

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T 4054—2022

城市场景轻小型无人驾驶航空器物流航线
划设规范

Route design specification of the light-small unmanned aircraft system for urban
logistics

2022-07-29 发布

2022-08-01 实施

中国民用航空局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 航线划设内容	2
4.1 航线的构成	2
4.2 航线基准高度	2
5 航线方案设计	3
5.1 通则	3
5.2 运行安全性评估	3
5.3 运行可靠性评估	5
5.4 公众可接受性评估	6
6 航线验证优化	7
6.1 现场踏勘	7
6.2 模拟仿真	7
6.3 试飞验证	7
7 航线生成与实施	8
附录 A (规范性) 航线保护区设置方法	9
附录 B (规范性) 航线置信度计算方法	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国民用航空局空管行业管理办公室提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：中国民航管理干部学院、杭州迅蚁网络科技有限公司、浙江建德通用航空研究院、中国民航大学、中国科学院地理科学与资源研究所、中国民用航空局第二研究所、北京三快科技有限公司、顺丰科技有限公司、民航无人航空器系统重点实验室。

本文件主要起草人：吕人力、刘洋、韩鹏、廖小罕、章磊、赵亮、刘菲、吴卿刚、王志、管祥民、杨蕤、王茂霖、范小敏、杨俊伟、叶虎平、张学军、陆再政、戴丽华、曹先彬、杜文博。

城市场景轻小型无人驾驶航空器物流航线划设规范

1 范围

本文件规定了轻小型无人驾驶航空器物流航线划设要求。

本文件适用于在城市场景中，采用超视距、分布式操作的轻小型无人驾驶航空器物流运行。

注：城市场景指凡无人驾驶航空器的运行航线飞越经由划定的城市中心城区和郊区，或除中心城区和郊区外非农业人口居住较为密集的区域上空。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

轻小型 **small and light**

包括轻型无人驾驶航空器和小型无人驾驶航空器。

其中轻型无人驾驶航空器，指同时满足空机重量不超过4 kg且最大起飞重量不超过7 kg，最大平飞速度不超过100 km/h，具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型无人驾驶航空器。

小型无人驾驶航空器，指空机重量不超过15 kg且最大起飞重量不超过25 kg，具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型、轻型无人驾驶航空器。

3.2

标称航迹 **nominal track**

为完成特定飞行任务，运营人对无人驾驶航空器规划的飞行轨迹。

3.3

航线保护区 **route protection area**

无人驾驶航空器可以保持平行于标称航迹飞行的管状空间。

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 **horizontal plane of area minimum altitude**

航线划设区域范围内，地表最低点所在的水平面。

3.5

高度基准面 **horizontal plane of area maximum altitude**

航线划设区域范围内，地表最高点所在的水平面。

3.6

起降点 **takeoff and landing point**

供所有无人驾驶航空器起飞、降落、滑行、停放以及其他活动使用的划定地面区域。

3.7

进离场点 **departure and approach point**

空中航线与进离场航线的交点。

注：无人驾驶航空器从进离场点开始飞出/进入空中航线，进入/飞出起降点空域。

3.8

等待点 **waiting point**

在起降点空域内，为避免多架无人驾驶航空器飞行冲突，实施起降等待命令的点。

4 航线划设内容

4.1 航线的构成

城市场景轻小型无人驾驶航空器（以下简称“无人机”）物流航线的划设内容包括：空中航线、进离场航线、起降点和备降点，航线构成示意图见图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；
- 标称航迹可为直线或曲线；
- 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，设置方法应符合附录 A 的要求；
- 航线应在起降点上方空域设置进离场点和等待点；
- 航线应设置备降点，备降点可与起降点重合；
- 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无人机最大飞行时间间隔确定；
- 航线的超障余度应综合考虑无人机飞行速度、爬升率、航线区域气象条件等因素，航线的超障余度不应小于航线保护区半高；
- 进离场航线应根据运营人的运行程序划设，应设置进离场点和等待点，并明确高度和位置；
- 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，应使用等效起降点代表所有起降点，等效起降点位于所有起降点的几何中心。

