



未来产业的应用场景创新

□ 徐清源

型升级带来全新契机。与此同时，衍生出大量产业融合型场景，聚焦未来产业与传统产业的融合应用，有利于推动技术产品定型、用户群体培育、市场需求挖掘，同时加速未来产业从产品化到产业化的进程。

在产业园区、工厂等工业制造场景中，具身智能、光通信、人工智能、6G等前沿技术面向设计、生产、检测、运维等环节加快集成应用，探索推广工业元宇宙、生物制造等新兴场景，推动产业链结构、流程与模式重构，打造“未来工厂”。在农作物育种过程中，分子设计育种、基因编辑、单倍体育种、转基因技术、生物工程等技术不断创新并取得颠覆性突破，显著提高育种效率，有效提升农作物产量和环境变化适应性，利用先进生物育种技术与常规育种相结合，培育和推广了一批突破性优良品种。在AI+新药研发场景中，人工智能、大数据、合成生物学、细胞和基因技术等前沿技术的协同作用极大地优化了药物研发流程，人工智能凭借强大的数据挖掘与分析能力，从海量化合物库中快速筛选潜在药物靶点，模拟药物分子与靶点的相互作用，预测药物活性与成药性，缩短研发周期。在能源利用场景中，可再生能源技术与储能技术的协同发展，有效解决了可再生能源间歇性、不稳定性的难题，高性能储能设备能在能源过剩时储存能量，在能源短缺时释放能量，保障能源稳定供应。同时，智能电网技术利用大数据和人工智能实现对能源的智能调度，提升能源利用效率。

公共开放型场景：聚焦社会化应用

城市级、区域性应用场景为未来产业的系统性测试和规模化应用提供了广阔的空间。许多地区积极推动以城市级、区域级应用为牵引的公共场景开放，推动未来产业所涉及的先进技术与城市市场下生产、生活、生态、治理各领域全环节融合，从城市运行的高效管理到社区生活的智慧服务，未来产业的应用为城市注入新的活力与动能，城市也为未来产业的技术扩散和成果转化提供了所需的数据资源、创新能力、测试空间和用户群体，未来产业与“未来城市”的交相辉映，催生新时期产城融合的典范。

各地面向未来产业开放城市级场景，主要表现为开放部分场景满足应用测试需求、通过场景供需匹配挖掘集成式场景机会、通过重大赛事和揭榜挂帅等方式打造应用场景开放高地。例如有的地区开启“技术催生新需求”和“需求引导新技术”双向通道，加大医疗服务、智能交通、城市安全、智能电网等真实应用测试空间开放力度，以“未来社区”为试点，建设未来技术生活应用试验场所和展示平台，促进未来产业在民生领域应用迭代。

有的地区以国家自主创新示范区和省级以上高新区为主体，聚焦低空经济、智慧交通、深海深地、商业航天等领域，建设一批城市级、区域级的特色化标杆示范场景。

与此同时，我国超大规模市场和广大用户群体从应用侧牵引，为未来产业的技术和商业模式创新提供了源源不断的灵感与动力。例如在生物医药领域，广大的临床需求和多元支付能力建设不断驱动生物医药科技创新，疾病谱、临床用药需求等数据归集和分析也能帮助医药企业、科研院所、医疗机构等合理确定研发方向、布局研发管线，更好满足人民群众的生命健康需求。在电子商务、数字广告、流媒体视频、电子游戏、自动驾驶、低空经济等数字生活前沿领域，未来产业不断嵌入并重塑人类的消费、娱乐、出行和生活方式，驱动物理空间、数字空间与人类社交空间三元空间融合，催生虚实融合、数实共生的应用场景，为畅想未来数字生活提供了诸多可能。

应用场景不仅是未来产业前沿技术从实验室走向市场的“试验场”，更是重构产业生态、创造新价值空间的“放大器”，应用场景创新正以前所未有的方式重塑未来产业发展格局。

未来产业由前沿技术驱动，当前处于孕育萌发阶段或产业化初期，是具有显著战略性、引领性、颠覆性和不确定性的前瞻性新兴产业。大力发展未来产业，是引领科技进步、带动产业升级、培育新质生产力的战略选择。2025年《政府工作报告》明确提出要“开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动”。我国配套完整的产业体系和超大规模市场为未来产业提供了丰富的应用场景和广阔的市场空间。伴随着未来产业从孕育萌发到技术突破再到市场化扩散需要历经的各个阶段，各类应用场景应运而生，成为有效挖掘技术应用潜力、激发市场需求、优化资源配置的关键载体。

