



**编者的话：**习近平总书记在刚刚闭幕的中央农村工作会议上指出：“全面推进乡村振兴，加快农业农村现代化，是需要全党高度重视的一个关系大局的重大问题。”没有农业农村现代化，就没有国家现代化。发展现代农业，出路在科技。党的十九届五中全会明确提出要“建设智慧农业”。放眼世界，智慧农业是大势所趋。立足国情，智慧农业是我国提高农业质量效益和竞争力的必然选择。科学把握智慧农业发展趋势，探索符合中国实际的智慧农业发展之路，是我们在新发展阶段须要深入研究的一个重要课题。本期我们聚焦智慧农业前沿问题，邀请相关领域专家学者建言献策。敬请垂注！

# 系统布局无人农场推进我国现代农业发展

中国农业大学信息与电气工程学院教授 李道亮

**【摘要】**无人农场开启了未来农业新模式，以“三全”无人化为最根本特征，其从远程测控走向自主作业经历了初级、中级、高级三个阶段。未来无人农场将会依靠物联网、大数据与云计算、人工智能、智能装备与机器人等四大共性关键技术助力，同时得益于基础设施系统、智能装备系统、测控系统、农场管控云平台系统等四大系统的协同，将实现无人大田农场、无人果园、无人温室、无人牧场、无人渔场等五种类型。无人农场将引领我国现代农业新技术发展、生产现代化模式及农业发展战略方向，在此过程中需加强对无人农场相关模式的研究，编制无人农场发展规划，探索无人农场发展的商业模式，进一步优化和完善无人农场的政策环境。

**【关键词】**无人农场 现代农业 农业技术革命

**【中图分类号】**F303.3

**【文献标识码】**A

**【DOI】**10.16619/j.cnki.rmltxsqy.2020.24.007

## 无人农场开启未来农业新模式

农业的发展历史是一个不断利用先进技术改进生产工具，提高劳动生产率、资源利用率、土地产出率，提高农产品质量、安全性、营养水平，降低劳动强度、农产品成本、生产风险的过程。在先后经历了石器、青铜器、铁器、机械化、电气化阶段后，新一代信息技术支持下的数字农业、精准农业、

---

李道亮，中国农业大学信息与电气工程学院教授、博导，教育部长江学者特聘教授，国际信息处理联合会农业信息处理分会主席，国家数字渔业创新中心主任，农业农村部农业农村信息化专家咨询委员会副主任委员。研究方向为农业智能信息处理与农业农村信息化。主要著作有《农业物联网导论》、《农业4.0——即将来临的智能农业时代》、《无人农场——未来农业的新模式》（编著）等。

智慧农业正在世界各国如火如荼地展开。随着物联网、大数据、人工智能等新技术的出现，一场新的农业技术革命正在悄然兴起。2017年，英国哈珀亚当斯农业大学（Happer Adams University）研究小组率先创建世界第一个无人大田农场；同年，日本京都Spread公司创建第一个蔬菜无人农场，挪威建立第一个无人渔场；随后，澳大利亚、韩国也陆续开始建设无人农场。

党的十九届五中全会站在“两个一百年”奋斗目标历史交汇点的战略高度提出，基本实现社会主义现代化要优先发展农业农村，全面推进乡村振兴，提高农业质量效益和竞争力，实施乡村建设行动，并首次在党的全会上提出要建设智慧农业。2019年，我国山东、福建、北京等地开始探索无人大田农场、无人水稻农场和无人猪场。2020年，我国第一个无人渔场在广州南沙建成。无人农场开启了未来农业的新篇章。

### “三全”无人化是无人农场的最根本特征

无人农场就是在劳动力不进入农场的情况下，采用物联网、大数据、人工智能、5G、机器人等新一代信息技术，通过对设施、装备、机械等远程控制、全程自动控制或机器人自主控制，完成所有农场生产作业的一种全新生产模式。全天候、全过程、全空间的无人化作业是无人农场的基本特征，装备代替劳动力的所有工作是无人农场的根本属性。

全天候无人化就是从种植或养殖的开始到结束，全天24小时人不进入生产场地，所有业务工作都由机器完成。因此，需要对农业动植物的生长环境和生长状态，以及所有农场装备自身的工作状态进行实时、在线监测，需要农场数据的安全、高效传递，云平台在此基础上下达指令开展农场生产与管理工作。全过程无人化，就是农场从生产、运输到产后等过程的所有环节都不需

