

ICS 07.060

CCS A 47

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

航空无人机人工增雨（雪）作业 技术规程

Technical specifications for precipitation (snow) enhancement operation by

aerial unmanned aerial vehicles

（征求意见稿）

2026-X-XX 发布

2026-X-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 作业系统 2

 4.1 系统组成 2

 4.2 设备要求 2

 4.3 系统校验 2

5 作业条件 2

 5.1 天气条件 2

 5.2 空域条件 3

 5.3 人员条件 3

6 作业实施 3

 6.1 作业准备（作业前 72h~3h） 3

 6.2 作业飞行（起飞→作业→返航） 4

 6.3 作业结束（降落→归档） 4

7 安全管理 4

 7.1 飞行安全 4

 7.2 设备安全 4

 7.3 人员安全 5

8 数据记录与效果评估 5

 8.1 数据记录 5

 8.2 效果评估 5

9 应急处置 6

 9.1 分类处置 6

 9.2 应急流程 6

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：。

本文件为首次编制。

航空无人机人工增雨（雪）作业技术规程

1 范围

本文件规定了航空无人机人工增雨（雪）作业的作业系统、作业条件、作业实施、安全管理、数据记录与效果评估、应急处置。

本文件适用于最大起飞重量 $\geq 150\text{kg}$ 的民用固定翼/多旋翼航空无人机，开展人工增雨（雪）作业的全流程管控；最大起飞重量 $< 150\text{kg}$ 的无人机作业可参照执行。

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 38152 无人驾驶航空器系统术语
- GB/T 42989 人工影响天气术语
- MH/T 1069 无人驾驶航空器系统作业飞行技术规范
- QX/T 658 人工增雨（雪）地面催化剂发生器作业要求

3 术语和定义

GB/T 42989、GB/T 38152界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

航空无人机 aerial unmanned aerial vehicle

具备自主飞行/远程操控能力，搭载气象探测、催化剂播撒设备，用于人工增雨（雪）作业的无人驾驶航空器（以下简称“无人机”），按最大起飞重量分为大型（ $\geq 150\text{kg}$ ）、中型（ $50\text{kg} \sim 149\text{kg}$ ）、小型（ $< 50\text{kg}$ ）。

3.2

无人机人工增雨（雪）作业 precipitation (snow) enhancement operation by uav

利用无人机在目标云体的适宜部位，适时播撒定量催化剂（碘化银、干冰、盐粉等），促进云滴/冰晶增长，增加地面降水的人工影响天气作业。

3.3

催化剂播撒系统 catalyst seeding system

无人机搭载的用于储存、点燃 / 释放催化剂的装置，包括焰条播撒器、干冰释放装置、盐粉喷洒装置等。

3.4

地面控制站 ground control station

具备无人机飞行操控、任务载荷监控、数据接收与指令下发功能的地面设备，含硬件终端、控制软件、通信模块。

4 作业系统

4.1 系统组成

无人机人工增雨（雪）作业系统由飞行平台、任务载荷、地面控制站、通信链路、保障设备5 部分组成，核心设备技术参数应符合表1规定。

表 1 核心设备技术参数表

设备类型	技术指标	要求
飞行平台 (大型无人机)	最大起飞重量	≥150kg
	续航时间	≥4h（满载荷）
	实用升限	≥6000m（海拔）
	抗风能力	≥15m/s（飞行中）
	导航精度	≤5m（CGCS2000/WGS-84 坐标系）
任务载荷	气象雷达	探测距离≥50km，分辨率≤100m
	催化剂播撒量	碘化银焰条：单根含 AgI≥11g，燃烧时间 5min~16min
	大气探测设备	温度精度 ±0.5℃，湿度精度 ±3%，气压精度 ±1hPa
地面控制站	通信距离	≥200km（无遮挡）
	数据延迟	≤2s
	监控接口	支持视频、雷达、探测数据实时显示
通信链路	数据传输速率	≥10Mbps
	抗干扰能力	具备加密传输、链路冗余切换功能

4.2 设备要求

4.2.1 飞行平台

应满足以下要求：

- a) 应搭载二次雷达应答机、ADS-B监视设备、甚高频无线电中继、结冰告警及防除冰系统；
- b) 机身、机翼、尾翼结构强度应满足-40℃~+50℃环境温度，防腐蚀、防结冰性能符合MH/T 1069 要求；
- c) 动力系统应具备双发动机冗余，单发动机故障时可稳定飞行≥30min。

