



中华人民共和国国家标准

GB/T 38911—2020

民用轻小型无人直升机 飞行控制系统通用要求

General requirements for flight control systems of civil small and
light unmanned helicopter

2020-07-21 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 1

4 通用要求 2

 4.1 控制方式 2

 4.2 功能 2

 4.3 性能 4

 4.4 硬件 6

 4.5 软件 7

 4.6 接口 8

 4.7 通用质量特性 8

5 验证试验..... 10

 5.1 型式试验 10

 5.2 出厂检验 11

6 标识、包装、运输和储存..... 11

 6.1 标识 11

 6.2 包装 11

 6.3 运输与储存 12



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本标准起草单位: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、天津直升机研发中心、一飞智控(天津)科技有限公司、南京模拟技术研究所、南京航空航天大学。

本标准主要起草人:王琳、胡应东、唐强、舒振杰、孟宪锋、禹科、段镖、曹国杰、何志凯、王刚强、吴冲、顾冬雷、赵佳、郭剑东、高艳辉。



民用轻小型无人直升机 飞行控制系统通用要求

1 范围

本标准规定了民用轻小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、运输和储存。

本标准适用于民用轻小型无人直升机(起飞重量在 0.25 kg~150 kg 之间)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可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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
- GB/T 38924(所有部分) 民用轻小型无人机系统环境试验方法
- GB/T 38996 民用轻小型无人机系统电磁兼容性要求与试验方法

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 35018 与 GB/T 38152 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

固件 **firmware**
固化于集成电路中的软件。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- ADS-B:广播式自动相关监视(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)
- AHRS:航姿参考系统(Attitude and Heading Reference System)
- API:应用编程接口(Application Programming Interface)
- CAN:控制器局域网总线(Controller Area Network)
- GNSS:全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System)
- IMU:惯性测量单元(Inertial Measurement Unit)
- MTBF:平均故障间隔时间(Mean Time Between Failure)
- UART:通用异步收发传输器(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
- USB:通用串行总线(Universal Serial Bus)

4 通用要求

4.1 控制方式

民用无人直升机飞行控制系统应为直升机平台提供良好的稳定性和操纵性,控制无人直升机完成自起飞到着陆的全过程飞行。无人直升机的控制方式宜分为:遥控、指令控制和自主控制。

4.2 功能

4.2.1 总则

飞行控制系统功能包括飞行控制功能、飞行管理功能和安全保护功能等。

4.2.2 飞行控制功能

4.2.2.1 一般要求

飞行控制功能包括:根据操作人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、轨迹等的控制。必要时,提供对动力系统的控制。

4.2.2.2 模式管理功能

模式管理功能包括:

- a) 根据外部指令或飞行状态,进行遥控、指令控制、自主控制模式之间的切换;
- b) 判断模态进入和退出条件,进行模态调度与管理。

4.2.2.3 指令控制模态

为实现指令控制功能,宜提供如下控制模态:

- a) 俯仰、滚转姿态保持;
- b) 航向给定与保持;
- c) 速度给定与保持;
- d) 高度给定与保持;
- e) 位置给定与保持;
- f) 垂直速度给定与保持(必要时);
- g) 自动航线保持。

4.2.2.4 导航制导功能

导航制导功能宜包括:

- a) 接收地面站指令,对航线、航点进行插入、删除、修改等操作;
- b) 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;
- c) 根据应飞航线及无人直升机当前信息计算侧偏、侧偏变化率、待飞距离、待飞时间等引导信息;
- d) 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;
- e) 根据地面站指令或应急处置要求,进行航线切换;
- f) 确定无人直升机当前的飞行阶段和飞行状态,根据性能约束,计算并输出控制律导引指令和控制模态指令。

4.2.3 飞行管理功能

4.2.3.1 一般要求

飞行管理功能包括：接口管理、设备管理等功能。

4.2.3.2 接口管理功能

对于飞行控制系统接收的遥控指令、传感器信息等进行状态监控、校验判断、信息解码，用于控制系统内部使用。输入信息处理时，应加判必要的条件，并进行合理性判断和边界约束。

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进行遥测发送、飞行参数记录。数据发送和记录的帧周期宜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。

4.2.3.3 设备管理功能

4.2.3.3.1 动力管理功能

动力管理功能宜包括：地面启动、重启动、停机、功率控制、状态监测与告警等。

4.2.3.3.2 电气管理功能

电气管理功能宜包括：

- 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(必要时)；
- d) 电池余量计算与余电不足告警。

