

国外民用飞机的 飞行试验

蒋佩瑛 编



航空工业出版社

前 言

飞行试验事业的历史已有 85 年了，在这段时间里，随着航空事业和电子技术日新月异的发展，飞行试验在试飞方法、试飞技术、测试设备以及地面设施方面都有了巨大的变化。飞行试验本身也已从早期的令人生畏的“危险工作”发展成一门高度严密的学科。

由于飞行试验涉及的范围非常广泛，可以说，在航空领域，没有比飞机试验更必不可少和更复杂的工作了。任何航空工程的成功，飞行试验必然是其基本部分之一。为此，特编写《国外民用飞机的飞行试验》一书。其内容全面而广泛，不仅包括民机飞行试验实施要素，美国民机合格审定的申请、审批和管理程序，国外民机的适航性条例等，而且将美国和欧洲的几种主要民机的发展试飞和合格审定试飞加以综述，最后，总结出民机试飞的特点、列出民机试飞特征数据统计表，并提出未来民机试飞工作的重点及建议，以供航空航天部机关业务部门和从事民用飞机设计、生产、试飞、计划管理以及飞行力学和飞行品质研究工作的同志们参考。本书由周思礼同志进行了审校。

目 录

一、国外民用飞机飞行试验实施要素·····	(1)
二、美国民用飞机合格审定的申请、审批和管理程序·····	(5)
三、国外民用飞机的适航性条例·····	(13)
四、飞行试验费用·····	(17)
五、波音 727 飞机飞行试验综述·····	(20)
六、波音 747 飞机飞行试验综述·····	(30)
七、波音 767 飞机飞行试验综述·····	(41)
八、DC-10 飞机飞行试验综述·····	(51)
九、F.28 基本型飞机合格审定试飞·····	(69)
十、A300B “空中客车”的飞行试验·····	(90)
十一、“协和”(Concord)号飞机的飞行试验·····	(101)
十二、民用飞机飞行试验的特点及国外九种民机的试飞特征数据统计表·····	(114)
十三、未来民用飞机飞行试验的发展重点·····	(123)
十四、建议·····	(127)
参考文献·····	(129)

一、国外民用飞机飞行试验实施要素

从民用飞机的“三证”（即型号合格证、生产许可证、适航证）管理过程可知，飞机的飞行试验阶段是民用飞机进行合格审定的核心，也是颁发型号合格证及适航证的必要条件。因此，飞行试验的成败与否，决定着新机的命运，进行任何航空工程，都必须抓好飞行试验这一重要环节。

纵观民用飞机飞行试验的历史，可以总结出如下的经验。在确保飞行安全的前提下，必须认真抓好下列五个关键问题。

1. 确定试验方法

通常，确定新机试验方法时要考虑下列各个因素：

- ① 飞机和系统的设计及结构检查；
- ② 详细系统的规范试验要求、适航性当局和用户对系统的规范试验要求以及估计的研制计划范围；
- ③ 为满足上述规范要求，对系统的研制、试验和验证建立试验程序；
- ④ 规定试验设备、使用仪器、有关设施以及适航性当局的合作要求；
- ⑤ 建立必要的组织程序。

2. 制订总的飞行试验计划

制订飞行试验计划时，要考虑到飞机制造公司的生产能力以及一些详细的试验计划要求，包括设计飞行速度、试验

方法和影响计划实施的因素等，并逐项列出各试验科目。试飞计划的安排要使工厂发展试飞的主要部分在适航性当局合格审定试飞前完成，以避免增加昂贵的生产型飞机修改费用。然后，再根据飞行试验方法，估计每个项目鉴定和验证所需的飞行试验小时数。国外的飞行试验经验表明，飞机的任何正常研制情况，都可能出现意外的问题，因此，在试飞计划中必须增添附加的飞行试验小时数。不过，在实施飞行试验的过程中，还可以通过在每架试验机内使用大量测试仪器，进行多科目组合试验或平行试验，同时测取多种参数、减少起飞、爬升、下降和着陆的时间等来节省总的飞行试验时间。据国外统计，对于通常需 3 小时的试飞科目，如果采用组合试验或平行试验，就可节约 16% 的飞行时间。

3. 确定最佳试验机数目

如何选择试验机的最佳数目，也是飞机研制阶段的一个重要问题。飞机成本分析表明，与试飞计划相对应的最少试验机数可使飞机的直接试验成本最低。例如，美国麦·道公司在制定 DC-10 飞机的试飞计划时，进行了详细的分析计算，绘制出估计的成本增加费用与试验机数之间的关系曲线（见图 1）。

