

15th中国航展 2024.11.12-17
AIRSHOW CHINA ZHUHAI·CHINA



它飞得

更快

并且具有

更长的航程

更长的留空时间

更强的抗风能力

更高的机动性

更高的效率

以及更多

一款高性能

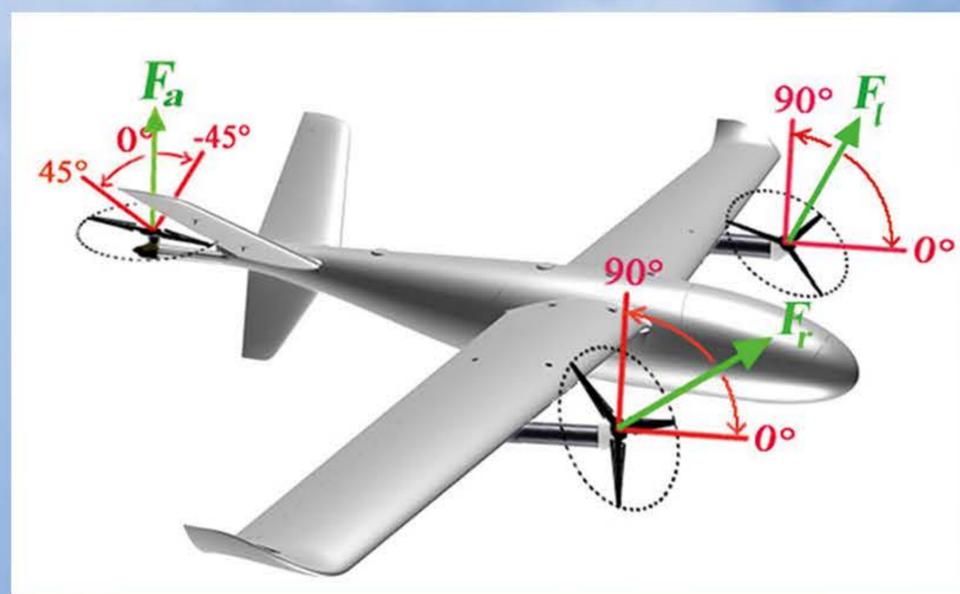
倾转三旋翼无人机

正在低空经济馆 **H8 S4** 展位展出

飞机的特点和先进性

这里展出的新型 eVTOL 飞行器 — 30公斤级倾转三旋翼无人机由北京航空航天大学 and 沈阳浩之翔无人机公司联合研制。

飞机最大的特点在于其结构构型。如右图所示，飞机具有三个旋翼，其中两个主旋翼位于机翼前方，一个旋翼位于机尾后部。每个旋翼的拉力矢量和倾转角度都可以独立调整。当三个旋翼垂直向上时，飞机以旋翼机的方式飞行；当前面两个主旋翼倾转至水平向前方向时，飞机则成为一架螺旋桨固定翼飞机。由此，飞机既具有旋翼机的垂直起降能力，又具有固定翼飞机的速度快、航程长及飞行效率高的优势。



在这种构型下，倾转旋翼机还将其水平前飞和垂直上下及悬停两种飞行模式扩展至一种斜向飞行模式。将这种新型飞行模式应用到飞机的飞行操作中，一方面飞机的常规飞行性能和效率得到大幅度提高。另一方面许多非常规的新型飞行方式得以开发出来。

展出的倾转旋翼机可以直接替代现有同重量级无人机，执行各种飞行任务。如航拍、航测、货物运输、通讯中继以及农业应用等等，不过性能参数要高得多。基于飞机的优秀飞行性能及其具有的多种飞行方式，它非常适合改装成执行不同任务的高性能飞行平台。例如，在配备相应的载荷后，应用于军事行动中。

技术参数

倾转三旋翼无人机仍处于实验飞行，结构调整，功能开发以及控制策略和方法优化阶段。飞机飞行性能在不断提高，技术参数也随之不断更新。下列参数中，‘当前值’代表目前样机在实际飞行中的测量值。而‘预计值’代表飞机在调整、更新优化后将要达到的数值。

