

熊朕, 田宏岭. 我国山洪灾害监测现状与发展趋势[J]. 灾害学, 2019, 34(3): 140-145. [XIONG Zhen and TIAN Hongling. A review and trend: flash flood disaster monitoring in China[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(3): 140-145. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.03.026.]

我国山洪灾害监测现状与发展趋势*

熊朕^{1,2,3}, 田宏岭^{1,2,3}

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 山洪灾害包括山洪及由山洪诱发的滑坡、泥石流, 常常造成巨大的经济损失和人员伤亡。目前, 监测作为最主要的非工程手段已广泛运用于山洪灾害防治工作中, 为预警提供了直接依据。该文首先评价了监测预警实施效果, 然后从监测要素、临界雨量、监测设备与台站系统和相关法律法规 4 个方面详细评述了山洪灾害监测现状与主要进展, 总结出监测当存在监测系统寿命与灾害频率不匹配、临界雨量选取困难、监测要素和设备有限 3 个问题。最后提出当前山洪灾害监测的发展趋势为多要素立体化监测及新技术的融合运用、布设适应流域水文特点的站点、建立山洪灾害监测预警标准化体系。

关键词: 山洪灾害; 监测现状; 发展趋势; 监测要素; 监测设备; 综述

中图分类号: X43; X915.5; TV87 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)03-0140-06
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.03.026

山洪是指发生在山区沟道中迅速、强烈的地表径流现象, 具有暴发突然、历时较短、暴涨暴落、破坏力极强、预测难度大等特点。与大江大河的洪涝灾害不同, 山洪灾害主要发生在面积小于 50 km² 的山区小流域, 同时受特殊的地形和下垫面条件控制。在地质条件较差的山区中, 山洪灾害常常诱发滑坡、泥石流等次生灾害^[1-4]。我国水利部门将山洪及由山洪诱发的滑坡、泥石流统称为山洪灾害^[5]。山洪灾害严重威胁山区群众生命财产安全, 造成巨大损失。例如“8.8 舟曲泥石流”灾害就是暴雨诱发山洪, 洪水在向下游演进过程中侵蚀挟带大量松散物质, 进而发展成为新中国成立以来最大的一次泥石流灾害^[6-7]。又如 2006 年 7 月, 受强烈热带风暴“碧利斯”影响, 我国湖南、广东、福建等地遭受 500 年一遇暴雨, 引发的山洪共导致 618 人死亡、114 人失踪。

目前山洪灾害防治手段主要分为工程措施和非工程措施两大类。工程措施主要包括修建排洪道、谷坊、丁坝和水库等; 非工程措施主要包括监测预警、植树造林以及灾害管理^[2,8]。

与欧美等国家相比, 我国山洪灾害防治工作起步较晚, 技术力量略显薄弱。2006 年 10 月, 国务院正式批复《全国山洪灾害防治规划》^[9], 并确立了“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。2011 年水利部启动了全国山洪灾害调查评价、县级非工程措施项目建设^[10-11]。其中, 县级非工程措施主要包括山洪

监测预警和群测群防。山洪监测是指通过利用相关设备搭建监测平台, 对能够激发山洪灾害以及山洪灾害启动过程中的各个因素进行监测, 达到在成灾前预警、降低山洪灾害损失的目的。

1 山洪灾害监测现状

1.1 山洪灾害监测效果

据国家防汛抗旱总指挥部发布的《中国水旱灾害公报》(2006-2017)^[12], 如图 1 所示, 2000-2017 年共计 18 年间, 山洪灾害平均死亡人数为 870 人/年, 占洪涝灾害死亡人数 72.62%, 山洪灾害占主导地位。

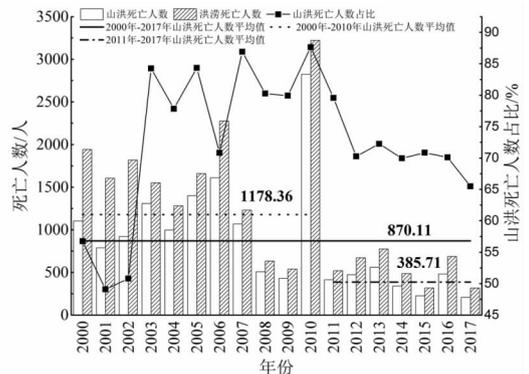


图 1 2000-2017 年我国山洪灾害死亡人数统计分析
注: 图中数据不包括台湾省、香港特别行政区、澳门特别行政区

* 收稿日期: 2019-01-23 修回日期: 2019-04-01

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1502502), 中国科学院关键技术人才项目, 四川省科技计划项目(18YYJC0168)

第一作者简介: 熊朕(1993-), 男, 四川南充人, 博士研究生, 研究方向为山地灾害防治新技术. E-mail: 95482860@qq.com

通讯作者: 田宏岭(1974-), 男, 河南太康人, 理学博士, 高级工程师, 研究方向为地质灾害监测预警、灾害风险评估.

