

团 体 标 准

T/CPUMT XXXX—XXXX

低空航线运行安全动态评估技术规范

Technical specification for dynamic evaluation in low-altitude airline operation safety

征求意见稿

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国和平利用军工技术协会 发 布

目次

前言 III

引言 IV

1 范围 5

2 规范性引用文件 5

3 术语和定义 5

4 总则 6

 4.1 主要目的 6

 4.2 基本原则 8

 4.3 量化目标 8

5 低空空域与安全分类 8

 5.1 低空空域范围分类 8

 5.2 安全等级分类 9

 5.3 空域网格编码 9

 5.4 安全等级与监管措施对照表 9

6 风险因素识别 9

 6.1 风险因素阶段分类 9

 6.2 空域环境因素 9

 6.3 航空器因素 10

 6.4 基础设施因素 10

 6.5 外部干扰因素 10

 6.6 人为因素 10

 6.7 监测要求 11

7 数据要求规范 11

 7.1 数据要求概述 11

 7.2 数据合规体系建设 11

 7.3 数据分类分级 11

 7.4 数据全生命周期安全保障 11

 7.5 数据精度最低要求 11

8 数据平台 12

 8.1 数据授权方 12

 8.2 数据使用方 12

 8.3 数据监管方 12

 8.4 数据采集 12

 8.5 数据处理 12

 8.6 数据存储 12

 8.7 数据管理和使用 12

8.8 数据共享	13
8.9 数据安全性与隐私保护	13
8.10 部署模式	13
8.11 全流程管理规范	13
9 评估方法	14
9.1 动态评估技术框架	14
9.2 风险评估模型	14
9.3 风险等级划分	14
9.4 预警信息输出	14
9.5 特征工程	14
9.6 模型训练	14
9.7 可解释性	15
10 风险验证体系	15
10.1 数学建模验证	15
10.2 多学科专家委员会	15
10.3 分场景分级试点验证	15
10.4 飞行仿真验证	15
10.5 实地试飞验证	15
11 应急响应与处置	15
11.1 I级蓝色预警	15
11.2 II级黄色预警	15
11.3 III级橙色预警	15
11.4 IV级红色预警	15
11.5 应急响应流程	15
11.6 数据安全应急	15
11.7 事后复盘机制	15
11.8 数据安全应急响应时间	16
12 持续改进	16
12.1 改进策略	16
12.2 改进措施	16
13 标准接口设计说明	16
13.1 与现有低空管理系统对接	16
13.2 数据交互协议设计	16
13.3 API 接口示例	16
13.4 第三方平台集成建议	17
附录 A（资料性）API 接口示例	18
A.1 飞行计划接口概述	18
A.2 监视数据接口	19
A.3 告警信息接口	19
参考文献	20

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。

本文件由中国和平利用军工技术协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

本文件结合当前低空空域安全管理中存在的公共航路航线规划安全评估不精准、动态适应性不足、多场景覆盖缺失等技术需求与产业痛点，制定低空航线运行安全动态评估技术规范，以指导低空飞行活动各方构建覆盖飞行前、飞行中、飞行后全流程的主动风险管理体系。该体系通过数据驱动的动态评估，对规划、执行、保障各阶段的风险进行持续识别、量化评估与闭环处置，实现低空安全管理从传统静态管理模式向事前预防、事中控制、事后改进的精细化管理模式提升。

为确保低空航线运行安全动态评估的各个环节满足合规性和技术规范要求，确保各参与主体进行动态风险评估全流程的标准化与安全合规管理，根据《中华人民共和国网络安全法》《中华人民共和国数据安全法》《中华人民共和国个人信息保护法》《中华人民共和国民用航空法》等相关法律，以及《中华人民共和国政府信息公开条例》《中华人民共和国飞行基本规则》《网络数据安全管理条例》《工业和信息化领域数据安全管理办法（试行）》《民航数据共享管理办法（试行）》《民航数据管理办法（试行）》《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》等相关行政法规与部门规章，结合我国低空经济在物流配送、应急救援、电力巡检等领域的实际应用场景，制定本文件。

制定本文件旨在为低空飞行活动组织实施方、服务保障方及监管方通过构建科学化、标准化、智能化的动态评估体系，动态预警飞行全过程中可能遇到的突发天气、飞行冲突、设备故障、通信链路中断、导航信号异常、地面障碍物等风险，帮助飞行实施和保障各方更安全、更高效地开展各类低空飞行活动，推动低空安全管理从经验驱动向数据驱动转变，实现由被动处置向主动预警的升级迭代。文件参考了最新的国家标准、行业标准和相关法律法规，确保内容具有前瞻性和通用性。

低空航线运行安全动态评估技术规范

1 范围

本文件确立了真高1000米（含）以下空域内低空航线运行安全动态评估体系，规定了低空航线运行安全动态评估的总体框架、数据基座、评估模型、验证方法、接口要求及持续改进机制，为低空航空器的航路航线提供覆盖运行全周期的安全风险动态评估技术框架。

本文件适用于指导需要参与低空航空器的航路航线规划、建设、运营及安全管理中实现风险动态评估的各类组织、机构和个人工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 25069 信息安全技术 术语
GB/T 25000.51 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价（SQuaRE）
GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
GB/T 25058 信息安全技术 网络安全等级保护实施指南
GB/T 35273 信息安全技术 个人信息安全规范
GB/T 35770 合规管理体系 要求及使用指南
MH/T 5056 智慧民航数据治理规范 数据质量
MH/T 5057 智慧民航数据治理规范 数据安全
MH/T 5066 智慧民航数据治理规范 数据共享
MH/T 3039 民航领域数据分级分类要求
MH/T 3038 民用航空数据安全监测预警技术要求
MH/T 4007 民用航空空中交通服务报文格式
MH/T 4055.2 低空飞行服务系统技术规范 第2部分：技术要求
MH/T 4053 民用无人驾驶航空器空中交通管理信息服务系统数据接口规范
MH/T 0073 民用航空跨网数据交换安全技术要求

