

ICS 65.060.40
CCS B91



中华人民共和国国家标准

GB/T XXX—202X

植保无人飞机

Unmanned Aerial Spray System for plant protection

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国农业机械标准化技术委员会（SAC/TC 201）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件是首次制定。

植保无人飞机

1 范围

本文件规定了植保无人飞机的术语和定义、产品型号、安全要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于喷施杀虫杀螨剂、除草剂、杀菌剂、生长调节剂及肥料等液体的植保无人飞机（以下简称“无人机”）。其他型式与用途的无人机可参照采用。

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 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 9480-2016 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 10395.6—2006 农林拖拉机和机械安全技术要求 第6部分：植物保护机械
- 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 13306 标牌
- 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 18675 植物保护机械 农业喷雾机 总残留液量的测定
- 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孔直径
- GB/T 20085 植物保护机械 词汇
- GB/T 35018-2018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
- GB/T 38058-2019 民用多旋翼无人机系统试验方法
- GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语
- GB/T 38909 民用轻小型无人机系统电磁兼容性要求与试验方法
- HG/T 3043 农业喷雾用橡胶软管
- JB/T 9782—2014 植物保护机械 通用试验方法
- JB/T 9802 喷雾机、清洗机用三缸柱塞泵、活塞泵
- JB/T 9806 喷雾机用隔膜泵

3 术语和定义

GB/T 20085、GB/T 38152界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

植保无人飞机 unmanned aerial spray system

配备农药、肥料等喷洒系统，用于农林植保作业的无人飞机。

3.2

飞行控制系统 flight control system

对无人机的航迹、姿态、速度等参数进行单项或多项控制的系统。

3.3

地面控制系统 ground control system

由中央处理器、通讯系统地面端、监测显示终端、遥控器、控制软件等组成，对接收到的无人机的各种参数进行分析处理，并能对无人机的航迹进行修改和操控的系统。

3.4

作业模式 application mode

无人机进行作业所采取的飞行控制方式，分为手动控制模式、半自动控制模式和自动控制模式三种。

3.5

手动控制模式 manual control mode

通过人工操作遥控器完成对无人机控制的作业模式，包括对航向、速度、高度、喷雾等进行控制。

3.6

自动控制模式 autonomous control mode

根据预先设定的飞行参数和路径坐标及作业任务等进行自主作业的控制模式。

3.7

半自动控制模式 semi-autonomous control mode

无人机在预设的飞行指令下，人工操控者可以部分修改控制命令，使其能按照操控者的意愿完成作业任务的飞行模式。例如一种半自主飞行控制模式：无人机高度和喷雾由计算机或控制器自动控制，速度和位置由人工控制的模式。

3.8

空机重量 net weight

不包含药液、燃料（或电池）和地面设备的无人机整机重量，包含机体结构、电气系统、药液箱、喷药系统、传感器、油箱或动力等固有装置重量。

3.9

最大起飞重量 maximum take-off weight

无人机能够正常起飞所允许的最大重量，包含空机重量和最大负载的重量。

3.10

药液箱额定容量 rated tank capacity

制造商明示的且能正常作业的载液量。

3.11

作业高度 application altitude

无人机作业时喷头与作物冠层的相对距离。

3.12

真实高度 true altitude

无人机与其下方地球表面或地形之间的垂直距离，简称真高。

3.13

单架次 single flight for pesticide application

自起飞至返航降落的一次完整作业过程。

3.14

最大续航时间 maximum endurance time

在满足GB/T 5262的条件下，无人机在最大起飞重量条件下，自起飞至喷洒完所有药液后安全着陆，能维持的最长飞行时间。

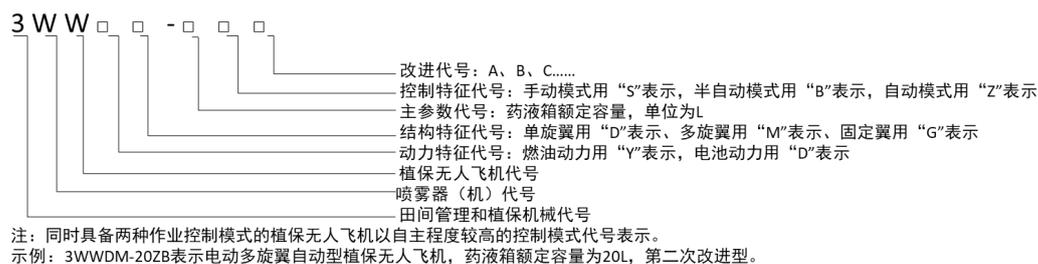
3.15

地理围栏 Geo fence

为阻挡无人机飞入特定区域（包含机场禁空区、重点区、人口稠密区等），在相应电子地理范围中画出特定区域，并配合飞行控制系统、保障区域安全的软硬件系统。

4 产品型号编制规则

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



5 安全要求

- 5.1 可产生高温的外露部件（包括发动机、排气管等）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。
- 5.2 存在潜在风险的部位附近应固定永久性的符合 GB 10396 规定的安全标志，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。
- 5.3 无人机应应有限高、限速、限距功能。限速值不高于最大安全避障速度。
- 5.4 无人机应配备地理围栏系统。
- 5.5 无人机对通讯链路中断、燃料（电量）不足、全球导航卫星系统信号丢失或异常情形应具有报警和失效保护功能。
- 5.6 无人机应具有避障功能。操控无人机离开障碍物，应能重新可控。
- 5.7 无人机的电磁兼容性能应符合 GB/T 38909 的规定；无人机的射频电场辐射抗扰度按 GB/T 17626.3 规定的试验方法测量结果应达到表 1 的 B 级要求。无人机的通讯与控制系统辐射骚扰限值应符合 GB/T 9254 的规定，并应满足表 2 要求。

