

SHANHONG  
YUJING  
GUANJIAN JISHU  
YANJIU

# 山洪预警关键技术研究

钟凌 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

# 山洪预警关键技术研究

钟凌 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

山洪的形成、发展与危害程度是该地区的降雨、地质地貌等自然条件和人类社会活动共同作用的结果，具有独有的自然和社会双重属性。虽然灾害的发生不是人为可以控制的，但可以采用一定措施减轻甚至避免其带来损失，使人与自然协调相处，将自然灾害造成的损失减少到最低限度，因此需要进行灾害预测预警的研究工作。本书对山洪危险性理论、基于临界降雨的山洪预警方法以及基于水文气象耦合的山洪预报方法进行了整理、分析，在此基础上开展中小流域山洪预报预警相关方法的研究，以期减少山洪灾害损失。

本书可供从事水文、水利工程管理等方面的工程技术人员及科研工作者参考，也可作为高等院校水利类师生学习和参考。

### 图书在版编目（C I P）数据

山洪预警关键技术研究 / 钟凌著. — 北京：中国  
水利水电出版社，2019.12  
ISBN 978-7-5170-8279-8

I. ①山... II. ①钟... III. ①山洪—洪水预报—研究  
IV. ①P338

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第280796号

书 名	山洪预警关键技术研究 SHANHONG YUJING GUANJIAN JISHU YANJIU
作 者	钟凌 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	天津嘉恒印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 7.75印张 123千字
版 次	2019年12月第1版 2019年12月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	<b>48.00元</b>

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

洪涝灾害是最常见、最具危害的自然灾害之一。随着经济的发展和社会的进步，洪涝灾害损失逐年增加。尤其在我国的，洪涝灾害已经成为国家经济发展的一个重要制约因素。因此，对洪水进行防治、预警预报是当前的一项重要任务。近年来，我国在大流域洪水灾害防治上取得了显著的成就，特别是在洪水监测及预警等方面取得了突破性进展。但对中小流域，特别是山区流域的洪水预报预警研究则才刚起步，甚至关于山洪的定义都存在一些争议，因此对山区中小流域山洪预报预警技术进行研究，努力增长山洪预见期，寻找山洪预报新方法、新思路是一项迫切和重要的任务。

本书对山洪危险性理论、基于临界降雨的山洪预警方法以及基于水文气象耦合的山洪预报方法进行了整理、分析，在此基础上开展了中小流域山洪预报预警相关方法的研究。本书共5章，第1章论述了该研究的目的和背景，国内外现状。第2章是在传统的洪水危险性理论的基础上，采用正交设计方法对山洪危险性评价指标优选并建立了山洪危险性评价模型，从山洪危险性的空间差异性角度为山区洪水的预报预警提供了一种新思路。第3章在美国临界降雨山洪预警系统（Flash Flood Guidance System, FFGS）的思想基础上，综合基于新安江模型的临界降雨计算方法和基于地貌单位线的临界降雨计算方法，计算资料相对缺乏的山区流域不同时间段临界降雨量，提出了一种简单易行的山洪预警方法并通过实测资料和危机表方法的检验证实了方法的准确性。第4章采用多元回归集成预报的降雨预报数据驱动水文模型，更新降雨过程中流域不同时刻的土壤含水量，实现了流域山洪危险性空间分布和临界降雨的动态

化。采用实测降雨资料和预报降雨资料检验。第5章是结论与展望。

本书的出版，得到河南省水环境模拟与治理重点实验室、水资源利用与保障工程河南省协同创新中心、河南省水工结构安全工程技术研究中心、国家重点研发计划项目（2017YFC0403600）对本书研究及出版的资助，写作过程中引用了大量文献，在此对这些文献的作者表示诚挚的感谢！

