

21-25
天气雷达在洪水预警报中的应用

张火青 魏文秋

(武汉水利电力大学 武汉 430072)

P338.6

摘要 本文简述了国内和美国天气雷达在实时洪水预警报中的应用和研究现状,讨论了利用雷达进行定量降水预报和洪水预报中利用天气雷达信息的有关问题,阐述了交互式天气预报和交互式洪水预报有机结合的重要意义。

关键词 天气雷达 降雨估计 降水预报 洪水预警报

天气雷达具有实时监测和即时预报暴雨的能力。用测雨雷达连续跟踪雨的发生、发展变化已成为我国日常气象业务中的主要任务之一。天气雷达可以及时提供降雨落区、强度以及雨区的动态演变等信息,在局部地区突发洪水的预警报中可以发挥重要作用。天气雷达新技术正越来越受到重视。

我国水利防汛部门也开展了雷达测雨的试验、研究和应用工作。水利部水利信息中心于1985年开始接收气象部门的天气雷达信息^[1]。气象部门天气雷达在进行观测时,雷达回波图像就及时地传输到信息中心的接受机上,并在监视器上进行彩色显示。我国大的流域机构如长委、黄委、淮委以及部分省市防汛办公室都建立了这样的接受显示系统。但是,目前我国水利部门建立的雷达图像显示系统还只是直观地显示雷达回波图像信息,不能从中获得具体可靠的降雨量值,在实时洪水预报中难以利用。在美国的水文气象预报系统中,天气雷达是降雨信息的重要来源,也是90年代以来一个活跃的研究内容。以下对我国水文气象部门利用天气雷达的状况作一简要评述,然后介绍美国在这方面的新发展,最后就建立水文气象综合预报系统提出建议。

1 国内水文部门开展的雷达测雨工作^[2]

1993年淮河水利委员会以淮河水系中上游为试验区,利用国产713型5cm雷达进行了降雨定量测量试验。这是我国水利部门为(淮河流域)洪水预报所开展的一次试验研究。

应用软件主要包括降雨校准、图像显示、动画及其放大显示、等值线处理、面雨量计算等几部分。具体步骤是:①采集雷达降雨回波强度资料及相应时刻的水文自动遥测雨量数据;②将回波强度信息转换为相应的雨强值;③用变分分析方法并结合卡尔曼滤波,用遥测雨量资料校准雷达测得的降雨量;④计算雷达覆盖范围内水文流域内的面平均降雨量。

试验结果表明,雷达、雨量计联合测雨方案是可行的。但对于这种常规雷达来说,自动化程度低,间隔10min一次的资料采集全由人工完成,远不能满足实时业务的需要。同时稳定性和可靠性差,故障多。另外,713型C波段雷达无地物杂波抑制能力,受测站周围地物杂波的影响,降水回波和地物杂波相混淆,结果所测面雨量偏大。同时,离雷达站较远的区域,由于C波段雷达对雨滴的穿透能力弱,造成平均面雨量较小,并出现强降雨中心偏向雷达站一方的现象。

2 国内气象部门应用研究现状

在我国气象业务部门,天气雷达研究和应用技术水平较先进,有一定影响的有京津冀、长江和珠江三角洲三个系统。这里介绍长江中游暴雨业务系统^[3]。

80年代初,武汉中心气象台引进了数字化天气雷达系统WSR-81S。到80年代末,建成了长江中游暴雨业务系统(MYTRONS)。在MYTRONS系统中起核心作用的是具有云雨场综合分析功能的短时降雨预报系统(MYWMS)。系统内的实时雷达网(武汉、宜昌、恩施、十堰、长沙和南昌六地雷达组成)能以30 min为间隔实现自动拼图。而中央骨干雷达即武汉数字化天气雷达以10 min间隔自动进行体积扫描。MYWMS能使卫星云图和雷达网回波图综合在一起进行实时分析。其产品有三大类:①云雨图像一般产品;②云雨图像分析产品,其中包括结合雷达的卫星估算降水、扩展雨区的降水概率分布图和扩展雨区的雨强分布图;③雨区外推预报产品。雨区外推预报是以雷达拼图或经云雨转换后的大范围雨区分布图为基础,结合概念性模型进行主客观相结合交互式线性外推过程。可以得到未来1~6h的预报。

在1992年6月29日至7月31日长江中游暴雨集中期内,该系统共实时分发了武汉雷达降雨回波图约2000余幅,宜昌和武汉雷达拼图近400幅。黄冈地区气象台运用收到的大量、连续的雷达降雨回波图等信息,正确报出了该地区最大的白莲河水库7月10日晚至11日有大暴雨,7月13日又作出将出梅的正确预报,防汛部门根据这些预报作出了相应的水库调度,取得了很好的社会效益。