4.2.2 任务载荷

应满足以下要求：

- a) 气象雷达可识别云体类型、回波强度、云顶高度、云底高度；
- b) 催化剂播撒系统应具备精准控制，可单根/多根同步播撒，播撒误差≤5%；
- c) 所有载荷设备应通过防震、防潮、低温适配测试，适应-50℃~+60℃工作环境。

4.2.3 地面控制站

应满足以下要求：

- a) 具备电子围栏功能，可自动避让禁区、限制区，越界自动报警并触发返航；
- b) 支持多机协同作业，可同时监控≤3 架无人机飞行状态；
- c) 配备UPS不间断电源，断电后可连续工作≥2h。

4.3 系统校验

- 4.3.1 作业前72h，完成全系统联调校验，包括导航定位、通信链路、载荷设备、应急功能测试。
- 4.3.2 校验标准应包括导航误差≤5m、通信丢包率≤1%、载荷设备工作正常、应急功能响应时间≤3s。
- 4.3.3 校验记录存档，不合格设备严禁投入作业。

5 作业条件

5.1 天气条件

5.1.1 增雨作业（暖云/冷云）

应满足以下条件：

- a) 云体类型：层状云、积层混合云，云厚≥2km，云底高度≤2km，云顶高度≥4km；

- b) 温度条件：云内 -5°C 层高度 $\leq 5\text{km}$ ，过冷水含量 $\geq 0.1\text{g}/\text{m}^3$ ；
- c) 动力条件：作业区上空（700hPa）风速 $\leq 20\text{m}/\text{s}$ ，垂直上升速度 $\geq 0.5\text{m}/\text{s}$ ；
- d) 水汽条件：相对湿度 $\geq 85\%$ ，露点温度差 $\leq 3^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.2 增雪作业（冷云）

应满足以下条件：

- a) 云体类型：层云、雨层云，云厚 $\geq 1.5\text{km}$ ，云底高度 $\leq 1.5\text{km}$ ，云顶高度 $\geq 3\text{km}$ ；
- b) 温度条件：云内 $-10^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 层厚度 $\geq 1\text{km}$ ，冰晶浓度 ≤ 10 个/L；
- c) 动力条件：作业区上空（700hPa）风速 $\leq 15\text{m}/\text{s}$ ，垂直上升速度 $\geq 0.3\text{m}/\text{s}$ ；
- d) 水汽条件：相对湿度 $\geq 80\%$ ，露点温度差 $\leq 4^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 空域条件

应满足以下条件：

- a) 作业空域：应提前申请，避开机场净空区、军事禁区、人口稠密区、易燃易爆设施（油库、化工厂）；
- b) 空域范围：水平边界以经纬度标注，垂直高度 $\leq 6000\text{m}$ ，与其他航空器安全距离 $\geq 5\text{km}$ （水平）、 $\geq 1\text{km}$ （垂直）；
- c) 有效期：空域审批有效期 $\leq 24\text{h}$ ，超出有效期应重新申请。

5.3 人员条件

应满足以下条件：

- a) 无人机驾驶员：持有民航局颁发的无人机驾驶员执照，具备 $\geq 50\text{h}$ 飞行时长，其中增雨作业飞行 $\geq 10\text{h}$ ；
- b) 载荷操作员：经人工影响天气专业培训，掌握催化剂播撒、气象数据解读技能，考核合格持证上岗；
- c) 指挥人员：具备 ≥ 3 年人工影响天气作业指挥经验，熟悉天气系统分析、航线规划、应急处置流程。

注：所有作业人员每年复训 ≥ 1 次，复训不合格不得上岗。

6 作业实施

6.1 作业准备（作业前 72h~3h）

6.1.1 方案制定

应按照规定进行：

- a) 作业前72h：人影指挥中心结合干旱监测、短期预报，制定《作业计划》，明确作业时段、区域、需求、备用空域；
- b) 作业前24h：基于卫星云图、雷达、探空资料，制定《作业预案》，确定云系类型、作业部位、催化方式；
- c) 作业前3h：结合临近预报、实况监测，制定《作业方案》，明确航线、高度、催化剂类型及用量。

