

基于绿色航空视角的飞行试验节油路径

刘纳

中国飞行试验研究院, 西安 710089

摘要 基于绿色航空工业评价标准贯标推进实践成果,结合飞行试验特点,分析了民航节油的经验和飞行试验节能工作特点,探究了飞行试验节油工作的路径,包括试飞模式创新、试飞方法创新、目标机选型创新、地面保障创新和试飞管理转型等,可以看出,这些节油路径是可行的,都可以为飞行试验节油做出一定的贡献,为“绿色试飞”的探索提供借鉴。

关键词 绿色航空;飞行试验;节能减排;节油;绿色试飞

中国已将生态文明建设放在突出的战略位置,坚持将节约资源和保护环境作为基本国策,采用先进适用的节能低碳环保技术改造、提升传统产业^[1];提高非化石能源比例,实行能源消耗总量和强度双控^[2];紧紧围绕资源、能源利用效率的提升,实施绿色制造工程,建立健全工业绿色发展的长效机制^[3]。放眼世界,欧美的一些国家在未来民航技术发展规划中已经突出了节油、减排等“绿色飞机”“绿色技术”的节能环保设计要求^[4]。中国航空工业推广的“绿色航空工业评价标准”就是落实绿色航空的重要举措。作为航空飞行器研制的关键环节——飞行试验,当以“绿色航空工业”贯标为契机,加强节能技术创新和管理创新,探索推广应用绿色低碳的飞行试验技术方法、设备设施和管理方法。然而,通过对有关文献的研究,国内在飞行试验节油方面的研究基本是空白,与之有关的研究大多集中在民航节油方面,如中国民航系统开展的民航节

油理论研究、民航节油实践经验交流等工作^[5];王晓宇通过对飞机燃油特性的分析研究,提出了民航飞机节油飞行轨迹优化方法^[6];张义明等提出航空公司利用新航系统实现飞行节油的策略^[7];樊澄等对航空公司节能减排的管理进行了分析研究^[8]。而飞行试验节油与民航节油虽然有很大的不同,但也有可鉴之处。飞行试验节油可以借鉴民航节油的研究成果和实践经验,把飞行试验现有的、潜在的、零散的节油措施,系统化为可行的节油路径,为飞行试验节油做一些探索性研究。

1 飞行试验及航空煤油消耗现状

1.1 飞行试验的特点

飞行试验是航空工业关键技术之一,是飞行器、动力装置及机载装备在真实飞行环境条件下进行的鉴定试验,是在真实大气中渐进式探索航空技

收稿日期:2019-04-02;修回日期:2019-10-22

作者简介:刘纳,高级工程师,研究方向为飞行试验项目管理、能源与节能管理,电子信箱:liuna630@sina.com

引用格式:刘纳. 基于绿色航空视角的飞行试验节油路径[J]. 科技导报, 2020, 38(4): 103-109; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.04.014

术未知领域的一门综合学科,是多专业、多资源协调工作的系统工程。无论是国庆阅兵时飞过天安门的一架架银鹰,还是南海巡航的战神、甲板跃起的飞鲨、珠海航展的黑丝带,无一不是通过飞行试验而飞向蓝天的。一代新机是论证出来的、设计出来的,更是试飞出来的。飞行试验需要特有的条件,包括国家授权的鉴定机构资质、健全的试飞工程师队伍、完整的飞行试验组织管理体系、必备的试验设备设施、必要的飞行空域等。飞行试验还要进行大量的、复杂的试飞内容,一型新机正式交付使用前,要完成高达4000余架次、6000余小时的试飞,有的试飞周期长达10余年^[9]。而飞行试验所需的特有资源是试验机,试验机消耗的能源主要是航空煤油,即航煤。

1.2 飞行试验航煤消耗的特点

1) 航煤消耗是飞行试验机构的最大能耗。作为飞行试验鉴定机构,离不开航煤、电力、汽油、柴油等能源,其中综合能源消耗量比例最大的是航煤,占比达77%。近年来,航煤消耗量随科研试飞任务的增加逐年上升,在科研直接成本中的比例高达20%。所以对于飞行试验节能关键就是节约航煤,同时也是降本增效。