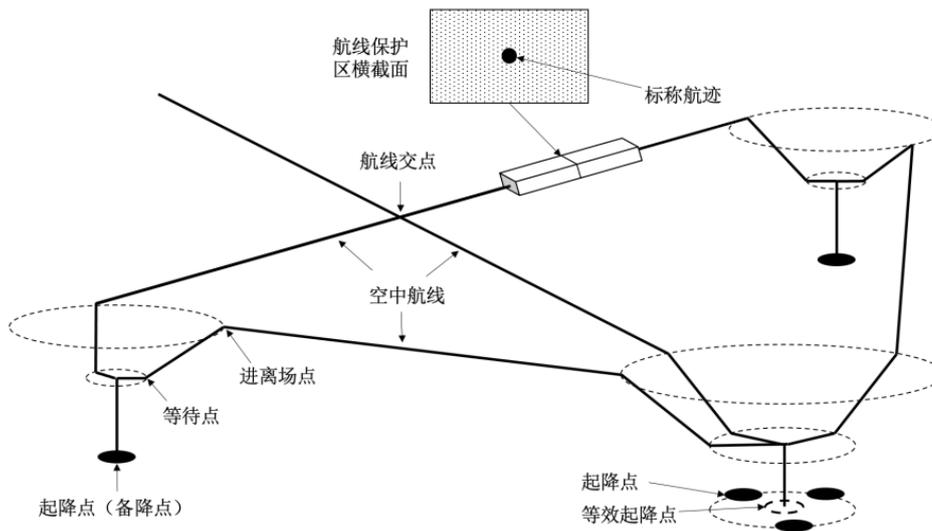


图1 航线组成示意图

4.2 航线基准高度

划设无人机物流航线前应设定高度面，包括高度基准面和高度零位面，示意图见图2。航线高度应使用海拔高度，默认使用1985国家高程基准。当无人机与有人驾驶航空器融合运行时，应保持与有人驾驶航空器高度测量方式和测量基准一致。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，航线高度变化见图3。

