

商用飞机单一飞行员驾驶模式设计及测试



张炯*, 曾锐

中国商用飞机有限责任公司 北京民用飞机技术研究中心 中国商飞人工智能创新中心, 北京 102209

摘要:单一飞行员驾驶(SPO)减少飞行机组成员、降低驾驶舱资源配置需求,可显著提高经济性,缓解成熟飞行员短缺,已成为未来商用飞机发展的趋势。SPO模式研究首先抽象化了安全性、交互性与兼容性方向上的飞机功能设计与人机功能分配的约束指标,依托型号飞机设计的系统工程方法,进行SPO模式顶层需求与驾驶要素的定义,并利用多维度飞机操作划分方法完成了新操作流程设定。同时,针对SPO模式功能需求开发的人机协同辅助驾驶系统被用于仿真测试环境的集成,初步的人在环试验测试结果为进一步SPO模式优化提供了方向。

关键词:商用飞机;人工智能;单一飞行员驾驶;人机交互;测试

中图分类号:V19

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.06.007

飞行员成本高昂以及成熟飞行员短缺是民航运输业面临的难题。全球航空公司每年在飞行员上花费5000多亿人民币,这一数字随着航空运输业的快速发展还将持续增长;另一方面,飞行员培养周期长,从普通副驾驶成长为机长平均需要5~7年时间,成熟飞行员短缺已经无法满足航空市场的快速发展需求。

伴随着技术和市场的双重需求驱动,单一飞行员驾驶(SPO)技术作为解决上述问题的手段之一,获得了主制造商和航空公司的重点关注。SPO技术是针对运输类飞机适航标准(CCAR-25)所要求的双飞行员机组提出,飞行驾驶仅需一名飞行员完成,依靠机载设备或其他辅助方式完成飞行任务。

SPO可减少驾驶舱资源配置、降低飞行员决策冲突与人因风险,实施SPO预计每年可为中国区域航司节省近千亿元人民币费用。2018年波音公司对下一代飞机最期待的新技术调查中,SPO排名第一。

国外研究人员自2013年已针对SPO开展了广泛的模式体系、关键技术与应用测试研究。美国国家航空航天局(NASA)和罗克韦尔国际公司率先提出机上“飞行员+辅助飞行系统+地面辅助驾驶员”的SPO解决方案^[1-5]。基于美国国防预先研究计划局(DARPA)的ALIAS项目成果,机器

人副驾驶方案被极光科学飞行公司应用于波音飞机的应急处置测试^[6]。德国宇航中心在欧洲牵头开展的ACROSS项目,研究了被动SPO情景下的技术可行性^[7]。在技术迅速发展的同时,美国联邦航空局(FAA)和欧洲航空安全局(EASA)也对SPO技术保持持续关注,2018年,FAA向美国国会提交了一份关于SPO货机的适航研究的预算草案^[8]。在波音737-MAX-8的两次重大事故背景下,许多学者将SPO研究聚焦在人与自动化系统的协同驾驶技术^[9-10]和飞行员工作负荷优化上^[11-14]。国内研究者同样关注新兴技术对于飞行驾驶的优化^[15-16],以中国商用飞机有限责任公司为代表的国内民航制造企业,于2018年着手在国内牵头开展SPO相关技术的研发,提出SPO模式与系统架构,研制人机协同驾驶系统功能样机。

1 单一飞行员顶层需求

追溯大型客机飞行机组发展经历,从五人机组、三人机组到现在的两人机组,每一次机组成员变化都要经过漫长的验证与过渡时期,是飞机系统自动化、综合化、集成化发展的必然趋势。当前的双人机组制综合考虑了飞行安全性、驾驶舱资源管理要素、飞行员生理极限、人机交互等多

收稿日期: 2020-05-22; 退修日期: 2020-05-30; 录用日期: 2020-06-05

*通信作者. Tel.: 010-57815310 E-mail: zhangjiong@comac.cc

引用格式: Zhang Jiong, Zeng Rui. Mode design and test for commercial aircraft single-pilot operations[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(06): 42-49. 张炯, 曾锐. 商用飞机单一飞行员驾驶模式设计及测试[J]. 航空科学技术, 2020, 31(06): 42-49.

