

机组资源管理在试飞中的应用

王海刚* 吴鑫 罗海麟

(中国商飞民用飞机试飞中心,上海 201323)

摘要: 试飞相比一般航线飞行要面对更复杂的飞机构型状态、更加严苛的飞行环境、超常规的飞行包线和飞行动作等,同时也具有特定的资源条件,在试飞中应用机组资源管理方法,对保障试飞安全和提高试飞效率都有重要意义。通过对比航线飞行和试飞活动,从人的资源、机上资源、程序资源、监控资源和保障资源等五个方面分析试飞资源特点,从情景意识、沟通和决策等方面分析试飞中的机组资源管理要素,研究在试飞中应用机组资源管理方法。以颤振和发动机操纵特性试飞科目为例,说明如何在试飞实施中考虑人员配置、监控条件、机组分工、通信标准等 CRM 要素,实际试飞经验表明机组管理方法可有效促进机组沟通协作,有助于优化试飞资源配置,降低试飞成本和风险。

关键词: 机组资源管理;试飞;民用飞机;安全性

中图分类号: F562.1

文献标识码: A



0 引言

机组资源管理(crew resource management,简称 CRM)比较广泛地应用于航线运行,是指利用一切可利用的资源,保证飞行安全^[1]。飞行试验(简称试飞)是指通过飞行的方式,获取飞机在真实使用环境下的功能或性能数据的一种科学试验^[2]。通过试飞,验证飞机是否达到预期的设计目标、是否满足适航规章的要求,为取得型号合格证提供依据。试飞机组在整个试飞活动中起到关键作用,需要参与试飞各个阶段的工作,涉及试飞规划、风险评估、培训训练、试飞实施、数据分析和试飞报告等方面。CRM 的基本原理和理念,对试飞无疑都是适用的。试飞与航线飞行在飞机状态、飞行内容、风险以及可用的资源都存在一定差别,本文从试飞机组的视角分析试飞特点,总结型号实践经验,研究如何在试飞的环境中应用 CRM 原理,以保证试飞安全、提高试飞效率。

1 试飞特点分析

1.1 试飞与航线飞行对比

航线飞行的目的是运送旅客及货物,飞行风险较低,而试飞的目的是通过获取数据修正模型/调参,验证各系统之间匹配性和飞机特性并表明飞机设计满足适航条款的要求,风险较高,表 1 详细对比了航线飞行和试飞的差异。试飞相比于航线飞行更加复杂、风险更高的主要原因之一是试飞科目繁多,而且每一个试飞科目又有其各自的特点,在试飞条件、飞机构型要求、飞行动作等方面都存在差异。试飞要验证飞机在极端严苛条件下的性能,这些条件在航线运营中出现的可能性极小,但是试飞却要主动去寻找,比如高温、高寒、大侧风等气象条件。

CRM 原理强调,机组要有效利用所有可用资源来识别、应对风险,纠正差错,发现和处置非预期飞机状态。作为执行试飞任务的试飞机组,需要面对

* 通信作者. E-mail: wanghaigang1@comac.cc

引用格式: 王海刚,吴鑫,罗海麟. 机组资源管理在试飞中的应用[J]. 民用飞机设计与研究,2023(3):112-116. WANG H G, WU X, LUO H L. Application of crew resource management in flight test[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023 (3):112-116(in Chinese).

众多复杂的科目和风险,而无论何种科目,CRM都是能有效降低风险的方法之一。在试飞中更有效地应用CRM,对提高试飞安全和试飞效率都有重要意义^[3]。

表1 航线飞行与试飞对比

对比项目	航线飞行	飞行试验
飞行目的	运送旅客和货物	获取数据
飞行风险	低	高
机组成员	飞行员、乘务员等	试飞员、试飞工程师、测试工程师等
飞行方法	简单,自动飞行为主/ 在运行包线内飞行	复杂,人工驾驶为主/ 超出正常运行包线
飞机状态	构型完整,状态稳定	功能不完整、构型不全
测试设备	无特殊设备	机载传感器、测试系统、拖锥、DGPS等; 空中应急设备、失速改出伞等应急设备
监控指挥	运行监控、空管、机场	实时任务指挥;空管、机场支持
地面设备	地面维护工具设备	维护工具设备、遥测监控、地面测试设备
飞行空域	固定航线	专门划设空域