要劳动力参与，由机器自主自动完成，特别是在业务对接环节，需要设施与装备之间互联，完成自主对接。全空间的无人化，就是农场的物理空间中不需要劳动力介入，无人运输车、无人作业船、无人机即可完成物理空间的移动作业，并实现固定装备与移动装备的无缝对接。

### 无人农场：从远程测控走向自主作业

无人农场按照技术的先进程度或实现的先后顺序，大致可以分为三个阶段。

无人农场的萌芽阶段——远程控制。该阶段各类机械、装备实现了高度的自动化，通过智能控制系统进行线上的作业管理，实现农场的无人化作业，完成了从人力现场控制农场到远程控制农场的演进，是机器换人的初级阶段。远程控制的无人农场使得人工不再进入农场就可以远程线上操作，并参与决策，因此也称徒手农场（hand-free farm），或有人值守的无人农场。

无人农场的中级阶段——无人值守。无人值守农场比远程控制农场更先进，是无人农场的中级阶段。该阶段农场装备达到了高度的智能化，人工不再需要时时刻刻对农场进行远程操作，农场装备可以自主作业，人在这个阶段的作用是参与计划和进行作业决策，因此也称为无人值守（unattended operation farm）的无人农场。

无人农场的最高形态——自主作业。该阶段是无人农场的终极阶段，人工不再参与农场的任何环节，农场环境、动植物、设施和装备之间可以自主协同与交互，农场的生产与管理任务，都由云管控平台自主计划和自主决策，装备与机器人自主完成所有农场业务，是完全无人的自主作业农场（unmanned farm）。

### 四大共性关键技术助力无人农场未来可期

无人农场作为一个新兴事物，是集新一代信



息技术、装备技术和种养工艺技术于一身的复杂的系统工程。无人农场通过对农业生产资源、农场环境信息、动植物信息、装备状态信息等各要素的在线化、数据化，实现对农场动植物生产过程的智能化决策、无人化作业和精准化管理，其中，四大共性关键技术发挥着关键作用。

**物联网技术。**农场要实现无人化作业，装备首先要有感知环境的能力和判断动植物生长状态的能力，动植物、装备和云平台之间的要实现交互，需要对环境、装备、动植物的全面感知技术和农场系统之间的可靠传输技术，为装备的自主作业提供数据基础。因此，物联网技术使各种装备网联化成为可能。物联网技术提供传感器、射频识别技术为核心的农场信息全面感知技术，用于采集农场各要素信息数据以及装备的状态参数和位置信息；提供以机器视觉和遥感为核心的动植物表型技术和视觉导航技术，代替人的视觉来获取动植物的生长状态和环境的识别，为装备的自主作业和动植物的生长调控提供关键参数；提供控制器局域网络、Wi-Fi等无线传感网络、5G或更高通信协议的移动通信技术，确保无人农场农业信息有效、可靠的互联和共享。

**大数据技术。**无人农场要完成自主作业和无人化管控，关键的基础就是农场的大数据。无人农场通过传感器等获取农场环境数据、装备数据、动植物生长状态数据和遥感数据等，这些海量的数据来源广泛、类型复杂。因此，源源不断的农场数据如何通过大数据获取、处理、存储、分析和应用技术，提取有价值的信息服务于无人农场，从而实现精准化作业，成为最关键的问题。大数据提供农场海量数据的处理技术，采数据清洗、集成、转换、规约等，将有用的信息挖掘出来，并形成规范的数据库，使其能够满足数据存储和分析的要求；提供多类型农场大数据的存储技术，通过新型数据库集群技术和技术扩展、封装技术进行各类数据的有效存储，形成历史数据，以备云平台进行学习调用；提供统

计、神经网络、深度学习等大数据分析与应用技术，从海量数据中挖掘有用信息，并与云计算技术和边缘计算技术结合，形成高效的计算能力，确保农场无人化、精准化作业有效、快速进行。

