

传感器如何赋能低空经济?

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

近年来,低空经济作为新质生产力的重要载体,在政策推动与技术突破下加速崛起,无人机物流、电动垂直起降飞行器(eVTOL)、低空巡检等场景不断拓展,正成为拉动经济增长的新引擎。而智能传感器作为低空经济的“神经末梢”和数据窗口,从上游核心零部件研发、中游设备制造,到下游场景运营与配套服务,全程贯穿产业链各环节,为低空飞行器提供精准的姿态感知、环境监测能力,为产业链降本增效、创新模式提供数据支撑。因此,智能传感器的应用深度,直接决定了低空经济产业链的升级高度。

低空产业链中智能传感器的类型和应用场景

上游:技术与零部件供给层

低空经济产业链上游聚焦关键零部件研发制造,与传感器技术参数与性能指标关联性极强。根据《2025年低空经济核心零部件产业白皮书》数据,上游零部件成本占无人机整机成本的62%,其中智能传感器模块占比达18%,成为影响设备智能化水平的关键因素。

传感器核心工艺技术、芯片与材料主要包括MEMS工艺、敏感芯片和敏感材料。

MEMS工艺,作为低空经济中硅基传感器的核心制造技术,融合了微电子与微机械加工能力,核心包含光刻、反应离子蚀刻、硅-硅键合及圆片级封装等关键环节。通过深紫外光刻实现7nm级图形精度控制,再以各向异性蚀刻在硅衬底上构建出微型梳齿电容等敏感结构,最后经真空键合形成密封腔室隔绝环境干扰。这套工艺能将机械传感结构与信号处理电路集成于单芯片,既实现传感器的微型化、轻量化,又大幅提升其测量精度与环境稳定性。

敏感芯片,目前主流工业级产品以7nm制程为主,代表厂商如博世(Bosch)的BMI088系列。

敏感材料,压力传感器采用的硅压阻材料,以意法半导体的LPS22HH为例,非线性误差 $\pm 0.5\%$ FS,可实现0~110kPa的压力测量范围,适用于低空飞行器的高度计模块,确保海拔0~3000m范围内高度测量误差小于1m。

低空飞行器关键部件包括电机与电流传感器和锂电池与电压传感器。

电机与电流传感器,农业无人机配套使用的电流传感器,测量范围 $\pm 30A$,精

度 $\pm 1\%$,采样频率1MHz,实时监测电机相电流变化,当电流波动超过 $\pm 5A$ 时,飞控系统可在20ms内调整输出功率,避免电机过载烧毁。该传感器的应用使电机故障率从3.2%降至0.8%。

锂电池与电压传感器,驱动力使用锂电池组,配备进口电压传感器模块,电压测量分辨率1mV,精度 $\pm 0.5mV$,可同时监测16串电池的电压状态,当单串电压低于3.2V或高于4.25V时,立即触发充放电保护机制。实测数据显示,该系统可使电池组循环寿命延长至800次以上,续航里程误差控制在 $\pm 2km$ 以内。

中游:设备集成与制造层

该环节承担无人机、eVTOL等整机装配与智能传感器模组集成校准任务,其工艺水平直接影响设备的安全性与可靠性。据中国航空工业发展研究中心数据,中游设备集成阶段的传感器校准精度每提升0.1%,可使下游场景设备故障发生率降低2.3%。

下游:场景应用与服务层

下游应用场景是价值核心,智能传感器通过与具体场景需求深度绑定,实现从“技术能力”到“实际价值”的转化。根据《2025年中国低空经济应用场景发展报告》,下游场景中智能传感器的应用渗透率已达78%,其中物流、巡检、应急救援、农业喷洒四大场景的传感器部署量占比超60%。

物流配送场景包括搭载有双目视觉传感器模块的末端配送无人机,配备有激光雷达拥有16线激光束的仓储物流AGV。

工业与能源巡检场景包括电力线路巡检无人机,以及搭载气体传感器,可检测甲烷、乙烷等烃类气体石油管道巡检。

应急救援场景包括消防救援无人机、地震救援机器人。

应用在农业喷洒应用场景中的农业喷洒无人机,搭载多维度传感器组合实现精准作业,核心包含多光谱传感器、土壤湿度传感器、流量传感器及GPS+北斗双模定位传感器,形成“感知-决策-执行”的闭环控制。