3 术语和定义

GB/T 25058、GB/T 35273、GB/T 25069、GB/T 35770、MH/T 5056、MH/T 5057、MH/T 5066、MH/T 3039、MH/T 3038 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低空空域 low-altitude airspace

低空空域原则上是指全国范围内真高1000米（含）以下区域。山区和高原地区可根据实际需要，经批准后可适当调整高度范围。其具体范围、使用规则及管制等级以空域管理部门发布的划设方案为准。

3.2

低空数据 low-altitude data

在低空产业发展、监管执法、政务管理以及航空器运行与空域管理等过程中，以电子或其他方式直接产生的，或通过收集、监测、处理等方式获取的原始数据与衍生数据。

3.3

风险因子 risk factor

影响低空飞行运行安全的因素。主要包括：天气因素、地理与物理环境因素、电磁频谱环境因素，以及运行与人为因素（如飞行计划冲突、飞行冲突、人为操作失误等）。在低空飞行可能对安全产生不利影响的条件或事件。

3.4

数据平台方 data platform operator

负责建设、管理和运营各级低空数据共享与服务平台的部门、组织或单位。

3.5

空天地一体化感知 Integrated perception of space, sky, and earth

综合利用卫星、航空器、地面等多种平台的传感器（如卫星遥感、雷达、ADS-B、地面监控等），对低空空域内航空器、基础设施及环境进行协同监视与信息获取，以形成统一、实时、精确的运行态势的技术体系。

3.6

动态评估 dynamic assessment

基于对低空空域内飞行全过程（事前、事中、事后）的持续监视与多源数据融合，构建实时、动态的风险评估能力。通过将飞行计划审批、空域动态态势与事后分析相结合，形成安全管理的闭环，实现对潜在风险的主动发现与及时干预。

3.7

多源异构数据 multi-source heterogeneous data

来源、结构、格式各不相同的低空相关数据。例如：飞行情报数据、雷达监视数据、ADS-B数据、航空气象数据、地理信息数据等，是进行低空运行安全动态评估的数据基础。

3.8

交叉验证 cross validation

机器学习中评估模型泛化能力的核心方法，通过多次划分训练集与验证集，减少单次随机划分的偶然性，更可靠地衡量模型在未知数据上的表现。

3.9

运行安全裕度 operational safety margin

在给定时间段和空域单元内，由动态评估模型计算得出的碰撞风险期望值与可接受安全水平（TLS，Target Level of Safety）之间的差值，以“每飞行小时碰撞概率”表示。

3.10

可接受安全水平 target level of safety

对低空航线运行所设定的定量安全指标，取值为 1×10^{-7} 次/飞行小时（载人）或 1×10^{-5} 次/飞行小时（载货IV类无人机）。

3.11

动态评估更新周期 dynamic update cycle

评估模型输出结果或触发更新的时间分辨率，分为：

- C1 级（实时级）：≤ 1 秒，用于实时飞行冲突探测与告警；
- C2 级（战术级）：≤ 30 秒，用于短期流量管理与态势刷新；
- C3 级（战略级）：≤ 5 分钟，用于空域效能评估与规划支持。

3.12

数据质量指标 data quality index

采用 MH/T 5056—2021 第 5.3 条定义的完整性、准确性、及时性、一致性、可追溯性五项指标，以百分制表示，综合得分 ≥ 90 方可用于模型训练与在线推理。

4 总则

4.1 主要目的

4.1.1 概述

本文件旨在构建一个科学、标准、智能的覆盖低空飞行运行全周期的安全动态评估与管理体系，以飞行过程为主线，分阶段实施风险动态评估与闭环管理，通过阶段协同，致力于实现以下综合效益：

- a) 提升安全水平：建立全流程、多层次的风险防控体系，系统性增强低空飞行的安全保障能力；
- b) 优化运行效率：通过智能化手段实现精细化引导与协同管理，提升空域利用率，减少飞行冲突与延误；
- c) 强化应急能力：建立智能预警与分级响应机制，增强对突发事件的应急处置与恢复能力；
- d) 促进行业发展：为低空物流、巡检、应急救援、农林作业、航拍测绘、载人运输等各类应用场景提供统一的安全技术支撑，推动低空经济高质量发展。

4.1.2 飞行计划阶段

本阶段主要涉及在低空飞行活动前开展安全风险预评估与方案优化，包括但不限于：

- a) 为运营人提供飞行计划编制过程中的风险识别与安全评估技术方法，支持对航路（线）选择、高度层配置、备降方案、天气条件等因素的系统化风险分析；
- b) 建立基于量化指标的飞行计划可行性评估机制，对飞行冲突、空域限制、通信导航监视覆盖能力等进行预先评估与预警；
- c) 支持多方案比选与优化，引导运营人选择安全风险更低、运行效率更高的飞行方案。

4.1.3 飞行计划审批阶段

本阶段主要为支持监管方进行安全符合性审查与决策，包括但不限于：

- a) 为空管部门和监管机构提供标准化的飞行计划安全审查流程与评估工具，实现对提交计划的自动化校验与人工复核相结合；
- b) 建立分级分类审批机制，根据飞行活动类型、空域类别、风险等级等因素差异化设置审批权限和流程；
- c) 支持批量计划的冲突检测与协调优化，提升审批效率，减少计划间的潜在冲突。

