

SHANHONG ZAIHAI FENGXIAN
FANGKONG JISHU

山洪灾害风险防控技术

雷声 许小华 王小笑等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

山洪灾害风险防控技术

雷声 许小华 王小笑等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书主要从山洪灾害风险潜势识别技术、风险监测与评估技术、风险预警技术和风险控制技术四个方面介绍了山洪灾害风险防控四大关键技术，并以江西省为应用示范区，详细阐述了山洪灾害风险防控技术体系的构建及实践应用。本书理论先进、技术实用、内容丰富，对国内外山洪灾害防治工作具有较好的理论与实践指导意义。

本书可供从事山洪灾害防治相关工作的科研、业务和应用开发人员使用，也可供相关专业高校师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

山洪灾害风险防控技术 / 雷声等编著. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2020. 6
ISBN 978-7-5170-8558-4

I. ①山... II. ①雷... III. ①山洪—灾害防治—研究
IV. ①P426.616

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第078290号

书 名	山洪灾害风险防控技术 SHANHONG ZAIHAI FENGXIAN FANGKONG JISHU
作 者	雷 声 许小华 王小笑 等 编著
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 11.5印张 225千字
版 次	2020年6月第1版 2020年6月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	80.00元

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



前言

我国是世界上自然灾害影响最严重的国家之一。联合国减少灾害风险办公室（UNDRR）公布的数据显示，1998—2017年中国自然灾害经济损失为4922亿美元，列美国之后排世界第2位，其中山洪灾害是造成人民生命财产损失最主要的灾种之一。山洪灾害是指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，具有突发性强、破坏性大、来势凶猛等特性，我国每年因山洪灾害死亡人数都占洪涝灾害总数的60%~80%。

江西省属亚热带湿润季风性气候，分布不均的降水和特殊的气候条件，极易形成局部强降雨。江西省境内地势南高北低，边缘群山环绕，中部丘陵起伏，呈典型的江南丘陵地貌，山区特有的阶梯式地势变化具有明显的陡坡，使暴雨形成的地表径流汇流速度快、涨幅大，洪峰模数可高达几倍甚至十几倍，一般降雨后很快就能成灾，致使江西每年都有大小不同的山洪灾害发生，是全国山洪灾害影响较为严重的省份之一，严重影响了山区群众生命安全和社会发展。2007年以来，江西省水利科学研究院针对山洪灾害防治工作中的关键问题及薄弱环节，开展了包括江西省山洪灾害预警决策支持系统研究（20122BBG70173）、山洪灾害诱发因素及防护技术研究（20142BBG70033）、江西省山洪灾害防治非工程措施预警指标研究及适用性响应分析（20161BBG70088）及江西省山洪灾害典型防治区发生规律与对策研究（KT201305）等在

内的一大批科研课题和科技项目攻关，提炼出了众多科研成果，在发挥重大社会效益的同时也为本书的撰写提供了大量的数据和理论支撑。

本书选取江西省作为典型研究区，遵循水文学、水力学、社会经济学、防灾学等基本原理，将自然灾害风险管理、韧性防灾减灾社区等理念引入山洪灾害风险管理实践，开展山洪灾害风险调查与潜势识别、风险监测评估、风险预警、风险控制等关键技术研究 and 实践，构建“辨识-监测-评估-预警-防治-管控”的六位风险防控总布局，全面系统地提升江西省山洪灾害风险主动防控能力，也为提高全国山洪灾害防治水平提供了示范和借鉴。本书在以下几个方面取得突破性进展：

(1) 创新了山洪灾害风险调查与潜势识别方法。研究了山洪灾害发生机理和诱因、时空分布规律和活动特点，解决了山丘区小流域产汇流参数优选问题，建立了示范区山丘区村户人口-高程关系和易发区脆弱人群清单，划分了山洪灾害危险区图，全面识别了示范区山洪灾害风险潜势。

(2) 建立了山洪灾害风险监测评估体系。创新了山洪灾害风险监测多源数据匹配、融合和联动技术，并在示范区得到推广应用，建立了不同层次、尺度、预见期的风险评估体系。

(3) 构建了递进式山洪灾害风险预警体系。提出了雨前大区域气象预警、落地雨小流域实时定向预警、灾前沿河村落自主预警的递进式预警体系。研发了基于降雨格点预报数据的山洪气象预警模型，提出了雨量站-面雨量-河段水位-村组辐射实时定向预警模式，运用自监测、自分析、自报警的智能监测预警设备创新了面向社区（村组）和旅游景区的预警技术。