产业链协同:平台与生态层

平台与生态层通过构建数据互通、资源共享的协同体系,实现上游零部件、中游设备制造与下游场景应用的深度联动,而智能传感器是打通各环节数据链路的核心枢纽。据中国信息通信研究院数据,2025年低空经济产业链协同平台的传感器数据接入量同比增长210%,数据共享率达65%,推动产业链整体效率提升35%。

在数据平台建设方面,平台可接入各型号无人机的传感器数据,包括视觉、IMU、GPS、激光雷达等,构建统一的数据标准与接口协议。支持每秒10条数据的并发处理,数据存储时长可达1年,数据查询响应时间 $\leq 1s$ 。通过对传感器数据的多维度分析,可实现设备健康度评估(如电机电流异常预警、电池使用寿命预测)、场景作业优化(如物流配送路线动态调整、巡检任务智能分配)。

在生态合作体系方面,传感器厂商与设备制造商合作组建联合实验室,针对无人机应用场景定制开发传感器产品。在技术性能参数指标设计(如抗振动性能与功耗等)、准入管理、产品配套时间都将大幅提高。

智能传感器在推动低空经济中面临的挑战与应对策略

智能传感器在推动低空经济产业链升级的过程中,虽已展现出显著价值,但仍面临技术、成本、政策、生态等多方面的挑战,需通过技术突破、模式创新、政策完善与生态共建实现可持续发展。

技术挑战:

核心性能不足与融合难度大

在关键技术瓶颈方面,一是感知精度与稳定性待提升,在复杂环境下(如强电磁干扰、高温高湿、剧烈振动),传感器性能易受影响。

二是多传感器融合技术不成熟,不同类型传感器(视觉、激光雷达、IMU、GPS等)的采样频率、数据格式差异大,导致数据同步与融合难度高。

三是高端传感器依赖进口,国内在7nm及以下工艺MEMS芯片、高精度红外探测器、激光雷达核心部件(如振镜、激光器)等领域仍依赖进口。

对此,提出以下应对策略:一是加强核心技术研发,加大对MEMS芯片工艺、敏感材料、抗干扰设计等领域的研发投入。

二是推动技术验证与应用试点,建立智能传感器技术验证平台,针对低空经济典型场景(如物流、巡检、应急救援)开展性能测试与应用试点。

三是加强国际技术合作,积极参与国际传感器技术标准制定,与国际厂商开展联合研发,引进先进技术并进行本土化创新。

成本挑战:

研发与量产成本居高不下

智能传感器存在以下成本痛点:一是研发成本高,智能传感器的研发涉及芯片设

计、材料研发、算法开发等多个环节,周期长、投入大。

二是量产规模效应不足,国内智能传感器厂商大多处于小批量生产阶段,未能形成规模效应,导致单位成本居高不下。

三是下游应用成本敏感,低空经济下游场景(如农村物流、农业植保)对设备成本敏感,高端传感器的高价格限制了其普及。

对此,提出以下应对策略:一是构建产学研用协同研发体系,由政府牵头,联合高校、科研机构与企业成立研发联盟,分摊研发成本,共享知识产权。

二是提升量产能力与供应链管理,推动传感器厂商与晶圆厂、封装测试厂合作,建立规模化生产基地,提升产能利用率。

三是开发差异化低成本产品,针对不同场景需求,开发差异化传感器产品,降低非必要功能成本。

政策与标准挑战:

规范体系不完善

在政策与标准短板方面,一是性能标准缺失,目前针对低空经济领域智能传感器的性能标准尚不统一。

二是数据安全与隐私保护不足,传感器采集的位置、环境、用户等数据涉及国家安全与个人隐私,但目前缺乏针对低空经济传感器数据的分类分级管理标准,数据采集、传输、存储、使用等环节存在安全隐患。

三是适航认证体系不健全,eVTOL/工业级无人机等设备搭载的传感器需通过适航认证,但目前国内适航认证体系针对传感器的测试项目、认证流程尚不明确。

对此,提出以下应对策略:一是加快制定统一性能标准,由行业协会(如中国无人机行业协会、中国传感器与物联网产业联盟)牵头,联合厂商、科研机构制定智能传感

器性能标准,明确不同场景下的技术指标。

二是完善数据安全政策法规,出台低空经济传感器数据安全管理办法,明确数据分类分级标准。

三是健全适航认证体系,推动民航局等部门完善低空经济设备适航认证规则,将传感器纳入适航认证范围,明确测试项目与流程。

生态挑战:

产业链协同与跨领域合作不足

智能传感器存在以下生态痛点:一是产业链各环节数据孤立,上游传感器厂商、中游设备制造商、下游场景应用方之间缺乏数据共享机制,导致传感器数据难以有效流通。

二是跨领域技术融合难,低空经济传感器技术需要融合航空、电子、材料、软件等多个领域的技术,但目前跨领域合作机制不完善,导致技术迁移缓慢。

三是中小企业参与度低,智能传感器研发与应用需要大量资金与技术投入,中小企业因资源有限,难以参与产业链核心环节,导致市场竞争集中在少数头部企业,创新活力不足。

对此,提出以下应对策略:一是构建产业链数据共享平台,由政府或行业龙头企业牵头,建立低空经济传感器数据共享平台,制定数据共享规则,推动上游、中游、下游企业数据互通。

二是建立跨领域合作机制,设立跨领域技术融合专项基金,支持航空、电子、医疗等领域的企业开展合作研发。

三是扶持中小企业创新发展,出台中小企业扶持政策,提供研发补贴、税收优惠、融资支持等,鼓励中小企业参与传感器细分领域创新。

未来发展趋势

技术发展趋势:量化指标驱动产品升级,突破设备性能瓶颈

智能传感器的技术演进,正从“功能满足”向“性能优化”“场景适配”升级,通过微型化、智能化、低功耗的技术突破,为低空经济设备提供更可靠的感知支撑,具体量化趋势如下。

微型化与集成化:缩小尺寸、降低成本,适配多场景设备需求。未来3~5年,低空经济用核心传感器将向“芯片级集成”方向发展,核心器件物理尺寸大幅缩小。除尺寸缩小外,多传感功能集成成为关键趋势。单颗芯片将集成3~5种传感功能(如温度、湿度、气压、加速度、陀螺仪),替代目前需多颗独立传感器实现的功能。

智能化与自适应性:嵌入AI算法,实现自主决策与环境适配。随着低空经济设备对“自主运行”需求的提升,智能传感器不再局限于数据采集,而是向“采集+处理+决策”一体化升级。预计到2028年,80%以上的低空经济传感器将嵌入AI算法,实现实时数据处理与自主参数调整。

低功耗与长续航:降低能耗、拓展无源供电,延长设备作业时间。低功耗是解决低空经济设备“续航焦虑”的关键,新型工艺与能量收集技术的应用将推动传感器功耗大幅下降。一方面,22nmFD-SOI等低功耗芯片工艺将普及,使传感器核心器件功耗降低60%。另一方面,能量收集技术将实现传感器“无源供电”,通过收集太阳能、振动能、电磁能等环境能量,满足低功耗传感器的持续供电需求。

应用拓展趋势:多领域渗透加速,新兴场景带动市场规模量化增长

智能传感器的应用边界正从低空经济传统场景(物流、巡检、农业)向新兴场景(工程建设、抢险应急、eVTOL)延伸。传统核心场景:渗透率提升驱动存量

市场增长。在物流、工业巡检、精准农业等传统场景中,传感器的“性能升级”与“成本下降”将推动渗透率快速提升。

无人机物流,农村及偏远地区的“最后一公里”配送需求是核心增长点。

工业巡检,电力、石油等领域对设备“状态监测”“故障预警”的需求持续升级,推动高端传感器渗透。

新兴场景,工程建设与应急需求打开增量市场。在电力工程、山地公路建设、抢险应急等新兴场景中,无人机凭借“突破地形限制”“快速响应”的优势,成为传统作业方式的重要补充,带动专用传感器需求爆发。

工程建设领域,在地形复杂地区(如山区、高原),电力塔架、公路桥梁建设的物资运输与线路铺设依赖无人机。2030年,我国电力工程无人机保有量将达1.5万架,带动专用传感器年需求达9万~15万颗。

