

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.01.006

李宏恩, 何勇军. 水库与山洪灾害防治协同预警模式[J]. 水利水运工程学报, 2017(1): 37-42. (LI Hongen, HE Yongjun. Early collaborative warning mode for non-engineering measures of reservoirs and flash flood disaster prevention[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(1): 37-42. (in Chinese))

水库与山洪灾害防治协同预警模式

李宏恩, 何勇军

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 山洪灾害防治工程措施与非工程措施是山洪灾害防治相辅相成的两大支撑, 作为传统意义上工程措施的水库工程, 近年来通过除险加固、法规建设、管理体制变革等一系列途径, 其水情、雨情、工情监测技术不断完善, 监测预警系统日趋优化, 风险管理意识与应急预案的可操作性逐步加强, 已具备了相当的非工程措施功能。在充分发挥水库工程非工程措施功能与优势的基础上, 通过水库工程水雨情测报系统及大坝安全监测系统与山洪灾害防治非工程措施的对比分析, 尝试将水库重要信息与山洪灾害防治非工程措施实施关键环节进行共享与融合, 提出了水库工程安全监测系统与山洪灾害防治预警系统的协同预警模式, 为实现水库工程与山洪灾害非工程措施的信息共享和协同预报奠定基础。

关 键 词: 山洪灾害防治; 水库工程; 非工程措施; 协同预警模式

中图分类号: TV877; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2017)01-0037-06

近年来我国山洪灾害呈现多发、易发、频发、重发的特点, 突发局地性极端强降雨引发的山洪灾害频繁发生, 山洪致灾死亡人数占全国洪涝灾害死亡人数的比例呈显著递增趋势。1950—2000年, 中国因洪涝灾害死亡26.3万人, 其中因山洪死亡18.0万人, 占死亡总数的68.4%, 较高年份此比例达到84%^[1], 而2010年甘肃舟曲特大山洪灾害造成重大人员伤亡, 当年该比例甚至超过90%^[2]。严重的山洪灾害造成大量生命财产损失, 集中暴露了我国在山洪灾害防治中存在的突出问题和薄弱环节。为有效防御山洪灾害, 减少群死群伤, 2006年国务院正式批复了《全国山洪灾害防治规划》, 全国29个省、自治区、直辖市, 274个地级行政区, 1836个县级行政区有山洪灾害防治任务, 防治区面积达到463万km², 涉及人口5.6亿。规划的实施有助于在山洪灾害重点防治区初步建立以监测、通信、预报、预警等非工程措施为主并与工程措施相结合的防灾减灾体系, 减少群死群伤事件和财产损失。舟曲特大山洪泥石流灾害发生后, 国家加大了山洪灾害防治的步伐, 2010—2012年, 中央和地方财政累计安排建设资金110亿元, 用于《全国山洪灾害防治规划》确定的1836个县和新增222个县的山洪灾害防治非工程措施项目建设。2012年12月, 水利部组织编制了《全国山洪灾害防治项目实施方案(2013—2015年)》, 对确定的2058个县进行补充完善, 概算投资340亿元。针对山洪灾害防治的国家投入规模空前, 成效显著, 已初步建成了覆盖全国的以非工程措施为主的山洪灾害监测预警系统和群测群防体系, 在近年汛期发挥了显著的防洪减灾效益, 有效减少了山洪灾害造成的人员伤亡。

山洪灾害防治工程措施与非工程措施是山洪灾害防治相辅相成的两大支撑, 前者主要包括堤防河道整治、山洪沟与滑坡治理、水土流失防治及水库工程防御等, 其中水库工程在小流域山洪灾害防治中发挥了重

收稿日期: 2016-01-20

基金项目: 水利部公益性行业科研专项项目(201301033); 国家自然科学基金资助项目(51309164, 51579154); 水利部“948”项目(201501); 南京水利科学研究院基金资助项目(Y715015)

作者简介: 李宏恩(1982—), 男, 河北石家庄人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水库大坝安全管理方面研究。

