

2016年达拉特旗淤地坝水毁原因及拦沙效果

汪自力^{1,2}, 张宝森^{1,2}, 刘红珍³, 李春江^{1,2}, 林秀芝^{1,4}, 杨吉山^{1,5}

(1. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003;

2. 水利部堤防安全与病害防治工程技术研究中心, 河南 郑州 450003;

3. 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003;

4. 水利部黄河泥沙重点实验室, 河南 郑州 450003; 5. 水利部黄土高原水土流失与控制重点实验室, 河南 郑州 450003)

摘要:为核查淤地坝水毁原因及对入黄泥沙的影响,基于西柳沟和罕台川小流域19座淤地坝决口现场调查资料,分析得出2016年“8·17”暴雨降雨过程和入黄水沙的特征。针对淤地坝结构和运行特点,结合现场对淤地坝水毁情况尤其是决口部位冲蚀形态的详细查勘,从降雨以及淤地坝规划、设计、施工、管理等方面分析了淤地坝水毁原因,定性给出了淤地坝决口形式及拦沙效果。提出优化坝系布局和建设标准,改进放水建筑物结构并强化施工质量管理,重视预警预报等非工程措施建设等建议。

关键词:淤地坝;暴雨;水毁原因;拦沙效果;达拉特旗

中图分类号:TV873

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2019)04-0001-06

Damage causes and sand-blocking effects of warping dams in Dalat Banner in 2016//WANG Zili^{1,2}, ZHANG Baosen^{1,2}, LIU Hongzhen³, LI Chunjiang^{1,2}, LIN Xiuzhi^{1,4}, YANG Jishan^{1,5} (1. *Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China*; 2. *Research Center on Levee Safety and Disease Prevention, MWR, Zhengzhou 450003, China*; 3. *Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China*; 4. *Key Laboratory of Yellow River Sediment Research, MWR, Zhengzhou 450003, China*; 5. *Key Laboratory of Water and Soil Loss Process and Control on the Loess Plateau, MWR, Zhengzhou 450003, China*)

Abstract: To examine the damage causes of warping dams and their impacts on sediment delivery into the Yellow River, the characteristics of the rainstorm process at August 17 and the inflow of water-sediment into the Yellow River were obtained based on the field investigation results of 19 warping dam breaches and the data of hydrological stations and rainfall stations in Xiliugou and Hantaichuan watersheds. According to the structure and operation characteristics of the warping dams, combined with the detailed investigation of the flood-induced damage situation, especially the erosion form at the break sites, the causes of flood-induced damage were analyzed from the aspects of rainfall, planning, design, construction and operation management of the warping dams. The break modes and sand-blocking effects of the warping dams were qualitatively presented. Suggestions are proposed, including optimizing dam-system layout and construction standard, improving the structure of drainage structures, strengthening construction quality management, and paying attention to non-engineering measures such as early warning and prediction.

Key words: warping dam; rainstorm; causes of flood-induced damage; sand-blocking effects; Dalat Banner

建造在黄土高原水土流失区小流域沟道中的淤地坝,是减少进入黄河的泥沙并改善当地种植条件的重要水保措施之一,起到了滞洪拦沙和淤地造田的作用^[1-5]。受经济技术条件限制,以往淤地坝设计建设标准不高,质量控制不严,运行方式特殊,险情抢护困难。遇到暴雨年份常出现淤地坝水毁甚至决口现象,引起众多学者对其冲毁原因及拦沙效果的关注^[5-10],担心淤地坝拦沙是否会“零存整取”,并

对坝系相对稳定及坝体结构形式等进行了研究^[11-13]。淤地坝按库容大小分为大、中、小3类,分别为50万~500万m³、10万~50万m³、1万~10万m³,其中大型淤地坝也称骨干坝。

西柳沟和罕台川两个流域(孔兑)位于内蒙古鄂尔多斯市达拉特旗,是黄土高原水土流失严重区,也是黄河粗泥沙的重要来源区。截至2015年底,两个小流域(区域)共建成淤地坝167座,其中大型坝

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0401610);黄河水利科学研究院基本科研业务费专项(HKY-JBYW-2017-20)

