



中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T xxxx—XXXX

城市低空无人驾驶航空物流航线划设规范

Specification for urban delivery route planning of unmanned aircraft systems

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一起附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国民用航空局 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

本文件由中国民用航空局空中交通管理办公室提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：XXXX

本文件主要起草人：XXXX、XXXX、XXXX。

城市低空无人机物流航线划设规范

1 范围

本文件规定了民用航空管制单位、无人机交通服务提供方和无人机运行人在城市低空划设无人驾驶航空物流航线的内容、方法和要求。

本文件适用于在人口密集区域，采用超视距、分布式操作的多旋翼轻型和小型无人机物流运行。

2 规范性引用文件

本文件无规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市低空无人机物流航线 **urban delivery route of unmanned aircraft systems**

在城市环境下，为使用无人机开展物流运输业务而预先设定的空中航道。

3.2

标称航迹 **air route**

为完成无人机飞行任务，在综合考虑无人机性能和环境因素后，划设的预计飞行航迹。

3.3

航线保护区 **route protection region**

为保证无人机飞行碰撞风险在一定安全水平内，划设的平行于标称航迹的管状保护空间。

注：航线保护区横截面以标称航迹为中心点。

3.4

高度零位面 **area minimum altitude**

航线划设区域范围内，地表最低点所在的水平面。

注：高度的表示使用标准气压海拔高度。

3.5

高度基准面 **reference datum height**

航线划设区域范围内，地面（包括建筑物）最高点所在的水平面。

注：高度的表示使用标准气压海拔高度。

3.6

起降点 takeoff and landing point

由起降坪和附属的装置和设施构成，供无人机起飞、降落、滑行、停放以及其他活动使用的划定地面区域。

4 城市低空无人机物流航线划设内容

4.1 城市低空无人机物流航线的构成

城市低空无人机物流航线(以下简称航线)的划设内容包括：

- 空中航线；
- 进离场航线；
- 起降点。

见图1。具体要求如下：

- 空中航线和进离场航线均由标称航迹和航线保护区组成；
- 空中航线由线段和圆弧组成；
- 航线保护区的横截面应设置为矩形，截面尺寸由无人机的性能决定，设置方法见附录A；
- 空中航线和进离场航线保护区在规定的间隔时间内，不应与地面障碍物和其他航线保护区相交，时间间隔根据该航线物流无人机平均飞行时间间隔确定；
- 进离场航线应根据运行人的进离场飞行规则划设，应明确关键节点的位置和高度，包括进离场点、等待点；
- 起降点应以水平圆面表示，水平圆面直径应大于航线保护区截面最大尺寸；
- 当多个起降点共用一条进离场航线时，起降点可表示为等效水平圆面，水平圆面中心为所有起降点的几何中心，圆面直径为所有起降点中心连线的最大距离；
- 航线在进离场点之间由无人机交通服务机构负责间隔保持。

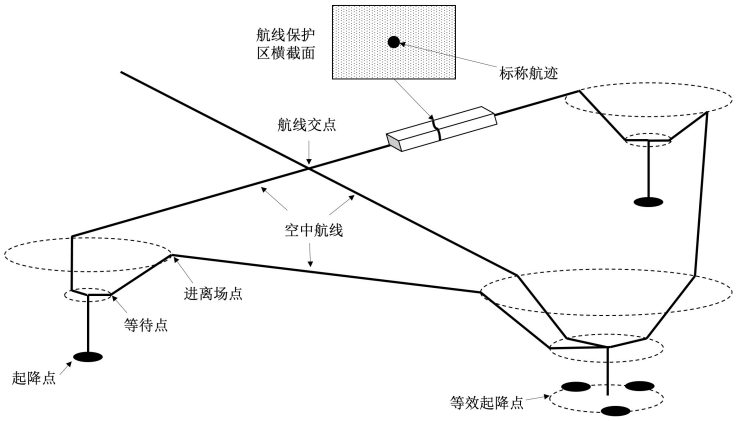


图 1 航线组成示意图

4.2 城市低空无人机物流航线基准高度

城市低空无人机物流航线划设前应设定高度基准面和高度零位面，如图2所示。航线划设高度最低应高于高度零位面以上40 m，最高不应高于高度基准面以上120 m。航线高度可根据航空器性能和地形变化，如图3所示。航线最低超障余度应为航线保护区范围。

