Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2025, 14(3), 459-465
Published Online May 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2025.143046

提孜那甫河洪水演进特征与损失量化研究

魏　强[1]，唐　威[2*]，熊　露[3]

[1]新疆塔里木河流域管理局，新疆 库尔勒
[2]湖北省水利厅，湖北 武汉
[3]湖北水总水利水电建设股份有限公司，湖北 武汉

收稿日期：2025年4月15日；录用日期：2025年5月14日；发布日期：2025年5月23日

摘　要

针对提孜那甫河流域防洪能力评估与灾害损失量化需求，基于玉孜门勒克水文站1960~2011年逐日径流数据，采用Fasflood系统构建一维水动力模型，模拟了20年、50年和100年一遇洪水演进过程，并对比分析了自由漫溢与堤防溃决两种情景下的灾情特征。研究结果表明：100年一遇洪水导致194.96 km^{2}淹没范围，造成3014.8万元GDP损失，较50年一遇分别增长2.4%和5%；耕地淹没面积在50年一遇洪水时已达15151.0公顷，表明农业用地在中高频率洪水中即面临显著风险；1.0~2.0 m深水区单位面积GDP损失达11.5万元/km^2，揭示经济活动对深水淹没的高度敏感性。该研究建立了重现期－淹没深度－经济损失的定量关系，为流域分级防洪策略制定提供了数据支撑。

关键词

洪水风险，水文模型，损失评估，提孜那甫河流域

Flood Routing Characteristics and Loss Quantification of the Tizinafu River

Qiang Wei[1], Wei Tang[2*], Lu Xiong[3]

[1]Tarim River Basin Administration Bureau of Xinjiang, Korla Xinjiang
[2]Hubei Provincial Water Resources Bureau, Wuhan Hubei
[3]Hubei Shuizong Water Resources and Hydropower Construction Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Apr. 15th, 2025; accepted: May 14th, 2025; published: May 23rd, 2025

Abstract

To address the needs for flood control capacity assessment and disaster loss quantification in the

*通讯作者。

文章引用: 魏强, 唐威, 熊露. 提孜那甫河洪水演进特征与损失量化研究[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(3): 459-465.
DOI: 10.12677/ccrl.2025.143046

Tizinafu River Basin, this study developed a one-dimensional hydrodynamic model using the Fasflood system based on daily runoff data (1960~2011) from the Yuzimenleke hydrological station. The model simulated flood propagation processes under 20-year, 50-year, and 100-year return periods, comparing disaster characteristics under two scenarios: free overflow and embankment breach. The results show: the 100-year flood event inundated 194.96 km^2, causing CNY 30.148 million in GDP losses, representing increases of 2.4% (area) and 5% (losses) compared to the 50-year flood. Agricultural land was highly vulnerable even to moderate floods: submerged cropland reached 15151.0 hectares under the 50-year flood. Areas with 1.0~2.0 m water depth exhibited the highest economic sensitivity, with GDP losses of CNY 115,000/km^2. This study establishes a quantitative relationship among return period, inundation depth, and economic loss, providing a scientific basis for graded flood-control strategies in the basin.

Keywords

Flood Risk, Hydrological Modeling, Loss Assessment, Tizinafu River Basin

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

洪水灾害作为全球最具破坏力的自然灾害之一，在干旱半干旱地区尤为突出，对区域社会经济稳定构成严峻挑战[1]-[3]。提孜那甫河流域位于新疆西南部，是塔里木河的重要支流。该区域受降水时空分布不均和冰川融水补给的双重影响，洪水事件频发，对下游人口密集区造成显著威胁[4] [5]。当前，流域内堤防工程防洪标准普遍偏低，仅部分堤段达到 20 年一遇标准，防洪能力亟待提升。近年来，随着气候变化加剧和人类活动增强，流域洪水风险呈现新的特征，传统防洪策略面临严峻考验[6] [7]。因此，及时，准确地模拟洪水过程以提高防洪风险能力并减少洪水灾害的损失非常重要。关于洪水风险管理，洪水建模提供了淹没及其动态的分布和程度，这使人们能够理解，评估和预测洪水状况及其影响[8]。在此背景下，开展精准的洪水风险分析对区域防灾减灾具有重要现实意义。

