

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

XX/T XXXX—XXXX

民用机场无人驾驶航空器管制区域
划设技术要求

Technical requirements for civil aerodrome control area configuration for unmanned
aircraft

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(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并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 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 民用机场无人驾驶航空器管制区域结构	2
5 管制区域划设要求	3
5.1 总体原则和要求	3
5.2 核心区划设要求	4
5.3 缓冲区划设要求	4
6 管制区域划设方法	4
6.1 基于无人机与机场起降航空器碰撞风险的管制区域划设方法	4
6.2 基于无人机与地面重点防撞击区域撞击风险的管制区域划设方法	5
6.3 基于无人机对需要特殊电磁环境保护设施电磁干扰风险的管制区域划设方法	6
附录 A（资料性） 基于无人机与航空器碰撞风险的核心区划设方法	7
附录 B（资料性） 基于人群密集区的核心区划设方法	11
参考文献	12

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：中国民用航空总局第二研究所、中国民航大学、北京航空航天大学、中国民航科学技术研究院。

本文件主要起草人：张建平、吴卿刚、符玺、李宁、邹翔、曹先彬、王洁宁、徐群玉、仲仪倩、王鑫、杨欣宜、杨清媛。

民用机场无人驾驶航空器管制区域划设技术要求

1 范围

本文件确立了民用机场无人驾驶航空器管制区域的结构，规定了管制区域划设技术要求，并描述了对应的划设方法。

本文件适用于民用机场无人驾驶航空器管制区域的划设，不适用于只供直升机进场、离场及表面活动使用的直升机场的无人驾驶航空器管制区域的划设。

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

微型无人驾驶航空器 **micro unmanned aircraft**

空机重量小于0.25 kg，最大飞行真高不超过50 m、最大平飞速度不超过40 km/h，无线电发射设备符合微功率短距离技术要求，全程可以随时人工接入操控的无人驾驶航空器。

3.2

轻型无人驾驶航空器 **light unmanned aircraft**

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，全程可以随时人工接入操控的无人驾驶航空器，但不包括微型无人驾驶航空器。

3.3

小型无人驾驶航空器 **small unmanned aircraft**

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，全程可以随时人工接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。

3.4

中型无人驾驶航空器 **medium unmanned aircraft**

最大起飞重量不超过150 kg的无人驾驶航空器，但不包括微型、轻型、小型无人驾驶航空器。

3.5

大型无人驾驶航空器 **large unmanned aircraft**

最大起飞重量超过150 kg的无人驾驶航空器。

3.6

民用机场无人驾驶航空器管制区域 **civil aerodrome control area for unmanned aircraft**

未经批准的无人驾驶航空器禁止进入的民用机场及机场附近特定范围，由民用机场无人驾驶航空器管制核心区域和民用机场无人驾驶航空器管制缓冲区域组成。

3.7

民用机场无人驾驶航空器管制核心区域 **civil aerodrome critical control area for unmanned aircraft**

未经批准的无人驾驶航空器实施运行或发生异常，会导致不满足相关目标安全水平情况发生的区域。

3.8

民用机场无人驾驶航空器管制缓冲区域 **civil aerodrome buffered control area for unmanned aircraft**

为民用机场无人驾驶航空器管制核心区域向外延伸的区域，可通过对该区域内未经批准的无人驾驶航空器采取措施，防止其进入民用机场无人驾驶航空器管制核心区域。

3.9

目标安全水平 target level of safety

安全风险发生的可能性维持在或优于一个可接受水平的状态。

3.10

盛行航迹 prevalent trajectory

在一个航空器飞行航迹集合中，通过数据分析得到的最能代表其多数航迹空间结构特征的一条航迹。

3.11

机场无人驾驶航空器限制高度 limited height for unmanned aircraft around aerodrome

机场及机场附近空域范围内无人驾驶航空器无需批准可以飞行的上限高度。

4 民用机场无人驾驶航空器管制区域结构

民用机场无人驾驶航空器管制区域（以下简称“管制区域”）是由民用机场无人驾驶航空器管制核心区域（以下简称“核心区”）和民用机场无人驾驶航空器管制缓冲区域（以下简称“缓冲区”）组成的双层结构，结构示意图分别见图 1（俯视图）和图 2（剖面图）。