**人工智能技术。**无人农场的核心是实现装备代替传统人工劳动力，关键是赋予装备判断、思考和决策的能力。人工智能为农场提供信息的智能识别能力，采用直观数据预处理、图像预处理、专业知识和智能筛选对装备获取的信息进行筛选和处理，以提高决策和作业的准确性；提供信息的智能学习与推理技术，采用机器学习和知识图谱等对复杂的数据进行归纳总结并建立学习模型，以此为基础进行解析与判断，为无人农场决策打下基础；为云管控平台提供智能决策技术，复杂的计算与推理都交由云平台解决，让装备拥有智慧的大脑。

**智能装备与机器人技术。**无人农场要实现对人工劳动的完全替换，关键是靠智能装备与机器人完成传统农场人工要完成的工作。智能装备与机器人是人工智能技术与装备技术深度融合的结果，除上文提到的人工智能技术外，智能装备与机器人还需机器视觉、导航定位、装备状态的智能识别及各种场景作业的精准控制技术的支撑。一般情况下，固定装备与移动装备共同完成无人农场各种生产和管理任务，无人作业车、无人作业船、无人机及农业机器人发挥着重要作用。

这四大共性关键技术无人农场中扮演着不同角色，缺一不可。针对不同的应用场景，应采用不同的技术集成方案，展现不同的无人农场形式。随着物联网、大数据、人工智能、智能装备与机器人等新一代信息技术的不断进步和发展，装备将会慢慢代替人工劳动力参与农场的业务，无人农场成为可能。

## 四大系统协同实现农场无人化

虽然不用类型的无人农场应用对象和业务系



统不同，但大致都由四大系统组成。

**基础设施系统。**该系统是实现无人农场的基础条件，主要包括道路设施、仓储设施、供水设施、电力设施和网络设施等，为无人农场提供基础工作条件和环境，是无人农场运行的最基本保障。无人农场场景和对象不同，基础设施系统可能会略有不同，但目的皆是为无人农场的稳定、有效运行提供基础服务和有力支撑，基础前提都是为装备代替人工劳动力提供可实现的条件。

**智能装备系统。**智能装备系统是无人农场作业的执行系统，主要分为固定装备系统和移动装备系统。固定装备系统不需移动即可完成农场的主要作业，比如，无人温室的水肥一体化设备、环境调控设备，无人果园的滴管设备，无人猪场、鸡场的智能饲喂设备、粪便清理设备，无人渔场的投饵、增氧、循环水处理等设备。这些设备有的可单独调控，有的需要与其他装备结合，进行系统的作业控制，但它们都有一个共同特点，就是不需要移动作业。移动装备系统必须要在移动过程中完成农场生产作业任务，比如，大田农场的各种作业机械都是移动的，如耕播种机械、收获机械、植保机械等，无人渔场的水下巡检设备、水下机器人、网衣清洗设备和部分收获装备等。无论哪种农场，起运输作用的都是移动设备，如各种无人车、无人船、无人机等。此外，移动装备还包括大部分的农业作业机器人，在一定情况下，移动装备可作为固定装备搭载平台相互配合以更适合相应的作业任务。

**测控系统。**该系统是无人农场生产作业过程中负责获取各种数据的装置与设备，主要包括各种传感器、摄像装置、可穿戴设备、采集器、控制器、定位导航装置等，承担着无人农场环境信息感知、动植物生长信息感知、装备工作状态感知等业务，为作业端智能操作以及精准变量作业控制提供数据基础。测控系统是农场的感官系统，为农场管控云平台决策提供关键数据支撑。

**农场管控云平台系统。**该系统是农场无人化

运行的核心，是无人农场的“大脑”，主要是在云端对测控系统获取到的大量信息和海量数据进行数据的存储、分析、学习和判断，并负责数据处理、推理、决策的云端计算，进行智能化决策并下达指令，对无人农场进行全方面的综合管理。

四大系统的角色和功能各不相同，但是它们完成自身任务时，并不是孤立的，而是协同工作，密切配合，实现装备对人工劳动力的代替。

## 五类型类型的无人农场呼之欲出

无人农场的本质是相同的，都是要实现完全的机器对人工的替代，但因场景不同，无人农场的表现各异，大致有五大类型。

**无人大田农场。**该类型的农场是最早的无人农场概念的类型，无人大田农场的本质就是无人驾驶系统加各种移动作业机械。2020年，中国广东建成无人稻田农场。其实质是利用不同的作业机械实现作物的全过程无人化生产（耕作、种植、田间管理和收获）、自主作业（从机库到田间、作业后返回机库的全过程）和作物生长自动监测（作物生长、需水量、施肥和喷施）。此外，无人大田还包括无人机遥感、无人车农业生产资料运输、仓储的无人化作业等。

