

文章编号: 1006-4354 (2007) 06-0006-06

陕西突发性暴雨监测预警系统研究

张 弘¹, 侯建忠¹, 杜继稳²

(1. 陕西省气象台, 西安 710014; 2. 陕西省气象局, 西安 710014)

摘 要: 以 1970—2002 年发生在陕西的突发性暴雨为研究对象, 综合使用现有探测手段和加密监测信息, 采用天气学分析、中尺度分析、动力学诊断、数值模拟等方法, 揭示出突发性暴雨许多新观测事实; 对突发性暴雨的气候与降水分布特征, 环流背景场、高低空流场、能量场、温湿场和动力场特征, 高空与地面的中尺度系统的空间结构, 中尺度对流云团等特征及其演变, 有了相对系统的认识, 并以此为基础系统研究了突发性暴雨的生成规律和演变机理, 建立了突发性暴雨监测预警业务平台。

关键词: 陕西; 突发性暴雨; 监测; 预警

中图分类号: P458.121.1

文献标识码: A

陕甘宁蒙地区地处青藏高原东北侧, 山文走向独特, 其中南部为东西向秦巴山脉, 北部为东西向阴山山脉, 东部为南北向吕梁山山脉, 西部为近于南北向的贺兰山脉和六盘山脉, 其中除了甘肃陇南地区和秦巴山地外, 主要部分为广阔的黄土高原和鄂尔多斯台地。这样的山文走向和地形分布同西风带环流相互作用, 使得该地区的降水有着独特的分布规律, 暴雨在形成机理上不同于华北暴雨, 也不同于华东或华南暴雨。影响该地区的暴雨一般可分为两类: 一类是区域性暴雨, 另一类是局地突发性暴雨。后一类暴雨的影响范围虽然不及前者, 但它由于来势猛, 强度高, 其降水在时间和空间分布上均具有很强的突发性, 因而往往造成重大损失, 故此类暴雨的分析研究成为目前天气预报的重点和难点。

1 突发性暴雨定义

自进入 20 世纪 90 年代以来, 人们都通过个例分析的形式对突发性暴雨进行研究, 均把那些暴雨前期征兆不明显、暴雨强度大且造成严重灾害的暴雨认为是突发性暴雨。但都没有明确的定义。针对高原东北侧的陕西, 普查 1970—1999 年

全省暴雨个例, 将突发性暴雨定义为:

- ① 中心降雨强度 $\geq 30 \text{ mm/6 h}$, 且 $\geq 50 \text{ mm/12 h}$;
- ② 暴雨站数 ≥ 3 站且连片 (现有气象测站);
- ③ 暴雨发生前 12 h, 在 $95^\circ\text{E} \sim 110^\circ\text{E}$, $27.5^\circ\text{N} \sim 42.5^\circ\text{N}$ 范围内, 500 hPa 无明显低值系统。

根据突发性暴雨定义, 1970—1999 年的 31 a, 陕西共出现突发性暴雨 34 例, 发生频率为 1.1 次/a, 最多时 2~3 次/a, 少则当年不发生; 主要发生在 5—10 月, 其中 7—8 月为突发性暴雨发生的高峰期, 占总数的 70.6% 以上。

2 高空环流分型及雨强分布特征

2.1 高空环流分型

根据 1970—1981 年 20 时 500 hPa 逐日天气图将突发性暴雨高空环境场分为 3 种类型 (图 1)。

2.1.1 低槽副高型 亚洲区内, 中低纬度 500 hPa 高度场呈东高西低分布, 东西高度差 $\Delta H > 8 \text{ dagpm}$, $70^\circ\text{E} \sim 90^\circ\text{E}$ 为长波槽 (或低涡)。蒙古附近有冷涡配合。副热带高压较强, 588 dagpm 北界在 $30^\circ\text{N} \sim 35^\circ\text{N}$, 西伸至 110°E 以西, 580 dagpm

