

T/SZUAVIA

团 体 标 准

T/SZUAVIA 002—2023

无人机功能危险分析指南

Guide to functional hazard analysis

2023 - 06 - 02 发布

2023 - 10 - 01 实施

深圳市无人机行业协会 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 无人机功能	2
5 产品工作环境与方式	3
5.1 产品工作环境	3
5.2 任务阶段/工作方式	3
6 产品失效状态	4
6.1 产品的功能和失效状态	4
6.2 失效状态影响等级及安全性目标	5
7 功能危险分析表	8
附 录 A （资料性） 无人机功能危险分析表.....	10
表 1 无人机功能清单.....	2
表 2 飞机级功能及其可能考虑的失效状态.....	4
表 3 无人机失效状态影响等级.....	6
表 4 风险矩阵表.....	8
表 5 功能危险分析表.....	8
表 6 功能危险分析表（示例）.....	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。

本文件由深圳市无人机行业协会提出并归口。

本文件起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、深圳市无人机行业协会、广州中科云图智能科技有限公司、广州天海翔航空科技有限公司、沈阳锐取科技有限公司、广西科技大学、深圳市优飞迪科技有限公司、广州极飞科技股份有限公司、广东中科瑞泰智能科技有限公司、广州市华科尔科技股份有限公司、深圳市科卫泰实业发展有限公司、广东汇天航空航天科技有限公司、武汉市安全技术防范行业协会。

本文件主要起草人：蔡茗茜、杨金才、杨剑锋、李骞、王远航、孙立军、刘正坤、刘民生、李捷、魏雅丹、吴其琦、焦万中、王达、陈世印、陈艳青、夏焯、李建生、刘文威、吴和龙、林森才、宋健伟、陈虎、陈柏霖。

无人机功能危险分析指南

1 范围

本文件提供了无人机功能、工作模式、环境与方式、失效状态、功能危险分析表的示例，为开展无人机功能危险分析提供指导。本文件中所列出的某些功能、工作模式等并不一定适用于所有无人机类型，特定无人机功能危险分析可根据本文件进行参考。

本文件适用于产品初步设计阶段。

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。

GJB/Z 99-97 系统安全工程手册

GJB 900A-2012 装备安全性工作通用要求

RTCA DO-344 无人机系统的操作、功能要求及安全目标标准（Operational And Functional Requirements And Safety Objectives (OFRSO) For Unmanned Aircraft Systems (UAS) Standards）

SAE ARP4761 民用航空系统和设备安全评估过程指南和方法（Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airbone Systems and Equipment）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

功能危险分析 functional hazard analysis

FHA

通过对系统/产品（包括软件）可能出现的功能故障状态的分析，从而识别并评价系统中潜在危险的一种分析方法。

3.2

事故 mishap, accident

造成人员伤亡、职业病、装备损坏、财产损失或环境破坏的一个或一系列意外事件。

3.3

危险 hazard

可能导致事故的状态。

3.4

安全性 safety

产品具有的不导致人员伤亡、职业病、装备损坏、财产损失或不危及人员健康和环境的能力。

3.5

危险严重性 hazard severity

某种危险可能引起的事故后果的严重程度。

3.6

航空交通管制 air traffic control

ATC

相关权力部门提供的一项服务，用以提升空中交通的安全性、秩序度和便利度。

4 无人机功能

无人机的主要功能包括通讯功能、飞行功能、控制功能、躲避危险功能和迫降功能等，如表1所示。

表1 无人机功能清单

第一层功能	第二层功能	说明
通讯功能	无人机机组与相关人员之间的内部通讯	无人机机组成员和其他无人机相关人员之间，通过声音或数据进行的与至关重要的安全信息相关的通讯的能力。这类通讯不包括任务相关的操作通讯这种对飞行安全无影响的通讯。
	无人机机组与ATC之间的外部通讯	接到指令时与ATC通讯的能力。这类通讯可以通过声音、数据链进行，或者在塔台机场的视野不好情况下，可以通过灯光信号通讯。
	无人机驾驶员与邻近交通中的飞行员的外部语言通讯	与无人机邻近区域的其他航空器间的通讯。这种通讯并非规范要求，但是在无ATC的情况下，是非常必要的，尤其在仪表飞行的情况下
	由无人机部分到ATC的外部非语言通讯	通过转发器、ADS-B（广播式自动相关监视）、数据链或其他ATC所需的装置，实现无人机与ATC进行数据交换的能力
	无人机部分与邻近交通的外部非语言通讯	通过转发器、ADS-B（广播式自动相关监视）及航行灯向附近的航空器传输非语言类数据
	与附属服务的外部通讯	与航空交通附属服务（非航空交通控制服务）通讯的能力，用于提交飞行计划和接受飞行计划确认/修正、天气报告、NOTAM（飞行员通知）、TIS-B（交通信息服务-广播）、导航信息等，以支持飞行操控
飞行功能	估计位置和姿态信息	提供无人机的高度信息、姿态信息以及相对地面位置信息
	确定路径	确定无人机在空间的、时间的四维空间中的飞行轨迹
	估算即时数据	使无人机保持在精确的时间下，从而有效的安全的操作无人机，同时与ATC的时间一致，便于传输和接收信息
控制功能	提供无人机飞行控制指令	控制无人机的动力/速度、俯仰、滚转、偏航，以安全改变飞行的动态和静态状态
	提供无人机飞行控制反馈	向无人机（机组或自动化）提供信息，控制飞行器确认正确的指令执行，和初始飞行控制的状态，以及其他影响飞行器安全控制的信息。
	提供无人机非飞行控制指令	通过地面控制站部分和通讯链，由无人机机组向无人机部分传输信息。

