

基于太阳能的植保无人机续航提升方案

徐伟诚¹, 陈 凯¹, 张 铭¹, 李正风², 张天顺^{1*}

(1.云南农业大学机电工程学院, 昆明 650201; 2.中烟工业有限责任公司, 昆明 650201)

摘 要:在农业领域对无人机的任务需求中,续航问题无疑是目前植保无人机所面临的重要问题之一。由于电池生产技术的瓶颈,目前植保无人机的有效作业时间大都被限制在 12 min 左右难以突破。太阳作为一个取之不尽用之不竭的“无源”动力得到了特别的关注,因此设计了一种基于太阳能的植保无人机续航提升方案。在六旋翼无人机平台上对方案的可行性进行实验,结果表明,安装了太阳能续航模块后的无人机相比安装前,飞行续航时间平均提升了 70 s。该方案基于多轴无人机飞行平台,在无人机工作时将太阳能转化为电能为锂电池续电,从而减少锂电池在飞行时的电量消耗,增加植保无人机的有效作业时间,在一定程度上缓解了当前植保无人机的续航问题,并能够向其他基于无人机平台的应用延伸。

关键词:植保无人机;续航;太阳能;锂电池

doi:10.13304/j.nykjdb.2017.0768

中图分类号:S252 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-0864(2018)11-0062-07

Life Lifting Scheme for Plant Protection UAV Based on Solar

XU Weicheng¹, CHEN Kai¹, ZHANG Ming¹, LI Zhengfeng², ZHANG Tianshun^{1*}

(1.School of Mechanical and Electrical Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201;

2.China Tobacco Yunnan Industrial Co. Ltd., Kunming 650231, China)

Abstract:For the needs of UAV in agriculture field, limited battery life is undoubtedly one of the important issues facing the plant protection unmanned aerial vehicle (UAV). Due to the bottleneck in battery producing technology, the effective operating time of plant protection UAV is mostly limited to about 12 min which is difficult to break through. As an inexhaustible “non source” power, the sun has gained special attention. This paper designed a scheme for flight duration of plant protection UAV based on solar energy. Feasibility of this scheme was tested on the six rotor UAV platform. The results showed that the flight life time of UAV installed on solar module was averagely increased 70 s compared with that before the installation. This design based on multi-axis UAV flight platform, which converted the solar energy into electricity to charge lithium batteries during UAV flight, thereby reducing the lithium battery consumption, and prolonging the effective operating time of the plant protection UAV. To a certain extent, it alleviated the problem existing in current unmanned aerial vehicle (UAV), and could be extend to application of other platforms based on the UAV.

Key words:plant protection unmanned aerial vehicle (UAV); battery life; solar energy; lithium battery

传统的施药方式是由人操控地面施药设施,将药剂施加到作物表面,不仅速度慢、效率低、残留多,而且施药人员易中毒。与传统施药器械相比,植保无人机施药具有以下优点:①省药、省水、减少污染。有效降低农药残留、土壤污染和水源短缺等问题;②作业效率高。效率是传统人工施

药效率的 60 倍以上,有效解决目前农村劳动力短缺问题,在病虫害大规模暴发时可以迅速开展防治,降低病虫害造成的损失;③防治效果好。由旋翼产生的向下气流有助于增加雾滴对作物的穿透性,气流把雾滴带到植物的叶背及根部,可减少飘移,提高农药在靶标上的附着率,防治效果更好;

收稿日期:2017-11-08; 接受日期:2017-12-19

基金项目:云南中烟工业责任有限公司原料系统重大专项(滇烟工科[2013]494号)资助。

作者简介:徐伟诚,硕士研究生,主要从事农业航空研究。E-mail:445696254@qq.com。* 通信作者:张天顺,副教授,硕士生导师,主要从事农业工程研究。E-mail:351997207@qq.com

