



德思特 低空经济发展白皮书

LOW-COST ECONOMY DEVELOPMENT
WHITE PAPER



目录 / Contents

01

前言 / 执行摘要

4

02

低空经济发展全景

5

全球低空经济发展态势	5
· 市场规模：万亿美元级 TAM 已成共识	5
· 主要国家政策对比	6
中国低空经济政策演进	7
· 从“试点”到“国家战略”的关键路径	7
· 国家级机构与中央协调机制	7
· 重点省市差异化布局	7
· 政策红利的三个外溢效应	8
产业生态图谱	8
· 价值链全景	8
· 各环节代表企业（按链路细分）	9
· 2024 年中国行业运营快照	10
· eVTOL 适航审定进展（2024–2026）	11
· 产业图谱的两个核心观察	11

03

低空经济规模化的核心挑战

12

定位导航的基本概念	12
通信与频谱管理的系统性风险	12
低空无线通信测试的专项挑战	13

04

解决方案

14

用于无人机与eVTOL 的GNSS HIL 仿真测试	
解决方案	14
低空飞行器/无人机通信终端网络接入与性能	
验证方案	18
无人机机载频谱监测方案	20
德思特自动驾驶与低空经济行业测试工具链	21



05

行业落地实践 22

与国内多所高校、研究所合作搭建用于室内 无人机姿态与算法测试的闭环工具链	22
无人机机载频谱监测系统助力基础设施运 营商资产清查	24
某头部无人机制造商使用德思特GNSS模拟 器实现高效、标准化的产线质检	25

06

未来展望与合作倡议 27

低空经济 2026-2030 技术演进预判	27
合作倡议	27

07

附录 28

关键术语	28
数据来源与参考文献	29



前言 / 执行摘要

低空经济正在中国快速从“政策驱动”迈入“商业落地”的关键转折期。2024 年 3 月，“低空经济”首次写入政府工作报告；2025 年再次写入并被定位为战略性新兴产业，进而纳入“十五五”规划建议；同年 12 月，国家发改委正式成立**低空经济发展司**，成为首个统筹低空经济发展的专门国家级机构。中国民航局给出的官方预测显示，**2025 年中国低空经济市场规模将达 1.5 万亿元，2035 年有望突破 3.5 万亿元**；赛迪数据则印证了产业已经进入高速增长通道——2024 年中国低空经济实际规模约 6702.5 亿元，同比增速 33.8%。

伴随万亿级市场扩张的，是飞行器数量、空域复杂度与运营场景的指数级增长。截至 2024 年底，**中国注册无人机突破 217.7 万架，同比 +98.5%**；全国新开通低空物流航线超 140 条；亿航智能 EH216-S 成为全球首个完成 TC + AC + PC + OC 全链路审定的无人驾驶载人 eVTOL。商业化的拐点正在到来，但与之对应的**测试、验证与频谱治理能力**，正成为产业能否真正规模化的核心瓶颈。

本白皮书围绕一个核心命题展开：

规模化低空经济的前提，是一套能够支撑“飞得稳、连得通、看得见、管得住”的可信测试与验证体系。

我们在第二章建立行业全景；在第三章直面飞行器测试、通信频谱、低空无线测试三类系统性挑战；在第四章给出“环境适应性测试 + HIL 仿真 + 频谱监测 + 入网验证”的解决方案框架；在第五章呈现行业落地实践；在第六章提出 2026–2030 年技术演进预判与合作倡议。希望它能为正处于规模化前夜的低空经济从业者，提供一份**有数据、有立场、有路径**的参考。

低空经济发展全景

本章建立行业认知坐标系：从全球市场规模、各国政策、中国政策演进、省市布局到产业生态图谱，给读者一份“看得清地形”的低空经济地图。

全球低空经济发展态势

市场规模：万亿美元级 TAM 已成共识

不同机构对“低空经济”边界定义不同，但增长方向高度一致：

机构	预测对象	2025	2030	2035	2040
摩根士丹利	全球 UAM	100 亿美元	550 亿美元	—	1.5 万亿美元
MarketsandMarkets	全球 UAM	46 亿美元 (2024)	235 亿美元	415 亿美元	—
Statista / 毕马威	全球 eVTOL 整机	10 亿美元	40 亿美元	210 亿美元	—
Roland Berger	全球 UAM 载客机数量	3000 架	12000 架	—	—
中国民航局	中国低空经济	1.5 万亿元	—	3.5 万亿元	—
摩根士丹利	中国 eVTOL	434 亿元	1883 亿元	6445 亿元	—

数据口径差异说明：摩根士丹利口径最广（含自主飞行器、货运、城市出行等），是资本市场最具影响力的远期参考；MarketsandMarkets / Statista 口径较窄，主要聚焦 UAM 与 eVTOL 整机；中国民航局口径含无人机、通航、基础设施全产业链。各机构方法论不同，**不应横向直接相加，但可纵向看趋势。**

几个高确定性的趋势判断：

- **CAGR 30%+ 已经是 eVTOL 整机的主流预期。** Statista / 毕马威预测全球 eVTOL 2025–2035 年 CAGR 约 36.6%；摩根士丹利预测全球 UAM 2025–2030 年 CAGR 约 41%。
- **中国将占据全球 eVTOL 市场约 30% 份额。** 摩根士丹利预测中国 eVTOL 市场到 2035 年达 6445 亿元，占全球 30% 以上。
- **载客机数量 4 倍增长在 5 年内发生。** Roland Berger 预测全球 UAM 载客无人机将从 2025 年 3000 架增至 2030 年 12000 架；Rolls-Royce 与 Roland Berger 联合预测 2050 年亚太地区可运营 82500 架 AAM 飞行器，年度服务收入达 369 亿美元。

主要国家政策对比



美国——从 BVLOS NPRM 到 AAM 国家战略

- 2024 年 FAA 重新授权法案 (Pub. L. 118-63) 第 927 条, 要求 FAA 推进 BVLOS 规则制定。
- **2025 年 6 月**, 特朗普总统签署行政命令 14307 《释放美国无人机主导地位》, 宣布加速 UAS 商业化与 eVTOL/AAM 整合至国家空域。
- **2025 年 8 月 7 日**, FAA 发布 BVLOS (超视距) 运营拟议规则制定通知 (NPRM), 提出**基于性能的法规框架**, 允许无人机超视距飞行及 UTM 第三方服务。
- **2025 年 12 月 17 日**, 美国交通部 (DOT) 发布《先进空中交通国家战略: 2026-2036 大胆政策愿景》, 70 页文件由 25 个联邦机构超 100 名专家参与编制, **目标 2027 年实现首批 AAM 商业运营**。



欧盟 / 英国——SC-VTOL + U-space 双支柱

- EASA 发布 SC-VTOL (垂直起降航空器特殊条件) 作为 eVTOL 适航审定基础, 2025 年 7 月发布第四版符合性方法 (MOC-4 SC-VTOL Issue 2)。
- 2024 年 12 月 EASA 发布 VTOL 运营规则提案 (Opinion), 覆盖有人驾驶 VTOL 与空中出租车运营。
- **U-space 法规框架 (Regulation EU 2021/664) 于 2023 年 1 月 26 日正式生效**, 建立无人机空域管理统一框架, 各成员国逐步实施。
- 英国 CAA 于 2024 年 3 月采纳 EASA SC-VTOL 作为认证基础, **目标 2028 年前建立 eVTOL 运营框架**。



中国——立法、空域分类、空管试点同步推进

- **2023 年 12 月**民航局发布《国家空域基础分类方法》, 依据多维要素对空域进行分类管理。
- **2024 年 1 月 1 日**, 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》正式施行, 是中国首部无人机管理专门行政法规。
- **2024 年 3 月 27 日**, 工信部、科技部、财政部、民航局四部门联合印发《通用航空装备创新应用实施方案 (2024-2030 年) 》, 提出 2030 年形成万亿级市场规模。

三方对比: 美国在“放开运营场景”上走在前面 (BVLOS NPRM、AAM 国家战略), 欧盟在“统一空域治理”上走在前面 (U-space + SC-VTOL), 中国则在“政策密度与空域改革”上走在前面 (六城试点 + 600 米以下部分授权)。

中国低空经济政策演进

从“试点”到“国家战略”的关键路径

1. 2023.12 中央经济工作会议把低空经济列入战略性新兴产业
2. 2023.12 民航局发布《国家空域基础分类方法》，按多维要素分类管理空域
3. 2024.01 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》正式施行（首部专门行政法规）
4. 2024.03 四部门《通用航空装备创新应用实施方案(2024-2030)》提出万亿级目标
5. 2024.03 “低空经济”首次写入政府工作报告
6. 2024.11 中央空管委确定六城 eVTOL 试点（合肥/杭州/深圳/苏州/成都/重庆）
7. 2024.12 国家发改委正式成立低空经济发展司
8. 2025.03 低空经济再次写入政府工作报告，定位战略性新兴产业
9. 2025.10 写入“十五五”规划建议

