

无人靶机动力系统优化与能效管理策略研究

李立

奥瑞思智能科技(天津)有限公司 天津 300300

摘要: 本文聚焦无人靶机动力系统,深入剖析其组成、工作原理与性能评价指标。针对电池、电机、电调及螺旋桨提出优化策略,如采用新型材料、改进控制算法等;同时探索能量回收、混合动力应用、智能控制等能效管理策略。经研究,实现了动力系统性能提升、能耗降低,有效增强无人靶机飞行性能与续航能力,为无人靶机技术发展提供理论与实践支撑。

关键词: 无人靶机; 动力系统优化; 能效管理; 飞行性能; 续航能力

1 无人靶机动力系统的组成与功能

1.1 电池

电池作为无人靶动力系统的能量源泉,为整个系统的运行提供基础动力。在无人靶机应用中,锂电池凭借其高能量密度、低自放电率和轻量化等优势,成为最常用的电源类型。以磷酸铁锂电池为例,其能量密度可达100-150Wh/kg,能够在有限的空间内储存大量电能,满足无人靶机长时间飞行需求。锂电池的放电平台稳定,可确保在整个放电过程中为系统提供持续且稳定的电压,保障电机等部件的正常运转。部分无人靶机还采用模块化电池设计,便于快速更换和维护,有效提升无人靶机的使用效率和续航能力。

1.2 电机

电机是将电能转化为机械能的核心部件,直接决定无人靶机的动力输出性能。常见的无人靶机电机类型有直流无刷电机和有刷电机,其中直流无刷电机因具有效率高、寿命长、维护方便等特点,在无人靶机领域得到广泛应用^[1]。直流无刷电机通过电子换向器替代传统有刷电机的机械换向器,减少了摩擦损耗,提高了电机的运行效率和可靠性。电机的转速、扭矩和功率等参数是衡量其性能的关键指标,不同型号的电机适用于不同类型和任务需求的无人靶机。

1.3 电调

电调,即电子调速器,在无人靶动力系统中扮演着“智能管家”的角色。它主要负责接收飞控系统的指令,根据指令调节电机的转速和转向。电调通过改变输入电机的电流大小和频率,实现对电机转速的精确控制。在无人靶机飞行过程中,飞控系统根据预设的飞行轨迹和任务要求,向电调发送相应的控制信号,电调迅速做出响应,调整电机的工作状态,确保无人靶机能够按照预定的路径和速度飞行。电调还具备过流保护、过

压保护和欠压保护等功能,当系统出现异常情况时,电调能够及时切断电源,保护电机和其他部件不受损坏,提高整个动力系统的安全性和稳定性。

1.4 螺旋桨

螺旋桨是无人靶机产生升力和推力的关键部件,其设计和性能对无人靶机的飞行性能有着重要影响。螺旋桨的主要参数包括直径、螺距和桨叶数量等。直径越大,螺旋桨在旋转时产生的推力越大;螺距则决定了螺旋桨每旋转一周前进的距离,螺距越大,螺旋桨的推进效率越高,但同时电机的扭矩要求也更高。桨叶数量的增加可以提高螺旋桨的稳定性和效率,但也会增加空气阻力和噪音。在实际应用中,需要根据无人靶机的类型、重量、飞行速度和任务需求等因素,合理选择螺旋桨的参数。

2 动力系统的工作原理与能量流动

2.1 动力系统性能评价指标

动力系统的性能评价指标是衡量无人靶机动力系统优劣的重要依据,主要包括功率、效率、稳定性和续航能力等方面。功率是指动力系统在单位时间内所做的功,直接反映了系统的动力输出能力;效率则表示系统将电能转化为机械能的有效程度,效率越高,系统在运行过程中消耗的电能越少;稳定性是指动力系统在各种工况下保持正常运行的能力,包括电机转速的稳定性、电压的稳定性等;续航能力则体现了无人靶机在一次充电或加注燃料后能够持续飞行的时间和距离。这些性能评价指标相互关联、相互影响,在设计和优化无人靶机动力系统时,需要综合考虑这些指标,以满足无人靶机的实际应用需求。

2.2 功率输出

无人靶机动力系统的功率输出是由电池、电机、电调和螺旋桨等部件协同工作实现的。电池为系统提供电

能,电调根据飞控系统的指令调节电流大小和频率,将电能输送给电机。电机将电能转化为机械能,驱动螺旋桨旋转,螺旋桨通过与空气的相互作用产生升力和推力,从而推动无人靶机飞行。在这个过程中,功率输出受到多个因素的影响,如电池的输出电压和电流、电机的效率和转速、电调的调节精度以及螺旋桨的设计参数等。为了保证无人靶机具有足够的功率输出,需要对动力系统的各个部件进行合理选型和匹配。