收稿日期: 2007-07-09

作者简介: 张弘 (1956-), 男, 辽宁海城人, 正研级高级工程师, 从事气象分析和研究。

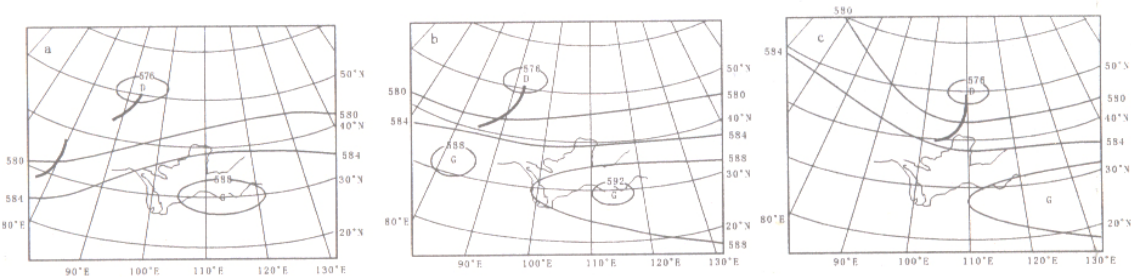
基金项目: 中国科技部社会公益项目 (2001DIB200095)

$<H_{\text{西安}} < 588 \text{ dagpm}$ 。此类型下, 高原东侧受副热带高压边缘的西南气流 ($v \geq 12 \text{ m/s}$) 控制, 上下层湿度条件较好, 但是影响系统距离暴雨区较远, 故短期预报的难度较大。这类突发性暴雨的产生, 大多是由新疆长波槽快速加深东移, 在高原东侧形成小槽 (或低涡) 影响陕西, 暴雨落区多在关中、陕南一带。

2.1.2 副高控制型 副热带高压强盛, $H_{\text{西安}} \geq 588 \text{ dagpm}$, 蒙古—贝加尔湖附近有低涡 (或低压), 并常有强冷空气配合, 500 hPa 高度场分布

为北低南高, 40°N 以北为东西向的强冷锋区。该形势下, 关中、陕南受副热带高压控制, 天气晴朗, 而陕北在其北部的冷锋南压东移影响下, 出现较强的暴雨过程。

2.1.3 西北气流型 贝加尔湖附近有低涡 (或低压), 河套以西为西北气流控制。亚洲区内, 中低纬度带气流平直。此类环流条件下, 暴雨的产生均是贝加尔湖底部的冷空气在较强的西北 (NW) 气流引导下直接影响陕西。这类暴雨具有更强的突发性和局地性, 暴雨落区的随机性也较大。



实线为高度 (单位: dagpm); 粗实线为槽线
图 1 500 hPa 环流分型示意图 (a. 低槽副高型 b. 副高控制型 c. 西北气流型)

2.2 雨强分布特征

降水量随时间的变化, 一般暴雨分为两类: 一是单峰型, 降水历时长达 24 h 以上, 只有一个峰值, 雨强小, 最大雨强为 7 mm/h ; 二是双峰型, 降水历时在 24 h 以上有两个峰值, 最大雨强在 5 mm/h 以下。突发性暴雨分为 3 类 (图 2): 一是单峰陡型, 降水历时短 (11 h 内), 呈现单峰, 雨强大 (25 mm/h 以上); 二是单峰缓型, 较单峰陡型降水历时稍长 (约 20 h), 呈现单峰, 但雨强略小 (雨强达 12 mm/h); 三是双峰型, 在 16 h 内出现两次降水峰值, 雨强大 (达 27 mm/h 以上)。可见, 一般性暴雨同突发性暴雨在降水时间分布上的差异是明显的, 主要表现在降水历时和降水强度上。