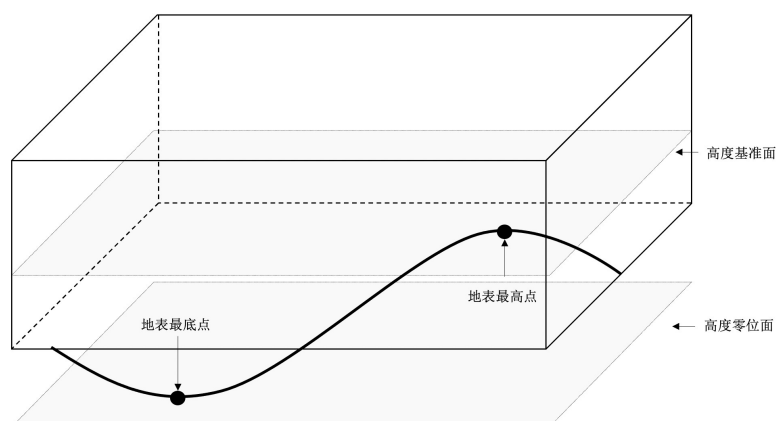


图2 航线高度面示意图

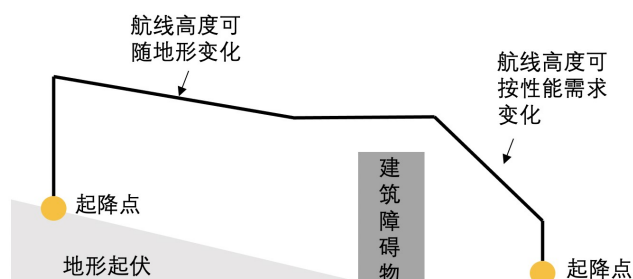


图3 航线组成示意图

5 城市低空无人机物流航线划设要求

5.1 一般要求

航线划设前，应评估运行的经济性。航线划设应根据无人机性能设定，降低飞行能耗。航线划设应考虑优化使用空域资源，扩大运行容量，提升航线网络配送效率。

航线划设前，应评估空域的适用性。将运行空域栅格划分，对栅格空域进行运行安全性、运行可靠性、公众可接性三方面评估，形成梯度适用空域，持续优化航线空间利用率，动态调整航线空域占用。

航线划设前，应根据运行量、基础设施、航空器性能，设置相应的进离场运行规则。

5.2 安全性评估

航线划设应首先确保对地面的公共安全。航线应尽可能划设在绿地、河道等非人口密集活动区上空。航线划设应评估以下内容：

- 发生坠机事故后，对地面人员造成伤害的概率；
- 发生坠机事故后，对地面重要基础设施破坏概率，例如广播通信基站、电塔设施等；
- 发生坠机事故后，搜寻无人机及货物的难度；
- 发生坠机事故后，引发二次事故的概率，例如引发火灾、造成水体污染等。

航线安全度值是指无人机发生坠地事故后，对地面人财物造成伤害的程度，伤害程度越低航线安全度越高。在城市场景下，枚举可能面临的安全问题，对运行安全性赋值完成评估，赋值方法见表1。

表1 航线安全度计算方法

影响因素	说明	等级	分值	描述
地面人员安全	无人机坠地后，造成的人员伤害的概率，与人口密度成正比。	高	-1	人口聚集或人员活动密集的区域。如：道路、广场、体育场等
		中	1	人口居住区或有人活动非密集的区域。如：公园、居住区、办公区等
		低	2	人口活动较少的区域。如：荒地、河道、绿化带等
地面设施安全	无人机坠地后对城市设施造成损坏的概率，例如广播通信基站、电塔设施。	高	-1	航线地面投影区域有较多、并且重要的城市基础设施。如通信基站、铁塔等
		中	1	航线地面投影区域有基础设施，但不易受到破坏。如桥梁、道路等
		低	2	无城市基础设施区域。
搜寻难度	发生坠机事故后，对无人机及货物的回收难度。	高	-1	存在事故后无法收回的区域。如：江面、湖泊等
		中	1	较难找寻的区域。如：小面积水域、林区、建筑密集区等
		低	2	视野开阔，易搜索的区域
次生伤害	发生坠机事故后，可能引发次生伤害的概率。例如：电池燃烧引发火灾、造成水体污染等事故。	高	-1	能造成二次伤害区域。如：饮用水源地
		中	1	可能造成二次伤害区域。如：加油站、湖泊、河流等区域
		低	2	不易引发二次伤害的区域

5.3 可靠性评估

航线划设应考虑运行环境和运行技术的可靠性，避免气象环境、电磁环境、障碍物环境对无人机运行的影响，保证无人机运行所需通信、导航、监视能力。在城市场景下，枚举可能面临的可靠性问题，对运行可靠性赋值完成评估，赋值方法见表2。

表2 运行环境可靠性赋值方法

影响因素	定义	等级	分值	描述
气象环境	航线区域发生特殊气象条件后，对运行造成影响。例如在江面不	高	-1	气象条件复杂，常出现特殊气象。如：建筑物风口、丘陵山区等