2) 飞行试验节油也是减排。航煤是石化产品之一,有资料分析,航煤通过民航航班使用后排放的污染物主要是CO₂、NO_x、CO、HC(碳氢化合物)等^[10]。节油不仅降低了科研成本,更重要的是节能减排和对生态文明建设的支持。因此节约航煤已经成为飞行试验落实节能减排理念和要求的重要措施。

3) 飞行试验节油困难很大。飞行试验节油要求以最小化的油耗完成飞行试验要求的内容,但在节油实践中有不小的困难:一是民机试飞要符合有关适航法规的要求;二是新研飞行器鉴定试飞项目的特点,不同于民航航班,飞行试验的每个架次都没有重复性;还要考虑任务进度要求与节油的矛盾、质量安全风险与节油的矛盾、试飞科目要求与节油的矛盾(如低空大表速、应急放油^[11]等)以及其他新增试飞内容(排故验证、攻关验证)等因素;三

是被试飞行器配装的发动机性能和选型受限,飞机耗油率基本无法改变。

2 飞行试验节油路径

2.1 飞行试验节油路径梳理

中国在民航节油方面的工作可以追溯到2005年。当年民航系统召开了一次民航节油工作汇报会,交流了节油实践探索、节油理论研究和节油管理经验方面的成果,并编辑出版了《民航节油实践和探索》,数据显示:以2004年的数据估计,航油消耗每减少1%,中国民航每年可节约10万t航油,约合5亿元人民币,可见民用航空节油潜力巨大。该书总结了民航节油的具体措施,可以提炼成“民航节油工作链条和重要环节”,如图1所示。而今,民用航空界在节油方面的创新成果已经取得了很大的成效,国际清洁运输委员会表示,使用制造商和运营商认为成本较低的新兴技术可使新的商用飞机燃油消耗在2024年降低25%^[12]。

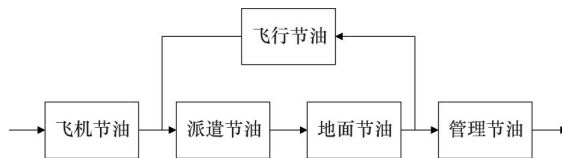


图1 民航节油工作链条和重要环节

中国在飞行试验节油方面研究甚微,但可以借鉴民航节油的经验和做法。飞行试验节油既是管理工作也是技术工作,实践性和探索性很强,不仅需要试飞员、试飞工程师和地面保障人员的共同参与,更需要通过梳理试飞节油路径并通过这些路径的创新实践实现节油。通过对试飞节油工作方向、影响节油的因素、措施分析,梳理形成试飞节油路径,如表1所示。

2.2 试飞模式创新

2.2.1 虚拟试飞的现状

飞行试验行业已经开展虚拟试飞的研究和探索,虚拟试飞模式也许将成为攻克现代试飞难题的利器。现代飞行仿真技术是以相似原理、控制理

表1 飞行试验节油路径

节油工作方向	影响节油的因素	措施分析	路径梳理
飞行节油	试飞时间 试飞架次	减少试飞时间,减少试飞架次,如虚拟试飞、综合试飞、它机领先试飞、试验点考核等	试飞模式创新 试飞方法创新
飞机节油	飞机耗油率 飞机使用经济性	选用低油耗试飞平台,如目标机、它机试飞载机平台 使用低油耗飞行状态如飞行高度、速度、重量、构型等	目标机选型创新 试飞方法创新
地面节油	飞机退油	飞机退油再利用	地面保障创新
管理节油	试飞样机状态 节油积极性	严格鉴定程序和控制飞机技术状态 鼓励节油行为	试飞管理转型