E-mail: heli@nhri.cn

要的防洪保安作用。在全国2 058个山洪灾害防治县中分布了大量水库工程,以中小型水库、尤以土石坝工程为主。我国高度重视水库大坝安全与管理工作,近年来通过除险加固、法规建设、管理体制改革的系列途径,逐步构建了我国水库大坝安全保障体系,在2008年国务院批准《全国病险水库除险加固专项规划》后,我国对6 240座大中型水库、5 400座重点小(1)型水库以及4.09万座小(2)型水库进行了除险加固,大幅提高了水库作为工程措施在山洪易发区兴利除害和防洪保安的能力。在传统意义上,水库工程首要功能是防洪,是山洪灾害防治的主要工程措施。在所有山洪灾害防治的工程措施中,水库工程的作用最为重要,通过水库工程防洪库容的优化与合理调度,可以充分发挥水库的滞洪削峰作用,降低下游河道的行洪压力,是提高小流域山区防洪能力的最有效措施^[3]。

在山洪灾害防治中,水库工程也具备相当的非工程措施功能。水库工程的水情、雨情、工情监测技术不断完善,监测预警系统日趋优化,运行管理体制逐步规范,风险管理意识与应急预案的可操作性不断加强,正在逐步从“工程安全管理”向“工程风险管理”转化,水库应对突发事件的能力显著增强。水库工程安全管理与山洪灾害防治的非工程措施有很多相似之处,但目前水库安全预警系统与山洪灾害防治的监测系统相对独立,自成体系,缺乏必要的信息共享,两套系统同属水利系统,但实际分属不同部门,在操作层面仍然是多头管理,很难形成合力。在充分发挥水库工程的非工程措施功能与优势的基础上,将水库重要信息与山洪灾害防治非工程措施实施关键环节的共享与融合,将是山洪灾害防治非工程措施的有益补充,可为进一步提高山洪灾害防治系统的防灾减灾效益提供保障。

针对山洪灾害防治的研究工作大多侧重于非工程措施^[4-6]的优化与实施,如季卫东等^[4]以海南省县级山洪灾害防治非工程措施的监测预警决策支持系统设计和应用为例,对山洪监测预警决策支持系统的定义、设计原则、架构设计、监测预警与决策支持等要素进行分析;胡娟等^[5]通过分析云南省10年间千余次山洪地质灾害个例和逐日降水数据,探讨山洪地质灾害与降水之间的关系,并提出适用于该省的山洪地质灾害气象预报预警的方法,并对临界雨量分级定出各县站山洪地质灾害气象预报预警的风险等级。陶云等^[6]通过对云南省滑坡泥石流灾害的系统分析,探讨了其与降雨特征的关系。在这些山洪灾害防治相关的研究中普遍对小流域内水库工程具备的非工程措施关注不够,对如何更好地将山洪灾害防治非工程措施与水库工程的非工程措施相结合,发挥水库工程库区水情、坝址工情预警的非工程措施角色的研究较为鲜见。本文在分析山洪易发区水库工程预警功能定位的基础上,分别面向山洪灾害防治非工程措施主要涵盖的监测系统、监测预警平台和预警系统等,探索水库工程在信息共享与预警指标优化、突发事件应急预案等方面与山洪灾害防治非工程措施进行全面融合的可能性,进一步提高山洪灾害非工程措施防灾减灾的社会经济效益。

1 山洪灾害预警临界雨量指标优化

山洪灾害预报预警是山洪灾害防治的重要环节,而山洪灾害临界雨量指标作为核心指标又是山洪灾害预报预警的重要基础,将直接影响漏报率和空报率^[7-8]。根据对临界雨量定义的不同,推求方法目前主要有两种^[9]:一是通过统计分析时段累积雨量与山洪灾害的对应关系,利用时段雨量的某个统计特征值(临界雨量)为依据判别灾害发生与否的统计归纳法。二是通过比较河道水位或流量来判断灾害发生与否,并根据河道安全水位与泄量反推临界雨量的水文水力学方法。

为满足快速实施山洪灾害防治非工程措施的现实需求,2006年批复的《全国山洪灾害防治规划》具有一定的实用化倾向,更侧重于通过统计归纳法确定临界雨量,但在实践过程中,受制于我国资料、经费、技术人员等多方面原因,在使用该方法确定临界雨量时,大多数非工程措施防治县首先通过省(自治区)一级临界雨量分布图估算小流域临界雨量范围,再根据现有资料对比分析进行修正,最后通过专家论证确定该县最终的临界雨量数值,是一个基于专家经验的定性分析过程,推算指标精度存疑,易产生错报现象。此外统计归纳法在推求临界雨量时也有其自身缺陷,同一地区通过不同统计归纳法确定的临界雨量存在差异,忽略流域下垫面条件特征变化也影响了推求临界雨量指标的可靠性。