作者简介:汪自力(1965—),男,教授级高级工程师,博士,主要从事堤坝工程安全管理与抢护技术研究。E-mail:zlwang9@vip.sina.com

通信作者:张宝森(1965—),男,高级工程师,主要从事防汛减灾及冰凌预报研究。E-mail:976129493@qq.com

50座,中型坝59座,小型坝58座。2016年8月16—18日,该区域发生特大暴雨(简称“8·17”暴雨),最大降水量达到406mm,部分淤地坝水毁严重,并有19座决口。为核査淤地坝水毁原因及对入黄泥沙的影响,客观评价淤地坝建设管理水平及拦沙作用,8月29日至9月1日笔者一行进行了实地调查。调查组逐个查看了当地上报的水毁严重的21座淤地坝现场,走访了当地群众,收集了该区域水文站及山洪预警平台雨量站有关资料,査阅了施工档案,分析了暴雨频率、入黄泥沙以及水毁原因,提出了相应的对策和建议,可供淤地坝规划设计、建设和管理者借鉴。

1 达拉特旗淤地坝及其小流域概况

1.1 淤地坝、水文站、雨量站分布情况

据当地部门介绍,本次降雨主要集中在内蒙古十大孔兑的西柳沟、罕台川两个流域,水毁较严重的淤地坝共21座。两个小流域入黄处分别设有1个水文站,即西柳沟流域的龙头拐水文站、罕台川流域的响沙湾水文站,此外达拉特旗山洪预警系统在此区域还建有多个雨量站。淤地坝、水文站、雨量站位置等见图1所示。

1.2 降雨情况

a. 降雨量空间分布。根据达拉特旗山洪预警平台雨量站数据,绘制了“8·17”暴雨最大24h降雨量分布图(图1)。此次降雨有两个相距仅17.5km的暴雨中心,一个在高头窑(西柳沟流域),另一个在神

木塔和赫家渠一带(罕台川流域),最大24h降雨量分别为404mm、290mm。累计降雨量超过200mm的站点还有劳场湾(249mm)、白家塔(250mm)、神木塔(291mm)、昌汉沟(237mm)、赫家渠(284mm)。

b. 降雨过程。图2为暴雨中心高头窑站实测降雨过程。整个降雨过程可分为两场降雨,第1场降雨从8月16日22时至17日14时,第2场降雨从8月17日21时至18日5时,两场降雨间隔仅7h。第1场降雨历时长、强度大,降雨量约占“8·17”暴雨总量的80%,大雨持续时间为8h,形成最大1h、3h、6h、12h降雨。第2场降雨相对历时短、强度小,大雨持续时间约2h。其中第1场降雨累计降雨量为352mm,第2场降雨量为54mm,总计达406mm。