3 物理量场特征

物理量场诊断分析采用正方形网格, 网格距为 $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$, 计算范围为 $20^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E} \sim 124^{\circ}\text{E}$, 分别计算暴雨前一日和当日 08 时 850~100 hPa 的涡度、涡度平流、散度、垂直速

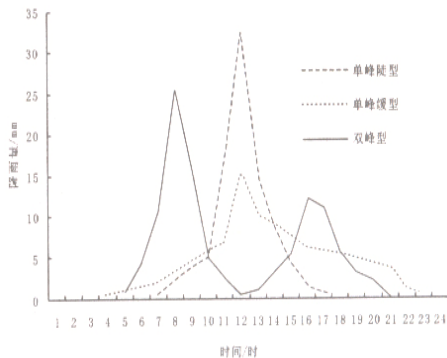


图 2 突发性暴雨随时间变化图

度、假相当位温、比湿、风矢量、流线、位势稳定度、温度平流、位温平流、水汽通量、水汽通量散度等物理量, 其中垂直速度和散度利用大气质量补偿原理作了修正。通过对陕西 11 例突发性暴雨过程的物理量场诊断分析, 并与一般性暴雨的物理量场对比研究, 发现突发性暴雨与一般性暴雨的物理量场特征有明显差异。

3.1 突发性暴雨发生前期各物理量场的分布和

配置并不利于暴雨的产生,而暴雨发生时各物理量场均迅速发生显著变化,进而产生强降水。

3.2 低层 850、700 hPa 暴雨区附近偏南气流迅速加强或由偏北气流影响迅速转为偏南气流控制是该类暴雨的突出特征,也是区别于一般暴雨的主要流场特征。

3.3 暴雨区附近低层存在突然增湿的过程,水汽源地在南海附近,单位时间水汽输送量大且持续时间较短;水汽的垂直分布上干下湿,湿层浅薄,类似强雷暴发生时的水汽分布。

3.4 涡度、涡度平流和散度的垂直分布使上升运动更加强烈,300~850 hPa 均维持较强的上升运动(图 3),而且无辐散层高于一般暴雨,涡度的垂直分布不同于一般暴雨,情况较复杂(图 4)。

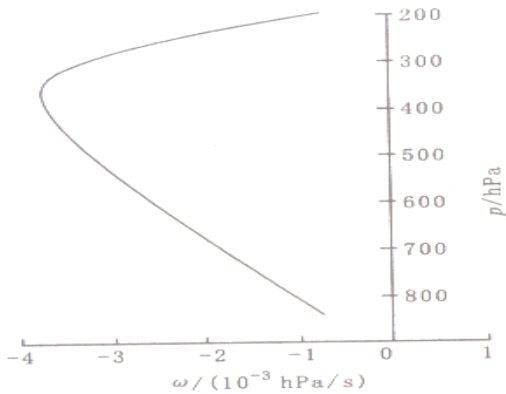


图 3 2002-07-03T20 延安站垂直速度垂直分布

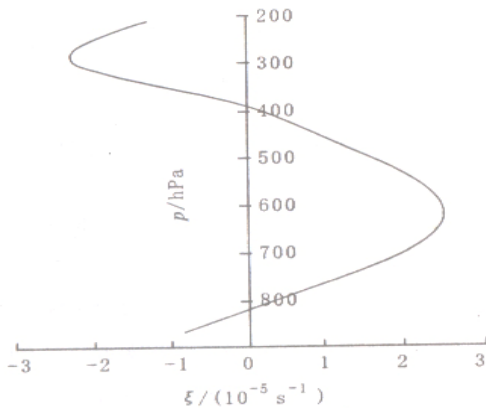


图 4 1981-08-23T08 安康站涡度垂直分布

3.5 暴雨区附近均维持强烈的位势不稳定层结,大气层结的垂直分布较为复杂,暴雨多发生在低层能量锋的高能区一侧。

4 中尺度分析

4.1 高空尺度流场特征

采用三种带通滤波方法进行中尺度分离,分析全省 1980—2002 年出现的 19 个突发性暴雨个例。分别对暴雨日前一天和当天的 850、700、500、300 hPa 等 4 层 3 个时次的高空风场资料进行中尺度分离,分析其中尺度流场特征,归纳出陕西突发性暴雨过程的中尺度系统演变及分布特征。

