



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38997—2020

---

## 轻小型多旋翼无人机飞行 控制与导航系统通用要求

General requirements for the flight control and navigation system of  
small and light multi-rotor unmanned aircraft

2020-07-21 发布

2021-02-01 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、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 系统组成 ..... 2

    4.2 功能、性能 ..... 2

    4.3 数据记录 ..... 6

    4.4 接口 ..... 6

    4.5 环境适应性 ..... 8

    4.6 电磁兼容性 ..... 9

    4.7 可靠性 ..... 9

    4.8 互换性 ..... 9

    4.9 使用与维护 ..... 9

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、运输和贮存..... 11

    6.1 总则 ..... 11

    6.2 标识 ..... 11

    6.3 包装 ..... 12

    6.4 运输 ..... 12

    6.5 贮存 ..... 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:深圳市大疆创新科技有限公司、一飞智控(天津)科技有限公司、中国航空综合技术研究所、深圳市科比特航空科技有限公司、易瓦特科技股份公司、深圳联合飞机科技有限公司、北京自动化控制设备研究所。

本标准主要起草人:杨旻、曹国杰、赖镇洲、吴冲、胡应东、贾佳、舒振杰、何志凯、卢致辉、车嘉兴、赵国成、陈静、叶川、刘志强。



# 轻小型多旋翼无人机飞行 控制与导航系统通用要求

## 1 范围

本标准规定了轻小型多旋翼无人机(以下简称“无人机”)飞行控制与导航系统的通用要求、验证试验以及标识、包装、运输和贮存要求。

本标准适用于轻小型多旋翼无人机(起飞重量在 0.25 kg~150 kg 之间)的飞行控制与导航系统设计与制造。其他无人机飞行控制与导航系统可参照执行。

## 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 4208—2017 外壳防护等级(IP 代码)

GB/T 9254—2008 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

GB/T 17618—2015 信息技术设备 抗扰度 限值和测量方法

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 38924.5 民用轻小型无人机系统环境试验方法 第 5 部分:冲击试验

GB/T 38924.6 民用轻小型无人机系统环境试验方法 第 6 部分:振动试验

GB/T 38924.7 民用轻小型无人机系统环境试验方法 第 7 部分:湿热试验

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

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

#### 3.1.1

**定点悬停 spot hover**

在未接到任何外部控制指令的条件下,无人机在空中保持相对位置基本不变的状态。

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GNSS:全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System)

IMU:惯性测量单元(Inertial Measurement Unit)

SDK:软件开发包(Software Development Kit)

## 4 通用要求

### 4.1 系统组成

飞行控制与导航系统由飞行控制与管理或信号处理设备、导航传感器和二次电源组成。

### 4.2 功能、性能

#### 4.2.1 飞行控制

##### 4.2.1.1 一般要求

飞行控制单元应具有以下功能：

- a) 可将无人机的水平、航向、垂直三个控制通道的控制量转换为每个动力单元的控制量；
- b) 水平控制通道的分配优先级应高于航向控制通道和垂直控制通道的优先级。

控制分配应具备对无人机的垂直、水平和航向的三个通道解耦控制和根据动力单元健康状态自动调整控制分配策略的功能。

##### 4.2.1.2 水平控制功能

水平控制应具有以下功能：

- a) 可根据姿态、速度和位置指令控制无人机姿态、水平速度和位置；
- b) 可限制最大飞行姿态角度、最大水平飞行速度和最远飞行距离；
- c) 可抑制水平方向的干扰力。

水平控制应具备自适应于质量或转动惯量变化和从任意姿态恢复到水平姿态的功能。

##### 4.2.1.3 水平控制性能

除另有规定外，水平控制的均方根误差应满足：

- a) 定点悬停条件下，1 min 内的位置控制误差小于 1.5 m；
- b) 定点悬停条件下，姿态控制误差小于 5°；
- c) 久航速度匀速飞行条件下，控制误差小于久航速度的 10%。

##### 4.2.1.4 垂直控制功能

垂直控制应具有以下功能：

- a) 可根据垂直速度指令和高度指令控制无人机垂直速度和高度；
- b) 可限制最大的上升速度、最大的下降速度；
- c) 可限制最大飞行高度；
- d) 可抑制垂直方向的干扰力。