3 美国天气雷达应用现状

在1989年第一次和1992年第二次中美水文预报研讨会上^[4,5],美国国家天气局的水文气象专家介绍了它们在洪水预警中应

用天气雷达的成果。这些成果反映了美国当时的实际应用水平。

美国除了拥有精密的雷达设备外,还研制了通用的雷达数据处理系统RADAP II。其产品可供洪水预报使用。它把雷达覆盖区域按1海里/2°方位角划分为极坐标网格(bin)(1海里=1852m)。一次观测获得180个径向的数据。每个网格每一次观测的雨强估计值是利用 $Z \sim R$ 关系计算($Z = 200R^{1.6}$,其中 Z 是反射率, R 为雨强)的。从而1~24h不同时间段的累积降雨数据即可获得。通过在实际暴雨洪水预警中的应用,得到以下结论:

a. 从雷达数据处理器RADAP II中获得的降雨估计,应用于突发洪水预报,已证明在受洪水威胁的点流域是很有价值的。

b. RADAP II一般可较好地估计实际降雨量,但有时估计过低,应该用地面实测值予以校核,必要时予以修正。

c. 即使在降雨量估计过低时,仍可十分有效地指明暴雨中心位置。

d. 如果暴雨有强烈反射,那么即使是在距雷达160 km的地区,也可提供准确的降雨估计值。

从90年代开始,新一代天气雷达(WSR-88D)在美国投入实际应用。这种新的雷达系统是一种现代化综合性的多普勒系统,其探测范围为230 km²,从中可获得一系列产品。90年代内,将建立起覆盖美国大陆、拥有160个WSR-88D的雷达网。雷达网的使用,不仅扩大了探测范围,而且还可以提高降雨估计的精度。因为在多普勒雷达侧向可能会受到高强度降雨的屏障影响,即对高强度雨区后部的雨区不能得到正确的信息。多部雷达的使用可从不同角度获得信息,从而弥补了单部雷达的不足。美国雷达网的安装计划推动了对雷达信息应用的大量研究。如Pessoa等^[6]将雷达估计降雨量输入到分布式降雨径流模型中,预报流域出流过程。该项研究主要分析了雷达估计降雨量的各种特性

对流量预报过程的敏感性,如降雨时间分辨率、空间分辨率及不同的 $Z \sim R$ 关系等。结果发现 $Z \sim R$ 关系是得到正确洪水预报的关键。虽然天气雷达提供了降雨事件优越的时空分辨率信息,但累计降雨量的估计仍然存在一定的偏差,必须将多种来源的信息综合起来加以修正。

美国水文预报中降雨信息是从一套复杂的计算机软件中获得的。这套系统分为三个阶段。第一阶段,自动收集处理来自雷达和雨量计的观测数据,得出 1 h、3 h 及次暴雨总量(图形或数字)。第二阶段,也是以全自动的方式,收集处理来自卫星和雨量计观测的资料,并利用第一阶段的成果,得出逐时、网格化($4\text{ km} \times 4\text{ km}$)的降雨量。第三阶段同前两阶段不同,它是一个交互式系统,水文气象预报员可以通过使用网络工作站,对雷达降雨拼图进行交互式分析。还可以对根据雨量计得出的雨和其它多种传感器得出的雨进行并列对照分析。它的资料来自各气象预报台站和第二阶段。其成果就是供河流预报中心使用的水文预报流域上的降雨量。在这一阶段中设计的许多交互式功能,其目的就在于帮助水文气象预报员在降雨量估计值最终传送到河流预报中心之前,作进一步的质量控制。并且,如果有必要,可根据预报与实测河道流量的对比,重新计算。这种多阶段、多种传感器并以交互式和自动化方式进行质量控制的降雨处理系统,通过 AWIPS(90 年代先进的天气交互处理系统)可在全国各水文气象部门使用。

在 1991 年 10 月一次实际暴雨洪水中,流域内雨量站资料极其有限,并且其观测数据同雷达估计值不一致。预报员直接将第一阶段的雷达估计降雨量输入到河流预报中心水文预报模型中(当时第二、第三阶段在当地尚未投入作业运行),作出水文作业预报,得到了实际的验证。这肯定比仅靠稀少的雨量计资料作出的预报要好。另外,实用中 WSR-88D 的远距离探测和小到中雨情况下

的测量效果都相当好。

专家认为,90 年代以来在天气雷达应用的理论和实际方面都获得了进展。天气雷达的广泛使用,在局部暴雨监测、降雨笼罩面积和雨强估计,以及最终在预报河源洪水和突发洪水方面,正改变着作业预报员的观念。同时也认为,WSR-88D 信息应用于水文气象预报还处于进一步的发展之中。降雨处理系统第一、第二和第三阶段都还会予以改进和提高。第三阶段交互式降雨处理系统同交互式河流预报系统的有效结合以及利用 WSR-88D 改进突发洪水预报也是研究中的课题。