短短 24 个月，低空经济完成了从“地方试点”到“中央定调”再到“国家级机构常设”的体系化演进。这一节奏在中国新兴产业政策史上罕见。

国家级机构与中央协调机制

- **国家发改委低空经济发展司（2024.12 成立）**：首个统筹低空经济发展的专门国家级机构，负责跨部委政策协调、产业规划、试点督导。这意味着低空经济正式拥有了“行业归口部门”，对企业而言出现了一个明确的政策对话窗口。
- **中央空管委六城试点（2024.11）**：合肥、杭州、深圳、苏州、成都、重庆六市开展 eVTOL 试点，600 米以下空域部分授权地方政府管理。这是中国低空空域改革的破冰信号——首次把过去由军方主导的低空空域审批权部分下放，使得“飞起来”在程序层面真正可行。
- **跨部门治理三角**：CAAC（适航与运行）+ 工信部（无线电入网与产业）+ 国家无委（频谱许可）形成低空经济的“治理三角”，第三章 3.3 节将详细讨论这一三角对企业测试与合规带来的实际影响。

重点省市差异化布局

截至 2025 年，全国超过 30 个省份将低空经济写入政府工作报告，45 个城市启动低空经济政策规划。其中四个区域已形成清晰的差异化定位：

粤港澳大湾区——产业链最完整、基础设施最密集

- 深圳 2024 年初出台**全国首部低空经济立法**《深圳经济特区低空经济产业促进条例》；2023 年 12 月发布《深圳市支持低空经济高质量发展的若干措施》20 项具体措施；新增“低空经济与空天”产业集群纳入“20+8”体系。
- 截至 2024 年底，深圳累计建成**低空起降点 483 个、5G 基站 8 万个、5G-A 基站超 2.3 万个**，构建全球首个市级“5G + 毫米波 + 卫星”空天地一体化低空覆盖网络。
- 龙头企业：大疆（消费 / 行业无人机全球第一）、亿航智能（全球首个 OC 取证的载人 eVTOL）。
- 场景定位：城市空中交通、跨境低空飞行（深港）、无人机物流、低空文旅。

长三角——立法 + 科研院所 + 整机厂多点开花

- 以南京、苏州、无锡为核心构建低空经济产业集群，注重区域协同与跨区域低空航路网络。苏州为六城 eVTOL 试点之一，依托长三角科研院所密集优势。
- 龙头企业：峰飞航空（V2000CG 载物 eVTOL 全球率先取证）、御风未来、时的科技。
- 场景定位：跨城短途空中出行、城际物流、行业巡检。

成渝双城经济圈——军民融合 + 山地场景

- 托成飞系航空航天产业基础，发展山地低空物流与应急救援。
- 重庆、成都均为六城 eVTOL 试点城市；沃飞长空 AE200 在成都推进 TC/PC 双线认证。
- 场景定位：山地复杂地形物流、应急救援、低空旅游。

合肥骆岗——综合示范区

- 合肥骆岗中央公园（原骆岗机场旧址）打造低空经济综合示范区。
- 亿航智能与合肥国资合资成立合肥合翼航空，2025 年 3 月获民航局颁发 OC（运营合格证）——成为国内首个具备商业化载人运营资质的 eVTOL 运营人。
- 场景定位：低空载人观光、城市空中出租车试点。

政策红利的三个外溢效应

对 B 端企业而言，上述政策密度直接外溢出三个产业级机会：

空域改革 ——> 商业航线放行

低空空域分类管理 + 600 米以下部分授权，使得“航线申请”从过去的多部门复杂流程逐步走向标准化窗口。新航线意味着新载机、新载机意味着新一轮测试需求。

国家级机构常设 ——> 政策可预期性提升

发改委低空经济发展司的存在，使得企业在制定 5-10 年研发与产能投资规划时，第一次能够基于“专门部门 + 五年规划纳入”做长期决策。

省市差异化定位 ——> 测试服务区域化布局

每个区域聚焦的飞行器类型（多旋翼 / 复合翼 / 倾转）和场景（物流 / 载人 / 巡检）不同，对应的风洞、HIL、频谱监测、入网验证服务也需要贴近场景就近交付。这为测试服务商提供了清晰的区域市场切入路径。

产业生态图谱

价值链全景

低空经济产业链可拆解为四个环节，每一环都正在以 30%+ 的速度扩张：



各环节代表企业（按链路细分）

飞行器制造（上游）

子环节	代表企业
eVTOL 整机（多旋翼）	亿航智能（EH216-S）
eVTOL 整机（复合翼 / 倾转）	峰飞航空（V2000CG / V2000EM）、沃飞长空（AE200）、时的科技（E20）、沃兰特（VE25-100）、御风未来、零重力
eVTOL 整机（陆空两栖）	小鹏汇天（“陆地航母” X3-F）
消费 / 工业无人机	大疆、纵横股份
传统通航	中信海直、北大荒
动力系统	航发动力、中航机电
航电 / 飞控	航新科技、安达维尔
关键零部件 / 电池	德赛电池、欣旺达
复合材料	航材股份、航玻新材

运营服务（中游）

子环节	代表企业 / 数据
物流配送	顺丰（丰鸟科技大型无人机支线）京东、美团（深圳 / 杭州常态化配送， 累计超 20 万单 ）、菜鸟、韵达
载人出行	亿航智能（合翼航空 OC，国内首个商业化载人 eVTOL 运营人）
行业巡检 / 测绘	大疆行业、纵横股份
低空物流航线	2024 年底全国新开通超 140 条 ，覆盖北京、深圳、成都等主要城市

基础设施（支撑层）

子环节	代表 / 数据
起降场 / Vertipor	深圳 483 个起降点（2024 年底）
通信网络	5G-A 基站、毫米波通感设备；深圳 8 万 5G + 2.3 万 5G-A 基站
导航 / 气象	北斗系统支撑低空定位；地方气象服务体系正在建设
空地一体化	深圳 "5G + 毫米波 + 卫星" 市域级低空覆盖网络（全球首个）

监管科技（横向贯穿）

子环节	代表 / 数据
UTM / UOM	深圳低空运行管理中心；CAAC UOM 国家平台
反无人机系统（C-UAS）	部分军工 / 安防企业，国内市场仍在标准化早期
频谱监测	仍处于 " 产品供应碎片化 " 阶段，公共服务能力不足
Remote ID / 数字身份	国际 FAA Remote ID 已强制；国内仍以 UOM 注册 + 实名登记为主

2024 年中国行业运营快照

指标	2024 年数据	同比
物流配送	744 家	—
在册通用航空器	3226 架	—
无人机运营企业	近 1.9 万家	—
注册无人机总数	215.8 万架	—
新增实名登记无人机	110.3 万架	—
无人机飞行时长	2666 万小时	+15%
中国 eVTOL 累计订单总额	截至 2025.11 超 300 亿元	—

数据来源：CAAC《2024 年民航行业发展统计公报》、求是网、新华社。

几个值得 B 端企业关注的运营信号：

- 无人机飞行时长同比 **+15%**，但注册量同比 **+98.5%** ——飞行时长增速远低于飞机增速，意味着大量新注册飞机尚未进入有效运营，测试与认证瓶颈正是最关键的中间卡点。
- eVTOL 订单总额突破 **300 亿元**——意味着未来 2-3 年存在大规模整机交付与适航批复需求。
- **140 条**新开通低空物流航线——新增航线本身就是新增的"在线测试 / 监测 / 入网验证"需求。

eVTOL 适航审定进展（2024-2026）

机型	厂商	类型	适航状态	关键里程碑
EH216-S	亿航智能	载人 / 多旋翼	TC ✓ AC ✓ PC ✓ OC ✓	全球首个三证 + OC 齐全；TC 历时 34 个月，500 项摸底试验、4 万架次试飞
V2000CG	峰飞航空	载物 / 复合翼	TC ✓	2022.09 受理 → 2024.03 取证，载物 eVTOL 最快（约 1.5 年）
V2000EM	峰飞航空	载人 / 复合翼	TC 受理中	2026-2027 取证窗口
AE200	沃飞长空	载人 / 倾转	TC + PC 双线、AOC 推进中	2025.05 进展
E20	时的科技	载人 / 倾转	TC 受理中	—
VE25-100	沃兰特	载人 / 复合翼	TC 受理中	—
X3-F（“陆地航母”）	小鹏汇天	陆空两栖	TC + PC 同步推进	—

国际对比：Joby Aviation 2025 年进入 FAA TC 审定最后阶段，但截至 2026 年 Q1 仍没有任一美国企业拿到 eVTOL 载客 TC；英国 Vertical Aerospace 依据 EASA SC-VTOL 推进认证，目标 2028 年前进入运营。