4.1.1 暴雨发生期间,暴雨区的中低层必定存在中尺度气旋或辐合区,其水平尺度属于中 α 尺度,生命史约为十到十几小时,陕北的中尺度系统时间尺度和水平尺度比关中陕南略小。

4.1.2 中尺度流场辐合系统表现为两种类型:即涡旋型和辐合线型,中层通常为辐合线型,低层二者均有且多为涡旋型。500 hPa 辐合线分纬向类和经向类,其分布形态与突发性暴雨的类型和落区相关。

4.1.3 500 hPa 中尺度辐合系统一般位于天气尺度系统前方 2~3 个经纬距处,有时在天气尺度上分析不出辐合系统,但通过中尺度分离方法能够分离出中尺度辐合系统,这对预报暴雨很有价值。

4.1.4 中尺度流场辐合系统主要表现在对流层中下层,垂直尺度较小,即在 500 hPa 层以下;高层水平尺度相对较大,低层水平尺度相对较小,850、700、500 hPa 三层中尺度系统随高度呈倾斜状,且多向西倾斜(图 5)。

4.2 地面中 β -中 α 尺度 Ω 系统

单位质量空气的相对湿静力能量和位势能之比称为“地面能量比”,表达式为:

$$K_{EG} = T_{\sigma G} / (p_0 - 950),$$

式中 $T_{\sigma G}$ 为地面相对总温度, p_0 为海平面气压。分析表明,地面能量比对不同属性小股空气的分布状况反映灵敏,而且其大梯度的高能区往往配合有一定动力抬升条件的位势不稳定区。

