

飞行试验项目课题试验分解结构探讨

Discussion on the Subject Test Breakdown Structure of Flight Test Project

刘纳 田煜 舒成辉 杨亚慧 李志蕊 / 中国飞行试验研究院

摘要:为进一步细化飞行试验课题设计和项目管理,提出了基于WBS理念的课题试验分解结构的概念,探讨了试验分解结构的原则、方法和试验点的概念,为飞行试验项目课题设计的规范化、数字化提供参考。

关键词: 飞行试验; 工作分解结构; 试验分解结构; 试验点

Keywords: flight test; WBS; test breakdown structure; test point

0 引言

飞行试验是航空武器装备研制周期中十分重要的环节,占航空武器装备研制周期的1/2。现代高性能航空器各系统的高度综合和各专业的相互交

又,使飞行试验的规模和复杂度明显增加。当前,我国航空武器装备研制既面临跨越发展的机遇,又面临新型航空武器装备飞行试验任务日趋繁重的挑战。

1 试验点的概念及作用

传统的飞行试验项目进度的测量停留在原有的试飞架次的完成率上,包含了一些检飞、排故验证、驾驶技术训练,甚至因气象原因、故障原因

3 国内民机燃油系统标准化发展思路

根据国内燃油系统标准化存在的问题,应及时转变思路,建立、建设国内民机及系统的标准化体系,努力缩短与国际先进民机在技术水平上的差距,为研制更可靠、重量更轻、更经济的民机多做技术储备,通过制定相应的规范和标准,避免重复研制,缩短产品研制周期,提高研制效率。国内民机燃油系统的标准化建设主要可以从两方面入手。

1) 建立标准体系

应充分研究、借鉴欧美国家在民用飞机燃油系统标准体系上的成功经验,针对国内燃油标准体系存在的空白,尽快研究制定相关标准,建立、健全国内民机燃油系统标准体系。

2) 贯彻标准化

应深刻认识标准化的重要性,加强

普及标准化的设计思想。贯彻执行标准化,实现民机燃油系统及部件设计标准化。在民机燃油系统研制过程中,根据飞机需求,按照燃油系统标准要求设计系统及部件,包括零部件、元器件、产品接口的选用,应采用标准化的产品设计,减少产品设计的不确定性,使将来的设计更加有据可循。

4 结束语

综上所述,建立国内燃油系统标准体系是一项紧迫而艰巨的任务,需要成立由燃油专家和标准化专家组成的专项标准化小组,从整个航空工业的高度对燃油标准体系做出宏观统筹规划,完善我国燃油系统标准体系;并制定相应的标准化管理制度,不断强化设计团队的标准化意识,保障这些标准的贯彻和实施。

参考文献

- [1] Boeing. B737 maintenance manual [Z].
- [2] Airbus. A340 maintenance manual [Z].
- [3] Airbus. A380 maintenance manual [Z].
- [4] Langton R, Clark C, Hewitt M, Richards L. Aircraft fuel system[M]. first edition. John Wiley & Sons, Ltd., 2009.
- [5] SAE AIR 1408 Aerospace fuel system specifications and standards [S]. 1998.
- [6] MIL-F-38363B Fuel system, aircraft [S].
- [7] MIL-F-8615D Fuel system, components [S].

作者简介

王小平,工程师,主要从事航空燃油系统及附件的设计工作。

等导致的无效架次，不能真实反映飞行试验的进展情况。而处在人工操作阶段的试飞任务单设计，主要是通过试飞员的飞行动作来完成，从中获取所需的采样点。飞行试验的课题完成情况主要以试飞架次数据为主，不易量化描述。试飞内容的安排主要按大纲的要求给每个课题分配相应的试飞架次，再把课题的试验内容分解到每个试飞任务单中。

相比之下，采用试验点比试飞架次的测量更为合理和精确。

1) 概念

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。一个试验点至少包含一个动作才能完成，每一个试验点所需动作的难易程度不同，时间长短不同。

一般情况下，一个试验点可以获取一组试验数据。按照有关国军标要求，一些考核内容需要一定的试验数据样本量，例如，为达到置信概率90%、置信区间10%的数据统计要求，雷达探测距离在85%的累计检测概率下需要31组样本量，这个试验点就要反复执行31次。对一个典型的飞机型号试飞大纲首先进行试验点识别和转化，一般可以识别出20000~40000个试验点，完成这些试验点一般需要2000到5000个飞行小时；再将试验点按照限制条件分配给对应的试验机动作，即可形成一个型号飞机试飞的试验计划矩阵；最后把可以通过一个飞行架次完成的一组试验机动作规划到一个飞行计划即试飞任务单中^[1]。每个试飞任务单获取的试飞数据可以对应到具体的试验点。

