

基于 FTCS 软件的民用飞机 试飞任务优化研究

Civil Aircraft Flight Test Optimization Based on FTCS Software

张大伟 马菲 / Zhang Dawei Ma Fei
(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)
(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

民用飞机试飞任务优化对提高试飞任务执行效率、缩短试飞取证周期具有重要意义。基于民用飞机试飞规划与管理软件, 对人机交互任务单编制、单个任务单优化以及多个任务单优化进行了研究, 探索出一条民机试飞任务优化的有效方法。结果表明, FTCS 软件可极大降低试飞工程师的工作量, 并提高试飞任务单的编制质量。

关键词: 试飞任务单; 任务优化; 飞行试验; 民用飞机

中图分类号: V217

文献标识码: A

[Abstract] Civil aircraft flight test optimization is crucial to improve flight test efficiency and shorten flight test period. Man-machine conversation flight test card compilation, single test card automatic optimization and multiple test cards automatic optimization was studied based on flight test control system (FTCS) software. An effective means of flight test optimization on civil aircraft was explored. The results show that the workload on flight test is reduced considerably and the quality of the test cards is improved by using FTCS.

[Key words] flight test card; optimization; flight test; civil aircraft

0 引言

适航规章对民用飞机安全性提出了明确的要求, 作为验证条款符合性最直接、最有效的方法, 飞行试验是一项投资大、风险高、周期长的系统工程。如何优化试飞任务, 缩短试飞周期是所有飞行试验从业者需要重点考虑的难题。国际成熟民机企业凭借多年的型号试飞工作积累, 已摸索和积累出一套行之有效的试飞规划与管理方法, 并将其编制成计算机软件用以指导实际飞行试验。我国民机试飞起步较晚, 相关的民机试飞规划管理技术研究很少, 试飞任务的生成和优化基本以手动为主, 严重制约民机试飞的高效开展。

从 2011 年底开始, 研究团队开发了一套具有自主知识产权的民用飞机试飞规划与管理软

件 (Flight Test Control System, 简称 FTCS), 填补了我国长期以来的空白。本文基于 FTCS 软件, 从人机交互试飞任务单编制、单个任务单优化和多个任务单优化等三个方面, 对民用飞机试飞任务优化进行研究, 希望可以提高试飞任务单的编制效率和编制质量。

1 FTCS 软件介绍

FTCS 软件主要面向试飞工程师和飞行试验管理者, 旨在降低试飞工程师的日常工作量, 提高试飞工程师的工作效率; 同时为飞行试验管理者提供数据依据, 提高规划管理的科学性。FTCS 软件的主要功能包括: 试飞需求定义、试飞任务单编制、试飞任务单自动优化、飞行计划编制、计划延迟预警、试飞结果后处理以及试飞技术文件自动编制等。FTCS 软件界面如图 1 所示。

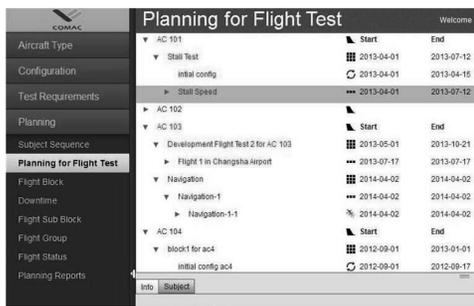


图1 FTCS 软件界面示意图

2 人机交互试飞任务单编制

试飞任务单是整个飞行试验实施的核心文件,试飞机组严格按照试飞任务单执行飞行任务,保障人员依据试飞任务的具体要求和风险等级开展地面保障。传统的试飞任务单采用纯人工的方法编制,需要花费试飞工程师大量的精力和时间。人工编制的试飞任务单,其质量在很大程度上依赖于试飞工程师的个人能力和工作经验,无法做到统一。

2.1 FTCS 软件相关功能介绍

FTCS 软件通过预先建立标准化的试验点数据库,实现了试飞任务单中绝大部分信息的自动化输出。试飞任务单编制过程中,只需要完成试飞任务属性、试飞机组、起降场和配重方案等基本信息的输入,然后通过简单的拖拽功能,就可以方便地实现试飞任务单的自动生成,如图2所示。

