

团体标准

T/AOPA 0065—2024

中型无人驾驶航空器降落伞系统通用规范

Standard specifications for medium unmanned aircraft parachutes

2024-07-18 发布

2024-07-18 实施

中国航空器拥有者及驾驶员协会 发布

目 次

前言 II

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

4 降落伞系统组成 2

5 技术要求 3

 5.1 一般技术要求 3

 5.2 系统性能要求 3

 5.3 强度要求 4

 5.4 各分系统设计要求 4

 5.5 环境适应性要求 5

 5.6 尺寸和外观质量 5

 5.7 安装设计要求 5

 5.8 检查及维护 6

 5.9 产品标识要求 6

6 试验方法 7

 6.1 试验条件 7

 6.2 外观和尺寸检查 7

 6.3 ECU 功能试验 7

 6.4 试验数据采集要求 7

 6.5 降落伞系统试验 8

 6.6 环境适应性试验 8

 6.7 地面静态射伞试验 9

 6.8 可靠性测试 9

 6.9 多旋翼无人驾驶航空器试验方法 10

 6.10 单旋翼无人驾驶航空器试验方法 10

 6.11 复合翼无人驾驶航空器试验方法 10

 6.12 固定翼无人驾驶航空器试验方法 11

7 检验规则 11

 7.1 组批 11

 7.2 检验分类 11

 7.3 出厂检验 11

 7.4 型式检验 12

8 标志、包装、运输和贮存 13

 8.1 标志 13

 8.2 包装、运输和贮存 14

附录 A（规范性） 无人驾驶航空器试验标准及方法汇总表 15

参考文献 16

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。

本文件由中国航空器拥有者及驾驶员协会（中国AOPA）提出并归口。

本文件指导单位：广州航空器审定分中心、中国民航科学技术研究院。

本文件起草单位：深圳市天鹰装备科技有限公司、常州市小域智能科技有限公司、中国民航大学、西北工业大学、中航通飞研究院有限公司、珠海通飞未来飞行器有限公司、广东汇天航空航天科技有限公司、中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所、中国特种飞行器研究所、北京航空航天大学、中国民用航空飞行学院、中国人民解放军空军航空大学、中航（成都）无人机系统有限公司、四川腾盾科技有限公司、上海飞机设计研究院、新兴际华智能装备技术研究院、航天时代飞鹏有限公司、湖南翔东龙飞机有限公司、一飞智控（天津）科技有限公司、上海峰飞航空科技有限公司、零重力飞机工业（合肥）有限公司、航宇救生装备有限公司、丰翼科技（深圳）有限公司、广州民航职业技术学院、四川航天中天动力装备有限责任公司、杭州迅蚁网络科技有限公司、拓攻（南京）机器人有限公司、广州亿航智能技术有限公司、广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院、御风未来飞行科技、深圳美团低空物流科技有限公司、珠海紫燕无人飞行器有限公司、成都博翼兴航科技有限公司、成都市无人机产业协会、全球无人机协会、西安融军通用标准化研究院有限责任公司、杭州智元研究院、青岛海检集团有限公司、海检集团（深圳）深圳电气科学研究院、清华大学车辆学院、湘潭大学机械工程与力学学院、北京理工大学珠海学院、广电计量集团、温州市航洋航空装备研究院、台州学院、深圳职业技术大学未来技术学院、深圳市大漠大智控技术有限公司、江苏科比特科技有限公司、吉客地空（上海）物流科技有限公司、百纳智航（深圳）科技有限公司、氢鹏科技（浙江）有限公司、深圳市科卫泰实业发展有限公司、深圳市翼飞鸿天无人机科技有限公司、国网电力科学研究院、威海飞腾航空科技有限公司、安阳迈杰航空科技有限公司、海南卓凡航空俱乐部有限公司、北京奔熠科技有限公司、西安从吾电子科技有限公司、中国太平洋财产保险股份有限公司、深圳市道通智能航空技术股份有限公司、智控动力（北京）科技有限公司、天津斑斓航空科技有限公司、青岛新动航空科技发展有限公司、广西优可福航空科技有限公司、河南三和航空工业有限公司、微至航空科技（深圳）有限公司、西安羚控电子科技有限公司、深圳市翼享飞通航科技有限公司、天津全华时代航天科技发展有限公司、成都时代星光科技有限公司、重庆驼航科技有限公司、天津华鼎科技有限公司、深圳达德航空科技、厦门无人机协会、广东容祺智能科技有限公司、大道科技（广州）有限公司、大远创新（深圳）未来科技有限公司、重庆中岳航空航天装备智能制造有限公司、深圳大学物理与光电学院、浙江飞航智能科技有限公司、河南坤宇无人机科技有限公司、昆明理工大学、青岛航鹏无人机科技有限公司、河北天遥航空设备科技有限公司、深圳天鹰兄弟无人机科技创新有限公司、深圳市九天创新科技有限责任公司、哈瓦国际航空技术（深圳）有限公司、长沙华羽先翔航空科技有限公司、追梦空天科技（苏州）有限公司、斯塔娜航空科技有限公司、成都亦航创新科技有限公司、广东梵亚科技有限公司、汕头世翼无人机有限公司、深圳市联合救援技术咨询有限公司、嘉兴中创航空技术有限公司、浙江威航智能科技有限公司、浙江省通用航空产业协会、东莞市纳米诺复合材料有限公司、南京赫鸿羲科技有限公司、漯河翰飞智能科技有限责任公司等。

