

# 突发性洪水预报

FLASH FLOOD FORECASTING

李纪生 译  
王凤岐 校

河海大学出版社

# 突发性洪水预报

FLASH FLOOD FORECASTING

李纪生 译

王凤岐 校

河海大学出版社

(苏)新登字第 013 号

责任编辑 查一民  
特约编辑 吴志才

### 突发性洪水预报

李纪生 译 王凤岐 校

出版发行：河海大学出版社

(南京西康路 1 号，邮政编码：210024)

经 销：江苏省新华书店

印 刷：河海大学印刷厂

(地 址：南京西康路 1 号 邮政编码：210024)

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 2 字数 40,000

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—1,000 册

ISBN 7-5630-0660-5

TV · 101

定价：5.00 元

(河海版图书若有印刷装订错误，可向承印厂调换)

## 说 明

突发性洪水灾害是个世界性问题，我国山区、丘陵以及都市化地区都有突发性洪水发生，随着建设的发展，突发性洪水灾害愈益严重。近十几年来，促使人们不得不关注这一与工农业发展密切相关的问题。我国大江大河发生的洪水，因预报预见期长，采取防洪措施及时，相对地说，人员伤亡极少，而突发性洪水因历时短，预防措施往往来不及，所以人员伤亡较多，交通中断事故不断发生。

由于国外对突发性洪水问题重视较早，他们在相应对策方面也先一步进行大量的工作，有不少成果和分析、预报方法、警报系统可供我们借鉴。为此，我们有目的地翻译了这本《突发性洪水预报》一书。

世界气象组织(WMO)委托 A. J. Hall (霍尔) 先生编写的这本《突发性洪水预报》，1981 年作为 WMO—NO. 577，业务水文报告 No. 18 公开出版。该书包括突发性洪水的定义、性质、发生的范围；向 WMO 各成员国对突发性洪水预报情况的调查；预报的信息来源；预报方法以及突发性洪水的警报系统和非实时的解决办法等。这本书比较全面地反映了国际上在突发性洪水预报方面通用的技术方法，也简要介绍了一些正在发展中的警报系统。我们认为，对我国从事防汛和水文预报工作的广大职工来说，是有一定参考价值的，特此按英文本译出。

本书由李纪生翻译，王凤岐校对。整个工作过程中，得

到水利部水文水利调度中心领导的大力支持，还得到很多同志的关心与帮助，在此一并表示感谢。

虽然我们作了很大努力，但译文中难免仍有错误和不当之处，欢迎批评指正。

译 者

一九九三年七月

# 目 录

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| 前言 .....                              | ( 1 )  |
| 内容提要 .....                            | ( 2 )  |
| 一、绪言 .....                            | ( 4 )  |
| (一)突发性洪水的定义和性质 .....                  | ( 4 )  |
| (二)突发性洪水发生的范围 .....                   | ( 6 )  |
| (三)世界气象组织对各成员国作突发性洪水预报情况<br>的调查 ..... | ( 7 )  |
| 二、突发性洪水预报的信息来源 .....                  | ( 8 )  |
| (一)地面测站 .....                         | ( 8 )  |
| (二)雷达 .....                           | ( 9 )  |
| (三)卫星 .....                           | ( 11 ) |
| (四)定量降水预报(QPF) .....                  | ( 12 ) |
| 三、突发性洪水预报方法 .....                     | ( 15 ) |
| (一)简介 .....                           | ( 15 ) |
| (二)气象方法 .....                         | ( 15 ) |
| (三)水文方法 .....                         | ( 16 ) |
| (四)气象-水文方法 .....                      | ( 22 ) |
| (五)溃坝计算方法 .....                       | ( 24 ) |
| 四、突发性洪水警报系统 .....                     | ( 25 ) |
| (一)概述 .....                           | ( 25 ) |
| (二)突发性洪水警报系统的建立 .....                 | ( 25 ) |
| (三)社区参与 .....                         | ( 27 ) |
| 五、突发性洪水问题的非实时的解决办法 .....              | ( 30 ) |
| 六、结论 .....                            | ( 32 ) |
| 附录:对突发性洪水调查表的回答 .....                 | ( 42 ) |