技术驱动型场景：聚焦新技术突破

未来产业的技术突破与场景应用呈现深度耦合特征，技术不再局限于实验室中的理论探索，而是通过与具体场景的结合，加速向现实生产力转化。未来产业所涉及的人工智能、量子信息、空天深海、细胞和基因技术等颠覆性技术，需要早期验证场景的概念验证到中试放大，从而实现未来技术的迭代突破和多种技术的协同创新。技术驱动型场景便是聚焦未来产业中未来技术的细分赛道，加速推进前沿技术的概念验证和早期孵化，实现从知识向产品的转化，通过场景化验证加速产品化、商品化进程。

各地方高度重视以技术驱动场景打造，例如有的地区提出建设“专业类未来产业试验场”，正是聚焦原子级精密技术制造、微纳制造、量子信息、新形态AI终端及视听交互、未来新能源材料与装备、深海重载作业和通信海缆产业装备、新型储能等10个细分赛道，通过支持技术方、集成商和场景方等组成产业链生态伙伴，贯通技术攻关、试验验证和产业化应用的全链条；有的地区提出围绕第三代半导体、细胞和基因技术、合成生物、量子科技等未来产业，鼓励创新型领军企业、高校院所、医疗卫生机构等建设概念验证中心、中试基地等前沿技术早期验证场景。

产业融合型场景：聚焦产业化应用

传统产业是新质生产力的根基，寻找到有发展潜力的未来产业领域是推动新旧动能转换的突破口，也是科技创新与产业创新的融合点。未来产业蓬勃兴起，以其前沿技术与创新理念，为传统产业转



低空无人机技术发展的未来趋势

□ 李勇坚 刘铨畅

低空无人机（通常指飞行高度1000米以下的无人驾驶飞行器）技术经过一个多世纪的发展，从早期军事用途的遥控飞机逐步演进为当今广泛应用于民用领域的智能飞行器。

基础技术阶段的起点：无人机起源与早期低空飞行控制

无人机的概念可追溯至第一次世界大战时期。1918年，首枚由无线电操纵的小型飞行炸弹“凯特灵虫”出现，被视为巡航导弹的雏形。然而由于精度欠佳且易受无线电干扰，这类无人机在实用化上进展缓慢。一战后，不少国家将无人机的用作靶机训练防空部队；二战结束后，有的国家利用大量剩余军用飞机改装成无人遥控机，用于核试验采样等任务。冷战时期对无人侦察的需求推动了无人机技术的新探索，出现了专门设计的小型战术无人侦察机。电子技术的进步提升了无人机的灵活性和重要性，有些国家尝试由有人飞机遥控无人机执行精确攻击。不过，由于当时遥控导航技术尚不成熟，无人机在稳定操控和精确定位上存在瓶颈。在20世纪七八十年代，新研制出的如“侦察者”等实用无人机系统，在军事上崭露头角。总体而言，这一基础阶段的技术特征是：解决了无人机“能飞起来”的基本问题，但主要依赖人工遥控和简易自动驾驶仪（如陀螺仪稳定装置）维持飞行，飞行控制和续航性能有限，尚未形成成熟的产业应用。

核心技术演进：20世纪80年代以来的关键技术突破

飞行控制系统（飞控）：早期无人机的飞控主要通过无线电遥控和简单稳定器实现，飞行姿态由地面人工实时校正。如今，飞控系统已发展为无人机的“大脑”，集成了自动驾驶仪、多传感器数据融合和智能控制算法，可实现自主起降、航线跟随和任务执行。现代飞控计算机大幅提升了无人机的稳定性与自主性，使无人机能够在复杂环境下保持姿态和航向的

精确控制。人工智能技术的引入进一步赋予飞控系统自主学习和决策能力，推动飞行控制从远程遥控走向自主飞行。

导航与定位技术：精确定位是无人机完成任务的前提。早期无人机导航主要依赖地面无线电信标或惯性导航，误差较大。20世纪90年代中期GPS全球卫星定位的普及是里程碑：1995年起无人机可利用卫星信号实时确定自身位置，极大提高了导航精度。中国的北斗卫星导航系统建成后，也被广泛应用于无人机定位，使定位服务更加精准可靠，赋能电力巡检等领域的新应用。现代无人机通常融合多星座GNSS（GPS、北斗等）和差分增强（RTK等）实现厘米级定位，为自主飞行和编队提供高精度位置支撑。

通信链路：通信链路经历了从模拟到数字的巨大飞跃。早期仅有窄带模拟遥控信号，控制距离和抗干扰能力有限。如今数字无线电、专网通信，甚至蜂窝网络（4G/5G）都被引入无人机通信。特别是5G的低时延、高带宽特性，使超视距通信成为现实：通过导航系统与5G-A网络深度结合，已成功实现无人机远距离超视距飞行，突破了传统视距限制。高可靠的宽带通信网络保障无人机超视距飞行的精准和安全，避免延迟导致的位置偏差等风险。这使无人机能够接受远程指令、实时传输高清图像数据，并支持集群无人机的协同通信。