表 1 电磁兼容-射频电场辐射抗扰度

等级	试验样品功能丧失或性能降低的程度	未出现试验样品功能丧失或性能降低
----	------------------	------------------

		现象
A	各项功能和性能正常。	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②。出现现象③或④，且在干扰停止后2 min（含）内自行恢复，无需操作者干预。	
C	未出现现象①或②。出现现象③或④，且在干扰停止2 min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②；或未出现现象①或②，但出现现象③或④，且因硬件或软件损坏、数据丢失等原因不能恢复。	

表 2 电磁兼容-辐射骚扰限值

频率	测量值	限值 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)
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

6 技术要求

6.1 一般要求

- 6.1.1 无人机应能在 $0^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 93%的自然环境条件下正常作业。
- 6.1.2 无人机应设置限定施药作业速度的功能，保证杀虫杀菌作业在自然风速 3 级以内、除草作业在自然风速 2 级以内。
- 6.1.3 无人机应具有良好的密封性能，各零部件及连接处应密封可靠，不应出现药液或其他液体渗漏现象。
- 6.1.4 无人机的各紧固件联接应牢固并有必要的防松措施。
- 6.1.5 保养点设计应合理，便于操作。
- 6.1.6 电池、旋翼和喷头应便于更换。
- 6.1.7 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。
- 6.1.8 无人机空载和满载应悬停平稳不小于 4 分钟，不应出现掉高或坠落现象。
- 6.1.9 无人机应配备飞行信息存储系统，实时记录并保存飞行作业情况。至少应包括：无人机身份信息、位置坐标、飞行速度、飞行高度、喷雾压力和喷雾量。
- 6.1.10 无人机应具备远程监管系统通信功能。
- 6.1.11 燃油动力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，其中成功次数不应少于 1 次。
- 6.1.12 外观应整洁，不应有毛刺和明显的伤痕、变形等缺陷。
- 6.1.13 无人机使用说明书应按 GB/T 9480 的规定编制，使用说明书应包括提醒操作者的安全注意事项。

6.2 整机性能要求

- 6.2.1 无人机最大水平飞行速度不应超过 50km/h。
- 6.2.2 无人机飞行真高不超过 30 m。
- 6.2.3 无人机最大起飞重量不应大于 150 kg。
- 6.2.4 无人机最大续航时间与单架次最大作业时间之比不小于 1.2
- 6.2.5 在自动控制模式下飞行，无人机水平匀速运动的速度误差不大于 0.3 m/s；百米水平飞行航迹误差在水平和铅垂方向上均不大于 0.4 m。
- 6.2.6 作业幅宽最大误差不应超过产品说明书中标示值的 $\pm 10\%$ 。
- 6.2.7 在额定工作压力下喷雾时，喷雾量偏差不应大于 $\pm 5\%$ 。
- 6.2.8 在额定工作压力下喷雾时，喷雾量分布均匀性变异系数不应大于 35%。6.2.9 纯作业小时生产率不应低于企业明示值。

6.3 主要零部件性能要求

6.3.1 动力系统

6.3.1.1 无人机的电机、电调、螺旋桨以及电池应符合相应的国家或行业产品标准。6.3.1.2 无人机配备的汽油机/柴油机应符合相应的产品标准。

6.3.2 液泵

无人机配备的液泵应符合相应液泵标准要求。

6.3.4 过滤装置

无人机应设有足够过滤面积的三级过滤系统，至少最后一级过滤网的孔径应不大于最小通过尺寸，过滤装置应便于清洗。

6.3.5 喷雾系统

- 6.3.5.1 无人机设有压力调节装置时，在使用说明书明示的额定工作压力范围内应能平稳地调压。
- 6.3.5.2 喷头应具有良好的防滴性能，在额定工作压力下停止喷雾 5 s 后，出现漏滴现象的喷头不应超过 1 个，且其漏滴的液滴数不应大于 2 滴/min。
- 6.3.5.3 喷雾量自动调节装置应在产品使用说明书喷雾量控制范围内调节，单位时间内的实际药液流量值和设定值之间偏差不应大于 $\pm 5\%$ 。

6.3.6 承压管路系统

- 6.3.6.1 无人机的承压管路系统的耐压性能应符合 GB 10395.6—2006 中 4.4.1 的规定。
- 6.3.6.2 承压软管上应有最高允许工作压力的永久性标志，标明其制造商和最高允许工作压力。