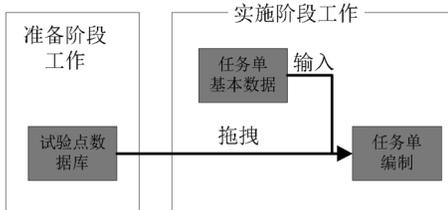


图2 FTCS 软件界面示意图

2.2 人机交互试飞任务单编制

以典型民机的失速速度试飞为例进行人机交互试飞任务单的编制研究。人机交互试飞任务单编制的前提是建立标准化的试验点数据库,将试验点的高度、速度、重量、重心、襟缝翼形态、起落架形态、发动机状态、气象条件、跑道要求、构型要求、测试改装要求及试飞程序(试飞方法)等输入 FTCS 软件,软件服务器自动建立标准化的试验点数据。这部分工作是人机交互试飞任务单编制的准备工作,主要在型号试飞正式开始之前(准备阶段)完成。

通过 FTCS 软件的试飞任务单功能新建一个试飞任务单,按照提示输入任务单编号、试验属性等

基本信息,由于是失速速度试飞,在配重方案里选择大重量前重心。完成这些基本信息输入工作之后,开始将试验点拖入试飞任务单,FTCS 软件创造性地设计了诸多便捷和人性化的功能,能用于提高试飞工程师的工作效率和任务单的编制质量,包括:

(1) 试验点拖拽功能。这是人机交互试飞任务单生成的核心功能,鼠标左键点住试验点,将试验点拖拽至下方的任务单试验点显示区域,试验点就可以自动进入任务单,传统试飞任务单编制的绝大多数工作就算完成。在这里,将 F0 卡位的 12 个失速速度试验点全部拖拽至试验点选择区域,这样 12 个失速速度试验点就自动进入了该任务单。

(2) 飞行剖面自动生成功能。根据试验点数据库中的试验程序,FTCS 可以自动计算出任务单的飞行剖面。根据自动生成的剖面,试飞工程师可以直观地看出试验任务点的高度和速度等编排是否合理,方便地对试验点的编排顺序进行调整。由 12 个失速试验点组成的试飞任务单剖面如图3所示。

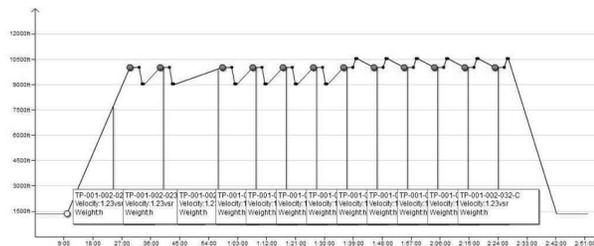


图3 失速试飞飞行剖面示例

(3) 自动检查功能。主要检查飞机的构型、测试参数和改装项是否满足试验点的要求,确保飞机状态满足试验任务的要求。例如,失速速度试飞需要飞机安装失速改出伞,如果未安装失速改出伞,则自动检查功能会给出提示信息,提示改装项无法满足试验要求。

(4) 试验点组合功能。通过试验点组合功能可以方便地将多个试验点组合在一起。在任务单编制阶段,拖拽任何一个被组合的试验点,FTCS 软件都会提示该试验点存在被组合的试验点,提醒试飞工程师是否需要将被结合的试验点同时拖拽进任务单。试飞工程师可以选择接受同时拖拽,也可以选择拒绝。例如,将发动机进气畸变里大迎角的试验点和失速速度试验点结合,拖拽失速速度试验点,系统会提示这是一个组合的试验点,并提示试飞工程师接受或者拒绝同时拖拽。这种设计在提高试飞任务结合完成可能性的同时,使得试验点结合可以方便、快捷的实现,同时又给试飞工程师保

留了足够的灵活性。

(5) 试验点状态自动管理。对于已经被编入任务的试验点, 试验点图标会由方框变为黄色的“飞机”, 提示试飞工程师该试验点已经被编排到了任务单里。此外, 对于已经执行但试验点有效性尚未评估的试验点, 飞机显示为蓝色, 已经执行并且评估结果为有效的试验点, 飞机显示为绿色, 已经执行并且评估结果为失败的试验点, 飞机显示为红色。因此, 试飞工程师能直观地了解各个试验点的实际状态。

