

人工智能赋能低空经济， 推进智慧城乡建设

▶ 庄苗

智慧城市建设

对于城市规划和设计而言，低空经济首先意味着低空交通的常态化，进而带来人流和物流组织方式，以及城市基础设施和功能布局的革命性变化。然而，城市人口密集，高楼林立，对低空飞行的安全性和稳定性要求极高。AI技术首先赋能城市低空交通的规划，运行和管理，比如科学布局低空飞行器的起降场地，服务场所等设施，精细化空域设计以统筹协调不同人流和物流的空中线路，从而提高空间利用率，优化成本，提升效率，保障安全，节约能源消耗。

低空交通的智能化在诸多层面影响城市发展，能够进一步提升城市公共服务水平，比如在医疗急救、消防减灾、公共安全等领域，保障应急资源及时准确到位；进一步提高居民日常生活质量，在个体出行、快递配送等方面，提供更加即时和便捷的选择；进一步推动城市经济创新和就业增长，发展低空旅游观光，低空物流供应链等新型产业。

AI与低空飞行器的结合，可以更全面准确地从空中监控城市公共空间的使用状况，识别潜在危险或威胁，比如预测交通拥堵以及事故发生的概率，预测人流聚集以及公共安全事件和犯罪行为发生的可能性，从而基于智能算法，提前响应预警并及时采取有效措施，保障城市运行的安全。

AI与低空飞行器的结合，可以更进一步实时精准地从空中监测城市环境和市政基础设施的质量，比如空气污染程度、热岛效应、道路状况、水体状况、生态系统等，将采集到的数据经过智能算法进

庄苗，清华大学航天航空学院教授。欧洲科学与艺术学院院士（EASA），国际计算力学协会副主席（IACM），国家973项目首席科学家。



行分析，识别潜在的污染、陈旧、紊乱等环境劣化因素，从而制定并实施准确有效的应对策略。例如，2024年法国巴黎奥运会就运用AI赋能的无人机监测大气环境、人员流动和基础设施状况。

低空经济是以有人和无人飞行器主导的飞行器应用模式，极目眺望，即便是高达828米的迪拜哈利法塔，也可对其进行自上而下的扫描体检；即便是埋入地下的综合管网，也可以对其进行场发射扫描探测。例如，北京市的市政管网总长度达到22.71万公里，包括电力、通信、燃气、供水、排水、燃气、供热等多种类型的地下管线，它们是城市赖以生存和发展的物质基础。对其进行人工检测、维护和改造的费用及其昂贵，可以采用AI赋能的无人机和机器人系统对其进行安全性监测，不仅提高了建筑物和市政管网的检测效率和精度，也大大降低了检测成本和人员安全风险。

在城市智能化管理中，利用无人机和AI技术进行建筑物的健康监测，能够实时掌握基础设施的状况，提前发现潜在问题，进行预防性维护，保障城市交通和建筑物的安全与稳定。低空交通的普及



无人机送药在城市中应用

也带来全新的视角对城市进行认知和经营，重新塑造城市形象和特征成为全新的城市设计挑战。增强现实、数字场所营造等人工智能手段可以赋能打造新的城市形象，丰富人们对城市的体验过程和情感连接。将城市的数据库向低空进行延伸，赋能精细化城市低空空间权属管理，平衡公私权利分配，保证城市资源在低空空间的公平利用。

上述关于城市空间使用状况以及城市环境和基础设施质量的信息，将有助于完善正在快速建构的城市精细化数据库，从而为 AI 驱动下的城市规划和设计提供更加扎实和全面的数字基础。AI 赋能低空经济，通过无人机对建筑物和基础设施的智能检测，极大地提升了城市建设的健康管理。未来，随着科学技术的不断进步，AI 和无人机的应用场景更加广泛，发展低空经济是经济增长的新引擎，为智慧城市建设提供强有力的技术保障和发展动力。

