清水河流域中上游暴雨洪水相关关系分析

王世军　马尚贤　李军建
宁夏回族自治区水文水资源监测预警中心固原分局　宁夏　固原　756000

摘　要：暴雨洪水是黄土高原丘陵沟壑区主要自然灾害。本文以宁夏清水河流域中上游为研究区，基于2015—2024年61场实测暴雨洪水过程，采用统计分析与对比归纳法，分析各支沟及干流的暴雨洪水响应关系。结果表明：（1）左岸支流因水库拦蓄，对干流洪水贡献有限，干流洪峰主要来自右岸双井子沟和大红沟；（2）径流对降水响应存在明显滞后，滞时受前期土壤含水量和暴雨中心位置影响；（3）洪峰流量对1h、3h雨强敏感性高于总降雨量，短历时强降雨是诱发高量级洪水的主导因素。据此提出优化监测站网、加密暴雨空白区监测、完善预报方案及强化应急管理等建议，为流域防洪减灾提供支撑。

关键词：清水河流域；暴雨洪水；雨强时程分配；洪水传播时间

引言

暴雨洪水是黄土高原突发性强、破坏力大的自然灾害。清水河作为黄河一级支流，流经宁夏南部黄土丘陵沟壑区，植被覆盖低、土壤入渗弱，暴雨后易形成陡涨陡落的洪水过程。近年来极端降水事件频发，流域洪水强度与频次上升，防洪压力增大。科学认识暴雨洪水特征及产汇流机制是精准预报的基础，但流域下垫面复杂、水利工程调蓄差异显著，洪水形成受多因素耦合影响，预报不确定性较大。因此，深入分析暴雨与洪水的定量关系，厘清各支沟产流特性和传播规律，对提升预报精度和防灾能力具有重要意义[1]。本文基于2015—2024年实测资料，分析不同暴雨量级和雨强组合下各支沟洪水响应特征，揭示时空演变规律，并提出监测与预报改进建议，为防洪减灾提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 自然地理特征

清水河流域位于宁夏中南部，地处黄土高原向鄂尔多斯台地过渡地带，地势东南高、西北低，海拔1560～2955m。流域以黄土丘陵沟壑区为主，地表破碎、沟壑纵横，植被覆盖度低，水土流失严重；属温带大陆性半干旱气候，年均降水量约400mm，降水集中于6—9月，且多短历时高强度暴雨，易引发山洪灾害。

1.2 水系构成与水文站点

清水河发源于六盘山东麓，自南向北流经原州区、海原县、同心县、中宁县后汇入黄河，干流长320km，流域面积14481km²。中上游以韩府湾水文站为控制断面，控制面积4935km²。左岸主要支流有东至河、中河、苋麻河、大沙河、马饮河，右岸主要支流有双井子沟、大红沟、杨达子沟等。流域内布设雨量站80处、水文（水位）站14处（含2处国家基本水文站）及固定洪水调查断面7处，2015年以来积累了连续监测数据。

1.3 水利工程调蓄现状

流域内共有中型水库11座、小（一）型水库23座、小（二）型水库17座。左岸支流上的东至河、寺口子、沈家河、苋麻河、杨达子等水库调蓄能力较强，非极端暴雨条件下基本拦蓄上游来水，对干流洪水补给有限；右岸支流水库较少，洪水近乎天然演进，是干流洪水的主要来源区。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

降雨数据采用流域内80处雨量站2015—2024年逐小时记录；洪水数据包括14处水文（水位）站实测流量过程及7处固定断面调查成果，共61场洪水过程。数据均经审定，质量可靠。

2.2 研究方法

采用统计分析与对比归纳相结合的方法。按支沟建立降雨—洪水响应样本集，提取洪峰流量、洪水历时、传播时间等参数，并计算最大1h、3h、6h雨强；按洪峰量级划分区间，统计雨强范围，分析雨强与洪峰的阈值关系；对比相似降雨条件下不同支沟的洪水响应差异，探讨下垫面及水利工程对产汇流的影响；结合典型洪水过程，分析暴雨中心位置、主雨时段与洪水传播时间的对应关系，揭示洪水滞后效应主要影响因素。