④施药人员安全系数高。采用人工遥控技术和自主导航技术相结合,操控人员在施药区外便可通过无线遥测系统发出指令来控制无人机的动作,自动完成无人机施药的全过程;⑤适用性好。可垂直起降,不受地理因素的制约,无论山区或平原、水田还是旱田,以及不同的作物,均具有良好的适应性^[1]。无人植保机在水田、高秆作物田作业和应对暴发性病虫害等方面已经表现出突出的优势,而且可以应对农村劳动力减少的问题,近年来发展迅猛^[2]。但是目前植保无人机存在的普遍问题就是续航时间较短,有效作业时间在 12 min 左右^[3]。植保无人机的作业效率一般在 700 m²/min,每次飞行的作业面积 8 400 m²左右,而在我国东北、新疆等平原地区,人均耕地面积超过 300 000 m²,在这些地方作业就需要无人机频繁起降,大大降低了作业效率。随着单位面积喷洒收入的提升以及土地流转的增加,长续航无人机的需求度会逐步显现出来。增加载药量,增长飞行时间可大大提高无人机的作业效率,因此高效率、长航时的中小型无人机将是今后的发展趋势。由于锂电池自身存在的技术“瓶颈”,在原理层面没有取得突破的情况下蓄电量已经接近了极限,所以通过改进电池的方法来增加无人机的续航时间在短时间内很难实现^[4]。而太阳能作为一种绿色环保、取之不尽的能源成为不二的选择。

太阳能无人机是将太阳能转化为电能,驱动螺旋桨旋转产生飞行动力的飞行器,是我国新世纪航空工业重点发展的一个新领域^[5]。1974 年,世界上第一架太阳能无人机 Sunrise I 试飞成功标志着太阳能飞行时代的来临^[6]。目前世界上飞的最高的无人机是美国的“太阳神”系列,其飞行高度已突破 3 万 m^[7~9]。但是这些无人机外形都以固定翼为主,对起降场地要求苛刻。对于喷洒作业来说,显然多旋翼的垂直起降和更精准的低速控制更为合适。西安航空学院的申良设计了一种太阳能四轴无人机,但其载重能力有限导致其实用性受到限制^[10]。

本研究基于太阳能设计了一种无人机续航提升方案,并对其效果进行了评估。主要思路为单晶硅太阳能电池在无人机飞行工作时与锂电池一同向植保无人机供电,减少锂电池电能的消耗使得植保无人机的续航能够得以增加,同时该续航提升方案还可以向其他小型飞行器上扩展延伸。

1 机体设计和系统提升

1.1 无人机平台的搭建

无人机的硬件分为 4 个模块:飞行控制模块、传感器模块、动力模块、电源模块。传感器模块能检测各种参数,可以将外界环境的变化数据化之后交给飞行控制模块进行处理和决策,再驱动动力模块带动无人机运动,总体设计如图 1 所示。

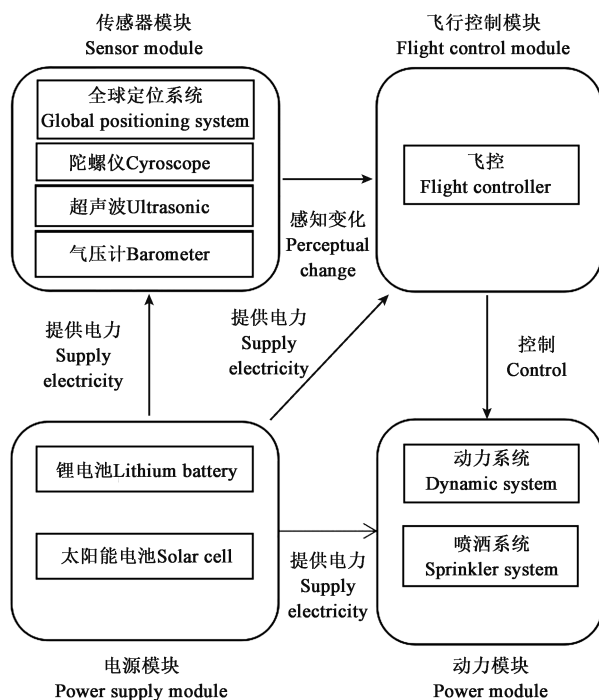


图 1 系统模块设计

Fig.1 Module design of system.

太阳能植保无人机的工作方式是由传感器收集目前飞行器的各种状态信息,将收集到的数据反馈到中央处理器也就是飞控当中,飞控通过智能 PID 控制算法实时控制飞行器的姿态稳定^[11],同时通过接收机接收通过遥控器发出的指令控制飞行器在空中做出相应的姿态变化。

1.2 控制系统

飞行控制部分采用 3DR 公司生产的 PIXHAWK 飞行控制器,MCU 采用 STM32F4,该控制器拥有 2 MB 的闪存,256 KB 的数据存储器以及串口总线,12 位的 ADC 等丰富资源,拥有 14 路 PWM。传感器采用 HC-SR04 超声波测距传感器、ST 公司的 L3GD20H 陀螺仪、LSM303S 加速度