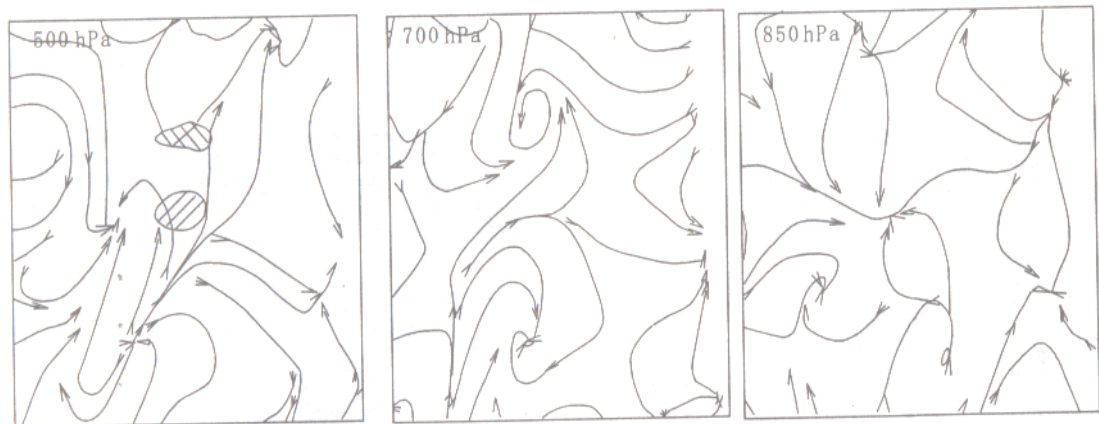


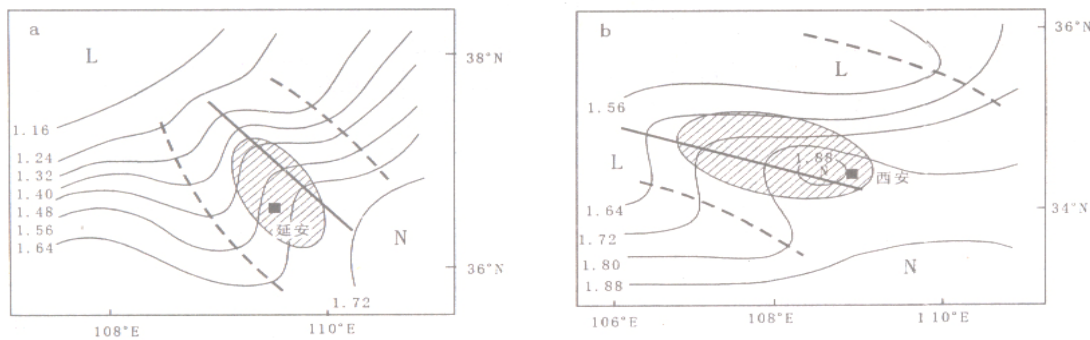
图 5 2001-07-26T20 中尺度带通滤波流场图 (阴影区为暴雨区)

陕西共有 96 个地面测站, 平均间距为 30~50 km, 时间和空间尺度相对密集的地面监测信息为分析研究暴雨的中小尺度系统提供了有利条件。采用地面能量比分析突发性暴雨的地面能量场特征以及与突发性暴雨的关系。

4.2.1 陕西突发性暴雨发生时, 地面能量场上表现为中 β -中 α 尺度的 Ω 系统, 地面能量场 Ω 系统

具有 100~500 km 的空间尺度, 其时间尺度在 6~15 h。其中高能轴代表了高温、高湿且不稳定的暖湿气团, 其两侧的两股低能轴代表了干冷气团, 这两股干冷气团夹挤暖湿气团, 形成不同属性气团的激烈交汇, 雨区在高能轴附近, 对突发性暴雨的预报具有明确指示意义 (图 6)。

4.2.2 地面能量场中尺度 Ω 系统的发生、发展,



粗实线为高能轴; 粗虚线为低能轴; 阴影为暴雨区

图 6 1993-08-03T20 (a) 和 1992-08-11T20 (b) 地面能量比图

取决于地面冷、暖气团的相互运动, 暴雨就发生在其发展强盛时期。随后, 随着能量的释放和暖湿气团的减弱, Ω 系统趋于减弱消失, 暴雨随之结束。这里暖湿气团往往起着主导的作用。

4.2.3 Ω 系统发展前期, 其上空 $\theta_{se500} - \theta_{se850} \ll 0$, 表现为强烈位势不稳定。 Ω 系统发展强盛时期和降水时刻, 涡度场中低层表现为正值, 高层为负值; 散度场中低层表现为负值, 700 hPa 为最大负

值层, 高层为正值, 无辐散层较高, 大约在 400 hPa 附近, 与一般性暴雨不同; 垂直速度整层为上升运动, 最大上升运动层与无辐散层对应。

5 中尺度对流系统 (MCSs)