图 1 中，认为飞机的飞行速度和试验时间不变。其成本的增加，包括使用仪器的成本、试验飞机的修改、修改期间职工的工资及实验室的支持费用等。图中上面一条曲线表示每架飞机分阶段修改的成本计划，另一条曲线表示飞机无修改的成本计划。由图可见，选择 5 架试验机则为最佳机数，此时，不但成本增加的费用最低，而且是满足试飞计划所需的最低飞机数。

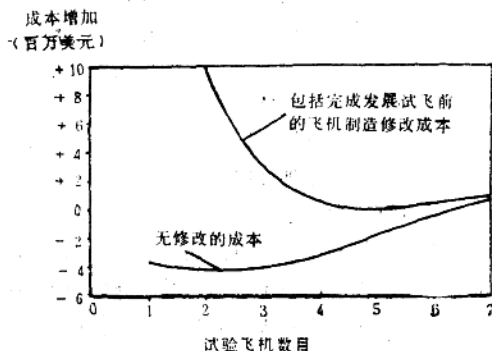


图 1 飞机成本的增加与试验机数目的关系曲线

4. 制订每架试验机的试飞计划

最佳试验机数目确定后，就可根据总的试飞计划订出每架试验机的试验计划。订此计划时必须考虑下列因素：

- ① 试验机的利用率；
- ② 试验机飞行次数；
- ③ 各科目试飞小时的要求；
- ④ 各试验科目使用测试仪器的要求；
- ⑤ 用于平行试验的适应性；
- ⑥ 预测可能出现的研制问题；
- ⑦ 按时间分阶段发展，改进生产型飞机；
- ⑧ 适航性当局进行型号合格审定的日期；
- ⑨ 用户的训练要求；
- ⑩ 生产型飞机的交付计划。

5. 适航性条例的影响

由于目前的和下一代飞机的尺寸及复杂性不断增加，为了与之相适应，民用飞机型号合格审定的有关适航性条例也在不断修改。一个典型的例子是，美国已用联邦航空条例第 25 部代替民用航空条例第 4b 部。虽然这些文件在范围上没有很大的变化，但 FAR-25 对许多方面，包括飞行试验方面的条例要求提出了更加专门化的说明。

任何民用飞机的设计必定有其独特的特征，但是，预定供这种飞机型号用的基本条例可能还没有包括能适用于该机的专门试验要求。因此，为了确保与基本条例中提出的条款有等效的安全级，可另外提出一系列专门条件，以包括对这些具有独特设计特征的飞机进行飞行试验验证要求。

此外，对规定的条例或验证符合性的方法所作的解释应及时介绍这些条例或方法在用于特定飞机型号时的有争议的范围。为了更清楚地规定这些范围，FAA 定期颁发咨询通告，它既用来阐明特定条例的意图，也用来提供验证符合性的替代试验方法。但是，所有这些规章性文件之间的相互关系，不像在表面上出现的那样精确。因为，每一种飞机都有它自己的特点，而且没有一种事先制订的条例或组合条例能预测用于未来飞机研制中的各项标准。

在实施一项有效的飞行试验计划时，关键要求之一是对可用于那种特定飞机的所有条例进行充分理解和掌握。因为，用于飞行试验计划阶段的这种知识，不仅对全面而系统地完成飞行试验任务作出有效的贡献，而且将避免重复试验的巨额费用和时间上的浪费。

二、美国民用飞机合格审定的 申请、审批和管理程序

任何一种新型民用飞机，要想投入市场，必须先取得型号合格证、生产许可证以及适航证。可以说，获取上述“三证”的过程，就是民机合格审定的主要过程。当然，如何进行合格审定，是有严格规定的。例如，美国联邦航空局在1964年10月14日通过并于1965年2月1日生效的FAR-21（美国联邦航空条例第21部）《产品和零件的合格审定程序》，就是专门叙述对产品及其零部件和成品进行合格审定以及颁发“三证”（包括由它们派生的几种辅助性证件）的程序要求。这些要求自发布之日起，经过了多次修订，到1982年2月8日止，已发布过56次修正案。

为了清楚地了解合格审定的程序，先把FAR-21的内容简要介绍一下。

FAR-21共包括15个分部153条款。这15个分部按照英文字母的顺序从A到O排列，其标题如下：

- A 分部：总则
- B 分部：型号合格证
- C 分部：临时型号合格证
- D 分部：型号合格证的更改
- E 分部：补充型号合格证
- F 分部：仅依据型号合格证的生产

