

多旋翼无人机降落伞装置的设计

王 芳, 宋润舟, 刁维芹, 高 昌

(北京农业职业学院 机电工程学院 北京 102208)

【摘 要】多旋翼无人机能够实现自动航点飞行, 自动悬停, 自动返航等自动化飞行模式。但当多旋翼无人机发生故障时, 容易导致坠机, 会造成一定的经济损失和人员、物品的伤害。为改善多旋翼无人机的被动安全性能, 设计多旋翼无人机降落伞装置, 并对降落伞的弹射方式、开伞信号等进行研究。考虑到降落伞装置的安装问题, 对多旋翼无人机的机架进行改进。实验结果表明, 该降落伞装置的设计对降低多旋翼无人机损伤, 延长其使用寿命具有重要作用。

【关键字】多旋翼无人机; 降落伞; 设计

【中图分类号】V279

【文献标识码】B

【文章编号】1671-7252 (2017) 04-0025-05

1 引言

基于 APM 开源飞行控制系统的多旋翼无人机能够实现自动航点飞行、自动悬停、自动返航等自动化飞行模式。但当多旋翼无人机发生故障时, 容易导致螺旋桨脱落, 多旋翼无人机失去升力而引发坠机, 不仅将昂贵的器材摔成电子垃圾, 造成一定的经济损失, 还会对周边的物品、人员造成很大的伤害。

在多旋翼无人机上加装降落伞, 下落过程中能够增加空气阻力, 减小下降速度, 对降低多旋翼无人机伤害, 提高其被动安全性等方面具有重要作用。通过对现有产品的调查与分析发现: 目前多旋翼无人机降落伞通常采用两种开

伞方式, 一种为弹簧开伞, 其原理是利用弹性元件势能将降落伞弹射出去。此方法在固定翼无人机上使用较为广泛, 具有结构简单, 可靠性高, 准备时间短等特点。另一种为爆破开伞, 例如大疆无人机的 Dropsafe 降落伞采用气动开伞, 其原理是利用压缩气体或引燃炸药使气体快速膨胀将降落伞推出。此方法具有开伞速度快, 结构紧凑, 对零部件精密度要求高, 准备时间较长等特点。但其核心技术保密, 价格昂贵, 不利于广大无人机爱好者接受。因此, 设计一款结构简单, 容易操作、安全性好的多旋翼无人机降落伞, 对延长无人机的使用寿命, 提高其经济效益具有重要意义。

【基金项目】2015 年大学生科技创新项目 (XY-DKC-IS-30)

【收稿日期】2017-03-14

【作者简介】王芳 (1978—), 女, 辽宁锦州人, 北京农业职业学院机电工程学院讲师, 硕士。研究方向: 汽车电气与电路检修。

2 降落伞装置的设计方案

本设计解决的关键问题:根据降落伞拉力方程设计降落伞伞面的大小,设计降落伞伞舱和开伞机构,并对降落伞的弹射方式、开伞信号和供电方式进行研究,解决降落伞能够自动开伞的问题。利用碳纤维材料制作折叠机架和可调挂载架,并对机架的刚性和轻量化问题、机架的折叠方式以及安装方式进行研究,解决降落伞伞舱的安装问题。

2.1 降落伞装置的整体结构

降落伞装置主要由四部分组成,分别是降落伞、伞舱与弹射系统、机械开伞系统、开伞信号与供电系统。伞舱用于收容以及弹射降落伞,由伞舱主体、底部弹射弹簧与弹簧压板组成。机械开伞系统安装于伞舱顶部,由舵机、舵机座、连杆、锁销组成,用于锁死或解锁伞舱。开伞信号与供电系统由低压电池、接收机、排线组成,其作用是给机械开伞系统提供开伞信号和工作电压,并在开伞同时停转电机。

2.2 工作原理

多旋翼无人机起飞前,先将降落伞折叠并压入伞舱,将伞舱底部的弹簧压紧,再将锁销插入锁定孔,固定伞舱顶部舱盖。

在正常状态下,多旋翼无人机的接收机接收地面控制器的无线遥控信号,完成正常飞行。此时机械开伞系统处于关闭状态,锁销将舱盖固定,降落伞无法释放。

在紧急或故障状态下,多旋翼无人机的接收机接收不到地面遥控器的开伞信号,即默认为无人机处于紧急或故障状态,此时接收机会自动发送一个控制信号,切断旋翼电机电源,旋翼电机停转。同时启动机械开伞系统,接收机发送开伞信号给舵机,舵机开始旋转,带动传动销一起向下旋转至一定角度,将锁销向外拉开,即降落伞伞舱舱盖开锁。在伞舱底部预压紧弹簧的推力下顶开舱盖,降落伞释放。

