

T

团 体 标 准

T/SZDKXH XXXX—XXXX

低空垂直起降场智能化建设技术要求

Technical requirements for intelligent construction of Low-Altitude
vertiports

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

深圳市低空经济产业协会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	3
5 总体要求	3
5.1 总体原则	3
5.2 总体框架	4
5.3 智能化分级	4
6 场地智能化要求	5
6.1 选址要求	5
6.2 建设要求	5
7 助航设施	6
7.1 基本要求	6
7.2 通信设施	6
7.3 导航设施	7
7.4 监视设施	7
7.5 气象设备	7
7.6 系统协同与集成	8
8 配套设施	8
8.1 基本要求	8
8.2 能源设施	8
8.3 保障设施	10
8.4 应急设施	12
9 智能管理系统	13
9.1 总体要求	13
9.2 资源管理能力	13
9.3 数据治理能力	14
9.4 业务协同能力	14
9.5 服务交互能力	15
9.6 系统接口	15
10 安全管理系统	15
10.1 总体要求	15
10.2 多源融合监视能力	15
10.3 风险识别与评估能力	16

10.4	联动预警与处置能力	16
10.5	安全审计与系统防护	17
附录 A	(资料性) 低空垂直起降场选址原则	18
附录 B	(规范性) 助航设施智能化分级配置表	19
附录 C	(规范性) 配套设施智能化分级配置表	21
附录 D	(规范性) 智能化管理系统分级配置表	24
附录 E	(规范性) 安全管理系统分级配置表	26
参 考 文 献		27

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××××提出。

本文件由深圳市低空经济产业协会归口。

本文件起草单位：××××、××××。

本文件主要起草人：×××、×××。

低空垂直起降场智能化建设技术要求

1 范围

本文件规定了在符合现行垂直起降场基础设施要求和运行安全要求的前提下,建设智能化垂直起降场所需设备、设施、系统及其集成技术要求,明确智能化垂直起降场相对于传统垂直起降场在自动运行、协同调度、智能感知与智能决策等方面的能力提升要求。

本文件适用于新建陆上智能化垂直起降场,包括地面、高架结构物和建筑物屋顶等垂直起降场的规划、设计和建设。既有垂直起降场实施智能化升级改造时可参照执行。

本文件不适用于水上起降场、舰载平台以及通用直升机场。

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 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 33587 充电电气系统与设备安全导则

GB/T 35273 信息安全技术 个人信息安全规范

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB 50116 火灾自动报警系统设计规范

GB 50177 氢气站设计规范

GB 50516 加氢站技术规范

GB/T 51048 电化学储能电站设计标准

GB 55001 工程结构通用规范

GB 55003 建筑与市政地基基础通用规范

GB 55037 建筑防火通用规范

MH/T 7015 运输机场飞行区消防救援设施

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

垂直起降场 vertiport

全部或部分用于垂直起降航空器起飞、着陆和表面活动的场地或构筑物上的特定区域。

[来源:《民用垂直起降场地技术要求(征求意见稿)》,2.1.2,有修改]

3.2

智能化垂直起降场 intelligent vertiport

应用数字化、自动化、人工智能等技术,对场地设施、航空器运行、运行环境和服务活动进行感知、分析、协同和控制的垂直起降场。

3.3

电动垂直起降航空器

electric vertical take-off and landing aircraft; eVTOL

以电力作为飞行动力来源且具备垂直起降功能的航空器。

[来源: T/CCAATB 0062—2024, 3.1, 有修改]

3.4

最终进近和起飞区 final approach and take-off area, FATO

用于直升机完成进近动作的最后阶段到悬停或着陆, 以及开始起飞动作的特定区域。

[来源: MH/T 5013—2023, 3.1]

3.5

接地和离地区 touchdown and lift-off area, TLOF

最终进近和起飞区内供航空器接地或离地的一块承载区。

[来源: MH/T 5013—2023, 3.2, 有修改]

3.6

安全区 safety area, SA

围绕最终进近和起飞区设置, 用于降低航空器意外偏离最终进近和起飞区时运行风险的规定区域。

[来源: MH/T 5013—2023, 3.3, 有修改]

3.7

数字孪生 digital twin

具有保证物理状态和虚拟状态之间以适当速率和精度同步的数据连接的特定目标实体的数字化表达。

[来源: GB/T 43441.1—2023, 3.4]

3.8

全球导航卫星系统 GNSS

能在全球范围内提供导航服务的卫星导航系统的通称。

[来源: GB/T 39267—2020, 2.1.9]

3.9

广播式自动相关监视 automatic dependent surveillance-broadcast; ADS-B

航空器及其他目标生成的自身定位等信息, 通过特定数据链和格式进行周期性自动监视信息广播, 并由特定地面站设备和(或)其他航空器进行接收和处理的监视手段。

[来源: MH/T 4036—2026, 3]

3.10

低空域 low-altitude airspace

按照空域管理规定划设, 用于低空飞行活动的空域。

注: 低空空域的垂直范围按照国家和地区空域管理规定确定。

3.11

网络安全等级保护 cybersecurity grade protection

对垂直起降场智能化系统的网络安全进行分等级保护, 涵盖安全物理环境、安全通信网络、安全区域边界、安全计算环境、安全管理中心等方面的防护要求。

注: 网络安全等级保护要求按照GB/T 22239规定。

3.12

无线电侦测 radio detection

通过专用设备对垂直起降场周边的非法无线电信号、干扰信号进行搜索、识别、定位的技术手段, 保障场地通信导航系统正常工作。

3.13

地基增强系统 ground-based augmentation system; GBAS

由空间部分、地面部分和航空器部分组成, 通过地面部分向航空用户发送卫星导航增强信息的系统。

[来源: MH/T 4045—2017, 3.1.7, 有修改]

3.14

实时动态定位技术 real-time kinematic, RTK

基于载波相位差分的卫星定位技术, 通过基准站与移动站之间的实时数据传输与差分计算, 实现厘米级高精度定位的技术。

3.15

边缘计算 edge computing

在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用等核心能力，就近提供边缘服务的计算模式。

[来源：GB/T 41780.1—2022，3.1，有修改]

3.16

地勤设备 ground support equipment

用于低空航空器停放、牵引、装卸、充换电、检测维护、消防救援、运行保障等地面作业的设施设备。

3.17

人工超控 manual override

在自动控制、远程控制或者自主运行过程中，由具备相应权限的人员通过人工操作接管系统控制权，并对航空器、设备或者系统运行状态进行干预、调整或者终止的控制方式。

4 符号和缩略语

下列缩略语适用于本文件。

5G-A: 5G 增强型通信技术 (5G-Advanced)

ADS-B: 广播式自动相关监视 (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)

AI: 人工智能 (Artificial Intelligence)

AoA: 到达角 (Angle of Arrival)

API: 应用程序编程接口 (Application Programming Interface)

BIM: 建筑信息模型 (Building Information Modeling)

CIM: 城市信息模型 (City Information Modeling)

eVTOL: 电动垂直起降航空器 (Electric Vertical Take-Off and Landing Aircraft)

FATO: 最终进近和起飞区 (Final Approach and Take-off Area)

GBAS: 地基增强系统 (Ground-Based Augmentation System)

GIS: 地理信息系统 (Geographic Information System)

GLONASS: 格洛纳斯全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)

IEMS: 智能综合能源管理系统 (Intelligent Integrated Energy Management System)

ILS: 仪表着陆系统 (Instrument Landing System)

IoT: 物联网 (internet of things)

MQTT: 消息队列遥测传输 (Message Queuing Telemetry Transport)

RAIM: 接收机自主完好性监测 (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)

Remote ID: 远程识别 (Remote Identification)

RESTful: 表述性状态转移架构风格 (Representational State Transfer)

SLAM: 同步定位与地图构建 (Simultaneous Localization and Mapping)

SPD: 电涌保护器 (Surge Protective Device)

OFV: 无障碍物空间 (obstacle-free volume)

UOM: 无人驾驶航空器运行管理系统 (Unmanned Aircraft Operation Management System)

UWB: 超宽带技术 (Ultra Wide Band)

WebSocket: WebSocket 通信协议 (WebSocket Protocol)

5 总体要求

5.1 总体原则

低空垂直起降场智能化建设应遵循以下原则：

- 安全可靠：**关键系统与设备应具备冗余容错、故障预警和降级运行能力，在异常情况下支持基本运行安全要求；
- 统筹规划：**智能化建设规模、水平及技术路径应与起降场功能定位、预期运行规模、空域环境及发展阶段相匹配，按照运行需求实施分级配置；
- 智能高效：**智能化系统应配置感知监测、数据处理、协同调度和辅助决策等功能，支持运行管理自动化、业务协同化和资源调度优化；
- 开放协同：**智能化系统应具备标准化数据接口，支持与空域管理、飞行服务、城市交通、应急指挥等外部系统进行数据交换和业务协同；
- 绿色低碳：**在规划、建设与运行全生命周期中贯彻绿色理念，优先采用节能设备、可再生能源及智能能源管理系统，优化能源结构，控制噪声与排放，降低环境影响；
- 数据驱动：**应建立覆盖运行全流程的数据采集、记录、分析与应用机制，关键数据应具备追溯、审计和查询能力，支持安全预警、效能评估和持续改进；
- 弹性可扩展：**系统架构模块化、松耦合，具备良好的灵活性与可扩展性，能够适应技术迭代、业务增长和功能演进的需求。