6.3.7 药液箱部件

- 6.3.7.1 药液箱应具有良好的刚度和强度，无气孔、裂纹缺陷，加满药液后药箱应无渗漏和明显变形。
- 6.3.7.2 药液箱外表面应有容量刻度标记，操作者应能方便清晰观察到液位。
- 6.3.7.3 药液箱额定容量和加液孔直径应符合 GB/T 18678 的规定。
- 5.3.7.4 若安装药液箱的数量多于 2 个，各药液箱中的药液应互相联通。

- 6.3.7.5 加液口应设置过滤网，过滤网应具有一定的深度，保证加液畅通，无液体溢出。
- 6.3.7.6 药液箱盖应联结牢固、可靠，不应出现意外松动或开启现象。
- 6.3.7.7 药液箱底部应设置放液装置，在不使用工具和不污染操作者的情况下应方便、安全地排空药液。
- 6.3.7.8 药液箱内药液残留量不应大于额定容量的 1%。

6.3.8 通信控制系统

- 6.3.8.1 控制系统的发射器、接收器工作频率应符合工信部或国家其他行政部门的有关规定和要求。
- 6.3.8.2 无人机控制模式切换过程中，飞行姿态和飞行状态不应发生明显变化。
- 6.3.8.3 无人机飞行离地高度应不大于 30m，遥控可控作业半径应不小于 2000 m。
- 6.3.8.4 地面站或遥控器应设置声/光报警装置，在下列情况之一出现时应有报警提示：
 - 电池电量小于设定值；
 - 通讯中断大于 2 s；
 - 药液箱内药液量少于限定值；
 - 药液箱药液充足但不明原因的喷雾中断；
 - 喷雾压力（喷雾量）突然大幅度变化；
 - 无人机出现其他故障。

6.3.9 电气系统

- 6.3.9.1 电气系统线路布置应整齐有序，不应与发热部件相接触；电气装置及线束应完整无损，安装牢固，不应因振动而松脱、损坏，不应产生短路和断路。
- 6.3.9.2 开关、按钮应操作方便，动作可靠，不应因振动而自行接通或关闭。
- 6.3.9.3 所有电缆导线均需捆扎成束，布置整齐，固定卡紧；接头牢靠并有绝缘封套；导线穿越孔时，应设置过孔保护措施。

6.4 装配和外观质量要求

- 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 可靠性

无人机安全作业时间应不小于 100h，在 100h 内不应出现致命故障、严重故障和一般故障。

7 试验方法

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 环境适应性测试

将无人机放置在温度 $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $95\%\pm 3\%$ 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 。然后加注额定容量药液，按照使用说明书规定进行飞行作业，观察无人机工作是否正常。

7.2.2 抗风性能测试

无人机在最大起飞重量条件下置于风向稳定、风速为 $5.5\text{ m/s}\sim 7.9\text{ m/s}$ 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，观察其是否正常工作。

7.2.3 密封性能测试

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。

7.2.4 药液和燃料（电量）剩余量显示功能检查

检查无人机的地面控制系统是否能实时显示药液箱药液剩余量、燃料（电量）剩余量、地面控制系统电量剩余量。

7.2.5 悬停性能测试

注满燃油（使用电池电量不低于 95% 的电池），分别在空载和满载条件下，操控无人飞机在一定飞行高度保持悬停，直至其发出燃油（电量）不足 10% 电量报警后着陆，观察其飞行状态是否正常，记录起飞到着陆总时间。

7.2.6 作业控制模式切换稳定性检查

无人机在正常飞行状态下，控制其在手动控制模式和自动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。

7.2.7 飞行信息存储系统检查

7.2.7.1 操控无人机在测量场地内模拟田间施药飞行作业 5 min 以上。

7.2.7.2 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。

7.2.7.3 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包括本次飞行的速度、高度、位置信息，是否包括制造商、型号、编号信息。

7.2.7.4 检查飞行数据的更新频率。

7.2.8 远程监管通讯功能检查

按7.2.7试验结束后，检查远程监管系统中是否有本次飞行的位置信息、飞行速度、飞行高度及操作者的身份信息。

7.2.9 起动性能测试

试验前，燃油动力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。

7.3 整机性能试验

7.3.1 最大水平飞行速度试验

7.3.1.1 选取平整空旷地面，在空载条件下启动无人机，待飞行姿态稳定后，保持距离地面一定高度（如 3 m~5 m）并以最快速度通过 100 m 的水平直线距离（铅垂方向最大误差不大于 ± 0.3 m）。

7.2.7.2 除去加速段和减速段，在达到最大水平飞行速度并且保持匀速飞行的 50 m 区间内，使用每隔 1 m 共 51 个点定位数据计算无人机的飞行速度平均值。试验重复 3 次，取平均值。

7.3.2 起飞重量限值确认

无人机注满燃油（使用满电量电池）。在机身逐步加挂配重至其制造商明示的最大起飞重量，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，操控无人机起飞，若其无法离地升空，则判定其最大起飞重量小于制造商明示的最大起飞重量。