## 前 言

突发性洪水会给世界各地人民生命造成重大损失，而且常常造成灾难性破坏。因而，世界气象组织（WMO）水文委员会（CHy）一致优先注意众人关心的对突发性洪水预报研究的探索和有关指导性材料的编制工作。

在 CHy 建议下，由世界气象组织（WMO）与国际水文学协会（IAHS）和联合国教科文组织（Unesco）共同发起于 1974 年 9 月在巴黎召开了突发性洪水讨论会。在 1976 年 CHy 第五届会议上，任命 A. J. 霍尔先生（澳大利亚）为突发性洪水的报告员，并作为水文预报工作组的成员。报告员的研究范围包括编制突发性洪水技术报告。所以报告员编写的报告经 1980 年 CHy 第六届会议上审查后，批准出版了现在的这份报告。

出版后，希望将对水文预报服务并独自研制以及对突发性洪水的预报、警报的方法有所帮助。

我代表 WMO 对 A. J. 霍尔先生和帮助他的所有致力于报告编写工作的助手们表示感谢。

秘书长

A. C. Wiin-Nielsen

## 内容提要

本报告试图用六节来回顾突发性洪水问题，总结突发性洪水的基本预报方法和警报系统，以及突发性洪水问题非实时的解决办法。

第一节讨论突发性洪水的各种定义以及问题的性质和发生的范围。综合和简要回顾了各国对 1978 年由 WMO 发给各成员国关于突发性洪水调查表的回答。

第二节回顾了突发性洪水预报的信息来源，包括：雷达，卫星和定量降水预报。

第三节讨论了四种突发性洪水预报方法，即气象法，水文法，气象-水文法和溃坝计算法。

第四节讨论突发性洪水警报系统的设计和建立，其范围从简单的站网和方法到技术先进的以计算机为基础的自动化系统。突发性洪水警报系统的成功，由因发布警报保护生命和减少财产损失而得到的群众反映来衡量。因此，对社区的参与也作了回顾，以表明各机构、次级传播系统和群众之间的复杂的相互作用。

第五节讨论突发性洪水问题的非实时的解决办法，包括非工程措施，诸如洪泛区、区划和流域治理以及包括建设工程设施的工程措施的方法。还用表格形式列出减少洪水损失措施的缺点和优点。

第六节综合了报告的结论：突发性洪水预报，可建立在洪水预报单位对正常河流洪水预报取得的经验基础之上进



行；突发性洪水必须建立在气象和水文预报人员密切合作的基础上；突发性洪水信息来源应利用有关的新技术并加以改进；突发性洪水预报成功的关键，是包括各级政府和有关学科的组织工作。

# 突发性洪水预报

## 一、绪 言

### (一) 突发性洪水的定义和性质

WMO-Unesco 1974 年给突发性洪水下的定义是“短历时且具有比较大洪峰流量的洪水”。美国国家天气局 (NWS) 对突发性洪水采用较常用的定义是“在短短几小时内发生的由特大降雨、垮坝或溃堤等事件所引起的洪水”。

突发性洪水与正常洪水的基本区别是在发生的速度上，即在引起事件和发生洪水之间的历时上，用此“历时”来详细说明突发性洪水是有用的。在一场由大暴雨形成的洪水，此历时类似于所研究断面以上流域的汇流时间。提及上述定义的“历时”时，大家能接受的词“短”和“几个小时”是指在 4 至 6 小时之间。更具体地说“历时”最多到 6 小时，建议以 6 小时作为突发性洪水和“正常”洪水之间的合适分界点。由引起洪水事件造成的发生在 6 小时以内的洪水，就不能再用常规的洪水预报方法来预报了。由于数据的收集、估算和模拟的时间滞后，以及洪水警报的准备、广播和解释等所需时间太长了，以致不能作出充分有效的预报来。加快上述这些过程的速度，那么对历时 6 小时以上的洪水就有可能做出有效的洪水预报。除了 6 小时以外，洪水预报未必要依赖定量降水预报来为充分、及时地采取预防措施而发布警报。然而，要求最少有 12 小时的警报时间的话，对发生“历时”在 12 小时内的洪水来说，降雨预报还是必要的。