4.1.4 飞行活动执行阶段

本阶段主要聚焦于飞行过程中的态势感知与风险响应，包括但不限于：

- a) 对飞行中的航空器进行连续跟踪监视，实时感知飞行状态、位置偏差、气象变化、空域占用等关键信息；
- b) 集成多源数据融合与智能分析算法，对突发天气、飞行冲突、设备故障、通信链路中断、导航信号异常等风险进行及时识别与分级预警；
- c) 提供动态风险评估与辅助决策支持，包括航迹调整建议、紧急处置方案、备降场选择等，支持运营人和管制员快速响应突发情况；
- d) 支持多机协同运行中的冲突解脱与流量协调，提升复杂场景下的态势感知与协同处置能力。

4.1.5 飞行保障阶段

本阶段主要聚焦于确保服务提供方持续满足安全运行条件，包括但不限于：

- a) 对通信、导航、监视、气象等低空数字基础设施的运行状态进行实时监控与质量评估，确保服务保障能力持续满足飞行活动需求；
- b) 建立保障资源容量监测与预警机制，对空域超容、扇区负荷过大、保障资源紧张等情况进行提前预警与动态调配；
- c) 支持保障方的服务质量自证与持续改进，通过数据记录与分析验证保障能力的符合性与可靠性。

4.1.6 飞行后分析阶段

本阶段聚焦于飞行安全数据的深度挖掘与经验转化，包括但不限于：

- a) 支持运营人、保障方和监管方开展飞行后安全复盘与数据分析，对比计划与实际的偏差，识别潜在风险点与改进机会；
- b) 建立安全事件与不安全信息的归集分析机制，形成典型案例库与风险知识图谱，为后续飞行活动提供经验借鉴；
- c) 支持基于历史数据的趋势分析与预测模型优化，持续提升风险评估的准确性与预警的时效性；
- d) 促进安全管理从经验驱动向数据驱动转变，实现由被动处置向主动预防的精细化管理模式提升。

4.2 基本原则

4.2.1 数据驱动

以高精度、实时更新的数据为基础，驱动低空航线安全动态评估模型，确保评估结果准确可靠。

4.2.2 场景适配

根据低空航线运行场景的特点，调整优化评估模型参数，确保评估结果贴合实际，满足应用场景需求。

4.2.3 智能预警

利用人工智能算法，对低空航线安全状态进行预测，提前预警潜在风险，为运行管理提供及时响应。

4.2.4 分级响应

根据风险等级，制定差异化的响应策略和监管措施，确保低空航线运行安全，降低事故发生的概率。

4.2.5 持续改进

建立基于运行数据和安全事件分析的持续学习与改进机制。评估模型、预警规则和响应流程应根据实际运行反馈和复盘结论进行周期性迭代优化，形成安全管理闭环。

4.3 量化目标

通过具体、可衡量的数值指标，对系统应达到的性能水平、安全标准和可靠性要求进行明确界定，以便于在项目实施过程中进行客观监测、评估与验收，包括但不限于：

- a) 空域风险识别覆盖能力：系统应基于不低于 1km×1km 空间网格，实现空域单元的动态风险评估，风险识别覆盖率达 99%以上，确保对目标空域的风险全盘掌握。
- b) 运行安全预警精度：系统预警虚警率应不高于 5%，以维持管制与飞行决策的有效性；预警漏警率应控制在 1%以内，确保对高风险事件的全面捕捉。
- c) 系统运行可靠性与可用性：系统全年可用性不低于 99.9%（对应非计划停机时间累计不超过 8.76 小时）；关键功能（如冲突探测、态势生成）应具备热备或冗余部署，单一节点故障不影响系统整体运行。
- d) 数据安全和合规保障：涉及个人敏感信息的数据处理，应确保 100% 脱敏，且脱敏规则符合行业数据安全分类分级要求；系统数据传输、存储与访问控制应全面满足《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239）第三级安全保护相关规定，并与《民用航空空中交通管理信息系统安全保护要求》等民航行业规范相衔接。

5 低空空域与安全分类

5.1 低空空域范围分类

低空空域范围分类按照飞行高度以及飞行区域进行分类，见表 1。

表 1 低空空域范围分类

飞行高度	城市区域应用	乡村区域应用	山区/林区应用	水域/海岸应用
0-120米	微型无人机娱乐、城市基础巡检、低空拍摄	农业植保、乡村巡查、基础设施监测	森林防火监测、生态调查	水质监测、海岸线巡查
120~300米	城市物流配送、应急救援、建筑物避障飞行	乡村物流配送、医疗物资运输	山区救援作业、地形复杂飞行	海事救援、港口安全巡逻
300~1000米	eVTOL载客、城市空中交通、长距离巡检	中大型无人机远程配送、区域巡检	地质勘探、林业资源调查	远距离海洋运输、海洋科考

5.2 安全等级分类

依据航空器类型、运行高度、任务性质等因素，将低空飞行活动中的安全等级划分为四级安全等级：低风险、中风险、高风险、极高风险，并制定相应的监管策略与响应机制。

5.3 空域网格编码

采用《全球区域参考系统（GARS）》2.0 版，将低空空域划分为 30" ×30" 网格（约 0.9 km×0.9 km），作为风险评估最小地理单元，网格编码与北斗网格位置码（BGC）保持双映射。

5.4 安全等级与监管措施对照表

安全等级根据飞行运行的安全裕度、外部环境复杂性及潜在影响程度进行综合评定。通过对不同运行场景的安全需求进行量化分析，明确各等级对应的监管要求与管控手段，见表 2。

