

张红武, 李琳琪, 付健, 等. 应对特大暴雨的抗洪抢险存在问题与解决途径: 以2021年7月河南暴雨应急救援为例[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(11): 27-38.

ZHANG Hongwu, LI Linqi, FU Jian, et al. Problems and solutions of flood fighting and rescue in China: based on the practice in flood fighting and rescue of Henan Province in July 2021[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52(11): 27-38.

应对特大暴雨的抗洪抢险存在问题与解决途径: 以2021年7月河南暴雨应急救援为例

张红武¹, 李琳琪¹, 付健^{1,2,3}, 侯琳¹

(1. 清华大学黄河研究中心, 北京 100084; 2. 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003;
3. 水利部黄河流域水治理与水安全重点实验室(筹), 河南 郑州 450003)

摘要: 以2021年7月河南抗洪抢险工作实践为基础, 对我国抗洪和救灾工作中普遍存在的问题进行剖析, 按照发现问题、指出问题、分析问题、解决问题的思路开展研究, 提出解决相关问题的建议。结合已有研究成果, 针对性地提出诸如降低水库汛限水位、完善防洪减灾工程、给洪水多留顺畅通道等解决问题的途径。列举的技术方案包括: (1) 推广使用清华大学“一种钢筋混凝土预制板桩组合坝”专利技术, 在原有堤防的迎水面插入钢筋混凝土预制板桩, 提升加固中小河流堤防, 以便在今后的防洪减灾中变被动为主动; (2) 利用铁船变流促淤技术, 实现“高水变流促淤、低水挑流护岸”功能; (3) 用长臂打桩机将钢结构异型板桩构件从口门两端堤头迎水面打入, 抢筑裹头后再沿堵口坝基线陆续交错打入异型板桩并加以焊连, 同时顺板桩背面填渣推进, 在上述铁船变流技术配合下, 即可封堵成功; (4) 以“避水苑”工程形式改变水灾时紧急转移群众的单一模式, 即采用上述专利技术, 沿村边修建工程稳定性强的板桩组合坝, 作为防护坝墙, 路口设置应急挡门作为应急门户, 并在村角修建“避水阁”, 在泵站动力强排下, 解决防洪避水自保问题; (5) 预制板桩组合坝的施工可采用变宽深开沟机与沉桩造基槽协同配合的新施工方法, 尤其采用插拔自如的液压式打桩机将冲槽桩锤打入的沉桩造槽施工方法, 对邻近建筑物影响小, 不惧地下水位高难题, 且板桩端可进入土体密实层, 此挡水板桩坝墙施工, 具有工序简单、适应性强、基础较深、密闭性好、施工高效、成本低、外观规则及便于同绿植方案结合等优点。

关键词: 洪水; 抢险; 堵口; 暴雨; 板桩组合; 避水苑; 浮船变流坝

doi: 10.13928/j.cnki.wrahe.2021.11.004

开放科学(资源服务)标志码(OSID):

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2021)11-0027-12



听语音
聊科研

Problems and solutions of flood fighting and rescue in China: based on the practice in flood fighting and rescue of Henan Province in July 2021

ZHANG Hongwu¹, LI Linqi¹, FU Jian^{1,2,3}, HOU Lin¹

收稿日期: 2021-07-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402500)

作者简介: 张红武(1958—), 男, 教授, 国务院参事, 博士研究生导师, 博士, 主要从事黄河治理研究工作。E-mail: zhw@mail.tsinghua.edu.cn

通信作者: 付健(1977—), 男, 正高级工程师, 黄河设计院生态院院长, 领军计划博士研究生, 主要从事黄河治理与生态保护研究工作。E-mail: fujian@yrec.cn

(1. Yellow River Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, Henan, China; 3. Key Laboratory of Water Management and Water Security for Yellow River Basin, Ministry of Water Resources (under construction), Zhengzhou 450003, Henan, China)

Abstract: Based on the practice in flood fighting and rescue of Henan Province in July 2021, after analyzing the common problems in flood fighting and disaster relief in China, this paper carries out research according to the ideas of finding problems, pointing out problems, analyzing problems and solving problems, and puts forward suggestions to solve relevant problems. Combined with the existing research results, targeted ways to solve problems such as reducing the flood limit water level of the reservoir, improving the flood control and disaster reduction project and leaving more smooth channels for the flood are proposed. The listed technical schemes include: (1) Promote the use of the patented technology of “a reinforced concrete precast sheet pile composite dam” of Tsinghua University, which inserts reinforced concrete precast sheet piles on the upstream surface of the original embankment to enhance and strengthen the embankments of small and medium-sized rivers, so as to change from passive to active in flood control and disaster reduction in the future. (2) The function of “high water variable flow to promote sediment and low water flip to protect revetment” is realized by using the iron ship variable flow and sediment promotion technology. (3) Drive the steel structure special-shaped sheet pile components from the upstream surface of the embankment head at both ends of the gate with a long arm pile driver, rush to build the wrapping head, and then drive the special-shaped sheet pile alternately along the base line of the closure dam and weld it. At the same time, fill slag along the back of the sheet pile. With the cooperation of the above iron ship converter technology, the closure can be successful. (4) Change the mode of the emergency transfer of the masses in flood disaster in the form of “water escape pavilion” project. That is to say, adopting the patented technology, building a sheet pile composite dam with strong stability along the village side as a protective wall, setting up emergency door as an emergency gateway and constructing a “water escape pavilion” at the village corner, and it is not difficult to solve the problem of flood prevention. Under the strong power discharge of the pump station, it is not difficult to solve the problem of flood control, water avoidance and self-protection. (5) The construction of prefabricated sheet pile composite dam can adopt the new construction method of cooperative cooperation between widening and deep trenching machine and pile sinking foundation trench, especially the pile sinking trench construction method of using freely pluggable hydraulic pile driver to drive the flushing pile hammer, which has little impact on adjacent buildings, and is not afraid of the problem of high groundwater level, and the end of sheet pile can enter the dense layer of soil mass, so the construction of water retaining sheet pile dam wall has the advantages of simple process, strong adaptability, deep foundation, good tightness, high construction efficiency, low cost, regular appearance and easy combination with green planting scheme.

Keywords: flood; rescue; plugging; rainstorm; sheet pile combination; water escape pavilion; floating ship converter dam

0 引言

2021 年 7 月河南省西部、北部和中部地区出现了历史罕见的强降雨天气, 引发了城市及其相关地区重大洪涝灾害和山洪地质灾害。其中, 2021 年 7 月 20 日下午郑州暴雨造成郑州地铁 5 号线五龙口停车场及其周边区域发生严重积水现象, 7 月 20 日 18 时许, 积水冲垮出入场线挡水墙进入正线区间, 造成郑州地铁 5 号线列车在海滩寺街站和沙口路站隧道列车停运。当人们都在关注郑州灾情时, 次日特大暴雨又突然出现在西北方向约 90 km 的新乡上空, 22 日新乡雨势明显减小, 但到下午 5 点多, 发生某河下泄的洪水在右堤漫溢进入的重大险情。24 日受河南省相关部门邀请, 笔者火速赶到河堤溃口现场, 参与封堵抢险后, 又到卫辉、郑州灾区调研, 同时, 通过其他途径, 了解鹤壁、安阳等灾区情况。现场看到当地政

府与军民全力抢险救灾, 水利部、应急管理部领导同志赶赴防汛一线检查指导, 群众在危难关头相互扶助自救和互救, 众人冒着生命危险冲出去救人, 大大减少了人员的伤亡。7 月 26 日, 笔者在卫辉市唐庄镇了解到, 灾情发生后, 很多企业家捐款, 有的捐了上千万元; 还亲眼目睹了唐庄 79 岁高龄的吴金印书记坚持奋战在救灾现场, 组织的抢险队不仅救助本镇偏僻村庄村民, 而且还为凤泉区共产主义渠溃堤堵口无偿提供石料。本文以笔者 2021 年 7 月份以来参与抗洪抢险与调研收集的资料为基础, 分析我国抗洪和救灾工作中存在的问题, 提出解决相关问题的建议, 并有针对性地给出解决的技术方案。