飞机

机身长度 1.8 m **翼展** 2.8 m **重量** 30 kg

飞机飞行性能

巡航速度	80 km/h 当前值,	110 km/h 预计值
最大飞行速度	150 km/h 当前值,	250 km/h 预计值
最长飞行时间	90 minutes 当前值,	120 minutes 预计值
最长航程	120 km 当前值,	180 km 预计值
最大负载	3 kg 当前值,	5 kg 预计值
抗风能力	15 m/s 当前值,	20 m/s 预计值
最大飞行高度	6000 m	

有关飞行视频

倾转三旋翼无人机进行各种飞行操作的视频可以在下列网址观看和下载：
<https://www.bilibili.com/video/BV1Xr4y1b7Pr>, and
<https://youtu.be/LhSjG1IlaOA>

新颖的非常规飞行方式

展出的倾转三旋翼机不仅在常规飞行操作中表现出色，还具有执行许多非常规飞行方式的能力。其中一些独特的飞行方式是其他任何飞行器都无法实现的。



图 a 显示倾转三旋翼机处于一种斜向悬停状态。在这种状态下，飞机完全静止地斜向悬停在空中，没有任何姿态及位置的变化^{1,2}。这种斜向悬停状态可以直接运用于很多飞行操作中，增强飞机的任务执行能力。例如航拍，航测。这种斜向悬停状态还构成了飞机其他一些特殊飞行方式的基础。

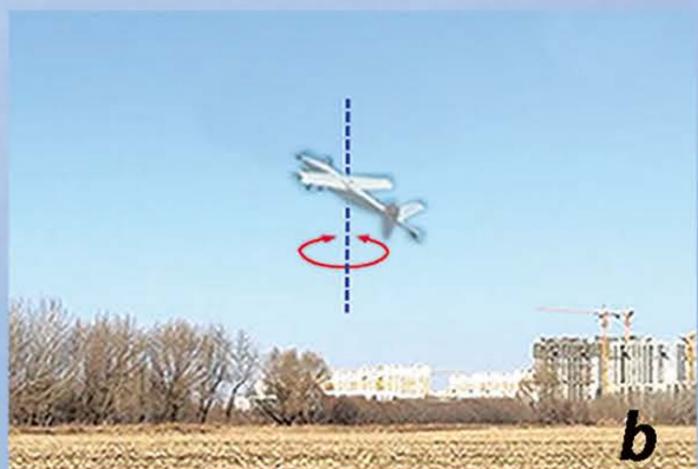


图 b 显示倾转三旋翼机斜向悬停在空中，同时围绕一根与地面垂直、通过机身中心的轴旋转³。这种飞行方式在飞机抗风能力的设计中起着重要作用。提高倾转三旋翼机抗风能力的主要策略为及时地把机头调整为迎风方向，同时通过机身倾斜角度，姿态以及三个旋翼拉力矢量的动态调整，使得飞机的位置偏移最小。

