

文章编号:1672-3031(2021)03-0313-05

山洪灾害防治理论技术框架

孙东亚

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 山洪灾害防治是一项复杂的自然-社会系统工程, 需融合应用自然科学与社会科学等理论技术手段, 建立一套完整理论技术体系, 支撑山洪灾害风险管理和防治实践。结合山洪灾害自然属性、社会属性和灾害属性分析, 阐述了山洪灾变过程和机理, 提出了山洪灾害防治连续统概念性模型和山洪灾害防治系统化方法, 构建了山洪灾害防治理论技术框架。按照灾前预防和保护、减灾准备、应急响应和灾后恢复等四个阶段的山洪灾害风险管控特点, 提出了对应孕灾环境、承灾体和应急状态, 在各阶段可采取的减灾技术和防灾措施。分析了山洪灾害监测预警体系中所存在的不确定性和降低不确定性的方法。

关键词: 山洪灾害; 连续统; 灾变机理; 灾害防治

中图分类号: TV877

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20200059

1 研究背景

山洪灾害是一种典型的洪水灾害类型, 其防治的理论技术基础源于传统的防洪减灾理论技术, 但又有所区别, 主要取决于山洪灾害的自然属性和社会属性^[1]。山洪的发生是一种自然现象, 受山丘区水文气象和地形地貌等孕灾环境影响, 山洪灾害致灾因子(暴雨洪水)具有高度的时间、空间、强度变异性, 降雨范围小、历时短、强度大; 洪水过程短、洪峰高、破坏力强, 但发生频率非常低, 这是山洪灾害的自然属性。另一方面, 山洪灾害的承灾体或影响对象主要为山丘区的居民、流动人员、家庭财产及公共基础设施, 具有点多、面广、社会管理单元小而分散等特征, 防御标准低, 易损性高, 相比江河洪水, 一次山洪灾害事件的影响范围小, 这是山洪灾害的社会属性。山洪灾害防治是一个复杂的自然-社会系统工程, 需要从系统整体论思想出发, 研究建立山洪灾害防治措施和理论技术体系。我国山洪灾害防治理论技术体系的形成过程就是基于对山洪灾害基本属性的认识, 在不断实践经验总结中将其基本概念内涵和外延不断延伸的过程, 探讨山洪灾害孕灾环境、致灾因子、承灾体和防灾措施等要素的相互作用、相互影响和相互联系, 其核心是应用水利科学、经济学、社会学、灾害学、信息科学等理论技术, 形成适应自然规律和社会管理体系的山洪灾害防治方略。本文提出了山洪灾害防治连续统概念模型, 对山洪灾变过程、防治措施、理论技术进行高度概括, 形成了适合我国当代技术经济发展水平的山洪灾害防治理论技术框架。

2 山洪灾害防治连续统概念模型

连续统原本是一个数学范畴的概念, 指连续不断的实数集, 原意是为了强调实数的连续性而给实数系的另一名称。连续统又是一个哲学范畴的思维概念, 指某种事物在时间或空间中, 持续不断的、紧密联系的、甚至是相对的, 但本质上是中和与交融的综合整体。山洪灾害防治连续统概念模型基于山洪灾害形成的物理机制(见图1)^[2-3], 按照系统论思维阐述山洪灾变系统和防灾减灾系统要

收稿日期: 2020-05-16; 网络首发时间: 2021-03-04

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20210303.1326.004.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(SQ2017YFC150069)