为了更好地了解洪水风险，洪水淹没图对于确定潜在影响区域和评估洪水危险的严重程度至关重要。水动力模型与灾害损失函数的耦合技术已成为洪水风险分析的主流方向，通过整合多源数据实现洪水演进过程的动态模拟和损失量化[2] [4]。特别是在干旱区流域，学者们已发展出适用于特殊下垫面条件的参数化方案，为洪水模拟提供了技术支撑[9]-[11]。然而，针对提孜那甫河流域的系统性研究仍显不足，尤其是在不同重现期洪水下的损失增长规律、堤防失效影响机制以及水深分级效应等方面缺乏深入分析。本研究基于长序列水文观测数据，采用 Fasflood 模型系统模拟不同情景下的洪水演进过程，重点揭示洪水风险的空间分异特征和损失形成机制，旨在为流域防洪规划提供科学依据，同时为类似干旱区河流的风险管理提供方法参考。

2. 研究数据和研究方法

提孜那甫河流域位于我国新疆西南部，整个流域范围为东经 76˚27′~79˚04′，北纬 36˚31′~38˚54′之间。流域总面积 2.039×10^4 km^2 (含乌鲁克河、柯克亚河小流域)。本研究采用的径流数据由塔里木河流域管理局提供，涵盖提孜那甫河玉孜门勒克水文站 1960~2011 年的逐日观测记录。在洪水模拟方面，选用中国水利水电科学研究院开发的 Fasflood 洪水快速分析系统，该系统能够有效模拟河道洪水演进过程，并输

出各断面水位和流量过程线等关键参数。为准确模拟堤防溃决过程，研究采用了一维水动力模型结合虚拟河道构建的方法，重点刻画溃堤水流的演进路径。模型参数的确定方面，河道及防洪保护区的曼宁糙率系数对模拟精度具有显著影响。通过实地考察并结合相似区域的经验数据，综合考虑研究区地形特征、地表覆盖类型等因素，最终确定了合理的糙率取值方案(图 1)。模型计算的上游边界条件设定于提孜那甫河防洪保护区干流入流断面处。研究区域现有堤防工程中，达到 20 年一遇防洪标准的堤段有 6 处，10 年一遇标准的堤段 11 处。本次研究针对 20 年、50 年和 100 年一遇三种重现期洪水分别开展模拟分析。其中，20 年一遇洪水情景考虑了堤防实际状况，根据险工险段分布确定了可能的溃决位置、数量及溃口尺寸等参数；而对于 50 年和 100 年一遇洪水情景，则采用不考虑堤防约束条件的简化分析方法。这种差异化的处理方式能够更真实地反映不同量级洪水下的实际风险状况。