2.3 主要技术参数

主要技术参数如表 1 所示。

表 1 主要技术性能指标

名 称	参数	单位	名 称	参数	单位
无人机轴距	680	mm	伞面直径	1.5	m
机臂宽度	25	mm	开伞速度	2	s
桨叶尺寸	15	寸	最大爬升速度	6	m/s
无人机重量	3 560	g	最大下降速度	4	m/s
最大水平飞行速度	15	m/s	最大飞行时间	25	min

3 主要零部件设计

3.1 降落伞及开伞机构设计

降落伞的基本原理就是利用空气的阻力,降低下降速度。简单地说就是用比较大的伞面增加自由落体下降时的阻力,减小下降时的速度,使无人机能够承受自身下降的速度和由于自身重量产生的动量,避免由于速度过高摔坏,甚至危及周边物品及人员安全。

降落伞的下落速度和空气密度、伞的形状特性、载重量等因素有关,总体上可以用降落伞拉力方程来表述:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (1)$$

(1) 式中, F_D —拉力; ρ —空气密度 $=1.22\text{kg/m}^3$; C_d —风阻系数; A —降落伞面积; v —与空气相对的速度。

当载重的重力与降落伞拉力相等时,降落伞匀速下降,即有方程:

$$F_G = F_D \quad (2)$$

$$mg = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (3)$$

其中, F_G —重力; m —载重质量; g —重力加速度 $=9.81\text{m/s}^2$ 。

降落伞面积:

$$A = (2mg)/(\rho C_d v^2) \quad (4)$$

又因为:

$$A = \pi D^2/4 \quad (5)$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (6)$$

由方程 (4) 和方程 (6) 得：
降落伞直径：

$$D = \sqrt{\frac{8mg}{\pi\rho C_d v^2}} \quad (7)$$

经查阅相关资料，圆形降落伞的 C_d 阻力系数约为 2.9， v 取降落伞最大下降速度 4 m/s，假定无人机负载条件下最大重量为 5 kg，根据以上公式，计算出降落伞的直径为 1.5 m，利用尼龙布缝制降落伞，根据折叠后降落伞体积大小，设计体积为 2.4 dm³ 的降落伞伞舱，并选用 3k 碳纤维板材作为伞舱主体材料，该材料具有重

量轻，刚性强的特点。

开伞机构由舵机、U 型杠杆、传动销、锁销及舵机固定架构成。当伞舱关闭时，锁销插入锁孔，将舱盖固定。开伞时，舵机转动，带动 U 型杠杆的一端向上移动，U 型杠杆的另一端与传动销固定，在杠杆原理的作用下，带动传动销向下转过一定角度，锁销在传动销的拉动下向外拉出，离开锁孔，自动开锁。同时，考虑到锁销锁止强度和整机轻量化问题，设计出降落伞机械开伞机构平面图，如图 1 所示。选用 6061 铝合金，利用 CNC 数控加工技术制成，保证了闭锁强度与精密度。降落伞伞舱及开锁机构组装图，如图 2 所示。

