

团 体 标 准

T/SZFAA 07-2022
T/SPEMF 0034-2022

多旋翼植保无人机通用技术规范

Technical specification for multi-rotor crop protection unmanned

2022-08-11 发布

2022-08-15 实施

深圳市设施农业行业协会
深圳市卓越绩效管理促进会

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 型号编制规则 2

5 基本要求 2

6 质量要求 4

7 检测方法 7

8 标志、包装、运输和贮存 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》的规则起草。

本文件由深圳市设施农业行业协会（SZFAA）制定发布，版权归深圳市设施农业行业协会，其他机构采用本标准的技术内容制定标准需经深圳市设施农业行业协会允许；任何单位或个人引用本标准的内容需指明本标准的标准号。

本文件由深圳市设施农业行业协会、深圳市卓越绩效管理促进会（深圳标准认证联盟秘书处）共同提出并归口管理。

本文件起草单位：深圳市鼎峰无限电子有限公司、深圳市计量质量检测研究院、深圳市设施农业行业协会、深圳市卓越绩效管理促进会、深圳市天鹰兄弟无人机创新有限公司、深圳市酷农无人机产业开发应用有限公司、深圳凌悦航空科技有限公司、深圳格盛泰无人机技术有限公司。

本文件主要起草人：何兴扬、李兴华、刘铁东、罗斌、李钶、张增英、王莹、李才圣、刘立波、赵自超、杨章波。

本文件为首次发布。

多旋翼植保无人机通用技术规范

1 范围

本文件规定了多旋翼植保无人机的型号编制规则、基本要求、测量方法、检测方法，以及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于多旋翼植保无人机及组成部件，其他类型植保无人机可参照使用。

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 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 5262 农业机械 试验条件测定方法的一般规定
- GB/T 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法
- GB/T 9480 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 使用说明书编写规则
- GB 10396 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 安全标志和危险图形 总则
- GB/T 17626.3 电磁兼容试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 18678 植物保护机械 农业喷雾机(器)药液箱额定容量和加液直径
- GB 31241 便携式电子产品用锂离子电池和电池组安全要求
- GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语
- JB/T 9782 植物保护机械通用试验方法
- NY/T 3213 植保无人机质量评价技术规范
- SJ/T 11364 电子电气产品有害物质限制使用标识要求

3 术语和定义

NY/T 3213中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多旋翼植保无人机

由两个及以上水平面旋翼、机体、动力装置、机载电子电气设备等组成，由无线电遥控或自身程序控制，配备农药喷洒系统，用于植保作业的飞行装置。

注：多旋翼植保无人机以下简称“植保无人机”。

3.2

空机质量

不包含药液、燃料和地面设备的植保无人机整机质量，包含药液箱、油箱或电池等固有装置质量。

3.3

额定起飞质量

植保无人机能正常作业的最大质量，包含空机质量以及额定容量的药液、燃料质量。

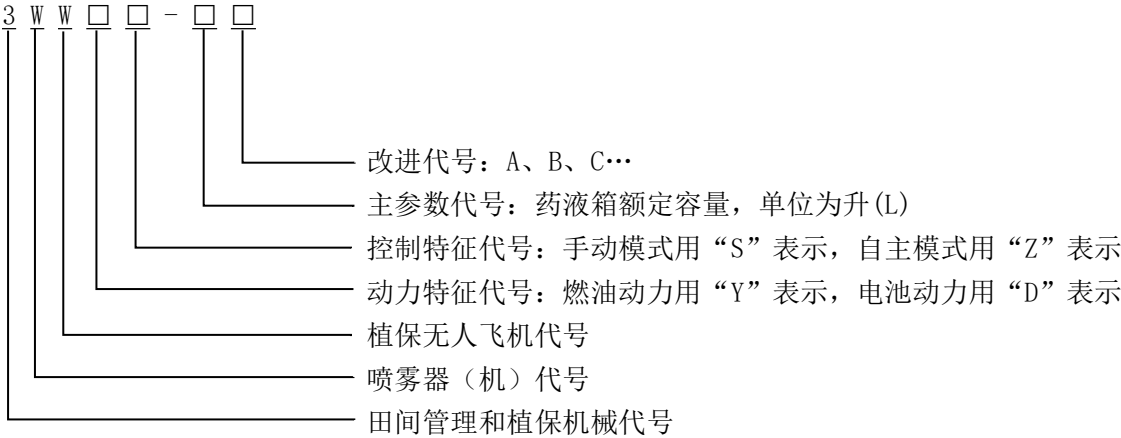
3.4

药液箱额定容量

植保无人机所标称的且能正常作业的载药量。

4 型号编制规则

植保无人机产品型号由植保无人机分类代号、特征代号和主参数代号等组成，产品型号表示方法为：



注：同时具备两种作业控制模式的植保无人飞机以自主控制模式代号表示。

示例：3WWDZ-20B表示电动自主型植保无人飞机，药液箱额定容量为20L，第二次改进型。

5 基本要求

5.1 主要技术参数核对与测量

依据产品使用说明书、铭牌和其他技术文件，对样机的主要技术参数按表 1 的要求进行核对或测量。

表 1 核测项目与方法

序号	项目		方法
1	机具名称		核对
2	整机型号		核对
3	飞行控制系统		核对
4	空机质量，kg		测量
5	额定起飞质量，kg		测量
6	工作压力，MPa		核对
7	工作状态下的外型尺寸（长×宽×高），mm		测量（不含旋翼、喷杆，含天线）
8	旋翼	材质	核对
		主旋翼数量，个	核对
		直径，mm	测量

