

传感器技术如何赋能农业机械？

九三学社中央科技委副主任、中国传感器与物联网产业联盟常务副理事长 郭源生

农业机械作为智慧农业的“执行端”核心载体，是打通“感知-决策-执行”闭环的关键环节。不同于工业生产的标准化场景，农业作业面临耕、种、管、收四大环节，形态差异显著、作物种类繁多（粮食、果蔬、根茎、经济作物等），种植规模分散（千亩级规模化基地与十亩级小农户并存），特色化需求突出的复杂现实。传统农机作业依赖人工经验，存在“作业盲目、精度不足、适配性差”等痛点，造成资源浪费与环境污染。收获时机依赖经验导致作物品质波动等。

智能感知技术的出现，为破解上述难题提供了核心支撑。通过在农机上集成各类传感器，实现对土壤环境、作物状态、作业参数、设备安全等数据的实时精准感知，构建“作物-环境-农机-传感器”四维精准匹配体系，对推动农业生产从“经验驱动”向“数据驱动”及智能化转型具有现实意义。

农业机械发展现状与传感器配套格局

农业机械类型与功能根据作业场景、种植规模与作物特性，形成多维度覆盖体系。

从作业环节来看，涵盖农业生产全流程，包括耕作机械（犁地机、旋耕机、开沟机、深松机等），核心功能是改善土壤结构、为播种奠基）、播种栽种机械（精量播种机、穴播机、移栽机、

育苗机等，核心功能是保障种子/幼苗精准定植）、田间管理机械（变量施肥机、植保无人机、灌溉机、中耕机等，核心功能是满足作物生长过程中的水肥、病虫害防控需求），以及收获机械（联合收割机、果蔬采摘机、脱粒机、分选机等，核心功能是高效无损采收并提升产品品质）。

从规模适配来看，适配不同种植场景需求，大型规模化农机以高效率、全自动化为核心特征，如大型联合收割机、自走式变量施肥机；中型专项农机兼顾效率与灵活性，如大棚水肥一体机、小型植保机，适配设施农业与中型种植基地；小型便携农机以低成本、易操作为核心，如手动精

准播种器、便携式采摘器，满足小农户分散种植需求。

从作物适配性来看，针对不同作物生物学特性定制，粮食作物专用农机（水稻、小麦、玉米适配机型）侧重规模化、高效率，如水稻高速插秧机、玉米联合收割机；果蔬作物专用农机（番茄、柑橘、草莓适配机型）侧重无损作业与精准控制，如草莓移栽机、柑橘采摘机；根茎/经济作物专用农机（山药、棉花、中药材适配机型）侧重定向作业与深度适配，如山药专用开沟机、棉花采摘机。

农机数字化与传感器适配需求

耕作环节的传感器适配需求

耕作环节的核心目标是实现耕作深度精准、土壤细碎度达标、地块平整度均匀，不同作物的生物学特性决定了关键作业参数的差异，进而影响传感器的适配需求。

从具体来看，粮食作物规模化种植需求突出，耕作环节须兼顾效率与均匀性，数字化需求聚焦“规模化耕作深度均匀控制、土壤紧实度动态调整”，避免因耕作深度不一致导致出苗不齐、长势不均。核心传感器配置包括土壤紧实度传感器、耕作深度传感器、地形坡度传感器。适配农机以大型联合整地机、旋耕机为主，支持千亩级规模化作业。

果蔬作物根系较浅，耕作环节须避免伤根，数字化需求聚焦“浅耕避免伤根、土壤墒情联动耕作强度”。核心传感器配置包括：浅耕深度传感器、土壤墒情传感器、土壤细碎度传感器。适配农机以大棚旋耕机、果园开沟机为主，兼顾灵活性及精准性。

根茎作物须定向开沟，经济作物须深耕改善土壤透气性，数字化需求聚焦“定向开沟深度精准、土壤肥力适配耕作方式”。核心传感器配置包括：定向深度传感器、土壤肥力传感器、土壤盐分传感器。适配农机以专用开沟机、深耕机为

主，强调定向作业与深度控制。

播种/栽种环节的传感器适配需求

播种/栽种环节的核心目标是实现播种深度/栽种深度精准、播种量/株距均匀、幼苗成活率高，不同作物的种子大小、幼苗形态差异显著，对传感器适配提出个性化需求。

从具体来看，粮食作物播种量需求精准，株距均匀性影响产量，数据聚焦“精量播种、株距均匀、播种量动态调整”。核心传感器配置包括：种子计数传感器、株距传感器、GPS定位传感器、土壤墒情传感器。适配农机以大型精量播种机为主，支持规模化、高效率作业。