抢险应急领域,地震、洪水等灾害发生后,无人机的“黄金72小时”救援的关键工具,核心需求集中在“物资投送”与“生命探测”。预计2030年,全球抢险应急无人机市场规模达35亿美元,传感器市场规模达7.7亿美元,我国作为灾害多发国家,2030年救援无人机保有量达3万台,带动红外热像仪、生命体征传感器年需求达30万~45万颗。

前沿场景,eVTOL与无人货运开启高端传感器需求。eVTOL与中大型无人货运无人机的商业化落地,将带动高端、高可靠性传感器需求爆发。预计2030年,全球eVTOL市场规模达300亿美元,传感器市场规模达24亿美元;无人货运飞机单架需搭载30~40颗传感器(如结构健康监测传感器、载重传感器),价值量5万~8万美元,2030年市场规模达10亿美元,成为传感器行业的重要增长点。

市场前景与挑战

随着量产规模扩大(2030年全球低空经济传感器年出货量达5000万颗,是2025年的3倍),核心器件成本年均下降15%~20%,推动传感器在中小微企业中的普及。同时,封装技术的进步(如晶圆级封装)将使传感器生产效率提升30%,进一步压缩制造成本,让低空经济设备的“传感器成本占比”从目前的15%~20%降至10%~15%,提升整个产业的盈利空间。

除现有场景外,“无人机+跨界融合”将催生新的传感器需求。此外,传感器企业与低空经济设备厂商、运营商的深度合作,将推动“定制化传感器”发展。

尽管智能传感器在低空经济中的发展前景广阔,但仍面临三大挑战:一是高端传感器核心技术依赖进口;二是标准体系不统一,不同厂商的传感器数据接口、通信协议不兼容,导致设备间无法互联互通,例如物流无人机与巡检无人机的避障传感器数据无法共享,影响多机协同作业效率;三是可靠性验证不足,在极端环境(如高温、高湿、强电磁干扰)下,传感器的稳定性和寿命有待提升,例如在沙漠地区巡检的无人机,传感器故障率达15%,高于平原地区的5%。

针对这些挑战,可从三方面应对:一是加强核心技术攻关,政府引导产学研协同,设立“低空经济传感器专项基金”,重点突破高端芯片、先进封装等技术,目标到2030年高端传感器本土自给率提升至50%以上;二是推动标准体系建设,由行业协会牵头,联合华为、大疆、歌尔等企业制定传感器数据接口、可靠性测试等标准,实现不同设备间的传感器数据互通,提升产业协同效率;三是强化可靠性验证,建立极端环境测试平台(如高温实验室、电磁兼容实验室),要求传感器厂商在量产前完成至少500小时的极端环境测

试,确保产品在复杂场景下的稳定运行,降低设备故障率。

智能传感器作为低空经济产业链的“神经末梢”,其技术演进、应用拓展与市场增长,不仅决定了低空经济设备的性能上限,更关乎整个产业能否实现从“可用”到“好用”的跨越。

从技术层面看,微型化、智能化、低功耗的发展趋势,将持续突破无人机、eVTOL等设备的物理限制,为复杂场景应用奠定基础;从应用层面看,除了物流、巡检、农业等传统领域的渗透率提升之外,电力工程、山地运输、抢险应急等新兴场景的爆发,将为传感器市场打开千亿元级增长空间;从市场层面看,全球与中国市场的双轮驱动,以及本土发展进程的加速,将推动行业从“依赖进口”向“自主可控”转型。可以说,智能传感器在低空经济中的发展,是技术迭代、场景拓展、市场驱动共同作用的结果。

未来,随着核心技术突破、应用场景深化、生态体系完善,以及政策体系的健全,产业链协同的深化和跨领域技术的融合,智能传感器将在低空经济中扮演更核心的角色——不仅是数据采集的工具,更是设备自主决策、安全运行的关键支撑,从“感知基石”升级为推动产业升级的“核心引擎”。对于企业而言,把握技术升级趋势、深耕细分场景需求、提升成本竞争力,是抢占市场先机的核心逻辑;对于行业而言,通过标准统一、数据共享、生态共建,推动传感器与低空经济各环节深度融合,才能实现产业整体升级。

可以预见,在技术、市场、政策的共同推动下,智能传感器将引领低空经济进入高质量发展新阶段,为交通、物流、农业、应急等多个领域带来效率变革,最终助力构建更高效、更安全、更可持续、更普惠的低空经济新生态。