



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

“十二五”国家重点图书规划项目

特殊场务条件下的 民机飞行试验概论

Civil Airplane Flight Test Introduction for
Special Flight Service and Ground Support Condition

马恒儒 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

014013242

V217
10



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

特殊场务条件下的 民机飞行试验概论

An Introduction to Civil Airplane Flight Test for
Special Flight Service and
Groud Support Condition

马恒儒 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



北航

C1700486

V217
10

0140325

内 容 提 要

本书概述了在特殊机场或气象条件下开展的民机飞行试验内容。本书共 8 章,分为两部分。第 1 部分:本场试飞(或基地试飞),主要指可以在本场(或基地)实施的试飞科目,共 2 章,包括性能、操稳、刹车、起落架、动力燃油、照明和航电等。第 2 部分:异地试飞。主要指不能在本场(或基地)实施试飞的试飞科目,共 6 章,包括大侧风、自然结冰、高原、高温高湿、高寒等。

本书可供试飞工程技术人员和民机设计人员参考使用,是所有从事民机试飞事业科研人员不可多得的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

特殊场务条件下的民机飞行试验概论/马恒儒主编.
—上海:上海交通大学出版社,2013
(大飞机出版工程)
ISBN 978-7-313-09694-4

I. ①特… II. ①马… III. ①特殊环境—民用飞机—
飞行试验 IV. ①V217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 095309 号

特殊场务条件下的民机飞行试验概论

马恒儒 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

浙江云广印业有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 11.5 字数: 214 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-09694-4/V 定价: 49.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话: 0573-86577317

大飞机出版工程

丛书编委会

总主编:

顾诵芬(中国航空工业集团公司科技委副主任、两院院士)

副总主编:

金壮龙(中国商用飞机有限责任公司董事长)

马德秀(上海交通大学党委书记、教授)

编委:(按姓氏笔画排序)

王礼恒(中国航天科技集团公司科技委主任、院士)

王宗光(上海交通大学原党委书记、教授)

刘 洪(上海交通大学航空航天学院教授)

许金泉(上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院工程力学系主任、教授)

杨育中(中国航空工业集团公司原副总经理、研究员)

吴光辉(中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、研究员)

汪 海(上海交通大学航空航天学院副院长、研究员)

沈元康(中国民用航空局原副局长、研究员)

陈 刚(上海交通大学副校长、教授)

陈迎春(中国商用飞机有限责任公司常务副总设计师、研究员)

林忠钦(上海交通大学常务副校长、院士)

金兴明(上海市经济与信息化委副主任、研究员)

金德琨(中国航空工业集团公司科技委委员、研究员)

崔德刚(中国航空工业集团公司科技委委员、研究员)

敬忠良(上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授)

傅 山(上海交通大学航空航天学院研究员)

总 序

国务院在 2007 年 2 月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项,得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者,这是历史赋予的使命和挑战。

1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功,标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为 20 世纪最重大的科技成果之一,是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物,也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展和应用,体现了当代科学技术的最新成果;而航空领域的持续探索 and 不断创新,为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。

从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一,直至立项通过,不仅使全国上下重视起我国自主航空事业,而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过 50 多年的风雨历程,当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强,在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用,我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想,在 2016 年造出与波音 B737 和

空客 A320 改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而,大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类,集成了数学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科,是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战,迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料,总结、巩固我们的经验和成果,编著一套以“大飞机”为主题的丛书,借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点,同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

2008 年 5 月,中国商用飞机有限公司成立之初,上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”,这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教 1 时,亲自撰写了《飞机性能捷算法》,及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》,翻译出版了《飞机构造学》、《飞机强度学》,从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展 50 年的见证人,欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编,希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目,承担翻译、审校等工作,以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值,为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书,一是总结整理 50 多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验;二是优化航空专业技术教材体系,为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的迫切需求;三是为大飞机研制提供有力的技术保障;四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来,旨在从系统性、完整性和实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向,知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、工具书等几个模块;其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也

包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如:2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的 *Aerodynamic Design of Transport Aircraft* (《运输类飞机的空气动力设计》), 由美国堪萨斯大学 2008 年出版的 *Aircraft Propulsion* (《飞机推进》) 等国外最新科技的结晶; 国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》、《民用飞机气动设计》等专业细分的著作; 也有《民机设计 1000 问》、《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助, 体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命, 凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果, 具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性, 既可作为实际工作指导用书, 亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养, 有益于航空工业的发展, 有益于大飞机的成功研制。同时, 希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空, 并投身于中国航空事业做出一点贡献。

顾诵芬

本书编委会

主 编:马恒儒

副 主 编:江卓远

执 行 主 编:陈明太

执行副主编:刘超强 刘庆灵

总 审 校:邓小洪

审 校 人 员(以姓氏拼音为序):

李 楠 梁远东 马 菲 米 毅
邵义龙 王 涛 姚 渊

编 写 人 员(以姓氏拼音为序):