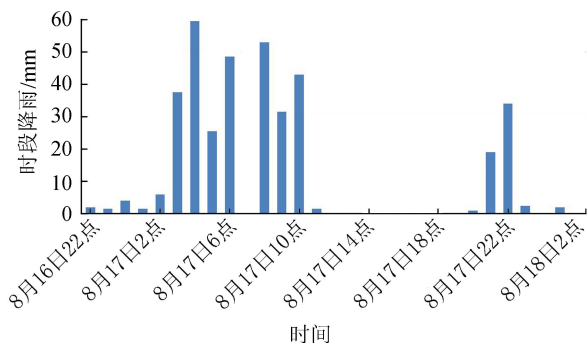


图2 暴雨中心高头窑站1h降雨过程

1.3 淤地坝结构及水毁情况

1.3.1 淤地坝组成及结构形式

此次调查的22座淤地坝有关数据见表1、表2。淤地坝主要由坝体及放水工程(俗称两大件)组成,

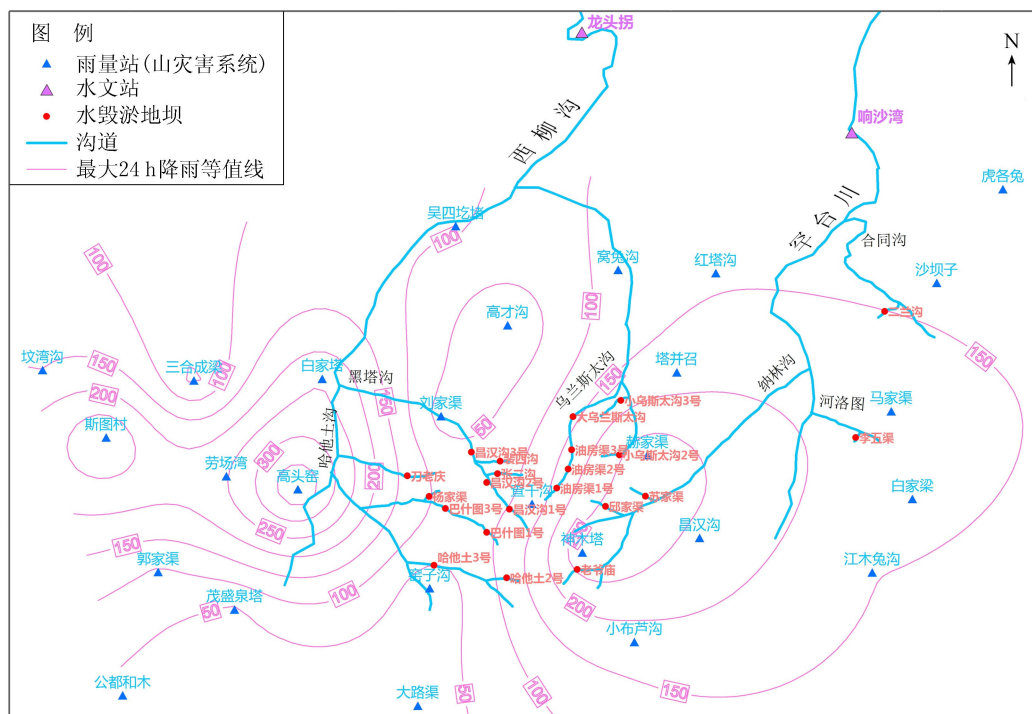


图1 淤地坝、雨量站及“8·17”暴雨最大24h降雨量分布(单位:mm)

表1 罕台川流域“8·17”暴雨淤地坝决口情况统计

所属坝系	坝名	坝型	坝长/m	坝高/m	总库容/ 万 m ³	防洪库容/ 万 m ³	拦泥库容/ 万 m ³	洪水重现期/a		建坝 年份	决口 形式	决口时间
								设计	实测			
纳林沟	老爷庙	骨干坝	299.3	13.1	66.73	26.98	39.75	20	200	2011年	溃决	20日10时
	邱家渠	中型坝	143	9.0	20.17	9.38	10.79	10	200	2010年	漫决	17日11时29分
	苏家渠	中型坝	182	9.4	20.30	9.45	10.85	10	200	2010年	溃决	17日11时9分
合同沟	二兰沟	中型坝	161	12.0	31.12	15.92	15.20	10	20	2005年	漫决	18日7时
河洛图	李五渠	小型坝	65	6.3	4.30	2.70	1.60	5	20	2005年	漫决	17日9时20分

注:决口时间多为调查推测时间(下同)。

表2 西柳沟流域“8·17”暴雨淤地坝决口情况统计

所属坝系	坝名	坝型	坝高/m	总库容/ 万 m ³	防洪库容/ 万 m ³	拦泥库容/ 万 m ³	洪水重现期/a		建坝 年份	决口 形式	决口时间
							设计	实测			
黑塔沟	昌汉沟1号	骨干坝	14.0	164.30	73.50	90.80	30	10	2009年	溃决	18日8时
	昌汉沟2号	骨干坝	12.0	99.43	44.46	54.97	20	10	2010年	漫决	17日14时30分
	昌汉沟3号	骨干坝	12.3	158.30	70.80	87.50	30	10	2010年	漫决	17日14时30分
	张二沟	中型坝	9.0	17.44	8.51	8.93	10	10	2009年	未决口	
	裴四沟	中型坝	12.0	21.37	10.43	10.94	10	10	2010年	溃决	17日11时09分
乌兰斯太沟	油房渠1号	骨干坝	11.2	67.98	36.66	31.32	20	30	2006年	溃决	17日13时50分
	油房渠2号	骨干坝	11.6	92.98	50.14	42.84	20	30	2006年	漫决	17日13时50分
	油房渠3号	骨干坝	10.5	81.57	43.98	37.59	20	30	2006年	漫决	17日13时50分
	大乌兰斯太沟	骨干坝	10.6	86.40	46.59	39.81	20	20	2006年	漫决	17日16时27分
	小乌兰斯太2号	小型坝	13.2	5.70	3.73	1.97	5	50	2006年	漫决	17日13时07分
	小乌兰斯太3号	小型坝	13.1	5.70	3.73	1.97	5	40	2006年	未决口	
哈他土沟	巴什兔1号	骨干坝	15.0	81.4	36.40	45.00	20	10	2010年	溃决	20日16时
	巴什兔3号	骨干坝	16.4	199.87	89.38	110.49	30	10	2010年	溃决	18日8时
	杨家渠	中型坝	10.5	30.56	14.91	15.65	10	10	2011年	漫决	17日11时21分
	哈他土2号	骨干坝	12.6	107.00	47.88	59.12	30	20	2010年	溃决	18日晚
	哈他土3号	骨干坝	14.6	240.19	107.41	132.78	30	10	2012年	溃决	22日
	刀劳庆	骨干坝	14.1	78.30	33.03	45.28	20	10	2009年	未决口	

