教育教学与研究 2026年第3期
ISSN: 3135-5609

无动力滑翔式无伞空投系统发展综述

黎蒙蒙
武警工程大学研究生大队，陕西西安，中国

【摘要】本文研究的无动力滑翔无伞投放装置，依靠固定机翼或是折叠机翼的外形结构完成不带降落伞的物资投递，该装置有着机身构造简易、不易被探测、制作开销小、投放点位便于调整、能适应各类复杂地形等诸多特点，可用于军队后勤物资输送、特种装备投放以及各类灾害救援物资运送，文章会对这套装置的概念和类别做出说明，整理海内外相关设备的研发情况，梳理机身外形设计、定位飞行控制、航线调整、落地减震、外界环境适配五类核心研究内容，同时点明设备现存气流模拟精度偏低、抵抗气流干扰能力不足、大载重与轻便设计难以平衡、多机协同投放技术不完善等问题，分析设备轻量化、高精准、低成本、军民共用的发展走向，对后续研究内容展开预判，能够给相关设备研发与实际使用提供参考。

【关键词】无动力滑翔；无伞空投；精确投送；折叠翼；导航制导；环境适应性

1.绪论

1.1 研究背景与意义

现代信息化战争以及地震、洪灾、山区遇险等应急救援场景，对物资投送模式提出了全新要求：高空防区外投放、远距离滑翔、精准定点着陆、隐蔽突防、适应山地峡谷、城市楼宇、强湍流等复杂环境[1]。

传统降落伞空投模式存在固有短板：高空强风下轨迹漂移严重、落点误差大；开伞过程存在失效风险；在丛林、山地易发生挂伞、缠绕损毁，造成物资损失；着陆瞬间冲击过载大，易损坏精密药品、电子设备等贵重载荷；伞体目标特征明显，极易被敌方侦察识别，难以用于敌后隐蔽补给任务[2]。

研究人员设计的无动力滑翔空投设备，不再采用传统空投伞这类零部件，设备可以借助折叠机翼、飞翼、长窄固定翼这类外形结构获得向上托举的力[3]，设备下落时会把自身重力带来的能量转化为向前滑行的动力，再搭配机身自动调姿模块、多套定位设备一同工作，就能完成远距离、落点准确的滑行降落工作，运输机的货舱能够把整套设备收拢存放，还能一次性释放多台设备同步投递物资，设备不容易被敌方探测、物资投递误差小、能适应各类复杂地面环境，刚好可以满足远距离后勤物资输送、恶劣灾情下救援物资投放的相关需求，相关人员针对这套设备开展的各项研究，能够优化定点空投相关技术体系，也可以稳定输送前线补给、救灾救命物资，存在不小的理论参考意义与实际工程使用价值[4]。

1.2 系统定义与分类

无动力滑翔式无伞空投系统，是指经母机高空投放后，无自带动力装置、不依靠降落伞减速，依靠刚性翼面气动升阻特性实现远距离滑翔，通过制导控制系统完成姿态调节、轨迹规划，最终完成定点物资投送的一次性或可重复使用滑翔投送平台[5]。主要分类方式如下：

按载荷量级分类：微小型（载荷＜50 kg）、中型（载荷 50～500 kg）、大型（载荷＞500 kg）

按翼面布局分类：折叠翼式、大展弦比固定翼式、飞翼布局式、模块化翼式

按使用模式分类：一次性消耗式、可回收重复使用式

按控制方式分类：自主制导式、遥控式、无控稳定式

2.国内外发展现状

2.1 国外发展现状

国外无伞滑翔空投技术起步较早，以美军为核心形成了成熟装备体系，配套形成装载、投放、测控全流程标准体系，欧洲各国也开展适配大型运输机的配套研发工作[6]。

2.1.1 美国研制的相关投放设备

Silent Arrow 这套折叠翼投放设备，整机能够收拢折叠，运输机、直升机都能搭载它完成投放，设备大约可以承载七百公斤物资，最远滑行距离能达到六十公里，物资落地误差可以控制在五米以内，设备搭配两套定位设备协同工作，全程不需要人员操控滑行，已经配备给特种作战队伍，用来在敌方