表 2 安全等级与监管措施对照表

等级	运行安全裕度	监管措施	典型场景	备注
I（低）	$> 1 \times 10^{-4}$	自主运行、事后抽查	乡村植保	无人机电子围栏内
II（中）	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$	计划审批、在线监督	城市物流	需 ADS-B Out
III（高）	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-6}$	航线配额、间隔管控	山区救援	需 GEO 2.0 认证
IV（极高）	$< 1 \times 10^{-6}$	暂停运行、人工协调	UAM 载人	需远程驾驶备份

6 风险因素识别

6.1 风险因素阶段分类

低空活动风险因素按运行阶段可分为：

- a) 规划与计划阶段风险因子：如飞行计划冲突、空域容量超限、不符合适航要求等。
- b) 实时运行阶段风险因子：如飞行冲突、恶劣天气、通信中断、设备故障等。
- c) 事后与系统层面风险因子：如数据分析揭示的系统性缺陷、规章制度漏洞等。

6.2 空域环境因素

6.2.1 空域环境因素概述

包括地理与物理环境因素、电磁频谱环境因素和运行与人为因素等。

6.2.2 电磁环境

电磁环境可能损害通信链路，导致飞行数据丢失或误操作，需实施电磁兼容性测试与防护策略。

6.2.3 空域使用冲突

不同航空器的空域使用需求重叠，增加碰撞风险，需通过空域管理政策与技术手段有效协调。冲突包括但不限于：

- a) 飞行计划冲突：指在飞行前申请与审批阶段，两个或多个已提交的飞行计划在预计时间和申请的空域范围上存在不可接受的重叠。
- b) 飞行冲突：指航空器在实时运行中，其当前航迹和速度矢量表明，它们之间的未来最小间隔将低于规定的安全间隔标准，存在碰撞风险。
- c) 空域容量超限：指在特定时段内，某一空域单元的交通需求超过其可接受容量，导致整体运行风险升高。

6.3 航空器因素

6.3.1 航空器因素概述

涵盖航空器性能参数、通信链路稳定性、自主决策能力、电池状态、飞控系统可靠性等。

6.3.2 通信链路稳定性

保障飞行数据实时传输，防止信号中断或延迟，确保飞行监控与通信的可靠性。

6.3.3 自主决策能力

基于 AI 算法的自主决策系统，能够实时分析数据、识别风险并作出相应决策。

6.3.4 飞控系统可靠性

飞控系统的稳定性与可靠性是保障航空器安全飞行的核心要素。

6.3.5 电池状态

影响飞行时长与性能，需实时监测电池电量、温度等参数，确保安全充电与高效使用。综合电池荷电状态（SOC）、电芯温差、IMU 漂移、GNSS 定位方差等 8 项参数，按加权模型计算 0 - 100 分，FHI（航空器健康指数）<70 禁止起飞。

6.4 基础设施因素

6.4.1 基础设施因素概述

包括地面指挥调度系统、ADS-B 基站覆盖、通信导航设备部署情况等。

6.4.2 地面指挥调度系统

负责监控、协调与管理低空航线运行，确保空中交通流畅与安全。

6.4.3 ADS-B 基站覆盖

确保对航空器的实时跟踪与监控，为空中交通管理提供精准数据支持。

6.4.4 通信导航设备部署

保障航空器与地面站之间的通信畅通无阻，提供精确导航服务。

6.5 外部干扰因素

6.5.1 外部干扰因素概述

包括突发天气变化、城市热岛效应等。

6.5.2 城市热岛效应

城市区域因人类活动导致的局部气候变暖现象，影响航空器的稳定性与能耗，需综合考虑城市环境与飞行安全。

6.5.3 天气因素

温度、风（风向、风速，高度层）、湿度、气压、能见度等天气条件，直接影响飞行安全与稳定性，需实时监测与精准预测。短时间内天气的剧烈变化，如突然的风暴、暴雨等，对航空器构成直接威胁，需加强天气监测与预警，本文件所提及的气象因素，主要考虑城市微气象。

6.6 人为因素

6.6.1 人为因素概述

包括调度员的执照资质、专业工龄、当前疲劳度（连续值守时间）等。

6.6.2 岗位负荷评估

动态评估模型应考虑调度人员的“操控负荷”，即：当单人监控飞行器数量或区域冲突密度超过设定阈值时，应通过系统干预（如限制新航线审批）强制降低风险等级。

6.7 监测要求

接入地面雷达、无线电频谱监测等第三方探测数据，实现对未报备“非合作目标”的感知。

7 数据要求规范

7.1 数据要求概述

明确各类数据采集精度、更新频率、格式标准及来源要求，涵盖天气、雷达、ADS-B、北斗定位、地面传感器等数据类型。

7.2 数据合规体系建设

各参与主体应落实适用于本部门、组织或单位的全面数据合规体系建设，包括但不限于数据安全 组织架构、数据安全管理制度、数据安全技术措施等内容，并建议参照 GB/T 35770-2022 第 4-10 章构建相应的合规管理体系。

7.3 数据分类分级

依据 MH/T 3039-2025 明确低空数据的分级标准，将数据分为核心数据、重要数据和一般数据三级。采用规范、明确的方法区分数据的重要性和敏感程度差异，确定数据安全级别。

7.4 数据全生命周期安全保障

依据 MH/T 5057-2021 中对于安全措施的要求，在采集、传输、存储、使用、共享以及销毁等各个环节采取符合数据安全级别要求的安全防护措施，建立覆盖数据全生命周期的安全防护机制。应参照 GB/T 35770-2022 要求，建立覆盖数据采集、传输、存储、使用、共享和销毁全生命周期的管理制度。此外应按照 MH/T 3038-2025 要求，建立数据安全监测预警机制，对异常访问、数据泄露等风险进行实时监测。

