

DOI: 10.26952/j.cnki.ISSN1674-9073.202602007
文章编号: 1674-9073 (2026) 02-0045-08

基于无人机与无人车协同的住宅小区末端配送模式优化研究

Research on Optimization of Terminal Distribution Mode in Residential Communities Based on Collaboration Between UAVs and UGVs

文/张成英 姜涌 (通信作者) 刘嘉 龙瀛 夏俊豪 程城 ZHANG Chengying JIANG Yong LIU Jia LONG Ying XIA Junhao & CHENG Cheng

张成英/清华大学高级工程师

姜涌/清华大学建筑学院副教授, JYong2000@163.com

刘嘉、龙瀛、夏俊豪/清华大学

程城/中建玖合发展集团有限公司

※横向课题: 清华大学 (建筑学院) - 中建玖合发展集团有限公司超特大城市社区空间与建筑技术联合研究中心资助 (课题号2025A1A2);
中建二局科技资助计划 (2021ZX190001)。

中图分类号: TU984.12、TU241.2、F259.27 文献标识码: A

摘要: 针对超大城市住宅小区快递末端配送面临的效率低、空间冲突、无接触需求难满足等问题, 本文以无人机与无人车协同配送为核心, 系统梳理低空物流无人机与智能配送无人车的技术发展现状, 界定住宅小区末端配送的核心内涵与要求, 剖析无人化配送的行业瓶颈并提出解决方案。设计五种无人机与无人车协同的无接触末端配送模式, 从效率、成本、落地难度等维度量化对比并提出场景化推荐策略; 构建了低空—地面—地下的三维立体配送空间体系, 明确小区驿站、无人机阳台、地下通道等规划与建筑适配要点与技术参数; 研究为智慧社区物流配套规划设计提供了可操作的技术方案, 填补了无人配送设备与住宅小区建筑空间系统适配的研究空白, 对推动末端配送无人化、智能化落地具有重要意义。

关键词: 无人机与无人车协同、住宅小区、快递末端配送、空间适配、陆空一体化物流、低空人居

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency, spatial conflicts and the difficulty in meeting contactless service demands existing in the express terminal distribution of residential communities in megacities, this paper takes

the collaborative distribution of unmanned aerial vehicles (UAVs) and unmanned ground vehicles (UGVs) as the core, systematically sorts out the current technological development status of low-altitude logistics UAVs and intelligent delivery UGVs, defines the core connotation and requirements of terminal distribution in residential communities, and analyzes the industrial bottlenecks of unmanned distribution while putting forward corresponding solutions. It designs five contactless terminal distribution modes based on the collaboration between UAVs and UGVs, conducts a quantitative comparison of these modes from the dimensions of efficiency, cost and implementation difficulty, and proposes scenario-based recommendation strategies accordingly. Besides, the paper establishes a three-dimensional distribution space system integrating low-altitude, ground and underground layers, and clarifies the planning and architectural adaptation essentials as well as technical parameters for community courier stations, UAV balconies, underground passages and other supporting facilities. The research provides an operable technical scheme for



1 快递末端配送示意图

the planning and design of logistics supporting facilities in smart communities, fills the research gap in the systematic adaptation between unmanned distribution equipment and the architectural space of residential communities, and bears important practical significance for promoting the practical implementation of unmanned and intelligent terminal distribution.

Keywords: collaboration between UAVs and UGVs, residential communities, express terminal distribution, spatial adaptation, air-ground integrated logistics, low-altitude habitation

一、引言：无人机与无人车协同发展

我国快递业务量从2014年开始连续10年稳居世界第一，2024年快递业务量达1745亿件，2025年快递业务量达1990亿件，快递业务收入为1.5万亿元，约合每件快递资费7.5元，人均年快递量142件，每户每日平均约1.2件，呈现出快递业务量快速增长、快递资费快速下降、快递员人均工作量快速增长的现象，特别是快递业务末端“最后5km”的配送成本占比高达60%，成为物流链条的核心痛点^{[1][2]}。

随着《快递市场管理办法（2024修订版）》对上门配送的硬性要求，

以及后疫情时代居民对无接触配送的需求升级，传统人工配送模式已难以满足效率与品质双重要求，无人机与无人车技术的成熟为末端配送升级提供了提质增效的新路径，各地正加速推进无人配送试点。但当前无人机与无人车多为单一设备应用，缺乏陆空协同的配送模式设计，且与住宅小区规划建筑空间的适配性研究滞后，成为无人化配送规模化落地的关键障碍。