5.2 总体框架

低空垂直起降场智能化体系宜采用分层解耦架构，构建由设施层、平台层和应用层组成的一体化运行系统，如图1所示。各层级要求如下：

- 设施层：**由智能化体系的物理实体与执行终端组成，支持场地设施、环境条件和运行要素的状态感知、数据传输和控制执行；
- 平台层：**是智能化体系的数据与智能中枢，实现多源数据的汇聚治理、智能模型的构建管理与全要素的虚拟映射，为上层应用提供统一能力支撑；
- 应用层：**面向运行管理、安全防护、运营服务等场景，提供调度管理、安防监测、运营分析和交互服务等业务功能。

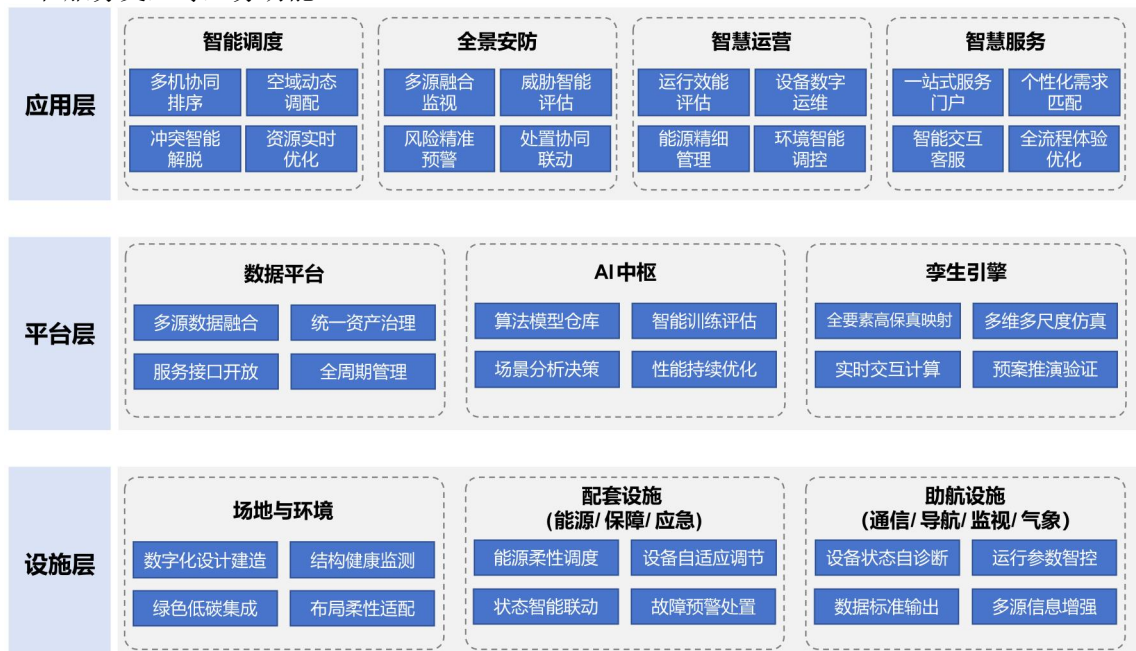


图1 低空垂直起降场智能化建设总体框架图

5.3 智能化分级

5.3.1 低空垂直起降场智能化分级宜遵循安全底线、梯度适配、技术适用和场景匹配原则。各级智能化配置与运行安全要求、运行服务需求、技术成熟度和经济合理性相匹配。

5.3.2 根据智能化水平、技术配置和运行服务能力，低空垂直起降场智能化建设分为 A 级、B 级和 C 级。各级别具体配置要求见附录 B 至附录 E。：

- a) A 级（全面智能化）：适用于多功能类型、多航空器类型、高密度协同运行场景。系统宜具备全场景、全流程的少人化运行和高度自主运行能力，支持多类型、高密度航空器的协同调度、精确引导和运行管控。系统宜集成人工智能、数字孪生、多源感知和协同控制等技术，支持复杂运行环境下的状态感知、辅助决策、自动调度和风险预警。关键系统应具备冗余配置、故障切换和运行记录能力；
- b) B 级（标准智能化）：适用于常规功能类型、常规航空器类型、中等密度标准化运行场景。系统宜具备核心运行场景的自动化运行和辅助决策能力，支持常规类型、中等密度航空器的有序调度和运行管理。系统应具备关键设施状态监测、运行数据集中处理、风险自动预警和日常业务数字化管理能力。关键系统宜具备冗余设计，智能化配置与标准化运营需求相匹配；
- c) C 级（基本智能化）：适用于单一功能类型、单一或少量航空器类型、低密度基础运行场景。系统应具备基本运行安全所需的关键监控和信息化能力，支持单一或少量类型航空器的起降作业。系统应具备基础态势感知、关键设备状态监测、运行信息记录和信息报送能力，系统架构宜简洁可靠，智能化配置与低密度基础运行需求相匹配。

6 场地智能化要求

6.1 选址要求

6.1.1 低空垂直起降场的基本选址原则见附录 A。

6.1.2 智能化手段

选址阶段宜采用数字化、智能化技术手段，对场地条件、空域环境、交通衔接、周边障碍物和环境影响等因素开展综合分析评估。具体要求如下：

- a) 数字化选址综合分析：选址阶段宜采用地理信息系统（GIS）、建筑信息模型（BIM）等数字化技术，集成地形地貌、障碍物限制、人口热力分布、交通流量数据等多源信息，构建数字化选址分析模型。该模型应具备对候选场址的建设可行性及与周边环境的协调性进行空间分析、量化评估与可视化展示的能力；
- b) 空域融合与运行安全分析：选址分析宜采用数字化模型，模拟起降场与周边航线、管制区域、禁飞区、限飞区等空域要素的空间关系和运行关系，识别潜在运行冲突点及运行安全风险。分析结果宜作为空域规划、飞行程序设计 and 运行方案制定的依据；
- c) 环境影响智能预测评估：宜利用噪声模拟、电磁兼容分析、生态环境数据等数字化工具与模型，对场址建设与后续运行可能产生的噪声、电磁、生态等环境影响进行智能预测与初步评估，评估结果宜用于判断场址与生态环境、噪声控制、电磁环境等相关要求的符合性；
- d) 设施协同预规划：选址分析阶段，可结合场址条件和运行需求，对通信、导航、监视、气象、能源供给等关键智能化基础设施的部署开展协同预规划和可行性分析。预规划结果宜作为相关设施一体化设计的依据；
- e) 成果管理与决策支持：数字化选址分析的过程数据、模型文件和综合评估结果宜形成数字化分析资料和报告，并满足存档、追溯和复核要求。分析资料和报告应包括候选方案比选结论、主要评价指标、数据来源、模型参数和评估结果，作为选址决策、工程设计和建设实施的依据。

6.2 建设要求

6.2.1 基本规定

6.2.1.1 低空垂直起降场建筑分类和耐火等级应符合 GB 55037 及 GB 50016 的规定。

6.2.1.2 低空垂直起降场的结构设计应符合 GB 55001 及 GB 55003 的规定。

6.2.2 场地智能感知系统要求

起降场的智能化建设应包括覆盖全区域的物联网智能感知体系。该体系由部署于场地内的各类传感器、智能终端、边缘计算设备及物联网络等组成，形成对场地状态、设施状态、环境条件和运行要素的实时感知能力。包括但不限于以下能力要求：

- a) 结构安全智能感知：宜建立结构安全监测机制，对结构变形、沉降、振动、应力、裂缝等关键结构参数进行监测，并将监测数据接入智能化系统，支持结构安全预警、状态评估和运行辅助决策；
- b) 设施状态智能感知：宜具备对关键设施与系统的运行状态进行持续监测与诊断的能力，包括灯光系统、围界护栏、排水系统、充换电设备等，实时感知其工作状态、性能参数与故障告警信息；
- c) 场面活动态势感知：宜对场内航空器、勤务车辆、工作人员等动态目标进行感知与跟踪，实时采集其位置、身份、速度、运行状态等数据，形成统一的场面活动实时态势；
- d) 感知数据标准化与传输：感知数据应附带统一的时间标签、空间标签和设备标识，并采用标准化数据格式。感知数据宜通过高可靠、低时延的物联网络，实时或准实时上传至中心平台，支持数据汇聚、状态监测和事件分析；
- e) 边缘智能处理与响应：在关键区域宜部署具备边缘计算能力的设备，对本地感知数据进行初步分析与事件识别，实现快速本地响应，并降低对云端平台的数据传输压力与整体系统时延。