2) 作用

航空器研制的现状要求飞行试验借助信息技术来改造和加快飞行试验技术的发展。

美国NASA早在20世纪80年代就开始借助先进的信息技术为航空器的试验飞行服务，研制了一套飞行试验管理自动化系统(ATMS)。通过该系统可以实现飞行试验的有效控制，大大提高了飞行试验的效率，有效缩短了飞行试验周期。

我国目前还没有专门用于试飞任务设计的专用系统，试飞计划效率较低，缺乏各专业综合试飞的手段，因此，研制试飞任务辅助设计系统十分必要。该系统的研制面临的关键技术之一就是飞行试验的试验点分解和标准化，包括定义、描述、存储和检索等问题。飞行试验的试验点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。

通过试验点的完成情况测量试飞的进展情况，对飞行试验进展的测量科学化和精细化显得非常迫切和重要。然而这一改不仅需要管理创新，还需要解决技术层面的两个难题：一是试验点如何分类和识别；二是试验点如何定义。这两个问题的解决首先需要研究飞行试验项目课题试验分解结构。

2 课题试验分解结构的原则和方法

工作分解结构(Work Breakdown Structure, WBS)是项目管理的一个关键工具，它是把项目最终交付成果细分成更小、更容易管理的规模，直到可交付成果能被足够

详细的定义，以支持项目的管理方法，即把复杂的项目工作分解成简单易管的工作包的方法，这一工具被称为项目管理的基石。基于WBS的理念，可以把一个试飞课题分解到具体的试验点，从而形成该课题的试验分解结构(Test Breakdown Structure, TBS)，即课题级“工作分解”。TBS应包括课题、科目、子科目、试验点和试验点要素等层次(图1)，它是飞行试验项目WBS的延伸和细化^[2]。设计这样一个合理的试验分解结构必须首先制定其分解原则和方法，即规范化的定义和分解方法，才能有利于其在飞行试验设计中的应用。

2.1 课题试验分解结构对应工作流程的改进

通过对飞行试验大纲设计流程和课题试验分解结构的分析，涉及TBS工作一般由课题组在课题试飞方案设计完成后开始，在试飞大纲设计完成之前完成，形成的课题试验分解结构由型号项目办公室综合成为试飞大纲的技术支撑。因此原有试飞大纲设计流程图应相应改进，改进前后的流程图见图2。

2.2 课题试验分解的依据和输入

根据目前试飞大纲设计的实际情况，可以把课题试验分解的依据分为以下三类：第一类是技术要求输入依

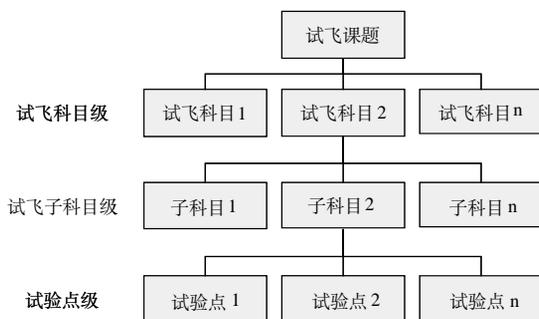


图1 课题试验分解结构图

据,一般由航空器用户提供的航空装备研制项目的研制总要求和航空器研制机构提供的试飞要求;第二类是标准要求输入依据,指航空器试飞必须执行的国军标和国家标准;第三类是技术方法支撑依据,指试飞机构自身多年研究、验证并总结提炼形成的试飞指南。上述三类输入依据是识别试验点的基础,最终得到试验点还需要试验分解的原则(图3)。

2.3 课题试验分解的原则

1) 自上而下逐层分解原则

自上而下逐层分解原则是WBS分解原则之一^[3],用于课题试验分解

结构,即将飞行试验课题按照一定原则和规定逐层分解,先把课题分解到科目级(必要时可以把课题先分解到子课题级,再把子课题分解到科目级),再把科目分解到易于实现和管理的试验点级(必要时可以把科目先分解到子科目级,再把子科目分解到试验点级),依次形成的分解结构即课题试验分解结构。TBS是系统化、相互关联和协调的层次分解,结构层次越往下层,则试验组成部分的定义越详细,TBS最后构成层次清晰、可以具体作为组织试验实施的工作依据。