1.低空物流无人机、智能配送无人车的分类及发展现状

低空物流无人机按应用场景与技术参数，可分为干线物流无人机与末端配送无人机两类，核心差异体现在载重、续航与飞行空域。干线物流无人机以顺丰丰翼为代表，载重50kg~200kg，续航50km~200km，适用于城市间、跨区域的支线运输，已实现大湾区日均2万单的常态化运营，效率较传统运输提升50%以上；末端配送无人机以美团为代表，载重2kg~10kg，续航5km~30km，飞行高度50m~120m，适用于住宅小区“最后100m”配送，依托厘米级北斗定位技术可实现精准起降与投递。目前我国末端配送无人机已实现高原、城市、海岛等全地形覆盖，并在珠海、深圳、上海等城市的住宅小区中开展试点。

智能配送无人车按自动驾驶等级与运营场景可分为园区型L4无人车与城市道路型L4无人车两类。园区型无人车以菜鸟、新石器为代表，车身尺寸2m~3m，载重50kg~500kg，适用于小区、园区等封闭、半封闭场景，单车日均运件量可达800~1000单，件均成本降幅达70%；城市道路型无人车以行深智能、九识智能为代表，可适配城市开放道路，累计运营安全里程超2000万公里，单日可配送2000票快递。当前无人车的核心应用场景为住宅小区末端配送，主要实现从快递网点到

表1 低空物流无人机与智能配送无人车分类及核心技术参数

设备类型	代表企业	核心参数	应用场景	运营效率提升
干线物流无人机	顺丰丰翼	载重50kg~200kg，续航50km~200km	城市间支线运输	≥50%
末端配送无人机	美团、京东	载重2kg~10kg，续航5km~30km	住宅小区最后100m配送	≥30%
园区型无人车	菜鸟、新石器	载重50kg~500kg，日均800单	小区/园区封闭场景	≥100%
城市道路型无人车	九识智能	单日2000票，续航100km	城市开放道路+小区配送	≥200%

注：数据来源于企业宣传和新闻报道

小区驿站、驿站到单元门口的接驳运输，与人工配送相比效率提升2~3倍（表1）^{[3]-[6]}。

2.城市陆空一体化交通模式的相关探索

在城市层面，无人机的出现带动了构建“低空空域+地面道路+地下通道”的三维立体交通体系的陆空一体化交通研究，将物流运输与居民出行进行空间分离，是解决城市交通拥堵与物流效率的重要方向。美国NASA提出城市空中交通（UAM）设想，聚焦无人机与载人飞行器的空域协同，已在达拉斯、洛杉矶开展低空物流试点；欧盟以《欧洲空中交通管理总体规划》（ATM Master Plan）为指导、通过SESAR项目计划构建欧洲统一低空交通管理体系，实现无人机物流的跨国协同；日本东京在中心城区开展社区无人机配送试点，甚至开发出空中索道机器人以降低安全风险、噪声和悬空能耗，实现住宅小区的无接触配送^{[7]-[10]}。

我国陆空一体化交通探索以政策引导+场景落地为核心，珠海、深圳、上海为核心试点城市。珠海作为全国低空经济示范区，开通了唐家港—桂山岛全国首条海岛低空公共物流航线，实现“陆岛半小时达”，并打通广珠跨市低空通道，验证了城际低空物流的可行性；同时珠海在“四化”（数字化、智慧化、绿色化、产业化）新型住宅产品体系试点中融合低空无人机与地面无人车的全链条协同的配送体系^{[11]-[14]}。

3.国内外相关研究与实践进展

目前国外研究多聚焦于单一无人设备的技术研发与空域管理，如无人机路径规划、无人车自动驾驶算法、低空交通管理体系等，缺乏无人机与无人车的协同配送模式设计，且未结合住宅小区建筑空间进行系统适配。国内研究可分为两类：一是末端配送模式创新，如聚焦小区驿站、智能快递柜的共同配送模式，以及单一无人机/无人车的应用模式；二是物流空间规划，如城市地下物流通道、小区智慧驿站的设计研究。实践层面，国内已有珠海、深圳、上海等城市开展住宅小区无人配送试点，其中珠海华发的珠海湾、香山湖壹号项目，为国内首批实现无人机与无人车协同快递配送的住宅小区试点，为研究提供了重要的实践样本。

本文研究着重构建五种无人机-无人车协同的无接触直送配送模式，从效率、成本、落地难度等维度量化对比，据此提出住宅小区低空-地

面-地下的三维立体配送空间体系，明确各层级的规划建设适配要点与技术参数，实现物流空间与住宅空间的系统融合；结合实证案例提出无人机阳台、户前快递角等分户物流空间的标准化设计要求，为未来住宅的优化设计提供参考。