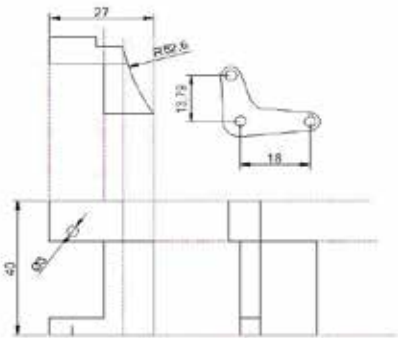


图 1 开伞机构平面图

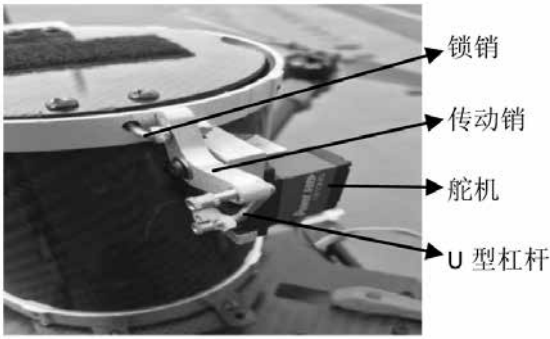


图 2 降落伞伞舱及开锁机构组装图

3.2 降落伞控制电路设计

考虑到多旋翼无人机失控时，控制电路可能损坏，降落伞必须脱离飞行控制系统独立工作的可能性，利用接收机的失控保护功能实现自动开伞。其原理是在地面遥控信号丢失的情况下，接收机接收不到无线遥控信号就会自动发送开伞信号给舵机，舵机旋转实现自动开伞。手动开伞时，通过 2.4G 地面遥控器上的开关通道发射信号给接收机，接收机接收到此开关信号，即可停转旋翼电机，启动舵机实现手动开伞。此方法保证了电机停转的同时打开伞舱，减少了从失去动力到开伞的时间，提高了多旋翼无人机飞行的安全性。

供电方面，考虑到多旋翼无人机的重量，并未给降落伞单独配电。而是采用低压电池给控制系统（接收机、飞行控制系统、降落伞舵机）

供电，可保证控制电路在高压电池（动力电）出现紧急情况时仍能正常工作。接收机电路、飞行控制系统电路和降落伞舵机电路采用并联方式进行电路联接，所以在飞行控制系统出现问题时，降落伞仍能照常打开。多旋翼无人机供电系统如图 3 所示。

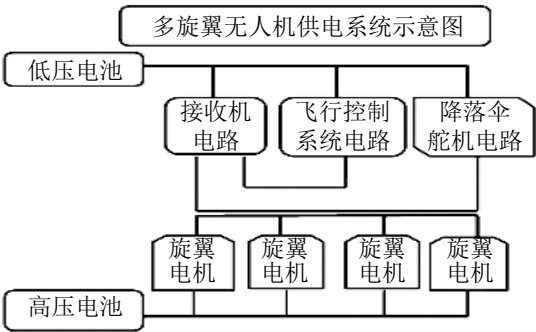


图 3 多旋翼无人机供电系统示意图

3.3 机架的设计

机架是多旋翼无人机的所有部件的承载平台,决定了多旋翼无人机性能的好坏。降落伞装置的安装无疑给多旋翼无人机机架的带载能力提出新的要求。衡量一个机架的好坏,可以从坚固程度、使用方便性、元器件安装合理性等方面考察。针对带有降落伞装置的多旋翼无人机机架,主要从机架的刚性与轻量化设计方面、机架的折叠方式与安装方式进行研究。

机架的轴距是指对角线两个螺旋桨中心的距离,用于表达机架的尺寸大小。通过查阅相关动力系统参数,既要保证飞行效率最佳又要满足无人机的便携性和带载能力,选取该多旋翼无人机机架的轴距为 680 mm。

针对机架的刚性与轻量化的设计,一方面采用碳纤维材料制作飞机板面,并进行打孔镂空设计以减轻机架重量,和传统材料(玻璃纤维,ABS)相比,重量可减轻 30% 以上,刚性可增加 50% 左右。另一方面在多旋翼无人机上、下板之间增加了 4 根铝柱以提高机架坚固度,进行 5 kg 重物实验,结果表明:在有铝柱的情况下飞机自身形变相对于无铝柱的情况降低 3 mm,多旋翼无人机的刚性增强。

折叠方式上,鉴于多旋翼无人机轴距较大,所以选择纵向折叠的方法,设计折叠机臂。折叠状态对角距离由 680 mm 减至 300 mm。桨叶也采取 1/2 折叠设计,如图 4 所示。相比于工作状态,多旋翼无人机体积可减小 50% 左右,便捷性显著提高。通过手动的金属旋转锁死机构将机臂与机架刚性连接,减少了在飞行中机臂脱落的危险。

为提高多旋翼无人机的带载能力,挂载架中心孔距分别设计 155 mm 和 60 mm 两种尺寸,如图 5 所示,可依据挂载件的大小适当调整。挂载架上粘贴一层减震胶,可以减小飞行时飞机主体震动对挂载件的影响。实验表明,在用刚性元件连接挂载架的情况下,使用带有减震胶的元件连接可以将震动系数减小 30% 左右。将起落架安装于挂载架上,虽然增加了装配的复杂程度,但大幅度提升了带载空间。紧急情况