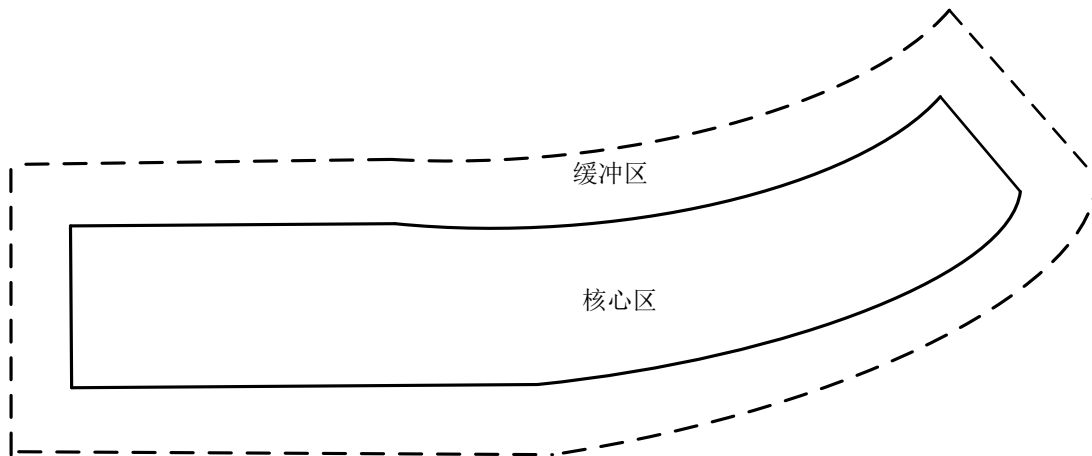


图1 管制区域结构俯视图

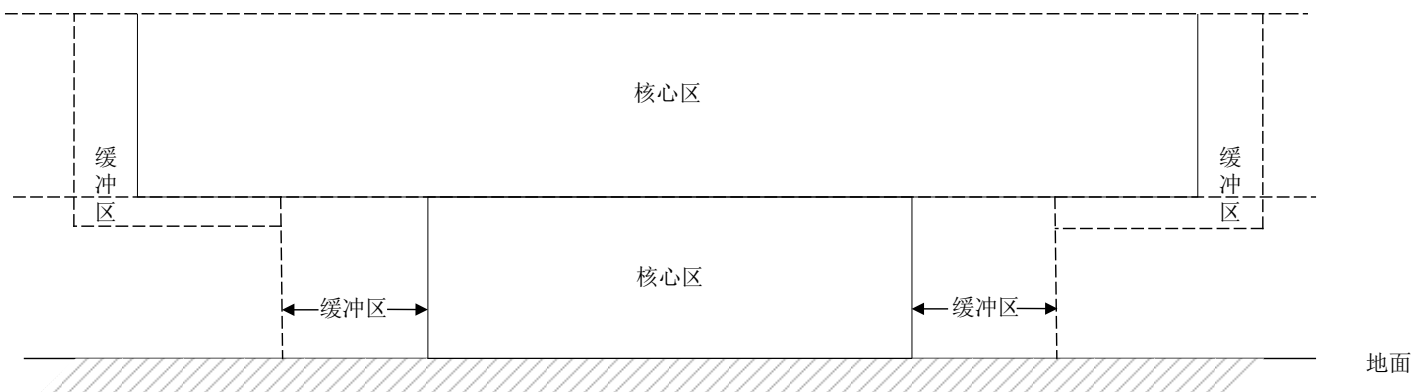


图2 管制区域结构剖面图

以机场无人驾驶航空器限制高度（以下简称“限制高度”）为分界，管制区域的范围与无人驾驶航空器类型对应关系见表 1。

表1 不同类型无人驾驶航空器对应的机场管制区域范围

无人驾驶航空器类型	限制高度以下管制区域范围	限制高度以上管制区域范围
微型无人驾驶航空器	机场及机场附近特定范围	机场及机场附近全域
轻型无人驾驶航空器	机场及机场附近特定范围	
小型无人驾驶航空器	机场及机场附近特定范围	
中型无人驾驶航空器	机场及机场附近全域	
大型无人驾驶航空器	机场及机场附近全域	

针对微型无人驾驶航空器、轻型无人驾驶航空器、小型无人驾驶航空器（以下在不作特殊说明时，将以上三类无人驾驶航空器统称为“无人机”），在限制高度以下划设的管制区域结构为依据各类无人机对机场及机场附近所产生风险分别所划设的核心区与缓冲区叠加构成，划设逻辑图见图 3，所考虑的风险主要包括如下内容。

- a) 无人机与机场起降航空器的碰撞风险。
 - b) 无人机对机场及机场附近地面重点防撞击区域的撞击风险，包括：
 - 1) 机场活动区、机场及机场附近的重要设施；
 - 2) 人群密集区。
- 注：活动区范围参见MH 5001-2021中相关定义描述。
- c) 无人机对机场及机场附近需要特殊电磁环境保护设施的电磁干扰风险。
 - d) 机场管理机构会同相关部门研究认定的其它风险。

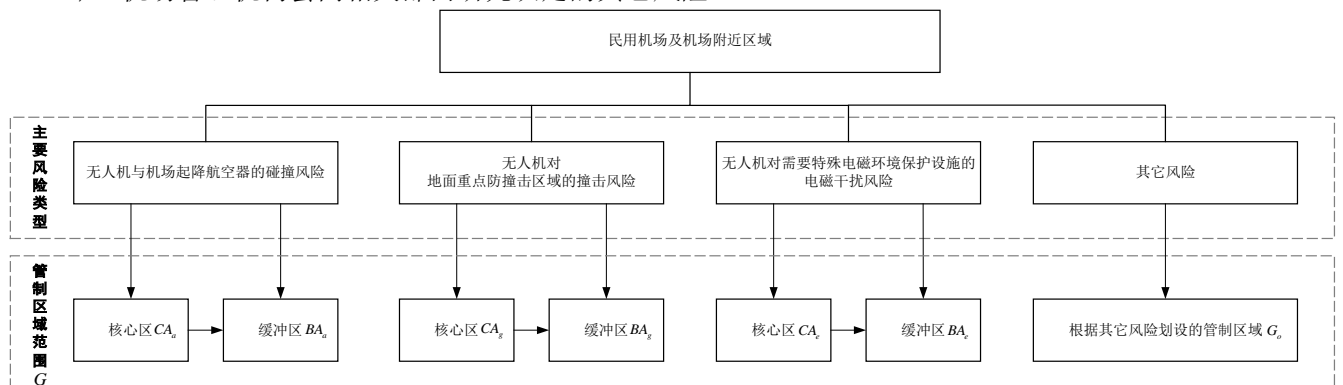


图3 管制区域划设逻辑图

管制区域结构按式(1)进行叠加计算：

$$G = CA_a \cup BA_a \cup CA_g \cup BA_g \cup CA_e \cup BA_e \cup G_o \dots \dots \dots (1)$$