1 已有研究基础简述

20 世纪 80 年代, 笔者在丁坝根石走失相关研究中表明抛石粒径对于防汛抢险十分重要^[1], 而且《防

汛抢险技术》手册^[2]及不少专著^[3]推荐了所建立的临界粒径公式。当时还试图运用流体力学原理,调整铁船船体方位、吃水深度形成的人工环流进行抢险,提出:“近些年我们为治河工程研究的船式导流坝,也采用了导流屏产生人工环流类似的原理。所谓的船式导流坝,即是利用一只(或多只)特制的船(可通过充水多少调整吃水深度),开往出险堤段上游,当大水主流顶冲之时,船体将流速较大的上层水流导向河心,同时底层又将大量泥沙由船底以下带向河岸,致使河岸附近有大量泥沙落淤,险情缓解,为抢险创造便利条件”^[4]。近年来,国家重点研发计划专项“黄河下游河道与滩区治理研究”^[5]项目组(以下简称项目组)构建的1:1“溃堤封堵处置试验平台”,可以模拟实际河流溃决过程,又能在不同堵口抢险工况下开展大型堵口试验,能为开展溃堤封堵研究提供基础条件。此外,葛川、张罗号、全华杰等结合抢险堵口场地小和常见砂土液化地基等条件,研发小型、陆水两用、可数显反力的专用钻机和载具,并围绕设备使用,建立水上、陆路的吊装、钻进和取样等多功能使用工法,取得了初步成果。

项目组重视研发成果在应急抢险中的运用^[6]。例如,文献^[7]第3条研究结论:“研发出可通过空间调整构件实现不同功能的治河与抢险新型结构——预制板桩组合技术。这种工程结构形式节省传统施工大量工作,能够修建在河势情况复杂的河段,解决控导河势与防洪相协调问题,实现工厂化建坝,也能用于应急抢险”。示范工程施工时,也力争发挥铁船的作用:“其实铁船还为打桩等其他工作与没有水利施工经历的人员安全提供了方便。特别是项目负责人为改善施工环境条件,巧妙运用船体产生的人工环流,使遭水流冲刷河岸的状况大为缓解,再加上重量很大的‘钢结构异形板桩’构件一旦打入河床,其背后与下游的水流流态立即会得到改善,使本示范工程在水中进占时无惊无险,便于水中施工,大大节省了工程建设费用”^[8]。

黄河中游东安控导工程单排透水桩坝,属于世界银行2012年贷款建设项目,钢筋混凝土灌注桩长28 m,先后被评为黄委及全国文明工地,2021年4月11—13日水流顶冲的流量约为 $1\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,工程出现冲毁4联81.6 m的险情,不得不在未出险的透水桩坝迎水面抛护大量土工模袋,方使冲毁段的下游还余约500 m长的桩坝^[9]。此外,黄河下游韦滩控导工程透水桩坝目前也出现了往河侧倾倒的险情。对此,张红武等^[6]发现管径与透水率对局部冲

深影响很大,建立了计算公式;侯琳等^[9]进一步剖析位移对透水桩结构稳定的影响,提出桩体横向位移值的物理概念及工程意义,运用结构力学虚功原理得出透水桩水平位移计算方法,提出可通过材料弹性模量的比值确定允许位移值的大小,通过对钢管桩及钢筋混凝土两种材料制成的桩体的稳定性加以比较,分析管径、桩长、壁厚等条件对结构稳定的综合影响,解释了东安透水桩坝出险的原因,认为钢管透水桩在安全稳定、施工乃至工程投资等方面具有明显优势。以此为基础,目前正在研究如何采用钢管透水桩工程的结构,封堵东安透水桩坝81.6 m缺口以及避免韦滩钢筋混凝土透水桩坝往河内倾覆的方案。

2 气象部门的贡献与不足

2.1 气象预报的贡献

按照相关规定^[10]:24 h内雨量为50.0~99.9 mm属于暴雨,100.0~250.0 mm属于大暴雨,超过250.0 mm则称为特大暴雨。按照上述中国气象局的规定,说明郑州“7·20”暴雨和随即而来的新乡降雨无疑属于特大暴雨。

资料表明,2021年7月19日21:50—7月20日16:01,河南省与郑州市气象部门在约18 h内连续共发出了10次暴雨红色预警,说明在郑州“7·20”特大暴雨前后已不断提高预警发布频率与等级,这场特大暴雨确实被警示了,气象局作用不可低估。灾后发现,这场雨洪在城区导致的重大灾害基本都发生在金水河畔,相关部门虽然7月20日12:00启动紧急预案,水库提前泄洪,采取关闭隧洞等措施,要求地铁停止运营、人们停课停工,跟防疫一样要求“非必要不出门”,但是由于暴雨等级过高,雨洪灾害损失仍然产生。

2.2 气象预报的精度不足

一方面,相关部门没有启动紧急预案,另一方面,仔细将实测资料同红色预警信号“预计未来3 h内降雨量将达100 mm以上”相比较,前几次红色预警数值较实际降雨量偏大很多,人们并没有感受到暴雨的威胁,导致没有引起重视,更不按照预警提前制订应对之策。而7月20日下午4点多的预报,定量上又偏小不少,紧接着的1 h降雨量急速超过所预测的3 h内降雨量2倍以上。