由于时间仓促，加之作者的水平有限，本书不足之处和错误在所难免，恳请相关专家和广大读者批评指正。

**作者**

2019年6月于郑州

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究目的和意义 .....	2
1.3 国内外研究进展 .....	3
1.3.1 山洪成因研究 .....	3
1.3.2 山洪发生区域预报预警技术 .....	5
1.3.3 山洪发生时间预报预警技术 .....	8
1.4 研究内容和技术路线 .....	15
1.4.1 主要研究内容 .....	15
1.4.2 技术路线 .....	17
<b>第 2 章 中小流域山洪危险性区划</b> .....	18
2.1 山洪危险性评价基本理论 .....	18
2.1.1 山洪灾害系统的构成 .....	19
2.1.2 山洪灾害危险性概述 .....	19
2.1.3 山洪危险性评价方法 .....	20
2.1.4 山洪危险性区划过程 .....	22
2.2 山洪危险性评价指标体系 .....	24
2.2.1 指标选取原则 .....	24
2.2.2 指标体系的构建与筛选 .....	25
2.2.3 指标体系的量化 .....	27
2.3 山洪危险性评价模型 .....	28
2.3.1 建立评价单元和指标数据集 .....	29
2.3.2 建立评价集 .....	30
2.3.3 隶属函数及隶属关系矩阵的计算 .....	31

2.3.4	确定权重向量 .....	34
2.3.5	综合评价模型及其在 ArcGIS 中的实现 .....	35
2.4	山洪危险性评价模型的应用 .....	35
2.4.1	流域概况 .....	35
2.4.2	资料获取及预处理 .....	36
2.4.3	指标优选 .....	41
2.4.4	指标数据集和评价集 .....	43
2.4.5	利用层次分析法确定权重因子 .....	43
2.4.6	模糊评价及结果分析 .....	46
2.5	本章小结 .....	49
<b>第 3 章</b>	<b>基于临界雨量的中小流域山洪预警研究 .....</b>	<b>50</b>
3.1	临界降雨量计算方法 .....	50
3.1.1	基于新安江模型的临界降雨计算方法 .....	52
3.1.2	基于地貌单位线的临界降雨计算方法 .....	61
3.1.3	临界降雨量的综合 .....	64
3.2	基于临界降雨的山洪预警标准及其评价方法 .....	68
3.2.1	基于临界降雨的山洪预警判别标准 .....	68
3.2.2	预警方法的评价 .....	69
3.3	临界降雨方法对比分析 .....	70
3.3.1	研究流域基本资料 .....	70
3.3.2	基于新安江模型的临界降雨量计算分析 .....	72
3.3.3	基于地貌单位线的临界降雨计算分析 .....	74
3.3.4	适用条件对比分析 .....	77
3.3.5	预报结果对比分析 .....	77
3.4	本章小结 .....	80
<b>第 4 章</b>	<b>考虑降雨预报的山洪预报研究 .....</b>	<b>81</b>
4.1	数值天气预报 .....	81
4.1.1	数值降雨预报模式 .....	83
4.1.2	集合与集成预报 .....	85
4.1.3	天气预报模式对比分析 .....	87

4.2	山洪危险性评价动态化研究 .....	88
4.2.1	动态化山洪危险性评价过程 .....	89
4.2.2	山洪危险性动态化研究在山洪预警中的应用 .....	90
4.3	基于动态山洪临界降雨量的山洪预警研究 .....	96
4.3.1	动态山洪临界降雨原理及实现过程 .....	96
4.3.2	动态临界降雨量应用分析 .....	98
4.4	临界降雨预警与危险性区划对比 .....	102
4.4.1	研究背景及方法 .....	102
4.4.2	结果分析 .....	105
4.5	本章小结 .....	108
<b>第5章</b>	<b>结论与展望 .....</b>	<b>110</b>
5.1	主要结论 .....	110
5.2	创新点 .....	112
5.3	展望 .....	113
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>114</b>



# 第 1 章

## 绪 论

---

### 1.1 研究背景

水是人类赖以生存和社会经济发展、进步的基础，是关系到国计民生、不可缺少的物质资源之一。但洪涝灾害频繁仍是中华民族的心腹大患，洪灾中对人类生命财产安全危害较大的山洪灾害，已成为造成人员伤亡和经济损失的主要灾种，严重制约着山区经济社会的可持续发展。