式中：

G——管制区域整体范围；

CA_a——针对无人机与机场起降航空器的碰撞风险划设的核心区范围；

BA_a——针对无人机与机场起降航空器的碰撞风险划设的缓冲区范围；

CA_g——针对无人机对机场及机场附近地面重点防撞击区域的撞击风险划设的核心区范围；

BA_g——针对无人机对机场及机场附近地面重点防撞击区域的撞击风险划设的缓冲区范围；

CA_e——针对无人机对机场及机场附近需要特殊电磁环境保护设施的电磁干扰风险划设的核心区范围；

BA_e——针对无人机对机场及机场附近需要特殊电磁环境保护设施的电磁干扰风险划设的缓冲区范围；

G_o——针对机场管理机构会同相关部门研究认定的其它风险划设的管制区域范围。

注：在叠加计算过程中，核心区与缓冲区重叠的部分视为核心区。

5 管制区域划设要求

5.1 总体原则和要求

5.1.1 管制区域宜根据机场特定运行场景下防控风险的需要进行划设，在保证无人机在机场及机场附近运行产生风险满足目标安全水平前提下精准划设范围。

5.1.2 管制区域划设对应的目标安全水平，应由机场管理机构会同相关部门研究设定。

5.1.3 划设管制区域之前，应明确划设所针对的机场特定运行场景，收集和掌握机场及机场附近电磁环境信息、重要设施位置、人口密度信息以及对应场景下的机场起降航空器历史综合航迹数据。

5.2 核心区划设要求

5.2.1 应针对机场起降航空器所使用的跑道、机场及机场附近地面重点防撞击区域、机场及机场附近需要特殊电磁环境保护设施分别划设核心区。

5.2.2 针对机场起降航空器所使用的跑道划设核心区时，应使得在该范围外运行的无人机与机场起降航空器的碰撞频次应满足目标安全水平 TLS_1 ，不宜大于 1×10^{-7} 次/h。

5.2.3 针对机场及机场附近地面重点防撞击区域划设核心区时，应使得在该范围外运行的无人机：

- a) 对机场活动区、机场及机场附近重要设施的撞击频次应满足目标安全水平 TLS_2 ，不宜大于 1×10^{-7} 次/h；
- b) 对地面人群的撞击导致人员死亡事件发生的频次应满足目标安全水平 TLS_3 ，不宜大于 1×10^{-6} 次/h。

5.2.4 针对机场及机场附近需要特殊电磁环境保护设施划设核心区时，宜满足以下要求。

- a) 针对微型无人驾驶航空器，核心区范围宜划设为：
 - 1) 机场导航台周边 1 000 m 范围；
 - 2) 机场雷达周边 500 m 范围。
- b) 针对轻型和小型无人驾驶航空器，核心区范围宜划设为：
 - 1) 机场导航台周边 2 000 m 范围；
 - 2) 机场雷达周边 1 000 m 范围。

5.3 缓冲区划设要求

5.3.1 应根据 5.2.2-5.2.4 所划设核心区范围分别划设缓冲区。

5.3.2 根据 5.2.1 所划设核心区范围分别划设缓冲区时，应使得无人机飞入或发生异常落入上述核心区的频次满足目标安全水平 TLS_4 ，不宜大于 1×10^{-7} 次/h。

5.3.3 根据 5.2.2 所划设核心区范围分别划设缓冲区时，应使得无人机飞入上述核心区的频次满足目标安全水平 TLS_4 ，不宜大于 1×10^{-7} 次/h。

5.3.4 根据 5.2.3 所划设核心区范围分别划设缓冲区时，应使得无人机飞入或发生异常落入上述核心区的频次满足目标安全水平 TLS_4 ，不宜大于 1×10^{-7} 次/h。

6 管制区域划设方法

6.1 基于无人机与机场起降航空器碰撞风险的管制区域划设方法

6.1.1 按照以下步骤使划设的核心区范围满足 5.2.1 要求：

- a) 按照起降跑道对航迹数据集进行分类，使得分类之后的每个航迹数据子集中能够得到一条满足附录 A 中的式 (A.2) 要求的盛行航迹；
- b) 通过估计航迹子集到对应盛行航迹的偏差，选取合适的分布函数对偏差的分布进行估计，所选取的分布应满足附录 A 中的式 (A.6)；
- c) 通过估计得到的偏差分布函数进行无人机与起降航空器的空中碰撞概率计算，并按照附录 A 中的式 (A.7)-(A.10) 计算核心区沿盛行航迹两侧的水平范围。

注：无人机与机场起降航空器碰撞风险管制区域划设方法流程图见图4。

6.1.2 按照以下步骤使划设的缓冲区范围满足 5.3.1 要求:

- a) 缓冲区为对应核心区向外延伸不少于 D_{al} m 所得到的区域;
- b) 缓冲区应满足其水平边界上任意一点到对应核心区内任意一点的距离不小于 D_{al} m;
- c) D_{al} 由式 (2) 计算得到:

$$1 - \Phi \left(\frac{D_{al} - (T_d + T_0)v_l}{\sqrt{\sigma_l^2 + (T_d + T_0)^2 \sigma_v^2}} \right) \leq TLS_4 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\Phi(\xi)$ ——标准正态分布函数;

σ_l ——机场无人机防控设备对机场及机场附近无人机探测水平误差, 单位为 m;

v_l ——在限制高度以下机场附近无人机无需批准能够使用的最大平飞速度, 单位为 m/s;

σ_v ——无人机水平飞行速度误差, 单位为 m/s;

T_0 ——无人机从限制高度做自由落体运动掉落到地面的时间, 单位为 s;

T_d ——机场无人机防控设备从开始探测目标无人机位置信息到对其成功实施干扰所需时间, 单位为 s。

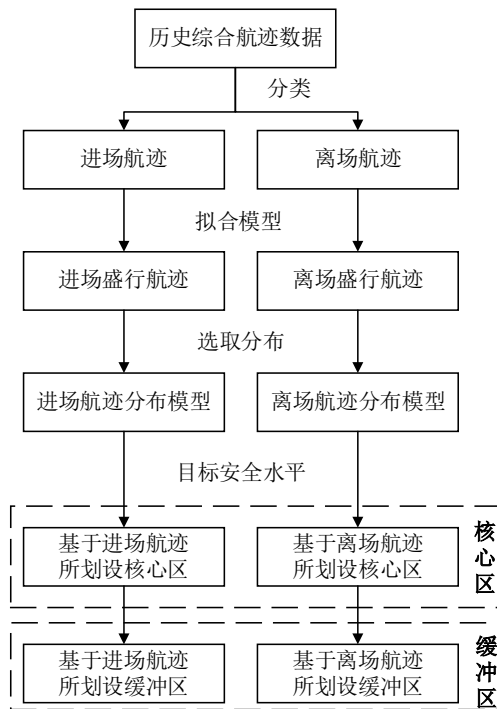


图4 无人机与机场起降航空器碰撞风险管制区域划设流程图

6.2 基于无人机与地面重点防撞击区域撞击风险的管制区域划设方法

6.2.1 按照以下步骤使划设的核心区范围满足 5.2.2 a) 要求:

- a) 核心区为机场活动区、机场及机场附近重要设施的水平投影范围向外延伸不少于 C_{gl} m 所得到的区域;
- b) 核心区应满足其水平边界上任意一点到机场活动区、机场及机场附近重要设施的水平投影范围内任意一点的距离不小于 C_{gl} m;
- c) C_{gl} 由式 (3) 计算得到:

$$1 - \Phi \left(\frac{C_{gl} - T_0 v_l}{T_0 \sigma_v} \right) \leq TLS_2 \dots\dots\dots (3)$$

6.2.2 可参照附录 B 使划设的核心区范围满足 5.2.2 b) 要求。

6.2.3 按照以下步骤使划设的缓冲区范围满足 5.3.2 要求:

- 1) 缓冲区为对应核心区向外延伸不少于 D_{gl} m 所得到的区域;
- 2) 缓冲区应满足其水平边界上任意一点到对应核心区内任意一点的距离不小于 D_{gl} m;
- 3) D_{gl} 由式(4)计算得到:

$$1 - \Phi \left(\frac{D_{gl} - T_d v_l}{\sqrt{\sigma_l^2 + T_d^2 \sigma_v^2}} \right) \leq TLS_4 \dots\dots\dots (4)$$

6.3 基于无人机对需要特殊电磁环境保护设施电磁干扰风险的管制区域划设方法

- 6.3.1 核心区范围应满足 5.2.3 要求。
- 6.3.2 缓冲区参照 6.1.2 步骤同理进行划设，使其满足 5.3.3 要求。

附录 A (资料性)

基于无人机与航空器碰撞风险的核心区划设方法

A.1 总体思路

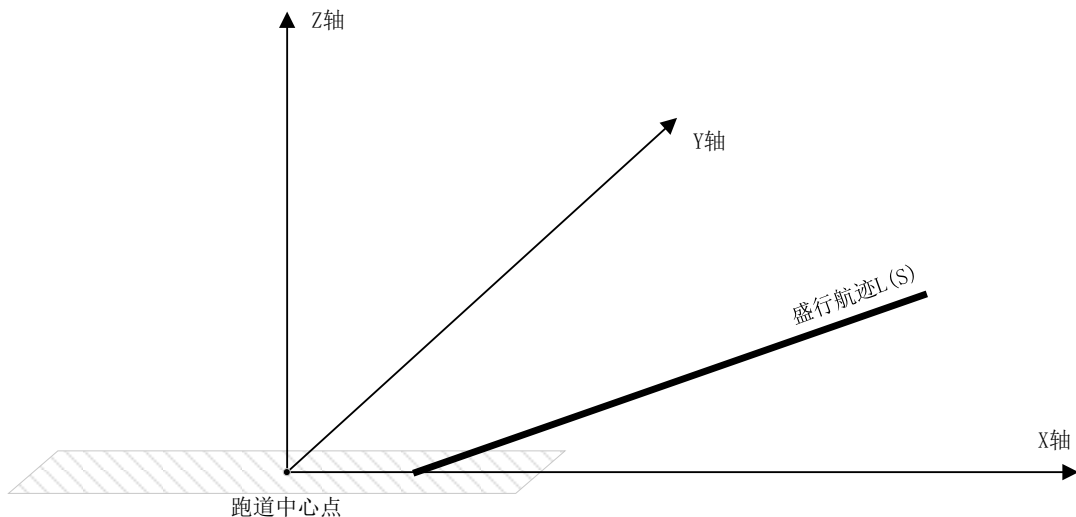
对应机场起降航空器所使用跑道分别划设核心区。基于机场历史综合航迹数据，计算得到每条跑道对应的起降盛行航迹，通过建立机场起降航空器与无人机之间的碰撞风险模型，使得在核心区水平范围外运行的无人机与机场起降航空器的碰撞风险满足给定的目标安全水平。