产业图谱的两个核心观察

1. 价值链上游高度活跃，下游基础设施相对滞后：

整机厂超 10 家、动力 / 电池 / 材料供应充足，但起降场、低空通信网、UTM、频谱监测公共服务的建设节奏明显慢于飞机交付节奏。

2. 测试与监管科技是当前最稀缺的“横向能力”：

飞行器越多、场景越多、政策越细，对横向测试与监管科技的需求就越成倍放大——这正是本白皮书所聚焦的产品定位。

下一章我们把万亿级市场的“系统性焦虑”落到三类可被量化、可被解决的具体问题上。

低空经济规模化的核心挑战

万亿级市场的兴奋背后,是企业实际运营时的"系统性焦虑"。本章把焦虑落到三类可被量化、可被解决的问题上。

定位导航的基本概念

eVTOL 适航取证的"最长一公里",几乎都消耗在环境适应性测试上。

亿航EH216-S自2020年12月获CAAC受理TC申请到2023年10月取证,耗时近3年;行业资料显示全球范围eVTOL取证从受理到TC平均周期4-6年,截至2026年Q1仍没有任何美国企业拿到eVTOL载客TC。FAA公开承认人手与积压使AAM项目延误。东北证券、国海证券研报均指出:国内eVTOL厂商在缺乏专用大尺寸风洞与系统级HIL平台的情况下进入适航阶段,大量设计迭代不得不发生在试飞阶段,这是TC耗时长的主因之一。

具体瓶颈集中在三处:

- 1. 室内风洞条件下的飞行器气动 / 推进耦合验证难度大。**eVTOL普遍采用分布式电推进(DEP),多旋翼起降与倾转过渡阶段存在强耦合气动效应,需要大量风洞试验做"气动+结构+控制"联合验证。专用eVTOL风洞综合实验室能力,正成为整机厂的新型基础能力门槛。
- 2. 测试周期长、成本高,真实飞行场景覆盖不足。**低空飞行器同时面对城市风切变、楼宇尾流、突风扰动、典型气象边界等场景,单纯外场试飞既耗时又难以闭环复现。
- 3. 软硬件联合仿真(HIL)缺乏统一标准,与适航认证流程脱节。**ISO 21448:2022(SOTIF)已成为L1-L5自动驾驶系统的强制框架,要求通过VaHIL(整车在环)覆盖未知不安全场景;eVTOL自主飞控同样面临"传感器/算法性能局限"问题,业界正把SOTIF思路平移至适航,但HIL与适航的对接路径尚未制度化。

这意味着:谁能率先建立"室内风洞+系统级HIL"的环境适应性测试闭环,谁就能把eVTOL适航周期从3-6年压缩到接近"试飞验证"的时间尺度。

通信与频谱管理的系统性风险

飞行器越多,电磁环境越脆弱;电磁环境越脆弱,规模化越不可能。

• 黑飞已经多次冲击民航安全。

2024年9月,天津滨海机场因无人机闯入,29架次延误、8架次取消、32架次备降、3000多名旅客受阻;2025年2月乌鲁木齐天山机场亦发生违规飞行致多航班延误。2026年2月深圳通报案例:2025年7月某当事人破解限高把无人机飞至3200米高空拍摄民航客机,已被以"以危险方法危害公共安全罪"立案。

• 册量翻倍带来的监管失衡。

CAAC《2024年民航行业发展统计公报》显示,截至2024年底全国注册无人机217.7万架,同比+98.5%,个人用户152.1万。无人机数量翻倍,但频谱治理、入网管控、合规身份验证体系并未同步翻倍。

- C2 链路存在天然覆盖缺口。

中国信通院 IMT-2020、中国移动、中国电信《空地一体 5G 增强低空网络白皮书》一致指出：**现网 4G/5G 有效覆盖高度仅约 150 米**，必须借助 5G-A 通感一体、专用链路或低轨卫星才能覆盖 300 m-1000 m 这一低空主流飞行高度。机载终端入网准入标准缺失，意味着多家厂商飞行器在同一片空域可能“各说各话”。

- 5G-A 通感一体已落地，但配套测试方法仍在追赶。

2024 年 1 月华为与运营商完成全球首个 5G-A 通感一体低空感知示范，证明传统雷达 + TDOA 方案成本高、精度不足；同年中国移动启动五大场景规模组网试点。新基础设施需要新的**频谱监测与机载终端入网验证**方法支撑。

这意味着：在 BVLOS 与城市低空走廊真正打开之前，**机载频谱监测与通信终端网络接入与性能验证**已经从“可选项”变为“准入项”。

低空无线通信测试的专项挑战

低空无线通信不是地面通信的“延伸”，而是一个**新工况**。地面测试标准无法直接套用。

- 低空信道环境特殊。

3GPP TR 36.777 (2017-12 完成，行业基线文档) 指出：空中 UE 视距条件强，会对地面小区造成显著上行干扰，需引入 RMa-AV / UMa-AV / UMi-AV 三类空中信道路径损耗模型。多普勒效应强、多径复杂，地面 OTA 测试方法直接套用必然失真。

- GNSS 信号在低空场景下易受遮蔽与欺骗。

航空学报 2025 年综述明确：无人机面临**压制式与欺骗式干扰**双重威胁，导致丢失定位或航线偏离；张军院士团队在《Engineering》(2025, Vol.27 Issue 2) 将“高精度定位与导航”列为低空无人机三大瓶颈之一。盟升电子 2025 年半年报披露：商用低空抗干扰 GNSS 模块尚未规模化。

- 5G/LTE 空口性能在飞行姿态变化下的边界场景覆盖不足。

3GPP TS 22.125 v17.1.0 定义直连 C2、网络辅助 C2、UTM C2、视频回传共四类模式的时延 / 可靠性 KPI，是机载终端入网与性能验证的强制依据。但企业实际测试中，**飞行姿态变化、波束指向、信道状态**对这些 KPI 的影响缺乏标准化的边界覆盖方法。

- 多频段、多制式终端并存。

大疆 M400 等新机型同时支持 **5G 蜂窝 + 1.4 GHz 行业专网 + Sub-6G 链路**；意味着机载终端需在 OTA、空口、共存抗干扰多维度做入网验证，传统单频段测试方法不再覆盖。

- 国内外适航与型号合格审定要求不统一，企业合规成本高。

CAAC 适航 + 工信部入网许可 + 国家无委频谱许可三套体系并行，UOM (CAAC) 与公安无人机平台双轨注册，**企业入市要重复测试**。国际 EASA U-space、FAA Remote ID 又各成体系，出海面临二次验证。

这意味着：低空无线通信测试需要一套**面向新工况、对齐国际标准、贯通适航与入网**的专项验证能力，否则将成为整机出厂、航线放行、出海合规的多重卡点。

解决方案

用于无人机与 eVTOL 的 GNSS HIL 仿真测试解决方案

构建从导航验证到整机闭环验证的完整测试体系

低空经济的快速扩张重新定义了飞行器的研发标准。德思特基于高保真GNSS仿真技术与硬件在环（HIL）架构，提供了一套可在实验室中完成的完整测试体系——从GNSS模块验证，到飞控算法闭环，再到整机真实运动验证，覆盖无人机与eVTOL研发的全生命周期。

行业背景

低空经济的快速扩张，正在重新定义飞行器的研发标准。无人机与eVTOL不再只是会飞的机器，它们需要在复杂城市环境中自主导航、精准降落、应对干扰——这一切都高度依赖GNSS导航系统的可靠性。

然而，传统的室外飞行测试已经难以支撑这一需求。飞行器的GNSS系统，早已超出“搜星定位”的范畴。今天的自主飞行平台，依靠GNSS参与路径规划、航迹跟踪、自动起降，并与IMU、视觉、激光雷达等传感器深度融合。一旦导航出现问题，飞控决策链条的每个环节都会受到影响。

这意味着，GNSS测试的对象已经从一块接收机模块，扩展为整套飞行控制系统。验证的问题也从“能不能定位”，变成了“定位信息进入飞控之后，系统能否做出正确响应”。低空经济产业正在经历从单机飞行验证向系统级能力验证的关键转变。