6.2.3 运行柔性适配要求

场地布局以及机位、通道、能源站等设施宜具备柔性适配能力，支持通过软件定义、参数配置或物理调整，适应不同机型和不同运行模式的使用需求。

6.2.4 绿色与可持续要求

6.2.4.1 应部署智能综合能源管理系统，该系统应具备能源数据采集、运行监测、优化调度、可再生能源消纳和储能系统调控等功能。

6.2.4.2 环境智能监测与调控系统应具备噪声监测、排放物监测、异常告警和运行记录留存等功能。

6.2.4.3 物理基础设施全生命周期管理系统宜具备绿色建材建档、主要设施健康监测、拆解复用和回收记录管理等功能。

6.2.4.4 智慧水循环管理系统宜具备用水监测、节水控制、雨水收集、雨水利用和异常告警等功能。

7 助航设施

7.1 基本要求

7.1.1 起降场助航设施应具备数字化采集、状态监测、通信传输、定位导航、监视感知和协同计算等能力；

7.1.2 起降场助航设施架构应包括通信设施、导航设施、监视设施、气象设施四大系统；

7.1.3 起降场应根据功能类型、支持的航空器种类、预期飞行密度、运行场景的自动化程度、协同调度的智能化程度、系统冗余度等确定助航设施等级；

7.1.4 助航设施智能化分级配置参见附录 B。

7.2 通信设施

7.2.1 功能要求

起降场通信设施应同时满足地空通信、空空协同、地面组网三类需求，支持飞行器与起降场、飞行器与飞行器、起降场与低空管理平台之间的数据交互。

7.2.2 智能化特征

通信设施智能化特征如下：

- a) 通感一体与多模冗余：应部署 5G-A 等通感一体化基站，同时实现高速数据传输与非合作目标探测；通信设施宜支持公网、卫星、专网等多链路切换，并具备链路状态监测、故障告警和切换记录功能；
- b) 边缘智能协同调度：场端边缘节点宜具备数据转发、协议转换、起降时序计算、灯光引导和地勤设备联动控制能力。数据转发时延指标宜根据航空器起降、滑行引导和设备联动控制等运行需求确定；
- c) 自主可靠与安全防护：通信设施宜部署 AI 模型监测设备状态，预测硬件失效并自动热迁移业务，系统宜具备设备状态监测、故障预测、业务迁移和故障恢复功能；
- d) 零信任内生安全：通信设施宜基于零信任架构，采用身份认证、访问控制、流量监测和异常流量处置等安全机制，并宜具备故障预测、业务迁移和故障切换能力；
- e) 精密进近数据链：通信设施宜建立协同进近数据链，实时计算下滑道并向飞行器注入飞控指令，支持高精度自动引导着陆与离场。

7.3 导航设施

7.3.1 功能要求

导航设施宜支持起飞、进近、着陆、备降等运行阶段的导航引导，并根据运行需求配置相应精度、完好性、连续性和可用性指标。

7.3.2 智能化特征

导航设施智能化特征如下：

- a) 多源融合高精定位：导航设施宜融合北斗增强、惯性导航、视觉定位、激光雷达 SLAM、UWB 或蓝牙信标等数据，支持卫星信号受限环境下的连续定位。定位精度应按照应用场景明确；
- b) 三维精密进近引导：导航设施宜提供下滑道、航向道与决断高度的三维立体引导能力，支持低能见度条件下的全天候自动起降运行；
- c) 动态路径规划：导航设施宜结合实时风场、空域状态、障碍物位置等数据，生成进近路径建议。路径信息宜按照接口权限向相关系统提供，并记录生成时间、数据来源和调用情况；
- d) 完好性监测与自主校验：导航设施应具备接收机自主完好性监测与多源导航数据交叉校验功能，在精度超限前主动告警并切换备用导航源。

7.4 监视设施

7.4.1 功能要求

监视设施应对起降场及周边运行区域内的合作目标和非合作目标进行监测、识别和轨迹跟踪。

7.4.2 智能化特征

监视设施智能化特征如下：

- a) 多维融合与精准识别：监视设施宜融合雷达、光电、红外、声学等多源数据，对合作目标、非合作目标、生物目标和无人机目标进行分类识别；
- b) 全时空航迹追踪与预警：监视设施宜采用多传感器航迹融合和预测算法，对遮蔽区域外的目标轨迹进行补全和重关联，并通过内置冲突探测模型支持前向碰撞预警和解脱建议生成；
- c) 异常行为与入侵管控：监视设施宜提供自动识别悬停、超速、偏离航线等异常飞行模式；支持三维电子围栏动态调整，对非法入侵自动触发告警与链路反制；
- d) 闭环协同控制：监视数据宜接入飞行管理系统和调度系统，支持目标探测、目标识别、风险判断和处置建议生成。涉及自动复飞、避让动作执行等航空器控制指令的功能，应设置人工确认或人工超控机制。

7.5 气象设备

7.5.1 功能要求

气象设施宜提供覆盖垂直起降场起降区、进近面和区域背景三个层级的能力，重点监测风切变、侧风突变、低空湍流、能见度骤变等影响 eVTOL 安全运行的气象要素。

7.5.2 智能化特征

气象设施智能化特征如下：

- a) 微尺度立体感知：气象设施应构建覆盖跑道、进近面与垂直高度的三维气象剖面，重点监测风切变、侧风突变与低空湍流，提前 30 秒以上发出风切变预警；
- b) 雷电预警与低能见度探测：气象设施应通过大气电场仪提前预警雷电风险并联动停机坪安全措施；结合前向散射仪与云高仪，满足低能见度自动起降标准；
- c) 多源融合短临预报：气象设施宜接入区域气象网和本场实测数据，开展短临气象预报，并明确预报空间分辨率、时间分辨率和误差评价方法；
- d) 动态阈值告警与设备自愈：气象设施宜根据不同机型性能包线，动态调整气象安全告警阈值。关键传感器宜具备自动校准、加热除冰和故障冗余切换功能。

7.6 系统协同与集成

7.6.1 起降场宜设置本地空管数据汇聚节点（边缘云），对通信、导航、监视、气象等数据进行统一时间基准和空间基准处理，并通过统一接口向航空器或相关系统提供全要素信息服务。

7.6.2 具备通信、导航、监视、气象中任意两类及以上 A 级配置的起降场，应构建起降场数字孪生体，实现物理场与数字场的实时映射与仿真推演。

7.6.3 助航设施应向上一级低空飞行服务保障系统开放标准数据接口，支持空域动态释放与多场协同调度。

7.6.4 助航设施应具备运行数据记录与审计能力，记录关键指令、告警事件、设备状态变更等日志，日志保存期限不低于 6 年，支持事故调查与运行追溯。

8 配套设施

8.1 基本要求

8.1.1 设施设备宜根据环境变化或运行场景，自动调整工作模式和运行参数，并支持感知、分析、控制和执行协同运行；

8.1.2 各类设施应统一时空基准和数据接口，支持与智能管理平台、低空运行服务系统、应急指挥系统进行数据交互和联动控制；

8.1.3 应建立配套设施数字化健康档案，采集设备实时运行数据，并结合算法模型开展设备健康状态评估、性能衰退趋势分析和潜在故障风险预警。故障发生后，系统应具备故障源自动定位、影响范围评估、维修方案推荐和备件信息提示功能，支持主动预警和预测性维护。

8.1.4 配套设施智能化分级配置参见附录 C。

8.2 能源设施

8.2.1 充能设施

8.2.1.1 功能要求

充能设施应支持与航空器能源管理系统进行通信和协同控制，并具备充能状态监测、参数控制和异常保护功能。充能设施的设置应符合 GB/T 33587 和 GB 50516 等相关标准要求。功能要求如下：

- a) 充能接口宜兼容适配航空器的充能接口标准，支持多机型接入。充能电压、电流、功率等参数应与航空器快速补能需求相匹配；
- b) 充能设施应具备综合安全保护功能，并实现关键参数实时监测与紧急停机控制。充能区域的安全性应满足相关行业标准；
- c) 充能设施应支持分时计费、在线支付及与运营平台自动结算，具备充能记录存储和上传功能，支持充能数据溯源和统计分析。

8.2.1.2 智能化特征

充能设施智能化特征如下：

- a) 功率自适应调节：充能设施宜根据航空器充能需求、场地能源供给状态和设备运行状态，动态分配充能资源，并支持充能功率调节、负荷协调和充能过程控制；
- b) 全息状态感知：充能设备应具备关键部件状态监测、故障自诊断、自动告警和故障信息上传功能。发现模块异常、通信中断等故障时，应自动生成告警信息并上传至管理平台，支持远程诊断和远程重启；
- c) 充能预约与引导：充能设施宜支持远程预约、入位引导和充能接口自动识别对接。航空器入位时，系统宜通过视觉识别等方式提供位置引导；
- d) 多能互补协同：充能设施宜支持与储能系统、新能源发电系统协同运行，并根据能源价格、供给条件、负荷需求等因素开展充能功率分配和能量交互控制。