若无人机离地升空，则重新加挂配重至总重量 151 kg，重复起飞动作，观察其能否再次离地升空，判定其最大起飞重量是否超过 150 kg。

7.3.3 续航时间试验

7.3.3.1 试验前无人机的蓄电池应充满电量或注满燃油。

7.3.3.2 试验在空旷露天场地、风速不超过 3m/s 的条件下进行。加注额定容量试验介质，操控植保无人机在自动模式下以 4m/s 的速度、距离地面 2m 的高度、最小喷头流量进行喷雾作业，从起飞至电量/燃油不足报警后平稳降落，测试并记录单架次总飞行时间和连续喷雾作业时间。

7.3.3.3 试验重复 3 次，取平均值。

7.3.3.4 在试验过程中，检查地面站（或遥控器）的蓄电池电量报警信号是否正常。

7.3.4 自动飞行控制模式下的速度误差和航迹误差试验

7.3.4.1 选取平整空旷地面，起降地点周围 5 m 范围内应无障碍物。

7.3.4.2 在空载条件下启动无人机，待飞行姿态稳定后，操控无人机保持距离地面一定高度（如 3 m~5 m）并以固定速度（3 m/s~5 m/s）通过 100 m 的水平直线距离（铅垂方向最大误差不大于 ± 0.3 m）。

7.3.4.3 除去加速段和减速段，在达到最大水平飞行速度并且保持匀速飞行的 50 m 区间内，使用每隔 1 m 共 51 个点的机载专用 RTK 差分定位数据计算无人机在各点的速度误差绝对值，取平均值。

7.3.4.4 使用 100 m 航线上每隔 1m 共 101 个点的机载专用 RTK 差分定位数据计算无人机在直线飞行时的航迹误差（水平方向和铅垂方向上的误差）绝对值，取平均值。

7.3.4.5 试验重复 2 次，取两次试验的平均值。

7.3.5 手动控制模式飞行性能测试

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

7.3.5.2 向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 30 m。目测飞行过程中无人机动作是否正确，姿态、高度、速度是否出现波动。

7.3.6 自动控制模式飞行精度测量

7.3.6.1 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。

7.3.6.2 在额定起飞重量条件下，操控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。

7.3.6.3 将记录的航迹经纬度坐标按 cgcs2000 的格式进行直角坐标转换；无人机的空间位置坐标记为 (x_i, y_i, z) ， $i=0, 1, 2, \dots, n$ ，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。

7.3.6.4 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。

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

式中：

L_i ——偏航距（水平），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）。

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

式中：

H_i ——偏航距（高度），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值，单位为米（m）。

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

式中：

V_i ——速度偏差，单位为米每秒（m/s）；

v_i ——采集航迹点位置的飞行速度，单位为米每秒（m/s）；

v_{set} ——预设的飞行速度，单位为米每秒（m/s）。

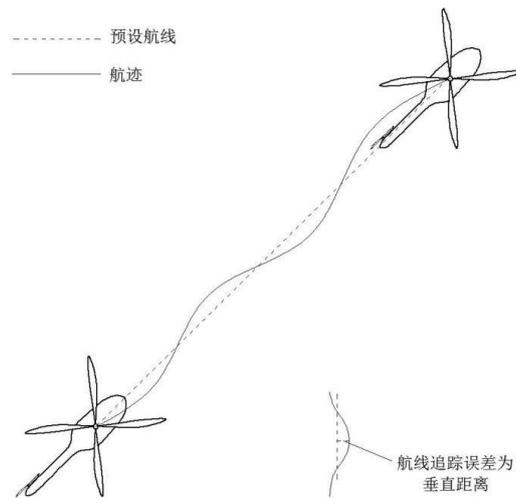


图1 自主控制模式飞行精度测量方法

7.3.7 作业喷幅测量

7.3.7.1 将采样卡（普通纸卡或水敏纸）水平夹持在 0.5 m 高的支架上，在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。

7.3.7.2 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。

7.3.7.3 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：

方法 1：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/cm² 的测点位置作为作业喷幅两个边界；

方法 2：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/cm² 的位置作为作业喷幅两个边界，如图 2 所示。