作者简介: 孙东亚(1965-), 教授级高级工程师, 主要研究方向为防洪减灾。E-mail: sundy@iwhr.com

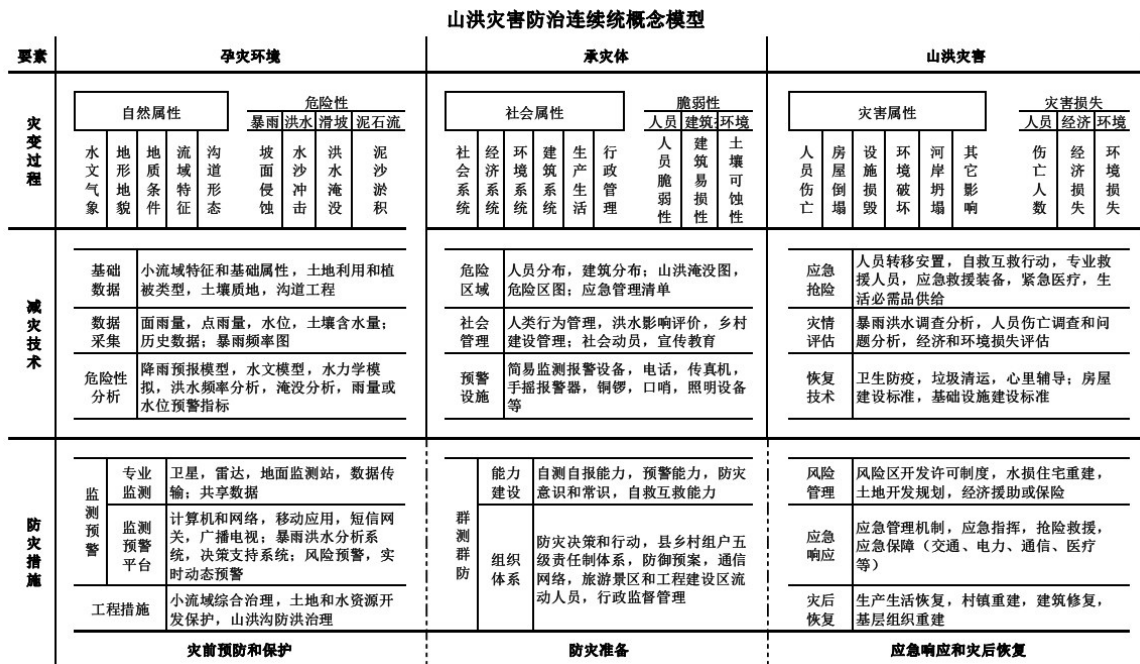


图1 山洪灾害防治连续统概念模型

素及其互馈影响，揭示系统链条关键环节要解决的自然科学和社会科学问题及途径，促进多种技术和措施的综合应用，实现山洪灾害防治目标^[4]。应用自然科学理论解决暴雨洪水分析、监测预警、工程措施等技术问题，而应用社会科学则注重解决组织、机制、经济、市场、监管等社会管理问题。

首先需按照常态化减灾要求，加强灾前预防和保护，针对孕灾环境，实施防灾减灾工程，包括小流域综合治理，山洪沟防洪治理等；应用各类减灾技术建设完善监测预警体系，包括维护升级卫星、雷达、地面监测站，调试运行监测预警平台，完善暴雨洪水分析系统，进行暴雨洪水实时分析，动态确定预警时机和危险区。其次，在发生山洪灾害汛期，针对承灾体，加强防灾准备，强化社会组织动员，动态更新危险区清单，夯实群测群防各项工作，特别是具体落实基层责任制；按照实际需要配置调试运行监测预警设施设备，加强监测预报预警。而在应急状态下，从减低山洪灾害损失目标出发，实施应急响应和灾后恢复措施，及时转移安置危险区人员，对受灾人员及时给予医疗和生活救助，恢复生产生活，防止灾后出现疫情等；基于灾害发生情况，按照洪水风险管理要求，规划灾后重建计划。

3 山洪灾变过程和机理

山洪灾变是山洪自然属性与社会属性相互作用的结果。自然属性是指围绕山洪灾变的动力过程表现出的各种自然特征，如山洪形成条件和变化规律，山洪冲击淹没范围、强度、频次等，主要应用水利科学的水文气象和水动力学理论加以概念性描述或应用专业模型进行定性和定量分析。社会属性主要指与成灾活动密切相关的人类社会、经济活动，包括人员、建筑(房屋、道路、桥梁、管线及其它公共基础设施)、经济活动、防灾能力等，主要应用经济学、社会学等理论加以阐述或应用灾害损失评估模型进行半定性半定量分析。