4 利用雷达进行定量降水预报

除了降雨估计外,从天气雷达的连续扫描中估计的暴雨动态轨迹(速度、方位和密度)包含了可以预报的信息。这有助于雨区的短时(0~3 h)预报。这种预报即使诊断水平较低,但在确定突发洪水警报区域和增长预见期方面具有重要价值。

武汉中心气象台 MYWMS 提供的产品中,其中一类是雨区外推预报产品。借助于雷达探测资料进行短时暴雨预报,已成为临近预报业务中最有效的方法。其基本点是从最近的降雨历史中,找出平流速度,以此速度将当前的雨型或雨型中的暴雨要素在空间上予以延伸。可以看出,外推预报的结果,在一定程度上取决于操作人员的知识和预报经验,不同预报员作出的预报可能差别很大,带有较强的主观性。为解决突发洪水预报的问题,在国际水文气象界,对为洪水预报服务的短时定量降水预报已有不少研究,并取得了一些成果。近年来,从洪水预报对定量降水预报的要求出发,在利用雷达进行定量降雨预报方面,也有新的探索。

Seo 等^[7]提出了一个利用雷达观测资料的定量降水预报模型。它把简化的概念性模型同统计预报方法结合起来。其基本假定是,作为随时间和空间变化的垂向积分液态水量(VIL)等于一个随时间变化的平均值

(AV) 和一个随时间空间变化的残差(RE)之和。利用雷达体积扫描数据(来自雷达数据处理系统 RADAP II)、地面气温、气压、露点温度以及环境温度和在水汽密度的无线电探空剖面数据,建立 AV 质量守恒微分方程,求得预报的 AV。统计部分为一个一阶自回归模型,用来完成 RE 预报。通过 VIL 同云底雨水含量和回波顶高度(假定云顶回波高度在预见期内保持不变)之间建立的经验关系,将预报的 VIL 转化为预报降雨量。研究区域面积为 8 万 km²,预见期为 1 h。每隔 10~12 min 作一次预报。同平流预报(由雷达探测资料估计当前雨区,以平均速度矢量外推 1 h)相比效果要好。在对流性降雨的临近预报中具有价值。

French 等^[8]以质量和动量守恒原理,提出了另一个预报模型。它直接使用雷达反射率、卫星红外亮度、地面气温、气压和露点温度将模型状态变量和边界条件参数化。

雷达反射率 Z 定义为与单位体积内水粒直径的 6 次方之和成正比^[9]:

$$Z = \int_0^{\infty} D^6 N(D) dD \quad (1)$$

式中 D 为粒径; $N(D)$ 为水粒数浓度分布。

水粒数浓度分布以指数形式表示:

$$N(D) = N_0 e^{-CD} \quad (2)$$

式中 C 和 N_0 为参数,与暴雨类型、观测时间等因素有关。

将方程(2)代入方程(1)并积分可得

$$N_0 = ZC^7/720 \quad (3)$$

暴雨云中云底处的液态水量为

$$\begin{aligned} X_B &= \int_0^{\infty} \frac{\pi}{6} \rho D^3 N(D) dD \\ &= \pi \rho N_0 C^{-4} \end{aligned} \quad (4)$$

其中 ρ 为水粒密度。将方程(3)代入方程(4)中有

$$X_B = \pi \rho C^3 Z / 720 \quad (5)$$

利用雷达体积扫描数据和方程(5),可以在暴雨云中构造一个离散的液态水量三维场,从而在某一空间位置 (x, y) , 可得垂向

积分液态水量 VIL 的近似值为

$$VIL = \sum_{i=1}^n X_B(x, y, z_i) \Delta h_i(x, y, t) \quad (6)$$

其中 $\Delta h_i(x, y, t)$ 为雷达体积扫描的高度。

这里所得到的 VIL 即为定量降水预报模型中的状态变量。模型动态微分方程通过云柱体中水份质量平衡导出。降水预报的预见期为几小时。空间分辨率为 10 km² 数量级。实际使用中状态方程线性化,并以卡尔曼滤波用实测值对状态变量作实时校正。在面积为 17 万 km² 区域上进行验证。每 10~15 min 作一次预报,预见期为 1 h。根据模型预报的平均误差、均方误差、实测(由同一雷达)和预报降雨率相关性的结论:同持续性预报(假定当前的实测降雨将持续 1 h)和平流预报相比,预报精度得到提高。

Georgakakos 等^[10]将雷达反射率作为一种补充信息,输入到概念性降雨预报模型中。研究的主要问题是,使用雷达探测数据后,模型预报的不确定性会降低多少。将不使用和使用雷达信息的降雨预报误差方差进行比较,结果可降低方差 5%~15%。

