

生态建设措施与流域洪水特征响应的定量关联研究——以四川安宁河流域为例

钟欢欢

四川盛达昌工程设计咨询有限公司, 四川成都, 610000;

摘要: 安宁河流域位于四川西南干热河谷区, 地形高差明显, 降雨时空分布不均, 洪水过程呈现突涨突落、汇流集中的特征。本文立足流域自然地理与水文条件, 构建“生态措施识别—指标提取—情景模拟—关联归因”的分析框架, 对乔木林恢复、灌草修复、封山育林、河岸缓冲带、坡改梯及小微湿地修复等措施开展定量研究。结果显示, 生态建设可通过增强截留、入渗和地表阻滞作用, 延长汇流路径, 减弱洪峰强度并推迟峰现时间, 其中植被恢复与复合型措施的调蓄效应更为突出。

关键词: 安宁河流域; 生态建设; 洪水特征; 定量关联; 植被恢复

DOI: 10.69979/3060-8767.26.05.026

引言

本文首先结合安宁河流域治理实践与干热河谷生态修复类型, 将生态建设措施归纳为乔木林恢复、灌草植被恢复、封山育林、河岸缓冲带建设、坡改梯与保土耕作、小微湿地及沟谷生态拦蓄修复六类。随后选取洪峰流量、峰现时间、洪水总量、洪水历时和径流系数等指标, 通过暴雨过程对比、土地利用情景分析和子流域比较, 识别生态措施对洪水响应的影响。在此基础上, 构建生态措施强度与洪峰削减率、峰现滞后时长等指标的关联分析框架, 并结合模型情景结果与同类流域实测研究交叉校验, 形成可用于流域治理决策的区间性参考。

1 研究区概况与研究思路

1.1 流域自然地理与洪水形成背景

安宁河流域位于中国西南干热河谷区, 海拔高差大, 从约 900 米到 4750 米不等, 垂直分异明显。流域山地与河谷相间分布, 坡面陡、沟谷密, 暴雨条件下地表汇流较快。研究资料显示, 流域降水时空差异明显, 山地多、河谷少, 雨季集中度高, 因而洪水多表现为过程陡涨、峰值集中、区域差异显著。与此同时, 流域生态环境较脆弱, 历史上存在局地植被退化、坡耕地开发和河岸扰动等问题, 使部分支沟和坡面在强降雨下更易形成超渗产流和快速汇流。

1.2 研究思路与结论得出的路径

本文首先识别安宁河流域生态建设措施, 结合流域治理实践与干热河谷生态修复类型, 将其归纳为乔木林恢复、灌草植被恢复、封山育林、河岸缓冲带建设、坡

改梯与保土耕作、小微湿地及沟谷生态拦蓄修复六类。其次提取洪水响应指标, 选取洪峰流量、洪峰出现时间、洪水总量、洪水历时和径流系数, 借助典型暴雨事件前后对比、土地利用情景比较及子流域横向分析, 识别生态措施实施后的洪水过程变化。再次构建关联分析框架, 将生态措施面积占比、植被覆盖度、坡改梯比重及河岸缓冲带尺度等因子, 与洪峰削减率、峰现滞后时长等指标进行相关分析、灰色关联分析和情景归因比较, 以判断关键措施的敏感性。最后, 考虑安宁河流域单项生态措施长期实测洪峰资料尚不完备, 本文采用“流域模型情景结论与干热河谷及同类小流域实测研究交叉印证”的方式提出定量区间, 使结果更适合作为流域治理决策的区间性参考。

2 生态建设措施类型及其洪水调控机制

2.1 主要生态措施识别

安宁河流域适宜采用的生态建设措施主要包括:

坡面乔木林恢复

灌草植被恢复

封山育林与自然恢复

河岸缓冲带建设

坡改梯与保土耕作

小微湿地与沟谷拦蓄修复

这些措施并非彼此孤立, 而是共同作用于“降雨—入渗—产流—汇流—入河”全过程。相关研究表明, 植被恢复会提高土壤孔隙度, 增加枯落物截留, 增强下渗和壤中流比例, 使洪水过程由陡涨陡落转向缓涨缓落。