(4) 丰富发展了工程与非工程相结合的山洪灾害风险控制体系。

首次提出了社区山洪灾害风险管理“八爪鱼”分散决策机制，创建了基层决策、前沿感知、上下联动、就近处置和抢险救援特色模式，完善和发展了社区韧性防灾减灾理论。创新了山洪沟防洪工程治理理念，提出了有限防淹条件下岸坡局部防冲能力增强的“守点固岸”模式。

本书共分8章，第1章为绪论，主要介绍了山洪灾害的定义、成因及相关研究情况，引入了山洪灾害风险管理理论，提出了山洪灾害风险防控体系及具体研究内容，由雷声、刘业伟撰写；第2章为研究区概况，选取江西省作为示范区，介绍了其基本情况和山洪灾害防治现状，由王小笑、付佳伟撰写；第3章为山洪灾害风险潜势识别技术，详细介绍了山洪灾害风险潜势识别技术，分析了山洪灾害风险迁移规律，由王小笑、刘业伟、付佳伟撰写；第4章为山洪灾害风险监测与评估技术，主要介绍了山洪灾害风险监测体系构成及山洪灾害风险评估技术，由王小笑、付佳伟、杨培生撰写；第5章为山洪灾害风险预警技术，主要提出了气象先导预警、小流域实时定向预警及社区自主预警组成的递进式山洪灾害风险预警模式，由雷声、刘业伟撰写；第6章为山洪灾害风险控制技术，主要提出了以非工程措施和工程措施相结合的山洪灾害风险控制模式，并介绍了基于“八爪鱼”分散决策机制的社区山洪灾害风险管理模式，由雷声、付佳伟撰写；第7章为技术实践与应用，主要介绍了上述理论及技术成果在山洪灾害实际防御工作中的应用成效，由许小华、杨培生撰写；第8章为结论与展望，是全书的结语，由许小华、王小笑撰写。

本书的编写得到了中国水利水电科学研究院、江西省防汛抗旱指挥部办公室、江西省水文局和江西省水利科学院的大力支持，凝聚了江西省水利系统各位领导和专家的智慧，在此表示衷心的感谢。

谢。本书在编写过程中，参阅了大量有关山洪灾害的文献资料，在此一并向参考文献的作者致谢。

由于撰写时间仓促，作者水平有限，书中不足之处在所难免，不当之处敬请广大专家、学者批评指正。

作者

2020年2月

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 山洪灾害概念	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 灾害风险管理	9
1.4 关键技术	12
第 2 章 研究区概况	15
2.1 研究区选择	15
2.2 基本概况	15
2.3 山洪灾害防治现状	18
2.4 小结	25
第 3 章 山洪灾害风险潜势识别技术	26
3.1 概述	26
3.2 暴雨时空分布规律分析	31
3.3 小流域特征分析	33
3.4 风险潜势现状识别技术	39
3.5 小结	48
第 4 章 山洪灾害风险监测与评估技术	49
4.1 概述	49
4.2 立体感知风险监测技术	50
4.3 多源信息数据同化融合技术	54
4.4 山洪灾害风险评估体系	59
4.5 历史山洪灾害时空分布	68
4.6 山洪灾害风险迁移分析	71
4.7 小结	75

第 5 章 山洪灾害风险预警技术	77
5.1 技术概述	77
5.2 小流域暴雨洪水快速模拟技术	81
5.3 递进式山洪灾害风险预警模式	101
5.4 气象先导预警	102
5.5 小流域实时定向预警	105
5.6 社区自主预警	115
5.7 小结	119
第 6 章 山洪灾害风险控制技术	121
6.1 技术概述	121
6.2 群测群防体系建设	123
6.3 社区“八爪鱼”分散决策机制	135
6.4 工程治理	145
6.5 小结	154
第 7 章 技术实践与应用	155
7.1 技术实践	155
7.2 典型案例	159
7.3 效益分析	162
7.4 小结	167
第 8 章 结论与展望	168
8.1 结论	168
8.2 展望	169
参考文献	171