传感器、乐迪 MIN SE100GPS 定位模块以及 MEAS 公司的 MS5611 气压计。

超声波测距传感器和气压计的用途都是让无人机在一定高度内保持相对稳定。超声波的测距范围有限,当无人机飞行高度高于 5 m 时无法得到数据,此时自动切换气压计定高。这种定高模式使无人机在低空作业喷洒时的稳定性得到了保障。

1.3 动力及喷洒系统

动力系统直接决定了无人机的负载和机动性能,其中核心部件就是电机。电机采用群汐旋翼多轴盘式电机 QM-4208,最大功率 350 W。

电子调速器简称电调,它是根据控制信号调节电机转速的部件。电调采用好盈乐天 40A 电调,这是专门为多旋翼无人机研制的电调,油门响应速度快、自适应能力强并且高度智能化。最高可支持刷新率 621 Hz 的油门信号,兼容各种飞控。

喷洒系统由水泵和直流有刷电调组成,电调通过接受飞控的 PWM 信号调节给水泵的电压从而调节水泵的开关及喷洒流量。

1.4 电源及机架模块

电池采用容量为 5 200 mAh,电压为 14.8 V,放电倍率为 25 C 的锂聚合物电池。锂聚合物电池具有比能量高、小型化、轻薄化、轻量化和安全性高等多种优势。聚合物电解质不仅具有良好的导电性,而且还具备高分子材料所特有的质量轻、弹性好、易成膜的特性,也顺应了化学电源质量轻、安全、高效、环保的发展趋势^[12]。为了减轻机身重量同时保证强度,机架整体使用了碳纤维作为材料。采用六旋翼的设计,轴距为 680 mm,保证了飞行时的稳定性。为了方便运输和存放,机架的机臂设计成了可折叠的形式,折叠后尺寸为 680 mm×340 mm,面积缩小了 36%。

1.5 电力系统

太阳能续航提升系统主要由太阳能电池、锂电池、稳压模块、整流模块构成。锂电池作用是在无人机工作时为其提供正常运行所必需的电能;太阳能电池则是在阳光充足时将太阳光的辐射能通过转换变成电能以提供一部分无人机所需要的能量;整流模块利用二极管单向导通的特性,有效地防止了电池并联时由于两端电压不相等形成

电路的回流,从而造成电池的内耗,浪费电池的电能^[13];稳压模块的作用是使太阳能电池板的输出端得到稳定的电压输出,无论输入电压在范围内如何变动,能够使输出电压稳定在设定值不变,在为控制系统提供稳定电压的同时还能够减少电池并联时两端的电压差。太阳能电池板与稳压模块和整流二极管串联,再与锂电池并联,两者共同向无人机提供电能。电力系统电路如图 2 所示。

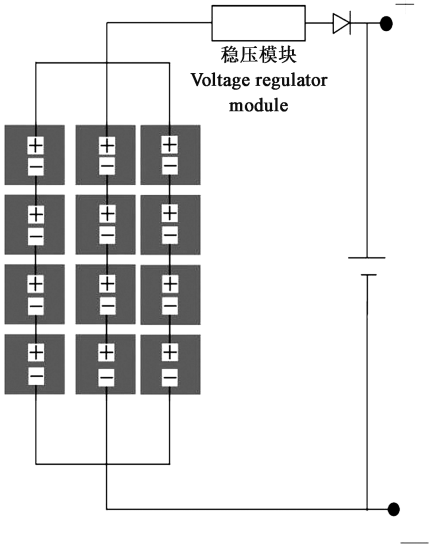


图 2 电路示意图
Fig.2 Circuit schematic diagram.

1.6 稳压电路

根据太阳能电池板的发电原理及特性,其输出功率会随着光照强度的增强而增大,同时会随着温度的升高而减小,所以输出时需要对其进行稳压处理^[14]。稳压电路采用 LTC3780 芯片对输入电压做稳压处理。电源转换模块 LTC3780 是一款高性能升压-降压开关稳压控制器,输入电压在高于、等于、小于输出电压时,输出电压都可以保持稳定不变^[15]。该控制器的工作通过 FCB 引脚来实现。对于升压应用,FCB 模式引脚能够在突发模式操作、不连续模式和强制连续模式之间进行选择。在降压操作期间,FCB 模式引脚可在跳周期模式、不连续模式和强制连续模式之间进行选择。突发模式操作和跳周期模式可在轻负载条件下实现面效操作,而强制连续模式和不连续模式则工作在一定恒定的频率上。电路图如图 3 所示,可在 OUT 端得到稳定的电压输出。