垂直控制应具备自适应于质量变化或系统动力系统变化的功能。

##### 4.2.1.5 垂直控制性能

除另有规定外，垂直控制的均方根误差应满足：

- a) 定点悬停条件下，1 min 内的高度控制误差小于 1.0 m；
- b) 最大上升或下降速度条件下，速度控制误差小于最大上升或下降速度的 10%。

#### 4.2.1.6 航向控制功能

航向控制应具有以下功能：

- a) 可根据航向指令控制无人机的航向；
- b) 可限制无人机最大转动速度；
- c) 可抑制转动干扰力。

航向控制宜具备自适应于转动惯量变化的功能。

#### 4.2.1.7 航向控制性能

除另有规定外，航向控制的均方根误差应满足：

- a) 定点悬停条件下，1 min 内的航向控制误差小于  $10^{\circ}$ ；
- b) 最大转向角速度条件下，控制误差小于最大转向角速度的 10%。

#### 4.2.2 导航

##### 4.2.2.1 一般要求

导航单元应具备以下功能：

- a) 可计算无人机的经纬度、高度、加速度、速度、航向、俯仰、横滚等导航信息；
- b) 可设置传感器安装位置等参数；
- c) 可诊断传感器故障；
- d) 可提供转动和加速度信息，如 IMU 信息；
- e) 可提供持续高度信息，如气压高度信息；
- f) 可提供绝对定位信息，如 GNSS 信息。

##### 4.2.2.2 可选功能

导航单元宜具备以下功能：

- a) 可提供对地高度信息，如超声波高度信息；
- b) 可提供相对定位信息，如视觉导航信息；
- c) 可探测障碍物信息、可飞行区域；
- d) 可探测温度、气压、磁场等环境信息；
- e) 可计算导航信息的精度；
- f) 可进行改善传感器性能的对准或校准；
- g) 可防传感器信息篡改；
- h) 可管理关键传感器余度；
- i) 可接收其他航空器位置信息。

##### 4.2.2.3 准备时间

准备时间包括完成通电、自检、对准、初始定位等，达到导航单元能够正常使用所需要的时间。除另有规定外，准备时间宜不大于 2 min。

##### 4.2.2.4 水平位置性能

除另有规定外，位置性能应满足：

- a) 位置的圆概率误差小于 10 m;
- b) 位置的漂移误差,在 1 min 内小于 0.5 m。

#### 4.2.2.5 高度性能

除另有规定外,高度性能应满足:

- a) 以起飞点为基准,测量的相对高度与实际相对高度误差小于 20 m;
- b) 高度的漂移误差,在 1 min 内小于 0.5 m。

#### 4.2.2.6 航向性能

除另有规定外,航向性能应满足:

- a) 航向误差小于  $10^{\circ}$ ;
- b) 航向的漂移误差,在 1 min 内小于  $5^{\circ}$ 。

#### 4.2.2.7 姿态性能

除另有规定外,姿态性能应满足:

- a) 动态条件下,姿态误差不大于  $3^{\circ}$ ;
- b) 静止条件下,姿态误差不大于  $2^{\circ}$ 。

#### 4.2.2.8 速度性能

除另有规定外,速度性能应满足:

- a) 水平速度误差不大于 0.5 m/s;
- b) 垂直速度误差不大于 0.3 m/s。

#### 4.2.2.9 传感器性能

导航单元应考虑以下要求保障传感器性能:

- a) 外界温度对 IMU 的精度影响较大时,采取恒温结构、温度校准等措施;
- b) 振动环境对 IMU 的精度影响较大时,采取减震/隔震结构、抗混叠滤波器等措施;
- c) 选取磁传感器的安装位置时,考虑磁性材料、电流导线产生的磁场干扰的影响;
- d) 选取 GNSS 传感器的安装位置时,考虑内部电磁干扰的影响;
- e) 防止气压计传感器被堵塞或因其他外部因素而失效。

### 4.2.3 飞行管理

#### 4.2.3.1 一般要求

飞行管理应具有以下功能:

- a) 可切换手动控制模式和自动控制模式。
- b) 可判断无人机在地面或空中。
- c) 可实时获取或估计剩余续航时间或续航里程。
- d) 可监控通信链路并在异常情况下采取安全保护措施。
- e) 可在整个运行周期内对部件(或模块)的异常进行检测、告警和记录。
- f) 可对冗余的输入输出信号、处理器或设备进行冗余管理。
- g) 指示灯控制:

- 1) 可控制指示灯显示飞机航向信息；
- 2) 可控制指示灯显示系统状态信息,如控制模式、故障信息等。

#### 4.2.3.2 起飞管理

无人机起飞阶段管理应具有以下功能：

- a) 可在起飞前检测传感器、能源、动力单元等安全相关模块的状态及限飞区域,采取告警、阻止起飞、限制飞行高度等保护措施。
- b) 可在起飞前对地面坡度检测并采取相应保护。坡度超过指定角度可阻止起飞。
- c) 可在垂直起飞过程中保持无人机没有水平漂移。
- d) 起飞任务失败检测及保护：
  - 1) 起飞过程中无人机姿态侧翻超过指定角度或桨叶打击地面时,可停止动力单元工作；
  - 2) 起飞过程持续时间超过指定时间未能离开地面时,可自动停止起飞任务。
- e) 可在位置信息已知的情况下记录起飞点位置和高度信息。
- f) 可监控起飞点关键环境信息(如温度、海拔、地磁干扰等),可在环境不良时采取保护措施。

