



中华人民共和国国家标准

GB/T 42862—2023

民用大中型无人直升机飞行控制系统通用要求

General requirements for flight control systems of civil large and medium
unmanned helicopter

2023-08-06 发布

2024-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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 通用要求 1

 4.1 组成与用途 1

 4.2 控制模式与控制模态 1

 4.3 功能 2

 4.4 性能 5

 4.5 硬件 8

 4.6 软件 9

 4.7 接口 10

 4.8 安全性 10

 4.9 可靠性 11

 4.10 维修性 11

 4.11 测试性 12

 4.12 保障性 12

 4.13 环境适应性 12

 4.14 电磁兼容性 12

 4.15 适航性 12

5 验证试验 12

 5.1 试验类型 12

 5.2 型式试验 13

 5.3 出厂检验 13

6 标识、包装、运输与贮存 13

 6.1 标识 13

 6.2 包装 13

 6.3 运输与贮存 14

参考文献 15

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。

本文件由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本文件起草单位：中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所、中国航空综合技术研究所、中国直升机设计研究所、西安爱生技术集团有限公司、西北工业大学、南京航空航天大学、北京理工大学、北京空间飞行器总体设计部。

本文件主要起草人：梁颖茜、胡应东、李庆、王琳、舒振杰、赵建伟、唐璜、占正勇、刘基玉、张泽京、樊峪、刘建、段镖、吕品、李丽锦、张小林、李爱军、赖际舟、张福彪、王久元。

民用大中型无人直升机飞行控制系统通用要求

1 范围

本文件规定了民用大中型无人直升机飞行控制系统的通用要求,验证试验,标识、包装、运输与贮存。

本文件适用于起飞重量在 150 kg 以上民用大中型无人直升机飞行控制系统及其部件的设计与验证。其他无人驾驶航空器飞行控制系统参照执行。

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 191 包装储运图示标志
- GB/T 35018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
- GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语

3 术语和定义

GB/T 35018 与 GB/T 38152 界定的术语和定义适用于本文件。

4 通用要求

4.1 组成与用途

民用大中型无人直升机飞行控制系统应由飞行控制计算机、伺服控制分系统、传感器分系统等组成,承担无人直升机的飞行控制、飞行管理、设备管理等功能,应安全、可靠控制无人直升机完成起飞、任务飞行、着陆等全过程。

4.2 控制模式与控制模态

4.2.1 控制模式

控制模式是飞行操纵方式,民用大中型无人直升机飞行控制系统根据用户需求和设计特点,应提供以下 3 种控制模式:

- a) 遥控模式:地面操作员通过手持式控制单元上的手柄控制无人直升机,手柄控制量对应桨距变化;
- b) 指令控制模式:通过地面站上传指令的方式实现对无人直升机的控制;
- c) 自主控制模式:按照预设航路或在线生成的航路,生成无人直升机的控制模态指令和控制律引导指令,引导无人直升机自主飞行。

4.2.2 控制模态

控制模态是支撑控制模式实现的自动控制功能模块,实现对直升机姿态、航向、速度、位置、高度等的保持或调节。

控制模态由控制模式按需进行调度和使用。

4.3 功能

4.3.1 飞行控制功能

4.3.1.1 一般要求

飞行控制功能根据地面操作员的指令和传感器反馈的状态,进行控制律计算,实现对无人直升机平台的姿态、航向、速度、位置、高度等的控制。

飞行控制功能应包括:增稳、自动控制和自检测和余度管理(当飞行控制系统采用余度架构时)功能。

4.3.1.2 增稳

增稳是通过角速率、姿态等信号的反馈,实现内回路稳定增强,应包括俯仰轴增稳、横滚轴增稳及航向轴增稳功能。

4.3.1.3 自动控制

自动控制应包括以下功能:

- 俯仰、滚转姿态保持:保持接入该功能时刻的俯仰、滚转姿态;
- 航向给定与保持:保持接入该功能时刻的航向或调整至目标航向;
- 速度给定与保持:保持接入该功能时刻的速度或调整至目标速度;
- 高度给定与保持:保持接入该功能时刻的高度或调整至目标高度;
- 位置给定与保持:保持接入该功能时刻的位置或调整至目标位置;
- 航线纠偏控制:跟踪并保持预设航线,调整与航线的侧偏角和侧偏距。