二、住宅小区快递中无人机、无人车的应用方式

1.住宅小区末端配送的核心需求与实现方法

快递全链条一般可划分为收寄—分拣—干线运输—支线配送—末端配送5个环节，其中住宅小区末端配送指从快递服务网点（营业网点）到用户的住户门前或阳台的“最后1000m”配送（城市中实际为最后1km~3km），是连接物流网络与终端用户的核心环节（图1）^[15]。

目前住宅小区末端配送的核心要求包括以下几点^[16]：

- 1）上门配送、即时配送的高标准：2024年开始实施的修订版《快递市场管理办法》，明确禁止未经用户同意的驿站代收行为，上门配送成为基本标准；餐饮及生鲜外卖的快速发展使得20~30分钟的即时配送成为行业新标杆，居民对即时配送需求显著提升。
- 2）无接触化隐私保护与交通分流：居民关注个人信息安全、家庭隐私保护、小区内交通安全与小区封闭管理维护等，需要在提升效率的同时保证与快递车的交通隔离、与快递员的接触隔离，无感、无接触配送成为核心需求；
- 3）无人在家时配送的有序达成：因无人在家时的上门配送带来门前快件丢放杂乱，影响住区品质，而且占用公共空间影响消防疏散等，亟须通过技术和空间手段实现无人在家状态下的有序整洁投递。

住宅小区快递具有“单票量小、配送频次高、收件地址分散”的特点，人工分拣接驳和快递网点到小区的“最后一公里”运输效率低，是人工成本占比达最大的环节（约60%以上），是物流链条中效率最低、成本最高的环节，智能化、无人化是降本增效的必然趋势。

