



独特的研究飞机

——空中飞行模拟器、飞行 试验台和改型机的历史

史蒂夫·马克曼 比尔·霍德尔 著
赵江楠 主译



西北工业大学出版社
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY PRESS

独特的研究飞机

—空中飞行模拟器、飞行试验台和改型机的历史

著者 史蒂夫·马克曼
比 尔·霍德尔
主译 赵江楠

西北工业大学出版社

作者名: Steve Markman & Bill Holder

作品名: ONE-OF-A-KIND RESEARCH AIRCRAFT — A HISTORY OF IN-FLIGHT SIMULATORS,
TESTBEDS & PROTOTYPES

书 号: 0-88740-797-8

Copyright © 1995 by Steve Markman & Bill Holder.

Library of Congress Catalog Number: 95-67628

陕西省版权局著作权合同登记号: 25-2013-229 号

图书在版编目(CIP)数据

独特的研究飞机: 空中飞行模拟器、飞行试验台和改型机的历史/(美)马克曼,(美)霍德尔
著; 赵江楠译. —西安: 西北工业大学出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-5612-3890-5

I. ①独… II. ①马… ②霍… ③赵… III. ①航空器—飞行试验 IV. ①V217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 310068 号

总 策 划: 屈玉池

版权策划: 王凤亭 刘军仓

出 版 人: 肖亚辉

出版策划: 晁祥林 雷 军 王育林

责任编辑: 李阿盟 张立功 李品阳

责任校对: 马江平 白向丽 丁 峰 闫晓婧 李 丹

责任印制: 卞 浩

编 务: 尚晓瑜 李 敏

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072

电 话: (029)88493844 88491757

网 址: www.nwpup.com

印 刷 者: 陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本: 889 mm×1 194 mm 1/16

印 张: 13.75

字 数: 325 千字

版 次: 2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 150.00 元

著 者 序

这本书是怎么写出来的呢？说来话长，但实际上又很简单。20 世纪 70 年代初，我还是一名刚踏出校门的年轻的航空航天工程师。那时，我有一份新工作，并和自己心爱的人成立了小家庭，对未来充满了梦想。其中的一个梦想就是，有一天我要拥有一架二战时期的歼击机，我遥想着二战时期的那些日子。我还阅读了大量的航空杂志（当然，我拥有大量的时间），尤其是有关二战时期各种伟大的歼击机和轰炸机的杂志。我以前在许多文章上总见到这个名字——比尔·霍德尔。在比尔的笔下，那些老式飞机仿佛重获了新生，我似乎跳进了驾驶舱，把手放在了驾驶杆上。我不知从哪里知道了比尔也住在代顿市，也在莱特-帕特森空军基地工作。我们很可能在过去几年中多次面对面地走过，但却都没有注意到对方。

当我意识到我不可能拥有那架“野马”或“霹雳”飞机的时候，我的兴趣终于发生了转变。我的工作最终使我进入了令人痴迷的飞行试验领域——不是作为一名飞行员，而是作为空军空中飞行模拟器飞机机队的项目负责人。这项工作使我经常去国内和国外的飞行试验中心、飞机制造厂和改装中心。在飞行试验行业内我看见了許多为试验项目而改装的飞机，也碰见了許多可爱的人。

我经常在图书馆和书店浏览各种航空书籍。有关 X-1, X-15 和 X-29 的书籍很多，但我几乎没有看见过介绍我所见过的许多其他飞机的书籍。我常常想，人们错失了给世界讲述这些有魅力的故事的大好机会。虽然我喜欢写作，但感到编写这样的书是我力所不能及的。

现在再跳回到 1990 年。一个星期五的晚上，我正从华盛顿飞往代顿市。我调整了一下坐姿，使自己更舒服一点儿。我偶然注意到坐在我旁边的那位先生的公文包，上面的名字是比尔·霍德尔。我最终鼓起了勇气，问道：“请问，您是航空作家比尔·霍德尔吗？”长话短说，他显然就是比尔·霍德尔。我们几乎谈论了一路，我还说了写书的想法。比尔对这个想法很感兴趣。当抵达目的地的时候，我们已经草拟了一个大纲，我们要把书写出来。剩下的事就都可以想象出来了。