第一层功能	第二层功能	说明
	提供无人机非飞行控制反馈	通过机上通讯链，由无人机部分向无人机机组传输非控制信息。
躲避危险功能	提供感知和躲避交通的能力	提供自主隔离功能（保证自身与其他飞行器的距离符合规定）；提供避免碰撞的能力
	提供躲避结构、障碍和地势的能力	与建筑、无线电塔及其他人工建筑或障碍，包括地表运动的交通工具，保持安全距离的能力；与地面和轮廓（如地势）保持安全距离的能力
	提供躲避大气或气象危险的能力	与会对无人机造成危险的天气或大气保持安全距离
	提供躲避云的能力	根据VFR（通用飞行规则）中关于躲避云的要求飞行的能力
	提供躲避未经授权的领空的能力	当某空域未允许无人机进入时，保持在外围的能力
迫降功能	提供躲避低于最低能见度区域的能力	保持无人机飞行在相关规定中要求的能见度范围内
	系统故障紧急降落的能力	无人机遭遇系统故障，无法维持飞行，具备开伞降落等迫降功能
	能量耗尽紧急降落的能力	无人机电池或燃料无法维持飞行至降落点，具备降落在飞行途中紧急降落点的能力

5 产品工作环境与方式

5.1 产品工作环境

产品的工作环境包括：ATC环境和无ATC环境。

5.2 任务阶段/工作方式

产品飞行时，为了制定无人机操作和功能要求，将整个飞行过程分为七个飞行阶段，如下文所述。但是在进行FHA时，根据安全性要求，在考虑功能危险时，一些阶段产品实现的功能是相同的，因此可将这七个阶段简化合并为三个阶段，分别为地面、航站和航行。飞行计划阶段与产品功能无关，因而在FHA中不考虑，将启动/地面活动/滑行阶段和着陆后阶段合并为地面阶段，将发射/起航阶段和下降/最后进场/着陆阶段合并为航站阶段，将航行/巡航阶段和空中作业阶段合并为航行阶段。

5.2.1 飞行计划阶段

包括与计划飞行航线、潜在意外事故定位、确定适合的控制和非有效载荷数据链覆盖等等。飞行计划极端包括文件归档和实施飞行计划。

5.2.2 启动/地面移动/滑行阶段

这一阶段始于航空器和地面控制站部分签出，发动机启动、起飞前通讯检查、地面移动，ATC许可/指令等等。

5.2.3 发射/起航阶段

这一阶段始于根据飞行需求提供动力。包括所有的通讯交换，爬升，直到到达初始航行平稳。

5.2.4 航行/巡航阶段

包括所有不属于其他飞行阶段的巡航飞行，爬升和下降，直到进入空中作业或下降和到达阶段

5.2.5 空中作业阶段

这一阶段包括除了运送飞机以外的任何飞行活动。例如监视、搜索和营救、重复飞行模式等。

5.2.6 下降/最后进场/着陆阶段

始于从巡航高度下降或到达初始进场点。

5.2.7 着陆后阶段

着陆后阶段包括起落架发出承重信号，或飞行到达终点之后的所有活动。包括地面移动、滑行、固定无人机、发动机刹车、从无人机项地面控制站部分或地面保障部分，无人机刹车等。

6 产品失效状态

6.1 产品的功能和失效状态

将产品的失效状态划分为两类，功能丧失和功能错误。功能丧失是指产品该项功能完全失效，且不可恢复。功能错误是指某项功能的输入、程序逻辑或输出不正常。飞机级功能及其可能考虑的失效状态如表2所示。

表2 飞机级功能及其可能考虑的失效状态

飞机级功能	失效状态
无人机机组与相关人员之间的内部通讯	丧失无人机机组与相关人员之间的内部通讯功能
	无人机机组与相关人员之间的内部通讯功能错误
无人机机组与ATC之间的外部通讯	丧失无人机机组与ATC之间的外部通讯功能
	无人机机组与ATC之间的外部通讯功能错误
无人机驾驶员与邻近交通中的飞行员的外部语言通讯	丧失无人机驾驶员与邻近交通中的飞行员的外部语言通讯功能
	无人机驾驶员与邻近交通中的飞行员的外部语言通讯功能错误
由无人机部分到ATC的外部非语言通讯	丧失由无人机部分到ATC的外部非语言通讯功能
	由无人机部分到ATC的外部非语言通讯功能错误
无人机部分与邻近交通的外部非语言通讯	丧失无人机部分与邻近交通的外部非语言通讯功能
	无人机部分与邻近交通的外部非语言通讯功能错误
与附属服务的外部通讯	丧失与附属服务的外部通讯功能
	与附属服务的外部通讯功能错误
估计位置和方向信息	丧失估计位置和方向信息功能
	估计位置和方向信息功能错误
确定路径	丧失确定路径功能
	确定路径功能错误
估算即时数据	丧失估算即时数据功能
	估算即时数据功能错误
提供无人机飞行控制指令	丧失提供无人机飞行控制指令功能
	提供无人机飞行控制指令功能错误