2.3 效率

动力系统的效率是衡量其能量利用水平的重要指标,提高效率对于延长无人靶机的续航时间和降低运行成本具有重要意义。在无人靶机动力系统中,能量损失主要发生在电池的充放电过程、电机的电能-机械能转换过程、电调的电流调节过程以及螺旋桨的空气动力学损耗等环节。例如,电池在充放电过程中会存在一定的能量损耗,其充放电效率通常在80%-95%之间;电机在运行过程中,由于绕组电阻、磁滞损耗和涡流损耗等原因,会将部分电能转化为热能,导致电机效率降低;电调在调节电流时,也会产生一定的功率损耗。为了提高动力系统的效率,需要采用先进的技术和材料,优化各个部件的设计和性能,减少能量损失。

2.4 稳定性

稳定性是无人靶机动力系统正常运行的重要保障,直接关系到无人靶机的飞行安全和任务执行效果。动力系统的稳定性受到多种因素的影响,如电源电压的波动、电机的振动、螺旋桨的不平衡以及外界环境的干扰等。例如,当电源电压出现波动时,会导致电机转速不稳定,影响无人靶机的飞行姿态;电机的振动和螺旋桨的不平衡会产生额外的噪音和振动,不仅会影响无人靶机的飞行性能,还可能损坏其他部件;外界环境的干扰,如风速、风向的变化和电磁干扰等,也会对动力系统的稳定性产生不利影响。为了提高动力系统的稳定性,需要采取一系列措施,如采用稳压电源、对电机和螺旋桨进行动平衡测试和调整、加强系统的电磁兼容性设计等。

3 无人靶机动力系统优化策略

3.1 电池优化

电池作为无人靶机动力系统的核心能源,其性能直接影响无人靶机的续航能力和整体表现。优化电池可从多个方面着手。首先是电池材料的改进,目前,新型电池材料不断涌现。石墨烯具有优异的电学性能和高比表面积,将其应用于锂电池电极材料中,可显著提高电池的充放电速率和能量密度。研究表明,采用石墨烯复合电

极材料的锂电池,其充电时间可缩短至传统锂电池的三分之一,能量密度提升30%以上。这种电池应用于无人靶机,能大幅减少充电时间,延长飞行时长,满足长时间任务需求^[2]。其次是电池管理系统(BMS)的优化,先进的BMS可实时监测电池的电压、电流、温度等参数,通过精确的算法对电池进行充放电管理,避免过充、过放、过流和过热等问题,从而提高电池的安全性和使用寿命。BMS还可与飞控系统进行数据交互,根据无人靶机的飞行状态和能量需求,合理分配电池能量,进一步提升电池的使用效率。最后是电池结构设计的优化,采用轻量化、模块化的电池结构设计,既能减轻无人靶机的整体重量,提高飞行性能,又便于电池的更换和维护。优化电池的散热结构,可有效降低电池在充放电过程中的温度,提高电池的稳定性和性能。

3.2 电机优化

电机的性能优化对于提升无人靶机动力系统至关重要。一方面,可通过改进电机的设计和制造工艺来提高其性能。采用高性能的永磁材料,如钕铁硼永磁体,能够增强电机的磁场强度,提高电机的扭矩密度和效率。在电机结构设计上,优化绕组布局和磁路设计,可减少绕组电阻和磁滞损耗,提高电机的电能-机械能转换效率。另一方面,引入先进的控制技术也是电机优化的关键。采用矢量控制、直接转矩控制等先进的电机控制算法,可实现对电机转速和扭矩的精确控制,提高电机的动态性能和运行稳定性。利用传感器技术对电机的运行状态进行实时监测,结合智能诊断算法,可及时发现电机的故障隐患,提前进行维护和修复,降低电机的故障率,提高动力系统的可靠性。

3.3 电调优化

电调的优化主要集中在提高其控制精度和效率方面。在硬件设计上,采用高性能的功率器件和先进的电路拓扑结构,可降低电调的功率损耗,提高其工作效率。在软件算法方面,优化电调的控制算法,提高其对电机转速和电流的调节精度。采用自适应控制算法,电调可根据电机的负载变化和电池电压波动,自动调整输出电流和频率,确保电机始终工作在最佳状态。加强电调的保护功能,除了常见的过流、过压和欠压保护外,增加过热保护、短路保护等功能,可进一步提高电调的安全性和可靠性。