本文件主要起草人：钟日铭、谢启浩、徐晓辉、刘国庆、郝志鹏、付金华、田毅、赵志斌、钟诚文、陈丰华、刘雅琴、柳永波、吴飒、周超、蒋鹏程、于莹潇、彭建、曾东、梁磊、尤向荣、聂永斌、杨寅、赵士磊、王宸、朱清华、张鑫华、洪为伟、邓红华、黄超、陈清海、王飞、贾宗林、董元杰、刘星宇、贾佳、梅繁文、宋浪、孙静、吴泽霖、阳建新、李成、李传增、田丰毅、张新钰、

周旋、张纯良、刘家兴、朱立涵、李勋、张冬军、邓涛、黄龙瑞、方扬、董奕呈、张先平、姜敏、李植环、张淑珍、梁曼舒、王海亮、陶亮、陈仙、陈伟、沈晓媛、战争东、张炳雄、张海涛、杨守利、王宝广、廖旭华、杨子丰、田宇、吕昌、钟远飞、刘京尚、张万宁、王强、白长春、代明明、肖波、徐武、詹光勇、吴义元、张帅、丁柱、孙沛一、周国强、郭建波、于雷、张骞、禹钧锋、冉廷廷、李志钊、薛磊、李韶飞、郑伟、夏中锐、杨浩、林创安、温豆、张康平、赵立兵、刘刚、唐善学、李军华、谷玉晓、程伟。

引 言

为了规范和促进无人驾驶航空器及相关配套产业的发展，有必要形成一套比较完善的、高质量的国家标准、行业标准、团体标准和企业标准体系。

无人驾驶航空器的安全问题需要重视，如果遇到突发故障发生坠机，无人驾驶航空器应能够减少冲击动能，使地面上的操作人员和其他人员能够及时做出避险反应和应对反应，尽可能地降低无人驾驶航空器的受损程度以及对地面人员、物体造成的危害程度。给无人驾驶航空器加装降落伞是目前可让坠落的无人驾驶航空器减速最容易实现的方式之一。无人驾驶航空器按照性能指标分为微型、轻型、小型、中型和大型。不同类型的无人驾驶航空器，由于起飞重量和构型不同，配置的降落伞可能会有较大差异。

本文件对中型无人驾驶航空器降落伞系统制定了基本的通用规范，在制定过程中进行了广泛的调研，结合了无人驾驶航空器降落伞行业的技术特点、未来技术方向，参考了国内外相关的标准、适航要求等文件内容。本文件的内容主要涉及中型无人驾驶航空器降落伞系统的一般技术要求、系统性能要求、强度要求、各分系统设计要求、环境适应性要求、尺寸和外观质量、安装设计要求、检查维护、产品标识要求和其他要求，还涉及试验标准及方法等相关内容。

当前中型无人驾驶航空器降落伞的研究属于一个较新的领域，在世界范围内还处于持续的探索阶段，有待今后进一步深入和细化。随着研究的深入和细化，本文件的相关内容将会得到进一步补充和完善。

中型无人驾驶航空器降落伞系统通用规范

1 范围

本文件规定了中型无人驾驶航空器降落伞系统的设计、生产制造和安装的最低要求，描述了相应的试验方法。

本文件适用于中型无人驾驶航空器降落伞系统的研制、生产、交付和安装等。

注：在不引起混淆的情况下，本文件中的“中型无人驾驶航空器降落伞系统”简称为“降落伞系统”。

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，凡是注日期的引用文件，仅该日期对应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 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接受质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语

HB 6449 降落伞制造通用技术条件

HB 6634 降落伞专业术语

RTCA/DO-160G 机载设备环境条件和试验程序（Environment Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment）

3 术语、定义和缩略语

GB/T 38152、HB 6634 界定的及以下术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 38152 中的某些术语和定义。

3.1 术语

3.1.1

中型无人驾驶航空器 medium unmanned aircraft

空机重量大于 15 千克，最大起飞重量大于 25 千克且不超过 150 千克的无人驾驶航空器。

3.1.2

固定翼无人驾驶航空器 fixed-wing unmanned aircraft

由动力装置产生前进的推力或拉力，由机翼产生升力，在大气层内飞行的重于空气的无人驾驶航空器。

注：固定翼无人驾驶航空器（3.1.2）飞行中的升力主要由作用于机身的机翼翼面上的空气动力的反作用力获得，此翼面在给定飞行条件下固定不变。

[来源：GB/T 38152—2019，2.1.9]

3.1.3

旋翼无人驾驶航空器 unmanned rotorcraft

由动力驱动，飞行时凭借一个或多个旋翼提供升力和操纵的，能够垂直起降、自由悬停的重于空气的无人驾驶航空器。

[来源: GB/T 38152—2019, 2.1.10]

3.1.4

多旋翼无人驾驶航空器 multi-axis unmanned aircraft

一种由动力驱动,飞行时凭借三个及以上旋翼依靠空气的反作用力获得支撑,能够垂直起降、自由悬停的无人驾驶航空器。

[来源: GB/T 38152—2019, 2.1.16]

3.1.5

复合翼无人驾驶航空器 compound unmanned rotorcraft

具有固定机翼和推进装置的旋翼无人驾驶航空器(3.1.3),它的垂直起飞、降落和悬停由旋翼提供升力,前飞时所需前进力主要由推进装置提供,所需升力由机翼提供。

[来源: GB/T 38152—2019, 2.1.11]