	稳定的强气流，雾气等。	中	1	气象条件比较复杂，容易发生特殊气象。如：宽阔江面、湖面，丘陵山区等
		低	2	气象较稳定，不易出现特殊气象。如：开阔平坦区域
电磁环境	运行中受到电磁干扰，如 GPS 信号干扰、操控链路干扰等。	高	-1	电磁环境复杂区域。如：广播通信基站密集区域、超高压线附近
		中	1	电磁环境较复杂区域。如：铁塔周围、一般等级高压线周围
		低	2	电磁环境较单一区域
障碍物环境	运行中遭遇临时性障碍物，具有不确定性。例如塔吊，正在建造的楼房等。	高	-1	障碍物环境复杂。如：正在施工的塔吊、正在建设的工地
		中	1	障碍物环境较复杂。如：风筝密集区
		低	2	无障碍物变化地区

表3 运行技术可靠性赋值方法

影响因素	定义	等级	分值	描述
导航性能 (航线)	根据卫星导航性能，地面辅助导航性能进行综合定义。其中卫星导航性能是评估的主要依据，地面辅助导航性能可以作为卫星导航的补充。	高	2	具备地面辅助导航设备，且 1 min 内稳定获取卫星数大于 12 颗
		中	1	1 min 内有丢星现象，但获取卫星数大于 8 颗
		低	-1	接收到的卫星数量小于 8 颗
导航性能 (起降点)	起降点的卫星导航性能主要考虑地面干扰和卫星导航性能的影响。	高	2	卫星信号测量结果可以保持无人机利用卫星定位信号，实现定点(1 min 内不超过 2 m 范围)悬停，或具备地面辅助导航设备
		低	1	卫星信号测量结果无法保持无人机利用卫星定位信号，实现定点(1 min 内不超过 2 m 范围)悬停，或 1min 内稳定获取卫星数大于等于 8 颗且小于 12 颗
		无	-1	卫星信号测量结果无法稳定获取卫星信号，或 1 min 内稳定获取卫星数小于 8 颗
通信性能	根据移动通信网络覆盖信号强度进行定义。	高	2	导航至少两网移动通信 3/4/5G 信号大于-85 dBm，且不存在人口聚集的波动，容易造成信号拥塞
		中	1	至少两网移动通信 3/4/5G 信号覆盖大于-85 dBm，但存在人口聚集的波动，容易造成信号拥塞

		低	-1	单网移动通信 3/4/5G 信号覆盖大于-85 dBm，或存在人口聚集的波动，容易造成信号拥塞
监视性能	监视方式包括雷达，人工/计算机视觉，无线电侦听等手段。	高	2	可识别非合作目标和非合作目标
		中	1	可识别合作目标
		低	-1	不具备监视能力

5.4 公众可接受性评估

航线划设应充分考虑无人机带来的噪音问题和隐私问题，并评估所涉及公众的接受程度。

由于公众可接受性是对公众主观接受程度描述，随着行业发展在不断变化，因此需要调研当地可能面临的公众接受性问题，在航线划设前完成评估。评估方法建议见表4。

表4 航线公众可接受度赋值建议

影响因素	定义	等级	分值	描述
隐私因素	按照隐私敏感程度的大小区分。	高	-1	隐私保护需求强区域。如：政府单位
		中	1	隐私保护需求较强区域。如：别墅区等敞开式私人活动场所
		低	2	无隐私保护需求区域。如：公共场所
噪声因素	无人机飞行过程中，产生的噪声对人们生活的影响程度。	高	-1	噪音敏感区域。如：学校、疗养院、别墅区、社区
		中	1	噪音较敏感区域。如：办公区、医院，自然公园
		无	2	噪音不敏感区域。如：公共区域

6 城市低空无人机物流航线方法

6.1 划设流程

基于航线划设的基本原则，航线划设是一个反复迭代的过程，最后满足安全性、经济性和可接受度要求，计算出航线置信度水平。航线置信度计算方法见附录B。航线划设流程包括：

- 空域划分；
- 初步划设；
- 现场踏勘；
- 试飞验证；
- 生成航线。

6.2 现场勘查及航线调整

6.2.1 实地勘查

应根据航线初步规划的结果，对起降点、备降点和航线途径区域进行实地勘查，确认航线网格数据，包括：地面设施类型、障碍物高度、是否存在活动障碍物、测试起降点通信导航性能、调研可接受度等因素。

6.2.2 起降点、备降点勘查

对起降点和备降点的勘查应包括以下方面内容：

- 标定起降点和应急备降点的位置、海拔；
- 起降点保护区设置可行性；
- 采用专用设备对通信、导航信号质量进行测试；
- 勘查起降点和应急备降点周围电源情况和周围环境情况；
- 调研公众可接受度。