绪 论

1.1 山洪灾害概念

1.1.1 山洪灾害概念及危害

山洪灾害是指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。据世界气象组织（WMO）统计，在被调查的 139 个国家中，因山洪灾害造成的损失排在各类自然灾害中第 1 位、第 2 位的国家有 105 个。在我国，因山洪灾害死亡、失踪人数占洪涝灾害死亡、失踪人数的 60%~80%，2010 年度达到 92%。20 世纪 90 年代，全国每年因山洪灾害死亡 1900~3700 人，占洪涝灾害死亡人数的 62%~69%；2000—2010 年山洪灾害年均死亡人数 1079 人，占洪涝灾害死亡人数的 65%~92%；2011—2018 年山洪灾害年均死亡 351 人，占洪涝灾害死亡人数的 60%~75%。由于山洪灾害具有突发性强、破坏性大、不可预见性等特性，其导致的群死群伤事件时有发生。例如，2005 年黑龙江沙兰镇中心小学山洪灾害事件、2006 年上犹县台风“格美”引发的山洪事件、2010 年甘肃舟曲县山洪泥石流灾害事件、2012 年北京西部山区“7·21”山洪灾害事件、2013 年辽宁清原县南口前镇“8·16”山洪灾害事件、2016 年河北太行山区“7·20”山洪灾害事件、2019 年湖北十堰市郧阳区“8·6”山洪灾害事件等均造成了严重的人员伤亡和财产损失。

1.1.2 山洪灾害成因

山洪灾害形成的直接原因主要是暴雨与洪水，此外地形、地貌、地质、植被以及人类活动等因素也影响山洪灾害的形成。从成因角度分析，山洪灾害发生的主要原因如下。

1. 降雨因素

降雨是诱发山洪灾害的直接因素和激发条件。山洪的发生与降雨量、降雨强度和降雨历时关系密切。降雨量大，特别是短历时强降雨，在山丘区特定的下垫面条件下，容易产生溪河洪水灾害。突发性的暴雨急剧发生，来势凶猛，面积小，历时短，强度特别大，强降雨过程持续 10~30min，极容易形成地面径流，洪峰发展很快。这种暴雨形成的洪灾破坏力大，抢险与减免灾害的措施往往不能及时实施。

我国流域特大暴雨大多集中在 4—8 月，这个时期发生的暴雨频次高，占暴雨出现总次数的 80% 左右，加重了山洪灾害的危害。在东南地区，每到汛期，副热带高压北跳南移，西风带环流南侵北退，以及东南季风与西南季风的辐合交汇，形成了山丘区不稳定的中尺度天气系统，如台风、气旋、高空低涡、低槽、切变线等天气系统。在此种不稳定天气系统的作用下，造成降水年内分配不均，年际变化大，极易形成局部地域的强暴雨。还有的地区，强连阴雨也是形成溪河洪水的重要类型，其特点是强度不大，面积相对大，中心日降雨量不足 50mm，降雨过程时间长，会造成大量房屋倒塌，导致人员伤亡。

2. 地形地质因素

我国山丘区面积占国土面积的 2/3 以上，自西向东呈现出三级阶梯，各级阶梯过渡的斜坡地带和大山及其边缘地带，岭谷高差达 2000m 以上，山地坡度 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，河床比降陡，山区特有的阶梯式地势变化具有明显的陡坡，对暴雨的分布和洪水组合汇流产生显著影响，为冷暖湿气流抬升增加近锋坡面的降水强度和ación时间提供了条件，极易引起长时间高强度的降雨。山高坡陡也使得暴雨形成的地表径流汇流速度快、涨幅大，洪峰模数高达几倍甚至十几倍，致使山溪洪水具有明显的峰高浪急的特点。此外，地形的起伏变化为山洪的形成提供了动力条件，如果山体高、坡度大，处于高势能、低阻水的水体和土体就极不稳定，可以快速启动，高速运动，迅速成灾，地面起伏对山洪灾害的影响主要体现在两个方面：一是为溪河洪水、泥石流灾害的发生提供势能条件；二是为泥石流、滑坡灾害提供充足的固体物质和滑动条件。强烈的差异升降运动造成大的地形起伏，为山洪灾害的发生奠定了地形基础。