3.1.6

开伞损失高度 altitude loss during deployment

从启动开伞至降落伞第一次完全展开,无人驾驶航空器下降的高度。

[来源: HB 6634—1992, 3.4.132, 有改动]

3.1.7

最低开伞高度 minimum deploying altitude

保证无人驾驶航空器以预定速度着陆所需要的开伞的最低安全高度。

3.1.8

最大开伞速度 maximum deployment speed

根据强度、过载及寿命等要求并结合航空器制造商其他规定所确定的可打开降落伞的最大飞行速度。

3.1.9

稳降速度 steady-state descent rate

降落伞系统在稳定状态下的运动速度。

3.1.10

电子控制单元 electronic control unit

由相关微控制器、存储器等集成电路组成,可以具有自主开伞功能,或者可以与无人驾驶航空器飞控系统进行通讯连接,接受来自飞控系统的指令,以及具有一些智能化控制等功能的单元。

3.1.11

降落伞手册 parachute manual

降落伞制造商向无人驾驶航空器的制造商或拥有者提供的必要说明材料,内容包括检查、维护的说明和程序,以及与操作或环境限制有关的内容等。

4 降落伞系统组成

降落伞系统主要由降落伞组件、吊带系统、弹射系统和激活系统等组成。

- a) 降落伞组件主要由引导装置(通常为引导伞)、主伞、伞绳、收口装置、组提带和伞衣套(伞包)等组成。
- b) 吊带系统主要由若干吊挂带、连接件、落地分离组件等组成,用于连接降落伞和无人驾驶航空器,其中落地分离组件便于无人驾驶航空器开伞落地后降落伞和无人驾驶航空器分离。
- c) 弹射系统主要由射伞装置和伞舱等组成。
- d) 激活系统主要由ECU和飞控系统等其中一种或多种来组成。

5 技术要求

5.1 一般技术要求

- 5.1.1 使用本文件的降落伞系统应能减少无人驾驶航空器坠落的冲击动能,以及降低地面人员的风险。
- 5.1.2 降落伞系统在无人驾驶航空器正常运行期间不应因无人驾驶航空器的性能产生不利影响。
- 5.1.3 降落伞组件、降落伞吊挂带、降落伞机身连接结构和所有相关部件应在降落伞的整个开伞过程和下降过程中能承受设计极限载荷条件。
- 5.1.4 降落伞系统的所有部件均应有保护,以防止由于正常运行、风化、腐蚀、磨损、温度、振动和老化而导致在使用寿命期内的性能或强度的下降。
- 5.1.5 应制定措施防止伞舱和相关结构受到污染,以确保降落伞系统处于完好状态。
- 5.1.6 用于安装降落伞系统的紧固件不应因无人驾驶航空器正常运行而松动或脱落。
- 5.1.7 在降落伞开伞期间,降落伞系统的构造应能防止无人驾驶航空器可能产生的碎片对降落伞的影响。
- 5.1.8 制造商应在 PM 中明确降落伞系统的使用寿命和可使用的次数。每次使用后,应对该降落伞系统进行重新评估,确定使用寿命,在重新部署降落伞时应在 PM 中记录该降落伞系统的使用情况,以及更新降落伞系统的剩余开伞次数。
- 5.1.9 制造商应对降落伞系统进行溯源登记,应保存的关键信息包括但不限于生产日期、产品修订和任何质量保证(QA)检测信息,做到有据可查。
- 5.1.10 降落伞/无人驾驶航空器制造商应协商在 PM/FM 中规定降落伞系统在飞行前和飞行后的检查程序。

5.2 系统性能要求

5.2.1 稳降速度

在海拔 1500 m 密度高度和标准温度条件下,以及风速不大于 5.4 m/s (3 级风等级)时,主伞稳降速度应不大于 5.5 m/s 或满足专用规范的要求。

修正公式为:

$$V_b = V_c \times \sqrt{\frac{\rho_c \times m_b}{\rho_b \times m_c}}$$

式中:

- V_b — 标准垂直稳降速度,单位为米每秒 (m/s);
- V_c — 实测垂直稳降速度,单位为米每秒 (m/s);
- ρ_c — 试验现场实测空气密度,单位为千克每立方米 (kg/m³);
- ρ_b — 海拔 1500 m 对应的标准大气密度,单位为千克每立方米 (kg/m³);
- m_b — 标准重量,单位为千克 (kg);
- m_c — 实测重量,单位为千克 (kg)。

应记录所有试验的下降速度数据,下降速度数据应根据使用平台重量变化进行修正,以确定无人驾驶航空器总重量对应的下降速度,下降速度应修正为海拔 1500 m 密度高度和标准温度条件下的垂直下降速度。

5.2.2 最低开伞高度

降落伞系统的最低开伞高度规定为开伞损失高度加上至少 2 秒的稳定下降的高度,其中开伞损失高度应为 6.5 规定的降落伞系统试验中至少 3 次成功的投放试验所记录的该项最大值。

