

水土保持科技简报

第 18 期

水利部水土保持监测中心

2026 年 10 月

目 录

一、技术瞭望	1
无人机航测融合数字技术赋能水土保持监测精准提效	1
辛店沟数字孪生小流域多源时空数据底板构建技术	2
二、经验交流	3
安徽省水土保持生态产品价值转化交易加速落地	3
吉林省创新推动水土保持项目新增耕地纳入补充耕地管理	5
三、科研成果	7
生产建设项目水土流失过程精细化监测、监管技术	7
碳汇精准核算模型取得突破	10

一、技术瞭望

★无人机航测融合数字技术赋能水土保持监测精准提效

针对水利工程水土保持传统人工踏勘精度不高、作业效率偏低、方案优化难度大等问题，宁夏水利科学研究院积极推进无人机航测与数字化技术融合应用，在重点水利工程水土保持精准监测方面取得技术新突破。

技术特点：（1）创新引入千寻翼 X1 无人机航测系统，通过高精度传感器采集工程弃土场高清影像数据，依托 Pix4Dmapper、Global Mapper、ArcGIS 10.8 等专业软件，完成数据解析、高程提取、精准重采样及边界裁剪工作；（2）成功生成厘米级精度库容曲线、数字正射影像、点云数据等数字化成果，为工程堆渣方案优化提供科学精准的数据支撑；（3）自主开发 Python 自动化脚本，实现水土保持图件批量处理、自动出图，有效提升监测工作标准化与高效化水平。

应用案例：该技术已成功应用于沙坡头灌区现代化改造工程，通过数字化精准优化，工程弃土场占地面积从 134.47 公顷缩减至 62.63 公顷，降幅达 53.4%，8 处弃土场全部优化为 5 级标准，有效节约土地资源、降低工程投资，从源头减少人为水土流失风险，实现了生态效益与经济效益双赢，水土保持监测数字化水平更进一步。

（以上技术来源于宁夏水利科学研究院，2026 年 6 月）

★辛店沟数字孪生小流域多源时空数据底板构建技术

该成果基于次降雨预报的小流域侵蚀输沙模型，耦合产流-汇流、侵蚀-输沙两大模块，考虑沟道工程对汇流与汇沙的调控作用，坡面径流采用 SCS-CN 模型计算，坡面汇流采用修正 SCS-单位线，沟道及河道汇流采用马斯京根或非线性马斯京根-康吉法计算，坡面侵蚀采用 CSLE 模型，汇沙采用泥沙连续方程。适用于小流域径流、洪峰流量与产沙量估算。

应用场景：（1）小流域径流、洪峰流量、坡面侵蚀模数及产沙量估算；（2）坡面及沟道工程措施减流、减沙以及削减洪峰效益评价；（3）小流域侵蚀泥沙来源关键区识别；（4）小流域水土保持措施规划；（5）小流域水土保持工程措施设计。

应用案例：该成果已在陕西省延安市安塞区杏树窑子沟推广应用。2019 年以来，基于丰、平、枯水年三个代表年下各次降雨的径流和泥沙计算结果，运用该成果，准确评价次降雨和不同水文年下治沟造地对流域水沙的影响。

该成果已在黑龙江省农垦总局九三分局鹤山农场境内鹤北小流域推广应用。2020 年以来，运用该成果准确评价流域东侧以及北侧旱地净侵蚀量。

（以上技术来源于黄河水利委员会绥德水土保持科学试验站，《中国水土保持》2026 年第 5 期）

二、经验交流

★安徽省水土保持生态产品价值转化交易加速落地

2026 年以来，安徽省水土保持生态产品价值转化交易持续加速，合肥、芜湖、安庆、黄山等地多条生态清洁小流域水土保持生态产品经营权已完成市场化交易，总签约金额达 6480 万元。安徽通过“政府抓治理、企业做运营、市场定价格”的模式，让生态资源从“静态资产”变为“动态资本”。

(1) 合肥首单落地，核发全市首张规范化水保生态交易凭证。7 月 7 日，合肥市首个水土保持生态产品价值转化试点项目签约仪式在庐江县矾山镇举行。项目出让矾山镇冯店村相思巴滩片区 6 年文旅康养经营权，整体估值 42 万元，是合肥市首笔水土保持生态产品价值转化交易。

冯店村小流域地处江淮丘陵地带，过去因地形起伏、降雨集中，水土流失问题较为突出。近年来，当地通过系统实施水土流失综合治理工程，建成生态护岸、水系整治等一系列水土保持设施，流域生态本底显著改善。在此基础上，项目依托庐南川藏线文旅资源，合理盘活滨水空间，推动生态保护与产业发展有机融合。