E-mail: thl@imde.ac.cn

在山洪监测工程实施以前的 2000 - 2010 年期间, 山洪灾害平均死亡人数为 1 178 人/年, 占洪涝灾害死亡人数的 73.51%; 自监测工程实施后, 2011 - 2017 年间山洪灾害死亡人数平均值为 386 人/年, 占洪涝灾害死亡人数的 71.22%。与未开展监测预警之前相比, 死亡人数降低率为 67.23%, 然而山洪灾害致死人数所占份额仍然较大。魏丽等^[10]统计了近 10 年来, 我国山洪灾害致死平均死亡人数, 分别为美国、日本的 14 倍和 26 倍, 即使在开展监测工作后死亡人数有所下降, 但仍分别为美国、日本的 6.5 倍和 8 倍。从整体上看, 我国山洪灾害监测工作自开展以来已取得了一定的成果, 但与发达国家相比, 仍有相当的提升空间。

山洪监测不仅仅是建立监测系统平台的工作, 一个成功的山洪监测预警系统应包括组织管理体系、监测要素、预警阈值(临界雨量)、监测设备与台站等多方面的内容(图 2)。

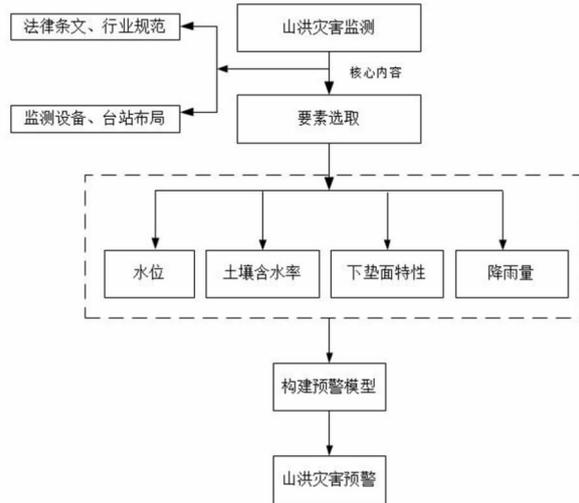


图 2 山洪灾害监测预警

1.2 山洪灾害监测要素

目前国内外预警模型均以山洪灾害激发要素来构建, 山洪灾害的监测要素选取是否合理直接决定了监测系统的有效性以及预警的成功率。基于延长预见期的考虑, 国内外对于山洪监测系统监测要素的选取大体相同, 均将临界雨量作为山洪灾害监测的核心指标^[8,13]。虽然核心指标选取相同, 但国内外关于临界雨量的定义有所差别。

我国在《全国山洪灾害防治规划》中根据降雨量直接定义临界雨量, 即当某一时段降雨量达到或超过某一雨量时, 山洪灾害发生, 该雨量即为临界雨量, 通常采用统计归纳法进行判别^[14]。而国外则以目标流域断面生成临界流量所需的累计降雨量作为临界雨量^[15], 在此监测过程中, 需要根据河道安全水位反推临界雨量, 通常采用水文水力学方法。因此, 基于前述定义的差别, 不同国家在临界雨量研究的具体指标选取上各有侧重。

美国根据山洪预警指南系统(Flash Flood Guidance, FFG)来计算临界雨量^[16-19], 该方法较为全面的考虑了影响临界雨量的降雨、土壤含水量及下垫面特性三大因素, 物理过程明确, 选取因素

具有实时、动态化的特点, 因此采用该方法监测到的临界雨量进行预报的准确率较高。这种临界雨量的计算方法即为前文提到的水文水力学方法。欧洲国家则多采用基于气候模拟的欧洲降水指数(European Precipitation Index based on simulated Climatology, EPIC)作为判别极端暴雨的指标^[20], 该方法更类似于风险区划。