能源与动力系统：能源技术的进步直接延长了无人机的续航。传统无人机多采用燃油发动机或低效电池，飞行时间有限。近年来高性能锂电池、无刷电机的应用，使小型电动多旋翼无人机蓬勃发展。电池能量密度不断提升，加上电机效率高、维护简单，促成了消费级无人机的繁荣。同时，产业界积极探索绿色能源，例如氢燃料电池在大型固定翼无人机上的试验应用，显著提高了航时并减少碳排放。未来，随着电池技术和新能源进展，低空无人机将实现更长航程和更优环保性能。

避障与环境感知：早期无人机几乎不具备避障能力，飞行风险高，需要在空旷环境下操作。如今，避障与感知技术成为无人机自动化和智能化的关键环节。无人机自主避障系统大致经历了三个阶段：感知障碍—绕开

障碍—建模环境与自主规划路径。为实现上述功能，各种传感器被集成应用：超声波测距用于近距探测，技术成熟但作用距离有限；红外/激光测距（TOF）扩展了探测范围，并可获取障碍物的距离和部分轮廓；双目视觉模拟人眼原理获取深度信息，实现对障碍物的三维感知；配合高精度电子地图，无人机还能预先了解地形和禁飞区。这些避障感知技术的融合使无人机在复杂环境中自主飞行成为可能，大幅降低了撞机事故率，并已逐步成为中高端无人机的标配功能。

未来趋势预测：技术融合、智能集群与绿色创新

多技术融合赋能无人机智能化。人工智能（AI）、5G通信、新型导航定位等技术将在无人机上深度融合，形成“智能飞行”体系。一方面，AI将赋予无人机更强的环境感知和自主决策能力——通过机载神经网络实时识别目标、规划路径、优化飞行控制，使无人机在复杂动态环境中也能自主执行任务。另一方面，5G-A/6G网络提供了“大带宽+低时延”的通信支持，可实现无人机与云端AI平台的实时交互和边缘计算，加快智能算法的迭代和部署。同时，新一代通信网络还可提供高精度的位置服务（结合北斗定位增强），进一步提高无人机导航的可靠性。

智能集群化与协同作业。多机协同的无人机集群（蜂群）技术被视为具有颠覆性的技术方向。无人机集群通过组网通信和群体智能算法，可让数量众多的无人机如同“蜂群”般协同完成任务，比如大面积区域搜索、编队表演以及饱和攻击等。智能集群化要求解决集群通信协议、自主任务分配、集群避障等一系列技术难点。目前研究者已提出受群体智能启发的多层集群控制方案，使无人机群能够自主分工、避免相互碰撞并协同完成任务。

自动化无人系统与运营体系。无人机正从单一产品走向系统化、自动化的无人系统。未来的无人机系统将涵盖自主起降、充电维护、任务调度、数据处理的全流程自动化。比

如，自动更换电池或充电的“无人机蜂巢”停机坪正在开发，使无人机在无人值守情况下24小时不间断执行任务。无人机交通管理（UTM）系统则会自动协调大量无人机的飞行计划，防止空中冲突。自主智能无人系统的理念是在无或极少人力介入下完成复杂任务，这需要融合数字孪生、机器人技术和人工智能等手段。典型的如无人仓库中的自主物流无人机系统，能够自主感知环境、与其他机器人协同，通过云端调度高效运转。未来低空领域可能出现专用的无人机运营网络：由自动化的地面站和云平台对接用户需求，智能调度空中无人机资源。这种高度自动化的运营体系将极大降低人力成本，使无人机真正实现“随需应运”，也对网络安全、系统可靠性提出了更高要求。

飞行器轻量化与绿色能源。环保和可持续发展趋势下，低空飞行器将更加注重轻量化设计和清洁能源运用。材料科学的进步（如新型碳纤维复合材料、3D打印结构）将继续减轻无人机自重，提高载重比和能源效率。减重不仅延长航时，还降低了坠机风险和制造成本，有利于无人机大规模普及。在动力方面，“绿色”将成为关键词——电动化是大势所趋，小型多旋翼几乎已全面电池供能，而在较大型无人机上，氢燃料电池、太阳能电池等清洁能源方案正取得进展。随着氢燃料电池技术成熟，可能会有混合动力无人机出现（燃油/电混合、氢电混合等），兼顾长航时与高功率输出。此外，电池回收、降噪设计等也将被纳入绿色评估指标，以确保无人机产业的生态可持续。

