

致洪暴雨中期预报进展^{*}

章 淹

(北京气象学院 北京 100081)

提 要 结合我国国情,从防洪减灾的迫切需要出发,进行增长暴雨预见期的研究。采用气象与水文结合的方法,提出“致洪暴雨”的新概念,并简要地论述了近年来国内在致洪暴雨中期预报研究试验方面的若干新进展,其内容包括致洪暴雨过程出现的天气气候特征,大气环流形势背景、卫星云图及 OLR 场分布特点、大气超长波、长波及合成行星波、低频振荡、大气物理参数诊断、暴雨时空分布特点及其与洪水的关系,以及中期预报方法的探索等。

关键词 致洪暴雨 中期预报 天气演变过程

分类号 P456. 2

1 现状与需要

暴雨是我国大部分地区多发的一种灾害性天气,它对人类的生存、生产和许多方面的活动都有影响。因此,预测其发生发展并防范其危害的产生,多年来一直是人们极为关注的一个重要问题。然而,它却又是气象预报中难度最大的问题之一。这一方面固然由于暴雨本身的特点所致,而另一方面也和有关暴雨的不少重要问题尚未弄清有关。

1975年8月河南特大暴雨及大型水库溃坝事故发生后,国内震动很大,有关部门随即组织了几次大型的重点或攻关研究,取得了明显进展。国内各地气象台站从此普遍开展了暴雨的短期(24~48h)和短时(几小时至10余小时)预报。并且,暴雨预报的服务面很广,除了防、抗洪涝外,还包括交通、运输、仓库和工农业生产及人民生活等多方面的安全保障。暴雨预报的能力也有很大提高,过去很少能提供的日降水量50~100mm的暴雨预报已经经常可以做出。并且,有时还能做出降水量达150mm/d或更大的暴雨预报。预报准确率从总体看,达到或接近世界先进水平。

我国暴雨的时空分布很不均匀,有些特大暴雨降水量的极值已接近或达到世界纪录的最高值^[1]。而且大量的人口与重要的工农业生产又多密集于江河中、下游或富庶的湖泊周围地区,一旦猛烈的暴雨洪水发生,情况往往极为严重,时常需要紧急转移数十万以上的灾民以及物资、牲畜……;并需要安置和保护重要的经济建设等等。因此,为了赢得这种紧急状况下的宝贵时间,从防洪抗灾的角度出发,十分需要暴雨的中期(3d以上)预报。同时,在水库和一些交通运输调度上,也一直需要预见期较长的中期预报。这自然是难度更大的一个问

题。而当前,无论国内外,关于暴雨的预报仅限于短期和短时预报。在短期预报中还着重于 24h 以内的预报。这主要由于:(1)产生暴雨的暴雨云团与非暴雨云团之间,差别不明显,特别是在其初生阶段。有的在雷达萤光屏上,仅米粒般大小,不易辨识出来。(2)暴雨的雨强虽大,但暴雨云团和暴雨落区的范围很小,常仅占大片降水区中的几十分之一或更少。而且,其生、消、动、静变化多而快,当它们混杂于大片复杂的云系中时,不易测定其变化状态。(3)暴雨云团集合成的暴雨天气系统,主要是中、小尺度的。小尺度天气系统的监测和预报,目前很难做出。就以中尺度天气系统而言,其尺度多在 10~300km 之间,不易捕捉。(4)暴雨中尺度系统的生命短,一般只有几小时到十几小时,待到侦测和发现它们产生的征兆时,再来诊测和外推其未来的发展演变,预报时效往往就不会很长了。所以,对于暴雨来说,主要是进行短期和短时预报。甚至国内外有些观点还认为中期预报是暴雨的禁区。

2 探索与尝试

鉴于以上情况,针对我国洪涝的严重危害及其频发特征^[2],我们对暴雨形成的特点、出现规律和预报方法,进行了多方面的考察与分析,从而认为:暴雨影响的面很广泛,所以需要暴雨预报的面也很广。但由于需求不同,对暴雨预报的要求也不同。有的要求预报时效长一些,有的则可短些;有的对预报精度的要求很高,而有的则可以有所放宽。因此,可以分门别类,针对各不同重点项目的不同需求及其自然规律,采取分别研究、重点突破的办法。所以,应先行探索我国致洪暴雨的中期预报问题,其中首先进行了可行性研究^[3],并论证了其可开展的探索途径。认为当前在我国,致洪暴雨的中期预报确是需要和可能开展研究试验的,特别是采用气象与水文相结合的方法。