史蒂夫·马克曼



NASA 兰利研究中心是研究机的最大用户之一,图中所展示的是它的试验机机群。

译者序

航空科技是百年来始终保持最快发展势头的为数不多的前沿科技之一。除了强劲的军事和民用需求的推动之外,与航空科技从一开始就采取了一条合乎自然逻辑的发展道路不无关系。显而易见,广袤无垠的蓝天蕴藏着几乎无穷无尽的军事和商业利益,推动了对飞机的需求,吸引了无数的国家资源和私人资本倾注其中,注定了飞机工业成为高速创新的行业。但是,仅有需求是不够的,还必须解决飞机研制的“高风险”问题:飞机的任何系统、部件甚至一个零件的故障或失效都有可能造成机毁人亡的灾难性后果;高风险的另一个方面来自高速创新带来的高不确定性和低技术成熟度,这些技术性高风险有可能导致项目夭折,以至企业亏损,甚至使国家政治和军事战略受挫……因此,将“高风险”降低到最低程度对航空工业的发展是至关重要的。

航空工业的先辈们谙熟工程技术中的辩证法,从一开始就摸索建立并逐渐完善出一条符合认知客观规律的飞机研发道路,充分使用各种各样的试验飞机开展飞行试验验证,从而将飞机研发的“高风险”降低到了可以接受的程度。

试验飞机是为完成特定的飞行验证、研究、发展或探索目的而专门设计、制造的新飞机,或专门改装的现有飞机。它们装备有各种测试设备来获取任务所需要的全部数据。飞机工程的复杂性、千变万化的飞行试验验证项目造就了种类和数量都极为繁多的试验飞机,因此,每一架试验飞机都独具特色。世界航空强国无一例外都研制和使用了大量的试验飞机,美国、俄罗斯(苏联)两国都研制和使用过数以千计的试验飞机。从这个意义上说,世界上每一架成功的飞机,都离不开试验飞机的支持!

关于试验飞机的称谓和分类,不同国家、不同学者和不同出版物有所不同,例如,研究机、试验机、技术验证机、飞行实验室、飞行试验台、X 系列飞机,以及本书中分类的空中飞行模拟器、试验台飞机和原型机,等等。显然为了便于理解和使用,合理的分类是有益而必要的。

试验飞机的根本目的或用途是“飞行验证”,而被“验证”的研究或技术有深与浅、精与粗、尖端与一般之分,软(知识)与硬(系统和构型)之别。因此,依据试验飞机的功能结合被验证对象的属性进行分类比较合乎逻辑,也便于使用。我国航空界将一切非正常服役于军事和民用航空的飞机定义为试验飞机,并分为三大类。

1. 研究机

研究机是以探索与未知时/空飞行有关的物理现象并获取相关知识,验证重大航空科学理论或创新技术为目的的专用飞机。这种飞机的“包线”远超当时存在的任何飞机,不可能通过改装现有飞机来获得,一般需要进行专门的设计和制造,例如,美国的 X 系列研

究机和苏联的一系列空气动力研究机等。

2. 技术验证机/系统试验机

技术验证机/系统试验机是以验证/演示和产品研发密切相关的航空应用科技,如新概念、新材料、新系统/设备等等,为目的的专用飞机。这种飞机一般可以通过对现有飞机的加/改装来获得,是应用最广泛、数量最大的一类试验机。其名称可以方便地冠以具体的“技术”进行分类,如推力矢量技术验证机、隐身技术验证机、电/光传操纵技术验证机、自动空中加油技术验证机等。相当一部分的原型飞机也可以看成是这一类飞机。

3. 空中实验室

空中实验室是针对某些具有相对较大通用试验要求,又允许被分离和独立进行飞行发展试验的对象,如航空发动机、航空电子/雷达等,而专门改装的现有飞机(一般为大型轰炸/运输类飞机)。它们有充足的空间可以配备非常完善的测试设备,能对系统进行复杂而全面的测试、试验和调整,俨然构成了一个天空中的“实验室”。如空中飞行模拟器、发动机飞行试验台、雷达电子试验机、空中弹射试验机、失重飞行实验室和空中结冰试验机等,均属这一类。

试验飞机是航空科学和技术发展的“活化石”,每一架试验飞机都是某个时代/时期某种航空科技的探索努力和最新成果的全息载体。从这个意义上说,试验飞机又是航空工业创新能力和水平的一个准确的指示器。研究各国试验飞机及其发展史是了解、学习和借鉴外国的创新动力、发展策略、技术思想、经验教训乃至具体细节的一种有效的方法和快捷的途径。