果蔬幼苗移栽须避免根系损伤，栽种深度与行距影响后期长势，数据聚焦“栽种深度适配苗高、行距保障通风”。核心传感器配置包括：苗高传感器、栽种深度传感器、行距传感器、幼苗成活率监测传感器。适配农机以中型大棚移栽机为主，兼顾灵活性与精细化操作。

稀有/特色作物种子价格高、幼苗娇嫩，数字化需求聚焦“精准控制播种量、避免幼苗损伤”。传感器配置包括：简易深度传感器、载苗量传感器、播种压力传感器、温度传感器。适配农机以小型手动

栽种器、便携式播种机为主，操作灵活，适配小面积种植。

田间管理环节的传感器适配需求

其核心目标是实现施肥/施药精准靶向、水肥比例适配作物需求、病虫害早防早治，不同作物的营养需求、病虫害类型差异显著，适配需针对性优化。

从具体来看，粮食规模化种植须兼顾效率与资源节约，对数字化需求聚焦“变量施肥、规模化植保、灌溉按需供给”。传感器配置包括：多光谱长势传感器、土壤肥力传感器、施肥量传感器、农药流量传感器、土壤墒情传感器。适配农机以大型变量施肥机、植保无人机集群为主，支持千亩级规模化作业。

果蔬作物须精准控制水肥比例与病虫害防控，数字化需求聚焦“水肥比例精准、叶片湿度预警病害、定向施肥”。传感器配置包括：叶片湿度传感器、定向流量传感器、病虫害孢子捕捉器。适配农机以大棚水肥一体机、小型定向植保机为主，适配设施农业精细化管理。

根茎作物须重点保障根系发育，营养需求以磷钾肥为主，数字化需求聚焦“磷钾肥料精准供给、土壤湿度避免烂根”。核心传感器配置包括：土壤肥力传感器、土壤墒

情传感器、灌溉流量传感器、土壤紧实度传感器。适配农机以便携式精准施肥器、小型灌溉机为主，兼顾定向作业与资源节约。

收获环节的传感器适配需求

目标是实现收割/采摘无损、脱粒完整、产量精准计量、成熟度适配，不同作物的收获方式、品质要求差异显著，传感器适配需突出个性化。

从具体来看，粮食作物收获须兼顾效率与脱粒质量，数字化需求聚焦“成熟度识别、脱粒强度调控、损失率监测”。核心传感器配置包括：作物成熟度传感器、脱粒滚筒转速传感器、籽粒损失传感器、产量计数传感器、湿度传感器。适配农机以大型联合收割机为主，支持规模化、高效率收获。

果蔬作物收获须保障无损与品质，数字化需求聚焦“无损成熟度检测、采摘力度控制、损伤率降低”。传感器配置包括：果实糖度传感器、采摘力度传感器、损伤率监测传感器。适配农机以中型果蔬采摘机、便携式采摘器为主，兼顾效率与无损需求。

经济作物收获须保障纯度与品质，数字化需求聚焦“采收纯度控制、含水率监测、产量计数”。传感器配置包括：含水率传感器、产量计数传感器、杂质识别传感器、茶叶嫩度传感器、采摘深度传感器。适配农机以专用采收机、小型脱粒/分选机为主，突出品质控制与分选功能。

摘深度，避免损伤树枝。

柑橘施肥精准度误差≤8%，肥料浪费减少30%；采摘损伤率降至3%，果实完好率显著提升；亩产量提升至12%，一级果率提升至88%；投资回报周期≤1.5年，操作简易，无须专业技术培训即可上手。

跨作物适配：多品种种植基地传感器灵活应用场景

某多作物混合种植基地，种植面积300亩，涵盖玉米、番茄、山药，核心需求是传感器与农机灵活适配，避免重复投入，满足不同作物的个性化作业需求。

其核心方案采用模块化传感器与通用型农机组合，数据平台支持作物参数自定义设置。使用的通用传感器包括北斗定位传感器、土壤墒情传感器、流量传感器，可切换适配不同农机；专用传感器包括玉米专用的株距传感器、番茄专用的EC/pH传感器、山药专用的定向深度传感器，通过模块化接口与通用农机连接；数据平台支持玉米、番茄、山药的作业参数自定义，传感器数据自动匹配对应作物参数，生成作业方案。

传感器复用率提升60%，通用传感器可适配3种作物的耕作、管理环节，避免重复采购，设备投入成本降低40%；跨作物作业切换效率提升50%，无须更换农机，仅需更换专用模块与调整平台参数，即可实现从玉米播种到番茄移栽的快速切换；适配多品种个性化需求，为混合种植基地提供高效、低成本的人工智能感知解决方案。