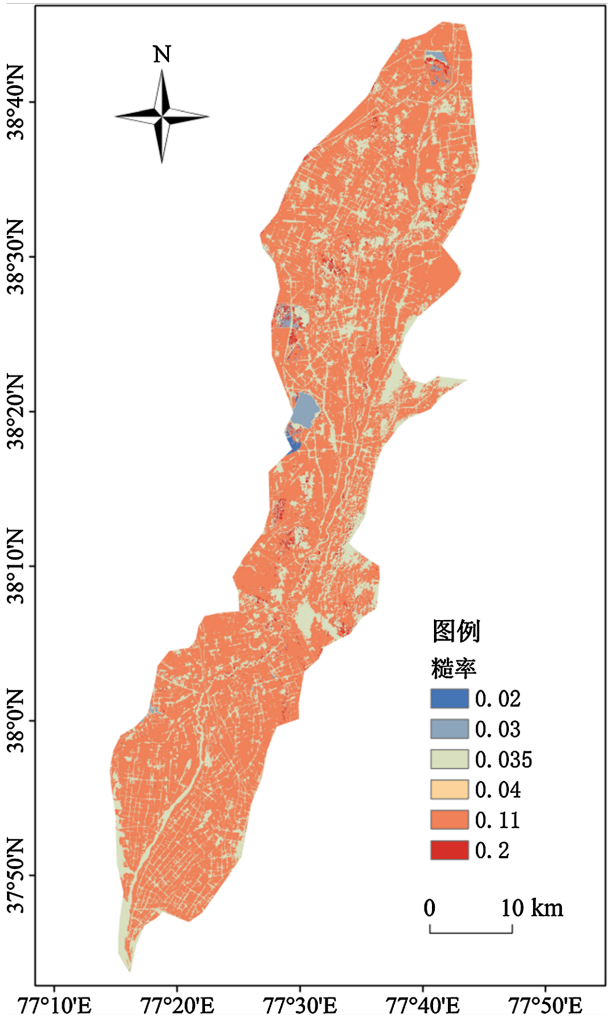

Figure 1. Spatial distribution of Manning's roughness coefficients in flood-protected areas of the Tizinafu River
图 1. 提孜那甫河防洪保护区糙率分布图

3. 研究结果

3.1. 提孜那甫河洪水模拟分析

根据所建的计算区二维水动力模型，输入各类参数、初始条件及多种控制边界，构建完整洪水计算

模型，运行模型获得各方案不同时刻对应的洪水淹没信息，包括洪水淹没水深、洪水流速等多种风险要素信息，以及洪水风险相关统计信息(包括最大水深、最大水深出现的时间、最大流速、最大流速出现的时间、淹没历时)。由图 2 和图 3 可知：当提孜那甫河发生 100 年一遇洪水时，洪峰流量为 725 m^3/s，最大 24 小时洪量为 80.26×10^6 m^3，最大三日洪量为 177.09×10^6 m^3，最大五日洪量为 234.91×10^6 m^3，最大七日洪量为 283.91×10^6 m^3。洪水进入保护区后，根据地形自然漫溢。洪水从玉孜门勒克站演进到阿拉买提镇，洪水演进时间为 43.5 h，平均速度为 0.7 m/s；从玉孜门勒克站演进到恰尔巴格镇，洪水演进时间为 5.8 h，平均速度为 1.22 m/s；从玉孜门勒克站演进到莎车县白什坎特镇，洪水演进时间为 37 h，平均速度为 0.71 m/s；此后洪水流量及各淹没区域的淹没水深、淹没面积逐渐趋于稳定。不同时间段洪水淹没水深分布见图 3。