种因素,是在目前大型客机系统能力下,均衡飞行安全性与经济性的最佳人员配置形式,特别当遭遇飞行员失能、关键系统失效、恶劣天气干扰等紧急事件时,双人机组配置能够最大保障飞行安全。在保障安全性的基础上替代双人制驾驶模式,是SPO在型号飞机上应用的关键。

基于运输类飞机适航标准中对于机组职责与飞机功能的定义,依托当前民航运输管理体系现状与飞机型号设计经验,SPO模式的核心需求应包括以下5个方面。

(1) 单一飞行员驾驶模式覆盖性

覆盖门到门全飞行阶段,飞行手册规定任务等正常飞行场景覆盖率100%;可应对飞行员失能、飞机手册内故障等非正常场景。

(2) 单一飞行员驾驶模式安全性

安全性不低于双人制模式,飞行决策步骤不超过当前水平。

(3) 单一飞行员驾驶的飞行性能

具有双人制模式等同的飞行性能表现(燃油消耗、乘坐舒适性、航迹保持精度)。

(4) 单一飞行员驾驶模式的兼容性

单一飞行员驾驶空地交互模式兼容当前空地通信性能,以及未来规划的机载宽带卫星通信、ATG高速通信能力;兼容当前飞行员培养体系。

(5) 单一飞行员人为因素

机上飞行员情景意识与态势感知能力不低于双人机组模式,飞行员操作负荷增幅不超过10%,不增加飞行员心理负担。

2 单一飞行员驾驶模式设计

双人制机组从决策权限上可分为机长(captain)与副驾驶(first officer),从操作状态上可分为操纵飞行员(pilot flying PF)和非操纵飞行员(pilot not flying PNF)。在SPO模式下,飞机驾驶舱内仅有一位具备驾驶权限的飞行员,在缺乏新增辅助驾驶系统或远端辅助人员的情况下,原本的两人职责将由一人承担,这对驾驶安全性与人员负荷都带来了极大挑战。

在飞机功能未发生重大变更的情况下,SPO模式设计的核心是在当前飞行程序基础上,避免飞行员工作负荷的暴增,并保持驾驶安全性。但从技术可能性的角度出发,单一飞行员模式多达7种^[9],而从SPO模式核心需求约束的角度考虑,以下三种模式具有一定价值。

(1) 模式一

完全由自动飞行辅助驾驶系统替代飞行员,通过智能

化语音识别、自然语言理解、飞行员状态识别等技术,完全替代副驾驶,可以承担部分PF和PNF操作。

(2) 模式二

将副驾驶职责转到地面,由地面辅助驾驶员通过高速宽带通信链路来配合机上飞行员,一名地面辅助驾驶员可支持多架飞机。

(3) 模式三

自动飞行辅助驾驶系统、地面辅助驾驶员与机上飞行员经过功能分配,共同完成SPO的运行,如图1所示。

模式一经济价值最高,但达到人类水平的飞行辅助驾驶系统功能实现需要大量采用人工智能等创新技术,安全性和可靠性目前还不能完全满足要求,难以型号应用;模式二价值最低并且对空地数据链要求极高,大量试验表明异地环境下的协同配合难度很大,也难以型号应用;模式三是目前最可行的方案,其关键在于人机、空地之间功能分配,要综合飞行辅助驾驶系统功能、异地环境下的协同认知差异、窄带通信受限等条件,达到协同配合最优。

本文以第三种模式为基础,定义模式下的各要素责任和功能分配原则及流程。首先通过三项预试验定义要素要求和分配基本原则。

(1)开展异地环境下飞行员协同操作评价与评估,按照现有双人机组程序,将两名飞行员隔离开,充分保证通信带宽前提下,通过主观评测法,分析异地环境下造成飞行员间理解感知奇异的重大影响操作。

(2)对于语音识别、自然语言处理(NLP)、图像动作识别等人工智能技术在驾驶舱环境下的效能进行评估,针对PNF所有的操作进行测评,获取准确性等指标。

(3)针对地空通信带宽、机载计算资源、航空公司运行控制中心(AOC)、空中交通管理平台(ATM)等与SPO运行关联的系统、平台、基础设施的发展趋势进行分析,明确SPO模式对于上述平台的需求。