后方悄悄输送补给物资，也是现阶段投入使用最完善的大型无伞投放设备，Grasshopper 是一次性投放设备，整机一体成型采用复合板材制作，设备的设计思路就是压低生产成本、单次投放后不再回收，能够在远距离安全区域完成释放，还可以自行规划滑行路线，能减少运载飞机靠近危险地带被发现的概率，方便大批量快速调配，适合投放轻型物资、医疗耗材这类物品[7]，还有一款 LG-2K 物资滑翔设备，设备配有 H 型尾翼，机翼能够折叠收纳，整机滑行效率数值为十五，高空从运载机释放后，滑行里程能突破一百公里，机身内部留有整齐的储物空间，可以同步装载多批物资一同投放，能够持续给前线战区运送各类补给，满足战场长期物资供给的相关需求。

2.1.2 欧洲典型装备

德国这边研发出 HADIS 高空自主滑翔投放设备，法国也为 A400M 军用运输机配套设计了对应的滑翔投放装置，两类设备的研发重点都放在高空远距离物资投放、复杂电磁环境适应能力上面，设备内部装有可以安全脱离机舱的分离结构，还搭配多点位自主航线计算程序，整套设备能够适配欧洲地区各类大型军用运输机，设备的投放能力也能在高原、山谷这类复杂地形里得到加强[8]。

2.1.3 整体技术特点

海外大部分投放设备都会选用能折叠收拢的机翼结构当作基础设计，设备同时兼顾高空远距离滑行能力、卫星定位组合导航、便宜复合板材加工、抵抗气流干扰稳定飞行等多项性能，相关设备都统一做好物资装载接口、多台同步投放设备和全程信号传输线路，这类设备已经在山区乱流、电磁干扰等环境里完成很多次实际测试，整套技术落地使用的成熟程度比较高[9]。

2.2 国内发展现状

国内相关研究工作开展的时间会晚一些，国内航空、航天、兵器相关研究院所和各大重点高校，都是这项技术的主要研究主体，研究人员会做基础运动规律建模、机身部件结构设计、飞行控制程序编写还有实物样机投放试验，整套研究工作贴合国内高原边防物资运送、山区地震救援等本土使用场景，国内研究人员也慢慢完成中小型样机的实地测试工作[10]。

国内研究人员主要开展几类相关研究工作，分别是完整六维度运动模型搭建、折叠机翼快速张开锁死结构设计、北斗搭配惯性定位设备组装、山区气流干扰修正飞行程序、模拟试验平台搭建等内容，各项研究已经取得不少实际成果，主要成果可以分成下面几点： 折叠机翼部件，样机能够在运输机机舱里紧凑收拢，设备投放出去之后机翼可以快速稳定张开并锁死，整套张开流程用时不会超过 0.5 秒，部件重复开合的稳定程度较好，能让设备刚投放出去时保持平稳滑行姿态； 定位导航部件，研究人员搭建北斗、惯性定位、地磁定位结合的多重定位系统，这套系统可以缓解山体遮挡、电磁干扰带来的定位不准、信号丢失问题；

模拟实地测试，工作人员搭建出能模拟山谷多变气流的计算模型，完善室内模拟试验平台，还多次把中小型样机带到野外完成空投测试，测试数据能够看出，这套滑翔投放设备的落点精准程度，会明显高于传统降落伞投放方式； 实际场景适配，样机经过多次结构调整，可以搭配中型运输机、直升机完成投放操作，能够用来给边防地区运送物资、给受灾山区投放救援物资。

国内的相关设备同时还存在不少明显不足，大型重载滑翔投放设备的相关技术积累不够充足，低成本复合板材的加工制作工艺还不够完善，设备在强气流、山谷环境里稳定飞行的控制程序缺少足够多野外实地测试，多台设备同步投放、自动避开障碍物规划航线这类前沿技术，目前只停留在电脑模拟研究阶段，还没办法大规模投入实地使用（如表 1 所示）。

表 1.无动力滑翔空投系统对比示意图

型号	构型类型	载荷量级	最大滑翔距离	核心特点
Silent Arrow	折叠翼	700kg 级	60km	隐蔽补给、高精度
LG-2K	H 尾折叠翼	大型	100km+	长距离批量投送
Grasshopper	一体式滑翔构型	中小型	中程	低成本一次性
国产中小型样机	折叠翼 / 飞翼	＜500kg/50~500kg	中短程	北斗导航、山地适配

