

基于天空地一体化的补充耕地利用特征识别与管护优化研究

徐保根¹ 邱滋璐² 王加恩² 杨 钰³ 虞 湘²

(1. 浙江财经大学公共管理学院, 杭州 310018; 2. 浙江省国土整治中心, 杭州 310012;
3. 浙江财大空间规划科技有限公司, 杭州 310012)

摘要: 随着耕地“占补平衡”政策内涵拓展至“数量-质量-生态”协同平衡,补充耕地后期管护成为政策落实的关键。浙江省人地矛盾突出,丘陵山区面积大,非农建设补充耕地资源分布相对零散,现有监测手段仍面临技术协同不足、山区适配性低、管理脱节等挑战。本研究以浙江省为研究区,构建“天(卫星遥感)-空(无人机)-地(实地核查)”一体化监测体系,对非农建设补充耕地利用状况进行多层次、高精度监测。基于全省 29 064 个图斑的分析结果表明,98.9%图斑维持粮食作物种植且管护正常,异常图斑占比 1.1%,其中以“非粮化”为主(占比 93.8%,以设施农业和经济林果为主)、“非农化”占比 0.1%,抛荒占比 6.1%,主要分布在山区与城乡过渡带。从“天-空-地”一体化监测看,补充耕地地块未维持粮食作物种植成因主要是耕地地块分布零散、集中连片度低、区位偏僻、农田供排水设施及田间道路不够完善等。通过耕-林-园地空间置换、土地综合整治等途径促进耕地区位调整、地块面积增大、集中连片度提高、耕地质量提升等耕地空间优化,是破解南方丘陵地区补充耕地管护难题、实现耕地空间优化的关键路径。

关键词: 补充耕地; 后期管护; 特征识别; 天空地一体化; 浙江省

中图分类号: F301.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2026)20-0054-09

OSID:



Identification of Utilization Characteristics and Management Optimization of Supplementary Cultivated Land Based on “Space – Air – Ground” Integrated Monitoring System

Xu Baogen¹ Qiu Zilu² Wang Jiaen² Yang Yu³ Yu Xiang²

(1. School of Public Administration, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China
2. Zhejiang Provincial Land Consolidation Center, Hangzhou 310012, China
3. Zhejiang Caida Spatial Planning Science & Technology Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: As the connotation of China’s “requisition-compensation balance” policy evolves towards a synergistic equilibrium of “quantity – quality – ecology,” the post-construction management of supplementary cultivated land emerged as a critical imperative. However, effective monitoring in Zhejiang Province remained challenging due to prominent human-land conflicts, expansive hilly and mountainous terrains, and the highly fragmented distribution of supplementary land resources. To address the limitations of conventional monitoring methods, such as inadequate technological synergy, poor adaptability to complex mountainous regions, and a disconnect from practical management, a “space – air – ground” integrated monitoring framework was constructed. By coupling satellite remote sensing (macro-screening), UAV patrols (meso-identification), and field verification (micro-diagnosis), this system enabled multi-tier, high-precision monitoring. An empirical analysis of 29 064 land patches across the province indicated that 98.9% of the patches maintained stable grain cultivation under normal management. Anomalies accounted for 1.1% of the total patches, which were overwhelmingly dominated by “non-grain production” (93.8%, mainly facility agriculture and economic fruit forests), followed by abandonment (6.1%), and “non-agricultural use” (0.1%), predominantly clustered in mountainous

收稿日期: 2026-06-06 修回日期: 2026-07-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(42271310)和浙江省重点软科学项目(2025C25051)

作者简介: 徐保根(1963—),男,教授,博士,主要从事土地管理和项目管理等研究,E-mail: xubaogen@zufe.edu.cn

regions and peri-urban transition zones. Attribution diagnosis revealed that these anomalies were fundamentally driven by plot fragmentation, marginal geographic locations, and deficient agricultural infrastructure (e. g., irrigation, drainage, and field roads). The result concluded that spatial optimization strategies, such as land consolidation, improving spatial contiguity, and facilitating the spatial replacement among cultivated land, forestry, and orchards were crucial pathways for resolving the management dilemmas of supplementary cultivated land in China's southern hilly regions.

Key words: supplementary cultivated land; post-construction management; feature recognition; space – air – ground integration; Zhejiang Province

0 引言

为缓解城镇化与工业化进程非农建设对耕地资源的占用压力,我国建立了严格的耕地“占补平衡”制度体系^[1]。随着生态文明建设的深入,政策内涵已从初期侧重于“数量平衡”,逐步深化为“数量-质量-生态”三位一体的系统平衡^[2],对耕地资源的全生命周期管理提出了更高要求。然而,在当前的管护实践中,补充耕地项目往往处于自然条件较差、地形破碎且区位偏远的边际区域,发生“被动非粮化”甚至隐性抛荒的风险远高于传统优质熟化耕地。若缺乏高频次、全覆盖的动态监测体系,这种发生在边际地带的“监管盲区”与“响应时滞”不仅会导致“占优补劣、占近补远”效应持续放大,动摇占补平衡制度的实施公信力,更将造成实际产能的隐性流失,直接触及国家粮食安全的红线、底线^[3-4]。因此,如何破解补充耕地后期管护中的“早期识别难、动态跟踪迟、因果诊断弱”等现实瓶颈,构建一套集快速响应、精准识别与持续跟踪于一体的“天空地”协同监测技术体系,已成为当前提升耕地治理能力、确保政策刚性落地的迫切战略需求^[5]。