无泄洪设施,而小乌兰斯太2号、3号坝只有坝体。坝体坝型为黄土均质坝,多为就地取用材料碾压而成。放水工程一般由进水口分级卧管段、消力池、无压涵管段及出口消能段组成,决口现场看到的主要结构形式如图3所示。



(a) 分级卧管进水段



(b) 涵管及出口消能段

图3 淤地坝放水工程结构形式

1.3.2 淤地坝水毁情况

从现场看,淤地坝水毁主要表现为坝顶纵向裂缝、沉陷塌坑,坝坡水沟、台阶、滑坡等,放水设施消能段淘刷失稳、溯源冲刷、断开散落等,严重者导致坝体决口。当地上报有21座淤地坝决口,但经现场复核有2座并未决口,分别是张二沟中型坝和小乌兰斯太3号小型坝。决口的19座淤地坝中有骨干坝12座、中型坝5座、小型坝2座,全部分布在西柳沟和罕台川两个流域,占该区域淤地坝总数的11%,见表1、表2。所调查淤地坝涉及西柳沟流域乌兰斯太沟、黑塔沟、哈他土沟3个坝系和罕台川流域纳林沟、合同沟、河洛图3个坝系。淤地坝决口造成下游部分道路桥梁冲毁,所幸人员撤离及时未造成伤亡。

根据现场最高洪水痕迹、坝坡冲蚀、放水设施散落位置及口门处形态等,将决口形式分为漫决和溃决两种。漫决由洪水漫顶导致,溃决因坝基、坝体或放水设施土石接合部渗透破坏导致。决口的19座中10座为漫决,9座为溃决。

1.3.3 淤地坝口门残留淤积形态

决口口门处,上游库区侧冲刷呈扇形半漏斗状分布,有的淤积物明显呈台阶状(图4),而口门下游侧多冲出一条深沟,总体上看库区淤积物冲蚀流失

量有限。在西柳沟乌兰斯太沟坝系,油坊渠1号溃坝后,导致下游油坊渠2号、3号及大乌兰斯太沟坝先后漫决,口门宽度分别约为20 m、50 m、100 m、150 m,口门形态也有所不同。建于2005年的二兰沟、李五渠坝前期已基本淤满。



(a) 立面



(b) 平面

图4 淤地坝决口口门处淤积形态

1.4 洪水、泥沙情况

该区域淤地坝建成时间集中于1995—2000年和2005—2010年两个时期,为对比淤地坝滞洪拦沙效果,收集整理了建坝前1989年和此次“8·17”暴雨及其洪水泥沙资料,并将龙头拐、响沙湾(红塔沟)两个入黄处水文站的洪水、泥沙特征值列入表3。

表3 西柳沟和罕台川小流域典型场次洪水水沙特征值

河流名称	水文站名称	日期	洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	次洪量/ 万 m^3	次洪输沙量/ 万 t	最大含沙量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
西柳沟	龙头拐	1989-07-21	6940	7275	4016	1240
		2016-08-17	2730	7353	595	113
罕台川	红塔沟	1989-07-21	3090	3120	689	433
		响沙湾	2016-08-17	1390	2642	231

注:以响沙湾水文站代替原红塔沟水文站承担罕台川流域入黄水沙测量工作。

2 水文泥沙资料分析

2.1 暴雨重现期

通过收集19座水毁淤地坝的初步设计报告,得知各骨干坝的设计标准为20~30年一遇,校核标准为200~300年一遇。根据《内蒙古自治区治沟骨干工程技术手册》计算得到西柳沟、罕台川上游10年、20年、30年、50年、200年、300年一遇最大24 h降雨量分别为110 mm、144 mm、160 mm、190 mm、