1.3 临界雨量

我国幅员辽阔, 各地的降雨、土壤、地质环境等基础因子情况不一, 水文基础资料完善程度差异较大, 预警难度较大。目前我国主要采用雨量监测, 辅以水位监测的方案。对于水文资料完整的地区, 选取历史成灾水位为预警阈值; 如果该地缺乏历史成灾水位资料, 则以可能造成灾害的最低水位为预警阈值^[8]。相对于水位, 目前我国关于降雨量的研究更多, 但主要还是使用前文提及的基于数据驱动的统计归纳法。由于统计归纳法较为简单, 实际应用方便, 加之不涉及山洪物理过程机制, 因此在我国使用较为广泛^[21]。

《全国山洪灾害防治规划山洪灾害临界雨量分析计算细则(试行)》将临界雨量推求方法分为有资料地区和无资料地区。对于山洪灾害和降雨量资料记录较为充足的地方, 可以用区域临界雨量法和单站临界雨量法计算。前者是通过统计区域内山洪发生过时段内最大面平均雨量值的最小值, 并为其赋予一个变幅, 只要面雨量在该变幅内, 该区域就有可能发生山洪灾害^[22]。这种方法简单可行, 实用性强, 在全国大部分地区得到了推广应用, 但无法定量评估山洪灾害的规模和次数。单站临界雨量法则是统计单个站点与历次山洪灾害对应的各时段最大雨量中的最小值, 作为临界雨量初值, 并增加变幅, 一旦降雨量在该区间内, 则区域内发生山洪概率增加。单站临界雨量法相对区域临界雨量法精度有所提高, 在满足雨量计密度足够大的前提下, 可以确定每个小流域的临界雨量, 但监测数据仍不能直接用于预警预报, 需要与其它方法相结合^[23-24]。如江锦红等人^[25]构建了最小临界雨量和临界雨力的概念, 作出暴雨临界曲线, 并通过三次暴雨山洪资料进行验证, 结果较为可靠。

对于无资料地区的临界雨量计算主要采用内插法、比拟法、山洪灾害实例调查法和灾害与降雨频率分析法^[26-30]。如刘媛媛等人^[31]通过临界水位比拟反推出临界雨量, 并用北京门头沟区山洪灾害防治案例进行验证, 结果表明该方法有一定可靠性。张玉龙等人^[32]用内插法推求无资料地区的临界雨量并绘制了临界雨量等值线图, 并在云南典型山洪流域建议验证。

上述方法由于简单易行, 且对降雨资料依赖性不强, 用于无资料地区能起到一定作用, 但精度较低, 加之目前实践较少, 通过这些方法推求得到的临界雨量值用于预警时应谨慎。目前, 国际上正通过无资料地区预报(Prediction in Ungauged Basins, PUB)计划对无资料地区山洪计算方法进行不确定性研究^[33]。

1.4 山洪灾害监测设备及台站

基于我国山洪灾害预警所需要素,山洪灾害监测的设备主要为简易雨量站、自动雨量站和自动水位站。简易雨量站能进行雨水情信息自动监测并具有自动报警功能,主要用于群测群防;自动雨量站和自动水位站可以实现雨量、水位等监测要素的自动采集、存储和传输,可用于预警平台发布信息。

监测设备的布局 and 密度是监测工作的关键。《全国山洪灾害防治项目实施编制大纲》要求,在山洪灾害严重的区域原则上按照 $20 \sim 100 \text{ km}^2/\text{站}$ 的密度布设自动或人工雨量站;特别严重的区域应按照 $20 \sim 30 \text{ km}^2/\text{站}$ 的密度布设自动或人工雨量站。在面积超过 100 km^2 的山洪灾害严重流域,应布设自动水位站。

根据上述要求,我国目前已建成自动雨量、水位站共计 6.3 万个,简易监测站 40 万个,共建监测预警平台 2 058 个,部分市县山洪灾害监测站点最大密度已达 $10 \sim 20 \text{ km}^2/\text{站}$,覆盖了全国 30 个省(自治区、直辖市)、305 个地市及 2 058 个县,控制山洪流域 53 万个^[34-36]。重点防治区内监测台站稀疏的区域设备布设密度得到了补充和加强。

1.5 相关法律法规规范

法律法规作为山洪灾害监测的重要管理手段和依据,是山洪灾害监测的重要组成部分。法律法规作为一种行为规范,对山洪灾害监测的组织形式、监测内容方法、效果评价等给出了标准和方向,是监测工作得以顺利实施的保障。