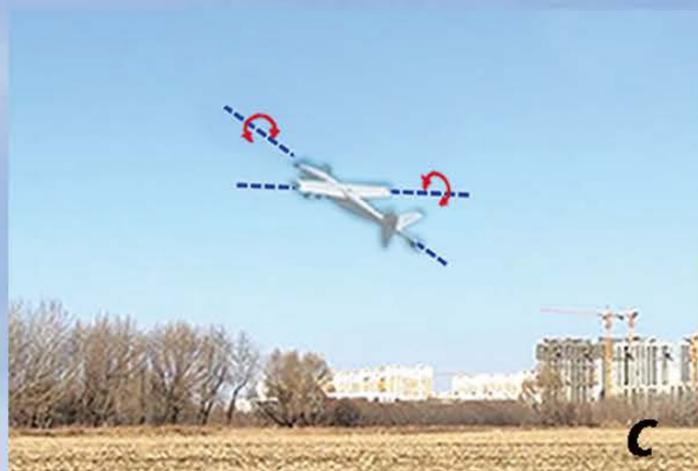


图 c 显示倾转三旋翼机斜向悬停在空中，同时围绕机身的 x- 轴或者 y- 轴旋转。

倾转旋翼机这种定点姿态调整能力的一个应用方向为，飞机在崎岖不平或摇摆不定的地点降落。例如在海面舰艇上^{4,5}。

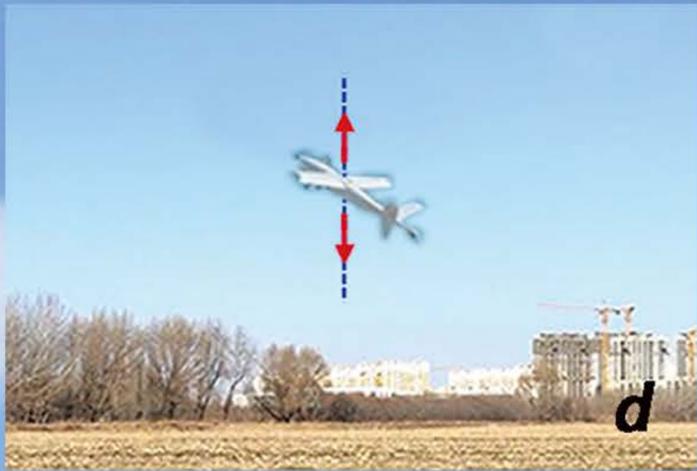


图 d 显示倾转三旋翼机保持斜向悬停状态，同时进行垂直上升，或向下降落的飞行。

这种飞行方式使得飞机在垂直上升或降落时，机身保持倾斜状态。在此状况下，由于飞机机身，特别是机翼不再与运动方向垂直，飞机在运动方向的空气接触面减小，因而飞机承受的空气阻力下降。这使得飞机能更迅捷地上升，或下降⁶。

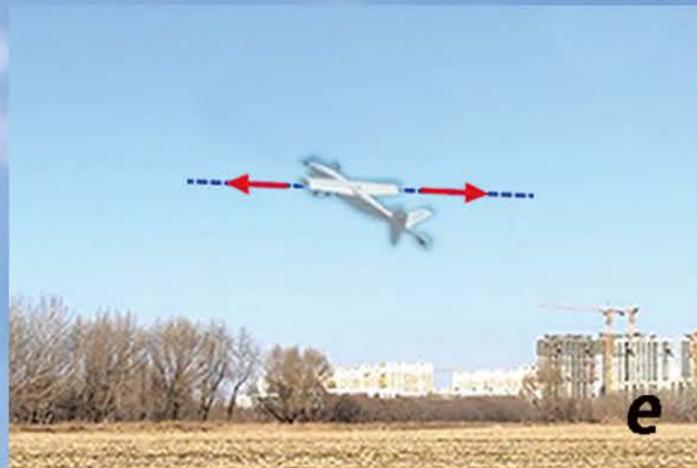


图 e 显示倾转三旋翼机斜向悬停在空中，同时沿机身 x-轴方向向左，或向右飞行。

倾转旋翼机这种沿机翼方向调整位置能力的一个应用为，飞机在拥挤的地点准确降落。例如在航母甲板上。



图 f 显示倾转三旋翼机斜向悬停在空中，同时沿着一根斜向直线飞行。

倾转旋翼机这种飞行方式将它常规的水平前飞和垂直上下两种飞行模式扩展至一种斜向飞行模式。这种斜向飞行模式有着广泛的应用前景。实践证明将这种新型飞行模式应用到飞机的有关飞行操作中，飞机的飞行性能得到了大幅度的提高⁷。