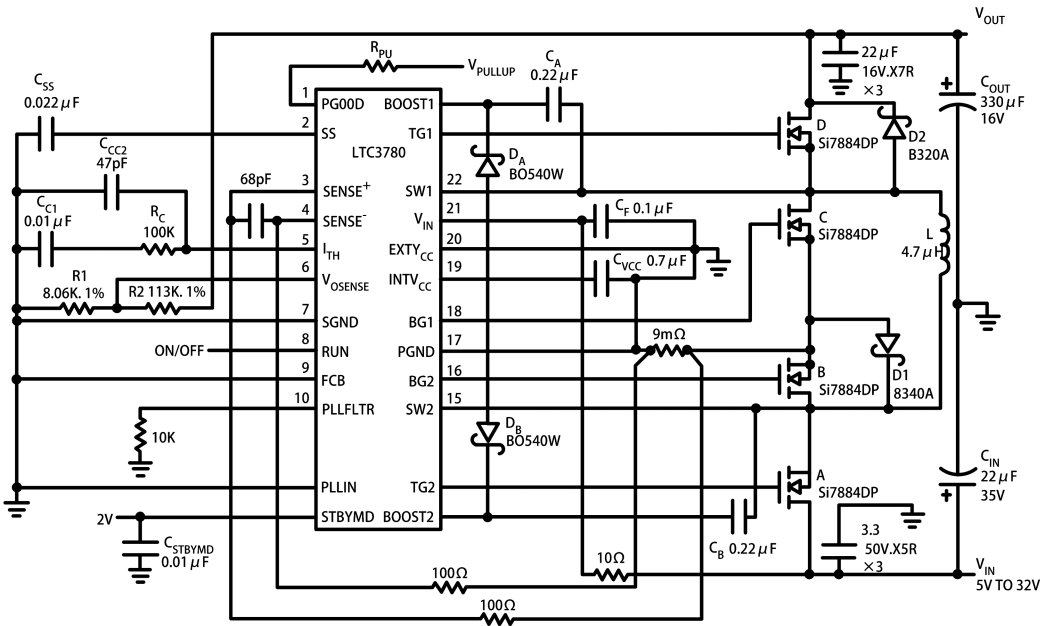


图 3 稳压模块电路

Fig.3 Voltage stabilizing module circuit.

1.7 太阳能电池板

为了能够有效的采集太阳能,本设计采用 5 V、160 mA、规格 80 mm×80 mm 的多晶硅光伏太阳能电池板,电池板上层保护材料为钢化玻璃,下层保护材料为聚氟乙烯复合膜,利用真空层压技术合为一体,具有良好的抗腐蚀能力。转换效率 10%左右,采用四串三并(并联后电压为 20 V、总功率 9.6 W)的连接方式通过稳压及整流模块以并联的方式和锂电池一同向无人机系统供电以减少锂电池电量的消耗。12 块太阳能电池板安装于无人机的半圆形头罩之上。

1.8 测试方法

实验在空载的环境下进行,测试时无人机飞行模式为自稳模式。首先测出无人机在没有装备太阳能续航模块时达到悬停状态的油门百分比并记录为 A。装备上太阳能续航模块后,无人机的整体重量变大,无人机达到悬停状态时的油门百分比变更为 B。之后将无人机固定在地面上,在锂电池满电的情况下分别做两组实验。第一组实验将油门推到 A 然后每隔 10 s 记录一次锂电池的电压。第二组实验将油门推到 B 后也是每隔 10 s 记录一次锂电池的电压。两组实验都在锂电池电压下降至 14.4 V 时终止,对结果进行比较。

2 结果与分析

2.1 太阳能植保无人机飞行情况

太阳能植保无人机飞行过程中采用地面遥控器发出控制指令控制无人机的姿态、位置以及水泵流量的大小,同时飞控将无人机的实时状态通过 OSD 回传模块传回地面系统以便于实时查看。飞机在空中通过各种传感器感应自身姿态和外界环境并不断调整。飞行情况如图 4 所示。



图 4 太阳能植保无人机飞行情况

Fig.4 Flight situation.