从这些研究中可以得出结论,雷达信息结合到有物理基础的模型中,确实在提高降雨定量预报方面具有潜力。

5 结 语

天气雷达在暴雨洪水监测预报中具有重要作用。许多研究显示,小流域和上游地区突发洪水预报中的关键,是实时获得可靠的降雨输入。天气雷达在局部暴雨洪水预警报系统中已成为必要的基本工具。可以认为,在近年内,天气雷达新技术的应用和进步将是突发洪水预报取得重大进展的希望。

我国在天气雷达应用的整体水平上(包括雷达设备、计算机系统及应用软件等方面)和国际先进水平还存在较大的差距。武汉中心气象台现在使用的从美国引进的 10 cm 雷达系统,在美国已被新一代天气雷达替代。多普勒天气雷达的使用,为洪水预报增长预

见期,提高预报精度带来了新的机遇。尽管国产雷达不能满足实时业务的需要,但由于新的雷达系统的费用昂贵,我国多数雷达系统还难以在短期内更新。只有通过进一步的技术开发来挖掘旧系统的潜力以提高暴雨监测预报的能力。

从美国的情况看,气象新技术及其它现代技术应用于水文预报相当方便和普遍。实时暴雨监测、数据处理、洪水作业预报和预警发布等,有可能在一个部门甚至在一台计算机网络终端上完成。这正是借助于现代计算机技术和通讯技术,开展的交互式天气预报和交互式洪水预报相结合的初步框架。交互式水文气象预报是传统的预报技术手段的突破,预报员可以根据最新出现的降雨和洪水信息,十分方便地对预报过程中的每一个环节予以控制和实时校正。它为预报员提供了多种预报方法和算法,便于对照分析和抉择。例如,从雷达获得的降雨估计和预报,在输入到水文预报模型之前,必须结合其它多种信息进行综合性分析,通过加入预报员的经验修正,以减少降雨估计或预报的不确定性。因此,交互式预报系统的实现具有重要实际意义。这是水文气象预报技术发展的方向。可以预测在水文气象科学领域,在近些年内,水文气象预报技术可望取得突破性的进展。

在洪水预报中应用雷达信息,国内开展的试验和研究还很少。淮委的试验研究是一次很有价值的尝试。虽然使用的雷达设备落后,但其设计思想和软件技术值得学习和借鉴。我国气象专业部门的雷达测雨技术还需开展更多的研究,进一步提高降雨估算精度,并探索开展短时定量降雨预报。雷达探测的输出产品,应在时空尺度上满足洪水预报的要求,提供以水文(子)流域为区域的实时和连续的降雨估计或定量预报。虽然定量预报目前还存在相当大的困难,但从目前研究情况来看,是有可能获得达到一定精度的成果的。

目前,由于水文和气象部门合作交流的缺乏,在一定程度上限制了雷达信息在防汛工作中作用的发挥。因为气象部门得出的降雨量或预报降雨量,不经过水文预报模型的定量计算,在某一地区是否形成洪水和出现多大的洪水,仅凭经验是难以精确估计的。如何将气象专业部门研制成功的,利用天气雷达及其它技术(如中尺度数值预报模型等)进行交互式天气预报的业务系统(如 MY-WMS),同水文预报有机地结合起来,构成一个综合的交互式实时暴雨洪水预报系统,正是我们所面临的重要研究课题。

参考文献

- 1 杨扬.防汛工作中气象信息的收集和应用.水文,1991(3):54~57
- 2 徐胜等.天气雷达定量测量淮河降水实验研究工作进展.水文,1995(1):62~64
- 3 万玉发等.数字化天气雷达联网拼图与卫星云图综合实时处理系统.气象,1994(8)
- 4 水利部水利信息中心编.中美水文情报研讨会论文集.北京:水利电力出版社,1991
- 5 Water Resources Information Center ed. Proceedings of the Second China/USA Flood Forecasting Symposium and Workshop, Apr, 14 - 21, 1992. Ministry of Water Resources PRC.
- 6 Pessoa M L, Bras R L. Use of weather radar for flood forecast in Sieve River Basin. Journal of Applied Meteorology, 1993, 32(3):462~475
- 7 Seo D J, Smith J A. Radar-based short-term rainfall prediction. Journal of Hydrology, 1992, 131:341~367
- 8 French M N, Krajewski W F. A model for real-time quantitative rainfall forecasting using remote sensing. WRR, 1994, 30(4):1075~1083
- 9 魏文秋.水文遥测遥感基础.武汉:武汉水利电力大学,1990
- 10 Georgakakos K P, Krajewski W F. Worth of radar data in the real time prediction of mean areal rainfall. WRR, 1991, 27(2):185~197

(收稿日期:1995-09-30)