论、航空技术等为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具,利用系统模型对实际的或设想的系统进行动态实验研究的综合性技术^[13]。将其用于飞行试验就是飞行模拟,也称虚拟试飞。虚拟试飞是在高逼真度数学模型基础上,利用虚拟现实技术和环境(图2),在地面状态下按照试飞计划程序和方法执行飞行试验任务。它可以提高试飞效率,减少试飞架次,提高试飞质量安全,扩展和补充试飞状态,在试飞规划/包线确定、试飞动作确定、试飞异常现象研究、试飞方案研究优化、试飞员/飞行员培训、试飞特情处置预案演练等方面具有广阔的前景。因模型逼真度所限,虚拟试飞无法完全取代真实试飞,它将在“仿真预测-试飞验证-基于试验数据的模型校准与预测-试飞验证”循环迭代规律下,与真实试飞相互补充、相互支撑。



图2 国外一型飞行模拟器

2.2.2 地面飞行模拟器的作用

由于地面飞行模拟器可在不消耗燃料、不发射实际弹药、不耗损飞机资源的条件下,提供风险小、成本低、效率高的飞行模拟,并具备实时性好、重复性好、可维护性高等突出优点,加之现代航空武器装备研制和使用都要以最高的效费比模式工作、最小的代价获得最优的结果为原则,因此飞行模拟器的作用越来越大,体现在航空武器装备的全寿命、全系统的仿真应用中^[14]。首先是航空武器装备论证;其次是工程设计和研究,以求达到最佳设计效果实现系统最优;三是试飞方法研究,研究安全有效的试验方法、机动动作及数据分析,优化试飞任务单设计,增强安全性,提高飞行试验方案的有效性;四是试飞员/飞行员培训和评估,包括常规试飞技术训练、特情处置能力训练、试飞协同训练、空地一体化试飞能力训练等多型训练任务,同时能完成试飞员心理测评、生理医学测试、试飞员任务评估等多项评估任务;五是飞行任务演练,包括预测飞行试验计划的安全飞行包线、飞行试验准备等。随着现代飞机的复杂性不断提高,要求试验数据不断增加,飞行模拟器的合理使用可以降低实体试飞近10%~30%^[15],将显著减少空中试飞时间。

2.2.3 增加虚拟试飞科目,替代部分实体试飞

虚拟试飞可以实现试飞节油的目的。利用飞行模拟器开展试飞员培训,减少了一定比例的实体飞行训练,节约了航煤的消耗。另外,虚拟试飞技术已经应用在试飞预研课题的动态仿真、在环优化验证试飞任务单、定量预测试飞定常状态点信息、试飞动作质量实时监控、试飞安全实施对比监控等

方面,提高了试飞的安全和效率,减轻了试飞员的精神和体力负担^[16]。如果能研究开发虚拟试飞科目,推广虚拟试飞在飞行试验和型号鉴定试飞中的应用,将其作为某些试飞科目的前置试验项目,或者设计虚拟试飞任务单,并将其纳入试飞流程,在地面状态下执行飞行试验任务,替代部分实体试飞,并将其试验结论应用到试飞报告中,将能进一步提高试飞的质量、安全和效率,减少试飞架次和飞行时间,同时节约了航煤。

2.3 试飞方法创新

随着飞行器研制技术的跨代提升,试飞方法也在不断创新,其中一个重要的目的是减少试飞架次、缩短试飞周期、提高试飞效率,同时可以实现飞行试验的节油。

2.3.1 开展综合试飞

综合试飞已成为现代航空技术的通用方法,即在飞行器研制系统层面的研究性、研制性、鉴定性、使用性等试飞中统筹规划,试飞机构内不同型号项目之间的试飞项目统筹规划,一个型号项目中具备相同约束条件的不同试飞科目之间的最大限度的共用试飞架次、共享试飞数据,实现各自试飞目的的试飞方法。为了减少试验机因载油量限制而不得以降落加油带来的航煤消耗,可以考虑在必要时增加空中加油机的试飞方法,为续航的飞机实施空中加油。综合试飞方法可以提高每个试飞任务单和试飞架次的综合利用率,减少试飞架次数和小时数。