从物质和能量流的角度分析，山洪致灾过程是物质和能量从天空到地面、从坡面到山溪、支沟、干沟的不断演绎、汇集并在超过沟道承载能力极限时集中释放而形成灾害的过程。降雨是一个明显的从势能向动能的转化过程，是径流形成的首要环节。降雨的形成需要两个基本的物理条件，即大气中必须含有足够的水汽和必须具有使水汽凝结成液态水的动力条件。根据动力条件的不同，

降雨又分为气旋雨、对流雨、地形雨和台风雨等。影响降雨及其时空分布的因素主要有地理位置、气旋、台风路径等气象因子，以及地貌、植被、水体等下垫面条件。

产汇流过程为径流的产生和汇集过程。降雨到达地面后，先被植被截流，之后落到地面并不断渗入土壤。一方面，当降雨强度超过土壤下渗能力时产生地表积水，并填蓄于大小坑洼中，蓄于坑洼中的水渗入土壤，或被蒸发。坑洼填满后即形成从高处向低处流动的坡面径流；另一方面，当土壤含水量饱和时，截流渗透的水分通过土壤孔隙，由高处向低处流动，形成壤中流，部分壤中流也会从坡面渗出。坡面径流通过坡地地表汇流和坡地地下汇流，逐级汇集流入山溪、支沟和干沟等，水流流量不断增大，在沟道中演进，形成山洪。在此过程中，因坡面径流和壤中流作用，可能诱发水土流失、滑坡和泥石流。

山洪从高地势地区流向低地势地区，仍是势能向动能的转化过程。随着沟道水流流量和流速的不断增加，水位将快速升高，水流能量不断积聚，可对山洪沟道和两岸形成冲刷作用。在沟道行洪能力有限情况下，山洪也可能宣泄不畅，流速降低，部分洪水动能转化为势能，水位迅速上涨，水流挟带的泥沙可能沉积下来。随着洪水水位的快速升高，可能突破沟道两岸约束而成为漫溢洪流，山洪的势能又转化为动能。山洪在洪泛区急速运动过程中，受地形作用和建筑物阻挡，部分动能被损耗；还有一部分动能转化为势能，具体表现为洪泛区淹没深度的增加。

在山洪形成及沿沟道演进和向两岸漫溢的过程中，因山洪动能和势能共同作用，可能导致人员受淹被埋或被冲走，造成人员伤亡；也可能冲毁或淹没建筑物(包括房屋、道路、桥梁、石油天然气管道、电力或通信设施等)，造成财产损失，形成山洪灾害。山洪灾害形成过程中，不仅包括单纯洪水作用，也包括水流挟沙或泥石流的作用，也存在坡面流冲刷或滑坡影响。山洪灾害造成的损失是多方面的，不仅包括人员伤亡、财产损失、环境破坏等，还包括因交通、通信和电力中断或其它影响而伴生的社会经济活动被干扰而造成的间接经济损失，具有灾害放大效应和灾害链特征。

4 山洪灾害防治系统方法

从山洪灾害防治连续统概念模型可以看出，需要基于山洪灾害自然和社会属性认知，统筹应用自然科学和社会科学方法构建防灾减灾救灾措施体系。现代自然科学和社会科学发展的一个显著特点是相互渗透、相互补充、相互结合，形成新的边缘学科、交叉学科，逐步向系统科学方向发展。本世纪40年代由美籍奥地利科学家贝塔朗非提出的系统论，现在已普遍用于自然科学和社会科学，并取得了显著的成效。系统论的特点是强调事物的整体性、联系性、层次性和最优化。从山洪灾变过程和机理分析可以看出，在灾变过程的不同阶段，针对孕灾环境和承灾体采用不同的过程干扰或防治措施，可以实现不同的山洪灾害防治目标。这些目标既是某一方面的，如减少人员伤亡为首要目标，也可能是综合性的，例如在减少人员伤亡的同时，还要最大限度减低对经济和生态环境的不利影响。显然，连续统概念模型中所阐述的这些过程干扰措施是相互关联和相互影响的，是一个系统工程。例如，流域土地和水资源开发保护措施，既可以增强社会防御山洪灾害的韧性(或降低脆弱性)，也有利于减低山洪危险性，提高环境质量。既然山洪灾害防治是一项系统工程，就可根据其自然、社会和灾害属性，将其划分为三个子系统，对应灾前预防和保护、防灾准备、应急响应和灾后恢复等阶段，采用监测预警、工程保护、流域综合治理和风险管理、群测群防、应急抢险救援和灾后恢复等措施，以实现防治目标的局部和整体优化。

