

电动飞机发展白皮书



孙侠生¹,程文渊^{2,*},穆作栋²,黄铁山²,王妙香²,宋刚²,王元元²

1. 中国航空研究院, 北京 100029

2. 中国航空工业发展研究中心, 北京 100029

摘要:与传统飞机相比,电动飞机以电能作为推进系统的全部或部分能源,是航空业贯彻绿色航空、应对全球环境挑战的重要举措,是实现航空业2050年全球碳排放量减至2005年排放水平50%目标的必然选择,同时也是“第三航空”时代的重要标志。电动飞机开启了航空领域新一轮创新与变革热潮,引领航空技术创新、推动绿色航空发展,将对世界航空业产生革命性的影响。在电动飞机领域,目前国内外各研究机构和企业均处于起步阶段,以此为契机,我国电动航空业有望迅速达到或赶超世界先进水平,同时带动我国多个相关产业的整体发展。为进一步引领国内电动飞机技术发展、推动电动飞机产业布局,中国航空研究院组织国内优势力量,从电动飞机发展必要性、定义与分类、重点产品、关键技术、措施建议等方面,研究提出电动飞机发展白皮书。白皮书提出我国应重点发展城市空运、轻型运动、通勤运输、干支线运输等4类电动飞机;聚焦总体设计技术、高效高功重比电推进技术、能量综合管理技术、能源系统技术等重点领域关键技术发展;建议制订电动飞机发展战略规划、加大研发投入,同时关注适航能力建设与人才培养,从而推动我国电动飞机发展。

关键词: 电动飞机; 绿色航空; 高效高功重比电推进技术; 城市空运; 高能量密度电池技术; 干支线运输; 通勤运输

中图分类号: V272

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2019.11.001

航空研究的战略推动力包括全球机动、环境挑战、技术聚焦三个方面,通过替代燃料和先进低碳推进技术实现向低碳航空动力的过渡,是应对环境挑战的主要举措^[1]。美国国家航空航天局(NASA)研究认为,电推进飞机可实现节能超过60%、减排超过90%、降噪超过65%的潜在收益^[2],欧盟也认为电推进飞机是实现欧洲2050年碳排放要求的唯一途径。

近年来,在全球范围内兴起了电动飞机技术发展热潮。据不完全统计,截至2019年6月,全球约有170个在研的电推进飞机项目,主要集中在北美和欧洲地区,半数以上在2017年后启动。2019年7月的巴黎航展上,空中客车公司、波音公司、达索航空公司、通用电气公司(GE)航空、罗尔斯-罗伊斯公司、赛峰集团、联合技术公司(UTC)等7家航空制造商的首席技术官发布联合声明,将电推进技术列为航空业“第三时代”的重要标志,承诺将加大电动飞机技术研发力度、推动航空业绿色发展。

中国航空研究院(CAE)高度重视电动飞机发展,在工信部推动下,积极开展电动飞机领域的国际合作。2018年

10月,中国航空研究院与荷兰宇航院(NLR)在中荷双方领导见证下签署了关于加强民用航空科技合作的联合行动倡议,提出本着平等协商、互利共赢的原则,深化双方在民用航空科技领域的交流与合作。2019年4月,中荷双方召开了第5次中荷民用航空科技论坛暨CAE-NLR航空可持续发展研讨会,双方达成共识,拟通过制定并发布电动飞机发展白皮书,引领两国电动飞机发展、促进双方国际交流与合作,进一步落实联合行动倡议。

在电动飞机领域,目前国内外均处于起步阶段,以电动飞机技术引发的技术革新为契机,我国航空业有望迅速达到或赶超世界先进水平,同时带动我国多个相关产业的整体发展。

1 发展必要性

1.1 电动飞机是航空业实现绿色发展的必然选择

全球航空业快速发展对环境带来了巨大的影响。研究表明,目前民航碳排放量占全球碳排放的2.5%~4%,随着航空旅客量的快速增长,民用航空正成为碳排放上升势头最快的行业。从20世纪70年代开始,世界航空运输旅客周

收稿日期: 2019-08-30; 退修日期: 2019-09-10; 录用日期: 2019-09-30

*通信作者. Tel.: 010-57827734 E-mail: chengwenyuan@cae.ac.cn

引用格式: Sun Xiasheng, Cheng Wenyuan, Mu Zhuodong, et al. White paper on the development of electric aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(11): 1-7. 孙侠生, 程文渊, 穆作栋, 等. 电动飞机发展白皮书[J]. 航空科学技术, 2019, 30(11): 1-7.