签约现场同步核发了合肥市首张规范化水土保持生态产品交易凭证，如同流域生态资源专属“市场身份证”，以官方凭证形式固化生态资产权属，有效破解水土保持生态价值“确权难、交易难、监管难”的堵点，确保交易全流程合规、可追溯、可复制。该项目设立刚性收益管理机制，明确交易资金优先用于小流域水土管护、河道运维、生态修复，完整形成“小流域治理—价值核算—市场交易—生态反哺”发展闭环。

(2) 芜湖湾沚区再落一单，“水土保持+文旅开发”模式持续深化。近日，芜湖市湾沚区复兴小流域（鸠兹湾东片）水土保持生态产品（旅游康养类）15 年开发经营权完成交易，芜湖鸠兹湾艺创产业园有限公司以 335.25 万元购得开发经营权。这是湾沚区继今年 1 月三合圩小流

域项目后，年内落地的第二单水土保持生态产品价值转化项目。

近年来，湾沚区整合财政资金与社会资源，在复兴小流域实施生态清洁小流域、水生态系统治理等工程，全面提升流域水土保持能力与生态品质，打造出“水清岸绿、景美人和”的生态环境。在此基础上，湾沚区打破“治理与产业脱节”的传统模式，积极推动生态资源向文旅资产转化，构建起营地研学、民俗体验、康养旅居等多元业态发展体系，片区年接待游客突破 35 万人次，直接带动本地就业岗位超 200 个。本次交易收益将专项用于该流域后续水土保持管护、基础设施提升及集体经济增收，形成“生态治理—价值转化—反哺治理”的闭环机制。

（3）全省多点开花，交易类型不断拓展。安徽省积极探索“水土保持+文旅开发”模式，多地在实践中形成各具特色的转化路径。“十四五”以来，全省累计建成 119 条生态清洁小流域，水土保持率已达 91.97%。安徽省水利厅表示，“十五五”时期力争新建生态清洁小流域 150 条，重点培育“生态+文旅”“生态+宜居”“生态+城市”等多元化治理模式，拓宽小流域综合价值实现路径，推动生态收益反哺水土流失治理与乡村产业发展。同时，安徽将持续探索水土保持碳汇交易、生态清洁小流域产业转化等多元路径，加快形成轻量化、易推广、可持续的转化模式，推动绿水青山持续释放生态红利。

★吉林省创新推动水土保持项目新增耕地纳入补充耕地管理

吉林省多部门联合印发《吉林省补充耕地实施管理办法》（以下简称《办法》），自2026年7月1日起施行。《办法》聚焦黑土地保护实际，打通水土保持等生态修复新增耕地转化为补充耕地的渠道，破解行业治理项目新增耕地难以认定为占补平衡指标的制度堵点，构建全链条闭环监管体系，实现黑土区水土流失治理、生态修复与耕地保护协同共进，探索形成东北黑土区生态保护与耕地保障统筹推进的吉林实践。

一、坚持机制创新，破除行业壁垒堵点

针对以往水土保持项目产出耕地无法纳入补充耕地指标库的现实难题，《办法》建立“行业管建设、自然资源管入库”分工机制。水土保持、全域土地综合整治等项目产生的补充耕地，在入库申报过程中，项目立项、实施和竣工验收等按照行业领域规定执行。厘清自然资源、农业农村、水利、林草、财政等部门职责，水利部门参与立项论证与竣工验收，多部门协同联动，破解部门分割、衔接不畅问题，拓宽补充耕地来源路径。

二、坚守生态底线，筑牢刚性约束防线

《办法》牢固树立生态优先理念，严守耕地数量、质量、生态“三位一体”保护底线。明确自然保护地、生态保护红线内禁止新开垦耕地，25度以上陡坡、重点林区、严重沙化土地等区域原则上不作为补充耕地来源，地下水超采区域不得垦造水田。这些刚性约束从源头防止新增耕地引发水土流失、破坏黑土地和损害生态环境，确保补充耕地既“补得了”、更“补得好”。

三、强化分级管控，健全闭环监管链条

建立县级初审、市级审核、省级抽查复核三级审核监管机制。县级负责核实地块权属、地类、耕地数量，农业农村部门开展耕地质量鉴定，严格核查地块连片程度、农田配套设施以及后期管护主体、经费、协议落实情况。市级开展内外业全面核查；省级组织抽查复核，对问题指标

实行冻结、限期整改、核减处置。严格规范指标管理，严禁政府平台公司、工商企业收购、持有、交易补充耕地指标，防范政府隐性债务。优化业务流程，水土保持类项目可于入库阶段填报占补平衡平台，减轻前期报备负担。项目投用稳定后组织实施后评估，核查水土流失防控和种植管护成效，压实各方监管责任。

