

我国暴雨研究和预报的进展

章 淹

(中央气象局研究院)

暴雨是我国较常见的一种严重灾害性天气，而在久旱之后或需要蓄水的时节，适当的暴雨却成了对国民经济有利的重要天气。因此，暴雨的研究和预报，也是我国气象工作者关注的重要问题之一。然而，暴雨的出现规律、形成原因错综复杂，监测与探测的手段也不够，所以暴雨的警报以及科研工作，是发展得比较迟和较年轻的一个项目。不过，近年来，监测手段渐有改善，研究工作也渐普遍，尤其是1975年以后，进展较为显著。

一、暴雨的气候分析

早在三十年代，竺可桢、涂长望等就从东南季风与我国的降水，我国雨量的分区等，揭示了我国降水和暴雨的一些气候特征及其影响因素等。其后，对我国雨带、梅雨带的分布与推移，年降水量和降水目的分布以及可能最大降水等方面进行了一些分析计算工作。近年来，不少地方又进一步考查了各地以及全国范围暴雨出现的极值、历时、地点、最大雨强、地理条件、季节特征和年、季、月或汛期暴雨出现的频次及其时、空分布特征等，进一步了解了我国的多暴雨和强暴雨特征。比如台湾省山地的年暴雨日达16天以上；华南近海的东兴、阳江、汕尾及江淮流域的一些山地，年暴雨日在10天以上。点雨量强度曾出现过1小时198.7 mm（河南林庄）、12小时664 mm（广东双捷），一日1054.7 mm（河南郭林）、950.0 mm（河北漳泓）及1672 mm（台湾新寮）等高纪录。

我国暴雨的气候特征具有明显的季节性与地域性。大部分地区暴雨出现的季节，主要是随着我国雨带的南、北推移而变动。暴雨分布呈现着明显的南方多，北方少；沿海多，内陆少；山地多，平原少；山区与高原的边缘多，内部少；迎风侧多，背风侧少等特征。这也表明水、热条件，海洋水汽供应，海、陆分布，气候状况及地形地理条件等与暴雨的形成有密切关系。

二、暴雨的环流背景与大尺度影响系统

由于种种原因，在暴雨形成的大气环流背景与大尺度天气系统方面，注意较多，进行了较多的工作。而且，近年来，由于卫星云图的分析应用，更加深了这方面的认识。

特大暴雨、连续性暴雨，关键期暴雨的案例研究分别揭示了一些重大暴雨产生时的大气环流背景。比如：

（1）1977年5月16—17日出现于广东海陆丰、惠来和潮阳一带的特大暴雨，最大过程降水量为1461 mm，这次暴雨产生于长波波长甚短而环流经向度很大，南北空气交流很强的大形势下。长波槽、脊的分布都近似南北向，贝加尔湖附近出现了有5条闭合等高线的强切断低压，维持达6—8天之久。

（2）1975年8月5—7日，出现于河南驻马店、许昌和南阳一带的特大暴雨，最大过程降水量达1631.1 mm。这次暴雨产生在北半球环流形势发生大调整，西风带长波波数由5个波转变为6个波，并由此在我国东部形成不利于台风转向东行而在河南停滞的形势下。同时，这次台风登陆后，热带辐合线也随之北移，并源源不断地供应大量水汽。

（3）1963年8月1—10日出现于河北邢台、保定等地的连续性大暴雨，最大过程降水量是2051 mm，过程总降水量大于200 mm的面积超过10万平方公里，为历史上所罕见。这次暴雨出现在亚洲中纬地区为阻塞的形势下。从华北经华中到云贵维持一条狭长的低压带，四周为稳定高压系统，一个个低涡伴随着深厚的潮湿空气由此通道不断地向北传输。

（4）长江流域的雨季末暴雨，有些就出现在西风带北缩，青藏高压东移与西太平洋副热带高压合并，然后，副热带高压加强北扩或热带辐合带北推，副热带高压在台风后迅速增强的形势下，著名的长江流域1935年7月3—7日五峰暴雨，曾造成我国历史上罕见的洪水。

（5）1954年6、7月和1931年7月长江流域出现持续性暴雨，均形成特大洪水。1954年是西风带与副热带高压环流均强，并稳定对峙在长江一带；1931年7月也是在长江流域停留着一个稳定的低压带，低压带内不断有气旋波出现，造成一次又一次的暴雨。