2.3.2 推进试验点考核

试验点考核是提高试飞效率的有效方法。试验点是飞行试验项目中每个飞行试验课题为完成规定的检查或考核,而进行的具有典型代表性的检查点,这些检查点的检查需要相应的试验资源、试验机技术状态、气象条件、飞行姿态和动作等限制条件;每一个试验点所需动作的难易程度不同,时间长短不同。一般一个试验点至少可以获取一组试验数据,对一个典型的飞机型号试飞有的多达4万个试验点,完成这些试验点一般需要近5千飞行小时。试验点也是试飞任务辅助设计系统所要处理的主要对象,是整个系统运行的基础,借助该系

统可以实现飞行试验的有效控制,大大提高试飞效率,有效缩短试飞周期;借鉴国外试验点的理念和应用,进一步创新飞行试验课题设计,可实现试飞任务单的规范化、数字化和精细化;通过试验点还可以实现飞行试验项目进展测量的科学化和精细化^[17]。因此研究推进由“架次考核”向“试验点考核”的转变,对于飞行试验节油将有很大的作用。

2.3.3 推广它机领先试飞

基于更节油的空中实验室的它机领先试飞也可以实现试飞节油。空中实验室是针对必须或允许被分离或独立进行飞行试验的对象,如导航系统、火控系统、动力系统等,而选用现有的、成熟的飞机改装成的试验平台^[18]。它机领先试飞是以空中实验室为试验平台,对新研航空电子武器系统等机载系统设备进行领先试飞验证的试飞方法。该试飞方法已经成为现代飞行试验不可或缺的重要环节,国外它机领先试飞的平台如美国国家航空航天局德莱登飞行研究中心的DC-8空中实验室、德国航空装备军事技术试验中心的任务设备载机^[19]、俄罗斯的Aero L-39C导航系统试验台、伊留申IL-18B航电试验台等^[20]。它机领先试飞可以缩短航空器机载设备的试飞周期,其作用是采用并行工程、提前验证和调整完善航空器机载设备设计及利用成熟飞机提高试验机出勤率等措施缩短试飞周期。因此,它机领先试飞的比例将不断增加。

2.3.4 试飞有关标准创新

飞行试验是依据有关试飞的国家军用标准或国家标准进行的,而试飞标准影响着试飞架次和周期。国外试飞中已经积累了采用减少采样点来减少试飞架次、缩短试飞周期的试飞经验。如对机载火控雷达边搜索边测距工作模式的考核,按照GJB86.1-86.5-86要求,最大探测距离应进行90%置信度的探测概率统计,此工作模式每种“进入”状态下须采集37组数据,即目标机须进入37次。而“11取9”的统计方法只采集11组数据,即目标机只需进入11次。对“90%”和“11取9”两种概率统计方法的试飞工作量比较,后者可节约试飞架次30%以上^[21],估计节油30%左右。因此,有关试飞标准及时升级,采纳如“虚拟试飞”“试验点考核”“11取

9”等创新试飞技术,将能很好应对因飞行器及其系统功能、性能不断增强带来的试飞架次增多、试飞周期增长、试飞耗油增加的挑战。

2.4 目标机选型创新

2.4.1 节能减排的新型飞行器不断推出

飞行试验目前常用的目标机利用的是固定的几种现役或退役飞机,这些飞机用作目标机配合飞行试验是“不节油”的。无人机是无人飞行器的一种,其发展迅猛、种类繁多,已经在民用、科研、军事等领域得到广泛应用,就是因为无人机具有成本低、效费比高、机动性好、可飞行时间长、可重复使用等诸多优点^[22],其中一个重要的特点就是节能,如上海优伟斯智能系统有限公司研制的U650无人机,使用普通汽油飞行100 km耗油仅8~9 L^[23]。也正是无人机突出的优点,使无人机研发进入一个新时代,甚至还出现了混合动力驱动无人机^[24]、太阳能动力高空长航时无人机^[25]、氢燃料电池无人机^[26]、电推进无人机^[27]等新型无人机。还有新能源飞机的迅猛发展。“空中的士”混合电动垂直起降飞行器以电池为动力,将减少航煤消耗、消除飞行中的污染物排放^[28]。德国罗兰贝格管理咨询公司的分析认为,全球范围内目前已有超百个型号的电推进飞机正在研发中,电推进将开启航空领域的新时代^[29],沈阳航空航天大学自主研发成功的电动飞机RXIE-A就是节能环保的新能源飞机之一^[30]。还有HES能源系统公司研发的世界首款氢-电支线客机达到“零碳”水平^[31]。