3.关键技术体系

无动力无伞滑翔投放设备飞行全程不会自带动力，也不依靠降落伞减速，设备飞行过程会受到运输机投放时的晃动、机翼张开

瞬间带来的冲击、野外多变气流的持续影响，相关核心技术都围绕设备全程平稳飞行、投放物资精准落到指定地点、适应各类复杂环境这三个目标开展，一共分成五项核心技术内容。

3.1 气动布局与轻量化结构设计技术

这项技术的研发目标，是同时满足设备滑行距离远、飞行状态平稳、飞行阻力小、能收进运输机机舱四项基础要求，当下比较常用的机身外形有大长宽比折叠机翼、飞翼、H 型尾翼、仿生物翅膀这几种，工作人员会借助电脑气流模拟工具，调整机翼外形、机翼长宽比例、机翼倾斜角度等参数，以此提高设备滑行效率。

设备机身会大量使用碳纤维复合板材、蜂窝夹层板材、热塑性复合薄板这类轻便材料，材料可以在保证机身结实、抗撞击的前提下，减轻整机重量、缩小收拢后的体积；工作人员还会调整折叠转轴、锁死零件的摆放位置，平衡机身收拢尺寸限制和滑行性能两方面需求，改善机翼折叠缝隙、机身硬度不足造成的飞行抖动、机身姿态晃动问题。

3.2 多源导航与精确制导技术

设备长时间滑翔飞行时，很容易碰到卫星信号被遮挡、外界电磁干扰、气流无规律变化的情况，这些问题都会造成定位偏移、飞行路线偏离，这也是投放落点不准的主要原因，设备基础定位方案是北斗或 GPS 搭配惯性定位设备，研究人员还会加入地磁定位、画面识别定位、地形匹配定位，搭建多重定位结合的整套系统，就算卫星信号完全中断，设备也能长时间精准确定自身位置。

在飞行控制程序方面，工作人员会运用预测模型控制、可变滑动控制、最优航线规划、非线性模型反向计算等常用程序，系统能够结合实时检测到的气流数据修正外界干扰，随时调整设备滑行路线和落地前的下滑角度，在节省滑行能量的基础上，全程贴合预设飞行路线、精准落在目标点位，同时兼顾滑行能耗和投放精准度两项需求。

3.3 动力学建模与轨迹控制技术

无伞滑翔投放设备完整飞行流程，可以分成五个不同阶段，分别是停放在运输机机舱内、刚脱离机舱瞬间、机翼张开的短暂过程、远距离平稳滑行、落地前向下滑翔，设备在每个阶段里的运动状态都存在较大差别。通过建立全量六自由度非线性动力学模型，耦合非定常风场、湍流扰动、地形绕流干扰，开展全周期动力学仿真分析；重点解决翼面快速展开带来的瞬态姿态振荡问题，完成长时滑翔段能量最优轨迹优化与末端终端能量管理，保证下滑速度、姿态角处于安全范围，防止俯冲坠毁、姿态失稳等事故。

3.4 着陆缓冲与抗冲击技术

无伞直接着陆模式下沉速度大、垂直冲击载荷极高，是制约物资完好率的关键瓶颈。主要分为主动缓冲与被动缓冲两类方案：

被动缓冲：采用铝蜂窝结构、泡沫缓冲材料、褶皱吸能结构、自平衡缓冲底盘，通过塑性变形吸收冲击能量，降低过载峰值，保护内部载荷；

主动缓冲：采用末端“雀降”机动制导策略，利用舵面姿态操纵改变下滑轨迹、降低下沉速度，配合姿态增稳控制实现平缓触地，减少硬着陆冲击破坏。

3.5 复杂环境适配相关技术

山谷山地、城市楼宇之间的空域里，经常会出现风向骤变、杂乱气流、山体挡风形成的特殊气流，这些气流会突然打乱设备的飞行受力，让机身姿态出现大幅度晃动，设备还容易丢失定位信号，相关配套处理手段主要分为几部分，研究人员会结合电脑气流仿真工具和实地收集到的气象数据，搭建能够反映气流持续变化的局部气流计算模型，这套模型可以随时算出当下杂乱气流带来的干扰大小，研究人员还编写了能够自动调整飞行状态的控制程序，程序可以抵消突然出现的侧风、阵风带来的路线偏移问题，设备还会读取地面高低起伏的数据，躲开低空里的各类遮挡物体，这样就能让投放设备在山谷、城市区域平稳飞行，降低飞行事故出现的概率。