智慧交通运输

人工智能赋能低空经济在推进智慧城乡交通方面发挥了重要作用，尤其是有人和无人机在实现空中交通和空中通勤领域的应用。在深圳，低空经济已逐步形成规模。市政府率先出台了直升机固定航线的补贴政策，鼓励市民和企业乘坐直升机空中通

勤。这一政策不仅使得空中通勤费用大幅下降，还大大提高了出行效率。到 2023 年底，深圳的低空航线已飞行近 300 架次，乘机人数累计超过 1300 人次，展示了空中交通的潜在应用前景。2024 年 6 月 30 日的 CCTV-1 新闻联播中播出：从高铁深圳北站乘直升飞机到达深圳湾仅需要 8 分钟，比地面交通节省了至少 80% 的时间成本。

低空航线起降点的覆盖范围不断扩大，已涵盖了大湾区的多个城市，包括香港、澳门、广州、东莞、惠州、中山和珠海等。通过垂直起降技术，无人机能够在城市间或城市内提供快速、高效的空中交通服务，成为未来城市交通的一种潜在解决方案。自 2015 年国内首次体验“飞的”出行以来，深圳的低空经济发展迅速。2019 年，粤港澳大湾区直升机航线的开通，进一步缩短了两地的通行时间，标志着低空经济在跨境交通中的应用迈出了重要一步。

无人机在空中巡查和医疗救护等领域也发挥了重要作用。例如，深圳市公安局交警局与通用航空公司签订的应急救援战略合作协议，包括直升机救援服务、共享道路交通数据、现场交通保障和建立空中可视化指挥巡查等内容。在深圳，创伤呼叫 120 的比例较高，特别是在严重交通拥堵时，直升机救援能够大大提高救援效率。目前，深圳已实现每 100 平方公里范围内有一架直升机待命，实现半小时内飞行圈覆盖全市直至深港澳。

低空经济的发展依赖 AI 技术的赋能。AI 技术可以优化无人机的飞行路线和任务规划，提高飞行效率和任务执行能力。通过大数据和机器学习技术，AI 可以根据历史数据和实时环境，智能调整无人机的飞行路径，规避障碍物，确保飞行安全性和可靠

性。这一技术的应用，使得无人机在城市交通和应急救援等领域的应用更加广泛和高效。

通过海陆空无人系统产业的协同发展和技术跨界融合，深圳正在加快海陆空一体化示范应用项目的建设，开展多场景运行试点，加快海陆空无人系统应用，构建良好的低空产业生态圈。这一举措不仅提升了城市的智慧化管理水平，也为低空经济的发展提供了有力支持。

未来，随着AI技术的不断进步和低空经济的发展，空中交通将成为智慧城市的重要组成部分。无人机不仅能够缓解地面交通的压力，还能够提供更加便捷和高效的交通服务。例如，在城市高峰时段，通过无人机进行空中通勤，可以大大缩短通勤时间，减少交通拥堵，提升城市的运行效率。同时，通过无人机技术，可以实现对城市基础设施的智能化管理，提高城市的智慧化水平。随着技术的持续进步和应用场景的不断拓展，低空经济将在智慧城市建设中发挥更加重要的作用，实现城乡一体化发展的宏伟蓝图。

智慧路桥监测

我国作为世界桥梁大国，截至2021年底，已建公路桥梁达96.11万座。仅四川省内就有长江大桥18座，省级公路/铁路桥3247座，省级以下公路和市政桥梁约4.5万座。即便每座桥梁的年平均监测维护费用为0.5万元，四川省财政也要支出2.25亿元。桥梁作为连接城市的重要交通枢纽，其安全性与稳定性至关重要。然而，随着时间的推移，许多桥梁可能面临各种损伤和老化问题。由于过去“重建轻养”，超过40%的桥梁已进入病害高发期，我国正在进入桥梁养护的关键期。传统的检测方法往