必要时,指令控制应提供以下功能:

- 垂直速度给定与保持:保持接入该功能时刻的垂直速度或调整至目标垂直速度;
- 自动起飞:保持无人直升机的位置、航向,并调整高度至目标高度;
- 自动着陆:保持无人直升机的位置、航向,并调整高度下降至接地。

4.3.1.4 自检测

自检测功能实现飞行控制系统自身及交联设备故障诊断,应包括:

- a) 上电自检测;
- b) 周期自检测(飞行前和飞行中);
- c) 维护自检测。

4.3.1.5 余度管理

在提高无人直升机使用可靠性和容错能力的要求下,飞行控制系统应设计余度管理功能,应包括:

- a) 输入信号余度管理功能;
- b) 飞行控制系统部件余度管理功能;
- c) 输出信号余度管理功能;

- d) 交联设备余度管理功能；
- e) 信息重构功能。

4.3.2 飞行管理功能

4.3.2.1 一般要求

为满足大中型无人直升机多任务模式安全飞行，飞行管理功能应包括：接收/发送信息管理、模式/模态管理、导航制导、航路重规划、安全保护、性能管理等功能。

4.3.2.2 接收/发送信息管理

4.3.2.2.1 遥控指令处理

遥控指令处理功能应包括：

- a) 接收并处理与飞行控制、飞行管理、设备管理相关的各种遥控指令数据；
- b) 对遥控指令进行有效性监控、校验判断、合理性判断和边界约束；
- c) 接收飞行计划、场高等信息的装订或修改、删除、插入等操作；
- d) 根据预装航线及在线编辑的航线航点信息，生成相应的航路信息。

4.3.2.2.2 遥测/飞行数据记录器信息处理

遥测/飞行数据记录器信息处理功能应将无人直升机系统的状态信息、告警信息等内容进行组帧，并按照约定格式，通过数据链接口下传/发送，并进行飞行参数记录。数据发送和记录的帧周期应包含北京时间等时标，并满足试飞调整和故障判定的要求。必要时，进行加密处理。

飞行数据信息应包括：

- a) 无人直升机及交联机载设备的参数与状态；
- b) 可说明飞行控制系统工作情况的参数；
- c) 控制站上行的遥控指令的回报信息；
- d) 故障设备的故障信息及相关告警信息，如低高告警、超转告警、超温告警等。

4.3.2.3 模式/模态管理

模式/模态管理功能应包括：

- a) 根据地面操作员的指令或飞行状态，进行遥控、指令控制、自主控制等控制模式之间的转换；
- b) 向用户提供简单便捷的指令模态，各指令模态设计相应的投入、退出条件及连锁和兼容逻辑，并进行调度与管理；
- c) 控制模式及指令模态在转换过程中设计有对输出信号的淡化（平滑）处理环节，以降低转换瞬态。

4.3.2.4 导航制导

导航制导功能应包括：

- a) 计算侧偏距、侧偏距变化率、待飞距离、待飞时间等引导信息；
- b) 根据飞行状态判断是否满足航段交接条件，满足时进行航段交接；
- c) 根据地面操作员的指令或应急处置要求，进行航线切换、飞行状态（速度、高度等）指令控制、自主返航等；
- d) 计算并输出控制导引指令和指令模态，可通过手持式控制单元上的相应按键或手柄进行无人直升机速度、高度等参数的修正，但应设置响应条件及调节范围。

4.3.2.5 航路重规划

必要时,提供航路重规划功能,应包括:

- a) 基于无人机的飞行性能约束,生成所需的重规划航线;
- b) 飞行任务在线变更时,生成所需的重规划航线;
- c) 航路重规划满足地理围栏、电子围栏或其他限制飞行区域(恶劣天气区、电磁干扰区等)的限制要求,并满足飞行性能包线要求。

4.3.2.6 安全保护

4.3.2.6.1 一般要求

安全保护功能应包括:应急处置、包线保护、威胁规避等功能。

4.3.2.6.2 应急处置

应急处置功能应包括:

- a) 应急返航(包括不同约束,如最短时间、最短路径等);
- b) 应急悬停;
- c) 应急着陆;
- d) 迫降;
- e) 若高度、速度、位置等关键信息异常,可采用遥控操纵方式进行应急着陆或迫降;
- f) 必要时,具备发动机空中重启及自转下滑过程中的飞行控制功能。