4.现存主要问题

4.1 复杂环境相关模型的计算准确度不够高

研究人员现在使用的整体气流模拟模型，很难细致还原山谷山地、高层建筑周边不停变化的乱流、局部风向突变、山体地形叠加带来的气流干扰，模拟程序搭建出的虚拟环境，和设备真实飞行时所处的外界环境会存在不小的出入，模拟平台测算得出的数据，跟野外实地投放采集到的记录也有着明显差距，控制程序在模拟测试环节能够达到不错的工作效果，可一旦放到真实场地开展投放作业，物资落点的精准程度就会明显变差，这套模型也就很难满足各类恶劣地形下的物资投放工作需求。

4.2 强扰动环境下抗扰控制鲁棒性有限

现有制导控制算法多基于理想模型和慢变风场假设，面对突发强湍流、大侧风以及卫星拒止环境时，模型失配问题突出，容易出现姿态振荡、轨迹发散、末端精度恶化问题；非线性扰动自适应补偿算法的实时性、稳定性有待进一步工程验证。

4.3 搭载重量、轻便化设计与收纳尺寸三者存在互相制约的问题

科研人员在研发能够承载大量物资的大型滑翔投放设备时，会遇到不少难以解决的难题，设备如果装载更多物资，整机滑行的效率与飞行效果就会受到明显影响，工作人员若是把机翼做宽来提升滑行能力，设备收拢后的整体尺寸就会超标，没办法放进现有运输机的货舱里面，要是采用体积更小的折叠零件来缩小收纳体积，机身整体牢固程度会有所下降，机翼展开过程也更容易出现故障，这三项设计指标很难同时调整到合适的状态。

4.4 低成本加工和设备稳定性能之间存在难以调和的矛盾

市面上一次性使用的滑翔投放设备，普遍要求生产用料与加工开销尽量压低，可造价低廉的电子零件、简易复合板材做出来的机身，会让设备飞行平稳度、长久使用性能、机翼开合结构的可靠程度全部变差，要是给设备搭配精度更高的飞行控制、定位零部件，整套设备的生产价格又会大幅上涨，很难大批量投入消耗式投放作业，目前还没有成熟方案可以平衡生产成本与设备使用性能。

4.5 多台设备协同投放的相关技术还发展得比较缓慢

现有应用模式以单机单次投送为主，缺乏多机同步投放、集群航路协同规划、动态避障、编队队形保持、分布式测控等技术体系；在大规模区域物资补给任务中，无法实现同步精准集群投送、动态补给布局；智能决策、自主协同算法仍处于基础仿真研究阶段，缺乏真实环境验证。

5.整体发展趋势

5.1 轻便机身搭配高滑行效率的一体化设计思路

研究人员会结合新式复合板材、模仿鸟类翅膀的外形、能够改变形状的机身结构，持续提升设备滑行效率，延长设备远距离滑行的距离，同时进一步缩小机翼收拢后的整体体积，设计过程中会兼顾机身牢固程度、飞行时减少抖动的能力和远距离滑行效果，让设备可以在远距离区域悄悄投放物资，降低运输机被敌方发现的概率。

5.2 落点精准、抗干扰能力强的自主定位控制方案

相关研究人员会重点开发卫星信号失效场景下，依靠设备自身定位、画面识别、地形比对完成自主导航的相关方案，搭建可以实时测算外界气流干扰的配套模块，搭配智能学习型抗干扰飞行程序，结合智能模拟控制等多种技术手段，提升设备在强乱流、山谷地带、电磁干扰环境里的飞行路线精准度与飞行平稳性，让整套设备全程不靠人工干预，也能精准完成物资投放。