转量大约15年翻一番,预计今后20年将以每年4.6%左右的速度持续增长^[3]。航空运输对环境的压力持续增大,如何缓解飞机对环境的影响已经成为亟待解决的问题。

全球主要国家要求改善飞机环保性能,营造绿色航空的呼声越来越高。国际民航组织、美国和欧洲都制定了一系列标准和指导文件,从节能、减排和降噪等方面引领绿色航空发展。中国航空工业坚持发展绿色航空技术战略,全面开展了先进气动、降噪、多电、绿色动力、绿色材料和绿色制造等技术研究,支持飞机的节能减排。

电动飞机从飞机绿色环保、高效节能的理念出发,极大地提高了飞机的环保性和舒适性,是绿色航空发展的必然选择。

1.2 电动飞机是我国实现与世界航空强国并驾齐驱的重要领域

近年来,作为世界航空业先进水平的代表,美国和欧洲多家飞机制造商与科研机构高度关注电动飞机研究。NASA于2015年提出了电动飞机发展路线图,在多条技术路线同步开展研究^[4,5];针对分布式全电推进技术开展了X-57麦克斯韦验证机计划,目前已完成基线飞机推进系统电动化试飞研究,正在开展分布式电推进改装;针对波音737量级电动飞机开展了STARC-ABL混合电动飞机研究,尾部加装2.6MW电动机,采用边界层抽吸技术,预计可降低阻力7%~12%;针对未来大型干线飞机开展N3-X研究计划,基于超导发电与电机技术,预计耗油率比波音777-200LR飞机降低70%以上。空客发布了包含通用飞机、城市空运飞行器、干线飞机在内的电动飞机发展路线图,目前已完成E-FAN全电双座通用飞机的演示验证工作,正在基于Bae-146飞机改装进行2MW级混合电推进飞机演示验证计划(E-FAN X)^[6]。

我国在电动飞机领域也开展了多项技术与产品研发工作。在基础技术领域,依托电动汽车行业,锂电池的能量密度已接近300W·h/kg,处于世界先进水平;在小型载人电动飞机领域,辽宁通用航空研究院研制了锐翔(RX)系列双座通用电动飞机产品RX1E、RX1E-A,香港昊翔电能运动科技有限公司开发了昊翔E430双座电动通用飞机,相关产品已率先完成适航取证并进入市场;在未来干支线运输飞机领域,中国航空研究院以及北京航空航天大学、西北工业大学等高校开展了新概念布局和关键技术研究,在未来大型干线飞机的总体布局方案、电推进系统、超导动力传输等方面开展了相关研究工作。

总的来说,在电动飞机领域,目前国内外各研究机构和企业均处于起步阶段。以电动飞机技术引发的技术革新为契

机,我国航空业有望迅速达到或赶超世界先进水平,同时带动我国多个相关产业的整体发展,为实现航空强国提供重要支撑。

1.3 电动飞机正面临良好的合作环境和发展机遇

2018年11月,第9届国际航空研究论坛(IFAR)全球峰会上,NASA、德宇航、中国航空研究院等11个世界主要航空科研机构,针对电动飞机的发展前景、关键技术、适航取证等进行了专题讨论,达成了“电动飞机是未来绿色航空的重要发展方向”的共识,并在第10届峰会上就电动飞机的研究方向和技术路线图进行深入讨论。

中国航空研究院作为IFAR的中方代表机构,在电动飞机领域开展了广泛国际合作,参加了“电动飞机安全性相关技术挑战与机遇”研讨会和IFAR-X电动飞机设计项目,促进我国电动飞机技术与国际融合接轨和共同进步。在中荷加强民用航空可持续发展科技合作联合行动倡议的指导下,中国航空研究院与荷兰宇航院将开展进一步合作,共同推动两国电动飞机的发展。

近年来,国内数家高等院校、企业正在开展电动飞机相关的技术研究和产品开发,取得了一定的成果,具备一定的电动飞机发展技术基础。另外,随着我国环境保护和能源危机意识的提高,以及低空空域的逐步开放,电动飞机具有更广阔的市场前景。