9	药液箱		材质	核对
			额定容量, L	核对
10	喷头		型式	核对
			数量, 个	核对
11	喷杆长度, mm			测量（沿喷幅方向最远喷头之间的距离）
12	液泵		型式	核对
			流量, L/min	核对
13	配套动力	发动机	功率, kW	核对
			转速, r/min	核对
			油箱容量, L	核对
		电动机	KV 值, r/（min·V）	核对
			额定功率, W	核对
14	电池		电压, V	核对
			容量, Ah 或 mAh	核对
注：主旋翼数量不包括尾旋翼，有尾旋翼的，应注明尾旋翼数量和直径。				

5.2 试验条件

5.2.1 试验介质

除特殊要求外, 试验介质为常温下不含固体杂质的清水。

5.2.2 试验环境

5.2.2.1 除特殊要求外, 室内外试验环境的温度应为 $5^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$, 相对湿度应为 20%~95%; 室外试验环境的海拔高度应为 0 m~800 m, 环境平均风速应为 0 m/s~3 m/s, 最大风速应不超过 5.4 m/s。

5.2.2.2 室外试验应选取空旷的露天场地, 场地面积应满足植保无人机日常作业要求, 场地表面有植被覆盖。

5.2.3 试验样机

试验样机应按使用说明书的规定, 进行安装和调试, 达到正常状态后, 方可进行试验。

5.3 主要仪器设备

试验用仪器设备应经过计量检定或校验合格且在有效期内。仪器设备的量程、测量准确度应不低于表2的规定。

表2 主要仪器设备测量范围和准确度要求

序号	测量参数	测量范围	准确度要求
1	长度	0m~5m	1mm
		5m~200m	1cm
2	角度	$0^{\circ}\sim 180^{\circ}$	1°
3	转速	0r/min~10000r/min	0.5%
4	时间	0h~24h	1s/d

5	质量	0kg~200kg	0.05kg
6	压力	0MPa~1.6MPa	0.4 级
7	风速	0m/s~10m/s	10%FS
8	温度	-20℃~50℃	1℃
9	相对湿度	0%~100%	3%
10	水平定位	0m~200m	0.1m
11	高度定位	0m~50m	0.15m

6 质量要求

6.1 一般要求

- 6.1.1 植保无人机在温度 60℃ 和相对湿度 95% 环境条件下, 进行 4 h 的耐候试验后, 应能正常作业。
- 6.1.2 植保无人机防护等级不低于 IP54, 应符合 GB/T 4208 的相关要求。
- 6.1.3 植保无人机应能在 (6 ± 0.5) m/s 风速的自然环境中正常飞行。
- 6.1.4 植保无人机在常温条件下按使用说明书规定的操作方法起动 3 次, 其中成功次数应不少于 1 次。
- 6.1.5 植保无人机应具有药液和燃料 (电量) 剩余量显示功能, 且应便于操作者观察。
- 6.1.6 植保无人机空载和满载悬停时, 不应出现掉高或坠落等现象。
- 6.1.7 同时具备手动控制模式和自主控制模式的植保无人机, 应能确保飞行过程中两种模式的自由切换, 且切换时飞行状态应无明显变化。
- 6.1.8 植保无人机应配备飞行信息存储系统, 每秒至少存储 1 次, 实时记录并保存飞行作业情况。存储系统记录的内容至少应包括: 植保无人机身份信息、位置坐标、飞行速度、飞行高度。
- 6.1.9 植保无人机应具备远程监管系统通信功能, 可以记录飞行时间、飞机轨迹、传感器状态、飞行员操作记录等信息, 并可在飞行软件界面上显示。
- 6.1.10 植保无人机应具备图像数据传输系统, 通信距离不小于 1500 米, 采用数字图传进行音视频传输。
- 6.1.11 承压软管上应有永久性标志, 标明其制造商和最高允许工作压力; 承压管路应能承受不小于最高工作压力 1.5 倍的压力而无渗漏。
- 6.1.12 药液箱总容量和加液口直径应符合 GB/T 18678 的要求。
- 6.1.13 正常工作时, 各零部件及连接处应密封可靠, 不应出现药液和其他液体泄漏现象。
- 6.1.14 植保无人机应具备定点喷洒、断点续喷功能。
- 6.1.15 植保无人机应具备山地地形跟随 (仿地飞行) 功能。
- 6.1.16 植保无人机的组成部件应优先采用符合强制性产品认证的产品和满足相关国家标准、行业标准的产品。
- 6.1.17 植保无人机的组成部件材料应耐腐蚀。