2.目前住宅小区末端配送无人化、智能化瓶颈与解决方案

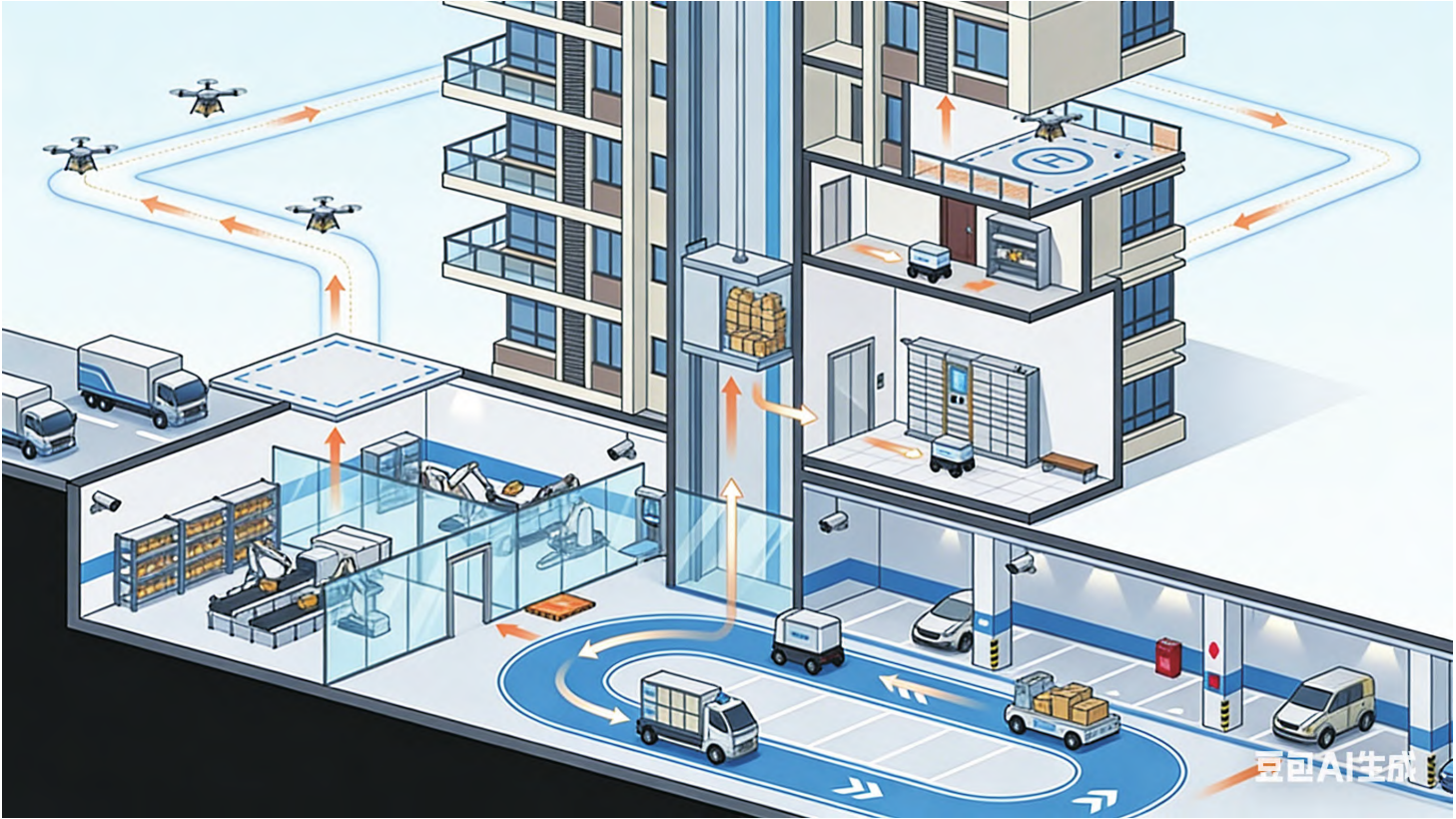
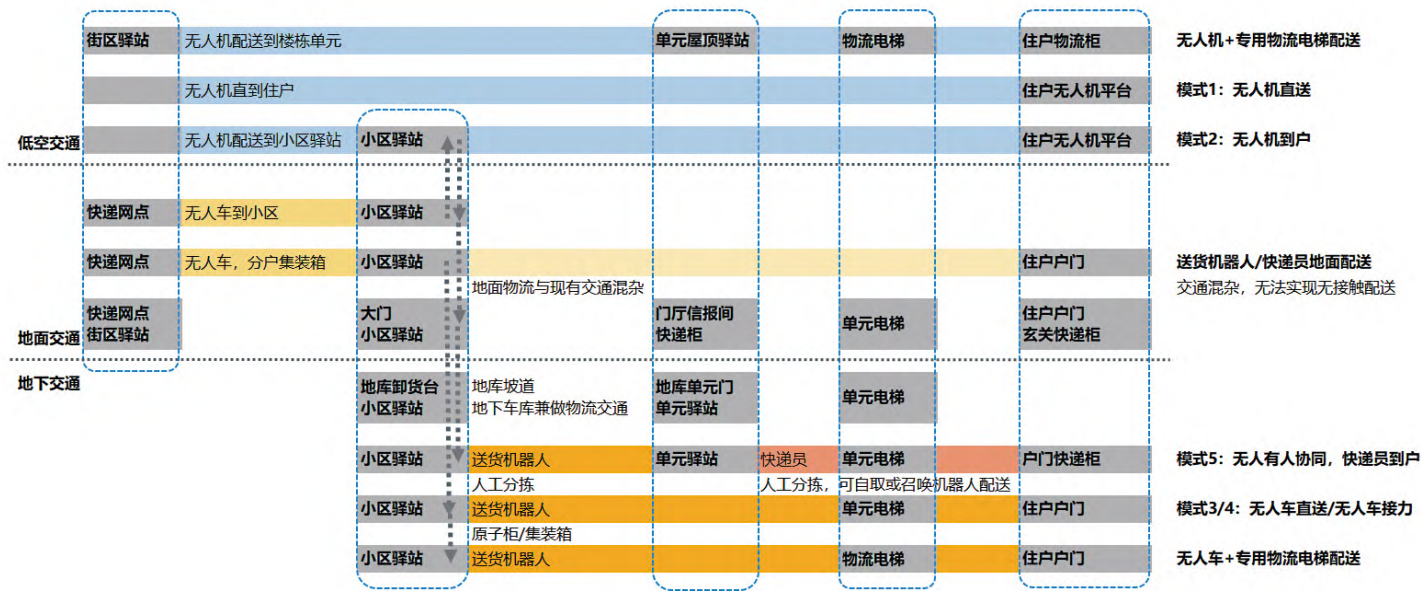
当前住宅小区末端配送无人化、智能化的瓶颈集中在效率、路径、配套、技术4个维度，各瓶颈的核心堵点与针对性解决方案如下：