冯 超 郭 超 李 钧 刘 鹏
刘 星 王岩乐 吴广博 杨路超
郑 丽 张宏亮 张任远

序

2008年中国商飞公司成立,承担我国大型商用飞机的研发和制造。2012年4月23日,公司组建“中国商飞民用飞机试飞中心”,这是为深入贯彻公司中长期战略规划,加快民机试飞能力建设,满足干线和支线客机研制、适航取证、生产交付等试飞需求,逐步建立和完善我国民机试飞体系的重要举措。

众所周知,飞机试飞是一项复杂的系统工程,不同于普通的飞行,试飞是飞机在空中各种飞行包线的临界点进行飞行测试,以考核或验证飞机与系统的性能和功能,诸如速度、高度、温度、包线。这些试验极不寻常,技术复杂,专业性极强,安全风险极高,管理的难度非常大。但这是飞机型号研制中不可或缺的试验,也是飞机研制最后一项、最具挑战性的试验。

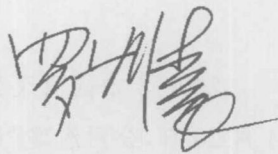
民机试飞包含申请人试飞和局方验证试飞,其中特殊场务条件下的试飞科目多为与局方并行试飞的科目,这给飞行试验的组织带来了新的挑战。《特殊场务条件下的民机飞行试验概论》有助于民机试飞参试人员准确地了解特殊场务条件下的试飞科目遵循的适航条款、所需的场务保障、试飞技术等,可作为特殊场务条件下的试飞科目准备和试飞组织的参考。

《特殊场务条件下的民机飞行试验概论》以中国民用航空规章运输类飞机适航标准(CCAR 25部)为基础,阐述涉及特殊场务条件下试飞科目的试飞目的、条款要求、场务保障、试飞准备、试飞技术、安全分析等多个方面,这些对民机试飞是非常关键的,也非常重要,本书也是所有从事民机试飞事业科研人员不可多得的参考资料。

在我们所进行的ARJ21-700飞机的试飞实践中,还进行了大量特殊气象条件的试飞试验,如高寒、高温高湿、大侧风、自然结冰等,这些试飞在国内都是首次开展,而且完全按照适航要求进行,具有探索性和创新性。

我们非常欣赏试飞中心年轻一代试飞工程师们的勇气和才华,他们在投身中国民机事业的伟业中,不断地学习、探索和总结,这本书就表现了他们孜孜不倦的科学求知精神,每个字,每个数据都凝聚了他们的汗水和泪水、无论这本书有多稚嫩,都是一种信念和自信的胜利,无论是谁,都应当从关心和爱护的角度帮助他们早日茁壮成长,早日担当中国民机试飞的重任。

祝愿中国商飞早日拥有世界一流的试飞中心!



2013年3月

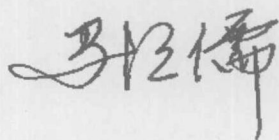
前 言

民机试飞是多学科高度综合的系统工程,它以组织管理难度大、涉及面广、技术复杂、风险高为主要特点,需要按照中国民用航空规章运输类飞机适航标准(CCAR 25 部)等要求对飞机的功能和性能指标进行试飞验证。对涉及气象、温度、机场、跑道、空域和特种车辆等特殊保障的试飞科目也有相应的条款规定。

本书分为两部分,第 1 部分:本场试飞(或基地试飞)。主要是指可以在本场(或基地)实施的试飞科目,共 2 章,包括性能、操稳、刹车、起落架、动力燃油、照明和航电等。第 2 部分:异地试飞。主要是指不能在本场(或基地)实施试飞的试飞科目,共 6 章,包括大侧风、自然结冰、高原、高温高湿、高寒等。这两部分都需要特殊机场或气象条件才能完成。本书可作为试飞单位对场务保障人员的培训教材,可供试飞工程技术人员和民机设计人员参考使用。

中国商飞民用飞机试飞中心试飞工程师通过搜集各种资料完成了本书的编写,他们付出了辛勤的劳动,使该书得以顺利出版。同时,本书在编写过程中也得到了专家们的帮助和指导。在此对他们表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免出现的差错,恳请读者批评指正。



2013 年 3 月

章节分工

审校人员(以姓氏拼音为序):

李楠:3.1,4.1,4.2,4.3,6.3,7.2,7.4

梁远东:2.2,2.3,2.4,4.8

马菲:8.1,8.2

米毅:1.5,1.6,1.7,4.6,6.2,7.1,7.3

邵义龙:1.8,4.5,5.1

王涛:2.1,3.2,4.4,4.7,5.2,6.1

姚渊:1.1,1.2,1.3,1.4

编写人员(以姓氏拼音为序):