农机传感器的技术突破与产业展望

未来，农机传感器技术须从四个方面进一步突破：

一是在作物专属传感器研发方面，针对特色作物（中药材、热带水果、茶叶等）、小众作物的生物学特性，开发定制化感知模块，填补品类缺口。例如，研发中药材专用的种子发芽率监测传感器、热带水果（如芒果）专用的成熟度与硬度双参数传感器、茶叶专用的嫩度与含水率一体化传感器，满足特色农业种植需求。同时，针对作物不同生育期的需求差异，开发动态适配传感器，如水稻育苗期的温湿度专项传感器、灌浆期的籽粒饱满度监测传感器。

二是多传感融合与智能化升级。在硬件集成方面，开发“环境+作业+安全”多参数一体化传感器，如“土壤墒情+肥力+pH值+温度”四合一土壤传感器、“作物长势+成熟度+病虫害”三合一光学传感器，体积缩小50%，成本降低30%，减少农机传感器部署数量，提升数据融合效率；在算法赋能方面，传感器内置AI边缘计算芯片，实现作物识别、作业决策本地响应（延迟≤1秒），如病虫害传感器内置深度学习算法，可直接输出害虫种类、数量及防治建议，无须云端计算；在自动驾驶传感器方面，内置路径规划与障碍物识别算法，提升复杂地形下的作业稳定性；在跨场景适配方面，开发自适应传感器，可根据作物种类、农机类型自动调整精度与采集频率，如传感器检测到作业场景从玉米大田切换到番茄大棚时，自动将耕作深度测量精度从±0.2cm调整至±0.3cm，采集频率从1次/秒调整至1次/5秒，适配不同场景需求。

三是核心参数精度提升。突破高光谱、微型力传感器、MEMS芯片等关键技术，精度对标国际先进水平。例如，高光谱传感器光谱分辨率从10nm提升至5nm，接近国际同类产品（4nm）；微型力传感器精度从±0.1kg提升至±0.01kg，满足果蔬无损采摘需求；MEMS芯片测量精度从±0.1cm提升至±0.05cm，保障作业参数的精准控制。同时，提升传感器的环境适应性，开发耐高温（≥85℃）、耐高温湿（≥95%RH）、抗腐蚀的传感器，适配南方多雨、北方沙尘、盐碱地等复杂农业环境。

四是数据协同技术方面，建立统一的传感器数据接口标准（如制定农机传感器通信协议、数据格式标准），实现不同品牌农机、不同类型传感器的数据互通共享，破解“数据孤岛”难题。开发传感器数据加密与安全传输技术，采用区块链技术实现作业数据溯源，保障数据真实性与安全性。构建“传感器-农机-云端-农户”的数据协同平台，支持传感器数据实时同步、远程监控与智能决策，实现全链路数据闭环。

展望产业发展未来，在市场规模方面，本土化将加速推进。小型农机低成本传感器市场规模年增速超20%，适配小农户需求，轻量化传感器成为增长热点。同时，传感器与农机的集成化趋势明显，“农机+传感器”打包方案市场占比将从当前的40%提升

至70%，形成“感知-执行”一体化解决方案。

在推广路径方面，政策层面加大核心技术研发补贴，支持企业建设中试平台，降低研发风险；建立“物种-农机-传感器”适配标准体系，规范市场秩序；对规模化种植基地采购国产传感器给予10%-20%的采购补贴，对小农户购买小型农机传感器给予50%以上的补贴，推动技术普及。

企业层面推出“传感器+农机+平台”打包方案，针对不同种植规模提供个性化服务（规模化基地提供全流程自动化方案，小农户提供低成本轻量化方案）；针对小农户推出“共享传感器+按次付费”模式，降低初始投入门槛；加强产学研合作，与农业科研院所联合开发作物专属传感器，提升场景适配性。

技术层面简化操作界面，开发“傻瓜式”适配方案（如一键切换作物参数、语音控制），降低小农户使用门槛；优化传感器供电方式，推广太阳能、振动能等自供电技术，解决偏远地区供电难题；开发传感器自诊断与自校准功能，降低维护成本。

此外，应用场景将从传统大田/设施农业，向智慧牧场（如牧草收割传感器、饲料配比传感器）、设施渔业（如水质监测传感器、投喂量传感器）、中药材种植（如根茎生长传感器、有效成分监测传感器）、都市农业（如阳台种植小型传感器）等特色场景拓展，形成全农业领域覆盖。同时，传感器与无人机、无人车、机器人等新型农机的融合将更加深入，如农业机器人搭载多传感器实现自主播种、施肥、采摘全流程作业。

最终构建“作物-农机-传感器-云端”全链路智能体系，实现农机自主决策、自主作业，无须人工干预。例如，智能农机可根据传感器采集的土壤数据、作物数据、气象数据，自动制定耕作、播种、管理、收获全流程方案，动态调整作业参数，实现“无人化”农业生产。最终，通过农机传感器技术的持续突破与产业普及，支撑农业现代化高质量发展，保障国家粮食安全，推动乡村振兴战略落地。