我国不同地区自然地理特征和经济社会发展水平差异很大，各类山洪灾害防治措施和技术手段在时效性、可靠性、成本等方面也存在显著差别，各地既有共性问题，也有特殊要求，因此需要在按照系统方法统筹规划常态减灾与非常态救灾措施的同时，针对各地区本发展阶段所重点关注和有能力解决的问题，因时因地因人选择适宜措施；在典型技术手段带动下，有序推进综合措施的应用。按照当前我国经济社会和技术发展水平，需要重点构建以监测预警、群测群防和应急响应为核心的非工程措施体系建设。其它工程和非工程措施可结合我国乡村振兴、扶贫脱贫战略的实施逐步

推进,在经济发达地区先行实施,包括小流域综合治理工程、山洪沟防洪治理工程、农村住房迁建或提高设防水平和抗冲能力,提高重大基础设施防洪标准和工程等级等。

5 山洪灾害监测预警措施的不确定性

山洪灾害监测预警是山洪灾害防治理论技术框架的核心内容,是目前防御山洪灾害的主要技术手段。但在具体实施中监测预警诸环节存在诸多不确定性,在防灾减灾决策中对此必须给予充分重视,分析判断不确定性程度,做出更加合理的决策。在山洪灾变过程中,山洪灾害监测预警不确定性主要来源于四个方面,并且分属于不同的自然科学和社会科学内容。

一是降雨分布和过程。这类不确定性既是客观存在不可避免,反映降雨场和降雨过程的自然变异性,也存在监测资料整编分析、降雨预报等方面的主观不确定性。降雨形成条件,降雨时空分布,样本可靠性、一致性和代表性,降雨预报模型,降雨过程分析模拟方法等方面,均存在不确定性。降雨模式会受到当地或者全球气候变化的影响等,台风等极端事件也会增加降雨过程的变异性。降雨监测数据质量将因采用新的监测设备而得到改善,或因监测站密度增加或采用测雨雷达等先进装备,导致对应同一频率洪水分析所得的降雨数值发生变化。因降雨形成机制与预报问题的复杂性,定时定点定量降雨预报一直是水文气象领域的重点和难点,精准度低,如依赖降雨预报进行预警转移决策,不确定性程度很高,只能起到提醒大众关注的作用^[5]。

二是暴雨洪水过程。这类不确定性既是客观存也有主观因素,反映暴雨洪水过程的自然变异性,也存在暴雨洪水过程模拟的主观不确定性,主要包括降雨时空变异性、小流域汇流非线性、水文水力学模型与参数的不确定性等,是因对暴雨洪水规律的认知程度低或缺乏足够的数据进行演绎推理而产生的。例如,因监测站点密度不足,导致捕捉不到局地强降雨,面雨量估算存在误差;用于暴雨洪水计算的水文模型和用于沟道洪水演进计算的水力学模型也存在不确定性,主要模型参数的变异性也很强,包括小流域坡度、土壤湿度、沟道几何形状、糙率、河床坡度、泥沙淤积、塘堰坝等^[6]。上述这些因素的不确定性最终影响到预警指标的科学性和合理性。随着知识进步和信息量增加,这类不确定性可被减弱或消除,依据实时降雨场和降雨过程监测数据和暴雨洪水过程动态分析进行预警将是一套更加科学实用的技术方法。