A.2 数据采集

采集足量历史综合航迹数据，每一个航迹点应至少包含航空器位置（经度、纬度、高度）、速度、航向、航迹编号以及航迹点时间信息，航迹点采样间隔不超过 4 s。

A.3 数据预处理

以机场任意一条跑道的跑道中心点为原点，以跑道中线所在直线为 X 轴（进近方向为 X 轴正方向），以过跑道中心点与跑道所在平面垂直的直线为 Z 轴（地面往上方向为 Z 轴正方向），如图 A.1 所示建立右手空间直角坐标系 $O-xyz$ 。



图A.1 建立的空间直角坐标系 $O-xyz$ 示意图

截取历史综合航迹数据中高度低于限制高度最高点之上 300 m 高度且高于机场标高的航迹点作为待处理的航迹点数据集。

根据航迹时间将同一天（00:00:00 CST-23:59:59 UTC）的航迹点按航迹编号归类，并按照航迹点时间顺次排序组成航迹。

当航迹数据中出现航迹编号相同但日期不同的两条航迹数据时，对比航迹数据中最后一个航迹点与后一条航迹数据中第一个航迹点的时间间隔，若时间间隔小于 10 min，则认为两条航迹应属于同一架航空器的航迹，将其合并为一条航迹。

删除包含航迹点个数少于 10 个的单条航迹数据。

删除一条连续航迹中的离群点。首先设置一个警戒阈值 $V=150$ m/s，按时间先后顺序依次遍历每一条连续轨迹的每一个点，每次遍历当前航迹点时，计算当前航迹点和上一个航迹点之间的速度 v ，若有 $v > V$ ，则删除当前点。

A.4 盛行航迹计算方法

对经过数据预处理得到的航迹数据集中每条航迹进行分类，形成用于计算盛行航迹的航迹数据子

集，分类标准为：

- 将航迹按起飞航迹与降落航迹分为两类，当一条航迹数据中起点高度小于终点高度，则将该条航迹数据归类到起飞航迹数据集，反之则归类到降落航迹数据集。
- 将分类得到的起飞航迹数据集和降落航迹数据集按对应航空器所使用的跑道分别进一步分类，若分类得到的航迹数据子集中仍有航迹点分布较为分散的集合，可继续根据航空器所使用的进离场程序进一步分类，但需确保分类得到的每一个航迹数据子集中不少于 3000 条航迹信息。

基于最终分类得到的航迹数据子集，分别建立拟合模型计算各航迹数据子集对应的盛行航迹。设包含 N 个航迹点的航迹数据子集 $S = \{\lambda_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 及对应得到的盛行航迹 $L(S)$ (S 为盛行航迹长度系数，表示以盛行航迹在跑道一端的端点为原点，沿盛行航迹向外的长度)，则对于航迹数据子集 T 中任意一个航迹点 λ_i ， $L(S)$ 上存在一点 $L(s_i)$ ，满足式 (A. 1)：

$$(x_{s_i} - x_{\lambda_i})^2 + (y_{s_i} - y_{\lambda_i})^2 \leq (x_s - x_{\lambda_i})^2 + (y_s - y_{\lambda_i})^2 \dots\dots\dots (A. 1)$$

式中：

- (x_{s_i}, y_{s_i}) ——盛行航迹 $L(S)$ 上 $L(s_i)$ 点在所建立的 0-xyz 坐标系上的横纵坐标；
- $(x_{\lambda_i}, y_{\lambda_i})$ ——航迹数据子集 T 中任意一个航迹点 λ_i 在所建立的 0-xyz 坐标系上的横纵坐标；
- (x_s, y_s) ——盛行航迹 $L(S)$ 上任意一点 $L(s)$ 在所建立的 0-xyz 坐标系上的横纵坐标。

则所得到的盛行航迹 $L(S)$ 应满足式 (A. 2)：

$$\frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(x_{s_i} - x_{\lambda_i})^2 + (y_{s_i} - y_{\lambda_i})^2}}{n} \leq \delta \dots\dots\dots (A. 2)$$