外场测试的困境与挑战

测试窗口短，进度难以保障

真实飞行测试高度依赖天气状况和飞行空域许可，卫星星座状态、大气条件也在持续变化。这些不可控因素导致研发进度频繁被外部环境打断。

成本与风险持续攀升

每次外场测试都意味着人员差旅、场地租赁和设备运输的投入。样机一旦失控坠毁，不仅损失设备，还可能造成人员伤亡或引发安全事故。

问题难以定位，回归验证无从下手

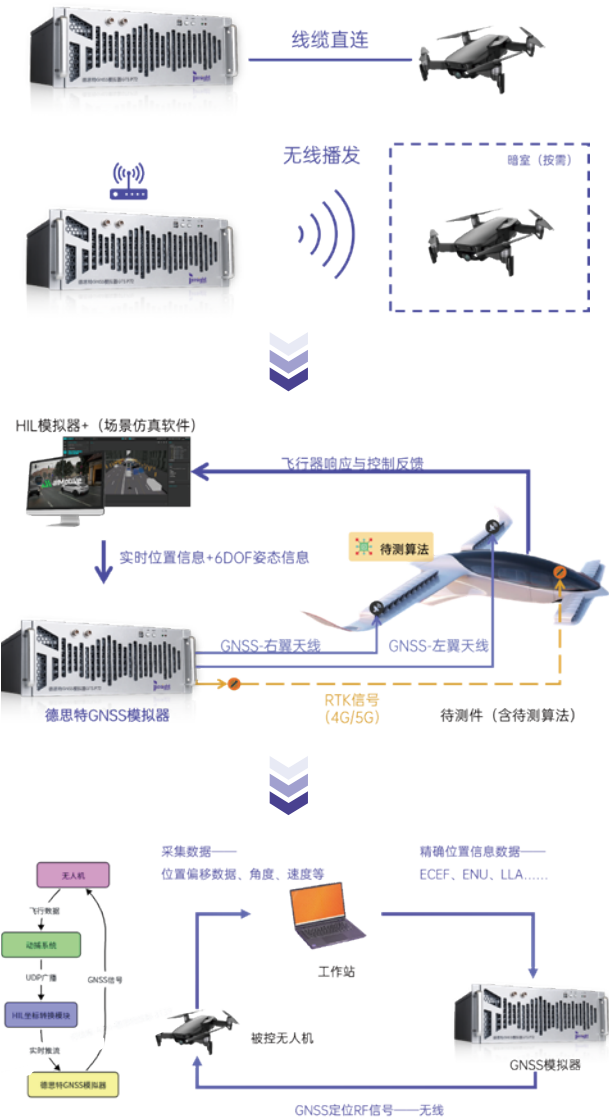
真实环境中的多径效应、卫星遮挡和大气误差，在不同测试日之间不可能完全一致。一个偶发性的飞控异常，往往无法在下次测试中重现，根因分析因此陷入僵局。

极端场景几乎无法在真实环境中稳定构建

GNSS欺骗、强干扰、卫星信号异常、城市峡谷遮挡——这些对飞控系统最具考验的场景，在室外测试中要么难以重现，要么根本不被允许。

方案架构：三阶段测试体系

不同研发阶段对GNSS测试的需求截然不同。德思特将测试能力划分为三个递进阶段，团队可以根据当前研发目标选择切入点，并随研发深入逐步升级。



Phase 01

第一阶段：开环GNSS测试

这是最基础的验证层。GNSS模拟器生成高保真导航信号，待测接收机完成搜星、定位与解算，验证其在不同星座配置、信号强度和干扰条件下的表现。飞控系统如何响应不在这一阶段的考察范围内。

适用：模块厂商 / 产线测试

Phase 02

第二阶段：静态HiL测试

飞行器保持静止，但飞控系统处于真实工作状态。GNSS模拟器持续提供动态变化的导航信息，飞控根据定位结果产生控制决策，决策通过软件接口反馈至仿真平台，平台将结果传回模拟器更新信号输出——形成软件层面的完整闭环。

适用：算法开发 / 多传感器融合

Phase 03

第三阶段：动态HiL测试

飞行器产生真实的物理运动。动捕系统或激光跟踪系统实时采集位置、速度和姿态数据，通过UDP协议回传给GNSS模拟器，模拟器据此实时更新射频信号输出，飞控再根据更新后的信号调整控制指令——形成完整的物理闭环。

适用：整机性能验证 / 适航认证

研发阶段	推荐方案	典型验证内容
GNSS 模块 / 无人机下线产测	开环测试	定位精度、多星座兼容性、抗干扰能力
飞控算法 / 自动起降	静态 HiL 测试	飞控逻辑、航迹规划、多传感器融合
整机研发 / 适航前测试	动态 HiL 测试	飞行稳定性、整机控制性能、故障工况

核心技术能力

• 高保真GNSS信号仿真

支持GPS、北斗、GLONASS、Galileo全主流星座，1000Hz更新率配合0.005m伪距精度，为厘米级RTK验证提供可靠信号基准，无需外部基准站即可完成RTK仿真。

• 干扰与异常场景仿真

支持GNSS欺骗、强干扰、多路径效应、卫星时钟异常、轨道异常等场景的精确仿真，帮助研发团队在实验室中提前验证系统在极端条件下的鲁棒性。

• 实时闭环反馈

HIL内部延迟低于10ms，原生支持UDP数据接口，可与主流动捕系统直接联动。内置WGS84坐标转换引擎，将动捕系统的局部坐标实时映射至全球绝对位置，精度损失控制在厘米级。

• 自动化测试

提供Python和C++开放接口，支持自定义测试场景的自动执行，并可对接GB/T 45086.1-2024等国家行业标准，为未来适航认证测试奠定基础。

方案闭环结构

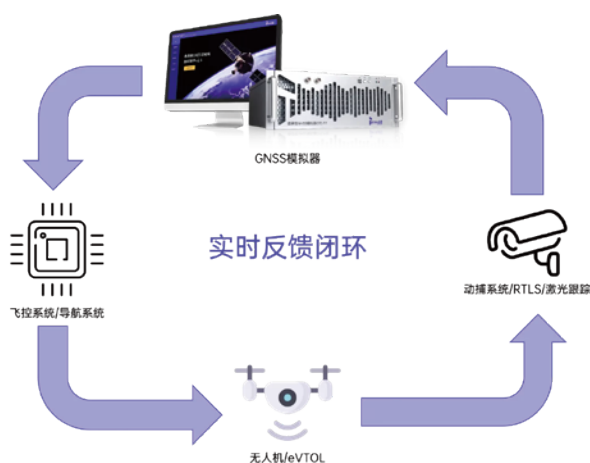


700 卫星
通道

1000Hz
更新率

伪距精度
0.005m

HIL延迟
<10ms



已完成验证的行业方案与案例

场景软件对接生态



动作捕捉系统对接生态

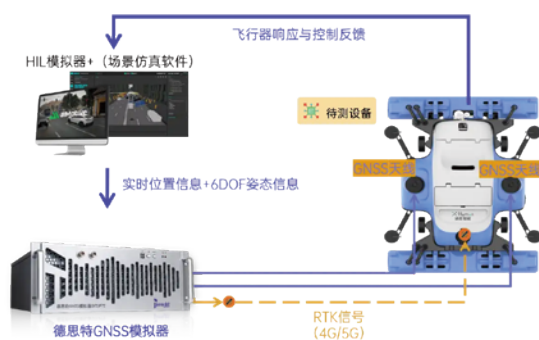


针对某无人机厂商的无人机下线自动化测试方案



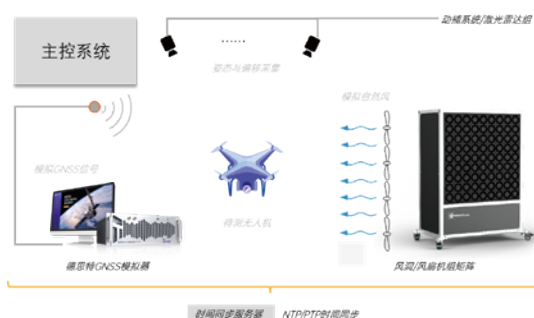
针对消费级无人机制造企业量产质检需求,我们构建了一套高效、自动化的产线开环 HIL 测试平台。该平台聚焦于GNSS (全球导航卫星系统) 相关性能的关键指标测试。该方案可显著提升质检效率、增强产品质量控制、降低测试成本、实现测试闭环、快速响应市场。

针对整机系统级功能性能的静态闭环测试方案



德思特整机系统级静态闭环测试方案专为无人机与eVTOL研发量身定制。方案由HIL模拟器内嵌场景仿真软件,实时解算高频位置与6DOF姿态信息,并驱动德思特GNSS模拟器将高保真卫星信号及4G/5G RTK差分信号通过射频线缆注入待测设备的双天线中。待测整机飞控系统基于该信号做出控制决策,并将响应指令逆向回传至仿真平台,形成“软件驱动硬件、硬件反馈软件”的实时闭环。该方案在100%保证整机物理安全的前提下,可全天候高极限复现多传感器融合、航迹规划验证及极端干扰工况,大幅提升研发效率。

针对整机系统级功能性能的开环测试方案



德思特整机开环测试方案通过主控系统集中调度,由时间同步服务器确保全局高精度同步。GNSS模拟器输出高保真卫星信号直接注入待测飞行器,同时联动大型风洞设备模拟真实自然风扰。在无人机于实验室悬停飞行期间,系统整合凌云光、度量等尖端动捕设备,实时高精度采集飞行器的姿态与偏移数据并反馈。方案实现了“数字信号注入”与“外场物理环境模拟”的完美结合,是整机性能评估与适航前测试的核心利器。