“七五”期间,我们选择了需求十分迫切且降水中期预报基础较强的长江三峡区(包括三峡以上的长江中上游及洞庭湖流域)作为致洪暴雨的中期预报试点地区,列为国家重点攻关第 16 项(75-16-07)的部分内容,进行重点攻关研究。

3 初步结果

(1)提出了“致洪暴雨”新概念及其数学表达式 致洪暴雨(Flooding-Causing Torrential Rain 简称 FCTR)与一般的暴雨有一定区别。在研究其出现的规律与预报方法上,亦需有很多不同的考虑。因为我国一般的暴雨是根据单位时间内(通常是 24h)的点降水量数值或一场降水中最大暴雨中心的降水量来定义并划分为暴雨、大暴雨、特大暴雨等量级的。但是,在各种降水中,可能形成洪涝威胁的仅是其中的一部分过程。在这部分降水过程中,有的有大暴雨中心存在,即点暴雨量很大;而有的则点暴雨中心的雨量并不特别强大,但出现了大面积长历时的强降水,却形成了洪涝威胁。并且,它与该次过程出现之前,江河流域原有的丰枯状态及底水水位、流量有关。因此,我们认为致洪暴雨的定义,可以采取气象与水文相结合的方法,以下列数学式来表达:

$$FCTR = \int_a \int_t I_a da dt + BQ \quad (1)$$

式中 I_a 表示强降水的降水量, 强降水指降水量 $\geq 20 \sim 30 \text{ mm/d}$ (包括通常定义的暴雨以上降水), a 代表强降水面积, t 代表强降水出现的历时; BQ 代表前期基础降水量 (或江河底水)。(1) 式右端第 1、2 项的单位, 经过处理可使之无量纲化或同一化。

同洪水一样, 致洪暴雨并不一定都形成洪涝灾害, 这与人们的防范能力及调度措施等是否有力和得当有关。因此, 不宜用是否出现或造成了洪涝灾害作为“致洪”与“非致洪”的区别标准。但由于暴雨与洪涝灾害形成的关系十分密切, 着眼于防的角度, 我们也可以考虑一定流域集水面积上, 某些重点控制站的水文特征, 如水位、流量, 并包括洪峰与警戒水位等出现的特征。以这些特征数值为依据, 找出洪涝威胁可能出现前的强降水过程, 将它们定为“致洪暴雨”过程, 以此作为研究的主要对象^[6]。

此外, 由于暴雨和不同地区的河湖洪涝均有很强的地域性特点, 故对某些特殊地区, (1) 式需做一定的补充或修订。如某些干旱及强对流性暴雨区, 点暴雨中心所出现的地理位置, 对洪涝的形成与否有很大关系。在这种情况下, 点暴雨中心的权重就有所不同。

(2) 天气气候特征 致洪暴雨天气过程, 在一定的气候条件下, 出现于连续几天以上的中期时段内。这种时段往往并不与一般中期预报的候、旬时段相吻合。因此, 为进一步探讨致洪暴雨出现的规律与天气气候特征, 该项研究除引用了候、旬资料外, 还处理了大量逐日资料。视强降雨出没的具体时日, 分析研究了多年各不同时段内强降雨过程的特点, 可用以作跨候或旬的数日趋势预报。

致洪暴雨过程出现的早晚、多寡和强弱有很大的年际差别。这与大气环流的年际变化密切相关。几乎是一年一个“特征”。它与西北太平洋副热带高压 (简称副高) 变化的关系最密切。为此, 本项目对 1954 年~1987 年 34 年副高活动与强降雨过程出现的特征进行了研究。发现在副高活动的各不同时段中, 致洪暴雨过程出现的机率不同^[7]。此外, 致洪暴雨过程的强弱还与东亚季风是否活跃直接相关。而东亚季风活动的变化除与来自海洋的气流相关外, 也与副高的变化相关。其中, 副高西侧, 源自南半球的越赤道气流, 伴有伸展于两个半球上的长云带, 具有较好的中期时段特征, 在卫星探测中, 易于捕捉。

