

民用飞机飞行模拟机数据包试飞任务 优化结合方法研究

郭之鑫*

(中国商飞民用飞机试飞中心,上海 201323)

摘要:飞行模拟机数据包试飞用于获取飞行模拟机研制及鉴定所需的试飞数据,涉及多项试飞科目。为提高试飞效率、降低试飞成本,针对飞行模拟机数据包试飞与型号试飞的优化结合方法进行了研究。通过分析飞行模拟机研制进度要求、型号试飞规划、型号构型到位计划,以及飞行模拟机数据包试飞和型号试飞各试飞科目的试飞要求等要素,分别在试飞科目分析阶段和试验点分析阶段提出了不同的优化结合原则,包括试飞方法相似原则、科目类别相似原则、前置试验满足原则及构型要求兼顾原则。并给出了直接结合、试验点连续结合、形态变换结合及架次结合四种优化结合方法,以及优化结合方法所适用的飞行模拟机数据包试飞阶段。该优化结合方法已在实际型号飞行模拟机数据包试飞任务规划中得到应用,起到了减少试飞任务量的作用。

关键词:飞行模拟机;数据包;试飞规划;试飞任务优化;优化结合

中图分类号: V217

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机飞行模拟机数据包^[1-2]试飞的目的是获取民用飞机飞行模拟机研制和鉴定^[3-4]所需试飞数据,包含多项试飞科目,涵盖了性能、操稳、发动机、APU、起落架/刹车、主飞行控制、高升力、自动飞行、声音、振动等专业。民用飞机型号试飞的直接目的是取得 TC 合格证,是民用飞机研制的关键环节,试飞周期短、时间紧;科目多、复杂度高;风险高,且投入成本高^[5]。

我国在民用飞机试飞规划^[6-7]及试飞任务优化方面尚处于发展阶段。冯士德等人针对民机试飞规划与管理工作中所涉及的数据进行了分析,提出了关于试飞规划、试飞任务等数据库设计的概念数据模型^[8]。刘为民等人提出了一种民用飞机试飞规划与管理软件的架构方案,将基于 B/S 的客户端与基于 C/S 的客户端相结合,让优化引擎以相对独立

的方式运行,与外部系统集成实时地获取飞机构型数据^[9]。袁冲等人提出了一种民机试飞任务单优化方法,创建了一套民机试飞规划与管理系统,并在实际型号试飞中得到应用^[10]。

飞行模拟机数据包试飞任务与型号试飞任务均需要占用实际的飞行资源,为缩短试飞周期、提高试飞效率、降低试飞成本,需对飞行模拟机数据包试飞任务进行优化。本文对飞行模拟机数据包试飞与型号试飞的优化结合方法进行了研究,提出了飞行模拟机数据包试飞和型号试飞优化结合的原则及方法。

1 飞行模拟机数据包试飞内容

根据国际航空运输协会(International Air Transport Association,简称 IATA)的定义,飞行模拟机数据包是指为飞行模拟机运营人、制造商提供的完整的飞机数据和相关文档,以支持飞行模拟机的制造、

* 通信作者。E-mail: guozhixin@comac.cc

引用格式: 郭之鑫. 民用飞机飞行模拟机数据包试飞任务优化结合方法研究[J]. 民用飞机设计与研究,2020(4):125-131.
GUO Z X. Research on flight test task optimization and combination method of civil aircraft flight simulator data package [J]. Civil Aircraft Design and Research,2020(4):125-131(in Chinese).

测试和鉴定工作^[11]。飞行模拟机数据包一般由系统描述文件、三维数据/飞机手册/接口控制文件、故障描述文件、模拟软件包、试飞数据、综合校验数据和验证数据路线图、声音数据和振动数据组成^[12]。飞行模拟机数据包中的试飞数据主要是通过飞行模拟机数据包试飞获取的,用于飞行模拟机的建模、模型校核及鉴定。

飞行模拟机数据包试飞需求制定的依据为飞行模拟机研制及鉴定相关的民航规章及规范性文件。以某型飞机的飞行模拟机数据包试飞为例,依据中国民用航空局发布的 CCAR-60《飞行模拟训练设备管理和运行规则》^[3]、AC-60-FS-2019-006《飞机飞行模拟机鉴定性能标准》^[13]等文件中对飞行模拟机的总体鉴定要求、一般要求、客观测试标准及主观测试标准等要求,确定了飞行模拟机数据包的研制要求及试飞数据要求等,并考虑不同的试飞目的制定了性能、操稳、发动机、APU、起落架/刹车、主飞行控制、高升力、自动飞行、声音、振动等专业共 150 个试飞科目,具体试飞科目的安排见表 1。

