

水土保持科技简报

第 15 期

水利部水土保持监测中心

2025 年 7 月

目 录

一、技术瞭望	1
无人机与无人船水上水下一体化智能感知与多源点云数据融合技术	1
大量程高含沙量在线测量系统	2
二、经验交流	2
太湖流域水土保持生态产品新机制探索	2
广东省佛山市生态清洁小流域水土保持生态产品价值转化	5
三、科研成果	6
喀斯特石漠化治理生态产品价值实现及其对乡村振兴的启示	6
特大暴雨条件下黄土高原小流域的洪水特征与风险分析	8

一、技术瞭望

★无人机与无人船水上水下一体化智能感知与多源点云数据融合技术

该成果基于适应多场景的无人船测量技术、无人机和无人船联合作业技术、多平台协同与多源数据融合技术，研发搭载多波束和激光雷达的无人水上水下一体化平台，设计成套可分解式水陆两栖测绘无人船装置，形成“空地水”多种测绘技术协同采集与多源数据融合处理的应用系统。适用于山区与平原河道水位、水深、流量、流速、泥沙测量，以及水上水下地形一体化监测。

技术特点：（1）适应多场景的无人船测量技术：针对河道分叉多、库区视距差、平原大面积洲滩裸露易搁浅、山高林密搬运难等场景，利用自主设计的成套可拆卸测绘无人船装置，实现航行方向矢量化、山地攀爬与滩地自主行驶、可分解式水陆两栖、分离联动式无人机载、水下障碍物自动清除等功能，确保无人船航行稳定安全、测验高效可靠，解决了无人船人工搬运耗时长、效率低、误工期、成本高、移动受阻等难题；（2）无人机和无人船联合作业技术：研发了像控点、RTK、电台的无人机陆上地形流动式精准测绘技术，提升了无信号与复杂地形地区测绘数据获取与处理的精确度；（3）多平台协同与多源数据融合技术：提出了一种基于蓄滞洪空间、行洪空间、拦洪空间特性差异的粗细疏密结合的地形快速获取、融合及水位容积关系计算方法，解决了无人机航测受植被遮挡、航飞高度限制、地势陡峭等影响，部分复杂区域地形需要补测或修正，无人船水下地形测量作业时间长、人力财力消耗大，受水流流速、植被遮挡、浅滩搁浅等因素干扰容易出现测量数据有误、行动受阻、仪器损坏等问题。

应用案例：2022 年，该成果推广应用于四川省泸州市永宁水库下游叙永县和纳溪区，对境内永宁河沿线的河道进行了地形测量；2023—2024 年，该成果推广应用于新疆克孜河中游河段塔日勒水电站库区，

对典型断面水沙和地形进行了勘测。

★大量程高含沙量在线测量系统

该成果采用振动传感器原理，通过传感器振动频率变化值测量被测液体的密度，基于密度和含沙量之间的对应关系测量被测液体的含沙量，具有响应速度快、测量精确稳定等特点，可实现含沙量 0—700 千克/立方米范围内在线测量。适用于水电站、江河、湖库等含沙量在线测量。

技术特点：（1）测量范围：0—700 kg/m³，测量精度±1%；（2）测量仪输出 4—20 毫安（负载电阻≤1000 欧姆）或 0—5 伏特模拟信号；（3）配有 RS—232 串行口，波特率 300，根据客户需求可以传输 4G 信号；（4）电源电压：220 伏特±10% 50 赫兹，电力消耗 25 瓦特；（5）环境温度：0—50 摄氏度，相对湿度不大于 85%；（6）测量仪防护等级 IP5X，传感器防护等级 IP68。

应用案例：2016 年，该成果推广应用于小浪底水利枢纽，对 1、2、3 号排沙洞的含沙量进行了在线监测；2017 年，该成果推广应用于刘家峡水利枢纽，对 4 台机组过机含沙量、1 条泄流道和 1 个洮河排沙洞的含沙量进行了在线测量；2019 年，该成果推广应用于三门峡水电站，对 3 台机组过机含沙量进行了在线测量；2024 年，该成果推广应用于万家寨水利枢纽，对 1 台底孔含沙量进行了在线测量。