从西风环流的气候分析中看到, 各不同年份阻塞高压位置和涡度场的变化, 对“梅雨型”、“仲夏型”、“入秋型”强降雨过程的中期变化, 均有较大影响。

(3) 大气环流形势背景 为探讨各种重要天气过程的大气环流形势背景, 通常多采用对环流形势进行分类的方法, 以便找出不同类型环流的特点, 从而研究它们与某些天气变化的关系。这种做法, 有一定优点, 但在“分类”上, 存在不少问题, 主观性比较强。因此, 本研究应用主成份分析方法, 对长江上游 15 次致洪暴雨过程的 500hPa 候平均高度场作经验正交函数展开^[8], 得到一系列的典型特征场及各自的方差贡献值。由其主要特征量所表征的形势场特征可以比较全面客观地反映实际大气环流背景场的主成份特点, 展开后的时间权重系数序列表明各不同时段致洪暴雨的环流背景存在着较大差异, 对它们进行具体分析研究, 在实际中期预报中是很有益的。

(4) 气象卫星特征 长江中上游山峦迭障, 地形复杂, 山区气象测站稀少。但这一地区却是热带海洋暖湿气流进入我国活动的主要场所, 经常输送着大量的水汽, 对降水, 具有特殊的重要意义。所以引用卫星探测资料进行此区的致洪暴雨研究是十分必要的。而且在反映具有中期特征的长大云系上, 卫星云图还具有它独特的优势。为此, 开展了以下两项研究:

① 致洪暴雨过程的卫星云型模型 据 1978 年~1987 年共 10 年短历时间间隔的 GMS 云图, 综合概括出三种主要的云型演变模式^[9]: (a) 云团强烈发展型。来自孟加拉湾的云涌在山地地形作用下, 与西风带两条以上的冷锋云系交接发展, 云顶亮温可低于 -74°C 。(b) 逗点云系迭加型。西风带逗点状冷锋云系与西南涡涡旋云系合并, 发展出波动云系, 产生强暴雨。(c) 静止锋尾部云系辐合型。来自我国南方, 源于越赤道气流的多条宽窄不同云带接连与长江上空的静止锋尾部云系辐合而形成连续降雨过程。

② 地气系统射出长波辐射 (OLR) 特征^[10] 应用美国 NESDIS 的逐日全球 2.5×2.5 经、纬距网格点的射出长波辐射 OLR 资料, 计算候平均 OLR 场。发现在强暴雨过程出现的前一候, 其上游地区存在着一个纬向带状或块状的 OLR 值 $< 200 \text{ W/m}^2$ 的低值区, 在它的北或西部存在着成对出现 OLR > 250 高值区; 在中南半岛一带存在着大范围 OLR < 200 甚或嵌有 < 150 的低值区。在西风环流的输送下, 它们交汇, 形成强降雨过程。暴雨过程出现的当候, 孟加拉湾至中南半岛的 OLR 值显著增大, 或低值区的轴转为准东西走向。当南部的低值区与暴雨区中的低值区间, 隔着一高值带时, 还可反映下一候无强降雨继续出现。

(5) 波谱分析 致洪暴雨是一种强烈的天气过程, 它常在大气行星尺度波动产生较大的变化后发生。而大气行星波的变化具有较好的“中期”规律, 能在数日至十余日前被估算出来。因此, 本项目采用波谱分析方法, 离析出大气中各种不同波长的波动并滤去短波以下的振动。对大气超长波、长波及行星尺度的波动^[10]或合成波^[11]进行研究, 探讨它们的演变规律与致洪暴雨过程出现的关系。同时, 还研究了大气超长波, 长波的扰动角动量、角动量输送^[12]、扰动纬向与经向动能以及扰动动能与平均动能的转换特征等及其与致洪暴雨的关系, 发现了许多物理意义明晰的超前变化特征。