7月21日,接踵而至的特大暴雨又出乎人们意料地降在新乡(典型站点7月降雨过程见图1)。7月21日新乡市有74个站点出现了降雨量大于250 mm

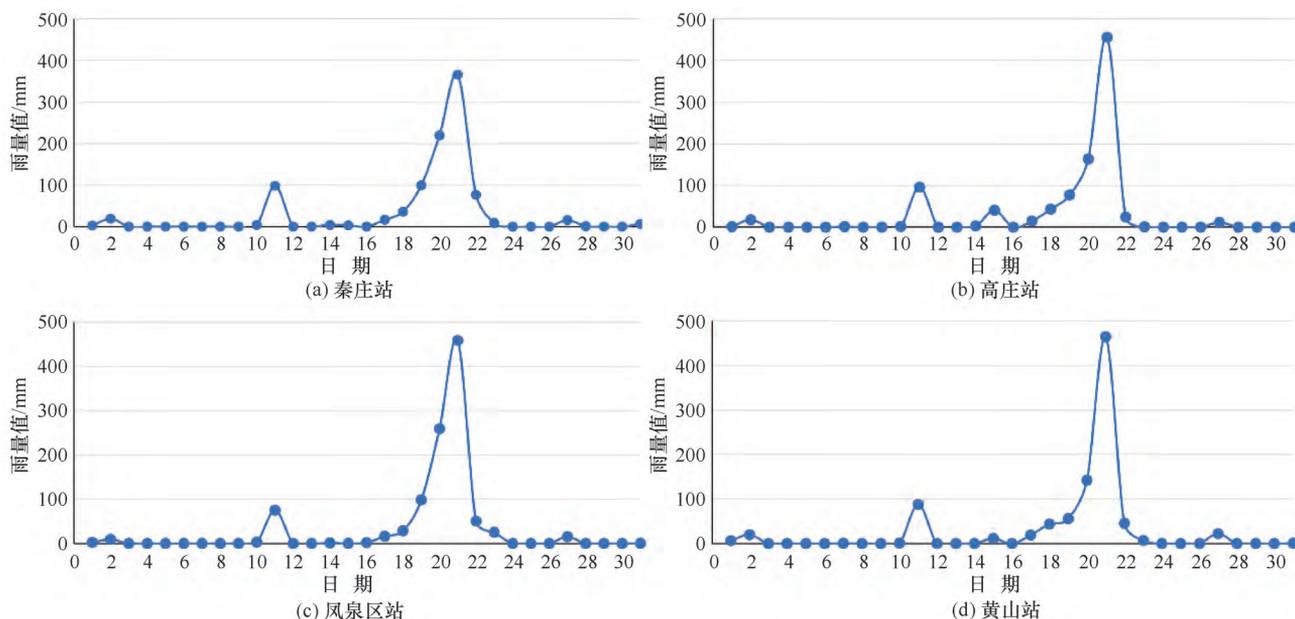


图 1 2021 年 7 月新乡市典型站点降雨量过程

Fig. 1 Rainfall process of typical stations in Xinxiang in July 2021

的特大暴雨(20 日有 55 个站点), 有 58 个站点降雨量大于 300 mm, 有 22 个站点降雨量大于 450 mm, 有 11 个站点降雨量大于 500 mm, 最大降雨量达 564.5 mm(虎掌沟站), 比郑州“7·20”特大暴雨 24 h 最大雨量小的不是太多, 且据新乡新闻网报道: “7 月 21 日晚市区牧野站 2 h 降水 267.4 mm, 超过郑州“7·20”特大暴雨 2 h 最大 262.5 mm 的降雨量!” 而上述气象部门权威解读时基本没有涉及新乡, 特别是对 22—23 日预报称“河南中西部小到中雨”, 对新乡周围降雨更是只字未提。说明根据目前的气象预报水平, 特大暴雨发生之前的预报精度是不足的。

2.3 郑州“7·20”雨洪灾害不能完全归于天灾

根据中国气象局 7 月 21 日权威解读: “郑州气象观测站最大小时降雨量达 201.9 mm (20 日 16:00—17:00), 突破中国大陆小时降雨量历史极值”。此言并不确切, 仅黄河流域的气象记录就不难找出更大值^[11-12]。如 1985 年 8 月 12 日 21:00—22:10 甘肃省武山县桦林沟突降暴雨, 在笼罩范围 446 km² 的主雨区, 70 min 降雨量为 436 mm^[12]; 再如, 1976 年 8 月 19 日 16:00—16:30, 青海省湟水北川河极乐乡暴雨 0.5 h 降雨量即高达 294 mm^[12]。上述两例说明, 郑州这次最大小时降雨量还没达到极值状态。

根据实测资料, 对暴雨最大 6 h 降雨量进行比较, 郑州站暴雨 382 mm, 驻马店“75·8”暴雨 830.1 mm(林庄站, 超当时世界最高纪录 782 mm);

再对暴雨最大 24 h 降雨量进行比较, 郑州市尖岗站降雨 696.9 mm, 驻马店“75·8”暴雨 1 060.3 mm(林庄站), 表明郑州“7·20”暴雨尚无法同驻马店“75·8”暴雨相比。另与河南伊河石锅镇站 1982 年 8 月 1—2 日最大 24 h 暴雨量 734.3 mm(还有文献披露 12 h 最大暴雨量达 652 mm) 相比较^[13], 郑州“7·20”暴雨强度也不能成为极值(其实, 黄河最大暴雨发生在 1977 年 8 月 1 日 22:00—2 日 8:00 内蒙古乌审旗的木多才当, 降雨量高达 1 400 mm, 更为罕见, 只不过是按照现代学科知识给出的调查值^[13-14])。正因为如此, 不能将这次雨洪造成的重大人员伤亡和财产损失完全归结于天灾。附带指出, 据两位知名学者回忆, 20 日直至郑州气象台当天第五次发布“暴雨红色预警”, 主城区确实有大暴雨, 但都还能正常活动, 其中一位学者下午两点多从未来路回到河南省社科院家属院, 他接近 5 点时竟撑伞到文化路上趟着“已至腿肚”的水看景, 根本想不到这场暴雨将带给郑州多大的悲剧。

3 抗洪救灾存在的问题

在实地调研时群众反映, 尽管近些年各地政府在河流治理和水治理方面投入了大量资金, 但这场没有 1963 年洪水量级大的洪水, 却带来了比那场洪水更大的灾害损失, 除某河右堤堵口延误而增加了卫河卫辉段洪水流量等原因外, 城市面积不断扩大占据了洪水通道也具有不可推卸的责任。结束调研回京后, 笔

者同国家发展改革委、水利部、国家防汛抗旱总指挥部等部门的6位专家进行了咨询讨论,现将我国抗洪救灾中带有普遍性的问题归纳如下:

(1)应急响应不及时,危机来临动作迟。在突如其来的暴雨灾害面前,政府及其相关部门手忙脚乱,应急救援行动迟缓,危机处置错失良机。以郑州“7·20”特大暴雨为例,20日11:50郑州气象台第四次发布最高级别的“暴雨红色预警”,8 min后,河南省应急管理厅发出的信息竟是:“天气酷热,溺水事故进入高发易发期”“请自觉远离危险地区,不擅自到江河、池塘、沟渠等地方游泳,未成年人外出游泳必须由大人陪同”。20日16:00,郑州市防汛指挥部宣布启动防汛Ⅰ级响应,当时已经是顺街行洪、四面成灾,政府还未形成应对之策;18:10,郑州地铁下达全线网停运指令,直到雨洪灾害已造成重大人员伤亡后的19:09,市民才收到防汛办的信息:“我市正在经历局部特大暴雨过程,请市民无事尽量减少外出,注意做好自我安全预防。”对于广大缺乏避险意识的公众,也不知如何做好自我安全预防,加之应急救援设备匮乏,导致抢险救援被动。再以新乡水灾为例,23日雨后基本天晴,卫辉古城却直至26—28日大水灌城后方仓促转移市民,有的群众是二次转移,造成损失增大,位于一层的门店、仓库状况最惨。

(2)水利设施短板多,周边水库推澜波。我国城市排涝布局和能力同城区发展不适应,近几年一窝蜂上马的水生态、水环境和水景观工程花费巨大,却耽误了防洪排涝设施的完善,雨洪排泄长期不畅。郑州市周边上游有10多座标准低的中小型水库,7月20日周边水库担心溃坝而仓促泄洪,抬升了河湖水位,乃至河水外溢,使本因城区河道阻水点多而难以排洪的状况雪上加霜,加重了郑州东、南部淹没程度。新乡水灾严重时多座水库为自保泄洪,同样加重了水灾。这即说明特大暴雨是致灾主因,而周边水库泄洪使洪灾叠加,也是加重水灾的次因。其实,山西省之后发生洪灾,也同上游水库泄洪导致河道排洪能力无法承受有关。

(3)救助机制待完善,官员大局意识弱。河堤封口封堵处置应争分夺秒,而某河堤溃口时即使在设备、人员、材料均已到位情况下,仍不让采用高效堵口技术,现场令百余辆大型工程车将石料倒进口门,大部分被冲走,推进40余辆卡车效果有限,再动用多架次直升飞机吊投集装箱,声势颇为浩大,导致错过最佳封堵时机仍产生了大量泄流。当发现泄入的那条河流下游出现过重灾情后,才在口门对岸调集石料

抢堵,耗百余小时,到水势全落去后才“合龙”,此时附近还有堆积如山的石料,如此救灾既无视堵口耗费大量人力物力,也预判不到因延误堵口致使自身灾情明显加重,更不考虑国家财政压力。这种现象跟我国水灾救助机制有关,大有“堵口救灾,上不封顶”“花钱越多,灾情越大”“灾情越大,机会越多”之势。遭灾后除救灾时国务院动用中央财政预备费和财政部、应急管理部可拨付中央自然灾害救灾资金外,每年另有特大防汛补助费,由财政部、水利部根据洪涝成灾面积、水利设施水毁损失情况、地方(部门)防汛抗旱投入与财力状况等相关因素商定后拨付,且国家发展改革委在灾后重建等方面还要拨付大批经费,加上本省各种费用和社会捐助,并“不差钱”。