2 定义与分类

电动飞机是指以电能作为推进系统的全部或部分能源的飞机,其电能全部或部分来自蓄电池、燃料电池、发电机等供电装置。区别于使用航空燃油发动机推进的传统飞机,电动飞机可以有效解决传统飞机推进系统带来的噪声、污染排放问题。本白皮书主要关注有效载荷75kg以上、可执行客运/货运任务的飞机。

按照应用场景,电动飞机可分为轻型运动电动飞机、城市空运电动飞机、通勤运输电动飞机、干支线运输电动飞机4类。轻型运动电动飞机主要用于飞行员培训、旅游观光、竞技比赛;城市空运电动飞机主要用于城市内空中交通运输、按需出行服务;通勤运输电动飞机主要用于执飞短途通勤航线;干支线运输电动飞机主要用于执飞支线航线及长途航线的运输任务。

按照推进系统架构,电动飞机可分为全电飞机、混电飞机和涡轮电飞机三类^[7]。全电飞机以电池作为推进系统唯一电力来源;混电飞机以燃气涡轮发动机和电池共同为推进系统提供能源,根据燃气涡轮发动机和电池组的关系,又

可细分为并联混合、串联混合及部分串联/并联混合三种形式；涡轮电飞机由燃气涡轮驱动发电机产生电能，包括全涡轮电、部分涡轮电两种形式。

3 重点产品

3.1 城市空运飞行器

重点发展全电推进垂直起降(eVTOL)飞机，主要用于100km以内的城市空运。城市空运飞行器为多旋翼载人/载货飞行器，航程20~100km，最大商载80~300kg，续航时间不低于20min。

目前国内的典型产品有亿航公司的亿航184/216自动驾驶载人飞行器^[8]，以及辽宁通用航空研究院拟研发的轻型电动直升机。目前产品尚不能满足城市空运市场需要，应当进一步发展有效载荷更大、航程更远的城市空运飞行器。

3.2 轻型运动飞机

重点发展全电推进固定翼通用飞机，主要用于运动、训练和运输。电动轻型运动飞机为单/双座级，航程150~300km，最大起飞重量(质量)500~1000kg，最大商载150~300kg，续航时间不低于1h，巡航速度不低于120km/h。

辽宁通用航空研究院已研发锐翔系列双座电动轻型运动飞机^[9-11]，RX1E与RX1E-A产品已获得型号合格证与生产许可证，后续重点发展水上电动轻型运动飞机。

3.3 通勤运输飞机

重点发展全电/混电推进的通勤飞机，主要应用于小型机场之间的短航线通勤直飞，航程一般在400km以内，载客量20人以内。

中国航空研究院提出了4~5座全电推进CAE-X1通勤飞机概念，用于验证分布式电推进关键技术。设计重量约为1100kg，采用机翼前缘分布式电机提供动力，巡航速度约240km/h。预计2025年技术成熟度达到6级。

辽宁通用航空研究院在锐翔(RX)双座系列电动飞机基础上，开展了四座电动飞机研制，已于2019年10月成功首飞。

3.4 干支线运输飞机

重点发展混合电/涡轮电推进干支线运输飞机。支线飞机主要用于满足支线市场需求，载客量50~100人，航程不超过3000km；干线飞机主要瞄准未来中远程超绿色运输需求，航程不低于3000km，载客量不低于100人。

中国航空研究院提出了未来60~90座混合电推进CAE-X2支线飞机概念，航程约1200km。采用机身尾部螺旋桨边界层抽吸技术、混合电推进飞机能量管理和分配方

案。预计2030年技术成熟度达到6级。

针对未来干线运输需求提出了超绿色混合电/涡轮电推进飞机概念，采用分布式推进、超导发电和超导电机等技术，载客250人以上，航程达到3500km。预计2050年技术成熟度达到6级。

4 关键技术

4.1 总体设计技术

与传统动力形式相比，电推进系统具有一定程度的功率相对尺度无关性，电动飞机总体设计可突破传统架构的限制，具有广阔的设计空间。另一方面，受限于电池等部件功率密度水平，与采用传统动力形式的常规布局飞机相比，电推进系统会影响航程和有效载荷等性能指标，对气动-结构-推进一体化设计和气动布局创新设计提出了需求(见图1)。