#### 4.2.3.3 航行管理

无人机航行阶段管理应具有以下功能：

- a) 可提供有效控制,维持飞行过程平稳。
- b) 自动规划飞行任务时,能考虑能源、飞行环境、飞行能力等因素的限制。
- c) 可在自动控制模式下按预设航线飞行。
- d) 可在手动控制模式下能对遥控操作及时响应。
- e) 可在无遥控操作时先自动刹车然后进入定点悬停状态。
- f) 可防止飞入或停留在限飞区：
  - 1) 可根据与限飞区的距离远近采取不同等级的告警策略；
  - 2) 可防止进入限飞区并给出告警提示；
  - 3) 在限飞区内部的情况下,可自动采取合理的安全措施；
  - 4) 可限制飞行高度不超过限飞区最大允许高度；
  - 5) 可接收临时限飞区信息并进行相应处置；
  - 6) 可防止篡改。

无人机航行阶段管理宜具有自动避让和防撞控制的功能。

#### 4.2.3.4 降落管理

无人机降落阶段管理应具有以下功能：

- a) 剩余能源达到仅够降落的临界情况时,可主动触发降落；
- b) 降落到地面附近时,可降低下降速度,防止撞击地面；
- c) 降落过程中可手动调整无人机的位置,以选择合适的降落点；
- d) 可设定安全的降落速度,防止下降速度过快导致姿态控制受气流扰动影响；
- e) 可自动降落到设定降落点,偏差 $\leq 10$  m。

无人机降落阶段管理宜具备检测降落点是否适合降落和视觉传感器辅助精准降落的功能。



### 4.3 数据记录

#### 4.3.1 数据要求

##### 4.3.1.1 飞行控制与导航系统

飞行控制与导航系统应能够以 $\geq 10$  Hz 的频率向机载数据记录系统提供如下信息：

- a) 导航数据；
- b) 飞行控制模式；
- c) 遥控控制信息；
- d) 飞行状态信息；
- e) 系统故障信息；
- f) 系统告警信息；
- g) 其他要求的信息。

##### 4.3.1.2 地面控制单元

无人机系统地面控制单元配备了地面数据记录系统时，飞行控制与导航系统应能够以 $\geq 1$  Hz 的频率向地面控制单元发送如下信息：

- a) 导航数据；
- b) 飞行控制模式；
- c) 遥控控制信息；
- d) 飞行状态信息；
- e) 其他要求的信息。

#### 4.3.2 记录要求

飞行控制与导航系统宜集成机载飞行数据记录功能，应满足以下要求：

- a) 可实时飞行数据记录；
- b) 可记录最近至少 3 个架次的飞行数据；
- c) 可采取信息安全措施，防止篡改和删除；
- d) 可被正确和完整地拷贝；
- e) 可被规定的数据分析工具正确而完整的读取和解析；
- f) 当飞行数据记录的读写和记录出现异常时，可限制无人机起飞并提供必要的警告信息；
- g) 可采取时间序列格式进行飞行数据记录；
- h) 可循环记录。

### 4.4 接口

#### 4.4.1 一般要求

飞行控制与导航系统制造商应制定相关的接口技术规范，应规定以下信息：

- a) 接口的类型与数量；
- b) 接口所支持的设备；
- c) 相关的电气特性、机械特性、接口标识和接口通信；
- d) 功能与性能描述；

e) 接插件和线材等。

#### 4.4.2 电气特性

飞行控制与导航系统应对所有电气接口特性进行定义。除另有规定外,电气接口特性一般包括:

- a) 供电方式;
- b) 适用供电电压范围;
- c) 供电电压波动及抗干扰要求;
- d) 接口信号工作频率及范围;
- e) 信号接口电平及范围,电源接口工作电流范围;
- f) 接口信号波形和极性;
- g) 信号的输出方和输入方;
- h) 适用功率范围;
- i) 阻抗与绝缘阻抗;
- j) 冲击电压要求。

对于支持用户操作的接口,宜采取防反接电气设计和热插拔保护设计。对于向外供电接口,宜采取防短接设计和电流防倒灌设计。

#### 4.4.3 机械特性

机械接口应考虑如下要求:

- a) 接口防插错,如采取防反插设计、防插错设计、接口标识等;
- b) 防腐与防锈;
- c) 对于用户经常操作的机械接口,在规定的使用条件下和预期的使用时间内,接口与连接器之间可靠连接;
- d) 接口与连接器能够抵御在正常运输、搬运和飞行中所可能遭遇的振动、冲击等不利机械环境条件的影响。

#### 4.4.4 接口标识

接口标识应考虑如下要求:

- a) 标有符合要求的接口标识;
- b) 不可插拔的接口标有禁止插拔标识;
- c) 外部接口标识语义明确、字体/图形清晰无歧义、位置合适、易于观察、耐磨。

#### 4.4.5 通信要求

接口通信分为常规接口通信、SDK 接口通信、飞行监管接口通信等。

接口之间通信通常采取特定协议进行封装,并具有数据校验功能和对流量、丢包与错包的监控功能。

对于某些需要防止恶意篡改的信息,如导航卫星信息、限飞数据等,系统应采取可靠的信息安全措施,如签名认证、信息加密等技术。

#### 4.4.6 飞行监管接口

飞行控制与导航系统应能够提供符合要求的飞行监管数据,并满足相关的飞行监管接口要求。

#### 4.4.7 SDK

SDK 一般采用应用程序编程接口的方式,外部设备以一定频率向 SDK 发送控制指令数据,SDK 根据接收到的控制指令来控制无人机按照规定要求飞行。SDK 至少应满足以下要求:

- a) 可认证外部开发人员身份:
  - 1) 可离线身份验证与管理;
  - 2) 可进行权限管理。
- b) 可防止位置信息、最大飞行高度参数、限飞区域等安全功能相关的数据被篡改。
- c) 可防止地理围栏、飞行监管、飞行高度限制等安全功能被关闭。
- d) 可推送认证数据,能防止读写超出权限的数据。
- e) 可实时监控异常,并进行相应保护。

#### 4.5 环境适应性

##### 4.5.1 高温贮存

在 70 °C 环境下贮存 24 h,恢复到适用的工作环境条件后,功能应正常。

##### 4.5.2 高温工作

在设备制造商规定的最高工作温度( $T_{\max}$ )下连续工作 24 h,功能应正常。

##### 4.5.3 低温贮存

在 -30 °C 环境下贮存 24 h,并恢复到适用的工作环境条件后,功能应正常。

##### 4.5.4 低温工作

在设备制造商规定的最低工作温度( $T_{\min}$ )下连续工作 24 h,功能应正常。

##### 4.5.5 温度变化

温度变化在  $T_{\max}$  与  $T_{\min}$  之间,设备连续工作 2 h(温升速率 3 °C/min,降温速率 1 °C/min),循环 3 次,功能应正常。

##### 4.5.6 温度冲击

在 -30 °C ~ 70 °C 环境下贮存,温度转换时间不大于 5 min,每个温度点保持 60 min,循环 5 次,功能应正常。

##### 4.5.7 湿热

按照 GB/T 38924.7 进行试验,功能应正常。

##### 4.5.8 振动

按照 GB/T 38924.6 进行试验,功能应正常。

##### 4.5.9 冲击

按照 GB/T 38924.5 进行试验,功能应正常。

#### 4.5.10 防护等级

防护等级应符合 GB/T 4208—2017 中 IP5X 要求。

#### 4.6 电磁兼容性

飞行控制与导航系统的电磁兼容需考虑与无人机系统的匹配与兼容,应满足:

- a) 辐射骚扰应符合 GB/T 9254—2008 中 A 级要求;
- b) 静电放电抗扰度应符合 GB/T 17618—2015;
- c) 射频电磁场辐射抗扰度应符合 GB/T 17618—2015。

#### 4.7 可靠性

系统可靠性设计一般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,宜包括:

- a) 考虑相应可靠性指标,包括使用寿命、平均故障间隔时间等;
- b) 对设计进行故障模式、影响及危害性分析,对关键元器件或电路进行容差分析;
- c) 根据重量、体积、经济性、基本可靠性与任务可靠性等进行权衡分析。

#### 4.8 互换性

飞行控制与导航系统中相同的组件应符合互换性要求,同一型号(或代号)的组件应具有互换性。

#### 4.9 使用与维护

##### 4.9.1 固件版本管理与升级

###### 4.9.1.1 版本管理

飞行控制与导航系统的固件版本管理与升级,应满足以下要求:

- a) 对于每一个独立的固件,应具有唯一的版本编号;
- b) 固件命名方法应合理,不同固件之间的名称应不易产生混淆;
- c) 固件升级或发生变更后,版本编号应随之变化;
- d) 具有固件版本检查和匹配性校验功能。