飞机级功能	失效状态
提供无人机飞行控制反馈	丧失提供无人机飞行控制反馈功能
	提供无人机飞行控制反馈功能错误
提供无人机非飞行控制指令	丧失提供无人机非飞行控制指令功能
	提供无人机非飞行控制指令功能错误
提供无人机非飞行控制反馈	丧失提供无人机非飞行控制反馈功能
	提供无人机非飞行控制反馈功能错误
提供感知和躲避交通的能力	丧失提供感知和躲避交通的能力功能
	提供感知和躲避交通的能力功能错误
提供躲避结构、障碍和地势的能力	丧失躲避结构、障碍和地势的能力功能
	躲避结构、障碍和地势的能力功能错误
提供躲避大气或气象危险的能力	丧失躲避大气或气象危险的能力
	躲避大气或气象危险的能力错误
提供躲避云的能力	丧失躲避云的能力
	躲避云的能力错误
提供躲避未经授权的领空的能力	丧失躲避未经授权的领空的能力
	躲避未经授权的领空的能力错误
提供躲避低于最低能见度区域的能力	丧失躲避低于最低能见度区域的能力
	躲避低于最低能见度区域的能力错误
系统故障紧急降落的能力	丧失系统故障紧急降落的能力
	系统故障紧急降落的能力错误
能量耗尽紧急降落的能力	丧失能量耗尽紧急降落的能力
	能量耗尽紧急降落的能力错误

6.2 失效状态影响等级及安全性目标

安全性是风险低于风险边界的状态。因此在判断无人机是否符合安全性，则要为其确定风险边界，即为安全性目标。

通过分析危害的严重程度以及相应的严重程度的危害发生概率来衡量风险。

6.2.1 失效状态影响对象

在判断失效状态的影响等级前，需要明确其影响的对象：

a) 地面非相关人员

指与飞行操作无关的普通人。这一类的对象对于无人机操作、风险等相关知识都不了解。

b) 无人机机组

与无人机操作相关的人员，作为飞行机组或发射与复原人员。无人机机组也可以包括任务负载的操作者、任务负载的分析员或技术专家。

c) 空域用户

搭乘商业、军事或私人航空器的机组人员或乘客。这一类对象对于有人机的操作飞行等具有较深的认识，但是对于无人机不了解。

d) ATC 服务人员

负责航空交通管制的人员或系统。

e) 无人机系统

包含硬件和软件部分的整个无人机系统。包括无人机本体、地面控制站、通讯系统和相关设备。

6.2.2 失效状态影响严重程度

失效状态根据其影响的严重程度可以划分为：

- a) 无安全影响：失效状态对安全性无影响，如失效状态对无人机使用能力和人员工作及安全无影响。
- b) 轻微的：失效状态对安全性没有显著影响，相关人员的工作也在能力范围内。或者失效状态包括在安全裕度或功能性能方面轻微降低，机组成员的工作负担轻微增加。
- c) 重大的：失效状态会降低无人机性能或相关人员处理无人机不利飞行状态的能力。
- d) 危险的：失效状态急剧降低无人机的性能，大幅度降低相关人员处理不利运行状态的能力。
- e) 灾难性的：妨碍无人机继续安全飞行和着陆，将会导致多人死亡，通常会使用无人机坠毁。