7.3.7.4 作业喷幅边界间的距离为作业喷幅。试验至少重复 3 次，取平均值。一次试验中应布置 3 行采样卡，采样卡行距不小于 5 m。

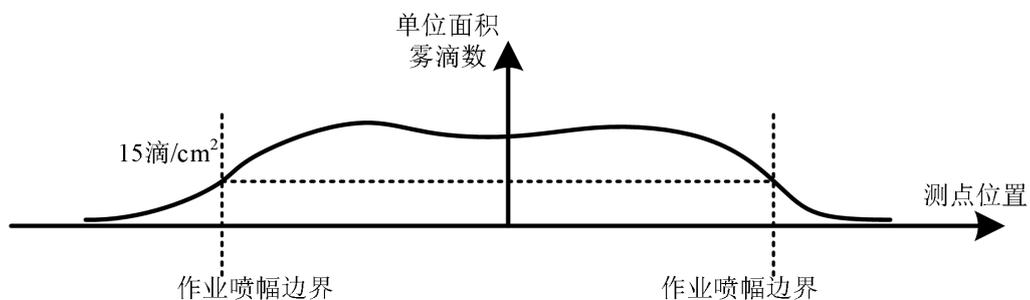


图2 作业喷幅边界确定方法图

7.3.8 喷雾性能测量

7.3.8.1 喷雾量偏差测量

在额定工作压力下喷雾，用容器收集雾液，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实际喷雾量偏差。

7.3.8.2 喷雾量均匀性变异系数测量

将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，无人机机头应与集雾槽排列方向垂直。

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，则在 2 m 作业高度喷雾。

使用量筒收集集雾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。

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。

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

式中：

\bar{q} ——喷雾量平均值，单位为毫升 (mL)；

q_i ——各量筒收集的喷雾量，单位为毫升 (mL)；

n ——喷幅范围内的量筒总数。

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

式中：

S ——喷雾量标准差，单位为毫升 (mL)。

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

式中：

V ——喷雾量分布均匀性变异系数，%。

7.3.9 纯作业小时生产率测量

计算纯作业小时生产率应确保无人机亩施药量不低于 0.8 L，按公式 (10) 计算。

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

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（ hm^2 ）；

T_s ——纯喷药时间，单位为小时（ h ）。

7.4 主要零部件性能测试

7.4.1 动力系统性能测试

电机、汽油机、柴油机等性能按照相关标准测量。

7.4.2 液泵测量

液泵按相应液泵标准的规定进行测量。

7.4.3 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，圆孔测量直径，方形孔测量最大边长。

7.4.4 防滴性能测量

无人机在额定工作压力下进行喷雾，停止喷雾5 s后，观察出现滴漏现象的喷头数，记录各喷头1 min内滴漏的液滴数。

7.4.5 承压管路系统测试

7.4.5.1 目测检查承压软管标志。承压管路耐压试验按 JB/T 9782—2014 中 4.10.2 规定的方法进行。

7.4.5.2 橡胶软管按 HG/T 3043 的规定进行测量，塑料软管按相关标准进行测量。

7.4.6 药液箱部件检查

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

7.4.6.2 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。

7.4.6.3 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。

7.4.6.4 整机性能试验过程中按 GB/T 18675 的规定测定药液箱内药液残留量。

7.4.6.5 药液箱部件的其他要求采用目测、手动操作方式进行检查。

7.4.7 控制系统测试

7.4.7.1 最大作业半径

无人机在功能完好、电池满电量状态下，挂载制造商规定的额定载重，预设航线，控制无人机平台垂直起飞达到制造商规定的典型作业高度（若未规定典型作业高度，则取作业高度范围中值），记为位置 A，以制造商规定的典型作业速度沿直线平飞至位置 B（若未规定典型作业速度，则取作业速度范围中值），位置 B 与位置 A 之间的距离应等于制造商规定的最大作业半径，控制无人机返航至 A 点 5m 范围内，检测无人机电池电量不应少于满电状态下的 10%；当无人机返航过程中电量不足以支撑返航时，记无人机电量为 10% 的位置为位置 C，最大作业半径按照式（8）计算：

$$R = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (8)$$

式中：

R——最大作业半径，单位为米（m）；

L1——位置 B 与位置 A 之间的距离，单位为米（m）；

L2——位置 B 与位置 C 之间的距离，单位为米（m）。

按上述方法测量 3 次，取最小值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。

7.4.7.2 遥控遥测距离测量

试验场地要求如下：

——试验场地应平坦而空旷，测试中心 O 点以 1.5 倍最大遥控距离半径范围内，不应有大的反射物，如建筑物、围墙等，如图 3 所示；

——试验场地周围不应有积雪、高草、松土或炉渣等吸波材料。

控制无人机从 O 点起飞，沿着一个方向直线低空飞行，飞行高度 30m 以下，直至无人机系统提示功能异常。利用距离测量工具分别测量无人机与 O 点的水平距离 L 和垂直距离为 H，计算出对应的距离 R。改变飞行目的点位置，分别在 5 个不同的位置重复试验，取平均值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。