按下列三种类型来考虑突发性洪水是有利的：

1. 大暴雨降落在基本未受人类活动影响的自然流域而形成的突发性洪水。如旅游区，一般较小社区，乡村公路桥梁、涵洞或斜坡这些以上的流域；

2. 大暴雨降落在有人类活动影响的流域而形成的突发性洪水，从而降低了流域自身的稳定性，或改变流域径流、蓄水量或水力特性；

3. 由垮坝或其它自然或人为阻水建筑物溃决，蓄水体突然下泄而发生的突发性洪水。这种类型的“垮坝”洪水，往往伴随着暴雨而发生。

土地利用可能产生侵蚀问题，从而改变自然稳定情势。流域的自然容蓄可能被蓄满，并且在陡坡或特别在不稳定的地面可引起泥石流。这些又转过来可形成人工坝，壅高水位，直至坝体被破坏造成“垮坝”洪水，这就加重了现有洪水形势。在某些河流上冰坝也可产生同样的作用，并且它可能在没有人为了的影响下发生。已建的水工建筑物——诸如大坝、堤防，它们的失事可形成典型的“垮坝”洪水。这就是众所周知被新闻媒介称作“水墙”式的立波的突发性洪水。这些特殊情况下的洪水上涨得很快，通常来不及发布警报，洪量流到河流下游相当长距离后，才能被天然河谷调蓄掉。

在没有人工蓄水工程的地区，开发的作用通常是增加径流率，并且在缺乏详细规划的情况下，可成为突发性洪水的易发区。在多数场合下，突发性洪水的可能性增加了，尤其是在不透水面积占很大比例的城市地区。不仅增加了径流量，而且在某些情况下，径流速度加快了，甚至还会与支流洪峰相遭遇，使问题更加严重。在农业地区土地利用的改造也能产生相反的效果。例如：在天然草原上等高耕作，通常会有效地减少洪水径流量并使洪峰出现时间推迟。另一方面，

可利用洪水灌溉的大部分时间来发展稻田等，并兴建防洪工程来保护农田。例如：裁弯取直，导流，筑堤等这些作用都有利于增加洪水的径流速度和径流量。此外，沼泽、湿地改造成稻田后，可进一步减少天然流域蓄水的调蓄作用。

大多数突发性洪水是由局部强烈雷暴活动，尤其是静止或移动缓慢的雷雨或雷暴线而造成的。突发性洪水可以和热带气旋同时发生，例如，假定热带气旋与温带气旋一起笼罩陆地，尤其是在热带气旋维持稳定少动时。在热带和亚热带地区，突发性洪水往往与季风季节里的强降雨有联系。特别是山区，由于地形抬升作用引发强降雨，是突发性洪水易发区。根据山区地形的特性，河床坡降陡，以及河谷蓄量有限，突发性洪水的洪峰增加了还有可能引起泥石流。

## （二）突发性洪水发生的范围

突发性洪水只是在最近几年，才被洪水预报和警报机构作为特殊的问题来对待。另外，建立起专门的预报和警报系统来处理这个问题。当地居民在这些机构建立之前通过生活实践就认识到要避开突发性洪水易发区，更普遍地了解这个道理。突发性洪水现在已成为一个严重的问题，尤其在多数发达国家中，已开辟许多新的住宅区，并没有认识和考虑到固有的突发性洪水的潜在危险性。在美国，一般河流洪水预报已建立得很好了，现在需要对突发性洪水预报和警报给予更多的重视。美国国家天气局在 1978 年曾提供突发性洪水的显示图。表明了美国在 70 年代，年平均死于突发性洪水的人数是 40 年代的 3 倍，到现在每年死亡 200 人左右，财产损失每年约 10 亿美元。

突发性洪水造成人员伤亡和破坏的增加，一部分是因为城市在发展扩大，另一部分是因为流动人口在增加。现在人

们旅游的地方越来越远而到突发性洪水易发区了，例如到山区和狭谷地带。而且，在城市和乡村人口不断增长下，人们向洪泛区定居。尽管有仔细地规划和采取控制措施，突发性洪水在城市化地区不断在增加，消除了草木代之以不透水的地面，却增加了小河的洪峰流量。桥梁、涵洞和建筑物在某种意义上会阻碍洪泛区的水流。在美国有 15000 多个社区和娱乐区，经美国洪水保险署鉴定为突发性洪水易发区。