“Ⅰ类”表示灾难性影响，“Ⅱ类”表示危险影响，“Ⅲ类”表示重大影响，“Ⅳ类”表示轻微影响。

6.2.3 失效状态影响等级

具体的无人机失效状态影响等级如表3所示：

表3 无人机失效状态影响等级

	对地面上的人的影响	对无人机机组的影响	对空域用户的影响	对航空交通管制 (ATC) 的影响	对无人机系统的影响
灾难性的	可以导致地面上一人或多人死亡的无人机失效状态	可以导致无人机机组死亡或丧失行为能力的无人机失效状态	可以导致空域用户或乘客经历如下伤害的无人机失效状态： 死亡； 或空中撞击； 或与障碍物或地形发生碰撞； 或不能继续安全飞行并着陆的航空器状态	可以导致ATC发出的行动造成以下情况的无人机失效状态： 与航空器，障碍物或地形发生撞击； 或飞行终止失控（如尾流颠簸，或静止不动等等）	无人机系统的失效状态可以导致： 失控或不按预期线路飞行； 或不可控的地面撞击； 或在除了可以恢复的点以外的任意位置发生地面撞击
危险的	会导致地面上的一人或多人重伤的无人机失效状态	会导致无人机机组身体痛苦或工作压力过大（如不能依靠飞行机组准确完整的完成他们的任务）的无人机失效状态	可以导致空域用户或乘客经历如下伤害的无人机失效状态： 差点发生空中碰撞； 有人航空器采取紧急程序； 突然的躲避机动超过了有人航空器的使用阈值； 有人机上发生了重伤； 身体危难或工作压力过大，减弱了有人机	可以导致ATC发出的行动造成以下情况的无人机失效状态： 距离过近导致的A类跑道入侵 (RI) 或操作失误 (OE)； 飞行器间的距离减少到标准距离的22.9%以下	会减弱无人机应对不利的操作条件的能力到以下程度的无人机系统失效状态： 安全裕度或功能能力大幅度减弱； 计划外不可控的飞行终止； 强制无条件尽快着陆

	对地面上的人的影响	对无人机机组的影响	对空域用户的影响	对航空交通管制(ATC)的影响	对无人机系统的影响
			机组人员的任务完成能力		
重大的	会导致地面上的一人或多人中等伤害的无人机失效状态	会导致无人机机组身体不适或工作压力明显增加或削减无人机组组的效率和效果的情况的无人机失效状态	可以导致空域用户或乘客经历如下伤害的无人机失效状态： 重大的飞行员违规(PD)； 采用不正常的程序； 温和的规避机动； 有人机上出现身体痛苦或不严重的伤害； 飞行人员的工作压力剧增，造成飞行人员效率降低	可以导致ATC发出的行动造成以下情况的无人机失效状态： 距离过近导致的B类跑道入侵(RI)或操作失误(OE)； ATC工作压力明显增加； 飞行器间的距离减少到标准距离的23%-43.9%	会减弱无人机应对不利的操作条件的能力到以下程度的无人机系统失效状态： 安全裕度或功能能力明显减弱； 计划外不可控的飞行终止； 强制按实际情况尽快着陆
轻微的	会导致地面上的一人或多人轻微伤害的无人机失效状态	会导致无人机机组工作压力略微增加的无人机失效状态	可以导致空域用户或乘客经历如下伤害的无人机失效状态： 轻微的飞行员违规(PD)； 有人机的机组人员工作压力轻微增加；	可以导致ATC发出的行动造成以下情况的无人机失效状态： 距离过近导致的C类跑道入侵(RI)或操作失误(OE)； ATC工作压力中度增加； 飞行器间的距离减少到标准距离的44%-65.9%；	会导致以下情况的无人机系统失效状态： 安全裕度或功能能力轻微减弱； 计划外不可控的飞行终止； 在合适位置非计划性着陆
无安全影响的	对地面上的人的影响可忽略的无人机失效状态	对无人机机组的工作压力无明显影响的无人机失效状态	可以导致空域用户或乘客经历如下伤害的无人机失效状态： 无安全影响的飞行员违规(PD)； 对航空器操作无安全性影响 对有人机的机组人员的影响可忽略； 造成不便	可以导致ATC发出的行动造成以下情况的无人机失效状态： 距离过近导致的C类操作机动(OD)或接近事件(PE)； ATC工作压力轻度增加； 飞行器间的距离减少到标准距离的66%以上	对安全性的影响可忽略的无人机系统失效状态

6.2.4 失效状态的定性概率术语

当使用定性的分析来决定

a) 频繁的

指那些预见到在每架无人机的整个寿命期间会发生多次的失效状态。

b) 可能的

指那些预见到在每架无人机的整个寿命期间会发生一次的失效状态。

c) 微小的

指在每架无人机的总的寿命期间内不太可能发生，但是当考虑到该类型无人机的许多无人机的总的运行寿命则可能发生几次。

d) 极微小的

指在每架无人机的总的寿命期间内没有预见到会发生某失效状态，但是当考虑到该类型所有无人机的总的运行寿命时则可能发生几次。

e) 极不可能的

指在某型无人机的所有无人机的整个运行周期不太可能发生。

6.2.5 安全性目标

表4为风险矩阵图，该图用于根据危险影响等级和概率等级确定每个失效状态的安全性目标。

表4 风险矩阵表

	无安全性影响	轻微的	重大的	危险的	灾难的
频繁的	C	B	A	A	A
可能的	C	B	A	A	A
微小的	C	C	B	A	A
极微小的	C	C	C	B	A
极不可能的	C	C	C	C	B / A