客户价值

大幅降低研发成本与风险

引入实验室级GNSS测试体系,最直接的效果是减少外场飞行次数。场地租赁、差旅和设备运输的成本随之下降,样机坠毁风险也从研发流程中大幅剥离。

全天候 100%极限场景覆盖

测试不再受天气和空域窗口限制,可以全天候持续进行。干扰、欺骗、卫星异常等真实环境中难以稳定复现的极端场景,在实验室里可以按需构建、反复执行。

显著缩短产品上市周期

在实验室阶段提前暴露问题,比在外场飞行中发现问题要快得多。问题可以精准复现、精确定位,迭代速度因此加快,产品从验证到上市的整体周期得以缩短。



低空飞行器 / 无人机通信终端 网络接入与性能验证方案

方案背景与意义

随着低空经济的快速发展,无人机及各类低空飞行器已从单纯的消费级娱乐转向物流配送、应急救援、农林植保及载人交通等关键领域。这种转变对底层通信技术提出了严苛的要求,例如:

- **通信制式的演进:** 终端正从传统的点对点通信向 5G RedCap、6G 以及卫星非地面网络通信 (NTN) 等多元化标准演进。
- **复杂电磁环境:** 低空飞行器运行在 1000 米以下的空域,面临着基站越区切换频繁、信号多径衰减以及地面强电磁干扰等复杂环境。

因此有必要针对低空飞行器进行专门的网络接入与性能验证,主要基于以下几种原因:

• 飞行安全与链路可靠性

不同于地面终端,低空飞行器的通信链路(控制链路与数据链路)直接关系到飞行安全。一旦发生接入失败或严重的丢包抖动,可能导致飞行器失控或任务失败。通过基站模拟器进行性能验证,可以模拟各种极端网络工况,确保链路的鲁棒性。

• 三维覆盖与小区切换优化:

目前的蜂窝网络(5G/4G)设计初衷是服务于地面。飞行器在高速移动过程中,波瓣的增益变化、下倾角影响以及频繁的邻区切换,极易造成信号掉线或性能陡降。验证方案能够评估终端在三维空间移动时的无缝接入能力。

• 业务质量(QoS)的精准评估:

低空业务形态多样,如高清视频实时回传需要高带宽,而飞行控制命令则需要超低时延。通过测试,可以量化评估终端在不同业务负载下的吞吐量、时延、丢包率等核心指标,验证其是否满足特定低空应用场景的需求。

方案系统架构

路径一

针对无人机通信模组或低空无人机的射频线缆直连测试。该架构针对无人机内部的通信模组直接做测试,且通信模组具备射频端口,可以通过RF Cable线将基站模拟器射频端口与通信模组射频端口直连,减少信号在空口传输过程中的损耗和干扰。

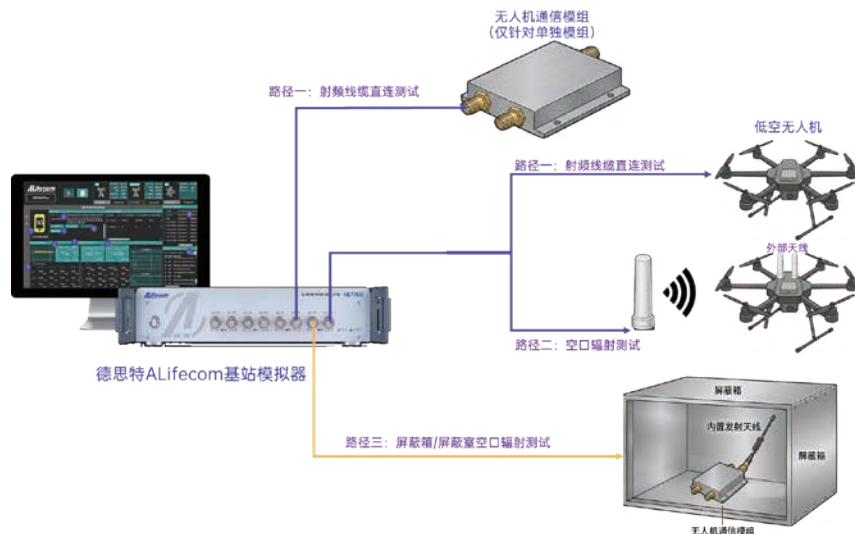
路径二

针对外接天线的低空无人机的空口辐射测试。该架构中低空无人机通过外接天线接收环境中的信号进行通信,可在基站模拟器射频端口连接发射天线向外空口辐射信号,低空无人机通过外置天线接收信号完成通信。

路径三

针对**同时具有外置天线和内置天线**的低空无人机,且当外置天线工作时内置天线无法断开。此时,若将无人机外置天线端口直接与基站模拟器相连,内置天线仍可接收来自于环境中的其余干扰信号,会导致测试结果不准确。为此,我们可以提供基站模拟器+屏蔽箱的准确测试方案,即将无人机或通信模组放置在屏蔽箱内,通过射频线缆将基站模拟器与模组直接相连,同时屏蔽箱隔绝内置天线接收外接环境信号的通路。

针对**仅有外置天线**的低空无人机,若希望低空无人机**仅接受来自基站模拟器发出的稳定、纯净信号**,可以将其放置在屏蔽箱内,箱内安装发射天线,将基站模拟器射频端口与箱体内部的发射天线直连,使得基站模拟器信号通过天线向箱体内部辐射。



测试内容

- **射频性能测试:** 这部分可以放基站模拟器支持的射频物理层测试项目

Physical Layer Testing (物理层测试)

- Physical Layer Testing (物理层测试)
- 上行最大发射功率: UL Max Tx Power
- 下行接收信号强度: DL RSSI Reporting
- 接收机参考灵敏度: Receiver Sensitivity
- 误差向量幅度: EVM
- 占用带宽: Occupied Bandwidth
- 邻信道泄漏功率比: Adjacent Channel Leakage Power Ratio
- 频谱发射模板: Spectrum Emission Mask

Performance Testing (性能测试)

- MAC Throughput Performance (MAC层吞吐量性能)
- IP Throughput Performance (IP层吞吐量性能)
- Application Testing (应用测试, 抖动、丢包等)

- **网络行为与协议验证:** 低空无人机或无人机通信终端网络接入会涉及一系列流程和协议认证, 包括搜网入网、网络鉴权与认证、建立无线承载、飞行过程中网络小区切换与重选、弱信号网络模拟、协议交互信息完整性与错误分析等等。

- **端到端数据业务验证:** 无人机飞行途中若涉及拍摄图片或拍摄视频回传, 通常需要通过基站网络进行传输, 需要验证通信终端进行数据传输的稳定性、IP吞吐量变化、时延、丢包等等。

无人机机载频谱监测方案

方案背景: 低空经济时代的电磁空间安全保障

随着低空经济被提升至国家战略高度, 无人机(UAV)在物流配送、城市治理、应急救援等场景的规模化应用对电磁环境提出了前所未有的要求。**低空频谱资源不仅是通信的载体, 更是飞行安全的生命线。**

然而, 低空环境下的电磁特征呈现出“多维、动态、复杂”的特点。非法调频电台、未备案的工业辐射源以及高密度链路间的互调干扰, 严重威胁着无人机的导航信号(GNSS)与指挥控制链路(C2 Link)。为了确保低空航路的平稳运行, 构建一套“以空测空、随器而动”的无人机机载频谱监测方案, 实现对复杂电磁环境的实时感知与精准去噪, 已成为低空经济基础设施建设的核心环节。

当前应用场景需求:

全频段覆盖能力

低空空域汇集了卫星导航、图传跳频及 5G 通信等多类业务。监测设备需具备**宽频段覆盖能力**, 以确保对各类通信、导航链路的全面兼容与干扰预防。

高增益空间分辨

针对城市基站群带来的多径干扰, 机载端需配置**强方向性天线**。利用无人机的三维机动性, 从空间维度精准剥离杂散信号, 实现干扰源的快速定位。

超宽扫频跨度

面对宽带扩频信号与瞬态干扰, 载荷必须具备**极高的频率扫描跨度**。这有助于在一次飞行中完成全景频谱感知, 确保对突发性非法占用信号的实时截获。

极限灵敏度探测

信号随空域距离增加衰减严重, 接收机需具备**极低的底噪(DANL)**。通过提升灵敏度, 方案能够提前探测到远场微弱干扰, 为低空航路安全预留足够的预警空间。

三维动态感知载体

地面监测站存在严重的“高度盲区”。以无人机为**机载平台**, 能够打破建筑遮挡限制, 直接获取航路真实的电磁分布, 填补低空电磁安全监管的空白。

轻量化 SWaP-C 设计

受限于无人机续航与适航要求, 监测载荷必须做到**简单紧凑、低功耗**。精简的硬件设计能有效降低平台负载, 提升单次飞行作业的覆盖效率与经济性。

德思特构建了一套先进的“空地一体化频谱监测与分析系统”，旨在为低空飞行提供全面的电磁环境评估和安全保障。系统通过协同空、地两端的监测单元，实时采集并分析飞行区域的GNSS和通信频谱数据。