(6) 大气-物理量诊断 大气-物理量诊断是剖析暴雨成因及其影响因素的一种重要手段。它具有物理意义明确及相对客观定量的优点, 可以较深入的揭示各种大气物理因素在不同暴雨发生发展中的作用。过去主要是在严重暴雨事故的事后“解剖”中应用。近年来电子计算等技术已在暴雨的短期预报中应用, 取得较好效果。考虑到不少致洪暴雨过程是在某些大气-物理因素不断重复或持续出现的条件下产生, 而且 1976 年后在我国暴雨的重点研究中, 国内各地气象部门多积累了很多这方面的资料与经验。为此, 在本项工作中, 亦将大气物理量诊断开拓到中期预报上进行了大量的测算与分析研究。它包括二十几项反映大气热力、动力和水分变化的参变因素。这些因素有的可以取候平均值, 如反映前期干、湿的因子等; 有的不宜采用候平均值, 特别是在它们于五天之内的正、负数量反号时。因此, 采用候平均参量和连续数日的逐日参量两种办法来探讨。通过几年的诊断验证, 从百余万测算数据中, 初步筛选出以下七项大气物理参变数与致洪暴雨过程间存在着较好的关系^[13]: 700hPa 垂直速度, 威胁性指数, 500hPa 涡度, 850hPa 散度, 对流层下部的位势稳定数, 850hPa 水汽通量散度及 K 指数。

(7) 大气低频振荡与致洪暴雨的关系 上海与四川省气象局分别进行的这方面研究^[14,15]发现:

① 西太平洋副高、印度季风、副热带西风急流上的长波扰动均有显著的低频分量, 它们都对应有明显的低频环流系统活动, 并与长江上游大范围降雨之间有较密切的关系。

② 低频波的传播在 850hPa 及 200hPa 层上方向不同, 而其传播速度比较一致, 约为每两天一个纬度。

③低频波的不同位相与降水之间有良好的对应关系,而且在时间上有5至10余天的先兆性。例如200hPa面上,95°E剖面30°E附近由东风转西风之后约5d,四川盆地西部可开始出现强降雨集中时段,这个强降雨时段有时可维持半个月左右。有一定中期趋势预报意义。

(8) 致洪暴雨过程出现的时空特征 长江三峡以上的致洪暴雨过程主要出现于5月~9月,其中大多出现于6月~9月。持续时间平均为3.9d,长的可持续7d以上。间隔1~2d后,有时可出现另一次致洪暴雨过程。强降雨中心集中区有5个^[16],即岷沱江中下游、宜宾至泸州干流区、嘉陵江上游区、下游区及垫江至万县区,其中以嘉岷江流域形成的强降雨过程最多,约占一半以上。乌江流域的强降雨过程一般比三峡清江、嘉岷江流域的强降水过程要弱。

三峡清江和乌江流域的强降雨过程通常以东移南压为主。沱江以西、长江干流之北的强降雨过程比较持续稳定而少动,涪江以东,嘉陵江流域的强降雨过程持续稳定或向东南移动者为多。致洪暴雨强降水中心的过程降水总量一般达200~300mm以上。

(9) 洞庭湖流域致洪暴雨中期预报研究 洞庭湖流域位于长江中游,紧邻三峡,多年来一直起着调节长江上中游来水的作用。而且洪涝灾害频繁。此区的致洪暴雨对长江中游及湖区人民生命财产的安全影响很大,也是三峡建设和运营调度中必须注意的问题之一。由于洞庭湖水系的特殊作用与分布特点,该区的致洪暴雨还需要考虑长江上、中游来水的洪峰“遭遇”问题,因此前述致洪暴雨的表达式(1),对此区还应有补充修订,即还需将洞庭湖与长江连通处的城陵矶警戒水位予以考虑。

洞庭湖流域的暴雨以4月~6月最频繁,而致洪暴雨过程出现在7月~9月的较多^[17],主要有“梅雨型”和副高呈季节性南退时的“类梅型”两种,它们与一般暴雨有很大不同。研究给出了这两类致洪暴雨过程的大气环流特征及其主要影响系统,并通过对各种中期预报方法的调研比较;初步选择了相似法作为该区致洪暴雨中期预报的主要方法。

(10) 中期预报 在上述各方面工作的基础上,对有关致洪暴雨的各项研究进行了总结归纳,设计了几种新的长江三峡区致洪暴雨中期预报方法:①致洪暴雨过程预报^[18];②雨强等级预报^[19];③潜势区诊断预报;④重点水文控制站,如宜昌等的洪水过程与洪峰趋势推测预报;⑤集成预报系统^[20]等。