^a “A”表示高风险，“B”表示中等风险，“C”表示低风险

危险影响等级和概率等级之间存在着一种符合逻辑的可接受的反比关系，在进行定量的分析时，对于故障发生概率的可接受范围而言，概率术语的表达如下：

- 无安全性影响的失效状态无概率要求；
- 要求轻微的失效状态的发生概率等级不能超过可能的，即 $10^{-2} < \text{发生概率} \leq 10^{-1}$ ；
- 要求重大的失效状态的发生概率等级不能超过微小的，即 $10^{-3} < \text{发生概率} \leq 10^{-2}$ ；
- 要求危险的失效状态的发生概率等级不能超过极微小的，即 $10^{-6} < \text{发生概率} \leq 10^{-3}$ ；
- 要求灾难的失效状态的发生概率等级不能超过极不可能的，即发生概率 $\leq 10^{-6}$ ，且不能是由单点失效导致的。

7 功能危险分析表

将FHA工作的结果填入分析表格。功能危险性评估表见表5。

表5 功能危险分析表

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

(1) 失效状态，对每个假设的失效状态作简要说明。通常针对每个确定功能，从功能全部丧失、功能部分丧失、其他系统的故障及其他外部事件等危险根源进行考虑。

(2) 任务阶段，功能失效时所处的任务阶段。若失效状态的影响由于任务阶段不同而不同，必须按不同任务阶段分别填写。

(3) 危险影响，危险可能使无人机或人员、环境等遭受到的有害结果。

- (4) 影响等级，灾难性的、危险的、重大的、轻微的及无安全影响的。
- (5) 安全性要求，于故障发生概率的可接受范围。
- (6) 备注，与该失效状态相关，但没有在其他各栏涉及的相关信息。

附录 A
(资料性)
无人机功能危险分析表

表6给出了无人机功能危险分析表的示例。

表6 功能危险分析表 (示例)

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
丧失无人机机组与相关人员之间的内部通讯功能	地面	无人机系统: 在需要起飞转移控制权时, 地面阶段操作员不能与驾驶员联系, 对安全的影响可忽略不计 空域用户: 在需要起飞转移控制权时, 地面阶段操作员不能与驾驶员联系, 造成地面航空器的不便利 ATC: 在需要起飞转移控制权时, 地面阶段操作员不能与驾驶员联系, 增加ATC轻微的工作量	IV	发生概率等级不能超过可能的	
	航站	无人机系统: 无人机的飞行进入控制权移交状态却不能正常移交, 导致很大的降低了安全性 空域用户: 无人机附近的航空器需要依靠ATC的解决方案, 可能会延误, 或者造成不便 ATC: 驾驶员在降落无人机时不能够联络到地面阶段操作员, 轻微增加ATC工作量	II	发生概率等级不能超过极微小的	
丧失无人机机组与ATC之间的外部通讯功能	地面	无人机系统: 无人机需要依靠紧急功能, 或者通过ATC和其他驾驶员的操作来避免发生碰撞, 导致安全裕度的明显降低 空域用户: 无人机继续地面活动, 可能导致空域用户与其的安全距离降低 ATC: 无人机与其他飞行器安全距离缩短, 导致ATC工作压力明显增加	III	发生概率等级不能超过微小的	
丧失无人机驾驶员与邻近交通中的飞行员的外部语言通讯功能	地面、航站、航行	无人机系统: 对安全的影响可忽略不计 空域用户: 驾驶员通过搭台或ATC联络航空器, 导致对周围交通的了解有轻微的影响, 但是对驾驶者的影响可忽略不计 ATC: 无	IV	发生概率等级不能超过可能的	
丧失由无人机部分到ATC的外部非语言通讯功能	地面	无人机系统: 无 空域用户: 无 ATC: 不能够使用地面监督设备, 导致轻微的工作压力增加	IV	发生概率等级不能超过可能的	
	航站、航行	无人机系统: 可能需要ATC用意外事故程序来管理故障, 导致安全裕度轻微降低 空域用户: 可能会对机组人员和乘客造成不便 ATC: 可能导致安全距离的轻微减少, 导致轻微的工作压力增加	IV	发生概率等级不能超过可能的	故障持续未被发现的可能性非常低, 因为ATC会发现信号消失, 或者通过