山洪是受降雨、融雪、拦洪设施溃坝等影响，沿山区河流及溪沟汇流成暴涨暴落的洪水及其伴随发生的滑坡、崩塌、泥石流的总称，具有季节性强、历时短、冲刷力大且破坏力强、流量大、暴涨暴落及成灾严重的特点。山洪以及山洪造成的泥石流、滑坡等灾害可能冲毁、破坏山区的水利工程、房屋、田地、道路和桥梁等，同时造成大量人员伤亡，对国民经济和人民生命财产造成很大的危害。例如 2008 年 10 月 2 日，希腊尼基亚娜一个山区小流域突降暴雨引发山洪，造成多栋房屋损毁，2 人死亡。2011 年 6 月 26 日，美国北达科他州米诺特地区山洪暴发，3000 多栋住宅遭到洪水袭击，约 1.2 万名居民撤离家园避难。2012 年 7 月日本九州遭遇暴雨袭击，致使部分河道洪水泛滥并引发多处泥石流，被迫疏散 25 万人，据不完全统计这场洪灾造成至少 32 人死亡，其中熊本县阿苏市降雨量超过 817mm，造成 19 人丧生，3 人失踪。2010 年 8 月 7 日，甘肃舟曲突降强降雨，40min 降雨量达到 97mm，暴发了特大泥石流灾害，县城里最靠近

北山的月圆村子村（受灾最为严重的村庄）基本上找不到完整的房屋，遇难 1434 人，失踪 332 人。现有资料表明：从全球灾害趋势来看，洪水灾害损失近 10 年急剧增加，居所有自然灾害之首，其中山洪每年都造成较大的灾难且没有明显减少的趋势。

我国是多山之国，约 1/2 的国土面积为山区。从古至今形成的依山傍水习惯，造成了山丘区大量人口密集分布现状。随着国民经济进一步发展，开发山丘区资源以及山区建设活动越发频繁，过度的人类活动极大地改变了山区原始地表环境，加剧了山洪灾害程度。现有历史洪灾资料表明：中华人民共和国成立后，我国多次发生损失惨重的山洪灾害，其中 2002 年我国大江大河流域性的洪水并没有发生，而全国各地山洪频发。统计资料显示洪涝灾害造成 1818 人死亡，其中 80% 死于山洪灾害。截至 2007 年统计资料，我国洪涝灾害共造成 22.5 万人死亡，其中死于山区洪灾人数为 14.1 万人，占总洪水死亡人数的 67.4%。因此，进行山洪防治研究具有重要的现实意义。

山洪的形成、发展与危害程度是该地区的降雨、地质地貌等自然条件和人类社会活动共同作用的结果，具有独有的自然和社会双重属性。山洪防治措施主要有工程性措施和非工程性措施。在我国，一般遵循以非工程措施为主，非工程措施与工程措施相结合的山洪灾害防治原则。目前比较成熟的大流域洪水预警防洪非工程性措施并不适用山区洪水多发地区，山洪防护很难实展开。为此，本书主要就中小流域山洪预报预警技术进行研究，以期减少山区灾害损失。

### 1.2 研究目的和意义

我国地域辽阔，有史以来洪水灾害频繁发生，我国在长期防洪减灾过程中积累了丰富的经验和教训，1998 年长江、松花江和嫩江发生了全流域性的大洪水后，相关部门结合我国特有的流域特征和国情，调整了关于水治理的策略，提出了从由控制洪水到洪水管理转变这一新的治水理念，强调了工程和非工程措施两个部分构成防洪减灾措施观念，非工程措施在防洪减灾中的重要地位得到了进一步确定，同时对防洪工作重新做了战略性

的调整，在防洪策略调整上加强系统理论和风险管理方法在防洪建设上的运用。我国作为一个山地占国土面积比重大且人口众多的国家，应当在联合国国际减灾活动的进一步开展中，为山区灾害防治做出应有的贡献。因此研究山洪灾害危害程度，依托现有 GIS 技术，分析山洪危险性空间分布、判断山洪发生的时间，从而就山洪的发生时间和区域做出准确预测预报，这些工作势在必行。