1.2 试飞资源分析

综上,试飞相比于航线飞行,有其独特资源条件,这些资源条件也是应对试飞风险的有效措施。以下从人的资源、机上资源、程序资源、监控资源和保障资源等五个方面进行分析。

在人员方面,试飞团队由经过专业培训的技术人员组成,包括试飞员、试飞工程师、测试工程师、指挥员、地面监控人员、民航管制人员、支持保障人员等。负责执行飞行任务的试飞机组,一般包括试飞员、试飞工程师和测试工程师等,其中试飞员负责飞行操纵,试飞工程师负责机上指挥任务实施和试飞数据监控/确认,测试工程师负责特殊测试设备的操作。试飞机组的资质要求较高,一般都需在经认可的试飞培训机构参加专业、系统的试飞培训,取得试飞资质。

机上资源方面,试飞机的构型通常是逐步完善的过程,比如一定阶段可能不具备气象雷达、飞行

管理系统等,在自动飞行不具备时全程需要手动飞行。而另一方面,试飞机上通常配置有大量的测试设备和专用应急设备等,可以增强试飞机组情景意识、确保飞行安全。机上测试设备一般包括各类传感器、重心调整系统、拖锥系统、数据采集与传输、科目专用设备。试飞机上一般具有监控系统,如驾驶舱综合显示器,通常安装在驾驶舱前风挡中部,用于显示重要参数(过载、迎角等)。客舱一般配备试飞工程师监控台,可以监控更多参数,用于飞机安全监控及试飞数据有效性的判断。此外,试飞机还安装空中应急离机系统,用于发生意外飞机无法挽回情况下,保证机组逃生和安全。

程序资源包括相关的手册、标准和管理规定等,试飞除了通常的飞行手册,还有包括试飞任务单、风险评估单、应急预案、试飞机特殊操作程序及限制文件等特有的程序资源。试飞任务单,是执行试飞任务的作业性文件,以试验点为单位,组织试验实施,其规定了试验的顺序、条件、方法、操作要求等。每个科目还需编制风险评估单进行风险评估,其中明确科目风险等级、风险源及相关降低措施和应急程序。风险评估单通常要求试验按照循序渐进原则开展,逐步逼近试飞包线边界,同时规定为降低风险所采取的的必要措施,如飞机构型、重量要求、机组准备、地面监控要求等,还包括出现应急情况的处置程序。

试飞一般有三类指挥监控资源,第一类是指挥大厅/监控大厅,一般作为试飞任务的主指挥;第二类是民航指挥支持,一般是负责进出试飞空域及民航机场运行指挥;第三类为可移动遥测车或方舱指挥,一般在滑行、地面类试验以及外场条件受限时采用。其中,第一类和第三类为试飞所特有,指挥大厅或指挥车通常配置有各个专业监控席位,以实时监控飞机状态参数并在出现异常情况时向指挥员汇报进行处置,由指挥员负责与试飞机通信。

保障资源方面,试飞通常要在专属的试飞空域中进行,与其他飞机保持足够间隔。试飞也配备专门气象人员和设备,一方面进行危险气象的预报和规避,另一方面预测捕捉试飞科目所需特殊气象条件。机场应急保障方面,一般按照试飞风险等级,与民航保障等级对应进行保障。比如高风险试飞,通常参考民航一类保障,相关救援、消防保障在试

飞过程中按要求待命。

2 试飞中 CRM 要素分析

试飞机组面临众多复杂试飞科目挑战,不同试飞科目,有不同的要求,需要不同专业知识和经验,以及不同的飞行组织模式及保障要求。特殊外场试飞科目,对环境和试验条件有非常严苛的要求,如高寒、高原、溅水、大侧风等,外场相比试飞基地在资源配置方面也面临挑战,如监控资源、技术支持人员/设备等条件,需要从机组资源管理角度分析规划如何配置和合理使用试飞资源,在保证安全前提下更好权衡效率和成本。