2.4.2 目标机的新选项

上述能够实现节油的无人机和新能源飞机为飞行试验配试的目标机增加了新选项。型号飞机的试飞样机是特定型号,无法改变。而配试的目标机则有一定的选型空间。随着现代军机跨代型号的研制,其更新、更强的作战性能考核需要大量的目标机配合试飞,导致目标机配试架次已经超过总试飞架次的5%,而且还在不断增长;另外,无人机在军事中的大量使用^[32]也需要以无人机作为军机飞行试验的目标机。目前常用的目标机都是以消耗航煤为主,因此对于目标机选型可增加选择条件,满足目标机所需的基本指标外,尽可能考虑更

节油的型号飞机,或者是混合动力飞机,尝试选择无人机,甚至是不以航煤为能源的、应用“绿色技术”的全电推进飞机、太阳能驱动的无人机,从而实现试飞节油。

2.4.3 其他配试设备的考虑

目标机是配试设备的一种,除此之外,还有2.3.3小节中提到的它机领先试飞所需的载机。未来试飞中,在满足它机领先试飞平台所需的基本条件外,尽可能考虑选用飞行成本更低、更节油、更环保的型号飞机,甚至是全电推进的飞机,更甚至是未来的“超音速绿色飞机”;对于小型机载设备的它机领先试飞甚至可以考虑尝试以无人机或太阳能驱动的无人机作为试验平台,这样,可以更合理使用资源、避免浪费,实现试飞节油。

2.5 试飞地面保障创新

飞行试验还需要“航煤加注”这种试飞地面保障工作。试飞中常常会因计划变更或飞机故障等原因导致飞行任务临时取消,需将已加注的航煤再从飞机油箱退出来。飞行试验对航煤质量要求极高,这种在飞机油箱管路和储存设备中停留、不同管路中输送过的“退油”,不能再使用于科研试飞。这些飞机退油连同管线卸压、清洗油罐、清洗过滤器等工作中产生的大量废油都将以废弃油料处理,会造成很大浪费、增加燃油成本,还可能导致环保问题。经过“退油再利用系统”的处理,就可以变废油为合格航煤并再次利用^[33]。退油再利用流程示意图如图3所示。以航煤消耗约占科研试飞直接成本的20%、退油利用约占航煤总消耗的7%估算,