无人机在智慧路桥监测中应用

往难以全面、准确地评估桥梁的状态，对桥梁进行智能检测势在必行。

AI技术与无人机的结合，应用于桥梁健康监测，通过AI技术的图像识别和大数据分析功能，正在重塑桥梁智能检测的新篇章。无人机搭载高清相机、红外相机和激光扫描仪等设备，对桥梁结构进行全面的检查，利用高分辨率图像和视频记录桥梁的变化情况，捕捉桥梁的实时状况，将观测的数据传回到数据中心；对比工程设计施工图、监测传感器记录和内嵌的疲劳损伤容限阈值等大数据，精准识别裂缝、腐蚀、锈蚀等结构损伤、老化等问题。这种技术明显的优势在于能够快速完成巡检工作，提供高质量的视觉材料，为工程养护维修提供参考依据。

无人机配备的激光雷达系统可以进行精准的三维扫描，从中获取桥梁的几何形状和尺寸数据。利用这种高精度的测量，可以准确评估桥梁的变形、磨损和结构失稳情况等。此外，无人机配备的红外热像仪可以探测桥梁结构中的损伤隐患，如潜在的热点、温度异常或隐蔽的冷却线路等。这不仅能够快速发现桥梁的热异常区域，还可以尽早预警潜在结构故障，避免造成严重的后果。通过无人机获取的大量数据，需要借助AI的数据处理技术，根据

结构设计图纸数据、日常监测数据、关键参数敏感性分析数据，代入基于断裂力学的疲劳损伤容限计算软件，预测评估桥梁结构的疲劳寿命和日历寿命，给出剩余寿命。这一技术不仅提高了桥梁检测的效率和准确性，还能够提前预警潜在的安全隐患，确保桥梁的安全运行，为工程部门决策者提供可靠的参考依据。

2023年，多个部门联合印发《智能检测装备产业发展行动计划（2023—2025年）》，明确提出到2025年，智能检测技术要基本满足用户领域制造工艺需求。这为AI与无人机结合的智能检测系统提供了政策支持。无人机融合北斗定位技术，搭载自研专用相机，实现对桥梁底部、支座、桥塔等部位的全覆盖高清图像采集，利用智能算法自动完成缺陷的定性判断、定量测量、精准定位，并将处理结果映射至三维实景模型上，自动生成满足定检要求的数据报告。自研相机的高速对焦，每秒两张不间断拍摄，使得每日检测面积可达5000平方米。智能算法自动识别、测量及定位各种缺陷，识别精度最高可达0.05mm，搭建GIS-BIM数字化平台，缺陷信息自动映射，实现缺陷的可视化管理。这一技术优势在于其全覆盖、高效率和智能化。

通过对桥梁结构的高精度、高分辨率观测数据，智能处理系统能够精准识别裂纹和其他病害，实现建筑结构健康状态的多维度表征。由于对裂纹的拆分再还原，会影响裂纹形态的高精度还原及走向的准确判断，因此，构建识别与提取一体的稳健轻量化学习模型，开展多任务载荷协同监测，提升健康状态指标的多维度表征水平，是下一阶段研究的重点。

智慧农业农村

农业无人机是专为农业应用而设计的无人驾驶飞行器(UAV)。这些无人机配备了一系列传感器和成像技术，例如摄像头、激光雷达和多光谱传感器，



无人机在智慧农业中应用

使它们能够收集有关农作物、土壤和其他影响农业生产因素的数据。农业生产经营者面对大片良田，利用自动化机械完成生产的需求显著增加。在利好政策的助推下，农业无人机成为推进农业机械化的重要工具之一，其技术水平、普及程度和市场规模正在大幅提升。随着数字化、智能化技术与无人机产品和农业场景深度融合，农业无人机正在为智慧农业赋能，加快农业现代化建设，助力乡村振兴。

近年来，我国颁布系列政策鼓励农业无人机发展。一方面，提升农业无人机研发和制造水平。2022年2月，中共中央、国务院印发《关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作意见》，提出应提升农机装备研发应用水平，将高端智能机械研发制造纳入国家重点研发计划并予以长期稳定支持。