史蒂夫·马克曼和比尔·霍德尔所著的《独特的研究飞机——空中飞行模拟器、飞行试验台和改型机的历史》是一部独特而非常有趣的书。细心的读者甚至可以从文中体察到不时流露出来的美国式幽默。作者认为有失公允的是书架上充斥着介绍 X 系列研究机的书,而大量的技术验证机和飞行实验室等试验飞机为一代代新飞机的诞生做着实质性的贡献,却被埋没而鲜为人知。因此,他们特意将本书的主题瞄准为 X 系列研究机以外的各种试验机。这就为我们全面了解美国的研究/试验飞机的筹划、设计、改装、应用以及在推进美国航空工业快速发展中所起的作用,提供了非常丰富而翔实的材料。

要对书中丰富的内涵做个简单的概括并不容易,但是我们还是可以发现一些特别需要学习和借鉴的东西。

1. 经济效益——永恒的主导和追求

在试验机的建设上,处处体现出美国对经济效益的极端追求,其“抠门”的程度和节俭的效果不能不使人感叹和钦佩。例如,一架 B-52,20 世纪 60 年代就被改装成飞行载荷试验机(载荷减轻/模态稳定),其研究结果使机翼疲劳损伤减小了 50%。接着又相继改成主动控制试验机、随控布局试验机,这架老旧、庞大的战略轰炸机甚至装上两组鸭翼——使它居然能超过其设计颤振速度。最后于 1994 年又在机上装满了炸药并加以引爆,为试验民机抗炸弹和疲劳破坏的生存力而“壮烈地”献出了它的“生命”。该机前后服役 30 多

年,真正做到了物尽其用!

2. 不求虚名、但求实效的务实精神

这是一种力量和财富,也是中国现时很缺乏的东西。其实,美国人在试验机的建设上就像穿着T恤衫逛世界一样,行事的准则是,不管多“破烂”、多老旧、多没卖相,只要能解决问题、管用就是好东西。例如,普林斯顿大学用20世纪40年代的古老通用飞机那维昂(Navion)(北美飞机公司)研制成的飞行控制研究用空中飞行模拟器,证明了有价值的军用研究并非必须用昂贵的军用研究机不可。该试验机从20世纪60年代研制一直用到80年代初,为美国海军、空军和NASA完成了许多研究项目,包括STOL进场、侧力控制/装置、带动力升力的纵向操纵品质、飞机横向动力学等。一直到1995年该飞机仍然保持着广泛的研究价值和专项培训能力。又如,NASA德莱顿飞行研究中心用PA-30小型商用机改装成变稳飞机、系统试验机等,完成了大量先进的研究项目,同样证明了用“简单”的小型试验机可以进行既经济又可靠的研究和飞行试验。

3. 无处不在的创新精神

美国的试验机家族,满载着世界航空史上具有划时代意义的首创或并列首创的成就。例如,突破“音障”、“高超音障”、空中飞行模拟器、电传操纵、超临界机翼等等。创新,首先表现在“思想的解放”:能提出奇特精妙的新概念,其次,表现在创新概念能迅速得到支持、试验和发展的环境。这两方面美国处理得非常好。创新不仅反映在大的方面,例如,波音720大型客机真实坠机试验,在全世界都是绝无仅有的。FAA和德莱顿飞行研究中心提出试验的本身就是一个大胆的创举,其切实可行的技术方案更是一本创新的连环画:无人机技术遥控进场坠机、定点损毁、防雾化燃油、假乘客……创新也反映在试验机研制/试验具体技术之中,例如,为了用NT-33A空中飞行模拟器评价X-15高超声速研究机再入时的操纵品质,通过“欺骗”飞行员来完成模拟:戴上头罩隔离参考环境,仅靠仪表飞行。专门设计的NT-33A时变增益函数来模拟X-15的动态特性。妙不可言的是,为了模拟X-15持续拉起时的过载,计算机让NT-33A缓慢倾斜转弯,但飞行员的姿态仪表指示的却是水平拉起!