中尺度对流系统 (MCSs) 是造成严重气象灾害的主要天气系统之一, 利用 GMS-5、FY-2 卫星云图资料分析影响陕西的突发性暴雨。

5.1 在我国西部的青藏高原东北侧, 中 β 尺度对

流系统(M β CSs)是造成局地大暴雨或特大暴雨的直接天气系统,多发生在冷锋前部(如:2002年6月8日陕西佛坪特大暴雨,见图7a),另外也可

发生在副热带高压外围、或台风低压环流北侧偏东风急流带中(如:2002年7月4—5日陕北子长连续大暴雨,见图7b)。

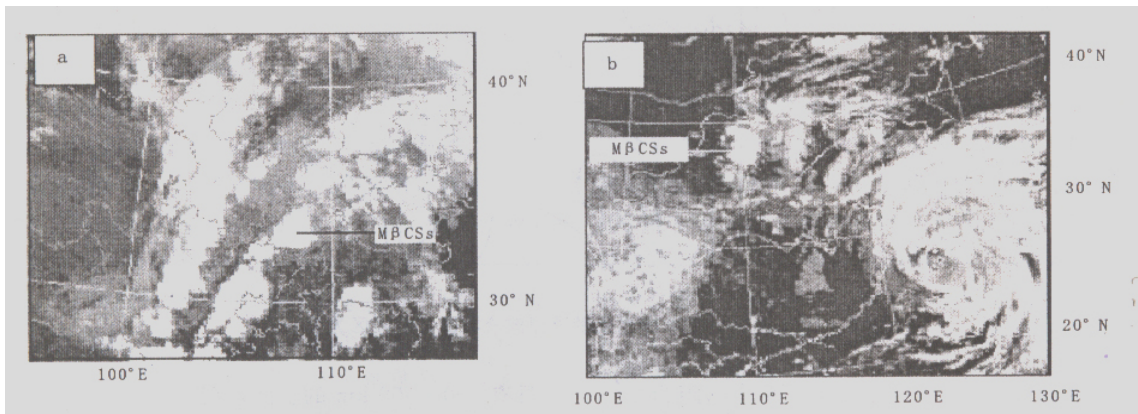


图7 2002-06-09T00 (a) 和 2002-07-04T07 (b) GMS-5 红外云图

5.2 中 β 尺度对流系统(M β CSs)经历发展、成熟、消亡3个阶段,通常先由若干个中小尺度对流单体合并而成,呈椭圆状,水平尺度几十到100 km,其生命史约3~8 h。云顶亮温低于-50℃,最强降水出现在M β CSs成熟期,随着云团的减弱消散降水也减弱消失。

5.3 发生在青藏高原东北侧的中 β 尺度对流系统,不是孤立的系统,有独特的环境场特征,不论在高空、地面,还是动力学上有其特殊的规律。

6 突发性暴雨监测预警业务应用系统

6.1 突发性暴雨监测预警业务流程

突发性暴雨主要由中小尺度天气系统触发产生,多介于中 α 尺度与中 β 尺度之间。实际业务中,主要采用地面加密监测分析、雷达回波图分析、卫星云图分析和动力学诊断分析技术和手段,其中包括地面能量场中 α 尺度 Ω 系统分析、地面中 α - β 尺度辐合系统分析、中尺度对流云团分析、高低空急流耦合次级环流分析、高空流场中尺度系统分析技术等,并研发了10套软件。依据突发性暴雨的特点,在业务平台终端的支持下,研究开发了突发性暴雨预报业务流程(见图8)。

6.2 突发性暴雨监测预警业务平台

6.2.1 预报员登录系统与预报员信息管理系统

每个预报员分配一个用户名与密码,值班预报

员凭此密码登陆精细化预报制作系统,并且借助过程函数 session 管理预报员的状态,在预报员完成预报后退出即释放该过程函数。该系统与预报员管理系统共同使用一个数据库。管理系统在分配用户名的同时限定权限。

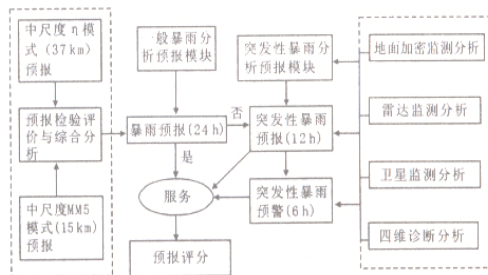


图8 陕西突发性暴雨监测预警业务流程图

6.2.2 中尺度数值预报显示系统 陕西省气象台引进的MM5与神箭数值预报系统的最终产品均为图形与文本格式。后台处理程序通过数据存储过程将文本数据存储到数据库。图形产品主要是降水、温度、压强、湿度、风速、风向、涡度、散度、流场等要素的分布场,而数据库则按分县逐时和分县分时段的模式创建,以便于建立基于数据库的数据查询、修改、保存、发布与打印等功能。