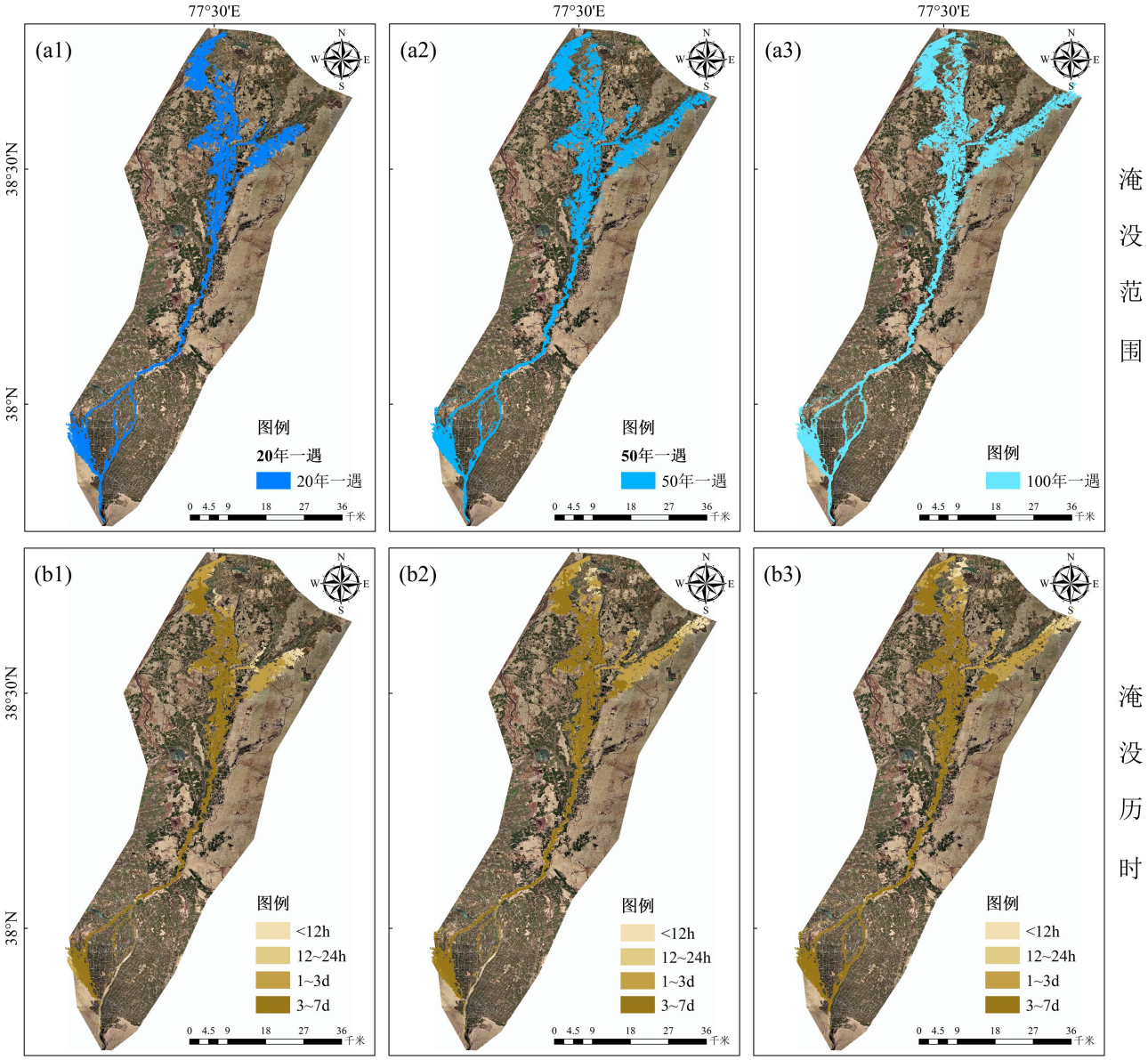

Figure 2. Flood inundation extent and duration mapping of the Tizinafu River
图 2. 提孜那甫河洪水淹没范围和淹没历时图