2) 百分之百分解原则

百分之百分解原则也是WBS分解原则之一,用于课题试验分解结构即对一个试飞课题按一定的分解标准穷举出所有的试验点,确保一个TBS元素的下一层分解(子层)的工作总和必须百分之百地等于上一层(父层)元素的工作内容,也就是确保分解到的试验点既不多于课题试验的要求,也不少于课题试验的要求。

3) 相对独立原则

WBS要求项目按照内在的工作性质或内在的结构进行逐层分解,将整个项目划分成相对独立、内容单一和易于管理的工作单元,最终形成一个项目的WBS,从而有助于找出项目工作范围内的所有任务。

基于WBS相对独立原则形成的课题TBS,可将整个试验联系起来,把课题细化为易操作、元素相对独立,无交叉重叠并具有一定结构关系的试验分解结构。

4) 编码唯一原则

在开发TBS时,通过给各种分解元素进行

编码,能够显著地改善TBS在各种相关应用中的功能。编码可以采用多种方法,但是保持一致性很重要,因此要确保TBS的有效利用,还应开发一个相应的编码规则,以便TBS在整个试飞项目管理系统中的应用。

5) 根据专业领域特点具体制定分解原则

飞行试验项目现有课题设置可以分为三大专业领域,即飞机平台、动力装置和航电火控系统,根据这三大类课题的专业特点,不易统一到一个原则,建议按此三类课题制定具体的分解原则。

3 应用举例

基于本文提出的试验课题分解原则,以飞机平台和航电火控系统专业的一个典型课题分解为例,验证分解原则的应用。

3.1 一个飞机平台专业课题的分解

某型机结构完整性试飞中的载荷强度试飞课题分解结构如表1所示。分解的第二层是子课题,以飞机部件的不同结合试验方式来进行分解,包括机体结构强度试飞、起落架载荷强度试飞等。第三层是科目级,以飞机机动载荷方式进行分类,分为对称机动飞行和非对称机动飞行。第四层是

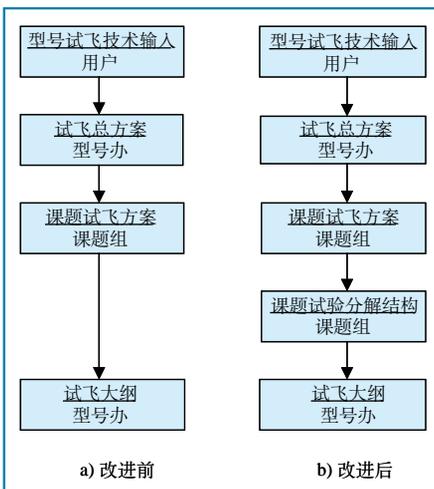


图2 改进前后的试飞大纲设计流程图

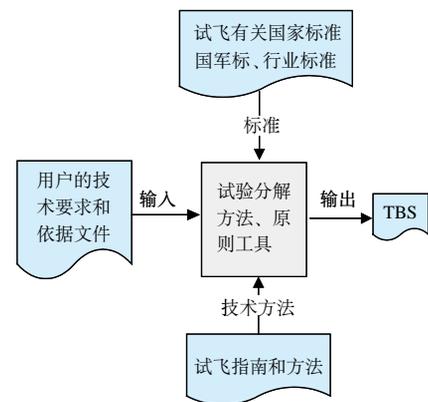


图3 课题试验分解的输入和输出框图

表1 飞机载荷强度试飞课题试验分解结构

编号	课题试验分解元素
1	☐ 飞机经载荷强度试飞
2	☐ 1.1 机体结构载荷强度试飞
3	☐ 1.1.1 对称结构载荷试飞
4	☐ 1.1.1.1 常规对称机动载荷试飞
5	1.1.1.1.1 载荷试验点1
6	1.1.1.1.2 载荷试验点2
7	☑ 1.1.1.2 急剧对称机动载荷试飞
10	☑ 1.1.2 非对称结构载荷试飞
15	☑ 1.2 起落架结构载荷强度试飞
36	1.3 结构温度测量验证试飞

表2 针对不同试验要求的载荷试验点定义

具体试验要求 试验点	试验海拔 高度(m)	试验速 度(Ma)	飞机余 油(kg)	过载 (n_z)
载荷试验点1	6000	0.8	5500	4.1
载荷试验点2	6000	0.8	5300	4.1

子科目级,以飞机机动操纵的形式进行分解,分为常规操纵和急剧操纵。第五层是试验点级,一般是在要求的试验高度、试验速度和飞机重量条件下,达到一定的过载指标而进行相应机动的试验点,可以把这些试验点定义为载荷试验点1、载荷试验点2等,如表2所示。