与统计归纳法相比,以山洪灾害形成的水文学、水力学过程为基础的水文水力学法原理简单,对降雨、下

垫面条件、径流、河道特性等资料都有明确要求,具有更明确的理论基础,临界雨量指标的精度和可靠性更高,使用水文水力学法确定临界雨量是提高山洪灾害预警预报体系核心指标精度和可靠性的有效途径,如在美国研发的山洪预警指南系统^[10](flash flood guidance system,FFGS)、分布式水文模型山洪预报系统(HEC-DHM)等系统中,水文水力学法已得到广泛应用。在我国《全国山洪灾害防治项目实施方案(2013—2015年)》中已开始更加重视对目标流域下垫面特征有关信息的收集,如沿河村落控制性河道断面的测量等,为推进水文水力学法推求临界雨量的应用打下基础。应用水文水力学法推求临界雨量的步骤包括:(1)确定引发山洪灾害的临界流量(水位)值,从而推求对应不同历时的临界径流;(2)建立一定的土壤饱和度条件下的降雨-径流关系,从临界径流(净雨)推求相应的临界雨量。

临界流量的确定可根据防洪标准确定,但一般小流域并没有严格规划设计的防洪标准,常选择若干代表性断面,仅根据历史灾情和现有水情确定各断面控制水位,通过水力计算获得控制流量,将其作为临界流量,该分析过程工作量大且资料收集繁杂。位于目标小流域的水库工程在设计或除险加固过程中,对防洪标准都有严格的要求,一般都会对流域内的雨量站降雨、相关水文(位)站历史实测洪水及人类活动对水文参数的影响、水库集水面积与其范围内的分(蓄、调)水工程等资料进行详细收集与分析,为确定设计洪水、进行调洪计算、复核抗洪能力等工作服务。小流域内水库工程所具有的这些资料可作为临界流量确定过程中的有益补充,因此在有水库工程的小流域临界流量的确定过程中可参考水库工程的防洪标准,并应重视与水库工程相关的资料收集工作。

确定不同历时降雨-径流关系一般利用水文模型,常用的水文模型有概念性模型、物理性模型、数据驱动型模型等,根据前述临界径流值便容易从降雨-径流关系中确定其对应的临界雨量值。具体操作中对降雨序列资料收集的要求很高,由于小流域县级非工程措施中的雨量站多为新建站,造成雨情资料缺乏,常需根据地方降雨图集概化估算而导致较大误差。而位于小流域内的水库工程为满足安全管理需要,一般具备较长序列的水情历史资料,且大部分水库在除险加固过程中在库区内增设了雨量站,以提高入库洪水的预报精度。水库工程现有的水文资料和雨情监测设施都可以通过适当方式利用地方防汛平台与山洪灾害防治非工程措施的预警系统实现共享,为水文水力学法推求临界雨量提供资料支撑。

因此,在通过水文水力学法推求临界雨量时,应重视对流域内水库工程资料的收集、分析及整理,将库区水雨情监测数据及时纳入小流域雨情资料体系中,利用水库工程丰富的水雨情资料弥补山洪灾害防治非工程措施新建雨量站、水位流量站无资料或少资料的不足,提高水文水力学法推求临界雨量的精度和可靠性。

2 山洪灾害防治系统应急响应机制优化

2.1 考虑水库实时工情信息的山洪灾害防治系统

由于针对山洪灾害防治的中小河流山洪监测与预警系统主要侧重于对小流域突发洪水过程的预警预报,而对小流域内的水利工程安全关注度略显不足。水库大坝安全监测是了解大坝安全性态、对大坝安全实施科学管理必不可少的重要手段,在具备条件的新建或除险加固后的水库工程都配备有大坝安全监测预警系统。监测的主要项目有大坝变形、渗流、应力应变、水力学及环境量等^[11],同时大坝安全监测自动化系统能够快速、准确地进行大坝安全参数测量、数据采集和传输,并能自动进行监测资料的整编和分析,可大幅减少人为因素造成的不确定性。