根据三项预试验结果以及SPO顶层需求,对于SPO模式中的机长、地面辅助驾驶员、自动飞行辅助驾驶系统以及地面辅助驾驶系统的责任与顶层进行了约束(见图1)。

(1)机长

机长是飞行所有相关决定的最终决策者,承担所有责任。与双人制驾驶模式对比,SPO模式下机长角色不会改变,但任务和职责将发生较大变化。机长需要承担传统PF飞行员和监控飞行员(pilot monitoring, PM)的部分任务,剩余部分职责将分配给自动飞行辅助驾驶系统或地面辅助驾驶员,机长可用的驾驶舱资源(CRM)会发生较大变化。在

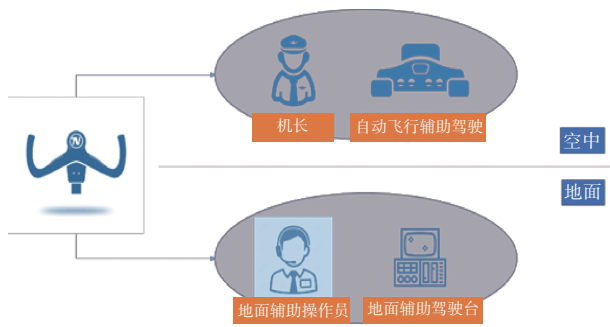


图1 单一飞行员驾驶模式

Fig. 1 Architecture of SPO

SPO模式下,对于机长的要求会更加严格。

(2)地面辅助驾驶员

地面辅助驾驶员的任务是协助机长保障飞行过程安全,完成复杂的派遣、调配、与管制员协商、机上故障处理等工作,在机长丧失能力时,替代机长,操控自动飞行辅助驾驶系统等完成飞机安全着陆。地面辅助驾驶人员主要工作是监测其管理的飞机状态,地面辅助驾驶员作为SPO模式下的新生角色,必须考虑能力要求、经济成本以及如何更好地融入目前飞行流程。

(3)自动飞行辅助驾驶系统以及地面辅助驾驶系统

自动飞行辅助驾驶系统是在传统的自动飞行航迹管理和操控能力基础上,通过对于飞行状态、飞行员操作、管制指令的识别与理解,自主完成部分PNF和PF的工作,其中与机长、地面辅助驾驶员、ATM的高效准确协同是辅助飞行系统最大的难点。地面辅助驾驶系统则是通过信息呈现和操控联动的方式,为地面辅助驾驶员理解飞机状态、机上驾驶员操作,为地面辅助驾驶员操作上传至飞机提供沉浸式平台与环境。

在驾驶舱人机功能分配上有York法^[17]、Sheffield法^[18]等比较成熟的方法,为适应SPO模式设计的快速迭代要求,简化了Sheffield法中的功能划分约束项,在场景定义的基础上,直接依据双人制机组的操作定义了快速功能划分流程。

(1)根据飞行程序,分解全飞行流程下的不同飞行阶段(飞行前准备、飞行前阶段、发动机启动前阶段、发动机启动阶段、滑行前阶段、滑行阶段、起飞前准备阶段、起飞阶段、爬升阶段、巡航阶段、下降阶段、进近阶段、复飞阶段、着陆阶段、着陆后滑行阶段、滑行至停机位阶段、离机阶段)。