4.2.3.3.3 灯光管理功能

灯光管理功能宜包括：

- a) 系统状态指示灯管理；
- b) 故障状态指示灯管理；
- c) 航行灯管理。

4.2.3.3.4 任务设备管理功能

任务设备管理功能宜包括：

- a) 任务设备控制；
- b) 任务设备状态监视；
- c) 任务设备控制命令转发。

4.2.4 安全保护功能

4.2.4.1 一般要求

安全保护功能宜包括：应急处置、包线保护、航路重规划、信息重构等功能。

4.2.4.2 应急处置功能

无人直升机关键或重要设备等发生故障时,飞行控制系统进行应急飞行,宜包括:

- 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(必要时);
- c) 应急着陆;
- d) 应急迫降,必要时提供自转下滑功能。

4.2.4.3 包线保护功能

应根据无人直升机的飞行性能进行飞行包线保护,宜包括:

- a) 俯仰角限制;
- b) 滚转角限制;
- c) 过载限制(必要时);
- d) 最大飞行高度限制;
- e) 低高度触地防撞保护(必要时);
- f) 低高度保安拉起(必要时);
- 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。

4.2.4.4 航路重规划功能

航路重规划功能宜包括:

- a) 根据返航要求,在线生成返航航线;
- b) 根据应急处置的约束要求,在线生成应急航线;
- c) 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);
- d) 根据威胁状态或障碍信息,进行在线航路重规划(必要时);
- e) 飞行航路重规划时应避开限飞区且满足飞行性能包线的要求。

4.2.4.5 信息重构功能

必要时,提供信息重构功能,如当主传感器速度、高度等信息失效时,使用备份传感器信息。

4.3 性能

4.3.1 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,系统宜满足规定的稳定性要求。

4.3.2 控制模态性能要求

4.3.2.1 俯仰、滚转姿态性能要求

俯仰、滚转姿态保持性能要求宜包括:

- 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,回复时间和超调量。

4.3.2.2 航向性能要求

航向给定与保持性能要求宜包括：

- a) 航向保持相对基准的精度；
- b) 航向基准为航向保持模态接通时刻的当前航向或给定的航向目标值；
- c) 在规定的紊流强度中航向保持的均方根偏差允许范围；
- d) 具有 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 的航向给定能力；
- e) 持续、稳定的偏航角速率；
- f) 前飞转弯过程中的滚转角限制；
- g) 进入和改出过程的瞬态和超调量。

4.3.2.3 高度性能要求

高度给定与保持性能要求宜包括：

- a) 明确所保持的高度是绝对高度还是相对高度；
- b) 高度保持基准的精度；
- c) 高度基准为高度保持模态接通时刻的当前高度或给定的高度目标值；
- d) 前飞稳态盘旋时的高度保持精度；
- e) 进入和改出过程的瞬态和超调量；
- f) 绝对高度保持和相对高度保持模态切换的瞬态不影响飞行器的安全或任务执行。

4.3.2.4 速度性能要求

速度给定与保持性能要求宜包括：

- 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) 接通速度保持模态时的速度或给定值作为基准速度；
- d) 进入和改出过程的瞬态和超调量；
- e) 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。

4.3.2.5 位置性能要求

位置给定与保持是无人直升机的一项基本功能,应同时包括对纵向位置和侧向位置的给定与保持功能,位置给定与保持性能要求宜包括：

- a) 位置保持的精度；
- b) 在规定的紊流强度中位置保持的圆概率误差允许范围；
- c) 接通位置保持模态时的位置或给定值作为基准位置；
- d) 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。

4.3.2.6 垂直速度性能要求

必要时,可提供垂直速度给定与保持功能,其性能要求宜包括：

- a) 垂直速度的控制精度；
- b) 以给定值作为基准速度；

- c) 动态过程应平稳,考虑超调量和最大法向过载;
- d) 给定负的升降速度时宜提供高度保安,且转为高度保持模态时不产生大的超调。

4.3.2.7 航线性能要求

自动航线保持性能要求宜包括:

- 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) 速度、高度同步变化时的航线控制精度;
- d) 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。

4.3.3 稳定裕量

稳定裕量宜满足下列要求:

- a) 所有空气动力回路在至少是 1.5 倍总增益时宜通过试验证明是稳定的;
- b) 所有非空气动力伺服回路在 1.5 倍总增益时宜证明始终是稳定的;
- c) 将 45°延迟引入到有总增益的任何回路时,不引起不稳定。

4.3.4 动力系统性能要求

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 硬件

4.4.1 系统组成

飞行控制系统由计算部件、执行部件、传感器等组成。

4.4.2 计算部件

计算部件宜满足以下要求:

- a) 明确数字接口通道数、模拟接口通道数,能满足采样精度、实时控制等要求;
- b) 核心模块采用冗余等安全机制;
- c) 输入、输出信号具有可测试性;
- d) 规定并达到运行时间和存储空间裕量要求,宜留有 25% 的内存和运行时间裕量。

