



团 体 标 准

T/CEATEC XXXX—XXXX

无人机用小型化集成激光雷达

Unmanned aircraft using miniaturized integrated laser radar
(征求意见稿)

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 技术要求 1

 4.1 总体要求 1

 4.2 小型化集成要求 2

 4.3 性能指标 2

 4.4 环境适应性要求 2

 4.5 可靠性要求 3

 4.6 安全性要求 3

5 试验方法 3

 5.1 试验环境 3

 5.2 外观与结构检查 3

 5.3 小型化集成相关检测 3

 5.4 性能指标测试 4

 5.5 环境适应性试验 4

 5.6 可靠性试验 4

 5.7 安全性试验 5

6 检验规则 5

 6.1 检验分类 5

 6.2 出厂检验 5

 6.3 型式检验 5

 6.4 检验结果处理 5

7 标志、包装、运输和储存 6

 7.1 标志 6

 7.2 包装 6

 7.3 运输 6

 7.4 储存 错误！未定义书签。

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

无人机用小型化集成激光雷达

1 范围

本文件规定了无人机用小型化集成激光雷达的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于无人机用小型化集成激光雷达（以下简称“激光雷达”）。

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 包装储运图形符号标志

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.5 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击

GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机用小型化集成激光雷达 unmanned aircraft using miniaturized integrated laser radar

专为小型、轻型无人机设计，将激光发射模块、激光接收模块、信号处理模块、数据传输模块及供电模块集成于一体，具备体积小、重量轻、功耗低特点，可实现距离测量、环境扫描、目标识别等功能的激光雷达设备。

3.2

小型化集成 miniaturized integration

采用芯片化集成、系统级封装（SIP）等技术，将激光雷达各功能模块整合为一个紧凑整体，大幅缩减产品体积、重量和功耗，同时保证各模块协同工作的稳定性，实现“探测-计算-输出”全链路集成，简化装配流程并提升可靠性的设计方式。

4 技术要求

4.1 总体要求

激光雷达应采用小型化集成设计，结构紧凑、重量轻、功耗低，适配小型无人机的载荷能力和安装空间；各集成模块协同工作正常，满足无人机在不同工况下的使用需求；外观无明显缺陷，表面平整、无划痕、无变形，标识清晰准确。

4.2 小型化集成要求

4.2.1 集成度

激光雷达应集成激光发射、接收、信号处理、数据传输及供电模块，无外置独立功能模块，各模块通过内部微型互联结构连接，避免外部线路冗余；优先采用SPAD/SIPM单光子探测芯片、VCSEL垂直腔面发射激光器等芯片化集成方案，提升集成度的同时缩减体积。

4.2.2 体积与重量

产品总体积不超过500 cm³，重量不超过2 kg（150g）；核心集成模块采用SIP系统级封装，封装厚度不超过8 mm，进一步压缩整体体积，节省无人机安装空间。

4.2.3 功耗控制

在正常工作状态下，激光雷达额定功耗不超过15 W，待机功耗不超过2 W；通过自适应功率控制技术，根据测距距离动态调整激光发射功率，在保证测量精度的同时降低平均功耗，延长无人机续航时间。

4.2.4 协同性

各集成模块工作协调，信号传输无丢失、无延迟，数据处理模块能快速响应激光接收模块的信号，传输模块能及时将处理后的数据输出至无人机控制系统，响应时间不超过50 ms。

4.3 性能指标

4.3.1 测距性能

测距范围及精度应按距离分段规定：

- a) 1 m~100 m：±5 cm；
- b) >100 m~500 m：±10 cm；
- c) >500 m~1 km：±20 cm。

4.3.2 扫描性能

扫描频率可调节，调节范围为5 Hz~50 Hz，默认扫描频率30Hz；水平扫描角度为0°~120°，垂直扫描角度为-60°~60°，扫描分辨率不低于0.1°。

4.3.3 数据传输

支持UART、CAN或以太网有线传输接口，数据传输速率不应低于10 Mbps，数据传输误码率不应高于10⁻⁶。

4.3.4 供电要求

适配无人机常用供电电压，直流9 V~24 V，供电稳定性好，在电压波动±10%范围内可正常工作；集成微型供电管理模块，具备过流、过压保护功能。

4.4 环境适应性要求

4.4.1 温度适应性

工作温度范围为-20℃~60℃，在该温度范围内，激光雷达各项性能指标符合4.3的要求；存储温度范围为-40℃~85℃，存储后恢复工作，性能无明显下降。

4.4.2 湿度适应性

在相对湿度20%~95%（无凝露）的环境下，可正常工作48 h，性能无异常；经过恒定湿热试验后，无腐蚀、无漏电现象，各项性能指标仍符合要求。

4.4.3 振动适应性

能承受无人机飞行过程中的振动，振动频率10 Hz~2000 Hz，加速度5 g，振动时间30 min/轴（X、Y、Z三轴），试验后无机械损伤、无零件脱落，性能正常。