（以上技术来源于 2024 年度成熟适用水利科技成果）

二、经验交流

★太湖流域水土保持生态产品新机制探索

1. 新昌县“水保共富贷”水土保持绿色金融

2024 年 8 月 23 日，浙江省新昌县水利水电局与新昌农商银行正式签订水土保持绿色金融合作协议，当地 17 条生态清洁小流域所在的 6 个乡镇（街道）和农户、乡村旅游经营者获 5 亿元水土保持绿色金融授信。该案例在全国范围内首次将水土保持生态产品价值作为贷款增信的

重要依据，撬动金融资源流向农业农村，形成水土流失治理的良性循环，构建了一条水土保持生态产品价值实现的闭环链条。

（1）强化水土流失综合治理培育优质生态产品

自 2014 年以来，新昌县科学推进水土流失预防和治理综合措施布局，2019-2023 年累计治理水土流失面积 58.82 平方公里，全县水土流失面积比例从 18.61% 下降到 13.72%，实现水土流失面积、强度双下降，有效巩固和提升了县域内水土保持生态产品供给能力。

（2）创新水土保持生态产品绿色金融价值实现路径

由浙江农林大学、浙江广川工程咨询有限公司共同核算出新昌县钦寸水库水源地水土流失综合治理等四个重点工程的碳汇和水土保持生态产品总值，为绿色金融授信提供了依据。开发“水土保持生态产品价值实现贷”专项基金，根据水土保持生态产品价值核算结果及生态资产抵押率，达成绿色金融 5 亿元授信协议，计划融资期限 10 年。

（3）建立水土保持生态产品价值实现投入循环机制

本次授信获得的 5 亿元资金专项用于水土流失治理和区域共富，同时将贷款利率与小流域水土保持率增减相关联，根据小流域年度水土保持率增幅给予存续贷款利率优惠，从而推动水土保持可持续发展。5 亿元授信中，明确用于生态环境保护与治理的资金不低于 4 亿元；其余资金用于培育和发展乡村特色产业，探索“工程项目贷”“茶叶共富贷”“桃子贷”“民宿贷”“小额农贷”“农户联保贷款”等多种金融模式，实现生态产品价值多元融资贷款，目前已成功发放助农富农相关贷款约 850 余万元。

2. 龙岩市水土保持司法碳汇机制

2024 年 11 月 26 日，福建省上杭县人民法院提起的刑事诉讼“廖某荣等人非法采矿造成国家矿产资源严重破坏案”一审公开宣判，被告人因非法采矿造成水土流失，导致碳汇损失 169.82 吨，被告人自愿认购碳汇损失量的两倍（339.64 吨），实现就地弥补水土保持碳损失。该案是全国首例在刑事诉讼案中引入水土保持碳汇补偿新模式审结的刑事案

件，是对水利联合司法深度融入“双碳”发展格局、促进水土流失综合治理与水土保持碳汇能力提升、创新环境公益诉讼案件裁判方式、丰富拓展水土保持生态产品价值实现路径的有力探索。

（1）深化拓展水土保持碳汇应用场景

以司法手段加强水土保持工作，推动碳汇理念普及，推动“双碳”目标实现。龙岩市水利局联合龙岩市中级人民法院，研究出台《龙岩市关于在破坏生态环境造成水土流失刑事案件中开展生态修复适用水土保持碳汇赔偿机制的工作指引（试行）》，构建了被告人自愿认购水土保持碳汇，实现对受损生态环境的有效弥补，认购资金专项用于当地水土流失治理的全新碳汇应用场景，拓展了“以碳代偿”生态环境替代性修复的水土保持生态产品价值实现新路径。

（2）持续推动水土保持碳损失核算技术创新

针对龙岩市南方红壤区生态脆弱、水土易流失、保土保碳难度大等特点，依托福建省水土保持试验站（监测总站）、福建师范大学等技术单位，围绕碳汇量精准核算，配套制定了《龙岩市破坏生态环境造成水土流失刑事案件水土保持碳损失核算技术指南（试行）》，规定了碳损失核算的基本原则、工作程序、现场调查、核算方法和核算意见书编制相关技术要求，为进一步建立完善全国水土保持项目碳汇量核算标准，有效培养水土保持碳汇交易市场提供了坚实技术支撑。