(1) 气动-结构-推进一体化设计技术

与传统燃油飞机相比，电动飞机的气动布局、推进系统设计等具有较高的自由度，且高度耦合，采用传统的独立设计方式限制了飞机综合优化设计，开展气动-结构-推进一体化设计能够有效地提高飞机性能。

电动飞机气动-结构-推进一体化设计技术对飞机的电机、螺旋桨、机翼、短舱开展综合权衡分析和迭代优化设计，综合考虑飞机的几何参数、气动力参数、重量参数、动力系统参数，开展关键参数的敏感性分析与协调，进行方案评估，支撑布局方案选型。



图1 电动飞机总体设计技术发展路线图

Fig.1 Roadmap for electric aircraft integration technology

(2) 气动布局创新设计技术

为满足电动飞机气动布局设计需求，在常规布局基础上，还需要重点开展翼身融合布局、桁架支撑翼布局、分布式推进布局等新型气动布局技术研究，优化飞机气动特性，改善飞机飞行性能。

翼身融合布局将传统的机身与机翼结构融合,通过一体化设计制造,提高升力、降低结构重量与阻力,从而提高燃油效率,大幅改善飞机的飞行性能。

桁架支撑翼布局与传统机翼相比,由于桁架承担了部分载荷,减轻了翼根弯矩,有利于减轻重量,在同等重量下可增加机翼面积,有利于降低阻力,提高升阻比。

分布式电推进布局在机翼或机身上分布安装多个螺旋桨/涵道风扇,可提高气动效率、降低阻力。其中,边界层抽吸技术在飞机尾部安装嵌入式风扇,通过加速抽吸机身边界层降低阻力,改善气动性能。

4.2 高效高功重比电推进技术

电推进技术通过高功率密度电动机带动,为飞机提供部分或全部飞行推力,有效解决传统飞机推进系统带来的噪声和污染排放问题。电推进技术是电动飞机的核心技术,决定了电动飞机的动力、效率等关键性能指标^[12]。为满足高效率、高功重比和高可靠性要求,需要针对电推进系统开展如下关键技术研究(见图2)。

		2020年	2025年	2030年
高效高功重比电推进技术	永磁同步电机	永磁电机技术研究	系统集成验证	机载飞行试验
	超导电机	超导电机关键技术 低温环境技术	系统集成验证	机载飞行试验
	电机驱动控制器	功率器件研制	大功率电机 控制器验证	机载飞行试验
	低噪高效螺旋桨	翼型设计 气动噪声一体化	系统集成验证	推进系统集成 飞行试验

图2 高效高功重比电推进技术发展路线图

Fig.2 Roadmap for high-efficient and high power-weight ratio electric propulsion technology

(1) 永磁同步电机

与其他电机相比,永磁同步电机(无刷直流电机)具有高效率、高功重比、高可靠性等优点,成为电动飞机电机的首选。随着新型电动飞机向大型化、长航程以及高可靠性等方向发展,轻质高效和高可靠性的永磁同步电机成为未来电动飞机电机的重要发展方向。

永磁同步电机研究包括以下内容:高温高速电机、电机电磁场-温度场-流场-应力场多场耦合设计方法、余度/容错控制等。

(2) 超导电机

超导电机是采用超导体代替常规导电材料来实现电磁能与机械能之间能量转换的装置。具有体积小、效率高、重量轻、同步电抗小等特点,在相同重量和相同能量输入下,

可产生远高于普通电机的扭矩,在电动飞机的应用方面具有极高潜力,将会成为代替燃油喷气发动机的新型飞行动力装置的关键部件。

目前研究的超导电机绝大部分为半超导电机,全超导电机是未来超导电机的重要发展方向。超导电机研究包括电机拓扑结构、超导体载流能力、超导永磁体技术、超导交流绕组绕制技术、电机的强度/可靠性/寿命试验等。

(3) 电机驱动控制器

电机驱动控制器是保证永磁同步电机和超导电机高效可靠运行的必要设备,主要由控制模块和驱动模块两部分组成,控制电机速度、角度和方向。电动飞机电推进系统对电机驱动控制器提出了大功率、高效率、高可靠性和高功重比的要求。