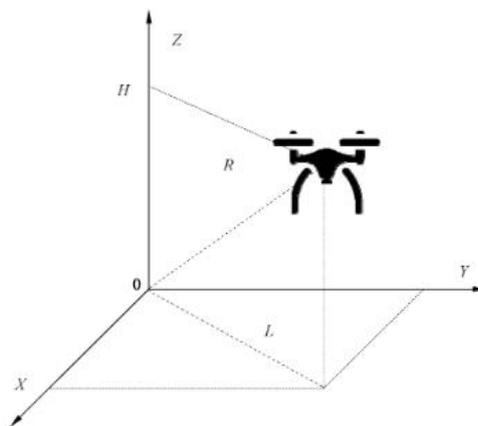


图 3 遥控遥测距离试验示意图

当试验条件不具备时，可按照如下方法进行实验室试验确定遥控距离和遥测距离。

1. 遥控距离

使用无线测试设备测试无人机的接收灵敏度、地面遥控设备发射机最大发射功率，无线通信中心频率，具体步骤如下：

1) 测量地面遥控设备无线发射的中心频率、发射端频率，每个参数测试样本数不少于 10，取平均值；

2) 调整测试设备的发射功率，测量无人机接收灵敏度，测试样本数不少于 10，取平均值；

3) 通过式（8）和式（9）解算遥控最大遥控距离。

通过式（8）计算无线信号空间损耗：

$$LFS = P_t - C_t + G_t - P_r + G_r - C_r \quad (9)$$

式中：

LFS——空间传输损耗，单位为分贝（dB）；

Pr——接收端灵敏度，单位为分贝（dB）；

P_t ——发射端功率，单位为分贝（dB）；；
 G_r ——接收端天线增益，单位为分贝（dB）；
 G_t ——发射端天线增益，单位为分贝（dB）；
 C_r ——接收端接头与线缆损耗，单位为分贝（dB）；
 C_t ——发射端接头与线缆损耗，单位为分贝（dB）。
 通过式（3）计算无线通信距离：

$$20 \lg d = LFS - 32.44 - 20 \lg f \quad (3)$$

式中：

LFS ——空间传输损耗，单位为分贝（dB）；
 D ——传播距离，单位为千米（km）；
 F ——中心频率，单位兆赫兹（MHz）。

此方法为实验室模拟方法，测试结果一般应减去 10dB 的余量后求得最终的遥控距离。

2. 遥测距离

使用无线测试设备测试无人机发射机最大发射功率、地面遥测设备接收机灵敏度，无线通信中心频率，具体试验步骤如下：

- 1) 测量无人机发射机发射的中心频率、发射端功率，每个参数测试样本数不少于 10，取平均值；
- 2) 调整测试设备的发射功率，测量地面遥测设备接收灵敏度，测试样本数不小于 10，取平均值；
- 3) 通过式（8）和式（9）解算遥控最大遥测距离。

此方法为实验室模拟方法，测试结果一般应减去 10dB 的余量后求得最终的遥控距离。

7.4.7.3 报警装置检查

目测观察是否有声（光）报警装置或启动无人机系统时是否有声（光）提示测试通过。测试当出现 6.3.8.4 异常情况时，观察无人机系统是否具有相应的声光警告。

7.4.8 电气系统及其他项目检测

通过目测、手动操作和/或常规测量的方式对 6.1.4~6.1.6、6.3.9 的规定进行检查、测量。

7.5 安全性能试验

7.5.1 安全防护装置检查

目测检查发动机、排气管的安装位置是否处于人体易触碰的区域。
 目测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。

7.5.2 安全标志与标识检查

目测检查无人机的旋翼、发动机、药液箱、排气管、电池等对操作者有遗留风险的部位附近是否有永久性安全标志。

目测检查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。

7.5.3 限高、限速和限距功能测试

7.5.3.1 限高测试

在手动控制模式下操控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。

7.5.3.2 限速测试

在手动控制模式下操控无人机平飞，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。

7.5.3.3 限距测试

在手动控制模式下操控无人机平飞，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。

7.5.4 电子围栏测试

7.5.4.1 在试验场地内设置 $30\text{ m} \times 30\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的空间区域为电子围栏的禁飞区。操控无人机以 3 m/s 飞行速度， 5 m 飞行高度接近直至触碰电子围栏，如图4所示。