不利的地形地质条件是山洪灾害发生的重要因素，主要包括地貌类型、岩土类型、地质构造和地下水作用等。地貌类型对山洪灾害的发育和空间分布位置起明显的控制作用。中低山与其毗邻的丘陵，地形条件复杂、沟谷深切、高差大、临空面发育，沟谷侵蚀和岩体重力卸荷作用强度大，是山洪的多发区。容易诱发灾害的地层岩组由于不良结构面发育、岩性差异大，在水的作用下往往沿着基岩与风化层分界面，残坡积层中的不同岩性界面，以及节理、裂隙、断裂等结构面产生滑坡。地质构造褶皱、断裂构造较发育的区域，

在褶皱轴部、转折端，断裂带及其两侧，节理裂隙发育，岩石破碎，风化层厚，地下水作用强，力学强度低，山洪地质灾害较为发育。地下水对山洪地质灾害的形成有两方面的作用：一是使岩土体含水量增高降低岩土体的抗滑力；二是使岩土体容重增大，或产生潜蚀作用，从而增大了岩土体的下滑力。

3. 生态环境与人类活动的影响

森林植被遭受破坏会加重山洪灾害的危害。森林植被在保护土层免遭洪水冲刷、截留雨水径流、调节产汇流和恶劣天气等方面起着重要作用。随着人口急剧增长，人多地少，过度地开发土地、开发自然资源，侵占水面、河道会导致土地退化、水土流失环境系统失衡。乱砍滥伐会破坏森林生态系统的结构与功能，使森林生态系统的整体防护功能降低。山洪灾害死亡人员绝大多数是农村人口，在以农业生产为主体的山丘区，农村人口仍然离不开“靠山吃山”这一基本生存特点，加剧了对自然的破坏和索取。

人类活动对自然破坏加剧了山洪灾害损失。河道是山丘区泄洪唯一通道，由于山洪伴随着山体滑坡、泥石流，大量泥沙淤积河道中，河道的泄洪能力严重萎缩。受人多地少和水土资源的制约，为了发展经济，人类在河道边削坡建房、开荒、开矿、修路等资源开发和建设活动频繁，侵占河道，向河床乱弃、乱倒、乱建、乱挖，这些活动对地表环境产生了剧烈扰动。河道千疮百孔，河道的泄洪严重受挫，往往造成大洪水、大泛滥，小洪水、大灾难的严重后果，加剧了山洪灾害的损失。

基础设施脆弱、防御山洪能力低。山丘区的水利建设通过多年来的努力，建成一大批水利基础设施。但这些工程大都修建于20世纪60—70年代，建设标准不高，由于山丘区水利建设投入不足、工程配套不全、运行管理不善等原因，容易形成隐患。同时，山丘区河流两岸堤防大多数标准低，沿河农田、道路极易冲毁，并造成交通中断，抗灾能力呈减弱趋势。

1.2 国内外研究现状

近些年来，国内外对如何有效地进行山洪灾害防御的研究不断深化，各种新技术得到了推广普及应用，这些新技术都有自己的特色，也取得了一定进展。

1.2.1 山洪灾害监测与通信

降雨和洪水是山洪灾害监测中最为明显和直接的水文气象要素，根据降雨和洪水信息，判断山洪灾害发生的可能性，提供预警信息，是山洪灾害防御非常重要的措施。

1. 雨量监测

降雨是时空变异特性最明显的水文气象要素，是山洪灾害监测必不可少的水文气象要素，暴雨发生时，要根据雨量预警指标来判断是否成灾，从而判断是否需要人员转移。因而在山洪灾害防御中，雨量监测都是国内外都非常重视的最为基础的措施之一。

当前，在获取雨量数据的水文、气象设备中，除了雨量站，还有降雨卫星、机载降雨传感器、天气雷达等，每种设施都有自己的优势和局限性，都在一定范围内不同空间和时间尺度内提供信息。降雨卫星方面，美国航空航天局(NASA)和日本宇宙航空研究所(NASDA)联合研制了热带降水测量卫星(Tropical Rainfall Measuring Mission satellite, TRMM)；机载降雨传感器方面，美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic Atmospheric Administration, NOAA)研发了SFMR，搭载在WP-3D飞机上，主要用于监测飓风的风速和降雨的步进频率微波辐射计；天气雷达方面，单偏振全相参多普勒天气雷达，技术源于由美国洛克希德马丁公司生产的NEXRAD雷达，主要用于探测云和降水目标物的空间分布、强度等。