6.1.2 空域与飞行申请

应按照规定进行：

- a) 常备申请：每年向军民航空管制部门提交年度作业计划，明确机型、编号、作业时段、空域范围；
- b) 单次申请：作业前6h提交飞行计划，含机型、编号、机组信息、作业区域/高度、起降机场、备降机场、应急航线；
- c) 申请批复：取得军民航空域批复后，方可实施作业，批复文件存档。

6.1.3 设备与催化剂准备

应按照规定进行：

- a) 飞行平台：检查机身、机翼、动力系统、航电系统，燃油 / 电量充足（续航 $\geq$ 作业时长+1h）；

b) 任务载荷：校准气象雷达、探测设备，装填催化剂（碘化银焰条、干冰等），检查播撒器连接可靠性；

c) 地面控制站：测试通信链路、电子围栏、监控系统，备份电源电量充足；

d) 催化剂要求：碘化银焰条符合QX/T 658，干冰纯度 $\geq 99.9\%$ ，盐粉粒径 $0.1\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 。

6.2 作业飞行（起飞→作业→返航）

6.2.1 起飞与爬升

应按照规定进行：

a) 起飞前检查：机组人员确认设备正常、空域有效、天气符合条件，签署起飞确认单；

b) 起飞阶段：无人机按规划航线起飞，爬升速度 $3\text{m/s}\sim 5\text{m/s}$ ，高度升至作业高度下500m时平飞；

c) 数据监控：地面控制站实时监控飞行参数（高度、速度、航向、位置）、载荷状态，每5min记录1次。

6.2.2 云体探测与确认

应按照规定进行：

a) 进入作业区前：启动气象雷达，探测云体结构、回波强度、云顶/云底高度，确认符合5.1作业条件；

b) 入云准备：启动防除冰系统，探测设备开机，监控云内温度、湿度、过冷水含量；

c) 条件复核：云内参数不达标时，立即调整航线，寻找符合条件云体；仍不达标则终止作业。

6.2.3 催化剂播撒作业

应按照规定进行：

a) 航线规划：采用“之”字形/平行航线，航线间距 $2\text{km}\sim 3\text{km}$ ，作业高度位于 $-5^{\circ}\text{C}\sim -10^{\circ}\text{C}$ 层（增雨）、 $-10^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$ 层（增雪）；