大部分山洪灾害防治系统仅对水库监测预警系统的工情信息进行简单读取,但当水库出险或下泄流量超标时,将触发水库预警并启动应急管理预案,必要时须组织人员撤离,因此水库工程的警情、警报并非孤立,直接影响到山洪灾害防治区小流域的监测预警。因此山洪易发区内水库工程的安全监测系统可作为山洪灾害防治非工程措施监测预警平台的重要补充,有必要打破系统间的屏障,实现山洪灾害防治监测预警系统与水库安全监测系统的全面信息共享与融合。

2.2 考虑水库安全管理的山洪灾害防治应急响应

在山洪灾害防治的非工程措施主要涵盖的监测系统、监测预警平台、预警系统和群测群防等4方面内容

中,目前国家和地方的主要投入与精力聚焦于监测设备、预警系统等硬、软件建设上,而通过具有可操作性的应急预案降低山洪灾害导致的安全风险的相关工作尚处在起步阶段。同时随着风险理念在大坝安全评估与管理中作用的不断强化,为保障水库大坝安全和控制水库大坝风险,水库大坝安全管理应急预案、水库应急调度等非工程措施已逐步成为降低和控制水库大坝风险的方法和途径,近年来《水库大坝安全管理应急预案编制导则(试行)》、《洪水调度方案编制导则》等规范导则相继颁布实施,水库大坝的安全管理正逐步从传统的“工程安全管理”向“工程风险管理”理念转化。

2014 年水利部发布了《山洪灾害防御预案编制导则》(SL 666—2014),该导则概化规定了山洪灾害防御预案的基本框架。目前在县级非工程措施实施中,能够按照该导则制定行之有效的山洪灾害防御预案的防治县并不多见。与《水库大坝安全管理应急预案编制导则(试行)》相比,二者在编制思路上有诸多共通、相似之处,但 SL 666—2014 中未给出山洪灾害的分级标准和预警级别划分标准,这给地方水利部门在应急预案编制和实际操作中带来了不小的困难。

因此,利用山洪易发区水库工程风险管理所积累的经验是有效提高山洪灾害防治县应急预案可操作性的有效途径,特别是应在山洪灾害防御预案编制过程中充分考虑大坝安全管理应急预案中的有关内容,如可通过《水库大坝安全管理应急预案编制导则(试行)》^[12]中的表 1 根据生命损失或社会环境影响确定山洪灾害分级标准,初估预警级别,进而充分发挥山洪灾害防治监测预警系统等非工程措施的减灾效应。

表 1 山洪灾害分级及预警级别划分标准

Tab. 1 Grading standards and warning level standards

事件严重性(级别)	特别重大(Ⅰ级)	重大(Ⅱ级)	较大(Ⅲ级)	一般(Ⅳ级)
生命损失 L (人)	$L \geq 50$	$50 > L \geq 10$	$10 > L \geq 3$	$L < 3$
预警级别	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
预警级别标志	红色	橙色	黄色	蓝色

3 水库工程与山洪灾害防治非工程措施协同预警模式

通过前述山洪灾害防治非工程措施与水库工程现有水雨情测报系统、大坝安全监测系统的对比分析(表 2)可见,在雨情、水情、工情等监测信息与应急预案响应等方面,山洪灾害防治非工程措施与水库工程现有监测系统均具有信息融合与协同预警的可行性,因此本文提出的一种水库工程安全监测系统与山洪灾害防治预警系统的协同预警模式见图 1。首先在山洪灾害防治预警系统架构的数据访问层中,水库水雨情测报系统和大坝安全监测系统可嵌入县级或更高级的防汛平台,其实时雨水情与水库工情数据可为通过水文水力学法推求临界雨量提供数据基础;之后在业务逻辑层中,通过雨水情接口、预警接口和应急预案互补完善等工作的实现,将水库工程涉及山洪灾害防治的重要监测信息与应急预案系统导入山洪灾害防治预警平台中;最后经过融合后的山洪灾害防治与水库工程的雨水情、预警及应急响应等信息系统呈现在表现层 Web 客户端中,以达到水库工程与山洪灾害防治非工程措施协同预警的目的。