(2)基于飞行阶段,构建全流程下的多种可能飞行场景(天气场景、机场场景、空域场景、系统故障场景、人员失能场景等)。

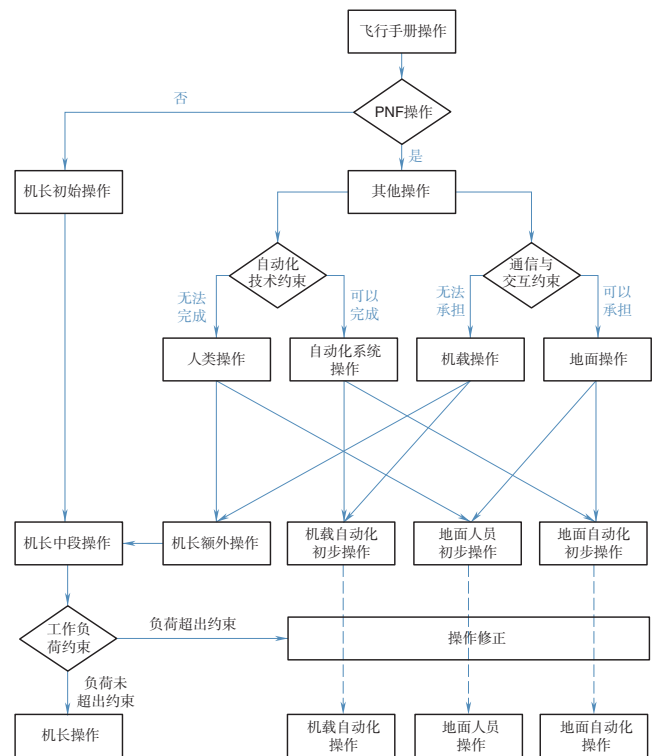


图2 飞行操作分解流程

Fig. 2 Flight operations allocation process

(3)按照现有双人制机组标准飞行程序,以飞行阶段为基础,以飞行场景为条件,分解操作程序(包括检查单)。操作程序分类应当遵循图2原则:以PF与PNF功能划分得到SPO模式下机长初步操作与其他操作;针对其他操作,以自动化技术约束拆分自动化系统操作与人类操作;以通信约束与交互便捷性约束划分机载操作和地面操作;重新梳理机长操作,以工作负荷约束排查高负荷操作,并进行操作转移。

对其他操作和机长高负荷操作,按照安全性、难易程度、操作时间等评判,结合不同属性特点、地面辅助驾驶局限、飞行辅助驾驶软件局限,完成飞行程序分解和归属定义。

(1)功能分配原则为:安全性影响等级为4级的操作,原则上由机长执行,辅助飞行系统/地面辅助驾驶员监控;操作难度为4级的操作,原则上由机长执行,辅助飞行系统/地面辅助驾驶员监控;在双人制机组中由PNF的操作,原则上由自动飞行辅助系统或地面辅助驾驶员执行;视觉支持2级(含)以上,优先人工操作;听觉支持2级(含)以上,优先人工操作;自然语言处理(NLP)支持2级(含)以上,优先人工操作;情景意识2级(含)以上,优先机上操控。

(2)根据飞行程序操作的归属定义,完成SPO模式下的

操作功能分配(见表1)。

表1 操作分类指标项

Table 1 Index items of operations classification

安全性	难易度	操作人	视觉	语音	NLP
4级	4级	PF	3级	3级	3级
3级	3级		2级	2级	2级
2级	2级	PNF	1级	1级	1级
1级	1级		0级	0级	0级

根据上述的飞行操作分配方法,以起飞阶段为例,在预设为天气正常的普通繁忙机场,为飞行员能力正常、系统正常的波音737机组进行了操作分配,具体分配结果见表2。

从上述分配的结果可以看到,实现SPO的核心是确保安全性,因此辅助飞行系统的能力,系统安全性和可靠性是核心与关键,从目前技术发展情况来看,自动控制技术对于飞机复杂状态的操控以及航迹精准控制能够达到成熟飞行员的水平,因此大量飞行控制操作由辅助飞行系统完成是完全可行并且能够降低飞行员负担,但视觉识别、语音识

别、自然语言处理等人工智能技术目前还不能完全达到成熟飞行员水平,因此对于需要上述技术的操作程序,需要通过界定其应用场合以及安全性等级,适当分配给辅助飞行系统。除此之外大量的试验表明,即使带宽资源丰富,异地驾驶环境(机上与地面辅助)仍然很难让飞行员与地面辅助驾驶员具有同样的情景意识和较好的协同认知,因此在带宽受限的情景下,对于情景意识要求较高的操作不适合由地面辅助驾驶员辅助完成。