式中：

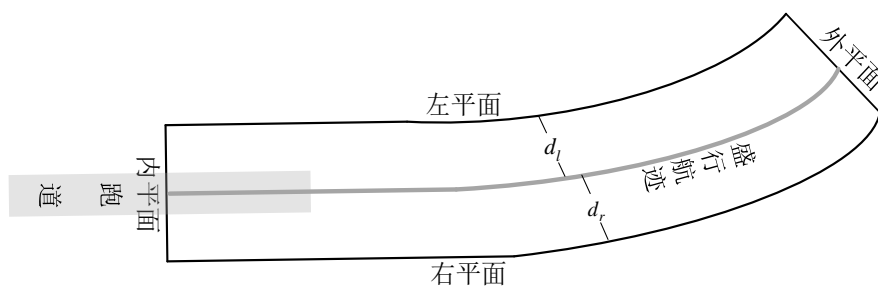
δ ——给定的盛行航迹计算阈值。

若计算得到的盛行航迹 $L(S)$ 满足上式，则 $L(S)$ 符合盛行航迹计算要求；若不满足，则认为 $L(S)$ 无法充分代表该航迹数据子集的空间结构特征，应重新选取拟合模型进行拟合或是进一步细分该航迹数据子集后重新拟合。

A. 5 划设基于碰撞风险的核心区水平范围方法

应针对每一条计算得到的盛行航迹 $L(S)$ ，基于碰撞风险划设对应的核心区范围。

基于碰撞风险的核心区水平范围由沿盛行航迹的内、外、左、右四个平面组成，示意图见图 A. 2。其中内平面和外平面垂直于盛行航迹，左平面与右平面平行于盛行航迹，并按如下方式构建碰撞风险的核心区水平范围四个平面。



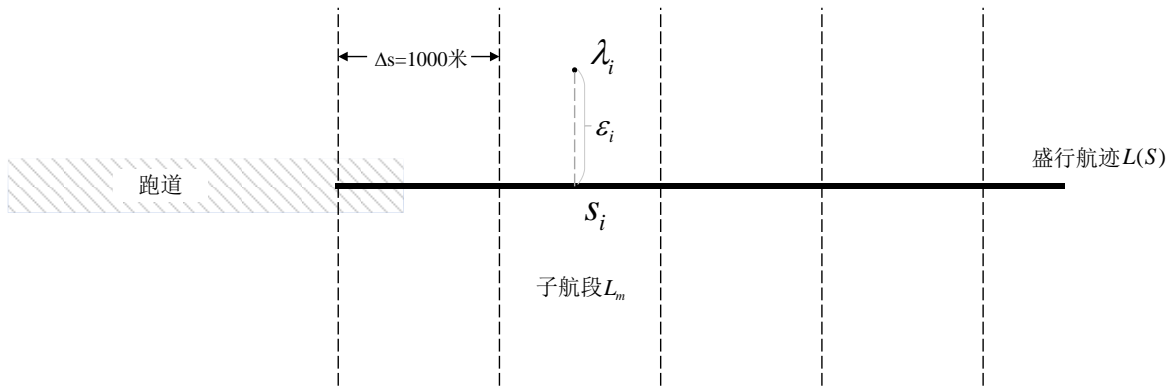
图A. 2 基于碰撞风险的核心区结构图

- 内平面：过盛行航迹 $L(S)$ 所对应跑道中心点与跑道中线垂直的平面。
- 外平面：过盛行航迹 $L(S)$ 所对应航迹数据子集中与跑道中心点水平距离最大的航迹点与盛行航迹垂直的平面。

从盛行航迹 $L(S)$ 原点起，如图 A. 3 所示，以 $\Delta s = 1000\text{m}$ 为步长顺次过 $L(S)$ 作垂直于 $L(S)$ 且垂直于 $L(S)$ 对应跑道所在平面的垂面，得到 M 段航迹子航段 $L_m, m = 1, 2, \dots, M$ 。

$$L_m = \{L(s) | s \in [(m - 1) \cdot \Delta s, m \cdot \Delta s]\} \dots\dots\dots (A. 3)$$

将航迹数据子集的航迹点 λ_i 根据对应的 s_i 也分类到对应的航迹子航段中。



图A.3 分段计算航迹偏差

对于共有 n 个航迹点的航迹子航段 L_m ，计算其中所有航迹点到盛行航迹的偏差 ε_i ， $i = 1, 2, \dots, n$ 。当第 i 个航迹点在盛行航迹向外延伸方向左侧时， ε_i 按式 (A.4) 计算：

$$\varepsilon_i = -\sqrt{(x_{S_i} - x_{\lambda_i})^2 + (y_{S_i} - y_{\lambda_i})^2} \dots\dots\dots (A.4)$$

当第 i 个航迹点在盛行航迹向外延伸方向右侧时， ε_i 按式 (A.5) 计算：

$$\varepsilon_i = \sqrt{(x_{S_i} - x_{\lambda_i})^2 + (y_{S_i} - y_{\lambda_i})^2} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

选取适当的分布 $F_m(\xi)$ 对 ε_i 的分布情况进行估计，使得 $F_m(\xi)$ 满足式 (A.6)：

$$\max_{1 \leq i \leq n} \{F_m(\varepsilon_i) - \frac{k_i}{n}\} \leq \frac{\tau}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

$F_m(\varepsilon_i)$ ——估计得到的偏差 ε_i 的分布函数；

k_i ——航迹子航段 L_m 所属航迹点到盛行航迹的偏差值中小于 ε_i 的航迹点个数；

τ ——给定的分布检验阈值。

若 $F_m(\xi)$ 满足上式，表明 $F_m(\xi)$ 选取合理，可以反映 ε_i 的分布情况；

若 $F_m(\xi)$ 不满足上式，应更换选取的分布方式或重新对分布中的参数进行估计，直至满足上式为止。

在航迹子航段 L_m 范围内，与盛行航迹平行，与跑道所在平面垂直的核心区左平面与盛行航迹的距离 d_l^m 至少应满足式 (A.7)：

$$F_m(\varepsilon_i < -d_l^m + B + R) \leq \frac{TLS_1}{2C} \dots\dots\dots (A.7)$$