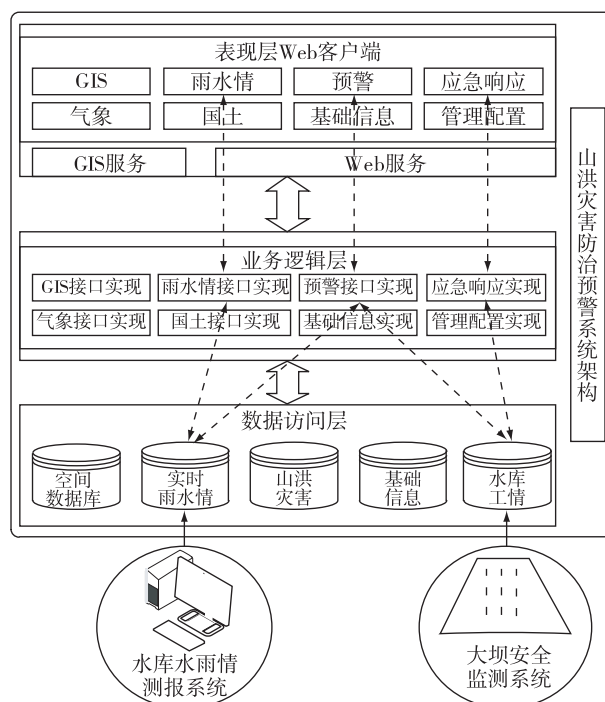


图 1 水库工程安全监测系统与山洪灾害防治预警系统协同预警减灾模式

Fig. 1 Collaborative warning mode of non-engineering measures for reservoirs and flash flood disaster prevention

表 2 山洪灾害防治非工程措施与水库工程监测信息对比

Tab. 2 Comparison between non-engineering measures for flash flood disaster prevention and reservoir monitoring information		
山洪灾害防治非工程措施		水库工程
雨情	雨量	流域雨量, 坝址雨量
水情	河道水位, 流量	入库流量, 下泄控制流量
工情	—	大坝安全监测信息(变形, 渗流等)
应急预案	不完备	完备

4 结 语

水库工程作为主要的工程措施在山洪灾害防治中已经发挥了重要的防洪保安作用, 本文对水库工程的非工程措施功能定位进行了探讨分析。

(1) 通过水文水力学法推求临界雨量将是未来山洪灾害防治实施的必然趋势。对流域内的水库工程资料进行收集、分析及整理, 将库区雨量监测数据纳入小流域雨情资料体系中, 利用水库工程丰富的水雨情资料弥补小流域新建雨量站无资料或资料的不足, 从而提高水文水力学法推求临界雨量的精度和可靠性。

(2) 山洪易发区水库工程的安全监测系统可作为山洪灾害防治非工程措施监测预警平台的重要补充, 水库工程安全监测系统也应通过合适的方式纳入山洪灾害防治监测平台中, 实现山洪灾害防治监测预警系统与水库安全监测系统的全面信息共享与融合。

(3) 利用山洪易发区水库工程风险管理所积累的经验是提高山洪灾害防治县应急预案可操作性的有效途径。基于大坝安全管理应急预案初估山洪灾害分级标准和预警级别, 可有效减少地方水利部门在应急预案编制和实际操作中存在的问题和困难。

(4) 通过山洪灾害防治非工程措施与水库工程现有水雨情测报系统、大坝安全监测系统的对比分析, 提出了一个水库工程安全监测系统与山洪灾害防治预警系统的协同预警减灾模式, 为实现水库工程与山洪灾害非工程措施的信息共享、联合管理和协同预报奠定基础, 为解决山洪灾害防治非工程措施日常管理和突发山洪灾害事件预警信息收集等复杂性问题的提供了一套新思路。

参 考 文 献:

[1] 梁家志, 刘志雨. 中小河流山洪检测与预警预测技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010. (LIANG Jiazhi, LIU Zhiyu. Medium and small rivers torrents monitoring and early warning prediction technology[M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))

[2] 国家防汛抗旱总指挥部, 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害公报(2006—2012)[Z]. (National Flood and Drought Control Headquarters, The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Bulletin of flood and drought disaster in China(2006—2012)[Z]. (in Chinese))