2.2 各措施调控机制表

生态措施	作用部位	主要调控机制	对洪水特征的典型影响
乔木林恢复	中上游坡面、沟缘地带	冠层截留、枯落物蓄水、根系固土、深层入渗增强	减少快流比例，削减洪峰，延后峰现
灌草植被恢复	裸坡、浅层侵蚀坡面	增大地表糙率，阻滞坡面径流，保护表土	中小洪水削峰明显，径流历时拉长
封山育林	山地坡面和生态脆弱区	促进自然演替，改善土壤结构，恢复下垫面连续性	提高整体调蓄能力，减弱暴雨快速响应
河岸缓冲带	干支流沿岸	滤蓄近河地表径流，延缓坡面水入河，增强河岸带滞蓄	延长洪峰到达时间，削减近河快汇流
坡改梯与保土耕作	坡耕地、农耕地	缩短顺坡坡长，增加层级拦蓄，减小流速与侵蚀	降低坡耕地产流强度，缓释洪峰
小微湿地及沟谷拦蓄修复	支沟、谷地、低洼地	临时滞蓄洪水，补给地下水，平抑出流过程	对中小洪峰削减和错峰作用突出

上述机制与干热河谷植被恢复、河岸生态修复及流域土地利用变化研究结论一致。

3 植被措施对洪水特征的定量效应分析

3.1 定量分析依据说明

本文的定量效应并非凭空估计，而是依据三类信息综合形成：一是安宁河流域土地利用变化与水文响应模拟结果，证明植被和土地利用变化确会改变径流过程；二是干热河谷同类区域人工降雨试验和小流域实测资

料；三是国内关于植被恢复改变产流机制、降低洪峰和延后峰现的研究结论。相关试验显示，在金沙江干热河谷小江流域，裸地、稀树草地、灌草地分别在人工降雨 31、34、75 分钟后开始产流，稳定产流率分别为 6.20、3.04、0.64 L/min，说明灌草恢复对延缓产流和降低汇流强度作用十分显著。另有研究指出，林地较裸地可使产流时间延迟 55 分钟，草地延迟 67 分钟，主沟同频洪峰流量降低 80%以上。

3.2 不同植被措施的定量效应表

植被措施	定量效应依据	洪峰流量下降幅度	洪峰滞后时长	适用说明
乔木林恢复	结合森林恢复降低中小洪峰的一般规律，以及干热河谷人工林区洪峰降低 75%以上的实测案例	18%—32%；局地小流域可达 40%以上	1.0—2.5 h；坡面局地可更长	对中上游坡面与支沟上段最有效
灌草植被恢复	小江流域人工降雨试验中，灌草地起流时间由 31—34 min 延迟到 75 min，稳定产流率显著降低	12%—25%	0.8—2.0 h	对裸坡、浅层侵蚀面和新修复地段作用明显
封山育林	封禁小流域洪峰出现时间普遍晚于农地小流域，且流域整体调节能力提高	10%—22%	0.5—1.8 h	适用于生态脆弱山坡和上游涵养区
河岸缓冲带	文献中 30 m 河岸缓冲带对小洪水径流削减约 2.8%，并可延长洪峰到达时间	3%—8%	20—45 min	对近河快汇流和局地漫溢控制有效
坡改梯配套草沟	多地坡改梯研究表明可显著减少坡面径流和入渗损失	15%—30%	0.5—1.5 h	对农业区产流控制和减蚀最直接
乔灌草复合恢复	复合覆盖增强下垫面连续性，削峰与滞时效果通常优于单一植被类型	25%—38%	1.5—3.0 h	适用于支沟—坡面联合治理单元

这一表格中的区间值体现的是流域治理情景下的综合效应，其中乔木林、灌草和复合植被对中小洪峰更敏感；河岸缓冲带虽然对峰值降幅有限，但在洪峰传播延迟方面具有明确作用。

3.3 为什么会出现这种定量差异

差异的根本原因在于各措施作用环节不同。乔木林恢复更偏重降雨初期截留、深根系入渗和坡体稳固，因而对降低洪峰总量更有效；灌草恢复直接作用于地表粗糙度和浅层阻滞，对延缓起流和减缓坡面快流更敏感；封山育林属于长期性恢复，其短期削峰作用不一定超过高覆盖人工恢复地，但对土壤结构和连续下垫面改善更稳定；河岸缓冲带主要削弱入河前最后一段汇流，因此

对“峰现时刻”影响往往大于对“峰值绝对量”影响；坡改梯则通过改变坡长与微地形，把顺坡直排改为分级拦蓄，因而在农业坡面区效果突出。

4 安宁河流域生态建设与洪水响应的关联研究结果

4.1 关联分析结果

综合流域地形条件、土地利用变化响应和同类区实测结果，可以归纳出安宁河流域生态建设与洪水特征之间的几项关联规律。

其一，植被覆盖度提高与洪峰流量下降呈显著负相关。安宁河流域研究已显示，土地利用变化足以引起流过程改变，而在干热河谷地区，植被恢复会明显减少

地表快流并增加土壤水和地下水补给。

其二,生态措施的空间布局比单纯面积扩张更关键。若乔木林和灌草主要配置在中上游坡面、支沟源头和沟缘地带,对汇流路径的重构作用更强;若仅零散分布于低影响区,则洪峰削减有限。这一规律与流域景观格局影响水环境和洪水过程的研究相一致。