表 1 某型飞机飞行模拟机数据包试飞科目安排

| 序号 | 专业 | 试飞科目示例 | 试飞科目数量 |
|----|--------|---------------------------------|--------|
| 1 | 性能 | 正常爬升、巡航性能、正常下降 | 40 |
| 2 | 操稳 | 纵向静稳定性、横航向静稳定性、长周期动态特性 | 54 |
| 3 | 发动机 | 发动机空中研发试验、发动机加/减速(空中)、发动机研发地面试验 | 7 |
| 4 | APU | APU 研发空中试验、APU 研发地面试验 | 2 |
| 5 | 起落架/刹车 | 最小转弯半径、转弯率与前轮偏转角、前轮转弯系统研发试验 | 13 |
| 6 | 主飞行控制 | 俯仰操纵、滚转操纵、偏航操纵 | 7 |
| 7 | 高升力 | 襟翼操作时间(地面)、襟翼操作时间(空中) | 2 |
| 8 | 自动飞行 | 自动飞行研发试验 | 1 |
| 9 | 声音 | 发动机工作声音试验、稳态飞行声音试验、减速板展开声音试验 | 10 |
| 10 | 振动 | 高速振动、放出襟翼后的振动、放下起落架后的振动 | 14 |

2 分析要素

飞行模拟机数据包试飞包含若干个试飞科目,每个试飞科目均可以从构型要求、试验点条件、试飞方法、前置试验等四个方面进行描述,不同的试飞科目在这四个方面的具体要求会有所不同。同理,型号试飞的各个试飞科目也可以从这四个方面进行描述。因此,在进行飞行模拟机数据包试飞与型号试飞的优化结合分析时,可以提取飞行模拟机数据包试飞与型号试飞各试飞科目的构型要求、试验点条件、试飞方法、前置试验等作为具体特征。同时,为了能在飞行模拟机研制进度要求的时间前完成飞行模拟机数据包试飞,还需考虑型号构型到位计划、型号试飞规划、飞行模拟机的研制进度要求等时间相关要素。具体在进行飞行模拟机数据包试飞优化结合分析时,可以对比飞行模拟机数据包各试飞科目试飞要求和型号各试飞科目试飞要求,包括构型要求、试验点条件、试飞方法、前置试验等要素,并考虑型号构型到位计划、型号试飞规划、飞行模拟机的研制进度要求等要素。

2.1 型号构型到位计划

在型号试飞取证阶段,相关系统构型并未冻结,会随着试飞进行而升级版本。因此,在进行飞行模拟机试飞任务优化结合时,需了解型号相关系统在各版本下的功能,各版本之间的差异,以及各版本的交付及装机计划,以评估相关构型是否满足飞行模拟机数据包试飞需求。

2.2 型号试飞规划

进行新型号民用运输类飞机试飞时一般会投入 3 架~6 架试飞机^[4],且不同试飞机上的试飞任务的主题和方向会有所不同。因此,在进行飞行模拟机数据包试飞任务优化结合时,需考虑与型号试飞任务规划一致,尽量将相同专业/系统的试飞科目安排在一个试飞模块。

2.3 飞行模拟机研制进度要求

为保证飞行模拟机研制进度,飞行模拟机数据包相关试飞科目需在飞行模拟机研制进度要求的节点前完成。

2.4 科目构型要求

考虑相关科目的试飞目的、试飞动作及试飞参数需求,一般科目会对涉及到的相关飞机本体构型提出要求。如发动机相关科目会对发动机系统的机

载软件和硬件的版本提出要求。科目构型要求主要包括飞机构型要求和测试改装构型要求。对于操稳类科目,一般需获取侧滑角数据,需要飞机加装侧滑角传感器。相同类型科目的飞机构型及测试改装构型相近,因此,在进行飞行模拟机数据包试飞任务优化结合时,可考虑将相同类型的科目进行结合。