笔者查阅了我国与山洪灾害有关的法律法规,系统性的山洪灾害监测法律条文及规范目前尚未发现,只零星散见于防洪法、水法、水土保持法等条文之中。目前我国修订完成的《中华人民共和国水法》^[37]是基于水资源开发利用,从防汛的角度对山洪的进行防治和管理进行了立法约束。我国最新的《中华人民共和国水土保持法》^[38]于 2010 年修订通过,该法主要从水土流失的角度出发,旨在减轻山洪灾害对地表的剥蚀。与山洪灾害最相关的《中华人民共和国防洪法》^[39]和《中华人民共和国防汛条例》^[40]是对洪水灾害进行风险管理的法律条文,旨在依法防御洪水、减轻洪涝灾害。以上法律条文均以安全设防为主^[41-43],涉及到山洪监测的内容极为有限。

目前现行的山洪监测有关规范主要由为国家防汛抗旱总指挥部和长江水利委员会主编的《山洪灾害监测预警系统设计导则》(SL 675-2014)^[44]以及由中国水利水电科学研究院主编的《山洪灾害预警设备技术条件》(SL 762-2018)^[45]。前者主要针对县级行政区山洪灾害监测,从监测站网布设、监测方式、信息传输以及监测设备设施四个方面对山洪灾害的监测进行了说明和规定,是我国目前最全面的山洪灾害监测规范,对山洪灾害监测工作的开展具有重要的指导意义。后者则主要从山洪灾害预警角度出发,对山洪灾害监测设备进行了说明。

2 山洪监测存在的技术问题

2.1 监测系统寿命与灾害频率不匹配

我国灾害性的山洪发生频率通常较低,基本为 50~100 年一遇,现行的监测系统很难达到这个运行时长要求^[46]。一般监测预警设备的报废年限为 10 年左右,如南京水利科学研究院生产的翻斗式雨量计的设计使用年限为 10 年,因此设备的寿命仅为灾害性山洪暴发周期的 $1/10 \sim 1/5$ 。2008 年汶川地震后,四川省在 39 个重灾县实施了县级流域的山洪灾害监测预警工程,平均每县投资额度为 600 万元;震后 6 年内由于仪器损毁导致部分地区监测预警功能丧失,2014 年四川省又启动升级建设,平均每县投资额度为 100 万~300 万元。因此,山洪监测系统的实际寿命仅为山洪灾害周期的 $1/20 \sim 1/10$ 。同样,监测人员作为监测系统中必不可少的一环,责任期一般为 5~10 年,远低于灾害的平均周期。监测仪器的使用寿命以及人员的更替使得山洪灾害监测缺少持续性。

2.2 降雨监测临界值选取困难

同一流域内,不同断面发生山洪灾害的临界流量相差极大。乔建平^[47]研究认为在山区流域内,不同高程降雨量分布差异较大(图 3),从山脚到山坡中部,随着地势抬高降雨量也逐渐增加,但是到山顶附近之后,由于海拔上升,空气中水汽减少,导致降雨量明显减少。如甘肃舟曲“8.8 特大山洪泥石流”暴发前夕的气象监测资料显示,沟源附近海拔为 2 880 m,8 月 7 日记录降雨量为 96.3 mm;沟口县城海拔 1 300 mm,当天降雨量仅为 12.8 mm,二者差异为 7.5 倍^[48-49]。云南省东川蒋家沟在 1981 年期间内发生多次降雨导致山洪并诱发泥石流,流域内不同高程的临界雨量变幅达到 71.4%^[50]。西班牙 SENET 流域内暴雨诱发泥石流的临界雨量在 5 min 时段内变幅达 66.7%,1 h 内的降雨变幅达 71.0%^[51]。此外,不同坡向降雨量也不同,同时期阳坡降雨量要高于阴坡。因此,选择哪一个高程、哪一种坡向的降雨量进行监测并作为预警的临界雨量,是山洪监测预警研究的难点之一。