263 mm、284 mm。

与图1降雨量分布比后,可得各淤地坝所控制区域此次暴雨重现期,进一步与设计重现期进行对比后可知:罕台川纳林沟坝系3座淤地坝(老爷庙、邱家渠、苏家渠)最大24 h降雨量都接近300年一遇的284 mm,李五渠、二兰沟均超过20年一遇的144 mm。但发现部分淤地坝并未达到设计标准即溃,还有个别超设计标准也未漫决,这可能与淤地坝特点有关。

2.2 入黄泥沙

从表3龙头拐水文站数据可见,两次降雨在次洪量基本相同的情况下,此次洪峰流量只是1989年的40%,次洪输沙量仅为1989年的15%,最大含沙量只有1989年的9%。罕台川流域数据也反映了此次降雨洪峰流量和含沙量显著降低的特征。此外,图4也反映了即使淤地坝决口,绝大部分淤积泥沙仍留在库中,未出现淤地坝“零存整取”的现象。从现场看植被覆盖度确实有较大提高,与退耕还草等政策的落实也有较大相关性。淤地坝拦沙作用及植被覆盖度提高,对入黄泥沙减少所占比例有待进一步研究。

3 淤地坝特点及决口原因分析

3.1 淤地坝特点

淤地坝当初主要作用是滞洪、拦沙,淤地以改善当地农业生产土地条件,后来逐渐成为控制沟道侵蚀、滞洪拦泥、淤地造田以及减少入黄泥沙等作用的水土保持工程。与以蓄水为主的小水库相比,淤地坝有以下特点:

a. 淤地坝设计指标特殊,包括洪水重现期、设计淤积年限两个指标。淤地坝设计总库容为校核洪水水位以下的库容,包括拦泥库容和滞洪库容。拦泥库容为拦截设计年限内入库泥沙所需的库容。滞洪库容为校核洪水水位至与拦泥库容相应水位之间的库容。由此可见,除设计洪水和输沙量计算偏差较大的原因外,拦泥情况直接影响淤地坝的实际滞洪能力和坝体安全,因此其滞洪能力是动态的。滞洪能力在淤地坝投入运行之初远大于设计洪水重现期,而随着坝区的快速淤积将大幅降低,直至淤满完全丧失滞洪作用。

b. 坝体坝基未进行截渗处理。防渗主要依靠淤积形成的铺盖,并使用放水设施尽快降低坝前水位,减少高水位运行时间。在淤地坝投入运行初期,防渗铺盖尚未形成时,遇到高水位时坝基极易发生渗透破坏。淤积到一定高度后方可在库尾蓄水,但不得在坝前积水。

c. 放水工程设施简单,排水能力及消能能力有限。主要基于黄土高原降雨量偏少、连续降雨几率低,淤地坝决口风险小及投资有限。如鄂尔多斯多年平均降水 348.3 mm,而多年平均蒸发量 2 506.3 mm。在达到设计淤积年限后,无法控制不再淤积,原设计的滞洪库容难以保证。遇到超标准洪水难以及时排泄,易导致漫坝。消能段偏短,长期排水易引起溯源冲刷。

d. 施工质量难以保证,运行管理不到位。坝体碾压不实,遇水浸泡后沉降加大,或水位突降后滑坡导致坝顶出现裂缝。特别是放水工程土石接合部填筑难以密实,截水环结构偏硬,难以与周边土体结合好,更易透水。当消能段出现溯源冲刷时,如抢护不及时将危及坝体稳定。

3.2 淤地坝决口原因

从现场调查和淤地坝的特点分析可知,导致淤地坝决口的原因较多,可归纳为以下几种:

a. 超标洪水导致漫决。如上所述,淤地坝的滞洪库容是动态的。当淤地坝控制范围内产生洪量超出有实际滞洪库容时,由于淤地坝无泄洪设施,致使洪水漫顶而过,逐步将坝体淘刷冲毁,最终造成垮坝。如表 1、表 2 所列,此次所调查的垮坝中有 9 座属于漫决,具体又可分为 3 种情况:一是虽有较大防洪库容,但在此次超标准降雨条件下,较快出现漫顶(如邱家渠);二是此次降雨前已基本淤满,强降雨下很快就漫顶(如二兰沟、李五渠坝);三是由于上游淤地坝垮坝后,使得下游骨干坝入库洪水急剧增加导致下游骨干坝漫顶(如油坊渠 2 号、3 号以及大乌兰斯太沟)。