我国山洪灾害防治区横跨东、中、西部三大区域，约占国土面积的 48%，是世界上山洪灾害最严重的国家之一。近年来我国在洪水灾害的预警和评价研究方面开展了大量的研究，在长江、黄河、松花江等河流上开展洪水灾害防治技术研究并建立了相应的洪水灾害应急方案。大流域洪水防治技术已经取得了显著的成就，特别是在洪水监测及其演进方面取得了突破性的进展。但对山区洪水灾害，特别是中小流域暴雨型山洪灾害的预报预警研究并不多，尤其是真正投入山区流域中运行的业务系统更少。

自然灾害的发生不是人为可以控制的，但可以采用一定措施将自然灾害造成的损失减少到最低限度。因此，开展研究灾害预测预警的研究工作，是世界灾害学所面临的重要研究课题。山洪灾害的成因及影响因素比较复杂，目前尚难以完全治理，对山洪灾害进行预测，使地处灾害危险区的居民及时得到山洪预警信息，提前采取措施降低受灾损失，是当今世界山区防灾减灾的一个重要战略方向。

## 1.3 国内外研究进展

### 1.3.1 山洪成因研究

关于山洪的定义，国内外存在很大的争议，特别是关于山洪定义中是否包含山体滑坡和泥石流灾害。国外山洪通常采用 Flash Flood 一词表示，尽管山洪常伴发滑坡和泥石流，但该定义本身并不包括滑坡和泥石流。世界气象组织（WMO）将山洪定义为短历时、较大洪峰流量的洪水。美国气象协会则认为在小范围（流域面积小于  $400\text{km}^2$ ）的强降雨影响下，河水陡涨陡落，几乎没有预警时间（峰现时间小于 6h）的洪水为山洪。而英

国对于山洪的定义为峰现时间小于 3h，在流域面积为 5~10km<sup>2</sup> 上发生的洪水。在我国，山洪是指由于暴雨、拦洪设施溃决或冰雪融化等原因，在山区沿河流、溪沟形成的暴涨暴落的洪水及伴随发生的滑坡、崩塌、泥石流的总称。国内学者对于山洪的普遍认识为：短历时、强降雨在山丘区引发的陡涨陡落，具有历时短暂、水量集中、传播快、危害大的洪水。而相应的山洪灾害指由于降雨在山丘区引发的洪水灾害及由山洪诱发的泥石流、滑坡等对国民经济和人民生命财产造成损失的灾害。

对山洪预警预报及其防治措施进行研究，首先要了解引起或导致山洪产生的原因，国内外学者长期以来致力于此，杨勇、谢洪、蒋孔湘等通过对山洪灾害发生区的降雨、地质地貌、测报手段、防洪标准、水患意识、人为活动、水系等方面进行分析，认为山洪灾害大致是由以下因素所致。

### 1. 水文气象因素

把山洪从洪水中区分开来，因具有历时短暂、水量集中、传播快、危害大的特性。而相应的山洪灾害指由于降雨在山丘区引发的洪水灾害及由山洪诱发的泥石流、滑坡等对国民经济和人民生命财产造成损失的灾害。暴雨引起的山洪最为常见，这也是本书研究的山洪类型。暴雨是形成山洪灾害的必要条件，当流域的前期降雨达到一定的强度，形成一定强度的地面径流，而处于饱和状态的土壤由于土壤颗粒之间的摩擦力和凝聚力减小，大量土壤松散物和泥沙碎石随水流移动，形成山洪。山丘区不稳定的天气系统，能产生持续或集中的高强度降雨，从而频繁引发山洪。

### 2. 地质与地貌因素

山洪易发区多为渗透强度不大的土壤，遇水易软化、易崩解，强降雨发生后汇流时间极短，遇到较强地表径流冲击时就会形成山洪。山区山坡的坡度、坡面形状（直线型、凹凸型）以及山丘区沟道纵坡、地势起伏状况是影响山洪及其泥沙含量的地貌因素。山区溪沟坡降越大，山洪汇流时间越短，流速越大，山洪洪峰流量相应的也越大。沟道弯曲数越多及弯曲度越大，山洪中的泥沙等固体物质越容易在弯曲的地方造成堵塞，从而引发大规模的山洪。