6.2 性能要求

植保无人机主要性能指标应符合表 3 的规定。

表 3 性能指标要求

序号	项目		质量指标		对应的检测方法条款号
1	手动控制模式飞行性能		操控灵活，动作准确，飞行状态平稳		7.3.1
2	自主控制模式飞行精度	偏航距（水平），m	≤0.4		7.3.2
		偏航距（高度），m	≤0.4		
		速度偏差，m/s	≤0.4		
3	满载悬停时间		A 级	≥10min	7.3.3
			B 级	≥8min	
			C 级	≥5min	
4	残留液量，mL		≤30		7.3.4
5	过滤装置	过滤级数	≥2		7.3.5
		加液口过滤网网孔尺寸，mm	≤1		
		末级过滤网网孔尺寸，mm	≤0.7		
6	防滴性能		喷雾关闭 3s 后，每个喷头的滴漏数≤3 滴		7.3.6
7	喷雾性能	喷雾量	不低于产品明示		7.3.7
		喷雾量偏差	≤3%		
		喷雾量均匀性变异系数	≤40%		
8	作业喷幅		不低于产品明示		7.3.8
9	纯作业小时生产率		A 级	> 12hm ² /h	7.3.9
			B 级	≤ 12hm ² /h	
			C 级	≤ 7hm ² /h	
10	电池性能	电池初始容量	不小于产品明示		7.3.10
		电池智能管理	具有故障自检和寿命管理功能，电池模块可显示电量情况，电量不足提示；具备短路保护功能		
11	飞行安全控制		具有电子围栏功能		7.3.11

6.3 安全要求

- 6.3.1 外露的发动机、排气管等可产生高温的部件或其他对人员易产生伤害的部位，应设置防护装置，避免人手或身体触碰。
- 6.3.2 对操作者有危险的部位，应固定永久性的安全标识，在机具的明显位置还应有警示操作者使用安全防护用具的安全标识，安全标识应符合 GB 10396 的规定。
- 6.3.3 植保无人机空机质量应不大于 116 kg，最大起飞质量应不大于 150 kg。
- 6.3.4 植保无人机应具有限高、限速、限距功能。
- 6.3.5 植保无人机应配备电子围栏系统。内置机场等禁飞区信息、可限制飞行高度，可接收动态禁飞区信息。
- 6.3.6 植保无人机对通讯链路中断、燃料（电量）不足等情形应具有报警和失效保护功能。
- 6.3.7 植保无人机应具有避障功能，平原农田条件下，可在至少 15 米距离处感知雷达反射截面积不超过 0.5 m^2 的障碍物（等效于 0.5 厘米半径的横拉电线）。
- 6.3.8 植保无人机应具有电磁兼容能力，其通讯与控制系统辐射骚扰限值按 GB/T 9254 的规定，应满足表 4 要求；其射频电场辐射抗扰度按 GB/T 17626.3 试验方法，场强应达到 10V/m，满足表 5 的 B 级要求。

表 4 电磁兼容-辐射骚扰限值

频率	测量值	限值 dB (μV/m)
30 MHz~230 MHz	准峰值	50
230 MHz~1 GHz	准峰值	57
1 GHz~3 GHz	平均值/峰值	56/76
3 GHz~6 GHz	平均值/峰值	60/80

表 5 电磁兼容-射频电场辐射抗扰度

等级	功能丧失或性能降低的程度	备注
A	各项功能和性能正常。	试验样品功能丧失或性能降低现象有： ① 测控信号传输中断或丢失； ② 对操控信号无响应或飞行控制性能降低； ③ 喷洒设备对操控信号无响应； ④ 其他功能的丧失或性能的降低。
B	未出现现象①或现象②。出现现象③或现象④，且在干扰停止后 2min（含）内自行恢复，无需操作者干预。	
C	未出现现象①或现象②。出现现象③或现象④，且在干扰停止 2min 后仍不能自行恢复，在操作者对其进行复位或重新启动操作后可恢复。	
D	出现现象①或现象②；或未出现现象①或现象②，但出现现象③ 或现象④，且因硬件或软件损坏、数据丢失等原因不能恢复。	

6.4 装配和外观质量

6.4.1 装配应牢固可靠，容易松脱的零部件应装有防松装置。

6.4.2 各零部件及连接处应密封可靠，不应出现药液和其他液体泄漏现象。

6.4.3 外观应整洁，不应有毛刺和明显的伤痕、变形等缺陷。

6.5 操作方便性

6.5.1 保养点设计应合理，便于操作，过滤装置应便于清洗。

6.5.2 药液箱设计应合理，加液方便，在不使用工具情况下能方便、安全排空，不污染操作者。

6.5.3 电池、旋翼和喷头等零部件应便于更换，无人机折叠后的折叠面积与展开面积比值不大于 1:4。

6.6 可靠性

植保无人机首次故障前作业时间应不低于 40h。

6.7 使用说明

6.7.1 使用说明书

植保无人机的制造商或供应商应随机提供使用说明书。使用说明书的编制应符合 GB/T 9480 的规定，至少应包括以下内容：

- 起动和停止步骤；
- 地面控制端介绍；
- 安全停放步骤；
- 运输状态机具布置；
- 清洗、维护和保养要求；
- 有关安全使用规则的要求；

- g) 在处理农药时应当遵守农药生产厂所提供的安全说明；
- h) 安装、故障处理说明；
- i) 危险与危害一览表及应对措施；
- j) 制造商名称、地址和电话。