**无人果园。**该类型农场主要通过无人除草机器人和无人喷药设备，修剪机器人、防鸟兽设备、植保无人机、防霜冻设备、果实套袋机器人、无人运输车、仓储搬运机器人等智能设备协同运行，实现果园的日常无人作业；根据测控系统获取的环境数据和果树生长数据，计算出不同生长阶段果树的最佳水肥需求，云管控平台作出最优决策，对水肥一体化施用装备进行精准智能调控，实现果园灌溉和施肥，有效提高水肥利用效率，提高果实的产量和品质。

**无人温室。**该类型农场通过自主调节风机、湿帘、遮阳网、补光灯等手段，自主调控温室环境，让温室作物（蔬菜、花卉、水果）生长在



最佳的环境中；通过园艺整枝机器人开展日常剪枝打岔等管理，通过对水肥一体化施用装备精准智能调控，实现果园灌溉和施肥，通过采摘机器人、无人运输车、自动分级分拣装备、自动包装装备，实现种植对象的收获与无人化运输，通过无人运输车和装载机器人实现肥料的运输与加注等工作。

**无人牧场。**该类型农场通过无人运输车和装载机器人开展饲料的运输与加注工作，通过自主饲喂设备实现养殖对象的精准饲喂，通过空气过滤装置和温湿度调控装置，确保猪牛等养殖动物生长在最佳环境中；通过智能穿戴设备，实时获取养殖对象的生命和生理状态信息，保证养殖对象健康成长；通过挤奶机器人、粪便清扫机器人、自动捡蛋装备，完成牧场的日常作业；通过包装设备，实现鸡蛋的自动捡拾包装。此外，无人牧场中人类与养殖对象的非接触环境将交叉感染和疾病传播的风险降至最低。

**无人渔场。**该类型农场通过水质信息监测装备实时获取环境信息，通过自动增氧机和水循环处理设备，对养殖水体环境进行自主调控，确保养殖对象的正常生长；通过无人运输车和装载机器人，开展饲料的运输与自动加注；通过自主饲喂设备（含无人机或无人船载的移动投饵机）与测控系统协同作业，实现养殖对象的精准自动饲喂，保证其健康成长；通过无人机、无人作业船、水下机器人、无人仿生鱼等实现渔场的24小时巡检；通过自动牵引装置、卷扬机、吸鱼泵、分鱼机、无人运输船和无人运输车等装备，实现养殖对象的收获及运输；通过水下机器人、无人仿生鱼实现死鱼捡拾、网衣巡检、网衣清洗以及鱼类行为监测与生物量估计等业务。根据养殖模式不同，无人渔场分为池塘型无人渔场、陆基工厂型无人渔场、网箱型无人渔场、海洋牧场型无人渔场和鱼菜共生无人渔场五种类型。各种装备技术在五种无人渔场场景中的应用存在差异，但本质一样，都将实现机器对人的替代。

## 无人农场引领我国现代农业发展

无人农场是新一代信息技术、装备技术与先进种养殖工艺深度融合的产物，是对农业劳动力的彻底解放，也代表着农业生产力的最先进水平，必将大幅度提高农业生产率、资源利用率、土地产出率，确保农产品品质以及农业绿色发展，是未来农业的发展方向，也必将引领我国现代农业的发展方向，其引领性体现在以下几个方面。

无人农场将长期引领我国农业新技术发展方向。无人农场以完全的“机器替换人”为主要特征，是对过去农业生产方式的彻底颠覆。因此需要信息技术、装备技术、种养殖工艺甚至是生物技术的高度集成，这一方面对单项技术的要求很高，要求其精准、稳定、可靠，另一方面对技术之间的耦合集成要求也很高，要求无缝对接、自主对接、系统协同。无人农场整体运行的复杂性、准确性、可靠性要求对每项技术都带来新挑战，提出新要求，也必将引领各项技术特别是物联网、大数据、人工智能和机器人技术的发展。