雨量计是常用来测量降雨量的仪器，一般由感应器及信号记录器组成，常见的感应器有虹吸式和翻斗式两种类型。大部分的雨量计都是以毫米为测量单位，偶尔也会以英寸或厘米为单位。澳大利亚区域仪器中心研发了一种适用于测试倾卸桶和重量计量式雨量计的精密雨量计测试仪，在各国气象和水文研究中得到较为广泛的应用。翻斗式雨量计是由感应器及信号记录器组成的遥测雨量仪器，在各国实际雨量监测中应用广泛。

2. 洪水监测

洪水是山洪灾害监测中最为直接的水文气象要素，根据河道上游洪水水位判断下游是否成灾，从而判断下游地区是否进行人员转移。因而，在山洪灾害防御中，洪水监测也是国内外都非常重视的最为基础的措施。

水位计是监测洪水最常用的仪器，按传感器原理可将水位计分为浮子式、跟踪式、压力式以及反射式等。在很多国家的水文工作中，各类水位计在水位监测中得到广泛用。国外，OTT RLS雷达式水位计、Spirax Sarco WG2水位计、雷达水位计等适用于河流水位的监测，应用广泛，能实施明渠水位自动、水库坝前、坝下尾水水位、调压塔水位等的监测。

3. 山洪灾害专用监测仪器

山洪发生具有突发性、短历时、流速大、监测环境较为恶劣等特点，故对其监测具有特殊要求。为了满足山洪灾害监测的专门需要，国内外还开发了很多专门的监测设施用于山洪灾害监测，主要包括自动设备，如HYDRODATA-3000C型自动水文站，是测量、存储数据及图像传输设备，专门设计用于户外

安装；在远程无人值守区域，呈现、存储和处理所有信息。印度设计了自动观测计 ARG (an Automatic Raingauge Station)，包括降雨传感器，此外它还有空气温度和相对湿度传感器等分置于 500 个不同位置。山洪灾害防治图像监测站具有定时抓拍图片，电池电压上报，GPRS 数据通信、短信备份，本地存储采集数据，远程遥测当前雨量、水位数据，整点采集雨量、水位数据等功能。

国内很多企业也开发了相应的监测设备，水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心对此进行了测评，主要类型包括：①语音报警器：语音报警器 YY-SAT-1、在线预警机 GX-8011、无线预警广播机 ZS.GB-01、无线预警广播 I 型机 WS6100B、通信控制预警机 YX-3000FC、GRPS 无线预警广播机 YZ03-206、无线预警广播设备 HYYJ-1000 等；②报警雨量计：简易雨量报警器 YZ3000、报警雨量计 YLN-YLBJ01、报警雨量计 AM-YQL、雨量报警器 JBD-2、简易雨量报警器 ZS.JBD-05、遥测报警雨量计 TH-RSA2000、雨量报警器 WS8100B 等。

4. 山洪灾害通信

在山洪灾害监测、预警信息接收与传递的各个环节中，环境都非常恶劣，要求有稳健而广泛的通信渠道，平面新闻媒体、有通信发布、无线通信发布的技术得到越来越广泛的使用。有线通信技术可以方便地实现电话、传真、计算机数据等综合信息的传递业务，但其主要通过光缆、电缆进行传输，受到地理条件的限制且抗毁能力差，一旦被摧毁，通信立刻被阻断且很难恢复。无线通信技术包括短波、超短波、微波等通信业务，其抗毁能力强，具有机动灵活、组网方便的优点，特别是卫星通信是应急通信的有效手段。因此，卫星通信技术在防灾减灾中得到了重视和发展，以确保在任何情况下能够及时、快速、可靠地提供宽带多媒体通信服务，实施快速救援、处理等应急指挥。

1.2.2 山洪灾害预警

20 世纪 70 年代以来，美国、欧盟各国、日本、澳大利亚等发达国家都开展了山洪灾害预警相关研究，并建设相应的山洪灾害预警系统。美国国家水文研究中心开发了山洪预警系统，在中美洲 7 个国家 50 万 km² 的山丘区得到应用，预报准确率达到 65%。世界气象组织提出的山洪预警系统在中美洲、黑海和中东等地区进行了应用。欧盟框架计划开展山洪预警技术研发，成立了山洪灾害防御网络，并在法国、意大利、西班牙和德国联合开展了流域山洪灾害防御技术与示范。日本国土交通省针对局地短历时强降雨引发山洪和中小河流洪水灾害的特点，运用推送型与关注型模式实现了预警信息发布，并建立

