以提供强的层结不稳定能量,上升或产生大降水的空气不可能是东风空气本身。

### (3) 冷东风对大降水可能起作用的方式

#### (i) NE 冷气流与 SE 较暖气流之间可以有汇合锋生作用

当回流冷空气向西南下时,若遇其南侧有相对较暖的 SE 气流,则两股气流相汇合时可有锋生作用,引起垂直正环流使南侧的较暖空气上升。这一上升的较暖空气在西行进入西风槽前的主要辐合上升区之前即已趋近饱和,对于形成大降水是有利条件之一。NE 冷气流与 SE 较暖气流的汇合还有利于东风的加强,成为有利大降水的又一条件。

#### (ii) 冷东风对上升运动的作用

冷东风进入南疆,一方面有利于与原在南疆盆地中相对较为暖湿的空气之间发生辐合上升,另一方面冷东风区中等熵面呈北高南低分布,对其上的中层偏南暖湿气流有抬升作用。例如 1981 年 7 月 4 日 20 时若羌暴雨临近发生时的等熵面分布即为北高南低,具有较陡的坡度<sup>[13]</sup>。这样的等熵面分布对于北冷南暖的区域是必然现象。

另外从气流随高度的变化也可以判断这里是上升运动区。低层偏东风与中层偏南风相交迭的地区风向随高度是顺转的,表明是暖平流区。低层东风急流轴与其上的中层偏南风急流轴的交点则是暖平流的最强中心点,此处暖平流的拉普拉斯( $\nabla^2$ )分布必定为正值,由  $\omega$  方程可知,此项造成上升运动。

低层东风的出现,还使与中高层偏西风之间构成风向基本相反的较强垂直风切变,这有利于产生移动缓慢或停滞的生命史较长的对流风暴<sup>[14]</sup>,这是有利于雨量在一个地区集中加大的重要因素。

#### (iii) 东风气流中水汽对增大降水量的作用

低层较干冷的东风虽然难以发生强的上升运动和由所含水汽凝结产生大降水,但如果因受地形抬升或辐合上升而已凝结产生云时,则当遇有上层雨滴下落经过时可由于撒播—反馈机制而使雨量加大。

## 五、中层西南气流的水汽输送

在对南疆大降水的许多研究文章中除大多强调低层东风气流对大降水过程的水汽输送起关键性甚至唯一重要的作用外,也有人提出“南风论”的观点<sup>[15]</sup>和南疆降水的水汽可以来自高原之南<sup>[16]</sup>的观点。从700hPa多年各月平均比湿的分布图来看,无论冬季还是夏季月份,南疆的西南侧都是一个显著的大比湿中心<sup>[17]</sup>,其强度与孟加拉湾到缅甸北部一带的大比湿中心相近。而且在南疆西侧也常出现西风槽(涡),槽前西南风的水汽平流可对南疆水汽输送有重要作用。但这只是反映三千米以上情况,低层南疆的北、西、南三面环山,西南方的水份有无可能进入以及起何作用尚缺乏具体分析讨论。

一般来说,天山南坡迎风面主要降水带所在高度为海拔3000m左右,凝结高度在夏季为2500—3000m,春秋季节在2000m左右<sup>[18]</sup>。西南暖湿气流如果仅靠水平平流输送,则仅4km左右及以下的空气可以进入,这部分空气即使已达饱和,也已超过了平均降水带和凝结层所在高度,显然不是大降水水汽来源的主体部分。西南暖湿气流除水平平流输送水汽外,还可能有一部分雨滴下降蒸发,增加了低层水汽,起到一定的向下输送的作用。每场强天气过程后盆地内常留有小云团,遇下次过程的天气系统启动则又可造成大降水天气<sup>[6]</sup>,这是南疆大降水低层水汽来源的一种方式,即通过前期小降水过程积累水汽条件,来造成后续过程的大降水。

## 六、本地区蒸发水汽对大降水的重要性

比湿的局地变化由水平平流、垂直输送、蒸发凝结三项的总和决定。对于南疆盆地来说,由于三面受高山环抱,东面开口但平均比湿分布为东干西湿<sup>[1]</sup>,因而低层比湿的水平平流输入应甚小。又因水汽分布平均自下向上递减,因而对于低层来说水汽的垂直平流输入也小。在这种情况下当地的蒸发水汽对南疆低空水汽的供应会相对起较大作用,而低空水汽对于提供大降水以水汽和层结不稳定能量,都是整个气柱中的最主要部分。