采用新一代碳化硅和氮化镓功率器件的电机驱动控制器是未来的发展方向,主要研究内容包括:高低温极限环境下宽禁带功率器件动态特性变化机理,高温高频下电机损耗变化规律及其内在机理,多电平模块化拓扑结构以及余度/容错驱动控制,基于相变材料驱动器散热等。

(4) 低噪高效螺旋桨技术

低噪高效螺旋桨是分布式电推进飞机重要动力部件,可在同等输出功率下提高飞机气动性能、降低噪声。主要研究内容包括:先进螺旋桨专用翼型研究、高效率螺旋桨桨叶气动布局设计技术、螺旋桨气动/噪声机理及数值仿真方法、三维桨叶参数化建模与气动/噪声一体化设计与优化技术等。

4.3 能量综合管理技术

由于将电能作为电动飞机的一次能源,飞机电网容量迅速提升、负载特性日趋复杂,对配电系统的性能提出了更高的要求;电动飞机的电力电子设备、用电设备的热管理问题更加突出,为此需要在能量综合管理方面开展以下研究(见图3)。

(1) 电网架构

飞机电网架构包含供电体制、配电系统及拓扑结构、配电容错及保护,是影响飞机安全性、可靠性、系统质量、效率的关键因素。同时,电动飞机电力系统面临的多种约束条件(如重量、体积、飞机推进系统工况变化等)是配电系统设计的重要影响因素,需要采用多目标优化思路,满足电动飞机系统要求。

主要研究内容包括:电网架构设计及建模仿真、高电压供电体制、电网负载特性、电网架构优化评估、电网运行、控制保护、绝缘及电晕防护等研究。

(2) 电力电子技术

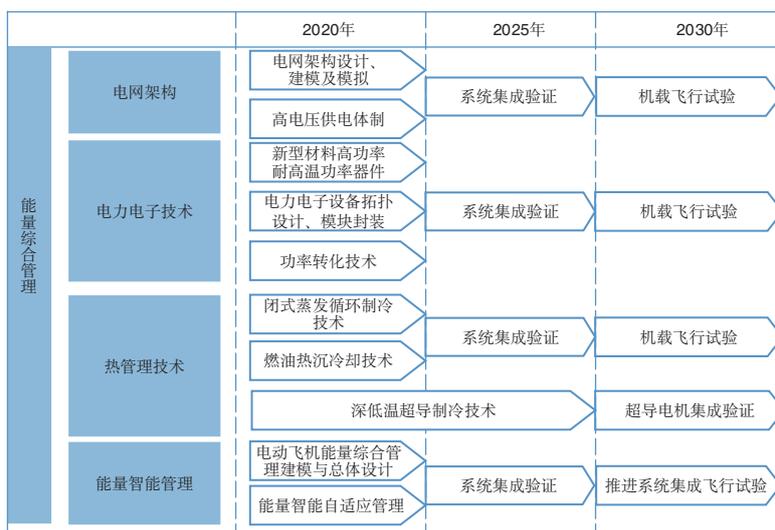


图3 能量综合管理技术发展路线图

Fig.3 Roadmap for electric propulsion aircraft energy management technology

电力电子技术是飞机电能传递、变换、控制的基础,电动飞机的电力系统包含大量整流器、逆变器及控制器件等。电力电子器件的功率密度、效率等指标决定了电力系统的性能,对飞机的安全性、可靠性具有重要影响。

在高压、高功率、高效率电力电子器件方面,主要开展如下研究:电力电子设备拓扑设计技术,功率转换技术,基于碳化硅、氮化镓等新型材料的高功率、耐高温功率器件(如固态功率控制器、超导故障限流器),模块封装设计等。

(3) 热管理技术

热管理技术用于飞机各部件及系统散热、冷却,是保障电动飞机各部件及系统(特别是电动机、电力电子设备)正常、高效工作的必要条件。此外,超导电机需要低温环境以维持超导状态,采用热管理技术能够保障超导系统的隔热能力,避免外部热量影响超导低温环境。

主要开展闭式蒸发循环制冷技术、燃油热沉冷却技术和深低温超导制冷技术研究。

(4) 能量智能管理

飞机系统日益复杂且高度耦合,采用传统的各系统独立能量管理方式无法实现飞机能量的高效利用。能量智能管理从飞机整体层面研究能量综合优化设计和控制管理,可有效提高能量利用效率。