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
					第二雷达检测到
由无人机部分到ATC的外部非语言通讯功能错误（无人机向ATC发送错误的位置信息）	地面	无人机系统：不依靠雷达收发器传输位置，因此无影响 空域用户：会轻微增加工作压力，并且在与无人机的安全距离会有轻微的偏差 ATC：控制者将基于错误的位置信息进行地面监测，可能导致与其他航空器相撞	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航站、航行	无人机系统：使用假的高度信息，与ATC不同，导致发生空中碰撞或地面坠机 空域用户：ATC可能会无意的将无人机和其他航空器放在相同的高度，导致空中碰撞 ATC：ATC可能会无意的将无人机和其他航空器放在矛盾的高度，导致空中碰撞	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失无人机部分与邻近交通的外部非语言通讯功能	地面	无人机系统：无人机在没有位置灯的情况下继续地面活动，需要依靠其他航空器、车辆和人员来看无人机位置，依靠ATC程序控制无人机移动，导致安全裕度明显降低 空域用户：可能会造成与无人机的地面碰撞 ATC：无	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航站、航行	无人机系统：不能够向航空器装备的TCAS（交通碰撞预警和躲避系统）播报位置，导致TCAS系统安全性相关功能降低 空域用户：会通过ATC与无人机保持安全距离，因此无影响 ATC：无	III	发生概率等级不能超过微小的	
无人机部分与邻近交通的外部非语言通讯功能错误（向冲突的航空器发送错误的公告信息）	地面	无人机系统：有人机会根据CDTI（驾驶舱交通信息显示）在机场地面正常活动，以为得到准确的信息，但是仍然会依靠目视躲避和ATC指令来保证安全距离，因此只有极小的影响 空域用户：有人机会根据CDTI（驾驶舱交通信息显示）在机场地面正常活动，以为得到准确的信息，但是仍然会依靠目视躲避和ATC指令来保证安全距离 ATC：无	IV	发生概率等级不能超过可能的	
	航站、航行	无人机系统：无人机在有冲突的影响下仍会继续照常活动，此时不会激发TCAS，或者提供错误的关于位置和高度的TCAS警告，这可能会导致空中撞击或地面坠机 空域用户：有人机不再对无人机具有TCAS保护，ATC仍	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
		然会维持安全距离，因此对飞行员无影响 ATC：无			
丧失与附属服务的外部通讯功能	航行	无人机系统：信号接收弱，可能会对航行或无人机有轻微影响 空域用户：无 ATC：无人机可能会进入导致危险的天气条件，启动紧急预案，导致ATC工作压力的轻微增加	IV	发生概率等级不能超过可能的	
丧失估计高度信息功能	航站、航行	无人机系统：安全裕度降低 空域用户：可能会发生空中碰撞 ATC：通过位置和方向信息将无人机与其他航空器隔离，明显增加工作压力	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
估计高度信息功能错误	航站、航行	无人机系统：可能会导致地面坠机 空域用户：可能会发生空中碰撞 ATC：通过位置和方向信息将无人机与其他航空器隔离，明显增加工作压力	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失估计航向和航道信息功能	地面	无人机系统：可能会降低地面行驶能力，安全裕度轻微降低 空域用户：无 ATC：无	IV	发生概率等级不能超过可能的	
	航站、航行	无人机系统：可能导致安全距离不足，安全裕度明显降低 空域用户：可能会与无人机发生冲突，造成飞行员工作量轻微增加，和航空器轻微的飞行偏差 ATC：根据位置和高度信息对无人机提供指令，轻微增加工作量	III	发生概率等级不能超过微小的	
估计航向和航道信息功能错误	地面	无人机系统：可能会降低地面行驶能力，安全裕度轻微降低 空域用户：无 ATC：无	IV	发生概率等级不能超过可能的	
	航站、航行	无人机系统：可能导致安全距离不足，安全裕度明显降低 空域用户：可能会与无人机发生冲突，造成飞行员工作量轻微增加，和航空器轻微的飞行偏差 ATC：根据位置和高度信息对无人机提供指令，轻微增加工作量	III	发生概率等级不能超过微小的	
丧失估算无人机地面位置信息功能	地面	无人机系统：可能会与预期活动路径形成偏差，导致与其他飞行器或人员发生碰撞 空域用户：可能会导致跑道入侵或碰撞 ATC：轻微增加工作量	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
	航站、航行	无人机系统：可能会导致飞行偏航或不受控 空域用户：由于ATC的管控可能会造成一些不便 ATC：无	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
估算无人机地面位置信息功能错误	地面	无人机系统：可能会与预期活动路径形成偏差，导致与其他航空器或人员发生碰撞 空域用户：可能会导致跑道入侵或碰撞 ATC：轻微增加工作量	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航站	无人机系统：可能会发生碰撞导致坠机 空域用户：可能会导致航线入侵或碰撞 ATC：明显增加工作量	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航行	无人机系统：可能会发生碰撞导致坠机 空域用户：可能会导致航线入侵或碰撞 ATC：轻微增加工作量	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失确定路径功能	地面	无人机系统：发生非预期的移动，导致发生一起或多起碰撞 空域用户：可能会与无人机发生碰撞 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航站、航行	无人机系统：表现为不受控的状态，可能会造成坠机 空域用户：可能会导致空中碰撞 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
确定路径功能错误	地面	无人机系统：发生非预期的移动，导致发生一起或多起碰撞 空域用户：可能会与无人机发生碰撞 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航站、航行	无人机系统：表现为不受控的状态，可能会造成坠机 空域用户：可能会导致空中碰撞 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
丧失估算即时数据功能	航站、航行	无人机系统：安全裕度或功能能力明显降低 空域用户：受ATC管控造成延迟或航线改变，导致轻微的不便 ATC：工作量轻微增加	III	发生概率等级不能超过微小的	
估算即时数据功能错误（控制行为过早或过晚）	航站、航行	无人机系统：安全裕度或功能能力明显降低 空域用户：受ATC管控造成延迟或航线改变，导致轻微的不便 ATC：无人机可能会过早到达，导致安全距离降低，工作压力轻微增加	III	发生概率等级不能超过微小的	
丧失提供无人机飞行控制指令功能	地面	无人机系统：可能对于地面车辆人员发生碰撞 空域用户：可能会与无人机发生碰撞 ATC：可能发生跑道入侵或碰撞，导致工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航站、航行	无人机系统：表现为无人机失控，可能会与地面发生碰撞 空域用户：无 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
提供无人机飞行控制指令功能错误	地面	无人机系统：可能对于地面车辆人员发生碰撞 空域用户：可能会与无人机发生碰撞 ATC：可能发生跑道入侵或碰撞，导致工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航站、航行	无人机系统：表现为无人机失控，可能会与地面发生碰撞 空域用户：无 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失提供无人机飞行控制反馈功能	航站、航行	无人机系统：无人机一直在上一个路径中，可能会导致进入拥堵区域，最终可能会发生地面撞击 空域用户：附近的飞行员工作压力轻微增加，或者根据ATC的指令改变航线 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
提供无人机飞行控制反馈功能错误（高度信息错误）	航站、航行	无人机系统：无人机一直在上一个路径中，可能会导致进入拥堵区域，最终可能会发生地面撞击 空域用户：附近的飞行员工作压力轻微增加，或者根据ATC的指令改变航线 ATC：工作量明显增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失提供无人机非飞行	地面	无人机系统：可能不会被其他航空器发现，导致与机场的航空器或人或车辆发生碰撞	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不	