此次制度创新，推动水土保持治理成效转化为实实在在的耕地资源，实现生态修复、黑土保护、耕地占补平衡多方共赢，为黑土地地区统筹生态保护与粮食安全提供可复制借鉴经验。

（以上经验来源于吉林省水利厅水保处）

三、科研成果

★生产建设项目水土流失过程精细化监测、监管技术

水土保持监测是国家生态建设的重要支撑，近些年国家对加强水土保持监测和水土保持监测监管智慧化提出了一系列要求。中共中央、国务院印发《关于加强新时代水土保持工作的意见》指出：加强水土保持科技创新，强化水土保持监测监管。然而生产建设项目水土流失监测监管存在精度低、时效性差、智能化欠缺的问题。针对这一问题，水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院联合安徽省水利科学研究院在中央级公益性科研院所基本科研业务费重大基金、安徽省自然科学基金等项目的支持下，开展了生产建设项目水土流失过程精细化监测、监管技术研究。

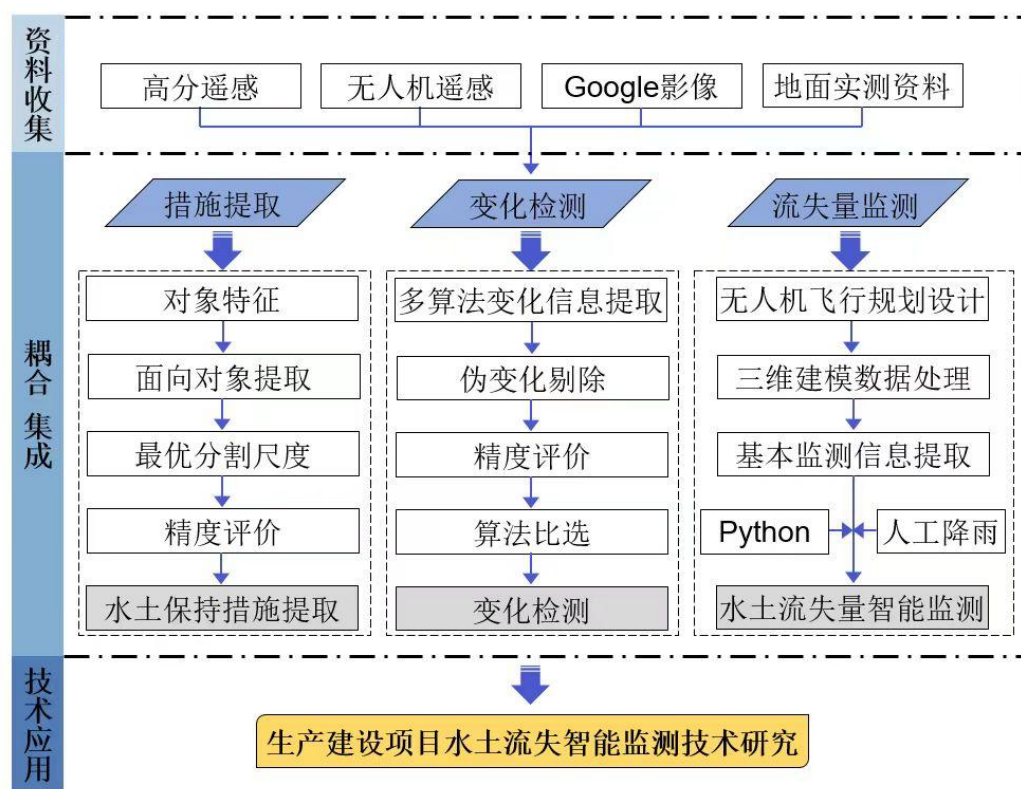


图1 生产建设项目水土流失过程精细化监测、监管技术研究

(1) 利用高分辨率无人机遥感影像，采用面向对象的分类方法实现生产建设项目水土保持措施图斑的精准提取。首先通过 eCognition 平台的多尺度分割算法结合 ESP2 工具确定了最佳分割尺度，获取内部一致、边界明确的影像对象。在此基础上构建隶属度函数分类规则集，逐