——左平面：沿内平面向外平面方向左侧，与盛行航迹平行，与跑道所在平面垂直的面，与盛行航迹 $L(S)$ 的距离 d_l 应满足式 (A.8)：

$$d_l = \max_{1 \leq m \leq M} \{d_l^m\} \dots\dots\dots (A.8)$$

在航迹子航段 L_m 范围内，与盛行航迹平行，与跑道所在平面垂直的核心区右平面与盛行航迹的距离 d_r^m 至少应满足式 (A.9)：

$$F_m(\varepsilon_i < d_r - B - R) \geq 1 - \frac{TLS_1}{2C} \dots\dots\dots (A.9)$$

——右平面：沿内平面向外平面方向右侧，与盛行航迹平行，与跑道所在平面垂直的面，与盛行航迹 $L(S)$ 的距离 d_r 应满足式 (A.10)：

$$d_r = \max_{1 \leq m \leq M} \{d_r^m\} \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：

B ——机场起降航空器最大翼展，单位为 m ；

R ——机场历史综合航迹数据精度，单位为 m ；

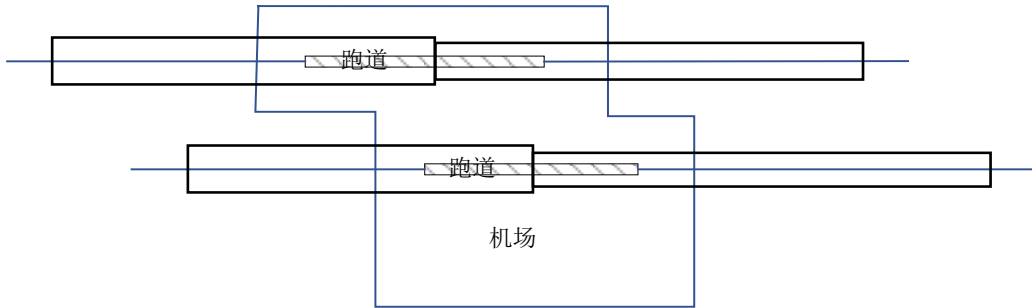
C ——跑道容量，单位为架次/h；

$F_m(\xi)$ ——航迹子航段 L_m 中 ε_i 的概率分布函数。

基于所有分类得到的航迹数据子集，若存在 p 种降落航迹数据集及与其相应的核心区 CA_{arr}^j ($j =$

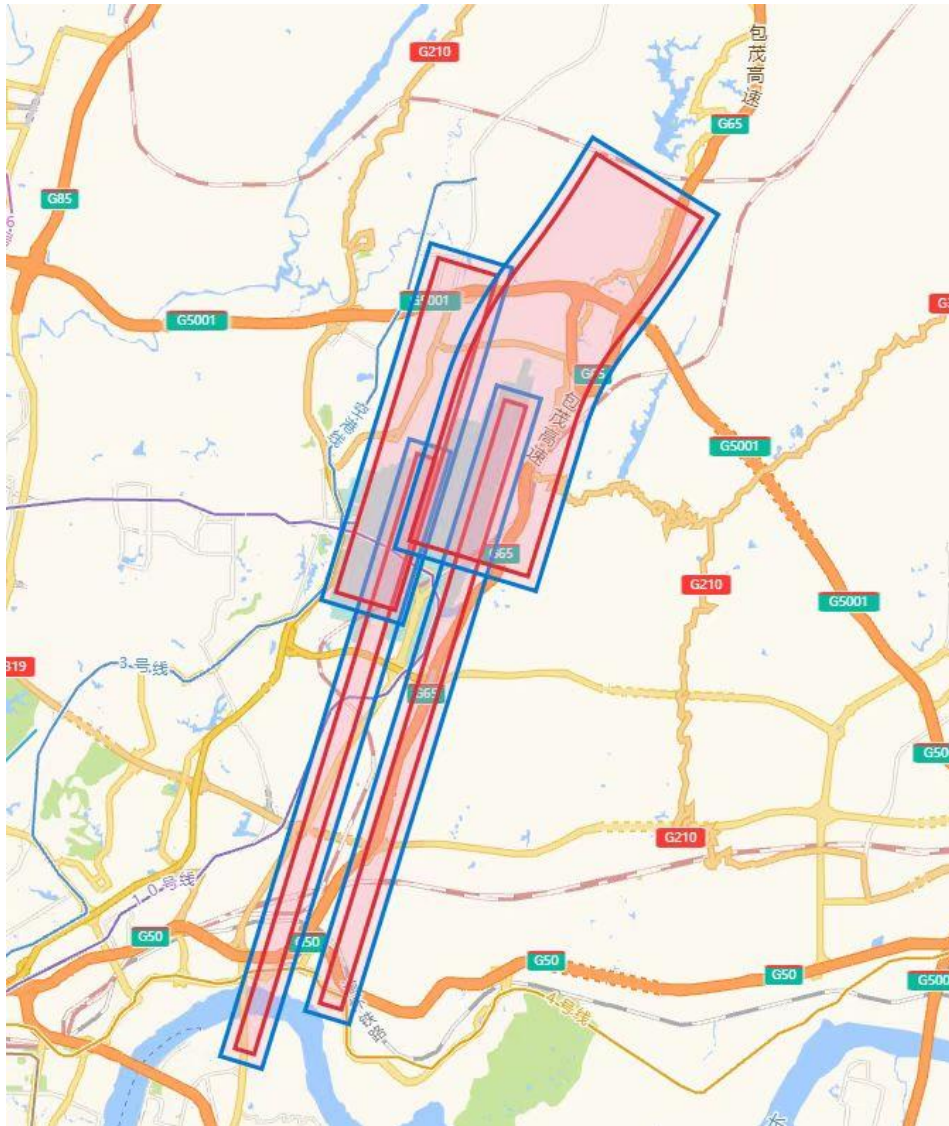
1,2,⋯,p); q种起飞航迹数据集及与其相应的飞行核心区 $CA_{dep}^k(k = 1,2,⋯,q)$, 则基于碰撞风险的核心区 CA_a 的整体范围如式(A.11)所示, 碰撞风险的核心区示意图如图A.4所示:

$$CA_a = (U_{j=1}^p CA_{arr}^j) \cup (U_{k=1}^q CA_{dep}^k) \dots\dots\dots (A.11)$$



图A.4 基于碰撞风险的机场核心区划示意图

图A.5给出了采用附录A方法的无人机与航空器碰撞风险管制区域划设实例。



图A.5 无人机与航空器碰撞风险管制区域划设实例

附录 B
(资料性)

基于人群密集区的核心区划设方法

A为机场及机场附近限制高度以下任意一点，当A点满足式(B.1)时，应将A点划设为核心区：

$$P_A = P_1 \int_{l_{min}}^{l_{max}} \int_0^{2\pi} P_2 P_3 P_4 d\theta dl \geq TLS_3 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

P_A ——从A点失控坠地的无人机撞击到地面人群并致其死亡的概率；

P_1 ——无人机每飞行小时失控坠地的频次；

P_2 ——无人机从A点坠落到地面 A_0 点概率；

P_3 ——无人机坠地撞击到地面人员的概率；

P_4 ——无人机撞击致人死亡的概率；

θ ——无人机在A点的航向；

l ——A点在地面上的投影点到 A_0 点的距离，单位为m；

l_{max} ——A点在地面上的投影点到 A_0 点的最大距离，单位为m；

l_{min} ——A点在地面上的投影点到 A_0 点的最小距离，单位为m。

P_1 的值为无人机设计性能数据，由生产厂商或第三方测试机构提供，单位为系统失效次数/h。

P_2 为无人机失控坠落水平位移分布概率，满足式(B.2)：

$$\int_{l_{min}}^{l_{max}} \int_0^{2\pi} P_2 d\theta dl = 1 \dots\dots\dots (B.2)$$

P_3 按式(B.3)进行计算：

$$P_3 = [2(r_p + r_u) \cdot h_p \cdot \cot \frac{h_A}{l} + \pi(r_p + r_u)^2] \cdot \rho_{A_0} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

r_p ——地面人员半径，一般情况取定值为0.25 m；

r_u ——无人机半径，单位为 m；

h_p ——地面人员身高，一般情况取定值为1.8 m；

h_A ——A点距离地面的高度，单位为 m；

ρ_{A_0} —— A_0 点的人口密度，单位为人数/m²；

P_4 按式(B.4)进行计算：

$$P_4 = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2} \right)^{\frac{1}{4}Z_{A_0}}} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

Z_{A_0} —— A_0 受撞击人员的遮蔽物系数，取值范围为(0,1]，和 A_0 点周围的遮蔽物有关，数值越高意味着暴露在撞击区域的受撞击人员有越好的遮挡措施；

α ——为受撞击人员在 $Z_{A_0} = 0.5$ 时导致受撞击人员死亡概率为50%的冲击能量阈值，单位为焦耳；

β ——是当 Z_{A_0} 趋近0时刚好可能导致受撞击人员死亡的冲击能量阈值，单位为焦耳；

v_A ——无人机在A点的飞行速度，单位为m/s。

在实际计算过程中，采用离散化的方法，将A点处理为机场及机场附近限制高度以下一个边长为a的立方体区域，对其它相关变量也做相对应的离散化处理，如将 A_0 处理为地面边长为a的方块面积， ρ_{A_0} 为 A_0 区域的人口密度，计算A点对应的 P_A 值，由此确定基于人群密集区的核心区划设范围。

参考文献

- [1] CCAR-71 民用航空使用空域办法
 - [2] MH 5001-2021 民用机场飞行区技术标准
 - [3] AP-140-CA-2022-03 运输机场净空保护管理办法
 - [4] Doc 9689 Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima (FIRST EDITION - 1998)
 - [5] Zhang Jianping, Zou Xiang, Wu Qinggang, Xie Fangquan, Liu Weidong: Empirical study of airport geofencing for unmanned aircraft operation based on flight track distribution. [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2020, 121: 102881.
 - [6] Konstantinos Dalamagkidis, Kimon P. Valavanis, Les A. Piegl. On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification, and Recommendations[M]. 2009.
-