¹ 专利申请：202211292597.2

² 专利申请：202310731491.6

³ 专利保护：ZL 202311065621.3

⁴ 在顶级 SCI 航空期刊发表：Chinese Journal of Aeronautics, Vol 33, 2020

⁵ 在顶级 SCI 航空期刊发表：Chinese Journal of Aeronautics, Vol 34, 2021

⁶ 专利保护：ZL 202211293051.9

⁷ 专利保护：ZL 202210988512.8

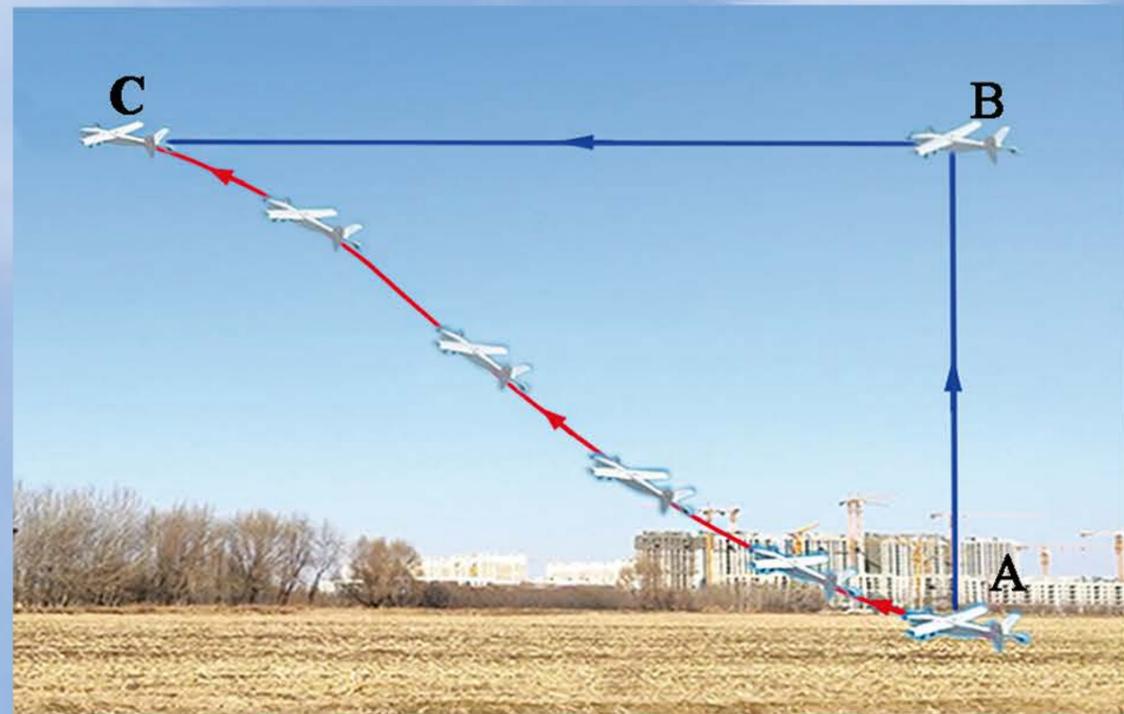
三旋翼倾转旋翼机非常规飞行方式运用示例

倾转旋翼机斜向起飞方法

右图显示了倾转旋翼机的两种起飞方式。传统起飞方式如蓝线所示：飞机从起飞起始点 A 开始，以旋翼机模式垂直上升至 B 点。在 B 点，飞机开始垂直上升至水平前飞的飞行模式转换，然后保持水平前飞状态直至抵达起飞终点 C。

红线显示了新设计的倾斜起飞方法。在飞机腾空离地后，即以前页图 f 介绍的斜向飞行模式，沿着一根斜向曲线从 A 点直接飞向 C 点。在飞行过程中，飞机不断调整其飞行方式及姿态，使得飞机在整个起飞过程的各种操作处于最优状态。

大量实际飞行测试结果表明，倾转旋翼机采用新设计的斜向起飞方式后，与传统的起飞方式相比，飞行性能显著提高，同时动力、能量消耗显著降低。就起飞用时来说，飞机的整个起飞时间缩短了 55% ~ 40%，而动力、能量消耗则降低了 50% ~ 35%⁸。