2.3 人机交互试飞任务单编制功能小结

从整个试飞任务单编制过程可以看出, 以试验点拖拽为核心的人机交互试飞任务单编制可以大大提高试飞工程师编制试飞任务单的效率, 同时提高试飞任务单的编制质量。

3 单个任务单自动优化

FTCS 软件内置单个任务单自动优化引擎, 自动优化引擎通过自动优化试验点的顺序, 提高试验点的执行效率, 缩短试飞任务单的执行时间。

3.1 FTCS 软件相关功能介绍

FTCS 软件单个任务单优化主要考虑试验点执行时间、两个试验点之间的高度改变时间、两个试验点之间的速度改变时间以及构型改变时间。自动优化引擎通过重新组合试验点之间的顺序, 尽量减少试验点之间的高度改变时间、速度改变时间以及构型改变时间, 从而缩短试飞任务单的执行时间。自动优化引擎内置燃油计算模块和重心计算模块, 燃油计算模块计算飞机的实施燃油消耗, 以确定试飞的实时重量, 同时通过飞机燃油重心随燃油量的变化关系计算飞机的实时重心。自动优化引擎除了计算任务单的执行时间以外, 还对比飞机的实际重量、实际重心是否满足试验点的要求, 从而确保飞机的重量重心满足试验点要求。

单任务单优化引擎尽量将所有的试验点安排在一个任务单当中, 如果优化引擎发现部分试验点无法放置到任务单当中, 优化引擎会给出提示信息。这种情况一般发生于试验点设置过多或者试验点重量重心无法满足(例如大重量的试验点放在在小重量的任务单里)。理论上来说, 对于有 n 个试验点的任务单, 所有可行的试验点编排顺序为 n 的阶乘, 对于 30 个试验点的任务单, 理论可行的试验点编排顺序为 10^{32} , 这样的计算量是不可能完成

的任务。为了减小计算量, FTCS 采用了电子游戏软件中常用的“A 星算法”, 以降低计算成本。

3.2 单个任务单自动优化研究

本节以典型民机自动飞行系统试飞为例, 对 FTCS 软件单个任务单自动优化功能进行研究。首先使用人机交互试飞任务单编制功能编制两份分别包含 7 个自动飞行系统试验点和 8 个自动飞行系统试验点的试飞任务单。这些试验点既有小重量试验点, 也有对重量无要求的试验点, 既有大高度的试验点, 也有小高度的试验点。FTCS 软件自动生成的试飞任务单剖面如图 4、图 5 所示, 从图 4、图 5 可以看出, 这两个任务单所需飞行小时分别为 3 小时和 3.5 小时。

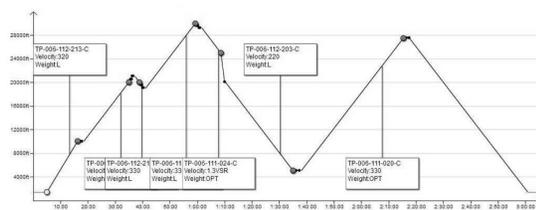


图 4 自动飞行任务单飞行剖面之一(优化前)

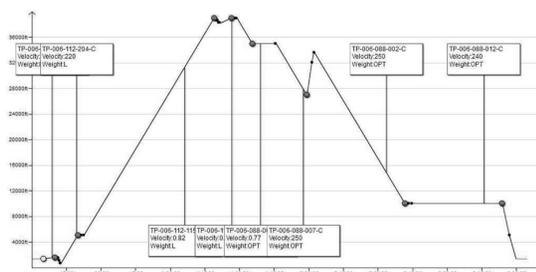


图 5 自动飞行任务单飞行剖面之二(优化前)

进入试飞任务单编辑页面, 点击优化, 启动 FTCS 软件单个任务单优化引擎, 优化后的试飞任务单剖面如图 6、图 7 所示。从图中可以看出, 优化后的任务单执行时间分别为 1 小时和 2 小时, 任务单自动优化大大降低了试飞任务单的执行时间。对比优化前后的飞行剖面以及试验点分布情况可以发现, 优化后的试飞任务单显著降低了飞机爬升和下降时间, 同时还缩短了试验点之间的加速减速时间以及构型调整时间。

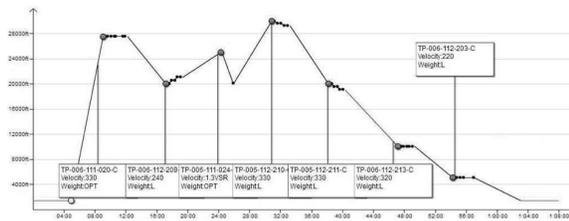


图 6 自动飞行任务单飞行剖面之一(优化后)

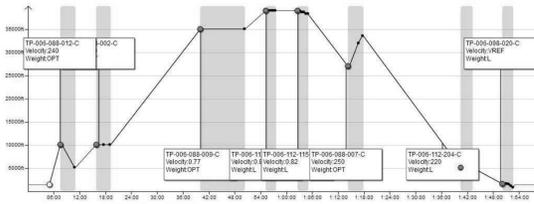


图7 自动飞行任务单飞行剖面之二(优化后)