3 单一飞行员驾驶模式测试

目前SPO模式尚没有公开标准的功能分配原则,因此需要大量试验验证与迭代优化,SPO模式测试方法、测试环境与测试过程至关重要。

3.1 被测对象

根据前章节所述,SPO模式中包含三个关键要素,机上飞行员(机长)、地面辅助驾驶员、自动飞行辅助驾驶系

表2 波音737起飞阶段功能重新分配

Table 2 Operations distribution of Boeing737 take-off

操作内容	评 价	分配结果
在CDU起飞基准页面输入跑道偏离	PNF,安全性低,不涉及语音,负荷低	自动飞行辅助驾驶系统
进入离场跑道以前,核实跑道及跑道进入点是正确的	PF,PNF,安全性高,涉及舱外视觉,负荷低	机长核实,自动飞行辅助驾驶系统辅助
进入离场跑道时操作灯光;应答机方式选择器调到TA/RA	PNF,安全性低,不涉及语音,负荷低	自动飞行辅助驾驶系统
核实刹车松开将飞机对准跑道	PF,安全性中,涉及舱外视觉,负荷低	机长
核实飞机航向与指令跑道航向一致	PF,PM,安全性中,不涉及语音,负荷低	机长,自动飞行辅助驾驶系统共同核实
允许起飞后,打开固定着陆灯开关	PM,安全性低,不涉及语音,负荷低	自动飞行辅助驾驶系统
前推推力手柄到大约40%N1	PF,安全性高,不涉及语音,负荷中	机长
等发动机稳定,按压TO/GA开关	PF,安全性高,不涉及语音,负荷低	机长
核实调定了正确的起飞推力	PF,PM,安全性中,不涉及语音,负荷低	机长,自动飞行辅助驾驶系统共同核实
起飞过程中监视发动机仪表;报出任何异常现象;报告“推力调定”	PNF,安全性低,涉及语音,负荷中	自动飞行辅助驾驶系统
监视空速;驾驶杆上保持轻微的顶杆力	PF,安全性高,不涉及语音,负荷中	机长
核实80kn;实 V_L 速度	PF,PNF,安全性高,涉及语音,负荷低	机长,自动飞行辅助驾驶系统共同核实
核实VR,并抬头至15°俯仰姿态;离地后,跟踪FD指令	PF,PNF,安全性高,涉及语音,负荷中	机长操作,自动飞行辅助驾驶系统核实
建立并核实正上升率;收起落架	PF,安全性中,不涉及语音,负荷中	机长操作,自动飞行辅助驾驶系统核实
监视高度;400ft以上按需选择滚转方式	PF,PNF安全性中,不涉及语音,负荷中	机长操作,自动飞行辅助驾驶系统核实
监视高度;800ft AGL核实改为爬升推力	PF,安全性中,不涉及语音,负荷中	机长操作,自动飞行辅助驾驶系统核实
监视高度与速度;调定襟翼手柄	PF,安全性中,不涉及语音,负荷中	机长操作,自动飞行辅助驾驶系统核实
监视高度;接通自动驾驶	PF,安全性中,不涉及语音,负荷中	机长操作,自动飞行辅助驾驶系统核实
核实襟翼、发动机引气和空调组件、调定自动自动刹车等	PF,PNF,安全性低,涉及语音,负荷低	自动飞行辅助驾驶系统
执行起飞后检查单	PF,PNF,安全性低,涉及语音,负荷低	自动飞行辅助驾驶系统

统和地面辅助驾驶系统。记录机长和地面辅助驾驶员操作及执行时间,通过主观打分和数据分析两种方式评判SPO模式。

3.2 测试环境

以模拟SPO飞行场景及当前民航运行体系为目标,测试环境主要包含三个系统。

(1) 驾驶舱模拟仿真系统

驾驶舱模拟仿真系统对于整个测试环境至关重要,仿真系统必须能够严格复现指定型号的操作流程,应当有较强的沉浸感,硬件上应当尽可能与真实飞机相同(如采用虚像显示系统提供视景,装备高逼真度的液压反馈系统),应当支持各类场景设置。