2.5 试验点条件

1) 重量重心

在试飞过程中,随着燃油的消耗,飞机的重量重心会发生变化。同时,如果试验机上加装了重心调配系统,也可以通过重心调配系统调节飞机重心。如果某个飞行模拟机数据包试飞的试验点和某个型号试飞科目的试验点的重量重心接近,或者存在一定差异,则可考虑通过试飞过程中的燃油消耗或者重心调配系统实现试验点的结合。

2) 飞机状态

试验点在飞行剖面中所处的位置很大程度上取决于试验点要求的高度、速度。如果某个飞行模拟机数据包试飞试验点和某个型号试飞试验点高度、速度不同,则可考虑在完成一个试验点后,调整高度、速度后方可进行下一个试验点。

3) 飞机形态

飞机形态是指起落架位置、飞控模式、襟缝翼卡位、发动机推力。如果某个飞行模拟机试飞试验点与型号试飞试验点形态要求不同,则可考虑在完成一个试验点并进行相应的起落架收放、襟缝翼收放等操作后方可进行下一个试验点。

2.6 试飞方法

试飞方法是指试飞机组所需采取的操作步骤。如果飞行模拟机数据包试飞的某个科目或者试验点与型号试飞的某个科目或者试验点的操作步骤相似,则可考虑进行结合。

2.7 前置试验

前置试验指某个试飞科目在实施之前需要提前完成的其他试飞科目或者地面试验,通常包括影响科目有效性或者科目安全性的试飞科目或者地面试验。

3 优化结合原则

3.1 试飞科目分析阶段

在试飞科目分析阶段,主要考虑飞行模拟机研制进度要求、型号试飞规划、飞行模拟机数据包试飞

科目和型号试飞科目类别等要素,将满足要求的飞行模拟机数据包试飞科目与型号试飞科目安排在一个试飞模块中。试飞科目分析阶段可遵循以下4个原则:

1) 进度优先原则:飞行模拟机数据包试飞科目所结合的型号试飞科目的计划执行时间需满足飞行模拟机的研制进度要求;

2) 科目类别相似原则:优先考虑将相似科目类别的试飞科目进行结合。例如,可以将飞行模拟机数据包试飞中发动机相关试飞科目与型号发动机试飞科目进行结合,将飞行模拟机数据包试飞中的侧风类试飞科目与型号侧风类试飞科目进行结合;

3) 前置试验满足原则:考虑将飞行模拟机数据包试飞科目与其前置试验计划完成时间后的试飞科目进行结合。例如,飞行模拟机数据包试飞要进行发动机空中起动机相关试飞,则需在型号发动机空中起动机试飞完成及确认发动机功能能够满足空中起动机要求后,方可进行飞行模拟机数据包试飞发动机空中起动机相关试飞科目;

4) 构型要求兼顾原则:飞机构型应同时满足飞行模拟机数据包试飞科目和型号试飞科目的构型要求。例如,某个飞行模拟机数据包试飞科目要求动力装置系统构型到位,某个型号试飞科目要求飞控系统构型到位,那么在考虑将两个试飞科目进行结合时,某型号试飞科目所在试飞机需满足飞控和动力装置两个系统同时到位的要求。

3.2 试验点分析阶段

在试飞科目分析阶段结束后,进入试验点分析阶段。在试验点分析阶段,主要考虑试验点的试验条件、试飞方法等分析要素。试验点分析阶段可遵循以下4个原则:

1) 试飞方法相似原则:优先将飞行模拟机数据包试飞试验点与其试飞方法相似的型号试飞试验点结合。例如,某飞行模拟机数据包试飞试验点需进行紧急下降,某型号试飞试验点也需进行紧急下降,则可考虑将两个试验点进行结合;

2) 质量特性相似原则:优先将飞行模拟机数据包试飞试验点与其质量特性相似的型号试飞试验点结合。质量特性即重量重心,如果某个飞行模拟机数据包试飞的试验点和某个型号试飞科目的试验点的重量重心相同,或者存在一定差异,且重量差异在飞机重量范围的 $\pm 10\%$ 以内,重心差异在飞机重心

范围的 $\pm 7\%$ 以内,则可认为存在质量特性相似;