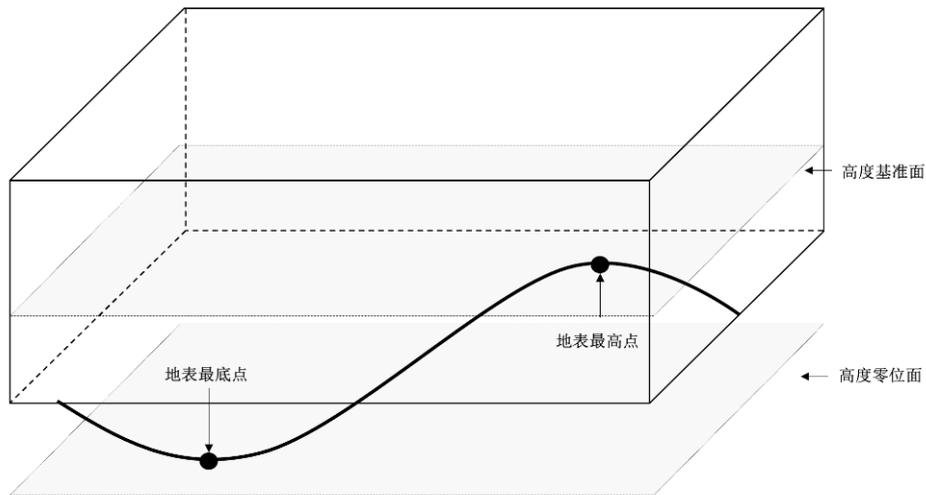


图2 航线高度面示意图

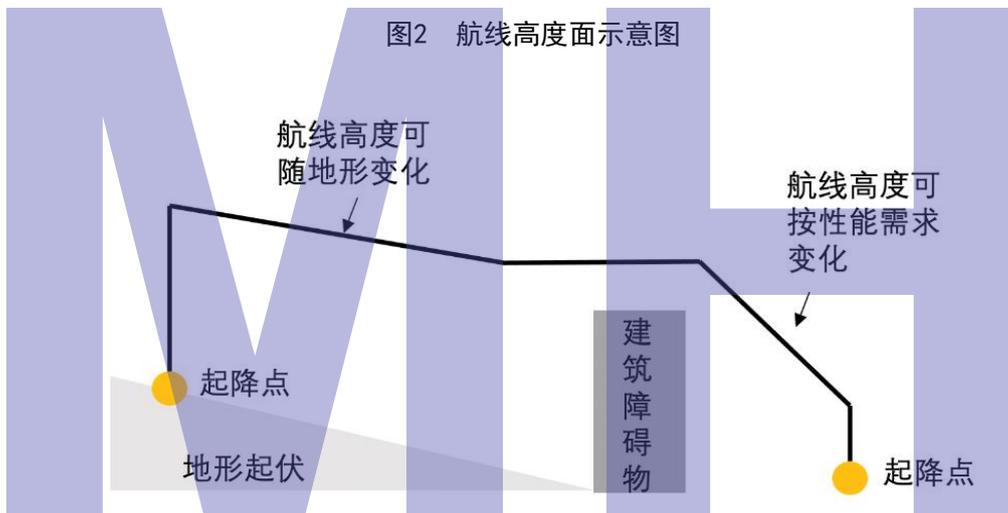


图3 航线高度变化示意图

5 航线方案设计

5.1 通则

5.1.1 航线划设流程包括：方案设计、现场踏勘、模拟仿真、试飞验证、航线发布与实施。

5.1.2 航线划设前，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。

5.1.3 航线划设前，应收集掌握航线区域内地形、地面障碍物高度、低空气象、电磁环境、街道、绿地、河流等地理信息数据。

5.1.4 航线应划设在专门分配给无人机使用的隔离空域内。

5.1.5 航线划设前，应根据运行量、基础设施、航空器性能，设置进离场运行规则。

5.1.6 航线方案设计应根据物流运行需求和无人机进离场程序，可将拟经过空域按照 100 m 边长的正方形进行栅格划分，并对栅格空域进行运行安全性、运行可靠性、公众可接受性三方面评估，按公式 B.1 计算出航线置信度水平。航线应划设在置信度水平较高的栅格空域，栅格空域的置信度应不小于 1。

5.2 运行安全性评估

5.2.1 航线划设应确保对空域其他用户安全，避免与有人驾驶航空器航线发生冲突。航线划设应评估对地面的公共安全，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的概率，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。

5.2.2 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，列举可能面临的安全问题，对运行安全性赋值完成评估，赋值方法应符合表1要求。

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，与人口密度和暴露程度成正比。	高	-1	人口聚集或人员活动密集的区域，地面建筑物、设施设备或树木难以对人员提供保护。如：道路、广场、体育场等。
		中	1	人口居住区或有人员活动非密集的区域，地面建筑物、设施设备或树木对人员提供一定保护。如：居住区、办公区等。
		低	2	人员活动较少的区域，地面建筑物、设施设备或树木对人员提供较强保护。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、电塔设施等。	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。

表1 航线安全度计算方法（续）

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：易发生火灾和水污染的区域等。
		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 运行可靠性评估

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，列举可能面临的可靠性问题，对运行可靠性赋值完成评估，赋值方法应符合表2和表3要求。

表2 运行环境可靠性赋值方法

影响因素	说明	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。例如在江面不稳定的强气流，雾气等。	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。
		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：开阔平坦区域等。
电磁环境	运行中受到电磁干扰，例如 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、超高压线附近等。
		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等。
		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、正在建设的工地等。
		中	1	障碍物环境较复杂。如：风筝密集区等。
		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	说明	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)	起降点的导航性能,主要考虑是否使用视觉导航技术,卫星导航性能的影响。	高	2	无人机具备视觉导航能力,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1 min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	至少两网移动通信3G/4G/5G信号强度大于-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3G/4G/5G信号强度覆盖大于-85 dBm,且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3G/4G/5G信号强度覆盖大于-85 dBm,且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

5.4.1 航线划设应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。

5.4.2 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	说明	等级	分值	描述
隐私因素	按照对隐私影响的可接受程度区分。	高	-1	隐私保护需求强区域。如：政府单位等。
		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等。
		低	2	无隐私保护需求区域。如：公共场所等。
噪声因素	按照对无人机产生的噪声的可接受程度进行区分。	高	-1	噪声敏感区域。如：学校、疗养院、别墅区、社区等。
		中	1	噪声较敏感区域。如：办公区、医院，自然公园等。
		无	2	噪声不敏感区域。如：公共区域等。

6 航线验证优化

6.1 现场踏勘

6.1.1 起降点踏勘

根据航线设计方案，对起降点、备降点和航线途径区域进行实地勘查。

踏勘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，备降点可与起降点共用；
- 确定起降点周围障碍物高度情况，明确最低超障余度；
- 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。

6.1.2 航线途径区域踏勘

对航线途径区域进行勘探应包括以下方面内容：

- 勘测航线障碍物高度情况，明确最低超障余度；
- 采用专用设备对通信、导航信号质量进行测试；
- 调研公众可接受度；
- 论证备选航线可行性。

6.1.3 踏勘优化

根据现场踏勘结果调整和优化航线，得出修正航线。

6.2 模拟仿真

针对航线设计方案和踏勘优化结果，使用计算机仿真方法模拟航线运行，对航线的运行容量、航线的运行规则、基础设施性能、无人机飞行性能准入要求等方面开展仿真论证，找出航线设计潜在的不足之处，制定缓解措施。