了全国性的洪水预警发布网站。

山洪灾害预警信息的要素, 一般包括发布单位、发布时间、服务对象、时效、强度、地区和范围、可能造成的影响、应采取的预防措施等。技术层面一旦识别或者确定了可能发生山洪以及和影响区域, 就应当向政府机构、媒体、公众以及其他可能受到影响的有关人员和团体提供预警信息。预警信息, 尤其是包含生命安全的信息, 如果以简短和熟悉的语言或方式传递, 将会容易被受众理解。国际上建立的多灾种预警系统发布的产品采用了“Ready、Set、Go”3 层响应理念, 传递预测危险的严重性、紧迫性和预警发布的危险程度。这种理念具体体现在以下 4 种预警信息中。

(1) 水文趋势预报 (hydrologic outlook——“Ready”)。用于说明危险的洪水事件有形成可能性, 通常提供给有较长预见期 (数天) 需要的人员和部门, 尽量采用较为简洁的语言进行描述。

(2) 山洪警戒预报 (the flash flood watch——“Set”)。用于洪水事件发生可能性已经大大增加, 但发生的确切信息、时间、地点尚未确定的情况, 通常为需要短预见期 (数小时) 的人员和部门提供, 他们需要启动应急预案, 并采取相应的行动。

(3) 山洪预警 (flash flood warnings——“Go”)。发布没有时间限制, 在事件正在发生、即将到来或者极有可能发生的情况下, 均可以发布。

(4) 山洪状态声明 (flash flood statements)。发布各种建议或者更新信息, 以便提供山洪预警取消、终止、扩大或者延长预警时间等信息。

2006 年, 国务院批准水利部出台《全国山洪灾害防治规划》, 以“加快实施山洪灾害防治规划, 加强监测预警系统建设, 建立基层防御组织体系, 提高山洪灾害防御能力”。江西省因 2006 年“格美”台风带来重大伤亡, 2007 年启动 56 县的山洪灾害预警系统工程, 项目建成当年即发挥效益。2010 年, 甘肃舟曲等地暴发特大山洪泥石流灾害, 造成全国因山洪灾害死亡失踪 3887 人, 占洪涝灾害死亡失踪人数的 92%, 严重的灾情推动了国家对山洪灾害防治的决心和力度, 当年即在 1836 县启动县级非工程措施建设, 监测预警系统是主要建设内容。

我国建立的山洪灾害监测预警系统由前端数据采集设备、供电设备、传输设备和监控中心组成, 前端安装的数据采集主机将采集到的视频图像、水位、降雨量、水温、气压等数据通过 GPRS 或 3G 等无线方式传输到监控预警平台。平台由省、市、县、乡、村等五级构成, 县级平台根据上级部门传达的预警信息和前端设备监测数据综合决策分析, 当出现警情时会发出预警信息, 提醒相关指挥人员做好抢险救灾工作准备, 预警信息分准备转移和立即转

移两个级别。通过山洪灾害监测预警系统建设成效显著，全国死亡人数平均下降 60%。

1.2.3 山洪灾害评估

灾害系统论认为自然灾害的灾情是由孕灾环境、致灾因子、承灾体三者相互作用的结果，其程度由孕灾环境的稳定性、致灾因子的风险性及承灾体的脆弱性共同决定。自然灾害评估包括致灾因子风险、承灾体暴露与脆弱性、孕灾环境等各个方面，马宗晋等强调灾害的综合调查和系统研究。

山洪灾害评估是指通过分析流域内的自然环境条件，在灾害发生前评估山洪灾害的危险程度，并评估研究区内的社会经济环境、人类生产生活以及自然资源等方面的易损程度。山洪灾害评估在国际上已有近 40 年的历史，在我国则是近 20 多年来的一个热点，主要包括致灾因子危险性评估，如气象、水文、地质、地形地貌以及土壤条件分析，人和社会经济等的承灾体脆弱性分析，以及基于 RS 和 GIS 等技术采用相关统计模型的综合风险分析。