根据机组资源管理的原理,人的错误是普遍存在和不可避免的,CRM 就可以看成是一个对抗人的错误的工具^[4]。CRM 强调机组之间的通信、任务分配、相互监督,并强化协同分工和集体决策的重要性,即作为一个团队工作时,获得 1+1>2 的效果。通常试飞机组需要关注任务协同、机组搭配、工作负荷、机组决策和交流等方面^[5]。传统 CRM 原理可以归纳为,CRM 能使团队有效沟通,建立准确的情景意识,做出正确决策^[6]。文献[6]将其总结称为 CRM 三角形(如图 1 所示),有效沟通对建立团队情景意识很有必要,正确的决策是建立在有效沟通和团队情景意识基础上的。

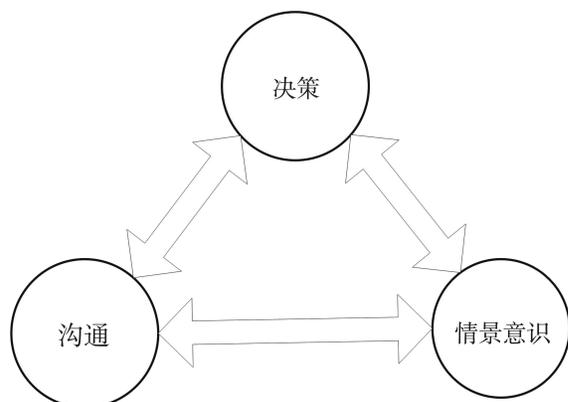


图 1 CRM 三角形

试飞是一个快速变化的动态过程,情景意识尤为重要。由于部分参数飞行员不可见,试飞工程师监控或地面监控是保持情景意识的重要措施。个人的情景意识是建立在个人感官、知识经验和所接收信息的基础之上的,团队的情景意识建立则在于有效沟通,只有团队有效沟通,才能提高集体情景意识。试飞监控大厅人员及其可用遥测设备/数

据,机上试飞机组各个成员和机上测试设备等,均可以有效增强情景意识,例如监控发现参数临界或超限时,可及时提醒机组。

试飞中采用标准通话是提高沟通效果的重要措施,试飞通信要求正确、精确、完整和简明,以达到安全、可靠和高效的沟通效果,通话根据意图可以分为三种,即指令、信息和请求^[7],如表 2 所示。一般在试飞任务协同或飞行前讲评时会强调并统一标准通话,通过标准通话建立准确指令和信息沟通方式,提高试飞效率,避免试飞过程中误解。

表 2 通话类型

类型	意图	示例
指令	告诉对方执行	“继续执行试验”
信息	描述情况	“状态正常”
请求	请求并且等待回复	“请求执行 T1 试验点”

决策建立在准确的信息和团队情景意识基础之上,因此决策必须清楚沟通。试飞中,很多决策点通常是提前计划好,甚至写进试飞任务单。试飞手册、程序等,也为机组决策提供重要依据和参考,如果一切顺利,按计划实施,决策也简单。但是,试飞环境或飞机响应往往与预期存在偏离,面对充满不确定性的试飞情景,试飞机组做好 CRM 将有助于正确的决策。

3 应用案例

3.1 颤振试飞

颤振试飞通过激励飞机振动、测量响应,以扩展飞机速度包线,验证飞机颤振稳定裕度是否满足适航要求,属于典型高风险试飞科目。民机颤振试飞的试飞机组通常配置 5 人,包括驾驶舱 3 人,客舱 2 人。其中左座试飞员负责扫频前后的飞机状态控制,右座试飞员负责激励状态设置、与地面和客舱工程师通信。观察员负责飞机状态监控。客舱监控台一名试飞工程师负责关键振动数据监控、与驾驶舱通信及任务指挥;另一名试飞工程师负责各系统状态、振动数据监控及记录、辅助进行关键振动数据监控。

有效沟通在 CRM 中至关重要。试飞状态时刻变化,地面指挥和机组的沟通、机上机组成员之间的沟通配合至关重要,这也被实际试飞案例所证明^[8]。在颤振试飞中,规范通话用语,无论对正常

执行试验任务还是应急处置都非常有益,典型的通话用语定义如下^[9]:

- 1) 正常:可继续下个扫频或状态点。
- 2) 待命:保持当前状态稳定平飞,等待下一步指令。
- 3) 中止:参数超限,中止激励,等待下一步指令。
- 4) 停止—停止—停止:异常情况,立即停止激励,并控制飞机减速至上个已知安全速度,等待下一步指令。