（3）强化水土保持碳汇司法普及宣贯

坚持以案释法，龙岩市持续抓好一批适用水土保持司法碳汇机制刑事案件、公益诉讼案件的审理，受案法院邀请人大代表、政协委员以及社会公众参加旁听庭审，最大限度发挥水土保持碳汇司法庭审宣贯及警示教育作用。坚持联合普法，协同打造法复青绿生态修复司法实践基地，开设水土保持碳汇保护宣教专版，突出典型案例展示，培育弘扬水土保持生态司法文化，加快推动全社会绿色化低碳化转型。

★广东省佛山市生态清洁小流域水土保持生态产品价值转化

2024 年 12 月 17 日，广东省首单生态清洁小流域水土保持生态产品价值转化交易签约仪式在佛山市高明区杨和镇西坑支流生态清洁小流域现场举行，此举标志着广东省首单水土保持生态产品价值转化交易项目成功落地。

高明区西坑支流小流域总面积 42.16 平方公里，河流长度约 14 公里。自 2015 年起，高明区委、区政府高度重视西坑支流小流域建设工作，整合多部门资源，系统推进高质量水源林和水土保持林建设、桉树林改造、生态修复等多项水土流失综合治理措施。2023 年 4 月，该项目作为国家小流域综合治理提质增效重点推进县项目，获得中央水利发展资金支持，生态清洁小流域建设进一步提速，对流域内水土流失进行综合治理，水土保持生态环境显著提升，向“山青、水净、村美、民富”的目标迈出了坚实一步。在政府的积极引导下，该流域成功引入了露营基地、农业体验基地、精品民宿和特色农家餐饮等多种业态，吸引了众多游客前来打卡。

经核算，西坑支流生态清洁小流域水土保持生态产品核算价值为 5.28 亿元。本次交易选取了西坑支流生态清洁小流域部分河段和井头旧粮仓地块 20 年开发经营权，由杨和镇人民政府委托和兴顺建设投资有限公司作为交易产品出让方，佛山市明悦文化旅游发展有限公司以每年 30 万元的基本收益加上不低于年营业收入 10% 的提成作为浮动收益成功中标，交易价值预估能达到 2100 多万元，每年能为当地带来超过 100 万元收益，收益资金将用于小流域内生态修复、水土流失治理及人居环境改善等工作。

西坑支流生态清洁小流域水土保持生态产品价值转化成功签约，实现了水生态产品价值转化，是广东省探索以优质水土保持生态产品供给助力“百县千镇万村高质量发展工程”的具体实践，是广东水土保持事业史上具有里程碑意义的改革举措。

(以上来源于太湖局和水保司网站)

三、科研成果

★喀斯特石漠化治理生态产品价值实现及其对乡村振兴的启示

生态产品价值实现是在有效保护生态的基础上，促进生态产品价值的合理、高效转化，是解决环境外部性、保护生态系统功能和完整性的重要机制。文章回顾了石漠化治理、生态产品价值实现的研究进展与具体实践，明确了石漠化治理生态产品的内涵与分类，并引入“沙漏模型”阐明了石漠化治理生态产品价值实现机理，从石漠化治理生态产品供给端与消费端之间的具体运行过程入手，揭示了石漠化治理生态产品价值实现机制，认为未来需要着重对石漠化治理生态产品开发、经营及其对区域生态产业形成的驱动开展研究。最后，剖析了石漠化治理生态产品价值实现对乡村振兴的驱动机制，以期对巩固石漠化治理成效、促进生态产品价值实现与乡村振兴协同提供理论支撑。

石漠化治理生态产品内涵与分类：在喀斯特地区石漠化治理生态系统的生物生产和人类社会生产共同作用，为保障生态安全，满足区内与区外居民直接物质消费和非物质消费的终端物质和服务产品，具有修复和保护喀斯特生态系统功能的特性，其供给能力受限于喀斯特自然生态系统的脆弱性本底特征，因此石漠化治理生态产品具有稀缺性，并且人类不可持续的社会经济活动会加剧其稀缺性。基于生态产品交易过程中的表现形式，通过归纳国内外生态产品价值实现案例中的交易客体，将生态产品划分为生态空间产品、生态要素产品、生态权益产品和生态标签产品四类。

石漠化治理生态产品价值实现：引入“沙漏模型”，概念化生态产品价值转化过程的沙漏状分化，以明晰价值转化机理，该模型通过将研究对象及其演变过程融入到沙漏的形状与结构中以整合其局部和全局信息，已被广泛应用于生物科学、计算机科学、心理学和教学等多个领域。