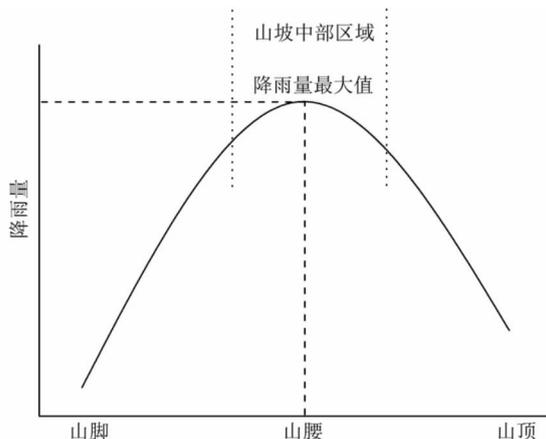


图 3 山区降雨量随高程变化示意

2.3 监测要素单一、监测设备有限

目前国内山洪灾害监测以降雨量为主, 但山洪灾害的暴发是多因素控制, 不仅与降雨量有关, 也与流域的下垫面条件、植被环境等因素息息相关。单纯地依靠降雨量来对山洪灾害进行监测, 其预警成功率距公众期望还有一定距离。即使降雨量的监测也多依靠传统的雨量计, 加之降雨监测站网密度低, 雷达等现代监测设备覆盖范围小, 对强降雨事件监测力度尚显不够^[52]。

王宏传等^[53]通过文献计量的方法, 分析山洪灾害相关文献发现, 我国关于山洪研究中, “监测预警”、“非工程措施”等词汇高居热词排行榜榜首, 但“监测设备”、“监测站网”等词汇却未列入榜中, 说明我国目前对于山洪灾害研究倾向于预警理论, 对于山洪监测实践工程中具有重要意义的监测要素、传感设备、站网组织、管理体系等的相关研究极少。

3 山洪灾害监测研究趋势

随着全球气候变暖, 极端天气导致暴雨逐渐增多。目前山洪灾害监测预警工作已经成为研究热点。由于精细化山洪灾害预警所需监测要素较多, 在灾害监测具体实践工作中还存在许多短板。结合国内外研究的具体情况, 当前研究趋势主要体现在以下3个方面。

3.1 多要素立体化监测及新技术的融合运用

单一的监测要素和传统的地面传感器与降雨预报结合的手段覆盖面有限, 难以适应复杂的山区环境, 预警难度较大。多个学者建议开展多要素立体化的监测, 如空基的卫星监测降雨网络已取得较好的应用效果^[54-57]。

目前, 以土壤含水量为代表的下垫面特征值作为山洪灾害另一重要监测要素得到了科研人员的重视: 或在较小尺度流域通过原位观测^[58], 或在较大尺度流域通过遥感技术^[59-60]。未来可在在已覆盖的天基雷达观测网基础上, 与水文监测技术融合, 进行流域下垫面情况实时监测。

进一步, 可基于多源遥感、雷达、微纳传感等监测新技术, 与传统监测手段相融合, 实现监测要素全天时、全天候、空-天-地立体化监测, 获取山洪多要素实时数据, 摆脱对单一降雨数据的依赖^[61]。

3.2 布设适应流域水文特点的站点

根据防汛抗旱总指挥部办公室发布的《全国山洪灾害防治项目实施方案(2017-2020)》^[62], 山洪灾害自动监测站网进行站点优化和站点更新升级是该方案的重点之一, 要求在升级原有雨量站、水位站的基础上, 拟新建自动雨量站3 927个, 自动水位站1 390个, 并新建图像监测站点和视频监测站点各8 809个、4 398个(图4)。

在大量新增设备后, 其设备与站点布局需要

调整优化, 以此改变和完善原有布局的不足。通过分析小流域暴雨洪水规律、山区复杂环境的空间异质性、降雨-土壤水分-产汇流的梯度效应和时空变异性、局部地形变化对山洪过程及水位的影响^[63], 进行典型小流域监测站点合理布局的研究, 强化小流域监测站点。

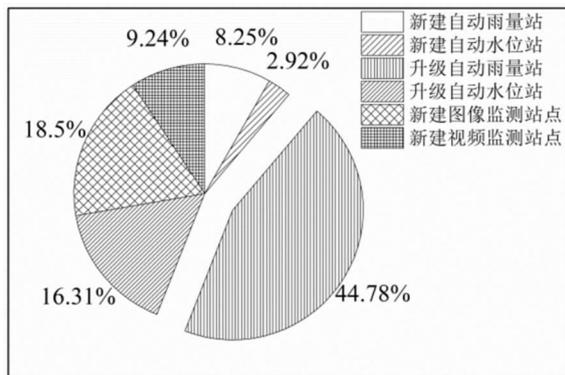


图4 2017-2020年监测站点优化任务

3.3 山洪灾害监测预警体系标准化

如前文所述, 目前我国缺少明确的山洪灾害监测法律法规, 导致灾害监测预警实施的效果并不理想。通过制定、发布和实施标准, 以最小的投入获得山洪灾害监测预警的最佳秩序和社会效益。今后应在现行水文监测规范基础上制订专门的山洪监测法规政策, 建立山洪灾害监测预警标准化体系。马建明等^[64]提出了山洪灾害监测预警系统的7个标准化需求(图5), 对未来的监测预警体系规范化建设具有一定的参考意义。同时, 在未来的监测工作中, 进一步规范非工程措施的设计、实施、验收、维护和管理等技术行为, 规范监测设备技术、站点建设以及自动监测站点通讯^[65], 不断推动我国山洪灾害监测预警体系向前发展。