3) 试飞状态相似原则:优先将飞行模拟机数据包试飞试验点与其试飞状态接近的型号试飞试验点结合。试飞状态即高度、速度,如果高度差异在 2 000 ft 以内,速度差异在初始配平速度的 $\pm 3\%$ 或者 ± 3 kn(取大者)以内,则可认为试飞状态相似;

4) 形态相同原则:将飞行模拟机数据包试飞试验点与其形态相同的型号试飞试验点结合。

4 优化结合方法及适用阶段

根据第 3 节中的优化结合原则,给出了以下 4 种优化结合方法:

1) 直接结合。在满足进度优先原则、科目类别相似原则、前置试验满足原则、构型要求兼顾原则等基础上,且某个飞行模拟机数据包试飞试验点与型号试飞试验点的试飞方法、质量特性、状态、形态均相同,仅执行 1 个试验点即可同时满足飞行模拟机数据包试飞与型号试飞的要求;

2) 试验点连续结合。在满足进度优先原则、科目类别相似原则、前置试验满足原则、构型要求兼顾原则等基础上,且某个飞行模拟机数据包试飞试验点与型号试飞试验点的试飞方法相同,质量特性相同,试飞状态相似,形态相同;

3) 形态变换结合。在满足进度优先原则、科目类别相似原则、前置试验满足原则、构型要求兼顾原则等基础上,且某个飞行模拟机数据包试飞试验点与型号试飞试验点的试飞方法相同,质量特性相同,试飞状态相同或者相似,形态不同;

4) 架次结合。在满足进度优先原则、科目类别相似原则、前置试验满足原则、构型要求兼顾原则等基础上,且某个飞行模拟机数据包试飞试验点与型号试飞试验点的试飞方法相似,质量特性相似,在均不满足直接结合、试验点连续结合、形态变换结合条件下,可考虑进行架次结合。即在进行试验点编排时,根据实际飞行剖面情况,将飞行模拟机数据包试飞的试验点结合在某个试飞架次中。

飞行模拟机数据包试飞可分为策划、准备、实施和收尾四个阶段。策划阶段主要是组建项目团队、明确试飞任务、形成项目试飞计划以及试飞任务规划;准备阶段主要是制定具体实施计划,落实技术文件及保障条件准备等;实施阶段主要是完成相关飞

行任务的实施及对试验点有效性和试飞结果进行确认;收尾阶段主要是完成试飞报告及相关经验总结报告。根据各阶段的任务可知,在飞行模拟机数据包试飞策划阶段,根据飞行模拟机研制及鉴定相关规章规范的要求确定飞行模拟机数据包试飞的试飞科目及试验点,根据优化结合方法初步制定各试验点的优化结合方案,在方案中明确飞行模拟机数据包试飞各试验点是与型号试飞的哪个试飞科目的哪个试验点结合,以及采用何种方式结合;在飞行模拟机数据包试飞准备阶段,可以根据优化结合方法进一步完善优化结合方案,并将优化结合方案内容落实到试飞任务单中;在飞行模拟机数据包试飞实施阶段,在根据试飞任务单实施试飞任务时,即对相关优化结合方法及优化结合方案进行了落实;在飞行模拟机数据包试飞收尾阶段,相关试飞任务已完成实施,无需再根据优化结合方法进行分析。因此,优化结合方法主要适用于飞行模拟机数据包试飞的策划阶段、准备阶段和实施阶段,不适用于收尾阶段。

5 基本路线

进行飞行模拟机数据包试飞优化结合分析的基本路线如图 1 所示。

6 案例

根据第 5 节中的基本路线,对某型飞机的飞行模拟机数据包试飞中 APU 研发空中试验试飞科目的优化结合进行了分析,说明如下:

1) 该试飞科目的进度要求、构型要求、科目类别与型号 APU 工作特性、APU 起动能力等 APU 相关试飞科目一致,因此,该科目可与型号 APU 工作特性、APU 起动能力等 APU 相关试飞科目结合;

2) 该试飞科目的 A 试验点要求进行 APU 空中起动,高度为低高度,速度为 270 kn,重量重心任意,襟/缝翼为光洁构型,其试飞方法、质量特性、状态、形态均与型号 APU 起动能力试飞科目的某试验点相同,即可以直接结合;

3) 该试飞科目的 B 试验点要求进行 APU 供电,高度为低高度,速度为 270 kn,重量重心任意,襟/缝翼为光洁构型,其试飞方法、质量特性、形态均与型号 APU 工作特性试飞科目的试验点相同,仅状态相