下,若起落架与挂载架受到冲击断裂,还可以为无人机主体提供缓冲,不会直接损伤底板。

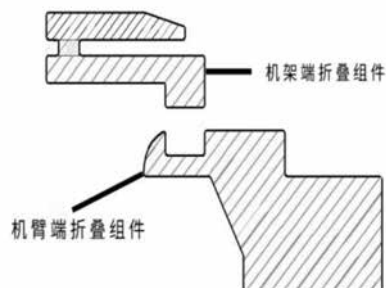


图 4 折叠组件 CAD 图

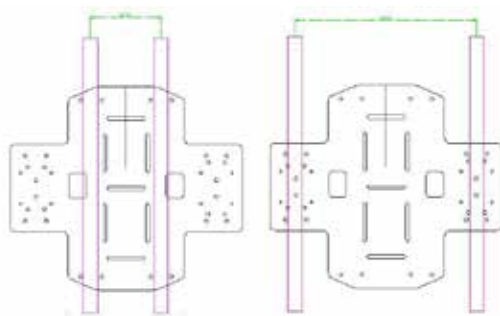


图 5 挂载架平面图

3.4 飞行控制系统备件的选择

飞行控制系统是多旋翼无人机完成起飞、空中飞行、执行任务和返场回收等整个飞行过程的核心系统。根据飞机的整体重量和轴距,为使飞机飞行效率达到最佳,选用零度 X4V2 飞行控制系统和“天地飞 9”遥控器。动力方面,选用“好盈”XROTER 40A 电调,4041 电机。最后在新制的机架上完成安装与布线,如图 6 所示。



图 6 无人机布线图

4 飞行测试

将降落伞装置安装在多旋翼无人机上，分别进行地面独立开伞实验和空中开伞实验，降落伞弹出瞬间如图 7 所示。测试结果如表 2 所示。进行地面独立开伞实验时，降落伞能够正常打开，开伞成功率达到 100%；空中开伞时，由于飞行高度的限制会影响降落伞开伞时间，飞行高度越低，多旋翼无人机摔落地面时损伤就越大；当飞行高度超过 50 米时，多旋翼无人机摔落地面时几乎无损伤。实验结果表明，降落伞装置的安装能够提高多旋翼无人机的安全性，减少对地面目标的损伤，有效保护自身及地面人员财产安全。



图 7 降落伞弹出瞬间

表 2 多旋翼无人机开伞测试结果

	飞行高度 /m	开伞次数	开伞情况	飞机损坏程度
空中开伞测试	20	1	降落伞弹出，但未完全打开	电机座断裂 1 个；起落架折断；桨叶损坏 1 个
	30	1	降落伞弹出，并完全打开	起落架折断
	50	1	降落伞弹出，并完全打开	起落架脱落，但未造成损坏
地面独立开伞测试	0	20	降落伞全部弹出，并完全打开	飞机不飞行，无损坏

5 结语

该多旋翼无人机降落伞装置的设计不仅可以大大提高多旋翼无人机的被动安全性，延长多旋翼无人机的使用寿命，对提高其经济效益具有重要作用，而且由于结构简单、便于操作、安全性好，对多旋翼无人机的广泛普及具有重要作用。但在实际使用中还需不断改进和优化控制系统和结构设计，使多旋翼无人机带载能力更强，飞行效率更高。

【参考文献】

[1] 代君，管宇峰，任淑红. 多旋翼无人机研究现状与发展趋势探讨[J]. 赤峰学院学报（自然科学版），2016,32(8):22-24.

[2] 郑浩奕. 无人机伞降系统关键技术研究[D]. 广州：华南理工大学，2015.

[3] 崔嘉，贺静等. 无人机 PHM 系统体系结构设计研究[J]. 计算机测量与控制，2016(6):133-135.

[4] 邓海飞，吕艳梅，王家林等. 某型无人机伞降回收系统故障模式、影响及危害性分析[J]. 装备环境工程，2012,9(3): 90-93,98.

[5] 戈嗣诚，施允涛. 无人机回收气囊缓冲特性研究[J]. 南京航空航天大学学报，1999,31(4): 458-463.

[6] 李岩，张军红. 无人机伞降回收系统结构设计与分析[J]. 电子机械工程，2016,32(5): 44-46.

（责任编辑 宋晓华）