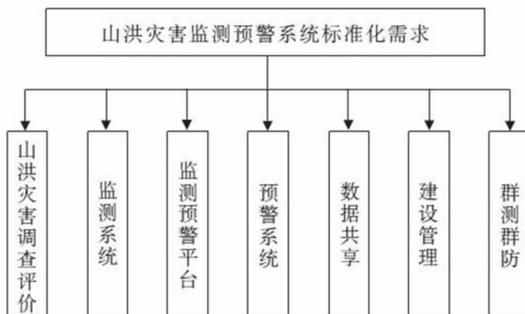


图5 标准化需求序列^[64]

4 结语

我国山洪灾害防治工作, 得到了相关政府部门的重视, 制订了相关法规和政策, 并实施了多批相关项目提升防治效率。山洪灾害监测预警研

究同样取得了可观的成果,但在监测设备、监测要素、降雨阈值和监测站点布局等方面与实际需求相比还存在差距。随着我国经济的发展,山洪灾害防治任务艰巨,需要解决当前研究与实施中存在的问题,才能适应形势的需要。在未来研究中,建议过程实施与理论研究结合,建立多源多要素立体化监测体系、进行适应流域水文特点的监测站点布局、制定专门的政策法规并建立山洪灾害监测预警标准化体系,从而提高山洪灾害监测系统可靠性与预警效率,提升我国山洪灾害防治能力,减少灾害损失,更好地为我国社会的经济发展服务。

参考文献:

- [1] 徐在庸. 山洪及其防治[M]. 水利出版社, 1981.
- [2] 王礼先. 山洪及泥石流灾害预报[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [3] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [4] 徐永年, 曹文洪, 周新福, 等. 山洪灾害特性及其防治对策[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2(2): 115-119.
- [5] 崔鹏. 中国山地灾害研究进展与未来应关注的科学问题[J]. 地理科学进展, 2014, 33(2): 145-152.
- [6] 陈晓清, 游勇, 崔鹏, 等. 汶川地震区特大泥石流工程防治新技术探索[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2013, 45(1): 14-22.
- [7] 赵映东. 舟曲特大山洪泥石流灾害成因分析[J]. 水文, 2012, 32(1): 88-91.
- [8] 陈宁生. 山地灾害形成与预测预警[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [9] 全国山洪灾害防治规划领导小组办公室. 全国山洪灾害防治规划[R]. 北京: 全国山洪灾害防治规划领导小组办公室, 2006.
- [10] 魏丽, 胡凯衡, 黄远红. 我国与美国、日本山洪灾害现状及防治对比[J]. 人民长江, 2018, 49(4): 29-33, 39.
- [11] 张平仓, 董林垚. 变化环境下山洪灾害防治范式研究初探[J]. 中国水利, 2017(13): 1-3.
- [12] 国家防汛抗旱总指挥部. 中国水旱灾害公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006-2017.
- [13] Yoshimura C, Omura T, Furumai H, et al. Present state of rivers and streams in Japan [J]. River Research and Applications, 2005, 21(2/3): 93-112.
- [14] 程卫帅. 山洪灾害临界雨量研究综述[J]. 水科学进展, 2013, 24(6): 901-908.
- [15] Hapuarachchi H A P, WANG Q J, Pagano T C. A review of advances in flash flood forecasting [J]. Hydrological Processes, 2011, 25(18): 2771-2784.
- [16] Shamir E, Georgakakos K, Spencer C, et al. Evaluation of real-time flash flood forecasts for Haiti during the passage of Hurricane Tomas, November 4-6, 2010 [J]. Natural Hazards, 2013, 67(2): 459-482.
- [17] 孙东亚, 张红萍. 欧美山洪灾害防治研究进展及实践[J]. 中国水利, 2012(23): 16-17.
- [18] Smith K T, Austin G L. Nowcasting precipitation - a proposal for a way forward [J]. Journal of Hydrology, 2000, 239(1): 34-45.
- [19] Candidate D S, Lakhankar T, Student J M U, et al. Evaluation of Operational National Weather Service Gridded Flash Flood Guidance over the Arkansas Red River Basin [J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2013, 49(6): 12.
- [20] Carpenter T M, Sperflage J A, Georgakakos K P, et al. National threshold runoff estimation utilizing GIS in support of operational flash flood warning systems [J]. Journal of Hydrology, 1999, 224(1-2): 21-44.
- [21] 刘志雨, 杨大文, 胡健伟. 基于动态临界雨量的中小河流山洪预警方法及其应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 317-321.
- [22] 陈桂亚, 袁雅鸣. 山洪灾害临界雨量分析计算方法研究[J]. 人民长江, 2005, 36(12): 36-38.
- [23] 杜克胜, 赵映东, 谢建丽, 等. 洮河流域纳纳河山洪灾害临界雨量分析计算[J]. 中国防汛抗旱, 2013(4): 11-13.
- [24] 段生荣. 典型小流域山洪灾害临界雨量计算分析[J]. 水利规划与设计, 2009(2): 20-21.
- [25] 江锦红, 邵利萍. 基于降雨观测资料的山洪预警标准[J]. 水利学报, 2010, 41(4): 458-463.
- [26] 赵然杭, 王敏, 陆小蕾. 山洪灾害雨量预警指标确定方法研究[J]. 水电能源科学, 2011(9): 49-53.
- [27] 李德, 陈广才, 谢平, 等. 乌鲁木齐市无资料地区山洪泥石流临界雨量推求[J]. 干旱区地理, 2005, 28(4): 441-444.
- [28] 王仁乔, 周月华, 王丽, 等. 湖北省山洪灾害临界雨量及降雨区划研究[J]. 高原气象, 2006, 25(2): 330-334.
- [29] 秦毅, 陈星星, 曾杉. 山洪灾害预警雨量指标讨论及在无资料地区的确定[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(6): 42-46.
- [30] 叶勇, 王振宇, 范波芹. 浙江省小流域山洪灾害临界雨量确定方法分析[J]. 水文, 2008, 28(1): 56-58.
- [31] 刘媛媛, 胡昌伟, 张红萍, 等. 资料匮乏地区山洪灾害临界雨量确定方法分析[J]. 水利水电技术, 2014, 45(8): 15-17.
- [32] 张玉龙, 王龙, 李靖, 等. 云南省山洪灾害临界雨量空间插值分析方法研究[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(4): 570-573.
- [33] 童杨斌. 无资料地区洪水计算与不确定性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [34] 马美红, 黄先龙, 何秉顺, 等. 2015年中国山洪灾害特点及减灾效益分析[J]. 人民黄河, 2019, 41(1): 23-27.
- [35] 何秉顺, 李青. 山洪灾害防御技术现状与发展趋势探索[J]. 中国水利, 2014(18): 11-13.
- [36] 中国水利水电科学研究院. 中国山洪灾害调查评价关键技术及应用[J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28(11): 7-11.
- [37] 第九届全国人大常委会. 中华人民共和国水法[S]. 2016-07-02.
- [38] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国水土保持法[S]. 2010-12-15.
- [39] 第八届全国人大常委会. 中华人民共和国防洪法[S]. 1998-01-01.
- [40] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国防汛条例[S]. 2005-07-15.
- [41] 刘洁. 新中国防洪抗旱法律法规建设[J]. 中国防汛抗旱, 2009(S1): 11-14.
- [42] 洪文婷. 洪水灾害风险管理制度研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
- [43] 扎西平措. 洪水灾害风险管理制度的现状与对策探索[J]. 产业与科技论坛, 2015(24): 188-189.
- [44] 中华人民共和国水利部. 山洪灾害监测预警系统设计导则[Z]. 2014-09-10.
- [45] 中华人民共和国水利部. 山洪灾害监测预警系统设计导则[Z]. 2018-01-25.
- [46] CHEN Ning sheng, Javed Iqbal TANOLI, HU Gui sheng, et al. Outlining a stepwise, multi-parameter debris flow monitoring and warning system: an example of application in Aizi Valley, China [J]. Journal of Mountain Science, 2016, 13(9): 1527-1543.
- [47] 乔建平. 降雨型滑坡泥石流监测预警研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [48] 张之贤, 张强, 赵庆云, 等. “8.8”舟曲特大山洪泥石流灾害天气特征分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 290-297.
- [49] 狄潇泓, 吉惠敏, 肖玮, 等. “8.8”舟曲特大泥石流天气背景分