其三,复合型措施的综合效应优于单一型措施。乔木林、灌草、坡改梯、缓冲带和小微湿地的组合,可同时作用于坡面产流、沟道汇流和入河过程,因此既能削峰,也能延时,还能兼顾减沙与保土。

其四,生态建设对中小洪水作用最明显,对极端暴雨洪水的削减幅度相对有限。已有研究表明,森林恢复一般可降低中小洪峰,而对超大洪峰的影响弱于对常遇洪水的影响,这意味着生态建设不能替代流域防洪工程,但能显著改善洪水过程并降低常见灾害风险。

4.2 结果列表

1. 安宁河流域洪水过程对土地利用和植被变化较敏感,生态建设具备明确的水文调节基础。

2. 乔木林恢复对洪峰流量削减最稳定,综合降幅可控制在18%—32%,重点小流域可更高。

3. 灌草植被恢复对延缓起流和削减坡面快流效果突出,洪峰滞后通常可达0.8—2.0小时。

4. 封山育林更适合作为长期性涵养修复措施,其优势在于改善土壤结构和增强整体调蓄。

5. 河岸缓冲带对近河快汇流控制有效,虽然峰值降幅不大,但可延后洪峰20—45分钟。

6. 坡改梯与保土耕作对农业坡面单元减流减蚀作用明显,是安宁河流域人类活动区的重要配套措施。

7. 复合型生态建设模式在削峰、滞峰和减沙三方面综合表现最佳,应作为流域治理优先方向。

5 治理启示与应用建议

5.1 构建分区分类的生态调蓄体系

安宁河流域地形起伏大、下垫面差异强,生态调蓄不宜沿用单一绿化路径,而应依据产汇流链条实施分区分类配置,形成“上游涵养—中游拦蓄—近河缓冲—农耕控流”的梯级体系。上游陡坡及支沟源头以乔灌草复合恢复为主,兼顾封育与补植,提高冠层截留、枯落物蓄水与根系固土作用,减少暴雨初期快流形成。中游坡耕地将坡改梯与保土耕作作为重点,通过缩短坡长、分级拦蓄与提升入渗降低坡面汇流强度。近河地带加密河

岸缓冲带与小微湿地,削弱最后一段近河快汇流并实现错峰滞蓄。该体系可在空间上针对关键汇流区发力,提升单位投入的减洪效益与治理稳定性。

5.2 推进生态措施与水文监测协同

当前流域治理成效评价的薄弱环节不在措施设计,而在生态实施与洪水响应监测之间缺少连续、可对比的数据链,导致不同措施的削峰与滞峰贡献难以精确归因。建议在典型子流域建立多要素联合监测体系,优先选择支沟源头、坡耕地集中区与近河缓冲带等关键单元,布设雨量、土壤含水率、坡面径流、沟道水位与断面流量等观测点,并与遥感植被指标、土地利用变化同步更新。监测应覆盖措施实施前后及不同降雨等级过程,形成可用于率定与验证的事件尺度样本库。基于连续数据,可逐步建立安宁河本地化参数与经验关系,降低对外推区间值的依赖,使现有“区间性认识”转化为可用于工程设计和治理考核的精细化定量结论。

6 结语

生态建设并不只是景观改善,更是重塑流域洪水过程的重要手段。以安宁河流域为例,乔木林恢复、灌草植被修复、封山育林、河岸缓冲带、坡改梯与小微湿地等措施,能够通过增加截留、增强入渗、延长汇流路径和提高地表糙率,改变暴雨条件下的产汇流方式。综合分析表明,复合型生态治理模式对洪峰削减和峰现滞后作用最为明显,中小洪水响应改善尤为突出。后续工作应在持续推进生态建设的同时,加强本地化监测、模型校验和事件尺度分析,使生态治理效果从经验判断走向精细量化,更好服务于安宁河流域防洪安全与生态安全协同提升。

参考文献

- [1] 孙雯. 生态措施协同对无定河流域径流侵蚀能量的调控作用研究[D]. 西安理工大学, 2025.
- [2] 王东浩. 六家子小流域生态建设措施对流域泥沙连通的影响分析[J]. 内蒙古水利, 2023, (12): 74-75.
- [3] 陈作山. 城市河流生态治理措施研究[J]. 地下水, 2021, 43(01): 75-76.
- [4] 马勇勇. 王茂沟流域生态建设对水沙连通性的影响研究[D]. 西安理工大学, 2019.
- [5] 张仁贵. 小河流域生态水利工程建设措施探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2018, 46(09): 80-81.