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
控制指令功能		空域用户：可能会发生碰撞 ATC：工作量轻微增加		能是由单点失效导致的	
	航站	无人机系统：无 空域用户：可能会延误或偏航，从而造成不便 ATC：由于不清楚无人机着陆装置状态，可能会发生着陆事故，协调附近的车辆和航空器，可能会使ATC工作量明显增加	III	发生概率等级不能超过微小的	
提供无人机非飞行控制指令功能错误（错误的雷达收发机代码）	地面	无人机系统：对安全的影响可忽略不计 空域用户：无 ATC：工作量轻微增加	IV	发生概率等级不能超过可能的	
提供无人机非飞行控制指令功能错误（关于着陆装置的错误指令，使装置处于收起状态）	航站	无人机系统：无 空域用户：由于无人机在跑道上发生事故，可能造成其他航空器的延误或偏航 ATC：由于不清楚无人机着陆装置状态，可能会发生着陆事故，协调附近的车辆和航空器，可能会使ATC工作量明显增加	III	发生概率等级不能超过微小的	
提供无人机非飞行控制指令功能错误（发送了错误高度计设置信息）	航行	无人机系统：无 空域用户：无 ATC：可能会导致标准距离过低，引起明显的工作量增加	III	发生概率等级不能超过微小的	
丧失提供无人机非飞行控制反馈功能	地面、航站、航行	无人机系统：可能会导致安全裕度轻微降低 空域用户：无 ATC：无	IV	发生概率等级不能超过可能的	
提供无人机非飞行控制反馈功能错误（当实际状态是关闭时，航空器上的数据指示灯状态显示是开启）	地面	无人机系统：可能会导致安全裕度和功能性能极大地降低 空域用户：可能需要紧急骤停下来避免和无人机发生碰撞，致使工作压力轻微增加 ATC：无人机在没有位置或防撞灯的情况下继续滑行，可能会导致附近的碰撞，造成ATC工作压力轻微增加	II	发生概率等级不能超过极微小的	
	航站	无人机系统：无人机系统：可能会导致安全裕度和功能性能极大地降低	I	发生概率等级不能超过极不	

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
		空域用户：可能由于没有发现无人机而导致发生碰撞 ATC：ATC发现不能确定无人机接近和着陆信息，轻微增加工作量		可能的，且不能是由单点失效导致的	
	航行	无人机系统：无人机系统：可能会导致安全裕度和功能性极大地降低 空域用户：无 ATC：无	II	发生概率等级不能超过极微小的	
丧失提供感知和躲避交通的能力功能	地面、航站、航行	无人机系统：可能会与其他航空器、车辆或人发生碰撞而损毁 空域用户：可能会遭遇撞击，致使发生损毁及人员伤亡 ATC：无	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
提供感知和躲避交通的能力功能错误	地面、航站、航行	无人机系统：可能会与其他航空器、车辆或人发生碰撞而损毁 空域用户：可能会遭遇撞击，致使发生损毁及人员伤亡 ATC：当无人机与其他飞行器的距离低于标准距离时，ATC会发现，导致明显增加工作压力。	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失躲避结构、障碍和地势的能力功能	地面	无人机系统：可能会与机场的结构建筑碰撞，极大地降低安全裕度 空域用户：无人机可能会与地面障碍相撞，对地面其他航空器或车辆造成不便 ATC：无	II	发生概率等级不能超过极微小的	
	航站、航行	无人机系统：可能会与结构或障碍发生碰撞，也许会因此导致地面上发生伤亡 空域用户：无 ATC：无	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
躲避结构、障碍和地势的能力功能错误	地面	无人机系统：可能会与机场的结构建筑碰撞，极大地降低安全裕度 空域用户：无人机可能会与地面障碍相撞，对地面其他航空器或车辆造成不便 ATC：ATC会在无人机发生碰撞后发觉，轻微增加工作压力	II	发生概率等级不能超过极微小的	
	航站、航行	无人机系统：可能会与结构或障碍发生碰撞，也许会因此导致地面上发生伤亡 空域用户：无 ATC：无	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失躲避大气或气象危险的能力	航站、航行	无人机系统：可能会导致无人机冰冻或者遭遇不好的状态，导致飞行失控甚至有可能坠机	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不	