表2 五种无人机与无人车协同的末端配送模式比较

序号	名称	配送路径	核心设备组合	无人化、无接触性等特点	落地难度	适用场景
1	无人机直送	快递服务网点自动分拣→无人机装载→低空航线直飞→分户无人机阳台自动投递	末端配送无人机，厘米级北斗定位系统，无人机阳台，	全程无人化，完全无接触，配送效率最高	高	高层住宅、小件快递、低空开放，无人机直送到户
2	末端无人机上门	快递服务网点→无人车直配小区驿站→人工分拣到无人机→无人机直送分户阳台	无人车、末端配送无人机、小区驿站对接无人机起降平台、无人机阳台	无人车干线接驳，无人机最后100m投递，人机协同分拣，完全无接触	中高	高层住宅、小件快递、低空开放，快递量大，快递员驿站分拣
3	无人车直送	快递服务网点自动分拣→无人车装载原子柜→小区地下专用通道→户门前快递角→原子柜自动卸货	园区型无人车、原子柜/子母机、地下物流通道、户门前快递角	全程无人车协同，货柜一体实现自动卸货，完全无接触	低	网点自动分拣，货柜一体，集装箱/原子柜运输投递，箱体及运输成本较高
4	无人机无人车接力	快递服务网点→无人机直飞小区驿站→人工分拣到无人车→无人车/送货机器人直送户门前快递角卸货	末端配送无人机、园区型无人车、小区驿站、户门前快递角	无人机负责干线接驳，无人车/送货机器人负责最后100m配送，完全无接触	中高	地面交通拥堵或偏远小区，低空开放，快递员驿站分拣
5	无人有人协同	快递服务网点→无人机/无人车配送到小区驿站→人工分拣→快递员上门配送	无人机/无人车、小区驿站、智能快递柜	无人设备负责干线接驳，人工负责最后100m上门，半无接触，门前快递柜则无接触	最低	适用于冷链、大件等特殊订单，发挥人机协同优势，目前落地难度最低、最易推广的模式

- 1) 人机协同与人工分拣接驳中转的效率问题
- 核心堵点：小区驿站的人工分拣环节成为效率瓶颈，且无人机与无人车的作业衔接缺乏协同。
 - 解决方案：（1）明确人机协同的作业边界：无人设备负责标准化、规则化的运输任务（如网点到驿站、驿站到单元），人工负责非标准化的分拣、大件快递配送等任务；（2）在小区驿站设置无人机、无人车对接平台或小区驿站，实现快件的快速装卸与中转，减少设备等待时间。（3）采用共享无人车队调度模式，根据小区快递量动态调配无人机、无人车数量，提升设备利用率。
- 2) 配送路径不完善与独立运输体系缺乏
- 核心堵点：现有配送路径缺乏独立的水平与垂直运输体系，快递小车占用小区公共道路，快递配送利用电梯等垂直交通工具与居民出行冲突。
 - 解决方案：（1）物流水平运输体系。构建地面专用物流通道和无障碍通行环境难度较大，且无法避免与行人的交叉，应利用小区地下车库及车道，依托现有车辆大型化特点加宽车道并设置无人车兼用通道，连接小区入口与各楼栋单元，目前新建小区全部具备相应条件，仅需升级智能门禁和自动门（目前新建小区大多重视地下车库入口和自动门配置）；（2）配置智能电梯并利用无人车实现分时共享。住宅各单元升

- 级智能电梯，支持无人车、送货机器人的自动呼叫与楼层选择，可利用夜间、午间等电梯使用低谷时段集中配送；（3）可配置物流专用垂直交通。未来提升住宅设计标准，在楼栋单元设置小型智能送货电梯和各楼层快递柜，实现与居民客梯分离的独立垂直物流通道，并可与屋顶无人机平台、地下单元驿站相通，实现全自动无人化配送服务。
- 3) 无人回家的自动卸货与无人机安全收货问题
- 核心堵点：无人在家时的上门配送难以实现，且无人机到户投递缺乏标准化的收货空间，存在投递精度低、安全隐患大等问题。
- 解决方案：（1）无人车采用原子柜、子母机等货柜一体模式。将快件装入可分离的智能货柜，无人车直送户门前快递角后自动卸货，用户通过 APP 解锁取件；（2）无人机设置标准化收货空间。在住户阳台、挑台设置3m×3m两层通高的无人机起降平台，依托厘米级北斗定位实现精准、安全投递。
- 三、无人机与无人车协同的快递末端配送模式设计与比较
1. 无人机与无人车协同的末端配送模式
- 基于无人机与无人车的技术特点，结合住宅小区无接触配送到家的核心需求，设计了五种无人机-无人车协同的末端配送模式，覆盖从快递服务网点到住户门前或分户阳台的全流程，各模式的配送路径、核心设



2 末端配送多种模式示意

备、协同方式等核心要素对比如表2所示，所有模式均实现无人在家状态下的自动卸货/投递，满足无接触与上门配送双重要求（表2、图2）。

基于各模式的量化对比与住宅小区的类型特征，各种模式的应用场景化推荐如下：

1) 快递量较小的住宅小区：优先推荐模式1，利用高层住宅的低空空

域优势，采用无人机直送阳台模式，实现最高效率的无接触配送；快递量高峰时段辅以模式2，通过无人车接驳提升快件处理能力。

2) 高快递密度大型住宅小区：优先推荐模式3，利用多层住宅的地下车库资源，通过无人车+原子柜模式实现直送户门前，地下专用通道避免人车混流，且成本最低。

3) 空域受限、全类型住宅小区灵活订单: 推荐模式3+模式5组合, 在低空空域未开放的区域采用模式3, 通过无人车+地下通道实现无接触配送, 特殊订单由人工上门。一般在门前设置快递角或快递柜、快递架, 可基本实现无接触配送, 兼顾效率与服务品质。