浙江省作为典型的“七山一水二分田”省份,人地矛盾尤为尖锐,补充耕地管护的急迫性与危机感更具代表性^[6]。一方面,全省新补充耕地普遍存在空间分布极度破碎、立地条件差、易灾性高等“先天禀赋缺陷”;另一方面,作为沿海经济发达地区,浙江省非农就业机会极其丰富,土地利用的机会成本居高不下,导致经营主体“主动非粮化”(如转产高收益设施农业或经济林果)的经济动因极其强烈^[7]。在“自然环境硬约束”与“经济利益高诱导”双重夹击下,全省补充耕地后期管护正面临退无可退的“底线守卫战”,传统依赖基层人工被动巡查的耕地保护模式在应对高频、隐蔽的动态变化时已显露缺陷。同时,作为数字化改革先行区,浙江省推行的“耕地智保”等数字应用为感知技术的发展提供了先决条件^[8],因此,选取浙江省作为典型解剖案例,开展补充耕地后期管护监测体系构建与优化研究^[9],不仅能破解自身资源资产双重压力下现实阵

痛,更能为南方丘陵山区及经济发达地区在耕地保护领域提供一套可复制、具有前瞻性的“技术-治理”协同范式^[10]。

国际上对耕地管护的监测研究起步较早,以美国、欧盟和日本为代表的发达国家,已逐步形成“技术精准化”与“制度长效化”深度融合模式^[11]。美国依托农业部“耕地数据层”(CDL)系统^[12],综合利用多源卫星遥感实现作物类型与轮作模式的年度动态监测;欧盟在共同农业政策(CAP)框架下推行“土地利用调查”计划(LUCAS)^[13],通过野外采样与遥感结合构建全域耕地质量数据库^[14],并将监测结果直接挂钩生态补偿机制;日本则针对山地多、地块碎的特点,广泛运用无人机和 AI 技术实施高频巡查,并将结果纳入地方耕地台账系统,实现精准管护^[15]。这些国际经验为我国构建现代化的耕地后期管护体系提供了重要借鉴。

近年来,补充耕地监测与管护也引起了国内学者的广泛关注。在监测技术上,基于高分遥感的“非粮化”识别算法和物联网传感器网络的应用^[16],显著提升了关键指标监测的时效性与精准度^[17];在管护评估上,逐步建立了涵盖数量、质量与生态可持续性的综合评价指标体系^[18-19];在机制探索上,部分地区试点“耕地智保”数字平台^[20],整合多源感知技术,探索政府主导、村集体与经营主体共同参与的协同管护机制^[21]。然而,现有研究与实践仍存在 3 方面显著短板:①多源技术融合度不足^[22],遥感普查、无人机详查与地面监测手段多独立运行,尚未实现数据标准互通与算法深层协同,难以形成覆盖全域、多尺度、全要素的立体化监测网络。②复杂生境适配性较差,现有通用遥感模型在应对南方丘陵山区破碎、异质化耕地时^[23],常因混合像元和地形效应导致解析精度下降,致使关键区域的“非粮化”、隐性撂荒及生态退化问题频现监测盲区。③“监测-管护”链条断裂^[24],问题识别与决策响应之间缺乏闭环机制,监测结果未能有效转化为针对性管护策略与优化措施。

针对上述问题,本研究以浙江省为例,构建一套融合宏观筛查、中观详查与微观诊断的“天-空-地”

一体化监测评估体系。以期通过该体系实现对非农建设补充耕地利用现状的高精度刻画,精准识别“非粮化”“非农化”及抛荒等风险,并深入剖析其背后的自然与工程成因,从而为优化耕地保护政策、落实全生命周期管护提供技术支撑与制度参考。

1 天空地一体化监测体系构建

1.1 研究区概况

浙江省位于中国东南沿海、长江三角洲南翼,地理坐标介于北纬 27°02′~31°11′、东经 118°01′~123°10′之间,陆域面积 $1.055 \times 10^5 \text{ km}^2$,山地和丘陵约占全省总面积的 70.4%,平原和盆地占 23.2%,河流湖泊占 6.4%。作为经济发达和城市化进程较快省份,浙江耕地资源紧张,人地矛盾突出^[25-26]。在严格保护耕地和推进高效生态农业的背景下,非农建设占用耕地后的补充平衡已成为全省国土空间治理的重要任务,见图 1。

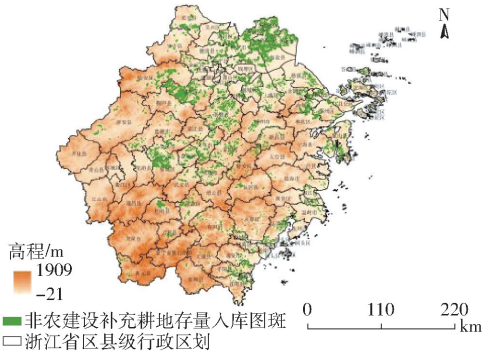


图 1 浙江省建设补充耕地存量入库图斑空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of registered plots of supplementary cultivated land in Zhejiang Province

浙江省在耕地保护方面政策实施早、技术基础较好,具备“天空地一体化”监测的良好条件,卫星遥感广泛用于耕地与作物监测,无人机应用于重点区域精细巡查,实地核查依托田长制和专项队伍开展。然而,在补充耕地后期管护中,仍存在监测响应滞后、非粮化管控难、基层负荷大等问题。因此,选择浙江省作为研究区,既因其在耕地管理方面具有典型性和先进性,也为探索天-空-地技术赋能管护优化提供了扎实的实践基础。

1.2 研究方法与数据来源

1.2.1 研究方法

遵循“宏观全域筛查-微观定点诊断”逻辑,构建基于专家知识驱动的卫星遥感解译与空地协同核查相结合的互馈式监测体系。

(1) 针对浙江省丘陵山区耕地破碎、种植结构复杂及物候多变导致的“同物异谱”与“异物同谱”难题,传统自动化分类算法难以满足精度需求。采

用专家知识驱动的人工交互解译法,建立一套融合“光谱特征-纹理结构-几何形态-空间语境”的多维解译标志体系。为提升研究的可操作性与标准化水平,制定了不同利用状态的遥感影像特征判读标准(表 1),以此对全域补充耕地进行全覆盖图斑筛查与分类诊断。