层实施“先粗后细”的分类策略：综合光谱、形状、纹理和空间关系等特征，依次提取水体、植被、苔盖、不透水面、建筑用地、裸地等典型水土保持图斑，并不断迭代优化分类阈值。为了评估方法有效性，分别尝试了隶属度函数、支持向量机（SVM）、随机森林（RF）和决策树等分类模型，采用独立样本进行了精度验证。结果表明隶属度函数分类模型表现最佳，分类总体精度达到 80.58%，Kappa 系数为 0.7676。相比之下，SVM 总体精度约 70.04%，RF 总体精度约 68.12%，决策树仅约 60.24%。隶属度分类显著提高了易混淆地物（如植被、苔盖、裸地）的区分度，图斑边界吻合实际，分类结果可靠，为后续变化监测奠定了基础。

（2）针对施工期土地扰动的动态过程，定量揭示了 2024–2025 年研究区水土保持信息和堆土体的变化过程。首先，采用分类后比较法对两期无人机正射影像进行变化提取：分别将 2024 年和 2025 年影像分类，然后对比得到类别变化结果，构建了 2024–2025 年水土保持信息变化转移矩阵，准确量化了各类型间的转化面积。其次，利用 ENVI 软件执行影像差值法进行直接变化检测：对配准后的两期影像对应波段做像元值相减，生成差分影像，并设定阈值提取显著变化区域。该方法快速高亮了地表光谱发生明显变化的“热点”区域，为变化监测提供了直观参考。但需注意影像差分无法给出具体变化类别和面积，在影像质量不一致时易引入误差。因此，本研究将其作为分类比较的有效补充，以确保变化信息提取的全面性和可靠性。最后，基于无人机航测获取的数字高程模型（DEM），采用 GIS 的 Cut/Fill 功能开展土方体积变化分析：将 2024 年与 2025 年的 DEM 栅格叠置差分，计算临时堆土场的填方和挖方体积。

（3）实现了施工分阶段的土壤流失量智能测算，总流失量约 121 吨，其中施工准备阶段占 87% 以上。具体方法是利用 GIS 或 DJ Terra 提取坡度、坡长、植被覆盖等模型参数，按照施工时段、地形特征和扰动性质将研究区划分为若干水土流失预测单元，最后基于《生产建设项