系统架构与工作原理

- **空中层：**
 - 通过小型无人机搭载专用的频谱监测模块。（根据不同应用场景灵活适配）。
 - 无人机按照预设的飞行轨迹（模拟起降航线或巡检航线）进行飞行。
- **地面层：**
 - 部署地面监测站点或车载监测单元。
 - 地面站点同步扫描周边电磁环境，采集地面参考频谱数据。
- **数据传输层：**
 - 利用多种通信方式（如Wi-Fi, 4G, 或无人机自组网）构建高效数据链路。
 - 实现空中监测单元将采集到的原始频谱数据低延迟（低于200ms）回传至地面处理中心。
- **数据处理与分析层：**
 - 地面处理系统对空地两端回传的频谱数据进行实时整合、分析和处理。

方案价值

全维度监测

- 空地协同覆盖，消除高楼遮挡与视线盲区
- 起降关键高度实时感知，提前预警
- 信号劣化风险

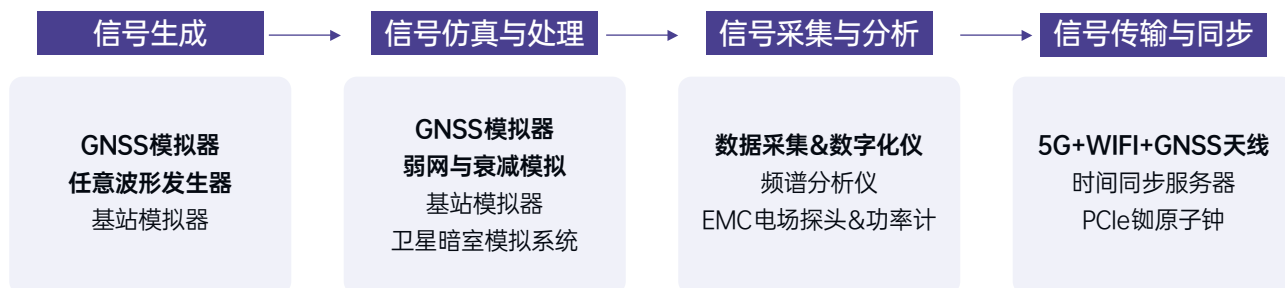
低延迟响应

- 端到端 <200 ms 数据回传，支持飞行中即时干预
- 快速定位干扰源，缩短问题排查与恢复时间

可视化与可追溯

- 热力图、频谱瀑布图及历史对标报告，一目了然
- 自动存档所有监测数据与告警记录，支持事后审计

德思特自动驾驶与低空经济行业测试工具链



*黑体加粗为热门产品,更多产品详情可查阅德思特官网www.tesight.com

行业落地实践

与国内多所高校、研究所合作搭建 用于室内无人机姿态与算法测试的闭环工具链

客户背景与核心挑战



客户A

国内某顶尖高校下属的国家级空天技术实验室。

核心业务：专注于无人机、无人航空器及相关智能飞控算法的、智能无人系统前沿研究与教学。



客户B

国内某领先的空天产业协同创新平台研究院。

核心业务：专注于低空经济基础设施关键技术研发，重点开展城市空域管理系统、低空感知体系以及新型飞行器原型的综合性能评估。



客户C

国内航空航天领域顶尖学术机构。

核心业务：承担国家级航空科学基础研究 with 重大专项计划。核心方向包括高精度导航体制研究、多源融合定位算法开发以及无人机群阵列的协同控制。

他们都面临基本相同的挑战

室内无 GNSS 信号：实验室的算法研发与教学活动主要在室内进行，真实的卫星导航信号无法穿透建筑物，导致基于 GNSS 的自主飞控算法无法直接验证。

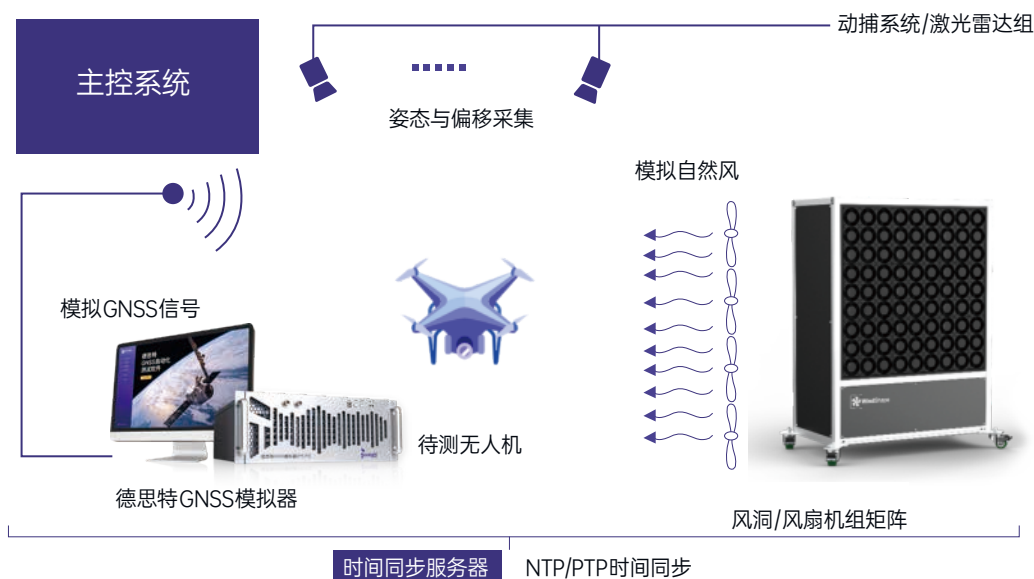
室外测试风险与成本高：传统的实地飞行测试需要租赁场地、协调空域，且受天气影响大，安全风险高，单次实验成本高昂。

实验可重复性差：室外环境条件复杂多变，每次飞行的起始位置、姿态、风场等难以完全一致，导致算法验证结果缺乏可比性，严重制约了研发迭代速度。

教学效率瓶颈：有限的室外测试机会难以满足大量学生的实操需求，教学效果受到限制。

德思特解决方案：基于 GNSS 模拟器的室内闭环 HIL 测试平台

针对实验室的迫切需求，德思特提供了一套基于 GNSS 模拟器的无人机室内闭环硬件在环（HIL）测试平台。



该方案的核心在于利用高精度 GNSS 模拟技术，在完全可控的室内环境中，为无人机提供“伪真实”的导航输入，从而实现对飞控算法的安全、高效、可重复验证。



无人机在室内测试



无人机在室内接收到GNSS模拟器发出信号成功起飞

这依赖于两大核心组件的协同工作：

1. 德思特GNSS模拟器：作为“虚拟卫星”，它能生成包含GPS、北斗等多星座的真实射频信号，完全替代室外天空中的卫星。

2. 运动捕捉系统：作为“天眼”，它能以亚毫米级的精度，实时捕捉无人机在室内的每一个细微动作和精确坐标。

二者的结合，形成了“定位—反馈—调整”的动态闭环：无人机在室内飞行—动捕系统实时获取其精确三维坐标—坐标数据实时反馈给GNSS模拟器—模拟器立刻计算出无人机“应该”接收到的卫星信号并发射—无人机飞控系统接收并解算这些“定制”信号，从而感知自身位置并调整飞行。

客户价值与落地成效

该室内闭环 HIL 测试平台在实验室部署后，取得了显著成效：

• 研发效率倍增

飞控算法的验证周期从原来依赖室外试飞的数周缩短至室内数小时，研发迭代速度提升了 **50% 以上**。

• 成本与风险大幅降低

彻底消除了对室外场地和空域的依赖，测试成本降低了 70%，并完全规避了飞行安全风险。

• 平台扩展性强

• 该平台已支持实验室在验证 GNSS 定位算法的基础上，进一步扩展集成风洞、视觉、惯导等多场景的仿真与融合测试，为未来更复杂的智能算法研究奠定了基础。

• 教学质量飞跃

学生能够在安全、可控的环境中反复进行算法调试和飞行训练，教学实验的可执行性和深度得到极大增强。

• 实验结果高度可信

由于信号环境和初始条件可精确复现，不同批次、不同人员的实验数据具有高度可比性，为算法性能评估提供了坚实的数据基础。

总结：德思特的 GNSS 模拟器解决方案，成功为该国家级实验室构建了一个安全、高效、精准的室内无人机飞控算法测试“数字孪生”环境，不仅解决了其研发与教学的燃眉之急，更有力地推动了实验室在智能无人系统领域的技术创新。