表 1 不同利用状态遥感影像多维特征判读标志

Tab. 1 Multidimensional feature interpretation criteria for remote sensing images under different utilization conditions

利用状态 分类	光谱特征	几何形态与 纹理结构	空间语境与 物候特征关联
粮食作物 种植	绿色(生长期)/深褐或深蓝(翻耕灌水期)	色调均一,纹理细腻,田块边界规则清晰	呈现水稻/玉米典型物候,伴有清晰的田埂、沟渠等线性结构
设施农业 用地	银灰/白色(高反射率)	规则矩形或条带状排列,边界刚性且伴随规整阴影	多为规避温室大棚,常分布于交通便利、近城镇区域
经济林果 种植	较深绿色,与周边生境反差较大	不规则斑点状或簇状冠层,原有农田行垄与边界模糊	缺乏明显的农田管护痕迹,表征耕地向林地不可逆或半可逆转型
非农建设 占用	亮白/灰黑(不透水地表特征)	高亮平滑纹理,边界极其刚性且具立体几何阴影	被建筑物屋顶、混凝土或沥青覆盖,属不可逆的功能丧失
耕地抛荒	斑驳色调(黄绿夹杂,缺乏均一性)	植被纹理杂乱粗糙,无明显人工干预与耕作形成的行垄结构	多集聚于偏远山区、坡改梯地段或林缘交界处,表征弃耕负反馈

(2) 基于分层抽样的空地协同诊断(空基+地基)旨在验证遥感普查精度并深入剖析问题成因。为此,开展空地协同详查研究,以实现从“现象识别”到“机理归因”的深化。

抽样策略:以遥感初判的疑似问题图斑为总体,依据地形地貌特征与区域经济发展水平双重指标构建分层架构。其中,将地形地貌作为第 1 维度,反映自然禀赋对农业机械化及抗灾能力的物理硬约束;将区域经济水平作为次级维度,反映非农就业机会对耕地利用的叠加竞争压力。在各交叉层级内按比例随机抽取核查样本,确保样本统计在不同自然地理条件与社会经济驱动力背景下具有代表性。

无人机低空微观辨识:利用旋翼无人机在高度 100 m 获取厘米级(优于 5 cm)高分辨率正射影像。发挥低空视角优势,突破卫星影像分辨率限制,精准辨析大棚内部作物类型(通过棚膜透明度与通风口)、识别苗木与茶树纹理差异,以及探测植被

遮挡下隐蔽性硬化设施,实现对遥感结果的精细化校正。

地面原位机理诊断:依托手持 GPS 终端开展实地勘测。除核验土地利用类型外,重点对工程质量(田面平整度、土层厚度)、基础设施效能(路渠通达性与完好率)及经营状况进行定量测量与定性评估。通过“看地”与“访人”结合,收集地块流转租金、种植收益等信息,揭示“非粮化”背后的经济驱动力与工程制约因素。

最终,通过构建“天基普查数据—空基校正数据—地基实测数据”的交叉验证矩阵,不仅量化评估监测体系精度,更实现“利用结果”与“驱动成因”的逻辑关联,为管护政策优化提供坚实的微观实证依据。

1.2.2 数据来源

以浙江省 2021—2023 年补充耕地项目为对象,构建基于“耕地数字孪生”的多源数据集。

天基数据(宏观):采用 2024 年“天地图·浙江”亚米级高分辨率光学遥感影像,作为全域地理空间底板,用于大范围图斑初筛与利用特征判读。空基数据(中观):依托同步采集的无人机正射与多光谱影像(分辨率优于 0.05 m),用于重点区域作物精细辨识与隐蔽设施提取。地基数据(微观):源于同期实地勘测(坐标、土壤)与半结构化访谈,用于精度验证及社会经济成因深挖。三者统一时空基准下融合,构成核心数据支撑。

1.3 技术路线

构建“天空地”一体化技术体系,旨在通过新质生产力赋能自然资源管理,重构从“被动巡查”向“主动预警”转变的耕地管护新范式。该体系紧扣“核查—监测—诊断—管护”全链条闭环,通过多维技

术有机协同,实现对补充耕地空间真实性、利用合规性与生态持续性的“全方位、全周期、高精度”管控。核心技术架构包含 3 个维度:

第 1 层级:天基宏观筛查(“广域扫描”)。依托高分辨率光学与雷达卫星构建常态化监测网,利用多源遥感的时空互补优势,对大范围补充耕地利用状态进行快速扫描。该层级旨在高效锁定“非农化”硬化、“非粮化”改种及地表形态突变的疑似区域,解决传统人工巡查覆盖面窄、时效性差的痛点,为精准核查提供明确的“靶向坐标”。

第 2 层级:空基中观辨识(“精准透视”)。针对遥感筛查的疑点图斑及地形复杂的丘陵山区,发挥无人机机动灵活、分辨率极高的优势,实施“点穴式”低空巡查。通过获取亚米级纹理信息,进一步厘清作物精细类型(如区分苗木与茶树)、农田设施配套细节及地块边界拓扑关系,有效消除卫星监测盲区,实现对问题区域的快速甄别与定性。

第 3 层级:地基微观诊断(“机理溯源”)。作为监测体系的“压舱石”,依托移动智能终端与“国土调查云”平台,对疑难图斑进行终极核验。该环节超越了单一的图斑比对,深入到机理层面:通过现场测绘、土壤踏勘与农户访谈,查明耕地异常利用背后的工程缺陷(如灌排失效)、资源短板(如耕作层贫瘠)或经济动因(如级差地租),确保实现“图、地、人、事”四位一体的精准挂钩。