6.7.2 三包凭证

植保无人机应有三包凭证，至少应包括以下内容：

- a) 产品名称、型号规格、购买日期、产品编号；
- b) 制造商名称、地址、电话和邮编；
- c) 销售者和修理者的名称、地址、电话和邮编；
- d) 三包项目；
- e) 三包有效期（包括整机三包有效期、主要部件质量保证期以及易损件和其他零部件的质量保证期，其中整机三包有效期和主要部件质量保证期不得少于一年）；
- f) 主要部件清单；
- g) 销售记录（包括销售者、销售地点、销售日期、购机发票号码）；
- h) 修理记录（包括送修时间、交货时间、送修故障、修理情况、换退货证明）；
- i) 不承担三包责任的情况说明。

6.7.3 铭牌

在植保无人机醒目位置应有永久性铭牌。铭牌内容应清晰可见，至少应包括以下内容：

- a) 型号、名称；
- b) 空机质量、药液箱额定容量、最大起飞质量；
- c) 发动机功率或电机功率和电池容量等主要技术参数；
- d) 产品执行标准编号；
- e) 生产日期和出厂编号；
- f) 制造商名称。

7 检测方法

7.1 试验条件测定

按照 GB/T 5262 的规定测定温度、湿度、大气压力、海拔、风速等气象条件。

7.2 一般要求试验

7.2.1 环境适应性试验

将植保无人机放置在温度 $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(90 \sim 95)\%$ 的试验箱内，机体任意点与试验箱壁距离不小于 0.3 m，静置 4 h 后取出，在室温下再静置 1 h。然后加注额定容量试验介质，按照使用说明书规定进行飞行作业，观察植保无人机工作是否正常。

7.2.2 防护等级试验（IP54）

依据 GB/T 4208 标准规定的方法进行试验，防护等级试验后，植保无人机应能正常作业，不应有零件变形、破裂、松脱等异常现象，活动部件不应有堵塞或卡死现象。

7.2.3 抗风性能试验

植保无人机在额定起飞质量条件下置于风向稳定、风速为 $(6 \pm 0.5) \text{ m/s}$ 的自然风或人工模拟风场中，操控其起飞、前飞、后飞、侧飞、转向、悬停、着陆等，观察其是否正常工作。

7.2.4 起动性能试验

试验前,植保无人机在室温下静置 1 h。按使用说明书规定的操作方法起动,试验进行 3 次,每次间隔 2 min。每次起动前,在不更换零件的条件下允许做必要的调整。

7.2.5 药液和燃料(电量)剩余量显示功能检查

检查植保无人机的地面控制端是否能实时显示药液箱药液剩余量、燃料(电量)剩余量、地面控制端电量剩余量。

7.2.6 悬停性能试验

注满燃油(使用满电电池),分别在空载和满载条件下,操控植保无人机在一定飞行高度保持悬停,直至其发出燃油(电量)不足报警后着陆,观察其飞行状态是否正常,记录起飞至着陆总时间。

7.2.7 作业控制模式切换稳定性检查

植保无人机在正常飞行状态下,控制其在手动控制模式和自主控制模式间进行自由切换,观察切换过程中机具的飞行姿态是否平滑,且不出现坠落、偏飞等失控现象。

7.2.8 飞行信息存储系统检查

7.2.8.1 操控植保无人机在测试场地内模拟田间施药飞行作业 5 min 以上。

7.2.8.2 待返航着陆后,检查其是否将本次飞行数据进行了加密存储。

7.2.8.3 读取本次飞行作业过程的前 5 min 的记录数据。检查加密存储数据内容是否涵盖了本次飞行的速度、高度、位置信息,是否涵盖了其制造商、型号、编号信息。

7.2.8.4 检查飞行数据的更新频率。

7.2.9 远程监管通信功能检查

按 7.2.8 试验结束后,检查植保无人机远程监管系统是否有本次飞行的飞行时间、飞机轨迹、传感器状态及操作者的身份信息。

7.2.10 图像数据传输距离试验

空旷无干扰遮挡环境条件下,不高于 5m 飞行高度,实地飞行控制距离不小于 1500 m,在此距离上音视频传输正常,验证图传类型。

7.2.11 承压性能试验

检查承压软管标志,管路耐压试验按 JB/T 9782 标准规定的方法进行试验。

7.2.12 药液箱总容量和加液孔直径试验

7.2.12.1 向药液箱加注试验介质至溢出,测量箱内试验介质体积,即药液箱总容量。

7.2.12.2 测量药液箱加液孔直径,若配有漏斗等转接装置,则测量转接装置的加液口直径。

7.2.12.3 按 GB/T 18678 的规定检查药液箱总容量与药液箱额定容量关系及加液口直径是否满足要求。

7.2.13 密封性能试验

植保无人机加注额定容量试验介质,在最高工作压力下喷雾,直至耗尽试验介质,检查过程中零部件及连接处、各密封部位有无松动,是否有药液和其他液体泄漏现象。

7.2.14 喷洒功能检查

植保无人机通过飞行控制软件规划设定喷洒航点,或依据作业区域的三维建模及果树识别等功能,根据果树分布及高度进行三维航线规划精准作业,设置完成后操控植保无人机以自主控制模式飞行,观察其是否进行有效作业。植保无人机加注少量试验介质,执行喷洒作业,当喷洒完试验介质后返回,再次加注试验介质后,执行断点后继续喷洒作业,观察其是否继续从上一次喷洒结束航点执行断点续喷作业。