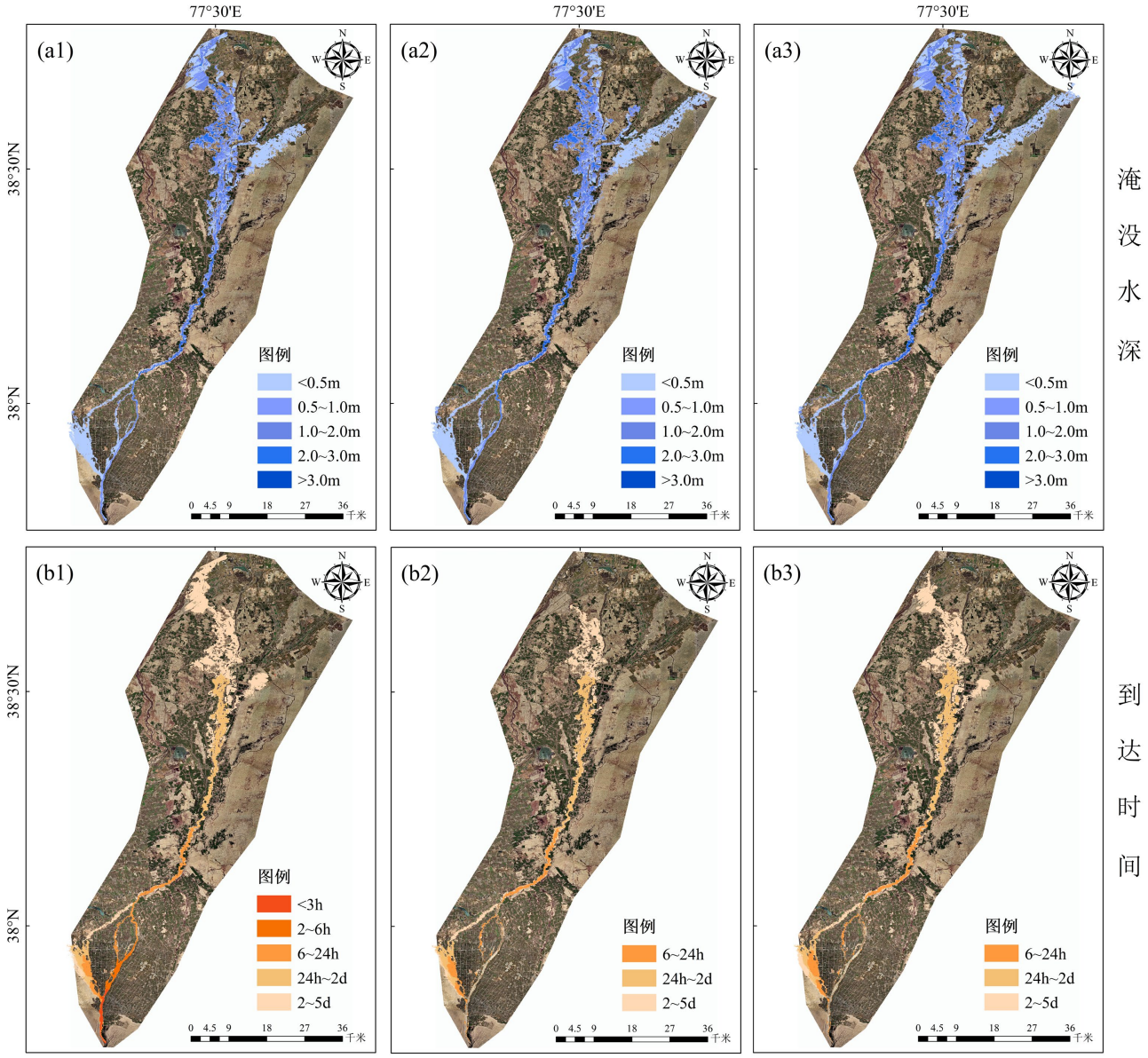

Figure 3. Flood inundation depth and duration in the Tizinafu River
图 3. 提孜那甫河洪水淹没水深和淹没时间图

3.2. 提孜那甫河洪水影响分析与损失评估

提孜那甫河流域防洪保护区可能发生的洪水决口形式主要包括自由漫溢与堤防溃决两种类型。其中，自由漫溢情形将对整个保护区产生全面影响，而堤防决口则主要波及莎车县和叶城县等特定区域。本研究在莎车县白什坎特镇托喀木艾日克村附近的左右两岸各设置了一个溃口作为分析点位。基于现行堤防工程标准和洪水特征分析结果，研究选取了 20 年、50 年及 100 年三个重现期作为洪水频率计算标准，最终形成了包含 5 种情景的洪水计算方案体系(详见表 1)。20 年一遇洪水在右岸溃决的影响要大于左岸溃决的影响，右岸溃决的淹没面积、淹没居民地面积、淹没耕地面积、受影响公路/渠道长度和受影响 GDP 高于右岸溃决的影响。20 年一遇自然满溢的灾情损失介于左右岸溃决灾情损失之间。随着洪水重现期的增加，洪水灾情也显著增加，特别是由 20 年一遇洪水增加到 50 年一遇洪水，其灾情损失增加幅度最大。