生态产品价值实现是生态产品在供给端与消费端之间进行交易的过程，供给端是生态产品生产的物质基础，消费端是生态产品社会再生产过程得以运行和延续的保障。生态产品价值实现需要建立供给者与消费者之间的直接联系，现有生态产品价值实现机制研究中通常将关注点放在如何增加生态产品供给，所关注的受益方多为生态产品价值实现过程中的投资者，实质上也是对供给端的关注，整体上对生态产品需求关注不足，常忽略甚至限制消费者需求。生态产品价值实现应同时考虑增加生态产品供给与满足生态产品消费需求，本文基于生态产品在供给端与消费端之间的交易过程视角，认为供给端通过生态产品供给驱动生态产品消费，消费端产生的生态产品需求反馈生态保护与修复，进一步促进生态产品供给，进而形成生态产品供给-生态产品消费-生态产品需求-生态保护与修复-生态产品供给的良性闭环（图 1）。

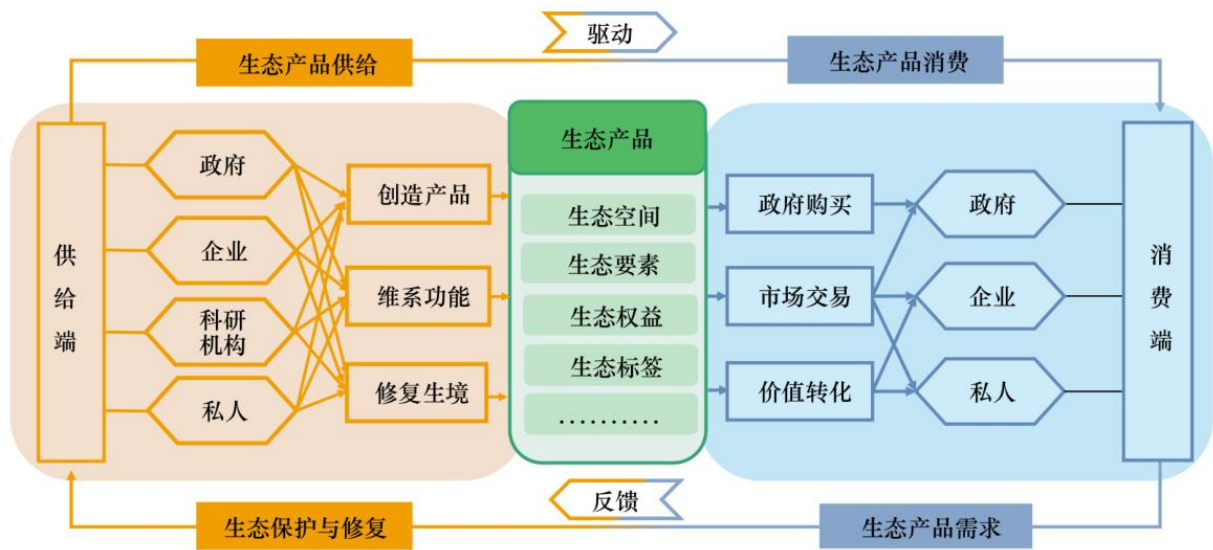


图 1 石漠化治理生态产品价值实现机制

石漠化治理生态空间产品供给主体为地方政府，消费主体为中央政府，是中央政府向生态空间所属的地方政府进行财政转移支付，补偿地方政府为生态系统的保护而放弃的经济收益，如桂黔滇喀斯特石漠化防治国家重点生态功能区的转移支付，由中央财政下达到省，省级财政根据本地实际情况分配落实到相关市县，是政府作为买方垄断，实现石漠

化治理生态空间产品的价值。石漠化治理生态要素产品的供给主体为科研机构、企业和私人，将生境修复与产品创造相结合，消费主体为企业和私人，如在石漠化治理过程中引入的花椒、刺梨、苹果、金银花、火龙果等经济作物产出的物质产品，可以直接通过市场交易实现石漠化治理生态要素产品价值。石漠化治理生态权益产品是地方政府对农户所维系的森林植被赋予产权依据森林植被质量等级给予生态补偿，供给者为农户，消费者为地方政府，如在石漠化治理过程中建植与识别的国家级公益林，林权权利人与林业主管部门签订协议，根据公益林保护等级明确管护责任与补偿标准，是林业主管部门作为买方垄断，实现石漠化治理生态权益产品的价值。石漠化治理生态标签产品的供给主体为科研机构、企业和私人，通常将其价值融入到农产品、林产品、畜牧产品等其他商品中，消费主体为私人，目前石漠化治理区培育出的地理标志保护产品有平果火龙果、关岭火龙果、顶坛花椒、沿河沙子空心李、乐业刺梨、龙里刺梨、赤水金钗石斛等。综上，石漠化治理过程中形成的各类生态产品已初步实现价值，消费端主要存在如下消费需求反馈石漠化地区的生态保护与修复：对生态空间产品的监测需求，对生态要素产品的品质与产量稳定性的需求，对生态权益产品的精细化分等定级需求，对生态标签产品的溯源需求。