### 3. 人为因素

人类过度的山区开发活动在一定程度上加剧了山洪发生的概率和危害

程度。近年来，随着社会经济的发展，人们对物质水平的要求提升，很多地方人们在溪沟边修建房屋、乱砍滥伐、毁林开荒、过度放牧等，这些不合理的人类活动加速了山区的水土流失，再加上在山体边坡上修建水渠、公路和采矿弃渣等，严重破坏了山体稳定性，形成了大量松散物质，恶化自然环境为山洪的形成埋下了隐患。

### 1.3.2 山洪发生区域预报预警技术

山洪灾害空间预测技术是通过划分流域山洪沟并对其进行山洪危险度评价及制作流域山洪危险图来确定山洪危害地区和危害部位。目前国际上公认的比较科学且实用的空间预报方法是奥地利 H. 奥里茨基提出的“荒溪分类及危险区制图指数法”。其主要原理是通过在流域溪沟里面或流域出口根据山洪危险性质与等级划分出不同的危险警示区域，从而达到山洪预警预报的目的。

#### 1. 洪水风险概念

目前，国内外学术界对于洪水风险的定义还没有达成统一的共识，部分学者认为洪水风险是不同强度洪水发生概率条件下引发的洪水灾害可能造成的损失。也有学者认为洪水风险是由洪灾系统中固有的危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力构成的。

根据已有的洪灾系统理论，洪灾风险是由洪灾危险性、洪灾易损性和洪水灾害灾情共同构成的，其中洪灾易损性是由流域承灾体的脆弱性和暴露性决定的。目前多数学者认为：洪水危险性、脆弱性和暴露性三个要素决定流域的洪水灾害风险。Crichton 等提出的“洪灾风险三角形”概念模型与此十分类似。

基于大多数学者和机构的研究成果，可以初步认为风险应该包含三个方面：不利事件、发生概率和可能产生的后果，并采用以下表达式来计算洪水灾害风险度：

$$R = HV \quad (1.1)$$

式中： $R$  为风险度； $H$  为危险度； $V$  为易损度。

由式 (1.1) 可知洪水灾害风险应该从洪水危险性分析、洪灾承灾体易损性分析和洪水灾害损失评估三个方面来进行分析。其中洪水危险性分

析是前提和基础，风险度评价是结果。

## 2. 洪水风险评价

洪水灾害本身具有自然属性，由于人类活动影响它又具有一定的社会属性。因此，进行洪灾风险评价就要综合评价洪水灾害的自然属性和社会属性，这是一个社会科学与其他跨自然科学有机结合的多学科参与的评价过程。Diaz-Granados 和 Valdes 等研究了降雨强度和土壤水分两个指标在洪水风险中作用机理和影响强度。Rasmussen 和 Rosbjerg 提出了“期望风险”这一概念，并用蒙特卡洛法验证了在研究数据缺乏条件下设计洪水的风险估计问题。Futter 和 Mawdlsey 对短历时的洪水风险预报问题，从数据需求及可靠性、模型设定等方面对比分析了条件分布模型与 Cox 回归模型。