在国际上，奥地利学者根据防护对象受灾害影响的程度，将危险区划分成红色、黄色和白色区，并对全国山洪沟进行了危险区划分，用于山洪灾害预警预报。1980 年，瑞典学者提出危险区等级划分方法，将洪水易发区划分为 4 个不同危险级别。美国在 20 世纪 70—80 年代，将危险性分为 5 个等级，在国内部分地区利用遥感技术开展山洪危险性划分。我国的山洪危险区研究起步于 20 世纪 80 年代，到 21 世纪，GIS、RS 等技术开始引入，由于其强大空间分析功能，便于水文、水力学分析所需基础参数信息的提取，在山洪灾害危险性分析中取得了较为理想的效果。

通过对山洪灾害致灾因子分析发现，降雨是引发山洪的最直接外动力。当小流域中某时段内的降雨量或水位达到或超过某一临界值时，形成的洪水流量恰好等于河道安全泄洪载荷，此临界值即为临界雨量或临界水位。临界雨量或临界水位对山洪灾害预警至关重要，是山洪致灾因子危险性评估的必要环节。采用临界水位为下游预警比较直观，但预见期比较短，临界雨量预见期较长，缺点是计算准确性比较差，但为获得尽可能长的预见期，国内外还是大量采用临界雨量开展山洪预警。

在美国，雨量预警指标称为 flash flood guidance (FFG)。计算时基于典型降雨、产流、汇流、演进、预警指标反推等环节进行雨量预警指标的计算，较全面地考虑了降雨、土层含水以及下垫面特性三大因素。日本的气候条件、地质地貌、植被土壤条件更为单一，临界雨量确定方法考虑的因素更集中于降雨和土层含水方面的分析，临界雨量分析主要针对滑坡、泥石流等进行，其方法可以划分为土壤雨量指数法、实效雨量法、汇流时间降雨强度法、权重判别

分析法 4 种类型。我国气候条件、地质地貌、植被土壤种类丰富，降雨、水文等基础性资料丰富程度不一，有的地方甚严重匮乏，故现有山洪灾害临界雨量的确定方法种类繁多，考虑因素各有差异，主要有实测雨量统计法，水位/流量反推法，暴雨临界曲线法，水动力学计算方法等。我国台湾地区主要采用降雨驱动指标值建立泥石流发生可能性的降雨警戒模式，将降雨警戒图划分为低可能发生、中可能发生以及高可能发生 3 个区域进行分析；在实际应用层面，各地常根据经验方法确定山洪灾害预警指标，使得指标的准确性和预警效果存在很大的不确定性。

承灾体的脆弱性是指在不同强度灾害的影响下，承灾体的敏感性和抵抗能力。脆弱性的可靠性高度依赖于大量的统计数据，尤其是历史损失数据，需要随着社会经济的发展进行不断地更新，才能保证评估结果的准确性。同样山洪灾害脆弱性评估需要综合考虑多方面因素，而这些因素之间存在复杂的联系，在分析脆弱性时，如何考虑因素之间的影响，选取有代表性的因素构建有效模型难度较大，可以从气候和地理环境条件入手，分析暴雨洪涝强度对承灾体影响。

1.2.4 山洪应急避险

国内外对于山洪灾害应急避险主要包括制定应急预案及应急避险两大部分，两部分中体现出不同的责任制。在北欧国家，制定应急预案要具体到社区，总体而言，预警信息由政府部门发送到相关社区，应急避险由社区人员自己负责；国内主要具体到村民小组一级，应急预案制定和避险都主要由基层政府干部负责。

在国外，很多地方政府通常会编制一些通俗易懂的手册，手册中的主要内容包括当地防洪管理人员的联系方式、洪水/山洪主要来源（如暴雨、溃堤/坝、溪河涨水、融雪、融冰等）、政府采取的防洪措施（如河道整治、工程建设、监测预警设施建设、应急操作、政府防洪工作程序等）、洪水来临前居民应采取的措施（如防洪准备、防洪应急规划和防洪保险购买、房屋防洪改造等）、洪水到来时典型情况下应采取的措施（如密切关注不同等级的预警信息、关注报警电话、切断水电气、尽可能赶到安全地带等）、洪水过后应采取的措施（如照顾好自己、抢修房屋、制定切实可行的恢复计划并实行等）。总之，政府的责任是详尽地尽到山洪危险的告知义务并协助灾后恢复，具体应急避险主要由居民自己行动。

在我国，主要是采用群测群防策略和措施，建立基层责任制体系，编制山洪防御预案，进行山洪灾害防御宣传及演练，以保证山丘区人民群众在山洪灾害发生时能安全转移到安全地带，并给予一定程度的灾后恢复帮助。