综上,通过“天基广域扫描—空基精准透视—地基机理溯源”层层递进与数据反哺,形成了一套可感知、可诊断、可追溯的立体化监测闭环技术路线(图 2),体现“互馈式协同”属性与闭环治理逻辑,为严守耕地红线、优化管护策略提供了坚实的技术支撑与决策依据。

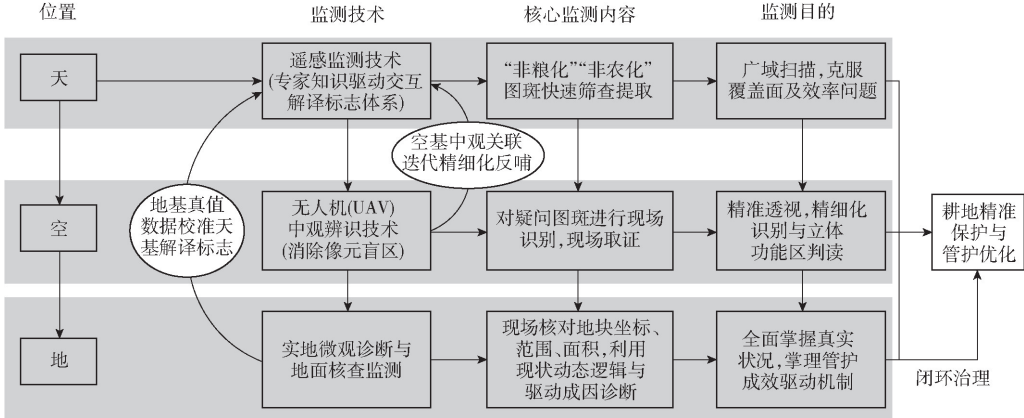


图2 天空地一体化监测技术路线

Fig. 2 Roadmap of space - air - ground integrated monitoring technology

需要指出的是,构建的“天-空-地”一体化监测体系在技术路径选择上进行了针对性创新,而非传

统调查手段的机械叠加。针对当前自然资源监管中盲目追求全自动化

AI 分类而忽视特定环境适配性的倾向,本研究天基筛查推行“专家知识驱动的交互解译标志体系”。南方丘陵山区补充耕地地貌异质性极强、物候交织复杂,通用深度学习模型在应对该区域剧烈的地形阴影、地块极度破碎引发的“混合像元”以及“同物异谱”和“异物同谱”难题时,极易发生严重的漏报与误报。引入专家交互解译,能够最大化发挥专家在空间感知、复杂纹理辨识及地学常识推理上不可替代优势,从而为全域大范围初筛提供高信度的数据底本。

本体系中空基无人机超越了传统监测中单一的“结果校正”或“精度复核”功能,而被赋予了连接宏观天基图斑与微观地基机理的“多尺度关联桥梁”角色。无人机凭借亚米级(优于 5 cm)高分辨率光学与多光谱影像,能够有效穿透卫星遥感的“像元盲区”,精准识别林下套种、树冠遮挡下隐蔽性不透水地表硬化等隐性“非农化”行为,实现从天基“二维平面扫描”向空基“三维立体透视”的效能跃升。天-空-地三层级技术构成了逻辑严密的立体化诊断闭环。

2 天空地一体化监测体系应用

2.1 天——补充耕地利用特征的全域图谱识别

基于 2024 年“天地图·浙江”平台提供的亚米级高分辨率光学遥感影像,以种植结构、地表覆盖与田间管理状态为核心研判指标,对全省入库的 29 064 个补充耕地图斑(总面积 19 366.67 hm²)开展全覆盖、系统化的人工交互解译。旨在宏观尺度上快速筛查利用现状,精准锁定存在“非粮化”“非农化”及抛荒风险的疑似图斑。

(1)总体利用状况评价:宏观普查结果显示,浙江省补充耕地总体管护成效显著,合规利用率处于高位。全省共有 28 757 个图斑(面积 19 179.66 hm²)维持粮食作物种植且处于良性管护状态,占图斑总数的 98.9%。此类图斑在遥感影像上呈典型的“良性粮作”图谱特征:植被光谱信号强且连片规则,或处于翻耕、灌水期的典型裸土/水体特征(深褐/深蓝),田埂与沟渠纹理清晰可辨,符合水稻、玉米等作物的生长季相与农田管理规范(图 3)。

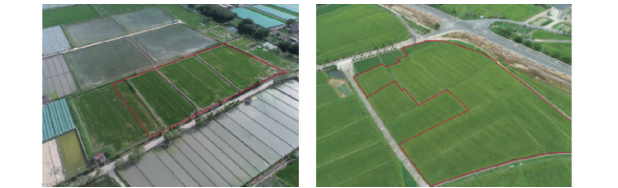


图 3 粮食作物遥感影像判读

Fig. 3 Interpretation of remote sensing images of grain crops

(2)异常图斑特征诊断:筛查发现利用异常图斑共 307 个,面积 187.01 hm²,虽仅占总面积的 1.1%,但风险类型结构分化明显,具体呈“一主两翼”的风险特征:

主导型风险——“非粮化”:共 275 个,面积 175.40 hm²,占异常总量的 93.8%,是当前管护面临的首要压力。影像特征表现为 2 类:①设施农业占用(175 个),呈现规则矩形的高反射特征(灰白/银灰),缺乏植被光谱,且伴有规整阴影,研判为果蔬大棚或菌棚。②经济林果种植,影像可见高密度的点状或簇状冠层纹理,原有耕作层边界模糊。

底线型风险——“非农化”:虽仅识别出 3 个图斑(0.28 hm²,占比 0.1%),但性质最为严重。影像表现为显著的高反射率(亮白),纹理平滑且边缘刚性,具有典型的混凝土、沥青等不透水地表特征,研判为非农建设占用。