4. 敢于承担的勇气精神

试验飞机是先行者,风险高。飞行安全无疑成为项目人员最关心的一个问题。但是,无论如何细致和科学地准备,“冒险”总是必需的。不同安全策略的效率和结果自然不同。如ASTRA“鹰”变稳飞机1986年首飞,但到1990年英国皇家空军帝国试飞员学校才在教学中使用,保守的英国人担心安全,限制前座飞行员(学员)不得进行真实的着陆。直到学校积累了一点经验,管理机构有了信心后才取消了这条限制。又如,对于电子系统可靠性和人类操作员关系,美国人和英国人的理念是不同的。美国人赋予安全飞行员最高权限,使空中飞行模拟器一般工作到着陆接地。

5. 高度协同的大团队精神

试验飞机和任何复杂的系统工程一样,如果把概念的提出人、需求的开发人、项目的

发起人、项目的决策人、项目的执行人和项目受益人(用户或用户群)等等看作是一个广义的大团队,那么这个团队持续一致的高度协同将可能成为试验飞机一生的功败垂成的决定因素。从书中我们看到,军方、民航权威、研究机构、院校、制造厂商等,无论在这个大团队中扮演什么角色,都基本上呈现出一幅友好协作的画面。

相信这本书的翻译和出版对于我国的航空界必定有所裨益,各类读者,不论是设计人员、试验/试飞人员,还是管理人员,都可以从中找到自己感兴趣的内容并使工作从中有所受益。同时,也可以激发广大航空爱好者对于“飞行试验”的强烈兴趣,并引发其无限的憧憬。上述愿望的实现也就是对本书编译者们所付出的大量艰辛努力的最好褒奖。

本书的编译出版离不开很多人的辛勤努力,在此对他们表示最衷心的感谢!首先要感谢我国飞行试验领域的著名专家周自全、寿圣德和王启先生,他们仔细审校了全书,对其中诸多专业技术问题提出了富有见地的修订意见;其次,要感谢西北工业大学出版社的工作人员,是他们帮助协调了版权问题,并负责了本书的最终出版。最后,向奋斗在我国试验机建设和飞行试验领域的广大科技人员和试飞员致以崇高的敬意。



2013 年 10 月

前言

飞行研究是飞机设计过程中一个不可缺少和不可分割的部分。如果不是献身于航空事业的人们——他们发展并完善了飞机设计的新理念,然后在真实飞机上试验这些新理念——现在的飞机可能还与最初的莱特兄弟的飞机一样。人们研制了许多种型号的飞机来试验各种新的设计。设计和制造的一些飞机是要演示一种特别的新技术的可行性。这些飞机就是 X 系列研究飞机,例如 X-1, X-15 和 X-29 等。如果没有这些飞机,许多新设计思想就还只能停留在纸面上。这些飞机演示了技术的巨大突破,人们已经撰写了许多书籍来记录这些飞机的贡献。

还有许多鲜为人知和很少被认可的试验机对飞行研究也做出了重大的贡献。这些飞机就是飞行试验台和空中飞行模拟器。它们试验新材料,验证新气动外形,试验新飞行控制概念,确定和验证飞行品质,并研制新型的驾驶舱显示器和控制装置。这些飞机对新型飞机的设计做出了重要的贡献。甚至在许多 X 系列飞机还没有飞行之前,它们的个别零部件或系统就已经在其他研究飞机上进行了飞行。

X 系列飞机总是会点燃我们的热情,总是会成为头条新闻和各种“炫耀”的书名。虽然在飞机研究和试验界都知道研究飞机,但公众对它们却知之甚少。此书就是写给这些飞机的。此书收录的飞机所做出的贡献一点都不逊色,它们在航空技术发展史上占有非常重要的历史地位。现在,总算是有一本书来记录它们的辉煌历史了。

可惜的是,这本书所记录的研究飞机并不完全。在过去的许多年中还有许多这样的研究飞机,如果您有这方面的信息,或您个人有与本书中任何一架飞机打交道的经历,请通过出版商与任何一位作者联系。可以肯定的是,有了您的帮助,我们可以写出这本书的更多卷本。

航空航天顾问:

莫理斯·A. 奥斯特盖德

目 录

引言	1
第一部分 空中飞行模拟器	3
● VISTA/NF-16D 变稳空中飞行模拟器	6
● B-26 变稳空中飞行模拟器	11
● NC-131H 全任务空中飞行模拟器	14
● 湾流(Gulfstream)航天飞机训练机	20
● ASTRA“鹰(Hawk)”空中飞行模拟器	23
● 田纳西州立大学“那维昂(Navions)”空中飞行模拟器	25
● P-2 变稳飞机	27
● S-76“影子(Shadow)”直升机空中飞行模拟器	29
● NT-33A 空中飞行模拟器	33
● 图-154M 空中飞行模拟器	38
● VFW-614 ATTAS 空中飞行模拟器	41
● 卡尔斯潘利尔喷气(Calspan Learjet)空中飞行模拟器	43
● 喷气星(Jetstar)通用空中飞行模拟器	47
● JF-100 变稳飞行试验台	52
第二部分 飞行试验台	53
● A-5A“民团团员(Vigilante)”SST 模拟飞行试验台	54
● A-6A 环量控制机翼(CCW)飞行试验台	55
● B-47 电传操纵飞行试验台	58
● YA-7D DIGITAC 飞行试验台	61
● B-52 LAMS/CCV 项目飞行试验台	64
● 载机飞行试验台	68
● XC-8A 气垫着陆系统飞行试验台	75
● Convair(康威尔)990 着陆系统研究飞机	78
● C-130 RAMTIP 项目飞行试验台	81
● “隼(Falcon)”ATLAS 项目飞行试验台	83
● F-4 电传项目飞行试验台	85
● F-5D“天空枪骑兵(Skylancer)”高超声速滑翔试验台	88
● F-8 超临界机翼飞行试验台	90
● F-8 数字电传操纵系统飞行试验台	92
● F-15 先进环境控制系统(AECS)项目飞行试验台	96

● F-15 反卫星武器系统(ASAT)项目飞行试验台	97
● F-15 IFFC/ABICS/ICAAS 项目飞行试验台	99
● F-15 高度集成数字电子控制飞行试验台	103
● F-15 STOL/MTD,ACTIVE 飞行试验台	105
● F-15“敏捷鹰(Streak Eagle)”飞行试验台	109
● F-16 先进战斗机技术综合飞行试验台	111
● YF-16 CCV/FLOTRAK 项目飞行试验台	117
● F/A-18 电驱动动作设计(EPAD)项目飞行试验台	121
● F/A-18 HARV 项目飞行试验台	123
● F/A-18 系统研究飞行试验台	126
● F-102 低升阻比飞行试验台	129
● NASA F-104 飞行试验台	130
● NF-104 航天飞机教练机	134
● F-100,F-106 紊流研究飞行试验台	138
● F-111 TACT/AFTI 飞行试验台	140
● 空军运输飞行试验台	145
● 结冰试验飞行试验台	154
● KC-135 翼梢小翼飞行试验台	156
● NASA/兰利(Langley)商用飞行试验台	158
● L-100 高技术飞行试验台	161
● PA-30 孪生科曼奇(PA-30 Twin Comanche)飞行试验台	164
● “佩刀(Sabreliner)”超临界机翼飞行试验台	167
● SR-71 飞行试验台	168
● 波音 737 场域构型飞机(TCV)飞行试验台	170
● 波音 720 受控撞击演示飞行试验台	173
● X-21A 层流控制项目飞行试验台	177
● YF-23 载荷研究飞行试验台	179
● 其他飞行试验台	182
第三部分 改型原型机	187
● YA-7F(A-7+)原型机	188
● F-16XL(F-16E)原型机	192
● F-16/79/101 原型机	195
● 基于 P-51“野马”的改型机(Mustang-Based Enforcer)	198
● 武装运输机项目原型机	201
● F-15E“攻击鹰”(Strike Eagle)验证机原型机	204
● F-18 的原型机 YF-17	206
● A-37 原型机	208

引言

试验飞机(Test Aircraft)已不是什么新东西了——从第一架飞机飞上天空就有了试验飞机。说真的,第一架飞机就是一架试验飞机。谁也保证不了它能飞起来——必须有人把它飞到空中去试一试。莱特兄弟的第一架有动力飞机,兰利研究中心的滑翔机“利林塔尔号”,以及在莱特兄弟之前的其他飞机都是试验飞机,用来试验飞机设计者们的想法。