风险评价的结果主要以风险图的形式展现。美国制作洪水风险图始于 20 世纪五六十年代，截至 2003 年，美国联邦紧急事务管理局已经制作了包括约 40 万  $\text{km}^2$  洪泛区的洪水风险图，同时美国政府又投入大量财力电子化洪水风险图，即将纸图转化为数字地图并在因特网向民众开放。日本洪水风险图绘制工作始于 1995 年，将近 200 条河流全流域的洪水风险图在 2004 年就绘制完成了。欧盟方面，挪威政府于 1998 年开启洪水淹没图 (Flood Inundation Map) 制作项目，该项目计划耗资 700 万欧元，历时 10 年，制作众多河流的洪水淹没图；荷兰于 2006 年开始由交通公共设施和水资源部主导开始编制境内河流的洪水风险图，据 2014 年报道，荷兰研究人员在全球范围内考虑人口因素、区域工农业产值等洪水影响因素的基础上，利用洪水演进和淹没模型以及大尺度水文模型，对洪水灾害风险进行评估，研究成果可以在风险预测及投资决策中发挥作用。我国采用历史洪水法对长江等流域进行了古洪水调查，并绘制了相应流域的洪水淹没范围图，但该法不适合在历史洪水资料缺少或较少的洪灾区使用，由于精确度不能得到保证，即使做出来也会受到极大的限制。尽管受历时资料的限制，仍然有很多学者在基于历史洪水灾情资料的风险分析方面取得了重要成果，马建明等按“分县定级、因素权衡、指标连续”的原则对岷江流域进行历史洪水资料的量化，分析了该流域各市、县的区域洪灾风险。我国 2010 年启动的山洪灾害防治县级非工程措施项目确定了洪水风险图编制中

的各项细则如导则、技术及制图规范等，形成了一个完善的技术框架。付成威等采用水力学的一维模型和二维模型进行动态耦合，绘制了河南信阳谷堆圩的洪水风险图。王小笑等通过水力学中的洪水演进模型对鄱阳湖蓄滞洪区进行了洪水风险分析，利用地理信息技术绘制了该区域的洪水风险图。

近年来，一些新的理论与方法出现在洪水风险分析研究中，其中有适用于非线性系统的混沌理论、适用于少数据、贫信息灰色系统理论方法、使用于气象和水文的极值分布理论以及遗传算法和投影寻踪方法等，新的理论与方法夯实了洪水灾害风险分析的理论基础，提高风险分析水平。传统的水动力学方法在日新月异的计算机技术支持下也得到了长足的进步，水动力学方法在 GIS 平台上结合新的计算机技术，具有其独特功能。张犁等在 GIS 平台上建立了一个城市洪水过程的分析与模拟的集成系统，并以三明市为例在此平台上进行了洪水风险分析。周成虎等分析了影响洪灾形成的主要因子，选取降雨、地形地貌、社会经济等指标在地理信息系统中对辽河流域进行了洪水风险区划。周孝德等建立了二维洪水演进的隐式差分模型，计算洪水演进程中不同时刻的淹没水深，在 ARC/INFO 平台上绘制相应的洪水淹没图和水深分布图。张超详细介绍了栅格数据系统及在地理信息系统中自动生成地域栅格数据的方法，阐述了地理信息在洪水灾害风险管理中的作用和应用实例，结合二维水动力模型在 GIS 平台上建立了抢险模型。Anselmo 等采用水文模型和水力学模型对意大利一个山洪易发区进行了洪水风险评估，荷兰 Pakesu 等对一维洪水演进模型 (SOBEK) 应用进行了详细的介绍，并对其与 ARC/INFO 的集成的一些问题进行了探讨，美国 Stephen 等对 GIS 软件 (ARC/INFO) 与水力学、水文模型的集成问题也进行了大量的研究。法国 Onana V. P. 和 Rudant J. P. 等通过遥感卫星影像数据获取研究区域的水文地质资料实现了洪水风险图的绘制。

### 3. 洪水危险性评价

洪水危险性是洪水灾害系统中孕灾环境和致灾因子的各种自然属性特征的概率分布，通常用洪峰流速、洪峰流量、洪水灾害影响程度等指标的概率分布来描述。洪水危险性评价主要任务是按照洪水强度将洪水进行等

级划分, 实质就是将多个洪水危险性指标采用一定的数学方法综合成单一的评价指标, 通过建立合理的综合评价模型, 同时兼顾多目标评价系统中不同指标的重要性程度按照指标数值的大小实现在一维实数空间内对洪水危险性等级划分。