边际型风险——耕地抛荒:共 29 个,面积 11.33 hm²,占比 6.1%。影像特征表现为纹理无序与色调斑驳。其中,轻度抛荒表现为杂草与残茬混杂,缺乏灌溉痕迹;重度抛荒则可见土壤板结或高密度灌草入侵,主要集聚于浙西南山区及劳动力外流严重的边缘区域(图 4)。

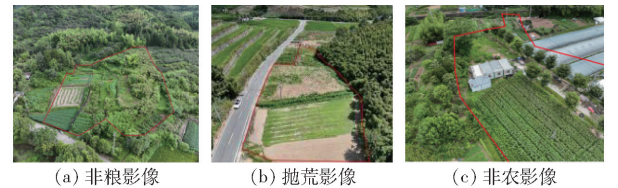


图 4 典型异常图斑遥感初步判读

Fig. 4 Preliminary interpretation of typical abnormal patches

综上,天基普查揭示了浙江省补充耕地以“非粮化”为主导的风险结构,且各类异常具有明显的图谱可识别性。遥感手段高效地圈定了问题图斑的“空间靶区”,为后续工作提供了明确指引。然而,受限于卫星影像的空间分辨率及山区复杂地形产生的阴影遮挡,部分破碎地块(如林下套种、隐蔽性设施)的判读仍存在不确定性,亟需引入更高精度的空基与地基手段进行“去伪存真”的深化验证。

2.2 空——基于无人机低空遥感的精细化核查

为验证卫星遥感初判结果的准确性,并对疑似问题图斑进行属性甄别,采用分层随机抽样策略,从遥感判读的 307 个异常图斑中抽取 80 个典型样本,开展无人机高分辨率航拍与精细化解译。

(1)分层抽样与数据获取:抽样方案基于地形地貌特征与区域经济发展水平双维框架,以确保样本在空间分布与要素禀赋上的代表性。首先在地形地貌维度上,结合“七山一水二分田”特征,涵盖平

原、丘陵、山地 3 类自然基底单元。其次在区域经济维度上,依据浙江省区域发展特征划分为 3 类:以嘉兴、湖州为代表的浙北发达平原区(面临高强度的城市扩张与经济诱导压力),以金华、义乌为代表的浙中盆地城乡过渡带(土地利用类型多样、竞争激烈),以及以温州、丽水为代表的浙西南生态涵养区(经济相对薄弱但生态地位突出)。航拍作业采用大疆行业级无人机平台,飞行高度设定 100 ~ 120 m,以获取地面分辨率(GSD)优于 5 cm 的可见光正射影像。作业严格选择在光照充足、无云(云量小于 10%)且风力小于 3 级的气象窗口期进行,确保影像纹理清晰。所有样本均通过 POS 系统记录高精度地理坐标,实现全覆盖拍摄(图 5)。

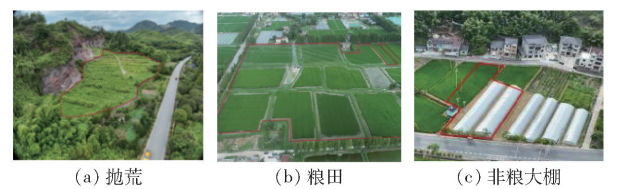


图 5 无人机航拍影像

Fig. 5 Drone aerial photography situations

(2)精度验证与误差纠正:基于高分辨率无人机影像的人工目视解译表明,卫星遥感初判总体精度约为 90%。大部分显性非粮化(如设施大棚、硬化地表)被准确识别,误判主要集中在丘陵山区,主要原因为中分辨率影像下高覆盖度杂草的季节性休耕地易与林园地产生光谱混淆。同时,无人机数据有效纠正了模糊判读,例如将嘉兴海盐某处误判为坑塘的图斑,修正为典型的“稻虾共作”模式(识别出环形沟渠特征),确认为正常耕地利用。

(3)隐性问题识别与微观特征提取:无人机低空遥感凭借亚米级分辨率与多角度观测优势,显著提升了对隐性非粮化问题的识别能力。例如,在金华义乌样本中,透过苗木冠层缝隙成功识别堆放的建材与临时工棚,揭示了披着“农业外衣”的隐性非农化行为;在杭州临安等地,通过纹理与阴影特征,查明温室大棚内实际种植作物为苗木而非粮食作物。此外,无人机影像能够精准刻画地块微观属性,如温州文成梯田的“茶灌混杂”、地块破碎度高及通达性差等特征,客观反映了耕地恢复的现实约束;在舟山定海,成功区分了水稻-茭白间作系统与普通蔬菜大棚。这些微观空间信息的提取,为后续针对沟渠状况、种植结构及复耕潜力的实地核查提供了精准靶向。

2.3 地——基于实地样点勘测的微观归因诊断

在构建“天-空”一体化多级监测体系精准锁定异常图斑的基础上,进一步开展实地核查与诊断分

析,旨在揭示补充耕地“非粮化”与“非农化”现象背后的微观驱动机制。依托无人机详查数据,选取 40 个涵盖不同地貌类型与利用压力的典型图斑(表 2),综合运用高精度 GPS 定位、土壤剖面查勘及工程设施量测等手段,对工程质量、配套设施及后期管护状况进行系统诊断。

表 2 浙江省非农建设补充耕地后期管护实地核查典型地区特征

Tab.2 Characteristics of typical areas in Zhejiang Province for field verification of supplementary cultivated land in later stage of non-agricultural construction