4.3.2.6.3 包线保护

应根据无人直升机的飞行性能进行飞行包线保护,应包括:

- a) 俯仰角限制;
- b) 滚转角限制;
- c) 过载限制;
- d) 最大飞行高度限制;
- e) 低高度触地防撞保护;
- f) 低高度保安拉起;
- g) 最大飞行速度限制;
- h) 最大上升速度限制(必要时);
- i) 最大下降速度限制(必要时);
- j) 着陆过程中的位置漂移、触地过载(或下降率)、抬头姿态等限制;
- k) 发动机保护(转速、功率等)。

4.3.2.6.4 威胁规避

威胁规避功能应包括:

- a) 根据威胁状态或障碍信息,进行在线航路重规划,并根据生成的航线控制飞行;
- b) 根据地形信息和当前飞行状态,在线生成地形跟随/地形回避飞行航路(必要时)。

4.3.2.7 性能管理

性能管理功能应包括:

- a) 根据飞机的高度、速度、重量、构型、发动机等约束条件,设计各项飞行性能参数;
- b) 面向不同性能需求(如最经济、最快时间、最短路径等),进行最优性能管理。

4.3.3 设备管理功能

4.3.3.1 一般要求

根据无人直升机设备配置情况,设备管理功能应包括:动力、旋翼、电气、任务载荷、机外照明等系统的设备管理。

4.3.3.2 动力管理

动力管理应包括:地面启动、停车、空中重启动、功率控制、状态监测与告警等。

4.3.3.3 旋翼系统管理

旋翼系统管理应包括:

- a) 旋翼刹车控制与状态监控;
- b) 旋翼转速状态检测与告警信息下传;
- c) 旋翼系统其他管理功能。

4.3.3.4 电气管理

电气管理应包括:

- a) 电气参数与状态监测;
- b) 相关用电设备接通与断开控制;
- c) 余度电源切换控制;
- d) 电池余量计算与余电不足告警。

4.3.3.5 任务载荷管理

任务载荷管理应包括:

- a) 任务载荷控制命令转发;
- b) 任务载荷控制;
- c) 任务载荷状态监视。

4.3.3.6 机外照明系统管理

机外照明系统管理应包括:

- a) 航行灯管理;
- b) 防撞灯管理;
- c) 探照灯管理。

4.4 性能

4.4.1 一般要求

除另有规定外,飞行控制系统性能要求应包含测量误差。

对于考虑结构弹性的飞行控制模态响应,系统应满足规定的稳定性要求。

控制模态进入和改出过程的瞬态和超调量,应满足飞行安全或任务执行的要求。

4.4.2 控制模态性能

4.4.2.1 俯仰、滚转姿态性能

俯仰、滚转姿态保持性能要求应包括：

- a) 俯仰姿态相对于基准的精度；
- b) 滚转姿态相对于基准的精度；
- c) 在规定的紊流强度中俯仰姿态的均方根偏差允许范围；
- d) 在规定的紊流强度中滚转姿态的均方根偏差允许范围；
- e) 受到姿态扰动时，调节时间和超调量。

4.4.2.2 航向性能

航向性能要求应包括：

- a) 航向保持相对基准的精度；
- b) 在规定的紊流强度中航向保持的均方根偏差允许范围；
- c) 持续、稳定的偏航角速率；
- d) 具备协调转弯功能。

4.4.2.3 高度性能

高度性能要求应包括：

- a) 明确所保持的高度是绝对高度还是相对高度，以及高度信号源是无线电高度、卫星高度、还是气压高度等；
- b) 前飞稳态盘旋时的高度保持精度；
- c) 绝对高度保持和相对高度保持模态切换及信号源切换的瞬态不影响飞行器的安全或任务执行。

4.4.2.4 速度性能

速度性能要求应包括：

- a) 明确所保持的速度是地速、真空速还是指示空速；
- b) 速度保持的精度；
- c) 地速保持和空速保持模态切换的瞬态不影响飞行器的安全或任务执行。

4.4.2.5 位置性能

位置给定(含纵向、侧向)性能要求应包括：

- a) 位置保持的精度；
- b) 位置调整过程中的速度控制精度；
- c) 在规定的紊流强度中位置保持的圆概率误差允许范围；
- d) 如有悬停回转的要求，位置保持的控制与航向保持协调，不引起不期望的往复调节。