（熊康宁,赵榕,张珍珍,等.喀斯特石漠化治理生态产品价值实现及其对乡村振兴的启示,生态学报.生态学报.2024 ,44 ,02)

★特大暴雨条件下黄土高原小流域的洪水特征与风险分析

气候变化打乱了河流流域的水文循环，导致降雨模式的不规则性，可能引发毁灭性洪水。本研究采用二维水动力数值模型——GPU（Graphics Processing Unit，图形处理单元）加速的地表水流动和输运模型（GAST 模型），模拟了强降雨期间小流域洪水演进的过程，研究目的是检验这些流域的洪水特性。研究对象为位于陕西省的王茂沟流域（见图 2），通过模拟不同降雨重现期（50 年、100 年、500 年和 1000 年）

下的洪水演进过程，计算典型断面的水力特性，并进行洪水脆弱性评估得出以下结论：

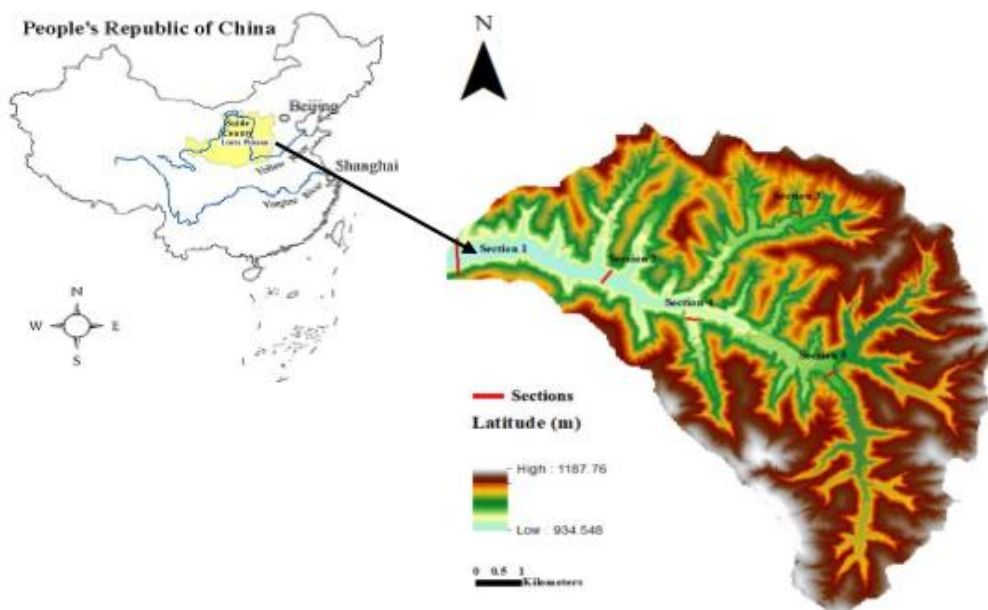


图 2 王茂沟小流域和典型断面位置

(1)在 500 年降雨重现期内，不同横断面处的峰值流量大小顺序为 $S1 > S2 > S5 > S4 > S3$ （图 3）。对于选定的四个重现期，500 年重现期代表了该流域峰值流量增长率的转折点。考虑到峰值流量增长率变化模式和经济效益，研究区域内大型桥梁和涵洞等水利工程设计可以参考 500 年重现期的峰值流量。

(2)在极端降雨条件下，S1 横断面在 5 个选定的典型横断面中拥有最大的水深。在 50 至 1000 年重现期，最大水深在 1.41 至 1.93 米之间，是 S3 横断面水深的 2.03 至 2.76 倍。此外，随着重现期的增加，每个横断面的最大水深变化幅度小于相应峰值流量的变化幅度（表 1）。