b. 结构缺陷导致溃决。本次淤地坝溃口主要发生在放水涵管处,多是由于放水能力有限,造成以较高水位运行,导致放水设施土石接合部发生渗透破坏进而发展为接触冲刷、坍塌而溃坝。从施工方面看,放水卧管、消力池、涵管与周围土体接合部需采用人工夯实,难以密实,加之周围土体多为砂性土,抗渗性、抗冲蚀性差,易在高水头作用下发生接触渗透破坏且发展迅速难以抢护。从结构方面看,放水涵管底部垫层易发生不均匀沉陷,导致涵管间接缝发生错位、渗漏,缩短了渗径。从运行方面看,涵管按无压流设计,实际运行时有可能出现有压流,导致管内出现正负压交替并通过涵管连接处影响到周围土体变形淘空;涵管消能段出口防冲设施欠缺,引起溯源冲刷,加速了涵管失稳、坝体坍塌。

c. 填筑隐患导致溃决。淤地坝多采用当地材料筑坝,但部分坝址附近筑坝材料卵石含量较高,不易压实且抗渗性差。在运行初期上游侧尚未形成有

效铺盖情况下,坝基卵石含量较高部位在高水位作用下易发生管涌破坏,导致溃决。另外坝体填筑不实,也导致高水位浸泡和降雨下坝顶出现不均匀沉陷和纵向裂缝。

d. 管理欠缺导致决口。淤地坝分布较广且多处于偏僻山沟,放水设施及坝体日常维护不到位。暴雨洪水时,放水设施进水孔开启、堵塞失控,涵管段溯源冲刷,以及难以及时发现和有效控制高水位运行等险情,最终酿成决口。

4 结 论

a. 淤地坝建设标准和结构形式有待进一步优化。淤地坝水毁严重主要原因是强降雨造成的超标准洪水,但放水设施结构缺陷及坝体施工质量控制不严也是不可忽视的因素。串联骨干坝易出现自上而下相继垮坝问题,因此有必要对骨干坝优化坝系布局和结构设计,增设泄洪设施,强化施工质量管理,严格责任追究。对小型坝要考虑淤地坝运行特点,适当控制坝高,并考虑多种结构形式和材料,允许漫坝而不溃,既满足拦沙淤地要求,又降低溃坝风险,还可长期安全运行。

b. 非常运用条件下淤地坝仍发挥了滞洪拦沙作用。近年来,西柳沟和罕台川流域开展了坝系建设、坡面治理和生态修复等水土保持工程,流域内生态环境得到了明显改善。从收集到的西柳沟流域龙头拐水文站 2016 年“8·17”与 1989 年“7·21”暴雨洪水、泥沙资料对比分析,此次最大 24 h 降雨量明显偏大,次洪量基本相同,而洪峰流量只是 1989 年的 40%,次洪输沙量仅为 1989 年的 15%,可见淤地坝和其他水保措施发挥了显著的滞洪拦沙作用。据现场调查,即使发生决口的淤地坝,大部分泥沙仍留在库区,不存在所担心的“零存整取”问题。

c. 非工程措施对于淤地坝应急管理是必要的。本次降雨造成 19 座淤地坝决口,部分道路桥梁被冲毁,但由于前期国家防总派出督导组进行督导,地方各级政府高度重视,并发挥了山洪灾害预警系统的作用,及时转移安置 827 名人员,故未造成人员伤亡,最大限度降低了损失。今后有必要增加淤地坝水位等现场视频监视系统,进一步落实管护责任,并研究倒虹吸等应急降水措施。

d. 基础管理工作有待加强。此次调查受时间和基础资料所限,难以实现定量分析。建议通过《淤地坝技术规范》的修订,规范淤地坝规划建设与运行管理内容,加强对淤积库容的动态观测,增加对排水涵管的隐患探测等。

致谢:参加此次调研的还有黄河上中游管理局

的李运学、裴新富、常玮、史红艳等同志。

参考文献:

- [1] 秦鸿儒,刘正杰,陈江南. 黄土高原地区淤地坝运行管理调查研究[J]. 人民黄河,2004(7):25-27. (QIN Hongru, LIU Zhengjie, CHEN Jiangnan. Investigation on operation management of Warping Dam in Loess Plateau Area[J]. Yellow River,2004(7):25-27. (in Chinese))
- [2] 康玲玲,董飞飞,王云璋,等. 黄土丘陵沟壑区水土保持措施蓄水拦沙指标体系探讨[J]. 水利水电科技进展,2006,26(2):30-33. (KANG Lingling, DONG Feifei, WANG Yunzhang, et al. Discussion on index system of water storage and silt detention for soil and water conservation in gullied hilly loess region[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(2):30-33. (in Chinese))
- [3] 韩玉峰. 利用蓄水设施开发淤地坝水资源初探[J]. 水利经济,2004,22(6):32-34. (HAN Yufeng. Application of sluice facilities to development of water resources in silt dam areas[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2004,22(6):32-34. (in Chinese))
- [4] 左仲国,董增川,王好芳. 淤地坝系水资源系统分析模型研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2001,29(4):81-83. (ZUO Zhongguo, DONG Zengchuan, WANG Haofang. A study on system analysis model for water resources of warping dam system[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2001,29(4):81-83. (in Chinese))
- [5] 王保清,卫三平,张淑珍. 从吕梁“9·19”特大暴雨洪水看淤地坝的防洪减灾作用[J]. 中国水土保持,2011(7):22-24. (WANG Baoqing, WEI Sanping, ZHANG Shuzhen. The flood control and disaster reduction function of Warping Dam from the “9·19” rainstorm flood in Lüliang[J]. Soil and Water Conservation in China, 2011(7):22-24. (in Chinese))
- [6] 李保如,陈升辉,孟庆枚. 黄河中游1977年暴雨后小型库坝工程情况的调查[J]. 人民黄河,1979(1):18-26. (LI Baoru, CHEN Shenghui, MENG Qingmei. Investigation of small dam project after rainstorm in middle reaches of the Yellow River in 1977[J]. Yellow River, 1979(1):18-26. (in Chinese))
- [7] 王允升,王英顺. 黄河中游地区1994年暴雨洪水淤地坝水毁情况和拦淤作用调查[J]. 中国水土保持,1995(8):23-26. (WANG Yunsheng, WANG Yingshun. Investigation on flood damage and warping of warping dams in the middle reaches of the Yellow River in 1994[J]. Soil and Water Conservation in China, 1995(8):23-26. (in Chinese))
- [8] 秦鸿儒,孙浩,刘正杰. 2013年暴雨过程中黄土高原淤地坝受损原因分析及建议[J]. 中国水土保持,2014(3):22-24. (QIN Hongru, SUN Hao, LIU Zhengjie. Cause analysis and suggestions for damage of warping dams on Loess Plateau during 2013 rainstorm[J]. Soil and Water Conservation in China, 2014(3):22-24. (in Chinese))
- [9] 王楠,陈一先,白雷超,等. 陕北子洲县“7·26”特大暴雨引发的小流域土壤侵蚀调查[J]. 水土保持通报,2017,37(4):338-344. (WANG Nan, CHEN Yixian, BAI Leichao, et al. Investigation on soil erosion in small watersheds under “7·26” extreme rainstorm in Zizhou County, Northern Shaanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4):338-344. (in Chinese))
- [10] 刘晓燕,高云飞,马三保,等. 黄土高原淤地坝的减沙作用及其时效性[J]. 水利学报,2018,49(2):145-155. (LIU Xiaoyan, GAO Yunfei, MA Sanbao, et al. Sediment reduction of warping dams and its timeliness in the loess plateau[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018,49(2):145-155. (in Chinese))
- [11] 方学敏. 坝系相对稳定的标准和条件[J]. 中国水土保持,1995(11):29-32. (FANG Xuemin. Criteria and conditions for relative stability of the warping dam system[J]. Soil and Water Conservation in China, 1995(11):29-32. (in Chinese))
- [12] 沈珠江. 关于修建漏水水库的建议[J]. 中国水利,2002(3):6-7. (SHEN Zhujiang. Suggestion on construction leaking reservoirs[J]. China Water Resources, 2002(3):6-7. (in Chinese))
- [13] 王浩,杨方社,李怀恩,等. 沙棘柔性坝对砒砂岩沟道泥沙粒径分布及有机质影响[J]. 水土保持学报,2017,31(5):158-163. (WANG Hao, YANG Fangshe, LI Huaien, et al. Effects of seabuckthorn flexible dam on sediment particle size distribution and organic matter in the soft sandstone Gully[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017,31(5):158-163. (in Chinese))

(收稿日期:2018-07-09 编辑:骆超)