4.4.2.6 垂直速度给定与保持性能

垂直速度给定与保持性能要求应包括：

- a) 垂直速度的控制精度；
- b) 以给定值作为基准速度；

- c) 动态过程平稳,考虑超调量和最大法向过载;
- d) 转为高度保持模态时不产生大的超调。

4.4.2.7 航线性能

航线性能要求应包括:

- a) 自动航线控制精度;
- b) 在规定的紊流强度或侧风中自动航线控制的均方根偏差允许范围;
- c) 有时间控制精度要求时,满足无人直升机到达指定点的时间误差范围要求。

4.4.2.8 自动起飞性能

自动起飞性能要求应包括:

- a) 起飞过程中的位置保持精度;
- b) 起飞过程中的航向保持精度;
- c) 起飞过程持续时间。

4.4.2.9 自动着陆性能

自动着陆性能要求应包括:

- a) 着陆过程中的位置保持精度;
- b) 着陆过程中的航向保持精度;
- c) 着陆过程持续时间;
- d) 着陆过程中的最大下降率;
- e) 着陆姿态及法向过载。

4.4.3 其他设备控制性能

应根据设备的使用要求,提出飞行控制系统对设备的控制性能要求。

当动力系统控制是系统的一项功能时,应实现动力系统的档位控制,并将转速稳定在期望的范围内。

4.4.4 稳定性能

稳定性应满足下列要求:

- a) 将增益放大至 1.5 倍时,系统保持稳定;
- b) 将不大于 45° 的延迟引入时,系统保持稳定。

4.4.5 带宽性能

带宽性能应包括:

- a) 幅值带宽性能;
- b) 相位带宽性能。

4.4.6 解耦性能

解耦性能应包括:

- a) 悬停状态下的俯仰-滚转、滚转-俯仰、总距-偏航解耦性能;
- b) 前飞时的俯仰-滚转、滚转-俯仰、总距-俯仰解耦性能。

4.4.7 抗风性能

大中型无人直升机在起降阶段和飞行阶段应能抵抗风的影响。根据平台能力,飞行控制系统应能满足型号规范要求的性能指标。

4.5 硬件

4.5.1 飞行控制计算机

飞行控制计算机设计应包括以下要求。

- a) 根据系统可靠性、安全性、容错要求与余度要求确定飞控计算机的余度数。
- b) 多余度飞控计算机能使得通道间在机械和电气等方面相互隔离,防止单点故障和故障蔓延。
- c) 飞控计算机接口,包括接口类型、接口数量和接口特性要求,输入、输出信号具有可测试性。
- d) 具有存储保护功能,以避免无意地改变存储内容;在规定范围内的电源瞬态和电磁干扰影响下,不会引起程序存储丢失、存储错乱、指令错误或者丧失连续工作的能力。
- e) 软件运行的时间余量和空间余量满足技术规范要求,在满足软件安全性要求情况下不低于20%。

4.5.2 伺服作动分系统

4.5.2.1 一般要求

伺服作动分系统应包括伺服控制器以及伺服作动器,设计要求应包括:

- a) 根据系统可靠性、安全性、容错要求与余度要求确定伺服作动系统的余度数;
- b) 具备伺服控制、系统监控等功能,包括作动器驱动线路、指令滤波线路、各种反馈和自检测信号的处理与综合线路、监控及监控逻辑线路、机内自检测线路以及电源等;
- c) 控制形式选用数字式或模拟式;
- d) 根据机上能源特性、输出力特性、安全性等的具体要求,伺服作动器类型包含液压作动器和电动舵机两类;
- e) 机械接口要求:外廓尺寸、安装结构与安装尺寸、执行部件满足安装空间要求,运动过程中不产生干涉;
- f) 机械特性指标满足使用要求,如中立位置、极性、输出力/力矩、工作行程、机械行程、额定速度、重量等;
- g) 伺服控制性能指标满足使用要求,如位置精度、频带、动态响应、灵敏度等;
- h) 在作动器直接与旋翼或尾桨连接的情况下,包含高周疲劳载荷影响。

4.5.2.2 液压伺服系统

若伺服作动分系统为液压伺服系统,设计要求应包括:

- a) 在采用多余度液压伺服作动系统的情况下,具备机械/液压/电气故障容错能力,余度间完全隔离;
- b) 液压作动器满足液压接口要求,包括油液牌号、油液污染度、油液压力及温度范围、所需流量等;
- c) 液压作动器满足泄漏量要求。

4.5.2.3 电动伺服系统

若伺服作动分系统为电动伺服系统,设计要求应包括:

- a) 在采用多余度电动伺服作动系统的情况下,具备机械/电气故障容错能力,电气余度功能完全隔离;
- b) 电动舵机考虑驱动电接口要求,包括电压特性(直流/交流)、额定电压、最大工作电流等。

4.5.3 传感器分系统

4.5.3.1 组成

传感器分系统主要包括直升机运动参量传感器、大气信息传感器、直升机状态传感器、环境检测传感器或传感器组合等。应包括:

- a) 提供三轴角速率、加速度、姿态角信息的传感器;
- b) 提供航向信息的传感器或传感器组合;
- c) 提供绝对定位信息的传感器或传感器组合;
- d) 提供相对定位信息的传感器或传感器组合;
- e) 提供持续绝对高度信息的传感器或传感器组合;
- f) 测量真实相对高度信息的传感器或传感器组合;
- g) 提供周围障碍物信息的传感器或传感器组合;
- h) 测量直升机空中/地面状态的轮载传感器;
- i) 接收其他无人直升机位置信息的装置。

4.5.3.2 功能

传感器或传感器组合应具有以下功能:

- a) 测量、计算无人直升机三轴角速率、三轴加速度、经度、纬度、高度、速度、航向角、俯仰角、滚转角等信息的功能;
- b) 测量、计算温度、气压、风速、磁场等环境信息的功能;
- c) 测量、计算障碍物和可飞行区域的功能;
- d) 设置传感器安装位置、安装误差等参数的功能;
- e) 传感器标定功能;
- f) 传感器故障自检测功能。

4.6 软件

飞行控制系统软件开发、维护与验收应满足以下要求:

- a) 软件功能包括飞行管理、飞行控制、设备管理;
- b) 选择满足飞行控制实时性要求的运行速率,确定存储量、输入输出通道的吞吐能力以及时间处理要求,并满足规定的余量要求;
- c) 采用模块化设计,必要时,设计为应用程序接口(API)的形式,便于用户开发;
- d) 每个固件按照独立配置项进行配置管理;
- e) 制定软件安全性保证策略(包括测试和分析),采取除零保护、溢出保护、越界保护等措施,以排除或最大程度降低潜在危险;
- f) 为防止人工差错的产生,采用两条独立的命令来执行安全关键功能,并在启动任何安全关键指令序列之前要求操作员的响应或授权;
- g) 对故障申报记录进行专门设计,记录程序运行时的状态和错误,便于故障定位。

4.7 接口

4.7.1 电气接口

飞行控制系统应对所有电气接口特性进行定义。除另有规定外,使用直流供电,电气接口特性应包括:

- a) 供电方式;
- b) 适用供电电压、电流与功率范围;
- c) 接口信号工作频率与负载能力;
- d) 信号接口电平;
- e) 波形、极性与相位关系;
- f) 信号的输出和输入属性;
- g) 阻抗与绝缘阻抗;
- h) 短路保护和反向保护;
- i) 通信接口采用标准类型,如通用异步收发传输器(UART)、控制器局域网总线(CAN)、通用串行总线(USB)等;
- j) 防反插设计、防插错设计。

4.7.2 总线通信协议

与外部进行总线通信的接口,在约定通信协议基础上,应满足以下要求:

- a) 遥控信息中包含控制指令、航路信息、威胁信息、限飞信息(必要时)等;
- b) 遥测信息中包含无人直升机系统的主要参数与状态、遥控指令回报信息、告警信息等;
- c) 外部航电设备的信息主要包括姿态、速度、位置等飞行状态信息;
- d) 飞行参数信息中包含无人直升机系统的主要参数与状态、遥控指令回报信息以及详细的告警信息等;
- e) 协议制定时,有数值边界、指令保护等措施;
- f) 对于某些需要防止恶意篡改的信息,如全球导航卫星信息、电子围栏数据等,采取可靠的信息安全措施,如签名认证、信息加密等技术。