8.2.2 换能设施

8.2.2.1 功能要求

换能设施用于为有快速能源补给需求的航空器提供换能服务。功能要求如下：

- a) 换能设施宜由换能平台、机械臂、智能存储架、定位引导系统等组成，并宜兼容适配航空器使用的不同尺寸、不同接口能源载体；
- b) 换能设施宜支持航空器停靠引导、能源载体拆卸、安装、检测等作业，并满足高频次运行场景下的换能服务需求。

8.2.2.2 智能化特征

换能设施智能化特征如下：

- a) 全自动作业：航空器停靠后，换能设施宜通过视觉引导和机械臂自动完成换能操作；
- b) 能源载体溯源管理：换能设施宜为能源载体建立数字化档案，记录充放能循环次数、健康状况、检测结果、维护记录等数据；
- c) 集群调度：换能设施宜与场站管理平台联动，根据能源载体存量、换能预约、排队状态和换能位占用情况等数据，开展换能位分配和换能作业调度。

8.2.3 储能设施

8.2.3.1 功能要求

储能设施包括电化学储能、化学燃料制储等形态，用于平抑外部供能波动、保障关键负荷持续供能和支撑可再生能源消纳。储能设施设计应符合 GB/T 51048、GB 50177 等相关标准的规定。功能要求如下：

- a) 储能设施宜由能源存储装置、能量转换装置、状态管理系统和能量管理系统等组成，并具备与运行场景相匹配的安全防护能力；
- b) 储能容量应根据起降场负荷等级、消防负荷、重要负荷和持续供电时间等要求确定；
- c) 储能设施应具备孤岛运行、自动切换、消防联动、可燃气体监测、泄爆等安全功能。

8.2.3.2 智能化特征：

储能设施智能化特征如下：

- a) 多能协同管控：储能设施宜对各类储能单元、制备单元的能量进行协同控制；
- b) 智能策略调度：储能设施应内置智能决策引擎，根据外部供能状态、实时价格、用能需求等要素，开展数据分析和调度策略生成，支持削峰填谷、需量控制和需求响应；
- c) 健康预测管理：储能设施宜通过运行数据采集与分析，开展健康状态在线评估、性能衰退趋势预测和故障早期预警。每年宜开展一次容量测试，并根据测试结果优化运行状态区间。

8.2.4 新能源发电设施

8.2.4.1 功能要求

起降场可结合建筑空间及周边场地条件，配置分布式新能源发电系统。功能要求如下：

- a) 新能源发电设施可配置光伏发电、风力发电等新能源发电系统，并具备并网保护、防孤岛保护、低电压穿越等功能；
- b) 新能源发电设施宜与储能、充电系统协同，支持新能源电力就地消纳；
- c) 新能源发电设施应配置相应的并网接口、双向逆变器及安全保护装置，并支持并网运行和离网运行模式切换。

8.2.4.2 智能化特征

新能源发电设施智能化特征如下：

- a) 发电功率预测：新能源发电设施宜集成 AI 算法与气象数据，开展短期、超短期发电功率预测。预测周期、预测精度和更新频率宜与场站能量调度需求相匹配；
- b) 源网荷储协同：新能源发电系统宜接入起降场智能能源管理平台（IEMS），根据实时发电量、负荷需求、储能状态、电网电价等数据，开展储能充放电策略生成和充电功率分配，支持新能源电力优先消纳；
- c) 诊断与预警：新能源发电系统应建立新能源发电设施数字化档案，对光伏组件、风电机组等关键部件运行状态进行在线监测、故障诊断和风险预警，支持预测性维护。光伏组件监测宜覆盖热斑、隐裂等异常情形，风电机组监测宜覆盖叶片、轴承等关键部件状态；
- d) 碳排放数字化管理：新能源发电系统应具备新能源发电量、碳减排量实时统计与可视化展示功能，支持碳足迹追踪与绿色电力交易数据溯源。

8.3 保障设施

8.3.1 灯光设施

8.3.1.1 功能要求

灯光设施用于为航空器起降提供目视引导，并为地面人员提供机位、通道和关键区域标识。功能要求如下：

- a) 灯光设施应清晰标示最终进近和起飞区、接地和离地区、安全区等关键区域的边界与范围，并为飞行器提供精确的着陆视觉参考；
- b) 在主电源失电时，应急照明系统应能自动启动，并满足人员疏散和紧急救援作业的基本照明需求。

8.3.1.2 智能化特征

灯光设施智能化特征如下：

- a) 环境自适应调节：灯光设施宜通过光敏传感器实时感知环境光照度和能见度等信息，并根据环境条件自动调节灯具光强等级；
- b) 故障自诊断上报：灯具设施应具备独立地址、状态监测、故障自检、故障信息上传和单灯故障定位能力。发现灯具异常、通信中断、供电异常等故障时，应自动生成故障信息并上传至管理平台，支持故障定位和维修处置；
- c) 动态机位标识：边界标识灯具备单灯独立控制功能，并可根据智能照明系统指令支持起降机位标识动态调整，以及不同机型起降所需的机位拆分和组合。

8.3.2 监控设施

8.3.2.1 功能要求

监控设施用于对场面活动、设施状态和异常事件进行视频采集、识别分析、告警提示和记录存储。功能要求如下：

- a) 起降场应在场地关键区域设置全景监控设备和具备夜视功能的视频采集设备，支持对关键区域的视频监控；

- b) 监控设施应配备监控视频存储服务器，支持连续录像、报警预录及事后回放功能，录像存储周期不应低于 30 天，关键区域录像宜实现永久保存；
- c) 监控设施宜具备宽动态、除热浪、透雾、强光抑制等功能，并适应室外高温、雨雾、逆光等环境条件下的视频采集需求。

8.3.2.2 智能化特征

监控设施智能化特征如下：

- a) 目标识别跟踪：监控设施宜支持人员、航空器、车辆等目标识别、抓拍、属性提取和分类跟踪，并可按照预设规则对跟踪目标进行持续监视；
- b) 异常智能检测：监控设施宜支持自动识别场面入侵、人员违规闯入、航空器异常停留、设备移位、火情烟雾等异常事件的识别，并具备分类检测、布防设置、告警提示和事件记录功能，提供实时弹窗报警能力；
- c) 多源态势融合：监控视频流宜支持与场面监视雷达、ADS-B、北斗定位等多源感知数据融合，实现视频画面与运行态势的时空对齐与联动呈现。支持视频画面中直接点击目标查看其身份、速度、航向等实时信息。

8.3.3 防护设施

8.3.3.1 功能要求

防护设施用于对起降场围界、关键区域及敏感位置的入侵、碰撞和环境风险进行防护、感知、告警和记录。功能要求如下：

- a) 起降场边界应设置符合航空器运行安全要求的物理防护设施，包括防撞栏、防护网、围界等；
- b) 起降场应按照 GB 50057 的要求，配置防雷接地装置和防静电设施；
- c) 指挥中心、充换电站、机库等核心功能区应部署门禁控制系统，支持指纹、人脸、刷卡等身份认证方式，并具备人员进出记录、权限管理和信息追溯功能。

8.3.3.2 智能化特征

防护设施智能化特征如下：

- a) 防雷在线监测：防护设施宜对防雷接地系统运行状态进行在线监测。发现防雷接地装置性能下降或失效时，系统宜生成预警信息。系统宜记录雷击事件次数、强度及受影响设备等信息，为防雷设施维护提供数据支撑；
- b) 碰撞感知定位：防撞栏、防护网宜集成碰撞感知传感器或振动传感报警器，发生撞击事件时，系统宜生成告警信息并定位受损位置，支持与视频监控系统联动复核；
- c) 入侵智能侦测：防护设施宜采用电子围栏等探测技术，并与视频监控系统联动。发生非法入侵时，系统宜触发声光报警、弹出现场视频画面，并记录入侵轨迹。系统宜具备人员、动物、车辆等入侵目标类型识别功能。

8.3.4 排水设施

8.3.4.1 功能要求

排水设施用于对起降场积水风险、排水状态和雨水资源利用情况进行监测、排放、收集和调控。功能要求如下：

- a) 在起降区、机位区等关键区域宜布设液位传感器，实时监测场地积水情况。低洼处宜设置集水坑及排水潜污泵；
- b) 起降场宜配套建设雨水收集池及过滤净化设备，对场地内汇集的雨水进行沉淀、过滤等初步处理，并可用于绿化、道路浇洒等场景；
- c) 排水管网关键节点宜布设流量传感器和堵塞监测装置，监测管道水流状态和堵塞异常情况。

8.3.4.2 智能化特征

排水设施智能化特征如下：

- a) 积水预警与联动：排水设施宜通过布设在低洼区域、排水管网和关键区域的液位传感器，监测水位变化，并向管理平台推送预警信息。达到预设阈值时，系统宜联动启动排水泵。系统