行业标准与安全监管升级。面对智能化、集群化带来的新挑战，未来需要制定无人机空中交通规则、数据安全标准以及AI决策伦理规范等。监管部门可能借助5G和北斗建立低空监视网，实现对无人机的实时监控与管制，“让低空飞行器看得见、呼得着、管得住”。此外，反无人机技术也将同步发展，以应对“黑飞”威胁，保障低空空间安全。



何为边缘智能

□ 伍小龙

应运而生，主张在数据源附近处理数据以减少传输量。这一时期，边缘计算主要关注于数据的初步处理和转发，尚未涉及AI算法的部署。直到2020年以后，随着AI技术的成熟，边缘智能作为边缘计算与AI的融合技术正式兴起。其核心在于将AI算法部署于靠近数据的边缘设备，实现实时处理、低延迟决策及隐私保护。在边缘智能的发展历程中，可划分为三大阶段：初期以边缘推理为主，依赖云端训练模型后推送至边缘执行；随后进入边缘训练阶段，通过自动化工具实现全流程边缘化模型迭代；未来将迈向自主机器学习，使边缘设备具备自适应学习能力。这一演进过程不仅体现了技术进步的推动，也反映了市场需求和产业趋势的引导。

边缘智能作为人工智能与边缘计算深度融合的前沿技术，已经广泛应用于智能制造、智慧城市、智能驾驶、医疗等多个领域。在智能制造领域，边缘智能通过部署在生产线边缘的智能网关，实时分析设备振动、温度等数据，实现故障预测性维护。这一技术能够将故障响应时间从数分钟缩短至数秒，显著降低设备停机率，提高生产效率。在智慧城市场景中，社区级边缘服务器可本地处理交通流量、能耗监测等数据，实现路灯智能调控与垃圾满溢告警。数据不出区域即可完成隐私保护，既提高了城市管理的智能化水平，又保障了居民的隐私和安全。自动驾驶领域是边缘智能应用的又一重要场景。车载边缘计算

平台结合路侧单元节点，通过网络实现车路协同，压缩红绿灯状态推送延迟，提升复杂路况决策效率。这一技术对于提高自动驾驶的安全性和可靠性具有重要意义。在医疗场景中，ICU边缘节点实时分析心电图数据，结合轻量化边缘智能模型完成异常心律识别。这一技术能够显著提升急救响应速度，为患者争取宝贵的救治时间。

为了实现在边缘智能的有效落地，需要满足多重技术与应用场景的协同要求。在技术基础设施层面，需构建包含边缘计算设备、传感器、嵌入式终端的硬件体系。这些硬件设备需提供足够的算力以支持实时推理，并具备良好的稳定性和可靠性。在网络层面，需部署5G专网或工业以太网等高速低延迟网络，确保毫秒级时延与高可靠性。这对于实现边缘智能的实时处理和低延迟决策至关重要。在数据存储方面，需采用分布式架构，如边缘节点配置足够内存与缓存，以应对本地缓存与结构化数据存储需求。这一技术能够提高数据处理的效率和可靠性，降低对云端存储的依赖。在安全体系方面，需集成加密与零信任访问控制等安全技术，保障医疗、金融等敏感数据处理合规。这对于防止数据泄露和保护用户隐私具有重要意义。在应用场景适配上，需充分考虑场景的实时性数据交换、隐私以及受限资源约束条件等因素。只有当这些条件均满足既定要求时，边缘智能的替代经济性才能超越传统云计算架构，形成技术投入产出比

的正向循环。

边缘智能的发展正朝着技术深度融合、标准化生态构建与可持续性优化的方向演进。在技术演进方面，将聚焦于AI大模型边缘化、数字孪生与边缘计算的结合，以及“云—边—端”协同架构的持续优化，以实现更高效的分布式智能决策。在标准化生态构建方面，开源框架与硬件联盟将推动接口标准化与性能基准统一，降低开发门槛并促进跨行业生态协作。这将有助于加速边缘智能技术的普及和应用推广。当然，边缘智能的发展还面临不少挑战。其中包括研发更低功耗的AI芯片与优化能效比以满足物联网设备续航需求；构建算法透明性工具以应对边缘AI的“黑箱”特性引发的决策偏见问题；在数据主权与隐私保护要求下，开发内置数据匿名化模块以符合全球监管趋势；等等。

边缘智能作为国家数字化转型的关键技术，其价值不仅体现在技术性能提升上，更在于重塑行业价值链即通过将数据转化为即时生产力，推动社会向“实时智能”时代演进。未来，随着AI模型与硬件的协同创新以及5G-A/6G网络的普及，边缘智能有望成为连接物理世界与数字世界的“神经末梢”，开启万物智联的新纪元。我们有理由相信，在不久的将来，边缘智能将在更多领域展现出强大的应用潜力和价值。通过不断的技术创新和应用推广，边缘智能将为推动各行业数字化转型、促进经济社会高质量发展作出重要贡献。