- 析[J]. 安徽农业科学, 2013(12).
- [50] 吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1990
- [51] Hurlimann A, Dolnicar S. Voluntary relocation - An exploration of Australian attitudes in the context of drought, recycled and desalinated water [J]. *Global Environmental Change*, 2011, 21(3): 1084 - 1094.
- [52] 陈进. 山洪灾害防治现状、问题与对策[J]. 中国水利, 2016(14): 9 - 11.
- [53] 王宏伟, 郑爽, 曹永强. 基于文献计量分析的国内山洪灾害现状研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2017, 15(01): 29 - 36.
- [54] Sinclair S, Pegram G. Combining radar and rain gauge rainfall estimates using conditional merging[J]. *Atmospheric Science Letters*, 2005, 6(1): 19 - 22.
- [55] Mazzetti C, Todini E. Combining weather radar and rain gauge data for hydrologic applications [M]. *Flood Risk Management: Research and Practice*, 2009.
- [56] Anagnostou E N, Krajewski W F. Real-time radar rainfall estimation. Part II: Case study[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1999, 16(2): 198 - 205.
- [57] Hossain F, Lettenmaier D P. Flood prediction in the future: Recognizing hydrologic issues in anticipation of the global precipitation measurement mission [J]. *Water Resources Research*, 2006, 42(11): 1 - 5.
- [58] 陈家宙, 陈明亮, 何圆球. 各具特色的当代土壤水分测量技术[J]. 湖北农业科学, 2001(3): 25 - 28.
- [59] Owe M, Jeu R D, Walker J P. A methodology for surface soil moisture and vegetation optical depth retrieval using the microwave polarization difference index [J]. *Geoscience & Remote Sensing IEEE Transactions on*, 2001, 39(8): 1643 - 1654.
- [60] Meesters A G C A, Dejeu R A M, Owe M. Analytical derivation of the vegetation optical depth from the microwave polarization difference index [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2005, 2(2): 121 - 123.
- [61] 练继建, 杨伟超, 徐奎, 等. 山洪灾害预警研究进展与展望 [J]. 水力发电学报, 2018, 37(11): 1 - 14.
- [62] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 全国山洪灾害防治项目实施方案(2017 - 2020) [R]. 北京: 国家防汛抗旱总指挥部办公室, 2017.
- [63] 张平仓, 丁文峰, 王协康. 山洪灾害监测预警关键技术与集成示范研究构想和成果展望[J]. *工程科学与技术*, 2018, 50(05): 1 - 11.
- [64] 马建明, 刘昌东, 程先云, 等. 山洪灾害监测预警系统标准化综述[J]. 中国防汛抗旱, 2014(6): 9 - 11.
- [65] 刘昌东. 山洪灾害监测预警系统标准化研究 [D]. 北京: 水电科学研究院 2013.

A Review and Trend: Flash Flood Disaster Monitoring in China

XIONG Zhen^{1,2,3} and TIAN Hongling^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Flash flood disasters include the triggered landslide disasters, which often cause enormous economic losses and casualties. As the most important non-engineering measure of present, monitoring has been widely used for disaster mitigation, which provide direct data for early warning. Firstly, the monitoring and early warning effects were evaluated. Then the status and main progress of flash flood disaster monitoring are reviewed in detail from four aspects: monitoring elements, critical rainfall, monitoring equipment and station system, and related laws and regulations. Four problems in the monitoring system were summarized: mismatch between monitoring system life and disaster frequency, difficulty in selecting critical rainfall, and limited in monitoring elements and equipment. Finally, the development trend of flash flood disaster monitoring is put forward: multi-factor three-dimensional monitoring and the integration and application of new technology, the establishment of stations adapted to the hydrological characteristics of the river basin, and the building of the flash flood disaster monitoring and warning standardization system.

Key words: flash flood disaster, monitoring, trend, element, equipment, review

《灾害学》首次成为中国科学引文数据库(CSCD)核心库 (2019 - 2020 年)来源期刊

中国科学院文献情报中心于 2019 年 4 月对外公布了新一版中国科学引文数据库(CSCD)(2019 - 2020 年)来源期刊,《灾害学》编辑部 2019 年 5 月收到中国科学院文献情报中心、中国科学引文数据库的相关收录证书,依据文献计量学的理论和方法,通过定量与定性相结合的综合评审,《灾害学》杂志首次被收录为中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊(2019 - 2020 年)。

《灾害学》编辑部