(4)管理体制需完善,指挥最忌门外汉。防汛关系到老百姓生命财产安全,因此水利行业尤其防洪专业一直受到重视。但近几年水利部水旱灾害防治职责整合到应急管理部,而今在防汛抢险战场上,水利部门成为配角,有干部看出问题后,为避责仍唯上而不唯实,甚至以“行政首长负责制”为由不作为。加上有抗洪抢险经验的领导干部和技术人员越来越少,抗洪抢险工作更为被动。指挥人如缺少专业知识,必然犯错。以笔者参与的堵口为例,在刚加固并建有水泥路面的堤段,附近取土方便,出现即将漫溢的险情后,动用已经到场的大量军民与设备,抢加子堤(迎水坡用土袋、挡板应对,背后倒土筑埝)^[3],完全可以做到水涨堤高,安全错峰,不应再发展成决堤大灾;决口后不知在两堤头抢筑裹头,阻止口门扩大;将堵口坝基线后退,导致更多水长驱直入而大增堵口难度^[3](见图2);开始堵口时不呈“分兵合击、两面对进”之势^[15];不知将卡车这种“大块头”以及铅丝笼推到迎流面;车翻后石渣散出效果差(笔者请习晓军少将带战士用铅丝网将车厢口封上后才有好转),也不知卡车难同其他堵口材料结合,某河堤堵口现场推进几辆卡车后,使对面堤头坍塌、口门宽18 m扩成45 m;倾入口门的块石小于临界粒径^[1]导致边倒边冲走;直接用土工织物裹护对岸堤头实难奏效;笔者发现堤外有管涌后,根据水头差、土质及天色过晚等条件,立即安排在管涌外围筑“养水盆”,蓄水减压^[3-15],但安排其他工作回来时,又发现施工者正在犯“堤旁铲土”“将‘养水盆’中水铲出”等常识性错误。

(5)信息发布不及时,媒体宣传不报忧。抗洪救灾期间应按相关法律法规,做到信息公开,滚动通报



图 2 堵口现场暴露出不少问题

Fig. 2 Many problems exposed at the plugging site

汛情灾情, 通过媒体宣传避险方案, 回应社会关切问题。而现实中, 抢险用工用料因存在当地摊派和外来捐献而不如实统计, 对于堵口用时也不便多讲(以某河堤堵口合龙为例, 中青报报道消防救援支队经近 105 h 连续作战, 中国军网报道武警河南总队机动支队官兵等经 6 天 5 夜鏖战, 而当地日报称“经过 60 多个小时争分夺秒、昼夜不停地施工, ……”), 至于灾情尤其伤亡人数更不愿公布, 一些重灾区所报遇难人数少甚至为零, 很不可信。本人在某市多次提此问题都无人回答, 在灾情严重关头, 不少警力和民兵被派在抢险路上以防“小报记者”为名多层设岗, 实为封锁消息。直到 8 月 2 日下午, 在河南省政府新闻发布会才突然通报有 10 多人遇难和失踪, 导致人们对迟来的数据仍难以置信。

4 针对性建议

针对抗洪救灾暴露的问题, 提出如下建议:

(1) 完善应急管理体制, 依法依规问责追责。《中华人民共和国突发事件应对法》为突发事件处置提供了法律遵循。应急管理必须体现专业化、规范化, 依靠专家、专业力量, 加强科学施策。一是完善应急管理机制和体制建设, 建立水利、交通、气象、医疗、公安、救援、电力、通信等部门的联动机制; 二是常反思教训、查找不足, 按综合化、专业齐全化要求修订应急预案, 充分发挥水利部门与人员在协调、监督、指导抗洪救灾中的主力军作用, 通过灾害模拟和救灾演练, 熟悉各环节, 提高应急处置能力; 三是根据预警即时启动相应等级响应, 各级防汛指挥部迅速进入战时状态, 果断停工停课停业停运, 对城市地铁、隧道、地下工程等易涝区段及时封路, 逐个风险点派出熟悉情况的内行干部靠前指挥; 四是

对抗洪抢险中存在失职渎职的人员, 应依法依规予以问责追责, 扭转某些干部避责、不愿担当的现象。

(2) 慎重下拨救灾款, 以灾情核查为依据。灾后政府部门应尽快组织由防洪和应急抢险专家以及社会力量参与的灾情调查组, 总结灾害应对经验教训, 提出防灾减灾改进措施, 全面客观公正地核查评估灾害损失, 作为国家救灾和灾后重建资金支持力度的科学依据, 克服原有水灾救助机制的不足, 不能同地方防汛抢险投入直接挂钩, 降低地方官员“救灾费用不要白不要, 不花白不花”的心理预期。而对顾全大局、全方位采取措施抢险救援、及时转移群众、及早除险、把水灾损失降至最低的部门和人员, 应大力给予资金奖励。

(3) 降低水库汛限水位, 完善防洪减灾工程。随着城市快速发展, 周边建成年代较早的水库实际上已不适当今防洪需要, 需高标准加固或提升改造, 将水库主功能调整成防洪, 通过技术论证降低汛限水位, 增大防洪库容, 汛期基本不能担负供水与灌溉任务, 否则为了获取经济利益, 不愿提前泄流。平时弃水储存至湖池, 在主汛期到来前腾空库容, 务必注意同下游河道洪水错峰, 湖池必要时也尽量清空便于储蓄雨洪。对于郑州、新乡等城市, 汛期供水任务由南水北调中线工程替代, 不足部分和农业灌溉可用黄河水, 尤其应将桃花峪水库这个河南完善黄河防洪减灾现代水网体系的关键工程及早建成, 尽管该工程规模小、投资少, 却能减轻郑州、开封、新乡等市防洪压力, 提高这些地区的水资源利用效率, 且能彻底解放北金堤滞洪区, 减少东平湖的分洪几率和分洪量, 促进下游地区的高质量发展^[16]。

(4) 抢险须用新技术, 力求减灾不贻误。汛期对于尚未经过洪水浸泡的新堤或者水位已超过警戒水位的堤段, 要专人负责, 昼夜巡查。重点检查大堤有无裂缝、冲刷、坍塌、滑坡、塌坑等险情发生^[2-3]; 堤坝背水坡有无散浸、渗浑水, 坡脚附近有无积水坑塘和冒水、涌沙、流土现象^[1-15]; 迎水坡护砌工程有无裂缝、沉陷、损坏、脱坡、崩塌等问题^[15]; 沿堤闸涵与堤坝的结合部有无裂缝、位移、滑动、漏水、不均匀沉陷等迹象^[2]; 土石坝有无变形、渗漏、裂缝、坍塌等险情发生。一旦发现重大险情要立即采取抢护措施, 决不能有丝毫疏忽。堵口时机至关重要, 口门变大不仅难堵, 而且产生淹没后再封堵为时已晚。其实, 南方常见的堵口教训也同样深刻。为此, 建议推广国家重点计划研发项目(2016YFC0402500)提出的“钢结构异型板桩+导流船”高效堵口技术^[6]。

(5)应体现弹性治水理念,给排洪多留顺畅通道。全国各地都争先恐后投入水治理项目,其中一些成了“打水漂”或“交学费”工程,很大一部分由于技术考虑不周或缺乏科学论证,防洪功能不足。更严重的是,城市建设占用了雨洪空间,阻流建筑物与城区面积增加多倍,导致以前暴雨郊区受淹,现在就是城区水灾;城市化使地面渗透能力减小多倍,在同等降雨量下,现今城区所产生的径流量增加了多倍。从郑州“7·20”特大暴雨视频上看出多条道路上已形成流速较大的洪流,除跟水库泄洪有关外,主要还是城区径流量明显增加所致。然而,排泄雨洪的总出口断面却变化不大,且又因阻水卡口与桥墩多而河道更难通畅,且多条公路、铁路、供水渠等公共设施的走向同行洪方向相交而影响排洪,导致近些年雨洪灾害频发,灾情加重。因此,防洪规划必须要体现弹性治水理念,给特大雨洪留有必要的空间与具有调蓄能力的湖区湿地,因地制宜,蓄排并举,尤其在灾后重建之时,在避免借机大拆大建的前提下,通过河道疏通和升级改造,给洪水排泄多预留几条顺畅的超标应急通道^[17],并尽量减少公路等设施对雨洪的阻水影响。