试飞中提高沟通效果的重要方法是采用标准

用语,不同的科目,需要根据具体情况约定相应的标准用语,并在试飞任务协同时进行明确和重点讲评。

3.2 发动机工作特性试飞

发动机工作特性试飞的目的是验证CCAR25.939,以确认在飞机和发动机使用限制范围内的正常和应急使用期间,不会出现达到危险程度的不利特性(如失速、喘振或熄火)以及在正常运行期间,涡轮增压发动机进气系统不得由于气流畸变的影响而引起有害于发动机的振动^[10]。图2为快速加减速及遭遇加速试验点的试飞动作要求示例。

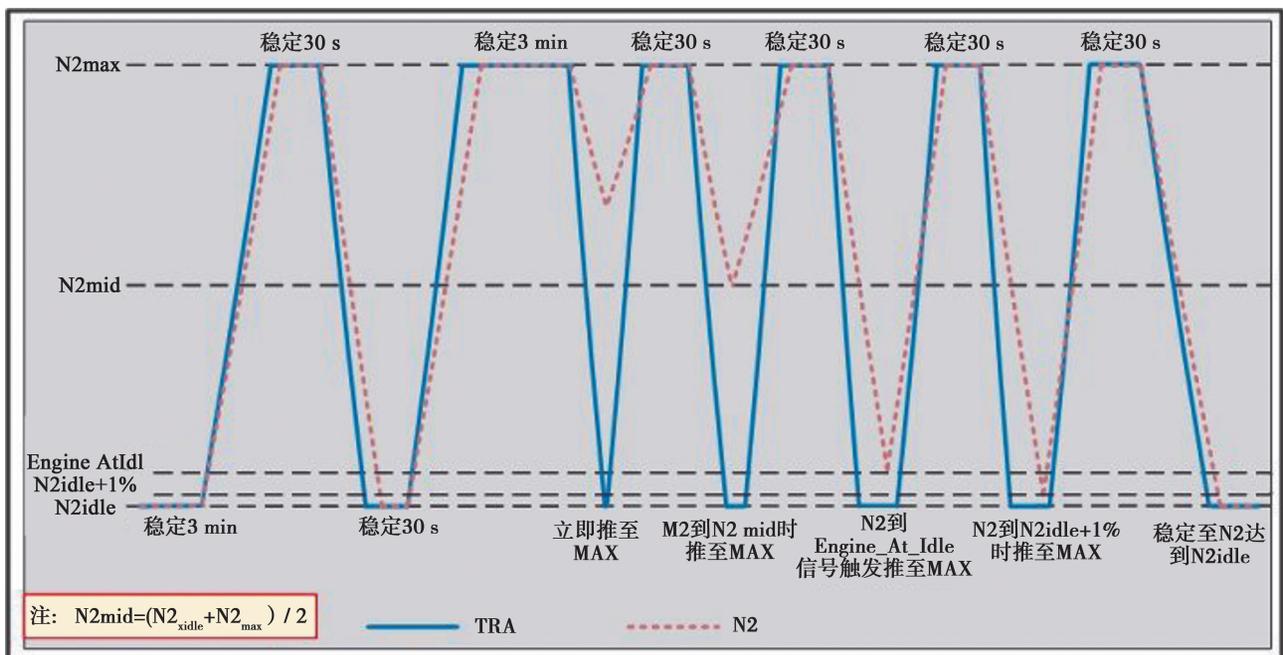


图2 发动机工作特性试飞动作要求

科目试飞过程中,飞机发动机状态快速动态变化、动作有严格时间要求、动作目标需要根据前一步数据计算确定,机组配合对确保试验成功至关重要,总结出如下的机组分配及口令,确保了试验高效顺利开展。