6.2.3 航线途径区域勘查

对航线途径区域进行勘探应包括以下方面内容：

- 沿航线路径，勘测飞行环境、高层建筑物、塔吊和电磁干扰情况；
- 复核预标定的地面设施类型；
- 调研群众可接受度。

6.2.4 勘查优化

应根据现场勘查结果调整和优化航线，直到仿真飞行无异常。

6.3 试飞验证

通过多次试飞验证，检验起降点位置数据，检查与已知障碍物的间隔，检验通信、导航、监视性能，检测航线上是否存在气流等天气干扰和电磁辐射干扰，观测是否存在未知障碍物和其他未知风险。试飞所用的机型原则上与航线运行的最大机型相匹配。

试飞验证应以实际飞行速度和运行高度飞行，应对每条航线、每个起降点、每个应急点的所有航线进行验证飞行。其中首次飞行验证，开启前视和下视摄像观察周围情况，记录在飞行中通信导航性能，确认与障碍物间的距离，观察是否存在未知风险，确认高度裕度和已知未知风险。作出相应调整后，再次飞行，降低航线高度到实际运行高度。

6.4 生成航线

经过航线划设优化调整后，完成航线划设生成航线。

航线起降点位置描述应采用WGS-84坐标，精度应不低于5 m。

为了掌握无人机飞行动态，航线上应设置重要点，并使用代号予以识别。

附录 A
(资料性)
城市低空无人机物流航线保护区设置方法

A.1 保护区计算方法

偏航容差 (X_{TT}) 是针对由机载设备、飞行技术和系统计算产生的垂直于标称航迹的三种定位容差, 采用求平方和根计算方法得到。

标准差 (σ) 是正态分布中的标准差, μ 代表均值, 根据统计学中 3σ 原则为: 数值分布在 $(\mu-\sigma, \mu+\sigma)$ 中的概率为 0.6826; 数值分布在 $(\mu-2\sigma, \mu+2\sigma)$ 中的概率为 0.9544; 数值分布在 $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ 中的概率为 0.9974。

航线保护区分主区和副区, 主区的可容度概率为 2σ (95%), 副区的可容度概率为 3σ (99.7%), 主区的半宽为 2 倍偏航容差 ($2X_{TT}$), 副区的宽度为偏航容差 X_{TT} 。

转弯段航线保护区主区外侧宽度增加 $X_{TT}/2$, 主区内侧宽度不变, 保护区副区宽度不变, 见图 A.1。无人机进离场航道保护区主区半宽度为 X_{TT} , 副区宽度为 $X_{TT}/2$ 。

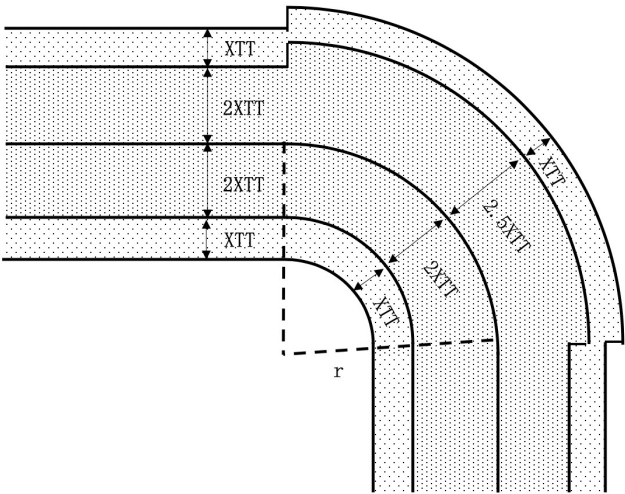


图 A.1 航线保护区

附 录 B

（资料性）

航线置信度计算方法

B.1 航线置信度计算方法

航线划设前，根据拟运行空域，计算空域置信度，空域置信度越高越好。航线置信度 α 由安全性、可靠性、公众可接受性三方面指标加权得到，计算公式见公式（1）。

$$\alpha = \left(\sum_i (E_i \times P_i) \right) \times \rho \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：—— E_i 为不同的影响因素，详见表 B.1；
 —— P_i 为第 i 个影响因素对应的权重；
 —— α 为指标归一化常数。

表 B.1 航线置信度指标权重

影响因 E_i			权重 P_i
安全度（42%）	人员安全		20%
	设施安全		15%
	回收难度		3.0%
	二次伤害		4.0%
运行完整度（33%）	飞行条件	气象环境	7.0%
		电磁环境	10.0%
		障碍物环境	3.0%
	运行保障	通信能力	4%
		导航能力	6%
		监视能力	3%
公众可接受度（25%）	噪音敏感度		10%
	隐私敏感度		15%