农机智能感知技术是智慧农业落地的“最后一公里”，其核心价值在于打破传统农机“经验驱动”的作业模式，是实现“全场景适配、全环节精准、全作物覆盖”的数字化转型的关键技术。当前，国内农机传感器已具备“场景适配性强、成本优势显著、国产化加速”的发展基础，在规模化粮食种植、设施果蔬种植、小农户特色种植等场景中得到广泛应用，取得了显著的经济效益与社会效益。

随着传感器与AI、物联网、北斗定位、区块链等技术的深度融合，未来农机传感器将向“作物专属化、多传感融合化、智能自主化、数据协同化”方向演进。在技术创新、产业协同、政策扶持的多重驱动下，农机传感器将进一步突破性能极限与应用边界，改变传统农业作业模式，为保障粮食安全、推动乡村振兴、实现农业数字化转型提供核心支撑，书写农业现代化高质量发展的崭新篇章。

应用场景及典型案例

规模化粮食种植：大型农机传感器全流程应用场景

某东北玉米种植基地，种植面积1200亩，采用规模化、机械化作业模式，核心需求是提升作业效率、降低人工成本、实现化肥减量与产量提升。

其核心方案是农机与传感器组合，在耕作环节，使用大型联合旋耕机，搭载土壤紧实度传感器、耕作深度传感器、地形坡度传感器，并联动北斗自动驾驶系统。在播种环节，使用大型精量播种机，搭载种子计数传感器、株距传感器、GPS定位传感器、土壤墒情传感器。在管理环节，使用大型变量施肥机以及植保无人机集群。在收获环节，使用联合收割机。

技术方案为构建“传感器-农机-云端平台”全流程闭环：耕作前，通过土壤紧实度传感器与墒情传感器数据，生成差异化耕作方案；播种时，GPS定位划定边界，种子计数传感器控制单粒播种，株距传感器保障28cm均匀株距；生长期，多光谱传感器每周监测作物长势，生成变量施肥方案，植保无人机集群根据病虫害监测数据精准施药；收获前，成熟度传感器检测玉米成熟度，达到90%后启动收割，脱粒滚筒转速根据籽粒含水率动态调整。通过精准施肥提升养分利用

率，玉米亩产量从650kg提升至767kg（增幅18%）；人工成本下降90%（传统种植需10人/亩，现仅需1人负责监控设备），日作业面积达350亩，作业效率提升40%。

设施果蔬种植：中型农机传感器专项应用场景

某草莓大棚种植基地，种植面积150亩，采用设施农业模式，核心需求是提升草莓品质、降低病害发生率、实现水肥精准控制与采摘无损。

其核心方案是农机与传感器组合，在耕作环节，使用大棚旋耕机搭载深度传感器、土壤墒情传感器；在栽种环节，使用大棚移栽机，搭载苗高传感器、栽种深度传感器；在管理环节，使用大棚水肥一体机和小型定向植保机；在收获环节，使用中型草莓采摘机，采摘力度传感器、成熟度识别传感器。

技术方案是模块化传感器适配大棚狭小空间，数据联动手机APP实现半自动化管理：耕作时，根据土壤墒情调整旋耕深度；栽种时，苗高传感器识别草莓幼苗高度；生长期时，EC/pH传感器实时监测营养液浓度，叶片湿度传感器监测湿度，预警灰霉病风险；收获时，糖度传感器检测草莓糖度，颜色识别传感器确认成熟后，采摘机定向采摘，避免损伤果实。

草莓栽种成活率较传统人工栽种提升13个百分点，水肥利用率提升55%，病害发生率下降60%，采摘损伤率较传统人工采摘降低10个百分点；产品合格率达85%提升至98%，一级果率提升至85%，亩均收益提升30%。

小农户特色种植：小型农机传感器轻量化应用场景

某柑橘小农户种植园，种植面积8亩，核心需求是降低投入成本、操作简易化、提升柑橘品质与产量，无须专业技术背景。

其核心方案是农机与传感器组合，在耕作环节，使用便携式开沟机，搭载深度传感器、土壤肥力传感器；在栽种环节，使用定向精准栽种器，搭载深度传感器；在管理环节，使用便携式精准施肥器和手动喷雾器；在收获环节，采用便携式柑橘采摘器，搭载成熟度传感器、采摘深度传感器。

技术方案须低成本适配小农户预算，操作简易化设计：耕作时，开沟深度传感器控制施肥沟深度，土壤肥力传感器检测土壤磷钾含量；栽种时，深度传感器显示栽种深度，确保柑橘幼苗根系舒展；生长期，土壤湿度传感器监测土壤湿度，病虫害识别传感器通过手机APP拍摄叶片；收获时，成熟度传感器识别柑橘颜色，确认成熟后，采摘深度传感器控制采