(2) 空地宽带通信仿真系统

通信系统需要具备两项主要功能,一是能够模拟目前空地通信的不同系统(ACARS、ATN)以及各类应用(CPDLC、ADS-C)等;二是能够设置空地宽带通信的各类网络指标(如延迟、丢包、带宽等),确保能够真实反映空地数据链通信实际情况。

(3) 综合运行环境模拟系统

系统主要具备三项主要功能,一是可以模拟航班航线运行和机场场面运行,模拟繁忙空域和枢纽机场运行场景;二是可以模拟ATM地面管制功能,提供标准飞行过程中管制与飞机之间的信息通信功能;三是可以模拟航空公司航线运控中心(AOC)功能,提供标准飞行过程中AOC与飞机之间的信息通信功能。

本研究中未对SPO测试环境的功能仿真程度做出要求,而更侧重不同测试用例下机上飞行员的感官差异与横向比较,因此,并不需要在当前阶段进行自动飞行辅助系统的功能开发。

3.3 测试用例

测试用例需要为SPO安全性、飞行场景覆盖性、飞行性能、操作负荷的验证提供完整的测试过程。测试用例必须复现一次完整的飞行过程,除传统的起飞、爬升、巡航等阶段外,起飞前准备、滑行等阶段非常关键,大量的协同检查和输入工作都是在飞行前完成,对于单一飞行员操作负荷,效率以及安全性都是较大考验。测试用例关键是在正常飞行场景之外,设计各类非正常飞行场景,特别是恶劣天气、繁忙空域、系统故障的场景,是SPO模式测试的关键(如川航8633事件中的场景、埃航ET302和狮航JT610事件场景)。

3.4 测试要素

按照SPO模式的要求以及SPO安全性、操作负荷等指标要求,SPO测试要素应当至少包含以下内容。

(1) 机长

包括飞行操作正确性、操作花费时间、注意力观察位置、心跳、操作负荷评分、情景意识评分、人机协同评分和SPO模式评分。

(2) 自动飞行辅助驾驶系统

包括飞机状态判别、飞行员状态判别、飞行场景识别、飞行员协同决策、飞行任务规划、飞行程序操作执行功能。飞行员指令和地面上传指令解析和执行准确性,飞行任务与场景的辨识正确性,飞行操作指令执行正确性。

(3) 地面辅助驾驶员

包括辅助操作正确性、操作花费时间、注意力观察位置、操作负荷评分、机上状态理解评分、空地协同评分和SPO模式评分。

(4) 飞机运行

包括单向任务执行时间/效率和飞行品质评分。

根据上述测试要求,设计了一套满足SPO模式的综合验证环境,包含5个平台、16个子模块。5个平台分别为机上仿真验证平台(仿真驾驶舱子模块、机载系统仿真子模块和飞行员数据采集模块)、地面仿真验证平台(ATM仿真子模块、AOC仿真子模块、数据通信子模块和辅助驾驶员数据采集模块)、运行场景仿真平台(空域仿真子模块、天气仿真子模块、机场运行仿真子模块和故障注入子模块)、空地数据链仿真平台(ATN网络仿真子模块、语音/数据链通信仿真子模块)、综合仿真演示平台(剧本推演子模块、数据综合处理模块和信息综合显示子模块)。以北京—上海(枢纽机场)、成都—林芝(PBN运行)两条具有代表性航线的“门到门”全飞行阶段作为测试场景进行测试。

在成本和技术的约束下,本研究为SPO模式测试搭建了一套基于柔性机器人的自动飞行辅助驾驶系统,其可按指令完成驾驶舱操作监控、手册查询、机组间语音交互与副驾驶位控件操作任务,测试要素则侧重于当前方案的协同交互操作和谐性、飞行员信赖程度与对飞行员工作负荷影响等方面。

测试环境和步骤如图4所示,包括仿真驾驶舱、地面ATM仿真单元、机场运行仿真模块、空域仿真模块、外挂式自动飞行辅助驾驶系统(不改变驾驶舱内部架构的机器人副驾驶)。在测试环境中,机上飞行员可以独立或通过机器人协助,完成所有飞行操作。