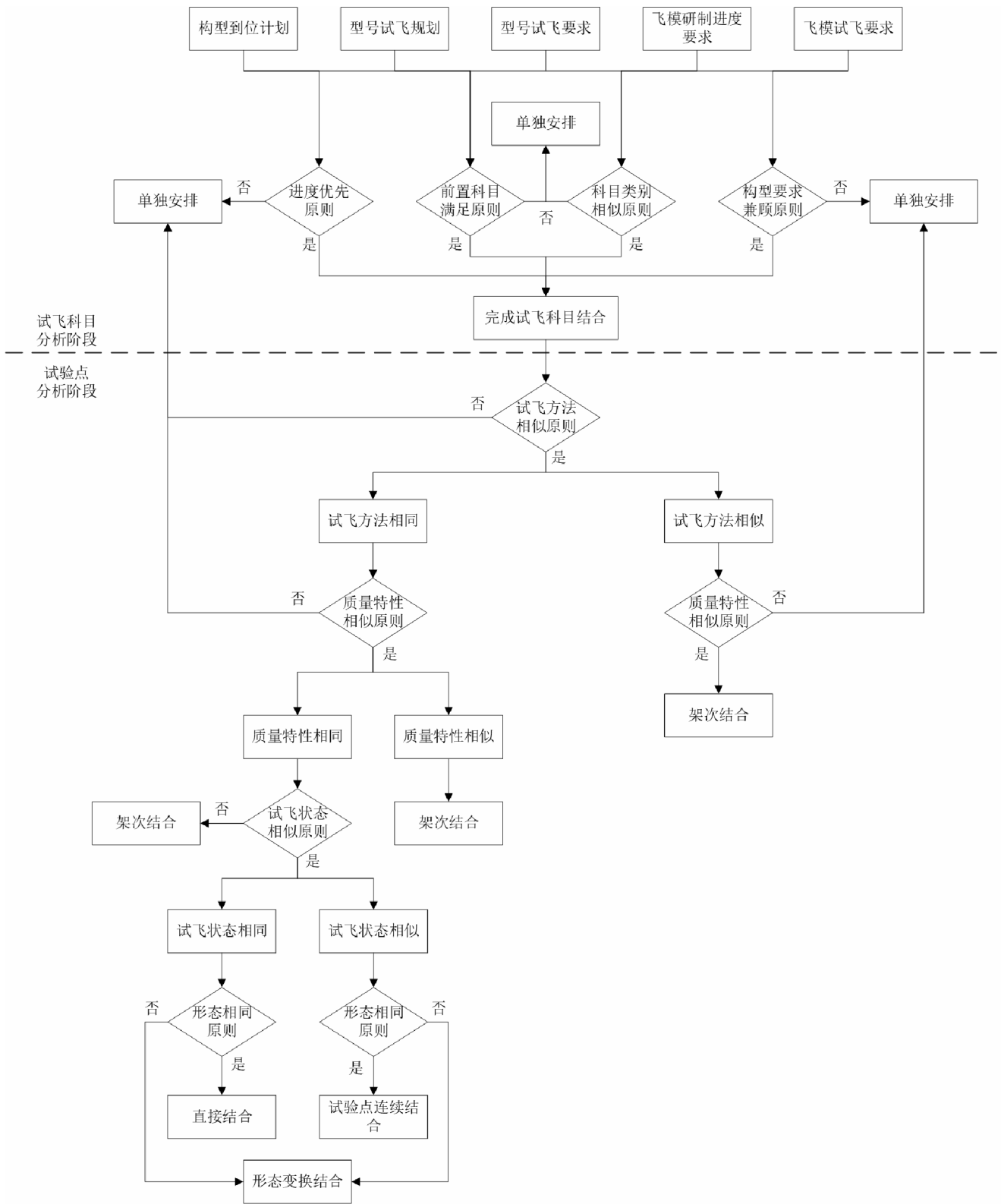


图1 飞行模拟机数据包试飞优化结合分析基本路线

似,即可以试验点连续结合;

4)该试飞科目的 C 试验点要求进行 APU 供气,高度为低高度,速度为 270 kn,重量重心任意,襟/缝翼为光洁构型,其试飞方法与型号 APU 相关试飞科目均不相似,需单独安排。

