

流域下垫面变化对洪水产汇流特性的影响研究

刘欢

浙江科腾工程咨询有限公司 浙江 杭州 310020

【摘要】：流域下垫面变化直接影响洪水的产汇流特性，尤其是在城市化进程中，下垫面的变化导致地表水文条件显著改变。通过对流域内不同类型下垫面变化的模拟分析，发现城市化和农业用地变化对洪水的响应产生重要影响。城市化进程导致地表硬化，减少了水分的渗透性，加剧了洪水的峰值和流速。而农业用地的变化则通过改动土壤的吸水能力、地面植被等影响汇流过程。研究结果表明，流域下垫面变化对洪水产生和汇流特性具有深远影响，这为洪水风险评估和流域水资源管理提供了理论依据和实践指导。

【关键词】：流域下垫面变化；洪水产汇流特性；城市化；土地利用变化；水资源管理

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.046

引言

流域的下垫面状况是影响洪水形成及其汇流特性的关键因素。随着全球气候变化和人类活动的不断深入，流域的下垫面正在经历显著变化，尤其是城市化进程加速和农业用地的转变。这些变化直接影响了水文循环过程，进而影响洪水的产生、流动特性以及流域的水文响应。理解流域下垫面变化对洪水产汇流特性的影响，不仅对于预测和防控洪水至关重要，而且为合理规划土地使用、优化流域管理提供了理论支持。在此背景下，研究流域下垫面变化对洪水特性的具体影响成为当前水文学与环境科学领域的重要课题。

1 流域下垫面变化的特征与影响因素分析

下垫面主要包括自然地表和人类活动造成的人工地表。自然地表涵盖森林、草地、湿地等生态类型，而人工地表则主要指城市化进程中的建筑物、道路等硬化区域。随着城市化进程的加快，原有的自然地表被大量的硬化地面取代，导致土壤渗透能力下降，水分无法有效渗透至地下，从而增加地表径流量。这种变化不仅改变了水文循环的特征，还影响了洪水的产生、流动速度和洪峰的高度。在流域内，不同类型的下垫面变化对水文过程的影响呈现出一定的差异。森林和湿地的增加有助于提高地表的水分保持能力，减少径流的发生，降低洪水的风险。而城市化过程中，建筑物和铺装道路的大量增设，使得原本能够渗透的区域转化为不透水的表面，极大增加了地表径流量^[1]。此类变化显著加剧了洪水的发生频率和强度，特别是在降水强度较大的情况下，容易引发局部城市内涝或流域性洪水灾害。

流域下垫面的变化不仅体现在硬化程度的提升，还包括土地利用方式的变化，如农业用地的转变。传统农业地块的覆盖层相对较为松散，具有较强的水分

渗透能力。而现代化农业和工业化建设往往伴随着土地的大规模改造，改变了地表的疏松度和水文特性。农业用地的转换在一定程度上改变了地表的水文响应，不仅影响了水分的流动方式，还改变了土壤的水分保持能力和水质状况。特别是在一些流域内，灌溉和水资源过度开采的现象，使得地下水位下降，进一步加剧了洪水的汇流速度。流域下垫面变化的特征及其影响因素主要由自然地表和人工地表的互动，以及土地利用变化所决定。这些变化不仅在空间上展现出差异，且在时间上具有动态性，随城市化进程和人类活动的深入而不断发展。

2 不同类型下垫面变化对洪水产流特性的影响

在城市化进程中，硬化地面（如水泥、沥青等）逐渐取代了自然地表，显著降低了水分的渗透性。此类变化使得原本的滞水和渗透过程被急剧的地表径流所替代。硬化下垫面使得降水后水流迅速汇入河流或排水系统，从而加速了洪水的生成，洪水的高峰值和持续时间也因此大幅增加。特别是在降雨强度较大时，这类变化往往导致洪水形成的时滞缩短，汇流速度显著提高，极易引发城市内涝或上游洪水的突然爆发。

与城市化不同，农业用地的变化对洪水产流特性的影响则更多体现在土壤的吸水能力和地表覆盖物的变化上。农业生产过程中，灌溉、耕作等活动会影响地表的水分保持能力^[2]。当传统农田转为现代化的机械化农业或工业用地时，土壤的结构发生变化，土壤的渗透性有所下降。此时，降水并非完全被土壤吸收，而是转化为径流，增加了洪水的生成量。农田改建为商业或工业用途时，土壤的透水性进一步降低，硬化程度的提升加剧了地表水流的速度。