若无人驾驶航空器制造商已设定最低开伞高度且设定的该高度大于等于上述记录中的最大值,则可接受无人驾驶航空器制造商设定值作为降落伞系统的最低开伞高度。

5.2.3 稳定性

降落伞系统完全展开后应工作稳定,达到稳定状态后,物伞整体摆动角一般不能超过 $\pm 20^\circ$ 。

5.3 强度要求

5.3.1 降落伞的强度设计应根据限制荷载(在使用中预期的最大开伞荷载)和极限荷载(即极限开伞荷载,限制荷载乘以规定的安全荷载系数)来规定。

a) 除非另有规定,否则规定的结构设计荷载为极限荷载。

b) 除非另有规定,极限荷载系数应符合1.5的安全系数。

5.3.2 应通过降落伞极限荷载试验或专用规范的试验方法来验证降落伞的强度。

5.3.3 用于降落伞极限荷载试验的仪器设备应经过标准鉴定机构校准且在有效期内。

5.4 各分系统设计要求

5.4.1 降落伞组件

5.4.1.1 主伞的伞衣、伞绳应以极限荷载为强度设计依据。降落伞组件应能承受极限荷载,不会出现妨碍降落伞系统正常工作的变形或损坏。

5.4.1.2 降落伞应能在规定的重量和高度下保持下降速度不高于其设计下降速度。

5.4.1.3 降落伞组件的设计应保证有序开伞,减少相互缠绕或类似故障。

5.4.2 吊带系统

5.4.2.1 吊带系统用于连接降落伞组件和无人驾驶航空器,长度应根据无人驾驶航空器的结构等要求确定。

5.4.2.2 吊带系统的安全布设不应妨碍正常飞行操作,吊带系统的提取力应不超过无人驾驶航空器本身的重力。

5.4.2.3 吊带系统的设计应尽可能减少与发动机或螺旋桨发生碰撞的可能。如果通过安装设计或操作说明(例如关闭发动机)仍无法避免与发动机或螺旋桨发生碰撞,吊带系统应采用由合理可承受碰撞的材料制造。

5.4.2.4 机身连接点和吊带系统应能承受降落伞极限荷载,不应发生妨碍降落伞系统正常工作的变形或损坏。吊带系统和连接点的配置应能使无人驾驶航空器处于预定的下降和着陆姿态。

5.4.2.5 存在着陆后降落伞系统掀翻航空器的风险时,可在吊带系统中增设落地分离组件(即脱离装置)。

5.4.3 弹射系统

5.4.3.1 在任何情况下,降落伞弹射系统与无人驾驶航空器的连接强度应能承受弹射时带来的后坐力。

5.4.3.2 弹射系统应无障碍地将降落伞组件弹射至伞绳完全伸展。

5.4.3.3 弹射系统的安装设计和位置应考虑激活降落伞系统有关的起火危险,并在不影响系统功能的情况下降低这种起火危险的可能性。

5.4.3.4 在降落伞寿命周期内,弹射系统应具有工作可靠性。

5.4.3.5 伞舱用于盛放降落伞组件,应使包装在伞舱内的降落伞在开伞时易于被移出。伞舱内壁和舱口边缘应光滑,不应有毛刺和锐边,降落伞经过的通道不应有突起物和障碍物,以免钩挂、刮伤织物,影响开伞。

5.4.3.6 伞舱应适当密封,保持降落伞干燥,应有防水等措施。

5.4.3.7 伞舱各部分的温度在电机/发动机热影响和飞行条件下都不应超过降落伞所用纺织材料限制的温度。

5.4.3.8 伞舱盖用于保护降落伞系统，弹射时可顺利移除，在正常使用过程中不应脱落。

5.4.4 激活系统

5.4.4.1 ECU 通用设计要求

5.4.4.1.1 除非另有使用场景需求，否则 ECU 应具有至少一套独立于无人驾驶航空器供电系统的冗余备份电源，如电池或电容器，确保在无人驾驶航空器故障条件下为降落伞弹射系统供电。所述的独立电源可以从无人驾驶航空器获取电量。

5.4.4.1.2 在无人驾驶航空器正常飞行期间，ECU 不应干扰无人驾驶航空器操作与运行，当无人驾驶航空器无法维持正常稳定的安全飞行时，无人驾驶航空器在所有其他应急程序无法保证安全降落时，ECU 应起到触发弹射降落伞组件的作用。

5.4.4.1.3 若开伞，应当提供记录开伞有关信息（如开伞时间等）的功能。

5.4.4.2 基本功能要求

ECU 应具有以下基本功能。

- a) 自检功能：设备可运行自检程序，对系统状态进行检测。
- b) 锁定模式：在该模式下，ECU 处于锁定状态，不会触发开伞。
- c) 解锁模式：在该模式下，ECU 处于解锁状态，ECU 可以触发开伞程序。

5.5 环境适应性要求

5.5.1 降落伞系统应至少在 -20°C 至 60°C 的温度区间下能正常运行，或者满足专用规范的规定要求。

5.5.2 根据无人驾驶航空器所要求的类别，对于温度变化、湿热、工作冲击、振动、磁影响、电压尖峰、音频传导敏感度、感应信号敏感度、射频敏感度（辐射和传导）、射频能量发射、静电放电（ESD）、闪电防护等其他要求，按照RTCA/DO-160G相应类别和等级进行试验，试验后，降落伞系统应能正常工作。

5.6 尺寸和外观质量

5.6.1 尺寸

零部件的尺寸、公差及装配应符合图样及相关详细规范的规定。

5.6.2 外观质量

5.6.2.1 金属件应无污点、毛刺和锐边，表面粗糙度、圆角半径及零部件标志等应符合相关详细规范的规定；焊接、涂漆、布线和铆接以及零件装配等应符合图样和相关详细规范的规定。