(6)普及应急处置技能,提高防灾避险意识。我国是自然灾害多发的国家,全球气候变化后“灰犀牛”“黑天鹅”降水事件也难免出现,因此,全民应从小学开始,终身接受危机教育和应急培训,掌握应对方法和技能,普及抢险知识^[18],了解应对特大洪水的紧急避险预案,变危机时刻的被动防御为主动参与,提高自救、互救和逃生能力,绝不能在“红色预警”发布后依然我行我素。其实,普及避险救援知识非常重要。例如,此次郑州地铁内求救信息被很多人收到,如果这些人中有人有危机意识就会第一时间报信报警,即可将救援时间明显提前;再如,正因拥堵在京广路隧道的某市民经历过北京“7·21”暴雨事件而有了避险意识,迅速下车拍打后方几十辆车,让人弃车而逃,挽救了许多人生命。

(7)及时发布灾害信息,积极回应社会关切。汛期应加强宣传,主要是落实责任,引导公民增强危机意识;重大洪涝灾害来临时,尤其是最高级别的预警信息应覆盖全区域人群,不能再考虑商业利益;洪涝发生后,政府要通过新闻发布会,权威、及时、滚动发布灾情、人员伤亡信息、政府应对措施以及抢险救灾情况,营造积极抢险救灾的舆论氛围,回应社会关切,稳定社会秩序。

(8)加大科技攻关投入,强力支撑抗洪救灾^[18]。

2021年水利部强调开展“预报、预警、预演、预案”的“四预”建设,对于实现暴雨预警和灾害风险之间有机耦合,进而使预警与响应机制有效衔接联动意义重大。近年来各地建设“智慧城市”“智慧水利”花费巨大,城市洪涝应急指挥调度系统无疑也应纳入其中,其实只要密切监测雨情水情,反复查看各风险点监控图像,即能及早发现风险苗头,避免人员伤亡。河南这次并没能通过数字赋能的“城市大脑”应对灾害。岂不知在监测数据、预测模型、预案制订、指挥调度等每一环节的人为失误,均可使“智慧”沦为摆设。特别是气象预报往往是事后解读有力度,预测结果欠精度,导致人们常把气象台预警当成参考消息。此外,各地抗洪技术落后,效率低下。预报是“四预”之魂,抗洪亟需技术支撑,因此,建议通过科技攻关提高气象预测水平,完善灾害敏感点实时监测体系建设,强化预警响应能力,同时建议加强抢险关键技术研发^[18],加大高效堵口技术的推广力度。

5 推广抗洪抢险实用新技术

5.1 “钢结构异型板桩+导流船”高效堵口技术

5.1.1 铁船变流促淤工程技术

项目组购置5只长13.5m铁船,在2021年5—7月黄河下游流量增大之时(包括调水调沙期间),在护滩工程上下游滩地不断坍塌后退状况下,修建了藏头、护尾、固背、淤还滩地、挑流工程。例如,挑流工程系用镀铝钢板与钢管修建的非淹没式下挑丁坝。同时在现场不同地点开展了铁船变流促淤及抢险中基础加固加深、背后稳定加固试验,长度分别为50m、180m、185m(不计淤滩工程),进一步增加了示范工程类型,获得了一系列防洪工程因基础不足的除险加固与治河技术,其中“铁船变流促淤工程技术”(见图3)对于多沙河流护岸、高效堵口颇有适用价值。首先把几只铁船散开布置,相距20m(相当于船长的1.5倍左右),小水时下挑角度约45°,在钢结构异型板桩护岸上焊接一个平置钢环,将设置在船尾的立轴套在一起(立轴长度根据洪水涨落幅度确定,黄河下游一般1~2m),大水时上浮,小水时下沉,即成浮船坝。在位于河内的船头上设置一个平置的滑轮,用细而多的钢缆绳或高强度尼龙缆绳穿进钢环,在钢结构异型板桩护岸上,同船尾、船头相对应焊接两个钢环,以便通过缆绳固定船体(见图4),其中在船尾上游的钢环挂上高强度弹簧,与穿进滑轮的缆绳相连。这两部分缆绳,需根据水位变化确定预留长



图 3 异型板桩迎水面“铁船变流促淤坝”试验现场

Fig. 3 Test site of “iron ship variable flow and silt promoting dam” on the upstream surface of special-shaped sheet pile

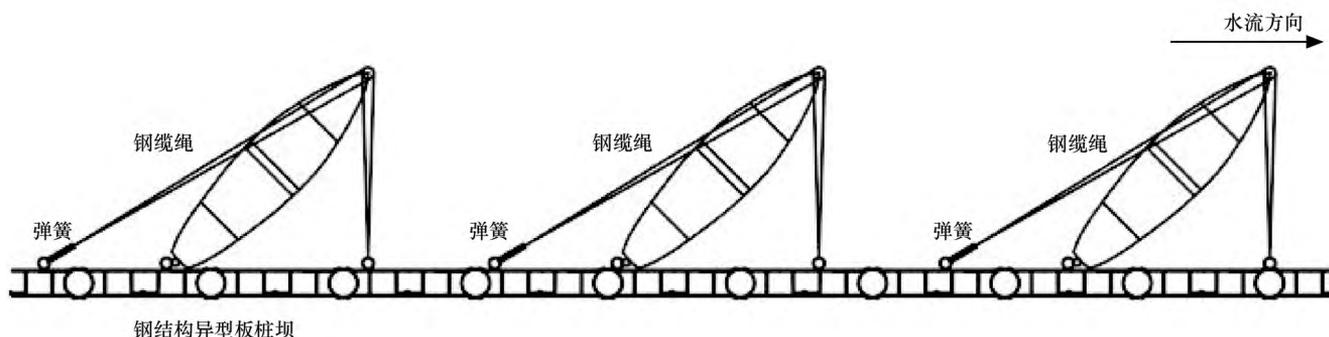


图 4 “铁船变流促淤坝”示意

Fig. 4 Schematic diagram of “iron ship variable flow and silt promoting dam”

度, 以便船能随水位涨落而相应升降。一般在水流顶冲时船向下游的夹角小于 45° (最小为 30° , 对于中小河流, 该角度与船长可以相应变小), 自然使船坝对主流的阻力有所减少, 此时船体将流速较大的上层水流导向河心, 同时根据弯道环流输沙原理^[4], 将底层含沙量较大的浑水^[19] 流向近壁, 将大量泥沙由船底以下带向河岸, 致使河岸附近形成落淤^[20]; 当水流对船体的冲力减少时, 船向下游的夹角变大, 将水流导向河心的作用加大, 水位较低时船体下沉, 尤其小水时船体落在河床上, 又可发挥“丁坝”的挑流护岸作用, 船后回流区糙率加大^[21] 而形成淤积, 有效保护河岸, 从而体现了“高水变流促淤、低水挑流护岸”的功能, 特别适用于平原河流的河岸治理。即使位于城区的河段, 精心装扮的船体作为城市建筑与河流空间之间的连接元素, 能够在各种随势而筑的岸边, 完成护岸防冲任务, 同时与时缓时急的河水自然构设出和谐的景观。

5.1.2 “异型板桩构件+导流船”堵口新技术

提前将一些两侧各焊有 8 m 长 300 mm×300 mm 的 H 型钢的 16 m 长钢管 (管径大于 356 mm, 为便于打桩, 可切成尖), 制作成为异型板桩, 作为堵口抢