目土壤流失量测算导则》构建的土壤侵蚀模型，对各单元新增土壤流失量进行自动化计算。

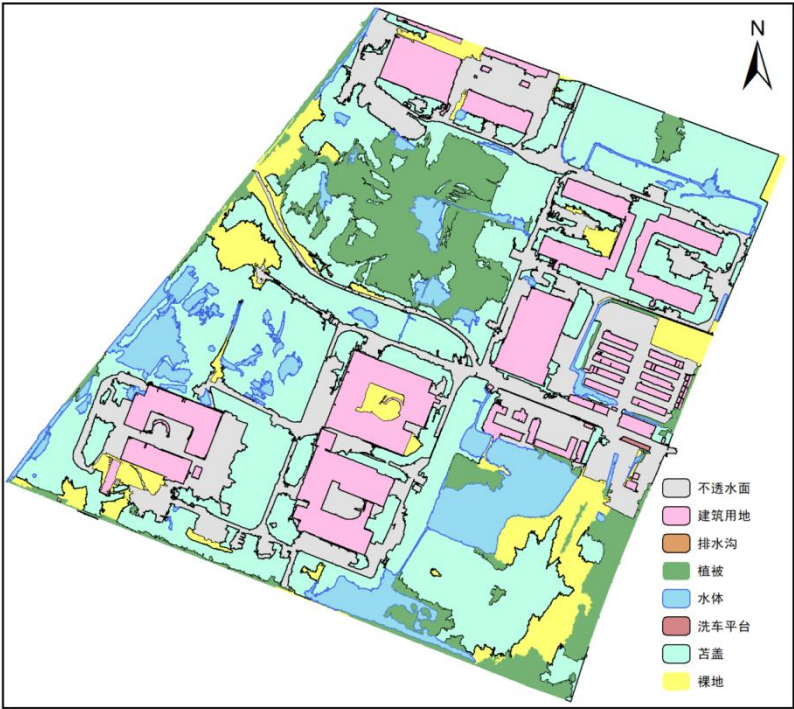


图 2 水土保持信息智能提取结果

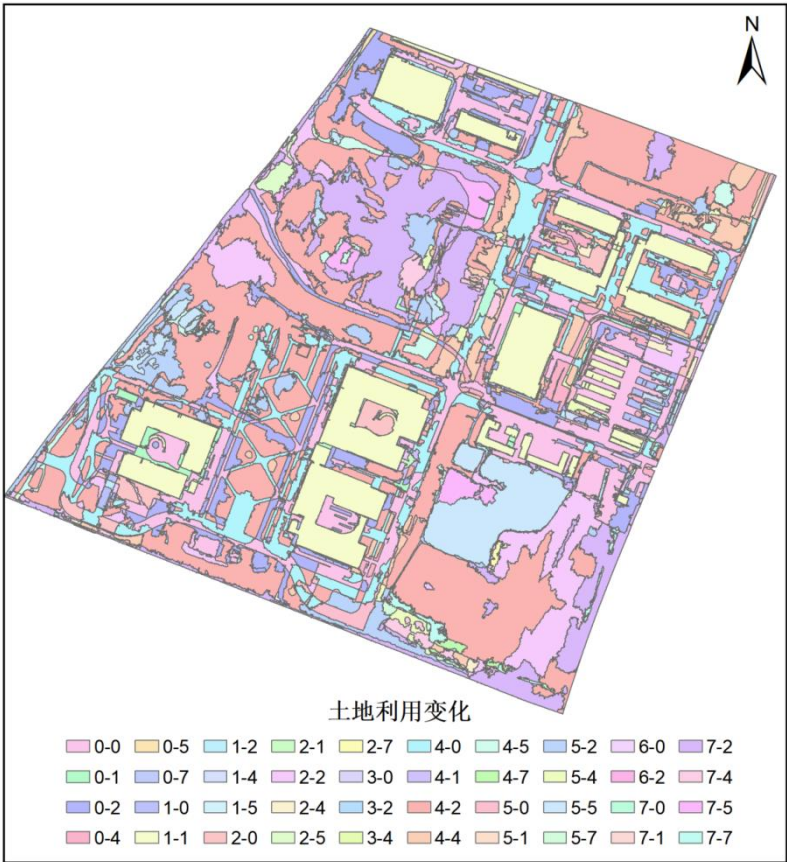


图 3 水土保持信息变化情况图（图例中第一个数字代表 2024 年水土保持信息，第二个数字代表 2025 年水土保持信息，0 代表不透水面，1 代表建筑用地，2 代表裸地，3 代表排水沟，4 代表苔藓，5 代表水体，6 代表洗车平台，7 代表植被）

★黄河流域首单水土保持碳汇交易完成，碳汇精准核算模型取得突破

黄土高原的生态修复一直是我国生态保护的重点。自上世纪 90 年代退耕还林等生态修复工程启动以来，黄河泥沙量锐减，从年均 16 亿吨降至 1.86 亿吨，水土保持工作取得显著成效。然而，黄土高原区域发展仍面临水土流失治理与社会经济协同、生态成效向乡村振兴动力转化两大核心瓶颈。西安科技大学地质与环境学院张祎教授团队针对这两大挑战，通过系统性攻关取得突破性进展。

(1) 研发淤地坝碳汇精准核算模型。传统淤地坝碳量核算采用“等厚等碳”假设，未考虑泥沙能量、淤积量的差异，核算结果失真、精度低。团队在黄土高原典型流域展开研究，挖掘六七十座淤地坝后发现，坝前、坝中、坝后泥沙淤积存在“翘尾巴”现象，即泥沙淤积过程中淤积面不断向库区上游（尾部）延伸，其根源是泥沙淤积过程和能量衰减过程存在差异。基于此发现，团队彻底摒弃传统“等厚等碳”假设，以能量动力关系为核心，结合泥沙运动规律与有机碳分布特征构建核算模型。针对黄土高原植被无人工抚育、树木形态不规则的问题，团队采用离地 20 厘米的基径替代胸径，有效提升了碳汇核算的预测精度；同时建立起从样方尺度到流域尺度的转换模型，精准测定根茎叶干枝花果各部位含碳量。

在宁夏彭阳县，团队建立了 20 余种黄土高原特有树种的生长特征曲线，收集近万份第一手测量数据，形成了专属的有机碳含量数据库与模型体系。

(2) 完成黄河流域首单水土保持碳汇交易。目前，团队已发布黄土区小流域综合治理水土保持“碳汇”计量监测核算团体标准，并依托这一技术成果助力彭阳县完成黄河流域首单水土保持碳汇交易。3.6 万吨碳汇实现价值 111.6 万元，资金全额反哺生态修复研究。以彭阳县为样本

测算，若黄土高原完成全域水土保持碳汇交易，仅基于现有治理成果、无需额外投入，生态收益可达 400 亿元。

在生态经济协同治理方面，团队创新推出小流域一体化治理技术，打造“山地梯田化、坡面生态化、沟道坝系化、产业特色化”的发展模式。该技术实施后，区域土壤侵蚀模数显著下降，氮磷污染减少 30%以上，同时带动农户收入稳步提升。

（以上来源于西安科技大学张祎教授团队，《中国科学报》2026 年 4 月 2 日报道）

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