当今的现代生产型飞机 F-15 和波音 767 等,都是根据第一架带动力飞机进行的时而缓慢、时而迅速的发展而得来的。这个发展过程中的一个最重要的部分就是使用了试验飞机来研发和验证新能力。有许多书都介绍了诸如 X-1 和 X-5 这样的试验飞机,它们在技术上取得了巨大的飞跃。这些试验飞机展示了技术上的巨大突破,证明了飞机可以飞得比声速快;这些试验飞机把人们带到了天空的边缘;它们表明,航空技术发展的步伐可以迈得更大一些,这些飞机为以后采用了它们所验证的技术的生产型飞机铺平了道路。这些飞机被设计用来验证一些跨越性的技术,通常在演示验证了这种技术上的“飞跃”之后它们就退休了。设计者和飞行员就转到应对其他挑战上了。它们在博物馆的辉煌展览中当之无愧地占有一定的地位,在历史书籍中当之无愧地占有辉煌的篇章。

但是,还有一些鲜为人知的试验飞机,它们几乎没有演示技术的飞跃,而是进行着日复一日的研究,每次只有一点儿收获,一点一点地开拓包线,为新的生产型飞机或其他要做出“飞跃”的试验飞机铺平道路。这些飞机用来试验新材料,验证新气动外形,试验新飞行控制概念,确定合适的飞行品质,并研制新型的驾驶舱显示器。它们做着普通的工作,但却很少获得它们在机库中有名伙伴那样的名声。这本书就是要介绍这些飞机。

本书中的飞机与其他试验机一个重大差别是,这些飞机原来都是生产型飞机,被改装成了飞行试验台、技术验证机或空中飞行模拟器。这些飞机为了一项特别技术的改进,按需要进行了改装,完成了试验之后又被改装,以进行其他研究。许多飞机都使用了几十年。除了技术杂志外,罕有著作介绍过这些飞机,但是它们所做的研究却构成了大部分新飞机所依赖的数据库。本书是第一次面向普通读者讲述这些独特研究飞机的故事。

第一部分

空中飞行模拟器

您是否想象过驾驶一架还没有制造出来的新型飞机是什么情景呢？它会怎样飞行呢？它只是往右滚转，还是动作很陡峭，亦或是反应太迟缓？飞行员开始进行着陆拉平的时候它是否下降得太快？遇到紊流的时候是否会失去控制呢？

在某种程度上，飞机设计人员所使用的分析技术可以回答这些问题。然而，这些分析技术却遗忘了一个最重要的问题：飞行员与飞机的相互作用是怎样的？如果把有人驾驶飞机看作一个完整的系统，飞行员就是其中最不可预测的部分。没有两个飞行员是完全一样的。任何一名飞行员的反应都会因为各种因素而发生变化——飞行经历的长短，面对的危险，头一天晚上睡眠时间的长短，甚至是他的夫人是否对他发脾气了，等等。

飞行模拟器可以帮助飞机设计者通过把飞行员纳入到设计过程中，对不同飞行员的能力进行补偿。在飞行模拟器上，飞行员坐在模拟的驾驶舱中，通过计算机生成的视景系统看世界，通过一个对飞行员操纵输入做出响应而移动驾驶舱的复杂的运动系统来感觉飞机的运动。就像在真实飞机上一样，飞行员体验飞行特性并进行评估，评估飞行特性是好、是坏或是介于二者之间。许多新型飞机设计都使用飞行模拟器进行过评估，在飞机制造之前发现了许多问题，从而节省了大量的资金。

尽管这种先进技术使飞行员感觉就像在一架真实飞机中，但有一件事飞行模拟器仍旧不能做到——使飞行员确信他真的就在飞行。经验证明，飞行员驾驶飞行模拟器与驾驶飞机是不同的，这是因为他们知道，即便是用力摔到“跑道”上或在“空中”与另一架飞机相撞，也不会损坏“飞机”，也不会受伤。由于飞行员知道自己不会受伤，因此，他们在驾驶飞行模拟器的时候很松弛，与驾驶一架真实飞机相比，他们有更多机会来纠正问题，到万不得已的时候才会采取纠正措施。

有许多这样的例子：在进行了大量的飞行模拟之后，实际飞行中还是遇到了完全未曾预料到的问题。原因是飞行员太松弛了，以致在模拟飞行中没有发现问题。飞行员必须敢作敢为，而且敢于采取急剧陡峭的动作，才能使细微的飞行问题显现出来。一个非常松弛的飞行员通常不会发现细微的问题。