4.8 安全性

4.8.1 安全性设计

4.8.1.1 定义安全性等级

应根据无人直升机损失造成的影响(包括地面人员),定义飞行控制系统的安全性等级,并根据安全等级确定飞行控制系统的每小时危险失效概率,失效概率的确定可参考 GB/T 20438.1—2017 中表 3 的规定。

飞行控制系统的每小时危险失效概率要求来自对无人直升机整体设计需求的分解,同时,如果无人直升机损失的概率分配到各个子系统没有明确要求,飞行控制系统失控概率应按照无人直升机损失概率乘以 0.25~0.375 的系数进行选取。

4.8.1.2 安全性评估

安全性评估过程参考 GB/T 38931—2020 中 5.1~5.6。

若对飞行控制系统进行安全性定量评估,则应涵盖所有飞行关键功能、部件和子系统。应包含的项

目有：机械控制系统、飞行控制系统的电子装置（包括所有控制和导航传感器及功能）、大气数据、飞行器运动传感器、控制作动器、液压系统部件、电气电力系统部件（包括发电机定速驱动机构和液压泵驱动变速箱）。

安全性定量评估应采用故障树分析(FTA)、失效模式和影响分析(FMEA)方法作为指导。

4.8.2 安全性验证和确认

安全性验证和确认的符合性方法应包括试验、演示、仿真、分析、设计评审等。

如有适航要求，安全性验证和确认和试验活动应获得适航审定机构认可。

4.9 可靠性

4.9.1 可靠性设计

飞行控制系统的可靠性设计应包括以下方面：

- a) 采用自上而下设计、模块化编程、元器件降额设计等设计方法；
- b) 采用容错技术和故障-安全技术；
- c) 控制作用于部件和元件的应力；
- d) 减少参数变化（如老化）对设计性能的影响；
- e) 使用优选的和经过证实的部件和技术；
- f) 规定降低制造工艺敏感性的方法；
- g) 符合安全标准；
- h) 控制对软件有破坏作用的负荷；
- i) 保证软件无故障的特殊技术，例如代码检验、代码审查和初查过程。

4.9.2 确定可靠性指标

可靠性指标通常应包括以下内容。

- a) 任务可靠性：由飞行控制系统故障导致的（每飞行小时）任务失效概率由承制方根据飞行器需求进行分配，分配值用安全性评估的分析数据作为支撑。
- b) 可用性：飞行控制系统可用性要求由承制方根据飞行器需求进行分配。此数值与飞行控制系统的平均故障间隔时间(MTBF)、平均故障恢复时间(MTTR)、任务完成可靠性相一致。
- c) 平均故障间隔时间(MTBF)：以平均故障间隔时间(MTBF)为衡量指标的飞行控制系统可靠性达到飞行器要求，并与飞行控制系统的容错能力结合，共同支持飞行器满足规定的任务可靠性和可用性要求。

4.9.3 可靠性验证和确认

可靠性验证和确认的符合性方法应包括试验、仿真、分析、设计评审等。

如通过试验进行可靠性验证，根据产品的分级要求，从元器件到装配完好的系统逐级进行试验。

4.10 维修性

维修性设计通过维修性工作项目开展。维修性工作项目应包括根据产品特定的维修性要求，制定详细的维修性设计准则，并定期评审。

系统的维修性设计应包括：

- a) 维修复杂度；
- b) 产品设计规定的预防性维修活动的频率；

- c) 产品设计规定的维修保障成本；
- d) 对维修人员技术水平的要求；
- e) 潜在的维修错误。

4.11 测试性

测试性设计应包括测试功能和步骤、系统每一级别的测试精度等。此外,通过系统内部的自检测设计,配合地面支持设备,应能实现系统状态的检测、诊断和隔离。故障检测率、隔离率和虚警率的指标应综合考虑产品的任务需求、使用场景、重量成本等因素。

4.12 保障性

保障性应满足以下要求:

- a) 飞行控制系统地面维护检测设备包含设备自检测、数据/故障下载、参数标定、传感器标定与计量指令发送等功能；
- b) 减少保障设备的需求；
- c) 相同设备、组件和可替换零件符合互换性要求,部件或零件更换后,无需重新调整参数或重新调整其他部件或零件以保持整体性能和公差；
- d) 提交完备的用户手册,通常包括:产品物料清单、系统工作原理、系统使用说明(包括使用限制)、飞行前检查项、故障处置措施、其他用户须知悉的信息等,并根据需要,对用户进行必要的培训。