险必备构件, 若口门现场两侧多焊有 H 型钢, 则堵口进占会更加高效。先从口门两端堤头迎水面开始, 采用长臂液压打桩机将该板桩打入, 其背后的水流状态会立即得到改善^[7-8], 迅速按约 0.5 m 的间距, 将其它长度逐渐减小的板桩相继打入, 抢筑裹头; 再沿在分流口前所选堵口坝上游基线迎水面, 陆续将相邻异型板桩的 H 型钢交错 5~10 mm 宽打入, 逐渐形成堵口板桩坝段; 在前面不断进占的同时, 迅速采用 H 型钢将顶部焊牢, 迎水面以铁船作为平台, 在水面以上不远处加焊一道槽钢 (在自动焊接设备配合下更容易实现); 随后组织翻斗车顺已建堵口板桩坝背面填渣推进; 最后龙口采用自动焊接设备将顶部相连的 H 型钢焊接牢固, 在位于口门上游迎水面的铁船导流与减少底流冲刷^[22] 的配合下, 即能封堵成功。在水急浪大条件下动用的铁船, 需用岸边的电动卷扬机牵引着与驾驶员协同控制, 提高操控能力与适用性的同时确保抢险安全。此外, 对于重要河流的堵口工程, 封堵合龙后还应该口门上游迎水面临时设置“铁船变流促淤坝”, 以便为处置堵口收尾工程提供掩护。

附带指出, 铁船变流促淤工程能够通过巧用人工环流, 用于施工导流, 也可对于冲刷严重的土质, 通

过贴近异型板桩每隔 1~2 m 再打入同长度钢管桩(尽量错开已打入构件的钢管桩对应位置),其桩顶高于水面,同板桩坝焊接一体,进一步将基础加深。此外,还能通过对船底设置活动性支架处置,成为液压打桩机施工平台,故也属于具有多功能的技术研发。

5.2 预制板桩堤坝提升技术与“避水苑”工程

5.2.1 以“预制板桩组合技术”提升加固中小河流堤防

实地调研了解到,洪水期中小河流决堤往往是造成灾情加大、救灾被动的的原因。为此,在水利科技水平已经有了较大发展的今天,即使分洪也应该尽量通过涵闸进行必要的调控。为改变这种现状,2020 年底通过调研与分析认为:“若利用国家重点研发计划专项推出的具有工程结构坚固、施工便易、不抢险等优点的‘预制板桩组合技术’,可低投资高标准加固洞庭湖区 11 个重点垸 1 216 km 一线堤防及 8 个重要一般垸堤防……”。因此,可以运用清华大学“一种钢筋混凝土预制板桩组合坝”专利技术^[23],在原有堤防的迎水面,插入钢筋混凝土预制板桩(施工工艺见下文),加固中小河流堤防,在今后的防洪减灾中变被动为主动。

5.2.2 以“避水苑”改变单一转移模式

信息滞后的广大农村相对于大城市,暴雨来得更加猝不及防。一旦出现大的洪灾,会出现断网、断电、断路甚至失联情况,救灾更加困难。往往在洪水发生 2~3 d 后还听到“村庄等待救援”“村民难以转移”“转移群众财产损失大”的消息。即便救援队赶到,一般村庄都缺乏可作为紧急避险的高地势场所,往往只能将困在自家的村民就近转移到有楼房的人家。即使是属于城市的卫辉城区,也缺乏地势较高的避险场所。洪水发生后,7 月 26 日大量群众面对个人财产损失严重的情况却无可奈何。

经过研究认为,对于所建楼房质量较好的平原农村,经济基础好,所建楼房质量高,完全有条件以“避水苑”工程形式改变水灾时紧急转移群众的模式。可采用具有特殊密封工艺的上述专利技术,沿村庄周边按设计水位,低投资高标准修建工程稳定性强的板桩组合坝,作为防护围墙,村角修建多层“避水阁”^[5],供村民游憩、避水与远眺观察之用,在村口根据需要设置密闭性好的应急挡门,能够在洪水期挡洪水,平时打开来满足交通需要,成为村庄应急门户,并备用多台柴油发电机和设置排水泵站,特大暴雨来临需要应急时,在动力强排设施配合下,就不难解决防洪避水自保问题。由于钢筋混凝土预制板桩组

合坝^[7-8]在地基较软、承载能力较小或者受地面起伏限制的情况下都能适用,能确保整个避水工程体系挡水入村功能的可靠性。

例如,笔者根据唐庄镇某村整体地形、地质与水深 2.5 m 等条件,沿村庄外围设置由挡水板桩坝墙、应急门户、强排系统、避水阁等组成的避水苑防洪系统(见图 5)。经过冲刷与稳定计算^[1,24],要求用长为 5.4 m 的钢筋混凝土预制板桩,地面下有 3 m,其侧视图如图 6 所示。板桩各顺向在侧面端一分为二,另一块板桩同此板桩端交错咬合,作为滑道与滑板,均留有缺口,组合成一个菱形,便于注入灌浆料,起到密封作用,形成相对整体的结构^[23]。顺向板桩的俯视图如图 7 所示,板桩配筋状况如图 8 所示。

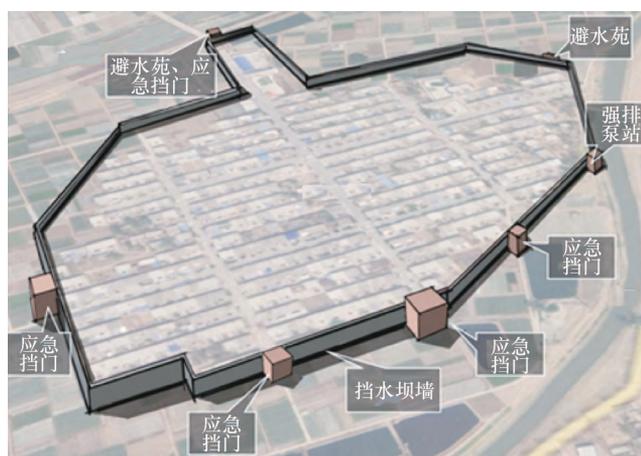


图 5 避水苑工程设计效果示意

Fig. 5 Schematic diagram of design effect of water refuge garden project

预制板桩组合坝的施工可以采用变宽深开沟机与沉桩造基槽协同配合的新施工方法。利用开沟机造成深 180 cm、宽 39 cm 的基槽,再采用插拔自如的液压式打桩设备,将厚为 0.35~0.50 cm 由钢板制作的冲槽桩锤(见图 9)打入造槽即可。以如此方式沉至地基内达到所需深度后拔出,相当于压土成槽,能对周围土体产生挤密作用,使承受荷载的区域具有良好的土力学特性。该沉桩造基槽施工方法,对邻近建筑物及周围环境的有害影响小,桩长和直径可按设计要求变化调整,尤其板桩端可进入土体密实层等,如果地下水位较高,可不使用开沟机清理上部土。基槽检查合格后放入钢筋混凝土预制板桩。在组合坝陆续到位后,顶部现浇宽 40 cm、高 60 cm 的冠梁,同钢筋混凝土组合坝浇筑成一体,进一步加强板桩坝的整体性与牢固性^[7],顶部可行人,也便于墙体绿植生态景观工程实施。如此挡水板桩坝墙,具有工序简单、适

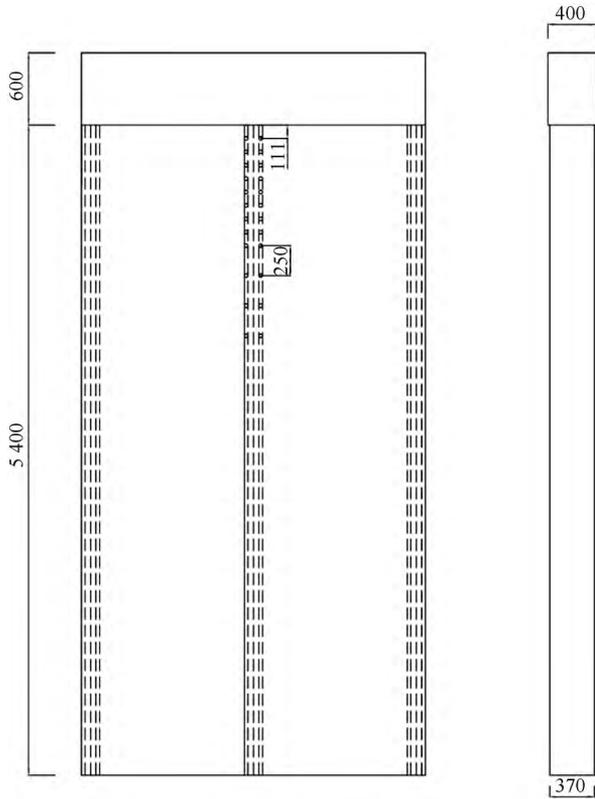


图 6 钢筋混凝土组合坝墙侧视(单位: mm)