2. 基于协同模式设计的规划与建筑适配要点

无人机与无人车协同配送模式的落地, 依赖于住宅小区规划建筑空间的系统适配, 核心是构建小区级-楼栋/单元级-分户级的三级物流空间体系, 并与低空-地面-地下的三维交通体系深度融合, 并从规划与建筑设计角度适配住宅小区的无人配送, 包括小区驿站、地下通道与楼层快递柜、户门前快递角、低空通道与无人机阳台等。

1) 小区驿站 (适配无人机、无人车)

- 选址: 优先选址于小区入口地下车库区域, 紧邻地库坡道, 实现与无人车的无缝衔接;
- 空间规模: 总面积 $\geq 30\text{m}^2$, 划分分拣区 ($\geq 10\text{m}^2$)、暂存区 ($\geq 10\text{m}^2$)、无人机/无人车对接平台 ($\geq 5\text{m}^2$)、充电维修区 ($\geq 5\text{m}^2$);
- 设备配套: 设置无人机起降平台 ($3\text{m} \times 3\text{m}$)、无人车充电桩、冷链暂存柜、智能分拣设备;
- 服务半径: $\leq 500\text{m}$, 确保居民步行5分钟内可达, 同时覆盖小区所有楼栋。

2) 地下通道无接触与楼层快递柜

- 地下物流通道: 利用小区地下车库的机动车车道构建无人车兼用通道, 宽度 $\geq 5.5\text{m}$, 高度 $\geq 2.5\text{m}$, 采用单向循环设计, 设置导航标识与监控设备; 通道每隔50m设置应急呼叫按钮与消防设施;
- 智能配送电梯: 楼栋单元设置物流专用电梯, 与居民客梯分离, 载重 $\geq 50\text{kg}$, 轿厢内设置配送专区 ($\geq 1\text{m}^2$), 支持与智慧物流云平台的自动联动;
- 楼层 (梯厅) 快递角或快递柜/架: 在楼栋梯厅设置快递暂存空间, 进深 $\geq 0.6\text{m}$, 面积 $\geq 2\text{m}^2$, 适配原子柜、子母柜等配送方式及送货机器人卸货方式, 作为可移动空间利用梯厅进深空间, 兼顾快递暂存与邻里交往功能。

3) 户门前快递角/带快递柜的玄关门

- 户门前快递角: 在住户户门外设置专用快递角或设置统一的快递架/配送架, 尺寸 $\geq 0.8\text{m} \times 0.6\text{m}$, 具备防水、防盗功能, 适配无人车原子柜的自动卸货, 因临时放置可占用部分通道空间;
- 带快递柜的玄关门: 在住宅玄关门集成智能快递柜, 柜体尺寸 $\geq 0.6\text{m} \times 0.5\text{m} \times 1.2\text{m}$, 支持 APP 解锁与无人车自动投递, 或支持有人配送的可旋转柜, 实现快件入户的无接触配送。

4) 低空通道与无人机起降平台/阳台

- 低空通道: 规划小区专属的低空无人机航线, 飞行高度50m~100m,

避开建筑密集区与居民活动空间, 采用厘米级北斗定位实现航线精准管控;

- 无人机起降平台/阳台: 分户无人机阳台为核心适配形式, 净尺寸 $\geq 3\text{m} \times 3\text{m}$, 需设两面临空面且高度 $\geq$ 两层层高, 设置无人机起降标识与防撞设施, 按照面积计算规则可不计入容积率与产权面积。

5) 独立外挂物流电梯与分户物流柜

- 独立外挂物流电梯: 适用于老旧小区改造或新建高标准住宅小区, 在楼栋外侧设置外挂物流电梯, 载重 $\geq 50\text{kg}$, 连接地下通道、屋顶平台及各楼层, 支持无人机/无人车/送货机器人的卸货并能智能分送到分户物流柜;
- 分户物流柜: 配合专用的物流电梯, 在各户设置分户物流柜, 尺寸 $\geq 0.8\text{m} \times 0.6\text{m} \times 1.0\text{m}$, 支持无人机/无人车的自动投递, 柜体可为简易的金属框以防跌落, 或为具备冷藏、消毒功能的金属柜以适配生鲜、医药等特殊快件。