宜接入气象预警平台，根据降雨预报提前调整雨水收集池或调蓄设施水位，支持防洪排涝调度；

- b) 效能分析与维护：排水设施宜对排水管网运行效能、瓶颈节点和水泵运行状态进行分析。系统宜通过对水泵电流、振动、运行时间等参数的持续监测，开展水泵故障风险识别和维护周期预测，支持预测性维护；
- c) 智慧水循环管理系统：排水设施宜对雨水收集池的水质和水位进行实时监测。系统宜根据场地内不同用水需求，开展雨水资源调度。当水质不满足使用要求时，系统宜切换水源或启动净化装置。

8.4 应急设施

8.4.1 消防设施

8.4.1.1 功能要求

消防设施用于对起降场火灾风险进行探测、报警、灭火和联动处置。功能要求如下：

- a) 起降场应按照 GB 50116 的规定设置火灾自动报警系统；
- b) 航空器停靠区、充换电站、电池存储区等重点区域宜配置自动灭火装置。灭火介质可采用细水雾、干粉、惰性气体或多种介质组合，并具备定向灭火功能；
- c) 起降场关键区域应按照 MH/T 7015 的要求配置手提式灭火器、推车式灭火器等基础消防设备。载人航空器起降场宜结合人员流量、设施规模和风险等级配置消防器材数量；

8.4.1.2 智能化特征

消防设施智能化特征如下：

- a) 多维度早期火灾探测：消防设施宜集成烟雾、温度等多种类探测器及热成像摄像头，对关键区域火灾征兆进行探测。针对充换电站、电池存储区等区域，系统宜具备温升异常、烟雾异常、热失控前兆等特征识别功能。目标识别准确率、误报率等指标宜结合运行场景和测试方法进行验证；
- b) 自动灭火与联动控制：消防设施接收到火灾报警信息后，宜确定火源区域，并联动启动相应区域的灭火装置。灭火装置宜根据火源位置、防护对象和现场状态调整喷射参数及覆盖范围。系统宜与视频监控、应急广播、门禁系统联动，支持起火点平面或三维定位信息展示、现场视频弹窗、疏散提示播放和疏散通道门禁释放；
- c) 消防预案与辅助决策：火灾报警触发时，消防设施宜在管理平台显示起火点定位、消防设施状态及位置、最优疏散路线等信息，为现场救援提供数字化决策支持，并记录火警事件全过程数据，支持事后复盘分析与预案优化。

8.4.2 医疗设施

8.4.2.1 功能要求

医疗设施用于对起降场突发伤病事件提供现场急救、转运衔接和信息记录。功能要求如下：

- a) 起降场应配备急救设备设施，包含急救箱、自动体外除颤器、应急救援担架、心肺复苏设备、医疗氧气装置、医疗废弃物收纳箱等，并宜结合人员流量和运行规模配置设备数量；
- b) 急救设备应部署在起降场人员密集区域、出入口等易取位置，并设置标识指示。急救药品和器械的存放环境应满足温度、湿度等储存要求；
- c) 起降场应配备具备急救资质的现场工作人员，并定期组织急救技能培训和应急演练。起降场应建立与周边医疗机构（医院、急救中心）的应急联络机制，支持伤员转运和后续救治。

8.4.2.2 智能化特征

医疗设施智能化特征如下：

- a) 设备状态智能管理：急救设备宜纳入起降场智能化管理系统，建立设备数字化台账，记录设备位置、数量、有效期、巡检、取用和维护等信息。当设备被取用、缺失、故障或接近有效期时，系统宜向管理人员推送提醒信息；

- b) 急救联动与追溯：急救箱或自动体外除颤器被紧急开启时，医疗设施宜触发报警，联动周边视频监控，并在场站地图标定事件位置。急救事件处置结束后，医疗设施宜支持视频回放、处置记录归档和事件数据查询，为医疗应急流程优化提供数据支撑。

8.4.3 救援设施

8.4.3.1 功能要求

救援设施用于为起降场应急疏散、破拆救援、临时避难和高风险处置提供设备、物资和作业支撑。功能要求如下：

- a) 起降场应配备应急疏散照明系统、应急手电筒、应急灯塔等设备。主电源失效后，应急照明持续供电时间不应低于 90 分钟，并满足人员疏散和应急救援作业照明需求；
- b) 起降场应配置符合航空器救援特点的破拆工具，包括液压破拆工具组、救援绳索、安全吊带等。救援工具应存放在便于快速取用的专用工具柜或救援车辆内，并定期检查维护；
- c) 起降场宜结合规模、地理位置和运行风险配置应急避难帐篷、保温毯等应急避难物资。应急避难场所应设置明显标识，并具备基本的通风、照明和卫生条件。
- d) 起降场宜配备智能机器人，辅助或替代人工完成高风险应急救援工作。

8.4.3.2 智能化特征

救援设施智能化特征如下：

- a) 物资数字化管理：救援设施宜建立救援设备和应急物资电子台账，并配置物联网标签或编码标识，发生应急事件时，管理平台可根据事件类型自动生成所需物资清单，在地图上高亮显示最近可用物资的存放位置和最优取用路径；
- b) 设备状态自检预警：关键救援设备宜具备状态自检、异常告警或周期性扫码巡检功能。系统宜记录巡检、维护、取用和归还等信息，并对缺失、损坏、超期未检等异常情况进行提示；
- c) 动态疏散引导：应急疏散照明系统宜与火灾自动报警系统联动，根据火情、烟雾蔓延情况动态调整引导方向。系统宜在管理平台实时显示各疏散通道的人员流动情况和拥堵状态，为现场指挥提供支撑。
- d) 智能机器人协同：智能机器人宜具备自主导航避障、应急协同与远程控制、多机协同与任务调度的能力。

9 智能管理系统

9.1 总体要求

智能管理系统是低空垂直起降场智能化体系的核心中枢，遵循以下要求：

- a) 智能管理系统宜采用分层解耦的架构设计，各模块间通过标准化接口互联，具备良好的兼容性与可扩展性；
- b) 智能管理系统宜支持多源异构数据的接入与融合，具备数据治理、存储、分析与服务能力；
- c) 智能管理系统应具备开放的体系架构，支持与外部系统的互联互通与业务协同；
- d) 智能管理系统应建立覆盖系统运行、数据交互、接口访问的安全保障机制，满足网络安全与数据保护要求；
- e) 智能管理系统技术分级配置参见附录 D。

9.2 资源管理能力

9.2.1 功能要求

资源管理能力实现对飞行器、起降场、配套设备、人员等核心资源的全生命周期数字化管理，支持资源状态实时感知、动态调配与可视呈现。

9.2.2 智能化特征

- a) 飞行器全息档案：系统宜自动汇聚飞行器基础信息、适航状态、维护记录、飞行任务等数据，形成覆盖注册、运行、维护至报废全过程的数字档案，支持电子证照核验与到期智能提醒。
- b) 设备健康预测与主动维护：系统应对通信、导航、监视、气象、能源、灯光等关键设备进行状态监测，利用算法模型预测剩余使用寿命和故障发生概率，并生成预测性维护提示；
- c) 人员资质智能管理：系统应建立人员（飞手、运维、调度等）资质数字档案，自动关联培训记录、飞行时长、违章信息，资质临期或超限时自动限制操作权限并推送提醒。

9.3 数据治理能力

9.3.1 功能要求

数据治理能力具备对起降场运行全要素数据的智能汇聚、治理与服务能力，支撑数据资产化与数据要素价值释放。

9.3.2 智能化特征

- a) 多源异构数据接入：系统应支持飞行器数据、起降场数据、环境数据、业务管理数据的统一接入与标准化处理，兼容主流工业通信及航空通信协议，覆盖低空地理、低空物联网、气象、障碍物等公共数据类型；
- b) 数据分类分级管理：系统应依据数据敏感程度及合规要求，对运行数据进行分类分级管理，明确核心数据、重要数据与一般数据的识别与保护规则，覆盖数据全生命周期；
- c) 智能融合与关联分析：系统应支持对同一对象的多维度数据关联及同一数据多来源的交叉验证，消除数据冲突，生成高置信度融合数据，并支持叠加 CIM、电磁环境、交通流量等多模态数据；
- d) 数据质量闭环治理：系统应支持自动识别异常值、缺失值、重复值并进行清洗与修复，依据数据质量评价指标对数据的规范性、完整性、准确性、一致性、时效性、可访问性进行评估与优化；
- e) 数据脱敏与隐私保护：系统应对涉及个人隐私、商业敏感信息或国家安全相关敏感数据，在共享、开放或分析前进行匿名化、泛化或差分隐私处理，对不同用户角色实施差异化脱敏策略；
- f) 数据资产化与要素价值挖掘：系统宜具备运行数据的资产化能力，包括数据资源目录管理、数据资产识别与登记、高质量数据集构建、数据产品对外服务等，支持与低空行业数据空间或数据要素流通平台的对接。