7.5 数据精度最低要求

数据精度最低要求按照数据类型以及空间精度、时间精度、更新周期进行分类，见表 3。

表 3 数据精度最低要求

数据类型	空间精度	时间精度	更新周期	来源示例
ADS-B	≤ 5 m(95 %)	≤ 0.2 s	1 s	地面站
北斗 RDSS	≤ 1 m(95 %)	≤ 0.1 s	1 s	地基增强
雷达	≤ 10 m(95 %)	≤ 1 s	2 s	一/二次雷达
气象 NOWCAST	≤ 5 km	≤ 5 min	5 min	市气象局（城市民用气象部门没有这样的专业航空气象测报和预报能力）航空气象是分高度层测报和预报的
地理建筑	≤ 0.5 m	—	季度	市测绘院
微尺度风场 模拟权重				在重点起降点、高楼密集航路点增设微型气象站。

8 数据平台

8.1 数据授权方

数据授权方包括政府主管部门、空管机构及运营企业等提供关键运行数据的单位。为保障数据使用的合规性与安全性，授权机制应明确以下核心内容：

- 授权范围界定：授权内容应基于数据分类分级结果，明确数据的使用边界：政府主管部门：主要授权宏观管理类、政策法规类及基础设施类数据，如空域划设方案、审批备案信息、监管统计报告等。空管机构：可授权实时运行数据，包括飞行计划、雷达监视信息、航空气象服务数据、空域动态状态等。运营企业：可授权运营过程数据，如航空器状态日志、航线执行记录、用户服务信息（经脱敏）、运营效能指标等。
- 数据使用主体规范：数据使用人应限于经认证的合法主体，并严格遵循“最小必要”原则。使用主体资质：需具备相应业务资质，通过安全审查，并与授权方签署数据使用协议。使用场景限定：数据仅可用于安全评估、运行优化、监管协同等明确场景，不得用于商业化开发或向第三方流转。责任可追溯：建立数据使用审计日志，确保所有操作可追溯至具体使用人与使用事由。
- 授权依据与合规要求：所有数据授权行为均须符合现行法律法规与行业标准。遵循《数据安全法》《个人信息保护法》及民航行业数据管理相关规定。符合《民用航空空中交通管理信息系统安全保护要求》等行业技术标准中对数据分类、传输与使用的规范。授权协议中应明确数据更新、停用、召回及违约处置机制。

8.2 数据使用方

数据使用方主要包括航空器运营商、数据分析平台、监管系统等数据使用主体。航空器运营商依赖精确的数据分析，以优化飞行路线，确保航空器安全与效率，同时满足空管要求。专业的数据分析平台利用先进算法对低空航线运行数据进行深度挖掘为运营商和决策者提供有价值的洞察。监管系统通过实时访问和分析低空航线运行数据，实现对飞行活动的全面监控和预警，确保空域运行的安全与有序。

8.3 数据监管方

数据监管方包括地方民航局、空域管理中心、第三方审计机构等监督单位。地方民航局作为直接监管方，负责监督低空航线运行，确保符合安全标准和规定，保障地方民航业的稳定发展。空域管理中心是低空航线运行管理的重要机构，负责数据管理和分析，以支持空域优化和飞行服务改进。独立的第三方审计机构定期对低空航线运行数据进行审计，确保数据的真实性和合规性，维护评估体系的公正性和透明度。

8.4 数据采集

采用“空-天-地”一体化协同感知体系，综合运用卫星遥感、多源雷达、地基 ADS-B、地面气象与环境传感器等多种技术手段，实现对低空运行态势的全面、实时、精准感知，为风险评估提供高质量、多维度、高时效的数据输入。

8.5 数据处理

建立统一的数据清洗、融合、标注流程，支持多源异构数据协同分析，为低空航线运行安全动态评估提供全面、准确的数据支持。通过协同分析多源异构数据，提升数据利用效率，为低空航线运行安全动态评估提供全面、准确的数据支持。

8.6 数据存储

严格遵循国家信息安全标准，确保数据的安全性和隐私保护；采用分布式云架构与边缘计算相结合的方式，实现数据的分布式存储和计算，提高数据存储的可靠性和可扩展性。

8.7 数据管理和使用

建立数据权限管理机制，保障数据合规流通与共享。政府主管部门、空管机构、运营企业等数据授权

方确保数据合法性与权威性，为低空航线运行安全评估提供坚实的数据基础。航空器运营商、数据分析平台、监管系统等数据使用方，通过数据驱动优化飞行路径、提升运行效率，确保低空航线安全高效运行。地方民航局、空域管理中心、第三方审计机构等数据监管方，负责对数据收集、处理、存储、管理和使用等环节进行全程监管，确保数据合规性与安全性。

8.8 数据共享

明确必须共享的最小数据子集（如位置、高度、预计轨迹、预警状态），对商业载荷、详细客户信息等敏感数据允许非共享。

8.9 数据安全与隐私保护

数据应符合《中华人民共和国个人信息保护法》《中华人民共和国网络安全法》等相关法律法规，建立数据权限管理机制，保障数据合规流通与共享，同时加强数据脱敏与加密传输机制，确保数据使用的合法性与安全性：

- 数据加密要求：采用符合 GB/T 25069-2022 的加密技术对敏感数据进行保护；
- 访问控制机制：基于 GB/T 25058-2019 建立多级权限管理体系，实施最小权限原则；
- 个人信息保护：按照 GB/T 35273-2020 要求处理包含个人信息的数据。