另一方面，为农业无人机购置提供补贴。2017年起，我国实施了农机购置补贴引导植保无人机规范应用试点工作。2020年广西、广东等20个试点省份共计申请中央财政补助资金2.23亿元，补贴购置植保无人机9000余台。《2021-2023年农机购置补贴实施指导意见》提出，我国将全面开展植保无人驾驶航空器购置补贴工作，进一步强化财政支持力度。

随着新农业和智慧农业的推进，植保无人机的市场规模近年来不断扩张。农业无人机的需求从传统的植保无人机逐渐扩张，目前已经深入到病虫害防控、农艺、播撒、智慧农业、授粉、果树防冻防晒等农业领域。农业无人机应用场景的不断细化和扩宽，为全球农业无人机行业发展提供了庞大的市场潜力和发展动力。农业无人机在对马铃薯、水稻、大豆等重要农作物进行植保飞防的基础上，已经能够结合高分辨率多光谱巡田无人机实现地块平整监测、出苗识别、病虫害监测、精准变量营养液和杀虫剂精准点喷作业。无人机能够对种植地块进行航测，生成地块的数字高程模型，测量地块内高差、发现局部高地、洼地等，及时整改。在病虫害防护上，无人机可以设置自动飞行和拍摄航线，对田间进行高密度采样拍照，并把拍摄到的照片输入到病虫害识别AI模型，从而自动监测病虫害，并把病虫害位置和等级通过软件呈现给管理人员。无人机可以将识别到的病虫害发生热点生成点喷处方图，下发给农业无人机进行点喷作业。相比传统的全田喷施做法，在达到有效防治的情况下，可以大量减少虫害。除了病虫害精准点喷，无人机也可对作物整体长势进行监测，并进行营养液的变量喷施。

未来，发展AI赋能的农机大数据和智慧农机装备是我国农业机械化和农机产业转型升级的重要方向。比如，举世闻名的新疆棉采摘过程，是10000台采棉机在短时间内作业完成的，需要AI赋

能协调万台采棉机的作业运行。无人机有望与智能技术、农艺制度、农业经营、农田建设等进一步融合，更深入地介入农业领域，影响农业全行业链条，支撑智慧农业发展。如“无人机+感应器+大数据”在农业领域融合应用，可形成多层次、全方位的“农业地图”，将土壤信息、作物信息、气候信息和农户信息汇总和分析，进一步深度参与农业全流程作业，形成农业领域智慧化系统解决方案。

结语

低空经济的发展离不开政策的支持和技术的创新。深圳等城市通过出台一系列政策措施，鼓励和推动低空经济的发展，展示了地方政府在这一领域的积极作为。云南省弥勒市利用地理环境资源优势，大力发展低空经济，带动会议、旅游和疗养等产业。低空经济的发展，将进一步促进城乡一体化，实现资源的优化配置和高效利用，提升城市的整体运行效率和居民的生活质量。

智慧城乡建设需要依托先进的技术手段和科学的管理模式，AI技术在这一过程中扮演了不可或缺的角色。AI赋能低空经济，将持续推动智慧城乡建设的发展。随着AI技术的深度应用，无人机将不局限于当前的应用场景，还将探索更多可能，成为智慧城乡建设的重要工具。

总之，AI赋能低空经济，不仅是科技进步的体现，更是智慧城乡建设的重要引擎。通过技术创新和政策支持，低空经济将为智慧城市的发展注入新的活力，实现城乡融合发展的美好愿景。AI技术在无人机中的应用，将不断延展低空经济的地平线，为智慧城乡建设提供坚实的技术保障和广阔的发展空间。在这一过程中，AI赋能低空经济，应用于智慧城市、智慧农业、智慧交通，必将产生新质生产力。因此发展低空经济不能循规蹈矩、亦步亦趋，善出奇者，无穷如天地，不竭如江河。