3. 现有住宅小区无人配送应用与设计特点

珠海作为全国低空经济示范区, 华发珠海湾、华发香山湖壹号是国内首先采用无人机为核心, 以无人化、智能化为卖点实现末端配送的住宅小区试点, 其做法具有重要的参考价值^{[17][18]} (图3~5):

- 无人机驿站: 小区在外围街角设置无人机驿站, 包括无人机起降点、室内控制中心、无人机维护充电储存空间等;
- 分户无人机阳台: 每户标配 $3\text{m} \times 3\text{m} = 9\text{m}^2$ 无人机专属停机坪, 采用错台布局保证两层通高, 按照面积计算规则不计入容积率, 结合阳台一体化可形成 $18\text{m}^2 \sim 30\text{m}^2$ 的空中花园, 依托厘米级北斗定位技术实现物流无人机直送阳台, 业主也可通过小程序约定时间实现无人机/送货机器人配送;
- 地下快递驿站与人机协同分拣体系: 在小区地下车库设置约 50m^2 的智能快递驿站, 配备无人车对接平台、充电桩、智能分拣设备, 实现无人车从快递网点到驿站的直配, 驿站工作人员完成简单分拣后, 由送货机器人配送到单元门口; 同时配备无人车的停靠、检修、充电空间。地下快递驿站设置无人机/无人车对接专区, 配备快递员实现快件的快速装卸, 同时负责大件快递分拣与特殊订单配送, 无人设备负责标准化配送;
- 无人车专用通道: 利用地下车库设置3m宽的无人车专用通道, 连接小区入口与各楼栋单元, 通道设置导航标识与智能门禁, 支持快递无人车的自主通行与配送。
- 逆向物流、垃圾无感清运的统筹: 将快递退货与社区垃圾清运作为逆向物流, 与正向快递配送统筹规划, 在地下驿站设置退货专区与垃圾清运中转站, 实现正向快递配送+逆向垃圾清运物流的空间一体化。

四、结语, 未来住宅小区智慧高品质快递末端配送服务

本文以无人机与无人车协同为核心, 构建了住宅小区末端配送的无接触



3 住宅小区外缘的无人机驿站



4 住宅小区的无人机起降阳台



5 住宅小区的地下快递驿站、地下物流动线、智能快递app与小区智慧平台

直送模式体系，提出了低空-地面-地下的三维立体配送空间的规划建设适配要点，以无人机与无人车的协同配送是解决住宅小区末端配送痛点的有效路径，以及规划与建筑空间适配的要求，可为新建住宅小区规划设计与老旧小区改造提供参考^{[19][20]}。

1.规划层面的立体物流空间预留：新建住宅小区需将低空物流航线+地面无人车专用道+地下物流通道纳入总体规划，明确各层级空间的技术标准与管控要求；预留无人机起降平台、小区驿站、无人车充电维修区等物流配套空间，服务半径与规模适配小区快递量需求。

2.建筑层面的分户物流空间标准化预留：将3m×3m两层通高的无人机阳台、户门前快递角、玄关门集成快递柜纳入住宅建筑设计标准，作为新建住宅的标配；在楼栋设计中预留物流专用电梯、外挂物流电梯的接口，为后续无人设备升级提供空间支撑；梯厅、地下车库等公共空间设计需兼顾物流功能与邻里交往功能，实现物流空间+公共空间的融合。

3.智能设备的标准化适配与数据互通预留：住宅小区的智能门禁、电梯、监控等设备需预留与智慧物流云平台的对接接口，支持物联网授权、自动联动等功能；采用统一的技术标准，实现不同品牌无人机、无

人车的兼容适配，避免信息孤岛。

4.政策与运营层面的配套预留：政府层面需加快开放低空空域与无人车路权，制定无人配送的责任划分、安全监管等政策法规。住宅小区内的驿站运营、智能化设备与运营平台等，还需要物业企业的配套运营与维护。

5.前瞻性的技术预留：结合具身智能、人工智能的发展趋势，在住宅小区空间设计中预留送货机器人自主通行、无人机全自动投递、分户物流柜智能升级的技术接口；适配冷链、医药、生鲜等特殊快件的配送需求，在小区驿站与分户物流柜中预留冷藏、消毒、保鲜等功能空间。

未来，随着无人机与无人车技术的进一步成熟，以及规划与建筑空间适配标准的完善，无人化、智能化、无接触化将成为住宅小区末端配送的主流模式，智慧高品质快递系统将成为智慧社区建设的核心组成部分，为居民提供更高效、更便捷、更安全的快递末端配送服务。