8.10 部署模式

采用“云-边-端”三级架构：

- 国家级云节点：多源数据湖，PB 级存储， ≥ 5000 并发；
- 区域边缘节点：省级 UTM 分中心， < 50 ms 回环时延；
- 本地微边缘：机场/起降点，内置 GPU 加速卡，支持 5G-A 切片，时延 ≤ 20 ms。

8.11 全流程管理规范

8.11.1 数据采集与接入规范

数据采集与接入规范符合下列要求：

- 格式标准化：各类感知数据须遵循统一接口协议与数据格式，如雷达点迹数据采用 ASTERIX CAT 021/048 标准格式，ADS-B 数据符合 RTCA DO-260/DO-260B 规范，气象数据参照 WMO GRIB/NetCDF 标准进行封装；
- 时空基准统一：所有空间数据须采用 国家大地坐标系（CGCS2000）及 UTC 时间系统，确保数据融合与分析的时空一致性。

8.11.2 数据处理与加工规范

数据处理与加工规范符合下列要求：

- 处理层级：原始数据层：未经修饰的传感器原生数据，保留完整元数据与精度信息；
- 融合数据层：通过时空配准、航迹关联、多源融合生成的统一态势数据；
- 派生数据层：基于上述数据，经风险评估、冲突检测、流量预测等模型计算生成的业务指标与预警信息；
- 质量控制：建立数据质量评估指标（如完整性、时效性、准确性），对异常数据进行标识、修复或剔除。

8.11.3 数据存储与管理规范

数据存储与管理规范符合下列要求：

- 分级存储策略：原始数据与融合数据采用 时序数据库（如 InfluxDB、TDengine）存储，支持高频写入与实时查询。派生数据、业务指标及分析结果可采用关系型数据库（如 PostgreSQL）或 分布式数据湖架构进行组织管理；
- 数据版本与溯源：对关键派生数据（如风险评估结果、预警记录）保留版本管理，并记录其数据溯源信息（来源、处理过程、生成时间）；

- c) 保留期限：依据《民用航空空中交通管理信息系统安全保护要求》等行业规定，明确各类数据的保留周期与归档策略。

8.11.4 数据安全和合规规范

所有数据的采集、传输、处理与存储，应符合 GB/T 22239 相应等级的保护规定，并对敏感数据实施分类分级管控。

9 评估方法

9.1 动态评估技术框架

动态评估技术框架评估方法如下：

- a) 全周期闭环动态风险评估：构建“规划评估（事前）—实时监控（事中）—复盘改进（事后）”的闭环技术路径。规划阶段评估计划风险；运行阶段实时监控与预警；事后阶段分析数据以优化模型与规则。
- b) 风险感知与建模：集成多源数据，构建风险感知体系，运用智能算法建模，实时分析风险因素，为评估提供精准数据基础；
- c) 风险评估与响应：基于评估结果，快速制定响应策略，包括航线调整、高度变更等确保飞行安全，同时反馈至建模环节优化风险防控措施。

9.2 风险评估模型

风险评估模型评估方法如下：

- a) AI 模型选择依据：综合考虑模型可解释性、预测精度、泛化能力及部署成本，选用 XGBoost、LightGBM、LSTM、Transformer 等主流机器学习与深度学习模型，对不同影响因素赋予不同的权重；
- b) 训练数据来源：基于历史飞行事故数据库、模拟仿真数据集、真实飞行日志数据（来自无人机运营平台、eVTOL 测试项目等）进行训练，确保模型的泛化能力和准确性；
- c) 模型验证机制：采用交叉验证、留出验证、对抗样本攻击测试等方式，确保模型在不同场景下的鲁棒性和安全性；引入专家委员会对关键模型输出结果进行人工复核；
- d) 模型可解释性：要求风险评估模型具有可解释性，便于监管审查；
- e) 模型更新机制：建立模型定期评估和更新机制，确保模型持续有效。
- f) 增加微尺度风场模拟权重，针对城市阵风、楼宇乱流建立专项风险补偿系数，而不仅依赖广域气象数据。

9.3 风险等级划分

风险等级划分估方法如下：

- a) 风险等级量化体系：建立“低风险—中风险—高风险—极高风险”四级动态风险等级体系，细化评分标准，科学衡量飞行安全态势；
- b) 多因素综合评估：结合飞行高度、空域密度、天气突变等因素，量化评分，精准定位风险等级，为飞行安全提供有力支持。

9.4 预警信息输出

根据风险等级生成结构化预警信息，包含风险类别、发生概率、影响范围、推荐处置措施等字段，支持可视化界面展示与自动推送至相关平台，确保预警信息及时传达并采取措施。

9.5 特征工程

采用 7 类 156 维特征向量：空域密度、网格历史冲突频率、微气象突变指数、航空器 FHI、链路质量、地面站覆盖率、人为干扰概率。

9.6 模型训练

训练集/验证集/测试集按 7:2:1 划分，采用 5 折交叉验证， $AUC \geq 0.92$ ， $F1\text{-score} \geq 0.85$ ；对

抗样本测试通过 FGSM、PGD 攻击，鲁棒性下降 $\leq 3\%$ 。

9.7 可解释性

系统应具备模型可解释性分析能力，应能够对模型预测结果提供特征贡献度分析信息。系统宜支持基于 SHAP 等方法生成特征贡献值，并提供特征重要性排序、特征贡献曲线等可解释性分析结果，以支撑模型结果审查与监管评估。