图 3 SPO测试环境
Fig. 3 SPO test environment



图 4 SPO测试过程示意
Fig. 4 SPO test procedure

在初步测试中,选择三名取得私人执照的飞行员,经过对C919操作流程熟悉之后,在本文搭建的环境中进行测试,按照飞行阶段、天气状况、飞机系统三个方面,设计了不同的飞行场景,并就不同状况进行了多种组合。测试参数见表3。初步测试的结果为:(1)在正常场景飞行过程中(正

常飞行、天气晴朗、飞机无故障、流程正常)的情况下,自动化驾驶辅助飞行系统与机长协同良好;(2)低能见度和雨天情况下,自动化驾驶辅助飞行系统仍然与机长协同良好;(3)襟翼卡阻或单发失效时,当自动化驾驶辅助飞行系统仅承担QRH查询与操作监控功能时,机长可勉强保持飞机稳定、与地面沟通并处置故障,但主观评估极差,需要地面辅助人员介入;(4)在恶劣天气以及系统故障组合的进近阶段,当自动化驾驶辅助飞行系统仅承担QRH查询与操作监控功能时,机长勉强可同时承担进近准备与故障处置,但强烈要求地面辅助人员介入。

表 3 测试参数设置
Table 3 Test parameters

场景序号	飞行阶段	天气状态	飞机系统
正常起飞	起飞阶段	晴朗天气	正常
单发下降	下降阶段	低能见度	单发失效
非正常构型进近	进近阶段	雨天	襟翼卡阻

在正常SPO模式飞行中,飞行员普遍反映工作负荷适当,同时对辅助驾驶系统的监控与查询功能足够信任。但在高负荷的非正常场景飞行中,虽然处于SPO模式的机长仍可应对,但是飞行员普遍认为心理负担较大,且倾向地面人员而非辅助驾驶系统进行协同驾驶与故障处置。

4 结束语

SPO模式的初步测试结果表明,机上辅助-空地协同的SPO模式可以基本应对已知的多种复杂场景,但飞行员对于当前SPO模式在正常场景与非正常场景下的主观评估差异较大,缺乏对于自动化驾驶辅助飞行系统对高安全性相关任务完成能力的信任。为进一步明确各主客观因素对于SPO模式的影响,需要在试验设计、测试场景选取与绩效比较等方面进行优化,并适当增加数据获取范围。同时,飞行员的主观心理因素对于SPO模式设计与自动化辅助驾驶系统功能开发的影响、讨论培训与熟悉度对于SPO飞行绩效的影响等均不可忽视。因此,当前阶段最重要的工作是开展SPO模式“设计—测试—优化”的迭代工作,通过本文提及的方法不断完善人机交互模式,并为自动化驾驶辅助飞行系统输出可靠的功能需求。

SPO是商用航空运输业中一项革命性创新技术,对于运行多年成熟稳定且被验证是现阶段最安全的双人机组模式而言,单一飞行员驾驶面临的挑战是巨大的,商业价值也是显著的。此外,商用飞机SPO不单纯是技术问题,一方面需要基于详实、可靠的研究过程与试验结论,推动适航法规对SPO的认可;另一方面需要成熟且经济的应用方案,推进民用航空运行体系的变革。