7.5.4.2 目测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。

7.5.4.3 将无人机搬运进电子围栏区域，目测其是否有报警提示且无法起动。

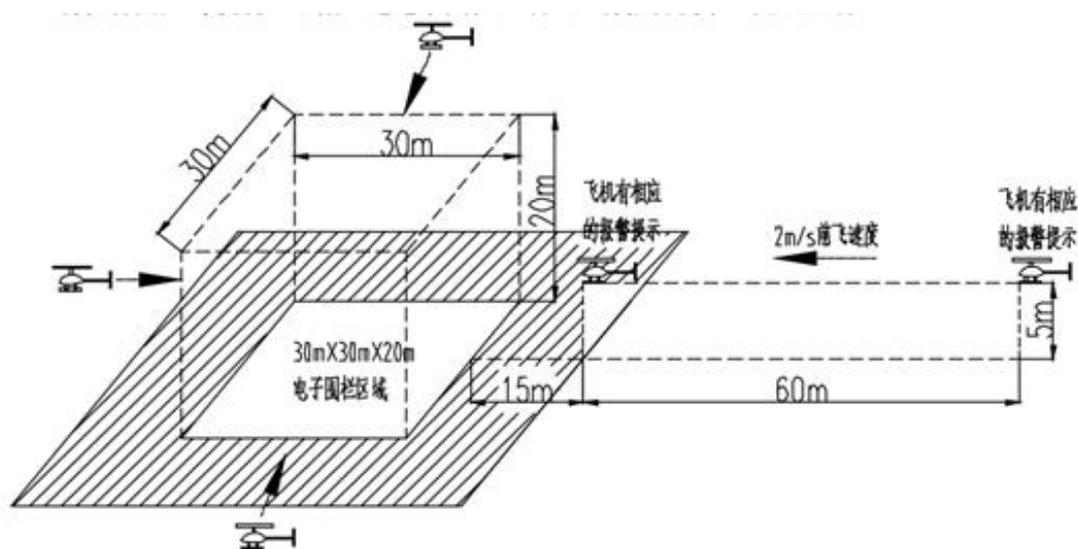


图4 电子围栏测量过程图

7.5.5 报警和失效保护功能测试

7.5.5.1 链路中断的失效保护测量

正常飞行状态下，操控无人机持续飞行，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。

7.5.5.2 失效保护测量

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

7.5.5.3 失效报警功能检查

目测检查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。

7.5.6 自动避障性能测量

无人机加注额定容量药液，在自主模式下，以 2m 的高度，4m/s 的速度飞向直径 $2\text{cm}\pm 0.5\text{cm}$ 、高度 4 m 的镀锌管(垂直于地面)障碍物时，应能自动改变飞行归集，避免与障碍物碰撞。无人机避开障碍物后，应能重新回归设定的轨迹。

7.5.7 电磁兼容测量

7.5.7.1 辐射骚扰限制测量

按照GB/T 9254对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1，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。

7.5.7.2 射频电场辐射抗骚扰度测量

按照GB/T 17626.3对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，对数周期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1。

7.5.8 使用说明书检查

目测检查无人机使用说明书是否按GB/T 9480的规定编制，内容是否齐全。

7.6 装配和外观质量检查

目测检测是否符合6.5的要求。

7.7 可靠性试验

7.7.1 故障分级

故障分级表见表 3。

表 3 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/电池等动力故障
	控制失效或控制执行部件故障
	作业时机上任意部件飞出
一般故障	旋翼损坏

	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
	30min 内用随机工具排除的故障（可更换易损件）

7.7.2 可靠性

可靠性采用按累计 120 h 定时截尾进行考核，记录首次故障前作业时间。

8 检验规则

8.1 出厂检验

8.1.1 每台无人机应经制造厂质量检验部门检查合格，并附有产品质量合格证方准入成品库和出厂。

8.1.2 无人机出厂前应进行出厂抽检，检验项目见表4，全部检验项目均应合格。

8.2 型式检验

8.2.1 有下列情况之一时，需要进行型式检验：

- 新产品定型鉴定和老产品转厂生产；
- 正式生产后，结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能；
- 工装、模具的磨损可能影响产品性能；
- 长期停产后，恢复生产；
- 批量生产，周期性检验（一般每 3 年进行一次）；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异；
- 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求。

8.2.2 型式检验项目按表 4 规定。

8.2.3 采取随机抽样，在工厂抽样时，应在制造厂近一年内生产的合格产品中随机抽取，检查批量不应少于 10 台，在用户和经销部门抽样不受此限，抽取样本为 2 台。样机抽取封存后至检验工作结束期间，除按使用说明书规定进行保养和调整外，不应再进行其他调整、修理和更换。

8.2.4 型式检验项目分类见表 4，按其对产品质量的影响程度，分为 A、B、C 三类。A 类为对产品质量有重大影响的项目，B 类为对产品质量有较大影响的项目，C 类为对产品质量影响一般的项目。

表 4 检验项目分类

项目分类		检验项目	对应条款	出厂检验	型式检验
类	项				
A	1	防护装置	5.1	√	√
	2	安全标志和标识	5.2	√	√
	3	限高、限速、限距功能	5.3	√	√
	4	电子围栏系统	5.4	√	√

	5		报警和失效保护功能	5.5	√	√
	6		避障功能	5.6	√	√
	7		电磁兼容性能	5.7	—	√
	8		使用说明书	5.8	√	√
	9	续航时间		6.2.4	√	√
	10	最大起飞质量		6.2.3	√	√
	11	承压管路系统		6.3.6	—	√
	12	可靠性		6.5	—	√
B	1	环境适应性		6.1.1	—	√
	2	抗风性能		6.1.2	—	√
	3	药液和燃料（电量）剩余量显示功能		6.1.7	√	√
	4	悬停性能		6.1.8	√	√
	5	控制模式切换稳定性		6.1.9	√	√
	6	飞行信息存储系统		6.1.10	√	√
	7	远程监管系统通讯功能		6.1.11	√	√
	8	最大水平飞行速度		6.2.1	√	√
	9	最大飞行高度		6.2.2	√	√
	10	自动飞行控制模式速度、航迹误差		6.2.5	√	√
	12	喷雾性能		6.2.7、6.2.8	—	√
	13	喷雾系统		6.3.5	—	√
	14	控制系统		6.3.8	√	√

表 4 检验项目分类（续）

项目分类		检验项目	对应条款	出厂检验	型式检验
类	项				
C	1	密封性能	6.1.3	√	√
	2	紧固件	6.1.4	√	√
	3	保养点	6.1.5	√	√
	4	电池、旋翼和喷头	6.1.6	√	√
	5	起动性能	6.1.12	√	√
	6	作业幅宽	6.2.6	—	√
	7	纯作业小时生产率	6.2.9	—	√
	8	动力系统	6.3.1	—	√
	9	液泵	6.3.2	—	√
	10	软管	6.3.3	—	√
	11	过滤装置	6.3.4	√	√