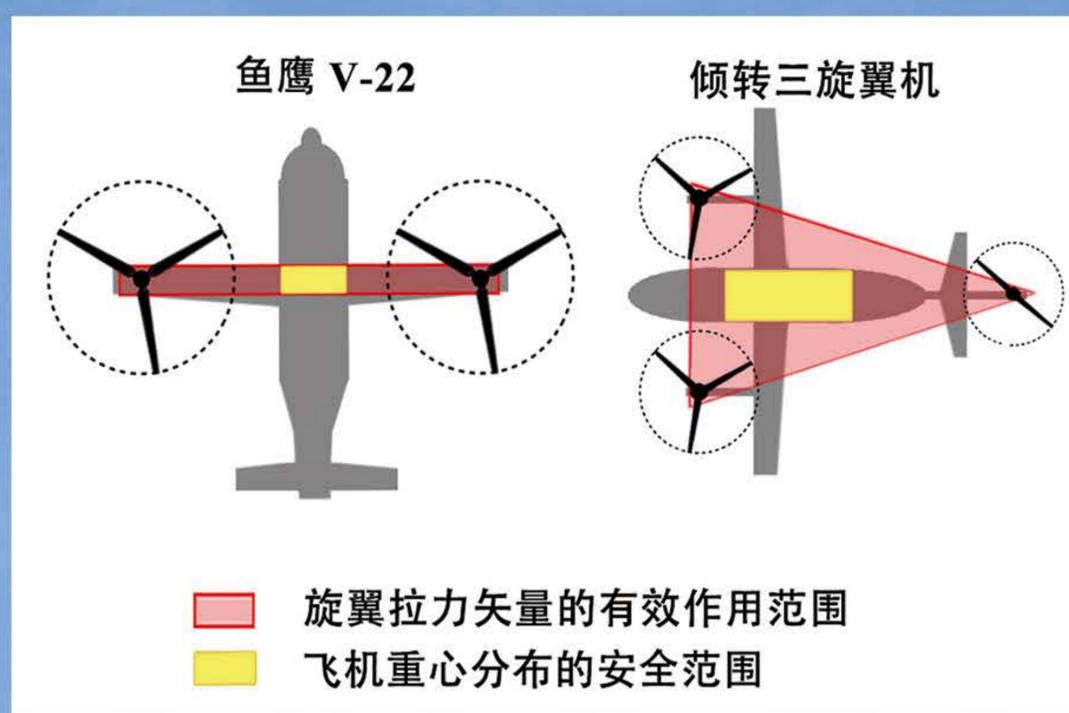


⁸ 在顶级 SCI 航空期刊发表： *Aerospace Science and Technology*, Vol 139, 2023

为什么倾转三旋翼机飞得更好？

1. 三个旋翼的构型设计及旋翼的三角形布局

右图显示了美军著名的鱼鹰 V-22 倾转旋翼机与展出的倾转三旋翼机的构型对比。V-22 具有两个位于机翼顶端的旋翼，它的机体平衡由类似直升机采用的周期变距螺旋桨维持。图中红色区域代表旋翼产生的拉力矢量的有效作用范围。黄色区域代表飞机重心分布的安全范围。由图可以看出倾转三旋翼机的红色区域比 V-22 的大得多。这意味着旋翼产生的拉力矢量可以更有效地作用于机体，使飞机的操作与控制更有效，飞机的飞行状态更易于调整。在此基础上，倾转三旋翼机各种独特的非常规飞行方式得以实现。倾转三旋翼机的黄色区域同样比 V-22 大很多，使飞机在不同飞行状态下的机体平衡更容易维持。



2. 先进的空气动力学模型设计与分析以及现代控制技术与方法的应用

倾转旋翼机的气动力环境非常复杂。主要的挑战来自飞机前方两个主旋翼产生的旋翼尾流与飞机固定翼流场相互作用产生的气动干扰，特别是在两个主旋翼同步或者异步倾转的情况下。在这种状况下，采用先进、准确的空气动力学模型来模拟复杂的飞行环境及飞机的各种运动就至关重要。而现代控制策略与技术的应用则对飞机各种新颖的飞行方式的实现起决定性作用。

15th中国航展 2024.11.12-17
AIRSHOWCHINA ZHUHAI·CHINA



倾转三旋翼无人机研发团队及公司联系方式：

(86)15010359327, (86)18602442008, (86)18924696932
liuningjun@yeah.net, 124979979@qq.com, liu_george@126.com