与上述变化相比，湿地和森林等自然下垫面的变化对洪水产流特性的影响则更加缓和。湿地具有较强

的水分滞留能力，能够有效吸收降水并缓解洪水的流速和流量。森林覆盖层的变化，尤其是森林砍伐后，地表的水分蒸发和土壤水分保持能力有所下降，导致水分更容易通过径流形式进入河流系统。尽管这种变化在一定程度上增加了洪水的流量和流速，但相较于城市化和农业用地变化的影响，森林砍伐引发的洪水特性变化较为温和。不同类型的下垫面变化以各自独特的方式影响着洪水的产流特性。城市化进程带来的硬化地面增多，迅速改变了洪水形成的时间和流量；农业用地和工业化用地的转变则主要通过土壤渗透性变化影响洪水产流；而自然下垫面的变化则主要通过改变地表水分的保持和渗透能力，影响洪水的生成过程。

3 下垫面变化与洪水汇流特性的时空变化规律

下垫面的变化对洪水汇流特性的时空变化规律具有深远的影响，主要体现在空间分布差异和时间响应的变化。不同的下垫面类型会在不同的时间尺度和空间尺度上显现出独特的水文反应特征。流域的下垫面变化常常与土地利用方式的变化密切相关，城市化和农业开发尤其突出，对洪水汇流特性的影响在空间上呈现出显著的差异。硬化地面和城市化程度较高的区域，水分迅速流入排水系统，增加了洪水的流速和汇流时间的紧迫性。天然地表如森林、湿地等能够更好地滞蓄水分，延缓洪水的汇集过程，表现出较为平缓的汇流曲线。

从时间维度来看，下垫面的变化会导致洪水汇流特性出现明显的动态变化。城市化地区的硬化地面加速了降水后的径流形成，使得洪水的汇流峰值迅速达到，而流域内的排水能力未必能及时跟上这种汇流过程，进而引发较为剧烈的洪水灾害^[3]。在农田和森林覆盖较高的地区，水分滞留和渗透过程较为缓慢，洪水汇流峰值的出现时间相对延迟，且洪水强度较低。这种时空变化规律展示了不同类型下垫面变化对洪水汇流过程的深刻影响。

随着流域下垫面变化的推进，洪水汇流特性还表现出一定的季节性差异。在干旱季节，土壤的水分含量较低，降水会迅速转化为径流，造成汇流的速度加快；而在湿润季节，湿地和森林的水分保持作用使得水流的汇聚过程得到有效调控。城市化进程中的下垫面变化通常对洪水汇流特性的时空规律产生持续性影响，特别是在降水强度较大的情况下，这种变化可能加剧洪水发生的频率和强度，导致流域内洪水的水文响应变得更加敏感。

在不同流域中，下垫面的变化引起的洪水汇流特性差异同样体现出各流域的特征。山区流域下垫面变化引起的汇流特性变化较为剧烈，主要是由于山地的坡度较大，硬化地面使得洪水汇流路径更为直接，流速较快；而平原地区则因其地势较为平坦，汇流速度相对较慢，洪水的峰值也相对较低。因此，研究流域下垫面变化对洪水汇流特性的时空变化规律不仅能够揭示洪水的动态过程，还为流域的水资源管理和洪水防控提供了理论依据。

4 流域下垫面变化对洪水风险评估的影响

流域下垫面的变化对洪水风险评估的影响非常深远，尤其是随着城市化进程的推进和土地利用方式的改变，这种影响变得愈加明显。城市化带来了大量不透水表面的增加，例如建筑物、道路和停车场等硬化地面，这些变化显著提高了降水的径流量。硬化地面降低了水分的渗透能力，使得降水几乎完全转化为地表径流，迅速流入排水系统或河流，导致洪水的发生频率和强度增加。流域下垫面的变化使得原本较为温和的水文特征变得更加极端，从而影响了洪水的风险评估。

在传统的洪水风险评估中，往往依赖于对历史数据的分析和水文模型的模拟，但这些方法在面对下垫面变化时常无法准确反映实际的洪水风险。下垫面的变化直接影响着降水后水流的汇聚方式及流速，尤其是在城市化区域，改变了水流路径和排水能力，使得洪水灾害的预测和防控变得更加复杂^[4]。在这类区域，洪水峰值的提前出现和流量的急剧增加，往往超出了原有风险评估的预期范围，导致防洪设施和城市排水系统的设计未能充分应对突发洪水的情况，进而增加了洪水灾害的发生概率。

土地利用的变化也对洪水风险评估产生了显著影响。农业用地转为建筑用地、工业用地或其他城市基础设施建设，通常伴随着大量的地表硬化和水文特性的改变。农田的土壤具备较强的吸水性，能够有效减少地表径流。而一旦这些土地被硬化处理，渗透能力和水文特性发生变化，迅速增加了径流量，并加剧了洪水的汇流速度。土地利用变化还通过改变流域内植被覆盖情况，影响了水分蒸发和蒸散作用，这使得洪水的风险评估更加复杂和动态。