3.3 单个任务单自动优化研究小结

从上文研究结果可以看出,单个任务单自动优化功能可以对试飞任务单进行有效地优化,大大减少了试飞任务单的执行时间。此外,FTCS 软件赋予了试飞工程师足够的灵活性,试飞工程师可以对优化后的试飞任务进行进一步调整。

4 多个任务单自动优化

4.1 FTCS 软件相关功能介绍

多个任务单自动优化考虑的时间约束项与单个任务单优化相当。假设一组任务单总共有 30 个试验点,由于在多任务单优化时,这些任务单既可能编排进一个任务单,也可能编排进多个任务单,因此,理论可行的排列组合次数为 $30! \times 2^{30} = 10^{41}$,该计算量是相同数量试验点单个任务单自动优化的十亿倍,现有的计算机计算能力和“ A 星算法”已经无法解决这样的任务。

为了解决该问题,FTCS 使用了遗传算法。遗传算法的最大特点为全局择优,避免了传统算法在解决复杂问题时容易陷入局部择优的误区,在大样本择优方面具有显著的优势。采用遗传算法可以得到一个可行的方案,并且最终得到的方案会优于原始方案,但遗传算法无法保证找到最优的解决方案。换言之,遗传算法只能找出一个更优的方案,而不是最优的方案。采用遗传算法没有固定的优化时间,理论上,计算的时间越长,得到的方案也就越接近于最优解。

4.2 多个任务单自动优化研究

在 3.2 节的基础上,本节使用多任务单优化引气对这两个任务单进行优化。多个任务单优化功能耗时较长,因此 FTCS 软件使用了异步设计,使得服务器在优化任务单的同时,用户还可以在前台进行其他操作。启动多任务单优化引擎,让后台服务器对试飞任务单进行优化。在对比了耗时约 40min,对比了 999 000 个解决方案之后,多个任务单优化引擎将上述两个任务单优化为一个包含 13 个试验点和 2 个试验点的试飞任务单,包含 13 个试

验点的试飞任务单飞行剖面如图 8 所示。从图中可以看出,该任务单飞行时间约 2 小时。

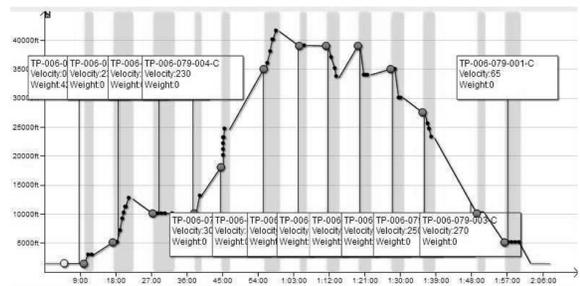


图8 自动飞行任务单飞行剖面(多任务单优化结果)

从优化结果可以看出,多个任务单优化功能将尽可能多的试验点安排到了一个架次,并且飞行时间小于两个单独任务单飞行时间的总和(优化前 3 个小时,优化后 2 个小时)。虽然还有 2 个试验点未安排到该架次当中,但这两个试验可以很方便的与其他试验点一起安排到架次完成。

从上文可以看出,多个任务单自动优化功能可以实现多个试飞任务单的自动优化,进一步提高试飞任务执行的效率。

5 结论

通过上文研究发现,FTCS 软件的主要作用有:

- (1)在很大程度上降低试飞工程师的工作量;
- (2)有效提高试飞任务单的编制质量,提高试飞任务执行的效率。

此外,通过研究还发现,依次使用人机交互试飞任务单编制、单个任务单优化、多个试飞任务单优化是解决试飞任务优化的有效方法,可以在人工花费很少的同时尽可能地提高试飞任务执行的效率。

参考文献:

- [1] 周自全. 飞行试验工程[M]. 第 1 版. 北京:航空工业出版社,2012:5.
- [2] 李乃成,梅立泉. 数值分析[M]. 第 1 版. 北京:科学出版社. 2011:78.
- [3] 封建湖,车刚明,聂玉峰. 数值分析原理[M]. 第 1 版. 北京:科学出版社,2012,131.
- [4] Li, Y.. Genetic Algorithm automated approach to the design of sliding mode control systems[J]. Int J Control, 1996.
- [5] Goh, C. and Li, Y.. GA automated design and synthesis of analog circuits with practical constraints [J]. Evolutionary Computation, 2001.