###### 4.9.1.2 固件升级

为了保证固件升级的完整性和正确性,应具有以下功能:

- a) 可检查校验固件数据、升级过程的完整性与正确性;
- b) 固件升级异常中断后可继续升级和断点续传;
- c) 可防止在固件下载中、下载后和升级过程中,对固件内的数据进行篡改;
- d) 可指示升级进度和告警异常。

##### 4.9.2 用户调试与安装支持

为了满足不同用户群体和各种情况下的系统调试和安装需求,飞行控制与导航系统宜支持调试以下参数或功能:

- a) 水平控制、垂直控制与航向控制的操纵灵敏度;
- b) 失联、能源不足等紧急情况保护功能;
- c) 自动返航功能;

- d) 飞行高度与飞行距离限制；
- e) SDK 相关参数(必要时)；
- f) 机身构型(必要时)；
- g) 设置全球导航卫星接收机、IMU、磁传感器等安装位置和方向(必要时)；
- h) 数据链、电调、电池等外部设备适配性参数(必要时)；
- i) 无人机重量(必要时)。

#### 4.9.3 制造商应提供的信息

飞行控制与导航系统的制造商应向用户提供纸质或电子版资料,在发布前需经过充分的验证并满足用户使用要求。应至少包括以下信息:

- a) 物品清单；
- b) 免责声明；
- c) 系统组成；
- d) 系统功能与性能；
- e) 控制与操作指南；
- f) 飞行限制；
- g) 所支持外部设备及使用说明；
- h) 飞行前检查；
- i) 产品存储、运输与维护要求；
- j) 使用环境要求；
- k) 变更说明；
- l) 其他用户须知悉的信息。

### 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与导航系统能否满足产品规范的全部要求所进行的试验。

型式试验一般在产品设计定型、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

型式试验项目包括:

- a) 飞行控制与导航系统功能测试；
- b) 传感器测试；
- c) 地面控制单元联调测试；
- d) 数据记录测试；
- e) 环境适应性测试及电磁兼容性测试；
- f) 起飞、降落、悬停、航行等飞行测试；
- g) 外观检查；
- h) 其他。

5.1.3 合格判据

型式试验合格判据包括：

- a) 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与导航系统出厂之前为保证出货产品满足用户品质要求所进行的检验。出厂检验可采用抽样检验的方式。

5.2.2 检验项目

出厂检验项目包括：

- a) 传感器测试；
- b) 起飞、降落、悬停、航行等飞行测试；
- c) 外观检查等包装前质量检查。



5.2.3 合格判据

出厂检验合格判据包括：

- a) 满足全部要求时,判定该产品出厂检验合格。
- b) 若其中任一试验项目不符合要求,则应暂停成品的试验与交付,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。加倍检验若仍不合格,判定为不合格。

6 标识、包装、运输和贮存

6.1 总则

飞行控制与导航系统的类型分为：

- a) 单独销售的飞行控制与导航系统；
- b) 集成到无人机上且与无人机一同销售的飞行控制与导航系统。

对于 a)类产品,应满足本章节中规定的标识、包装、运输和贮存要求；对于 b)类产品,应随无人机一起满足相关的要求。

6.2 标识

标识应清晰易读。独立销售的飞行控制与导航系统应标明：

- a) 产品名称、型号；
- b) 适用电压；
- c) 接口标识；
- d) 产品序列号；
- e) 制造商或商标；
- f) 其他必要的标识。

### 6.3 包装

产品应与包装标识一致,产品包装应满足如下要求:

- a) 包装标识满足 GB/T 191 中的相关规定,在规定的流通条件与流通过程中和在规定的贮存条件与贮存期内,不因运输和自然条件的影响而褪色或脱落;
- b) 减少包装材料用量和降低包装成本,有效地利用资源,减少包装废弃物,降低对环境的影响;
- c) 清洁、干燥、无有害气体;
- d) 在正常的流通过程中,可抵御规定环境条件的影响而不发生破损或损坏;
- e) 根据产品的特性及搬运、装卸、运输、仓储等流通条件,可防震、防雨、防潮、防霉、或防尘;
- f) 内装必备的随机文件,这些随机文件应至少包括合格证、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,在随机文件中应清晰说明所须知的电子文件信息和正式的获取途径。

### 6.4 运输

在公路、铁路、水路和空运等规定的运输条件下,应不会造成产品故障和包装严重破损。

### 6.5 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。环境温度应满足 0℃~35℃,相对湿度不大于 70%。安放位置应离开地面不低于 12 cm,离墙距离不小于 40 cm。