Mogil 等人（1978 年）指出，自 1971 年以来，美国已发生过重大突发性洪水 1000 次以上。“自 1945 年以来，有 3000 多个县在洪水或突发性洪水后接受了红十字会的援助。尽管这些灾害并不成为国家的头条新闻，但它们已经给社区带来摧毁性的效果。如 1972 年发生在黑山（NOAA, 1972）（死亡 237 人）和 1976 年发生在汤姆生大峡谷（NOAA, 1976）（死亡 139 人）的灾难性的突发性洪水，这就足以说明美国人民易受突发性洪水的袭击。”

现在，突发性洪水在美国已受到重视，并且发出很好的文件指出其严重性，例如，年死亡率大约是人口的 0.0001%。类似的文件在别的国家没有见到，并且还不可能去综合全球突发性洪水造成的生命的伤亡数和财产的损失，突发性洪水在澳大利亚造成人口的年死亡率大致也是 0.0001%。在开发情况，生活方式，地理和气候条件相似的各个国家中，正面临着同样量级的突发性洪水问题。发展中国家没有或只有较小规模的洪水预报和/或气象服务、通讯设施和地方力量的帮助，完全面临这一事实，由突发性洪水造成人口的年死亡率可能比美国高几倍。

**（三）世界气象组织对各成员国作突发性洪水预报情况的调查**

1978年,水文委员会把关于突发性洪水和有关其预报活动的调查表寄送给世界气象组织各成员国。调查表的详情和答复,见附录。作出答复的45个国家中,25个国家只提供一个或几个流域突发性洪水预报和/或警报。报告中提出了若干不同的水文的突发性洪水预报方法。这些方法有根据雨率的简单方法到确定性或概念性降雨-径流以及复杂的洪水演算模型。大约有一半的国家(14个)提出利用雷达进行突发性洪水预报,而利用卫星估计暴雨区和/或预报暴雨移动的将近1/3的国家(9个)。

大多数较大国家提供区域或国家水平的突发性洪水预报,在其气象局的日常业务中,这是最低水平的。

## 二、突发性洪水预报的信息来源

### (一) 地面测站

突发性洪水预报系统的最基本的输入为降雨、河流水位(或流量)或水位和流量。这些数据也是常规洪水预报系统同样所需要的基本资料,虽然常是使用同样的设备,但这些资料的收集系统,一般是自动化的。因为自实测降雨或上游水位到洪水预报点之间的洪水历时很短(小于6小时),人工观测,报告和记录系统的延时特性,致使不能及时做出有效的预报和警报。目前各种预报系统向着信息自动收集的总趋势发展,导致信息收集技术达到现在有效应用的程度。这些同样可以应用于特别需要的突发性洪水预报系统(例如:Burnash和Twedt,1978年)。

自动信息收集系统,通常是依据传感器的数据输出。雨量计主要是翻斗式的,它可提供适合的增量脉冲数。河流水

位传感器通常是在测井的平台上装有一数字化接口的设备与转轴相联接浮子式传感器或压力探头与线路连接，或气泡或压力装置等三种压力传感器。可通过陆上通讯线路（专用电话或专线电传）遥测发射器；或利用地面无线电或卫星转发器将数字输出去。应该注意的是，在洪水情况下电话和电传线路易出故障。

突发性洪水预报地面站网的设计，与常规洪水预报系统的站网设计原则和方法相同。这些内容在 1972 年 WMO 出版的 NO. 324 以及 1974 年 IAHS/Unesco/WMO 在巴黎举行的突发性洪水讨论会的第一专题中刊登过。Ishihara 的论文和 Ishihara 在 1974 年讨论会上讨论了雨量站有效布设的方法，其中考虑了面雨量变化和流域地形特性。

## （二）雷达

许多突发性洪水，多由雷暴雨引起，对突发性洪水预报来说，面雨量的精确估算是个主要问题。虽然其流域面积常常是很小而且其中很多在山区，山区地形的作用将会增加面雨量的变化。雷达对估算面雨量特别有用，因为雷达可给出面分布，且很容易又迅速地估算面雨量。Mogil 等人（1978 年）列举在美国使用雷达的三个方法。其它国家的处理方法可相似来分类。它们是：