主要开展飞机综合能量管理模型、能量管理顶层分析设计、系统量化评估方法和不同飞行阶段智能自适应能量管理研究。

4.4 能源系统技术

能源系统是电动飞机的供能组件,其性能从根本上决定了飞机的续航时间、航程以及运营成本。随着锂电、燃料电池和超级电容等新型能源,以及超导发电和超导电机技术的进步,电推进技术将逐步应用于通用飞机、通勤飞机、干支线客机。长寿命高可靠的能源系统具有更稳定的供电能力、更低的维修和更换频率,能有效提高电动飞机的使用率。

(1) 纯电力能源系统

纯电力能源系统仅由电池为飞机动力和机载系统提供能量。电池性能是制约电动飞机发展的关键因素,长寿命、高能量密度、高功率密度电池技术是未来电动飞机亟待解决的关键技术,直接影响电动飞机航程和续航时间,起飞、着陆和爬升阶段的效率以及快速充电能力。

主要研究内容包括:高能量密度锂电池、高功率密度燃料电池、大容量超级电容、结构功能一体化储能材料、飞轮储能和小型可控核能等。

(2) 混合电力能源系统

混合电力系统由燃油和电池共同为飞机动力和机载系统提供能量。按照燃油和电池的相互关系,混合电力系统可分为串联混合电力系统、并联混合电力系统和涡轮电混合电力系统三类。

主要研究内容包括:串联混电系统构型、电力匹配与切换技术,并联混电系统构型、发电与并网技术,涡轮电系统构型和发电与功率转换技术。

5 措施建议

一是在国家层面制定电动飞机发展战略,规划发展路线。电动飞机的设计思想和设计理念不同于传统飞机,其技术研发投入大、风险高。建议成立电动航空委员会,统筹国内优势资源,启动我国电动飞机发展战略与规划研究,组织相关单位研究制定我国电动飞机发展路线,引导电动飞机健康、快速、有序发展。

二是从国家层面高度重视电动飞机发展,加大投入力度。电动飞机具有广阔的市场潜力,欧美都在积极发展电动飞机技术,抢占市场。电动飞机是我国实现与世界航空强国并驾齐驱的重要领域,建议高度重视、提早布局,制订电动飞机专项研究计划,加大研发投入力度,推动我国电动飞机产业快速发展。

三是加强电动飞机标准规范和适航能力建设。建立以市场为导向、以企业为主体的开放式电动飞机标准规范体系,着力解决电动飞机的核心标准和基础标准问题;突破适航审定和验证关键技术,提高电动飞机适航审定和验证能力。

四是加大综合人才和专业人才的培养力度。电动飞机的跨领域协作创新将颠覆传统的飞机研发和运营模式,需要培养和引进更多高水平、跨专业、跨领域的人才,组建专业化的电动飞机研发团队,为电动飞机发展提供保障。

AST

致谢

白皮书研究与编写过程中,中国航空工业发展研究中心发挥了重要作用,并得到了航空工业相关厂所、辽宁通用航空研究院、北京航空航天大学、西北工业大学、厦门大学、宁德时代新能源科技有限公司等单位的大力支持,在此表示感谢。

参考文献

- [1] Cheryl B. Visions of the future: hybrid electric aircraft propulsion[EB/OL]. (2016-07-28). <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170002633>.
- [2] Ajay M. Energy conversion and storage requirements for hybrid electric aircraft[EB/OL]. (2016-1-27). <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20160010280>.
- [3] AIRBUS. Global market forecast 2015—2034[EB/OL]. (2015-02-01) [2015-08-20]. <http://www.airbus.com/company/market/>

forecast.