(3)结合模拟的洪水特征，研究分析了流域的洪水风险特征。最大水深区域位于支流的河中，水深为 6 米。水深在 2 至 3 米之间的淹没区域占淹没总面积的 43 至 45%。由于泥沙坝的洪水阻挡效应，在大型重现期下淹没面积的增加相对较小，100 年重现期下淹没面积增加最大，达到 5.44%（图 4）。

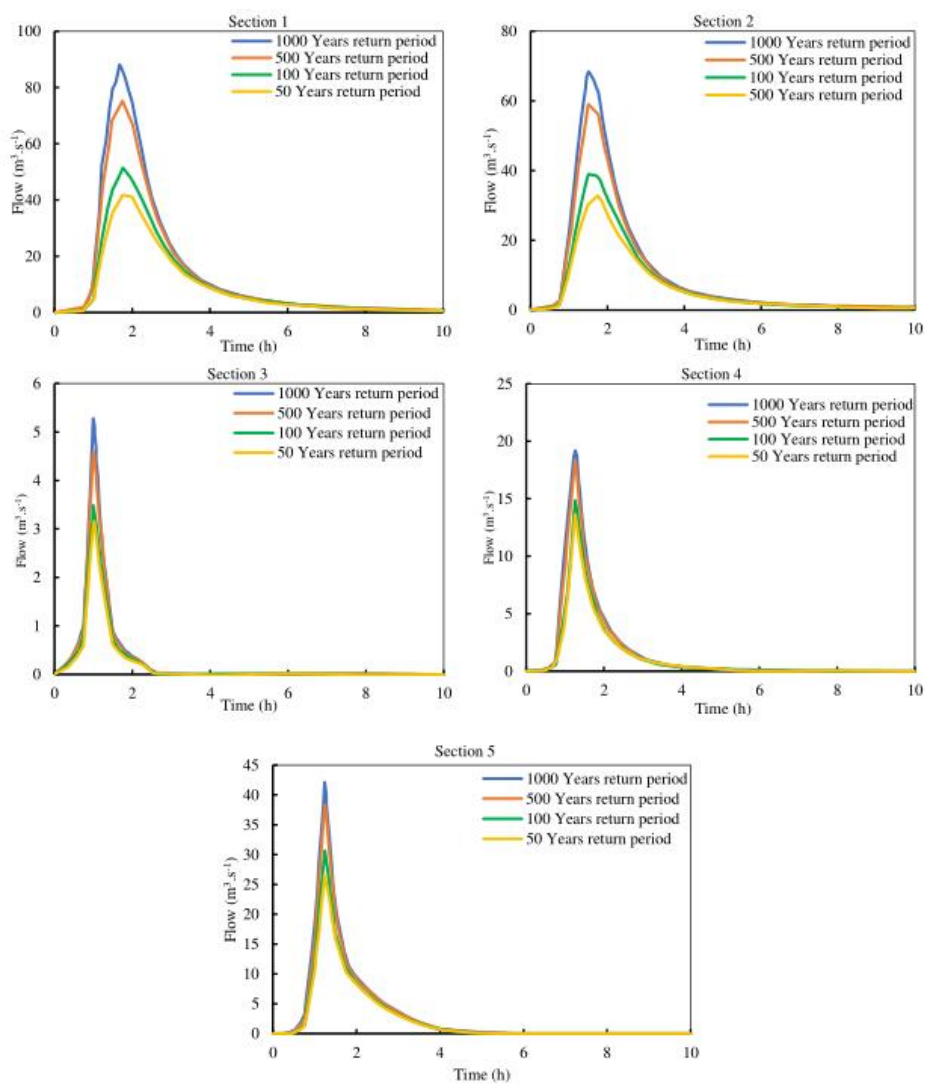


图 3 王茂沟流域典型断面不同重现期的洪水流量过程线

表 1 王茂沟流域典型断面不同重现期的最大水深

降水重现期	断面S1	断面S2	断面S3	断面S4	断面S5
50	1.41	0.85	0.51	0.77	1.13
100	1.64	0.92	0.64	0.80	1.22
500	1.83	1.07	0.86	0.86	1.38
1000	1.93	1.18	0.95	0.88	1.43