7.2.15 山地地形跟随（仿地飞行）功能检查

植保无人机在最大 30° 坡度的作业场景下执行航线作业功能（实现茶山果园丘陵山地航线自动作业功能），观察其是否保持与植被的相对高度不变。

7.3 性能试验

7.3.1 手动控制模式飞行性能试验

7.3.1.1 在额定起飞质量条件下，以手动控制模式操控植保无人机飞行，保持其在某高度悬停 10s，期间不允许操作遥控器，目测机具的悬停状态是否稳定。

7.3.1.2 向植保无人机发送单独的前飞、后飞、左移、右移控制指令，各方向飞行距离应大于 30m。目测飞行过程中植保无人机动作是否正确，姿态、高度、速度是否出现波动。

7.3.2 自主控制模式飞行精度试验

7.3.2.1 在试验场地内预设飞行航线，航线长度不小于 120 m，航线高度不大于 5 m，飞行速度为 3 m/s～5 m/s。

7.3.2.2 在额定起飞质量条件下，操控植保无人机以自主控制模式沿航线飞行，同时以不大于 0.1 s 的时间间隔对植保无人机空间位置进行连续测量和记录，如图 1 所示。重复 3 次。

7.3.2.3 将记录的航迹经纬度坐标按 CGCS2000 的格式进行直角坐标转换；植保无人机的空间位置坐标记为 (x_i, y_i, z_i) ， $i=0, 1, 2, \dots, n$ ，其中 $i=0$ 时为飞行过程中剔除加速区间段的稳定区开始位置， $i=n$ 时为飞行过程中剔除减速区间段的稳定区终止位置。

7.3.2.4 整条航线的平面位置坐标记为 $ax+by+c=0$ ， a, b, c 系数依据航线方向和位置而定，按公式（1）～（3）分别计算偏航距（水平） L_i 、偏航距（高度） H_i 和速度偏差 V_i ，测量值应为测量区间内计算的最大值。

$$L_i = \frac{|ax_i + by_i + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (i=0, 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$H_i = |Z_i - Z_{\text{set}}| \quad (i=0, 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$V_i = |v_i - v_{\text{set}}| \quad (i=0, 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- L_i —— 偏航距(水平)数值,单位为米(m)；
- x_i —— 采集航迹点位置的的东西方向坐标值,单位为米(m)；
- y_i —— 采集航迹点位置的南北方向坐标值,单位为米(m)；
- H_i —— 偏航距(高度)数值,单位为米(m)；
- Z_i —— 采集航迹点位置的高度坐标值,单位为米(m)；
- Z_{set} —— 预设航线的高度坐标,单位为米(m)；
- V_i —— 速度偏差数值,单位为米每秒(m/s)；
- v_i —— 采集航迹点位置的飞行速度数值,单位为米每秒(m/s)；
- v_{set} —— 预设的飞行速度数值,单位为米每秒(m/s)。

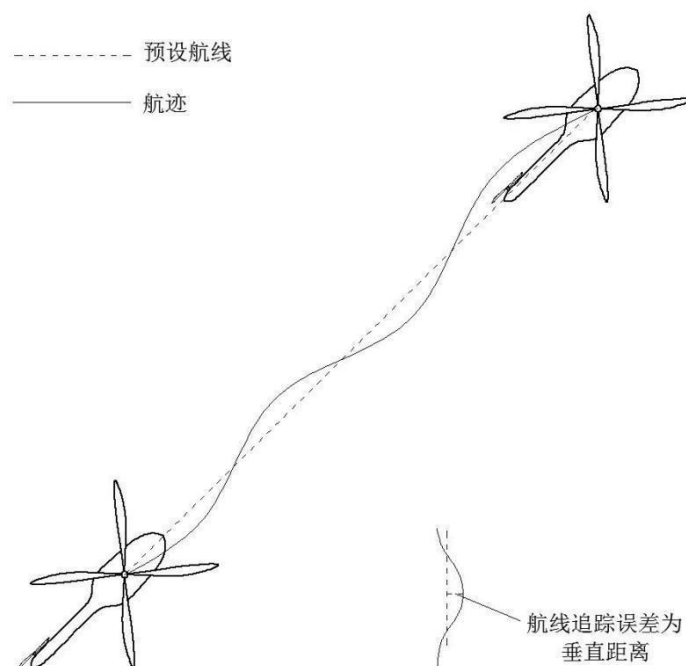


图 1 自主控制模式飞行精度测试方法

7.3.3 满载悬停时间试验

注满燃油（使用满电电池），挂载标称载重量的砝码。操控植保无人机在测试场地内悬停 1 m 飞行高度或制造商指定高度，直至其发出燃油（电量）不足报警后着陆，记录单架次起飞至着陆总时间。重复 3 次，取最小值。