无人机机载频谱监测系统 助力基础设施运营商资产清查

客户背景

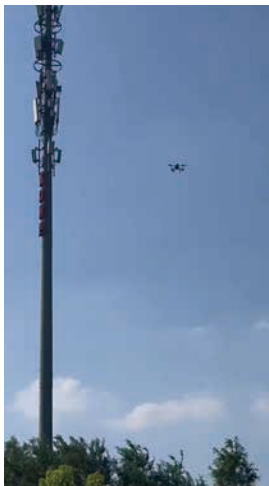
在低空经济与城市精细化管理的背景下，早期建设塔体，承担着三大运营商（移动、联通、电信）基站铁塔的统一管辖与维护工作。在一些大型城市中，一个基站铁塔往往挂载了多个运营商、不同频段的通信设备。

痛点挑战：存量资产“权属不清、识别困难”

- **信息断层：**存量通信铁塔（尤其是早期建设塔体）存在历史台账缺失、标识磨损严重等问题，设备权属难以通过视觉手段辨认。无法辨认运营商情况，收费困难。
- **空间遮挡：**传统地面监测受建筑和地形屏蔽影响，存在严重的高度盲区，无法准确分辨高空重叠挂载的基站属于哪家运营商。
- **审计取证难：**仅凭物理外观无法界定实际使用的频段与发射状态，导致基础设施租赁费用的核算缺乏科学依据。

德思特方案：空地一体化“以空测空”

- **三维动态感知：**
利用无人机平台搭载高性能频谱监测载荷，打破高度限制，直接获取航路与塔体周边的真实电磁分布。
- **实时数据链：**
采用低延迟回传技术（<200ms），地面端同步生成频谱瀑布图与空间热力图，实现“所见即所得”的现场判定。
- **精准指纹识别：**
凭借低底噪（DANL）与宽带扫频能力，系统可根据信号特征（中心频率、带宽等）精准剥离不同租户的发射源。
- **快速适配：**
载荷采用轻量化 SWaP-C 设计，兼容多种商用无人机平台，支持在复杂现场环境下的快速部署与应急切换。



方案价值：化“隐形资产”为“数字账本”

- **确权增收：**为基础设施运营方提供不可篡改的电子审计证据，支撑租金收缴与资源分配，有效避免资产流失。
- **数据资产化：**实现“探测即建档”，填补了老旧设备管理空白，协助客户完成高精度、数字化的空间资产普查。
- **效率与安全：**替代高风险的人工攀爬作业，单站清查效率提升 80% 以上，同时显著降低了高空作业的安全隐患。

某头部无人机制造商使用德思特 GNSS 模拟器实现高效、标准化的产线质检

客户面临的挑战

随着消费级无人机市场的快速增长,国内某领先无人机厂商面临着量产规模扩大带来的严峻质检挑战。其传统的出厂检测流程高度依赖人工操作或简单自动化,存在以下核心痛点:

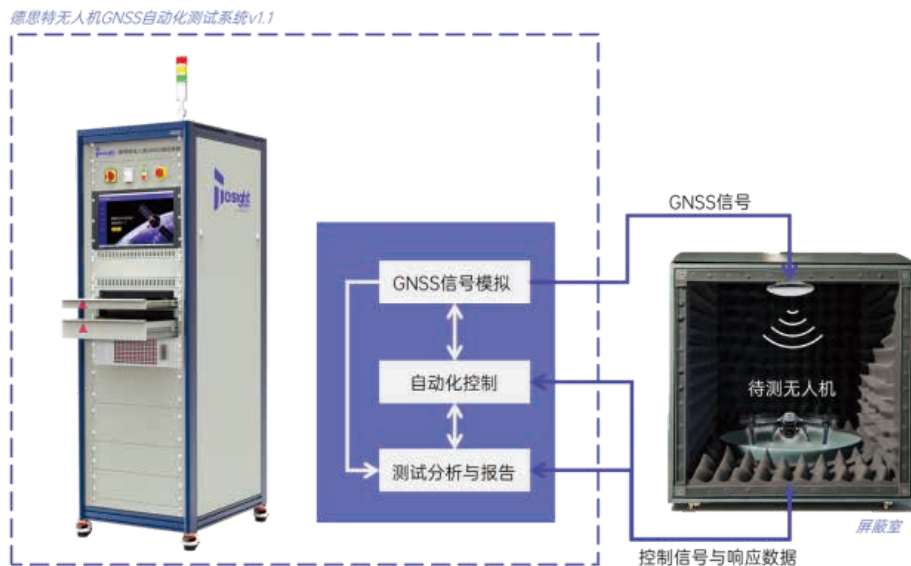
- **量产质检效率低下:**
单机测试耗时长,难以应对海量产品的批量检测需求,成为制约生产交付速度的瓶颈。
- **测试数据一致性差:**
不同批次、不同测试人员操作下,信号条件和环境波动大,导致质检结果缺乏可比性,难以建立统一的质量。
- **软硬件隐患难以及时发现:**
装配偏差、固件 Bug、GNSS 接收模块异常等潜在问题,在传统测试方式下容易被遗漏,流入市场后将严重影响产品口碑和用户体验。

客户亟需一个能够**高效、标准化、低成本且无风险**的解决方案,以在出厂前对无人机的 GNSS 定位性能进行全面、可靠的测试,并确保测试过程可追溯。

德思特提供的解决方案

针对客户的产线质检需求,德思特为其构建了一套**基于 GNSS 模拟器的消费级无人机产线开环 HIL 测试平台**。该平台专注于对无人机 GNSS 关键指标:**定位精度偏差、信号载噪比**进行自动化测试,其核心架构如下:

- **GNSS 信号模拟器**:作为核心设备,精确模拟各种场景下的 GNSS 卫星信号,完全替代对真实天空信号的依赖。
- **待测设备 (DUT)**:处于测试环境中的无人机,测试聚焦于其 GNSS 接收模块。
- **测试控制与分析系统**:实现测试流程的全自动化控制、数据实时采集、深度分析及标准化报告生成。
- **屏蔽室 / 暗室 (可选)**:提供纯净的电磁环境,有效避免外部信号干扰,确保测试结果的准确性。



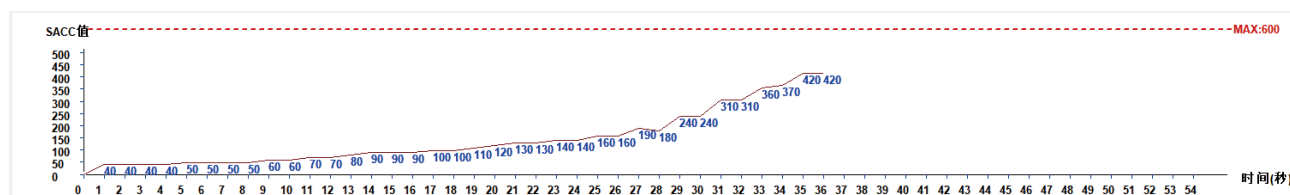
该解决方案通过开环测试的方式,无需构建复杂的闭环仿真模型,即可快速、直接地验证无人机的 GNSS 接收与定位能力,完美适配产线快节奏、高吞吐量的质检需求。

方案价值与客户收益

德思特的产线 HIL 测试方案为客户带来了显著的价值提升,具体体现在以下五个维度:

1. 质检效率显著提升

- **自动化流程**: 测试控制与分析系统实现了测试流程的全自动化,大幅减少了人工干预。
- **批量执行**: 支持一键式批量执行测试任务,显著缩短了单台无人机的质检时间。
- **量化价值**: 根据客户反馈,应用该方案后,其**无人机质检时间缩短了 60% 以上**,一组无人机的定位性能测试控制在 60s 以内。



一组无人机测试基本控制在 60s 以内

2. 测试成本大幅降低

- **环境成本节约**: 减少了对外部真实 GNSS 信号的依赖,降低了对测试场地和环境的要求。
- **人力成本优化**: 自动化测试流程显著减少了对质检人员的技术能力需求,降低了人力成本与企业培养成本。

3. 产品质量控制能力增强

- **隐患提前发现**: 通过标准化、高一致性的信号模拟,能够在出厂前快速、准确地识别出 GNSS 相关的硬件异常、软件 Bug 或装配偏差。
- **质量一致性提升**: 消除了人工操作和环境波动带来的误差,使得每一台产品的质检标准统一,产品质量的一致性得到了有力保障。
- **数据驱动改进**: 系统生成的详细测试报告和数据,为生产过程优化和产品设计改进提供了可靠的数据支撑。

4. 实现“标准化、自动化、可追溯”的测试闭环

- **流程闭环**: 构建了从测试执行、数据采集、分析到报告生成的完整闭环,确保了质量控制的有效性。
- **数据可追溯**: 所有测试数据自动存档,实现了测试过程的全链路可追溯,满足了合规性与审计要求。