9.4 业务协同能力

9.4.1 功能要求

业务协同能力具备支撑核心运行业务的智能化协同能力，覆盖航路管理、飞行动态监管、安全预警、应急处置等关键环节。

9.4.2 智能化特征

- a) 数字空域与动态航路管理：系统宜基于三维数字空域模型，支持航路航线的数字化定义、冲突预探测与动态调整，根据实时空域流量、气象变化、禁限飞区临时设定自动建议或辅助调整航路走向与高度层；
- b) 起降场资源动态优化：系统基于实时运行数据（机位占用、能源负荷、设备工况等）和历史流量规律，自动预测资源需求，宜提供动态分配停机位、充电位及进出港顺序，冲突时自动重排的功能；
- c) 智能调度与资源协同：系统宜支持多机、多任务的起降时序自动编排，优先保障紧急救援、载人等优先级任务，并与机位分配、充电调度、地勤保障联动，形成全流程自动化协同；

- d) 飞行器全程智能监管：系统宜融合多源监视数据（雷达、ADS-B、光电、5G-A 通感等），自动识别飞行器身份、实时定位、状态监控。基于飞行轨迹和行为模型自动检测偏离航线、超速、悬停异常等行为并分级告警。

9.5 服务交互能力

9.5.1 功能要求

服务交互能力面向飞手、运维人员、管理人员、乘客等不同用户，提供便捷、智能、个性化的交互与服务体验。

9.5.2 智能化特征

- a) 多维度可视化呈现：系统应提供指挥大屏、桌面端、移动端等多终端界面，支持图表、地图、数字孪生、视频融合等多种展示形式，实时呈现场地运行状态、设备工况、气象态势、安全告警等核心信息；
- b) 多角色个性化工作台：系统应根据不同用户角色自动配置功能入口、数据权限和操作界面，支持自定义仪表盘；
- c) 智能助手与主动服务：系统宜具备智能客服能力，自动解答常见问题，主动推送个性化信息（如延误通知、推荐充电时段、最优航线建议），并支持语音交互；
- d) 全流程无感服务：系统宜支持飞行计划一键申报、起降预约自动匹配、在线结算与电子发票，提供预计起飞时间、接驳指引等增值服务。

9.6 系统接口

系统接口遵循模块化、标准化原则，提供规范、开放的接口：

- a) 系统接口应支持与通信、导航、监视、能源、应急等各类设施设备的对接，实现状态读取、控制指令下发、参数远程配置；
- b) 系统接口应支持与行业主管部门系统（如无人驾驶航空器运行管理系统、飞行服务管理平台）、气象系统、城市信息模型平台、地面交通系统等外部平台对接。宜按照低空智能网联数据共享合规框架实现数据的安全高效流通；
- c) 接口采用通用协议（如 API、MQTT、RESTful、WebSocket 等），具备身份认证、权限控制、加密传输、请求频率限制等安全保障机制；
- d) 系统接口应提供标准化的数据服务接口（包括但不限于 API、消息队列、数据订阅等），支撑内外部系统按需调用，并具备数据脱敏、权限控制、操作审计能力。

10 安全管理系统

10.1 总体要求

安全管理系统是保障起降场及周边空域运行安全的核心，应以“主动防御、分级预警、闭环处置”为原则，集成多种技术手段，构建立体化安全防护体系。系统应满足以下要求：

- a) 全目标管控：系统应具备对合作目标和非合作目标的全面发现、识别与管控能力；
- b) 全过程闭环：系统应实现从风险感知、威胁评估、分级预警到联动处置与事后追溯的全流程闭环管理；
- c) 系统内生安全：系统自身架构、网络与数据应满足国家网络安全和数据安全相关法律法规要求，具备内生安全防护能力；
- d) 安全管理系统技术要求分级配置参见附录 E。

10.2 多源融合监视能力

10.2.1 功能要求

系统应能接入多种异构监视数据，综合考虑数据源的实时性、准确性和测量机理等因素，进行时空对准、航迹关联与数据融合，形成覆盖垂直起降场及周边空域的统一、连续的空域态势全景图。

10.2.2 智能化特征

多源融合监视智能化特征如下：

- a) 多源异构数据接入与融合：系统应具备接入 ADS-B、RemoteID、雷达、无线电侦测、光电/红外、5G-A 通感等设备数据的能力，具备异构数据自适应协议解析与融合能力；
- b) 全类型目标辨识：系统基于融合后的航迹特征、信号特征与视觉特征，利用 AI 模型自动区分合作与非合作目标，并能进一步识别其类型及其可能的威胁等级；
- c) “低小慢”目标增强跟踪：系统针对城市低空环境下“低空、小型、慢速”目标的探测难点，重点强化多传感器协同下的检测、跟踪与抗干扰能力，确保其航迹连续、不丢失；
- d) 监视设施健康管理与动态标定：系统宜实时监测各监视传感器的运行状态与探测质量，发现性能下降、故障或被遮挡时自动告警。具备对传感器安装基准进行在线或离线标定补偿的能力。

10.3 风险识别与评估能力

10.3.1 功能要求

系统应基于融合后的态势数据，对飞行器行为、空域状态和环境因素进行实时分析和深度挖掘，自动识别潜在风险，并根据预设规则和算法模型对风险的发生概率、严重程度、紧急程度和可能造成的后果进行综合评估。

10.3.2 智能化特征

系统应至少能自动识别以下风险：

- a) 飞行冲突风险：基于所有飞行器的航迹预测，实时计算飞行器之间即将发生的短期冲突，并提供满足运行相应要求的预警时间窗口；
- b) 空域入侵风险：自动检测未经授权的目标侵入电子围栏、限制区等受控空域的行为；
- c) 异常行为风险：基于飞行轨迹和运动模式，识别偏离航线、姿态/速度异常等可疑行为；
- d) 环境超标风险：结合气象实况数据与飞行器性能包线，实时评估当前及短时预测的风切变、侧风、能见度等因素对飞行安全构成的威胁。
- e) 系统应基于风险识别结果，对目标的威胁等级进行动态评估；
- f) 多维因子综合评估：综合目标属性（身份是否明确、类型）、行为特征（轨迹、速度）、运行场景（空域属性、周边人口密度）等多维因子，划分威胁等级（如高、中、低）；
- g) 动态基线自适应：威胁评估的基线阈值（如电子围栏范围、异常速度定义）应为可配置参数，并可根据时间、运行密度、特殊活动要求等因素动态调整。

10.4 联动预警与处置能力

10.4.1 功能要求

系统应在风险确认后，向相关人员和上级监管平台发出分级预警。对于高等级威胁或紧急情况，应能自动触发或引导人工执行预设的联动处置预案。所有告警与处置过程必须完整记录，以供审计。

10.4.2 智能化特征

联动预警与处置智能化特征如下：

- a) 分级分类预警：根据威胁等级，自动匹配预警对象（如本场调度员、操作员、公安部门）和预警方式（如低风险以日志和界面提示为主，高风险则触发弹窗报警，并向公安/监管部门一键推送）；
- b) 预案数字化与辅助决策：支持各类应急预案（如非合作目标闯入、重大灾害）进行数字化建模。系统识别到对应场景，应在态势界面上自动叠加推荐的处置流程、应急资源（消防、医疗）分布和最优疏散路径，辅助指挥人员高效决策；
- c) 自动/半自动处置联动：对于明确的、高危险的非合作目标闯入行为，系统应具备自动联动能力，包括但不限于：
 - 1) 外部联动：自动向区域低空监管平台上报，并向公安部门推送违规飞行位置与证据；
 - 2) 内部联动：自动触发本场助航灯光系统发出警示信号，向即将起降的飞行器发送中止、复飞或紧急备降指令；
- d) 紧急情况一键响应：设置物理或虚拟的“一键紧急告警”按钮，当按下后，系统应自动执行全量应急处置流程，包括清空空域、暂停运行、联动广播、通报上级等，以最短时间将机场运行切换至最高安全戒备状态。

10.5 安全审计与系统防护

系统应具备完备的网络安全、数据安全防护能力，并具备对所有安全事件的全程记录与审计能力。应满足以下安全防护要求：

- a) 网络安全等级保护：应满足 GB/T 22239 规定的网络安全等级保护相应级别要求；
- b) 数据安全与隐私保护：应对采集、传输、存储、处理、共享、销毁全生命周期的数据，落实加密、脱敏、审计、备份等措施，保障数据的保密性、完整性和可用性。涉及个人信息处理活动的，应满足 GB/T 35273 的要求；
- c) 日志记录与审计：系统应记录所有安全相关事件，包括但不限于告警触发、操作员确认、处置指令下发、系统登录与配置变更等。日志记录应包含时间戳、操作主体、具体动作及执行结果，且不可被非授权篡改和删除。日志存储周期应满足事故调查与安全追溯要求。