10 风险验证体系

10.1 数学建模验证

通过构建数学仿真模型验证评估体系在理论层面的逻辑合理性与有效性。

10.2 多学科专家委员会

组建由航空工程、气象学、人工智能、法律政策等领域专家组成的评审团队，对模型输出与实际运行数据进行对比分析。

10.3 分场景分级试点验证

在多个典型应用场景（如城市物流、山区救援、水域巡检）中开展实地试点，验证评估模型在真实环境中的适应性与准确性。

10.4 飞行仿真验证

采用符合 RTCA DO-377A 的 UTM 仿真环境，注入至少 10 万架次 Monte-Carlo 飞行计划，验证 TLS 达标率 $\geq 99\%$ 。

10.5 实地试飞验证

选取 3 类典型场景（城市物流、山区救援、水域巡检），每类 ≥ 500 飞行架次，累计飞行时间 $\geq 1000h$ ，实际冲突事件与模型预测冲突事件的相对误差 $\leq 10\%$ 。

11 应急响应与处置

11.1 I 级蓝色预警

I 级低风险：提示潜在风险，建议加强监控与信息通报。

11.2 II 级黄色预警

II 级中风险：启动预案准备，调整飞行计划，通知相关管理部门。

11.3 III 级橙色预警

III 级高风险：限制特定空域飞行活动，启动应急调度机制。

11.4 IV 级红色预警

IV 级极高风险：全面暂停飞行活动，启动紧急救援与事后复盘机制。

11.5 应急响应流程

明确不同风险等级下的响应流程和责任人。

11.6 数据安全应急

增加数据安全事件的应急响应措施。

11.7 事后复盘机制

完善事件复盘和分析流程，形成改进措施。

11.8 数据安全应急响应时间

从发现数据泄露到启动应急措施 $\leq 15\text{min}$ ，符合 GB/T 35273-2020 第 8.2 条要求。

12 持续改进

12.1 改进策略

定期收集用户反馈与运行数据，持续优化模型性能与评估指标。

12.2 改进措施

建立版本迭代机制，每年发布一次小版本更新，每三年进行一次大版本重构，确保标准的先进性与适用性。改进措施应来源于对全周期运行数据的分析，特别是对预警有效性、应急响应效果，以及未预测到的事故征候的深度复盘。

13 标准接口设计说明

13.1 与现有低空管理系统对接

与现有低空管理系统对接设计的要求，具体如下：

- 明确与 ADS-B 系统、北斗导航平台、通航飞行服务站（FSS）等既有空管、指挥、保障系统的数据交互方式；支持多种通信协议（TCP/IP、MQTT、HTTP/REST API、WebSocket 等）；提供标准数据接口文档（OpenAPI/Swagger 格式）；
- 系统架构兼容性：应采用与低空飞行服务系统相同的三级架构（国家信息管理系统、区域信息处理系统、飞行服务站系统）；支持模块化设计，具备稳定、冗余、开放的体系结构；需支持跨平台应用，确保与现有系统的无缝集成；
- 功能对接要求：必须实现与飞行任务管理、飞行计划处理、监视数据处理等核心功能的对接；评估系统应能接收和处理 ADS-B 数据、北斗监视数据和无人机飞行动态数据；需具备与现有系统相同的日志管理、自检和监控功能；
- 接口安全要求：参考 MH/T 4053-2022，增加接口认证、授权和审计要求；
- 数据交换格式：明确采用 JSON/XML 格式，时间使用北京时间（UTC+8），坐标采用 WGS84 坐标系；
- 性能指标：补充接口响应时间、并发处理能力等具体指标要求。

13.2 数据交互协议设计

数据交互的整体设计应符合 MH/T 0073 的规定，具体如下：

- 定义数据交换格式（JSON/XML）；制定统一的消息头结构、时间戳格式、身份认证机制；支持增量更新与批量上传两种模式；
- 基础协议标准：采用 WGS84 坐标系；使用北京时间（UTC+8）作为时间基准；数据格式应符合 MH/T 4018.2—2004 中相关要求；
- 数据完整性保障：应对数据的完整性和有效性进行检验，能够过滤有误数据；重要数据应采用加密方法进行保护；
- 实时性要求：航迹显示刷新周期应 ≤ 4 秒；系统时钟同步误差应 ≤ 100 毫秒；需支持 7×24 小时不间断记录能力。

13.3 API 接口示例

API 接口设计要求，具体如下：

- 飞行计划数据接口：应支持接收和处理飞行计划数据，包括计划状态（未提交、待审批、审批中、审批通过等）；需具备飞行计划格式检查功能，错误时应给出提示；应支持飞行计划修改、撤销和取消功能；
- 监视数据接口：应支持接收 ADS-B、北斗监视数据和无人机飞行动态数据；需具备数据完整性检验和错误数据过滤功能；应支持航迹与飞行计划自动/人工相关功能；

- c) 航空气象数据接口：应支持接收运输航空和通用航空气象产品；需具备气象信息查询功能（按日期、地点等条件）；应支持多种显示方式（图形、表格、文字）；
- d) 航空情报数据接口：应支持接收运输航空和通用航空情报产品；需具备情报信息查询功能（按日期、地点等条件）；应支持多种显示方式（图形、表格、文字）；
- e) 告警类型接口：应支持飞行范围超出告警；应支持禁区/危险区/限制区侵入告警；应支持目标丢失告警；
- f) 告警参数设置接口：应支持水平和垂直方向接近禁区设置距离参数；应支持目标监视数据丢失时间告警参数设置；
- g) 接口示例可参照附录 A：实时风险评估接口（输入飞行参数，输出风险等级）；预警信息发布接口；航空器状态上报接口；空域状态查询接口。