通过引入德思特的 GNSS 模拟器产线测试方案,该无人机厂商成功解决了量产质检的核心难题,实现了从“人工抽检”到“自动化全检”的跨越,为其在激烈的市场竞争中构筑了坚实的质量壁垒。

未来展望与合作倡议

低空经济 2026-2030 技术演进预判

预判一：数字孪生将从“研发辅助”晋升为“适航必备基础设施”

NASA 已将联邦资金投入“仿真主导设计 (simulation-led design)”，目标是为自主系统适航认证提供物理试验之外的替代路径；Airbus 在 2025 年巴黎航展上演示了沉浸式“holodeck”式数字孪生设计环境，A320/A350 制造前置周期被大幅压缩。Evolvance Market Research 测算欧洲航空数字孪生市场 2025 年 19 亿美元、2035 年达 187.1 亿美元。MDPI Drones 期刊 2025 年发表的研究已提出基于 Unreal Engine + AirSim + Cesium 的 vertiport 高保真数字孪生框架。eVTOL 主机厂若不在 2028 年前构建覆盖全生命周期的数字孪生体，将难以同时通过适航与规模化运营两道门槛。

预判二：6G ISAC + 空天地一体化将重塑低空 C2 与监视范式

ITU 已把 ISAC (通感一体化) 列为 6G 原生能力，2025-2026 年学术与产业研究密集涌现。IEEE TWC 2025 年第 5 期专题论文 “Cooperative ISAC-empowered low-altitude economy” 系统提出了协同 ISAC 服务异构 UAV 框架；中兴《通感低空覆盖关键技术与组网》(2025-01) 援引 IMT-2030 推进组白皮书，提出针对低空覆盖的通感组网方案。3GPP 已于 2025 年 6 月布拉格全会启动 Release 20，含 6G 与 5G-Advanced 关键议题，低空 / UAV 继续作为 NR-UAV 演进重点。2027 年前后试点网络将首次以“通信即感知”方式补充传统雷达，为 BVLOS 与城市低空走廊提供基础设施级能力。

预判三：UTM 与 C-UAS 形成“双引擎”监管科技市场，2030 年合计规模逼近 300 亿美元

GMI Insights 测算 UTM 市场 2025 年 13 亿美元、2026-2035 CAGR 19.4%；MarketsandMarkets 测算 C-UAS 市场 2025 年 66.4 亿美元、2030 年 203.1 亿美元、CAGR 25.1%。叠加 FAA Remote ID 2025-2026 进入“主动执法”阶段以及区块链数字身份 (Eurocontrol 预测 2025 年 41% 欧盟成员国部署 Network Remote ID)，B 端企业 2026-2028 年将面临“接入合规 USSP + 部署 C-UAS 防护 + 上链身份认证”的三件套刚性投入。

合作倡议

低空经济不是任何单一企业能独立完成的工程。我们倡议：

1. 主机厂与测试服务商共建“研制 - 试验 - 取证”一体化平台：把风洞、HIL、空口验证向前移到设计早期，把 TC 周期压缩到与试飞验证同尺度。
2. 运营商、整机厂与测试机构联合制定“机载终端入网测试基线”：对齐 3GPP TR 36.777 / TS 22.125，覆盖多频段、多姿态、场景。
3. 以“测试即合规”理念衔接 CAAC、工信部、无委三套体系：减少企业重复验证，提升出海合规效率。
4. 共建低空频谱共享与监测公共服务：把机载频谱监测能力沉淀为城市级低空治理基础设施。

附录

关键术语表

术语	英文全称	含义
适航证（民航局颁发）	Urban Air Mobility	城市空中交通
AAM	Advanced Air Mobility	先进空中交通，涵盖城市和城际
eVTOL	Electric Vertical Take-Off and Landing	电动垂直起降航空器
DEP	Distributed Electric Propulsion	分布式电推进
TC	Type Certificate	型号合格证（民航局颁发）
PC	Production Certificate	生产许可证（民航局颁发）
AC	Airworthiness Certificate	适航证（民航局颁发）
OC	Operation Certificate	运营合格证（民航局颁发）
C2 链路	Command and Control Link	无人机指挥与控制链路
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight	超视距运营
UTM	UAS Traffic Management	无人机交通管理（欧盟称 U-space）
UOM	-	中国民航局无人机综合监管平台
HIL	Hardware-in-the-Loop	硬件在环仿真
SIL	Software-in-the-Loop	软件在环仿真
VaHIL	Vehicle-and-Hardware-in-the-Loop	整车在环仿真
SOTIF	Safety of the Intended Functionality	预期功能安全（ISO 21448）
ISAC	Integrated Sensing and Communication	通信感知一体化
C-UAS	Counter-UAS	反无人机系统
Remote ID	Remote Identification	无人机远程身份识别广播
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
5G-A	5G-Advanced	5G 演进版本（通感一体化的关键技术）

数据来源与参考文献

官方与监管机构

- 中国民航局 (CAAC): 《国家空域基础分类方法》(2023.12)、《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》(2024.01)、《2024 年民航行业发展统计公报》
- 工信部 / 科技部 / 财政部 / 民航局: 《通用航空装备创新应用实施方案 (2024-2030)》(2024.03)
国家发改委低空经济发展司 (2024.12 成立)
- FAA: BVLOS NPRM (2025.08)、Remote ID 规则
- EASA: SC-VTOL Issue 2 / MOC-4 (2025.07)、U-space 法规 (EU 2021/664)
- 美国交通部: 《先进空中交通国家战略: 2026-2036》(2025.12)

研究机构与行业报告

- 摩根士丹利、麦肯锡、Roland Berger、MarketsandMarkets、GMI Insights、Precedence Research、Statista、毕马威、赛迪、前瞻产业研究院
- 中国信通院、IMT-2020 推进组、IMT-2030 (6G) 推进组
- 东北证券、国海证券、东方财富研究

学术与标准

- 3GPP TR 36.777、TS 22.125、Release 17/19/20
- ISO 21448:2022 (SOTIF)
- 航空学报、《Engineering》(中国工程院刊)、IEEE TWC、MDPI Drones、Springer SCIS

权威媒体

- 新华社、求是网、人民日报、央视、21 世纪经济报道、证券时报、第一财经、36 氪

免责声明

本白皮书由广州德思特科技有限公司编制, 仅供一般性参考之用, 不构成任何形式的专业建议、商业承诺或法律意见。尽管我们力求内容的准确性与时效性, 但**数据来源可能存在偏差、遗漏或更新不及时, 且所阐述的方案、策略及技术路线可能因行业动态、政策法规或市场环境的变化而滞后**, 故本白皮书不保证其内容的绝对正确性、完整性或适用性。

读者应独立判断并审慎评估本白皮书中的任何信息, **切勿依赖本文件作为决策的唯一依据**。对于因使用、引用或信赖本白皮书内容而导致的任何直接或间接损失、纠纷或责任, 我方概不承担, 亦不承担因内容更新而另行通知的义务。

本白皮书可能包含对第三方数据或公开信息的引用, 其准确性由原始来源负责, 我方不对其做额外保证。



* 所示资质由德思特关联公司虹科取得

YOUR SOLUTIONS PARTNER

您的解决方案合作伙伴

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.net



测试测量领域领先的 解决方案合作伙伴

关于德思特

广州德思特科技有限公司（简称“德思特”）正式成立于2023年，由原虹科测试测量事业部孵化独立，是一家专注于信号全链路测试测量领域的创新型科技企业。作为全域信号测试专家，德思特致力于成为全球领先的AI+测试测量解决方案供应商，覆盖从信号生成、仿真、传输、采集到分析与处理的全链路环节。

公司以“让测试一步到位”为使命，面向低空经济、自动驾驶、前沿科研（量子、光电、半导体物理）及无线通信（5G/6G、物联网、RIS等）四大行

业，提供高精度、高集成度、可自动化的测试测量方案，赋能未来智能世界。

2025年被评为广州市高新技术企业，技术团队背靠世界500强PNT行业领导者Safran（赛峰）；迄今已申请知识产权10余项，包括基于GNSS模拟器的无人机编组测试发明专利；作为汽车标准委员会SC29的工作组成员，参与了多项GNSS标准和EMC标准的制定。

我们的客户包括广州赛宝、中汽研、广

汽、大众、比亚迪、小鹏汇天、广汽高域、道通航空、大疆、华为、3M、微软、清华大学、北京航空航天大学、浙江大学、合肥国家实验室等。



李婷婷
全国
销售经理

T: 187 1014 9603



广州德思特科技有限公司

www.tesight.com
hktest@tesight.com

广州市黄埔区开泰大道30号佳都PCI科技园6号楼

T (+86)400-999-3848

各分部: 广州 | 成都 | 上海 | 苏州 | 西安 | 北京 |
台湾 | 香港 | 日本 | 韩国

版本: V1.0 - 26/07/10



获取更多资料



tesight.com

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.net