此外，如有利于梅雨暴雨出现的双阻型（乌拉尔区与亚洲东部各有一阻塞高压）、单阻型（乌拉尔区阻塞高压）或贝加尔湖大低槽型、东北低槽（压）型等。总之，几乎所有的暴雨，均形成于有利的大气环流背景下。然而，愈来愈多的工作发现，这些环流背景也是相当复杂的，还有待更进一步的认识分辨。

关于暴雨产生的大尺度系统，预报经验与研究更较丰富，不少工作指出：台风、低压、低槽、低涡、高空冷涡、锋面、切变线、辐合线、鞍形场、气旋波、低空急流、高低空急流迭加、高层高值系统与低层低值系统迭加、脊后槽前等等，均有利于暴雨形成。不过，它们出没与影响的地区不大相同而已。

三、暴雨中、小系统

不少工作指出：中、小天气系统是暴雨的直接影响系统。这项研究，开展较迟，不过近年来发展还较迅速。

1954年有人用每2小时一次的24小时变压纪录，对1953年出现于江淮南岸的大暴雨进行分析，指出该次大暴雨是在24小时负变压中心达7—8mb的一个小低压内产生的，雨区随负变压中心移动，这是我国最早的一个暴雨中、小分析。六十年代初，一些学者对中、小尺度运动中风场和气压场的适应，中、小尺度运动的相似理论，中、小尺度过程与扰动的动力学问题等进行了研究。1962年起，开展了局地强风暴的中尺度天气分析。1963—1964年，在华东地区建立了我国第一个中、小天气观测试验研究基地。利用航危报、雷达回波和加密观测发报等资料进行了盛夏中、小尺度天气系统的分析预报试验研究。同时，开展了云雾物理观测与中、小天气分析相结合的边缘学科探讨。在此项试验及其后的研究中发现：与我国暴雨有关的中、小系统比较多见的是飑线、中尺度高压和雷暴高压、中尺度低压、台风飑线、暖式切变、雷暴气压偶、高压后部的气旋性曲率等。还有一些是几个中、小系统连结而成的中间尺度系统，这在梅雨锋系、气旋波与冷锋降水中比较清楚。它们的结构与大尺度系统不同，一般厚约3—4km，但温、压、湿梯度却远比大系统要大。许多中、小系统的出现，强化了大尺度流场中的降水条件，促使局地强风暴的急剧发展，降水增强，并伴有强烈的雷雨大风、冰雹、龙卷等强烈天气。但并不是所有的中、小系统均能产生暴雨或其他强烈天气，有些中、小系统是与晴好天气相联系的。因此，这方面的问题，也相当错综复杂，有待继续深入。

中、小系统及其所伴随的暴雨等天气现象移行与传播的机理，与大尺度天气系统有很多不同。有些虽与高空引导气流有关，比高层气流略偏左或偏右行。但还有不少受非地转运动或其起动冲力的影响，可以逆高空气流或与高空气流、锋面等几乎成正交而行。且飑线和一些中尺度高低压的活动似与低空条件、地形和下垫面的特征，关系比较密切。其所伴随的降水中心可以原地徘徊或点源扩展，带状或涡旋带状式的分布方式，呈有规律的前消后生或跳跃式、波动的传播。其移行速度常较其附近锋面的移速快得多，往往

不能以其后流场的一般风速来解释，这与经典锋面学说所提出的“雨带推移”情况不同。因而它们的成因和机理也不相同，可能是一种新陈代谢过程，而其传播的速度似与不稳定能量的发展和强度有关。也可能是许多不同波长的重力波以不同速度和群速传播的结果。或是由于急剧雷暴雨出现后，对云下原有条件产生了破坏作用，但却进一步激化了其附近的降雨条件；或是由于再略过一段时间，待这些条件再重新集结恢复之后而形成的。

1976年后，在湘中地区建立了我国第二个中、小天气分析基地。总结了暴雨与冰雹、雷阵雨回波的不同特点以及湖南暴雨回波的弥合型、带状、涡旋带状型特征等。1979年，又开展了暴雨与暴风雨短期与临近预报的综合观测分析与预报研究。经初步试验，认为在我国现有水平和条件下，开展暴雨临近预报的业务工作是需要的、有效的而且也是可行的。

1976年后，在华南还组织了三省区大、中、小网迭套的热带暴雨试验。在湿斜压大气的动力学问题与华南前汛期暴雨的研究上，都取得了有意义的新进展（详见《气象》1979年第10期“华南前汛期暴雨的研究”一文）。