参考文献

- [1] 新华网. 2025年中国快递业务规模与收入再创新高[EB/OL]. (2026-01-20) [2026-02-07]. <https://www.news.cn/fortune/20260120/9c7a8de33ce545a08e86d9752d988900/c.html>.
- [2] 中国经济网. 无人配送规模化商用还有多远 [EB/OL]. (2025-05-26) [2026-02-07]. http://www.ce.cn/cysc/jtys/zhwl/202505/26/t20250526_39364771.shtml.
- [3] 今日头条. 告别“技术自嗨”：无人物流车商业化破局的三大关键转变 [EB/OL]. (2026-01-30) [2026-02-07]. <http://m.toutiao.com/group/7600941490932466191/>.
- [4] 南方日报. 从“空中飞”到“落地用”，珠海把路修到低空去 [EB/OL]. (2025-08-07) [2026-02-07]. <https://www.nfnews.com/content/834pmmk3d.html>.
- [5] 凤凰网房产珠海. 重磅！珠海 34.5 亿地王，规划与效果图曝光 [EB/OL]. (2025-03-10) [2026-02-07]. https://zhuhai.house.ifeng.com/news/2025_03_10-56969516_0.shtml.
- [6] 南方日报. 无人机配送、康养服务全覆盖，华发物业数字化转型打造行业标杆 [EB/OL]. (2025-05-15) [2026-02-07]. <http://m.toutiao.com/group/7504599027980173834/>.
- [7] 网易 通航圈. 美国FAA发布最新版空中出租车蓝图：《城市空中交通（UAM）运行概念2.0》[EB/OL]. (2023-05-07) [2026-02-07]. <https://www.163.com/dy/article/l44MPKUE0530G3Q7.html>.
- [8] 工程（英文）. 欧洲单一天空空中交通管理研究——欧洲空中交通管理的过去、现在与未来[EB/OL]. (2020-08-23) [2026-02-07]. <https://www.engineering.org.cn/engi/CN/10.1016/j.eng.2020.08.023>.

[9] 亚太快讯. 日本将无人机用于物流 进行在河流上空飞行运送货物的实证实验[EB/OL]. (2025-07-08) [2026-02-07]. <https://www.jpchinapress.com/static/content/SS/2025-07-08/1392061689729925120.html>.

[10] 网易（科技）. 日本试验空中索道机器人配送服务|东京|物流|无人机 [EB/OL]. (2023-11-18) [2026-02-07]. <https://www.163.com/dy/article/IJR2GB0J05346RC6.html>.

[11] 陆兴桃,李娟,张迎佳. “轨道+低空”融合模式下的城市立体交通体系初探[C]//中国城市规划学会,沈阳市人民政府.迈向中国式现代化：规划的价值与作为——2025中国城市规划年会论文集（07城市交通规划）.广州市城市规划设计有限公司;广州市岭南建筑研究中心有限公司,2025:191-203.

[12] 邵春海,朱力,苗佳,等. 低空经济与城市轨道交通融合的技术路径与应用前景[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(02): 14-21.

[13] 中通无人机团队. 物流无人机的发展与应用[J]. 物流技术与应用, 2019, 24(2):110-114.

[14] 中国信通院, 中国互联网协会. 低空经济政策与产业生态研究报告（2024年）[EB/OL]. (2024-12-24) [2026-02-03]. <https://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202412/P020241224586347453312.pdf>.

[15] 云联智库. 末端无人配送行业研究报告[EB/OL]. (2024-08-20) [2026-02-03]. <https://www.10100.com/article/80134>.

[16] 每经智库. 中国智慧物流末端配送趋势报告[EB/OL]. (2025-04-27) [2026-02-03]. <https://www.sgpjbg.com.cn/baogao/43510.html>.

[17] 搜狐 焦点. 2025最新楼讯:华发·珠海湾[EB/OL]. (2025-09-17) [2026-02-07]. <https://nanping.focus.cn/zixun/80497979b0e4b8f0.html>.

[18] 网易. 华发香山湖壹号官方售楼处发布:豪宅启幕鼎级尊邸奢境(2026-02-09) [2026-02-09]. <https://www.163.com/dy/article/KKRL02IS055636TK.html>.

[19] 唐怀坤,王江涛. 低空经济智能物流基础设施设计研究[J]. 智慧中国, 2024(10): 87-89.

[20] 国联证券. 产业面面观第19期：国联低空经济系列研究：应用场景篇 [EB/OL]. (2024-04-10) [2026-02-03]. <https://www.fxbaogao.com/detail/4215961>.

图表来源

图1 引用参考文献[15]

图4 部分图为参考文献[17]的售楼资料

其余均为自摄或自绘