[3] 江锦红. 基于小流域山洪防洪需要的滞洪削峰水库研究[J]. 人民长江, 2010, 41(14): 15-19. (JIANG Jinhong. Research on construction of flood detention reservoir for flood control of small mountainous basin[J]. Yangtze River, 2010, 41(14): 15-19. (in Chinese))

[4] 季卫东, 袁文波, 王晓航, 等. 海南省县级山洪监测预警决策支持系统设计和应用[J]. 水电自动化与大坝监测, 2014, 38(4): 38-42. (JI Weidong, YUAN Wenbo, WANG Xiaohang, et al. Design and application of county level mountain torrent monitoring and warning decision support system in Hainan Province[J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2014, 38(4): 38-42. (in Chinese))

[5] 胡娟, 闵颖, 李华宏, 等. 云南省山洪地质灾害气象预报预警方法研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 62-66. (HU Juan, MIN Ying, LI Huahong, et al. Meteorological early-warning research of mountain torrent and geologic hazard in Yunnan Province [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 62-66. (in Chinese))

[6] 陶云, 唐川, 段旭. 云南滑坡泥石流灾害及其与降水特征的关系[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 180-186. (TAO Yun,

- TANG Chuan, DUAN Xu. Landslide and debris flow hazards in Yunnan and their relationship with precipitation characteristics [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(1): 180-186. (in Chinese))
- [7] 刘志雨. 山洪预警预报技术研究与应用[J]. *中国防汛抗旱*, 2012, 22(2): 41-45. (LIU Zhiyu. Research and application of flash flood warning and forecasting[J]. *China Flood and Drought Management*, 2012, 22(2): 41-45. (in Chinese))
- [8] 丛威青, 潘懋, 李铁锋, 等. 降雨型泥石流临界雨量定量分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, 25(增 1): 2808-2812. (CONG Weiqing, PAN Mao, LI Tiefeng, et al. Quantitative analysis of critical rainfall-triggered debris flows[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2006, 25(Suppl1): 2808-2812. (in Chinese))
- [9] 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): 40-43. (CHEN Guiya, YUAN Yaming. Research on calculation analysis method of critical rainfall of flash flood disasters[J]. *Yangtze River*, 2005, 36(12): 40-43. (in Chinese))
- [10] GEORGAKAKOS K P. Analytical results for operational flash flood guidance[J]. *Journal of Hydrology*, 2006, 317(1): 81-103.
- [11] 何勇军. 大坝安全监测与自动化[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011. (HE Yongjun. Dam safety monitoring and automation[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2011. (in Chinese))
- [12] SL/Z 720—2015 水库大坝安全管理应急预案编制导则[S]. (SL/Z 720—2015 Guidelines for emergency preparedness plan of reservoir dam safety management[S]. (in Chinese))

Early collaborative warning mode for non-engineering measures of reservoirs and flash flood disaster prevention

LI Hongen, HE Yongjun

(*Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: The engineering measures and non-engineering measures are two main complementary supports for the flash flood disaster prevention. A series of prevention measures was taken to prevent the flood disaster and ensure the reservoirs against danger. The reservoirs, as the traditional engineering measures, already have considerable capabilities of the non-engineering measures by use of a lot of approaches such as reservoir risk management and reinforcement, regulation construction, and management system reform in recent years. And the technologies in monitoring the water regimes, rainfall, and working conditions for reservoirs are continually improved, the monitoring and early warning systems are optimized day by day, and the risk management awareness and operability of the emergency preparedness plans are gradually strengthened. On the basis of fully utilizing functions and advantages in the non-engineering measures of reservoirs, through the comparative analysis of the existing hydrological forecasting system, dam safety monitoring system and the non-engineering measures of the flash flood disaster prevention, the authors of this paper try to integrate the important information concerning reservoirs with a key link of the non-engineering measures for the flash flood disaster prevention. A collaborative warning mode for the non-engineering measures of reservoirs and the flash flood disaster prevention is put forward, which will lay down the foundation for realizing information sharing, and collaborative forecasting of the non-engineering measures for the reservoir operation and flash flood disaster prevention.

Key words: flash flood disaster prevention; reservoir operation; non-engineering measures; early collaborative warning mode