G 分部：生产许可证

H 分部：适航证

I 分部：临时适航证

J 分部：委托代表权程序

K 分部：材料、零件、工艺和设备的批准

L 分部：出口适航批准书

M 分部：委任改装站授权程序

N 分部：进口发动机、螺旋桨、材料、零件和设备的批准

O 分部：技术标准规定核准书

由上述内容可知，FAR-21 主要阐述三大类证件的颁发，以及对证件持有人进行管理的程序性要求。

图 2 示出了三大类证件及其派生的辅助性证件。下面，分别对三类证件的获取过程加以介绍。

型号合格证

对于一种新型民机来说，第一步是申请型号合格证，只有取得型号合格证后才能投产。型号合格证是对航空器设计进行安全审查后给予认可批准的一个证件。它是新研制飞机的各种证件中最为重要的一个证件，也是给新机颁发适航证的一个先决条件。

通常，公司在开展正式设计前就必须向适航性当局（如美国的联邦航空局、英国的民用航空适航局、法国国民航总局、加拿大运输部等）提出型号合格证的申请。在取得适航性当局（FAA）同意后才能开始正式设计。从申请到取得型号合格证的过程就是型号合格审定的过程。

以美国为例，FAA在接到申请后，就针对该型号组织一个型号合格审定委员会（TCB）。通常TCB由FAA飞机合格

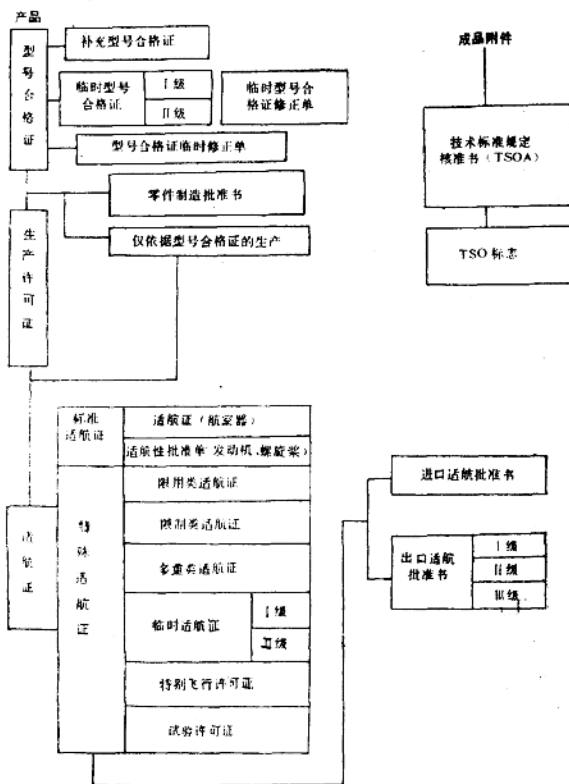


图 2 三大类证件及其派生的证件型号合格证

审定中心及其地方机构飞机合格审定办公室的各方面专家、飞行标准部门的航运公司检查员、维修专家和驾驶考核员等组成，包括了设计、生产、使用和维修四方面的专家和驾驶员。

进行合格审定的基准就是设计的依据，它包括三个方面：

① 申请方提出的联邦航空条例 FAR 的部别，通常以提出申请之日的现行适航性条例为准，最后由 FAA 确定。

② FAA 制定的“专用条件”。由 FAA 针对该型号的设计特点，对于在 FAR 中没有包括的内容规定了一些专门的要求。

③ 豁免条款。对于某些不能遵守 FAR 条文的项目，由申请方提出要申请豁免的条款。

在合格审定过程中，除了召开各种大大小小的 TCB 会议外，还有专业审查会（即专家会议）、技术资料审查等，并采用委任工程代表制。

工厂试飞不需 FAA 批准，但 FAA 的试飞员为了熟悉情况可参与飞行。通过工厂试飞，待飞机基本性能、操纵特性、包线扩展、边界情况和系统检查等均满足要求，试飞中发现的问题均已排除后，工厂向 FAA 申请合格审定试飞。“合格审定试飞大纲”基本上是按 FAR 要求的试飞验证项目。