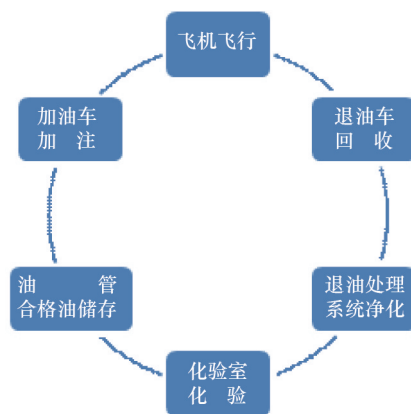


图3 飞机退油再利用流程示意

退油利用可以实现节约约 1.4% 的科研试飞直接成本, 可见诸如“飞机退油利用”的试飞地面保障创新值得持续探索。

2.6 试飞管理转型

一个时期, 飞行器型号鉴定试飞任务应接不暇, 任务紧迫, “赶进度”成为常态。进入新时期, 飞行试验也进入了一个新常态, 从“试飞架次考核”向“试验点考核”的转型, 从“粗放型”突击任务向“集约型”均衡生产转型。从严执行航空装备研制程序, 从严控制鉴定试飞的接机、转段条件, 避免在鉴定试飞期间增加因设计生产遗留工序导致的大量验证、攻关和排故试飞, 降低试飞样机对试飞周期的影响^[34]。另外, 研究制定更科学的政策制度鼓励试飞节油行为, 如在试飞设计中贯彻节能减排精神, 研究梳理飞机空中节油可控点, 合理设计飞行高度、速度、重量、重心、油量、构型及试验点等; 在试飞任务单中, 考虑节油可控点, 尽量应用节油飞行状态^[35]; 在飞行调度工作中, 采用自动飞行调度和管制系统, 科学计划试飞任务, 减少“计划撤销”现象; 在试验机改装工程中, 基于节能理念优化改装方案设计^[36], 在改装材料、线缆敷设等方面减轻试验机的重量, 配置更安全节油的重心位置等。试飞管理的转型将鼓励和引导试飞节油行为, 促成人人节油、事事节油的试飞节油文化。

3 结论

民航飞行节油已经走在前列, 而飞行试验节油在国内尚属空白。飞行试验航煤消耗已经成为一项可观的科研成本, 所以飞行试验节油作为降本增效、节能减排措施值得探索创新。未来的飞行试验对象将是应用“绿色技术”的“绿色”航空装备, 其飞行试验更应该是“绿色试飞”。飞行试验可以借鉴民航节油研究成果和实践经验, 通过试飞模式创新、试飞方法创新、目标机选型创新、地面保障创新和试飞管理转型等路径实现节油, 探索既符合飞行试验特点又能实现节能减排的“绿色试飞”, 为绿色航空做出应有的贡献。另外, 飞行试验中还有其他可以节油的路径值得进一步探索。当然, 要真正探

索实践上述途径的飞行试验节油还需要技术上的持续攻关、管理上的大胆创新。

参考文献 (References)

- [1] 新华社. 中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见[EB/OL]. (2015-05-06)[2019-03-27]. http://www.gov.cn/xinwen/2015-05/05/content_2857363.htm.
- [2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划(2014—2020)的通知(国办发[2014]31号)[EB/OL]. (2014-11-19)[2019-03-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm.
- [3] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于印发工业绿色发展规划(2016—2020)的通知(工信部规[2016]225号)[EB/OL]. (2016-07-18)[2019-03-27]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5143553/content.html>.
- [4] 王光秋, 陈黎. 民进前沿技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2017: 31-68.
- [5] 王小碗. 民航节油实践与探索[M]. 北京: 中国民航出版社, 2005: 3-26.
- [6] 王晓宇. 基于QAR的飞机燃油消耗特性及节油飞行研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2015.
- [7] 张义明, 许勇. 新航行系统下的航空公司节油策略[J]. 科技和产业, 2017(10): 105-108.
- [8] 樊鹏, 林鹏远. 航空公司节能减排管理的分析和思考[J]. 中国民用航空, 2014(1): 10-13.
- [9] 周自全. 飞行试验工程[M]. 北京: 航空工业出版社, 2012: 4-23.
- [10] 魏志强, 王超. 航班飞行各阶段污染物排放量估算方法[J]. 交通运输工程学报, 2010(6): 52-56.
- [11] 陈占斌, 王玉梅, 王京. 民用飞机应急放油系统飞行试验方法研究[J]. 工程与试验, 2015, 55(4): 48-51.
- [12] 文元. 国际清洁运输委员会评估飞机节油新兴技术[EB/OL]. (2016-10-20)[2019-07-17]. <http://www.cannews.com.cn/2016/1020/159669.shtml>.
- [13] 李林, 翁冬冬, 王宝奇, 等. 飞行模拟器[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2012: 21-42.
- [14] 李敬磊. 飞机虚拟试飞关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2008.
- [15] 车达, 王翊. 试飞: 从经验走向虚拟[J]. 大飞机, 2016, 29(2): 36-39.
- [16] 中国航空学会. 探索创新交流(第2集)[C]. 北京: 航空工业出版社, 2006: 678-681.
- [17] 刘纳, 田煜, 舒成辉, 等. 飞行试验项目课题试验分解结构探讨[J]. 航空科学技术, 2013(6): 44-47.