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
		空域用户：无 ATC：无		能是由单点失效导致的	
躲避大气或气象危险的能力错误	航站、航行	无人机系统：可能会导致无人机冰冻或者遭遇不好的状态，导致飞行失控甚至有可能坠机 空域用户：无 ATC：无	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失躲避云的能力	航站、航行	无人机系统：尽管可以通过应急系统降低危害，但是安全裕度仍会大幅下降，或者功能能力下降 空域用户：附近的航空器由于不清楚无人机情况，可能会与无人机在低于云中最小允许距离的情况下相遇，降低了观察到并及时躲避无人机的能力，可能会需要一个温和的躲避制动 ATC：无	II	发生概率等级不能超过极微小的	
躲避云的能力错误	航站、航行	无人机系统：尽管可以通过应急系统降低危害，但是安全裕度仍会大幅下降，或者功能能力下降 空域用户：附近的航空器由于不清楚无人机情况，可能会与无人机在低于云中最小允许距离的情况下相遇，降低了观察到并及时躲避无人机的能力，可能会需要一个温和的躲避制动 ATC：无	II	发生概率等级不能超过极微小的	
丧失躲避未经授权的领空的能力	航站、航行	无人机系统：尽管可以通过应急系统降低危害，但是安全裕度仍会大幅下降，或者功能能力下降 空域用户：由于无人机仍然具有避障功能，因此在进入领空后会被警报，并启动躲避制动。但由于高空高速停止，并且不清楚附近飞行器情况，又可能会造成空中碰撞。 ATC：无	II	发生概率等级不能超过极微小的	这种情况几乎不会发生，因为会被机场或军方航空器探测到
躲避未经授权的领空的能力错误	航站、航行	无人机系统：无人机可能会误闯入禁入区，并且该失效状态导致无人机没有准确的位置信息和高度信息，最终造成空中碰撞，甚至可能导致地面发生人员伤亡 空域用户：无人机可能会误闯入禁入区，并且该失效状态导致无人机没有准确的位置信息和高度信息，最终造成空中碰撞 ATC：无	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	假设驾驶员和ATC都根据同一个系统提供无人机位置和高高度信息，从而探测无人机并防止发生碰撞
丧失躲避低于最低能见度区域的能力	地面	无人机系统：无 空域用户：无人机在地面活动时，由于能见度过低，可能导致会发生擦碰，从而对交通引起不便 ATC：无	IV	发生概率等级不能超过可能的	
	航站	无人机系统：无人机驾驶员在规定的高度不能观察到着陆线路，在不知道是故障的情况下，会继续向地面飞行，最终导致非计划的控制飞行终止	II	发生概率等级不能超过极微小的	

失效状态	任务阶段	危险影响	影响等级	安全性要求	备注
		空域用户：看到并躲避的能力降低，可能会需要温和的制动来维持安全距离 ATC：无			
	航行	无人机系统：无人机可能会不恰当的进入仪表飞行气象状态，并试图采用缓冲制动以返回视觉气象状态，导致安全裕度明显降低。 空域用户：看到并躲避的能力降低，可能会需要突然制动 ATC：无	II	发生概率等级不能超过极微小的	
丧失系统故障紧急降落的能力	航站、航行	无人机系统：可能会与结构或障碍发生碰撞，也许会因此导致地面上发生伤亡 空域用户：可能会遭遇撞击，致使发生损毁及人员伤亡 ATC：工作量轻微增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
系统故障紧急降落的能力错误	航站、航行	无人机系统：可能会与结构或障碍发生碰撞，也许会因此导致地面上发生伤亡 空域用户：可能会遭遇撞击，致使发生损毁及人员伤亡 ATC：工作量轻微增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
丧失能量耗尽紧急降落的能力	航站、航行	无人机系统：可能会与结构或障碍发生碰撞，也许会因此导致地面上发生伤亡 空域用户：可能会遭遇撞击，致使发生损毁及人员伤亡 ATC：工作量轻微增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	
能量耗尽紧急降落的能力错误	航站、航行	无人机系统：可能会与结构或障碍发生碰撞，也许会因此导致地面上发生伤亡 空域用户：可能会遭遇撞击，致使发生损毁及人员伤亡 ATC：工作量轻微增加	I	发生概率等级不能超过极不可能的，且不能是由单点失效导致的	