5.6.2.2 缝纫件的缝纫外观质量应与标准样件一致，且符合 HB6449 或专用规范的规定，标志应完整、清晰。

5.6.2.3 塑胶件或采用其他复合材料的部件，应满足其设计要求或相关详细规范规定的外观质量。

5.7 安装设计要求

5.7.1 应编制无人驾驶航空器降落伞手册（PM），确保将降落伞系统正确地安装到无人驾驶航空器上。

5.7.2 降落伞制造商和无人驾驶航空器设计方必须充分协调，以便编制出正确的 PM。对于影响降落伞安装、性能或可操作性的设计或配置更改，需要根据本标准规范的要求进行重新评估。无人驾驶航空器

设计方和降落伞制造商应在实施前协调好这些预期的变化，并应将这些更改编写到经批准的飞行手册（FM）或 PM 等文件中。

5.7.3 无人驾驶航空器上的降落伞系统通常是预先包装的，降落伞系统预先包装由制造商、集成商或授权和批准的第三方实施；应在 PM 文件中详细说明降落伞系统的包装权限。

5.8 检查及维护

5.8.1 按 5.7.1 编制的 PM 对降落伞系统进行维护和持续运行的安全检查。

5.8.2 PM 文件应说明系统相关组件的维护周期，包括但不限于：

- 降落伞检查、重新包装和更换间隔；
- 弹射系统检查及更换；
- 外场维护检查；
- 其他维护说明。

5.8.3 如果降落伞系统不再符合 PM 文件的要求，则维护说明应要求将降落伞系统标记为“不可用”或“失效”。

5.9 产品标识要求

5.9.1 对于降落伞系统的关键部件，应标记以下信息：

- 制造商信息（制造人的名称、商标或代号等）；
- 组件名称、型号、件号或者型别代号；
- 序列号或者生产日期；
- 保养间隔日期；
- 标牌或标记。

5.9.2 制造商应在降落伞伞舱外部提供清晰可见的标识，以便为使用人员或其他人员提供视觉警告。

5.9.3 标识主要包括危险标识和其他警告标识，它们分别针对不同的安装位置，宜遵循以下的尺寸要求和着色方法。

- a) 危险标识：危险标识应为红框白字或红框黄字（或相反）并带有描述性图形元素，主体为一个带有“危险”字样的三角形标识，在该危险标识的外围添加一个圆环用作危险说明框，在该说明框内应提供危险警示语。危险标识应放置在降落伞发射出口点附近，例如伞舱顶部。推荐的危险标识示意图见图1。



图 1 危险标识示意图

- b) 警告标识：如有需要，可在无人驾驶航空器的机身或伞舱侧面容易让有关人员看到的地方贴上一个最小边长为3 cm的三角形标识（推荐的警告标识示意图见图2）。警告标识应喷涂为红色边框白色中心或黑色边框黄色中心，“危险”警示语采用白色或黄色反光字体，并带有描述性的图形元素。在警告标识旁边应印有一个说明框，用于列出警告文字信息。



图 2 警告标牌示意图

5.9.4 按照本规范的规定在机身的合适位置粘贴标识。

5.9.5 外部标识应使用反光性背景的材料印刷，提升在弱光或模糊条件下的能见度。

6 试验方法

6.1 试验条件

若无特殊规定，本标准要求的试验应在以下大气条件下进行：

- 环境温度：0 °C ~ +35 °C；
- 相对湿度：不大于 85%；
- 大气压力：84 kPa ~ 107 kPa；

当在不同于上述环境条件下进行试验时，应记录实际试验条件并证明其合理性。

6.2 外观和尺寸检查

使用相应的测量工具（如量尺、游标卡尺等）测量产品结构及外形尺寸是否满足 5.6.1 的要求。目视产品外观质量、缝纫品质是否满足 5.6.2 的要求。

6.3 ECU 功能试验

对于配置有 ECU 的降落伞系统，应按有关技术规范上电进行功能试验，应满足 5.4.4 的要求。

6.4 试验数据采集要求

在进行每一次降落伞系统的空投试验时，应采集如下试验数据或按照专用规范的要求采集数据。

- a) 重量数据。应记录为航空器重量与降落伞系统总量之和，重量公差应在±1%以内或满足专用规范的要求。
- b) 高度数据。应记录为降落伞系统从开伞到落地期间的高度变化。
- c) 下降速度数据。应记录为降落伞系统从开伞到落地期间的下降速度随时间的变化。
- d) 最大开伞载荷。应记录为在降落伞展开充气过程所有开伞载荷的最大值。

- e) 开伞高度损失。应记录为从启动开伞至降落伞第一次完全展开时无人驾驶航空器或模拟试验平台下降的高度。
- f) 稳定性：应记录试验过程与稳定性相关的参数及试验现象。

6.5 降落伞系统试验

6.5.1 总则

降落伞组件应在极限载荷条件下进行至少三次成功的投放试验，验证降落伞的强度，应满足 5.2、5.3 的要求。每次试验应包括下列操作：

- 每次试验可使用新的降落伞组件；
- 试验重量应包含降落伞组件重量；
- 应按 6.4 的要求为每次试验采集相应的数据。

6.5.2 投放试验成功的判据

一次成功的投放试验的判据如下：

- a) 降落伞系统应能够支撑投放试验期间所演示的极限载荷，应满足 5.4.1.1 的要求；
- b) 应满足 5.3.1 和 5.4.1.2 的要求。

6.5.3 降落伞强度试验方法

投放试验平台不必是实际的机身。下列试验参数应用于降落伞强度验证的投放试验，通过降落伞强度试验可获得基于动能函数的最小极限载荷安全系数 1.5：

最小试验重量 = $1.15 \times$ 无人驾驶航空器最大起飞重量

最小试验速度 = $1.15 \times$ 无人驾驶航空器最大预定降落伞开伞速度 (V_{pd})