4.4.3 执行部件

执行部件包括用于纵向、横向、航向、总距操纵控制的舵机,必要时也包括用于动力系统控制的舵机,宜满足以下要求:

- a) 采用直流电源作为能源;
- b) 结构形式采用旋转式/直线式、组合式/分体式、串联式/并联式;
- c) 必要时,采用冗余等安全机制;
- d) 电气特性指标满足使用要求,如功率、电压电流、传感器反馈方式等;
- e) 机械特性指标满足使用要求,如输出力矩、工作行程、机械行程、非线性特性、重量等;
- f) 环路特性指标满足使用要求,如控制精度、频带、阶跃响应、灵敏度等;
- g) 主桨舵机考虑高频交变载荷等使用环境需求;
- h) 执行部件满足安装空间要求,运动过程中不产生干涉。

4.4.4 传感器部件、组件与模块

4.4.4.1 组成

除另有规定外,传感器部件、组件与模块宜由以下设备进行组合:

- a) 可提供三轴角速率、加速度、姿态角信息的传感器,如 IMU、AHRS;
- b) 可提供绝对定位信息的传感器或传感器组合,如 GNSS 接收机;
- c) 可提供相对定位信息的传感器或传感器组合,如视觉模块;
- d) 可提供持续绝对高度信息的传感器或传感器组合,如气压计;
- e) 必要时,可测量真实相对高度信息的传感器或传感器组合,如超声波、无线电高度表等;
- f) 必要时,可提供周围障碍物信息的传感器或传感器组合,如雷达;
- g) 必要时,可提供航向信息的传感器或传感器组合,如磁力计;
- h) 必要时,可接收其他无人直升机位置信息的装置,如 ADS-B 接收机。

4.4.4.2 功能

传感器部件、组件与模块宜具有以下功能:

- 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、俯仰角、滚转角等信息的功能;
- b) 设置传感器安装位置、安装误差等参数的功能;
- c) 传感器故障自检测功能;
- d) 必要时,具有探测障碍物和可飞行区域的功能;
- e) 必要时,具有探测温度、气压、磁场等环境信息的功能;
- f) 必要时,具有改善传感器性能的标定功能;
- g) 必要时,具有传感器信息防篡改的功能;
- h) 必要时,具有风速估计的功能。

4.4.4.3 其他

传感器部件、组件与模块宜考虑以下要求:

- a) 关键传感器采用冗余等安全机制;
- b) 供电方式、功耗、接口、测量范围、测量精度、分辨率、非线性特性等满足使用要求;
- c) 传感器尺寸、重量符合无人直升机的总体要求;
- d) 对温度敏感的传感器,采取恒温结构、温度校准等措施;
- e) 对振动环境敏感的传感器,采取减震/隔震等措施;
- f) 对磁环境敏感的传感器,与磁性材料、高功率产品及电缆保持一定的距离;
- g) 气压计采取可靠的措施,防止气压传感器被堵塞或因外部环境而导致故障;
- h) 对采用回波机理的传感器天线,注意天线安装位置和安装角度,避免遮挡波束造成的信号品质下降或自锁。

4.5 软件

宜满足以下要求:

- a) 基本采样速率的选择满足控制律计算实时性的要求;
- b) 多任务宜采用分速率组的调度形式,任务时序应分配合理、相互协调;
- c) 考虑安全性,采取除零保护、溢出保护、越界保护等措施;

- d) 采用模块化设计,宜设计为应用编程接口(API)的形式,便于用户开发;
- e) 具有良好的可维护性和可测试性;
- f) 每个固件具有唯一的标识,独立进行技术状态管理。

4.6 接口

4.6.1 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,电气接口特性宜包括:

- 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) 防反插设计、防插错设计。

4.6.2 通信协议

与外部进行总线通信的接口,需约定通信协议,一般要求:

- 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) 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;
- d) 协议制定时,考虑数值边界、指令保护等措施;
- e) 对于某些需要防止恶意篡改的信息,如全球导航卫星信息、限飞数据等,系统宜采取可靠的信息安全措施,如签名认证、信息加密等技术(必要时)。

4.7 通用质量特性

4.7.1 安全性

4.7.1.1 一般要求

系统应支持典型故障的自动处理,以提高使用安全性,如:传感器故障后使用故障安全值、测控失效后自动返航等。

系统中电气设备和机械设备应分别按技术规范中安全技术要求规定进行设计,以确保制造和使用中人身和设备的安全。

4.7.1.2 定量要求

必要时,按照订货方的要求或根据无人直升机损失造成的影响(包括地面人员),提出安全性相关指标,即因飞行控制系统故障而导致的每飞行小时无人直升机的损失概率。

4.7.2 可靠性

系统可靠性设计宜制定产品的可靠性设计准则,按需开展可靠性分配、预计和验证工作,包括:

- a) 考虑相应可靠性指标,包括使用寿命、平均故障间隔时间(MTBF)和任务可靠度等;
- b) 根据用户的可靠性定量要求逐级分配可靠性指标;
- c) 对飞行控制系统及设备的设计进行故障模式及影响分析,对关键的或重要的元器件或电路应进行容差分析,并采取相应措施;
- d) 根据对重量、体积、经济性、基本可靠性与任务可靠性的权衡分析,确定是否采用余度设计。

4.7.3 维修性

系统维修性设计宜包括:

- a) 对需要维修、更换的零部件留有足够的操作空间;
- b) 考虑维修性指标,如平均修复时间、平均维修间隔时间等;
- c) 对于使用频度较高的部件,其安装位置便于操作,且预留便捷的操作口盖;
- d) 接口标识语义明确、字体/图形清晰无歧义、位置合适、易于观察。

4.7.4 测试性

4.7.4.1 一般要求

通过系统内部 BIT 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。测试性覆盖率、隔离率和虚警率的指标宜综合考虑产品的任务需求、使用场景、重量成本等因素。

4.7.4.2 自检测设计

自检测功能实现设备故障诊断,宜包括:上电自检测、飞行前自检测、飞行中自检测和维护自检测等功能。上电自检测主要在上电时自动对飞行控制系统内部电子部件的硬件功能正确性进行检测;飞行前自检测在起飞前进行,除了对系统内部进行功能检测外,还包括性能检测、交联设备检测;飞行中自检测在系统运行过程中实时监控系统的功能和性能;维护自检测用于飞行后检测与维护,通过配合地面检测设备,检查飞行控制系统和外部交联设备的状态。

飞行前自检测和维护自检测应设计安全的进入/退出联锁条件,并在必要时,施加相关的激励进行测试。

4.7.4.3 起飞条件检查功能

起飞条件检查功能用于确认是否满足起飞必要条件的最小集合,如:发动机状态、飞行控制系统、主要传感器等关键系统的状态、通信链路的状态、装订航线的合理性等。

4.7.5 保障性

系统的保障性宜满足以下要求:

- a) 飞行控制系统地面维护检测设备宜包含自身检测、数据/故障下载、参数标定、传感器校准指令发送等功能;
- b) 减少保障设备的需求;
- c) 提交完备的用户手册,宜包括: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。

4.7.6 环境适应性

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、沙尘等特殊极端环境条件,根据实际使用环境及用户需求进行明确,试

验方法应按照 GB/T 38924 规定的相关要求执行。

4.7.7 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,试验方法应按照 GB/T 38996 规定的相关要求执行。

4.7.8 标准化要求

系统宜满足下列要求:

- a) 部件的设计满足标准化要求,宜参照国家标准、行业标准、合适的企业标准,以及其他经批准的国内、国际标准的相关内容执行;
- b) 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,不需要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;
- c) 通信接口采用标准类型,如 UART、CAN、USB 等。

5 验证试验

5.1 型式试验

5.1.1 试验概述

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。

型式试验应在产品设计定型、生产定型或转产时进行,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,使原来的鉴定结论不再有效时,也应进行型式试验。

5.1.2 试验项目

型式试验项目宜包括:

- a) 接口测试;
- b) 功能测试;
- c) 性能测试;
- d) 传感器测试;
- e) 联调测试;
- f) 数据记录测试;
- g) 环境适应性试验;
- h) 电磁兼容性试验;
- i) 可靠性、寿命试验(必要时);
- j) 软件测试(必要时);
- k) 外观检查;
- l) 其他。

5.1.3 合格判据

型式试验合格判据包括:

- a) 测试结果满足全部要求时,判定型式试验合格;
- b) 若其中任一试验项目不符合要求,允许排除故障后再次提交试验;若检验合格仍可判定为型式试验合格。

5.2 出厂检验

5.2.1 检验概述

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。出厂检验应每套进行,当交付量较大时,也可与用户协商采用抽样检验的方式。

5.2.2 检验项目

出厂检验项目宜包括:

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

5.2.3 合格判据

出厂检验合格判据包括:

- a) 完成全部试验项目且满足全部要求时,判定该产品出厂检验合格;
- b) 若其中任一检验项目不符合要求,则应暂停成品的检验与交付,在找出缺陷原因并采取有效纠正措施后,重新进行加倍抽样检验。

6 标识、包装、运输和储存

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

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,产品包装应满足如下要求:

- 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,尽量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,这些随机文件宜包括合格证、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时,在随机文件中宜清晰说明所须知的电子文件信息和正式的获取途径。

6.3 运输与储存

储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。在规定的运输和存储条件下,产品及包装不会造成严重故障或破损。