7.3.4 残留液量试验

按 7.3.3 试验结束后，测量残留液量。

7.3.5 过滤装置检查

检查过滤装置设置情况，并用显微镜或专用量具测出过滤网的网孔尺寸，圆孔测直径，方形孔测量最大边长。

7.3.6 防滴性能试验

植保无人机在额定工作压力下进行喷雾，停止喷雾 3 s 后计时，观察出现滴漏现象的喷头数，计数各喷头 1 min 内滴漏的液滴数。

7.3.7 喷雾性能试验

7.3.7.1 喷雾量、喷雾量偏差试验

在额定工作压力下以容器承接雾液，每次测量时间 1 min~3 min，重复 3 次，计算每分钟平均喷雾量，再根据额定喷雾量计算喷头喷雾量偏差。

7.3.7.2 喷雾量均匀性变异系数试验

7.3.7.2.1 将植保无人机以正常作业姿态固定于集雾槽上方，集雾槽的承接雾流面作为受药面应覆盖整个雾流区域，每条集雾槽间隔不大于 0.2 m 排列，植保无人机机头应与集雾槽排列方向垂直。

7.3.7.2.2 植保无人机加注额定容量试验介质，在旋翼静止状态下，以制造商明示的最佳作业高度进行喷雾作业。若制造商未给出最佳作业高度，则以 2 m 作业高度喷雾。

7.3.7.2.3 使用量筒收集槽内沉积的试验介质，当其中任一量筒收集的喷雾量达到量筒标称容量的 90% 时或喷完所有试验介质时，停止喷雾。

7.3.7.2.4 记录喷幅范围内每个量筒收集的喷雾量，并按公式（4）～（6）计算喷雾量均匀性变异系数。

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$V = \frac{S}{\bar{q}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$\bar{q}$ ——喷雾量平均值，单位为毫升（mL）；

q_i ——各测点的喷雾量，单位为毫升（mL）；

n ——喷幅范围内的测点总数；

S ——喷雾量标准差，单位为毫升（mL）；

V ——喷雾量分布均匀性变异系数，单位为百分率（%）。

7.3.8 作业喷幅试验

7.3.8.1 将采样卡（普通纸卡或水敏纸）水平夹持在 0.2 m 高的支架上，在植保无人机预设飞行航线的垂直方向（即沿喷幅方向），间隔不大于 0.2 m 或连续排列布置。若使用普通纸卡作为采样卡时，则试验介质应为染色的清水。

7.3.8.2 植保无人机加注额定容量试验介质，以制造商明示的最佳作业参数进行喷雾作业。若制造商未给出最佳作业参数，则以 2 m 作业高度，3 m/s 飞行速度，进行喷雾作业。在采样区前 50 m 开始喷雾，后 50 m 停止喷雾。