安全系数 = (重量安全系数) $\times$ (速度安全系数)² = $(1.15) \times (1.15)^2 = 1.52$ (满足最小 1.5 的安全系数)

*注：如果证明最小动能安全系数为 1.5，则可以选择其他重量和速度的安全系数组合。

6.5.4 降落伞极限载荷测量

投放试验时，使用多轴加速度传感器等设备进行测算，在至少三次试验中测算得到的降落伞最大开伞载荷作为降落伞极限载荷，将用于机身、连接吊带和紧固件的结构试验和分析。

6.5.5 下降速度测量

投放试验时，使用光学测量、卫星定位、气压测量等专用设备对下降速度进行测定，下降速度数据应根据试验平台重量变化进行修正，确定无人驾驶航空器总重量对应的下降速度。下降速度数据应修正为 1500m 密度高度和标准温度条件下的数据，修正公式应按 5.2.1 执行。

6.5.6 最低开伞高度测算

投放试验时，使用光学测量、卫星定位、气压测量等专用设备或按专用规范的方法测定不同时刻的高度数据，还应使用高速录像等设备记录开伞过程，测算出开伞高度损失数据，然后按 5.2.2 测算出最低开伞高度。

6.5.7 稳定性测量

投放试验时，使用陀螺系统/三向传感器等专用仪器进行测定，或者按专用规范的规定执行。

6.6 环境适应性试验

本试验旨在验证降落伞系统满足 5.5 的要求,通过试验或分析证明,降落伞系统满足其性能标准要求,宜根据中型无人驾驶航空器的风险等级或使用场景等有针对性地进行以下一项或多项环境适应性试验。

试验 1: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别航空器的低温工作试验。

试验 2: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别航空器的高温工作试验。

试验 3: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别航空器的湿热工作试验。

试验 4: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别航空器的冲击工作试验。

试验 5: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别航空器的振动工作试验。

试验 6: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别航空器的磁影响工作试验。

试验 7: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别的电压尖峰试验。

试验 8: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别的音频传导敏感度试验。

试验 9: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别的感应信号敏感度试验。

试验 10: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别的射频敏感度(辐射和传导)试验。

试验 11: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别的射频能量发射试验。

试验 12: 进行 ECU 静态精度测量,以确定传感器的静态精度,包括线性度、迟滞、重复性、分辨率等指标。

试验 13: 进行 ECU 动态精度测量,以确定传感器的动态精度,包括频率响应、动态范围、瞬态响应等指标。

试验 14: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别的静电试验。

试验 15: 依据 RTCA/D0-160G 标准或专用规范进行相应类别的雷电感应瞬态敏感度试验和雷电直接效应试验。

6.7 地面静态射伞试验

本试验旨在验证降落伞系统满足 5.4.3.1、5.4.3.2 和 5.4.3.3 的要求。

注: 为了保证空中试验的开伞成功率,减少空中试验的次数,以及降低降落伞系统整体研发的试验成本,推荐进行本试验。

试验方法如下。

- a) 将无人驾驶航空器携带降落伞系统固定在水平地面,或者将降落伞系统安装在固定的等效试验平台上。
- b) 在无人驾驶航空器(或等效试验平台)与降落伞系统之间加装压力传感器。
- c) 开启降落伞系统,进行以下测量及验证。
 - 1) 验证降落伞系统应无障碍地将降落伞组件弹射至伞绳完全伸展。
 - 2) 测量及验证降落伞开伞后坐力,并将此后坐力作为航空器安装结构载荷的输入。
- d) 试验应至少进行3次。

6.8 可靠性测试

试验 1: 将降落伞在不低于+60℃的条件下预处理 16 小时,无人驾驶航空器在预设的最大开伞速度和最大起飞重量的情况下,降落伞系统应能正常开伞,满足 5.1.3、5.4.1.3、5.4.3.2 要求。此试验应至少进行 1 次。

试验 2: 将降落伞在不高于-20℃的条件下预处理 16 小时,无人驾驶航空器于预设的最大开伞速度和最大起飞重量的情况下,降落伞系统应能正常开伞,满足 5.1.3、5.4.1.3、5.4.3.2 要求。此试验应至少进行 1 次。

试验 3: 将降落伞在每个轴向进行不少于 1 小时的正弦振动预处理,其振动预处理依据 RTCA/D0-160G 或专用规范进行振动试验。无人驾驶航空器于预设的最大开伞速度和最大起飞重量的情况下,降落伞系