附录 A
(资料性)
低空垂直起降场选址原则

- A.1 低空垂直起降场应遵循国家及地方国土空间总体规划、低空经济发展规划、综合交通体系规划及相关专项规划，符合区域产业布局、功能定位和基础设施网络化发展需求。
- A.2 低空垂直起降场应满足空域管理要求，避开空中禁区、限制区、危险区及重要的净空保护区域，保障进离场航线通畅。场址周边净空条件应良好，满足航空器起降及运行所需的无障碍物要求。
- A.3 低空垂直起降场应开展全面的环境影响评估，分析运营期对周边的噪声影响、电磁环境影响、光污染以及潜在生态环境影响。评估结果应符合国家及地方环境保护相关法规与标准要求。
- A.4 低空垂直起降场应充分考虑场址所在地的气象条件，对于气象复杂地区，应进行专项气象论证，评估其对运行安全与效率的影响。
- A.5 低空垂直起降场应具备良好的交通与配套设施可达性，临近城市主干道、交通枢纽或人口密集区域，便于人员集散与物资运输，具备完善的配套设施接入条件，并预留未来发展容量。
- A.6 对于利用既有建筑屋顶或其他既有结构建设的起降场，应由具备资质的机构进行结构安全鉴定与评估，确保其承载能力、抗震性能、耐久性等满足起降场建设与运行要求。

附录 B
(规范性)
助航设施智能化分级配置表

B.1 通信设施分级配置表如表 B.1 所示。

表 B.1 通信设施分级配置表

设备类型	C 级	B 级	A 级	备注
5G-A 通感一体化基站	选配	选配	必配	同时提供通信与监视能力，支持通感一体
4G/5G 公网通信终端	必配	必配	必配	实现飞行器与起降场的基本数据通信
低轨卫星通信终端	选配	选配	选配	用于超视距或偏远区域，确保全域覆盖
北斗短报文终端	选配	必配	必配	公网失效时的应急通信链路
甚高频地空话音电台	选配	选配	必配	用于有人机或紧急语音备份
场端边缘计算节点	选配	选配	必配	支持本地数据处理、低时延调度
边缘 AI 调度器	选配	选配	必配	实时计算滑行与起降时序，解决地面冲突
AI 故障预测与自愈平台	选配	选配	必配	实现自主故障预测与业务热迁移
零信任安全网关	选配	选配	必配	基于数字证书的接入控制与异常流量隔离
协同进近数据链地面站	选配	选配	必配	与飞行器建立协同数据链，实现自动引导及地勤联动

B.2 导航设施分级配置表如表 B.2 所示。

表 B.2 导航设施分级配置表

设备类型	C 级	B 级	A 级	备注
GNSS 接收机	必配	必配	必配	兼容北斗/GPS/GLONASS 等
北斗地基增强基准站	选配	必配	必配	提供厘米级差分定位服务
GBAS 地面站	选配	选配	选配	用于精密进近引导，可替代传统 ILS
视觉导航辅助单元	选配	选配	必配	包括视觉信标、光学定位系统，用于卫星拒止环境
激光雷达 SLAM 辅助系统	选配	选配	选配	适用于高密度城市环境中的精密定位
惯性导航基准站	选配	选配	必配	提供高精度姿态与位置参考
UWB/蓝牙 AoA 导航信标阵列	选配	选配	必配	用于卫星拒止区域（如机库内）的连续定位
激光引导着陆系统	选配	选配	选配	提供三维精密进近引导
导航数据交叉校验与完好性监测服务器	选配	选配	必配	实现 RAIM、多源数据投票校验及告警

B.3 监视设施分级配置表如表 B.3 所示。

表 B.3 监视设施分级配置表

设备类型	C 级	B 级	A 级	备注
ADS-B 地面站 (IN)	选配	必配	必配	接收飞行器广播位置信息
ADS-B 地面站 (OUT)	选配	选配	必配	向飞行器播发本场态势信息
光电/红外转塔	选配	必配	必配	对重点区域进行视频监控与目标识别
低空监视雷达	选配	选配	必配	对非合作目标或通信失效目标的探测
声学传感器阵列	选配	选配	选配	辅助探测无人机和鸟类目标
多传感器融合处理器	选配	必配	必配	融合雷达、光电、ADS-B 等多源数据
冲突探测与告警服务器	选配	选配	必配	实现前向碰撞预警及解脱建议生成
三维电子围栏系统	选配	选配	必配	实时检测入侵行为并联动处置

B.4 气象设施分级配置表如表 B.4 所示。

B.4 气象设施分级配置表

设备类型	C 级	B 级	A 级	备注
自动气象站（单点）	必配	必配	必配	包含温、湿、压、风向、风速
多点自动气象站	选配	必配	必配	在跑道两端及进近区布设
激光测风雷达	选配	选配	必配	三维风场反演，风切变预警
风切变预警系统	选配	选配	必配	结合雷达或测风数据实时告警
垂直分层气象传感器（不同高度层）	选配	选配	必配	构建三维气象剖面
前向散射仪	选配	选配	必配	高精度测量能见度
能见度仪	选配	选配	必配	测量跑道视程或主导能见度
云高仪	选配	选配	必配	测量云底高度
大气电场仪	选配	选配	必配	雷电与静电预警
短临预报服务终端	选配	选配	选配	接入区域气象预报模型，提供预警
传感器自清洁与自动校准装置	选配	选配	必配	加热除冰、防尘、自动雨刮等

附录 C
(规范性)
配套设施智能化分级配置表

C.1 充能设施智能化分级配置表如表 C.1 所示。

表 C.1 充能设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
基础功能	必配	必配	必配	具备接口兼容、安全保护、计量计费
智能功率分配	选配	必配	必配	负荷自适应、柔性调度
全息状态监测	选配	必配	必配	实时监测、远程诊断、自动告警
充能预约与视觉引导	选配	选配	必配	支持远程预约、入位引导、自动解锁插接
多能互补协同	选配	选配	必配	双向能量交互，与储能、新能源系统协同

C.2 换能设施智能化分级配置表如表 C.2 所示。

表 C.2 换能设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
基础功能	必配	必配	必配	能源包存储、安全防护
全自动换能	选配	选配	必配	机械臂 + 视觉定位
能源包溯源管理	选配	选配①	必配	数字档案、健康评估
集群调度	选配	选配	必配	与管理系统协同调度

注：①若配置换能系统，则 B 级应选配能源包溯源管理。

C.3 储能设施智能化分级配置表如表 C.3 所示。

表 C.3 储能设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
多能协同管控	必配①	必配	必配	协同控制储能单元、制备单元的能量
智能策略调度	选配	选配	必配	基于 AI 的数据分析优化与调度策略
健康预测管理	选配	选配	必配	设施健康状态在线评估、性能衰退预警

注：①C 级若配置储能，则需具备，容量不作强制，但需满足基本应急需求。

C.4 新能源发电设施智能化分级配置表如表 C.4 所示。

表 C.4 新能源发电设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
功率预测	选配	必配①	必配	短期/超短期功率预测
源网荷储协同	选配	必配①	必配	与储能、充电设施协同，优先消纳新能源
健康诊断与预警	选配	选配	必配	组件级在线监测、故障预警
碳排放管理	选配	选配	必配	碳足迹、绿电溯源

注：①若 B 级配置新能源发电系统，则相应功能应选配。

C.5 灯光设施智能化分级配置表如表 C.5 所示。

表 C.5 灯光设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
基本功能	必配	必配	必配	边界标识、进近标识、应急照明
环境自适应调节	选配	必配	必配	根据光照/能见度自动调节
单灯自诊断与上报	选配	选配	必配	故障精准定位
动态机位标识	选配	选配	必配	根据指令实现起降机位标识动态调整

C.6 监控设施智能化分级配置表如表 C.6 所示。

表 C.6 监控设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
高清监控	必配	必配	必配	A 级：4K+全景+夜视全覆盖
视频存储	必配	必配	必配	存储≥30 天，关键区域永久保存
AI 基础事件检测	选配	必配	必配	入侵、异常停留、火情等检测报警
目标识别与跟踪	选配	选配	必配	人脸/车牌识别，目标自动跟踪
视频态势融合	选配	选配	必配	与雷达/ADS-B 数据融合、联动

C.7 防护设施智能化分级配置表如表 C.7 所示。

表 C.7 防护设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
基础物理防护	必配	必配	必配	防撞栏、围界等
防雷接地系统	必配	必配	必配	符合 GB 50057
门禁系统	必配①	必配②	必配③	①基础刷卡；②电子门禁（刷卡/密码）；③生物识别+多重认证
防雷在线监测	选配	选配	必配	接地电阻、SPD 状态监测预警
碰撞感知	选配	选配	必配	碰撞感知传感器，自动报警定位
入侵智能侦测	选配	选配	必配	电子围栏+视频联动