3.2 一个航电火控系统专业课题的分解

某型飞机机载火控雷达试飞课题

表3 机载火控雷达试飞课题试验分解结构

编号	课题试验分解元素
1	1 □ 机载火控雷达试飞
2	1.1 ⊕ 装机环境适应性检查
6	1.2 □ 雷达拦截子模式
7	1.2.1 ⊕ 边搜索边测距
9	1.2.2 ⊕ 边跟踪边测距
15	1.2.3 ⊕ 跟踪加搜索
21	1.2.4 ⊕ 单目标跟踪
26	1.2.5 ⊕ 空情探索
32	1.2.6 □ 多目标跟踪
33	1.2.6.1 跟踪距离
34	1.2.6.2 测距精度
35	1.2.6.3 测速精度
36	1.2.6.4 测角精度1
37	1.2.6.5 测角精度2
38	1.2.6.6 测角精度3
39	1.2.6.7 测角精度4
40	1.2.6.8 测角精度5
41	1.2.6.9 测角精度6
42	1.3 ⊕ 雷达格斗子模式
51	1.4 ⊕ 对海子模式
68	1.5 ⊕ 对地子模式
93	1.6 ⊕ 辅助导航子模式
101	1.7 ⊕ 抗干扰子模式

表4 针对不同试验要求的测角精度试验点定义

角度范围 目标数	0°~10°	10°~45°	45°~60°
	1~2目标	测角精度1	测角精度2
大于2个目标	测角精度4	测角精度5	测角精度6

分解结构如表3所示。分解的第二层是科目级,以雷达的工作模式分解,如雷达空空拦截子模式、雷达空空格斗子模式、雷达空海子

模式、雷达空地子模式、雷达抗干扰子模式和辅助导航子模式等。第三层是子科目级,以雷达各工作模式下的功能分解,如雷达空空拦截子模式下的边搜索边测距、边跟踪边测距、跟踪加搜索、单目标跟踪、空情探索和多目标跟踪等功能。第四层是试验点级,以雷达各功能的检查点分解,对于某些检查点要求在不同的试验条件下检查时,可将此试验点分解到具体试验条件下的几个试验点,不必再往下一层分解,可以将这些试验点定义为测角精度1、测角精度2等,如表4所示。

3.3 课题试验分解规范化建议

为了便于课题试验分解结构的规范应用,建议通过如下五个步骤对其应用进行规范化。第一步:提出试验点的定义、顶层分解原则和方法,由三大专业领域制定具体的分解原则和方法,各专业再自行分解制定各专业的通用试验点;第二步:通过对各专业识别出的通用试验点的评估,再对顶层和具体的分解原则和方法进行完善和规范,进而完善各专业的通用试验点内容;第三步:制定通用试验点分解标准,建立飞行试验各专业通用试验点数据库;第四步:每个试飞项目的课题运用这个通用试验点数据库和相应项目的输入要求即可生成相应课题的TBS,对于一些特殊的试验点可以参照此数据库设计,每个课题结束时都应该完善一份本课题的TBS,由专门的组织汇总更新通用试验点数

数据库;第五步:由标准化部门提出一般要求、通用要求,进一步把课题试验分解结构和试验点应用上升为试飞机构的标准。

4 结束语

课题试验分解结构的推广应用的两大优点:一是促进飞行试验项目管理的规范化、精细化,TBS的应用有利于飞行试验项目进度测量方法的优化和改进,有利于试飞项目进度考核和项目管理,提高进度考核的“分辨率”,为飞行试验项目管理信息系统中的进度管理提供基础支撑;二是促进飞行试验技术进步,TBS的应用进而促进飞行试验的通用试验点数据库的建立,有利于试飞设计和课题试验管理的规范化、精细化,有利于试飞设计数字化的推进和应用。

AST

参考文献

- [1] Lampe T, Bergwall L, Hewett M, Tartt D. Test plan to kung an automated flight test planning environment applied to the JAS-39 Gripen flight test program[J]. Society of Flight Test Engineers, 1992-8.
- [2] 刘纳, 毕爱军, 赵国清. 基于项目组合管理的飞行试验项目三级分解架构探讨[J]. 项目管理技术, 2012(2):92-95.
- [3] 项目管理协会. 工作分解结构(WBS)实施标准[M]. 第2版. 强茂山, 陈平, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008.

作者简介

刘纳, 工程硕士, 高工, 主要从事飞行试验项目管理工作。