统应能正常开伞，满足 5.1.3、5.4.1.3、5.4.3.2 要求。此试验应至少进行 1 次。

可靠性测试的投放试验平台不必是实际的机身。

注 1：最大开伞速度由降落伞系统制造商和无人驾驶航空器制造商双方确定，大多数情况下最大开伞速度和无人驾驶航空器的最大飞行速度是一致的，但也有不一致的情况。

注 2：可以与其他试验一起进行。

6.9 多旋翼无人驾驶航空器试验方法

6.9.1 试验目的

该类试验旨在模拟多旋翼无人驾驶航空器（包括两旋翼）在常见的失效状态下，验证降落伞系统是否能正常开伞。若无人驾驶航空器制造商有规定其他飞行失效状态情况，则可根据其规定的情况进行试验。该类无人驾驶航空器失效试验方法旨在满足 5.1.2、5.1.6、5.1.7、5.4.3.1、5.4.3.2 和 5.4.3.8 的要求。

6.9.2 全动力失效试验

无人驾驶航空器以预设的最大开伞速度飞行，然后切断无人驾驶航空器所有动力电源，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大起飞重量下进行至少 3 次试验。

6.9.3 临界动力失效试验

无人驾驶航空器以预设的最大开伞速度飞行，然后切断无人驾驶航空器临界动力电源，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大起飞重量下进行至少 3 次试验。

可根据实际失效情况增加试验。

6.10 单旋翼无人驾驶航空器试验方法

6.10.1 试验目的

该类试验旨在模拟单旋翼无人驾驶航空器在常见的失效状态下，验证降落伞系统是否能正常开伞。若无人驾驶航空器制造商有规定其他飞行失效状态情况，则可根据其规定的情况进行试验。该类无人驾驶航空器的试验方法旨在满足 5.1.2、5.1.6、5.1.7、5.4.3.1、5.4.3.2 和 5.4.3.8 的要求。

6.10.2 动力失效试验

无人驾驶航空器以预设的最大开伞速度飞行，然后切断无人驾驶航空器所有动力电源，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大起飞重量下进行至少 3 次试验。

6.10.3 方向控制故障试验

无人驾驶航空器以预设的最大开伞速度飞行，然后模拟无人驾驶航空器已失去方向控制，并开始绕主旋翼轴线偏航，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大重量下进行至少 3 次试验。

该试验需工业方设计模拟无人驾驶航空器方向控制故障状态发生。

6.11 复合翼无人驾驶航空器试验方法

6.11.1 试验目的

该类试验旨在模拟复合翼无人驾驶航空器在常见的失效状态下，验证降落伞系统是否能正常开伞。若无人驾驶航空器制造商有规定其他飞行失效状态情况，则可根据其规定的情况进行试验。该类无人驾驶航空器的试验方法旨在 5.1.2、5.1.6、5.1.7、5.4.3.1、5.4.3.2 和 5.4.3.8 的要求。

6.11.2 全动力失效试验

无人驾驶航空器以预设的最大开伞速度飞行，然后切断无人驾驶航空器所有动力电源，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大起飞重量下进行至少 3 次试验。

6.11.3 临界动力失效试验

无人驾驶航空器在旋翼模式下以预设的最大开伞速度飞行，然后切断无人驾驶航空器临界动力电源，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大起飞重量下进行至少 3 次试验。

6.11.4 旋转故障试验

无人驾驶航空器在安全高度飞行的过程中，操作员通过操作诱导无人驾驶航空器进入失速状态，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大重量下进行至少 3 次试验。

6.12 固定翼无人驾驶航空器试验方法

6.12.1 试验目的

该类试验旨在模拟固定翼无人驾驶航空器在常见的失效状态下，验证降落伞系统是否能正常开伞。若无人驾驶航空器制造商有规定其他飞行失效状态情况，则可根据其规定的情况进行试验。该类无人驾驶航空器的试验方法旨在满足 5.1.2、5.1.6、5.1.7、5.4.3.1、5.4.3.2 和 5.4.3.8 的要求。

6.12.2 动力失效试验

无人驾驶航空器以预设的最大开伞速度飞行，然后切断无人驾驶航空器所有动力电源，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大起飞重量下进行至少 3 次试验。

6.12.3 旋转故障试验

无人驾驶航空器在安全高度飞行的过程中，操作员通过操作诱导无人驾驶航空器进入失速状态，打开降落伞系统。该试验应在无人驾驶航空器最大起飞重量下进行至少 3 次试验。

7 检验规则

7.1 组批

中型无人驾驶航空器降落伞系统产品以批为单位进行检验。同一批原料、同一工艺连续生产的同一规格产品为同一批产品。

7.2 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式试验。

7.3 出厂检验

7.3.1 产品应经生产质量检验部门按本标准检验合格后方能出厂，并附有检验合格证。

7.3.2 出厂检验项目应包括外观及尺寸、包装（要求见第 8 章），对于配有 ECU 的降落伞系统，出厂检验项目还应包括 ECU 的基本功能试验，见表 1。

表 1 出厂检验项目表

序号	出厂检验		
	检验项目	要求	检验方法
1	外观检验	5.6.2	6.2
2	尺寸检验	5.6.1	6.2
3	包装检验	5.7.3、8.2.1	目测
4	功能试验	5.4.4	6.3

7.3.3 出厂检验应进行全数检验，因批量大，进行全数检验有困难时可实行抽样检验，抽样检验方法按 GB/T 2828.1 计数抽样正常检验程序一次抽样方案的规定进行，检验水平为 II，合格质量水平（AQL）取 2.5，根据表 2 抽取样本。