刘洪江、周金星等从 20 世纪 80 年代就开展了山洪灾害危险区划分方面的研究工作, 尤其在山洪泥石流方面取得了一些突破性的研究成果。他们对四川和辽宁等山区山洪易发区的每条溪沟以实地调查的方式进行摸底排查, 在科学判断沟道类型后, 绘制所有溪沟的山洪危险图, 工作量虽然巨大, 但是对洪水预报作用极其明显。数值模拟及人工神经网络等新方法已经开始引入到荒溪分类与危险区制关系系统的研究中来, 极大地减少了溪沟山洪危险图绘制的工作量。李吉顺等根据各省区历史暴雨洪涝灾害灾情资料, 通过构建“综合危险度”和“相对危险度”两种无量纲量, 对全国洪涝灾害的危险性进行评估, 并进行了全国暴雨洪涝灾害区划。闵赛详细阐述了洪水危险度的概念和定量原则, 进而提出洪水危险度的计算方法, 并对江西省境内的五大流域进行了洪水危险度评估。何报寅在地理信息系统平台上对湖北省的洪灾发生的频次、多年平均年降雨量、绝对高程, 河网密度 4 个栅格进行叠加分析, 对湖北省的洪水灾害危险性进行了评价分析。毛德华构建了洞庭湖洪水危险性评价指标体系, 提出了定性分析和定量计算相结合的洪涝危险性评价新方法。Ghoneim E. 和 Foody G. M. 利用 HEC-HMS 模型计算了不同暴雨中心位置条件下英国一个干旱山区 25 个子流域的洪峰流量并以此对 25 个子流域进行山洪危险分级。Furdada G. 和 Calderon L. E. 在尼加拉瓜资料稀缺的 La Trinidad 流域利用航拍图片和历史洪水调查资料以洪水重现期作为危险划分标准绘制了该流域的洪水危险图。张行南、罗健等考虑气象因素、径流因素和地形因素作为洪水危险性的影响因素, 采用成因分析方法绘制了中国洪灾危险性区划图。

### 1.3.3 山洪发生时间预报预警技术

现有的洪水时间预报从预见期上可分为中长期预报和实时预报两种。中长期预报主要依据弗莱施德的理论观点, 对研究区域历史洪水资料采用

数理统计方法分析确定山洪灾害的发生周期和频率，主要用来预测区域山洪泥石流灾害的发展趋势。具体方法是以区域内发生山洪灾害的相邻两次时间间隔之和除以该沟道内发生山洪灾害的周期和活动程度。山洪中长期预报的可行性和准确性很大程度受制于该地区历史山洪资料的丰富程度及资料精确性。李斌等对引发四川境内成昆铁路沿线山洪灾害的主要因素在实地调研和科学分析的基础上进行了识别，明确了泥石流产生机制，提出了一系列的泥石流溪沟判别方法。

实时预报是将发生的洪水在实际时间进行预报，主要通过运用水文气象、径流模型来实现山洪灾害的预报，是目前山洪预警预报研究的热点，也是本书的重点内容之一。

### 1.3.3.1 山洪预警指标研究

关于山洪灾害预警指标的研究，国内外学者已经取得了很多的成果，常用的预警指标主要有临界流量/水位、临界雨量等。临界流量/水位认为是山区作为预警指示的漫滩流量、警戒水位等，临界雨量是指区域一定时间段内降雨量达到或超过某一数值时，该地区就发生山洪灾害，这个降雨量称为该时段临界雨量，作为一个山洪预警指标。由于采用实测流量或实测水位进行山洪灾害预警的预见期很短，不足以满足山洪预警精度及突发性要求，故广大学者对山洪灾害预警指标的研究主要集中于临界雨量的研究。

#### 1. 临界雨量指标的确定

临界降雨量是一个累积雨量值，是某一特指时间段内降雨量的累积，而不是单位时间内的降雨雨量，研究中一般采用1h、3h、6h、12h、24h临界降雨量。临界降雨量确定可以根据流域之间的相似性采用统计插值等经验性的方法，也可以根据流域固有的物理机制采用理论的方法来确定。

##### (1) 经验法。

经验法不考虑山洪发生中物理规律采用统计、比拟和内插的方法来确定临界降雨量。

##### 1) 统计归纳法。

统计归纳法是根据历史的降雨数据和当地山洪灾害历史资料来推求临界降雨量，该方法在我国应用较为广泛，有资料要求低、花费小等优点。