4.4.4 抗干扰性

具备一定的电磁抗干扰能力，通过静电放电抗扰度试验（接触放电 ± 8 kV，空气放电 ± 15 kV）和射频电磁场辐射抗扰度试验（10 V/m），试验后各项性能指标符合要求；具备抗强光干扰能力，在100 klux光照条件下，测距精度偏差不超过 ± 15 cm。

4.5 可靠性要求

4.5.1 故障要求

平均无故障工作时间（MTBF）不低于2000 h，在正常使用条件下，无频繁故障（故障定义为无法正常测量、数据传输中断、扫描异常等）。

4.5.2 连续工作时间

在额定供电条件下，可连续正常工作不低于8 h，期间性能稳定，无明显衰减。

4.5.3 机械强度

激光雷达外壳采用轻质高强度材料，具备一定的抗冲击能力，冲击加速度10 g，冲击时间11 ms，冲击后无变形、无损坏，性能正常。

4.6 安全性要求

4.6.1 电气安全

激光雷达外壳应具备良好的绝缘性能，绝缘电阻不低于100 M Ω ，无漏电现象；供电接口具备防反接功能，避免因接线错误损坏设备。

4.6.2 激光安全

激光发射功率符合GB/T 7247.1的规定，属于Class 1类激光产品，无激光泄漏风险，不会对人体和环境造成危害；具备激光发射保护功能，异常情况下可自动切断激光发射。

5 试验方法

5.1 试验环境

除非另有规定，所有试验均在以下标准环境条件下进行：温度15 $^{\circ}\text{C}$ ~35 $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度45%~75%，大气压力86 kPa~106 kPa，无电磁干扰、无强烈振动和强光直射。

5.2 外观与结构检查

采用目视和手感检查的方法，观察激光雷达外观是否平整、无划痕、无变形、无腐蚀，标识是否清晰准确；检查各接口是否完好，无松动、无损坏；确认无外置独立功能模块，集成结构符合4.2.1要求，记录检查结果。

5.3 小型化集成相关检测

5.3.1 体积测量

采用精度不低于0.1 mm的游标卡尺，测量激光雷达的长、宽、高，计算总体积，确认是否符合4.2.2的要求。

5.3.2 重量测量

采用精度不低于0.1 g的电子天平，测量激光雷达的整体重量，确认是否符合4.2.2的要求。

5.3.3 功耗测量

将激光雷达接入额定供电电压，采用精度不低于0.1 W的功率计，分别测量正常工作状态和待机状态下的功耗，确认是否符合4.2.3的要求。

5.3.4 协同性测试

启动激光雷达，模拟无人机工作场景，通过专用测试设备监测各模块的信号传输和响应情况，测量响应时间，确认是否符合4.2.4的要求。

5.4 性能指标测试

5.4.1 测距精度测试

按1 m~100 m、>100 m~500 m、>500 m~1 km分段设点，用精度 $\leq \pm 1$ cm的标准测距设备作参考，每点连续测10次，计算偏差，确认是否符合4.3.1的要求。

5.4.2 扫描性能测试

通过专用测试软件，调节激光雷达的扫描频率，测量不同频率下的扫描角度和分辨率，确认扫描频率调节范围、扫描角度及分辨率是否符合4.3.2的要求。

5.4.3 数据传输测试

将激光雷达与无人机飞控或地面终端有线连接，用测试设备测传输速率、误码率，确认符合4.3.3要求。

5.4.4 供电适应性测试

调节供电电压，在9 V~24 V范围内波动 $\pm 10\%$ ，观察激光雷达的工作状态，确认是否能正常工作；模拟过流、过压场景，测试供电保护功能是否有效。

5.5 环境适应性试验

5.5.1 低温试验

按照GB/T 2423.1中试验A的要求，将激光雷达放入低温试验箱，设置温度-20℃，保持4 h，然后在标准环境下恢复2 h，启动设备，测试各项性能指标，确认是否符合4.4.1的要求。

5.5.2 高温试验

按照GB/T 2423.2中试验B的要求，将激光雷达放入高温试验箱，设置温度60℃，保持4 h，然后在标准环境下恢复2 h，启动设备，测试各项性能指标，确认是否符合4.4.1的要求。

5.5.3 恒定湿热试验

按照GB/T 2423.3中试验Cab的要求，将激光雷达放入湿热试验箱，设置温度40℃、相对湿度95%，保持48 h，试验后取出，擦干表面凝露，在标准环境下恢复2 h，检查设备无腐蚀、无漏电，测试各项性能指标，确认是否符合4.4.2的要求。

5.5.4 振动试验

按照GB/T 2423.10中试验Fc的要求，将激光雷达固定在振动试验台上，设置振动频率10 Hz~2000 Hz，加速度5g，X、Y、Z三轴各振动30 min，试验后检查设备无机械损伤、无零件脱落，启动设备测试各项性能指标，确认是否符合4.4.3的要求。