本研究的成果可以为解决黄土高原小流域的洪水问题、降低洪水风险、增强防灾减灾能力以及制定有效的洪水应急计划提供参考。

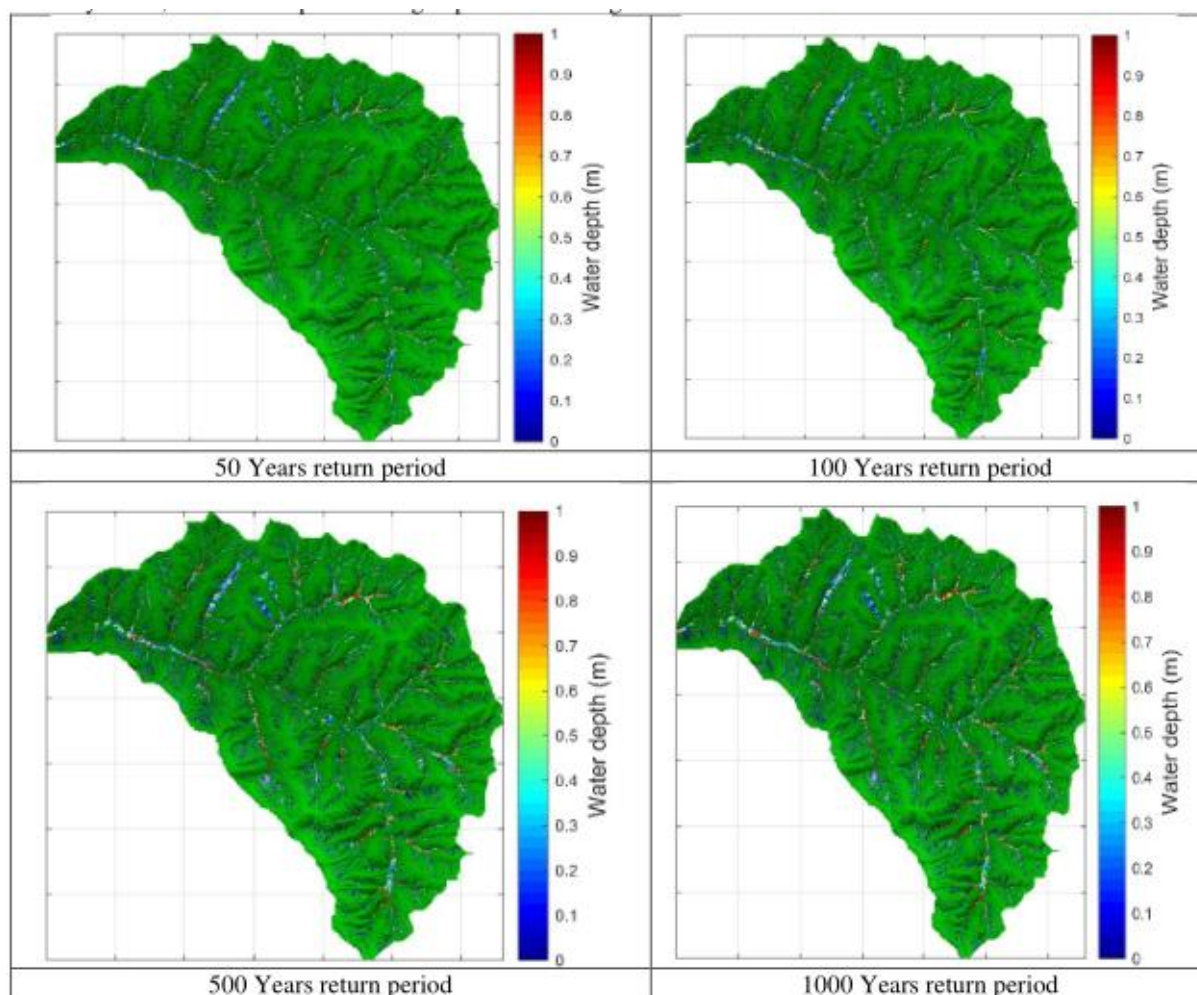


图 4 不同重现期下王茂沟流域的淹没范围及水深分布

(Muhammad Imran , Jingming Hou , Tian Wang , etc. Flood characteristics and risk analysis in small watersheds on the Loess Plateau under extreme heavy rainfall. Natural Hazards,13 Dec.2024)

发送范围：部领导，相关司局，部直属有关单位，流域和省水行政主管部门及监测机构，有关科研机构 and 高校