按照制作突发性暴雨监测预警、预报的要求

防雷知识竞答活动分析

2007 年 5 月 23 日 16 时，重庆开县遭受了重大雷击灾害，造成 7 名小学生死亡、44 人受伤。血的教训引起各级政府和社会各界的普遍关注。西安市气象局、教育局、安全生产监督管理局联合发出“进一步加强学校防雷安全工作”的紧急通知，对全市教育系统防御雷电安全工作提出明确要求。西安市教育局、陕西省防雷中心和华商报联合举办“西安市中小学生防雷科普知识有奖竞答”活动，这是陕西省防雷中心在省局“大宣传”精神的指引下开展的大规模防雷科普宣传活动的重要举措之一。

2007 年 6 月 11 日由西安市教育局、陕西省防雷中心与华商报联合举办的中小学生防雷科普知识有奖竞答活动“你了解多少防雷知识”，共收到 129 所学校 1.43 万名中小学生答案，600 多名通过华商网点击“调查”答题，参加活动的有西安、咸阳、宝鸡、渭南等地的学生，还有山西省永济市偏远山村的中小学生。农村学生没有条件打印答卷，手抄问卷并作答；有的老师是冒着大雨将答卷送来，将标准答案带回学校给学生讲解；许多学校的老师也参与了活动。这充分体现了中小學生、老师和家长对防雷科普知识渴望了解的

迫切心情。活动评选出 15 名优胜者。

通过参与活动的人数和电话咨询时的交谈，可以发现，经过重庆开县这次血的教训以及随后的防雷科普知识宣传活动，公众防雷减灾意识明显增加，但是，调查统计显示，只有近 4% 的读者能够答对所有的问题。

调查结果表明：社会公众，尤其是学生和农民等弱势群体的主动防雷、科学避险、防灾减灾的意识不强，通过防雷知识竞答活动，不但使中小学学生树立了较强的防雷意识，而且引起学生家长及整个社会对防雷的关注。

防雷工作任重道远。防雷减灾工作作为一个综合性的系统工程，需要全社会方方面面的支持和努力，才能最大限度减轻雷电灾害造成的损失。通过调查发现，还有相当一部分群众不知道防雷工作属于气象部门管理，不了解防雷机构的作用与职能，所以我们必须加强宣传力度，广泛开展防雷科普知识及防雷法律、法规等各方面的宣传，呼吁全社会提高防雷减灾意识，使我们的工作更进一步的落到实处，取得更好的社会效益。

(赵东，李彩莲，姚东升)

对数值预报产品分时段统计，提供 6 h 与 12 h 预报产品作为预报、预警产品的模板，预报员在此基础上订正发布突发性暴雨监测预报、预警信息。

6.2.3 突发性暴雨监测预警业务平台辅助信息系统 突发性暴雨监测预报、预警时效短、精度高，因此在制作过程中主要参考数值预报产品，另外还需要引入各类监测手段的产品，如卫星云图分析终端、地面加密监测信息分析终端和雷达回波分析终端。

6.2.4 突发性暴雨监测、预报、预警的制作和发布 预报员登陆网站后，依次启动一般暴雨分析系统的未来 6 h 或 12 h 预报意见和辅助信息系

统，在数值预报预报产品的基础上订正分县精细化预报。预报结果以图形和表格形式发布到网站。

预警制作主要是利用多时空监测手段和分析技术，参考突发性暴雨分析系统的分析结论，充分利用以卫星和雷达等为主的监测信息捕捉天气信息，发现强降水，及时发布预警信息。该预警随时出现随时制作，并在平台显著位置发布。

6.2.5 预报产品检验与评价系统 根据预报产品检验和评价的等级，对数值预报产品与突发性暴雨预报、预警产品做了检验评价，该结果以表格形式发布到网站。