Lattau等(1979)使用理论气候学方法把南美亚马孙流域大气与水文的水分循环位相联系起来进行了模拟研究,虽然文章的主要目的是通过计算水文循环和经过大气的水分再循环来反映砍伐森林对气候的影响,但从其中得到的一些数据也直接反映了该流域内蒸发水汽再循环对年总水量影响的重要性。由于区域内水分的再循环,使流域中上游所有经度上的降水增加,其中75°W(上游的山脉分水岭附近)处降水总量的88%是经历再循环的<sup>[19]</sup>。Molion研究了亚马孙盆地的能量和水分通量,结论是外来水汽输送占降水量的44%,由内循环获得的地区性水分占降水量的56%<sup>[20]</sup>。可见地区水分内循环占有重要地位的情况是可能存在的。南疆盆地地理纬度和气候条件虽与位于热带的亚马逊盆地不同,对水分的循环平衡问题又缺乏具体资料基础上的计算研究,但南疆为更典型的口袋状地形,东侧低空平均流场为弱的偏东风<sup>[17]</sup>,这种情况不利于低空水汽的流失,空气长时间在盆地内停滞有利于增大内循环水分。

新疆水汽的垂直分布平均说来三公里以下的水汽已占总气柱水汽量的大半。南疆

1000—4000 米的水汽量占 1000 米到 300hPa 气层总水汽含量的 80% 以上<sup>(9)</sup>。这部分水汽在没有低层东风回流出现时也会存在,它主要来源于本区域前期的水分(包括从上游山区流到山下的径流水)蒸发,并给以后的降水过程提供主要的水汽来源。

## 七、总 结

对水汽来源和供应方式的了解不但对大降水天气过程的分析预报有重要意义,而且还与水分循环和降水的气候变化相关联,是进一步探讨人对气候的影响以及合理开发利用水资源的基础。

干旱地区一般远离海洋,大降水天气过程的水汽供给往往有其特色。或者需要特殊的有利天气形势使大量水汽能从远距离辗转输入降水区,或者需有较稳定持久的降水形势以逐渐积累水汽条件,或者需通过先兆过程积聚水汽条件。一般来说,对于西北地区东部及华北的干旱、半干旱地区,由于这一带靠近平均绝对湿度分布的大梯度区,特别是在夏季<sup>(1)</sup>,大降水天气过程的水汽供应主要是在有利天气形势下从东到南方向输送。对于新疆北部,由于从甘肃西北部和内蒙西部一带到新疆的比湿平均分布已是东干西湿<sup>(1)</sup>,因而偏东风往往为干平流,而新疆西南侧低空为大比湿中心<sup>(17)</sup>,大降水过程又是发生在西风槽前西南气流之下,因而平均来说来自西南方向的水汽平流输送应占主要地位。对于南疆,由于三面受高山环抱,其东侧低空吹东风时平均又为干平流,使低空水汽的平流输入甚为贫乏,因而大降水过程更多地依赖于盆地内蒸发水汽的反复循环,并多出现在较稳定持久降水系统影响下水汽条件逐渐积累或有先兆过程对水汽的前期积累时。中层暖湿西南气流中的水汽输入虽有重要作用,但因只占南疆总气柱水汽含量的次要部分,因而对降水量的贡献应占次要地位。

干冷东风对南疆大降水的作用主要是与地形作用相结合对原先盆地内相对较为暖湿的空气起辐合抬升作用,冷东风的等熵面坡度对中层西南暖湿气流有抬升作用,东风气流中有辐合或地形抬升而产生云时,对上层下落雨滴通过撒播反馈机制有增大降水的作用,遇西风槽前冷锋、切变线等系统生成或移来时有增强辐合上升运动的作用。因此低层东风的出现只能是南疆大降水的重要有利条件或必要条件,而不可能是既满足水汽条件又提供上升运动<sup>(17)</sup>的充分条件。