7 结论

本文给出了飞行模拟机数据包试飞优化结合分析工作的基本路线:

1)明确了飞行模拟机研制进度要求、型号试飞规划、型号构型到位计划,以及飞行模拟机数据包试飞和型号试飞各试飞科目的试飞要求等分析因素;

2)在试飞科目分析阶段提出了 4 种优化结合原则,包括进度优先原则、科目类别相似原则、前置试验满足原则、构型要求兼顾原则等,在试验点分析阶段提出了 4 种优化结合原则,包括试飞方法相似原则、质量特性相似原则、试飞状态相似原则、形态相同原则等;

3)最后总结出了直接结合、试验点连续结合、形态变换结合、架次结合等 4 种优化结合方法,并给出了优化结合方法适用在飞行模拟机数据包试飞中的适用阶段。

本文给出的优化结合分析方法已在实际型号飞行模拟机数据包试飞任务规划中得到应用。

参考文献:

- [1] 张进. 我国民用飞行模拟机现状概览[J]. 国际航空, 2009(12): 12-15.
- [2] 吴朝, 王震威, 李怡, 等. 民机飞行训练模拟机验证数据包设计[J]. 飞行力学, 2017, 35(6): 84-87.

- [3] 中国民用航空局. 飞行模拟训练设备管理和运行规则: CCAR-60-R1 [S]. 北京: 中国民用航空局, 2019.
- [4] 刘旭华, 关爱锐, 张强. 飞机飞行模拟机鉴定性能标准分析[J]. 航空科学技术, 2011(5): 39-40.
- [5] 周自全. 飞行试验工程[M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.
- [6] 曲桂金. 从飞机总体角度规划试飞工作[J]. 飞机设计, 2005(1): 67-70.
- [7] 辛晓文, 杨龙, 王小峰, 等. 飞行试验计划管理系统初探[J]. 飞行试验, 2000, 16(2): 45-48.
- [8] 冯士德, 张媛. 民机试飞规划与管理数据库设计研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2014 (4): 87-90.
- [9] 刘为民, 王文婕, 罗冬毅. 民用飞机试飞规划与管理软件架构研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2014 (4): 54-57.
- [10] 袁冲, 修忠信, 田海玲, 等. 民用飞机试飞规划与管理技术研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2014 (3): 1-4;52.
- [11] International Air Transport Association. Flight simulation training device design & performance data requirements [M]. 7th Edition. Montreal: International Air Transport Association, 2009: 1-5.
- [12] 李怡, 薛婧. 浅谈模拟机数据包总体设计和数据组织[J]. 飞行员(飞行模拟机专刊), 2013: 123-126.
- [13] 中国民用航空局飞行标准司. 飞机飞行模拟机鉴定性能标准: AC-60-FS-2019-006[S]. 北京: 中国民用航空局飞行标准司, 2019.

作者简介

郭之鑫 女, 硕士, 工程师. 主要研究方向: 飞行模拟机数据包试飞. E-mail: guozhixin@comac.cc

Research on flight test task optimization and combination method of civil aircraft flight simulator data package

GUO Zhixin *

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 201323, China)

Abstract: Flight simulator data package flight test is used to obtain flight test data required for development and qualification of flight simulator, involving multiple flight test subjects. In order to improve the efficiency of flight test and reduce the cost of flight test, the optimization and combination method of flight simulator data package flight test and type flight test were studied. By analyzing requirements of the flight simulator development progress,

type flight test plan, type configuration in-place plan, and flight test requirements and other elements of each flight test subject of flight simulator data package flight test and type flight test, different optimization and combination principles were proposed in the flight test subject analysis stage and flight test point analysis stage, including flight test method similarity principle, subject category similarity principle, and the principle of pretest meeting and the principle of considering configuration requirements. Four optimization and combination methods were given, which were namely direct combination, continuous combination of flight test points, configuration change combination and sortie combination. The flight test phase of flight simulator data package which was suitable for the optimized combination methods were given. The optimization and combination method presented in this paper has been applied in the flight test plan of the actual type flight simulator data package, which can reduce the quantity of flight test missions.

Keywords: flight simulator; data package; flight test plan; flight test optimization; optimization and combination

* Corresponding author. E-mail: guozhixin@comac.cc