2.2 续航提升时间及功耗的理论计算

用电流表测得无人机悬停时电路电流 $I =$

8.1 A,安装太阳能续航模块之前悬停时间为 $T=920\text{ s}$,电池电压 $U=14.8\text{ V}$ 。

$E=PT$

(1)

$P=UI$

(2)

根据公式(1)、(2)可得无人机飞行过程中总功耗为 $E=110\,289.6\text{ J}$,功率 $P=119.88\text{ W}$ 。

太阳能电池板的总功率 $P_{\text{太}}=9.6\text{ W}$,自身重量 $m=500\text{ g}$,测试时无人机悬停高度 $h=1\text{ m}$,则电机升力克服重力所做功为 $W=mgh=50\text{ J}$,功率 $P_{\text{升}}=W/T$ 。则安装太阳能续航模块后电池的等效功率为 $P_{\text{电}}=P-(P_{\text{太}}-P_{\text{升}})$ 的续航时间 T_2 可用公式(3)计算。

$T_2=\frac{E}{P_{\text{电}}}=\frac{E}{P-(P_{\text{太}}-P_{\text{升}})}$

(3)

代入数据得到 $T_2=999.6\text{ s}$ 。则太阳能续航模

块提供的额外续航时间 $T_3=T_2-T=79.6\text{ s}$,所提供的总能量 $E_{\text{太}}=PT_2=9\,596.16\text{ J}$ 。

2.3 太阳能植保无人机续航能力分析

续航能力测试主要是通过控制变量实验测量太阳能植保无人机采用太阳能充电和无太阳能充电时续航能力的差距,通过 BB 响低压报警器测量锂电池单独供电时的飞行时间和有太阳能充电时的飞行时间并对比两者得出数据。由于在测试时各种环境因素(如风力、温度)会对实验实验数据产生影响,使实验变量不单一,所以需要设计一种测量方式减小因外界环境因素产生的误差。这样可以很大程度上削弱外界因素对实验的影响,使数据更加接近真实值。

实验测得 A 为 42.5%,B 为 46%,结果图 5 所示。

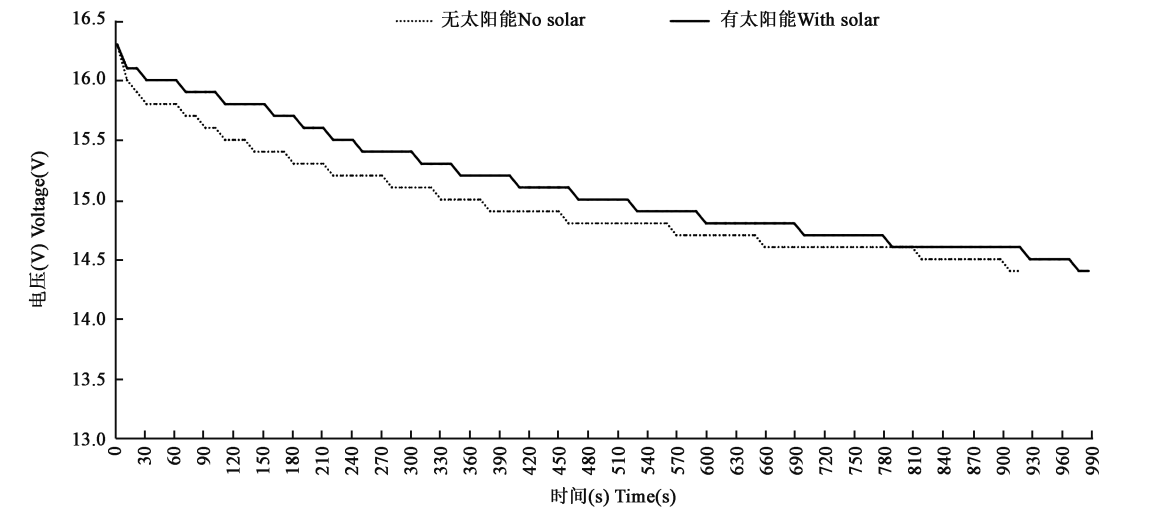


图 5 电压下降情况对比
Fig.5 Comparison of voltage drops.