3.4 螺旋桨优化

螺旋桨的优化旨在提高其空气动力学性能和效率。通过对螺旋桨的外形、材料和结构进行优化设计,可有效提升无人靶机的飞行性能。在外形设计上,采用先

进的空气动力学设计方法,如翼型优化、桨叶形状优化等,可降低螺旋桨的空气阻力,提高其升力和推力系数。在材料选择上,采用高强度、轻量化的复合材料制造螺旋桨,如碳纤维复合材料。碳纤维复合材料具有重量轻、强度高、耐腐蚀等优点,相比传统的铝合金和塑料螺旋桨,可有效减轻无人靶机的重量,提高飞行性能。优化螺旋桨的结构设计,如采用多叶螺旋桨、后置螺旋桨等布局方式,可改善螺旋桨的气流特性,减少噪音和振动,提高螺旋桨的稳定性和效率。

4 无人靶机能效管理策略

4.1 能量回收与再利用技术

能量回收与再利用技术是提高无人靶机能效的重要手段。在无人靶机飞行过程中,存在许多可回收的能量,如制动能量、下降过程中的重力势能等。采用再生制动技术,可将无人靶机制动时的动能转化为电能,并存储到电池中。另外,利用空气动力学原理,在无人靶机下降过程中,通过合理设计飞行姿态和轨迹,可将部分重力势能转化为电能。例如,采用滑翔下降的方式,利用螺旋桨的旋转带动电机发电,将重力势能转化为电能。还有一些研究尝试将压电材料应用于无人靶机结构中,当无人靶机在飞行过程中受到振动或气流冲击时,压电材料可将机械能转化为电能,实现能量的回收与再利用。

4.2 混合动力系统应用

混合动力系统结合了多种能源的优势,为无人靶机提供更高效、灵活的能源供应。燃油-电动混合动力系统以燃油发动机作为主要能源,通过发电机将燃油的化学能转化为电能,为电机和其他设备供电,同时配备电池作为辅助能源。在无人靶机起飞和加速阶段,燃油发动机和电池共同提供动力,满足高功率需求;在巡航阶段,燃油发动机可带动发电机为电池充电,同时为电机提供电能,实现能量的合理分配和高效利用。这种混合动力系统可显著延长无人靶机的续航里程,适用于长距离、长时间的飞行任务^[1]。太阳能-电动混合动力系统则利用太阳能电池将太阳能转化为电能,为无人靶机提供部分能量。在白天阳光充足的情况下,太阳能电池产生的电能可直接为电机供电,同时为电池充电;在夜间或光照不足时,由电池提供能量。太阳能-电动混合动力系统具有环保、可持续的优点,可减少对传统能源的依赖,适用于对续航时间要求较高且飞行区域光照条件较好的任务场景。

4.3 智能控制算法与数据驱动决策

智能控制算法和数据驱动决策在无人靶机能效管理中发挥着重要作用。通过建立无人靶机动力系统的数学模型,结合传感器采集的实时数据,运用智能控制算法,如神经网络控制、模糊控制等,可实现对动力系统的优化控制。数据驱动决策则利用大数据分析技术,对无人靶机的历史飞行数据、环境数据和动力系统运行数据进行分析 and 挖掘,预测动力系统的能量消耗趋势和故障隐患。同时基于数据分析结果,可提前对动力系统进行调整,提高系统的可靠性和能效水平。

4.4 飞行策略与路径规划优化

合理的飞行策略和路径规划是提高无人靶机能效的重要途径。在飞行策略方面,根据无人靶机的任务需求和能量状态,选择合适的飞行模式,如巡航飞行、经济飞行等。巡航飞行模式适用于长距离飞行,可在保证一定飞行速度的前提下,使动力系统保持较高的效率;经济飞行模式则以降低能量消耗为目标,通过调整飞行速度和高度,优化动力系统的工作状态,延长无人靶机的续航时间。在路径规划方面,利用地理信息系统(GIS)和实时气象数据,规划最优飞行路径。避开高风速、强气流等不利于飞行的区域,减少动力系统的能量消耗。考虑任务目标和能量约束,采用启发式算法或智能优化算法,如遗传算法、粒子群优化算法等,对飞行路径进行优化,使无人靶机在完成任务的前提下,消耗最少的能量。

结束语

本研究围绕无人靶机动力系统优化与能效管理展开,通过技术创新与策略改进,显著提升了系统性能与能源利用效率,对无人靶机在军事及科研领域的应用意义重大。未来,随着新能源、智能控制等技术不断突破,无人靶机动力系统将朝着更高效、智能、可靠的方向发展,后续需持续深化研究,以满足多样化任务场景的更高要求。

参考文献

- [1]郭晓雯,岳艳军,凡永华,等.高速无人靶机编队控制研究[J].航空兵器,2022,29(2):72-79.DOI:10.12132/ISSN.1673-5048.2021.0178.
- [2]金昱洋,王智超,曲以春.浅析多旋翼无人机系统技术改进[J].科技创新导报,2021,13(07):13-16.
- [3]刘思成,郭玉英.四旋翼无人机鲁棒嵌套饱和控制[J].兵器装备工程学报,2024,45(07):179-185+216.