FAA 型号合格审定过程见图 3。

一种新机型号如果获得了适航性当局颁发的型号合格证，就表示该型民机符合法定的适航条例（如美国的联邦航空局颁发的固定翼飞机和旋翼机适航性条例：FAR-23 部、

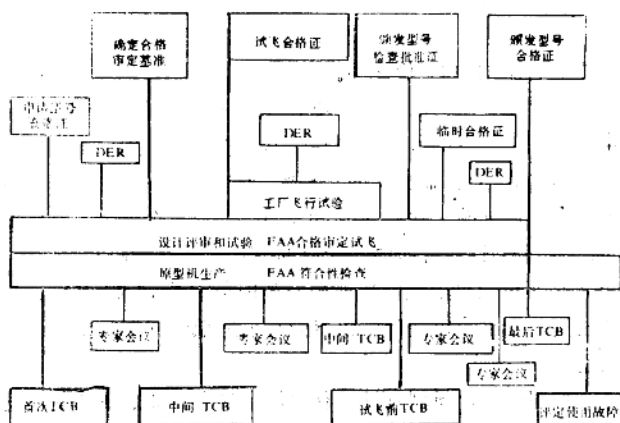


图 3 FAA型号合格审定过程

25 部、27 部和 29 部等)的要求,在设计上满足了最低安全标准,具备了保证安全航行的最低适航性。一般说来,获取型号合格证的过程是长而繁杂的。其审核内容包括所有的飞机图纸、技术条件、试验结果和性能,此外,还要审查飞行试验计划的制订与执行情况。从设计和试验准则的审查开始,到合格审定试飞结束为止,其中要经过多次会议(包括专家会议和型号合格审定委员会的会议等)以及多种技术资料(包括设计、计算和试验报告在内)的审查。例如,美国 FAA 对麦·道公司的 MD-80 进行合格审定中,直接参与了近 3 万小时的工作,审查了上千万字的文字材料,召开了大小内外会议近百次,组织了 1000 飞行小时以上的飞行试

验，对相应的 1000 多条适航条例要求逐条作了审核。另外，在对麦·道公司的“DC-9-81”飞机的合格审定中，仅审批文件就达 431 份之多。其中包括气动力、飞行试验、结构、重量、动力装置、环境控制、各种系统、内部设备、电子、电气、人的因素、可靠性和安全性等方面。法国民航总局对达索·布雷盖公司的“神秘-隼 900”飞机的型号合格审定中，审批的文件有 497 个，其中 143 个是结构方面的，23 个是性能方面的。所有的文件、资料加起来竟有 6 米之高。英国民用航空适航局对英国航宇公司的 BAe.146 飞机进行合格审定期间，仅召开有关适航性问题的专家会议就有 150 多次。

按照规定，新型飞机只有取得型号合格证之后才能改进改型。此时，厂家根据改型情况向适航性当局申请补充型号合格证。若改进改型仅属于扩大适航范围，则适航性当局仍可按原型号所用的适航性条例进行审定，若有新的设计更改，则适航性当局将提出补充的适航要求。

型号合格证是属于申请公司的，但它可以随同型号设计一起转让给本国或外国的其它公司。

生产许可证

制造工厂必须取得生产许可证才能进行航空产品的生产。取得了生产许可证就表明这个工厂能够满足航空条例的要求，已建立一套完善的质量控制系统并有严格的管理程序来保证制造出来的飞机符合型号合格证的要求。不过，生产许可证只允许生产厂家制造规定类型的产品，否则必须申请补充生产许可证。

FAA 接到生产许可证申请后，要组织生产许可审定委

员会(PCB)。PCB 的成员除了 FAA 生产检查方面的专家以外, 还有 FAA 工程方面的如结构、系统和设备、动力装置、飞行试验等专家参加。生产许可审定的重点是工厂的质量控制系统。在工厂取得生产许可证以后, 出厂产品的适航证一般由 FAA 的委任生产检查代表(DMIR)检查签发, FAA 只作抽查。地区生产检查办公室(MIDO)负责向 PCB 提出对于在其管辖区的工厂(生产合格证申请者)的评定意见。FAA 生产许可审定过程见图 4。