三是监测预警系统及信息链。这类不确定性属于客观不确定性,反映监测预警系统硬件设备及其之间的联接、系统软件、信息传输模块及其所依赖的通信网络等运行过程的不确定性。如因这些环节中的任何一环出现故障,将导致降雨监测、监测数据接收和分析处理、暴雨洪水计算、预警决策或预警信息发送和接收、末端预警等功能丧失,这类不确定性可以通过增强硬件及软件系统的可靠性、加强运行维护和日常试运行予以减弱。

四是防灾组织和个体行为。这类不确定性属于主观不确定性,存在于社会组织体系、社区等管理单元和个体行为等多方面,属于社会科学内容。长期以来,我国形成了政府主导、多方参与、协调联动、共同应对的防灾减灾救灾工作格局,建立了相对完善的责任制体系。但是以责任人为主体的防灾组织是脆弱的,责任链条极易因人员变动、责任心不足、从事其它社会活动、不能正常使用报警设备等而中断。另外,个体防灾意识淡薄和能力不足、降雨期间在山洪沟内生产或旅游、不服从避险转移指挥或遇山洪反应不当等,都将增加监测预警行动或应急响应的不确定性。

6 结论与建议

以山洪灾害防治连续统概念模型为核心构建了山洪灾害防治理论技术框架,鉴于山洪灾变过程的复杂性和防治措施的系统性影响特征,这一概念模型中各要素及其相互关系的描述并不完全一一对应,但从中可反映孕灾环境(危险性)-承灾体(脆弱性)-山洪灾害(损失)-防灾措施之间的有机联系和相互影响,有助于从全局出发厘清山洪灾害防治所面对的问题与挑战、制定防治方略和落

实防治措施。从国内外山洪灾害防治实践来看,以监测预警与群测群防为核心的非工程措施体系建设仍是当前最行之有效的灾害防御手段,但这一非工程措施体系的构建需要解决暴雨洪水监测预报预警等方面存在的突出短板问题,减弱不确定因素影响,增强监测预警和响应时效。为有效提高山洪灾害防治成效,需系统应用各类山洪灾害防治措施以实现保障山丘区经济社会高质量发展的防灾减灾目标。

参 考 文 献:

- [1] 周魁一.我国防洪减灾方针进展及其理论探讨[J].中国水利,2009(9):5-11.
- [2] GOLDEN J, et al. The Hurricane-Flood-Landslide Continuum-Forecasting Hurricane Effects at Landfall[C]// Proceedings of the 37th Joint Meeting of U.S.-Japan Panel on Wind and Seismic Effects. Tsukuba, Japan, 2005.
- [3] Tetra Tech Flood Warning and Emergency Evacuation Plan[R]. Prepared for Ventura County Watershed Protection District, 2015
- [4] 马宗晋,高庆华.李四光教授的系统整体论思想[J].地质评论,1990(9):431-435.
- [5] 张晓蕾,等.福建省山洪灾害风险识别与定量分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2019,17(4):299-304.
- [6] 刘昌军,等.小流域暴雨山洪水文模型与水动力学方法计算比较分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2019,17(4):262-270,278.

Theoretical-technical framework of flash flood disaster prevention

SUN Dongya

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Flash flood prevention is a complex natural-society system engineering. It is necessary to integrate the application of natural science and social science methodologies to establish a comprehensive theoretical and technical system to support flash flood disaster risk management and disaster prevention practices. Combining the analysis of the natural, social and disaster attributes of flash flood disaster, the process and mechanism of flash flood disasters are elaborated. A conceptual model on flash flood disaster prevention continuum and a systemic prevention method are proposed, and a theoretical-technical framework for flash flood disaster prevention is developed. According to the risk management characteristics of flash flood disaster in the stages of pre-disaster prevention and protection, preparation, emergency response and post-disaster recovery, corresponding measures and technologies are proposed. The uncertainties existing in flash flood monitoring and warning system and the methods to reduce the uncertainties are analyzed.

Keywords: flash flood; continuum; disaster mechanism; disaster prevention

(责任编辑: 祁 伟)