试验发动机侧飞行员:根据主责试飞工程师“推”、“拉”口令,操作试验发动机油门杆快速移动。

非试验发动机侧飞行员:通过操作侧杆及非试验发动机保持飞机高度/速度。

观察员:负责空地通信,并通过驾驶舱加装综合显示器监控飞机迎角、过载等参数。

主责试飞工程师:1) 发动机稳定计时期间,向非试验发动机侧飞行员简述下一步操作程序,使飞

行员提前预期飞机姿态改变趋势;2) 发动机稳定计时结束后,给试验发动机侧飞行员发出“推”、“拉”油门杆指令。

非主责试飞工程师:1) 计算下一步目标参数;2) 监控飞机迎角、过载等参数,若飞机接近失速迎角时,实时报告飞机迎角值。

4 结论

本文对比航线飞行和试飞活动,分析了试飞独有资源特点以及如何更有效地使用这些资源,以典型试飞科目实践经验为例,说明实际试飞科目中如何考虑和实施CRM要素。在试飞实施过程中,正确应用CRM原理,考虑试飞科目的特点,合理配置和

使用试飞资源,对保障试飞安全,提高试飞效率都有重要意义。此外,还需关注试飞机组 CRM 培训,根据试飞科目特点定制 CRM 培训,能使试飞机组更有效地使用试飞资源,从而有效降低试飞实施风险。未来在总结试飞实践经验基础上,研究开发专门针对试飞机组的 CRM 培训,将更加有利于试飞机组 CRM 能力的提高。

参考文献:

- [1] DRISKELL J E, ADAMS R J. Crew resource management: An introductory handbook [M]. Washington D. C. : FAA, 1992.
- [2] WARD D T, STRGANAC T W, NIEWOHHNER R. Introduction to flight test engineering [M]. Dubuque: Kendall Publishing Company, 1998: 1-2.
- [3] HUETE R J, NANCY J J. Test and evaluation crew resource management [C] // 7th Biennial Flight Test Conference, June 20-23, 1994, Hilton Head, SC, U. S. A. Washington D. C. : [s. n.], 1994: 416-430.
- [4] 陈鉴. H 飞行学院驾驶舱资源管理应用研究—以飞行训练和检查为例 [D]. 长春: 吉林大学, 2013: 16.
- [5] 郭勇冠, 王鹤. 机组资源管理与试飞安全 [J]. 中国科技纵横, 2015 (8) : 235.
- [6] TOMASSETTI A. Crew resource management and flight test team [C] // SETP Symposium. [S. l. : s. n.], 2005.
- [7] COOK N L. A proposal for a flight test brevity standard [C] // SFTE Symposium. [S. l. : s. n.], 2014.
- [8] SMITH W, SCHNOOR M M, WOJTANOWSKI J, et al. C-5M elevated risk flight test CRM lessons learned [C] // SETP Flight Test Safety Workshop. [S. l. : s. n.], 2007.
- [9] 王海刚, 张绍云. 民用电传飞机颤振/ASE 试飞风险控制技术 [J], 航空工程进展, 2022, 13 (1) : 101-106.
- [10] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准: CCAR-25-R3 [S]. 北京: 中国民用航空局, 2001.

作者简介

- 王海刚 男, 硕士, 试飞工程师。主要研究方向: 试飞工程。E-mail: wanghaigang1@comac. cc
- 吴鑫 男, 硕士, 试飞员。主要研究方向: 试飞工程。E-mail: wuxin@comac. cc
- 罗海麟 男, 本科, 试飞工程师。主要研究方向: 试飞工程。E-mail: luohailin@comac. cc

Application of crew resource management in flight test

WANG Haigang* WU Xin LUO Hailin

(Flight Test Center of COMAC, Shanghai 201323, China)

Abstract: Compared with general airliner operation, flight test has to face complex aircraft configuration, more critical flight condition, unusual flight envelop and maneuver, meanwhile specific test resources are available. The application of crew resource management (CRM) methods in flight test is helpful for both test safety and efficiency. This article compares the airliner operation and test flight activities, analyzes the characteristics of test flight resources from human resource, on-board equipment, procedure, telemetry and ground support resources. We analyzed CRM elements in test flights from the perspectives of situational awareness, communication, and decision-making, and studied the application of CRM methods in test flights. Taking the flight test subjects of flutter and engine control characteristics as an example, this paper explains how to apply CRM elements such as personnel configuration, telemetry, crew coordination and communication protocol in flight test implementation. The actual flight test experience shows that CRM can effectively enhance crew communication and collaboration, help optimize flight test resource allocation and reduce flight test risk and cost.

Keywords: crew resource management (CRM); flight test; civil aircraft; safety

* Corresponding author. E-mail: wanghaigang1@comac. cc