在自然满溢情景下，与 20 年一遇洪水灾情相比，50 年一遇洪水灾情中受影响人口总数增幅达 53.62%，其次受影响公路/渠道长度和淹没居民地面积，其增加幅度分别达 45.72%和 31.27%。然而，与 50 年一遇洪水灾情相比，100 年一遇的洪水灾情平均增加幅度仅为 2.01%。

Table 1. Statistical of major disasters under various computational scenarios in the Tizinafu River flood control area
表 1. 提孜那甫河防洪保护区不同计算方案下主要灾情统计表

洪水标准	决口方式	淹没面积/平方公里	淹没居民地面积/万平方米	淹没耕地面积/公顷	受影响公路/渠道长度/公里	受影响人口总数/人	受影响 GDP/万元
100 年一遇	自然漫溢	194.96	185.12	15431.4	19.97	5511	3014.8
50 年一遇	自然漫溢	190.38	180.91	15151.0	19.22	5266	2872.1
20 年一遇	右岸溃决	162.77	136.98	13037.7	13.50	3416	2242.8
	左岸溃决	162.51	138.27	12998.7	13.19	3438	2238.7
	自然漫溢	162.43	137.81	12995.6	13.19	3428	2238.1

通过对 20 年、50 年及 100 年一遇洪水情景的模拟分析(表 2)，灾情参数随重现期增加呈现显著非线性增长。在淹没总面积方面，100 年一遇洪水(194.96 km^2)较 50 年(190.38 km^2)和 20 年一遇(162.43 km^2)分别增加 2.4%和 20%，表明极端洪水事件对淹没范围的扩展效应随频率提升而加剧。社会经济影响方面，100 年一遇洪水的受影响人口(5511 人)和 GDP 损失(3014.8 万元)均达到峰值，其中 GDP 损失较 50 年一遇情景(2872.1 万元)增长 5%，较 20 年一遇(2238.1 万元)增幅达 34.7%，凸显高频洪水对区域经济的累积破坏效应。值得注意的是，耕地淹没面积在 100 年一遇时达 15,431.4 公顷，占三种情景中最高值，

Table 2. Inundation depth-Based disaster statistics under various natural overflow scenarios
表 2. 自然漫溢方式不同计算方案下按淹没水深灾情统计表

计算方案	水深等级/m	淹没面积/平方公里	淹没居民地面积/万平方米	淹没耕地面积/公顷	受影响公路/渠道长度/公里	受影响人口总数/人	受影响 GDP/万元
100 年一遇	0.05~0.3	52.13	61.86	3947.1	7.35	2356	1142.8
	0.3~0.5	26.68	34.75	2022.1	4.21	986	411.6
	0.5~1.0	50.59	52.33	4070.7	5.10	1263	703.6
	1.0~2.0	65.56	36.18	5391.6	3.31	906	756.7
合计		194.96	185.12	15431.4	19.97	5511	3014.8
50 年一遇	0.05~0.3	41.00	48.94	3157.3	5.87	1893	1101.5
	0.3~0.5	27.35	34.51	2083.4	4.22	941	418.4
	0.5~1.0	52.80	60.28	4217.4	5.61	1486	637.7
	1.0~2.0	69.23	37.18	5692.9	3.52	946	714.5
合计		190.38	180.91	15151.0	19.22	5266	2872.1
20 年一遇	0.05~0.3	44.33	41.81	3466.9	5.17	1157	861.4
	0.3~0.5	24.51	30.51	1892.0	2.76	714	348.4
	0.5~1.0	41.35	40.61	3345.2	2.83	957	500.2
	1.0~2.0	52.24	24.88	4291.4	2.43	600	528.2
合计		162.43	137.81	12995.6	13.19	3428	2238.1