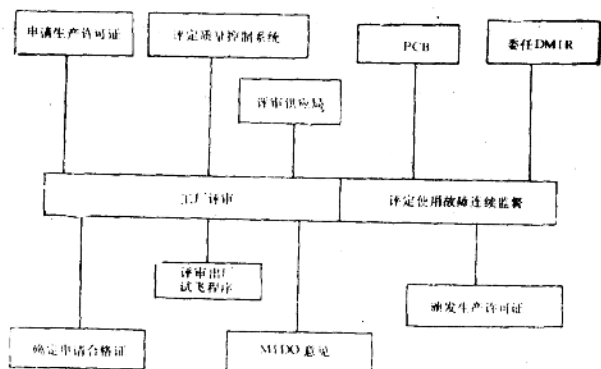


图 4 FAA生产许可审定过程

生产合格证属于申请工厂, 它是不能转让的。既不能在同一公司的不同工厂转让, 也不能向外国公司转让。而且, 持有生产合格证的工厂也不一定永远拥有生产权。例如, 美国联邦航空局至少隔三年就对持证工厂进行一次现场检查。

如果检查结果为不合格，就要吊销其生产合格证，这样，它就不能再生产该型飞机。除非它经过改进后再次申请并经过审查合格而重获生产许可证。

适航证

适航证是发给具体产品的(如飞机、发动机、螺旋桨)。以飞机为例，只要能证明它符合经批准的型号设计并保证安全使用，就能获取适航证。也可以说，只要生产厂家已获型号合格证和生产许可证，就容易获得适航证。每架投入航线的飞机都有一个适航证。获得本国适航证后，还可向其它国家的适航性当局申请适航证，以便投入该国航线使用。在使用过程中，若产品不能保证连续适航，FAA将有权吊销其适航证，以便保证安全航行。适航证是跟着飞走的，飞机属于谁，适航证就交给谁。而且，适航证必须放在飞机的适当位置上，以供有关部门检查用。如果检查时发现该机没有适航证，就不准该机飞行。

到取得适航证为止，民用飞机合格审定的程序也就完成了。

三、国外民用飞机的适航性条例

在民用飞机合格审定中，适航性合格审定试飞占有极为重要的地位。合格审定试飞怎样才算合格呢？必须有个标准。这个标准就是适航性条例。它是一个国家控制民用飞机的设计质量、保证飞机安全飞行的最低标准。世界上航空工业发达的国家都制订有适航性条例。大多数国家的适航性条例既有技术规定，又有法律条令，并且是以后者为主，从而是一种法令性文件。在这种情况下，它具有法律效力，符合它就合法，违反它就非法，就要受法律制裁。

国外主要的适航性条例有：

1. 美国《联邦航空条例》FAR (Federal Aviation Regulations)

FAR 是美国联邦航空局为了对各类航空产品的设计、制造、合格审定和营运进行有效管理和控制而颁布的适航性条例。共有 195 部，其中有空留编号，供将来增加的各部用。到 1988 年，共颁发 67 部，其中适航部门常用的有 13 部。例如：FAR-21《产品和零件的合格审定程序》；FAR-23《正常类、实用类和特技类飞机的适航标准》；FAR-25《运输机类飞机适航标准》；FAR-27《通用类旋翼机适航标准》；FAR-29《运输机类旋翼机适航标准》；FAR-33《飞机发动机适航标准》；FAR-35《螺旋桨适航标准》；FAR-36《飞机类和适航性合格审定噪声标准》；

FAR-103《超轻型飞机的使用要求》；FAR-121《短距起落飞机适航标准》以及 SFAR（特别联邦航空条例）27 部《污染控制标准》等，它们是有关航空器设计研制和合格审定的依据。

2. 西欧国家的《联合适航性要求》JAR (Joint Airworthiness Requirements)

JAR 是英、法、荷、意、比、西德、瑞典等西欧国家联合编制的适航性条例。它主要以美国的 FAR 为基础，再根据各国的不同情况和要求加以适当的修改和补充。实际上，它大部分引用了美国的 FAR。

它主要有以下 4 部文件：

JAR-1——定义和缩写词，以美国的 FAR-Part 1 为基础。

JAR-25——大型飞机，以美国的 FAR-25 为基础。

JAR-APU——辅助动力装置，以美国 FAR-37 的 183 ~ TSO-C77 为基础。

JAR-E——发动机，以《英国民航适航性要求》(BCAR) 的 C 部为基础。

3. 《英国民航适航性要求》BCAR (British Civil Airworthiness Requirements)

英国民航适航性要求 (BCAR) 包括 A、C、D、G、K、N、R 等部分，每个部分表示一个方面的内容。例如：

BCAR-B，大型民用飞机的适航性条例，与美国的 FAR-25 相对应。

BCAR-C，发动机适航性条例，与美国的 FAR-33 相对应。