流域下垫面变化对洪水风险评估的影响也体现在不同时间尺度上的表现。在短期内，突发性降雨事件往往因城市化带来的快速径流和汇流作用，使得洪水灾害迅速显现；而在长期尺度上，土地利用的变化往

往通过改变流域的水文特性，逐步加剧洪水的潜在风险。在洪水风险评估中，如何科学地整合下垫面变化对流域水文特征的影响，准确预测和评估不同情景下的洪水风险，已成为当前研究的重点。流域下垫面的变化对洪水风险评估的影响不仅体现在预测精度上，还涉及到防洪设施和水资源管理的优化。为了应对日益严峻的洪水风险，需要在风险评估中引入下垫面变化的动态因素，合理规划流域的土地利用和城市建设，提升防洪能力。

5 针对下垫面变化的洪水防控对策与建议

针对流域下垫面变化的洪水防控对策需要综合考虑自然地表和人工地表的差异，结合实际的土地利用和城市规划进行科学的调整与管理。有效的防控措施应当从减缓下垫面硬化、加强水文监测、优化土地利用等多个方面着手，以降低洪水发生的频率和强度。通过合理规划流域下垫面的管理，能够减轻洪水风险，并为城市和农村的可持续发展提供保障。降低流域下垫面硬化程度是最直接的防控措施之一。在城市化进程中，大量的道路、建筑等硬化地面减少了水分的渗透和蒸发能力，直接增加了地表径流量。为此，可以通过增设绿色基础设施，如渗透性铺装、雨水花园、绿色屋顶等措施来提升城市区域的水文调节能力。这些措施能够增强雨水的滞蓄与渗透，减少径流，缓解洪水的流速与峰值。通过将自然水文过程引入城市环境，不仅可以减少洪水的发生频率，还能有效提高城市应对极端气候事件的能力。

改善排水系统与洪水调度也是关键的防控对策^[5]。随着流域下垫面的变化，许多传统的排水系统无法有效应对新的水文变化，尤其是在城市化程度较高的地区。因此，提升排水系统的承载能力与适应性，进行排水管网的升级改造，将雨水蓄积池、渗水池等设施纳入城市建设，是应对下垫面变化导致洪水风险

增加的重要措施。合理规划洪水调度系统，确保在降水剧烈时，洪水能够迅速而有序地引导至安全区域，避免突发性洪水造成严重灾害。加强流域内水文监测与预测体系的建设也是重要的防控手段。由于下垫面变化具有明显的动态性，传统的洪水风险评估常常无法实时反映最新的水文变化。建立全面的水文监测网络，实时监控降水量、地表径流、土壤湿度等水文参数，对于及时预测洪水的发生至关重要。利用现代气象与水文模拟技术，结合历史数据和实时数据，可以更加精准地预测不同类型下垫面变化下洪水的发生与流动特性，从而提前采取防控措施。

在土地利用管理方面，合理引导流域土地的开发与建设至关重要。应优先保护天然生态系统，如湿地、森林等，这些区域具有较强的水分滞留能力，对洪水具有天然的调节作用。与此同时，避免大规模的无序建设，特别是在易积水地区进行过度开发，导致下垫面硬化程度过高，增加洪水发生的风险。合理的土地利用规划不仅能减少洪水风险，还能提升土地资源的可持续利用。针对流域下垫面变化的洪水防控对策应当是多层次、多角度的，涵盖从硬化地面治理、排水系统提升到水文监测与土地利用调整等各个方面。通过这些措施的有效实施，可以减少下垫面变化对洪水发生频率和强度的影响，保障流域的安全与可持续发展。

6 结语

流域下垫面变化对洪水产生和汇流特性具有重要影响，城市化和土地利用变化加剧了洪水风险。通过采取有效的防控措施，如降低下垫面硬化程度、改善排水系统、加强水文监测等，可以有效应对洪水风险。未来的洪水防控应综合考虑流域的水文特征和下垫面变化趋势，采取更加科学和灵活的措施，为流域的可持续发展提供保障。

参考文献：

- [1] 王海超,任春晖.流域下垫面变化对水文过程的影响机制及数值模拟研究[J].水上安全,2025,(18):151-153.
- [2] 卢官,孔燕,丁文荣,等.滇池宝象河流域下垫面变化对径流氮赋存形态的影响[J].环境科学学报,2025,45(08):230-243.
- [3] 童冰星,李玉荣,任玉峰,等.考虑下垫面空间分异的陆水流域产汇流特性分析[J].人民长江,2025,56(04):121-127+161.
- [4] 王萌,赵鹏云,魏效凤,等.十三陵水库流域下垫面变化情况下降水来水分析[J].农业灾害研究,2024,14(10):257-259+268.
- [5] 张清杰.下垫面变化对小理河流域洪水的影响研究[D].西安理工大学,2021.