3 暴雨洪水响应关系分析

3.1 左岸支流洪水特性

2015—2024年实测显示，清水河中上游左岸主要支流（东至河、中河、苋麻河、大沙河、马饮河、杨达子沟）洪水流量普遍较小。除马饮河于2023年8月11日录

得8.74m³/s最大洪峰外，其余峰值均未超5.00m³/s，洪水历时多短于3小时[2]。上述支流洪水出沟后分别汇入东至河、寺口子、苋麻河、沈家河及杨达子等水库，这些水库常年蓄水，仅遇超标准洪水才泄洪。研究涉及的61场洪水过程中，各水库均未开闸，故左岸支流对干流洪水补给可忽略，其调蓄作用反而削减干流洪峰，对下游防洪具正面效应。

表1 清水河中上游暴雨洪水相关关系统计表

序号	沟名	洪峰流量（m³/s）	雨强(mm)			平均流速（m/s）	洪水历时（h）	洪水传播时间（h）	流向
			1h	3h	6h				
1	黑刺沟	0-10.0	15-20	30-35	50-60	1.5-1.7	6-8	3.5-4	原州站
		10.0-20.0	25-30	35-45	60-75	1.7-1.9	10-12	3-3.5	
		＞20.0	30-40	45-50		1.9-2.2	12-16	2.5-3	
2	二十里铺	0-10.0	15-20	30-35	40-50	1.2-1.4	6-8	1-1.2	
		10.0-20.0	25-30	35-45	50-60	1.4-1.6	10-12	0.8-1	
		＞20.0	30-40	45-50		1.6-1.8	12-16	0.7-0.8	
3	大红沟	0-30.0	15-20	20-30		0.9-1.1	5-6	9-10	韩府湾（三）站
		30.0-50.0	20-30	30-45		1.1-1.2	6-8	8-9	
		50.0-100	30-40	45-60		1.2-1.4	8-10	7-8	
		＞100	＞40	＞60		1.4-1.6	10-14	6-7	
4	双井子沟	0-50.0	15-20	30-40		0.8-0.9	9-12	12.5-14	双井子沟口
		50.0-100	20-35	40-55		0.9-1.0	12-16	11-12.5	
		100-200	35-50	55-70		1.0-1.1	16-20	10-11	
		＞200	＞50	＞70	70-100	1.1-1.3	20-24	8.5-10	
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
9	硝口	0-10.0	25-30	35-45		1.0-1.2	4-6	2.5-3	彭堡
10	东至河	0-10.0	25-30	35-45		0.8-1.0	6-8	1-1.5	东至河水库
11	财沟	0-10.0	15-20	30-35	40-50	1.2-1.4	4-6	0.5-1	中坪水库
12	撒台	0-15.0	15-20	20-35		2.0-2.2	18-20	0.7-1	撒台水库
13	臭水河	0-10.0	15-20	30-35	40-50	1.2-1.4	18-20	1-1.5	寺口子水库
14	杨明河	0-10.0	15-20	20-30		1.5-1.8	15-18	1.5-2	寺口子水库

3.2 右岸支流洪水响应特征

右岸支流（尤其双井子沟和大红沟）是清水河干流洪水的主要贡献源。

3.2.1 双井子沟

洪水响应与降雨强度呈明显阈值关系：1小时雨强15～20mm时，洪峰＜50m³/s；20～35mm时，达50～100m³/s；35～50mm时，可达100～200m³/s；若1小时雨强＞50mm且3小时雨强＞70mm，可能发生超200m³/s的罕见洪水。2022年7月2日暴雨中，双井站1小时雨强34.8mm（3小时39.4mm），邻近韭坪站1小时雨强达83.8mm（3小时98.0mm），驱动双井子沟口于3:20出现274m³/s洪峰，历时24小时，6:30演进至韩府湾站（传播约3小时10分）[3]。而同年8月14日雨强较弱（1小时20.8mm，3小时22.4mm），相应洪峰仅42.0m³/s，历时10小时，传播时间延长至4小时10分。两场对比表明洪峰量级与短历时雨强高度正相关，且雨强越大，传播越快。

3.2.2 大红沟

集水面积较小，但对降雨敏感：1小时雨强15～20mm时，洪峰＜30m³/s；20～30mm时，达30～50m³/s；30～40mm时，可达50～100m³/s；若1小时雨强＞40mm且3小时雨强＞60mm，可能诱发超100m³/s洪水。2022年7月11日，刘家台站1小时雨强45.4mm（3小时61.5mm），大红沟于8:10发生156m³/s洪峰，历时12小时，15时演进至韩府湾（传播6小时50分）。7月14日雨强减弱（1小时15.2mm，3小时27.4mm），洪峰仅24.5m³/s，历时6小时，传播时间延长至9小时，再次验证雨强对洪峰及传播速度的控制作用。