- [4] Ralph H, Dr Cheryl B, Amy J, et al. Overview of NASA electrified aircraft propulsion research for large subsonic transports [R]. AIAA paper 2017-4701, 2017.
- [5] Kurt V P, Kurt J K, Yohan Lin P E, et al. Design and development of a 200-kW turbo-electric distributed propulsion testbed[R]. AIAA-2016-4611, 2016.
- [6] Delhaye J L. Hybrid electric propulsion [C]// Europe-Japan Symposium Electrical Technologies for the Aviation of the Future, Tokyo, Japan, 2015.
- [7] James L F. NASA electric propulsion system studies [EB/OL]. (2015-10-30). <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20160009274>.
- [8] 亿航. 亿航 216 在卡塔尔飞行演示 [EB / OL]. <http://www.ehang.com/cn/video/show/226.html>.
E Hang. E Hang 216 flying in Katar[EB/OL]. <http://www.ehang.com/cn/video/show/226.html>. (in Chinese)
- [9] 锐翔. 锐翔双座电动轻型运动飞机[EB/OL]. <http://rxgac.com/Ruixiang/Productshow/RX1E.php>.
Rui Xiang. RX1E range dual seat electric light sports aircraft [EB/OL]. <http://rxgac.com/Ruixiang/Productshow/RX1E.php>. (in Chinese)
- [10] 锐翔. 锐翔增程型双座电动轻型运动飞机[EB/OL]. <http://rxgac.com/Ruixiang/Productshow/RX1EA.php>.
Rui Xiang. RX1E-A extended range dual seat electric light sports aircraft[EB/OL]. <http://rxgac.com/Ruixiang/Productshow/RX1EA.php>. (in Chinese)
- [11] 黄俊,杨凤田. 新能源电动飞机发展与挑战[J]. 航空学报, 2016,37(1):57-68.
Huang Jun, Yang Fengtian. Development and challenges of electric aircraft with new energies[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2016, 37(1): 57-68.(in Chinese)
- [12] 李开省. 电动飞机技术的发展研究[J]. 航空科学技术, 2019, 30(1):1-7.
Li Kaisheng. Research on the development of electric aircraft technology [J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(1): 1-7. (in Chinese) (责任编辑 皮卫东)

作者简介

孙侠生(1962—)男,博士,研究员。主要研究方向:电动飞机、结构强度、国际合作。

Tel: 010-57827571

E-mail: sunxiasheng@cae.ac.cn

程文渊(1980—)男,博士,研究员。主要研究方向:电动飞

机,技术成熟度评价与咨询研究。

Tel: 010-57827734

E-mail: chengwenyuan@cae.ac.cn

White Paper on the Development of Electric Aircraft

Sun Xiansheng, Cheng Wenyan*, Mu Zuodong, Huang Tieshang, Wang Miaoxiang, Song Gang, Wang Yuanyuan

1. Chinese Aeronautical Establishment, Beijing 100029, China

2. Aviation Industry Development Research Center of China, Beijing 100029, China

Abstract: Compared with traditional aircraft, electric aircraft employs electric energy as the whole or partial energy for the propulsion system. Therefore, electric aircraft is considered as an important move to implement the "Green Aviation" initiative and address the global environmental challenges, an inevitable choice to cut the global carbon emissions of aviation sector by 50% through 2050 from the emission level in 2005, and an important symbol of "the Third Great Era of Aviation". Electric aircraft has triggered a new wave of innovation and reform in aviation sector, led the aviation technology innovation, and promoted the green aviation development, and it will have a revolutionary impact on the world's aviation industry. As for the electric aircraft sector, domestic and foreign research institutions and enterprises are in their infancy, which provides China's electric aviation industry with an opportunity to rapidly reach or surpass the world's advanced level, and drives China's overall development of multiple related industries. To further pioneer the development of electric aircraft technology in China and promote the industrial distribution of electric aircraft, Chinese Aeronautical Establishment (CAE) called up top-level China-based organizations to bring forward the White Paper on Development of Electric Aircraft covering such topics as necessity of development, definitions & classification, key products, key technologies, measures & recommendations etc. of electric aircraft. The White Paper suggests that China should give priority to develop four types of electric aircraft, i.e., light sport, urban air transport, commuter transport, as well as mainline and regional aircraft; focus on the development of key technologies such as overall design technology, high-efficiency and high power-to-weight-ratio electric propulsion technology, integrated energy management technology, energy system technology, etc. in major areas; China is recommended to establish its strategic plan for development of electric aircraft, increase investment in R&D, and pay close attention to the airworthiness capability building and talent training, thereby promoting the development of electric aircraft in China.

Key Words: electric aircraft; green aviation; high-efficiency and high-power electric propulsion technology; urban air mobility; high energy density battery technology; trunk and branch line transport; commuting transport

Received: 2019-08-30; Revised: 2019-09-10; Accepted: 2019-09-30

*Corresponding author. Tel. : 010-57827734 E-mail: chengwenyuan@cae.ac.cn