但 50 年与 100 年一遇的差值(280.4 公顷)小于 20 年与 50 年一遇的差值(2155.4 公顷)，反映农业用地在中等频率洪水中已面临较高风险。

不同水深等级对灾情要素的影响存在显著差异。浅水区(0.05~0.3 m)在各类重现期下均表现出最广的淹没面积(100 年一遇达 52.13 km²)，但单位面积经济损失较低(21.9 万元/km²)；而深水区(1.0~2.0 m)虽淹没面积占比有限(100 年一遇占 33.6%)，却贡献了最高单面积 GDP 损失(11.5 万元/km²)，说明深水区对经济活动的破坏强度更大。从承灾体类型看，耕地在所有水深等级中均占比最高(如 100 年一遇时 0.5~1.0 m 水深区达 4070.7 公顷)，而居民地淹没面积与水深呈倒 U 型关系(峰值出现在 0.5~1.0 m 区间)，可能与居民区多分布于中高程地带有关。基础设施影响方面，公路/渠道受损长度随水深增加而递减，浅水区(0.05~0.3 m)在 100 年一遇时达 7.35 公里，表明线性基础设施对低强度洪水更为敏感。

4. 研究结论

本研究通过构建一维水动力模型，系统评估了提孜那甫河流域不同重现期洪水风险特征。结果表明：100 年一遇洪水将导致 194.96 km² 的淹没范围，造成 3014.8 万元 GDP 损失，较 50 年一遇洪水损失增长 5%；农业用地在中等频率(50 年一遇)洪水中即面临显著风险，淹没面积达 15151.0 公顷；1.0~2.0 m 深水区虽淹没面积占比仅 33.6%，但单位面积 GDP 损失高达 11.5 万元/km²，显示出对经济活动的强烈破坏性。研究同时发现，堤防溃决情景下的灾情空间分异显著，右岸溃决影响大于左岸。这些成果为制定流域分级防洪策略提供了定量依据，建议重点加强深水淹没区防护和中等频率洪水的应对能力建设。本研究建立的“重现期－淹没深度－经济损失”定量关系模型，可为类似干旱区河流的洪水风险管理提供方法借鉴。

参考文献

[1] Rentschler, J., Salhab, M. and Jafino, B.A. (2022) Flood Exposure and Poverty in 188 Countries. *Nature Communications*, **13**, Article No. 3527. https://doi.org/10.1038/s41467-022-30727-4

[2] 曹彪, 白云岗, 王新涛, 等. 新疆库山河洪水过程模拟分析[J]. 中国农村水利水电, 2024(2): 23-30.

[3] 王新涛, 陈超. 新疆山洪灾害防治进展与展望[J]. 中国水利, 2022(11): 48-51.

[4] 张瑜瑜. 新疆泽普县提孜那甫河桥洪水影响评价[J]. 水利科学与寒区工程, 2019, 2(3): 104-107.

[5] 周刚, 崔曼仪, 李哲, 等. 新疆春季融雪洪水危险性动态评价研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 950-960.

[6] 王秀琴, 王旭. 1980-2019 年新疆南部不同强度暴雨洪水灾害的空间分布和时间变化特征[J]. 冰川冻土, 2021, 43(6): 1818-1828.

[7] 刘涵, 吕海深, 朱永华, 等. 气候变化条件下新疆额尔齐斯河流域洪水风险评价[J]. 冰川冻土, 2025, 47(1): 227-238.

[8] Shen, Y. and Jiang, C. (2023) A Comprehensive Review of Watershed Flood Simulation Mode. *Natural Hazards*, **118**, 875-902. https://doi.org/10.1007/s11069-023-06047-1

[9] 牛芳鹏, 张江辉, 白云岗, 等. 新疆洪水灾害风险区划编制实践与思考[J]. 水利规划与设计, 2024(3): 19-23.

[10] 肖俊. 新疆和田地区洪水灾害风险区划分初步研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2024, 7(1): 16-19.

[11] 王玉丽, 陈平星, 李萌. 基于 IFMS 软件实现新疆某中小河流洪水计算及风险分析[J]. 中国水利, 2017(5): 69-72.