从图 5 可以看出,加载了太阳能续航模块的无人机锂电池电量消耗相比于对照组锂电池电量消耗速度要缓慢一些,太阳能承担了一部分无人机电量的消耗。

接下来通过 3 组实验测量太阳能续航模块为无人机提供了多长时间的额外续航。为了控制实验变量,起飞时电池电压皆设置为 16.8 V,结束时电池电压皆为 14.4 V。测试时间在下午 14:00,测试时风力都在 2 m/s 以下。主要对比的是锂电池单独供电的飞行时间与安装太阳能续航模块后的飞行时间,实验结果如图 6 所示。

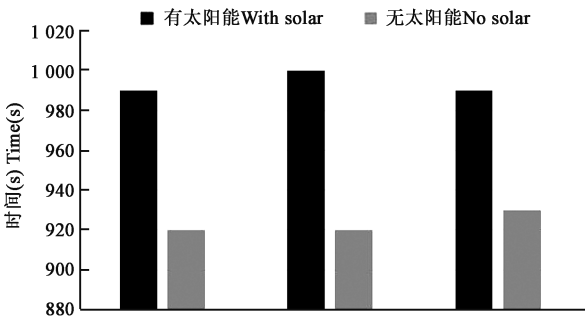
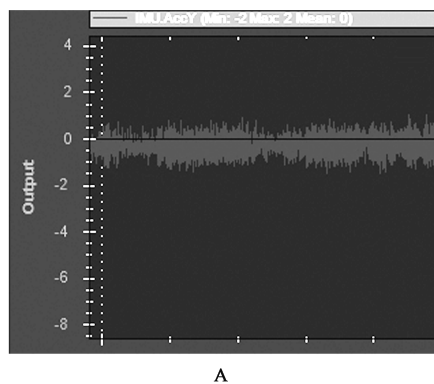


图 6 续航情况对比
Fig.6 Comparison of endurance time.

从图 6 可以看出,太阳能植保无人机在锂电池单独供电的情况下续航时间为 920~930 s 之间;加入太阳能续航提升模块后,续航时间提升到了 990~1 000 s 之间,与理论计算所得数据吻合。实验数据表明加入太阳能续航模块后无人机的续航时间明显增强。另外,如更换质量更为优秀的硬件,其续航时间仍有提高的空间。



2.4 飞行姿态稳定性测试

飞机在空中飞行的飞行姿态可以通过加速度计中的数据反应出来。可以通过飞控日志查看 X 轴、Y 轴的旋转加速度来判断飞机在空中姿态的情况,数值越大表明飞机在空中振动越大,姿态越不稳定。

从图 7 中可以看出,加速度值基本维持在 1 m/s^2 之内,满足植保无人机作业时的姿态要求。

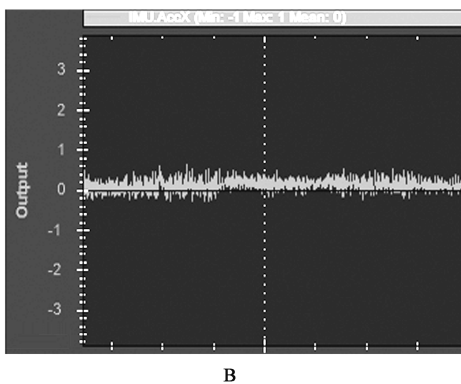


图 7 X 轴方向加速度变化 (A) 和 Y 轴方向加速度变化 (B) 变化情况

Fig.7 Acceleration change of X axis direction (A) and Y axis direction (B).

3 讨论

本研究设计了一款太阳能植保无人机,通过利用太阳能这种绿色的能源为锂电池充电从而达到增加无人机续航,提升作业时间的目的。本设计从一定程度上缓解了当前多轴无人机平台的续航问题,并且对于其他依靠无人机平台工作的系统有一定的借鉴意义。

目前植保无人机大都使用锂聚合物电池,存在结构不稳定、循环次数少的缺陷。有些病虫害防治喷药的时间只有 3 d,一架飞机每天需作业 20 hm^2 ,每次作业需要配备 4~5 块电池,而且每块电池整体质量也很大,电池的寿命也在 200~300 次充放左右,不管是飞行时间还是次数,都不能满足目前市场的需求^[4]。

本设计是太阳能和多旋翼植保无人机结合的首次尝试。太阳能对续航能力的提升还有很大的提升空间,如何在多旋翼有限的受光面积上尽大的利用太阳能以及如何提高太阳能电池的转换效率,还有待于进一步的研究。