	12	药液箱部件	6.3.7	√	√
	13	电气系统	6.3.9	√	√
	14	装配和外观	6.4	√	√
	15	标牌	9.1	√	√
注：“√”表示应检验项目，“—”表示不检验项目。					

8.2.5 抽样判定方案按表 5 的规定进行。表中接收质量限 AQL、接收数 Ac、拒收数 Re 均按计点法（即不合格项次数）计算。采用逐项考核，按类别判定的原则，若各类不合格项次小于或等于接收数 Ac 时，判定该产品合格；若不合格项次大于或等于该拒收数 Re 时，判定该产品不合格。

表 5 抽样判定方案

检验项目类别	A		B		C	
检验项目数	12		14		15	
样本量 n	2					
AQL	6.5		40		65	
Ac Re	0	1	2	3	3	4

9 标志、包装、运输、贮存

9.1 每台无人机上应安装牢固的产品标牌。标牌应符合 GB/T 13306 的规定，内容至少应包括：

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

9.2 无人机整机可以裸装出厂。无人机出厂需要包装运输时，对附件、备件、工具及运输中必须拆下的零部件，应进行分类包装、标识，应保证无人机（包括备件、附件和随机工具）在正常运输中不致发生损坏和丢失。

9.3 出厂的无人机应按照产品技术文件的规定配齐全套备件、附件和随机工具，并随同出厂的每台无人机至少应提供下列文件：

- a) 使用说明书；
- b) 合格证；
- c) 三包凭证；
- d) 备件、附件和随机具清单；
- e) 装箱单。

9.4 无人机长期存放时，应贮存在干燥、通风的场所，应避免与酸、碱、农药等腐蚀性物品堆放在一起。

附 录 A
(规范性附录)
产品规格确认表

产品规格确认表见表A.1。

表 A.1 产品规格确认表

序号	项目		设计值	
1	机具名称			
2	整机型号			
3	飞行控制系统			
4	空机重量, kg			
5	额定起飞重量, kg			
6	工作压力, MPa			
7	工作状态下的外型尺寸(长×宽×高), mm			
8	旋翼	材质		
		主旋翼数量, 个		
		直径, mm		
9	药液箱	材质		
		额定容量, L		
10	喷头	型式		
		数量, 个		
11	喷杆长度, mm			
12	液泵	型式		
		流量, L/min		
13	配套动力	发动机	功率/转速, kW/r/min	
			油箱容量, L	
		电动机	KV 值, r/(min·V)	
			额定功率, W	
14	电池	电压, V		
		容量, mAh		

附 录 B
(资料性附录)
航迹数字化测量系统

航迹数字化测量系统可参考配置如下: 载波相位差分定位 (RTK) 系统 (定位精度应高于水平 0.1m、高度 0.15m)、无线通讯装备、地面监视器, 测量系统的安装方法如图 B.1 所示。

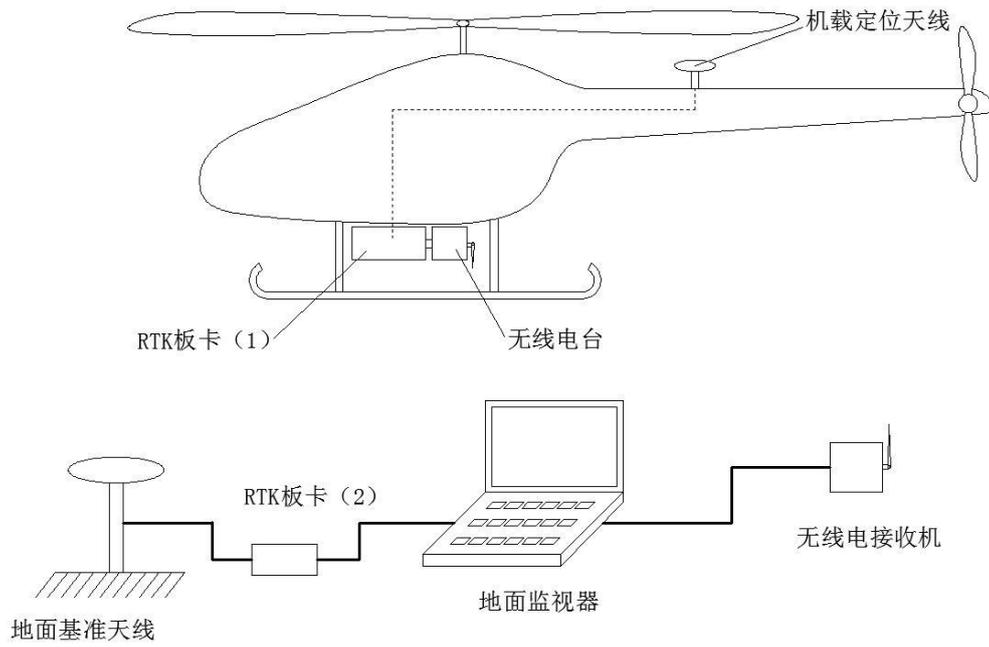


图 B.1 航迹数字化测量系统安装图