四、暴雨形成条件与影响因素

近年来，对解放后及历史上近年的几次严重暴雨，进行了案例研究与调查，着重研究暴雨形成的条件。

低空急流对我国暴雨的形成有很大关系，这些急流主要出现在600—3000m左右的低空，强风风速常在12—25m/s左右，多为SW或SE急流，SE急流酿成暴雨的机率相对较大，特别是当其与东风波或SW急流相伴出现时，它们可将我国东、南方海洋上或热带低空丰富的水汽、热能、动能与对流不稳定能量传输给暴雨区，暴雨往往出现在低空急流左前方，气旋性切变与风速辐合最强，大气层结不稳定，垂直切变大且里恰逊数小的地方，并随急流的伸展、进退而变动。雨带的宽窄、强弱也分别和低空急流的宽窄、强弱有关。不过，也有一部分急流似与暴雨的形成无关。

暴雨形成在不同气流的相互作用下，最普遍常见的是北方冷空气与南方暖湿气流的相互作用（或称为西风带与中、低纬或热带空气的相互作用）。在黄河流域及华北、东北等地，南方强盛暖湿气流的北上，对暴雨的促成作用比较明显。而在我国南方，江淮流域等湿、热条件经常具备的地区，冷空气的促成作用又很重要。虽然在夏季，受陆地热力作用的影响，冷空气在近地面层可能不大明显而仅反映在中空较薄的层次内，但它们对暴雨的启动、冲击作用以及在中层降温、增强大气不稳定性的作用是十分明显的。不过，在南岭之南，盛夏间冷空气较弱，影响略差。

我国很多地方，尤其是黄河流域及其以北地区，暴雨常在西北、东北及南方暖湿空气三股气流的相互作用下形成，有的就形成暖湿空气北突与北方两股气流夹错的“Ω”型，或称锢囚高能舌；而在江淮地区，就常以气旋波的形势出现。此外，陕西、宁夏等地还提出了“西北、北（或东北）、高原西南气流和西太平洋副高旁侧东南气流”，这四股气流相互作用而形成的暴雨。七十年代以来，一些工作对这几股气流的不同作用，暴雨形成的过程及其空间结构和一些动力学问题，取得了进一步的了解。

在水汽、水汽输送、垂直运动、散度、涡度、涡度平流、水热收支、动能传输、大气不稳定度、可降水量以及一些暴雨有关参数与指数的分析计算上，近年来也进行了较多的工作。有的对几种垂直运动的计算方法进行了比较，认为用连续方程修正方案计算散度和垂直速度，效果较好。但需使用实测风，对分析历史暴雨有些不便，在我国东部计算垂直运动有关的物理量，可用100km的网格距，由于格距不同所造成的差异，以连续方程法为最小，而用高度场资料的 ω 方程为最差。大范围垂直运动的计算，代表区域状况，也可借低涡、波动或锋面等一些系统来反映，或互相印证。对黄河中游暴雨（2例）的计算指出：我国西北的暴雨发展时，暴雨系统中的无辐散层约在600—500mb之间，对流活动总热量有自下向上的输送，其垂直通量最大的层次在对流层中部的600—500mb，暴雨区动量的上下传递有使低空急流减弱的作用，有些较小尺度的低空涡旋是与暴雨同时生成和消失的。

水汽通量及水汽通量散度或水汽平流输送与某些暴雨及其附近降水量的区域平均（约2—5平方纬距），关系较好。但在反映暴雨中心的点雨量强度上不够。湿层厚达3000m以上或有深厚（自地面至600mb以上）的温、湿激增层时，有利于暴雨出现。

低空辐合是降雨垂直运动形成的基本条件，同时若再有高空辐散和旁侧下沉补偿气流以及适宜的地形条件时，上升运动更易发展或持续。当低空辐合层比较深厚，达3000m以上时，有利于暴雨形成。另外，从“75.8”河南特大暴雨及一些大暴雨垂直运动的分析中，近来又发现特大暴雨的上升运动并不是很大，却往往是中等，重要的条件是上升运动得以“持续”。

不稳定能量、动能与热量的积蓄有利于暴雨形成。因此，在大气层结不稳定度的反映上也较复杂。一般是暴雨前期比较稳定或有逆温存在，不利于能量零星释放。暴雨临近时，不稳定度强烈发展，到降雨一旦出现之后，不稳定度又受到降雨的影响而减弱。