Fig. 6 Side view of reinforced concrete composite dam wall (Unit: mm)

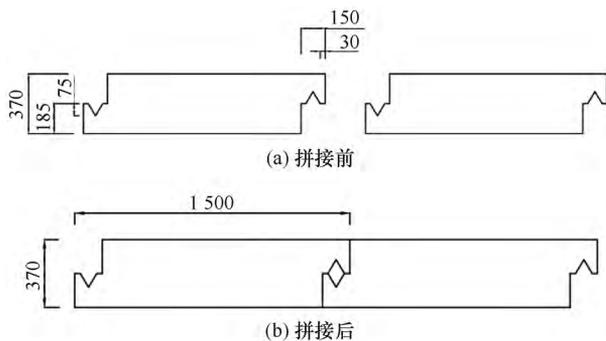


图 7 钢筋混凝土组合坝墙拼接前后俯视(单位: mm)

Fig. 7 Top view of reinforced concrete composite dam wall before and after splicing (Unit: mm)

应性强、基础较深、快速拼装、施工高效、外观规则、成本低、便于同绿植方案结合等优点。为解决雨水内涝及局部渗水, 可利用设置在便于排水部位的泵站进行强排。

位于村庄主干道上的 2 个应急挡门采用笔者研发的“双梁门式起吊闸门”, 平时开启时闸门被装饰的牌楼所隐蔽。下方路面逐渐升高 35 cm 对车辆起到减速作用, 预留 20 cm 宽、5 cm 深闸槽(槽内放置胶皮垫), 钢结构平板闸门 1.6 m 高、14 cm 厚, 防汛应

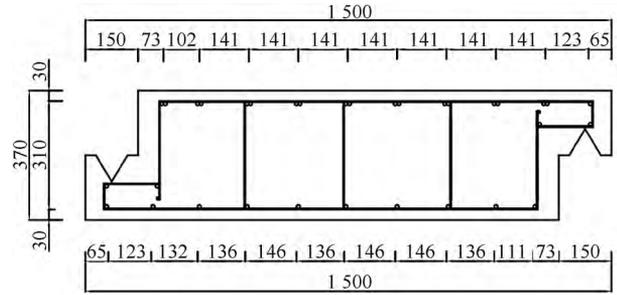


图 8 钢筋混凝土组合坝墙配筋(单位: mm)

Fig. 8 Reinforcement of reinforced concrete composite dam wall (Unit: mm)

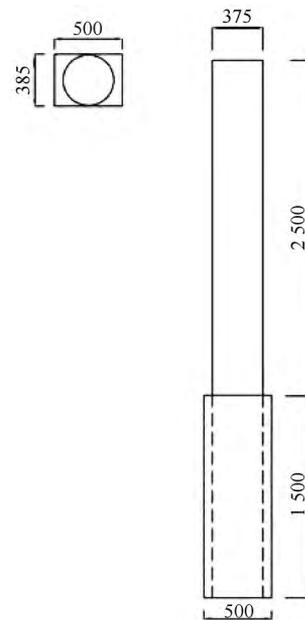


图 9 冲槽桩锤结构示意图(单位: mm)

Fig. 9 Structural diagram of punching pile hammer (Unit: mm)

急时下落关闭后已满足村庄防洪需要, 平时备用 4 根由 12 cm 厚、20 cm 高的矩形钢管加工而成的闸条构件, 亦即是在每根矩形钢管顶部两侧各焊一条窄钢条, 极端条件下可在闸门顶部预留槽基础上, 利用电动葫芦相继向上放置这些构件(在槽内放置胶皮垫)。至于在一般路口设立的防水挡门, 通过比选认为设置防汛应急挡门较为实用(见图 10), 挡门 3.5 m 一扇, 中间设置中墩。其优点在于应急时安装方便、投资较小, 能有效阻挡洪水进村, 必要时能够采用简单技术(如设置顶杠或在预留底孔条件下设置钢管立柱)和传统措施辅助配合, 确保防洪安全。

6 结论

(1) 以笔者参与河南抗洪抢险与调研收集的资料



图 10 防汛应急挡门

Fig. 10 Flood control emergency gate

为素材, 将我国抗洪和救灾工作中存在的问题归结为: 第一, 应急响应不及时, 危机来临动作迟; 第二, 水利设施短板多, 周边水库推澜波; 第三, 救助机制待完善, 官员大局意识弱; 第四, 管理体制需完善, 指挥最忌门外汉; 第五, 信息发布不及时, 媒体宣传不报忧。

(2) 水利部强调强化预报、预警、预演、预案“四预”措施, 对于实现暴雨预警和灾害风险之间有机耦合进而使预警与响应机制有效衔接联动意义重大。郑州“7·20”暴雨前后, 气象局不断提高预警发布频率与等级, 作用不可低估。但将实测资料同预警信号相比较, 发现气象预测结果颇欠精度。进一步列举黄河流域与驻马店“75·8”暴雨的气象记录进行比较, 郑州“7·20”暴雨强度并不是极值, 故不能完全将雨洪造成的重大人员伤亡和财产损失归结于天灾。预报是“四预”之魂, 抗洪亟需预报支撑, 因此, 必须通过科技攻关提高气象预测水平, 完善灾害敏感点实时监测体系建设。

(3) 针对问题提出建议: 第一, 完善应急管理体制, 依法依规问责追责; 第二, 慎重下拨救灾款, 灾情核查为依据; 第三, 降低水库汛限水位, 完善防洪减灾工程; 第四, 抢险须用新技术, 力求减灾不贻误; 第五, 应体现弹性治水理念, 给排洪多留顺畅通道; 第六, 普及应急处置技能, 提高防灾避险意识; 第七, 及时发布灾害信息, 积极回应社会关切; 第八, 加大科技攻关投入, 强力支撑抗洪救灾。在已有研究基础上, 针对性提出了解决问题的技术途径。

(4) 为转变洪水期中小河流经常决堤所造成的灾情加大、救灾被动的局面, 运用清华大学“一种钢筋混凝土预制板桩组合坝”专利技术, 在原有堤防的迎水面, 插入钢筋混凝土预制板桩, 提升加固中小河流堤防, 以便在今后的防洪中减少灾情损失, 变被动为主动。

(5) 利用水中铁船可构建成浮船坝, 根据弯道环

流输沙原理研发出变流促淤技术, 进而实现“高水变流促淤、低水挑流护岸”功能; 再结合钢结构异型板桩组合坝技术, 形成“钢结构异型板桩+导流船”堵口新技术, 亦即用长臂打桩机将钢结构异型板桩构件从口门两端堤头迎水面打入, 抢筑裹头后再沿堵口坝基线陆续交错打入异型板桩并加以焊连, 同时顺板桩背面填渣推进, 在铁船变流技术配合下, 即可封堵成功。

(6) 为解决水灾时紧急转移群众的被动状况和财产的巨大损失, 建议以“避水苑”工程形式改变传统的单一模式, 即采用上述钢筋混凝土预制板桩组合坝专利技术, 沿村边按设计水位, 修建工程稳定性强的板桩组合坝, 作为防护坝墙, 路口设置“双梁门式起吊闸门”及常见的防汛应急挡门作为应急门户, 并在村角修建多层的“避水阁”, 在泵站动力强排设施配合下, 有效解决防洪避水自保问题。