7.3.8.3 计数各测点采样卡收集的雾滴数，计算各测点的单位面积雾滴数，作业喷幅边界的两种确定方法：

a) 从采样区两端逐个测点进行检查，两端首个单位面积雾滴数不小于 15 滴/cm 的测点位置作为作业喷幅两个边界；

b) 绘制单位面积雾滴数分布图，该分布图单位面积雾滴数为 15 滴/cm 的位置作为作业喷幅两个边界，如图 2 所示。

7.3.8.4 作业喷幅边界间的距离为作业喷幅。试验重复 3 次，取平均值。允许在一次试验中布置 3 行采样卡代替 3 次重复试验，采样卡行距不小于 5 m。

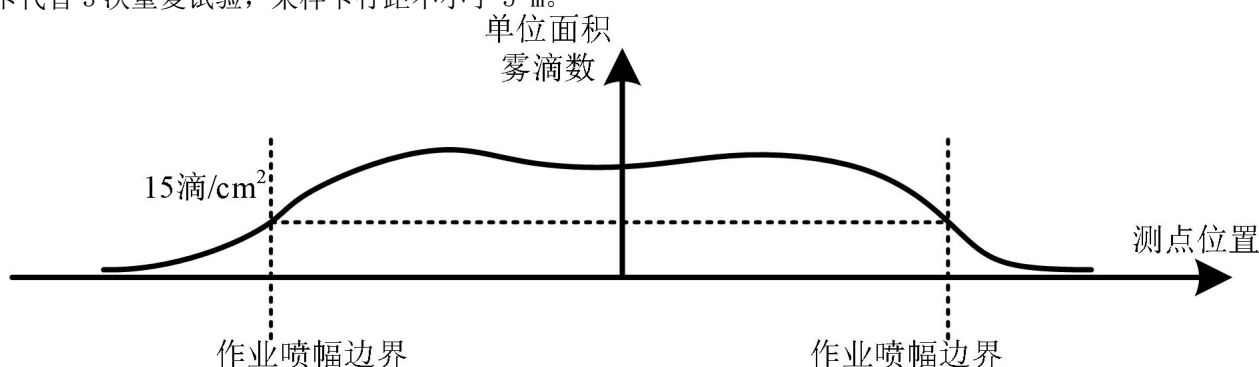


图 2 作业喷幅边界确定方法图

7.3.9 纯作业小时生产率测试

计算纯作业小时生产率应确保植保无人机每公顷施药量不低于 12 L，按公式（7）计算。

$$W_s = \frac{U}{T_s} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

W_s ——纯喷药小时生产率,单位为公顷每小时(hm²/h)；

U ——班次作业面积,单位为公顷(hm²)；

T_s ——纯喷药时间,单位为小时(h)。

7.3.10 电池性能试验

7.3.10.1 电池初始容量试验

在 23℃±2℃的环境下,按制造商规定充放电参数测试,若未规定则按 0.5C 充电,搁置 10min,恒流 5C 放电,放电截止电压至电池标称截止电压,可重复测试 5 个循环,当有一次循环的容量符合标称容量时,试验即可停止。

7.3.10.1 电池智能管理检查

通过遥控器及飞行监控软件查看产品是否具备故障自检、寿命管理、电池模块可显示电量情况,电量不足提示等功能。

7.3.10.2 短路保护试验

依据 GB 31241 的规定检测植保无人机电池是否具备短路保护功能。

7.3.11 飞行安全控制试验

按 7.4.5 试验进行。

7.4 安全性能试验

7.4.1 安全防护装置检查

7.4.1.1 检查发动机、排气管的安装位置是否处于人体易触碰的区域。

7.4.1.2 检查机体上其他对人员易产生伤害的部位是否设置了防护装置。

7.4.2 安全标识检查

7.4.2.1 检查植保无人机的旋翼、发动机、药液箱、排气管、电池等对操作者有危害的部位是否有永久性安全标识。

7.4.2.2 检查植保无人机机身明显位置是否具有警示操作者使用安全防护用具的安全标识。

7.4.3 最大起飞质量限值确认

7.4.3.1 植保无人机注满燃油(使用满电电池)。在机身加挂配重至其总质量达到 150kg,加挂配重时应考虑机身重心偏移,必要时可在起落架底部钩挂系留绳索,操控植保无人机飞机起飞,若其无法离地升空,则判定其最大起飞质量小于 150 kg。

7.4.3.2 若植保无人机离地升空,则重新加挂配重至总质量 151 kg,重复起飞动作,观察其能否再次离地升空,判定其最大起飞质量是否超过 150 kg。

7.4.4 限高、限速和限距功能试验

7.4.4.1 限高试验

在手动控制模式下操控植保无人机持续提升飞行高度,直至其无法继续向上飞行,并保持该状态 5 s 以上即认定为达到限高值,测量此时机具相对起飞点的最大飞行高度。

7.4.4.2 限速试验

在手动控制模式下操控植保无人机平飞，逐渐增加飞行速度，直至其无法继续加速，并保持该速度 5 s 以上即认定为达到限速值，测量此时机具相对于地面的飞行速度。

7.4.4.3 限距试验

在手动控制模式下操控植保无人机平飞，逐渐远离起飞点，直至其无法继续前进即认定为达到限距值，测量此时其相对于起飞点的飞行距离。

7.4.5 电子围栏试验

通过 GPS 模拟器模拟一个机场的地理位置，然后启动无人机，查看无人机是否能起飞，以及在限制高度区域是否按照限制高度飞行。

7.4.5.1 在试验场地内设置 30m×30m×20m 的空间区域为电子围栏的禁飞区。操控植保无人机以 2 m/s 飞行速度，5 m 飞行高度接近直至触碰电子围栏，如图 3 所示。