陈明太:1.1,1.2,1.3,3.1,5.1

冯超:2.1,3.2,4.7,5.2,6.1,7.2

郭超:8.2

李钧:4.1,4.2,4.3,4.4

刘超强:2.2,4.8

刘鹏:1.8

刘星:6.2,7.3

王岩乐:7.1

吴广博:2.3,2.4

杨路超:1.5,1.6,1.7

郑丽:6.3,7.4

张宏亮:4.6,8.1

张任远:1.4,4.5

性能参数符号和单位

$C(k)$	纯音修正因子
CN_{pos}	正侧风下的偏航力矩系数
CN_{neg}	负侧风下的偏航力矩系数
CN_{av}	平均偏航力矩系数
D	持续时间修正因子
Δ_{dev}	单位侧风下的跑道偏离值
Δ_{CN}	单位侧风下的偏航力矩系数值
Δ_{av}	平均跑道偏离
D_{pos}	正侧风下的跑道偏离值
D_{neg}	负侧风下的跑道偏离值
dot	偏移指示点
E_k	飞机的着陆动能
F_b	刹车力
G	结构阻尼系数
HP	气压高度
I	机轮和轮胎转动惯量
K_E	每个机轮的动能
M_{MO}	最大使用(限制)马赫数
N	装有刹车的主轮个数
N_1	低压转子转速
N_2	高压转子转速
OPS	最佳滑移比
$PNLT(k)$	纯音修正感觉噪声级
$PNLTM$	纯音修正感觉噪声级的瞬时值的最大值
QNH	为使高度表在跑道道面上指示机场标高的高度表的零点拨正值
R_{tire}	轮胎半径
s	制动距离
T_b	刹车力矩

V_1	起飞决断速度
V_2	起飞安全速度
V_{2min}	最小起飞安全速度
V_{EF}	发动机失效速度
V_{LOF}	升空速度
V_{LOFmin}	最小升空速度
V_{MU}	最小离地速度
V_{MCG}	地面最小操纵速度
V_{MCA}	空中最小操纵速度
V_R	抬前轮速度
V_{REF}	进场基准速度
V_{Rmin}	最小抬前轮速度
V_{SO}	着陆构型时的失速速度
V_{S1g}	1g 失速速度
V_{SR}	基准失速速度
W	重量, 着陆重量
W_{pos}	正侧风风速
W_{neg}	负侧风风速
WSR	机轮滑移比
α	机轮加速度
ζ	阻尼比
cm	厘米
dB	分贝
ft	英尺
g/kg	克/千克
g/m^3	克/立方米
Hz	赫兹
h	小时
hPa	百帕
in, inch	英寸
in/h	英寸/小时
kHz	千赫兹
kn	节
kn/s	节/秒
km	千米
km/h	千米/小时

m	米
m/s	米/秒
min	分钟
mm	毫米
ms	毫秒
n mile	海里
s	秒
μm	微米
°	度
°C	摄氏度
°C/min	摄氏度/分钟
°F	华氏度

目 录

第1部分 本场试飞

第1章 飞机平台 3

- 1.1 最小离地速度试飞 3
- 1.2 与抬前轮速度有关的性能试飞 9
- 1.3 加速-停止距离试飞 13
- 1.4 地面最小操纵速度试飞 17
- 1.5 刹车正常功能试飞 20
- 1.6 易熔塞完整性试飞 25
- 1.7 最大能量中断起飞试飞 28
- 1.8 起落架摆振-外部激励试飞 31

第2章 飞机系统 37

- 2.1 溅水试飞 37
- 2.2 照明夜航试飞 40
- 2.3 气象雷达试飞 43
- 2.4 地形提示和警告系统试飞 45

第2部分 异地试飞

第3章 大侧风试飞 57

- 3.1 地面航向稳定性和操纵性-侧风试飞 57
- 3.2 动力系统侧风试飞 60

第4章 自然结冰试飞 64

- 4.1 自然结冰条件下风挡防冰系统试飞 64

- 4.2 自然结冰条件下结冰探测系统试飞 71
- 4.3 自然结冰条件下短舱防冰系统试飞 75
- 4.4 自然结冰条件下机翼防冰系统试飞 78
- 4.5 自然结冰条件下飞行品质试飞 81
- 4.6 自然结冰条件下自动飞行系统试飞 85
- 4.7 自然结冰条件下风扇冰脱落试飞 88
- 4.8 自然结冰条件下电源系统试飞 91

第5章 高原试飞 94

- 5.1 高原机场上的起飞性能试飞 94
- 5.2 动力系统高原试飞 97

第6章 高温高湿试飞 100

- 6.1 动力系统高温高湿试飞 100
- 6.2 液压系统高温试飞 108
- 6.3 环控系统高温高湿试飞 111

第7章 高寒试飞 120

- 7.1 低温条件下襟/缝翼伸出试飞 120
- 7.2 高寒全机检查试飞 121
- 7.3 液压系统低温试飞 124
- 7.4 环控系统高寒试飞 126

第8章 其他特殊要求试飞 129

- 8.1 CAT III (a)(b) ILS 自动着陆试飞 129
- 8.2 噪声试飞 137

参考文献 152

缩略语 153

索引 156