降水主要发生在山区,流到山下后蒸发的水汽构成以后降水过程的主要水汽来源,遇天气系统影响而产生迎风坡上升运动时就会凝结产生降水和径流。如此循环往复,构成山区附近水分内循环的方式。其中会有一部分水分流失,也有前述中空西南气流中与低层东风气流中的一部分外来水分补充,构成水汽条件与降水气候的准常定性。前述的先兆过程也是水分内循环的一种方式。但大量降水从山区流到山下,蒸发吸热后又在天气系统影响下在山区产生降水,是西北干旱地区水分内循环的主要方式。

南疆内循环水汽既然是大降水天气过程水汽来源的重要部分或主要部分,则在开发水资源时如何合理利用,不使遭到掠夺性破坏,并有利于扩大参与内循环的水分量以改善气候条件,应是有重要研讨意义的课题。

## 参 考 文 献

- [1] 中央气象台编制, 中华人民共和国气候图集, P. 89, 103, 地图出版社, 1979年。
- [2] 蔡则怡等, 沙漠地区的一次强对流暴雨, 气象学报, **38**, 1, 110—117, 1981。
- [3] 张国山, 干旱地区的一次大暴雨, 新疆降水文摘(内部材料), 161—162, 1985年。
- [4] 张丙午, 几场大暴雨的个例分析, 新疆降水文摘(内部材料), 141, 1985年。
- [5] 吴正华, 先兆过程对强对流天气过程的作用, 北方灾害性天气文集, 90—95, 气象出版社, 1981年。
- [6] 唐淑娟, 新疆南疆地区大降水的卫星云图特征, 新疆降水文摘(内部材料), 197—199, 1985年。
- [7] 张学文, 关于塔里木盆地降水的水汽来源问题的认识, 新疆降水文摘(内部材料), 295—296, 1985年。
- [8] 张家宝、邓子风, 新疆降水概论, 159, 气象出版社, 1987年。
- [9] 周琴南, 关于新疆降水水汽来源问题的研究, 北方天气文集, **4**, 179—181, 北京大学出版社, 1983年。
- [10] 张家宝、邓子风, 新疆降水概论, 146, 气象出版社, 1987年。
- [11] 邓子风, 青藏高原北侧偏东低空急流的结构及其对新疆大降水的影响, 新疆降水文摘(内部材料) 117, 1985年。
- [12] 秦天正, 大降水预报, 新疆降水文摘(内部材料), 275—276, 1985年。
- [13] 张家宝、邓子风, 新疆降水概论, 247, 气象出版社, 1987年。
- [14] Bennetts, D. A., E. McCallum and J. R. Grant, Cumulonimbus clouds: an introductory review. *The Meteorological Magazine*, **115**, 1369, 242—256, 1986.
- [15] 陆风华, 天山南脉大暴雪分析, 新疆降水文摘(内部资料), 103—104, 1985年。
- [16] 何勋德、张生和, 冬季巴基斯坦低槽的卫星云图特征以及对阿里、南疆天气的影响, 新疆降水文摘(内部材料), 195—196, 1985年。
- [17] 中央气象台, 中国高空气候, 图 5-6a, 5-6b 及图 1-1a, 1-2a, 1-3a, 1-4a, 科学出版社, 1975年。
- [18] 李江风, 关于高山降水带的分布, 新疆降水文摘(内部材料), 19—21, 1985年。
- [19] Lettau, H. et al., Amazonia's hydrologic cycle and the rule of atmospheric recycling in assessing deforestation effects, *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 3, 227—238, 1979.
- [20] 王效瑞, 热带毁林后的水热平衡变化, 气象科技, **1**, 61—63, 1984年。

## A REVIEW ON THE SUPPLY OF WATER VAPOUR TO HEAVY RAIN PROCESS IN ARID REGIONS OF CHINA

Mu Weifeng

(National Meteorological Center, SMA)

### Abstract

Arid regions are often far from sea and ocean, the patterns of supply of water vapour to heavy rain area are generally different from those in humid regions. Several major patterns were summarized and the effect of precursory light rain on the following heavy rain process, the effect of low-level easterly wind on the occurrence of heavy rain, the role of advected (external) moisture, and especially the importance of recycled (internal) moisture in south Xinjiang were also discussed.