无人农场将长期引领我国农业生产现代化模式。世界各国农业发展都先后经历了生产装备化、装备数字化、数字网联化、决策智能化、作业无人化等阶段，且阶段间不可逾越，作业无人化是最高阶段。无人农场是继农业机械化、数字化、信息化、网联化、智慧化的又一次飞跃。我国目前正处于生产装备化和装备数字化的阶段，数字农业、物联网技术刚刚开始试验示范，停留在远程监测状态，智能化控制还处于测试状态。无人农场代表着最先进的生产模式，一方面将不断促进物联网和数字农业技术的完善，另一方面将长期引领生产模式，成为示范中的示范。

无人农场将长期引领我国农业发展的战略方向。目前，美国、英国、澳大利亚、以色列、荷兰、德国、丹麦、日本、挪威等发达国家拥有世

世界上最先进的大田种植业、设施园艺业、畜牧养殖业和渔业，也刚刚提出无人农场概念，并开展了技术实验与技术示范。我国是世界上最大的农业国，肩负着养活14亿人口的重大责任，从现在开始制定无人农场的战略构想和战略规划，才能确保我们比肩发达国家，确保我们的农业技术可以支撑我国的农业现代化；才能确保未来30至50年中国完成从农业大国向农业强国的过渡，助力实现中华民族伟大复兴的中国梦。因此，无人农场战略会长期引领我国农业发展战略，亟需逐步实施。

## 我国无人农场推进路径探讨

目前，从劳动力年龄构成来看，60后和70后是我国农业劳动力的主力军，90后在我国农业劳动力中占比不足5%。30年后，80后都要退出劳动力的历史舞台，而90后绝不会采用当前的生产方式。那么，30年后谁来种地？谁来养猪？谁来养鱼？毫无疑问，答案是：智能装备。无人农场技术将彻底解放农业劳动力，大幅度提高劳动生产率和资源利用率，解决我国未来农业面临的劳动力短缺、粮食安全和可持续发展等重大挑战。特别是新冠肺炎疫情全球大流行，让我们更加清醒地认识到农业生产和产品供应安全的重要性。从现在开始布局无人农场的技术理论研发、模

式及商业机制探索、支撑政策，意义十分重大。

无人农场需要政府政策支持。无人农场是战略性新兴产业，也是未来发展趋势。在目前技术和商业模式尚不成熟、成本高、投资大的情况下，政府需要为无人农场的发展营造政策支持环境。国家应该通过信息、教育、基础设施、金融、信贷、税收等法律形式明确推进无人农场建设，建立完善的配套规章制度，鼓励民间资本进入，推动无人农场产业化和产学研结合。

技术理论亟需加快研发。高校和科研院所要加快农业科技创新研发，加强无人农场的基础理论、关键技术和实用产品的研究。特别是高精度、高稳定性农业传感器的研制，先进动植物表型和生长优化调控模型的建立，适用于无人农场生产的人工智能技术的研究，大容量、高效率的云数据中心的建设，农业机器人的研发，以及相关专业人才的培养。

发展模式和商业机制探索。无人化农场模式对传统农业生产企业产生了一定的冲击。大多数农业设备制造商还没有深化人工智能、物联网、大数据等技术的发展。企业应建立以自身为主体、以应用需求为牵引、以市场需求为导向的无人农场合作开发模式。特别是大型农业龙头企业要率先探索无人农场生产模式，加大对无人农场技术研发的投入，推广无人农场技术的应用。

责编/郭丹

## Developing Modern Agriculture in China Through Systematic Arrangements for Unmanned Farms Li Daoliang

**Abstract:** The unmanned farm has opened up a new model of agriculture in the future, with the "three completes" unmannedness as its most fundamental feature. It has gone through three stages while transforming from remote measurement and control to independent operation, including the primary stage, intermediate stage and advanced stage. In the future, unmanned farms will rely on the Internet of Things, big data and cloud computing, artificial intelligence, and intelligent equipment and robots. At the same time, thanks to the cooperation among the infrastructure system, intelligent equipment system, measurement and control system, and the cloud platform system for farm management and control, a total of five unmanned types will be realized, including unmanned farms, unmanned orchards, unmanned greenhouses, Unmanned pasture, and unmanned fisheries. Unmanned farms will lead the development of modern agricultural new technology, modern production mode and strategic direction. In this process, we need to increase research on the relevant modes of unmanned farms, prepare development plans, explore the business models, and further optimize the policy environment for them.

**Keywords:** unmanned farms, modern agriculture, Agricultural Technology Revolution