区域类型	典型代表地区	选择原因与地区代表性
浙北平原与浙中盆地(高经济密度区)	海盐县、义乌市、东阳市、嘉兴市辖区	代表经济发达、非农就业机会多、耕地“机会成本”极高地区。是“主动非粮化”和“隐性非农化”风险最高的区域
浙东沿海与浙西南山区(自然条件制约区)	临海市、文成县、永嘉县、淳安县、松阳县	代表浙江省典型的丘陵山区地形,补充耕地零散破碎、抗灾能力弱。是“被动抛荒”和基础设施“最后一公里”问题的集中体现区
沿海岛屿区(资源硬约束区)	普陀区、定海区	代表淡水资源极度匮乏、土壤条件特殊(盐碱化)的沿海岛屿地区,管护面临独特的自然瓶颈
生态敏感与特色农业探索区	安吉县、龙游县、婺城区	代表“两山”理念实践区(安吉)和尝试农旅融合、规模化经营(婺城农发集团)的创新模式探索地,用以分析高质量管护的挑战与前景
快速城镇化周边区(侵占高风险区)	镇海区、宁海县	代表位于大城市周边、城镇化扩张前沿的区域,耕地面临被建设侵占的最大潜在风险

(1)地形约束与耕地破碎化导致的“被动弃耕”实地勘测表明,自然资源禀赋的先天不足是制约耕地可持续利用的首要因素。在浙西南山区(如文成县、淳安县、松阳县),补充耕地多源于坡改梯或零散园地整理。此类地块呈显著的“细碎化”特征,平均地块面积不足 0.03 hm²,且多位于地形复杂的山坳沟谷。这种空间格局导致大型农业机械无法进场作业,人工耕作成本随劳动力价格攀升而剧增,耕种比较效益低下。农户在理性决策下往往选择粗放经营、改种低维护经济作物(如茶、油茶)甚至抛荒,形成典型的地形约束型“被动非粮化”(图 6)。

(2)田间基础设施“最后一公里”的管护缺失。工程设施后期管护滞后是导致耕地利用功能退化的关键短板。尽管项目验收时设施配套率达标,但因缺乏长效管护机制,实际效能大打折扣:①田间道路



图6 浙江省金华市补充耕地实地核查

Fig. 6 On-site verification of supplementary farmland in Jinhua City, Zhejiang Province

通达性受阻:在金华婺城、台州临海等地,部分机耕路未实现硬化,路面宽度不足2 m且多为土质,雨季通行能力丧失;部分硬化道路因基础沉降或缺乏维护而断裂,导致农机“下田难”。②灌排设施功能失效:这一问题在各样点均较为普遍。嘉兴海盐等地的土渠淤积严重,输水效率低下;金华东阳部分机电井设备损毁闲置;舟山普陀等海岛区受制于淡水资源匮乏及蓄引水设施老化,灌溉水源保障能力严重不足,直接制约了水田作物的种植稳定性。

(3)土壤宜耕性差与地力贫瘠的根本限制。土壤理化性质劣势是限制产能提升的基础性障碍。调查发现,新增耕地普遍存在耕作层浅薄、砾石含量高(尤其是山地整治项目)及有机质匮乏等问题,导致作物单产显著低于周边熟化耕地,严重影响了经营主体的种粮积极性。此外,浙东沿海部分垦造耕地存在次生盐碱化风险,若缺乏持续的淡水压盐与土壤改良投入,难以维持正常的粮食生产能力。

综上所述,补充耕地利用异常实为自然禀赋限制、工程管护缺位与土壤地力约束三重因素耦合作用的结果。

2.4 天空地一体化监测体系协同机制与效能分析

构建的“天空地”一体化监测体系,并非卫星、无人机与地面调查技术的线性叠加,而是一个融合宏观感知与微观诊断、表象识别与机理揭示的系统性工程。该体系构建了“广域发现—精准核查—成因诊断”的全流程闭环,推动耕地监管从传统人工被动巡查向数据驱动的主动预警与精准治理范式转变。

(1)天基遥感:广域筛查与靶向指引。天基卫星遥感凭借高时空覆盖优势,承担“战略侦察”职能。通过对全域影像的快速解译,从29 064个图斑中精准锁定占比约1.1%的疑似异常图斑。该环节有效克服了传统人工巡查盲区多、效率低的问题,实现了监测视角从“点”到“面”的拓展,确立了以疑似图斑清单为核心的靶向指引,为后续梯次监测奠定了数据基础。

(2)空基详查:精细辨识与属性初判。空基无

人机遥感作为战术响应单元,承担“战术详查”任务。针对天基锁定的疑似目标,无人机利用厘米级高分辨率影像和低空机动优势,有效解决了卫星影像中的混合像元与地物混淆难题。该环节实现了对地块内部利用状况的语义分割,不仅将笼统的“非粮化”细分为设施农业、苗木种植或季节性休耕,更能通过纹理特征发现植被遮蔽下隐性非农化行为,完成了从空间定位到属性分类的精度跃升。

(3)地基验证:真值核验与机理归因。地基实地核查作为监测体系的“最终裁决”层,承担机理诊断职能。该环节不仅是对遥感监测结论的地面真实性检验,更致力于揭示异常现象的驱动机制。通过对工程设施(路、沟、渠)完好度、土壤宜耕性及经营主体意愿的综合勘测,地基核查将技术层面的“图斑异常”关联至社会经济层面的“管护缺失”或“效益驱动”,实现了从“知其然”到“知其所以然”的认知深化。

(4)一体化协同效应。该体系通过技术流、数据流与认知流的深度融合,实现了显著的协同增值:在技术流程上,形成“天基扫描清单—空基按图索骥—地基定点诊断”的业务闭环;在数据融合上,实现多源异构数据的时空对齐与交叉验证;在认知迭代上,通过宏观发现与微观验证的循环反馈,不断逼近耕地利用的真实状态。这种层级递进、功能互补的协同机制,为制定差异化的耕地保护与管护决策提供了科学、系统的支撑。