因此，要利用空中飞行模拟器来进行模拟。什么是空中飞行模拟器呢？它是一类非常特殊的研究飞机，其飞行特性可以改变，改变成与另一架飞机的飞行特性一致。正如使用飞行模拟器一样，我们可以用空中飞行模拟器模拟还没有制造出来的飞机的飞行特性。这种还没有造出来的飞机可以是正在设计的特殊飞机，也可以是理论上的“画在纸上的飞

机”，仅仅是为了研究的目的而对它进行评估。空中飞行模拟器克服了地面飞行模拟器的三种最大限制：第一，飞行员看见了驾驶舱外的真实的三维世界，而不是计算机所生成的平面图像；第二，运动是真实和持续的，而不是在地面所感觉到的有限的运动；第三，他知道他身处于真实飞机上，任何错误都可能会造成飞机损坏、人员受伤或更糟糕的结果。飞行员驾驶一架空中飞行模拟器就是驾驶一架真实飞机，要做出相应的飞行动作。

在空中飞行模拟器上执行的特殊任务大致可以分为四类。

- 新型飞机的飞行前评估：在新型飞机首飞前，要在空中飞行模拟器上进行模拟飞行，寻找以前没有发现的飞行品质方面的问题。如果没有发现这方面的问题，设计者和试飞员对新型设计的信心就会增加；如果发现了问题，就可以使用空中飞行模拟器找出解决的方法，并立即进行试验验证。

- 研究和研制：在飞机飞行控制、显示器研制和人的因素方面进行一般性研究，甚至用空中飞行模拟器进行医学研究。另外，在设计阶段的早期，在设计冻结之前提前对设计概念进行评估。这时，要进行设计更改是最容易的，也是成本最低的，从而支持新型飞机的研制。

- 特殊训练：用空中飞行模拟器进行航天飞机的宇航员和新试飞员的常规训练。使用空中飞行模拟器来学习飞行航天飞机成本又低又安全。在空中飞行模拟器上感受航天飞机飞行特性比起在首次进行航天飞机飞行时才找到真实感觉要强得多。

- 飞行实验室：因为大多数的空中飞行模拟器都装有各种测试设备，所以，它们是进行新设备和新思想试验的理想平台。

有关空中飞行模拟器如何工作的详细阐述不在本书的范围内。但是，简单地说，飞行员的驾驶杆输入进入到一台计算机中，在这台计算机中编入了被模拟飞机的飞行特性的程序。计算机计算出被模拟飞机对飞行员输入的响应，并移动空中飞行模拟器的舵面来产生所期望的运动。

空中飞行模拟器也必须有操纵杆或操纵盘和方向舵脚踏，其力特性可以变化，来模仿驾驶被评估飞机时的感觉。这些都完成了之后，空中飞行模拟器对飞行员指令的响应与被评估飞机做出的响应方式就一致了。

但是，改变还不仅如此，还需要对驾驶舱进行布置，尽量来模仿驾驶舱环境和仪表显示。在一些空中飞行模拟器上，可以对仪表进行重新布置，或者对电子显示仪表进行编程，从而提供特殊的图像。在驾驶舱中可以安装大小合适的操纵杆或操纵盘，舱盖也可以遮盖起来，以产生与驾驶舱外一致的视觉。

大多数的空中飞行模拟器都至少有两名飞行员：一位是评估飞行员，操纵被模拟飞机的驾驶系统，另一位是安全飞行员，操纵空中飞行模拟器自身的操纵系统（当然，这两套操纵系统是不能同时发挥作用的）。如果评估飞行员驾驶被模拟飞机有困难，安全飞行员可

接管操纵。如果安全飞行员接管了操纵,他驾驶的就是空中飞行模拟器本身,而不是被模拟的飞机。因此,对新的未知设计或有问题的设计可以进行安全的模拟。

从 20 世纪 50 年代初期以来,人们就一直在使用空中飞行模拟器。几乎所有的空中飞行模拟器都是从生产型飞机发展而来的,而这些生产型飞机已经具有了所需的性能和强度,可以进行改装,从而加入新的性能。虽然在飞机设计和飞行试验行业以外人们对空中飞行模拟器知之甚少,但空中飞行模拟器是设计人员的得力工具,并且在未来将一直被继续应用。