5.3 造价低廉、统一规格、可拆分组装的设备体系

工作人员会设计通用的飞行控制硬件框架，统一设备机械连接位置和投放适配接口，采用价格更低的热塑性板材、一体压制成型的加工手段，搭建可以拆分组装的通用设备平台，平台能够适配多种重量物资与各类投放飞机，方便工厂大批量快速生产，满足各类应急场景下频繁投放消耗设备的使用需求。**5.4 适配各类复杂场地、抗外界干扰能力更强的投放方案**

研究人员会继续细化山谷、城市内部乱流的气流模拟计算方法，搭建可以实时感知、抵消气流干扰的配套系统，结合地面高低起伏数据让设备自动躲开低空遮挡物，完善山地、树林、城市区域等多种场地的实地测试流程，以此提升极端地形、恶劣天气条件下物资投放的成功概率。

5.5 军用民用双向使用，扩大设备实际应用规模

军事领域拓展至敌后持续补给、特战装备投送、前线医疗物资精准投送等任务；民用领域面向地震灾区、偏远山区、海岛救援物资投送、森林防火物资投放等民生应用；构建军民两用验证平台与投送测控体系，实现技术双向转化，扩大应用规模。

6.总结与未来研究方向

传统降落伞投放存在不少短板，无动力滑翔无伞投放设备跳出了原有设计思路，依靠硬质机翼滑行结构实现远距离精准投送物资，设备同时具备隐蔽性好、落点准确、适应复杂场地、生产成本偏低等多重优势，是今后定点物资投放体系里十分关键的装备类型，海外相关机构已经完成多系列设备研发

与实地作战测试，国内中小型样机虽然取得一定研究成果，但在大承载设备研发、复杂环境抗干扰控制、多机协同投放、低成本批量加工等方面还有明显不足。

后续相关研究人员可以把五个方向当作重点研发内容，一是细化山谷、城市区域多变气流的精准模拟技术，搭建完整周期模拟与实地投放测试体系，缩小虚拟模拟环境和真实飞行环境的差距；二是优化卫星信号缺失场景下多类定位融合方案，搭配智能抵消外界干扰的飞行控制程序，提升强气流环境下物资投放的精准程度；三是研发可承载大量物资的轻便折叠机翼外形，设计开合稳定可靠的锁紧零件，优化机身整体运动匹配相关技术；四是设计可以拆分组装的通用低成本设备平台，研发单次使用、回收复用两种模式的机身结构，完善批量生产加工工艺；五是攻克多台设备同步投放、分散式智能路线规划、编队飞行控制、多设备统一信号监测等核心技术。

随着机身外形设计、新式板材、多类型定位、智能控制等相关技术不断融合升级，无动力滑翔无伞投放设备会朝着远距离、全程自主、智能操控、造价低廉、全地形适配的方向持续优化改进，在军队后勤物资保障、国内各类灾害应急救援体系里，成为不可缺少的核心物资投放装备。

参考文献

[1] 姜涛，鲁航，田德宇.精确空投系统研究进展及趋势[J].现代防御技术，2025，53（01）：38-46.
[2] 郭洁，王振威，崔莹，等.无伞空投空中降落阶段技术研究进展[J].包装工程，2025，46（21）：304-312.
[3] 王海涛，李建峰.滑翔式无伞空投系统气动特性与轨迹仿真[J].兵工自动化，2024，43（03）：45-50.
[4] 张宇航，刘嘉诚.复杂山地风场 CFD 数值模拟方法研究[J].空气动力学学报，2023，41（04）：112-119.
[5] 陈景明.精确空投系统环境适应性评估指标体系构建[J].系统仿真学报，2024，36（02）：310-318.
[6] 赵凯明，周彦斌.山地湍流对固定翼空投飞行器姿态干扰机理[J].飞行力学，2023，41（06）：78-84.
[7] 黄晓峰.RNGk-ε模型在山区近地层风场仿真中的应用[J].气象科学，2022，42（05）：672-679.
[8] 黄丽娟.无动力折叠翼空投系统动力学建模与仿真研究[D].南京航空航天大学，2023.
[9] 黄泽远.复杂风场下无伞滑翔空投系统轨迹跟踪控制研究[D].哈尔滨工业大学，2024.
[10] 黄健.无伞空投缓冲机构设计与着陆冲击动力学分析[D].中南大学，2023.