(7) 为尽量减小对邻近建筑物与村庄环境的影响, 解决地下水位高的难题, 采用变宽深开沟机与沉桩造基槽协同配合的新施工方法, 对预制板桩组合坝墙进行施工, 尤其采用插拔自如的液压式打桩设备将冲槽桩锤打入的沉桩造槽施工方法, 使板桩端进入土体密实层, 挡水板桩陆续到位后, 顶部现浇钢筋混凝土冠梁, 将组合坝浇筑成一体, 如此施工具有工序简单、适应性强、基础较深、密闭性好、施工高效、成本低、外观规则及便于同绿植方案结合等优点。

参考文献 (References):

- [1] 张红武. 黄河丁坝冲刷及根石走失防护途径的研究[C]//李保如. 黄科院科学研究论文集(第3集). 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 121-132.
ZHANG Hongwu. Study on the protection ways of scouring and root rock loss of the Yellow River spur dike [C] // LI Baoru. Scientific research papers of the Yellow River Academy of Sciences (Episode 3). Beijing: China Environmental Science Press, 1992: 121-132.
- [2] 水利部黄河水利委员会. 防汛抢险技术[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.
Yellow River Water Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources. Flood control and rescue technology[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 2000.
- [3] 张俊华, 许雨新, 张红武, 等. 河道整治及堤防管理[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
ZHANG Junhua, XU Yuxin, ZHANG Hongwu, et al. River regulation and dyke management[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 1998.
- [4] 张红武, 吕昕. 弯道水力学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
ZHANG Hongwu, LYU Xin. Curve hydraulics [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1993.
- [5] 张红武, 李振山, 安催花, 等. 黄河下游河道与滩区治理研究

- 的趋势与进展[J]. 人民黄河, 2016, 38(12): 1-10.
- ZHANG Hongwu, LI Zhenshan, AN Cuihua, et al. Regulation and control on the channel and floodplains in the Lower Yellow River: priorities and progresses in research[J]. Yellow River, 2016, 38(12): 1-10.
- [6] 张红武, 曹帅, 张昊, 等. 黄河下游河道治理关键技术研发模型试验报告[R]. 北京: 清华大学黄河研究中心, 2017.
- ZHANG Hongwu, CAO Shuai, ZHANG Hao, et al. Experimental report on research and development model of key technologies for river governance in the lower Yellow River [R]. Beijing: Yellow River Research Center, Tsinghua University, 2017.
- [7] 张红武. 黄河下游河道与滩区治理示范工程的板桩组合技术研究[J]. 人民黄河, 2020, 42(9): 7-11.
- ZHANG Hongwu. Research on the sheet-pile combination technology of channel-beach management demonstration project in the Lower Yellow River[J]. Yellow River, 2020, 42(9): 7-11.
- [8] 龚西城, 张昊, 李琳琪, 等. 黄河下游河势控制与滩区治理示范工程的实施及效益[J]. 人民黄河, 2021, 43(5): 54-60.
- GONG Xicheng, ZHANG Hao, LI Linqi, et al. Implementation and benefit of demonstration project of river regime control and beach area control in the lower Yellow River[J]. Yellow River, 2021, 43(5): 54-60.
- [9] 侯琳, 张红武, 张罗号, 等. 黄河下游治理钢管透水桩稳定性计算[J]. 水利水电技术, 2021, 52(7): 1-15.
- HOU Lin, ZHANG Hongwu, ZHANG Luohao, et al. Stability calculation of steel pipe permeable pile for lower Yellow River regulation [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52(7): 1-15.
- [10] 长江中游水文资源勘测局. 降水量观测规范: SL21—2015 [S]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- Hydrological Resources Survey Bureau of the Middle Reaches of the Yangtze River. Code for precipitation observation: SL21—2015 [S]. Beijing: Electronic Industry Press, 2015.
- [11] 李国英. 治理黄河思辨与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- LI Guoying. Thinking and practice of controlling the Yellow River [M]. Beijing: China Water and Power Press, 2013.
- [12] 黄河流域及西北片水旱灾害编委会, 黄河流域水旱灾害[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996.
- Editorial Committee of Flood and Drought Disasters in the Yellow River Basin and Northwest China. Flood and drought disasters in the Yellow River Basin[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1996.
- [13] 黄河水利委员会水文局. 黄河水文志 [M]. 郑州: 河南人民出版社, 1996.
- Hydrology Bureau of the Yellow River Water Resources Commission. Hydrology of the Yellow River [M]. Zhengzhou: Henan People's Publishing House, 1996.
- [14] 张红武, 方红卫, 钟德钰, 等. 宁蒙黄河治理对策[J]. 水利水电技术, 2020, 51(2): 1-25.
- ZHANG Hongwu, FANG Hongwei, ZHONG Deyu, et al. Control measurements in Ningmeng Reach of the Yellow River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(2): 1-25.
- [15] 王光谦, 张红武, 夏军强. 游荡型河流演变及模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- WANG Guangqian, ZHANG Hongwu, XIA Junqiang. Evolution and simulation of wandering rivers[M]. Beijing: China Science Publishing and Media Ltd., 2006.
- [16] 张红武, 张罗号, 景唤, 等. 山东对黄河流域生态保护和高质量发展的作用不可替代[J]. 水利水电技术, 2021, 52(1): 1-21.
- ZHANG Hongwu, ZHANG Luohao, JING Huan, et al. The irreplaceable role of Shandong in the ecological conservation and high-quality development of the Yellow River Basin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52(1): 1-21.
- [17] 李殿魁. 治水新论[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2016.
- LI Diankui. New opinions on flood management[M]. Beijing: Scientific and Technical Documents Press, 2016.
- [18] 韩全林, 孙洪滨, 游益华. 江苏水公共安全风险特征及防灾减灾对策研究[J]. 水利发展研究, 2020, 20(6): 16-21.
- HAN Quanlin, SUN Hongbin, YOU Yihua. Study on risk characteristics of water public security and disaster prevention and relief countermeasures in Jiangsu Province [J]. Water Resources Development Research, 2020, 20(6): 16-21.
- [19] 张红武, 江恩惠, 白咏梅, 等. 黄河高含沙洪水模型的相似律[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994.
- ZHANG Hongwu, JIANG Enhui, BAI Yongmei, et al. Similarity law of high sediment concentration flood model in the Yellow River[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1994.
- [20] 张红武, 张清. 黄河水流挟沙力的计算公式[J]. 人民黄河, 1992, 14(11): 7-9.
- ZHANG Hongwu, ZHANG Qing. Formula of sediment carrying capacity of the Yellow River[J]. Yellow River, 1992, 14(11): 7-9.
- [21] 张红武, 张罗号, 彭昊, 等. 冲积河流糙率由来与计算方法研究[J]. 水利学报, 2020, 51(7): 774-787.
- ZHANG Hongwu, ZHANG Luohao, PENG Hao, et al. Research on cognition and calculation method of alluvial river roughness[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(7): 774-787.
- [22] 张红武. 泥沙起动流速的统一公式[J]. 水利学报, 2012, 43(12): 1387-1396.
- ZHANG Hongwu. A unified formula for incipient velocity of sediment [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(12): 1387-1396.
- [23] 张红武, 李琳琪, 施祖麟, 等. 一种钢筋混凝土预制板桩组合坝: CN 202120173389.5[P]. 2021-01-21.
- ZHANG Hongwu, LI Linqi, SHI Zulin, et al. A reinforced concrete precast sheet pile composite dam: CN 202120173389.5[P]. 2021-01-21.
- [24] 张红武, 马继业, 张俊华, 等. 河流桥渡设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- ZHANG Hongwu, MA Jiye, ZHANG Junhua, et al. Design of river bridge[M]. Beijing: China Building Materials Press, 1993.

(责任编辑 王璐)