6.3 试飞验证

6.3.1 通过试飞验证，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。

6.3.2 试飞验证应以运营人物流无人机飞行速度和运行高度飞行，应对每条航线、每个起降点、每个应急备降点的所有航线进行验证飞行。其中首次飞行验证，应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。

7 航线生成与实施

7.1 经过航线划设优化调整后，完成航线划设生成航线。

7.2 航线起降点位置描述应采用 WGS-84 坐标，误差不大于 5 m。

7.3 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。

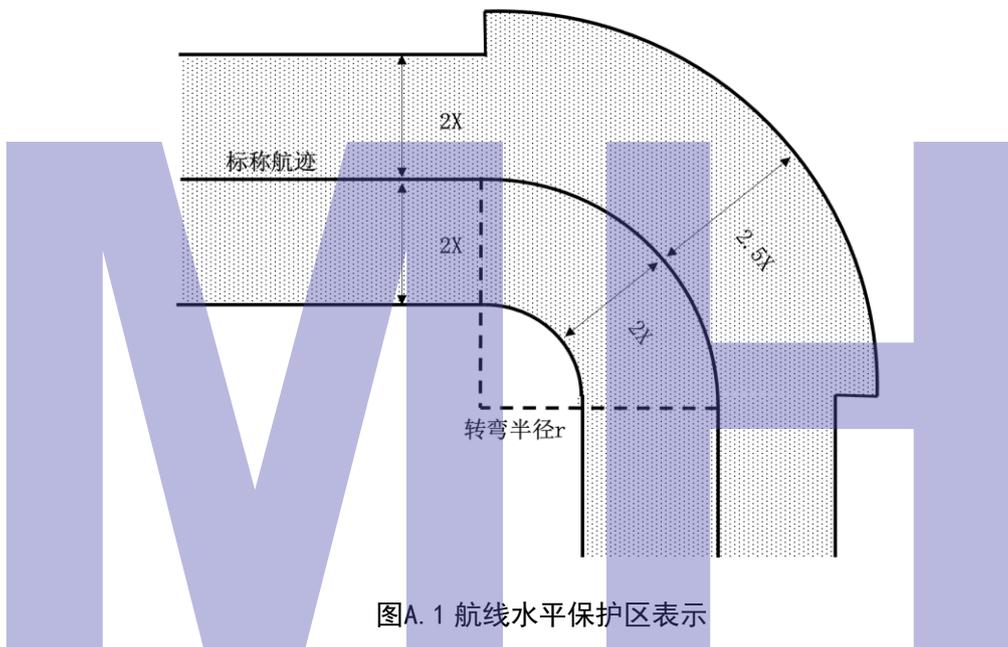
7.4 航线划设是一个反复迭代的过程，航线投入运营后，应按照第 5 章的要求来定期评估设计方案。

附录 A
(规范性)
航线保护区设置方法

航线保护区根据无人机飞行的水平偏航容差(X)和垂直偏航容差(Z)确定。偏航容差是对机载设备、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计算平方和根得到。

无人机确保在航线保护区内运行的概率应不低于99.7%，航线水平保护区的半宽可为 $2X$ ，垂直保护区半宽可为 $2Z$ 。转弯段航线保护区外侧宽度可增加 $X/2$ ，内侧宽度不变，垂直保护区高度不变。航线水平保护区见图A.1，垂直保护区见图A.2。

示例：在卫星定位导航模式(GNSS)下，若无人机的航线保持精度(95%的概率)可控制在水平 ± 10 m和垂直 ± 5 m内，则航线水平保护区半宽 $2X$ 为20 m，垂直保护区半宽 $2Z$ 为10 m。



图A.1 航线水平保护区表示



图A.2 航线垂直保护区表示

附录 B
(规范性)
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，计算公式如下。

$$\alpha = \sum_i (E_i \times P_i) \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

- α ——航线置信度；
- E_i ——不同的影响因素；
- P_i ——第*i*个影响因素对应的权重。

其中，不同影响因素对应的权重可参考表B. 1。

表B. 1 航线置信度指标权重

影响因素 E_i		权重 P_i	
航线安全度 (42%)	地面人员安全	20%	
	地面设施安全	15%	
	搜寻难度	3%	
	次生伤害	4%	
运行可靠性 (33%)	运行环境可靠性	气象环境	7%
		电磁环境	10%
		障碍物环境	3%
	运行技术可靠性	导航能力 (航线)	3%
		导航能力 (起降点)	3%
		通信性能	4%
		监视性能	3%
公众可接受度 (25%)	隐私因素	10%	
	噪声因素	15%	