5.5.5 抗干扰试验

按照GB/T 17626.2的要求进行静电放电抗扰度试验，按照GB/T 17626.3的要求进行射频电磁场辐射抗扰度试验，试验后测试各项性能指标，确认是否符合4.4.4的要求；在100 klux强光环境下，重复测距精度测试，确认偏差是否符合要求。

5.6 可靠性试验

5.6.1 故障要求测试

平均无故障工作时间（MTBF）测试：将激光雷达置于标准试验环境下，连续正常工作，记录故障发生的时间和次数，按照相关公式计算MTBF，确认是否符合4.5.1的要求。

5.6.2 连续工作时间测试

将激光雷达接入额定供电，连续工作8 h，期间每1h测试一次核心性能指标，记录性能变化情况，确认是否符合4.5.2的要求。

5.6.3 冲击试验

按照GB/T 2423.5的规定，将激光雷达固定在冲击试验台上，设置冲击加速度10 g，冲击时间11 ms，进行冲击试验，试验后检查设备无变形、无损坏，测试各项性能指标，确认是否符合4.5.3的要求。

5.7 安全性试验

5.7.1 电气安全测试

采用绝缘电阻测试仪，测量激光雷达外壳与电源接口之间的绝缘电阻，确认是否符合4.6.1的要求；模拟接线反接，观察设备是否损坏，确认防反接功能是否有效。

5.7.2 激光安全测试

采用激光功率计，测量激光发射功率，确认是否符合Class 1类激光产品要求；模拟异常情况，检查激光发射保护功能是否能正常启动。

6 检验规则

6.1 检验分类

激光雷达检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 出厂检验

6.2.1 每台激光雷达出厂前均需进行出厂检验，检验合格后方可出厂，并附带产品合格证。

6.2.2 出厂检验项目包括：外观与结构检查、体积与重量测量、功耗测量、测距精度、扫描频率、数据传输速率、电气安全、激光安全。

6.2.3 出厂检验采用一次抽样检验，抽样比例为100%，所有检验项目均符合本文件要求的，判定为出厂合格；若有一项不合格，需返修后重新检验，直至合格；返修后仍不合格的，判定为出厂不合格，禁止出厂。

6.3 型式检验

6.3.1 出现下列情况之一时，应进行型式检验：

- d) 新产品首次投产或试产时；
- e) 产品结构、材料、工艺或核心技术有重大变更，可能影响产品性能时；
- f) 产品停产超过6个月，恢复生产时；
- g) 出厂检验结果出现批量不合格时；
- h) 国家相关部门或团体要求进行型式检验时；
- i) 正常生产每12个月进行一次型式检验。

6.3.2 型式检验项目包括本文件第4章规定的所有技术要求，试验方法按照第5章执行。

6.3.3 型式检验抽样方法：从批量生产的产品中随机抽取3台，进行全项目检验。

6.3.4 型式检验判定：3台产品所有检验项目均符合本文件要求的，判定为型式检验合格；若有1台产品出现不合格，需加倍抽样（6台）重新检验，若加倍抽样后所有产品均合格，判定为合格；若仍有不合格，判定为型式检验不合格，停止该产品生产，查明原因并整改后，重新进行型式检验。

6.4 检验结果处理

检验过程中，应详细记录检验数据、试验现象和检验结果，检验记录应完整、准确、规范，保存期限不少于2年；检验不合格的产品，应明确不合格项目和原因，提出整改措施，整改后重新检验，直至合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

7.1.1 激光雷达机身应设置清晰、牢固的标志，包括：产品名称、型号规格、生产厂家名称及地址、生产日期、产品序列号、额定电压、额定功耗、激光安全等级、执行标准编号。

7.1.2 产品包装上应设置包装储运图示标志，符合 GB/T 191 的要求，包括：小心轻放、防潮、防晒、防振等标志；同时标注产品名称、型号规格、生产厂家、数量、毛重、体积、生产日期、运输注意事项。

7.2 包装

7.2.1 激光雷达应采用防震、防潮、防静电的包装材料，单独包装，内部放置缓冲材料，防止运输过程中碰撞、损坏。

7.2.2 包装内应包含产品合格证、使用说明书、保修卡、专用连接线、安装配件等相关附件，附件应齐全、完好。

7.2.3 包装应牢固，密封良好，防止运输过程中受潮、进尘、破损。防护等级应达到 GB/T 4208 中规定的 IP67

7.3 运输

运输过程中，应严格按照包装图示标志操作，小心轻放，严禁抛掷、撞击、挤压包装。运输单位应具备相应的运输资质，运输过程中做好运输记录，确保产品安全送达。

7.4 贮存

激光雷达应储存在干燥、通风、清洁、无腐蚀性气体、无强烈振动、无强光直射的仓库内，储存温度范围为-40℃～85℃，相对湿度不超过95%（无凝露）。

参 考 文 献

- [1] T/CAGIS 12-2024 无人机载激光雷达测量系统
-