4.13 环境适应性

环境适应性取决于系统在无人直升机上的安装位置和最高飞行高度,是否处于温度/或压力控制区内。在进行系统的环境适应性设计时应考虑上述条件。

飞行控制系统应能够承受温度、湿度和其他自然环境的使用极限条件,并在使用寿命周期内能够正常工作。对于霉菌、盐雾、湿热、砂尘等特殊极端环境条件,应根据实际使用环境及用户需求进行明确,试验方法可参照 GB/T 38924(所有部分)规定的相关要求执行。

4.14 电磁兼容性

飞行控制系统及其部件应满足与无人直升机系统兼容工作的要求,电磁兼容性应满足技术规范要求的项目,试验方法可参照 GB/T 38909 中规定的相关要求执行。

4.15 适航性

必要时,飞行控制系统应满足适航审定机构的相关适航规定。应向用户提供适航审定机构审查所需资料,满足适航审定机构审查要求。

5 验证试验

5.1 试验类型

5.1.1 型式试验

型式试验是为了验证飞行控制系统能否满足技术规范的全部要求所进行的试验。

型式试验应在产品鉴定/定型或转产时进行,但在产品的主要设计、工艺及材料有重大改变而影响产品的重要性能,使原来的鉴定/定型结论不再有效时,也应进行型式试验。

5.1.2 出厂检验

出厂检验是指研制单位在飞行控制系统交付之前为保证出货产品满足用户品质要求所进行的检验,经检验合格的产品才能予以放行交付。应对每套系统进行出厂检验,当交付量较大时,也可与用户协商采用抽样检验的方式。

5.2 型式试验

型式试验项目应包括:

- a) 外观检查;
- b) 接口测试;
- c) 功能测试;
- d) 性能测试;
- e) 传感器测试;
- f) 环境适应性试验;
- g) 电磁兼容性试验;
- h) 可靠性试验;
- i) 软件测试;
- j) 其他。

5.3 出厂检验

出厂检验项目应包括:

- a) 接口测试;
- b) 功能测试;
- c) 性能测试;
- d) 外观检查。

6 标识、包装、运输与贮存

6.1 标识

6.1.1 产品标识

飞行控制系统应标明:

- a) 产品名称、型号;
- b) 适用电压;
- c) 产品序列号,通过产品序列号能够追溯到产品的生产日期、出厂前检测数据;
- d) 制造商或商标;
- e) 认证标志或适航标准。

6.1.2 包装标识

包装标识应满足 GB/T 191 中的相关规定。

6.2 包装

产品应与包装标识相一致,产品包装应满足以下要求:

- a) 选择适当的材料、型式和结构,减少包装材料用量和降低包装成本,有效地利用资源,采取可回收利用材料,减少包装废弃物,降低对环境的影响;
- b) 产品包装环境清洁、干燥、无有害气体,并具有防霉、防蛀特性;
- c) 确保在正常的流通过程中,能够抵御规定环境条件的影响而不发生破损或损坏等现象;
- d) 根据产品的特性及搬运、装卸、运输、仓储等流通条件,合理选用带有防护装置的包装,如防震、防雨、防潮、防霉、防尘等防护包装;
- e) 产品包装内装有必备的随机文件,这些随机文件包括合格证、物品清单、使用说明书和其他有关的技术文件,若有关用户所须知的信息未在随机文件中充分描述而需要查阅相关电子文件,在随机文件中清晰说明所须知的电子文件信息和正式的获取途径。

6.3 运输与贮存

贮存环境应有良好的通风,远离可能的热源、火源、强电场、强磁场和强电磁场。通常适用于公路、铁路、水路和航空运输。在规定的运输与贮存条件下,不会对产品及包装造成严重故障或破损。

参 考 文 献

[1] GB/T 20438.1—2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分：一般要求

[2] GB/T 38909 民用轻小型无人机系统电磁兼容性要求与试验方法

[3] GB/T 38924(所有部分) 民用轻小型无人机系统环境试验方法

[4] GB/T 38931—2020 民用轻小型无人机系统安全性通用要求