随着无人机低空施药技术的不断发展,植保

无人机已经成为防治病虫害的主要手段。在不久的将来,凭借着其高效、环保、安全的优势,植保无人机将会得到广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] 蒙艳华,周国强,吴春波,等.我国农用植保无人机的应用与推广探讨[J].中国植保导刊,2014,34(S1):33-39.
Meng Y H, Zhou G Q, Wu C B, et al.. Application and popularization of agricultural UAVs in China [J]. China Plant Protection, 2014,34(S1):33-39.
- [2] 温源,薛新宇,邱白晶,等.中国植保无人机发展技术路线及行业趋势探析[J].中国植保导刊,2014,34(S1):30-32.
Wen Y, Xue X Y, Qiu B J, et al.. Exploration of technical route and industry trend of plant protection UA-V in China [J]. China Plant Protection, 2014,34(S1):30-32.
- [3] 娄尚易,薛新宇,顾伟,等.农用植保无人机的研究现状及趋势[J].农机化研究,2017,39(12):1-6.
Lou S Y, Xue X Y, Gu W, et al.. Research status and trend of agricultural plant protection UAVs [J]. J. Agric. Mechanization Res., 2017,39(12):1-6.
- [4] 张晓璘.锂电池在植保无人机的应用研究[J].当代农机,2017(5):73-75.
Zhang X Y. Application of lithium battery in plant protection UAVs [J]. Contemporary Farm Machinery, 2017(5):73-75.
- [5] 高广林,李占科,宋笔锋,等.太阳能无人机关键技术分析[J].飞行力学,2012,28(1):1-4.
Gao G L, Li Z K, Song B F, et al.. Key technologies analysis

- of solar drone [J]. *Flight Dynamic*, 2012, 28(1): 1-4.
- [6] Roberts C, Vaughan M, Bowman W J. Development of a solar powered micro air vehicle [R]. AIAA, 2002-0703, 2002.
- [7] Nicholas J, Colella S. Pathfinder and development of solar rechargeable aircraft [R]. *Energy Technol. Rev.*, 1994, 1-9.
- [8] Ehernberger L J, Casey Donohue. A review of sol-or powered aircraft flight activity [R]. NASA Report, 2004.
- [9] Flittie K, Curtin B. Pathfinder solar powered aircraft flight performance [R]. AIAA, 1998-4446, 1998.
- [10] 申良, 刘洲洲. 太阳能四旋翼无人飞行器设计与实现[J]. *自动化与仪器仪表*, 2017(3): 51-54.
Shen L, Liu Z Z. Design and implementation of solar quadcopter UAV [J]. *Automation Instrumenion*, 2017(3): 51-54.
- [11] 陈欣, 杨一栋, 张民. 一种无人机姿态智能 PID 算法研究[J]. *南京航空航天大学学报*, 2003, (6): 612-615.
Chen X, Yang Y D, Zhang M. Research on UAV attitude intelligent PID algorithm [J]. *J. Nanjing Univ. Aeronautics Astronautics*, 2003, (6): 612-615.
- [12] 曹金亮, 张春光, 陈修强, 等. 锂聚合物电池的发展、应用及前景[J]. *电源技术*, 2014, 38(1): 168-169.
Cao J L, Zhang C G, Chen X Q, *et al.*. Development, application and prospect of lithium polymer battery [J]. *Power Technol. Magazine*, 2014, 38(1): 168-169.
- [13] 张维戈, 时玮, 张言茹, 等. 大容量锂离子电池的并联性能评估与等价性分析[J]. *电网技术*, 2014, 38(6): 1499-1504.
Zhang W G, Shi W, Zhang Y R, *et al.*. Parallel performance evaluation and equivalence analysis of high capacity ion batteries [J]. *Power Syst. Technol.*, 2014, 38(6): 1499-1504.
- [14] 薛继元, 冯文林, 赵芬, 等. 太阳能电池板的输出特性与实际应用研究[J]. *红外与激光工程*, 2015, 44(1): 177-181.
Xue J Y, Feng W L, Zhao F, *et al.*. Output characteristics and practical application of solar panels [J]. *Infrar. Laser. Engin.*, 2015, 44(1): 177-181.
- [15] 沈超, 府里璋, 吴世通, 等. 电源转换模块 LTC3780 的工作性能仿真分析[J]. *航天返回与遥感*, 2010, 31(3): 58-65.
Shen C, Fu L Z, Wu S T, *et al.*. Power conversion module LTC3780 performance simulation analysis [J]. *Spacecraft Recov. Remot. Sens.*, 2010, 31(3): 58-65.

(责任编辑: 温小杰)