b) 播撒控制：按方案启动播撒系统，碘化银焰条单架次播撒6根 ~ 12 根，播撒速度1根/5min ~ 1 根/3min；

c) 实时调整：根据云体移动、风场变化，动态调整航线、播撒量；结冰速率 $\geq 0.5\text{mm/min}$ 时，立即脱离结冰区；

d) 全程记录：播撒起止时间、催化剂用量、云体参数、飞行状态，异常情况实时记录。

6.2.4 返航与降落

应按照规定进行：

a) 返航判断：催化剂耗尽、燃油/电量不足、天气恶化时，立即终止作业，启动返航程序；

b) 返航阶段：脱离云体后，关闭载荷设备、防除冰系统，按规划航线返航，飞行高度降至3000m以下；

c) 降落阶段：地面控制站监控降落过程，必要时手动接管；降落完成后，切断电源，检查设备状态。

6.3 作业结束（降落→归档）

应按照规定进行：

a) 设备检查：拆卸剩余催化剂，清洁载荷设备，检查机身、动力系统、航电系统有无损伤；

b) 数据下载：下载飞行数据、探测数据、视频监控资料，备份存档；

c) 信息上报：作业结束后3h内，上报作业信息（时段、区域、催化剂用量、飞行时长、天气实况）。

7 安全管理

7.1 飞行安全

7.1.1 严禁超视距、超空域、超高度飞行，严禁在雷雨、大风（ $\geq 15\text{m/s}$ ）、强对流天气下作业。

7.1.2 无人机与地面控制站失联 $\geq 3\text{min}$ 时，启动失联程序：保持航向高度，自动返航至预设安全空域。

7.1.3 作业区域下方严禁人员聚集，起降场地半径50m内设置警戒区，无关人员禁止进入。

7.2 设备安全

- 7.2.1 催化剂储存
- 碘化银焰条存放在阴凉干燥处，温度≤30℃，远离火源、氧化剂，储存期≤3年。
- 7.2.2 设备维护
- 每次作业后清洁设备，检查线路、接口、固件；每月开展1次全面维护，每年开展1次年检。
- 7.2.3 故障处置
- 飞行中设备故障，优先保障人员安全，按应急预案处置，严禁带故障作业。
- 7.3 人员安全
- 7.3.1 作业人员佩戴防护装备（安全帽、防滑鞋、防护手套），起降场地严禁穿易燃、易静电衣物。
- 7.3.2 催化剂装填/拆卸时，严禁明火、吸烟，避免皮肤直接接触碘化银、干冰。
- 7.3.3 定期开展安全培训，内容包括飞行安全、设备操作、应急逃生、急救知识。

8 数据记录与效果评估

8.1 数据记录

- 8.1.1 记录内容
- 应至少包括以下内容：
- a) 基础信息：作业日期、时段、区域、机型、编号、机组人员、空域批复号；
- b) 飞行数据：起飞/降落时间、高度、速度、航向、经纬度、续航时长；
- c) 作业数据：云体参数（云厚、温度、过冷水含量）、催化剂类型/用量、播撒起止时间；
- d) 天气数据：作业区及周边站点降水、温度、湿度、风向风速（作业前24h、作业中、作业后24h）应。

- 8.1.2 记录表格
- 可参考表2、表3格式进行记录，数据精准，时间精确到分钟，降水量精确到0.1mm。

表2 无人机人工增雨（雪）作业基础信息记录表

项目	内容	项目	内容
作业日期	YYYY-MM-DD	作业时段	HH:MM-HH:MM
作业区域（经纬度）	E° ' " , N° ' "	作业类型	增雨 ☐ 增雪 ☐
无人机型号		无人机编号	
驾驶员		载荷操作员	
指挥人员		空域批复号	
起降机场		备降机场	
催化剂类型	碘化银 ☐ 干冰 ☐ 盐粉 ☐	催化剂用量	

表3 无人机人工增雨（雪）作业飞行与云体参数记录表

时间	飞行高度（m）	飞行速度（m/s）	云厚（km）	云内温度（℃）	过冷水含量（g/m³）	催化剂播撒状态	备注
HH:MM							
HH:MM							
HH:MM							

8.2 效果评估

- 8.2.1 评估时间
- 作业结束后48h内完成初步评估，月度、季度、年度开展总结评估。
- 8.2.2 评估方法
- 采用区域对比法、历史回归法、物理参数分析法，对比作业区与非作业区、作业前后降水、云体参数变化。
- 8.2.3 评估指标
- 降水量增加率（≥10%为有效）、降水时长、云体维持时间、水资源增加量。
- 8.2.4 评估报告
- 含作业概况、数据对比、效果结论、问题与改进建议，存档并上报主管部门。

9 应急处置

9.1 分类处置

9.1.1 飞行故障

应按照规定进行：

- a) 动力故障：单发动机故障，保持高度航向，就近备降；双发动机故障，启动迫降程序，避开人口稠密区；
- b) 航电故障：导航/通信失效，启动备用导航，尝试恢复通信；3min未恢复，自动返航；
- c) 结冰故障：结冰速率超标，立即拉升/下降高度，脱离结冰区；防除冰系统失效，紧急返航。

9.1.2 天气突变

应按照规定进行：

- a) 雷雨预警：立即终止作业，返航备降；无法返航时，飞往安全空域盘旋等待；
- b) 大风/强对流：风速 $\geq 18\text{m/s}$ 、出现强对流云团，立即脱离作业区，返航降落。

9.1.3 人员与设备意外

应按照规定进行：

- a) 人员受伤：立即停止作业，开展急救，拨打120送医；
- b) 设备起火：切断电源，使用干粉灭火器灭火，严禁用水扑救电气、催化剂火灾。

9.2 应急流程

应按照规定进行：

- a) 预警：监控到异常情况，立即发出预警，通知机组、地面人员启动预案；
 - b) 处置：按应急类型执行处置措施，实时上报处置进展；
 - c) 复盘：应急结束后24h内，开展复盘分析，查找原因，优化预案
-