C.8 排水设施智能化分级配置表如表 C.8 所示。

表 C.8 排水设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
排水泵与液位监测	必配①	必配②	必配③	①简单自动启停；②联网监测；③智能联动预警
雨水收集与净化	选配	选配	必配	收集雨水，净化，循环利用
管网状态监测	选配	选配	必配	流量、堵塞监测
效能分析预测	选配	选配	必配	预测水泵维护周期
雨水智能调度	选配	选配	必配	根据水质/水位自动调配用水

C.9 消防设施智能化分级配置表如表 C.9 所示。

表 C.9 消防设施智能化分级配置表

设备/功能名称	C 级	B 级	A 级	备注
火灾自动报警系统	必配	必配	必配	符合 GB 50116
自动灭火系统	必配①	必配②	必配③	①仅配灭火器；②重点区域自动灭火；③全面覆盖+智能联动
多维度早期探测	选配	选配	必配	热成像、气体传感器等
数字化预案辅助决策	选配	选配	必配	三维定位、疏散路线实时显示

C.10 医疗设施智能化分级配置表（载人类起降场适用）如表 C.10 所示。

表 C.10 医疗设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
设备状态智能管理	选配	选配	必配	数字化台账，有效期/电量自动预警
急救事件联动与追溯	选配	选配	必配	开启报警、视频联动、事件记录
远程医疗救助	选配	选配	选配	高清视频传输，医生远程指导

C.11 救援设施智能化分级配置表如表 C.11 所示。

表 C.11 救援设施智能化分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
应急物资数字化管理	选配	选配	必配	电子台账、物资定位、取用路径引导
设备自检与预警	选配	选配	必配	电池电量、工具状态自检，临期预警
动态疏散引导	选配	必配	必配	通过管理平台实时为现场指挥人员提供决策支持
智能机器人多维能力	选配	选配	必配	自主导航避障、应急协同与远程控制、多机协同与任务调度

附录 D
(规范性)
智能化管理系统分级配置表

D.1 资源管理分级配置表如表 D.1 所示。

D.1 资源管理分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
飞行器全息档案	必配（基础信息）	必配（含维护记录）	必配（全生命周期）	C 级仅登记注册信息；B 级增加维护记录；A 级覆盖注册至报废全过程。
设备健康预测与主动维护	选配	选配	必配	利用算法预测剩余寿命和故障概率。
人员资质智能管理	必配（基础档案）	必配（含资质提醒）	必配（含权限联动）	C 级仅登记；B 级增加临期提醒；A 级实现超限自动锁权。

D.2 数据治理分级配置表如表 D.2 所示。

D.2 数据治理分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
多源异构数据接入	选配（核心数据）	必配（主要数据）	必配（全要素）	覆盖飞行器、起降场、环境、业务数据。
数据分类分级管理	必配（基础分类）	必配（分级保护）	必配（全生命周期）	依据敏感程度和合规要求。
智能融合与关联分析	选配	选配	必配	多维度关联、多源交叉验证。
数据质量闭环治理	选配	选配	必配	自动清洗、修复、评估优化。
数据脱敏与隐私保护	必配（基础脱敏）	必配（角色化脱敏）	必配（差异化策略）	对敏感数据实施匿名化或泛化处理。
数据资产化与要素价值挖掘	选配	选配	宜配	包括数据资源目录、资产识别、高质量数据集构建等。

D.3 业务协同分级配置表如表 D.3 所示。

D.3 业务协同分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
数字空域与动态航路管理	选配	选配	必配	三维空域模型、航路动态调整。
起降场资源动态优化	选配	选配	必配	机位、充电位、进出港顺序动态分配。
智能调度与资源协同	选配	选配	必配	多机起降时序自动编排，与地勤联动。
飞行器全程智能监管	必配（基础监视）	必配（含异常检测）	必配（含预测预警）	C 级实现身份识别和定位；B 级增加行为检测；A 级增加风险评估。
飞行风险自适应评估与联动处置	选配	选配	必配	综合多因子计算风险等级，联动应急预案。

D.4 服务交互分级配置表如表 D.4 所示。

D.4 服务交互分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
多维度可视化呈现	必配（基础图表）	必配（地图+图表）	必配（数字孪生+视频融合）	呈现运行状态、设备工况、气象态势等。
多角色个性化工作台	选配	选配	必配	按角色配置功能入口和权限。
智能助手与主动服务	选配	选配	必配	智能客服、主动推送个性化信息。
全流程无感服务	选配	选配	必配	一键申报、自动预约、在线结算等。

D.5 系统接口分级配置表如表 D.5 所示。

D.5 系统接口分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
设施设备对接	必配（关键设备）	必配（主要设备）	必配（全量设备）	支持状态读取、指令下发。
外部平台对接	必配	必配	必配	与 UOM、气象、CIM、交通等平台对接。
标准化数据服务接口	必配	必配	必配	具备数据脱敏、权限控制、审计。

D.6 安全与备份分级配置表如表 D.6 所示。

D.6 安全与备份分级配置表

功能项	C 级	B 级	A 级	备注
网络安全等级保护	必配	必配	必配	满足 GB/T 22239 要求。
数据备份与恢复	选配（本地备份）	必配（周期备份）	必配（异地容灾）	周期性备份，完整恢复能力。
数据全生命周期安全管理	必配	必配	必配	采集、传输、存储、处理、共享、销毁。
个人信息保护	必配	必配	必配	满足 GB/T 35273。

附录 E
(规范性)
安全管理系统分级配置表

E.1 多源融合监视分级配置表如表 E.1 所示。

E.1 多源融合监视分级配置表

功能项	配置	备注
多源异构数据接入与融合	必配	进行异构数据解析与融合
全类型目标辨识	选配	自动区分合作与非合作目标。
“低小慢”目标增强跟踪	选配	实现多传感器协同下的低慢小目标检测、跟踪与抗干扰
监视设施健康管理与动态标定	选配	进行设施设备管理和状态监测

E.2 风险识别与评估分级配置表如表 E.2 所示

E.2 风险识别与评估分级配置表

功能项	配置	备注
飞行冲突风险识别	必配	实时计算飞行器之间即将发生的短期冲突。
空域入侵风险识别	必配	自动检测侵入特定空域的行为。
异常行为风险识别	必配	飞行轨迹和运动模式的可疑行为。
环境超标风险识别	选配	识别风切变、侧风、能见度等因素构成的威胁。
多维因子综合评估	选配	综合目标属性、行为特征、运行场景等因子，量化计算并划分威胁等级。
动态基线自适应	选配	威胁评估的基线阈值能动态调整。

E.3 联动预警与处置分级配置表如表 E.3 所示

E.3 联动预警与处置分级配置表

功能项	配置	备注
分级分类预警	必配	根据威胁等级，发出分级预警。
预案数字化与辅助决策	选配	对预案进行数字化建模，识别到对应场景后推荐处置流程。
自动/半自动处置联动	选配	根据威胁情况进行内外部联动处置能力。
紧急情况一键响应	必配	实现一键紧急告警，自动执行应急处置。

参 考 文 献

- [1] GB/T 4365—2024 电工术语 电磁兼容
- [2] GB/T 28588—2012 全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范
- [3] GB/T 39267—2020 北斗卫星导航术语
- [4] GB/T 44989—2024 绿色数据中心评价
- [5] GB/T 50314—2015 智能建筑设计标准
- [6] GB/T 50352—2019 民用建筑设计统一标准
- [7] GB 50689—2011 通信局（站）防雷与接地工程设计规范
- [8] MH/T 4001.1—2016 甚高频地空通信地面系统 第1部分：话音通信系统技术规范
- [9] MH/T 4028.1—2021 民用航空空中交通管制服务地空通信设备配置 第1部分：语音通信
- [10] MH/T 4036—2012 1090 MHz扩展电文广播式自动相关监视地面站（接收）设备技术要求
- [11] MH 5013—2023 民用直升机场飞行场地技术标准
- [12] T/CCAATB 0062—2024 电动垂直起降航空器（eVTOL）起降场技术要求
- [13] T/GDEIIA 56—2024 垂直起降低空航空器起降场基础设施配置技术要求
- [14] IEC 61508:2010 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全
- [15] CCAR-85-R2 民用航空导航设备开放与运行管理规定
- [16] 《中华人民共和国民用航空法》（中华人民共和国主席令第六十五号）
- [17] 《中华人民共和国安全生产法》（中华人民共和国主席令第八十八号）
- [18] 《中华人民共和国数据安全法》（中华人民共和国主席令第八十四号）
- [19] 《中华人民共和国个人信息保护法》（中华人民共和国主席令第九十一号）
- [20] 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第九号）
- [21] 《中华人民共和国气象法》（中华人民共和国主席令第五十七号）
- [22] 《中华人民共和国消防法》（中华人民共和国主席令第八十一号）
- [23] 《民用机场管理条例》（国务院令553号）
- [24] 《通用航空飞行管制条例》（国务院、中央军事委员会令371号）
- [25] 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（国务院、中央军事委员会令761号）
- [26] 《深圳经济特区低空经济产业促进条例》（深圳市第七届人民代表大会常务委员会公告第一二八号）