不少研究与实践指出：地形对暴雨的作用很大。有的工作认为，地形或冷空气对低空辐合增强的效

应，约相当于使辐合层增加一倍或加厚1000m。还认为暴雨中心主要出现在山区的迎风坡。如河南南部盛行东南风时，伏牛山南坡的南阳、南河店等地降水增强，四川西南部盛行东到东南风时，川西的邛崃山、大相岭、泉屏山的东及南坡上乐山、千佛岩、洪雅、多营坪等常为暴雨中心。湖北西部盛行西南风时，大巴山的西南常出现大雨或暴雨中心。长江流域一带，最大降水量分布的轴线，常与山岭走向平行，大巴山附近的雨区，常呈西北—东南走向。山区降水量最强的中心，往往不是在山脉的最高峰或分水岭上，而是在迎风坡距最高峰50—80km的地方，并向其两侧迅速减少。在两个主要山峰前，降水量的分布亦常出现两个高峰。

暴雨一旦形成，通过强烈的对流活动及凝结潜热的释放，反过来对大尺度天气形势也会产生反馈作用。如1974年7月上、中旬江淮切变线形成之初，辐合层原比较薄，后来在一些中间尺度辐合中心附近，由于湿绝热上升空气的温度逐渐高于邻近地区，高空出现暖丘，暖丘两侧的力管场加强，产生相应的铅直环流，并逐渐形成一个相应的辐合层加厚区，由于辐合层的增厚，影响到大尺度切变线的增强。另外，用 ω 方程对“75.8”河南特大暴雨及其他几例特大暴雨进行分析后，均得出潜热反馈对特大暴雨铅直运动的贡献最大。

五、暴雨预报

暴雨预报方法的研究改进，主要有以下几方面：

（1）天气图经验方法的改进：在天气图分析预报经验的基础上，通过分类型归纳，大多给出了各型暴雨前期的天气图演变特征与典型模式。并找出了预报暴雨的起报日（或称信息日、警戒日等）条件与特点。同时，制定和找出了一些暴雨预报的判别式、图表、点聚图与指标等。

（2）统计预报方法的提高：经过统计检验和反复实践，更为丰富和精选了暴雨的预报因子（包括大气与非大气因子）。建立了相当多样化的统计预报方程和方法。有些并与上述天气图方法相结合，分型建立统计预报方程。另外，为了克服过渡型不好处理以及暴雨类型复杂的问题，中央台近年来将降水量分为五级，采用逐级判别的预报方法。

另外，近年来，引用天文因子（引潮力）对台风暴雨及华北暴雨降水量的预报，找到了较好的关系，建立了相关较佳的统计预报回归方程。

（3）加强客观预报：1957—1958年以来，国内各地逐渐开展了降水的客观预报，曾引用“迭套法”，以涡度、24—48小时水汽输送、不稳定度与锋面、切变线、低涡等降水系统相迭套，绘制等雨量线预报图的方法。此外，在多因子综合点聚图，数值预报图解

法等研究中，也涉及到一些。近年来，不少台站引用湿静力温度（或称总能量、总温度 $T\sigma$ ）、 θ_{se} 、里恰逊数、沙氏指数、斯拉维指数、K指数、A指数等，对大气的温、湿及不稳定特征进行分析。有些台站引用热力与动力因子相结合的方法，计算暴雨因素的物理量，并制作了便于应用的查算表，已开始在业务预报中应用试验。1976年以后，较广泛的采用了以低空急流，500—850mb的 θ_{se} 、Td850与降水系统相迭套的预报暴雨落区方法。目前，这些方法主要是与天气图经验和统计方法配合使用。

在暴雨数值预报上，近年来的主要设想是先预报24（或48）小时的大尺度天气形势，其次在24小时天气形势数值预报的基础上，做12（或18）小时特定区的中尺度天气系统预报，然后在预报的中系统内，预报各点上积云的发展，并从而作出暴雨预报。

（4）中期预报及临近预报：近年来不少地方开

展了暴雨中期（约3—7天）天气过程与天气形势的预报。例如四川省气象局对高原东移系统后部暴雨过程的中期预报；江苏对梅雨前的中期天气形势，湘、浙等地对雨季末暴雨过程及其前期超长波与长波演变形势的中期预报等。1979年夏，引用雷达、卫星、水文站雨情、航危报与地方台站的危险报，中、小系统及加密探空资料等与气象台站一般的方法相结合，并加强通讯联系，又开展了暴雨临近预报试验。

（5）从单站预报到预报联防：近年来，有的地方开展了台站之间的暴雨（包括雷雨大风等）联防预报。即除了作本地的暴雨预报外，当暴雨和暴风雨在本地出现后，及时向其发展的下游台站及省台等发布警报或通知，起到了一些紧急联防的作用。

总之，三十年来，在暴雨的研究与预报上，有了很大进展。然而，这还是很不够的。“科学有险阻，苦战能过关”。更待攀登！