13.4 第三方平台集成建议

第三方平台集成设计要求，具体如下：

- a) 提供 SDK 开发包，支持 Python、Java、C++ 等语言；提供测试沙箱环境与联调工具；支持私有化部署与公有云部署双模式；
- b) 集成架构建议：采用微服务架构，确保各功能模块可独立部署和扩展；使用 RESTful API 或 WebSocket 进行实时数据交互；建议采用 OAuth 2.0 进行身份认证和授权；
- c) 数据安全要求：第三方平台至少应符合信息系统安全保护等级第一级的规定；应配有安全措施确保数据的存储安全；应具备计算机病毒的防护能力。区域信息处理系统至少符合信息系统安全保护等级第二级，飞行服务站系统至少符合第一级；
- d) 性能指标建议：同时处理飞行计划数不低于 1000 条；同时存在的最大系统航迹数不低于 1024 个；最大可接入 ADS-B 数不低于 16 路；数据存储时间不低于 6 个月；
- e) 灾备要求：重要第三方平台应配置相应的设施设备，具备异地灾备的能力；对灾难性事件应有应急措施；应具备数据备份和还原功能；
- f) 监控与日志：系统应具备 7×24 小时不间断记录能力，应具备系统监控功能，包括服务器状态、网络状态等；应能统计、显示系统内发生的主要事件；应生成和存储日志文件，可按时间查询、打印和导出日志文件；
- g) 第三方平台集成安全审计：每季度开展一次安全审计，审计内容包括但不限于：代码漏洞扫描、数据访问日志审查、接口调用频率异常检测，审计报告需提交至数据监管方备案。

附录 A
(资料性)
API 接口示例

A.1 飞行计划接口概述

为构建与现有运行体系深度融合的低空安全动态评估系统，其数据体系须以飞行情报为核心进行设计，并严格遵循现行民航数据规范。

A.1.1 飞行情报数据规范

系统所处理的与航空器运行意图、动态及服务相关的所有信息，均应纳入 飞行情报 管理框架，并符合以下规范：

- a) 数据范畴：不仅包括飞行计划（FPL）报文，还应涵盖与之关联的重复性飞行计划（RPL）、修订飞行计划（CHG）、延误报（DLA）、飞行动态（CPL、EST、ACT）以及相关空中交通服务（ATS）报文。
- b) 标准符合性：飞行情报的格式、内容、交换协议须严格遵循 《民用航空空中交通服务电报编制规范》（MH/T 4007）及国际民航组织（ICAO）相关附件的规定。
- c) 生命周期管理：实现从飞行前情报的提交、处理、分发，到飞行中动态情报的更新与协调，直至飞行后情报的关闭与归档的全流程、可追溯管理。

A.1.2 多源感知数据与飞行情报的融合

“空-天-地”感知体系获取的监视、气象、环境等数据，其处理与应用的最终目标是服务于飞行情报的 丰富、验证与动态更新：

- a) 目标关联：将雷达、ADS-B 等监视数据生成的航迹，与飞行情报中的计划航迹进行自动关联，形成完整的航空器运行态势。
- b) 情报增强：利用实时气象、空域状态等感知数据，为飞行情报附加实时风险提示与运行建议。

A.1.3 数据交互与系统集成要求

为确保与现有体系的无缝融合，系统设计须满足：

- a) 接口规范性：与空管自动化系统、飞行服务系统等现有核心系统的数据交互接口，应符合《民用航空空中交通管理信息系统技术规范》等行业标准。
- b) 情报一致性：系统内维护的飞行情报数据，须与官方飞行情报系统（如 ATFM 系统、FIPS）保持权威性、完整性和时效性的一致。

A.1.4 衍生数据管理规范

基于飞行情报与感知数据融合计算产生的衍生数据（如风险评估结果、冲突预警、流量预测），需建立独立的元数据标识，记录其数据谱系，明确其生成逻辑、输入源和时效性，并与原始飞行情报建立可追溯的关联。示例如下：

```
// 飞行计划数据接口
{
  "api": "/flightPlan/submit",
  "method": "POST",
  "params": {
    "planId": "string", // 飞行计划 ID
    "taskType": "string", // 任务性质
    "aircraftType": "string", // 航空器型号
    "callSign": "string", // 呼号
    "departure": "string", // 起飞机场
    "destination": "string", // 目的地机场
    "plannedRoute": "string", // 计划航线
    "startTime": "datetime", // 开始时间
```

```

        "endTime": "datetime" // 结束时间
    },
    "response": {
        "status": "string", // 状态码
        "message": "string", // 返回信息
        "approvalId": "string" // 审批 ID
    }
}

```

A.2 监视数据接口

```

// 实时航迹数据接口
{
    "api": "/surveillance/tracks",
    "method": "GET",
    "params": {
        "area": "string", // 区域代码
        "timeRange": "string" // 时间范围
    },
    "response": {
        "tracks": [
            {
                "id": "string", // 航迹 ID
                "callSign": "string", // 呼号
                "latitude": "float", // 纬度
                "longitude": "float", // 经度
                "altitude": "float", // 高度
                "speed": "float", // 速度
                "heading": "float", // 航向
                "timestamp": "datetime" // 时间戳
            }
        ]
    }
}

```

A.3 告警信息接口

```

// 安全告警推送接口
{
    "api": "/alerts/push",
    "method": "POST",
    "params": {
        "alertId": "string", // 告警 ID
        "alertType": "string", // 告警类型
        "severity": "string", // 严重程度
        "aircraftId": "string", // 航空器 ID
        "location": "string", // 位置信息
        "timestamp": "datetime", // 时间戳
        "description": "string" // 描述信息
    }
}

```

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国国务院，中华人民共和国中央军事委员会．中华人民共和国飞行基本规则[S]．2000-07-24

CPUMT