7.4.5.2 观察植保无人机与电子围栏发生接触前后采取的措施，具体包括报警提示、自动悬停、自动返航、自动着陆等。

7.4.5.3 将植保无人机搬运进电子围栏区域，观察其是否有报警提示且无法启动。

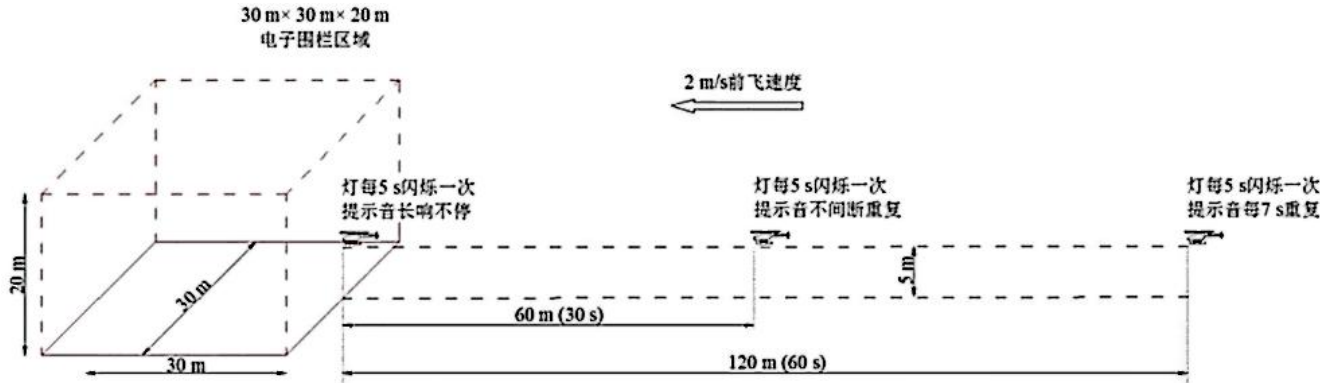


图 3 电子围栏测试过程图

7.4.6 报警和失效保护功能试验

7.4.6.1 链路中断的失效保护试验

正常飞行状态下，操控植保无人机持续飞行，过程中适时中断通讯链路，目测其是否悬停、自动返航或自动着陆。

7.4.6.2 低电量失效保护试验

正常飞行状态下，操控植保无人机持续飞行，目测其电池电量过低时，是否具有制造商声明的失效保护功能。

7.4.6.3 失效报警功能检查

检查植保无人机在触发失效保护时，是否能发出声、光或振动的报警提示，飞行监控软件是否有提示。

7.4.7 避障性能试验

实际飞行测试，控制无人机向障碍物飞行，验证无人机是否能有效避免 15m 外雷达反射截面积为 0.5m² 障碍物（等效于 0.5cm 半径的横拉电线），及时刹停，操控无人机远离障碍物，测定无人机是否能重新可控。

7.4.8 电磁兼容试验

7.4.8.1 辐射骚扰限制试验

整机产生的电磁骚扰不应超过其预期使用场合允许的水平，对使用环境中其他植保无人机、农林机械、人和可燃物等的电磁影响可控。按照 GB/T 9254 对植保无人机整机的辐射电磁骚扰水平进行评估。试验频率范围和限值见表 4，试验前应确保电波暗室环境噪声电平至少比规定限值低 6dB。

7.4.8.2 射频电场辐射抗骚扰度试验

按照 GB/T 17626.3 对植保无人机整机的射频电磁场辐射抗扰度能力进行评估。试验设备用 1 kHz 正弦波对未调制信号进行 80%的幅度调制来模拟射频辐射干扰情况，其中未调制信号的场强为 10 V/m，扫描 80 MHz~2 GHz 频率范围，对数天线应分别安放在垂直极化位置和水平极化位置。试验结果根据试验样品的功能丧失或性能降低程度分为 A、B、C、D 四个等级，见表 5。

7.5 装配和外观质量检查

用目测法检测是否符合 6.4 的要求。

7.6 操作方便性检查

7.6.1 通过实际操作，检查样机是否符合 6.5 的要求。

7.6.2 测量无人机折叠前后的长宽，计算折叠面积与展开面积的比值。

7.7 可靠性试验

7.7.1 故障分级

故障分级见表 6。

表 6 故障分级表

故障级别	故障示例
致命故障	坠机、爆炸、起火
严重故障	发动机/电机等动力故障
	控制失效或控制执行部件故障
	旋翼损坏
	作业时机上任意部件飞出
一般故障	施药控制设备故障
	无线电通讯设备故障
	地面控制端设备故障
轻微故障	紧固件松动
	罩壳松动
	喷头堵塞

7.7.2 首次故障前作业时间考核

按累计 10 h 定时截尾进行考核，记录首次故障前作业时间。

7.8 使用信息检查

7.8.1 使用说明书检查

按照 6.7.1 的要求逐项检查。

7.8.2 三包凭证检查

按照 6.7.2 的要求逐项检查。

7.8.3 铭牌检查

按照 6.7.3 的要求逐项检查。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

产品外包装上应标有商标、产品型号和名称、制造厂名称及地址、产品执行标准号、出厂日期等。

包装箱外应喷刷或贴有“小心轻放”“怕雨”“向上”等储运标志，储运标志应符合 GB/T 191 的规定。

有毒有害物质含量的标识应符合 SJ/T 11364 的规定。

8.2 包装

包装箱应符合防潮、防尘、防震的要求，包装箱内应有使用说明书、三包凭证、永久性铭牌及其它有关的随产品文件。

8.3 运输

包装完整的植保无人机可用正常的陆、海、空交通工具运输，运输过程中应按照包装标记规定，方向正确，固定牢靠，轻搬轻放，避免雪和雨直接淋袭，不应受到剧烈的碰撞、冲击和振动。

8.4 贮存

产品贮存时应放在原包装盒（箱）内，仓库内不允许有各种有害气体、易燃、易爆物品及有腐蚀性的化学物品，并且应无强烈的机械振动、冲击和强磁场作用。包装箱应垫离地面至少 10 cm，距离墙壁、热源、冷源、窗口或空气人口至少 50 cm。若无其他规定时，贮存期一般应为 6 个月。若在生产厂存放超过 12 个月时，则应重新

T/SZFAA 07-2022

T/SPEMF 0034-2022