同时,也对目前台站上常用的一些现行方法,如概念模式法、统计与数值预报形势场相结合的MOS法等进行了应用试验与检验,取得了一定效果。

“八五”期间,国内在黄河与长江流域等“暴雨短期预报”的攻关项目中,又继续进行了致洪暴雨的研究。对致洪暴雨的地方性特点及其出没规律等又得到了不少新的认识,目前正在继续深入和总结中。

4 结 语

致洪暴雨的出没,具有许多中期的规律性和数日的先兆特征,其中期预报的发展和前景是乐观的,也是国内外防洪减灾方面的迫切需要。不过致洪暴雨的中期预报显然比其短期预报难度大且问题更多。上述各项工作,仅是长江三峡及其以上地区的初步试验研究结果,今后尚待更多工作(包括短期预报)的继续深入和进一步开拓,尤其是气象与水文交叉学科的努力与开发。

参 考 文 献

- 1 王家祁, 胡明思. 中国点暴雨量极值的分布. 水科学进展, 1990, 1 (1): 2~12
- 2 章淹, 白建强. 论旱涝的交替与并现. 中国减灾, 1993, 3 (1): 25~29
- 3 章淹. 致洪暴雨中期预报的可行性. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 1~6
- 4 章淹. 中期天气预报的回顾与“波谱分析中期预报方法”的提出. 谐谱分析中期天气预报文集. 北京: 气象出版社, 1987. 1~8
- 5 陈新强. 谱分析在我国天气分析预报上应用的进展. 谐谱分析中期天气预报文集. 北京: 气象出版社, 1987. 10~23
- 6 周允中, 杨秀梅. 长江上游致洪暴雨及其特征. 长江三峡致洪暴雨及洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 29~36
- 7 徐景芳, 吕君宁. 长江上游强暴雨中期天气过程的环流特征. 长江三峡致洪暴雨及洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 18~28
- 8 姚志展. 长江上游致洪暴雨背景环流的客观分类试验. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 86~88
- 9 江吉喜, 陈美珍, 方宗义. 运用气象卫星资料探讨长江中上游强降雨过程的 3~5 天预报方法. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 44~50
- 10 章淹. 超长波长波演变形势在中期预报上的试验. 中长期水文气象预报文集第一集. 北京: 水利电力出版社, 1979. 254~263
- 11 许晨海等. 长江上游盛夏致洪暴雨的合成特点. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 137~143
- 12 章淹, 徐预红. 致洪暴雨与角动量输送. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 144~158
- 13 周君群, 张秀雯. 长江三峡地区致洪暴雨的大气物理量诊断. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 101~109
- 14 张秀雯等. 大气低频波与开梅期的关系. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 81~85
- 15 李跃清, 刘富明. 青藏高原上空 30~50 天大气低频振荡与南亚高压活动及四川盆地夏季旱涝的关系. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 73~80
- 16 徐晓希. 长江上游暴雨过程时空演变规律的分析. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 37~43
- 17 朱金元等. 洞庭湖区致洪暴雨特点. 长江三峡致洪暴雨及洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 194~207
- 18 李国杰, 郑兰芝等. 三峡洪峰与流域致洪暴雨. 长江三峡致洪暴雨及洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 64~72
- 19 郁淑华等. 长江三峡洪涝暴雨中期分量级预报方法. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 96~100
- 20 黄忠恕. 长江上游暴雨洪水过程中期预报方法研究. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993. 7~17

Advances on Extended Forecast of Flood-Causing Torrential Rains in China

Zhang Yan

(Beijing Institute of Meteorology, Hydrometeorological Committee of CMS & CHES)

Abstract: In view of the features of torrential rains, an extended forecast of them is of urgent necessity for the flood-protection and construction of the Main Dam on the Three Gorges of the Yangtze River. Hence, studies are concentrated first on the heavy rains that may cause flash-floods, in which a new concept and its mathematical expression of "Flood-Causing Torrential Rain" (FCTR) is proposed. Through a series of combination of meteorological and hydrological studies including: climatological and atmospheric synoptic patterns of FCTR, satellite cloud systems and OLR features, extra-long and long wave fluctuations, low frequencies of atmospheric oscillations, medium-range atmo-physical parameter diagnoses, and relationships between intense rainfall process and flash-flooding, etc, some extended FCTR forecast methods have been established and used experimentally.

Key words: Flood-Causing Torrential Rain (FCTR); extended forecast; weather process.