- [18] 史蒂夫·马克曼, 比尔·霍德尔. 独特的研究机: 空中飞行模拟器、飞行试验台和改型机的历史[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2014: 2-6.
- [19] 李凡. 国际飞行试验机机构试飞员培训及型号试飞[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 46-80.
- [20] 叶菲姆·戈登, 德米特里·科米萨洛夫. 苏联与当代俄罗斯试验飞机[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2012: 297-327.
- [21] 刘纳, 杨龙. 缩短雷达试飞周期方法的思考[J]. 飞行试验, 2005(4): 43-46.
- [22] 张传超. 2015 中国无人机系统峰会论文集[M]. 北京: 航空工业出版社, 2015: 11-31.
- [23] 长江日报. 可装 250 公斤能在水面平稳降落 邮政水陆无人机在鄂试飞成功[EB/OL]. (2018-05-18)[2019-07-17]. http://toutiao.chinaso.com/hb/detail/20180518/1000200033111651526611531798709713_1.html.
- [24] 陈黎. 美国推出“沉默守护者”混合动力无人机[EB/OL]. (2013-02-04)[2019-07-17]. <http://www.chinanews.com/mil/2013/02-04/4546181.shtml>.
- [25] 王元元. BAE 和棱镜公司合作开发太阳能高空长航时无人机[EB/OL]. (2018-05-17)[2019-07-17]. <http://www.dsti.net/Information/News/109614>.
- [26] 程大树. 美国海军研究实验室完成首次氢燃料电池无人机飞行测试[EB/OL]. (2016-12-22)[2019-10-20]. <http://www.dsti.net/Information/News/102755>.
- [27] 袁成. 罗马尼亚发展电推进高空无人机[EB/OL]. (2014-02-28)[2019-10-20]. <http://www.dsti.net/Information/News/87264>.
- [28] 李昊. 贝尔与赛峰合作开发混合电动垂直起降飞行器[EB/OL]. (2018-07-02)[2019-10-20]. <http://www.dsti.net/Information/News/110385>.
- [29] 王元元. 航空航天业或将迎来电推进变革[EB/OL]. (2018-08-27)[2019-03-27]. <http://www.dsti.net/Information/News/111293>.
- [30] 李梦依. 沈阳航空航天大学锐翔增程型电动飞机获适航颁证[EB/OL]. (2018-10-23)[2019-03-27]. <http://www.cannews.com.cn/2018/1023/183864.shtml>.
- [31] 廖忠权. HES 公司发布氢-电支线客机概念[J]. 航空动力, 2018(5): 31-32.
- [32] 比尔·耶讷. 无人改变现代战争[M]. 北京: 海洋出版社, 2016: 37-66.
- [33] 试飞中心. 试飞中心飞机退油利用率创历史新高[N]. 中国航空报, 2014-12-21(4).
- [34] 周自全. 现代战斗机的飞行试验[J]. 北京航空航天大学学报, 2003(12): 1110-1114.
- [35] 刘清贵. 飞行员谈节油[J]. 国际航空, 2005(8): 51-53.
- [36] 张旭, 岳良明, 王斌. 关于减小油耗的飞机总体方案优化设计研究[J]. 航空工程进展, 2016, 7(2): 225-229.

The fuel saving path in flight test in view of the Green-Aviation

LIU Na

Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract In view of the practical results of the evaluation criterion for the green-aviation industry, the experience of saving fuel in the civil aviation and the characteristics of fuel saving in the flight test are analyzed, combined with the characteristics of the flight test, as well as the ways to save fuel in the flight test, including the innovation of the flight test mode, the innovation of the flight test method, the innovation of the target aircraft selection, the innovation of the ground support, and the transition of the flight test management.

Keywords greet-aviation; flight test; energy saving and emission reduction; saving fuel; green-flight test ●



(责任编辑 傅雪)