3.3 干流源头洪水特征

原州水文站以上为源头小流域（距河源约20km），洪峰一般不超过20m³/s，主要受3小时降雨量影响：3小

时雨强30～35mm时，洪峰＜10m³/s；35～45mm时，达10～20m³/s；若1小时雨强＞30mm且3小时雨强＞50mm，可能超20m³/s。2022年7月10日，上游柯庄站3小时雨强30.2mm，郭庙站32.8mm，原州站于14:10录得洪峰6.00m³/s，历时7小时，传播约3.5小时[4]。2023年8月4日，柯庄、黑刺沟、开城、郭庙四站3小时雨强分别达62.2、57.4、56.4和51.8mm，原州站于次日3时出现11.2m³/s洪峰，历时12小时，传播缩短至3小时。源头洪水绝对量级不大，但响应迅速，滞时随雨强增大而缩短。

3.4 干流区间洪水传播规律

据表1统计，各支流洪水演进至干流控制站的传播时间差异显著：双井子沟至韩府湾站为3～14小时（洪峰越大，传播越快）；大红沟为6～10小时；源头黑刺沟至原州站稳定在2.5～4小时。上述规律可为洪水预报中河道演进参数率定提供依据。

4 综合讨论

清水河流域中上游暴雨洪水响应关系呈现四个核心特征：（1）洪水空间来源具明显非对称性。左岸支流因水库密集、调蓄能力强，洪水多被拦蓄，对干流贡献微弱；而右岸支流（如双井子沟、大红沟）缺乏控制工程且产流条件有利，成为干流洪峰主要供给区。因此，防洪预报应重点强化右岸监测预警。（2）径流对降水响应存在显著滞后效应。尽管降雨与径流正相关，但受前期土壤含水量影响，同等雨量下洪峰量级和滞时差异巨大。单纯依赖降雨总量难以精准预报，需综合考量雨强时程分配及前期影响雨量[5]。（3）短历时雨强是控制洪峰量级的核心因子。最大1小时或3小时雨强与洪峰流量的阈值关系稳定，相关性优于降雨总量。这契合黄土高原超渗产流机制，短时高强度降雨易形成地表径流，导致陡涨陡落的尖瘦型洪水。（4）水利工程显著改变洪水时空分配格局。左岸水库群削减洪峰并阻断连续性，使干流更依赖右岸来水。虽降低了局部防洪压力，但也意味着右岸发生极端洪水时，干流缺乏错峰调节，防洪形势更为严峻。

5 结语

研究表明，清水河中上游干流洪峰主要源自右岸双井子沟、大红沟等支流，左岸因水库拦截补给作用微弱；径流响应与降水呈正相关但具滞后性，且对短历时强降雨极为敏感。基于此，建议采取以下措施：一是加密监测站网，在右岸洪水多发区增设遥测雨量站和雷达水位计，提升实时捕捉能力；二是系统整理暴雨洪水全过程资料，完善数据库以支撑模型率定与分析；三是依托宁夏水文平台，引入新安江、河北雨洪模型及图集法进行多方案比选，构建集合预报体系以提高可靠性；四是结合洪水空间来源规律，制定分区防洪应急预案，明确右岸超标洪水预警阈值与响应流程，从而全面提升防汛调度的科学性与时效性。

参考文献

[1]杨军,徐敬华,曾晨军,等.宁夏清水河流域水土保持作用下的水沙效应研究[J].长江科学院院报,2025,42(06):94-101.

[2]赵增锋,王楚尤,邱小琮,等.宁夏清水河流域地表水水化学特征及高氟水成因机制[J].地学前缘,2024,31(06):462-473.

[3]李颖曼,焦鹏,张晓华,等.宁夏清水河流域近60年降水量及入黄沙量变化[J].水土保持研究,2021,28(02):184-189.

[4]杨军.宁夏清水河流域水沙动态变化及其对关键环境因素的响应[D].北京林业大学,2022.

[5]申明平.宁夏清水河防洪工程裁弯动床物理模型试验研究[J].人民珠江,2017,38(05):47-52.