表 2 抽样数量及判定组

批量范围	样本数	合格判定数（Ac）	不合格判定数（Re）
26~50	8	0	1
51~90	13	1	2
91~150	20	1	2
151~280	32	2	3
281~500	50	3	4
501~1 200	80	5	6
1 201~3 200	125	7	8
3 201~10 000	200	10	11
10 001~35 000	315	14	15
35 001~150 000	500	21	22
150 001~500 000	800	21	22
500 001 及以上	1250	21	22
26 件以下应全数检验			

样本中发现不合格数小于表 2 规定的合格判定数（Ac），则判定该批产品合格；若样本中发现的不合格数大于等于表 1 规定的不合格判定数（Re），可用备用样品或在原批次中加一倍抽样来进行复检，复检结果合格的，该批次判为合格，复检结果仍不合格的，该批次判为不合格。

7.4 型式检验

7.4.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品试制鉴定；
- 正式投产后，如产品结构、材料、生产工艺等有重大改变，可能影响到产品的性能；
- 产品停产 36 个月以上重新恢复生产时；
- 产品发生重大质量事故整改后；
- 国家质量监督机构依法提出型式检验要求或民航适航部门提出适航要求时。

7.4.2 依据产品型号要求或专用规范，型式检验项目包括本文件要求的部分或全部项目，见表 3。

表 3 型式检验项目表

序号	型式检验			
	检验项目	要求	试验方法	备注
1	外观检验	5.6.2	6.2	
2	尺寸检验	5.6.1	6.2	
3	包装检验	5.7.3、8.2.1	目测	
4	功能试验（ECU）	5.4.4	6.3	
5	降落伞系统试验	5.2、5.3	6.5	包含降落伞强度试验、极限载荷、下降速度测量、最低开伞高度测量在内
6	环境适应性	5.5	6.6	依据使用场景的风险评估选做相关的试验项目
7	地面静态射伞	5.4.3.1、5.4.3.2、5.4.3.3	6.7	
8	可靠性试验	5.1.3、5.4.1.3、5.4.3.2	6.8	可与其他试验一起进行
9	相关无人驾驶航空器试验方法	5.1.2、5.1.6、5.1.7、5.4.3.1、5.4.3.2、5.4.3.8	6.9 ~ 6.12	依据不同航空器选做，具体见附录 A 表 A.1
注：检验项目的试验条件应满足 6.1 要求				

7.4.4 型式检验应从出厂检验合格的产品中任意抽取，抽取数量应满足检测要求。如果没有特殊要求，试验样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取 2 件，1 件用于检验，1 件用于封存备用。

7.4.5 型式检验后如全部检验项目符合标准规定，则判本次型式检验合格。若有任何一项为不合格，允许加倍抽样复检，复检后，若全部符合本标准要求，则判定该次型式检验合格；否则，则判定该次型式检验不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 产品销售包装上应至少清晰标有以下内容：

- 商标、产品名称及型号；
- 规格参数；
- 产品执行标准号；
- 商品责任企业名称和地址；
- 产品合格标识。

8.1.2 外包装箱上的包装储运图示标志按 GB/T 191 的规定选择使用。

8.1.3 标志应清楚明显且牢固，不应因运输条件和自然条件而褪色、变色或脱落。

8.2 包装、运输和贮存

8.2.1 包装

包装技术要求由产品标准规定，随同产品包装应附的基础文件包括产品手册（产品使用说明书或类似文件）、产品合格证、装箱单、随机备附件清单和其他有关资料。如客户有特殊要求，按合同有关规定执行。

8.2.2 运输

预包装好的降落伞系统应按照相关规定进行安全运输。运输过程中应注意防潮、防震、防暴晒、防重压，应小心轻放，避免激烈碰撞和雨雪淋袭，不应与有毒及有腐蚀性物品混运。包装储运图示标志按 GB/T 191 的规定。

8.2.3 贮存

预包装好的降落伞系统应贮存在阴凉、通风、清洁、干燥的仓库内，不应与有毒及有腐蚀性物品混存。



附 录 A
(规范性)

无人驾驶航空器试验标准及方法汇总表

表 A.1 规定了常见的各种无人驾驶航空器的试验标准及方法。

表 A.1 常见的各种无人驾驶航空器的试验标准及方法

测试类型	多旋翼	单旋翼	复合翼	固定翼
全动力失效	6.9.2	6.10.2	6.11.2	6.12.2
	进行至少 3 次试验	进行至少 3 次试验	进行至少 3 次试验	进行至少 3 次试验
临界动力失效	6.9.3	不在应用范围	6.11.3	不在应用范围
	进行至少 3 次试验		进行至少 3 次试验	
方向控制故障	不在应用范围	6.10.3	不在应用范围	不在应用范围
		进行至少 3 次试验		
旋转故障	不在应用范围	不在应用范围	6.11.4	6.12.3
			进行至少 3 次试验	进行至少 3 次试验



参 考 文 献

- [1] GB/T 38152—2019 无人驾驶航空器系统术语
- [2] GB 42590—2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求
- [3] GJBz 20338—1996 投物伞空投系统通用规范
- [4] HB 6634—1992 降落伞专业术语
- [5] HB 6449—1990 降落伞制造通用技术条件
- [6] SC—23—14 AG100 型飞机伞降系统
- [7] ASTM F3322—22 Standard Specification for Small Unmanned Aircraft System (sUAS) Parachutes
- [8] ASTM F2316—12 (2022) Standard Specification for Airframe Emergency Parachutes
- [9] ASTM F3408/F3408M—21 Standard Specification for Aircraft Emergency Parachute Recovery Systems