AST

参考文献

- [1] Comerford D, Brandt S L, Lachter J, et al. NASA's single-pilot operations technical interchange meeting: Proceedings and findings [R]. Moffett Field, CA, U S: NASA Ames Research Center, 2013.
- [2] Lachter J, Brandt S L, Battiste V, et al. Toward single pilot operations: developing a ground station[C]//Proceedings of the International Conference on Human-computer Interaction in Aerospace, 2014: 1-8.
- [3] Lachter J, Battiste V, Matessa M, et al. Toward single pilot operations: the impact of the loss of non-verbal communication on the flight deck[C]//Proceedings of the International Conference on Human-computer Interaction in Aerospace, 2014: 1-8.
- [4] Neis S M, Klingauf U, Schiefele J. Classification and review of conceptual frameworks for commercial single pilot operations[C]//2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC). IEEE, 2018: 1-8.
- [5] Schmid D, Korn B. A tripartite concept of a remote-copilot center for commercial single-pilot operations[C]//AIAA Information Systems-AIAA Infotech@ Aerospace, 2017.
- [6] Markoff J. A machine in the co-pilot's seat [EB/OL]. (2015-07-20). <https://www.nytimes.com/2015/07/21/science/robot-co-pilot-darpa-alias.html>.
- [7] Trimis. Across advanced cockpit for reduction of stress and workload [EB/OL]. (2013-01-01). <https://trimis.ec.europa.eu/project/advanced-cockpit-reduction-stress-and-workload>.
- [8] FAA. Single-piloted commercial cargo aircraft [Z]. FAA, 2018.
- [9] Vu K P L, Lachter J, Battiste V, et al. Single pilot operations in domestic commercial aviation[J]. Human Factors, 2018, 60 (6): 755-762.
- [10] Tokadll G, Dorneich M C, Matessa M. Development approach of playbook interface for human-autonomy teaming in single pilot operations[C]//Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2019.
- [11] Matessa M, Strybel T, Vu K, et al. Concept of operations for RCO/SPO[R]. Moffett Field, CA, USA: NASA, 2017.
- [12] Bailey R E, Kramer L J, Kennedy K D, et al. An assessment of reduced crew and single pilot operations in commercial transport aircraft operations[C]//2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC). IEEE, 2017: 1-15.
- [13] Lachter J, Brandt S L, Battiste V, et al. Enhanced ground support: lessons from work on reduced crew operations[J]. Cognition, Technology & Work, 2017, 19(2-3): 279-288.
- [14] Sprengart S M, Neis S M, Schiefele J. Role of the human operator in future commercial reduced crew operations[C]//2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC). IEEE, 2018: 1-10.
- [15] 张新苗, 余自武, 杨雨琦. 人工智能在波音 787 上的应用与思考[J]. 工业工程与管理, 2017 (6): 24.
Zhang Xinmiao, Yu Ziwu, Yang Yuqi. Application and Consideration to Boeing 787 influenced by artificial intelligence[J]. Industrial Engineering and Management, 2017(6): 24. (in Chinese)
- [16] 魏麟, 何利清, 万洋, 等. 人工智能飞行副驾驶核心技术分析[J]. 甘肃科技纵横, 2018, 47(11): 30-32.
Wei Lin, He Liqing, Wan Yang, et al. The core technical analysis for AI co-pilot[J]. Scientific & Technical Information of Gansu, 2018, 47(11): 30-32. (in Chinese)

- [17] Fitts P M. Human engineering for an effective air-navigation and traffic-control system[R] Washington, D.C., U S: National Research Council, 1951.
- [18] Older M, Clegg C, Waterson P. Report on the revised method of function allocation and its preliminary evaluation[R]. Sheffield, U K: University of Sheffield, 1996.

(责任编辑 王为)

作者简介

张炯(1981-)男,博士,高级工程师。主要研究方向:驾驶舱综合设计、指示记录系统设计与应用。

Tel: 010-57815310 E-mail: zhangjiong@comac.cc

曾锐(1987-)男,博士,高级工程师。主要研究方向:驾驶舱人机交互设计与交互功能开发。

Tel: 010-57815319 E-mail: zengrui@comac.cc

Mode Design and Test for Commercial Aircraft Single-pilot Operations

Zhang Jiong*, Zeng Rui

Artificial Intelligence Innovation Center of COMAC, COMAC Beijing Aircraft Technology Research Institutes, Beijing 102209, China

Abstract: Single-pilot operations (SPO) represent a viable concept for commercial aircraft as the potential benefits in crew member reduction. In this research, the requirements around safety, interactivity and compatibility for SPO has firstly quantified into multi-dimensional constraints for an operation-allocation method. Then scenario definition based on functional requirements analysis results are used to generate new single-pilot operation processes. The human-machine function allocation results are also used for the development of airborne-assistant application and the integration of SPO simulation environment. A preliminary human-in-the-loop test indicates an operation-iteration direction for next-step SPO research.

Key Words: commercial aircraft; artificial intelligence; SPO; human-machine interface; test

Received: 2020-05-22; Revised: 2020-05-30; Accepted: 2020-06-05

*Corresponding author. Tel. : 010-57815310 E-mail: zhongjiong@comac.cc