### 1. 由雷达显示器的主观估计

一个熟练的雷达观测员，可用目测雷达显示器来确定暴雨区的范围。雷暴雨云泡的出现是一主要征兆，对其识别可提醒观测员将有暴雨发生。雷暴雨云泡越大或云层顶部回波越高，则雨强就越大。准静止的雷暴线位置稳定，或暴雨系统在上升气流侧重新发展，雷暴移动缓慢，则会增加流域的降雨量并在足够的一段时间内产生大雨强而发生突发性洪

水。而这些只是主要征兆，但必须懂得，暴雨也能发生在来自相对低云顶的雷达回波。

## 2. 人工数字化雷达

人工方法包括绘制雷达平面位置显示器 (PPI) 显示的罩面上的回波强度等值线，并对应这些强度级别确定雨率。取定时段 (10 至 15 分钟)，把这些雨率按时间和空间平均求出预报流域的面雨量估算值。理论雨率 ( $R$ ) 与回波强度或使用经验关系系数之一的雷达反射因子 ( $Z$ ) 有关。Marshall 和 Palmer (1948 年) 建议的经验关系式，为  $Z=AR^3$ ，对层状云降雨， $Z=220R^{1.6}$ 。雨率和反射因子之间没有单一的相关关系，因为其相关关系取决于雨滴大小分布。雨滴大小分布表示天气和“雨型”的变化，更重要的是表示给定雨型的中尺度变化 (Barclay, 1975 年)。雨型的变化可导致  $Z\sim R$  关系中常数的变化能使雨率相差二倍以上。该方法对突发性洪水未必总是可靠的报警方法，其理由如下：首先，人工数字化雷达数据必然是在很粗的网格上计算的，不能满足小流域的突发性洪水的需要。因为显示器图上每个方格的雨率靠主观估计，而这又取决于不同强度的降雨复盖每个方格的范围。第二，因为人工估算每个方格降雨强度所取的时间间隔，在分级中使用的强度间隔常常是比要求的长得多。例如，Mogil 等人最近记录了几次突发性洪水发生在临界降雨强度之前的事件，而降雨就是由这种方法测定的 (NOAA, 1977 年)。

## 3. 雷达数-模转换器和处理机 (RADAP)

实时雷达数据的计算机处理一般是需要的，因为按上述人工方法处理，特别是有很多流域的数据，处理起来是很艰苦且比较慢。把小型计算机与雷达连接就能够实现雷达视频信号数字化，并把回波分成许多不连续的等级，通常至少是



10 级。用极坐标形式按方位角  $1^\circ$  到  $2^\circ$  长约 2 公里范围记录在贮存器中并可扩展到 18 到 230 公里，决定于雷达射束宽度，计算机可把这些数据转换成更为适用的以  $4 \times 4$  公里网格表示的数据 (Greene 和 Clark, 1974 年)。这些作者引用美国 D/RADEX 实验表明 Marshall—Palmer 方程用于对流暴雨会使雨率偏低。根据实测资料验证，在对流雨情况下，系数可采用 2.25，则方程为  $Z = 55R^{1.6}$ 。这项计划的进一步试验表明联系到常与冰雹有关的高反射率，所以上述方程会使雨率估算偏高。为了克服这一点，把限制雨率应用到 10 级的上面两级 (Greene 和 Saffle, 1978 年)。这些作者所引证的与 1977 年 Johnstown 的突发性洪水时由 RADAP (雷达数-模转换器和处理机) 收集到的最大降雨数据是“极为”一致的。在 1978 年 6 月，Mogil 等人发表文章时，美国天气局站网中仅装备 5 个雷达为这种方法的试验使用。一些国家 (日本和英国) 只有个别雷达有按极坐标数字记录强度的输出。通过联合国资助的一个数字雷达系统，最近已安装在巴基斯坦北部，供监测印度河上游地区的暴雨。

Bristor (1978 年) 调查了美国数字雷达数据库的利用价值。从这次调查，他发现许多政府研究实验室和大学都拥有适合于制定突发性洪水咨询警报实时输出性能的雷达。

为了克服可能引起  $Z \sim R$  关系的变化，雷达估测的雨量可用地面单个雨量站 (Huff, 1967 年) 或更好是用间隔较小的雨量站网资料 (Hudlow, 1974 年) 来校正。Brandes (1974 年) 曾建议客观采用根据雷达和雨量计观测数据的综合分析所得出的校正系数图。

### (三) 卫星

卫星数据也可用来估算降雨量。卫星图象可显示积云的