3 讨论

本研究不仅是对浙江省补充耕地利用现状的高精度实证,更是对国土空间治理数字化转型的有益探索。

(1)技术范式创新:通过“广域发现—精准透视—成因诊断”闭环设计,实现了“天—空—地”三维空间尺度的深度重构。利用专家知识驱动克服自动化算法在复杂地形下异质性盲区;空基无人机凭借低空多角度视角穿透天基卫星的混合像元屏障,不仅纠正了卫星解译在多物候交织下模糊认知,更实时提取了地块内部细微的拓扑关系与隐蔽设施;地基实地核查则深入工程缺陷与社会经济根源。三者实现了监测效能的非线性跃升,有效攻克了南方丘陵山区隐蔽性非农化和微观管护破损无法早期感知的技术瓶颈,为数字化技术赋能自然资源精准治理提供了全新的范式参考。

(2)治理逻辑深化:从“表象监测”迈向“根源治理”。传统监测往往止步于图斑变化的现象描述,本研究强调“诊断式监测”,将技术发现与工程质

量、基础设施、土壤地力及经济效益等管护要素深度关联。通过实地核查,不仅判别了图斑真伪,更诊断了导致异常的深层病灶(如水源限制、地力贫瘠等),从而将监测成果转化为具有明确指向性的治理依据,支撑了“源头治理”的政策需求。

(3)研究局限与展望。尽管本研究构建了较为完善的监测体系,但仍存在局限:①时间维度上侧重静态截面分析,缺乏对耕地利用演变轨迹的长时序追踪。②社会经济驱动力分析多基于定性归纳,缺乏基于农户行为数据的量化模型支撑。③智能化水平有待提升,目前仍较多依赖人工交互判读。未来研究应重点关注多时相动态监测、基于深度学习的自动识别算法开发,以及耦合自然-社会经济因素的耕地利用演变机理模型构建。

(4)政策启示。基于上述发现,建议耕地保护策略应从“末端监管”向“全周期治理”延伸。在立项选址阶段,应强化宜耕性评价,规避生态脆弱与区位优势区域;在工程建设阶段,需严把基础设施质量关,确保“良田”具备“良能”;在后期管护阶段,应建立“监测-评价-激励”挂钩机制,通过精准补贴与新型经营主体培育,破解种粮效益低下的内生难题,切实夯实粮食安全根基。

4 结论

(1)构建了“全链条、多尺度”的补充耕地监管技术体系。提出的“天-空-地”一体化监测模式,有

效整合了卫星遥感的广域筛查能力、无人机低空遥感的精细辨识能力以及地面核查的机理诊断能力。实践表明,该体系成功实现了从“宏观发现”到“微观归因”的闭环证据链,显著提升了在复杂地形地貌下监测精度与效率,为耕地保护从单一的“问题发现”向系统性的“成因诊断”转型提供了可复制的方法论支撑。

(2)揭示了浙江省补充耕地利用的总体成效与结构性风险。监测数据显示,全省 98.9% 补充耕地图斑处于正常耕种状态,表明耕地占补平衡政策总体落实良好。但在 1.1% 异常图斑中,“非粮化”是首要问题,占比高达 93.8%,主要表现为种植经济林果及设施农业,反映了市场机制下种粮比较效益偏低的客观现实;抛荒现象占比 6.1%,主要集中于地形破碎的山区;“非农化”问题占比极低(0.1%),但因其不可逆性仍需重点监管。

(3)阐明了导致管护困境的“先天缺陷”与“后天短板”双重诱因。深度诊断表明,补充耕地利用异常并非单纯源于后期监管缺位,更多受制于项目选址与工程质量的先天不足。空间上,大量补充耕地来源于零散、偏远的低效园地或林地,呈现“小、散、陡”特征,天然排斥机械化作业;设施上,田间道路通达性差、灌排系统功能退化等“最后一公里”问题突出。这两大因素共同推高了生产成本,削弱了抗灾能力与产出效益,构成了农户弃耕或转型的根本动因。

参 考 文 献

[1] 蒋瑜,濮励杰,朱明,等. 中国耕地占补平衡研究进展与述评[J]. 资源科学, 2019, 41(12): 2342-2355.
Jiang Yu, Pu Lijie, Zhu Ming, et al. Progress and review of the research of farmland requisition-compensation balance in China [J]. Resources Science, 2019, 41(12): 2342-2355. (in Chinese)

[2] 宋小青,欧阳竹. 耕地多功能内涵及其对耕地保护的启示[J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 859-868.
Song Xiaoqing, Ouyang Zhu. Connotation of multifunctional cultivated land and its implications for cultivated land protection [J]. Progress in Geography, 2012, 31(7): 859-868. (in Chinese)

[3] 怀怀志,桑玲玲,郎文聚. 我国耕地占补平衡政策实施困境及科技创新方向[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(5): 637-644.
Tang Huaizhi, Sang Lingling, Yun Wenju. China's cultivated land balance policy implementation dilemma and direction of scientific and technological innovation[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(5): 637-644. (in Chinese)

[4] 李玉平,蔡运龙. 浙江省耕地变化与粮食安全的分析及预测[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(4): 466-470.
Li Yuping, Cai Yunlong. Analysis and prediction of cropland change and grain security in Zhejiang Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(4): 466-470. (in Chinese)

[5] 王杰星,张金,李艳,等. 基于“AI+遥感”的耕地及永久基本农田监测监管体系构建与应用[J]. 自然资源信息化, 2025(1): 91-98.
Wang Jiexing, Zhang Jin, Li Yan, et al. Construction and application of monitoring and supervision system for cultivated land and permanent basic farmland based on “AI+remote sensing”[J]. Natural Resources Informatics, 2025(1): 91-98. (in Chinese)

[6] 梁坤宇,金晓斌,梁鑫源,等. “大占补”视角下中国耕地保护分区分管控思路初探[J]. 地理研究, 2025, 44(7): 1842-1860.
Liang Kunyu, Jin Xiaobin, Liang Xinyuan, et al. A preliminary study on the idea of China's cultivated land protection zoning control from the perspective of the new cultivated land balance policy[J]. Geographical Research, 2025, 44(7): 1842-1860. (in Chinese)

[7] 刘锐,房昀玮. 耕地占补平衡制度:问题探析与完善路径[J]. 行政管理改革, 2024(7): 40-50.
Liu Rui, Fang Yunwei. The system of farmland occupation and supplement balance: the practice and improvement [J]. Administration Reform, 2024(7): 40-50. (in Chinese)

- [8] 全省推行耕地保护“田长制”和“耕地智保”场景应用视频会在杭州召开[J]. 浙江国土资源, 2022(3): 4.
- [9] 谢增武, 吴靖, 姜传勇, 等. 无人机在坡耕地现场复核中的应用[J]. 广西水利水电, 2019(1): 55–59.
Xie Zengwu, Wu Jing, Jiang Chuanyong, et al. Application of unmanned aerial vehicle in slope cropland on-site review[J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2019(1): 55–59. (in Chinese)
- [10] 冯家莉, 刘凯, 朱远辉, 等. 无人机遥感在红树林资源调查中的应用[J]. 热带地理, 2015, 35(1): 35–42.
Feng Jiali, Liu Kai, Zhu Yuanhui, et al. Application of unmanned aerial vehicles to mangrove resources monitoring[J]. Tropical Geography, 2015, 35(1): 35–42. (in Chinese)
- [11] Li F, Liu W, Lu Z, et al. A multi-criteria evaluation system for arable land resource assessment[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(2): 79.
- [12] Domínguez J A, Kumbálová J, Novák P. Assessment of the relationship between spectral indices from satellite remote sensing and winter oilseed rape yield[J]. Agronomy Research, 2017, 15(1): 55–68.
- [13] Santiago-Freijanes J J, Rodríguez-Rigueiro F J, Ferreira-Domínguez N, et al. Common agricultural policy support to silvopasture in the European Atlantic region[J]. Frontiers in Forests and Global Change, 2025, 8: 1556380.
- [14] Meier J, Mauser W, Hank T, et al. Assessments on the impact of high-resolution-sensor pixel sizes for common agricultural policy and smart farming services in European regions[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 169: 105205.
- [15] Du M, Noguchi N. Multi-temporal monitoring of wheat growth through correlation analysis of satellite images, unmanned aerial vehicle images with ground variable[J]. IFAC – PapersOnLine, 2016, 49(16): 5–9.
- [16] 陈琦, 王坤, 陶懿. 基于高光谱遥感影像的地物目标识别算法在农田“非粮化”问题中的应用[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(12): 151–153.
- [17] 季富华, 刘佳, 王利民. 农作物类型遥感识别算法及国产高分卫星应用示例[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(7): 254–268.
Ji Fuhua, Liu Jia, Wang Limin. Summary of remote sensing algorithm in crop type identification and its application based on Gaofen satellites[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(7): 254–268. (in Chinese)
- [18] 张正栋. 区域农业可持续发展评价指标体系及综合评价模型研究[J]. 海南师范学院学报(自然科学版), 2002, 15(增刊1): 63–68.
Zhang Zhengdong. Synthetic evaluation models and the evaluation index system for the sustainable development of regional agriculture[J]. Journal of Hainan Normal College (Natural Science), 2002, 15(S1): 63–68. (in Chinese)
- [19] 王松林, 郝晋珉. 区域农业-农村可持续发展评价体系的建立与应用[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(5): 49–55.
Wang Songlin, Hao Jinmin. The general evaluation system of SARD on Quzhou County[J]. Journal of China Agricultural University, 2001, 6(5): 49–55. (in Chinese)
- [20] 曹建明, 周文奇. 宁波市“耕地智保”应用场景设计与实现[J]. 自然资源信息化, 2022(5): 132–137.
Cao Jianming, Zhou Wenqi. Design and implementation of “cultivated land intelligent protection” application scenario in Ningbo City[J]. Natural Resources Informatics, 2022(5): 132–137. (in Chinese)
- [21] 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(增刊1): 7–12.
Li Deren. Change detection from remote sensing images[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(S1): 7–12. (in Chinese)
- [22] 陈仲新, 任建强, 唐华俊, 等. 农业遥感研究应用进展与展望[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 748–767.
Chen Zhongxin, Ren Jianqiang, Tang Huajun, et al. Progress and perspectives on agricultural remote sensing research and applications in China[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 748–767. (in Chinese)
- [23] Zhao Z, Wang J, Wang L, et al. Monitoring and analysis of abandoned cropland in the Karst Plateau of Eastern Yunnan, China based on Landsat time series images[J]. Ecological Indicators, 2023, 146(2): 109828.
- [24] 郝亮, 汪晓帆, 张丛林, 等. 中国耕地生态管护制度碎片化困境与整体性治理研究[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(8): 26–35.
Hao Liang, Wang Xiaofan, Zhang Conglin, et al. Fragmentation dilemma and holistic governance of cultivated land ecological management and protection institutions in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(8): 26–35. (in Chinese)
- [25] 连正华, 陈一定, 孔海民, 等. 长期定位监测下浙江省耕地质量主要性状现状及其变化趋势分析[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(8): 2002–2007.
Lian Zhenghua, Chen Yiding, Kong Haimin, et al. Analysis of the current status and variation trend of the cultivated land quality in Zhejiang Province under long-term location monitoring[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2025, 66(8): 2002–2007. (in Chinese)
- [26] 贾霞, 龚旭峥, 王昱雯. 浙江省国有耕地资源清查价格评估现状、问题与对策建议[J]. 浙江国土资源, 2024(3): 32–34.
- [27] 郭一珂, 姚敏, 周俊杰, 等. 基于空间大数据的补充耕地合规性自动判别技术研究[J]. 农业机械学报, 2024, 55(6): 159–167.
Guo Yike, Yao Min, Zhou Junjie, et al. Research on automatic identification technology for compliance of supplementary cultivated land based on spatial big data[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(6): 159–167. (in Chinese)